铸造质量检验手册

第2版

陈琦　彭兆弟　主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

陈琦　原任机械工业部沈阳铸造研究所副总工程师。

1949～1954 年先后在南昌私营永盛翻砂厂、公私合营新中国机器厂、国营南昌柴油机厂从事铸造生产和工会工作。

1954～1963 年保送学深造，并毕业于华中工学院（现华中科技大学）铸造专业。

1963～1997 年在原机械工业部沈阳铸造研究所从事铸造科研、技术发展和行业工作，曾任所技术发展部主任和学会办公室主任、全国铸造信息网网长、原机械工业部造型材料与重要铸件产品质量监督检测中心常务副主任、机械工业铸造能源研究会副理事长、《铸造文摘》杂志主编、铸造硕士研究生导师。

主要科研成果：曾获原机械工业部科学技术进步一等奖和二等奖。

主要论文：曾获沈阳市科学技协会和沈阳市社会科学研究院联合颁发的优秀论文一等奖。

参加编写的铸造方面的图书如下：

《铸造质量检验手册》第 2 版（主编）2014 年

《铸造企业质量管理及检验入门与精通》（合编）2012 年

《铸造合金配料速查手册》第 2 版（主编）2012 年

《铸件热处理应用手册》（主编）2011 年

《中外铸件材料速查手册》（主编）2011 年

《铸造循环利用技术》（主编）2009 年

《实用铸造手册》（主编）2009 年

《铸件配料手册》第 2 版（主编）2009 年

《铸造技术问题对策》第 2 版（主编）2008 年

《铸造质量检验手册》第 1 版（主编）2006 年

《中国材料工程大典》（编委、篇主编）2006 年

《铸造合金配料速查手册》第 1 版（主编）2004 年

《铸造技术问题对策》第 1 版（主编）2001 年

《铸件配料手册》第 1 版（主编）2000 年

《铸件热处理实用手册》（主编）2000 年

《机械工程手册》第 2 版（参编）1996 年

《铸造手册》第 1 版（铸铁卷编委、参编）1993 年

《铸铁件配料实用手册》（主编）1992 年

《铸造质量手册编写方法与指南》（主编）1992 年

《中国大百科全书》第 1 版（参编）1987 年

《中国铸造行业录》（主编）1985 年

《机械工程手册》第 1 版（参编）1984 年

《铸铁手册》（编写组组长）1979 年

铸 造 质 量 检 验 手 册

第 2 版

陈　琦　彭兆弟　主编

机 械 工 业 出 版 社

本手册共7章，第1章揭示了铸造质量检验与铸造QMS的关系，并概述了有关铸造质量检验的目的和任务、方式和方法、检验的依据和应具有的检验条件等；第2章简介了铸造常用的质量检验设备（仪器）及其选用和使用；第3章介绍了铸造生产用原材料和工艺装备的质量检验与控制；第4章着重提出了铸造生产过程质量控制（检验）的重要性，并重点介绍了砂型铸造和熔模铸造生产过程工序质量的控制（检验），同时也介绍了金属型铸造、压力铸造和消失模铸造生产过程工序质量的控制（检验）；第5章较详细地介绍了进行铸件外观质量检验、内在质量检验和使用质量检验的常用方法和检验规则；第6章介绍了用标准和综合法评定铸件质量的方法和示例；第7章介绍了如何对不合格品铸铁件、铸钢件和铸造有色合金件以及特种铸造件的常见缺陷进行分析和质量改进，同时也简单介绍了如何对使用中丧失功能的不合格品铸件（失效铸件）进行缺陷分析和质量改进。

本手册可供铸造质量检验人员和铸件采购人员使用，也可供铸造管理人员和铸造工程技术人员以及大中专院校的相关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

铸造质量检验手册/陈琦，彭兆弟主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2014.1

ISBN 978-7-111-45008-5

Ⅰ.①铸… Ⅱ.①陈…②彭… Ⅲ.①铸造-质量检验-手册 Ⅳ.①TG247-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第289932号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：张秀恩 责任编辑：张秀恩 崔滋恩 版式设计：霍永明

责任校对：肖 琳 封面设计：陈 沛 责任印制：刘 岚

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2014年4月第2版第1次印刷

184mm×260mm·39.75印张·2插页·1141千字

0001— 3000册

标准书号：ISBN 978-7-111-45008-5

定价：118.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

社服务中心：（010）88361066

销售一部：（010）68326294

销售二部：（010）88379649

读者购书热线：（010）88379203

网络服务

策划编辑：（010）88379770

教材网：http://www.cmpedu.com

机工官网：http://www.cmpbook.com

机工官博：http://weibo.com/cmp1952

封面无防伪标均为盗版

《铸造质量检验手册》参编人员

第 2 版

主　编　陈　琦　彭兆弟

参　编　陈悦颖　叶利振　陈晓明　黎祖光　黎祖辉　户卫民

黎祖荣　王　波　陈　敏　曾　峰　赵　军　高明兰

王巧智　王大勇　陈永刚　林　莉　谢小娟　彭兆凤

何　敬　黎立风　姚　顺　尹国钦　何剑扬　王玉杰

陈　健　赵广涛

《铸造质量检验手册》编写人员

第 1 版

主　编　陈　琦

副主编　彭兆弟　葛晨光

编写者（按姓氏笔画为序）

王　波　陈　健　陈　琦　陈永刚　陈悦颖　陈喜安

张　寅　林　莉　赵广涛　高明兰　彭兆弟　葛晨光

黎优凤

第 2 版前言

铸造质量是铸造人的品质和精神的体现。铸造质量检验是铸造企业质量管理体系中的重要组成部分，也是技术含量最高的组成部分。

铸造质量检验的目的是为了保证铸件质量符合交货验收技术条件，使顾客（用户）对铸件的质量要求得到满足和持续满足。新版《铸造质量检验手册》根据这一思路，在章节上作了适当调整和增加，在内容上进行了补充和完善，在标准采用上力求最新，以达到“与时俱进”和“更加实用”的目的和第 1 版相比，主要的改变如下：

第 1 章“铸造质量检验概述”，一方面增加了铸造质量检验与铸造质量管理体系（QMS）相互关系的内容，并简略介绍了 ISO 9001：2008 版的质量论证标准；另一方面对铸造质量检验依据进行了必要的充实和完善。

第 2 章“铸造质量检验设备（仪器）简介”是新增加的章节，也是铸造质量检验的重要方面，主要对常用的铸造质量检验设备（仪器），如温度检测仪表、砂型及其造型材料测试仪器、铸造性能测试装置，理化检验设备、无损检测设备和铸件外观质量检测设备等进行了简单介绍。此外，本章还对它们的选用和使用要求作了简要阐述。

第 3 章“铸造生产用原材料和工艺装备的质量检验（控制）”是新调整的章节，由于它们是铸造生产的源头，因此突出它们的作用，重视它们的质量检验（控制）对保证铸件质量具有重要意义。因此在内容上也作了适当的补充和完善。

第 4 章“铸造生产过程质量的控制（检验）”是这次补充和完善的重点。在砂型铸造生产过程工序质量的控制（检验）中，对型（芯）砂与涂料制备质量、造型制芯与合箱质量、铸造合金熔制与浇注质量、铸件落砂清理与后处理质量的控制（检验）作了较大的补充和完善；在特种铸造生产过程工序质量的控制（检验）中，还增加了消失模铸造生产过程工序质量的控制（检验）的内容。

第 5 章“铸件质量检验”除增加了铸件质量检验一般要求外，还根据新制定的标准和新修订的标准对铸件质量的检验方法和评判等级等内容进行了修订，如铸造高锰钢金相组织的检验方法和评判等级、灰铸铁金相组织的检验方法和评判等级、球墨铸铁金相组织的检验方法和评判等级，蠕墨铸铁金相组织的检验方法和评判等级、可锻铸铁金相组织的检验方法和评判等级、铝合金铸件的射线检测、一般用途铸钢件的超声检测、高承压铸钢件的超声检测等。

第 6 章“铸件质量最终评定”列举了 29 种类型的铸件采用标准进行合格品评定的实例，其中有 20 种类型的铸件采用的是最新修订和最新制定的铸件标准进行合格品评定的。

第 7 章“不合格品铸件的缺陷分析与质量改进”主要增补了失效铸件的缺陷分析与质量改进示例。

新版《铸造质量检验手册》在修订中得到了《铸造》杂志社和深圳市科技图书馆以及一些年轻人的帮助，在此表示衷心的感谢！同时，也对本手册所参阅和引用的文献资料原作者表示谢意！

由于编者水平有限，在内容取材等方面存在局限性，可能还有错误和不当之处，在此敬请广大读者批评指正。同时，也热情欢迎广大铸造质量检验工作者参与本手册的下次修订工作，以不断补充和完善，服务于铸造生产。

陈　琦　彭兆弟

写于深圳

第 1 版前言

铸造质量，是铸造人的精神体现。铸造质量问题，不仅是铸造工厂的质量管理问题，而且是铸造工厂的经济问题。

我国铸造业每年要为机械装备部门提供上千万吨的铸造成型铸件。随着经济全球化进程的日益加快，机械装备部门对铸件的质量要求也越来越高。他们不仅要求满足使用目的所必须具备的技术性能要求，而且还要求满足可靠性、安全性、适应性以及时间性和经济性的要求。

我国铸造业还是一个材料和能源的消耗大户，每年要消耗各种金属材料数千万吨，消耗天然硅砂和其他特种砂数千万吨，消耗焦炭和煤数亿吨，消耗电力数十亿度……但是随着人类赖以生存的地球资源的日益减少，世界各国都相继提出要走节约化的道路。

有人说“21 世纪是质量的世纪”，这至少反映了人们对质量的要求和期盼。现在各国、各行业都在认真地推行 2000 版的 ISO9000 族标准和美国摩托罗拉（Motorola）公司首先提出的六西格玛（6σ）管理模式，以求把质量管理和产品质量推进到一个新的发展阶段。

为此，我们编写了这本《铸造质量检验手册》，并且引入和提出了“铸造接近零不合格过程的质量控制”新概念以及“铸件失效分析”和“六西格玛（6σ）”的简单介绍，以求提升铸造人的质量新意识和进一步深入探讨铸造人如何从铸造质量检验为切入口来共同创建一个绿色的节约型的铸造业。

本手册共分 5 章：

第 1 章铸造质量检验概述，主要概述了铸造质量检验的目的和任务，检验方式和方法，检验依据和准备工作。

第 2 章铸造过程质量控制，主要论述了铸造过程质量控制的重要性，提出了铸造接近零不合格过程的质量控制的新观点，并且还介绍了铸造用原材料和工艺装备质量的检验以及砂型铸造过程和特种铸造过程工序质量的控制。

第 3 章铸件质量检验，主要介绍了铸件质量检验以及铸件外观质量、内在质量和使用质量的各种检验方法和检验依据。

第 4 章铸件质量评定，主要明确了铸件质量的分类分等，并且介绍了他们的评定依据和评定方法以及评定实例。

第 5 章铸件缺陷分析与失效分析，主要归纳了各种铸件缺陷并进行分类，简略地介绍了其分析方法，并进行了包括各种铸铁件、铸钢件、铸造有色合金件以及特种铸造铸件的缺陷分析，此外还简单介绍了铸件失效的基本概念和分析铸件失效的一般步骤与常用方法。

本手册是一本铸造质量检验方面的专著，具有知识性、技术性和实用性等特点。对于铸造质量检验人员和铸件采购人员来说它是一本非常实用的铸造质量检验工具书；对于铸造管理人员和铸造工程技术人员来说它是一本值得参考的铸造质量检验技术书；对于从事

铸造工程教与学的师生来说它是一本铸造知识比较全面的参考用书。

本手册引用了铸造质量及检验的相关现行标准400余项，在收集标准过程中得到了《铸造》杂志社和全国铸造标准化技术委员会秘书处许多同仁的大力支持，并提供了最新标准信息，在此深表谢意！

本手册在编写过程中，还广泛参考并引用了国内许多铸造以及质量方面的专著，在此谨向有关作者表示感谢！

由于编写者的水平有限，在内容取材等方面不免存在局限性，可能会有一些错误和不当之处，敬请广大读者和铸造质量检验工作者批评指正。

陈 琦

目　录

第 2 版前言

第 1 版前言

第 1 章　铸造质量检验概述 …… 1

1.1　铸造质量检验与铸造 QMS …… 1

1.1.1　铸造质量检验的概念 …… 1

1.1.2　“QMS”的含意及其 ISO 9000 族标准 …… 2

1.1.3　铸造质量检验是铸造 QMS 的重要组成部分 …… 6

1.2　铸造质量检验的几个关注点 …… 8

1.2.1　铸造质量检验的目的和任务 …… 8

1.2.2　铸造质量检验的方式和方法 …… 10

1.2.3　铸造质量检验的依据 …… 12

1.2.4　铸造质量检验应具有的条件 …… 41

1.3　做好铸造质量检验的准备工作 …… 43

1.3.1　编制好铸造质量检验计划 …… 43

1.3.2　铸造质量检验准备工作的内容和工作计划 …… 45

第 2 章　铸造质量检验设备（仪器）简介 …… 48

2.1　铸造质量检验设备（仪器）的类别及选用原则 …… 48

2.1.1　铸造质量检验设备（仪器）的类别 …… 48

2.1.2　铸造质量检验设备（仪器）的选用原则 …… 48

2.2　铸造常用质量检验设备（仪器） …… 50

2.2.1　常用温度检测仪表 …… 50

2.2.2　常用砂型及其造型材料的测试仪器 …… 55

2.2.3　常用合金铸造性能测试装置 …… 74

2.2.4　常用理化检验设备 …… 83

2.2.5　常用无损检测设备 …… 103

2.2.6　常用铸件外观质量检验设备 …… 111

2.3　对使用铸造质量检验设备（仪器）的质量要求与控制 …… 113

2.3.1　对使用铸造质量检验设备（仪器）的计量检定（校准）要求 …… 113

2.3.2　对使用铸造质量检验设备（仪器）人员的素质和能力要求 …… 114

2.3.3　对使用铸造质量检验设备（仪器）工作的环境要求 …… 114

第 3 章　铸造生产用原材料和工艺装备的质量检验（控制） …… 115

3.1　铸造生产用原材料的入厂检验（控制） …… 115

3.1.1　铸造生产用原材料入厂检验（控制）的一般程序和方法 …… 115

3.1.2　铸造生产用造型原材料的入厂检验（控制） …… 116

3.1.3　铸造生产用熔炼原材料的入厂检验（控制） …… 134

3.2　铸造生产用工艺装备的质量检验（控制） …… 156

3.2.1　铸造生产用模样质量的检验（控制） …… 156

3.2.2　铸造生产用模板质量的检验（控制） …… 173

3.2.3　铸造生产用芯盒质量的检验（控制） …… 175

3.2.4　铸造生产用砂箱质量的检验（控制） …… 179

3.2.5　铸造生产用工艺装备的质量检验（控制）示例 …… 182

第 4 章　铸造生产过程质量的控制（检验） …… 187

4.1　铸造生产过程质量控制（检验）的重要性 …… 187

4.1.1　铸造及其生产过程描述 …… 187

4.1.2　铸造生产过程质量及其控制方法 …… 187

4.1.3　铸造生产接近零不合格过程的质量控制 …… 197

4.2　砂型铸造生产过程工序质量的控制（检验） …… 199

4.2.1　型（芯）砂与涂料制备质量的控制（检验） …… 199

4.2.2　造型制芯与合箱质量的控制

（检验） …… 221
4.2.3 铸造合金熔炼与浇注质量的控制（检验） …… 252
4.2.4 铸件落砂清理与后处理质量的控制（检验） …… 294
4.3 特种铸造生产过程工序质量的控制（检验） …… 342
4.3.1 熔模铸造生产过程工序质量的控制（检验） …… 342
4.3.2 金属型铸造生产过程工序质量的控制（检验） …… 362
4.3.3 压力铸造生产过程工序质量的控制（检验） …… 363
4.3.4 消失模铸造生产过程工序质量的控制（检验） …… 364
第 5 章 铸件质量检验 …… 374
5.1 铸件质量检验通则 …… 374
5.1.1 铸件质量的含意 …… 374
5.1.2 铸件质量检验的目的和依据 …… 374
5.1.3 铸件质量检验的方式和范围 …… 374
5.1.4 铸件质量检验的一般要求 …… 375
5.1.5 铸件质量检验的一般规则 …… 378
5.2 铸件外观质量检验 …… 379
5.2.1 铸件表面缺陷检验 …… 379
5.2.2 铸件形状与尺寸检验 …… 385
5.2.3 铸件表面粗糙度检验 …… 390
5.2.4 铸件质量大小检验 …… 392
5.2.5 铸件内腔检验 …… 394
5.3 铸件内在质量检验 …… 394
5.3.1 铸件化学成分检验 …… 395
5.3.2 铸件力学性能检验 …… 407
5.3.3 铸件金相组织检验 …… 417
5.3.4 铸件内部缺陷检验 …… 436
5.4 铸件使用质量检验 …… 449
5.4.1 铸件致密性测试 …… 449
5.4.2 铸件耐磨性能测试 …… 449
5.4.3 铸件抗磨性能测试 …… 453
5.4.4 铸件耐热性能测试 …… 455
5.4.5 铸件高、低温力学性能测试 …… 456
5.4.6 铸件耐蚀性能测试 …… 458
第 6 章 铸件质量最终评定 …… 460
6.1 铸件质量分类分等 …… 460
6.1.1 铸件质量分类 …… 460
6.1.2 铸件质量分等 …… 460
6.2 用标准评定铸件质量 …… 461
6.2.1 用标准评定铸铁件质量 …… 461
6.2.2 用标准评定铸钢件质量 …… 478
6.2.3 用标准评定铸造有色合金件质量 …… 494
6.2.4 用标准评定熔模铸造件质量 …… 517
6.2.5 用标准评定压铸件质量 …… 519
6.3 用综合法评定铸件质量等级 …… 530
6.3.1 用综合法评定铸件质量等级的基本思路 …… 530
6.3.2 用综合法评定铸件质量等级的评定依据 …… 531
6.3.3 用综合法评定铸件质量等级的评定方法 …… 535
6.3.4 用综合法评定铸件质量等级的计分方法 …… 540
6.3.5 用综合法评定铸件质量等级的应用示例 …… 541
第 7 章 不合格品铸件的缺陷分析与质量改进 …… 547
7.1 铸件缺陷分类与分析方法 …… 547
7.1.1 铸件缺陷的分类 …… 547
7.1.2 铸件缺陷的分析方法 …… 553
7.2 不合格品铸件的常见缺陷分析与质量改进 …… 555
7.2.1 不合格品铸铁件的常见缺陷分析与质量改进 …… 556
7.2.2 不合格品铸钢件的常见缺陷分析与质量改进 …… 572
7.2.3 不合格品铸造有色合金件的常见缺陷分析与质量改进 …… 577
7.2.4 不合格品特种铸造件的常见缺陷分析与质量改进 …… 588
7.3 失效铸件的常见缺陷分析与质量改进 …… 616
7.3.1 失效铸件 …… 616
7.3.2 分析铸件失效的一般步骤 …… 618
7.3.3 分析铸件失效的常用方法 …… 619
7.3.4 失效铸件的缺陷分析与质量改进示例——轨道交通 17 型车钩在使用过程中尾部断裂的分析 …… 620
参考文献 …… 623

第 1 章　铸造质量检验概述

1.1　铸造质量检验与铸造 QMS

1.1.1　铸造质量检验的概念

在现代铸造企业，从铸件及其工艺设计开始，到原辅材料和工艺装备采购进厂，再到铸件生产整个过程以及成品铸件出厂的每一个环节，都会受到一些主客观因素的影响，因而也会引起质量的波动，为了确保铸造企业生产出的铸件符合顾客规定的质量要求，往往需要用一定的方法和手段，去发现和判断各过程和各生产工序是否存在异常现象，生产出的铸件是否合格，这种发现和判断的方法和手段就是铸造质量检验。

以砂型铸造为例，其铸造质量检验的流程如图 1-1 所示。

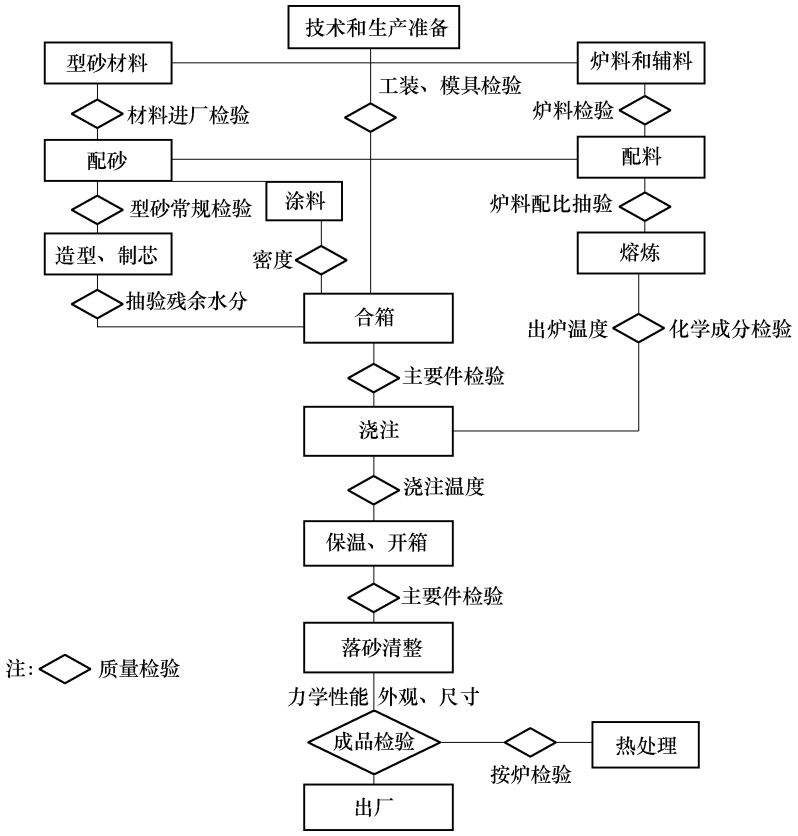


图 1-1　砂型铸造生产与铸造质量检验的流程

铸造质量检验实际上是一项技术性的检验活动。它是根据标准、铸件图样、技术要求和工艺规范，采用测量、试验等方法，对生产用原材料、工模具、生产过程工序以及成品铸件的质量特性与规定要求作比较，做出判定的检验活动。

1.1.2 “QMS”的含意及其ISO 9000族标准

“QMS”是质量管理体系英文Quality Management System的缩写，也是现代各行各业依据国际质量管理标准ISO 9000族标准建立并实施的质量管理方法。

ISO 9000族质量管理标准是目前各国通用的最高的国际质量管理标准体系。目前，各行各业只有通过QMS认证和审核，并获得ISO 9000合格证书的企业和产品才准许进入国际市场。

ISO 9000族质量管理标准自1987年颁布以来，已进行了三次修订。

1987年3月颁布的1987年版“ISO 9000系列标准”，包括三个认证标准（ISO 9001、ISO 9002、ISO 9003），分别用于不同类型组织，其中ISO 9001标准仅适用于有设计功能提供硬件产品的组织。

1. 第一次修订

第一次（1994年）仅进行了有限的修订，原有的三个认证标准（ISO 9001、ISO 9002、ISO 9003）的代号、名称未变，内容也变化不多，但提出了“ISO 9000族”的概念，即包括由ISO/TC 176“质量管理和质量保证标准化技术委员会”制定的所有国际标准。

2. 第二次修订

第二次（2000年）进行了彻底修订。主要修订内容如下：

（1）2000年12月15日重新颁布了2000版9000族标准中的三个重要标准

1）ISO 9000：2000《质量管理体系　基础和术语》。

2）ISO 9001：2000《质量管理体系　要求》。

3）ISO 9004：2000《质量管理体系　业绩改进指南》。

（2）2000版标准的主要变化

1）标准名称由“质量保证”变为“质量管理”，并由关注文件到关注过程控制。

2）三个认证标准（ISO 9001、ISO 9002、ISO 9003）合为一个——ISO 9001：2000标准。ISO 9001：2000标准在结构与内容上也有彻底改变（由20个要素改为三级67个条款构成的“过程方法”体系结构），适用于所有组织。

3）开始关注不同体系兼容：①ISO 9001标准吸取1994版ISO 14001标准的某些长处（如持续改进）；②制定通用的审核指南标准，并于2002年10月颁布ISO 19011：2002《质量和（或）环境管理体系审核指南》。

3. 第三次修订

第三次（2008年）也是仅进行了局部修订，主要是标准中的文字调整或重新编辑以及注释。因而，它一方面更清晰明确地表达了ISO 9001标准的已有要求，另一方面也为理解、实施ISO 9000族标准提供了新的思路或指南。

ISO 9001：2008标准引入的具有实质意义的修改情况见表1-1。

表1-1　ISO 9001：2008标准引入的具有实质意义的修改[6]（供参考）

序号	新标准条款	修改方式	具有实质意义的修改
1	0.1	新增+句型调整	将组织设计和实施QMS的影响因素用六项并列句型列出，并首次引入组织的业务环境、环境变化及其带来的质量风险的概念
2	0.2	新增	明示“过程方法”的目的是“为了产生期望的结果”，更强调了过程的输出
3	1.1	新增+改写	明示“产品”包括“产品实现过程所产生的任何预期输出”（包括采购产品和中间产品）
4	4.1	新增+修改	通过对正文的修改和新增“注”，明确了外包过程的定义及其控制原则

（续）

序号	新标准条款	修改方式	具有实质意义的修改
5	4.2.1	新增	通过对“注 1”内容的补充,明示标准要求的程序文件可分可合
6	4.2.3	新增	澄清了只与 QMS 策划运行相关的外来文件需要进行控制
7	5.5.2	新增 + 修改	明示管理者代表必须由组织管理层的成员担任
8	6.2.1	新注	明示“在 QMS 中承担任何任务的人员都可能直接或间接地影响产品要求符合性”
9	6.2.2	新增 + 修改	将 b)项修改为“适用时,提供培训或采取其他措施以获得所需的能力”
10	6.3	新增	将 c)项支持性服务的示例增加“信息系统”
11	6.4	新注	明示工作环境是指工作时所处的物理、环境和其他因素等条件
12	7.2.1	新注	明示了交付后活动可能包括的内容(担保条款、合同义务、附加服务等)
13	7.3.1	新注	明示了不同目的的设计和开发的三种检查活动(评审、验证、确认)视实际情况,可以单独或任意组合的方式运行并记录
14	7.3.3	新注	明示生产和服务提供的信息可能包括产品防护的细节
15	7.5.2	改写	将两个层次的必须确认的过程合并成具有因果关系的一个层次的过程
16	7.5.3	新增	明示在产品实现的全过程中必须保持对产品状态的标志
17	7.5.4	新增	在“注”中增加了“个人信息”也应视为顾客财产
18	7.5.5	新增	在“这种防护应包括标志、搬运、包装、储存和保护”前冠以“适用时”
19	7.6	改写	条款名称改为“监视和测量设备的控制”
		改写	将 b)项改为“必要时进行调整或再调整;”;将 c)项改为“具有标志,以确定其校准状态。”
		新注	明示计算机软件的两种典型确认方法(验证、保证其适用性的配置管理)
20	8.2.1	新注	列举了监视顾客满意感受的七种具体方法和信息来源
21	8.2.2	修改	明示为消除所发现的不合格及其原因,应及时采取必要的纠正和纠正措施
22	8.2.3	新注	明示根据每个过程对产品要求的符合性和 QMS 有效性的影响确定适宜的监测方法
23	8.3	新增	在“组织应通过下列一种或几种途径,处置不合格品”前,冠以“适用时”
24	8.5.2	新增	明示需要对所采取的纠正措施的有效性进行评审
25	8.5.3	新增	明示需要对所采取的预防措施的有效性进行评审

ISO 9001：2008 标准的目录如下：

0　引言（0.1 总则　0.2 过程方法）
1　范围
2　规范性引用文件
3　术语和定义
4　质量管理体系
5　管理职责
6　资源管理
7　产品实现
8　测量、分析和改进

铸造企业应该注意到，ISO 9001：2008 标准应是各行各业现行有效的 QMS 认证标准，也是铸造企业现行有效的 QMS 认证标准。

据了解，目前由 ISO /TC 176 质量管理和质量保证标准化技术委员会制订的 ISO 9000 族标准是

由21个标准文件构成（见表1-2）。其中，ISO 9000、ISO 9001、ISO 9004和ISO 19011是ISO 9000族的核心标准，这4个核心标准的用途及相互关系如图1-2所示。此外，ISO /TS 16949还为汽车行业的质量管理体系提出了更加严格的要求。

表1-2　ISO 9000族标准的标准文件构成[6]

核心标准	支持性标准	特定行业专用的质量管理体系要求
ISO 9000—质量管理体系基础和术语（2005） ISO 9001—质量管理体系要求（2008） ISO 9004—质量管理体系业绩改进指南（2000） ISO 19011—质量和/或环境体系审核指南（2002）	ISO 10001—行为准则指南（2008） ISO 10002—投诉处理指南（2006） ISO 10003—外部争议解决指南（2008） ISO 10004—监视和测量顾客满意（2010） ISO 10005—质量计划指南（2005） ISO 10006—项目中的质量管理指南（2003） ISO 10007—技术状态管理指南（2003） ISO 10012—测量过程和测量设备的要求（2003） ISO 10013—质量管理体系文件指南（2001） ISO 10014—经济与财务效益实现指南（2006） ISO 10015—培训指南（2005） ISO 10017—统计技术指南（2003） ISO 10019—质量管理体系咨询师选择及其使用指南（2005）	ISO /TS 16949（汽车） ISO 13485（医疗器械） TL 9000（电信） AS 9100（航空）

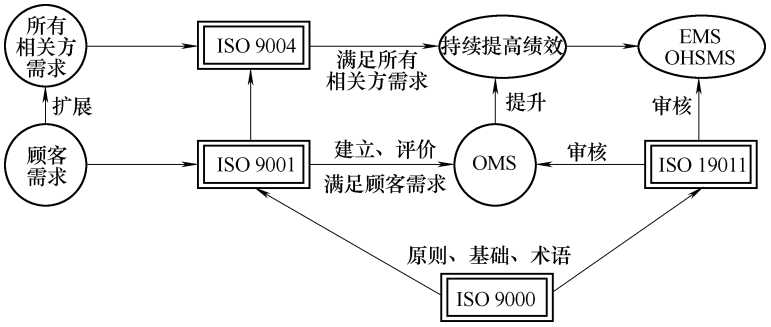


图1-2　ISO 9000族4个核心标准的用途及相互关系[6]

ISO 9000族质量管理标准提出了现代质量管理的新理念和方法，并且集中反映在标准中的八项管理原则中。这八项管理原则适用于组织（即各行各业）的全部管理，其“原则”理解分述如下：

原则一：以顾客为关注焦点。组织应依存于其顾客，组织应理解顾客当前和未来的需要，满足顾客要求并争取超越顾客期望。其作用是：①由于始终关注顾客要求并及时加以满足就能使组织及时抓住市场机遇，作出快速而灵活的反应，从而能提高市场占有率，增加收入，提高经济效益；②由于始终满足顾客要求，因而可以提高顾客对组织的忠诚度（顾客忠诚度是指顾客一贯购买本组织的产品或服务，不为其他组织的宣传所吸引，劝说自己的亲友购买本组织的产品或服务，当本组织的产品或服务有缺点时给予谅解并对克服缺点的行动表示欢迎）。

原则二：领导作用。领导者应确立组织统一的宗旨及方向，应创造并保持使员工能充分参与实现组织目标的内部环境。其作用是：①由于领导者创造了一个比较宽松、和谐和有序的环境，全体员工能够理解组织的目标并动员起来去实现这些目标；②由于领导者规定了各级、各部门的工作准则，所有的活动能以一种统一的方式加以评价、协调和实施；③领导者可以通过先进部门和先进员工的范例来推广先进经验，以促进持续改进。

原则三：全员参与。各级人员都是组织之本，只有他们的充分参与，才能使他们的才干为组织带来收益。其作用是：①使全体员工动员起来，积极参与，努力工作，实现承诺，从而实现组织的方针和目标；②使员工感到他们对自己的业绩负有责任，工作不好会给组织带来损失，从而树立起

工作责任心；③使员工渴望参与持续改进并做出贡献，主动地、积极地去寻找改进的机会，从而树立起事业心。

原则四：过程方法。将活动和相关的资源作为过程进行管理，可以更高效地得到期望的结果。其作用是：①由于采用了过程方法，可以通过有效地使用资源，使组织具有降低成本并缩短周期的能力；②由于对过程的各要素进行了管理和控制，可获得改进的、一致的和可预测的结果；③可集中注意每个过程可以改进的机会，并按其发生影响的大小次序进行改进。

原则五：管理的系统方法。将相互关联的过程作为系统加以识别、理解和管理，有利于组织提高实现目标的有效性和效率。其作用是：①使各过程彼此协调一致，能最好地取得所期望的结果；②增强了把注意力集中于关键过程的能力；③由于体系、产品和过程处于受控状态，组织能向重要的相关方提供对组织的有效性和效率的信任。

原则六：持续改进。持续改进总体业绩应当是组织的一个永恒目标。其作用是：①由于坚持持续改进，从而提高组织的能力，增强组织的竞争优势；②由于主动、积极地寻找改进的机会，提高组织对改进机会快速而灵活的反应能力。

原则七：基于事实的决策方法。有效决策建立在数据和信息分析的基础之上。其作用是：①组织可以向各级领导提供有信息根据的决策；②组织可以增强通过实际来验证过去决策的正确性的能力；③组织可以增强对各种意见和决策进行译审、质疑和更改的能力，发扬民主决策的作风，使决策更切合实际。

原则八：与供方互利的关系。组织与供方应是相互依存的，互利的关系可增强双方创造价值的能力。其作用是：①与供方的合作可以增强供需双方创造价值的能力；②与供方的合作可以增强对市场的变化联合作出灵活和快速的反应；③与供方建立合作关系可以降低成本，使资源的配置达到最优化。

八项管理原则在质量管理体系（QMS）中的作用及相互关系如图 1-3 所示。

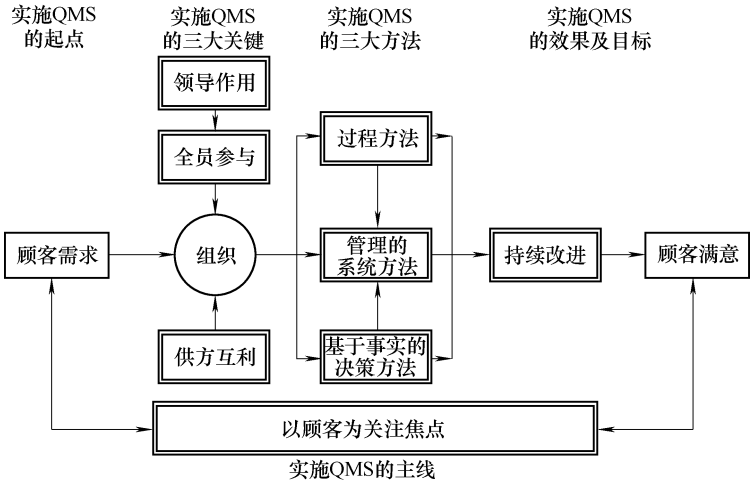


图 1-3　八项原则在质量管理体系（QMS）中的作用及相互关系[6]

注：1.“以顾客为关注焦点”居八项原则之首，是实施 QMS 的主线：
- 准确识别顾客的需求是实施 QMS 的起点。
- 满足顾客需求、保持并增强顾客满意是实施 QMS 的终点和总目标。

2.“领导作用”、“全员参与”和“供方互利”是 QMS 有效运行的三大关键：
- 组织内部的两大关键是“领导作用”（高层）和“全员参与”（基层）。
- 组织外部的一大关键是“供方互利”（本质是严格控制供方）。

3. 要自觉地综合应用三大现代科学管理方法：
- “过程方法”是基础，QMS 的本质特征就是通过控制过程来控制产品质量。
- 通过“管理的系统方法”将相互关联的过程作为体系来管理，才能提高有效性。
- 应用“基于事实的决策方法”才能确保“过程”及“体系”始终有效受控。

4.“持续改进”是实施 QMS 的效果及永恒目标：
- 只有“持续改进”才能使顾客持续满意，增强满意度。

1.1.3　铸造质量检验是铸造 QMS 的重要组成部分

现代铸造企业建立和实施铸造质量管理体系（QMS）的主要工作内容见表 1-3，铸造质量检验与铸造质量管理体系（QMS）的关系如图 1-4 所示。

表 1-3　现代铸造企业建立和实施铸造质量管理体系（QMS）的主要工作内容[6]（供参考）

项目类别						工作内容(示例)	负责部门	与 ISO 9001 对应关系
序号	大类	序号	中类	序号	小类			
一	质量管理体系建立与资源配置	(一)	质量方针与目标管理	1	质量方针管理	质量方针的制订、评审与宣传、贯彻	最高管理者	5.3
				2	质量目标管理	质量目标的制订、分解落实与实现	管理者代表	5.4.1
		(二)	职责权限与内部沟通	3	职责权限的制定与调整	质量负责人;注意部门及职责;相关部门及职员	最高管理者	5.5.1/2
				4	内部质量信息问题	沟通方式;实施沟通	质量管理部	5.5.3
		(三)	体系文件与记录管理	5	质量体系文件管理	质量手册;程序文件;作业文件;技术文件;外来文件;质量计划;记录	质量管理部、技术部、办公室	4.2.3
				6	质量记录管理			4.2.4
		(四)	质量意识及人力资源管理	7	全员质量意识培训	领导层;中间管理层;全体员工	人力资源部、质管部、最高管理层	5.2 6.2
				8	关键岗位人员能力培训、持证上岗	质管及质检人员;重要工序操作人员;设计开发人员;重要材料采购人员;市场营销人员		
		(五)	设备设施及工作环境管理	9	设备设施管理	设备设施台账管理;设备设施的购置;设备设施的点检、定保、小修、大修	设备部、规划部、生产部、动力部	6.3
				10	工作环境管理	温度、湿度、洁净度、通风除尘、防火防爆	生产部、安技环保部	6.4
二	铸件产品实现过程质量管理	(六)	市场策划开发	11	顾客需求调研及市场策划	已有市场发展趋势;潜在市场预测;顾客群及顾客需求分析;质量法规及标准	市场营销部、规划部、技术部	7.2.1
				12	销售合同评审	市场开发;投标及合同评审;顾客沟通	市场营销部	7.2.2/3
		(七)	产品及铸造工艺开发	13	铸件产品设计	已有产品改进;新产品开发	技术部	7.1 7.1、7.5.1/2 4.2.3/4
				14	铸造工艺设计	结构工艺性;工艺方案;铸造工艺图等		
				15	工艺试验与优化	关键、特殊工序工艺评定;作业指导书、工艺卡		
		(八)	采购及物流管理	16	采购过程控制	采购、外包等级划分;合格供方(外包方)评定与再评定;采购合同评审;采购、外包产品验证及不合格品处置	采购部、生产部、质管部	7.4
				17	外包过程控制			
				18	仓储物流管理			
		(九)	铸造生产现场质量管理与控制	19	生产现场定制管理	生产现场的人、机、料、法、环、测的 5S/6S 现场定置管理与优化	生产管理部、各生产车间、质量管理部、技术部	6.3/4 7.5.1
				20	生产计划调度	生产计划管理、生产物流管理		7.5.1/2
				21	重要工序质量影响因素的重点监控	关键工序、特殊工序、质量控制点的人、机、料、法、环、测六大影响因素的重点监控管理		
				22	操作规程、管理制度的现场管理	将适用作业、管理文件下发至生产班组;全体员工严格按文件需求管理、操作		4.2.3/4

（续）

项目类别						工作内容(示例)	负责部门	与 ISO 9001 对应关系
序号	大类	序号	中类	序号	小类			
二	铸件产品实现过程质量管理	(九)	铸造生产现场质量管理与控制	23	标志和可追溯性管理	原、辅材料标志；工装模具标志；型砂、型芯等中间产品标志；金属液炉号及浇注次序、铸型的唯一性标志；铸件及中间产品检验状态标志	生产管理部、各生产车间、采购部、质管部	7.5.3
				24	产品防护管理	原辅材料防护；中间产品(型芯、铸型等)的防护；铸件成品的防护		7.5.5
		(十)	铸件交付及售后服务	25	铸件交付及售后服务	铸件储存、运输、交付中的产品防护；铸件售后服务	市场营销部、生产管理部	7.5.5
		(十一)	质量检验设备计量管理	26	过程质量检验设备	温度、合金铸造性能、化学分析、金相检验、力学性能、无损探伤、几何量检测等质量检验设备的台账、检定、校准	质量管理部(质检部)	7.6
				27	产品质量检验设备			
		(十二)	过程监控与工艺参数检验	28	生产工序工艺参数质量检验	关键、特殊工序工艺参数(出炉温度、浇注温度、浇注时间等)质量检验	生产管理部、各生产车间、质管部(质检部)	8.2.3
				29	其他过程监控	设备完好性检查、工作环境监控等	各相关部门	
三	质理管理体系的测量分析和改进	(十三)	产品质量检验	30	采购产品质量检验	炉料(生铁、废钢、焦炭、铁合金、球化剂、孕育剂等)成分检验；造型原辅材料质量检验；工艺装备(模样、型板)质量检验	质量管理部(质检部)	8.2.4
				31	中间产品质量检验	金属液(温度、成分、金相)质量检验；型砂、铝砂(水分、紧实率、透气性等)质量检验；铸型(尺寸、洁净度等)质量检验		
				32	铸件(最终产品)质量检验	外观检查：尺寸精度、几何公差、表面粗糙度检验；铸件材质(成分、金相、力学性能等)检验；铸件无损探伤；其他检验		
		(十四)	不合格控制	33	不合格品控制	采购不合格品处置(退货、拒收)；中间及最终不合格品处置(返工、返修、让步、降级、报废)；重大质量事故调查处理	质量管理部(质检部)	
				34	不合格项控制	纠正、纠正措施(处置已出现的不合格项)；预防措施(预防潜在不合格项发生)	质量管理部	
		(十五)	管理体系定期监控	35	内部审核	策划审核方案；编制内审计划；内审实施；不符合项整改	管理者代表、质量管理部	
				36	管理评审	策划议题；实施评审；持续改进建议	最高管理者	
		(十六)	质量绩效监测及持续改进	37	顾客满意度调查分析	顾客满意度调查；用户意见反馈；流失业务及市场分析；顾客赞扬	市场营销部、质量管理部	7.2.2
				38	持续改进手段的综合应用	质量方针；质量目标；内部审核；管理评审；统计技术及数据分析；纠正与预防措施	最高管理者、管理者代表、质量管理部	8.5

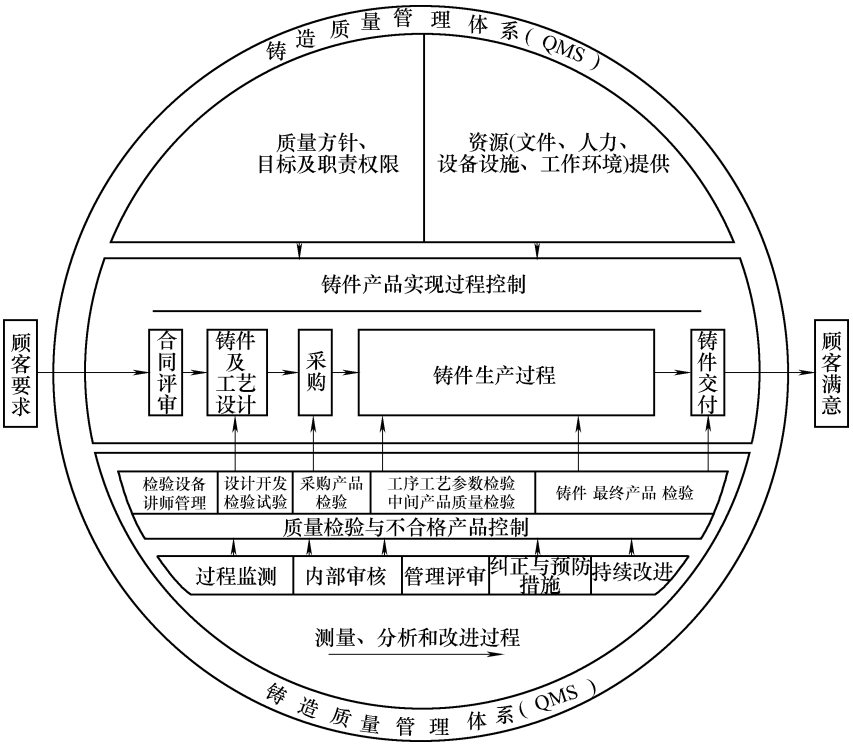


图 1-4　铸造质量检验与铸造质量管理体系（QMS）的关系

从表 1-3 和图 1-4 中不难看出，在铸造质量管理体系（QMS）中包含着铸造质量检验的工作。反之，铸造质量检验也是铸造质量管理体系（QMS）的组成部分，而且是铸造质量管体系（QMS）中的重要组成部分，也是技术含量最高的组成部分。

1.2　铸造质量检验的几个关注点

1.2.1　铸造质量检验的目的和任务

1. 铸造质量检验的目的

铸造质量检验的目的是使顾客（用户）对铸件的质量要求得到满足和持续满足。

对铸造企业来说，铸造质量检验有以下作用：

1）通过抽样检验或全数检验，可判定生产的铸件质量是否合格。

2）通过检验进行质量评定，可确定铸件缺陷严重程度，为质量改进提供依据。

3）通过检验可了解操作者贯彻标准和工艺情况，可督促和检查工艺纪律，可监督工序质量是否处于稳定状态。

4）通过检验可收集质量数据，以便对检验数据进行统计、分析、计算，提供铸件质量统计考核指标完成状况，为质量改进和质量管理活动提供有用的依据和质量信息。

此外，对供需双方来说，如因铸件质量问题产生纠纷或生产者对有关方面的质量检查提出异议时，可采用仲裁检验，以判定质量责任，作出裁决结论，以维护国家、生产者和用户（消费者）的利益。

还应该看到，铸造质量检验在铸造企业的生产和管理中也有着十分重要的意义，主要可体现在以下几个方面：

1）通过进货检验，企业可获得合格的原材料和外购件。这对保证铸造企业的铸件质量特别重要，同时可以减少因原材料不合格流入到生产中引起的停工、停产以及造成铸件不合格等大量浪费。此外，通过进货检验还可以为铸造企业的索赔提供依据。

2）通过过程工序检验，可以及时发现生产过程中的漂移趋势，以便采取及时、有效的预防措施，使过程工序处于受控状态，确保较高的铸件合格率，降低铸造企业的质量风险和铸件成本。

3）通过最终检验，可以确保铸造企业向用户提供合格的成品铸件。它不仅可以减少用户的索赔、换货等损失，而且还可以得到用户的信任，从而不断扩大铸造工厂自身的市场份额。

2. 铸造质量检验的任务

铸造质量检验是铸件质量产生和形成过程中的重要一环，是铸造企业生产经营活动中和现代质量管理中必不可少的组成部分。因此，铸造企业越是开展全面质量管理，越应充实、完善和加强铸造质量检验工作，充分发挥铸造质量检验工作的职能。

现代铸造质量检验的任务与过去单纯的质量检验相比，有很大的不同，它已经由传统的、单纯把关的被动检验，发展为“严格把关与积极预防相结合”的主动检验。

通常，现代铸造质量检验应具有以下职能：

1）鉴别的职能。鉴别就是判断铸件合格还是不合格。它是铸造质量检验的基本职能。鉴别是把关的前提，通过鉴别才能判断铸件质量是否合格。不进行鉴别就不能确定铸件的质量状况，也就难以实现把关。

2）把关的职能。把关是铸造质量检验一出现时就存在的。不管是过去、现在，还是在用高度机械化、自动化进行绿色铸造生产的未来，铸造质量检验的把关作用仍然是不可缺少的。只有通过铸造质量检验实行严格把关，做到不合格的原材料不投产、不合格的过程工序不转序、不合格的铸件不出厂，才能真正保证成品铸件的质量。

3）预防的职能。这是现代铸造质量检验区别于传统检验的重要之处。它通过对原材料、工模具的检验，起到对前道工序（过程）的把关作用和对后道工序（过程）的预防作用；它通过工序（过程）能力的测定和控制图的使用，可以及时发现工序（过程）能力是否满足质量要求和判断工序（过程）质量是否处于稳定状态，一旦发现工序（过程）能力不能满足质量要求或工序（过程）处于非稳定状态，则可及时采取措施予以防止或补救；它还可通过定期或不定期的首检与巡检起到预防作用。

4）报告的职能。报告的职能就是质量信息反馈的职能，主要是为了使铸造企业有关领导、相关部门与人员及时了解质量信息，进行质量控制，作出正确的质量决策。质量报告的主要内容应包括：①原材料、工模具等进货验收的质量情况和合格率；②各生产车间（部门）统计的铸件合格率、返修率、报废率及废品损失金额；③成品铸件检验的合格率、返修率、报废率及废品损失金额；④对质量问题分析的排列图、因果图等；⑤重大质量问题的调查、分析和处理意见；⑥提出改进铸造质量的建议。

5）监督的职能。检验结果有助于铸造企业主管人员对铸件质量产生、形成和实现过程的综合情况进行了解并实施监督。

必须指出，随着人们对铸造质量检验职能认识的不断深化，应该不断充实、完善和加强铸造质量检验工作。

总体来说，铸造质量检验的任务应该是：认真贯彻“质量第一”的方针，对原材料和工模具入厂、生产过程、储存、成品铸件出厂等各个环节，都应按照国家和主管部门颁发的质量法规和技术标准以及铸造企业制定的技术文件，采用科学的方法进行检验把关。执行“不合格原材料不准投料，不合格过程工序不准流入下道工序，不合格铸件不准出厂，不合格铸件不计算产量和产值”的规定。

铸造企业的质量检验工作应实行以预防为主，积极预防与严格把关相结合；专职检验为主，专职检验与群众检验相结合的方针。

1.2.2 铸造质量检验的方式和方法

1. 铸造质量检验的方式

铸造质量检验的方式通常有以下几种。

（1）按生产过程分

1）进货检验。进货检验是检验部门对进厂的原材料、工模具等进行入库前的检验。它必须由专职检验人员按照规定的检查标准、检查内容、检查方法和检查数量进行严格的检验。进货必须有合格证或其他合法证明。检验时可以是全数检验、抽样检验、少量抽检或只验合格证，主要取决于进货的货品（材料）类型和重要程度以及对供方质量保证体系的信任程度。但应注意，进货检验应在货品（材料）入库前或投产前进行，可以在供方，也可在铸造企业进行。

2）工序检验。工序检验是对生产过程中与铸件质量有关的要素进行的检验。工序检验的目的是为了控制生产过程的质量是否处于稳定状态，以防最终出现大批不合格品铸件。

3）完工检验。完工检验又称最终检验，是铸件入库前进行的一次全面检查。完工检验的目的是防止不合格品铸件入库和出厂，以保证用户的正常使用，避免给铸造企业的声誉带来不应有的损失和影响。因此，完工检验应该是铸造质量检验的重点，必须严格按照程序和规程进行，只有所有的检验符合要求，且有关数据和文件齐备并得到认可后，成品铸件才能入库、包装、发货。

（2）按检验体制分

1）自检。自检是指生产工人在铸造生产过程中对自己所从事的工序质量进行检验。通过自检可以有效地判断本道工序的质量与图样、工艺技术标准的符合程度，从而决定是否会产生某种缺陷需要及时进行工艺分析。习惯上常说“合格铸件是制造出来的”意义也就在此。当然，这并不意味着可以忽视或放松专职检验，相反，专职检验仍是保证铸件质量最有效的手段。

2）互检。互检是指生产工人之间的互相检验。互检包括下道工序检验上道工序的工序质量，同一工序轮班交接时进行的检验，小组质量员或班组长对本小组的工序质量进行的抽检等。通过互检可以及时发现工序质量问题，避免浪费不必要的人力和物力，并对质量情况进行分析，有效地保证铸件质量，起到相互促进、相互监督、严格把关的作用。

3）专检。专检是指由专职检验员进行的检验。由于专职检验部门直属厂长领导，检验工又具有较高的技术水平，并掌握技术标准、资料、检测仪器和量具，所以专检具有判定工序质量和铸件质量的权威性，它的作用是自检、互检所不能代替的，而且在三检（自检、互检、专检）制中必须以专检为主导。铸造企业领导要保证专职检验员实施质量否决权，保证专检工作不受干扰，以使专检能发挥其应有的质量把关和质量保证作用。

（3）按检验地点分

1）固定检验。固定检验是指在固定地点设置检验站（组），由专职检验员或操作者取样，由专职检验员进行检验。固定检验适用于检验仪器和设备不便移动，或检验仪器和设备使用较频繁的情况，如型砂质量检验就是采用固定检验。

2）流动检验。流动检验包括巡回检验和派出检验。巡回检验是对铸造生产过程中进行的定期或随机流动性的检验，常用于铸造生产线上。派出检验是把检验员派到生产现场进行检验，如炉前检验就是采用派出检验。

（4）按检验目的分

1）生产检验。生产检验是由铸造企业的质量检验部门按图样、工艺和技术标准对原辅材料、工模具、生产过程工序、成品铸件等质量特性进行的检验。其目的是使铸造企业能及时发现生产中

人、机、料、法、环诸因素对铸件质量的影响，以防止不合格的过程产品流向下道工序，或防止不合格铸件出厂。生产检验是铸造质量检验工作的基础，基础打好了，铸件质量就有了保证。如果生产检验把关不严，会直接影响到铸造企业的信誉和铸件在市场上的竞争力。

2）验收检验。验收检验是买方或用户为了保证买到或用到满意的铸件，按照国家现行的技术标准或合同规定进行的检验。这种检验可以弥补生产检验的不足，及时发现质量上存在的问题，分清质量上的责任，避免产生纠纷。对铸造企业来说也能及时收集用户对铸件质量的意见，便于改进和提高铸件质量，也是铸造企业质量信息来源的重要渠道。

3）监督检验。监督检验是检验的再检验。可以是铸造企业内部的质量监督员（组）对检验员检查验收过的铸件进行抽查检验，以考核检验员的工作质量；或是国家、行业的产品质量监督检测机构执行上级的指定，对铸造企业的铸件质量进行监督抽查。这些都是为了通过监督检验真实地考核检验员的工作质量和考核铸造企业的铸件质量。监督检验应该采用不定期的突击取样，进行检验。

4）仲裁检验。仲裁检验是铸造企业与买方之间发生铸件质量纠纷时，经申诉后由质量监督检测机构对铸件质量所进行的检验。根据检验结果作出判定和结论，确定铸件质量合格与否，经济裁决部门按照现行质量法规判定双方应负的责任，按规定处理所发生的纠纷。

（5）按检验数量分

1）全数检验。全数检验是对一批铸件中的所有铸件均按图样、工艺、技术标准要求逐个进行检验，作出合格与否的判定。由于全数检验需要的检验人员较多、费用高，一般适用于关键工序和重要铸件。

2）抽样检验。抽样检验是按照规定的抽样方案和程序从检验批中随机抽取一部分铸件作为样本，然后通过检验样本中的每个铸件，并与判断标准进行对比，对检验批铸件作出合格与否的判断。抽样检验适用于以下场合：

① 破坏性检验；

② 铸件数量大，质量要求不很高的检验；

③ 检验对象是流程性材料，如钢液、铁液的化验；

④ 检验的项目多而复杂，希望节约检验费用和时间。

3）免检。免检是指在有足够的证据证明铸件质量合格而且质量稳定的情况下，检验员可免除对铸件质量再进行检验。对于免检的铸件，检验员可以进行不定期的抽查。

（6）按检验后检验对象的完整程度分

1）破坏性检验。破坏性检验是指铸件经过检验后其完整性遭到破坏，不再具有原有的使用功能。破坏性检验只能采用抽样检验的方式。

2）非破坏性检验。非破坏性检验是指铸件经过检验后完整无损，不影响其使用性能。如铸件的尺寸检验等。

2. 铸造质量检验的方法

铸造质量检验的方法通常分为感官检验和器具检验两大类。

1）感官检验　感官检验是利用人的感觉器官对进厂的铸造原辅材料、工模具、铸造过程工序和铸件的质量特性等作出评价和判断，如浇注快慢、铸件表面粗糙度和伤痕等常用感官检验。应该注意，感官检验的结果易受检验者感觉器官的敏锐程度、经验丰富情况、健康状况、情绪等因素的影响，因而检验结果带有主观性。但是，由于感官检验可以降低检验成本，并且快速进行检验，因此仍然是铸造生产中必不可少的一种检验方法。

2）器具检验　器具检验是指利用仪器、量具或检测设备，运用物理或化学的方法对铸造过程工序和铸件的质量特性进行的检验，如砂型硬度和透气性、铸件强度、铸件化学成分等。

1.2.3 铸造质量检验的依据

铸造质量检验的依据主要有铸件图、铸造工艺和技术标准及其有关技术文件、订货合同等。

1. 技术标准

对标准化领域中需要协调统一的技术事项所制订的标准，称为技术标准。

铸造技术标准是铸造企业组织铸件生产、交货和验收的技术依据，是促进铸件质量提高的技术保障，是铸造企业获得最佳经济效益的重要条件。铸造企业在生产经营活动中推广和应用标准化技术，认真贯彻实施技术标准，对缩短新产品（铸件）开发周期、控制铸件制造质量、降低铸件生产成本至关重要，对增强铸造企业的市场竞争能力、发展规模经济、推进铸造专业化协作将产生重要的影响。

（1）技术标准分级概况

1）国际上一般把技术标准分为四级：国际标准、地区（区域性）标准、国家标准和公司（企业）标准。其中，国际标准主要是指由国际标准化组织“ISO ”颁发的标准和国际电工委员会“IEC”颁发的标准；区域性标准主要是指几个国家或区域标准团体组成的标准化机构颁发的标准，如欧洲标准化委员会“CEN”、欧洲电工标准化委员会“CENELEC”等颁发的标准等；国家标准是指各国的国家标准，其标准代号识别如下：中国（GB）、美国（ASTM）、俄罗斯（ГОСТ）、英国（BS）、法国（NF）、德国（DIN）、日本（JIS）、韩国（KS）、巴西（NB）、印度（IS）、南非（SASB）。其他国家标准代号可参见参考文献［1］的附录 A“中外标准代号识别系统”。

2）我国技术标准也分为四级：国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

① 我国国家标准是指由国家的官方标准化机构或国家政府授权的有关机构批准、发布，在全国范围内统一和适用的标准，其编号由国家的代号、国家标准发布的顺序号和国家标准发布的年号三部分组成。国家标准代号的识别如下：

- 我国国家强制性标准（GB）。
- 我国国家推荐性标准（GB/T）。
- 我国国家内部标准（GBn）。
- 我国国家军用标准（GJB）。
- 我国国家标准化指导性技术文件（GB/Z）。

② 我国行业标准是指在全国性的各行业范围内统一的标准。由国务院有关行政主管部门编制计划、组织草拟、统一审批、编号发布，并报国务院标准化主管部门备案。行业标准是对国家标准的补充（在相应国家标准实施后，自行废止），其编号由行业的代号、行业标准发布的顺序号和行业标准发布的年号三部分组成。行业标准代号的识别如下：

- 我国机械行业标准（JB）。
- 我国汽车行业标准（QC）。
- 我国黑色冶金行业标准（YB）。
- 我国有色冶金行业标准（YS）。
- 我国稀土行业标准（XB）。
- 我国煤炭行业标准（MT）。
- 我国化工行业标准（HG）。
- 我国石油化工行业标准（SH）。
- 我国天然气行业标准（SY）。
- 我国轻工行业标准（QB）。
- 我国纺织行业标准（FZ）。

- 我国兵工民品行业标准（WJ）。
- 我国建材行业标准（JC）。
- 我国船舶行业标准（CB）。
- 我国航空行业标准（HB）。
- 我国民用航空行业标准（MH）。
- 我国航天行业标准（QJ）。
- 我国铁路运输行业标准（TB）。
- 我国交通行业标准（JT）。
- 我国电力行业标准（DL）。
- 我国电子行业标准（SJ）。
- 我国通信行业标准（YD）。
- 我国建筑工业行业标准（JG）。
- 我国包装行业标准（BB）。
- 我国农业行业标准（NY）。
- 我国粮食行业标准（LS）。
- 我国水产行业标准（SC）。
- 我国水利行业标准（SL）。
- 我国林业行业标准（LY）。
- 我国卫生行业标准（WS）。
- 我国医药行业标准（YY）。
- 我国中医药行业标准（ZY）。
- 我国地质矿产行业标准（DZ）。
- 我国土地管理行业标准（TD）。
- 我国环境保护行业标准（HJ）。
- 我国劳动和劳动安全行业标准（LD）。
- 我国公共安全行业标准（GA）。
- 我国文化行业标准（WH）。
- 我国体育行业标准（WH）。
- 我国广播电影电视行业标准（GY）。
- 我国新闻出版行业标准（CY）。
- 我国旅游行业标准（LB）。
- 我国邮政行业标准（YZ）。
- 我国城镇行业标准（CJ）。
- 我国商业行业标准（SB）。
- 我国物资管理行业标准（WB）。
- 我国商检行业标准（SN）。
- 我国外经贸行业标准（WM）。
- 我国海关行业标准（HS）。
- 我国档案行业标准（DA）。
- 我国金融行业标准（JR）。
- 我国海洋行业标准（HY）。
- 我国地震行业标准（DB）。

- 我国气象行业标准（QX）。
- 我国民政行业标准（MZ）。
- 我国教育行业标准（JY）。
- 我国测绘行业标准（CH）。
- 我国烟草行业标准（YC）。

必须说明的是，我国各行业标准都有其属性。以我国机械行业标准（JB）为例：JB 为机械行业强制性标准；JB/T 为机械行业推荐性标准；JBn 为机械行业内部标准；JB/Z 为机械行业指导性技术文件。

③ 我国地方标准是指在某个省、自治区、直辖市范围内需要统一的标准。地方标准由省、自治区、直辖市人民政府标准化行政主管部门编制计划、组织草拟、统一审批、编号发布，并报国务院标准化行政主管部门和国务院有关行政主管部门备案。地方标准不得与国家标准、行业标准抵触，在相应的国家标准或行业标准实施后，地方标准自行废止（但环境标准例外，可制定严于国家标准、行业标准的地方标准）。地方标准的代号为“DB”加上省、自治区、直辖市行政区划代码前两位数，再加斜线、顺序号和年号四部分组成。

④ 我国企业标准是指在企业、事业单位范围内，按需要协调、统一的技术要求和管理工作要求所制定的标准，主要包括：企业内的生产组织、技术管理、质量管理、经营管理方面的制度、方法、规则、定额标准；典型工艺规程、工装、设备与工具标准；原辅材料标准以及企业内控标准等。

企业标准是企业制定，由企业法人代表或法人代表授权的主管领导批准、发布，由企业法人代表授权的部门统一管理。

企业内控标准是企业标准的重要组成部分，是企业内部自行批准、发布的标准。内控标准的实质是企业为了保证达到国际标准、国家标准、行业标准，为了争优质、创名牌而提高要求所制定并实施的标准。内控标准要高于国家标准和行业标准，但不得与上述标准抵触。

还应指出，在我国国家标准、行业标准、地方标准、企业标准之间，不允许下级标准与上级标准相抵触，并且下级标准要服从上级标准。

（2）我国铸造技术标准　铸造是一个横跨国民经济许多部门（如机械、汽车、冶金、轻纺、石油化工、航空航天、船舶、铁路、建材、电力等）的大行业。我国国家铸造技术标准是由全国铸造标准化技术委员会负责归口工作，秘书处设在沈阳铸造研究所。此外，“全国铸造标准化技术委员会”还负责国际标准化组织（ISO ）中相应技术委员会或分技术委员会的归口业务管理工作，并与航空航天、冶金、石油化工、铁路、船舶等部门的铸造标准化组织一道直接参与国内和国际铸造标准的制订、修订工作，从而使我国的现行铸造技术标准与国际铸造技术标准基本达到同步发展，且多项铸造技术标准等效采用国际标准，大部分铸造技术标准达到了国际同类标准水平，并形成了我国的铸造技术标准体系。

截至 2012 年 6 月，我国国家和机械行业铸造技术标准概况见表 1-4。

表 1-4　我国国家和机械行业铸造技术标准概况

标　准　号	标　准　名　称
一、铸造通用基础及工艺方面	
GB/T 5611—1998	铸造术语
GB/T 5678—1985	铸造合金光谱分析取样方法
GB/T 6060. 1—1997	表面粗糙度比较样块　铸造表面
GB/T 6414—1999	铸件　尺寸公差与机械加工余量
GB/T 11351—1989	铸件重量公差
GB/T 15056—1994	铸造表面粗糙度　评定方法

（续）

标　准　号	标　准　名　称
一、铸造通用基础及工艺方面	
JB/T 2435—1978	铸造工艺符号及表示方法
JB/T 4022.1—1999	合金铸造性能测定方法　自由线收缩测定方法
JB/T 4022.2—1999	合金铸造性能测定方法　热裂倾向的测定
JB/T 5105—1991	铸件模样　起模斜度
JB/T 5106—1991	铸件模样型芯头　基本尺寸
JB/T 6983—1993	铸件材料消耗工艺定额计算方法
JB/T 7528—1994	铸件质量评定方法
JB/T 7699—1995	铸造用木制模样和芯盒技术条件
二、铸钢方面	
GB/T 552—1996	铸造锚链钢
GB/T 1503—2008	铸钢轧辊
GB/T 2100—2002	一般用途耐蚀钢铸件
GB/T 5613—1995	铸钢牌号表示方法
GB/T 5677—2007	铸钢件射线照相检测
GB/T 5680—2010	奥氏体锰钢铸件
GB/T 6967—2007	工程结构用中、高强度不锈钢铸件
GB/T 7233.1—2010	铸钢件　超声检测　第 1 部分：一般用途铸钢件
GB/T 7233.2—2009	铸钢件　超声检测　第 2 部分：高承压铸钢件
GB/T 7659—2010	焊接结构用铸钢件
GB/T 8492—2002	一般用途耐热钢和合金铸件
GB/T 9443—2007	铸钢件渗透检测
GB/T 9444—2007	铸钢件磁粉检测
GB/T 11352—2009	一般工程用铸造碳钢件
GB/T 12229—2005	通用阀门　碳素钢铸件技术条件
GB/T 12230—2005	通用阀门　不锈钢铸件技术条件
GB/T 13925—2010	铸造高锰钢金相
GB/T 14408—1993	一般工程与结构用低合金铸钢件
GB/T 16253—1996	承压钢铸件
JB/T 5000.6—2007	重型机械通用技术条件　第 6 部分：铸钢件
JB/T 5939—1991	工程机械铸钢件通用技术条件
JB/T 5940—1991	工程机械高锰钢铸件通用技术条件
JB/T 6402—2006	大型低合金钢铸件
JB/T 6403—1992	大型耐热钢铸件
JB/T 6404—1992	大型高锰钢铸件
JB/T 6405—2006	大型不锈钢铸件
JB/T 6888—2004	风机用铸钢件技术条件
JB/T 7024—2002	300MW 以上汽轮机缸体铸钢件技术条件
JB/T 7031—2006	大型磨机类端盖铸钢件
JB/T 7248—2008	阀门用低温铸钢技术条件
JB/T 7349—2002	混流式水轮机焊接转轮不锈钢叶片铸件
JB/T 7350—2002	轴流式水轮机不锈钢叶片铸件
JB/T 10264—2001	混流式水轮机焊接转轮上冠、下环铸件

（续）

标　准　号	标　准　名　称
三、铸铁方面	
GB/T 1150—1993	内燃机湿式铸铁气缸套技术条件
GB/T 1348—2009	球墨铸铁件
GB/T 1504—2008	铸铁轧辊
GB/T 3420—2008	灰口铸铁管件
GB/T 3422—2008	连续铸铁管
GB/T 5612—2008	铸铁牌号表示方法
GB/T 6483—2008	柔性机械接口灰口铸铁管
GB/T 7216—2009	灰铸铁金相检验
GB/T 8263—2010	抗磨白口铸铁件
GB/T 8491—2009	高硅耐蚀铸铁件
GB/T 9437—2009	耐热铸铁件
GB/T 9439—2010	灰铸铁件
GB/T 9440—2010	可锻铸铁件
GB/T 9441—2009	球墨铸铁金相检验
GB/T 12226—2005	通用阀门　灰铸铁件技术条件
GB/T 12227—2005	通用阀门　球墨铸铁件技术条件
GB/T 12772—2008	排水用柔性接口铸铁管、管件及附件
GB/T 13295—2008	水及燃气管道用球墨铸铁管、管件及附件
GB/T 24597—2009	铬锰钨系抗磨铸铁件
GB/T 24733—2009	等温淬火球墨铸铁件
GB/T 25746—2010	可锻铸铁金相检验
GB/T 26655—2011	蠕墨铸铁件
JB/GQ 0033—1980	机床用耐磨铸铁
JB/T 3829—2009	蠕墨铸铁　金相
JB/T 3997—2011	金属切屑机床灰铸铁　技术条件
JB/T 5000.4—1998	重型机械通用技术条件　第4部分：铸铁件
JB/T 5028.4—2008	内燃机　气缸套　第4部分：风冷气缸套技术条件
JB/T 5080—2008	内燃机　铸铁气门导管技术条件
JB/T 5083—2005	内燃机　干式铸铁气缸套技术条件
JB/T 5937—1991	工程机械　灰铸铁件通用技术条件
JB/T 5938—1991	工程机械　球墨铸铁件通用技术条件
JB/T 6727—2000	内燃机　曲轴技术条件
JB/T 6728.1—2008	内燃机　凸轮轴　第1部分：技术条件
JB/T 6887—2007	风机用铸铁件技术条件
JB/T 7945—1999	灰铸铁　力学性能试验方法
JB/T 8415—2011	内燃机　正时齿轮　技术条件
JB/T 8579—2011	内燃机　进排气管　技术条件
JB/T 9005.10—1999	起重机用铸造滑轮　技术条件
JB/T 9006.3—1999	起重机用铸造卷筒　技术条件
JB/T 9219—1999	球墨铸铁　超声声速测定方法
JB/T 9220.1—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　总则及一般规定
JB/T 9220.2—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　高氯酸脱水重量法测定二氧化硅量
JB/T 9220.3—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　重铬酸钾容量法测定氧化亚铁量

（续）

标　准　号	标　准　名　称
三、铸铁方面	
JB/T 9220.4—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　亚砷酸钠-亚硝酸钠容量法测定一氧化锰量
JB/T 9220.5—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　氟化钠-EDTA 容量法测定三氧化二铝量
JB/T 9220.6—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　DDTC 分离 EGTA 容量法测定氧化钙量
JB/T 9220.7—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　高锰酸钾容量法测定氧化钙量
JB/T 9220.8—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　DDTC 分离 EDTA 容量法测定氧化镁量
JB/T 9220.9—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　磷钒钼黄-甲基异丁基甲酮萃取光度法测定五氧化二磷量
JB/T 9220.10—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　硫酸钡重量法测定硫量
JB/T 9220.11—1999	铸造化铁炉酸性炉渣化学分析方法　燃烧-碘酸钾容量法测定硫量
JB/T 9228—1999	球墨铸铁用球化剂
JB/T 9741.1—2011	内燃机　气门挺柱　技术条件　第 1 部分：机械式挺柱
JB/T 9953.3—2011	内燃机　气缸盖与机体　第 3 部分：灰铸铁气缸盖和机体铸件技术条件
JB/T 9746.2—2011	船用齿轮箱　第 2 部分：灰铸铁件技术条件
JB/T 9750.1—2011	内燃机　气门摇臂和摇臂轴技术条件　第 1 部分：气门摇臂
JB/T 5082.7—2011	内燃机　气缸套　第 7 部分：平台珩磨网纹 技术规范及检测方法
JB/T 5082.2—2011	内燃机　气缸套　第 2 部分：高磷铸铁金相检验
JB/T 9770—1999	内燃机　机油泵齿轮技术条件
JB/T 10612—2006	拖拉机配重技术条件
四、铸造有色合金方面	
GB/T 1173—1995	铸造铝合金
GB/T 1174—1992	铸造轴承合金
GB/T 1175—1997	铸造锌合金
GB 1176—1987	铸造铜合金技术条件
GB 1177—1991	铸造镁合金
GB/T 6614—1994	钛及钛合金铸件
GB/T 8063—1994	铸造有色金属及其合金牌号表示方法
GB/T 9438—1999	铝合金铸件
GB/T 11346—1989	铝合金铸件 X 射线照相检验针孔（圆形）分级
GB/T 13819—1992	铜合金铸件
GB/T 13820—1992	镁合金铸件
GB/T 15073—1994	铸造钛及钛合金牌号和化学成分
GB/T 16746—1997	锌合金铸件
GB/T 23301—2009	汽车车轮用铸造铝合金
JB/T 4394—1999	稀土镁合金　稀土总量、硅、镁的化学分析方法
JB/T 5000.5—1998	重型机械通用技术条件　有色金属铸件
JB/T 5108—1991	铸造黄铜　金相
JB/T 5941—1991	工程机械有色合金通用技术条件
JB/T 9005.10—1999	起重机用铸造滑轮技术条件
JB/T 7946.1—1999	铸造铝合金金相　铸造铝硅合金变质
JB/T 7946.2—1999	铸造铝合金金相　铸造铝硅合金过烧
JB/T 7946.3—1999	铸造铝合金金相　铸造铝合金针孔
JB/T 7946.4—1999	铸造铝合金金相　铸造铝铜合金晶粒度

（续）

标　准　号	标　准　名　称
五、造型材料方面	
GB/T 2684—2009	铸造用砂及混合料试验方法
GB/T 7143—2010	铸造用硅砂化学分析方法
GB/T 9442—2010	铸造用硅砂
GB/T 25138—2010	检定铸造粘结剂用标准砂
GB/T 25139—2010	铸造用泡沫陶瓷过滤网
JB/T 3828—1999	铸造用热芯盒树脂
JB/T 5107—1991	砂型铸造用涂料　试验方法
JB/T 6984—1993	铸造用铬铁矿砂
JB/T 6985—1993	铸造用镁橄榄石砂
JB/T 7526—2008	铸造用自硬呋喃树脂
JB/T 7527—1994	铸造用自硬呋喃树脂性能测定方法
JB/T 8583—2008	铸造用覆膜砂
JB/T 8834—2001	铸造用壳型(芯)酚醛树脂
JB/T 8835—1999	铸造用水玻璃
JB/T 9156—1999	铸造用试验筛
JB/T 9221—1999	铸造用湿型砂有效膨润土及有效煤粉试验方法
JB/T 9222—2008	湿型铸造用煤粉
JB/T 9223—1999	铸造用锆砂
JB/T 9225—1999	铸造用粘土、膨润土化学分析方法
JB/T 9226—2008	砂型铸造用涂料
JB/T 9227—1999	铸造用膨润土和粘土
JB/T 53440—1999	铸造用水洗天然硅砂　质量分等
六、压铸方面	
GB/T 13818—2009	压铸锌合金
GB/T 13821—2009	锌合金压铸件
GB/T 13822—1992	压铸有色合金试样
GB/T 15114—2009	铝合金压铸件
GB/T 15115—2009	压铸铝合金
GB/T 15116—1994	压铸铜合金
GB/T 15117—1994	铜合金压铸件
GB/T 25748—2010	压铸镁合金
GB/T 25747—2010	镁合金压铸件
七、熔模铸造方面	
GB/T 12214—1990	熔模铸造用硅砂、粉
GB/T 12215—1990	熔模铸造用铝矾土砂、粉
GB/T 14235.1—1993	熔模铸造模料　熔点测定方法(冷却曲线法)
GB/T 14235.2—1993	熔模铸造模料　抗弯强度测定方法
GB/T 14235.3—1993	熔模铸造模料　灰分测定方法
GB/T 14235.4—1993	熔模铸造模料　线收缩率测定方法
GB/T 14235.5—1993	熔模铸造模料　表面硬度测定方法
GB/T 14235.6—1993	熔模铸造模料　酸值测定方法
GB/T 14235.7—1993	熔模铸造模料　流动性测定方法

（续）

标　准　号	标　准　名　称
七、熔模铸造方面	
GB/T 14235. 8—1993	熔模铸造模料　粘度测定方法
GB/T 14235. 9—1993	熔模铸造模料　热稳定性测定方法
JB/T 2980. 1—1999	熔模铸造型壳高温热变形试验方法
JB/T 2980. 2—1999	熔模铸造型壳高温抗弯强度试验方法
JB/T 4007—1999	熔模铸造涂料　试验方法
JB/T 4153—1999	型壳高温透气性试验方法
JB/T 5100—1991	熔模铸造碳钢件　技术条件
八、水平连续铸造方面	
JB/T 10854—2008	水平连续铸造铸铁型材
九、艺术铸造方面	
JB/T 10973—2010	艺术铸造铜雕塑件
JB/T 10974—2010	艺术铸造乐器
JB/T 10975—2010	艺术铸造响器
十、铸造用炉料方面	
GB/T 718—2005	铸造用生铁
GB/T 1412—2005	球墨铸铁用生铁
GB/T 8729—1988	铸造焦炭
GB/T 8733—2007	铸造铝合金锭
GB/T 8738—2006	铸造锌合金锭
GB/T 8740—2005	铸造轴承合金锭
GB/T 19078—2003	铸造镁合金锭

我国冶金等其他行业的铸造技术标准，可参见参考文献［1］、［2］、［3］、［18］和［28］。

（3）国际（ISO）和美国（ASTM）常用铸造技术标准简介

国际 ISO 和美国 ASTM 的常用铸造技术标准，见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5　国际 ISO 常用铸造技术标准[4]

标　准　号	标　准　名　称
ISO 121:1980	镁-铝-锌合金锭及铸件化学成分和砂型铸造标准试棒的力学性能
ISO 185:2005	灰铸铁　分类
ISO 197-4:1983	铜及铜合金　术语和定义　第 4 部分:铸件
ISO 301:2006	锌合金铸锭
ISO 437:1982	钢和铸铁　全碳量的测定　燃烧重量分析法
ISO 629:1982	钢和铸铁　锰含量的测定　分光光度法
ISO 671:1982	钢和铸铁　硫含量的测定　燃烧滴定法
ISO 945-1:2008	铸铁微观结构　第 1 部分:通过目视分析进行石墨的分类
ISO 946:1975	灰铸铁　无缺口冲击试验
ISO 1083:2004	球墨铸铁　分类
ISO 1190-1:1982	铜和铜合金　牌号表示方法　第 1 部分:材料牌号
ISO 1554:1976	加工铜合金和铸造铜合金　铜含量的测定　电解法
ISO 2377:1972	镁合金砂型铸件　参比试棒
ISO 2378:1972	铝合金冷硬铸件　参比试棒

（续）

标　准　号	标　准　名　称
ISO 2379:1972	铝合金砂型铸件　参比试棒
ISO 2892:2007	奥氏体铸铁　分类
ISO 3115:1981	含锆的镁合金铸件化学成分和力学性能
ISO 3134-4:1985	轻金属及其合金　术语和定义　第 4 部分:铸件
ISO 3228:1993	滚动轴承　外球面轴承铸造和冲压座
ISO 3522:2007	铝和铝合金　铸件　化学成分和力学性能
ISO 3755:1991	一般工程用铸造碳钢
ISO 4381:2000	滑动轴承　多层滑动轴承用铅锡铸造合金
ISO 4382-1:1991	滑动轴承　铜合金　第 1 部分:单层和多层厚壁滑动轴承用铸造合金
ISO 4829-1:1986	钢和铸铁　全硅量的测定　硅钼蓝分光光度法　第 1 部分:硅含量在 0.05% ~ 1.0% 之间
ISO 4934:2003	钢和铸铁　硫含量的测定　重量分析法
ISO 4986:2010	钢铸件　磁粉检测
ISO 4987:2010	铸钢件　液体渗透检测
ISO 4990:2003	铸钢件　交货的一般技术要求
ISO 4991:2005	压力用途的钢铸件
ISO 4992-1:2006	钢铸件　超声波检测　第 1 部分:通用钢铸件
ISO 4992-2:2006	钢铸件　超声波检测　第 2 部分:高应力元件用钢铸件
ISO 4993:2009	钢铁铸件　X 射线照相检测
ISO 5832-4:1996	外科植入物　金属材料　第 4 部分:钴铬钼铸造合金
ISO 5922:2005	可锻铸铁
ISO 6372-3:1989	镍和镍合金　术语和定义　第 3 部分:加工产品和铸件
ISO 7186:1996	污水工程用球墨铸铁制品
ISO 7722:1985	重力铸造、砂型铸造、冷硬铸造或由有关工艺生产的铝合金铸件验收和交货的一般条件
ISO 8062-3:2007	产品几何量技术规范(GPS)模制件尺寸和几何公差　第 3 部分:铸件一般尺寸、几何公差和机械加工余量
ISO 8287:2000	镁和镁合金　非镁合金　化学成分
ISO 9147:1987	生铁的定义与分类
ISO 9477:1992	一般工程和结构用高强度铸钢
ISO 9584:1993	外科植入物　无损检测　铸造金属外科植入物的 X 射线检测
ISO 9915:1992	铝合金铸件　X 射线照相检测
ISO 9916:1991	铝合金和镁合金铸件　液体渗透检测
ISO 10049:1992	铝合金铸件　针孔度目测评定法
ISO 10679:2010	钢　铸造工具钢
ISO 11971:2008	钢和铁铸件　表面质量的外观检查
ISO 11972:1998	一般用途耐腐蚀铸钢
ISO 11973:1999	一般用途耐热铸钢及合金
ISO 12725:1997	镍和镍合金铸件
ISO 13520:2002	奥氏体不锈钢铸件中铁素体含量的测定
ISO 13521:1999	奥氏体锰钢铸件
ISO 13583-1:2003	离心铸造钢件及合金件　第 1 部分:一般试验及公差
ISO 13583-2:2003	离心铸造钢及合金产品　第 2 部分:耐热材料

（续）

标　准　号	标　准　名　称
ISO 14737:2003	一般用途的非合金和低合金铸钢
ISO 15201:2006	锌和锌合金　铸造　规范
ISO 16112:2006	蠕墨铸铁　分类
ISO 16220:2005	镁和镁合金　镁合金铸锭和铸件
ISO 16468:2005	熔模铸件(钢、镍合金和钴合金)一般技术要求
ISO 17615:2007	铝和铝合金　铝合金锭　技术规范
ISO 17804:2005	铸件　奥氏体球墨铸铁　分类
ISO 19959:2005	熔模铸件表面状况的外观检查　钢、镍合金和钴合金
ISO 19960:2005	特殊物理性能的铸钢及合金
ISO 21988:2006	抗磨铸铁　分类
ISO 26202:2007	镁和镁合金　铸件阳极用镁合金
ISO /TR 15931:2004	铸铁和生铁的命名方法

表 1-6　美国 ASTM 常用铸造技术标准[4]

标　准　号	标　准　名　称
ASTM A27/A27M—2010	通用碳钢铸件的标准规范
ASTM A47/A47M—2009	铁素体可锻铸铁件的标准规范
ASTM A48/A48M—2008	灰铸铁件的标准规范
ASTM A74—2009	铸铁污水管及配件的标准规范
ASTM A126—2009	阀门、法兰和管配件用灰铁铸件的标准规范
ASTM A128/A128M—2007	奥氏体锰钢铸件的标准规范
ASTM A148/A148M—2008	结构用高强度钢铸件的标准规范
ASTM A159—2006	汽车用灰铁铸件的标准规范
ASTM A197/A197M—2006	冲天炉可锻铸铁的标准规范
ASTM A216/A216M—2008	适于熔焊的高温用碳钢铸件的标准规范
ASTM A217/A217M—2010	高温设备承压部件用合金钢和马氏体不锈钢铸件的标准规范
ASTM A220/A220M—2009	珠光体可锻铸铁的标准规范
ASTM A247—2010	铸铁件中石墨显微结构评定的试验方法
ASTM A278/A278M—2006	温度达 650 °F 承压部件用灰铁铸件的标准规范
ASTM A297/A297M—2010	通用耐热铬铁与镍铬铁合金钢铸件的标准规范
ASTM A319—2006	高温非承压部件用灰铁铸件的标准规范
ASTM A327—2006	铸铁冲击试验方法
ASTM A351/A351M—2010	压力容器部件用奥氏体铸件的标准规范
ASTM A352/A352M—2006	低温承压部件用铁素体和马氏体钢铸件的标准规范
ASTM A356/A356M—2007	汽轮机用厚壁碳钢、低合金钢和不锈钢铸件的标准规范
ASTM A367—2005	铸铁的激冷试验方法
ASTM A377—2008e1	球墨铸铁压力管规范用标准索引
ASTM A389/A389M—2010	高温承压部件经特殊热处理的合金钢铸件的标准规范
ASTM A395/A395M—2009	高温用铁素体球墨铸铁保压铸件的标准规范
ASTM A426/A426M—2007	高温用离心铸造铁素体合金钢管的标准规范
ASTM A436—2006	奥氏体灰铁铸件的标准规范
ASTM A438—1997	灰铸铁的挠曲试验方法
ASTM A439—2009	奥氏体球墨铸铁件的标准规范
ASTM A447/A447M—2010	高温用镍铬铁合金钢铸件(25 ~ 12 级)的标准规范

（续）

标 准 号	标 准 名 称
ASTM A476/A476M—2009	造纸厂干燥辊用球墨铸铁件的标准规范
ASTM A487/A487M—2007	承压铸钢件的标准规范
ASTM A494/A494M—2009e1	镍和镍合金铸件的标准规范
ASTM A518/A518M—2008	耐蚀高硅铸铁件的标准规范
ASTM A529/A529M—2009	高强度碳锰钢的结构质量用标准规范
ASTM A532/A532M—2010	耐磨铸铁的标准规范
ASTM A536—2009	球墨铸铁件的标准规范
ASTM A560/A560M—2010	镍铬合金铸件的标准规范
ASTM A571/A571M—2006	适用于低温设备的承压部件用奥氏体球墨铸铁件的标准规范
ASTM A597—2010	铸造工具钢的标准规范
ASTM A602—2009	汽车用可锻铸铁件的标准规范
ASTM A609/A609M—2007	碳钢、低合金钢和马氏体不锈钢铸件及其超声波检测的标准实施规范
ASTM A644—2009a	铸铁件的相关术语
ASTM A667/A667M—2008	离心铸造双金属(灰铸铁和白口铸铁)汽缸的标准规范
ASTM A703/A703M—2011	承压部件用铸钢件一般要求的标准规范
ASTM A732/A732M—2009	通用熔模铸造碳钢和低合金钢及高温用高强度钴合金钢铸件的标准规范
ASTM A743/A743M—2010	通用耐腐蚀铬铁及镍铬铁合金铸件的标准规范
ASTM A744/A744M—2010	恶劣条件下使用的耐腐蚀镍铬铁合金铸件的标准规范
ASTM A747/A747M—2007	沉淀硬化不锈钢铸件的标准规范
ASTM A748/A748M—2008	压力容器用静态铸造的激冷白口铸铁-灰铸铁双金属轧辊的标准规范
ASTM A781/A781M—2008	一般工业用铸钢件和合金铸件通用要求的标准规范
ASTM A799/A799M—2010	估算不锈钢铸件中铁素体含量用仪器校正的标准实施规范
ASTM A800/A800M—2010	奥氏体合金钢铸件中铁素体含量估算的标准实施规范
ASTM A802/A802M—2010	铸钢件表面验收标准和外观检验的标准实施规范
ASTM A823—2008	静态铸造金属型灰铸铁件的标准规范
ASTM A834—2006	一般工业用铸铁件通用要求的标准规范
ASTM A835/A835M—2010	铁合金和合金添加剂尺寸的标准规范
ASTM A842—2011	蠕墨铸铁的标准规范
ASTM A866—2009	耐磨中碳轴承钢的标准规范
ASTM A872/A872M—2007a	腐蚀环境用离心铸造铁素体/奥氏体不锈钢管的标准规范
ASTM A874/A874M—2009	低温设备用铁素体球墨铸铁件的标准规范
ASTM A890/A890M—2010	通用双相(奥氏体/铁素体)、铁铬镍钼耐腐蚀铸件的标准规范
ASTM A897/A897M—2006	等温淬火球墨铸铁件的标准规范
ASTM A903/A903M—2007	铸钢件磁粉和液体渗透检测的表面验收的标准规范
ASTM A957/A957M—2009a	一般工业用熔模铸钢件和合金铸件通用要求的标准规范
ASTM A958/A958M—2010	具有类似于标准锻造牌号的拉伸性能和化学成分要求的碳钢和合金钢铸件的标准规范
ASTM A985/A985M—2008	承压部件用熔模铸钢件一般要求的标准规范
ASTM A990—2010a	耐腐蚀保压部件用特殊控制镍铬铁及镍合金铸件的标准规范
ASTM A993—1998	确定铸铁转变温度的动态剪切试验的试验方法
ASTM A995/A995M—2009	受压部件用奥氏体-铁素体(双相)不锈钢铸件的标准规范
ASTM A997—2008	熔模铸件表面验收标准和外观检验的标准实施规范
ASTM A1001—2010	重型型钢中高强度钢铸件的标准规范
ASTM A1002—2010	镍铝有序合金铸件的标准规范
ASTM B22—2009e1	桥梁和转车台用青铜铸件的标准规范

（续）

标　准　号	标　准　名　称
ASTM B26/B26M—2009	铝合金砂型铸件的标准规范
ASTM B61—2008	蒸汽或阀门青铜铸件的标准规范
ASTM B62—2009	混合青铜或少量金属铸件的标准规范
ASTM B66/B66M—2006e1	蒸汽机车易损零件用青铜铸件的标准规范
ASTM B80—2009	镁合金砂型铸件的标准规范
ASTM B85/B85M—2010	铝合金压铸件的标准规范
ASTM B86—2010a	锌和锌铝(ZA)合金铸件和压铸件的标准规范
ASTM B94—2007	镁合金压铸件的标准规范
ASTM B102—2005	铅合金和锡合金压铸件的标准规范
ASTM B108/B108M—2008	铝合金金属型铸件的标准规范
ASTM B148—2009	铝青铜砂型铸件的标准规范
ASTM B176—2008	铜合金压铸件的标准规范
ASTM B199—2007	镁合金金属型铸件的标准规范
ASTM B208—2006	砂型铸造、金属型铸造、离心铸造和连续铸造铜合金铸件拉伸试验用试样制备的标准实施规范
ASTM B240—2010	铸造和压铸用锌和锌铝合金铸锭的标准规范
ASTM B271—2008e1	铜基合金离心铸件的标准规范
ASTM B367—2009	钛和钛合金铸件的标准规范
ASTM B369—2009	铜-镍合金铸件的标准规范
ASTM B403—2007	镁合金熔模铸件的标准规范
ASTM B427—2009	齿轮用青铜合金铸件的标准规范
ASTM B505/B505M—2010	铜合金连续铸件的标准规范
ASTM B557/B557M—2010	锻造和铸造铝合金及镁合金产品拉伸试验方法
ASTM B584—2009a	通用铜合金砂型铸件的标准规范
ASTM B607—2009	工程用自动催化镍硼铸件的标准规范
ASTM B618/B618M—2010	铝合金熔模铸件的标准规范
ASTM B686/B686M—2010	高强度铝合金铸件的标准规范
ASTM B752—2011e1	通用耐腐蚀锆基铸件的标准规范
ASTM B763—2008a	阀门用铜合金砂型铸件的标准规范
ASTM B770—2010	通用铜铍合金砂型铸件的标准规范
ASTM B782—2000	烧结球墨铸铁轴承(注油)的标准规范
ASTM B791—1997	锌铝合金铸件和压铸件的标准规范
ASTM B806—2008a	通用铜合金金属型铸件的标准规范
ASTM B824—2011	铜合金铸件一般要求的标准规范
ASTM B894—2010	锌铜铝合金压铸件的标准规范
ASTM B955/B955M—2010	铝合金离心铸件的标准规范
ASTM B969—2010	挤压铸造、半固态触变和流变铸造工艺生产的铝合金铸件的标准规范
ASTM E125—2008	铸铁件的磁粉检测用标准参考底片
ASTM E155—2010	铝和镁铸件检测用标准参考射线底片
ASTM E192—2010e1	航空航天用熔模铸钢件的标准参考射线底片
ASTM E272—2010	高强度铜基和镍铜合金铸件的标准参考射线底片
ASTM E322—2004	低合金钢和铸铁的 X 射线发射光谱测定分析法
ASTM E478—2008	铜合金化学分析的试验方法
ASTM E1030—2011	金属铸件的 X 射线照相检测的试验方法

2. 图样规定

工程技术中根据几何投影方法绘制成的用于工程施工或产品制造等的工程图样，简称图样。

在铸造生产中，铸造企业的工艺部门常常要根据顾客（需方）提供的零件图，经过铸造工艺分析以后绘制成铸件图。

图样规定的表述，现以叶轮铸件为例来说明，如图 1-5 和图 1-6 所示。

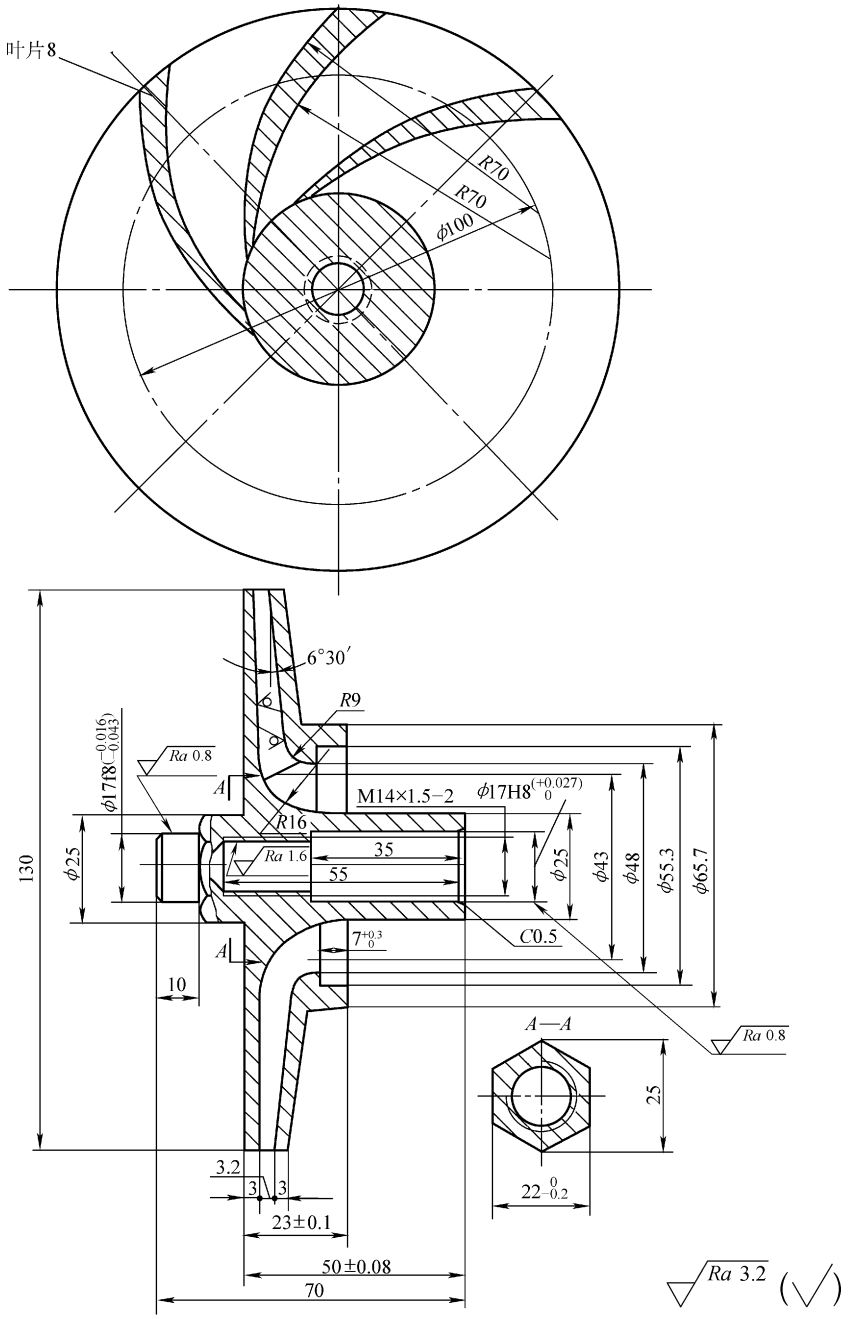


图 1-5　叶轮零件图

技术要求：
1. 叶轮流道内应去除焦砂和飞边。
2. 静平衡校验，外径处不平衡重允差为 1g。
3. ϕ55.3、ϕ65.7、ϕ17H8、ϕ130、M14×1.5 对 ϕ17f8 同轴度允差为 0.02mm。
4. ϕ17f8 端面对轴线垂直度允差为 0.01mm。

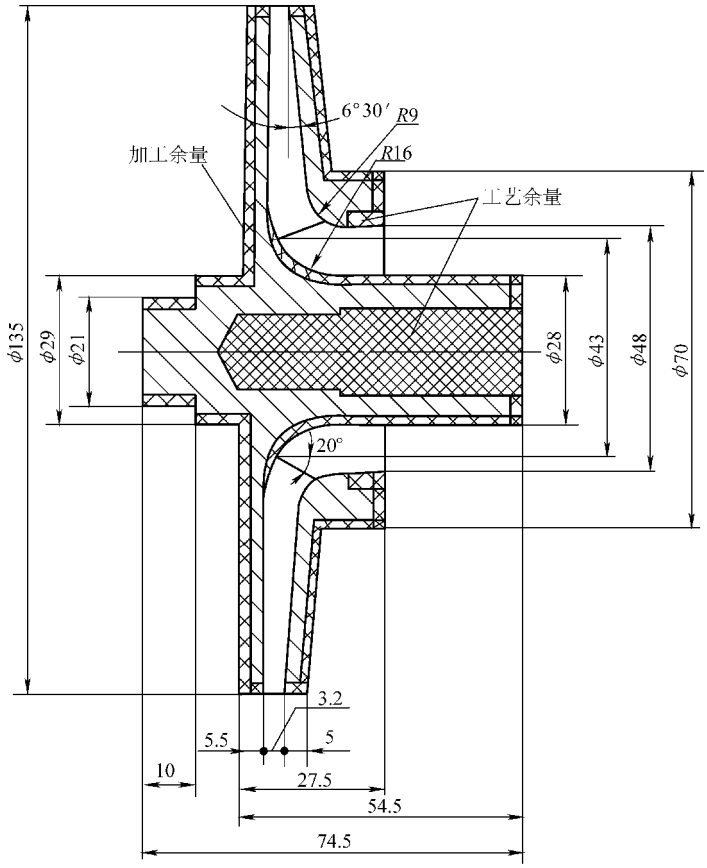


图 1-6　叶轮铸件图

技术要求：
1. 叶轮流道内应去除焦砂和飞边。
2. 铸件不允许有缺肉、冷隔、缩孔等铸造缺陷。
3. 允许有自公称尺寸向外铸出的铸造斜度为 5°

铸件图常称铸件毛坯图，是表达铸造技术思想的重要工具，是铸造生产中最基本的技术文件，是铸造技术人员与铸造工人、管理者互相表达和交流铸造技术思想的重要工具之一，素有“铸造工程语言”之称。从这个意义上讲，应要求每一个铸造检验人员必须读懂铸件图。

铸件图不仅应完整、清晰、准确无误、技术要求齐全、严格遵守国家标准及有关各级标准的规定，而且还应能表达铸件的完整结构和轮廓。通常，铸件图上应反映出铸件的形状、尺寸、壁厚、圆角，同时也应确定铸件的铸造基准面，反映出机械加工余量、起模斜度、铸件毛面上的加工定位点（面）、夹紧点（面），还应反映出分型面、内浇道和冒口余根、允许的缺陷、涂漆种类以及铸件检验、验收条件等说明项目。

根据铸件图在铸造生产中的重要作用，可以认为铸件图和铸造技术标准一样都是铸件检验的依据。铸件图中既包括铸造技术标准要求，又是铸造技术标准的反应。而且铸件图中所标注的尺寸和技术要求等内容也都是过程工序检验和成品检验以及最后出厂检验的主要依据。

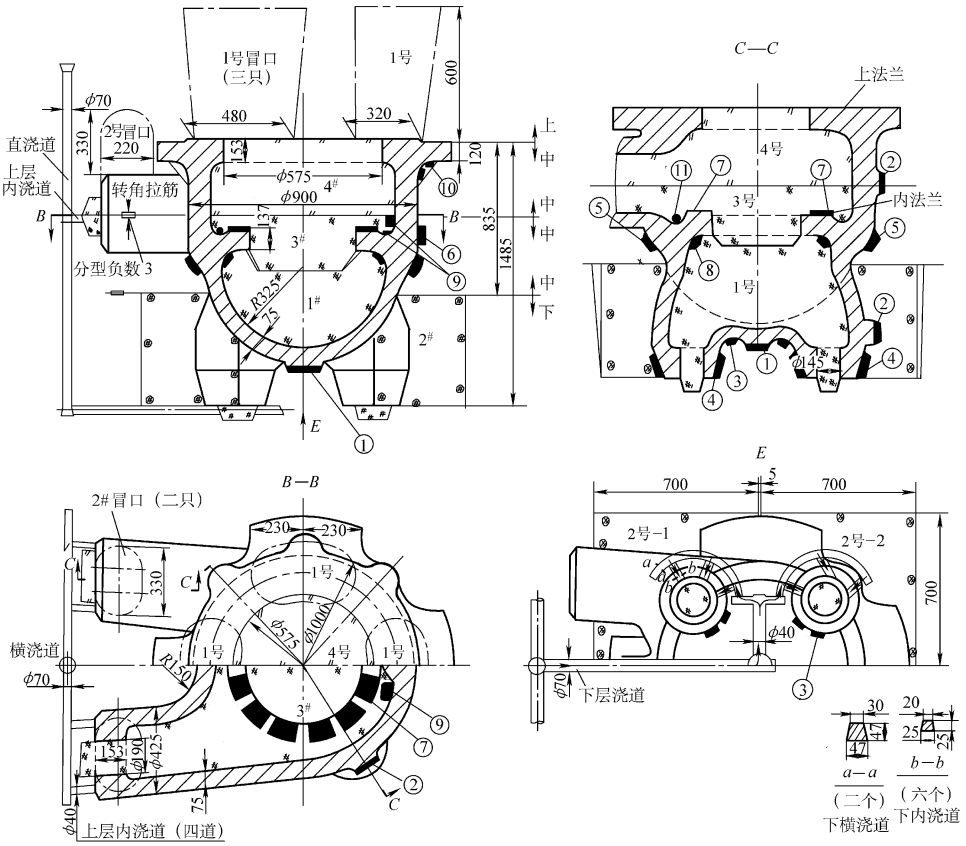
3. 工艺文件

工艺文件是指规定产品或零部件制造工艺过程和操作方法的文件。

对铸造而言，就是指规定铸造生产过程和操作的文件。它主要有：铸造工艺图、铸造工艺流程路线表、铸造作业指导书、铸造工艺卡片、铸造工艺规范等。

（1）铸造工艺图　铸造工艺图要按 JB/T 2435—1987《铸造工艺符号及表示方法》的规定标明代表铸造工艺要求的符号，这些符号必须在工装设计和制造以及造型、制芯等生产过程中被有关人员所正确理解。通常，铸造工艺图是根据铸造工艺设计绘制的，应确定浇注位置和分型面的位置；确定砂芯的排气、固定和定位；确定出气孔、浇注系统和冒口的各部分尺寸；确定冷铁的形式和尺寸；确定合箱的定位和压箱重力等，并附注其他需要说明的问题。

现以主汽阀阀壳的铸件工艺图为例说明铸造工艺图的表述，如图 1-7 和表 1-7 所示。



冷铁明细表

编号	尺寸/mm	数目	备注
①	φ150 × 50	1	
②	φ120 × 30（半圈）	2	两半合成 1 个
③	110 × 70 × 50	8	每组 2 个
④	高 160，厚 50/40	32	冷铁间隔 30mm
⑤	厚 60，成形	32	冷铁间隔 35mm
⑥	200 × 130 × 60	1	
⑦	厚 40，成形	12	冷铁间隔 35mm
⑧	110 × 50	28	冷铁间隔 30mm
⑨	高 75，成形	4	左、右各 2 块
⑩	φ35 × （80 ~ 90）	1	
⑪	φ25 × （80 ~ 100）	18	冷铁间隔 30mm

毛重/kg	4500
总质量/kg	6620
材质	ZG20CrMoV
收缩率（%）	1. 5

图 1-7　主汽阀阀壳铸造工艺图

表 1-7　主汽阀阀壳铸造工艺图说明表（供参考）

结构特点	1）为形状较复杂的铸件 2）外形尺寸：ϕ1000mm × 1485mm 3）壁厚不均，热节多而分散 4）毛坯重 4. 5t，总重 6. 62t
材质	ZG20-CrMoV
使用要求	1）通过高温高压蒸汽，工作环境极坏 2）要求铸件内部质量特别高，不能有缩松、气孔等铸造缺陷
凝固方式	顺序凝固
冒口	1）为立浇，1 号明冒口三个在上法兰上 2）为补缩伸出两支管，各管上安放 2 号冒口一个
冷铁	1）中间部分内法兰较厚，上部明冒口不能起到补缩作用，故用一圈内冷铁 2）各局部热节处用冷铁以防缩松及裂纹
浇注系统	为使铸件顺序凝固，浇道用阶梯式，底部浇道为底返式多道切线内浇道，使钢液快速平稳上升；为使冒口处钢液最热，应将上部浇道注入冒口，并撒发热剂保温
收缩筋	在铸件转角处设肋以防裂
工艺特点	1）型芯通气要好，型芯内部放焦炭 2）型芯退让性要好，以防收缩裂纹

（2）铸造工艺流程路线表　铸造工艺流程路线表是使复杂的铸造工艺过程图形化的方式，比文字表达更直观。它清楚地将铸造各工序的工作做了合理安排，突出重要工序和控制点（见图 1-1）。

编制铸造工艺流程路线表应注意以“物流”为主体结合工序分析来进行。

铸造工艺流程路线必须经过评审，并经有关部门确认后才能生效。质量检验部门还可依此编制“检验作业指导书”。

铸造工艺流程路线表的表述或样式，现以压力铸造机油泵壳的工艺流程路线表为例来说明，见表 1-8。

（3）铸造作业指导书　铸造作业指导书是铸造工艺路线中认为有必要必须增添操作方法以控制工序质量的一种工艺文件。

现以压力铸造机油泵壳件的清理作业指导书为例，说明铸造作业指导书的表述或样式，见表1-9。

（4）铸造工艺卡片　铸造工艺卡片是体现铸造工艺设计及操作要求的重要技术文件，它主要以表格形式表示，必要时附以简图。其内容应包括各过程工序的重要工艺参数、操作要点、所使用的主要设备、工装以及工时定额和原材料消耗等，一般还附有合箱装备简图或工艺简要清单。它既是工人操作的指导书，又是质量检验员的检验依据。

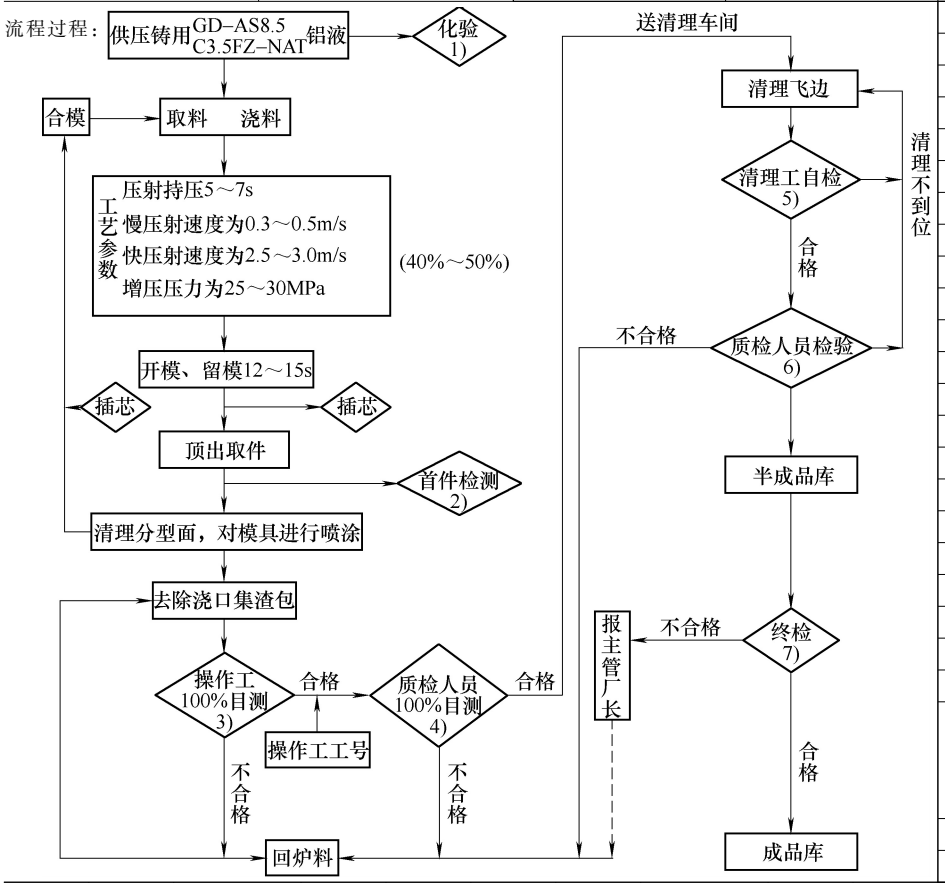
现以砂型铸造和压力铸造的常用铸造工艺卡片为例说明铸造工艺卡片的表述或样式，见表 1-10 ~ 表 1-21。

（5）铸造工艺规范　铸造工艺规范是指铸造工人在进行工序操作时应遵循的一种技术文件，又称工艺手则。其内容主要包括：操作前的准备、操作时的步骤、方法和要点以及技术质量要求等。

铸造工艺规范的表述可参见参考文献［27］，或参见第 4 章 4. 2. 2“造型制芯与合箱质量的控制（检验）”中的 5.“砂型铸造生产常见造型制芯与合箱的工艺规范”，或参见第 4 章 4. 2. 3“铸造合金熔炼与浇注质量的控制（检验）”中的 2.（4）“砂型铸造生产常见铸造合金浇注的工艺规范”。

表 1-8 压力铸造工艺流程样式[25]（供参考）

××有色铸造厂	压力铸造工艺流程	产品型号	××××××	零件图号	××××××××××	文件编号	×××××××××
		产品名称	机油泵壳	零件名称	机油泵壳铸件	第1页	共1页



检验要求	
1） a. 按相关标准做好化学成分分析	
b. 检验结果记录	
c. 检验频度：1次/炉	
2） a. 频度：每日早班，质检人员	
b. 全面检测尺寸易变化部位尺寸并做好记录	
c. 解剖铸件内部壁厚是否达到要求	
d. 对中夜班模具修复部位进行检查	
3） a. 铸件内外表面不允许出现冷隔、缩孔、裂纹	
b. 外表面不允许有拉伤现象	
c. 检测记录	
d. 工件刻上各自工号	
4） a. 检测记录	
b. 检测标准参照 GB/T 15114—2009 要求	
c. 盖检验章	
5） 检测标准参照封样件	
6） a. 100% 目测铸件外观质量	
b. 按质检用图对铸件进行全面检测，每批至少1只，易变部位尺寸做好检测记录	
7） a. 对铸件作为成品件入库进行全面检查（抽查）	
b. 终检不合格品作为质量事故一查到底，并有记录	

标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	日期

设计（日期）	审核（日期）	会签（日期）	审定	批准

表 **1-9**　压力铸造作业指导书样式[25]（供参考）

××有色铸造厂	压力铸造作业指导书	产品型号	××××××	零件图号	×××××××××××	文件编号	××××××××
		产品名称	机油泵壳	零件名称	机油泵壳铸件	第1页	共1页

使用部门	压铸、清理	材料牌号	GD-AS8.5C3.5FZ-NAT	使用设备	550T	铸件质量	0.9kg	每模件数	1	班产定额	

简图：本书省略	作业顺序	作业内容	质量控制内容		检验频次			重要度	控制手段	工艺装备
			项目	精度	自检	首检	巡检			
	1	供压铸用铝水 GD-AS8.5C3.5FZ-NAT。见《铝合金熔炼工艺守则》	化学成分	FIAT 标准 53226	1次/炉			关键	检测记录表	光谱分析仪
	2	涂料准备：见《涂料的配制及使用操作规范》								
	3	模具准备：								002-396-00 压铸模
		(1)模具安装见《模具安装及生产前准备工作操作规范》								
		(2)压铸首件	尺寸检测	按铸件图		√		关键	检测记录表	游标卡尺(0-150)
	4	压铸：按《压铸工艺卡片》《一般压铸件工艺规范》和《压铸工工艺守则》进行操作								
		(1)喷刷涂料要充分喷涂								
		(2)清理分型面时应充分将黏附钻屑清除								
		(3)注意抽芯与插芯到位，并防止咬死								
	5	铸件检测：								
		(1)操作工自检(目测)	外观质量	按技术要求	100%			一般	检验记录表	
标记 特殊说明		(2)检验人员毛坯检验(目测)	外观质量	按技术要求	专职检验 100%			重要	检验记录表	
		(3)检验人员尺寸检测	尺寸检测	≥1只/班	≥1只/班			重要	异常记录表	游标卡尺(0-150)
	6	铸件清理：								
		(1)按《压铸件清理工艺守则》清理	外观质量	按技术要求	100%目测					
		(2)所有点穿部位不允许有残留隔皮	外观质量	按技术要求	100%目测			一般	异常记录表	
		(3)按《清理加工工艺过程卡片》清理	外观质量	按技术要求	100%目测			一般	异常记录表	
	7	终检	尺寸检测	按铸件图	≥1只/批			重要	记录表	游标卡尺(0-150)

										设计(日期)	审核(日期)	会签(日期)	审定	批准
标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	日期					

表 1-10　砂型铸造综合性工艺卡片样式（适用于单件小批生产手工造型，供参考）

<table>
<tr><td colspan="3">厂</td><td colspan="2">铸造工艺卡片</td><td>卡片编号</td><td>号</td><td colspan="4" rowspan="11">工 艺 简 图</td></tr>
<tr><td colspan="2">产品代号</td><td></td><td colspan="2">零件编号</td><td></td><td>合金牌号</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">产品名称</td><td colspan="2">零件名称</td><td></td><td>铸件质量</td><td>kg</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">每台件数</td><td></td><td>铁液总质量</td><td>kg</td></tr>
<tr><td colspan="3">砂箱内部尺寸/mm</td><td rowspan="2">砂箱质量/kg</td><td colspan="2">造　型</td><td colspan="2">模　样</td></tr>
<tr><td>长</td><td>宽</td><td>高</td><td colspan="2">型砂类别</td><td></td><td>模样类别</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3"></td><td colspan="2">砂型类别</td><td></td><td>活动块数</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">涂料类别</td><td></td><td>托板块数</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">烘干规范</td><td></td><td>轮廓尺寸</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">造　芯</td></tr>
<tr><td>芯盒数量</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">芯盒材料</td><td></td><td>芯骨数量</td><td></td></tr>
<tr><td>砂芯编号</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">芯砂类别</td><td></td><td>芯骨材料</td><td></td></tr>
<tr><td>芯板数量</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">涂料类别</td><td></td><td>冷铁数量</td><td></td></tr>
<tr><td>样板数量</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">烘干规范</td><td></td><td>冷铁材料</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">合型和浇注</td><td rowspan="3">技术条件</td><td colspan="4" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>样板数量</td><td colspan="2"></td><td>出炉温度</td><td>℃</td><td>浇注时间</td><td>s</td></tr>
<tr><td>压箱方法</td><td colspan="2"></td><td>浇注温度</td><td>℃</td><td>冷却时间</td><td>h</td></tr>
<tr><td colspan="7">浇冒口系统尺寸/mm</td><td rowspan="3">操作注意事项</td><td colspan="4" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>编号</td><td>浇口杯</td><td>直浇道</td><td colspan="2">横浇道</td><td>内浇道</td><td>冒口</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>数量</td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td>批准</td><td></td><td>审核</td><td></td><td></td><td>编订</td><td></td><td>日期</td><td></td></tr>
</table>

表 1-11　砂型铸造综合性工艺卡片样式（适用于成批生产手工造型，供参考）

单位			铸造工艺卡						产品型号		
更正记录									零件号		
									零件名称		
									材料		
									每台件数		

工艺参数	直浇道	$\Sigma A_{直}$ = cm²	横浇道	$\Sigma A_{横}$ = cm²	内浇道	$\Sigma A_{内}$ = cm²	滤网	$\Sigma A_{网}$ = cm²	补缩冒口颈 mm		出气冒口颈 mm
	数量		数量		数量		数量		数量		数量
	$\Sigma A_{内} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{直}$ =								浇口杯标号		

造型	造型方法	铸型种类	型砂名称	型砂编号	每型型砂质量/kg	铸型质量/kg	通气方式	合型方式	紧固方式

造芯	砂芯编号	芯砂号	数量	造芯方式	通气方式	芯骨材料	芯骨数量	型芯质量/kg	芯骨回用率

工装	名称	编号	材料	规格	定位方式	检修周期		编号	名称	涂料	次数
	上箱						涂料烘干			烘干前	烘干后
	中箱										
	下箱							型或芯	烘炉	烘干规范	
	模样							砂型	型号		
	模底板								编号		
	芯盒							砂芯	型号		
	压铁								编号		

浇注	浇包容量	型内零件数	零件最小壁厚	质量/kg			温度/℃		浇注时间/s	型内冷却时间/min	芯撑	材料	数量
				单件质量	浇冒口质量	铁液总质量	出炉	浇注					
											冷铁	规格	数量

工艺简图及要点：

拟制		校对		审核		会签	

表 1-12　砂型铸造综合性工艺卡片样式（适用于成批生产机器造型，供参考）

单位		砂型铸造工艺卡	产品型号		零(部)件图号		共 页
			产品名称		零(部)件名称		第 页

材料牌号		毛重/kg		浇冒口质量/kg		工艺出品率		每箱总质量/kg		每台件数	

模样		砂箱			模板		砂型名称	面砂编号	背砂编号	涂料编号	芯撑	规格			砂箱卡(压铁)编号(或质量)	砂型类别	
材料		名称	编号	规格	名称	编号						数量					
每箱型数		上砂箱			上模板						冷铁	编号				造型方法及设备	
芯盒总数		中砂箱			下模板							材料					
砂芯数量		下砂箱										数量					

制　　芯				检查样板		
砂芯编号				编号	用途	数量
制芯方法						
涂料编号						
涂料次数 烘干前						
涂料次数 烘干后						
烘干温度						

特殊操作说明：	浇口杯	内浇道		横浇道		直浇道		冒口		浇注温度/℃	
	编号	数量	规格	数量	规格	数量	规格	数量	规格	浇注时间/s	
										冷却时间/min	

										编制	校对	审核	会签	批准
标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	日期					

表 1-13　砂型铸造分车间工艺卡片样式（造型浇注部分，适用于手工造型，供参考）

厂	造型工艺卡片
车间	

零件简图

合型	芯撑	编号		装配检查样板数			
		上型撑数		紧固方法			
		下型撑数					
				下芯次序			

浇注	出炉温度/℃	浇注温度/℃	浇注时间/s	铁液耗量/kg	冷却时间		浇注后砂型质量/kg
					/h	/min	
材料定额	材料名称						
	规格						
	损耗						
	定额						
时间定额	工序名称						
	等级						
	名额						
	工时						

更改标记	数量	文件号	签字	日期		

表 1-14　砂型铸造分车间工艺卡片样式（造型浇注部分，适用于机器造型，供参考）

标记		产品型号及名称			工艺文件代号		
		零件名称			共　页		第　页

每台件数	合金牌号	零件质量/kg	铸件质量/kg	浇冒口质量/kg	液体铁液总质量/kg	力学性能		
						硬度	抗拉强度	抗弯强度

造型	造型方法	砂型部别	砂型类别	机器型号	型板编号	砂箱						模板上模样数	干燥	
						编号	内部尺寸/mm			质量/kg	容积/dm^3		炉名	规范号
							长	宽	高					
		上箱												
		中箱												
		下箱												

造型	造型材料	型砂部别	面砂			填充砂		涂料			冷铁	
			编号	厚度/mm	质量/kg	编号	质量/kg	编号	涂料次数		图号	数量
									干燥前	干燥后		
		上箱										
		中箱										
		下箱										

造型	模样	部别	编号	材料	收缩率(%)			分型负数/mm	起模斜度	轮廓尺寸/mm	活动部分数量	模样托板		
					长度方向	宽度方向	高度方向					编号	尺寸	模样数
		上型												
		下型												

浇　注　系　统

浇口杯		直浇道		横浇道		内浇道		冒口
数量		数量		数量		数量		数量
特殊要求								

			设计	校对	定额员	审核	会签	批准	年
									月　日

表 1-15　砂型铸造分车间工艺卡片样式（制芯部分，适用于成批大量生产，供参考）

厂	造芯工艺卡片	标记		产品型号及名称		工艺文件代号	
车间				零件名称		共　页	第　页

芯号	芯盒编号	砂芯编号	芯盒材料	制芯方法	砂芯质量/kg	芯盒内砂芯数量/个	芯砂编号	芯砂质量/kg	砂芯轮廓尺寸	砂芯通气方法	冷铁		芯骨			砂芯托板编号	砂芯本体配合法	配合样板号	检查样板号	备注
											图号	数量	图号	材料	数量					

芯盒数量		砂芯数量		辅助材料消耗	材料名称	规格	损耗	定额	特殊要求
干燥			涂料						
芯号	炉号	温度	时间	编号	次数		涂刷方法		
					干燥前	干燥后			

更改标记	数量	文件号	签字	日期					设计	校对	定额员	审核	会签	批准	日期

表 1-16　砂型铸造分车间工艺卡片样式（清理部分，适用于成批大量生产，供参考）

厂	铸工辅助工序卡片	标记		产品型号及名称		工艺文件代号	
车间				零件名称		共　页	第　页

零件简图：	每台件数	合金牌号	零件质量/kg	铸件质量/kg	浇冒口质量/kg	每毛坯零件数	浇注后砂型质量/kg

	名称	方法	使用设备	操作说明
	落砂			
	清砂			
	切浇、冒口			
	铲刺			
	打磨			
	喷砂			
特殊要求	热处理			
	修补			
	校正			
	备注			

更改标记	数量	文件号	签字	日期						设计	校对	定额员	审核	会签	批准	日期

表 1-17　砂型铸造分车间工艺卡片样式（造型部分，适用于大量流水生产，供参考）

厂车间	铸件工艺卡(造型)	第　页	零件号	
		共　页	零件名称	

铸件净质量/kg		工　艺　简　图
铸件毛质量/kg		
铸件净毛质量比		
车(或机)型		
合金牌号		
每车(或机)件数		
每型件数		
生产线		
加工单位		
每型用砂量/(kg/型)		

更改根据					设计	校对	审核	检查科会签	厂批准	总厂批准	
标记及数目											
签名及日期											

表 1-18　砂型铸造分车间工艺卡片样式（砂芯部分，适用于大量流水生产，供参考）

厂　车间	铸件工艺卡(砂芯图)	第　页	零件号	
		共　页	零件名称	

技术要求及检查尺寸等

	芯号	芯砂号	每芯用砂量/(kg/个)	个/盒	个/件	名称	图号	数量	

更改根据					设计	校对	审核	检查科会签	厂批准	总厂批准	
标记及数目											
签名及日期											

表 1-19　砂型铸造分车间工艺卡片样式（各工序通用，适用于大量流水生产，供参考）

厂　车间	铸件工艺卡	第　页	零件号	
		共　页	零件名称	

序号	工序名称及工艺说明	设　备		工具和辅具		量具及其他	定额		工时	
		平面图号(图号)	名称	图号	名称	图号及名称	班	人数	工分	台分

更改根据					设计	校对审核	检查科会签	厂批准	总厂批准	
标记及数目										
签名及日期										

表 1-20 压力铸造工艺卡片样式[25]（供参考）

××有色铸造厂	压力铸造工艺卡	产品型号	××××××	零件图号	××××××××××	×××××××××
		产品名称	机油泵壳	零件名称	机油泵壳铸件	共1页 第1页

材料	牌号	GD-AS8.5C3.5 FZ-NAT	铸件质量/kg	0.91	浇注系统质量/kg	0.283	每模件数	1	每模总质量/kg	1.193	设备	550T	压室直径/mm	φ70
	新旧料比	70%:30%												

简图：

本 书

省 略

工艺装备	编号	名称
	002-397	机油泵壳压铸模

镶嵌件	图号	名称	数量	预热温度

涂料	名称	牌号	方法和次数
	脱模涂料	W型	喷
	脱模涂料	O型	涂

工序号	工序内容	工序号	工序内容	工序号	工序内容
1	模具安装	7	浇料	13	去除浇口、敲工号、放件入车
2	模具预热	8	压射填充		
3	清理模具	9	持压		
4	喷刷脱模涂料	10	开模并抽芯		
5	插芯	11	顶出铸件		
6	合模	12	铸件检验		

工艺规范				
	模具预热温度/℃	180~230	留模时间/s	12~15
	压铸温度/℃	630~670	铸件投影面积/cm^2	
	压射功率/kW	250~280		
	压射压力/MPa	25~30	保压时间/s	5~7
	快压射速度/(m/s)	2.5~3	冷却方法	自然冷却

										设计日期	审核日期	审定日期	会签日期	批准日期
标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	日期					

表 **1-21**　压力铸造清理加工工艺过程卡样式[25]（供参考）

××有色铸造厂		清理加工工艺过程卡			产品型号	××××××	零(部)件图号	××××××××××	×××××××××	
					产品名称	机油泵壳	零(部)件名称	机油泵壳铸件	共 1 页	第 1 页
材料牌号	GD-AS8.5C3.5 FZ-NAT	毛坯种类	压铸件	毛坯外形尺寸		每毛坯可制件数		每台件数	备注	

简图：	序号	工序内容	工艺装备	检验要求
本书 省略	1	去飞边：去除浇口、分型面、滑块接合面、溢流槽处的飞边，清除顶杆痕边缘的飞边	平锉、半圆锉	平滑
	2	清除需点穿处的少许隔皮和飞边	圆锉、半圆锉	圆滑
	3	加工定位基准面刮平	平锉	平整
	4	对照封样件自检，合格品堆放整齐		清理过程中严禁碰伤和划痕

序号	特别提示

										设计日期	审核日期	审定日期	会签日期	批准日期
标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	日期					

4. 合同要求

铸件应严格按照铸件图、工艺文件、技术标准制造和验收。也可按铸造企业与顾客（用户）签订的订货合同要求组织生产和验收。

当没有技术标准，或者标准的规定满足不了要求时，顾客（用户）可提出一定的铸件供货要求和铸件检验与验收要求。其要求内容一般可参见表 1-22 和表 1-23。

表 1-22　铸件供货要求（供参考）

项　　目	内　　容
铸件生产	1. 生产工艺 若未签订有关协议，供方可自行确定生产工艺，如合金的熔炼、造型、浇注、热处理、清理及精整等工艺 2. 工艺性焊接 若订货时未签订有关协议，则允许工艺性焊接 1）焊接方法必须适应铸件材质和形状条件，焊接部位和热影响区的性能不得明显损害铸件的加工和使用性能 可采用合金标准中规定的焊接规范；若采用其他焊接规范，必须签订协议 焊接部位应仔细制备和检验，直至露出母材，以保证焊接质量。若未与用户签订有关协议，则不允许在焊接作业时使用丝堵等填补焊点。若要在大焊点中镶入填块，则必须采用同类材料，与母材焊接一起 2）若需要，铸件在工艺焊接后可热处理。热处理时应遵照合金标准中的有关规定 3）工艺焊接部位应磨光 3. 结构焊接 其一般要求应按上述工艺焊接的规定。必要时，对焊接质量的附加要求应在订货时签订协议
供货状态	如铸态、淬火、正火、时效等，应遵照有关的合金标准或协议书中的规定
化学成分	合金的成分应符合有关标准或协议中的规定 若没有其他规定，合金的化学成分一般指金属液的化学分析结果 在有疑问的情况下，可按铸件的化学分析结果和有关规定验收 若在有关的合金标准和订货单中均未规定化学成分，则由供方选择合适的化学成分
合金性能	合金性能应符合有关的合金标准或订货单的规定 若订货单上未规定铸件的标准壁厚和取样方法，则采用合金标准中的常规试样和取样方法 若对整个铸件或某些部位的性能（如屈服强度、抗拉强度、硬度等）有所要求，应在订货时签订协议
铸件的一般要求	1）若订货时没有其他协议，则铸件清理后，不进行其他加工即可供货 2）若铸件表面有下列缺陷，如小砂眼、渣眼、小冷隔、小结疤、小孔洞、小针孔、少量粘砂、小不平、小飞边等，顾客（用户）如附加条件中不说明，则不应拒收。可允许保持原状态或使其与样件表面相符。若铸件的壁厚不小于规定的标准壁厚，则这类表面缺陷应清理掉 3）不允许的外部或内部缺陷，应视情况焊补消除，其规定按上述工艺性焊接
铸件的特殊性能要求	对铸件性能的特殊要求，如对某一介质（液体、气体）在某一压力下的致密性，应在订货时商定
铸件形状与尺寸	铸件的形状和尺寸应在满足公差与加工余量的情况下符合协议规定 若需要提供样件，则订货时应签订协议

表 1-23　铸件检验与验收要求（供参考）

项　　目	内　　容
供方检验	供方应采取措施，如控制生产条件，检验铸造试样或试件等，保证铸件达到协议中的规定 在生产批量较大时，难免会产生个别有缺陷的铸件。顾客（用户）与供方可通过确定检验方法和检验规范，商定保证质量稳定的措施 检验方法必须保证检验结果的正确性 订货时可以商定，在供方自行监督和检验的基础上，按有关标准的规定签发检验证书

（续）

项　　目	内　　容
顾客(用户)验收	顾客(用户)在进货验收时,只有在发现铸件不符合协议规定时,方能拒收 需作种种检验,以讲清拒收原因。在没有其他协议时,可根据有关的合金标准和铸件标准的规定,采用下述“验收检验”中的试样切取方法、试验方法、试验结果的数值近似取值方法、试验的适用性、重复试验的方法等进行检验
验收检验	1)根据已作的试验,认为被检单元中可能有拒收的铸件 2)根据本项“1)”规定所作的重复试验,在有关铸件材质是否混淆、形状和尺寸偏差、外部和内部缺陷等方面,认为不能提供足够可靠的结论
抽样检验	若签订抽检协议,抽检的基本原则应按有关标准的规定 1. 抽检范围 对抽检范围应签订协议 抽检范围如下:一批供货铸件,或同一炉金属熔液浇注的铸件,或同一次冶金处理(如球化处理)的金属液浇注的铸件,或同一批热处理的铸件 2. 抽检计划 订货时可就下列各项内容之一签订协议 1)可接受的质量极限值和所属几率的最低值; 2)取样方法和可接受的质量极限值; 3)取样方法和检验标准 还可就其他代用试验方法商定相应的协议

应该注意，购买铸件与购买一般的原材料和元器件有所不同，因为铸件质量要求的尺度不太容易准确把握，铸件的价格也会受到一定影响。因此，购买铸件已不单是签订一纸合同的事务性程序，从询价、订货到最后履约交货的整个过程中都会涉及许多技术问题。

一般情况下，购买人员应了解以下情况：

1）设计人员的基本意图。

2）后续工序对铸件毛坯的要求。

3）铸件的最终使用条件。

4）有关铸件生产的一般知识。

5）有关各种技术标准的基本要求。

6）铸件价格的构成及估算要点。

7）承制方（供应方）的技术状况和保证能力。

8）验收的程序。

通常，购买大批量铸件或重要铸件时，购买方（顾客）的设计部门和采购部门应从承制方（供应方）铸件设计的最初阶段（收集有关资料阶段），就要与承制方（供应方）进行全面的合作，使铸件既能达到设计者预期的要求又具有最佳的工艺性和经济性，从而得到最好的满意度和效益。

1.2.4　铸造质量检验应具有的条件

铸造质量检验应具有的条件是应配置一定的铸造质量检验设备（仪器）、配备一定的铸造质量检验人员和创造一定的铸造质量检验工作环境。

1. 铸造质量检验设备（仪器）

铸造质量检验设备（仪器）是进行铸造过程工序质量和最终铸件质量控制检验的重要保证。铸造质量检验设备（仪器）主要包括铸造专用检验设备（仪器）和通用检验设备（仪器），如图 1-8 所示。

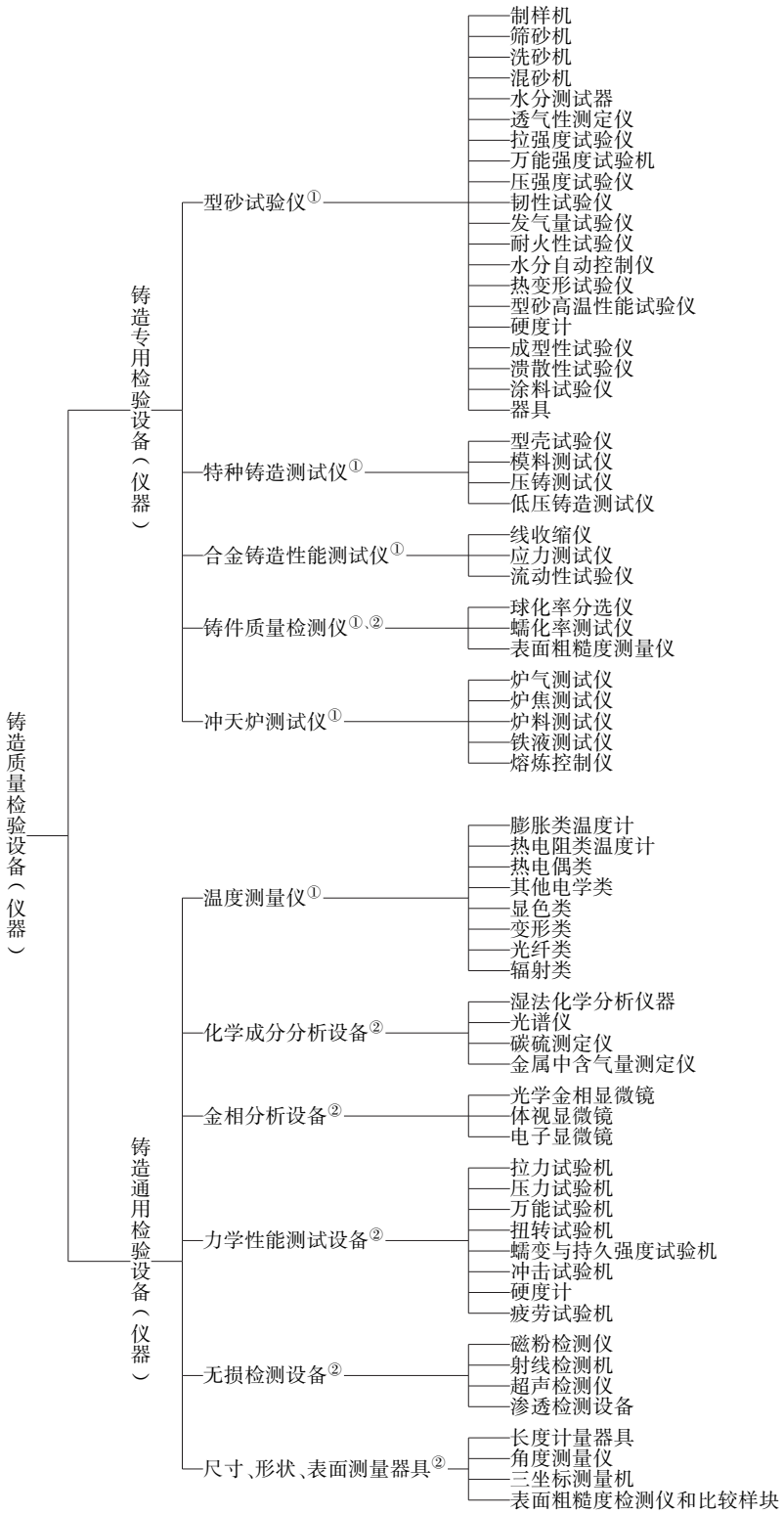


图 1-8　铸造质量检验设备（仪器）类别

① 主要用于铸造工序及中间产品质量检验与控制。

② 主要用于铸件质量检验。

铸造质量检验设备（仪器）的配置应满足铸造企业现有铸造过程工序质量特性和铸件质量特性的检测和控制的要求。此外，还应根据铸件产品的新发展和铸造质量检验设备（仪器）的创新发展，不断进行有计划地完善和更新。

铸造质量检验设备（仪器）须经检定（或校准）合格（贴绿色检定标志）并在有效期内使用，由经授权的人员操作。在实际使用时需经操作人员自检确认正常，自检应有记录。

2. 铸造质量检验人员

铸造质量检验人员主要包括技术检验管理专业人员、主管技术检验管理人员和检查工，他们是铸造企业在生产组织中的重要人员，是铸造质量检验部门鉴别、把关、预防、报告、监督职能的直接执行者。铸造企业生产过程中的原辅材料、工艺装备、过程工序以及成品铸件的质量，都是通过检验人员采用一定的检测方法和手段按质量特性要求进行检验的。检验人员根据检验结果作出接收或拒收的结论。同时，他们在日常工作中积累了大量质量数据，掌握了各生产环节和工序的质量动态，并及时将其反馈到有关部门，为预防产生大批废品和改进铸件质量提供信息。这是铸造企业提高铸件质量、实现经营目标、提高经济效益、满足社会需求、维护国家和用户利益的需要。因此检验人员的工作对保证铸造企业的铸件质量和经营发展具有重要的作用和意义。

铸造质量检验人员要根据检验工作的实际情况进行配备，同时还要配备一定数量的铸造检验技术专业人员和检验业务管理人员。检验人员太少，会造成等待检验时间太长，影响作业，甚至增加错检与漏检的可能；人员太多又会人浮于事，工作效率不高，增加检验成本。

铸造质量检验人员应懂得国家质量法规，有强烈的质量责任感，有一定的文化科学知识，熟悉了解铸造生产技术和工艺流程，并能恪守检验人员的职业道德“秉公办事、实事求是、坚持科学性和公正性、忠于职守、不以权谋私”。

铸造质量检验人员要建立培训上岗制度，实行先培训后上岗的原则，不取得培训考核合格证或资格证书不准上岗。并且应经常开展铸造质量检验人员的技术业务再培训，根据检验岗位不同、对象不同的需要，还可采取灵活多样的培训形式，如课堂培训、岗位培训和远程网络培训等。有的检验人员（如无损检测、理化检测等）还须取得国家有资质部门颁发的上岗证书。

3. 铸造质量检验工作环境

铸造质量检验工作环境主要是指铸造质量检验人员进行检验活动的场所，通常称为检验站（点、组）。

合理设置检验站可以更好地加强质量把关，保证检验工作质量，提高检验效率。通常，设置检验站应遵循以下基本原则：

1）应在一些质量控制的关键部位设置，如外购物件的进货处、成品铸件的放行和交付处。

2）应在某些重要过程工序之后设置，如型砂配制、合金熔炼的过程工序后。

3）应有适宜的工作环境，如有便于进行检验活动的空间，有适合存放或使用检验工具与检验设备的场地、方便检验人员和作业（操作）人员的联系等。某些精密的检验设备（如三坐标测量机、光电直读光谱仪等还应提供恒温、恒湿、洁净、防振动的工作环境）。

4）应考虑节约检验成本，有利于提高检验工作效率，如检验站和检验人员以及检验设备和检验场地要适应检验和作业的需要。

5）应有明确的检验工作制度及具有所必需的铸造技术标准、铸件图、工艺规范、检验流程图、检验作业指导书等。

1.3　做好铸造质量检验的准备工作

1.3.1　编制好铸造质量检验计划

1. 编制铸造质量检验计划的必要性

铸造企业在组织生产和经营活动中，为了保证铸件质量，对各个生产环节都必须进行检验。检

验工作是由分散在各个车间的质量检验员来完成的。由于各检验员所担负的检验工作不同，这就需要每个质量检验员熟悉所检验的过程工序和铸件的质量特性以及各个质量特性对过程工序和铸件功能的影响，还要进一步掌握过程工序和铸件的检验标准、检验项目、检验方式和方法、检验地点及测量误差等。只有熟悉和掌握铸造质量检验工作的基本内容，才能保证检验工作质量，为此要编制铸造质量检验计划。

铸造质量检验计划是铸造企业整个检验活动带有规划性的总体安排，一般以文字或图表形式明确规定检验站的设置地点、人员、设备配置、检验方式和方法以及工作量。它是指导各检验站和检验人员工作的依据，也是铸造生产过程质量控制计划的重要组成部分。

2. 编制铸造质量检验计划应做哪些准备

铸造质量检验计划是生产技术准备工作的重要内容之一，在生产技术准备工作开始时就应该制订出来。这样就可以用最经济的方法，保证铸件质量达到质量特性的要求。

编制铸造质量检验计划，首先应对铸件图、工艺文件和技术标准等认真进行阅读和分析，并做好以下准备：

1）搞清标准的技术要求。一般铸件都要按照规定的技术标准进行生产和验收，检验员必须搞清标准的具体要求。为了确保铸件质量，对一些重要铸件，一般都要制订高于现行标准的内控标准。对于内控标准的内容，在检验计划上应有标准或说明，便于检验员掌握，避免执行中由于事先无准备而手足无措。

2）准备检验手段。对检验方法和检验手段，必须预先计划和审核，过程工序和铸件的质量特性数据必须能够测量出来，才能使过程工序和铸件处于受控状态。如需用感官检验过程工序质量特性，应事先准备实物样品作为比较的依据，以便能够做出正确的判断。

3）搞清质量特性的要求。对铸件的质量特性必须认真研究和掌握，因为它是影响铸件功能的重要因素，尤其是对铸件图和技术标准中要求不明确、不够具体的地方，更应搞清楚。

4）弄清“疑难”问题。对铸造技术标准或铸件质量要求中规定的项目，在理解和认识上有分歧的疑难问题，应及时提供给相关部门进行研究，做出明确的解释或规定。

5）编制检验人员的质量责任制。对铸造企业各级检验人员应有明确的质量责任。在铸造生产过程中，每个检验人员都处于各自的岗位进行检验，各个检验程序、环节对铸件质量都是很重要的。某个环节出现质量问题都会影响整个铸件的质量特性。因此，必须有严格的质量责任制，并认真执行，这对铸件质量处于受控状态，有着重要意义。

3. 铸造质量检验计划应包括的基本内容

铸造质量检验计划的编制工作，一般以检验部门为主，并要与其他有关计划相协调，还要依据铸件的重要性、复杂程度、批量大小的不同而有所不同。作为一个完整的计划，铸造质量检验计划一般应包括以下基本内容：

1）设计和编制检验流程图。在铸造生产过程中，为了清楚地表示出各种原材料和工序关联情况，以及在哪些工序上进行检验工作，都需要设计和编制检验流程图。检验流程图是用图形、符号简洁明了地表示检验计划中确定的特定铸件的检验流程（过程、路线）。在检验流程图上，应清楚地标明检验的工序、检验的频次、容量大小、检验方式和方法，检验的位置及检验的顺序等。它是检验人员进行检验活动的依据。

对于较为简单的铸件，可以直接采用作业流程（工艺路线）图，并在需要质量控制和检验的部位连接表示检验的图形和文字，必要时标明检验的具体内容和方法。这样也起到了检验流程图的作用。

对于比较复杂的铸件，需要在作业流程（工艺路线图）的基础上编制检验流程图，以明确检验的要求和内容以及过程工序之间的衔接关系。

2）设立检验站（点、组）。检验站是根据铸造生产作业分布（工艺布置）及检验流程设计确定的作业过程中最小的检验单位。其作用是通过对过程工序或铸件的检测，履行检验和监督的职能，防止所辖区域不合格品流入下一道过程工序或铸件的交付（销售、使用）。

检验站（点、组）是检验人员进行检验活动的场所。合理设置检验站可以更好地加强质量把关，保证检验工作质量，提高检验效率。

此外，各种类型的检验站都应明确以下业务职责：①本检验站的业务范围和任务，负责检验外购物料或过程工序或铸件的哪些质量特性；②准备检验工作所必需的铸造技术标准、铸件图、工艺规范、检验流程图、检验作业指导书、质量责任制等；③根据抽样方案和检验规程等，判定过程工序和铸件批量是否符合质量标准，合格与不合格；④应有明确的检验工作制度，对其中要求的检验用图章、印记、废品单、检验报告单、检验记录卡、质量反馈单、重大质量事故单应准备齐全，以便开展工作；⑤做好工艺监督检查和质量否决权的监督检查工作。

3）编制铸件质量特性分析表。铸件质量特性分析表即铸件质量不合格的严重性分类表，是用于分析铸件的重要质量特性和铸件实现过程中影响这些质量特性的过程因素的技术文件。这样，检验人员就能熟悉哪些是铸件的重要质量特性，从而掌握质量控制的关键和质量检验的重点。

4）编制铸造质量检验手册和检验指导书。

铸造质量检验手册是铸造质量检验活动的规定和技术规范的文件集合。它是专职检验部门质量检验工作的详细描述，是检验工作的指导性文件，是质量检验人员和管理人员的工作指南。它使铸造质量检验活动标准化、规范化、科学化。

铸造质量检验指导书又称铸造质量检验规程或铸造质量检验卡片，是具体规定检验操作重要的技术文件。它是铸件形成过程中，用以指导检验人员规范、正确地进行检查、测量、试验的技术性文件。其目的是为铸件和过程工序的检验活动提供具体操作指导。它要求文字表述明确、准确，操作方法说明清楚、易于理解，过程简便易行，其内容一般包括：①检验流程图的项目编号、过程工序或铸件名称；②需要检验的质量特性；③检验方法，使用的量具、检具、检验频次和抽样方案；④数据处理和判定过程工序或铸件质量合格与否的补充规定。

5）编制增添铸造质量检测手段的计划。随着铸件品种的增加和贯彻国家标准的需要，铸造质量检测手段必须有计划地完善，这样才能满足铸造质量检验指导书的要求。通常，编制铸造质量检测手段计划的步骤如下：①铸造企业简介，简单介绍增添检测手段的必要性以及计量仪器、检测仪器、人员配备和检测水平等的概况，并进一步阐明检测手段与铸造技术发展不相适应的情况，说明需要购置检测仪器的必要性；②进行增添铸造质量检测仪器的技术论证，论证增添铸造质量检测仪器对发展新铸件产品、提高检测水平和铸件质量的重要性，特别要从提高铸造企业的经济效益方面论证添置铸造检测仪器的重要性；③把需要增添的铸造质量检测仪器列出明细表。

6）分析补充铸造质量特性。当按照铸件图、工艺文件、技术标准所规定的质量特性进行检验时，有时会发现这些质量特性有些不够具体、不够清楚、不够突出，这时应通过分析加以补充。有些铸件的质量特性，如铸件的涂料平整度等，很难用文字具体描述，这时可以建立实物标准，作为最低的技术要求，使检验员易于判断。

7）进行铸造质量检验人员的配备和培训。

1.3.2　铸造质量检验准备工作的内容和工作计划

铸造质量检验准备工作是铸造生产技术准备工作的一个重要组成部分，必须付诸实施，才能保证铸件质量，并促进铸件质量的改进和提高。

1. 铸造质量检验准备工作的内容

1）熟悉和掌握铸造技术标准。铸件质量是根据铸件图、工艺文件和技术标准来检验的，检验

人员必须熟悉和掌握它们。因此，检验班组必须准备有关的铸造技术标准等技术文件，以利检验工作的开展。

2）制订明确的铸造检验工作质量责任制。铸造质量检验部门的质量职责和权限一般应包括以下项目：①贯彻执行上级有关产品质量的方针、政策和指示以及质量工作的制度和办法；②制订铸造企业各项质量检验工作制度和各类质量检验人员岗位责任制，并严格贯彻执行。检验人员应参与推广先进检验方法，参加铸件质量标准及验收条件的制订，参与同用户签订技术协议，了解协议中有关质量的要求；③根据铸件图、技术标准、技术条件、工艺规程等技术文件和质量检验文件以及订货合同的有关规定，对铸件和工艺装备进行检验、验收，做出合格与否的判定；④对工艺规程中检验工序设置的合理性、可靠性、可检查性、完整性进行审查会签，并编制检验作业指导书；⑤对工艺过程、工艺纪律、工艺装配、计量器具、文明生产进行检查和监督；⑥参加铸件的工艺设计和工艺评审、例行试验、技术鉴定及投产鉴定；⑦参与考察和确认原材料、工模具等供应单位的质量保证能力，负责检验进厂原材料、工模具以及仪器仪表和设备等的质量；⑧负责对铸件不合格品进行隔离、统计和管理；⑨及时分析质量事故，提出预防和改进措施，并报告企业负责人和有关部门；⑩组织进行铸件的例行试验、可靠性试验、安全性试验，以及其他分析与鉴定铸件质量的试验；⑪检查出厂铸件的包装质量及铸件成品库储存情况；⑫对铸件和过程工序质量指标完成情况进行统计、分析，掌握质量变化趋势，定期提出质量分析报告，并按要求及时上报；⑬负责质量检验印章的管理；⑭指导群众性检验工作，根据检验结果提出质量奖惩意见；⑮参与拟定提高铸件和过程工序质量的有关计划和措施，参与技术引进和技术改造的可行性研究；⑯参与售后技术服务工作，及时进行质量信息反馈；⑰负责质量检验人员的培训和定期考核工作，根据考核结果颁发证书；⑱负责质量考核指标规定的铸件和过程工序的抽查和不定期抽查，对抽查的及时性和检测数据的准确性以及判定结果的正确性负责；⑲负责对厂内铸件生产过程的各个环节及铸件在使用过程中的质量信息收集、整理与及时反馈；⑳负责对发生在用户的铸件质量事故进行检验、分析与确认，提出改进措施的建议，配合用户服务部门共同处理；㉑负责收集和建立铸件和过程工序的质量档案，并指定专职或兼职人员负责管理；㉒参加新产品铸件的设计、工艺审查及鉴定工作，会同有关单位为新产品铸件鉴定做出有关试验和检验报告，对新产品铸件能否正式投产提出建议；㉓参加企业质量目标计划的制订与实施中的诊断和检查活动；㉔参加企业及有关车间、科室的 QC 成果发表、评价和材料核实等活动；㉕参加用户访问、现场试验和市场调查等项活动；㉖对各项质量检验、所提供的数据准确性和及时性负责；㉗对生产现场工艺纪律检查及信息反馈工作负责；㉘质量检验部门负责人应对由于失职造成不合格品铸件出厂或造成重大质量事故负责；㉙质量检验部门负责人应对所做出的质量判定、拒绝检验、停止使用结论的正确性负责；㉚质量检验员应对错检、漏检和错判负责；㉛质量检验部门负责人和质量检验人员应对质量证明文件的正确性负责；㉜质量检验部门负责人应对执行上级颁发的质量检验法规不力负责；㉝有权执行“四不准”（不合格原材料不准投料，不合格过程工序不准流入下道工序，不合格铸件不准出厂，不合格铸件不计算产量和产值）；㉞有权对企业违反国家质量法规、法令的行为进行制止，并向上级报告；㉟有权对全企业各级人员的铸造质量责任提出处理建议；㊱有权对本部门的各类人员的铸件和过程工序的质量责任或因工作质量造成的质量责任进行处理；㊲有权向企业负责人提出对各部门实行质量否决权的建议；㊳对未按期进行计量检验的仪器、仪表、量具、工艺装备，质量检验员有权停止使用；㊴对不能例行试验，或经例行试验而不合格时，试验室主任应及时报告质量检验部门负责人，按有关规定处理；㊵质量检验部门负责人发现生产过程中出现或即将出现大量废品而尚无技术、组织措施，铸件质量得不到保证时，应立即报告企业负责人，并通知有关部门，在有关部门未进行处理前，质量检验部门有权停止检验；㊶对不执行质量检验制度、违反工艺纪律生产的铸件，或未经办理批准代用手续的原材料，在未按规定程序得到妥善处理前，质量检验员有权不予检验；㊷质量检验部门负责

人对不符合技术条件的铸件，有权将其判为不合格品，不发给合格证。质量检验员对所检验的原材料、工模具和铸件，如发现不符合技术标准、技术条件和图样时，有权将其判为不合格品；㊸生产车间提交的铸件已判为不合格品，而未经有关部门进行处理，但又提交检验时，检验部门的负责人有权拒绝检验，并及时报告企业负责人和有关部门；㊹经证明不具备生产合格品铸件的条件时，质量检验部门负责人有权向企业负责人提出停产和限期改正的书面意见；㊺质量统计员有权拒绝对虚假和不准确的数据进行统计；㊻质量检验部门负责人对责任不明、原因不清、措施不力的质量问题，要坚持“三不放过”（即工序前不接受不合格品、工序中不产生不合格品、工序后不转交不合格品）原则；㊼在处理有争议的铸造质量问题时，只有企业负责人的书面决定才能撤销质量检验部门的决定，如质量检验部门仍坚持不同意见时，可在执行企业负责人决定的同时，向上级主管部门提出报告；㊽各级质量检验人员有权越级反映质量问题，任何单位和个人不得对其打击报复。

3）制定监督抽查计划。铸造质量检验部门对铸件质量应定期或不定期组织铸件质量抽查，并积极做好过程工序监督检查以及质量否决权的抽查工作。在准备工作中，要把抽查铸件和过程工序质量计划列入准备工作中去。

4）参加新产品铸件的工艺设计审查和鉴定。这种工艺设计审查应当从设计的调研工作即开始就列入检验准备工作计划中去。在新产品铸件试制过程中也应积极参与，负责新产品铸件的检验和试验工作，并提出试验报告。负责新产品铸件的可靠性、安全性和寿命等试验，并编写试验报告。

5）编制铸造质量检验作业指导书。

6）检验用工具、量具、仪器仪表的准备。

7）质量检验记录的准备。

2. 认真做好年度铸造质量检验工作计划的编制

按铸造企业的质量方针和生产计划大纲对质量的要求认真做好年度铸造质量检验准备工作计划的编制。

应当指出，铸造质量检验准备工作涉及的面广，由于各个铸造企业的生产规模、生产条件和生产任务不同，所以在编制年度铸造质量检验工作计划时，一定要结合本企业的具体情况进行编制。

第 2 章　铸造质量检验设备（仪器）简介

2.1　铸造质量检验设备（仪器）的类别及选用原则

2.1.1　铸造质量检验设备（仪器）的类别

铸造质量检验设备（仪器）主要包括铸造专用检验设备（仪器）和通用检验设备（仪器）。

铸造专用检验设备（仪器）按习惯分为：型（芯）砂试验仪、特种铸造测试仪、合金铸造性能测试仪、铸件质量检测仪、冲天炉测试仪等。

通用检验设备（仪器）按检验特性分为：温度测量仪，化学成分分析设备，金相分析设备，力学性能测试设备，无损检测设备，尺寸、形状、表面测量器具等。

2.1.2　铸造质量检验设备（仪器）的选用原则

1. 铸造专用检验设备（仪器）的选用原则

铸造专用检验设备（仪器）主要用于铸造工序及其中间产品质量的检测与控制。

1）冲天炉测试仪主要用于冲天炉熔炼过程中的风压、风量、料位、炉气以及铁液温度的测量与控制，以使冲天炉熔炼过程处于最优状态。其选用原则是：实用、可靠、方便、配套和经济。

① 熔炼一般质量铸铁的中小型冲天炉可选用指示式的简单配套仪器，如用一次仪表为 WRe-108 测温枪并配上二次仪表 XPZ-101 动圈式温度指示仪测量铁液温度；用 CFD-A 型单笛风量风压料位测定仪（带二次仪表）测量风量风压及料位；用 RD-7A 热导式 CO_2 分析器分析炉气成分。

② 熔炼较高质量铸铁或产量较大、经济条件较好的铸造企业可选用记录式配套仪器，如多功能综合检测仪（如 CPZ 型），自动连续检测、显示、记录冲天炉的风量、风压、铁液温度、熔化速度以及自动显示、控制料位高度等。

③ 熔炼高质量铸铁（如高牌号灰铸铁、球墨铸铁等）或产量大的铸造企业，应配备完善的冲天炉熔炼过程最优化控制微型计算机系统（如 C399 型冲天炉熔炼微机优化控制仪等），包括风量检测与调节系统、炉气分析与调节系统、炉料称量系统、铁液温度和成分测量系统等，可使冲天炉熔炼过程处于最优化状态。

2）型砂试验仪主要用于测试和控制造型制芯用的原砂（包括新砂、再生砂、旧砂）、粘结剂等原辅材料和混好的型（芯）砂等中间产品的各种性能，以保证型（芯）砂性能稳定，从而达到预防缺陷，保证和提高铸件质量的目的。其选用应考虑以下因素：

① 型（芯）砂种类及其性质。主要是指测试和控制的型（芯）砂是粘土砂，还是水玻璃砂、树脂自硬砂、壳型（芯）砂、热芯盒砂、冷芯盒砂等，因为不同的型（芯）砂对检测的性能要求不一样。例如，测试树脂自硬砂时必备的仪器应有发气量试验仪、爆热试验仪和型砂高温试验仪，以检测树脂自硬砂的发气量、抗夹砂性能和高温性能。

② 铸型的种类。主要是指测试和控制的型（芯）砂是用于一般中、低压造型的铸型，还是用于高紧实度造型的铸型。因为高紧实度造型对型（芯）砂的要求较高，要求有良好的流动性和压缩比，有较高的湿抗拉强度和高温性能，为此应配备相应的检测设备（仪器）。

③ 生产性质。主要是指测试和控制的型砂是用于单件小批生产，还是成批大量机械化流水线生产等。因为成批大量机械化流水线的生产率高，型砂周转快，型砂的成分和性能经常在变动，为

保证型砂性能稳定，型砂的性能检验次数就应多一些，因此检验次数频繁的型砂试验仪应设置在型砂试验室，而检验次数少的型砂试验仪一般可设在理化试验室。

④ 检测仪器的性能。主要是指型砂试验仪的基本性能是否能满足或完成所测型砂工艺性能的内容和范围要求，并且使用的可靠性好。

⑤ 生产纲领。主要是指铸造企业的年生产量、铸件品种和铸件大小，因为它们对型砂质量的要求和检测的项目有所不同。例如铸钢件，尤其是大型铸钢件和合金钢铸件对型砂耐高温性能要求高，需要配置型砂耐火度测定和高温性能检测设备（仪器）。又如生产规模大的铸造企业，有的根据需要还要完成一定的型砂试验研究任务，因此对型砂试验所配备的型砂试验仪应较齐全。

2. 铸造通用检验设备（仪器）的选用

通用检验设备（仪器）主要用于铸件质量检验和原辅材料质量复检，有时也用于中间产品（金属液、铸型、砂型、砂芯等）质量的检验。

1）化学成分分析设备（仪器）除对原辅材料分析外，最主要的还是对熔炼过程和熔炼终止时的铸件材料（金属液中间产品）的成分进行测定，掌握其成分的变化，以获得合格的铸件。

化学成分分析除了使用玻璃器皿的手工操作外，更多的是使用分析仪器（如比色计、光谱仪等）进行炉前快速分析，其选用时应考虑以下几点：

① 分析对象及要求。对于铸件材料品种多的大型铸造企业，熔炼过程有大量的试样，要求分析的元素多、精度高、速度快，以便出炉前及时根据分析结果调整成分，显然只能选用光电直读光谱仪。使用光电直读光谱仪分析金属元素时应注意：真空型光电直读光谱仪主要用于包括碳、硫在内的黑色金属元素的分析；非真空型光电直读光谱仪只能用于有色合金元素的分析，不能分析碳、硫、磷元素。

② 分析对象的含量范围及精度。光电直读光谱仪只适合分析低含量元素，分析高含量元素时精度较差，故在一些大型铸造企业的炉前分析室，除配光电直读光谱仪外，还应同时配备 X 射线荧光光谱仪，以解决高、低含量元素的分析。但还应注意：光电直读光谱仪与 X 射线荧光光谱仪对碳、硫元素分析精度较差，故大型铸造企业的炉前分析室还常配置快速定碳、定硫的红外碳硫分析仪。

③ 设备（仪器）投资。通常，光电直读光谱仪价格较昂贵，对检测环境（温度、湿度、振动）又有一定要求，因此只在一些大型铸造企业使用。而大部分铸造企业仍用价格低廉的光电比色计或光电分光光度计。

④ 辅助设备（仪器）的选择。以光电直读光谱仪为主要分析仪器的炉前分析室还需配备切割机、磨样机等设备制备试样。有的还采用风动送样到分析室，又将分析结果放在样盒内反送回车间；也有用电话、电视向对方报送分析结果的。

2）无损检测设备（仪器）主要用来对铸件内部或外部缺陷进行检测，它是保证铸件质量的重要手段。通常，超声波检测设备（仪器）和射线检测设备（仪器）只适用于铸件深层缺陷的检验，而磁粉检测设备（仪器）和渗透检测设备（仪器）最容易发现铸件近表面及表面缺陷，但在选用时应考虑以下因素：

① 应与铸造企业的生产纲领、铸件种类和质量要求相匹配。通常，对于生产纲领大、铸件品种多而复杂、质量要求高的铸造企业，其多数铸件都要进行无损检测，因此无损检测设备（仪器）的配置应齐全，甚至还需要配置直线加速器等贵重的设备（仪器）。而一般铸造企业只需配置与铸件产品相适应的普通检测设备（仪器）。

② 应根据铸件技术要求及标准选用相应的无损检测设备（仪器），对不要检测的铸件可不选用无损检测设备（仪器）。

③ 根据不同铸件材料及缺陷部位选用无损检测设备（仪器）。通常，射线检测设备（仪器）

检测和超声检测设备（仪器）适用于深层缺陷的检验，且射线检测设备（仪器）检测效果好；磁粉检测设备（仪器）检测和渗透检测设备（仪器）可发现铸件近表面缺陷，但磁粉检测设备（仪器）只适用于铁磁性材料的铸件，而渗透检测设备（仪器）既适用于铁磁性材料的铸件，又适用于非铁磁性材料的铸件。

④ 视铸件大小、形状、批量和使用场所选用无损检测设备（仪器）。通常，移动式和携带式无损检测设备（仪器）多用于大型铸件现场，而固定式无损检测设备（仪器）一般放在试验室用于中小型铸件检测。此外，对于形状复杂的铸件进行表面探伤时，磁力检测设备（仪器）不如渗透检测设备（仪器）好；对于大批量的铸件则应采用自动化、机械化程度高的检测设备（仪器）。

⑤ 要慎重选用贵重无损检测设备（仪器）。此外，对于射线检测设备（仪器）要按法规要求配备防射线的安全防护设施。

2.2　铸造常用质量检验设备（仪器）

2.2.1　常用温度检测仪表

铸造企业是热加工企业，在铸造生产中几乎所有的生产过程都需要进行温度测量，其测量的准确性在很大程度上直接影响到铸造生产过程的质量控制以及最终铸件的质量。

温度检测仪表（或温度计）可以根据检测方式不同分为接触式温度检测仪表和非接触式温度检测仪表。其分类、原理与测温范围和适用场合，见表 2-1。

表 2-1　温度检测仪表的分类、原理与测温范围和适用场合（供参考）

类别	原理	测量方法	常用测温范围/℃	可能测温范围/℃	代表性产品	适用场合
膨胀类温度计	利用液体、气体、双金属的热膨胀或物质的饱和蒸气压	接触式	-80 ~ 600	-100 ~ 600	双金属温度计	1）中、低温区 2）静止对象 3）精确度要求较高的场合 4）一般场合，例如风温、金属液温度、铸件表面温度、炉窑温度等
			-100 ~ 600	-120 ~ 600	压力式温度计	
			-100 ~ 600	-200 ~ 600	玻璃液体温度计	
热电阻类温度计	利用固体材料的电阻值在受热时发生变换		-200 ~ 650	-258 ~ 1200	铂热电阻	
			-50 ~ 150	-200 ~ 150	铜热电阻	
			-60 ~ 180	-150 ~ 300	镍热电阻	
			-40 ~ 50	-50 ~ 300	热敏电阻	
			-270 ~ 0	—	低温热电阻	
热电偶类	利用热电效应		0 ~ 1800	—	铂铑 30 ~ 铂铑 6	1）中、低温区 2）静止对象 3）精确度要求较高的场合 4）一般场合，例如风温、金属液温度、铸件表面温度、炉窑温度等
			0 ~ 1350	0 ~ 1600	铂铑 10-铂	
			0 ~ 1100	0 ~ 1350	镍铬-镍硅（铝）	
			0 ~ 800	-200 ~ 800	镍铬-考铜	
			-200 ~ 400	—	铜-康铜	
			1000 ~ 2800	—	钨铼	
其他电学类	利用物质的电参量随温度的变化		—	—	石英晶体温度计	
			—	—	温敏半导体	
			—	—	温敏 IC	
显色类	利用物质的化学或物理变化在不同温度下产生不同的颜色		—	—	液晶示温卡	
			—	—	示温涂料	
			—	—	示温笔	
变形类	利用材料的塑性变形量与温度间的关系		—	—	示温标贴片	
			—	—	塞格熔锥	

（续）

类别	原理	测量方法	常用测温范围/℃	可能测温范围/℃	代表性产品	适用场合
光纤类	利用光纤收集辐射能量或利用光纤的光学特性随温度的变化规律	非接触式	—	200 ~ 4000	光纤辐射温度计	1）中、高温区 2）运动对象 3）仅需要有较好重复性的场合 4）需要快速响应的场合 5）微小目标 6）无法直接达到的远距离 7）有强烈电磁干扰 8）保护管难以稳定工作 9）其他特殊场合，例如金属液温度、炉窑温度等
			—	0 ~ 200	液晶光纤温度计	
			—	0 ~ 400	相位干涉型光纤温度计	
辐射类	利用普朗克辐射定律		800 ~ 3200	700 ~ 3200	光学高温计	
			100 ~ 2000	100 ~ 3200	全辐射高温计	
			0 ~ 1500	－50 ~ 3200	部分辐射高温计	
			50 ~ 2000	50 ~ 3200	比色温度计	
			—	－170 ~ 2000	热像仪	

1. 玻璃液体温度计

玻璃液体温度计是一种应用最为广泛的测温仪器。

玻璃液体温度计是利用玻璃感温泡内的感温介质受热膨胀、遇冷收缩的原理来进行温度测量的。当感温泡在被测介质中受到温度变化的作用后，感温介质开始膨胀（或收缩），沿着毛细管上升（或下降），在刻度标尺上直接显示温度变化数值。玻璃水银温度计的测温范围为 －30 ~ 600℃。玻璃有机液体温度计的测温范围为 －100 ~ 75℃。

工业玻璃液体温度计的结构形式，如图 2-1 所示。

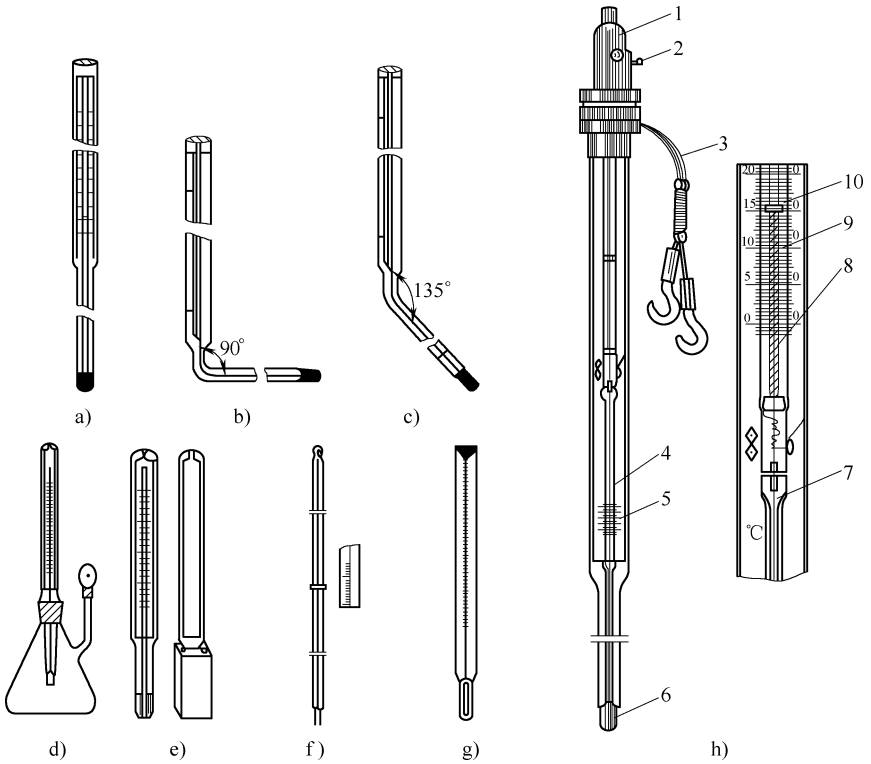


图 2-1　工业玻璃液体温度计

a）内标式温度计　b）直角内标式温度计　c）135 内标式温度计　d）磨口温度计　e）粘贴温度计
f）棒式竹节温度计　g）棒式三角温度计　h）电接点式温度计
1—调节磁钢　2—磁钢固定螺钉　3—信号线　4—测量毛细管　5—指示标尺
6—感温泡　7—钨丝　8—调节杆　9—设定标尺　10—指示螺母

使用玻璃液体温度计时的注意事项如下：

1）应根据测量的准确度要求及待测温度的估计值来选取分度值和量程合适的温度计，正常使用的测温范围一般为全量程的 30% ~90% 。

2）应在被测介质与感温介质达到热平衡后（一般需要 5 ~10min）才能读数。

3）读数时应当注意消除视差，视线应与液柱面位于同一平面内。水银温度计以液柱凸表面的最高点为读数基准；有机液体温度计以液柱凹表面的最低点为读数基准。

4）为了使测量值准确可靠，感温泡应离开被测对象的容器壁一定距离。感温泡必须与被测温度的介质相接触，如果被测介质为液体，则必须在很好的搅拌后才能测量。

5）测量零上较高温度或零下较低温度时，应当事先将温度计预热或预冷。

6）被测介质的容量应超过感温泡容量的几百倍。

7）使用全浸式温度计时，要求温度计插入被测介质的深度应当接近于液柱弯月面所指示的位置（一般要求液柱弯月面高出被测介质表面不得大于 15mm）。全浸式温度计受环境影响较小，测量准确度较高；使用局浸式温度计时，要求温度计插入到温度计本身所标志的固定的浸没位置。局浸式温度计的液柱大部分露在被测介质外，受环境的影响较大，测量精度较低。

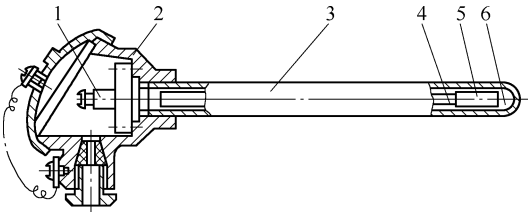


图 2-2　标准化热电偶的典型结构

1—参考端　2—接线盒　3—保护管　4—热电极　5—绝缘管　6—测量端

2. 标准化热电偶

标准化热电偶的典型结构如图 2-2 所示，其分类与性能见表 2-2。

表 2-2　标准化热电偶的分类及性能

项目		贵金属热电偶			廉金属热电偶				
热电偶名称		铂铑 10-铂	铂铑 13-铂	铂铑 30-铂铑 6	镍铬-镍硅（铝）	镍铬硅-镍硅	铜-康铜	铁-康铜	镍铬-康铜
分度号		S	R	B	K	N	T	J	E
贝塞克系数/（μV/K）		0 ~300℃：5.4 ~9.1 >300℃：9.1 ~12	0 ~300℃：5.3 ~9.7 >300℃：9.7 ~12	200 ~600℃：2 ~6 >600℃：6 ~11.7	-200 ~0℃：15 ~39 >0℃：35 ~42	-200 ~0℃：10 ~26 >0℃：26 ~39	-200 ~0℃：16 ~39 100 ~400℃ 46 ~62	50 ~64	-200 ~0℃：25 ~59 >0℃：60 ~80
极性识别	正极	较硬	较硬	较硬	不亲磁，色暗	不亲磁，色暗	铜色	不亲磁，铁锈色	色暗
	负极	柔软	柔软	稍软	稍亲磁，灰白色	稍亲磁，灰白色	银白色	稍亲磁，银白色	银白色
熔点/℃	正极	1850	1860	1927	1429	1420	1083	1400	1429
	负极	1769	1769	1826	1450	1330	1222	1222	1222
测温范围/℃		-40 ~1600	-40 ~1600	0 ~1800	-270 ~1300	-200 ~1300	-200 ~400	-40 ~750	-200 ~900
短期最高使用温度/℃		1600	1600	1800	1300	1300	400	750	850
长期最高使用温度/℃		1300	1300	1600	1200	1200	350	600	750
平均电阻温度系数/$10^{-3}K^{-1}$	正极	1.4	1.33	1.3	0.029	0.078	4.3	9.5	0.27
	负极	3.1	3.1	2.0	0.163	1.49	0.05	0.05	0.05
适用气氛		氧化、中性气氛	氧化、中性气氛	氧化、中性气氛	氧化、中性气氛	氧化、中性、还原气氛	氧化、中性、还原气氛、真空	氧化、中性、还原气氛、真空	氧化、中性气氛

3. 微型快速热电偶及其配套仪表

微型快速热电偶是专门用于测量高温液态金属温度的快速热电偶，也是一种消耗型热电偶。

将微型快速热电偶偶头与测温枪、二次仪表装配成的测温系统，如图 2-3 所示。

微型快速热电偶偶头结构如图 2-4 所示，常用微型快速热电偶的名称和分度号见表 2-3，常用测温枪内与之相配的补偿导线材料见表 2-4，常用配套仪表见表 2-5。

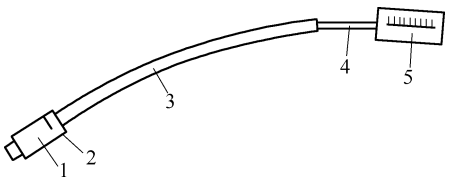


图 2-3　微型快速热电偶测温系统

1—偶头　2—插件　3—测温枪
4—导线　5—显示仪表

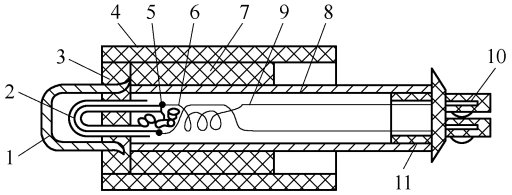


图 2-4　微型快速热电偶偶头结构

1—钢帽　2—石英管　3—绝缘材料　4—纸杯　5—铂铑热电极　6—绝缘棉花　7—绝缘纸管　8—纸管　9—补偿导线　10—快速插头　11—塑料封盖

表 2-3　常用微型快速热电偶的名称和分度号

热电偶名称	热电偶型号	分度号	使用温度上限/℃
铂铑 10-铂	KS-602P(或 J)	S	1760
铂铑 30-铂铑 6	KB-602P(或 J)	B	1820
铂铑 13-铂	BR-602P(或 J)	R	1760
钨铼 3-钨铼 25	—	WRe3—WRe25	1760

表 2-4　常用测温枪内与之相配的补偿导线材料

热　电　偶		补偿导线	
材料	正负极	正负极材料	外皮颜色
铂铑 10-铂	正极　铂铑 10	铜导线	红色
	负极　铂	铜-镍合金导线	绿色
铂铑 30-铂铑 6	正极　铂铑 30	铜导线	—
	负极　铂铑 6	铜导线	—
铂铑 13-铂	正极　铂铑 13	铜导线	红色
	负极　铂	铜-镍合金导线	绿色
钨铼 3-钨铼 25	正极　钨铼 3	—	—
	负极　钨铼 25	—	—

表 2-5　常用配套仪表

类型	名　　称	型号举例	全行程时间/s	分度号	测量范围/℃	指示基本误差(%)
固定式仪表	大型长图自动平衡记录仪	XWC-100/AB	1	S 或 B	0 ~ 1600	±0.5
		XWC-200/A	<1		0 ~ 1800	
	大型圆图自动平衡记录仪	EWY-704	<1	S 或 B	0 ~ 1600	±0.5
		EWY-741			0 ~ 1800	

（续）

类型	名　　称	型号举例	全行程时间/s	分度号	测量范围/℃	指示基本误差(%)
便携式数字仪表	SW 系列便携式数字测温仪 XMW-10 数显仪表	SW-LB-3A、SW-LL-2A	<0.4	S 或 B	1200～1600	<0.5
便携式指示仪表	B-1 型便携式指针测温仪	B-1	<2	S 或 B	1250～1500	±5℃

4. 工业用隐丝式光学高温计

工业用隐丝式光学高温计由光学系统与电测系统组成。在光学系统中使用了红色滤光片或中性灰色滤光片，使工作波段限制在较窄的范围内。其结构及原理如图 2-5 所示，主要技术性能指标见表 2-6。

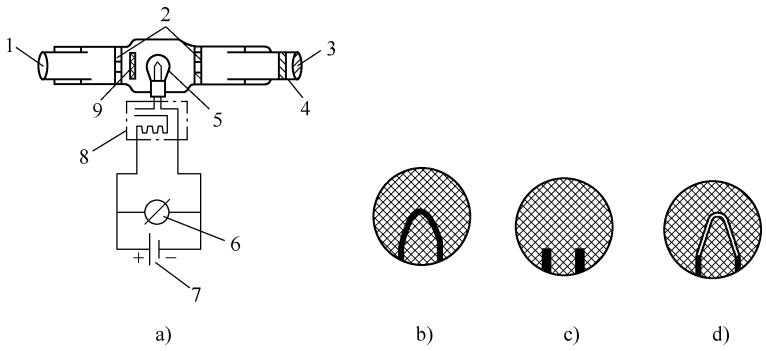


图 2-5　工业用隐丝式光学高温计的结构及原理

a）光学高温计构造原理　b）灯丝温度比物体温度低　c）灯丝温度等于物体温度
d）灯丝温度比物体温度高
1—物镜　2—光圈　3—目镜　4—红色滤光镜　5—灯泡　6—温度
指示仪表　7—电池　8—调节变阻器　9—吸收玻璃

表 2-6　工业用隐丝式光学高温计的主要技术性能指标

精确度等级	测量范围/℃	允许基本误差/℃		允许变差/℃	测量距离/mm	工作条件
1.0	800～1400	800～<900	±21	13.5	≥700	环境温度：10～50℃ 相对湿度：≤85%
		900～1400	±14	9		
	1200～2000	±20		12		
	1800～3200	±50		30		
1.5	800～1500	800～<900	±33	16.5		
		900～1500	±22	11		
	1200～2000	±30		15		
	1800～3200	±80		60		

注：精确度等级是按 900℃～2000℃的测量范围确定的。

为了使光学高温计的灯丝与被测物体的像达到亮度平衡，必须使灯丝的入射角大于出射角三倍，否则会由于衍射作用在灯丝边缘处出现两条暗线。表 2-7 给出了入射角与出射角的最佳选择。

表 2-7　入射角与出射角的最佳选择

灯丝类型	出射角/rad	最小入射角/rad
扁平灯丝(任意宽度)	0.02	0.07
	0.03	0.10
	0.04	0.13
	0.06	0.17
	0.08	0.21
	0.10	0.23
	0.12	0.25
圆形灯丝(ϕ0.04 ~ ϕ0.06mm)	0.01	0.04 或更大
	0.02	0.06 ~ 0.16
	0.04	0.08 ~ 0.13

5. 热像仪

热像仪利用 3 ~ 5.6μm 或 8 ~ 14μm 红外波段的扫描来测量物体表面温度分布的状态，并通过热成像技术给出被测热辐射体的温度、温度分布值以及热像图（即二维温度分布图）。

热像仪的结构框图及其外形图，如图 2-6 和图 2-7 所示。

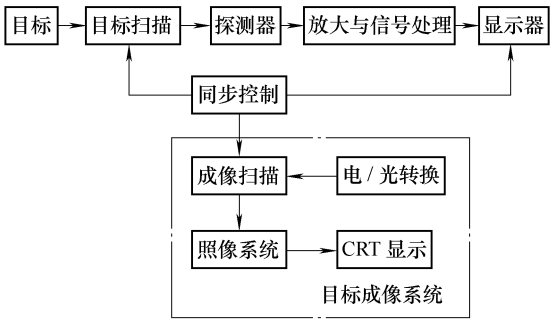


图 2-6　热像仪的结构框图

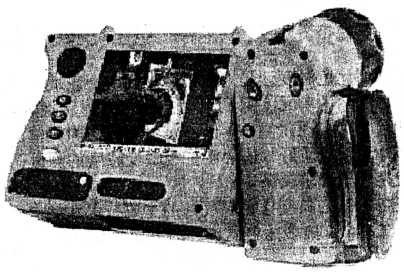


图 2-7　热像仪外形图

热像仪具有非接触测温仪表的全部优点：测温范围为 -170 ~ 2000℃；分辨率达 0.1℃，具有很高的准确度；响应速度快，可在毫秒级时间内测出物体温度场；空间分辨率高，可测量小目标物体，不破坏温度场；测量距离不受限制；操作简单、安全可靠，易于实现自动化和“实时观察”。

2.2.2　常用砂型及其造型材料的测试仪器

在铸造生产中，砂型及其造型材料的质量，经常关系到铸件的质量和铸造企业的经济效益，因此对砂型及其造型材料的试验和检测一直以来都受到关注。

常用砂型及其造型材料的测试仪器与用途见表 2-8。

表 2-8　常用砂型及其造型材料的测试仪器与用途（供参考）

仪　器　名　称	型号	用　　途
取样器	SBQ	取砂样用
分砂器	SBF	对砂样进行分取
通用实验室快速天平	SKP	称量试料
上皿电子天平	MD-200-1	称量试料
涡流洗砂机	SXW	清洗砂样测含泥量

（续）

仪器名称	型号	用途
定时涡流洗砂机	SXW-A	清洗砂样测含泥量
连续式洗砂机	SXL	清洗砂样测含泥量
虹吸式洗砂机	SXX	清洗砂样测含泥量
电热式烘干箱	SHD	烘烤砂样、试样
电热鼓风干燥箱	101-1	烘烤砂样、试样
双盘红外烘干器	SGS	烘干试料，测定水分
铸造用试验筛	SBS	筛分试样测定粒度分布
震摆式筛砂机	SSZ	筛分试样测定粒度分布
电磁微震筛砂机	SSD	筛分试样测定粒度分布
型砂体式显微镜	SXT	观察试料颗粒形状及表面状态
型砂比表面积测定仪	SMT	测定试料颗粒的比表面积
碾轮式混砂机	SHN-5	混制型砂、芯砂混合料
碾轮式混砂机	SHN-10	
强碾式混砂机	SHQ-30	
强碾式混砂机	SHQ-50	
叶片式混砂机	SHY	混合物料和树脂覆膜的覆膜
行星转子混砂机	TKHZ-SHY1	热法覆膜砂的混制
投砂器	SBT	过筛试料为制样和测紧实率配套用
锤击式制样机	SAC	制取标准试样和测紧实率
液压制样机	SAY	制取标准试样和测紧实率、反弹系数
转筛式成型性试验仪	SCS	测湿砂成型性及试样表面强度
落球式破碎指数试验仪	SRQ	测试样破碎指数确定韧性
摆锤式韧性试验仪	SRB	测试试样韧性
直读式透气性测定仪	STZ	测标准试样透气性
电动透气性测定仪	STD	测标准试样透气性
气动型砂多功能测试仪	SMT-3	测定标准试样的压拉、剪、弯及劈裂强度
型砂多功能测试仪	SMT	测定标准试样的压拉、剪、弯及劈裂强度
液压万能强度试验机	SWY	测定标准试样的压拉、剪、弯及劈裂强度
高压附件	SWY-FG	测干态试样的高值强度值
电液式万能强度仪	SWD	测定标准试样的压拉、剪、弯及劈裂强度
数显式万能强度仪	SWX	
热湿拉强度试验仪	SLR	测定热湿拉强度
激热试验仪	SNJ	型砂抗夹砂能力
暴热试验仪	SNB	测试样、涂料高温下产生裂纹等缺陷
记录式发气性测试仪	SFL	测定试料发气量、发气速度
型砂有效煤粉量测定仪	SFW	测定型砂煤粉含量、测定试料发气量、发气速度
型砂热压应力测试仪	SQR	测定球冠形试样的热压应力
吸蓝量试验仪	SEL	测定膨润土吸蓝量及型砂中有效膨润土含量
涂料表面耐磨性试验仪	SVM	测定涂料表面耐磨性、表面强度
涂料高温性能试验仪	SVG	测定涂料高温强度及裂纹等
触探式砂型紧实度测定仪	SCZ	测定标准试样和砂型硬度
热芯盒起模强度试验仪	SLH	测定热芯盒砂热固状态下的抗拉强度
树脂砂熔点测定仪	SJZ	测定树脂砂熔点
覆膜砂制样机	TKZ-SHY2	抗拉、抗弯试样制备
覆膜砂结壳性能试验仪	TKJ-SHY3	覆膜砂结壳厚度的测量
覆膜砂熔点测试仪	TKR-SHY4	覆膜砂熔点
膜砂抗拉抗弯制样仪	FLW-B	制作覆膜砂8字抗拉，长条抗弯强度试样
气动型砂万能强度测定仪	SMT	测定标准试样的抗压、拉、剪、弯、劈裂强度及变形量
煤粉光亮碳测试仪	MGT	测定煤粉、型砂的光亮碳含量
剪切强度变形极限测定仪	SJB	湿型砂剪切强度、变形极限

1. 常用造型原材料测试仪

（1）原砂水分测试仪

1）SGS 型双盘红外线烘干器。SGS 型双盘红外线烘干器是利用红外线灯泡所产生的辐射热能，使造型（芯）材料中的水分迅速蒸发的。它适用于快速烘干法测定含水量。

SGS 型双盘红外线烘干器是由红外线灯泡、定时器和盛砂盘等部件组成的，其结构如图 2-8 所示。

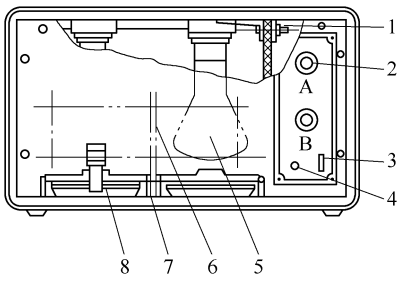


图 2-8　SGS 型双盘红外线烘干器结构简图

1—灯座　2—定时器旋钮　3—电源开关
4—指示灯　5—红外线灯泡　6—隔板
7—导向槽　8—盛砂盘

主要技术参数。

① 红外线灯泡：250W、220V。

② 盛砂盘表面温度：110 ~ 170℃。

③ 盛砂盘尺寸（底径 × 深）：ϕ110mm × 27mm。

④ 定时器范围：0 ~ 15min。

⑤ 外形尺寸：400mm × 290mm × 310mm。

⑥ 质量：8. 5kg。

2）SGZJ-1 型造型材料水分快速测试仪。SGZJ-1 型造型材料水分快速测试仪是利用微电脑原理及半导体技术，解决了各种造型材料的水分含量与电阻的非线性关系，可供快速测量多种造型材料的水分。仪器采用液晶数字显示，新型钳式传感器（测干型用插针式传感器）直接测量，无需对试样烘干和称量。

SGZJ-1 型造型材料水分快速测试仪可用于测量红砂、煤粉、膨润土、湿型砂、干型砂、表干型砂等多种材料的水分。

主要技术参数：

① 测量范围：

膨润土：0. 5% ~20%；干砂型：0. 3% ~3. 5%；原砂：0. 5% ~8%；其他：1% ~12%。

② 测量精度：

常见水分区：±0. 2%；其他水分区：±0. 4%。

③ 重复误差：≤0. 2%。

④ 分辨率：0. 1%。

⑤ 测量时间：≤30s。

⑥ 工作电源：6V（5 号干电池 4 节）；整机工作电流 <40mA。

⑦ 外形尺寸：168mm × 108mm × 35mm。

⑧ 质量：

主机 0. 3kg；传感器：0. 4kg。

（2）含泥量测定仪

1）SXW 型涡流式洗砂机。SXW 型涡流式洗砂机主要用于检测砂样的含泥量。

SXW 型涡流式洗砂机是由电动机、机体、搅拌轴、阻流棒和洗砂杯等部件组成的，如图 2-9 所示。

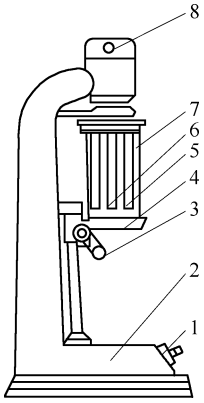


图 2-9　SXW 型涡流式洗砂机

1—电源开关　2—机体　3—定位
扳手　4—托盘　5—阻流棒
6—搅拌轴　7—洗砂杯　8—电动机

主要技术参数：

① 洗砂杯直径及高度：ϕ（70 ~ 75）mm × 165mm；标线处高 150mm；容量 600mL。

② 电动机：型号 U15/40-220；转速 4000r/min；功率 15W。

③ 外形尺寸：180mm × 280mm × 595mm。

④ 质量：16.5kg。

2）SXL 型连续式洗砂机。SXL 型连续式洗砂机主要用于测定原砂、型砂和旧砂中的含泥量。

SXL 型连续式洗砂机主要部件有机座、盛砂盘、减压阀、止水夹、洗砂瓶、调节阀、流量计、瓶塞等，如图 2-10 所示。

主要技术参数：

① 减压阀进水口压力：≥200kPa（≈2kgf/cm²）。

② 减压阀出水口压力：19.6 ~ 24.5kPa（2000 ~ 2500mmH_2O）。

③ 冲水瓶水位上升速度：15 ~ 30mm/min。

④ 外形尺寸：315mm × 255mm × 740mm。

⑤ 质量：12kg。

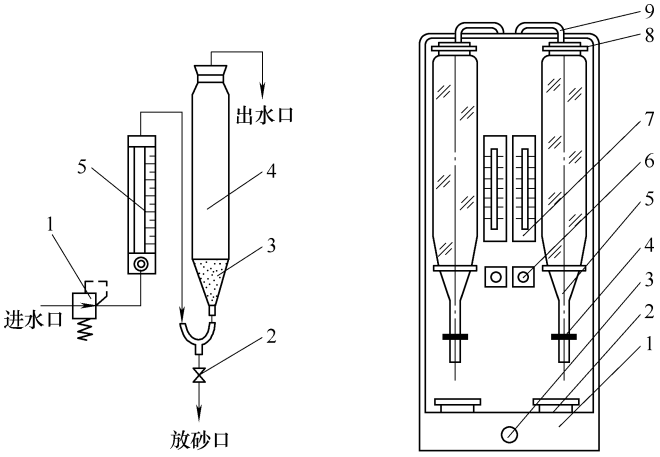


图 2-10　SXL 型连续式洗砂机

a）原理示意图

1—减压阀　2—止水夹　3—砂样　4—洗砂瓶　5—流量计

b）结构简图

1—机座　2—盛砂盘　3—减压阀　4—止水夹　5—洗砂瓶　6—调节阀　7—流量计　8—瓶塞　9—出水口

3）SXX 型自动虹吸式洗砂机。SXX 型自动虹吸式洗砂机主要用于测定原砂、型砂和旧砂中的含泥量。

SXX 型自动虹吸式洗砂机由机体、电气控制系统、吸水加水系统和洗砂杯等组成，如图 2-11 所示。

主要技术参数：

① 进水口压力：≥0.1MPa（≈1kgf/cm²）。

② 静置时间：5min（±15s）；10min ± (30s)。

③ 虹吸管口距上液面距离：100mm。

④ 电源电压：AC，220V ± 10%。

⑤ 功率：50W。

⑥ 外形尺寸：350mm × 340mm × 480mm。

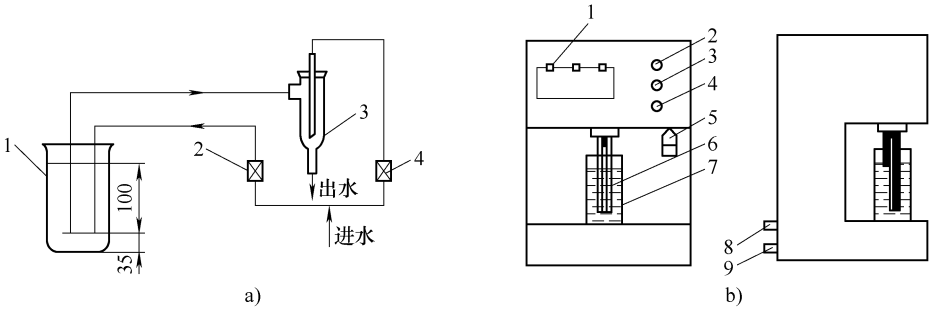


图 2-11　SXX 型自动虹吸式洗砂机

a）原理示意图

1—烧杯　2—加水阀门　3—抽滤器　4—吸水阀门

b）结构简图

1—程序指示灯　2—电源指示灯　3—电源开关　4—复位按钮　5—提升拉手　6—液位控制棒　7—洗砂杯　8—进水管　9—出水管

（3）原砂粒度测定装置

1）SBS 型铸造试验筛。SBS 型铸造试验筛主要用于测定造型原砂的粒度。

主要技术参数：

① 外形尺寸：筛圈为 ϕ200mm × 25mm；筛组高度为 300mm ± 5mm。

② 筛孔尺寸与筛号见表 2-9。

表 2-9　SBS 型铸造试验筛的筛孔尺寸与筛号

型号	SBS01	SBS02	SBS03	SBS04	SBS05	SBS06	SBS07	SBS08	SBS09	SBS10	SBS11
筛孔尺寸/mm	3.350	1.700	0.850	0.600	0.425	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053
筛号	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270

2）SSZ 型振摆式筛砂机。SSZ 型振摆式筛砂机与 SBS 型铸造试验筛配合使用，可用于测定原砂和粉状物料的粒度及其分布。

SSZ 型振摆式筛砂机由电动机及齿轮箱、振筛架和试验筛等组成，如图 2-12 所示。

主要技术参数：

① 摆动次数：230 次/min。

② 摆动偏心距：12mm。

③ 振击次数：175 次/min。

④ 振幅高度：6mm。

⑤ 定时器范围：0 ~ 15min。

⑥ 电动机：

型号：JW6322 型；转速：2800r/min；功率：0.37kW。

⑦ 外形尺寸：385mm × 595mm × 735mm。

⑧ 质量：85kg。

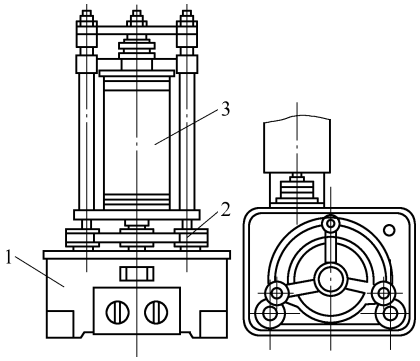


图 2-12　SSZ 型振摆式筛砂机结构简图

1—电动机及齿轮箱　2—振筛架　3—试验筛

3）SSD 型电磁微振式筛砂机。SSD 型电磁微震式筛砂机与 SBS 型铸造试验筛配合使用，可用于测定原砂和其他材料的粒度及其分布。

SSD 型电磁微振筛砂机由振幅调节系统、定时器和机座等组成，如图 2-13 所示。

主要技术参数：

① 工作振幅：2.5 ~ 3.5mm。

② 工作频率：25Hz。

③ 筛盘直径：200mm。

④ 定时器范围：0 ~ 15min。

⑤ 电源电压：220V ± 10%，50Hz。

⑥ 整机最大消耗功率：35W。

⑦ 使用条件：

环境温度：0 ~ 40℃。

相对湿度：不大于 85%（20℃）。

⑧ 质量：25kg。

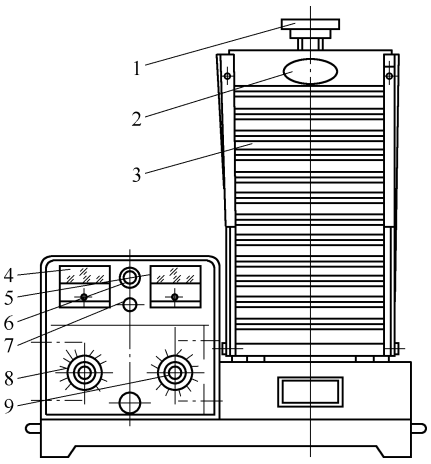


图 2-13　SSD 型电磁微振式筛砂机结构简图

1—紧固旋钮　2—振幅指示牌　3—试验筛　4、5—电压表　6—指示灯　7—电源开关　8—定时器旋钮　9—调幅旋钮

（4）原砂比表面积测定仪　SMT 型原砂比表面积测定仪主要用于测定原砂和再生砂的实际比表面积。

SMT 型原砂比表面积测定仪由玻璃管、测量管、带漏

斗玻璃管、橡皮球、换向阀等组成，如图 2-14 所示。

主要技术参数：

① 电源电压：AC，220V ± 10% ，50 ± 1Hz。

② 管路密封性：10min 之内压力下降不大于 50Pa。

③ 同一样品五次测量数据去除最大与最小值，三次平均值不超过 0.5s。

④ 外形尺寸：390mm × 255mm × 900mm。

⑤ 质量：14kg。

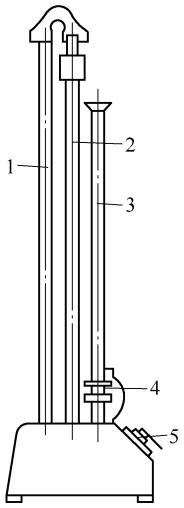


图 2-14　SMT 型比表面积测定仪示意图

1—玻璃管　2—测量管
3—带漏斗玻璃管
4—橡皮球　5—换向阀

提示：测定原砂的比表面积时，可按图 2-14 所示的情况，通过换向阀，并借助橡皮球将煤油（密度为 0.811g/cm^3）吸到测量管顶部的刻线上，转换转向阀，记录煤油从顶部的刻线落到底部刻线所需的时间，并按下式计算砂粒的实际比表面积 S_W

$$S_W = 17.6244\sqrt{\varepsilon^3 tV}$$

式中　S_W——原砂的实际比表面积（cm^2/g）；

17.6244——仪器的特征常数（煤油密度为 0.811g/cm^3，室温下空气的动力粘度为 1.81 × 10^{-6}Pa · s 时）；

ε——砂粒空隙率（%），$\varepsilon = (\rho - \rho_d)/\rho$；$\rho_d$ 为原砂堆密度（g/cm^3）；ρ 为原砂的密度（g/cm^3）；

t——煤油下降的时间（s）；

V——试样的体积（cm^3）。

（5）原砂发气量测定仪　SFL 型记录式发气量测定仪可用于测定原砂、型（芯）砂、涂料及其他造型材料的发气性，还可测定型砂中有效煤粉量。

SFL 型记录式发气量测定仪由管式加热炉、温度自动控制装置、冷却缓冲装置、气电转换装置及自动记录仪等组成，如图 2-15 所示。

主要技术参数：

① 测量范围：0 ~ 50mL。

② 测量精度：全量程的 ± 2% 。

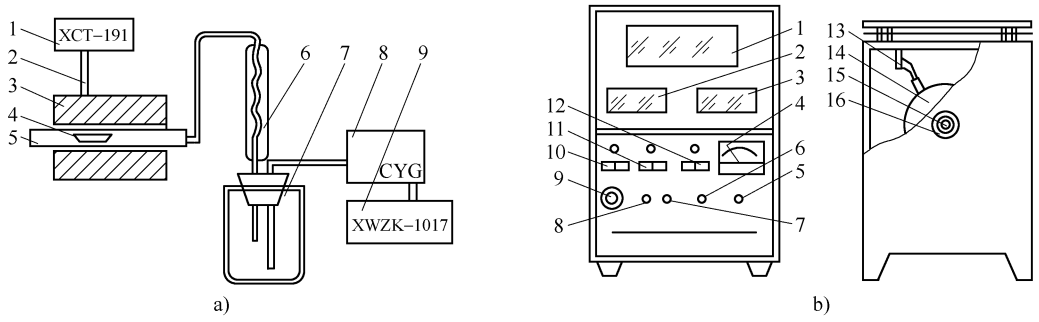


图 2-15　SFL 型记录式发气量测定仪

a）原理示意图

1—温度调节仪　2—热电偶　3—管式加热炉　4—不锈钢舟　5—石英管
6—冷凝器　7—缓冲瓶　8—微压传感器　9—记录仪

b）结构简图

1—记录仪　2—温度指示调节仪　3—晶闸管调压器　4—交流电压表　5—钥匙开关　6—电源指示灯
7—调零旋钮　8—调幅旋钮　9—定时选择旋钮　10—电磁阀开关　11—定时开关　12—炉供电开关
13—热电偶　14—管式电炉　15—石英管　16—尼龙套管

③ 使用温度：600～1000℃。
④ 定时范围：0～15min。
⑤ 功率：2kW。
⑥ 电源电压：AC，220V ±10%。
⑦ 外形尺寸：
炉体：415mm×334mm×500mm；控制箱：405mm×335mm×625mm。
⑧ 质量：
炉体：35kg；控制箱：45kg。
⑨ 工作条件：
温度：0～50℃；湿度：85%；周围环境应相对稳定

（6）原砂化学成分分析仪　原砂化学成分的测定项目及主要分析仪器和试剂见表 2-10。

表 2-10　原砂化学成分的测定项目及主要仪器和试剂（供参考）

检测项目	主要仪器及试剂	备　注
二氧化硅含量	主要仪器：分光光度计、坩埚、高温炉等。主要试剂：无水碳酸钠、盐酸、氢氟酸、硫酸、硼酸溶液（质量分数为2%）、硝酸银溶液（质量分数为1%）、乙醇（体积分数为95%）、硫氰酸钾溶液（质量分数为5%）、氟化钾溶液（质量分数为2%）、对硝基苯酚指示剂乙醇溶液（质量分数为0.5%）、氢氧化钾溶液（质量分数为20%）、钼酸铵溶液（质量分数为5%）、抗坏血酸溶液（质量分数为2%）以及二氧化硅标准溶液等	采用盐酸一次蒸干脱水质量-钼蓝吸光光度联用法（GB/T 7143—2010）
	主要试剂：硝酸、氢氟酸等	采用氢氟酸挥散法。本方法适用于硅砂试样中 SiO_2 的质量分数为95%以上的测定（GB/T 7143—2010）
氧化铝含量	其主要仪器：分光光度计、容量瓶、比色皿；试剂：盐酸、硫酸、氢氟酸、氨水、焦硫酸钾、氟化钠；甲基橙指示剂溶液（质量分数为0.1%）、二甲酚橙指示剂溶液（质量分数为0.3%）、三氯甲烷、铜铁试剂溶液（质量分数为10%）、乙酸-乙酸铵缓冲溶液（pH=6.1）、乙二胺四乙酸二钠（EDTA）溶液（浓度为0.025mol/L）、锌标准溶液（浓度为0.01mol/L）等	采用 EDTA 综合滴定法（GB/T 7143—2010），本方法适用于试样中氧化铝的质量分数为1.00%以上的测定
氧化锆含量	其主要试剂：氢氟酸（质量分数为40%）、盐酸（密度1.19g/m^3）、硫酸溶液、氢氧化铵、甲基红乙醇溶液（1g/L）、无水碳酸钠与无水硼砂的混合溶剂（2∶1）、苦杏仁酸溶液（160g/L）及苦杏仁酸洗涤液（10g/L）	采用 GB/T 4984—2007
三氧化二铬含量	其主要试剂：过氧化钠、硫酸溶液（1∶1）、磷酸溶液（1∶1）、硝酸银溶液（质量分数为0.5%）、高锰酸钾溶液（质量分数为2%）、过硫酸铵溶液（质量分数为25%）、氯化钠溶液（质量分数为25%）、苯基邻氨基苯甲酸溶液（质量分数为0.2%）、重铬酸钾标准溶液（0.1mol/L）、硫酸亚铁铵标准溶液（0.1mol/L）	采用 GB/T 24228—2009

（续）

检测项目	主要仪器及试剂	备　注
氧化钛含量	主要仪器：分光光度计、容量瓶、比色皿；试剂：抗坏血酸溶液（质量分数为 5%）、盐酸、二安替比林甲烷溶液（质量分数为 2%）、氧化钛标准溶液	采用二安替比林甲烷吸收光度法（GB/T 7143—2010），可用于试样中氧化钛质量分数为 0.50% 以下含量的测定
	主要仪器：分光光度计、容量瓶、2cm 比色皿；试剂：磷酸、过氧化氢、盐酸、氧化钛标准溶液（0.1mg/mL）	采用过氧化氢吸光光度法（参考方法），可用于试样中氧化钛质量分数为 0.50% 以上含量的测定
氧化铁含量	主要仪器：分光光度计、容量瓶、1cm 比色皿；试剂：氨水、磺基水杨酸溶液（质量分数为 30%）、氧化铁标准溶液等	采用磺基水杨酸光度法（标准方法），适用于试样中氧化铁质量分数为 0.50% ~3.00% 的测定
	主要仪器：分光光度计、容量瓶、1cm 比色皿；试剂：乙酸溶液（质量分数为 20%）、抗坏血酸溶液（质量分数为 5%）、邻非罗啉溶液（质量分数为 0.1%）、氧化铁标准溶液等	采用邻非罗啉光度法（标准方法），可用于试样中氧化铁质量分数为 1.50% 以下的测定
氧化钙含量	主要试剂：氢氟酸、高氯酸、盐酸、氢氧化钾溶液（质量分数为 30%）、乙二胺四乙酸二钠（EDTA）标准溶液（0.005mol/L）、氧化钙标准溶液、钙黄绿素混合指示剂	采用 EDTA 铬合滴定法（GB/T 7143—2010），可用于试样中的质量分数为 0.10% 以上氧化钙含量的测定
氧化镁含量	主要试剂：三乙醇胺、EDTA 标准溶液（0.005mol/L）、精密试纸（pH 为 0.5 ~ 13.0）、氨水-氯化铵缓冲溶液（pH = 10）、酸性铬蓝 K-萘酚绿 B（1 +2）混合指示剂	采用 EDTA 铬合滴定法（GB/T 7143—2010），可用于试样中的质量分数为 0.10% 以上氧化镁含量的测定
氧化钾、氧化钠含量	主要仪器：火焰光度计；试剂：盐酸（1 +1）和氧化钠、氧化钾混合标准溶液[（0.25mgNa_2O +0.50mgK_2O）/mL]	采用火焰光度法，可用于试样中质量分数为 0.10% 以上氧化钾、氧化钠含量的测定
	主要仪器：原子吸收分光光度计。试剂：氢氟酸、高氯酸、盐酸、氯化锶溶液（质量分数为 20%）以及氧化钠、氧化钾各自的标准溶液等	采用原子吸收分光光度法

（7）粘土（膨润土）吸水率测定装置　粘土（膨润土）吸水率测定装置主要用于测定粘土（膨润土）吸收水分后增加的质量分数即吸水率。其测定装置，如图 2-16 所示。

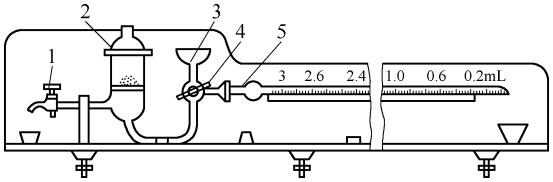


图 2-16　粘土（膨润土）吸水率测定装置示意图

1—放水阀　2—过滤漏斗　3—漏斗　4—三通阀　5—毛细管

（8）SND 型亚甲基蓝粘土试验仪　SND 型亚甲基蓝粘土试验仪主要用于测定膨润土吸蓝量以及型砂中有效膨润土含量。

SND 型亚甲基蓝粘土试验仪由溶液瓶、滴定管、搅拌电动机、定时器等组成，如图 2-17 所示。

主要技术参数：

① 自动滴定：配制质量分数为 0.3% 的亚甲基蓝溶液和质量分数为 2% 的焦磷酸钠溶液。

② 搅拌器：

电动机型号为 JX-5014；转速为 1400r/min；功率为 25W；电源为 220V ±10% 、50Hz。

③ 清洗器为超声清洗器：

型号为 H66005；功率为 50W；电源电压为 220V ±10% ，50Hz；工作频率为 40kHz；定时器定时时间最大为 15min。

（9）pH 值测定仪

1）酸度计。酸度计可用于测定粘土（膨润土）、树脂、纸浆废液、亚硫酸盐木浆废液及糖浆等的 pH 值。

常用笔式高精度酸度计的型号与规格参数见表 2-11。

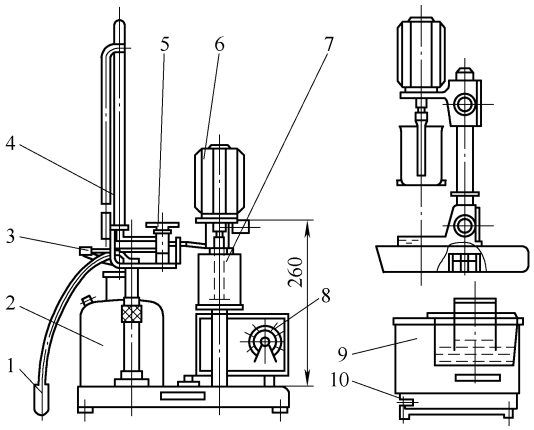


图 2-17　SND 型亚甲基蓝粘土试验仪结构简图

1—充气球　2—溶液瓶　3—放气阀　4—滴定管
5—三通阀　6—搅拌器电动机　7—烧杯
8—定时器　9—超声分散器　10—开关

表 2-11　常用笔式高精度酸度计的型号与规格参数[9]

产　品　型　号	规　格　参　数	
KL-03（Ⅱ）、KL-03（Ⅲ）	测量范围（pH）	0.00 ~ 14.00
	分辨率（pH）	0.01
	测量精度（pH）	±0.1
	自动温度补偿（℃）	5 ~ 50
	工作电压/V	4 × 1.5（AG-13）
	工作温度/℃	0 ~ 50
	备注	防水、可换电极
KL-009（Ⅱ）、KL-03（Ⅰ）	测量范围（pH）	0.00 ~ 14.00
	测量精度（pH）	±0.1
	分辨率（pH）	0.01
	自动温度补偿/℃	5 ~ 50

2）精密 pH 试纸。精密 pH 试纸可用于测定热芯盒树脂、三乙胺固化酚醛冷芯盒树脂等的 pH 值。

精密 pH 试纸的规格：pH 为 5.4 ~ 7.0 和 pH 为 5.5 ~ 9.0。

提示：使用时，用干燥洁净的移液管吸取 25mL 树脂样品，置于 50mL 烧杯中，取一条精密 pH 试纸，放入被测样品中浸渗 0.5s，立即取出试纸与 pH 标准色板比较，测得颜色与色板相同或相近的 pH 值颜色即为被测树脂样品的 pH 值。

（10）密度计　密度计可用于测定桐油、植物油、合脂、渣油、磺酸类固化剂、水玻璃粘结剂、三乙胺固化酚醛冷芯盒树脂等的密度。

密度计的规格：分度值为 0.005。

提示：将盛有上述被测定试样的量筒（250mL）放入 20℃ ±5℃ 的恒温水浴槽中，并充分搅拌样品使之达到恒温。静置使样品中气泡逸出后，将密度计慢慢放入量筒正中，当密度计达到平衡位置时，将其轻轻按下，待再回到平衡位置时，读取密度计的数值。每个样品测试三次，以三次数据的算术平均值作为试验结果。

（11）毛细管粘度计　毛细管粘度计主要用于测定液态树脂的运动粘度。

毛细管粘度计结构如图 2-18 所示。

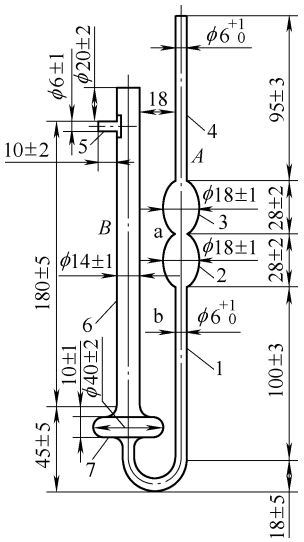


图 2-18　毛细管粘度计（倒置）

1—毛细管　2、3、7—扩张部分　4、6—管身　5—支管　a、b—标线

2. 常用型砂（造型混合料）**测试仪**

（1）型砂含水分测试仪

1）SGH 型型砂水分测定仪。SGH 型型砂水分测定仪主要用于测定粘土砂及其他松散状物料的水分。

SGH 型型砂水分测定仪的结构轻巧，携带方便，可在任何工作场合中使用。

主要技术参数：

① 水分含量测定范围：0 ~ 10%。

② 测定误差：不大于 0.2%。

③ 测定时间：不大于 120s。

④ 外形尺寸：420mm × 240mm × 117mm。

⑤ 质量：6kg。

2）SGS 型双盘红外线烘干器和 SGZJ 型造型材料水分快速测试仪。其结构图和主要技术参数可参见前述“原砂水分测试仪”。

（2）型砂有效煤粉含量测定仪　SPW 型型砂有效煤粉含量测定仪可测定型砂中的有效煤粉含量和造型材料的发气量。

SPW 型型砂有效煤粉含量测定仪由微控机、电加热器和气路系统等部分组成。

主要技术参数：

① 加热温度：0 ~ 1000℃。

② 有效煤粉量测量范围：0 ~ 20%。

③ 整机精度：±1.5%。

④ 电源电压：AC，220V ±10%。

⑤ 功率：1.5kW。

⑥ 外形尺寸：

电热器：450mm × 435mm × 210mm；微控机：272mm × 242mm × 85mm。

⑦ 质量：

电热器：20kg；微控机：3.4kg。

（3）型砂有效膨润土含量测定仪　SND 型亚甲基蓝粘土试验仪可测定型砂中有效膨润土含量。其结构简图和主要技术参数如前所述。

（4）型砂透气性测定仪

1）STZ 型直读透气性测定仪。STZ 型直读透气性测定仪可用于测定粘土砂及其他型（芯）砂在干态或湿态的透气性。

STZ 型直读透气性测定仪由进气阀、气钟、水筒、机体和微压表等组成，如图 2-19 所示。

主要技术参数：

① 试样尺寸（直径 × 高）：ϕ50mm × 50mm。

② 气钟容量：2000mL。

③ 气钟内气体压力：0.981kPa（100mmH_2O）。

④ 通气孔规格：

大孔：ϕ1.5mm；小孔：ϕ0.5mm。

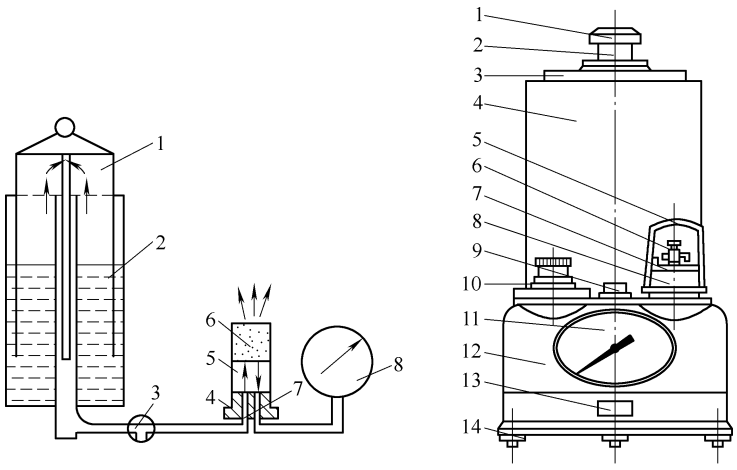


图 2-19　STZ 型直读透气性测定仪

a）原理示意图

1—气钟　2—水筒　3—三通阀　4—试样座　5—试样筒　6—标准试样　7—阻流孔　8—微压表

b）结构简图

1—进气阀　2—握手　3—气钟　4—水筒　5—密封罩　6—通气孔部件　7—回气管

8—试样座　9—水平座　10—旋钮　11—微压表　12—机座　13—铭牌　14—调平脚

⑤ 微压表透气性测定范围：

大孔：50 ~ 2450；小孔：0 ~ 50。

⑥ 外形尺寸：423mm × 223mm × 410mm。

⑦ 质量：16kg。

2）STD 型电动透气性测定仪。STD 型电动透气性测定仪可用于测定粘土砂及其他型（芯）砂在干态或湿态的透气性。

STD 型电动透气性测定仪基本原理与 STZ 型直读透气性测定仪一样，但两者在结构上有较大区别。电动透气性测定仪由高速离心鼓风机产生测试用的定压气源，便于在铸造车间现场测试砂型的透气性，同时也可在实验室测定型（芯）砂的透气性。

主要技术参数：

① 电动机：

型号为 S281；转速为 5200r/min；功率为 26W。

② 电源：

输入电压为 220V ± 10%；输出电压为 18 ~ 24V；输出电流为 0 ~ 2A；内阻 < 0.1Ω。

③ 风机压力为 981Pa（100mmH_2O）。

④ 通气孔规格：

大孔：ϕ1.5mm；小孔：ϕ0.5mm。

⑤ 微压表透气性测定范围：

大孔：50 ~ 2450。

小孔：0 ~ 50。

⑥ 测定时间：连续工作不超过 1h。

⑦ 外形尺寸：280mm × 208mm × 280mm。

⑧ 质量：11kg。

（5）自硬树脂砂可使用时间测试仪　SZS 型自硬树脂砂可使用时间测试仪可用于测定自硬型化学粘结剂型（芯）砂混合料的工作寿命，尤其适用于使用间歇式混砂机的生产车间，可用以确定树脂自硬砂的可使用时间，生产高质量的砂型和砂芯。对于研究各种有机粘结剂的性能，评定化学粘结剂混合料的优劣提供有效的手段。

主要技术参数：

① 试样筒尺寸：ϕ50mm × 110mm。

② 紧实试样的紧实功：9.8J（1kgf · m）。

③ 气缸的有效作用面积：10cm^2。

④ 电源：220V，50Hz。

⑤ 位移放大系数：0 ~ 10（1 小格 = 0.1mm）。

⑥ 微强度放大系数：0 ~ 20（1 小格 = 0.012MPa）。

⑦ 外形尺寸：320mm × 500mm × 580mm。

⑧ 质量：150kg。

（6）型砂成型性试验仪　这里只介绍 SCS 型转筛式成型性试验仪。SCS 型转筛式成型性试验仪可用来测定湿型砂的成型指数（过筛率）和标准试样的脆性，从而评价型砂成型性能的优劣和铸型的表面强度即铸型表面抗磨、抗冲击脆裂的能力。

SCS 型转筛式成型试验仪由电气系统、机械传动系统、滚筒、红外线灯等部分组成，如图 2-20 所示。

主要技术参数：

① 滚筒筛内径：ϕ178mm。

② 筛孔尺寸：2.36mm × 2.36mm。

③ 滚筒转速：57r/min。

④ 滚筒轴心线与水平夹角：$\alpha = 7°$。

⑤ 试样标准：

湿型砂，200g；标准试样（2 个），ϕ50mm × 50mm。

⑥ 电源：220V，50Hz。

⑦ 电动机：转速为 60r/min；功率为 50W；额定转矩为 120N · cm（12kgf · cm）。

⑧ 外形尺寸：472mm × 224mm × 620mm。

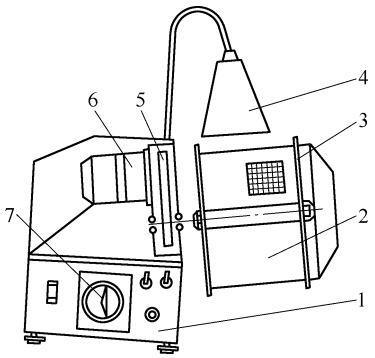


图 2-20　转筛式成型性试验仪

1—电气系统　2—滚筒筛　3—机械传动
4—红外线灯　5—变速齿轮
6—电动机　7—定时器

（7）型砂溃散性试验仪　XKY-B 型型砂溃散性测试仪可用于检测粘土型砂（尤其是高压造型型砂）、水玻璃型砂以及树脂、油类等为粘结剂的芯砂的溃散性，也可评定各种型（芯）砂溃散剂作用的优劣，还可作为研究开发新型造型材料的测试仪器。

主要技术参数：

① 振动频率：135.1rad/s。

② 振幅：±2.5mm。

③ 噪声：≤85dB（A）。

④ 精度：±2%。

⑤ 电源：

振动部分：三相，380V，50Hz；控制部分：单相，220V，50Hz。

⑥ 功率：150W。

⑦ 外形尺寸：570mm × 370mm × 450mm。

⑧ 仪器质量：47kg。

（8）型砂常温强度试验仪

1）SLB 型摆锤式湿拉强度试验仪。SLB 型摆锤式湿拉强度试验仪可用于测定高压成型法在金属样筒中直接成型的砂样（ϕ50mm × 50mm）的湿态抗拉强度。

SLB 型摆锤式湿拉强度试验仪主要由机械加载部分和测力部分组成，如图 2-21 所示。

主要技术参数：

① 试样尺寸：ϕ50mm × 50mm。

② 最大负荷：100N（10kgf）。

③ 刻度盘量程和分度值：

A 度盘　0 ~ 50N（0 ~ 5kgf），分度值 0.2N（20gf）；B 度盘　0 ~ 100N（0 ~ 10kgf），分度值 0.4N（40gf）。

④ 拉力指示精度：在每级度盘最大负荷的 10% ~90% 之内，示值误差不超过 1%。

⑤ 加荷速度：按每级度盘最大负荷计算为 0.1MPa/min。

⑥ 加荷杆移动速度：

A 度盘：加荷杆螺母转速为 67r/min，移动速度为 343mm/min；B 度盘：加荷杆螺母转速为 33.5r/min，移动速度为 171.5mm/min。

⑦ 电动机：

型号为 JW6314；转速为 1400r/min；功率为 180W。

⑧ 外形尺寸：570mm × 280mm × 580mm。

⑨ 质量：87kg。

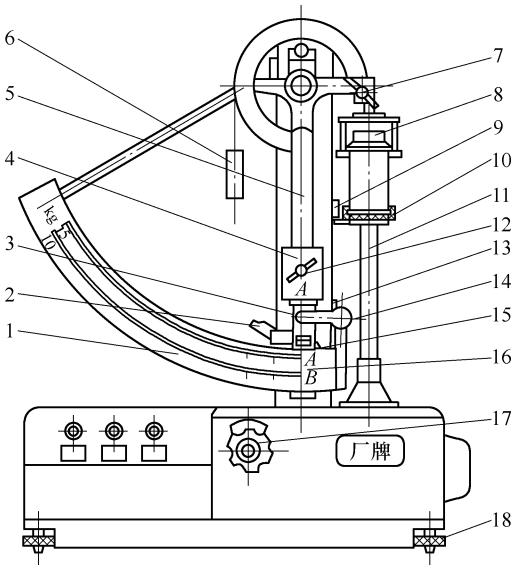


图 2-21　SLB 型摆锤式湿拉强度试验仪结构简图

1—刻度盘　2—扳手　3—摆杆固定钩　4—重砣　5—摆杆　6—平衡锤　7—夹头固定手柄　8—试样筒座　9—行程开关（上）　10—螺母　11—加载杆　12—固定手柄　13—行程开关（下）　14—手柄　15—棘爪　16—指针　17—旋钮　18—调平螺钉

2）型砂湿压强度试验仪。型砂湿压强度试验仪主要用来测定粘土砂的湿压强度。

型砂湿压强度试验仪由压板、曲杆、顶杆等组成，如图 2-22 所示。

3）SWY 型液压式万能强度试验机。SWY 型液压式万能强度试验机可用于测试型（芯）砂的常温抗压强度、抗剪强度、抗拉强度和抗弯强度等。

SWY 型液压式万能强度试验机由机体、工作活塞、液压缸、丝杆、手轮、快换接头座和压力表等部分组成，如图 2-23 所示。

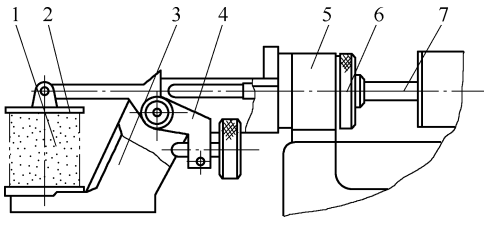


图 2-22　型砂湿压强度试验仪示意图

1—试样　2—压板　3—托架　4—曲杆　5—试验机夹具孔　6—固定螺母　7—顶杆

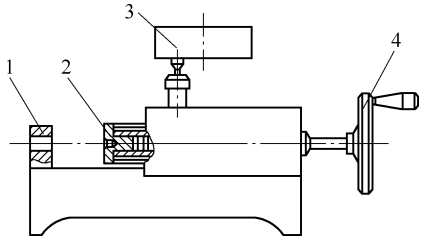


图 2-23　SWY 型液压式万能强度试验机结构简图

1—机体　2—工作活塞　3—压力表　4—手轮

主要技术参数：

① 活塞直径：22.6mm。

② 活塞截面积：4cm^2。

③ 活塞产生最大推力：2.4kN（240kgf）。

④ 手轮推进行程：50mm。

⑤ 低压表（D 表）测定范围（抗压值）：0 ~ 0.12MPa（0 ~ 1.2kgf/cm^2）；使用低压附件时（抗压值）：0 ~ 0.024MPa（0 ~ 0.24kgf/cm^2）。

⑥ 高压表（G 表）测定范围（抗压值） 0 ~ 1.2MPa（0 ~ 12kgf/cm^2）。

⑦ 外形尺寸：600mm × 180mm × 330mm。

⑧ 质量：30kg。

4）SWD 型电液式万能强度试验机。SWD 型电液式万能强度试验机可用于测试型（芯）砂的常温抗压强度、抗剪强度、抗拉强度和抗弯强度等。

SWD 型电液式万能强度试验机在主要结构上基本上与 SWY 型液压式万能强度试验机相同。所不同之处是将手动加载改为电动加载，并将两种压力表（D 表和 G 表）同时装在试验机的机体上。该强度试验机的特点是避免了手动加载所带来的人为误差，提高了测试结果的一致性，并减少了换压力表的麻烦，如图 2-24 所示。

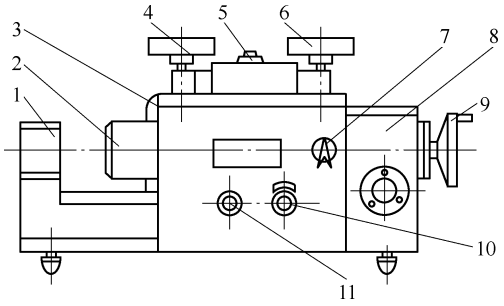


图 2-24　SWD 型电动液压万能强度试验机结构简图

1—试验机机体　2—工作活塞　3—电动机　4—高压表（G）　5—压力表转换开关　6—低压表（D）　7—加载方式开关　8—变速箱　9—手轮　10—工作开关　11—指示灯

主要技术参数：

① 电动机功率：180W。

② 电源电压：AC，380V。

③ 活塞直径：ϕ22.6mm。

④ 活塞产生的最大推力：2.4kN（240kgf）。

⑤ 强度值测定范围：

低压表（D 表）：0 ~ 0.12MPa（0 ~ 1.2kgf/cm^2）；使用低压附件：0 ~ 0.024MPa（0 ~ 0.24kgf/cm^2）；高压表（G 表）：0 ~ 1.2MPa（0 ~ 12kgf/cm^2）。

⑥ 示值误差：±2.5%。

⑦ 外形尺寸　720mm × 250mm × 320mm。

⑧ 质量：50kg。

5）SWX 型数显式万能强度试验机。SWX 型数显式万能强度试验机可用于测定型（芯）砂在常温下的抗压强度、抗剪强度、抗拉强度、抗弯强度和劈裂强度。

SWX 型数显式液压万能强度试验机由主机、专用数字表及附件等部分组成，如图 2-25 所示。

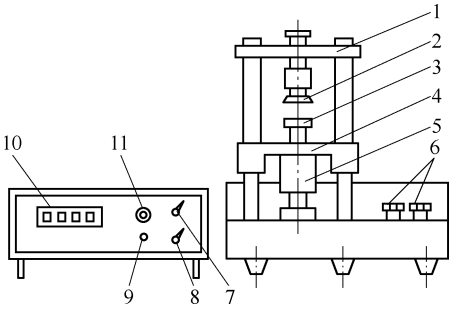


图 2-25　SWX 型数显式液压万能强度试验机结构简图

1—上横梁　2—试样上夹头　3—试样下夹头　4—下横梁　5—弹性加载器　6—加载速度选择旋钮　7—保持及短路开关　8—开关　9—调零旋钮　10—数字显示表头　11—加载种类转换旋钮

主要技术参数：

① 测量范围：

力：0 ~ 300N（0 ~ 30kgf），0 ~ 3000N（0 ~ 300kgf），抗压强度：0 ~ 1.5MPa（0 ~ 15kgf/cm^2），抗剪强度：0 ~ 1.2MPa（0 ~ 12kgf/cm^2），抗拉强度：0 ~ 6MPa（0 ~ 60kgf/cm^2），抗弯强度：0 ~ 60MPa（0 ~ 600kgf/cm^2）。

② 测量精度：±1.0%。

③ 电动机功率：180W。

④ 电源电压：AC，380V。

⑤ 专用数字表：

显示：0～1999（4 位）；电源电压：AC，220V。

⑥ 外形尺寸：470mm×385mm×620mm。

⑦ 质量：40kg。

6）SMT 型气动型砂多功能测试仪。SMT 型气动型砂多功能测试仪可用于测定型（芯）砂在常温下的抗压强度、抗剪强度、抗拉强度、抗弯强度和劈裂强度。

SMT 型气动型砂多功能测试仪由立柱式框架结构、加载气缸、试样加载夹具、测力传感器、位移传感器、控制及数据处理系统等部分组成，如图 2-26。

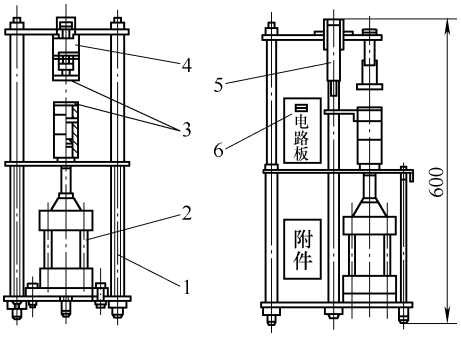


图 2-26　SMT 型气动型砂多功能测试仪结构简图

1—立柱式框架结构　2—加载气缸　3—试样加载夹具　4—测力传感器　5—位移传感器　6—控制及数据处理系统

7）SJB 型型砂剪切强度变形极限测试仪。SJB 型型砂剪切强度变形极限测试仪主要用于同时测定湿型砂的抗剪强度和变形极限。

SJB 型型砂抗剪强度变形极限测试仪由型砂样筒、测试杯、压力传感器、位移传感器、微型计算机系统等部分组成，如图 2-27 所示。

8）SSY 型树脂砂强度试验机。SSY 型树脂砂强度试验机可以测定各种型（芯）砂的强度，尤其适用于在一般型砂强度试验机上难以测定的高强度树脂砂的强度值。配用抗压强度、抗拉强度、抗弯强度或抗剪强度夹头，可以测试型（芯）砂的湿态、干态的抗压强度、抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度。

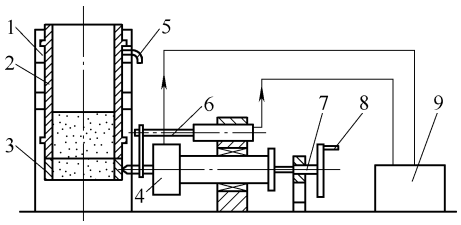


图 2-27　SJB 型型砂抗剪强度变形极限测试仪

1—固定支架　2—型砂样筒　3—测试杯　4—压力传感器　5—锁紧螺钉　6—位移传感器　7—测微计　8—摇柄　9—微型计算机系统

主要技术参数：

① 测力范围：9.8～9810N（1～1000kgf），力值小于 2950N 时用 0～300kgf 传感器，力值大于 2950N 时用 0～1000kgf 传感器。

② 测试最大抗压强度：≤5MPa（51kgf/cm^2）。

③ 测试精度：±1.5%。

④ 丝杠工作升降速度：1 级为 10mm/min；2 级为 13mm/min；3 级为 16mm/min；4 级为20mm/min。

⑤ 电动机：

功率为 0.2kW；转速为 2000r/min。

⑥ 外形尺寸：

主机：390mm×550mm×700mm。

控制箱：450mm×450mm×260mm。

9）SLH 型热芯盒起模强度试验仪。SLH 型热芯盒起模强度试验仪可用于测试热芯盒混合料试样在热固过程中的拉伸强度。通过这种测试，可以了解热固性树脂粘结剂和催化剂对起模强度的影响，以便选择正确的加热温度、固化时间，为确定起模时间提供科学依据。

SLH 型热芯盒起模起模试验仪由主机、射芯机及附件组成。

主要技术参数：

① 最大负荷：1000N（100kgf）。

② 仪器精度：±2.5%。

③ 加热器加热范围：室温～300℃。

④ 加热器功率：600W。

⑤ 电动机功率：180W。

⑥ 外形尺寸：900mm×410mm×730mm。

⑦ 质量：124kg。

（9）型砂高温性能试验仪

1）SLR 型热湿拉强度试验仪。SLR 型热湿拉强度试验仪可用于测定型砂的热湿拉强度、常温湿拉强度以及鉴定膨润土等原材料的质量，是判断型砂抗夹砂性能的主要检测手段。

SLR 型热湿拉强度试验仪由机械加载机构、传感器、自动记录仪、电加热板、温度自控装置和试样筒等部分组成，如图 2-28 所示。

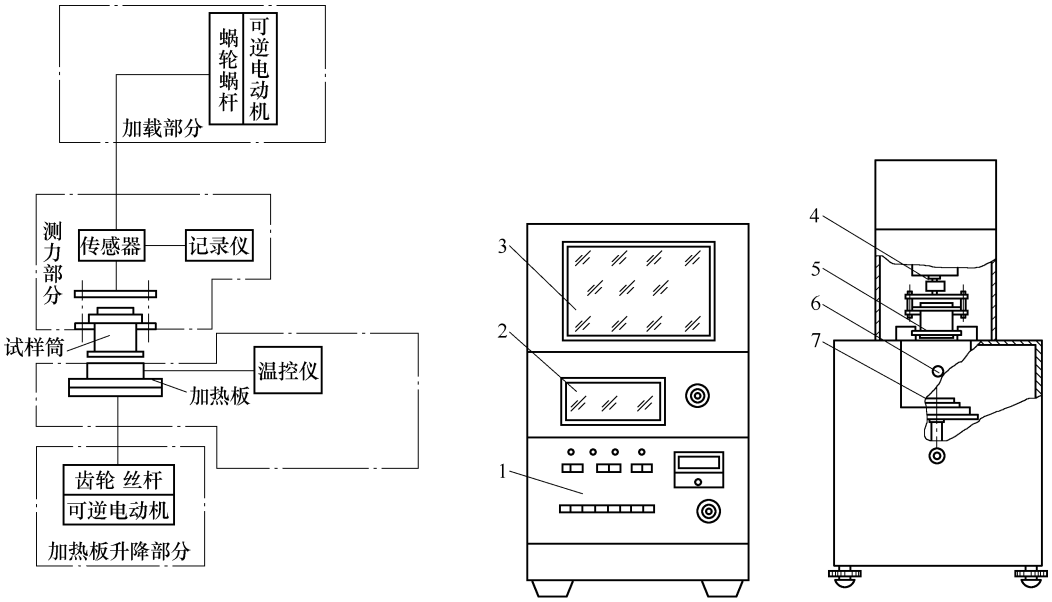


图 2-28　SLR 型热湿拉强度试验仪

a）原理示意图　b）结构简图（控制箱）（测试主机）

1—电控面板　2—温度控制仪　3—自动记录仪　4—测力传感器　5—试样筒　6—小门　7—电热板

主要技术参数：

① 测定范围：

热湿拉强度：0～5000Pa（0～50gf/cm^2）；常温湿拉强度：0～25000Pa（0～250gf/cm^2）

② 记录精度：±1%。

③ 试样尺寸：ϕ50mm×50mm

④ 温度控制范围：0～600℃ ±10%。

⑤ 电源电压：AC，220V ±10%。

⑥ 功率：350W。

⑦ 外形尺寸：

主机：422mm×326mm×700mm；控制箱：455mm×365mm×613mm。

⑧ 质量：

主机：53kg；控制箱：50kg。

2）SQW-2 型型砂高温性能试验仪。SQW-2 型型砂高温性能试验仪可用于对铸造型砂和其他金属、非金属材料在高温状态下产生应力、应变进行定量测试的仪器。它可在室温～1400℃范围内做高温下试样的热膨胀、抗压强度、热膨胀力、固定载荷下试样的热变形、剩余强度及常温抗压强度的试验。

SQW-2 型型砂高温性能试验仪由加载机构、荷重传感器、位移传感器、加热炉、计算机控制系统等部分组成，如图 2-29 所示。

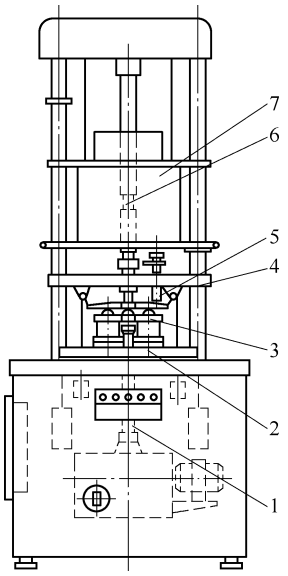


图 2-29　SQW-2 型型砂高温性能试验仪结构简图

1—加载机构　2—传感器支架　3—荷重传感器　4—冷却器　5—位移传感器　6—试样　7—加热炉

主要技术参数：

① 试样尺寸：ϕ30mm×50mm。

② 测量抗压强度范围：0～1.39MPa（0～14.18kgf/cm^2）；0～13.91MPa（0～141.80kgf/cm^2）；0～27.75MPa（0～282.90kgf/cm^2）。

③ 测量变形范围：0～5mm。

④ 加热温度范围：

工作温度：1300℃；短时加热：1400℃。

⑤ 测力精度：每级满额载荷的±1%。

⑥ 测变形精度：满刻度值的±1%。

⑦ 升温速度：自动等速升温，升温速度为 1～20℃/min 任选，恒温；升温速度误差：±5%；恒温误差：±8%。

⑧ 硅碳管高温炉参数：

炉膛尺寸：ϕ50mm；电炉功率：2.5kW；单端接线螺旋硅碳管规格：80/70mm×160mm×80/20mm。

⑨ 加载速度：0.8～8mm/min 范围内无级调速。

⑩ 外形尺寸：

主体：726mm×506mm×1644mm；仪器柜：840mm×6000mm×1040mm。

⑪ 质量：500kg。

3）SQR 型型砂热压应力测定仪。SQR 型型砂热压应力测定仪可测定原砂、型砂的热压应力，并可研究型砂中各种附加物对型砂抗夹砂性能的影响。

SQR 型型砂热压应力测定仪由测力系统、加热系统、水浴、标定器、记录仪等部分组成，如图 2-30 所示。

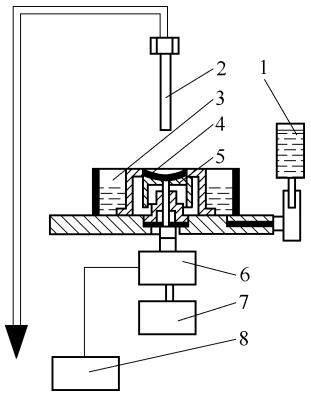


图 2-30　SQR 型型砂热压应力测定仪工作原理示意图

1—自动加水器　2—燃烧嘴　3—水浴槽　4—试样保持筒　5—试样托　6—测力传感器　7—预加载机构　8—台式记录仪

主要技术参数：

① 测定范围：0.05～1.6MPa。

② 试样尺寸：ϕ50mm×5mm（球冠形）。

③ 试样加热温度：900～1200℃。

④ 水浴温度：90～100℃。

⑤ 整机精度：±1%。

⑥ 气源压力：0.02～0.04MPa。

⑦ 电源电压：AC，220V±10%。

⑧ 外形尺寸：

主机：390mm×380mm×530mm；控制箱：480mm×347mm×160mm。

⑨ 质量：

主机：30kg。

控制箱及记录仪：28kg。

4）SNJ 型型砂激热试验仪。SNJ 型型砂激热试验仪可测定各种型砂的抗夹砂能力，观察型砂在高温烘烤过程中的各种变化，检测型砂高温激热性能。与热湿拉强度试验仪及热压应力测定仪配合使用可对型砂质量进行分析和控制，并可对各种原材料对抗夹砂能力的影响规律进行研究。

SNJ 型型砂激热试验仪由高温激热炉、温控系统和制样机等部分组成，如图 2-31 所示。

主要技术参数：

① 试样尺寸：ϕ135mm × 40mm。

② 电源电压：AC，220V ± 10% 。

③ 功率：5. 5kW。

④ 发热元件：

硅碳棒（6 支）：8/150/150，4Ω。

⑤ 工作温度：1100 ~ 1300℃。

⑥ 最长连续工作时间：12h。

⑦ 外形尺寸：

激热炉：520mm × 660mm × 615mm；控制箱：500mm × 250mm × 400mm；制样机：280mm × 190mm × 605mm。

⑧ 质量：

激热炉：110kg。

控制箱：25kg。

制样机：41kg。

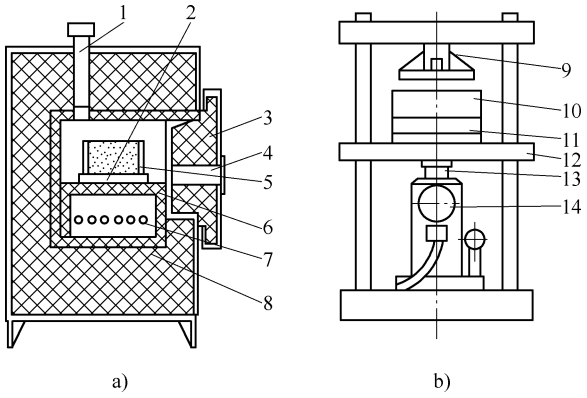


图 2-31　SNJ 型型砂激热试验仪

a）高温激热炉结构示意图　b）制样机示意图

1—耐火塞　2—载样轨　3—炉门　4—窥视孔　5—圆饼形型砂试样　6—辐射板　7—硅碳棒　8—耐火材料　9—上压板　10—加砂套圈　11—试样圈　12—托板　13—千斤顶　14—压力表

5）SNS 型型砂曝热试验仪。SNB 型型砂曝热试验仪可模拟型砂受金属液的热辐射，快速检测型砂在高温下的抗夹砂性能。其位移测量部件（变形量测定器）用来测定试样曝热面的变形量。

主要技术参数：

① 最高曝热温度：1300℃。

② 温度指示精度：1 级。

③ 调节形式：连续 P、I、D。

④ 升温时间：30min。

⑤ 电源电压：AC，220V ± 10% 。

⑥ 功率：3kW。

⑦ 定时误差：0 ~ 10s、 ± 0. 3s；10 ~ 210s：各点示值的 ± 6% 。

⑧ 硅碳棒：8/150/150，2Ω、3Ω（4 支）。

⑨ 试样尺寸：ϕ85mm × 30mm

⑩ 外形尺寸：

主机：486mm × 550mm × 764mm；控制箱：390mm × 320mm × 550mm。

⑪ 质量：

主机：45kg、控制箱：15kg。

3. 常用砂型测试仪

（1）砂型紧实度测定仪　SJC 型触探式砂型紧实度测定仪可用于检测砂型紧实度的大小及分布。SJC 型触探式砂型紧实度测定仪由传动箱、支架、探头、传感器等部分组成。

主要技术参数：

① 测量范围：

贯入阻力 R 为 0 ~ 400N（0 ~ 40kgf）；紧实度 δ 为 1.10 ~ 1.70g/cm^3。

② 触探参数：

贯入速度为 4mm/s；回程速度为 4mm/s；贯入深度为 200mm。

③ 测量精度：

力值示值误差为 ±2.5%。

（2）砂型硬度计

1）SYS-A、B、C 型湿型表面硬度计。SYS-A、B、C 型湿型表面硬度计可用来测定湿型砂型（芯）的表面硬度。

SYS-A、B、C 型湿型表面硬度计结构简图，如图 2-32 所示。

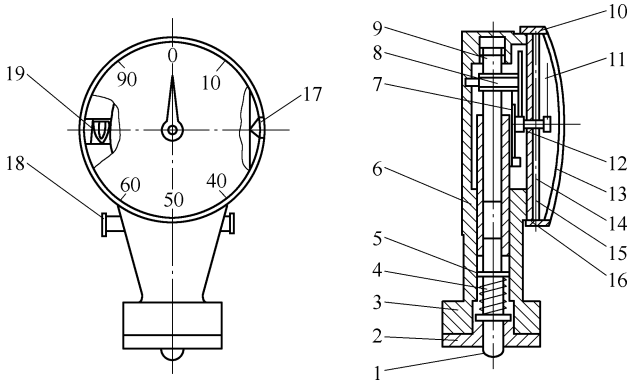


图 2-32　湿型表面硬度计结构简图

1—压头　2—底面　3—表壳　4—测力弹簧　5—调节螺钉　6—镶套　7—传动齿轮　8—导向销
9、10—调整圈　11—指针　12—回转齿轮　13—表盖　14—刻度盘　15—游丝　16—弹性垫圈
17—钢丝扣　18—锁紧装置　19—定位插片

主要技术参数：

压缩行程：SYS-A 型为 2.50mm；SYS-B 型为 2.50mm；SYS-C 型为 2.50mm。

最大负荷：SYS-A 型为 2.3N（237gf）；SYS-B 型为 9.6N（980gf）；SYS-C 型为 14.7N（1500gf）。

预压负荷：SYS-A 型为 0.9N（90gf）；SYS-B 型为 0.49N（50gf）；SYS-C 型为 1.8N（180gf）。

精度：当指针在任意值时，其压头相应的受力允差 ±5%；指针回零位允差 ±1°。

2）SYG 型干型表面硬度计。SYG 型干型表面硬度计可用来测定干型砂型（芯）的表面硬度。

主要技术参数：

① 精度：±2.5%。

② 工作环境温度：5 ~ 50℃。

③ 压头工作行程：2.5mm。

④ 最大负荷：19.6N（2kgf）。

⑤ 外形尺寸：74mm × 60mm × 24mm。

⑥ 质量：0.21kg。

（3）砂型压强度试验仪

1）SQS 型铸型强度计。

SQS 型铸型强度计可用于测定处于金属样筒中（ϕ50mm × 50mm）标准试样端面的湿态抗压强度和湿型表面的抗压强度。

主要技术参数：

① 测量范围：0 ~ 0. 35MPa（0 ~ 3. 5kgf/cm^2）。

② 示值误差：±5%。

③ 测试误差：±8%。

④ 外形尺寸：100mm × 49mm × 22mm。

⑤ 质量：0. 165kg。

2）SQC 型冲击穿入强度计。SQC 型冲击穿入强度计可用于测定铸造用树脂类或水玻璃二氧化碳自硬砂砂型（芯）的安全起模时间和表面强度。

主要技术参数：

① 精度：±5%。

② 外形尺寸：ϕ20mm × 165mm。

③ 质量：0. 23kg。

2. 2. 3　常用合金铸造性能测试装置

合金铸造性能是指合金在铸造生产中表现出的工艺性能，如流动性、体收缩、线收缩、裂纹倾向、铸造应力、凝固膨胀力等。

在铸造生产中，必须认真地掌握合金的铸造性能，并针对其特点制订合理的熔炼与铸造规范，才能有效地防止铸造缺陷，获得优质铸件。

1. 合金流动性测定装置

合金流动性是指铸造合金在液态下充填铸型的能力。常用于测定合金流动性的装置如下：

1）单螺旋线合金流动性的测定装置如图 2-33 和图 2-34 所示。

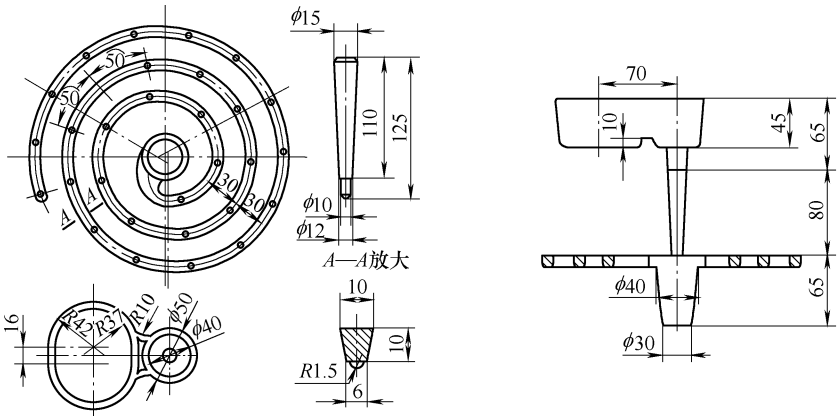


图 2-33　单螺旋线合金流动性试样简图

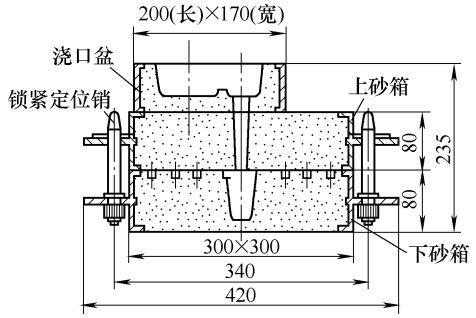


图 2-34　测试单螺旋线合金流动性的铸型合型图

注：铸型为砂型或金属型。

2）同心三螺旋线合金流动性的测定装置如图 2-35 和图 2-36 所示。

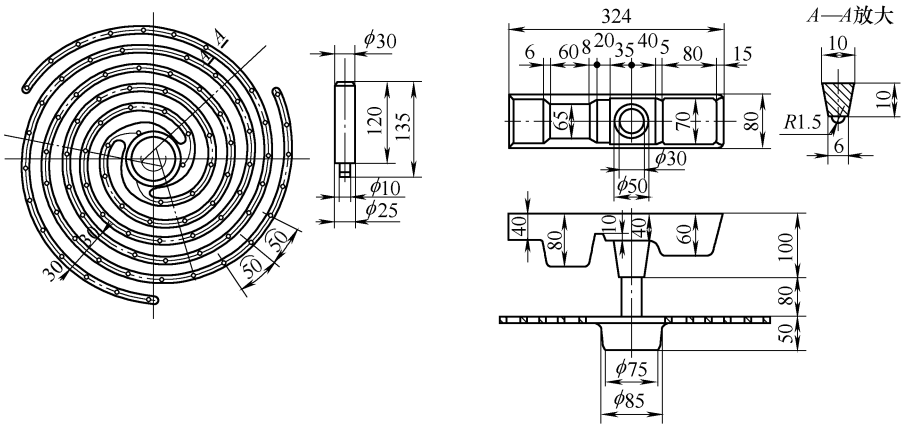


图 2-35　同心三螺旋线合金流动性试样简图

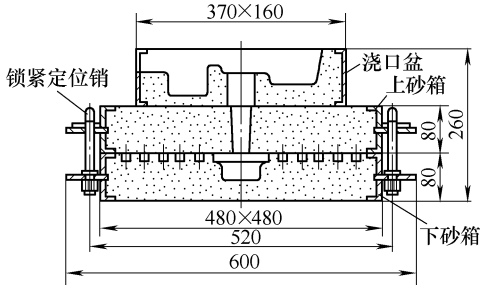


图 2-36　测试同心三螺旋线合金流动性的铸型合型图

注：铸型为砂型或金属型。

3）同一个浇注系统同时充填三个螺旋线合金流动性的测定装置如图 2-37 所示。

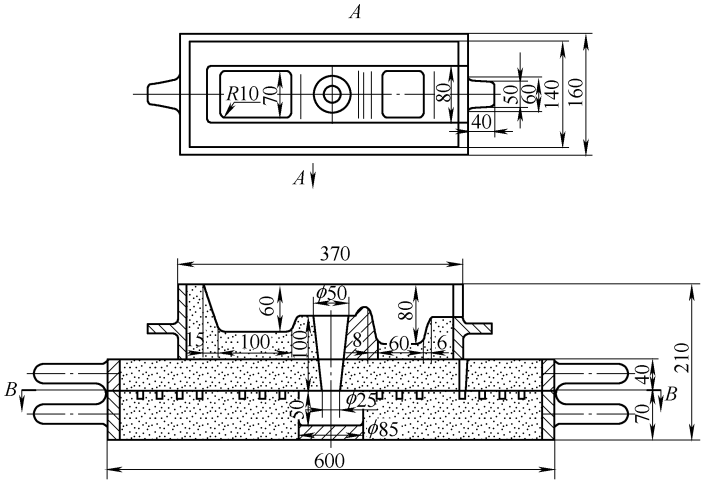


图 2-37　测试同一个浇注系统同时浇注三个螺旋线合金流动性的铸型合型图

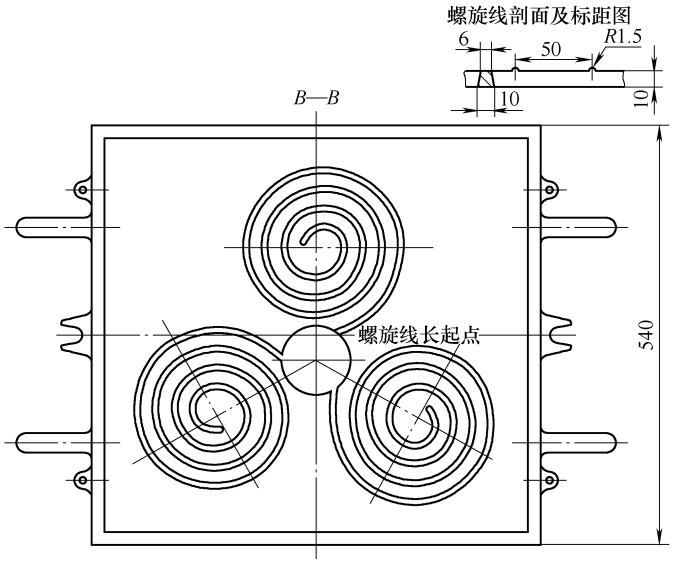


图 2-37　测试同一个浇注系统同时浇注三个螺旋线合金流动性的铸型合型图 （续）

注：铸型为砂型，常用于铸钢。

4）水平直棒式合金流动性的测定装置如图 2-38 所示。

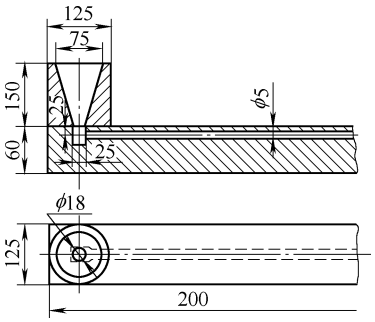


图 2-38　测试水平直棒式合金流动性的铸型合型图

注：铸型为金属型，常用于铸造有色合金。

提示：通常，测试螺旋线合金流动性的铸型为湿砂型，铸型为水平组合型，铸型的最小吃砂量应大于 20mm，铸型采用捣实造型方法成型，砂的紧实度控制在 1.6 ~ 1.8g/cm^3，铸型型腔表面应光滑完整，标距点应明显准确，铸型扎的排气孔不得穿透型腔。

在测试过程中，环境温度控制在 5 ~ 40℃，相对湿度控制在 30% ~ 85%；铸型应保持水平状态，且必须避开磁场、振动等干扰因素的影响；铸型放置时间不应超过 1h；采用热电偶和二次仪表在浇包内测量浇注温度，并控制浇注温度在合金液相线以上 50 ~ 90℃（熔点高的合金取上限，熔点低的合金取下限）；测温后立即浇注，浇注液流要平稳而无冲击；试样浇注后需经自然冷却 0.5h 再开箱；清理后即知浇成的螺旋试样长度；最后，合金的流动性由螺旋线的流动长度和对应的浇注温度来判定。标准法以每次测试的三个同心螺旋线长度的算术平均值为测试结果；简易法以三次同种合金相同浇注温度下的单螺旋长度的算术平均值为测试结果。

还须指出：当试样产生缩孔、缩陷、夹渣、气孔、砂孔、浇不到等明显铸造缺陷时，当试样由于浇注“跑火”引起严重飞边时，当试样表面粗糙度不合格（即 $Ra > 25\mu m$）时，其测试结果均应视为无效。

采用螺旋试样法的优点是试样型腔较长，而其轮廓尺寸较小，烘干时不易变形，浇注时易保持水平位置。缺点是合金液的流动条件和温度条件随时在改变，影响其测试的准确度。

2. 合金体收缩测定装置

合金体收缩是指铸造合金以液态凝固和冷却至室温过程中产生的体积缩减。常用于测定合金体收缩的试验装置如图 2-39 所示。

提示：测定时，合金液经补缩冒口 1 浇入型腔 4，浇注时将浇注漏斗插入易割冒口片 2 的中心孔内，并随液面上升而往上提。当型腔充满后，往冒口浇入重量可测定的铁液。金属型（为耐热钢）3 在浇注前应加热到接近于所测合金的熔点，然后放入电热管式炉 5 中进行浇注。为使铸件顺序凝固，铸型充满后，就向铸型底部喷冷却水，然后转动螺杆 9，把铸件从电热管式炉中慢慢地拉出来，一面下降一面喷水，保证铸件所有收缩都由冒口补给。完全凝固后，按易割冒口片位置切除冒口，称量铸件及冒口的重量。

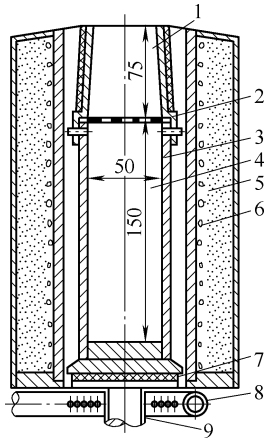


图 2-39　用补缩垂直铸件法测定合金体收缩率的试验装置

1—补缩冒口　2—易割冒口片　3—金属型　4—型腔　5—电热管式炉　6—加热器　7—底板　8—冷却水管　9—螺杆

铸件的液态及凝固收缩量 ΔV 等于冒口消耗于补缩铸件的体积，即

$$\Delta V = \frac{m_{浇} - m_{冒}}{\rho} = \frac{\Delta m}{\rho}$$

式中　$m_{浇}$——浇入补缩冒口的合金质量；

$m_{冒}$——铸件凝固后切下的冒口实际质量；

ρ——合金的密度。

Δm——补缩给铸件的合金质量

铸件的液态及凝固期间体收缩率 ε_V（%）为

$$\varepsilon_V = (\Delta V / V_{铸件}) \times 100\% = \frac{(\Delta m/\rho)}{(m_{铸件}/\rho)} \times 100\% = (\Delta m / m_{铸件}) \times 100\%$$

式中　$V_{铸件}$——铸件体积；

$m_{铸件}$——铸件质量。

3. 合金线收缩测定装置

合金线收缩是指铸造合金从液态凝固和冷却至室温过程中产生的尺寸缩减。常用于测定合金线收缩的试验装置如下：

1）试样一端呈自由移动的测定合金自由线收缩率的试验装置如图 2-40 和图 2-41 所示。

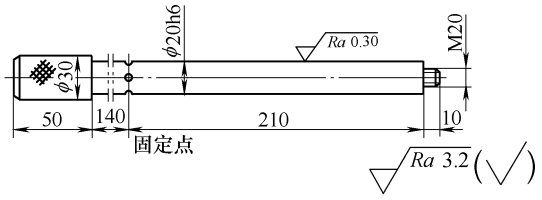


图 2-40　试样一端呈自由移动的测定合金自由线收缩率模样的形状与尺寸

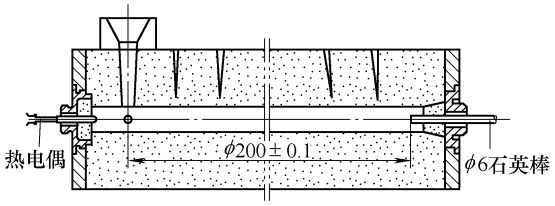


图 2-41　试样一端呈自由移动的测定合金自由线收缩率的铸型示意图

提示：测试时，试样的左端固定，右端可以自由移动，此端与一根石英棒连接。采用机械测量法（如指示表等）或非电量电测法测量石英棒的位移即可测定出合金的自由线收缩率。测试系统的综合精度不得低于 1.5%，空载时测试系统的最大机械静摩擦阻力不得大于 0.588N。采用非电量电测法时，测试系统可由位移传感器（一次仪表）、记录仪表（二次仪表）等组成，通过自动记录仪表还可记录出合金自由线收缩率随时间变化的动态曲线。

2）试样两端呈自由收缩状态的合金自由线收缩率的测定装置如图 2-42 所示。

ZSD 型铸造合金线收缩仪的主要技术参数：

① 试棒：ϕ20mm × 200mm。
② 最大检验量程：10mm。
③ 精度：1% ~ 1.5%。
④ 测试仪空载测试系统最大机械静摩擦阻力：≤0.588N（60gf）。
⑤ 石英连杆尺寸：ϕ6mm × 400mm，或用户自行确定。
⑥ 测温石英管：ϕ4mm/ϕ3mm × 55mm（一端封死），或用户自行确定。
⑦ 电感位移计：HEL-22 ±0 ~ 10mm。
⑧ 指示表量程：10mm。
⑨ 铂铑铠装热电偶尺寸：ϕ2.0mm × 500mm，或用户自选。
⑩ 二次仪表：*X-Y* 函数记录仪或其他形式。
⑪ 电源：220V，50Hz。
⑫ 底座温升：≤30℃。
⑬ 质量：25kg。

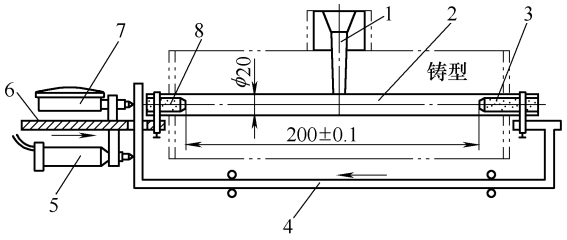


图 2-42　试样两端呈自由收缩状态的合金自由线收缩率测定装置

1—直浇道棒　2—试样　3、8—连接件　4—传递件　5—位移传感器　6—移动支架　7—指示表

提示：测试时，合金液从直浇道棒 1 浇入到试样 2 的型腔后，随着合金液的冷却凝固，试样右端的收缩通过石英管（或石英棒）连接件 3 使传递件 4 向左移动，试样左端的收缩通过石英管（或石英棒）连接件 8 使移动支架 6 向右移动。由于指示表 7 和位移传感器 5 安装在移动支架 6 上，并且动作示值是同步的，因此利用上述动作原理通过传递件 4 将试样两端的自由收缩值自动地叠加到指示表 7 和位移传感器 5 上，从而达到测定合金自由线收缩的目的。显然，这种测定装置的测试结果要比试样一端固定的合金自由线收缩率测定装置更接近于真实值。

测定合金自由线收缩率时，通常试样采用湿型铸造；铸型为水平整体型；铸型径向吃砂量为 40 ~ 50mm；铸型最好采用定量造型方法成型，砂型紧实度控制在 1.50 ~ 1.65g/cm^3；标距内的型腔表面应光滑完整，起模应有导向装置；铸型应扎出气孔，但不得穿透型腔。

4. 合金热裂倾向性测定装置

合金热裂倾向性是指合金在高温状态形成裂纹倾向的大小。通常，凝固温度范围宽的合金及壁厚相差悬殊、有粗大热节、不利于铸件自由收缩、易产生应力集中的铸件结构均具有较大的热裂倾向性。此外，铸件工艺设计不当、浇注温度过高、铸型对铸件收缩阻力大等，也都会增大铸件的热裂倾向性。常用于测定合金热裂倾向性的试验装置如下：

1）铸造合金热裂倾向性测定仪如图 2-43 ~ 图 2-45 所示。

ZQL 型铸造合金热裂倾向性测定仪的主要技术参数：

① 试样规格：阶梯轴形，粗端 ϕ35mm × 75mm，细端 ϕ20mm × 300mm。
② 拉杆：总长 88mm；夹紧端 ϕ16 × 9mm；杆身 ϕ8mm × 79mm。
③ 信号变换系统空载测试最大机械静摩擦阻力：不大于 0.488N（50gf）。

④ 测温石英管：ϕ4mm/ϕ3mm × 80mm（一端封死），用户也可自行选定。

⑤ 铂铑-铂热电偶：ϕ0.5mm × 500mm，或用户自定。

⑥ 测力范围：0 ~ 1960N（0 ~ 200kgf）。

⑦ 电源：220V，50Hz。

⑧ 精度：1.5%。

⑨ 质量：40kg。

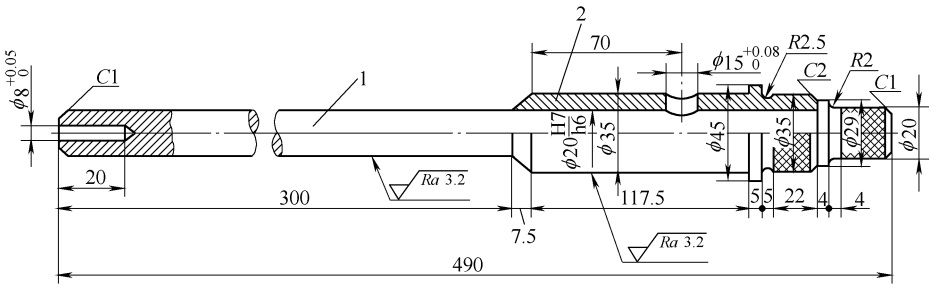


图 2-43　合金热裂试棒形状及尺寸

1—试样模芯　2—试样模套

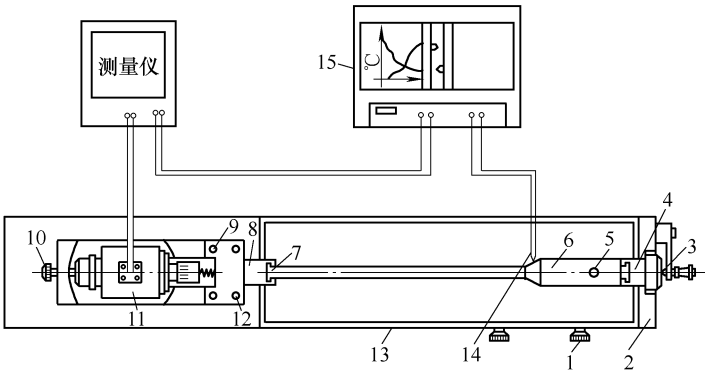


图 2-44　合金热裂倾向测定仪结构

1—锁紧件　2—底座　3—锁紧销　4—静端金属型　5—浇道　6—试样粗端
7—试样细端　8—动端金属型　9—插销　10—预紧螺杆　11—荷重传感器
12—冷却管　13—传力框　14—测温热电偶　15—*X-Y* 函数记录仪

提示：这种合金热裂倾向测定仪主要由底座、试样砂箱、连接件及测力装置四个部分组成。当合金液浇入浇道 5 以后，试样冷却凝固并收缩。由于右侧静端金属型 4 固定在底座 2 上，使得试样细端 7 由于试样线收缩而右移，同时通过动端金属型 8、插销 9 和连接传力框 13 作用于荷重传感器 11 上，而荷重传感器 11 固定在底座 2 上，从而使试样受到拉力，其拉力的大小采用非电量电测法测出，即由传感器输出信号，通过记录仪自动记录出动态曲线。当试样所受的拉应力所产生的应变量大于此刻合金的允许应变量时，试样便发生热裂，而在记录曲线上反映出的则是拉力值变化缓慢，或出现平台，甚至下降。这时拉应力的大小反映出合金热裂时的强度。一般说来，合金发生热裂时的强度越大，抵抗热裂的能力越强，说明热裂倾向就越小，反之亦然。

合金热裂倾向测定仪用测力元件传感器的精度为 0.5 级，连接件的长度小于或等于 50mm，采用水冷。仪器的测试系统综合误差不得大于 1.5%，测力轴线上要求装配时的同轴度小于或等

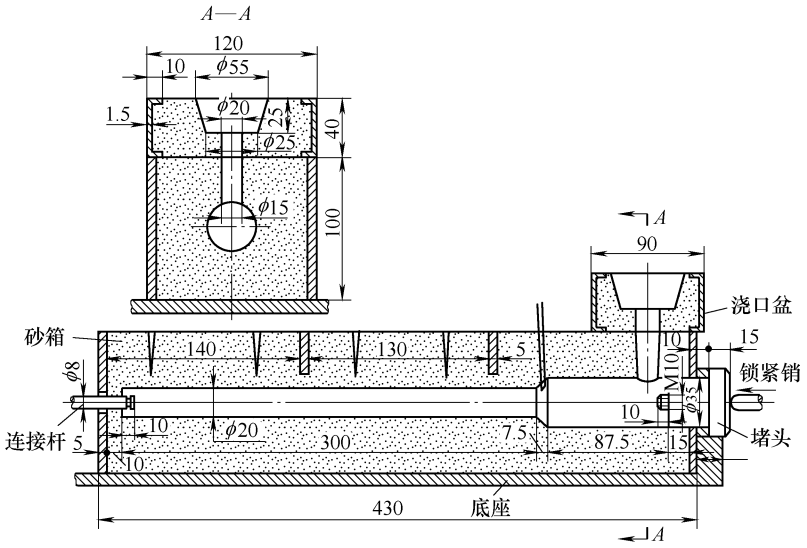


图 2-45　测定合金热裂倾向铸型合型图

于 0. 15mm。

试样采用湿型铸造，铸型为水平整体型，铸型径向吃砂量应大于 35mm；采用捣实造型方法成型，砂型紧实度控制在 1. 6 ~ 1. 8g/cm^3；铸型型腔表面应光滑完整，铸型上需扎出气孔，但不能穿透型腔；模样相对砂箱要定位准确，不允许产生松动等现象；试样两端砂型要保证密封，严防“跑火”。

测试过程中，环境温度应控制在 5 ~ 40℃，相对湿度应控制在 30% ~ 85%；测试仪器须先校水平，保持试样处于水平状态，并在测试中应使仪器避开磁场、振动等干扰因素的影响。浇注前，记录仪处于相对标定“零位”，试样造型完毕后 3h 内浇注；采用热电偶和二次仪表在浇包内测量浇注温度，浇注温度应控制在合金液相线以上 50 ~ 90℃（熔点高的合金取上限，熔点低的合金取下取）。试样浇注后处于自由冷却状态，仪器测力元件自身温度不得高于 50℃。试样温度点在热节圆的直径上，试样冷却到合金固相线以下 200℃时终止测试过程。

合金热裂倾向的动态曲线一般可分为三类，如图 2-46 所示，在其上出现特征点的热裂力值即为所测热裂力的数值，其数据处理算式如下：

$$\overline{F} = \frac{\sum F_i}{n}$$

$$\delta = \frac{\sum | F_i - \overline{F} |}{n}$$

$$\Delta = \frac{\delta}{\overline{F}} \times 100\%$$

式中　$\overline{F}$——热裂力算术平均值（N）；

F_i——第 i 次测试的热裂力（N），$i = 1$、2、3、…；

$\sum F_i$——i 次测试热裂力的算术和（N）；

n——测试次数；

δ——算术平均误差绝对值（N）；

Δ——算术平均误差相对值（%）。

当测试两次数据的算术平均相对误差小于或等于 15% 时，则将该平均值定为测试结果；若超

过 15% 时，则需进行第三次测试。三次数据的算术平均相对误差小于 15% 时，则测试结果有效，以三次测试的算术平均值为测试结果，否则重做。

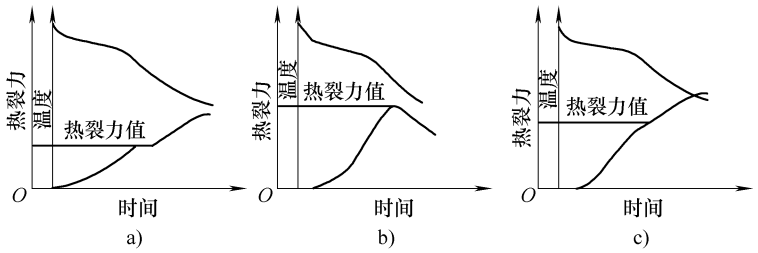


图 2-46　合金热裂倾向动态曲线中热裂力特征点的确定

a）类型Ⅰ　b）类型Ⅱ　c）类型Ⅲ

热裂力对应的温度用各次测得的热裂力相对应的温度表示。

试样冷却到环境温度以后，仔细落砂，目测试样裂纹大小，并以透裂（试样彻底断裂开而成为两段）、明显环裂（可见明显圆环形裂纹，但心部尚呈连接状态）、断续环裂（断续的，但明显的沿圆周形成裂纹）、微裂（局部有裂纹，裂纹长度小于半圆周长）、不裂（未发现裂纹）五种状态表示。

当试样产生缩孔、缩陷、夹渣、气孔、砂孔、浇不到等明显铸造缺陷时，当裂纹发生在过渡段以外以及试样圆柱的表面粗糙度不合格时（即 $Ra > 25\mu m$ 时），其测试结果均应视为无效。

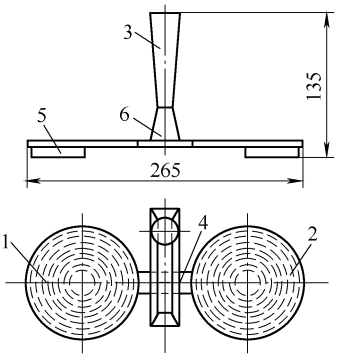


图 2-47　测定有色合金热裂敏感性用的试样铸型结构

1、2—环形试样　3—直浇道　4—内浇道　5—冷铁　6—横浇道

2）铸造合金热裂环法测试装置。这是一种测定有色合金热裂敏感性的测试装置。试验所用的试样铸型结构如图 2-47 所示，即在砂型中造两个厚 5mm、直径为 108mm 的圆盘型腔，并在各自的中心分别安置钢芯，其尺寸的大小及变化决定了热裂环的宽度在 5 ~ 42. 5mm 间变化，间隔为 2. 5mm。在对着内浇道的外型中安置冷铁，以使环在内浇道对面或附近，即在合金最后凝固的这些部位形成热裂纹。试验时，应依合金的性质和成分选取钢芯的适当尺寸，并逐次增大钢芯尺寸进行浇注试验，以首先出现热裂纹的环的宽度代表合金的热裂倾向，其值越大，对热裂越敏感。

5. 铸造应力测试装置

铸造应力是指铸件在凝固和冷却过程中由受阻收缩、热作用和相变等因素引起的内应力。常用于测定合金内应力的试验装置如下：

1）采用简易应力框测定合金内应力的试验装置如图 2-48 ~ 图 2-50 所示。

提示：测定应力框中应力大小时（见图 2-50），首先用游标卡尺测量粗杆中间凸块的两端面间距离，得 l_1；然后用钢锯将中间粗杆从凸块的中间部分锯开，则杆中拉应力即随之完全消除（此时两边的两根细杆中的压应力当然也完全消除），这样凸块两端面间的距离自然会比原来增大一些，测量增大的距离，得 l_2，这样就可近似地推算出在中间粗杆中的拉应力的大小，即等于为了将中间粗杆上凸块的两端面间距离由 l_2 缩短至 l_1 所需加的拉应力。在弹性变形中，应力与应变的关系已由胡克定律得出：

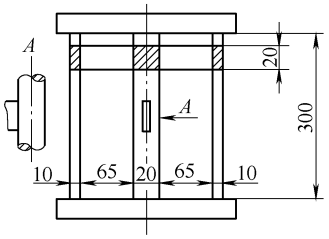


图 2-48　常用应力框的形状与尺寸

注：在三根竖杆中，中间是一根粗杆，两边是对称分布的两根细杆。三根杆上下端的横向连接杆很粗，即可将三杆之间视为刚性连接。粗杆中的残余应力是拉应力，而细杆受压应力。

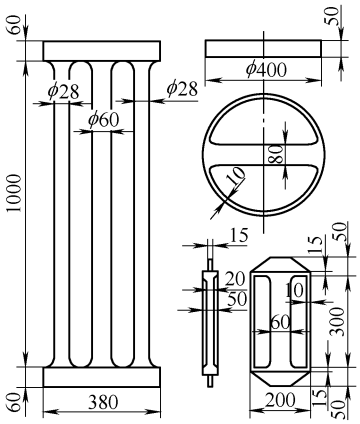


图 2-49　各种应力框形式

$$\sigma = E\varepsilon$$

式中　σ——应力值；

ε——应变值；

E——合金的弹性模量。

应变值 ε 可根据如上测得数据计算出来，即

$$\varepsilon = \frac{l_2 - l_1}{l}$$

式中　l——竖杆长度。

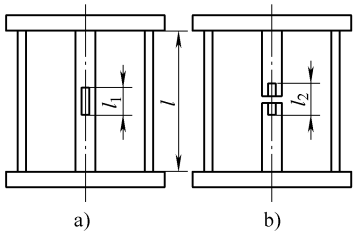


图 2-50　应力框的中间竖杆锯开前后的变化示意图

a）锯开前　b）锯开后

因此，当已知合金的弹性模量 E 的数值时，便可求得应力值，即

$$\sigma = E\frac{l_2 - l_1}{l}$$

亦即间接地求得了应力框中的应力值。

2）采用拉压力传感器电测法测定铸造合金动态应力的试验装置如图 2-51 所示。

ZQD 型铸造合金动态应力测试仪的主要技术参数：

① 测量的最小应力：0.01MPa（0.1kgf/cm^2）。

② 测量记录误差：±2%。

③ 应力框尺寸：

细杆直径：ϕ8mm、ϕ10mm、ϕ12mm；细杆长度：均为 150mm；中央粗杆直径：ϕ20mm；粗细杆中心距：40mm；横梁厚度：6mm。

④ 记录速度：1～5mm/min。

⑤ 外形尺寸：475mm×220mm×520mm。

⑥ 质量：43kg。

提示：测定时，金属液通过浇道 6 浇入 E 字应力框 5，应力框试件两侧支（10mm×20mm×300mm）与中间支（20mm×20mm×300mm）的右端通过横杆（20mm×20mm×180mm）结合成一

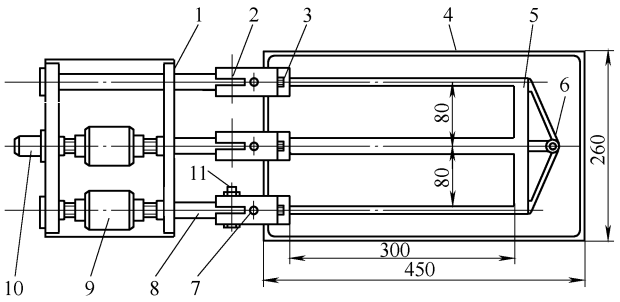


图 2-51　铸造合金动态应力测定仪结构

1—受力框　2—连接套　3—连接螺钉　4—砂箱　5—E 字应力框　6—浇道　7—脱模孔
8—连接杆　9—传感器　10—卸载螺母　11—连接螺栓

体。应力框左端由连接套 2、连接杆 8 连接到传感器 9 上，最后把力作用到受力框 1 左端。因为应力框侧支和中间支截面不等，所以它们凝固冷却有先有后，存在温度差，在两侧支产生压应力，中间支产生拉应力。通过拉压力传感器把电信号输送到记录仪，同时记录侧支与中间支的温度和拉压力曲线。根据测试曲线整理数据可以计算出被测合金试件的应力值及温度曲线在整个测试过程中的相互关系，从而分析不同合金热应力的形成特点。

6. 铸铁凝固膨胀力测试装置

铸铁凝固膨胀力是指铸铁凝固冷却过程中，由于析出石墨而产生体积膨胀，并伴随着产生膨胀力。常用于测定铸铁凝固膨胀力的试验装置如图 2-52 所示。

ZQP 型铸铁共晶膨胀力测定仪的主要技术参数：

① 试样规格：ϕ30mm × 350mm。

② 测力范围：0 ~ 980N（100kgf）。

③ 测量系统误差：< 3% 。

④ 测力棒：石英玻璃棒 ϕ8mm × 70mm，伸入试样 3 ~ 4mm。

⑤ 测温范围：0 ~ 1350℃ 。

⑥ 电源电压：220V，50Hz。

⑦ 仪器温升：在测试阶段测量有关的主要部件外壳最高温度不超过 60℃ 。

⑧ 外形尺寸：725mm × 180mm × 210mm

⑨ 质量：28kg。

提示：测试时，铁液从浇道 4 浇入，试样 3 在共晶凝固过程中，由于析出石墨所产生的膨胀力，作用在传力石英玻璃棒 6 上，通过机械连杆传至电阻拉压传感器 9，把机械量转换为电信号，通过二次仪表记录膨胀力的数值。

2. 2. 4　常用理化检验设备

理化检验主要包括化学分析、金相分析和力学性能测试等。

在铸造企业，理化检验是企业管理和工艺管理的重要内容，也是确保铸件内在质量和进厂原辅材料质量的重要手段。

1. 化学分析设备

化学分析是以物质的化学反应为基础的分析，主要分析铸件材料和原辅材料的化学组成及其含量。

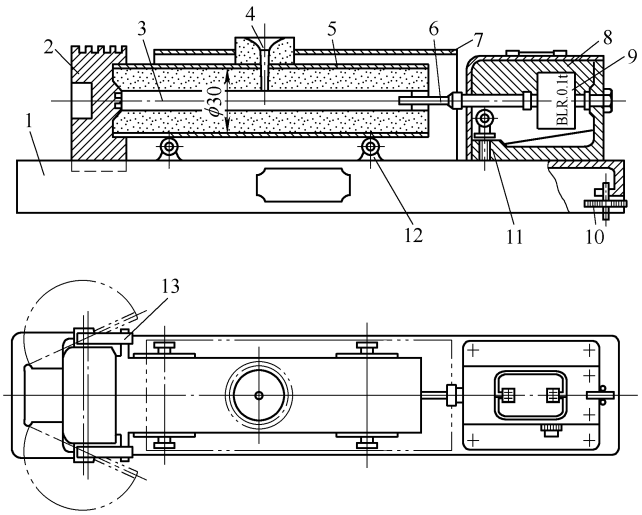


图 2-52　铸铁共晶膨胀力测定仪

1—底座　2—固定端支座　3—试样　4—浇道　5—砂箱　6—传力石英玻璃棒　7—防护罩　8—测力箱
9—拉压传感器 0.1t 级　10—调节螺钉　11—调节支座　12—砂箱支承　13—偏心卡紧机构

通常，化学分析分为常规化学分析和仪器分析。

常规化学分析又称湿法化学分析，它是以定量的化学反应及其计量关系为基础，通过溶解或熔融的方法，使样品分解，然后采用吸收光度法、容量分析或质量分析法进行分析，以确定样品的组分含量的方法。

仪器分析仅指以物质的物理或物理化学性质为测量基础，采用比较复杂或特殊的仪器装备，通过测定物质某些物理或物理化学性质以确定其化学组成、含量及化学结构的分析方法。

常用于炉前快速分析化学成分的仪器设备比较见表 2-12。

表 2-12　常用于炉前快速分析化学成分的仪器设备比较

设备类别	比色计	光谱仪		碳硫测定仪			金属中含气量测定仪		
分析方法	比色法	光电直读光谱法	X 射线荧光分析法	气体容量碘量法	电导法	红外光谱法	气相色谱法	库仑法	蒸馏法
制样速度	慢	较快	较快	较快	较快	较快	较快	较快	较快
分析速度	较慢	快	快	较快	较快	快	慢	慢	很慢
同时分析元素的种类	一种	多种	多种①	两种	两种	两种	三种	一种	一种
适合测定的元素	Si、Mn、P 等元素	多种	多种①	C、S	C、S	C、S	H_2、O_2、N_2	O_2	N_2
试样状态	固、粉、液	固	固、粉、液	固、粉	固、粉	粉	固、粉	固、粉	固、粉
样品质量或大小	几克	20mg	ϕ40mm	0.2 ~ 2g	0.2 ~ 2g	0.25 ~ 几克	0.03 ~ 2g	0.25 ~ 1g	几克
试样损坏状况	损坏	损坏	无损	损坏	损坏	损坏	损坏	损坏	损坏

（续）

设备类别	比色计	光谱仪		碳硫测定仪			金属中含气量测定仪		
测量范围（%）	0.0001～1	0.0001～30	0～100	C：0.05～6 S：0.005～0.2	C：0.01～10 S：0.001～1	C：0～3.5 S：0～0.35	H_2：0.0001～0.1 O_2：0.001～50 N_2：0.001～10	O_2：0～0.2	—

① X 射线荧光分析法中的“多种”，是对多道 X 射线荧光光谱仪而言的。

（1）光电比色计　光电比色计是利用比色法的原理进行测定的。许多物质及其溶液具有颜色，或某物质加入显色剂后生成有色溶液，这种溶液颜色的深浅随浓度不同而改变，溶液越浓颜色越深，即颜色强度和物质含量成比例。而有色溶液所表现出的颜色是由于它选择性地吸收一定波长范围的光所造成的。因此，根据光被有色溶液吸收的强度即可测出溶液内物质含量的多少，炉前常用的有 581 型光电比色计及三元素自动分析仪等。

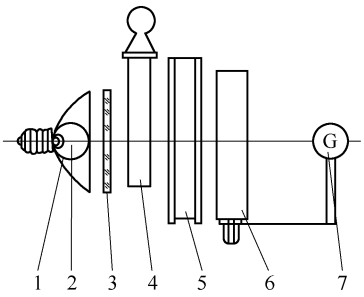


图 2-53　581-G、581-K 型光电比色计的光学系统图

1—反射镜　2—光源　3—绝热玻璃
4—滤色片　5—比色杯（皿）
6—光电池　7—检流计

1）581 型光电比色计又有 C 型与 K 型之分。两者的差别在于前者用比色皿，后者改为电磁阀比色杯。581 型光电比色计的光学系统如图 2-53 所示，其测定操作简单快速，适用于大批试样的测定。

2）三元素自动分析仪的主要技术规格见表 2-13。该仪器适合于对铸铁、碳素钢和低合金钢中硅、锰、磷三元素的湿式定量分析之用，三个元素可同时给出分析结果，多用于分析任务较多的铸造企业。由于该仪器采用化学反应系统，经长期工作后有的电器元件可能被酸雾腐蚀、生锈，故在使用时要注意保养维护。

表 2-13　三元素自动分析仪的主要技术规格

仪器名称	GXG-201 型三元素自动分析仪	HTE-1 型高速三元素自动分析仪	
		钢	铁
测定范围（质量分数，%）	—	Mn　0～2.00、 Si　0～1.00、 P　0～0.100	Mn　0～2.00、 Si　0～5.00、 P　0～0.500
灵敏度	≥0.01A 吸光度	—	
重现性	读数误差≤0.5% 透光率	读数漂移 <1 格/6h	
分析时间/s	除熔样外需 42	包括熔样在内约 90	
样品质量/g	0.15（钢样）	0.04（钢样）、20（铁样）	
电源电压/V	380/220	220	
功率/kW	2.5	<0.8	

（2）光电分光光度计　光电分光光度计在原理上属于分子吸收光谱分析，以 72 型光电分光光度计应用最为普遍，并在它基础上发展了 721 型、72G 型光电分光光度计。72 型光电分光光度计光学系统如图 2-54 所示。

光电分光光度计的主要特点如下：

1）由于采用了“单色器”可以得到波段更窄的入射光，使测定结果更准确。

2）由于得到更近似于单色光的入射光，能在同一溶液内测定多组分的物质。

3）因为有了单色器，只要采用适当的光源、光电池、比色皿等，就可使测量范围扩大到紫外光区和红外光区。

几种常用光电分光光度计的主要技术规格见表 2-14。

（3）光电直读光谱仪　光电直读光谱仪又称光量计，是进行成分分析的大型精密物理光学仪器，适合于炉前冶炼化学成分分析，对钢铁中几乎所有的元素都适用，速度快而准确。在 2 ~ 3min 内可同时测定 20 多个元素。

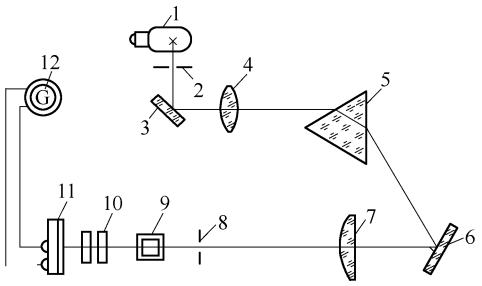


图 2-54　72 型光电分光光度计光学系统图

1—光源　2—透光窗　3—反射镜　4、7—透镜　5—棱镜　6—反射镜　8—出光狭缝　9—比色皿　10—光量调节器　11—光电池　12—微电计

表 2-14　常用光电分光光度计主要技术规格

型号	72G	72	721
波长范围/nm	370 ~ 800	420 ~ 700	360 ~ 800
灵敏度	≤0. 01A 吸光度	≤0. 01A 吸光度	≤0. 01A 吸光度
比色皿读数误差(%)	≤0. 5(同一光径下)	≤0. 5(同一光径下)	≤0. 5(同一光径下)
电源电压/V	190 ~ 240	190 ~ 230	190 ~ 230
稳压器输出稳定度(%)	≤1	≤1	≤1
功率	80VA	80VA	0. 03kW

光电直读光谱仪有真空型与非真空型之分。真空型主要用于波长小于 200nm 的钢中碳硫等元素的测定；非真空型用于有色金属及合金的分析。光电直读光谱仪按其谱线接收及测量方式不同，又有双通道与多通道之分。钢铁分析专用的光电直读光谱仪都是多通道的，这种仪器分析速度快。

光电直读光谱仪的安装条件如下：

① 室温：(20 ± 3)℃。

② 相对湿度：<70%。

③ 振动振幅：10 ~ 20μm。

④ 整机占地面积：20m^2。

⑤ 线路电压应稳定，分光仪与光源要求分别接地，光源的接地钢管距光源箱不超过 1m，测光仪的接地电阻要求在 4Ω 以下。

⑥ 氩气纯度要求在 99. 999% 以上。

光电直读光谱仪的外形及分析原理如图 2-55 和图 2-56 所示，主要技术规格和各元素分析范围见表 2-15 和表 2-16。

（4）X 射线荧光光谱仪　当物质受到强烈的 X 射线照射时，物质中各个组分的原子吸收了一部分入射 X 射线的光量子。唯有入射 X 射线的能量稍大于样品物质原子内层电子的能量，才能击出样品原子内层电子。处于激发状态的原子是极不稳定的，在一个很短的时间内释放出多余的能量，这部分能量的放出即是 X 射线荧光。由于每一种元素的原子，各电子层能级的能量是一定的，而 X 射线荧光产生于原子内层电子的跃迁，这种跃迁只能产生有限的几组谱线，即特征 X 射线谱

线。所以，只要测出荧光 X 射线谱中每一条谱线的波长，并考虑到 X 射线谱仪的分辨能力，就可鉴别出试样中存在哪些元素。定量分析是根据预先用标准试样作好的工作曲线，然后与被测试样进行对比分析得出含量。

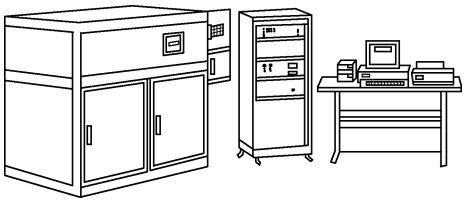


图 2-55　光电直读光谱仪外形

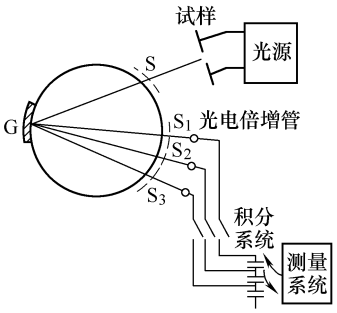


图 2-56　光电直读光谱仪分析原理

表 2-15　常用光电直读光谱仪主要技术规格

仪器型号	WL_1J(微机全控真空型)	7503A(真空型)	7501(非真空型)
波长范围/nm	170 ~ 430	175 ~ 450	195 ~ 500
光栅/(线/mm)	1800	2400	2400
色散/(nm/mm)	0. 55	0. 55	0. 5
焦距/m	1	0. 75	0. 75
通道	30	40	40
光源	400Hz 高速火花光源	400Hz 可控高压火花光源	400Hz 可控高压火花光源
功率	3kVA		4kW

表 2-16　光电直读光谱仪分析元素含量范围

WL_1J 型微机全控光电直读光谱仪		7503A 型光电直读光谱仪	WL_1J 型微机全控光电直读光谱仪		7503A 型光电直读光谱仪
元素	含量范围(质量分数,%)	含量范围(质量分数,%)	元素	含量范围(质量分数,%)	含量范围(质量分数,%)
C	0. 02 ~ 2. 5	0. 005 ~ 4	Al	0. 01 ~ 6	0. 001 ~ 1. 0
S	0. 005 ~ 0. 3	0. 002 ~ 0. 50	Co	0. 01 ~ 10	0. 005 ~ 5. 0
P	0. 005 ~ 0. 3	0. 002 ~ 0. 50	B	0. 0001 ~ 0. 05	0. 0005 ~ 0. 1
Mn	0. 01 ~ 20	0. 005 ~ 20	Zr	0. 005 ~ 0. 3	0. 001 ~ 1. 0
Si	0. 01 ~ 5	0. 005 ~ 25	Fe	0. 01 ~ 10	0. 02 ~ 1. 0
Ni	0. 01 ~ 20	0. 005 ~ 30	Sb	—	0. 01 ~ 5. 5
Cr	0. 01 ~ 25	0. 005 ~ 25	Sn	—	0. 002 ~ 0. 50
Cu	0. 01 ~ 4	0. 001 ~ 13. 0	Zn	—	0. 005 ~ 2. 0
W	0. 01 ~ 20	0. 01 ~ 20. 0	Mg	—	0. 005 ~ 1. 0
Mo	0. 01 ~ 7	0. 005 ~ 5	Pb	—	0. 01 ~ 1. 0
V	0. 01 ~ 2. 5	0. 005 ~ 3. 0	Ca	—	0. 005 ~ 0. 2
Nb	0. 1 ~ 2	0. 005 ~ 2. 0	La	—	0. 001 ~ 0. 50
Ti	0. 01 ~ 3	0. 001 ~ 1. 0	Ce	—	0. 001 ~ 0. 50

X 射线荧光光谱仪根据一次能够分析单个元素或多个元素而有单道与多道之分，3070 型为单道 X 射线荧光光谱仪，3530 型为多道 X 射线荧光光谱仪。

X 射线荧光光谱仪的特点：分析范围广、精度高；分析速度快、操作简便；性能稳定可靠。

X 射线荧光光谱仪由 X 射线发生器、分光系统、微型计算机以及热交换式冷却水泵等部分组成。3530 型多道 X 射线荧光光谱仪结构如图 2-57 所示，主要技术规格见表 2-17，附属装置及附件见表 2-18，标准试样的制备按 GB/T 5678—1985《铸造合金光谱分析的取样方法》执行。

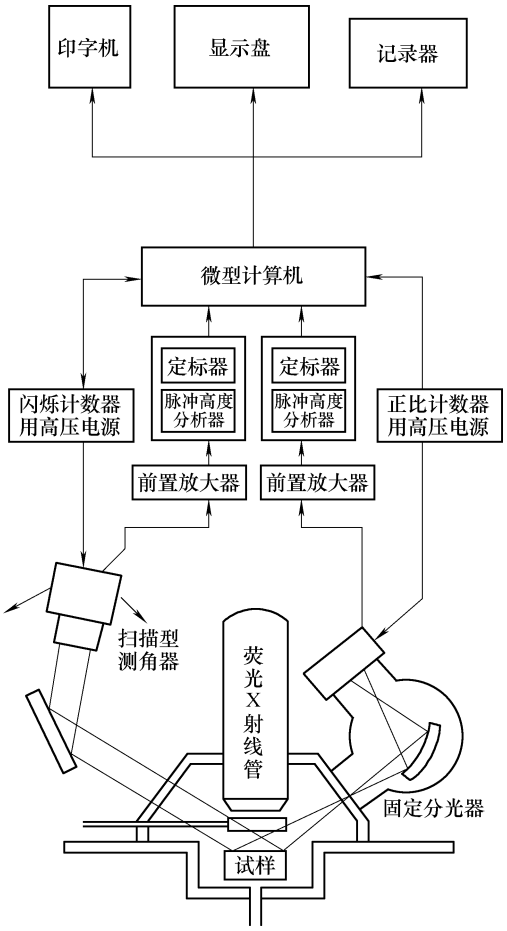


图 2-57　3530 型多道 X 射线荧光光谱仪结构图

1）3070 型单道全自动 X 射线荧光光谱仪安装条件：

① 单相电源：200V，50A（谱仪部分）；200V，5A（其他部分）。

② 三相电源：200V，15A（真空、冷却）。

③ 接地：接地电阻≤10Ω。

④ 水质：自来水。

⑤ 水温：<32℃。

⑥ 流量：25℃，13L/min；30℃，20L/min。

⑦ 室温：12～31℃。

⑧ 湿度：<70%。

2）3530 型全自动荧光 X 射线多波道多元素同时分析装置安装条件：

① 单相电源：AC200/220V，45A。

② 三相电源：AC200/220V，15A。

③ 接地：接地电阻 <30Ω 以下。

④ 水质：冷却水为自来水或工业用水。

⑤ 水温与水量：水温为 10℃、20℃、30℃时，其水量分别为 3L/min、4.3L/min、6.5L/min。

⑥ 水压：>0.098MPa

⑦ 环境温度：18～28℃。

⑧ 湿度：<75%。

⑨ 地板耐压力：≈5000Pa。

表 2-17　X 射线荧光光谱仪的主要技术规格

仪器型号	3530 型	3070 型
分析元素范围	^{6}C、^{8}O、^{9}F～^{92}U	^{8}O～^{92}U
同时分析元素数	≤30	1
含量分析范围(%)	0～100	0～100
样品类型	锭料、粉末、玻璃状样品、液体	固体、粉末、液体
X 射线发生器电压/kV	60	20～60
X 射线发生器电流/mA	80	2～80
X 射线发生器功率/kW	3	3
X 射线发生器稳定度(%)	< ±0.01	< ±0.01

（续）

仪器型号	3530 型	3070 型
靶材	Rh	Rh,Cr,W,Mo
样品最大尺寸/mm	50(直径)、35(高)	51(直径),30(高)
恒温机构/℃	温度控制：< ±0.5	温度控制：< ±0.5
热交换形式	纯水循环式	纯水循环式

表 2-18　X 射线荧光光谱仪的附属装置及附件

序号	附属装置及附件名称	说　明
1	样品粉碎装置	为粉末样品粉碎混合装置,具有粉碎力强、结构简单、容易操作等特点。9306C 型带有铬钢容器,9306D 型带有碳化钨容器。容量为 100mL;电源电压为单相,200V;功率为 0.8kW
2	电动式样品成形机	用于粉末样品的加压成形。把样品放好,提升杠杆,便可自动加压成形。为了保证工作安全,装备有停机踏板。9302/30 型最大压力 300kN。9302/50 型最大压力 500kN。电源电压为单相,200V;功率为 0.46kW
3	粉末样品熔化装置	本装置是将粉末样品加工成玻璃状的机器,以消除由于样品的矿物成分、晶体的状态、粉末粒度不均等对 X 射线测量产生不良影响,以使分析结果更精确 装置带有阳极稳定电路,摇动除泡机构,样品冷却机构,排烟机构,坩埚研磨机构。电源电压为单相,200V;功率为 5.5kW
4	样品成形用压模具	3482/SD 型用于不使用帽罩及环而加压成形的样品,3482/A1 型用于使用帽罩及环而加压成形的样品。样品直径为 40mm

（5）碳硫测定仪　碳硫测定仪由三大部分组成：一部分是定碳定硫仪；另一部分是加热炉，可以用管式电炉、电弧炉、高频感应炉等；第三部分是氧化系统，试样在高温下燃烧，其中的碳、硫与通入的氧气生成二氧化碳、二氧化硫后才能进行下一步的测定。无论采取何种方法，仅是碳硫测定仪有所不同，其他两部分即从氧气的净化到试样于高温炉中燃烧均是相同的。常用的碳硫测定仪型号及主要技术规格见表 2-19，定碳定硫原理如图 2-58 和图 2-59 所示。

表 2-19　常用碳硫测定仪主要技术规格

仪器型号	HV-1①	HV-4①	TL-851①	TL-851(Ⅱ)②	HRSJ-103③
分析范围(质量分数,%)	C0.05～6、S0.005～0.2(可适当扩大测定范围)	钢:C0.05～1.5、S0.005～0.06 铁:C0.2～6、S0.02～0.24	C0.002～15、S0.001～5	C0.01～10、S0.01～1	C0～3.5、S0～0.35
分析时间/s	55～80	65	60～90	30～40	20～30
读数方式	标尺直读百分含量		人工读数	数显	
电源电压/V	220		220 ±20%		—
功率/kW	2～3(使用不同的燃烧炉而有所差别)				2.4(高频功率)
温度要求/℃	0～40		0～45		—
气压要求/MPa	0.9～1.1		—	—	—

① 为气体容量法、碘量法定碳硫。
② 为电导法定碳硫。
③ 为红外光谱法定碳硫。

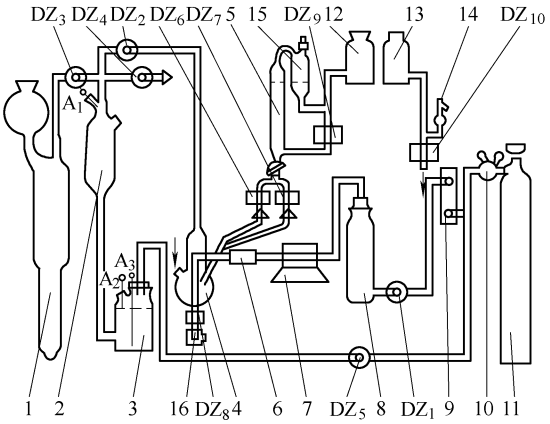


图 2-58　HV-1 型高速自动定碳定硫仪原理图

1—碳吸收器　2—量气管　3—水准瓶　4—硫吸收器　5—滴定管　6—除尘器　7—燃烧炉　8—干燥器　9—流量计
10—减压阀　11—氧气瓶　12—硫滴定液储瓶　13—淀粉液储瓶　14—淀粉液定量加液器　15—碘液进液球
16—废液杯　$DZ_1 \sim DZ_6$—电磁气阀　$DZ_7 \sim DZ_{10}$—玻璃电磁阀　$A_1 \sim A_3$—电极触针

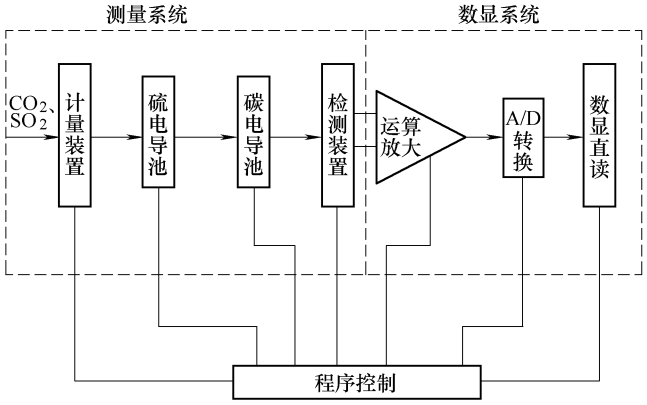


图 2-59　TL-851（Ⅱ）高速数显碳硫分析仪原理框图

（6）金属中含气量测定仪　金属中含气量测定仪有同时测定金属与合金中氢、氧、氮含量的仪器、也有单独测量其中一种气体和专用于有色金属气体分析的仪器，常用的仪器及其主要技术规格见表 2-20，分析流程如图 2-60 和图 2-61 所示。

表 2-20　金属中气体分析仪主要技术规格

仪器名称	SQM-1 脉冲加热气相色谱仪	MS-755B 金属气体分析仪	KLS-405 脉冲-库仑定氧分析仪	MHS-806 定氢分析仪	SQH-1 炉前测氢气相色谱仪
测量范围	H0.00050% ~ 0.10%、O0.0010% ~50%	H0.0001% ~0.1%、O0.001% ~1.5%、N0.001% ~10%	O0 ~0.2%	H 基本量程：0.1 ~ 20×10^{-6}；扩展量程：1 ~ 200×10^{-6}	H0.02 ~1.0mL/100g（用峰高比较含氢量）
灵敏度	H5 $\times10^{-9}$g/mm O5 $\times10^{-7}$g/mm	H0.01 $\times10^{-6}$、O1 $\times10^{-6}$、N1 $\times10^{-6}$	O0.5μg	—	—

（续）

仪器名称	SQM-1 脉冲 加热气相色谱仪	MS-755B 金属 气体分析仪	KLS-405 脉冲- 库仑定氧分析仪	MHS-806 定氢 分析仪	SQH-1 炉前测 氢气相色谱仪
分析空白	H < 1μg、 O5 ~ 10μg	N0. 1 ~ 1μg、 O3 ~ 10μg、 N0μg	O≤5μg	H < 0. 5 × 10^{-6}	—
分析时间/min	N2 ~ 3、 O3 ~ 5	N、O≤8、 N≤5	O≤3	H3 ~ 5	H < 5
电源电压/V	220(1 ± 10%)	380(1 ± 10%)	220(1 ± 10%)	220(1 ± 10%)	220(1 ± 10%)
环境温度/℃	5 ~ 40	—	10 ~ 30	5 ~ 35	5 ~ 35
相对湿度(%)	80	—	≤85	≤85	≤85
载气	Ar(99. 99%)	Ar(99. 99%)	Ar(99. 99%)	Ar(99. 99%)	Ar(99. 99%)
功率/kW	—	≤12	10	10	

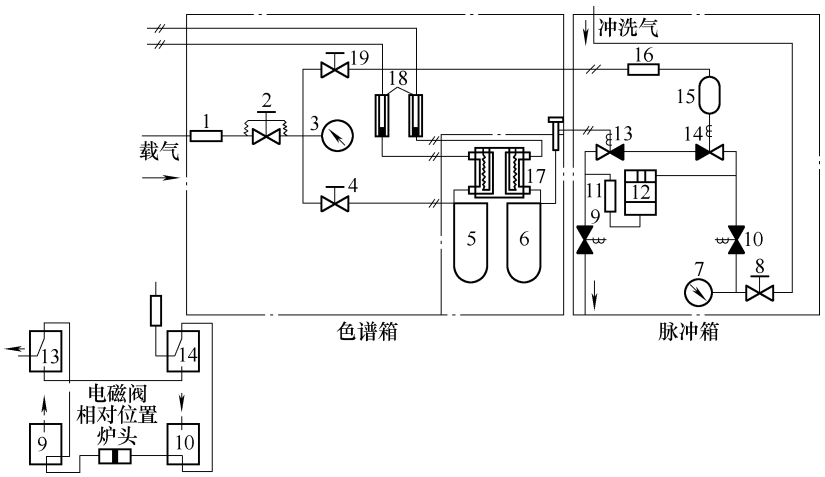


图 2-60　SQM-1 型脉冲加热气相色谱仪流程图 （单独进样）

1—净化管　2—稳压阀　3—压力表　4、8、19—微调阀　5—参考柱　6—测量柱　7—压力表　9、10—常闭电磁阀
11—过滤器　12—脉冲炉　13、14—两位三通电磁阀　15—缓冲器　16—干燥器　17—热导池　18—流量计

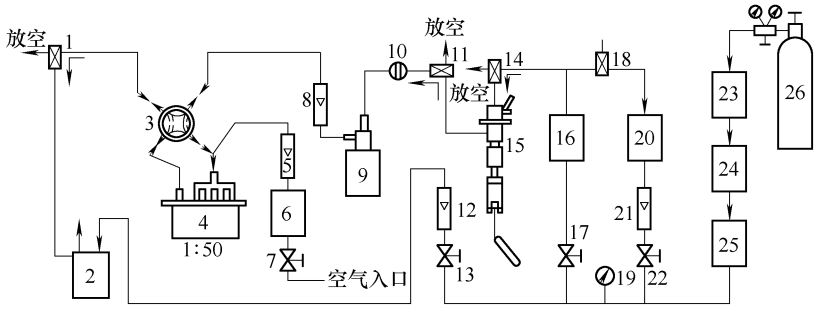


图 2-61　KLS-405 型脉冲-库仑定氧分析仪气路流程 （以高氧为例）

1、11、14、18—电磁阀　2—吸收池　3—四通阀　4—1∶50 分流泵　5、8、12、21—流量计　6—净化器
7、13、17、22—针形阀　9—氧化铜　10—过滤器　15—脉冲炉　16、20—五氧化二磷　19—压力表
23—活性铜　24—分子筛　25—钠石棉　26—工业纯氩

2. 金相分析设备

金相分析主要分析铸件（合金）的组织结构，还可分析铸件在使用过程中所发生的过早损坏的原因等。

下面介绍常用于金相分析的仪器设备。

（1）普通光学金相显微镜。普通光学金相显微镜是金相分析的主要仪器，其光学系统主要由物镜、目镜、垂直照明器与光路行程、光阑和滤色片等组成。其光路行程如图 2-62 ~ 图 2-64 所示。

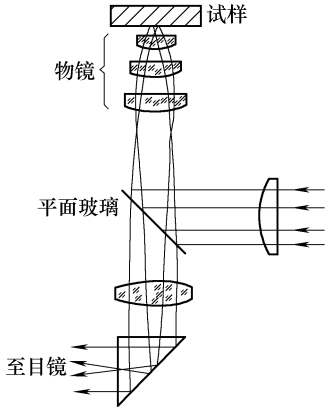


图 2-62　普通光学显微镜用平面玻璃反射垂直照明器光路行程

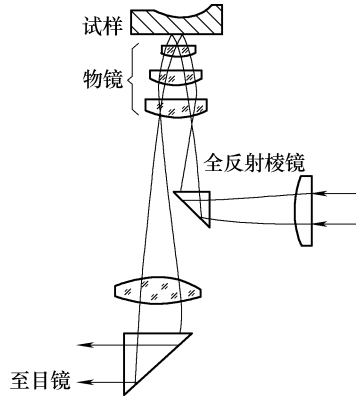


图 2-63　普通光学显微镜用棱镜反射垂直照明器光路行程

常用普通光学金相显微镜的型号与规格参数见表 2-21。

提示：用普通光学金相显微镜观察铸件（合金）显微组织前，必须对试样进行制备。通常，试样的制备要经过以下几个步骤：取样、镶嵌、磨光、抛光、浸蚀。每个步骤都必须细心操作，任何阶段上的失误都可能影响以后的步骤，甚至影响分析结果。

普通光学金相显微镜的维护要点：①金相显微镜的工作地点必须干燥，少尘，少振动，不应放在阴暗潮湿的地方，也不应受阳光暴晒；②不宜靠近挥发性、腐蚀性等化学药品，以免造成腐蚀环境；③在显微镜工作时，样品上的残留液体、油污必须去净，如不慎镜头沾污，应立即用脱脂棉擦净。油镜头用毕应立即用二甲苯细心地擦净；④物镜、目镜一般应放在干燥皿中，如有灰尘可用吹灰球吹净，然后用脱脂棉擦净；⑤阴暗潮湿对显微镜危害很大，会造成部件生锈、发霉以至报废，尤其梅雨季节更应注意防霉；⑥机械部分不要随意拆卸，经常加润滑油脂，以保证正常运转。

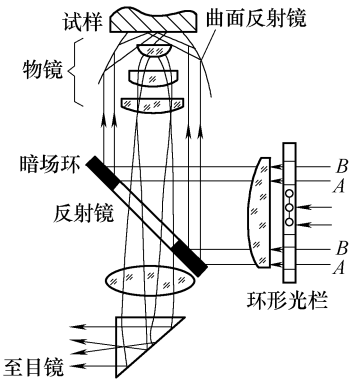


图 2-64　普通光学显微镜用暗视场光路行程

表 2-21　常用普通光学金相显微镜型号与规格

型号	规 格 参 数	备注
XJP-3A	总放大倍数:1250 × 目镜:10 ×、12.5 × 分划目镜:10 × 平场消色差物镜:10 ×、40 ×、100 × 光源:6V/20W 卤素灯	—

（续）

型号	规格参数	备注
XJZ-A3	观察筒：铰链三目，30°倾斜，双视度可调，分光比 80% 目镜：PL10×高眼点平场目境 物镜：195 平场消色差物镜（4×、10×、20×、40×、60×、100×）	—
NJL-1	三目观察头，倾斜 30°，瞳距调节 55～75mm 目镜：WF10×/φ18mm 五孔转换器 无穷远平场消色差物镜：4×、10×、20×、40×、80× 双层活动平台尺寸/mm：185×142，移动范围 75×55，游标标度值 0.1 同轴粗微调焦 12V/50W 卤素灯照明，中心可调 偏光装置 明暗场装置 孔径光栏和视场光栏	—
XJP-6A	总放大倍率：1250× 目镜：10×、12.5× 分划目镜：10× 平场消色差物镜：10×、20×、40×、100× 偏光装置；135 摄影装置；220V/6V/30W 卤素灯 可选配：CCD 摄像装置，数码相机，计算机，测量软件，金相分析软件等附件	—
XJL-03	总放大倍数：40×～1000× 目镜：10× 平场物镜：4×、10×、25×、40×、63×	立式金相显微镜
XJP-200	总放大倍数：1250× 目镜：10×、12.5× 物镜：10×、100× 半场消色差物镜：40×	双目倒置金相显微镜
XJP-H200 系列	总放大倍数：40×～1000× 镜座：双目或三目镜座（30°倾斜，瞳距调节范围：55～75mm） 目镜：WF10×/φ18mm、WF16×/φ11mm 物镜：4×/NA0.1、10×/NA0.25、40×/NA0.65（S）、63×/NA0.85 载物台尺寸/mm：160×130，移动范围：76×50，游标标度值：0.1； 140×140，移动范围：70×50，游标标度值：0.1 转换器：滚珠式四孔转换器 调焦：同轴式粗微动调焦机构 调焦范围/mm：40，微动标度值：0.002 落射光照明器：落射光 110V、220V/6V/20W 卤素灯泡，光源亮度可调；滤色片（淡蓝、淡绿） 选购附件：摄影装置、彩色显微电视装置、数码显微摄影装置（仅限三目式）；金相消色差物镜：100×（弹、油）；平场物镜：12.5×/φ15mm、20×/φ11mm；可选配透射光源 6V/20W	正置金相显微镜
XJZ-1A	总放大倍数：1600× 目镜：10×、12.5×、16× 分划目镜：10× 物镜：10×（暗场）、40×（暗场）、100× 偏光装置，135 摄影装置，0.01mm 测微尺，12V/50W 卤素灯	正置金相显微镜
XJZ-6A	总放大倍数：1250× 目镜：8×、10×、10× 分划目镜：12.5×、16× 反射系统平场物镜：4×、10×、25×、40×、100×	正置式反射金相显微镜

（2）体视显微镜 体视显微镜可进行定量金相分析，即可测定不同类型夹杂物的长度、直径、个数及分布的面积、体积分数以及金相组织中的晶粒度，还可精确测量各种组织组分或第二相质点的形态和含量。

体视显微镜的分析对象可以是金相试样或断口试样，也可是照片（正片或负片）。常用体视显微镜的型号与规格参数见表 2-22。

表 2-22 常用体视显微镜

型号	规格参数	备注
SZM-45B3/45T3	45°倾斜双/三目观察 总放大倍数:7 × ~45 × 物镜变倍范围:0.7 × ~4.5 × 变倍比:6.5:1 广角目镜:WF10 ×/ϕ20mm 工作距离/mm:100 双目瞳距调节范围/mm:55 ~75 圆形载物台直径/mm:95 上光源:12V、15W 卤素灯,亮度可调 可选配 0.5 ×、1.5 ×、2 × 大物镜,5 ×、15 ×、20 × 目镜和 10 × 分划目镜,环形荧光灯和机械工作台,135 摄影装置,CCD 摄像装置,数码相机,计算机,测量软件等附件	—
SQF-K 系列	物镜倍率:1 ×/2 ×、2 ×/4 ×、1 ×/3 × 三种组合供选择 目镜倍率:10 ×、15 ×、20 × 附加物镜:0.5 ×、1.5 ×、20 × 选购 工作距离/mm:110 光源:透射光源 6V/12W 卤素灯或 5W 荧光灯;反射光源 6V/15W 卤素灯 外接反射光源:8W 环形荧光灯或环形 LED 照明灯 物镜变倍手轮在两侧,方便操作	—
LBX	45°倾斜双目观察,锁定目镜,左右目镜筒视度调节 ±5dp,出射筒距连动调节,调节范围为 55 ~75mm。超广角高眼点目镜 WF5 ×、WF10 ×、WF15 ×、WF20 ×、WF25 × 可选 0.75 × ~5 × 连续变倍物镜,工作距离 112mm 弯臂式机架 内置式照射光、透射光照明 产品通过 CE 认证 输入电压 110V/60Hz 或 220V/50Hz	视场宽广,成像清晰,立体感强
ST60 系列	目镜:WF10 ×20 高眼点目镜 物镜:变挡式物镜 2 ×/4 ×、1 ×/2 ×、1 ×/3 × 供选择 瞳距调节范围/mm:54 ~75 视距调节:单视距调节,调节范围为 ±5 屈光度	—
DTX20	45°倾斜双目观察,锁定目镜,左右目镜筒视度调节 ±5dp,出射筒距连动调节,调节范围为 55 ~75mm。目镜 WF5 ×、WF10 ×、WF15 ×,WF20 × 可选 转动手轮变换物镜倍率,组合物镜 1 ×/2 ×、1 ×/3 ×、2 ×/4 × 可选,工作距离 91.5mm 机架有立柱式和弯臂式两种可选 照射光、透射光照明 产品通过 CE 认证 输入电压 110V/60Hz 或 220V/50Hz	视场宽广,成像清晰,立体感强

（续）

型号	规格参数	备　注
ZTX20	45°倾斜双目观察，锁定目镜，左目镜筒视度调节 ±5dp，出射筒距调节范围为 55 ~ 75mm。目镜 WF5 ×、WF10 ×、WF15 ×、WF20 × 可选 90° 旋转式物镜，组合物镜 1 ×/2 ×、1 ×/3 ×、2 ×/4 × 可选，工作距离 80mm。附加物镜 0. 5 ×、0. 75 ×、1. 5 ×、2 × 可选 机架有立柱式和弯臂式两种可选 照明有自然光、照射光和透射光三种可选 产品通过 CE 认证 输入电压 110V/60Hz 或 220V/50Hz	视场宽广，成像清晰，立体感强
XTX	双目观察，观察方向有垂直式和 45° 倾斜式两种可选，锁定目镜，左目镜筒视度调节 ±5dp，出射筒距调节范围为 55 ~ 75mm。目镜 WF5 ×、WF10 ×、WF15 ×、WF20 × 可选 物镜有固定式、插入式和转换式三种，固定式物镜倍率 2 ×；插入式物镜倍率 1 ×、2 ×、3 ×、4 ×、6 × 可选；转换式物镜倍率 1 ×/2 ×、1 ×/3、2 ×/4 × 可选 机架有立柱式和弯臂式两种可选 照明有自然光、照射光、照射光和透射光三种可选 产品通过 CE 认证 输入电压 110V/60Hz 或 220V/50Hz	视场宽广，成像清晰，立体感强
XTT	物镜：0. 63 ×、1 ×、1. 60 ×、2. 60 ×、4 × 目镜：6. 3 ×、2. 5 × 总放大倍数：4 × ~ 100 × 工作距离/mm：100	—

提示：体视显微镜用试样的制备与光学金相显微镜用试样的制备同。但应特别指出的是试样制备时的残留磨痕、抛光粉等的嵌入、某些组织的剥落、试样侵蚀深浅程度不均匀以及试样不平等因素，都会影响定量金相测量数据的准确性。

（3）扫描电子显微镜　扫描电子显微镜的主要功能是通过入射电子束在样品表面扫描，经过一套系统在荧光屏上获得能反映样品表面各种特征的扫描图。

扫描电子显微镜具有样品制备简单、放大倍数连续调节、倍数大、景深大、分辨率比较高等优点，是进行样品表面分析研究的有效工具，尤其适用于比较粗糙的表面，如金属断口和显微组织等三维形态的观察研究。

常用扫描电子显微镜的型号与规格参数见表 2-23。

表 2-23　常用扫描电子显微镜的型号与规格参数

型号	规格参数	备　注
KYKY-3800B	分辨率/nm：4. 5（钨丝阴极） 放大倍数：15 × ~ 250000 × 电子枪：发叉式钨丝阴极 加速电压/kV：0 ~ 30 透镜系统：三级电磁透镜 物镜光阑：三个可在真空外选择调节 样品室：六个接口，可接 WDS、EDS、BSE 等多种附件和探测器 标准样品台位移：$X = Y = 50\text{mm}$，$Z = 25\text{mm}$，$T = -5° \sim 90°$，$R = 360°$ 大样品台位移：$X = 80\text{mm}$，$Y = 50\text{mm}$，$Z = 30\text{mm}$，$T = 0° \sim 90°$，$R = 360°$ 计算机系统：兼容机，基于 Microsoft Windows XP 软件操作系统，全中文菜单 图像显示与观察：数字图像，1024 ×768 显示方式，17in 彩色显示器 扫描方式：全幅、面、线、点、选区双放大及屏幕分割	主要用于材料表面形貌的微观分析

（续）

型号	规格参数	备　注
KYKY-3800B	电子显微镜操作控制软件系统：全新设计的操作软件，全中文菜单，只需使用鼠标和键盘即可完成电子显微镜的全部操作。并且具有多种自动功能，能够记忆、存储电子显微镜的运行状态等 图像处理及分析：图像增强，阈值分割，粒度分析，形态学变换，图像灰度直方图显示，灰度图像的伪彩色变换 图像输出与记录：高分辨率 CRT 照相（2500 线），存入硬盘或软盘、打印 真空系统：全自动高速扩散泵真空系统（可选涡轮分子泵真空系统）	主要用于材料表面形貌的微观分析
KYKY-2800B	分辨率/nm：4.5（钨丝阴极） 放大倍数：15 × ~250000 × 电子枪：发叉式钨丝阴极 加速电压/kV：0 ~30 透镜系统：三级电磁透镜 物镜光阑：三个可在真空外选择调节 样品室：六个接口，可按 WDS、EDS、BSE 等多种附件和探测器 标准样品台位移：$X=Y=50\text{mm}$，$Z=25\text{mm}$，$T=-5°\sim90°$，$R=360°$ 大样品台位移：$X=80\text{mm}$，$Y=50\text{mm}$，$Z=30\text{mm}$，$T=0°\sim90°$，$R=360°$ 计算机系统：兼容机，基于 Microsoft Windows XP 软件操作系统，全中文菜单 图像显示与观察：数字图像，1024 ×768 显示方式，17in 彩色显示器 扫描方式：全幅、面、线、点、选区双放大及屏幕分割 信号处理和工作方式：文直流伽玛调制，自动聚焦，低通滤波，自动消像散，图像旋转，自动亮度对比度，动态聚焦，倾斜补偿 图像处理及分析：图像增强，阈值分割，粒度分析，形态学变换，图像灰度直方图显示，灰度图像的伪彩色变换 图像输出与记录：高分辨率 CRT 照相（2500 线），存入硬盘或软盘、打印 真空系统：全自动高速扩散泵真空系统（可选涡轮分子泵真空系统）	主要用于材料表面的微观分析
KYKY-EM3200	分辨率/nm：6.0（钨丝阴极） 放大倍数：15 × ~250000 × 电子枪：发叉式钨丝阴极 加速电压/kV：0 ~30 透镜系统：三级电磁透镜 物镜光阑：三个可在真空外选择调节 样品室：六个接口，可接 WDS、EDS、BSE 等多种附件和探测器 标准样品台位移：$X=Y=50\text{mm}$，$Z=25\text{mm}$，$T=-5°\sim+90°$，$R=360°$ 大样品台位移：$X=80\text{mm}$，$Y=50\text{mm}$，$Z=30\text{mm}$，$T=0°\sim90°$，$R=360°$ 计算机系统：兼容机，基于 Microsoft Windows XP 软件操作系统，全中文菜单 图像显示与观察：数字图像，1024 ×768 显示方式，17in 彩色显示器 扫描方式：全幅、面、线、点、选区双放大及屏幕分割 电子显微镜操作控制软件系统：全新设计的操作软件，全中文菜单，只需使用鼠标和键盘即可完成电子显微镜的全部操作。并且具有多种自动功能，能够记忆、存储电子显微镜的运行状态等 图像处理及分析：图像增强，阈值分割，粒度分析，形态学变换，图像灰度直方图显示，灰度图像的伪彩色变换 图像输出与记录：支持多种图像文件格式，支持视频打印机，及各种标准接口打印输出设备 真空系统：全自动高速扩散泵真空系统（可选涡轮分子泵真空系统）	主要用于材料表面的微观分析

（续）

型号	规格参数	备　注
KYKY-EM3900	分辨率/nm:3.5(钨丝阴极) 放大倍数:8× ~250000× 电子枪:翻开式发叉结构钨丝阴极 加速电压/kV:0 ~30 透镜系统:三级电磁透镜 物镜光阑:三个,可在真空外选择调节 样品室:大样品室,九个接口,可接 WDS、EDS、BSE 等多种附件和探测器 位移:$X=80$mm,$Y=60$mm,$Z=50$mm,$T=0°$ ~$90°$,$R=360°$ 计算机系统:兼容机,基于 Microsoft Windows XP 软件操作系统,全中文菜单 图像显示与观察:数字图像,1024×768 显示方式,17in 彩色液晶显示器 扫描方式:全幅、面、线、点、选区双放大及屏幕分割 电子显微镜操作控制软件系统:全新设计的操作软件,全中文菜单,只需使用鼠标和键盘即可完成电子显微镜的全部操作,也可用手动控制盒辅助操作。具有多种自动功能,能够记忆、存储电子显微镜的运行状态等 图像处理及分析:图像增强,阈值分割,粒度分析,形态学变换,图像灰度直方图显示,灰度图像的伪彩色变换 图像输出与记录:支持多种图像文件格式,支持视频打印机及各种标准接口打印输出设备 真空系统:全自动高速扩散泵真空系统(可选涡轮分子泵真空系统)	主要用于材料表面的微观分析

提示：扫描电子显微镜试样的制备方法：①金相试样，按扫描电子显微镜对试样尺寸要求切取试样，然后按金相试样制备方法制备扫描电子显微镜试样；②深浸蚀（深腐蚀）试样，可将金相试样进行深浸蚀，突出某些相，深浸蚀剂通常用体积分数为 10% ~20% 的盐酸水溶液，通过电解方法进行选择性腐蚀，清洗后做扫描电子显微镜试样；③电解分离试样，先将试样磨光，然后用电解方法将试样溶解，经过蒸馏水清洗和沉淀处理，最后将未溶解的石墨或夹杂物用滤纸过滤，烘干后制成扫描电镜试样；④断口试样，断口要新鲜，不受机械损伤，如果有污染或锈蚀，可用体积分数为 15% 的高氯酸酒精溶液擦洗，然后用丙酮清洗。

3. 力学性能测试设备

力学性能包括强度、韧性、疲劳和硬度等，是多数铸件质量的重要指标。常用于力学性能的测试设备主要有以下一些。

（1）拉力试验机　拉力试验机主要用于铸件材料（合金）的拉伸试验。

拉伸试验是对一定形状的试样施加拉伸载荷（缓慢递增的轴向载荷），从而测出铸件材料（合金）抵抗拉伸应力时的各项性能指标。

常用拉力试验机有电子式、机械式和液压式等，其型号与规格参数见表 2-24。

表 2-24　常用拉力试验机的型号与规格参数

型号	规格参数	备注
LDS 系列(单立柱,双立柱)	最大试验力/N:100、500、2000、5000、10000、20000、50000 测量范围:最大试验力的 1% ~100% 试验机精度级别:1 级 试验力准确度:优于示值的 ±1% 位移测量分辨率/mm:0.001 变形准确度:优于 ±1% 调速范围/(mm/min):0.01 ~500 试验空间/mm:800 工作环境:室温 ~45℃,湿度为 20% ~80%	电子拉力试验机

（续）

型号	规格参数	备注
LDS-1(P)、LDS-5(P)	负荷测量范围/N：LDS-1（P）为 20 ~ 1000；LDS-5（P）为 100 ~ 5000 负荷示值相对误差：±1% 拉伸速度/(mm/min)：2 ~ 500 快速调位速度/(mm/min)：500 拉伸行程/mm：600 圆试样直径/mm：0.5 ~ 4 扁试样尺寸/mm：4 × 40（厚 × 宽） 电动机功率/kW：0.25 电源电压/V：380	电动拉力试验机，加载部分采用永磁式直流系统，速度范围宽，连续可调，测量部分采用传感技术，直读式数显力值，保留并显示最大力值。微型打印机打印试验结果，若配有反向器可做压缩和抗弯试验
LJ-1000A、LJ-3000A、LJ-5000A	负荷范围/kN：0.1 ~ 1、0.2 ~ 2、0.5 ~ 5、1 ~ 10（LJ-1000A）；0.3 ~ 3、0.6 ~ 6、1.5 ~ 15、3 ~ 30（LJ-3000A）；0.5 ~ 5、1 ~ 10、2.5 ~ 25、5 ~ 50（LJ-5000A） 负荷级数：4 级 负荷精度：±1% 记录精度：±1% 试验速度/(mm/min)：0.75 ~ 45 快速调位速度/(mm/min)：450 拉伸空间/mm：600 试样尺寸/mm：圆试样：ϕ4 ~ ϕ20；扁试样 0.5 ~ 1.0 电动机功率/kW：0.6（LJ-1000A），0.55（LJ-3000A/5000A） 电源电压/V：220	机械式拉力试验机，试验速度范围宽，可无级调速，测力系统采用电子平衡装置，精度稳定。若加装反向器还可作压缩试验，还可带高温装置作高温性能试验。本机带有 *X-Y* 记录装置
LJ-10	负荷范围/N：25 ~ 2500、5 ~ 5000、20 ~ 10000 负荷精度：±1% 负荷级数：3 级 有效拉伸距离/mm：50 ~ 300 拉伸速度/(mm/min)：30，45，60 试样尺寸/mm：圆试样：ϕ4；扁试样：4 × 20（厚 × 宽） 电动机功率/kW：0.37 电源电压/V：380	机械式拉力试验机，采用正切摆锤机构的设计原理和一级杠杆及开口式夹持器，具有摆锤短，精度高，夹持方便可靠，能快速复位，操作简单的特点，是大批量检查用的理想设备
LAW-3000W	最大试验力/kN：3000 试验力保持精度：设定值的 ±1%，示值稳定，易读 试验力测量范围及示值精度：0 ~ 300kN、0 ~ 600kN、0 ~ 1500kN、0 ~ 3000kN 四档，每档的 20% 起为示值的 ±1% 采用卧式框架结构，空间调整由液压缸拖动横梁、液压自动插销完成 PC 全数字式控制器通过电液伺服系统加载，采用德国 BOSCH 公司 NG10 型电液比例伺服阀完成试验机的闭环控制，响应速度和控制精度高，具有较强的耐污染能力，可靠性高 该机配有 Windows98/Me/2000 环境下工作以数据库技术为基础的控制与数据处理软件包，具有试验数据采集、处理、存储和屏幕显示功能，具备试验数据的局域网共享与分布处理能力	计算机控制电液伺服卧式拉力试验机

提示：拉伸试验方法可参见（CB/T 228.1—2010）《金属材料　拉伸试验　第 1 部分：室温试验方法》。

（2）压力试验机　压力试验机主要用于铸件材料（合金）的抗弯抗折、压力试验。

常用压力试验机有屏显式和数显式等，其型号与规格参数见表 2-25。

表 2-25　常用压力试验机的型号与规格参数

型号	规格参数	备注
YE-W	最大试验力/kN:100、300、600、1000、2000、5000、10000 试验力分级:3 级 试验力示值相对误差:从每级 20% 开始示值的 ±1%	屏显式液压压力试验机
YE-S	最大试验力/kN:300、600、2000 试验力示值相对误差:试验力分 3 级,为示值的 ±1% 采用电子测试技术,数学显示试验力,计算机处理试验数据,并自动打印试验数据	数显式压力试验机
YAW	最大试验力/kN:300、1000、2000、3000、5000、10000 试验力相对误差:示值的 ±0.5%	计算机控制电液伺服压力试验机

(3) 持久蠕变试验机　持久蠕变试验机主要用于铸件材料（合金）的蠕变性能及持久强度性能试验。

常用持久蠕变试验机有电子式和机械式等，其型号与规格参数见表 2-26。

表 2-26　常用持久蠕变试验机的型号与规格参数

型号	规格参数	备注
RDL	最大加载能力/kN:10、20、30、50、100、200、500(共 7 种规格) 试验力测量误差:在量程 1% ~100% 范围内,误差为示值的 0.5% 试验力控制稳定性: ±0.5% 拉杆速度/(mm/min):0.01 ~50 拉杆最大行程/mm:200 变形测量方式:数字式光栅 变形测量范围/mm:10 变形测量误差/mm: ±0.002 选配相应高温炉、高温引伸计、变形放大器及蠕变、松弛试验等软件,可作高温环境下的持久试验、拉伸试验、蠕变试验、松弛试验、低周疲劳试验和蠕变疲劳试验	电子式持久蠕变试验机
RDJ500	最大试验力/kN:500 试验力测量范围/kN:5 ~500 准确度等级:0.5 级,1 级 试验力测量误差:在量程 1% ~100% 范围内,测量误差为示值的≤ ±0.5% 上下夹头偏心率:≤10% 最小加载量/N:1 杠杆比:1∶100 杠杆级数:2 级 杠杆偏移量/mm: ±0.1(自动调平范围) 下拉杆行程/mm:≥150 下拉杆移动速度/(mm/min):2.5 ~50 调平、加载双电动机驱动结构:总功率≤1500W 杠杆调平容错技术:双光纤传感器控制结构 PLC 控制核心:日本 OMRON 可编程序控制器作为控制核心 UPS 断电保护:断电时托起砝码托盘、驱动加载电动机卸荷、报警,防止损坏试样及刀刃、刀承	机械式持久蠕变试验机,还可进行在高温环境下的蠕变性能及持久强度性能的测定
RDW 系列	最大试验力/kN:30,50,100,200 四种规格 有效测力范围:1% ~100% F.S. 力示值相对误差: ±1% 力分辨率:1/240000 恒力控制误差: ±1%/3000h 有效变形测量范围:0 ~100% F.S. 变形误差/μm:2	计算机控制电子式蠕变持久试验机,主要用于在高温环境下进行蠕变、持久及应力松弛试验

（续）

型号	规 格 参 数	备注
RDW 系列	变形分辨率/μm：1 拉杆行程/mm：100 温度范围/℃：200 ~ 1100（或 900，1200） 温度波动/℃：±2 温度梯度/℃：3 均热带长/mm：100（或 150）	计算机控制电子式蠕变持久试验机，主要用于在高温环境下进行蠕变、持久及应力松弛试验

（4）冲击试验机　冲击试验机主要用于铸件材料（合金）的冲击试验。

冲击试验机有摆锤式、落锤式以及高低温式等，其型号与规格参数见表 2-27。

表 2-27　常用冲击试验机的型号与规格参数

型号	规 格 参 数	备注
JB-150、JB-300B	冲击能量/J：150、300 冲击速度/（m/s）：5.2 摆锤预扬角：150° 试样支座跨距/mm：40 支座钳口圆角半径/mm：1.0 ~ 1.5 冲击刀刃圆角半径/mm：2.0 ~ 2.5 摆锤中心至冲击点距离/mm：750 标准试样尺寸/mm：10 × 10 × 55 电源和功率：三相四线 380V，50Hz，180W	摆锤式冲击试验机可测定在动载荷下抵抗冲击的性能
JBN-300	冲击能量/J：150、300 冲击速度/（m/s）：5.2 冲击刀刃圆角半径/mm：2 ~ 2.5 钳口圆角半径/mm：1 ~ 1.5 试样尺寸/mm：10 × 10 × 55 利用冲击试样后的剩余能量自动扬挂摆	摆锤式半自动冲击试验机可测定在动负荷、常温下抵抗冲击的性能
JBS-800	冲击能量/J：800 冲击速度/（m/s）：5.24 摆锤扬角：150° 支座跨距/mm：40 支座圆角半径/mm：1 ~ 1.5 摆锤力矩（冲击常数）/（N · m）：428.7245 摆锤中心至冲击点（试样中心）距离/mm：750 试样支座支承面倾角：0° 冲击刀刃圆角半径/mm：2 ~ 2.5 冲击刀夹角：30° 冲击刀厚度/mm：16 试样规格/mm：10 × 10 × 55	数显摆锤式冲击试验机
JL-50000	最大冲击能量/J：50000（能量分级可调） 冲击速度/（m/s）：<7 锤头与砧座硬度 HRC：>50 主机高度/m：<6 提升高度误差/mm：< ±1	落锤式冲击试验机是铸管质量检测必需的冲击试验仪器
JBGD-300	冲击能量/J：150、300 冲击速度/（m/s）：5.2 支座圆角半径/mm：1 ~ 1.5 冲击刀刃圆角半径/mm：2 ~ 2.5 试样尺寸/mm：10 × 10 × 55 高温炉温度范围/℃：200 ~ 900 低温炉温度范围/℃：-40 ~ +180 扬摆、送料、冲击、制动及温度控制均为机械方式电气控制，同时可根据用户要求配置液晶数显或微机控制系统	高低温冲击试验机

（5）万能试验机　万能试验机可用于铸件材料（合金）的拉伸、压力、弯曲、剪切试验。常用万能试验机有电子式和机械式等，其型号与规格参数见表 2-28。

表 2-28　常用万能试验机的型号与规格参数

型号	规 格 参 数	备注
WJ-10B	负荷级数：1 ~ 10kN、2 ~ 20kN、5 ~ 50kN、10 ~ 100kN（共 4 级） 负荷精度：±1% 记录精度：±1% 记录放大倍数：5，50 试验速度/（mm/min）：0. 5 ~ 30 调位速度/（mm/min）：300 拉伸空间/mm：460 × 638 弯曲空间/mm：100 × 600 试样尺寸/mm：圆试样：ϕ8 ~ ϕ30 台肩试样颈部直径/mm：ϕ7、ϕ11、ϕ13、ϕ18、ϕ24 扁试样尺寸/mm：15 × 42（厚 × 宽） 高温范围/℃：300 ~ 900 电动机功率/kW：1. 5 电源电压/V：380	机械式万能试验机可进行拉、压、弯、剪试验，加载系统采用晶闸管无级调速，测力系统采用电子平衡测力机构，并能带高温装置作高温试验。本机带有 *X-Y* 记录装置
DNS300	最大试验力/kN：300 力测量精度：在负荷传感器容量的 0. 4% ~ 100% 范围内，精度为示值的 ±0. 5% 变形测量精度：在引伸计量程的 2% ~ 100% 范围内，精度为示值的 ±0. 5% 横梁位移测量/mm：分辨率高于 0. 001 横梁速度范围/（mm/min）：0. 005 ~ 500 无级，任意设置 位移速度精度：优于 ±0. 5%（空载、检测距离大于 20mm） 速度负荷容量：50mm/min 以下允许最大负荷，500mm/min 以下允许 1/4 最大负荷 试验空间宽度/mm：600 活动横梁行程/mm：1200 夹持范围/mm：圆试样 ϕ10 ~ ϕ26，板试样 0 ~ 16 夹具形式：标准配置为拉伸、压缩、弯曲夹具，楔形、气动、平板、盘绕、滚轮、液压、台肩等可选 整机电源：AC/220V，< 2. 0kW 工作环境：室温为 10 ~ 35℃，相对湿度为 20% ~ 80% 整机形式：落地式 微机系统：品牌计算机，激光打印机（可选）	电子万能试验机
WAW-100、WAW-300、WAW-600、WAW-1000、WAW-2000	准确测量范围：2% ~ 100% F. S.；全量程分 1、2、5、10 四档 试验力准确度：优于示值的 ±1% 位移测量分辨率：0. 01mm 变形测量准确度：±0. 5% F. S. 应力速率控制范围/（MPa/s）：1 ~ 60 试验应变速率调节范围/s^{-1}：0. 00025 ~ 0. 0025 位移速率控制范围/（mm/min）：0. 5 ~ 50 试验拉伸空间/mm：550 ~ 650（可根据用户要求定做） 试验压缩空间/mm：500 ~ 600（可根据用户要求定做） 圆试样夹持直径/mm：6 ~ 60（可根据用户要求定做） 扁试样夹持宽度/mm：40 ~ 120 扁试样夹持厚度/mm：0 ~ 40 上下压盘直径/mm：100 ~ 210 活塞行程/mm：250 弯曲支辊间距/mm：30 ~ 800	微机控制电液伺服液压万能试验机

（6）硬度计 硬度计可用于铸件及铸件材料（合金）表面的硬度试验。

常用硬度计有布氏硬度计、洛氏硬度计、维氏硬度计、肖氏硬度计、里氏硬度计和显微硬度计等，其型号与规格参数见表 2-29。

表 2-29 常用硬度计的型号与规格参数

型号	规格参数	备注
TH600	试验力/N：1839、2452、7355、9807、29420 垂直方向最大测试空间/mm：230 水平方向压头轴线距前壁/mm：120 压头球直径/mm：2.5、5、10 试验力保持时间/s：6～99，可设置	布氏硬度计，主要用于未经淬火钢、铸铁、有色金属及轴承合金的布氏硬度试验
HB-3000B	试验力级数/N：1839、2452、7355、9807、29420 被测试件最大高度/mm：230 压头轴线至机身距离/mm：120 试验力保持时间/s：12，30，60 测试硬度范围：35～650HBW 硬质合金球直径/mm：2.5、5、10 采用电动加卸荷	布氏硬度计，主要用于测定布氏硬度值在 650HBW 以内的淬火钢、铸铁、有色合金及轴承合金等的硬度
MHB-3000、XHB-3000	硬度范围：8～650HBW 试验力/N：612.5、980、1225、1837.5、2450、4900、7350、9800、14700、29400	数显布氏硬度计，无砝码，自动加卸试验力。试验力和硬度值大屏幕液晶直接显示（XHB-3000 可各种硬度值换算，内置打印机）
HR-150A	硬度范围：20～70HRC、25～100HRB、70～88HRA 试验力/N：预试验力 98，总试验力 588 150DT 型采用自动加荷消除人为误差	洛氏硬度计，适用于黑色金属、有色金属的洛氏硬度测定
HR-150DT	硬度范围：20～70HRC、25～100HRB、70～88HRA 试验力/N：总试验力 588 150DT 型采用自动加荷消除人为误差	电动洛氏硬度计，适用于黑色金属、有色金属的洛氏硬度测定
HRS-150	硬度范围：20～70HRC，25～100HRB，70～88HRA 试验力/N：980、1471 150DT 型采用自动加荷消除人为误差 大屏幕液晶显示硬度值，内置打印机 各种硬度值换算，自动存储功能，RS 232 超级终端设置	数显洛氏硬度计，适用于黑色金属、有色金属的洛氏硬度测定
HVS-50/HVS-50P/Z	硬度范围：5～1900HV 试验力/N：9.8、19.6、24.5、29.4、49.98、196、294、490 P 型为内置打印机 Z 型为自动转塔	数显维氏硬度计/数显自动转塔维氏硬度计可用于黑色金属、有色金属及微小、薄型和表面渗碳、渗氮、化学热处理层维氏硬度测试。可加配自动测量系统和视屏测量装置

（续）

型号	规格参数	备注
HBRV-187.5	硬度范围：20 ~ 70HRC、30 ~ 100HRB、70 ~ 88HRA、4 ~ 450HBW、14 ~ 1000HV 试验力/N：294、588、980、1471、306、612、1839 附测量显微镜装置 显微镜放大倍率：37.5 ×、75 ×	电动布洛维硬度计，可进行布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度的测试，系多功能和多用途
HS-19GD 系列	示值误差：±1.2HSD 测量范围：14 ~ 115HSD 分辨率：0.1HSD 测量试件尺寸/mm：圆柱体为 ϕ32 ~ ϕ50，长方体为≤120 × 120 × 70 在现场用计测筒，质量大于 40kg 的一切圆柱体（特别是轧辊），重量大于 40kg 的一切与水平面平行的平面试件；采用全新的设计、计算机处理、数字显示和自动打印、示值准确	肖氏硬度计，常用于轧辊的硬度试验。设置有肖氏硬度转换成布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度及抗拉强度值的功能，交直流两用，自动充电，数显头与计测筒为一体
HSE 系列	示值误差：2.0HS；测量方向：任意；分辨率：0.1HS；仪器 重量：0.35kg 测量范围：肖氏为 0 ~ 110HS，里氏为 200 ~ 960HL，维氏为 80 ~ 940HV，布氏为 80 ~ 650HBW，洛氏 B 为 34.5 ~ 99.5HRB，洛氏 C 为 20 ~ 68HRC 测量材料：钢和铸钢、工具钢、不锈钢、灰铸铁、球墨铸铁、黄铜、青铜、纯铜、铸铝合金 工作温度/℃：0 ~ 50 采用微机处理，点阵液晶显示，中文提示键盘操作，自动打印；机内可保持 10000 个测试值，可随意调出显示或打印；两节五号电池供电，交直流两用，有电池管理系统，包括工作电压显示、欠电压报警、自动关机	肖氏硬度计，能直接测试肖氏硬度值，并能转换成相应的维氏硬度、布氏硬度、洛氏 B 硬度、洛氏 C 硬度和强度值，特别适用现场测试
TH160	可测量 HL、HRB、HRA、HBW、HV、HS 测量范围：170 ~ 960HLD、17.9 ~ 68.5HRC	里氏硬度计
HV-1000	硬度范围（HV）：1 ~ 1850 试验力/N：0.098、0.246、0.49、0.98、1.96、2.94、4.90、9.80、MHV-2000 可增 2000（2kg） 液晶数字显示	显微硬度计
MHV-1000/2000 MHV-1000Z/2000Z	硬度范围：1 ~ 1850HV 试验力/N：0.098、0.246、0.49、0.98、1.96、2.94、4.90、9.80、MHV-2000 可增 2000（2kg） 液晶数字显示 LCD 大屏幕显示，各种硬度值的转换，测试结果可通过打印机输出 Z 型为自动转塔，可加配自动测量系统或视屏测量装置	数显大屏幕显微硬度计/数显大屏幕自动转塔显微硬度计

2.2.5　常用无损检测设备

无损检测是在不损伤铸件和材料的试验条件下，检测其表面或内部宏观缺陷的方法。

无损检测方法主要有超声检测、射线照相检测、磁粉检测和渗透检测，常用无损检测方法的比较见表 2-30。

表 2-30　常用无损检测方法的比较

无损检测方法	超声检测	射线检测	磁粉检测	渗透检测
方法原理	脉冲反射法	穿透法	磁吸引作用	渗透作用
检测缺陷部位	内部缺陷	内部缺陷	表面及近表面缺陷	表面开口缺陷

（续）

无损检测方法	超声检测	射线检测	磁粉检测	渗透检测
缺陷部位的表现形式	完好部位没有反射波，缺陷部位发生反射波	完好部位与缺陷部位的穿透剂量有差异	缺陷部位发生漏磁，有磁粉附着	渗透液的渗透
显示信息的器材	示波管	射线胶片	磁粉	渗透液，显像液
检测缺陷的种类	裂纹、缩松、空洞	空洞、松孔、夹杂、裂纹	裂纹、裂缝、划痕、空洞、缩松、夹杂	裂纹、划痕、裂缝
检测速度	较快	慢	相对较快	慢
检测消耗品费用	低	高	一般	一般
检测结果记录	瞬间图像，加记录装置后可作间接记录	永久性记录	人为判断	人为判断
安全防护或特殊要求	不需防护	防射线	不需防护	荧光渗透检测需在暗室或黑布罩下检查
优点	轻便，穿透力强，易于实现自动化，从铸件的一面检验，即可获得良好的灵敏度和分辨率	可检验内部缺陷，适用的材料范围广，有永久性记录	简单，便宜，既可检测表面缺陷，又可检测表面下浅处缺陷	成本低，便于使用，显示可以被进一步直观验证
缺点	需要耦合剂，难以检验小、薄而复杂的铸件，需要参考标准，凭工作人员的经验判断，使用探头	昂贵，对薄层缺陷灵敏度差，存在电离辐射危险源，有害于健康，需加强保护	只适用于铁磁性材料，脏污，铸件检验前后都需清洗，铸件检验后要退磁。需根据操作人员经验判断	必须是表面开口缺陷，铸件在检验前后必需清洗，工作场所脏污，荧光渗透检测须配置污水处理设施，判断需依靠工作人员经验

1. 超声检测设备

在铸造企业中，应用最广泛的是 A 型脉冲反射式超声检测仪，这种仪器自身发射不连续的脉冲波，遇到工件的缺陷后，在荧光屏上是 A 型显示。超声检测设备由脉冲超声发射器、接收器、探头、显示器四大部分组成，除探头外，实属一套无线电装置。

常用超声检测仪的主要技术规格及外形见表 2-31、图 2-65 和图 2-66。

表 2-31 常用超声检测仪的主要技术规格

名称	携带式超声波检测仪			超声波检测仪				
型号	CTS-8C	CTS-21	CTS-22	CTS-23	CTS-26	SA-6	SA-11	SA-101
探测频率/MHz	1～5	0.5～10	0.5～10	0.5～20	0.5～20	1.25～10	1.25～5	2～6
衰减器/dB	0～68	0～80	0～80	90	90	0～50	0～80	80
动态范围/dB	>28	≥30	≥30	≥30	≥30	—	≥30	≥30
垂直线性（%）	误差<6	误差≤5	误差≤5	误差≤5	误差≤5	—	误差≤8	误差≤6
同步频率/Hz	200×（1±20%）	125、250、500	125、250	—	—	50、120～500	50、200、400	125、250、500

（续）

名称	携带式超声波检测仪			超声波检测仪				
型号	CTS-8C	CTS-21	CTS-22	CTS-23	CTS-26	SA-6	SA-11	SA-101
探测深度/mm	25 ~ 3000	10 ~ 1200	10 ~ 1200	5 ~ 5000	5 ~ 5000	50 ~ 6000	50 ~ 6000	10 ~ 2500
水平线性（%）	误差≤2	误差≤1	误差≤1	误差≤1	误差≤1	—	≤2	误差≤1
闸门起位范围	深度 10% ~ 80% 标记指示	—	—	扫描量程在 10mm、50mm、250mm、1000mm 时，闸门起位为水平刻度 1 ~ 10	扫描量程在 10mm、50mm、250mm、1000mm 时，闸门起位为水平刻度 1 ~ 10	0. 5 ~ 50cm	20 ~ 1500mm	10 ~ 400mm
闸门宽度范围	—	—	—	扫描量程在 10mm、50mm、250mm、1000mm 时，闸门宽度为水平刻度 1 ~ 10	扫描量程在 10mm、50mm、250mm、1000mm 时，闸门宽度为水平刻度 1 ~ 10	1 ~ 500cm	20 ~ 1500mm	10 ~ 400mm
报警灵敏度	—	—	—	垂直刻度 20% ~ 100%	垂直刻度 20% ~ 100%	显示波高 5mm	显示波高 20% ~ 100%	—
检测灵敏度	2. 5P20 直探头发现 ϕ2mm 平底孔，灵敏度余量 >40dB	2. 5P 直探头，发现 200mm ~ ϕ2mm 平底孔，灵敏度余量 ≥46dB	2. 5P20 直探头，发现 200mm ~ ϕ2mm 平底孔，灵敏度余量 ≥46dB	2. 5P20-D 探头发现 200mm ~ ϕ2mm 平底孔时≥40dB	2. 5P20-D 探头发现 200mm ~ ϕ2mm 平底孔时≥40dB	发现距探测面 200mm ϕ1mm 平底孔	2. 5P20 探头发现 ϕ2mm 平底孔，灵敏度余量 >40dB	在 ϕ2mm/200mm 标准试块中，灵敏度余量≥40dB
分辨率	≥20dB	窄脉冲探头 5N14 的最小检测距离 <3mm	脉冲探头 5N14 的最小检测距离 <3mm	薄板探头 10N8≤1. 2mm	薄板探头 10N8≤1. 2mm	5mm	≥20dB	≥20dB
配用探头	SHN 系列直探头，斜探头	SHN-D 和 SHN-Z 两个系列中频率为 0. 5 ~ 10MHz	SHN-D 和 SHN-Z 两个系列中频率为 0. 5 ~ 10MHz	—	—	L 系列直探头、斜探头、水浸探头	SHN 系列直探头、斜探头、水浸探头	—
示波管有效面/cm	4 × 6	5. 6 × 7. 4	5. 5 × 6. 8	—	—	8 × 10	8 × 10	8. 4 × 6. 8
使用电源/V	直流：22、28 交流：220 ×（1 ± 10%）	直流：10. 5 ~ 14. 5 交流：165 ~ 242	直流：10. 5 ~ 14. 5 交流：165 ~ 242	直流：12. 5 ± 2 交流：187 ~ 242	直流：12. 5 ± 2 交流：187 ~ 242	220 ×（1 ± 10%） 50 ~ 60Hz	220 ×（1 ± 10%）（50 ± 2）Hz	187 ~ 242
消耗功率 VA	16	6	6	—	—	180	280	—

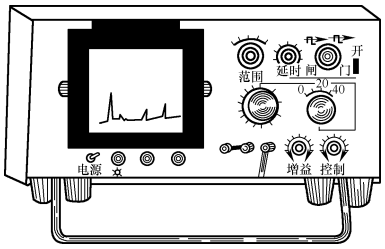


图 2-65　CTS-26 超声检测仪外形

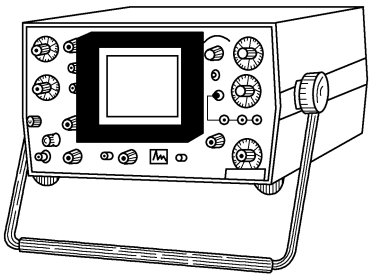


图 2-66　SA-101 超声检测仪外形

2. 射线检测设备

常用的射线检测设备有 X 射线检测设备、γ 射线检测设备和高能射线检测设备。

（1）X 射线探伤机　X 射线检测是利用 X 射线透过铸件时，在有缺陷与无缺陷之处对射线的吸收能力不同，因而在感光胶片上对应于有缺陷的部位形成黑度较大的缺陷影像，以此作为判伤依据的检测方法。

X 射线探伤机由控制器与射线管等组成。

常用 X 射线探伤机的主要技术规格及外形见表 2-32、图 2-67 和图 2-68。

表 2-32　常用 X 射线探伤机的主要技术规格

型号	设备名称	电源电压/V	管电压/kV	管电流/mA	功率/kW	焦点尺寸/mm	射线角度/(°)	连续工作时间/min	穿透力/mm
XX-1005	携带式 X 射线探伤机	220	100	5	1	2.3×2.3	40	5	12
XX-1505		220	150	5	1.2	2.5×2.5	40	5	30
XX-2005		220	200	5	1.5	3×3	40	5	43
XX-2505		220	250	5	1.8	3×3	40	5	54
XXZ-1505	周向 X 射线探伤机	220	150	5	1.2	φ3	≥34×360	5	22
XXZ-2005		220	200	5	—	4×4	30×360	5	23
XX2005-2	携带式工业 X 射线探伤机	220	200	5	1.5	2.5×2.5	40±1	工作 5，休息 5	45
XX2507-3		220	250	7	1.8	3×3	40±1	工作 5，休息 5	60
XX3006-3		220	300	6	2	3×3	40±1	工作 5，休息 5	70
XY4010/4-2	移动式工业 X 射线探伤机	220/380	400	大焦点:10 小焦点:4	5	大焦点:4×4 小焦点: 1.8×1.8	40±1	—	120
XY2020-1	X 射线探伤机	220/380	200	20	1.8	≤φ10	40±1	工作 30 休息 10	60
XY1512/4-1	移动式工业软 X 射线探伤机	220/380	150	大焦点:12 小焦点:4	2	大焦点: 2.5×2.5 小焦点:1×1	—	—	30

（续）

型号	设备名称	电源电压/V	管电压/kV	管电流/mA	功率/kW	焦点尺寸/mm	射线角度/(°)	连续工作时间/min	穿透力/mm
XY-2515	X 射线探伤机	220	250	15	5.5kW	4×4	40	7	74
XYM-400	脉冲式 X 射线探伤机	220	400	4000～5000A	1	—	—	—	30
XYM-1000		220	1000	4000～5000A	—	—	—	—	—
XYB-1515	棒状阳极 X 射线探伤机	—	20～150	0.5～15	—	1.5×1.5	360×(35±5)	工作 10，休息 7	28
XX1605-2	携带式工业 X 射线探伤机	220	160	5	1.5	2.5×2.5	40±1	工作 5，休息 5	30

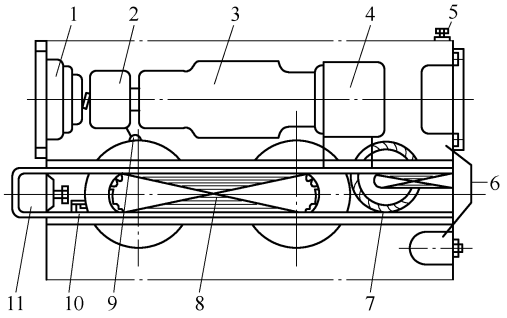


图 2-67　X 射线管结构

1—阳极座　2—散热器　3—X 射线管　4—阴极座
5—放（补）油螺钉　6—油膨胀器　7—灯丝变压器
8—高压变压器　9—导电球　10—温度继电器
11—搅拌电动机

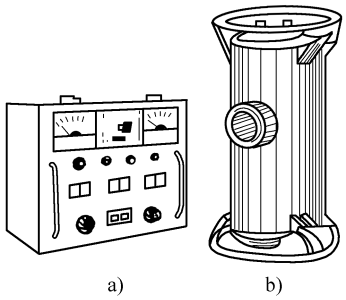


图 2-68　XX1605-2、XX2005-2、XX2507-3、XX3006-3 携带式工业 X 射线探伤机外形图

a）操纵台　b）X 射线发生器

X 射线探伤机的安装及使用应按产品说明书所写步骤进行。X 射线探伤机的维护提示如下：

1）任何情况下，X 射线管头内不允许有气泡，如发现有空气，必须将空气排尽。

2）对冷却油箱，应注意油面的高低，油面离箱端之玻璃窗口偏差不能太远，否则应及时补油。

3）进线电源最好接有交流电流表，正常使用时电流不应超过射线探伤机最大容量允许的电流值。

4）X 射线管头切忌受强烈振动，长途运送时，X 射线管头必须处于垂直位置，并须加防振装置。在升降射线柜尤其是在下降时，放油必须均匀、缓慢，严防突然降落，使射线柜受振而损坏 X 射线管。

5）如电源波动太大，可加装调压稳压器，以保证电源维持稳定，使 X 射线探伤机正常工作。

（2）γ 射线探伤仪　γ 射线探伤仪的穿透力较 X 射线强，且不需用电，适合于现场使用，并可在高温、高电压、磁场情况下进行检测，射线源还可以用传输管伸入到狭窄部位去照相。

γ 射线探伤仪由工作容器、放射源及源辫子、挠性源导管、遥控器、安全装置几部分组成。γ

射线探伤仪的主要附件有光阑、源导管、手或电控装置等。

常用 γ 射线探伤仪的主要技术规格与外形和结构图见表 2-33、图 2-69 和图 2-70。

表 2-33　常用 γ 射线探伤仪的主要技术规格

型号	TIF 型 100 居里 Ir-192γ 探伤仪	TK100 型 Co-60 放射源 100 居里 γ 探伤仪
透照厚度/mm	80(钢)	30 ~ 250
放射源尺寸/mm	$\phi 3 \times 3$	$\phi 4 \times 4$

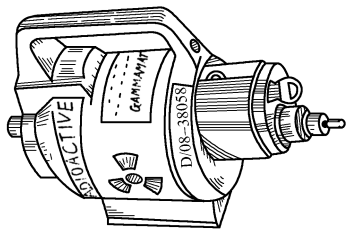


图 2-69　TIF 型 100 居里 Ir-192 γ 探伤仪外形图

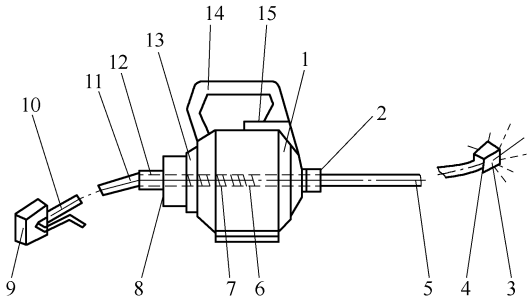


图 2-70　γ 射线探伤仪结构示意图

1—工作容器　2—源导管快速接头　3—放射源（在工作位置）　4—光阑　5—源导管　6—放射源（在静止位置）　7—源辫子　8—安全锁定机构　9—缆驱动器　10—驱动缆　11—驱动缆软管　12—遥控器快速接头　13—快门环　14—手柄　15—置放源数据标牌的面

γ 射线探伤仪的维护与检查提示如下：

1）在进行射线照相工作时，必须配备辐射监测和报警装置。首先要检查这些仪器的功能可靠性。再检查工作容器表面的剂量率。工作人员根据要求和污染的种类，对工作容器的所有连接器，快门环及遥控器和源导管上的快速接头都必须定期清洁。在每次使用前和使用后用一个适当的工具，如擦布、刷子等进行清洁，不要用钢丝刷、水或油去清洁。

2）当在条件恶劣地区应用时，要特别注意不使灰尘和沙土进入遥控器、源导管和工作容器内。每天都要清除进入的尘沙。如果需要，把驱动缆拉出软管，用刷子清除干净。

3）当内部污染厉害，或是在高温近海地区使用 γ 射线探伤仪时，各部件上的腐蚀性沉积物会影响探伤仪的功能。

4）清洁 γ 射线探伤仪时，千万不能用润滑剂。当其确定射线源有泄漏时，应停止使用，放在安全位置密封并消除污染。

（3）高能射线探伤设备（加速器）　加速器穿透力强，可以穿透 300 ~ 500mm 厚的铸件进行无损检测。但由于设备结构复杂、价格昂贵，只有生产大型铸件的铸造企业选用。

（4）关于射线检测设备的特别提示　射线对人体有危害作用，随辐射剂量、照射部位以及对机体的作用不同，而有所不同。当人长期受到高于安全剂量值的射线照射时，人的机体将会引起病变，如果一次照射的剂量高达 400 ~ 450R（伦琴）㊀时，会出现严重病变，甚至死亡。故使用射线探伤设备时，要加强对射线的防护，注意遵守国家及国际法定的规程，配备辐射剂量仪检测射线源

㊀ $1R = 0.258 \times 10^{-3} C/kg$。

有无泄漏情况。通常的防护措施有以下三方面。

1）屏蔽防护。利用各种屏蔽物体吸收射线，以减少射线对人体的危害。应根据不同种类的射线选用合适的屏蔽材料，这种材料应有一定的强度，接受辐射后不致产生毒物或活化，且价格便宜，容易获得。

对于同一种类不同型号的 X 射线探伤机而言，由于管电压的不同所需防护材料的厚度也不同，要根据 X 射线探伤机的基本参数及使用情况（管电压、管电流、照射方向、位置、距离、工作时间等），来计算各种防护材料的厚度，使其既保证安全又不浪费材料。

2）离辐射源的距离。射线的强度与距离的平方成反比，增大人与辐射源间的距离，可使人体受到的照射量减少。因此，在实际操作时尽可能远离辐射源，可用辐射剂量仪测量某安全距离。

3）照射时间。人体所接受的总剂量与辐射源接触的时间成正比，为减少人体所接受的照射量，应尽可能地缩短在辐射场内停留的时间，要求操作熟练、迅速。

3. 磁粉探伤设备

磁粉检测是对被检铸件加外磁场进行磁化，铸件被磁化后在其表面上均匀喷洒磁粉来进行检测的。磁粉被磁化的铸件所吸引，若铸件无缺陷，其磁力线是平行而无变化的，磁粉在铸件表面上均匀分布。当铸件存在缺陷时，磁力线就会绕过这些透磁率低的区域而泄漏于铸件表面，在缺陷处产生漏磁场，磁粉集聚于此而使缺陷显现出来。

磁粉探伤机主要由主体装置与附属装置组成。主体装置即磁化装置，是磁粉探伤机的主要部分，其作用是将磁场加在被检铸件上使其磁化。磁化方法主要有：给铸件直接通电；采用通电线圈以及用电磁铁对铸件进行磁化。电磁铁是携带式及移动探伤机常用的磁化方式。固定式磁粉探伤机以直接通电法为多。常用磁粉探伤机（仪）的主要技术规格与外形图见表 2-34、图 2-71 ~ 图 2-74。

表 2-34　常用磁粉探伤机（仪）的主要技术规格

型号	名称	电源电压/V	最大输出功率/kW	周向最大磁化电流/A	纵向磁化安匝数/安匝	退磁形式	夹头间距/mm
CJX-515	携带式交流磁粉探伤机	220	0. 3	5. 5	—	—	—
CEX-500	携带式交直两用磁粉探伤机	220	1. 8	500	≥6300	6 匝 500A	
CEX-1000	交流磁粉探伤机	220	6. 6	1000	—	退磁电流： 0 ~ 1000A	—
CEX-1500	直流磁粉探伤仪	220	—	1500	—	—	—
CEX-2000	通用磁粉探伤仪	220	—	2000	—	自动退磁电流： 0 ~ 2000A 退磁时间： 3 ~ 5s	—
CZB-3000	半波整流磁粉探伤机	380	30. 4	3000	—	—	—
CZX-1500	直流磁粉探伤机	220		1500			
CEW-2000	交直两用磁粉探伤机	380	13	2000	19800	9000 安匝	80 ~ 1000

（续）

型号	名称	电源电压/V	最大输出功率/kW	周向最大磁化电流/A	纵向磁化安匝数/安匝	退磁形式	夹头间距/mm
CEW-2000A	交直两用磁粉探伤机	380	13.2	2000	≥0～20000	自动退磁频率：0.1～5 次/s	0～1000
CEW-4000	交直两用磁粉探伤机	380	32	0～4000	28800	自动退磁频率：0.1～5 次/s	0～1500
CEW-10000	交直两用磁粉探伤机	380	280	10000	28000	自动退磁频率：0～10s	800～4200
YJ-HB	手提式旋转磁粉探伤仪	220	0.27	—	—	—	—
CJD-500	移动式磁粉探伤机	380	3	—	U 型探伤器：1800 闭合环型探伤器：2100 开合环型探伤器：2600	—	—
CJD-1000	移动式磁粉探伤机	380	6	1000	U 型探伤器：1800 闭合环型探伤器：2100 开合环型探伤器：2600		
CJW-2000	磁粉探伤机	380	12	2000	纵向磁化最大电流：3.25A	有退磁机构	0～1000
CJW-6000	磁粉探伤机	380	100	6000	10200	有退磁机构	0～2000
CJW-9000	磁粉探伤机	380	177	9000	16800	有退磁机构	0～2650
QJW-12500	磁粉探伤机	380	450	12500	22000	自动退磁机构	200～8000
TYC-2000	荧光磁粉探伤机	380	23	2000	20000	自动退磁机构	0～1200
CEY-1000	立式半自动荧光磁粉探伤机	380	7	1000	1400	—	0～280

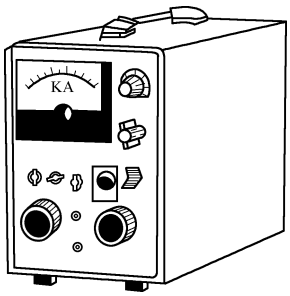


图 2-71 CEX-1000 交流磁粉探伤机外形图

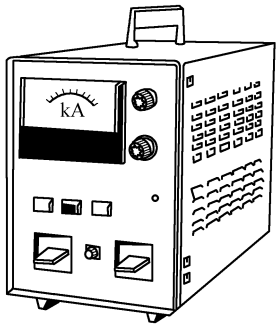


图 2-72 CEX-1500 直流磁粉探伤仪外形图

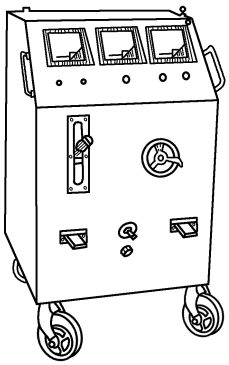


图 2-73　CEX-2000 通用磁粉探伤仪外形图

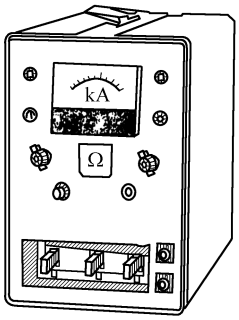


图 2-74　CZB-3000 半波整流磁粉探伤机外形图

4. 渗透检测设备

渗透检测是利用紫外线光辐射时，激发渗入到铸件表面缺陷内的荧光物质所发出的可见荧光而进行检查的。

渗透检测设备主要由荧光检测仪及各种盛纳液体的槽及干燥装置组成。

荧光检测仪由顶部滑动轮、十字形支架、探头、固定夹、立杆、底盘、滑动架、操纵盒等部分组成。

常用荧光检测仪的主要技术规格见表 2-35。

表 2-35　常用荧光检测仪主要技术规格

型号	YX-125 携带式荧光检测仪	YX-240 携带式荧光检测仪	YX-125 手提式荧光检测仪	Y-300 立式荧光检测仪
电源电压/V	220 ± 10	220	220	220
灯管功率/W	125	240 ± 28	125	300
工作电流/A	1. 2 ± 0. 2	2. 3 ± 0. 4	1. 15	2. 3
起动电流/A	1. 8 ± 0. 2	4. 5	1. 8	3. 6
工作电压/V	—	120 ± 15	115	120 ± 12
不稳定连续时间/min	< 10	< 15	4 ~ 8(稳定时间)	—
辐射波长/nm	360 ± 30	365	365	365

2. 2. 6　常用铸件外观质量检验设备

铸件外观质量检验包括铸件表面粗糙度检验、铸件表面缺陷检验、铸件形状和尺寸检验、铸件重量检验和铸件内腔检验。

1. 铸件表面粗糙度检验设备

铸件表面粗糙度是衡量铸件表面质量的重要指标。

常用于铸件表面粗糙度检验的有比较样块和轮廓仪。

（1）铸件表面粗糙度比较样块　铸件表面粗糙度比较样块是用来与它表征的铸件材料（合金）和铸造方法相同的并经过适当方法清理（喷丸、喷砂、滚筒等方法清理）的铸件表面进行比较，通过视觉和触觉评定铸件表面粗糙度的工具（见表 2-36）。

关于铸件表面粗糙度的样块比对方法说明如下：

① 铸件的被检铸造表面必须清理干净，不得有锈蚀、油污、砂粒和其他粘附物。

表 2-36　常用铸件表面粗糙度比较样块

№	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
铸型类型	砂型类				金属型类		
合金种类	钢铁	黄铜	青铜	铝、镁、锌	黄铜	青铜	铝、镁、锌
颜色	钢灰	金黄	古铜	银白	金黄	古铜	银白
Ra 参数值/μm	3.2～100、200～400	12.5～100、200		12.5～100、200	6.3～100		0.8～50

注：样块应附有下列标志：表面粗糙度参数（*Ra*）公称值，平均值公称和标准偏差；表征的铸造合金种类和铸造方法类型；制造厂名或商标；执行标准的标准号为 GB/T 6060.1—1997。

② 比较样块应能表征被检铸件的合金种类和铸造方法，其质量应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定，表面不得有锈蚀、油污、铸造缺陷，以及表面粗糙度特征以外的其他表面特征。

③ 砂型铸造的铸件表面被检点数应符合表 2-37 的规定，特种铸造的铸件表面被检点数应不少于表 2-37 规定的被检点数的二倍。被检点应均匀分布，每点的被检面积不得小于与之比对的比较样块的面积。

④ 比对方法分为视觉比对和触觉比对两种：视觉比对应在光线明亮的场地用肉眼或借助于放大镜观察比对；触觉比对用手指在被检铸件表面及与之相近的两个参数等级的比较样块表面轻轻触摸和刻划，获得同样感觉的那个样块等级即为被检铸件的表面粗糙度参数值。

表 2-37　被检铸件表面最低检测数

被检铸件表面面积/cm^2	≤200	>200～1000	>1000～10000	>10000
被检点数	≥2	>1/200cm^2	≥4/1000cm^2	≥40

（2）轮廓仪　典型的轮廓仪由传感器、电箱、线性驱动装置、转台驱动装置、轮廓测量装置、形貌图 *Z* 向驱动工作台、计算机、打印机、绘图机等组成，如图 2-75 所示。

提示：测量表面粗糙度时，一个评定长度只能反映轮廓表面上的一条线段上的表面粗糙度值，要完整地反映被测表面的表面粗糙度，往往需要选择多个测量部位进行测量，测量的结果将在一定的范围内波动，这个波动范围可能满足被测表面的表面粗糙度规定值，也可能不满足表面粗糙度规定值，可采用适用的统计技术判别测得的表面粗糙度值是否合格。

2. 铸件表面缺陷检验设备

铸件表面缺陷检验除目视和用低倍放大镜外，还可用前述的渗透探伤设备和磁粉探伤设备进行铸件表面缺陷检验。

3. 铸件形状和尺寸检验设备

比较重要铸件的形状和尺寸可采用划线检测，结构及形状复杂的重要铸件的形状和尺寸可采用三坐标测量机和超声波测量仪等检测。

1）划线检测用的工、夹、量具见表 2-38。

2）三坐标测量机的型号与规格参数见表 2-39。

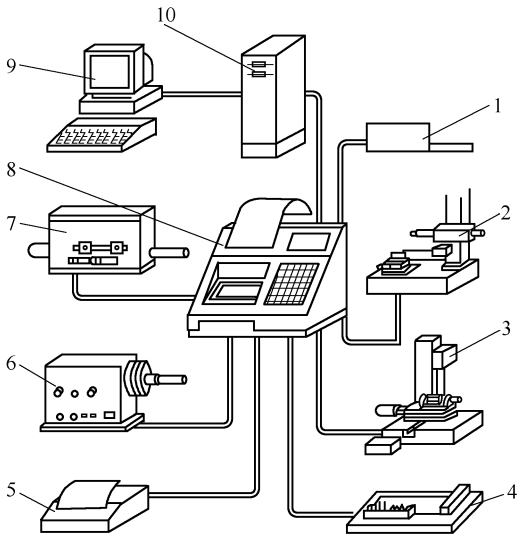


图 2-75　轮廓仪的组成

1—传感器　2—轮廓测量装置　3—形貌图 *Z* 向驱动工作台　4—绘图机　5—打印机　6—转台驱动装置　7—线性驱动装置　8—电箱　9—计算机　10—电源

表 2-38　划线检测用的工、夹、量具

类别	名　　称	备　　注
基准工具	平台、角具、直径尺、方箱、分度器等	主要用于确定铸件的划线基准
划线工具	游标高度尺、划针、划规、地规、划卡、样冲、投点器等	主要用于铸件的划线
支承具和夹具	千斤顶、V 形铁、楔铁以及各种夹具等	主要用于支承和夹持铸件

表 2-39　常用三坐标测量机的型号与规格参数

型号	规 格 参 数	备　　注
CHXY 系列	Z 轴行程/mm:800 ~ 3500 Y 轴行程/mm:800 ~ 1700 X 轴行程:根据用户所需确定 定位精度/mm:≥(0.03 + 0.03L) 空间精度/mm:≥(0.05 + 0.05L) 重复性/mm:≥0.03 分辨率/mm:0.001	单臂三维测量划线机,能快速有效地完成铸件的空间尺寸、曲面的三维划线和检测。该机配置测量头、专用通信接口、计算机、软件绘图仪后,能快速完成三维测量
CLY 系列	Z 轴行程/mm:800 ~ 2000 Y 轴行程/mm:800 ~ 1500 X 轴行程/mm:1000 ~ 6000 定位精度/mm:0.02 ~ (0.02 + 0.02L) 重复性/mm:0.02 空间精度/mm:0.034 ~ (0.02 + 0.02L) 分辨率/mm:0.001	单臂三维测量机,由于采取整机气浮式或固定式设计,并配套精密万向电子测头和测量软件,可对精度要求高、曲面要求较复杂的尺寸公差和几何公差进行检测

3）超声波测量仪。超声波测量仪可无损检测形状复杂铸件的壁厚。

4. 铸件质量大小检验设备

常用铸件质量大小检验设备是衡器。

5. 铸件内腔检验设备

常用铸件内腔检验设备有照明灯具、工业内窥镜、工业电视、内径量具、测厚仪和深度尺等。

2.3　对使用铸造质量检验设备（仪器）的质量要求与控制

2.3.1　对使用铸造质量检验设备（仪器）的计量检定（校准）要求

对使用铸造质量检验设备（仪器）的计量检定（校准）的一般要求如下：

1）铸造质量检验设备（仪器）都应符合检验工作的要求，因此检验设备（仪器）在使用前均须经校验（检定或校准）合格（绿色标志）并在有效期内使用。此外，对检验结果有重要影响的关键参数还要制订校准方案。

2）铸造质量检验设备（仪器）是用以直接或间接地测量被测对象量值的器具。在长期测量过程中，由于各种原因可能会导致检验设备（仪器）的计量性能的改变，因此有必要依据法规对其进行定期检定和校准。

3）铸造企业应从铸造质量检验设备（仪器）的实际需要出发，建立计量标准器。标准器一定要注意配套，并有相应的辅助器具。

4）铸造企业对于有些使用不多或要求精度等级很高的计量标准器，则应该通过上一级计量部门或者请外单位协助解决。

2.3.2 对使用铸造质量检验设备（仪器）人员的素质和能力要求

对使用铸造质量检验设备（仪器）人员的素质和能力的一般要求如下：

1）应知常用铸造质量检验设备（仪器）的种类、名称、规格、型号、使用规则和保养方法。

2）熟悉铸造生产的全部工艺过程和检验流程以及相关检验标准。

3）掌握工序质量控制与铸件质量检验的内容和方法。

4）工序质量检验人员一般应由该工种挑选责任心强、身体好、技术素质好的中级或高级技工来担任，也可以由技术学校毕业的铸造专业学生来担任。

5）理化检验人员应按不同要求，由取得相应等级技术资格证的人员担任。测试方法和试样制备应按有关标准和规程严格执行，不得随意更改。

2.3.3 对使用铸造质量检验设备（仪器）工作的环境要求

对使用铸造质量检验设备（仪器）工作的环境要求主要应包括温度、湿度、清洁度、防振动等。此外，如电源、气源、防腐蚀以及照明等都应有不同的要求。

（1）温度　温度对尺寸检验影响最为明显，包括环境温度对标准温度 20℃ 的偏离，以及随时间和空间的变化程度等。此外，检验工作场地还应避免日光直照，防止散热器等热源和门窗冷空气造成温度剧变。

（2）湿度　湿度过高（一般指相对湿度 >75%）容易导致量具生锈、光学仪器镜头发霉、称量操作不能稳定进行等。所以，湿度高时可用除湿机除湿，或在量具箱放上干燥剂。检验人员休息、吃饭、喝水应与量具隔离。

（3）清洁度，包括防尘和防腐蚀等　检验工作地应远离尘源，远离酸洗等工作场地。

（4）防振动　工作台要稳固，远离铁道及风机和落砂机等振源。

（5）电源　检验设备的电源要稳压，并按照检验设备的特性要求予以保证。如果电压不正常会影响某些检验设备的正常运行。

（6）气源　包括检验设备用氩气、氧气、氮气、乙炔、压缩空气等供给是否正常，工业气瓶要依法规要求采取防倾倒等安全措施。

还应特别注意，当环境条件危及检验结果时，需停止检验工作。

第 3 章　铸造生产用原材料和工艺装备的质量检验（控制）

3.1　铸造生产用原材料的入厂检验（控制）

3.1.1　铸造生产用原材料入厂检验（控制）的一般程序和方法

铸造生产用原材料的种类很多，一般分为两大类：铸造生产用造型原材料和熔炼原材料。

铸造生产用原材料是铸造生产的源头。据不完全统计，约有半数以上的废品铸件都与造型原材料以及熔炼原材料的质量有关。

铸造生产用原材料的质量是保证铸件质量的先决条件，必须严格按规定进行入厂检验（控制），认真管理，避免混 、错料及不合格原材料投入生产。

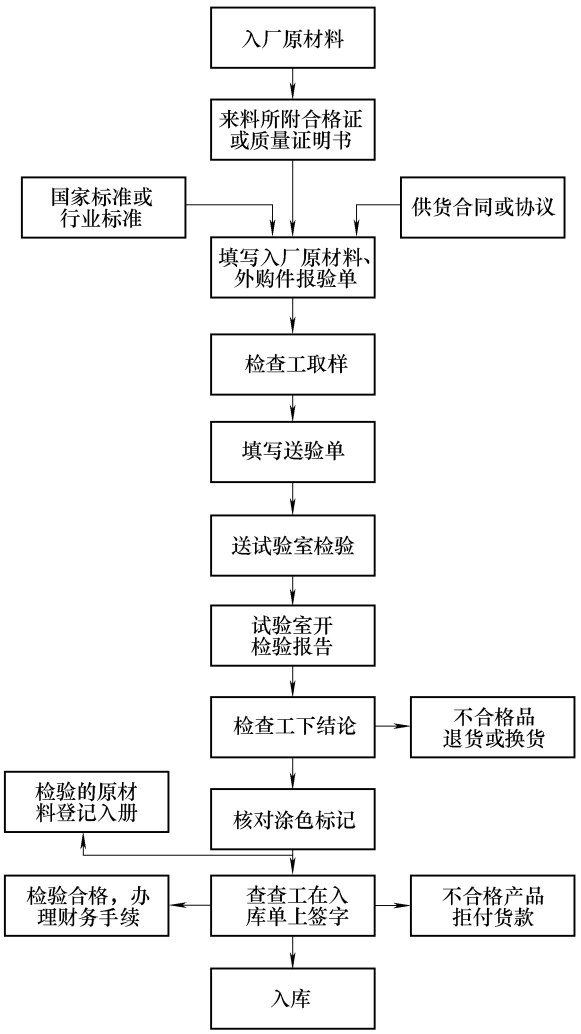


图 3-1　铸造生产用原材料入厂检验 （控制） 的程序

铸造生产用原材料入厂检验（控制）的一般程序如图 3-1 所示。

铸造生产用原材料入厂检验（控制）的一般方法见表 3-1。

表 3-1　铸造生产用原材料入厂检验（控制）的一般方法

序号	检验项目	检验方法	检验(控制)要求	注意事项
1	质量合格证的认定	感官检验（目视）	材料进厂必须有质量合格证,检查员要对照标准核对合格证各项数据是否符合要求,无合格证者拒收	合格证必须有检验员印章和企业印章,否则无效
2	包装质量	感官检验（目视）	对要求包装的粉状、液体材料和铁合金等,要对照标准检查包装质量看其有无散漏、潮湿或变质现象,包装的表面有无牌号或批号的标志等	有不合格项时,应立即隔离、标志并及时反馈采购部处理
3	外观质量	感官检验或借助简单量具	检查外观质量,如颜色、气味、规格、重量、锈蚀等。通过目视、触摸、嗅感、或借助简单的量具、仪器检验,如钢卷尺、钢板尺、放大镜、衡器等	
4	存放及保管质量	感官检验（目视）	检查员要经常深入原材料库房进行抽查,看材料是否严格分类堆放,有无明显标志,有无混料或变质现象,严格控制不合格材料出库投入使用	按规定的时间和方法进行抽查,并有详细记录
5	技术指标参数	物理或化学分析检验	技术指标参数是判定原材料合格与否的主要依据,对于复验的材料,由检查员负责按抽样标准取样,并对样品编号、填写化验委托单,连同样品一起送理化试验室检验,以化验结果报告单作为验收和发料的依据。不合格料若使用或代用时,由采购部门填写不合格材料评审单或代用单,经技术部门批准后,方可使用	不合格材料评审使用或代用,必须有技术部门签署的保证产品质量的技术措施,无具体措施的评审单或代用单无效 报废的材料要督促采购部门换货或退货,并做好标记,以防混淆

3.1.2　铸造生产用造型原材料的入厂检验（控制）

1. 铸造生产用造型原材料分类

砂型铸造生产用造型原材料分类如图 3-2 所示。熔模铸造生产用模料与制壳原材料分类如图 3-3所示。陶瓷型铸造生产用铸型原材料分类如图 3-4 所示。

石膏型铸造生产用石膏型原材料分类如图 3-5 所示。消失模铸造生产用模与造型原材料分类如图 3-6 所示。

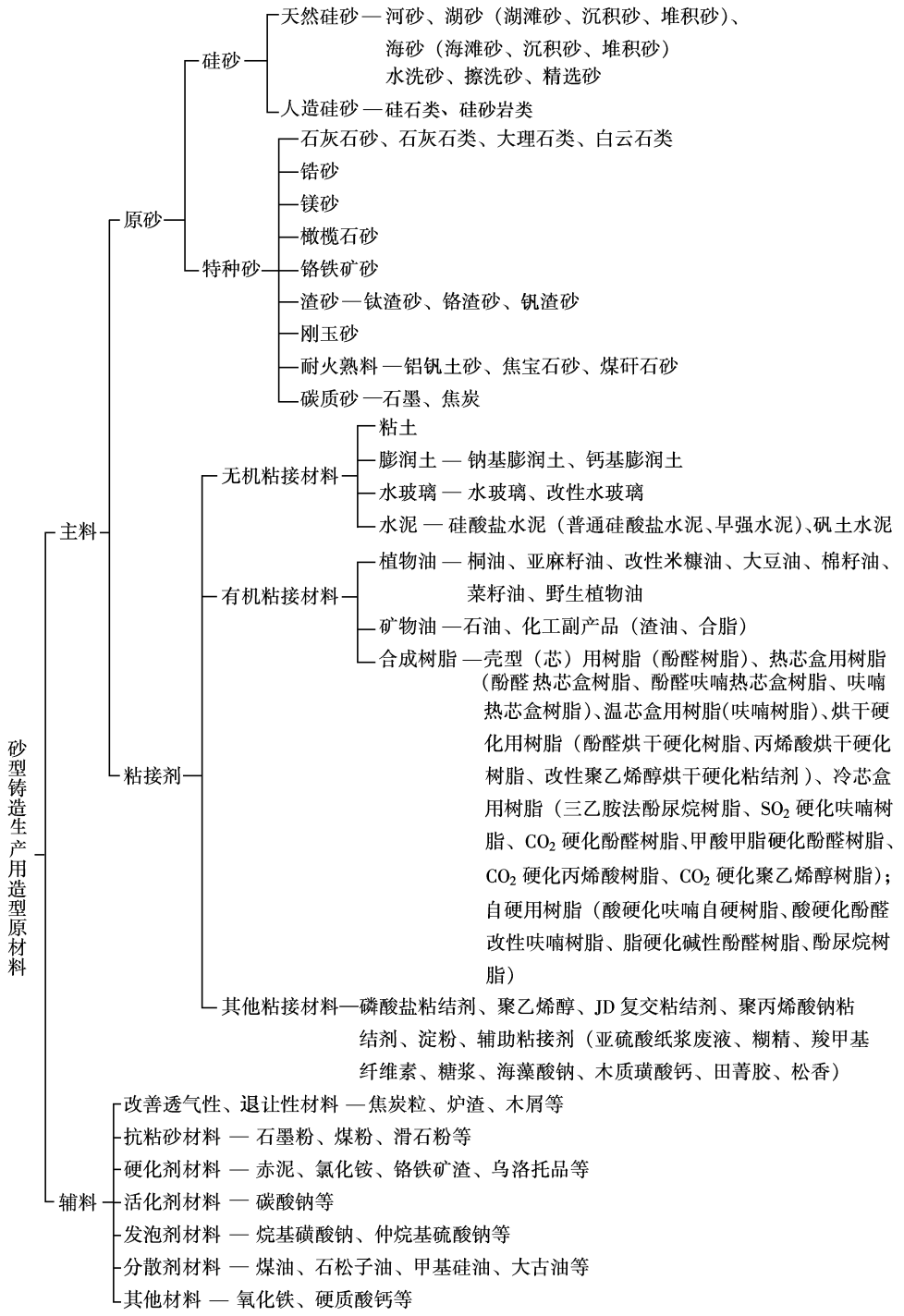


图 3-2　砂型铸造生产用造型原材料分类

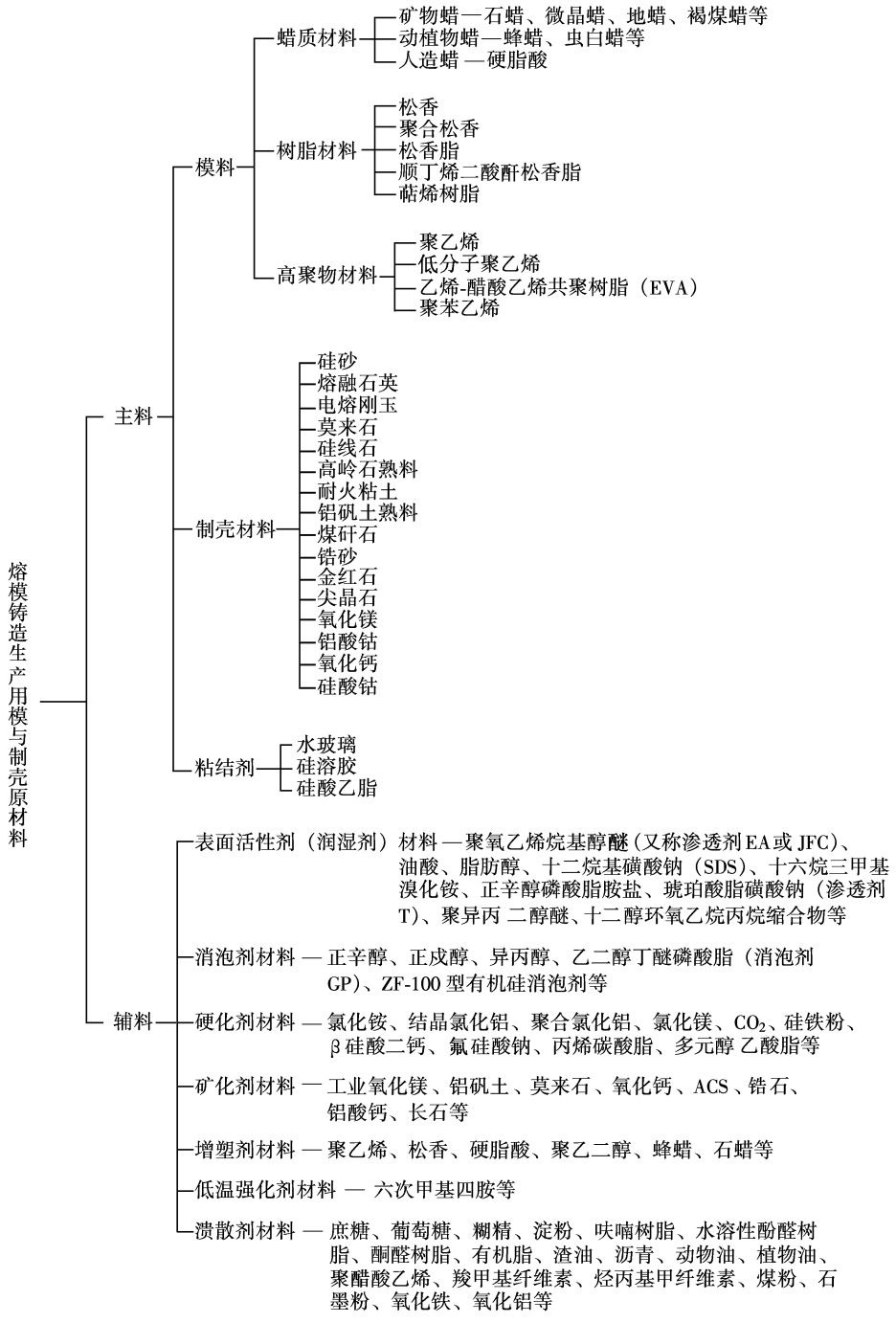


图 3-3　熔模铸造生产用模料与制壳原材料分类

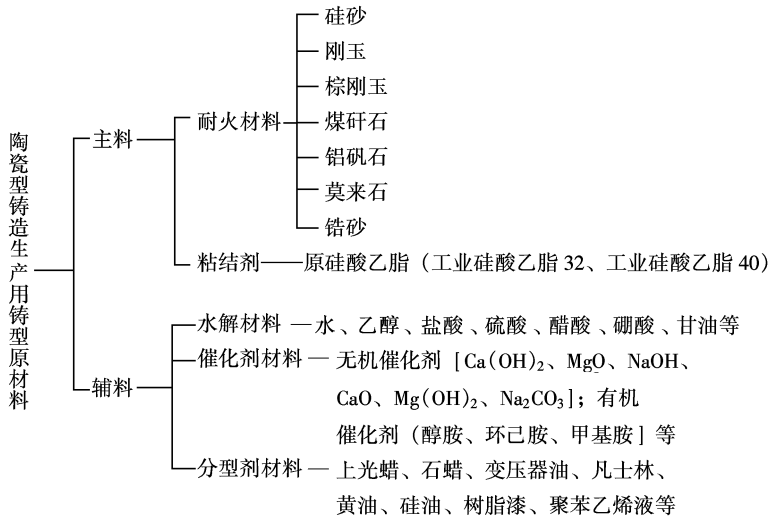


图 3-4　陶瓷型铸造生产用铸型原材料分类

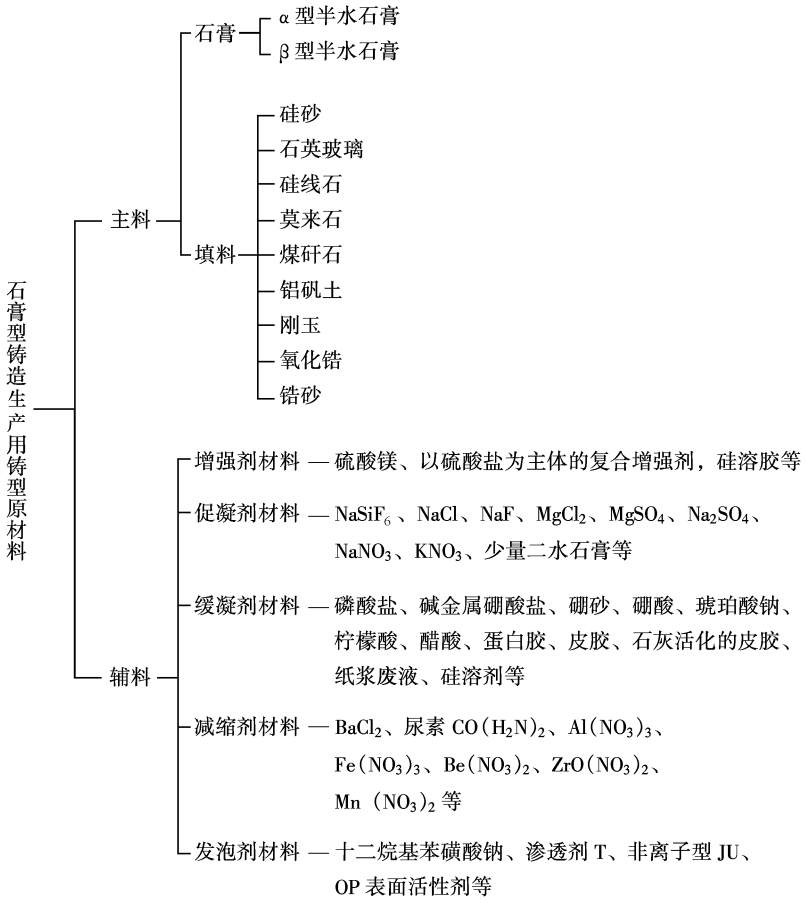


图 3-5　石膏型铸造生产用石膏型原材料分类

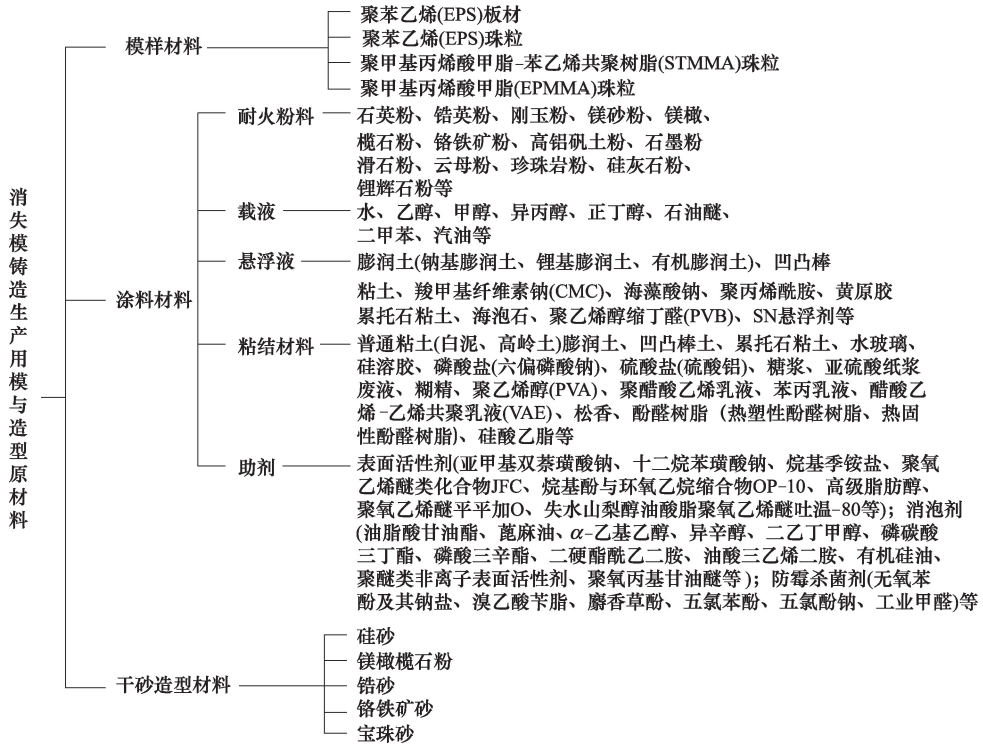


图 3-6　消失模铸造生产用模与造型原材料分类

2. 铸造生产用造型原材料标准

铸造生产用造型原材料的质量控制与检验都离不开标准，因为在标准中对产品的质量、规格、品种、工艺及检验方法都作了规定，是铸造检验人员进行铸造生产用造型原材料质量控制与检验的基本依据。铸造生产用造型原材料标准一览表见表 3-2。

表 3-2　铸造生产用造型原材料标准一览表

序号	标准号	标准名称
一、原砂方面		
1	GB/T 9442—2010	铸造用硅砂
2	GB/T 2684—2009	铸造用原砂及混合料试验方法
3	GB/T 7143—2010	铸造用硅砂化学分析方法
4	JB/T 9223—1999	铸造用锆砂
5	GB/T 2273—2007	烧结镁砂
6	JB/T 6985—1993	铸造用镁橄榄石砂
7	JB/T 6984—1993	铸造用铬铁矿砂
8	YS/T 351—2007	钛铁矿精矿
9	GB/T 2479—2008	普通磨料　白刚玉
10	GB/T 2478—2008	普通磨料　棕刚玉
11	GB/T 12215—1990	熔模铸造用铝矾土砂、粉
12	GB/T 3518—2008	鳞片石黑
13	GB/T 3519—2008	微晶石墨

（续）

序号	标准号	标准名称
二、粘接剂方面		
1	JB/T 9227—1999	铸造用膨润土和粘土
2	JB/T 9225—1999	铸造用粘土、膨润土化学分析方法
3	GB/T 4209—2008	工业硅酸钠
4	GB/T 8235—2008	亚麻籽油
5	JB/T 8834—2001	铸造用壳型(芯)酚醛树脂
6	JB/T 3828—1999	铸造用热芯盒树脂
7	JB/T 7526—2008	铸造用自硬呋喃树脂
8	GB/T 17671—1999	水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)
9	GB 1904—2005	食品添加剂羧甲基纤维素钠
10	GB 1976—2008	食品添加剂　海藻酸钠
11	GB/T 8145—2003	脂松香
三、辅助材料方面		
1	JB/T 9222—2008	湿型铸造用煤粉
2	SH/T 0356—1996	燃料油
3	GB/T 1863—2008	氧化铁红颜料
4	GB/T 15342—2012	滑石粉
5	GB/T 8138—2009	紫胶片
6	HG/T 2277—1992	各色硝基外用磁漆
7	HG/T 2596—1994	各色过氯乙烯磁漆
8	GB 443—1989	L-AN 全损耗系统用油
9	GB 253—2008	煤油
10	HG/T 2366—1992	二甲基硅油
11	SH 0004—1990	橡胶工业用溶剂油
12	GB 6820—1992	工业合成乙醇
13	GB 338—2011	工业用甲醇
14	GB/T 7814—2008	工业用异丙醇

应当指出：通常铸造企业为了控制铸造生产用造型原材料质量都制订有本企业铸造生产用造型原材料入厂验收标准，基本上是等效采用或高于国家（行业）标准的。

检验人员在执行标准时，还应注意来料质量保证书中所标标准的变化。

3. 铸造生产用造型原材料入厂的复检方法

通常，铸造生产用造型原材料的质量应由供应厂家的质量管理体系予以保证。

对于铸造生产用造型原材料中的一般材料，凡材料质量证明书齐全，且与实物相符，标记清楚，技术与质量指标均符合有关标准要求的，均可作合格材料入库。

但对于需要入厂复检的原材料，则应按一定程序进行取样复检，其复检方法可参考表 3-3。

表 3-3　铸造生产用造型原材料入厂的复检方法（供参考）

种类	抽样方法	复检内容	复检方法
硅砂	各种粒度、种类的原砂，以 30t 为一个取样单位（不足 30t 也可作为一个取样单位），一般不超过 70t 在砂堆取样时，应在砂堆的中间部位、离表面 300mm 深处分别在三点取样 在车厢内（火车、汽车）取样时，在离车皮 300mm 远处、离表面 300mm 深处分别在三点取样，样品质量不得少于 1kg，再用“四分法”缩分至 0.5kg 送检。“四分法”是将样品堆聚成圆锥体、沿直径方向切成四个相等的部分，去掉两个相对的部分，将剩下的两部分混合后再重复进行，直到获得试验所需要的量为止	二氧化硅含量 含泥量 平均细度及粒度组成 含水量 角形系数 细粉含量	按 GB/T 7143—2010 和 GB/T 2684—2008 等规定方法检验
铬铁矿砂		三氧化二铬含量 二氧化硅含量 氧化钙含量	按 JB/T 6984—1993 规定方法进行
镁橄榄石砂		氧化镁含量 二氧化硅含量 三氧化二铁含量	按 JB/T 6985—1993 规定进行
镁砂		氧化镁含量	按 GB/T 5069—2007 规定进行
锆砂		二氧化锆含量 二氧化硅含量	按 YB/T 9223—1999 规定进行
钛渣砂		三氧化二铝含量 二氧化钛含量 氧化钙含量	—
钒渣砂		三氧化二铝含量 五氧化二钒含量 氧化钙含量	—
铬渣砂		三氧化二铝含量 三氧化二铬含量	—
刚玉砂		三氧化铝含量	按 GB/T 3044—2007 规定进行
铝矾土熟料		三氧化二铝含量	按 GB/T 6900—2006 规定进行
煤矸石砂		三氧化二铝含量 二氧化硅含量	—
焦宝石砂		三氧化二铝含量 二氧化硅含量	—
铸造用膨润土和粘土	同一次交收的同一等级的为一批，每批的取样按随机取样法进行，取样数不得低于 $\sqrt{n/2}$。n 为交收产品的袋数，每批取样数不得少于 2 个样品 复检用料从选取的样品中，由“四分法”获得，其重量可由复检项目决定，但不得少于 1kg	粒度、湿压强度	按 JB/T 9225—1999 和 GB/T 2684—2009 等规定进行
石英粉		二氧化硅含量、粒度	按 GB/T 7143—2010 和 GB/T 2684—2009 等规定进行

（续）

<table>
<tr><th>种类</th><th>抽样方法</th><th>复检内容</th><th>复检方法</th></tr>
<tr><td>滑石粉</td><td rowspan="3">同一次交收的同一等级的为一批，每批的取样按随机取样法进行，取样数不得低于 $\sqrt{n/2}$。n 为交收产品的袋数，每批取样数不得少于 2 个样品
复检用料从选取的样品中，由“四分法”获得，其重量可由复检项目决定，但不得少于 1kg</td><td>二氧化硅含量和粒度</td><td>按 GB/T 7143—2010 和 GB/T 2684—2009 等规定进行</td></tr>
<tr><td>石墨粉</td><td>按协议规定项目复检，如固定炭、挥发分、灰分和粒度</td><td>—</td></tr>
<tr><td>湿型铸造用煤粉</td><td>每批为 30t，但最少不低于 1t
取样应从同一批量百分之一袋中选取，但不得少于 3 袋，从每袋取样不少于 50g</td><td>按协议规定项目复检：如挥发物含量、灰分含量、水分含量、硫含量及焦渣特征、粒度</td><td>按 GB/T 212—2008、GB/T 214—2007、GB/T 2684—2009 等规定进行</td></tr>
<tr><td>铸造用亚硫酸盐木浆废液粘结剂</td><td>一槽车取 1L，桶装取 0.5L，每批取样不得少于三桶。应从容器的上、中、下三处取出三个样品，混合均匀后作为检验样品</td><td>按协议规定项目复检，如密度、pH 值、水不溶物、干拉强度</td><td>按 GB/T 2684—2009 等规定进行</td></tr>
<tr><td>铸造用自硬呋喃树脂</td><td rowspan="2">同一次反应釜生产的树脂作为一个批号
从铁桶取样时，以桶数为单元数，取样单元数按下表规定选取。取样时采用玻璃管，摇匀后每桶采样量不少于 100g
<table>
<tr><th>总体物料的单元数</th><th>选取的最小单元数</th></tr>
<tr><td>1 ~ 10</td><td>全部单元</td></tr>
<tr><td>11 ~ 49</td><td>11</td></tr>
<tr><td>50 ~ 64</td><td>12</td></tr>
<tr><td>65 ~ 81</td><td>13</td></tr>
<tr><td>82 ~ 101</td><td>14</td></tr>
<tr><td>102 ~ 125</td><td>15</td></tr>
<tr><td>126 ~ 151</td><td>16</td></tr>
<tr><td>152 ~ 181</td><td>17</td></tr>
<tr><td>182 ~ 216</td><td>18</td></tr>
<tr><td>217 ~ 254</td><td>19</td></tr>
</table></td><td>按标准技术要求或协议的规定</td><td>按 JB/T 7526—2008 规定进行</td></tr>
<tr><td>铸造用壳型（芯）酚醛树脂</td><td>按标准技术要求或协议的规定</td><td>按 JB/T 8834—2001 规定进行</td></tr>
<tr><td>铸造用热芯盒树脂</td><td></td><td>根据企业需要选取本标准中的技术指标复检</td><td>按 GB/T 2684—2009 等规定进行</td></tr>
</table>

4. 铸造生产常用造型原材料的质量要求与控制

（1）砂型铸造生产常用造型原材料的质量要求与控制

1）型砂对硅砂（粉）的质量要求与控制如下：

① 湿型砂对硅砂的质量要求与控制见表 3-4 ~ 表 3-6。

表 3-4　铸钢件用湿型砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	指　　标		
	优等砂	一等砂	合格砂
二氧化硅含量(质量分数,%)	≥98	≥97	≥96
含泥量(质量分数,%)	≤0.2	≤0.5	≤1.0
角形系数	≤1.3	≤1.45	—
粒度(筛号)	70/140,100/200		

表 3-5　铸铁件用湿型砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	指　　标		
	优等砂	一等砂	合格砂
二氧化硅含量(质量分数,%)	≥93	≥90	≥85
含泥量(质量分数,%)	≤0.3	≤0.7	≤1.0
角形系数	≤1.3	≤1.45	—
粒度(筛号)	30/50、50/100、70/140		

表 3-6　铸造有色合金件用湿型砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	指　　标
二氧化硅含量(质量分数,%)	≥75
含泥量(质量分数,%)	≤10.0
角形系数	≤1.63
粒度(筛号)	50/100、70/140、100/200

通常，为减少砂型受热时的膨胀，避免引起夹砂，对于高压造型的湿型砂用硅砂的质量控制，应注意 SiO_2 含量要求不必过高，粒形也不必很圆，粒度也不宜过于集中。

② 干型砂对硅砂的质量要求与控制见表 3-7。

表 3-7　干型砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	铸钢件用	铸铁件用	铸造有色合金件用
二氧化硅含量(质量分数,%)	≥96	≥85	≥75
含泥量(质量分数,%)	≤1.0	≤1.0	≤10.0
角形系数	≤1.45	≤1.45	≤1.63
粒度(筛号)	12/30、20/40、40/70	20/40、30/50、40/70	70/140、100/200

注：铸铁件表干型砂用的硅砂比干型砂用的硅砂粒度还粗，一般用 12/30、20/40、30/50 筛号。

③ 水玻璃型砂对硅砂的质量要求与控制见表 3-8。

表 3-8　水玻璃型砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	铸钢件用	铸铁件用	铸造有色合金件用
二氧化硅含量(质量分数,%)	≥97	≥90	≥85
含泥量(质量分数,%)	<0.2		
角形系数	<1.3		
粒度(筛号)	以 70 为中心,上下 3 个或 4 个筛号,并根据铸件材质不同有变化		
细粉(<140 筛号)	≤1		
含水量(质量分数,%)	≤5		
灼烧减量(%)	≤0.5		

④ 树脂自硬型砂对硅砂的质量要求与控制见表 3-9。

表 3-9　树脂自硬型砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

应用		粒度(筛号)	SiO_2(质量分数,%)	含泥量(质量分数,%)	含水量(质量分数,%)	微粉量①(质量分数,%)	酸耗值/mL	灼烧减量
材质	铸件类型							
铸钢	重大型及大型热节铸件	30/50	>97	<0.2	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
		40/70	>97	<0.2	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
	大、中型热节铸件	40/70	>96	<0.2	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
	中、小型铸件	50/100	>96	<0.2~0.3	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
铸铁	重大及大型铸件	40/70	>90	<0.2	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
		50/100	>90	<0.2~0.3	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
	一般铸件	50/100	>90	<0.2~0.3	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
		100/200	>90	<0.3	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
铸造有色合金	各类铸件	70/140	>85	<0.2~0.3	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5
		100/200	>85	<0.3	<0.1~0.2	<0.5~1	<5	<0.5

① 微粉：对 30/50、40/70 筛号的原砂，140 筛号以下为微粉；对 50/100、70/140 筛号的原砂，200 筛号以下为微粉；对 100/200 筛号的原砂，270 筛号以下为微粉。

⑤ 植物油芯砂对硅砂的质量要求与控制见表 3-10。

表 3-10　植物油芯砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	铸钢件用	铸铁件用	铸造有色合金件用
二氧化硅含量(质量分数,%)	≥96	≥85	≥75
含泥量(质量分数,%)	≤1.0		
角形系数	≤1.3		
粒度(筛号)	40/70、50/100、70/140		

注：常用水洗砂。

⑥ 覆膜砂对硅砂的质量要求与控制见表 3-11。

表 3-11　覆膜砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	铸钢件用	铸铁件与铸造有色合金件用
二氧化硅含量(质量分数,%)	>97	>90
含泥量(质量分数,%)	≤0.2	
粒度(筛号)	分布在相邻 3~5 个筛号上	
平均细度	50~65,应根据铸件表面质量要求来控制不同细度	
角形系数	≤1.3	
酸耗值/mL	≤5	

注：硅砂需用水擦洗，有特殊要求时还应酸洗或高温活性处理（900℃焙烧）。

⑦ 热芯盒砂对硅砂的质量要求与控制，见表 3-12。

表 3-12　热芯盒砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	指标
二氧化硅含量(质量分数,%)	>90
含泥量(质量分数,%)	≤1
粒度(筛号)	一般为 50/100
角形系数	≤1.3
酸碱性	中性或偏酸性

注：硅砂应充分干燥。

⑧ 冷芯盒砂对硅砂的质量要求与控制见表 3-13。

表 3-13　冷芯盒砂对硅砂的质量要求与控制（供参考）

项　　目	最佳范围	允许范围
二氧化硅含量(质量分数,%)	>90	
平均细度	50 ~ 60	40 ~ 80
粒形	圆形	—
酸耗值/mL	尽可能低	0 ~ 10
杂质(质量分数,%)	无	含泥量 0 ~ 0. 1
	—	氧化铁 0 ~ 0. 3
砂温/℃	21 ~ 26	10 ~ 40
含水量(质量分数,%)	0 ~ 0. 1	<0. 25

注：擦洗砂或精选砂一般能达到此质量要求。

2）型砂对粘土（膨润土）的质量要求与控制如下：

① 干型砂对粘土的质量要求与控制见表 3-14。

表 3-14　干型砂对粘土的质量要求与控制（供参考）

项目	一般铸件用	较大型铸件用
耐火度/℃	1350 ~ 1580	>1580
工艺试样湿压强度/kPa	20 ~ 50	>50
工艺试样干压强度/kPa	200 ~ 500	>500
含水量(质量分数,%)	<10. 0	
粒度(筛号)	其质量的 95% 以上应通过 09 号铸造用试验筛(筛网孔径为 0. 106mm)	

② 湿型砂对膨润土的质量要求与控制见表 3-15。

表 3-15　湿型砂对膨润土的质量要求与控制（供参考）

项目	重要铸件用	一般铸件用
湿压强度/kPa	>70	30 ~ 70
热湿拉强度/kPa	>2. 0	0. 5 ~ 2. 0
吸附亚甲基蓝量/(g/100g)	20	
含水量(质量分数,%)	≤12. 0(冬季允许≤15. 0)	
粒度(筛号)	其质量的 95% 以上应通过 09 号铸造用试验筛(筛网孔径为 0. 106mm)	

3）水玻璃型砂对水玻璃的质量要求与控制见表 3-16。

表 3-16　水玻璃型砂对水玻璃的质量要求与控制（供参考）

项目	铸钢件用	
	ZS-2. 90	ZS－2. 50
密度/(g/cm^3)	1. 40 ~ 1. 50	1. 50 ~ 1. 56
$w(SiO_2)$(%)　≥	25. 7	29. 0
$w(Na_2O)$(%)　≤	10. 2	12. 8
模数	2. 51 ~ 2. 90	2. 20 ~ 2. 50
w(Fe)(%)　≤	0. 04	0. 05
w(水不溶物)(%)　≤	0. 6	0. 8

注：在使用强度许可的条件下可首先按 ZS-2. 90 的质量要求控制。

4）型（芯）砂对树脂的质量要求与控制

① 热芯盒砂对热芯盒树脂及其配套固化剂的质量要求与控制见表 3-17 和表 3-18。

表 3-17　热芯盒砂对热芯盒树脂的质量要求与控制（供参考）

序号	类型	含氮量(质量分数,%)≤	粘度/Pa·s≤	密度/(g/cm³)	游离甲醛(质量分数,%)≤	pH 值	保存期/月	应用
1	呋喃树脂	14	1.5	1.18～1.30	2.0	6.7～7.5	6	非铁合金
2	呋喃树脂	11	1.5	1.20～1.30	4.0	7～8	6	一般灰铸铁
3	呋喃树脂	7	1	1.22～1.27	3.0	6.7～7.5	6	高级灰铸铁
4	呋喃树脂	3	0.1	1.15～1.20	2.0	6.7～8.0	6	灰铸铁及球墨铸铁
5	酚醛树脂 呋喃树脂	≤6	0.5	1.20～1.30	1.0	6.5～7.5	4	高级灰铸铁
6	酚醛树脂 呋喃树脂	≤0.5	1.5	1.20～1.30	2.0	6.5～7.5	4	铸钢

表 3-18　热芯盒树脂配套固化剂的质量要求与控制（供参考）

序号	总酸量(质量分数,%)	粘度/MPa·s　≤	密度/(g/cm³)	pH 值	适用树脂类型
1	—	10	1.10～1.20	6.5～8.0	高氮树脂
2	12.5～14.5	20	1.10～1.35	—	中低氮树脂
3	6.8～8.5	20	1.10～1.20	—	高氮树脂
4	6.0～8.0	20	1.0～1.20	—	高氮树脂
5	—	20	1.0～1.20	7～10	中氮树脂

② 冷芯盒砂对冷芯盒树脂的质量要求及控制见表 3-19。

表 3-19　冷芯盒砂对冷芯盒树脂的质量要求与控制（供参考）

类型	硬化气体	氮(质量分数,%)	粘度/MPa·s	游离酚(质量分数,%)	游离醛(质量分数,%)	应用
酚尿烷树脂	TEA(三乙胺)	1.5～2.5	≤450	≤5	≤0.5	大批量,复杂型芯
呋喃树脂	SO_2	2～5	≤1000	0	≤1	大批量,复杂型芯
环氧树脂	SO_2	—	≤1000	≤1	0	大批量,简单型芯
酚醛树脂	CO_2	≤0.5	≤1000	≤1	≤0.5	中批量,简单型芯
酚醛树脂	甲酸甲酯	≤0.5	≤1000	≤1	≤0.5	大批量,中等复杂型芯
丙烯酸树脂	CO_2	≤0.5	≤2000	—	—	小批量,简单型芯
聚乙烯醇树脂	CO_2	≤0.5	≤2000	—	—	小批量,简单型芯

③ 树脂自硬砂对自硬树脂及其配套固化剂的质量要求及控制见表 3-20 和表 3-21。

表 3-20　树脂自硬砂对自硬树脂的质量要求与控制（供参考）

树脂类型	主要技术指标					应用
	氮(质量分数,%)	粘度/MPa·s	游离醛(质量分数,%)	游离酚(质量分数,%)	强度①/MPa	
呋喃自硬树脂	5～10	≤50	≤0.5	—	≥1.0	铸造有色合金
呋喃自硬树脂	2～4	≤30	≤0.3	—	≥1.0	铸铁
呋喃自硬树脂	1～2	≤15	≤0.3	—	≥1.0	球墨铸铁及一般铸钢
呋喃自硬树脂	≤0.5	≤15	≤0.3	—	≥0.9	各种铸钢

（续）

树脂类型	主要技术指标					应用
	氮（质量分数，%）	粘度/MPa·s	游离醛（质量分数，%）	游离酚（质量分数，%）	强度①/MPa	
酚醛呋喃树脂	0.5～4	高于同类呋喃树脂	≤0.2	≤1.0	相当于呋喃自硬树脂的 90%	与同类呋喃树脂相同
酚醛树脂	无	≤100	≤0.2	≤5	相当于呋喃自硬树脂的 70%	铸钢
碱性酚醛树脂	无	≤120	≤0.2	≤0.5	相当于呋喃自硬树脂的 60%	铸钢、球墨铸铁 铸造有色合金
酚尿烷树脂	1.5～2.5	≤150	≤0.5	≤5	相当于呋喃自硬树脂的 85%	铸铁、铸造有色合金、铸钢

① 混合料中加入粘结剂的质量分数为 1% 时所具有的抗拉强度。

表 3-21　自硬树脂配套磺酸固化剂的质量要求与控制（供参考）

应用	密度/(g/cm^3)	粘度(20℃)/MPa·s	总酸度(质量分数，%)	游离酸(质量分数，%)
春天、秋天	1.20～1.30	10～30	24.0～26.0	7.0～10.0
夏天	1.20～1.30	10～30	18.0～20.0	0.0～1.5
冬天	1.20～1.40	170～200	29.0～31.0	4.5～7.5
冬天	1.20～1.40	60～80	24.5～27.5	2.5～4.5

5）砂型涂料对耐火填料与载体的质量要求与控制如下：

① 砂型涂料对耐火填料的质量要求与控制见表 3-22。

表 3-22　砂型涂料对耐火填料的质量要求与控制（供参考）

名称	主要化学成分（质量分数，%）	化学性质	密度 ρ/(g/cm^3)	熔点/℃	烧结温度/℃	在 FeO 作用下的烧结温度/℃	比热容 c[J/(kg·K)]	热导率 λ/[W/(m·K)]		线胀系数(293～1273 K)α_l/K^{-1}
								673K	1473K	
硅石粉	SiO_2≥98	酸性	2.65	1713	1500～1700	1400～1500	1046	1.591	0.670	16.0×10^{-6}
刚玉粉	Al_2O_3≥92	中性	3.8～3.9	2000～2500	>1850	—	1130	12.56	5.275	8.8×10^{-6}
高铝矾土粉	Al_2O_3≥80	中性	≈2.6	>1800	1500～1700	1300～1700	—	—	—	—
锆英粉	ZrO_2≥65	弱酸性或中性	4.6～4.7	2200	1600～1800	1400～1600	544		2.093	5.5×10^{-6}
铬铁矿粉	Cr_2O_3≥44	中性	4～4.8	>1900	—	—	—	—	8.374	8×10^{-6}
镁砂粉	MgO≥90	碱性	3.35～3.58	>2000	—	—	—	5.694	2.931	13.5×10^{-6}
镁橄榄石粉	MgO≥57	碱性	3.22	>1890	—	—	—	—	—	12.0×10^{-6}
鳞片状石墨粉	C≥86	中性	2.25	≈3000	—	—	—	—	153.53	2×10^{-6}
无定形石墨粉	C≥83	中性	—	≈2100	—	—	—	—	—	—
滑石粉	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	碱性	2.7	800～1350	—	800～1300	—	—	—	—

注：1. 铸造碳钢件涂料常用硅石粉、棕刚玉粉、高铝矾土粉（熟料）、锆英粉、铬铁矿粉等。
2. 铸造高锰钢件涂料常用铬铁矿粉、镁砂粉、镁橄榄石粉等
3. 铸造不锈钢件和铸造耐热钢件常用白刚玉粉、锆英粉、铬铁矿粉等。
4. 灰铸铁件常用无定形石墨粉、鳞片状石墨粉等。
5. 球墨铸铁件常用硅石粉、无定形石墨粉、鳞片状石墨粉等。
6. 可锻铸铁件常用硅石粉、无定形石墨粉、滑石粉等。
7. 铸造铜合金件常用无定形石墨粉、滑石粉等。
8. 铸造铝合金件常用无定形石墨粉、滑石粉、白垩粉等。
9. 铸造镁合金件常用镁砂粉、镁橄榄石粉等。

② 砂型涂料对载液的质量要求与控制，见表 3-23。

表 3-23　砂型涂料对载液的质量要求与控制（供参考）

名称	分子式	沸点/℃	密度/(g/cm^3)	大气中允许最高体积分数(%)	闪点/℃	蒸发数
水	H_2O	100	1.0	不限	—	—
乙醇(95%)	C_2H_5OH	78.32	0.7893	0.1(或 1880mg/m^3)	16～14	8.30
甲醇	CH_3OH	64.51	0.79	0.02(50mg/m^3)	16～12	6.30
异丙醇	$(CH_3)_2CHOH$	80～82.4	0.79	0.04(或 1020mg/m^3)	12	10.50
正丁醇	$CH_3(CH_2)_2CH_2OH$	115～117	0.80	0.01	28	2.50
石油醚	—	80～110、30～60、60～90、90～120	0.70～0.72	0.05(0.03)	20	3.30
二氯甲烷	CH_2Cl_2	39～41	1.33～1.37	0.05	—	1.80
三氯甲烷	$CHCl_3$	61.2	1.49	0.005	—	0.56
三氯乙烯	C_2HCl_3	74～78	1.33	0.01	—	
四氯化碳	CCl_4	76～77	1.595	—	—	—
二甲苯	$C_6H_4(CH_3)_2$	138.35	0.86	100mg/m^3	25	8.60
乙酸异戊酯	$C_7H_{14}O_2$(冰醋酸 700;异戊醇 750)	142	0.8719	0.01(525mg/m^3)	25～27	8.97
丙酮	C_3H_6O	56	0.79	400mg/m^3	−17.8～−10.0	6.952
乙醚	$C_4H_{10}O$	34.6	0.71	500mg/m^3	−45	6.215
汽油	戊、己、庚、辛烷	95～190		0.03		
溶剂石脑油	甲苯、二甲苯异构体、乙苯、异丙基苯等组成	120～160、120～180、140～200	0.85～0.95	二级易燃品	25～38	—

（2）熔模铸造生产常用熔模与型壳原材料的质量要求与控制。

1）对熔模原材料的质量要求与控制如下：

① 熔模对蜡质材料的质量要求与控制，见表 3-24。

表 3-24　熔模对蜡质材料的质量要求与控制（供参考）

原材料名称	熔点/℃	软化点/℃	抗拉强度/MPa	自由收缩率(%)	灰分(质量分数,%)	密度/(g/cm^3)	机械夹杂物(质量分数,%)	水分(质量分数,%)	含油量(质量分数,%)	针入度/mm	酸值/(mg KOH/g)	水溶性酸或碱(质量分数,%)
石蜡	52～70	>30	0.23～0.3	0.50～0.70	<0.11	0.88～0.91	无	无	<0.5	—	—	<0.5
川蜡	80～84	—	1.2～1.3	0.80～1.20	<0.06	0.92～0.95	—	—	—	皂化值 70～92	1.3	碘值 <6.0
蜂蜡	62～67	40	0.3	0.78～1.00	<0.03	0.94～0.96	苯不溶物<2	—	—	皂化值 75～110	4～9	碘值 6～13
提纯地蜡	滴点 80	—	1.5～2	0.60～1.10	<0.03	0.85～0.95	<0.1	无	—	1.6～1.8	0.28	无
褐煤蜡	82～85	48	4.5	1.63	0.18	0.88～0.93	—	—	——	皂化值 106.7	31.2	—
硬脂酸	54	～35	0.18～0.2	0.60～0.69	<0.03	0.69～0.86	—	<0.2	—	皂化值 205～220	203～218	0.001

② 熔模对树脂类材料的质量要求与控制，可参见表 3-25。

表 3-25　熔模对树脂类材料的质量要求与控制（供参考）

名称	熔点/℃	软化点/℃	抗拉强度/MPa	收缩率(%)	灰分(质量分数,%)	密度(g/cm^3)	机械夹杂物(质量分数,%)	水分(质量分数,%)	酸值/(mg KOH/g)	水溶性酸或碱(质量分数,%)
松香	89 ~ 93	74	5	0.07 ~ 0.09	<0.03	0.90 ~ 1.10	<0.05	<0.4	164	酸价 >166
聚合松香	—	110 ~ 146	—	—	<0.03	—	—	—	120	—
改性松香	120 ~ 150	—	—	—	—	—	—	—	16 ~ 20	—
松香酯	—	70 ~ 105	—	—	≤0.13	—	—	—	13 ~ 25	—
萜烯树脂	—	90 ~ 100	—	—	—	—	—	—	1.0	—

③ 熔模对高分子聚合物类材料的质量要求与控制，见表 3-26。

表 3-26　熔模对高分子聚合物类材料的质量要求与控制（供参考）

名称	熔点/℃	软化点/℃	抗拉强度/MPa	收缩率(%)	灰分(质量分数,%)	密度/(g/cm^3)	机械夹杂物(质量分数,%)	熔体指数/(g/10min)
聚乙烯	104 ~ 135	80	8 ~ 10	2.00 ~ 2.50	0.06	0.92 ~ 0.93	—	—
EVA 树脂	62 ~ 75	—	3.0 ~ 6.0	0.7 ~ 1.2	—	0.94 ~ 0.95	—	250
聚苯乙烯	160 ~ 170	70 ~ 80	30 ~ 50	0.1 ~ 0.8	<0.04	1.05 ~ 1.07	0.02 ~ 0.04	1.1 ~ 3.6

2）型壳对制壳耐火材料的质量要求与控制如下：

① 型壳对硅砂（粉）的质量要求与控制，见表 3-27。

表 3-27　型壳对硅砂（粉）的质量要求与控制（供参考）

项目		铸造低合金钢件与铸造碳钢件用		铸铁件与铸造铜合金件用	
		重要件	一般件	重要件	一般件
SiO_2(质量分数,%)　≥		98	97		96
杂质含量(质量分数,%)≤	$K_2O + Na_2O$	1.0	1.5		2.0
	$CaO + MgO$				
	Fe_2O_3	0.1	0.2		0.3
耐火度/℃　≥		1700	1600		1650
外观		洁白	个别砂粒有锈蚀		个别砂粒有锈蚀
涂料用硅石粉粒度(筛号)	表面层	270 ~ 320			
	加固层	270			
撒砂用硅砂粒度(筛号)	面层	50/100 或 40/70			
	过渡层	40/70 或 20/40			
	加固层	12/20			

② 型壳对熔融石英（石英玻璃）砂（粉）的质量要求与控制，见表 3-28。

表 3-28　型壳对熔融石英（石英玻璃）砂（粉）的质量要求与控制（供参考）

项目		铸造低合钢件与铸造碳钢件用(表面质量要求高的铸件)
SiO_2(质量分数,%)　≥		99
熔点/℃		1713
线胀系数/$10^{-6}℃^{-1}$		0.51 ~ 0.63
密度/(g/cm^3)		2.02 ~ 2.18
涂料用熔融石英粉粒度(筛号)	表面层	270 ~ 320
	加固层	270
撒砂用熔融石英砂粒度(筛号)	面层	50/100 或 40/70
	过渡层	40/70 或 20/40
	加固层	12/20

③ 型壳对电熔刚玉砂（粉）的质量要求与控制见表 3-29。

表 3-29　型壳对电熔刚玉砂（粉）的质量要求与控制（供参考）

项目		铸造耐磨、耐热钢件与铸造不锈钢件用	铸造镁合金件用
Al_2O_3（质量分数，%）　≥		97	92
Na_2O（质量分数，%）　≤		0.90	—
Ti_2O_2（质量分数，%）		—	1.5 ~ 3.8
CaO（质量分数，%）　≤		—	0.45
密度/（g/cm^3）		3.85 ~ 3.90	
熔点/℃		2000 ~ 2050	
涂料用电熔刚玉粉粒度（筛号）	表面层	280 或 W40	
	加固层	280	
撒砂用电熔刚玉砂粒度（筛号）	面层	50/100 或 40/70	
	过渡层	30/50 或 20/40	
	加固层	12/30 或 20/40	

注：电熔刚玉属两性氧化物，在高温下常呈弱酸性或中性。

④ 型壳对锆砂（粉）的质量要求与控制见表 3-30。

表 3-30　型壳对锆砂（粉）的质量要求与控制（供参考）

项目		不锈钢铸件用（型壳表面层涂料与面层撒砂用）
ZrO_2（质量分数，%）≥		65
杂质含量（质量分数，%）≤	TiO_2	1.0
	Fe_2O_3	0.30
	P_2O_5	0.30
水分（质量分数，%）　<		0.30
比放射强度/（Ci/kg）　<		5×10^{-7}
表面层涂料用锆英粉粒度（筛号）		270 ~ 320
面层撒砂用锆砂粒度（筛号）		50/100 或 40/70

⑤ 型壳对铝矾土熟料砂（粉）的质量要求与控制见表 3-31。

表 3-31　型壳对铝矾土熟料砂（粉）的质量要求与控制（供参考）

项目		大型铸钢件用（型壳加固层涂料及撒砂材料）	铸造不锈钢件与铸造耐热钢件用（型壳表面层涂料）
主晶相（刚玉 + 莫来石）（质量分数，%）≥		90	
耐火度/℃ ≥		1770	
Al_2O_3（质量分数，%）≥		70	85
杂质含量（质量分数，%）≤	Fe_2O_3	2.0	1.0
	TiO_2	5.0	4.0
	CaO + MgO	1.0	0.8
	$K_2O + Na_2O$	0.7	0.5
灼烧减量（质量分数，%）		0.5	
涂料用铝矾土熟料粉粒度（分级代号）	表面层	—	28
	加固层	33	—
撒砂用铝矾土熟料砂粒度（分级代号）	加固层	60、85	—

3）型壳涂料对粘结材料的质量要求与控制如下：

① 型壳涂料对水玻璃的质量要求与控制见表 3-32。

表 3-32 型壳涂料对水玻璃的质量要求与控制（供参考）

项目	模数	表面层密度/(g/cm^3)	加固层密度/(g/cm^3)
数值	3.0 ~ 3.4	1.25 ~ 1.28	1.30 ~ 1.34

提示：控制调整市场销售的水玻璃密度的加水量计算公式如下：

$$m_{水}=\frac{m_{原}(\rho-\rho')}{\rho(\rho'-1)}$$

式中 $m_{水}$——加水量（kg）；

$m_{原}$——原水玻璃质量（kg）；

ρ——原水玻璃密度（g/cm^3）；

ρ'——稀释后水玻璃密度（g/cm^3）。

② 型壳涂料对硅溶胶的质量要求与控制见表 3-33。

表 3-33 型壳涂料对硅溶胶的质量要求与控制（供参考）

化学成分(质量分数,%)		物理性能				其他	
SiO_2	Na_2O	密度/(g/cm^3)	pH 值	运动粘度/(mm^2/s)	SiO_2 胶粒直径/mm	外观	稳定期
24 ~ 31	≤0.5	1.15 ~ 1.22	9 ~ 10	≤8	7 ~ 20	乳白色或淡青色,无外来杂物	≥1 年

③ 型壳涂料对硅酸乙酯的质量要求与控制见表 3-34。

表 3-34 型壳涂料对硅酸乙酯的质量要求与控制（供参考）

外观	二氧化硅(质量分数,%)	HCl(质量分数,%)	110℃以下馏分含量(质量分数,%)	密度/(g/cm^3)	运动粘度/(m^2/s)
无色或淡黄色、澄清、微浊液体	32 ~ 42	≤0.04	≤3	0.97 ~ 1.07	$\leqslant 5.0\times10^{-6}$

（3）消失模铸造生产常用模样、涂料以及造型砂原材料的质量要求与控制。

1）对泡沫塑料模样原材料的质量要求与控制如下：

① 泡沫塑料模样对 EPS 板材的质量要求与控制，见表 3-35。

表 3-35 泡沫塑料模样对 EPS 板材的质量要求与控制（供参考）

项 目		指 标
外观		表面平整,无明显收缩变形,熔结良好,结构致密,不允许有夹生、疏松,无明显涂料、污染、灰尘和其他杂质
密度/(kg/m^3)		16 ~ 19
抗压强度(形变 10% 时的压缩应力)/MPa		0.11 ~ 0.14
抗拉强度/MPa		0.27 ~ 0.37
熔接性(弯曲断裂负荷)/MPa		0.25 ~ 0.30
常见尺寸规格/mm	长	5000、4000、3000、2000、1500、1000
	宽	1200、1000、500
	厚	500、400、300、200、100、50
尺寸稳定性(%) ≤		3.0
吸水性/(kg/m^3) ≤		1.0

（续）

项　　目	指　　标
热导性/[W/(m·/k)]　　≤	0.041
水蒸气透过系数/[g/(Pa·m·a)]　≤	4.5
热变形温度/℃	75
冲击弹性(%)	28

注：EPS 板材即聚苯乙烯塑料板材。

② 泡沫塑料模样对 EPS 珠粒的质量要求与控制见表 3-36。

表 3-36　泡沫塑料模样对 EPS 珠粒的质量要求与控制（供参考）

项目	铸造铝合金件,铸造铜合金件,铸铁件及一般铸钢件用	项目	铸造铝合金件,铸造铜合金件,铸铁件及一般铸钢件用
外观	无色半透明珠粒	发泡剂含量(质量分数,%)	5.5～7.2
碳含量(质量分数,%)	92	残留单体(质量分数,%)	<0.5
珠粒粒度/mm	0.2～0.8	含水量(质量分数,%)	<0.5
密度/(g/cm^3)	1.03	发泡倍数	≥50
堆密度/(g/cm^3)	0.6		

注：EPS 珠粒即聚苯乙烯泡沫塑料。

③ 泡沫塑料模样对 STMMA 珠粒的质量要求与控制见表 3-37。

表 3-37　泡沫塑料模样对 STMMA 珠粒的质量要求与控制（供参考）

项　　目	灰铸铁件、球墨铸铁件、低碳钢铸件及低碳合金钢铸件用
外观	半透明乳白色珠粒
碳含量(质量分数,%)	69.6
珠粒粒度/mm	0.2～0.8
堆密度/(g/cm^3)	0.55～0.67
发泡倍数	45

注：STMMA 珠粒即聚甲基丙烯酸甲酯-苯乙烯共聚树脂泡沫塑料。

④ 泡沫塑料模样对 EPMMA 珠粒的质量要求与控制见表 3-38。

表 3-38　泡沫塑料模样对 EPMMA 珠粒的质量要求与控制（供参考）

项目	球墨铸铁件、低碳钢铸件、低碳合金钢铸件及不锈钢铸件用
外观	乳白色珠粒
碳含量(质量分数,%)	60
珠粒粒度/mm	0.2～0.8
堆密度/(g/cm^3)	0.55～0.67
发泡倍数	≥40

注：EPMMA 珠粒即聚甲基丙烯酸甲酯泡沫塑料。

2）对消失模涂料原材料的质量要求与控制如下：

① 消失模涂料对耐火粉料的质量要求与控制见表 3-39。

表 3-39　消失模涂料对耐火粉料的质量要求与控制（供参考）

名称	矿物组成或化学成分(质量分数,%)	密度/(g/cm^3)	莫氏硬度(级)	耐火度/℃	粒度/μm
硅石粉	可参见表 3-22				53 ~ 150 (100 ~ 270 目)
刚玉粉					
高铝矾土粉					
锆英粉					
铬铁矿粉					
镁砂粉					
镁橄榄石粉					
石墨粉					
白云母粉①	$KAl_3(AlSi_3O_{10})(OH_2)$	2. 76 ~ 3. 10	2. 0 ~ 2. 5	—	
珍珠岩粉①	$SiO_2$68 ~ 74、Al_2O0. 9、CaO0. 1 Na_2O3. 5、K_2O、H_2O2. 3 ~ 6. 4	2. 2 ~ 2. 4	5. 2 ~ 6. 4	1300 ~ 1380	
硅灰石粉①	$CaSiO_3$	0. 3 ~ 1. 0	4. 5 ~ 5. 0	熔点 1540	
锂辉石粉①	$LiAl(Si_2O_6)$	3. 03 ~ 3. 22	6. 5 ~ 7. 0	—	

① 主要用作辅助粉料。

② 消失模涂料对载液的质量要求与控制见表 3-23。

3）对造型砂原材料的质量要求与控制如下：

① 消失模平砂造型砂对干砂的质量要求与控制见表 3-40。

② 消失模水玻璃型砂对硅砂及水玻璃的质量要求与控制见表 3-8 和表 3-16。

③ 消失模树脂自硬砂对硅砂、自硬树脂及固化剂的质量要求和控制见表 3-9、表 3-20 和表 3-21。

表 3-40　消失模干砂造型砂对干砂的质量要求与控制（供参考）

名称	应用	主要化学成分(质量分数,%)	角形系数	密度/(g/cm^3)	耐火度/℃	莫氏硬度(级)	粒度①(筛号)
硅砂	铸钢件	SiO_2 ≥95	≤1. 3	2. 65	1680	7	30 ~ 70
	铸铁件	SiO_2 ≥90					
	铸造有色合金件	SiO_2 ≥85					
镁橄榄石砂	铸造高锰钢件，厚大铸钢件	MgO SiO_2 Fe_2O_3 Al_2O_3 Cr_2O_3 其他 >41 <40 <11 <13 不限 <1	≤1. 3	3. 10 ~ 3. 27	>1690	6. 5 ~ 7. 0	
锆砂	大型铸钢件，合金钢铸件	ZrO_2 SiO_2 TiO_2 Fe_2O_3 P_2O_5 Al_2O_3 >85 <33 <1. 0 <0. 25 <0. 20 <0. 80	≤1. 3	4. 6	熔点 2430	7 ~ 8	
铬铁矿砂	大型铸钢件，合金钢铸件	Cr_2O_3 SiO_2CaO ≥35 ≤5 ≤1	≤1. 3	4. 0 ~ 4. 8	1600 ~ 1800	5. 6 ~ 6	
宝珠砂	铸铁件，高锰钢和合金钢铸件	Al_2O_3 Fe_3O_3 TiO_2 SiO_2 其他 ≥75 ≤5 ≤5 5 ~ 20 微量	≤1. 1	堆密度 1. 95 ~ 2. 05	≥1790	—	

① 干砂粒度组成应保证干砂的透气性在 800 ~ 1000 之间。

3. 1. 3　铸造生产用熔炼原材料的入厂检验（控制）

1. 铸造生产用熔炼原材料分类

铸造生产用铸铁熔炼原材料分类如图 3-7 所示。

铸造生产用铸钢熔炼原材料分类如图 3-8 所示。

铸造生产用铸造铝合金熔炼原材料分类如图 3-9 所示。

铸造生产用铸造镁合金熔炼原材料分类如图 3-10 所示。
铸造生产用铸造锌合金熔炼原材料分类如图 3-11 所示。
铸造生产用铸造铜合金熔炼原材料分类如图 3-12 所示。

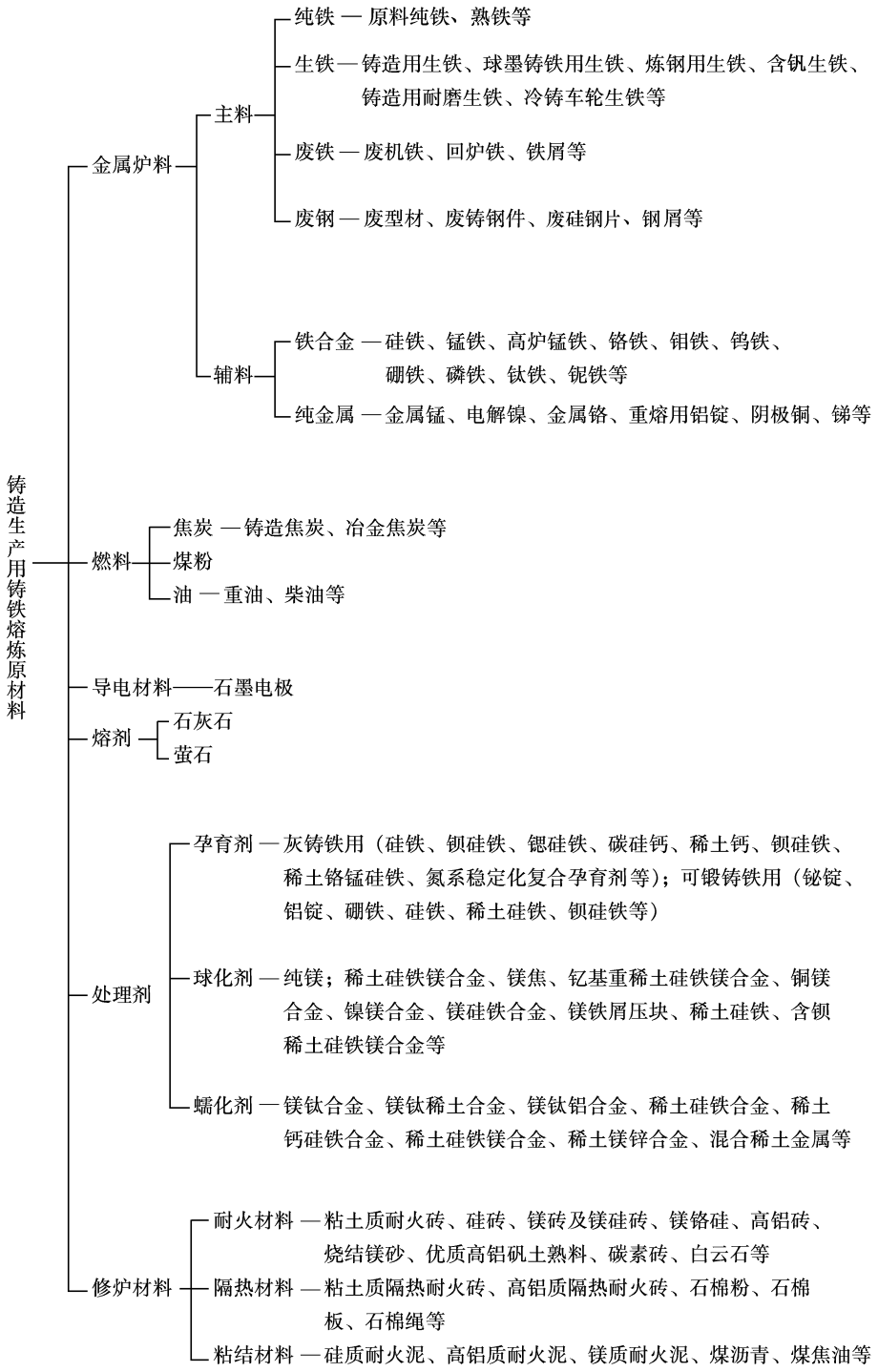


图 3-7　铸造生产用铸铁熔炼原材料分类

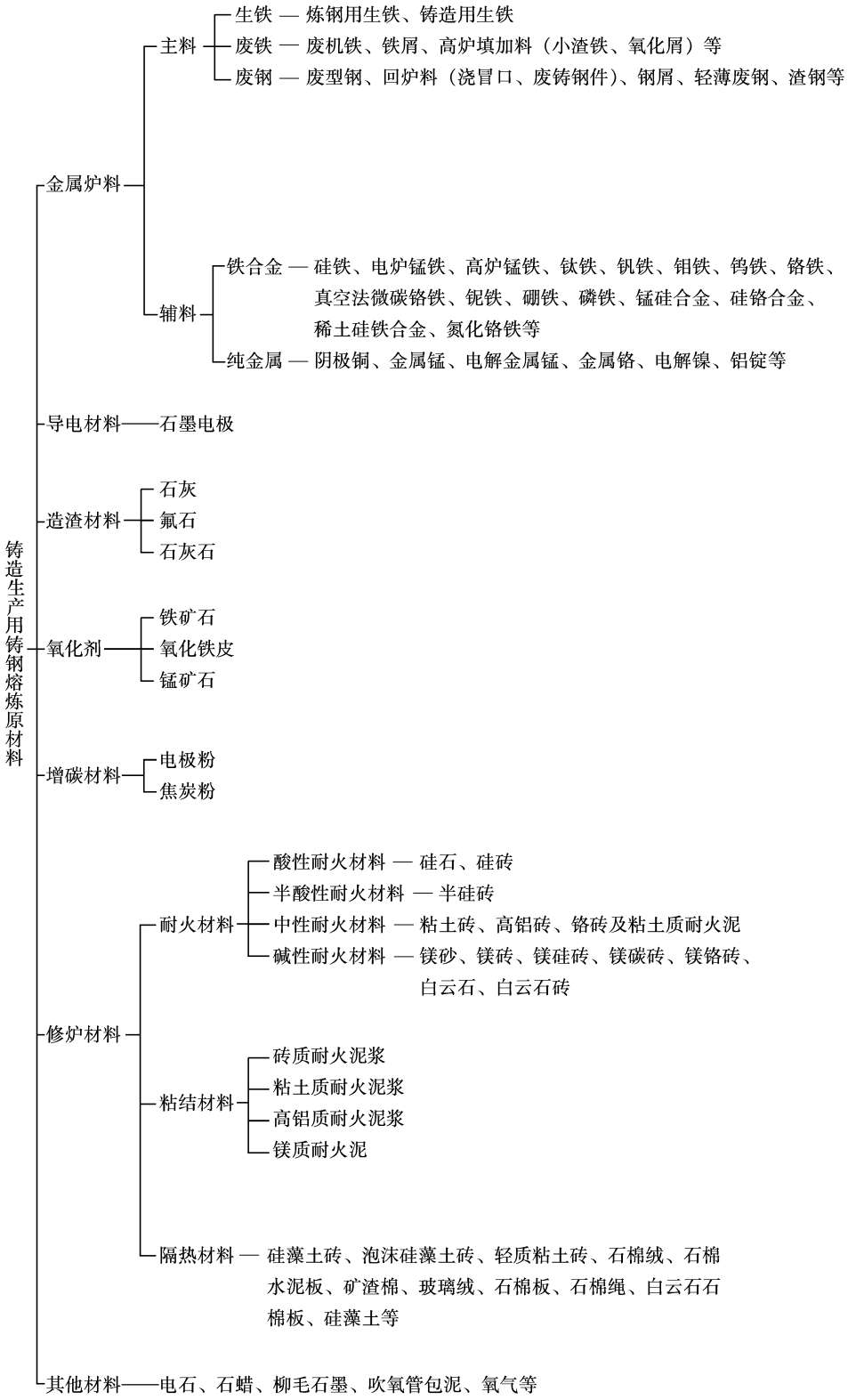


图 3-8　铸造生产用铸钢熔炼原材料分类

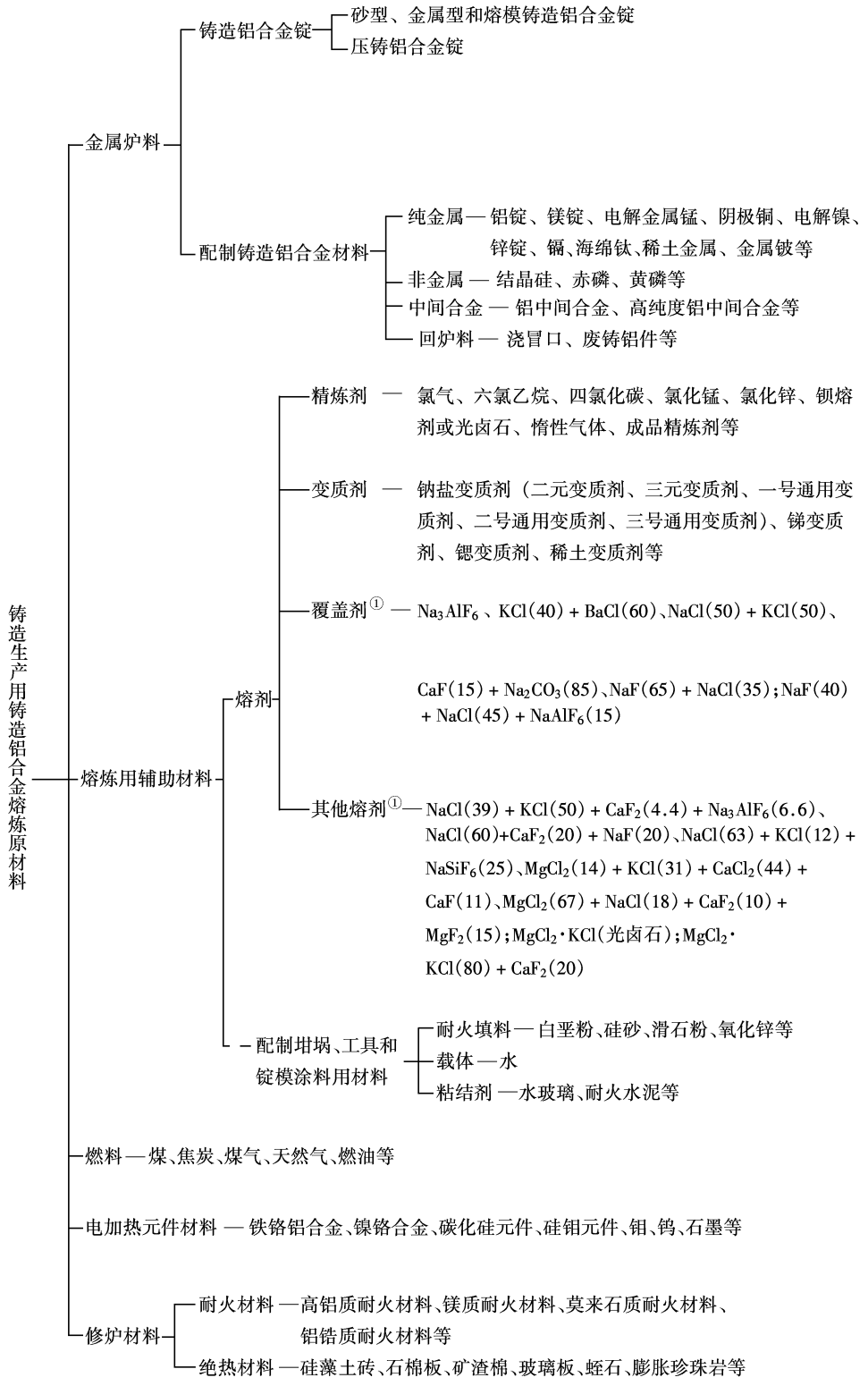


图 3-9　铸造生产用铸造铝合金熔炼原材料分类

① 配比均为质量分数

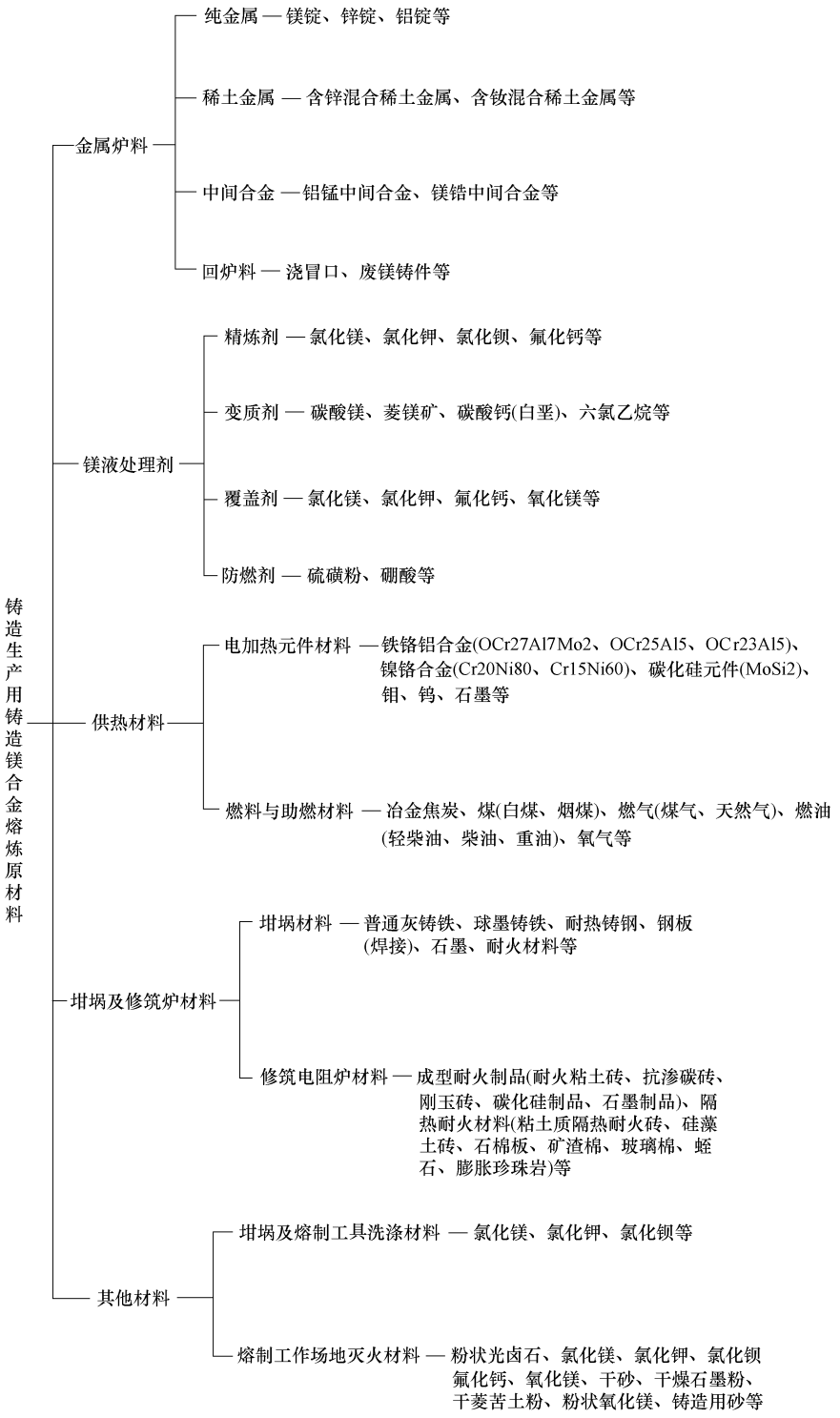


图 3-10　铸造生产用铸造镁合金熔炼原材料分类

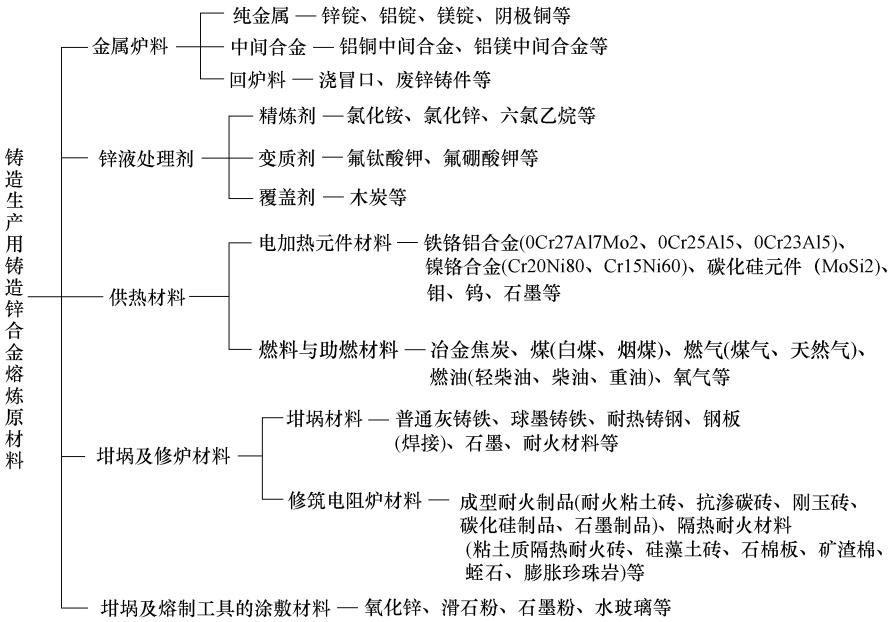


图 3-11　铸造生产用铸造锌合金熔炼原材料分类

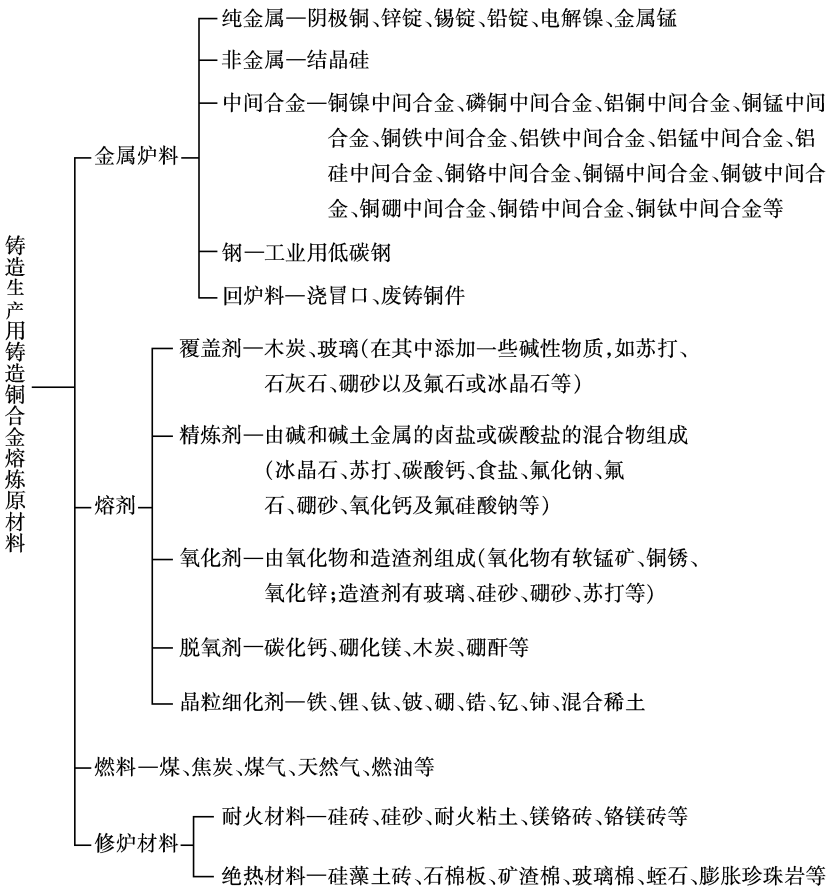


图 3-12　铸造生产用铸造铜合金熔炼原材料分类

2. 铸造生产用熔炼原材料标准

铸造生产用熔炼原材料的质量控制与检验离不开标准，因为在标准中对产品的质量、规格、品种、工艺及检验方法都作了规定，因此它是铸造检验人员进行铸造生产用熔炼原材料质量控制与检验的基本依据。铸造生产用熔炼原材料相关标准见表 3-41。

表 3-41 铸造生产用熔炼原材料相关标准

序号	标准号	标 准 名 称
一、生铁锭与废钢铁方面		
1	GB/T 718—2005	铸造用生铁
2	YB/T 5296—2011	炼钢用生铁
3	GB/T 1412—2005	球墨铸铁用生铁
4	YB/T 5125—2006	含钒生铁
5	GB 4223—2004	废钢铁
二、有色金属合金铸锭方面		
1	GB/T 8733—2007	铸造铝合金锭
2	GB/T 19078—2003	铸造镁合金锭
3	GB/T 8738—2006	铸造用锌合金锭
4	YS/T 544—2009	铸造铜合金锭
5	GB/T 8740—2005	铸造轴承合金锭
三、纯金属方面		
1	GB/T 1196—2008	重熔用铝锭
2	GB/T 3198—2010	铝及铝合金箔
3	GB/T 3499—2011	原生镁锭
4	GB/T 2774—2006	金属锰
5	YB/T 051—2003	电解金属锰
6	GB/T 469—2005	铅锭
7	GB/T 470—2008	锌锭
8	GB/T 728—2010	锡锭
9	YS/T 72—2005	镉锭
10	GB/T 467—2010	阴极铜
11	YS/T 255—2009	钴
12	GB/T 6516—2010	电解镍
13	GB/T 915—2010	铋
14	GB/T 1599—2002	锑锭
15	GB/T 4864—2008	金属钙及其制品
16	GB/T 2524—2010	海绵钛
17	YS/T 397—2007	海绵锆
18	XB/T 217—2007	金属铈
19	GB/T 9967—2010	金属钕
20	YS/T 255—2009	钴
21	GB/T 3211—2008	金属铬

（续）

序号	标准号	标 准 名 称
三、纯金属方面		
22	GB/T 4369—2007	锂
23	GB/T 4310—1984	钒
24	GB/T 3459—2006	钨条
25	GB/T 6896—2007	铌条
26	GB/T 3462—2007	钼条和钼板坯
27	GB/T 14841—2008	钽及钽合金棒材
28	GB/T 4135—2002	银
29	GB/T 4153—2008	混合稀土金属
30	GB/T 9971—2004	原料纯铁
31	GB/T 2881—2008	工业硅
32	GB 22379—2008	工业金属钠
四、中间合金与铁合金方面		
1	YS/T 282—2000	铝中间合金锭
2	YS/T 283—2009	铜中间合金锭
3	YS/T 260—2004	铜铍中间合金锭
4	GB/T 2272—2009	硅铁
5	GB/T 3795—2006	锰铁
6	GB/T 3648—1996	钨铁
7	GB/T 5682—1995	硼铁
8	YB/T 5036—2012	磷铁
9	GB/T 4139—2012	钒铁
10	GB/T 3282—2012	钛铁
11	GB/T 5683—2008	铬铁
12	GB/T 3649—2008	钼铁
13	GB/T 7737—2007	铌铁
14	YB/T 5051—2007	硅钙合金
15	GB/T 4008—2008	锰硅合金
五、处理剂与熔剂方面		
1	GB/T 2272—2009	硅铁
2	JB/T 9228—1999	球墨铸铁用球化剂
3	GB/T 4137—2004	稀土硅铁合金
4	GB/T 3499—2011	原生镁锭
5	YB/T 042—2004	冶金石灰
6	YB/T 5217—2005	萤石
7	YB/T 5279—2005	石灰石
8	YB/T 421—2005	铁烧结矿

（续）

序号	标准号	标准名称
五、处理剂与熔剂方面		
9	YB/T 319—2005	冶金用锰矿石
10	GB 5138—2006	工业用液氯
11	GB/T 4119—2008	工业四氯化碳
12	HG/T 1—2008	造纸工业用重质碳酸钙
13	GB/T 4291—2007	冰晶石
14	GB 210.1—2004	工业碳酸钠及其试验方法 第 1 部分 工业碳酸钠
15	GB/T 7372—1987	工业用二氟二氯甲烷(F12)
16	GB/T 3864—2008	工业氮
17	GB/T 7118—2008	工业氯化钾
18	YS/T 517—2009	氟化钠
19	GB/T 537—2009	工业十水合四硼酸二钠
20	GB/T 1617—2002	工业氯化钡
21	GB/T 2946—2008	氯化铵
22	YB/T 5208—2004	菱镁石
23	YS/T 572—2007	工业氧化铍
24	GB/T 3494—2012	直接法氧化锌
25	GB/T 5462—2003	工业盐
26	HG/T 3261—2002	工业用六氯乙烷
27	HG/T 2327—2004	工业氯化钙
28	QB/T 2605—2003	工业氯化镁
29	GB 1918—2011	工业硝酸钾
30	GB/T 2899—2008	工业沉淀硫酸钡
六、燃料与电加热元件材料方面		
1	GB/T 1996—2003	冶金焦炭
2	GB 8729—1988	铸造焦炭
3	YB/T 4088—2000	石墨电极
4	YB/T 5214—2007	抗氧化涂层石墨电极
七、耐火、隔热与粘结材料方面		
1	GB/T 2992.1—2011	耐火砖形状尺寸 第 1 部分:通用砖
2	YB/T 5106—2009	粘土质耐火砖
3	GB/T 2608—2012	硅砖
4	GB/T 2275—2007	镁砖和镁铝砖
5	YB/T 5011—1997	镁铬砖
6	GB/T 2988—2012	高铝砖
7	GB/T 2273—2007	烧结镁砂
8	YB/T 2804—2001	普通高炉炭块

（续）

序号	标准号	标准名称
七、耐火、隔热与粘结材料方面		
9	YB/T 5179—2005	高铝矾土熟料
10	YB/T 5278—2007	白云石
11	GB/T 22589—2008	镁碳砖
12	YB/T 5017—2000	炼钢电炉顶用高铝砖
13	YB/T 5106—2009	粘土质耐火砖
14	YB/T 5020—2002	盛钢桶用高铝砖
15	YB/T 5049—2009	滑板砖
16	YB/T 411—2002	铸口砖及座砖
17	GB/T 2273—2007	烧结镁砂
18	GB/T 3994—2005	粘土质隔热耐火砖
19	GB/T 3995—2006	高铝质隔热耐火砖
20	JC/T 1019—2006	石棉密封填料
21	JC/T 415—2009	石棉片
22	JC/T 222—2009	石棉绳
23	YB/T 384—2011	硅质耐火泥浆
24	GB/T 2994—2008	高铝质耐火泥浆
25	GB/T 14982—2008	粘土质耐火泥浆
26	YB/T 5009—2009	镁质、镁铝质、镁铬质耐火泥
八、其他材料方面		
1	GB/T 3863—2008	工业用氧
2	GB/T 4842—2006	氩

3. 铸造生产用熔炼原材料的入厂复检方法

通常，铸造生产用熔炼原材料的质量应由供应厂家的质量管理体系予以保证。

对于铸造生产用熔炼原材料中的一般材料，凡材料质量证明书齐全，且与实物相符、标记清楚，技术与质量指标均符合有关标准要求时，均可作合格材料入库。

铸造生产常用熔炼原材料的涂色标记可参见表 3-42 和表 3-43。

表 3-42　铸造生产常用生铁锭的涂色标记

名称	牌号或组别	标记颜色
铸造生铁	Z34	一条绿色线
	Z30	二条绿色线
	Z26	一条红色线
	Z22	二条红色线
	Z18	三条红色线
	Z14	一条蓝色线
炼钢生铁	L04	一条白色线
	L08	一条黄色线
	L10	二条黄色线

（续）

名称	牌号或组别	标记颜色
球墨铸铁用生铁	Q10	一条灰色线
	Q12	二条灰色线
	Q16	三条灰色线

表 3-43　铸造生产常用有色金属锭的涂色标记

名称	牌号或组别	标记颜色
重熔用铝锭	Al 99. 85	二道红色横线
	Al 99. 80	一道红色横线
	Al 99. 70	一道红色竖线
	Al 99. 60	二道红色竖线
	Al 99. 50	三道红色竖线
	Al 99. 00	四道红色竖线
原生镁锭	Mg9998	蓝色
	Mg9995	红色
	Mg9990	绿色
	Mg9980	黄色
锌锭	Zn 99. 995	二条红色线
	Zn 99. 99	一条红色线
	Zn 99. 95	一条黑色线
	Zn 99. 5	二条绿色线
	Zn 98. 7	一条绿色线
铅锭	Pb 99. 994	不加颜色标志
	Pb 99. 990	竖划一条黄色线
	Pb 99. 975	竖划二条黄色线
	Pb 99. 970	竖划一条白色线
	Pb99. 940	竖划二条白色线

对于需要复检的原材料，则应按一定程序进行取样复检，其复检方法可参见表 3-44。

表 3-44　铸造生产用熔炼原材料入厂的复检方法（供参考）

种类	抽样方法	复检内容	复检方法
铸造用生铁、炼钢用生铁、球墨铸铁用生铁	取样按 GB/T 20066—2006 进行 抽取份样。份样是指在车厢里或生铁堆中一个部位取出的一块生铁试样。份样代表一批生铁的一部分，同一批生铁的份数重量要大致相等 进厂的同牌号生铁以质量证明书的生铁重量为一批，取样的总份数按生铁批量大小而定。批量小于 30t 取 3 块；30 ~ 100t 每增加 10t 多取 1 块，尾数 4 舍 5 入；大于 100 ~ 1000t 每增加 50t 多取 1 块，尾数 24 舍 25 入；1000 以上，每增加 100t 多取 1 块，尾数 49 舍 50 入 从车厢里取样时，份样从五个部位采集，即中心点和中心点到四角顶点距离的 1/2 处，从每个部位的表层或表层下的任一层采集完整的一块型铁作为一个份样（大块铁取 1/2 或 1/3） 从生铁堆中取样时，按批量大小于铁堆上均匀分布若干个取样部位，每个部位采集一块完整的型铁作为一个份样（大块铁取 1/2 或 1/3） 选取批样。批样是由一批生铁取出的全部份样所组成的试样，它代表一批生铁的平均成分 批样是在份样屑中选取，将同一批的份样屑各称相等的重量，总量约 45g 将份样均匀混合即为该批生铁的批样送检	新生铁进厂除检查批号外，主要复检指标是碳、硅、锰、硫、磷 5 元素	份样取好后，用钢丝刷等工具清理干净，用直径小于 10mm 的钻头垂直于底面钻孔，钻孔数量为小块铁中心钻一孔，大块钻三孔（中心一孔，中心到两端距离的 1/2 处各钻一孔），钻取的样屑供选取批样用 碳、硅、锰、磷、硫的分析按 GB/T 223. 86—2009 等标准进行
含钒生铁		新生铁进厂除检查批号外，主要复检指标是钒、钛、碳、硅、锰、磷、硫 7 元素	钒、钛、碳、硅、锰、磷、硫的分析按 GB/T 223. 13—2000 等标准进行

（续）

种类	抽样方法	复检内容	复检方法
废钢、废铁	取样参照 GB/T 20066—2006 进行 由于废钢铁材质较复杂，应比照生铁抽样方法再加倍取样，尽可能将不同材质的废钢或废铁取到，为配料提供参考	1）废钢、废铁是否分类、分组。废钢铁内不得混有铁合金、有色金属和杂质；非合金废钢和低合金废钢内不得混有合金废钢和生铁；合金废钢内不得混有非合金废钢、低合金废钢和废铁；废铁内不得混有废钢 2）废钢铁表面是否存在泥块、水泥、粘砂、橡胶等 3）废钢铁中是否有两端封闭的管状物、封闭容器、易燃、易爆物品、放射性及有毒物品等 4）废钢铁中是否有成套的机器设备及结构件 5）普通废钢铁主要复检碳、硅、锰、磷、硫；合金废钢铁主要复检相应的合金元素	1）按 GB 4223—2004 规定废钢铁分类分组 2）按 GB/T 223. 86—2009 等标准分析碳、硅、锰、磷、硫 3）按相应标准分析合金废钢铁中主要合金元素，如铬、镍、钼、钨、钒、铝、钴等
重熔用铝锭	每批应由同一熔炼号的产品组成，数量不少于 30 块，质量不超过 60t 取样时，从该批锭上、中、下部各取一块锭。当锭散开，分不清上、中、下时，则将该批锭重新码垛，再从上、中、下部各取一块铝锭 采用钻孔法取样，在锭的正面，沿其对角线钻孔三处，一处在中心，另两处各处角顶约 100mm，各钻孔钻进的深度不小于厚度的 2/3。在钻取试样前，必须先清除表面氧化层，其厚度不小于 0. 5mm 钻取的屑应混匀，以磁铁处理后，用四分法缩分，铝试样质量小于 100g；镁试样质量不小于 200g；锌试样质量不小于 1000g；铜试样质量不小于 600g	主要复检铝含量	按 GB/T 20975. 1—2007 等标准进行
原生镁锭		主要复检镁含量	按 GB/T 13748. 1—2008 等标准进行
锌锭		主要复检锌含量	按 GB/T 12689. 1—2010 等标准进行
阴极铜		主要复检铜含量	按 GB/T 5121. 1—2008 标准进行

（续）

种类	抽样方法	复检内容	复检方法
硅铁	依据 GB/T 4010—1994 规定取样，是以相同化学成分的为一批 从大堆中取样时，批量不足 10t 时，选取不少于 15 个小样；批量 10t 以上不足 30t 时，选取不少于 25 个小样；批量 30t 以上时，选取不少于 30 个小样 样品的选取应从不同部位随机采集，每个小样质量应大致相等，取样总量不少于批量的 3% 从包装件中取样时，每批应随机选取不少于 10% 的包装件，在每个包装件中随机采集重量大致相等的一块小样，小样总数不得少于 12 个，最多 30 个。小样块度不小于 20mm × 20mm 送检	主要复检硅含量	按 GB/T 4333. 1—1984 标准进行
锰铁		主要复检锰含量	按 GB/T 5686. 1—2008 标准进行
磷铁		主要复检磷含量	按 YB/T 5341—2006 标准进行
铬铁		主要复检铬含量	按 GB/T 4699. 2—2008 标准进行
钒铁		主要复检钒含量	按 GB/T 8704. 5—2007 标准进行
钛铁		主要复检钛含量	按 GB/T 4701. 1—2009 标准进行
钨铁		主要复检钨含量	按 GB 7731. 1—1987 标准进行
钼铁		主要复检钼含量	按 GB 5059. 1—1985 标准进行
硼铁		主要复检硼含量	按 GB/T 3653. 1—1988 标准进行
铌铁		主要复检铌 + 钽含量	按 GB/T 3654. 1—1983 标准进行
铸造焦炭、冶金焦炭	试样采取和制备按 GB/T 1997—2008 规定进行 以 60t 为一批（不足 60t 也可为一批），在焦炭堆的边缘和中心部位分别取样。每批取样 3 组、每组 3 块，共 9 块。将其合并缩分成一个试样以测试的平均值判定。也可执行企业标准	主要复检块度、灰分、全硫含量和强度	按 GB/T 2005—2005、GB/T 2001—1991、GB/T 2286—2008 或 GB/T 2006—2008、GB/T 4511. 2—1999 等标准进行
煤粉	以同一批进厂的煤粉为一个取样单位，如果同一批进厂的煤粉超过 10t 或发现质量有差异时，可增加取样单位或单独取样，一般不超过 3 个取样单位，最多不超过 5 个取样单位 取样位置应注意代表性，取样深度不大于 100mm 罐装煤粉，可从容器中几处有代表性的部位取样；袋装煤粉，分别从不同角落里的任意 5 个袋中取样，每处取样 0. 5 ~ 1kg，加以混合，采用分样器或“四分法”进行缩分，最后获得 1 个取样单位所需用的分析样品送检	主要复检粒度、挥发分、灰分、全硫含量	—
重油、渣油、重柴油	在进厂的每个批次中（制造厂的产品批次）按每批次桶数的 10% 取样，最少不得少于两桶，搅拌均匀后在抽样桶的中间部位取样品 0. 5kg 搅拌均匀后送检（冬季不能搅拌时、可在桶的表面取样送检）	主要复检粘度、灰分、硫分、水分、机械杂质、闪点和凝点	—
石灰石	以 20t 为一批（不足 20t 也可为一批），每批取样 3 组共 9 堆，在堆的边缘和中心部位取样并混合	主要复检氧化钙含量	—
氟石精矿	每批为一个检验单位 试样从每批产品抽取的 10% 样袋中等量取样，每袋取样量不小于净重的 0. 02%。将采取的总试样混匀后，用“四分法”缩分至 200g 左右	主要复检氟化钙含量	按 GB/T 5195. 1—2006 规定进行

4. 铸造生产常用熔炼原材料的质量要求与控制

（1）铸钢常用熔炼原材料的质量要求与控制

1）铸钢熔炼对废钢的质量要求与控制。废钢是熔制铸钢的最主要金属炉料，约占配料质量的40%～80%，其质量好坏直接影响到所熔制铸钢的质量。

通常，废钢的质量要求与控制如下：

① 废钢的 w（C）一般应小于 2.0%，w（S）、w（P）均不大于 0.050%。

② 废钢必须按 GB 4223—2004 要求明确分类：

a. 废钢按其外形尺寸和单件质量分为 5 个型号，见表 3-45。

b. 废钢按其化学成分为非合金废钢、低合金废钢和合金废钢。

• 非合金废钢中残余元素应符合以下要求：w（Ni）不大于 0.30%、w（Cr）不大于 0.30%、w（Cu）不大于 0.30%。除 Mn、Si 以外，其他残余元素含量总和不大于 0.60%（质量分数）。

• 合金废钢按化学成分及主要合金元素含量分为 6 个钢类 46 个钢组，见表 3-46。

表 3-45　废钢按其外形尺寸及单件质量要求的分类

型号	类别	代码	外形尺寸及单件质量要求	供应形状	典型举例
重型废钢	1 类	201A	≤1000mm × 400mm，厚度≥40mm；单件质量为 40～1500kg；圆柱实心体直径≥80mm	块、条、板、型	报废的钢锭、钢坯、初轧坯、切头、切尾、铸钢件、钢轧辊、重型机械零件、切割结构件等
	2 类	201B	≤1000mm × 500mm，厚度≥25mm；单件质量为 20～1500kg；圆柱实心体直径≥50mm	块、条、板、型	报废的钢锭、钢坯、初轧坯、切头、切尾、铸钢件、钢轧辊、重型机械零件、切割结构件、车轴、废旧工业设备等
	3 类	201C	≤1500mm × 800mm，厚度≥15mm；单件质量为 5～1500kg；圆柱实心体直径≥30mm	块、条、板、型	报废的钢锭、钢坯、初轧坯、切头、切尾、铸钢件、钢轧辊、火车轴、钢轨、管材、重型机械零件、切割结构件、车轴、废旧工业设备等
中型废钢	1 类	202A	≤1000mm × 500mm，厚度≥10mm；单件质量为 3～1000kg；圆柱实心体直径≥20mm	块、条、板、型	报废的钢坯及钢材、车船板、机械废钢件、机械零部件、切割结构件、火车轴、钢轨、管材、废旧工业设备等
	2 类	202B	≤1500mm × 700mm，厚度≥6mm；单件质量为 2～1200kg；圆柱实心体直径≥12mm	块、条、板、型	轧废的钢坯及钢材、车船板、机械废钢件、机械零部件、切割结构件、火车轴、钢轧、管材、废旧工业设备等
小型废钢	1 类	203A	≤1000mm × 500mm；厚度≥4mm；单件质量为 0.5～1000kg；圆柱实心体直径≥8mm	块、条、板、型	机械废钢件、机械零部件、车般板、管材、废旧设备等
	2 类	203B	Ⅰ级：密度≥1100kg/m³；Ⅱ级：密度≥800kg/m³	破碎料	汽车破碎料等
统料型废钢	—	204	≤1000mm × 800mm，厚度≥2mm；单件质量为≤800kg；圆柱实心体直径≥4mm	块、条、板、型	机械废钢件、机械零部件、车船板、废旧设备、管材、钢带、边角余料等
轻料型废钢	1 类	205A	≤1000mm × 1000mm，厚度≤2mm；单件质量为≤100kg	块、条、板、型	各种机械废钢及混合废钢、管材、薄板、钢丝、边角余料、生产和生活废钢等
	2 类	205B	≤800mm × 600mm × 500mm； Ⅰ级：密度≥2500kg/m³； Ⅱ级：密度≥1800kg/m³； Ⅲ级：密度≥1200kg/m³	打包件	各种机械废钢及混合废钢、薄板、边角余料、钢丝、钢屑、生产和生活废钢等

注：各类型废钢尺寸的正偏差应不大于 10%。

表 3-46　合金废钢按化学成分及主要合金元素含量的分类

钢类	序号	钢组	典型牌号	合金元素含量(质量分数,%)					
				Cr	Ni	Mo	W	Mn	其他
合金结构钢	1	Cr(Si、V)	40Cr、38CrSi、40CrV	0.70～1.60	—	—	—	—	—
	2	CrMn(Si、Ti)	40CrMn、20CrMnSi、20CrMnTi	0.40～1.40	—	—	—	0.80～1.40	—
	3	CrMnMo	20CrMnMo、40CrMnMo	0.90～1.40	—	0.20～0.30	—	0.90～1.20	—
	4	CrMnNiMo	18CrNiMnMoA	1.00～1.30	1.00～1.30	0.20～0.30	—	1.10～1.40	—
	5	CrMo(V、Al)	42CrMo、35CrMoV、25Cr2Mo1VA、38CrMoAl	0.30～2.50	—	0.15～1.10	—	—	V0.30～0.60 Al0.70～1.10
	6	CrNi	20CrNi	0.45～0.75	1.00～1.40	—	—	—	—
			12CrNi2	0.60～0.90	1.50～1.90	—	—	—	—
			20CrNi3	0.60～1.60	2.75～3.15	—	—	—	—
			20Cr2Ni4	1.25～1.65	3.00～3.65	—	—	—	—
	7	CrNiMo(V)	20CrNiMoA	0.40～0.70	0.35～0.75	0.20～0.30	—	—	—
			40CrNiMo、45CrNiMoV	0.60～1.10	1.25～1.80	0.15～0.30	—	—	—
	8	CrNiW	25Cr2Ni4WA	1.35～1.65	4.00～4.50	—	0.80～1.20	—	—
弹簧钢	9	Mn(Si、V、B)	65Mn、60Si2Mn、55SiMnVB、55Si2MnB	—	—	—	—	0.60～1.30	Si 0.70～2.00
	10	Cr(V、Si)	60Si2CrA、60Si2CrVA、50CrVA	0.70～1.20	—	—	—	—	Si 1.40～1.80
	11	CrMn(B)	60CrMn、60CrMnB	0.65～1.00	—	—	—	0.65～1.00	—
	12	CrMnMo	60CrMnMoA	0.70～0.90	—	0.25～0.35	—	0.70～1.00	—
	13	WCrV	30W4Cr2VA	2.00～2.50	—	—	4.00～4.50	—	V 0.50～0.80
轴承钢	14	Cr	GCr15	0.35～1.65	—	—	—	—	—
	15	CrMn(Si)	GCr15SiMn	1.40～1.65	—	—	—	0.95～1.25	—
	16	CrMo(Si)	GCr18Mo、G20CrMo、G20Cr15SiMo	0.35～1.95	—	0.08～0.40	—	—	—
	17	CrNi	G20Cr2Ni4	1.25～1.75	3.25～3.75	—	—	—	—
	18	CrNiMo	G20CrNiMo	0.35～0.65	0.40～0.70	0.15～0.30	—	—	—
			G20CrNi2Mo、G10CrNi3Mo	0.35～1.40	1.60～3.50	0.08～0.30	—	—	—
	19	CrMnMo	G20Cr2Mn2Mo	1.70～2.00	—	0.20～0.30	—	1.30～1.60	—
合金工具钢	20	Cr(Si)	9SiCr、Cr06	0.50～1.25	—	—	—	—	Si 1.20～1.60
			Cr2、8Cr3	1.30～3.80	—	—	—	—	—
			Cr12	11.50～13.00	—	—	—	—	—
	21	CrMnMo(V、Si)	5CrMnMo、4CrMnSiMoV	0.60～1.50	—	0.15～0.60	—	0.80～1.60	—
			6CrMnSi2Mo1	0.10～0.50	—	0.20～1.35	—	0.60～1.00	Si 1.75～2.25
			5Cr3Mn1SiMo1V	3.00～3.50	—	1.30～1.80	—	0.20～0.90	—
	22	CrMo(V、Si)	3Cr2Mo	1.40～2.00	—	0.30～0.55	—	—	—
			Cr5Mo1V、4CrMoSiV1	4.75～5.50	—	0.90～1.75	—	—	V 0.30～1.20
			4Cr3Mo3SiV	3.00～3.75	—	2.00～3.00	—	—	V 0.25～0.75
			Cr12MoV、Cr12Mo1V1	11.00～13.00	—	0.40～1.20	—	—	V 0.30～1.10
	23	CrW(V、Si)	4CrW2Si	1.00～1.30	—	—	2.00～2.70	—	—
			2Cr2W8V	2.20～2.70	—	—	7.50～9.00	—	V 0.30～0.50
			4Cr5W2VSi	4.50～5.50	—	—	1.60～2.40	—	V 0.60～1.00
	24	CrWMn	CrWMn	0.50～1.20	—	—	0.50～1.60	0.80～1.20	—

（续）

钢类	序号	钢组	典型牌号	合金元素含量(质量分数,%)					
				Cr	Ni	Mo	W	Mn	其他
合金工具钢	25	CrWMoV(Nb)	Cr4W2MoV	3.50～4.00	—	0.80～1.20	1.90～2.60	—	V 0.80～1.10
			6Cr4W3Mo2VNb	3.80～4.40	—	1.80～2.50	2.50～3.50	—	V 0.80～1.20 Nb 0.20～0.35
			3Cr3Mo3W2V	2.80～3.30	—	2.50～3.00	1.20～1.80	—	V 0.80～1.20
			5Cr4W5Mo2V	3.40～4.40	—	1.50～2.10	4.50～5.30	—	V 0.70～1.10
			6W6Mo5Cr4V	3.70～4.30	—	4.50～5.50	6.00～7.00	—	V 0.70～1.10
	26	CrNiMo	5CrNiMo	0.50～0.80	—	0.15～0.30	—	—	—
	27	CrMoMnV(Al、Si)	5Cr4Mo3SiMnVAl	3.80～4.30	—	3.80～3.40	—	0.80～1.10	V 0.80～1.20
	28	MnCrWMoVAl	7Mn15Cr2Al3V2WMo	2.00～2.50	—	0.50～0.80	0.50～0.80	14.50～16.50	V 1.50～2.00 Al 2.30～3.30
	29	Mn(V)	9Mn2V	—	—	—	—	1.70～2.00	—
	30	W	W	0.10～0.30	—	—	0.80～1.20	—	—
高速工具钢	31	WCrV	W18Cr4V	3.80～4.40	—	—	17.50～19.00	—	V 1.00～1.40
	32	WCrCoV	W18Cr4V2Co8	3.75～5.00	—	0.50～1.25	17.50～19.00	—	V1.80～2.40 Co 7.00～9.50
	33	WMoCrV(Al)	W6Mo5Cr4V2、W6Mo5Cr4V2Al	3.80～4.40	—	4.50～5.50	5.50～6.75	—	V 1.75～2.20 Al0.80～1.20
			W6Mo5Cr4V3	3.75～4.50	—	4.75～6.50	5.00～6.75	—	V 2.25～2.75
			W2Mo9Cr4V2	3.50～4.00	—	8.20～9.20	1.40～2.10	—	V 1.75～2.25
			W9Mo3Cr4V	3.80～4.40	—	2.70～3.30	8.50～9.50	—	V 1.30～1.70
	34	WMoCrCoV	W6Mo5Cr4V2Co5	3.75～4.50	—	4.50～5.50	5.50～6.50	—	V 1.75～2.25 Co 4.50～5.50
不锈耐热钢耐蚀钢	35	Cr(Al、N、Si)	42Cr9Si2	8.00～10.00	—	—	—	—	Si 2.00～3.00
			12Cr12、20Cr13、06Cr13Al	11.00～14.50	—	—	—	—	—
			10Cr17、95Cr18	16.00～19.00	—	—	—	—	—
	36	CrMo(V、Si)	12Cr5Mo	4.00～6.00	—	0.45～0.60	—	—	—
			40Cr10Si2Mo	9.00～10.50	—	0.70～0.90	—	—	Si 1.90～2.60
			14Cr11MoV、13Cr13Mo	10.00～14.00	—	0.30～1.00	—	—	—
			102Cr18Mo、90Cr18MoV	16.00～18.00	—	0.40～1.30	—	—	—
	37	CrNi(Al、Nb、Ti、N、Si)	14Cr17Ni2	16.00～18.00	1.50～2.50	—	—	—	—
			07Cr17Ni7Al、06Cr19Ni10N	16.00～20.00	6.00～11.00	—	—	—	Al 0.75～1.50
			022Cr19Ni10、10Cr18Ni12、06Cr19Ni10NbN	17.00～20.00	7.50～13.00	—	—	—	—
			80Cr20Si2Ni	19.00～20.50	1.15～1.65	—	—	—	Si 1.75～2.25
	38	CrNiMo(Al、Ti、N、Si)	07Cr15Ni7Mo2Al	14.00～16.00	6.50～7.50	2.00～3.00	—	—	Al 0.75～1.50
			06Cr17Ni12Mo2 022Cr17Ni14Mo2 06Cr19Ni13Mo3	16.00～20.00	10.00～15.00	1.80～4.00	—	—	—
			022Cr19Ni5Mo3Si2N	18.00～19.50	4.50～5.50	2.50～3.00	—	—	Si 1.30～2.00
	39	CrMnNi(N、Si)	12Cr17Mn6Ni5N、12Cr18Mn9Ni5N	16.00～19.00	3.50～6.00	—	—	5.50～10.00	—
			53Cr21Mn9Ni4N	20.00～22.00	3.25～4.50	—	—	8.00～10.00	
			22Cr20Mn10Ni2Si2N	18.00～21.00	2.00～3.00	—	—	8.50～11.00	Si 1.80～2.70
	40	CrMnNiMo(N)	1Cr18Mn10Ni5Mo3N(旧牌号)	17.00～19.00	4.00～6.00	2.80～3.50	—	8.50～12.00	—
	41	CrNiCu(Nb)	06Cr18Ni9Cu3	17.00～19.00	8.50～10.50	—	—	—	Cu 3.00～4.00
			05Cr17Ni4Cu4Nb	15.50～17.50	3.00～5.00	—	—	—	Cu 3.00～5.00 Nb 0.15～0.45

（续）

钢类	序号	钢组	典型牌号	合金元素含量(质量分数,%)					
				Cr	Ni	Mo	W	Mn	其他
不锈耐热耐蚀钢	42	CrNiMoCu	06Cr18Ni12Mo2Cu2、022Cr18Ni14Mo2Cu2	17.00 ~ 19.00	10.00 ~ 16.00	1.20 ~ 2.75	—	—	Cu 1.00 ~ 2.50
	43	CrNiMoTi(Al、V、B)	06Cr15Ni25Ti2MoAlVB	13.50 ~ 16.00	24.00 ~ 27.00	1.00 ~ 1.50	—	—	Ti 1.90 ~ 2.35
	44	CrNiWMo(V)	45Cr14Ni14W2Mo	13.00 ~ 15.00	13.00 ~ 15.00	0.25 ~ 0.40	2.00 ~ 2.75	—	—
			13Cr11Ni2W2MoV	10.50 ~ 12.00	1.40 ~ 1.80	0.35 ~ 0.50	1.50 ~ 2.00	—	—
			22Cr12NiMoWV	11.00 ~ 13.00	0.50 ~ 1.00	0.75 ~ 1.25	0.70 ~ 1.25	—	—
	45	CrMn(Si、N)	26Cr18Mn12Si2N	17.00 ~ 19.00	—	—	—	10.50 ~ 12.50	Si 1.40 ~ 2.20
	46	CrWMo(V)	15Cr12WMoV	11.00 ~ 13.00	—	0.50 ~ 0.70	0.70 ~ 1.10	—	—

③ 废钢（铁）的单件外形尺寸不大于 1500mm，单件质量不大于 1500kg。

④ 对于单件表面有锈蚀的废钢铁，其每面附着的铁锈厚度不大于单件厚度的 10%。

⑤ 废钢（铁）内不应混有铁合金、有害物；非合金废钢、低合金废钢不应混有合金废钢和废铁；合金废钢内不应混有非合金废钢、低合金废钢和废铁。

⑥ 废钢（铁）表面和器件、打包件内部不应存在泥块、水泥、粘砂、油污以及珐琅等。

⑦ 废钢（铁）中禁止混有炸弹炮弹等爆炸性武器弹药及其他易燃易爆物品。禁止混有两端封闭的管状物、封闭器皿等物品。禁止混有橡胶和塑料制品。

⑧ 废钢（铁）中不应有成套的机器设备及结构件（如有，则必须拆解且压碎或压扁成不可复原状）。各种形状的容器（罐筒等）应全部从轴向割开。机械部件容器（发动机、齿轮箱等）应清除易燃品和润滑剂的残余物。

⑨ 废钢（铁）中禁止混有其浸出液中有害物质浓度超过 GB 5085.3—2007 中鉴别标准值的有害废物。

⑩ 废钢（铁）中禁止混有其浸出液中超过 GB 5085.1—2007 中鉴别标准值即 pH 值不小于 12.5 或 pH 值不大于 2.0 的夹杂物。

⑪ 废钢（铁）中禁止混有多氯联苯含量超过 GB 13015—1991 控制标准值的有害物。

⑫ 钢（铁）中曾经盛装液体和半固体化学物质的容器、管道及其碎片必须清洗干净。进口废钢（铁）必须向检验机构申报容器、管道及其碎片曾经盛装或输送过的化学物质的主要成分。

⑬ 废钢（铁）中不应混有下列有害物：

a. 医药废物、废药品、医疗临床废物。

b. 农药和除草剂废物、含木材防腐剂废物。

c. 废乳化剂、有机溶剂废物。

d. 精（蒸）馏残渣、焚烧处置残渣。

e. 感光材料废物。

f. 铍、六价铬、砷、硒、镉、锑、碲、汞、铊、铅及其化合物的废物，含氟、氰、酚化合物的废物。

g. 石棉废物。

h. 厨房废物、卫生间废物等。

⑭ 废钢（铁）中禁止夹杂放射性废物。废钢（铁）的放射性污染按以下要求控制：

a. 废钢（铁）的外照射贯穿辐射剂量率不能高于 0.46μSv/h。

b. 废钢（铁）的 α 表面放射性污染水平检测值，不能超过 0.04Bq/cm^2；β 表面放射性污染水平检测值，不能超过 0.4Bq/cm^2。

c. 废钢（铁）中放射性核素比活度禁止超过 GB 16487.6—2005 的规定。

⑮ 废钢（铁）各检验批中非金属夹杂物（不含非金属有害废物）的总质量，不应超过该检验批质量的 0.5%

⑯ 废旧武器由供方作技术性的安全检查后按有关规定处理。

电弧炉熔炼用废钢块度的控制，见表 3-47。

表 3-47　电弧炉熔炼用废钢块度（供参考）

电炉公称容量/t	3	5	10	20 ~ 30	50
废钢最大截面尺寸/mm	200 × 200	250 × 250	400 × 400	600 × 600	800 × 800
废钢最大长度/mm	400	500	600	800	1000

2）铸钢熔炼对常用铁合金和纯金属的质量要求与控制见表 3-48 ~ 表 3-54。

表 3-48　铸造碳钢熔炼对常用铁合金的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号或代号	主要配入元素
硅铁	FeSi75 等	Si
锰铁	FeMn78C2. 0 或 FeMn68C7. 0、FeMn78、FeMn73 等	Mn

表 3-49　铸造中合金钢对常用铁合金和纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号或代号	主要配入元素
硅铁	FeSi75 等	Si
锰铁	FeMn78C2. 0 或 FeMn68C7. 0、FeMn78、FeMn73 等	Mn
铬铁	FeCr55C100 或 FeCr67C9. 5 等	Cr
钼铁	FeMo55-A 或 FeMo55-B 等	Mo
钒铁	FeV50-A 或 FeV50-B 等	V
钨铁	FeW80-A 或 FeW80-B、FeW70 等	W
钛铁	FeTi40-A 或 FeTi40-B、FeTi70-A 等	Ti
硼铁	FeB23C0. 05 或 FeB22C0. 1 等	B
电解镍	Ni9990 或 Ni9996 等	Ni
阴极铜	Cu-CATH-2 等	Cu

注：铸造中合金钢涉及有铸造锰钢、铸造硅锰钢、铸造锰钼钢、铸造硅锰钼钢、铸造锰钼钒钢、铸造硅锰钼钒钢、铸造锰钼钒铜钢、铸造铬钢、铸造铬钼钢、铸造铬锰硅钢、铸造铬锰钼钢、铸造铬钼钒钢、铸造铬铜钢、铸造钼钢、铸造铬镍钼钢、铸造铜钢等。

表 3-50　铸造耐磨钢熔炼对常用铁合金和纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号或代号	主要配入元素
硅铁	FeSi75 等	Si
锰铁	FeMn68C7. 0 或 FeMn78C2. 0、FeMn78、FeMn73 等	Mn
铬铁	FeCr67C9. 5 或 FeCr55C100 等	Cr
钼铁	FeMo55-A 或 FeMo55-B 等	Mo
铌铁	FeNb50 等	Nb
高氮铬铁	FeCrN8 或 FeCrN9 等	N、Cr
电解镍	Ni9990 或 Ni9996 等	Ni

表 3-51　铸造耐热钢熔炼对常用铁合金和纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	主要配入元素
硅铁	FeSi75 等	Si
锰铁	FeMn84C0.7 等	Mn
铬铁	FeCr69C0.15 等	Cr
氮化铬铁	FeNCr10-B 等	N,Cr
硅钙合金	Ca31Si60 或 Ca28Si60、Ca24Si60 等	Ca、Si
电解金属锰	DJMnD 等	Mn

表 3-52　铸造耐蚀钢熔炼对常用铁合金和纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	主要配入元素
硅铁	FeSi75 等	Si
锰铁	FeMn84C0.4 等	Mn
钛铁	FeTi30-A 等	Ti
铬铁	FeCr69C0.03 等	Cr
钼铁	FeMo70 等	Mo
电解镍	Ni9990 等	Ni

表 3-53　铸造不锈钢熔炼对常用铁合金和纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	主要配入元素
硅铁	FeSi75、FeSi45	Si
锰铁	FeMn84C0.7 或 FeMn78C2.0、FeMn68C7.0 等	Mn
铬铁	FeCr69C0.15 或 FeCr69C2.0 等	Cr
钼铁	FeMo55-A 或 FeMo55-B 等	Mo
钒铁	FeV50-A 或 FeV50-B 等	V
铌铁	FeNb50 等	Nb
原料纯铁	YT1 等	Fe
电解金属锰	DJMnD 等	Mn
金属镍	Ni9990 等	Ni

表 3-54　电炉炼钢对铁合金的块度要求与控制（供参考）

名称	硅铁	锰铁	锰硅合金	铬铁	钨铁	钼铁	钒铁	铌铁	钛铁	硼铁
块度/mm	30～150				<100		30～150	30～80	20～200	20～100

（2）铸铁常用熔炼原材料的质量要求与控制

1）铸铁熔炼对生铁锭的质量要求与控制。生铁锭是熔制铸铁的最主要金属炉料，约占配料质量的 20%～100%，它的化学成分是否稳定、硫磷含量和有害杂质含量是否低，直接关系到所熔制铸铁的质量。合理的选用生铁锭也是获得低成本配料的有效方法之一。

熔制灰铸铁时，应选用铸造生铁。硅的质量分数为 2.0%～3.0% 的铸造生铁可用于熔制低牌号灰铸铁；硅的质量分数为 1.2%～2.0% 的铸造生铁可用于熔制高牌号灰铸铁。

熔制球墨铸铁时，应选用球墨铸铁专用生铁，但也可选用低硅、低锰和低磷硫的铸造生铁或炼

钢生铁。对于要求特别高的球墨铸铁也可选用高纯生铁。球墨铸铁所用新生铁的硅的质量分数一般在 0.8% ~1.75% 内选择。熔制大断面球墨铸铁件或铸态铁素体球墨铸铁件时，生铁的锰含量希望低于 0.3%，不应超过 0.5%，越低越好；熔制珠光体、贝氏体、退火铁素体球墨铸铁件时，生铁的锰的质量分数应小于 0.6%；熔制正火珠光体球墨铸铁的中小型铸件时，生铁的锰的质量分数可适当放宽，一般也不要超过 0.8%。对于低温下工作的铁素体韧性球墨铸件件和其他要求韧性较高的球墨铸铁件，应选用磷的质量分数小于 0.07% 的生铁。一般球墨铸铁件用生铁磷的质量分数不应大于 0.10%；硫的质量分数应限制在 0.05% 以下；反球化元素不得过量，w(Te) <0.01%、w(Ti) <0.3%、w(Sn) <0.09%、w(Sb) <0.2%、w(Pb) <0.2%、w(Bi) <0.05%。

熔制蠕墨铸铁时，应参照熔制球墨铸铁的要求选用生铁。

熔制可锻铸铁时，一般只加入 10% 左右的生铁量，主要是为了提高碳含量，因此含磷、硫和铬低的铸造生铁、炼钢生铁和再生铁均能使用。

熔制特种铸铁时，应尽量选用含相应元素高的铸造生铁或特种生铁。比如，熔制中硅耐热铸铁和高硅耐蚀铸铁时，就应选用硅的质量分数 >2.8% 以上的铸造生铁；熔制磷耐磨铸铁时，就应选用含磷高的铸造生铁；熔制矾钛铸铁时，就应选用含矾钛的特种生铁；熔制火车和矿车车轮用铸铁时，就应选用冷铸车轮生铁。

生铁锭块表面应洁净，但允许附有石灰和石墨。

2）铸铁熔炼对废钢铁的质量要求与控制。废钢铁也是熔制铸铁的最主要金属炉料。

① 铸铁熔炼对废钢的质量要求与控制可参见铸钢熔炼对废钢的质量要求与控制。除此之外，还应特别注意以下事项：

a. 入炉废钢每块长度不得大于熔炉内径的 1/3，面积不大于炉膛截面积的 1/7，质量不超过批料质量的 1/10。对于中、大型冲天炉（炉内径 ϕ900mm 以上）不得超过批料质量的 1/20。

b. 废钢表面不得严重锈蚀，锈蚀严重的需经除锈后方能使用。除熔制高硅耐蚀铸铁外，废钢块质量一般应为 0.25 ~10kg（大型冲天炉可适当放大），废钢厚度小于 3mm 的应不超过该批量废钢质量的 20%、厚度小于 1mm 的应捆扎打包使用。

c. 熔制球墨铸铁和蠕墨铸铁时，废钢中不应含反球化（蠕化）元素，如 Sb、Sn、Bi、Te、Pb、Ti 等。熔制可锻铸铁时，废钢中 w(Cr) 应 <0.06%。熔制高硅耐蚀铸铁时，废钢应选用废硅钢片。

② 铸铁熔炼对废铁的质量要求与控制，一般应参见铸钢熔炼对废钢的质量要求与控制，而且还应注意以下问题：

a. 废铁的 w(C) >2.0%。优质废铁的硫质量分数和磷质量分数分别不大于 0.070% 和 0.40%；普通废铁、合金废铁的硫质量分数和磷质量分数分别不大于 0.12% 和 1.00%。

b. 废铁应按质量和形状进行分类，见表 3-55。

表 3-55　废铁按质量和形状的分类

品　种	类　别				典型举例
	代码	A	B	C	
优质废铁	101	长度≤1000mm，宽度≤500mm，高度≤300mm，单件质量≤200kg	经破碎、熔断容易成为一类形状的废铁	生铁粉（车削下来的生铁屑未混入异物的生铁）及其冷压块	生铁机械零部件、输电工程各种铸件、铸铁轧辊、汽车缸体、发动机壳、钢锭模等
普通废铁	102				铸铁管道、高磷铁、高硫铁、火烧铁等
合金废铁	103				合金轧辊、球墨轧辊等
高炉添加料	104	200mm×200mm×200mm≥外形尺寸应≥10mm×10mm×10mm，单件质量≤5kg			加工压块等

注：铁屑冷压块的密度不小于 3000kg/m^3。在运输和卸货时，散落的铁屑量不大于批重的 5%，压块满足脱落性试验。

c. 入炉废铁每块长度不得大于熔炉内径的 1/3，面积不大于炉膛截面积的 1/7，质量不超过批量质量的 1/10。对于中、大型冲天炉（炉内径 ϕ900mm 以上）不得超过批量质量的 1/20。

（3）铸造有色合金常用熔炼原材料的质量要求与控制

1）铸造铝合金熔炼对纯金属、中间合金的质量要求与控制见表 3-56 和表 3-57。

表 3-56　铸造铝合金熔炼对纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	名　　称	牌号与代号
重熔用铝锭	Al99. 50 以上	锌锭	Zn99. 95 以上
原生镁锭	Mg99. 80 以上	镉锭	Cd99. 96 以上
电解金属锰	DJMn99. 5 以上	海绵钛	MHT-140 以上
阴极铜	Cu-CATH-1、Cu-CATH-2	稀土金属	RECe45 以上
电解镍	Ni9990 以上		

表 3-57　铸造铝合金熔炼对中间合金的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	主要组元含量(质量分数,%)
铝铜中间合金	AlCu50	Cu48. 0 ~ 52. 0
铝硅中间合金	AlSi26、AlSi24、AlSi20、AlSi12	Si24 ~ 28、22 ~ 26、18 ~ 21、11 ~ 13
铝镁中间合金	AlMg10	Mg10. 0 ~ 11. 0
铝锰中间合金	AlMn10	Mn9. 0 ~ 11. 0
铝钛中间合金	AlTi5、AlTi4	Ti4. 5 ~ 6. 0、3. 0 ~ 5. 0
铝硼中间合金	AlB3、AlB1	B2. 5 ~ 3. 5、0. 5 ~ 1. 5
铝镍中间合金	AlNi10	Ni9. 0 ~ 11. 0
铝铬中间合金	AlCr2	Cr2. 0 ~ 3. 0
铝锆中间合金	AlZr4	Zr3. 0 ~ 5. 0
铝钒中间合金	AlV4	V3. 0 ~ 5. 0
铝锑中间合金	AlSb4	Sb3. 0 ~ 5. 0
铝铁中间合金	AlFe20	Fe18. 0 ~ 22. 0
铝钛硼中间合金	AlTi4B、AlTi5B1	Ti3. 0 ~ 5. 0,B0. 6 ~ 1. 2;Ti5. 0 ~ 6. 2,B0. 9 ~ 1. 4
铝稀土中间合金	AlRE10、AlRE1、AlRE2、AlRE3	RE9 ~ 11、0. 05 ~ 0. 12、0. 13 ~ 0. 20、0. 21 ~ 0. 30
铝铍中间合金	AlBe3	Be2. 0 ~ 4. 0
铝锶中间合金	AlSr5、AlSr10	Sr4. 0 ~ 6. 0、9. 0 ~ 11. 0
铝钴中间合金	AlCo5	Co4. 0 ~ 6. 0

2）铸造镁合金熔炼对纯金属、中间合金的质量要求与控制见表 3-58 和表 3-59。

表 3-58　铸造镁合金熔炼对纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号
原生镁锭	Mg99. 80 以上
重熔用铝锭	Al99. 50 以上

表 3-59　铸造镁合金熔炼对中间合金的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	主要组元含量(质量分数,%)
铝锰中间合金	AlMn10	Mn9 ~ 11
铝铍中间合金	AlBe3	Be2 ~ 4
镁锆中间合金	AlZr25 以上	Zr≥25
镁钕中间合金	MgNd35、MgNd25	Re30 ~ 40,Nd/RE≥0. 85;RE20 ~ 30,Nd/RE≥0. 85

3）铸造锌合金熔炼对纯金属、中间合金的质量要求与控制见表 3-60 和表 3-61。

表 3-60　铸造锌合金熔炼对纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	名　　称	牌号与代号
锌锭	Zn99. 95 以上	阴极铜	Cu-CATH-2
重熔铝锭	Al99. 95 以上	原生镁锭	Mg99. 95 以上

表 3-61　铸造锌合金熔炼对中间合金的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	主要组元含量(质量分数,%)
铝铜中间合金	AlCu50	Cu48. 0 ~ 52. 0
铝镁中间合金	AlMg10	Mg10. 0 ~ 11. 0
铝钛中间合金	AlTi5	Ti4. 5 ~ 6. 0
铝硼中间合金	AlB1	B0. 5 ~ 1. 5
铝钛硼中间合金	AlTi4B1	Ti3. 5 ~ 5. 0,B0. 9 ~ 1. 4
铝铈中间合金	AlCe10	Ce9 ~ 11
铝稀土中间合金	AlRE10	RE9 ~ 11

4）铸造铜合金熔炼对纯金属、中间合金的质量要求与控制见表 3-62 和表 3-63。

表 3-62　铸造铜合金熔炼对纯金属的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	名　　称	牌号与代号
阴极铜	Cu-CATH-1、Cu-CATH-2	镉锭	Cd99. 96 以上
工业硅	Si-1、Si-2、Si-3	海绵钛	MHT-140 以上
电解金属锰	DJMn99. 5 以上	海绵锆	HZr-1 以上
重熔用铝锭	Al99. 50 以上	锡锭	Sn99. 95 以上
原生镁锭	Mg99. 80 以上	铅锭	Pb99. 90 以上
锌锭	Zn99. 95 以上	电解镍	Ni9990、Ni9996、Ni9999

表 3-63　铸造铜合金熔炼对中间合金的质量要求与控制（供参考）

名　　称	牌号与代号	主要组元含量(质量分数,%)
铜磷中间合金	CuP14、CuP12、CuP10、CuP8	P13 ~ 15、11 ~ 13、9 ~ 11、8 ~ 9
铜铍中间合金	CuBe4	Be3. 8 ~ 4. 3
铜镍中间合金	CuNi15	Ni14 ~ 18
铜锰中间合金	CuMn28、CuMn22	Mn25 ~ 30、20 ~ 25
铜铁中间合金	CuFe10	Fe9 ~ 11

（续）

名　　称	牌号与代号	主要组元含量(质量分数,%)
铜镁中间合金	CuMg20、CuMg10	Mg17 ~ 23、8 ~ 11
铜硅中间合金	CuSi16	Si13. 5 ~ 16. 5
铜铬中间合金	CuCr5	Cr3 ~ 6
铜锆中间合金	CuZr15	Zr13 ~ 16
铝铁中间合金	AlFe20	Fe18 ~ 22
铜硼中间合金	CuB4	B3 ~ 4
铜钛中间合金	CuTi20	Ti15 ~ 25
铜镉中间合金	CuCd30	Cd28 ~ 32
铜砷中间合金	CuAs30	As28 ~ 32
铜铈中间合金	CuCe15	Ce13 ~ 17
铜锑中间合金	CuSb50	Sb45 ~ 55

3. 2　铸造生产用工艺装备的质量检验（控制）

铸造生产用工艺装备主要有模样、模板、芯盒和砂箱等。它是铸件成型的铸造工艺装备，其质量优劣是生产合格铸件的关键，因此必须认真检验（控制）。

3. 2. 1　铸造生产用模样质量的检验（控制）

模样是用来形成铸型型腔的工艺装备，必须具有足够的强度、刚度和与铸件技术要求相适应的表面粗糙度和尺寸精度。为了保证模样的质量，在铸造生产中必须有一个模样质量检验的过程。

1. 铸造生产用模样的分类

砂型铸造用模样分类如图 3-13 所示。

熔模铸造生产用模样（压型）分类如图 3-14 所示。

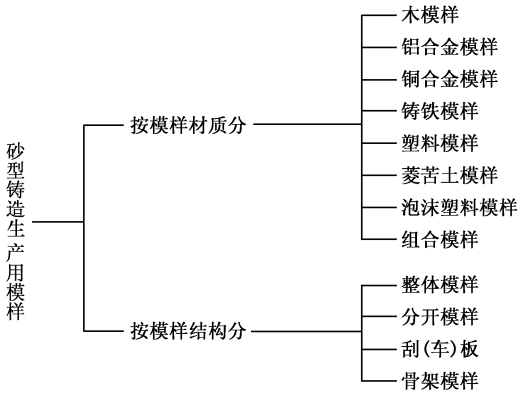


图 3-13　砂型铸造生产用模样分类

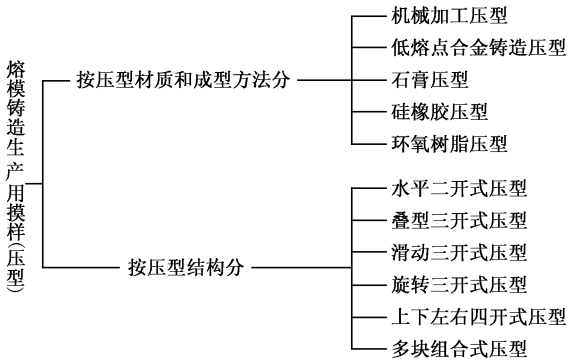


图 3-14　熔模铸造生产用模样（压型）分类

石膏型铸造生产用模样（母模）分类如图 3-15 所示。

2. 铸造生产用模样质量的检验依据

铸造生产用模样质量的检验依据主要有：模样图、制模工艺规程、模样技术要求及标准等。

模样图中一般都有材料、尺寸、结构（壁厚、加强肋、活块、装配）及技术要求（尺寸精度、表面粗糙度等）。在通常情况下，只绘制金属模样图。而木模样和塑料模样等一般不绘制模样图，但可依据铸件图制造。

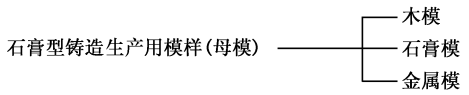


图 3-15　石膏型铸造生产用模样（母模）分类

（1）木模样质量的检验依据　木模样是模样制作中应用最广泛的一种，也是其他几种模样制作的基础。其主要特点如下：

- 木材来源广泛，造价低廉。
- 木材质地柔软，易于加工，适合加工各种复杂形状的模样。
- 使用木材制模周期短。
- 木模受环境影响，受潮易变形。
- 木模磨损较快，模样寿命短。

我国制定的木模样标准有：JB/T 7699—1999《铸造用木制模样和芯盒　技术条件》、JB/T 5105—1991《铸件模样　起模斜度》、JB/T 5106—1991《铸件模样型芯头　基本尺寸》和 GB/T 14495—2009《产品几何技术规范（GPS）表面结构　轮廓法　木制件表面粗糙度比较样块》等。

1）木模样（芯盒）的等级规定见表 3-64。

表 3-64　本模样（芯盒）的等级规定

本模样(芯盒)等级	技　术　条　件
一级	1)板材宽度应不大于 150mm 2)采用叠辋结构时,每层板材厚度不大于 30mm,叠辋高度一般不大于 300mm 3)采用筒体结构时,筒体直径为 250～500mm 时,筒板宽应小于 90mm;直径大于 500mm 时,筒板宽应小于 100mm,而板厚为 30～50mm 4)骨架撑框的纵横间距,应不大于 500mm 5)矩形芯盒长度大于 800mm,高度大于 300mm,板厚为 35～50mm 时,侧板外部必须加框加固;当长度大于 1500mm,板厚大于 50mm 时,应在侧板中部钻孔,用贯穿螺栓加固 6)容易损坏或磨损的部分,应镶上保护板或金属镶片 7)活块与主体的连接,应采用燕尾榫连接,其材料应采用硬质木材或金属材料制成 8)模样和芯盒上的内圆角部应做出,并采用厚口铲出
二级	1)板材宽度应不大于 200mm 2)采用叠辋结构时,每层板材厚度不大于 40mm,叠辋高度一般不大于 400mm 3)采用筒体结构时,筒体直径在 250～500mm 时,筒板宽应小于 100mm;直径大于 500mm 时,筒板宽应小于 120mm,而板厚为 30～50mm 4)骨架撑框的纵横间距,应不大于 600mm 5)矩形芯盒长度大于 1000mm,高度大于 300mm,板厚为 35～50mm 时,侧板外部必须加框加固;当长度大于 1500mm,板厚大于 50mm 时,应在侧板中部钻孔,用贯穿螺栓加固 6)活块与主体的连接,应采用燕尾榫连接 7)多次使用的模样和芯盒,其内圆角均必须做出,而使用次数不多的模样和芯盒(树脂砂的模样的芯盒除外),小于或等于 *R*10 的内圆角可以不做出,但需用腻子补出,大于 *R*10 的内圆角均应做出
三级	1)活块和主体的连接,可采用燕尾榫或销钉方法连接 2)小于或等于 *R*15 的内圆角可以不做出,但需用腻子补出,或者注出圆角大小,而大于 *R*15 的内圆角均需做出

2）木模样（芯盒）的木材质量选用规定见表 3-65。

表 3-65　木模样（芯盒）的木材质量选用规定

木模样(芯盒)等级	工作表面用材料	结构用材料
一级	一至二等	二至三等
二级	二至三等	三等
三级	三等	任意

3）木模样（芯盒）的木材钉距规定见表 3-66。

表 3-66　木模样（芯盒）的木材钉距规定　　（单位：mm）

木材长度	纵向钉距	横向钉距 S
≤500	<150	70 ~ 120 当板宽小于 50 时可钉一个钉
>500 ~ 1000	<200	
>1000 ~ 2000	<250	
>2000	<300	

4）木模样（芯盒）的尺寸公差规定见表 3-67 和表 3-68。

表 3-67　木模样（芯盒）的中心距、配合、重合、其他尺寸及工艺装备尺寸公差

（单位：mm）

测量尺寸	中心距、配合、重合尺寸公差			其他尺寸公差			工艺装备尺寸公差
	等级			等级			等级
	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一、二、三级
≤63	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2
>63 ~ 100	0.4	0.6	0.8	0.8	1.0	1.2	1.4
>100 ~ 160	0.6	0.8	1.0	1.0	1.2	1.4	1.8
>160 ~ 250	0.8	1.0	1.2	1.2	1.4	1.8	2.2
>250 ~ 400	0.8	1.2	1.4	1.4	1.8	2.2	2.6
>400 ~ 630	1.0	1.4	1.8	1.8	2.2	2.6	3.2
>630 ~ 1000	1.4	1.8	2.2	2.2	2.6	3.2	4.0
>1000 ~ 1600	1.6	2.0	2.8	2.6	3.2	3.8	5.0
>1600 ~ 2500	2.0	2.6	3.4	3.2	4.0	4.8	6.0
>2500 ~ 4000	2.6	3.0	4.4	4.0	4.8	5.8	7.4
>4000	3.0	4.0	5.4	5	6	7	9

注：1. 当一个方向上有若干个连续的中心距或位置间距时，其相加后总尺寸的公差仍需符合表中的规定。

2. 配合尺寸（包括芯头和芯座的配合尺寸）、重合尺寸，其偏差应取同方向。

3. 凡分段型芯拼成整芯的，几个分段型芯芯盒所形成的整芯长度尺寸公差，需符合表中的规定。

4. 由角度换算成线性尺寸时，其公差不超过表中的规定。

5. 借用样板制作的曲面，其尺寸公差允许适当增大。

表 3-68　木模样（芯盒）的壁厚尺寸公差　（单位：mm）

测量尺寸		≤10	>10～16	>16～25	>25～40	>40～63	>63
等级	一级	0.4	0.4	0.6	0.8	1.2	1.4
	二级	0.4	0.6	0.8	1.0	1.4	1.6
	三级	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0

注：1. 受压件的壁厚只允许采用公差的正偏差。
2. 尺寸公差超差时，如果该尺寸是铸件加工面，则允许有下列超差：一级模样和芯盒不超铸件加工余量的 ±4%；二级模样和芯盒不超铸件加工余量的 ±6%；三级模样和芯盒不超铸件加工余量的 ±8%。

5）木模样（芯盒）的平面度公差规定见表 3-69 和表 3-70。

表 3-69　粘土砂用木模样（芯盒）平面度公差　（单位：mm）

测量尺寸	≤400			>400～630			>630～1000			>1000～1600			>1600～2500			>2500～4000			>4000		
	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级
≤400	0.4	0.6	0.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
>400～630	0.6	0.8	1.0	0.8	1.0	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
>630～1000	0.8	1.0	1.2	1.0	1.4	1.8	1.4	1.8	2.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
>1000～1600	1.0	1.4	1.8	1.4	1.8	2.2	2.0	2.4	3.0	2.8	3.2	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
>1600～2500	1.4	1.8	2.2	2.0	2.4	3.0	2.8	3.2	3.8	4.0	4.4	4.8	4.4	4.8	5.4	—	—	—	—	—	—
>2500～4000	2.0	2.4	3.0	2.8	3.2	3.8	4.0	4.4	4.8	4.4	4.8	5.4	5.0	5.4	5.8	5.6	6.0	6.4	—	—	—
>4000～6300	2.8	3.2	3.8	4.0	4.4	4.8	4.4	4.8	5.4	5.0	5.4	5.8	5.6	6.0	6.4	6.0	6.6	7.2	6.8	7.2	8.0
>6300	4.0	4.4	4.8	4.4	4.8	5.4	5.0	5.4	5.8	5.6	6.0	6.4	6.0	6.6	7.2	6.8	7.2	8.0	6.8	8.0	8.8

表 3-70　树脂砂用模样（芯盒）平面度公差　（单位：mm）

测量尺寸	≤400		>400～630		>630～1000		>1000～1600		>1600～2500		>2500～4000		>4000	
	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级
≤400	0.4	0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
>400～630	0.6	0.8	0.8	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
>630～1000	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2	1.6	—	—	—	—	—	—	—	—
>1000～1600	1.0	1.2	1.2	1.6	1.6	2.0	2.4	2.8	—	—	—	—	—	—
>1600～2500	1.2	1.6	1.6	2.0	2.4	2.8	3.0	3.6	3.4	4.0	—	—	—	—
>2500～4000	1.6	2.0	2.4	2.8	3.0	3.6	3.4	4.0	3.8	4.6	4.0	5.0	—	—
>4000～6300	2.4	2.8	3.0	3.6	3.4	4.0	3.8	4.6	4.0	5.0	4.8	5.6	5.4	6.4
>6300	3.0	3.6	3.4	4.0	3.8	4.6	4.0	5.0	4.8	5.6	5.4	6.4	6.0	7.2

注：和起模方向垂直而有加工余量的平面，其平面度公差在保证有加工余量的前提下可适当放大。

6）木模样（芯盒）的工作表面粗糙度规定见表 3-71。

表 3-71　木模样（芯盒）工作表面粗糙度　（单位：μm）

名　称	表面粗糙度参数值 *Ra*		
	等　级		
	一　级	二　级	三　级
机器造型用模样	3.2	3.2～6.3	—
树脂砂用模样和芯盒	3.2～6.3	6.3	—
粘土砂用模样和芯盒	6.3	6.3～12.5	12.5
模样和芯盒型芯头部分	6.3	12.5	12.5

7）模样（芯盒）的起模斜度规定见表 3-72 ~ 表 3-74。

表 3-72　粘土砂造型时，模样外表面（芯盒内表面）的起模斜度

测量面高度 H /mm	起模斜度 ≤			
	金属模样、塑料模样		木模样	
	α	a/mm	α	a/mm
≤10	2°20′	0. 4	2°55′	0. 6
>10 ~40	1°10′	0. 8	1°25′	1. 0
>40 ~100	0°30′	1. 0	0°40′	1. 2
>100 ~160	0°25′	1. 2	0°30′	1. 4
>160 ~250	0°20′	1. 6	0°25′	1. 8
>250 ~400	0°20′	2. 4	0°25′	3. 0
>400 ~630	0°20′	3. 8	0°20′	3. 8
>630 ~1000	0°15′	4. 4	0°20′	5. 8
>1000 ~1600	—	—	0°20′	9. 2
>1600 ~2500	—	—	0°15′	11. 0
>2500	—	—	0°15′	—

注：1. 对于起模困难的模样（芯盒），允许采用较大的起模斜度，但不得超过表中数值的 1 倍。
2. 当造型机工作比压在 700kPa 以上时，允许将表中列出的起模斜度值增加，但不得超过 50% 。
3. 铸件结构本身在起模方向上有足够斜度时，不另增加起模斜度。
4. 同一铸件，上下两个模样的起模斜度，应取在分型面上同一点。

表 3-73　粘土砂造型时，模样（芯盒）凹处内表面的起模斜度

测量面高度 h /mm	起模斜度 ≤			
	金属模样、塑料模样		木模样	
	α	a/mm	α	a/mm
≤10	4°35′	0. 8	5°45′	1. 0
>10 ~40	2°20′	1. 6	2°50′	2. 0
>40 ~100	1°05′	2. 0	1°15′	2. 2
>100 ~160	0°45′	2. 2	0°55′	2. 6
>160 ~250	0°40′	3. 0	0°45′	3. 4
>250 ~400	0°40′	4. 6	0°45′	5. 2
>400 ~630	0°35′	6. 4	0°40′	7. 4
>630 ~1000	0°30′	8. 8	0°35′	10. 2
>1000	—	—	0°35′	—

注：与表 3-71 中注同。此外，当凹处过深时，可用活块或芯子。

表 3-74　自硬砂造型时，模样（芯盒）外表面的起模斜度

测量面高度 H /mm	起模斜度 ≤			
	金属模样、塑料模样		木模样	
	α	a/mm	α	a/mm
≤10	3°30′	0.6	4°00′	0.8
>10～40	1°50′	1.4	2°05′	1.6
>40～100	0°50′	1.6	0°55′	1.6
>100～160	0°35′	1.6	0°40′	2.0
>160～250	0°30′	2.2	0°35′	2.6
>250～400	0°30′	3.6	0°35′	4.2
>400～630	0°25′	4.6	0°30′	5.6
>630～1000	0°20′	5.8	0°25′	7.4
>1000～1600	—	—	0°25′	11.6
>1600～2500	—	—	0°25′	18.2
>2500	—	—	0°25′	—

注：采用自硬砂造型时，模样（芯盒）凹处内表面的起模斜度值允许按表中值增加 50%，但当凹处过深时，可用活块或芯子形成。

8）模样的水平型芯头长度和配合间隙规定见图 3-16 和表 3-75～表 3-77。

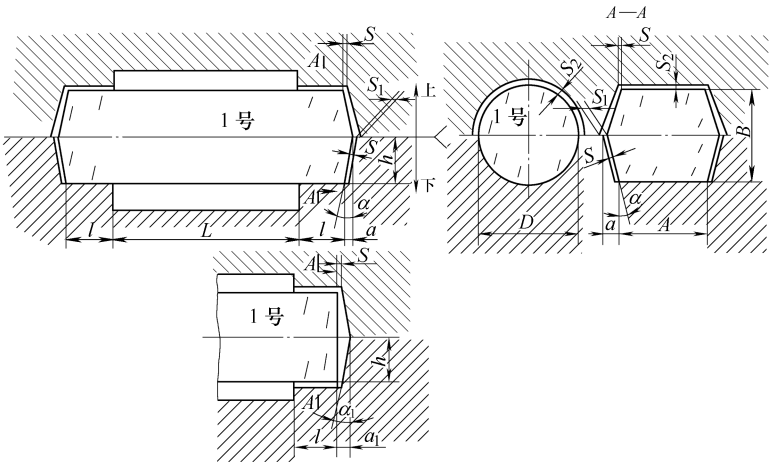


图 3-16　模样的水平型芯头

表 3-75　湿型、干型、自硬砂型用模样的水平型芯头长度　（单位：mm）

l	砂型类别	D 或 $\frac{A+B}{2}$										
		≤25	>25～40	>40～63	>63～100	>100～160	>160～250	>250～400	>400～630	>630～1000	>1000～1600	>1600～2500
		L										
≤100	湿型	20～25	25～40	30～35	35～40	40～45	45～55	—	—	—	—	—
	干型	15～20	20～30	25～35	30～40	35～45	45～50	—	—	—	—	—
	自硬砂型											

（续）

l	砂型类别	D 或 $\frac{A+B}{2}$										
		≤25	>25 ~40	>40 ~63	>63 ~100	>100 ~160	>160 ~250	>250 ~400	>400 ~630	>630 ~1000	>1000 ~1600	>1600 ~2500
		L										
>100 ~160	湿型	25 ~30	30 ~40	35 ~45	40 ~50	45 ~55	50 ~60	60 ~70	—	—	—	—
	干型	20 ~25	25 ~35	30 ~40	34 ~45	40 ~50	45 ~55	55 ~65	—	—	—	—
	自硬砂型							50 ~60	—	—	—	—
>160 ~250	湿型	—	35 ~45	40 ~50	45 ~55	50 ~60	55 ~65	65 ~75	75 ~85	—	—	—
	干型	—	30 ~40	35 ~45	40 ~50	45 ~55	50 ~60	60 ~70	70 ~80	—	—	—
	自硬砂型	—						55 ~65	60 ~75	—	—	—
>250 ~400	湿型	—	—	45 ~55	50 ~60	55 ~65	60 ~75	65 ~85	75 ~90	—	—	—
	干型	—	—	40 ~50	50 ~60	55 ~70	60 ~80	70 ~90	80 ~100	—	—	
	自硬砂型	—	—			55 ~65	60 ~75	65 ~85	75 ~95	—	—	
>400 ~630	湿型	—	—	50 ~60	55 ~65	60 ~75	65 ~85	75 ~95	85 ~110	100 ~170	—	—
	干型	—	—	45 ~55	50 ~60	55 ~70	60 ~80	70 ~90	80 ~100	95 ~120	—	—
	自硬砂型	—	—			55 ~65	60 ~75	65 ~85	75 ~95	85 ~100	—	—
>630 ~1000	湿型	—	—	—	60 ~75	75 ~90	90 ~105	100 ~120	110 ~170	130 ~250	—	—
	干型	—	—	50 ~60	55 ~70	70 ~85	80 ~100	85 ~110	100 ~130	120 ~150	140 ~180	—
	自硬砂型	—	—			60 ~80	70 ~90	80 ~100	85 ~115	100 ~140	120 ~160	—
1000 ~1600	湿型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	干型	—	—	—	70 ~90	80 ~100	90 ~100	100 ~130	120 ~150	140 ~180	160 ~200	190 ~260
	自硬砂型	—	—	—	60 ~80	70 ~90	80 ~100	85 ~120	100 ~140	120 ~160	140 ~190	180 ~230
>1600 ~2500	湿型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	干型	—	—	—	80 ~100	90 ~110	100 ~130	120 ~150	140 ~180	160 ~200	190 ~260	250 ~320
	自硬砂型	—	—	—	70 ~90	80 ~100	85 ~120	100 ~140	120 ~160	140 ~180	160 ~230	220 ~290

注：1. 型芯头中如设有浇注系统时，可根据浇注系统的大小，型芯头长度可比表中所示值大。

2. 型芯头长度如受到砂箱尺寸限制时，可按表中数值减小 20% ~25%，但需在芯座部分附加铁片或耐火砖等，以提高芯座的抗压能力。

3. 多支点（两个以上支点或安放芯撑作为支点）的型芯头长度，可以适当减小。

表 3-76　湿型、干型、自硬砂型用模样的水平型芯头顶面和芯座的配合间隙

（单位：mm）

l	砂型类别	D 或 A										
		≤25	>25~40	>40~63	>63~100	>100~160	>160~250	>250~400	>400~630	>630~1000	>1000~1600	>1600~2500
		S_2										
≤25	湿型	—	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	干型	0.5		—	—	—	—	—	—	—	—	—
	自硬砂型			—	—	—	—	—	—	—	—	—
>25~40	湿型	—	0.3		0.5	—	—	—	—	—	—	—
	干型	—	0.5		1	1.5	—	—	—	—	—	—
	自硬砂型	—					—	—	—	—	—	—
>40~63	湿型	—	—	0.5	1			—	—	—	—	—
	干型	—	—	1	1.5			2	—	—	—	—
	自硬砂型	—	—	1	1.5				—	—	—	—
>63~100	湿型	—	—	—	1	1.5		2		—	—	—
	干型	—	—	—	1.5	2			2.5	3	—	—
	自硬砂型	—	—	—	1.5		2			2.5	—	—
>100~160	湿型	—	—	—	—	—	2	2.5	3	4	—	—
	干型	—	—	—	—	—	3	3.5	4		4.5	—
	自硬砂型	—	—	—	—	—	2.5	3	3.5		4	—
>160~250	湿型	—	—	—	—	—	—	—	3.5	4.5	—	—
	干型	—	—	—	—	—	—	—	4		5	6
	自硬砂型	—	—	—	—	—	—	—				5
>250~400	湿型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	干型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6
	自硬砂型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5

注：芯头底面和芯座的配合间隙的推荐值：湿型为 0~1.5mm；干型为 0~3mm；自硬砂为 0~2mm。

表 3-77　湿型、干型、自硬砂型用模样的水平型芯头斜度和芯头与芯座的配合间隙

（单位：mm）

芯头高度 h		≤40	>40~63	>63~100	>100~160	>160~250	>250~400	>400~630	>630~1000	>1000
型芯头斜度≤	α	7°	7°	6°	6°	5°	4°30′	3°30′	2°30′	2°
	α	5	8	11	17	22	32	39	44	—
	α_1	4°	3°	2°30′	2°	2°	—	—	—	—
	α_1	3	3	4	6	9	—	—	—	—
间隙 S	湿型	0.5	0.8	1	1.3	1.5	2	2.5	3	—
	干型	1	1.2	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5
	自硬砂型	0.8	1	1.3	1.5	2	2.5	3	3.5	4

注：间隙 S_1 的值可按（1.5~2）S 计算。

9）模样的垂直型芯头长度、斜度和配合间隙规定见图 3-17 和表 3-78 ~ 表 3-80。

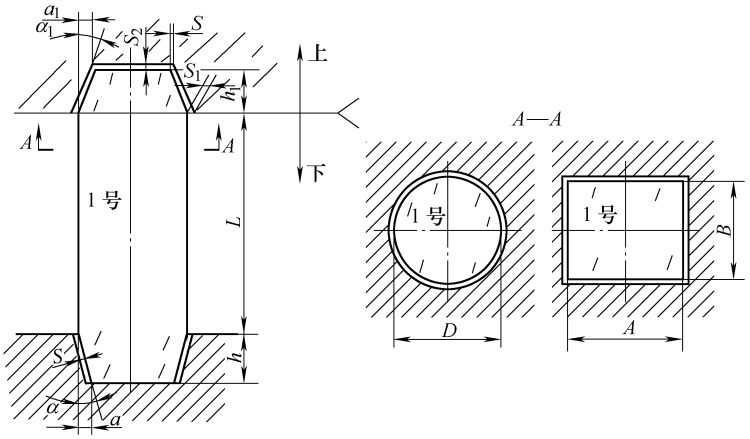


图 3-17　模样的垂直型芯头

表 3-78　湿型、干型、自硬砂型用模样的垂直型芯头高度和芯头与芯座的配合间隙

（单位：mm）

L	砂型类别	D 或 $\frac{A+B}{2}$											
		≤25		>25 ~40		>40 ~63		>63 ~100		>100 ~160		>160 ~250	
		S	h	S	h	S	h	S	h	S	h	S	h
≤100	湿型	0.2	15 ~20	0.2	20 ~25	0.3	25 ~30	0.3	25 ~30	0.5	25 ~30	1	30 ~35
	干型	0.2		0.3		0.5		0.5		1		1	
	自硬砂型	0.2		0.3		0.5		0.5		1		1	
>100 ~160	湿型	0.2	20 ~25	0.2	25 ~30	0.3	30 ~35	0.3	30 ~35	0.5	30 ~35	1	35 ~40
	干型	0.3		0.3		0.5		0.5		1		1	
	自硬砂型	0.2		0.3		0.5		0.5		1		1	
>160 ~250	湿型	—	—	0.3	30 ~35	0.3	30 ~35	0.3	35 ~40	0.5	35 ~40	1	35 ~40
	干型	—		0.3		0.5		0.5		1		1	
	自硬砂型	—		0.3		0.5		0.5		1		1	
>250 ~400	湿型	—	—	0.3	30 ~35	0.3	30 ~40	0.5	35 ~45	0.5	35 ~45	1	40 ~50
	干型	—		0.5		0.5		0.5		1		1	
	自硬砂型	—		0.5		0.5		0.5		1		1	
>400 ~630	湿型	—	—	—	—	0.5	45 ~55	0.5	50 ~60	0.5	50 ~60	1	50 ~60
	干型	—		—		0.5		0.5		1		1.5	
	自硬砂型	—		—		0.5		0.5		1		1.5	
>630 ~1000	湿型	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	60 ~70	1	60 ~70
	干型	—		—		—		—		1		1.5	
	自硬砂型	—		—		—		—		1		1.5	
>1000 ~1600	湿型	—	—	—	—	—	—	—	—	1	70 ~85	1	70 ~85
	干型	—		—		—		—		1.5		1.5	
	自硬砂型	—		—		—		—		1.5		1.5	
>1600 ~2500	湿型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	干型	—		—		—		—		—		—	
	自硬砂型	—		—		—		—		—		—	

（续）

L	砂型类别	D 或 $\frac{A+B}{2}$									
		>250～400		>400～630		>630～1000		>1000～1600		>1600～2500	
		S	h	S	h	S	h	S	h	S	h
≤100	湿型	1	35～40	1.5	40～50	—	—	—	—	—	—
	干型	1.5		2		—		—		—	
	自硬砂型	1.5		2		—		—		—	
>100～160	湿型	1.5	35～40	1.5	40～50	2	50～60	—	—	—	—
	干型	1.5		2		2.5		—		—	
	自硬砂型	1.5		2		2		—		—	
>160～250	湿型	1.5	40～50	2	45～55	2	50～65	—	—	—	—
	干型	1.5		2		2.5		2.5	60～75	2.5	70～90
	自硬砂型	1.5		2		2		2		2.5	
>250～400	湿型	1.5	45～55	2	50～60	2	60～70	—	—	—	—
	干型	1.5		2		2.5		2.5	65～80	3	80～100
	自硬砂型	1.5		2		2.5		2.5		2.5	
>400～630	湿型	1.5	55～65	2	60～70	2.5	65～80	—	—	—	—
	干型	1.5		2		2.5		3	70～85	4	80～100
	自硬砂型	1.5		2		2.5		2.5		3	
>630～1000	湿型	1.5	60～70	2	65～80	2.5	70～90	—	—	—	—
	干型	1.5		2		2.5		3	80～100	4	800～100
	自硬砂型	1.5		2		2.5		3		3	
>1000～1600	湿型	1.5	70～85	2	75～90	2.5	80～100	—	—	—	—
	干型	2		2.5		3		4	90～110	4.5	100～120
	自硬砂型	1.5		2		2.5		3		4	
>1600～2500	湿型	—	—	2.5	80～100	2.5	90～120	—	—	—	—
	干型			3		4		4.5	100～130	5	110～140
	自硬砂型			2.5		3		4		5	

注：1. 型芯头高度如受到砂箱尺寸限制时，可按表中数值减小 20%～25%。

2. 当没有上部型芯头时，下部型芯头高度可按表中数值增加 30%～50%。

3. 对于一些大批量生产，且对高度中心线对称的型芯，上下部的型芯头尺寸可以相同。

4. 间隙 S_1 的值可按（1.5～2）S 计算。

5. 上部型芯头高度 h_1 的值可按（0.6～0.7）h 计算。

6. 若型芯高度与直径之比大于 2.5 时，则应将下部垂直型芯头加大。

表 3-79　湿型、干型、自硬砂型用模样的垂直型芯头斜度

型芯头位置		型芯头高度 h、h_1/mm			
		≤40	>40～63	>63～100	>100
		型芯头斜度 ≤			
上部芯头	α_1	10°	10°	8°	8°
	a_1/mm	7	11	14	23
下部芯头	α	7°	7°	6°	6°
	a/mm	5	8	11	17

表 3-80　湿型、干型、自硬砂型用模样的垂直型芯头顶面与芯座的配合间隙

（单位：mm）

间隙	砂型类别	D 或 $\frac{A+B}{2}$										
		≤25	>25 ~40	>40 ~63	>63 ~100	>100 ~160	>160 ~250	>250 ~400	>400 ~630	>630 ~1000	>1000 ~1600	>1600 ~2500
S_2	湿型	0	0	0	0.5	1	1	1.5	2	2	—	—
	干型	0	0.5	1	1	1	1.5	2	3	4	5	6
	自硬砂型	0	0.5	1	1	1	1	2	3	3	4	5

注：芯头底面和芯座的配合间隙推荐值：湿型为 0 ~ 1.5mm；干型为 0 ~ 3mm；自硬砂型为 0 ~ 2mm。

10）木模样和芯盒的涂漆规定如下：

① 木模样和芯盒工作表面的缺陷必须用腻子填平修光，然后再涂漆。

② 涂漆必须均匀、平滑、色泽一致，不得存在杂质、起泡、漏涂、流挂、刷痕、皱纹、脱落等缺陷。

③ 所有活动部分不得相互粘结，并应保证活动部分脱落灵活。

④ 涂漆层颜色由承制方单位决定，有特殊要求或三级模样和芯盒需要涂漆者，应在技术文件或订货合同中规定。

（2）木质与金属（或塑料）混合模样质量的检验依据　木质与金属（或塑料）混合模样质量的检验依据可参照“木模样质量的检验依据”。

（3）菱苦土模样质量的检验依据　菱苦土模样质量的检验依据可参照“木模样质量的检验依据”，但菱苦土模样只能达到二级或三级木模样质量标准。

（4）塑料模样质量的检验依据　塑料模样质量的检验依据可参照“木模样质量的检验依据”，但塑料模样可达到一级木模样质量标准。

（5）金属模样质量的检验依据

1）金属模样的等级。金属模样等级按铸件的精度要求和金属模样重复使用的程度不同，划分为两级：一级金属模样适用于复杂铸件，其尺寸精度和表面质量要求很高，多用于大批量生产铸件，二级金属模样适用于一般铸件，其尺寸精度和表面质量要求较高，并且长期使用。

2）金属模样的技术要求如下：

① 金属模样的材料在加工方便、成本低、周期短、保证质量的条件下，选用一种或两种以上的材料。

② 金属模样、芯盒、底板等外表非加工面应平整、无毛刺。

③ 金属模样的内外圆角必须全部做出。

④ 金属模样的定位销用优于本身的材料制成。

⑤ 金属模样拆活动处必须厚口制作，并且配合良好，紧松适宜。

⑥ 金属模样在适当位置处应有起模和敲模等辅助装置。

⑦ 金属模样的标志，应根据铸造工艺要求做出，标志一般用扁铲和钢印敲号，标志大小应与金属模样大小相称，补砂处应有说明。

3）金属模样的尺寸偏差及表面粗糙度要求如下：

① 中心距偏差。它是指金属模样基准面与中心线之间，或中心线与中心线之间的距离尺寸偏差，具体数值见表 3-81。

② 平面度偏差。它是指金属模样的平面与标准平面重合时之间的最大距离，具体数值见表 3-82。

③ 壁、肋、辐板厚度偏差。它是指金属模样的壁厚、肋厚、辐板厚度的偏差，具体数值见表 3-83。

④ 工艺附加件偏差。它是指铸造中浇口、冒口砂箱平板等金属模样尺寸允许偏差，具体数值见表 3-84。

⑤ 其他尺寸偏差。主要指中心距偏差、工艺附加件偏差和壁、肋及辐板偏差以外的尺寸偏差，具体数值见表 3-81。

⑥ 加工余量偏差。若为铸件加工面，则加工余量允许偏差为：一级金属模样不超过其铸件加工余量的 ±3%；二级金属模样为 ±5%。

⑦ 金属模样各部位的表面粗糙度，见表 3-85。

表 3-81　金属模样中心距和其他尺寸偏差　（单位：mm）

公称尺寸/mm	位　置				公称尺寸/mm	位　置			
	中心距偏差		其他尺寸偏差			中心距偏差		其他尺寸偏差	
	一级	二级	一级	二级		一级	二级	一级	二级
≤50	±0.1	±0.2	0.2	±0.3	>500 ~ 800	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8
>50 ~ 100	±0.15	±0.25	±0.3	±0.4	>800 ~ 1200	±0.6	±0.7	±0.8	±1.0
>100 ~ 200	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	>1200 ~ 2000	±0.7	±0.8	±1.0	±1.2
>200 ~ 300	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	>2000	±0.8	±1.0	±1.2	±1.4
>300 ~ 500	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7					

表 3-82　金属模样平面度偏差　（单位：mm）

公称尺寸	≤500		>500 ~ 800		>800 ~ 1250		>1250 ~ 1600		>1600 ~ 2500		>2500	
	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级	一级	二级
≤500	±0.15	±0.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
>500 ~ 800	±0.2	±0.3	±0.3	±0.4	—	—	—	—	—	—	—	—
>800 ~ 1250	±0.3	±0.4	±0.4	±0.5	±0.5	±0.6	—	—	—	—	—	—
>1250 ~ 1600	±0.4	±0.5	±0.5	±0.6	±0.6	±0.7	±0.7	±0.8	—	—	—	—
>1600 ~ 2500	±0.5	±0.6	±0.6	±0.8	±0.8	±0.9	±0.9	±1.0	±1.0	±1.2	—	—
>2500	±0.6	±0.8	±0.7	±0.9	±0.9	±1.0	±1.0	±1.2	±1.2	±1.5	±1.5	±2.0

表 3-83　金属模样壁、肋、辐板厚度偏差　（单位：mm）

基本尺寸	≤20	>20 ~ 28	>28 ~ 40	>40 ~ 56	>56 ~ 70	>70 ~ 90	>90
一级	±0.2	±0.2	±0.3	±0.35	±0.4	±0.4	±0.6
二级	±0.3	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8

表 3-84　金属模样工艺附加件（浇冒口模样尺寸）偏差　（单位：mm）

造 型 方 法	内浇口尺寸	其余部位尺寸
有箱	±0.3	±0.7
无箱	±0.15	±0.5

表 3-85　金属模样各部位的表面粗糙度　（单位：μm）

名　称	表 面 部 位	表面粗糙度 *Ra*
外模	金属模表面	3. 2
	金属模与浇注系统、底板的接触面	12. 5
	螺钉通过的非螺纹孔与铆钉孔	25
	金属模在底板上的定位销孔	3. 2
	活动块的滑移表面	3. 2
	直浇口插在横浇口上的销孔	25
砂芯盒	内壁工作面	3. 2
	左、右芯盒配合面	3. 2
	芯盒与护板的接触面	12. 5
	芯盒与活块的接触面	3. 2
	芯盒所有的接触面	3. 2 ~ 12. 5
	非工作表面，平常接触的表面	25 ~ 100
底板	底板工作面	6. 3
	底板周围表面	2. 5
	底板定孔销孔	3. 2

3. 铸造生产用模样质量的检验工具

检验铸造生产用模样质量的常用工具见表 3-86。

表 3-86　检验铸造生产用模样质量的常用工具

类　别		名　称	用　途
量具	长度量具	折叠尺	测量工件大小、长短和厚薄等
		钢尺	测量长度、外径、内径等
		缩尺	木模工专用量具。缩尺一般 1% 用于铸铁件，1. 5% 用于铝合金铸件，2% 用于铸钢件或铜合金铸件
		钢卷尺	一般用于木模备料，制作大型模型和大型模型测量用
		游标卡尺	常用规格有 125mm、150mm、300mm 和 500mm 等，其读数准确度有 0. 1mm、0. 05mm 和 0. 02mm 三种。可直接测量工作的外径、内径、宽度、厚度、深度和孔距等
	角度量具	直角尺	有木制和钢制两种角尺，主要测量工件两相邻面是否垂直，即是否成直角、测量工件表面是否平直；在工件上画垂直线和平行线
		量角器	一般为 180°，可用来测量、检验和等分工件上的各种角度，也可与斜角尺等配合使用
		三角板	有 60°三角板、45°三角板。三角板可用来画垂直线、平行线和角度线
		斜度板	属自制专用工具，斜度有 1∶5、1∶10、1∶20 等多种规格
		活动角尺	可用于校验工件内侧面的任意斜角或测量内斜角
		万能角度尺	它是一种由钢尺、角规、活动量角器和中心规组合的角尺，它除了作为角尺和角度尺使用外，还可用中心规拢圆心、进行燕尾销和凹槽的测量等
	间接量具	样板	它是依据零件图和铸造工艺图，有可靠的基准边，按 1∶1 的比例实样进行制作，并且是模样和芯盒制造和检验中必不可少的自制工具，样板没有刻度，但能准确地测量形状和尺寸
		卡钳	它是一种间接量具，分外卡钳和内卡钳。外卡钳可测量工件的外径和平行面厚度等；内卡钳可测量工件的内径和凹槽宽度等

（续）

类　别	名　称	用　途
画线工具①	铅笔	铅笔软硬度以 2H ~ 3H 为宜，并削成扁形。红蓝铅笔用于画涂机械加工余量和模样工艺图
	画线针、画线刀	可使画出的线段更深细清晰，但需用铅笔沿针痕或刀痕再画一次
	画线规	有木质的和金属质的两种，主要用来沿工件上已刨好的平面或一条边作为基准，画出规定尺寸细的平行凹线
	圆规	圆规的形状和种类很多，一般硬脚（铁制）圆规用来画硬线圆弧，量取或等分线段；铅笔圆规来作图画线
	地规	主要用于测划大圆弧用
	画线盘	主要用于空间画线，可以在模样的任何表面上画出水平线或垂直线
	画线平台	画线平台是画线的基准工具。常用平台分为四个精度等级，1 级和 2 级平台一般用于检验，3 级一般用于画线

平台精度等级

尺寸（长 × 宽）/mm	平面度公差/μm			
	0 级	1 级	2 级	3 级
300 × 400	7	14	28	—
400 × 400	7	14	28	—
450 × 600	8	16	32	80
500 × 800	9	18	36	90
750 × 1000	10	20	40	100
1000 × 1500	12	25	50	120
1500 × 2000	—	—	60	150

	平尺	平尺包括木制平尺铸铁平尺。主要用于模样画线和检验工件的直线度和平面度误差。常用平尺有桥形平尺、平行平尺和角形平尺等。平尺精度分为三级，见下表

平尺精度等级

平尺长度/mm		300	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
直线度公差/μm	0 级	2	3	4	5	8	10	—	—	—	—
	1 级	4	6	8	10	15	20	25	30	40	50
	2 级	8	12	15	20	30	40	50	60	80	100
侧面与工作面夹角	0 级	90° ±10′						90° ±15′			
	1 级	90° ±15′									
	2 级	90° ±15′								90° ±30′	
平行度公差/μm	0 级	3	4	6	8	10	12	—	—	—	—
	1 级	6	8	12	15	20	25	32	40	50	
	2 级	12	15	25	30	40	50	65	80	100	—

注：表中常用工具也适用于检验芯盒、模板和砂箱等。

① 在量具中介绍的直尺、角尺、三角板也是一种画线工具。

4. 铸造生产用模样质量的检验（控制）方法

（1）一般方法　检验（控制）铸造生产用模样质量的一般方法见表 3-87。

表 3-87　检验（控制）铸造生产用模样质量的一般方式（供参考）

检验(控制)模样质量的一般方式	说　明
制模选材检验(控制) ↓ 制模中间检验(控制) ↓ 成品模样检验 ↓ 模样试铸检验 ↓ 生产中，模样的定期检验和维修	检验(控制)模样所用的主料、辅料是否合格,以保证制模样的材料质量 对伸样、选料、拼接坯料、切削加工和组装等过程进行监督检查,以保证制模过程的质量控制 检验应根据模样图或铸件图、制模工艺规程、模样技术要求及标准进行检验,以保证成品模样的质量,避免产生成批的废品铸件 模样试铸检验既要检验模样的制造是否符合模样设计的要求。发现问题后,经各方人员商定后修改。所以模样试铸检验工作有时需要反复进行几次以后才能完成,并且要直到确认现行模样与工艺,能生产出数量和质量都能满足生产要求的铸件为止 合格的模样投入生产后,总要发生磨损、变形、损伤等毛病,因此要定期检验和维修,为的是及时防止因上述因素造成铸件的成批报废

注：本方法也适用于检验芯盒、模板和砂箱。

（2）成品木模样质量的检验内容与方法　通常，成品木模样质量可分为优质品和合格品。

1）优质品应符合以下质量要求如下：

① 模样的所有尺寸应不少于 95% 符合木模与芯盒尺寸偏差相应等级的规定，其余尺寸超差不应大于该等级尺寸偏差的 0.5 倍。模样的主要尺寸（中心距离、加工面与中心线之间尺寸、零件与零件相连面的轮廓尺寸）应全部符合木模与芯盒尺寸偏差相应等级的规定。

② 模样的结构强度应达到相应强度等级要求。

③ 油漆后模样的表面应达到如下要求：油漆面经目视、手感无毛刺、刨痕；用粉笔平画后不见粗糙痕迹；无机械伤痕；油漆色调一致；起模板边缘、钉孔等腻平；刮过腻子的部位平整。

2）合格品应符合以下质量要求：

① 模样的尺寸应有不少于 85% 符合木模与芯盒尺寸偏差相应等级的规定，其余尺寸超差不应大于该等级尺寸偏差的 0.5 倍。模样的主要尺寸（中心距离、加工面与中心线之间尺寸、零件与零件相连面的轮廓尺寸）应全部符合木模与芯盒尺寸偏差相应等级的规定。

② 模样的结构强度应达到相应强度等级要求。

③ 油漆后模样的表面应达到以下要求：油漆面不见孔眼；无缝隙；圆弧面圆滑，平面光，用粉笔平面后，可见粗糙痕迹；起模板的钉孔腻平，边缘无缝；不露底，不流挂；略见轻微的机械伤痕。

成品木模样质量的检验内容与方法见表 3-88。

表 3-88　成品木模样的质量检验内容与方法（供参考）

检验项目	检 验 内 容	检 验 方 法	注 意 问 题
木模样形状和尺寸	木模样主体的中心位置、轮廓尺寸、芯头位置、各部分距离、加工余量、收缩量、起模斜度、圆角、平面度和表面粗糙度等	采用钢卷尺、钢直尺、画规、铸物尺、专用样板等工具进行测量或采用平台画线检验	一般是先检验其形状是否与图样相符合否,然后用画线的方法,并采用专用样板来测量和检查主体中心位置和轮廓尺寸、芯头位置等 检验中应注意模样与模板、芯盒三者之间的相应尺寸关系,以便发现不允许的偏差和错误

（续）

检验项目	检 验 内 容	检 验 方 法	注 意 问 题
木模样装配	木模样分型面和分模面的位置和方向，分型面的凸凹不平或翘曲，定位和活动部分的连接松紧程变，起、敲、吊装置的合理与牢固等	目视和采用一般量具进行测量	检验时应依据木模样与芯盒的装配图进行检验
木模样结构	木模样的木材，木材的拼接，木材的强度，钉结及胶结等是否紧密牢固	感官检验	依据铸造工厂制做的木模样结构图检验，注意检验结构板块的拼接和纹理方向
木模样标志与涂漆	木模样件号标记、表面涂漆、厂标、铸字等	感官检验	Ⅰ级木模样只允许少数地方用腻子填补，涂漆三次以上；Ⅱ级木模样允许用腻子填补，应用干性油打底，涂漆二次以上；Ⅲ级木模样允许用腻子填补，涂漆一次

注：1. 木模样各部分尺寸与形状应按木模样等级尺寸偏差标准检验（见表 3-66 ~ 表 3-80）。

2. 木模样表面粗糙度的检验应以 GB/T 14495—2009 规定的木制件表面粗糙度比较样块对被检木模样（芯盒）的工作表面用视觉或触觉的方法进行比较。视觉对比时，应在光线充足的条件下用眼睛观察对比，也可用放大镜观察对比；触觉对比时，应用手指在被检工作表面和相近两个参数值等级的比较样块表面触摸，获得同样感觉的那个等级即为被检工作表面粗糙度数值。此外，应注意：① 被检木模样（芯盒）工作表面的加工纹理应和相应比较样块的加工纹理取同方向对比；② 被检工作表面的粗糙度介于比较样块两级参数之间时，以数值大的等级评定；③ 被检测工作表面面积≤1000cm^2 时，最低检测点不少于 1 个；被测工作表面面积 > 1000 ~ 10000cm^2 时，不少于 3 个；被测工作表面面积 > 10000cm^2 时，不少于 7 个，且每个检测点的面积不得小于比较样块的面积；④ 将所有检测点的表面粗糙度参数值等级从细到粗加以整理，以从最细等级起的 80% 检测点中的最大参数值等级定为该工作表面粗糙度等级，但其余 20% 检测点的表面粗糙度参数值等级比所定等级不得大于一个等级以上；⑤ 当 20% 检测点的表面粗糙度等级比 80% 检测点的表面粗糙度等级大两个或两个以上等级时，则以这 20% 检测点参数值最大等级的小一级定为该被检工作表面粗糙度等级。

3. 木模样涂漆必须均匀、平滑、色泽一致，不得存在杂质、起泡、漏涂、流挂、刷痕、皱纹、脱落等缺陷，且所有活动部分不得相互粘结，并应保证活动部分脱落灵活。

（3）成品金属模样质量的检验内容与方法　成品金属模样在入库前已经对模样毛坯进行过验证，对金属模零部件的加工质量进行了检查，但在成品金属模样入库前还应进行一次质量检验，主要包括：形状和尺寸检查、外观及表面粗糙度检查，装配和打印检查等，具体检验内容与方法见表 3-89。

表 3-89　成品金属模样质量的检验内容与方法（供参考）

检验项目	检验内容	检验方法	注 意 问 题
金属模样外观	金属模样上是否有裂纹、疏松、气孔等缺陷	目视或借助于放大镜观察，也可进行着色检验 精密的金属模样可进行简单的无损检验	在金属模样的工作表面上是不允许有裂纹、疏松和气孔，但在考虑到铸件的大小和充分满足铸件精度要求的情况下，也可允许带有少量的微小气孔 在金属模样的非工作表面上的缺陷，如不影响强度及几何形状的前提下，允许修补
金属模样表面粗糙度	金属模样的工作面、配合面，修正模样的基准面，车制样柱的工作表面等	用表面粗糙度比较样块对照检查	注意，检查的准确性。通常金属模样表面粗糙度要求如下： 金属模样工作表面为 *Ra*3.2μm 金属模样与浇注系统和底板的接触面为 *Ra*12.5μm 螺钉通过的非螺孔与铆钉孔为 *Ra*25μm 活动块的滑移表面为 *Ra*3.2μm 金属模样在底板上的定位销孔为 *Ra*3.2μm 直浇口插在横浇口上的销孔为 *Ra*3.2μm

（续）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检验内容</th><th>检验方法</th><th>注 意 问 题</th></tr>
<tr><td>金属模样形状和尺寸</td><td>金属模样主体的中心位置，轮廓尺寸，芯头位置，各部分距离等
金属模样的工作面尺寸偏差，分模面的平面度偏差，模样在模底板上的位置偏差等
金属模样的起模斜度等</td><td>轮廓尺寸、中心线尺寸及空间位置采用划线方法，曲线及球形表面使用专用样板等</td><td>由于组成金属模样的零件，在加工时实际所能达到的程度，允许有一定的制造误差，见下表
金属模样工作面尺寸允许极限偏差（单位：mm）
<table>
<tr><td>工作面尺寸</td><td>≤300</td><td>301～500</td><td>501～1000</td><td>>1000</td></tr>
<tr><td>允许极限偏差</td><td>+0.2
−0.1</td><td>+0.25
−0.1</td><td>+0.3
−0.12</td><td>+0.4
−0.15</td></tr>
</table>
金属模样分模面平面度公差（单位：mm）
<table>
<tr><td>分模面轮廓尺寸</td><td>≤300</td><td>301～500</td><td>501～1000</td><td>>1000</td></tr>
<tr><td>公差</td><td><0.05</td><td><0.1</td><td><0.12</td><td><0.15</td></tr>
</table>
金属模样在模底板上的位置公差（单位：mm）
<table>
<tr><td>模底板种类</td><td>双面模板</td><td>单面模板</td></tr>
<tr><td>尺寸公差</td><td>0.5</td><td>0.7</td></tr>
</table>
注：数值是指上下模样向同一方向位置的公差
金属模样的起模斜度要求可参见表 3-72～表3-74</td></tr>
<tr><td>金属模样材料与装配</td><td>金属模样材料，零件的镶接，活块间隙，定位销的选择位置和大小等</td><td>感官检验和游标卡尺等</td><td>金属模样一般选用铝合金 ZL101、ZL102 等；对于尺寸较大的属金模样应选用灰铸铁和球墨铸铁；对于各种筋条、活块、细薄镶片可选用黄铜、锡青铜；对于出气冒口、通气针、小搭子等可选用铸钢或钢材
金属模样的活块间隙应接合紧密，也应脱落自由
金属模样因故镶补时，其镶块厚度不得小于3mm，但厚度不得超过壁厚的一半，补块应与模体严密吻合，无松动现象</td></tr>
<tr><td>打印标记</td><td>是否有产品编号、图件号、复模号、序列号等</td><td>目视观察</td><td>金属模样打印是为了便于管理
打印部位应在非工作面上进行，也可在铝板上打印，然后将其铆固在模板上</td></tr>
</table>

注：金属模样磨损极限公差见表 3-90 和表 3-91。如果金属模样在使用中超过磨损极限公差，应立即修理。

表 3-90　金属模样的铸件加工部位磨损极限公差

铸件加工部位		一般加工面	加工基准面
极限公差占加工量的百分数(%)	CT9	20	15
	CT12	25	20

表 3-91　金属模样的铸件非加工部位磨损极限公差　（单位：mm）

铸件壁厚	6	>6 ~ 10	>10 ~ 18	>18 ~ 30
CT9	0. 25	0. 35	0. 5	0. 65
CT12	0. 35	0. 5	0. 65	0. 8

注：芯头处的磨损极限公差≤芯头间隙的 40%。

3. 2. 2　铸造生产用模板质量的检验（控制）

1. 铸造生产用模板分类

铸造生产用模板的分类如图 3-18 所示。

2. 铸造生产用模板质量的检验依据

铸造生产用模板质量的检验依据主要有：模底板图、模板图以及有关技术要求等。模底板图中一般都有材料、尺寸（平面尺寸、高度）、结构（壁厚、加强筋尺寸、布置和间距）、搬运结构、与砂箱之间的定位、定位销孔、在造型机上的安装以及有关模底板的技术要求（热处理、表面粗糙度、机加工精度）等。

模板图实际上是模样、浇冒口系统在模底板上的装备图，模板图中一般都有模样在模底板上的装配（放置、定位、紧固）、浇冒口模样和芯头在模底板上的装配（放置、定位、紧固）、模底板与砂箱的定位和导向装置等。

3. 铸造生产用模板质量的检验工具

检验铸造生产用模板质量的常用工具见表 3-86。

4. 铸造生产用模板质量的检验（控制）方法

1）检验（控制）铸造生产用模板质量的一般方法见表 3-87。

2）成品模板质量的检验内容与方法见表 3-92。

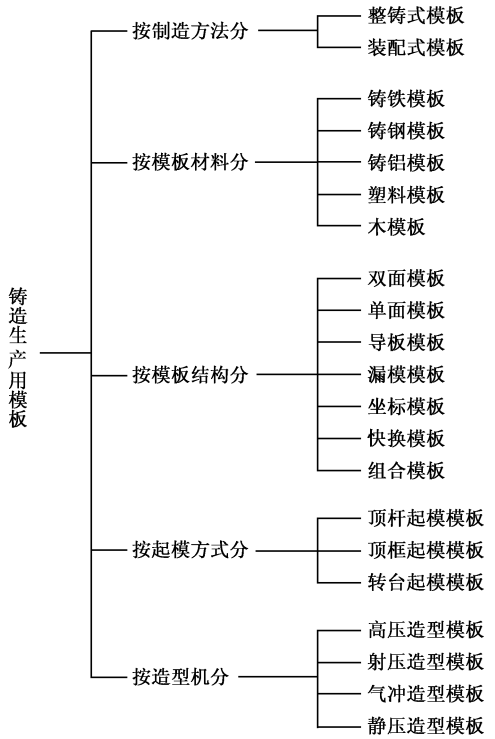


图 3-18　铸造生产用模板的分类

表 3-92　成品模板质量的检验内容与方法（供参考）

检验项目	检验内容	检验方法	注意问题
模底板外观	模底板上是否有裂纹、疏松、气孔等缺陷	目视或借助于放大镜观察，也可进行着色检验	在模底板的工作表面上是不允许有裂纹、疏松和气孔，但可以允许带有少量的微小气孔 但在模底板底面、侧面允许有铸造缺陷，影响强度的缺陷应修补
模底板表面粗糙度	模底板的上、下平面，定位销、套、钻套的内外面等	用表面粗糙度比较样块对照检查	注意检查的准确性，通常模底板表面粗糙度要求如下： 模底板的上、下平面，定位销、套、钻套的内外表面为 $Ra1.6\mu m$ 整体模板为 $Ra3.2\mu m$

（续）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检 验 内 容</th><th>检 验 方 法</th><th>注 意 问 题</th></tr>
<tr><td>模底板形状和尺寸</td><td>模底板的中心位置，轮廓尺寸，尺寸偏差与形位公差，顶面和模板面与模底板组合后高度差、间隙，模底板厚度偏差、上下面的平行度等</td><td>用千分尺和游标卡尺等测量</td><td>1）模底板的尺寸偏差及几何公差见下表：
（单位：mm）
<table>
<tr><td colspan="2">模底板轮廓平均尺寸</td><td>≤1000</td><td>1001 ~ 2000</td><td>>2000</td></tr>
<tr><td rowspan="2">定位销中心距偏差</td><td>高压射压</td><td>±0.05 ~ ±0.01</td><td>±0.1 ~ ±0.2</td><td>—</td></tr>
<tr><td>其他</td><td>±0.1 ~ ±0.2</td><td>±0.2 ~ ±0.05</td><td>±0.5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">B、C面平面度公差</td><td>高压射压</td><td>≤0.06</td><td>≤0.01</td><td>—</td></tr>
<tr><td>其他</td><td>0.1 ~ 0.25</td><td>0.25 ~ 0.4</td><td>0.4 ~ 0.6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">B、C面平行度公差</td><td>高压射压</td><td>0.1</td><td>0.16</td><td>—</td></tr>
<tr><td>其他</td><td>0.25</td><td>0.25 ~ 0.4</td><td>0.4 ~ 0.6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">销子轴线与B平面的垂直度公差</td><td>高压射压</td><td>0.01/100</td><td>0.01/100</td><td>—</td></tr>
<tr><td>其他</td><td>0.02/100</td><td>0.05/100</td><td>0.1/100</td></tr>
</table>
注：B—分型面；
C—与造型机工作台接触的面
2）模底板定位销与分型面的垂直度（全长上）≤0.2mm
3）双面模底板厚度偏差为 $\pm^{0.4}_{0.1}$mm，上下面的平行度≤0.2mm，定位销与分型面的垂直度（全长上）≤0.2mm</td></tr>
<tr><td>模板结构</td><td>模底板的材料，模底板与砂箱的定位装置，模底板的搬运结构，模底板与造型机工作台的连接装置，组合模板的模底板、模样与模底板的装配等</td><td>感官检验和游标卡尺等</td><td>1）所有的铸铁和铸铝模底板需经时效处理，铸钢炉底板需经退火处理
2）模样平放于模底板上的定位用定位销，每块模样最少是两个，最多不超过4个。模样在底板上的位置偏差见表3-80
3）模底板上的砂箱导向销在安装时，其平行平面与模底板两销孔中心线连线是否平行
4）顶框或模板框与模底板组合后，高度差≤0.2mm（只允许模底板低于模板框或顶框），间隙如下：模底板轮廓平均尺寸≤500mm时，间隙<0.5mm；平均尺寸为501 ~ 1000mm时，间隙<0.7mm
5）双面模底板外框与中部的厚度相差≤2mm
6）整铸模板非形成铸件部分的凸台部分尺寸偏差±1.5mm</td></tr>
</table>

注：模底板及定位零件的磨损极限公差见表3-93。如果模底板在使用中超过磨损极限公差，应立即修理。

表 3-93　模底板及定位零件的磨损极限公差

模底板与砂箱接触处	≤0.5mm
定位销直径或宽度	≤制造下极限偏差的两倍
定位套直径或宽度	≤制造上极限偏差的两倍

3.2.3　铸造生产用芯盒质量的检验（控制）

芯盒是用来制芯形成铸件内腔的工艺装备，必须具有足够的强度、刚度和与铸件技术要求相适应的表面粗糙度和尺寸精度。为了保证芯盒的质量，在铸造生产中必须有一个芯盒质量检验的过程。

1. 铸造生产用芯盒分类

铸造生产用芯的分类如图 3-19 所示。

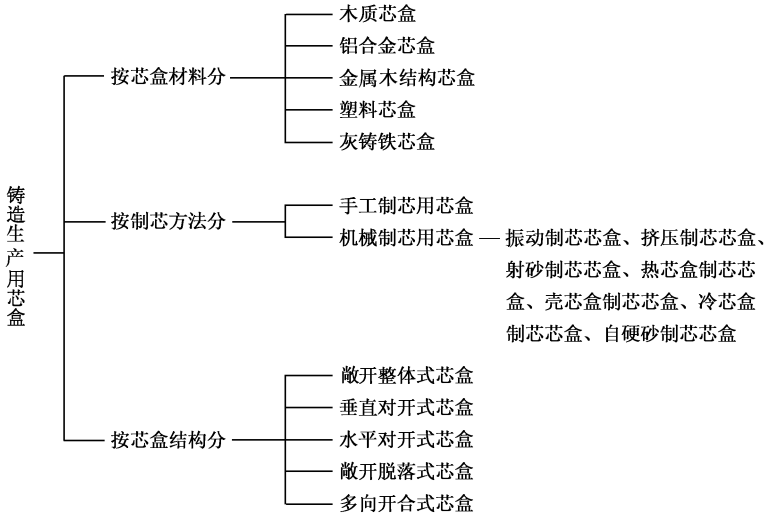


图 3-19　铸造生产用芯盒分类

2. 铸造生产用芯盒质量的检验依据

铸造生产用芯盒质量的检验依据主要有：芯盒图、制芯工艺规程、芯盒技术要求及标准等。

芯盒图中一般都有材料、分盒面、内腔尺寸、主体结构（壁厚、加强筋、边缘及防磨片、活块、镶块）、外部结构（定位、夹紧装置、手柄或吊轴在造型（芯）机上的固定）、其他元件与附件（排气装置、芯骨定位元件、填砂板）以及有关技术要求（尺寸精度、表面粗糙度）等。但是，一般只绘制金属芯盒图。

（1）木芯盒质量的检验依据　我国制定的木模样标准 JB/T 7699—1995、JB/T 5105—1991、JB/T 5106—1991 和 GB/T 14495—2009 中都含有芯盒的技术要求。

木芯盒的等级规定见表 3-64。木芯盒的木材选用规定见表 3-65。木芯盒的木材钉距规定见表 3-66。木芯盒的尺寸公差规定见表 3-67 和表 3-68。木芯盒的表面度公差规定见表 3-69 和表 3-70。木芯盒的工作表面粗糙度规定见表 3-71。

木芯盒的起模斜度规定见表 3-72 ~ 表 3-73。

（2）金属芯盒质量的检验依据　金属芯盒质量的检验依据可参照“金属模样质量的检验依据”。

3. 铸造生产用芯盒质量的检验工具

检验铸造生产用芯盒质量的常用工具见表 3-86。

4. 铸造生产用芯盒质量的检验（控制）方法

1）检验（控制）铸造生产用芯盒质量的一般方法见表 3-87。

2）成品木芯盒质量的检验内容与方法见表 3-94。

表 3-94　成品木芯盒质量的检验内容与方法（供参考）

检验项目	检验内容	检验方法	注意问题
木芯盒形状和尺寸	木芯盒主体的中心位置、轮廓尺寸、芯头位置、各部分距离、加工余量、收缩量、起模斜度、圆角、平面度和表面粗糙度等	采用钢卷尺，钢板尺、画规、铸物尺、专用样板等工具进行测量或采用平台划线检验	一般是先检验其形状是否与图样相符合，然后用划线的方法，并采用专用样板来测量和检查主体中心位置和轮廓尺寸，芯头位置等 木芯盒各部分尺寸与形状应按木芯盒等级尺寸偏差标准检验（见表 3-67 ~ 表 3-73） 木芯盒工作表面粗糙度应按 GB/T 14495—2009 标准进行检验 检验中应注意芯盒与模样、模板三者之间的相应尺寸关系，以便发现不允许的偏差和错误
木芯盒装配	木芯盒分盒面的位置和方向、分解式芯盒的定位装置、箍桶式芯盒的加强框架、拆卸式芯盒的可拆卸套框等	目视和采用一般量具进行测量	检验时应依据木芯盒的装配图进行检验
木芯盒结构	木芯盒的结构材料、表面材料、填砂面、使用木料宽度、重要部位木料、易损凸出部分木料、内圆角结构、活块与本体面连接固定结构形式、定位榫材料等	感官检验	依据铸造工厂制订的木芯盒结构图检验，各等级木芯盒的结构要求可参见表 3-95
木芯盒标志与涂漆	木芯盒件号的标记、木芯盒填砂方向、通气方向、吊芯方向及各部位的标记、表面涂漆、厂标、铸字等	感官检验	Ⅰ极木芯盒只允许少数地方用腻子填补，打完后涂底漆再喷面漆；Ⅱ级木芯盒允许用腻子填补，打光后涂底漆再喷面漆；Ⅲ级木芯盒允许腻子填补，涂漆一次

注：木芯盒涂漆必须均匀、平滑、色泽一致，不应存在杂质、起泡、漏涂、流挂、刷痕、皱纹、脱落等缺陷，且所有活动部分不得相互粘结，并应保证活动部分脱落灵活。

表 3-95　各等级木芯盒的结构要求

项目	Ⅰ级木芯盒	Ⅱ级木芯盒	Ⅲ级木芯盒
结构材料	三等	四等	任意
表面材料	二等	三等	三等
填砂面	镶 3mm 厚的钢板或聚氯乙烯塑料板	镶 3mm 厚的钢板或聚氯乙烯塑料板	不必镶耐磨护板
使用木材宽度	＜150mm	＜200mm	无需求
重要部分木料	选用优质木料	无需另选木料	无需另选木料
易损凸出部分木材	用铝合金镶块	用硬质木料	无需另选木料

（续）

项目	Ⅰ级木芯盒	Ⅱ级木芯盒	Ⅲ级木芯盒
内圆角结构	采用双面厚口结构，圆角全部制出	采用单面厚口结构，$R \geqslant 8$mm 圆角全部制出	采用单面厚口结构，$R \geqslant 15$mm 圆角全部制出
活块与本体连结固定结构形式	燕尾榫结构，燕尾槽和燕尾榫均采用铝合金或硬质木料制成	燕尾榫结构，燕尾槽和燕尾榫均采用硬质木料	燕尾榫或销钉式结构，无需另选木料
定位榫材料	钢、铝合金或硬质木料	钢、铝合金或硬质木料	无特殊需要

3）成品金属芯盒质量的检验内容与方法见表 3-96。

表 3-96　成品金属芯盒质量的检验内容与方法（供参考）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检验内容</th><th>检验方法</th><th>注意问题</th></tr>
<tr><td>金属芯盒外观</td><td>金属芯盒上是否有裂纹、疏松、气孔等缺陷</td><td>目视或借助于放大镜观察，也可进行着色检验
精密金属芯盒可进行简单的无损检验</td><td>金属芯盒工作面不允许有裂纹、疏松、气孔等缺陷，但也允许有 <0.2mm 的少量气孔、针孔
金属芯盒非工作面上的缺陷在不影响强度及几何形状的前提下，允许修补</td></tr>
<tr><td>金属芯盒表面粗糙度</td><td>金属芯盒的工作面、活块、槽穴、盖板的上表面和结合面、分盒面、底面等</td><td>用表面粗糙度比较样块对照检查</td><td>注意检查的准确性，通常金属芯盒表面粗糙度要求如下：
金属芯盒（包括配合部分）工作表面为 $Ra1.6\mu m$
芯盒镶块和穴槽、芯盒盖板的上表面为 $Ra3.2\mu m$
芯盒的分盒面为 $Ra6.3\mu m$
芯盒的底面、芯盒盖板结合面为 $Ra25\mu m$
热芯盒的分盒面及与加热板、工作台、射头的接触面为 $Ra1.6\mu m$</td></tr>
<tr><td>金属芯盒形状和尺寸</td><td>金属芯盒主体的中心位置、轮廓尺寸、芯盒的工作面尺寸偏差、分盒面的平面度公差、对开芯盒内腔重合性尺寸偏差、芯盒定位销尺寸偏差</td><td>轮廓尺寸、中心线尺寸及空间位置采用画线方法，曲线及球形表面使用专用样板等</td><td>由于金属芯盒在加工时实际所能达到的程度，允许有一定的制造误差
1）金属盒芯工作面尺寸允许极限偏差见下表
<table>
<tr><td>工作面尺寸/mm</td><td>≤300</td><td>301 ~ 500</td><td>501 ~ 1000</td><td>> 1000</td></tr>
<tr><td>允许极限偏差/mm</td><td>-0.2
+0.1</td><td>-0.25
+0.1</td><td>-0.3
+0.12</td><td>-0.4
+0.15</td></tr>
</table>
2）金属芯盒分盒面的平面度公差见下表
<table>
<tr><td>分盒面轮廓平均尺寸/mm</td><td>≤300</td><td>301 ~ 500</td><td>501 ~ 1000</td><td>> 1000</td></tr>
<tr><td>平面度公差/mm</td><td><0.05</td><td><0.1</td><td><0.12</td><td><0.15</td></tr>
</table>
3）分盒面间隙应小于 0.1mm</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检 验 内 容</th><th>检 验 方 法</th><th>注 意 问 题</th></tr>
<tr><td>金属芯盒形状和尺寸</td><td>金属芯盒主体的中心位置、轮廓尺寸、芯盒的工作面尺寸偏差、分盒面的平面度公差、对开芯盒内腔重合性尺寸偏差、芯盒定位销尺寸偏差</td><td>轮廓尺寸、中心线尺寸及空间位置采用画线方法，曲线及球形表面使用专用样板等</td><td>4）对开式金属芯盒内腔重合性尺寸的公差见下表
<table>
<tr><td>分盒面轮廓平均尺寸/mm</td><td>≤300</td><td>301 ~ 500</td><td>>500</td></tr>
<tr><td>尺寸公差/mm</td><td><0.05</td><td><0.1</td><td><0.12</td></tr>
</table>
5）金属圆棒芯盒最远两盒腔间的中心距尺寸允许极限偏差为 ±0.1mm
6）金属芯盒活块与盒体配座的配盒间隙 <0.2 ~ 0.3mm
7）金属芯盒定位销位置尺寸公差见下表
<table>
<tr><td>芯盒特征</td><td>用烘干器</td><td>不用烘干器</td></tr>
<tr><td>尺寸公差/mm</td><td><0.1</td><td><0.5</td></tr>
</table>
8）热芯盒、壳芯盒工作表面尺寸允许极限偏差见下表
<table>
<tr><td>工作表面尺寸/mm</td><td>≤300</td><td>301 ~ 500</td><td>>500</td></tr>
<tr><td>尺寸允许极限偏差/mm</td><td>-0.15
+0.10</td><td>-0.2
+0.10</td><td>-0.3
+0.15</td></tr>
</table>
9）对开热芯盒的合模间隙：当热芯盒公称尺寸 <500mm 时，取 ≤0.05mm；公称尺寸 >500mm 时，取 ≤0.1mm
10）热芯盒、壳芯盒的其他尺寸精度可参照一般金属芯盒的有关规定</td></tr>
<tr><td>金属芯盒材料与装配</td><td>金属芯盒材料、壁厚、加强肋、凸缘及耐磨护板、活块、手柄和吊轴、定位装置、夹紧装置、填砂板、出气针安装等</td><td>感官检验和游标卡尺等</td><td>1）金属芯盒一般选用铝合金和铸铁，挤压制芯盒应选用铸钢和钢材，热芯盒和壳芯盒制芯的芯盒应选用铸铁，均要进行人工时效处理
2）金属芯盒加强肋最低高度不得小于 3 倍的壁厚，即 $h \geqslant 3\delta$
3）耐磨护板常用 Q235A 钢制造
4）金属芯盒的壁厚应保证芯盒的强度、刚度和使用寿命，但应尽可能小，参见下表
<table>
<tr><td rowspan="2">芯盒平均轮廓尺寸/mm</td><td colspan="2">芯盒壁厚 δ/mm</td></tr>
<tr><td>铝合金</td><td>灰铸铁</td></tr>
<tr><td>≤300</td><td>6 ~ 8</td><td>6</td></tr>
<tr><td>>300 ~ 500</td><td>>8 ~ 10</td><td>7 ~ 8</td></tr>
<tr><td>>500 ~ 800</td><td>>10 ~ 12</td><td>10</td></tr>
<tr><td>>800 ~ 1250</td><td>>12 ~ 14</td><td>12</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>金属芯盒标志</td><td>是否有产品缩号、图件号、模号及芯盒数量和序号等</td><td>目视观察</td><td>金属芯盒打印是为了便于管理
打印表在非工作面进行，也可在铝板上打印，然后再将其铆固在芯盒上</td></tr>
</table>

注：金属芯盒磨损极限公差和变形量公差见表 3-97 和表 3-98。如果金属芯盒在使用中超过磨损极限公差和变形量公差，应立即修理。

表 3-97　金属芯盒磨损极限公差　（单位：mm）

内腔最大深度	≤100	>100～200	>200～300	>300	备　注
CT9	0.2	0.3	0.35	0.4	铸件非加工面和加工面的磨损极限公差同金属模样，可参见表 3-89 和表 3-90
CT12	0.3	0.4	0.45	0.5	

表 3-98　手工金属芯盒分盒面的变形量公差　（单位：mm）

分盒面的平均轮廓尺寸	≤300	>300	备　注
平面度	<0.3	<0.5	芯头磨损极限公差≤芯头间隙的 40%

3.2.4　铸造生产用砂箱质量的检验（控制）

砂箱是铸造生产中必备的工艺装备，是砂型成型和运输的工具，对于保证铸件质量具有重要意义。

1. 铸造生产用砂箱分类

铸造生产用砂箱的分类如图 3-20 所示。

图 3-20　铸造生产用砂箱的分类

2. 铸造生产用砂箱质量的检验依据

铸造生产用砂箱质量的检验依据主要有砂箱图及其技术要求。

砂箱图中一般都有本体材料、尺寸、箱壁结构、箱带、落砂震击（或锤击）面、定位装置、夹紧装置、搬运装置、标号（砂箱内尺寸）以及有关技术要求（对砂箱毛坯的要求、热处理、对

机加工的要求、对使用与维修要求）等。

3. 铸造生产用砂箱质量的检验工具

检验铸造生产用砂箱质量的常用工具见表 3-86。

4. 铸造生产用砂箱质量的检验（控制）方法

1）检验（控制）铸造生产用砂箱质量的一般方法见表 3-87。

2）成品砂箱质量的检验内容与方法见表 3-99。

表 3-99　成品砂箱质量的检验内容与方法（供参考）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检 验 内 容</th><th>检 验 方 法</th><th>注 意 问 题</th></tr>
<tr><td>砂箱外观</td><td>砂箱上是否有裂纹、疏松、气孔等缺陷</td><td>目视或借助于放大镜观察，也可进行着色检验
重型砂箱可进行简单的无损检验</td><td>砂箱毛坯上允许有一定的缺陷，其规格和部位应以不影响砂箱的刚度和使用性能为限。例如砂箱侧壁缺陷一般应不大于壁厚的 15%
用于高压造型时，砂箱毛坯上出现的缺肉、缩孔、气孔等缺陷，不允许焊补
用于手工和普通造型机的，在不影响砂箱加工和使用的条件下，允许焊补，焊补后根据条件可进行消除内应力的热处理</td></tr>
<tr><td>砂箱表面粗糙度</td><td>分箱面平面、填砂面平面、定位销孔、砂箱与定位销配合面、锁紧销孔及槽等</td><td>用表面粗糙度比较样块对照检查</td><td>注意检查的准确性，通常砂箱表面粗糙度要求如下：
<table>
<tr><th>砂箱类型</th><th>手工造型用砂箱</th><th>机械造型用砂箱</th><th>高压、射压造型用砂箱</th></tr>
<tr><td>分箱面平面表面粗糙度 R/μm</td><td>12.5</td><td>6.3</td><td>6.3</td></tr>
<tr><td>填砂面平面表面粗糙度 R/μm</td><td>12.5 或不加工</td><td>12.5</td><td>6.3</td></tr>
<tr><td>定位销孔表面粗糙度 R/μm</td><td>12.5 ~6.3</td><td>1.6</td><td>1.6</td></tr>
<tr><td>砂箱与定位销配合面表面粗糙度 R/μm</td><td>有套用 1.6</td><td>1.6 ~ 0.8</td><td>1.6 ~ 0.8</td></tr>
<tr><td>锁紧销孔及槽表面粗糙度 R/μm</td><td>—</td><td>6.3</td><td>6.3 ~1.6</td></tr>
<tr><td>其他面表面粗糙度</td><td>NMR</td><td>NMR</td><td>6.3 ~3.2</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检 验 内 容</th><th>检 验 方 法</th><th>注 意 问 题</th></tr>
<tr><td>砂箱结构和尺寸</td><td>砂箱材料、内框尺寸、截面形式和尺寸、箱壁加强肋的布置形式和尺寸、箱带的布置形式和尺寸、砂箱壁排气孔的形式和尺寸、砂箱吊运部分的结构和尺寸、砂箱定位部分的结构和尺寸、砂箱合型夹紧部分的结构和尺寸等</td><td>感官检验，划线检验，专用样板或游标卡尺等</td><td>1）手工和机械造型用砂箱的本体多用灰铸铁、球墨铸铁和铸钢，均需进行自然时效或退火处理；脱箱造型用砂箱多用铸铝或木材
2）砂箱毛坯尺寸公差见下表：
<table>
<tr><th rowspan="2">砂箱内框尺寸/mm</th><th rowspan="2">分箱处箱口平面的平行度公差/mm</th><th colspan="2">砂箱内框尺寸允许偏差/mm</th><th rowspan="2">砂箱壁厚允许偏差（包括肋）/mm</th></tr>
<tr><th>宽度</th><th>长度</th></tr>
<tr><td>≤500</td><td>＜3</td><td>±3</td><td>+5
−3</td><td>+2
−1</td></tr>
<tr><td>501 ~ 1000</td><td>＜5</td><td>±5</td><td>+8
−5</td><td>+2
−1</td></tr>
<tr><td>1001 ~ 1500</td><td>＜6</td><td>±6</td><td>+10
−8</td><td>+3
−2</td></tr>
<tr><td>1501 ~ 2000</td><td>＜8</td><td>±8</td><td>+12
−10</td><td>+4
−2</td></tr>
<tr><td>2001 ~ 2500</td><td>＜8</td><td>±8</td><td>+15
−12</td><td>+4
−2</td></tr>
<tr><td>＞2500</td><td>＜10</td><td>±10</td><td>+15
−12</td><td>+4
−2</td></tr>
</table>
3）砂箱加工精度要求见下表：
<table>
<tr><th rowspan="2">砂箱内框平均尺寸/mm</th><th colspan="2">分箱面平面度公差/mm</th><th colspan="2">填砂面与分箱面平行度公差/mm</th></tr>
<tr><th>手工或一般机器造型用砂箱</th><th>高压、射压造型（流水线上）用砂箱</th><th>翻台及转台造型机用砂箱</th><th>高压、射压造型（流水线上）用砂箱</th></tr>
<tr><td>＜500</td><td>0.1 ~ 0.3</td><td>＜0.1</td><td>≤0.3</td><td>≤0.1</td></tr>
<tr><td>501 ~ 1000</td><td>0.3 ~ 0.5</td><td>＜0.15</td><td>≤0.5</td><td>≤0.15</td></tr>
<tr><td>1001 ~ 1500</td><td>0.5 ~ 0.8</td><td>＜0.2</td><td>≤0.8</td><td>≤0.2</td></tr>
<tr><td>1501 ~ 2000</td><td>0.8 ~ 1</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>2001 ~ 2500</td><td>1 ~ 1.5</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>＞2500</td><td>2</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

检验项目	检验内容	检验方法	注意问题				
			砂箱内框平均尺寸/mm	定位孔中心距允许偏差/mm		定位销与分箱面垂直度公差	
				手工造型用砂箱	机器造型用砂箱	一般机器造型用砂箱	高压、射压造型流水线用砂箱
砂箱结构和尺寸	砂箱材料，内框尺寸，截面形式和尺寸、箱壁加强肋的布置形式和尺寸，箱带的布置形式和尺寸，砂箱壁排气孔的形式和尺寸，砂箱吊运部分的结构和尺寸，砂箱定位部分的结构和尺寸，砂箱合型夹紧部分的结构和尺寸等	感官检验、划线检验、专用样板或游标卡尺等	<500	±0.5	±0.5 ~ ±0.1	（0.03 ~0.05）/100	0.015/100
			501 ~ 1000	±0.5 ~ ±0.8	±0.1 ~ ±0.2		
			1001 ~ 1500	±0.8 ~ ±1.2	±0.2 ~ ±0.3		
			1501 ~ 2000	±1.2 ~ ±1.5	±0.3 ~ ±0.4	（0.05 ~0.1）/100	—
			2001 ~ 2500	≤ ±1.5	±0.4 ~ ±0.5		
			>2500	≤ ±2	≤ ±0.5	（0.1 ~ 0.15）/100	
			注：射压、高压造型中心距允许偏差取低值。				

注：砂箱磨损极限公差和变形量公差见表 3-100 和表 3-101。如果砂箱在使用中超过磨损极限公差和变形量公差，应立即修理。

表 3-100　砂箱磨损极限公差

砂箱壁厚	≤名义尺寸的 40%
砂箱箱带	≤名义尺寸的 40%
定位销直径或宽度	≤制造下极限偏差的两倍
合箱销直径或宽度	≤制造下极限偏差的两倍
定位套孔直径和宽度	≤制造上极限偏差的两倍

表 3-101　砂箱变形量公差

砂箱变形	局部平面度≤1.5mm 四角的最大摇摆量≤1mm

3.2.5　铸造生产用工艺装备的质量检验（控制）示例

1. “垫铁”木模与芯盒的质量检验（控制）[21]

“垫铁”的图样及木模工艺如图 3-21 所示，从中可以看出，该模样为实样模样，采用二级强度制造。外模的活料由上箱面脚板一块、活脐子两个，下箱面脚板活动板一块、活脐子两个，共六块组成。芯盒部分是由六个可折式芯盒组成。此木模为中型不规则箱式结构木模。“垫铁”实样模样

外模的结构图如图 3-22 所示。

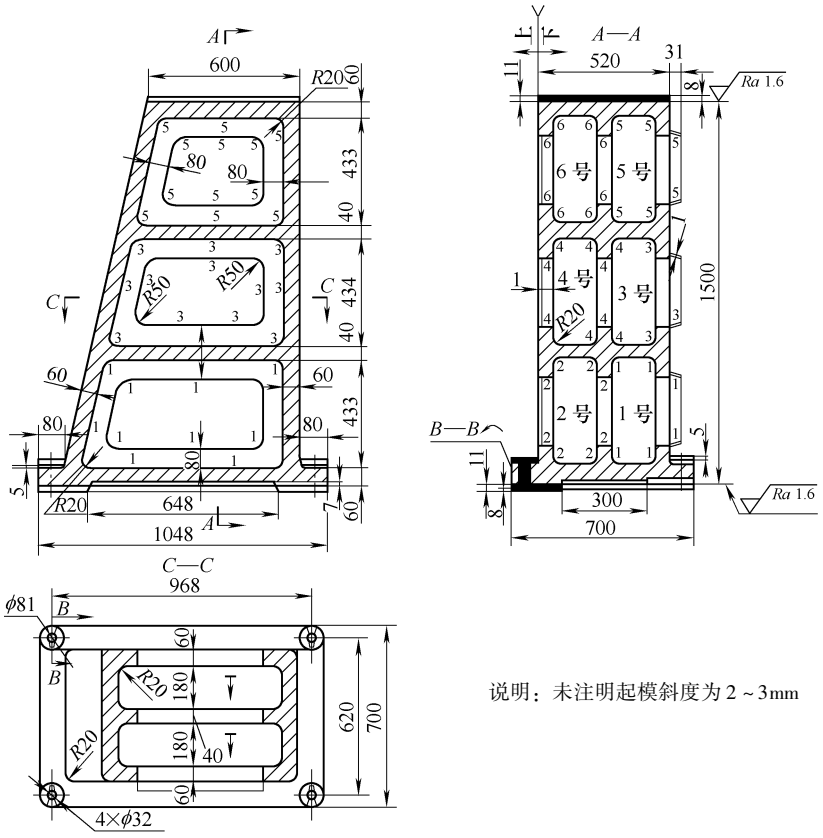


图 3-21　“垫铁”图样及木模工艺图

（1）按木模结构图对垫铁木模进行结构检验　在高度 525mm 内两侧侧面板和两端板用三块拼接，且纹理交错，厚度侧面板为 40mm，端板为 40mm。上下主体板在宽约 900mm，采用五块拼板结构，厚度为 35mm。在 1531mm 尺寸方向，设置两道横撑挡。横撑挡用三块拼板，横撑挡厚度为 40mm，两端与侧面板顶接，这样便和主体板成为直横钉接，提高横向的牢固度。每个角部用方形塞角档进行加固。上下四个活脐子及下箱面脚板活动板均采用燕尾销定位，上箱脚板用两个塑料销定位。外模的内外圆角全部做出。通过与二级强度标准对比，木模结构合理，达到了二级强度标准要求。

（2）进行“垫铁”木模形状和尺寸检验　由于此件为不规则箱式结构木模，因此在检验尺寸之前应对伸图（放样）进行复验，确认伸图（放样）没有问题后再对不规则部位的尺寸同伸图进行对比。在图 3-22 中，除芯头尺寸外其余标注尺寸均为主要尺寸，主要尺寸要求全部符合二级尺寸偏差规定。最后再用平尺对各平面进行平面度检验。平面度应符合二级平面度偏差要求。

（3）进行芯盒尺寸及结构的检验　图 3-23 所示为 1 号芯盒的结构图。因芯盒四角部要做出圆角，这样两端面圆角钉接端面板上，并随端面板厚口嵌侧面板，侧面板圆角可不固定。长方孔板为方便起模，拆分为四块，上下两层粘接。这样 1 号芯盒内装六块活料。由于 3 号、5 号芯盒结构与 1 号芯盒相同。1 号、3 号、5 号芯盒的尺寸，可通过伸图（放样）去测量和检验。

图 3-23 所示为 2 号芯盒结构图，它的形状与 1 号芯盒相同，但由于工件中间肋上的长方形孔做在上平面，因此结构和配料也随之而改变。芯盒平面的长方形孔板，需要在芯盒平面活动，因此做成四角嵌接木框，并将圆角带出，采用固定销与芯盒框定位。这样 2 号芯盒内装七块活料。4 号、6 号芯盒与 2 号芯盒结构相同，尺寸的测量用上面同方法进行。

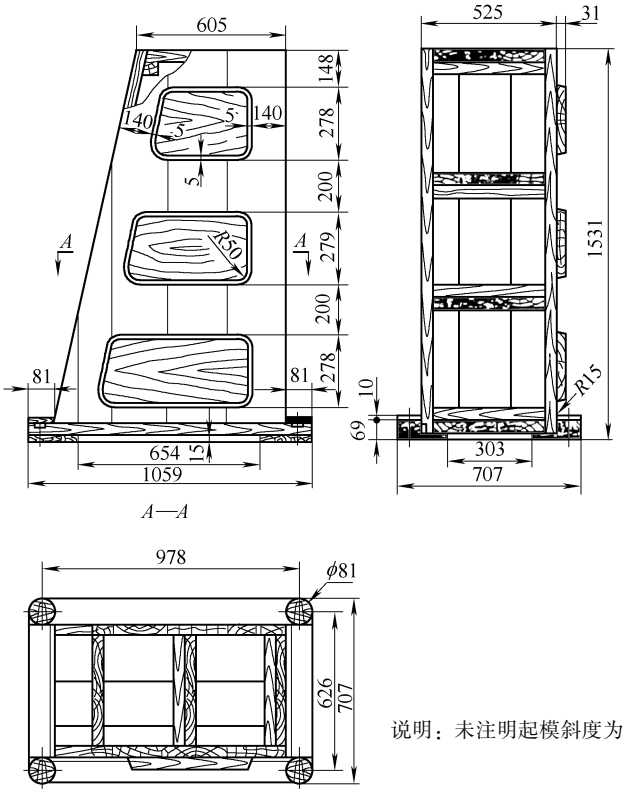


图 3-22　“垫铁”实样模样外模结构图

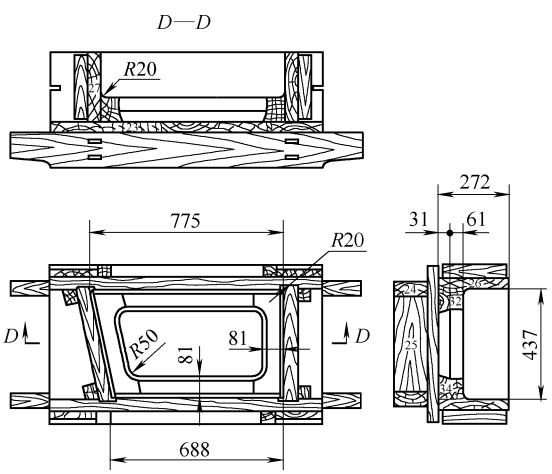


图 3-23　“垫铁”1 号芯盒结构图

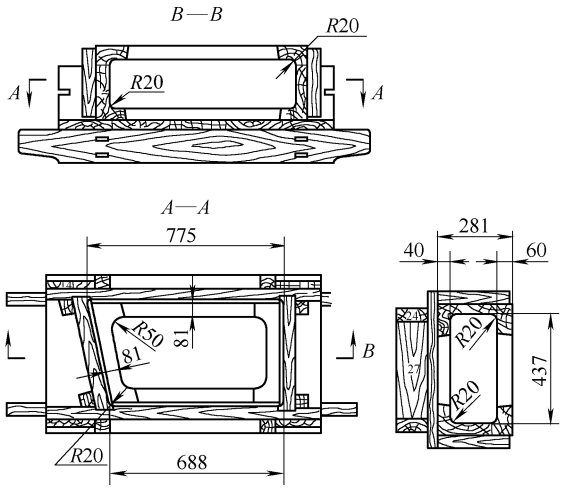


图 3-24　“垫铁”2 号芯盒结构图

（4）进行“垫铁”木模和芯盒的装配与标志检验　吊具采用四个长 300mm 起模板，安装在侧面板距边缘 150mm 的位置。起模板嵌入侧面板后应与平面平齐，并用沉头木螺钉固定。表面进行一些修饰后检验产品标记。芯盒应写编号及序号、内装料数，内装活料之间的标记。外模写编号及芯盒数量，所有活块作区别标记。

经以上尺寸检查、感官检验，符合二级强度要求，符合优质品条件，判定为优质品。检查员填写模样合格卡片，盖章，见表 3-102。

表 3-102　模样合格卡片（供参考）

生产令号	××××	图件号	××××	名称	垫铁
模样种类	实样模样	模样等级	二级	模样数量	1 件

部件名称	数量	芯盒序号	数量	活料数量
活块	6 块	No. 1	1 件	6 块
活芯头		No. 2	1 件	7 块
刮板		No. 3	1 件	6 块
样板		No. 4	1 件	7 块
撞砂胎		No. 5	1 件	6 块
明冒口		No. 6	1 件	7 块
暗冒口		No. 7		
浇口		No. 8		
		No. 9		

操作者	刘伟	检查员	杨永生	合格日期	04. 09. 20 优
存放地点		保管员		入库日期	

2. “变速箱箱盖”木模及芯盒的质量检验（控制）[21]

图 3-25 所示为“变速箱箱盖”工艺图。通过工艺图分析，此木模为实样模样，采用三级强度，活动芯头一个，芯盒由七件芯盒所组成。

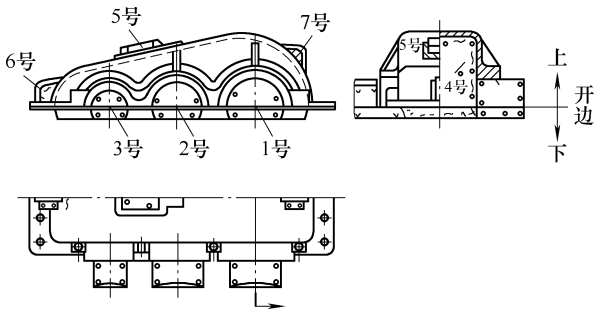


图 3-25　“变速箱箱盖”工艺图

1 号、2 号、3 号、4 号、5 号、6 号、7 号—芯头

（1）首先检查“变速箱箱盖”外模主体结构　图 3-26 所示为变速箱箱盖模样结构图。侧板为拼板结构，上部分为若干多边形，内有数个方框加强支撑，将侧板连为一体，筒板依次粘接于两侧板上。矩形法兰用两块顺纹板与四块横纹板组成四角镶嵌平板。经与轴孔凸台、螺钉孔凸台、两端吊襻、观察孔方凸台、肋板及芯头等共同组装，形成外模主体结构。由于木模采用三级强度，所以肋板、两端吊襻、方孔凸台等圆角用腻子补出。下箱主体芯头由多板拼接并与轴孔芯头粘为一体，并用加强肋连接，木螺钉紧固。通过观察，木材拼接纹理交错，钉结、粘接紧密牢固，符合三级强度要求。

（2）进行“变速箱箱盖”芯盒结构检验　“变速箱箱盖”的芯盒结构图如图 3-27 所示。1 号、2 号、3 号芯盒为轴孔对开芯盒。4 号芯盒为主体芯盒，为可拆式结构，芯盒内部有弧形填料和填料拼板圆角，芯盒上部两壁做出箱盖圆弧形状，用刮板刮出上部形状和内部圆角。这样 4 号芯盒内装七块活料。5 号芯盒为可拆式芯盒，芯头斜板钉在四框即可。6 号、7 号芯盒为吊襻对开芯盒。芯盒结构符合三级强度要求。

（3）进行“变速箱箱盖”模样及芯盒的形状和尺寸检验　首先按图样对伸图（放样）进行检验，确认无误后再以伸图（放样）的尺寸对外模及芯盒进行复验。其中轴孔尺寸及轴孔与轴孔之间的中心距为主要尺寸。主要尺寸要求全部符合三级尺寸偏差规定。最后用平尺对各平面进行平面度检验，平面度应符合三级平面度偏差要求。

（4）进行“变速箱箱盖”模样及芯盒的装配和标志检验　箱盖吊具采用四个起模板，均布在

两侧板的内侧，用木螺钉固定。表面应进行一些修饰，芯盒标志应写编号及序号、活料数量，以及内装活料之间的标记等。外模写编号及芯盒数量。下箱芯头与上箱主体模之间用方块销定位，并打标记号。

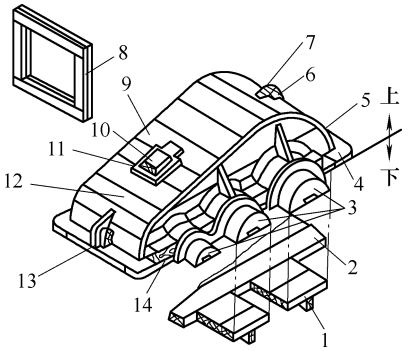


图 3-26　“变速箱箱盖”模样结构图

1—芯头加强肋　2—4 号芯头　3—1 号、2 号、3 号芯头　4—矩形法兰　5—侧板　6—7 号芯头　7—吊襻　8—筒体内支撑方框　9—筒板　10—5 号芯头　11—观察孔棋子　12—主模体　13—6 号芯头　14—轴孔凸台

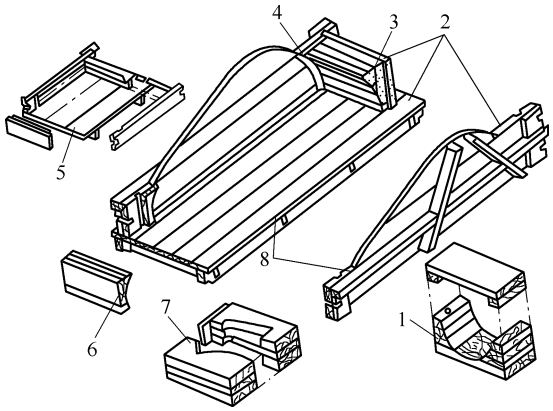


图 3-27　“变速箱箱盖” 芯盒结构图

1—1 号、2 号、3 号芯盒　2—芯盒框及底板　3—端部填料　4—圆角　5—5 号芯盒　6—端部填料　7—6 号芯盒　8—4 号芯盒

经以上尺寸检查、感官检验，符合二级强度要求，符合合格品条件，判定为合格品。检查员盖章并填写合格日期，见表 3-103。

表 3-103　模样合格卡片

生产令号	× × × ×	图件号	× × × ×	名称	变速箱盖
模样种类	实样模样	模样等级	三级	模样数量	1 件

部件名称	数量	芯盒序号	数量	活料数量
活块	6 块	No. 1	1 件	6 块
活芯头		No. 2	1 件	7 块
刮板		No. 3	1 件	6 块
样板		No. 4	1 件	7 块
撞砂胎		No. 5	1 件	6 块
明冒口		No. 6	1 件	7 块
暗冒口		No. 7		
浇口		No. 8		
		No. 9		

操作者	刘伟	检查员	杨永生	合格日期	04. 09. 20 优
存放地点		保管员		入库日期	

第 4 章　铸造生产过程质量的控制（检验）

4.1　铸造生产过程质量控制（检验）的重要性

4.1.1　铸造及其生产过程描述

1. 铸造及其分类

铸造是通过熔炼金属，制造铸型，并将熔融金属液浇入铸型，凝固后获得具有一定形状、尺寸和性能金属零件毛坯的成型方法。

铸造具有很多优点：①用铸造方法成型的铸件毛坯，其形状和尺寸可近似于成品零件；②它不受零件毛坯的质量大小、尺寸和形状的限制，质量可从几克到几百吨，壁厚由 0.3mm 到 1m，形状可十分复杂（用机械加工十分困难，甚至难以制得）；③它可选用多种多样成分和性能的铸造合金，使铸造零件的可靠性不断提高；④它的基本建设投资少，生产周期短，且工艺灵活性大。因此，在金属零件毛坯成型的多种工艺方法中，铸造成型法有着强大的竞争力，在某些情况下，它还是唯一可行的金属零件毛坯成型方法。

用铸造成型方法制造的金属零件毛坯铸件，在许多机电产品中已成为重要构件，并占有相当大的比例。据调查，在机床、泵、阀、液压件、柴油机、制冷机、缝纫机、印刷机械、铸造设备等机电产品中，铸件（总质量）已占 80% 以上；在拖拉机、减速机、压缩机、造纸机械、橡塑机械、陶瓷机械、玻璃机械、纺织机械、锻压设备等机电产品中，铸件（总质量）已占 60% 以上；在电动机、发电机、汽油机、空分制氧机、煤矿机械、运输机械等机电产品中，铸件（总质量）已占 40% 以上。可以预见，铸造成型方法，无论是过去、现在还是将来，都会占有十分重要的位置，并且是现代大机电工业的基础。

通常，铸造成型方法（以下简称铸造）分为砂型铸造和特种铸造两大类，详细分类如图 4-1 所示。

2. 铸造生产过程描述

铸造生产过程的工艺流程很长，除技术准备、原材料准备、铸造工艺装备的设计制造与准备外，还有型砂与芯砂制备、造型制芯与合箱、熔炼与浇注、落砂清理与后处理等，到铸件出厂，先后经过数十道工序。

铸造生产过程是铸件固有质量具体形成的阶段，其过程描述可如图 4-2 ~ 图 4-12 所示。

图 4-2 所示为砂型铸造生产过程描述。图 4-3 所示为消失模铸造生产过程描述。图 4-4 所示为熔模铸造生产过程描述。图 4-5 所示为陶瓷型铸造生产过程描述。图 4-6 所示为金属型铸造生产过程描述。图 4-7 和图 4-8 所示为压力铸造生产过程描述。图 4-9 所示为低压铸造生产过程描述。图 4-10 所示为真空吸铸生产过程描述。图 4-11 所示为离心铸造生产过程描述。图 4-12 所示为石膏型铸造生产过程描述。

4.1.2　铸造生产过程质量及其控制方法

1. 铸造生产过程质量概念

铸造生产过程质量是指从原材料使用到合格铸件出厂的铸造生产全过程质量，也可以理解为铸造生产过程满足规定需要和潜在需要的特性的总和。

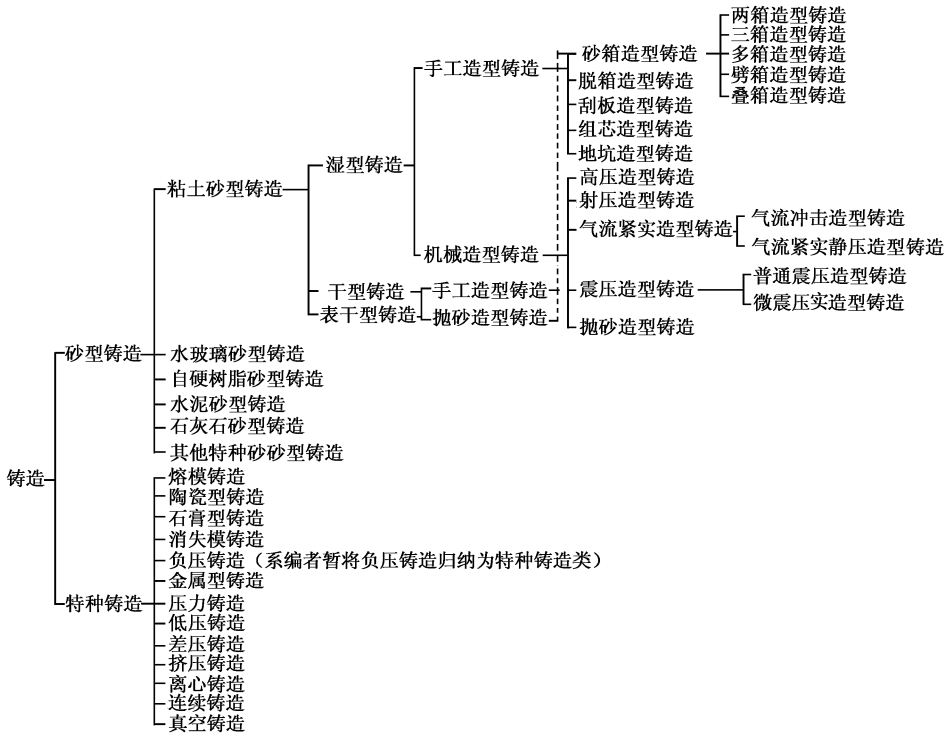


图 4-1　铸造分类

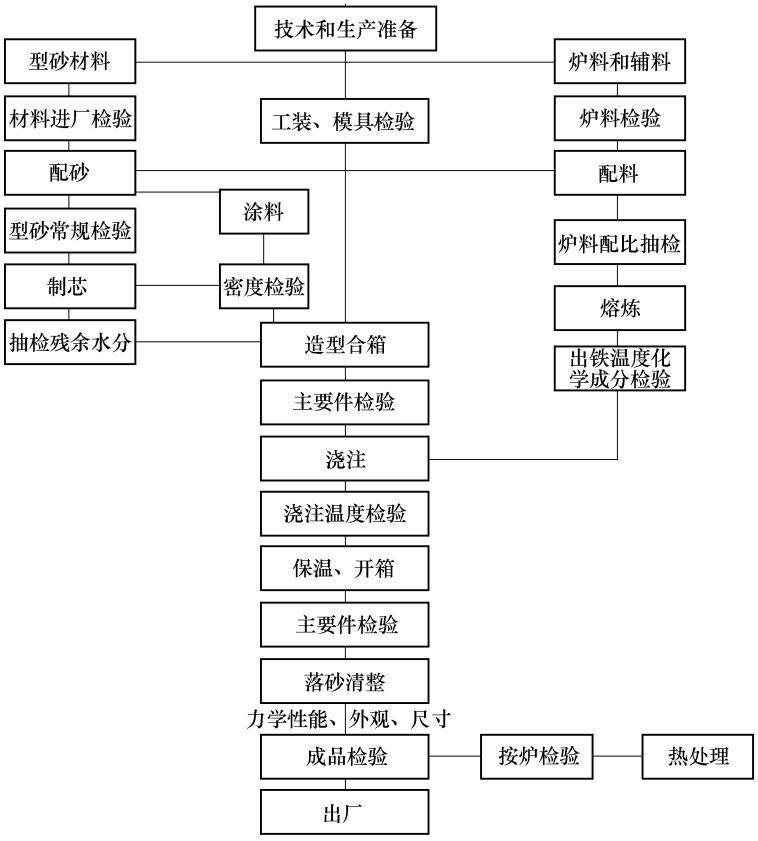


图 4-2　砂型铸造生产过程描述 （铸铁件）

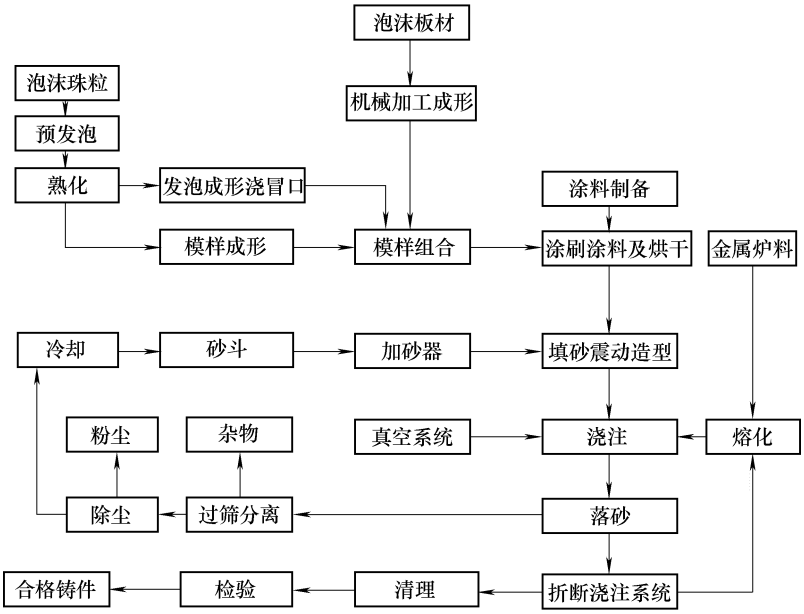


图 4-3　消失模铸造生产过程描述

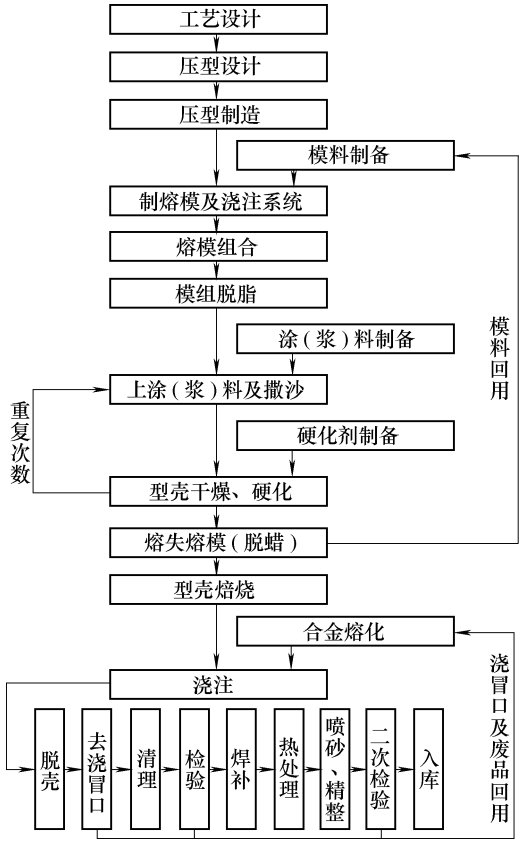


图 4-4　熔模铸造生产过程描述

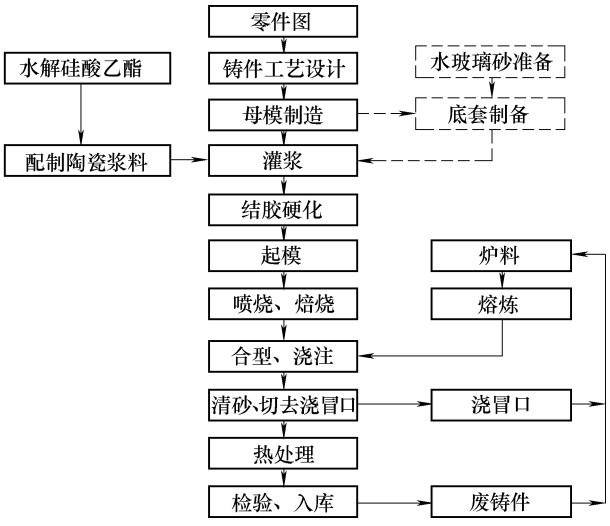


图 4-5　陶瓷型铸造生产过程描述

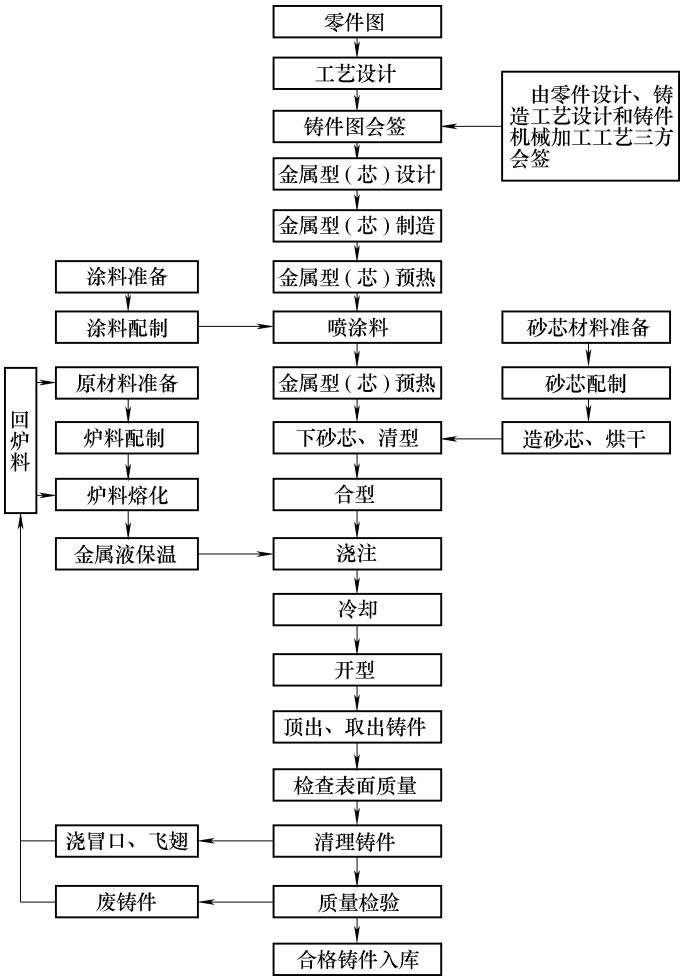


图 4-6　金属型铸造生产过程描述

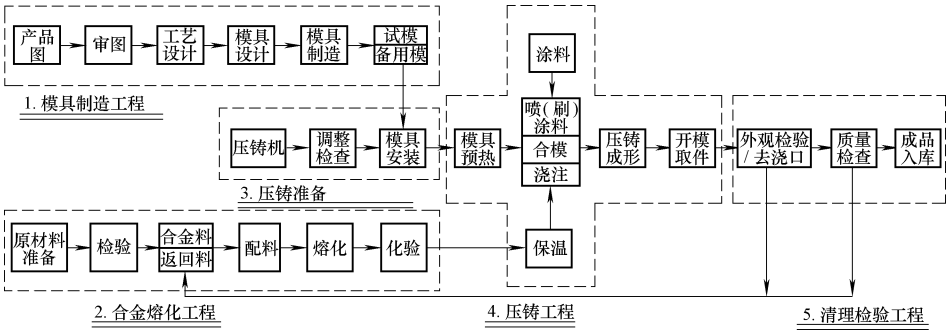


图 4-7　压力铸造生产过程描述

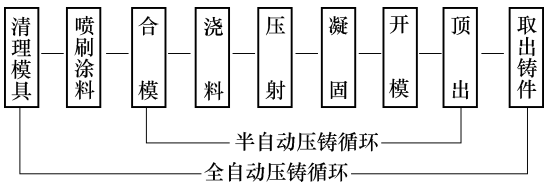


图 4-8　压力铸造生产过程循环图

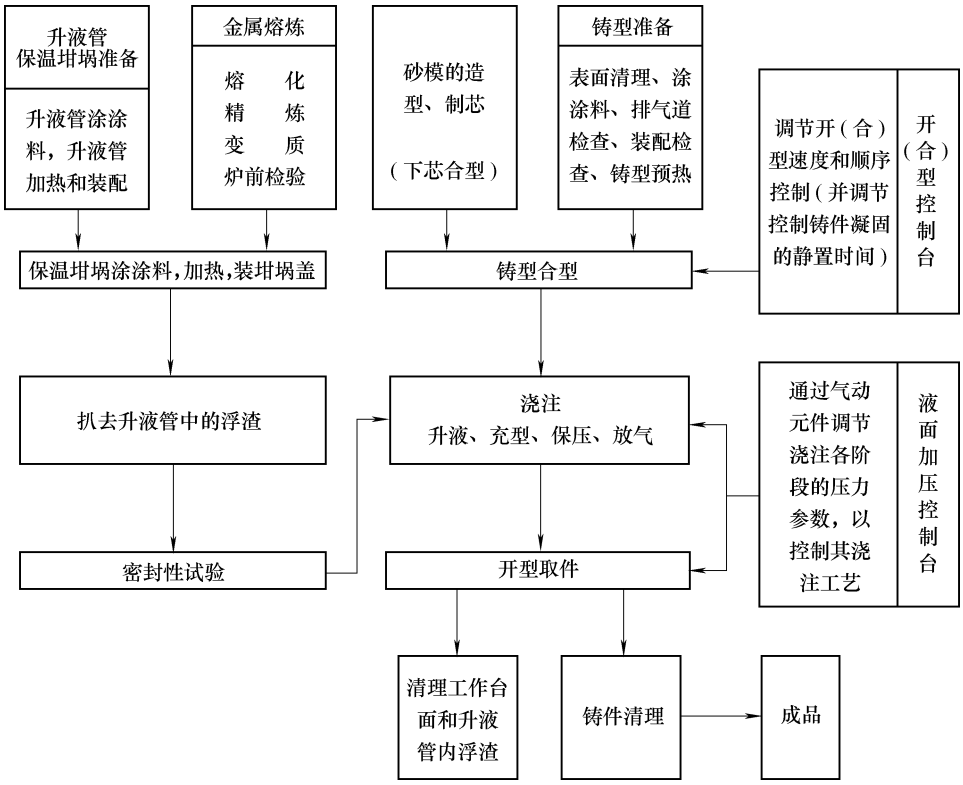


图 4-9　低压铸造生产过程描述

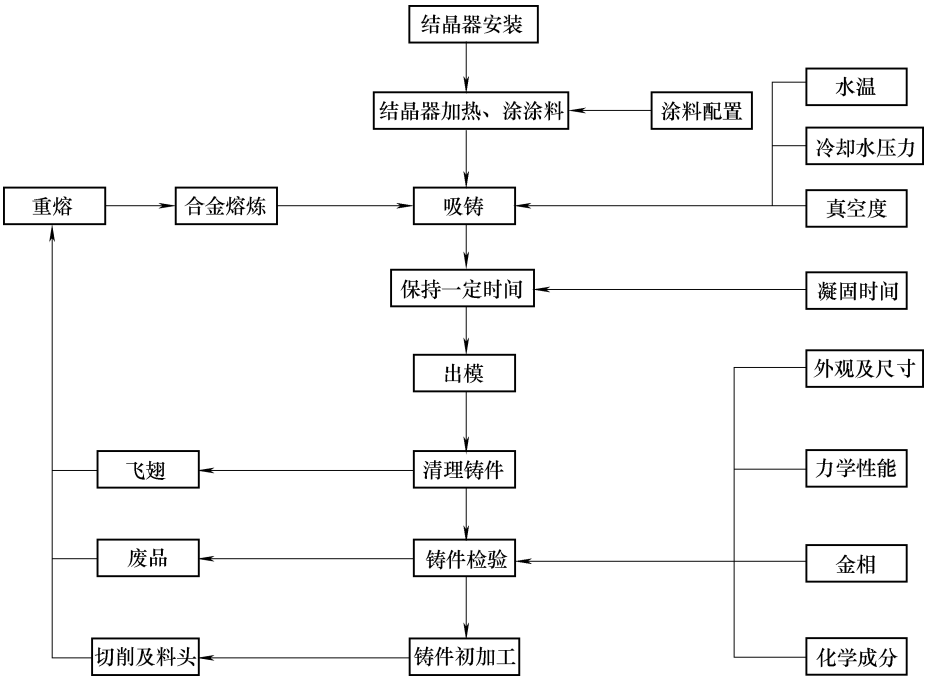


图 4-10　真空吸铸生产过程描述

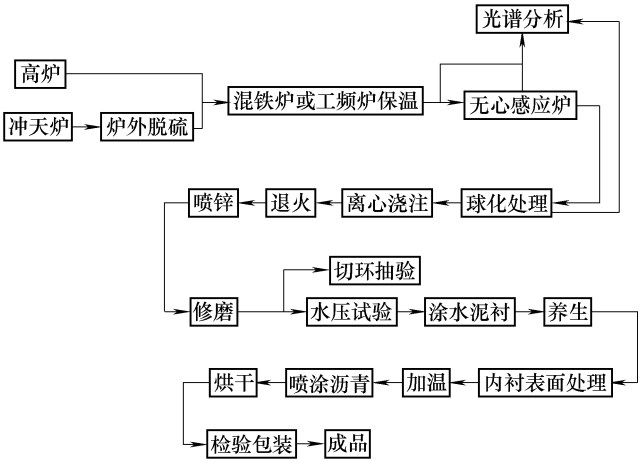


图 4-11　离心铸造生产过程描述 （球墨铸铁管）

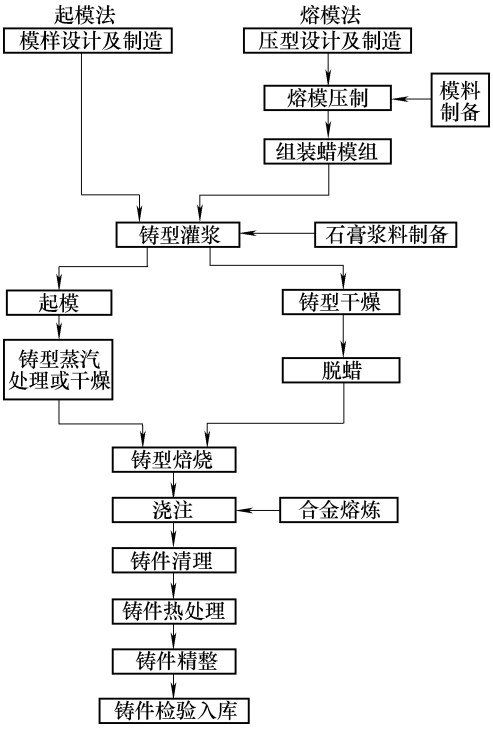


图 4-12　石膏型铸造生产过程描述

铸造生产过程质量应该包括铸造生产过程中每一个生产环节的质量，如型砂芯砂与涂料的配制质量、造型制芯与合箱的质量、熔炼与浇注的质量、落砂清理与后处理的质量等。

型砂芯砂与涂料的配制质量，其性能是否符合要求，直接影响铸件质量。

熔炼前的正确备料与配料，不仅可以减少废品，保证铸件质量，还可以降低炉料的消耗。

合金熔炼的质量，直接与铸件的质量相关。

浇注工艺是否合理，浇注工作组织的好坏，都直接影响铸件的质量。铸件产生的缺陷许多都与浇注工作的质量有关。

铸件落砂清理与后处理的质量也直接关系到铸件质量，并且往往由于落砂清理与后处理的工作质量造成成品铸件损坏而报废。

总之，铸造生产过程质量与最终的铸件质量都是相互关联的，如果生产过程质量失控，都会最后影响到铸件的最终质量。

2. 铸造生产过程质量控制意义

应该指出，用铸造方法生产铸件是一种不稳定的制造工艺过程。这是因为铸造所涉及的技术领域比较广泛，而且又是一种劳动密集型的作业，并且在很大程度上取决于操作者的技能与素质。因此，铸件在形成的整个过程中，始终存在着质量波动的情况。为了保证稳定地生产出符合质量标准的铸件，就必须对铸造生产过程中的这种质量波动情况进行有效的控制。

铸造生产过程质量控制的意义如下：

1）通过生产过程质量控制，使铸造设备保持最佳运行状态，使所用原材料能最大限度地保证工序质量和铸件质量，使所采用的操作方法尽量最佳，使操作者能最大地发挥潜能，特别是使生产第一线的员工充分发挥在保证铸件质量方面的主观能动性，有利于强化质量责任制，提高以人为本的 4M 要素（人、机器、材料和方法）的质量管理水平。

2）通过生产过程质量控制使过程工序处于受控状态，确保较高的铸件合格率，减少由于废品铸件造成的经济损失，降低质量成本，提高铸造企业的经济效益。

3）通过生产过程质量控制，可以找出铸件质量的波动规律，把正常波动控制在合理的范围内，消除异常因素引起的系统波动，使铸造生产达到稳定生产铸件的目的，从而确保向用户提供合格和满意的铸件。

3. 铸造生产过程质量控制方法

铸造生产过程质量控制应贯穿于铸件质量形成的全过程，其主要内容包括：确定控制对象，制订控制计划和标准，实施控制计划，并在实施过程中进行连续监视、评价和验证，纠正不符合工艺设计和操作程序的现象，排除质量形成过程中的不良因素，使其恢复正常状态。

铸造生产过程质量控制方法主要采用统计质量控制方法。常用的有直方图法、排列图法、因果图法、散布图法、分层法、调查表法、控制图法。前六种质量控制方法可参见第 7 章的 7.1.2 节。下面简单介绍控制图法。

控制图是用来分析和判断生产过程工序是否处于稳定状态并带有控制界限的一种图形表示，如图 4-13 所示。

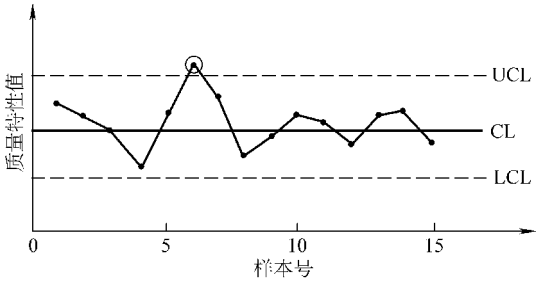


图 4-13　控制图的基本形式

UCL—上控制界线　CL—中心线　LCL—下控制界线

（1）控制图的分类　控制图分为分析用控制图和控制用控制图。分析用控制图是根据实际测量出来的数据，经过计算得出控制的上下限值之后画出的，它主要用来对初期质量的测定和监控，分析过程工序是否为统计控制状态，该过程工序的工序能力指数是否满足要求。

控制用控制图是根据以前的历史数据，或之前生产过程工序质量稳定时的控制上下限，作为今后生产过程工序质量控制的上下限。它的意义在于用之前控制界限来衡量近期的生产过程工序质量状况。

应该注意，一道生产过程工序开始应用控制图时，几乎总不会恰巧处于稳定状态，因此可以把它作为分析用控制图。当过程调整到稳态后，才能延长控制图的控制线作为控制用控制图。

控制用控制图经过一个阶段的使用后，可能又出现异常，这时应按照“查出异因，采取措施，加以消除，不使出现，纳入标准”的方针去做，恢复所确定的稳定状态。

（2）控制图的作图方法与步骤　控制图的作图方法与步骤如下：

1）收集数据。选定工序，收集品质特性值，工序应较稳定，数据一般在 100 个以上。

2）数据分组。以 4 个或 5 个为一组，分成 25 组。

3）将各组数据纳入规定栏目内。

4）计算各组数据的平均值。$\bar{x}_i=\dfrac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n}$（精确到比观测量值多一位小数）。

5）计算总平均值或中心值。$\bar{\bar{x}}_i=\dfrac{\bar{x}_1+\bar{x}_2+\cdots+\bar{x}_n}{n}$（精确到比原始数据多两位小数）。

6）计算各组极差。$R_i=x_{\max}-x_{\min}$

7）计算极差的平均值。$\bar{R}=\dfrac{R_1+R_2+\cdots+R_n}{n}$。

8）计算上下控制界限和中心线

① $\bar{x}$ 图的中心线上下控制界限的计算公式：

$$\mathrm{CL}=\bar{\bar{x}}\qquad \mathrm{UCL}=\bar{\bar{x}}+A_2\bar{R}\qquad \mathrm{LCL}=\bar{\bar{x}}-A_2\bar{R}$$

② R 图的中心线上下控制界限的计算公式：

$$\mathrm{CL}=\bar{R}\qquad \mathrm{UCL}=D_4\bar{R}\qquad \mathrm{LCL}=D_3\bar{R}$$

9）画控制线。$\bar{x}$ 图在上，R 图在下，横坐标表示样本号、组号或时间。纵坐标表示 $\bar{x}$ 值或 R 值，中心线用实线，控制界限用虚线。

10）描点连线。将各组 $\bar{x}$ 值和 R 值用点描在相应的控制图上，并用折线连接。如果用 Xbax－R 图的专用软件，只要将测量的数据输入计算机，会自动显示控制图的图形，并能精确地计算出 C_{p}、C_{pk}的值，可免除手工计算之烦恼。

11）判异或判稳。若稳，则计算过程能力指数并检验其是否符合技术要求。若不稳，要立即寻找原因，并采取纠正措施。

12）延用 $\bar{x}-R$ 控制图的控制线，当做控制用控制图进行日常管理。

应该指出，步骤 1）～11）为分析用控制图阶段，步骤 12）为控制用控制图阶段。

（3）应用　在铸造生产过程中应用控制图进行质量控制时，一般按以下步骤进行：

1）当铸造生产过程工序中质量尚未稳定，即生产过程工序处于失控状态时，应加强管理，改进工艺，使生产过程工序处于稳定状态，这一阶段称为调整阶段。

2）当生产过程工序已进入受控状态时，就可以采用控制图，进行生产过程工序质量管理了。可以根据生产过程工序控制的需要，选择合格的控制图（见表 4-1）。

3）当生产过程工序进入控制阶段时，还应当考虑生产过程工序质量应稳定在一个什么样的水平上，并根据具体情况作出决策。此时，就需要用控制图所使用的数据作直方图，并结合生产过程工序的质量指标来计算 C_{p} 值或 C_{pk}值，真正做到生产过程工序质量能够受控。

表 4-1　控制图的分类与选择

类别	控制图名称	标准值给定的控制限（假如 μ、σ_0 已知）	标准值未给定的控制限	选　择
计量值控制图	均值－极差控制图（$\bar{X}-R$）（正态分布）	$\begin{cases}\mathrm{UCL}_X=\mu+A\sigma_0\\ \mathrm{CL}_X=\mu\\ \mathrm{LCL}_X=\mu-A\sigma_0\end{cases}$ $\begin{cases}\mathrm{UCL}_R=D_2\sigma_0\\ \mathrm{CL}_R=d_2\sigma_0\\ \mathrm{LCL}_R=D_1\sigma_0\end{cases}$ 其中　$X_0=\mu$；　$R_0=d_2\sigma_0$	$\begin{cases}\mathrm{UCL}_{\bar{X}}=\bar{\bar{X}}+A_2\bar{R}\\ \mathrm{CL}_{\bar{X}}=\bar{\bar{X}}\\ \mathrm{LCL}_{\bar{X}}=\bar{\bar{X}}-A_2\bar{R}\end{cases}$ $\begin{cases}\mathrm{UCL}_R=D_4\bar{R}\\ \mathrm{CL}_R=\bar{R}\\ \mathrm{LCL}_R=D_3\bar{R}\end{cases}$	1）属于双值控制图，它所提供的情报系统完整，适用于产品批量大，加工过程稳定的情况，适用于每次取样数小于 10，一般取样数为 4～5 2）对于计量数据而言，这是最常用最基本的控制图 3）控制的对象为长度、质量大小、强度、纯度、时间、生产量等计量值的场合 4）$\bar{x}$控制图主要用于观察正态分布的均值的变化，R 控制图用于观察正态分布的分散情况或变异度的变化，而$\bar{X}-R$ 控制图则将二者联合运用，用于观察正态分布的变化
	均值－标准差控制图（$\bar{X}-s$）（正态分布）	$\begin{cases}\mathrm{UCL}_X=\mu+A\sigma_0\\ \mathrm{CL}_X=\mu\\ \mathrm{LCL}_X=\mu-A\sigma_0\end{cases}$ $\begin{cases}\mathrm{UCL}_s=B_6\sigma_0\\ \mathrm{CL}_s=c_4\sigma_0\\ \mathrm{LCL}_s=B_5\sigma_0\end{cases}$ 其中　$X_0=\mu$；　$R_0=c_4\sigma_0$	$\begin{cases}\mathrm{UCL}_{\bar{X}}=\bar{\bar{X}}+A_3\bar{s}\\ \mathrm{CL}_{\bar{X}}=\bar{\bar{X}}\\ \mathrm{LCL}_{\bar{X}}=\bar{\bar{X}}-A_3\bar{s}\end{cases}$ $\begin{cases}\mathrm{UCL}_s=B_4\bar{s}\\ \mathrm{CL}_s=\bar{s}\\ \mathrm{LCL}_s=B_3\bar{s}\end{cases}$	1）$\bar{X}-s$ 控制图与$\bar{X}-R$ 图相似，只是用标准差（s）图代替极差（R）图而已。极差计算简便，故 R 图得到广泛应用，但当样本大小 $10\leqslant n\leqslant 25$ 时，应用极差估计总体标准差 s 的效率减低 2）由于计算机已经得到广泛应用，σ 图计算已经不成问题，因此，$\bar{X}-s$ 控制图的应用将越来越广泛 3）同$\bar{X}-R$ 图，理论根据充分，对生产过程不稳定检出力强

（续）

类别	控制图名称	标准值给定的控制限（假如 μ、σ_0 已知）	标准值未给定的控制限	选　择
计量值控制图	单值-移动极差控制图（$X-R_s$） 注：移动极差 R 记为 R_s （正态分布）	$\begin{cases}UCL_X=\mu+3\sigma_0\\CL_X=\mu\\LCL_X=\mu-3\sigma_0\end{cases}$ $\begin{cases}UCL_{R_s}=3.686\sigma_0\\CL_{R_s}=1.128\sigma_0\\LCL_{R_s}=-\end{cases}$ 其中　$X_0=\mu$； $R_0=1.128\sigma_0$	$\begin{cases}UCL_{\overline{X}}=\overline{\overline{X}}+2.66\overline{R}_s\\CL_X=\overline{\overline{X}}\\LCL_X=\overline{\overline{X}}-2.66\overline{R}_s\end{cases}$ $\begin{cases}UCL_{R_s}=3.267\overline{R}\\CL_{R_s}=\overline{R}\\LCL_{R_s}=-\end{cases}$	由于它不像前两种控制图那样取得较多的信息，所以判断过程变化的灵敏度差一些，主要应用于以下场合： 1）对每一个产品都进行检验，采用自动化检查和测量 2）所选取样本为一种极为一致的产品，如液体或气体 3）破坏性的试验，每检验一个，就报废一个 4）取样费时、昂贵的场合 5）产品均匀，多抽样也无太大意义
	中位数－极差控制图（$\tilde{X}-R$） 注：中位数 $\tilde{X}$ 亦记为 M_e （正态分布）		$\begin{cases}UCL_{M_e}=\overline{\tilde{X}}+A_4\overline{R}\\CL_{M_e}=\overline{\tilde{X}}\\LCL_{M_e}=\overline{\tilde{X}}-A_4\overline{R}\end{cases}$ $\begin{cases}UCL_R=D_4\overline{R}\\CL_R=\overline{R}\\LCL_R=D_3\overline{R}\end{cases}$	1）用途与特点同 $\overline{X}-R$ 图，但处理简单，检出过程不稳定的能力比不上 $\overline{X}-R$ 图。适用于每次取样数小于 10 2）$\tilde{X}-R$ 控制图与 $\overline{X}-R$ 图也很相似，只是用中位数图代替均值图。所谓中位数即指在一组按大小顺序排列的数列中居中的数 3）现在推行 SPC，都应用电脑，计算平均值已经不成问题，所以，$\tilde{X}-R$ 控制图的应用逐渐减少
计数值控制图	计件值：不合格品率控制图（p）（二项分布）	$\begin{cases}UCL_p=p_0+3\sqrt{p_0(1-p_0)/n}\\CL_p=p_0\\LCL_p=p_0-3\sqrt{p_0(1-p_0)/n}\end{cases}$	$\begin{cases}UCL_p=\bar{p}+3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}\\CL_p=\bar{p}\\LCL_p=\bar{p}-3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}\end{cases}$	1）控制的对象为不合格品率、合格品率、废品率、交货迟延率、缺勤率、差错率等 2）需要注意的是，当 p 控制图显示异常后，难以找到异常的原因，因此使用 p 控制图时，应选择重要的检查项目，作为判断不合格品的依据 3）样本数可以相同，也可以不相同
	计件值：不合格品数控制图（np）（二项分布）	$\begin{cases}UCL_{np}=np_0+3\sqrt{np_0(1-p_0)}\\CL_{np}=np_0\\LCL_{np}=np_0-3\sqrt{np_0(1-p_0)}\end{cases}$	$\begin{cases}UCL_{np}=n\bar{p}+3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}\\CL_{np}=n\bar{p}\\LCL_{np}=n\bar{p}-3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}\end{cases}$	1）控制的对象是不合格品的件数，适用于大批量生产 2）由于当样品大小 n 变化时，np 控制图的控制限全部成为凹凸状，比较麻烦，所以只在样本大小相同的情况下，才使用此图
	计点值：单位不合格数控制图（旧称：单位缺陷数控制图）（u）（泊松分布）	$\begin{cases}UCL_u=u_0+3\sqrt{u_0/n}\\CL_u=\bar{u}_0\\LCL_u=u_0-3\sqrt{u_0/n}\end{cases}$	$\begin{cases}UCL_u=\bar{u}+3\sqrt{\bar{u}/n}\\CL_u=\bar{u}\\LCL_u=\bar{u}-3\sqrt{\bar{u}/n}\end{cases}$	1）当样品的大小保持不变时可以应用 C 控制图，而当样品的大小变化时则应注意为平均每单位的不合格数后再使用 u 控制图 2）样本大小不固定，测量单位数量（如单位面积、单位长度）的缺陷数来控制产品的品质
	计点值：不合格数控制图（旧称：缺陷数控制图）（c）（泊松分布）	$\begin{cases}UCL_c=c_0+3\sqrt{c_0}\\CL_c=c_0\\LCL_c=c_0-3\sqrt{c_0}\end{cases}$	$\begin{cases}UCL_c=\bar{c}+3\sqrt{\bar{c}}\\CL_c=\bar{c}\\LCL_c=\bar{c}-3\sqrt{\bar{c}}\end{cases}$	用于控制一部机器、一定的长度、一定的面积或任何一定的单位中所出现的不合格数目，如： 1）铸型上的疵点数 2）铸件上的砂眼数 3）机器设备的不合格数 控制对象为缺陷数量，每个样本大小一定

注：1. 表内控制图的控制限公式中的系数见表 4-2。

2. 依据 ISO 9000：2005 中的定义，“缺陷”改为“不合格”。

3. 正态分布的参数均值 μ 与标准差 σ 互相独立，控制正态分布需要分别控制 μ 与 σ，故正态分布控制图都有两张控制图，前者控制 μ，后者控制 σ；二项分布与泊松分布则并非如此。

4. $\overline{X}-R$ 图可由 $\overline{X}-S$ 图代替。

5. 最重要的是 $\overline{X}_S$ 图与 $X-R_0$ 图。

表 4-2　控制图控制限的系数

子组中观测值个数 n	控制限系数							
	A	A_2	A_3	A_4	B_3	B_4	B_5	B_6
2	2.121	1.880	2.659	1.88	0.000	3.267	0.000	2.606
3	1.732	1.023	1.954	1.19	0.000	2.568	0.000	2.276
4	1.500	0.729	1.628	0.80	0.000	2.266	0.000	2.088
5	1.342	0.577	1.427	0.69	0.000	2.089	0.000	1.964
6	1.225	0.483	1.287	0.55	0.030	1.970	0.029	1.874
7	1.134	0.419	1.182	0.51	0.118	1.882	0.113	1.806
8	1.061	0.373	1.099	0.43	0.185	1.815	0.179	1.751
9	1.000	0.337	1.032	0.41	0.239	1.761	0.232	1.707
10	0.949	0.308	0.975	0.36	0.284	1.716	0.276	1.669
11	0.905	0.285	0.927		0.321	1.679	0.313	1.637
12	0.866	0.266	0.886		0.354	1.646	0.346	1.610
13	0.832	0.249	0.850		0.382	1.618	0.374	1.585
14	0.802	0.235	0.817		0.406	1.594	0.399	1.563
15	0.775	0.223	0.789		0.428	1.572	0.421	1.544
16	0.750	0.212	0.763		0.448	1.552	0.440	1.526
17	0.728	0.203	0.739		0.466	1.534	0.458	1.511
18	0.707	0.194	0.718		0.482	1.518	0.475	1.496
19	0.688	0.187	0.698		0.497	1.503	0.490	1.483
20	0.671	0.180	0.680		0.510	1.490	0.504	1.470
21	0.655	0.173	0.663		0.523	1.477	0.516	1.459
22	0.640	0.167	0.647		0.534	1.466	0.528	1.448
23	0.626	0.162	0.633		0.545	1.455	0.539	1.438
24	0.612	0.157	0.619		0.555	1.445	0.549	1.429
25	0.600	0.153	0.606		0.565	1.435	0.559	1.420

子组中观测值个数 n	控制限系数				中心线系数			
	D_1	D_2	D_3	D_4	C_4	$1/C_4$	d_2	$1/d_2$
2	0.000	3.686	0.000	3.267	0.7979	1.2533	1.128	0.8865
3	0.000	4.358	0.000	2.574	0.8862	1.1284	1.693	0.5907
4	0.000	4.698	0.000	2.282	0.9213	1.0854	2.059	0.4857
5	0.000	4.918	0.000	2.114	0.9400	1.0638	2.326	0.4299
6	0.000	5.078	0.000	2.004	0.9515	1.0510	2.534	0.3946
7	0.204	5.204	0.076	1.924	0.9594	1.0423	2.704	0.3698
8	0.388	5.306	0.136	1.864	0.9650	1.0363	2.847	0.3512
9	0.547	5.393	0.184	1.816	0.9693	1.0317	2.970	0.3367
10	0.687	5.469	0.223	1.777	0.9727	1.0281	3.078	0.3249
11	0.811	5.535	0.256	1.744	0.9754	1.0252	3.173	0.3152
12	0.922	5.594	0.283	1.717	0.9776	1.0229	3.258	0.3069
13	1.025	5.647	0.307	1.693	0.9794	1.0210	3.336	0.2998
14	1.118	5.696	0.328	1.672	0.9810	1.0194	3.407	0.2935
15	1.203	5.741	0.347	1.653	0.9823	1.0180	3.472	0.2880
16	1.282	5.782	0.363	1.637	0.9835	1.0168	3.532	0.2831
17	1.356	5.820	0.378	1.622	0.9845	1.0157	3.588	0.2787
18	1.424	5.856	0.391	1.608	0.9854	1.0148	3.640	0.2747
19	1.487	5.891	0.403	1.597	0.9862	1.0140	3.689	0.2711
20	1.549	5.921	0.415	1.585	0.9869	1.0133	3.735	0.2677
21	1.605	5.951	0.425	1.575	0.9876	1.0126	3.778	0.2647
22	1.659	5.979	0.434	1.566	0.9882	1.0119	3.819	0.2618
23	1.710	6.006	0.443	1.557	0.9887	1.0114	3.858	0.2592
24	1.759	6.031	0.451	1.548	0.9892	1.0109	3.895	0.2567
25	1.806	6.056	0.459	1.541	0.9896	1.0105	3.931	0.2544

注：摘自国家标准 GB/T 4091—2001《常规控制图》的表 2 和表 4。

4.1.3　铸造生产接近零不合格过程的质量控制

1. 用“接近零不合格过程”定义铸造生产过程质量控制的重要性

铸造生产接近零不合格过程的质量控制是铸造企业的理想质量保证状态。达到这种理想状态的铸造生产过程称为“接近零不合格过程”。其特征是：生产过程工序质量的不合格率极低，大量铸件为合格品，偶尔有不合格品铸件出现。

在现代的质量管理体系（QMS）中，非常强调以零缺陷为目标，以接近零不合格过程的质量控制为重要手段。

以零缺陷为目标，以接近零不合格过程的质量控制为重要手段，应是铸造企业追求的目标和观念上的革命，是铸造企业降低成本、及时交货、提高效益的保证，是铸造企业在现代质量管理体系（QMS）中，坚持以“预防为主”观念的集中体现。

2. “接近零不合格过程的质量控制”方法简介

接近零不合格过程的质量控制是一门研究“如何对生产过程进行严格的质量控制，使过程不断向零不合格目标逼近”的学科，它为达到六西格玛（6σ）[㊀]质量提供了有效途径。

执教于清华大学经济管理学院的孙静博士，对于接近零不合格过程的研究，已取得多项国际水平的研究成果，形成了中国接近零不合格过程的研究方向和研究特色，并有专著《接近零不合格过程的质量控制》、《接近零不合格过程的有效控制——实现六西格玛质量的途径》。

接近零不合格过程的质量控制方法包括以下几个方面：

1）对传统计数控制图存在的问题进行改进：①对原始离散数据进行数学变换，使变换后的数据近似服从正态分布；②保持原始数据不变，而采取调整控制线的设定方法。

2）选取相邻不合格品间的合格品数作为接近零不合格品过程的控制对象，代替传统的统计量“不合格品率”。

3）改进控制图上的常规判异准则。对于接近零不合格过程的判异准则如下：

① 若相邻不合格品之间的连续合格品数不大于 n_1，则判断过程异常。

② 若接连出现的两个连续合格品数之和大于 n_2，则判断过程异常。

③ 若连接出现的三个连续合格品之和不大于 n_3，则判断过程异常。判异准则的临界值 n_1、n_2、n_3 见表 4-3。

表 4-3　判异准则的临界值 n_1、n_2、n_3

P	S								
	95%			99%			99.5%		
	n_1 (1)	n_2 (2)	n_3 (3)	n_1 (4)	n_2 (5)	n_3 (6)	n_1 (7)	n_2 (8)	n_3 (9)
0.00001	5129	35535	81767	1005	14854	43603	501	10348	33786
0.00002	2564	17767	40883	502	7427	21801	250	5174	16892
0.00003	1709	11844	27254	335	4951	14535	167	3449	11260
0.00004	1282	8883	20440	251	3713	10899	125	2586	8445
0.00005	1025	7106	16352	201	2970	8719	100	2069	6756

㊀ 六西格玛（6σ）是 20 世纪 80 年代末美国摩托罗拉公司提出的一种管理模式，是一种近乎完美的管理策略，它通过设计和监控过程将可能的失误减少到最低限度，从而使企业可以做到质量与效率最高，成本最低，过程的周期最短，利润最大，全方位地使顾客满意。

（续）

P	S								
	95%			99%			99.5%		
	n_1 (1)	n_2 (2)	n_3 (3)	n_1 (4)	n_2 (5)	n_3 (6)	n_1 (7)	n_2 (8)	n_3 (9)
0.00006	854	5922	13626	167	2475	7266	83	1724	5629
0.00007	732	5075	11679	143	2121	6227	71	1477	4825
0.00008	641	4441	10219	125	1856	5449	62	1293	4222
0.00009	569	3947	9084	111	1650	4843	55	1149	3752
0.0001	512	3553	8175	100	1484	4359	50	1034	3377
0.0002	256	1776	4087	50	742	2180	25	516	1688
0.0003	170	1183	2724	33	494	1452	16	344	1125
0.0004	128	887	2042	25	370	1088	12	258	843
0.0005	102	710	1633	20	296	870	10	206	674
0.0006	85	519	1361	16	247	725	8	171	561
0.0007	73	506	1166	14	211	621	7	147	481
0.0008	64	443	1020	12	185	543	6	128	421
0.0009	56	395	907	11	164	483	5	114	374
0.0010	51	354	816	10	147	434	5	102	336
0.0015	34	236	543	6	98	289	3	68	224
0.0020	25	177	407	5	73	216	2	51	167
0.0025	20	141	325	4	58	173	2	40	133
0.0030	17	117	271	3	48	144	1	33	111
0.0035	14	100	232	2	41	123	1	29	95
0.0040	12	88	203	2	36	107	1	25	83
0.0045	11	78	180	2	32	95	1	22	73
0.0050	10	70	162	2	29	85	1	20	66
0.0055	9	63	147	1	26	78	0	18	60
0.0060	8	58	134	1	24	71	0	16	55
0.0065	7	53	124	1	22	65	0	15	50
0.0070	7	50	115	1	20	61	0	14	47
0.0075	6	46	107	1	19	56	0	13	43
0.0080	6	43	100	1	18	53	0	12	41
0.0085	6	41	94	1	16	50	0	11	38
0.0090	5	38	89	1	15	47	0	10	36
0.0095	5	36	84	1	15	44	0	10	34
0.01	5	34	80	1	14	42	0	9	32

4）改进控制图上的常规判稳准则。对于接近零不合格过程的判稳准则如下：

① 若根据判异准则，接连出现的 m_1 个不合格品的连续合格品数都不能判断过程异常，则判断过程处于稳态。

② 若接连出现的 m_2 个不合格品中，判断过程异常的相邻不合格品之间的连续合格品数不多于 1 个，则判断过程处于稳态。

③ 若接连出现的 m_3 个不合格品中，判断过程异常的相邻不合格品之间的连续合格品数不多于 2 个，则判断过程处于稳态。

判稳准则的参考值 m_1、m_2、m_3 见表 4-4。

表 4-4　判稳准则的参考值 m_1、m_2、m_3

m	$1-\alpha_A$					
	95%（1）		99%（2）		99.5%（3）	
m_1	2	$\alpha_S=9.750\%$	6	$\alpha_S=5.852\%$	12	$\alpha_S=5.837\%$
m_2	7	$\alpha_S=4.438\%$	15	$\alpha_S=0.963\%$	21	$\alpha_S=0.439\%$
m_3	16	$\alpha_S=4.294\%$	44	$\alpha_S=0.967\%$	68	$\alpha_S=0.492\%$

注：1. α_A 的下标“A”表示是判异准则的显著性水准。

2. α_S 的下标“S”表示是判稳准则的显著性水准。

应该指出，建立接近零不合格过程的判异准则与判稳准则，是接近零不合格过程进行质量控制的一项基础工作。

4.2　砂型铸造生产过程工序质量的控制（检验）

砂型铸造是在砂型中生产铸件的铸造方法，约占各种铸型生产铸件的 80% 以上。

砂型铸造生产过程如图 4-2 所示。其主要生产过程工序包括：型（芯）砂与涂料制备、造型、制芯、合箱、合金熔炼与浇注、铸件落砂、清理与后处理等。

砂型铸造生产过程工序对砂型铸造生产铸件的质量影响和影响程度非常大，因此严格控制砂型铸造过程各工序的质量是十分重要的。

4.2.1　型（芯）砂与涂料制备质量的控制（检验）

1. 型砂制备质量的控制（检验）

（1）型砂分类　型砂又称造型混合料，是指造型原材料按一定比例配合，经过混制，制备出的符合造型要求的混合料。

生产中使用的型砂种类繁多，其分类如图 4-14 所示。

（2）型砂质量要求　为了获得优质铸件，通常要求型砂具备以下性能：

① 良好的成形性，包括良好的流动性、可塑性、韧性和不粘模性。

② 足够的强度，包括常温湿强度、干强度和硬度以及高温强度。

③ 一定的透气性、较小的吸湿性，较低的发气量。

④ 较高的耐火度，较好的热化学稳定性，较小的膨胀率与收缩率。

⑤ 较好的退让性、溃散性和耐用性。

应该指出，任何一种型砂要同时兼备各种优良性能是很困难的。因此，必须从生产实际出发，合理地选择型砂用原材料、正确地确定型砂的配比，认真地制定和执行混砂工艺规程，严格地进行型砂制备质量控制。

（3）型砂制备过程控制（检验）的一般方法　型砂制备过程控制（检验）的一般方法见表 4-5。

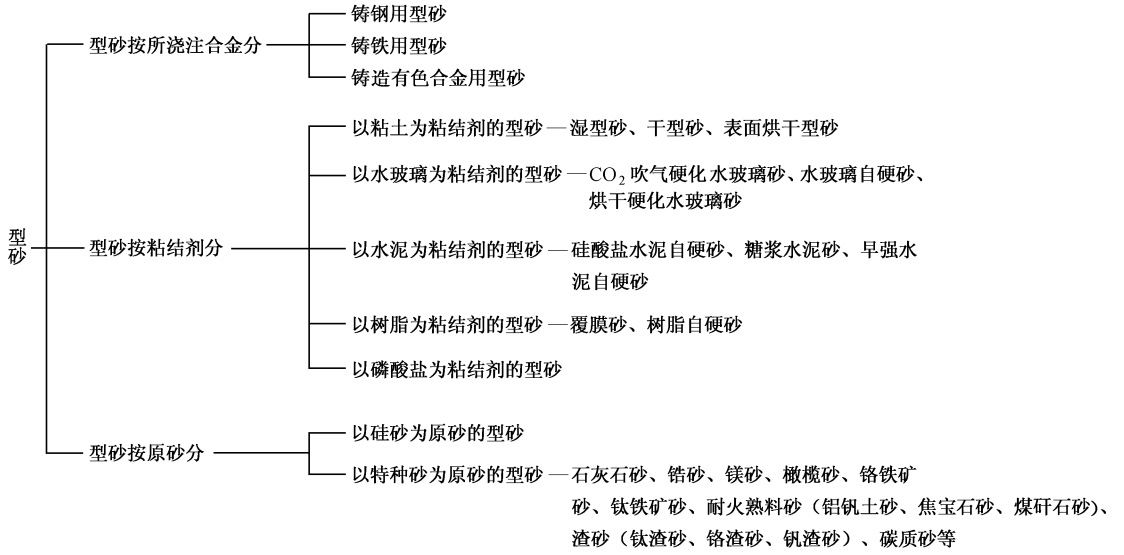
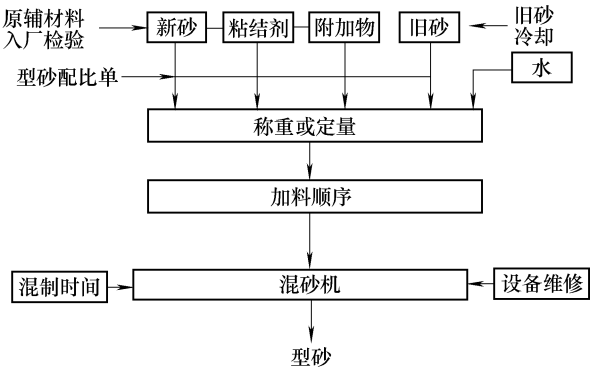


图 4-14　型砂的分类

表 4-5　型砂制备过程控制（检验）的一般方法（供参考）

型砂制备过程的控制(检验)内容	 型砂制备过程控制(检验): 旧砂温度,粉尘含量,原辅材料性能,型砂配比及加入量,混砂加料顺序,混砂时间 型砂工艺性能:流动性,紧实率,可塑性,韧性,破碎指数,粘着性,保持性,吸湿性,出砂性等 型砂工作性能:湿强度、干强度、高温强度、残余强度、透气性、发气性、容让性等
主要控制(检验)项目	1)旧砂冷却,粉尘含量 2)型砂质量:强度、透气性、紧实率等

(4) 型砂制备质量的检验项目与检验方法　型砂制备质量的检验项目是根据对型砂质量控制的需要而定的。通常，型砂类型不同，其检验项目与检验方法亦有所不同，见表 4-6 ~ 表 4-10。此外，型砂高温性能的检验项目与检验方法还可参见表 4-11。

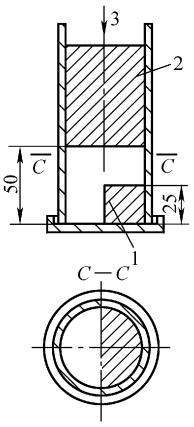
表 4-6　粘土型砂制备质量的检验项目与检验方法（供参考）

检验项目	检　验　方　法
含水量	粘土砂的含水量是指其在 105 ~ 110℃烘干能去除的水分含量。以试样烘干后失去的重量与原试样重量的百分比表示 主要仪器:天平(精度 0.01g)、电烘箱、干燥器、红外线烘干器等

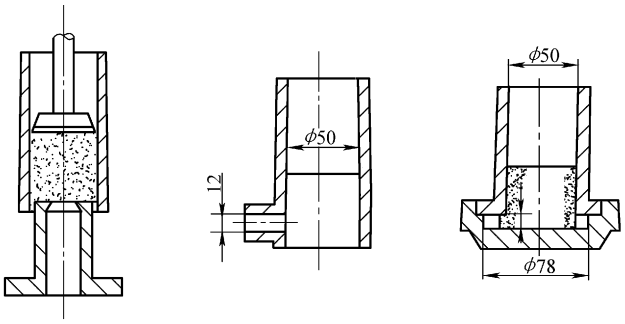
（续）

检验项目	检　验　方　法
含水量	试样制备：试样由样品中选取，选取试样的方法采用“四分法”或分样器，不得少于 1kg。 （1）恒重法　称取试样（50 ±0.01）g，置于玻璃皿内，在温度为 105 ~ 110℃的电烘箱中烘干至恒重（烘 30min 后，称其质量，然后每烘 15min，称量一次，直到相邻两次称量之间的差数不超过 0.02g，就算是恒重），置于干燥器内，待冷却至室温时，进行称量，含水量按下式计算： $$含水量=\left(\frac{m_1-m_2}{m_1}\right)\times 100\%$$ 式中　m_1——试样烘干前的质量（g） m_2——试样烘干后的质量（g） （2）快速法①之一　称取试样（20 ±0.01）g，放入盛砂盆中，均匀铺平，然后将盛砂盆放在红外线烘干器内，在 110 ~ 170℃烘干 6 ~ 10min，冷却后重新称量，用上式计算水分 （3）快速法①之二　称取试样（50 ±0.01）g，成薄层均匀分布在烘干盘上，放在红外线烘干器内，在 105 ~ 200℃烘干，直至恒重，冷却，称量。烘干前后试样质量差乘 2，即为此试样含水量的百分率
透气性	粘土砂的透气性是指紧实的砂样允许气体通过的能力。透气性分湿态和干态透气性 主要仪器：STZ 型直读式透气性测定仪、SAC 型锤击式制样机、电烘箱等 检验前，应该先检查仪器的准确度，即仪器的全部系统不应有漏气现象。用密封样筒检验时，保持 10min，钟罩不下降，水柱的高度应为 10cm，不得低于 9.8cm （1）快速法　测定湿透气性时，称取一定量的粘土砂放到圆柱形标准试样筒中，在锤击式制样机上冲击 3 次，制成 ϕ50mm × (50 ±1) mm 的标准试样。提起直读式透气性测定仪的气钟，将内有试样的试样筒放到直读式透气性测定仪试样座上，并使两者密合。再将旋钮转至“工作”位置，这样即可从微压表上直接读出透气性的数值。当试样的透气性大于或等于 50 时，应采用 ϕ1.5mm 的大阻流孔；试样的透气性小于 50 时，应采用 ϕ0.5mm 的小阻流孔 测定干透气性时，应按照湿透气性测定法制取标准试样。然后将冲制好的试样从试样筒上顶出，放入电烘箱中在规定的条件下烘干，而后取出冷至室温，再将标准试样放在测干透气性的试样筒内，用打气筒使试样筒内的橡皮圈充气密封。然后放到直读式透气性测定仪的试样座上，进行检定。其检定过程和湿透性测定方法相同 为了使检验数值更有代表性，每种粘土砂透气性，应做 3 个试样，其结果取平均值，但其中任何一个试样的检验结果与平均值相差超出 10% 时，检验应重新进行 （2）标准法②　检验时，首先将直读式透气性测定仪试样座上的阻流孔部件卸下，将仪器的三通阀旋至通大气的位置，提起气钟使钟内空气容积为 2000cm^3 的标高处，关闭三通阀，使气钟处于飘浮位置，再将冲制好的内有试样的试样筒放到透气性测定仪的试样座上，使两者密合。将三通阀旋转至“工作”位置，同时，用秒表测定气钟内 2000cm^3 空气通过试样的时间，并从微压表上读出试样前面气体的压力。透气性按下式计算： $$K=\frac{VH}{Apt}=\frac{49945}{pt}$$ 式中　V——通过试样的空气体积，$V=2000\text{cm}^3$； H——试样高度，$H=5\text{cm}$； A——试样断面面积，$A=19.635\text{cm}^2$； p——试样前面的压力，(Pa)； t——2000cm^3 空气通过试样时间（min） K——透气性
强度性能	粘土砂的强度是指其型砂抵抗外力破坏的能力，包括湿强度和干强度，有抗压强度、抗拉强度、抗剪强度、抗弯强度和抗劈强度等，常用 MPa 为单位 主要仪器：SWY 型液压万能强度试验机、SAC 型锤击式制样机、SHN 型碾轮式混砂机、电烘箱等 检定各种强度用的试样都是用舂样器冲击三次而制成，抗压强度、抗剪强度的试样是圆柱形的（ϕ50mm × 50mm），完全按照舂制检定透气性用试样的方法舂制而成。而抗拉强度和抗弯强度用的试样，应使用特制的试样筒，抗拉强度用的试样呈 8 字形，长度不超过 75mm，中间腰部截面面积为 6.25cm^2（2.5cm × 2.5cm）或 5cm^2（2.24cm × 2.24cm）；抗弯强度用的试样呈长条形，截面面积为 6.25cm^2 或 5cm^2，刀刃间距离为 16.67cm 或 15cm 1）检定抗压强度时，将制备好的抗压试样，置于预先装置在强度试验机上的抗压夹具上，然后转动手轮，逐渐加载于试样上，直至试样破裂，其强度值可直接从压力表中读出。如用低压表需乘以 1/10 2）检定抗剪强度时，将抗剪夹具置于仪器上，操作方法与抗压强度检定方法相同 3）检定抗拉强度时，将抗拉夹具置于仪器上，然后将舂制好的抗拉试样放入夹具中，并使夹具中四个滚柱的平面贴住试样腰部，转动手轮逐渐加载，直至试样断裂，其抗拉强度值可直接从压力表中读出 4）检定抗弯强度时，将抗弯夹具置于仪器上，然后把冲刷好的抗弯试样放在夹具上，使三角刃头对准试样中心部位，转动手轮逐渐加载，直至试样破裂，从压力表中的抗拉刻度上读得的数乘以 10 为抗弯强度值

（续）

检验项目	检　验　方　法
强度性能	5）测定低湿压强度时，将低湿压夹具置于仪器上，并用调平螺钉将曲杆调平，其标准试样是采用圆柱形平盒式样筒制成的（样筒底部放有一金属垫片），然后将试样置于低湿压夹具上，转动手轮，逐渐加载，直至试样破裂，其低湿压强度值，从压力表上读出 应该注意：①检定湿态强度时，试样从试样筒中取出后，即可测定，通常都是由三个试样强度值平均计算而得，如果三个试样中，任何一个试样的强度值与平均值相差超出 10% 时，检定应重新进行；②检定干态强度时，试样从试样筒中取出后，应放置于预先加热到（180 ± 5）℃的电烘箱中，保温 1h，然后将试样取出，放入干燥器中冷却至室温后待用，通常应测定五个试样强度值，并去掉最大值和最小值，将剩下的三个数值取其平均值，作为干态强度值，如三个数值中任何一个数值与平均值相差超出 10% 时，检定需要重新进行；③粘土湿型砂一般只检定其湿压强度，而粘土干型砂一般只检定其干压强度；④在铸造车间现场常规湿型砂检定中，也可采用测定过湿透气性的试样检定湿压强度，但是，试样从试样筒中顶出后，应立刻进行测定，以提高检定数据的精度
紧实率	粘土砂的紧实率是指湿态的型砂在一定紧实力的作用下其体积变化的百分比，用试样紧实前后高度变化的百分数来表示 主要仪器：SAC 型锤击式制样机、SBT 型投砂器等。 检验方法：将试样通过投砂器，落入有效高度为 120mm 圆柱形试样筒中，刮去试样筒上部多余砂子，再将它放在锤击式制样机上舂打 3 次，试样体积被压缩的程度作为其紧实率，其数值可直接从制样机上读出或用下式计算： $$紧实率 = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100\%$$ 式中　H_0——试样紧实前的高度（mm） H_1——试样紧实后的高度（mm） 为了简化试验过程，在铸造车间的常规型砂检验中，也可不使用投砂器，而直接将松散的型砂填入试样筒中。由于此方法简便，整个试验过程可在混砂机旁进行，以便及时对型（芯）砂的水分进行控制，对新旧砂的合理配比及时进行调整
流动性	粘土砂的流动性是指其型砂在外力或自重作用下，沿模样和砂粒之间相对移动的能力 主要仪器：SYS 型湿型表面硬度计、SAC 型制样机、天平（感量为 0.01g）、其他专用装备等 试验方法：型砂的流动性试验方法目前有很多种，还没有统一，下面介绍其中的几种，试验时可根据具体情况选用： （1）阶梯硬度差法　在圆柱形湿压强度标准试样筒中，放置一个半圆形金属凸台（见图 a），将 110 ~ 120g 的型砂放入试样筒中，用锤击式制样机冲打或在专用的压实机上压实，然后翻转试样筒，测量 A 处硬度（H_A），再将试样从试样筒中顶出少许，使试样的阶梯处与试样筒边齐平，取下半圆形金属凸台，用条形刀片削去突出的砂块部分，再测试样 B 处的硬度（H_B）。试样 A、B 两处的硬度值差别越小，型砂的流动性越好，其流动性可用下式计算： $$流动性 = \frac{H_A}{H_B} \times 100\%$$ 式中　H_A——试样 A 处的硬度 H_B——试样 B 处的硬度 目前该法在高压造型工艺中应用较多 （2）漏孔质量法　此法为测定通过一定直径的漏孔的试样质量。如图 b 所示，称取试样 170g，放入标准试样筒中，先在锤击式制样机上冲打一次，然后将试样放置在一个带有 ϕ25mm 孔的漏孔模上，再冲击两次，用通过漏孔试样质量占原来试样质量的百分数来表示型砂的流动性，其流动性按下式计算： $$流动性 = \frac{m_A}{m_B} \times 100\%$$ 式中　m_A——通过漏孔的砂质量（g） m_B——原试样质量（g） （3）侧孔质量法　在圆柱形标准试样筒的侧面开有一个小孔，直径为 12mm（见图 c），先用塞柱塞紧。称量 185g 试样，倒入试样筒中，再将它放在锤击式制样机上，拔出塞柱冲击 10 次，用顶样柱将试样顶出。把留在小孔中的砂子刮下来，连同被挤出的砂子一起进行称量。以它和试样质量的比值的百分数，作为型砂的流动性指标。  a）阶梯硬度差法测型砂的流动性图 1—凸台　2—压头　3—舂打方向

（续）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检　验　方　法</th></tr>
<tr><td>流动性</td><td>
小孔中被挤出的砂子越多，说明型砂的流动性越好，这种试验方法基本上能反映出型砂充填铸型轮廓、凹槽的能力以及它的吹射性，故它比较适合于测定湿态强度较低的树脂砂的流动性。
（4）环形空腔法　在锤击式制样机上先冲制一个圆柱形标准试样，并称其重量。再称同样重量的型砂，填入特制的试样筒中（见图 d）。该试样筒的下端有环形空腔。在 SAC 型锤击式制样机上冲打 3 次，测量试样的高度。型砂的流动性用下式计算：
$$流动性=\frac{H_0-H}{H_0-H_1}\times 100\%$$
式中　H_0——当型砂的流动性为零时试样的高度 $H_0=50\text{mm}$
H_1——当型砂的流动性为 100% 时试样的高度 $H_1=35\text{mm}$
H——实际试样的高度（mm）
此法能反映出型砂受力后向各个方向移动的能力。它也比较适用于测定湿态强度较低的型砂如树脂砂的流动性


b）漏孔质量法测型砂流动性图　c）侧孔质量法测型砂的流动性图　d）环形空腔法测定型砂的流动性图
</td></tr>
<tr><td>破碎指数</td><td>
型砂的韧性系指型、芯砂在造型、起模、制芯、脱芯时吸收塑性变形，不易损坏的能力，一般以破碎指数来表示
主要仪器：SRQ 型落球式破碎指数试验仪、SAC 型锤击式制样机
检验方法：检验时，将湿态标准抗压试样放在破碎指数试验仪的铁砧上，用 ϕ50mm、重 510g 硬质钢球自距铁砧上表面 1m 高处自由落下，直接打在标准试样上。试样破碎后，大块型砂留在 12.7mm 筛上，碎的通过筛网落入底盘内，然后称量筛网上大块砂重，破碎指数按下式计算：
$$破碎指数=\frac{大块砂质量}{试样质量}$$
型砂的破碎指数越大，表示它的韧性越好。测定破碎指数时数值较分散，重现性差。一般每种试样应取 3 次试验的平均值，而且，任何一值偏差不得大于平均值 20%
</td></tr>
<tr><td>表面硬度</td><td>
型砂的表面硬度是指它抵抗压划或磨损的能力
型砂的硬度与它的紧实度、强度有很大的关系，由于目前测定型砂的紧实度比较困难，在生产中常以测定型砂的表面硬度来评定它的紧实程度，因为它操作简便，不损坏砂型
主要仪器：SYS-A 型、SYS-B 型、SYS-C 型湿型硬度计。根据 JJG 831—1993《铸造用湿型硬度计（试行）》规定，与三种硬度计刻度值相对应的线性计算力值见下表：
与硬度计刻度值相对应的线性计算力值　（单位：N）
<table>
<tr><th rowspan="2">型号</th><th colspan="6">刻度值</th><th rowspan="2">适用范围</th></tr>
<tr><th>30</th><th>50</th><th>70</th><th>80</th><th>90</th><th>100</th></tr>
<tr><td>SYS-A（圆型压头 $R=2.5\pm0.03$mm）</td><td>—</td><td>1.604</td><td>1.892</td><td>2.037</td><td>2.181</td><td>2.325</td><td>细砂型、手工或一般机械造型</td></tr>
<tr><td>SYS-B（圆型压头 $R=12.7\pm0.055$mm）</td><td>—</td><td>5.052</td><td>6.877</td><td>7.789</td><td>8.701</td><td>9.614</td><td>粗、细砂型，手工或一般机械造型</td></tr>
<tr><td>SYS-C（圆锥型压头 $R=1.2$mm）</td><td>5.651</td><td>8.240</td><td>10.830</td><td>—</td><td>13.420</td><td>14.715</td><td>高压造型</td></tr>
</table>
检验方法：检验时，将硬度计紧压在所要检验的试样或砂型平面上，应使硬度计底部平面与被检验砂型平面紧密接触。然后根据小钢球压入试样或砂型表面的深度，可直接从硬度计表盘的刻度上读出该试样或砂型的硬度值
测定湿态试样的硬度时，需测三个试样，而且每个试样要测三个不同位置，取其算术平均值。如其中任一个硬度值超出平均值 20%，检验需重新进行
</td></tr>
</table>

（续）

检验项目	检 验 方 法
热湿拉强度	热湿拉强度是指模拟湿型在熔融金属液的高温作用下，发生水分迁移，在砂型内表层水分凝聚区的抗拉强度，以 MPa 为单位 主要仪器：SLR 型热湿拉试验仪、专用样筒 检验方法：在热湿拉强度试验仪的专用样筒中制好试样，并将样筒置于 SLR 型热湿拉试验仪上，使已加热到（320 ± 10）℃的加热板紧贴试样 20s 后，加载直到试样断裂，从记录仪上读取测试数据 测定热湿拉强度时，需测三个试样，取其算术平均值作为热湿拉强度值，如其中任何一个数值与平均值相差超出 10% 时，检验需重新进行
粘土砂中有效膨润土含量	粘土砂中有效膨润土含量是指型砂（旧砂）中除去烧损的失效粘土、失效煤粉等粉尘外，而具有粘结能力的膨润土成分的含量。一般用吸蓝量来表示 主要仪器：电烘箱、电热板、滴定装置、1.0% 的焦磷酸钠溶液和 0.2% 的亚甲基蓝溶液等 检验方法：测定有效膨润土的含量，是根据膨润土含蒙脱石矿物，能吸附亚甲基蓝等染料的特性，而粉尘、砂粒、被烧死的无效膨润土等无粘结作用的物料则不吸附或极少吸附亚甲基蓝染料的原理进行的。称烘干的试样 0.20g，置于三角烧杯内，加入 50mL 蒸馏水，使其预先润湿，然后加入 1.0% 的焦磷酸钠溶液 20mL，摇晃均匀后，再在电炉上加热煮沸 5min，在空气中冷却至室温，用滴定管滴入浓度为 0.20% 的亚甲基蓝溶液。滴定时，第一次可加入预计的亚甲基蓝溶液量的 2/3 左右，以后每次滴加 1 ~ 2mL。检验终点的方法是，每次滴加亚甲基蓝溶液后，摇晃 30s，用玻璃棒沾一滴试液在中速定量滤纸上，观察在中央深蓝色点的周围有无出现淡蓝色的晕环，若未出现，继续滴加亚甲基蓝溶液，如此反复操作，当开始出现蓝色晕环时，将试液静置 1min 后，再用玻璃棒沾一滴试液，若四周又无出现淡蓝色的晕环，说明未到终点，应再滴加亚甲基蓝溶液，直到出现明显的淡蓝色晕环为止，即为检验终点。试样吸蓝量可按下式计算： $$吸蓝量 = \frac{NV}{m} \times 100$$ 式中 N——亚甲基蓝溶液的浓度 V——亚甲基蓝溶液的滴定耗量（mL） m——试样的质量（g） 两次检验的平均结果，当其吸蓝量值大于 80，其相对误差小于 10%；当吸蓝量在 45 ~ 80，其相对误差应小于 8% 为了测定旧砂中有效膨润土含量，先用新砂分别加入 2%、4%、6%、8%、…、20% 和旧砂中同类的膨润土，混合，在 105 ~ 110℃温度下烘干，分别称取 5g。按上述方法测定出每一份试样的亚甲基蓝溶液的滴定量，然后以试样中的膨润土量为横坐标，亚甲基蓝滴定量为纵坐标，绘成标准吸附曲线。试验时取旧砂 5g，用亚甲基蓝溶液滴定，根据滴定量从标准吸附曲线上可以直接查出旧砂中有效膨润土的含量 通过测得的有效膨润土含量，就可大致估算出型砂或旧砂的粘结强度，从而可决定新鲜膨润土的加入量。由于此法仪器简单，操作方便，准确度高，在铸造生产中得到了广泛的应用
pH 值	型砂中含有各种不同的酸或碱的盐，当它们溶于水中，能显示不同的酸碱性，称为型砂的 pH 值 主要仪器：天平（感量 0.01g）、电热板、洗砂机、滤纸和 pH 计等 检验方法：称取 50g 已烘干的型砂试样，放入 150mL 的烧杯中，注入 100mL 蒸馏水，加热至沸腾，用洗砂机搅拌 10min，然后冷却沉淀，再用滤纸过滤，除去滤液表层的悬浮物 pH4.0 标准缓冲溶液（25℃）：称取 10.21g 在 110℃烘干 2h 的苯二甲酸钾（分析纯），加水溶解后，注入 1000mL 容量瓶中，以煮沸并刚冷却的蒸馏水稀释至刻度，摇匀 pH6.86 标准缓冲溶液（25℃）：称取 3.39g 在 110℃烘干 2h 的磷酸二氢钾（分析纯）和 8.96g 磷酸二氢钠（分析纯），加水溶解后，注入 1000mL 容量瓶中，以煮沸且刚冷却的蒸馏水稀释至刻度，摇匀 pH9.18 标准缓冲溶液（25℃）：称取 3.80g 硼砂（分析纯），加水溶解后，移入 1000mL。容量瓶中，以煮沸刚冷却的蒸馏水稀释至刻度，摇匀 检验前，首先校正所用的酸度计，将酸度计的各选择开关调至适当位置，使仪器显示 pH = 7，将玻璃电极和甘汞电极插入标准缓冲溶液中，按下读数开关，并调节“定位调节器”，使仪器显示出该标准缓冲溶液的 pH 值，重复上述操作数次，直至放开读数开关时仪器显示 pH = 7，按下读数开关则显示标准缓冲溶液的 pH 值，此时仪器已调好，“定位调节器”不能再动 检验时，称取（2 ± 0.1）g 试样置于 30mL 烧杯中，加入 20mL 煮沸刚冷却的蒸馏水，放在磁力搅拌器上搅拌 3min，使试样分散，将玻璃电极和甘汞电极插入悬浊液中，静置 1min，按下读数开关，并反复几次，使读数稳定，该数即为试样的 pH 值。每测一个试样，要用水将玻璃电极洗干净，并用滤纸将电极上吸附的水吸干，再进行第二个试样的测试。每测 5 ~ 6 个试样后，应用标准缓冲溶液校正一次，并将电极浸泡于氯化钾溶液中

（续）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检　验　方　法</th></tr>
<tr><td>含泥量</td><td>粘土砂的泥含量是指型砂或旧砂中含有直径小于 0.020mm 的粒子的重量百分数
仪器和试剂：天平（感量 0.01g）、电炉、铸造用洗砂杯、涡旋式洗砂机以及浓度 5% 的焦磷酸钠溶液（用化学纯 $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ 配制）
检验方法：称取烘干的试样（50 ±0.01）g，放入洗砂杯中，再加入 390mL 的水和 10mL5% 的焦磷酸钠溶液，煮沸 3 ~5min 后，将洗砂杯置于涡旋式洗砂机上搅拌 15min，取下洗砂杯，加清水至标准高度 125mm 处，用玻璃棒搅拌 30s 后，静置 10min，用虹吸管排除浑水；第二次仍加入清水至标准高度 125mm 处，重复上述操作；第三次以后的操作与上述相同，但静置时间为 5min（若测试结果要非常精确时，可根据下表所列不同水温选择静置时间），这样反复多次，直至洗砂杯中的水透明无泥为止。最后一次将洗砂杯中的清水排除后，将试样和余水置于 ϕ100mm 左右的玻璃漏斗的定性滤纸上过滤，待余水滤净，然后将试样连同滤纸移入玻璃皿中，在 140 ~160℃下烘干至恒重，再将其置于干燥器中冷却至室温后称试样质量，泥含量按下式计算：
$$泥含量 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$
式中　m_1——检验前试样质量（g）
m_2——检验后试样质量（g）
<table>
<tr><td>水温/℃</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td></tr>
<tr><td>静置时间/s</td><td>340</td><td>330</td><td>315</td><td>300</td><td>290</td><td>280</td><td>270</td><td>255</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>发气量</td><td>型砂在受热过程中析出气体的能力称为发气量，以 cm^3/g 来表示
主要仪器：SFL 型记录式发气量测定仪、高温电炉（1000℃）、天平（感量为 0.01g）和瓷舟等
检验方法：检验时，先将发气量测定仪升温至 900℃，再称取试样（3 ±0.01）g，置于瓷舟中（使用前瓷舟需经 1000℃灼烧 30min），将盛有试样的瓷舟送入发气量测定仪的石英管或瓷管的红热部分，迅速用塞子将管子封闭，同时，发气量测定仪的记录部分开始工作，记下被测试样的发气量。经过一定时间至无气体产生为止，可从记录纸上直接读出试样的发气量。也可以将试验结果绘制成“发气量-时间”的关系曲线，用此曲线不仅能表示型砂的总发气量，还能判断它的发气速度</td></tr>
<tr><td>粘土砂中有效煤粉含量</td><td>粘土砂中有效煤粉含量是指在型砂或旧砂中除去已失效的，而能起着相当于新鲜煤粉作用的组分含量
主要仪器：SFL 型记录式发气性测定仪、天平（感量为 0.001g）
检验方法：将发气性测定仪升温至 900℃，称取生产中使用的煤粉试样 0.01g，放入瓷舟中（瓷舟使用前应预先在 1000℃温度下灼烧 30min，并保存在干燥器中）。然后，再将盛有试样的瓷舟放入发气性测定仪的石英管红热匀温部分，立刻塞上塞子，记录仪开始工作，记下被测试样的发气量，保温一定时间至无气体产生为止。此外，按上述同样的办法测定膨润土及其他附加物的发气量。最后，再按上述方法测定除去含铁物质和风干过的 1.0g（精确至 0.01g）型砂或旧砂的发气量，其有效煤粉含量可用
$$有效煤粉含量 = \frac{Q_1 - \Sigma Q_i}{Q} \times 100\%$$
式中　Q_1——1.0g 型砂或旧砂发气量（mL）
ΣQ_i——1.0g 型砂或旧砂除煤粉外的膨润土和其他附加物的总发气量（mL）
Q——0.01g 煤粉的发气量（mL）
按上述方法对同一试样测定 3 次，取其算术平均值，若其中任一结果与平均值的差大于 10%，检验需重新进行</td></tr>
</table>

注：1. 粘土型砂的性能与试样的选取有着密切的关系，选取的试样应对型砂总体来说具有代表性，能够全面反映型砂的总体情况。所以，选取试样应避免从砂堆表层收集已失去部分水分的混合料。检验用试样必须是经过与铸造车间相同方法处理过的型砂，或直接从铸造车间按混制设备的特点和工艺规定，定期取样。如果型砂由带输送器输送，可从输送器上定期取样 3 份混匀，其数量根据检验项目而定，但一次不得少于 2kg。

2. 通常，粘土湿型砂的日常检验项目是湿透气性和湿压强度；粘土干型砂的日常检验项目是含水量、湿透气性、湿压强度和干拉强度或干剪强度。

3. 机械化流水生产中湿型砂的检验项目和检验频率可参见表 4-7。而对于单件小批生产，因生产周期较长，型砂的成 分和性能变化比较慢，因此型砂性能的检验次数就可少一些，例如有一些厂每天才检查一次型砂的水含量、湿透气性和湿压强度等。

① 用快速法测定只要 4 ~8min，而标准法则需 0.5 ~1h。

② 按标准法测定透气性的结果精确、稳定，但比较麻烦和费时，常用于仲裁和研究开发工作。

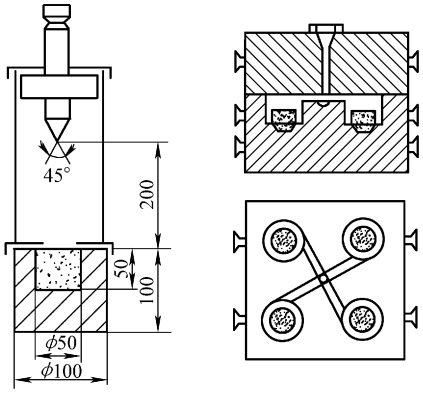
表 4-7 机械化流水生产中湿型砂制备质量的检验项目和检验频率（供参考）

编号	检验项目	检验频率	编号	检验项目	检验频率
1	水含量	0.5 ~ 1h 一次	5	有效粘土含量	每 4 ~ 8h 一次
2	湿压强度	每 1h 一次	6	型砂或回用砂总含泥量	每 1 ~ 2 周一次
3	紧实率	每 1h 一次	7	型砂或回用砂颗粒组成	每 1 ~ 2 周一次
4	湿透气性	每 1h 一次	8	有效煤粉含量	每 1 周一次

表 4-8 水玻璃砂制备质量的检验项目与检验方法（供参考）

检验项目	检 验 方 法
含水量	水玻璃砂的含水量系指其能在 105 ~ 110℃下烘干去除的水分含量，以试样烘于后失去的质量与原试样质量的百分比来表示。对于二氧化碳法的型砂的水含量，是表示刚制备好、吹二氧化碳硬化前型砂中所含的水分；对水玻璃自硬砂的含水量，是指水玻璃砂放置一定时间硬化后的含水量 检验方法：可参见粘土型砂含水量的检验方法（见表 4-10） 但是，按上述方法测得的仅是水玻璃砂的平均含水量。而在生产中往往需要测定型、芯的表层或不同深处的含水量。因此，可在型、芯砂的表层和要求的不同型、芯砂的深度处取样，再按上述方法进行试验
透气性	水玻璃砂的透气性可分湿态和干态两种，都是采用 ϕ50mm × 50mm 圆柱形标准试样。测定水玻璃砂的湿态透气性可采用粘土砂所用的办法。测定硬化的水玻璃砂的透气性时，对于 CO_2 法，试样吹气硬化后，便可在透气性测定仪进行测定；对于自硬水玻璃砂，待试样硬化后，从组合型芯盒中取出，装入测定干透气性的专用试样筒中，然后，把试样筒放在透气性测定仪上进行测定。测定水玻璃砂透气性的详细操作可参见粘土型砂（见表 4-10）
强度性能	水玻璃砂的强度是指其型砂抵抗外力破坏的能力。根据型砂的性质和用途，又可分为湿态强度和硬化后强度。按硬化方式的不同，对于 CO_2 硬化的水玻璃砂可分为即时强度和 24h 的终强度；对于自硬水玻璃砂可分为小时强度和终强度。水玻璃砂主要是测其抗压强度，用 MPa 为单位 主要仪器：SWY 型液压万能强度试验机、SAC 型锤击式制样机、SHN 型碾轮式混砂机 检验方法： （1）湿态强度的测定　水玻璃砂从混砂机卸出而未硬化前的抗压强度，采用圆柱形标准抗压试样，检验方法可参见粘土砂的强度检验方法（见表 4-10） （2）即时强度的测定　水玻璃砂的即时强度是指其型砂吹过 CO_2 气体刚硬化后立即测定的强度，采用圆柱形标准抗压试样，检验方法可参见粘土砂的强度检验方法（见表 4-10） （3）小时强度和终强度的测定　将刚混制好的水玻璃砂，在 10min 时间内，迅速制作一批 ϕ50mm × 50mm 圆柱形标准抗压强度试样，然后以 3 个试样为一组，分别放置 1h、2h、3h、4h 和 24h 后，测定其强度；或是制成试样后，立即吹 CO_2 使之硬化，然后，放置 24h，再测定其强度，即得水玻璃砂的小时强度和终强度 由于水玻璃砂具有一定的吸湿性，试样应放置在干燥器中保存 水玻璃自硬砂在硬化过程中，其强度增长与环境温度和空气的相对湿度，有十分密切的关系，为了提高试验结果的精确性，试验的试样应在一定的环境温度和相对湿度下硬化
可使用时间	水玻璃砂的可使用时间是指其从混砂机中卸出后至仍能用于造型制芯的允许存放的时间，用 min 来表示 主要仪器：SWY 型液压万能强度试验机、SAC 型锤击式制样机、秒表等 检验方法：将混制好的型砂放入密闭的容器中，每隔 10min（从型砂出碾后算起），用制样机冲制圆柱形标准试样 3 个，直到型砂已硬化松散，不能继续再打试样为止。之后，在一定的环境温度和相对湿度的条件下，放置 24h 后测定其抗压强度，再与出碾后 10min 时所制作的，并放置 24h 后的试样的抗压强度值进行比较。以其强度值下降 20% 时的试样所经历的时间，作为该试样的可使用时间
表面稳定性	水玻璃砂的表面稳定性是指其试样，经过二氧化碳硬化后，在存放过程中表面强度下降的程度，以试验前后试样重量变化的百分数来表示 主要仪器：SCS 型转筛式成型性试验仪、SAC 型锤击式制样机、天平（感量为 0.1g） 检验方法：水玻璃砂出碾后在 10min 内制做 3 个 ϕ50mm × 50mm 的圆柱形标准抗压试样，经 CO_2 气体硬化后，分别称重，再放入转筛式成型性试验仪的 ϕ178mm 圆筒筛中，以 57r/min 的转速转动 2min 后，对残留在筛网中的试样进行称重，则其表面稳定性可按下式计算： $$\text{表面稳定性} = \frac{\text{试验后试样质量}}{\text{原试样质量}} \times 100\%$$
吸湿性	吸湿性表示硬化后砂型在存放过程中吸收空气中水分，致使其强度下降的程度，以试样强度下降的趋势来表示 主要仪器：SWY 型液压万能强度试验机、SAC 型锤击式制样机、天平（感量为 0.01g）和干燥器等 检验方法：用锤击式制样机将型砂制成 ϕ50mm × 50mm 的圆柱形标准试祥，经二氧化碳气体硬化后，放入下部盛水的干燥器中，盖上盖子，使干燥器的空间形成高湿度的条件，将试样分别存放 24h、48h 和 72h 后，使干燥器中取出，测定其抗压强度，以其强度下降的趋势表示该种型砂吸湿的程度

（续）

检验项目	检　验　方　法
溃散性	水玻璃砂型在浇注后自行溃散的能力称为溃散性 主要仪器：1000℃高温加热炉、SWY 型液压万能强度试验机、落锥冲击试验装置（如图所示）、SAC 型锤击式制样机、其他浇注用的附属工装等 检验方法：目前水玻璃砂的溃散性尚无统一的标准检验方法，但检验的方法较多，下面将国内外常用的两种方法予以介绍： （1）出砂指数法　检验时，采用图 a 所示的落锥冲击试验装置。该装置中落锥总质量为 2kg，将它提至顶端时锥尖离铸件上平面的距离为 200mm。理论上每次下落的冲击功为 3.92J。溃散性试样的浇注工艺示意图如图 b 所示。每箱同时浇注 4 个 ϕ50mm × 50mm 水玻璃砂试样，待其冷却至室温后，将试样依次置于落锥冲击试验装置下端的凹穴内，再把冲头提至顶端，使之自由落下，进行冲击，直至锥尖触及芯底部的铸件平面为止。记录其冲击次数，并把打下来的砂子集中起来称重。然后，以冲击次数为横坐标，砂子质量为纵坐标，在对数坐标纸上作出溃散性曲线。把平均每次冲击打下来的砂质量称之为出砂指数，它可按下式计算： $$出砂指数 = \frac{m}{N}$$ 式中　m——冲击打下来的砂子总质量（g） N——冲击次数（次） （2）残留强度法　检验时，将硬化后的 ϕ30mm × 50mm 水玻璃砂的试样，放入预先加热至规定温度的高温电炉中，待下降的炉温回升到规定的温度后，保温一定时间（视规定温度而定）。然后，取出试样，待其冷却至室温后，用液压万能强度试验机测定其抗压强度，该强度即为该种水玻璃砂试样的残留强度  a）落锥冲击试验装置的工作原理图　　b）溃散性试验浇注工艺示意图
水玻璃砂中 Na_2O 含量	主要仪器和试剂：天平（感量 0.001g）、三角烧杯以及甲基红指示液（0.1% 的甲基红乙醇溶液）、0.5 浓度 HCl 标准溶液、蒸馏水等 检验方法：称取 50g（精确至 0.1g）水玻璃再生砂，放入 250mL 的三角烧杯中，加入蒸馏水 100mL，充分搅拌后，再加入甲基红指示液 8 ~ 12 滴，用 0.5 浓度 HCl 标准溶液滴定，试液由绿变红即为终点，记下 HCl 溶液的消耗 mL 数，试样中 Na_2O 的含量按下式计算： $$氧化钠 = \frac{CV \times 62}{2 \times 100m} \times 100\%$$ 式中　C——HCl 溶液的当量浓度 V——0.5 浓度 HCl 溶液的消耗量（mL） m——试样的重量（g） 62——Na_2O 的相对分子质量

注：1. 测试水玻璃砂的各种性能时，都是采用 ϕ50mm × 50mm 的圆柱形标准试样。不过，用于二氧化碳水玻璃砂时，试样是在 SAC 型锤击式制样机上舂 3 下制成的。用于水玻璃自硬砂时，试样是在特制的试样盒中制作，试样盒的结构尺寸如图 4-15 所示。先将水玻璃砂填入每个试样盒中，用手工捣实每个试样，并刮去多余的型砂，待其硬化后（硬化时间视试验要求而定，如 1、2、4 和 24h），打开试样盒，取出试样，便可进行检验。

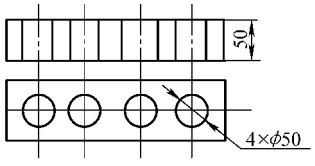
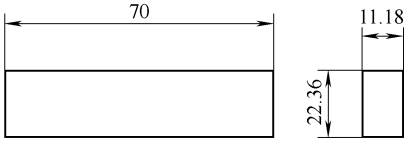


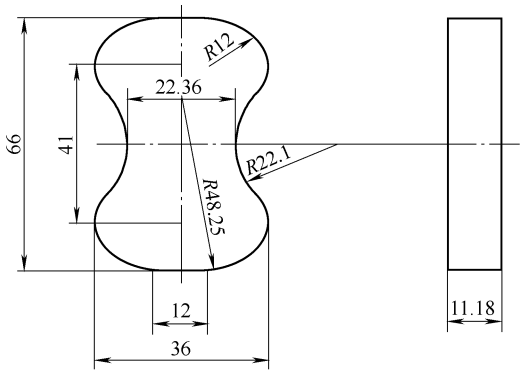
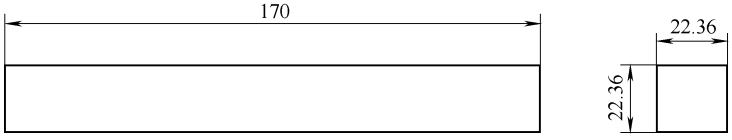
图 4-15　水玻璃自硬砂用试样芯盒

2. 水玻璃砂（包括二氧化碳法和自硬法）在生产应用中目前主要测试的性能参数，除了采用一些粘土砂常规检验性能外（如含水量，透气性和强度），还需要测定其表面稳定性、可使用时间、溃散性、吸湿性和再生砂中 Na_2O 的含量。

表 4-9　覆膜砂制备质量的检验项目与检验方法（摘自 JB/T 8583—2008）

检验项目	检　验　方　法
	必 测 项 目
常温抗弯强度（1）	覆膜砂的抗弯强度（1）是指其抗弯试样（1）在外力作用下破坏时所需的最大弯曲应力，以 MPa 为单位 装置：SWY 液压强度试样机；ZS-6 型制样装置及配套支撑装置（两支点间距为 60mm） 试样的制备和保存：铸造用覆膜砂常温抗弯强度试样（1）如图 a 所示，其尺寸为 22.36mm × 11.18mm × 70mm 先将试样模具及上、下加热板加热至（232 ± 5）℃，然后移开上加热板，迅速将覆膜砂由砂斗倒入模腔中，刮板刀口垂直于模具（与模具长度方向平行），从试样的中间分两次向两边刮去模具上多余的砂子，然后压上上加热板，开始计时，保温 2min，取出试样，放于干燥处，自然冷却到室温并在 1h 内进行测量  a）常温抗弯强度试样（1） 程序：将抗弯试样放置到试样机的支点上，应使试样的光面落在两个支承的刃口上，加载的单刃口则落在试样刮平的平面上，逐渐加载，直至试样断裂 结果的表述：试样常温抗弯强度值的测定按 GB/T 2684—2009 的规定执行，其抗弯强度值为压力表中抗拉刻度值的 16 倍 铸造用覆膜砂常温抗弯强度的另一种检测方法见其他检测项目
热态抗弯强度	覆膜砂的热态抗弯强度是指覆膜砂的抗弯试样加热到（232 ± 5）℃，起模 10s 内测得的抗弯强度，用 MPa 为单位，用以模拟壳型从壳型机上顶出时的热强度 热态抗弯强度的测定也按图 a 制样。取出试样后，立即放在试样机上，逐渐加载，直至试样断裂。要求取出试样后 10s 内测完，其抗弯强度值为压力表中抗拉刻度值的 16 倍
灼烧减量	覆膜砂的灼烧减量是表示其中可燃和可挥发物质总量的百分数 装置：高温箱式电阻炉；天平（感量 0.001g）；瓷舟 程序：首先将经（1000 ± 5）℃、焙烧 30min 至恒重的瓷舟，置于干燥器中冷却到室温备用，称量瓷舟质量。在已焙烧的瓷舟中称放 2g（准确到 0.001g）待测的覆膜砂试样，称量质量。然后一起放入已经加热到（1000 ± 5）℃的高温箱式电阻炉中灼烧 30min，取出瓷舟放置到干燥器中，冷却到室温后再次称量质量 结果的表达：灼烧减量 D（%）按下式计算 $$D=\frac{(m_1-m_2)}{(m_1-m_0)}\times 100$$ 式中　m_0——空瓷舟焙烧至恒重的质量（g） m_1——瓷舟盛放试样后的质量（g） m_2——瓷舟盛放试样焙烧后的质量（g）
熔点	壳型覆膜砂在热的作用下，涂覆在砂粒外表面的酚醛树脂开始熔化，将砂粒粘结在一起的温度称为它的熔点，用℃表示 装置：熔点测定仪 程序：按 JB/T 8834—2001 的规定执行 首先将熔点测定仪的金属板面上的温度沿轴向从 60 ~ 130℃之间递增，并分成许多不同温度的区间，每一区间的温度应保持恒定。检验时用特制漏斗在上述的金属试验板面上均匀地撒上一层厚 1.5mm、宽 20mm 的长条形覆膜砂带，保温 1min，使之开始熔化，然后用稳定的 0.05MPa 的空气吹嘴，匀速沿仪器的导杆移动，将未结壳的覆膜砂吹掉。最后，以低温端板面上粘砂量在 50% 以上的温度，定为覆膜砂的熔点。每个试样需测定 3 次，取其算术平均值作为试验结果
平均细度	覆膜砂的平均细度直接反映了覆膜砂的平均颗粒尺寸 装置：SSZ 振摆式筛砂机或 SSD 电磁微振式筛砂机；SBS 铸造用试验筛；天平（感量 0.01g） 程序：按 GB/T 2684—2009 的规定执行

（续）

检验项目	检　验　方　法
	其他检测项目
常温抗拉强度	覆膜砂的常温抗拉强度是指其硬化并冷却至室温时，“8”字形抗拉强度试样在外力作用下破坏时的最大拉应力，用 MPa 为单位 装置：SWY 液压强度试样机；ZS-6 型制样装置 试样的制备和保存：铸造用覆膜砂常温抗拉强度用“8”字形标准试样，如图 b 所示  b）“8”字形抗拉强度试样 抗拉强度的试样也按图 a 制备 程序：试样常温抗拉强度值的测定按 GB/T 2684—2009 的规定执行。测定值乘以 2 即是所测定的试样常温抗拉强度
热态抗拉强度	覆膜砂的热态抗拉强度是指覆膜砂的抗拉试样加热到（232 ±5）℃，起模后 10s 内测得的抗拉强度，用 MPa 为单位。用以模拟壳型从壳型机上顶出时的热强度
流动性	覆膜砂的流动性是指覆膜砂在自重作用下，沿砂粒之间相对移动的能力 装置：ϕ6mm 标准流杯 程序：用手将标准流杯底孔塞住，然后将覆膜砂添满、刮平后，移开手指并同时以秒表开始计时，至砂流完为止 结果的表述：秒表计时的这段时间为该砂的流动性测定值，单位为 s。
发气量	覆膜砂的发气量是指覆膜砂在受热过程中析出气体的能力 装置：SFL 型记录式发气量测定仪；天平（感量 0.001g）；瓷舟 试样的制备和保存：覆膜砂常温抗拉强度试样断口处磨下来的砂子作为测定发气量的试样，并保存在干燥器中 程序：将发气性测定仪升温至（1000 ±5）℃，称取（1 ±0.01）g 试样，均匀置于瓷舟中［瓷舟预先经（1000 ±5）℃灼烧 30min 后置于干燥器中冷却至室温待用］，然后将瓷舟迅速送入石英管红热部位，并封闭管口，记录仪开始记录试样的发气量，在 3min 内读取测定仪记录的最大数据作为试样的发气量值
常温抗弯强度（2）	覆膜砂的常温抗弯强度（2）是指其抗弯试样（2）在外力作用下被破坏时所需的最大弯曲应力，以 MPa 为单位 装置：SWY 万能数显强度试验机；ZS-6 型制样装置及配套支撑装置（两支点间距为 150mm）；射芯机 试样的制备和保存：铸造用覆膜砂常温抗弯强度试样（2）如图 c 所示，其尺寸为 22.36mm × 22.36mm × 170mm  c）常温抗弯强度试样（2）

（续）

检验项目	检　验　方　法
其他检测项目	
常温抗弯强度（2）	先将试样左、右模具加热至（232 ±5）℃，待温度稳定后，用射芯压力为（0.5 ±0.05）MPa 气压保压 5s 试样射制成形。然后开始计时，固化（120 ±5s）后，取出试样，放于干燥处自然冷却到室温，在 30 ~60min 之间进行测量 程序：将抗弯试样放置在强度试验机的两支点刃口上（支点距离为 150mm），加载的单刃口则垂直于试样的中部进行均匀加载，直到试样折裂 结果的表述：从测试仪直接读出强度值
硬化率	覆膜砂的硬化率是表示覆膜砂的硬化程度，用百分数表示 装置：SWY 液压强度试验机 程序：按图 a 制备两组试样，但第 2 组试样保温 1min。按照常温抗弯强度（2）的规定，分别测试其常温抗弯强度 σ_1、σ_2 结果的表述：硬化率 Y 按下式计算： $$Y=\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\times 100\%$$ 式中　σ_1——第一组试样的常温抗弯强度（MPa） σ_2——第二组试样的常温抗弯强度（MPa）

注：1. 批次划分：按吨位划分，每连续生产 10t 为一个批次。

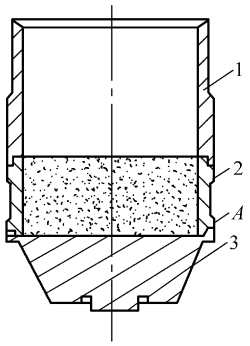
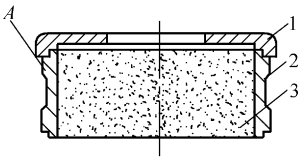
2. 取样方法：对每一批次中的覆膜砂进行取样时，可从包装完好的同一批次覆膜砂中选取平均样品，袋装覆膜砂的平均样品由同一批次的百分之一中选取，但最少不得少于三袋，其质量不得小于 5kg。检验所需的样品用“四分法”或分样器从总样品中选取。如果对某一部分的覆膜砂质量发生疑问，应对它单独取样检验。

3. 覆膜砂应按表中必测项目进行检验，其他检测项目由供需双方协商确定。

表 4-10　树脂自硬砂制备质量的检验项目与检验方法（供参考）

检验项目	检　验　方　法
可使用时间	树脂自硬砂的可使用时间是指混砂后的型砂能用以制作出合格型的这一段时间。而起模时间是指制好的型，当它硬化到可以起模而不致损坏所需的这一段时间，一般都是从混制好的型砂从混砂机中卸出算起，用 h 为单位 主要仪器：SWY 型液压万能强度试验机、SAC 型锤击式制样机等 检验方法： （1）强度增长法　检验时，将刚混制好的型砂立刻制成若干个圆柱形标准抗压强度试样，其余的型砂放入密闭的容器中保存。然后，每隔一定时间再制作若干个抗压强度试样，都立即测定其抗压强度，再绘制出时间-抗压强度曲线。横坐标为制作试样前经历的时间，纵坐标为抗压强度。一般规定，当型砂的抗压强度增长到 0.07MPa 时所经历的这一段时间称为树脂自硬砂的可使用时间；而当它的抗压强度增长到 0.14MPa 时所经历的这一段时间称之为起模时间 （2）强度下降法　将刚混制好的型砂，每隔一定时间制作一组圆柱形标准抗压强度试样，存放 24h 后，测其抗压强度。此法仅用于测定树脂砂的可使用时间，检验方法可参见水玻璃砂可使用时间检验方法（见表 4-12）
流动性	树脂自硬砂的流动性是指其型砂在可使用时间范围内在外力或自重的作用下，沿着模样表面和砂粒间相对移动的能力 由于树脂自硬砂的湿强度较低，一般都是采用侧孔重量法来测定其流动性，检验方法可参见粘土型砂流动性的侧孔质量法（见表 4-6）
强度	树脂自硬砂的强度是指其砂型抵抗外力破坏的能力，通常可分为小时强度和终强度，用 MPa 为单位 主要仪器：SWY 型液压万能强度试验机、专用组合试样模具、天平（感量为 0.1g）等 检验方法：将刚混制好的砂型，在 10min 内，迅速制作一批圆柱形标准抗压强度试样。然后，以 3 个试样为一组，分别放置 1h、2h、4h 和 24h 后，测定其抗压强度，即可得到该种型砂的小时强度和终强度
再生砂灼减量	树脂再生砂的灼减量是指其旧砂经过再生后砂中残存的可燃性物体总量的百分数，检验方法可参见覆膜砂灼烧减量的检验方法（见表 4-9）

表 4-11　型砂高温性能的检验项目与检验方法（供参考）

检验项目	检　验　方　法
激热性能	型砂的激烈性能是指型砂的试样，在高温急热的热辐射的作用下，试样表层的开裂程度来评定其抗夹砂性能的方法 主要仪器：SNB 型激热试验仪、SAC 型锤击式制样机等 检验方法：首先称取型砂 300g，填入试样筒中（见图 a），在 SAC 型锤击式制样机上用激热试验仪专用的冲头冲打 7 次，制成 ϕ85mm × 30mm 的圆饼形试样，将 *A* 端翻转朝上，放上遮蔽盖（见图 b），以待检验 检验时，将激热试验仪的炉温升至所需的温度，再把待试试样连同遮蔽盖一起放入试验仪的托盘定位槽中，使试样急骤加热。待定时器发出信号，从炉内取出试样，去掉试样上的遮蔽盖，观察试样的表面情况。根据试样在不同激热时间下是否开裂和开裂程度来评定型砂的抗夹砂能力 每种规定的激热时间至少要进行 3 次以上的检验，然后对试验结果进行综合评定  a）激热检验用试样筒 1—预砂筒　2—试样筒 3—底座  b）激热检验的试样 1—遮蔽盖　2—试样 筒　3—试样
发气量与发气速度	发气量亦称发气性，系指型砂加热时析出气体的能力，用单位质量的发气物析出的气体体积表示，单位为 cm^3/g 发气速度又称发气率，是指在一定温度下，单位质量的发气物，如型砂和粘结剂等，在单位时间内所产生的气体数量，以 $cm^3/(g \cdot s)$ 为单位 主要仪器：SFL 型记录式发气量测定仪、天平（感量为 0.01g） 检验方法：称取型（芯）砂 1.0g（精确至 0.01g），经（105 ± 5）℃烘烤 1h。然后，将其冷却至室温并搅拌均匀，制成试样备用（试样重量也可根据试样材料的不同而定）。检验方法可参见粘土型砂发气量的检验方法（见表 4-9） 为了获得比较性的测试结果，一般可将测试时间限制在 2 ~ 3min 之内。有时为了取得更精确的数据，可将测试时间延续到析气过程完全停止时为止，在某些情况下气体析出过程可持续 5 ~ 10min。在坐标纸上可将测试结果绘制成“气体体积-时间”的曲线，此曲线既表示了型砂的总发气量，又表示其发气速度
高温强度	型砂的高温强度又称热强度，是指型砂试样加热到室温以上规定的温度时测定的强度。目前只测定型砂在高温下的抗压强度，以 MPa 为单位 主要仪器：SQW 型型砂高温强度试验仪、SAC 型锤击式制样机等 检验方法：将混制好的待测型砂填入试样筒内，用 SAC 型锤击式制样机冲打 3 次制成 ϕ30mm × 50mm 圆柱形抗压试样 3 ~ 5 个，经烘干或硬化后，便可进行检验 检验时，首先将高温强度试验仪的炉温升至规定温度，将待测试样放入炉中，在该温度下保温直至试样中心部位达到炉温。一般保温时间随规定温度而异，低温时保温时间要长一些。然后，按下加载按钮开始加载，直到试样破坏为止。检验仪的记录部分便可指示或记录出最大的载荷值 根据各次检验中数据分散的程度，测定 3 ~ 5 个试样，取其算术平均值，其中任何一数值与平均值的差超出 10% 时，检验应重新进行

（续）

检验项目	检　验　方　法
热膨胀率	型砂的热膨胀率是指在一定的温度范围内，每升高温度 1℃时，型砂试样单位长度的膨胀值，以 mm/（cm·℃）为单位 主要仪器：SQW 型型砂高温强度试验仪、SAC 型锤击式制样机、千分表等 检验方法：首先将待测的型砂填入试样筒内，在制样机上制取 ϕ30mm × 50mm 圆柱形抗压试样，经烘干或硬化后，放在高温强度试验仪的上下试柱之间，使试样的上端面与上试柱的下端面接触，套上炉体，调整好电感位移计的零点。然后，试样随炉温按预定的升温速度进行升温，记录仪开始工作，记录出试样的温度和膨胀曲线。热膨胀率可按下式计算： $$热膨胀率=\frac{L_1-L_0}{L_0T}$$ 式中　L_0——加热前试样的长度（mm） L_1——加热到某一温度时试样长度（mm） T——试样的温度（℃） 对同一型砂要测定 3 个试样，取其算术平均值。其中任一值与平均值相差超出 10% 时，检验应重新进行

（5）砂型铸造生产常用型砂的性能要求与控制

1）粘土型砂的性能要求与控制见表 4-12 和表 4-13。

表 4-12　常用湿型（芯）砂的性能要求与控制（供参考）

造型方法	$w(H_2O)$（%）	湿透气性			湿压强度/kPa	热湿拉强度/kPa	紧实率（%）	过筛性（%）	破碎指数（%）
		面砂	背砂	单砂					
手工造型	5.0 ~ 6.0	40 ~ 100	100 ~ 200	100 ~ 120	60 ~ 100	—	45 ~ 55	60 ~ 70	—
普通机器造型	4.5 ~ 5.5				60 ~ 100	—	40 ~ 50	70 ~ 80	65 ~ 75
高密度造型①	3.2 ~ 4.0				100 ~ 160	> 2	39 ~ 45	> 80	65 ~ 70

注：原砂为硅砂。

① 是指用射压、气冲、高压和静压等的造型。

表 4-13　常用干型（芯）砂和表干型（芯）砂的性能要求与控制（供参考）

类别	$w(H_2O)$（%）	湿透气性	湿压强度/kPa	热湿拉强度/kPa	干强度①		
					干拉强度/MPa	干剪强度/MPa	干压强度/MPa
干型（芯）砂	6 ~ 8	> 150	50 ~ 70	—	> 0.1	> 0.2	> 0.3
表干型（芯）砂	6 ~ 7.5	> 300②	80 ~ 100	> 2	—	—	—

注：原砂为硅砂。

① 干强度高的干型砂测定其干拉强度；干强度中等的干型砂测定其干剪强度；干强度低的干型砂测定其干压强度。

② 一般为 600 ~ 800。

2）水玻璃型砂的性能要求与控制见表 4-14 和表 4-15。

表 4-14　常用水玻璃 CO_2 硬化型（芯）砂的性能要求与控制（供参考）

类别	湿压强度/kPa	硬化后抗压强度/MPa	透气性
大型铸钢用 CO_2 硬化砂	25 ~ 30	> 1.5	100
一般铸钢用 CO_2 硬化砂	8 ~ 23	> 1.0	> 100
铸铁用 CO_2 硬化砂	25 ~ 50	—	> 80

注：原砂为硅砂。

表 4-15　常用水玻璃自硬型（芯）砂的性能要求与控制（供参考）

类　　别	$w(H_2O)$(%)		透气性	抗压强度/MPa	
	出碾时	24h		24h	1000℃残留
硅酸三钙水玻璃自硬砂①	4.5 ~ 6	<4	>400	>0.4	—
有机脂水玻璃自硬砂②	<3.5	<2.5	—	>1.8	<0.45

注：原砂为硅砂。
① 常用的硅酸二钙有水泥、炉渣、赤泥等粉末。
② 常用的有机脂有乙二醇二醋酸脂、CSC-4 脂、CSC-4 脂等。

3）水泥自硬型砂的性能要求与控制见表 4-16。

表 4-16　常用水泥自硬型（芯）砂的性能要求与控制（供参考）

类　　别	抗压强度(24h)/MPa	$w(H_2O)$(%)	
		出碾时	残留
硅酸盐水泥自硬砂	>0.8	6 ~ 8	<4
双快水泥自硬砂	>1.0	5 ~ 6	<4

注：原砂为硅砂。

4）覆膜砂的性能要求与控制见表 4-17。

表 4-17　常用覆膜型（芯）砂的性能要求与控制（供参考）

类　　别	常温抗拉强度/MPa	1000℃的抗压强度/MPa	1000℃的耐热时间/s
普通覆膜型(芯)砂	1.0 ~ 1.1	—	—
耐高温覆膜型(芯)砂	—	>0.8	>150

注：原砂为硅砂。

5）树脂自硬砂的性能要求与控制见表 4-18。

表 4-18　常用树脂自硬型（芯）砂的性能要求与控制（供参考）

类别	24h 抗拉强度/MPa	850℃发气量/(mL/g)	灼烧减量(质量分数,%)
铸钢件用树脂自硬砂	0.9 ~ 2.2	10 ~ 20	1.5 ~ 2.2
铸铁件用树脂自硬砂	0.6 ~ 2.0	10 ~ 11	1.5 ~ 3.0

6）特种砂型砂的性能要求与控制见表 4-19。

表 4-19　常用特种砂型（芯）砂的性能要求与控制（供参考）

类　　别		$w(H_2O)$(%)	透气性	强度/MPa			
				湿压强度	干压强度①	干拉强度①	干剪强度①
石灰石砂	水玻璃 CO_2 硬化砂	3 ~ 4.5	—	5 ~ 20	—	>0.7	—
	粘土湿型砂	4 ~ 6	—	40 ~ 80	—	—	—
	粘土干型砂	6 ~ 7.5	—	40 ~ 70	—	>0.15	—
锆	砂树脂自硬砂	—	—	—	0.2(0.5h)	0.8(24h)	—
铬铁矿砂	粘土糖浆砂	4 ~ 5	>70	20 ~ 30	>0.5	—	—
	水玻璃粘土砂	4 ~ 5	>50	30 ~ 50	—	>0.8	—
	水玻璃 CO_2 硬化砂	4.5 ~ 6	40 ~ 90	17 ~ 30	1.3	—	—
	水玻璃有机脂硬化砂	—	—	—	3.6(24h)	—	—
	树脂自硬砂	—	—	—	—	0.9	—

（续）

类　别		$w(H_2O)$（%）	透气性	强度/MPa			
				湿压强度	干压强度①	干拉强度①	干剪强度①
镁砂	粘土糖浆砂	8 ~ 9	> 100	40 ~ 70	> 0. 5	—	—
	含脂砂	8 ~ 10	> 100	55 ~ 65	—	> 0. 15	—
镁橄榄石砂	水玻璃 CO_2 硬化砂	4. 4	37	34	—	—	> 1. 0
	水玻璃赤泥硬化砂	4. 4	33	19	—	—	0. 54(24h)
焦宝石砂双块水泥砂		—	—	—	—	—	0. 57(24h)
煤矸石砂双块水泥砂		—	—	—	—	—	0. 2(24h)
铝矾土砂双块水泥砂		—	—	—	—	—	0. 65(24h)
钛铁矿砂树脂自硬砂		—	> 80	—	—	0. 8 ~ 1. 2(24h)	—
钛渣砂水玻璃 CO_2 硬化砂		4 ~ 5	> 100	10 ~ 20	> 13	—	—

① 括号内数字表示试样打制后放置的时间。

2. 芯砂制备质量的控制（检验）

（1）芯砂分类　芯砂是指制芯原材料按一定比例配合，经过混制，制备出符合制芯要求的混合料。

生产中使用的芯砂种类繁多，其分类可如图 4-16 所示。

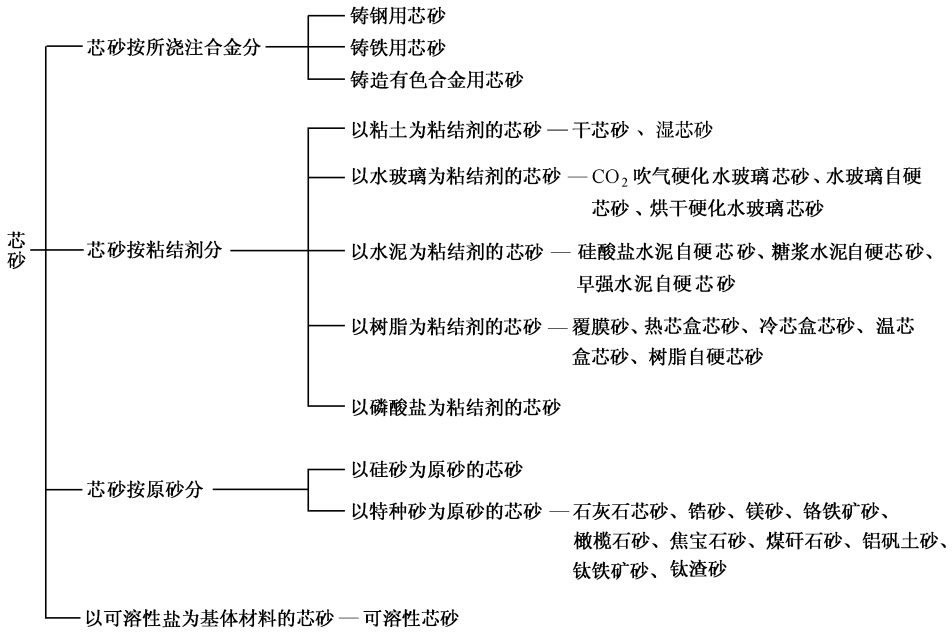


图 4-16　芯砂分类

（2）芯砂质量要求　芯砂质量要求可参照型砂质量要求。

（3）芯砂制备过程控制（检验）的一般方法　芯砂制备过程控制（检验）的一般方法见表 4-20。

（4）芯砂制备质量的检验项目与检验方法　芯砂制备质量检验项目是根据对芯砂质量控制的需要而定的。通常，芯砂类型不同，其检验项目与检验方法亦不同，见表 4-6 ~ 表 4-10、表 4-21 和表 4-22。此外，芯砂高温性能的检验项目与检验方法见表 4-15。

表 4-20　芯砂制备过程控制（检验）的一般方法（供参考）

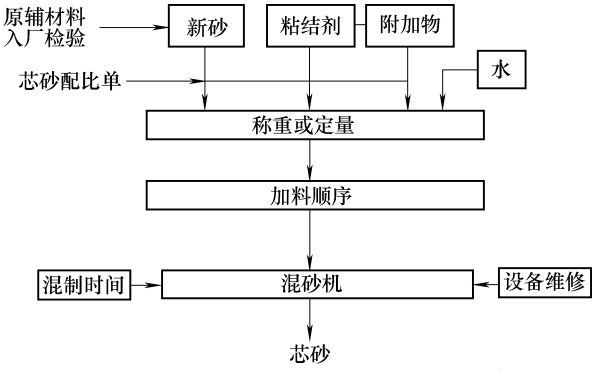
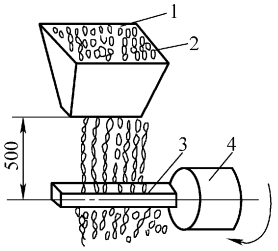
芯砂制备过程的控制(检验)内容	 芯砂制备过程控制(检验):原辅材料性能、芯砂配比及加入量、混砂加料顺序、混砂时间 芯砂工艺性能:流动性、紧实率、可塑性、韧性、出砂性等 芯砂工作性能:湿强度、干强度、高温强度、透气性,发气性、容让性等
主要控制(检验)项目	强度、透气性、发气性等

表 4-21　热芯盒芯砂制备质量的检验项目与检验方法（供参考）

检验项目	检　验　方　法
抗拉强度	已经硬化并冷却至室温的热芯盒芯砂试样抵抗外部拉力而破坏的能力，被称为热芯盒芯砂的抗拉强度，以 MPa 为单位 主要仪器和设备：SWY 型液压万能强度试验机、Z861 型热芯盒试样射芯机、SHN 型碾轮式混砂机、试样芯盒和天平等 检验方法：测定抗拉强度采用断面尺寸为 25.4mm × 12.7mm 的“8”字形试样。按本表注工艺制备试样，从热芯盒中取出后，冷却到室温，然后在液压万能强度试验机上按测定覆膜砂抗拉强度的方法进行测定。取其 3 个试样数据的算术平均值作为其抗拉强度值
起芯强度	热芯盒的起芯强度又称热强度，系指树脂砂在硬化时间终了，但试样尚处在硬化温度或接近硬化温度时的抗拉强度 检验方法：测定热芯盒试样的起芯强度所用的主要仪器、制芯工艺和设备均与常温抗拉强度的测定方法相同 检验时，将按上述工艺制得的试样从热芯盒中取出，在 10s 时间内迅速用液压万能强度试验仪测定其强度，取 3 个试样测定结果的平均值作为热芯盒芯砂的起芯强度
流动性	测定湿强度较低的热芯盒芯砂的流动性，一般采用侧孔质量法和环形空腔法，特别是前者操作方便，简易可行，检验方法可参见粘土型砂流动性的检验方法（见表 4-6）
表面强度	在存放和搬运过程中，热芯盒砂芯的表面和棱角抵抗外力磨损的能力称之为表面强度 主要仪器：砂芯表面强度试验仪（见图）、天平（感量为 0.1g）等 检验方法：检验时，首先制备一个抗弯强度试样，并称其重量（准确至 0.1g），再将此试样的一端固定在砂芯表面强度试验仪上（如图所示），以 120r/min 的速度旋转，同时使 ϕ3mm 小钢球在其上方 500mm 高度处自由落下，撞击在抗弯强度试样的表面上。当质量为 500g 的小钢球全部落完后，仔细称量被磨损后抗弯强度试样的质量，该质量占试样原质量的百分数，即为试样的表面强度。砂芯的表面强度也可用硬度计测定其表面的划痕硬度来表示  热芯盒砂芯表面强度试验仪 1—钢球斗　2—钢球　3—试样 4—砂芯表面强度试验仪

（续）

检验项目	检　验　方　法
可使用时间	热芯盒芯砂的可使用时间是指其芯砂从混砂机中卸出后至仍能满意地射制砂芯的允许存放时间，以 h 为单位 主要仪器：SWY 型液压万能强度试验仪、Z861 型热芯盒试样射芯机、SHN-5 型碾轮式混砂机、天平（感量 0.1g）等 检验方法：将刚混制好的芯砂，按上述工艺射制成一组抗拉强度试样（一般每组由 3 ~ 5 个试样组成），然后，每隔一定时间射制一组抗拉强度试样，硬化、冷却后在液压万能强度试验仪上分别测定其强度。检验方法可参见水玻璃砂可使用时间的检验方法（见表 4-19），即按 GB/T 2684—2009 的规定进行
吸湿性	热芯盒芯砂的吸湿性是指制成的砂芯从空气或水基铸型涂料中吸收水分的能力，可以试样吸收水分前后的质量变化的百分数或吸收水分前后强度下降的程度来表示 主要仪器：干燥器、天平（感量为 0.1g）、SWY 型液压万能强度试验机、SAC 型锤击式制样机等 检验方法： （1）吸收水分法（参考方法）　检验时，先称量制备好的热芯盒抗拉强度试样的质量，然后将其放入下部盛有一定水的干燥器中，放置 24h 后，取出再称其质量，其吸湿性可用下式计算： $$吸湿性=\frac{m_1-m_2}{m_2}\times 100\%$$ 式中　m_1——试样在干燥器中放置 24h 后的质量（g） m_2——试样放入干燥器前的质量（g） （2）强度下降法（参考方法）　检验时，先制取两组“8”字形抗拉强度试样，其中一组待硬化、冷却后测定其强度；另一组放入下部盛水的干燥器中，放置 24h 后测定其强度。以试样吸收水分前后强度下降的程度来表示其吸湿性

注：热芯盒树脂砂一般由原砂、树脂、硬化剂和其他附加物等组成。混制时，先将原砂和固化剂放在一起混 1min，然后加树脂再混 2min 便可卸砂，装在容器中，测量砂温后把容器盖好，准备试验。如果需要加入其他干的附加物，应在加固化剂之前，附加物先与原砂混匀（1 ~ 2min）。脱模剂应在卸砂前 1min 加入树脂砂中。注意记下室温和相对湿度。

试样制备时，从密封容器中取出混好待试的树脂砂，装入射芯机的射筒中，再将装有试样的射筒重新装在射芯机上，卡紧。打开气源，调节管路压力，使射砂压力保持在 0.55MPa 的范围内。然后，在上述压力下将树脂砂射入已加热到（210 ±5）℃的芯盒中，保持 20 ~ 40s 使之硬化。而后打开芯盒，取出试样，放在木板上冷至室温待用。以后各种性能检验的试样，均按此工艺制备。

表 4-22　冷芯盒芯砂制备质量的检验项目与检验方法

检验项目	检　验　方　法
固化特性	冷芯盒芯砂的固化特性包括硬化速度、初始强度和终强度等几个方面。固化速度和终强度是冷芯盒制芯的最重要指标 固化速度的大小以初始强度（即吹气固化后 1min 内的抗拉强度），固化后 30min、60min 的强度来衡量 终强度是指吹气固化后 24h 的抗拉强度 抗拉强度的测定按常规标准方法
可使用时间	将混制好的冷芯盒芯砂放入塑料桶内，放置一定时间（如 30min、60min、120min、180min、240min、480min）后，射制“8”字形抗拉试样，吹气硬化后 1min 内，测其初始强度，直至射制的工艺试样初始强度低于工艺要求下限为止，此时到混砂完毕的时间即为冷芯盒芯砂的可使用时间 生产中的工艺强度下限值，对于复杂砂芯一般定为 0.15MPa；对于形状较简单的厚壁砂芯可定为 0.06MPa

注：1. 冷芯盒芯砂的混制：首先在 SHY 型叶片式芯砂混砂机内将称量好的原砂和粘结剂第一组分搅拌 8 ~ 10s，然后加入第二组分，再搅拌约 5s 后卸料，将芯砂混合料装入干净的密闭塑料桶内。

2. 试样制备：试样包括标准“8”字形抗拉试样，长条形抗弯试样，ϕ30mm × 50mm，ϕ11mm × 20mm 抗压或热稳定试样和 ϕ10mm × 50mm 热膨胀试样等，采用木质、塑料或金属芯盒均可。用 LXH-05 型冷芯盒试样射芯机制样。制样工艺参数：射砂压力（干燥空气）为 0.5 ~ 0.56MPa，用三乙胺作催化剂时，三乙胺气雾发生器的吹气压力为 0.14MPa（也有定为 0.7MPa 的）；吹三乙胺时间为 5s，用干燥空气吹洗时间为 10s。

3. 砂型（芯）涂料制备质量的控制

（1）砂型（芯）涂料分类　砂型（芯）涂料是指用以提高砂型（芯）表面抗粘砂和抗金属液冲刷性能的铸型涂料。

生产中使用的砂型（芯）涂料也较多，其分类如图 4-17 所示。

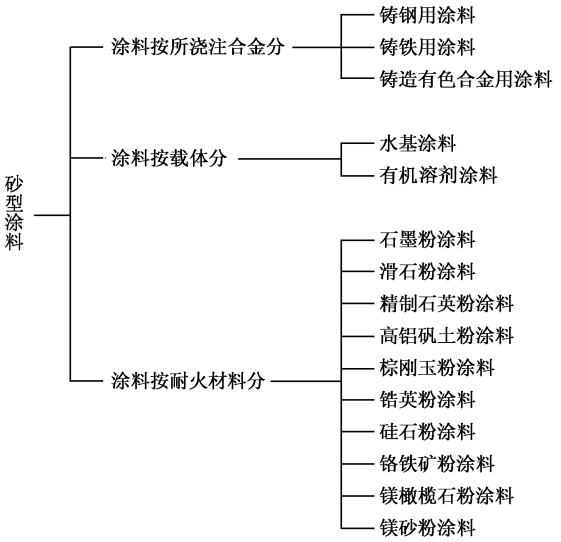


图 4-17　砂型（芯）涂料分类

（2）砂型（芯）涂料作用与质量要求　砂型（芯）涂料作用主要有：①降低铸件表面粗糙度值；②防止或减少铸件粘砂缺陷；③防止或减少铸件砂眼和夹砂缺陷；④防止或减缓某些树脂砂的热解产物对铸件的不良影响；⑤通过不同的涂料减缓或加速铸件表面的冷却速度或制造强氧化气氛防止不锈钢铸件的增碳；⑥使铸件表面合金化和晶粒细化；⑦提高铸件落砂和清整效率。

砂型（芯）涂料质量要求，主要涉及四个方面：涂料的物理性能、涂料的工艺性能、涂料的工作性能和涂料的流变特性。

1）涂料的物理性能　主要有：①涂料的密度；②涂料的固体含量；③涂料的悬浮性；④涂料的条件粘度。

2）涂料的工艺性能　主要有：①涂料的涂刷性；②涂料的不流淌性；③涂料的流平性；④涂料的渗透性。

3）涂料的工作性能　主要有：①涂料涂层的耐磨性；②涂料涂层的烘干抗裂性和高温热爆抗裂性；③涂料的发气性；④涂料的抗粘砂性。

4）涂料的流变特性　主要有：①涂料的屈服值；②涂料的剪切稀释能力；③涂料的触变性。

应该指出，任何一种砂型（芯）涂料要同时兼备各种优良性能是很困难的。因此，必须从砂型（芯）涂料的不同用途和涂敷方式出发，合理地选择砂型（芯）涂料用原材料、正确地确定砂型（芯）涂料的配比，严格地进行砂型（芯）涂料制备质量控制。

（3）砂型（芯）涂料制备过程控制的一般方法　砂型（芯）涂料制备过程控制的一般方法见表 4-23。

表 4-23　砂型（芯）涂料制备过程控制的一般方法（供参考）

砂型（芯）涂料制备过程控制（检验）内容	原辅材料入厂检验 → 耐火填料　载体　悬浮剂　粘结剂　添加剂 砂型（芯）涂料配料单 → 称重或定量 ↓ 加料顺序 ↓ 搅拌或研磨 ↓ 砂型（芯）涂料

（续）

砂型(芯)涂料制备过程控制(检验)内容	砂型(芯)涂料制备过程控制(检验)　原材料性能、砂型(芯)涂料配比、加料顺序、搅拌或研磨时间等 涂料物理性能:密度、固体含量、悬浮性、条件粘度 涂料工艺性能:涂刷性、不流淌性、流平性、渗透性 涂料工作性能:耐磨性、烘干抗裂性和高温热爆抗裂性、发气性、抗粘砂性 涂料流变特性:屈服值、剪切稀释能力、触变性
主要控制(检验)项目	(1)原辅材料预处理 1)当采用搅拌法配制水基涂料时,作为悬浮剂的膨润土应提前 3 ~ 5 天加水调成浆状,使其充分溶胀;如果是钙膨润土,则可同时加入 Na_2CO_3 进行活化处理 2)CMC 在投入配制涂料前应先加水配制成质量分数为 1% ~ 2% 的水溶液,用冷水时一般要浸泡 24h 以上,如用温水时浸泡时间应相应减少 3)配制醇基涂料用的有机膨润土,由于不能直接在醇类中溶胀,因此必须采用二甲苯引发 4)水溶性高分子化合物在使用前一般也应在水中预先溶解,充分溶胀,如 PVA 可预先溶解在热水中配制成质量分数为 2% ~ 5% 的胶状溶液 5)憎水的酚醛树脂可以先溶解在乙醇中再使用;憎水的水柏油和煤焦油等可在乳化处理后使用 (2)涂料配制 (3)涂料性能　密度、条件粘度、悬浮性、涂层耐磨性、流变特性、发气量和发气率等

（4）砂型（芯）涂料制备质量的检验项目与检验方法　砂型（芯）涂料制备质量的检验项目与检验方法见表 4-24。

表 4-24　砂型（芯）涂料制备质量的检验项目与检验方法（摘自 JB/T 9226—2008）

检验项目	检 验 方 法
涂料外观	涂料外观用目测时,涂料不得有可见的杂质 检验装置:75mm × 25mm 玻璃片 检验程序:取少量涂料试样,均匀分布于 75mm × 25mm 玻璃片上,目测检查所取试样是否均匀和有无夹杂物等
涂料密度	涂料密度是指涂料的质量与其体积的比值,用 g/cm^3 表示 检验装置:试验室用电动搅拌机、ϕ30mm 刻度为 0 ~ 100mL 的带磨口塞量筒、天平(感量为 0.001g) 试样制备:称量(500 ± 1)g 涂料试样,如果涂料试样为膏状或粉(粒)状,将水或有机溶剂(按供需双方在协议中规定的比例)加入到涂料搅拌机的料桶中,分批加入膏状涂料或粉(粒)状涂料,边加边搅拌,待料加完后,膏状涂料搅拌时间不少于 20min,粉(粒)状涂料搅拌的时间不少于 40min。将稀释后的涂料涂敷于 75mm × 25mm 的玻璃片上,目测检查涂层外观,当涂层中存在未稀释涂料的杂质时,则继续搅拌直到均匀为止 检验程序:首先称量筒的质量(精确到 0.01g),然后往量筒中加入在(20 ± 3)℃环境中放置 15min 后的涂料,使其达到 100mL 标高处,再以相同精度称量 检验结果表述:涂料密度按下式计算 $$\rho = \frac{m_2 - m_1}{100}$$ 式中　ρ——涂料密度(g/cm^3) m_2——装料后量筒的质量(g) m_1——空量筒的质量(g)
涂料悬浮性	涂料悬浮性是指涂料抵抗固体耐火骨料分层和沉淀的能力,用悬浮率(%)表示 检验装置:ϕ30mm 刻度为 0 ~ 100mL 的带磨口塞量筒 检验程序:按检验涂料密度的试样制备方法制备的涂料倒入量筒中,使其达到 100mL 标高处,在静止状态,水基涂料放置 6h 和 24h,有机溶剂涂料放置 2h 和 24h,测量澄清层体积 检验结果表述:涂料悬浮率按下式计算 $$C = \frac{100 - V}{100} \times 100$$ 式中　C——涂料悬浮率(%) V——量筒中涂料柱上部澄清层的体积(mL)

（续）

检验项目	检 验 方 法
涂层外观	涂层外观是指涂层外表面状况，是否有开裂、起泡、裂纹等 检验装置：SAC 型锤击式制样机、电热烘箱 试样制备和存放：试样基体采用实际使用的型（芯）砂，在 SAC 型锤击式制样机上冲击三次，制成 ϕ50 × 55mm 试样，按型（芯）砂相应的工艺干燥或硬化 检验程序：把按检验涂料密度的试样制备方法制备的涂料均匀地涂敷或浸沾于基体试样上，涂层厚度为 0. 5 ~ 1. 0mm，水基涂料试样放入电热烘箱中，经（150 ± 5）℃烘干，保温 1h（有机溶剂涂料试样点燃干燥），冷却后观察 检验结果表述：用目测检查涂层外观，水基涂料外观要求检查涂层是否开裂、起泡、有无裂纹；有机溶剂涂料要求检查涂层表面是否起泡、起泡破裂、有无裂纹
涂层耐磨性	涂层耐磨性是指涂层抵抗外力抓搔而磨损的能力，用磨下涂料的质量 g 表示 检验装置：SUM 型涂料耐磨试验仪、电热烘箱、天平（感量为 0. 001g）、干燥器 试样的制备和存放：按检验涂层外观的试样制备方法制备试样，按检验涂料密度的试样制备方法制备涂料，涂料均匀地涂敷或浸沾于基体试样上，涂层厚度为 0. 5 ~ 1. 0mm，水基涂料试样放入电热烘箱中，经（150 ± 5）℃烘干，保温 1h（有机溶剂涂料试样点燃干燥），冷却后放入干燥器中 检验程序：1）接通电源，将试样夹持在仪器的夹具上，并用软毛刷将试样外表面轻轻刷净，调整高速计数器使之达到 64r 的数值，然后使其复位；2）按动开关，试样开始转动，当计数器的数值达到设定值时，试样自动停止转动；3）称量铁刷磨下的涂料质量，精确到 0. 01g 检验结果表述：对同一涂料的试样测定三个，取其算术平均值，若其中任何一个值与平均值相差超出 10% 时，试验重新进行
涂料发气量	涂料发气量是指涂料受热时能析出气体的能力，用单位质量涂料析出气体的体积 mL/g 表示 检验装置：电热烘箱、SFL 型记录式发气性测定仪、天平（感量为 0. 001g）、瓷舟 试样的制备和存放：浆状涂料、膏状涂料或粉（粒）状涂料试样，在电热烘箱中经（150 ± 5）℃烘干，保温 1h，冷却至室温，用研钵研成粉状，放入干燥器中备用 检验程序：将发气性测定仪升温至（1000 ± 5）℃，称取（1 ± 0. 01）g 试样，均匀置于瓷舟中（瓷舟预先经（1000 ± 5）℃灼烧 3min 后置于干燥器中冷却至室温待用，然后将瓷舟迅速送入石英管红热部位，并封闭管口，记录仪开始记录试样的发气量，在 3min 内读取记录仪记录的最大数据作为试样的发气量值 检验结果表述：对同一种试样测定三次，取其算术平均值，若其中任何一个值与平均值相差超出 10% 时，试验重新进行
涂层高温曝热裂纹等级	涂层高温曝热裂纹等级是指涂料层抵抗高温激烈而产生裂纹和剥离的能力，并用Ⅰ级 ~ Ⅳ级表示 检验装置：马弗炉、电热烘箱、SAC 型锤击式制样机 试样制备：试样基体采用实际使用的型（芯）砂，在 SAC 锤击式制样机上冲击三次，制成一端具有半圆形（R25mm）的 ϕ50mm × 75mm 圆柱试样，按型（芯）砂相应的工艺干燥或硬化。把按检验涂料密度的试样制备方法制备的涂料均匀涂于或浸沾于基体试样上，涂层厚度 0. 5 ~ 1. 0mm。水基涂料试样放入电热烘箱中，经（150 ± 5）℃烘干，保温 1h（有机溶剂涂料试样点燃干燥），冷却至室温待用 检验程序：将马弗炉加热至 1200℃，将烘干过的试样送入炉中，保温 2 ~ 3min，在高温下观察涂料层是否产生裂纹及裂纹程度，并对涂层裂纹情况按Ⅰ级 ~ Ⅳ级进行评定 Ⅰ级：表面光滑无裂纹或只有极少微小的裂纹。涂层与基体试样间无剥离现象 Ⅱ级：表面有树枝状或网状细小裂纹，裂纹宽度小于 0. 5mm。涂层与基体试样间无剥离现象 Ⅲ级：表面有树枝状或网状裂纹，裂纹宽度小于 1mm，裂纹较深，沿横向（水平圆周方向）或纵向无贯通性裂纹。涂层与基体试样间无明显剥离现象 Ⅳ级：表面有树枝状或网状裂纹，裂纹宽度大于 1mm，横向或纵向有贯通性裂纹。涂层与基体试样间有剥离现象

注：1. 涂料取样。为了使涂料的测试结果具有代表性，要注意正确选取其组成均匀的试样。对于一般膏状涂料应从料桶上部和距上部 300 ~ 400mm 深处，以相等数量选取。对于批量较大的涂料，应从同一批料 1/10 的包装中选取样品；对小批量的涂料应逐个包装取样检验。对有沉淀的涂料，应先充分搅拌混合均匀后再取样。若涂料无法混合均匀时，不能取样进行试验。对于粉状涂料，在拆袋时从上面和距袋口 100 ~ 150mm 深处，以相等数量选取样品。将选取的样品聚集在一起，混合均匀，再按“四分法”选取测试用的试样，试样的质量应不少于 1kg。然后，将试样分成相等的两部分，分别放在已准备好的容器里，贴上标签。一份供试验用，另一份密封保存，以备复查。

2. 涂料试样制备。为了进行试验，必须将膏状涂料或粉状涂料用水或有机溶剂稀释至规定的密度。稀释时，首先将水或有机溶剂加入到涂料搅拌机的料桶中，再称取膏状或粉状涂料试样（500 ± 1）g，分批加入到料桶中，边加边搅拌，待料加完后，膏状涂料继续搅拌的时间不得少于 20min，粉状涂料的继续搅拌时间不得少于 40min。稀释后，若密度太小，可适当补加膏料或粉料；若密度太大，则应适当补加溶剂。然后，将稀释好的涂料涂敷于 75mm × 25mm 的玻璃片上，目测检查涂片外观，当涂层中存在未稀释的涂料夹杂时，应继续搅拌直至均匀为止。

（5）砂型铸造生产常用砂型（芯）涂料的性能要求与控制

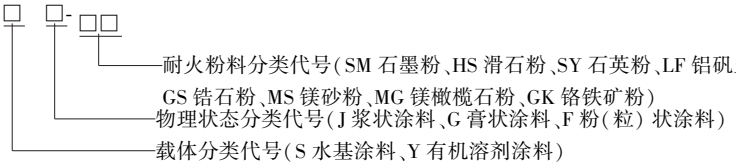
1）有色金属铸件用砂型（芯）涂料的性能要求与控制见表 4-25。

表 4-25　有色金属铸件常用砂型（芯）浆状涂料的性能要求与控制（供参考）

铸件类别	涂料种类①	涂料密度/(g/cm³)	涂料条件粘度(φ6mm流杯)/s	涂料悬浮率(%)		发气量/(mL/g)	涂层耐磨性(64r)/g	涂敷、烘干、冷却后涂层外观	高温曝热裂纹等级
				放置 6h	放置 24h				
大中型有色金属铸件	SJ-SM	1.10～1.60	5.5～12	≥96	≥93	<35	<0.5	无裂纹、无肉眼可见针孔的均匀涂层	Ⅰ级～Ⅱ级
	YJ-SM	1.10～1.60	5.5～12	≥95	≥90	≤35	<0.5		
一般有色金属铸件	SJ-HS	1.10～1.45	5.5～12	≥96	≥93	<40	<0.5		
	YJ-HS	1.10～1.45	5.5～12	≥95	≥90	<40	<0.5		

注：膏状涂料和粉（粒）状涂料的各种性能指标须按供需双方在协议中规定的比例用水稀释或调成浆状后测定。

① 涂料种类的符号含义，如下：



2）铸铁件用砂型（芯）涂料的性能要求与控制见表 4-26。

表 4-26　铸铁件常用砂型（芯）浆状涂料的性能要求与控制（供参考）

铸件类别	涂料种类①	涂料密度/(g/cm³)	涂料条件粘度(φ6mm流杯)/s	涂料悬浮率(%)		发气量/(mL/g)	涂层耐磨性(64r)/g	涂敷、烘干、冷却后涂层外观	高温曝热裂纹等级
				放置 6h	放置 24h				
大型铸铁件	SJ-GY	1.60～2.20	5.5～12	≥96	≥96	<20	<0.5	无裂纹、无肉眼可见针孔的均匀涂层	Ⅰ级～Ⅱ级
	SJ-GS	1.60～2.20	5.5～12	≥93	≥93	<20	<0.5		
	YJ-GY	1.60～2.20	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ-GS	1.60～2.20	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
大中型铸铁件	SJ-SY	1.30～1.70	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ-SY	1.30～1.70	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	SJ-LF	1.30～1.70	5.5～12	≥96	≥93	<20	<0.5		
	YJ-LF	1.60～2.20	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
一般铸铁件	SJ-SM	1.10～1.60	5.5～12	≥96	≥93	<35	<0.5		
	YJ-SM	1.10～1.60	5.5～12	≥95	≥90	<35	<0.5		

注：同表 4-29 注。

① 同表 4-29①。

3）铸钢件常用砂型（芯）涂料的性能要求与控制见表 4-27。

表 4-27　铸钢件常用砂型（芯）涂料的性能要求与控制（供参考）

铸件类别	涂料种类①	涂料密度/(g/cm³)	涂料条件粘度(φ6mm流杯)/s	涂料悬浮率(%)		发气量/(mL/g)	涂层耐磨性(64r)/g	涂敷、烘干、冷却后涂层外观	高温曝热裂纹等级
				放置 6h	放置 24h				
大中型碳钢及合金钢铸件	SJ-GY	1.60～2.20	5.5～12	≥96	≥96	<20	<0.5	无裂纹、无肉眼可见针孔的均匀涂层	Ⅰ级～Ⅱ级
	SJ-GS	1.60～2.20	5.5～12	≥93	≥93	<20	<0.5		
	YJ-GY	1.60～2.20	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		

（续）

铸件类别	涂料种类①	涂料密度/(g/cm³)	涂料条件粘度(φ6mm流杯)/s	涂料悬浮率(%)		发气量/(mL/g)	涂层耐磨性(64r)/g	涂敷、烘干、冷却后涂层外观	高温曝热裂纹等级
				放置 6h	放置 24h				
大中型碳钢及合金钢铸件	YJ-GS	1.60～2.20	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5	无裂纹、无肉眼可见针孔的均匀涂层	Ⅰ级～Ⅱ级
	SJ-GK	1.60～2.00	5.5～12	≥96	≥93	<20	<0.5		
	YJ-GK	1.60～2.00	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
中小型碳钢铸件	SJ-SY	1.30～1.70	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ-SY	1.30～1.70	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	SJ-LF	1.30～1.70	5.5～12	≥96	≥93	<20	<0.5		
	YJ-LF	1.60～2.20	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
锰钢铸件	SJ-MS	1.50～1.80	5.5～12	≥96	≥93	<20	<0.5		
	YJ-MS	1.50～1.80	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	SJ-MG	1.50～1.80	5.5～12	≥96	≥93	<20	<0.5		
	YJ-MG	1.50～1.80	5.5～12	≥95	≥90	<20	<0.5		

注：同表 4-29 注。

① 同表 4-29①。

4.2.2　造型制芯与合箱质量的控制（检验）

1. 造型质量的控制（检验）

（1）造型分类　造型是指用型砂及模样和砂箱等工艺装备制造砂型的方法和过程。

生产中的造型方法很多，其分类如图 2-18 所示。

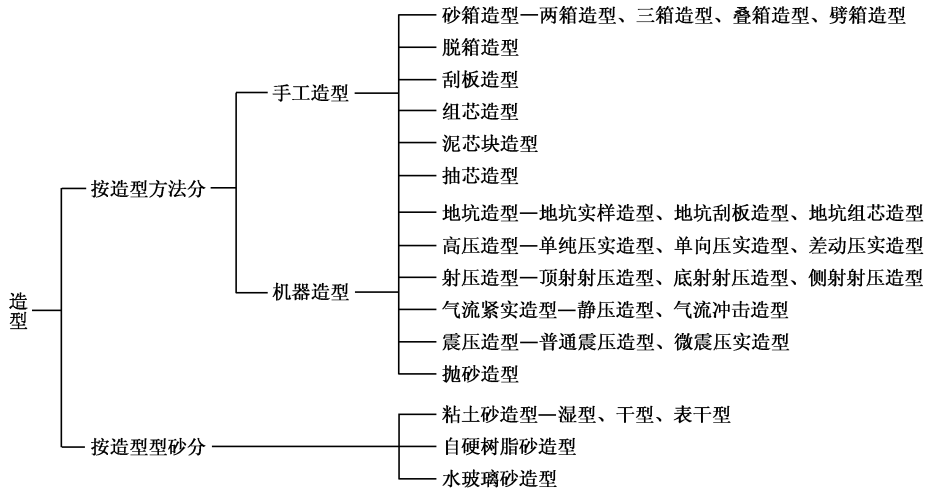


图 4-18　造型分类

（2）造型过程控制（检验）的一般方法　造型过程控制（检验）的一般方法见表 4-28。

（3）造型质量的检验项目与检验方法　造型质量的检验项目与检验方法见表 4-29。

2. 制芯质量的控制（检验）

（1）制芯分类　制芯是指将芯砂制符合芯盒形状的砂芯制造过程。

制芯方法有手工制芯和机器制芯两种，但也可按硬化方法来分类，如图 4-19 所示。

表 4-28　造型过程控制（检验）的一般方法（供参考）

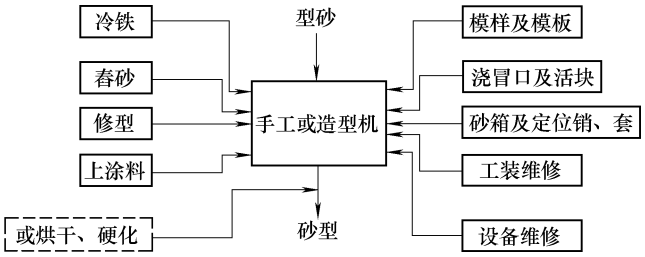
造型过程控制（检验）内容	 造型过程控制(检验)： 模样等工艺装备的精度,维修等 造型工艺规程 型砂、涂料 砂型硬度、尺寸、形状
主要控制(检验)项目	砂型硬度 砂型尺寸、形状

表 4-29　造型质量的检验项目与检验方法（供参考）

检验项目		检　验　内　容	检验依据及方法	检验者	备注
造型前	模样	有无出库合格证 形状和尺寸是否符合图样，活块及浇冒系统是否齐全完好 组合装配：活动部分是否准确，灵活好用 结构形式：分型面是否符合要求 钉接及起敲吊装置是否牢固，合理	依据工装使用制度、模具图和铸造工艺图，目视和借助通用量具进行测量检验	操作者自检，检验员抽检	检验范围为每套模样
	砂箱	箱把有无脱落或裂纹，箱壁有无破裂 有无严重变形翘曲或箱栅严重损坏和松动 箱口平面是否超差，箱带是否妨碍浇冒口的正确位置 定位销（孔）磨损是否超差，吃砂量是否合适	依据工装标准，采用目视、手感和借助通用量具或专用检具（通止样板）进行检验		检验范围为每次或定期检验
造型过程中	造型	造型底板是否平直放稳 砂箱、冷铁、浇冒口放置是否符合工艺要求 每次放入型砂厚度及春实均匀度是否合适 春砂的次序如何，有无春击模样和冷铁的现象 春好后砂型的气眼大小及数目、合箱用标志的准确性 敞箱后砂型的放平，模样周围的刷水、分型面的修整是否符合要求 起模时是否垂直找正、敲打模样用力是否均匀	依据造型工艺规程及铸造工艺图，采用目视和借助量具进行检验		检验范围为每次

（续）

检验项目		检　验　内　容	检验依据及方法	检验者	备注
造型过程中	修型	砂型的紧实度、损坏部分修理后的几何形状和尺寸是否符合要求 薄弱部位的加固措施 涂料涂刷是否均匀、光滑、不堆积、棱角清晰 技术上要求的铸字、厂标是否印出	依据修型工艺规程及铸造工艺，采用目视、量具、砂型硬度计进行检验	操作者自检，检验员抽检	检验范围为每个砂型

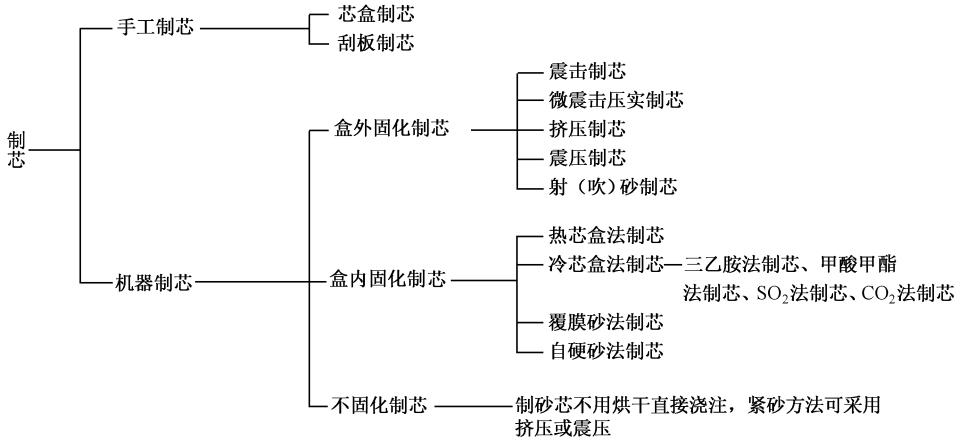


图 4-19　制芯分类

（2）制芯的通用技术要求　制芯的通用技术要求主要有以下一些

1）砂芯表面要光洁平整，不允许有影响铸件尺寸精度和形状的任何缺陷，如缺角、变形、披缝、松裂及浮砂等。

2）通气孔、芯骨、钉子位置要合适，不得偏移。芯骨、钉子不允许露出砂芯表面。通气孔应通到芯头，不允许通到砂芯的工作面。

3）通气孔的开设应有足够的数量与尺寸，并应互相连通，不可中断或堵死。

4）砂芯粘合要平整牢固，粘合剂不允许露出砂芯表面。

5）砂芯涂料层厚薄要均匀，涂料层厚度按工艺要求施涂。

6）砂芯烘干要严格按工艺规范控制。

7）砂芯的尺寸要控制在规定的公差范围之内。

8）砂芯的存放超过工艺规定的时间，要严格进行回炉烘干后方可使用。

（3）制芯过程控制（检验）的一般方法　制芯过程控制（检验）的一般方法见表 4-30。

（4）制芯质量的检验项目与检验方法　制芯质量的检验项目与检验方法见表 4-31。

3. 砂型（芯）烘干质量的控制（检验）

（1）砂型（芯）烘干的分类　砂型烘干是指加热砂型并保温适当时间，保证砂型达到一定干燥程度的操作。

砂芯烘干是指用适当温度和足够时间加热砂芯，使其获得一定干强度的过程。

生产中的砂型（芯）烘干方法也较多，其分类如图 4-20 所示。

表 4-30　制芯过程控制（检验）的一般方法（供参考）

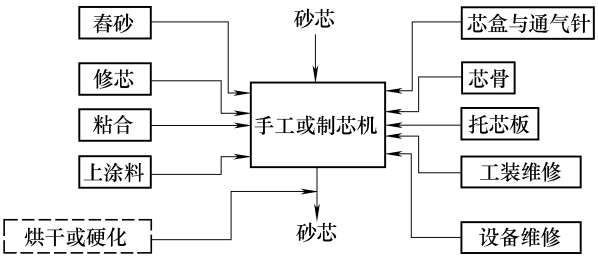
制芯过程控制（检验）内容	 制芯过程控制（检验）： 芯盒等工艺装备的精度，维修等 制芯工艺规程 芯砂、涂料 砂芯强度、刚度、排气 砂芯尺寸、形状 砂芯保有时间
主要控制（检验）项目	砂芯排气 砂芯尺寸、形状

表 4-31　制芯质量的检验项目与检验方法（供参考）

检验项目		检　验　内　容	检验依据及方法	检验者	备注
制芯前	芯盒	芯盒有无合格证 芯盒形状尺寸有无变化 芯盒组合装配的准确性 芯盒的结构形式，分盒面是否符合要求，活块是否完整无缺 芯盒钉接起模装置是否牢固	依据模具使用制度、芯盒图、铸件图，采用目视观察，检查试装或用量具进行检验	操作者和检验员	检验范围每套模型
	托芯板	托芯板工作面平面度有无裂纹或变形	依据图样采用目视观察或量具检验，如平尺、刀口尺、塞尺等		检验范围每个芯板
	芯骨	芯骨的形状及坚固性	依据制芯工艺目视观察检验		检验范围每种芯骨
	工具	制芯工具是否齐全完整	目视观察		各种工具
制芯过程		砂芯外形及尺寸或组合结构 砂芯的紧实度 通气孔是否畅通 砂芯用涂料及涂料的涂刷是否符合要求，砂芯的棱角清晰度 砂芯的存放时间	依据制芯工艺操作规程、铸件图、砂芯图，采用目视观察、样板或量具、砂型硬度器等进行检验		检验范围每批或每种砂芯普检或抽检

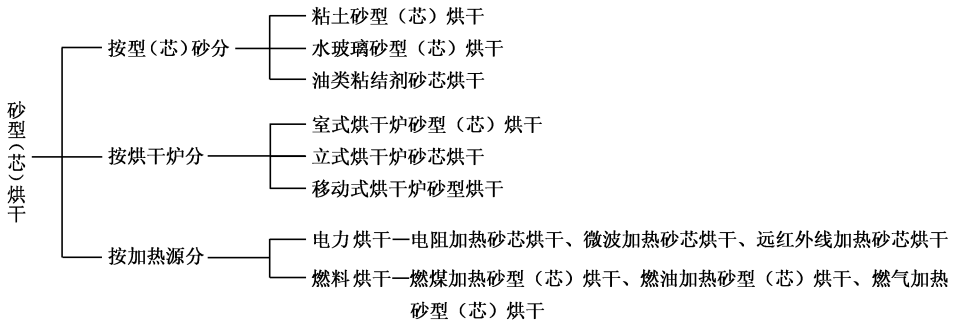


图 4-20　砂型（芯）烘干分类

（2）砂型（芯）烘干的质量要求　砂型（芯）烘干的质量要求主要如下：

1）经烘干的砂型及砂芯的几何形状应与装炉前保持一致，并应无缺损，无明显的变形和裂纹。

2）油类粘结剂砂芯经烘干的表面色泽及表面划痕应达到表 4-32 的规定，砂芯的残余水分应小于 0.4%（质量分数）。

3）粘土砂型（芯）的地坑砂型干燥程度和残余水分见表 4-33。

表 4-32　油类粘结剂砂芯烘干后表面质量要求（供参考）

砂芯类别	合脂砂芯	桐油砂芯	亚麻油砂芯
表面色泽	棕褐色、有光泽	棕黄色或棕色、有光泽	
表面划痕	白色、无砂粒脱落		

注：1. 根据砂芯类别和质量要求，按本表中的要求选定烘干砂芯标样。经烘干的砂芯表面色泽比烘干砂芯标样浅者，表面划痕无白色线条、脱落的砂粒粘手者为烘干不足。

2. 经烘干的砂芯表面色泽比烘干砂芯标样深者，表面划痕无白色线条、酥松者为烘干过度。

表 4-33　粘土砂型（芯）和地坑砂型烘干质量要求（供参考）

类别	铸件壁厚/mm	干燥深度/mm	残余水分(质量分数,%)
粘土砂型(芯)	—	≥80	≤0.4
地坑砂型	≤60	>60	≤0.5
	60～100	>80	
	>100	>100	

注：1. 地坑砂型不易烘干的部位，烘干深度至少应大于 50mm。

2. 测定残余水分时，砂芯壁厚小于 60mm 在壁厚中心取样；砂芯壁厚大于 60mm 在距离表面 30mm 处取样。砂型在距表面 40mm 处取样。

（3）砂型（芯）烘干过程控制（检验）的一般方法　砂型（芯）烘干过程控制（检验）的一般方法见表 4-34。

（4）砂型（芯）烘干质量的检验项目与检验方法　砂型（芯）烘干质量的检验项目与检验方法见表 4-35。

4. 合箱质量的控制（检验）

（1）合箱是砂型铸造过程至关重要的一道工序　合箱又称合型，是将已制好的砂型、砂芯、浇冒口杯等组合成一个完整铸型的操作过程。

合箱也是等待浇注的一道工序，合箱质量不好，往往会导致铸件产生错箱、抬箱、尺寸差、质量差、砂眼、气孔等缺陷，严重时使铸件报废。

表 4-34　砂型（芯）烘干过程控制（检验）的一般方法（供参考）

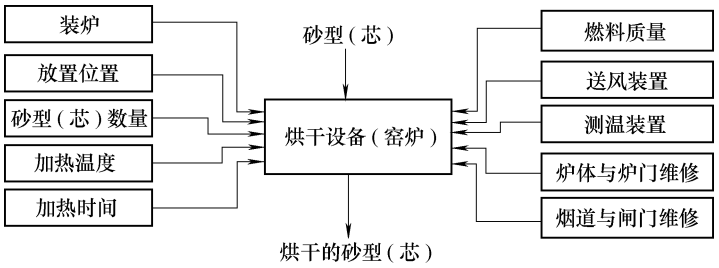
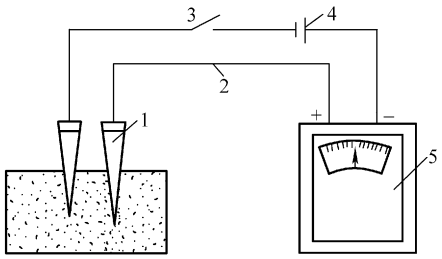
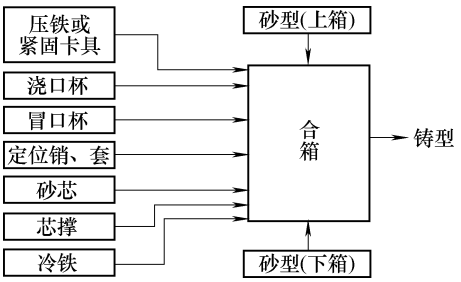
砂型芯烘干过程控制（检验）内容	 砂型（芯）烘干质量控制（检验）： 烘干设备（窑炉）的维修 测温装置的维修 装炉放置位置与数量 砂型（芯）烘干工艺规程 加热温度与时间
主要控制（检验）项目	升温速度与加热时间 最终烘干温度和保温时间 砂型（芯）的烘干程度

表 4-35　砂型（芯）烘干质量的检验项目与检验方法

检验项目	检验内容	检验依据及方法	检验者	备注
烘干前的准备	检查烘干设备、仪器仪表是否符合要求 检查型（芯）放置位置是否符合烘干工艺规定	依据设备或仪器使用制度、方法标准和工艺规程的规定，目视检查	检验员抽检，操作者自检	检验范围为每批砂型（芯）
烘干操作	检查升温速度、加热时间是否符合工艺规定 检查最终烘干温度和保温时间 检查型芯的烘干程度	依据烘干工艺规程规定，查看测温计、计时器或自动记录烘干曲线。无自动测试装置时应测温度和计时，烘干程度可观察型芯颜色或挖砂检查烘干深度。一般烘干深度：砂型大于 40～60mm，砂芯大于 60～90mm，表干型（芯）大于 15mm 还可采用下图所示的仪表检验。其方法是将两根金属棒插入砂型或泥芯中，金属棒间距为 5～10mm，导线为 1mm 铜线，两根导线的一端接在金属棒上，导线间、导线与砂箱间、芯骨间保持一定距离，导线接上电流计，接通电源。随着砂型（芯）的逐渐干燥，电流也随着湿度的降低而减小。当电流计的指针指向 0 时，表示被测部位已烘干；若测不同深度的干燥程度时，可将金属棒插入所需要的深度即可  测定砂型干燥程度的装置 1—金属棒　2—导线　3—开关 4—电源　5—电流针		检验范围每炉次

（2）合箱过程控制（检验）的一般方法　合箱过程控制（检验）的一般方法见表 4-36。

表 4-36　合箱过程控制（检验）的一般方法（供参考）

合箱过程控制（检验）内容	 合箱质量控制（检验）： 砂芯质量：砂芯重要尺寸、砂芯排气通等 下芯：砂芯间及砂芯与砂型的相对位置和配合间隙、砂芯数量、下芯次序、组装砂芯、芯头紧固等 砂型型腔清理、冷铁等 砂箱定位和紧固等
主要控制（检验）项目	下芯操作 砂箱定位和紧固 出气孔和排气道

（3）合箱质量的检验项目与检验方法　合箱质量的检验项目与检验方法见表 4-37。

表 4-37　合箱质量的检验项目与检验方法（供参考）

检验项目	检　验　内　容	检验依据及方法	检验者	备注
合箱装配过程	检查型芯的尺寸、形状、表面粗糙度、有无毛刺、错边、裂纹、凹凸不平 检查型芯烘干程度，有无过烧，通气孔道是否畅通，型芯是否返潮 检查型芯装配尺寸、间隙，装配件安放牢固程度，型芯是否装错 检查浇注系统、型腔内浮砂是否吹净，合箱定位标记是否准确 芯撑及冷铁安放是否符合要求	依据铸型装配图或铸造工艺图，合箱操作工艺规程，通过目视观察或借助钢卷尺、钢直尺、游标卡尺、刀口尺、塞尺等通用量具或样板等专用检具进行检验	操作者自检，检验员抽验	检验范围为每套型芯
合箱装配后	合箱后，非刨口砂箱的箱口四角是否加铁垫，上下箱贴实情况 合箱后有无披缝，落砂现象有无防止跑火的措施 检查浇冒口杯及压铁安放或型箱紧固情况 检查合箱后距浇注停放的时间，合箱后是否标记，以及零件号、金属液牌号等	依据合箱操作工艺规程，目视、手感、计时器检验		检验范围为每个铸型

5. 砂型铸造生产常见造型制芯与合箱的工艺规范

（1）粘土砂湿型手工砂箱造型与合箱的工艺规范　粘土砂湿型手工砂箱造型主要有两箱、三箱、多箱以及叠箱造型等，其造型与合箱工艺规范如下（供参考）：

1）造型前一般应做好以下准备工作：

① 造型前应熟悉铸件的图样和有关工艺文件。

② 应检查模样是否齐全完整，如果模样缺角和变形、活动块残缺不全、活动部分不灵活或从砂型中难以取出、分模定位销松紧不合适时，则应修复加固后使用。

③ 应检查模样的起模、敲模装置是否齐备，合适。

④ 应检查浇冒口模样是否齐全和符合工艺要求。

⑤ 应检查砂箱的吊轴、箱耳、箱壁等是否牢固，定位销与销孔配合是否准确，砂箱尺寸及吃砂量（见表 4-38）是否符合工艺要求。

⑥ 应检查造型底板是否平直、坚固，具有翻转砂箱的足够强度，且尺寸是否符合工艺要求。

⑦ 应检查型砂是否符合工艺要求，有疑问时应委托型砂实验室进行试验。

表 4-38　粘土砂湿型砂箱造型吃砂量要求（供参考）　　（单位：mm）

砂箱内框平均尺寸(长 + 宽)/2	模样外侧至砂箱内壁尺寸	模样外侧至砂箱带尺寸	模样顶部至砂箱顶部或砂箱带尺寸		浇冒口外侧至砂箱带尺寸	铸件之间尺寸
			无箱带	有箱带		
≤300	≥30	—	≥40	—	—	≥30
>300 ~ 600	≥40	—	≥60	—	—	≥40
>600 ~ 800	≥60	≥30	—	≥20	≥20	≥40
>800 ~ 1000	≥80	≥30	—	≥25	≥25	≥50

2）砂箱如有下列情况不能使用：

① 箱壁、吊轴缺损或断裂，影响安全生产者。

② 锈蚀严重或粘有铁块或砂块。

③ 箱壁、箱带严重损坏。

④ 砂箱温度过高。

⑤ 箱带妨碍浇冒口正确放置。

⑥ 砂箱的定位销和定位销孔磨损偏差超过允许值。

⑦ 刨口砂箱箱口的最大平面不平度超过允许值。

3）造型时应注意控制以下要点：

① 造型底板应放平稳和清理干净，模样上如有粘砂应擦干净。

② 砂型吃砂量较大或容易脱落的地方，应下冷钩、铁片、木片等加固。

③ 使用面砂厚度约为铸件壁厚的 1 ~ 1.5 倍，或按工艺要求。

④ 放置浇冒口模样时，应先填入少量型砂，用手工适当捣实，固定在正确位置上。

⑤ 不准填入干湿不均匀的或热的型砂，每次填砂厚度，手工舂实为 80 ~ 150mm，风动工具舂实为 120 ~ 200mm，紧实度要均匀合适，一般控制在 70 ~ 85 硬度单位。

⑥ 需要放置芯撑的砂型，应在选型前考虑好放置芯撑的位置，并适当安放芯撑，以防砂型磕碰。

⑦ 舂砂时应避免舂击模样、浇冒口模样、活块、冷铁和芯撑，以免引起变形或位移。

⑧ 需要安放冷铁的砂型，应按工艺或施工规定放置，表面氧化锈蚀、油污、凹凸不平或不光洁的冷铁不准使用。

⑨ 砂型舂好后，必须扎气孔，气孔针直径 $\phi3\sim\phi5$mm，每 100mm×100mm 面积内气孔不少于 5 个，气孔深度距模样表面应为 10～20mm。

⑩ 底箱应平正安放在软砂地面上。

⑪ 合箱定位线至少要划出三面四处线条，划定位线前应去除箱壁上锈皮和原有线条的痕迹，定位线条应细直清晰。

⑫ 在起模前应先将模样四周压实，抹光，刷少量的水，然后轻微敲动，平稳起模。

⑬ 起出的模样应擦净，收拾齐全，放到指定地方，避免损坏丢失。

4）起模后修型时应注意控制以下要点：

① 起模后应检查型腔各部位紧实度是否符合要求，如有局部松散、缺角，需用同类型砂填补修整。

② 分型面的凹凸处应补平修整，并要保持原有几何形状，在芯头处应压出适当披缝，披缝厚度一般应控制在 1～2mm。

③ 为增加砂型强度，可在砂型凸台、棱角、沟槽、大平面、浇注系统等必要部位适当插钉加固。

5）下芯时应注意控制以下要点：

① 应检查湿型质量，如发现湿型损坏应采取措施解决，型内有浮砂应清除干净。

② 应检查砂芯质量和砂芯是否冷却，不允许将有缺陷的砂芯下入型内。

③ 砂芯应按工艺规定位置及顺序下入砂型，砂芯吊攀孔应补平烘干，盖箱上的吊芯应用螺栓、铁丝或铁钉吊牢，着力点应在箱壁或箱档上。

④ 砂芯上平面需用芯撑时，应先验明其壁厚，然后安放尺寸合适的芯撑，芯撑表面应平正清洁，不得有锈蚀、油污等。

⑤ 按工艺规定使砂型和砂芯的通气道畅通，芯头缝隙必须修补堵塞以防跑金属液。

6）合箱时应注意控制以下要点：

① 合箱前应将型内的散砂再次清理干净，并再次检查铸型质量，如发现砂芯偏移、芯撑漏放时应采取措施解决。

② 合箱按导向销或打印标记准确平稳操作，重要的砂型在合箱前应经过验箱，以免压崩落砂。

③ 按工艺要求放置浇口杆和冒口圈，并应用铁板或纸盖好，防止灰砂落入型腔。

④ 对于大件应抹箱缝。

⑤ 铸型应按次序排列，并应留有一定的浇注通道，浇口杯应位向浇注通道。

⑥ 合箱后的铸型，重要件应标出零件号或名称以及合金牌号和质量大小。

⑦ 脱箱造型时，脱箱后埋好箱，箱与箱之间扎通气孔，也可脱箱后在砂型上套一个结构简单的套箱。

7）压箱或紧固铸型时应注意控制以下要点：

① 在上箱放好垫铁，压铁位置应正确，压铁的质量一般为铸型金属液总量的 3～5 倍。

② 采用箱卡子或其他装置紧固时，用力应均匀，先紧固铸型，后拨合箱销，防止铸型错型或翘起。

（2）粘土砂干型手工砂箱造型与合箱的工艺规范　粘土砂干型手工砂箱造型也有两箱、三箱、多箱以及叠箱造型等，其造型与合箱的工艺规范如下（供参考）：

1）造型前一般应做好以下准备工作

① 造型前应熟悉铸件的图样和有关工艺文件。

② 应检查模样是否齐全完整，如果模样破损、残缺、裂纹、变形、活动部分和定位销松紧不合适、模样相互接合面有偏差或高低不平或难以从砂型中取出时，则应修复加固后使用。

③ 应检查模样的起模敲模装置是否齐备、合理。

④ 应检查浇注系统模样是否符合工艺规定，数量是否齐全。

⑤ 应检查造型底板是否平直、坚固，大小是否符合工艺要求。

⑥ 应检查造型工具是否完好齐备。

⑦ 应按工艺规定检查和使用砂箱，若工艺无规定时，其砂箱的规格尺寸应按表 4-39 范围选用，互相配合的砂箱，上下配合尺寸应力求一致，有偏差时，上箱箱口的尺寸应略小于下箱。

⑧ 应检查型砂、涂料是否符合要求，有疑问时应委托型砂试验室试验。

表 4-39　干型手工造型和抛砂机造型的砂箱规格尺寸（供参考）　（单位：mm）

砂箱内框平均尺寸(长 + 宽)/2	模样外侧至砂箱内壁的距离	模样外侧至箱带的最小距离	铸件之间的最小距离	横浇道边至砂箱内壁距离	浇冒口外侧至砂箱带距离
≤500	40 ~ 60	15	50	> 50	≥20
> 500 ~ 1000	> 60 ~ 100	20	60	> 70	≥25
> 1000 ~ 2000	≥100 ~ 150	25	70	> 100	≥30
> 2000 ~ 3000	> 150 ~ 200	30	—	> 100	≥30
> 3000	≥250	35	—	> 100	≥35

注：模样外侧的边冒口到砂箱内壁的距离按本表横浇道要求控制。

2）砂箱如有下列情况不能使用：

① 砂箱的吊环、吊轴、箱耳有断裂现象。

② 箱壁破裂未经修补或箱带严重损坏者。

③ 开箱后的热砂箱未能冷却。

④ 砂箱带有锈皮、残砂、铁块。

⑤ 箱带妨碍浇冒口的正确安放位置。

⑥ 有定位销的砂箱其定位销和定位销孔的磨损偏差超过允许值。

⑦ 刨口砂箱其箱口平面超过规定。

3）造型时应注意控制以下事项：

① 造型底板应放平整，不得有翘裂现象，模样上的粘砂应擦净。

② 使用非加工砂箱需将箱口垫平，加工砂箱的接触面不得有粘附物。

③ 冷铁应按工艺要求放置，冷铁表面应平整光洁、无锈蚀、无油污。

④ 木模过重时，应用钢丝或螺钉将木模紧固在砂箱上，以免翻箱或开箱时木模脱落。

⑤ 对要翻箱的砂型，砂箱箱带对模过高时，应适当挂上吊砂钩和芯骨，距离模样表面一般应为 20 ~ 40mm，平放在凸台处可用铁齿或铁钉加固，以防型砂脱落。

⑥ 浇冒口应符合工艺要求，放置浇冒口模样时应先加入少量型砂，用手工适当舂实，固定在正确位置上。

⑦ 舂砂时，型砂的干湿度应均匀，用风动工具操作时每次填砂厚度在 200 ~ 250mm 之间，紧实后砂型的硬度应达到 75 ~ 90 单位。

⑧ 砂型厚度超过 400mm 的部位，应放煤渣、焦炭或安放出气棒，以便于砂型干燥和通气。

⑨ 舂砂时应避免冲击木模，不得使浇冒口模样、冷铁、活动快、芯撑引起变形或移位。

⑩ 紧实后的砂箱，上平面应铲平，浇冒口处应修平，并刷上涂料。

⑪ 没有定位销的砂箱，至少要画三面四处合箱定位线，画线前必须将要画线的地方擦干净，画出的线条必须细直、清晰。

⑫ 砂型紧实后应扎气眼。

⑬ 需要连同底板一道翻转的砂型翻转前应用螺栓卡子紧固。

⑭ 开箱后，未起模之间，应在模样四周压出 1～2mm 披缝，分型面必须修平。

⑮ 起模时应在各方向均匀敲动，敲打时必须垫木块，不准用铁锤直接敲打木模。

⑯ 模样起出后，应将模样擦净，并将活动件、浇冒口模样等放在指定地方，避免损坏丢失。

4）起模后修型时应注意控制以下要点：

① 起模后应检查型腔各部位的紧实度是否符合要求，如果有局部松软或缺角，必须用同类型砂修补，若砂型过于松软部分超过总面积的 1/3，应予报废。

② 砂型大块损坏，应先挖松该处型砂，刷上泥浆水，再用同类型砂填实修整，并保持原有几何形状。

③ 砂型的凸台、棱角、沟槽、大平面、浇注系统等关键部位要适当插钉加固，钉子不得锈蚀，插入明钉应与砂型平齐，插入暗钉时应比砂型表面低 1.5～2mm，以防起皮。

④ 修型应做到面平、线直、孔圆、角方、轮廓清晰、尺寸正确，不允许往复多次压型，以免起皮。

⑤ 湿装砂芯时，通气道必须畅通，其四周和连接处缝隙应补平修整，并插钉加固。

⑥ 芯头处的吊拉孔及各部位的通气道必须畅通。

⑦ 按工艺要求涂刷涂料，浇冒口系统应全部涂刷涂料，刷涂料应注意均匀光滑，棱角清晰，不应有堆积现象。

⑧ 砂型完工后经检查员验收合格，在主要件及大中件上应按工艺规定打上标记，操作者应打上代号，以便查考。

⑨ 砂型检查合格后，将尺寸相近的砂型堆叠起来，四周用标准垫铁垫平，砂箱长度超过 2m 时应在中间增加垫铁，以免弯曲。

5）砂型烘干时应注意控制以下要点：

① 正确掌握烘干工艺和砂型干燥的深度，以免砂型在烘干时出现开裂或在浇注时引起夹砂。

② 砂型烘干时，应采取低温进炉、合理控温、缓慢冷却的烘干工艺。砂型进炉后先缓慢升温使砂型表面不致干燥过早，待砂型内外均匀受热，内部温度已达到水的汽化温度后，再将炉温升至所要求的保温温度，使砂型内部水分顺利外逸，然后根据砂型大小保温一定时间，使砂型面层逐渐烘干，最后停火降温使砂型随炉冷却，砂型的烘干温度：一般砂型为 350～400℃，加木屑的砂型为 300～350℃，烘干后的砂型干燥深度一般都在 50mm 以上。

6）下芯时应注意控制以下要点：

① 下芯前，应在放置砂型的地平面上铺上一层松砂，向下排气的砂型应作出通气道。

② 下芯前，应将型腔内的浮砂或其他杂物清除干净，易粘砂部位和铸件表面要求较高的砂型应再上一次涂料，如果不能自行干燥，则应另行烘干。

③ 下芯前应按工艺要求检查型、芯的干燥程度和质量以及型、芯是否成套，如果砂型、砂芯的裂纹超过 2mm，则应将裂纹适当扩大，用涂料膏修补，烘干后再用。

④ 下芯的次序应符合工艺规程规定。

⑤ 下芯时应保证通气道位置准确、畅通，并应放好油泥条或围砂以防金属液堵塞出气道。

⑥ 砂芯吊上型时，吊芯螺栓或铁丝应有足够的强度，使砂芯吊装牢固，位置准确。

⑦ 在砂芯下好后补吊攀时，应先放炉渣再刷粘土浆，用原来的芯砂修补好并烘干。

⑧ 需要放芯撑、垫片时，位置应准确。

7）合箱时应注意控制以下要点：

① 合箱前应再次将型腔内的浮砂或其他杂物清除干净。

② 合箱前应认真检查壁厚、浇冒口位置、气眼等是否符合工艺要求，然后再进行合箱。

③ 合箱时必须验箱，按验箱泥柱高度选用芯撑，芯撑及铁片必须经镀锌（锡）处理，且垫铁

片不得超过 3 块，并放在铸件的内壁。

④ 分型面上允许围油泥条，但不得引起铸件尺寸超差，如不围油泥条则合箱后必须抹箱缝。

⑤ 如果披缝超过 3mm，则应用原砂或石棉绳堵塞修齐。

⑥ 砂型应排列整齐，留有浇注通道，放置的位置和方向应便于浇注。

⑦ 浇冒口圈（杯）必须烘干，放置浇冒口圈（杯）时应平稳、对准、接合严密，浇注前应将浇冒口盖好以防浇入砂子或杂物。

⑧ 合箱后的砂型，应在浇注指示牌上写明产品型号、零件号、合金级别和质量大小等。

8）压箱或紧固铸型时应注意控制以下要点：

① 在上箱放好垫铁，压铁位置应正确，压铁的质量一般为铸型金属液总重的 5 ~ 8 倍。

② 采用箱卡子时，应注意对称打。

③ 采用螺栓紧固时，用力应均匀，先紧固铸型，后拔合箱销，防止铸型错型或翘起。

（3）粘土砂手工地坑造型与合箱的工艺规范　粘土砂手工地坑造型可以采用实样造型、也可以采用刮板造型或组芯造型，其造型与合箱的工艺规范如下（供参考）：

1）造型前一般应做好以下准备工作：

① 造型前应了解、熟悉铸件的图样和各有关工艺文件。

② 应检查模样是否翘曲变形，浇注系统和活动部分是否齐全、位置是否正确，起吊装置是否牢固可靠。

③ 应检查砂箱，如砂箱箱壁与箱档严重断裂、箱档影响浇冒口位置、吊轴不牢固以及砂箱温度过高等情况下均不得使用。

④ 使用新砂箱时，要试放模样，检验各部位的吃砂量。

2）造型前应做好以下有关地坑准备的工作：

① 地坑与地下管道、电缆、厂房柱脚的距离不应小于 2m，以防金属液钻入地层损坏这些设备，引起重大事故。

② 地坑的尺寸应根据模样的轮廓尺寸而定，一般模样侧面下缘与地坑壁间距离应大于 0.6m，在有浇道的侧面应大于 0.8m，模样底面与地坑底的距离应根据砂床的类型控制在 0.4 ~ 0.8m。

③ 相邻地坑之间应放置闸板或压铁隔断，地坑深度在 0.4m 以内的可不予隔断，但地坑与地坑间距离应不小于相邻两坑之小坑深度，最小不得小于 1.5m。

④ 当坑深小于 1m 时坑壁可挖成垂直，当坑壁大于 1m 时坑壁应挖成与水平面成 60° ~ 90°。

⑤ 较大的铸件应尽量采用水泥地坑造型，在同个水泥地坑内同时造两个砂型时可用挡铁板或砂箱圈隔离。

⑥ 除一般质量轻、结构简单之铸件，如砂箱、垫铁、边板等可以不做砂床，直接在挖好的地坑上造型，一般地坑造型铸件都应制作砂床（包括软砂床、硬砂床和加固硬砂床）。

⑦ 生产特大件做加固硬砂床时，坑底要夯实。

⑧ 地坑的使用次数一般应规定为：底部有铸件者使用 3 次，底部无铸件者使用 6 ~ 8 次。

⑨ 永久坑（指砂箱作底平面者）底平面的平面度超过 3mm 时应修整后使用。

此外，生产高度 1m 以下的一般地坑造型铸件应采用软砂床，因为它排气性好，又有一定的承载能力。制作软砂床时应注意以下要点：

① 应先将水泥地坑的坑底和坑壁润湿一遍，舂紧 1 ~ 2 层填充砂，刮平后放一层 100 ~ 150mm 厚的粒度为 50 ~ 100mm 的焦炭或炉渣作排气材料。

② 当砂床面积小于 $10m^2$ 或制作狭长铸件时应放 2 根 ϕ120 ~ ϕ150mm 的排气管，当砂床面积大于 $10m^2$ 时应在地坑的四个角落各放一根排气管，排气管不端的排气材料应厚一些，以利浇注时排气。

③ 在排气材料层上应铺一层草席或草袋，以防填充砂进入排气材料层中影响排气。

④ 在草席或草袋上春制背砂层时，其总厚度应为 200～250mm，春砂时应在纵横方向压两层圆钢杆，圆钢杆间距应为 150～200mm。

⑤ 春完背砂后，应在背砂层上扎出气孔至排气层，出气孔间距应为 300～400mm；然后再春面砂层。

生产高于 1m 的较大地坑造型铸件应采用硬砂床，因为它的底部用砖垛加固，承载能力高于软砂床。但应注意，制作硬砂床与软砂床尚有以下主要不同点：

① 在坑底的填充砂春实刮平后，应侧立砖垛，每 3～5 块为一组，砖垛的间距可约为 250mm，砖垛面积每边应超出模样约 300mm，砖垛之间应填排气材料。

② 其余工序与软砂床同，但背砂层总厚度应为 250～300mm。

生产特大地坑造型铸件应采用加固硬砂床，它不仅具有较高的承载能力和排气性，而且有较高的刚度。但应注意，制作加固硬砂床与硬砂床尚有以下主要不同点：

① 用铺钢轨代替侧立砖垛，并在坑底填充砂春实刮平后，铺设纵横两层钢轨，轨端应固定牢，防止移动，轨间的中心距离应为 200～300mm，铺轨面积每边应超出模样约 500mm。

② 其余工序与硬砂床同，但背砂层总厚度应为 300～400mm，每春两层背砂压一层圆钢杆或砂钩。

③ 底面积较小、但金属液压头较大的铸件（如立浇的砧座），在制作加固硬砂床时，应该用反放砂箱的办法代替铺设钢轨。

④ 如果两上铸件合用一个砂床时，排气层不得相互连通，防止浇注时互相串气。

3）采用地坑实样造型时应注意控制以下要点：

① 如果模样底面是大平面，应先春实一层面砂，刮平后沿表面卧入两根平直钢管，用水平仪找平，作为基准面，然后放入模样。

② 如果模样底面不是平面，则应先将模样放于砂床上，下面用耐火砖垫好，用水平仪找平模样，在模样上压以重物，然后从模样的春砂孔及侧面春面砂。

③ 面砂层厚度应为 60～100mm，大件取上限，面砂应春实，春均匀，每次填松散面砂的厚度约 200mm，春实后的砂层厚度应不大于 100mm，特大铸件每次填松散面砂的厚度约 150mm，春实后的砂层厚度应不大于 70mm。

④ 对于砂型侧壁，每春 2～3 层砂应压一层砂钩，砂钩的间距约 200mm，上、下两层应交错排列。

⑤ 耐火砖管横浇道距铸件应不小于 250mm，端部应用耐火砖堵严，并用铁棒捣固。

⑥ 内浇道离型腔面应为 10～20mm，以便于修出圆角，防止内浇道与铸壁处产生裂纹。

⑦ 凡阻碍铸件与冒口收缩的部位均应放松散砂层（亦可放泡沫聚苯乙烯塑料块或锯末、砂等），以增强退让性。

⑧ 应按砂芯的排气方向设置出气孔，如果砂芯需从上型排气，则在上型需按标定位置设置钢管或火砖管排气孔。

⑨ 型腔较深的砂型，为便于烘干和烧注时排气，应在春砂时沿模样周围且距模样 100～150mm 立放 ϕ20～ϕ25mm 圆钢杆，在修理分型面时抽出圆钢杆留下气眼，再用干砂填满，出气孔间距应为 200～400mm。

⑩ 为加固上型型面防止塌箱，较大的砂箱一般都应绑“拍子”（用圆钢杆纵横排列绑成格架，用钢丝吊在箱带上），拍格间距应为 150～200mm，“拍子”距离型面应为 10～20mm。

⑪ 起模前应在型面划出装配砂芯的相关线并做出牢固的标记。

⑫ 起模后对砂型的松软、损坏和露出背砂处要春实修光，并按砂型类别刷上相应类别的涂料

（石灰石砂可不刷涂料）。

⑬ 对于粘土砂型，在修型时应插钉加固，钉距应为 80 ~ 100mm。

4）采用地坑刮板造型时应注意控制以下要点：

① 轴杠座底部必须平稳、舂实。

② 轴杠装配时应用水平尺校正，轴杠的上端要用压梁固定，压梁应平稳。

③ 按工艺图样尺寸固牢刮板，固牢刮板时应使分型面略低于坑沿。

④ 刮板固紧后应旋转一周，检查轴杠垂直度。

⑤ 舂一段，刮一段，凸出的砂胎应放入加强的铁棍或砂钩，刮完后用刮板校一遍，然后上麻泥。

⑥ 在使用双轴杠刮板造型时，刮板应在一个平面上。

⑦ 砂型全部刮制好以后应定基准线，依次画出装配、合型的十字线和相关线。

⑧ 其余操作注意点与砂箱实样造型一样。

5）采用地坑组芯造型时应注意控制以下要点：

① 铸型全部或大部分型腔应由二氧化碳硬化的水玻璃砂芯组装而成，只是铸型的底面或一小段的侧面是用实体模样舂制而成。

② 首先应舂制好地坑的基础面，划好配芯的相关线。

③ 舂制上箱时应注意模样活块和冒口的定位．防止偏箱。

6）地坑砂型烘干时应注意控制以下要点：

① 地坑砂型的烘干可用移动式烘干炉烘干，烘干时间取决于砂型的大小和工艺要求，一般在 24 ~ 48h，最后检查烘干深度，烘干深度应为 60 ~ 90mm，残余水分（质量分数）不大于 0. 5% 。

② 地坑砂型烘干后，应尽快浇注，以免吸潮。

7）下芯时应注意控制以下要点：

① 应检查砂型、砂芯的烘干程度，通常地坑砂型的烘干深度应为 60 ~ 90mm、残余水分应不大于 0. 5% ，如不符合要求时应进行第二次烘烧。

② 重要铸件及易粘砂部位，应重刷涂料一次，并进行烘烤。

③ 应检查型、芯通气道是否畅通。

④ 复杂砂芯的安装，应对照工艺图样要求，并用样板检查。

⑤ 应检查浇注系统是否畅通，位置是否正确，直浇道的底部应安放铁板或耐火砖。

⑥ 砂芯撑和垫片应经镀锡（锌）处理，垫片数不得超过三片，垫片应置于铸件内的侧面。

⑦ 下芯一般不超过 3 天，如有特殊情况应采取有效措施，防止回潮。

8）合箱时应注意控制以下要点：

① 合箱前应进行验箱，验箱时应检验上部壁厚，浇冒口是否对准，气路是否畅通，周围泥条是否压实，还应检查砂型、砂芯是否压坏。

② 按验箱泥柱高度选放适宜高度的芯撑。

③ 对接砂型（箱）的接缝应用石棉绳塞紧后再填砂紧实。

④ 合箱时下底部芯的位置和尺寸要按图样或样板检查，下浇道芯应检查各浇道是否畅通，位置是否正确。

⑤ 砂芯试下后，需要修刮砂芯时，应在型外进行，修刮后应再刷涂料，并烘干。

⑥ 分型面披缝不得超过 7mm，内部披缝不得超过 4mm。

⑦ 砂芯下完后，应用芯撑卡紧固定，或型腔内的浮砂吹吸干净后，砂芯上表面应再刷一次涂料，并烘干。

⑧ 下芯的时间一般不应超过 3 天，特殊情况可以适当延长，但应采取措施，防止回潮。

⑨ 合箱后四周要用砂填实，对接箱缝用石棉绳塞紧后再填砂，并检查通入地坑内的出气管有无堵塞，上箱的气眼应用砂子、泥条、石棉绳等围好以防浇注时金属液堵塞气眼。

9）压箱或紧固铸型时应注意控制以下要点：

① 卡紧（背箱）垫铁应分布均匀，数量适当。

② 压铁应放平稳，牢固可靠。

③ 压铁的质量大小应符合工艺规定，一般按浇注金属液质量的 3～5 倍选择。对于大件和重大件压铁质量，在用经验公式确定后，最好用抬箱力计算公式验算。

（4）呋喃树脂自硬砂造型（芯）与合箱的工艺规范　呋喃树脂自硬砂造型（芯）与合箱的工艺规范基本上和粘土砂湿型手工造型（芯）与合箱的工艺规范相同。

呋喃树脂自硬砂造型（芯）与合箱的主要操作控制要点如下（供参考）：

1）按呋喃树脂砂工艺制作模样和芯盒。其起模斜度比粘土砂模样大 0.5～1.5 倍。为保证尺寸精度，模样宜采用抽芯模，肋条也应做成可拆式。当模样凹处过深时，可用活块或砂芯形成。

2）模样、芯盒的工作面应清擦洁净，并涂刷脱模剂。复杂砂芯芯盒可用石蜡、汽车蜡或片状石墨作脱模剂。较大模样芯盒可采用专用脱模剂。

3）砂箱尺寸的选用，其吃砂量应比粘土砂小，一般砂铁比㊀控制在 3∶1 左右。

4）呋喃树脂自硬砂的砂型、砂芯紧实度对其实际的强度影响极大。在造型（芯）时，最好用震实台紧实，或手工捣实。紧实要均匀，否则疏松部位在树脂热解后极易剥落。

5）呋喃树脂自硬砂型（芯）排气要畅通。扎气孔是最简易有效的办法。在砂芯中不便扎气孔处可挖通气道，采用大粒砂、稻草把、空心尼龙软管或做成空心砂芯等。

6）浇注系统的设置应保证金属液在型腔内流动畅通，充填均匀、平稳，流程不宜太长。宜采用快速浇注原则，以缩短浇注时间，如适当分散内浇道。对中、大件浇注系统的冲刷处，宜用耐火砖片或用耐火制品做浇注系统，增强抗冲刷能力。

7）加强排气与撇渣，设置出气冒口或出气片。

8）呋喃树脂自硬砂硬化速度，除混合料的选用及配比外与原砂温度、工作环境温度、相对湿度等关系很大。造型（芯）最佳的工作温度是 20～30℃。温度过低，硬化速度过慢，会延缓脱模时间。温度过高，自硬砂的可使用时间过短，影响型、芯的紧实。

9）也应控制模具表面的温度。若砂温适宜（25～30℃），而模具温度过低也会导致脱模困难。

10）严格控制脱模时间，在不影响粘模和砂型、砂芯尺寸精度条件下，尽早脱模。过早脱模会造成粘模，过迟脱模可能造成局部卡紧使脱模困难，甚至损坏砂型（芯）。

11）砂型（芯）基本固化后，一般在制型（芯）6h 后才能施涂涂料（刷、浸、喷）。施涂应做到均匀光滑、棱角清晰、无堆积现象。涂层厚度视铸件壁厚而定，不能一次涂得过厚，要多次施涂达到所要的涂层厚度。

12）可用水基或醇基涂料，如果选用水基涂料则砂型（芯）需干燥，如果选用醇基涂料则施涂点燃后不要立即合箱、需停放一段时间。

13）砂型、砂芯损坏处需用同类砂修补，并插钉加固。硬化后刷醇基涂料，裂纹处可用密度较大的醇基涂料修补、点燃。

14）树脂砂型较平整，合箱时沿分型面、芯头处不用泥条，采用柔软均匀的石棉绳即可。减小披缝、尺寸偏差小，要充分显示树脂砂工艺的优越性。

（5）双快水泥自硬砂造型（芯）与合箱的工艺规范　双快水泥自硬砂造型（芯）与合箱工艺规范基本上可参照粘土砂湿型手工造型与合箱的工艺规范。

㊀ 砂铁比是每一铸型中型砂和芯砂的总质量与浇注金属总质量的比。

双快水泥自硬砂造型（芯）与合箱的主要操作控制要点如下（供参考）：

1）按双快水泥自硬砂工艺制作模样和芯盒，其起模斜度应比粘土砂模样大 0.5 ~ 1.5 倍。为保证尺寸精度，模样宜采用抽芯模，肋条也应做成可拆式。

2）双快水泥自硬砂流动性好，无需用捣固机捣实，用微震台紧实即可。高度大的型（芯）及不易紧实处，可手工用木棒补充紧实。

3）双快水泥自硬砂排气要畅通，除造型时多设置出气冒口外，在砂芯中也应加强排气措施，如挖通气道，放大粒砂、稻草把或埋钢管等形成通气道，并确保位置准确。

4）起模时间最好控制在造型后 45min 左右，此时砂型表面硬度计的读数约 75，2h 后即可翻箱，砂芯即可起吊。

5）涂料仍可采用石墨水基涂料，涂料施涂（刷、浸、喷）应做到均匀光滑、棱角清晰，不应有堆积现象。要求涂料层较厚（1 ~ 1.5mm），可施涂两次。

6）浇冒口系统基本与粘土砂干型相同，内浇口要分散，浇注速度应稍大，金属液上升要平稳。

7）砂型、砂芯放置 24 ~ 48h 后，施行低温烘干。

8）砂型、砂芯损坏后可用双快水泥修补，大块损坏可用双快水泥调成胶泥粘合。

（6）水玻璃 CO_2 硬化砂造型（芯）与合箱的工艺规范　水玻璃 CO_2 硬化砂造型（芯）与合型的工艺规范，要点如下（供参考）：

1）造型（芯）前一般应做好以下准备工作：

① 熟悉铸件的工艺图及有关工艺文件。

② 检查模具、芯盒是否完整，有无变形及损坏，定位要准确，起吊具齐全牢固，活块出砂性能及定位符合工艺要求。

③ 检查砂箱及附具是否安全可靠。

④ 按工艺要求准备好造型材料、冷铁、浇注系统、冒口、退让材料。

⑤ 清理工作场地等。

2）造型（芯）操作时应注意控制：

① 对硬化后起模困难的活块、肋板等，应事先采用打蜡、垫纸板以及吹硬前适当晃动等方法。

② 使用加有粘土的水玻璃砂时，为防止粘模，应在模型、芯盒以及型板表面刷一层煤油。

③ 采用砂箱造型时，较大模型翻箱要将模型用铁丝和螺栓紧固在箱带上。

④ 装砂的砂斗，要注意防止风干用湿草袋盖好，表面硬化层砂严禁作面砂使用。

⑤ 水玻璃 CO_2 硬化砂使用背砂的水分要求≥4% ~5%（质量分数），透气性大于 100。

⑥ 春砂时应使各部位紧实度均匀一致，紧实度要高，春砂过程一般不应中途中断，否则再次春砂时，要去掉接头处的硬化层，然后再填入新砂接春，机器造型震击时间不宜过长。

⑦ 芯骨的形状尺寸、结构和强度应满足铸件工艺要求，主芯骨距芯盒壁的距离可参见表 4-40。

⑧ 水玻璃 CO_2 硬化砂芯可做成空芯和壳型芯，对于被钢液包围的砂芯内，要填入干砂或炉渣，并注意排气。

⑨ 一般件砂型硬化后起模时可不压砂钩，小而简单的砂芯可不放芯骨，中型砂芯的芯骨应适当减少，一般只需放 1 ~ 2 根供吊装的铁棍即可，复杂大砂芯也可不必绑架子。

⑩ 由于水玻璃砂高温出现软化和用石灰石砂出现 CaO 分解，对高大而厚的砂型，周围背砂要春紧实，厚度要大一些，并且应适量压些砂钩加固，严防胀箱。

⑪ 刮板造型时应随刮随修，带有春砂网者要春一段，立即修好一段。

⑫ 一般盖箱保持吃砂量在 30 ~ 50mm，带砂胎的型应挂砂钩或吊排子。冒口周围要挂些钩子并保证有足够的吃砂厚度，防止钢液跑火。

⑬ 使用水玻璃 CO_2 硬化砂造型、制芯一般情况下不用插钉子，在起模易损坏部位春砂时可卧

入铁棍或铁钉。

⑭ 凡不加粘土的水玻璃砂，均需硬化后起模，对损坏处可进行修补，修补时刷一层水玻璃液，适量插些型钉，修成后吹 CO_2 气硬化。

⑮ 对木模未做出的圆角，硬化后可用砂轮片磨出。

表 4-40　主芯骨距芯盒壁距离（供参考）

砂芯平均轮廓尺寸/mm	主芯骨距芯盒壁距离/mm
<500	50～70
500～1000	70～90
>1000	<100

3）型（芯）硬化及检查时应注意控制以下要点：

① 用 CO_2 硬化砂型及砂芯时，一般可采用直接吹气法硬化（将通有 CO_2 气的导管插入砂型、砂芯上留出吹气孔内，使其硬化），吹气孔直径为 ϕ10～15mm，孔间距离为 100～200mm，气孔要贯通面砂层，在大面上气孔呈交错排列，靠近模型或芯盒壁处距离要小些，型腔周围气孔要扎在面砂层中间，并贯通全高。

② 无湿强度的砂型均先硬化后起模，砂芯应先硬化后拆芯盒，机器造型采用先起模后硬化（一般加粘土使其具有湿强度）。

③ 对先起模后硬化的砂型，以及大的底面砂型，可采用扣罩法硬化（将 CO_2 气通入用罩子封闭的型腔内，使其硬化）。

④ 吹 CO_2 气时，气压一般控制在 0.10～0.15MPa 为宜，并用较低的流量，压力太高流量过大不仅硬化强度低且发生过硬现象使型呈白色，吹气时应注意将浇注系统、冒口等漏气部位预先堵死，以防跑火造成浪费。

⑤ 通气后要注意检查硬化情况，用锤击听声音，或用划痕法检查，划痕呈细白色说明硬化良好，此时应及时倒换通气管，防止过硬或吹不透。

⑥ 加罩硬化时，通气时间为 2～5min，硬化不良处用扎气孔、通管吹气方法使其达到要求。

⑦ 对钢液接触面上的吹气孔和容易发生钻钢液部位上的吹气孔，硬化后要用砂堵死，防止钢液流入。

⑧ 硬化后的砂型和砂芯，应停放在干燥的场地上，防止反潮及治水。

⑨ 硬化后停放时间较长的砂型和砂芯，如表面发生严重“白粉”化，以及硬化强度降低者，严禁使用。

⑩ 水玻璃 CO_2 硬化砂型需要在炉中烘干时，烘干温度为 230～250℃，烘干时间为 6～8h。

4）采用地坑造型时还应注意控制：

① 一般件用软砂床，15t 以下大件用硬砂床，30t 以上件使用加固砂床。

② 砂床舂实厚度在 60～100mm，每两层间压一层砂钩或圆钢，间距 150～250mm，上下两层交错排列。

③ 砂床用的排气材料为干砂块、炉渣、碎砖块、焦炭块等，块度为 40～150mm；若是软砂床则只填放排气材料，舂实厚度为 100～150mm，若是硬砂床则在填砂层上应放砖块，2～3 块为一组，间距 150～200mm，放砖区域应超出铸件边缘 300～500mm，在砖组间放入排气材料，并舂紧；若是加固床，应在填充砂上纵横各放一层钢轨，钢轨两端卡紧，轨距中心为 300～400mm，钢轨超出铸件边缘 500mm，在钢轨格子中放排气材料。

④ 在排气层上放一层草垫或麻袋片，用 ϕ100～ϕ150mm 的钢管做砂床排气管，下部管口埋入排气层，上部管口高出坑面 200～300mm。

⑤ 草垫上舂填充砂，厚度为 200～400mm，砂床 CO_2 硬化层要均匀和硬实，注意堵死吹气孔，

并留出气眼通到排气管。

⑥ 连续生产时，如果砂床未受破坏，则可重复使用，但砂床温度要保持低于室温，以便于修补。

5）下芯与合箱时应注意的控制事项还可参见粘土砂干型手工造型和地坑造型的下芯与合箱的控制事项。

（7）水玻璃有机脂自硬砂造型（芯）与合箱工艺规范　水玻璃有机脂自硬砂造型（芯）与合箱工艺规范基本上可参照水玻璃 CO_2 硬化砂造型（芯）与合箱的工艺规范，其主要操作控制要点如下（供参考）：

1）造型（芯）操作时还应注意控制以下要点：

① 采用碾轮式混砂机，混砂时可将碾轮拆下，或将碾轮抬高 70 ~ 100mm，并调整定量。

② 采用连续混砂机时，要注意调整头砂量，在每次生产前要检查定量，生产后要清理搅拌机内残砂，将水玻璃泵浸在水玻璃液料中。

③ 将造型造芯辅料、冷铁准备好，以免影响操作时间。

④ 舂砂要紧实，采用特殊面砂层时，其厚度为 20 ~ 50mm，中间砂层厚度为 300 ~ 350mm。

⑤ 砂芯一般全部采用面砂，厚度视芯盒的大小而定，砂芯中间填退让材料，以利收缩和出气，填料可用干砂块、焦炭块、废空心砖。

⑥ 按气温、水玻璃模数，脂的种类（快、中、慢）和加入量选择使用时间和起模时间，一般造型（芯）的可使用时间为 30 ~ 60min。

⑦ 造型（芯）时如果长期间隔出现接层，则一定要在砂床未凝固前加入新砂。

⑧ 脱模时间一般掌握在使用时间 5 倍以上，大的型（芯）脱模时间要大于 24h。

⑨ 为加速砂芯硬化，在形成结壳时可先打开部分芯盒面，使之接触空气便于硬化。

⑩ 如使用铁型板造型，要用干砂或报纸隔离。

⑪ 舂砂层厚度不得大于 200 ~ 250mm，并要舂实，砂芯舂平后扎出气孔以利于硬化。

⑫ 涂料使用醇基涂料，热节厚的部位增加涂料施涂次数，加厚涂料层以防粘砂。

2）型（芯）硬化及检查时还应注意控制以下要点：

① 为便于大件硬化，在操作过程中可采用先慢后快的硬化方式，逐步调整有机脂种类和加入量，达到快速硬化。

② 砂芯可做成空芯状以加快硬化。

③ 根据型砂试样的即时强度、1h 强度、24h 强度等预测硬化时间，水玻璃在冬季需加温后使用。

④ 采用锤击听声、划痕呈白色等方法检查硬化情况。

⑤ 砂芯出芯盒后，放置时注意垫平，放稳，避免悬空放置。

（8）石灰石水玻璃砂造型（芯）与合箱的工艺规范　石灰石水玻璃砂造型（芯）与合箱的工艺规范基本上可参照水玻璃 CO_2 硬化砂造型（芯）与合箱的工艺规范，但还应注意控制以下要点（供参考）：

1）造型（芯）操作时应严格执行“硬、光、通、净”的原则，要求造型（芯）时舂紧实，使其硬度不低于工艺规定的要求，造型（芯）时应修光刮平，各处气道必须贯穿畅通，待浇注的铸型型腔必须光洁干净。

2）浇注系统的设置应使金属液在型腔内流动畅通、平稳，以防止金属液对型壁的冲刷。宜采用底注法，内浇道需多道并适当分散。浇道宜用耐火砖片或耐火制品制作。

3）加强排气、排渣措施。由于石灰石砂中的 $CaCO_3$ 在 600℃左右即分解，产生大量 CO_2 气体，所以砂型（芯）排气要畅通，要多设置各种排气通道（出气孔、排气槽、出气口）。补缩冒口宜采用明冒口。若必须采用暗冒口应另设排气措施。排渣应设置集渣包或集渣槽。

4）石灰石水玻璃砂型（芯）需要烘干时，温度切不可过高，要防止型砂的热解作用。

5）为防止石灰石水玻璃砂易使大型厚壁件形成缩沉缺陷，可采用抗缩沉的镁、碳质复合石灰石水玻璃砂。中等壁厚件可用仅添加石墨或渣油等碳质材料的石灰石水玻璃砂，同时砂型表面应涂上合适的涂料。此外，在型壁插钉既可加速冷却，又可加固型壁，减少位移。

（9）机器造型与合箱的通用工艺规范　机器造型与合箱通用工艺规范主要是指各种类型的震实、震压、射压、高压、微震造型机造型与合箱时共同遵守的工艺规范，具体内容如下（供参考）：

1）造型前一般应做好以下准备工作：

① 造型前应了解、熟悉铸件的图样和有关工艺文件。

② 应检查模样，如果模样有破损、残缺、裂纹、变形，或活块和定位销松紧不合适，或浇注系统模样不全、无定位装置等现象，则应修复后使用。

③ 应检查模板、坐标模板与模样上所刻定位线的编号是否相符和清楚，模样在木质模板上的定位是否准确可靠且尺寸偏差是否符合有关工艺规定，模板翘曲量不应大于 1mm，木质模板与砂箱接触面不应大于 1mm。

④ 应检查模板或模板框上的定位销和砂箱上的定位套孔的尺寸精度，超过允许的磨损量时应更换。

⑤ 应检查砂箱，如果砂箱定位销或定位套孔磨损超过极限偏差、箱把有裂纹、砂箱粘有大量干砂或金属液渣等均不能使用。

⑥ 造型机及其辅助设备应进行试运转，润滑应符合设备保养规定。

⑦ 应检查背砂、面砂或单一砂是否符合工艺要求。

⑧ 应检查所用的下芯定位夹具、样板等是否符合工艺要求。

⑨ 应检查冷铁、芯撑、垫片的质量，不允许有油、水、锈存在。

⑩ 应准备所需脱模剂和其他辅助材料及工具。

2）造型时应注意控制以下要点：

① 造型前应将模样与模板对准定位线编号，并紧固牢靠，用煤油等分模剂擦拭模样。

② 按工艺规定安放冷铁，冷铁表面应光滑、平整、无锈。

③ 需要放置特殊型砂时，也应按工艺规定的部位预先放好。

④ 填砂前应先将活块周围用砂塞实，吃砂量过大或深凹棱角处应放砂钩或钉子加固。

⑤ 浇冒口模样按工艺规定安放，保持垂直。

⑥ 按工艺规定需采用面砂时，面砂应均匀覆盖在模样及浇注系统模样上，紧实后的厚度应为 15～45mm。

⑦ 扎气眼每 100mm×100mm 应不少于两个，气眼针直径应为 ϕ4～ϕ8mm，扎入深度应离模样表面 15～30mm，暗冒口顶部应扎气眼。

3）修型时应注意控制以下要点：

① 应检查砂型硬度是否达到工艺规定的要求（一般为 65～85 硬度单位），如发现局部松软或破损处应用同类型砂修理补实。

② 当砂型总体达不到硬度要求，或扒砂严重失去修型基准面的应报废。

③ 修型要求面平、线直、孔圆、角方、轮廓清晰，修型后的砂型应保持原来的几何形状，尺寸与模样相同。

④ 为提高砂型强度，在必要的部位如浇注系统附近、易粘砂处、深肋部位及大面积损坏处应允许插钉加固，加工面和芯头处应插暗钉。

⑤ 应按工艺规定作出通气道和砂芯紧固孔，凡需露出的通气孔均应露出。

⑥ 湿装砂芯时其四周缝隙应修补平整，并应加固。

⑦ 修型完毕后，对于需要烘干的砂型，应均匀涂刷涂料。

⑧ 修型完毕后，对于重要件，应有打印标志，标明浇注要求。

⑨ 砂型叠放时，四角垫铁应垫平，高度应符合工艺规定。

4）下芯时应注意控制以下要点：

① 应检查砂芯质量，不允许将有缺陷的砂芯下入型内。

② 应检查砂型质量，发现有干砂块、夹杂物等应采取措施解决。

③ 应按顺序下芯，重要件应用样板控制砂芯的位置，并安放要牢固。

④ 需要下芯撑、垫片时，其位置和数量应保证符合工艺要求。

⑤ 按工艺要求，应使砂型与砂芯的通气道畅通。

⑥ 应堵塞好芯头与芯座等的间隙，防止跑金属液。

5）合型时应注意控制以下要点：

① 应检查铸型质量，如发现砂芯偏移、芯撑漏放、型内有散砂时，应采取措施解决。

② 合型前应检查砂芯的位置，以保证铸件壁厚。

③ 干型合型时温度不得大于 60℃。

④ 合箱时应以导向销为准，对正平稳操作。

⑤ 应按工艺要求放置浇口杯和冒口圈等。

⑥ 合箱后的铸型应按工艺规定的地点放置等待浇注。

6）压箱或紧固时应注意控制以下要点：

① 放压铁前应控制上箱砂面高度。

② 压铁机械手应调整准确，不得压偏、刮砂或碰坏浇口杯。

③ 压铁总质量应为铸型中金属液总质量的 3 ~ 5 倍。

④ 采用箱卡子或其他装置紧固时用力应均匀，先紧固铸型后拔合箱销，防止砂型错位和翘起。

7）质量检查频次一般如下：

① 逐型检查砂型质量。

② 逐批抽查砂型硬度。

③ 逐个检查砂芯位置准确性。

④ 适当抽查铸型是否有错误。

（10）震实机械造型与合箱的工艺规范　震实机械系指翻台式、顶杆式震实造型机，其造型与合箱的工艺规范，除可参照机器造型与合箱通用工艺规范外，还应注意控制以下要点（供参考）：

① 造型前还应按工位分工检查生产线上的设备是否正常，主要包括造型机震实起模机构、气吊气动推杆、落砂机构、铸工输送小车、回砂输送带等。

② 造型前还应检查模板与模板框（或工作台）安装是否牢固（造型时不允许有相对运动），模板与模板框高度是否基本一致，通常允许模板低于模板框不大于 0. 5mm。

③ 造上型时应扶正直浇道，并在震实的同时塞紧直浇道四周，震实后补充、刮平，保持砂型面与箱口齐平。

④ 放背砂应适量，边震实边刮平，四角处应有足够的砂和均匀的紧实度。

⑤ 下砂型震实后供补压用的留砂层厚度一般应为 20 ~ 40mm。

⑥ 下箱翻箱应平稳，防止冲击和震动，压实时必须把所留压砂层压掉才能起模，防止挤箱。

（11）震压机械脱箱造型与合箱的工艺规范　震压机械（如 Z114 等类型的造型机）脱箱造型与合箱的工艺规范，除可参照机器造型与合型通用工艺规范外，还应注意控制以下要点（供参考）：

① 造型前还应检查造型机的震实、压实、起模等各部分动作是否有故障，只有在完全正常的情况下方可进行造型。

② 造型前还应检查砂箱、模板、压砂板、弹簧直浇道是否配套好用。

③ 造型时，背砂应一次放足并填满四角处，上、下箱震实和压实后，型砂一般不应低于箱口 10mm。

④ 翻箱时不应有很大的震动，同时右膝不要直接碰在震动阀门上，以防出事故。

⑤ 砂箱应完全脱离砂型后才能翻转，以免碰坏砂型或造成错箱。

⑥ 砂型移到铸工输送小车（或浇注地）上时，操作应平稳，不许靠在身上，以防错箱。

⑦ 套箱前，应检查套箱质量，四个壁是否灵活好用，四个壁是否完全接触砂型。

⑧ 套箱时，应平稳准确、套紧，防止错箱及跑火。

（12）射压、高压、微震造型线造型与合箱的工艺规范　射压、高压、微震造型线使用的是射压、高压、微震造型机，其造型与合箱的工艺规范除可参照机器造型与合箱的通用工艺规范外，还应注意以下要点（供参考）：

1）造型前应注意控制以下要点：

① 按工位分工检查造型线上的设备是否正常，主要包括各液压缸的油标、主机的加砂、震实、压实、起模机构、出箱、翻箱、合箱机构、落砂机构、铸工输送小车和回砂带等。

② 检查模板与模板框（或工作台）安装应牢固，如有松动，紧固后再用。

③ 模板与模板框安装后的高度允差各厂可自行做出规定。

2）造型时应注意控制以下要点：

① 预热模板，使其温度上升到规定的温度。

② 高压造型的压射比压控制在 0.6～1MPa 内。

③ 多触头高压造型机的小触头不得缺少，并根据生产需要适当调整高度。

3）出箱、修整、下芯时应注意控制以下要点：

① 润滑和调整出箱夹紧机构，出箱时防止撞击。

② 及时调整或更换刮砂板，以保证刮箱符合工艺要求。

③ 根据工艺需要，设置直浇口、冒口、通气孔，并去除浮砂，修饰光滑。

（13）批砂机造型与合箱的工艺规范　抛砂机造型与合箱的工艺规范除可参照机器造型与合箱的通用工艺规范外，还应注意以下要点（供参考）：

1）造型前应注意控制以下要点：

① 检查抛砂机运行是否正常，如润滑部位是否润滑良好，油路或盛油部位有无渗漏，易磨损件（砂碗、扩板）是否符合工艺要求。

② 检查、清除抛砂机工作区的障碍物。

③ 其他准备按手工造型工艺规范进行。

2）造型时应注意控制以下要点：

① 放置浇注系统、冒口模样时，应填入少量型砂手工捣实，使其固定在正确的位置。

② 用面砂培好模样，并规定出一定的厚度。

③ 凸台和活块部位，应用手工或风动工具捣实，保证紧实度，防止活块偏移。

④ 在砂箱边角及不易抛到处，用手工或风动工具先捣实。

⑤ 抛砂时使抛砂头依一定回转路线匀速前进，逐渐填满，以保证紧实度均匀。

⑥ 其他造型要求可按手工造型工艺规范规定。

（14）粘土砂手工制芯的工艺规范　粘土砂手工制芯的工艺规范，要点如下（供参考）：

1）制芯前一般应做好以下准备工作：

① 新制砂芯应首先了解其工艺特点和要求，以确定主要操作方法。

② 应检查芯盒是否符合工艺要求，如果芯盒过于单薄或破损、芯盒个别部分因勾砂而不能起

出、活块数量不全、安放不牢或倾斜量大、吊块定位不准、内腔缺棱少角或凸凹不平或变形裂纹影响铸造精度、活块与活块或活块与芯框配合不当不能脱落自如、芯盒标记（如芯盒编号、出气方向、吊襻位置、芯头、砂芯在砂型中的紧固方法、应修出的圆角位置等）不全或不正确时，应修好芯盒后方能使用。

③ 应检查芯骨是否符合工艺要求，数量是否足够，如果芯骨刚性和强度不够难以支持整个砂芯重力、吃砂量太小妨碍铸件正常收缩（芯骨吃砂量应按表 4-41 控制）、影响填砂舂实和正常透气、吊攀位置不当、芯骨伸入芯头部分的长度太短不能支承砂芯时，芯骨都不能使用。

④ 应检查芯砂是否符合工艺要求。

⑤ 应检查冷铁尺寸和使用次数是否符合工艺规定，表面是否光滑平整，有无油污和锈蚀。

⑥ 检查烘芯板、样板、刮砂板是否符合要求。

表 4-41　芯骨吃砂量（供参考）　　（单位：mm）

芯盒内腔尺寸	吃砂量	芯盒内腔尺寸	吃砂量
≤500	≥20	1001 ~ 2000	≥40
501 ~ 1000	≥30	>2000	≥50

注：易开裂铸件芯骨的吃砂量可参照本表适当放大。

2）制芯时应注意控制以下要点：

① 填砂前应将芯盒垫平放稳，并将芯盒框内和活块周围清理干净。

② 填砂时活块和凸台部分应紧实和插钉加固，每次填砂高度 100 ~ 200mm。

③ 芯骨在放入前应刷泥浆水，当砂芯高于 500mm，而芯骨齿朝上放时，齿之间应用铁丝缠牢以免砂芯变形。

④ 在砂芯薄弱处或复杂砂芯中芯骨无法伸到的地方，应埋入铁钩、辅助芯骨或铁钉局部加固，必要时应与主芯骨紧固在一起。

⑤ 长圆形砂芯的芯骨位置应力求适中，并伸入芯头 2/3 处。

⑥ 砂芯的通气道应符合工艺要求，大砂芯中间需放炉渣、焦炭或其他通气物，通气物的吃砂量应为 50 ~ 200mm。

⑦ 当填砂面为工作表面时，应做出圆角并插钉子加固，修理平整，刷上涂料。

⑧ 当填砂面不平时，必须用托架或芯砂垫平。

⑨ 舂砂时不允许用风舂子撞击芯盒边缘、芯盒壁或突出部分，舂砂必须紧实，活块下面、凹槽、窄沟等不易舂实处，应先用手工舂紧。

⑩ 在芯盒内用耐火砖作浇道或拉肋时，接缝要塞好，周围要舂紧，砂芯的反水道处要用面砂。

⑪ 如砂芯需放置外冷铁则应按工艺和铸件的要求放置，外冷铁间距要小于冷铁长度，肋板两侧的外冷铁应交叉排列。

⑫ 在舂砂面上卧凸台或棋子时位置应准确。

⑬ 挖吊襻必须位置准确，其大小应保证挂钩方便。

⑭ 干燥板不平时，必须在上面铺一层砂子，工作面朝下时要铺一层报纸，使用无透气孔的干燥板时，砂芯必须垫起干燥或干燥后翻转回窑。

3）修芯时应注意控制以下要点：

① 拆卸芯盒时，必须用木块垫在芯盒上敲打，防止芯盒损坏。

② 拆卸芯盒后应仔细检查活块和外冷铁的位置，如有偏移，要进行校正，芯盒要及时对好。

③ 应仔细检查砂芯各部分的紧实度，损坏、掉砂和松软之处应刷上泥浆水或水玻璃，用同类砂修补，受金属液冲击部位应插钉加固，砂芯有分层时应刮松砂子重新捣实修平并用铁钉加固。

④ 应按工艺和铸件要求打圆角和割肋，但砂芯头不应作过多的修整，以免变形。

⑤ 应根据铸件的要求插打子，一般钉子间距小于 100mm × 100mm，上镁砂膏的砂芯钉子间距

应小于 80mm×80mm，凡受金属液冲击处、内浇道附近、活块附近及凸出的砂胎处钉子要密一些。

⑥ 砂芯的工作面和浇注系统应普遍刷涂一次，重要部位应刷涂两次，刷涂料应平整均匀，无堆积、流挂和漏涂现象，要求棱角清晰，表面光洁。

4）砂芯组合时应注意控制以下要点：

① 在大芯上湿装小芯时，不得任意磨削其结合面，且应将两结合面之一刷上粘土浆并将两者压配合适，用砂子挤紧，将对合缝修平，并联通出气道。

② 两半砂芯的组合在干燥后进行，组合时要保证砂芯的形状和尺寸，气道要畅通，接缝处吻合要紧密，连结要牢固，缝隙要塞严、抹死、刷以涂料，进行烘干。

③ 对于工作面朝下的砂芯组合，必须在翻转前进行检修并刷第二遍涂料。

④ 对于多片砂芯组合，应选择形状简单、有大平面或大芯头的一片砂芯作基准开始组合，结合面应平整，涂上泥浆，然后对准压紧，并用规定的样板校正。

⑤ 组合砂芯应将对合缝修补平，受金属液冲击的对合缝应该用粘土、白铅粉、纸浆液的混合料挤入修理，其他对合缝可以用普通涂料膏修理，对合缝如有大于 5mm 的裂纹应加以适当扩大后再用同类芯砂修理。

⑥ 砂芯组合以后，除已刷过二遍涂料的地方以外，均应再普遍刷涂料一次，并按工艺规定进行第二次烘干。

⑦ 干燥后放置过久的砂芯，必须重新回窑，回窑后应检查砂芯的强度，失去强度的不能使用。

（15）机器制芯的工艺规范　机器制芯主要有各类造芯机或射芯机制芯。机器制芯的工艺过程：撒分型粉→填入芯砂→初步震实→安放芯骨、通气针（或者蜡线）→填入芯砂→震实→补充打实→刮去余砂→扎通气眼→放烘干板→夹紧烘干板→拔出通气针→翻转 180°→起出芯盒→取出活块→检查修整

机器制芯的工艺规范要点如下（供参考）：

1）制芯前一般应做好以下准备工作：

① 应检查造芯机各部分动作是否正常，确定无任何故障方可进行使用。

② 应检查芯盒与底板是否固定牢固，制芯时不应有相对运动。

③ 应检查芯盒、活块是否齐全完好。

④ 应检查冷铁、芯骨、芯撑和垫片的数量、规格是否备齐。

⑤ 应检查其他辅助设备是否齐全好用。

2）制芯时应注意控制以下要点：

① 填砂前应将芯盒内腔吹干净，活块下面不能有砂子垫起，并视工作情况，芯盒内应适当喷刷柴油，喷刷后芯盒要吹干净，以保证容易起芯。

② 填砂时，应先放部分芯砂将凹陷及棱角处塞紧，并按工艺要求正确安放芯骨及通气棒（气孔针）。

③ 填砂震击紧实时，应注意各部位的紧实要均匀，特别应注意砂芯较薄部位和棱角处的紧实度。

④ 起模前应将填砂面用捣固机紧实刮平，并应选用平整的烘干板，轻拿轻放。

⑤ 起模时芯盒翻转和起模的操作均应平稳准确。

⑥ 芯盒复位前应清除震击台上的砂子。

⑦ 活块放回芯盒窝座时应准确让其自由落下，不准硬性敲打。

⑧ 搬运和放置砂芯要小心，不能振动和碰坏。

3）修芯时应注意控制以下要点：

① 应备好各类砂芯修补材料。

② 砂芯松软及损坏部分应修好，不能保证铸件质量的砂芯应报废。

③ 砂芯毛边应用刀片或砂棒刮平，刮去的毛边处不允许低于砂芯原有表面。

④ 砂芯表面不影响质量的细小裂纹（系指烘干后）应用石墨膏或其他修芯材料涂抹，但不能高于砂芯表面，并且要抹得光洁。

⑤ 无芯骨的砂芯如有裂纹，是否予以修补应遵照本厂的砂芯质量标准酌情处理。

⑥ 砂芯定位点以及芯头在修补时都必须严格，并保证几何形状和尺寸的准确。

⑦ 冷铁与砂芯间之缝隙应用修补材料抹平。

⑧ 砂芯突出易损坏部位，应插入铁钉加固，但钉帽不得高于砂芯表面。

⑨ 通气道不允许缺少，并且应通畅，位置应正确，不允许露出表面或离表面小于 2mm，对于工艺上所规定的通气道口需要堵死的必须堵塞好。

4）刷涂料时应注意控制以下要点：

① 涂料厚薄应均匀，砂芯表面不应出现溢流。

② 芯头和砂芯定位部分工艺上不要涂料的地方，不允许刷涂料。

③ 砂芯刷涂料后应烘干，涂料部分应有足够的表面强度。

5）砂芯存放时应注意控制以下要点：

① 在大量流水生产中，为了保证生产的不间断，砂芯的正常储备量应满足生产的用量，并且每天需倒库，即存放入新的砂芯，运走老的砂芯，保证砂芯储存期不超过规定。

② 当生产不平衡时，应允许暂行规定，但应由检查部门负责监督执行。

③ 湿芯应满足当日用量，干芯应有储存期限规定，过期者允许二次烘干，否则应一律报废。

（16）热芯盒制芯的工艺规范　热芯盒制芯的工艺规范要点如下（供参考）：

1）制芯前一般应做好以下准备工作：

① 应清除热芯盒射芯机及其工装上的一切障碍物，并检查设备工装是否正常。

② 应备齐所用的各种工具。

③ 应预热芯盒和加热板，使芯盒和加热板均匀地升到工作温度。

④ 应检查所用热芯盒砂是否符合技术要求。

2）制芯时应注意控制以下要点：

① 芯盒内喷涂脱模剂，在满足取芯性能的前提下应尽量少用。

② 射芯时射斗内的芯砂加入射芯腔内，上升工作台，吹射用的压缩空气应经脱湿处理，严格控制射砂压力和射砂时间，其压力宜为 480 ~ 690kPa，在保证砂芯有足够紧实度的条件下尽量降低吹射气体的压力。

③ 掌握好砂芯的硬化温度、硬化时间和硬化层厚度：砂芯的硬化温度取决于选用的树脂及固化剂，一般芯盒的加热温度为 200 ~ 260℃；砂芯的硬化时间取决于砂芯截面厚度，砂芯表面的强度足以承受顶杆的作用时即可出芯，应及时打开芯盒，砂芯脱开芯盒后可借助于芯子的余热和树脂硬化放出少量的热继续硬化，因此硬化时间可控制在砂芯完整顶出不变形且冷却后内部无未硬化的芯砂即可。

3）修芯时应注意控制以下要点：

① 应磨去砂芯的披缝和对口处多余的部分。

② 修补处应抹得光滑平整。

③ 修补后的砂芯应符合原几何形状。

④ 有裂纹、变形的砂芯应报废。

（17）三乙胺气硬冷芯盒制芯法制芯的工艺规范　三乙胺气硬冷芯盒法制芯的工艺规范要点如下（供参考）：

1）制芯前一般应做好以下准备工作：

① 检查芯砂质量是否符合技术要求。

② 检查原砂、载送气体、用空气冲净等是否充分干燥。

③ 检查专用冷芯盒制芯机、供气系统以及其他加热气体装置等是否正常，在无任何故障时方可使用。

④ 理想的工作环境温度应是 15～25℃。

2）制芯时应注意控制以下要点：

① 液态三乙胺经一套专门的供气系统稳定地提供一定浓度和压力的蒸汽，然后再将其与载体气体（氮）混合作为硬化气，当芯盒射砂后，硬化气经脱湿的压缩空气管道导入芯盒中。

② 三乙胺的吹入量应根据砂芯的大小和复杂程度而定，厚大的砂芯为 2mL/kg，较薄、复杂的砂芯可高于 10mL/kg；三乙胺的压强宜先低后高，范围为 0～0.2MPa；吹气时间根据吹胺量而定，一般为 3～5.5mL/s，在硬化不良的情况下可适当延长吹胺硬化时间。

③ 硬化结束后，用干燥的空气冲净残留的三乙胺气体，空气的压强为 0.4～0.6MPa，空气一般也加热至 40℃左右。

④ 砂芯取出后，砂芯不要存放在潮湿的环境中，以免砂芯强度下降。

3）修芯时的注意事项参见粘土砂手工制芯和热芯盒制芯的修芯注意事项。

（18）SO_2 气硬冷芯盒法制芯的工艺规范　SO_2 气硬冷芯盒法制芯的工艺规范要点如下（供参考）：

1）制芯前应做好以下准备工作：

① 检查芯砂质量是否符合技术要求。

② 检查吹气硬化系统、专用制芯设备以及加热装置等是否正常。

③ 检查芯盒等密封装置是否十分可靠，芯盒积垢是否清洗干净。

2）制芯时应注意控制以下要点：

① 大批量生产时应按照以下规定操作：

a. 使用具有吹气硬化系统的专用制芯设备，将芯砂射入芯盒后，吹入 SO_2 气体，硬化气体的压力应以克服管路系统及树脂砂的阻力为准，一般可为 150～200kPa。

b. 吹入时间根据砂芯的大小和复杂程度而定，约需 1s（每硬化 1t 芯砂约消耗 4kg 的 SO_2）。SO_2 的需要量是一定的，吹向型砂的 SO_2 是与有机过氧化物 MEKP 所带入的［O］反应而起作用的。吹气不足时，树脂砂硬化不充分，但过量的 SO_2 不仅浪费，还会增加环境净化负担。

c. 吹 SO_2 后，应吹干燥微热的洁净空气清除砂粒间及管道中残存的 SO_2 气（约 10s），将有助于树脂砂的进一步硬化。

② 小批量、单件及大砂芯（100kg）的生产时应按以下要点操作：

a. 用一间密闭的气硬室，将砂芯紧实成型后置于此室内，先抽出部分空气造成负压，再向室内吹入 SO_2 气体 1～2s。

b. 最后用干燥微热的洁净空气清除残留的 SO_2 气体，这个过程约需 15s。

c. SO_2 法用作球铁的砂芯时，为防止浇注时铸件从砂芯表面吸硫，应在砂芯表面施涂一层水基石墨涂料。

3）修芯时的注意事项参见粘土砂手工制芯和热芯盒制芯的修芯注意事项。

（19）壳型工艺制芯（型）的工艺规范　壳型工艺制芯（型）的工艺规范要点如下（供参考）：

1）制芯（型）前一般应做好以下准备工作：

① 检查所用的壳型砂是否符合技术要求。

② 准备好修芯材料及工具。

③ 检查设备各部分动作是否正常、准确，是否符合工艺要求。若发现误差及时调整。

④ 检查芯盒有无缺损，合模后检查芯盒，消除合模不严现象。

⑤ 检查芯盒温度，并将温度调整到工艺要求的范围内。

2）制芯（型）时应注意控制以下要点：

① 壳芯是在专门的壳芯机上制造的，较多地采用吹射方式将砂料送入芯盒（制造壳型一般用翻斗法，使砂粒借重力落到已预热的模板上）。

② 芯盒或模板的预热温度可以为 230 ~ 290℃，最好为 245 ~ 275℃，用铝质模具时，其温度不宜超过 260℃。

③ 壳芯机制芯时，应按以下规定操作：

a. 芯盒内喷涂脱模剂。

b. 往砂斗内加少量砂。一般砂量深度距射砂口有一定要求。加砂过多则壳芯易产生缩脖，过少易使壳芯吹不成。

c. 每个壳芯制造工艺过程为吹砂，结壳、摇摆、烘烤、中间加砂、顶出壳芯等，这些过程所用的时间，还必须根据不同的壳芯来选择合理的吹制工艺，通常可参考表 4-42 进行控制。

表 4-42　壳芯制造工艺过程控制（供参考）

工艺过程	控 制 要 点
吹砂压力及时间	吹砂压力应根据壳芯机型式(底吹、翻斗等),砂芯的形状及复杂程度而定,以能使芯砂紧密地充满芯盒为宜。吹砂压力一般为 0. 15 ~ 0. 4MPa(翻斗式吹砂压力较低,可取下限,底吹式可取上限) 吹砂时间一般控制在 3 ~ 10s
结壳时间	结壳时间的长短取决于砂芯壳厚,而壳厚根据砂芯在使用的强度而定。正常情况下,壳层越厚强度越高。壳厚在 6 ~ 8mm 时,结壳时间为 10 ~ 30s;壳厚在 10mm 以上时,结壳时间为 20 ~ 70s
摇摆倒砂时间	摇摆倒砂时间应根据砂芯外形复杂程度及吹砂口的布置情况而定。翻斗式壳芯机有结壳阶段完成后,将芯盒吹砂口朝下,以 45°的幅度左右摇摆,将结壳的余砂倒净,一般为 5 ~ 10s
硬化时间	为了使砂壳充分硬化,砂芯(型)应持续在加热的模具(芯盒或模板)中硬化。其硬化时间视壳厚及模具的温度而定,硬化时间不宜过短与过长,以免壳层未完全固化强度低或树脂过热使砂芯表面烧焦。最好使壳层表面呈淡棕色,不宜到深棕色,决不应发黑。制造小砂芯时,制壳的时间短,模具温度稍高,壳的表面也不致烧坏。在此情况下模具的温度可提高到 275 ~ 320℃

3）修芯（型）时应注意控制以下要点：

① 检查壳芯外观质量与几何形状。

② 修整与刮净壳芯分型面及射砂口毛边。

③ 磨平壳芯通气塞压出钉突出部位，不允许超过砂芯表面。

④ 下列壳芯不允许修理，必须报废：

a. 壳芯出现裂纹缺陷。

b. 壳芯出现明显疏松现象，疏松面积超过 20mm × 20mm，且疏松深度超过 1mm。

c. 壳芯出现严重错边与缩脖现象，且无法修补成原几何形状。

d. 壳芯出现脱壳现象，使壳芯过薄而不能使用。

4）壳芯入库时应注意控制以下要点：

①入库必须再次检查壳芯质量。

② 运输、搬运时必须小心，做到轻拿轻放，以不损坏砂芯为原则。

③ 壳芯必须摆放整齐。

（20）室式燃料烘干炉砂型（芯）烘干的工艺规范　室式燃料烘干炉是以煤、煤气或油为燃料的周期作业烘干炉。它具有结构简单、装载量大、适应性强等优点，适用于单件小批量生产的以粘土为粘结剂的砂型（芯）及油类粘结剂砂芯的烘干，也适用于其他粘结剂的砂型（芯）的烘干。

室式燃料烘干炉砂型（芯）烘干工艺规范要点如下：

1）烘干前一般应做好以下准备工作：

① 对烘干炉进行检查，应做到：

a. 炉衬无裂纹、倒塌等损坏现象，炉内无异物。

b. 炉门启闭灵活、不变形。

c. 火道、烟道畅通。

d. 管路、阀门、加热器和喷油嘴不漏油、不漏气。

e. 阀门启闭灵活、测温装置准确可靠，通风机送转正常。

f. 燃烧室、炉栅、火门等完好无损。

g. 台车牢固可靠，车轮运转灵活平稳，润滑部位定期注油。

h. 以车构架及垫铁等要求平直，不允许有严重弯扭。

② 准备好烘炉足够的燃料及有关的加热工具，工具应摆放整齐。

③ 烘烤油类粘结剂砂芯时，应先预热炉膛达到装炉温度。

2）装炉时应注意控制以下要点：

① 每炉应装入烘干规范相近的砂型（芯），尽量将砂型（芯）分别烘烤。

② 凡需烘干的砂型（芯）都必须经中间检查合格，方许装炉。大中件以及重要件应在砂型（芯）上加盖中间检查员或操作者的适当标记。

③ 砂型（芯）在台车上安放的位置应避开火口，同类型的砂型（芯）最好放在同一温度部位。厚大的、形状简单的砂型（芯）置于炉温较高处，反之则置于炉温较低处。

④ 装炉时做到轻取、轻放，防止碰撞，不得伸出车外。凡损坏、塌陷、变形者应在修复合格后再行装炉。

⑤ 放在台车上的砂型（芯），必须平稳垫实，以防翘曲变形。

⑥ 装入烘炉中的砂型（芯）与炉顶及四壁之间间距离应不小于 250mm，砂型（芯）相互间也要求保持适当间隙，其规定见表 4-43。

⑦ 装好后应进行全面检查，合格后方准入炉。

表 4-43　烘炉中砂型（芯）相互之间间隙（供参考）

砂型(砂芯)尺寸/mm	≤500	>500～2000	>2000
间隙/mm	≥30	≥100	≥150

3）进炉时应注意控制以下要点：

① 台车进炉前应清除台车所经通道上的障碍物。

② 台车运行必须平稳，防止振动、冲撞，损伤砂型（砂芯）。

③ 台车进炉后，关闭炉门。

4）烘烤应注意控制以下要点：

① 炉门关闭后，按工艺规范要求（见表 4-44～表 4-47）进行工作。

② 点火前，要打开烟道闸门，打开鼓风机吹 3～4min，清除炉内剩余煤气和灰渣。

③ 煤气炉应先点燃引火管再逐渐开启煤气闸门，煤气管发火后再进行送风。煤炉的引火要使燃烧均匀。待燃料燃烧后，在闸门关闭状态下开鼓风机，逐步打开闸门、加大风量。

④ 烘烤过程中，严格控制燃料加入量、鼓风量、鼓风时间和烟道闸门开启程度，以达到工艺规范要求。

⑤ 烟道闸门的开启程度应根据砂型（砂芯）的粘结剂品种及烘干阶段，参照表 4-48 选取。

⑥ 烘干期间应随时观察燃烧及温度情况，注意调整燃料和空气用量。

⑦ 煤气炉停止燃烧时应先关煤气阀，后关鼓风机，顺序绝对不可颠倒，以防爆炸。

⑧ 随炉冷却结束，开启炉门平稳移出台车。

⑨ 在烘砂型（芯）过程中，要做好炉温和时间记录。

表 4-44　不同粘结剂砂型（芯）烘干工艺规范（供参考）

粘结剂类别	适宜烘干温度/℃	粘结剂类别	适宜烘干温度/℃
粘土	300 ~ 400	水玻璃	180 ~ 220
沥青	250 ~ 350	双快水泥	200 ~ 250
合脂油	200 ~ 240	植物油	180 ~ 220

表 4-45　采用室式燃煤烘干炉的油类粘结剂砂芯烘干工艺规范（供参考）

类别	装炉温度/℃	升温时间/h	保温温度/℃	保温时间/h	出炉温度/℃
桐油砂芯	160 ~ 200	0.5 ~ 1.5	200 ~ 230	1.5 ~ 2.5	< 150
亚麻油砂芯					
大件合脂砂芯		1 ~ 2	220 ~ 260	2.5 ~ 3.5	
中小件合脂砂芯			200 ~ 240	1.5 ~ 2.5	

表 4-46　采用室式燃煤烘干炉的粘土砂芯的烘干工艺规范（供参考）

砂芯体积/dm^3	升温时间/h	保温温度/℃	保温时间/h	出炉温度/℃	砂芯体积/dm^3	升温时间/h	保温温度/℃	保温时间/h	出炉温度/℃
≤10	2 ~ 3	260 ~ 300	2 ~ 3	< 150	> 100 ~ 500	3 ~ 4	300 ~ 400	5 ~ 6	< 150
> 10 ~ 100		300 ~ 350	3 ~ 4		> 500 ~ 1500	4 ~ 5	350 ~ 400	6 ~ 7	

表 4-47　采用室式燃煤烘干炉的粘土砂型的烘干工艺规范（供参考）

砂箱的平均轮廓尺寸/mm	升温时间/h	保温温度/℃	保温时间/h	出炉温度/℃
≤1000	3 ~ 4	300 ~ 400	3 ~ 4	< 150
1001 ~ 2000	4 ~ 5	350 ~ 400	4 ~ 6	
2001 ~ 4000	5 ~ 7	350 ~ 450	6 ~ 8	

表 4-48　烟道闸门开启程度的要求（供参考）

类别	升温阶段	保温阶段	降温阶段
油类粘结剂砂芯	微开	开启 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$	开启 $\frac{1}{2}$
粘土砂型(砂芯)		开启 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{2}{3}$	

5）卸砂型（芯）应注意控制以下要点：

① 出炉的砂型（芯）需经自然冷却半小时后，才可用风机吹风加速冷却。

② 按规定位置放置砂型（芯）和烘干器，并做到轻取、轻放、严禁冲撞。烘干器要堆放整齐，防止倒塌。

③ 出炉的砂型（芯）应严格按照标准检查烘干质量，并做好记录，如烘干不足允许回烘一次。

④ 干燥后的砂型（芯）不得同其他炉次的砂型（芯）混杂，经烘干的砂型停放 36h 以上，砂芯停放 24h 以上，均应再进行表面干燥或回炉烘烤。

（21）室式电阻烘干炉砂芯烘干的工艺规范　室式电阻烘干炉是以电为热源，以电阻丝（或板）为加热元件的周期性作业的烘干炉。室式电阻炉按加热元件的型式不同，可分为普通电阻烘干炉和远红外线电阻烘干炉，具有结构简单、温度均匀、操作方便等优点，适用于单件小批或成批生产的中、小型油类粘结剂砂芯的烘干。

室式电阻烘干炉砂芯烘干的工艺规范要点如下：

1）烘干前一般应做好以下准备工作：

① 对烘干炉进行检查，应做到：

a. 炉衬无裂纹、倒塌等损坏现象，炉内无异物。

b. 炉门启闭灵活、不变形。

c. 烟道畅通，烟道闸门启闭灵活。

d. 加热元件、电器装置通电良好，安全可靠。

e. 台车牢固可靠，车轮运转灵活平稳。

f. 测温装置准确可靠。

② 砂芯装炉前，烘干炉应先通电，预热炉膛，到达规定炉温后，切断加热电源。

2）装炉时应注意控制以下要点：

① 检查砂芯，凡外观不合格的砂芯不得装炉。

② 砂芯在台车上按放的位置，应根据砂芯壁厚、形状及大小加以选择。其原则是：厚大的、形状简单的砂芯置于炉温较高处，反之则置于炉温较低处。

③ 装砂芯时做到轻取、轻放、防止碰撞，不得伸出车外。

④ 放在台车上的砂芯，必须平稳可靠，砂芯间应留有适当的间隙。

3）进炉时应注意控制：

① 台车进炉前，应清除台车所经通道上的障碍物。

② 台车运行时必须平稳，防止振动、冲撞、损伤砂芯。

③ 台车进炉后，关闭炉门。

4）烘烤时应注意控制以下要点：

① 炉门关闭后，接通烘干炉加热电源，按烘干工艺规范（见表 4-49）升温。

表 4-49　用室式电阻烘干炉烘干油类粘结剂砂芯的工艺规范（供参考）

类别	装炉温度/℃	升温时间/h	保温温度/℃	保温时间/h	出炉温度/℃
桐油砂芯	150～180	1～1.5	180～220	1.5～2.5	<150
亚麻油砂芯					
合脂砂芯	150～200	1～2	200～240	2～3	

② 炉温上升到保温温度后，应随时注意炉温变化情况，并予以调节，以确保炉温达到工艺要求。

③ 在烘干过程中，根据确定的升温速度及保温温度、出炉温度，调节烟道闸门开启程度。

④ 完成保温阶段后，即切断烘干炉加热电源，按烘干工艺规范随炉冷却。

⑤ 随炉冷却结束，即可开启炉门，平稳移出台车。

⑥ 在烘芯过程中，要做好炉温和时间记录。

5）卸芯时应注意控制以下要点：

① 出炉的砂芯需经自然冷却半小时后，才可用风机吹风加速冷却。

② 卸芯时应按规定位置存放砂芯和烘干器，并做到轻取、轻放、严禁冲撞。烘干器要堆放整齐，防止倒塌。

③ 出炉砂芯应严格按照标准检查烘干质量，并做好记录。如果烘干不足，允许回烘一次。

（22）立式燃料烘干炉砂芯烘干的工艺规范　立式燃料烘干炉是以燃油（柴油、重油）或燃煤气的连续作业的垂直循环运行的烘干炉。它具有烘干工艺稳定、易控制、热能损耗小、占地面积小及生产率高等优点，适用于成批大量生产的中、小型油类粘结剂砂芯的烘干。

立式燃料烘干炉砂芯烘干的工艺规范要点如下：

1）烘干前一般应做好以下准备工作：

① 对烘干炉进行检查，应做到：

a. 传动机构及吊篮架运行正常可靠。

b. 反射板的位置符合要求。

c. 烟道畅通，烟道闸板启闭灵活，并将其调节在 1/3 ~ 1/2 开的位置。

d. 燃油（或煤气）和空气输送系统及仪表完好、准确。

e. 烧嘴工作正常，燃油（或煤气）阀门处于关闭位置。

f. 燃油（或煤气）及空气压力符合要求。

g. 测温装置准确可靠。

② 以煤气为燃料的立式烘干炉，在点火前应先打开集水器，放除煤气管内的积水。

③ 以重油为燃料的立式烘干炉，点火前应将重油加热至 80℃左右。

④ 清除烘干炉四周易燃、易爆物品及其他杂物。

⑤ 准备好引火用具及材料。

2）点火时应注意控制以下要点：

① 分别打开燃油（或煤气）和空气总阀门。以燃油为燃料的立式烘干炉，点火前首先启动燃油油泵。以煤气为燃料的立式烘干炉，点火前应先打开空气总阀门使残留煤气通过发散管排气 2 ~ 3min，并开动通风机 5min，以排出炉内废气，防止发生爆炸。

② 以油为燃料的立式烘干炉，点火时依次缓缓打开燃油管路阀、空气管路阀和烧嘴调节阀，然后打开窥视孔，把点燃的引火工具对准烧嘴点火，随后逐步开大燃油、空气和烧嘴阀门，调整至火焰正常。

③ 以煤气为燃料的立式烘干炉，点火时先点燃引火工具对准烧嘴，随即稍微打开煤气管阀进行点火，然后缓缓打开空气阀，调整至火焰正常。

④ 点火完毕，启动烘干炉通风机；

⑤ 若第一次点火不着，应立即关闭燃油（煤气）和空气阀门，开启动通风机，以排除炉内剩余的燃料，然后再行第二次点火，如遇烘干炉中途熄火，亦应照此办理；

⑥ 点火时，操作者头部不准贴近烘干炉窥视孔，以防火苗蹿出伤人。

3）装炉及烘烧时应注意控制以下要点：

① 当炉温达到工艺规定温度（见表 4-50），即可启动烘干炉传动机构，装载砂芯烘烤。

表 4-50　用立式燃料烘干炉烘干油类粘结剂砂芯的工艺规范（供参考）

类别	烘干温度/℃			烘干时间/h
	升温区	保温区	降温区	
中砂芯	340 ~ 360	285 ~ 305	190 ~ 210	2.5
小砂芯	310 ~ 330	255 ~ 275	160 ~ 180	

注：1. 油类砂芯大小分类：体积 > 35 ~ 100dm^3 的为大砂芯，体积为 6 ~ 35dm^3 的为中砂芯，体积 < 6dm^3 的为小砂芯。

2. 烘干时间是指砂芯从进炉至出炉的时间。

② 检查砂芯，凡外观不合格的砂芯不得装炉。

③ 砂芯在吊篮架上安放的位置，应根据砂芯壁厚、形状及大小加以选择，其原则是：厚大的、形状简单的砂芯置于炉温较高处（远离烧嘴一侧），反之则置于炉温较低处（靠近烧嘴一侧）。

④ 装砂芯时，应做到轻取、轻放、防止碰撞，并保证吊篮架平稳移动。

⑤ 砂芯烘干器在吊篮架上的安放必须平稳可靠，不得超出吊篮框架边缘。

⑥ 每个吊篮架的装载量不得超过规定量。

⑦ 在砂芯烘烧过程中，随时检查温度变化及砂芯烘干质量情况，并认真做好记录，发现异常立即采取措施予以调整。

⑧ 调整炉温方法是：提高炉温时，应先加大燃料阀，后调节空气阀；降低炉温时，应先减小燃料阀，后调节空气阀。

4）卸芯时应注意控制以下要点：

① 出炉的砂芯需经自然冷却 0.5h 后，才可用风机吹风冷却。

② 卸芯时，应按规定位置存放砂芯和烘干器，并做到轻取、轻放、严禁冲撞。烘干器要堆放整齐，防止倒塌。

③ 出炉砂芯应严格按照标准检查烘干质量，如果烘干不足允许回烘一次。

5）停炉时应注意控制以下要点：

① 停炉时应首先熄火，熄火程序：

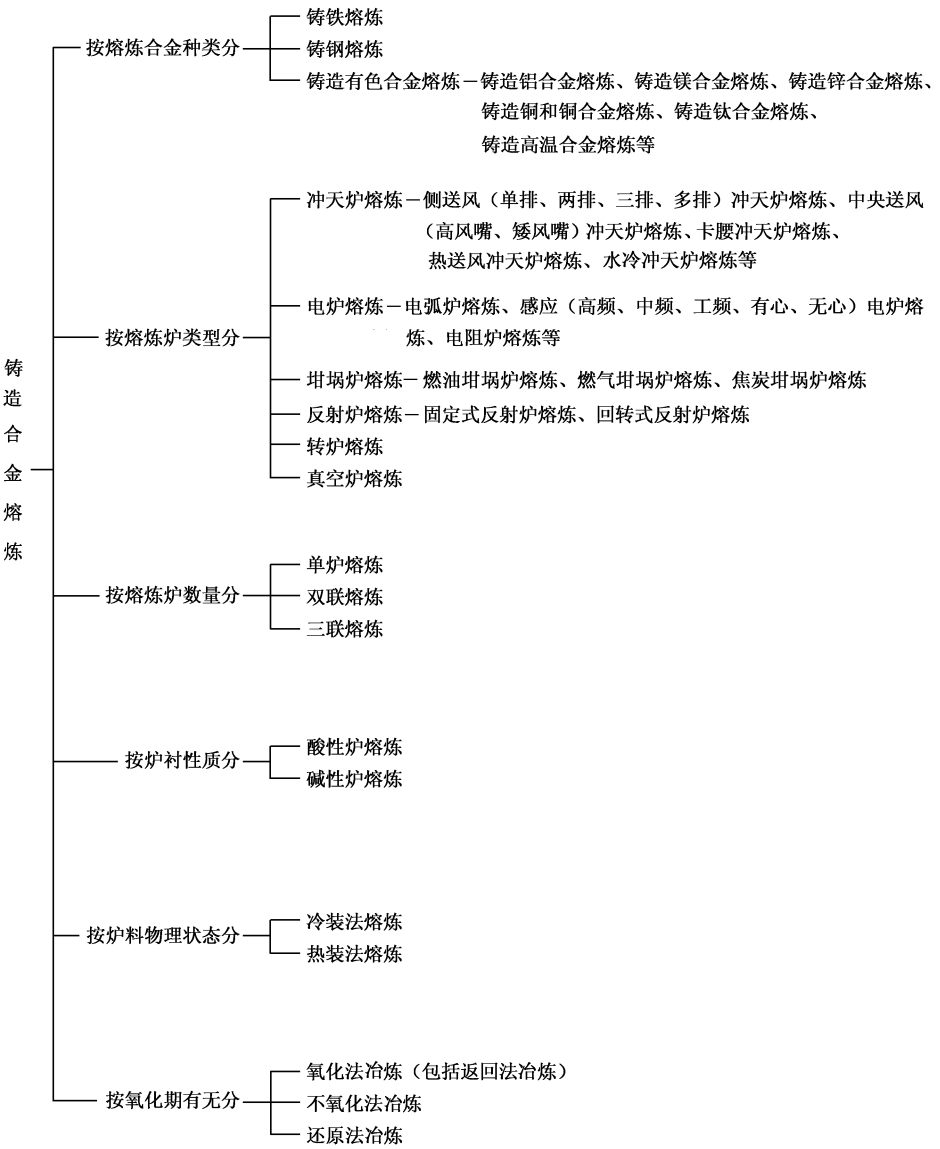


图 4-21　铸造合金熔炼分类

a. 以油为燃料的立式烘干炉：关闭燃油阀→关闭空气阀→关闭烧嘴调节阀→关闭燃油和空气总阀→关闭油阀。

b. 以煤气为燃料的立式烘干炉：关闭空气阀→关闭煤气阀→关闭煤气和空气总阀。

② 装有未烘砂芯的吊篮架到达最上一层反射板时，关闭烘干炉传动机构及通风机。

4.2.3　铸造合金熔炼与浇注质量的控制（检验）

1. 铸造合金熔炼质量的控制（检验）

（1）铸造合金熔炼分类　铸造合金熔炼是指通过加热使金属由固态转变为液态，并通过冶金反应去除金属液中的杂质，使其温度和成分达到规定要求的过程和操作。

生产中的铸造合金熔炼方法非常多，其分类如图 4-21 所示。

（2）冲天炉熔炼铸铁的质量控制（检验）

1）冲天炉熔炼过程的控制（检验）。冲天炉是一种连续熔化的熔炼设备（见图 4-22），主要用于熔炼铸铁。

冲天炉熔炼过程的一般控制（检验），通常应包括：①配料加料系统的炉料质量（大小）、装炉底焦高度、炉内料位高度、加料批数及时间、料仓料位等；②供风系统的送风压力、送风量、送风温度、送风湿度、氧气加入量等；③炉况控制系统的运行底焦高度、铁液温度、前炉铁液量、铁液化学成分、铁液含气量、加料口炉气成分和温度等。

冲天炉熔炼过程的控制项目、控制位置与检验方法见图 4-22 和表 4-51。

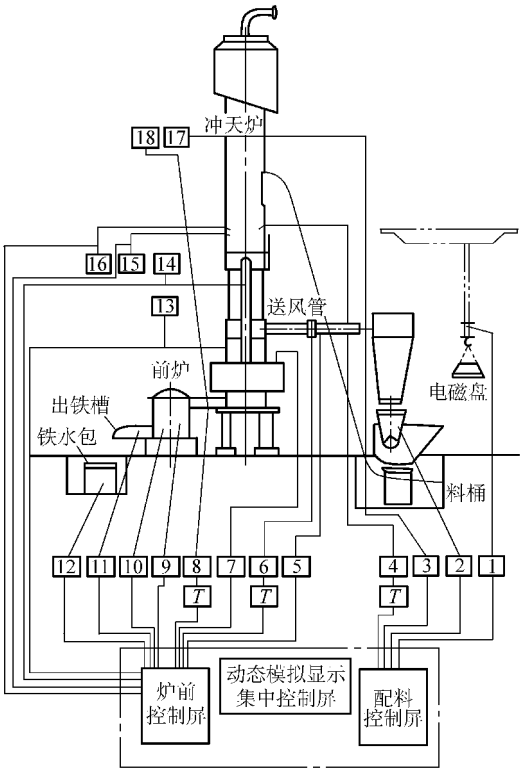


图 4-22　冲天炉熔炼过程的控制项目与控制位置

1—金属炉料质量　2—焦炭石灰石质量　3—加料批数　4—炉内料位（附加控制）　5—送风湿度　6—入炉风量　7—送风压力　8—过桥铁液温度　9—前炉铁液高度（质量）　10—前炉铁液温度（附加控制）　11—出铁槽铁液温度　12—包内铁液温度　13—底焦高度波动情况　14—热风温度　15—炉气成分　16—炉气温度　17—加料批数炉前大屏幕数字显示　18—铁液温度炉前大屏幕数字显示

表 4-51　冲天炉熔炼过程的控制项目与检验方法（供参考）

控制项目		控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
备料与配料	备料	金属炉料、燃料、熔剂及其他辅助材料的表面质量、规格、数量、牌号、成分是否符合要求，有无出库质量合格证	依据原材料标准，理化检验报告单，目视观察检验	操作者和检验员	检验范围为每炉次
	配料	配料的依据是否充分，如铸件要求的化学成分、各种原材料的化学成分、各种元素的增减率等 配料成分及百分比是否符合规定 炉料称重是否准确	依据合金熔炼配料方法的规定，配料单采用试算法，表格法或图线法复查配料单和参加称重和抽查称重		

（续）

控制项目		控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
修炉	炉体内清理	检查炉膛、炉缸和炉底的清理情况，如棚料、挂铁、挂渣及焦块是否清理掉	依据操作工艺规程，借助手电筒、软线灯观察	操作者自检，检验员抽检	检验范围为每炉次
	修补	修补用耐火材料的规格、配比 炉壁耐火砖的更换情况，耐火材料搪平情况 炉膛修补后的形状和尺寸，炉衬是否光滑平正 过桥、风口、出铁口、出渣口、炉底等修补后的位置、个数、大小、角度和形状是否合适 修补合格后，应进行自然干燥，不得马上点火开炉	依据工艺规定目测或借助量具进行检验		
点火与烘炉	点火	检查点火的时间，点火材料及底焦加入的次序，分批加入底焦的量，点火后是否打开风口的窥视孔，工作门是否用耐火材料封堵	依据操作工艺规程规定，目视观察检验	操作者自检，检验员抽验	检验范围为每炉次
	烘炉	检查炉体、前炉、铁液包、过桥、出铁口、出渣口和出铁槽的烘干时间及烘干程度	依据操作工艺规程采用目视、计时器，探测干燥层等办法进行检验		
装料与熔化	装料	炉料块度、质量、尺寸、批料的配比、装料顺序、炉料的预热是否符合工艺规定的要求	目视检验、仪器检验或借助于钢卷尺等测量工具进行检验	操作者自检，检验员监督抽查	—
	熔化	开炉前的准备工作是否就绪、故障是否排除、开炉后的风压、风量是否正常、料线高度是否稳定、风口是否畅通、铁液温度是否稳定 熔化期间出铁、放渣是否正常	通过目视、计时器、测试仪器进行检验。观察炉内铁液及炉渣粗略判断风量：铁液表面氧化严重，炉渣呈黑色，一般情况是风量过大；也可通过观察风压、风量计判断 观察炉内铁液颜色，粗略判断铁液温度：铁液表面亮白色温度高，可以使用光学高温计检验温度 测量风压常用的仪表是 U 形管压力计，测量风量的装置一般有流量孔板、毕托管等		
炉前检验	铁液温度	铁液温度是否符合工艺要求	依据熔炼工艺规程，观察铁液颜色：亮白色温度高，暗红色温度低	操作者	每包次或每种牌号
			依据熔炼工艺规程，使用光学高温计或热电偶等测温仪器测定	检验员	

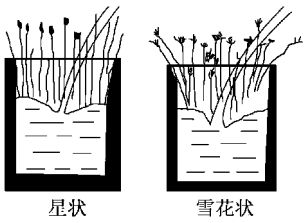
（续）

控制项目		控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
炉前检验	化学成分	铁液成分和处理效果是否符合工艺要求	依据熔炼工艺规程，浇注三角试片等，观察白口宽度和处理效果	操作者和检验员	每包次
			依据熔炼工艺规程，采用炉前快速分析仪检验铁液的碳、硅含量	化学检验员	每包次或每种牌号
			依据熔炼工艺规程，采用快速金相显微镜检验金相组织	金相检验员	每种牌号或每炉次
停风打炉	停风前	熔化完成后是否停止加料，是否加压炉铁	依据工艺操作规程的规定观察、检验	操作者和检验员	每炉次
	停风后	停风后是否打开风口，前炉及后炉的铁液或熔渣是否出净，炉底地面是否干燥无水，灼热的炉料是否用水熄灭			

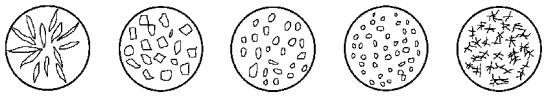
2）冲天炉熔炼铸铁的炉前检验方法及其质量鉴别。熔炼铸铁时，铁液质量合格与否，需进行炉前快速检验，以便及时调整和控制。通常，铸铁类型不同，炉前的检验方法亦应不同。

灰铸铁的炉前检验方法及其质量鉴别见表 4-52。球墨铸铁的炉前检验方法及其球化情况鉴别见表 4-53。蠕墨铸铁的炉前检验方法及其蠕化情况鉴别见表 4-54。可锻铸铁的炉前检验方法及其全白口情况鉴别见表 4-55。冷硬铸铁的炉前检验方法及其白口深度情况鉴别见表 4-56。

表 4-52　灰铸铁的炉前检验方法及其质量鉴别（供参考）

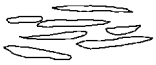
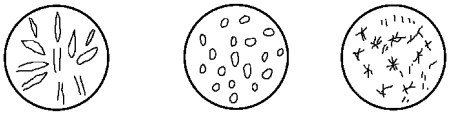
检验方法	试样规格及取样操作	质　量　鉴　别
观察炉渣		若炉渣粘滞，冷凝后呈黑色，则说明铁液氧化与硅、锰烧损严重，铸件有激冷和硬度过高的倾向
观察铁液表面火花		铁液经出铁槽流入铁液包时，铁液表面因受冲击而溅出微滴，微滴的某些成分被空气氧化形成火花。火花的特征有两种：星状（扫帚状）和雪花状，如图 a 所示。冲击条件相同时，若星状火花较多，则铁液含碳低；若雪花状较多，则含硅低，若两种火花均多，则碳、硅均低，铁液较“硬”  星状　　雪花状 a）铁液火花的特征
观察铁液表面花纹		在铁液表面，铁、碳、硅与空气接触发生氧化反应，伴随氧化膜的消失或裂开，形成时隐时现的花纹。根据花纹可以大致判断铁液质量 （1）花纹与温度的关系　铁液的碳、硅一定时，花纹越细小，隐现的几率越多，则温度越高；若看不见花纹，则温度 >1400℃ （2）花纹与成分的关系（铁液温度一定时） 1）花纹与硅含量。花纹越圆、越小，数量与隐现几率越多，则铁液碳、硅量越高，如图 b 所示

（续）

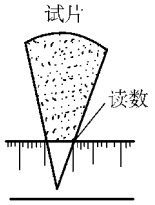
<table>
<tr><th>检验方法</th><th>试样规格及取样操作</th><th>质　量　鉴　别</th></tr>
<tr><td>观察铁液表面花纹</td><td></td><td>


w(C)为2.45%~2.65% w(Si)为1.0%~1.1% 竹叶状　w(C)为2.45%~2.65% w(Si)为1.2%~1.35% 粗龟纹状　w(C)为2.45%~2.65% w(Si)为1.4%~1.5% 龟纹状　w(C)为2.45%~2.65% w(Si)为1.5%~1.65% 细龟纹状　w(C)为2.45%~2.65% w(Si)为1.7%~1.9% 梅花状

b)花纹形状与含硅量的关系

2）花纹与含碳量。基本条件相同时，铁液的碳含量越高，花纹越细，分布越均匀而密集。其大致关系见下表
<table>
<tr><th colspan="6">铁液成分(质量分数,%)</th><th rowspan="2">花纹形状</th></tr>
<tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>P</th><th>S</th><th>CE</th></tr>
<tr><td>2.92</td><td>1.46</td><td>0.93</td><td>0.101</td><td>0.067</td><td>3.41</td><td> </td></tr>
<tr><td>3.02</td><td>1.37</td><td>0.99</td><td>0.099</td><td>0.061</td><td>3.48</td><td> </td></tr>
<tr><td>3.36</td><td>1.29</td><td>1.06</td><td>0.109</td><td>0.060</td><td>3.79</td><td>  </td></tr>
<tr><td>3.56</td><td>1.37</td><td>0.87</td><td>0.137</td><td>0.066</td><td>4.01</td><td> </td></tr>
</table>
（3）花纹与铁液牌号的关系　花纹越细，牌号越低，如图 c 所示


牌号高于 HT250 竹叶状　HT200、HT250 龟纹状　牌号低于 HT150 梅花状

c)花纹形状与铁液牌号的关系</td></tr>
<tr><td>三角试块法</td><td>炉前取样小勺应伸入至铁液表面下 100~300mm 处取铁液，浇入三角试块的砂型（干型或湿型）中，冷却至暗红色（500~600℃），方可浸入水中激冷，打断测量白口宽度，观察断面组织
三角试块的形状与尺寸可参见下表和图 d</td><td>（1）测量白口宽度（见图 e）是否符合要求　白口宽度过大，铁液应补加孕育剂，一般补加 0.1%（质量分数）的 Si75，白口宽度可减少 1~1.5mm；白口宽度过小时，应向铁液包里冲入适量铁液，以调整其成分，或加入适量锰铁等


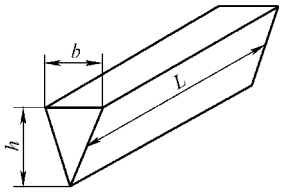
e)测量白口宽度

（2）白口宽度与铁液成分的关系　可参见下表</td></tr>
</table>

（续）

检验方法	试样规格及取样操作	质　量　鉴　别

三角试块法



d）三角试块

编号	高度 h /mm	宽度 b /mm	长度 L /mm	白口宽度的读数限度/mm
1	25	12.5	120	6
2	40	20	120	10
3	50	25	150	12
4	100	50	180	25

注：三角试块测量白口大小的限度为：白口宽度 $\leqslant \frac{b}{2}$。若白口宽度 $> \frac{b}{2}$，则应选用较大尺寸的试块。通常应根据灰铸铁牌号确定：高牌号采用较大试样，低牌号采用较小试样

序号	白口宽度/mm	化学成分（质量分数，%）					碳硅总量 $w(C+Si)$（%）	碳当量 $w(C_E)$（%）	共晶度（Sc）
		C	Si	Mn	P	S			
1	无	3.61	2.26	0.99	0.124	0.126	5.87	4.40	1.01
2	无	3.73	1.56	1.06	0.075	0.087	5.23	4.25	0.99
3	≈1	3.64	1.70	0.99	0.071	0.114	5.34	4.20	0.97
4	≈2	3.50	1.56	1.42	—	0.098	5.06	4.02	0.93
5	≈2	3.25	2.10	0.81	—	0.109	5.35	3.95	0.90
6	≈3	3.45	1.54	1.00	0.093	0.109	4.99	3.96	0.91
7	≈4	3.31	1.67	1.26	—	0.117	5.04	3.92	0.89
8	4～5	3.33	1.46	0.95	0.095	0.117	4.79	3.82	0.88
9	≈5	3.09	1.63	0.97	0.106	0.195	4.72	3.63	0.83
10	≈6	2.91	1.83	0.97	0.103	0.057	4.81	3.59	0.81
11	≈7	2.92	1.46	0.93	0.101	0.067	4.83	3.41	0.77
12	≈8	2.78	1.73	0.95	0.099	0.057	4.59	3.35	0.75
13	9～10	2.85	1.02	0.88	0.085	0.069	3.87	3.19	0.73

根据白口宽度计算碳当量的近似公式如下

$$w(C_E)=4.2\times\frac{\text{白口宽度的毫米数}}{10}(\%)$$

（3）白口宽度与灰铸铁牌号及性能的关系　可参见下表

灰铸铁牌号	HT100	HT150	HT200、HT225	HT250、HT275	HT300
白口宽度/mm	0～2	2.5～4	3.5～6	4.5～7	6～8

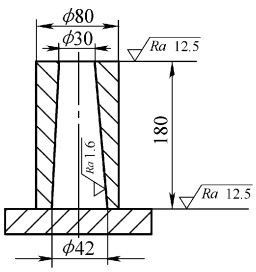
白口宽度与铸件壁厚之比	0.15	0.15～0.20	0.25	0.40～0.50	>0.70	$\frac{1}{3}$～$\frac{1}{6}$
铸件性能	强度低、易加工	易加工	强度最高	耐磨性最好	加工困难	可加工性良好

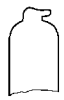
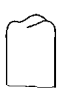
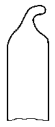
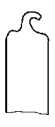
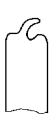
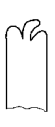
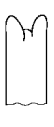
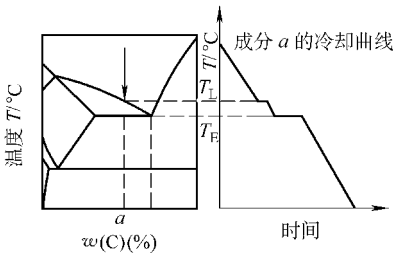
（4）断口组织与灰铸铁碳含量、碳当量、孕育效果及壁厚敏感性关系可参见下表

断口颜色	银灰	浅灰	深灰	黑灰
$w(C)$（%）	<3.0	3.1～3.2	3.2～3.3	>3.4

断口组织	内外均匀、细致	内外不均、内部粗大
碳当量	不高	高
孕育效果	良好	不良或未孕育
壁厚敏感性	小	大

（续）

<table>
<tr><th>检验方法</th><th>试样规格及取样操作</th><th>质　量　鉴　别</th></tr>
<tr><td>圆柱试棒法</td><td>将铁液浇入预热至200℃左右的金属型(见图 f)中,冷却后观察试样顶部变化情况,并打断试样观察断口白口深度
 

f)金属型</td><td>（1）圆形试棒外形与碳、硅含量关系　可参见下表
<table><tr><td>编号</td><td colspan="2">1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td>头部形状</td><td colspan="2">  </td><td>  </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td rowspan="2">大约成分（质量分数，%）</td><td>C</td><td>~3.3</td><td>~3.3</td><td>~3.2</td><td>~3.2</td><td>~3.1</td><td>~3.1</td><td>~3.0</td></tr><tr><td>Si</td><td>~2.5</td><td>~2.4</td><td>~2.4</td><td>~2.2</td><td>~2.2</td><td>~2.0</td><td>~2.0</td></tr></table>（2）圆形试棒外形及断口情况与铁液牌号的关系　可参见下表
<table><tr><td>编号</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td>试棒外形</td><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td> </td><td>  </td><td> </td></tr><tr><td>断口</td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr><tr><td>白口深度/mm</td><td>1~1.5</td><td>2~3</td><td>4~5</td><td>6~8</td><td>9~12</td><td>>13</td><td>全白口</td></tr><tr><td>铁液牌号</td><td>HT100</td><td>HT150</td><td>HT200、HT225</td><td>HT250、HT275</td><td>HT300</td><td>HT350</td><td>HT400</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>炉前热分析法测定碳、硅含量等</td><td>一般应按仪器说明书规定选用样杯,如果能保证样杯尺寸、样杯材料、浇注温度、热电偶安放位置等工艺因素不变,则测试结果是稳定的。在确保得到准确的冷却曲线的条件下,应采用尺寸较小的样杯
测定灰铸铁时,需在样杯中加1g左右的碲粉使其白口化
通常是将铁液浇入装有热电偶的样杯里,在其冷却过程中,由热电偶测温,由二次仪表绘出反映温度-时间关系的冷却曲线</td><td>铸铁的冷却曲线与铁-碳图的关系如图 g 所示。
 

g)冷却曲线与铁-碳图的关系
其液相线温度 T_L、共晶温度 T_E 与化学成分有对应关系
$C_{EL}=f(T_L);w(C)=f(T_L,T_E);w(Si)=f(T_E)$
式中　C_{EL}——液相线碳当量
故根据测得的 T_L、T_E 可以确定铸铁的 C_{EL}、C、Si 量
下面是某单位热分析仪确定碳、硅含量的解析式
灰铸铁　$w(C)=-5.81-0.00819T_L+0.017T_E$
$T_E=1195.38-84.60[w(Si)]+21.96[w(Si)]^2$
为在炉前快速计算出碳含量和硅含量,可按解析式做出计算表格或专用算尺,亦可通过仪表直接显示。碳量的绝对误差在 ±0.05%,硅量的绝对误差在 ±0.1%</td></tr>
</table>

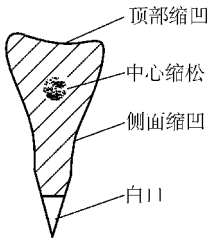
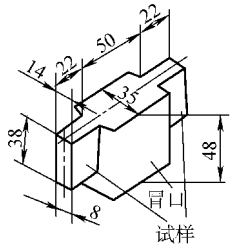
（续）

<table>
<tr><th>检验方法</th><th>试样规格及取样操作</th><th>质　量　鉴　别</th></tr>
<tr><td>炉前热分析法测定碳、硅含量等</td><td>一般应按仪器说明书规定选用样杯，如果能保证样杯尺寸、样杯材料、浇注温度、热电偶安放位置等工艺因素不变，则测试结果是稳定的。在确保得到准确的冷却曲线的条件下，应采用尺寸较小的样杯
测定灰铸铁时，需在样杯中加1g左右的碲粉使其白口化
通常是将铁液浇入装有热电偶的样杯里，在其冷却过程中，由热电偶测温，由二次仪表绘出反映温度-时间关系的冷却曲线</td><td>铸铁热分析仪，除能测报成分（C、Si、C_E）外，还能测报孕育效果、抗拉强度、硬度等力学性能，并能数显和打印记录。常用热分析仪的功能和精度及其特点如下
<table>
<tr><th>序号</th><th>型　　号</th><th>功能和精度</th><th>仪器特点</th></tr>
<tr><td>1</td><td>CWF 型铸铁成分热分析仪</td><td>自动打印记录，2.5～3min 完成测报 $C_E \leqslant \pm 0.06\%$，准确率 > 98%；w(C) ≤ ±0.05%；准确率 >97%，w(Si) ≤ ±0.1%；准确率 >95%，数显</td><td>w(P) 量调节和数学模型系数可用计算机键盘设定、修改和检查。有亚共晶、共晶、过共晶样杯配套供应</td></tr>
<tr><td>2</td><td>ZTZY-Ⅱ型铁液质量分析仪</td><td>能数显出铁液温度、过冷度，分辨率1℃。测报 C_E < ±0.05%；w(C) < ±0.05%；w(Si) < ±0.1%；共晶度 < ±0.03 打印记录</td><td>用于灰铸铁，还可用于可锻铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁、低合金铸铁。配有各种样杯</td></tr>
<tr><td>3</td><td>ZTFX-Ⅰ炉前分析仪</td><td>数显、打印、记录 w(C) < ±0.05%，w(Si) < ±0.1%；C_E < ±0.08%</td><td>该仪器是引进日本技术，操作简便，性能稳定</td></tr>
<tr><td>4</td><td>CTF-Ⅰ型热分析仪</td><td>w(C) < ±0.05%，w(Si) < ±0.1%</td><td>可用于灰铸铁，还可用于可锻铸铁、合金铸铁。可为用户编制不同软件程序</td></tr>
<tr><td>5</td><td>ZHQ-401、ZHQ-403 型铸铁碳硅量、球化率炉前快速测定仪</td><td>$C_{EL} \leqslant \pm 0.05\%$；$w$(C) ≤ ±0.05%，$w$(Si) < ±0.1%</td><td>自动打印，自动显示</td></tr>
<tr><td>6</td><td>WRZ-Ⅰ型热分析综合参数测试装置</td><td>配有屏幕显示热分析及微分曲线，打印记录 R_m、HBW、w(C)、w(Si)。R_m、HBW 值与常规测试相对偏差 < ±7%，w(C) < ±0.05%、w(Si) < ±0.1%</td><td>此外还打印记录 T_M、T_L、C_E 及过冷度、最大冷速和微分时间参数</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

（续）

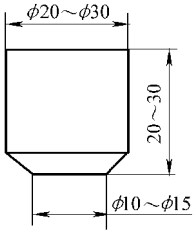
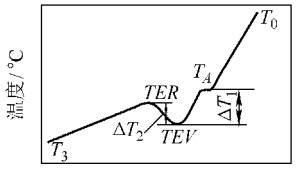
<table>
<tr><th>检验方法</th><th>试样规格及取样操作</th><th>质　量　鉴　别</th></tr>
<tr><td>试验室仪器分析法测定化学成分</td><td>需在炉前快速取样、送样、制样，并于试验室快速分析后，把分析结果用电信号传到炉前，显示并记录其数值
普通快速分析是浇注一个 ϕ20mm × 25mm 试块，冷却至700℃以下淬火，钻取粉末分析成分</td><td>根据分析结果，鉴别铁液质量和对铁液成分进行调整
常用于炉前快速分析方法的元素测定与精度及其测量范围如下
<table>
<tr><th>方法名称</th><th>制样速度</th><th>分析速度</th><th>可同时分析几种元素</th><th>适合测定的元素</th><th>精度（%）</th><th>测量范围</th></tr>
<tr><td>非真空光电直读光谱仪</td><td>较快</td><td>快</td><td>多种</td><td>除 C、P、S 外，适合其他多种元素</td><td>3 ~ 10</td><td>0.001% ~ 10%</td></tr>
<tr><td>真空光电直读光谱仪</td><td>较快</td><td>快</td><td>多种</td><td>适合 C、P、S 和其他多种元素</td><td>3 ~ 10 C、P、S 较低</td><td>0.001% ~ 10%</td></tr>
<tr><td>库仑滴定法</td><td>较快</td><td>快</td><td>一种</td><td>C、S、O_2</td><td>—</td><td>0.001% ~ 10%</td></tr>
<tr><td>X 线荧光分析</td><td>较快</td><td>快</td><td>多种</td><td>适合 C、P</td><td>1 ~ 5</td><td>0.0001% ~ 50%</td></tr>
<tr><td>红外光谱分析</td><td>较快</td><td>快</td><td>两种</td><td>适合 C、S、O</td><td>—</td><td>C 0.005% ~4%
S 0.0005% ~ 0.2%</td></tr>
</table>
注：制样速度在 2 ~ 10min 间称较快，分析速度小于 1 ~ 3min 称为快</td></tr>
<tr><td>浓差电池法、气相色谱法、库仑滴定法、真空熔融法、红外脉冲法测定铁液含气量</td><td>—</td><td>铁液中所含气体主要是指：氧、氢、氮。含气量检验，视生产需要与可能，可测全量或熔解量
铁液含气量的检验方法很多，其测定的元素与精度及其测量范围可参见下表
<table>
<tr><th>方法名称</th><th>浓差电池法</th><th>气相色谱法</th><th>库仑滴定法</th><th>真空熔融法</th><th>红外脉冲法</th></tr>
<tr><td>制样速度</td><td>不需</td><td>较快</td><td>较快</td><td>较慢</td><td>较快</td></tr>
<tr><td>分析速度</td><td>很快</td><td>快</td><td>快</td><td>慢</td><td>快</td></tr>
<tr><td>适合测定的元素</td><td>O_2</td><td>O_2、N_2、H_2</td><td>O_2</td><td>O_2、H_2</td><td>O_2</td></tr>
<tr><td>试样状态</td><td>铁液</td><td>固、粉</td><td>固、粉</td><td>固</td><td>固、粉</td></tr>
<tr><td>精度（%）</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>10</td><td>±3</td></tr>
<tr><td>测量下限 /10^{-6}</td><td>1</td><td>—</td><td>—</td><td>0.1 ~ 10</td><td>—</td></tr>
<tr><td>测量范围 /10^{-6}</td><td>1 ~ 300</td><td>H_2 0.1 ~ 200</td><td>10 ~ 100000</td><td>0.1 ~ 100000</td><td>0 ~ 1000</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

表 4-53　球墨铸铁的炉前检验方法及其球化情况鉴别（供参考）

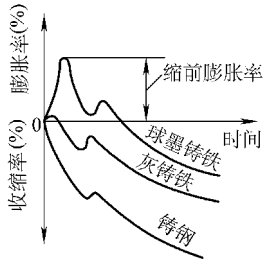
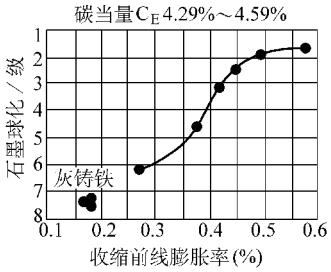
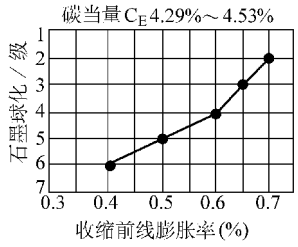
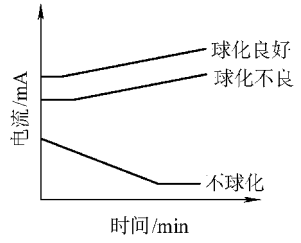
检验方法	简　　述	球化情况鉴别
观察火苗法	球化处理后的铁液，在补加铁液搅拌、倒包时，铁液表面有火苗蹿出，这是镁蒸气逸出燃烧的现象	火苗越多越长越有利、球化越好，但在铁液温度偏高时火苗有萎缩现象
观察铁液表面膜法	球化处理后，铁液中溶有镁，故表面有一层氧化皱皮，观察该层氧化膜的状况便可鉴别球化是否良好	1）球化良好。铁液表面白亮平稳，因在皱皮中存在足量的 MgO，它在 1400℃左右便不能被铁液中的碳还原生成 CO 和 CO_2，故铁液面不翻腾。稀土镁球铁铁液中残存镁量不如镁球铁多，故氧化皱皮现象不如镁球铁明显 2）半球化。铁液中溶镁很少，铁液表面氧化膜为 SiO_2，它被铁液中碳还原生成 CO 和 CO_2，使铁液表面翻腾不球化，铁液中残留镁量低，氧化皱皮时断时续，如图所示
三角试块法	常用截面尺寸为 25mm（宽）×50（高）mm 的三角试块砂型浇入铁液，试块空冷至暗红色淬水。入水方式以试块底部开始缓慢垂直入水；亦可先将试块淬入泥浆，待暗红色再淬水。然后击断，观察断口，同时配合听声和闻气味评定球化状况	1）球化良好。断口呈银灰色，组织较细，中心有缩松（稀土镁球铁的中心缩松不如镁球铁明显），三角试块的两侧和顶部都有缩凹，如图所示  另外，悬空敲击声清脆（钢音），试块击断面遇水时有电石味（因 $MgC_2 + H_2O \longrightarrow MgO + C_2H_2\uparrow$） 2）球化不良。断口呈银灰色，夹有分散黑点，越往中心越多，悬空敲击声尖锐有韵但响声不长 3）未球化。断口呈暗灰色，或呈黑麻断面，悬空敲击声闷哑 4）已球化而孕育不足，试样断口呈麻口或白口，晶粒不明显呈放射状，需补足孕育剂
圆柱试棒法	其检查内容与判断方法与三角试块相似，圆柱试棒直径一般为铸件最厚部分尺寸的 0.8 倍，长 300mm	1）球化良好。断口呈银灰色，组织致密，中心有缩松 2）未球化。断口呈暗灰色，中心无缩松
矩形试棒法	由于三角试块、圆柱试棒，因为无冒口补缩，试样心部易出现缩孔，影响判断的准确，所以可采用矩形试样如图所示  	矩形试样特征与球化关系见下表

球化质量	冒口收缩情况	试样断口特征
球化正常	上部及两侧均有明显收缩	银灰、断面细密
球化正常，有石墨漂浮	上部及两侧均有明显收缩	上部有集中黑点，下部银灰
球化不良	上部及两侧略有收缩	整个断面有轻微麻点
不球化	上部及两侧不收缩	整个断面呈灰黑色

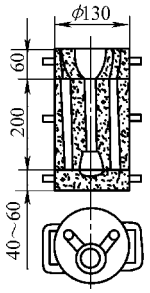
（续）

检验方法	简　　述	球化情况鉴别
快速金相法	试样铸型采用合脂砂或树脂砂，试样尺寸为 ϕ20mm×20mm 或 ϕ30mm×30mm。为了便于磨抛，可将试样的一端（磨抛端）缩小成 ϕ10mm×15mm，如图所示  试样应待中心部位全部凝固后方可淬入水中冷却，过早淬水会影响石墨析出，试样用细砂轮磨平，用 200 号刚玉砂布粗磨，金相砂纸细磨，然后用帆布蜡盘抛光 特点：因试样淬水远比铸件冷速大，故试样的球化情况切不可以它作为铸件金相检验结果，只能判断炉前球化处理后铁液的球化状况。2～3min 能报出结果	1）球化良好。石墨呈球状，外形轮廓清晰，大小、分布均匀，视场中不出现或个别视场出现少量厚片状石墨皆为球化良好标志 2）球化不良。经正常抛磨好的试样，石墨不易磨出、数量很少，分布稀疏，大小不均，圆整度较差（遇此情况，应补加稀土镁中间合金）
炉前热分析法	一般热分析法测定珠光体球铁球化率，是用热分析装置，不加反石墨化元素，直接测得球化后铁液的冷却曲线 把球化处理后的铁液浇入试样铸型内，根据热分析曲线或微分热分析曲线的特征值及其相应的回归方程式来判断球化率，一般应在 2min 左右报出结果	分析冷却曲线上的特征温度及特征温度的差值，来判断该铸铁的球化级别和碳化物析出情况。热分析法测定的典型冷却曲线如图所示  *TEV* 低于 1115℃时，试样中出现碳化物 ΔT_2 共晶回升温度是分辨球化级别的主要判据，回升温度越大，球化级别越低，两者有如下关系 ΔT_2 温度/℃ | 球化级别 <5 | Ⅰ级（球化良好） 6～12 | Ⅱ级（球化中等） >12 | Ⅲ级（球化不良）
	一般热分析法测定珠光体球铁球化率，是用热分析装置，不加反石墨化元素，直接测得球化后铁液的冷却曲线 把球化处理后的铁液浇入试样铸型内，根据热分析曲线或微分热分析曲线的特征值及其相应的回归方程式来判断球化率，一般应在 2min 左右报出结果	由于球铁成分和孕育作用，对冷却曲线形状和共晶点位置有很大影响，致使冷却曲线的特征值准确标定困难，为了细致地研究曲线特征，用超低频微分器把这一段曲线变换为微分曲线，然后根据曲线形状和有关的特征值进行球化率的判断 应用热分析仪测报出分析结果时，各使用单位应根据具体生产条件，经多次核实与修正仪器有关回归方程式常数项数值后才能在生产中运用该仪器判断球化状况

（续）

检验方法	简　　述	球化情况鉴别
缩前膨胀法	球墨铸铁、灰铸铁与铸钢不同，在开始发生线收缩以前，先有缩前膨胀，即先有一个线尺寸的胀大过程，如下图所示，根据球铁比灰铸铁有较大的缩前膨胀这一特性，可以判断出球化等级  测缩前膨胀率的仪器由试棒砂型、电感测位移系统和自动记录仪表组成	对于稀土镁球铁，碳当量在 $w(C_E)$4.29% ~4.59% 范围内，测出的缩前膨胀率与球化等级的关系如下图所示  对于稀土钙镁球铁，碳当量在 C_E4.39% ~4.53% 范围内，测出的线膨胀率与球化等级的关系如下图所示 
固体电解质氧浓差电池法	用本法测铁液球化处理前后的溶解氧量变化幅度，判断球化程度，此法极灵活、方便、迅速 仪器由测氧探头、补偿连接导线、记录仪表组成，测出的氧电势曲线以 mV 计。使用的探头材料不同，计算公式不同。可以用计算法、查表法，或专门仪器直接报出球化状况	一般可认为，球化处理前铁液含溶氧量(30 ~70) × 10^{-6}，球化处理后，铁液溶氧量降到 10^{-6} 量级，表明铁液中溶入足量的镁和稀土，氧已被大量脱除，铁液球化处理成功
比电阻法	根据石墨以球状析出时，导致电阻率下降的原理制造的仪器	通过测定比电阻-时间(或电流-时间)曲线上反映出来，如图所示 

（续）

检验方法	简　　述	球化情况鉴别
抗弯强度法	大量试验表明，抗弯强度（σ_{bb}）与金相组织两者有明显的对应关系，抗弯试棒的铸型如图所示  尺寸为 φ20mm × 200mm 的铸棒，抗弯跨距取 120mm，试棒湿型立浇，底注快冷（1.5min 取样），断面形状圆整组织均匀无疏松、夹渣、气孔缺陷	判据（供参考）： $\begin{cases}\sigma_{bb}>150\text{MPa}\\ f(\text{挠度})=13\text{mm}\\ \text{球化率}>85\%\end{cases}$ $\begin{cases}\sigma_{bb}>120\text{MPa}\\ f(\text{挠度})=12\text{mm}\\ \text{球化率}>70\%\end{cases}$ $\begin{cases}\sigma_{bb}>110\text{MPa}\\ f(\text{挠度})=11\text{mm}\\ \text{球化率}>55\%\end{cases}$
音频法	固有频率同物体的弹性模量与形状、尺寸有关，铸铁的弹性模量主要决定于石墨的形状、大小、数量和分布。因此，在一定条件下测定铸件的固有频率就能间接反映铸件球化率等内部质量情况	如第二汽车厂生产的东风牌载重汽车曲轴，当固有频率≥536 周/s 时，球化合格；固有频率≤534 周/s，则多数不合格
超声波法	此法可对球铁件的不同部分和局部进行检测，从而判断各部分的球化情况，其方法、设备与超声波测力学性能相同	超声波在球铁中的传播速度随球化程度不同而改变。超声波在厚片状石墨铸铁中速度为 4500m/s，在完全球化的铸铁中速度为 5000～6000m/s

注：1. 音频法主要用于流水线生产。

2. 球墨铸铁的炉前成分等检验可参见灰铸铁，见表 4-52。

表 4-54　蠕墨铸铁的炉前检验方法及其蠕化情况鉴别（供参考）

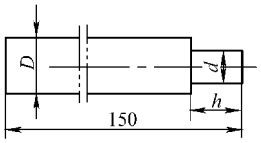
方法	蠕化情况鉴别
三角试块法	三角试样的尺寸、制作和冷却方法同灰铸铁，见表 4-52 1）蠕化良好：断口呈银灰色、晶粒较细，中心有少量缩松，试样两侧和顶部有缩凹。当白口宽度为 3～7mm 时，可浇注大、中铸件，当白口宽度小于 3mm 时，可浇薄壁小铸件 2）稀土残留量偏低：断口呈银灰色、无白口、中心无缩松，可浇薄壁铸件。对于厚大铸件，最好补加 0.1%～0.2%（质量分数）稀土合金后再浇注 3）稀土残留量偏高：断口呈银灰色，组织很细，中心有明显缩松，试样两侧和顶面的缩凹很大，白口宽度亦大，此时可浇特厚大铸件；或二次孕育，也可补加少量原铁液降低稀土浓度 4）未蠕化：断口呈黑灰色，组织较粗，中心无缩松，试片两侧和顶部无缩凹，白口宽度小。此时，若铁液温度尚高，可补加 0.2%～0.6%（质量分数）稀土合金进行二次处理。不能挽救时，作普通灰铁浇注 5）蠕化衰退：若在浇注过程中试样白口宽度不断减小，则表明蠕化不断衰退；但有时白口宽度反而会不断增大，则表明孕育作用在不断衰退，可以采取改变孕育方法或调整孕育剂的加入量等措施
快速金相法	试样制作同表 4-53 所述 制作好的试样用光学金相显微镜观察，对照标准 JB/T 3829—1999 决定是否可以浇注

（续）

方法	蠕化情况鉴别
缩前膨胀法	利用球铁、蠕铁、灰铁缩前膨胀率不同的特点加以判断： 球墨铸铁缩前膨胀率 0.5% ~0.65% 蠕墨铸铁缩前膨胀率 0.3% ~0.5% 灰铸铁缩前膨胀率 <0.3%
超声波法	速度范围为 4950 ~5435m/s 内为蠕墨铸铁
热分析法	在热分析曲线中蠕墨铸铁同球铁及灰铸铁相比较，蠕墨铸铁有以下特点： 1）过冷度高 2）由过冷点到共晶的温度回升梯度最大 3）由于石墨蠕化，过冷时间和共晶凝固时间延长，使共晶凝固中平直部分较灰铸铁短得多 以第 3）项来判断蠕化率
抗弯强度法	方法见表 4-53，下列数据供参考 $\sigma_{bb}>100MPa$，挠度 $f=8mm$ } 蠕铁 $\sigma_{bb}>90MPa$，挠度 $f=7mm$ } 蠕铁

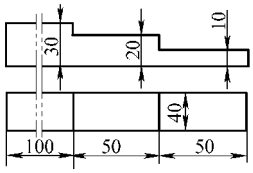
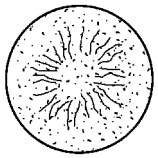
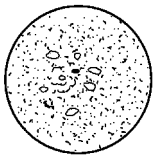
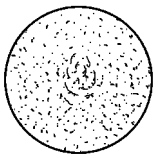
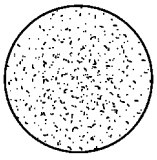
注：蠕墨铸铁的炉前成分等检验可参见灰铸铁，见表 4-52。

表 4-55　可锻铸铁的炉前检验方法及其全白口情况鉴别（供参考）

检验方法	试样规格及取样操作	全白口情况鉴别
试块法	采用湿型敞浇，冷却至 750℃（呈紫红色）以下时淬水，然后打断观察其断面 试样的形状同灰铸铁见表 4-52 试样尺寸及适用壁厚如下	1）要求三角试样断面呈全白口或中心有少数灰点 2）如果断口中心灰点较多，则应用该铁液浇注较薄的铸件，或铁液补加 0.001% ~0.003%（质量分数）的铋
圆柱阶梯试样法	试样规格  $D=2d=2\delta$（铸件最大壁厚） $h=2.5\sim3d$ 采用湿型浇注，冷却至 750℃以下淬水，打断后观察断面	d 断面全部呈白口，D 断面中心有少量小灰点，则碳、硅总量适当

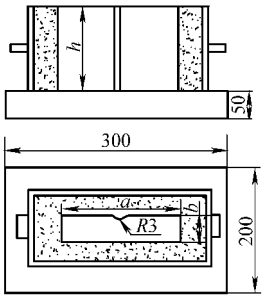
序号	h/mm	b/mm	L/mm	适用壁厚/mm
1	25	12.5	130	6 ~10
2	40	20	130	10 ~15
3	50	25	130	15 ~20
4	100	50	130	20 ~30

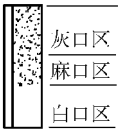
（续）

检验方法	试样规格及取样操作	全白口情况鉴别
梯形试样法	试样规格  采用湿型浇注，冷却至750℃以下淬水，打断不同断面，观察断口	1）试样形状与尺寸如图所示，试样全白口断面的铸件适用范围见下表 试样断面/mm：10 / 20 / 30 适用铸件壁厚/mm：≤10 / ≤20 / ≤30 2）断面呈无方向性分布的纯白口组织为最好，表明 $w(Si)\geqslant 0.8\%$，$w(C)\leqslant 2.8\%$ 3）断面由中心向边缘呈方向性分布的白口组织，表明 $w(Si)<0.6\%$，$w(C)>2.9\%$，莱氏体量较多，使退火时间延长，甚至发生困难
圆柱试棒法	采用湿型浇注直径等于铸件最大壁厚的1.5～2倍，长度为200～250mm的圆棒，冷却至750℃以下淬水，打断后观察其断面	1）整个断面为白口，其中心有5～10个小灰点，则碳、硅总量适当  碳高硅低 2）试棒顶部收缩大，敲打时性脆，断面平直，针状碳化物从边缘伸至中心，粗大发亮  碳低硅高 3）试棒顶部收缩小，淬水时有微裂现象，试棒不易敲断，断面无针状碳化物出现，呈灰黑色细密组织  碳低硅低 4）试棒顶部不缩，淬水时热裂现象严重，断面呈灰色粒状组织（与碳组织相似），试棒易于敲断  碳高硅高 5）断面呈灰口，与灰铸铁相似

注：可锻铸铁的炉前成分等检验可参见灰铸铁，见表4-52。

表 4-56　冷硬铸铁的炉前检验方法及其白口深度情况鉴别（供参考）

<table>
<tr><th>检验方法</th><th>试样规格及取样操作</th><th>白口深度情况鉴别</th></tr>
<tr><td>白口试片法</td><td>
1）白口试片的铸型如图所示，各边吃砂量为 20 ~ 30mm，底板为实心铸铁板，尺寸见下表
<table>
<tr><th rowspan="2">试片尺寸</th><th colspan="2">熔　炼　方　法</th></tr>
<tr><th>冲天炉</th><th>反射炉</th></tr>
<tr><td>a/mm</td><td>200</td><td>100</td></tr>
<tr><td>b/mm</td><td>35</td><td>45</td></tr>
<tr><td>h/mm</td><td>145</td><td>120</td></tr>
</table>


白口试片的铸型
2）试片按下表制备与处理，然后打断，观察断口
<table>
<tr><th rowspan="2">制备与处理</th><th colspan="2">熔炼方法</th></tr>
<tr><th>冲天炉</th><th>反射炉</th></tr>
<tr><td>铸型准备</td><td colspan="2">1）刷涂料，且烘干
2）砂型与底板分别预热至 80 ~ 100℃ 与 70 ~ 100℃</td></tr>
<tr><td>型内停留时间/min</td><td>6 ~ 8</td><td>6</td></tr>
<tr><td>开箱后吹压缩空气时间/min</td><td colspan="2">2</td></tr>
<tr><td>多次侵入流水冷至 50 ~ 70℃时间/min</td><td colspan="2">2 ~ 3</td></tr>
</table>
</td><td>
1）白口深度测量。以断口的宽度方向上 8 ~ 10mm 内有三个麻点的那条线为白口和麻口的界线，如图示。注意，判断或测量错误会降低轧辊质量


白口与麻口的分界线
2）试片白口深度与轧辊白口深度的关系。试片的白口深度越深，轧辊的白口亦越深，二者关系见下表
<table>
<tr><th>熔炼方法</th><th>试片白口深度:轧辊白口深度</th></tr>
<tr><td>冲天炉</td><td>(1 ~ 1.6):1</td></tr>
<tr><td>反射炉</td><td>(2 ~ 2.4):1</td></tr>
</table>
3）白口深度的调整见下表
<table>
<tr><th>方法</th><th>说　明</th></tr>
<tr><td>一般调整</td><td>一般用硅铁减少白口深度，用碲或铬铁增加白口深度</td></tr>
<tr><td>配料调整</td><td>硅铁比碲便宜，故一般调整炉料，使铁液白口倾向偏大，从而调整轧辊的白口深度，如下表
<table>
<tr><th>调整材料</th><th>轧辊白口深度</th><th>每吨铁液加入量</th><th>块度/mm</th></tr>
<tr><td>75% 硅铁</td><td>减 1mm</td><td>0.2kg</td><td>10 ~ 100</td></tr>
<tr><td>碲</td><td>增 1mm</td><td>(一般) 1.5kg</td><td>5</td></tr>
<tr><td>碲</td><td>增 1mm</td><td>(当白口过小，麻口过大时) 2g</td><td>5</td></tr>
<tr><td>铬铁</td><td>增 1mm</td><td>0.15 ~ 0.5kg</td><td>5 ~ 20</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>炉内调整</td><td>反射炉熔炼时，可在炉内调整
1）试片白口过深，炉内加 75% 硅铁。铁液含硅增加 0.01% ~ 0.015%，试片白口深度减少 1mm
2）试片白口过浅，炉内加矿石或氧化铁皮，加速烧损硅。降硅 0.01% ~ 0.015%，试片白口增加 1mm。以 33 ~ 35t 铁液为例，加富铁矿石 40 ~ 60min 后取样，硅锰烧损量见下表
<table>
<tr><th>矿石加入量/kg</th><th>降硅(质量分数,%)</th><th>降锰(质量分数,%)</th></tr>
<tr><td>100</td><td>0.055 ~ 0.065</td><td>0.064</td></tr>
<tr><td>200</td><td>0.105</td><td>0.063</td></tr>
<tr><td>300</td><td>0.140</td><td>0.087</td></tr>
<tr><td>400</td><td>0.171</td><td>0.080</td></tr>
<tr><td>500</td><td>0.215</td><td>0.113</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>包内调整</td><td>反射炉熔炼时，铁液包内加碲(1g/t 铁液)的效果见下表
<table>
<tr><th>铁液碳含量(质量分数,%)</th><th>试片白口增深/mm</th></tr>
<tr><td>3.0</td><td>>1</td></tr>
<tr><td>3.0 ~ 3.3</td><td>1</td></tr>
<tr><td>3.3 ~ 3.7</td><td>0.5 ~ 1</td></tr>
<tr><td>3.7 ~ 3.8</td><td>0.25 ~ 0.5</td></tr>
</table></td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

注：冷硬铸铁的炉前成分等检验可参见灰铸铁，见表 4-52。

（3）中频感应电炉熔炼铸铁（铸钢）的质量控制（检验）

1）中频感应电炉熔炼过程的控制（检验）。中频感应电炉属于中小型熔炼设备（见图 4-23），主要用于批料熔化法熔炼高质量铸铁和铸钢，也可用于熔炼铸造铜合金。

通常，中频感应电炉熔炼过程的一般控制（检验）应包括：准备阶段（修补或砌筑坩埚 、备料、配料）、装料与熔化、出铁（出钢）等。

酸性中频感应电炉熔炼过程的控制项目与检验方法见表 4-57。

碱性中频感应电炉熔炼过程的控制项目与检验方法见表 4-58。

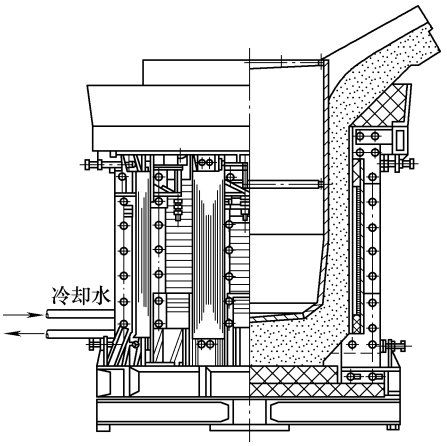


图 4-23　中频感应电炉示意图

表 4-57　酸性中频感应电炉熔炼过程的控制项目与检验方法（供参考）

控制项目		控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
准备阶段	修补或砌筑酸性坩埚	在修补或坩埚打结前应全面检查处理感应圈、磁轭、绝缘胶木支撑条、耐水胶泥、水冷系统、倾炉液压系统、电控系统等，确认完好后方能进行修补或筑炉 捣筑好的坩埚必须经过烘干烧结	对于坩埚壁厚达到 65% ~70% 时就要中修或停炉重打 对于 < 2mm 的裂缝可不经修补，在高温状态下可弥合 对于 >2mm 的纵深裂纹及炉底和炉膛的剥落烧蚀均需修补	操作者自检，检验员抽检	每炉次
	备料	金属炉料，熔剂及其他辅助材料的表面质量、规格、数量、牌号、成分是否符合要求，有无出质量合格证	依据原材料标准，理化检验报告单，目视观察检验	操作者和检验员	每炉次
	配料	配料的依据是否充分 配料成分及百分比是否符合规定 炉料称重是否准确	依据铸铁（铸钢）配料规定复查配料单，参加称重或抽查称重	检验员或工艺员	每批牌号
装料与熔化	装料	放入起炉块后要检查起炉块是否确实放到炉底 炉料要干净、干燥和无锈 炉料块度搭配要适合，小块料在大块料的缝隙内，大块靠炉壁，炉料要装紧实 通常，先加熔点较低和元素烧损较小的炉料，后加熔点较高和元素烧损较大的炉料 切屑料应尽量放在出铁（出钢）后的残留铁液（钢液）上，一次入炉量为炉容量的 1/10 以下，而且必须均匀加入 不要加入管状或中空的炉料，避免有爆炸危险	目视检查	操作者自检，检验员监督抽查	每炉次
	熔化	通电熔化，开始用低功率高电流，稳定后采用最大功率直至熔化 炉料大部熔化后，加入造渣材料，将铁液（钢液）全部覆盖 随着炉料熔化，为防止“搭桥”，要经常捣料，并陆续加入炉料 炉料基本化清后，取样分析，调整成分 炉料全熔后，减小功率，倾炉扒渣，测定铁液（钢液）温度	依据酸性中频感应电炉熔炼工艺规程	操作者或工艺员	每批牌号

（续）

控制项目	控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
出铁（出钢）	铁液（钢液）达到化学成分和温度要求，而钢液还需插铝 1kg/t 进行终脱氧停电，倾炉出铁（出钢）	依据熔炼铸铁（铸钢）工艺规程	操作者和检验员	每炉次

表 5-58　碱性中频感应电炉熔炼过程的控制项目与检验方法（供参考）

控制项目		控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
准备阶段	修补或砌筑碱性坩埚	可参照表 4-57 的控制内容、检验依据与方法、检验者与备注			
	备料				
	配料	配料的依据是否充分 配料成分及百分比是否符合规定 采用不氧化法炼钢时，炉料平均碳含量按规格成分的下限配入；采用氧化法炼钢时，炉料平均碳含量应比规格成分下限质量百分数高 0.2% ~ 0.3%（即氧化脱碳量质量分数为 0.2% ~0.3%）	依据铸铁（铸钢）配料规定，复查配料单，参加称重或抽查称重	检验员或工艺员	每批牌号
装料与熔化	装料	可参照表 4-57 的控制内容、检验依据与方法、检验者与备注			
	熔化期	可参照表 4-57 的控制内容、检验依据与方法、检验者与备注			
	氧化期	炼钢时，一旦钢液化学成分符合要求即可使钢液温度保持在 1570℃以上，进行氧化脱碳，脱碳可用吹氧法或矿石法 估计钢液碳含量达到规格下限时，停止供氧，取钢样进行分析	依据碱性中频感应电炉熔炼工艺规程	操作者或工艺员	每炉次
	还原期	炼钢时，当渣料化清后，可向渣面上加脱氧剂（石灰粉∶萤石粉 =2∶1）进行扩散脱氧 脱氧过程可用石灰粉和萤石粉调整渣粘度，保持炉渣良好的流动性 根据钢样分析结果，调整钢液化学成分，其中硅含量在出钢前 10min 调整 测钢液温度，作圆杯试样，检查钢液脱氧效果 达到出钢温度，圆杯样收缩良好，准备出钢，出钢前插铝 0.8kg/t，进行终脱氧	依据碱性中频感应电炉熔炼工艺规程	操作者或工艺员	每炉次
出铁（出钢）		铁液（钢液）达到化学成分和温度要求，而钢液插铝后还需停 2 ~ 3min，才可停电倾炉出铁（出钢）	依据熔炼铸铁（铸钢）工艺规程	操作者和检验员	每炉次

注：碱性中频感应电炉一般采用不氧化法炼钢。

2）中频感应电炉熔炼铸铁（铸钢）的炉前检验方法及其质量鉴别。高强度灰铸铁的炉前检验方法及其质量鉴别见表 4-56。

球墨铸铁的炉前检验方法及其球化情况鉴别见表 4-53。

蠕墨铸铁的炉前检验方法及其蠕化情况鉴别见表 4-54。

高硅耐蚀铸铁的炉前检验方法及其含气量鉴别见表 4-59。

铸钢的炉前检验方法及其质量鉴别见表 4-62。

表 4-59　高硅耐蚀铸铁的炉前检验方法及其含气量鉴别（供参考）

检验方法	取样规格及取样操作	含气量鉴别		
		序号	试棒外观及断口	含气程度
圆柱试棒法	试样为 ϕ30mm × 120mm 圆柱体，采用湿型浇注	1	1）顶面光滑，中间凹下 8 ~ 15mm，两侧微凸成月牙形 2）剖面测缩孔深度占试样总长的 1/3 左右	少 （铸件白口倾向大）
		2	1）顶面尚光滑，中间凹下，深度小于 8mm 2）剖面测缩孔深度占试棒总长的 1/5 左右	中
		3	顶面中心缩成管状，中央又胀出小铁豆	较多
		4	顶面不光滑，凸起，缓慢上胀	多（不合格）

（4）电弧炉冶炼铸钢的质量控制（检验）

1）电弧炉冶炼铸钢过程的控制（检验）。电弧炉（见图 4-24）有大、中、小型，按炉衬分为碱性电弧炉和酸性电弧炉，主要用于冶炼铸钢，也可用于熔炼铸铁和铸造铜合金。

电弧炉冶炼铸钢过程的一般控制应包括：准备阶段（修补炉衬、备料、配料及装料）→熔化期→氧化期→还原→出钢等。

碱性电弧炉氧化法冶炼铸钢过程的控制项目与检验方法见表 4-60。

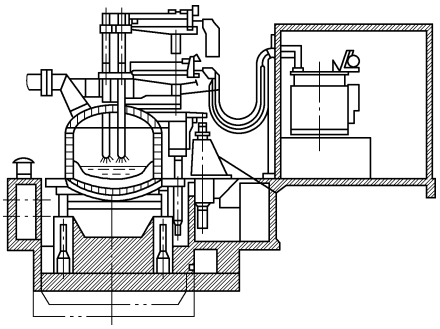


图 4-24　电弧炉示意图

酸性电弧炉不氧化法冶炼铸钢过程的控制项目与检验方法见表 4-61。

表 4-60　碱性电弧炉氧化法冶炼铸钢过程的控制项目与检验方法（供参考）

控制项目		控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
准备阶段	修补炉衬	检查炉内的清理情况，如炉内的残钢渣是否扒清等 在高温条件下快速补炉时是否按照下列顺序进行：先补易冷却炉炉门及出钢口两侧部位，其次补被侵蚀严重的电极下炉底部分，以后再补其他部位 补层是否太厚	依据操作工艺规程，借助软线灯观察	操作者自检，检验员抽检	每炉次
	备料	金属炉料、熔剂及其他辅助材料的表面质量、规格、数量、牌号、成分是否符合要求，有无出库质量合格证	依据原材料标准，理化检验报告单，目视观察检验	操作者和检验员	每炉次

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">控制项目</th><th>控制内容</th><th>检验依据与方法</th><th>检验者</th><th>备注</th></tr>
<tr><td rowspan="2">准备阶段</td><td>配料</td><td>配料的依据是否充分
配料成分及百分比是否符合规定
炉料称重是否准确
1）炉料的平均碳含量应满足氧化期中脱碳的要求：一般要求脱碳量（质量分数）大于等于 0.30%（质量分数），重要铸钢件大于等于 0.40%，新修炉衬应适当增加，大修炉后第一炉应大于 0.50%，中修炉后第一炉大于 0.40%
2）磷和硫的平均含量（质量分数）均应小于等于 0.06%
3）冶炼铸造碳钢时，$w(Cr+Mo+Ni+Cu)\leqslant 0.75\%$，Sn、Pb 等的含量应予以严格限制</td><td>依据铸钢配料规定，复查配料单，参加称重或抽查称重</td><td>检验员或工艺员</td><td>每批牌号</td></tr>
<tr><td>装料</td><td>装料前应先检查炉体、炉盖、冷却系统以及电器设备和机械装置是否正常
装料前是否在炉底和半坡处先铺有约占炉料质量 2% 的石灰
用开底式装料罐加料时是否符合布料原则，装得是否紧密
装料后是否在炉料上面电极下面的部位放有焦炭
装料量是否超载</td><td>目视检验
用开底式装料罐加料时的布料原则：在料罐底部装一部分小料或钢屑垫炉底，其上装大料和中块料，最上部装小块料及钢屑等薄料；在料罐中对应于炉子高温区的位置装大块料和难熔的炉料；增碳用的电极碎块应装在料罐下部</td><td>操作者自检，检验员监督抽查</td><td>每炉次</td></tr>
<tr><td colspan="2">熔化期</td><td>是否按照合理供电制度供电
钢液熔池形成后，是否分批加入石灰造渣
炉料已大部分熔化时，是否已将炉坡处尚未熔化的炉料推入钢液中
采取吹氧助熔的操作是否恰当
在熔化末期是否加入小批矿石或氧化铁皮加速脱磷
炉料熔毕后，是否取样分析碳和磷，或碳、锰、磷</td><td>目视检验
冶炼碳钢的合理供电制度见下表
<table>
<tr><th rowspan="2">时间</th><th rowspan="2">条件</th><th colspan="2">供电制度</th></tr>
<tr><th>电压</th><th>电流</th></tr>
<tr><td rowspan="2">点弧时</td><td>炉料上层是钢屑或轻薄料</td><td>高</td><td>—</td></tr>
<tr><td>炉料上层是重、实料</td><td>低</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="2">开始熔化阶段</td><td>电弧埋入炉料前</td><td>低</td><td>小</td></tr>
<tr><td>电弧埋入炉料后</td><td>高</td><td>大</td></tr>
<tr><td rowspan="2">熔化过程中</td><td>电极第一次降到炉底时</td><td>低</td><td>小</td></tr>
<tr><td>三根电极降到炉底以后 10～15min 起至炉料熔毕</td><td>高</td><td>大</td></tr>
<tr><td rowspan="2">炉料熔毕后</td><td>熔化过程中用吹氧助熔</td><td>高</td><td>大</td></tr>
<tr><td>熔化过程中不用吹氧助熔</td><td>低</td><td>小</td></tr>
</table></td><td>操作者自检，检验员监督抽查</td><td>每炉次</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">控制项目</th><th>控制内容</th><th>检验依据与方法</th><th>检验者</th><th>备注</th></tr>
<tr><td rowspan="4">氧化期</td><td>脱磷</td><td>炉渣碱度是过高，还是过低
钢液温度是否太高
炉渣碱度是否足够高，流动性是否好
有无“返磷”现象
钢液磷含量是否符合要求</td><td>依据炼钢工艺规程和仪器检验以及目视观察
含磷量的控制数值见下表
<table><tr><th>钢的等级</th><th>成品钢液含磷量 $w(P)(\%)$</th><th>氧化期末除渣前钢液含磷量 $w(P)(\%)$</th></tr><tr><td>普通钢</td><td>≤0.040</td><td>≤0.020</td></tr><tr><td>优质钢</td><td>≤0.035</td><td>≤0.015</td></tr><tr><td>高级优质钢</td><td>≤0.030</td><td>≤0.010</td></tr></table></td><td rowspan="4">检验员和化验员</td><td rowspan="4">每炉次</td></tr>
<tr><td>脱碳</td><td>脱碳速度是否适当
氧化期末钢液碳含量（终点碳）是否低于成品钢的碳含量</td><td>依据炼钢工艺规程和仪器检验以及目视观察
脱碳速度以 0.6～1.8%/h 或 0.01～0.03%/min 为好
冶炼碳钢的终点碳控制见下表
<table><tr><th>钢的规格 $w(C)(\%)$</th><th>氧化期末终点 $w(C)(\%)$</th></tr><tr><td>0.10～0.20</td><td>0.04～0.09</td></tr><tr><td>0.20～0.30</td><td>0.12～0.18</td></tr><tr><td>0.30～0.40</td><td>0.22～0.28</td></tr><tr><td>0.40～0.50</td><td>0.32～0.38</td></tr><tr><td>0.50～0.60</td><td>0.42～0.48</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>保持锰</td><td>在纯沸腾期间是否保持了锰含量</td><td>依据炼钢工艺规程和仪器检验
当氧化期末钢液中 $w(C)\leq 0.20\%$ 时，在纯沸腾期间应保持 $w(Mn)\geq 0.20\%$</td></tr>
<tr><td>钢液温度</td><td>氧化期末钢液温度是否比出钢温度高</td><td>依据炼钢工艺规程和测温仪检验
氧化期末钢液温度应比出钢温度高 20～30℃，至少应不低于出钢温度上限</td></tr>
<tr><td>氧化期</td><td>除渣</td><td>氧化期末是否将炉渣扒清</td><td>依据炼钢工艺规程
通常，氧化期末，在钢液碳含量、磷含量和温度均已达到要求时，首先应在通电条件下放出 60%～70% 的炉渣，然后升起电极，在停电条件下迅速扒净其余的炉渣</td><td>操作者自检和检验员监督抽查</td><td></td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">控制项目</th><th>控制内容</th><th>检验依据与方法</th><th>检验者</th><th>备注</th></tr>
<tr><td rowspan="5">还原期</td><td>造稀薄渣预脱氧</td><td>稀薄渣的粘度是否高
预脱氧时，加入的脱氧剂中锰量是否超差</td><td>依据炼钢工艺规程</td><td rowspan="4">操作者自检和检验员监督抽查</td><td rowspan="6">每炉次</td></tr>
<tr><td>造还原渣脱氧</td><td>检验钢液脱氧质量</td><td>依据炼钢工艺规程
钢液脱氧质量的检验方法可参见表 4-62</td></tr>
<tr><td>脱硫</td><td>钢液温度是否高
炉渣碱度是否高
渣量是否足够</td><td>依据炼钢工艺规程</td></tr>
<tr><td>调整钢液化学成分</td><td>加入的硅铁和锰铁是否符合成品钢中对硅含量和锰含量的要求</td><td>依据铸件技术条件和炼钢工艺规程</td><td>检验员和化验员</td></tr>
<tr><td>终脱氧</td><td>加入的脱氧剂铝是否足够</td><td>依据铸件技术条件和炼钢工艺规程
终脱氧的加铝量，见下表
<table><tr><th>钢液用途</th><th colspan="2">每吨钢液加铝量/(kg/t)</th></tr><tr><td rowspan="2">浇注铸钢件</td><td>湿型</td><td>1.5</td></tr><tr><td>干型</td><td>1.0</td></tr><tr><td rowspan="2">浇注钢锭</td><td>中、低碳钢</td><td>0.6</td></tr><tr><td>高碳钢</td><td>0.6</td></tr></table></td><td rowspan="2">操作者和检验员</td></tr>
<tr><td colspan="2">出钢</td><td>是否及时停止供电
盛钢桶是否干燥和清洁
出钢温度是否符合要求</td><td>依据炼钢工艺规程
盛钢桶应烘烤至红色或暗红色(700～1000℃)
碳钢钢液的出钢温度见下表
<table><tr><th>钢的规格碳的质量分数(%)</th><th>出钢温度/℃</th></tr><tr><td>0.10～0.20</td><td>1620～1640</td></tr><tr><td>0.20～0.30</td><td>1610～1630</td></tr><tr><td>0.30～0.40</td><td>1600～1620</td></tr><tr><td>0.40～0.50</td><td>1590～1610</td></tr><tr><td>0.50～0.60</td><td>1580～1600</td></tr></table></td></tr>
</table>

表 4-61　酸性电弧炉不氧化法冶炼铸钢过程的控制项目与检验方法（供参考）

控制项目		控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
准备阶段	修补炉衬	可参照表 4-60 的控制内容、检验依据与方法、检验者与备注			
	备料	主要备用车间废料和废钢应纯净、无锈，且溶剂及其他辅材料的质量应符合要求	依据原材标准，理化检验报告单，目视观察检验	操作者和检验员	每炉次
	配料	炉料含碳量配至所炼钢种成分的下限，含磷和硫的质量分数都应比规格限量要求值低 0.005%	依据铸钢配料规定，复查配料单，参加称重或抽查称重	检验员或工艺员	每批牌号
	装料	可参照表 4-60 的控制内容、检验依据与方法、检验者与备注			
熔化期		可参照表 4-60 的控制内容、检验依据与方法、检验者与备注			
还原期		熔化后所形成的炉渣完全不扒，或只扒去一部分炉渣 扒渣之后加入锰铁预脱氧（加入量应使钢液锰含量达到 0.20% 左右） 加入渣料（旧硅砂∶石灰 =5∶2），造渣覆盖钢液，渣量约 2% ~3% 充分搅拌钢液，取钢样，分析 C、Si、Mn 加入碳粉进行还原，还原时间约 10min 测量钢液温度，并作圆杯试样，检验钢液脱氧情况 根据钢样分析结果，调整硅含量和锰含量 当钢液化学成分和温度均符合要求，钢液脱氧情况良好，可加入脱氧剂（Al）进行终脱氧	依据炼钢工艺规程和铸件技术条件	操作者自检、检验员监督抽查，化验员化验	每炉次
出钢		可参照表 4-60 的控制内容、检验依据与方法、检验者与备注			

注：酸性电弧炉不氧化法冶炼实际上是炉料的重熔过程。

2）电弧炉冶炼铸钢的炉前检验方法及其质量鉴别。在炉前检验钢液的化学成分是保证钢液牌号正确、成分合格的重要手段。一般靠取样，进行快速的光谱分析，以便及时反馈给熔炼工进行控制和必要的调整。但是，由于电弧炉炼钢周期较长，成分波动幅度较大，因此炉前检验钢液的化学成分不能只进行一次，而往往需进行两次或三次的炉前快速分析，即全部炉料化清后、氧化期结束以后，以及还原期的后期都应取样进行快速的光谱分析，以便准确掌握炉内的冶金反应，及时调整成分，保证出炉钢液的化学成分符合技术条件规定的要求。

炉前钢液温度、终点碳量和脱氧质量的检验方法及其质量鉴别见表 2-62。

表 4-62　炉前钢液温度、终点碳量和脱氧质量的检验方法及其质量鉴别（供参考）

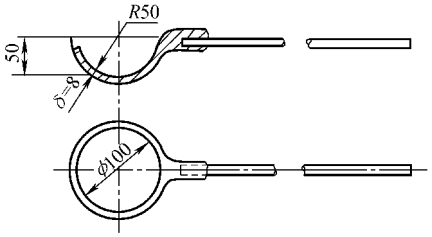
检验内容	检验方法及其质量鉴别

钢液温度

钢液出炉后，可在包内或取样勺内用热电偶高温计（铂铑和钨钼热电偶等）或光学高温计测温，或用经验方法根据钢液结膜时间、钢液沾勺时间等来间接判断钢液温度。但应该注意，取样以前应先搅拌熔池，以使钢液温度均匀，并且应将取样勺在钢液中预热并使其表面沾上一层炉渣。常用的经验测温法如下：

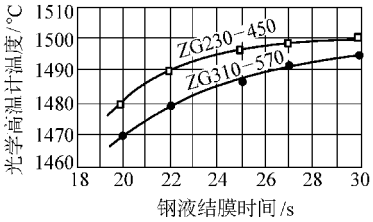
1）钢液结膜测温法。由于每种牌号钢液的液相线温度不同，当其冷却时表现为表面有一定的开始结膜的温度。钢液温度越高时，其下降到结膜温度所需的时间也越长，因此根据钢液试样表面结膜所需时间的长短，可以大致地判断钢液温度的高低。具体方法是：先在炉中将样勺表面上均匀地沾上一层炉渣，然后取出钢液试样放在炉前平台上，待其稍事镇静之后用干燥的木片拨去表面炉渣，并立即用秒表记下开始的时间，直到钢液表面结膜完成时为止，停住秒表，这一段时间称为结膜时间

显然样勺的尺寸（容量）和样勺壁厚对钢液结膜时间有直接的影响，生产中常用的样勺尺寸如图 a 所示，盛钢液质量为 1kg 左右



a）样勺

某厂在生产条件下，对 ZG230-450 和 ZG310-570 钢液测定的钢液温度（光学高温计测得，未校正）与结膜时间的对应关系如图 b 所示。一些钢种的出钢钢液结膜时间见下表



b）钢液温度与结膜时间的关系

一些钢种的出钢要求钢液结膜时间

牌　号	结膜时间/s	牌　号	结膜时间/s
ZG200-400	35～50	ZG35Mn	30～40
ZG230-450	35～50	ZG35Mn2	30～40
ZG270-500	30～40	ZG35CrMo	30～40
ZG310-570	30～40	ZG35CrSiMnMo	30～40
ZG340-640	30～40	ZG40Cr	30～40
ZG18CrMnTi	35～45	ZG50Mn	28～38
ZG20Cr	32～42	ZG65Mn	28～38
ZG20Cr2Mn2Mo	32～42	ZG78A	28～38

应该注意，这种方法的检验判断结果受到生产条件的影响很大，相同成分的钢液，具有相同的温度时，在不同的测试环境下，所得结膜时间会有不小的差异。因此，各厂应在自己的生产条件下，找出自己的温度-时间对应关系

2）钢液沾勺测温法。对于含高铬或含高铝的合金钢，不能用钢液结膜法测温，因为这类钢液一经和空气接触，马上在表面生成一层氧化铬膜或氧化铝膜，因而难于确定钢液结膜时间。对于这类钢液可采用沾勺法测温，方法是：用几个样勺取钢液，分别静置不同秒数后，将钢液倒出，观察钢液在经过多少秒后，开始沾勺，并以开始发生沾勺的秒数作为钢液温度的标志，称为沾勺秒数。下表是某厂为一些高合金钢的出钢温度所规定的钢液沾勺秒数，可供参考

（续）

检验内容	检验方法及其质量鉴别

钢液温度

一些合金钢的出钢要求钢液沾勺时间

牌　　号	沾勺时间/s	对应的钢液温度/℃
ZG15Cr13	28 ~ 35	1540 ~ 1560
ZG12Cr18Ni9Ti	32 ~ 40	1620 ~ 1640
ZG12Cr18Ni12Mo3Ti	30 ~ 38	1610 ~ 1630
ZG12Cr18Mn13Mo2CuN	45	1550 ~ 1570
ZG12Cr17Mn9Ni4Mo3Cu2N	45	1550 ~ 1570

3）钢棍测温法。这是一种判断盛钢桶中钢液温度高低的经济方法。在出钢以后，将一定直径的钢棍插入盛钢桶的钢液中，经过一定时间后将钢棍取出，根据钢棍的表面情况来判断钢液温度的高低

某厂成功地用这种方法测定 ZG230-450 和 ZG35Mn 钢钢液的开始浇注温度，其方法如下：钢液出炉后，将盛钢桶吊至浇注处，使盛钢桶的浇口对准铸型的浇口杯，然后开始测温。将直径 7 ~ 8mm 表面洁净无锈的圆钢棍垂直地插入钢液中，插入深度约 100 ~ 150mm，经过 3 ~ 5s 后取出钢棍，观察钢棍表面情况。如果钢棍表面未挂钢液时，表面钢液温度过高，可经过 4 ~ 5min 后再测一次；如果钢棍表面开始挂钢液（有处挂，有处不挂）时，表面钢液温度正适合浇注；如果钢棍表面全挂满钢液时，表面钢液温度过低，必须立即抢浇

当用上述方法测定的钢液温度正适合浇注时，能持续的浇注时间如下：5t 盛钢桶 30min；7 ~ 9t 盛钢桶 40 ~ 50min；14t 盛钢桶 50min

氧化期末钢液碳含量（终点碳）

为了在炼钢过程中及时判断终点碳量，除采用一些炉前快速分析化学成分的直读光谱仪外，还常采用以下几种经验方法：

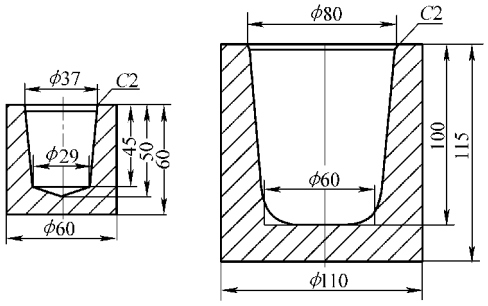
1）观察火焰。在氧化脱碳过程中，由电极孔和炉门处的火焰观察，根据火焰大小估计钢液碳含量。此法尤其适用于判断低碳量，当火焰突然收缩时，表明钢液碳含量已低于 0.1%

2）观察火花。取小量钢液倒在钢板上，根据钢液飞溅过程中被氧化而产生的火花形状来判断其碳含量。钢液碳含量与火花形状有一定的关系：碳含量高时，火花较短而分岔较多；碳含量低时，火花较长而分岔较少。应该注意：钢液飞溅产生的火花系钢液中的碳被氧化铁（FeO）所氧化而产生，故用这种方法时，钢液不能经过脱氧，因而这种方法不适用于判断还原期末钢液碳含量

3）磨砂轮观察火花　取小量钢液浇成薄片，在砂轮上磨，根据火花形状判断碳含量：钢液碳含量高时，火花束短而分岔多，球形火花少；碳含量低时，火花束长而分岔少，球形火花多

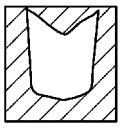
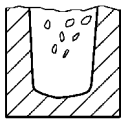
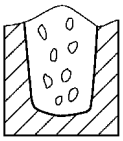
钢液脱氧质量

1）在用铝进行终脱氧前，一般都取钢液浇注圆杯试样来判断脱氧情况。圆杯试样的铸型（见图 c），一般用钢制成，也有采用砂型的。当钢液脱氧良好时，样杯中钢液冷却时没有火花，液面平静，凝固后有收缩；当发现样杯表面不平静，冷却时有冒顶现象，则钢液脱氧不好，可参见下表

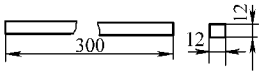
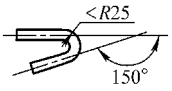
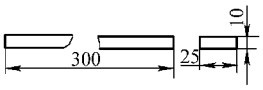
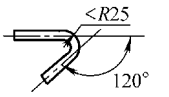


c）圆杯试样铸型

圆杯试样的几种情况

试样剖面示意图			
试样顶面特征	凹陷显著	凹陷不显著或不凹限	凸起
脱氧情况	良好	不良	很差

（续）

<table>
<tr><td>检验内容</td><td>检验方法及其质量鉴别</td></tr>
<tr><td>钢液脱氧质量</td><td>2）在冶炼高锰钢时，除了采用一般的圆杯试样外，还可采用弯曲法来判断钢液脱氧情况。弯曲试样呈长条状（见下表），试样应该在与铸件同样的铸型材料的条件下铸出。具体方法：取钢液浇注试样，待试样凝固后，表面呈红黄色（约 700 ~ 800℃）时取出，淬入常温的水中，冷却后，将试样弯曲至一定的角度（见下表），以试样的弯曲部分表面上不出现裂纹为脱氧质量合格的标准
两种高锰钢弯曲试样
<table>
<tr><td>试样种类</td><td>弯曲前</td><td>弯曲后</td></tr>
<tr><td>第一种试样</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>第二种试样</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（5）电阻坩埚炉熔炼铸造有色合金的质量控制（检验）

1）电阻坩埚炉熔炼铸造有色合金过程的控制（检验）。电阻坩埚炉属于小型熔炼设备（见图 4-25），主要用于批料熔化法熔炼铸造有色合金如铸造铝合金、铸造镁合金和铸造锌合金等。

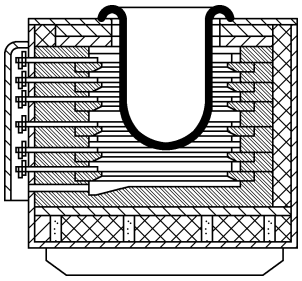


图 4-25　电阻坩埚炉示意图

通常，电阻坩埚炉熔炼铸造有色合金过程的一般控制（检验）应包括：准备阶段（坩埚和熔炼工具准备、备料、配料及装料）→熔化及其处理→炉前检验→出炉。

电阻坩埚炉熔炼铸造铝合金过程的控制项目与检验方法见表 4-63。电阻坩埚炉熔炼铸造镁合金过程的控制项目与检验方法见表 4-64。电阻坩埚炉熔炼铸造锌合金过程的控制项目与检验方法见表 4-65。

表 4-63　电阻坩埚炉熔炼铸造铝合金过程的控制项目与检验方法（供参考）

<table>
<tr><td>控制项目</td><td>控制内容</td><td>检验依据与方法</td><td>检验者</td><td>备注</td></tr>
<tr><td>备料</td><td>炉料的化学成分、表面状态和其他质量指标是否符合牌号和技术标准的要求
金属炉料经过破碎、压断、切割后的块度是否符合熔炼工艺要求
金属炉料是否清洁，是否夹杂有泥砂、芯骨、镶嵌件等杂物
金属锌、镁、稀土等是否预热</td><td>依据原材料标准，理化检验报告单，目视观察检验
金属炉料的规格见下表：
<table>
<tr><td>名称</td><td>规格要求</td></tr>
<tr><td>合金锭</td><td>每块的质量相差在 10% 以内</td></tr>
<tr><td>中间合金</td><td>易偏析合金锭（25 ± 5）mm</td></tr>
<tr><td>纯铝锭</td><td>依炉容量定，整块或切碎</td></tr>
<tr><td>纯镁锭</td><td>锯断成能放入压罩的小块</td></tr>
<tr><td>结晶硅</td><td>破碎后过 20 号筛，粉状不用</td></tr>
<tr><td>阴极铜</td><td>< 150mm × 150mm 小块</td></tr>
<tr><td>金属锰</td><td>< 10mm × 10mm 小块</td></tr>
<tr><td>电解镍</td><td>< 100mm × 100mm 小块</td></tr>
<tr><td>锌锭</td><td>依炉容量定，切成小块</td></tr>
<tr><td>金属铍</td><td>除去油污后切碎</td></tr>
<tr><td>海绵钛</td><td>5 ~ 10mm 小块</td></tr>
</table></td><td>操作者和检验员</td><td>每炉次</td></tr>
</table>

（续）

控制项目	控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
配料	配料的依据是否充分 配料成分及百分比是否符合规定 炉料称重是否准确	依据铸造铝合金配料规定，复查配料单，参加称重或抽查称重	检验员或工艺员	每批牌号
熔炼和保温坩埚及其熔炼工具的准备	铸铁坩埚是否进行过渗铝处理，是否涂有涂料 石墨旧坩埚是否损坏，新坩埚是否焙烧过熔炼工具是否涂上防护涂料	依据铸造铝合金熔炼工艺规程规定 铸铁坩埚渗铝和涂涂料要求：先在铸铁坩埚外表面喷砂，除去锈和油污，预热至150～250℃，平稳压入温度为840～860℃铁的质量分数为6%～8%的铝铁合金液中，保温45～60min，提出冷却，然后在渗铝层表面涂一层厚0.5～1mm的涂料，自然干燥24h，放在炉内加温至(1000±20)℃保温5h后随炉冷却至250～300℃ 石墨旧坩埚应无损坏，不应有裂纹、穿孔、翘曲和明显的变形，表面无残渣和脏物，并且坩埚内表面应均匀喷刷防护涂料，涂料厚涂为0.5～1.0mm，底部稍厚，装料前预热至暗红色 保温的钢板焊接坩埚内表面应有耐火材料搪衬 与铝液接触的工具都必须清除表面铁锈和残余溶剂预热至150～250℃，喷射防护涂料，然后在200～400℃烘烤2h以上 铝镁合金的熔炼工具使用前还应在光卤石等溶剂中洗涤干净	操作者或检验员	每炉次
加料熔化	加料顺序是否合理 熔化后是否搅拌均匀	依据铸造铝合金熔炼工艺规程规定，用目视观察检查 通常，加料顺序的原则如下 1)当用铝锭和中间合金进行熔化时，首先装入(全部或部分)铝，然后加入中间合金 2)当用预制合金锭进行熔炼时，首先装入预制合金锭，然后补加所需的铝和中间合金 3)当炉料由回炉料和铝锭组成时，首先熔化炉料中最多的那一部分 4)当熔炉的容量足以同时装入几种炉料时，应首先一起装入熔点相近的成分 5)容易烧损和低熔点的炉料，如镁和锌应在最后加入 6)在连续熔化时，坩埚内应剩余一部分铝液，以加速下一炉的熔化 7)采用覆盖熔剂时，应在炉料开始熔化时就加入熔剂	操作者或检验员	

（续）

<table>
<tr><th>控制项目</th><th>控制内容</th><th>检验依据与方法</th><th>检验者</th><th>备注</th></tr>
<tr><td>精炼</td><td>选用的精炼剂是否合适
精炼剂用量，精炼温度和时间以及静置时间是否恰当</td><td>依据铸造铝合金熔炼工艺规程
精炼剂适用范围及其精炼工艺要求可参见下表：
<table>
<tr><th>精炼剂</th><th>适用合金</th><th>精炼剂用量（质量分数，%）</th><th>精炼温度/℃</th><th>精炼时间/min</th><th>静置时间/min</th><th>备　注</th></tr>
<tr><td>六氯乙烷+二氧化钛</td><td>Al-Cu、Al-Si</td><td>0.5～0.7</td><td>700～730</td><td>10～12</td><td>10～15</td><td>—</td></tr>
<tr><td>六氯乙烷+氟硅酸钠</td><td>ZL101、ZL104、ZL105</td><td>0.5～0.8</td><td>710～750</td><td>10～12</td><td>10～15</td><td>—</td></tr>
<tr><td>氯化锌</td><td>ZL104、ZL101一般合金</td><td>0.25
0.15～0.2</td><td>710～720
690～710</td><td>5～8
5～8</td><td>8～10
8～10</td><td>—</td></tr>
<tr><td>氯化锰</td><td>ZL201</td><td>0.2～0.3</td><td>710～730</td><td>5～8</td><td>5～10</td><td>—</td></tr>
<tr><td>氯气</td><td>ZL105</td><td>15～20Pa</td><td>680～700</td><td>10～15</td><td>5～10</td><td>—</td></tr>
<tr><td>氯气+氮气或氩气</td><td>通用</td><td>15～20Pa</td><td>710～740</td><td>10～15</td><td>5～10</td><td>—</td></tr>
<tr><td>氮气或氩气</td><td>通用</td><td>15～20Pa</td><td>700～730</td><td>15～20</td><td>5～10</td><td>—</td></tr>
<tr><td>光卤石或氟化钙</td><td>Al-Mg 合金</td><td>2～4</td><td>660～680</td><td rowspan="2">搅拌至合金液面呈镜面，熔渣与合金液分离</td><td>—</td><td>含 Be、Ti 合金</td></tr>
<tr><td>光卤石（或钡熔剂）</td><td>Al-Mg 合金</td><td>1～2</td><td>680～700</td><td>—</td><td>不含 Be、Ti 合金</td></tr>
<tr><td>四氯化碳</td><td>Al-Si 合金、Al-Cu 合金</td><td>0.2～0.3</td><td>690～710
700～720</td><td>7～10</td><td>10～15</td><td>—</td></tr>
<tr><td>真空精炼</td><td>Al-Si 合金、Al-Cu 合金</td><td>真空度：剩余压力小于 1330Pa</td><td>750～800</td><td>10～15</td><td>—</td><td>为了增加精炼效果，可以在合金液表面撒二元或三元熔剂</td></tr>
</table>
注：1. 铸件针孔度要求严格、炉料质量差及潮湿季节，精炼剂用量偏上限
2. 压铸合金可以在低于表列精炼温度的下限 20℃精炼</td><td>操作者和检验员</td><td>每炉次</td></tr>
<tr><td>变质处理</td><td>选用的变质剂是否合适
变质剂用量、变质处理温度是否恰当</td><td>依据铸造铝合金熔炼工艺规程
钠盐变质剂用量和变质处理温度要求，可参见下表：
<table>
<tr><th>变质剂名称</th><th>变质剂用量（占金属液的质量分数，%）</th><th>变质处理温度/℃</th><th>二次变质的变质剂用量（占剩余金属液的质量分数，%）</th></tr>
<tr><td>二元</td><td>1～2</td><td>800～810</td><td>0.5～1.0</td></tr>
<tr><td>三元</td><td>2～3</td><td>725～740</td><td>0.5～1.0</td></tr>
<tr><td>通用一号</td><td>1～2</td><td>800～810</td><td>0.5～1.0</td></tr>
<tr><td>通用二号</td><td>2～3</td><td>750～780</td><td>0.5～1.0</td></tr>
<tr><td>通用三号</td><td>2～3</td><td>710～750</td><td>0.5～1.0</td></tr>
</table></td><td>操作者和检验员</td><td>每炉次</td></tr>
<tr><td>出炉</td><td>铸造铝合金液温度、化学成分、气体含量等是否符合要求</td><td>依据铸造铝合金熔炼工艺规程</td><td>操作者和检验员</td><td>每炉次</td></tr>
</table>

表 4-64　电阻坩埚炉熔炼铸造镁合金过程的控制项目与检验方法（供参考）

<table>
<tr><th>控制项目</th><th>控制内容</th><th>检验依据与方法</th><th>检验者</th><th>备注</th></tr>
<tr><td>备料</td><td>纯金属锭、中间合金、回炉料的化学成分、表面状态和其他质量指标是否符合要求
镁锭启封后是否去油，炉料是否根据熔炉大小切成合适尺寸，在装料前是否进行预热
覆盖剂、精炼剂、变质剂等是否进行干燥
阻燃剂是否准备好</td><td>依据原材料标准、理化检料单、铸造镁合金熔炼工艺规程
镁锭选用二级以上铝锭不低于二级
锌锭不低于 Zn-3
炉料在装料前应预热至 150℃以上</td><td>操作者和检验员</td><td>每炉次</td></tr>
<tr><td>配料</td><td>配料的依据是否充分
配料成分及百分比是否符合规定
炉料称重是否准确</td><td>依据铸造镁合金配料规定、复查配料单，参加称重或抽查称重</td><td>检验员或工艺员</td><td>每批牌号</td></tr>
<tr><td>坩埚及熔炼工具准备</td><td>钢制新坩埚是否经过检查和表面包铝处理与熔剂洗涤
钢制旧坩埚是否经过认真清理与检查
熔炼工具是否经过清理、洗涤、预热和喷涂涂料</td><td>依据铸造镁合金熔炼工艺规程
钢制新坩埚焊缝须经射线检查和煤油浸渗检查，坩埚表面经过包铝处理应生成一层 1～1.5mm 深的耐热性合金
钢制旧坩埚可使用的最小壁厚见下表
<table>
<tr><th rowspan="2">坩埚容量/kg</th><th colspan="2">使用温度/℃</th></tr>
<tr><th>≤800</th><th>>800</th></tr>
<tr><th colspan="3">可使用的最小壁厚/mm</th></tr>
<tr><td>150～200</td><td>5</td><td>6</td></tr>
<tr><td>250～300</td><td>6</td><td>7</td></tr>
<tr><td>350</td><td>7</td><td>8</td></tr>
</table></td><td rowspan="4">操作者和工艺员</td><td rowspan="4">每炉次</td></tr>
<tr><td>加料熔化</td><td>装料时是否已将坩埚预热到暗红色
坩埚底部是否已留有一部分熔剂
加料顺序是否合理
加料后是否快速熔化，是否有溶剂覆盖炉料露出的表面
加合金时是否升温
合金熔清后是否进行了搅拌</td><td>依据铸造镁合金熔炼工艺规程，用目视观察检查
按合金要求加料顺序依次应该是回炉料、镁锭、铝锭
炉料熔清后需升温至 720℃左右加入锌锭和低熔点中间合金，如需加入高熔点中间合金（如镁锆合金、镁稀土合金等）则应升温到 800℃左右
合金熔清后应升温至 700～720℃强化（捞底）搅拌</td></tr>
<tr><td>变质处理</td><td>只有熔炼铸造镁铝合金需要变质处理，应控制变质剂加入量和处理温度</td><td>依据铸造镁合金熔炼工艺规程
熔炼铸造镁铝合金的变质剂和处理温度，可参见下表
<table>
<tr><th>变质剂</th><th>加入量（质量分数，%）</th><th>处理温度/℃</th></tr>
<tr><td>碳酸镁或菱镁矿</td><td>0.25～0.5</td><td>710～740</td></tr>
<tr><td>碳酸钙（白垩）</td><td>0.5～0.6</td><td>760～780</td></tr>
<tr><td>六氯乙烷</td><td>0.5～0.6</td><td>740～760</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>精炼处理</td><td>精炼剂加入量与处理温度是否注意搅拌</td><td>依据铸造镁合金熔炼工艺规程，见下表
<table>
<tr><th>精炼剂</th><th>加入量（质量分数，%）</th><th>处理温度/℃</th><th>备注（用于铸造镁合金牌号）</th></tr>
<tr><td>RJ-2
RJ-3</td><td>1.5～2.5</td><td>710～740</td><td>用于 ZM5、ZM10</td></tr>
<tr><td>RJ-4</td><td>1.5～2.5</td><td>750～760</td><td>用于 ZM1</td></tr>
<tr><td>RJ-5</td><td>1.5～2.5</td><td>750～760</td><td>用于 ZM1、ZM2、ZM3、ZM4、ZM6</td></tr>
<tr><td>RJ-6</td><td>1.5～2.5</td><td>750～760</td><td>用于 ZM3、ZM4、ZM6</td></tr>
<tr><td>六氯乙烷</td><td>0.2～0.3</td><td>740～760</td><td>—</td></tr>
<tr><td>吹氯气</td><td>5～15min</td><td>725～750</td><td>—</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

控制项目	控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
出炉	铸造镁合金液化学成分是否合格，试样断口组织是否符合要求 金属液表面是否撒以阻燃剂	依据铸造镁合金熔炼工艺规程，还可参见表 4-71	工艺员（或检验员）、化验员	每炉次

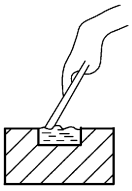
表 4-65 电阻坩埚炉熔炼铸造锌合金过程的控制项目与检验方法（供参考）

控制项目	控制内容	检验依据与方法	检验者	备注
备料	纯金属锭、中间合金、回炉料的化学成分、表面状态和其他质量指标是否符合要求 所有金属炉料在装炉前应清除油污和脏物，并根据熔炉大小加工成一定块度，经预热后才可入炉内	依据原材料标准、理化检验单、铸造锌合金熔炼工艺规程 锌锭选用 Zn-2 以上 铝锭选用 Al-1 以上 镁锭选用 Mg-2 以上 电解铜选用 Cu-3 以上	操作者和检验员	每炉次
配料	配料的依据是否充分 配料成分及百分比是否符合规定 炉料称重是否正确	依据铸造锌合金配料规定，复查配料单，参加称重或抽查称重	检验员或工艺员	每批牌号
坩埚及炼工具准备	新石墨坩埚使用前是否经过焙烧 旧坩埚是否检查，有无损坏，有无附着残留金属和炉渣，装料前是否预热 熔炼工具是否清理干净、喷刷涂料和进行预热	依据铸造锌合金熔炼工艺规程 新石墨坩埚使用前应缓慢升温至 900℃进行焙烧 旧石墨坩埚在装料前应预热至 500～600℃	操作者和工艺员	每炉次
加料熔化	直接熔化时加料顺序是否合理 间接熔化时加料顺序是否合理	依据铸造锌合金熔炼工艺规程，用目视观察检查 直接熔炼铜含量高的铸造锌合金时，应先将电解铜加入预热的坩埚中，覆盖木炭加热熔化，并用磷铜脱氧再加入全部铝，铝熔清后加入 90% 的锌量和回炉料，加热熔化，待金属液温度达 650℃以上时用钟罩压入所需的镁，取出坩埚后加入剩余的锌降温，搅拌，扒渣 直接熔炼铜含量低的铸造锌合金时，先加入部分回炉料于坩埚底部，再依次加入 90% 的锌、铜、铝和余下的回炉料，加热熔化，待金属液温度达 650℃以上时用钟罩压入所需的镁，取出坩埚后加入剩余的锌降温、搅拌、扒渣 二次熔炼法熔炼铸造锌合金时，先熔炼 Al-Cu 中间合金，将坩埚预热至暗红色，加入 90% 左右的锌和回炉料，再加入所需镁量，精炼后加入剩余的锌和回炉料，搅拌，扒渣	操作者和工艺员	每炉次
净化与变质处理	铸造锌合金液是否进行了净化处理和变质处理	依据铸造锌合金熔炼工艺规程 氯盐净化处理法是在 450℃温度下用钟罩压入脱水氯化铵 0.1% ～0.2%（质量分数）或六氯乙烷 0.3% ～0.4%（质量分数） 变质处理可细化铸造高铝锌合金（ZA27），常用变质元素有 B、Ti-B，Zr、La、Ce，变质剂有氟钛酸钾和氟硼酸钾	操作者和工艺员	每炉次
出炉	铸造锌合金液化学成分是否合格、折弯试验是否符合要求，温度是否符合要求	依据铸造锌合金熔炼工艺规程，还可参见表 4-72	工艺员（或检验员）、化验员	每炉次

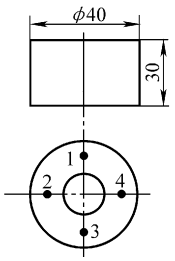
2）电阻坩埚炉熔炼铸造有色合金的炉前检验方法及其质量鉴别。熔炼铸造有色合金时，在炉前除对化学成分和温度进行检验外，有的还需进行含气量或试样的折弯试验等，以保证熔炼工艺的正确执行和鉴别铝合金液、镁合金液、锌合金液质量的好坏，以便及时采取相应的措施来确保获得优质的铝合金液、镁合金液、锌合金液。

铸造铝合金的炉前检验方法及其质量鉴别见表 4-66。铸造镁合金的炉前检验方法及其质量鉴别见表 4-67。铸造锌合金的炉前检验方法及其质量鉴别见表 4-68。

表 4-66　铸造铝合金的炉前检验方法及其质量鉴别（供参考）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检验方法及其质量鉴别</th></tr>
<tr><td>铝液温度的检测</td><td>铝液温度的测定主要是用热电偶和相应的显示仪表来完成的
常用的热电偶有镍铬-镍铝和镍铬-镍硅热电偶，其分度号为 K。常用 XWBJ 系大形圆图自动平衡记录调节仪指示、记录和控制温度，也可用 XCT 系仪表指示和控制温度
测量铝液温度时应注意：①热电偶和显示仪表间以补偿导线连接时，极性切勿接反，其线路应与其他电路分开，导线的连接处应仔细清理干净，连接必须牢固（最好采用焊接），显示仪表应按规定方式放置；②热电偶工作端应插入铝液面下 50～100mm，不应贴近坩埚，不同的热电偶应按规定保证插入时间后才读数；③使用非铁质保护管时，不应使用激冷激热，以防损坏；使用铁质保护管时，应喷刷涂料，充分干燥，测温完毕应将其上杂物、熔渣等清理干净；④显示仪表应定期检查</td></tr>
<tr><td>精炼效果的检验（铝液气体含量的检验）</td><td>（1）工艺试样法检验
1）原理：由于随着铝液温度的降低，氢的溶解度降低，在凝固时析出，并在凝固金属的表面形成气泡，因而根据能否形成气泡和气泡的多少来定性地判定含气量的多少
2）试样：规格为 ϕ50mm×20mm，浇注在耐火砖或石墨型中
3）操作：将试样的铸型预热到 300～400℃，浇入检验铝液。在凝固前用干净铁片或木片扒去表面氧化皮（见右图），如果铝液中含气量少，金属表面应不冒出气泡或很少冒出气泡，含气量多时会冒出大量气泡
 
工艺试样法操作示意图
（2）真空凝固试验法检验　它是用真空凝固试验仪器来测定铝液中气体含量的方法，比工艺试样检查法准确一些。试验时取 100g 左右的液体合金倒入预热的坩埚内，随即将坩埚迅速放入真空室内的绝热支架上，并密封真空室，之后立即开动真空泵抽出室内的空气，造成真空［真空度通常低于 666.5Pa（5mmHg）］。试样在真空室内停留片刻时间（大约 1min 左右）后，开始凝固，溶解在合金中的气体大量析出，同时在试样内部形成气泡，而在试样的上表面可以看到表面凸起的现象。取出已凝固的试样，将它沿垂直面切成两半，将一半制成宏观磨片，用以确定气泡的数量、尺寸以及在整个截面上分布的情况。从而求得气泡所占的面积，并以气泡面积与总断面积之比来表示铸件的孔隙度，参照标准等级衡量其含气量大小。有时，也可从真空室顶盖上的窥视孔直接观察合金在凝固过程中气体析出的情况，并可大致评价铸件的孔隙度，估计其含气程度
（3）炉前测氢仪检验　测氢仪型号、测量范围、灵敏度、分析时间及特点见下表
<table>
<tr><th>型号</th><th>测量范围/（cm^3/100g 金属）</th><th>灵敏度/（cm^3/100g 金属）</th><th>分析时间/min</th><th>特　点</th></tr>
<tr><td>SQH-1</td><td>0.02～1.0</td><td>0.01</td><td><5</td><td>—</td></tr>
<tr><td>MHS-806</td><td><2</td><td>0.01</td><td>3～5</td><td>—</td></tr>
<tr><td>HYSCAN</td><td><1.99</td><td>0.01</td><td><5</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ALUSPEED</td><td>0.05～9.99</td><td>0.01</td><td><1</td><td>可以测氢、测密度、测熔渣，具有体积小、反应快、成本低等优点</td></tr>
<tr><td>CHAPEL</td><td>0～9.99</td><td>±0.015</td><td>初次小于 20min</td><td>具备连续和间隔测氢功能，多点同步测量，需要探头</td></tr>
<tr><td>ALSCAN</td><td>0～9.99</td><td>0.01</td><td>3～5</td><td>铝熔体直接测氢</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

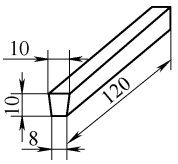
<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检验方法及其质量鉴别</th></tr>
<tr><td>变质效果的检验</td><td>
在炉前，通过观察试样断口的状态可用来判断铝-硅合金的变质效果
断口试样可在金属型内浇注成约 150mm × 35mm × 25mm 的扁平形试样，也可在砂型内浇注成 ϕ30mm × 150mm 的圆柱形试样，断口状态与金属质量的关系见下表
<table>
<tr><th>变质效果</th><th>断口状态</th><th>保证质量的措施</th></tr>
<tr><td>合格</td><td>银白色，断口平整，组织细致，有时可见细小、分布均匀的硅亮点</td><td>应尽快浇注完毕</td></tr>
<tr><td>变质不足</td><td>暗灰色，断口较平整，组织粗大，硅呈粗大亮点</td><td>应重新加入适量的变质剂</td></tr>
<tr><td>变质过度</td><td>青灰色，断口不平整，组织粗大</td><td>可适当延长保温时间，让钠适当烧损</td></tr>
</table>
断口检查也可用于检查含钛合金的细化效果及有无粗大的片状 Al_2Ti 化合物
有时炉前还通过断口检查以判断精炼除渣及除氧化皮的效果
</td></tr>
<tr><td>化学成分的测定</td><td>
为控制铝合金的化学成分，应每炉浇注化学成分分析试样。试样尺寸见右图。常用的化学成分的测定方法有化学分析法和光谱分析法，在作炉前光谱分析时，在试样面上对称的四个点上进行分析；在作化学分析时，应车（或钻）成切屑进行分析。这种形式的试样成分均匀，能正确地反映合金成分。化学分析试样通常在金属模内浇注，浇注温度通常选 700 ~ 730℃ 为宜。小炉熔炼时（炉容量小于 60kg）可浇注 1 或 2 个试样；大炉熔炼时（炉容量 100kg 以上）可浇注 2 或 3 个试样。浇注 1 个试样应在精炼静置后，铸件浇注前；浇注 2 个试样应在铸件浇到最后几个铸件前再浇 1 个试样；浇注 3 个试样时可在浇注铸件开始、中间和最后各浇注 1 个试样


化学成分分析试样
1、2、3、4—光谱分析的分析点
</td></tr>
<tr><td>金相分析</td><td>
采用现场金相仪进行炉前快速金相分析，见下表
<table>
<tr><th>型号</th><th>放大倍数</th><th>特点及应用</th></tr>
<tr><td>XJB 系列</td><td>50 ~ 640</td><td>可以直接观察，也可以接数字照相机或通过微型计算机进行图像拍摄和定性、定量分析</td></tr>
<tr><td>DSM 型</td><td>25 ~ 800</td><td>可以配 135 型照相机进行直接金相拍摄，也可以接高分辨率视频显示系统或小型现场记录仪</td></tr>
<tr><td>XH 系列</td><td>100/400/500/600</td><td>配备磨光装置和照相系统</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>综合性测定</td><td>
1）热分析法可以在炉前检测铝合金液的精炼、晶粒细化和变质效果，还可以进行铝合金液成分分析和杂质元素含量检测，具有快速、准确、简便、精确和费用低等优点，见下表
<table>
<tr><th>型号</th><th>特点及应用</th></tr>
<tr><td>DTQ-1</td><td>可以用于炉前评定铝合金晶粒细化和变质处理效果，可以现场打印试验结果，具有计算机接口用于储存和分析检测数据</td></tr>
<tr><td>SAMP</td><td>用于炉前检验铝合金的质量，可以显示和打印检测结果</td></tr>
<tr><td>TA700SR、COM715</td><td>可以根据铝合金牌号自动显示合金质量，存储有关数据并随时显示，可以与直读光谱仪等设备连接</td></tr>
<tr><td>TA7604</td><td>炉前测定铝合金变质状况，晶粒细化的数据及与合金组织相关的各种热分析数据。具有计算机接口，全自动测量，可以与 EXCEL 等直接交换数据，进行数据统计和处理</td></tr>
</table>
2）ZFB-A 型铸造铝合金速测仪可以快速测定铸造铝合金液的变质效果，以及抗拉强度、伸长率和硬度等力学性能，具有检测速度快、测量精度高、体积小、抗干扰能力强等优点
</td></tr>
</table>

表 4-67　铸造镁合金的炉前检验方法及其质量鉴别（供参考）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检验方法及其质量鉴别</th></tr>
<tr><td>镁液温度的检测</td><td>可参照表 4-66 铸造铝合金液的温度检测</td></tr>
<tr><td>化学成分的测定</td><td>每一熔炼炉次的铸造镁合金液都必须检查其基组元素和要求的主要杂质，可采用光谱分析或化学分析方法，参照表 4-66 铸造铝合金液化学成分测定的试样制备</td></tr>
<tr><td>断口检查</td><td>铸造镁合金液精炼处理后，升温到要求温（一般镁铝系合金为 760 ~ 780℃、含锆镁合金为 780 ~ 810℃），静止 10 ~ 20min，然后浇注断口试样，进行炉前检查，结果判别见下表
<table>
<tr><th>断口特征</th><th>质量鉴别</th></tr>
<tr><td>断口组织均匀细致，呈浅灰色</td><td>合格</td></tr>
<tr><td>断口晶粒粗大</td><td>不合格，需酌情补加变质剂进行再处理</td></tr>
<tr><td>断口有氧化夹杂物，呈深灰、黑和浅黄色而不规则的点或小块状</td><td>不合格，需要重新精炼处理</td></tr>
<tr><td>断口有溶剂夹杂，呈细小水滴分散状，经过一段时间后呈暗色斑点，斑点上出现白粉末</td><td>不合格，是因为合金液静止时间不够或是溶剂质量不合格</td></tr>
<tr><td>断口呈现淡黄、深灰或黑色的缩气孔</td><td>不合格，是因为合金气含量多，且结晶组织粗，需重新变质与精炼处理</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

表 4-68　铸造锌合金的炉前检验方法及其质量鉴别（供参考）

<table>
<tr><th>检验项目</th><th>检验方法及其质量鉴别</th></tr>
<tr><td>锌液温度的检测</td><td>可参照表 4-66 铸造铝合金液的温度检测</td></tr>
<tr><td>化学成分的测定</td><td>每一熔炼炉次的铸造锌合液都必须检查其基组元素和要求的主要杂质，可采用光谱分析或化学分析方法，或参照表 4-66 铸造铝合金液化学成分测定的试样制备</td></tr>
<tr><td>弯曲折断试验</td><td>用金属型浇注弯曲试样（见右图），浇注后 2 ~ 3min 将已凝固的试样从铸型中取出水冷，然后将试样一端夹持在台虎钳上用锤击断，根据击断时用力的大小及试样折断角来判断锌合金的力学性能，并结合观察断口的晶粒大小、有无偏析、氧化、夹渣等来鉴别锌合金质量
 

弯曲试样</td></tr>
</table>

（6）砂型铸造生产常见铸造合金的成分和性能要求与控制

1）铸铁的化学成分和性能要求与控制见 6. 2. 1 节。

2）铸钢的化学成分和性能要求与控制见 6. 2. 2 节。

3）铸造有色合金的化学成分和力学性能的要求与控制见 6. 2. 3 节。

2. 铸造合金浇注质量的控制（检验）

（1）铸造合金浇注分类　铸造合金浇注是指将熔融的铸造合金液以浇色注入铸型的操作。生产中的铸造合金浇注方法也较多，其分类如图 4-26 所示。

（2）铸造合金浇注过程的控制（检验）

1）铸造合金浇注过程的一般控制。铸造合金浇注过程的一般控制应包括：浇包及浇注工具、

铸型及压铁质量大小、浇注合金牌号及金属液质量大小、除渣和挡渣、引火和引气、浇注温度和浇注速度、补浇等，如图 4-27 所示。

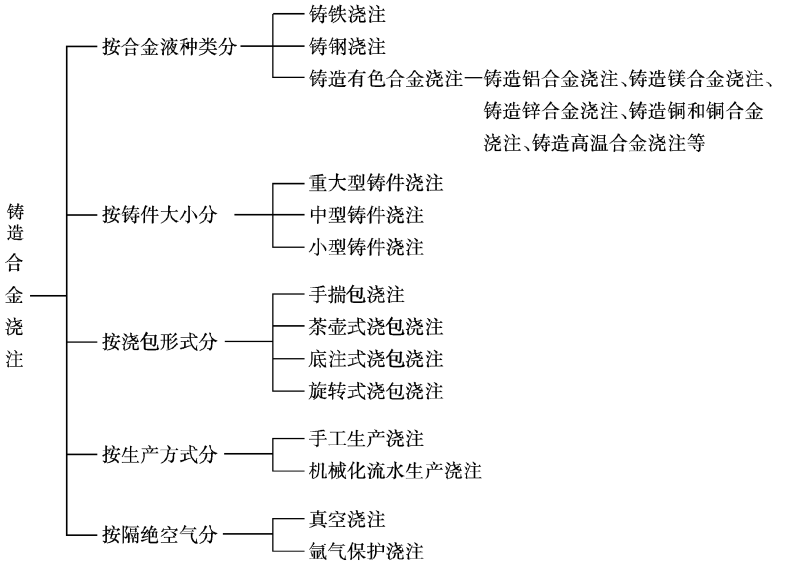


图 4-26　铸造合金浇注分类

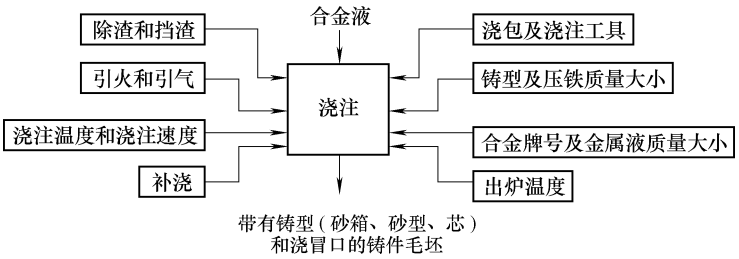


图 4-27　铸造合金浇注过程控制的示意图

铸造合金浇注过程控制的重点包括：除渣和挡渣、引火和引气、浇注温度和浇注速度、补浇等。

2）铸造合金浇注过程的控制项目与检验方法见表 4-69。

（3）铸造合金浇注质量的检验（控制）重点　通常为获得质量良好的铸件，必须根据铸件的金属种类、铸件的质量大小和壁厚以及结构复杂程度等因素来确定和重点控制适宜的浇注温度和浇注速度。

浇注温度对铸件质量有较大影响，浇注温度过高时，金属液的收缩值增大，气体含量增大，对铸型的热作用增强，使铸件容易产生缩孔、气孔、变形、裂纹和粘砂等缺陷；浇注温度过低时，金属液的流动性差，易使铸件产生冷隔、浇不到、夹渣等缺陷。因此，浇注温度的高低，要根据具体情况来控制，总的原则是在保证铸件成形的前提下，浇注温度越低越好。一般情况是金属液粘度大（流动性差）的、铸件质量小、壁薄、结构复杂的，浇注温度（过热度）应高些；反之，则应低些。

浇注速度在一定程度上是靠浇注工人的操作来控制，总的原则是浇注速度不能太快也不能太慢，应根据铸件的具体情况而定。对薄壁铸件和结构复杂的铸件，宜采取快速浇注，以避免浇不到；对铸型有较大的上平面时，也宜采取快速浇注，以避免铸型上平面受金属液长时间高温辐射烘

表 4-69　铸造合金浇注过程的控制项目与检验方法（供参考）

控制项目		控制内容	检验方法	检验者	备　注
浇注前的准备	浇包及工具	浇包是否符合要求，是否已烘干；浇注用工具是否齐全，撇渣棒是否已预热	观察、触摸、用探测表干层的方法检验浇包烘干情况，按浇注计划量计算压铁重力	操作者自检，检验员抽检	检验范围为每炉次
	铸型	通气孔是否畅通，外浇口是否有灰砂和杂质，合箱是否合严、卡紧及压铁重力是否合适，干铸型的引火纸张是否放好			每个铸型压铁质量一般为铸件质量的 5 倍
	浇注材质及金属液的量	每个铸型的浇注材质及金属液的量是否清楚	按浇注计划和铸型的材质标志对照检验		每个铸型
浇注过程	除渣	浇注前，是否将金属液表面的熔渣完全除净，除渣时间越短越好	依据操作工艺规程进行观察检验		每个铸型
	引火	引火的位置是否适当，是否将型腔内的气体及时引出			
	浇注	浇包嘴是否靠近浇口，是否使用撇渣棒挡渣，外浇口是否充满，浇流大小是否合适，有无断流现象，铸型充满后是否补浇，是否对浇冒口采取保温措施等			
	浇注温度	根据铸件壁厚的不同检查浇注温度是否符合工艺的规定	依据浇注工艺规定、目视观察或使用光学高温计进行测定	操作者和检验员	检验范围为每包金属液
	浇注速度	根据不同铸件的情况，检查浇注的速度是否符合铸件工艺卡的规定	依据铸件工艺卡的规定，采用计时器进行检验	检验员	检验范围为每个铸型

烤作用而起皮，导致铸件产生夹砂；反之，对形状简单的厚实铸件，宜采取慢速浇注。总之，控制浇注速度的快慢，应考虑以下几个因素：①金属液流动性的好坏和浇注温度的高低；②冲坏铸型和型芯的可能性；③保持金属液在铸型中的正常上升速度，保证铸型中气体的排出；④铸型温度的高低。

（4）砂型铸造生产常见铸造合金浇注的工艺规范

1）铸铁浇注的工艺规范。铸铁浇注的工艺规范要点如下（供参考）：

① 浇注前一般应做好以下准备工作：

a. 浇注工必须熟悉所浇铸铁件的有工艺文件，应了解需浇砂型的铁液级别、质量（含浇注系统和冒口的质量）以及浇注温度等，并按铸铁件的工艺要求和熔化顺序安排好浇注顺序。

b. 应检查起吊设备是否正常，主要包括吊车运行是否正常、吊车的回转机械是否灵活可靠等，吊钩、链条、钢丝绳等不得有裂纹或损伤。

c. 应检查浇包数量是否足够，规格是否满足需要，浇包的修理、烘干、预热情况是否符合要求，浇包的转动机构是否正常、安全可靠。

d. 准备好保温聚渣、引火、堵铁等材料以及挡渣、扒渣、堵铁等工具，需预热的应进行预热。

e. 应备好倒剩余铁液用的铁模，上好涂料并烘干、预热。

f. 应检查砂箱的卡紧装置或压铁是否符合要求，需抹箱缝的是否抹好。

g. 应检查砂箱的摆放是否合适、平稳，影响安全和质量的必须经过调整方可浇注，并且还应清除浇注通道上的一切不安全因素。

h. 应检查浇口杯和冒口圈是否安放妥当，并分辨清楚。

② 浇注时应注意控制以下要点：

a. 浇注工应按大炉施工员（或浇注负责人）的指令进行浇注。

b. 出铁前应该清楚所需出铁数量，做好出铁准备。

c. 出炉的第一包铁液只能浇芯骨或不重要铸件。

d. 浇包第一次接铁液如产生沸腾现象时，应立即停止出铁，已出铁液只允许浇注芯骨、回炉铁锭或不重要铸件，该浇包应停放 20min 方可使用。

e. 出铁量应比实际需要量多些，以免浇不足。

f. 出铁时，铁液不得冲在包壁或塞杆上，出铁完毕应立即扒尽渣子，并盖上草灰或其他保温、聚渣材料，渣子不得从浇包嘴扒出。

g. 出铁和浇注时，应有专人测量铁液温度，并做好记录。

h. 浇注温度应根据铸件的材质、尺寸、质量、复杂程度以及浇注系统和铸型的特点来确定，并按工艺要求控制，灰铸铁件的浇注温度按表 4-70 选择。通常，铸件壁越薄、结构越复杂，外形尺寸越大、铁液在铸型里的流程越长、铁液碳硅含量越低，则浇注温度应越高。

表 4-70　灰铸铁件的浇注温度（供参考）

铸件形状	铸件壁厚/mm	浇注温度/℃
复杂的薄壁铸件	<10	1350 ~ 1420
	10 ~ 15	1330 ~ 1440
	>15 ~ 25	1310 ~ 1380
中等复杂程度铸件	10 ~ 20	1320 ~ 1400
	>20 ~ 30	1300 ~ 1380
	>30 ~ 50	1280 ~ 1360
形状简单厚壁铸件	50 ~ 100	1250 ~ 1340
	>100	1200 ~ 1280

i. 对于不同结构和技术要求的铸件应选用不同的浇注速度或浇注时间，对于具有较大平面或薄壁形状复杂的铸件应采取快速浇注以使铁液在短时间内迅速充满铸型，对于形状简单的厚实铸件应采取慢速浇注。此外，浇注速度的确定还应考虑铸型条件，一般情况下，湿型的浇注时间应小于干型的浇注时间，具体浇注时间应按工艺要求进行控制。

j. 浇注时还应注意以下事项：

- 仔细挡渣。
- 用拔塞浇注的浇口杯应放好拔塞后方可浇注。
- 包嘴离浇口杯的高度一般应控制在 150 ~ 300mm。
- 高牌号铸铁及特殊要求铸件的铁液应经炉前检查合格后方可浇注。
- 铁液不可直接冲在直浇口上。
- 浇注时浇口杯应保持常满，正常情况下浇注不应中断，浇注时浇口杯内不得产生旋涡、飞溅和外溢。
- 浇注开始后应及时引火；

● 应准确估计交界铁液进入前炉的时间和数量，交界铁液不可浇注重要铁铸件。

k. 两个（或多个）浇包同时浇一个铸件时，开始浇注时间、浇注速度和温度等应尽量相同，浇注后应同时收包。

l. 壁厚大的或有特殊要求的铸件，在浇满后应进行充分的补浇或根据工艺要求从冒口补浇。

m. 在浇注过程中，如发生冒口呛火，在不影响安全时不得停浇，如呛火严重，影响安全，可稍停再浇，浇满后补浇多次，直到呛火停止为止。

n. 铸件完全凝固之前，补缩冒口不得损坏，对一些大的特殊要求的补缩冒口浇注后应立即盖上保温材料。

o. 浇包应经常保持清洁完整，如损坏或结渣太多，应修好和清理干净后继续使用，浇注过程中的冷铁液应浇回炉铁锭。

p. 浇注时应严格执行工艺卡片的规定，对新产品的重要件和对开箱有特殊要求者，浇注后即应在砂箱明显部位标明该件的浇注时间、要求开箱时间及其他要求。

q. 浇注时，发现跑火现象应尽力抢救。

③ 浇注完毕后应注意控制以下要点：

a. 应将包内剩余铁液全部浇成铁锭，把浇注工具集中保管，损坏的要及时修理或添置。

b. 当铸件具有一定强度时，应及时松开箱卡子，撤掉压铁或脱去箱套，对于某些特殊铸件还需及时打掉浇道、挖开芯头，以使铸件自由收缩。

2）铸钢浇注的工艺规程。铸钢浇注的工艺规程要点如下（供参考）：

① 浇注前一般应做好以下准备工作：

a. 浇注工必须全面熟悉铸件工艺文件，浇注前应确定专人指挥。

b. 浇注前指挥人员，应先了解本炉材质、钢液的量、浇注温度、包孔尺寸及数量，需要浇注铸件的数量、质量、铸型在现场布置情况，以及浇注方法。特大铸件、合包浇注铸件按专题浇注方案的决定指挥浇注。

c. 检查起吊设置是否正常，主要包括：行车运行和过跨车运动是否正常。吊车回转机械是否灵活、合适等。吊钩、链条、钢丝绳不得有裂纹或损伤。

d. 检查盛钢桶数量和修桶质量以及烘干、预热是否合格，盛钢桶的内衬如果全部新砌筑时，烘烤时间一般应不少于 24h；如果只更换工作层，烘烤时间一般不少于 16h；正常（经小修补后）使用的盛钢桶，在更换好塞杆和注口砖后，可在电炉送电的同时开始烘烤，直到钢液出炉为止，时间约为 2 ~ 3. 5h。在烘烤盛钢桶过程中应随时注意调整火力，原则是火力由小逐渐增大，要防止急火把耐火砖烤裂。在出钢前应将盛钢桶内衬烘烤至 600℃以上（呈红色或暗红色）。

e. 检查铸钢件的材质是否与所炼的钢种相符合。

f. 应事先与扣箱工相配合，使铸型的排列有利于浇注的进行，铸型的浇口杯应尽量排成直线以缩短浇注时间。

g. 对所要浇注的铸型应作全面检查，检查箱卡是否上紧，锁箱螺栓是否紧固好，压铁的质量与位置是否合适、平稳并采取措施防止在浇注过程中漏钢液（跑火）。

h. 浇注用的工具和材料应准备齐全，如撬杠、大勺以及覆盖材料（草灰、焦炭粉等）、引起材料、发热剂等，并且应准备好事故坑、注余坑，必要时应搭安全操作浇注台。

i. 地坑、大件浇注前要全面检查砂型预热情况、冒口有无浮沉、压铁是否备好、浇注系统和冒口是否合乎要求，浇注工人操作是否方便与安全。

② 浇注时应注意控制以下要点：

a. 适宜的浇注温度对保证铸钢件的质量有重要意义，应该根据钢种和铸件的质量大小、壁厚及结构特点来确定：对厚大的铸件以及容易产生热裂的铸件，应取较低的浇注温度；对薄铸件、小

铸件以及结构复杂、不易浇满的铸件，应取较高的浇注温度。碳钢铸件的适宜浇注温度见表 4-71。低合金钢铸件的浇注温度可参考碳含量相同或相近的碳钢铸件来确定。

表 4-71　铸钢件的浇注温度（供参考）

铸钢件种类	铸钢件壁厚/mm	铸钢件毛重/kg	浇注温度/℃	
			ZG 230-450、ZG 20MnSi、ZG20CrMo	ZG 310-570、ZG35MnSi、ZG35CrMo
复杂薄壁铸钢件	≤20	≤500	1580～1600	1570～1590
复杂薄壁铸钢件	>20～40	≤3000	1570～1590	1560～1580
中小型铸钢件	>40～80	≤10000	1560～1580	1550～1570
中型铸钢件	>80～150	≤25000	1550～1580	1540～1570
大型铸钢件	>150～500	≤50000	1550～1580	1540～1570
外形简单大型铸钢件	>500	>50000	1540～1570	1530～1560
高锰钢铸钢件	≤120	≤10000	1420～1460	
ZG06Cr13Ni4Mo 铸件	≤200	≤40000	1560～1580	

b. 钢液出炉后需要在盛钢桶中镇静一段时间后才能进行浇注，以利于钢液中的气体和夹杂物上浮，并可控制开浇温度。镇静时间一般应不少于 5min。在出钢温度过高的特殊情况下，应根据实际需要，延长钢液在盛钢桶中静置的时间，但镇静时间最长不应超过 20min。如果镇静时间过长，盛钢桶注口部分的钢液容易凝固，造成注口不能开启的事故。

c. 铸钢件的浇注时间主要应根据铸件的质量大小和铸件结构特点而定。浇注一般中小型件时的浇注时间见表 4-72，浇注大中型件时的钢液上升速度见表 4-73，盛钢桶全流浇注时的钢液平均流速见表 4-74。

表 4-72　中小型铸钢件的浇注时间（供参考）

铸钢件质量/kg	浇注时间/s	铸钢件质量/kg	浇注时间/s
<100	<10	300～500	<30
100～300	<20	500～1000	<60

注：中小型铸钢件常用浇注时间来衡量浇注速度的快慢。

表 4-73　大中型铸钢件的上升速度（供参考）

铸钢件毛重/kg	≤5000	>5000～15000		>15000～35000			>35000～55000			>55000～160000		
结构情况	—	复杂	简单	薄壁	一般	实体	薄壁	一般	实体	复杂	一般	实体
上升速度/(mm/s)	≥25	≥20	≥15	≥18	≥15	≥10	≥15	≥12	≥8	≥12	≥10	≥6

注：大中型铸钢件常用钢液在型腔内的上升速度来表示浇注速度的快慢。

表 4-74　盛钢桶全流浇注时的钢液平均流速（供参考）

铸口直径 ϕ/mm		35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110
平均流速/(kg/s)	6t 盛钢桶	20	26	30	34	40	60	—	—	—	—	—
	10t 盛钢桶	20	29	37	46	55	66	90	120	—	—	—
	60t 盛钢桶	—	—	—	—	—	95	128	167	210	260	320
	90t 盛钢桶	—	—	—	—	—	96	130	170	216	267	323

d. 用一个盛钢桶钢液烧注多个铸型时，应根据铸钢件的质量、壁厚及结构复杂程度将铸型按工艺要求排列成一定的顺序进行浇注。

e. 浇注大铸件配浇小铸件时，应根据同炉所浇注铸件的大小，确定盛钢桶孔尺寸。先浇大件，后浇小件，用大盛钢桶孔浇小铸件时，应控制塞杆，减少速度保证质量，并随时测量盛钢桶内钢液深度，以防浇不足。

f. 盛钢桶要打稳，对正浇口杯，桶底距浇口杯 250mm 左右，盛钢桶孔下面的渣子和脏物不得落入未浇注的铸型内。

g. 浇注开始应有专人引气。

h. 小件、复杂件浇注到分型面时，应缓慢给流，随后全速浇注，直到浇到冒口规定高度为止，在整个浇注过程中不应断流。

i. 当大铸件上箱是大平面，钢液液面到冒口的高度为 50 ~ 100mm 时，应减小钢液流，浇至规定高度按表 4-75 要求进行点注。

表 4-75　点注的规定与方法（供参考）

冒口类型和尺寸/mm		浇注高度	点注方法
暗冒口		浇满冒口	用半开包孔点浇 2 次以上
明冒口	直径 < 300 宽度 < 300	浇满冒口	通过直浇注系统半开包孔点浇 1 ~ 2 次，撒保温剂，厚度≥80mm
	直径为 300 ~ 700 宽度为 300 ~ 350	浇到冒口高度的 1/2，不低于 200mm	通过直浇口用半开包点注 3 ~ 4 次至冒口高度 2/3 以上再从冒口浇
	直径 > 700 宽度 > 500	浇注冒口高度为 400 ~ 500mm	通过直口用半开包点浇 3 ~ 4 次，再通过专用冒口浇满，撒保温剂，厚度≥100mm

j. 直接由明冒口补浇钢液时，要桶去硬壳，浇至规定高度后，撒保温剂或草灰（见表 4-76 规定）。

表 4-76　冒口撒保温剂厚度规定（供参考）

明冒口直径或宽度/mm	草灰厚（保温剂）/mm
< 500	≥80
500 ~ 800	80 ~ 120
> 800	≥120

k. 若铸件有上明冒口和暗冒口时，当明冒口直径（或宽度）≤300mm，可直接浇满明冒口。当明冒口直径（或宽度）> 300mm，可通过直浇注系统浇到高于暗冒口。剩余的明冒口高度通过顶部浇满。

l. 根据工艺规定，对需要进行补浇冒口的件进行补浇。

m. 浇注发生跑钢液事故时，应服从统一指挥，立即采取补救措施。

n. 应在几个铸型落注中间进行随炉试料的浇注。试料冷却后打上标记，随铸件交到下道工序。

o. 浇注过程中发生钢液不合格或浇注时发生跑钢、呛火、漏包、抬箱、型芯移动等情况，应做好浇注记录。

③ 浇注完毕后应注意控制以下要点：

a. 浇注后，根据铸件的质量和壁厚，在工艺规定的时间内卸掉箱卡。

b. 手工对箱和地坑造型件，根据工艺规定和铸件质量、壁厚、高度等确定去除压铁载荷时间，见表 4-77。

c. 根据工艺规定和铸件出现的具体情况（如钢液量不足等）采取补浇冒口，捣冒口吹氧等措施。

表 4-77　砂箱去压铁载荷时间（供参考）

铸件壁厚/mm	浇注后去压铁时间/min	铸件壁厚/mm	浇注后去压铁时间/min
≤40	10 ~ 15	151 ~ 300	40 ~ 60
41 ~ 80	15 ~ 25	>300	60 ~ 120
81 ~ 150	25 ~ 40		

注：1. 补浇冒口件按浇满冒口计算。

2. 如壁厚不均、有局部厚大处应按实际情况延长时间。

3）铸造铝合金浇注的工艺规程。铸造铝合金浇注的工艺规程要点如下（供参考）：

① 浇注前应做好的准备工作见表 4-78。

表 4-78　浇注前的准备工作（供参考）

工具	1）浇包是否清洁干燥，茶壶式浇包挡墙是否端正，底塞式浇包的塞棒是否弥合 2）运送工具是否灵活、安全可靠 3）撇渣工具是否预热
铸型	1）砂型的干燥程度是否符合工艺规范，压铁是否安置适当，砂型的接缝处是否弥合。在浇注前安置浇口杯（不宜过早），其温度不应超过 150℃ 2）通气孔是否畅通，外浇道有无脏物
合金	检查铝液质量是否合格，计算铝液质量与铸件重量估计是否相当。计算铸件质量的方法可分为如下三类： 1）根据已有的浇注记录，查出需要浇注的铸件质量，然后加上浇道和冒口的质量 2）依照铸件各部分的立体形状，计算铸件的体积（应减去砂芯的体积），然后计算出合金铸件的质量，应加上浇冒口的质量 3）先秤出木模的质量（必须除掉芯盒），再由表 4-79 查出木材对合金的计算系数，将系数与木模的质量相乘即可得出所用合金液的质量

表 4-79　模样与铸件质量的计算系数①（供参考）

木材种类	铸铝	铸黄铜	铸铁	铸钢	铸锌	铸铅
杉木	6.2	20.7	17.4	18.8	10.5	27.2
柳木	5.9	19.9	16.6	18.1	15.9	18.6
松木	4.5	14.9	12.5	13.6	13.6	19.7
柏木	5.3	17.9	15.0	16.4	14.3	23.6
核桃木	3.8	12.8	10.8	11.6	12.1	16.9

① 表内系数 = 金属密度/木材密度。

② 浇注时应注意控制以下要点：

a. 铝液自出炉到浇注的相隔时间不能太长，通常应尽可能短，以保证正常的浇注温度。铝铸件浇注温度的高低，应根据具体情况来确定，总的原则是保证铸件成型的前提下，浇注温度越低越好。各种铝合金的浇注温度范围见表 4-80。

b. 铝铸件浇注速度也不能太快也不能太慢，通常应考虑如下几个因素：

- 铝液流动性的好坏和浇注温度的高低。
- 冲坏铸型和砂芯的可能性。
- 保持铝液在铸型中的正常上升速度，保证铸型中气体的排出。
- 型温的高低。

c. 浇注过程中应做好如下操作：

表 4-80　铸造铝合金的浇注工艺参数（供参考）

合金代号	坩埚底部金属剩余量	保温浇注时间/h	总熔化时间/h	浇注温度/℃	备注
ZL101、ZL102、ZL104、ZL105	150～200mm	2～3	4～6	680～760	—
ZL201	金属总质量的 15%～20%	1～2	4～6	700～750	—
ZL203	150～200mm	2～3	4～6	700～760	—
ZL205A	150～200mm	1～2	4～6	700～750	—
ZL301、ZL303	金属总质量的 15%～20%	2～3	4～6	680～740	采用有挡板的浇包浇注
ZL401	150～200mm	2～3	4～6	700～780	—

● 当从浇包自坩埚内舀取金属时，应先以浇包底部拨开合金液面的氧化皮或熔剂层，缓慢从浇包的宽口舀取合金液，在浇注前铝液表面的熔渣必须扒尽，扒渣应在浇包的两旁或背后进行，以免把包嘴的搪料弄坏。

● 浇注时，包嘴应尽可能与浇口杯靠近，合金液流应保持平稳而不中断，不直接冲在直浇道上，浇口杯内铝液始终保持充满和防止液面翻动，当看到冒口内有铝液上升时，除在浇道内再补注一些铝液外，还应在各冒口内补注一些。

● 带浇口塞的浇口杯，浇注前应安置浇口塞（不宜过早安置），在浇完合金液后，缓慢斜向拔出浇口塞。

● 除气精练和变质处理后的合金液应在工艺规范允许的时间内尽快地浇注完毕。

③ 浇注完毕时应注意控制以下要点：在浇注终了时，坩埚内应剩余少量合金液，浇包中剩余的合金液不应返回坩埚。

4）铸造镁合金浇注的工艺规程。铸造镁合金浇注的工艺规程要点如下（供参考）：

浇注镁-锌-锆系和镁-稀土金属-锆系合金时应注意控制以下要点：应在精炼处理后将合金液升温至 780～810℃，静止 10～20min，必要时再一次检查试样断口，当合金液降至浇注温度时进行浇注。

浇注镁-铝系合金时应注意控制以下要点：应在精炼处理后将合金液升温至 760～780℃，静止 10～20min，检查试样断口，当合金液降至浇注温度 740～780℃时进行浇注，并且应在 1h 内浇完，否则应重新检查断口，合格后方可继续浇注。如断口不合格，允许重新进行变质和精炼处理。

通常，浇注镁合金铸件时，用浇包舀取金属液的浇注工艺应不同于用有挡板坩埚的浇注工艺，具体工艺见表 4-81 和表 4-82。

表 4-81　用浇包舀取金属液的浇注工艺（供参考）

序号	工序名称	内　　容	备　　注
1	测量合金液的温度	用带套管的热电偶，在熔剂坩埚内洗涤后，测量合金液的温度	如果不符合浇注温度 740～780℃的要求，需进行调整
2	洗涤浇包	将浇包在熔剂坩埚内洗涤成亮红色，取出后滴净熔剂	—
3	舀取合金液	1）用浇包底推开合金液表面上的熔剂层，用宽口平稳地舀取合金液 2）从浇包嘴沿坩埚壁倒回少许合金液 3）舀取合金液后，坩埚和浇包的液面如有燃烧处，应撒以硫黄＋硼酸混合物	1）勿使熔剂进入浇包 2）应尽量减少连续舀取的次数

（续）

序号	工序名称	内　　容	备　　注
4	浇注铸型	1）浇注前，先从浇包嘴倒出少许合金液至预热过的备用铸模内 2）浇注铸型 3）浇注时，保持液流平稳，不可中断，浇口应保持充满状态 4）浇注过程中，应不断地向液流表面和浇口杯内撒硫黄 + 硼酸混合物 5）浇注后，浇包内应剩余 10% 合金液，将其浇入锭模 6）如浇注过程超过 1h，应重新检查断口 7）每浇一个铸型，均需从工序 2 做起	1）浇注时，浇包嘴应尽量靠近浇口杯 2）不允许从浇包的宽口反浇铸型 3）如果断口不合格，ZM5 和 ZM10 需要重新进行变质处理，其他合金则进行再次加锆处理

注：1. 一包浇注两个或两个以上的铸型时，在浇完第一个铸型后，浇包必须保持倾斜状态，不应回复至浇注前的垂直位置。

2. 坩埚内的合金液最后剩余量应不少于坩埚容量的 15% ~20%（含锆合金）或 10% ~15%（含铝合金）。

表 4-82　用有挡板坩埚的浇注工艺（供参考）

序号	工序名称	内　　容	备　　注
1	从炉内提出坩埚	1）将坩埚从炉膛内提出，置入回转式的浇包套内，平稳地吊运至浇注场地 2）清除浇嘴和挡板上的熔渣等杂物 3）金属液面燃烧处应撒防燃剂	禁止使用熔剂
2	测量合金液温度	将带套管的热电偶在熔剂坩埚内洗涤后测量合金液的温度	如果不符合浇注温度 740 ~780℃的要求，需进行调整
3	浇注铸型	1）浇注前先从浇嘴内倒出少许合金液 2）浇注铸型 3）浇注时保持液流平稳，不可中断，浇口杯内保持充满 2/3 以上的合金液 4）浇注过程中，应不断地向液流表面、浇口杯和坩埚内撒防燃剂	1）合金液可倒入事先准备好的浇包或锭模中 2）浇注时浇包嘴应尽量靠近浇口杯

注：1. 如同一坩埚连续浇注几个铸型时，在浇完上一个铸型后，坩埚的吊运应维持原来的倾斜状态，并保持平稳，以免合金液发生“浑浊”。

2. 浇注后，坩埚内的合金液剩余量应不少于坩埚容量的 15% ~20%（含锆合金）或 10% ~15%（含铝合金）。

5）铸造锌合金浇注的工艺规程。铸造锌合金浇注的工艺规程要点如下（供参考）。

浇注铸造锌合金时，锌合金的过热度不宜太高，一般为 40 ~80℃。铸造锌合金的温度见表 4-83。当锌合金化学成分合格、温度合适时即可出炉浇注。

表 4-83　铸造锌合金的浇注温度（供参考）

锌合金代号	ZA4—1	ZA4—3	ZA8—1	ZA9—2	ZA11—5	ZA11—1	ZA27—2
浇注温度/℃	400 ~430	410 ~440	425 ~480	430 ~485	415 ~470	450 ~530	510 ~590

6）铸造铜及铜合金浇注的工艺规程。铸造铜及铜合金按其凝固特征可分为三组：

第一组有窄的凝固温度范围，约为 50℃，包括纯铜、黄铜、特殊黄铜、铝青铜和锌白铜等。其特点是凝固时体积收缩大，容易产生大的集中缩孔，因此在确定此类合金的铸造工艺和浇注工艺时，应设法使合金顺序凝固，加大冒口使之得到充分补缩。此外，此类合金含易氧化元素多，容易产生氧化夹杂，特别是浇注过程中产生的二次氧化夹杂，难以去除，因此在浇注系统设计和浇注过

程操作中，应设法使金属液平稳流入铸型，并应进行很好的撇清和除渣。

第二组有中等的凝固温度范围，约为 50～110℃，包括铍青铜、硅青铜、硅黄铜和铜镍合金等。其铸造工艺和浇注工艺特性接近第一组合金。

第三组有宽的凝固温度范围，大于 110℃，甚至达 170℃，包括锡青铜、铅锡青铜、高铅锡青铜等。其特点是具有糊状凝固特征，补缩困难，容易产生微观缩孔和晶内偏析，难以保证铸件的致密性，通常含有 1%～2% 的孔隙率。为提高该组合金铸件的致密性，应根据铸件的重量、形状和用途采取不同的铸造工艺和浇注过程操作。对于大型铸件宜采用顺序凝固原则，主要工艺措施有：将浇道和冒口放置在热节处以使冒口最后凝固，或使用冷铁造成较高的温度梯度；对于小型和复杂的薄壁铸件则宜采用同时凝固原则，主要工艺措施有：浇道放在冷节处或使浇道分散以使各部分温度均匀，或在热节处放置冷铁，不同或少用冒口，采用较低的浇注温度（但应防止缺铸）等。

通常，浇注铜铸件时，浇注温度不可过高。铸造铜及铜合金的熔化温度和浇注温度见表 4-84。

表 4-84　铸造铜及铜合金的浇注温度（供参考）

序号	合金牌号	熔化温度/℃	浇注温度/℃	
			壁厚＜30mm	壁厚≥30mm
1	纯铜	1230～1280	1200～1300	1150～1200
2	ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	1200～1250	1150～1200	1100～1150
3	ZCuSn3Zn11Pb4	1200～1250	1150～1200	1100～1150
4	ZCuSn5Pb5Zn5	1200～1250	1150～1200	1100～1150
5	ZCuSn6Zn6Pb3	1200～1250	1150～1200	1100～1150
6	ZCuSn8Zn4	1200～1250	1150～1200	1100～1150
7	ZCuSn10P1	1150～1200	1040～1090	980～1140
8	ZCuSn10Zn2	1200～1250	1150～1200	1100～1150
9	ZCuSn10Pb5	1150～1200	1140～1200	1120～1150
10	ZCuAl7Mn13Zn4Fe3Sn1	1180～1220	1060～1100	1020～1060
11	ZCuA18Mn13Fe3	1180～1220	1100～1150	1040～1080
12	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	1200～1250	1060～1100	1020～1060
13	ZCuAl9Mn2	1200～1250	1140～1180	1120～1150
14	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	1230～1300	1200～1250	1160～1200
15	ZCuAl10Fe3Mn2	1200～1250	1140～1200	1110～1150
16	ZCuAl10Fe3	1200～1250	1140～1200	1110～1150
17	ZCuAl10Fe4Ni4	1250～1300	1180～1230	1160～1200
18	ZCuAl10Fe4Mn3Pb2	1200～1250	1120～1180	1100～1150
19	ZCuAl11Fe7Ni6Cr1	1250～1300	1200～1250	1150～1200
20	ZCuBe0.5Co2.5	1240～1300	1170～1200	1120～1150
21	ZCuBe0.5Ni1.5	1240～1300	1170～1200	1140～1170
22	ZCuBe2Co0.5Si0.25	1200～1250	1060～1120	1010～1050
23	ZCuBe2.4Co0.5	1200～1250	1040～1090	1010～1050
24	ZCuBe2Co1	1200～1250	1050～1100	1010～1030
25	ZCuBe0.4Ni1.5Ti0.5	1200～1250	1060～1120	1010～1030

（续）

序号	合 金 牌 号	熔化温度/℃	浇注温度/℃	
			壁厚 < 30mm	壁厚≥30mm
26	ZCuBe1Al8Fe1Co1	1200 ~ 1250	1100 ~ 1150	1080 ~ 1120
27	ZCuSi3Mn1	1180 ~ 1220	1120 ~ 1150	1080 ~ 1120
28	ZCuSi3Pb6Mn1	1160 ~ 1220	1100 ~ 1120	1050 ~ 1100
29	ZCuSi0. 5Ni1Mg0. 02	1250 ~ 1300	1180 ~ 1220	1150 ~ 1200
30	ZCuCr1	1300 ~ 1350	1230 ~ 1260	1200 ~ 1230
31	ZCuMn5	1250 ~ 1300	1130 ~ 1170	1100 ~ 1140
32	ZCuZn16Si4	1100 ~ 1150	1040 ~ 1080	980 ~ 1040
33	ZCuZn24Al5Fe2Mn2	1100 ~ 1160	1040 ~ 1080	1000 ~ 1060
34	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	1100 ~ 1160	1030 ~ 1080	980 ~ 1040
35	ZCuZn26Al4Fe3Mn3	1100 ~ 1160	1030 ~ 1080	980 ~ 1040
36	ZCuZn31Al2	1120 ~ 1180	1080 ~ 1120	1000 ~ 1080
37	ZCuZn33Pb2	1120 ~ 1160	1050 ~ 1120	1010 ~ 1060
38	ZCuZn35Al2Mn2Fe1	1100 ~ 1150	1030 ~ 1080	960 ~ 1020
39	ZCuZn38	1120 ~ 1180	1060 ~ 1100	980 ~ 1060
40	ZCuZn38Mn2Pb2	1100 ~ 1150	1020 ~ 1060	980 ~ 1040
41	ZCuZn40Pb2	1100 ~ 1150	1030 ~ 1060	980 ~ 1040
42	ZCuZn40Mn2	1100 ~ 1150	1020 ~ 1060	980 ~ 1040
43	ZCuZn40Mn3Fe1	1100 ~ 1160	1020 ~ 1060	980 ~ 1040
44	ZCuNi10Fe1	1350 ~ 1400	1280 ~ 1320	1230 ~ 1280
45	ZCuNi15Al11Fe1	1300 ~ 1350	1220 ~ 1280	1200 ~ 1250
46	ZCuNi20Sn4Zn5Pb4	1350 ~ 1440	1260 ~ 1320	1220 ~ 1280
47	ZCuNi25Sn5Zn2Pb2	1380 ~ 1430	1300 ~ 1360	1260 ~ 1320
48	ZCuNi30Nb1Fe1	1420 ~ 1480	1350 ~ 1400	1290 ~ 1350
49	ZCuNi30Be1. 2	1320 ~ 1380	1220 ~ 1300	1200 ~ 1280
50	ZCuNi30Cr2Fe1Mn1	1380 ~ 1430	1300 ~ 1350	1250 ~ 1300

4. 2. 4 铸件落砂清理与后处理质量的控制（检验）

1. 铸件落砂除芯质量的控制（检验）

（1）铸件落砂除芯分类 铸件落砂是指用手工或机械方法使铸件与型（芯）砂分离的操作。铸件落砂可以是带砂箱落砂或在桶型后再落砂。

铸件除芯是指从铸件中去除芯和芯骨的操作。

生产中的铸件落砂除芯方法也较多，其分类如图 4-28 所示。

（2）铸件落砂除芯过程的控制（检验）

1）铸件落砂除芯过程的一般控制。铸件落砂除芯过程的一般控制应包括：铸件在型内的冷却时间或出型温度、铸件结构与铸型尺寸、落砂物（落砂铸件 + 砂型 + 砂箱）总质量、无箱带砂箱与有箱带砂箱、型砂类别、落砂机能力与维修等，如图 4-29 所示。

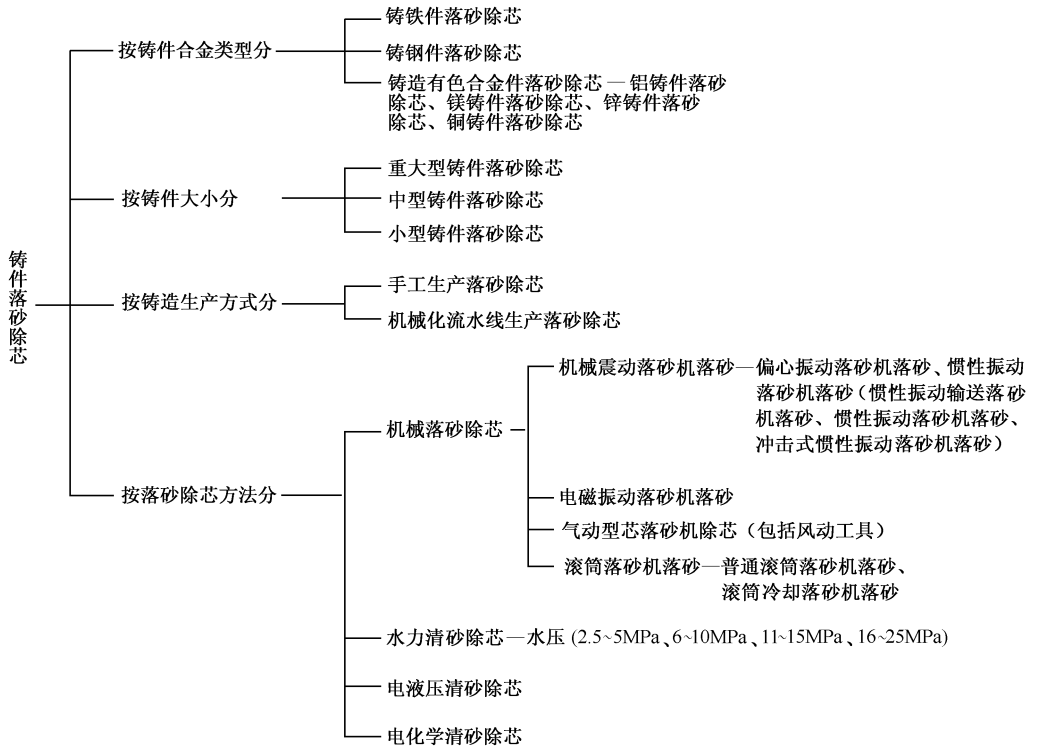


图 4-28　铸件落砂除芯分类

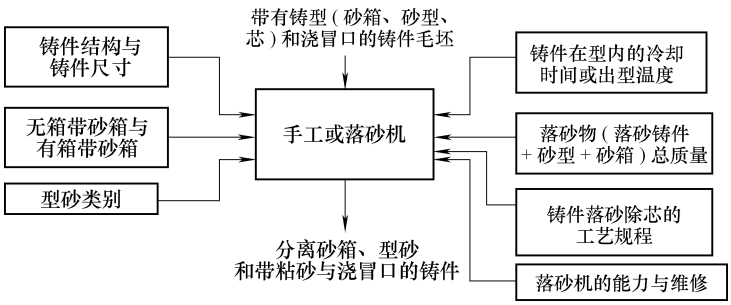


图 4-29　铸件落砂除芯过程控制的示意图

2）采用手工落砂除芯时的控制要点如下：

① 小型铸件可直接用铁钩、铁铲、手锤落砂除芯；较大的铸件则应先将上箱吊起（如铸件留在下箱，应再吊起下箱，翻转砂箱使铸件向下），再用大锤敲振上箱的砂型或浇冒口。必要时用钢钎捅碎砂型，并且对阻碍铸件收缩的砂芯应及时清除或松动芯骨。

② 开箱落砂除芯时，锤头勿直接敲击红热的铸件、箱带、箱把、箱耳和锁紧装置以及砂箱平壁处，吊运时严防铸件互相碰撞、砸压。

③ 落砂后的砂箱不得有残留的型砂和铁块，并应将砂箱、定位销、芯骨、冷铁等专用工装分类回收在指定地点、码放整齐。

3）采用机械落砂除芯时的控制要点如下：

① 工作前应检查落砂机、输送带、吸尘系统等装置是否正常，润滑是否足够。

② 应使总质量（落砂铸件 + 砂型 + 砂箱）不超过落砂机械的载重范围。

③ 无箱带砂箱的铸件落砂，在地面浇注时，可将砂箱和铸件一同吊至落砂栅格上。在流水线上浇注时，可用专用装置将铸件和砂箱一同推至落砂栅格上，也可将铸件和砂型从砂箱压出或顶出。

④ 有箱带砂箱的落砂，通常是将上箱吊起，取出铸件，然后分别将上下砂箱吊至落砂栅格上进行落砂。不得使砂箱工作面与栅格接触，以防损坏砂箱。

⑤ 不同砂型的铸件应分别落砂，防止各种型砂混淆。

⑥ 应及时清除阻塞在落砂机栅格上的铁块及砂团，并防止砂箱和薄壁复杂件被振坏。

⑦ 使用落砂机时，应考虑本厂操作与使用经验，如果落砂机不好用，要分析原因，总结改进意见，激振力确实很小时应适当加大，传给基础力太大时则应适当拆去几根弹簧，另外还应注意及时排空落砂机砂斗里的砂子，应尽量把铸型放在栅床中心以防压偏。

⑧ 工艺允许时，砂型落砂前应适当喷水，或用风动工具适当松动冒口周围的型砂，也会有助于落砂。

⑨ 在惯性振动落砂机上，大铸型可不摘起重吊钩（用起重机吊着），这就相当于撞击式落砂机。

⑩ 小铸型应分开平放在栅床上落砂，效率可高于铸型叠放。

⑪ 应经常检查落砂机上的放松装置和螺钉，如有松动现象应立即紧固后才可继续使用。

4）水力清砂除芯时的控制要点如下：

① 严格执行设备安全操作规程。

② 待清砂的铸件，特别是薄壁铸件必须冷却到 60℃以下，方可施行水力清砂。特殊铸件按工艺要求进行。

③ 水力清砂前应先将铸件上阻碍高压水冲击的浇注系统、冒口、飞边、毛刺、披缝等清除。

④ 将装载铸件的台车开入清砂室后，应封闭全部室门。

⑤ 清砂除芯时，应先开高压水泵，待其空载运动正常后，再开水枪进行操作，否则会使高压水泵毁坏。

⑥ 操作水枪时，喷嘴离被清理的型芯砂的平面不要太远，一般为 200 ~ 600mm，太远型芯砂不易打下来，太近会影响喷嘴操作。

⑦ 调好水枪与铸件间距后，需锁紧水枪的前后移动机构，以防水枪在高压射流的反作用下，突然倒退伤人。

⑧ 应参考表 4-85 和表 4-86 选择水力清砂的工作压力与流量和使用的喷嘴直径。

⑨ 为消除喷射死角，开动水枪前应先将铸件置于回转台车上，铸件与回转车台面间应成一倾角（可用型钢架支撑），从而使水枪喷射时无死角，高速射流畅通。

⑩ 操作中，应留心高压泵运行状况与压力变化状况：正常运行时，高压泵的声音清晰，无明显杂声，压力较稳定，指针波动小；异常时应停车检查，若压力突然增大应打开卸水阀检查是否有异物堵塞喷嘴。

⑪ 操作中，应严禁随意调整安全阀，严禁松动高压部分的螺栓。

⑫ 清理 20 ~ 100kg 的中小件时若用钢架支撑铸件易被高压射流水冲走，因此必须用钢架固定或悬挂。

⑬ 清砂除芯是否完结应视水流颜色确定，如果流水已变白色，则表明清砂除芯工作已经完成，通常每小时可清理铸件 1 ~ 6t。

⑭ 停车前，应先打开泄水阀，然后切断电源进行停车。在冰冻期，一定要闭塞进水阀，并将高压水泵内的水放出，以防将泵体冻裂。

⑮ 清砂除芯后的铸件应即时排出其内腔积水。

表 4-85　水力清砂的工作压力与流量的选择（供参考）

铸件类型	工作压力/MPa	流量/(m^3/h)	高压泵类型	应 用 特 点
中小型湿型铸铁件	2.5 ~ 7	20 ~ 30	分段式多级离心泵	流量大,转速高,操作维修方便,对水质要求不高;但水流压力小,功率大,清砂能力小,叶片易磨损
中大型湿型铸铁件	7 ~ 10	12 ~ 16	活塞往复式泥浆泵	清砂能力较强,对水质要求不高;但结构笨重,传动部分效率低,制造工艺要求高
重大型干型铸铁件和铸钢件	10 ~ 16	12 ~ 16	柱塞往复式高压泵	清砂能力强;但对水质要求高,维护修理麻烦,需用高压水管
水玻璃砂型铸铁件和铸钢件	16 ~ 20	15 ~ 20		水流压力大,水流量大,清砂能力更强;但对水质要求高,维修麻烦,需要高压水管

表 4-86　水力清砂的水流压力与喷嘴直径的选择（供参考）

水流压力/MPa	喷嘴直径/mm	适 用 特 点
2.45 ~ 4.90	ϕ6 ~ ϕ10	主要适用于产量小、形状简单、芯砂强度较低的中小型铸件
5.88 ~ 9.81	ϕ5 ~ ϕ8	主要适用于产量小、形状较简单、芯砂强度较低的中大型铸件
10.78 ~ 14.70	ϕ4 ~ ϕ6	主要适用于产量大、形状较复杂、芯砂强度较高的中大型铸件
15.69 ~ 24.52	ϕ3 ~ ϕ5	主要适用于产量大、形状较复杂、芯砂强度高的重大型铸件

（3）铸件落砂除芯质量的检验（控制）　铸件落砂除芯时应保证不损坏铸件的边缘和棱角，不产生震裂和变形等缺陷。

铸件落砂除芯质量的检验（控制）重点应是控制铸件的出型温度，控制铸件的出型温度是为了保证铸件在落砂除芯时有足够的强度和韧性。如果铸件出型温度过高，往往会因为冷却过快致使铸件产生变形、裂纹等缺陷；如果铸件出型温度过低，那么铸件浇注后在铸型内停留的时间必然过长，势必延长生产周期，影响生产效率。

铸件的出型温度，通常是通过铸件在型内的冷却时间来控制的。铸件在型内的冷却时间与铸件的质量、壁厚、复杂程度、合金种类、铸型性质、生产条件等多种因素有关，虽然很难用计算方法确定，但常可根据生产经验，用图表来确定。

（4）砂型铸造生产常见的铸件出型温度要求与控制

1）铸铁件的出型温度要求与控制。一般铸铁件的出型温度应为 300 ~ 500℃，易产生冷裂和变形的铸铁件的出型温度应为 200 ~ 300℃。

易产生热裂的含硅、铝较高的耐热铸铁件，脆性转变温度较高，应在型中完全冷却后再打箱。若在红热状态下（约 800 ~ 900℃）打箱，则打箱后应立即去除浇冒口并清除砂芯，再放入到热砂坑中或移入到 700 ~ 800℃的炉中进行缓慢冷却。

用含铬、钼合金铸铁制造的压边、拉延等冷冲模具，大部分壁较厚，冷却速度慢，热裂倾向较严重，一般应在 200 ~ 300℃开箱。

铸铁件在砂型内的冷却时间可按表 4-87 ~ 表 4-90 进行控制。

重大铸铁件的型内冷却时间可按以下经验公式进行计算：

$$t = vm$$

式中　t——铸件冷却时间（h）；

v——铸件冷却速度，取 4 ~ 8h/t；

m——铸件质量（t）。

表 4-87　中小型铸铁件的冷却时间（供参考）

铸件质量/kg		<5	5～10	10～30	30～50	50～100	100～250	250～500	500～1000
铸件壁厚/mm		<8	<12	<18	<25	<30	<40	<50	<60
冷却时间/min	地面浇注	20～30	25～40	30～60	50～100	80～160	120～300	240～600	480～720
	流水线浇注	8～12	10～15	12～30	20～30	30～70	40～90	50～120	—

注：1. 铸件质量指每箱中铸件的总质量。
2. 壁薄的铸件冷却时间应取小值，厚壁铸件应取大值。
3. 铸件在流水线上的开箱温度较高（约 800℃），有时还采用通风强制冷却，因此铸件在流水线上的冷却时间比地面浇注短。

表 4-88　大型铸铁件的冷却时间（供参考）

铸件质量/t		1～5	5～10	10～15	15～20	20～30	30～50	50～70	70～100
冷却时间/h	砂箱造型	10～36	36～54	54～72	72～90	90～126	126～198	198～270	270～378
	地坑造型	12～48	48～72	72～96	96～120	120～168	168～264	264～360	360～504

注：大型铸铁件在生产中常采用强制方法冷却，以缩短铸件在铸型中的停留时间。

表 4-89　冷硬铸铁轧辊在铸型中的冷却时间（供参考）

辊身直径/mm		<φ350	φ350～φ550	φ550～φ750	φ750～φ950	φ950～φ1150	φ1150～φ1350
质量/t		≈2	3～4	5～10	11～16	17～24	≥25
冷却时间/h	金属型	≈10	15～30	30～48	48～70	70～100	≥100
	覆砂金属型	8～16	20～36	40～58	58～76	76～105	≥105

注：1. 一般开箱温度为 100～200℃。为提高生产率，也可在 700～900℃开箱，但应放在热砂坑或热处理炉中进行缓冷或退火处理。
2. 高 Ni-Cr 合金轧辊应适当增加冷却时间。

表 4-90　耐蚀铸铁件的冷却时间①（供参考）

铸件质量/kg	<5	5～10	10～30	30～50	50～100	100～250	250～500	500～1000
铸件壁厚/mm	5～10	6～12	8～14	10～16	12～18	15～20	20～30	30～40
开箱时间/min	6～8	7～9	8～10	9～12	10～14	12～16	16～20	18～30
冷却时间/h	3～5	4～7	6～8	8～10	10～12	12～15	15～24	>24

注：薄壁简单件取小值，厚壁件取大值。
① 耐蚀铸铁件在生产中常采用高温（800～900℃）开箱，开箱后立即将砂芯、砂型及浇注系统、冒口清除掉。小件放在热砂坑中缓冷，中大件可放在热处理炉中消除内应力。

k 是铸件的质量与其轮廓体积比。k 值越大，意味着铸件的壁厚越厚，冷却时间越长。k 的计算公式为

$$k = m/V$$

式中　k——铸件的质量与其轮廓体积比（t/m^3）；

m——铸件的质量（t）；

V——铸件外轮廓体积（m^3）。

2）铸钢件在砂型内的冷却时间要求与控制。对于采用水力清砂、喷钢丸清砂和风动工具清砂的铸钢件，应在型中冷却到 250～450℃方可落砂。高于 450℃落砂时，铸件的内应力大，可能会引起铸件变形和裂纹；低于 250℃落砂，亦不能有效地进一步消除铸件的内应力。

通常，铸钢件在砂型内的冷却时间也可参考图 4-30～图 4-32 所示进行控制。

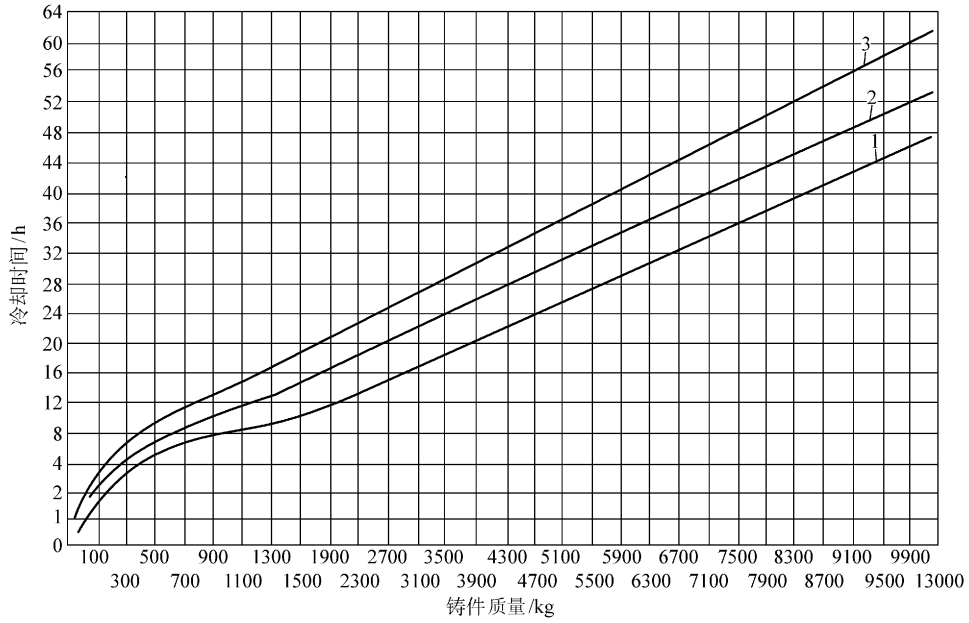


图 4-30　中、小型碳钢铸件在砂型中的冷却时间

1—主要壁厚在 35mm 以下的铸件　2—主要壁厚在 36 ~ 80mm 铸件

3—主要壁厚在 81 ~ 100mm 的铸件

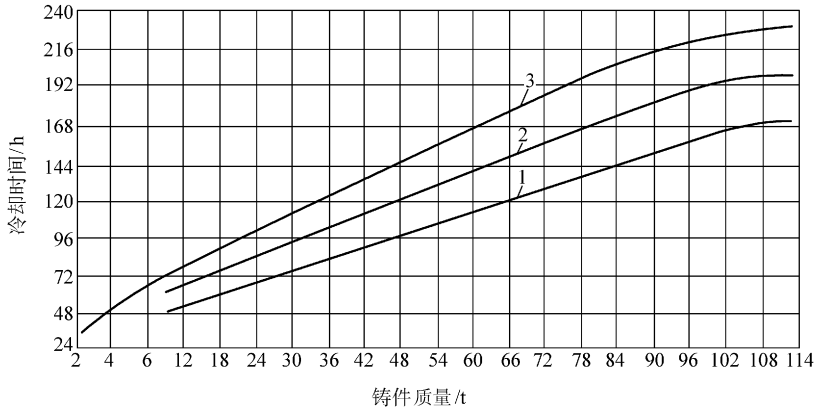


图 4-31　大型碳钢铸件在砂型中的冷却时间

1—主要壁厚在 36 ~ 80mm 的铸件　2—主要壁厚在 81 ~ 200mm 的铸件

3—主要壁厚在 200mm 以上的铸件

使用上述三图时，应注意下列几点：

① 碳钢铸件质量超过 110t 时，在按图 4-31 查取与 110t 对应的冷却时间值的基础上，每增加 1t 质量，增加冷却时间 1 ~ 3h。

② ZG 310-570 和合金钢铸件质量超过 8. 5t 时，冷却时间可比按图 4-30 ~ 图 4-32 查取的碳钢铸件的冷却时间值增加 1 倍。

③ 形状简单、壁厚增匀的厚壁铸件（如砧座等），可比图中规定的冷却时间提前 20% ~ 30% 松箱（或撬松）。此类铸件也可不入炉热处理，在浇注坑内自然冷却，并按每 24h 保温 1. 5 ~ 2t 计

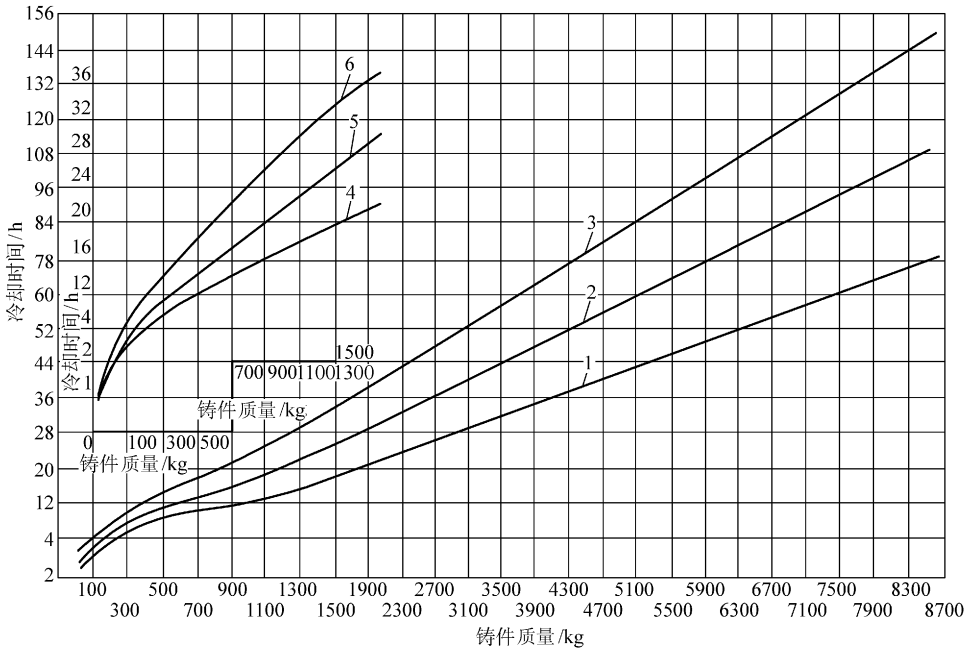


图 4-32　ZG 310-570 和合金钢铸件在砂型中的冷却时间

（1、2、3—碳素钢铸件　4、5、6—合金钢铸件）

1、4—主要壁厚在 35mm 以上的铸件　3、6—主要壁厚在 81 ~ 150mm 的铸件

2、5—主要壁厚在 36 ~ 80mm 的铸件

算保温时间。

④ 结构复杂、壁厚差较大、易产生裂纹的铸件，冷却时间应比图中规定值延长约 30% 。

⑤ 某些地坑造型的铸件，需提前吊走盖箱或撬松砂型，这会增加冷却速度，因此冷却时间可缩短 10% 。

3）铸造有色合金件的出型温度要求与控制。铸造铝、镁合金件的出型温度要求与控制见表 4-91。

表 4-91　铸造铝、镁合金件的出型温度（供参考）

铸件结构特点	铸型性质	合金铸件工艺性	铸型现场环境	铸件出型温度/℃	
				中小件	大件
形状简单、壁厚均匀	无芯、湿芯、湿型	热裂倾向小，如 Al-Si 系合金	温度较高，无穿堂风	300 ~ 350	250 ~ 300
	干芯、干型			250 ~ 300	200 ~ 250
形状简单、壁厚均匀	无芯、湿芯、湿型	热裂倾向大，如 Al-Cu 系合金	温度较低，有穿堂风	250 ~ 350	200 ~ 250
	干芯、干型			200 ~ 250	150 ~ 200
形状复杂、壁厚不均匀	无芯、湿芯、湿型	热裂倾向小，如 Al-Si 系合金	温度较高，无穿堂风	200 ~ 250	150 ~ 250
	干芯、干型			150 ~ 250	100 ~ 200
	无芯、湿芯、湿型	热裂倾向大，如 Al-Cu 系合金	温度较低，有穿堂风	150 ~ 200	100 ~ 200
	干芯、干型			100 ~ 150	< 100

2. 铸件清理质量的控制（检验）

（1）铸件清理方法的分类　铸件清理是指铸件落砂后从铸件上清除表面粘砂、型砂、多余金

属（包括浇冒口、飞边和氧化皮）等过程的总称。

生产中的铸件清理方法也较多，其分类如图 4-33 所示。

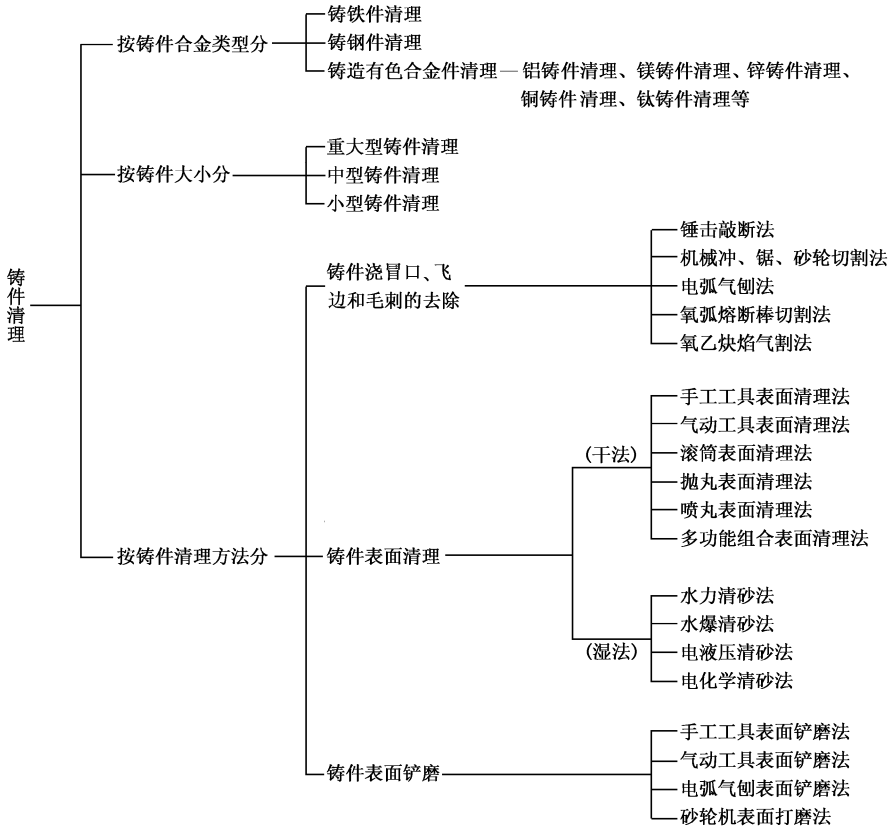


图 4-33　铸件清理分类

（2）铸件清理过程的控制（检验）

1）铸件清理过程的一般控制（检验）。铸件清理过程的一般控制应包括：铸件材料类型、铸件形状和大小、铸件上残留型砂的程度、铸件上的表面平整情况、铸件清理（包括铸件浇冒口、飞边的去除、铸件表面清理、铸件表面铲磨）设备的能力和维修等，如图 4-34 所示。

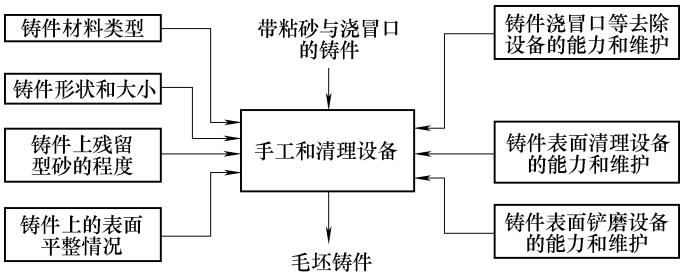


图 4-34　铸件清理过程控制的示意图

2）采用圆锯机切除铸件浇冒口的控制要点如下：

① 圆锯机的最大锯断浇冒口直径见表 4-92。

② 工作前要先进行空运转试车，检查各操纵机构性能，同时也检查锯片的固定程度是否完好。

表 4-92 圆锯机的最大锯断浇冒口直径（供参考）

型 号	G607 型半自动圆锯机	G6010 型半自动圆锯机	G6014 型半自动圆锯机
最大锯断浇冒口直径/mm	240	350	500

③ 在夹紧铸件时，要根据铸件的形状选择适当的虎钳夹口面，而夹紧后的铸件位置必须与锯片中心平齐，且锯片齿刃距铸件浇冒口间应有 3 ~ 5mm 的间隙。

④ 切除浇冒口时，可按“启动”电钮，操纵滑阀，进行自动进刀。在切除完毕时锯片自动退回原位。

⑤ 锯片的行程长度可借限位开关控制。

⑥ 无论在“夹紧—工作行程”或在“夹紧—返回行程”的情况下，铸件的夹紧均可将操纵阀的手柄转到垂直位置。

⑦ 对于铸铁件和非铁合金铸件，锯片转速宜选低速，进刀量宜采用小进刀量。

3）采用氧乙炔焰气割铸件浇冒口的控制要点如下：

① 气割铸钢件浇冒口时应做好以下准备工作：

a. 了解铸件材质，根据铸件化学成分、结构形状、冒口大小确定气割方案，要热割的铸件应掌握好温度并及时气割。

b. 气割前应清除浇冒口根部至气割线以上 100mm 以内的型砂、浇口砖等异物，了解铸件与冒口连接处有无凸台、脐子、倾斜面等，大型冒口应按照切割余量要求标出气割线，以保证气割质量。

c. 应按冒口大小选择氧气和乙炔的压力。

d. 冬季存放于露天的铸件，应恢复至室温后再行气割，气割前后铸件上不应有积水。

② 气割碳含量较高的碳钢铸件或某些合金钢铸件，以及结构复杂或冒口较大的铸件浇冒口时应注意控制以下要点：由于在热处理前铸件内部已存在较大的应力，因此在气割铸件冒口时容易产生裂纹，为此应采用热割冒口工艺。常用牌号热割冒口的温度见表 4-93。为保证热割温度，一般铸件应在清砂后入炉预热（有时在热处理退火或正火后），保温一段时间，待冷却到规定温度时进行气割，然后作热处理（已热处理件通常再作回火处理）；对于形状简单、冒口型砂易于清除的铸件，则可考虑在落砂前后或水爆清砂后，利用铸件本体的余温进行气割。

表 4-93 常用牌号热割冒口的温度（供参考）

铸 件 钢 号	热割温度/℃	备 注
ZG230-450、ZG270-500、ZG22CrMo、ZG15Cr1Mo、ZG20MnSi、ZG50MnSi	>150	冒口直径 >500mm 热割，直径 <500mm 室温气割，热割冒口可利用落砂后，铸件本体的余热或局部加热齿轮件全部热割冒口
ZG310-570、ZG35SiMn、ZG42SiMn、ZG35SiMnMo、ZG5CrMnMo、ZC 40Cr、ZG40CrMn、ZG40CrV、ZG35CrMnSi、ZG15Cr13	>200	利用落砂后铸件本体的余热或清砂后局部加热，或正火后利用余热切割，切割后热处理
ZG15Cr2Mo1	>150	正火后利用热处理余热切割，割后回火
ZG20CrMoV、ZG15Cr1MoV	>300	退火后利用热处理余热，割后进行性能热处理

注：基体为马氏体或马氏体-铁素体组织的高合金钢铸件需热割冒口。

③ 气割大中型铸件冒口时一般应采用下述两种工艺：

a. 采用割炬气割工艺时，首先应选用大型号割炬、割嘴，氧气压力要高，预热火焰强度也要高，起割时应将割件切透，掌握好切割速度不宜太快，以免后拖量太大，割嘴要作横向摆动以便吹

除熔渣，若出现割不穿或气涡应立即停止，并重新在切割线上选择起割点继续切割，如冒口直径较大一次切不透时，可用分块气割法或推磨法，如图 4-35 所示。

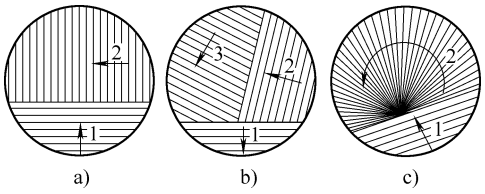


图 4-35　采用割炬气割大冒口示意图

a）分两块气割　b）分三块气割　c）推磨法气割

b. 采用加氧法工艺时，首先应使用大型割炬将冒口切割处预热到燃点，切开割口，割口宽度见表 4-94。

④ 气割轮类铸钢件冒口时应注意控制以下要点：由于轮类铸件的轮毂冒口较大，轮缘冒口较多，气割时应采用对称法，避免顺次气割，以利热量均衡分配。所有冒口应连续割完，以减少应力。气割时，割嘴与气割方向应与轮缘切线成 30° ~ 90° 角，并视轮缘冒口宽度与轮辐长短而定。一般轮缘冒口越宽，夹角越大；轮辐越长，夹角越大。夹角大可减小气割厚度，保证气割质量。但是，轮辐短而夹角大时，易使熔渣飞溅到轮毂冒口切割线上，影响气割。如果从轮缘内侧向外气割，夹角应取大些。气割轮缘冒口补贴时，未经预热的铸件，冒口补贴余量应适当增加，碳含量较高的铸件、低合金钢铸件更应如此，以防切割表面产生的微小裂纹深入轮缘内部。

表 4-94　加氧气割冒口时的割口宽度（供参考）

冒口直径或宽度/mm	割口宽度/mm	冒口直径或宽度/mm	割口宽度/mm
<500	40 ~ 60	801 ~ 1100	90 ~ 120
501 ~ 800	60 ~ 90	>1100	120 ~ 180

⑤ 气割不锈钢铸件浇冒口时应注意控制以下要点：由于不锈钢中含铬、镍较多，气割时切口表面会形成高熔点氧化物，遮盖割缝表面，并阻止碳与铁的进一步氧化，因而不能采用一般的气割方法，但可采用下述气割方法：

a. 采用氧乙炔焰振动气割，其工艺要点是预热火焰比气割一般碳钢时强烈、集中。氧气压力要高 15% ~ 20%，采用中性焰，常用 C01-300 型割炬。首先应用预热火焰加热冒口切割线上缘，待表面呈红色熔融状态时，打开切割氧气阀，略微上抬割嘴，熔渣即从切口流出。此时，割炬立刻作幅度一定的前后上下摆动，割嘴振幅为 10 ~ 15mm。频率约为 1.3Hz。振动是为了利用火焰中的高压氧气流的动能冲刷割缝中的熔渣，从而使气割得以连续进行。

b. 采用氧熔剂切割，主要是在氧气流中加入粉状熔剂（氧化铁皮粉和硅粉），使其在切割区内发生机械作用和氧化反应，氧化反应使切口温度升高，金属氧化物熔化，粘度降低，并且在冲刷作用下被吹除，下层金属继续燃烧。

c. 采用外加低碳钢丝肋熔剂切割，主要是气割时用氧乙焰火焰先将钢丝熔化，并与不锈钢生成熔点低、流动性好的氧化液，边切割，边添加钢丝，边吹除熔渣，以保持气割的连续性。

⑥ 气割高锰钢铸件浇冒口时应注意控制以下要点：由于高锰钢导热性能差，线胀系数大，铸造后在晶粒内和晶界上有大量碳化物，使塑性、韧性降低，脆性增加，因此应采用以下特殊的气割方法：

a. 大冒口应在热处理（水韧处理）后常温下气割，以免产生裂纹。

b. 有时为防止气割时受热部位析出碳化物和产生裂纹，可采用水冷却气割法（铸件浸在水中气割，或边气割边喷水冷却）。

c. 如果冒口过大影响热处理炉装炉或淬火时，可在热处理前气割掉部分冒口，留足够的切割余量（一般为 50 ~ 100mm），待水韧处理后再气割。

d. 个别冒口较大的铸件，可在浇注后冷却到一定温度（约 700 ~ 800℃）时，吊起上箱，清除

浇冒口周围型砂，然后气割，再用型砂覆盖，使其自然冷却。

⑦ 铸钢件浇冒口气割时，铸件局部承受高温，切割面与热影响区易产生微裂纹，冒口补缩不良时裂纹可能性更大。在热应力作用下，薄弱部位受拉应力作用也有产生裂纹的可能性，尤其是铸造应力、水爆应力与气割热应力交织在一起时，产生裂纹的可能性更大。为此，铸钢件浇冒口气割后应注意控制以下要点：

a. 中碳钢、合金钢的较大冒口与易裂件的冒口，在气割后应及时入炉热处理（或保温），无条件入炉时冒口应留在原位，保温至 100℃以下再吊走。

b. 气割后，铸件不得吊放于通风口处，严禁沾水，温度高于 100℃的铸件应作抛丸清理。

c. 在造型场地热割冒口后，应及时用热干砂覆盖切割部位保温。

d. 气割后，如冒口余量过大或局部过高，应及时补割，直至符合要求。如果设在非加工面上的冒口切割余量影响铸件外观质量或其他零件的装备，则应修整到铸件表面齐平，气割后的浇道和工艺肋残根同样也应修整到与铸件表面齐平。

e. 气割后残留在冒口周围的氧化渣应趁热清理，必须保温的零件可在低温时清理。

f. 关键铸件气割后应及时记录件号、铸件顺序号、氧气压力、气割中的异常现象以及操作者姓名。

4）采用普通滚筒表面清砂的控制要点如下：

① 应根据铸件的特点选用普通滚筒清理机：大多数铸件可选用圆形或六角形滚筒清理机；成批大量生产的铸件可选用专用滚筒清理机；小而脆的铸件可选用小滚筒清理机；壁薄或特别长的铸件可采用方形滚筒清理机。

② 装入铸件时应注意控制以下要点：

a. 铸件装入量一般为滚筒容量的 70% ~80%，以便铸件翻转摩擦。但是，铸件装入量不宜太少，以防滚动时铸件落下高度太高而被碰击损坏。

b. 同类型小铸件可集中装入，薄长铸件最好用手放入，有些特殊铸件还可用螺钉专门紧住。

c. 为避免损坏铸件，不宜把薄的和重而厚的铸件同时装入滚筒中进行表面清砂，对于易砸坏的薄壁、壳类铸件可适当加入硬木块。

d. 为提高铸件表面清砂质量和产量，显著减少铸件的碰坏现象，可在滚筒中加入铸件质量的 6% ~15% 的角形铁（用白口铁铸成），其大小取决于铸件尺寸和壁厚，一般为 20 ~60mm。

③ 装完铸件后应注意控制以下要点：

a. 应仔细把盖扣紧，然后才开滚，滚动的旋转方向应是对着操作位置的那面向上转。

b. 滚动的时间可根据铸件的外形复杂程度而定，一般为 30 ~40min。

④ 铸件清沙完毕应停电动机，并用制动器制动，此时需注意让滚筒口停在适于出清铸件的位置上，然后插上保险销，打开盖清出铸件。

⑤ 水滚筒表面清砂是一种湿法清理，生产中常用六角形滚筒，滚筒的六面均有孔眼。在滚动时，滚筒的 1/6 角浸入水中，被滚撞掉的粘砂则通过六面孔眼的水流带入池中。采用水滚筒表面清砂的操作技术与干式滚筒表面清砂的操作技术基本相同，但还应注意以下事项：

a. 水中应加防锈剂和快干剂，以防清理后的铸件生锈，其配比为每吨水中加入纯碱（Na_2CO_3）4kg 和亚硝酸钠（$NaNO_2$）6kg。

b. 水溶液应定期更换，通常每周换一次，而原水溶液将沉淀积砂清除后仍可回用。

c. 滚动时间应稍长些，一般每筒滚 40 ~50min 便可停滚。

5）采用喷（抛）丸表面清砂的控制要点如下：

① 根据铸件特点选用不同的喷（抛）丸表面清理设备。

② 检查喷（抛）丸清理设备以及通风、照明、防尘、密封等各部分是否正常，空转运行正常

后方可使用。

③ 铸件装入前，应将清理内积存的浮砂及杂物除净，以提高清理效率和分离效果。

④ 采用喷（抛）丸表面清砂时的铸件温度不宜超过 150℃，因为铸件在受到喷丸喷打的同时，还受到高速压缩空气流的冲刷和激冷，因此铸件温度太高时容易产生裂纹。

⑤ 喷（抛）丸清理设备应选用合适规格的铁丸，通常使用的铁丸粒度为 1.0～3.5mm，加入量应符合设备的技术要求。在抛丸机内循环使用的铁丸粒应均匀、保持干净，铁片、碎铁丸、砂子及灰尘等杂物总量不能大于 15%。

⑥ 喷（抛）丸清理设备应保持良好的密闭性，抛丸器叶轮未完全停止转动时，不允许打开抛丸机端盖或抛丸室门，以免抛丸飞出伤人。

⑦ 清理时铁丸的抛出量可视铸件大小、形状而定。通常是由少增多，在正常操作时可控制在 60～70kg/min。

⑧ 抛丸室清理时，正确地选择铸件的挂放位置及相邻铸件的最小间距，并使铸件牢稳地挂在钩上。铸件承受抛丸时间按工艺规定，不准超员装载。

⑨ 一次装多件时，应使铸件各部尽可能都喷（抛）上铁丸，如一次喷（抛）不净，可再次调整位置进行第二次喷（抛）丸处理。

⑩ 抛丸器运转时应保持稳定，如有振动应及时停车检查。对叶片、分丸轮、定向套及护板也要经常检查，根据磨损情况及时更换。通常，所用抛丸器的一套叶片质量差不允许超过 4g，在同一直径的一对叶片质量差不允许大于 3g，若不符合此要求，则应立即停车检查，及时更换或调节叶片的密度。

6）采用风动工具表面铲光的控制要点如下：

① 铲前先将软管内的脏物吹净，以保证压缩空气清洁不含水分。

② 应根据铸件的材质选择铲刀刀刃的角度，一般清铲铸铁件铲刀刀刃角度为 75°。

③ 铲时手要握住錾子，然后慢慢给气，等完全掌握住錾子后才给全气，否则錾子容易飞出伤人。

④ 在清铲过程中翻转大件，必须垫木块，严禁摔坏铸件。

⑤ 铸件上的披缝、飞边、毛刺、“多肉”及胀箱和错箱造成的凸起部分应铲平，使铸件表面光滑无粘砂、无疙瘩，符合工艺要求。

⑥ 要经常注意软管（即风带）接头的螺母是否松动，以防软管甩起伤人。

⑦ 风铲不要随意扔在地上，以免掉进砂子影响风铲使用。

⑧ 清铲完毕，应将风铲放在煤油内洗涤擦干，并涂上轻润滑油。

⑨ 錾子尾柄硬了、坏了，易把风铲衬套弄坏，弄坏了的衬套必须及时更换。

⑩ 錾子尾柄端面应加工成与风铲轴心绝对垂直，否则会影响清铲效率。

7）采用砂轮机表面打磨的控制要点如下：

① 根据铸件材质选定砂轮材料。通常铸件的材质越硬，砂轮材料就应当越软。反之铸件的材质越软，砂轮的材料就应当越硬。

② 打磨前应用木槌轻击砂轮，如声音清脆，便可使用；如声音破杂，则砂轮有裂纹，应停止使用，并进行更换。

③ 开动砂轮机后，应待速度稳定时，才能进行打磨，通常砂轮的圆周速度可控制在 25～30m/s，过高的速度可能引起砂轮破裂。

④ 打磨时，铸件待磨部分应放在砂轮外圆的当中，切不可用力过大，要逐渐施力。如打磨过程中发生有异常声音时，则应立即停机检查。

⑤ 对于成批或大量生产的中小型铸件，可设计专门工夹具或专用多面磨床进行打磨，以提高

生产率。

⑥ 使用手提式手轮机时，应注意磨削方向，以防迷眼。手提式手轮不可放在地面上，以免进入砂子影响使用，更不可放在潮湿和具有腐蚀性或易爆炸性的气体环境中，以免电动机绝缘腐蚀和产生爆炸危险。

⑦ 砂轮机应经常维护保养，砂轮片磨损至一定程度要及时更换。更换时，拧紧螺母用力应均匀，以防砂轮破裂。

(3) 铸件清理质量的检验（控制）重点　铸件清理质量的检验（控制）重点如下：

① 清理后的铸件在外表面上，一般不允许有粘砂、氧化皮和影响零件装配及影响外观质量的缺陷。

② 铸件应棱角清晰、表面平整，外露的非加工表面直线度偏差在规定的范围内。

③ 机械加工基准面（孔）或夹持面要光洁平整。

④ 铸件内腔应无残留砂芯块、芯骨、飞边和毛刺等“多肉”类缺陷，尤其是铸件的盛油部位，必须仔细清理，不得留有任何粘结物和阻塞油路的飞边、毛刺等。

⑤ 铸件的几何形状必须符合图样要求。非加工面上的清理创伤不应大于该处尺寸偏差，加工面上的创伤不应大于该处加工余量的 1/2。

⑥ 铸件上的外露孔应修磨光滑，铸造孔应打通。

⑦ 应铲除铸件上的浇注系统、冒口、飞边、毛刺及多肉残余量。除特殊情况外，允许有一定残留量，其数值见表 4-95 和表 4-96。

表 4-95　铸铁件上允许存留的清铲余量（供参考）

类　别	非加工面				加工面	
	凸出高度/mm		占所在表面积的百分数(%)		凸出高度/mm	占所在表面积的百分数(%)
	外表面	非外表面	外表面	非外表面		
浇冒口残余量	0～0.5	<2	—	—	<2～4①	—
毛刺残余量	0	<2	—	—	<1～2	—
胀砂残余量	<1	<2	2	4	<2	<15
多肉(渗出物)残余量	<1	<2	—	—	<2	—

① 视铸铁件最大尺寸而定，如果铸铁件最大尺寸≤500mm，则应 <2mm，铸铁件最大尺寸 >1500mm，则应 <4mm。

表 4-96　铸钢件上允许存留的冒口切割余量（供参考）

冒口直径或宽度/mm	<100	101～200	201～300	301～400	401～500	501～600	601～800	801～1000	1001～1200	>1200
切割余量 S/mm	+3 −1	+5 −2	+8 −2	+12 −2.5	+16 −3	+20 −3	+30 −4	+40 −4	+60 −5	+70 −6

注：铸钢件上的补贴亦应参照表中规定。

⑧ 对于铸铁件而言，有些企业根据铸件验收技术条件规定错箱允许不修的极限值，其数值见表 4-97。

3. 铸件热处理质量的控制（检验）

铸件热处理是铸造生产中为消除铸件的内应力和提高铸件的力学性能，或改变其金相组织调整其力学性能，而经常需要进行的一种铸件后处理。

表 4-97　铸铁件上允许错偏量（供参考）

铸铁件分型面长度/mm	非加工表面允许错偏量/mm	加工表面允许错偏量
≤100	<0.6	均不大于加工余量的$\frac{1}{2}$
101～250	<1	
251～500	<1.5	
501～1250	<2	
>1250	<2.5	

（1）铸件热处理分类　铸件的大多数都可以通过热处理进行固溶强化、晶粒细化强化、相变强化、析出强化和弥散强化等来进一步提高其强度、韧性、塑性、抗疲劳性、耐磨性和耐蚀性等，以充分发挥铸件的使用性能。

生产中的铸件热处理方法也较多，其分类如图 4-36 所示。

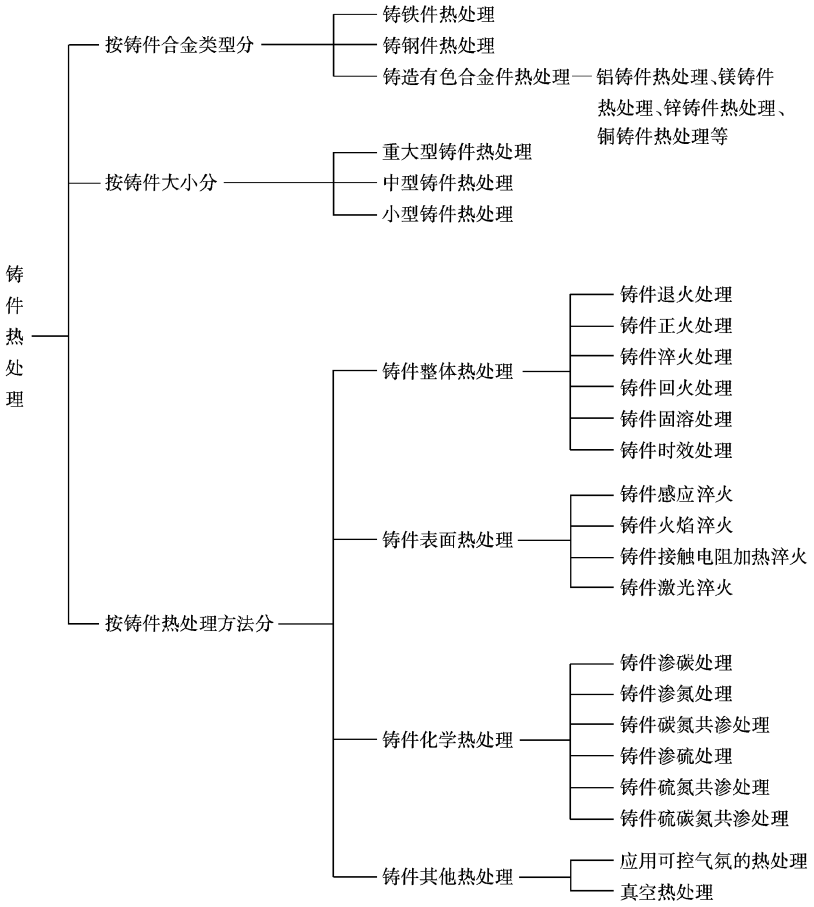


图 4-36　铸件热处理分类

（2）铸件热处理过程的控制（检验）

1）铸件热处理过程的一般控制（检验）。铸件热处理过程的一般控制应包括：热处理炉类型、炉温仪表与控制装置及其维修、铸件材料种类、铸件结构形状及大小、铸件装炉及摆放位置、加热温度与加热速度及保温时间、炉内各区温度分布、冷却方式与冷却介质等，如图 4-37 所示。

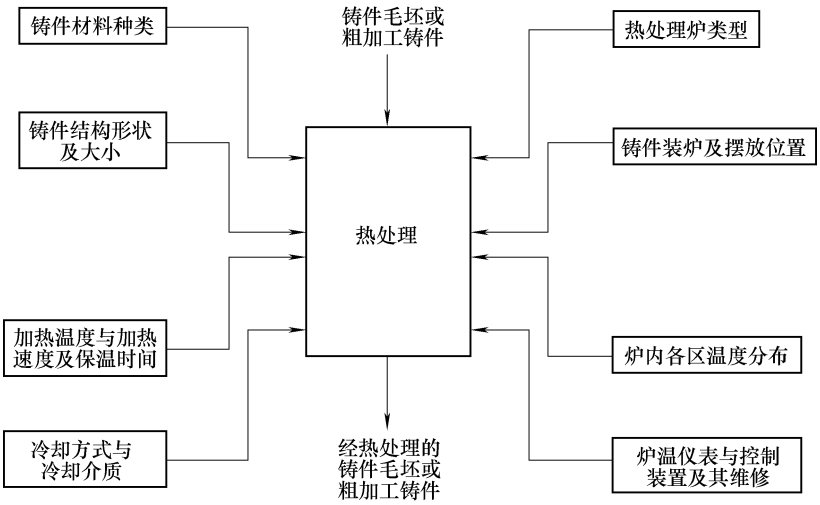


图 4-37　铸件热处理过程控制的示意图

2）铸件热处理过程的控制项目与检验方法见表 4-98。

表 4-98　铸件热处理过程的控制项目与检验方法（供参考）

控制项目	控制内容	检验依据及方法	检验者	备　注
热处理前	炉温仪表及控制装置是否经鉴定合格，是否处于正常状态	依据高温仪表校检制度，观察检验	机电维护员和检验员	检验范围为每个班次
	铸件装炉（摆放位置、性能试样、数量等）是否符合有关规定的要求	依据工艺规定或操作规程，观察检验	热处理工和检验员	检验范围为每炉次
热处理操作	加热温度、保温时间是否符合规定；炉内各区温度差的绝对值不应大于 5℃	依据热处理工艺规定，使用测温仪表和计时器检验	热处理工和检验员	
热处理后	冷却方法及淬火温度（时效退火等）、冷却介质温度是否符合规定	依据热处理工艺规定，使用测温仪表进行检验	检验员	
	检查铸件冷却或经淬火后是否有裂纹变形等缺陷	依据标准和图样，用目视放大镜、着色或磁粉探伤等方法观察检验	检验员	检验范围为每个铸件
	有硬度等要求的铸件，应按规定检查铸件硬度等	依据标准、图样或技术协议，用硬度计等检验	检验员	检验范围为每炉次

（3）铸件热处理的控制重点　铸件热处理的控制重点应是热处理的加热温度、加热速度和保温时间等。

1）铸件退火处理的控制要点如下：

①　铸钢件退火处理的控制。铸钢件退火温度可按图 4-38 和表 4-99 进行控制。

表 4-99　铸钢件退火温度的控制（供参考）

退火方法	退火温度的计算公式	允许温度偏差/℃
完全退火	Ac_3 +(30 ~ 50)℃	±25
不完全退火	Ac_1 +(30 ~ 50)℃	±25
球化退火	[Ac_1 +(10 ~ 20)℃] ~ [Ac_1 -(20 ~ 30)℃]	±15
均匀化退火	Ac_3 +(150 ~ 200)℃	±35
低温退火	Ac_1 -(100 ~ 200)℃	±25

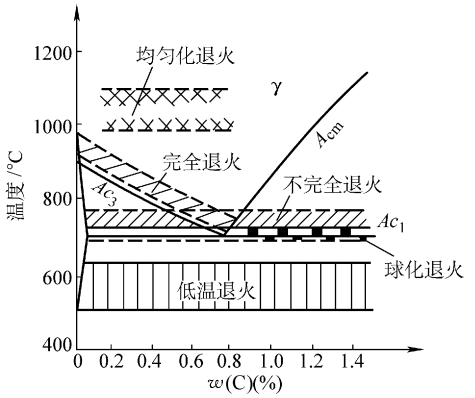


图 4-38　铸钢件退火温度示意图

铸钢件退火一般是随炉加热，加热速度不应太高，以防止加热过程中开裂。

a. 形状复杂的碳钢件，当炉温升到 650 ~ 800℃时，应缓慢升温，或在此温度下保温一段时间。

b. 高合金钢大型铸件退火时，在 700℃以下加热速度应为 30 ~ 70℃/h，温度超过 700℃后加热速度可增大为 80 ~ 100℃/h。

保温时间决定于铸件的结构与壁厚、钢的化学成分、炉温、装炉方式及装炉量，一般可按 1.5 ~ 2.5min/mm（厚度或直径）估算进行控制。

大型铸钢件退火保温时间，可按下式计算进行控制。

$$t = K + 0.25Q$$

式中　t——保温时间（h）；

Q——装炉量（t）；

K——常数（$\phi \geqslant 100$mm，$K=6$；$\phi < 100$mm，$K=4$）。

铸钢件完全退火加热速度、保温时间以及冷却速度和出炉温度，可参考表 4-100 进行控制。

表 4-100　铸钢件完全退火加热速度、保温时间以及冷却速度和出炉温度的控制（供参考）

牌号	截面尺寸/mm	装炉		650 ~ 700℃		700℃ ~ 退火温度		冷却速度/(℃/h)	出炉温度/℃
		温度/℃	保温时间/h	升温速度/(℃/h)	保温时间/h	升温速度/(℃/h)	保温时间/h		
ZG200-400、ZG230-450、ZG270-500	<200	≤650	2	—	—	120	1 ~ 2	≥120	450
	201 ~ 500	400 ~ 500	2	70	3	100	2 ~ 5		400
ZG200-400、ZG230-450、ZG270-500	501 ~ 800	300 ~ 350	3	60	4	80	5 ~ 8	≥120	350
	801 ~ 1200	260 ~ 300	4	40	5	60	8 ~ 12		300
	1201 ~ 1500	≤200	5	30	6	50	12 ~ 15		250
ZG310-570、ZG20SiMn、ZG35CrMo	<200	400 ~ 500	2	80	3	100	1 ~ 2	≥80	350
ZG35SiMn、ZG35SiMnMo、ZG40Mn、ZG30CrMnSi	201 ~ 500	250 ~ 350	3	60	4	80	2 ~ 5	≥80	350
	501 ~ 800	200 ~ 300	4	50	5	60	5 ~ 8		300
ZG5CrMnMo	<500	250 ~ 300	2	40	2 ~ 4	70	2 ~ 5		200
	501 ~ 1000	≤200	4	30	5 ~ 8	50	5 ~ 10		200

② 铸铁件退火处理的控制。铸铁件退火温度可按图 4-39 和表 4-101 进行控制。

铸铁件退火的加热速度一般按 50 ~ 100℃/h，复杂铸件控制在 50℃/h 以下。

保温时间决定于铸件的结构与壁厚、化学成分、炉温及装炉量等。

表 4-101　铸铁件退火温度的控制（供参考）

退火方法	退火温度的计算公式
低温石墨化退火	[Ac_1 + (20 ~ 30)℃] ~ [Ac_1 - (50 ~ 80)℃]
高温石墨化退火	Ac_1 + (170 ~ 270)℃
脱碳退火	Ac_1 + (220 ~ 320)℃

a. 低温石墨化退火的保温时间，一般为 2 ~ 8h。

b. 高温石墨化退火的保温时间，一般为 1 ~ 4h，若碳硅含量高可取小值；若硫多、稳定碳化物的元素多则可取大值，并适当延长。

c. 高硅耐蚀铸铁件退火的高温保温时间为 4h 左右，随至炉内缓冷保温时间达 90h 左右。

③ 铸造有色合金件退火处理的控制，见表 4-102。

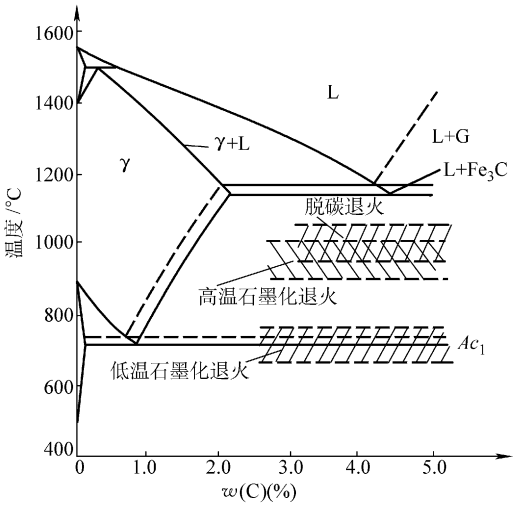


图 4-39　铸铁件退火温度示意图

表 4-102　铸造有色合金件退火处理的控制（供参考）

铸造有色合金件		退火类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类　型	合金代号或牌号				
铝合金铸件	ZL101、ZL102	普通退火	300 ± 10	2 ~ 4	空冷或随炉冷
	ZL202		290 ± 5	3	空冷
	ZL401		300 ± 10	2 ~ 4	空冷
镁合金铸件	ZM3	普通退火	325 ± 5	3 ~ 5	空冷
	ZM5		350	2 ~ 3	空冷
钛合金铸件	ZTA1、ZTA2、ZTA3	普通退火	600 ~ 700	—	空冷
		去应力退火	500 ~ 600	—	空冷
	ZTA5、ZTA7	普通退火	800 ~ 850	—	空冷
		去应力退火	550 ~ 600	—	空冷
	ZTC4	普通退火	700 ~ 800	—	空冷
		去应力退火	500 ~ 650	—	空冷
	ZT3	去应力退火	650	—	空冷
	BT3-1Л①		530 ~ 620	—	空冷
	BT14①		550 ~ 650	—	空冷
铜合金铸件	ZCuSn10Pb1	去应力退火	500 ~ 550	2 ~ 3	空冷或随炉冷
	特殊黄铜		250 ~ 350	2 ~ 3	空冷
	锡青铜	消除铸造缺陷退火	650	3	随炉冷或空冷

① 俄罗斯牌号。

2）铸件正火处理的控制

① 铸钢件正火处理的控制。铸钢件采用普通正火时，正火温度应稍高于铸钢件完全退火温度，具体如下（见图 4-40）：

a. 亚共析钢铸件为 Ac_3 + (40 ~ 60)℃。

b. 共析钢和过共析钢铸件 A_{cm} + (40 ~ 60)℃。

铸钢件正火加热速度与保温时间应和铸钢件完全退火加热速度与保温时间相同，并且随铸件的结构与壁厚、化学成分、炉温、装炉方式及装炉量等不同而不同。

铸钢件采用二段正火时，应先将铸钢件加热到 Ac_1 以上规定温度，使之完全奥氏体化，并把铸件快冷到相变点 Ac_1 以下的火色消失的 550℃左右，然后再放入炉内。

铸钢件采用等温正火时，应先用热风把铸钢件从正火温度快冷到与等温转变图鼻子相当的 550℃左右，然后再在等温炉内使其进行等温转变（550℃ ×2h），最后再空冷到室温。

铸钢件采用双重正火时，第一次正火的目的是通过扩散以使组织均匀化，要在较高的温度下进行；第二次正火目的是为了细化晶粒，可在通常的正火温度下进行。

② 铸铁件正火处理的控制。铸铁件正火温度可按图 4-41 和表 4-103 进行控制。

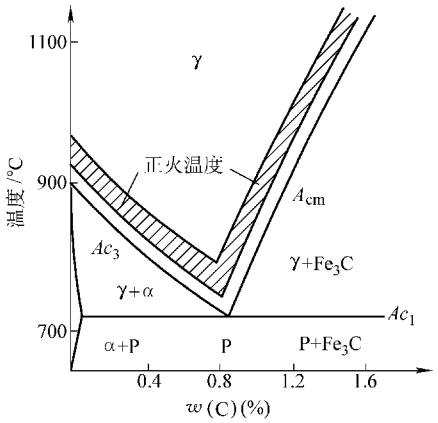


图 4-40　铸钢件正火温度示意图

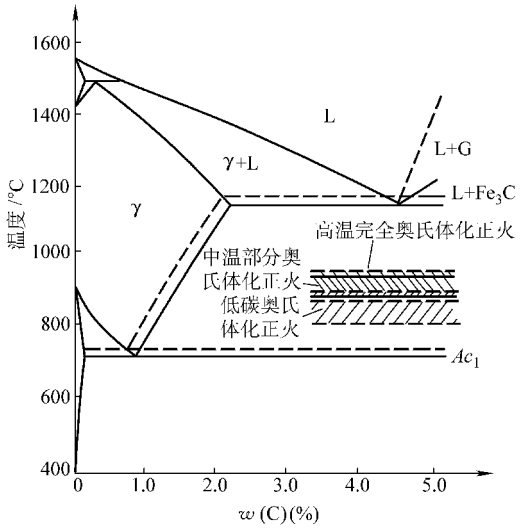


图 4-41　铸铁件正火温度示意图

表 4-103　铸铁件正火温度的控制（供参考）

正火方法	正火温度的计算公式
普通正火(高温奥氏体化正火)	Ac_1 + (180 ~ 220)℃
中温正火(部分奥氏体化正火)	Ac_1 + (80 ~ 160)℃
低碳正火(低碳奥氏体化正火)	Ac_1 + (170 ~ 200)℃

铸铁件正火加热速度与保温时间和铸铁件石墨化退火时间相似。

铸铁件正火冷却方式为空冷或雾冷。

③ 铸造有色合金件一般不采用正火方法。

3）铸件淬火处理的控制要点如下：

① 铸钢件淬火处理的控制。铸钢件淬火温度应以得到均匀细小的奥氏体晶粒为原则，以便淬火后获得细小的马氏体组织，可按图 4-42 及以下各式进行控制。

亚共析钢铸件：碳钢铸件为 Ac_3 + (30 ~ 50)℃；合金钢铸件为 Ac_3 + (50 ~ 70)℃。

共析钢和过共析钢铸件：碳钢铸件为 Ac_1 + (30 ~ 50)℃；合金钢铸件为 Ac_1 + (50 ~ 70)℃。

一般铸钢件淬火的加热速度可按炉子功率控制。

对于形状复杂、要求变形小或用高合金钢铸造的铸件，必须考虑加热速度，减少淬火变形及开裂倾向。通常，加热速度可为 50 ~ 100℃/h。

铸钢件淬火保温时间一般以 45 ~ 60min/100mm（壁厚）估算控制。

铸钢件淬火冷却方式可按图 4-43 和表 4-104 进行控制。

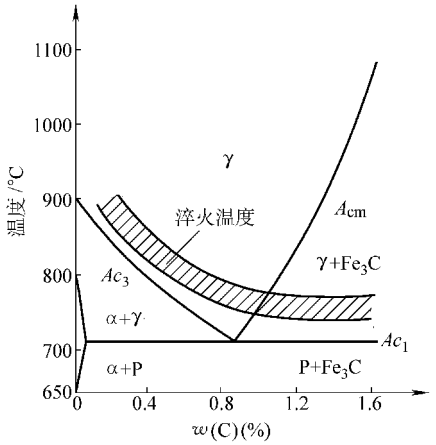


图 4-42　铸钢件淬火温度示意图

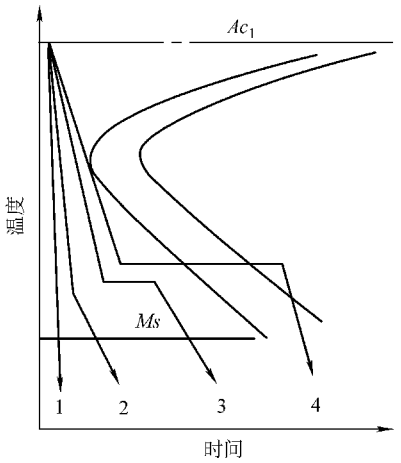


图 4-43　铸钢件淬火冷却方式示意图

1—单液淬火冷却　2—双液淬火冷却
3—分级淬火冷却　4—等温淬火冷却

表 4-104　铸钢件淬火冷却方式控制说明

淬火冷却方式	控 制 说 明
单液淬火冷却	铸钢件加热后淬入单一淬火介质中 淬火介质可是水、油、空气、压缩空气或循环空气、盐浴以及各种水溶性淬火介质
双液淬火冷却	铸钢件加热后，先淬入冷却能力强的淬火介质中，在铸件还未达到该淬火介质温度之前即取出，再迅速淬入另一种冷却能力较缓慢的淬火介质中冷却 淬火介质通常采用水-油或水-空气。由水到油，所需的时间不超过 2s
分级淬火冷却	铸钢件加热后，先淬入温度稍高或稍低于钢的上马氏体点温度的液体介质（盐浴或碱浴），保持适当时间，待铸件内外层都达到介质温度后取出空冷
等温淬火冷却	铸钢件加热后，浸入低温盐槽，使其在贝氏体转变温度区间保温，然后取出空冷

② 铸铁件淬火处理的控制。铸铁件淬火温度选择在共析转变温度范围以上，可按表 4-105 进行控制。

表 4-105　铸铁件淬火温度的控制（供参考）

铸铁件类别		淬火温度/℃	
		普通淬火	等温淬火
灰铸铁件		850 ~ 870	—
球墨铸铁件		860 ~ 900	860 ~ 930
白口抗磨铸铁件	普通白口铸铁件	—	890 ~ 910
	低铬稀土白口铸铁件	—	980
	Cr-Mo-Cu 马氏体白口铸铁件	980	—
	硼白口铸铁件	940（高碳低硼） 980（低碳高硼）	— —
	中铬白口铸铁件	880 ~ 920	—
	钨铬白口铸铁件	900 ~ 920	—
	高铬白口铸铁件	930 ~ 1100	—

铸铁件淬火加热速度，可按铸钢件淬火加热速度一样控制。

灰铸铁件淬火保温时间，一般为 0.5 ~ 1.5h。

球墨铸铁件淬火保温时间，在气体介质炉中加热一般为 0.5 ~ 1.5h；在盐浴炉中加热，基体为珠光体的铸件可按 45 ~ 60s/mm 控制，基体为铁素体的铸件可加倍控制。

球墨铸铁件和白口抗磨铸铁件等温淬火保温时间，在盐浴炉中加热可按 40 ~ 45s/mm 控制；在气体介质炉中加热可延长 2 ~ 3 倍。

白口抗磨铸铁件淬火保温时间和等温淬火保温时间，一般为 1 ~ 4h。

铸铁件淬火采用的淬火介质可以是油、水、空气和热盐浴。通常，形状简单灰铸铁件和球墨铸铁件可用水淬，水温 40℃，淬至 200 ~ 300℃立即取出；复杂铸件可淬入 80 ~ 100℃油中，以防止铸件开裂和变形。白口抗磨铸铁件用空冷或油淬。

球墨铸铁件和白口抗磨铸铁件等温淬火的淬火介质是热盐浴，上贝氏体等温淬火盐浴控制温度为 350 ~ 380℃，下贝氏体等温淬火盐浴控制温度为 280 ~ 320℃，保温时间为 60 ~ 180min。

③ 铸造有色合金件淬火处理的控制见表 4-106。

表 4-106　铸造有色合金件淬火处理的控制（供参考）

铸造有色合金件		淬火类型	加热温度/℃	保温时间	冷却方式
类型	合金牌号				
铜合金铸件	ZCuAl10Fe4Ni4、ZCuAl10Fe3	普通淬火	870 ~ 925	每 10mm 壁厚保温 1h	水淬

4）铸件回火处理的控制要点如下：

① 铸钢件回火处理的控制。铸钢件低温回火温度为 150 ~ 250℃；铸钢件高温回火温度为 500 ~ 650℃。

在各种回火温度下，硬度变化最剧烈的时间一般在最初的半小时内，回火时间超过 1 ~ 2h 后硬度变化很小。因此，铸钢件的回火保温时间一般控制在 1 ~ 4h 或按 1h/25mm（壁厚）估算控制。

在要求硬度的一定范围内，回火温度越高，需要回火保温的时间越短。

在一定回火温度下，随回火保温时间的延长，硬度将逐渐下降。

铸钢件回火后，一般在空气中冷却。

对于一些重要的机器铸钢件或工模具铸钢件，为了防止重新产生内应力和变形、开裂，通常都采用缓慢的冷却方式。

对于有高温回火脆性的铸钢件，回火后应进行油冷或水冷，以抑制回火脆性。

② 铸铁件回火处理控制。铸铁件低温回火温度为 140 ~ 250℃；铸铁件中温回火温度为 350 ~ 450℃；铸铁件高温回火温度为 550 ~ 600℃。

铸铁件回火保温时间一般控制在 1 ~ 4h，大件可延长回火保温时间。

铸铁件回火后，一般在空气中冷却，也可进行风冷、油冷或水冷。

③ 铸造有色合金件回火处理的控制见表 4-107。

表 4-107　铸造有色合金件回火处理的控制（供参考）

铸造非铁合金件		回火类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类型	合金代号或牌号				
铝合金铸件	ZL101	稳定化回火	220 ~ 230	3 ~ 5	空冷
	ZL105		220 ~ 240	3 ~ 5	
	ZL106		225 ~ 235	8	

（续）

铸造非铁合金件		回火类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类型	合金代号或牌号				
铝合金铸件	ZL108	稳定化回火	230～250	6～10	空冷
	ZL117		205～215	4～8	
	ZL204A、ZL205A		185～195	3～5	
	ZL208		210～220	16	
	ZL101	软化回火	245～255	3～5	
	ZL206		170～180	4～6	
			295～305	3～5	
镁合金铸件	ZM1	稳定化回火	170～180	12	
			213～223	8	
	ZM2		320～330	5～8	
	ZM4		200～250	5～12	
铜合金铸件	ZCuAl10Fe4Ni4	淬火后回火	565～645	每 25mm 壁厚保温 1h	
	ZCuAl10Fe3	淬火后回火	700～740	2～4	
		消除缓冷脆性回火	850～870	2	
	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	淬火后回火	535～545	2	

5）铸件固溶处理的控制要点如下：

① 铸钢件固溶处理的控制见表 4-108。

表 4-108　铸钢件固溶处理的控制（供参考）

铸钢件		固溶处理类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类型	合金牌号				
奥氏体不锈钢铸件	ZG03Cr18Ni10	普通固溶处理（加热方式宜采用先低温预热，再快速加热到固溶温度，以减少加热过程中铸钢件表面与心部的温差）	1050～1100	决定于铸钢件壁厚，一般按 2.5～3min/mm（壁厚）估算，保证铸件各截面全部热透即可	可以水冷、油冷或空冷，其中以水冷常用，空气冷却仅适用于薄壁铸件
	ZG06Cr19Ni10		1080～1130		
	ZG12Cr18Ni9		1050～1100		
	ZG12Cr18Ni9Ti		950～1050		
	ZG06Cr17Ni12Mo2Ti		1000～1050		
	ZG08Cr18Ni12Mo2Ti		1100～1150		
	ZG06Cr18Ni11Nb		1100～1150		
	ZG03Cr18Ni10		1040～1120		
	ZG03Cr19Ni11Mo3		1040～1120		
	ZG07Cr19Ni9		1040～1120		
	ZG08Cr19Ni10Nb		1065～1120 870～900 稳定化		
	ZG07Cr19Ni11Mo3		1065～1120		
	ZG07Cr19Ni10		1095～1150		

（续）

铸钢件		固溶处理类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类型	合金牌号				
奥氏体不锈钢铸件	ZG17Cr18Ni9	普通固溶处理（加热方式宜采用先低温预热，再快速加热到固溶温度，以减少加热过程中铸钢件表面与心部的温差）	1095～1150	决定于铸钢件壁厚，一般按 2.5～3min/mm（壁厚）估算，保证铸件各截面全部热透即可	可以水冷、油冷或空冷，其中以水冷常用，空气冷却仅适用于薄壁铸件
	ZG08Cr19Ni11Mo3		1040～1120		
	ZG06Cr23Ni13		1095～1150		
	ZG03Cr26Ni5Cu3Mo3N		1100～1150		
	ZG20Cr25Ni20		1095～1175		
	ZG015Cr21Ni26Mo5Cu2		>1120		
	ZG12Cr17Mn13N		1100		
	ZG12Cr17Mn13Mo2CuN		1100		
	ZG06Cr17Mn13Mo2CuN		1100		
奥氏体耐热钢铸件	ZG12Cr14Ni14Mo2WNb	普通固溶处理	1180	按 2.5～3min/mm（壁厚）估算	油冷或水冷
	ZG12Cr25Ni13Ti		1160～1180		
	ZG30Cr18Ni25Si2		1100		
	ZG40Cr22Ni4N		1100～1150		
	ZG30Cr24Ni7N		1100～1150		
	ZG30Cr18Mn12Si2N		1100～1150		
沉淀硬化不锈钢铸件	ZG06Cr17Ni4Cu2	普通固溶处理（最好先缓慢预热到 650℃，然后再快速升温，也可热炉装炉。为消除铸件中，特别是厚大件存在的树枝状组织及成分偏析的不均匀性，最好在固溶处理前进行高温均匀化处理，均匀化温度为 1000～1150℃，保温时间根据铸件壁厚而定）	1020～1060，形状复杂的铸件可为 927	按 25mm 壁厚 1h 估算	水冷或空冷
	ZG06Cr17Ni4Mo2Cu2				
高锰钢铸件	ZGMn13-1	水韧处理（薄壁简单铸件采用较快速率加热；厚壁铸件宜采用缓慢加热，常用预先在 650℃ 保温，再快速升温）	1050～1080	按 25mm 壁厚 1h 估算	水韧处理时铸件入水前的温度应在 950℃ 以上，铸件从出炉到入水不应超过 2min，水温保持在 40℃ 以下
	ZGMn13-2				
	ZGMn13-3				
	ZGMn13-4				

② 铸铁件一般不采用固溶处理。

③ 铸造有色合金件固溶处理的控制见表 4-109。

表 4-109　铸造有色合金件固溶处理的控制（供参考）

铸造有色合金件			固溶处理类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类型	合金代号或牌号					
铝合金铸件	ZL101		普通固溶处理	535 ± 5	2 ~ 6	60 ~ 100℃水冷
	ZL105			550 ± 5	16	65 ~ 100℃水冷
	ZL201			530 ± 5 540 ± 5	7 ~ 9 7 ~ 9	— 60 ~ 100℃水冷
	ZL203			515 ± 5	10 ~ 15	80 ~ 100℃水冷
	ZL301			430 ± 5	12 ~ 20	沸水或 50 ~ 100℃油冷
	ZL305			435 ± 5 490 ± 5	8 6	— 80 ~ 100℃水冷
镁合金铸件	ZM5[①]	Ⅰ组	普通固溶处理	415 ± 5	14 ~ 24	空冷
		Ⅱ组			6 ~ 12	
	ZM7			415 ± 5	8 ~ 16	
	ZM10			410 ± 5	18 ~ 24	
铜合金铸件	ZCuBe0. 6Co2. 5		普通固溶处理	900 ~ 925	每 10mm 保温 1h	水冷
	ZCuBe0. 6Ni2			915 ~ 930	每 10mm 保温 1h	
	ZCuBe2			770 ~ 790	每 25mm 保温 1h	
	ZCuBe2. 4					
	ZCuCr1			980 ~ 1000	每 25mm 保温 1h	
高温合金铸件	K403		普通固溶处理	1210	4	空冷
	K418、K218			1180	2	
	K438、K38G			1120	2	
	K80			1210℃/2h 空冷 + 1090℃/4h 空冷 + 1050℃/4h 缓冷		
	DZ4			1220	4	空冷
	DZ22			1205	2	
	K213			1100	4	
	K214			1100	5	

① ZM5 铸件Ⅰ组系指壁厚大于 12mm 和壁厚虽小于 12mm 但局部厚度大于 25mm 的砂型铸件，其余均为Ⅱ组。在固溶处理时，可先在（375 ± 5）℃保温 2h，然后再升温至（415 ± 5）℃保温，前段的 2h 保温时间不计入固溶处理的保温时间之内。

6）铸件时效处理的控制要点如下：

① 铸钢件时效处理的控制见表 4-110。

表 4-110　铸钢件时效处理的控制

铸钢件		时效处理类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类型	合金类型				
铸造耐热钢	奥氏体型	沉淀硬化时效处理	550 ~ 850		空冷
铸造工程结构用中、高强度马氏体不锈钢	沉淀硬化不锈钢		560 ~ 650	4	空冷
一般铸钢件	—	除氢时效处理	200 ~ 320	每 25mm 壁厚需 20 ~ 25h	空冷

② 铸铁件时效处理的控制。在铸铁件的时效处理中主要指的是灰铸铁件的时效，其目的是为了减少铸件的残余应力。

灰铸铁件的时效温度越高，铸件的残余应力消除越显著，铸件的尺寸稳定性也越好，但铸件的力学性能有所下降。灰铸铁件的时效温度，一般选择为 530～620℃或按下式计算进行控制。

$$T = 480 + 0.4R_m$$

式中　R_m——直径 30mm 标准试棒的抗拉强度（MPa）。

T——时效温度（℃）。

保温时间的影响要比时效温度的影响小，一般按每小时热透铸件 25mm 控制。

加热速度一般选择 50～100℃/h，复杂铸件应控制在 20℃/h 以下。

随炉冷却速度应控制在 30℃/h 以下，在 200℃后再出炉空冷。

对于要求特别高的精密仪器灰铸铁件，也可在铸态和粗加工后进行二次时效处理。

③ 铸造有色合金件时效处理的控制见表 4-111。

表 4-111　铸造有色合金件时效处理的控制（供参考）

铸造有色合金件		时效处理类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类　型	合金代号或牌号				
铝合金铸件	ZL101	不完全人工时效	145～155	2～4	空冷
		完全人工时效	195～205	3～5	
	ZL101A	不完全人工时效	150～160	6～8	空冷
		完全人工时效	160～170	6～10	
	ZL104	完全人工时效	170～180	5～10	空冷
	ZL105	不完全人工时效	175～185	5～10	空冷
	ZL106	人工时效	225～235	8	空冷
		不完全人工时效	145～155	3	空冷
	ZL107	不完全人工时效	170～180	6～8	空冷
	ZL108	人工时效	185～195	8～12	空冷
		完全人工时效	170～180	14～18	
	ZL109	人工时效	200～210	8～12	空冷
		完全人工时效	165～175	14～18	
	ZL110	人工时效	200～220	10～16	空冷
		完全人工时效	200～220	8～12	
	ZL111	完全人工时效	170～180	6	空冷
	ZL115	不完全人工时效	155～165	4	空冷
	ZL117	完全人工时效	175～185	4～8	空冷
	ZL201	不完全人工时效	170～180	3～5	空冷
	ZL203	不完全人工时效	145～155	2～4	空冷
	ZL204A	完全人工时效	170～180	3～5	空冷
	ZL205A	不完全人工时效	150～160	8～10	空冷
		完全人工时效	170～180	3～5	
	ZL206	不完全人工时效	145～155	2～4	空冷
		完全人工时效	170～180	4～6	

（续）

铸造有色合金件		时效处理类型	加热温度/℃	保温时间/h	冷却方式
类型	合金代号或牌号				
铝合金铸件	ZL207	人工时数	195～205	5～10	空冷
	ZL209	完全人工时数	165～175	3～5	空冷
	ZL401	人工时效	190～210	5～10	空冷
	ZL402	不完全人工时效	152～162	6～8	空冷
		人工时效	180	10	
		自然时效	室温	21d	—
镁合金铸件	ZM1	人工时效	170～180	28～32	空冷
			190～200	16	
	ZM2	人工时效	320～330	5～8	空冷
	ZM4	人工时效	195～205	8～12	空冷
	ZM5	完全人工时效	170～180	16	空冷
			195～205	8	
	ZM6	完全人工时效	195～205	12～16	空冷
	ZM7	完全人工时效	145～185	12	空冷
	ZM10	完全人工时效	185～195	4～8	空冷
铜合金铸件	ZCuBe0.6Co2.5、ZCuBe0.6Ni2	人工时效	460～480	3～5	空冷
	ZCuBe2、ZCuBe24	人工时效	310～330	2～4	空冷
	ZCuCr1	人工时效	450～520	2～4	空冷
高温合金铸件	K418	人工时效	930	16	空冷
	K438、K38G	人工时效	850	24	空冷
	K80	人工时效	840	16	空冷
	DZ4、DZ22	人工时效	870	32	空冷

（4）铸件热处理质量的检验项目与要求　铸件退火、正火处理质量检验项目与要求见表4-112。铸件淬火回火处理质量检验项目与要求见表4-113。铸件火焰淬火回火处理质量检验项目与要求见表4-114。铸件感应加热淬火回火处理质量检验项目与要求见表4-115。铸件渗碳与碳氮共渗淬火回火处理质量检验项目与要求见表4-116。铸件气体氮碳共渗处理质量检验项目与要求见表4-117。铸件气体渗氮处理质量检验项目与要求见表4-118。铸件离子渗氮处理质量检验项目与要求见表4-119。

表 4-112　铸件退火、正火处理质量检验项目与要求（供参考）

热处理工序	热处理后检验项目	质 量 要 求
退火、正火处理	外观	铸件表面不能有有害裂纹及伤痕等缺陷
	表面硬度	1）铸件表面硬度测定位置应根据工艺文件的规定执行 2）铸件表面硬度的误差范围不能超过下表中的规定

（续）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="3">退火、正火处理</td><td>表面硬度</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="3">工艺类型</th><th colspan="6">表面硬度误差范围</th></tr>
<tr><th colspan="3">单件</th><th colspan="3">同一批件</th></tr>
<tr><th>HBW</th><th>HV</th><th>HRB</th><th>HBW</th><th>HV</th><th>HRB</th></tr>
<tr><td>正火</td><td>35</td><td>35</td><td>6</td><td>70</td><td>70</td><td>12</td></tr>
<tr><td>完全退火</td><td>35</td><td>35</td><td>6</td><td>70</td><td>70</td><td>12</td></tr>
<tr><td>不完全退火</td><td>35</td><td>35</td><td>6</td><td>70</td><td>70</td><td>12</td></tr>
<tr><td>等温退火</td><td>30</td><td>30</td><td>5</td><td>60</td><td>60</td><td>10</td></tr>
<tr><td>球化退火</td><td>25</td><td>25</td><td>4</td><td>50</td><td>50</td><td>8</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>根据正火与退火工艺类型及铸件材质种类的不同，应得到满足各自要求的正常组织：铸钢件退火后的组织　亚共析铸钢为铁素体及珠光体
共析铸钢为珠光体
过共析铸钢为珠光体及碳化物
灰铸铁件石墨化退火组织是使白口部分的渗碳体分解达到石墨化的组织
球墨铸铁件退火后组织应以铁素体为主
铸钢件正火后的组织为细小珠光体、索氏体
球墨铸铁件正火后的组织为珠光体或索氏体</td></tr>
<tr><td>变形</td><td>铸件的变形应不影响其以后的机械加工和使用
铸件弯曲的允许值不应超过下表中的规定
<table>
<tr><th rowspan="2">工艺类型</th><th colspan="2">每米允许弯曲的最大值③/mm</th></tr>
<tr><th>1 类①</th><th>2 类②</th></tr>
<tr><td>正火</td><td>0.5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>完全退火</td><td>0.5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>不完全退火</td><td>0.5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>等温退火</td><td>0.5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>球化退火</td><td>0.2</td><td>3</td></tr>
<tr><td>去应力退火</td><td>0.3</td><td>4</td></tr>
</table>
①1 类是铸件原样使用，或者只进行磨削或部分磨削加工
②2 类是难以矫正的或随后进行切削或部分切削加工的铸件
③表中允许弯曲的最大值系指铸件经矫正后的值</td></tr>
<tr><td>退火、正火处理</td><td>力学性能</td><td>铸件如需作力学性能检查，应在合同及工艺文件中注明。检查时应参照国标、厂标或有关规定</td></tr>
</table>

表 4-113　铸件淬火回火处理质量检验项目与要求（供参考）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="2">淬火回火处理</td><td>外观</td><td>在铸件表面不能有有害的裂纹及伤痕等缺陷</td></tr>
<tr><td>表面硬度</td><td>1）铸件表面硬度测定位置应根据工艺文件的规定执行。对于局部淬火回火件，应避免在淬火区与未淬火区的交界部分测定硬度
2）铸件表面硬度的误差范围，根据不同类型的淬火回火件，不能超过下表中规定
<table>
<tr><th rowspan="3">淬火回火铸件的类型</th><th colspan="6">表面硬度误差范围　HRC</th></tr>
<tr><th colspan="3">单件</th><th colspan="3">同一批件</th></tr>
<tr><th><35</th><th>35～50</th><th>>50</th><th><35</th><th>35～50</th><th>>50</th></tr>
<tr><td>特殊重要件</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>6</td><td>5</td><td>5</td><td>9</td><td>7</td><td>7</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="3">淬火回火处理</td><td>表面硬度</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">淬火回火铸件的类型</td><td colspan="4">表面硬度误差范围　HBW</td></tr>
<tr><td colspan="2">单件</td><td colspan="2">同一批件</td></tr>
<tr><td><330</td><td>330～450</td><td><330</td><td>330～450</td></tr>
<tr><td>特殊重要件</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>45</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>30</td><td>35</td><td>45</td><td>65</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>40</td><td>50</td><td>60</td><td>80</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">淬火回火铸件的类型</td><td colspan="6">表面硬度误差范围　HV</td></tr>
<tr><td colspan="3">单件</td><td colspan="3">同一批件</td></tr>
<tr><td><350</td><td>350～500</td><td>>500</td><td><350</td><td>350～500</td><td>>500</td></tr>
<tr><td>特殊重要件</td><td>25</td><td>35</td><td>60</td><td>40</td><td>55</td><td>100</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>30</td><td>45</td><td>80</td><td>50</td><td>80</td><td>120</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>45</td><td>70</td><td>120</td><td>70</td><td>90</td><td>150</td></tr>
</table>
注：1. 对大型铸件，其表面硬度误差可按照图样规定执行
2. 单件表面硬度误差是指随机抽检单件时硬度值的不均匀度，同一批件表面硬度误差是指用同一批材料在同一淬火回火条件下的铸件表面硬度值的偏差范围
</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>根据淬火回火工艺类型及铸件材质的不同，应得到满足各自要求的正常组织
铸钢件淬火回火后的组织为回火马氏体、托氏体或索氏体
球墨铸铁件淬火低温回火后的组织为细针状回火马氏体和残留奥氏体；淬火中温回火后的组织为回火托氏体和残留奥氏体；淬火高温回火后的组织为回火索氏体和残留奥氏体</td></tr>
<tr><td>变形</td><td>铸件淬火回火的变形应不影响其以后的机械加工和使用
铸件弯曲的允许值不应超过下表中的规定
<table>
<tr><th>类　　型</th><th>每米允许弯曲的最大值④/mm</th></tr>
<tr><td>1 类①</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>2 类②</td><td>5</td></tr>
<tr><td>3 类③</td><td>不要求</td></tr>
</table>
①1 类为成品原样使用，或者只进行研磨或进行部分磨削
②2 类为毛坯进行切削加工或部分切削加工
③3 类为除 1 类和 2 类以外的铸件
④表中允许弯曲的最大值系指淬火回火铸件经矫修后的值</td></tr>
</table>

表 4-114　铸件火焰淬火回火处理质量检验项目与要求（供参考）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="2">火焰淬火回火处理</td><td>外观</td><td>铸件表面不应有过烧、熔化、裂纹等缺陷</td></tr>
<tr><td>表面硬度</td><td>铸件表面硬度的误差范围应符合下表中的规定
<table>
<tr><td rowspan="3">铸件的类型</td><td colspan="4">表面硬度误差范围　HRC</td></tr>
<tr><td colspan="2">单件</td><td colspan="2">同一批件</td></tr>
<tr><td>≤50</td><td>>50</td><td>≤50</td><td>>50</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>5</td><td>4</td><td>6</td><td>5</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>6</td><td>5</td><td>7</td><td>6</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="3">火焰淬火回火处理</td><td>表面硬度</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">铸件的类型</td><td colspan="4">表面硬度误差范围　HV</td></tr>
<tr><td colspan="2">单件</td><td colspan="2">同一批件</td></tr>
<tr><td>≤500</td><td>>500</td><td>≤500</td><td>>500</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>55</td><td>85</td><td>75</td><td>105</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>75</td><td>105</td><td>95</td><td>125</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">铸件的类型</td><td colspan="4">表面硬度误差范围　HS</td></tr>
<tr><td colspan="2">单件</td><td colspan="2">同一批件</td></tr>
<tr><td>≤80</td><td>>80</td><td>≤80</td><td>>80</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>6</td><td>8</td><td>8</td><td>10</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>8</td><td>10</td><td>10</td><td>12</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>有效硬化层深度</td><td>铸件有效硬化层的波动范围不许超过下表中的规定
<table>
<tr><td rowspan="2">铸件有效硬化层深度/mm</td><td colspan="2">深度波动范围/mm</td></tr>
<tr><td>单件</td><td>同一批件</td></tr>
<tr><td>≤1.5</td><td>0.2</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>>1.5~2.5</td><td>0.4</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>>2.5~3.5</td><td>0.6</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>>3.5~5.0</td><td>0.8</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td>>5.0</td><td>1.0</td><td>1.5</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>硬化区范围</td><td>1）硬化区范围按图样或有关技术文件规定的表面硬化区而定，必须规定合理的允许偏差
2）整体表面淬火的板件，其非淬硬边缘和轴件的非淬硬端部不大于 10mm
3）大型铸件允许留软带，其宽度不大于 10mm，软带间距应大于 100mm</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>淬火部位的金相组织根据铸件的材料和性能要求应为正常的淬火组织或淬火回火组织</td></tr>
<tr><td>变形</td><td>处理后铸件的变形量应不影响以后的机械加工质量和使用性能。具体铸件允许的变形量由有关双方协商确定</td></tr>
</table>

表 4-115　铸件感应加热淬火回火处理质量检验项目与要求（供参考）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="3">感应淬火回火处理</td><td>外观</td><td>铸件表面不应有裂纹、锈蚀和影响使用的伤痕等缺陷</td></tr>
<tr><td>表面硬度</td><td>1）铸件表层淬火的表面硬度波动范围，应根据要求相应符合下表中的规定
<table>
<tr><td rowspan="3">铸件的类型</td><td colspan="4">表面硬度波动范围② HRC</td></tr>
<tr><td colspan="2">单件</td><td colspan="2">同一批件①</td></tr>
<tr><td>≤50</td><td>>50</td><td>≤50</td><td>>50</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>5</td><td>4</td><td>6</td><td>5</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>6</td><td>5</td><td>7</td><td>6</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">铸件的类型</td><td colspan="4">表面硬度波动范围　HV</td></tr>
<tr><td colspan="2">单件</td><td colspan="2">同一批件①</td></tr>
<tr><td>≤500</td><td>>500</td><td>≤500</td><td>>500</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>55</td><td>85</td><td>75</td><td>105</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>75</td><td>105</td><td>95</td><td>125</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="5">感应淬火回火处理</td><td>表面硬度</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">铸件的类型（仅适用于某些大型铸件）</td><td colspan="4">表面硬度波动范围　HS</td></tr>
<tr><td colspan="2">单件</td><td colspan="2">同一批件①</td></tr>
<tr><td>≤80</td><td>>80</td><td>≤80</td><td>>80</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>6</td><td>8</td><td>8</td><td>10</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>8</td><td>10</td><td>10</td><td>12</td></tr>
</table>
① 同一批件系指 8h 内处理的尺寸、材质及工艺相同的铸件，当同一铸件不同部位要求硬度各异时，硬度波动是指要求硬度相同部位的波动
② 硬度测定位置应按检验规范的规定执行，硬化区边缘不应为测定部位
2）铸件穿透淬火的表面硬度波动范围可参照 GB/T 16294—2008</td></tr>
<tr><td>有效硬化层深度</td><td>1）简单形状铸件的有效硬化层深度波动范围应符合下表的规定
<table>
<tr><td rowspan="2">有效硬化层深度/mm</td><td colspan="2">深度波动范围②③/mm</td></tr>
<tr><td>单件</td><td>同一批件①</td></tr>
<tr><td>≤1.5</td><td>0.2</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>>1.5～2.5</td><td>0.4</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>>2.5～3.5</td><td>0.6</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>>3.5～5</td><td>0.8</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td>>5</td><td>1.0</td><td>1.5</td></tr>
</table>
① 同一批件系指 8h 内处理的尺寸、材质及工艺相同的铸件，当同一铸件的不同部位要求的硬化层深度各异时，深度波动是指要求硬化层深同部位的波动
② 硬化层深度测定的位置应按检验规范的规定执行，硬化区边缘不应为测定部位
③ 除非特别说明，图样上硬化层深度为有效硬化层深度
2）复杂形状和大型铸件的有效硬化层深度，经有关方面商定，允许有较大的波动范围</td></tr>
<tr><td>硬化区范围</td><td>硬化区范围为图样或有关文件规定的表面硬化区，应有合理的允许偏差</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>处理部位的金相组织应为铸件要求的正常组织</td></tr>
<tr><td>变形</td><td>铸件处理后的变形量应不影响以后的机械加工质量和使用性能，具体铸件允许的变形量由有关方面商定</td></tr>
</table>

表 4-116　铸件渗碳与碳氮共渗淬火回火处理质量检验项目与要求（供参考）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="3">渗碳与碳氮共渗淬火回火处理</td><td>外观</td><td>铸件不得有裂纹及碰伤，表面不得有锈蚀</td></tr>
<tr><td>表面硬度</td><td>铸件表面硬度的偏差范围不得超过下表中的规定
<table>
<tr><td rowspan="2">渗碳铸件种类</td><td colspan="2">表面硬度偏差范围　HRC</td></tr>
<tr><td>单件</td><td>同一批件</td></tr>
<tr><td>重要件</td><td>3</td><td>5</td></tr>
<tr><td>一般件</td><td>4</td><td>7</td></tr>
</table>
注：1. 局部渗碳或碳氮共渗的铸件，硬度测量位置不应在渗层边界附近
2. 重要件是指对机械的重要性能有影响，因而对质量要求特高的铸件，除此均属一般件</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="3">渗碳与碳氮共渗淬火回火处理</td><td>硬化层深度</td><td>铸件有效硬化层深度偏差不得超过下表中的规定
<table>
<tr><th rowspan="2">有效硬化层深度/mm</th><th colspan="2">深度偏差范围/mm</th></tr>
<tr><th>单件</th><th>同一批件</th></tr>
<tr><td>≤0.5</td><td>0.1</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td>>0.5~1.5</td><td>0.2</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td>>1.5~2.5</td><td>0.3</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>>2.5</td><td>0.5</td><td>0.6</td></tr>
</table>
注：局部渗碳或碳氮共渗的铸件，硬度测量位置不应在渗层边界附近</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>根据铸件的要求，达到各自的正常组织</td></tr>
<tr><td>变形</td><td>铸件的变形应符合技术要求</td></tr>
</table>

表 4-117　铸件气体氮碳共渗处理质量检验项目与要求（供参考）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="3">气体氮碳共渗处理</td><td>外观</td><td>铸件的色泽要均匀，不允许有裂纹、剥落及伤痕等缺陷</td></tr>
<tr><td>表面硬度及渗层深度</td><td>1）处理后的不同材料铸件的表面硬度和渗层深度应符合下表中的规定
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">铸件材料类别</th><th rowspan="2">表面硬度 HV0.1（不小于）</th><th colspan="2">渗层深度/mm</th></tr>
<tr><th>化合物层</th><th>扩散层（不小于）</th></tr>
<tr><td colspan="2">碳素结构钢</td><td>480</td><td>0.008~0.025</td><td>0.20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">合金结构钢</td><td>不含铝</td><td>550</td><td>0.008~0.025</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td>含铝</td><td>800</td><td>0.006~0.020</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td colspan="2">合金工具钢</td><td>700</td><td>0.003~0.015</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td colspan="2">球墨铸铁及合金铸铁</td><td>550</td><td>0.005~0.020</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td colspan="2">灰铸铁</td><td>500</td><td>0.005~0.020</td><td>0.10</td></tr>
</table>
注：有特殊要求的铸件，如耐蚀件、薄件（厚度小于 1mm）、不锈钢或耐热钢、高速钢铸件等，可按其各自的技术要求，不受本表的限制
2）渗层深度：氮碳共渗层由化合物层及扩散层组成，化合物层疏松按 GB/T 22560—2008 标准进行评级</td></tr>
<tr><td>变形</td><td>铸件处理后的变形量应符合图样或有关技术文件要求</td></tr>
</table>

表 4-118　铸件气体渗氮处理质量检验项目与要求（供参考）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="2">气体渗氮处理</td><td>外观</td><td>1）铸件表面不应有裂纹、剥落等缺陷
2）铸件表面或经磨削加工后的表面不许有肉眼可见的疏松</td></tr>
<tr><td>渗氮层硬度和深度</td><td>1）铸件渗氮处理后应达到工艺要求的硬度
2）渗氮层硬度偏差值不许超过下表中的规定</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="4">气体渗氮处理</td><td>渗氮层硬度和深度</td><td>
<table>
<tr><td colspan="2">允许硬度偏差值　HV</td></tr>
<tr><td>单件</td><td>同一批件①</td></tr>
<tr><td>80</td><td>140</td></tr>
</table>
① 同一批件系指相同铸件材料牌号，经相同预备热处理，并在同一炉次渗氮处理后的全部铸件
3）渗氮层深度应达到工艺规定要求</td></tr>
<tr><td>表面脆性</td><td>表面脆性应符合 GB/T 11354—2005 标准的要求</td></tr>
<tr><td>变形</td><td>1）铸件渗氮后的变形量应符合工艺规定
2）渗氮铸件应尽量避免校直，在不影响铸件质量和技术要求及工艺许可时，可进行冷压校或热校直
3）冷、热校直后的渗氮铸件都应进行消除应力退火处理和探伤</td></tr>
<tr><td>局部防渗效果检验</td><td>铸件防渗部位不应使机械加工发生困难，且不应形成对性能有害的影响</td></tr>
</table>

表 4-119　铸件离子渗氮处理质量检验项目与要求（供参考）

<table>
<tr><th>热处理工序</th><th>热处理后检验项目</th><th>质 量 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="7">离子渗氮处理</td><td>外观</td><td>1）渗氮表面不应有明显的电弧烧伤和剥落等表面缺陷
2）铸钢、铸铁件渗氮表面应为银灰色或暗灰色，钛及钛合金铸件应为金黄色</td></tr>
<tr><td>表面硬度</td><td>渗氮铸件的表面硬度应符合工艺要求，其硬度偏差值不得超过下表中的规定
<table>
<tr><td colspan="4">允许硬度偏差值　HV</td></tr>
<tr><td colspan="2">单件①</td><td colspan="2">同一批件②</td></tr>
<tr><td>≤600</td><td>>600</td><td>≤600</td><td>>600</td></tr>
<tr><td>45</td><td>60</td><td>70</td><td>100</td></tr>
</table>
① 单件系指渗氮处理后的铸件本体
② 同一批件系指相同牌号，经相同预备热处理并在同一炉次渗氮处理后的铸件</td></tr>
<tr><td>硬度梯度</td><td>对需要精磨的渗氮铸件应作此项检查，将试样或渗氮铸件表面磨去工艺规定的磨量后测得硬度值应不低于成品铸件所要求的表面硬度</td></tr>
<tr><td>渗氮层深度</td><td>渗氮层深度应达到技术要求，可在铸件或试样上测定，偏差范围不得超出下表中的规定
<table>
<tr><td rowspan="2">渗氮层深度/mm</td><td colspan="2">允许深度偏差值/mm</td></tr>
<tr><td>单件</td><td>同一批件</td></tr>
<tr><td>≤0.3</td><td>0.05</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td>>0.3～0.6</td><td>0.10</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td>>0.6</td><td>0.15</td><td>0.20</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>表面脆性</td><td>参照 GB/T 11354—2005 标准中有关规定，以 1～3 级为合格</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>按照 GB/T 11354—2005 标准中有关规定评定，氮化物形态以 1～3 级为合格</td></tr>
<tr><td>局部防渗检验</td><td>局部防渗部位仍应保持原金属光泽，如发现有渗氮色则应进行硬度检验，硬度增高程度以不影响加工为合格</td></tr>
<tr><td>变形</td><td>铸件渗氮的变形量应符合技术要求</td></tr>
</table>

4. 铸件缺陷修复的质量控制（检验）

铸件缺陷修复是铸造生产中为去除不良品铸件中的缺陷，使修复后的铸件在外观、性能和寿命均能达到正品水平，并满足用户要求，而时常需要进行的一种铸件后处理工作。

铸件缺陷的修复原则如下：

- 如果技术上无把握，经济上得不偿失，就不宜进行铸件缺陷的修复。
- 铸件经认真修复后，可去除缺陷，在外观、性能和寿命等方面均能满足用户要求，并能作正品使用。
- 必要时还需得到产品设计部门的许可及用户的检验和鉴定。

（1）铸件缺陷修复的分类　铸造生产的工艺过程复杂，所生产出来的铸件不可避免地会出现一定数量的有缺陷的不良品，其中有一部分不良品的缺陷可通过修复进行挽救，使之成为合格的铸件，进而提高铸件的合格率，赢得交货时间，确保工期。

生产中铸件缺陷修复方法也较多，其分类如图 4-44 所示。

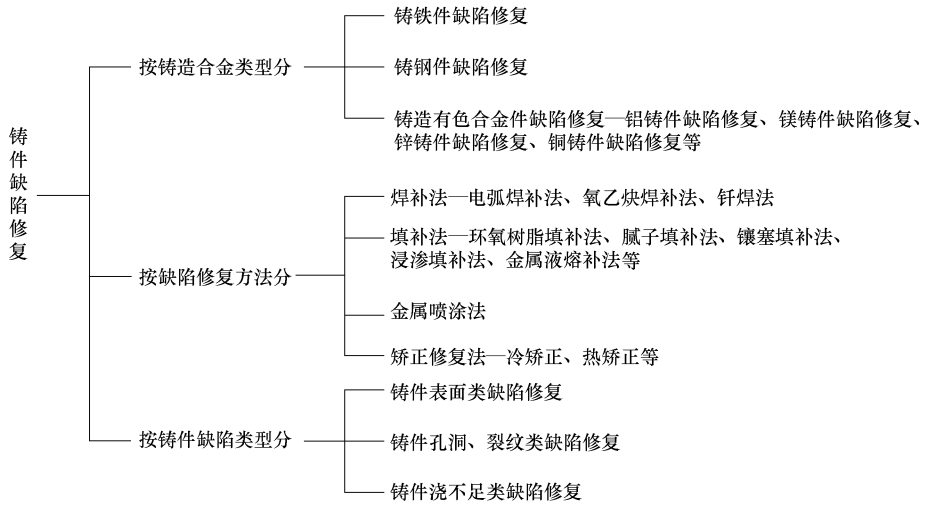


图 4-44　铸件缺陷修复分类

（2）铸件缺陷修复过程的控制（检验）

1）铸件缺陷修复过程的一般控制（检验）。铸件缺陷修复过程的一般控制应包括：铸件缺陷类型、铸件材料种类、铸件结构形状及大小、铸件缺陷修复方法、铸件缺陷修复时机、铸件缺陷修复工艺规程、修复材料、修复装置的选用与维修等，如图 4-45 所示。

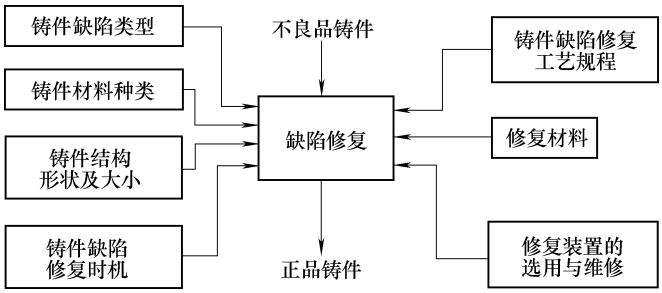


图 4-45　铸件缺陷修复过程控制的示意图

2）铸件缺陷修复过程的控制重点。铸件缺陷的修复必须针对不同的缺陷和要求选择适当的修复方法，并按照一定的工艺规程进行。另一方面，修复还必须选择适当的时机进行。

常用铸件缺陷的修复方法及适用范围见表 4-120。

表 4-120 常用铸件缺陷的修复方法及适用范围（供参考）

缺陷修复方法	修 复 特 点	适 用 范 围
电弧焊补法	1）冷焊，焊前铸件不预热或低温（＜400℃）预热 2）半热焊，焊前铸件预热到 400℃左右 3）热焊，焊前铸件预热到 500～700℃	主要用于铸钢件，其次用于铸铁件与有色合金铸件 冷焊、半热焊主要用于非加工面上的焊补、有时也用于加工面上的焊补 热焊多用于加工面上的焊补
氧乙炔焊法	1）不预热焊。不预热，但适当掌握加热减应区，焊后可加工，硬度、强度及颜色与母材基本相同，如若加热减应区掌握不当时，焊后也常易开裂 2）热焊。铸件通常加热到 600℃左右，然后快速焊，焊后在 650～700℃保温缓冷，焊后可加工，硬度、强度及颜色与母材基本相同	多用于铸铁件与有色合金铸件，铸钢件用得很少 不预热焊主要用于非加工面上的焊补 热焊多用于加工面上的焊补
环氧树脂粘补法	1）粘补处硬度高、耐磨、耐油、耐酸，但不耐高温，也不能承受较大的冲击载荷 2）冷补硬化时间长，热补硬化时间可缩短，通常是补后加热至 100～200℃，然后保温缓冷	可粘补工作温度在 100℃以下且不承受较大冲击载荷的各种铸件的表面缺陷
金属液熔补法	1）熔补用的金属液应与被熔补的铸件材质相同，或稍低一级 2）熔补后熔补处应缓慢地进行冷却，其颜色与铸件相同，可加工	主要用于熔补铸铁件的大孔洞或浇不足等缺陷
钎焊法	1）将钎料和铸件一同加热使钎料熔化，并流布于铸件的缝 隙或空洞中 2）钎焊后，铸件变形较小，且易于切削加工，但不宜在高温下工作	主要用于修复铸铁件和有色合金铸件孔洞和裂纹等缺陷
镶塞修复法	1）常用丝锥、塞子、塞板、套子等嵌镶于缺陷处 2）常用的嵌镶材料，可用铸铁、铜等，但在加工面上所用的材料，其硬度不宜超过铸件的硬度	主要用于修复铸件不影响使用性能的小孔洞和偏析等缺陷
金属喷镀充实法	1）用锌条作喷镀材料 2）喷镀后的铸件不能承受局部动力载荷，也不宜在较高温度（＞400℃）的情况下工作	主要用于修复铸件非加工面上的渗漏处
填补修复法	1）用腻子填补的缺陷，其深度不宜大于填补处截面厚度的 1/3（也不得超过 25mm） 2）用腻子填补的部分强度低，且不宜在较高温度（200℃以上）的情况下工作	主要用于修复铸件非加工面上的渗漏处以及不影响使用性能的小孔洞等缺陷
浸渗修复法	1）浸渗装置简单，操作容易，仅需将铸件浸入溶液，然后放于空气中晾干即可 2）浸渗后的铸件可在水、油、乳浊液及蒸汽中工作	主要用于修复铸件非加工面上的渗漏处
矫正修复方法	1）冷矫正可用锤击、压力机等进行，还可借助样板和胎模进行矫正 2）热矫正可局部加热，也可整体加热矫正，加热后可用锤击或压力机进行	可适用各种类型铸件的变形矫正，但耐磨铸铁件和高锰钢铸件不能作热矫正

铸件缺陷的修复时机应视铸件材料、缺陷大小与修复方法而定：

① 用金属喷涂法、填腻修补法、环境树脂粘补法等修复铸件，应在铸件热处理后和铲磨完毕后进行，否则铸件修复后再热处理，会破坏修复质量造成重复修复。

② 对于具有较大的裂纹、结构复杂件的大面积缺陷，以及焊接性差的铸件上的缺陷，应在热处理后或预热后进行焊补，以免因铸件塑性差、内应力大而在焊补时使原有裂纹扩展，或造成新的裂纹。

③ 对于材料为低、中碳素钢和低合金钢的形状结构简单的中小型铸件，若缺陷不大，最好在热处理前焊补，以便焊缝与热影响区的组织经热处理而得到改善，并省去焊补后的回火工序。

（3）铸件缺陷修复的控制要点

1）采用电弧焊焊补铸钢件的控制要点。采用电弧焊焊补铸钢件的控制要点如下：

① 做好以下焊补前准备工作：

a. 进行焊接坡口加工，并按铸钢件抗拉强度等级选用相应等级的焊条，且焊条在使用前应烘干。

b. 各种铸钢钢种焊补工艺规范见表 4-121。

表 4-121　各种铸钢钢种焊补工艺规范（供参考）

序号	牌　　号	焊条型号	焊条直径/mm	焊接电流/A	备　　注
1	ZG200-400	E4303	4	140～210	一般情况下不预热，当铸件体大，现场温度低于 -5℃ 时，要预热 100～150℃
2	ZG230-450				
3	ZG270-500				
4	ZG310-570	E4315	5	180～260	
5	ZG340-640	E5016			
6	ZG20SiMn	E4303	3～5	140～210	
7	ZG20CrMo	E5016	3～5	180～260	
8	ZG35CrMo	E5015	3～5	180～260	
9	ZG35SiMn、ZG40Mn	E5015	3～5	140～210	预热 150～250℃
10	ZG40Mn2	E5015	3～5	140～210	预热 200～350℃
11	ZG30CrMoV2	E5515-B2	3～5	不超过 200	预热 150～250℃
12	ZG15Cr1Mo1V	E5615-B2	3～5	不超过 200	预热 150～250℃
13	ZG15Cr13	E0-19-10-16 El-13—15	3～5	不超过 200	预热 150～250℃
14	ZG20Cr13	E0-19-10-16 El-13-15	3～5	不超过 200	预热 150～250℃
15	ZGMn13	EDM-A-16 EDM-B-16	3～5	140～210	焊接过程防过热

② 焊补一般铸钢件时应注意控制以下要点：

a. 通常尽可能在水平位置施焊，焊缝与母材要熔合好，防止有未焊透的现象发生。

b. 铸件表面堆焊焊波相互重叠时，要求每道焊波重叠不小于 1/3 焊波宽度。

c. 焊补过程应仔细清除焊渣及金属溅斑。

d. 焊补过程中不得采用吹风强制冷却。

③ 焊补不锈钢铸件时应注意避免过热，可采用冷水加速冷却。

④ 焊补高锰钢铸件时应注意在水淬后进行，并尽量采用小直径焊条、小电流。一般部位缺陷可用结构钢焊条，重要部位应用不锈钢或高锰钢焊条进行焊补。

⑤ 采用镶嵌金属块焊补缺陷时应注意控制以下要点：

a. 镶嵌块材质应与母材相同或相近，形状应与缺陷相似，尺寸大小也应接近，嵌块本身无铸造缺陷，其热处理状态应与焊件相同。

b. 焊补口的大小、形状视缺陷具体情况与缺陷部位而定，力求缺陷完全切除，尽重保留基体金属，焊补处内无飞边、棱角，几何形状简单，常用火焰或电弧气刨切割而成。

c. 将镶嵌块置于焊补口中，摆放妥当后画出电焊坡口线，作气割与砂轮打磨，准备完毕后应先将镶嵌块定位焊在焊补处，然后采用对称焊补法，以防镶块移动。

d. 镶嵌金属块多用于焊补低、中碳素钢和低合金钢铸件中一般部位的较大缺陷。

⑥ 采用填充圆钢焊补缺陷时应注意控制以下要点：

a. 作填充用的圆钢应为 $w(C)<0.3\%$ 的普通碳素钢，表面不得有锈蚀、油污及其他脏物。

b. 焊补口处应清理干净，不得有棱角、夹渣、缩松等，填充的圆钢应与铸件本体牢牢地焊为一体。

c. 非加工面焊补后，外表应光滑平整，加工面填充的圆钢应低于加工余量 5mm，圆钢以上作堆焊。

d. 圆钢填充多用于低碳钢铸件次要部位上的较大缺陷焊补。

⑦ 焊补铸钢件裂纹时应注意控制以下要点：

a. 正确选用焊条，焊条强度应与焊缝金属相适应，必要时应选用碱性低氢型焊条，焊前严格烘烤焊条。

b. 焊前对铸件作局部或整体预热，焊后应及时进行热处理，也可以利用热处理的余温，不作预热而进行焊补。

c. 正确选择焊补程序；遵循焊接规范，减小热输入，控制好层间温度，填满弧坑；控制焊缝断面形状，焊出宽面浅的焊缝；采用分步焊合法；焊补中仔细清除焊渣；采用风铲、尖锤锤击焊缝，消除局部应力。

⑧ 焊补铸钢件大型缺陷时应注意控制以下要点：

a. 面积大而深的缺陷应采用串级焊法或山形焊法，穿透性缺陷应考虑镶嵌焊补法。

b. 缺陷位于裂纹敏感部位（缺陷周围受刚性固定）时，为防止变形或产生新的裂纹，铸件应作整体预热或加热减免应力区焊补。

c. 同一铸件上有多处缺陷时，应先焊补小缺陷，后焊补大缺陷。大缺陷施焊时，应掌握焊区温度，温度过高时可用间隙散热法，但缺陷需一次焊补完成（焊补中断时间不得过长），为防止变形与裂纹，每焊一层均应锤击，以消除局部应力，薄壁部位可采用适当的刚性固定法焊补，以防止变形。

d. 焊后必须缓冷，或及时进炉热处理，以消除焊补应力，改善焊缝与热影响区的组织。

⑨ 焊补半圆形、环形、齿圈等铸钢件和预热焊补中容易产生变形的铸钢件时应注意控制以下要点：不论局部或整体预热，必须加焊刚性固定肋板后再进行预热焊补，在经过回火处理并冷至常温后再去除附加的刚性固定拉肋。

⑩ 焊补加工后返修铸钢件时应注意控制以下要点：

a. 为防止再次出现加工返修，要注意铸钢件的加工余量情况，搞清需要焊修的部位。

b. 熟悉和掌握需要焊补体现时的加工程度和热处理形式，选择合理的焊补工艺。

c. 缺陷周围的加工面，应用石棉板或其他物件盖好，防止焊渣和其他飞溅物损伤加工面。在吊运与翻转铸件时，要采取必要的保护措施，防止碰伤加工面；

d. 不应使焊补部位有过热现象，因此采用间断焊接，并尽量采用小电流和小直径焊条；

e. 凡焊补处没有特殊要求时，一般均应将焊缝打磨到与加工基准面取平。

⑪ 铸钢件焊补完毕后还应注意控制以下要点：

a. 清除焊区的焊渣、凸起的焊接金属、焊接金属溅斑，然后认真检查，发现有焊补缺陷应及时修复。

b. 按焊件结构、材质、缺陷具体情况确定热处理方案，凡应热处理的铸件应及时入炉，不能及时入炉的易裂件应采取保温措施。

c. 大型缺陷、受力部位的缺陷、较大的裂纹等焊补后，焊工应打上本人的钢印或焊上标记，以备查考。

d. 需检测或需作压力试验的铸件应单独存放，以便检验。

2）采用电弧焊焊补铸铁件的控制要点。电弧焊焊补铸铁件时易产生白口组织和裂纹，且只宜平焊，施焊时容易生成高熔点的氧化物，给焊补造成很大困难。因此，采用电弧焊焊补修复铸铁件缺陷时应注意控制以下要点：

① 应根据铸铁件材料、缺陷所在部位、缺陷的大小、焊补后是否作切削加工，以及铸件使用要求等条件，选用铸铁焊条。

② 焊补前应做好以下焊补口的准备工作：

a. 应清除焊补口及其周围的熔渣、泥沙、氧化物、油污等脏物，直到露出完好金属；

b. 对缺陷原有形状应作适当加工，全部切除焊补口内的飞边、棱角，开出底小口大的倾斜坡口。

③ 采用电弧焊冷焊铸铁件时，由于铸件焊前不需预热，故工艺过程简单，劳动条件好。采用该法最容易出现的问题是焊口及热影响区冷却速度快，易产生白口组织，使切削加工困难。此外，因焊补受热不均，产生焊接应力，甚至产生裂纹。因此，电弧焊冷焊铸铁件时还应掌握其工艺要点。

④ 采用电弧焊热焊铸铁件时，由于铸件温差小，冷却速度慢，因此有助于减少焊接应力、消除白口、防止裂纹。

⑤ 采用电弧焊半热焊铸铁件时，应采用钢芯石墨化型铸铁焊条，其焊缝强度、颜色与被焊铸件的材质相近，但加工性不稳定，因此常用于焊补非加工面上各类型的缺陷。如果使用特制铸铁芯焊条，则加工性稳定，抗裂性增强，可焊补加工精度要求高且处于刚度较大位置上的缺陷。

3）采用 CO_2 气体保护电弧焊焊补铸铁件和铸钢件的控制要点。CO_2 气体保护电弧焊焊补可修复铸铁件和铸钢件的缺陷，但不宜用于修复有色合金铸件的缺陷。通常，采用 CO_2 气体保护电弧焊修复铸铁件和铸钢件缺陷时应注意控制以下要点：

① CO_2 气体保护电弧焊焊补所用焊丝多采用 H08Mn2SiA 等，焊丝焊补前应脱脂和烘干，以免产生气孔。

② 选用直径为 0.8～1.0mm 的 H08Mn2SiA 焊丝焊补时，焊接电流应为 50～60A，电弧电压应为 18～22V，焊接速度应为 10～12m/h。

③ 开始焊补时电弧应稍长些，进入正常焊补时应采用短路过渡，以防止产生金属飞溅。

④ 用细焊丝焊补缺陷较大的铸件时，通常应采用分层或多道焊，其层间和焊道间的湿度及焊接顺序可参考焊条电弧焊选取。

⑤ 焊接收尾应注意填满焊坑和缺陷四周。

⑥ CO_2 气体保护电弧焊焊补后需缓冷，并可参考焊条电弧焊焊后缓冷的办法。

4）采用真空加压进行渗漏铸件浸渗补漏的控制要点。对于批量大、需要承受一定压力的中、小型铸件，可采用无机浸渗剂（如硫酸盐、铝酸盐、氯化硅、硅酸盐的悬浊液或胶体溶液等）真空加压浸渗法进行浸渗补漏。

真空加压浸渗补漏法是将经过预先处理（去污、清洗、脱脂、烘干）的需修复的渗漏铸件置于密封的压力容器内，密封后抽真空以排除铸件微孔缺陷中的空气、水分和微尘，消除加压时微孔缺陷中的气垫作用，然后向压力容器中注入浸渗剂，在压差动力作用下充填微孔缺陷，实现真空浸

渗；接着向压力容器内充入压缩空气，进一步使浸渗剂向铸件微孔缺陷的纵深处渗透，实现压力浸渗，其工艺流程如下：除油清洗→清水清洗→干燥→装罐→抽真空、保持真空度→进浸渗剂→加压、保持压力→放气、排液、出罐→钢铁铸件防锈→清洗→固化→试压检查。

采用真空加压进行铸件浸渗补漏的控制要点是：

合理选用浸渗剂和严格控制浸渗工艺参数：严格控制密封容器内的真空度（一般为 -0.098 ~ -0.093MPa）、压力（一般为 0.5 ~ 0.8MPa）与保持时间（两者均为 15min 左右）以及浸渗剂的固化温度和时间（用无机浸渗剂处理的铸件通常是在 80 ~ 100℃的烘箱中恒温固化 2 ~ 3h）。

5）采用内压式进行渗漏铸件渗透补漏的控制要点。内压式渗透补漏修复方法是将温度适当的补漏液灌入铸件渗漏部位的内腔并予以密封，然后对补漏液施加高于铸件正常工作压力的静压力，在静压力作用下使补漏液对铸件进行渗透补漏。

这种方法浸渗效果好，但劳动强度大、效率低，而且操作不便。一般用于不易真空加压浸渗的大型铸件。

常用的内压式渗透补漏剂由支撑物、粘结物和胶体填充物三部分组成，主要成分如下：

粘结物有水玻璃（$Na_2O \cdot mSiO_2$）1000g，其模数 M 为 2.2，密度为 1.5 ~ 1.55g/cm^3。

支撑物有粒度为 0.06mm（250 目）的亚麻籽粉或白茏粉（一种中草药）或木屑粉 16g。

填充物有明矾（$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$）5g，粒度为 0.06mm（250 目）的硅石粉（SiO_2）2.5g，粒度为 0.06mm（250 目）的 Fe_2O_3 粉（用于铸铁件和铸钢件，铸铝件用 Al_2O_3 粉）5g。

载液有氨水（氨∶水 = 1∶4）2g，工业乙醇 5g，质量分数为 20% 的 NaOH 溶液 70mL。

将以上物质均匀混合并搅拌 1h，制成补漏剂原液，在补漏剂原液中加入适量水，就成为可以使用的补漏剂。

采用内压式进行渗漏铸件渗透补漏的控制要点是只有使施加在补漏液上的压力大于铸件使用时的工作压力，才能保证铸件渗漏处在使用过程中不再发生渗漏。一般来说，补漏时施加的压力越大，铸件在使用时的可靠性越好。当然，补漏压力过大反而会使补漏液无法在缺陷通道中形成堆积堵塞，导致补漏失败。通常将补漏压力控制在铸件渗漏试验压力的 1 ~ 2 倍。例如，柴油机缸盖铸件的渗漏试验压力为 0.6MPa，采用 0.9 ~ 1MPa 的补漏压力，补漏效果就十分不错了。

6）采用环氧树脂进行渗漏铸件粘补渗漏的控制要点。环氧树脂粘补修复方法是利用环氧树脂粘结剂的强粘合力来修补铸件渗漏的一种方法。该法不宜在退火工序之前用环氧树脂粘补修复法修补渗漏的铸件，并且最好在涂装工序之前进行。

采用环氧树脂进行铸件粘补渗漏的质量控制要点如下：

① 修补前，应用砂纸、锉刀、刮刀或汽油、四氯化碳、丙酮等将待补缺陷进行表面清理，使其出现金属光泽，如果铸件有裂缝应先钻止裂孔并开坡口。

② 采用浇注法修补时，粘结剂必须沿着一个方向注入，并让它自然流过，这样不易产生气泡，硬化后表面光滑，但浇注时应高出铸件表面 1 ~ 2mm。

③ 采用刮涂法修补时，与刮腻子相似，如一次填不满，可数次刮入，直至填平，在热修补时，每次挑取树脂粘补剂都应将刮刀在酒精灯上加热，并在填满后也需将刮刀把填补处的粘结剂熨平。

④ 修补后，通常需用丙酮检验其是否硬化，即将丙酮滴数滴在粘结剂上，若有溶解沉淀现象发生则说明未硬化，若没什么反应则说明已完全硬化。

⑤ 环氧树脂粘结剂硬化后需进行机械加工，或用锉刀、细砂纸锉平打光，此外，环氧树脂粘结剂中的硬化剂和溶剂多是有害的物质，能刺激皮肤和呼吸气管，因此在修补时应有良好的通风设备，并带好防护用品。

7）采用腻子进行空洞铸件填补的控制要点。腻子填补修复方法分加热和不加热两种，但均不宜填补工作温度在 200℃以上的空洞或渗漏铸件。

① 加热填补修复缺陷时的控制要点如下：

a. 配制腻子时，应先将质量分数为 80% 的硫黄粉投入坩埚，并以炭火熔化（发现燃烧时应隔绝空气使其熄灭），再投入质量分数为 5% 的白矾，质量分数为 10% 的铝粉（或质量分数为 10% 的石墨粉），搅拌均匀，最后加入质量分数为 5% 的白芨粉（中药），急速搅拌后倒入玻璃容器内凝固而成。

b. 填补前应先将缺陷处清理干净，以氧乙炔中性焰或喷灯火焰将缺陷处加热至 300℃左右。

c. 填补时，将准备好的腻子涂抹于缺陷处，腻子遇热熔化，渗入缺陷深处，冷凝后即可堵塞空洞或渗漏处。

② 不加热填补修复缺陷时的控制要点如下：

此方法只能用于修补非受力部位的孔眼内缺陷，通常应按铸件颜色配制各种腻子，如质量分数为 75% 的铁粉、质量分数为 20% 的水玻璃、质量分数为 5% 的水泥配成的腻子。填补前应仔细清理缺陷处，不得有粘砂、脏物。填补时，用刮刀将腻子压入缺陷，压平刮实即可。

8）采用镶嵌柱塞进行孔洞铸件修复孔洞的控制要点。镶嵌柱塞粘补修复方法是一种用镶嵌金属块或金属楔子进行粘补修复的方法，如图 4-46 所示。

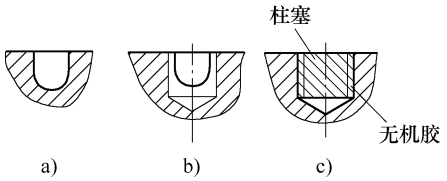


图 4-46　镶嵌柱塞粘补修复方法示意图

a）铸件上的气孔　b）钻孔　c）修复后

镶嵌柱塞粘补修复铸件孔洞的质量控制要点如下：

① 在铸件的孔洞类缺陷处扩孔，其直径应稍大于孔洞类缺陷的最大尺寸。

② 配制柱塞，其直径应比扩孔后的直径小 0.2 ~ 0.4mm。

③ 用丙酮等有机溶剂清洗扩孔和柱塞。

④ 用粘结剂（胶粘剂、粘合剂）涂覆孔壁，然后压入镶块。

⑤ 固化后对铸件的粘补表面进行修整。

镶嵌柱塞粘补修复法常用的粘结剂（胶粘剂、粘合剂）有：

环氧-聚硫橡胶粘结剂，其配方为（质量份）：E-44 环氧树脂 100、620 聚硫橡胶（M = 4000）20、氧化铝 10、金刚砂 15、乙二胺 8。

“HY-914”室温快速固化环氧粘结剂，为双组分粘结剂，由新型环氧树脂和低毒胺类固化剂组成，分别装在两个软管内，可长期存放。其特点是：固化速度快，比常用的双酚-A 型环氧粘结剂和脂肪胺类粘结剂快 5 ~ 6 倍，在温度为 20℃时，1h 可初步固化，3h 达到最高粘接强度，适用于急需粘补的铸件；使用方便，配胶时不必精确称量，只要近似地按比例（质量比 6∶1 或体积比 5∶1）挤出调匀后即可使用。

9）采用冷态进行变形铸件矫正的控制要点。冷态矫正是基于金属的塑性变形，靠的是金属的伸长，因此只适用于形状简单、塑性较好的薄壁铸件，如形状简单、变形量小的铸态铝合金铸件或变形量较大但塑性较高（如 ZL401）的铸态铝合金铸件等。对于塑性差的材质，其矫正变形量不宜过大，而具有脆性材质的铸件（如灰铸铁件等）则不允许采用冷态矫正。

冷态矫正铸件变形的质量控制要点如下：

① 液压机适用于轮廓尺寸较大、平均厚度较薄、结构复杂和易回弹变形的铸件矫正。摩擦压力机只适用于手工安放和取出的中小型铸件的矫正，且矫正模总高度应不小于工作台至滑块下止点的间距，但也不宜过高。

② 矫正设备压力选择不当会影响矫正后铸件的质量和矫正模的寿命。通常选择方法有三种：

a. 经验类比法：可参照实际生产中的类似铸件的矫正压力，选择要矫正铸件所需的矫正压力，进而确定矫正设备的型号与规格。

b. 经验公式法：用经验公式计算出要矫正铸件所需的矫正压力，据此选定矫正设备的型号与规格。其经验公式为

$$F = KA$$

式中　F——铸件的矫正压力（N）；

A——铸件的投影面积（mm^2）；

K——经验系数，一般为 100 ~ 150MPa。

c. 理论计算法：理论计算公式为

$$F = \frac{kb\delta^2 R_m}{e}$$

式中　F——铸件的矫正压力（N）；

δ——铸件壁厚（mm）；

b——铸件宽度（mm）；

e——跨距（mm）；

R_m——铸件材料的抗拉强度（MPa）；

k——系数，1.2 ~ 1.5。

③ 矫正模应有便于吊装的工艺孔，以及便于在矫正设备上安装和紧固的适当位置和结构。此外，还应有足够的强度和刚度，且工作表面应有一定的硬度和耐磨性。

10）采用火焰进行变形铸件矫正的控制要点。火焰矫正是局部加热矫正的特殊形式，它是建立在压缩塑性变形的基础上的。因此，厚度大和变形量大的铸件不宜采用火焰矫正，但壁薄、塑性好、面积大、变形量小的薄板类铸件却很适合。

变形铸件采用火焰进行矫正的质量控制要点如下：

① 火焰矫正常用氧乙炔中性焰，可使用线状加热法或三角形加热法。加热部位须在伸长边或伸长面上（见图 4-47），加热温度为 700 ~ 850℃。温度过低，矫正效果差；温度过高，又容易形成过热组织。

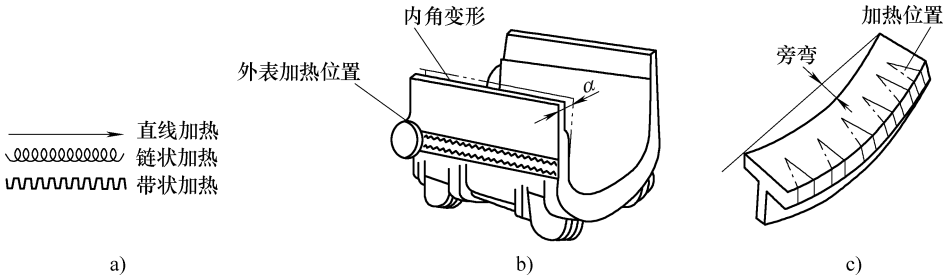


图 4-47　火焰矫正铸件变形的常用方法

a）线状加热法　b）角变形及加热位置　c）旁弯曲及三角形加热位置

② 火焰矫正效果不仅取决于温度高低，而且取决于加热位置、冷却速度。对刚性较大的铸件可施加外力，以加强矫正效果。

③ 一次加热未能矫正的铸件，可重复加热多次矫正，但重新加热的位置不得与已经加热过的部位重合。

11）在热处理过程中进行变形铸件矫正的控制要点如下：

① 矫正前，待矫正铸件应画线，确定其变形尺寸与变形位置，并在相应部位作标记。飞边、毛刺等应清理干净，保持平整。

② 一般变形铸件的装压方式：基本平面向下，用垫铁垫稳、垫实，局部变形的翘起部位向上，下面再安放适当数量的垫铁。垫铁与铸件间的空隙应等于该处的变形尺寸，然后选择适当质量的压铁（或规格合适的铸件），装在变形部位上；若压铁过多使铸件失掉平衡，则应在未变形端放置压铁，以保持铸件平衡并保证变形部位下平面与垫铁间的空隙。

③ 平板类与轮类（轮毂不高于轮缘的轮），最好装放在平面胎具上进行矫正。同一规格件数量

多时，可成叠装入。变形件装在中下层时，可不再使用垫铁和压铁。

④ 箱体类铸件变形部位上需加压铁时，应考虑箱体壁局部变形，因此铸件箱体内应装放垫铁，使箱面垫实，以免箱壁变形影响矫正效果。

⑤ 在热处理过程的矫正变形操作中还应注意控制以下要点：

a. 压铁应有足够的质量，加压部位应准确。

b. 矫正变形应在完全退火或正火过程中进行，个别件可在调质淬火前进行，若利用低温退火或回火过程矫正变形，势必因温度较低而增加压铁的质量，造成矫正效果不理想。

c. 加温时应注意使铸件上下温度均匀。

d. 每块垫铁均需避开铸件的铸孔、孔边凸台，以及粗糙不平的表面、薄壁处，以防支垫不良。

（4）铸件缺陷修复后的质量要求与检验　铸件缺陷经修复后应按照检验铸件的同一标准进行检验，并符合铸件的质量要求。此外，还应注意控制以下要点：

1）球墨铸铁件经焊补后应进行消除内应力热处理。

2）可锻铸铁件未经需方同意不允许进行任何形式的修补，但是，铸件在热处理过程中产生的变形可通过矫正的方法消除，矫正可在室温下进行，但特殊情况下可采用热矫正。

3）一般工程用铸造碳钢件的缺陷可进行焊补，但焊补后不应影响铸件力学性能。

4）一般工程用中、高强度不锈钢铸件采用同材质马氏体型焊条焊补时，一般应在软化退火后最终热处理之前进行。

5）高锰钢铸件缺陷允许焊补，焊补前必须将缺陷部位清理干净，焊补后应不影响铸件的使用和外观质量。铸件产生的变形，允许在水韧处理后，在室温下进行矫正。

6）一般用途耐热钢和合金铸件的重大焊补需经需方同意，焊补后的铸件应符合质量要求，并应在图样或照片上标出各个焊补的部位或范围，这些文件应在交货时提交给需方。铸件产生的变形，允许在热处理后矫正。

7）一般用途耐蚀钢铸件的重大焊补需经需方同意，焊补后的铸件应符合质量要求，并应在图样或照片上标出各个焊补的部位或范围，这些文件应在交货时提供给需方。铸件产生的变形，允许在热处理后校正。对尺寸稳定性要求高的受力件，矫正后应进行消除应力处理。

8）铝合金铸件的变形允许用机械方法矫正，矫正后的铸件不应有裂纹。采用氩弧焊焊补的铝合金铸件允许的焊补面积、焊补处数和焊补最大深度应符合铝合金铸件合格品的规定。凡以热处理状态供应的铝合金铸件，焊补后需按原规定状态进行热处理，热处理后的铝合金铸件应按规定检验力学性能，且在焊补区不得有裂纹、未焊透、未熔合等缺陷。

9）镁合金铸件的变形允许矫正，矫正后的铸件不应有裂纹。采用氩弧焊焊补的镁合金铸件，允许的焊补面积、深度、个数和间距应符合镁合金铸件合格品的规定。凡以热处理状态供应的镁合金铸件，焊补后应按原状态进行热处理，Ⅰ、Ⅱ类镁合金铸件焊补处需经荧光（或其他相应的检验方法）或 X 射线无损检验，且焊区不允许有裂纹、分层和未焊透。

10）铜合金铸件的变形允许矫正，但变形量大的重要铸件矫正后应进行消除内应力处理。采用焊补方法修复的铜合金铸件，其允许的焊补面积、焊补处数和焊补深度应符合铜铸件合格品的规定。凡经焊补的铜合金铸件，应在焊补处做出标记，且焊补处应修理平整，不得有裂纹。

5. 铸件表面防锈处理的质量控制（检验）

铸件表面防锈处理是铸件清理和检验结束后及铸件入库前为防止铸件生锈，在铸件非加工面或全部表面上涂以防锈材料等，而时常需要进行的一种铸件后处理工作。

（1）铸件表面防锈处理分类　铸件在储存过程中，通常要进行防锈处理，除涂装防锈外，还可对铸件采用一些其他防锈处理措施。

生产中的铸件表面防锈处理方法也较多，其分类如图 4-48 所示。

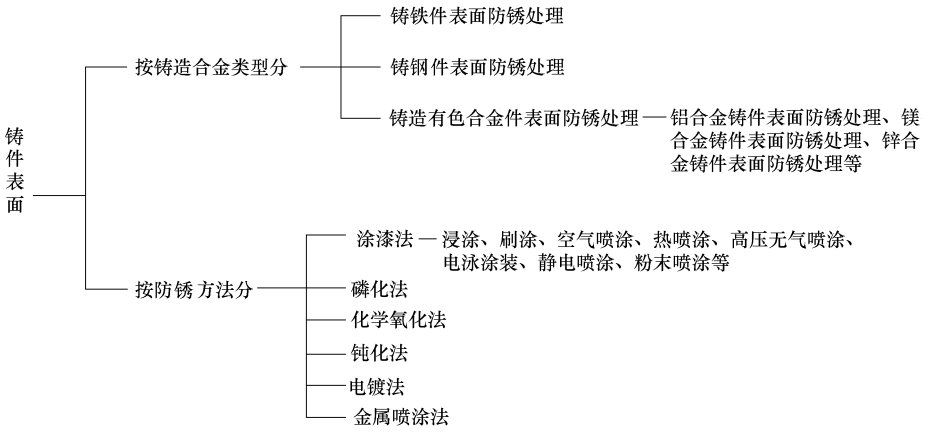


图 4-48　铸件表面防锈分类

（2）铸件表面防锈处理过程的控制（检验）

1）铸件表面防锈处理过程的一般控制（检验）。铸件表面防锈处理过程的一般控制应包括：铸件材料种类、铸件结构形状与大小、铸件防锈处理前的表面清理、铸件防锈处理时机、铸件表面防锈处理工艺规程、防锈处理材料、防锈处理装置的选用与维修等，如图 4-49 所示。

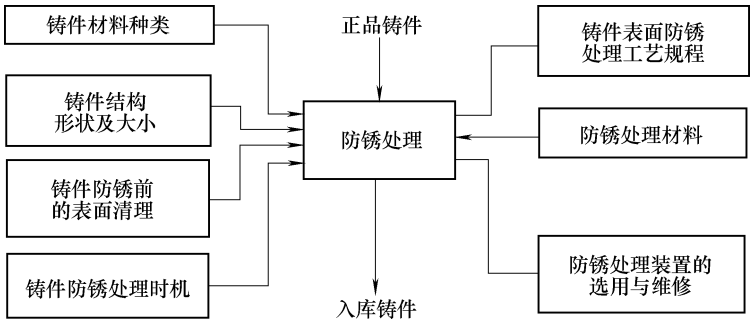


图 4-49　铸件表面防锈处理过程控制的示意图

2）铸件表面防锈处理过程控制的重点如下：

铸件表面防锈处理过程控制的重点应是铸件防锈处理前的表面清理、防锈处理时机及防锈处理材料的选择，以及防锈处理的工艺规程。

（3）铸件表面防锈处理的控制要点：

1）钢铁铸件表面防锈涂装的控制要点如下：

① 钢铁铸件涂装前应做好以下准备工作。

a. 铸件涂装前应进行清砂与表面清理，铸造缺陷应经过修正或焊补，铸件表面不得有粘砂、黑皮、飞边、铁锈、尘土等异物，表面应有金属光泽。

b. 铸件清理后不宜搁置很久才涂装，一般应在清理后 6h 内涂装，南方潮湿地区的夏季不宜超过 4h。这是因为铸件经喷丸、喷砂等方式处理后表面活化，很容易生锈，形成肉眼难以察觉的小锈斑，这些小锈斑在涂层下会进一步扩展，缩短涂层的寿命。

c. 对于焊补、修磨后搁置很久的铸件，在涂装前应重新抛丸，或重新喷砂。

d. 铸件用底漆品种繁多，选择时应考虑施工的可能性，即涂装方法，涂装设备以及其他的必要条件。

② 钢铁铸件涂装采用浸漆操作时应注意控制以下要点：

a. 浸漆槽的大小应视铸件尺寸而定，在保证铸件顺利浸没的前提下，槽子的容量与漆液表面积应越小越好，以减少稀释剂的挥发，减轻搅拌的难度。

b. 漆液粘度大漆膜厚，反之漆膜薄。因此，应使用相应的稀释剂调节粘度，并将其控制在一定范围内。为使漆液粘度均匀，防止颜料沉淀，漆液应经常搅拌。大型漆液槽应设置搅拌器、过滤器、加料装置等，必要时应调节槽液温度，以控制漆膜厚度。

c. 浸漆容易产生挂流、肥边、凹面积漆等质量问题。因此，应选择好铸件的悬挂位置。必要时应采用两个悬挂点，使其出入浸漆槽时有角度变化。这样便于排出空气，减少或消除积漆现象。为使漆膜厚度均匀，出槽时以缓慢为宜。

③ 钢铁铸件涂装采用刷漆操作时应注意控制以下要点：

a. 铸件刷漆用刷子一般是用猪鬃扁形刷，按其宽度可分为 12mm、25mm、50mm、75mm、100mm 等几种规格。表面平坦的大铸件应采用大号刷子（如 75mm）；表面复杂的铸件或小铸件应用小号刷子（如 25mm）。刷子应鬃厚、毛齐、根硬、头软、不掉毛。使用新刷子时，要除去浮毛、粉尘，必要时以稀释剂清洗。刷子用完后，若暂时中断使用，应将刷毛部分浸入溶剂或清水中，并作垂直悬挂；若长期不用，则应以溶剂彻底洗净晾干，用软纸包好，存放时使刷毛顺直。

b. 刷漆时，漆液粘度要适当，粘度过大刷子拉不开，漆层厚；反之，粘度过小漆层太薄，容易挂流。

c. 刷漆时应注意握刷方法：直握法宜于大面积地横刷和下刷；横握法宜于小铸件的涂刷，或大铸件的横刷、上刷和顺边等操作。直握、横握都应视铸件特点而定，以省力、高效为原则，灵活地交替使用。

d. 刷子蘸漆时不应超过刷毛长度的 2/3。蘸漆后，刷子应在桶壁一左一右拍打一下，或在桶边轻轻刮一下。拿出桶外时刷子应及时翻转，以免漆液滴落，弄脏场地、衣物。

e. 刷漆时应注意涂层要均匀，不要漏涂、露底，不要有挂流等质量问题。

④ 钢铁铸件采用空气喷涂底漆操作时应注意控制以下要点：

a. 为获得良好的涂层，应掌握以下操作方法：

- 漆料粘度应适中，一般为 15～30s（涂－4 粘度计），视漆料种类，空气压力、喷枪型号而异。
- 压缩空气压力应为 0.3～0.6MPa，且不应混有油与水。
- 喷嘴距铸件表面以 250～400mm 为宜，实际操作时应根据涂料粘度、空气压力、喷枪与喷嘴型号灵活掌握。
- 喷射方向应尽量垂直喷涂表面。
- 喷涂应顺次进行，如由上到下，或从左到右往复进行，每一条喷涂带应与前一条重叠 1/3～1/2。

b. 空气喷涂用喷枪有吸上式、重力式、压送式及长杆式等多种类型，应注意其结构装置与适用性均不同：

- 吸上式喷枪均自带小漆罐，变换颜色、漆料品种很方便，结构简单、维护方便、操作灵活、稳定性好，但需不断添加漆液，水平面涂装较困难，且漆料粘度不同时喷出量变化大。PQ-1 型喷枪不宜用于大批量连续作业，PQ-2 型可用于大面积连续作业。
- 重力式喷枪带有小漆杯，靠漆液自重供漆，多用于工艺品等小型铸件的喷涂。
- 压送式喷枪需要压力输漆罐或漆料供给系统配合，漆料喷出量调整范围宽，向上面、向水平面、向侧面等多方向均可喷涂，适合于大批量连续作业，但因每次喷涂后喷枪与输漆管道都要进行清洗比较麻烦，因此不适合于小批量间断式生产。
- 长杆式喷枪的喷嘴离操作人员远，喷涂大型铸件或具有较深内腔的铸件时很适用，既减轻了劳动强度，又减少了漆雾对人体的危害，还提高了工效，涂装作业可连续进行，适合于大批量生产。

c. 空气喷涂对于压缩空气应有一定要求，首先要求压缩空气达到一定的压力，适用于喷漆的

空气压缩机型号有 2V-0.6/7 型和 3W-0.9/7 型等，可按耗气量与所需气压选择；其次，压缩空气应清洁，无论使用何种气源，接喷枪前均须加接分水滤气器、调压阀和压力表。

d. 空气喷涂对于喷漆室也应有一定要求：

● 防火要求，喷漆室应远离火源，其结构材料应为金属或其他不易燃品。

● 温度要求，一般为 15 ~ 30℃，大型喷涂室的排风量应大，冬季应设热风供给系统。

● 排气要求，排风量应保证有效地排除有害物质，达到国家有关劳动保护法规的标准，但铸件近旁的风速不能过高，以免影响漆雾在铸件上附着，排气装置中应有清除漆雾的设施。

● 照明要求，光线应充足，各工作部照明要均匀。

● 空气清洁度要求，就铸件底漆来说，送进喷涂室的空气没有必要进行严格的除尘，只要一般防尘就可以。

● 选择喷漆室时应考虑铸件大小、生产批量等因素。生产批量小，采用单向式侧吸风喷漆室；大批量生产中小型铸件，应采用单面或双面通过侧吸风式喷漆室；大铸件应采用上送风下吸风式喷漆室。此处，选择喷漆室还应顾及铸件的传送方式。

⑤ 钢铁铸件采用高压无气喷涂底漆操作时应注意控制以下要点：

a. 高压无气喷涂装置主要由高压泵、喷枪、耐高压输漆软管、耐高压管接头等组成。在整个操作系统中，关键部件是喷嘴。喷嘴应用高耐磨材料，以特殊工艺加工而成。喷漆量和雾幅宽度则与喷嘴口径有关。喷嘴规格很多，应根据需要选用。

b. 使用中的常见故障是喷嘴堵塞，为免除清理或更换喷嘴的麻烦，漆料应事先过滤，容器与工作场所应清洁，未经仔细研磨、粒度大的漆料不得使用。

2）钢铁铸件采用浸防锈液的控制要点。钢铁铸件浸防锈液一般用于工序间防锈及中间库防锈，当与其他防锈剂配合使用时还可用于封存防锈，其控制要点如下：

① 防锈液一般配成质量分数为 2% ~ 20% 的水溶液，并用质量分数为 0.3% ~ 0.6% 的 Na_2CO_3 将防锈液的 pH 值调整到 9 ~ 10 后在室温或加热条件下使用。

② 使用时，钢铁铸件表面先要用洗涤液洗净并干燥后方可浸入防锈液，在防锈液中保持几分钟后取出铸件。钢铁铸件在防锈液中的浸渍时间取决于钢铁铸件的形状和尺寸。

3）钢铁铸件采用磷化法涂装的控制要点。先将经过喷丸和清洗的铸件浸入特定成分的磷酸盐溶液中（见表 4-122），在一定的温度条件下处理一定时间，使铸件表面生成一层不溶于水的磷酸盐保护膜（磷化膜）。磷化膜通常呈暗灰色，有极少的结晶构造。

表 4-122 钢铁铸件用磷酸盐溶液及磷化防锈处理要点（供参考）

序号	工艺参数			使用方法	工艺过程
	配方	温度/℃	时间/min		
1	MP882 磷化液， 总酸度：30 ~ 50 点	65 ~ 70	5 ~ 7	浸	喷丸→清洗→水洗→磷化→水洗→中和皂化或钝化→干燥
2	马日夫盐：30 ~ 40g/L、硝酸锌：70 ~ 100g/L、硝酸锰：25 ~ 40g/L， 总酸度：60 ~ 100 点，游离酸度：5 ~ 8 点	60 ~ 70	7 ~ 15	浸	喷丸→清洗→水洗→磷化→水洗→中和皂化或钝化→干燥
3	磷酸：90g/L、氧化锌：17 ~ 18g/L、亚硝酸钠：1.5 ~ 2.0g/L、氢氧化钠：10g/L， pH 值为 2 ~ 3	室温	30 ~ 50	浸	

4）铸铁件采用电泳涂装底漆的控制要点如下：

① 电泳涂装底漆前应做好以下准备工作：

a. 清理后的铸铁件要用压缩空气将其内外表面尘土及残留铁丸吸引干净。

b. 吸干吹净后的铸铁件在进行装挂时，应注意使凹面在入电泳槽时不产生气窝，在出电泳槽时不产生漆窝。

c. 装挂后的铸铁件在电泳涂装前要用水冲洗干净，冲洗后应清除内腔的余水，并立即进行电泳涂装。

② 电泳涂装底漆时应注意控制以下要点：

a. 装挂的铸铁件在入电泳槽时，切不要碰到槽壁，以免短路。

b. 电泳涂装底漆的工艺参数，应根据所用电泳底漆进行选定。

c. 电泳涂装时应开动漆液搅拌泵进行搅动，以使漆液中固体成分均匀而不沉淀。

③ 电泳涂装底漆后应注意控制以下要点：

a. 应用高压水或自来水冲掉带出的漆液、泡沫和花斑，以防漆液对成型漆膜进行再溶解。

b. 铸铁件冲洗后应送入烘干室烘干。

c. 工作结束后应用帆布盖好漆槽。

5）铝合金铸件防锈涂装的控制要点如下：

① 铝合金铸件涂底漆前不应忽视对它进行表面处理，常用的方法有阳极氧化和化学氧化两种。其目的是通过这些方法，使铸件表面形成自身氧化的膜层。该膜层除本身具有良好的耐蚀性外，还对油漆具有良好的吸附能力，并可作为涂底漆的基层。

② 底漆应与面漆配套使用，如单独使用则既有底漆的作用又有面漆的作用。

③ 铝合金铸件用涂层系统应参照表 4-123 进行控制。

表 4-123　铝合金铸件用涂层系统控制（供参考）

序号	表面处理	涂层系统	干燥工艺		备注
			温度/℃	时间/h	
1	化学氧化或阳极氧化	喷涂一层 H06-2 锌黄环氧脂底漆	室温或 60 ~ 80	24 ~ 36 或 4 ~ 3	附着力良好，防护性能优于醇酸底漆，可在 120℃以下长期使用
2		1）喷涂一层 H06-2 锌黄环氧脂底漆	室温或 60 ~ 80 或 100 ~ 120	≥24 或 4 ~ 3 或 2 ~ 1.5	防护性能好，结合力强易于施工，但耐候性较差，适用于内部，可在 120℃以下长期使用
		2）喷涂一层 H04-2 环氧硝基磁漆	室温或 60 ~ 80	≥4 或 3 ~ 2	
3		1）喷涂一层 H06-2 锌黄环氧脂底漆	室温或 60 ~ 80 或 100 ~ 120	≥24 或 4 ~ 3 或 2 ~ 1.5	
		2）喷涂一层 H04-10 环氧硝基无光磁漆	室温或 60 ~ 80	≥4 或 3 ~ 2	

6）铝合金铸件采用防锈油涂装的控制要点如下：

① 铝合金铸件涂防锈油前应进行清洗，其清洗要点见表 4-124。

表 4-124　铝合金铸件的清洗要点（供参考）

设备型号	容积 /m^3	洗涤剂		首次添加溶质的量/kg	温度/℃	浊度	淘泥周期/月
		型号	含量（质量分数，%）				
QXTL-55T	0.7	YX-4	2 ~ 3	17	60 ~ 80	2 级	2
ZQ-004	0.3	YX-4	2 ~ 3	8	60 ~ 80	2 级	2
ZQ-001	0.3	TX-4	2 ~ 3	8	室温	2 级	2
QXLT-40	0.25	YX-03	1 ~ 2	4	40 ~ 50	2 级	1
		YF-1	10 ~ 12	30			
DTX35-2-6	2.5	YX-4	2 ~ 3	60	60 ~ 80	1 级	1
DTX35-2-6	2.5	XF-1	10 ~ 12	280	60 ~ 80	1 级	1
QXLT-40-2-0	3.6	YX-03	1 ~ 2	35	60 ~ 80	1 级	1
QXLT-40-2-0	2.8	YF-1	10 ~ 12	308	60 ~ 80	1 级	1

② 防锈油材料组成及涂装温度和时间等控制见表 4-125。

表 4-125　铝合金铸件的防锈油材料及涂装温度和时间等控制（供参考）

序号	防锈材料名称	防锈材料组成		工艺规程			有效防锈期
		名称	含量(质量分数,%)	温度/℃	时间/min	处理方法	
1	防锈油	901 置换型防锈油	30	室温	>1	浸、喷	1 ~ 2 周
		煤油	70				
2	防锈油	901 置换型防锈油	70	室温	>1	浸、喷、刷	6 个月以内
		煤油	30				

7）铝合金铸件采用阳极氧化与着色的控制要点。铝合金铸件采用阳极氧化的方法、特点和应用见表 4-126，其控制要点见表 4-127 和表 4-128。

表 4-126　铝合金铸件采用阳极氧化的方法、特点和应用（供参考）

方　法	特　点	应　用
硫酸阳极氧化	1)膜厚约为 3 ~ 15μm 2)膜层多孔,孔隙率为 35% 3)膜层脆,不导电,脱水后绝缘性能提高,热辐射能力高 4)可以用有机染料着色,也可电解着色:黄、红、蓝、黑、绿、咖啡色等	1)铝合金铸件的防护和着色 2)要求光亮外观和一定的耐磨性
铬酸阳极氧化	1)膜厚约为 3μm,不透明 2)膜厚致密,呈灰色或乳白色 3)染色能力不好,粘结力中等	1)铝硅合金铸件的防护 2)要求检查加工工艺质量的铝合金铸件
草酸阳极氧化	1)膜层厚度 6 ~ 39μm 2)孔隙直径大 3)膜呈灰色至深灰色 4)可以染色,但成本高	1)铝合金铸件的防护和着色 2)要求有较高电绝缘性能、较高硬度和良好耐磨性的铝合金铸件

表 4-127　铝合金铸件阳极氧化工艺参数控制（供参考）

阳极氧化类型	阳极氧化工艺参数						备　注
硫酸阳极氧化	硫酸(工业级)/(g/L)	180 ~ 200					阳极材料用铅板,阴阳极板面积比为1:10左右
	温度/℃	13 ~ 26					
	电压/V	13 ~ 22					
	电流密度/(A/m^2)	100 ~ 200					
	氧化时间/min	40					
铬酸阳极氧化	铬酐(Cr_3O)(工业级)/(g/L)	30 ~ 50					阳极材料用铅板,阴阳极板面积比为1:(3 ~ 10)
	温度/℃	34 ± 2					
	电压/V	40					
	电流密度/(A/m^2)	30 ~ 60					
	时间/min	40 ~ 60					
	溶液 pH 值	0.5 ~ 0.8					
草酸阳极氧化	草酸($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$)(化学纯)/(g/L)	40 ~ 50					阴极材料用炭精棒,阴阳极面积比为 1:(5 ~ 10)
	温度/℃	15 ~ 21					
	电压/V	0 ~ 40	40 ~ 70	70 ~ 90	90 ~ 110	110	
	时间/min	5	5	5	15	90	
	电流密度/(A/m^2)	100 ~ 300					

表 4-128　铝合金铸件阳极氧化的填充和着色工艺参数控制（供参考）

项目	工　艺　参　数		
填充	重铬酸钾（$K_2Cr_2O_7$）（工业级）/（g/L）		45 ~ 55
	温度/℃		90 ~ 98
	pH 值		4. 5 ~ 6. 5
	时间/min		15 ~ 25
着色	染料/（g/L）		0. 5 ~ 10
	pH 值		5. 2 ~ 6. 2
	时间/min		10 ~ 20
	黑色	酸性黑	—
	红色	酸性大红或直接大红	—
	蓝色	酸性天蓝或酸性深绿	—
	绿色	酸性绿	—
	金色	茜素黄/（g/L）	0. 5
		茜素红/（g/L）	5
无色	热水温度/℃		90 ~ 98
	pH 值		4. 5 ~ 6. 5
	时间/min		15 ~ 25

8）镁合金铸件防锈涂装的控制要点如下：

镁合金铸件在防锈涂装前应先进行化学氧化处理，在表面上形成厚 0. 5 ~ 3μm 的防护膜。此膜与油漆能进行良好结合。镁合金铸件在化学处理后即可进行喷漆，喷漆的控制要点可参照铝合金铸件的喷漆控制要点。

9）镁合金铸件采用化学氧化的控制要点。镁合金铸件的化学氧化处理，由于生成的保护膜很薄，其耐腐蚀能力很低，不宜单独作为镁合金铸件的防护层，只能对镁合金铸件起短期防护作用，因此主要用于工序间的防锈。

镁合金铸件采用化学氧化的控制要点如下：

① 镁合金铸件在氧化处理前应进行喷砂处理，去除铸件表面的粘砂、氧化皮、油污等。重新进行氧化处理的铸件，可不进行喷砂处理，但必须清除铸件表面的氧化膜。

② 脱脂时，应用碱溶液等清除铸件表面的油污。

③ 为了除去镁合金铸件表面的氧化膜、熔渣及腐蚀产物，常用的浸蚀液控制见表 4-129。

表 4-129　镁合金铸件常用的浸蚀液控制（供参考）

配方	铬酐（CrO_3）/（g/L）	硝酸/（g/L）	氢氟酸/（g/L）	氢氧化钠/（g/L）	温度/℃	时间/min
1	150 ~ 250	—	—	—	室温	8 ~ 12
2	—	15 ~ 30	—	—	室温	1 ~ 2
3	—	—	80 ~ 120	—	室温	数秒钟
4	—	—	—	350 ~ 450	70 ~ 80	1 ~ 15

注：1. 浸蚀后的铸件应立即进行氧化处理，否则易发生腐蚀。

2. 用配方 2 浸蚀时，严格控制溶液的浓度、温度及浸蚀时间，否则易引起铸件尺寸超差。

3. 用配方 4 去除氧化膜后，需用质量分数为 5% ~ 15% 的铬酐溶液中和。

④ 化学氧化处理液的配方及处理工艺控制见表 4-130

表 4-130　镁合金铸件的化学氧化处理液的配方及处理工艺控制（供参考）

配方	氧化处理液组成		工艺条件		膜层颜色
	成分	含量/(g/L)	温度/℃	时间/min	
1	重铬酸钾	40 ~ 55	70 ~ 80	0.5 ~ 2	草绿色到棕色
	硝酸(密度为 1.42g/cm³)(20℃)	90 ~ 120mL/L			
	氯化铵或氯化钠	0.75 ~ 1.25			
2	氟化钠	35 ~ 40	15 ~ 35	10 ~ 15	浅棕色到深棕色
3	重铬酸钾	140 ~ 160	60 ~ 80	0.5 ~ 1.5	金黄色到深棕色
	硫酸铵	2 ~ 4			
	铬酐	1 ~ 3			
	醋酸(质量分数为 60%)	10 ~ 20mL/L			
4	重铬酸钾	90 ~ 110	90 ~ 95	5 ~ 6	深棕色到黑色
	硫酸镁($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	40 ~ 60			
	硫酸锰($MnSO_4 \cdot 5H_2O$)	40 ~ 60			

注：1. 配方 1 使铸件在氧化过程中尺寸变化大，适用于镁合金铸件。
2. 配方 2 形成的氧化膜具有较高的电阻，适用于成品和半成品铸造镁合金零件和组合件。
3. 配方 3 形成的氧化膜防护性能好，氧化后零件尺寸几乎不改变，适用于尺寸公差小或具有抛光表面的成品和半成品零件。
4. 配方 4 形成的氧化膜颜色较深，外观美丽，适用于各种成品和半成品零件。

⑤ 为了提高镁合金铸件的抗蚀能力，氧化处理后的铸件应进行填充处理，填充液的配方及工作条件控制见表 4-131。

表 4-131　镁合金铸件氧化后的填充液配方及工作条件控制（供参考）

配方	填充液配方		工作条件		备　注
	成分	含量/(g/L)	温度/℃	时间/min	
1	重铬酸钾	100 ~ 150	90 ~ 98	40 ~ 50	适用于表 4-130 中的 2 号配方
2	重铬酸钾	40 ~ 50	90 ~ 98	15 ~ 20	适用于表 4-130 中的 3 号和 4 号配方

⑥ 经氧化、填充处理后的铸件，应用 40 ~ 45℃的热风吹干或在 50 ~ 70℃的烘箱中烘干 20 ~ 30min。

⑦ 局部氧化处理的工艺控制见表 4-132。

表 4-132　镁合金铸件局部氧化处理的工艺控制（供参考）

配方	局部氧化处理液组成		工作条件	
	成分	含量/(g/L)	温度/℃	时间/s
1	铬酐(CrO_3)	45	室温	30 ~ 35
	氧化镁(MgO)	8 ~ 9		
	硫酸密度 1.84g/cm³	0.6 ~ 0.8mL/L		
2	亚硒酸(H_2SeO_3)	24	室温	30 ~ 45
	重铬酸钾	12		

注：1. 配方 1 用于最后氧化或准备涂装的铸件。
2. 配方 2 用于半成品铸件或处理后不准备涂装的铸件。

10）锌合金铸件采用电镀的控制要点。虽然许多锌合金铸件可以在铸态下使用，但是为了保护铸件不受腐蚀或使铸件更加美观，有时还是需要进行铸件表面防护。锌合金铸件采用电镀的控制要点如下：

① 锌合金铸件在电镀前应进行抛光（布轮油光）→汽油清洗或擦洗→电解脱脂→热水洗→冷水洗→弱浸蚀→水洗。在电解脱脂和弱浸蚀时的工艺参数控制见表 4-133。

② 锌合金铸件可直接镀铬，也可在预镀铜的底镀层上镀镍，并最后用铬处理，其工艺参数控制见表 4-134。

表 4-133　锌合金铸件电解脱脂和弱侵蚀时的工艺参数控制（供参考）

工序	溶液成分与浓度		温度/℃	阳极电流密度/(A/dm²)	时间/s
	化学药品	浓度			
电解脱脂	碳酸钠	15 ~ 30g/L	50 ~ 70	4 ~ 5	60 ~ 120
	磷酸钠	25 ~ 30g/L			
弱侵蚀	氢氟酸	2% ~ 3% ①	室温	—	5

① 体积分数。

表 4-134　锌合金铸件的电镀工艺参数控制（供参考）

工序		溶液成分		pH 值	温度/℃	电流密度/(A/dm²)	时间/min
		化学药品	含量/(g/L)				
预镀铜		氰化亚铜	20 ~ 30	10. 5 ~ 11. 5	40	0. 5 ~ 0. 8	5
		氰化钠	6 ~ 8				
镀铜（加厚镀层）	1	硫酸铜	175 ~ 250	≈1	20 ~ 50	1 ~ 3	10 ~ 20
		硫酸	45 ~ 70				
	2	硫酸铜	175 ~ 250	≈1	20 ~ 30	1 ~ 2	10 ~ 20
		硫酸	40 ~ 70				
		酚磺酸	1 ~ 1. 5				
	3	硫酸铜	200 ~ 250	≈1	20 ~ 30	1 ~ 3	10 ~ 20
		硫酸	50 ~ 70				
		葡萄酸	30 ~ 40				
镀光亮镍	1	硫酸镍	250 ~ 300	3. 8 ~ 4. 6	40 ~ 55	1. 5 ~ 4. 0	—
		氯化镍	30 ~ 50				
		硼酸	35 ~ 45				
		糖精	0. 6 ~ 1. 0				
		1. 4-丁炔二醇	0. 3 ~ 0. 5				
		香豆素	0 ~ 0. 3				
		十二烷基硫酸钠	0. 1 ~ 0. 2				
	2	硫酸镍	250 ~ 300	4. 0 ~ 4. 5	40 ~ 45	1. 5 ~ 3. 0	—
		氯化钠	10 ~ 20				
		硼酸	35 ~ 40				
		糖精	1 ~ 2				
		香豆素	0. 5 ~ 1. 0				
		十二烷基硫酸钠	0. 1 ~ 0. 2				

（续）

工序	溶液成分			pH 值	温度/℃	电流密度/(A/dm²)	时间/min
	化学药品		含量/(g/L)				
镀铬	1	铬酐	230 ~ 270	—	48 ~ 53	15 ~ 30	—
		硫酸	2.3 ~ 2.7				
	2	铬酐	320 ~ 360	—	48 ~ 56	15 ~ 25	—
		硫酸	3.2 ~ 3.6				

11）锌合金铸件采用涂漆的控制要点如下：

① 涂漆前，锌合金铸件通常需用磷酸盐或铬酸盐溶液处理。

② 锌合金铸件可涂敷各种不同的漆料，但对于某些要求不高的锌合金铸件，可使用附着力不强且含有酸性腐蚀成分的丙烯酸油漆；对于耐蚀性要求高的锌合金铸件，最好采用环氧树脂漆或各种胺基漆。

③ 涂漆后应进行烘烤。

12）锌合金铸件采用阳极氧化的控制要点如下：

① 锌合金铸件的阳极氧化处理是在阳极氧化处理液（见表 4-135）内，在不超过 220V 的电压下进行的。

表 4-135　锌合金铸件阳极氧化处理液的控制（供参考）

配方	溶液成分		pH 值	温度/℃
	化学药品	含量		
1	CrO_3	60g/L	6.8 ~ 7.0	65 ~ 80
	质量分数 25% 的 NH_4OH	245mL/L		
	质量分数 85% 的 H_3PO_4	60mL/L		
	NH_4F	18.5g/L		
2	$Na_2O_7Si_3$	180g/L	11.4	20 ~ 30
	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	90g/L		
	$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	73g/L		
	NaOH	30g/L		

② 处理后的锌合金铸件表面是多孔性的，应在加热的水玻璃稀溶液或者有机涂料内进行密封。

4.3　特种铸造生产过程工序质量的控制（检验）

特种铸造是指与砂型铸造不同的其他铸造方法。如熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、消失模铸造、陶瓷型铸造、石膏型铸造、负压铸造、低压铸造、差压铸造、挤压铸造、离心铸造、连续铸造、真空铸造等。

4.3.1　熔模铸造生产过程工序质量的控制（检验）

熔模铸造是指用易熔材料，如蜡料制成模样，在模样上包覆若干层耐火涂料，制成型壳，熔出模样后经高温熔烧即可浇注的铸造方法。

熔模铸造生产过程描述如图 4-4 所示。其主要生产工序包括：模料、涂（浆）料和硬化剂制

备、制熔模、制壳和制芯、脱蜡和焙烧、合金熔化和浇注、铸件脱壳、清理和后处理等。

熔模铸造生产过程工序对熔模铸造铸件的质量影响非常巨大，因此严格控制熔模铸造生产各工序的质量也是十分重要的。

通常，应严格按企业的熔模铸造技术要求控制与检验易熔模、型壳与型芯的质量，不仅应按规定控制与检查易熔模的几何形状和指定的重要尺寸以及型壳的表面质量，而且还应注意控制与检查如下内容：①压型是否有合格证；②模料成分和配比是否正确；③模料熔化温度和时间；④模料压制温度和保持的时间、压力是否正常；⑤模料存放温度和时间是否符要求；⑥蜡模表面质量；⑦蜡模的组合正确性和焊接质量；⑧组合蜡模是否有粘料、机械损伤、变形、杂物等缺陷；⑨模组的存放时间是否符合要求；⑩模组表面是否脱脂，干净；⑪硬化剂的配制是否符合要求；⑫各种粉、粒材料是否符合要求；⑬粘结剂的性能是否符合要求；⑭涂料成分和配制百分比是否符合要求；⑮涂料的物理工艺性能；⑯熔模组表面油脂是否除净；⑰熔模组的涂料层数和涂料层是否均匀；⑱型壳在涂制涂料后到熔失熔模的停留时间是否过长或过短；⑲熔模组涂料层是否有落脱和裂纹；⑳熔模组熔失时间及熔失后型壳的表面质量；㉑熔模熔失后是否按规定的时间送低温烘烤；㉒型壳烘烤的时间和温度是否正确；㉓型壳的存放时间和温度是否符合要求；㉔型壳的焙烧温度和时间是否符合要求等。

有关熔模铸造生产中易熔模、型壳与型芯的控制内容与检验方法见表 4-136。

有关熔模铸造生产中空心叶片用陶瓷芯质量验收要求见表 4-137。有关熔模铸造生产中模料性能的测定方法见表 4-138。有关熔模铸造生产中涂料性能的测试方法见表 4-139。有关熔模铸造生产中型壳高温性能的试验方法见表 4-140。

表 4-136　熔模铸造生产中易熔模、型壳与型芯的控制内容与检验方法（供参考）

过程工序	控制内容	检验方法	检验依据	检验范围	检验者
易熔模制作	压型是否有合格证	观察检查	模具使用制度	每套模具	检验员
	模料成分和配比是否正确	观察检查	生产说明书	每批或每种产品	蜡模工、检验员
	模料熔化温度和时间	测温，计时	生产说明书	每批(次)	蜡模工、检验员
	模料压制温度和保持的时间、压力是否正确	测温，计时	生产说明书	抽检	检验员
	模料存放温度和时间是否符合要求	测温，计时	生产说明书	每个工作班	检验员
	检查蜡模表面质量	观察检查	生产说明书	普检或抽检	检验员
	检查蜡模的几何形状和指定的重要尺寸	量具或专用样板	工艺规程	首检或抽检	蜡模工、检验员
	检查蜡模的组合正确性和焊接质量	观察检查	工艺规程	每个模组	蜡模工、检验员
	检查组合蜡模是否有粘料、机械损伤、变形、杂物等缺陷	观察检查	工艺规程	每个模组	蜡模工、检验员
	模组的存放时间是否符合要求	计时	生产说明书	每批(次)	检验员
	模组表面是否脱脂、干净	观察检查	生产说明书	普检	蜡模工、检验员

（续）

过程工序	控制内容	检验方法	检验依据	检验范围	检验者
型壳制作	硬化剂的配制是否符合要求	观察检查	生产说明书	每一工作班	检验员
	各种粉、粒材料是否符合要求	观察检查或测试	生产说明书	每批(次)	涂料工、检验员
	粘结剂的性能是否符合要求	观察检查或测试	生产说明书	每批(次)	涂料工、检验员
	涂料成分和配制百分比是否符合要求	观察检查	生产说明书	每批(次)	检验员
	检查涂料的物理工艺性能	测试或观察检查	生产说明书	每批(次)	检验员
	检查熔模组表面油脂是否除净和表面质量	观察检查	生产说明书	每一熔模组	涂料工
	检查模组的涂料层数和涂料层是否均匀	观察检查	生产说明书	普检	涂料工
	型壳在涂制涂料后到熔失熔模的停留时间是否过长或过短	计时	生产说明书	每批(次)	检验员
	检查模组涂料层是否有脱落和裂纹	观察检查	工艺规程	普检	涂料工、检验员
	检查模组熔失时间及熔失后型壳的表面质量	计时，观察检查	工艺规程	普检	涂料工、检验员
	熔模熔失后是否按规定的时间送低温烘烤	计时	工艺规程	每批(次)	涂料工、检验员
	型壳烘烤的时间和温度是否正确	测温,计时	工艺规程	每一炉次	检验员
	型壳的存放时间和温度是否符合要求	测温,计时	工艺规程	每批(次)	检验员
	型壳的熔烧温度和时间是否符合要求	测温,计时	工艺规程	每一炉次	检验员
陶瓷型芯制作	陶瓷型芯的基体材料是否符合要求	观察检查或测试	生产说明书	每批(次)	操作者、检验员
	矿化剂、增塑剂及表面活性剂的性能是否符合要求	观察检查或测试	生产说明书	每批(次)	操作者、检验员
	陶瓷型芯的配方及浆料配制工艺是否符合要求	观察检查	工艺规程	每批(次)	操作者、检验员
	陶瓷型芯的压制工艺参数是否符合要求	观察检查	工艺规程	每批(次)	操作者、检验员
	检查型芯外观质量,如有无破损,裂纹,缩陷、凹坑、金属夹杂物及标志等	观察检查,用 5 ~ 10 倍的放大镜,着色	工艺规程	普检	检验员
	检查型芯几何尺寸(包括线性和非线性尺寸),凡图样标注尺寸均属检查范围	样板、测具、非接触式光学投影仪及长度测量工具	工艺规程	普检	检验员

（续）

过程工序	控制内容	检验方法	检验依据	检验范围	检验者
陶瓷型芯制作	检查型芯内部质量，如有无内部裂纹、孔洞、金属夹杂物等	X 射线	工艺规程	普检	检验员
	检查型芯力学物理性能，如高低温抗弯强度、高温变形度、气孔率、烧成收缩、岩相分析等	高温和室温抗弯强度仪、高温变形仪、高温线膨胀仪、透气性测量仪、偏光显微镜等	工艺规程	普检	检验员

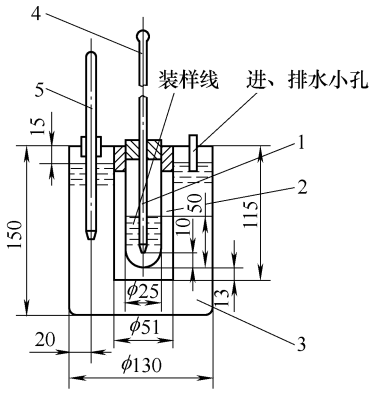
表 4-137　熔模铸造生产中空心叶片用陶瓷芯质量验收要求（供参考）

缺陷类别	型芯主体	芯头面
破损	不允许（除有特殊规定的型芯外）	1）不影响芯头定位 2）破坏不超过 25%
裂纹	1）纵向：允许在型芯上仅有一个不超过型芯长度的 10%，并且是封闭式表面裂纹 2）横向：不允许 3）开式：不允许 4）星式：不允许	同型芯主体，除特殊规定外，均不允许
针孔	≤ϕ0.5mm 的针孔可以验收，但其根部不得有凹坑，且每 645mm^2 内不得超过 1 个，同时距排气边 6mm 以上	直径为 0.5mm 的针孔可验收
缩陷及其延伸面积	应在图样包络线以内	同型芯主体
填孔率	如果采用很好的填补技术，则允许	同型芯主体
穿透孔	孔的边缘应有圆角，允许全部穿透，但不允许孔与孔之间有裂纹相连，允许填补	不允许
坑	坑的边缘应有圆角，坑底不得有碎屑，允许占圆周 25% 的面积有破损坑，但两个破损坑不得相连，允许填补	不允许
金属氧化物夹杂	非真空浇注，允许直径小于等于 1mm 的非线性夹杂，但每 645mm^2 内不用多于 3 个	允许
	真空浇注，不允许有任何夹杂	允许
标记	所有的型芯均需用已批准的颜色标出	不作标记

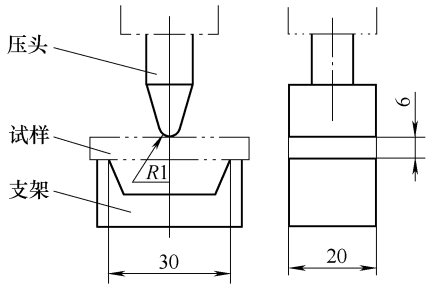
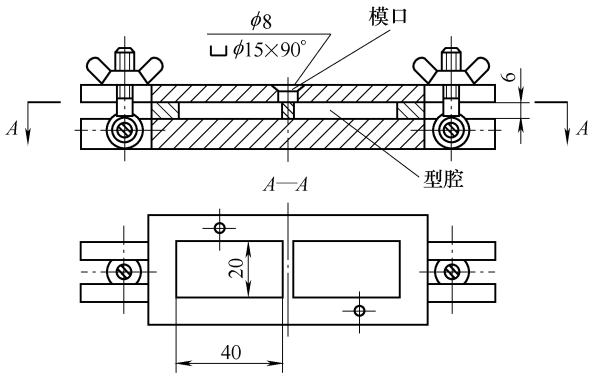
表 4-138　熔模铸造生产中模料性能的测定方法（供参考）

测定项目	测　定　方　法
模料熔点	模料熔点是指在规定的条件下冷却熔化的模料试样，当冷却曲线上第一次出现停滞期的温度，即为模料的熔点。同时，模料试样的冷却曲线可以定性地表现出模料结晶潜热的大小、相变的温度区间及冷却速度 将装有熔化试样和熔点温度计的试管置于一空气浴中。空气浴放置在（25 ±0.1）℃水浴中。在熔化试样的冷却过程中，每隔 15s 记录一次温度。当第一次出现五个连续读数之差都不超过 0.1℃的停滞期时，该五个读数的平均值即为所测试样的熔点。用所测温度值数据绘制出冷却曲线。冷却曲线上停滞期的长短和温度范围，分别代表试样结晶潜热的大小和相变的温度区；冷却曲线的斜率则代表试样的冷却速度。 1. 设备仪器 1）模料熔点测定仪如图 a 所示

（续）

测定项目	测　定　方　法
模料熔点	 a）模料熔点测定仪示意图 1—试管　2—空气浴　3—水浴　4—熔点温度计　5—水浴温度计 2）试管：用钙钠玻璃制作，外径为 25mm，壁厚为 2 ~ 3mm，长为 100mm，管底为半球形。在距试管底 50mm 高处刻一环状装样线，在距试管底 10mm 高处刻一温度计定位线 3）空气浴：内径为 51mm、深为 113mm 的带底玻璃圆筒 4）水浴：内径为 130mm，深为 150mm 5）熔点温度计：应符合 GB/T 514—2005 规定的 4 号熔点温度计技术要求 6）水浴温度计：半浸入式，温度范围 0 ~ 50℃，精度 0. 1℃ 7）超级恒温水浴器：温度控制精度为 ±0. 1℃ 8）烘箱或水浴锅：加热温度为 0 ~ 100℃ 2. 试验步骤 1）将熔点温度计、试管、空气浴、水浴和超级恒温水浴器按图 a 所示安装。试管配一合适的软木塞或橡胶塞。中间开设小孔固定熔点温度计。温度计浸没段要插在软木塞或橡胶塞下面。温度计下端插至距试管底 10mm 的定位线处。空气浴垂直地置于水浴中部，要求空气浴与水浴壁和底部均保持 38mm 厚的水层。水浴顶盖用同质玻璃与空气浴焊成一整体，焊缝不得有任何渗漏之处。在水浴顶盖同一直径上开设进、排水小孔。每个小孔应处于空气浴和水浴的中间位置 2）开动超级恒温水浴器，使恒温水注满水浴并返回构成回路。整个测试过程中，水温保持在（25 ± 0. 1）℃ 3）将模料放入洁净的烧杯，在烘箱或水浴锅中加热至熔化后升高 20℃ 4）将熔化的模料倒入预热的试管至 50mm 刻线处，插入带温度计的软木塞或橡胶塞，温度计下端至 10mm 刻线处，然后将其置于试管托架上，放入烘箱中在 80℃下保温 30min 5）当水浴温度恒定 30min 后，将装有试样和熔点温度计的试管从烘箱中取出，迅速地垂直装入空气浴中 6）每隔 15s 读取一次温度，估读到 0. 05℃，测试持续读数至 40℃以下，即可停止试验 3. 试验结果的计算 1）取第一次出现停滞期的五个相差不超过 0. 1℃的连续温度读数，计算出算术平均值，并精确至 0. 1℃。 2）将所测数据在坐标纸上绘成曲线，并计算出停滞期以下曲线的斜率。对模料的结晶潜热和冷却速度进行定性分析。 4. 精密度 用以下规定来判断熔点测定结果的可靠性 1）重复性。同一操作者使用同一仪器测定同一试样，两个结果的差值不得大于 0. 2℃ 2）再现性。不同操作者在不同实验室测定同一试样，两个结果的差值不得大于 0. 4℃

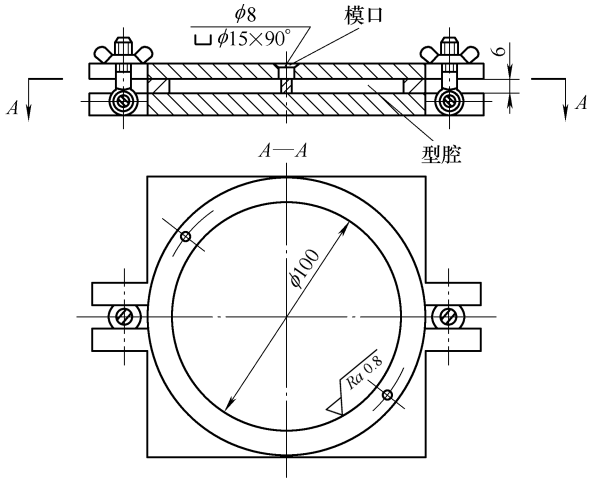
（续）

测定项目	测　定　方　法
模料抗弯强度	模料抗弯强度是指用模料试样在一定加载速度下静态弯曲至脆断时的载荷所求得的强度，来表示模料的室温抗弯强度 用制备好的膏状或液态模料，压制成规定尺寸的强度试样。试样在一定温度下放置 24h 后，用弯曲性能测试仪测出其静态弯曲脆性断裂的载荷峰值，并用力学公式计算出试样的抗弯强度 1. 设备仪器 1）弯曲性能测试仪为 JW-1 型弯曲性能测试仪。该试验仪上安装的试样夹具如图 b 所示，支点间距 30mm  b）试样夹具示意图 2）水银温度计：测温范围为 0 ~ 200℃，分度为 1℃ 3）表面温度计：测温范围为 0 ~ 100℃，分度为 1℃ 4）恒温水浴，温度控制精度为 ±1℃ 5）压注机：气动或液压活塞式压注机 6）试样压型：压型型腔及模口，尺寸形状如图 c 所示。型腔内尺寸公差按 IT6 级精度确定  c）试样压型示意图 2. 试样的制备 1）模料压注温度选用实际生产中认为的最佳温度值。压注温度波动范围控制在 ±1℃内 2）模料压注压力选为（1.18 ±0.02）MPa。选用其他压注压力时要在试验报告中注明 3）压型温度为（28 ±2）℃ 4）保压时间为（100 ±10）s 5）将模料装入预热至压注温度的模料筒内进行压注。每次装料只能压注一次，压注完毕余料厚度不得小于 20mm 6）试样不应有裂纹、气孔、机械损伤、冷隔等缺陷，迎光透视试样内部不应有孔洞

（续）

测定项目	测　定　方　法
模料抗弯强度	7）重复压制合格试样 9 个以上 8）试样在室温下存放 20h 以上，再放入（20 ± 1）℃的恒温水浴中保温 4h，取出擦干待测。若试样在 20℃下恒温存放，则不必再经（20 ± 1）℃的恒温处理。存放期内试样不得弯曲变形 3. 试验步骤 1）用游标卡尺测量试样尺寸 2）将试样放在试验机夹具支架上，不得歪斜或倾斜。压头固定在加载杆上，其刃口应与支架上的两个刃口相平行，且处于中间位置 3）开动试验机加载，加载速度为 1.5 ~ 2N/s 4）记录试样断裂时的载荷 4. 试验结果的计算 将测试结果代入下式，求出模料试样的抗弯强度。 $$\sigma_{bb} = 3FL/2bh^2$$ 式中　σ_{bb}——抗弯强度（MPa） F——试样断裂时的载荷（N） L——两支点间距（mm） b——试样宽度（mm） h——试样厚度（mm） 计算出模料抗弯强度试验结果的标准偏差 σ，剔除 3σ 以外数据后计算出算术平均值，即为该模料的抗弯强度值。用于计算算术平均值的试样不得少于 9 个 5. 精密度 用以下规定来判断试验结果的可靠性（95% 置信度） 1）重复性。同一操作者在同一实验室重复测定同一种模料试样，两个结果之差值不应大于 0.6MPa 2）再现性。不同操作者在不同实验室测定同一种模料试样，两个结果之差不应大于 1.0MPa
模样灰分	模料灰分是采用无灰滤纸作引火芯点燃试样，再将固体残渣灼烧至恒重来求得的 1. 试剂 1）20%（体积分数）稀盐酸 2）25%（体积分数）稀硝酸 3）无灰滤纸 2. 设备仪器 1）分析天平：精度为 0.0001g 2）干燥器 3）箱式电炉：最高炉温为 900 ~ 1050℃，工作温度为（850 ± 25）℃ 4）电炉：带调压器 5）瓷坩埚：容积为 35 ~ 50mL 6）坩埚钳 3. 试验步骤 1）用 20% 稀盐酸洗涤瓷坩埚，如不净再用 25% 稀硝酸洗涤，最后用蒸馏水洗净、干燥。在（850 ± 25）℃下灼烧 30min，稍冷，置于干燥器中。冷却至室温后称重，准确至 0.0001g 2）重复灼烧、冷却及称重，直至获得二次连续称量间的差数不大于 0.0004g 为止 3）将模料按一般工艺熔化、搅拌及过滤。冷却后分别从不少于三处取等量模料混匀 4）称 5g 试样，准确到 0.0001g，放入灼烧至恒重的坩埚中 5）在电炉上将试样缓慢加热熔化，勿使模料液溢出或溅出。用无灰滤纸做灯芯，放入模料液中点燃，试样燃烧不要过快，应燃烧完全 6）当坩埚中仅剩下残灰，再将之放入已加热至（850 ± 25）℃的箱式电炉中灼烧 1h 左右。取出稍冷，再放入干燥器中冷却至室温，称重。然后再灼烧、冷却、称重，直至差数不大于 0.0004g 为止 7）取二个平行测定结果的算术平均值作为测定结果，取至 0.001% 4. 计算 灰分含量按下式计算： $$f = \frac{a-b}{C} \times 100\%$$

（续）

<table>
<tr><th>测定项目</th><th>测　定　方　法</th></tr>
<tr><td>模样灰分</td><td>式中　f——灰分含量(%)
a——盛有残灰的坩埚质量(g)
b——坩埚质量(g)
C——模料试样质量(g)
5. 允许差
平行测定两个结果的允许差,不应超过下表所列数值
<table>
<tr><th>灰分(%)</th><th>允许差(%)</th></tr>
<tr><td>≤0.005</td><td>0.004</td></tr>
<tr><td>>0.005 ~0.01</td><td>0.006</td></tr>
<tr><td>>0.01 ~0.1</td><td>0.01</td></tr>
<tr><td>>0.1 ~1.0</td><td>0.02</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>模料线收缩率</td><td>模料线收缩率测定方法是将制备好的膏状或液态模料,在一定压力下注入一定温度的圆饼试样压型中;取出试样,在一定温度下放置24h以上,然后测量试样的直径尺寸;最后用压型与试样的直径尺寸差除以压型直径尺寸计算出的百分率,表示该种模料的线收缩率
1. 设备仪器
1)水银温度计:测量范围为0~100℃,分度为1℃
2)表面温度计:测量范围为0~100℃,分度为1℃
3)恒温水浴:温度控制精度为±1℃
4)游标卡尺:量程为0~150mm,精度为0.02mm
5)压注机:气动或液压活塞式压注机
6)试样压型:试样压型型腔及模口尺寸形状如图d所示。型腔内尺寸公差按IT6级精度确定
 

d)试样压型示意图
2. 试样制备
1)模料压注温度选择实际生产认为的最佳温度,压注温度波动范围控制在±1℃内
2)压注压力为(1.18±0.02)MPa。如果采用其他压力时,需在试验报告中注明
3)压型温度为(28±2)℃
4)保压时间为(100±10)s
5)将模料装入预热到压注温度的模料筒中进行压注。每次装料只能压注一次。压注完毕模料筒内余料厚度不得小于20mm</td></tr>
</table>

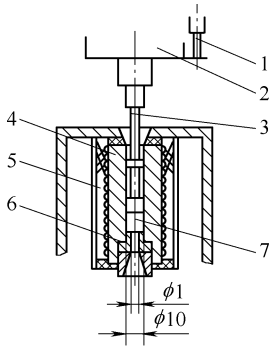
（续）

测定项目	测　定　方　法
模料线收缩率	6）仔细检查试样，其待测表面不得有任何影响测试的缺陷，如气泡、冷隔和缩陷等。除去飞边和模口余料 7）重复压制合格试样 6 个以上 8）试样在室温下存放 20h 以上，再放入（20 ± 1）℃恒温水浴中保温 4h，取出擦干待测。若试样在 20℃恒温存放 24h，则不必再经（20 ± 1）℃的恒温处理。存放期内试样不得弯曲变形 3. 试验步骤 1）用游标卡尺测量试样直径 2）同一试样测试三次，每两个测试直径的夹角应大于 90°。之后，取其算术平均值 4. 试验结果的计算 线收缩率按下式计算： $$\delta = \frac{D - D_1}{D} \times 100$$ 式中　δ——线收缩率（%） D——试样压型型腔直径（mm） D_1——实测试样直径（mm） 5. 精密度 用以下规定来判断试验结果的可靠性 1）重复性。同一操作者在同一实验室重复测定同一种模料试样，两个平行测定结果之差不应超过 0. 10% 2）再现性。不同操作者在不同实验室测定同一种模料试样，两个结果之差不应大于 0. 16%
模料表面硬度	在规定的温度、负荷和时间条件下标准针垂直插入试样的针入度值来表示模料的表面硬度，以 0. 1mm 为单位 先将模料熔化并升温至熔点以上 20℃，倒入试样成型器，随后在（20 ± 1）℃下冷却至室温。然后，将试样放入水浴中在试验温度下保温 2h。用“针入度计”的标准针在 100g 载荷下插入试样 5s，测取标准针插入试样的深度 1. 设备仪器 1）针入度计及附件：SYP4001Z 型自动针入度测定器及其附件（符合 GB/T 4985—2010 的规定） 2）成型器：成型器为两端开口的黄铜圆筒，其内径为 25mm，高为 42mm，壁厚为 6mm。为防止试样滑动，筒内壁上刻有螺纹式沟槽 3）黄铜板：黄铜板的长、宽和厚分别为 65mm、40mm 和 6. 5mm，用作成型器的承托板。黄铜板上两个大平面的表面粗糙度 $Ra \leqslant 0.4\mu m$ 4）恒温室及恒温箱：温度控制在（20 ± 1）℃内 5）水浴：水浴的容积不少于 10L，能保持试验温度准确到 ± 0. 1℃。试样浸在水浴中的深度不少于 100mm，并置于距浴底不少于 50mm 的筛板调节架上 6）玻璃小水浴：玻璃小水浴的外径为 140mm，高为 90mm。内装平板玻璃，并保证其固定于水平位置上。沿水浴内壁盘旋蛇管通水恒温，并准确至 ± 0. 1℃ 7）温度计：温度计为全浸式，并符合 GB/T 14235. 5—1993 附录 A 的要求 2. 试样制备 1）将黄铜板置于两个软木塞上，用脱模剂润湿其上表面，放上试样成型器。然后，把它们放入（30 ± 1）℃的保温箱内恒温 20min 2）加热模料，待熔化后温度再升高 20℃。熔化时充分搅拌模料液，并使其内含气泡逸出后才可注入恒温的成型器。如果模料收缩过大无法形成光滑试样表面时，可适当提高黄铜板的恒温温度，或降低试样浇注温度 3）浇注试样使之成凸面，并在（20 ± 1）℃下冷却 1h，然后刮去多余的模料，从板上取下成型器。再将与黄铜板接触的试样光滑面朝上，在试验温度精确至 ± 0. 1℃的水浴中放置 1h。一般试验温度为 20℃，也可测定其他选定温度的针入度，但报告中要予以说明 4）将装有试样的成型器从水浴中取出，迅速放入玻璃小水浴中，使水面高出试样光滑面 20mm，用温度计直接测量玻璃小水浴的温度。当修正值等于或超过 0. 05℃时水银柱露出部分需要修正，修正方法见 GB/T 14235. 5—1993 的附录 A

（续）

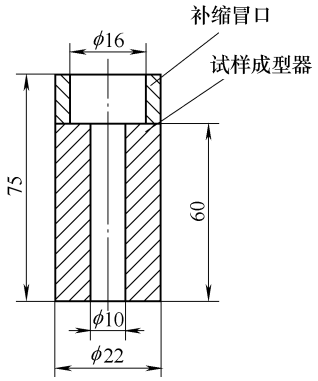
<table>
<tr><th>测定项目</th><th>测　定　方　法</th></tr>
<tr><td>模料表面硬度</td><td>3. 试验步骤
1）使滑杆与指针相接触，将针入度刻度盘指示值调整为零。调节可调针组使标准针靠近试样表面，观察针尖投影，用微调使针尖恰好接触试样表面。5min 后释放滑杆，使标准针自由降落 5s 后立即卡住滑杆。然后，轻轻按下指针杆使之与滑杆顶住，准确地由刻度盘读取针入度值。用秒表计时，要在试验前开动秒表，当秒针走至易于读算位置时释放滑杆，经 5s 时立即卡住滑杆
2）每个试样需测试四点，每个测点距试样边缘不小于 6mm，并且彼此间距均不得少于 8mm。不要选择试样表面有白斑或皱纹处作为测定点。每次测定前要认真检查水浴温度。用清洁的干绸布顺针尖擦拭，以除去前次测定所附着的渣屑
4. 试验结果的计算
取四次测定结果的算术平均值作为测定结果，即表面硬度值。计算结果精确到一个单位
5. 精密度
通过实验室测试结果的统计分析，得此方法的精密度如下：
1）重复性。按照本方法正确地操作，同一操作者使用同一台仪器，对同一试样进行两个连续测定，结果间的差值超过下表中所列误差者，视为误值剔除
2）再现性。按照本方法正确地操作由不同操作者在不同实验室，对同一试样进行测定，任意两个独立结果之间的差值，超过下表所列误差则视为误值剔除
试验方法精密度数据
<table>
<tr><th>测试范围/单位</th><th>重复性/单位</th><th>再现性/单位</th></tr>
<tr><td>0 ~ 5</td><td>1</td><td>2</td></tr>
<tr><td>> 5 ~ 30</td><td>2</td><td>3</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>模料酸值</td><td>模料酸值系用中性乙醇溶解试样，然后用氢氧化钾乙醇标准溶液进行滴定来测定的
1. 试剂
分析过程中除非另有规定，只允许使用分析纯试剂和蒸馏水
1）95%（体积分数）中性乙醇溶液
2）0. 05mol/L 或 0. 1mol/L 氢氧化钾乙醇溶液
3）0. 05mol/L 或 0. 1mol/L 盐酸标准溶液，用以经常标定氢氧化钾乙醇溶液
4）1% 酚酞指示剂溶液：称 1g 酚酞，溶于 100mL 95% 乙醇中，并在水浴中煮沸回流 5min，趁热用 0. 1mol/L 氢氧化钾乙醇溶液滴定至微粉红色
2. 设备仪器
1）锥形烧瓶：250mL 或 300mL
2）球形回流冷凝管：长约 300mm
3）滴定管：10mL，分度为 0. 05mL
4）水浴锅或电热板
5）分析天平：精度为 0. 0001g
3. 试验步骤
1）空白试验：在一只清洁无水的锥形烧瓶中，加入 95% 中性乙醇溶液 50mL，装上回流冷凝管。在不断摇动下，将乙醇煮沸 5min 去除溶解于其中的二氧化碳。然后加入 6 ~ 10 滴酚酞指示剂，趁热用 0. 1mol/L 氢氧化钾乙醇溶液滴定，至溶液呈微红色为止
2）用刮刀将蜡料表层去除，在不少于三处取等量模料混匀。称 1 ~ 10g 试样，准确至 0. 0001g，放在 250mL 清洁干燥的锥形烧瓶中。酸度大的模料取 1g 样，酸度小的模料可多称些，最多可称 10g。
3）加入 95% 中性乙醇 20 ~ 60mL，装上回流冷凝管。把锥形烧瓶置于水浴锅上加热，以溶解模料，注意勿使蒸气逸出。溶剂用量见下表
<table>
<tr><th>试样质量/g</th><th>溶剂用量/mL</th></tr>
<tr><td>1 ~ 3</td><td>20</td></tr>
<tr><td>> 3 ~ 7</td><td>40</td></tr>
<tr><td>> 7 ~ 10</td><td>60</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

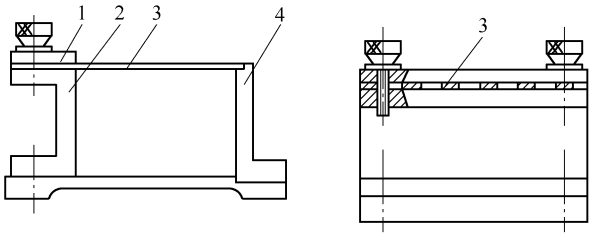
<table>
<tr><th>测定项目</th><th>测　定　方　法</th></tr>
<tr><td>模料酸值</td><td>
4）当试样溶解至清澈透明后，取出锥形烧瓶迅速加入 6 ~ 10 滴酚酞指示剂，用 0.05mol/L 或 0.1mol/L 氢氧化钾乙醇溶液滴定，至溶液呈微红色 30s 不退色为止
在每次滴定过程中，自停止加热到滴定完所经过的时间不应超过 3min。若滴定过程中试样有凝固现象，则需重新加热溶解后再进行滴定
5）取重复测定三个结果的算术平均值，作为模料试样的酸值
4. 计算
试样的酸值 X 用 mgKOH/g 的数值表示，按下式计算
$$X=\frac{56.1c(V-V_0)}{m}$$
式中　56.1——氢氧化钾的摩尔质量（g/mol）
c——氢氧化钾乙醇溶液的浓度（mol/L）
V——模料试样消耗的氢氧化钾乙醇溶液体积数（mL）
V_0——空白试验消耗的氢氧化钾乙醇溶液体积数（mL）
m——模料试样质量（g）
5. 精密度
同一操作者重复测定同一试样两个结果之差不应超过下表的规定
<table>
<tr><th>酸值范围/（mgKOH/g）</th><th>重复误差/（mgKOH/g）</th></tr>
<tr><td>≤10</td><td>±0.30</td></tr>
<tr><td>>10 ~ 20</td><td>±0.40</td></tr>
<tr><td>>20 ~ 40</td><td>±0.50</td></tr>
<tr><td>>40 ~ 60</td><td>±1.00</td></tr>
<tr><td>>60 ~ 80</td><td>±1.50</td></tr>
<tr><td>>80</td><td>±2.50</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>模料流动性</td><td>
模料流动性是指模料在一定温度下流动时所表现出的切应力与剪切速率之间的关系
将模料试样放入一定温度的毛细管流变仪样品室内保温一段时间，在一定载荷下将其从毛细管压出。在模料压出时，测出其流经毛细管的切应力和剪切速率，建立起切应力和剪切速率之间的关系
1. 设备仪器
1）毛细管流变仪：ML-01 型毛细管流变仪装置。该仪器的样品室和毛细管的结构和尺寸如图 e 所示


e）流变仪样品室和毛细管结构示意图
1—位移传感器　2—加载机构　3—柱塞　4—加热炉
5—保温层　6—毛细管　7—样品室
2）试样成型器：试样成型器如图 f 所示
</td></tr>
</table>

（续）

测定项目	测　定　方　法
模料流动性	 f）试样成型器 3）恒温水浴或烘箱：加热温度范围为 0 ~ 100℃ 2. 试样制备 1）将盛模料烧杯放入恒温水浴或烘箱内熔化，模料熔化后温度升高 20℃并保温 30min 2）将熔化好的模料液注入试样成型器内，液面高度至补缩冒口上端 3）将试样成型器外部多余的模料刮去，取出试样。在强光下透视观察，试样内部不应有气泡或孔洞 3. 试验步骤 1）每次测试之前，先打开仪器开关，并设置预选的测试温度。当仪器温度恒定后，将试样放入样品室内保温 30min 2）根据估计的模料压注工艺，选定加载速度 3）开动试验仪的加载开关，使仪器柱塞下降将模料从毛细管压出，并立即记录数据。当柱塞下降 40mm 时，停止测度。此时样品室内的剩余料高度不得低于 10mm 4）每次测试后要将剩余料全部从样品室中取出，并将样品室和毛细管清理干净。然后，将样品室和毛细管重新安装到仪器上 5）在各选定条件下按上述方法重复测试三次，取其算术平均值 4. 试验结果的计算 切应力 τ_w 和剪切速率 $\dot{\gamma}_w$ 分别按下列各式计算： $$\tau_w = \frac{\Delta p}{2(L/R + e)}$$ $$\gamma_w = \frac{4Q}{\pi R^2}\left(\frac{3n+1}{4n}\right)$$ 式中　τ_w——管壁切应力（MPa） $\dot{\gamma}_w$——管壁处剪切速率（s^{-1}） Δp——毛细管两端之间的压差（MPa） Q——流量（mm^2/s） L——毛细管长度（mm） R——毛细管半径（mm） n——流动指数 e——修正因子，修正因子 e 和流动指数 n 的求法见 GB/T 14235.7—1993 的附录 A（补充件）。运算中数据保留到小数点后两位，结果取整数 绘出试验温度下的 $\ln\tau_w - \ln\dot{\gamma}_w$ 曲线 5. 允许差 在同一条件下重复测试三次，三次测试结果的最大差值除以算术平均值不应大于 12%，否则重做。在允许差范围内以三次测试结果的算术平均值作为该模料在此条件下的流动性数据

（续）

测定项目	测　定　方　法
模料粘度	采用双筒旋转粘度计，在指定温度下通过改变粘度计转子的剪切速率测得液态模料在指定温度下粘度的变化 1. 设备仪器 1）双筒旋转粘度计：NSX-Ⅱ型旋转粘度计，其技术指标： 剪切速率范围为 1.23 ~ 996s^{-1} 仪器的重现性为 ±1% 物料温度范围为 0 ~ 95℃ 2）超级恒温水浴：温度控制精度 ±1℃ 3）水银温度计：测量范围为 0 ~ 200℃，分度为 1℃ 4）盛样筒：直径≥40mm，筒深≥50mm 5）恒温水浴或烘箱：加热范围为 0 ~ 100℃，温度控制精度为 ±1℃ 2. 试验步骤 1）按使用说明安装调试好双筒旋转粘度计和超级恒温水浴 2）将超级恒温水浴中水温升至指定的测试温度下保温，粘度计在测试前要预热 30min 3）根据估计的模料粘度范围，选择测量系统，并把测量转子在恒温水浴中预热 30min 4）将盛入烧杯中的模料在恒温水浴中或烘箱内熔化，并在测试温度以上 10℃下保温 5）将烧杯中液态模料注入粘度计的测试筒内，注入量应达到转子的上表面，并有少量模料流入转子上表面槽内 6）将选择好的测量转子从恒温水浴中取出迅速用吸水纸及干净的布擦净。小心垂直地放入测试筒内，固定好，然后静止保温 20min，使筒内模料及转子均温待测 7）开动粘度计，从低速档至高速档连续测试粘度。每档启动后等表盘指针在两个小格内摆动时即刻读数，随后扳向下档。如转子转速置于最高档，读数不足 50 格，或转速置于最低档，读数已超过 100 格，都属测量系统选择不当所致，应更换测量系统重新测量 8）每种模料在同一温度下重复测试三次，每次重复测试应更换测试筒内的模料 3. 试验结果的计算 模料在某一温度、不同剪切速率下的粘度，按下式进行计算： $\eta = k \cdot \alpha$ 式中　η——模料的粘度（MPa · s） k——仪器常数 α——粘度计表盘读数 4. 允许差 某温度下模料在不同剪切速率下粘度重复测试三次，三次测试的各剪切速率对应粘度值的允许差应小于 8%。否则，该粘度值重做。在允许差范围内的粘度值以三次对应值的算术平均值作为模料在该温度、该剪切速率下的粘度
模料热稳定性	将模料试样一端固定在热稳定性测定仪支架上，在给定温度下保温 2h，测定悬臂伸出端的下垂量，当下垂量小于等于 2mm 时的最高温度值为热稳定性温度 1. 设备仪器 1）热变形量测定仪如图 g 所示  g）热稳定性测定仪示意图 1—压板　2—支架　3—试样　4—定位块

（续）

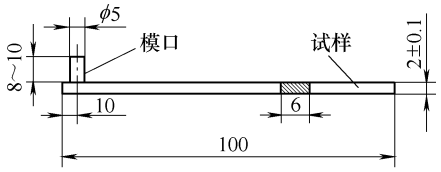
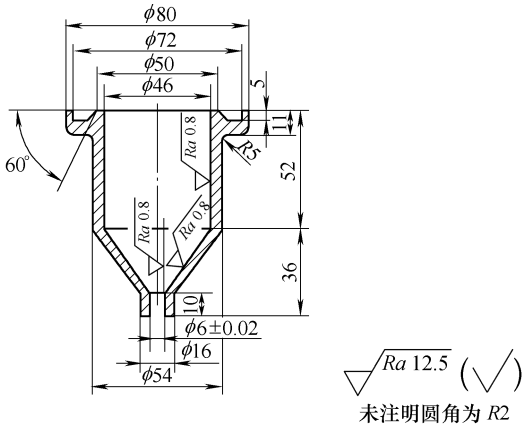
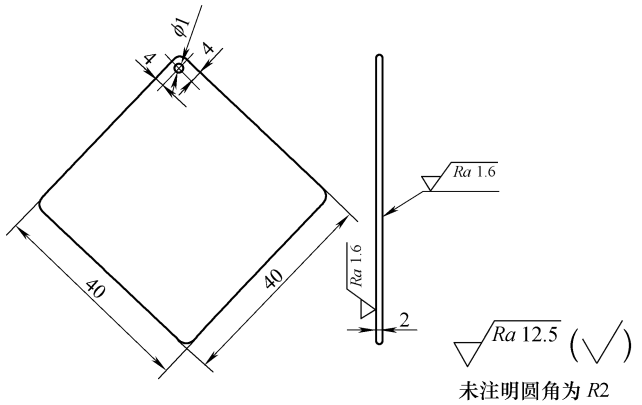
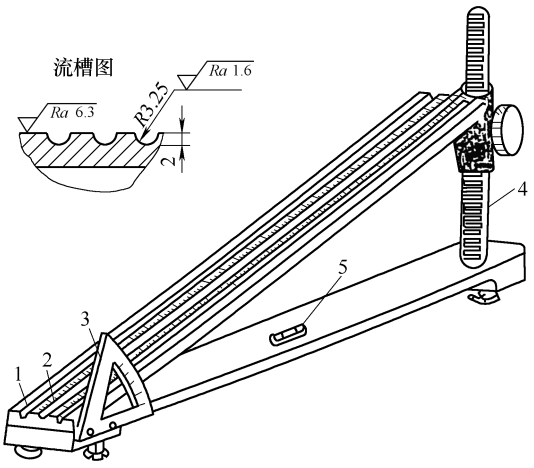
测定项目	测　定　方　法
模料热稳定性	2）隔水式电热恒温箱：温度精度为 ±0.5℃ 3）游标高度尺或读数显微镜：游标高度尺量程为 150mm，精度为 0.02mm。读数显微镜量程为 100mm，精度为 0.01mm，物镜焦距 >30mm 4）水银温度计：测温范围为 0 ~ 100℃，分度为 0.1℃ 5）表面温度计：测温范围为 0 ~ 100℃，分度为 1℃ 6）游标卡尺：量程为 150mm，精度为 0.02mm 7）压注机：气动或液压活塞式压注机 8）水浴锅 2. 试样制备 1）试样形状、尺寸如图 h 所示  h）试样（带模口余料） 2）压注工艺参数：模料的压注温度采用实际生产中认为的最佳压注温度；压注温度一旦确定后，温差应控制在 ±1℃范围内；压注压力为（1.18 ±0.02）MPa；压型温度为（28 ±2）℃；保压时间为（25 ±5）s 3）将模料装入预热至压注温度的模料筒中进行压注。压注完毕注蜡筒内余料厚度不得小于 20mm 4）对光透视试样，内部不应有气泡，不得弯曲或翘曲 5）修去多余毛刺及模口余料 6）用游标卡尺逐个检查试样厚度，超过名义尺寸 ±0.1mm 者作废 7）试样在室温下存放 20h 以上，再放入（20 ±1）℃的恒温水浴中保持 0.5h 以上，取出擦干待测。如试样在 20℃下恒温存放，则不必再经（20 ±1）℃的恒温处理。存放期内试样不得翘曲变形 3. 试验步骤 1）将检查合格的试样仔细安装在热变形量测定仪的支架上，试样上无毛刺的一面朝下作为测量基准面。试样相互间应留有空隙，不得粘连。用固定块保证试样悬臂长 60mm，然后将压板压紧，试样不得松动，每次试验不得少于 12 个试样 2）小心移去固位块，使试样悬壁伸出端呈自由状，用高度尺或读数显微镜逐一测出其高度 H_1 3）将装好试样的热变形量测定仪放入给定温度的恒温箱中，温度以试样所在位置的温度为准。几套测定仪同时加热时其相互间距离及其与炉门、炉壁之间的距离均应大于 50mm 4）从试样入炉时开始计时，保温 2h 后取出试样，逐个测量试样悬臂伸出端高度 H_2。计算出下垂量 $\Delta H = H_1 - H_2$，及其算术平均值 5）与算术平均值之差大于 ±0.4mm 的测量值应剔除。从 9 个以上的测量值取算术平均值，准确到 0.01mm 6）如果给定试验温度下，试样下垂量 $\Delta H < 2$mm，则将温度提高 2℃，更换新试样再测，直至 ΔH 为 2mm 为止，则此 t 为模料热稳定性温度。若 $t+2$℃时试样 $\Delta H > 2$mm，则再测 $t+1$℃时下垂量：若 $\Delta H < 2$mm，则 $t+1$℃为热稳定性温度；若 $\Delta H > 2$mm，则 t 为热稳定性温度 如果给定试验温度下，试样下垂量 $\Delta H > 2$mm，则将温度降低 2℃，更换新试样再测，直至 ΔH 为 2mm 为止，则此 t 为模料热稳定性温度。若 $t-2$℃下垂量 $\Delta H < 2$mm，则再测 $t-1$℃时下垂量：若 $\Delta H > 2$mm 时，则 $t-2$℃为热稳定性温度；若 $\Delta H < 2$mm，则 $t-1$℃为热稳定性温度。

表 4-139　熔模铸造生产中涂料性能的测试方法（供参考）

测试项目	测　试　方　法
	水玻璃涂料性能的测试
涂料粘度	适用于面层涂料和背层涂料 1. 所用装置 1）标准流杯。容积为 100mL，流出孔径为（6 ±0.02）mm。具体尺寸如图 a 所示，其材料可用 H62 黄铜、06Cr18Ni11Ti 或碳钢镀铬等  a）标准流杯 2）流杯架 3）气泡水准仪 4）取样勺 5）30 目筛网 6）刮尺 7）秒表 2. 试验步骤 将清洁、干燥的流杯放在流杯架上，用气泡水准仪将流杯上沿调水平。用勺取出 120mL 充分搅拌的涂料试样。用手指堵住流杯出孔，将通孔 30 目筛网的涂料灌入流杯，直至溢出环形通道为止。再用刮尺刮过流杯上沿 把承接器放在流杯下面，松开手指，同时按秒表计时，当流出孔底部的流线一旦中断而成滴状时立即按秒表，并记录流出时间，同时记录涂料温度 至少重复两次，读数误差相差不得超过 5%，取平均值 注：1. 除非要求结果十分严格，一般可省略过筛和刮平步骤 2. 流杯用完应立即用水清洗并风干。使用前要检查流杯，尤其要注意保证流出孔干净 3. 每周用一种已知粘度的液体检查一次流出时间。如误差超过 5%，则需修正流杯尺寸。无法修正时则应报废
涂料覆盖性	涂料覆盖性包括涂料厚度及均匀性，适用于面层涂料和背层涂料 1. 所用装置 1）不锈钢涂片：40mm ×40mm ×2mm，具体尺寸如图 b 所示 2）玻璃片：110mm ×80mm ×3mm 3）天平：精度为 0.01g 2. 涂层厚度试验步骤 1）取一干净不锈钢涂片，称出质量 A，准确至 0.01g 2）手持涂片上细丝，放入充分搅拌的涂料中，使涂料刚好没过涂片。10s 后慢慢地提起涂片，静止，让多余涂料滴落。2min 后在天平上称出质量 B（准确至 0.01g），则（$B-A$）为涂层质量

（续）

测试项目	测　试　方　法
水玻璃涂料性能的测试	
涂料覆盖性	 b）涂片 涂层厚度按下式计算： $S=\frac{B-A}{F\rho}$ 式中　S——涂层厚度（cm） F——被覆盖总面积（cm^2） ρ——涂料密度（g/cm^3） 注：对于同种粉料可直接用涂层质量作为指标 3. 均匀性试验步骤 1）手持铁皮夹夹住玻璃片浸入充分搅拌的涂料中，10s 后提出，静止让多余涂料滴落 2）对光观察涂料层特征。涂料层均匀、平整，说明其覆盖性好；如有下列情况，则覆盖性不好 ① 涂层起伏不平的条纹 ② 涂层过多地堆积在片下段的边沿上 ③ 涂料中的气泡造成的小孔 ④ 涂料中有粗的颗粒等 ⑤ 分散不够，涂料中有粉料疙瘩等 ⑥ 玻璃片表面覆盖得不好，露出一些不规则的光面 ⑦ 涂层开裂
涂料流动性	适用于面层涂料和背层涂料 1. 所用装置 1）流动性测定仪，具体尺寸如图 c 所示，材料为碳钢镀铬  c）流动性测定仪 1—流槽（不锈钢）　2—刻度尺　3—角度尺　4—立柱　5—水泡

（续）

测试项目	测　试　方　法
水玻璃涂料性能的测试	
涂料流动性	2）2mL 移液管 2. 试验步骤 将清洁、干燥的流动性测定仪调整到所需角度，测面层涂料取 20°，测背层涂料取 40° 用移液管吸取 0. 5mL 充分搅拌的涂料，滴在流动性测定仪各槽上端。涂料停止流动时，测定并记录涂料流动的平均长度 注：流动性测定仪用后应立即清洗干净并风干，防止生锈
涂料氧化钠含量	适用于面层涂料和背层涂料 1. 所用装置及材料 1）100mL 量筒 2）250mL 三角瓶 3）25mL 滴定管和支架 4）0. 1mol/L 浓度盐酸标准溶液 5）溴甲酚紫指示剂（0. 1g 溴甲酚紫溶于 100g 质量分数为 20% 乙醇溶液中） 6）天平：精度为 0. 01g 2. 试验步骤 准确称取 1. 55g 涂料放入 250mL 三角瓶中。加 100mL 蒸馏水，摇匀后加 2 ~ 4 滴溴甲酚紫指示剂，再用 0. 1mol/L 浓度盐酸标准溶液滴定，至溶液刚好由紫变黄为止。记下所用盐酸毫升数 V 按下式计算氧化钠的含量： $$w(Na_2O) = 0.2V\%$$ 式中　V——滴定时所消耗的盐酸量（mL）
涂料密度	容重法，适用于面层和背层水玻璃涂料 1. 所用装置 1）150mL 三角瓶 2）30 目筛网 3）天平：精度为 0. 05g 2. 试验步骤 1）称一个清洁、干燥的 150mL 三角瓶质量 A，准确至 0. 05g 2）从充分搅拌涂料的下部取出一份有代表性的试样过 30 目筛网，尽快倒入三角瓶中，直至与瓶口平齐。擦净瓶外溢出物，称装有涂料的三角瓶质量 B 按下式计算密度 ρ $$\rho = \frac{B - A}{V}$$ 式中　V——三角瓶实际体积（mL），需事先标定
硅酸乙酯涂料性能的测试	
涂料粘度	适用于面层和背层硅酸乙酯涂料 1. 所用装置 所用装置与水玻璃涂料粘度测定所用装置同 2. 试验步骤 试验步骤与水玻璃涂料粘度测定步骤同 注：1. 取样要快，低粘度的背层涂料因粉料沉淀快，流杯流出孔会局部受阻，使测得的读数偏高 2. 流杯用完后应立即用乙醇洗净并风干，使用前要检查流杯，尤其是注意流出孔干净 3. 每周用一种已知粘度的液体检查一次流出时间，如误差超过 5%，则需修正流杯尺寸，无法修正时则应报废

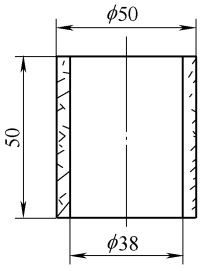
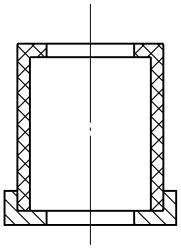
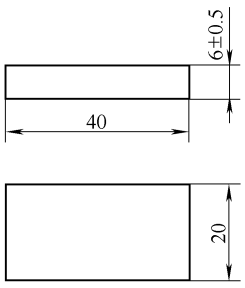
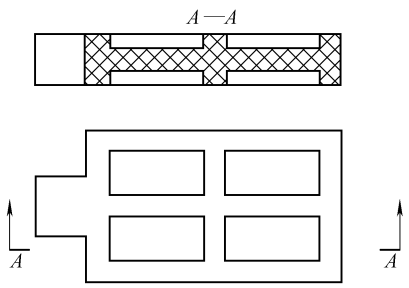
（续）

测试项目		测　试　方　法
硅酸乙酯涂料性能的测试		
涂料密度	液体密度计法	密度计法和容重法，适用于面层和背层硅酸乙酯涂料 1. 所用装置 1）密度计：量程为 1.50～250，最小刻度值为 0.02 2）温度计：量程为 0～50℃，最小刻度值为 0.1℃ 2. 试验步骤 1）把涂料充分搅拌，静止 30s 后除去涂料表面上的泡沫，再慢慢把密度计浸入涂料槽中。直到比预期漂浮的刻度线稍低一点处。松开密度计，让它下沉，30s 后读数。如密度计沉得过低，撒手后又浮起来，那就应记下大致读数。把密度计杆擦净，重新沉到恰当的位置，记下最后读数 2）测量并记录涂料温度 注：1. 密度计用后应用乙醇洗净，并风干 2. 在要求严格时，可预先做出温度-密度关系曲线图，以得到在标准温度下的密度读数
	容重法	1. 所用装置 所用装置与水玻璃涂料密度采用容重法所用装置同 2. 试验步骤 试验步骤与水玻璃涂料密度采用容重法的试验步骤同 注：用毕三角瓶应用乙醇洗净并风干
涂料酸度	pH 计法	pH 计法和精密试纸法，适用于硅酸乙酯涂料 1. 所用装置 1）pH 计：精确度为 0.1 2）2mL 移液管 3）100mL 容量瓶 2. 试验步骤 1）按 pH 计使用要求提前活化 pH 计的玻璃电极。用移液管将 1mL 乙醇移入容量瓶中，用该移液管将 2mL 乙醇移入容量瓶中，然后向容量瓶中加入蒸馏水至刻度线，盖好，摇匀 2）按 pH 计使用要求调好 pH 计，测量其数值 A，$(A-2)$ 为水解液 pH 值，记录
	精密试纸法	1. 所用装置 pH 范围 1.4～3.0 的精密试纸 2. 试验步骤 1）停止搅拌涂料后测定粘结剂时，可把试纸浸入其中；测定涂料时，则把试纸折成“L”形，轻轻地放在涂料表面，停留 1～2min，让被测液体渗入试纸中，将所得颜色与标准比较 2）2min 后假如试纸上仍看不出颜色变化，则可在试纸上滴一滴中性醇液 注：1. pH 计不宜在生产现场使用。不用时应把玻璃电极保存在异丙醇中，玻璃电极粘附上二氧化硅所得结果会有错误，所以对硅酸乙酯溶液建议采用土壤电极 2. 用试纸测定时应在清洁的环境中进行，试纸不用时应存放在密封的容器中

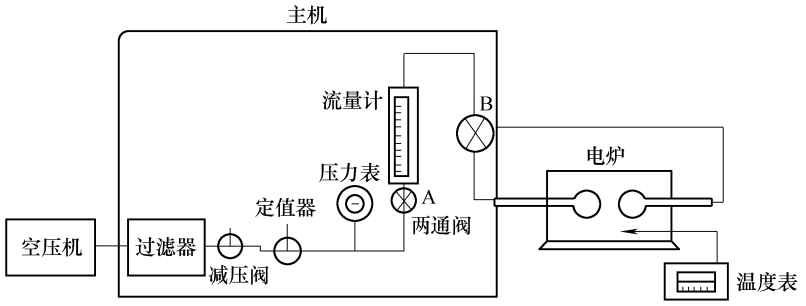
表 4-140　熔模铸造生产中型壳高温性能的试验方法（供参考）

试验项目	试　验　方　法
型壳高温热变形	适用于测定型壳在定载荷下，从室温～1300℃的范围内，各不同温度下的热变形值 1. 仪器设备 测试仪器为 RKB-型壳高温变形仪，使用中应注意：①该仪器应在无强磁、电场、无强烈振动和清洁环境中工作；②该仪器高温炉的发热元件为硅碳棒，其最高使用温度为 1350℃；③对试样加载的载荷误差为 1%～3% 2. 试样的制备 1）试样形状及尺寸如图 a 所示

（续）

试验项目	试　验　方　法
型壳高温热变形	2）试样采用图 b 所示的两块蜡模组组装后，在蜡模内壁约涂挂六层制壳材，使壳厚略超过 6mm，然后沿蜡模内口把试样刮平，保证试样厚度为 6mm 3）试样脱蜡后经 110℃、保温 2h 烘干  a）试样形状与尺寸图  b）试样蜡模组装图 3. 试验步骤 1）把测量杆调至铅垂位置，调节安平螺旋机构，使水准仪的水泡处于“居中”位置（或处于水泡的分划线以内） 2）进行试验时，把中心有孔的标准块放在试样座上，然后移动加载部件，使加载杆下降时正好能落入标准块的孔中，固定加载部件，然后按反时针方向松动螺旋微调机构，提起加载杆，去掉标准块，把试样横放在试样座上，使加载杆加于试样的载荷位于试样表面的中心位置 3）检查各仪表性能正常后，将温度控制仪表上的加热使度“开关”拨至所需位置，开始给试样加热，随着温度的升高，试样产生变形的数将在电感位移计和双笔记录仪上显示和记录下来 4. 结果的计算 由于仪器整个系统和加载杆受热后也会有一定的变形量，所以加载杆的位移并不等于试样的变形量，需要减去相同条件下的“空白试验”数据 5. 试验记录 试验记录应包括：试样名称、试样编号、试验温度及其对应的试样热变形值，检验日期、检验人员
型壳高温抗弯强度	适用于测定型壳标准试样在室温 ~ 1200℃ 的范围内，加载情况下的抗弯强度及变形值 1. 仪器设备 测试仪器为型壳高温抗弯强度仪，使用应注意：①该仪器在无强磁、电场，无强烈振动和清洁环境中工作；②该仪器高温炉的发热元件为铁铬铝电阻丝，其最高使用温度为 1250℃；③仪器的测量精度为 1.5% 2. 试样的制备 1）试样形状及尺寸如图 c 所示 2）采用图 d 所示带有八个凹穴的蜡模，按生产工艺或根据检测要求制备试样。每涂挂一层均将凹穴以外的多层涂料刮掉，直到涂挂至凹穴填满为止，最后一层只挂涂料不挂砂 3）试样脱蜡后经 110℃、保温 2h 烘干  c）试样形状及尺寸图  d）试样制备图

（续）

试验项目	试　验　方　法
型壳高温抗弯强度	4）试样底面及侧面应平整，棱角清晰，不得有分层之处 5）试样厚度应为（6 ±0.5）mm。测量时每块试样应按试样中部最薄部位测量 3 ~5 次，取平均值。测量精度为 ±0.1mm 3. 试验步骤 1）将型壳高温抗弯强度仪上下刀口对中，再把测量合格的试样放入炉中的下刀口上，加热至试验温度，待保温 0.5h 后开始试验。当连续试验时，每一个试样都必须保证在试验温度下，保温 10min 2）当测定试样的静态抗弯强度时，加载速度一般为 5 ~6mm/min 3）试样碰到上刀口后即进入加载状态，继续上升下刀口，使压力升至试样断裂为止。由 XWC-200 型电位差计读出变形量及所施加的载荷值 P 4）将断裂后的试样移送到炉后的非测试区存放，再由炉子后门取出 4. 结果的计算 1）将每个试样测得的载荷值分别代入下式，求出试样的抗弯强度值 $$\sigma_{bb}=\frac{3LF}{2ah^2}$$ 式中　L——抗弯曲跨距（mm） F——试样承受载荷（N） a——试样宽度（mm） h——试样厚度（mm） σ_{bb}——试样抗弯强度（MPa） 2）抗弯强度值应取不少于 5 个试样的试验结果的平均值 5. 试验记录 试验记录应包括：试样名称、试样编号、试样尺寸、试验温度及其对应的载荷值 F、试样的抗弯强度值 σ_{bb}、检验日期、检验人员
型壳高温透气性	适用于熔模铸造各种型壳 1. 所用装置 1）型壳高温透气性测定仪，如图 e 所示。测试温度为室温 ~1300℃，测试压力为 9.8 ~29.4kPa 2）焙烧炉：室温 ~1000℃ 3）石英玻璃管：管内径为 5 ~7mm 4）赛璐珞乒乓球 5）游标卡尺：量程为 150mm，游标读数值为 0.02mm  e）型壳高温透气性测定仪示意图 2. 实验步骤 1）试样制备。将一端加热的石英管在乒乓球上烧一小孔。等石英管冷却后将管插入乒乓球内 5 ~10mm，用蜡把接触处焊牢。用含表面活性剂的水溶液洗乒乓球及焊接处。按所定工艺方案制壳，水玻璃型壳厚为 7 ~10mm，硅酸乙酯型壳厚为 5 ~7mm，型壳壁厚应均匀。在石英管上包覆的长度为 50 ~70mm

（续）

试验项目	试　验　方　法
型壳高温透气性	2）试样焙烧。将停放两天的试样放入焙烧炉中，以 8℃/min 的升温速度升温至 180℃。保温至乒乓球完全汽化为止。随后以 15 ~ 18℃/min 的升温速度快速升温至焙烧温度：硅酸乙酯型壳和硅溶胶型壳 950℃，保温 1. 5h；水玻璃型壳 850℃，保温 1h。随炉冷却，取出试样待测 3）试样测试。用软橡皮管将石英管与型壳高温透气性测定仪相连。把试样壳放入已升至所需测定温度的电炉中央区，保温 15min。打开无油空压机开关。将压力调压 0. 2 ~ 0. 25MPa。打开流量计和试样前的两通阀，调定值器手柄，使压力达到规定值：水玻璃型壳为 9. 8kPa，硅酸乙酯型壳和硅溶胶型壳为 29. 4kPa。从流量计中读出并记下流量 q。取出试样，冷却后将型壳打破。用卡尺测量四个不同方向的厚度，算出平均值 d 4）结果计算 用下式计算出型壳透气性： $$K=\frac{q}{pA}\times d$$ 式中　K——型壳透气性[$m^4/(N\cdot min)$] q——通过型壳的气体流量(m^3/min) d——试样平均壁厚(m) p——空气压力(Pa) A——试样内表面积(m^2)

4. 3. 2　金属型铸造生产过程工序质量的控制（检验）

金属型铸造是指在重力作用下将熔融金属浇入金属型获得铸件的方法。

金属型铸造生产过程如图 4-6 所示。其主要生产过程工序包括：金属型和型芯的准备、合型、合金熔化和浇注、开型和顶（取）出铸件、铸件清理和后处理等。

金属型铸造生产过程工序对金属型铸造铸件的质量影响非常大，因此严格控制金属型铸造生产过程各工序的质量是十分重要的。

通常，应严格按企业制定的金属型铸造技术要求控制与检验金属型质量，不仅应按规定控制与检查金属型组装是否符合要求，而且还应注意控制与检查：①金属型是否有合格证；②金属型各组件是否齐全；③型腔内的油污旧涂料是否清理干净；④各通气塞、通气槽是否畅通；⑤涂料的成分和配制百分比是否符合要求；⑥金属型的预热温度和时间；⑦涂料喷涂的厚度和分布情况是否符合要求；⑧浇注机（台）各传动部分是否灵敏；⑨金属型的工作温度是否符合要求等。

有关金属型铸造生产中金属型的控制内容与检验方法见表 4-141。

表 4-141　金属型铸造生产中金属型的控制内容与检验方法（供参考）

控制内容	检验方法	检验依据	检验范围	检验者
金属型是否有合格证	观察检查	模具使用制度	每套模具	检验员
金属型各组件是否齐全	观察检查	铸型图样	每套模具	操作工
型腔内的油污、旧涂料是否清理干净	观察检查	工艺规程	每套模具	钢模工
各通气塞、通气槽是否畅通	观察检查	工艺规程	每套模具	操作工、检验员
涂料的成分和配制百分比是否符合要求	观察检查	生产说明书	每个工作班	检验员
金属型的预热温度和时间	测温、计时	生产说明书	每套模具	检验员
涂料喷涂的厚度和分布情况是否符合要求	磁性测厚仪量器或观察检查	生产说明书	每套模具	检验员
浇注机(台)各传动部分是否灵敏	观察检查	生产说明书	每台机器	操作工
金属型组装是否符合要求	观察检查	生产说明书	每套模具	操作工、检验员
金属型的工作温度是否符合要求	测温	生产说明书	每套模具	检验员

4.3.3　压力铸造生产过程工序质量的控制（检验）

压力铸造是指熔融金属在高压下高速充型，并在压力下凝固的铸造方法。

压力铸造生产过程如图 4-7 和图 4-8 所示。其主要过程工序包括：压铸机调整检查、压型安装和预热、喷（刷）涂料和合型、合金熔化、浇注和压射、开模取件、铸件清理和后处理等。

压力铸造生产过程工序对压力铸造铸件的质量非常大，因此严格控制压力铸造生产过程各工序的质量是十分重要的。

关于压型质量的控制与检验，基本上可参照表 4-141 的金属型的控制内容与检验方法。

此外，还应严格按企业制定的压力铸造技术要求重点控制与检验压型工作温度、填充时间、持压时间和留型时间，具体见表 4-142 ~ 表 4-145 所示。

表 4-142　压力铸造生产中压型工作温度控制（供参考）

合金	金属液温度/℃	压型工作温度/℃	合金	金属液温度/℃	压型工作温度/℃
锌合金	410 ~ 450	150 ~ 200	镁合金	610 ~ 680	240 ~ 300
铝合金	620 ~ 720	210 ~ 300	铜合金	640 ~ 980	320 ~ 420

注：在压型安装后，金属液首次压射入压型型腔之前，应对压型预先加热至 150 ~ 180℃ 为宜。

表 4-143　压力铸造生产中填充时间控制（供参考）

铸件平均壁厚 δ/mm	填充时间 t /s	内浇道速度 v /(m/s)	铸件平均壁厚 δ/mm	填充时间 t /s	内浇道速度 v /(m/s)
1	0.010 ~ 0.014	46 ~ 55	5	0.048 ~ 0.072	32 ~ 40
1.5	0.014 ~ 0.020	44 ~ 53	6	0.056 ~ 0.084	30 ~ 37
2	0.018 ~ 0.026	42 ~ 50	7	0.066 ~ 0.100	28 ~ 34
2.5	0.022 ~ 0.032	40 ~ 48	8	0.076 ~ 0.116	26 ~ 32
3	0.028 ~ 0.040	38 ~ 46	9	0.088 ~ 0.138	24 ~ 29
3.5	0.034 ~ 0.050	36 ~ 44	10	0.100 ~ 0.160	22 ~ 27
4	0.040 ~ 0.060	34 ~ 42			

注：1. 铸件平均壁厚 δ，按下式计算：

$$\delta = \frac{\delta_1 A_1 + \delta_2 A_2 + \delta_3 A_3 + \cdots}{A_1 + A_2 + A_3 + \cdots}$$

式中　δ_1、δ_2、δ_3…——铸件某个部位的壁厚（mm）；

A_1、A_2、A_3…——壁厚为 δ_1、δ_2、δ_3…部位的面积（mm^2）。

2. 表中数值以铝合金为基础，也适用于其他合金，实际的填充时间锌合金为最短，内浇道速度镁合金为最高。

表 4-144　压力铸造生产中持压时间控制（供参考）　（单位：s）

压铸合金	铸件壁厚 <2.5mm	铸件壁厚 2.5 ~ 6mm	压铸合金	铸件壁厚 <2.5mm	铸件壁厚 2.5 ~ 6mm
锌合金	1 ~ 2	3 ~ 7	镁合金	1 ~ 2	3 ~ 8
铝合金	1 ~ 2	3 ~ 8	铜合金	2 ~ 3	5 ~ 10

表 4-145　压力铸造生产中留型时间控制（供参考）　（单位：s）

合金	铸件壁厚 <3mm	铸件壁厚 3 ~ 4mm	铸件壁厚 >5mm	合金	铸件壁厚 <3mm	铸件壁厚 3 ~ 4mm	铸件壁厚 >5mm
锌合金	5 ~ 10	7 ~ 12	20 ~ 25	镁合金	7 ~ 12	10 ~ 15	15 ~ 25
铝合金	7 ~ 12	10 ~ 15	25 ~ 30	铜合金	8 ~ 15	15 ~ 20	25 ~ 30

4.3.4　消失模铸造生产过程工序质量的控制（检验）

消失模铸造是指用泡沫塑料（EPS 或 STMMA、EPMMA）制作成与铸件结构、尺寸完全一样的模样，经浸涂耐火粘结涂料（超强化、光洁作用），烘干后埋入特殊砂箱干砂造型，经三维或二维微振加负压造型，不用砂芯、活块，甚至在无冒口的情况下浇入熔化的铸造合金液，整个过程保持着一定的负压，使泡沫塑料模样受热汽化分解进而被合金液取代的一次性成型的特种铸造新工艺。

消失模铸造生产过程工序质量的控制（检验）要点应包括：消失模铸造用白模（模样）及涂料制备、造型及浇注等。

1）消失模铸造生产用白模（模样）制备的控制（检验）要点如下：

① 原始树脂珠粒（或板块）的品种、规格和质量是否符合要求。

② 模样成型模具的精度和结构是否合理。

③ 预发泡机和发泡成型设备或者加工成型的刀具和方法是否合适。

④ 预发泡及发泡成型工艺或者切削工艺是否规范。

⑤ 预发泡珠粒的干燥、熟化和保存是否得当等。

⑥ 模样的质量是否经过检验。

模样质量检验的项目和方法见表 4-146。通常，模样的密度应控制在 18 ~ 26g/dm^3，应根据铸件的合金种类以及形状结构和大小不同而定。模样密度 < 18g/dm^3 时，模样容易变形。模样密度 > 26g/dm^3 时，由于模样密度较高，在浇注时燃烧的发气量较大，可能会引起反喷。

表 4-146　消失模铸造生产中模样质量的检验项目和方法（供参考）

检验项目	检　验　方　法
模样含水量	泡沫塑料模样是一种不吸潮的材料，它的表面几乎不沾水，因此干燥后模样的含水量均低于 1%。但在模样加工时与水和蒸汽接触，所以刚加工好的模样含有较多的水分，故在模样上涂料前必须进行干燥测定水分含量 测定方法可参照轻工行业标准 QB/T 1649—1992 进行
模样挥发分含量	模样挥发分含量是模样质量的一个重要指标，浇注前一般要求挥发分含量低于 2% 1）试样：用刀片切取试样 5g 左右 2）仪器：天平（精度为 0.001g）；恒温鼓风烘箱 3）试验步骤：取得试样后精确称重并记录，然后将试样置于（150 ± 2）℃的恒温烘箱中，1h 后取出称重，共测定 3 只试样，取其算术平均值为测定结果 4）计算：挥发分含量由下式计算： $W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%$ 式中　W——挥发分含量（%） m_1——试样烘干前质量（g） m_2——试样烘干后质量（g）
模样密度	模样密度是模样质量的又一重要指标，测定方法可参照 GB/T 6343—2009 进行。但在实际生产中可按下述步骤进行测定 1）试样形状应便于体积计算，尺寸一般为 50mm × 50mm × 50mm，切割时不可使材料的原始泡孔结构产生变形 2）将试样置于烘箱中，在（60 ± 2）℃下烘干 2h 3）烘干后的试样冷却、称量（精度为 0.1g），然后用卡尺测量试样（误差 0.1mm 以下） 4）试样密度可按下式进行计算： $\rho = \frac{m}{V}$ 式中　ρ——试样的密度（g/cm^3） m——试样的质量（g） V——试样的体积（cm^3）

（续）

检验项目	检　验　方　法
模样尺寸稳定性	模样尺寸稳定性是指试样在不同温度环境中的尺寸变化率，测定方法可参照轻工行业标准 QB/T 1649—1992 进行。但在生产中，为了知道尺寸的稳定性一般是测定模样的线收缩，即通常取几个 20～30mm 的圆柱形或长方形试样（一般用蒸缸预发成型），然后按下式进行计算并取平均值： $\delta = \frac{h}{H} \times 100$ 式中　δ——收缩率（%） H——模具型腔的长度（mm） h——试样收缩后的实际长度（mm）
模样抗拉强度	模样抗拉强度的测定可参照 GB/T 6344—2008 有关内容进行测定条件是试样在（20±2）℃放置 2h 后，将试样夹在拉力试验机夹具上，夹入部分不大于 17mm，用（100±10）mm/min 的速度加载，试样断裂后读取载荷。试样的宽度和厚度精度为 0.001mm。共测 5 个试样，并取它们实际的平均值为测定结果 试样的抗拉强度按下式计算： $\sigma_1 = \frac{F}{s}$ 式中　σ_1——试样的抗拉强度（MPa） F——载荷量（N） s——原始横截面积（mm^2）
模样抗压强度	模样抗压强度的测定可参照轻工行业标准 GB/T 10801.1～2—2002 进行，但在实际生产上也可采用下面的测定方法 载取试样的尺寸为 30mm×30mm×30mm 或 50mm×50mm×25mm。测定时，将试样放置在压缩强度仪的下夹板上，使上下夹板距离为试样的高度，再把两处指针校正为零点；然后加载压缩到原厚度的 50%，其读数为测定值。以此法测定 5 只试样，取它们的平均值为其抗压强度 测试条件：试样在（20±2）℃的条件下放置 2h 后进行测定 试样的抗压强度按下式计算： $\sigma_y = \frac{F}{s}$ 式中　σ_y——试样的抗拉强度（MPa） F——载荷量（N） s——原始横截面（mm^2）

2）消失模铸造生产用涂料制备的控制（检验）要点如下：

① 是否根据铸造合金种类选择合适的耐火粉料类型和合理的粒度级配以及适宜的载液、粘结剂、悬浮剂、助剂等。

② 是否根据铸件种类确定出适宜的涂料配方（见表 4-147 和表 4-148）与涂料制备的工艺流程（见图 4-50）。

③ 是否进行涂料质量的认真检测（见表 4-149）。

④ 是否严格执行涂料的涂覆工艺规程。

表 4-147　水基消失模涂料配方控制（供参考）[19]

序号	耐火粉料（质量份）	悬浮剂（质量份）	粘结剂（质量份）	水（质量份）	应用范围
1	石英粉 98、滑石粉 2	膨润土 2、碳酸钠 0.1	白乳胶 3、硅溶胶 6	适量	铸铁件
2	石英粉 10、 铝矾土 87.5、 滑石粉 2.5	膨润土 2.7	CMC2.5	适量	铸铁件
3	镁橄榄石 98、 滑石粉 2	膨润土 2.0、 碳酸钠 0.1	硅溶胶 6、 白乳胶 3	适量	铸铁件

（续）

序号	耐火材料(质量份)	悬浮剂(质量份)	粘结剂(质量份)	水(质量份)	应用范围
4	锆英粉 100	膨润土 3 ~ 4	水溶性酚醛、树脂 6、硅溶胶 3	适量	铸钢件
5	铝矾土 60 ~ 70、白云母 40 ~ 30	膨润土 3 ~ 4、黄原胶微量	VAE 8 ~ 10、粘土 6	适量	铸铁件
6	石英粉 70 ~ 80、透长石 30 ~ 20、云母少量	膨润土 2 ~ 4	苯丙乳液 8 ~ 10	适量	(日本)铸铁件
7	莫来石 60 ~ 70、硅石灰 40 ~ 30	膨润土 2 ~ 4	苯丙乳液 8 ~ 12	适量	铸铁件
8	莫来石 60 ~ 70、云母 40 ~ 30	膨润土 2 ~ 4	苯丙乳液 8 ~ 10	适量	铸铁件
9	铝矾土 70、云母 30	膨润土 15	水玻璃 8、粘土 10	活性剂 0. 2、消泡剂 0. 02、水适量	铸铁件
10	莫来石(200 目)72、硅灰石(100 目)8、锂辉石 20	膨润土 2 CMC0. 5	树脂 8	适量	铸铁件
11	铝矾土 60 ~ 70、片状石墨 40 ~ 30、氧化铁粉 3	膨润土 1 CMC 3	粘土 0. 5、硅溶胶 2 ~ 4、苯丙胶树脂 3. 5	适量	铸铁件
12	棕刚玉 100	膨润土 3 ~ 4、CMC0. 3	硅溶胶 6、白乳胶 3	适量	钢铸件
13	高铝刚玉 100	膨润土 3 ~ 4	白乳胶 2. 5 ~ 2、聚乙烯醇 3 ~ 4、硫酸盐 1 ~ 1. 5	适量	钢铸铁件
14	锆英粉 55 ~ 65、铝矾土 40 ~ 30、石墨粉 5	膨润土 1. 5	水溶性酚醛树脂 8	适量	钢铸铁件
15	绢云母 60 ~ 70、高岭土 40 ~ 30、石英粉 3 ~ 5	膨润土 3 ~ 4	VEA 树脂 10 ~ 12	适量	铝合金铸件

表 4-148　醇基消失模涂料配方控制（供参考）[19]

序号	粉料(质量份)	悬浮剂(质量份)	粘结剂(质量份)	酒精	应用范围
1	石英粉 80 ~ 90、铝矾土 20 ~ 10	膨润土 2 ~ 3	PVB3. 0 ~ 3. 5	适量	碳钢铸件
2	锆英粉 80 ~ 90、铝矾土 20 ~ 10	膨润土 2 ~ 4	PVB3. 0 ~ 3. 5	适量	钢铸件
3	刚玉粉 80 ~ 90、铝矾土 20 ~ 10	膨润土 2 ~ 4	PVB3. 0 ~ 3. 5	适量	厚大碳钢件、合金钢铸件
4	镁砂粉 80 ~ 90、铝矾土 20 ~ 10	膨润土 2 ~ 4	PVB3. 0 ~ 3. 5	适量	高锰钢铸件
5	锆英粉 100	膨润土 1 ~ 2	酚醛树脂 2、松香 1	适量	大型铸钢件、合金钢铸件
6	锆英粉 100	膨润土 1 ~ 3	101 树脂 2. 45、45-8 胶 10	汽油适量	大型铸钢件、合金钢铸件

（续）

序号	粉料(质量份)	悬浮剂(质量份)	粘结剂(质量份)	酒精	应用范围
7	土状石墨 80～90、片状石墨 20～10	膨润土 1～3	PVB3.0～3.5	酒精适量	铸铁件
8	棕刚玉发 55～40、铝矾土 40～50、土状石墨 5～10	膨润土 1～3	PVB3.0～3.5	酒精适量	铸铁件
9	铝矾土 85～75、土状石墨 5～10、片状石墨 10～15	膨润土 1～3	PVB3.0～3.5	酒精适量	铸铁件
10	铝矾土 50、土状石墨 30、片状石墨 20	膨润土 1～3	PVB3.0	酒精适量	铸铁件
11	土状石墨 70、片状石墨 30	膨润土 1～3	101 树脂 5、45-8 胶 10	汽油适量	铸铁件

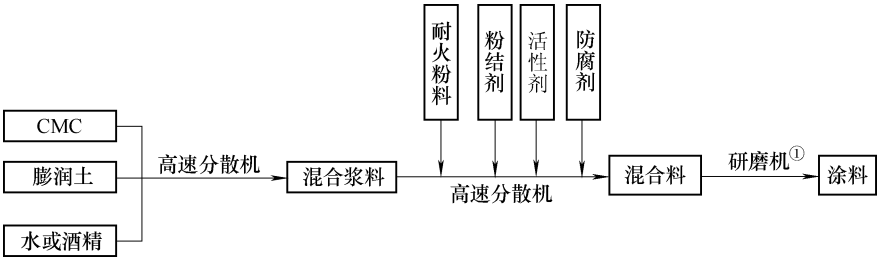


图 4-50　消失模涂料制备工艺流程控制示意图

① 研磨机有胶体磨、球磨机和三辊研磨机等

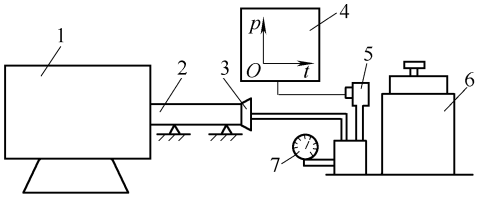
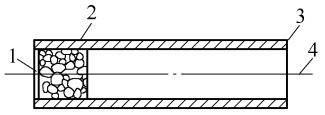
表 4-149　消失模铸造生产中涂料性能的检测项目与方法（供参考）

检测项目	检　测　方　法
涂料密度	涂料密度表示涂料中固体颗粒含量的多少，密度过小，每次涂刷时在模样表面形成的涂层厚度不够；密度过大，涂层就显得过厚，涂刷困难，表面不平，局部堆积 测量密度通常用量筒法。其测量过程：将涂料仔细倒入容积为 100mL 的量筒中，用药物天平称出 100mL 涂料的质量，除以涂料的体积(100mL)即得出涂料的密度 $$\rho = \frac{m_2 - m_1}{100}$$ 式中　ρ——涂料密度(g/cm^3) m_2——装料后量筒的质量(g) m_1——空量筒的质量(g)
涂料浓度	涂料浓度和密度存在一定的关系。涂料的浓度可以利用波美比重计测量，用°Be′表示。波美比重计有两种：重表，用于测量密度大于水的涂料；轻表，用于测量密度小于水的涂料。波美度与密度(d)间的换算公式对涂料也适用 $$\text{波美度} = 145 - \frac{145}{d}\text{(适用于密度大于1的涂料)}$$ $$\text{波美度} = \frac{140}{d} - 130\text{(适用于密度小于1的涂料)}$$ 在大多数情况下，波美比重计的读数不一定可靠，因为它受涂料黏度和搅拌后静置时间的长短以及操作技巧等因素的影响，因此只能作为参考指标

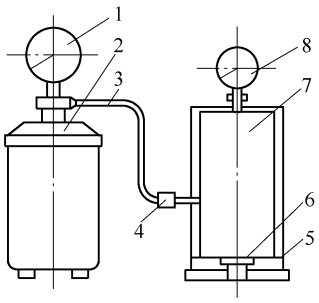
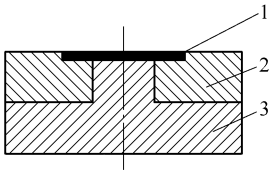
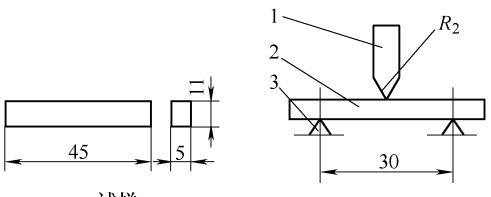
（续）

检测项目	检 测 方 法
涂料条件粘度	涂料条件粘度是指在特定条件下，涂料液体分子及固体颗粒阻碍涂料相对活动的程度，用秒（s）表示 主要仪器：标准流杯［容积为 100mL，流出口直径为（6 ± 0.2）mm］、流杯架、气泡水准仪、0.63mm 筛网、秒表、刮尺和取样勺等 试验方法：先检查流杯筒壁及流出口是否干净。将流杯放在流杯架上，用气泡水准仪将流杯上沿调整到水平。用勺取出经搅拌均匀的试样约 120mL，以手指堵住流杯出口，再将通过 0.63mm 筛网的涂料倒入标准流杯中，直到涂料溢出到环形槽内为止，再用刮尺刮去多余的涂料。把承接器放在流杯下面，松开手指，同时按动秒表计时。当流杯流出口下的连续液流股开始中断而成滴状时，立即按停秒表，并记录流出时间，同时测量试样的温度，用流出时间（秒数）表示试样的条件粘度 同一种涂料试样测定 3 次，取其平均值。各读数的误差不得超过 5%
涂料悬浮率	涂料悬浮率是指涂料抵抗固体耐火材料分层和沉淀的能力，用百分数（%）表示 仪器：ϕ30mm 刻度为 0 ~ 100mL 带磨口塞量筒 试验程序：将涂料倒入量筒中，使其达到 100mL 标高处，在静止状态，水基涂料放置 6h 和 24h，有机溶剂涂料放置 2h 和 24h，测量澄清层体积。 结果表达： $$C = \frac{100 - V}{100} \times 100\%$$ 式中 C——涂料的悬浮率（%） V——量筒中涂料柱上部澄清液层体积（mL）
涂料含固量	涂料含固量是指涂料中固体含量的多少，用百分数（%）表示 仪器：铝或玻璃配重盘；加热炉（1000℃）；天平（感量为 0.1g）；干燥器 程序：在铝盘或配重盘中，称量（20 ± 0.1）g 涂料，放在加热炉内加热到 110 ~ 120℃，保温 30min，直到完全干燥，细心操作以免沸腾、溅泼；称量并记录失重量，将烘干的涂料放入干燥器中 结果的表达： $$液体含量(\%) = \frac{失重量}{涂料质量} \times 100$$ $$含固量(\%) = \frac{涂料质量 - 失重量}{涂料质量} \times 100$$
涂料吸着性	吸着性是反映涂层吸附液态热解产物的能力的，这对于铝、镁合金消失模铸件质量非常重要 吸着性的测试是采取浇注过的涂料片进行灼烧减量试验（LOI）来评价，即在干燥的坩埚中，称取 1g 涂料片，放入马弗炉中加热到 950 ~ 1000℃，1h 后取出放入干燥器内，冷却到室温称量，如此反复操作（以后每次灼烧 15min），直到恒重，灼烧减量即为吸着性大小。灼烧减量按下式计算： $$灼烧减量 = \frac{m - m_1}{m} \times 100\%$$ 式中 m_1——灼烧后试料质量 m——灼烧前试料质量
涂料涂刷性	由于泡沫塑料模样表面对水不润湿，通常还沾有油质脱模剂，因而对涂料的涂刷性要求更高 通常采用泡沫薄片或玻璃片浸入涂料后，取出后观察涂料是否涂挂在所有的浸泡表面，厚薄是否均匀 涂刷性与涂料中表面活性剂和有机物的种类和加入量有关，通常只要它们加入恰当就会有好的涂刷性
涂料不流淌性	涂料不流淌性可用流淌量、流淌时间以及最终的涂片重综合评价 采用 40mm × 40mm × 2mm 的不锈钢片浸入涂料中，从提起不锈钢片到涂料不再下滴为止的时间为流淌时间，称量滴下的涂料总量即为流淌量，到涂料停止流淌时称取不锈钢片质量即为涂片质量。流淌量越少、流淌时间越短、涂片重越大，表示涂料的不流淌性越好 涂料的不流淌性与涂料的触变性等流变特性直接相关，触变性好的涂料不流淌性也好；而涂料的触变性又取决于膨润土及稠化触变剂的种类和加入量，同时也与涂挂时涂料是否处在搅拌状态有关

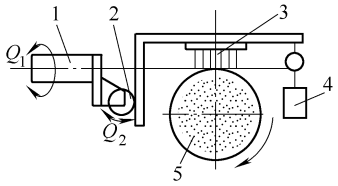
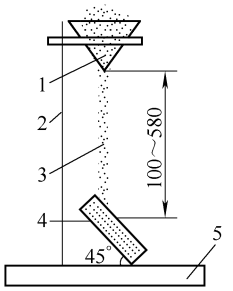
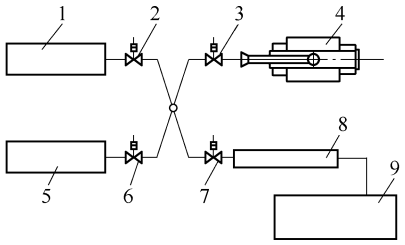
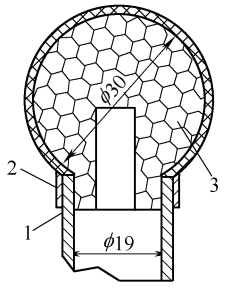
（续）

检测项目	检　测　方　法
涂层厚度	涂层厚度是指涂料在白模（模样）表面形成涂料层的厚度，用 mm 表示 仪器：天平（感量为 0.1g），干燥炉（800～10000℃） 程序：称量聚苯乙烯泡沫模样质量，精确至 0.1g；测量模样的表面积（cm^2），称量模样和涂料的总质量（湿态），称量模样和涂料的总质量（干态）。 结果的表达： $$涂层厚度（湿态）=\frac{涂料和模样总质量（湿态）-模样质量}{模样表面积\times涂料密度（湿态）}\times 100$$ $$涂层厚度（干态）=\frac{涂料和模样总质量（干态）-模样质量}{模样表面积\times涂料密度（干态）}\times 100$$
涂料透气性	涂料透气性直接关系到模样的热解产物能否顺利排出型外，因而对金属液的充型速度以及铸件的增碳、皱皮、针孔等缺陷有着决定性的影响，是消失模涂料技术的关键点 截至目前，尚未制定出测试涂料透气性的统一标准，不同的研究工作者，采用不同的测试方法，因而得到的透气性数值也不同。归纳起来，现有的测试方法可分为三类：借助现有的型砂透气性测定仪测定；通过测试 p-t 曲线评价透气性；通过测定压力流量等参数，计算出涂层的透气性 图 a 所示为参考文献[19]推荐的一种涂料透气性测试装置简图，可以测定深层的常温透气性，也可以测定深层的高温透气性。其涂料试片的制备如图 b 所示，将加工好的 EPS 垫块 2 端面涂上变压器油，塞入内径 ϕ16mm 的耐热瓷管 3 中，嵌入深度由与涂层厚度同样厚的一块垫片来控制，然后在 EPS 垫块 2 端面涂上涂料、刮平、烘干，通过埋在 EPS 垫块中的细铜丝 4 将垫块从瓷管的另一端轻轻拔出，涂料层仍留在瓷管上，然后将制备好的试样插入高温管式电炉中，瓷管的开口端与型砂透气性仪相连，则可测出型砂的高温或常温（当高温管式电炉不加热，保持室温时）。透气性 k 值按下式计算： $$K=\frac{V\delta}{Spt}=\frac{\delta A}{SH}\frac{VH}{Apt}=\frac{\delta A}{SH}k_0=C_R k_0$$ 式中　V——一定量的空气体积 δ、S——试样试片的厚度和面积 k_0——标准试样的透气性 H、A——ϕ50mm×50mm 标准度样的厚度和面积 p、t——压力和时间 C_R——几何尺寸修正系数 $C_R=\frac{\delta A}{SH}$  a）涂料透气性测试装置简图 1—高温管式炉　2—瓷管　3—橡胶软管塞　4—记录仪 5—微压传感器　6—STZ 直读式型砂透气性仪　7—微压表  b）涂料试片的制备 1—涂料试片　2—EPS 垫块 3—耐热瓷管　4—细铜丝 涂料透气性主要取决于耐火骨料的粒度分布和粒形，也与有机和无机粘结剂的种类、加入量以及有机粘结剂在高温下的燃烧有较大的关系。涂料的常温透气性与高温透气性是有明显的差异的

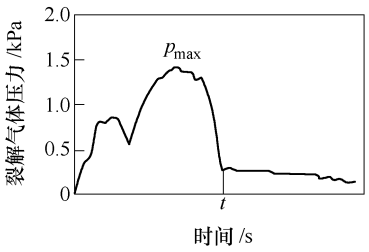
（续）

检测项目	检　测　方　法
涂料强度	涂料的强度主要包括结构强度和表面强度。只有当涂料具有足够的结构强度和表面强度，它才能起到提高泡沫塑料模样强度和刚度，防止模样在运输、填砂振动时产生变形和破坏，才能起到在浇注过程中不被高温金属液或热解产物冲垮的作用，起到金属液与干砂之间的屏障作用 1. 结构强度的测定 方法 1：采用涂层强度试验仪，其结构及原理如图 c 所示 涂料试样制备参照图 d 进行，先将中底座 3 与试样座 2 配合好，在它们的凹孔中涂上润滑油作脱模剂；然后将涂料涂覆在涂料试样 1 的凹孔中，涂一层放入炉中烘干冷却后，再涂第二层，直到涂层高于试样座 2 的上平面，用细砂纸磨掉涂料高出部分，即可得到 1.3mm 厚、直径 15mm 的涂料的试样。在脱去底座 3 后，将试样与试样座 2 及腔体盖安装到涂层强度试验仪中腔体 7 的底部，适当拧紧，向腔体内通气加压，直至试样破坏，读出压力表上的气压值，即表征涂料的结构强度。每组试验 5 个试样，去掉最大值和最小值，取中间 3 个值的算术平均值即为结果  c）涂层强度试验仪的结构和原理图 1—压力表　2—微型空气压缩机　3—橡胶管　4—单向阀　5—试样座　6—涂料试样　7—腔体　8—压力表  d）涂料试样制备示意图 1—涂料试样　2—试样座　3—底座 方法 2：用涂料稠膏做成长方形涂料试样，干燥后放在抗弯强度测定仪的支架上（见图 e），加载直至试样断裂，涂料的抗弯强度 σ_{bb} 用下式计算： $$\sigma_{bb}=45\times\frac{F}{bh^2}$$ 式中　F——加载总载荷（N） σ_{bb}——抗弯强度（MPa） b——试样宽度（mm） h——试样厚度（mm）  试样　　测试示意图 e）涂料抗弯强度测定示意图 1—压头　2—试样　3—支架

（续）

检测项目	检　测　方　法
涂料强度	2. 表面强度的测定 方法 1：采用涂层耐磨性测定的标准方法（JB/T 9226—2008）。深层表面强度测试的原理如图 f 所示，试样 5 为 ϕ50mm × 50mm 圆柱抗压试样，干燥或硬化后表面涂上 1.0 ~ 1.5mm 厚的涂料，放入烘箱中干燥，冷却后开始试验。在一定的荷重砝码 4 压力下，试样 5 运转一定转数，测定与针布刷 3 摩擦掉落的涂料质量，即表征涂层的表面强度 方法 2：用 0.122mm 的硅砂落下冲刷 1 次浸涂的涂层（见图 g），直至涂层表面被冲出直径为 1 ~ 2mm 的圆孔时停止冲砂，称量落下的硅砂质量，即可表征涂层表面强度的大小。装砂漏斗的高度为 100 ~ 580mm，可根据涂层表面强度的大小调节  f）涂层表面强度测试原理 1、2—可转小轴　3—针布刷 4—荷重砝码　5—试样  g）冲砂法测试涂层表面强度原理 1—漏斗　2—支架　3—干砂 4—涂层试样　5—托盘
涂料裂解产物通过涂层传输特性、涂料高温透气性、涂料高温强度	由华中科技大学研制成功的一种 HST-Z 型多功能涂料性能检测仪可测定裂解产物通过涂层传输特性、涂料高温透气性、涂料高温强度。此外，还可测定涂料涂刷性能、涂料烘干开裂性能、涂层厚度、涂层表面强度等 HST-Z 型多功能涂料性能检测仪的工作原理如图 h 所示，整个仪器由四部分组成：涂层试样、加热炉、气路部分和数据采集处理和显示系统。涂层的试样是由预先发泡成形的带柄 ϕ30mm 聚苯乙烯泡沫塑料球（见图 i），将柄插入陶瓷管中，然后浸入涂料中，经烘干形成涂层，然后将其置于加热炉中，连接好气路即可开始试验  h）HST-Z 型多功能涂料性能检测仪工作原理图 1—初压一定的气体　2、3、6、7—阀门　4—加热炉 5—高压气体　8—压力变送器　9—数据采集仪  i）涂层试样 1—陶瓷管　2—涂层 3—泡沫塑料模样 1. 裂解产物通过涂层传输特性的测定 按 HST 型多功能涂料性能检测仪工作原理图，关闭阀 2、6，打开阀 3、7，将试样快速插入已升温至 1000℃的管式加热炉 4 中，EPS 泡沫球立即预热裂解，产生的气态和液态裂解产物通过涂层向外逃逸，并在管路系统中形成一定的压力，通过压力变送器 8 和数据采集仪 9 记录下裂解气体压力-时间曲线，如图所示，图 j 中 p_{max} 峰值是球形涂料壳内产生的最大气压，与产生的气体总量及涂层排除能力有关，排除速度越快，则 p_{max} 越低。其物理意义与实际浇注过程金属液流动前沿气隙中的最大压力相同。另外，记录的时间 t 为裂解气压急剧上升达到峰值，然后急速下降转为平缓变化所经历的时间。t 显示裂解产物通过涂层的难易程度，t 越短，说明裂解产物越容易通过涂层

（续）

检测项目	检　测　方　法
涂料裂解产物通过涂层传输特性、涂料高温透气性、涂料高温强度	 j）裂解气体压力-时间曲线 2. 高温透气性的测定 在涂层中，EPS 泡沫球全部裂解完毕，管路裂解气体压力接近大气压以后，立即关闭阀 3、7，打开阀 2、6，让高压气体经过阀 3、7 流向透气性试验储气罐中，使它达到 6kPa 压力；然后关闭阀 6，打开阀 3、7，即可开始透气性的测定，数据采集系统通过计算机程序，根据下式自动打印出高温透气性 k 值 $$k=\frac{2(p_b-p_e)hV}{(p_e-p_o)(p_b-p_o)At_e}$$ 式中　k——涂层透气性[$cm^2/(Pa\cdot min)$，一般不写出量纲] p_e——储气罐的终气压（Pa） p_b——储气罐的初气压（Pa） h——涂层厚度（cm） V——储气罐的容积（cm^3） p_o——外界气压（Pa） A——涂层有效通气面积（cm^2） t_e——从 p_b 降至 p_e 所需的时间（min） 3. 高温强度的测定 测试完涂料高温透气性之后，关闭阀 2，打开阀 6，使球形涂层壳内部气压逐渐增大，直至涂层爆破，记录下爆破气压，以此显示涂层的高温强度。强度越大，爆破气压越高

3）消失模铸造生产用白模（模样）干燥的控制（检验）要点。由于白模（模样）的软化温度在 80℃左右，因此为保证白模（模样）在烘干涂料水分的过程中不变形，烘房的温度一般应控制在 55℃以下（但也可采用在阳光下烘干），烘干时间一般在 12h 或更长，以使涂料彻底干燥。此外，在造型与浇注前白模（模样）一般还需烘干一次，经烘干的白模（模样）应该检查有无变形，涂料层是否完整，且注意防止白模（模样）反潮。

4）消失模铸造生产中造型与浇注的控制（检验）要点如下：

① 干砂的选用是否正确；

② 填砂和微振实造型操作是否执行工艺规程要求；

③ 负压浇注控制是否恰当等，其控制（检验）要点见表 4-150。

表 4-150　消失模铸造生产中造型与浇注的控制（检验）要点（供参考）

铸件种类	不同铸件种类对干砂性能的要求					
	干砂种类	筛号/目	$w(SiO_2)$（%）	$w(H_2O)$（%）	颗粒形状	干砂温度/℃
铸铁件、铸钢件、铸铝件	天然石英砂	40～70 或 20～40	≥90	<1	圆形或半多角形	经浇注后砂处理的干砂温度应低于 50
		40～70 或 20～40	>95			
		50～100	≥80			

（续）

铸件种类	不同铸件种类对干砂性能的要求					
	干砂种类	筛号/目	$w(SiO_2)$(%)	$w(H_2O)$(%)	颗粒形状	干砂温度/℃
填砂和微振实操作要点	1)填砂前应检查砂箱抽气室隔离筛网有无破损 2)填砂埋箱过程不能损伤白模(模样),不使涂层剥离 3)加砂要均匀,速度不能太快,白模(模样)内外要均匀提高砂柱高度,长杆及其他刚度低的模样要注意防止弯曲变形 4)对特别难于填砂部位,应辅助人工充填,也可使用自硬砂芯解决局部填砂困难的地方,必要时还可开填砂工艺孔,然后用 EPS 填充,用胶带纸封好 5)干砂温度必须低于 50℃ 6)顶部吃砂量,在使用负压条件下低于 50mm 7)填砂与振动应配合(一种情况是加完砂后再振动,另一种情况是边填砂边振动) 8)严格控制振动时间、振动方向、振动频率和振幅等					
负压浇注控制要点	铸铁件的浇注温度比砂型铸造要高 20～80℃,负压范围为 40～53kPa(300～400mmHg) 铸钢件的浇注温度比砂型铸造要高 10～40℃,负压范围为 53～67kPa(400～500mmHg) 铸铝件的浇注温度比砂型铸造要高 20～50℃,负压范围为 6.7～13kPa(50～100mmHg)					

注：1. 浇注温度对铸件质量最为敏感的是铸铁件，尤其是对一些复杂、要求高的薄壁铸铁件和球墨铸铁件更是如此。如果白模（模样）密度 $<0.02g/cm^3$，其浇注温度比砂型铸造提高 20～50℃；白模（模样）密度 $<0.03g/cm^3$，其浇注温度比砂型铸造应提高 40～80℃为宜，因为浇注温度不足容易引起皱皮、过高又容易引起粘砂。

2. 铸件凝固形成外壳一般为 5min 左右，为加快铸件凝固速度也可延长负压作用时间。

3. 铸件较小时负压可选低些；质量大或一箱多铸时可选高一些；顶注可选高一些；壁厚或瞬时发气量大的也可选略高一些。

4. 浇注过程中，负压会发生变化，开始浇注后负压会降低，达到最低值后又开始回升，最后恢复到初始值。铸铁件在浇注过程中负压下降最低点不应低于 13kPa（100mmHg），最好控制在 27kPa（200mmHg）以上。

5. 铸件在浇注过程中不允许出现正压状态，可通过阀门调节负压，保持在最低限度。

第 5 章　铸件质量检验

5.1　铸件质量检验通则

5.1.1　铸件质量的含意

铸件质量是指铸件的形状、尺寸、成分、组织、性能等对使用要求的符合程度。它包括铸件的外观质量、内在质量和使用质量三个方面。

铸件外观质量是指铸件表面状况和达到用户要求的程度。

铸件内在质量是指一般不能用肉眼检查出来的铸件内部状况和达到用户要求的程度。

铸件使用质量是指与使用条件和使用要求有关的，反映铸件效用和寿命的种种性能和达到用户要求的程度。

5.1.2　铸件质量检验的目的和依据

铸件质量检验目的是为了保证铸件质量符合交货验收技术条件，使顾客（用户）收货对铸件的质量要求得到满意和持续满意。

铸件质量检验依据是铸件图、铸造工艺文件、有关标准或铸件交货技术条件（详见 1.2.3 节）。

5.1.3　铸件质量检验的方式和范围

1. 铸件质量检验的方式

按检验对象的数量分可以分为全部检验（100%）和抽样检验。在成批或大量生产条件下应采用科学的抽样检查方法，符合标准 GB/T 2828.1—2012《计数抽样程序　第 1 部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划》（适用于连续批的检查）和 GB/T 2829—2002《周期检查计数抽样程序及抽样表》（适用于生产过程稳定性的检查）的规定。

按被检对象的损坏程度不同又可以分为破坏性检验和非破坏性检验。

2. 铸件质量检验的范围

铸件质量包括铸件外观质量、铸件内在质量和铸件使用质量三个方面：

（1）铸件外观质量　是指与用户要求有关的铸件外部状况，其检验范围主要包括铸件表面粗糙度、铸件尺寸公差、铸件质量偏差、铸件形状偏差、铸件浇冒口残留量、铸件焊补质量和铸件表面缺陷等。

（2）铸件内在质量　是指与用户要求有关的铸件内部状况，其检验范围主要包括铸件力学性能、铸件化学成分、铸件金相组织、铸造偏析、铸造应力、铸件致密度和铸件内部缺陷等。

（3）铸件使用质量　是指与使用条件和使用要求有关的，反映铸件效用与寿命的种种性能，其检验范围主要包括铸件抗疲劳性能、铸件断裂韧度、铸件高温及低温力学性能、铸件减摩性及耐磨性、铸件耐热性、铸件耐腐蚀性和铸件精度保持性等。

5.1.4　铸件质量检验的一般要求

1. 铸铁件质量检验一般要求（见表 5-1）

表 5-1　铸铁件质量检验一般要求（供参考）

检验项目		铸铁件合金类型								
		灰铸铁	球墨铸铁	等温淬火球墨铸铁	蠕墨铸铁	可锻铸铁	铬锰钨系抗磨铸铁	抗磨白口铸铁	耐热铸铁	耐蚀铸铁
力学性能	抗拉强度、伸长率①	✓	✓	✓	✓	✓	—	○	✓	—
	抗弯强度、挠度	—	—	—	—	—	—	—	—	○
	屈服强度、冲击韧度	—	○	✓	○	○	—	—	—	—
	硬度	○	○	✓	○	○	✓	✓	—	—
几何形状与尺寸公差	几何形状与尺寸	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	尺寸公差	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	直线度、弯曲度、平面度等	○	○	○	○	○	○	○	○	○
表面质量	表面清理质量	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	内腔清洁度	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓
	表面粗糙度	○	○	✓	○	○	○	○	○	○
重量	重量偏差	—或○	—或○	✓	—或○	—或○	—或○	—或○	—或○	—或○
化学成分	五元素和合金元素	—	—	—	—	○	✓	○	✓	✓
金相组织	基体组织	○	○	✓	○	○	—	○	○	—
	石墨形状、大小、分布	○	○	○	○	○	—	○	○	—
	球化率、蠕化率②	—	✓	✓	✓	—	—	—	—	—
使用性能	致密性	○	○	—	○	—	—	—	—	○
	耐磨性	—	—	—	—	—	—	○	—	—
	耐热性	—	—	—	—	—	—	—	✓	—
	耐蚀性	—	—	—	—	—	—	—	—	○
缺陷	非加工面上及铸件内部允许缺陷	○	○	○	○	○	✓	○	○	○
	加工面上允许存在在加工余量范围内的表面缺陷	✓	✓	○	✓	✓	✓	—	—	—

注：1. “✓”表示必须检验的项目；“○”表示仅供需双方商定才检验的项目；“—”表示不检验的项目。

2. 如果已从铸件上切除试样检查了力学性能合格，允许不检查单铸试样的力学性能。

① 灰铸铁、蠕墨铸铁、耐热铸铁可不做伸长率检验。

② 球墨铸铁、等温淬火球墨铸铁只做球化率检验，蠕墨铸铁只做蠕化率检验。

2. 铸钢件质量检验一般要求（见表 5-2）

表 5-2　铸钢件质量检验一般要求（供参考）

检验项目		铸钢件合金类型					
		一般工程用铸造碳钢	一般工程与结构用低合金铸钢	工程结构用中高强度不锈铸钢	奥氏体锰铸钢	一般用途耐热铸钢和合金	一般用途耐蚀铸钢
化学成分	五元素和合金元素①	✓	✓	✓	✓	✓	✓
力学性能	屈服强度、抗拉强度	✓	✓	✓	✓	○	✓
	断后伸长率	✓	✓	✓	✓	○	✓
	断面收缩率	○	○	✓	—	—	—
	冲击性能	○	○	—	○	—	✓
	硬度	—	—	—	✓	○	—
表面质量	表面清理质量	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	表面粗糙度	○	○	○	○	○	○
	表面不允许存在的缺陷	✓	✓	✓	✓	✓	✓
几何形状与尺寸公差	几何形状与尺寸	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	尺寸公差	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	直线度、弯曲度、平面度等	—或○	—或○	—或○	—或○	—或○	—或○
质量	质量偏差	—或○	—或○	—或○	—或○	—或○	—或○
金相组织	金相组织	○	○	○	○	○	○
无损检测	渗透检测	○	○	○	○	○	○
	磁粉检测	○	○	○	○	○	○
	超声波检测	○	○	○	○	○	○
	X 或 γ 射线检查	○	○	○	○	○	○
使用性能	致密性	○	○	○	—	—	—
	抗磨性	—	—	—	○	—	—
	耐热性	—	—	—	—	○	—
	晶间腐蚀倾向	—	—	—	—	—	○

注：1. “✓”表示必须检验的项目；“○”表示仅供需双方商定才检验的项目；“—”表示不检验的项目。

2. 如果已从铸件上切除试样检查了力学性能合格，允许不检查单铸试样的力学性能。

① 一般工程用铸造碳钢只检验五元素；一般工程与结构用低合金铸钢只检验 S 和 P。

3. 铸造有色合金件质量检验一般要求（见表 5-3 ~ 表 5-7）

表 5-3　铸造铝合金件质量检验一般要求（供参考）

铸件类别	合金	铸件												
	检验项目													
	化学成分	抗拉①强度、伸长率	布氏①硬度	表面粗糙度	表面缺陷	尺寸公差	显微组织	质量公差	X 射线探伤	荧光探伤	气密性试验	其他性能	抗拉强度①、伸长率（本体取样）	布氏①硬度
Ⅰ	✓	✓	○	○	✓	✓	○	○	✓	✓	○	○	✓	○
Ⅱ	✓	✓	○	○	✓	✓	—	○	○	○	○	○	○	○
Ⅲ	✓	○	○	—	✓	✓	—	—	○	○	—	○	—	○

注：“✓”表示必须检验的项目；“○”表示仅供需双方商定才检验的项目；“—”表示不检验的项目。

① 如铸件本体取样性能如已检验，则单铸试样性能不必再检验。

表 5-4　铸造镁合金件质量检验一般要求（供参考）

铸件类别	合金		铸　件							
	检　验　项　目									
	化学	力学①	几何形状	物　理			无损检验			力　学①
	化学成分	单铸试样力学性能	尺寸精度 外　观	表面质量	表面粗糙度	质量偏差	X 射线探伤	渗透检验	气密性	从铸件上切取试样的力学性能
Ⅰ	✓	✓	✓	✓	○	○	✓	✓	○	✓
Ⅱ	✓	✓	✓	✓	○	○	○	○	○	○
Ⅲ	✓	—	✓	✓	○	○	—	—	○	—

注：“✓”表示必须检验的项目；“○”表示仅供需双方商定才检验的项目；“—”表示不检验的项目。

① 如果已从铸件上切取试样检查了力学性能合格，允许不检查单铸试样的力学性能。

表 5-5　铸造锌合金件质量检验一般要求（供参考）

铸件类别	合金			铸　件												
	检　验　项　目															
	化学成分	抗拉①强度、伸长率	布氏①硬度	表面粗糙度	表面缺陷	形状公差	尺寸公差	显微组织	质量偏差	X 射线探伤	荧光探伤	渗漏试验	其他性能	抗拉强度	伸长率	布氏①硬度
														（本体取样①）		
Ⅰ	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	○	○	✓	✓	○	○	✓		✓
Ⅱ	✓	✓	✓	○	○	✓	✓	—	○	○	○	○	○	—		○
Ⅲ	✓	○	○	—	○	✓	✓	—	—	○	○	—	○	—		○

注：“✓”表示必须检验的项目；“○”表示仅供需双方商定才检验的项目；“—”表示不检验的项目。

① 铸件本体取样性能如已检验，则单铸试样性能就不必再检验。

表 5-6　铸造铜合金件质量检验一般要求（供参考）

铸件类别	合金		铸　件										
	检　验　项　目												
	化学成分	抗拉强度、屈服强度、伸长率	布氏硬度	形状公差	尺寸公差	质量偏差	表面粗糙度	表面缺陷	金相组织	致密性	X 射线探伤	超声波探伤	导电性
Ⅰ	✓	✓	—或○	✓	✓	○	○	✓	○	○	○	○	○
Ⅱ	✓	✓	—或○	✓	✓	○	○	○	○	○	○	○	○
Ⅲ	✓	○	—或○	✓	✓	○	—	○	○	○	○	○	○

注：“✓”表示必须检验的项目；“○”表示仅供需双方商定才检验的项目；“—”表示不检验的项目。

表 5-7　铸造钛合金件质量检验一般要求（供参考）

合　金		铸件				
检　验　项　目						
化学成分	抗拉强度、规定残余伸长应力、伸长率、布氏硬度(铸点)	其他状态力学性能	形状公差	尺寸公差	表面质量	X 射线检查
✓	✓	○	✓	✓	✓	○

注：“✓”表示必须检验的项目；“○”表示仅供需双方商定才检验的项目；“—”表示不检验的项目。

5.1.5　铸件质量检验的一般规则

铸件质量检验的一般规则见表 5-8。

表 5-8　铸件质量检验的一般规则（供参考）

事项	一　般　规　则
检验权利	1）铸件由供方技术检查部门检查和验收 2）需方有权对铸件进行检验 3）需方要求参加供方检验时，双方应商定提交检验的日期。若需方在商定的时间内未能到场，供方可自行检验，并将检验结果提交需方
检验地点	1）除供需双方商定只能在需方检验外，最终检验一般在供方进行 2）供需双方对铸件质量发生争议时，检验可在双方商定的第三方进行
批量的划分	1）铸铁件批量的划分 ①由同一包铁液浇注的铸件为一个批量 ②每批铸件质量为 2000kg 算为一个批量 ③如果一个铸件质量大于 2000kg 时，就单成为一个批量 ④采用电炉熔炼时，每炉（次）作为一个批量；当采用冲天炉连续不断地熔化大量同一牌号的铁液时，以 2h 内所浇注的铸件为一个批量 ⑤如经供需双方商定同意，也可把若干批量并成一组验收。在此情况下，生产过程中应有其他连续监控技术和检测方法，如断口检验、快速化学分析和金相检验、弯曲检验等，证明生产过程稳定，符合要求 2）铸钢件批量的划分 ①按炉次分。铸件为同一类型，由同一炉次浇注，必要时在同一炉作相同热处理的为一批 ②按数量或质量分。同一牌号在熔炼工艺稳定的条件下，几个炉次浇注的并经相同工艺多炉次热处理后，以一定数量或以一定质量的铸件为一批，具体要求由供需双方商定 ③按件分。指某些铸件技术上有特殊要求，以一件或几件为一批 3）铸造铝、镁、锌合金件批量的划分 ①Ⅰ类铸件检验批次为同一熔炼炉次的合金、同一铸造工艺条件在 8h 以内浇注的，采用同一热处理工艺总量不超过 1000kg 的全部铸件。特殊情况下组批由供需双方商定 ②Ⅱ类铸件检验批次为同一合金，在 8h 之内浇注的、采用同一热处理工艺总量不超过 3000kg 的全部铸件 ③Ⅲ类铸件检验批次为在生产稳定的情况下（包括原材料、熔炼工艺、浇注工艺、检验等工序的稳定）、一周内浇注的同一合金的全部铸件 4）铸造铜合金件批量的划分 ①同一熔炼炉次浇注的铸件 ②由几个熔炉同时熔炼的合金倒入一个浇包内浇注的铸件 ③在原材料、工艺和质量稳定的情况下，在一个工作班内连续熔炼同一牌号合金浇注的铸件
检验结果修约	1）力学性能和化学成分检验结果都应按试验方法标准中规定的规则加以修约。若所得数值的有效位数比保证值大，则用常用的规则修约 2）尺寸测量结果不予修约
破坏性检验	破坏性检验仅限于需方提出要求时进行。合格与否的判断标准供需双方在订货时商定
例行检验	经生产试制、定型、转入成批生产的铸件，连续生产时，应定期进行例行检验。停产半年以上的铸件，恢复生产时，首批铸件应例行检查，其检查项目包括：合金化学成分的全面分析，表面质量，测定单铸及铸件上切取试样的力学性能，全面 X 射线探伤检验，荧光检验、着色检验，气密性检验，断口和金相检验等
退货复检仲裁检验	对于退货的铸件，可以要求复检。对于检验结果有争议时，可以进行仲裁检验。当复检或仲裁检验符合要求时，应予以验收。否则，予以退货

应该注意，由于铸件产品种类、材质类型以及使用环境不同，其质量检验规则亦应有所不同，并可参照下列标准规定：

1）灰铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 9439—2010 的规定。

2）球墨铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 1348—2009 的规定。
3）等温淬火球墨铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 24733—2009 的规定。
4）蠕墨铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 26655—2011 的规定。
5）可锻铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 9440—2010 的规定。
6）铬锰钨系抗磨铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 24597—2009 的规定。
7）抗磨白口铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 8263—2010 的规定。
8）耐热铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 9437—2004 的规定。
9）高硅耐蚀铸铁件的质量检验规则应参照 GB/T 8491—2009 的规定。
10）一般工程用铸造碳钢件的质量检验规则应参照 GB/T 11352—2009 的规定。
11）焊接结构用碳素钢铸件的质量检验规则应参照 GB/T 7659—2010 的规定。
12）一般工程与结构用低合金钢铸件的质量检验规则应参照 GB/T 14408—1993 的规定。
13）工程结构用中、高强度不锈钢铸件的质量检验规则应参照 GB/T 6967—2009 的规定。
14）奥氏体锰钢铸件的质量检验规则应参照 GB/T 5680—2010 的规定。
15）一般用途耐热钢和合金铸件的质量检验规则应参照 GB/T 8492—2002 的规定。
16）一般用途耐蚀钢铸件的质量检验规则应参照 GB/T 2100—2002 的规定。
17）铝合金铸件的质量检验规则应参照 GB/T 9438—1999 的规定。
18）镁合金铸件的质量检验规则应参照 GB/T 13820—1992 的规定。
19）铜合金铸件的质量检验规则应参照 GB/T 13819—1992 的规定。
20）锌合金铸件的质量检验规则应参照 GB/T 16746—1997 的规定。
21）钛及钛合金铸件的质量检验规则应参照 GB/T 6614—1994 的规定。

5.2　铸件外观质量检验

铸件外观质量的优劣直接影响铸件的形象，也影响后续机械加工工艺及机械加工的消耗，同时还影响铸件的使用性能，因此百分之百的铸件都要按照规定的标准进行外观质量检验。

通常，铸件外观质量检验不需要破坏铸件，只需借助必要的量具、样块以及测试仪器，用目视或低倍放大镜就可确定铸件的外观质量状况。

5.2.1　铸件表面缺陷检验

铸件表面缺陷检验一般靠目视观察，包括使用小于 10 倍的放大镜的方法进行。此外，为提高检验的分辨率，还可采用荧光检测、着色检测、磁粉检测等检验方法来发现表面上或靠近表面的缺陷。

1. 目视法检验

在铸造生产中，多数情况下是靠目视法来检验铸件的表面缺陷，包括使用 10 倍以下的放大镜进行观察。目视法检验常常伴随着工序不只一次地进行，如打箱、脱壳、出型后的初检，切割浇冒口、清除砂芯、喷砂后的检验，以及经热处理或修补后的检验等。

通常，目视外观检验可检查的缺陷项目有：铸件的轮廓是否清晰；铸件浇冒口残余量是否符合要求；有无冷隔、浇不足、飞边、毛刺、抬型、胀砂、冲砂、掉砂、外渗物、表面裂纹、鼠尾、沟槽、夹砂结疤、粘砂、表面粗糙、皱皮、缩陷、浇注断流、跑火、型漏、机械损伤、错型、错芯、偏芯、变形翘曲、冷豆以及暴露在铸件表面的夹杂物、气孔、缩孔、砂眼等缺陷。当发现有超出标准规定的缺陷时，应将缺陷铸件挑出，及时做出明显标记，或者返修（如补焊、打磨、校正），或者报废，不要与合格铸件混合。

要特别注意以下两点：

1）对目视法检验不易发现的皮下缺陷或微小裂纹，可用尖嘴小锤敲击听声音判断，若敲击时声音发空，则皮下有孔洞类缺陷；若敲击时声音发杂，则可能有微小裂纹。

2）有些情况下，目视法检验不能判定时，应立即转入有效检验，如透视检验或探伤检验。如铝合金金属型铸件表面一般应是均匀而光亮的，如果在肥厚部位或接转部位发现无光泽的白色区域，则这些部位可能不够致密，较严重时可能有裂纹或凹陷；又如，如果发现有色金属铸件表面上有光亮的斑点，它可能是粗晶、偏析，也可能在亮斑下覆盖有气孔。

2. 荧光检测法检验

荧光检测法最突出的优点是：既能检查磁性材料铸件，也能检查非磁性材料铸件的表面缺陷，对成批生产的小铸件（包括其他方法所不能检测的小铸件在内）更是适用。它是利用紫外线照射到荧光物质上能激发出肉眼可见的荧光这一特性，设法使铸件表面上不察觉的缺陷中渗入荧光物质，然后在暗室中用紫外线照射，以便能明显地发现铸件表面上微小的缺陷。通常，利用这一方法可以检查出宽度不大于 0.01mm，深度不小于 0.03 ~ 0.04mm 的缺陷。对有色金属铸件，可以发现铸件表面上的裂纹、冷隔、氧化皮和露出表面的疏松、针孔等缺陷，但是不能发现充满着锈蚀产物的缺陷以及隐藏在铸件表面以下的内部缺陷。

铸件的荧光检测检验，可以在铸造或热处理后进行，也可以在中间机械加工后进行。铸件在荧光检测前应进行吹砂，以去除表面油迹、氧化物和污垢等脏物或采用其他方法（如清洗），使铸件表面清洁。

关于荧光检测的检验方法与操作程序可参见表 5-9。此外，还需注意以下事项：

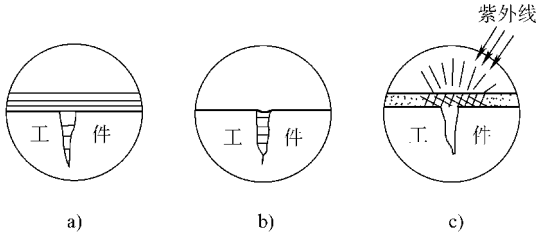
1）用过的荧光液应定期与未用过的标准荧光液进行比较，以检查荧光强度，而决定是否需要更换。

2）氧化镁粉（MgO），在使用一段时间后，应在 105 ~ 110℃ 的温度下进行干燥，并保持 2 ~ 3h，经过干燥处理的氧化镁粉在使用前应与标准氧化镁粉比较，当发现有荧光污染时应更换。

3）锯木屑由于湿度过大，能附着在铸件上或紫外线作用下能发光时应更换。

4）当发现铸件有可疑缺陷需要重复检验时，可将铸件用汽油清洗并吹干后再进行检验。

表 5-9　荧光检测检验方法与操作程序（供参考）

项目	铸件表面露出的缺陷
原理	采用荧光亮度计等 在铸件表面涂以荧光渗透剂，使其渗入铸件表面有裂纹的缺陷中，然后将多余的渗透剂除掉，再将显示剂涂于表面，此时铸件裂纹中残存的渗透剂被吸出，在紫外线照射下，即可在灵敏度许可的范围内发现各种缺陷（见下图）  荧光探伤原理示意图 a）渗透　b）清洗　c）显示和检查
检验方法	荧光检测检验方法 { 被荧光渗透液分 { 油溶性渗透剂 / 水溶性渗透剂 } ; 按显示方法分 { 不粉法 / 湿法（喷、涂、浸） } }

（续）

项目	铸件表面露出的缺陷
操作程序	荧光检测检验的主要操作如下： 铸件表面预清理→渗透→清洗→干燥→显示→检查→铸件清理等 1）铸件被检验之前，需进行表面预处理，主要是脱脂、去掉涂料、锈蚀、氧化皮或灰尘，可用溶剂清洗、蒸汽清洗、碱性脱脂或酸洗等方法，但不可用抛光、喷砂等可能使表面缺陷被封住的机械方法，以免破坏了荧光探伤的功能 2）渗透处理，可将铸件浸入渗透液或将渗透液涂于铸件的局部，前者用于小件的大批量检验，后者用于大件的局部检验。渗透检测时的温度一般在 15 ~ 35℃，渗透时间要看渗透剂类型、铸件尺寸、缺陷种类，以及工作环境的温度而定，当工作温度为 15℃时渗透时间约为 5 ~ 30min 3）乳化型渗透剂，在渗透处理后，需经乳化后才能用水冲洗掉。表面渗透剂的冲洗要适当，在洗掉铸件表面多余渗透剂的同时，要把缺陷内的渗透剂保留下来，为了冲洗均匀，可采用淋浴式清洗方法。使用溶剂除去渗透剂时，应将有机溶剂涂敷在铸件表面，然后用纸或布将混有渗透液的溶剂去掉 4）干燥是为了清除铸件表面的水分，但要注意不可使缺陷内的渗透剂强烈地蒸发掉，为了干燥均匀，一般都采用热风循环干燥的方法，温度不超过 90℃ 5）显现处理时，如采取干式显现法，可将铸件埋入干式显现粉末中，并不时地翻动；如采取湿式显现法，在渗透、乳化、洗净、涂敷显现剂后，在干燥的同时进行显现。湿式和干式显现的要点是显现剂的涂敷要薄而均匀，一般显现时间为渗透时间的 1/2，至少 10min

3. 着色检测法检验

着色检测法适用于检查铸件的裂纹、冷隔缩孔等缺陷。

着色检测原理易懂，操作方便，设备简单，除探伤剂外，不需特殊装置和暗室。它不受铸件形状及尺寸的影响，整个铸件表面可以同时检验。

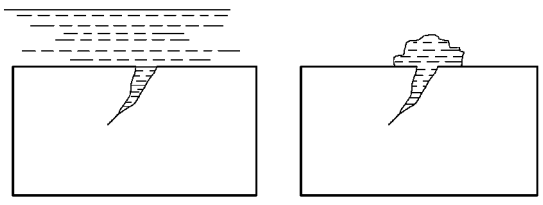
关于着色检测的检验方法与操作程序见表 5-10。此外，还需注意以下事项：

1）着色探伤液大部分是由有机溶剂配制而成，因此易燃、易挥发，应置于密闭容器中，存放在阴凉处，隔离电热器、室内严禁明火。

2）操作时应在通风良好的地方进行。

关于铸钢件的着色检测法检验与质量等级可参见标准 GB/T 9443—2007《铸钢件渗透检测》或表 5-11。

表 5-10　着色检测检验方法与操作程序（供参考）

检验内容	铸件表面和近表面缺陷
检验方法	着色检测装置主要由渗透装置、乳化装置、清洗装置、显像装置、干燥装置、观察装置等构成 着色检测法的原理同荧光检测法类似，也是一种利用渗透剂渗入缺陷缝隙中，经显色后发现铸件表面缺陷的方法。即将铸件浸于渗透剂中，使渗透液渗入缺陷，然后取出，把铸件表面渗透液清洗干净，再涂抹显色剂，使缺陷里的渗透液吸附于显色剂上，就呈现出缺陷轮廓的图像（见下图）  a)　　b) 着色检测原理示意图 a）渗透剂往缺陷中渗透　b）经显色处理后将缺陷中渗透液吸出

（续）

检验内容	铸件表面和近表面缺陷
操作程序	着色检测检验的主要操作如下： 铸件表面预清理→渗透→清洗→显色→目视检查等 1）凡需染色检测的铸件，在检测前应将铸件脱脂、除锈及除去其他脏物（也可进行吹砂处理） 2）渗透处理可用三种方法进行，即沉浸法、刷涂法（用毛刷）或喷涂法（使用喷液器）。渗透时间取决于渗透剂的性能、被检材料的性质及缺陷种类，一般为 10～30min。在探测细小缺陷时，为了提高灵敏度，可先将铸件预热 40～50℃，然后进行渗透 3）在进行显色处理前，应将铸件表面多余的渗透液清理掉。其方法有： ①采用脂肪烃类或芳香烃类的有机溶剂进行处理。 ②采用合成乳化剂使多余渗透液成为乳浊液，便于用水清洗。乳化方法可分为“事先乳化”和“事后乳化”。事先乳化是在渗透液中加入部分乳化剂使其自身乳化，铸件遇水后即可清除表面多余渗透剂；事后乳化是在铸件渗透处理后，在铸件表面施加乳化剂之混合液使表面多余渗透液乳化。乳化时间一般应控制在 5s～5min（应根据铸件表面粗糙程度而定），经乳化后的铸件可用水洗净并用抹布擦干或用压缩空气（压力不大于 200～300kPa）吹干铸件表面 4）显色处理可采用浸涂或喷涂的方法，将显色剂均匀地、薄薄地（约 0.05～0.07mm 厚）涂在铸件表面上，把缺陷缝隙中的渗透液吸附出来，在白色的显示剂底层上形成缺陷的红色图像 5）铸件经以上处理后，可在日光下进行目视检查，也可用 5～10 倍的放大镜进行检查

表 5-11 铸钢件渗透检测的质量等级（摘自 GB/T 9443—2007）

质量等级		001	01	1		2		3		4		5	
显示观察手段		目视或放大镜①		目视		目视		目视		目视		目视	
放大倍数		≤3		1		1		1		1		1	
应考虑的最小显示直径（D）或长度（L）/mm		0.3		1.5		2		3		5		10	
非线状显示（SR）②	显示数量	5	5	8		8		12		20		32	
	尺寸/mm	≤1	≤1	≤3		≤6		≤9		≤14		≤21	
线状显示（LR）③或点线状显示（AR）④	显示类型	单个或累加	单个或累加	单个	累加	单个	累加	单个	累加	单个	累加	单个	累加
	壁厚 δ≤16mm	0	1	2	4	4	6	6	10	10	18	18	25
	壁厚 16mm < δ≤50mm	0	1	3	6	6	12	9	18	18	27	27	40
	壁厚 δ > 50mm	0	2	5	10	10	20	15	30	30	45	45	70
应用实例		航空航天制造业中的熔模铸件；特殊应用等		根据表面粗糙度和应用的其他机械工程铸件									

注：1. 本表规定了 A6-105mm × 148mm 评定框内允许的数量和最大尺寸、直径或长度（mm）。

2. 为了对铸件用渗透液检测所获得的缺陷显示定级，必须将 105mm × 148mm 的测量框放置在最差的被评定显示的位置上。如果被评定显示不比订货单中规定的质量程度等级差，就认为检验合格。

3. 当它们呈现相同数量的形状相似的非线状显示或相同长度的形状相似的线状显示时，就评定为显示相等。

4. 给出显示类型仅起指导作用，并且按表中的质量等级来定级的依据是缺陷的长度。

5. 在计算累加长度时，应把点线状显示和非点线状显示都考虑在内。

① 允许采用带目镜测微尺的放大仪（不超过放大 3 倍）。

② 非线状显示（SM）：$L<3b$，式中 L 是显示的长度，b 是显示的宽度。

③ 线状显示（LR）：$L>3b$。

④ 点线状显示（AR）：至少含有三个最大间隙为 2mm 的线状显示或非线状显示。

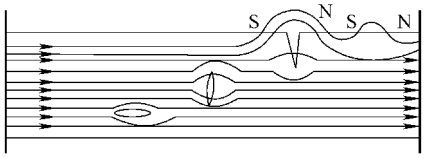
4. 磁粉检测法检验

磁粉检测法适用于检查铸钢、铸铁等铁磁性材料铸件的表面和近表面缺陷，对裂纹、折叠、未熔合等缺陷极为灵敏，并具有迅速、直观、操作简单的特点。

通常，采用交流电磁化可检查表面下 2mm 以内的缺陷；采用直流电磁化可检查表面下 4mm 以内的缺陷。

磁粉检测的检验方法与操作程序见表 5-12。此外，还需注意以下事项：

表 5-12　磁粉检测检验方法与操作程序（供参考）

检验内容	铸件表面和近表面缺陷
检验原理	采用磁粉检测机等 将铸件置于强磁场中或在铸件中通以大电流，铸件即被磁化。处于磁化状态的铁磁性材料铸件表面和近表面如果有缺陷，缺陷及其附近的感应磁场将发生畸变，形成漏磁。存在漏磁的部位，形成了一对异性的磁极，能吸引撒附在铸件表面的磁粉形成磁痕，通过观察和分析磁痕的形状、大小和分布，即可判断被检铸件表面和近表面缺陷的位置、类型和严重程度，见下图  磁粉检测原理示意图
检验方法	磁粉检验方法 按磁化方法分：纵向磁化法；周向磁化法；联合磁化法 按操作程序分：连续法；剩磁法 按显示方法分：干法；湿法 按使用磁粉分：黑色磁粉；有色磁粉；荧光磁粉 注：1. 剩磁法仅用于硬磁材料工件检测 2. 剩磁法无联合磁化的效果 3. 湿法显示有油液和水液之分
操作程序	磁粉检测检验的主要操作如下： 表面清理→磁化→显示→观察→退磁 1）铸件送检之前，应清除检验区域表面的油脂、砂泥、粘砂、氧化皮层、涂料和其他干扰磁粉检测操作和磁痕辨别的物质，并且通过喷丸、喷砂、打磨或机械加工使铸件表面达到各质量等级要求的表面粗糙度 Ra 的最大值 2）常用的磁化方法有：通电法、穿棒法、支杆法、磁轭法、线圈法、感应电流法、综合磁化法、旋转磁场磁化法。通常应从铸件的形状、最易发生缺陷方向和磁化的方向、仪器设备条件等选择合适的磁化方法。在采用连续法显示时，不论用哪种磁化方法，都必须使用标准试片试验，达到要求的灵敏度后方可进行铸件的检验。除综合磁化法和旋转磁场磁化法外，一般应在相互垂直的两个方向施加磁场。采用支杆法、磁轭法分段磁化时，可用对角法确定其有效检验范围 3）可用湿法或平法施加磁粉进行缺陷磁痕显示。一般采用连续法显示：连续法湿法显示是在磁化的同时施加磁悬液，施加磁悬液结束后应再进行一两次磁化；而连续法干法显示是在磁化之前或磁化的同时施加干磁粉，施加干磁粉结束后应再进行一两次磁化。但也可采用剩磁法湿法或干法显示，但需满足一定条件 4）一般用目视察，也可借助放大镜观察判断细小缺陷磁痕。使用荧光磁粉时，必须在紫外线灯下观察，检验表面，紫外线灯的辐射照度应不小于 $8W/m^2$，紫外线波长范围应在 330 ~ 400mm，中心波长为 365mm；而用非荧光磁粉时，则可在可见光下进行观察，检验表面可见光的照度应不小于 500lx 5）经磁粉检测的铸件如果在以后的生产工序中不能因消除剩磁而影响其加工、测试或使用时，则必须进行退磁。退磁时应将铸件置于方向交替反向，强度逐渐降低至零的磁场中来完成。退磁后应对剩磁进行测试，以确定退磁的效果

① 奥氏体铸铁和铸钢以及铸铜和铸铝件等非铁磁性材料铸件都不能采用磁粉检测法检验。

② 温度超过某种铁磁性材料居里点该材料铸件已变为非铁磁性材料铸件，因此不能再用磁粉

检测法检验。

③ 并不是铸件所有方向上的表面缺陷都可以简单地用磁粉检测法显现出来，例如当磁场方向和裂纹方向平行时，磁力线便没有可能泄漏至空气中，而无法察觉缺陷。

④ 由于铸件形状各不相同，且缺陷的形状和位置也各不相同，所以在实际操作中需要采用不同方向的磁化，以便使所有缺陷都能充分地显现出来。

⑤ 为增强磁痕与铸件表面的反差，允许在检验区域涂布反差增强剂。

⑥ 采用干法检验时，铸件检测表面应是干燥的。

⑦ 铸件的磁粉检测区域，应由各次局部磁化检验的有效检验范围完全覆盖而不得遗漏。

⑧ 为防止磁粉检测时烧损铸件表面，可以选用不直接通电的磁化方法（如磁轭法、穿棒法等）。

⑨ 如采用支杆法检验，应先将支杆触头与表面紧密接触，再接通电流，通电完毕之后，最后移开触头。

⑩ 采用湿法显示时，在磁化之前用磁悬液润湿铸件被检表面，有助于缺陷磁痕的迅速显示。

⑪ 采用干法显示时，不得在有强大气流或大风场所进行。

⑫ 铸件磁化后应尽快进行显示，且不得接触高温、撞击敲打或接近强磁场。

⑬ 观察时，应对磁痕的真伪做出正确的判断，伪磁痕显示可以因以下原因发生：局部冷作硬化、强磁性物体棱边接触铸件处、温度剧烈改变所产生的内应力、磁化物层状组织、残留奥氏体组织、铸件横截面急剧改变处、磁粉沉积或流迹，但这些磁粉沉聚一般是模糊的，且重现性不好，不能作为铸件报废的原因，在判断时要注意它可能掩盖实际的缺陷或埋在表面下的缺陷（如非金属夹杂物、气孔等），因此要仔细观察和反复检查。

关于铸钢件的磁粉探伤法检验与质量标准可参见标准 GB/T 9444—2007《铸钢件磁粉检测》或表 5-13。

表 5-13 铸钢件磁粉检测的质量等级（摘自 GB/T 9444—2007）

质量等级		001	01	1		2		3		4		5	
显示观察手段		目视或放大镜①		目视		目视		目视		目视		目视	
放大倍数		≤3		1		1		1		1		1	
应考虑的最小显示长度/mm		0.3		1.5		2		3		5		10	
非线状簇状显示(SM)②	总面积/mm^2	—		—		10	35	70		200		500	
	单个显示长度/mm	1		1		2③	4③	6③		10③		16③	
线状显示(LM)④或点线状显示(AM)⑤	显示类型	单个或累加		单个	累加	单个	累加	单个	累加	单个	累加	单个	累加
	壁厚 $\delta \leqslant 16mm$	0	1	2	4	4	6	6	10	10	18	18	25
	$16mm < 壁厚 \delta \leqslant 50mm$	0	1	3	6	6	12	9	18	18	27	27	40
	壁厚 $\delta > 50mm$	0	2	5	10	10	20	15	30	30	45	45	70
应用实例		航空航天制造业中的熔模铸件;特殊应用		根据表面粗糙度和应用情况的其他铸件									

注：1. 本表规定了 A6-105mm × 148mm 评定框内允许的最大面积（mm^2）和最大长度（mm）

2. 对铸钢件的不连续显示进行分级时，应将 105mm × 148mm 评定框放置在显示最严重的位置上。若被评定的显示小于或等于订货单中规定的质量等级，则评定为检测合格。

3. 显示相同是指被检显示与非线状显示的形态相同或与线状显示的长度相等。

4. 给出的显示类型仅起指导作用，评定质量等级是依据表中的不连续显示长度进行的。

5. 累加长度计算应包括点线状显示或非点线状显示。

① 允许采用带目镜测微尺的放大仪。

② 非线状显示（SM）：$L < 3b$，式中 L 是显示的长度，b 是显示的宽度。

③ 允许有两个不超过表中规定的长度显示。

④ 线状显示（LM）：$L \geqslant 3b$。

⑤ 点线状显示（AM）：至少含有三个最大间隙为 2mm 的线状显示或非线状显示。

5.2.2　铸件形状与尺寸检验

铸件形状与尺寸检验，就是检查毛坯铸件的实际尺寸是否落在规定的毛坯铸件的尺寸公差带内。

按一般规定，铸件的形位误差应在有关的尺寸公差范围内。

1. 铸件形状检验

铸件形状的基本要素主要有直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度、面轮廓度、平行度、垂直度、倾斜度、位置度、同心度（对中心点）、同轴度（对轴线）、对称度等。

通常，精度要求不高的铸件不检查几何误差。但是，对于提出了几何误差要求的铸件，则需要进行这种检查，因为铸件的几何误差总是客观存在的，我们不可能做出没有几何误差的铸件，而只能将几何误差限制在许可范围内。

铸件几何误差检验方法见表 5-14 和表 5-15。

表 5-14　铸件形状误差检验方法（供参考）

检验项目	检验方法说明
直线度误差	直线度是表示铸件被测的线要素直不直的程度 直线度误差是包容实际线且距离为最小的两平行直线(或平面之间的距离 f 或圆柱体的直径 ϕf) 常用的检测方法为间隙法:用平尺(或刀口尺)放在被检测的表面给定方向或给定剖面上,使它和被测实际轮廓线紧密接触,并使两者之间的最大间隙达到最小,此时的最大间隙即为该条被测素线的直线误差。按上述方法测量若干条素线,取其中最大的误差值作为该被测铸件的直线度误差。如果间隙较大,可用塞尺测量;如果间隙较小,则可用标准光隙估计其间隙大小 此外,检测直线度误差的方法还有指示表法、光轴法、水平仪法等
平面度误差	平面度是表示铸件被测的平面要素平不平的程度 平面度误差是被测平面对理想平面的变动量,理想平面的位置应符合最小条件。实际上,平面度误差是平面在各个方向上最大的直线度误差 常用的检测方法也是间隙法:用刀口尺或三棱尺、四棱尺测量平面上各个方向上的直线度,并直接用间隙法和塞入塞尺获得误差值,取其中的最大误差值作为整个平面的平面度误差。用刀口尺测量平面度误差时,必须注意刀口尺的放置方式要适当,否则会影响测量的准确性 此外,检测平面度误差的方法还有指示表法、光轴法、水平仪法等
圆度误差	圆度是指具有圆柱面(包括圆锥面)的铸件在同一横剖面内的实际轮廓不圆的程度 圆度误差是包容同一横剖面实际轮廓且半径差为最小的两同心圆间的距离 f 常用的检测方法为半径测量法:用圆度仪(转轴式或转台式)测量,在传感器上获得的信息是被测轮廓的半径变化量,圆度仪可将被测轮廓的半径变化量放大后同步自动记录下来,获得轮廓误差的放大图形,并可按放大图形评定圆度误差 此外,检测圆度误差的方法还有坐标测量法、两点、三点测量法等
圆柱度误差	常用的检测方法为半径测量法:以回转轴线为测量基准指示表沿轴向移动,测头移动的轨迹体现理想圆柱面,测头的径向变动量为实际表面相对于理想圆柱面的偏离量,由测得数据经处理后求得圆柱度误差 此外,检测圆柱度误差的方法还有坐标测量法、两点、三点测量法等
线轮廓度误差	线轮廓度是表示铸件被测实际轮廓线的要素对理想轮廓线相差的程度 线轮廓度误差是包容实际轮廓线,且距离为最小,并与理想轮廓线等距的两包容实际轮廓线间的距离 f 常用的检测方法为样板检验法:样板的工作刃口代表理想轮廓线,被测要素与样板刃口间的光隙为实际轮廓相对于理想轮廓的偏离量,由偏离量可评定出线轮廓度误差 此外,检验线轮廓度误差的方法还有仿形检测法、投影比较法等

（续）

检验项目	检验方法说明
面轮廓度误差	面轮廓度是表示铸件实际轮廓面要素对于理想轮廓面相差的程度 面轮廓度误差是包容实际轮廓面且距离为最小并与理想轮廓面等距的两包容面间的距离 f 常用的检测方法为截形样板检验法：是由样板轮廓与面轮廓的截形用对合法进行比较，需根据截面所在位置截形的理想轮廓，制作成组的截形样板，对号进行检验，为了保证检验位置的准确性，通常还需要制作定位检验夹具，便于用截形样板按序对号进行对合检验，最后根据样板轮廓与被检验截面轮廓间的大小，判断面轮廓度误差 此外，检验面轮廓误差的方法还有仿形检测法、坐标测量法等

表 5-15　铸件位置误差检验方法（供参考）

检验项目	检验方法说明
平行度误差	平行度误差分四种情况：面对面、面对线、线对面、线对线的平行度误差。对铸件来讲，一般只测量面对面的平行度误差 常用的检测方法为直接比较法：一般可在划线平台上用带指示器的测量架进行测量，测量时将基准平面放置在平台上，在整个被测表面上按规定的测量线进行测量，取指示器的最大与最小读数之差作为平行度误差值 此外，检验平行度误差的方法还有坐标测量法、水平基准法等
垂直度误差	垂直度是指铸件上的被测要素（面或线）相对基准要素（面或线）不垂直的程度，并可分为面对面垂直度、面对线垂直度、线对面垂直度和线对线垂直度等四种情况 垂直度误差是包容被测实际要素（表面、直线或轴线）并垂直于基准要素（平面、直线或轴线），且距离为最小两平行平面之间的距离 f。任意方向上，线对面垂直度误差为包容被测轴线并垂直于基准平面，且直径为最小的圆柱面 ϕf。对铸件来说，一般只检测其面对面的垂直度误差 常用的检测方法为直接比较法：将被测铸件的基准面固定在直角座上，并调整铸件的位置，使靠近基准面的读数差为最小值，对整个被测表面进行测量，取指示表示值的最大差为垂直度误差值 此外，检验垂直度误差的方法还有坐标测量法、水平基准法等
倾斜度误差	倾斜度即指铸件上的被测要素（面或线）相对于基准要素（面或线）应倾斜的理想形状的位置相差的程度 倾斜度误差是包容被测实际要素（表面、直线或轴线）并与基准要素（平面、直线或轴线）倾斜成理想角度 α，且距离为最小的两平行平面（或直线）之间的距离 f 常用的检测方法为直接比较法：将被测铸件放置在定角座上，调整被测铸件，使整个被测表面的读数差为最小，取指示表的最大与最小示值之差作为倾斜度误差值 此外，检验倾斜度误差的方法还有坐标测量法、水平基准法等
同轴度误差	同轴度是表示铸件的有关要素（轴与轴、孔与孔之间）要求同轴，即控制实际轴线与基准轴线的偏离（不同轴）程度 同轴度误差是以基准轴线定位，包容被测实际轴线直径为 ϕf 的圆柱内的最小区域 常用的检测方法为圆度仪（或类似仪器）：调整被测铸件，使基准轴线与仪器主轴回转轴线重合，在基准和被测要素的若干横向截面内测量并记录轮廓图形，按记录图形评定同轴度误差 此外，检验同轴度误差的方法还有万能法等
对称度误差	对称度是指铸件上的被测要素（中心平面、直线或轴线）相对应于基准要素的偏斜程度 对称度误差是包容被测实际要素同以基准要素定位的两平行平面最小区域宽度 f，可以分为面对面、面对线、线对面三种 常用的检测方法为直接比较法：面对面即测量被测平面与平板之对称度误差间的距离，测量后将铸件翻转 180°，测量另一表面至平板的距离，在两被测面的对应点处检测，以对应点距离之差的最大值为对称度误差值 此外，检验对称度误差的方法还有坐标法等

（续）

检验项目	检验方法说明
位置度误差	位置度是铸件上被测的点、线、面的实际位置偏离理想位置的程度 位置度误差是被测的实际要素（点、线、面）同以具有理想位置的要素（点、线、面）定位的最小区域宽度 f 或直径 ϕf，可分为点位置度误差、线位置度误差和面误差度误差三种 常用的检测方法为坐标测量法：检测平面上的一点相对于基准 A、B 的坐标，由测得坐标值减去相应的理论正确尺寸为实际点的偏离量 Δx、Δy，则位置度误差值为：$f=2\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2}$ 此外，检验位置度误差的方法还有位置度量规检验法等

应该指出，随着检测技术的不断创新，我国已研制出许多几何误差检测系统。如激光线扫描测量仪，对于检测汽轮机叶片、水轮机叶片等几何误差很是有效的。

2. 铸件尺寸检验

通常，需要检验铸件尺寸的情况有以下几种：

1）按铸件图或铸造工艺文件规定需要检验铸件的全部尺寸。它常常出现在试生产铸件的首件或成批大量生产时随机抽样的铸件尺寸检验，或单件小批量生产的铸件。

2）按铸件图或铸造工艺文件规定需要检验铸件的几个控制尺寸，即精度要求高的尺寸或易变形超差的尺寸，或能代表铸件变形程度的尺寸。它常常用于对流水线上大批量生产的铸件尺寸进行控制性检查。

3）按仲裁性检测需要对机械加工过程中有争议的铸件尺寸进行分析性检查。

铸件尺寸误差检验方法见表 5-16。

表 5-16　铸件尺寸误差检验方法（供参考）

检验方法	方　法　说　明
画线检测	1. 画线检测用的工、夹、量具 1）基准工具，包括平台、角尺、直径尺、方箱、分度器等。主要用于确定铸件的画线基准 2）画线工具，包括游标高度尺、划针、划规、地规、划卡、冲子、投点器等。主要用于铸件的画线 3）支承具和夹具，包括千斤顶、V 形铁、楔铁以及各种夹具等。主要用于支承和夹持铸件 2. 画线检测方法 1）铸件图中标注有机械加工定位基准的铸件的画线检测方法 ① 形状简单的铸件，可在平台上直接用工、夹量具画出有关尺寸 ② 形状复杂的铸件，当需要进行全面画线时，首先应根据铸件在长、宽、高三维方向上的机械加工定位基准，选择和确定在相应方向上的画线基准和支承点，严格控制各画线基准相对于平台平面的垂直度和平行度，然后依次在三维方向上画出所有尺寸线 2）铸件图中未注明机械加工定位基准的画线检测方法。这类铸件的画线检测，关键是合理选择画线基准和确定支承位置，随后的画线程序与铸件图中标注有机械加工定位基准的铸件的画线程序相同 画线基准的确定原则：画线基准应根据铸件在长、宽、高三维方向上的尺寸链统筹考虑，这一点对于箱体类等形状和结构复杂的铸件尤其重要。确定画线基准时，应充分分析铸件图和铸造工艺，尽量与铸件中心线和机械加工面协调一致，并应考虑铸件加工余量的大小及其与铸件中心线的关系，还应考虑铸件的浇注位置和分型面位置，砂芯与砂型之间及砂芯之间的组配关系，以及砂芯在砂型中的定位等因素，尽量与这些因素协调一致 支承位置的确定原则：铸件的支承位置应使选定的画线基准与平台平面平行，以便能方便迅速地画出基准线及所有与基准线平行的尺寸线；支承面应尽量选择铸件的大平面，支承点间的距离应尽量可能大，使铸件在平台上能放置平稳，并便于在平台上迅速找正铸件，提高找正精度；支承面应尽量选择机械加工精要求较高或重要的加工面，如不能满足时，应使该加工面与画线基准面之间的尺寸链尽可能短，以保证该加工面的机械加工精度 3. 画线检测时注意事项

（续）

检验方法	方　法　说　明
画线检测	1）画线前应首先熟悉铸件图，搞清各尺寸相互间的坐标位置和相互间的关系，做到心中有数，这样在画线时才能抓住关键 2）画线的精度除决定于操作者的划线技术外，还取决于画线前的准备工作。为了保证画线精确度，在画线前应对铸件提出以下要求：①铸件上的浇冒口和披缝、毛刺必须清理至与铸件表面齐平；②砂型铸件（或精铸件），必须将型砂清理干净，并经吹砂处理后，方能进行画线；③铸件基准面上的局部凸起应按铸件图要求打磨平齐，但不许将基准面锉修太多，以免影响铸件基准尺寸；④凡有不解剖无法画线检验的尺寸时，应按规定位置将铸件进行解剖，解剖面应光滑平整 3）画线所用的工具和量具，会严重影响画线的精确度，所以应保证划线工具、量具准确可靠，并应随时检查校核。此外，在选用量具时，并非量具精度越高越好，不但要考虑量具的经济性，还要考虑使用方便，而前提是获得合理的精确度，并遵守着大致相同的原则来合理地分配误差 4）选用分度头画线时，要注意检查主轴水平度和中心高度 5）画线时应精力集中，细心观察量具，全面考虑尺寸关系，随时核对尺寸，以避免出现差错 6）试铸或定期鉴定画线的铸件在画线后，应挂上标签，放在专用的柜内，妥善保管，以便查用 7）画线用涂料：①有色金属铸件表面一般比较光洁且具有光亮色泽。为求画线清晰、明显和易于辨认，画线前，应在要画线的部位上用毛刷（或毛笔）刷上染色涂料，或将画线表面的油污用汽油擦洗干净，然后涂以蓝色或黑色墨水（涂墨水前最好将铸件稍微加温）；②铸铁和砂型铸钢件画线可用快干剂涂料，即 10% 的漆片水，90% 的酒精，加入适量的白垩粉子搅拌而成，涂上 6min 以后就能画线
三坐标测量仪法	三坐标测量仪是一种用微机控制的测量物体尺寸的仪器，其优点是测量精度高、速度快、自动显示和打印测量结果，可在各种场合测量物体的三维尺寸。常用于测量铸件尺寸的三坐标测量仪有 H422 型、F1006 型和 FJ1006 型坐标测量仪 H422 型坐标测量仪的测量范围：x 轴为 420mm、y 轴为 220mm、z 轴为 220mm；最小刻度值为 0.1μm，工作载荷为 1500N F1006 型和 FJ1006 型的测量范围：x 轴为 1000mm、y 轴为 625mm、z 轴为 600mm；最小刻度尺为 1μm 或 0.5μm，工件载荷从台顶到 z 轴底部为 7000N，最大为 10000N
超声波测量法	该法用超声波测量仪测量物体厚度，可无损检测形状复杂铸件的壁厚。其测量原理：探头发射的超声脉冲穿过耦合介质射到铸件表面，一部分被铸件表面反射形成表面反射脉冲 S，其余部分透过物体表面传播到铸件底面，被铸件底面反射形成底面反射脉冲 B。测出 S 和 B 的间隔时间，用已知的时钟脉冲去度量，即可确定铸件的厚度
解剖和着色纸印测量法	对于形状和结构复杂的铸件，当无法用量具、量仪测量其内腔壁厚时，可用此法抽样检测其断面尺寸。可采用机械切削、砂轮切割、激光切割、等离子切割和电火花切割等方法解剖铸件，解剖后应清除掉切割断面上的毛刺，以保证测量精度。铸件解剖面的尺寸测量，除可采用画线检测外，常采用着色纸印法。在解剖面上涂上着色剂，贴上印纸，将解剖面的形状和尺寸复印在印纸上。取下印纸，即可在印纸上测量铸件解剖面的尺寸。该法优点是铸件解剖面的形状和尺寸一目了然，可为分析铸件截面尺寸偏差提供可靠依据，印纸可作为原始资料存档备查，尤其适用于内腔形状复杂铸件截面尺寸的抽样检测；当采用新工艺或新模样生产铸件时，还可作为修改工艺和模样的依据

我国制定了专门的标准 GB/T 6414—1999《铸件　尺寸公差与机械加工余量》，其毛坯铸件的公差等级和机械加工余量等级要求见表 5-17 ~ 表 5-21。

表 5-17　毛坯铸件尺寸公差（摘自 GB/T 6414—1999）　　（单位：mm）

毛坯铸件基本尺寸		毛坯铸件尺寸公差等级 CT①															
大于	至	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13②	14②	15②	16②③
—	10	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.74	1	1.5	2	2.8	4.2	—	—	—	—
10	16	0.1	0.14	0.2	0.28	0.38	0.54	0.78	1.1	1.6	2.2	3.0	4.4	—	—	—	—

（续）

毛坯铸件基本尺寸		毛坯铸件尺寸公差等级 CT①															
大于	至	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13②	14②	15②	16②③
16	25	0.11	0.15	0.22	0.30	0.42	0.58	0.82	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6	8	10	12
25	40	0.12	0.17	0.24	0.32	0.46	0.64	0.9	1.3	1.8	2.6	3.6	5	7	9	11	14
40	63	0.13	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	10	12	16
63	100	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6	9	11	14	18
100	160	0.15	0.22	0.30	0.44	0.62	0.88	1.2	1.8	2.5	3.6	5	7	10	12	16	20
160	250	—	0.24	0.34	0.50	0.72	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	14	18	22
250	400	—	—	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6.2	9	12	16	20	25
400	630	—	—	—	0.64	0.9	1.2	1.8	2.6	3.6	5	7	10	14	18	22	28
630	1000	—	—	—	0.72	1	1.4	2	2.8	4	6	8	11	16	20	25	32
1000	1600	—	—	—	0.80	1.1	1.6	2.2	3.2	4.6	7	9	13	18	23	29	37
1600	2500	—	—	—	—	—	—	2.6	3.8	5.4	8	10	15	21	26	33	42
2500	4000	—	—	—	—	—	—	—	4.4	6.2	9	12	17	24	30	38	49
4000	6300	—	—	—	—	—	—	—	—	7	10	14	20	28	35	44	56
6300	10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	16	23	32	40	50	64

① 在等级 CT1 ~ CT15 中对壁厚采用粗一级公差。

② 对于不超过 16mm 的尺寸，不采用 CT13 ~ CT16 的一般公差，对于这些尺寸应标注个别公差。

③ 等级 CT16 仅适用于一般公差规定为 CT15 的壁厚。

表 5-18　要求的铸件机械加工余量（RMA）（摘自 GB/T 6414—1999）（单位：mm）

最大尺寸①		要求的机械加工余量等级									
大于	至	A②	B②	C	D	E	F	G	H	J	K
—	40	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	1	1.4
40	63	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	1	1.4	2
63	100	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1	1.4	2	2.8	4
100	160	0.3	0.4	0.5	0.8	1.1	1.5	2.2	3	4	6
160	250	0.3	0.5	0.7	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8
250	400	0.4	0.7	0.9	1.3	1.4	2.5	3.5	5	7	10
400	630	0.5	0.8	1.1	1.5	2.2	3	4	6	9	12
630	1000	0.6	0.9	1.2	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14
1000	1600	0.7	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8	11	16
1600	2500	0.8	1.1	1.6	2.2	3.2	4.5	6	9	14	18
2500	4000	0.9	1.3	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14	20
4000	6300	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8	11	16	22
6300	10000	1.1	1.5	2.2	3	4.5	6	9	12	17	24

① 最终机械加工后铸件的最大轮廓尺寸。

② 等级 A 和 B 仅用于特殊场合。

表 5-19　大批量生产的毛坯铸件的公差等级（摘自 GB/T 6414—1999）

铸造方法		公差等级 CT								
		铸件(合金)								
		钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	锌合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
砂型铸造手工造型		11 ~ 14	11 ~ 14	11 ~ 14	11 ~ 14	10 ~ 13	10 ~ 13	9 ~ 12	11 ~ 14	11 ~ 14
砂型铸造机器造型和壳型		8 ~ 12	8 ~ 12	8 ~ 12	8 ~ 12	8 ~ 10	8 ~ 10	7 ~ 9	8 ~ 12	8 ~ 12
金属型铸造(重力铸造或低压铸造)		—	8 ~ 10	8 ~ 10	8 ~ 10	8 ~ 10	7 ~ 9	7 ~ 9	—	—
压力铸造		—	—	—	—	6 ~ 8	4 ~ 6	4 ~ 7	—	—
熔模铸造	水玻璃	7 ~ 9	7 ~ 9	7 ~ 9	—	5 ~ 8	—	5 ~ 8	7 ~ 9	7 ~ 9
	硅溶胶	4 ~ 6	4 ~ 6	4 ~ 6	—	4 ~ 6	—	4 ~ 6	4 ~ 6	4 ~ 6

注：1. 表中所列出的公差等级是指在大批量生产下，且影响铸件尺寸精度的生产因素已得到充分改进时铸件通常能够达到的公差等级。

2. 本表还适用于本表未列出的由铸造厂和采购方之间协议商定的工艺和合金。

表 5-20　小批量生产或单件生产的毛坯铸件的公差等级（摘自 GB/T 6414—1999）

铸造方法	造型材料	公差等级 CT							
		铸件(合金)							
		钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
砂型铸造手工造型	粘土砂	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	11 ~ 13	13 ~ 15	13 ~ 15
	化学粘结剂砂	12 ~ 14	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	10 ~ 12	10 ~ 12	12 ~ 14	12 ~ 14

注：1. 表中所列出的公差等级是小批量的或单件生产的砂型铸件通常能够达到的公差等级。

2. 表中的数值一般适用于大于 25mm 的公称尺寸。对于较小的尺寸，通常能经济实用地保证下列较细的公差：公称尺寸≤10mm 的在此基础上精三级；10mm < 公称尺寸≤16mm 的在此基础上精二级；16mm < 公称尺寸≤25mm 的在此基础上精一级。

3. 还适用于本表未列出的由铸造厂和采购方之间协议商定的工艺。

表 5-21　毛坯铸件典型的机械加工余量等级（摘自 GB/T 6414—1999）

铸造方法	要求的机械加工余量等级								
	铸件(合金)								
	钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	锌合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
砂型铸造手工造型	G ~ K	F ~ H	F ~ H	F ~ H	F ~ H	F ~ H	F ~ H	G ~ K	G ~ K
砂型铸造机器造型和壳型	F ~ H	E ~ G	E ~ G	E ~ G	E ~ G	E ~ G	E ~ G	F ~ H	F ~ H
金属型(重力铸造和低压铸造)	—	D ~ F	D ~ F	D ~ F	D ~ F	D ~ F	D ~ F	—	—
压力铸造	—	—	—	—	B ~ D	B ~ D	B ~ D	—	—
熔模铸造	E	E	E	—	E	—	E	E	E

注：还适用于本表未列出的由铸造厂和采购方之间协议商定的工艺和合金。

5.2.3　铸件表面粗糙度检验

铸件表面粗糙度是指铸造表面上由微小间距和峰谷组成的微观几何特征。它是衡量毛坯铸件表

面质量的重要指标。

我国制定有专门的标准 GB/T 15056—1994《铸造表面粗糙度评定方法》和 GB/T 6060.1—1997《表面粗糙度比较样块（铸造表面）》。

铸件表面粗糙度检验方法见表 5-22 和表 5-23。

表 5-22　铸件表面粗糙度检验方法（供参考）

<table>
<tr><th>检验方法</th><th>方　法　说　明</th></tr>
<tr><td>样块比对法</td><td>
用铸造表面粗糙度比较样块，同它表征的合金材质和铸造方法相同的并经过适当方法（如喷丸、喷砂、滚筒清理等方法）清理的铸件表面进行比较，通过视觉观察和触摸比对的方法来评定铸件表面粗糙度
铸造表面粗糙度比较样块的分类及粗糙度参数值见表 5-23
样块比对时应注意：①应选用与铸件合金材质和工艺方法相同的样块进行比对；②被检的铸件表面必须清理干净，样块表面和被检铸件表面都不得有油污、锈蚀；③视觉比对时应在光线充足的条件下用眼睛观察比对，也可用放大镜观察比对；④触摸比对时应用手指在被检铸件表面和相近两个参数值等级比较样块表面触摸，获得同样感觉的那个等级即为被检铸件表面粗糙度数值
铸件表面粗糙度参数等级评定时应注意：①对被检铸件表面应均匀地划分为若干个检测单元，用样块对检测单元逐一进行对比；②划分的检测单元数目必须符合下表规定，每个检测单元面积不得小于样块的面积；③检测单元的表面粗糙度参数值等级应以该表面内表面粗糙度参数值最大的等级评定，当表面粗糙度介于比较样块两级参数之间时，以数值大的等级评定；④将所有检测单元的表面粗糙度参数值从小到大加以整理，以从最小等级起的 80% 检测单元数中的最大数值等级定为该铸件表面粗糙度等级，但其余 20% 检测单元的表面粗糙度参数值等级比所定等级不得大于一个等级以上；⑤当 20% 检测单元的表面粗糙等级比 80% 检测单元表面粗糙度等级大两个或两个以上等级时，则以这 20% 检测单元参数值最大等级的小一级定为该被检铸件表面粗糙度等级；⑥被检铸件表面的面积小于 200cm^2，以被检铸件表面粗糙度参数值最大的表面粗糙度等级评定；⑦铸件表面粗糙度粗于规定等级时可以精整，精整后参照铸件粗糙度比较样块再进行检测
<table>
<tr><td>被检铸件表面面积/cm^2</td><td>200 ~ 1000</td><td>> 1000 ~ 10000</td><td>> 10000</td></tr>
<tr><td>被检单元数/个</td><td>≥5</td><td>≥10</td><td>≥20</td></tr>
</table>
铸件表面粗糙度参数等级评定举例：
例 1：如被检铸造表面分为 10 个检测单元，各检测单元最大参数值等级为：Ra25μm、Ra25μm、Ra12.5μm、Ra25μm、Ra12.5μm、Ra25μm、Ra50μm、Ra12.5μm、Ra25μm、Ra50μm。其中 Ra50μm 有 2 个，Ra25μm 有 5 个，Ra12.5μm 有 3 个
80% 检测单元中参数值有 Ra12.5μm、Ra25μm，则最大参数值等级为 Ra25μm
20% 检测单元中参数值有 Ra50μm，则最大参数值等级为 Ra50μm
则该被检铸造表面粗糙度等级应定为 Ra25μm
例 2：如被检铸造表面分为 10 个检测单元，各检测单元最大参数值等级为：Ra25μm、Ra25μm、Ra50μm、Ra50μm、Ra12.5μm、Ra50μm、Ra25μm、Ra12.5μm、Ra25μm、Ra25μm。其中 Ra50μm 有 3 个，Ra25μm 有 5 个，Ra12.5μm 有 2 个
80% 检测单元中参数值有 Ra12.5μm、Ra25μm、Ra50μm，则最大参数值等级为 Ra50μm
20% 检测单元中参数值有 Ra50μm，则最大参数值等级为 Ra50μm
则该被检铸造表面粗糙度等级应定为 Ra50μm
例 3：如被检铸造表面为 10 个检测单元，各检测单元最大参数值等级为：Ra25μm、Ra25μm、Ra50μm、Ra25μm、Ra100μm、Ra12.5μm、Ra25μm、Ra12.5μm、Ra12.5μm、Ra25μm。其中 Ra100μm 有 1 个；Ra50μm、有 1 个；Ra25μm 有 5 个；Ra12.5μm 有 3 个
80% 检测单元中参数值有 Ra12.5μm、Ra25μm，则最大参数值等级为 Ra25μm
20% 检测单元中参数值有 Ra50μm、Ra100μm，则最大参数值等级为 Ra100μm
根据规定，以 20% 检测单元最大参数值等级的小一级定为该检铸造粗糙度等级，则该表面粗糙度等级应定为 Ra50μm
</td></tr>
<tr><td>电动轮廓仪测量法</td><td>
适用参数范围 Ra0.25 ~ 6.3μm
电动轮廓仪系触针式仪器。测量时仪器触针尖端在被测表面上垂直于有纹理方向的截面上，做水平移动测量，从指示仪表直接得出一个测量行程的 Ra 值。这是 Ra 值测量最常用的方法。或者用仪器的记录装置，描绘出粗糙度轮廓曲线的放大图，再计算 Ra 值。便携式电动轮廓仪可在生产现场使用
</td></tr>
</table>

（续）

检验方法	方　法　说　明		
面积测量法	分类		工作原理
	属于间接测量法 在一段表面上，测量铸件的微观不平度数值，利用该表面的某种特征间接测定表面总的粗糙度	气动法	利用流经测量表面微观不平度间气体流量的大小或引起压力的变化，评定表面粗糙度
		反射法	利用表面高低不平程度引起的反射能力的强弱，评定表面粗糙度
		电容法	利用仪器的测量板与表面高低不平所造成电容量的大小，评定表面粗糙度
样品比较法	将表面符合粗糙度要求的铸件定为样品，以样品作为检验和验收其他铸件表面粗糙度的依据。适用参数范围为 Ra0.2 ~ 320μm		

表 5-23　铸造表面粗糙度比较样块的分类及粗糙度参数值（摘自 GB/T 6060.1—1997）

铸型类型		砂　型　类									金 属 型 类					
合金种类		钢			铁		铜	铝	镁	锌	铜		铝		镁	锌
粗糙度参数公称值/μm		砂型铸造	壳型铸造	熔模铸造	砂型铸造	壳型铸造	砂型铸造	砂型铸造	砂型铸造	砂型铸造	金属型铸造	压力铸造	金属型铸造	压力铸造	压力铸造	压力铸造
Ra	0.2														×	×
	0.4													×	×	×
	0.8			×									×	×	※	※
	1.6		×	×		×						×	×	※	※	※
	3.2		×	※	×	×	×	×	×	×	×	×	※	※	※	※
	6.3		※	※	×	※	×	×	×	×	×	※	※	※	※	※
	12.5	×	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※
	25	×	※		※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※
	50	※	※		※		※	※	※	※	※	※	※			
	100	※			※		※	※	※	※	※					
	200	※			※		※	※	※	※						
	400	※														

注：1. × 号为采取特殊措施方能达到的粗糙度。※为该种铸造方法能达到的粗糙度。

2. 砂型类除推荐的砂型、壳型、熔模铸造以外，还可以作为陶瓷型、负压造型、石膏型、铁模挂砂等铸造方法对比参考；金属型类除推荐的金属型和压力铸造以外，还可以作为挤压铸造、离心铸造、低压铸造等金属型铸造方法对比参考。

5.2.4　铸件质量大小检验

铸件质量分为铸件公称质量和铸件实际质量。

铸件公称质量的确定：①成批和大量生产时，从供需双方共同认定的首批合格铸件中随机抽取不少于 10 件的铸件，以实称质量的平均值作为公称质量；②小批和单件生产时，以铸件图计算质量或供需双方共同认定的任一个合格铸件的实际质量作为公称质量；③以标准样品（铸件）的实称质量为公称质量。

铸件实际质量可由下式表示：

$$\begin{aligned}\text{铸件实际质量} &= \text{铸件公称质量} + \text{铸件质量偏差}\\ &= \text{零件公称质量} + \text{机械加工余量及其他工艺余量所形成的质量} + \text{铸件质量偏差}\end{aligned}$$

1. 铸件质量大小的评定方法

铸件质量的允许偏差应依据标准 GB/T 11351—1989《铸件质量公差》进行评定，见表 5-24。

用于成批和大量生产的铸件公差等级见表 5-25。用于小批和单件生产的铸件质量公差等级见表 5-26。

表 5-24　铸件质量公差数值（摘自 GB/T 11351—1989）　　（%）

公称质量/kg		质量公差等级(MT)															
大于	至	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	0.4	—	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	—	—	—	—	—
0.4	1	—	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	—	—	—	—
1	4	—	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	—	—	—
4	10	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	—	—
10	40	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	—
40	100	—	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
100	400	—	—	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
400	1000	—	—	—	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
1000	4000	—	—	—	—	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
4000	10000	—	—	—	—	—	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14
10000	40000	—	—	—	—	—	—	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12

注：表中质量公差数值为上、下偏差之和，即一半为上偏差，一半为下偏差。

表 5-25　用于成批和大量生产的铸件质量公差等级（摘自 GB/T 11351—1989）

工艺方法	质量公差等级(MT)								
	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	锌合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
砂型手工造型	11～13	11～13	11～13	11～13	10～12	—	9～11	—	—
砂型机器造型及壳型	8～10	8～10	8～10	8～10	8～10	—	7～9	—	—
金属型	—	7～9	7～9	7～9	7～9	7～9	6～8	—	—
低压铸造	—	7～9	7～9	7～9	7～9	7～9	6～8	—	—
压力铸造	—	—	—	—	6～8	4～6	5～7	—	—
熔模铸造	5～7	5～7	5～7	—	4～6	—	4～6	5～7	5～7

表 5-26　用于小批和单件生产的铸件质量公差等级（摘自 GB/T 11351—1989）

造型材料	质量公差等级(MT)					
	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金
干、湿型砂	13～15	13～15	13～15	13～15	13～15	11～13
自硬砂	12～14	11～13	11～13	11～13	10～12	10～12

2. 铸件质量偏差的检验与评定

铸件质量偏差是指铸件实际质量与公称质量之间的正偏差或负偏差。

铸件质量公差是指用占铸件公称质量的百分比表示的铸件实际质量与公称质量之差的最大允许值。与铸件尺寸公差对应的分为 16 个等级，以 MT1～MT16 表示。

通常，对于一般铸件，铸件的质量偏差可不作为验收依据。但当铸件的质量偏差作为验收依据时，应在图样或技术文件上注明。

对于大铸件、需要控制质量的铸件（如重锤、衡器、平衡重……）、用户有要求的铸件（如航空和航天产品铸件）等，则质量偏差应作为验收的依据。

当铸件质量偏差作为验收依据时，铸件质量偏差的检验是按技术条件的规定逐个称重来检验或按比例抽查称重检验。

检验评定时应注意：①铸件公称质量和待检铸件质量应选择经计量部门核检合格的同一精度等级的衡器称量；②被检铸件在称量前应清理干净，浇道和冒口残余应达到技术条件规定的要求，有缺陷的铸件应在修补合格后称量；③如被检铸件的实际质量大于公称质量而铸件质量偏差不大于铸件质量公差的上偏差，或被检铸件的实际质量不大于公称质量且铸件质量偏差不大于铸件质量公差的下偏差，检验结果应判定被检铸件的质量偏差合格；否则，检验结果为其他情况时，应判定被检铸件质量偏差为不合格。

5.2.5　铸件内腔检验

用于航空航天、兵器、汽车、液压动力等机械的铸件，通常对铸件内腔表面质量的要求十分严格。

铸件内腔检验项目一般包括：铸件的内腔形状和尺寸、铸造表面粗糙度、各种铸造表面缺陷、铸件内腔清洁度等。

铸件内腔的检验方法基本上与本章前述相同。检测工具应增加照明灯具、工业内窥镜、工业电视、内径量具、测厚仪、深度尺等。

铸件内腔清洁度检验方法见表 5-27。

表 5-27　铸件内腔清洁度检验方法（供参考）

检验方法		方　法　说　明
干检验法	锤击法	适用于无细长弯曲孔道的铸件，如汽车缸体、缸盖、进气管、曲轴箱等铸件的内腔清洁度检验 检验时，先用压缩空气将受检铸件吹净，然后将铸件置于用于收集杂物的白纸上，反复翻转和锤击铸件，直到铸件的非暴露内腔不再有杂物脱落为止，而铸件对外暴露的内腔表面可以用尼龙刷反复进行清刷，直到表面不再有杂物脱落为止，最后用天平称量脱落的杂物质量并根据相关标准或铸件验收条件评定铸件内腔清洁度是否合格
	解剖法	适用于内腔形状复杂及有细长弯曲孔道的铸件或者很难用锤击法将内腔表面的杂物敲落下来并倾倒出来的铸件的清洁度检验 检验时，用尼龙刷反复清刷被解剖的内腔表面，直到表面不再有杂物脱落为止，然后用天平称量脱落的杂物质量并根据相关标准或铸件验收条件评定铸件内腔清洁度是否合格
汽油检验法		适用于内腔形状复杂及有细长弯曲孔道的铸件的清洁度检验。其优点是可以不破坏铸件，缺点是铸件的内腔杂物尤其是粘砂等缺陷不容易冲刷干净 检验时，用汽油将附着在铸件内腔上的杂物冲刷出来并收集在容器中，干燥后进行称量以确定铸件内腔清洁度是否合格

5.3　铸件内在质量检验

铸件内在质量是铸件质量的重要方面，它直接关系到铸件是否能够交付使用，因此常常需要进行多方面检验，如铸件力学性能检验、铸件化学成分检验、铸件内部缺陷检验、铸件金相组织检验等。

铸件内在质量检验手段，不仅用于成品铸件质量检查和铸造过程质量监控，而且也是分析和研究改进铸造质量问题的重要手段。

5.3.1　铸件化学成分检验

在铸造生产中，规定铸件的化学成分在一定范围内是很重要的。因为合金的化学成分与铸件各方面的性能都有着密切的联系，所以在生产中进行化学成分的检验是必要的。铸件化学成分检验也是最基本的检验项目。但是，铸件的化学成分是否作为铸件验收的依据，应按铸件质量验收标准或订货合同的要求而定。

通常，有色合金铸件以及要求特殊性能的铸钢件和铸铁件，都要把合金的化学成分作为铸件的验收技术条件之一。冶金用钢锭模更是以化学成分作为主要验收依据。而一般铸铁件的化学成分检验只作参考，但是一般低合金铸钢件则要求检验其硫和磷。

铸件化学成分检验方法有化学分析法和光谱分析法。化学分析法精度高，可作为仲裁的方法，但是分析速度较慢；而光谱分析法的分析精度虽然略低于化学分析法，但是由于分析速度快，所以在铸造生产中也得到了广泛应用。

检验化学成分时应注意以下事项：

1）铸钢、铸造铝合金、铸造镁合金、铸造锌合金、铸造铜合金等的化学成分检验第一次不合格时，允许重新取样检验（也可从铸件本体上取样），如果仍不合格则该炉金属为不合格品。

2）检验化学成分的试样应具有代表性。因为化学成分的分析工作只对来样负责，所以取样的时间、数量、铸型、铸造条件等都应符合要求，否则试样缺乏代表性，即使分析工作准确，也不能反映所代表的合金质量。轻者需重复检验，重者会错误地报废合格品。一般用于分析化学成分的试样不应带有气孔、夹渣或其他不均匀、不致密的缺陷，以免影响分析结果。

3）送交化验试样进行化学分析时，试样应呈切屑状态，一般采用从试块上钻取的方法获得。这一工作如果需要在车间进行，则在钻取过程中应特别注意勿使杂物混入。因此，钻头、工作地点、盛接切屑的容器必须保证干净。此外，铸件表层常粘附杂质、氧化物，所以试块表面应清理干净，而且从表层切取的少量切屑最好放置不用，以免影响分析结果，并应按照分析工作的要求送足需要的数量；送交化验试样进行光谱分析时，制样工作更应认真进行，否则会在更大程度上影响分析结果。

4）除非制造厂与买方商定采用铸件上的附铸试块外，一般均用单铸试块制备光谱分析试样。

1. 化学分析法

化学分析法的操作过程一般都比较复杂，但是可分析元素的种类和含量范围较宽，即使含量为 0.0002%（质量分数）的微量元素也可分析出来，因此它已成为铸件化学成分分析的基本手段。

化学分析法的试样采取、分析方法、分析仪器、分析试剂以及成品化学成分允许偏差，都应符合有关标准规定。

铸件（合金）采用化学分析法进行成分分析时，应符合 GB/T 1467—2008《冶金产品化学分析方法标准的总则及一般规定》，以及 GB/T 7729—1987《冶金产品化学分析分光光度法通则》和表 5-28 中的有关标准的规定。

表 5-28　适用于铸件（合金）采用化学分析法进行成分分析时的有关标准

标准号	标准名称	适　用　范　围
GB/T 20066—2006	钢和铁　化学成分测定用试样的取样和制样方法	规定用于分析钢、铁化学成分试样的取样方法
GB/T 222—2006	钢的成品化学成分允许偏差	规定用于分析钢的成品化学成分分析结果的允许偏差

（续）

标准号	标准名称	适　用　范　围
GB/T 223.1 ~ .86	钢铁及合金各成分的化学分析方法系列标准	系列标准，用于分析钢铁中的总碳量、非化合碳量、硅、锰、硫、磷等常规元素，镍、铬、钒、钛、钴、铌、钼、钨、钽、铜、锆、镁、铈、稀土总量等合金元素及氧、氮、砷、碲、硒、锡、锑、铅、锌、镉、铝、钙、铋等杂质元素的含量
JB/T 4394—1999	稀土镁合金中稀土总量、硅、镁的化学分析方法	规定稀土镁中间合金中稀土总量、硅、镁的化学分析方法
GB/T 20975.1 ~ .25	铝及铝合金化学分析方法系列标准	系列标准，用于分析铝合金中的铜、镍、铁、镁、硅、锰、锌、稀土总量、锡、锑、铅、钒、钛、铬、锆、钙、铍、镓等元素的含量
GB/T 13748.1 ~ .21	镁及镁合金化学分析方法系列标准	系列标准
GB/T 12689.1 ~ .12	锌及锌合金化学分析方法系列标准	系列标准
GB/T 5121.1 ~ .28	铜及铜合金化学分析方法系列标准	系列标准
GB/T 4698.1 ~ .25	海绵钛、钛及钛合金化学分析方法系列标准	系列标准
HB 5220.1 ~ .48	高温合金化学分析方法系列标准	系列标准
GB/T 8647.1 ~ .10	镍化学分析方法系列标准	系列标准
GB/T 4103.1 ~ .13	铅及铅合金化学分析方法系列标准	系列标准

铸铁、铸钢、铸造铝合金及其他合金成分的化学分析方法见表 5-29 和表 5-30。

表 5-29　铸铁、铸钢及其他合金成分的化学分析方法（供参考）

分析方法	方法提要	适用范围	测定范围	允许差(%)
1. 碳量的测定				
碱石棉吸收质量法	试样置于高温炉中加热并通氧燃烧，使碳氧化成二氧化碳，混合气体经除硫后，以已知质量的内装碱石棉的吸收瓶吸收二氧化碳，称量。由吸收瓶之增重，计算试样中的碳含量	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金、铁粉	0.10% ~ 5.0%	见下表
气体容量法	试样置于高温炉中加热并通氧燃烧，使碳氧化成二氧化碳，混合气体经除硫后收集于量气管中，然后以氢氧化钾溶液吸收其中的二氧化碳，吸收前后体积之差即为二氧化碳体积，由此计算碳含量	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金、铁粉	0.10% ~ 2.0%	
游离碳测定法	试样经酸溶解后，滤取游离碳，经碱洗、酸洗、水洗并烘干后，根据游离碳含量选择适当的测定方法测定游离碳	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢	0.03% ~ 5.0%	

碳含量	允许差
0.0300 ~ 0.0500	0.0050
0.051 ~ 0.100	0.010
0.101 ~ 0.250	0.015
0.251 ~ 0.500	0.020
0.501 ~ 1.000	0.025
1.001 ~ 2.000	0.035
2.001 ~ 3.000	0.045
3.01 ~ 4.00	0.50
>4.00	0.60

注：1. 此允许差仅为保证与判定分析结果的准确度而设，与其他部门不发生任何关系，在平行分析两份或两份以上试样时，所得的分析数据的极差值不超过所载允许差两倍者（即 ± 允许差以内），均应认为有效，以求得平均值

2. 用标准试样校验时，结果偏差不得超过所载允许差

（续）

分析方法	方法提要	适用范围	测定范围	允许差(%)
2. 硫量的测定				
氧化铝色层分离-硫酸钡质量法	试样在饱和溴水中用盐酸-硝酸溶解，高氯酸冒烟，过滤除去硅、钨、铌等，并通过活性氧化铝色层柱除去大部分干扰元素后，用稀氢氧化铵洗脱色层柱上的硫酸根，以硫酸钡质量法测定硫	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金、铁粉	0.003%以上	硫含量 / 允许差：0.0010～0.0025 / 0.0003；0.0026～0.0050 / 0.0005；0.0051～0.010 / 0.001；0.011～0.020 / 0.002；0.021～0.050 / 0.004；0.051～0.100 / 0.006；0.101～0.200 / 0.010；>0.200 / 0.015
燃烧-碘酸钾容量法	试样置于高温炉中加热并通氧燃烧，使硫氧化成二氧化硫，被酸性淀粉溶液吸收后，用碘酸钾标准溶液滴定至浅蓝色为终点	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金、铁粉	0.003%～0.20%	
还原蒸馏-次甲基蓝光度法	试样溶于硝酸-盐酸混合酸中，同时加溴使硫氧化成硫酸。试液蒸干驱尽硝酸后加氢碘酸-次磷酸钠为还原剂，在氮气流下加热蒸馏，硫酸被还原成硫化氢，用乙酸锌溶液吸收，然后用N、N-二甲基对苯二胺溶液和三氯化铁溶液生成次甲基蓝，在波长667nm处，测其吸光度	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金、铁粉	0.001%～0.030%	注：同碳量的测定注
3. 磷量的测定				
二安替比林甲烷磷钼酸质量法	磷在质量分数为0.24%～0.60%盐酸溶液中加入二安替比林甲烷、钼酸钠混合沉淀剂，生成二安替比林甲烷磷钼酸沉淀[$(C_{23}H_{24}N_4O_2)_3H_7P(Mo_2O_7)_6]_2$。当溶液中共存360mg镍、175mg锰、80mg铝、50mg钴、30mg钒、20mg铁、5mg锆、3mg铈不干扰测定。硅大于80μg用氢氟酸处理。铁、铬、钒在EDTA存在下用硫酸铍作载体，氢氧化铵沉淀分离后不干扰测定，含钨试样以草酸络合钨，用上述方法氢氧化铵两次分离；铌、钛的干扰用铜铁试剂分离；砷、锡用氢溴酸驱除	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、铁粉	0.01%～0.80%	磷含量 / 允许差：0.0010～0.0025 / 0.0003；0.0026～0.0050 / 0.0005；0.0051～0.0100 / 0.0010；0.0101～0.0300 / 0.025；0.031～0.100 / 0.004；0.101～0.200 / 0.008；0.201～0.400 / 0.010；0.401～1.00 / 0.020
磷钼酸铵容量法	试样以氧化性酸溶解，在质量分数约2.2%硝酸中，加钼酸铵生成磷钼酸铵沉淀，过滤后，用过量的氢氧化钠标准溶液溶解，过剩的氢氧化钠用硝酸标准溶液返滴定 试液中存在小于100μg砷、500μg钽、1mg锆、钒或铌、3mg钨、10mg钛和20mg硅不干扰测定。超出上述限量，砷以盐酸、氢溴酸挥除；锆、铌、钽、钛、硅以氢氟酸掩蔽；钒用盐酸羟胺还原，钨在氨性溶液中，EDTA存在下，用铍作载体分离除去	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、铁粉	0.01%～1.0%	注：同碳量的测定注

（续）

分析方法	方法提要	适用范围	测定范围	允许差(%)
3. 磷量的测定				
乙酸丁酯萃取磷钼光度法	在质量分数为 0.65% ~1.63%硝酸或质量分数为 0.4% ~1.6%硝酸-硫酸介质中,磷与钼酸铵生成磷钼杂多酸可被乙酸丁酯萃取,用氧化亚锡将磷钼杂多酸还原并反萃取至水相,于波长 680nm 处,测其吸光度 在萃取溶液中含 2.5μg 锆、20μg 砷、25μg 铌和钼、50μg 钛、500μg 铈、1.5mg 钨、2mg 铜、3mg 钴、5mg 铬(Ⅲ)、铝和 50mg 镍,不干扰测定 超出上述限量,砷用盐酸、氢溴酸驱除;钒用硫酸亚铁还原,锆以氢氟酸掩蔽,铬氧化成高价后加盐酸挥发出去;钨在 EDTA 氨性溶液中以铍作载体将磷沉淀分离;铌、钛、锆、钽用铜铁试剂,三氯甲烷萃取出来	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金、铁粉	0.001% ~ 0.05%	磷含量 / 允许差 0.0010 ~0.0025 / 0.0003 0.0026 ~0.0050 / 0.0005 0.0051 ~0.0100 / 0.0010 0.0101 ~0.0300 / 0.025 0.031 ~0.100 / 0.004 0.101 ~0.200 / 0.008 0.201 ~0.400 / 0.010 0.401 ~1.00 / 0.020 注:同碳量的测定注
锑磷钼蓝光度法	磷在硫酸介质中与锑,钼酸铵生成的络合物,与抗坏血酸还原为锑磷钼蓝,测其吸光度 在显色溶液中存在 50μg 铈、200μg 锆、200μg 硅、600μg 铬(Ⅲ)不干扰,超过此量用盐酸挥除,砷用氢溴碳、盐酸挥除,钨在氢氧化铵溶液中用铍作载体分离除去,铌有干扰	适用于铸造碳钢和合金钢、高合金钢,不适用于含铌、含钨的钢	0.01% ~ 0.06%	
4. 锰量的测定				
亚砷酸钠-亚硝酸钠容量法	试样经酸溶解,在硫酸、磷酸介质中,以硝酸银为催化剂,用过硫酸铵将锰氧化成七价,用亚砷酸钠-亚硝酸钠标准液滴定。试液中含钴 5mg 以上时影响终点的观察,可加入镍抵消钴离子色泽的影响	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、铁粉	0.10% ~ 2.5%	锰含量 / 允许差 0.0100 ~0.0250 / 0.0025 0.0251 ~0.050 / 0.005 0.051 ~0.100 / 0.010 0.101 ~0.200 / 0.015 0.201 ~0.500 / 0.020 0.501 ~1.000 / 0.025 1.01 ~2.00 / 0.03 2.01 ~5.00 / 0.05 5.01 ~10.00 / 0.10 10.01 ~20.00 / 0.14 20.01 ~30.00 / 0.18 注:同碳量的测定注
硝酸铵氧化容量法	试样经酸溶解后,在磷酸微冒烟的状态下,用硝酸铵将锰定量氧化至三价,以 N-苯代邻氨基苯甲酸为指示剂,用硫酸亚铁铵标准溶液滴定。钒、铈有干扰必须予以校正	适用于铸造碳钢和合金钢、高温合金及精密合金	2.0% ~ 3.2%	
高碘酸钠(钾)氧化光度法	试样经酸溶解后,在硫酸磷酸介质中,用高碘酸钠(钾)将锰氧化至 7 价,测其吸光度	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金、铁粉	0.01% ~ 2.0%	

（续）

分析方法	方法提要	适用范围	测定范围	允许差(%)
5. 硅量的测定				
高氯酸脱水质量法	试样经酸溶解，用高氯酸蒸发冒烟使硅酸脱水，过滤洗净后，灼烧成二氧化硅。用硫酸-氢氟酸处理，使硅生成四氟化硅挥发除去，由除硅前后的质量差计算硅的百分含量	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金、铁粉	0.10%～6.0%	硅含量 / 允许差：0.0300～0.0500 / 0.0050；0.0501～0.100 / 0.0075；0.101～0.250 / 0.017；0.251～0.500 / 0.023；0.501～1.000 / 0.035；1.01～2.50 / 0.05；2.51～4.00 / 0.06；4.00以上 / 0.07。注：同碳量的测定注
草酸-硫酸亚铁硅钼蓝光度法	试样用稀酸溶解，在微酸性溶液中，硅酸与钼酸铵生成硅钼杂多酸，在草酸存在下，用硫酸亚铁铵还原成硅钼蓝，测其吸光度	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和低合金钢、铁粉	0.030%～1.0%	
6. 硼量的测定				
酸碱中和容量法	试样用盐酸溶解，过氧化氢氧化、强碱分离铁、铬、镍等元素。铝的干扰用对硝基酚为指示剂，将溶液调节至中性，过滤除掉。在酸性溶液中煮沸驱除二氧化碳，重新调节至pH7，在甘露醇存在下，用酚酞为指示剂，用氢氧化钠标准溶液滴定	只适用于不含钨、钼的铸造高硼钢和铸造高硼铁	0.5%～2.0%	硼含量 / 允许差：0.0005～0.0010 / 0.0003；0.0011～0.0050 / 0.0005；0.0051～0.010 / 0.001；0.011～0.025 / 0.003；0.026～0.050 / 0.005；0.051～0.90 / 0.015；0.51～1.00 / 0.04；1.01～2.00 / 0.07。注：同碳量的测定注
甲醇蒸馏-姜黄素光度法	硼和甲醇生成硼酸甲酯经蒸馏与其他元素分离。在草酸存在下，硼与草酸、姜黄酸形成红色络合物，测其吸光度	适用于铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金	0.0005%～0.20%	
姜黄素直接光度法	试样经酸溶解后，移取部分试液冒烟脱水，然后在硫酸-冰乙酸介质中与姜黄素反应，形成稳定的1:2红色络合物，测其吸光度	适用于高温合金和精密合金	0.0005%～0.050%	
7. 铁量的测定				
三氯化钛-重铬酸钾容量法(1)	试样用盐酸-硝酸混酸分解，加高氯酸冒烟，回流，氧化铬并使铌酸等脱水，用热盐酸溶解可溶性盐类，用氢氧化铵沉淀铁与镍、铬等元素分离。氢氧化铁用盐酸溶解，钨酸钠为指示剂，三氯化钛还原三价铁。过量的低价钛用重铬酸钾氧化，用二苯胺磺酸钠作为指示剂，重铬酸钾标准溶液滴定	适用于高温合金和精密合金	0.50%～8.0%	铁含量 / 允许差：0.10～0.50 / 0.02；0.51～1.00 / 0.03；1.01～2.00 / 0.05；2.01～3.00 / 0.06；3.01～4.00 / 0.08；4.01～8.00 / 0.10；>96 / 0.40。注：同碳量的测定注

（续）

<table>
<tr><th>分析方法</th><th>方法提要</th><th>适用范围</th><th>测定范围</th><th>允许差(%)</th></tr>
<tr><td colspan="5">7. 铁量的测定</td></tr>
<tr><td>三氯化钛-重铬酸钾容量法(2)</td><td>试样用盐酸溶解,靛红作指示剂,用三氯化钛还原高价铁,重铬酸钾氧化过量的三价钛,用二苯胺磺酸钠作指示剂,重铬酸钾标准溶液滴定</td><td>只适用于铁粉</td><td>96%
以上</td><td rowspan="2"><table><tr><th>铁含量</th><th>允许差</th></tr><tr><td>0.10～0.50</td><td>0.02</td></tr><tr><td>0.51～1.00</td><td>0.03</td></tr><tr><td>1.01～2.00</td><td>0.05</td></tr><tr><td>2.01～3.00</td><td>0.06</td></tr><tr><td>3.01～4.00</td><td>0.08</td></tr><tr><td>4.01～8.00</td><td>0.10</td></tr><tr><td>>96</td><td>0.40</td></tr></table>注:同碳量的测定注</td></tr>
<tr><td>邻菲啰啉光度法</td><td>试样经酸溶解后,用高氯酸冒烟回流氧化铬,用氢氧化铵沉淀铁与铬、镍等元素分离。于微酸性溶液中,用抗坏血酸将铁还原成二价。二价铁与邻菲啰啉生成橘红色络合物,测其吸光度</td><td>适用于高温合金和精密合金</td><td>0.10%
～
1.0%</td></tr>
<tr><td colspan="5">8. 铝量的测定</td></tr>
<tr><td>氟化钠分离-EDTA 容量法</td><td>试样用酸溶解后,用柠檬酸铵和草酸铵络合铁、铬、镍、锰等元素,在 pH4～5 的溶液中,用氟化钠将铝以冰晶石沉淀析出与其他干扰元素分离,沉淀以盐酸,硼酸溶解,用硝酸、高氯酸破坏滤纸驱除氟后,在微酸性溶液中,加入过量的 EDTA 与铝络合,在 pH6 左右以二甲酚橙作指示剂,用锌标准溶液滴定过量的 EDTA 后,用氟离子取代出与铝络合的 EDTA,再用铝标准溶液滴定</td><td>适用于铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金</td><td>0.50%
～
10.00%</td><td><table><tr><th>铝含量</th><th>允许差</th></tr><tr><td>0.50～1.00</td><td>0.03</td></tr><tr><td>>1.00～2.00</td><td>0.04</td></tr><tr><td>>2.00～5.00</td><td>0.06</td></tr><tr><td>>5.00～10.00</td><td>0.10</td></tr></table>注:同碳量的测定注</td></tr>
<tr><td>铬天青 S 光度法</td><td>试样用酸溶解后,在 pH 为 5.3～5.9 弱酸性介质中,铝与铬天青 S 生成紫红色络合物,测量其吸光度
在显色液中含有 100μg 钒、2mg 铬,不干扰测定。铁、镍的干扰可用 Zn-EDTA 掩蔽,300μg 钛可用 0.15g 甘露醇掩蔽</td><td>适用于高温合金、精密合金</td><td>0.05%
～
1.00%</td><td><table><tr><th>铝含量</th><th>允许差</th></tr><tr><td>0.05～0.100</td><td>0.010</td></tr><tr><td>>0.100～0.50</td><td>0.02</td></tr><tr><td>>0.50～1.00</td><td>0.03</td></tr></table>注:同碳量的测定注</td></tr>
<tr><td>铜铁试剂分离-铬天青 S 光度法</td><td>试样用盐酸、硝酸溶解,以铜铁试剂分离铁、钒、钛等干扰元素,用高氯酸冒烟破坏铜铁试剂后,在弱酸性介质中铝与铬天青 S 生成紫红色络合物,测量其吸光度
在显色液中含有 40μg 以上络有干扰,以高氯酸氧化铬成六价后用盐酸挥除,1.5mg 以上镍干扰测定</td><td>适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢</td><td>0.01%
～
0.50%</td><td><table><tr><th>铝含量</th><th>允许差</th></tr><tr><td>0.010～0.030</td><td>0.003</td></tr><tr><td>>0.030～0.050</td><td>0.005</td></tr><tr><td>>0.100～0.50</td><td>0.020</td></tr></table>注:同碳量的测定注</td></tr>
</table>

（续）

分析方法	方法提要	适用范围	测定范围	允许差(%)
9. 铬量的测定				
过硫酸铵氧化容量法	试样用酸溶解后，在硫酸-磷酸介质中，以硝酸银为催化剂，用过硫酸铵将铬氧化成六价，用硫酸亚铁按标准溶液滴定 含钒的试样，以亚铁-邻菲啰啉溶液为指示剂，加过量的硫酸亚铁标准溶液，以高锰酸钾溶液回滴	适用于铸铁、铸造碳钢和合金钢、高温合金、精密合金	0.10% ~ 30.0%	铬含量 / 允许差 0.100~0.250 / 0.015 >0.250~0.500 / 0.02 >0.500~1.00 / 0.03 >1.00~5.00 / 0.05 >5.00~10.00 / 0.10 >10.00~14.00 / 0.12 >14.00~18.00 / 0.15 >18.00~30.00 / 0.17 注：同碳量的测定注
碳酸钠分离-二苯碳酰二肼光度法	试样用酸溶解后，在硫酸溶液中以高锰酸钾氧化铬至六价。六价铬在质量分数0.05%~0.2%硫酸溶液中与二苯碳酰二肼生成紫红色络合物，测量其吸光度 当共存200mg铁、60mg镍、40mg钴经分离后，对测定25μg铬无影响。当共存1mg铜、钒，2mg钼、铝及12mg钨经分离后，对测定1000μg铬不干扰	适用于铸铁、铸造碳钢和低合金钢、精密合金	0.005% ~ 0.500%	铬含量 / 允许差 0.0050~0.0100 / 0.0015 >0.0100~0.025 / 0.004 >0.025~0.050 / 0.006 >0.050~0.100 / 0.008 >0.100~0.250 / 0.015 >0.250~0.500 / 0.020 注：同碳量的测定注
10. 钼量的测定				
硫氰酸盐直接光度法	在硫酸-高氯酸介质中，用氯化亚锡还原铁和钼，钼与硫氰酸钠生成橙红色络合物，测量其吸光度 显色液中，铜小于0.2mg，钒小于0.05mg，铌小于0.8mg，铬小于2.4mg无影响	适用于铸造中低合金钢、高温合金、精密合金	0.10% ~ 2.00%	钼含量 / 允许差 0.100~0.500 / 0.04 >0.500~1.00 / 0.05 >1.00~2.00 / 0.08 注：实验室之间分析结果的差值应不大于表中所列允许差。用标准试样校验时，结果偏差不得超过表中所列允许差的1/2
硫氰酸盐-乙酸丁酯苯取光度法	在硫酸介质中，钼与硫氰酸盐作用生成橙红色络合物，用乙酸丁酯苯萃取，测量其吸光度 在被萃取的溶液中，铜大于5mg时加硫脲掩蔽，钨小于5mg时用磷酸掩蔽，钨在5~20mg时加2~3g酒石酸掩蔽，当钼小于0.010%时钼与钨之比不能大于1:80，锑大于0.15mg时对本法有干扰	适用于生铁、铸铁、铸造碳钢和合金钢	0.0025% ~ 0.20%	钼含量 / 允许差 0.0025~0.005 / 0.002 >0.005~0.010 / 0.003 >0.010~0.025 / 0.005 >0.025~0.050 / 0.010 >0.050~0.100 / 0.015 >0.100~0.200 / 0.030 注：同硫氰酸盐直接光度法注

（续）

分析方法	方法提要	适用范围	测定范围	允许差(%)
10. 钼量的测定				
a-安息香肟重量法	在冷的酸性介质中，用 a-安息香肟沉淀钼，将沉淀灼烧成三氧化钼，以重量法测定钼的百分含量 钨酸先脱水，加辛可宁溶液沉淀分离，铌酸脱水分离。钨酸、铌酸沉淀中夹带的钼以光度法测定校正之，还原高价铬，钒为低价以消除其干扰	适用于铸铁、铸造合金钢、高温合金、精密合金	>1%	钼含量 / 允许差 1.00～2.00 / 0.08 >2.00～4.00 / 0.10 >4.00～6.00 / 0.15 >6.00～9.00 / 0.25 >9.00～12.00 / 0.30 注：同硫氰酸盐直接光度法注
11. 铜量的测定				
硫代硫酸钠分离-碘量法	—	适用于铸铁和铸钢	0.10%～5.00%	—
新亚铜灵-三氯甲烷萃取光度法	—	适用于铸铁和铸钢	0.010%～1.00%	
12. 镍量的测定				
丁二酮肟分光光度法	—	适用于铸铁和铸钢	0.030%～2.00%	—
萃取分离-丁二酮肟分光光度法	—	适用于铸铁和铸钢	0.010%～0.50%	
丁二酮肟重量法	—	适用于铸铁和铸钢	>2%	
13. 钨量的测定				
重量法和分光光度法	—	适用于铸铁和铸钢	0.050%～22%	—
14. 钒量的测定				
钽试剂萃取光度法	—	—	0.01%～0.50%	—
15. 钛量的测定				
变色酸光度法	—	—	0.010%～2.50%	—
16. 镁量的测定				
铜试剂分离-二甲苯胺蓝Ⅱ光度法	—	—	0.010%～0.10%	—
17. 稀土总量的测定				
萃取分离-偶氮氯膦 mA 分光光度法	—	—	0.0010%～0.20%	—

注：表中元素含量均为质量分数。

表 5-30　铸造铝合金成分的化学分析方法（供参考）

<table>
<tr><th>分析方法</th><th>方法要点</th><th>操　作　程　序</th><th>允许差</th></tr>
<tr><td colspan="4">1. 硅量的测定</td></tr>
<tr><td>质量法（适用于硅含量在1%以上的铸造铝合金）</td><td>试样以氢氧化钠溶液溶解，用硫酸中和，加热蒸发，使硅酸脱水。过滤后，灼烧成二氧化硅，以质量法进行测定
试剂：氢氧化钠溶液质量分数 20%；过氧化氢质量分数30%；硫酸：水为 1:1；硝酸：水为1:1；氢氟酸质量分数 40%；甲基橙溶液质量分数 0.1%</td><td>称取试样 1g，在银或镍皿中加入 25mL20% 的氢氧化钠溶液，放入试样，待激烈反应停止后，置于电热板上加热，直至试料完全溶解。溶解过程中，随时转动器皿，使粘附在皿壁上的试料完全溶入，冷却加入 7～8 滴过氧化氢，如还有黑色不溶物，则再加数粒过氧化氢。冷却后，将溶液注入含有 40mL 硫酸和 5mL 硝酸（皆为 1:1 溶液）的 250mL 烧杯中，并不断搅拌，使盐类溶解。用水洗净反应皿，冲入烧杯中，随后将溶液搅拌均匀
将烧杯放在低温电热板上蒸发（不允许沸腾）至刚出现硫酸白烟，保持 2～3min（不允许冒浓厚白烟或延长发烟时间）取下。冷却，用冷水冲洗杯壁，徐徐注入 100mL 近沸腾的热水，不断搅拌使溶液均匀。然后，在电热板上加热（加热不超过 5min，否则因硅酸胶溶解使分析结果偏低）至盐类完全溶解后，即刻取下
用中密滤纸过滤溶液，以热水冲洗，仔细地用带胶皮头的玻璃棒擦净烧杯。继续用热水冲洗沉淀和滤纸至甲基橙不呈酸性反应为止
将带有沉淀的滤纸放入铂坩埚中，小心地进行灰化。将坩埚在 950～1000℃ 高温炉中灼烧 30min，置于干燥器中冷却，称重，得 m_2，按下式计算硅含量：
$$w(\mathrm{Si}) = \frac{(m_1 - m_2) \times 0.4674}{m} \times 100(\%)$$
式中　m——试料质量（g）
m_1——氢氟酸处理前坩埚与沉淀质量（g）
m_2——氢氟酸处理后坩埚与残渣质量（g）</td><td>±10%</td></tr>
<tr><td>硅钼兰光度法（适用于硅含量为 0.04%～1% 的铸造铝合金）</td><td>试样以氢氧化钠溶液溶解，硝酸酸化，在 pH 值为 0.8～1.1 时，使硅与钼酸铵形成硅钼杂多酸，在有酒石酸的条件下，还原成硅钼蓝，进行光度测定
试剂：氢氧化钠溶液（质量分数为 40%），应使用银杯配制，保存于塑料瓶中；过氧化氢质量分数为 30%；硝酸溶液（硝酸：水 = 1:1）；尿素；钼酸铵溶液（质量分数为 10%），保存于塑料瓶中待用；酒石酸溶液质量分数为 50%
还原剂：称取 0.5g 氨基-2-萘酚-4-磺酸和 10g 无水硫酸钠，溶于水中后，加入 1mL 冰醋酸，加水稀释至 200mL，混匀待用</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">硅含量（%）</th><th rowspan="2">试料质量/g</th><th rowspan="2">氢氧化钠加入量/mL</th><th colspan="2">硝酸加入量/mL</th><th rowspan="2">备　注</th></tr>
<tr><th>试料</th><th>空白</th></tr>
<tr><td>0.05～0.55</td><td>0.50</td><td>10</td><td>40</td><td>33</td><td rowspan="3">硅含量小于 0.05% 时，可用 3cm³ 比色皿</td></tr>
<tr><td>0.55～1.1</td><td>0.25</td><td>5</td><td>28</td><td>24</td></tr>
<tr><td>1.1～3</td><td>0.10</td><td>5</td><td>26</td><td>24</td></tr>
</table>
根据合金中硅含量的范围按上表称取适量试料，装于银皿中。加 5mL 水，用塑料移液管加入氢氧化钠溶液（加入量见上表）。试料溶解后，加入 7～8 滴过氧化氢，在电热板上加热（如果试料中有黑点，再加数滴过氧化氢），除去过剩的过氧化氢，将溶液注入装有硝酸（浓度为 1:1，加入量见上表）的烧杯中。移注时，不断搅拌烧杯中的溶液，并注意勿使碱液沾在烧杯上，用水洗净银皿。将烧杯置于电热板上，加热至盐类溶解。加入 5g 尿素，冷至室温。把溶液移至 100mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀</td><td></td></tr>
</table>

（续）

分析方法	方法要点	操 作 程 序	允许差
1. 硅量的测定			
硅钼兰光度法（适用于硅含量为 0.04% ~ 1% 的铸造铝合金）	硅标准溶液：准确称出 1.0700g 灼烧过的光谱纯二氧化硅，放于铂坩埚中，加入 8 倍的无水硫酸钠，混合均匀，在 950℃ 高温炉中熔融 15min，取出，冷却后放入烧杯中。加入 300mL 热水，加热搅拌，抽出熔块，洗净坩埚，加热至熔盐全部溶解，取下，冷至室温。移入 500mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀，保存于塑料瓶中。此溶液每毫升含 1mg 硅。使用时，移取部分溶液，用水准确稀释至每毫升含 0.1mg 硅	准确吸取 10mL 上述溶液于 100mL 容量瓶中，加水至 75mL，加入 7mL 钼酸铵溶液（10%），混匀。在 20 ~ 30℃ 放置 10min 后，加入 7mL 酒石酸溶液（50%），立即加入 3mL 还原剂混匀。10min 后，加水稀释至刻度，摇匀。在分光光度计上，波长为 810 或 870μm 处测量溶液的光密度。根据颜色深度不同，采用 1 ~ 3cm³ 比色皿。并用水作为对照液，按相同程序进行空白试验。将所测光密度减去空白值后，查对校正曲线，按下式计算结果： $w(\mathrm{Si}) = \frac{M}{m} \times 100(\%)$ 式中 M——查对校正曲线后，所得硅含量（%） m——试料的称取量（g） 校正曲线的绘制：称取高纯铝置银杯中。按操作程序处理试料，制备铝基体溶液 在数个 100mL 容量瓶中，分别用移液管吸入与测料时等量的铝基体溶液及相当于 0.0、20.0、50.0、…、300.0μg 硅标准溶液，并加水至 75mL 处。以下按相同程序操作。将所测光密度对应硅的浓度绘出曲线	±10%
2. 铁量的测定			
邻菲啰啉光度法（适用于铁含量为 0.01% ~ 2% 的铸造铝合金）	试料以盐酸溶解，用盐酸羟胺还原，邻菲啰啉显现，进行光度测定 试剂：盐酸溶液 1:1；过氧化氢质量分数为 30%；盐酸羟胺溶液质量分数为 10%；邻菲啰啉溶液质量分数为 0.25%；刚果红试纸；醋酸钠溶液质量分数为 2% 铁标准溶液：准确称取光谱纯三氧化二铁 1.4297g 于 100mL 烧杯中。用少量水湿润，加入 50mL 盐酸（1:1）微热，使全部溶解后冷至室温。移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，混匀。此溶液中每毫升含铁为 1mg。使用时，移取部分溶液用盐酸（1:1）准确稀释至每毫升含 0.1mg 铁	称取 0.5g 试料于烧杯中，加入 15mL 盐酸（1:1），试料全部溶解后，加入 6 ~ 7 滴过氧化氢。用水洗烧杯，并稀释至 40mL，煮沸 5min（保持原体积），除去过剩的过氧化氢，冷却至室温。将溶液移入 100mL 容量瓶中（如果溶液浑浊，应将它过滤于容量瓶中，先用盐酸冲洗滤纸 3 ~ 4 次，再用水冲净）。加水稀释至刻度，混匀待用 分取 5 ~ 50mL 试液（含铁 0.02 ~ 0.5mg）于 100mL 容量瓶中，加入 4mL 盐酸羟胺溶液（质量分数为 10%），3mL 邻菲啰啉溶液（质量分数为 0.25%），投入一小块刚果红试纸，用醋酸钠溶液（摩尔浓度为 2mol/L）调至试纸由蓝变红后，再过量 5mL，用水稀释至刻度，混匀。15min 后，在分光光度计上，波长 510μm 处，用 1cm³ 比色皿测量溶液的光密度。并用相同程序进行空白试验，用水作对照溶液。将所测光密度减去空白值后，查对校正曲线，按下式计算结果： $w(\mathrm{Fe}) = \frac{M}{mV} \times 10^4(\%)$ 式中 M——查校正曲线后得到的铁含量（%） m——试料质量（g） V——试液分取量（mL） 校正曲线的绘制：于数个 100mL 容量瓶中，分别加入相当于 0.0μg、50.0μg、100.0μg、500.0μg 铁标准溶液，加入少量醋酸，使呈微酸性。用水稀释至 50mL，加入 4mL 盐酸羟胺溶液（10%）。以下同程序操作，将所测光密度与铁的已知浓度关系绘成曲线	

注：表中元素含量均为质量分数。

2. 光谱分析法

根据物质发射的光谱特征测定物质组分的分析方法叫做光谱分析法。

光谱分析法主要有发射光谱分析、原子吸收光谱分析和 X 射线荧光光谱分析等。

铸件（合金）采用光谱分析法进行成分分析时，应符合表 5-31 中的有关标准的规定或参见表 5-32。

表 5-31　适用于铸件（合金）采用光谱分析法进行成分分析时的有关标准

标准号	标准名称	适用范围
GB/T 14203—1993	钢铁及合金光电发射光谱分析法通则	—
GB/T 7728—1987	冶金产品化学分析　火焰原子吸收光谱法通则	—
GB/T 5678—1985	铸造合金光谱分析取样方法	规定铸造合金光谱分析取样方法
GB/T 4336—2002	碳素钢和中低合金钢火花源原子发射光谱分析方法(常规法)	规定碳素钢和中低合金钢化学成分的火花源原子发射光谱分析方法
GB/T 11170—2008	不锈钢　多元素含量的测定　火花放电原子发射光谱分析方法(常规法)	规定不锈钢化学成分的火花放电原子发射光谱分析方法
GB/T 7999—2007	铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法	规定铝及铝合金化学成分的光电直读发射光谱分析方法
HB 6731.5—2005	铝合金化学成分光谱分析方法　第 5 部分:火焰原子吸收光谱分析法测定镉含量	用火焰原子吸收光谱分析法测定铝合金的镉含量
GB/T 8647.10—2006	镍化学分析方法砷、镉、铅、锌、锑、铋、锡、钴、铜、锰、镁、硅、铝、铁量的测定　发射光谱法	规定镍化学成分的光谱分析方法

表 5-32　光谱分析法的原理、要点与适用性（供参考）

分析方法	方法原理	方法要点与适用性
发射光谱分析法	就是在物质被激发而发光的过程中,对光的属性进行测量,从而确定物质的组分的分析方法,主要有摄谱法光谱分析和光电直读光谱分析 1)摄谱法光谱分析。试样受到光谱发生器的作用,其组成元素的原子即产生蒸发、激发及发光。发射的光包括有各种不同的波长,每一波长的光有不同的强度。经过分光仪的作用,可得到根据波长长短排列的原子或离子被激发的线状光谱。然后由摄谱仪用感光板将谱线摄下来,感光板经过显影、定影等处理即成谱片。再用测微光度计测量谱片上谱线的黑度,进行定性或定量分析 2)光电直读光谱分析。它取消了摄谱仪中的感光板,而在接收元件上产生光电流,省去摄谱法分析的暗室处理以及在测微光度计上进行的谱线黑度测量	1)发射光谱分析取样应按 GB/T 5678—1985 的规定执行。除制造厂与买主商定采用铸件上的附铸试块外,一般均用金属型铸造圆柱形或截顶圆锥形单铸试块。应注意,铸造合金不同,选用的试块组合铸型材料亦应不同,对于灰铸铁,在必须采用灰口组织试样进行分析的情况下,可用耐火砖或砂型做下型,代替铜激冷块。此外,在制备光谱分析试样工作面时还应注意:①铸钢和铸铁试样,用砂轮或砂带磨加工,根据需要选用氧化铝或碳化硅质磨具;②铝合金、铜合金和锌合金试样,以车床或铣床用硬质合金刀具加工;③以砂轮片切割机切割面作光谱分析面的试样,打磨出光谱平面即可,以原激冷铸面作为试样的光谱分析工作面时,应将其打磨或切削掉 1.3~1.6mm;④加工好的光谱分析试样的工作面要平整、光滑、不应有气孔、砂眼、缩孔、缩松、毛刺、裂纹和夹杂类缺陷 2)发射光谱分析法可进行铸件(合金)成分的定性分析和定量分析。根据发射光谱分析法原理,从试样的光谱中,查找有关的特征谱线是否存在,这便是光谱法的定性分析;根据该元素特征谱线的强度(即其亮度)来判断元素的含量,这便是光谱法的半定量或定量分析。做定量分析时,是靠标准试样先做出曲线,以便对未知试样进行分析 3)发射光谱分析法可作为炉前快速检测手段,也可作为炉后检验的分析方法。炉前检验时,若仅分析合金的主要成分,一般在 15min 内即可得出结论 4)分析铝合金时,可选用铁电极。分析铜合金、钢铁材料时,宜用铜电极。如果铜电极不能显示出谱线时,也可用铁电极。开始分析时,必须将电弧调整稳定,以保证谱线清晰、准确。进行分析时,一般先进行定性分析,然后进行定量分析。切记,带磁性的铸件(合金)忌用光谱分析

（续）

<table>
<tr><th>分析方法</th><th>方法原理</th><th>方法要点与适用性</th></tr>
<tr><td>原子吸收光谱分析法</td><td>其装置主要部分为：主光源——提供锐线光；吸收体——自由原子化器；分光装置——把测量光信号检出；光电系统——将光信号转化为电信号，最后输出结果
原子吸收光谱分析的方法，是在待测元素特定和独有的波长下，通过测定试样所产生的原子蒸气对辐射的吸收值来测定试样中元素浓度的方法</td><td>1）需配制一些不同浓度的标准溶液。分析时，应准确称量试样，试样经化学处理后稀释到一定体积，并通过喷雾器及燃烧器使欲测元素在火焰中呈原子蒸气状态，由指示仪器测出对一定强度的辐射光的吸收值。然后，从标准曲线上查出相对应的浓度，即可换算出该元素在试样中的质量分数
2）测定的元素很广，几乎全部金属和某些半金属元素均可测定；分析灵敏度高，一般精度在 0.01 ~ 1μg/mL 内；准确度较高，一般在 2% 左右
3）采用原子吸收光谱法测定铝合金中的含镁量是一个突出的实用例子。方法简单而灵敏度高，比其他分析方法有显著的优点。目前在铝合金成分检测中可以测定 Cu、Mn、Mg、Fe、Zn、Bi 等，同样也可用于铜合金和磁钢成分的测定
4）用于铸钢和铸铁成分的部分原子吸收光谱分析标准可参见下表：
<table>
<tr><th>分析内容</th><th>标准号</th><th>标准名称</th><th>测定范围（质量分数，%）</th></tr>
<tr><td>锰</td><td>GB/T 223.64—2008</td><td>钢铁及合金　锰含量的测定　火焰原子吸收光谱法</td><td>0.002 ~ 2.0</td></tr>
<tr><td>钴</td><td>GB/T 223.65—2012</td><td>钢铁及合金　钴含量的测定　火焰原子吸收光谱法</td><td>0.003 ~ 5.0</td></tr>
<tr><td>钒</td><td>GB/T 223.76—1994</td><td>钢铁及合金化学分析方法　火焰原子吸收光谱法测定钒量</td><td>0.005 ~ 1.0</td></tr>
<tr><td>钙</td><td>GB/T 223.77—1994</td><td>钢铁及合金化学分析方法　火焰原子吸收光谱法测定钙量</td><td>0.0005 ~ 0.010</td></tr>
<tr><td>铜</td><td>GB/T 223.53—1987</td><td>钢铁及合金化学分析方法　火焰原子吸收光谱法测定铜量</td><td>0.005 ~ 0.50</td></tr>
<tr><td>镍</td><td>GB/T 223.54—1987</td><td>钢铁及合金化学分析方法　火焰原子吸收光谱法测定镍量</td><td>0.005 ~ 0.50</td></tr>
<tr><td>镁</td><td>GB/T 223.46—1989</td><td>钢铁及合金化学分析方法　火焰原子吸收光谱法测定镁量</td><td>0.002 ~ 0.100</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>X 射线荧光光谱分析法</td><td>X 射线荧光光谱分析的方法原理是当物质受到 X 射线辐照时，物质中各个组成的原子吸收了一部分 X 射线光量子，使原子的内层电子由低能价激发到高能价。处于激发状态的原子极不稳定，在极短的时间释放出多余的能量，使电子跳回到低价。这部分释放出的能量即以特征 X 射线的形状释放出来。测定出每条谱线的波长，就能定性分析出存在哪些元素
定量分析是依靠标准试样先作出工作曲线，然后对被测试样进行对比分析</td><td>1）X 射线荧光光谱分析用试样的厚度和状态，对 X 射线荧光光谱的谱线强度有一定影响，所以用粉末状态试样进行分析时，最好是研磨后筛出一定颗粒大小的粉末，并压成片状分析试样
2）X 射线荧光光谱分析操作方便，分析速度快，而且准确度高，既可作常量分析，又可测定纯物质中某些杂质元素；能够分析的元素范围很广，从目前的仪器发展水平来看，能分析超轻元素至原子序数为 5 的硼，包括常见的铝、硅、镁和氯等轻元素在内。这种分析法除用作铸钢、铸铁以及铸造有色合金外，还可应用于矿石、矿物和贵金属等的分析</td></tr>
</table>

5.3.2　铸件力学性能检验

铸件的力学性能是多数铸件质量的重要指标，经常作为验收的依据。但是，对铸件施加与工作条件完全相同的载荷来测定其力学性能有很大困难，通常是不可能的。

实际上，在大多数情况下检验铸件力学性能是对与铸件假定相似的试样加以试验，然后依据试样的试验结果来推断铸件的力学性能。

为了能正确地评价铸件的力学性能，合理地制备试样、精确地进行性能测试是非常重要的。

目前，用于测定铸件力学性能的试样取样方法有三种，见表 5-33。

表 5-33　测定铸件力学性能的试样取样方法（供参考）

试样取样方法	说　明
从铸件本体切取试样	试样自铸件指定部位(一般选在铸件上受力最大的部位)上截取,能比较真实地反映该部位铸件本身的力学性能。但这一方法的缺点是要损伤铸件,而且制造也困难,因此只可能在有限的情况下得到应用。例如:试制过程中为准确判断性能;在大批量生产中,铸件质量稳定的条件下,作抽样检验时应用;在铸件上有可能切取试样的情况下等
与铸件一起铸出的试样(附铸试样)	为了不损伤铸件本体,可将试样与铸件在同一铸型内铸成。试样与铸件一样均与浇注系统相连接,或作为铸件某一指定部分(如肋条)的延续。前者所得的结果与单铸试样相差不大,而后者可近似地反映铸件本身的性能 但事实上,由于试样与铸件的质量大小、断面尺寸不同,它们的凝固及冷却速度也就不同,这样便使得即使在同一铸造热处理条件下所得到的试样和铸件的力学性能也仍有不同 因此,附铸试样只有在试样与铸件有可能实现相同的冷却速度的情况下值得推荐应用。一般情况下少采用附铸试样
单独铸造的试样	由于上述两种方法各有利弊,所以在生产过程中无特殊规定时,为了简便起见,一般均采用单独铸造试样的方法。根据单独铸造试样所得之试验结果,便可粗略地推知铸件的力学性能 应该注意:试样单独铸造时的工艺,必须符合该铸件的铸造工艺,以便尽可能地消除种种偶然变动的影响因素,而得到基本上能反映铸件实际情况的试样

常用的铸件（合金）力学性能检验（试验）方法有拉伸试验、冲击试验和硬度试验等。

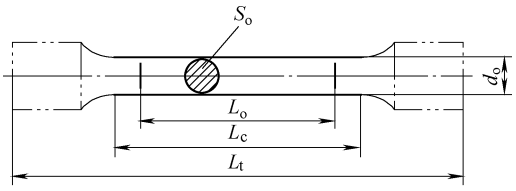
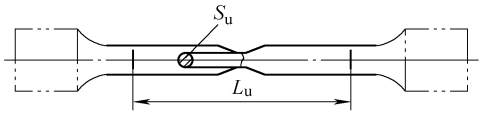
1. 拉伸试验方法

拉伸试验是铸件力学性能最主要的检验项目之一。进行拉伸试验时，一般应按标准 GB/T 228.1—2010《金属材料　拉伸试验　第 1 部分：室温试验方法》执行，具体内容见表 5-34。

表 5-34　圆截面试样拉伸试验方法与规程（供参考）

试验内容	抗拉强度 R_m、规定残余延伸强度 $R_{r0.2}$、断后伸长率 A、断面收缩率 Z							
试验方法	采用拉力或万能材料试验机及引伸机 拉伸试样的选用类型、形状和尺寸,见下表和图							
	选用类型	单铸试样(砂型或金属型)、附铸试样、铸件本体						
	d_o/mm	r/mm	$k=5.65$			$k=11.3$		
			L_o/mm	L_c/mm	试样编号	L_o/mm	L_c/mm	试样类型编号
	25	$\geqslant 0.75d_o$	$5d_o$	$\geqslant L_o+d_o/2$ 仲裁试验: L_o+2d	R1	$10d_o$	$\geqslant L_o+d_o/2$ 仲裁试验: L_o+2d_o	R01
	20				R2			R02
	15				R3			R03
	10				R4			R04
	8				R5			R05
	6				R6			R06
	5				R7			R07
	3				R8			R08

（续）

试验内容	抗拉强度 R_m、规定残余延伸强度 $R_{r0.2}$、断后伸长率 A、断面收缩率 Z
试验方法	注：1. 一般工程用铸造碳钢件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 11352—2009 执行 2. 焊接结构用碳素钢铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 11352—2009 执行 3. 一般工程与结构用低合金铸钢件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 11352—2009 执行 4. 工程结构用中、高强度不锈钢铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 6967—2009 执行 5. 奥氏体锰钢铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 5680—2010 执行。 6. 一般用途耐热钢和合金铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 8492—2002 执行 7. 一般用途耐蚀钢铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 2100—2002 执行 8. 承压钢铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 16253—1996 执行 9. 灰铸铁件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 9439—2010 执行 10. 球墨铸铁件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 1348—2009 执行 11. 等温淬火球墨铸铁件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 24733—2009 执行 12. 蠕墨铸铁件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 26655—2011 执行 13. 可锻铸铁件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 9440—2010 执行 14. 铝合金铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 1173—1995 和 GB/T 9438—1999 执行 15. 镁合金铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 1177—1991 和 GB/T 13820—1992 执行 16. 锌合金铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 1175—1997 和 GB/T 16746—1997 执行 17. 钛及钛合金铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 6614—1994 执行 18. 有色合金压铸件的拉伸试样类型、形状、尺寸及其选用应参见标准 GB/T 13822—1992 执行  试验前  试验后 圆形横截面机加工试样 d_o—圆试样平行长度的原始直径　L_o—原始标距　L_c—平行长度　L_t—试样总长度 L_u—断后标距　S_o—平行长度的原始横截面积　S_u—断后最小横截面积 注：试样头部形状仅为示意性。

（续）

<table>
<tr><td>试验内容</td><td>抗拉强度 R_m、规定残余延伸强度 $R_{r0.2}$、断后伸长率 A、断面收缩率 Z</td></tr>
<tr><td>检验规程</td><td>
1）圆形试样原始横截面积的测定，应在直径标距的两端及中间距两个相互垂直的方向各测一次，取其算术平均值，选用三处测得横截面积中最小值，横截面积按以下公式计算：
$$S_o = \frac{1}{4}\pi d_o^2$$
式中　d_o——圆形试样平行长度部分的原始直径（mm）
测量试样原始横截尺寸的量具最小刻度值，在横截面尺寸＞10.0mm时，应为0.05mm
2）可用两个或一系列等分小冲点或细划线标出原始标距，标记不应影响试样断裂，对于脆性试样和小尺寸试样，建议用快干墨水或带色涂料标出原始标距，原始标距应精确到标称标距的±0.5%
3）试验应在室温（10～35℃）下进行，检验时的试验速率应根据材料性质和试验目的确定：
测定规定残余伸长率为0.2%的应力时，弹性范围内的应力速率按下表规定，并保持试验机控制器固定于这一速率位置上，直至该性能测出为止
<table>
<tr><td rowspan="2">金属材料的弹性模量/MPa</td><td colspan="2">应力速率/（MPa/s）</td></tr>
<tr><td>最小</td><td>最大</td></tr>
<tr><td>＜150000</td><td>1</td><td>10</td></tr>
<tr><td>≥150000</td><td>3</td><td>30</td></tr>
</table>
屈服过后或只需测定抗拉强度时，试验机两夹头在力作用下的分离速度应不超过0.5L_0/min
测定最大力下的伸长率或断后伸长率时，试验速率应不超过0.5L_0/min
4）屈服强度可用指针法或图表法测定，并按公式计算
抗拉强度可从拉伸曲线图上或测力盘上读取最大力，并按公式计算
断后伸长率可用直测法或移位法测定断后标距，并按公式计算
断面收缩率在测定断后缩颈最小横截面尺寸后，可按公式计算
5）测得性能数值可按下表进行修约
<table>
<tr><th>测试项目</th><th>范　围</th><th>修约到</th></tr>
<tr><td rowspan="3">R_m、$R_{r0.2}$/MPa</td><td>≤200</td><td>1</td></tr>
<tr><td>＞200～1000</td><td>5</td></tr>
<tr><td>＞1000</td><td>10</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A（%）</td><td>≤10</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>＞10</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Z（%）</td><td>≤25</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>＞25</td><td>1</td></tr>
</table>
6）试验出现下列情况之一者，试验结果无效
①试样断在机械刻划的标记上或标距外，造成性能不合格
②操作不当
③试验记录有误或设备发生故障影响试验结果
如果遇有试验结果作废，则应备做同样试样的试验
如果试验后试样出现两个或两个以上的缩颈以及显示出肉眼可见的冶金缺陷（例如分层气泡、夹渣、缩孔等），则应在试验记录和报告中注明
</td></tr>
</table>

2. 冲击试验方法

冲击试验是许多铸件（合金）需要检验的力学性能之一。进行冲击试验时，常温下一般应按标准GB/T 229—2007《金属材料　夏比摆锤冲击试验方法》执行，具体见表5-35和表5-36。

表 5-35　夏比（U 型缺口）冲击试验方法与规程（供参考）

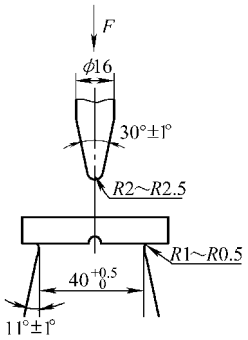
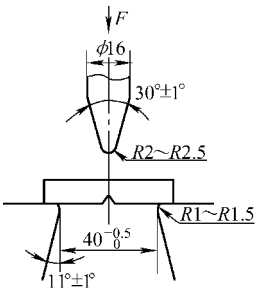
试验内容	冲击吸收能量 KU_2、KU_8
试验方法	采用摆锤式冲击试验机 标准试样为 10mm×10mm×55mm 带有 2mm 深的 U 型缺口试样，试样的尺寸及偏差应符合标准 GB/T 229—2007 的规定，试样缺口底部应光滑无与缺口轴线平行的明显划痕  夏比(U 型缺口)冲击韧性检验示意图
试验规程	1)试样在加工和保存期间应防止锈蚀，缺口部位应光滑，避免划伤 2)试验机标尺分度精度不应低于摆锤最大打击能量的 ±0.5%，摆锤刀刃开始接触试样时的打击瞬时线速度应为 5～5.5m/s，其他能量的试验机可为 4～7m/s 3)检查试样尺寸用的量具精确度不应低于 0.02mm，试样缺口底部处横截面尺寸在规定偏差以内时，可以使用公称尺寸计算 KU_2、KU_8，但发生争议时除外 4)试验前应检查摆锤空打时被动指针是否指零(摆锤自由下垂时，使被动指针紧靠主动指针并对准最大打击能量处，然后扬起摆锤空打，被动指针应指示零位)，其偏离不应超过最小分度的 1/4 5)试样的放置应紧贴支座，并使摆锤刀刃打击在背向缺口的一面，试样缺口对称面应位于两支座对称面上，其偏差不应大于 ±0.2mm(日常检验偏差允许不大于 ±0.5mm) 6)如有关标准或双方协议无其他规定时，试验温度一般应为 10～35℃，对试验温度要求严格时为(23 ±5)℃ 7)试验数据至少应保留两位有效数字，计算的数值需要修约时，其方法应按照 GB/T 1.1—2009 中附录 C“数字修约规则”进行 8)如检验的试样未完全折断，若是由于试验机打击能量不足引起的，则应在试验数据前加大于符号“>”，其他情况引起的则应注明“未折断”字样 9)试验过程中遇到有下列情况之一时，试验数据无效 ①误操作 ②试样打断时有卡锤现象 ③试样断口上有明显淬火裂纹且试验数据显著偏低

表 5-36　夏比（V 型缺口）冲击试验方法与规程（供参考）

试验内容	冲击吸收能量 KV_2、KV_8
试验方法	采用摆锤式冲击试验机 标准试样为 10mm×10mm×55mm 带有 V 型缺口试样，试样的尺寸及偏差应符合标准 GB/T 229—2007 的规定，试样缺口底部应光滑无与缺口轴线平行的明显划痕  夏比(V 型缺口)冲击韧性试验示意图
试验规程	与夏比(U 型缺口)冲击试验规程相同

3. 硬度试验方法

硬度试验可检验铸件（合金）的软硬程度，并敏感地反映出铸件（合金）的化学成分和组织结构方面的差异。

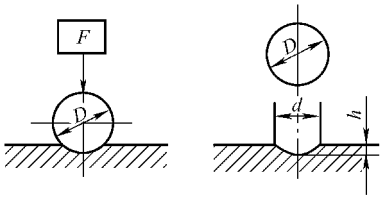
铸件（合金）常检验的硬度有布氏硬度（HBW）、洛氏硬度（HRC 或 HRB、HRA 等）、维氏硬度（HV）、肖氏硬度（HS）、里氏硬度（HL）等。进行硬度试验时，一般应按标准 GB/T 231.1—2009《金属材料　布氏硬度试验　第 1 部分：试验方法》、GB/T 230.1—2009《金属材料　洛氏硬度试验　第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺）》、GB/T 4340.1—2009《金属材料　维氏硬度试验　第 1 部分：试验方法》、GB/T 4341—2001《金属肖氏硬度试验方法》和 GB/T 17394—1998《金属里氏硬度试验方法》执行。

硬度试验方法的特点与选用见表 5-37 ~ 表 5-42。

表 5-37　硬度试验方法的特点与选用（供参考）

硬度试验方法	特　点	选　用
布氏硬度	1）压痕大，所测硬度值具有代表性和重复性，但不宜在成品铸件表面进行试验 2）对不同硬度和厚度的试样需要换压头或试验力，试验操作及压痕测量较费时间	硬度值在 650HBW 以下的铸件（合金），若其表面允许带有较大的压痕（或经加工能去除压痕者），且其几何形状、尺寸、硬度都适合用布氏硬度机试验的，均应选用布氏硬度机。并应根据不同材料和厚度，选用相应的负荷。为了检验结果更为准确，在允许条件下，应尽量采用较大的负荷和较大的钢球直径
洛氏硬度	1）操作简便迅速，硬度值可在示值度盘或光学投影屏上直接读出 2）采用不同标尺可测定各种软硬不同的金属和厚薄不一的试样硬度 3）测量误差较大，不够精确；压痕较小，代表性差、重复性差，分散度大 4）不同标尺测得的硬度值彼此没有关系，也不能直接进行比较	铸件（合金）若尺寸较大及不允许带有较大印痕，其几何形状又适合洛氏硬度机试验时，可采用洛氏硬度机（980N 负荷）试验
维氏硬度	1）试验力可任意选择，可测厚薄不同的试样的硬度 2）可测软硬不同硬度，并有可比性压痕清晰，是最精确的一种硬度试验方法 3）工作效率低。若存在偏析或组织不均时，重复性差，分散度大	对于硬度很高的铸件（合金）或截面很小（虽然硬度并不高）和表面层很薄的渗碳层、渗氮层、金属镀层，在布氏或洛氏硬度机上无法进行硬度试验时，可用维氏硬度机试验
肖氏硬度	1）操作简单、方便、测试效率高 2）压痕小，可在成品铸件表面上进行试验，也可到现场测定大型铸件表面硬度 3）测量精度较低，重复性差，受人为因素影响较大；对弹性模量相差较大的材料，所测硬度不能互相比较	可选用于轧辊铸件和大型铸件
里氏硬度	1）操作简单、方便，测试效率高 2）压痕小，可在成品铸件表面上进行硬度试验，也可到现场测定大型铸件表面硬度 3）对操作者试验技术有较高要求 4）里氏硬度与其他硬度的换算关系只是近似的，准确的换算应使用专用换算表	可选用于各种铸件（合金）

表 5-38　布氏硬度试验方法与规程（供参考）

试验内容	布氏硬度 HBW
试验方法	采用布氏硬度计(GB/T 231.1—2009 已废除 HBS,全用 HBW 表示) 用一定直径 D(mm)的硬质合金球压头,在一定负荷 F 的作用下,压入被测铸件的表面,并保持一定时间后,卸除负荷,在被测铸件的表面形成压痕,以压痕的单位面积 A(mm²)上所承受的负荷 F(N)表示被测铸件的布氏硬度值,并以 HBW 表示 采用硬质合金球以 HBW 表示,适用于布氏硬度值在所有的范围的铸件材料  布氏硬度试验示意图 布氏硬度计算公式为: $$HBW = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$ 式中　F——试验力(10N) D——球体直径(mm) d——压痕平均直径(mm) 当试验力 F 单位用牛顿时: $$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$ 为了简化计算,可根据 F、D 和 d 的数值直接从 GB/T 231.1—2009 中查得 HBW 数值 当用直径为 10mm 的球压头,在 3000N 负荷下,保持 10s 测定硬度时,其布氏硬度值以 HBW 表示,一般量纲不必标出
试验规程	1)试样的试验面应是光滑平面,不应有氧化皮及外来污物,试验面表面粗糙度必须保证压痕直径能精确地测量,一般不低于 Ra0.08mm,试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍 2)可根据铸件材料和布氏硬度范围选择下表中的 F/D^2 值

铸件材料	布氏硬度　HBW	F/D^2
铸钢及铸铁	<140	10
	>140	30
铸铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
铸造轻金属及其合金	<35	2.5(1.25)
	35~80	10(5 或 15)
	>80	10(15)
铅、锡	—	1.25(1)

注:1. 当试验条件允许时,应尽量选用 10mm 球

2. 当有关标准中没有明确规定时,应使用无括号的 F/D^2 值

3)试样支撑面、压头表面及试台面应清洁、试样应稳固地放置于试台上,保证在试验过程中不发生位移和挠曲

4)应均匀平衡地施加试验力、不得有冲击和振动,试验力作用方向应与试验面垂直

5)施加试验力的时间为 2~8s,钢铁材料的试验力保持时间为 10~15s;有色金属为(30±2)s;布氏硬度小于 35HBW 时为(60±2)s

6)压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍,两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍,布氏硬度小于 35HBW 时,上述距离应分别为压痕平均直径的 3 倍和 6 倍

7)试验后,压痕直径应在 0.24~0.6D 之间

8)应在两相互垂直方向测量压痕直径,压痕两直径最大差不应超过较小直径的 2%,对各向异性明显的材料,两直径差不受此限制,但应在有关标准中规定

9)用压痕两直径的算术平均值计算,计算的布氏硬度值大于等于 100HBW 时,修约至整数;硬度值等于大于 10~100HBW 时,修约至一位小数;硬度值小于 10HBW 时,修约至两位小数

表 5-39　洛氏硬度试验方法与规程（供参考）

试验内容	洛氏硬度 A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺

试验方法

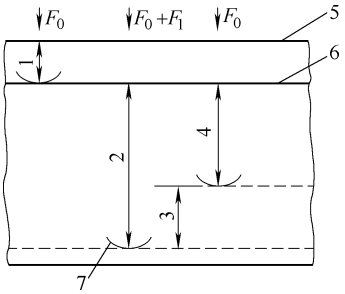
采用洛氏硬度计

将压头(金刚石圆锥、硬质合金球)按下图分两个步骤压入试样表面,经规定保持时间后,卸除主试验力,测量在初试验力下的残余压痕深度 h

根据 h 值及常数 N 和 S(见表 2),用下式计算洛氏硬度

$$\text{洛氏硬度} = N - \frac{h}{S}$$

符号及说明见图、洛氏硬度标尺表及符号及名称表



洛氏硬度试验原理图

1—在初试验力 F_0 下的压入深度　2—由主试验力 F_1 引起的压入深度　3—卸除主试验力 F_1 后的弹性回复深度　4—残余压入深度 h　5—试样表面　6—测量基准面　7—压头位置

洛氏硬度标尺

洛氏硬度标尺	硬度符号④	压头类型	初试验力 F_0/N	主试验力 F_1/N	总试验力 F/N	适用范围
A①	HRA	金刚石圆锥	98.07	490.3	588.4	20HRA ~ 88HRA
B②	HRB	直径 1.5875mm 球	98.07	882.6	980.7	20HRB ~ 100HRB
C③	HRC	金刚石圆锥	98.07	1373	1471	20HRC ~ 70HRC
D	HRD	金刚石圆锥	98.07	882.6	980.7	40HRD ~ 77HRD
E	HRE	直径 3.175mm 球	98.07	882.6	980.7	70HRE ~ 100HRE
F	HRF	直径 1.5875mm 球	98.07	490.3	588.4	60HRF ~ 100HRF
G	HRG	直径 1.5875mm 球	98.07	1373	1471	30HRG ~ 94HRG
H	HRH	直径 3.175mm 球	98.07	490.3	588.4	80HRH ~ 100HRH
K	HRK	直径 3.175mm 球	98.07	1373	1471	40HRK ~ 100HRK
15N	HR15N	金刚石圆锥	29.42	117.7	147.1	70HR15N ~ 94HR15N
30N	HR30N	金刚石圆锥	29.42	264.8	294.2	42HR30N ~ 86HR30N
45N	HR45N	金刚石圆锥	29.42	411.9	441.3	20HR45N ~ 77HR45N
15T	HRT15T	直径 1.5875mm 球	29.42	117.7	147.1	67HR15T ~ 93HR15T
30T	HR30T	直径 1.5875mm 球	29.42	264.8	294.2	29HR30T ~ 82HR30T
45T	HR45T	直径 1.5875mm 球	29.42	411.9	441.3	10HR45T ~ 72HR45T

注:如果在产品标准或协议中有规定时,可以使用直径为 6.350mm 和 12.70mm 的球形压头。

①试验允许范围可延伸至 94HRA

②如果在产品标准或协议中有规定时,试验允许范围可延伸至 10HRBW

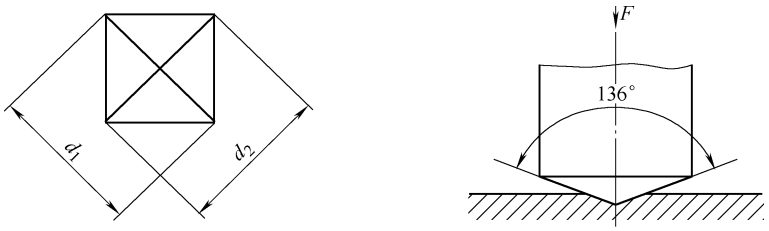
③如果压痕具有合适的尺寸,试验允许范围可延伸至 10HRC

④使用硬质合金球压头的标尺,硬度符号后面加“W”。使用钢球压头的标尺,硬度符号后面加“S”

（续）

<table>
<tr><td>试验内容</td><td colspan="3">洛氏硬度 A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺</td></tr>
<tr><td rowspan="15">试验方法</td><td colspan="3">符号及名称</td></tr>
<tr><td>符号</td><td>说　　明</td><td>单位</td></tr>
<tr><td>F_0</td><td>初试验力</td><td>N</td></tr>
<tr><td>F_1</td><td>主试验力</td><td>N</td></tr>
<tr><td>F</td><td>总试验力</td><td>N</td></tr>
<tr><td>S</td><td>给定标尺的单位</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>N</td><td>给定标尺的硬度数</td><td>—</td></tr>
<tr><td>h</td><td>卸除主试验力，在初试验力下压痕残留的深度（残余压痕深度）</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>HRA</td><td rowspan="3">洛氏硬度 $= 100 - \frac{h}{0.002}$</td><td rowspan="3">—</td></tr>
<tr><td>HRC</td></tr>
<tr><td>HRD</td></tr>
<tr><td>HRB</td><td rowspan="6">洛氏硬度 $= 130 - \frac{h}{0.002}$</td><td rowspan="6">—</td></tr>
<tr><td>HRE</td></tr>
<tr><td>HRF</td></tr>
<tr><td>HRG</td></tr>
<tr><td>HRH</td></tr>
<tr><td>HRK</td></tr>
<tr><td>HRN</td><td rowspan="2">表面洛氏硬度 $= 100 - \frac{h}{0.001}$</td><td rowspan="2">—</td></tr>
<tr><td>HRT</td></tr>
<tr><td>试验规程</td><td colspan="3">1）试验前，应使用与试验硬度值相近的二等标准洛氏硬度块对硬度计进行校对
2）试样的试验面、支承面、试台表面和压头表面应清洁，试样应稳固地放置在试台上，保证在试验过程中不产生位移和变形
3）在任何情况下，不允许压头与试台及支座工作面触碰，试样支承面、支座和试台工作面上均不得有压痕痕迹
4）试验时，必须保证负荷作用力与试样的试验面垂直
5）在试验过程中，试验仪器不应受到任何冲击和振动
6）在施加预负荷时，指针或指示线不得超过硬度计规定标志，否则应卸除预负荷，在试样另一位置试验
7）调整示值指示器至零点后，应在 4 ~ 8s 内加完主负荷
8）预负荷及主负荷应均匀平稳地施加于试样表面上，不得有跳动及冲击
9）施加完主负荷后，总负荷的保持时间长短应以示值指示器指针基本停止移动为准，总负荷保持时间推荐如下：
对于加荷后不随时间继续变形的试样，保持时间≤2s；
对于加荷后随时间明显变形的试样，保持时间 6 ~ 8s；
对于加荷后随时间明显变形的试样，保持时间 20 ~ 25s。
10）在 2s 内平稳地卸除主负荷后，保持预负荷，从相应的标尺刻度上读出硬度值
11）试样两相邻压痕中心距离或任一压痕中心距试样边缘距离一般不小于 3mm，在特殊情况下，这个距离可以减小，但不应小于压痕直径的 3 倍
12）在每个试样上的试验点数应不少于四点（第一点不计），对大批量试样的试验，点数可适当减少
13）对圆柱形试样上测得的洛氏硬度值可从 GB/T 230.1—2009 中查得</td></tr>
</table>

表 5-40　维氏硬度试验方法与规程（供参考）

试验内容	维氏硬度(HV)
试验方法	采用维氏硬度计 用两个相对面夹角为136°的正立方棱锥金刚石压头,在一定的负荷作用下,压入试样,经规定的负荷 F 和保持时间,卸除负荷后,测出棱形压痕两对角线的长度 d_1、d_2,取其平均值为 d,计算出方棱形压痕的表面积 A,以 F/A 的比值作为维氏硬度值,以 HV 表示,量纲为 MPa 维氏硬度计算公式为 $$HV = 1.8544 \times \frac{F}{d^2}$$ 式中　F——试验力(kgf) d——压痕两对角线 d_1 和 d_2 的算术平均值(mm) 当试验力的单位用 N 表示时: $$HV = 0.1891 \times \frac{F}{d^2}$$  维式硬度压痕　　压头(金刚石锥体) 维氏硬度试验示意图
试验规程	1)试样的试验面一般为光滑平面,不应有氧化皮及外来污物,试验面的表面粗糙度必须保证压痕对角线能精确地测量,一般不应高于 $Ra0.2\mu m$,试样或试验层的厚度至少应为压痕对角线平均长度的1.5倍,检验后,试样背面不应出现可见变形痕迹 2)试验一般在 10～35℃温度下进行,对温度有较严要求的试验,应控制在(23±5)℃之内 3)一般应选用下表中规定的试验力进行试验 4)试样支撑面、压头表面及试台应清洁,试样应稳固地放置于试台上,保证在试验过程中不发生位移和挠面 5)应均匀平稳地施加试验力,不得有冲击和振动,试验力作用方向应与试验面垂直 6)施加试验力的时间为 2～8s,对钢铁材料,试验力保持时间一般为 10～15s;对有色金属为(30±2)s。如另有要求,保持时间可以延长,其偏差为 ±2s 7)对钢铁材料,两相邻压痕中心间距或任一压痕中心距试样边缘距离应不小于压痕对角线平均值的2.5倍;对有色金属,上述距离应不小于压痕对角线平均值的5倍 8)卸除试验力后,测量压痕两对角线长度,两对角线长度之差不应超过短对角线长度的2%,各向异性明显的材料可不受此限制,但应在有关标准中规定 9)用压痕对角线平均值计算或从 GB/T 4340.1—2009 中查得维氏硬度值 10)在一般情况下,每个试样上至少应测三点 11)计算出的维氏硬度值大于或等于 100 时,修约至整数;硬度值大于等于 10 至小于 100 时,修约至一位小数;硬度值小于 10 时,修约至两位小数 12)对于从曲面上测得的硬度值,应按 GB/T 4340.1—2009 的附录进行修正

硬度符号	试验力/N(kgf)	硬度符号	试验力/N(kgf)
HV5	49.03(5)	HV30	294.2(30)
HV10	98.07(10)	HV50	490.3(50)
HV20	196.1(20)	HV100	980.7(100)

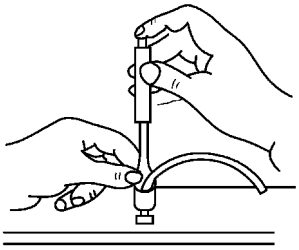
表 5-41　肖氏硬度试验方法与规程（供参考）

试验内容	肖氏硬度 HS(HSC、HSD)
试验方法	采用肖氏硬度计 将标准的金刚石冲头,从固定的高度 h_0 落在试样的表面上,冲头弹起一定高度 h,用此回弹高度来计算肖氏硬度值 肖氏硬度计算公式为: $$HS = K\frac{h}{h_0}$$ 式中　K——肖氏硬度系数,HSC 的为$\frac{10^4}{65}$,HSD 的为 140 h_0——标准冲头自由下落的高度(mm) h——标准冲头回弹和高度(mm) HSC 为 C 型(目测型)硬度计所测 HSD 为 D 型(指示型)硬度计所测
试验规程	1）试样的试验面一般为平面,对于曲面试样,其试验面的曲率半径不应小于32mm,试样的质量至少应在0.1kg以上,试样的厚度应在10mm以上,试样的试验面面积应尽可能大,试样表面的表面粗糙度应不高于 Ra1.6μm,试样不应带有磁性,被试表面应清洁、无外来污物等 2）试验应在 10～35℃温度下进行,对温度有特殊要求的试验,应控制在(23±5)℃之内 3）试验前,应在所试验的硬度范围内选用规定的标准肖氏硬度块,检定硬度计 4）试验时,试验应稳固地放在机架的试台上,由于试样的形状、尺寸、质量等关系,需将计测筒从机架上取下,以手持或安放在特殊形状的支架上使用,所得的测量结果应注明为手持测量或支架测量 5）硬度计应安装在稳固的基础上,计测筒在测定时应保持垂直状态,试样的试验面应与冲头作用方向垂直 6）当测定硬度时,试样在试台上受到的压紧力约 200N,试样质量在 20kg 以上,手持计测筒或在特殊形状的支架上进行试验时,对计测筒的压紧力应以计测筒在试样上保持稳固为宜 7）硬度计的操作必须小心。尤其是对 D 型硬度计,其操作鼓轮的回转时间约 1s,复位时的操作以手动缓慢进行;操作 C 型硬度计,读取冲头反弹最高位置时的瞬间读数,要求测定者操作熟练 8）硬度测量时,两相邻压痕中心距离应不小于 2mm,压痕中心距试样边缘的距离应不小于 4mm 9）严禁硬度计的冲头对试台冲击 10）肖氏硬度值以连续五次读数的平均值为一个测量值 11）肖氏硬度值读到 0.5 个刻度,平均值按 GB/T 1.1—2009 中附录 C 数字修约规定修约到整数

表 5-42　里氏硬度试验方法与规程（供参考）

试验内容	里氏硬度(HL)
试验方法	采用里氏硬度计,它是一种新型便携式数字显示的动态硬度测试仪器 里氏硬度测量是以能量测试原理为基础的动态测量方法,在试验过程中以碳化钨或金刚石冲击体,在弹簧的弹力作用下,冲击被测材料的表面,经试件弹回,冲击体的冲击速度与回弹速度的比值与硬度存在着定量关系,冲击装置要测出冲击体的冲击速度与回跳速度,具体是运用冲击装置中的线圈和冲击体内的永久磁芯,在冲击时冲击体穿过线圈产生一峰值电压(V_A),冲击试件后弹回时又通过线圈产生回跳峰值电压(V_R),又因冲击体穿过线圈的速度与产生的电压成正比,经过对信号的检测与处理,即可得出里氏硬度值,以 HL 表示 里氏硬度计算公式为 $$HL = \frac{V_R}{V_A} \times 1000$$ 式中　V_R——冲击体弹回速度产生的峰值电压 V_A——冲击体弹出,冲击时的速度产生的峰值电压 里氏硬度计标准附件中带有 D 型冲击装置,若以 D 型冲击装置测得的硬度值以 HLD 表示,此外,还有 DC 型、D+15 型、E 型、C 型、G 型等

（续）

试验内容	里氏硬度（HL）
试验规程	1）试样的被测表面必须平整，表面粗糙度值不得大于 $Ra32\mu m$，并需退磁，避免冷、热加工引起的表面硬化 2）试样支承。若试样体质量大于 5kg 并且是规则的形状，则无需特殊支承措施；但小、轻的试样则应放于固定的支承座上，且在支承表面涂上一层耦合粘结剂，同时用于压着转动，使接触达到最佳状态 3）检测操作。将冲击装置电缆插入显示装置接口，打开显示开关“ON”显示窗口即有三位零出现，电池能量显示器数字应在 6 以上，当指示数字在 5 以下时就要更换新电池。用左手握着冲击装置，并压向试样表面并与表面垂直（见下图）。用右手压下加荷套管，然后自动返回原位，内部夹钳即勾起冲击体，按下释放钮，发射冲击体，冲击试样表面后，显示窗口即显示出硬度值。之后，更换测试点，重复下一次试验，在重复下一次试验时，显示的上次 HL 值会自动消失  里氏硬度计操作示意图

5.3.3　铸件金相组织检验

铸件金相组织检验是检验铸件质量的重要手段。它可通过目视或金相显微镜在不同的放大倍率下观察分析铸件（合金）的组织结构，并可分析铸件在使用过程中所发生的过早损坏的原因等。

当铸件标准或订货合同对铸件（合金）的金相组织有要求时，铸件在交付前应检查金相组织。

铸件金相组织检验分为铸件宏观组织检验和铸件微观组织检验。

铸件宏观组织检验常用目视或低倍放大镜法；铸件微观组织检验常用光学金相法。随着透视电子显微镜、扫描电子显微镜、电子探针微区分析仪等电子金相分析技术在铸造上的应用，铸件微观组织检验技术也有了新的发展。

1. 目视或低倍放大镜法

用肉眼或借助 10 倍以下的放大镜，可对铸件（合金）断口上的各种宏观组织和缺陷进行检查。这种方法简单、直观，不需要什么特殊的仪器设备，因此一直是铸造厂在生产过程中用来控制铸件的铸态组织和检查铸件的结晶程度、晶粒均匀度以及有无非金属夹杂等的常用方法。

铸件（合金）的宏观组织低倍放大镜法检验应参照标准 GB 226—1991《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》、GB/T 1979—2001《结构钢低倍组织缺陷评级图》、GB/T 4236—1984《钢的硫印检验方法》、JB/T 7946.3—1999《铸造铝合金金相铸造铝合金针孔》和 GB/T 5168—2006《α-β 钛合金高低倍组织检验方法执行》。

（1）浸蚀检验法　浸蚀检验时，首先根据检验要求在铸件的指定检查部位切取试样，然后将表面加工到表面粗糙度为 $Ra1.6\mu m$，用汽油或酒精等溶剂清除表面油污后进行浸蚀检验。铸铁、铸钢和铸造铝合金浸蚀检验用浸蚀剂见表 5-43 ~ 表 5-45。

试样经上述浸蚀剂浸蚀后，若在体积分数为 10% ~30% 的 HNO_3 水溶液中进行“中和”，去除表面氧化膜，效果更佳。之后，还应进行冲洗和吹干。

铸件缺陷在浸蚀面上的特征可见表 5-46 和表 5-47。

表 5-43　铸钢浸蚀检验用浸蚀剂（供参考）

浸蚀剂组成	浸蚀条件	应　　用
1）过硫酸铵 15g、水 85mL 2）硝酸（1.49）10mL、水90mL	室温下可单独使用，或先用（1）浸蚀剂擦拭 10min，再用（2）浸蚀剂擦拭 10min	显示碳素钢及低、中合金钢的低倍组织，夹杂物、发纹、裂纹、白点等缺陷
盐酸 500mL、硫酸 35mL、硫酸铜 150g	在浸蚀过程中，用毛刷不断擦拭试样表面，去除表面沉淀物	碳素钢、合金钢

表 5-44　铸铁浸蚀检验用浸蚀剂（供参考）

浸蚀剂组成	浸蚀条件		应　　用
	浸蚀时间/min	浸蚀温度/℃	
1:1 工业盐酸水溶液	5 ~ 40	60 ~ 80	可应用于部分铸铁，必要时可煮沸
盐酸 10 份、硝酸 1 份、水 10 份	5 ~ 25	60 ~ 70	耐蚀铸铁、耐热铸铁等，必要时可煮沸

表 5-45　铸造铝及铝合金浸蚀检验用浸蚀剂（供参考）

浸蚀剂组成	浸蚀条件		应　　用
	浸蚀时间/min	浸蚀温度/℃	
质量分数为 10% ~ 15% 的 NaOH 水溶液	5 ~ 20	室温，冬天可适当加热到 30 ~ 40	显示铝合金低倍组织及硬铝晶粒度
	7 ~ 11	25 ± 5	显示铝合金的针孔等缺陷
5mL HF + 25mL HNO_3 + 75mL HCl	3 ~ 15	室温	显示纯铝、防锈铝等软合金的晶粒度
质量分数为 10% 的 $CuCl_2$ 水溶液	3 ~ 15	室温	

表 5-46　铸铁件缺陷在酸蚀面上的特征（供参考）

缺　　陷	酸蚀面上的特征
缩孔	形状不规则的孔洞
缩松	形状不规则的孔洞群
热裂纹	曲折不连续，沿原始奥氏体晶界或枝晶间走向
冷裂纹	较平直
偏析、气孔和非金属夹杂	不同形状黑点，小孔洞

表 5-47　铸钢件缺陷在浸蚀面上的特征（供参考）

缺　　陷	浸蚀面上的特征
偏析	小黑点、小空洞或由它们组成的区域，分布较广
气孔	梨形或椭圆形空洞，小孔成群则称蜂窝状气孔，局部分布在表面或次表面
针孔	垂直排列的圆条形孔洞，沿柱状晶走向，深入皮下的称皮下针孔，垂直于铸件壁排列
缩孔（残余）	形状极不规则的空洞，外露于空气，周围有疏松和孔洞聚集，偏析严重，单个集中分布，体积大

（续）

缺　陷	浸蚀面上的特征
缩松	形状不规则的空洞群，集中或堆在缩孔底部或厚截面内部
热裂纹	若干穿透或不穿透裂纹，曲折且不连续，沿奥氏体晶界或枝晶间走向，局部分布于厚薄截面处
冷裂纹	较平直，穿透裂纹，局部分布于薄壁处
非金属夹杂	不同形状和耐蚀程度的小黑点或成群小孔洞

对铝合金铸件来讲，浸蚀检验只检验其针孔度，见 JB/T 7946.3—1999 或表 5-48。

表 5-48　铸造铝合金浸蚀检验内容、方法与规程（供参考）

检验内容	铸造铝合金针孔度分级
检验方法	采用目视 针孔度分为五级
检验规程	1）针孔度评定试样通常取自铸件凝固较慢的厚大部位，亦可按技术文件的规定从铸件的指定部位切取。试样经机械加工至表面粗糙度不大于 $Ra1.6\mu m$，必要时可用砂纸抛光。试样腐蚀前用汽油、酒精或丙酮清洗干净，然后用质量分数 10% ~15% 的氢氧化钠水溶液浸蚀，浸蚀温度和浸蚀时间按 JB/T 7946.3—1999 低倍浸蚀温度-时间曲线确定，推荐温度为(25±5)℃，时间是 7~11min。试样浸蚀后经水冲洗，然后用 20% ~25% 硝酸水溶液除去试样表面的腐蚀膜，去膜后试样经水洗并干燥 2）针孔度评定，用 JB/T 7946.3—1999 的标准图片作目视比较

应注意，浸蚀检验的铸件部位一般应是铸件的主要截面，特别是粗大部位及厚薄截面交界的部位。

（2）印痕检验法　印痕检验法主要是检查铸件中硫和磷的分布情况（定性分析），具体方法见表 5-49。

表 5-49　铸件的印痕检验法（供参考）

类型	说　明
硫印	硫印是检查铸铁和铸钢中硫分布的定性分析技术 原理：硫主要以硫化物形式分布在枝晶间，利用硫酸与铸铁、铸钢中的硫化物发生作用，放出硫化氢气体，硫化氢再与紧贴于试片的印相纸上的银盐顺序作用后生成硫化银沉淀的化学反应，而在相纸感光面相应位置上留下褐色斑纹，便是硫化物夹杂集中的地方，并以此确定硫化物的存在和分布，从而估计出被检部位铸铁铸钢的纯净程度 操作步骤如下： 1）切取和制备试样，方法与酸蚀试样基本相同 2）将试样硫印面用四氯化碳或汽油擦干净 3）准备好反差较大的光面印相纸 4）配制好体积分数为 5% ~10% 的硫酸水溶液 5）根据试样硫印面大小裁好相纸，药面朝下，放入已准备好的硫酸水溶液中，轻轻摇动，以防气泡留在相纸上，浸泡时间 2~3min 6）取出相纸，控去多余液体，相纸药面贴在试样面上，可用橡皮辊在相纸背面轻轻滚动，使印相纸和试样紧贴面紧密贴合，注意不让相纸滑动，否则将模糊不清 7）印相纸和试样检验面贴合 3~5min，取下相纸并在水中冲洗，放入定影液中定影，再在流水中冲洗，上光烘干 8）如果要重复进行硫印检验，应尽量重新制样，如不能重新制样，应加长硫印时间
磷印	磷印是检查铸铁铸钢中磷分布的定性分布技术 操作步骤与硫印的基本相同，但对试样粗糙度的要求更高。具体操作是，将试样浸入 50mL 加有 1g 偏重亚硫酸钾的饱和硫代硫酸钠溶液中，腐蚀 8~10min，漂洗吹干后将浸透体积分数为 3% 的盐酸水溶液的相纸药面覆贴在试样表面，相纸冲洗定影后显示较浅的褐色区即为磷偏析区

（3）宏观断口检验法　宏观断口检验法属于粗略检查范围，将铸件（或试样）压断，用目视或放大镜观察断面有无缺陷（如缩松、缩孔、气孔或夹杂），还可以检查铸件的结晶程度、晶粒均匀度及有无非金属夹杂等。

铸铁、铸钢和铸造铝合金的炉前断口检验及其质量鉴别可参见第 4. 2. 3 节。

铸钢宏观缺陷的断口特征见表 5-50。

表 5-50　铸钢宏观缺陷的断口特征（供参考）

缺　陷	断　口　特　征
偏析	短杆状,较光滑的条带(高倍下有时可见成串夹杂)
气孔	单个或成束,内壁光滑的条形(外露时带有氧化色)
针孔	条形孔洞,内壁光滑,不露头,呈银灰色
缩孔	呈不规则状,表面粗糙,严重氧化,常见发达的树枝晶和夹杂物堆积
缩松	内壁粗糙,不露头,可见树枝晶
热裂纹	露头的氧化严重,表面起伏,圆滑
冷裂纹	未氧化的呈灰色纤维状或原奥氏体晶粒开裂呈岩石状
非金属夹杂	成堆分布的颗粒群,有的呈黄绿色

采用宏观断口检验时应注意以下事项：

1）断口检查部位一般应选择细薄处和粗厚处、粗细交接处、浇冒口根部、最大负荷截面及怀疑有铸造缺陷的地方。

2）断口不能发生变形，否则会失去结晶组织的真实性。

3）断口应避免与水接触，因浸水后断口发暗，不易与显微疏松区别。

4）铝合金铸件在铸态时，缩松部分的断口常常是灰白色或浅黄色，而热处理后则为灰白、浅黄或灰黑色。

5）镁合金铸件断口颜色分黑色、黄色、褐色、黑黄混杂色，缩松的颜色在热处理过程中将发生变化。

2. 光学金相法

普通光学金相法是借助于 50 ~ 2000 倍的放大镜和普通光学金相显微镜对铸件（合金）的显微组织进行检验的。它可以查明铸件（合金）在该状态下的组织、组织形态、大小和分布等情况，从而可以判定铸件（合金）的性能，并显现铸件（合金）内部的各种缺陷，如夹杂物、微小裂纹及气孔等。

采用光学金相法检验铸件（合金）的显微组织时，应按标准 GB/T 13298—1991《金属显微组织检验方法》执行。晶粒度检验应符合标准 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定法》的规定。铸钢的显微组织检验还应符合 GB/T 13299—1991《钢的显微组织评定方法》的规定。与铸件（合金）相关的主要金相及其检验方法标准见表 5-51。

表 5-51　与铸件（合金）**相关的主要金相及其检验方法标准**

标 准 号	标准名称	备　注
GB/T 7216—2009	灰铸铁金相检验	规定了灰铸铁金相检验方法及片状石墨等级
JB/T 5082. 2—2011	内燃机　气缸套　第 2 部分：高磷铸铁金相检验	规定了高磷铸铁气缸套金相检验方法及金相组织
GB/T 9441—2009	球墨铸铁金相检验	规定了球墨铸铁金相检验方法及球状石墨等级
JB/T 9219—1999	球墨铸铁　超声声速测定方法	用超声声速法测定球墨铸铁的石墨球化程度

（续）

标 准 号	标准名称	备　　注
GB/T 26656—2011	蠕墨铸铁金相检验	规定了蠕墨铸铁金相检验方法及蠕虫状石墨等级
JB/T 2122—1977	铁素体可锻铸铁　金相	规定了铁素体可锻铸铁金相检验方法及团状石墨等级
GB/T 8263—2010	抗磨白口铸铁件	含有金相组织和热处理规范
GB/T 11352—2009	一般工程用铸造碳钢件	评定铸造碳钢的晶粒度和非金属夹杂物的级别
GB/T 13925—2010	高锰钢铸件金相	评定高锰钢铸件中碳化物、晶粒度和非金属夹杂物级别
GB/T 10561—2005	钢中非金属夹杂物含量的测定——标准评级图显微检验法	评定钢中非金属夹杂物的级别
GB/T 224—2008	钢的脱碳层深度测定方法	规定钢的脱碳层深度的金相测定方法
YB/T 5127—1993	钢的临界点测定方法（膨胀法）	规定用膨胀法测定钢的相变临界点的方法
YB/T 5128—1993	钢的连续冷却转变曲线图的测定方法（膨胀法）	规定用膨胀法测定钢在连续冷却过程中组织转变图的方法
YB/T 130—1997	钢的等温转变曲线图的测定	适用于膨胀法和磁性法测定亚共析钢、共析钢、过共析钢的等温转变曲线
GB/T 13305—2008	奥氏体不锈钢中α-相面积含量金相测定法	规定奥氏体不锈钢中α-相面积含量的金相测定方法
GB/T 9943—2008	高速工具钢	规定了评定高速工具钢大块碳化物等级的参考图
JB/T 7946.1—1999	铸造铝硅合金变质	规定了铸造铝硅合金变质程度的参考图
JB/T 7946.2—1999	铸造铝硅合金过烧	规定了铸造铝硅合金热处理过烧程度的参考图
JB/T 7946.4—1999	铸造铝铜合金晶粒度	规定了铸造铝铜合金晶粒度等级的参考图
JB/T 6289—2005	内燃机　铸造铝活塞　金相检验	规定了内燃机铸造铝活塞的金相检验方法和参考图
QC/T 553—2008	汽车、摩托车发动机铸造铝活塞金相检验	规定了汽车摩托车发动机铸造铝活塞的参考金相标准
JB/T 5108—1991	铸造黄铜　金相	规定了铸造黄铜的金相检验方法和参考图
GB/T 15749—2008	定量金相测定方法	适用于各类合金显微组织中物相体积分数的测定
GB/T 6611—2008	钛及钛合金术语金相图谱	规定了钛及钛合金的术语和参考金相图谱
GB/T 5168—2008	α-β钛合金高低倍组织检验方法	规定了α-β钛合金的高倍和低倍组织的金相检验方法
CB 1156—1992	锡基轴承合金金相检验	规定了锡基轴承合金的金相检验方法和参考图

通常，光学金相试样可用已试验过的力学性能试样制取，也可在铸件本体、单铸试块或附铸试块上切取，试样的切取部位由供需双方商定。

光学金相试样制备要经过以下几个步骤：取样、镶嵌、磨光、抛光、浸蚀。每个步骤都必须细心操作，任何阶段的失误都可能影响以后的步骤，甚至影响检验结果。

由于铸件用材质不同，其金相组织的检验内容、评级与规程亦不同，详细内容见表5-52～表5-60。

表 5-52　一般工程用铸造碳钢金相组织检验内容、评级与规程

<table>
<tr><td>检验内容</td><td colspan="4">显微组织、晶粒度和非金属夹杂物</td></tr>
<tr><td rowspan="20">检验评级</td><td colspan="4">采用光学金相显微镜检验
1）不同热处理规范的显微组织及其特性，见下表</td></tr>
<tr><td colspan="4">ZG200-400 铸钢</td></tr>
<tr><td colspan="2">状态</td><td>热处理温度</td><td>显微组织及其特性</td></tr>
<tr><td colspan="2">铸态</td><td>—</td><td>魏氏组织 + 块状铁素体 + 珠光体</td></tr>
<tr><td rowspan="3">退火</td><td>非正常</td><td>$Ac_1 \sim Ac_3$</td><td>铁素体 + 断续网状分布的珠光体 + 残留铸态组织</td></tr>
<tr><td>正　常</td><td>Ac_3 + 50 ~ 150℃</td><td>铁素体 + 断续网状分布的珠光体</td></tr>
<tr><td>非正常</td><td>Ac_3 + 150℃以上</td><td>铁素体 + 断续网状分布的珠光体(组织粗化)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">正火</td><td>非正常</td><td>$Ac_1 \sim Ac_3$</td><td>铁素体 + 珠光体 + 残留铸态组织</td></tr>
<tr><td>正　常</td><td>Ac_3 + 50 ~ 150℃</td><td>铁素体 + 珠光体</td></tr>
<tr><td>非正常</td><td>Ac_3 + 150℃以上</td><td>铁素体 + 珠光体 + 魏氏组织(组织粗化)</td></tr>
<tr><td colspan="4">ZG230-450 铸钢</td></tr>
<tr><td colspan="2">状态</td><td>热处理温度</td><td>显微组织及其特征</td></tr>
<tr><td colspan="2">铸态</td><td>—</td><td>魏氏组织 + 块状铁素体 + 珠光体</td></tr>
<tr><td rowspan="3">退火</td><td>非正常</td><td>$Ac_1 \sim Ac_3$</td><td>铁素体 + 网状分布的珠光体 + 残留铸态组织</td></tr>
<tr><td>正　常</td><td>Ac_3 + 50 ~ 150℃</td><td>铁素体 + 网状分布的珠光体</td></tr>
<tr><td>非正常</td><td>Ac_3 + 150℃以上</td><td>铁素体 + 网状分布的珠光体(组织粗化)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">正火</td><td>非正常</td><td>$Ac_1 \sim Ac_3$</td><td>铁素体 + 珠光体 + 残留铸态组织</td></tr>
<tr><td>正　常</td><td>Ac_3 + 50 ~ 150℃</td><td>铁素体 + 珠光体</td></tr>
<tr><td>非正常</td><td>Ac_3 + 150℃以上</td><td>铁素体 + 珠光体 + 魏氏组织(组织粗化)</td></tr>
<tr><td colspan="4">ZG270-500 铸钢</td></tr>
<tr><td colspan="2">状态</td><td>热处理温度</td><td>显微组织及其特征</td></tr>
<tr><td colspan="2">铸态</td><td>—</td><td>珠光体 + 魏氏组织 + 块状铁素体</td></tr>
<tr><td rowspan="3">退火</td><td>非正常</td><td>$Ac_1 \sim Ac_3$</td><td>铁素体 + 珠光体 + 残留铸态组织</td></tr>
<tr><td>正　常</td><td>Ac_3 + 50 ~ 150℃</td><td>铁素体 + 网状分布的珠光体</td></tr>
<tr><td>非正常</td><td>Ac_3 + 150℃以上</td><td>铁素体 + 网状分布的珠光体(组织粗化)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">正火</td><td>非正常</td><td>$Ac_1 \sim Ac_3$</td><td>铁素体 + 珠光体 + 残留铸态组织</td></tr>
<tr><td>正　常</td><td>Ac_3 + 50 ~ 150℃</td><td>铁素体 + 珠光体</td></tr>
<tr><td>非正常</td><td>Ac_3 + 150℃以上</td><td>铁素体 + 珠光体 + 魏氏组织(组织粗化)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">调质</td><td>非正常</td><td>$Ac_1 \sim Ac_3$、
水淬 + 回火</td><td>回火索氏体 + 未溶铁素体</td></tr>
<tr><td>正常</td><td>Ac_3 + 30 ~ 150℃、
水淬 + 回火</td><td>回火索氏体</td></tr>
<tr><td>非正常</td><td>Ac_3 + 50℃以上、
水淬 + 回火</td><td>回火索氏体(组织粗化)</td></tr>
</table>

（续）

检验内容	显微组织、晶粒度和非金属夹杂物			
检验评级	ZG310-570 铸钢			
	状态		热处理温度	显微组织及其特征
	铸态		—	珠光体 + 铁素体，部分铁素体沿奥氏体晶界呈网状分布
	退火	非正常	$Ac_1 \sim Ac_3$	珠光体 + 铁素体 + 残留铸态组织
		正　常	Ac_3 + 50 ~ 150℃	珠光体 + 铁素体
		非正常	Ac_3 + 150℃以上	珠光体 + 铁素体（组织粗化）
	正火	非正常	$Ac_1 \sim Ac_3$	珠光体 + 铁素体 + 残留铸态组织
		正　常	Ac_3 + 50 ~ 150℃	珠光体 + 铁素体
		非正常	Ac_3 + 150℃以上	珠光体 + 网状分布的铁素体（组织粗化）
	调质	非正常	$Ac_1 \sim Ac_3$、水淬 + 回火	回火索氏体 + 未溶铁素体
		正常	Ac_1 + 30 ~ 150℃、水淬 + 回火	回火索氏体
		非正常	Ac_3 + 50℃以上、水淬 + 回火	回火索氏体（组织粗化）
	ZG340-640 铸钢			
	状态		热处理温度	显微组织及其特征
	铸态		—	珠光体 + 网状分布的铁素体
	退火	非正常	$Ac_1 \sim Ac_3$	珠光体 + 铁素体 + 残留铸态组织
		正　常	Ac_3 + 50 ~ 150℃	珠光体 + 铁素体
		非正常	Ac_3 + 150℃以上	珠光体 + 铁素体（组织粗化）
	正火	非正常	$Ac_1 \sim Ac_3$	珠光体 + 铁素体 + 残留铸态组织
		正　常	Ac_3 + 50 ~ 150℃	珠光体 + 铁素体
		非正常	Ac_3 + 150℃以上	珠光体 + 网状分布的铁素体（组织粗化）
	调质	非正常	$Ac_1 \sim Ac_3$、水淬 + 回火	回火索氏体 + 未溶铁素体
		正常	Ac_1 + 30 ~ 150℃、水淬 + 回火	回火索氏体
		非正常	Ac_3 + 50℃以上、水淬 + 回火	回火索氏体（组织粗化）
	2）晶粒度测定：奥氏体标准晶粒度分 8 级；铁素体标准晶粒度分 8 级；混有珠光体的铁素体晶粒度分 8 级 3）非金属夹杂物级别的测定：非金属夹杂物标准分 5 级			

（续）

检验内容	显微组织、晶粒度和非金属夹杂物
检验规程	1）金相检验试样从力学性能试块或试样上切取，特殊要求的试样可由供需双方商定，试样在切取及制备过程中不应有过热或变形的影响 2）显微组织检验时，均用体积分数 2% ~4% 的硝酸酒精溶液浸蚀，首先对样品的磨面从边缘到中心做全面观察，然后按大多数视场确定其显微组织 3）检验晶粒度时，被检试样可在放大倍数为 100 的条件下与标准晶粒度图进行对比评定。如果被检试样的放大倍数为非 100，则可按 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定法》的规定与标准晶粒度进行对比评定 4）检验非金属夹杂物时，被检试样应完全抛光，在显微镜放大 100 倍，视场直径为 79.8mm，对被检试样进行全面观察后，选夹杂物严重的视场，与非金属夹杂物标准图比较，测定等级。如有特殊要求，经供需双方商定可按下述方法确定非金属夹杂物级别，即在磨面上任取 n 个不同的视场，与标准图比较，定出每个视场非金属夹杂物级别 n_1 代表级别为 1 的视场数、n_2 代表级别为 2 的视场数、n_3 代表级别为 3 的视场数、n_4 代表级别为 4 的视场数、n_5 代表级别为 5 的视场数、则非金属夹杂物的平均级别为 $$X=\frac{(n_1+1)+(n_2+2)+(n_3+3)+(n_4+4)+(n_5+5)}{n}$$

表 5-53　铸造高锰钢金相组织检验内容、评级与规程（摘自 GB/T 13925—2010）

检验内容	显微组织、碳化物评级、晶粒度评级、非金属夹杂物评级
检验评级	采用光学金相显微镜检验 1）铸造高锰钢经水韧处理后的显微组织应为奥氏体或奥氏体加少量碳化物 2）碳化物评级分为未溶碳化物、析出碳化物和过热碳化物，其评级如下： ① 未溶碳化物分为 8 级，见下表：

级别代号	特征（放大倍数，500 ×）
W1	晶界、晶内平均直径小于等于 5mm 的未溶碳化物总数为 1 个
W2	晶界、晶内平均直径小于等于 5mm 的未溶碳化物总数为 2 个
W3	晶界、晶内平均直径小于等于 5mm 的未溶碳化物总数为 3 个
W4	晶界、晶内平均直径小于等于 5mm 的未溶碳化物总数多于 3 个
W5	晶内、晶界有平均直径大于 5mm 的未溶碳化物或有聚集
W6	未溶碳化物呈大块状沿晶界分布有部分聚集
W7	未溶碳化物大块状沿晶界分布有大量聚集

注：平均直径小于 2mm 的未溶碳化物在评级时不予计数

② 析出碳化物分为 7 级，见下表

级别代号	特　　征
X1	少量碳化物以点状沿晶界分布
X2	少量碳化物以点状及短线状沿晶界分布
X3	碳化物以细条状及颗粒状沿晶界呈断续网状分布
X4	碳化物以细条状沿晶界呈网状分布
X5	碳化物以条状沿晶界呈网状分布，晶内并有细针状析出
X6	碳化物以条状及羽毛状沿晶界两侧呈网状分布
X7	碳化物以片状及粗针状沿晶界两侧呈粗网状分布

（续）

<table>
<tr><td>检验内容</td><td>显微组织、碳化物评级、晶粒度评级、非金属夹杂物评级</td></tr>
<tr><td>检验评级</td><td>③ 过热碳化物分为 4 级，见下表
<table>
<tr><td>级别代号</td><td>特　　征</td></tr>
<tr><td>G1</td><td>单个过热共晶碳化物沿晶界分布</td></tr>
<tr><td>G2</td><td>少量过热共晶碳化物沿晶界或晶内分布</td></tr>
<tr><td>G3</td><td>过热共晶碳化物沿晶界呈断续网状分布</td></tr>
<tr><td>G4</td><td>过热共晶碳化物沿晶界呈粗网状分布</td></tr>
</table>
3）晶粒度评级可按 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定法》评级
4）非金属夹杂物（氧化物 + 硫化物）分为细系级和粗系级（放大倍数：100 ×），见下表
<table>
<tr><td>细系级别代号（直径约 0.8mm）</td><td>粗系级别代号（直径约 1.2mm）</td></tr>
<tr><td>1A</td><td>1B</td></tr>
<tr><td>2A</td><td>2B</td></tr>
<tr><td>3A</td><td>3B</td></tr>
<tr><td>4A</td><td>4B</td></tr>
<tr><td>5A</td><td>5B</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>检验规程</td><td>1）取样方法如下
①试样在铸件或其附铸试块上切取，也可直接在铸件上做金相观察
②试样在切取和制备过程中应防止热影响
2）显微组织可放大 100 倍观察
3）碳化物评级
①浸蚀剂：可选用体积分数为 4% 的硝酸酒精、甘油混合酸（HNO_3：HCl：甘油 = 1∶2∶3，体积比）和过饱和苦味酸等
②放大倍数：500 ×
③评定视场：ϕ80mm，选取最严重的视场评定
4）晶粒度评级，按 GB/T 6394—2002 的规定进行评定
5）非金属夹杂物（氧化物 + 硫化物）评级
①放大倍数：100 ×
②评定视场：ϕ80mm，选取最严重的视场评定</td></tr>
</table>

注：表中检验不适用于 ZG120Mn7Mo1 的金相组织检验。

表 5-54　灰铸铁金相组织检验内容、评级与规程（摘自 GB/T 7216—2009）

<table>
<tr><td>检验内容</td><td>石墨分布形状、石墨长度、珠光体数量、碳化物数量、磷共晶类型、磷共晶数量、共晶团数量</td></tr>
<tr><td>检验评级</td><td>采用光学金相显微镜检验
1）石墨分布形状分为 6 种类型，见下表
<table>
<tr><td>石墨类型</td><td>说　　明</td></tr>
<tr><td>A</td><td>片状石墨呈无方向性均匀分布</td></tr>
<tr><td>B</td><td>片状及细小卷曲的片状石墨聚集成菊花状分布</td></tr>
<tr><td>C</td><td>初生的粗大直片状石墨</td></tr>
<tr><td>D</td><td>细小卷曲的片状石墨在枝晶间呈无方向性分布</td></tr>
<tr><td>E</td><td>片状石墨在枝晶二次分枝间呈方向性分布</td></tr>
<tr><td>F</td><td>初生的星状（或蜘蛛状）石墨</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

检验内容：石墨分布形状、石墨长度、珠光体数量、碳化物数量、磷共晶类型、磷共晶数量、共晶团数量

检验评级

2）石墨长度分为 8 级，见下表

级别	在 100 × 下观察石墨长度/mm	实际石墨长度/mm
1	≥100	≥1
2	>50 ~ 100	>0. 5 ~ 1
3	>25 ~ 50	>0. 25 ~ 0. 5
4	>12 ~ 25	>0. 12 ~ 0. 25
5	>6 ~ 12	>0. 06 ~ 0. 12
6	>3 ~ 6	>0. 03 ~ 0. 06
7	>1. 5 ~ 3	>0. 015 ~ 0. 03
8	≤1. 5	≤0. 015

3）珠光体数量分为 8 级，见下表

级别	名　　称	珠光体数量（体积分数，%）
1	珠 98	≥98
2	珠 95	<98 ~ 95
3	珠 90	<95 ~ 85
4	珠 80	<85 ~ 75
5	珠 70	<75 ~ 65
6	珠 60	<65 ~ 55
7	珠 50	<55 ~ 45
8	珠 40	<45

4）碳化物数量分为 6 级，见下表

级别	名　　称	碳化物数量（体积分数，%）
1	碳 1	≈1
2	碳 3	≈3
3	碳 5	≈5
4	碳 10	≈10
5	碳 15	≈15
6	碳 20	≈20

5）磷共晶类型分为 4 种，见下表

类　　型	组织与特征
二元磷共晶	在磷化铁上均匀分布着奥氏体分解产物的颗粒
三元磷共晶	在磷化铁上分布着奥氏体产物的颗粒及粒状、条状的碳化物
二元磷共晶-碳化物复合物	二元磷共晶和大块状的碳化物
三元磷共晶-碳化物复合物	三元磷共晶和大块状的碳化物

6）磷共晶数量分为 6 级，见下表

级别	名　　称	磷共晶数量（体积分数，%）
1	磷 1	≈1
2	磷 2	≈2
3	磷 4	≈4
4	磷 6	≈6
5	磷 8	≈8
6	磷 10	≈10

（续）

<table>
<tr><td>检验内容</td><td>石墨分布形状、石墨长度、珠光体数量、碳化物数量、磷共晶类型、磷共晶数量、共晶团数量</td></tr>
<tr><td>检验评级</td><td>7）共晶团数量分为 8 级，见下表
<table>
<tr><th rowspan="2">级别</th><th colspan="2">共晶团数量/个</th><th rowspan="2">单位面积中实际共晶团数量/（个/cm²）</th></tr>
<tr><th>直径 φ70mm 图片放大 10 倍</th><th>直径 φ87.5mm 图片放大 50 倍</th></tr>
<tr><td>1</td><td>＞400</td><td>＞25</td><td>＞1040</td></tr>
<tr><td>2</td><td>≈400</td><td>≈25</td><td>≈1040</td></tr>
<tr><td>3</td><td>≈300</td><td>≈19</td><td>≈780</td></tr>
<tr><td>4</td><td>≈200</td><td>≈13</td><td>≈520</td></tr>
<tr><td>5</td><td>≈150</td><td>≈9</td><td>≈390</td></tr>
<tr><td>6</td><td>≈100</td><td>≈6</td><td>≈260</td></tr>
<tr><td>7</td><td>≈50</td><td>≈3</td><td>≈130</td></tr>
<tr><td>8</td><td>＜50</td><td>＜3</td><td>＜130</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>检验规程</td><td>1）试样的制备
①金相试样按 GB/T 9439—2002 规定在与铸件同时浇注、同炉热处理的试块或铸件上截取
②金相试样的制备按 GB/T 13298—1991 规定执行，截取和制备金相试样过程中应防止组织发生变化、石墨剥落及石墨曳尾，试样表面应光洁，不允许有粗大的划痕
2）石墨分布形状检验
①抛光态下检验石墨分布形状，首先观察整个受检面，按大多数视场石墨分布形状对照相应的评级图评定，放大倍数为 100 ×
②如在同一试样中有不同形状的石墨，则应观察估计每种形状石墨的百分数，并在报告中依次注明
3）石墨长度检验
①抛光态下检验石墨长度，首先观察整个受检面，选择有代表性的视场，按其中最长的 3 条石墨的平均值，分 8 级评定，被测量的视场不少于 3 个，放大倍数为 100 ×
②如果采用图像分析仪，在抛光态下直接进行阈值分割，测量每个视场中最长的 3 条石墨的平均值。被测量的视场不少于 10 个
4）珠光体数量检验
抛光态试样经体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀后检验珠光体数量百分比（珠光体 + 铁素体 = 100%），以大多数的视场对照相应的 A（薄壁铸件）、B（厚壁铸件）评级图评定，放大倍数为 100 ×
5）碳化物数量检验
抛光态试样经体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀后检验碳化物数量百分比，按大多数视场对照标准评级图评定，放大倍数为 100 ×
6）磷共晶类型检验
①磷共晶按其组成分为 4 种：二元磷共晶、三元磷共晶、二元磷共晶-碳化物复合物及三元磷共晶-碳化物复合物
②抛光态试样经体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀，在 500 × 下对照标准观察
7）磷共晶数量检验
抛光态试样经体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀后检验磷共晶数量的百分比，按大多数视场对照标准评级图评定，放大倍数为 100 ×
8）共晶团数量检验
抛光态试样用氯化铜 1g、氯化镁 4g、盐酸 2mL、酒精 100mL 的溶液或硫酸铜 4g、盐酸 2mL、水 20mL 的溶液侵蚀检验共晶团数量，根据选择的放大倍数对照标准评级图按 A、B 两组评定。放大倍数为 10 × 或 50 ×</td></tr>
</table>

注：表中检验只适用于普通和低合金灰铸铁的金相组织检验。

表 5-55　球墨铸铁金相组织检验内容、评级与规程（摘自 GB/T 9441—2009）

检验内容	球化分级、石墨大小分级、珠光体数量分级、分散分布的铁素体数量分级、磷共晶数量分级、碳化物数量、石墨球数

检验评级

采用光学金相显微镜检验

1）球化分为 6 级，见下表

球化级别	球化率(%)
1 级	≥95
2 级	90
3 级	80
4 级	70
5 级	60
6 级	50

2）石墨大小分为 6 级，见下表

级别	在 100 × 下观察，石墨长度/mm	实际石墨长度/mm
3	>25 ~ 50	>0. 25 ~ 0. 5
4	>12 ~ 25	>0. 12 ~ 0. 25
5	>6 ~ 12	>0. 06 ~ 0. 12
6	>3 ~ 6	>0. 03 ~ 0. 06
7	>1. 5 ~ 3	>0. 015 ~ 0. 03
8	≤1. 5	≤0. 015

注：石墨大小在 6 级 ~ 8 级时，可使用 200 × 或 500 × 放大倍数。

3）珠光体数量分为 12 级，见下表

级别名称	珠光体数量(体积分数，%)
珠 95	>90
珠 85	>80 ~ 90
珠 75	>70 ~ 80
珠 65	>60 ~ 70
珠 55	>50 ~ 60
珠 45	>40 ~ 50
珠 35	>30 ~ 40
珠 25	≈25
珠 20	≈20
珠 15	≈15
珠 10	≈10
珠 5	≈5

4）分散分布的铁素体数量分 6 级，见下表

级别名称	块状或网状铁素体数量(体积分数，%)
铁 5	≈5
铁 10	≈10
铁 15	≈15
铁 20	≈20
铁 25	≈25
铁 30	≈30

（续）

<table>
<tr><td>检验内容</td><td>球化分级、石墨大小分级、珠光体数量分级、分散分布的铁素体数量分级、磷共晶数量分级、碳化物数量、石墨球数</td></tr>
<tr><td>检验评级</td><td>5）磷共晶数量分为5级，见下表
<table>
<tr><th>级 别 名 称</th><th>磷共晶数量（体积分数，%）</th></tr>
<tr><td>磷0.5</td><td>≈0.5</td></tr>
<tr><td>磷1</td><td>≈1</td></tr>
<tr><td>磷1.5</td><td>≈1.5</td></tr>
<tr><td>磷2</td><td>≈2</td></tr>
<tr><td>磷3</td><td>≈2.5</td></tr>
</table>
6）碳化物数量分为5级，见下表
<table>
<tr><th>级 别 名 称</th><th>碳化物数量（体积分数，%）</th></tr>
<tr><td>碳1</td><td>≈1</td></tr>
<tr><td>碳2</td><td>≈2</td></tr>
<tr><td>碳3</td><td>≈3</td></tr>
<tr><td>碳5</td><td>≈5</td></tr>
<tr><td>碳10</td><td>≈10</td></tr>
</table>
7）石墨球数以每平方毫米石墨球个数取整数表示</td></tr>
<tr><td>检验规程</td><td>1）试样的制备
①金相试样应在与铸件同时浇注、同炉热处理的试块或铸件上截取
②金相试样的制备按GB/T 13298—1991的规定执行，截取和制备金相试样过程中应防止组织发生变化、石墨剥落及石墨曳尾，试样表面应光洁，不允许有粗大的划痕
2）球化分级检验
①根据石墨为球状和团状石墨个数所占石墨总数的百分比作为球化率
②球化率计算时，视场直径为70mm，被视场周界切割的石墨不计数，放大100×时，少量小于2mm的石墨不计数。若石墨大多数小于2mm或大于12mm时，则可适当放大或缩小倍数，视场内的石墨数一般不少于20颗
③在抛光态下检验石墨的球化分级，首先观察整个受检面，选3个球化差的视场的多数对照评级图目视评定，放大倍数为100×
④采用图像分析仪进行评定时，在抛光态下直接进行阈值分割提取石墨球，计算球化率并评定级别。首先观察整个受检面，选3个球化差的视场进行测量，取平均值
3）石墨大小检验
①抛光态下检验石墨大小，放大倍数为100×。首先观察整个受检面，选取有代表性视场，计算直径大于最大石墨球半径的石墨球直径的平均值，对照相应的评级图评定
②采用图像分析仪，在抛光态下直接进行阈值分割提取石墨球，选取有代表性视场，计算直径大于最大石墨球半径的石墨球直径的平均值
4）珠光体数量检验
①抛光态试样经体积分数为2%～5%的硝酸酒精溶液浸蚀后，检验珠光体数量（铁素体+珠光体=100%），放大倍数100×。选取有代表性的视场对照相应的评级图评定
②珠光体数量按石墨大小可用A、B两组图片分别进行对照评定
5）分散分布的铁素体数量检验
①抛光态试样经体积分数为2%～5%的硝酸酒精溶液浸蚀后，检验分散分布的铁素体数量，放大倍数100×。选取有代表性的视场对照相应的评级图评定
②分散分布的铁素体数量可用块状A和网状B两组图片分别进行对照评定
6）磷共晶数量检验
抛光态试样经体积分数为2%～5%的硝酸酒精溶液浸蚀后，检验磷共晶数量，放大倍数为100×。首先观察整个受检面，以数量最多的视场对照相应的评级图评定</td></tr>
</table>

（续）

检验内容	球化分级、石墨大小分级、珠光体数量分级、分散分布的铁素体数量分级、磷共晶数量分级、碳化物数量、石墨球数
检验规程	7）碳化物数量检验 抛光态试样经体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀后，检验碳化物数量，放大倍数为 100 ×。首先观察整个受检面，以数量最多的视场对照相应的评级图评定 8）石墨球数检验 在抛光态下检验石墨球数，首先观察整个受检面，选取有代表性视场的石墨球数计算，通过计算一定面积内的石墨球数 n 来测定每平方毫米内的石墨球数 ①石墨球数的计算。将已知面积 A（通常使用直径为 79.8mm，面积为 5000mm^2 的圆形）的测量网格置于石墨图形上，选用测量面积内至少有 50 个石墨球的放大倍数 F。计算完全落在测量网格内的石墨球数 n_1 和被测量网格所切割的石墨球数 n_2。于是，该面积范围内的总的石墨球数 n 为 $$n = n_1 + \frac{n_2}{2}$$ ②试样每平方毫米内石墨球数的计算。通过已知面积圆内的石墨球数 n 和观测用的放大倍数 F，可计算出实际试样面上每平方毫米内石墨球数 n_F $$n_F = \frac{n}{A} \times F^2$$ 式中　A——所使用的测量网格面积（mm^2） ③图像分析法检验石墨球数。采用图像分析仪，在抛光态下直接进行阈值分割提取石墨球，首先观察整个受检面，选取有代表性视场，测量每平方毫米的石墨球数

注：本表检验只适用于普通和低合金球墨铸铁铸态、正火态、退火态的金相组织检验。

表 5-56　稀土镁球墨铸铁等温淬火金相组织检验内容、评级与规程（供参考）

检验内容	组织形态、组织分级和白区、铁素体区的数量分级
检验评级	采用光学金相显微镜检验 1）经等温淬火处理得到以贝氏体为主的基体组织。常见的组织形态有：下贝氏体、上贝氏体、下贝氏体 + 马氏体、贝氏体 + 铁素体 2）等温淬火时等温温度不同，将贝氏体分为上贝氏体和下贝氏体两类。下贝氏体按长度分为 5 级：1 级细小针状≤10μm，2 级细针状 >10 ~20μm、3 级中等针状 >20 ~30μm、4 级粗针状 >30 ~40μm、5 级粗大针状 >40μm。上贝氏体分为 5 级：1 级细小羽毛状≤10μm、2 级细羽毛状 >10 ~20μm、3 级中等羽毛状 >20 ~30μm、4 级粗羽毛状 >30 ~40μm、5 级粗大羽毛状 >40μm 3）白区指等温淬火后出现的马氏体和残留奥氏体组织。通常它分布在球墨铸铁共晶团的边界上、白区数量分为 4 级：1 级≤5%、2 级 >5% ~10%、3 级 >10% ~15%、4 级 >15% 4）铁素体数量分为 3 级：1 级≤5%、2 级 >5% ~10%、3 级 >10%
检验规程	1）检查组织形态及贝氏体的试样用体积分数为 2% ~4% 的硝酸酒精溶液浸蚀，放大 500 倍观察 2）检查白区及铁素体数量的试样用体积分数为 2% ~4% 的硝酸酒精溶液浸蚀，放大 100 倍观察

表 5-57　珠光体球墨铸铁铸件感应淬火金相组织检验内容、评级与规程（供参考）

检验内容	硬化层金相组织及层深的检验
检验评级	采用光学金相显微镜检验 硬化层金相组织分为 8 级：1 级粗马氏体，大块状残留奥氏体、莱氏体、球状石墨；2 级粗马氏体，大块状残留奥氏体、球状石墨；3 级马氏体，块状残留奥氏体、球状石墨；4 级马氏体，少量点状残留奥氏体、球状石墨；5 级细马氏体，球状石墨；6 级细马氏体，少量未溶铁素体、球状石墨；7 级微细马氏体，少量未溶珠光体、未溶铁素体、球状石墨；8 级微细马氏体，较多量未溶珠光体，未溶铁素体、球状石墨，3 ~6 级为合格
检验规程	1）取样在铸件感应加热淬火区中部或铸件技术要求的部位截取。试样的抛光面应与表面垂直，用含有体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀，直到显示出清晰的硬化层为止。试样在制备过程中不应改变原有的金相组织 2）硬化层金相组织，放大 400 倍观察 3）硬化层深度放大 100 倍测量

表 5-58　蠕墨铸铁金相检验内容、评级与规程（摘自 GB/T 26656—2010）

<table>
<tr><td>检验内容</td><td colspan="2">蠕化率、珠光体数量、磷共晶数量、碳化物数量</td></tr>
<tr><td rowspan="24">检验评级</td><td colspan="2">采用光学金相显微镜检验
1）蠕化率分为 8 级，见下表</td></tr>
<tr><td>级 别 名 称</td><td>蠕虫状石墨量（体积分数，%）</td></tr>
<tr><td>蠕 95</td><td>≥95</td></tr>
<tr><td>蠕 90</td><td>90</td></tr>
<tr><td>蠕 85</td><td>85</td></tr>
<tr><td>蠕 80</td><td>80</td></tr>
<tr><td>蠕 70</td><td>70</td></tr>
<tr><td>蠕 60</td><td>60</td></tr>
<tr><td>蠕 50</td><td>50</td></tr>
<tr><td>蠕 40</td><td>40</td></tr>
<tr><td colspan="2">2）珠光体数量分为 10 级，见下表</td></tr>
<tr><td>级 别 名 称</td><td>珠光体数量（体积分数，%）</td></tr>
<tr><td>珠 95</td><td>>90</td></tr>
<tr><td>珠 85</td><td>>80 ~ 90</td></tr>
<tr><td>珠 75</td><td>>70 ~ 80</td></tr>
<tr><td>珠 65</td><td>>60 ~ 70</td></tr>
<tr><td>珠 55</td><td>>50 ~ 60</td></tr>
<tr><td>珠 45</td><td>>40 ~ 50</td></tr>
<tr><td>珠 35</td><td>>30 ~ 40</td></tr>
<tr><td>珠 25</td><td>>20 ~ 30</td></tr>
<tr><td>珠 15</td><td>>10 ~ 20</td></tr>
<tr><td>珠 5</td><td>≤10</td></tr>
<tr><td colspan="2">3）磷共晶数量分为 5 级，见下表</td></tr>
<tr><td>级 别 名 称</td><td>磷共晶数量（体积分数，%）</td></tr>
<tr><td>磷 0.5</td><td>≈0.5</td></tr>
<tr><td>磷 1</td><td>≈1</td></tr>
<tr><td>磷 2</td><td>≈2</td></tr>
<tr><td>磷 3</td><td>≈3</td></tr>
<tr><td>磷 5</td><td>≈5</td></tr>
<tr><td colspan="2">4）碳化物数量分为 6 级，见下表</td></tr>
<tr><td>级 别 名 称</td><td>碳化物数量（体积分数，%）</td></tr>
<tr><td>碳 1</td><td>≈1</td></tr>
<tr><td>碳 2</td><td>≈2</td></tr>
<tr><td>碳 3</td><td>≈3</td></tr>
<tr><td>碳 5</td><td>≈5</td></tr>
<tr><td>碳 7</td><td>≈7</td></tr>
<tr><td>碳 10</td><td>≈10</td></tr>
</table>

（续）

检验内容	蠕化率、珠光体数量、磷共晶数量、碳化物数量
检验规程	1）试样的制备 ①金相试样应在与铸件同时浇注、同炉热处理的试块或铸件上切取 ②金相试样的制备按 GB/T 13298—1991 规定执行，切取和制备金相试样过程中应防止组织发生变化、石墨剥落及石墨曳尾，试样表面应光洁，不允许有划痕 2）蠕化率检验。蠕墨铸铁中的石墨主要为蠕虫状石墨，以及少量球状石墨和团、团絮状石墨存在，不允许出现片状和细片状石墨。蠕虫状石墨的形态可参见标准 GB/T 26656—2011 的附录 B ①蠕化率的计算（蠕墨铸铁中不允许存在片状和细片状石墨） $$蠕化率=\frac{\sum A_{蠕虫状石墨}+0.5\sum A_{团、团絮状石墨}}{\sum A_{每个石墨}}\times 100\%$$ 式中　$A_{蠕虫状石墨}$——蠕虫状石墨颗粒的面积（圆形系数 RSF < 0.525） $A_{团、团絮状石墨}$——团、团絮状石墨颗粒的面积（圆形系数 RSF 为 0.525 ~ 0.625） $A_{每个石墨}$——每个石黑颗粒（最大中心长度≥10μm）的面积 ②检验蠕化率时，放大 100 倍，视场直径为 70mm 或不小于此面积，被视场周界切割的石墨不计数，放大 100 倍时，少量 < 1mm（实际尺寸 10μm，视界面积为 0.785mm²）的石墨不计数。 ③在抛光状态下检验石黑的蠕化分级，原则上选放大 100 倍，先按圆形系数（RSF）对石墨分类，然后计算蠕化率，随机取 5 个视场平均 ④用图像分析仪进行评定时，在抛光态下直接进行阈值分割提取石墨颗粒，计算蠕化率，随机选 5 个视场平均 ⑤蠕化率分级应在抛光后未浸蚀的试样上进行，放大倍数为 100 ×，按大多数视场对照相应的评级图评定 3）珠光体数量检验。抛光后的试样经体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀后，检验珠光体数量（珠光体 + 铁素体 = 100%），放大倍数为 100 ×。选取有代表性的视场对照相应的评级图评定 4）磷共晶数量检验。抛光后的试样经体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀后，检验磷共晶数量，放大倍数为 100 ×。首先观察整个受检面，以数量最多的视场对照相应的评级图评定 5）碳化物数量。抛光后的试样经体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液浸蚀后，检验碳化物数量，放大倍数为 100 ×。首先观察整个受检面，以数量最多的视场对照相应的评级图评定

表 5-59　可锻铸铁金相检验内容、方法与规程（摘自 GB/T 25746—2010）

检验内容	石墨形状、石墨分布、石墨颗数、珠光体形状、珠光体残余量、渗碳体残余量、表皮层厚度	
检验评级	采用光学金相显微镜检验 1）石墨分布形状分为 5 种类型，见下表	
	名称	特　征
	球状	石墨较致密，外形近似圆形，周界凹凸
	团絮状	类似棉絮团，外形较不规则
	絮状	较团絮状石墨松散
	聚虫状	石墨松散，类似蠕虫状石墨聚集而成
	枝晶状	由颇多细小的短片状、点状石墨聚集呈树枝状分布
	2）石墨形状分为 5 级，见下表	
	级别	说　明
	1 级	石墨大部分呈球状，允许有不大于 15% 的团絮状、絮状、聚虫状石墨存在，但不允许有枝晶状石墨
	2 级	石墨大部分呈球状、团絮状，允许有不大于 15% 的絮状、聚虫状石墨存在，但不允许有枝晶状石墨
	3 级	石墨大部分呈团絮状、絮状，允许有不大于 15% 的聚虫状及小于试样截面积 1% 的枝晶状石墨存在
	4 级	聚虫状石墨大于 15%，枝晶状石墨小于试样截面积的 1%
	5 级	枝晶状石墨大于或等于试样截面积的 1%
	注：在可锻铸铁中，石墨通常不以单一形状出现，鉴于石墨形状对力学性能的影响而分成 5 级	

（续）

检验内容	石墨形状、石墨分布、石墨颗数、珠光体形状、珠光体残余量、渗碳体残余量、表皮层厚度	
检验评级	3）石墨分布分为3级，见下表	
	级别	特　征
	1级	石墨分布均匀或较均匀
	2级	石墨分布不均匀，但无方向性
	3级	石墨呈方向性分布
	4）石墨颗粒数分为5级，见下表：	
	级别	石墨颗数/（颗/mm^2）
	1级	>150
	2级	>110～150
	3级	>70～110
	4级	>30～70
	5级	≤30
	5）珠光体形状分为两种，见下表	
	名称	特　征
	片状珠光体	珠光体中渗碳体呈片状
	粒状珠光体	珠光体中渗碳体呈粒状
	6）珠光体残余量分为5级，见下表	
	级别	珠光体残余量（体积分数，%）
	1级	≤10
	2级	>10～20
	3级	>20～30
	4级	>30～40
	5级	>40
	7）渗碳体残余量分为2级，见下表	
	级别	渗碳体残余量（体积分数，%）
	1级	≤2
	2级	>2
	8）表皮层厚度分为4级，见下表	
	级别	表皮层厚度/mm
	1级	≤1.0
	2级	>1.0～1.5
	3级	>1.5～2.0
	4级	>2.0
	注：从试样外缘至含有珠光体层结束处的厚度，称为表皮层（当表皮层不含有珠光体时，则至无石墨的全铁素体层结束处为止），以mm计	

（续）

检验内容	石墨形状、石墨分布、石墨颗数、珠光体形状、珠光体残余量、渗碳体残余量、表皮层厚度
检验规程	1）金相试样一般应选自进行力学性能试验后的试样，检验面应离试样断裂处 20mm 以上。必要时，也可以在与试样同炉次的铸件上有代表性的部位截取 2）金相试样的制备按 GB/T 13298—1991 的规定执行 3）观察金相组织应在试样外缘至中心的$\frac{1}{2}$处随机选取 3 个以上视场，然后取其平均值或其中有代表意义者作为最后的评定结果。但对枝晶状石墨和残余渗碳体，应观察试样的整个磨面 4）对石墨形状的观察，应在未浸蚀的金相试样上进行，放大倍数为 100 × 如果在同一试样中有不同形状的石墨，则应观察估计每种形状石墨的百分数，并在报告中依次注明 对石墨形状级别的评定，应按不同类型石墨颗粒数占整个视场石墨颗粒数的百分数进行 5）对石墨分布级别的评定，应在未浸蚀的金相试样上进行，放大倍数为 100 × 6）对石墨颗数级别的评定，应在未浸蚀的金相试样上进行，放大倍数为 100 ×，单个石墨颗粒大于或等于 0.01mm 予以计数，未完全进入视场的石墨颗粒以 1/2 颗数计数 7）对珠光体形状的鉴别，应在浸蚀后的金相试样上进行，放大倍数可自行选定，以辨明为准，但常为片状 8）对珠光体残余量级别的评定，应在浸蚀后的金相试样上进行，放大倍数为 100 ×，评定时应按占视场面积的百分数进行 9）对渗碳体残余量级别的评定，应在浸蚀后的金相试样上进行，放大倍数 100 ×，评定时应按占视场面积的百分数进行 10）对表皮层厚度的测定，应在浸蚀后的金相试样上进行，测定时试样不可倒角，并应检查试样的整个边缘，并以其中的最大厚度作为测定的结果 注：试样浸蚀一般采用体积分数为 2% ~5% 的硝酸酒精溶液

表 5-60　铸造铝合金金相组织检验内容、方法与规程（供参考）（摘自 JB/T 7946.1—1999）

检验内容	经钠变质和磷变质的铸造铝硅合金金相组织、铸造铝硅合金过烧组织、铸造铝铜合金晶粒度	
检验评级	采用光学金相显微镜 1）铸造铝硅合金经钠变质的金相组织分 5 级（摘自 JB/T 7946.1—1999），见下表	
	级别名称	显微组织特征
	未变质	共晶硅为长针状，分布无规律。可有 α 枝晶或少量块状初晶硅
	变质不足	α 枝晶与共晶体分布均匀，部分共晶硅为短杆状，部分为针状
	变质正常	α 枝晶与共晶体分布均匀，共晶硅为点状或蠕虫状
	变质衰退	α 枝晶与共晶体分布不够均匀，共晶硅变粗，部分为短杆状，部分为针状
	轻度过变质	α 枝晶与共晶体分布基本均匀，但在一些共晶体中出现线性的 α 带
	严重过变质	α 枝晶与共晶体分布很不均匀，出现粗过变质带（细密共晶体中出现波浪状分布的 α 带，带中有许多粗大的共晶硅）
	2）铸造铝硅共晶合金磷变质的金相组织分 4 级（摘自 JB/T 7946.2—1999）见下表	
	级别名称	显微组织特征
	未变质	无明显 α 枝晶，共晶硅为针状，分布不均匀
	变质良好	无 α 枝晶，共晶硅呈短片状，分布均匀，初晶硅为细小块状
	变质正常	有少量的 α 枝晶，共晶为针状，分布不均匀，初晶硅为较小的块状
	变质不足	有发达的 α 枝晶，明显的亚共晶型组织

（续）

<table>
<tr><td>检验内容</td><td colspan="4">经钠变质和磷变质的铸造铝硅合金金相组织、铸造铝硅合金过烧组织、铸造铝铜合金晶粒度</td></tr>
<tr><td rowspan="11">检验评级</td><td colspan="4">3）铸造铝硅合金热处理过烧组织分五级（摘自 JB/T 7946.3—1999），见下表</td></tr>
<tr><td>级别名称</td><td colspan="3">显微组织特征</td></tr>
<tr><td>正常组织</td><td colspan="3">共晶硅边角已圆滑，但不聚集长大</td></tr>
<tr><td>过热组织</td><td colspan="3">共晶硅边角已圆滑，并聚集长大，但无过烧组织特征</td></tr>
<tr><td>轻量过烧组织</td><td colspan="3">共晶硅进一步长大，边角已开始出现多边化（共晶硅边平直），但大部分共晶硅边角还圆滑，并出现过烧三角或晶界熔化</td></tr>
<tr><td>过烧组织</td><td colspan="3">共晶硅聚集长大，大部分边角平直，出现典型的复熔球及多元复熔共晶体组织</td></tr>
<tr><td>严重过烧组织</td><td colspan="3">硅相几乎全部多边化，复熔共晶体组织粗大</td></tr>
<tr><td colspan="4">4）铸造铝铜合金晶粒度分8级（摘自 JB/T 7946.4—1999），见下表</td></tr>
<tr><td rowspan="2">级别</td><td rowspan="2">单位面积晶粒数/（个/mm²）</td><td colspan="2">视场直径 φ70mm 面积粒数/个</td></tr>
<tr><td>100×（0.385mm²）</td><td>50×（1.54mm²）</td></tr>
<tr><td>1</td><td>4</td><td>≈1.5</td><td>≈6</td></tr>
<tr><td>2</td><td>8</td><td>≈3</td><td>≈12</td></tr>
<tr><td>3</td><td>16</td><td>≈6</td><td>≈25</td></tr>
<tr><td>4</td><td>32</td><td>≈12</td><td>≈50</td></tr>
<tr><td>5</td><td>64</td><td>≈25</td><td>≈100</td></tr>
<tr><td>6</td><td>128</td><td>≈50</td><td>≈200</td></tr>
<tr><td>7</td><td>256</td><td>≈100</td><td>≈400</td></tr>
<tr><td>8</td><td>512</td><td>≈200</td><td>≈800</td></tr>
<tr><td>检验规则</td><td colspan="4">1）铸造铝合金钠变质的金相试样通常在该炉的单铸抗拉试棒上切取。重要铸件金相试样应从铸件的附铸试棒上或按技术文件规定切取。切取的试样经金相砂纸粗磨、细磨后进行机械抛光，必要时可进行手工精抛，然后用体积分数0.5%氢氟酸水溶液在室温下浸蚀5～10s，在切取和制备金相试样的过程中应保证不使其组织发生变化。检验金相组织时，放大倍数为200×，首先通观整个受检面，然后按大多数视场对应级别图进行评定
2）铸造铝硅共晶合金磷变质的金相检验规则，基本上同1），只是其放大倍数为100×
3）铸造铝硅合金热处理过烧组织的检验规则，基本上同1），只是其检验评定过烧组织的金相试样不需浸蚀，其放大倍数为400×
4）铸造铝铜合金晶粒度的检验规则，基本上同1），只是在切取和制备金相试样过程中不允许加热和变形，其放大倍数为100×，且在同试样中如有大小不同的晶粒时，则应估计每种晶粒所占的百分数，并在报告中注明</td></tr>
</table>

3. 电子金相法

电子金相法是借助各种不同类型的电子显微镜对金属组织和结构进行研究和分析的，它有极高的有效放大倍数（在不加光学放大时可放大60000倍），分辨力为4nm以上，可用来研究铸件（合金）的“超显微组织”。

常用的电子金相法有：扫描电子显微分析、透射电子显微分析和图像定量分析等。

1）对于铸件（合金）的断口和立体形貌的微观研究，可用扫描电子显微镜进行扫描电子显微分析。

2）对于铸件（合金）的高分辨细微结构，可用透射电子显微镜进行透射电子显微分析。

3）对于铸件（合金）的化学成分、金相组织和性能之间的定量关系，可用图像定量分析仪进行图像定量分析。

5.3.4 铸件内部缺陷检验

铸件内部缺陷是指存在于铸件内部且破坏了铸件的致密性或均匀性的各种缺陷，如内部缩孔、缩松、针孔、气孔、夹杂物、内部裂纹、偏析等。对于这些未露出表面的缺陷，则要采用专门的无损检测法来检查，有时不得不进行破坏性检验。

采用破坏性检验时，常使用断口检查、低倍检查和高倍检查。

采用无损检测法检查时，常使用射线检测法、超声波检测法等。

1. 射线检测法

射线检测法能发现铸件内部的缩孔、缩松、疏松、夹杂物、气孔、裂纹等缺陷，并可确定缺陷平面投影的位置、大小和缺陷种类。

射线检测法有 X 射线法、γ 射线法和中子射线法等，按射线检测方法的不同又可分为普通照相法、荧光屏观察法和电视观察法。用得最多的是 X 射线和 γ 射线的普通照相法，因为它具有较大的穿透能力，射线通过被检查的铸件后，作用于照相胶片，产生不同程度的感光作用，从而在照相胶片上留下缺陷的影像，通过暗室处理（显影、定影），便可判断缺陷的情况。但是，X 射线底片上缺陷的影像不一定和缺陷实际形状一样，这是因为射线焦点位置、投射角度以及缺陷性质（如气孔与渣孔）等因素的影响会造成缺陷影像的放大和畸变。

在 X 射线底片上辨认和推断铸件的内部缺陷是一项极细致而复杂的工作，需要有相当丰富的检测经验与铸造工艺知识，才能比较可靠地作出结论。应该注意：①在观察底片时要用观察灯，在观察时要辨出伪缺陷，当无法辨别真伪缺陷时应重新透照，以防错评；②在观察时精力要集中，避免遗漏细小缺陷，有必要时可用放大镜仔细观察。

铸造中常见的铸件缺陷与伪缺陷在 X 射线底片上的特征见表 5-61 ~ 表 5-63。

表 5-61 铸件缺陷在 X 射线底片上的特征（供参考）

缺陷名称	缺陷最常形成部位	X 射线底片影像特征
单个气孔	1）直径为 1 ~ 5mm 圆形气孔，多在大截面及铸件上部形成 2）管形气孔，多形成在铸件大截面部分的边缘	1）边缘轮廓明显的黑色圆形或椭圆形斑点，中心黑而周围稍淡 2）暗黑斑点，互相错杂，一端细长而有分枝，一端比较粗大轮廓明显，好像树枝，粗大一端的方向朝铸件边部，有时还带有圆形黑斑即气泡
密集气孔	在整个铸件中各处皆有	边缘模糊不清而形状是各种各样的片黑色
疏松	易形成在大截面中心或厚薄截面过渡处	黑色云状斑块，边缘轮廓不明显又不规则。有时在一个区域内呈编织状黑线存在，个别则像蜘蛛网状
缩孔	铸件中截面厚大的部位	呈不同的黑斑，边缘轮廓非常明显，但铸件的某一部分形成复杂而其厚度比较大时，这种缺陷也会变得模糊
裂纹	因热裂与冷裂而异	呈黑色不规则条纹，有向各方向曲折的分枝状，龟裂状，有时似断似续，在末端逐渐变细直到消失，边缘不明显
镁合金特有的显微裂纹	在铸件中截面厚大的部位	特征类似缩松，经常为互相平行的薄层或呈黑线状分布
夹渣	在浇口附近或截面转角处	不规则的黑斑，截面不甚清晰，大小黑斑有时呈密集分布
夹砂	在铸件中位置不定	黑色斑点，浓淡不均匀，形状不规则
金属夹杂物	在铸件中位置不定	尺寸不大，形状不一，外形为明显的斑点。如果夹杂物密度比基本合金密度小则为暗黑斑点，反之则为明亮斑点
枝晶偏析	铸件中个别部位	轮廓多种多样，偏析元素密度比基体小时，在底片上出现暗黑轮廓；偏析的元素密度比基体大时，显明亮轮廓；两者密度差越大，在底片上出现很明显，当差别不大时，则是模糊不清

（续）

缺陷名称	缺陷最常形成部位	X 射线底片影像特征
冷隔	多半出现在铸件的平面上或是金属在结合中有氧化层的形成处	明显的纤维状黑线，有时则像黑色涡旋状的长条
浇不到	常出现在壁厚较薄部分和凸起部分，或是距离浇口最远部分	不同形状的黑豆点（在铸件中呈孔状）

表 5-62　补焊铸件常见缺陷在 X 射线底片上的特征（供参考）

缺陷名称		X 射线底片影像特征
气　　孔		黑色小斑点，外形较规则，一般是圆形或近似圆形和椭圆形等。中间黑而边缘浅，分布情况不一，有密集的、单个的和链状的
未焊透	焊缝根部未焊透	规则的黑色条纹，密度一般是均匀的，也可能因未焊透情况不一而不均匀，但在底片上所呈现的外形总是直的线条，未焊透有连续和间断之分
	坡口部未焊透	直线状的黑色条纹
	多层焊各层间未焊透	黑色条纹，不很长，可能连续出现
夹　　渣		带不规则外形的点状和条状，密度较均匀，有时往往和未焊透混合出现
裂　　缝		黑色细纹，轮廓分明，端头细，中间稍大

表 5-63　X 射线底片上常见伪缺陷的特征与分析（供参考）

底片上伪缺陷的特征与分析	底片上伪缺陷的特征与分析
暗盒漏光，使底片感光，形成形状不一的黑色影像，有时和夹渣、缩孔、裂纹相混	底片在显影之前就沾了定影液，使底片上呈现较淡斑点，其外形轮廓上有黑边
如暗盒开裂使底片感光，其影像就很像裂纹	胶片在显影前局部沾上显影液，先起还原作用，再放在显影液中显影时就出现一些斑点，和气泡夹渣相似
因冲洗不干净，留下黑色斑纹，易与夹渣物相混	
在干燥天气，有时底片互相摩擦，发生静电作用而感光，在底片上造成树枝状纹路或斑点	胶片在显影前局部沾上显影液，先起还原作用，再放在显影液中显影时就出现一些斑点，和气泡夹渣相似
底片受潮而膨胀，表面起皱，经暗室处理，在底片上出现黑色细小条纹，犹如水波	在显影时摇动不均匀，在底片上呈现黑色条纹
增感屏有污垢，剥落或起化学作用，减少增感作用，使底片黑化度减小，犹如轻重金属夹渣物一样	铸件表面凹凸不平，造成底片摄影密度不一，易误为铸件内部缺陷
因手不清洁，在底片上留下指纹和污点	荧光增感屏被光照后荧光还没有消失就将底片装入暗盒中，造成感光而形成伪缺陷
显影时底片局部附有小气泡，该处未起显影作用，在底片上出现较淡的圆形斑点	

注：1. 伪缺陷会给评片工作带来困难，应先检查暗匣、增感屏、暗室等情况，找不出原因而不能下结论的，应重照一张。

2. 为了避免因底片储存和保管不善而造成伪缺陷，在底片储存时还应注意：①X 射线底片必须保存在干燥的房间内，室温以（17 ± 3）℃、湿度以 60% ~ 70% 为宜；②底片储存地点距离热的发生器（如电炉、热水管、暖气片等）至少应在 1m 以上，并应防止受 X 射线的影响以免意外地感光；③底片存放时，应竖直存放，避免平放，使受压时感光；④防止各种有害气体（如硫化氢、氨气）浸入，而损害底片。

1）对于厚度为 5 ~ 300mm 铸钢件的 X 射线、γ 射线检测应按标准 GB/T 5677—2007《铸钢件射线照相检测》执行。

该标准把射线照相底片的铸造缺陷分成五类：气孔、夹砂和夹渣、缩孔和缩松、内冷铁未熔合和芯撑未熔合、热裂纹和冷裂纹。标准对前三类缺陷规定了 1 ~ 6 共 6 个质量等级（数值越大质量

越差），对后两类缺陷（未熔合和裂纹）的质量等级规定为第 6 级。缺陷尺寸按底片上缺陷影像的大小来测定；缩孔类缺陷的尺寸，只测定每个缺陷明显部分的尺寸，不包括周围模糊阴影部分尺寸；当两个以上缺陷在底片上部分重叠时，应分别测定尺寸。

供需双方可根据铸钢件的使用要求，商定某一质量等级为合格级，同一铸钢件的不同部位可选择不同的合格级，同一部位不同类型的缺陷也可选择不同的合格级。

① 气孔类和夹砂、夹渣类缺陷的等级，按底片上缺陷点数最多区域的评定视野内的缺陷点数来评定。缺陷点数由缺陷尺寸表 5-64 进行换算。缺陷等级为 1 级和 2 级的不计点数的缺陷最大尺寸见表 5-65。

不同透照厚度的气孔等级在规定的评定视野内的缺陷允许点数值见表 5-66。1 级气孔缺陷允许的最大气孔尺寸见表 5-67。不同透照厚度的夹砂和夹渣等级在规定的评定视野内的缺陷允许点数值见表 5-68。1 级夹砂和夹渣缺陷允许的最大夹砂和夹渣尺寸见表 5-69。

在评定视野界线上的缺陷应计数，其尺寸包括延伸在界线外的部分；两个以上同类缺陷的点数应为评定视野内同类缺陷点数的总和；不同类缺陷应分别计算点数和评级；尺寸小于表 5-65 规定的缺陷不计算缺陷点数。

表 5-64　缺陷尺寸和缺陷点数的换算（供参考）

缺陷尺寸/mm	≤2.0	>2.0~4.0	>4.0~6.0	>6.0~8.0	>8.0~10.0	>10.0~15.0	>15.0~20.0	>20.0~25.0	>25.0~30.0	>30.0~60.0
缺陷点数	1	2	3	5	8	12	16	20	40	90

表 5-65　不计点数的缺陷最大尺寸（供参考）　　（单位：mm）

透照厚度/mm	≤10	>10~20	>20~40	>40~80	>80~120	>120~200	>200~300
1 级	0.4	0.7	1.0		1.5		1.5
2 级以下	0.7	1.0	1.5		2.0		2.0

表 5-66　气孔在不同等级中允许的最大点数值（供参考）

透照厚度/mm	≤10	>10~20	>20~40	>40~80	>80~120	>120~200	>200~300
评定视野（直径）/mm	20	30	50	50	70	70	100
1 级	≤3	4	6	8	10	12	14
2 级	4	6	10	16	19	22	25
3 级	6	9	15	24	28	32	40
4 级	9	14	22	32	38	42	60
5 级	14	21	32	42	49	56	80
6 级	缺陷点数超过 5 级者；缺陷尺寸超过 1/2 壁厚者						

表 5-67　1 级所允许的最大气孔尺寸（供参考）　　（单位：mm）

透照厚度	≤10	>10~20	>20~40	>40~80	>80~120	>120~200	>200~300
气孔最大尺寸	3.0	3.0	4.0	5.0	7.0	9.0	10.0

表 5-68　夹砂和夹渣在不同等级中允许的最大点数值（供参考）

透照厚度/mm	≤10	>10～20	>20～40	>40～80	>80～120	>120～200	>200～300
评定视野（直径）/mm	20	30	50	50	70	70	100
1 级	≤5	8	12	16	20	24	28
2 级	7	11	17	22	28	34	42
3 级	10	16	23	29	36	44	55
4 级	14	23	30	38	46	54	76
5 级	21	32	40	50	60	70	90
6 级	缺陷点数超过 5 级者；缺陷尺寸超过 1/2 壁厚者						

表 5-69　1 级所允许的夹砂和夹渣的最大尺寸（供参考）　　（单位：mm）

透照厚度	≤10	>10～20	>20～40	>40～80	>80～120	>120～200	>200～300
夹砂和夹渣的最大尺寸	6.0	6.0	8.0	10.0	14.0	18.0	20.0

② 缩孔类缺陷（包括缩松和疏松），在评级标准中将其分成条状缩孔、树枝状缩孔和大面积缩松三种。条状缩孔按缺陷长度评级，树枝状缩孔和大面积缩松按缺陷面积评级。处于评定视野界线上的缩孔，应计入其延伸在界线外的缺陷长度或面积；缺陷长度或面积小于表 5-70 规定的单个缩孔，可不计算其缺陷长度或面积。缩孔类缺陷的等级，应根据在评定视野内各单个缺陷长度或面积的总和进行评定；当评定视野内同时存在树枝状缩孔和条状缩孔时，应把条状缩孔视为树枝状缩孔，其长度为条状缩孔之长，其宽度规定为长度的 1/3。

单个条状缩孔的缺陷长度为其最大长度，两个以上条状缩孔的缺陷长度为各条状缩孔缺陷长度之和。各等级条状缩孔在评定视野内的最大允许长度见表 5-71。

表 5-70　缩孔类缺陷可不计算缺陷长度和面积的最大值（供参考）

透照厚度/mm		≤10	>10～20	>20～40	>40～80	>80～120	>120～200	>200～300
1 级	条状/mm	5.0						
	树枝状/mm^2	10.0						
2 级以下	条状/mm	5.0				10.0		
	树枝状/mm^2	30				40		

表 5-71　条状缩孔在不同等级中允许的最大长度（供参考）　　（单位：mm）

透照厚度/mm	≤10	>10～20	>20～40	>40～80	>80～120	>120～200	>200～300
评定视野（直径）	50		70				100
1 级	13		18	30		50	60
2 级	23		36	64		110	120
3 级	45		63	110		145	160
4 级	75		100	160		180	200
5 级	100		145	230		250	270
6 级	长度超过 5 级者						

单个树枝状缩孔的缺陷面积为其最大长度与垂直于最大长度方向的最大宽度的乘积，两个以上树枝状缩孔的缺陷面积为各单个树枝状缩孔缺陷面积之和。

大面积缩松的缺陷面积为其最大长度与垂直于最大长度方向的最大宽度的乘积。当铸钢件厚度大于 40mm 时，采用射线照相法不容易发现此类缺陷。

在规定的评定视野内，各等级树枝状缩孔和大面积缩松允许的最大缺陷面积见表 5-72。

表 5-72　树枝状缩孔和大面积缩松在不同等级中允许的最大面积（供参考）　（单位：mm^2）

透照厚度/mm	≤10	>10～20	>20～40	>40～80	>80～120	>120～200	>200～300
评定视野（直径）/mm	50		70				100
1 级	250(1000)		600(1600)	800		1000	1600
2 级	450(2000)		900(3000)	1350		2000	3600
3 级	800(3000)		1650(5000)	2700		3000	5000
4 级	1600(6000)		2700(9000)	5400		8000	9000
5 级	3600(10000)		6300(16000)	9000		12000	14000
6 级	长度超过 5 级者						

注：括号内数字为大面积缩松缺陷的最大允许面积。

③ 当评定视野内同时存在两类以上缺陷时，应按缺陷种类分别进行等级评定，以最差等级作为铸钢件缺陷的综合评定等级。综合评级时如果发现同时存在两类及两类以上相同的最差等级，且各类缺陷的点数、长度或面积都超过该级规定的最大值的中值，则其综合评定等级应降低一级，但已评定为 6 级者不再降级。在对 1 级要求的底片进行综合评级时，如果在评定视野内出现气孔类缺陷或夹砂、夹渣类缺陷，其单个缺陷的大小已超过表 5-67 或表 5-69 的规定值，但其点数总值又不超过表 5-66 或表 5-68 中 1 级的规定值，这时如在评定视野内再出现其他类似上述情况的缺陷，则综合评定等级应为 2 级。

2）对于铝合金铸件的 X 射线检测的质量评级应按标准 GB/T 11346—1989《铝合金铸件 X 射线照相检验　针孔（圆形）分级》、HB 5395—1988《铝合金铸件 X 射线照相检验　长形针孔分级》、HB 5396—1988《铝合金铸件 X 射线照相检验　海绵状疏松分级》、HB 5397—1988《铝合金铸件 X 射线照相检验　分散疏松分级》、HB 6578—1992《铝镁合金铸件检验用参考射线底片》执行。

现介绍国际标准 ISO 9915：1992《铝合金铸件射线检测》中的“铝合金铸件缺陷验收的级别”与“铝合金铸件射线检测底片的分析与评定法”供读者参用。

关于铝合金铸件缺陷的验收级别，可参照表 5-73。

表 5-73　铝合金铸件缺陷的验收级别（摘自 ISO 9915:1992）

检验严格程度①	A		B		C		D	
参考厚度/mm	6.35	19.1	6.35	19.1	6.35	19.1	6.35	19.1
厚度范围/mm	<12	12～50	<12	12～50	<12	12～50	<12	12～50
ASTM 参考底片名称②	级别							
气孔	1	1	2	2	5	5	6	6
针孔(圆形)	1	1	2	2	5	5	7	7
针孔(长圆形)	1	1	3	3	4	3	6	6
缩孔	0	—	1	—	2	—	4	—
缩松(海绵状)	1	1	2	2	4	3	5	6
夹杂物(低密度)	1	1	2	2	4	4	6	6
夹杂物(高密度)	1	0	2	1	4	3	6	6

注：每种缺陷均分为 8 级。

① A 级最严格，对应于高应力铝合金铸件的水平；D 级对应于普通铝合金铸件的质量。

② 射线参考底片是以美国试验与材料协会（ASTM）出版的为基准。

关于铝合金铸件射线检测底片的分析与评定方法要点如下：

① 如果铸件被检部位射线检测底片与参考射线检测底片特征（黑度、影像质量）相似，则可将两者直接比较。但当两者特征不同时，应考察用观片灯进行对比观察，但对此无法制订严格的规则。

② 使用参考射线底片时，所考察的单元面积应为边长 5cm 的正方形。观片时应把含缺陷数量最多的区域框在单元面积内，然后将该区的影像与符合极限允许级别的参考射线底片的影像进行比较。

③ 如果被检铸件的射线检测底片所显示的一种缺陷的级别等于或小于参考射线检测底片的级别，则应认为该铸件射线检测合格；若被检铸件射线检测底片显示的缺陷级别大于参考射线检测底片的级别，则铸件应拒收。

④ 经常的情况是含有最大缺陷的区域内会有特征相同或不同的缺陷互相重叠。例如，在同一个单元面积内，可能会出现几个气孔，而相对应的参考射线检测底片上只含有一个尺寸可比的气孔。疏松和气孔也会以相同的方式互相重叠。

在此情况下，用户应与供方（铸造厂）商定采用下列适用于性质相同或不同的缺陷组合的评定方法。

a. 两种缺陷（性质相同或不同）的情况。若在单元面积内有两种缺陷，每种缺陷都达到最大验收极限，则应判定该铸件射线检测不合格。

示例：所显示的两种缺陷是气孔和针孔（见图 5-1）。所允许的级别：气孔为 3 级；针孔为 4 级。

图 5-1　出现两种缺陷的铸件

- 出现于图 5-1a 所示铸件中的两种缺陷，由于两种缺陷均达到最高允许级别，被评为不合格。
- 出现于图 5-1b 所示铸件中的两种缺陷，由于只有一种缺陷达到最高允许级别（气孔 3 级），而另一种缺陷（针孔 3 级）低一个级别，被评为合格。

铝合金铸件中出现两种缺陷情况下评定合格与不合格的判据，见表 5-74。

表 5-74　铝合金铸件中出现两种缺陷情况下评定合格与不合格的判据（摘自 ISO 9915:1992）

缺陷 2	缺陷 1		
	允许级别 +1	允许级别	允许级别 -1
允许级别 +1	R	R	R
允许级别	R	R	A
允许级别 -1	R	A	A

注：表中 A 表示评定铸件合格；R 表示评定铸件不合格。

b. 三种缺陷（性质相同或不相同）的情况。若在单元面积内至少有两种缺陷，且至少有两种缺陷的级别达到最大验收极限，则应判定该铸件射线检测不合格。

如果只有一个或一种缺陷的级别达到最大允许极限，则其余两个或两种缺陷至少有一个（种）应比极限级别低一级，才可认为该铸件射线检测合格。否则，铸件应拒收。

如果所有缺陷的级别均未达到最大验收极限，则应认为铸件射线检测合格。

示例：三种缺陷。

第一种情况，出现 3 个气孔。所允许的级别为 3 级（见图 5-2）。

图 5-2　出现三种缺陷的铸件（第一种情况）

- 出现于图 5-2a 所示铸件中的三种缺陷，由于有两种缺陷达到最高允许级别，被评为不合格。
- 出现于图 5-2b 所示铸件中的三种缺陷，由于一种缺陷达到最高允许级别，而另两种缺陷之一的级别不低于最高允许级别减 1 级，即 3 - 1 = 2 级，被评为不合格。

第二种情况，出现三种缺陷：气孔、海绵状微观缩松、针孔（见图 5-3）。所允许的合格级别：气孔为 3 级；针孔为 4 级；海绵状微观缩松为 3 级。

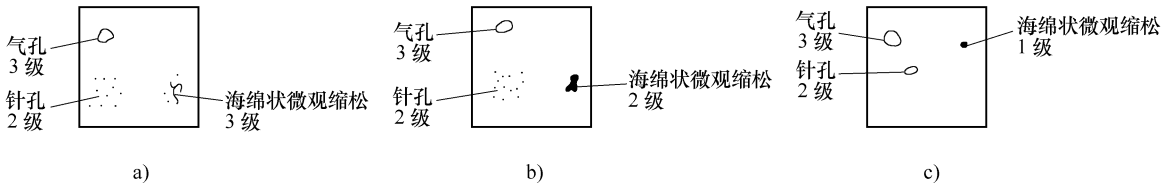


图 5-3　出现三种缺陷的铸件（第二种情况）

- 图 5-3a 所示铸件中出现三种缺陷，由于有两种缺陷达到最高允许级别，被评为不合格。
- 图 5-3b 所示铸件中出现三种缺陷，由于仅有一种缺陷达最高允许级别（气孔 3 级），另两种缺陷中的一种（针孔 2 级）低于限定级别减 1，即低于 4 - 1 = 3 级，被判为合格。
- 图 5-3c 所示铸件中出现三种缺陷，由于一个缺陷达到最高允许级别（3 级），其他两个缺陷中的一个为 1 级，低于其限制级别减 1，即低于 3 - 1 = 2 级，被评为合格。

铝合金铸件出现三种缺陷情况下评定合格与不合格的判据，见表 5-75 和表 5-76。

表 5-75　铝合金铸件出现三种缺陷情况下评定合格或不合格的判据

——缺陷 1：限定级别（摘自 ISO 9915:1992）

缺陷 3	缺陷 2		
	限定级别	限定级别 - 1	限定级别 - 2
限定级别	R	R	R
限定级别 - 1	R	R	A
限定级别 - 2	R	A	A

注：A 表示评定铸件合格；R 表示评定铸件不合格。

表 5-76　铝合金铸件出现三种缺陷情况下评定合格或不合格的判据

——缺陷 1：限定级别 - 1（摘自 ISO 9915:1992）

缺陷 3	缺陷 2	
	限定级别 - 1	限定级别 - 2
限定级别 - 1	A	A
限定级别 - 2	A	A

注：A 表示评定铸件合格；R 表示评定铸件不合格。

c. 四种缺陷（性质相同或不相同）的情况。如果四种缺陷出现在同一个 5cm × 5cm 的单元面积内，则应判定该铸件射线检测不合格。

2. 超声波检测法

超声波检测法可发现形状简单、表面平整铸件内的缩孔、缩松、疏松、夹杂物、裂纹等缺陷，并可确定缺陷的位置和尺寸，但较难判定缺陷的种类。

超声波检测法有脉冲反射法、穿透法和谐振法三种。用得最多的是脉冲反射法，它是根据反射波的强弱、位置及波形来判断铸件内部（或表面）缺陷的有无、大小和位置，并结合其他情况来确定缺陷的性质的。

用超声波检测法检验铸件内部（或表层）缺陷时，常根据实际情况的需要配用各种不同规格的探头对铸件用接触法、水浸法或斜探头法进行检测，但是所需铸件表面不能太粗糙。

为了改善探头与铸件的接触，应将检测铸件的表面加工到 $Ra3.2\mu m$ 左右。在难以利用机械加工方法达到此要求时，至少应细致的清除其表面的氧化皮、粘砂、锈蚀、斑痕和过大的高低不平，可利用砂轮或砂纸等进行打磨。如果表面较粗糙，则应采用其他办法补救，比如提高仪器的灵敏度、加浓耦合剂、减低探头移动速度等。

通常，用超声波检测仪检验铸件内部（或表层）缺陷时，应该在铸件表面上涂上一层液态的耦合剂（贴合剂），然后将探头压在铸件表面上。当被检铸件表面光滑时，可用机油、糨糊和水作耦合剂；当被检铸件表面粗糙时，可用甘油和水玻璃作耦合剂。

采用脉冲反射进行超声波检测时的基本操作方法有两种，一是采用直探头的纵波检测；另一是采用斜探头的横波检测。其操作程序见表 5-77，铸件内部缺陷反映在示波屏上的脉冲特点及其形状说明见表 5-78。

表 5-77　超声波检测的操作程序（供参考）

序号	程　　序	说　　明
1	检测前的准备	1）检测之前必须了解检测要求、被检测铸件的结构特点和施工工艺等，以便确定检测工艺和供判断时参考。此外，还应对铸件进行清理（去除氧化皮、污垢等） 2）检查仪器、电缆、探头，准备好试块（当量缺陷大小用的和校验仪器起始灵敏度用的试块）、耦合剂，以及记录用具和量具等
2	检测部位的确定	除了百分之百应经检测的铸件外，凡按一定百分率检测的铸件，其部位应由有关部门（工艺、检验、订货部门）共同确定。通常选在应力集中或从工艺角度来看不易保证质量的地方。对铸件而言，则应选在厚薄交接处、壁厚处以及内浇口附近的部位等
3	确定检测规范	主要包括选择波型和工作频率，确定检测方法和探头移动方式、速度、压力等。它关系到声接触好坏，是否能发现缺陷，并且是检测灵敏度高低的重要因素。其移动方式以波型选定如图 a 和图 b 所示 a）纵波检测时探头移动方式 b）横波检测时探头移动方式

（续）

序号	程　序	说　明
3	确定检测规范	在纵波检测时，为避免探头在制造时形成的偏斜，必须做左右扭动；在横波检测时，必须做左右 10°～15°转动。这对有焊纹的铸件检测尤为重要，因为这样能发现与焊缝长度方向平行的缺陷 无论采用哪种移动方式，其移动速度和压力都必须根据被检测铸件表面粗糙度来决定，表面粗糙度值大，速度可快些，压力可减轻。反之，则速度慢些，压力应大些。以铸件表面达 $Ra3.2\mu m$ 为例，其移动速度可在 40～60mm/s，压力可在 0.02～0.03MPa
4	调整仪器进行检测并作必要记录，进行质量判断	仪器灵敏度是否够用，以及是否确定得恰当，都需要在检测前加以校验和确定。校验时可借助于试块上的人造缺陷进行检测，以观其反射量大小。对纵波校验结果，如能发现直径为 $\phi1.5$mm 人造平底孔缺陷或能发现直径为 $\phi20$mm 圆棒侧面上深为 1mm 人造缺陷，且反射波峰高于 40mm；对横波校验结果，如能发现直径为 $\phi1$mm 人造平底孔缺陷，且反射波也大于 40mm，则这样的灵敏度——起始灵敏度，就能适用于实际检测。校验结果若达不到上述灵敏度要求，如因探头衰老或有毛病，就应更换探头；如属仪器元器件衰老，则应更换仪器元器件 为不使缺陷漏检，便于识别有无缺陷，以及便于确定缺陷位置起见，在检测前应找出和确定铸件长度或宽度的声程（亦称底波），并将声程位置标记在仪器荧光屏上。横波检测时无声程，但也应通过比较法或计算法来确定其声程 最后，对探测结果进行分析判断，并给出质量结论

注：1. 超声波检测的缺陷定位方法很多，比较实用的如下：纵波检测定位有计算法、几何刻度法、电子刻度法等；横波检测定位有计算法、三角试块比较法、相对探测法、交叉探测法等。

2. 超声波检测的缺陷大小确定（定量）方法也很多，常采用的有当量法和实际法：用当量法确定缺陷大小的类型有试块比较法、脉冲高度工作曲线法、脉冲高度百分比法、灵敏度曲线法、铸件打孔法等；用实际法确定缺陷大小的类型有半波高度法、自然缺陷比较法（实物比较法）、多面探测法、脉冲消失法等。

3. 用超声波检测判断铸件内部缺陷的性质是比较困难的，因为不论何种性质的缺陷，如夹渣、气孔、裂纹等，都同样会形成声波反射，在示波器上的脉冲形状区别又不太明显，因此应从其他方面进行综合判断才能得出正确的结论。

表 5-78　超声波检测时铸件内部缺陷反映在示波屏上的脉冲特点及其形状说明（供参考）

缺陷名称	反映在示波屏上的脉冲特点及其形状说明
裂纹	裂纹是一种金属的断裂，内部含有气体，有一定的方向性，并呈长条线性分布。在检测发现这种缺陷时，如与声束垂直，则反射的脉冲明显、尖锐、强烈。但当其分布方向与声束相平行时，就不易被发现。因此在检测时，应从多方面投影，以便使缺陷在最大程度上与声束垂直，才有可能发现分布在各方向上的裂纹
气孔	与裂纹一样，其中也含有气体。气孔的反射界面规则而光滑，因此在声束与其反射界面完全垂直时，其反射脉冲特点与形状同裂纹相似，也是呈现明显、尖锐、强烈的特征。但是，因为气孔多是圆形或椭圆的，故当探头稍许移动，脉冲立即消失。且当探头从各方向检测时均能发现，同时反射脉冲特征也变化较小。而裂纹则不然，由于裂纹呈方向性较强的线性分布，在探头移动过程中，其反射脉冲并非立即消失，同时从各方面检测时，也并非可以全都被发现的。这样便可以根据反射脉冲特征以及缺陷大小，来分辨气孔与裂纹 在检测中如发现具有上述的特征，则可判断为气孔。若有单点、密集或连续的反射时，则可分别判断为单个气孔、密集气孔或链状气孔。值得注意的是，不应将链状气孔错判为裂纹。链状气孔的声程除在气孔处造成反射脉冲外，尚有一部分沿气孔间的不连续处继续传播至底面，而造成底面反射脉冲；而裂纹则不然，因为它是一种金属的不连续现象，故当其面积较大（大于声束扩散面），且又垂直于声束时，则会造成大部分声波的反射，而底面脉冲大为减弱，甚至造成无底面反射
缩孔	孔内含有气体，当其有效反射面大于声束扩散面时，由于声程被全反射的结果，而无底面脉冲反射。从反射脉冲特征来说，也是明显、尖锐、强烈的。但是，对缩孔缺陷之判断，除上述依据外，还应利用多面投影法进行判断
包砂与夹渣	缺陷内均含有少量气体和非金属夹杂物。由于这些介质对声能有较大的吸收作用，又因反射界面比较单纯，有的也比较光滑，所以从脉冲反射特征来看，介于明显、尖锐、强烈与迟钝、缓慢、矮小之间。当夹杂物与金属间的交界面异常不规则，且又与金属间紧密粘连时，则会出现后者情况 包砂与夹渣同样有单个、密集或链状几种形态。检测时在遇到具有上述缺陷特征时，应观看在示波屏上出现的是单点、密集点还是链点的脉冲，以便加以区别
缩松	利用超声检测时，在绝大多数情况下，既无底面反射脉冲，也无缺陷反射脉冲，而在示波屏的扫波线上呈蠕动现象，这在很多情况下可以比较准确地判断为缩松

1）对于一般用途铸钢件的超声检测应按标准 GB/T 7233.1—2009《铸钢件　超声检测　第 1 部分：一般用途铸钢件》执行。

该标准中规定了能检测允许的最大缺陷尺寸如下：

① 基本垂直于检测面的平面型缺陷允许限值如图 5-4 所示。

应用图 5-4 时应注意以下事项：

a. 1 级不允许有能测量尺寸的缺陷（延伸性缺陷）。

b. 壁厚方向上单个缺陷的最大尺寸不能超过壁厚的 10%，缺陷的尺寸不大于 10mm 的除外，壁厚方向上缺陷累加尺寸不能超过壁厚的 25% 或 20mm。

c. 两个缺陷之间的最大距离不大于 10mm，应作为一个垂直或侧向表面的单个缺陷或缺陷区域来评定。

d. 对能测量长度而不能测量壁厚方向上尺寸的缺陷区域，不能测量的尺寸应认定为 3mm，面积按下式计算：

$$A = B \times L$$

式中　A——缺陷面积（mm^2）；

B——定义宽度（mm），$B = 3mm$；

L——测量长度（mm）。

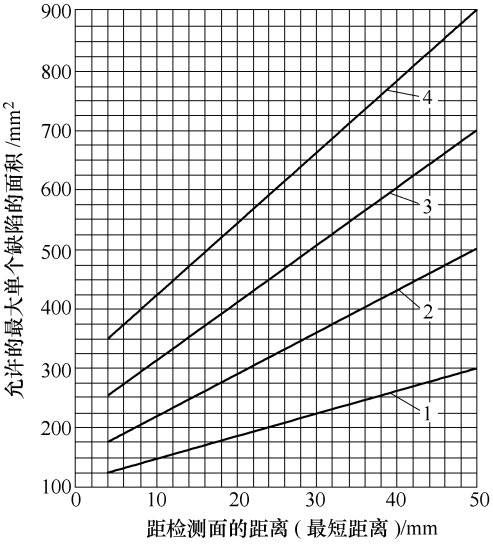


图 5-4　用斜探头检测基本在壁厚方向上单个平面型缺陷的允许限值

1—2 级　2—3 级　3—4 级　4—5 级

注：1 级不允许有能测量尺寸的缺陷。

② 体积型缺陷允许限值见表 5-79。

③ 作为超声检测补充的射线检测所允许的最大缺陷。除非订货时另有协议，当完成射线和超声联合检测后，确定缺陷位于内层时，缺陷允许降低一个级别，例如射线检测 3 级代替 2 级。

2）对于高承压铸钢件的超声检测应按标准 GB/T 7233.2—2010《铸钢件　超声检测　第 2 部分：高承压铸钢件》执行。

该标准中规定了在特殊外层和准备焊接区不能检测尺寸的缺陷（点状缺陷），不应超过表 5-80 的限值。

表 5-79　体积型缺陷允许的限值（摘自 GB/T 7233.1—2009）

项　目	层	质量等级												
		1	2			3			4			5		
被检部位的铸钢件厚度/mm	—	—	≤50	>50~100	>100~600	≤50	>50~100	>100~600	≤50	>50~100	>100~600	≤50	>50~100	>100~600
不能测量尺寸的反射（点状缺陷）														
最大的平底孔当量直径/mm	外层	3	①									不作评定		
	内层													
在 100mm×100mm 评定框内被记录的缺陷数量	外层	3②	3	5		6		6	不作评定					
	内层		不作评定											

（续）

项　目	层	质量等级											
		1	2			3			4			5	
能测量尺寸的反射（延伸性缺陷）													
最大的平底孔当量直径/mm	外层	3	①									不作评定	
	内层												
在壁厚方向上缺陷的最大尺寸	外层	不允许	层厚度的 15%									层厚度的 20%	
	内层		壁厚的 15%									壁厚的 20%	
不能测量宽度的缺陷的最大长度/mm	外层		75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	内层		75	75	100	75	75	120	100	100	150	100	100	150
单个最大的面积③、④/mm^2	外层		600	1000	1000	600	2000	2000	2000	2000	2000	3000	4000	4000
	内层		10000	10000	15000	15000	15000	20000	15000	15000	20000	20000	30000	40000
缺陷的总面积③/mm^2	外层		10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	15000	15000	15000	20000	20000
	内层		10000	15000	15000	15000	20000	20000	15000	20000	20000	30000	40000	40000
评定区域/mm^2	—		150000≈（390mm×390mm）			100000≈（320mm×320mm）							

① 壁厚不超过 50mm，平底孔直径不能超过 8mm。壁厚 >50mm，在外层平底孔直径 >8mm 时，供需双方协商解决。

② 内外层累积。

③ 间距 <25mm 的显示作为一个缺陷。

④ 如果内层单个缺陷，壁厚方向上尺寸不超过壁厚的 10%（如中心缩松）。质量等级 2 ~ 4 级，允许超过规定数值的 50%。质量等级 5 级，没有限制。

表 5-80　在特殊外层和准备焊接区不能测量尺寸的缺陷（点状缺陷）允许限值

（用直探头或斜探头扫查）（摘自 GB/T 7233.2—2010）

质量等级①	评定的最小平底孔当量直径或横孔直径		100mm×100mm 评定框内缺陷允许限值③	
	FBH②/mm	SDH②/mm	最大数量	最小距离/mm
1	1.5	3④、⑤（DAC－6dB）	6	12
2	1.5	3④、⑤（DAC－6dB）	12	10
3	2	3④	12	8

① 1 级通常用于焊接准备区，特殊外层的质量等级由需方指定。

② FBH = 平底孔，SDH = 横孔。

③ 如果缺陷间距 >15mm，允许不计数量。

④ 斜探头（4 ~ 5MHz，晶片尺寸接近 10mm）。

⑤ 直径 0.75mm 的横孔可以用直径 3mm 的横孔代替，把直径 3mm 的横孔的距离波幅校正曲线降低 50%。

该标准中还规定的能检测允许的缺陷（延伸性缺陷）尺寸如下：

① 平面型缺陷的尺寸不应超过图 5-5 所示的限值。

使用图 5-5 应注意以下事项：

a. 单个缺陷在壁厚方向上的最大尺寸不能超过壁厚的 10%，缺陷的尺寸不大于 10mm 的除外，壁厚方向上缺陷累加尺寸不能超过壁厚的 25% 或 20mm。

b. 两个缺陷之间的最大距离不大于 10mm 的应作为一个壁厚方向上或侧向表面的单个缺陷或

缺陷区域来评定。

c. 对能测量长度而不能测量壁厚方向上尺寸的缺陷区域，不能测量的尺寸应认定为3mm，缺陷的面积应按下式计算：

$$A = B \times L$$

式中　A——缺陷面积（mm^2）；

B——定义宽度（mm），$B = 3mm$；

L——测量长度（mm）。

d. 随着声程距离的增加，声束直径变大，不宜按照图 5-5 测量小平面型缺陷的尺寸，通常应在 30mm 的外层测量这些尺寸，并使用聚焦探头，如双晶探头等。

② 体积型缺陷的尺寸，外层不能超过图 5-6的限值，内层不能超过图 5-7 的限值。

使用图 5-6 应注意以下事项：

a. 缺陷在壁厚方向上最大允许尺寸应是外层厚度的 15%。

b. 两个缺陷之间的最大距离不大于 10mm 的应作为一个壁厚方向上或侧向表面的单个缺陷或缺陷区域来评定。

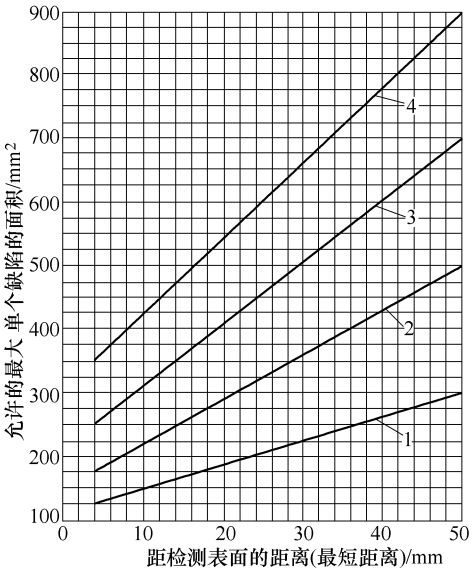


图 5-5　用斜探头检测基本在壁厚方向上单个平面型缺陷的允许限值

1—2 级　2—3 级　3—4 级　4—5 级

注：1 级不允许有能测量尺寸的缺陷。

c. 对能测量长度而不能测量壁厚方向上尺寸的缺陷区域，不能测量的尺寸应认定为 3mm，缺陷的面积应按下式计算：

$$A = B \times L$$

式中　A——缺陷面积（mm^2）；

B——定义宽度（mm），$B = 3mm$；

L——测量长度（mm）。

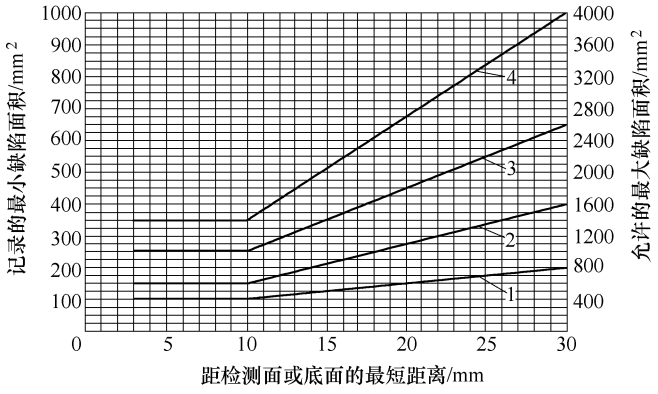


图 5-6　用直探头检测位于外层能测量尺寸的体积型缺陷的记录和允许限值

1—2 级　2—3 级　3—4 级　4—5 级

注：1 级不允许有能测量尺寸的缺陷。

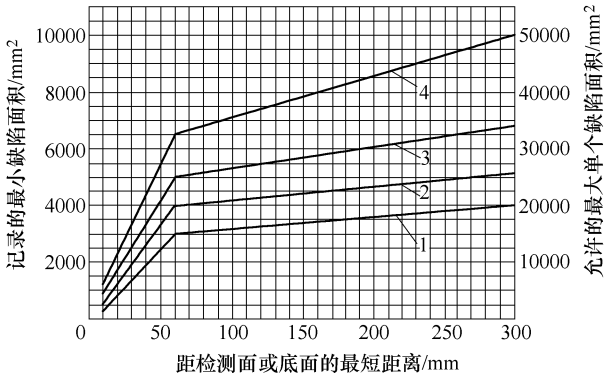


图 5-7　用直探头检测位于内层能测量尺寸的体积型缺陷的允许限值

1—2 级　2—3 级　3—4 级　4—5 级

注：1 级不允许有能测量尺寸的缺陷。

使用图 5-7 应注意以下事项：

a. 缺陷在壁厚方向上的最大允许尺寸应是壁厚的 15%。

b. 两个缺陷之间的最大距离不大于 20mm 的应作为一个壁厚方向上或侧向表面的单个缺陷或缺陷区域来评定。

c. 对能测量长度而不能测量壁厚方向上尺寸的缺陷区域，不能测量的尺寸应认定为 3mm，缺陷面积应按下式计算：

$$A = B \times L$$

式中　A——缺陷面积（mm^2）；

B——定义宽度（mm），$B = 3mm$；

L——测量长度（mm）。

d. 除非订货时另有协议，当完成射线和超声联合检测后，确定缺陷位于内层，缺陷允许降低一个级别，例如射线检测 3 级代替 2 级。

3）铸铁件内部缺陷的超声波检测可参照 GB/T 7233. 1—2009 进行。但是，需要指出的是铸铁件内的石墨本身相当于裂纹或夹渣缺陷，对超声波检测的灵敏度有影响，尤其是灰铸铁中的片状石墨干扰更大。因此，对于较厚的铸铁件，尤其是灰铸铁件，由于能量衰减很大，超声波检测的灵敏度较低。但根据这一特点，可以用超声波检测方法判断铸铁中石墨的类型和力学性能。

标准 JB/T 9219—1999《球墨铸铁　超声声速测定方法》，适用于球墨铸铁超声声速的测定，其他铸铁也可参用。

通常，推荐用宽频带放大和窄脉冲探头的仪器来测定。在不具备这种仪器测定时，建议尽可能用穿透法来检测，但试样厚度不小于 30mm 时，则应采用反射法来检测。

用穿透法检测时应尽可能使接收的超声脉冲前沿饱和。

用脉冲反射法检测厚度小于 15mm 的薄件时，可用多次反射法取在试件中超声波往返一次传播时间的算术平均值来计算声速。

由于声速值的误差取决于厚度和声时的测量误差，所以薄件应避免在毛坯面上检测。

进行试件厚度测量时，应保持测厚相对误差小于 0. 5%。

在实体铸件上检测时，应选有代表性的部位定点检测。

在没有示波管监视装置的仪器上用反射法检测时，如果发现显示值异常，应设法验证。

检测时，校正试块与被测试件的温度差不宜超过 30℃。

此外，还应注意，用声速法评价球墨铸铁质量时，要求球墨铸铁生产工艺稳定，并根据生产条件建立起各自的声速与力学性能、球化程度间的对应关系，而且只有在基体相似的情况下才能评价球化程度和力学性能。

5.4　铸件使用质量检验

铸件使用质量的好坏直接影响到铸件乃至机电设备的使用寿命，因此常常需要进行相关的使用性能检验，如致密性能、耐磨性能、抗磨性能、耐热性能、耐高低温力学性能、耐腐蚀性能等的测试。

5.4.1　铸件致密性测试

用加压试验法能检验铸件的致密性能，并发现铸件内部有无疏松、针孔、穿透裂纹及穿透气孔等缺陷。铸件加压试验之前，应经目视检验合格。

加压试验法是把一定压力的液体或气体通入在工作时受压的壳体类铸件的内腔。当铸件存在内部缺陷时，受压的液体或气体便可能通过铸件的缺陷处渗漏出来。这样就可简便地确定铸件有无穿透性的缺陷以及它们的位置。

由于加压介质的不同，故试验方法可分为液压试验和气压试验，见表 5-81。

表 5-81　加压试验法分类及说明（供参考）

分　类	介　质	说　明
液压试验	水	水价廉，但容易使铸件锈蚀 试验时，所施加的压力通常为铸件工作压力的 1.5 ~ 2 倍，同时还需要保持一段时间（一般为 15 ~ 30min），以观察其压力是否下降
	煤油	粘度和表面张力小，容易穿透铸件壁上不致密处渗出，因此可在小压力甚至不加压力的情况下进行试验，并且还不像水那样容易使铸件锈蚀，但成本较高
气压试验	压缩空气 （压力不超过 980kPa）	比水的渗透能力强 在进行气压试验时，为了便于发现空气的渗漏，可以把铸件浸入水中或在铸件表面涂刷肥皂水，这样根据水中上升的气泡或铸件表面的肥皂水泡，便可很方便地确定缺陷所在 由于气压试验具有一定的危险性，在进行试验时要遵守有关的安全条例

5.4.2　铸件耐磨性能测试

铸件耐磨性能（又称减摩性能）是指铸件在润滑条件下减少摩擦，保持连续油膜（即保持润滑性），抵抗擦伤或咬合的能力。

耐磨性能通常用铸件的单位时间、单位行程或距离、单位质量、单位面积的磨损量（质量、体积、尺寸）或磨损到不能使用的时间（或距离）来衡量。其测试方法见表 5-82 ~ 表 5-84。

表 5-82　MM 型磨损测试方法（供参考）

测试原理	在 MM 型磨损试验机上，在一定试验力及转速下对规定形状和尺寸的试样进行干摩擦或在液体介质中润滑摩擦，经规定转数和时间后，确定其磨损量及摩擦因数
测试设备	MM 型磨损试验机
试样	试样尺寸见图 5-8 和图 5-9

（续）

试样转速	1）可根据实际工作条件确定 2）可采用以下转速： 下试样：（400 ± 10）r/min、（200 ± 10）r/min 上试样：360r/min、180r/min
测试要点	1）滚动、滑动复合摩擦磨损试验的上、下试样均采用圆环形试样 2）滑动摩擦磨损试验的上试样可为蝶形试样，下试样为圆环形试样 3）经双方协议，允许采用其他形状和尺寸的试样 4）在试验前可对试样进行磨合。建议用粘度较低的润滑剂，在 0.16kN 或框架自重产生的试验力下进行磨合，一般为 10000 ~ 20000r，以达到稳定的试验起始点为宜 5）试验前后均应使用适当清洗液清洗试样，并应保证前后两次操作方法相同。建议先用三氯乙烷，然后再用甲醇清洗 6）应对清洗后的试样进行烘干，烘干温度一般为 60℃，保温 2h。在烘干室冷却至室温后，放入干燥器中，2h 后立即进行称量 7）用感量达 0.1mg 的分析天平称量
数据处理	1）取三对试样试验结果的平均值作为一个试验数据 2）质量磨损值按下式计算： $m = m_0 - m_1$ 式中　m——质量磨损（mg） m_0——磨前质量（mg） m_1——磨后质量（mg） 3）摩擦因数按下式计算： $\mu = F_m / F$ 式中　μ——摩擦因数 F_m——摩擦力（N） F——正压力（N）

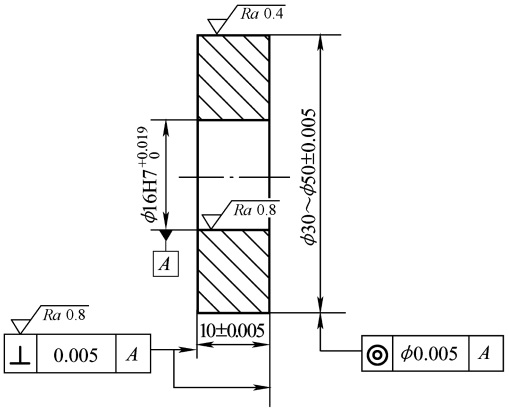


图 5-8　圆环形试样

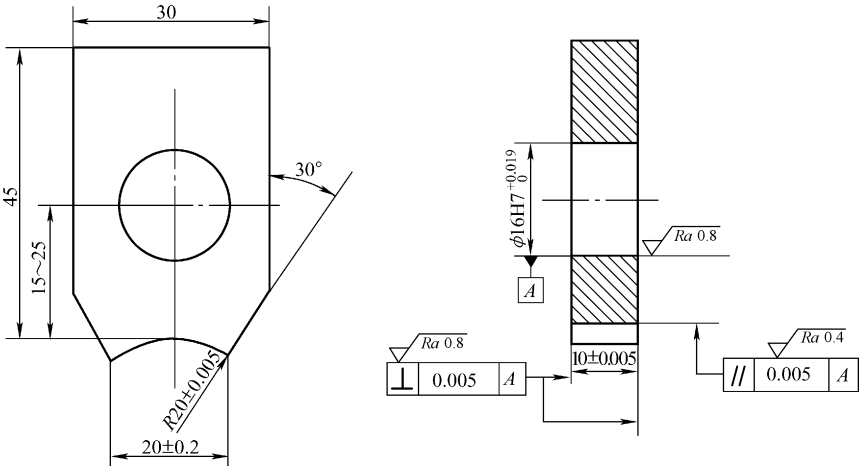


图 5-9　蝶形上试样

表 5-83　环块型磨损测试方法（供参考）

测试原理	块形试样与规定转速的环形试样相接触，并承受一定试验力，经规定转数后，用磨痕宽度计算块型试样的体积磨损，用称重法测定环形试样的质量磨损，以评定试验材料的耐磨性。该方法为切入式滑动摩擦
测试标准	GB/T 12444—2006《金属材料　磨损试验方法　试环-试块滑动磨损试验》
试样	试样尺寸见图 5-10 和图 5-11
环形试样转速	应接近实际工作条件，一般为 5 ~ 4000r/min
测试要点	1）保证块形试样边缘与环形试样边缘平行 2）清洗、烘干和称量同 MM 型磨损试验
测试结果处理	1）在块形试样磨痕中部及两端测量磨痕宽度。取三次测量的平均值作为一个试验数据 2）磨痕两端宽度之差大于平均宽度值的 10%，试验数据无效 3）试样体积磨损按下式计算： $V_K = D^2 b_1 / 8 \{2\arcsin(b/D) - \sin[2\arcsin(b/D)]\}$ 式中　V_K——体积磨损（mm^3） D——环形试样直径（mm） b——磨痕平均宽度（mm） b_1——块形试样宽度（mm） 4）环形试样体积磨损按下式计算： $V_h = m/\rho$ 式中　V_h——体积磨损（mm^3） m——环形试样的质量磨损（mg） ρ——环形试样的密度（g/cm^3） 注：如果试验后环形试样的质量增加，则不能用质量称量法计算体积磨损 5）摩擦因数计算同 MM 型试验

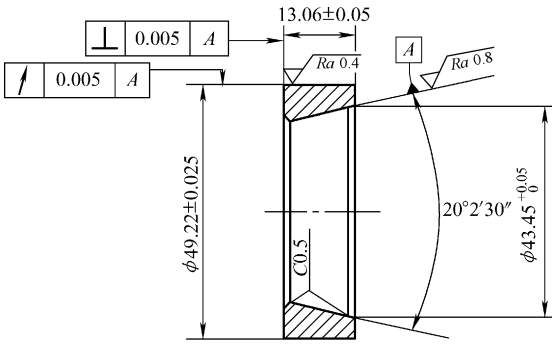


图 5-10　环形试样

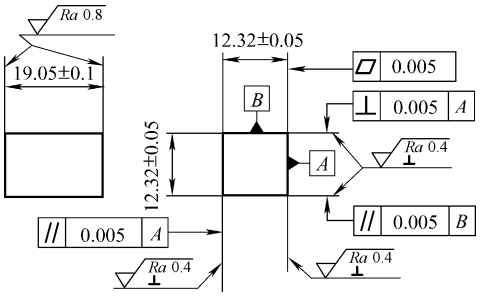
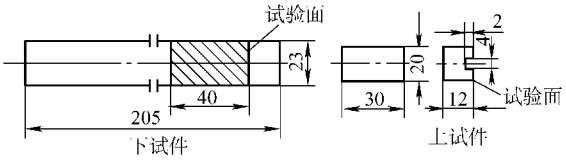
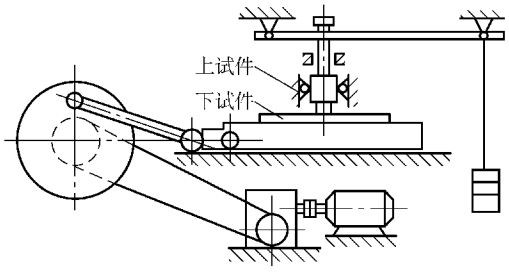


图 5-11　块形试样

表 5-84　铸铁床身、缸套、活塞环磨损测试方法（供参考）

铸件名称	磨损测试方法
铸铁床身	1）采用 MS-3 型往复式磨损试验机，进行往复润滑磨损 2）试样见下图  3）测试规范 ①行程为 100mm，60 次/min；载荷为 0.70MPa ②润滑：L-AN32 全损耗系统用油，加入质量分数为 0.4% 的 Cr_2O_3（粒度为 800 ~ 1000 号） ③加油：每隔 5h 加油一次，加新油前揩净试验面 ④时间：每隔 10h 称量一次，一般称 2 ~ 4 次 ⑤称量：用感量为 0.0001g 的精密天平称量上试件 试验机可采用液压驱动或机械传动（见下图），要求运动平稳，换向冲击小，试件不摆动 试件先在室温下油浸两天，预磨时间不定，可用深红丹检查试件是否均匀接触，试件磨削条纹去掉后，则开始计时  MS-3 往复式磨损试验机传动示意图 4）测试结果：将试验结果折合成运行行程 15km 的上试件质量磨损毫克数，即用 mg/15km 表示

（续）

铸件名称	磨损测试方法
铸铁缸套	1）采用 MS-3 型往复式磨损试验机 2）采用 KMS76-1 型缸套快速模拟磨损试验机（由缸套上切取实物试样）
铸铁活塞环	1）采用 KMS76-1 型活塞环快速模拟磨损试验机（由活塞环上切取实物试样） 2）采用回转磨损试验机 ①由活塞环上直接切下实物试样，用感量为 0.0001g 的天平称量 ②摩擦副的磨轮由相配合的缸套铁液浇注，经淬火—回火，硬度为 38 ~ 41HRC ③磨轮做 200r/min 旋转，试样作 60 次/min 往复运动

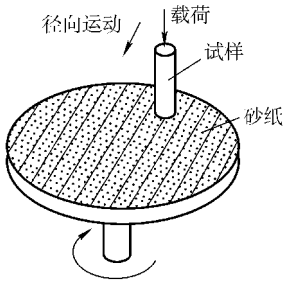
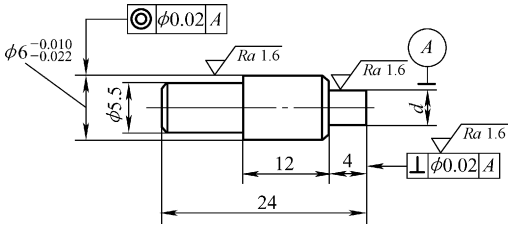
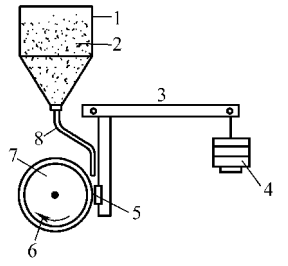
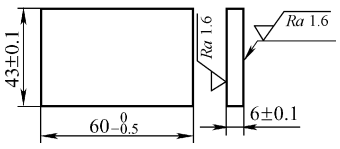
5.4.3　铸件抗磨性能测试

铸件抗磨性能一般是指铸件在有磨料的条件下工作时，抵抗磨损的能力。

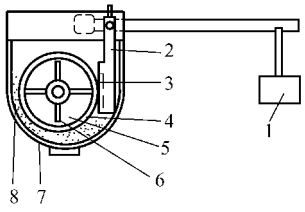
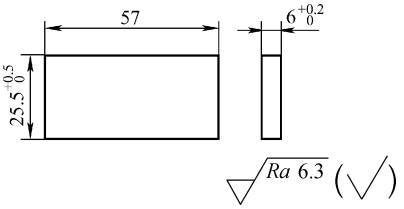
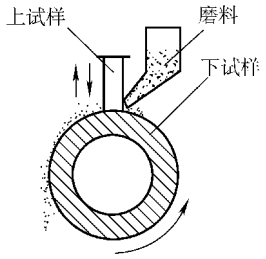
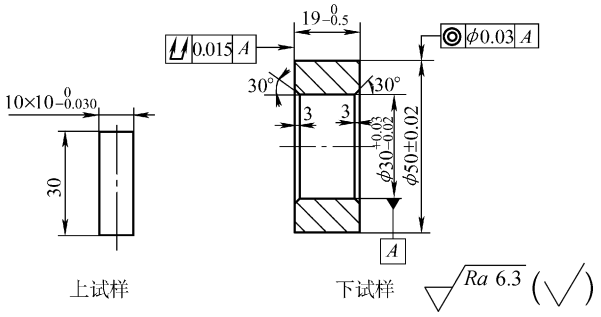
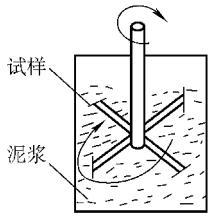
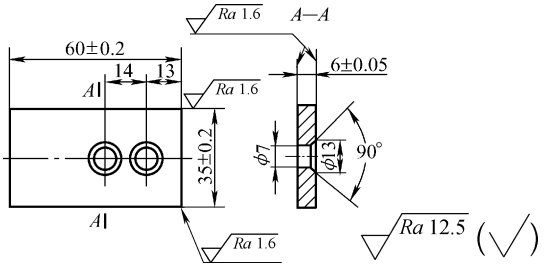
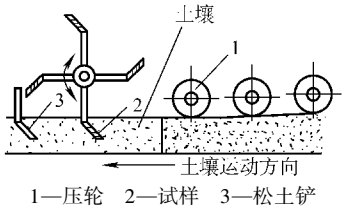
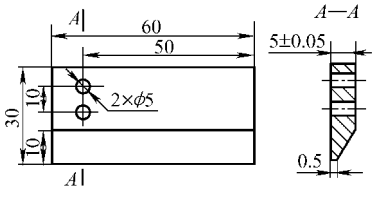
抗磨性能的测试方法有两种：一是装机运转试验，测定铸件的使用寿命，以使用时间（y、h）或磨耗及破碎率来衡量抗磨性能的好坏；二是采用抗磨性能试验机，模拟机件的工作条件，测定铸件在单位时间（行程）内的磨损量（质量、尺寸、体积等）。

表 5-85 列举了几种铸铁抗磨性能的测试方法，供参考。

表 5-85　几种铸铁抗磨性能的测试方法（供参考）

试验机名称及型号	试验机工作原理	试样尺寸及要求
ML-10 型销盘式磨损试验机	 夹在圆盘上的砂纸绕轴心旋转，试样在载荷作用下压在砂纸上，并向圆心进给，试样在砂纸上走出螺旋线轨迹，完成磨损过程	 $d = 2 - 0.01$ $d = 3 - 0.01$ $d = 4 - 0.01$
MLG-23 型干砂橡胶轮磨料磨损试验机	 1—漏斗　2—磨料　3—杠杆 4—砝码　5—试样　6—橡胶轮缘　7—轮毂　8—导管 旋转着的橡胶轮带着落下的磨料擦过试样表面，实现磨损过程	 6 个面研磨，两个 $Ra = 1.6\mu m$ 的面为测试面

（续）

试验机名称及型号	试验机工作原理	试样尺寸及要求
MLS-23 型湿砂橡胶轮磨料磨损试验机	 1—砝码　2—夹具　3—试样 4—橡胶轮缘　5—钢轮芯　6—叶片 7—槽箱　8—砂浆 试验时，旋转的橡胶轮将砂浆中的砂粒带入橡胶轮与试样之间，使磨料擦过试样表面，实现磨损过程	试样同 MLG-23，也可采用如下试样： 
MLD-10 型动载磨料磨损试验机	 试验时，磨料落入上试样和下试样之间，下试样做旋转运动，上试样做上下往复运动或静压在下试样上，以实现动载或静载磨损方式	
HLSH-1 型磨料磨损试验机	 试样在夹具上绕轴作圆周运动，与泥浆槽中的泥浆作用形成磨损	
JMM 型土壤磨料磨损试验机	 1—压轮　2—试样　3—松土铲 工作时，被压轮 1 压实的土壤，在回转盘的带动下与试样 2 做相对运动，试样在土壤中经受磨损。夹具上的 4 个试样定期换位	

5.4.4　铸件耐热性能测试

铸件耐热性能是指铸件在高温工作时抵抗氧化、生长、热变形、开裂的能力。

铸件的抗氧化性是指在高温工作时抵抗高温氧化气氛腐蚀作用的能力。可用在某一温度下单位时间（h）内试样单位面积（m^2）上的增重（g），即氧化速度来表示，单位为 g/（m^2 · h）。

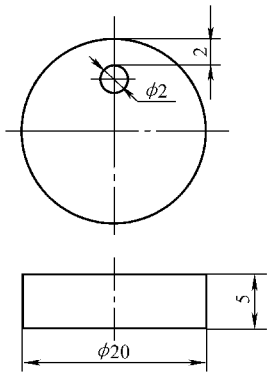
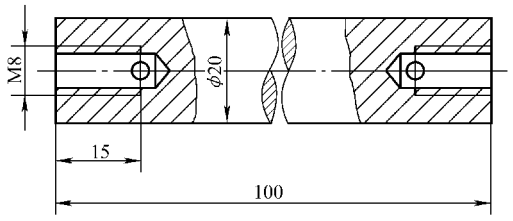
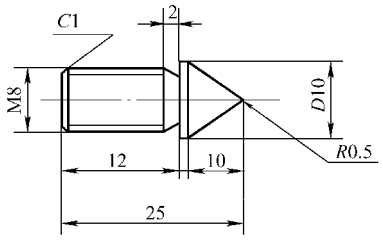
铸件的抗生长性是指在高温工作时抵抗体积不可逆长大的能力。可用试样加热到某一温度，保温 150h，然后降到初始温度，试样长度增长的百分数表示。

铸件的抗热变形性是指在高温工作时抵抗发生变形的能力。可用蠕变极限和持久强度来衡量。

铸件的抗开裂性是指在高温工作时抵抗表面出现裂纹的能力。铸件抗开裂性与抗氧化性、抗生长性有着密切关系。通常，抗氧化性和抗生长性好的铸件（合金），亦具有好的抗开裂性。

表 5-86 列举了几种抗氧化性和抗生长性的测试方法。

表 5-86　几种抗氧化和抗生长的测试方法（供参考）

测试条件	1）对测试用炉要求：炉子装有自动调温装置，其炉温波动不超过 ±5℃，炉内温差不超过 ±5℃，并有足够的氧化气氛 2）对试样要求： 抗氧化性试样采用圆饼形试样，如图 a 所示 抗生长性试样采用圆柱形试样，如图 b 所示，两端应保持平行。试样两端可装入测量螺钉，其尺寸如图 c 所示。如不用测量螺钉，可将试样端面镀铬或镀镍，此时试样两端无需打螺孔 抗氧化性和抗生长性同时测定时用圆柱形试样，尺寸为 ϕ15mm × 30mm  a) 抗氧化性试样  b) 抗生长性试样  c) 测量螺钉 上述三种试样，要求试样表面磨光，表面粗糙度应小于 Ra1.6μm。计算试样表面时，采用其各边面积之总和。测试前，必须用乙醇及乙醚将试样去脂干燥

（续）

测试方法	1）抗氧化能力微测法：把图 a 所示试样用铂丝穿过 ϕ2mm 小孔，悬挂在感量为 0.0001g 的精密天平上，试样垂挂在电阻炉内加热氧化 2）抗氧化能力通用测量法：由成品铸件或试样上取样，做成圆柱形（ϕ12.5mm × 25mm）或圆饼形（ϕ20mm × 5mm）试样。将试样放在瓷舟或石英支架上，然后进行升降温试验。用感量为 0.0001g 的天平称量加热前后的质量，再换算出单位面积单位时间的增重——氧化速度 3）抗氧化和抗生长能力同测法：将 ϕ15mm × 30mm 的圆柱形试样置于瓷舟上，装入电炉，加热至 1050℃，保温 20h，整个过程保证炉内是自然气氛，如此进行 7 个周期，共计 140h，每周期测一次质量、尺寸，质量精度 0.0001g，尺寸精度 0.0001mm，同时测出抗氧化和抗生长能力 4）抗生长能力微测法：用 ϕ8mm × 80mm 圆柱形试样，并在试样上套两个不锈钢丝圈作支撑，然后将试样装到石英管中，石英管内径为 ϕ10mm，其上有 8 ~ 12 个 ϕ3mm 的小孔，以便使试样与空气接触良好，然后插入 ϕ5 ~ ϕ6mm 装有热电偶丝的石英管，该管一端顶住试样，另一端接触千分表，可测出加热过程中试样轴向长大量
测试数据的选取方法	在一定温度、一定时间的抗氧化性和抗生长性测试，应由 3 ~ 5 个平行测试数据的平均数确定

1）耐热铸铁的抗氧化性和抗生长性的测试方法应按标准 GB/T 9437—2009《耐热铸铁件》的附录 C 和附录 D 执行。耐热铸铁抗氧化性和抗生长性的等级评定见表 5-87（供参考）。

表 5-87 耐热铸铁抗氧化性和抗生长性的等级评定（供参考）

等 级	抗氧化能力（加热 150h）/[g/(m² · h)]	抗生长能力（加热 150h）(%)	备 注
1	≤0.1	≤0.05	完全耐热
2	>0.1 ~ 1.0	>0.05 ~ 0.15	耐 热
3	>1.0 ~ 3.0	>0.15 ~ 0.5	次耐热
4	>3.0 ~ 10.0	>0.5 ~ 1.5	弱耐热
5	>10.0	>1.5	不耐热

2）耐热铸钢的抗氧化性的测试方法应按标准 GB/T 13303—1991《钢的抗氧化性能测定方法》执行。

5.4.5 铸件高、低温力学性能测试

1. 铸件高温力学性能测试

铸件（合金）在高温时强度下降，而塑性提高。铸件（合金）的高温力学性能常用高温长时力学性能（蠕变极限和持久强度）表示。

铸件（合金）在高温时的蠕变极限和持久强度的测试方法应按标准 GB/T 2039—2012《金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法》执行，或参见表 5-88 和表 5-89。

表 5-88 蠕变极限的测试方法（供参考）

测试目的	测试蠕变极限，实际上是测绘在不同温度和应力下的蠕变曲线，从而确定温度和应力对形变和形变速度随时间变化的影响
测试条件	1）测试是一种长期的工作。所需时间为几千小时乃至几万小时，所测试的总变形率（不包括开始的弹性变形）为千分之几至百分之几，最小变形为（10^{-5} ~ 10^{-4}）%/h 2）蠕变试验机的载荷应在使用范围内，其偏差不得大于 ±1%，并应能在测试过程中保持恒定，在施加或卸除载荷时应均匀、平稳、无振动 3）试样形状和尺寸按标准 GB/T 2039—2012 制取 4）加于试样上载荷的偏心率（偏斜度）应不大于 15%，试验机上应有一定的装置，使其不因试样的伸长而降低试验机载荷的精确度和增加试样载荷的偏心率 5）试验机应安装在牢固防振的基础上并保持水平位置。试验机的温度保持恒定，在不同测试温度范围内，温度偏差和温度梯度值不同。一般规定在 ±3 ~ ±4℃和 3 ~ 4℃之间，连接到试验机上电源的电压应稳定而不受干扰 6）试样加热炉应保持试样标距部分受热均匀，并应有自动控制温度设备，使试样在长时间测试过程中保持在允许的波动范围内。最好应装有自动记录试样温度的装置

（续）

测试方法	采用加载测试法：分级加荷或连续加主负荷。分级加荷方法可得出增量负荷与产生变形的加荷曲线并可求出弹性变形及起始变形值；连续加主负荷方法可得到蠕变曲线，在卸除主负荷后还应继续测量其滞弹变形 测定蠕变极限时，应在同一温度下，用 4 个以上不同的应力水平进行等温蠕变测试，得出数个平均的数据点，作出应力-伸长或应力-稳态蠕变速率关系曲线，用内插法或外推法确定蠕变极限。再用上述不小于 3 个温度的蠕变极限绘制出蠕变极限与温度的关系图 通常，在测试中采用恒定的温度和应力，并随着测试的进行，试样逐渐伸长，每隔一定时间（数小时或数十小时）测量一次伸长，做出规定伸长率 δ 和规定时间 t 的曲线，确定总伸长率及残余伸长率或第二阶段蠕变速度 蠕变测试的测试精度要求高，且要求长期可靠。测定第二阶段蠕变速度时，试样每小时的相对变形量小至 1×10^{-7}% 左右。为使测试数据具有标准性及可比性，蠕变测试必须在符合上述要求的试验机上进行 应该注意以下事项： 1）对测试时间较短的第一种蠕变强度，一般用内插法求得，并有以下两种求法： ①根据在不同测试应力下试样规定时间 t 时的伸长率，做出应力-伸长率的曲线，再按该曲线由给定的时间 t 内插得到在相应的蠕变强度 σ ②根据在不同应力下试样至规定伸长率所需的测试时间，做出应力-时间曲线，再按该曲线由给定的时间 t 内插得到在相应的蠕变强度 σ 为把误差限定在一定范围内，一般规定内插值两边的两个测试应力值之差应小于 5MPa 2）对时间较长的第二种蠕变强度，允许用外推法求得。根据不同应力下试样的第二阶段蠕变速度做出应力-蠕变速度曲线，再按一定的经验公式外推。外推出的时间应不大于最长测试时间的 10 倍，外推出的稳态蠕变速度应不小于最小测试速度的 1/10

表 5-89　持久强度的测试方法（供参考）

测试目的	测试持久强度，实际上是测试铸件（合金）在给定温度下经给定时间不破断的强度。持久强度又称持久破断强度。持久强度测试和蠕变测试所不同的是，不需测试铸件（合金）的蠕变，只是要求测试在给定温度和经一定时间破断时所能承受的最大应力
测试条件	1）持久强度可以用蠕变试验机进行测试。其不同之处是测试温度较高，载荷较大，测试周期较短，由于这些原因，持久强度测试最好用专用试验机 2）持久强度测试所用的试样与蠕变测试所用的试样基本相同
测试方法	持久强度测试方法与过程基本上和蠕变测试相似（见表 5-88），但较简单，除有特殊要求外，不需要测定其随时间的变形 通常，在 5 个以上适当的应力水平下进行等温持久测试，并且至少其中有 3 个应力各有 3 个数据，在单对数或双对数坐标上用作图法或最小二乘法绘制出应力-断裂时间曲线，即在给定温度下应力与破断时间的关系。当然也可以把在各不同温度下的应力与破断时间的关系画在同一图上进行比较。从这些曲线，利用内插法或外推法就可以获得在规定条件下的持久强度

2. 铸件低温力学性能测试

铸件（合金）在低温时强度普遍增加，而塑性和韧性下降，对缺口的敏感增大，易引起低温脆性破坏。铸件（合金）的低温力学性能常用低温时的冲击吸收能量来表示。

铸件（合金）在低温时的冲击吸收能量测试应按标准 GB/T 229—2007《金属材料　夏比摆锤冲击试验方法》执行，或参见表 5-90。

表 5-90　低温时的冲击吸收能量的测试方法

测试条件	1）冷却介质应无毒、安全、不腐蚀金属和在试验温度下不凝固、应有较好透明度的液体或气体 2）冷源除液氧、液态空气和氧含量大于 10% 的工业液氮不宜使用外，冷源不受限制 3）试样数量不少于 3 个

（续）

测试方法

1）试样置于低温槽均温区内冷却，试样之间应保持适当距离以保证各方面与冷却介质充分接触。温度计或热电偶的测量端应尽可能置于一批冷却试样的中间。人工操作放取试样的手钳和定位规应在同一温度下冷却

2）当试样移出冷却介质至打断的时间在 2 ~ 5s 内，冷却试样的温度应为规定试验温度加上相应的过冷温度。所需过冷温度可预先通过试验确定。如使用标准试样，室温为（23 ± 5）℃时，可参考下表给出过冷温度补偿

试验温度/℃	过冷温度补偿值/℃
-192 ~ < -100	3 ~ <4
-100 ~ < -60	2 ~ <3
-60 ~ <0	1 ~ <2

3）试样保温时间与温度波动见下表：

冷却介质	保温时间/min	保温期间温度的波动/℃
液体	≥5	±1
气体	≥15	±1.5

注：冷却介质温度达到相应的冷却温度并稳定后开始计算保温时间

4）试样放置应紧贴支座，并使摆锤刀刃打击在缺口背面。试样缺口中心线应位于两个支座跨距中心，其偏差应不大于 0.2mm（日常检验允许在 0.5mm 之内）

5.4.6　铸件耐蚀性能测试

铸件（合金）耐蚀性能是指铸件（合金）在其环境中抵抗由于化学（或电化学）作用而遭受破坏的能力。在均匀腐蚀的情况下，铸件（合金）耐蚀性可用腐蚀速率表示。

通常，腐蚀速率又可用质量和深度两种方法表示。

质量腐蚀速率按下式计算：

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_t}{tS}$$

式中　Δm——质量腐蚀率［g/(m² · h)］或［g/(m² · a)］；

m_0——试样腐蚀前的质量（g）；

m_t——试样受腐蚀后的质量（g）；

t——试样受浸蚀的时间（h 或 a）；

S——试样表面积（m²）。

深度腐蚀速率按下式计算：

$$d = \frac{m_0 - m_t}{St\rho}$$

式中　d——（深度）腐蚀率（mm/h）或（mm/a）；

S——试样的表面积（mm²）；

ρ——试样的面密度（g/mm²）；

t——试样受腐蚀时间（h）或（a）。

铸件（合金）耐蚀性能的评定可用耐腐蚀标度表示，见表 5-91。

表 5-91　铸件（合金）耐腐蚀标度（当 $\gamma = 7.2 g/cm^3$）（供参考）

耐腐蚀标度	重量腐蚀速率 /[g/(m² · h)]	深度腐蚀速率 /(mm/a)	耐蚀性
1	≤0.1	≤0.12	全稳定
2	>0.1 ~ 1	>0.12 ~ 1.2	良好稳定
3	>1 ~ 3	>1.2 ~ 3.6	合格稳定
4	>3 ~ 10	>3.6 ~ 12	弱稳定
5	>10	>12	不稳定

铸件（合金）耐蚀性的测试方法可参见表 5-92。

表 5-92　耐蚀性的测试方法（供参考）

测试方法	说　明
均匀腐蚀测试	1）静态腐蚀测试：试样可从铸件上切取，也可取于试棒，但所取试样必须在成分上和组织上有代表性。试样尺寸为 ϕ25mm × (3 ~ 5) mm，在托架上进行腐蚀时，试样可不必钻孔。在挂架上进行腐蚀时，试样可偏心地钻一个 ϕ3 ~ ϕ4mm 的孔，腐蚀面积应将孔计算在内。试样制备过程：车削加工→砂轮打磨→0 号砂纸磨光→水洗→酒精擦洗→装烘干箱烘干（100 ~ 105℃）→冷却到室温。腐蚀后的试样，用水洗净表面的腐蚀产物，用质量分数为 10% 的柠檬酸铵溶液加热 70 ~ 80℃处理 3 ~ 5min，再用水清洗，经酒精擦洗后，装入烘箱经 100 ~ 105℃烘干，取出冷至室温。静态腐蚀速率可用重量和深度两种方法表示和计算 2）动态腐蚀测试：腐蚀介质和服役铸件（合金）之间有相对运动，并且腐蚀速率受温度、压力、介质成分、相对运动速度等因素影响。其测试方法，一是在模拟工况条件下用试片进行测定；另一是在实际工况条件下用试片进行测定。最简单的测试方法是搅动法，搅动可用小电动机（转速为 200 ~ 240r/min），或采用玻璃棒搅拌，其他与静态腐蚀测试相同 3）电化学腐蚀测试：可用恒定电位仪、快慢扫描装置及 x-y 函数记录仪组成测试装置。测定的结果用电极化曲线表示，通过电极化曲线腐蚀电位和腐蚀电流的比较可断定铸件（合金）的耐蚀性能
点腐蚀测试	通常将总面积为 10cm² 以上的试样浸泡在选定的腐蚀溶液（如质量分数为 6% 的三氯化铁的水溶液）内，试验温度一般为 35℃或 50℃，然后根据测试腐蚀失重或不同点蚀程度的标准图片对比来评定，也可通过测试腐蚀坑的密度大小、深度及对腐蚀坑的剖面形状特征的描述来评价铸件（合金）的耐点蚀能力。间隙式浸泡可加速腐蚀进程
晶间腐蚀测试	对于奥氏体或奥氏体-铁素体不锈钢的晶间腐蚀测试，可先用质量分数为 10% 的草酸电解液浸蚀试验予以筛选，以判定是否需要按标准 GB/T 4334—2008 用硫酸-硫酸铜或质量分数为 65% 的硝酸沸腾法等作进一步测试。较常用的测试方法为硫酸-硫酸铜-铜屑法，该法对同号的铸钢试样采用双倍试样，其中一组作为 90° 弯曲测试的比较试样，用来排除可能由铸造缺陷造成的假象。注意，当宏观判别有怀疑时，可用金相法检验

第 6 章　铸件质量最终评定

6.1　铸件质量分类分等

6.1.1　铸件质量分类

1）按铸件质量合格与否，可将铸件分为合格铸件、缺陷铸件和废品三类。

合格铸件是指经检验，质量完全符合验收标准和规定的铸件，包括修补（在允许修补范围内）后并检验合格的铸件，又称合格品。

缺陷铸件是指不符合验收条件的铸件。

废品是指不能修补使用的缺陷铸件。

在生产中通常把废品分为内废和外废：在铸造企业（或铸造车间）内发现的废品，称为内废；在铸造企业外（或外车间）发现的属于铸造企业（或铸造车间）责任的废品，称为外废。

2）按铸件工作条件和用途以及在使用过程中所造成的危害程度，可将铸件分为Ⅰ类铸件、Ⅱ类铸件和Ⅲ类铸件三类。

Ⅰ类铸件是指承受大载荷，工作条件复杂，用于关键部位的重要铸件。该铸件损坏将直接危及整机安全。

Ⅱ类铸件是指承受中等载荷，用于重要部位的铸件。该铸件损坏将影响部件的正常工作，引起事故。

Ⅲ类铸件是指承受低载荷，用于一般部位的铸件。

6.1.2　铸件质量分等

根据标准 JB/T 7528—1994《铸件质量评定方法》的规定，成品铸件按其达到的质量指标可分为“合格品”、“一等品”、“优等品”三个质量等级。

1. 合格品

合格品铸件必须具备以下条件：

1）铸件的外观质量、内在质量符合现行国家标准、行业标准。

2）铸件生产过程质量稳定。

3）用户评价铸件能满足使用性能。

2. 一等品

一等品铸件必须具备以下条件：

1）铸件的外观质量、内在质量符合现行国家标准、行业标准，达到工业发达国家当代水平。

2）铸件生产过程质量稳定。

3）用户评价铸件质量达到国内先进水平。

3. 优等品

优等品铸件必须具备以下条件：

1）铸件的外观质量、内在质量符合现行国家标准、行业标准，达到国际同类铸件的当代先进水平。

2）铸件生产过程质量很稳定。

3）用户评价铸件达到当代国际水平，并在国际市场上有竞争能力。

6.2　用标准评定铸件质量

6.2.1　用标准评定铸铁件质量

1）用标准 GB/T 9439—2010 评定灰铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-1。
2）用标准 GB/T 1348—2009 评定球墨铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-2。
3）用标准 GB/T 24733—2009 评定等温淬火球墨铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-3。
4）用标准 GB/T 26655—2011 评定蠕墨铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-4。
5）用标准 GB/T 9440—2010 评定可锻铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-5。
6）用标准 GB/T 8263—2010 评定抗磨白口铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-6。
7）用标准 GB/T 24597—2009 评定铬锰钨系抗磨铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-7。
8）用标准 GB/T 9437—2009 评定耐热铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-8。
9）用标准 GB/T 8491—2009 评定高硅耐蚀铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-9。
10）用标准 GB/T 26648—2011 评定奥氏体铸铁件质量是否合格，具体指标见表 6-10。

表 6-1　灰铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 9439—2010）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td colspan="6">合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td colspan="6">灰铸铁件不论在单铸试棒上还是在铸件本体上测定力学性能，不论是以抗拉强度还是以硬度作为性能验收指标，均必须在订货协议或需方技术要求中明确规定
力学性能指标应是铸件验收的主要指标
1）单铸试棒和附铸试棒（块）的抗拉强度应符合下表规定：
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="2">铸件壁厚/mm</td><td colspan="2">最小抗拉强度（强制性值）/MPa</td><td rowspan="2">铸件本体预期抗拉强度（参考值）/MPa</td></tr>
<tr><td>></td><td>≤</td><td>单铸试棒</td><td>附铸试棒或试块</td></tr>
<tr><td>HT100</td><td>5</td><td>40</td><td>100</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="6">HT150</td><td>5</td><td>10</td><td rowspan="6">150</td><td>—</td><td>155</td></tr>
<tr><td>10</td><td>20</td><td>—</td><td>130</td></tr>
<tr><td>20</td><td>40</td><td>120</td><td>110</td></tr>
<tr><td>40</td><td>80</td><td>110</td><td>95</td></tr>
<tr><td>80</td><td>150</td><td>100</td><td>80</td></tr>
<tr><td>150</td><td>300</td><td>90</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="6">HT200</td><td>5</td><td>10</td><td rowspan="6">200</td><td>—</td><td>205</td></tr>
<tr><td>10</td><td>20</td><td>—</td><td>180</td></tr>
<tr><td>20</td><td>40</td><td>170</td><td>155</td></tr>
<tr><td>40</td><td>80</td><td>150</td><td>130</td></tr>
<tr><td>80</td><td>150</td><td>140</td><td>115</td></tr>
<tr><td>150</td><td>300</td><td>130</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="6">HT225</td><td>5</td><td>10</td><td rowspan="6">225</td><td>—</td><td>230</td></tr>
<tr><td>10</td><td>20</td><td>—</td><td>200</td></tr>
<tr><td>20</td><td>40</td><td>190</td><td>170</td></tr>
<tr><td>40</td><td>80</td><td>170</td><td>150</td></tr>
<tr><td>80</td><td>150</td><td>155</td><td>135</td></tr>
<tr><td>150</td><td>300</td><td>145</td><td>—</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求

力学性能

牌号	铸件壁厚/mm		最小抗拉强度（强制性值）/MPa		铸件本体预期抗拉强度（参考值）/MPa
	>	≤	单铸试棒	附铸试棒或试块	
HT250	5	10	250	—	250
	10	20		—	225
	20	40		210	195
	40	80		190	170
	80	150		170	155
	150	300		160	—
HT275	10	20	275	—	250
	20	40		230	220
	40	80		205	190
	80	150		190	175
	150	300		175	—
HT300	10	20	300	—	270
	20	40		250	240
	40	80		220	210
	80	150		210	195
	150	300		190	—
HT350	10	20	350	—	315
	20	40		290	280
	40	80		260	250
	80	150		230	225
	150	300		210	—

注：1. 当铸件壁厚超过 300mm 时，其力学性能由供需双方商定

2. 当某牌号的铁液浇注壁厚均匀、形状简单的铸件时，壁厚变化引起抗拉强度的变化，可从本表查出参考数据，当铸件壁厚不均匀，或有型芯时，此表只能给出不同壁厚处大致的抗拉强度值，铸件的设计应根据关键部位的实测值进行

3. 表中斜体字数值表示指导值，其余抗拉强度值均为强制性值，铸件本体预期抗拉强度值不作为强制性值

2）铸件本体上的硬度值应符合下表规定：

硬度等级	铸件主要壁厚/mm		铸件上的硬度范围 HBW	
	>	≤	min	max
H155	5	10	—	185
	10	20	—	170
	20	40	—	160
	40	80	—	155
HT175	5	10	140	225
	10	20	125	205
	20	40	110	185
	40	80	100	175
H195	4	5	190	275
	5	10	170	260
	10	20	150	230
	20	40	125	210
	40	80	120	195

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">硬度等级</td><td colspan="2">铸件主要壁厚/mm</td><td colspan="2">铸件上的硬度范围 HBW</td></tr>
<tr><td>></td><td>≤</td><td>min</td><td>max</td></tr>
<tr><td rowspan="4">H215</td><td>5</td><td>10</td><td>200</td><td>275</td></tr>
<tr><td>10</td><td>20</td><td>180</td><td>255</td></tr>
<tr><td>20</td><td>40</td><td>160</td><td>235</td></tr>
<tr><td>40</td><td>80</td><td>145</td><td>215</td></tr>
<tr><td rowspan="3">H235</td><td>10</td><td>20</td><td>200</td><td>275</td></tr>
<tr><td>20</td><td>40</td><td>180</td><td>255</td></tr>
<tr><td>40</td><td>80</td><td>165</td><td>235</td></tr>
<tr><td rowspan="2">H255</td><td>20</td><td>40</td><td>200</td><td>275</td></tr>
<tr><td>40</td><td>80</td><td>185</td><td>255</td></tr>
</table>
注：1. 黑体数字表示与该硬度等级所对应的主要壁厚的最大和最小硬度值
2. 在供需双方商定的铸件某位置上，铸件硬度差可以控制在 40HBW 硬度值范围内
</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>金相组织应是铸件验收的主要指标，应符合 GB/T 7216—2009 的规定。若需方对金相组织各检测项目的数量、分布、级别及取样位置有明确规定，则应按需方图样、技术要求执行</td></tr>
<tr><td>几何形状和尺寸</td><td>应符合需方图样或技术要求</td></tr>
<tr><td>尺寸公差</td><td>应符合需方图样或技术要求。如需方无特殊要求时，应按 GB/T 6414—1999 的规定执行</td></tr>
<tr><td>加工余量</td><td>应符合需方图样或技术要求。如需方无特殊要求时，应按 GB/T 6414—1999 的规定执行</td></tr>
<tr><td>质量偏差</td><td>应符合需方图样或技术要求。如需方无特殊要求时，应按 GB/T 11351—1989 的规定执行</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件的表面质量包括外表面质量和内表面质量
铸件的铸造表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定，或符合需方的图样或技术要求
铸件应清理干净，修整多余部分，去除浇冒口残余、芯骨、粘砂及内腔残余物等。铸件允许的浇冒口残余、披缝、飞边残余、内腔清洁度等，应符合需方图样、技术要求或供需双方订货协定
除另有规定外，铸件均以铸态交货，铸件交付过程中应符合需方的防护要求</td></tr>
<tr><td>铸造缺陷与修补</td><td>不允许有影响铸件使用性能的缺陷存在，如裂纹、冷隔、缩孔等
铸件加工面上允许存在加工余量范围内的表面缺陷
铸件非加工面上及铸件内部允许存在的缺陷种类、范围、数量，应符合需方图样、技术要求或供需双方的订货协定
铸件加工面原则上不得焊接、修补，但经需方许可，在不影响机械加工条件下，对不影响结构性能的缺陷可以焊接、修补</td></tr>
</table>

注：需方对铸件有磁粉检测、超声波检验、射线检测要求时，由供需双方商定。

表 6-2　球墨铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 1348—2009）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
球墨铸铁件的力学性能以抗拉强度和伸长率两个指标为验收指标。除特殊情况外，一般不做规定塑性延伸强度试验。但当需方对规定塑性延伸强度或硬度有要求时，规定塑性延伸强度或硬度也可作为验收项目
1）单铸试样的力学性能应符合下表的规定：
<table>
<tr><td>材料牌号</td><td>抗拉强度 R_m/MPa（min）</td><td>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa（min）</td><td>伸长率 A(%)（min）</td><td>布氏硬度 HBW</td><td>主要基体组织</td></tr>
<tr><td>QT350-22L</td><td>350</td><td>220</td><td>22</td><td>≤160</td><td>铁素体</td></tr>
<tr><td>QT350-22R</td><td>350</td><td>220</td><td>22</td><td>≤160</td><td>铁素体</td></tr>
<tr><td>QT350-22</td><td>350</td><td>220</td><td>22</td><td>≤160</td><td>铁素体</td></tr>
<tr><td>QT400-18L</td><td>400</td><td>240</td><td>18</td><td>120～175</td><td>铁素体</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求

力学性能

材料牌号	抗拉强度 R_m/MPa min	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa (min)	伸长率 A(%) (min)	布氏硬度 HBW	主要基体组织
QT400-18R	400	250	18	120～175	铁素体
QT400-18	400	250	18	120～175	铁素体
QT400-15	400	250	15	120～180	铁素体
QT450-10	450	310	10	160～210	铁素体
QT500-7	500	320	7	170～230	铁素体＋珠光体
QT550-5	550	350	5	180～250	铁素体＋珠光体
QT600-3	600	370	3	190～270	珠光体＋铁素体
QT700-2	700	420	2	225～305	珠光体
QT800-2	800	480	2	245～335	珠光体或索氏体
QT900-2	900	600	2	280～360	回火马氏体或屈氏体＋索氏体

牌号	V 型缺口的最小冲击吸收能量/J					
	室温(23±5)℃		低温(－20±2)℃		低温(－40±2)℃	
	三个试样平均值	个别值	三个试样平均值	个别值	三个试样平均值	个别值
QT350-22L	—	—	—	—	12	9
QT350-22R	17	14	—	—	—	—
QT400-18L	—	—	12	9	—	—
QT400-18R	14	11	—	—	—	—

注：1. 伸长率是从原始标距 $L_0=5d$ 上测得的，d 是试样上原始标距处的直径。其他规格的标距，见标准 GB/T 1348—2009 的附录 B

2. 冲击吸收能量是从砂型铸造的铸件或者导热性与砂型相当的铸型中铸造的铸块上测得的。用其他方法生产的铸件的冲击吸收能量应满足经双方协商的修正值

3. 字母“L”表示该牌号有低温(－20℃或－40℃)下的冲击性能要求；字母“R”表示该牌号有室温(23℃)下的冲击性能要求

2)附铸试样的力学性能应符合下表的规定：

材料牌号	铸件壁厚/mm	抗拉强度 R_m/MPa (min)	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa (min)	伸长率 A(%) (min)	布氏硬度 HBW	主要基体组织
QT350-22AL	≤30	350	220	22	≤160	铁素体
	>30～60	330	210	18		
	>60～200	320	200	15		
QT350-22AR	≤30	350	220	22	≤160	铁素体
	>30～60	330	220	18		
	>60～200	320	210	15		
QT350-22A	≤30	350	220	22	≤160	铁素体
	>30～60	330	210	18		
	>60～200	320	200	15		
QT400-18AL	≤30	380	240	18	120～175	铁素体
	>30～60	370	230	15		
	>60～200	360	220	12		

（续）

评定项目	合格品的质量要求						
力学性能	材料牌号	铸件壁厚/mm	抗拉强度 R_m/MPa（min）	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa（min）	伸长率 A(%)（min）	布氏硬度 HBW	主要基体组织
	QT400-18AR	≤30	400	250	18	120～175	铁素体
		>30～60	390	250	15		
		>60～200	370	240	12		
	QT400-18A	≤30	400	250	18	120～175	铁素体
		>30～60	390	250	15		
		>60～200	370	240	12		
	QT400-15A	≤30	400	250	15	120～180	铁素体
		>30～60	390	250	14		
		>60～200	370	240	11		
	QT450-10A	≤30	450	310	10	160～210	铁素体
		>30～60	420	280	9		
		>60～200	390	260	8		
	QT500-7A	≤30	500	320	7	170～230	铁素体+珠光体
		>30～60	450	300	7		
		>60～200	420	290	5		
	QT550-5A	≤30	550	350	5	180～250	铁素体+珠光体
		>30～60	520	330	4		
		>60～200	500	320	3		
	QT600-3A	≤30	600	370	3	190～270	珠光体+铁素体
		>30～60	600	360	2		
		>60～200	550	340	1		
	QT700-2A	≤30	700	420	2	225～305	珠光体
		>30～60	700	400	2		
		>60～200	650	380	1		
	QT800-2A	≤30	800	480	2	245～335	珠光体或索氏体
		>30～60	由供需双方商定				
		>60～200					
	QT900-2A	≤30	900	600	2	280～360	回火马氏体+索氏体或屈氏体
		>30～60	由供需双方商定				
		>60～200					

牌号	铸件壁厚/mm	V 型缺口的最小冲击吸收能量/J					
		室温(23±5)℃		低温(−20±2)℃		低温(−40±2)℃	
		三个试样平均值	个别值	三个试样平均值	个别值	三个试样平均值	个别值
QT350-22AR	≤60	17	14	—	—	—	—
	>60～200	15	12	—	—	—	—

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td colspan="8">合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td colspan="8">
<table>
<tr><td rowspan="3">牌号</td><td rowspan="3">铸件壁厚/mm</td><td colspan="6">V 型缺口的最小冲击吸收能量/J</td></tr>
<tr><td colspan="2">室温(23 ±5)℃</td><td colspan="2">低温(-20 ±2)℃</td><td colspan="2">低温(-40 ±2)℃</td></tr>
<tr><td>三个试样平均值</td><td>个别值</td><td>三个试样平均值</td><td>个别值</td><td>三个试样平均值</td><td>个别值</td></tr>
<tr><td rowspan="2">QT350-22AL</td><td>≤60</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>12</td><td>9</td></tr>
<tr><td>>60 ~200</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>10</td><td>7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">QT400-18AR</td><td>≤60</td><td>14</td><td>11</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>>60 ~200</td><td>12</td><td>9</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="2">QT400-18AL</td><td>≤60</td><td>—</td><td>—</td><td>12</td><td>9</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>>60 ~200</td><td>—</td><td>—</td><td>10</td><td>7</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>
注：1. 从附铸试样测得的力学性能并不能准确地反映铸件本体的力学性能，但与单铸试棒上测得的值相比更接近于铸件的实际性能值
2. 伸长率在原始标距 $L_0 = 5d$ 上测得，d 是试样上原始标距处的直径，其他规格的标距，见标准 GB/T 1348—2009 的附录 B
</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td colspan="8">石墨以球状为主，球化级别不低于 GB/T 9441—2009 规定的球化级别 4 级。如有特殊要求，球化级别由供需双方商定
基体组织的要求由供需双方商定</td></tr>
<tr><td>几何形状及其尺寸公差</td><td colspan="8">铸件的几何形状及其尺寸应符合图样的规定
铸件的尺寸公差按 GB/T 6414—1999 的规定执行，有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行</td></tr>
<tr><td>质量偏差</td><td colspan="8">铸件的质量偏差按 GB/T 11351—2006 的有关规定执行，有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td colspan="8">铸件应清理干净，修整多余部分
浇冒口残余、粘砂、氧化皮及内腔残余物等去除要求应符合技术规范或供需双方订货协定
采用等离子方法切割铸件后，应加工掉热影响区
铸件表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定，或需方图样和产品技术标准的要求
铸件交付时应符合需方的防锈要求</td></tr>
<tr><td>铸件缺陷及修补</td><td colspan="8">不允许有影响铸件使用性能的铸造缺陷(如裂纹、冷隔、缩孔、夹渣等)存在
铸件允许存在能加工去除的表面缺陷
铸件非加工面上及铸件内部允许的缺陷种类、数量、范围，应符合需方图样、技术规范的要求或者供需双方订货协议的规定
不影响铸件使用性能的缺陷可以修补(焊补和其他方法)，修补技术要求由供需双方商定</td></tr>
</table>

注：需方对磁粉检测、超声波检验、射线检测等有要求时，供方应按需方的技术要求进行检查；由供需双方商定检测的频次和数量。

表 6-3　等温淬火球墨铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 24733—2009）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td colspan="4">合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td colspan="4">1)单铸或附铸试块的力学性能应符合下表的规定：
<table>
<tr><td>牌号</td><td>铸件主要壁厚 t/mm</td><td>抗拉强度 R_m/MPa (min)</td><td>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa (min)</td><td>伸长率 A(%) (min)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">QTD 800-10 (QTD 800-10R)</td><td>≤30</td><td>800</td><td rowspan="3">500</td><td>10</td></tr>
<tr><td>>30 ~60</td><td>750</td><td>6</td></tr>
<tr><td>>60 ~100</td><td>720</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">QTD 900-8</td><td>≤30</td><td>900</td><td rowspan="3">600</td><td>8</td></tr>
<tr><td>>30 ~60</td><td>850</td><td>5</td></tr>
<tr><td>>60 ~100</td><td>820</td><td>4</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求

力学性能

牌号	铸件主要壁厚 t/mm	抗拉强度 R_m/MPa（min）	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa（min）	伸长率 A(%)（min）
QTD 1050-6	≤30	1050	700	6
	>30～60	1000		4
	>60～100	970		3
QTD 1200-3	≤30	1200	850	3
	>30～60	1170		2
	>60～100	1140		1
QTD 1400-1	≤30	1400	1100	1
	>30～60	1170	供需双方商定	
	>60～100	1140		

牌号	铸件主要壁厚 t/mm	V 型缺口室温[(23±5)℃]下最小冲击吸收能量/J	
		3 个试样的平均值	单个值
QTD 800-10R①	≤30	10	9
	>30～60	9	8
	>60～100	8	7

注：1. 由于铸件复杂程度和各部分壁厚不同，其性能是不均匀的

2. 经过适当的热处理，屈服强度最小值可按本表规定，而随铸件壁厚增大，抗拉强度和伸长率会降低

3. 字母 R 表示该牌号有室温(23℃)冲击性能的要求

4. 如需规定附铸试块型式，牌号后加标记“A”，如 QTD 900-8A

5. 牌号是按壁厚 t≤30mm 厚试块测得的力学性能而确定的

① 需方有要求时，才做 V 型缺口室温下冲击吸收能量检验。如需规定附铸试块形式，牌号后加标记“A”，即 QTD 800-10RA

2)本体试样的力学性能(需方有要求时)，可参照下表的规定：

牌号	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa(min)	抗拉强度 R_m/MPa（min）			伸长率 A(%)（min）		
		铸件主要壁厚 t/mm					
		≤30	>30～60	>60～100	≤30	>30～60	>60～100
QTD 800-10（QTD 800-10R）	500	790	740	710	8	5	4
QTD 900-8	600	880	830	800	7	4	3
QTD 1050-6	700	1020	970	940	5	3	2
QTD 1200-3	850	1170	1140	1110	2	1	1
QTD 1400-1	1100	1360	由供需双方商定				

注：铸件本体性能可能等于或小于表中的规定值

金相组织

石墨为球状，石墨球化级别应符合 GB/T 9441—2009 标准中的 1 级或 2 级，不低于 3 级(见 GB/T 24733—2009 的附录 H)，石墨球数不低于 100 个/mm^2。更精确的球化率由供需双方在订货时商定

等温淬火球墨铸铁的基体组织主要为由针状铁素体和富碳奥氏体组成的(奥氏体-铁素体)，允许少量其他组织(如马氏体、碳化物)的存在，以不影响所要求的力学性能为原则

铸件某些断面的冷却速度可能不足以完全避免珠光体或其他高温转变组织的形成，这些显微组织的最大值及其力学性能可由供需双方商定

可以通过无缺口试样的冲击试验，间接地了解铸件热处理后得到的显微组织情况

（续）

评定项目	合格品的质量要求
几何形状及其尺寸公差	铸件几何形状及其尺寸应符合图样的规定 铸件尺寸公差按 GB/T 6414—1999 的规定执行。有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行
质量偏差	铸件质量偏差如需方无特殊要求时，则按 GB/T 11351—1989 的规定执行
表面质量	铸件表面质量包括外表面和内表面质量 铸件表面的粘砂、氧化皮等应清除干净；修整多肉，去除浇冒口残余、芯骨及内腔残余物等铸件允许的浇冒口残余、通气针/片、多肉、飞边、披缝残余、内腔清洁度等，应符合需方图样的技术要求或供需双方订货协议的要求 铸件表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定或需方图样和产品技术要求
铸件缺陷及修补	铸件不允许有影响使用性能的铸造和热处理缺陷（如裂纹、冷隔、缩孔、夹渣、气孔、氧化皮、脱碳等）存在 铸件允许存在能加工去除的表面缺陷 铸件非加工面上及其内部允许的缺陷种类、数量、范围，应符合需方图样或产品技术要求或供需双方订货协议的规定 焊补后会影响铸件焊补处的力学性能。经需方同意，在不影响使用性能的前提下允许对铸件表面的缺陷进行修补，修补方法与等级由供需双方商定

注：需方对铸件有磁粉检测、超声波检验、射线检测要求时，供方应按需方的技术要求进行检测，检测的部位、频次和数量由供需双方商定。

表 6-4　蠕墨铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 26655—2011）

评定项目：力学性能

1）单铸试样的力学性能应符合下表的规定：

牌号	抗拉强度 R_m/MPa（min）	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa（min）	伸长率 A(%)（min）	典型的布氏硬度 HBW	主要基体组织
RuT300dr	300	210	3.0	130～190	铁素体
RuT300	300	210	2.0	140～210	铁素体
RuT350	350	245	1.5	160～220	铁素体＋珠光体
RuT400	400	280	1.0	180～240	珠光体＋铁素体
RuT450	450	315	1.0	200～250	珠光体
RuT500	500	350	0.5	220～260	珠光体

注：1. 以上数值适用于砂型或导热性与砂型相当的铸型铸造的铸件。经需方同意，经修正的数值可以用于其他铸造方法生产的铸件
2. 无论采用什么方法生产的铸件，它们的牌号都是根据取自砂型铸造或导热性相当的铸型铸造的单铸试块经加工的试样测定的力学性能来确定的
3. 布氏硬度（指导值）仅供参考
4. dr 表示蠕化率范围为 50%～80%
5. 需方有要求时，测定规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$。

2）附铸试块的力学性能应符合下表的规定：

牌号	主要壁厚 t/mm	抗拉强度 R_m/MPa（min）	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa（min）	伸长率 A(%)（min）	典型的布氏硬度 HBW	主要基体组织
RuT300A	≤12.5	300	210	2.0	140～210	铁素体
	>12.5～30	300	210	2.0	140～210	
	>30～60	275	195	2.0	140～210	
	>60～120	250	175	2.0	140～210	

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
<table>
<tr><th>牌号</th><th>主要壁厚 t /mm</th><th>抗拉强度 R_m/MPa (min)</th><th>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa (min)</th><th>伸长率 A(%) (min)</th><th>典型的布氏硬度 HBW</th><th>主要基体组织</th></tr>
<tr><td rowspan="4">RuT350A</td><td>≤12.5</td><td>350</td><td>245</td><td>1.5</td><td>160 ~ 220</td><td rowspan="4">铁素体 + 珠光体</td></tr>
<tr><td>>12.5 ~ 30</td><td>350</td><td>245</td><td>1.5</td><td>160 ~ 220</td></tr>
<tr><td>>30 ~ 60</td><td>325</td><td>230</td><td>1.5</td><td>160 ~ 220</td></tr>
<tr><td>>60 ~ 120</td><td>300</td><td>210</td><td>1.5</td><td>160 ~ 220</td></tr>
<tr><td rowspan="4">RuT400A</td><td>≤12.5</td><td>400</td><td>280</td><td>1.0</td><td>180 ~ 240</td><td rowspan="4">珠光体 + 铁素体</td></tr>
<tr><td>>12.5 ~ 30</td><td>400</td><td>280</td><td>1.0</td><td>180 ~ 240</td></tr>
<tr><td>>30 ~ 60</td><td>375</td><td>260</td><td>1.0</td><td>180 ~ 240</td></tr>
<tr><td>>60 ~ 120</td><td>325</td><td>230</td><td>1.0</td><td>180 ~ 240</td></tr>
<tr><td rowspan="4">RuT450A</td><td>≤12.5</td><td>450</td><td>315</td><td>1.0</td><td>200 ~ 250</td><td rowspan="4">珠光体</td></tr>
<tr><td>>12.5 ~ 30</td><td>450</td><td>315</td><td>1.0</td><td>200 ~ 250</td></tr>
<tr><td>>30 ~ 60</td><td>400</td><td>280</td><td>1.0</td><td>200 ~ 250</td></tr>
<tr><td>>60 ~ 120</td><td>375</td><td>260</td><td>1.0</td><td>200 ~ 250</td></tr>
<tr><td rowspan="4">RuT500A</td><td>≤12.5</td><td>500</td><td>350</td><td>0.5</td><td>220 ~ 260</td><td rowspan="4">珠光体</td></tr>
<tr><td>>12.5 ~ 30</td><td>500</td><td>350</td><td>0.5</td><td>220 ~ 260</td></tr>
<tr><td>>30 ~ 60</td><td>450</td><td>315</td><td>0.5</td><td>220 ~ 260</td></tr>
<tr><td>>60 ~ 120</td><td>400</td><td>280</td><td>0.5</td><td>220 ~ 260</td></tr>
</table>
注：1. 采用附铸试块时，牌号后加字母“A”
2. 从附铸试块上加工的试样的力学性能不能精确地反映铸件本体的性能，但比单铸试块要更接近一些
3. 力学性能随铸件断面厚度增加而成比例地降低，随铸件结构（形状）和冷却条件而变化
4. 布氏硬度值仅供参考
5. RuT300dr 通常用于薄壁铸件，一般不采用附铸试样，故未列入本表
6. 需方有要求时，测定规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$
</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>蠕墨铸铁应在其二维抛光平面上观察到至少有 80% 的蠕虫状石墨，其余的 20% 应该是球、团状石墨，不允许出现片状石墨
由于铸件的复杂性，蠕墨铸铁件应根据其工况、服役的条件，由供需双方商定蠕化率（不小于 50%）
基体组织的要求见上面力学性能中的两个表，且允许通过热处理方式达到</td></tr>
<tr><td>几何形状及其尺寸公差</td><td>铸件的几何形状及其尺寸应符合图样的规定
铸件的尺寸公差按 GB/T 6414—1999 的规定执行，有特殊要求的可按图样或有关技术要求的规定执行</td></tr>
<tr><td>质量公差</td><td>铸件的质量公差如需方无特殊要求，则按 GB/T 11351—1999 的规定执行</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件应清理干净，修整多余部分
浇冒口残余量、粘砂、氧化皮及内腔残余物等去除要求应符合技术规范或供需双方订货协定
铸件表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定或需方图样和产品技术标准的要求</td></tr>
<tr><td>铸件缺陷及修补</td><td>不允许有影响铸件使用性能的铸造缺陷（如裂纹、冷隔、缩孔、夹渣等）存在
铸件允许存在能加工去除的表面缺陷
铸件非加工面上及其内部允许的缺陷种类、数量和范围，应符合图样、技术规范的要求或供需双方订货协议的规定
不影响铸件使用性能的缺陷修补（焊补或其他）方法与技术要求由供需双方商定</td></tr>
</table>

表 6-5　可锻铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 9440—2010）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>可锻铸铁的化学成分由供方选定，化学成分不作为验收的依据。若需方对化学成分有要求时，则由供需双方在订货协议中规定</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>可锻铸铁的力学性能以拉伸试样的抗拉强度和伸长率作为验收依据，若需方对规定塑性延伸强度和硬度及其他性能有要求时应在供货协议中规定
1）黑心可锻铸铁的力学性能应符合下表规定：
<table>
<tr><th>牌号</th><th>试样直径 d①、②/mm</th><th>抗拉强度 R_m/MPa（min）</th><th>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa（min）</th><th>伸长率 A(%)（$L_0=3d$）（min）</th><th>布氏硬度 HBW</th></tr>
<tr><td>KTH 275-05③</td><td>12 或 15</td><td>275</td><td>—</td><td>5</td><td rowspan="5">≤150</td></tr>
<tr><td>KTH 300-06③</td><td>12 或 15</td><td>300</td><td>—</td><td>6</td></tr>
<tr><td>KTH 330-08</td><td>12 或 15</td><td>330</td><td>—</td><td>8</td></tr>
<tr><td>KTH 350-10</td><td>12 或 15</td><td>350</td><td>200</td><td>10</td></tr>
<tr><td>KTH 370-12</td><td>12 或 15</td><td>370</td><td>—</td><td>12</td></tr>
<tr><td>KTZ 450-06</td><td>12 或 15</td><td>450</td><td>270</td><td>6</td><td>150 ~ 200</td></tr>
<tr><td>KTZ 500-05</td><td>12 或 15</td><td>500</td><td>300</td><td>5</td><td>165 ~ 215</td></tr>
<tr><td>KTZ 550-04</td><td>12 或 15</td><td>550</td><td>340</td><td>4</td><td>180 ~ 230</td></tr>
<tr><td>KTZ 600-03</td><td>12 或 15</td><td>600</td><td>390</td><td>3</td><td>195 ~ 245</td></tr>
<tr><td>KTZ 650-02④、⑤</td><td>12 或 15</td><td>650</td><td>430</td><td>2</td><td>210 ~ 260</td></tr>
<tr><td>KTZ 700-02</td><td>12 或 15</td><td>700</td><td>530</td><td>2</td><td>240 ~ 290</td></tr>
<tr><td>KTZ 800-01④</td><td>12 或 15</td><td>800</td><td>600</td><td>1</td><td>270 ~ 320</td></tr>
</table>
① 如果需方没有明确要求，供方可以任意选取两种试棒直径中的一种
② 试样直径代表同样壁厚的铸件，如果铸件为薄壁件时，供需双方可以协商选取直径 6mm 或者 9mm 试样
③ KTH 275-05 和 KTH 300-06 为专门用于保证压力密封性能，而不要求高强度或者高延展性的工作条件的铸件
④ 油淬加回火
⑤ 空冷加回火
2）白心可锻铸铁的力学性能应符合下表规定：
<table>
<tr><th>牌号</th><th>试样直径 d/mm</th><th>抗拉强度 R_m/MPa（min）</th><th>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa（min）</th><th>伸长率 A(%)（$L_0=3d$）（min）</th><th>布氏硬度 HBW（max）</th></tr>
<tr><td rowspan="4">KTB 350-04</td><td>6</td><td>270</td><td>—</td><td>10</td><td rowspan="4">230</td></tr>
<tr><td>9</td><td>310</td><td>—</td><td>5</td></tr>
<tr><td>12</td><td>350</td><td>—</td><td>4</td></tr>
<tr><td>15</td><td>360</td><td>—</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">KTB 360-12</td><td>6</td><td>280</td><td>—</td><td>16</td><td rowspan="4">200</td></tr>
<tr><td>9</td><td>320</td><td>170</td><td>15</td></tr>
<tr><td>12</td><td>360</td><td>190</td><td>12</td></tr>
<tr><td>15</td><td>370</td><td>200</td><td>7</td></tr>
<tr><td rowspan="4">KTB 400-05</td><td>6</td><td>300</td><td>—</td><td>12</td><td rowspan="4">220</td></tr>
<tr><td>9</td><td>360</td><td>200</td><td>8</td></tr>
<tr><td>12</td><td>400</td><td>220</td><td>5</td></tr>
<tr><td>15</td><td>420</td><td>230</td><td>4</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
<table>
<tr><th>牌号</th><th>试样直径
d/mm</th><th>抗拉强度
R_m/MPa
(min)</th><th>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa
(min)</th><th>伸长率 A(%)
($L_0=3d$)
(min)</th><th>布氏硬度
HBW
(max)</th></tr>
<tr><td rowspan="4">KTB 450-07</td><td>6</td><td>330</td><td>—</td><td>12</td><td rowspan="4">220</td></tr>
<tr><td>9</td><td>400</td><td>230</td><td>10</td></tr>
<tr><td>12</td><td>450</td><td>260</td><td>7</td></tr>
<tr><td>15</td><td>480</td><td>280</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">KTB 550-04</td><td>6</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td rowspan="4">250</td></tr>
<tr><td>9</td><td>490</td><td>310</td><td>5</td></tr>
<tr><td>12</td><td>550</td><td>340</td><td>4</td></tr>
<tr><td>15</td><td>570</td><td>350</td><td>3</td></tr>
</table>
注：1. 所有级别的白心可锻铸铁均可以焊接
2. 对于小尺寸的试样，很难判断其规定塑性延伸强度，规定塑性延伸强度的检测方法和数值由供需双方在签订订单时商定
3. 试样直径同黑心可锻铸铁的
</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>若需方对金相组织有明确要求时，应符合需方图样和技术要求</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件应清理干净，修整多余部分。浇冒口残余、粘砂、氧化皮及内腔残余物等去除要求应符合技术规范或供需双方订货协议
铸造表面粗糙度应符合 GB/T 1031—2009 或 GB/T 6060.1—1997 的规定，或需方图样和产品技术标准的要求
铸件交付时应符合需方的防锈要求</td></tr>
<tr><td>几何形状、加工余量及尺寸公差</td><td>铸件的形状和位置公差应符合 GB/T 1958—2004 的规定
铸件的加工余量、尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定，有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行</td></tr>
<tr><td>起模斜度</td><td>铸件的起模斜度应符合 JB/T 5105—1991 的规定，有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行</td></tr>
<tr><td>质量公差</td><td>铸件的质量公差应符合 GB/T 11351—1989 的有关规定，有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行</td></tr>
<tr><td>焊接</td><td>可锻铸铁的焊接按供需双方协议进行，焊接后的铸件必须进行热处理。但 KTB 360-12 焊接后可不必进行热处理</td></tr>
<tr><td>铸件缺陷及修补(修复)</td><td>不允许有影响铸件使用性能的铸造缺陷(如裂纹、冷隔、缩孔等)存在；铸件允许存在的缺陷种类、大小、范围、数量由供需双方在订货时商定
不影响铸件使用性能的缺陷，可以进行修补(焊补和其他方法)，修补的技术要求由供需双方商定
铸件在热处理过程中产生的变形应通过矫正的方法消除</td></tr>
</table>

注：需方对铸件有特殊要求时（如耐磨、耐压、耐腐蚀、表面热镀锌、磁粉检测、超声波检验、射线检测等）应在订货协议中商定。

表 6-6　抗磨白口铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 8263—2010）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>抗磨白口铸铁件可按下列状态供货：铸态、铸态去应力处理、硬化态、硬化态去应力处理、软化退火态。典型热处理规范见下表
<table>
<tr><th>牌号</th><th>软化退火处理</th><th>硬化处理</th><th>回火处理</th></tr>
<tr><td>BTMNi4Cr2-DT</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">430～470℃保温 4～6h，出炉空冷或炉冷</td><td rowspan="3">在 250～300℃保温 8～16h，出炉空冷或炉冷</td></tr>
<tr><td>BTMNi4Cr2-GT</td></tr>
<tr><td>BTMCr9Ni5</td><td>—</td><td>800～850℃保温 6～16h，出炉空冷或炉冷</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>
<table>
<tr><th>牌号</th><th>软化退火处理</th><th>硬化处理</th><th>回火处理</th></tr>
<tr><td>BTMCr8</td><td rowspan="4">920 ~ 960℃ 保温，缓冷至 700 ~ 750℃ 保温，缓冷至 600℃以下出炉空冷或炉冷</td><td>940 ~ 980℃保温，出炉后以合适的方式快速冷却</td><td rowspan="6">在 200 ~ 550℃ 保温，出炉空冷或炉冷</td></tr>
<tr><td>BTMCr12-DT</td><td>900 ~ 980℃保温，出炉后以合适的方式快速冷却</td></tr>
<tr><td>BTMCr12-GT</td><td>900 ~ 980℃保温，出炉后以合适的方式快速冷却</td></tr>
<tr><td>BTMCr15</td><td>920 ~ 1000℃ 保温，出炉后以合适的方式快速冷却</td></tr>
<tr><td>BTMCr20</td><td rowspan="2">960 ~ 1060℃ 保温，缓冷至 700 ~ 750℃ 保温，缓冷至 600℃以下出炉空冷或炉冷</td><td>950 ~ 1050℃ 保温，出炉后以合适的方式快速冷却</td></tr>
<tr><td>BTMCr26</td><td>960 ~ 1060℃ 保温，出炉后以合适的方式快速冷却</td></tr>
</table>
注：1. 热处理规范中保温时间主要由铸件壁厚决定
2. BTMCr2 经 200 ~ 650℃ 去应力处理</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>抗磨白口铸铁件的化学成分应符合下表规定：
<table>
<tr><th rowspan="2">牌号</th><th colspan="9">化学成分（质量分数，%）</th></tr>
<tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>Cr</th><th>Mo</th><th>Ni</th><th>Cu</th><th>S</th><th>P</th></tr>
<tr><td>BTMNi4Cr2-DT</td><td>2.4 ~ 3.0</td><td>≤0.8</td><td>≤2.0</td><td>1.5 ~ 3.0</td><td>≤1.0</td><td>3.3 ~ 5.0</td><td>—</td><td>≤0.10</td><td>≤0.10</td></tr>
<tr><td>BTMNi4Cr2-GT</td><td>3.0 ~ 3.6</td><td>≤0.8</td><td>≤2.0</td><td>1.5 ~ 3.0</td><td>≤1.0</td><td>3.3 ~ 5.0</td><td>—</td><td>≤0.10</td><td>≤0.10</td></tr>
<tr><td>BTMCr9Ni5</td><td>2.5 ~ 3.6</td><td>1.5 ~ 2.2</td><td>≤2.0</td><td>8.0 ~ 10.0</td><td>≤1.0</td><td>4.5 ~ 7.0</td><td>—</td><td>≤0.06</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr2</td><td>2.1 ~ 3.6</td><td>≤1.5</td><td>≤2.0</td><td>1.0 ~ 3.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>≤0.10</td><td>≤0.10</td></tr>
<tr><td>BTMCr8</td><td>2.1 ~ 3.6</td><td>1.5 ~ 2.2</td><td>≤2.0</td><td>7.0 ~ 10.0</td><td>≤3.0</td><td>≤1.0</td><td>≤1.2</td><td>≤0.06</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>MTMCr12-DT</td><td>1.1 ~ 2.6</td><td>≤1.5</td><td>≤2.0</td><td>11.0 ~ 14.0</td><td>≤3.0</td><td>≤2.5</td><td>≤1.2</td><td>≤0.06</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr12-GT</td><td>2.0 ~ 3.6</td><td>≤1.5</td><td>≤2.0</td><td>11.0 ~ 14.0</td><td>≤3.0</td><td>≤2.5</td><td>≤1.2</td><td>≤0.06</td><td>≤0.10</td></tr>
<tr><td>BTMCr15</td><td>2.0 ~ 3.6</td><td>≤1.2</td><td>≤2.0</td><td>14.0 ~ 18.0</td><td>≤3.0</td><td>≤2.5</td><td>≤1.2</td><td>≤0.06</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr20</td><td>2.0 ~ 3.3</td><td>≤1.2</td><td>≤2.0</td><td>18.0 ~ 23.0</td><td>≤3.0</td><td>≤2.5</td><td>≤1.2</td><td>≤0.06</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr26</td><td>2.0 ~ 3.3</td><td>≤1.2</td><td>≤2.0</td><td>23.0 ~ 30.0</td><td>≤3.0</td><td>≤2.5</td><td>≤1.2</td><td>≤0.06</td><td>≤0.06</td></tr>
</table>
注：允许加入微量 V、Ti、Nb、B 和 RE 等元素</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>一般情况下，金相组织不作为铸件验收依据，如果需方对金相组织有特殊要求，则由供需双方商定，可参照下表
<table>
<tr><th rowspan="2">牌号</th><th colspan="2">金相组织</th></tr>
<tr><th>铸态或铸态去应力处理</th><th>硬化态或硬化态去应力处理</th></tr>
<tr><td>BTMNi4Cr2-DT</td><td rowspan="2">共晶碳化物 M_3C + 马氏体 + 贝氏体 + 奥氏体</td><td rowspan="2">共晶碳化物 M_3C + 马氏体 + 贝氏体 + 残留奥氏体</td></tr>
<tr><td>BTMNi4Cr2-GT</td></tr>
<tr><td>BTMCr9Ni5</td><td>共晶碳化物（M_7C_3 + 少量 M_3C）+ 马氏体 + 奥氏体</td><td>共晶碳化物（M_7C_3 + 少量 M_3C）+ 二次碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体</td></tr>
<tr><td>BTMCr2</td><td>共晶碳化物 M_3C + 珠光体</td><td>—</td></tr>
<tr><td>BTMCr8</td><td>共晶碳化物（M_7C_3 + 少量 M_3C）+ 细珠光体</td><td>共晶碳化物（M_7C_3 + 少量 M_3C）+ 二次碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体</td></tr>
<tr><td>BTMCr12-DT</td><td>—</td><td rowspan="2">碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体</td></tr>
<tr><td>BTMCr12-GT</td><td>共晶碳化物 M_7C_3 + 奥氏体及其转变产物</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="2">金相组织</td></tr>
<tr><td>铸态或铸态去应力处理</td><td>硬化态或硬化态去应力处理</td></tr>
<tr><td>BTMCr15</td><td>共晶碳化物 M_7C_3 + 奥氏体及其转变产物</td><td>碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体</td></tr>
<tr><td>BTMCr20</td><td>共晶碳化物 M_7C_3 + 奥氏体及其转变产物</td><td>碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体</td></tr>
<tr><td>BTMCr26</td><td>共晶碳化物 M_7C_3 + 奥氏体</td><td>碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体</td></tr>
</table>
注：金相组织中 M 代表 Fe、Cr 等金属原子，C 代表碳原子</td></tr>
<tr><td>硬度</td><td>一般情况下，抗磨白口铸铁件的硬度应符合下表规定。如果需方对硬度有特殊要求，则由供需双方商定
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="2">铸态或铸态去应力处理</td><td colspan="2">硬化态或硬化态去应力处理</td><td colspan="2">软化退火态</td></tr>
<tr><td>硬度 HRC</td><td>硬度 HBW</td><td>硬度 HRC</td><td>硬度 HBW</td><td>硬度 HRC</td><td>硬度 HBW</td></tr>
<tr><td>BTMNi4Cr2-DT</td><td>≥53</td><td>≥550</td><td>≥56</td><td>≥600</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>BTMNi4Cr2-GT</td><td>≥53</td><td>≥550</td><td>≥56</td><td>≥600</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>BTMCr9Ni5</td><td>≥50</td><td>≥500</td><td>≥56</td><td>≥600</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>BTMCr2</td><td>≥46</td><td>≥435</td><td>≥56</td><td>≥600</td><td>≤41</td><td>≤400</td></tr>
<tr><td>BTMCr8</td><td>≥45</td><td>≥450</td><td>≥56</td><td>≥600</td><td>≤41</td><td>≤400</td></tr>
<tr><td>BTMCr12-DT</td><td>—</td><td>—</td><td>≥50</td><td>≥500</td><td>≤41</td><td>≤400</td></tr>
<tr><td>BTMCr12-GT</td><td>≥46</td><td>≥450</td><td>≥58</td><td>≥650</td><td>≤41</td><td>≤400</td></tr>
<tr><td>BTMCr15</td><td>≥46</td><td>≥450</td><td>≥58</td><td>≥650</td><td>≤41</td><td>≤400</td></tr>
<tr><td>BTMCr20</td><td>≥46</td><td>≥450</td><td>≥58</td><td>≥650</td><td>≤41</td><td>≤400</td></tr>
<tr><td>BTMCr26</td><td>≥46</td><td>≥450</td><td>≥58</td><td>≥650</td><td>≤41</td><td>≤400</td></tr>
</table>
注：1. 洛氏硬度值 HRC 和布氏硬度值 HBW 之间没有精确的对应值。因此，这两种硬度值应独立使用
2. 铸件断面深度 40% 处的硬度应不低于表面硬度值的 92%</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件不允许有裂纹和影响使用性能的夹渣、夹砂、冷隔、气孔、缩孔、缩松、缺肉等铸造缺陷
铸件浇口、冒口、飞边、粘砂等应清除干净。浇口、冒口打磨残余量应符合供需双方认可的规定
铸件表面粗糙度应符合图样或订货合同规定。如图样或定货合同中无规定，铸件表面粗糙度应达到 GB/T 6060.1—1997 中 Ra25μm 级的规定</td></tr>
<tr><td>几何形状、尺寸和质量公差</td><td>铸件的几何形状、尺寸、重量及其公差应符合图样或订货合同规定。如图样和订货合同中无规定，铸件尺寸偏差应达到 GB/T 6414—1999 中 CT11 级的规定，铸件质量偏差应达到 GB/T 11351—1989 中 MT11 级的规定</td></tr>
<tr><td>缺陷清理</td><td>铸件在清整和处理铸造缺陷过程中，不允许使用火焰切割、电弧气刨切割、电焊切割和焊补</td></tr>
</table>

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-7　铬锰钨系抗磨铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 24597—2009）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>熔炼与铸造</td><td>铬锰钨系抗磨铸铁采用电炉熔炼
铬锰钨系抗磨铸铁件可以采用各种适宜的铸造方法生产</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>铬锰钨系抗磨铸铁件可进行退火、淬火、回火等热处理
供方可以根据需方的要求，以不同的热处理状态供货；当需方未注明确切的热处理要求时，供方也可以根据需方的使用条件选择最有利于需方的供货状态</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>铬锰钨系抗磨铸铁件的化学成分应符合下表的规定
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="7">化学成分（质量分数，%）</td></tr>
<tr><td>C</td><td>Si</td><td>Cr</td><td>Mn</td><td>W</td><td>P</td><td>S</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn3W2</td><td>2.8～3.5</td><td>0.3～1.0</td><td>16～22</td><td>2.5～3.5</td><td>1.5～2.5</td><td>≤0.08</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn3W</td><td>2.8～3.5</td><td>0.3～1.0</td><td>16～22</td><td>2.5～3.5</td><td>1.0～1.5</td><td>≤0.08</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn2W</td><td>2.8～3.5</td><td>0.3～1.0</td><td>16～22</td><td>2.0～2.5</td><td>0.3～1.0</td><td>≤0.08</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn3W2</td><td>2.0～2.8</td><td>0.3～1.0</td><td>10～16</td><td>2.5～3.5</td><td>1.5～2.5</td><td>≤0.08</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn3W</td><td>2.0～2.8</td><td>0.3～1.0</td><td>10～16</td><td>2.5～3.5</td><td>1.0～1.5</td><td>≤0.08</td><td>≤0.06</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn2W</td><td>2.0～2.8</td><td>0.3～1.0</td><td>10～16</td><td>2.0～2.5</td><td>0.3～1.0</td><td>≤0.08</td><td>≤0.06</td></tr>
</table>
注：铬碳比应≥5</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>除需方有特殊要求外，金相组织不作为产品验收依据</td></tr>
<tr><td>硬度</td><td>铬锰钨系抗磨铸铁件的硬度应符合下表规定
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="2">硬度 HRC</td></tr>
<tr><td>软化退火态</td><td>硬化态</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn3W2</td><td>≤45</td><td>≥60</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn3W</td><td>≤45</td><td>≥60</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn2W</td><td>≤45</td><td>≥60</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn3W2</td><td>≤40</td><td>≥58</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn3W</td><td>≤40</td><td>≥58</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn2W</td><td>≤40</td><td>≥58</td></tr>
</table>
注：铸件断面深度 40% 部位的硬度应不低于表面硬度值的 96%</td></tr>
<tr><td>淬硬深度</td><td>淬硬深度不作为铸件的验收依据。需要时，由供需双方参照下表商定
<table>
<tr><td>牌号</td><td>淬硬深度/mm</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn3W2</td><td>100</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn3W</td><td>80</td></tr>
<tr><td>BTMCr18Mn2W</td><td>65</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn3W2</td><td>80</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn3W</td><td>65</td></tr>
<tr><td>BTMCr12Mn2W</td><td>50</td></tr>
</table>
注：淬硬深度指在风冷硬化条件下铸件心部硬度分别达到 58HRC 以上（BTMCr18Mn3W2、BTMCr18Mn3W、BTMCr18Mn2W）或 56HRC 以上（BTMCr12Mn3W2、BTMCr12Mn3W、BTMCr12Mn2W）的铸件厚度 1/2 处至铸件表面的距离</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件不允许有裂纹和影响使用性能的夹渣、夹砂、冷隔、气孔、缩孔、缩松、缺肉等铸造缺陷
铸件浇口、冒口、飞边、粘砂等应清除干净，浇口、冒口打磨残余量应不影响铸件使用
铸件表面粗糙度应符合图样或订货合同规定；如图样或订货合同中无规定，铸件表面粗糙度应达到 GB/T 6060.1—1997 中 Ra25μm 级的规定
铸件在清整和处理铸造缺陷过程中，不允许使用火焰切割、碳弧气刨切割、电弧切割和焊补</td></tr>
<tr><td>几何形状尺寸公差和质量偏差</td><td>铸件的几何形状、尺寸公差、质量偏差应符合图样或订货合同规定；如果图样和订货合同中无规定，铸件尺寸公差应达到 GB/T 6414—1999 中 CT10 级的规定，铸件质量公差应达到 GB/T 11351—1989 中 MT13 级的规定
球磨机磨球的直径偏差及表面质量应符合 GB/T 17445—2009 的规定</td></tr>
</table>

表 6-8 耐热铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 9437—2009）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>耐热铸铁件的化学成分应符合下表要求
<table>
<tr><td rowspan="3">铸铁牌号</td><td colspan="6">化学成分（质量分数，%）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">C</td><td rowspan="2">Si</td><td>Mn</td><td>P</td><td>S</td><td rowspan="2">Cr</td><td rowspan="2">Al</td></tr>
<tr><td colspan="3">≤</td></tr>
<tr><td>HTRCr</td><td>3.0～3.8</td><td>1.5～2.5</td><td>1.0</td><td>0.10</td><td>0.08</td><td>0.50～1.00</td><td>—</td></tr>
<tr><td>HTRCr2</td><td>3.0～3.8</td><td>2.0～3.0</td><td>1.0</td><td>0.10</td><td>0.08</td><td>1.00～2.00</td><td>—</td></tr>
<tr><td>HTRCr16</td><td>1.6～2.4</td><td>1.5～2.2</td><td>1.0</td><td>0.10</td><td>0.05</td><td>15.00～18.00</td><td>—</td></tr>
<tr><td>HTRSi5</td><td>2.4～3.2</td><td>4.5～5.5</td><td>0.8</td><td>0.10</td><td>0.08</td><td>0.5～1.00</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRSi4</td><td>2.4～3.2</td><td>3.5～4.5</td><td>0.7</td><td>0.07</td><td>0.015</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRSi4Mo</td><td>2.7～3.5</td><td>3.5～4.5</td><td>0.5</td><td>0.07</td><td>0.015</td><td>Mo0.5～0.9</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRSi4Mo1</td><td>2.7～3.5</td><td>4.0～4.5</td><td>0.3</td><td>0.05</td><td>0.015</td><td>Mo1.0～1.5</td><td>Mg0.01～0.05</td></tr>
<tr><td>QTRSi5</td><td>2.4～3.2</td><td>4.5～5.5</td><td>0.7</td><td>0.07</td><td>0.015</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRAl4Si4</td><td>2.5～3.0</td><td>3.5～4.5</td><td>0.5</td><td>0.07</td><td>0.015</td><td>—</td><td>4.0～5.0</td></tr>
<tr><td>QTRAl5Si5</td><td>2.3～2.8</td><td>4.5～5.2</td><td>0.5</td><td>0.07</td><td>0.015</td><td>—</td><td>5.0～5.8</td></tr>
<tr><td>QTRAl22</td><td>1.6～2.2</td><td>1.0～2.0</td><td>0.7</td><td>0.07</td><td>0.015</td><td>—</td><td>20.0～24.0</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>几何尺寸、加工余量及质量偏差</td><td>铸件的几何形状与尺寸应符合图样的要求。其尺寸公差和加工余量应符合 GB/T 6414—1999 的规定，其质量偏差应符合 GB/T 11351—1989 的规定</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定，由供需双方商定标准等级
铸件应清理干净，修整多余部分，去除浇冒口残余、芯骨、粘砂及内腔残余物等。铸件允许的浇冒口残余、披缝、飞边残余、内腔清洁度等，应符合需方图样、技术要求或供需双方订货协定
铸件上允许的缺陷，其形态、数量、尺寸与位置、可否修补及修补方法等由供需双方商定</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>铸件的室温力学性能和短时高温抗拉性能应符合下表规定：
<table>
<tr><th>牌号</th><th>室温抗拉强度① R_m/MPa ≥</th><th>硬度 HBW</th></tr>
<tr><td>HTRCr</td><td>200</td><td>189～288</td></tr>
<tr><td>HTRCr2</td><td>150</td><td>207～288</td></tr>
<tr><td>HTRCr16</td><td>340</td><td>400～450</td></tr>
<tr><td>HTRSi5</td><td>140</td><td>160～270</td></tr>
<tr><td>QTRSi4</td><td>420</td><td>143～187</td></tr>
<tr><td>QTRSi4Mo</td><td>520</td><td>188～241</td></tr>
<tr><td>QTRSi4Mo1</td><td>550</td><td>200～240</td></tr>
<tr><td>QTRSi5</td><td>370</td><td>228～302</td></tr>
<tr><td>QTRAl4Si4</td><td>250</td><td>285～341</td></tr>
<tr><td>QTRAl5Si5</td><td>200</td><td>302～363</td></tr>
<tr><td>QTRAl22</td><td>300</td><td>241～364</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th rowspan="2">牌号</th><th colspan="5">高温短时抗拉强度② R_m/MPa ≥</th></tr>
<tr><th>500℃</th><th>600℃</th><th>700℃</th><th>800℃</th><th>900℃</th></tr>
<tr><td>HTRCr</td><td>225</td><td>144</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>HTRCr2</td><td>243</td><td>166</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>HTRCr16</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>144</td><td>88</td></tr>
<tr><td>HTRSi5</td><td>—</td><td>—</td><td>41</td><td>27</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRSi4</td><td>—</td><td>—</td><td>75</td><td>35</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRSi4Mo</td><td>—</td><td>—</td><td>101</td><td>46</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRSi4Mo1</td><td>—</td><td>—</td><td>101</td><td>46</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRSi5</td><td>—</td><td>—</td><td>67</td><td>30</td><td>—</td></tr>
<tr><td>QTRAl4Si4</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>82</td><td>32</td></tr>
<tr><td>QTRAl5Si5</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>167</td><td>75</td></tr>
<tr><td>QTRAl22</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>130</td><td>77</td></tr>
</table>
① 允许用热处理方法达到此性能
② 参考值</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>硅系、铝系耐热球墨铸铁件一般应进行去应力的热处理，但硅钼系耐热球墨铸铁件，其珠光体含量低于 15%（体积分数）时，可不进行热处理。其他牌号如需方有要求时，去应力的热处理按订货条件进行</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>耐热铸铁的金相组织，参照 GB/T 9441—2009 和 GB/T 7216—2009 的规定，由供需双方商定具体要求。对于硅系耐热铸铁，其基体组织应以铁素体为主</td></tr>
<tr><td>抗氧化性、抗生长性及热膨胀系数</td><td>在使用温度下，耐热铸铁的平均氧化增重速度不大于 0.5g/（m^2 · h），生长率不大于 0.2%
耐热铸铁的抗氧化与抗生长性能及热膨胀系数可不作为验收依据</td></tr>
</table>

注：需方对磁粉检测、超声波检测、射线检测等有要求时，由供需双方商定，分别按 GB/T 9444—2007、GB/T 7233.1—2009、GB/T 7233.2—2010 和 GB/T 5677—2007 的规定执行。

表 6-9　高硅耐蚀铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 8491—2009）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>高硅耐蚀铸铁件的化学成分作为验收依据，具体应符合下表规定：
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="9">化学成分（质量分数，%）</td></tr>
<tr><td>C</td><td>Si</td><td>Mn
≤</td><td>P
≤</td><td>S
≤</td><td>Cr</td><td>Mo</td><td>Cu</td><td>RE 残留量
≤</td></tr>
<tr><td>HTSSi11Cu2CrR</td><td>≤1.20</td><td>10.00 ~ 12.00</td><td>0.50</td><td>0.10</td><td>0.10</td><td>0.60 ~ 0.80</td><td>—</td><td>1.80 ~ 2.20</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td>HTSSi15R</td><td>0.65 ~ 1.10</td><td>14.20 ~ 14.75</td><td>1.50</td><td>0.10</td><td>0.10</td><td>≤0.50</td><td>≤0.50</td><td>≤0.50</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td>HTSSi15Cr4MoR</td><td>0.75 ~ 1.15</td><td>14.20 ~ 14.75</td><td>1.50</td><td>0.10</td><td>0.10</td><td>3.25 ~ 5.00</td><td>0.40 ~ 0.60</td><td>≤0.50</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td>HTSSi15Cr4R</td><td>0.70 ~ 1.10</td><td>14.20 ~ 14.75</td><td>1.50</td><td>0.10</td><td>0.10</td><td>3.25 ~ 5.00</td><td>≤0.20</td><td>≤0.50</td><td>0.10</td></tr>
</table>
注：本标准的所有牌号都适用于腐蚀的工况条件，HTSSi15Cr4MoR 尤其适用于强氯化物的工况条件，HTSSi15Cr4R 还适用于阳极电板</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>高硅耐蚀铸铁件的力学性能一般不作为验收依据，如需方有要求时应符合下表规定：
<table>
<tr><td>牌号</td><td>抗弯强度
≥</td><td>挠度 f/mm
≥</td></tr>
<tr><td>HTSSi11Cu2CrR</td><td>190</td><td>0.80</td></tr>
<tr><td>HTSSi15R</td><td>118</td><td>0.66</td></tr>
<tr><td>HTSSi15Cr4MoR</td><td>118</td><td>0.66</td></tr>
<tr><td>HTSSi15Cr4R</td><td>118</td><td>0.66</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>几何形状及尺寸公差</td><td>高硅耐蚀铸铁是一种较脆的金属材料，在其铸件的结构设计上不应有锐角和急剧的截面过渡。铸件的几何形状、尺寸应符合需方图样或技术要求。如需方对铸件尺寸公差无特殊要求时，则按 GB/T 6414—1999 的有关规定执行</td></tr>
<tr><td>质量偏差</td><td>铸件质量偏差如需方无特殊要求时，则按 GB/T 11351—1989 的有关规定执行</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件的表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定或需方的图样或技术要求
铸件应清理干净，修整多“肉”，去除浇冒口、芯骨、粘砂及内腔残余物等。铸件允许的浇冒口残余、披缝、飞边残余、内腔清洁度等，应符合需方图样或技术要求或供需双方的订货协定</td></tr>
<tr><td>铸造缺陷</td><td>铸件不应有降低强度和有损产品外观的铸造缺陷，允许修整的缺陷及其修整方法由供需双方商定</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>高硅铸铁通常在热处理（消除残余应力）状态下应用。简单形状的小铸件如在铸态下供货，须供需双方商定
铸件应经去应力热处理，若需方无特殊要求时，可参照下列方式进行：铸件在红热状态下落砂，迅速地排除一切阻碍铸件自由收缩的机械阻力，消除浇冒口，将红热铸件直接装入预热高于 600℃ 的热处理炉内，随即缓慢地加热，最低保温温度为 870℃。在高于 870℃ 的温度下，按铸件的最大壁厚计算，以 1h/25mm 的时间保温，但最少的保温时间不得小于 2h。然后以最大不超过 55℃/15min 的速度冷却，随炉冷却到 205℃ 后出炉，在常温下空冷</td></tr>
</table>

注：需方对磁粉检测、超声波检测、射线检测等有要求时，由供需双方商定，分别按 GB/T 9444—2009、GB/T 7233.1—2009、GB/T 7233.2—2010 和 GB/T 5677—2007 的规定执行。

表 6-10　奥氏体铸铁件合格品的质量评定（摘自 GB/T 26648—2011）

<table>
<tr><th>评定项目</th><th>合格品的质量要求</th></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>
1）一般工程用奥氏体铸铁的化学成分应符合下表规定：
<table>
<tr><th rowspan="2">牌号</th><th colspan="8">化学成分（质量分数，%）</th></tr>
<tr><th>C≤</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>Cu</th><th>Ni</th><th>Cr</th><th>P≤</th><th>S≤</th></tr>
<tr><td>HTANi15Cu6Cr12</td><td>3.0</td><td>1.0～2.8</td><td>0.5～1.5</td><td>5.5～7.5</td><td>13.5～17.5</td><td>1.0～3.5</td><td>0.25</td><td>0.12</td></tr>
<tr><td>QTANi20Cr2</td><td>3.0</td><td>1.5～3.0</td><td>0.5～1.5</td><td>≤0.5</td><td>18.0～22.0</td><td>1.0～3.5</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>QTANi20Cr2Nb①</td><td>3.0</td><td>1.5～2.4</td><td>0.5～1.5</td><td>≤0.5</td><td>18.0～22.0</td><td>1.0～3.5</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>QTANi22</td><td>3.0</td><td>1.5～3.0</td><td>1.5～2.5</td><td>≤0.5</td><td>22.0～24.0</td><td>≤0.50</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>QTANi23Mn4</td><td>2.6</td><td>1.5～2.5</td><td>4.0～4.5</td><td>≤0.5</td><td>22.0～24.0</td><td>≤0.20</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>QTANi35</td><td>2.4</td><td>1.5～3.0</td><td>0.5～1.5</td><td>≤0.5</td><td>34.0～36.0</td><td>≤0.20</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>QTANi35Si5Cr2</td><td>2.3</td><td>4.0～6.0</td><td>0.5～1.5</td><td>≤0.5</td><td>34.0～36.0</td><td>1.5～2.5</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
</table>
注：对于一些牌号，添加一定量的 Mo 可以提高高温下的力学性能
① 当 $w(Nb)\leqslant(0.353\sim0.032)[w(Si)+64\times w(Mg)]$ 时，该材料具有良好的焊接性。$w(Nb)$ 的正常范围是 0.12%～0.20%。
2）特殊用奥氏体铸铁的化学成分应符合下表规定：
<table>
<tr><th rowspan="2">牌号</th><th colspan="8">化学成分（质量分数，%）</th></tr>
<tr><th>C≤</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>Cu</th><th>Ni</th><th>Cr</th><th>P≤</th><th>S≤</th></tr>
<tr><td>HTANi13Mn7</td><td>3.0</td><td>1.5～3.0</td><td>6.0～7.0</td><td>≤0.5</td><td>12.0～14.0</td><td>≤0.2</td><td>0.25</td><td>0.12</td></tr>
<tr><td>QTANi13Mn7</td><td>3.0</td><td>2.0～3.0</td><td>6.0～7.0</td><td>≤0.5</td><td>12.0～14.0</td><td>≤0.2</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>QTANi30Cr3</td><td>2.6</td><td>1.5～3.0</td><td>0.5～1.5</td><td>≤0.5</td><td>28.0～32.0</td><td>2.5～3.5</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>QTANi30Si5Cr5</td><td>2.6</td><td>5.0～6.0</td><td>0.5～1.5</td><td>≤0.5</td><td>28.0～32.0</td><td>4.5～5.5</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>QTANi35Cr3</td><td>2.4</td><td>1.5～3.0</td><td>1.5～2.5</td><td>≤0.5</td><td>34.0～36.0</td><td>2.0～3.0</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
</table>
注：对于一些牌号，添加一定量的 Mo 可以提高高温下的力学性能
</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
奥氏体铸铁件力学性能的验收项目由供需双方商定，一般情况下，奥氏体灰铸铁和 QTANi30Si5Cr5 以抗拉强度作为验收依据；奥氏体球墨铸铁以抗拉强度和伸长率作为验收依据。如果对屈服强度、冲击性能和硬度有要求时，经供需双方商定，可作为验收依据。如果对铸件本体取样测定力学性能时，取样位置、大小、数量以及要达到的性能指标，由供需双方商定
1）一般工程用奥氏体铸铁件的力学性能应符合下表规定：
<table>
<tr><th>牌号</th><th>抗拉强度 R_m/MPa ≥</th><th>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥</th><th>伸长率 A(%) ≥</th><th>冲击吸收能量（V 型缺口）/J ≥</th><th>布氏硬度 HBW</th></tr>
<tr><td>HTANi15Cu6Cr2</td><td>170</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>120～215</td></tr>
<tr><td>QTANi20Cr2</td><td>370</td><td>210</td><td>7</td><td>13①</td><td>140～255</td></tr>
<tr><td>QTANi20Cr2Nb</td><td>370</td><td>210</td><td>7</td><td>13①</td><td>140～200</td></tr>
<tr><td>QTANi22</td><td>370</td><td>170</td><td>20</td><td>20</td><td>130～170</td></tr>
<tr><td>QTANi23Mn4</td><td>440</td><td>210</td><td>25</td><td>24</td><td>150～180</td></tr>
<tr><td>QTANi35</td><td>370</td><td>210</td><td>20</td><td>—</td><td>130～180</td></tr>
<tr><td>QTANi35Si5Cr2</td><td>370</td><td>200</td><td>10</td><td>—</td><td>130～170</td></tr>
</table>
① 非强制性要求
2）特殊用奥氏体铸铁的力学性能应符合下表要求：
<table>
<tr><th>牌号</th><th>抗拉强度 R_m/MPa ≥</th><th>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥</th><th>伸长率 A(%) ≥</th><th>冲击吸收能量（V 型缺口）/J ≥</th><th>布氏硬度 HBW</th></tr>
<tr><td>HTANi13Mn7</td><td>140</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>120～150</td></tr>
<tr><td>QTANi13Mn7</td><td>390</td><td>210</td><td>15</td><td>16</td><td>120～150</td></tr>
<tr><td>QTANi30Cr3</td><td>370</td><td>210</td><td>7</td><td>—</td><td>140～200</td></tr>
<tr><td>QTANi30Si5Cr5</td><td>390</td><td>240</td><td>—</td><td>—</td><td>170～250</td></tr>
<tr><td>QTANi35Cr3</td><td>370</td><td>210</td><td>7</td><td>—</td><td>140～190</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求
金相组织	奥氏体灰铸铁的金相组织为奥氏体 + 少量晶界碳化物 + 片状石墨。Ⅰ型石墨≥70%，石墨大小为 3 ~ 5 级 奥氏体球墨铸铁的金相组织为奥氏体 + 少量晶界碳化物 + 球状石墨。球化级别不低于 4 级，石墨大小为 5 ~ 7 级。如有特殊要求，球化级别由供需双方商定 不允许有条块状碳化物存在，但允许用热处理的方法改变碳化物的形态
热处理	铸件一般情况下以铸态供货。当需方有要求时，可参考下述热处理工艺处理： 去应力热处理工艺：升温速率≤150℃/h，加热到 625 ~ 650℃，保温 2h；断面厚度每增加 25mm，保温时间增加 1h，降温速率≤100℃/h，炉内冷却至 200℃出炉空冷 对于超过 500℃以上工作温度的铸件高温稳定化热处理工艺：升温速率≤150℃/h，加热到 955 ~ 1040℃，保温 3 ~ 5h；断面厚度每增加 25mm，保温时间增加 1h；达到规定的保温时间后出炉空冷
几何形状及尺寸公差	铸件的几何形状及尺寸应符合图样的要求 铸件的尺寸公差应按 GB/T 6414—1999 的规定执行，有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行
表面质量	铸件应清除浇冒口、结疤、飞边等，残留量应符合技术规范或供需双方订货协定 铸件的表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定，有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行 铸件应进行抛丸处理，清除粘砂、氧化皮等 铸件应符合需方的防锈要求
质量公差	铸件的质量公差应符合 GB/T 11351—1989 的规定，有特殊要求的可按图样或有关技术要求执行
缺陷及修补	铸件允许存在加工能去除的表面缺陷，铸件非加工面及内部允许的铸造缺陷种类、数量、范围应符合需方图样、技术规范或供需双方订货协议的规定 铸件不允许有影响使用性能的铸造缺陷（如裂纹、冷隔、缩孔、夹渣等）存在 不影响使用性能的缺陷可以修补（焊补和其他方法），修补技术由供需双方商定

注：需方要求射线检测、超声波检测、磁粉检测时，供方应按需方的技术要求检测，由供需双方商定检测的频次和数量。

6.2.2 用标准评定铸钢件质量

1）用标准 GB/T 11352—2009 评定一般工程用铸造碳钢件质量是否合格，具体指标见表 6-11。

2）用标准 GB/T 7659—2010 评定焊接结构用铸钢件质量是否合格，具体指标见表 6-12。

3）用标准 GB/T 14408—1993 评定一般工程与结构用低合金铸钢件质量是否合格，具体指标见表 6-13。

4）用标准 GB/T 6967—2009 评定工程结构用中、高强度不锈钢铸件质量是否合格，具体指标见表 6-14。

5）用标准 GB/T 5680—2010 评定奥氏体锰钢铸件质量是否合格，具体指标见表 6-15。

6）用标准 GB/T 8492—2002 评定一般用途耐热钢和合金铸件质量是否合格，具体指标见表 6-16 和表 6-17。

7）用标准 GB/T 2100—2002 评定一般用途耐蚀钢铸件质量是否合格，具体指标见表 6-18 和表 6-19。

8）用标准 GB/T 16253—1996 评定承压钢铸件质量是否合格，具体指标见表 6-20 ~ 表 6-22。

表 6-11 一般工程用铸造碳钢件合格品的质量评定（摘自 GB/T 11352—2009）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>一般工程用铸造碳钢件的化学成分应符合下表规定
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td>C
≤</td><td>Si
≤</td><td>Mn
≤</td><td>S
≤</td><td>P
≤</td><td colspan="6">残余元素（质量分数，%）
≤</td></tr>
<tr><td>Ni</td><td>Cr</td><td>Cu</td><td>Mo</td><td>V</td><td>残留元素总量</td></tr>
<tr><td>ZG 200-400</td><td>0.20</td><td rowspan="5">0.60</td><td>0.80</td><td rowspan="5">0.035</td><td rowspan="5">0.035</td><td rowspan="5">0.40</td><td rowspan="5">0.35</td><td rowspan="5">0.40</td><td rowspan="5">0.20</td><td rowspan="5">0.05</td><td rowspan="5">1.00</td></tr>
<tr><td>ZG 230-450</td><td>0.30</td><td rowspan="4">0.90</td></tr>
<tr><td>ZG 270-500</td><td>0.40</td></tr>
<tr><td>ZG 310-570</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG 340-640</td><td>0.60</td></tr>
</table>
注：1. 对上限减少 0.01% 的碳，允许增加 0.04% 的锰，对 ZG 200-400 的锰最高至 1.00%，其余四个牌号锰最高至 1.20%。
2. 除另有规定外，残留元素不作为验收依据</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>一般工程用铸造碳钢的力学性能应符合下表规定，其中断面收缩率和冲击吸收能量，如需方无要求时，由供方选择其一：
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td rowspan="2">下屈服强度 R_{eH}（$R_{p0.2}$）/MPa ≥</td><td rowspan="2">抗拉强度 R_m/MPa ≥</td><td rowspan="2">伸长率 A_5（%） ≥</td><td colspan="3">根据合同选择</td></tr>
<tr><td>断面收缩率 Z（%） ≥</td><td>冲击吸收能量 KV_2/J ≥</td><td>冲击吸收功 KU_2/J ≥</td></tr>
<tr><td>ZG 200-400</td><td>200</td><td>400</td><td>25</td><td>40</td><td>30</td><td>47</td></tr>
<tr><td>ZG 230-450</td><td>230</td><td>450</td><td>22</td><td>32</td><td>25</td><td>35</td></tr>
<tr><td>ZG 270-500</td><td>270</td><td>500</td><td>18</td><td>25</td><td>22</td><td>27</td></tr>
<tr><td>ZG 310-570</td><td>310</td><td>570</td><td>15</td><td>21</td><td>15</td><td>24</td></tr>
<tr><td>ZG 340-640</td><td>340</td><td>640</td><td>10</td><td>18</td><td>10</td><td>16</td></tr>
</table>
注：表中所列的各牌号性能，适用于厚度为 100mm 以下的铸件。当铸件厚度超过 100mm 时，表中规定的下屈服强度 R_{eH}（$R_{p0.2}$）仅供设计使用</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>除另有规定外，热处理工艺由供方自行决定
铸钢件的热处理按 GB/T 16923—2008、GB/T 16924—2008 的规定执行</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件表面粗糙度应符合图样或订货合同
铸件表面不应存在影响使用的缺陷</td></tr>
<tr><td>几何形状、尺寸、尺寸公差和加工余量</td><td>铸件几何形状、尺寸、尺寸公差和加工余量应符合图样或订货合同。如无图样或订货合同，铸件应符合 GB/T 6414—1999 的规定</td></tr>
<tr><td>焊补</td><td>供方可对铸件缺陷进行焊补，焊补条件由供方确定。如需方对焊补有要求时应与供方协商</td></tr>
<tr><td>矫正</td><td>铸件产生的变形可通过矫正的方法消除</td></tr>
</table>

表 6-12　焊接结构用铸钢件合格品的质量评定（摘自 GB/T 7659—2010）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>焊接结构用铸钢件的化学成分应符合下表规定：
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="5">主要元素（质量分数，%）</td><td colspan="6">残余元素（质量分数，%）</td></tr>
<tr><td>C</td><td>Si</td><td>Mn</td><td>P</td><td>S</td><td>Ni</td><td>Cr</td><td>Cu</td><td>Mo</td><td>V</td><td>总和</td></tr>
<tr><td>ZG200-400H</td><td>≤0.20</td><td>≤0.60</td><td>≤0.80</td><td>≤0.025</td><td>≤0.025</td><td rowspan="5">≤0.40</td><td rowspan="5">≤0.35</td><td rowspan="5">≤0.40</td><td rowspan="5">≤0.15</td><td rowspan="5">≤0.05</td><td rowspan="5">≤1.0</td></tr>
<tr><td>ZG230-450H</td><td>≤0.20</td><td>≤0.60</td><td>≤0.80</td><td>≤0.025</td><td>≤0.025</td></tr>
<tr><td>ZG270-480H</td><td>0.17～0.25</td><td>≤0.60</td><td>0.80～1.20</td><td>≤0.025</td><td>≤0.025</td></tr>
<tr><td>ZG300-500H</td><td>0.17～0.25</td><td>≤0.60</td><td>1.00～1.60</td><td>≤0.025</td><td>≤0.025</td></tr>
<tr><td>ZG340-550H</td><td>0.17～0.25</td><td>≤0.80</td><td>1.00～1.60</td><td>≤0.025</td><td>≤0.025</td></tr>
</table>
注：1. 实际碳含量比表中碳上限每减少 0.01%，允许实际锰含量超出表中锰上限 0.04%，但总超出量不得大于 0.2%
2. 残余元素一般不做分析，如需方有要求时，可做残余元素的分析
3. 成品化学成分允许偏差应符合 GB/T 222—2006 的规定</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>铸件应进行热处理。除另有规定外，热处理工艺由供方决定，可按 GB/T 16923—2008、GB/T 16924—2008 规定执行</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>焊接结构用铸钢的单铸试块室温力学性能应符合下表规定。
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="3">拉伸性能</td><td colspan="2">根据合同选择</td></tr>
<tr><td>上屈服强度 R_{eH}/MPa (min)</td><td>抗拉强度 R_m/MPa (min)</td><td>断后伸长率 A/% (min)</td><td>断面收缩率 Z(%) (min)</td><td>冲击吸收能量 KV_2/J (min)</td></tr>
<tr><td>ZG 200-400H</td><td>200</td><td>400</td><td>25</td><td>40</td><td>45</td></tr>
<tr><td>ZG 230-450H</td><td>230</td><td>450</td><td>22</td><td>35</td><td>45</td></tr>
<tr><td>ZG 270-480H</td><td>270</td><td>480</td><td>20</td><td>35</td><td>40</td></tr>
<tr><td>ZG 300-500H</td><td>300</td><td>500</td><td>20</td><td>21</td><td>40</td></tr>
<tr><td>ZG 340-550H</td><td>340</td><td>550</td><td>15</td><td>21</td><td>35</td></tr>
</table>
注：当无明显屈服时，测定规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$。</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件应进行清理和精整
铸件表面粗糙度应符合图样或合同的规定</td></tr>
<tr><td>几何形状、尺寸、尺寸公差、加工余量</td><td>铸件的几何形状、尺寸应符合图样或合同的规定
铸件的尺寸公差和加工余量应符合图样或合同的规定。如无图样或合同规定，则应符合 GB/T 6414—1999 的规定</td></tr>
<tr><td>质量公差</td><td>铸件的质量公差应符合 GB/T 11351—1989 的规定，或图样、合同的规定</td></tr>
<tr><td>缺陷焊补</td><td>供方可对铸件缺陷进行焊补，焊补条件由供方确定，如需方另有要求，则按合同的规定执行
重大焊补：为焊补而制备的凹坑，其深度超过铸件壁厚的 40% 或 25mm 者（二者中取较小者）；或当承压铸件的水压试验渗漏时，均认为是重大焊补，重大焊补应有焊补位置、工艺的记录。重大焊补后应进行去应力热处理，并按铸件检验相同的标准检验</td></tr>
</table>

注：当需方要求对铸件进行无损检验时，检验的部位、方法和标准由供需双方协商，并应在图样或合同中注明。

表 6-13 一般工程与结构用低合金铸钢件合格品的质量评定（摘自 GB/T 14408—1993）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>1）力学性能应符合下表规定：
2）若以冲击吸收能量作为检验指标，可代替断面收缩率
<table>
<tr><td>牌　　号</td><td>下屈服（规定塑性延伸）强度 R_{eL}（$R_{p0.2}$）/MPa ≥</td><td>抗拉强度 R_m /MPa ≥</td><td>伸长率 A_5(%) ≥</td><td>收缩率 Z(%) ≥</td></tr>
<tr><td>ZGD270-480</td><td>270</td><td>480</td><td>18</td><td>35</td></tr>
<tr><td>ZGD290-510</td><td>290</td><td>510</td><td>16</td><td>35</td></tr>
<tr><td>ZGD345-570</td><td>345</td><td>570</td><td>14</td><td>35</td></tr>
<tr><td>ZGD410-620</td><td>410</td><td>620</td><td>13</td><td>35</td></tr>
<tr><td>ZGD535-720</td><td>535</td><td>720</td><td>12</td><td>30</td></tr>
<tr><td>ZGD650-830</td><td>650</td><td>830</td><td>10</td><td>25</td></tr>
<tr><td>ZGD730-910</td><td>730</td><td>910</td><td>8</td><td>22</td></tr>
<tr><td>ZGD840-1030</td><td>840</td><td>1030</td><td>6</td><td>20</td></tr>
</table>
注：表中力学性能取自 28mm 厚标准试块</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>各牌号化学成分中的硫、磷含量应符合下表规定：
<table>
<tr><td rowspan="2">牌　　号</td><td colspan="2">最高含量（质量分数，%）</td></tr>
<tr><td>S</td><td>P</td></tr>
<tr><td>ZGD270-480</td><td rowspan="6">0.040</td><td rowspan="6">0.040</td></tr>
<tr><td>ZGD290-510</td></tr>
<tr><td>ZGD345-570</td></tr>
<tr><td>ZGD410-620</td></tr>
<tr><td>ZGD535-720</td></tr>
<tr><td>ZGD650-830</td></tr>
<tr><td>ZGD730-910</td><td rowspan="2">0.035</td><td rowspan="2">0.035</td></tr>
<tr><td>ZGD840-1030</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>焊补</td><td>铸件可用焊接方法进行修补</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>1）各个牌号的铸件均需进行热处理
2）通常采用的热处理工艺有：退火、正火、正火 + 回火、淬火 + 回火
3）铸件浇注后应冷却到相变温度范围以下方可进行热处理</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>1）铸件表面粗糙度应按 GB/T 6060.1—1997 选定，并在图样、订货合同中注明
2）铸件应清理干净，修整飞边，去除补贴、粘砂、氧化铁皮及内腔残余物等
3）浇冒口切割残余量应符合供需双方认可的规定</td></tr>
<tr><td>缺陷</td><td>1）不允许有影响铸件使用性能的裂纹、冷隔、缩松等缺陷存在
2）铸件加工面上允许存在在加工余量范围内的表面缺陷</td></tr>
<tr><td>几何形状
尺寸</td><td>铸件的几何形状与尺寸应符合订货时图样、模样或合同中的要求</td></tr>
<tr><td>尺寸公差</td><td>铸件尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定，或图样、订货合同的要求</td></tr>
<tr><td>加工余量</td><td>铸件的加工余量应符合 GB/T 6414—1999 的规定，或图样、订货合同的要求</td></tr>
</table>

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-14　工程结构用中、高强度不锈钢铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 6967—2009）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>工程结构用中、高强度不锈铸钢件的化学成分应符合下表的规定：
除另有规定外，残余元素含量不作为验收依据
对 ZG04Cr13Ni4Mo 和 ZG04Cr13Ni5Mo，其精炼钢液气体含量应控制为：[H] ≤ 3×10^{-6}，[N] ≤ 200×10^{-6}，[O] ≤ 100×10^{-6}。除另有规定外，气体含量不作为验收依据
<table>
<tr><td rowspan="3">牌号</td><td colspan="10">化学成分（质量分数，%）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">C</td><td rowspan="2">Si
≤</td><td rowspan="2">Mn
≤</td><td rowspan="2">P
≤</td><td rowspan="2">S
≤</td><td rowspan="2">Cr</td><td rowspan="2">Ni</td><td rowspan="2">Mo</td><td colspan="4">残余元素
≤</td></tr>
<tr><td>Cu</td><td>V</td><td>W</td><td>总量</td></tr>
<tr><td>ZG20Cr13</td><td>0.16 ~ 0.24</td><td>0.80</td><td>0.80</td><td>0.035</td><td>0.025</td><td>11.5 ~ 13.5</td><td>—</td><td>—</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG15Cr13</td><td>≤0.15</td><td>0.80</td><td>0.80</td><td>0.035</td><td>0.025</td><td>11.5 ~ 13.5</td><td>—</td><td>—</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG15Cr13Ni1</td><td>≤0.15</td><td>0.80</td><td>0.80</td><td>0.035</td><td>0.025</td><td>11.5 ~ 13.5</td><td>≤1.00</td><td>≤0.50</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG10Cr13Ni1Mo</td><td>≤0.10</td><td>0.80</td><td>0.80</td><td>0.035</td><td>0.025</td><td>11.5 ~ 13.5</td><td>0.8 ~ 1.80</td><td>0.20 ~ 0.50</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr13Ni4Mo</td><td>≤0.06</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>0.035</td><td>0.025</td><td>11.5 ~ 13.5</td><td>3.5 ~ 5.0</td><td>0.40 ~ 1.00</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr13Ni5Mo</td><td>≤0.06</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>0.035</td><td>0.025</td><td>11.5 ~ 13.5</td><td>4.5 ~ 6.0</td><td>0.40 ~ 1.00</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr16Ni5Mo</td><td>≤0.06</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>0.035</td><td>0.025</td><td>15.5 ~ 17.0</td><td>4.5 ~ 6.0</td><td>0.40 ~ 1.00</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG04Cr13Ni4Mo</td><td>≤0.04</td><td>0.80</td><td>1.50</td><td>0.030</td><td>0.010</td><td>11.5 ~ 13.5</td><td>3.5 ~ 5.0</td><td>0.40 ~ 1.00</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>ZG04Cr13Ni5Mo</td><td>≤0.04</td><td>0.80</td><td>1.50</td><td>0.030</td><td>0.010</td><td>11.5 ~ 13.5</td><td>4.5 ~ 6.0</td><td>0.40 ~ 1.00</td><td>0.50</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>0.50</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>工程结构用中、高强度不锈钢的力学性能应符合下表规定：
<table>
<tr><td rowspan="2" colspan="2">牌号</td><td colspan="6">力学性能</td></tr>
<tr><td>规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥</td><td>抗拉强度 R_m/MPa ≥</td><td>伸长率 A_5(%) ≥</td><td>断面收缩率 Z(%) ≥</td><td>冲击吸收能量 KV_2/J ≥</td><td>布氏硬度 HBW</td></tr>
<tr><td colspan="2">ZG15Cr13</td><td>345</td><td>540</td><td>18</td><td>40</td><td>—</td><td>163 ~ 229</td></tr>
<tr><td colspan="2">ZG20Cr13</td><td>390</td><td>590</td><td>16</td><td>35</td><td>—</td><td>170 ~ 235</td></tr>
<tr><td colspan="2">ZG15Cr13Ni1</td><td>450</td><td>590</td><td>16</td><td>35</td><td>20</td><td>170 ~ 241</td></tr>
<tr><td colspan="2">ZG10Cr13Ni1Mo</td><td>450</td><td>620</td><td>16</td><td>35</td><td>27</td><td>170 ~ 241</td></tr>
<tr><td colspan="2">ZG06Cr13Ni4Mo</td><td>550</td><td>750</td><td>15</td><td>35</td><td>50</td><td>221 ~ 294</td></tr>
<tr><td colspan="2">ZG06Cr13Ni5Mo</td><td>550</td><td>750</td><td>15</td><td>35</td><td>50</td><td>221 ~ 294</td></tr>
<tr><td colspan="2">ZG06Cr16Ni5Mo</td><td>550</td><td>750</td><td>15</td><td>35</td><td>50</td><td>221 ~ 294</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZG04Cr13Ni4Mo</td><td>HT1①</td><td>580</td><td>780</td><td>18</td><td>50</td><td>80</td><td>221 ~ 294</td></tr>
<tr><td>HT2②</td><td>830</td><td>900</td><td>12</td><td>35</td><td>35</td><td>294 ~ 350</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZG04Cr13Ni5Mo</td><td>HT1①</td><td>580</td><td>780</td><td>18</td><td>50</td><td>80</td><td>221 ~ 294</td></tr>
<tr><td>HT2②</td><td>830</td><td>900</td><td>12</td><td>35</td><td>35</td><td>294 ~ 350</td></tr>
</table>
注：1. 表中牌号为 ZG15Cr13、ZG20Cr13、ZG15Cr13Ni1 铸钢的力学性能，适用于壁厚小于或等于 150mm 的铸件。牌号为 ZG10Cr13Ni1Mo、ZG06Cr13Ni4Mo、ZG06Cr13Ni5Mo、ZG06Cr16Ni5Mo、ZG04Cr13Ni4Mo、ZG04Cr13Ni5Mo 的铸钢的力学性能，适用于壁厚小于或等于 300mm 的铸件
2. ZG04Cr13Ni4Mo(HT2)、ZG04Cr13Ni5Mo(HT2)用于大中型铸焊结构用铸件时，供需双方应另行商定
3. 需方要求做低温冲击试验时，其技术要求由供需双方商定。其中，ZG06Cr16Ni5Mo、ZG06Cr13Ni4Mo、ZG04Cr13Ni4Mo、ZG06Cr13Ni5Mo 和 ZG04Cr13Ni5Mo 0℃的冲击吸收能量应符合本表中的规定
4. 如需做冷弯试验，由供需双方另行商定
① 回火温度应为 600 ~ 650℃
② 回火温度应为 500 ~ 550℃</td></tr>
<tr><td>熔炼</td><td>除另有规定外，熔炼方法由供方选定。但 ZG04Cr13Ni4Mo 和 ZG04Cr13Ni5Mo 两个牌号，应采用钢液精炼工艺，如真空氧脱碳(VOD)、氩氧脱碳(AOD)或其他精炼方法</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>铸件必须经过热处理。除另有规定外，热处理工艺由供方决定</td></tr>
<tr><td>缺陷消除和焊补</td><td>铸件缺陷允许焊补修复，焊补前需将缺陷全部清理干净，露出致密金属表面，并经磁粉或渗透检测，确认符合焊补要求后，方可焊补
铸件缺陷的焊补应由合格的操作人员按焊补工艺要求进行
焊补用焊材分为同材质马氏体型不锈钢焊材或奥氏体型不锈钢焊材。一般应在性能热处理后进行焊补。不同于母材的焊材类型由双方商定。焊补前一般需进行焊接工艺评定，并得到需方认可较大缺陷焊补应事先征得需方的同意
为焊补而制备的凹坑，其深度超过铸件壁厚的 20% 或 25mm 者(二者中取较小者)；或当承压铸件的水压试验渗漏时，均应视为较大缺陷
较大缺陷焊补后应进行去应力热处理，并按该铸件探伤标准进行检测，确认焊补合格</td></tr>
<tr><td>尺寸公差与加工余量</td><td>铸件尺寸公差和加工余量应符合图样或订货协议，如图样或订货协议中无规定，铸件尺寸公差和加工余量应符合 GB/T 6414—1999 的规定</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件应修整飞边，去除浇口、冒口。表面应清除粘砂和氧化皮
铸件表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定</td></tr>
</table>

表 6-15　奥氏体锰钢铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 5680—2010）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>奥氏体锰钢铸件的化学成分应符合下表的规定：
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="9">化学成分(质量分数,%)</td></tr>
<tr><td>C</td><td>Si</td><td>Mn</td><td>P</td><td>S</td><td>Cr</td><td>Mo</td><td>Ni</td><td>W</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn7Mo1</td><td>1.05～1.35</td><td>0.3～0.9</td><td>6～8</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>—</td><td>0.9～1.2</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG110Mn13Mo1</td><td>0.75～1.35</td><td>0.3～0.9</td><td>11～14</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>—</td><td>0.9～1.2</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG100Mn13</td><td>0.90～1.05</td><td>0.3～0.9</td><td>11～14</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn13</td><td>1.05～1.35</td><td>0.3～0.9</td><td>11～14</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn13Cr2</td><td>1.05～1.35</td><td>0.3～0.9</td><td>11～41</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>1.5～2.5</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn13W1</td><td>1.05～1.35</td><td>0.3～0.9</td><td>11～14</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>0.9～1.2</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn13Ni3</td><td>1.05～1.35</td><td>0.3～0.9</td><td>11～14</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>—</td><td>—</td><td>3～4</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG90Mn14Mo1</td><td>0.70～1.00</td><td>0.3～0.6</td><td>13～15</td><td>≤0.070</td><td>≤0.040</td><td>—</td><td>1.0～1.8</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn17</td><td>1.05～1.35</td><td>0.3～0.9</td><td>16～19</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn17Cr2</td><td>1.05～1.35</td><td>0.3～0.9</td><td>16～19</td><td>≤0.060</td><td>≤0.040</td><td>1.5～2.5</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>
注：1. 允许加入微量 V、Ti、Nb、B 和 RE 等元素。
2. 钢的成品化学成分允许偏差应符合 GB/T 222—2006 的规定</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>当铸件厚度 <45mm 且 w(C) <0.8% 时，ZG90Mn14Mo1 可以不经过热处理而直接供货。厚度大于或等于 45mm 且 w(C) ≥0.8% 的 ZG90Mn14Mo1 以及其他所有牌号的铸件必须进行水韧处理(水淬固溶处理)，铸件应均匀地加热和保温，水韧处理温度≥1040℃，且必须快速入水处理，铸件入水后水温不得超过 50℃</td></tr>
<tr><td>硬度</td><td>除非供需双方另有约定，室温条件下铸件硬度应不高于 300HBW</td></tr>
<tr><td>金相组织</td><td>除了 ZG120Mn7Mo1，水韧处理后其他牌号铸件或附铸试块的显微组织应为奥氏体或奥氏体加少量碳化物
1)碳化物按 GB/T 13925—2010 中规定，分未溶、析出和过热三类级别进行评定，如下：
未溶碳化物级别不大于 W3 级为合格
析出碳化物级别不大于 X3 级为合格
过热碳化物级别不大于 G2 级为合格
碳化物超过规定时，可在铸件或附铸试块上取样复查，或在铸件及其附铸试块重新水韧处理后取样复检，其复检结果若过热碳化物超过规定者应判废，未溶和析出碳化物超过规定者允许重新水韧处理。但是，未经需方同意，不允许对铸件及试块进行多于两次的重新热处理
2)非金属夹杂物按 GB/T 13925—2010 中规定评级，不大于 4A 和 4B 级且视场内超过 6mm 的夹杂物不超过 2 个为合格
3)晶粒度按 GB/T 6394—2002 中规定评级，显微晶粒度级别数不小于 2 为合格
4)金相试样的制取应距铸造表面不少于 6mm。试验方法按 GB/T 13925—2010 规定进行</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>经水韧处理后的 ZG120Mn13 和 ZG120Mn13Cr2 试样的力学性能(下屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、冲击吸收能)应符合下表的规定：
<table>
<tr><td rowspan="2">牌号</td><td colspan="4">力学性能</td></tr>
<tr><td>下屈服强度 R_{eL} /MPa</td><td>抗拉强度 R_m /MPa</td><td>断后伸长率 A (%)</td><td>冲击吸收能 KU_2 /J</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn13</td><td>—</td><td>≥685</td><td>≥25</td><td>≥118</td></tr>
<tr><td>ZG120Mn13Cr2</td><td>≥390</td><td>≥735</td><td>≥20</td><td>—</td></tr>
</table>
注：拉伸试验按 GB/T 228—2010 的规定执行，冲击试验按 GB/T 229—2007 的规定执行</td></tr>
<tr><td>弯曲性能</td><td>弯曲试样和其所代表的锰钢用同炉钢液在单独的铸型中浇铸。其断面尺寸为 13mm × 19mm，长度为 300mm，而且除了需要清理表面不平整或脱碳层外，试样无需加工和磨削就进行水韧处理和检验
在室温条件下，试样应能向着断面 13mm 厚度方向冷弯 150°而不完全断裂。如果弯曲后试样表面有裂纹，但试样仍保持在一块上，同样视为合格</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>评定项目</th><th>合格品的质量要求</th></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>铸件不允许有裂纹和影响使用性能的夹渣、夹砂、冷隔、气孔、缩孔、缩松、缺肉等铸造缺陷
铸件浇口、冒口、飞边、粘砂等应清除干净，浇口、冒口打磨残余量应符合供需双方认可的规定
铸件表面粗糙度应按 GB/T 6060.1—1997 选定，并在图样或订货合同中规定</td></tr>
<tr><td>尺寸、几何和质量公差</td><td>铸件的几何形状，尺寸、几何和质量偏差应符合图样或订货合同规定。如图样和订货合同中无规定，铸件尺寸偏差应达到 GB/T 6414—1999 中 CT11 级的规定，铸件质量偏差应达到 GB/T 11351—1989 中 MT11 级的规定，有关几何公差要求见下表：
<table>
<tr><td>铸孔径和槽尺寸/mm</td><td>≤25</td><td>>25 ~ 40</td><td>>40 ~ 63</td><td>>63 ~ 100</td></tr>
<tr><td>公差值/mm</td><td>+3.0
-0</td><td>+3.5
-0</td><td>+4.0
-0</td><td>+4.5
-0</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>装配尺寸孔距/mm</td><td>≤160</td><td>>160 ~ 250</td><td>>250 ~ 400</td><td>>400 ~ 630</td><td>>630 ~ 1000</td><td>>1000 ~ 1600</td></tr>
<tr><td>公差值/mm</td><td>±2.5</td><td>±3.0</td><td>±3.5</td><td>±4.0</td><td>±4.5</td><td>±5</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>铸件基本尺寸/mm</td><td>≤250</td><td>>250 ~ 400</td><td>>400 ~ 630</td><td>>630 ~ 1000</td><td>>1000 ~ 1600</td><td>>1600 ~ 2500</td></tr>
<tr><td>直线度和平面度公差值/mm</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>铸件基本尺寸/mm</td><td>≤400</td><td>>400 ~ 630</td><td>>630 ~ 1600</td><td>>1000 ~ 1600</td><td>>1600 ~ 2500</td></tr>
<tr><td>圆度公差值/mm</td><td>4.5</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>焊补</td><td>铸件缺陷允许焊补，焊补前必须将铸件缺陷部位清理干净，焊补后应不影响铸件的使用和外观质量
铸件经较大范围焊补后，是否再次进行水韧处理，应由供需双方商定
除非供需双方另有商定，铸件为焊补面准备的坡口深度超过壁厚的 40% 或 25mm（以坡口深度较小者为准），被认为是重大焊补
重大焊补须经需方事先同意。重大焊补应有焊补位置和范围等记录，施焊条件由供方确定。需方如果对焊前准备、焊条材质、焊补工艺、焊后处理有要求，应与供方协商。焊补后均应按照检验铸件的同一标准进行检验</td></tr>
<tr><td>矫正</td><td>铸件如产生变形，允许在水韧处理后和室温下对铸件矫正</td></tr>
</table>

注：经供需双方商定，室温条件下对锰钢铸件、试块和试样做金相组织、力学性能（下屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、冲击吸收能）、弯曲性能和无损检测时，通常选择其中一项或多项作为铸件验收的必检项目。

表 6-16　一般用途耐热钢和合金铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 8492—2002）

<table>
<tr><th>评定项目</th><th>合格品的质量要求</th></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>各牌号的化学成分应符合表 6-17 的规定</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>ZG30Cr7Si2、ZG40Cr13Si2、ZG40Cr17Si2、ZG40Cr24Si2、ZG40Cr28Si2、ZGCr29Si2 可以在 800 ~ 850℃进行退火处理。若需要，ZG30Cr7Si2 也可铸态下供货。根据 GB/T 8492—2002 生产的其他牌号耐热钢和合金铸件，不需要热处理</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>当供需双方协商要求提供室温力学性能时，则其力学性能应符合下表规定：
<table>
<tr><th rowspan="2">牌　　号</th><th colspan="4">室温力学性能</th><th rowspan="2">最高使用温度/℃（供参考）</th></tr>
<tr><th>$R_{p0.2}$/MPa ≥</th><th>R_m/MPa ≥</th><th>A（%）≥</th><th>HBW</th></tr>
<tr><td>ZG30Cr7Si2</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>750</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr13Si2</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>300①</td><td>850</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr17Si2</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>300①</td><td>900</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr24Si2</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>300①</td><td>1050</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td colspan="6">合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td rowspan="30">力学性能</td><td rowspan="2">牌　　号</td><td colspan="4">室温力学性能</td><td rowspan="2">最高使用温度/℃（供参考）</td></tr>
<tr><td>$R_{p0.2}$ /MPa ≥</td><td>R_m /MPa ≥</td><td>A （%） ≥</td><td>HBW</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr28Si2</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>320①</td><td>1100</td></tr>
<tr><td>ZGCr29Si2</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>400①</td><td>1100</td></tr>
<tr><td>ZG25Cr18Ni9Si2</td><td>230</td><td>450</td><td>15</td><td>—</td><td>900</td></tr>
<tr><td>ZG25Cr20Ni14Si2</td><td>230</td><td>450</td><td>10</td><td>—</td><td>900</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr22Ni10Si2</td><td>230</td><td>450</td><td>8</td><td>—</td><td>950</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr24Ni24Si2Nb1</td><td>220</td><td>400</td><td>4</td><td>—</td><td>1050</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr25Ni12Si2</td><td>220</td><td>450</td><td>6</td><td>—</td><td>1050</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr25Ni20Si2</td><td>220</td><td>450</td><td>6</td><td>—</td><td>1100</td></tr>
<tr><td>ZG45Cr27Ni4Si2</td><td>250</td><td>400</td><td>3</td><td>400②</td><td>1100</td></tr>
<tr><td>ZG45Cr20Co20Ni20Mo3W3</td><td>320</td><td>400</td><td>6</td><td>—</td><td>1150</td></tr>
<tr><td>ZG10Ni31Cr20Nb1</td><td>170</td><td>440</td><td>20</td><td>—</td><td>1000</td></tr>
<tr><td>ZG40Ni35Cr17Si2</td><td>220</td><td>420</td><td>6</td><td>—</td><td>980</td></tr>
<tr><td>ZG40Ni35Cr26Si2</td><td>220</td><td>440</td><td>6</td><td>—</td><td>1050</td></tr>
<tr><td>ZG40Ni35Cr26Si2Nb1</td><td>220</td><td>440</td><td>4</td><td>—</td><td>1050</td></tr>
<tr><td>ZG40Ni38Cr19Si2</td><td>220</td><td>420</td><td>6</td><td>—</td><td>1050</td></tr>
<tr><td>ZG40Ni38Cr19Si2Nb1</td><td>220</td><td>420</td><td>4</td><td>—</td><td>1100</td></tr>
<tr><td>ZNiCr28Fe17W5Si2C0.4</td><td>220</td><td>400</td><td>3</td><td>—</td><td>1200</td></tr>
<tr><td>ZNiCr50Nb1C0.1</td><td>230</td><td>540</td><td>8</td><td>—</td><td>1050</td></tr>
<tr><td>ZNiCr19Fe18Si1C0.5</td><td>220</td><td>440</td><td>5</td><td>—</td><td>1100</td></tr>
<tr><td>ZNiFe18Cr15Si1C0.5</td><td>200</td><td>400</td><td>3</td><td>—</td><td>1100</td></tr>
<tr><td>ZNiCr25Fe20Co15W5Si1C0.46</td><td>270</td><td>480</td><td>5</td><td>—</td><td>1200</td></tr>
<tr><td>ZCoCr28Fe18C0.3</td><td>③</td><td>③</td><td>③</td><td>③</td><td>1200</td></tr>
<tr><td colspan="6">① 为退火态最大硬度值，铸件也可铸态提供，此时硬度限制就不适用
② 为最大硬度值
③ 由供需双方协商确定</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td colspan="6">1）铸件应清理干净，包括除去冒口、浇口、飞边、粘砂以及冷铁等
2）铸件表面应平整，表面粗糙度应在图样或订货合同中注明</td></tr>
<tr><td>尺寸公差</td><td colspan="6">应按 GB/T 6414—1999 选定</td></tr>
<tr><td>焊补</td><td colspan="6">1）除订货合同中规定不允许焊补及重大焊补者外，制造厂可在未经需方同意情况下进行焊补。焊补后铸件应符合质量要求
2）为焊补而制备的凹坑，其深度超过铸件壁厚的 22% 或 25mm 者（两者中取较小者）；或其面积超过 65mm^2 者；或当承压铸件的水压试验渗漏时，均认为是重大焊补。重大焊补应事先征得需方同意，并应在图样或照片上标出各个焊补的部位或范围，这些文件应在交货时提交给需方</td></tr>
<tr><td>矫正</td><td colspan="6">铸件产生的变形，允许在热处理后校正</td></tr>
</table>

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-17　一般用途耐热钢和合金铸件的化学成分（摘自 GB/T 8492—2002）（质量分数,%）

牌　　号	C	Si	Mn	P ≤	S ≤	Cr	Mo	Ni	其他
ZG30Cr7Si2	0. 20 ~ 0. 35	1. 0 ~ 2. 5	0. 5 ~ 1. 0	0. 04	0. 04	6 ~ 8	0. 5	0. 5	—
ZG40Cr13Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	0. 5 ~ 1. 0	0. 04	0. 03	12 ~ 14	0. 5	1	—
ZG40Cr17Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	0. 5 ~ 1. 0	0. 04	0. 03	16 ~ 19	0. 5	1	—
ZG40Cr24Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	0. 5 ~ 1. 0	0. 04	0. 03	23 ~ 26	0. 5	1	—
ZG40Cr28Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	0. 5 ~ 1. 0	0. 04	0. 03	27 ~ 30	0. 5	1	—
ZGCr29Si2	1. 2 ~ 1. 4	1. 0 ~ 2. 5	0. 5 ~ 1. 0	0. 04	0. 03	27 ~ 30	0. 5	1	—
ZG25Cr18Ni9Si2	0. 15 ~ 0. 35	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	17 ~ 19	0. 5	8 ~ 10	—
ZG25Cr20Ni14Si2	0. 15 ~ 0. 35	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	19 ~ 21	0. 5	13 ~ 15	—
ZG40Cr22Ni10Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	21 ~ 23	0. 5	9 ~ 11	—
ZG40Cr24Ni24Si2Nb	0. 25 ~ 0. 50	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	23 ~ 25	0. 5	23 ~ 25	Nb 1. 2 ~ 1. 8
ZG40Cr25Ni12Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	24 ~ 27	0. 5	11 ~ 14	—
ZG40Cr25Ni20Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	24 ~ 27	0. 5	19 ~ 22	—
ZG40Cr27Ni4Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	1. 5	0. 04	0. 03	25 ~ 28	0. 5	3 ~ 6	—
ZG45Cr20Co20Ni20Mo3W3	0. 35 ~ 0. 60	1. 0	2	0. 04	0. 03	19 ~ 22	2. 5 3. 0	18 ~ 22	Co 18 ~ 22 W 2 ~ 3
ZG10Ni31Cr20Nb1	0. 05 ~ 0. 12	1. 2	1. 2	0. 04	0. 03	19 ~ 23	0. 5	30 ~ 34	Nb 0. 8 ~ 1. 5
ZG40Ni35Cr17Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	16 ~ 18	0. 5	34 ~ 36	—
ZG40Ni35Cr26Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	24 ~ 27	0. 5	33 ~ 36	—
ZG40Ni35Cr26Si2Nb1	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	24 ~ 27	0. 5	33 ~ 36	Nb 0. 8 ~ 1. 8
ZG40Ni38Cr19Si2	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	18 ~ 21	0. 5	36 ~ 39	—
ZG40Ni38Cr19Si2Nb1	0. 3 ~ 0. 5	1. 0 ~ 2. 5	2	0. 04	0. 03	18 ~ 21	0. 5	36 ~ 39	Nb 1. 2 ~ 1. 8
ZNiCr28Fe17W5Si2C0. 4	0. 35 ~ 0. 55	1. 0 ~ 2. 5	1. 5	0. 04	0. 03	27 ~ 30		47 ~ 50	W4 ~ 6
ZNiCr50Nb1C0. 1	0. 1	0. 5	0. 5	0. 02	0. 02	47 ~ 52	0. 5	余量	N 0. 16 N + C 0. 2 Nb1. 4 ~ 1. 7
ZNiCr19Fe18Si1C0. 5	0. 4 ~ 0. 6	0. 5 ~ 2. 0	1. 5	0. 04	0. 03	16 ~ 21	0. 5	50 ~ 55	—
ZNiFe18Cr15Si1C0. 5	0. 35 ~ 0. 65	2	1. 3	0. 04	0. 03	13 ~ 19		64 ~ 69	—
ZNiCr25Fe20- Co15W5Si1C0. 46	0. 44 ~ 0. 48	1 ~ 2	2	0. 04	0. 03	24 ~ 26		33 ~ 37	W 4 ~ 6 Co 14 ~ 16
ZCoCr28Fe18C0. 3	0. 5	1	1	0. 04	0. 03	25 ~ 30	0. 5	1	Co 48 ~ 52 Fe 20 最大值

注：表中的单个值表示最大值。

表 6-18　一般用途耐蚀钢铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 2100—2002）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>铸件牌号的化学成分应符合表 6-19 的规定</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>铸件需进行热处理，其规范应符合下表的规定：
<table>
<tr><th>牌　　号</th><th>热处理规范</th></tr>
<tr><td>ZG15Cr12</td><td>奥氏体化 950 ~ 1050°C，空冷；650°C ~ 750°C 回火，空冷</td></tr>
<tr><td>ZG20Cr13</td><td>950°C 退火，1050°C 油淬，750 ~ 800°C 空冷</td></tr>
<tr><td>ZG10Cr12NiMo</td><td>奥氏体化 1000 ~ 1050°C，空冷；620 ~ 720°C 回火，空冷或炉冷</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr12Ni4（QT1）</td><td>奥氏体化 1000 ~ 1100°C，空冷；570 ~ 620°C 回火，空冷或炉冷</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr12Ni4（QT2）</td><td>奥氏体化 1000 ~ 1100°C，空冷；500 ~ 530°C 回火，空冷或炉冷</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr16Ni5Mo</td><td>奥氏体化 1020 ~ 1070°C，空冷；580 ~ 630°C 回火，空冷或炉冷</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr18Ni10</td><td>1050°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr18Ni10N</td><td>1050°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG07Cr19Ni9</td><td>1050°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG08Cr19Ni10Nb</td><td>1050°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr19Ni11Mo2</td><td>1080°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr19Ni11Mo2N</td><td>1080°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG07Cr19Ni11Mo2</td><td>1080°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG08Cr19Ni11Mo2Nb</td><td>1080°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr19Ni11Mo3</td><td>1120°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr19Ni11Mo3N</td><td>1120°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG07Cr19Ni11Mo3</td><td>1120°C 固溶处理；淬火。随厚度增加，提高空冷速度</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr26Ni5Cu3Mo3N</td><td>1120°C 固溶处理，水淬。高温固溶处理之后，水淬之前，铸件可冷至 1040 ~ 1010°C，以防止复杂形状铸件的开裂</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr26Ni5Mo3N</td><td>1120°C 固溶处理，水淬。高温固溶处理之后，水淬之前，铸件可冷至 1040 ~ 1010°C，以防止复杂形状铸件的开裂</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr14Ni14Si4</td><td>1050 ~ 1100°C 固溶处理；水淬</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>铸件的力学性能应符合下表的规定：
<table>
<tr><th rowspan="2">牌　　号</th><th colspan="4">室温力学性能</th><th rowspan="2">最大壁厚
/mm</th></tr>
<tr><th>$R_{p0.2}$
/MPa
≥</th><th>R_m
/MPa
≥</th><th>A
（%）
≥</th><th>KV
/J
≥</th></tr>
<tr><td>ZG15Cr12</td><td>450</td><td>620</td><td>14</td><td>20</td><td>150</td></tr>
<tr><td>ZG20Cr13</td><td>440（R_{eL}）</td><td>610</td><td>16</td><td>58（KU）</td><td>300</td></tr>
<tr><td>ZG10Cr12NiMo</td><td>440</td><td>590</td><td>15</td><td>27</td><td>300</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr12Ni4（QT1）</td><td>550</td><td>750</td><td>15</td><td>45</td><td>300</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr12Ni4（QT2）</td><td>830</td><td>900</td><td>12</td><td>35</td><td>300</td></tr>
<tr><td>ZG06Cr16Ni5Mo</td><td>540</td><td>760</td><td>15</td><td>60</td><td>300</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr18Ni10</td><td>180</td><td>440</td><td>30</td><td>80</td><td>150</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr18Ni10N</td><td>230</td><td>510</td><td>30</td><td>80</td><td>150</td></tr>
<tr><td>ZG07Cr19Ni9</td><td>180</td><td>440</td><td>30</td><td>60</td><td>150</td></tr>
<tr><td>ZG08Cr19Ni10Nb</td><td>180</td><td>440</td><td>25</td><td>40</td><td>150</td></tr>
<tr><td>ZG03Cr19Ni11Mo2</td><td>180</td><td>440</td><td>30</td><td>80</td><td>150</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求					
力学性能	牌　　号	室温力学性能				最大壁厚/mm
		$R_{p0.2}$/MPa ≥	R_m/MPa ≥	A（%）≥	KV/J ≥	
	ZG03Cr19Ni11Mo2N	230	510	30	80	150
	ZG07Cr19Ni11Mo2	180	440	30	60	150
	ZG08Cr19Ni11Mo2Nb	180	440	25	40	150
	ZG03Cr19Ni11Mo3	180	440	30	80	150
	ZG03Cr19Ni11Mo3N	230	510	30	80	150
	ZG07Cr19Ni11Mo3	180	440	30	60	150
	ZG03Cr26Ni5Cu3Mo3N	450	650	18	50	150
	ZG03Cr26Ni5Mo3N	450	650	18	50	150
	ZG03Cr14Ni14Si4	245（R_{eL}）	490	A_5 = 60	270（KU）	150
表面质量	1）铸件应清理干净，包括除去冒口、浇口、飞边、粘砂以及冷铁等 2）铸件表面应平整，表面粗糙度应在图样或订货合同中注明					
尺寸公差	应按 GB/T6414—1999 规定					
焊补	1）除订货合同中规定不允许焊补者及重大焊补外，制造厂可在未经需方同意情况下进行焊补，焊补后铸件应符合质量要求 2）为焊补而制备的凹坑，其深度超过铸件壁厚的 22% 或 25mm 者（两者中取较小者）；或其面积超过 65mm² 者，或当承压铸件的水压试验渗漏时，均认为是重大焊补。重大焊补应事先征得需方同意，并在图样或照片上标出各个焊补的部位或范围，这些文件应在交货时提交给需方					
矫正	铸件产生的变形允许在热处理后进行矫正。对尺寸稳定性要求高的受力件，矫正后应进行消除应力处理					

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-19　一般用途耐蚀钢铸件的化学成分（摘自 GB/T 2100—2002）

牌　　号	化学成分（质量分数，%）								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他
ZG15Cr12	0.15	0.8	0.8	0.035	0.025	11.5 ~ 13.5	0.5	1.0	—
ZG20Cr13	0.16 ~ 0.24	1.0	0.6	0.035	0.025	12.0 ~ 14.0	—	—	—
ZG10Cr12NiMo	0.10	0.8	0.8	0.035	0.025	11.5 ~ 13.0	0.2 ~ 0.5	0.8 ~ 1.8	—
ZG06Cr12Ni4（QT1）、ZG06Cr12Ni4（QT2）	0.06	1.0	1.5	0.035	0.025	11.5 ~ 13.0	1.0	3.5 ~ 5.0	—
ZG06Cr16Ni5Mo	0.06	0.8	0.8	0.035	0.025	15.0 ~ 17.0	0.7 ~ 1.5	4.0 ~ 6.0	—
ZG03Cr18Ni10	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0 ~ 19.0	—	9.0 ~ 12.0	—
ZG03Cr18Ni10N	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0 ~ 19.0	—	9.0 ~ 12.0	（0.10 ~ 0.20）%N
ZG07Cr19Ni9	0.07	1.5	1.5	0.040	0.030	18.0 ~ 21.0	—	8.0 ~ 11.0	—
ZG08Cr19Ni10Nb	0.08	1.5	1.5	0.040	0.030	18.0 ~ 21.0	—	9.0 ~ 12.0	8 × %C ≤ Nb ≤ 1.00
ZG03Cr19Ni11Mo2	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0 ~ 20.0	2.0 ~ 2.5	9.0 ~ 12.0	—
ZG03Cr19Ni11Mo2N	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0 ~ 20.0	2.0 ~ 2.5	9.0 ~ 12.0	（0.10 ~ 0.20）%N
ZG07Cr19Ni11Mo2	0.07	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0 ~ 20.0	2.0 ~ 2.5	9.0 ~ 12.0	—
ZG08Cr19Ni11Mo2Nb	0.08	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0 ~ 20.0	2.0 ~ 2.5	9.0 ~ 12.0	8 × %C ≤ Nb ≤ 1.00

（续）

牌　　号	化学成分（质量分数%）								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他
ZG03Cr19Ni11Mo3	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～20.0	3.0～3.5	9.0～12.0	—
ZG03Cr19Ni11Mo3N	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～20.0	3.0～3.5	9.0～12.0	(0.10～0.20)%N
ZG07Cr19Ni11Mo3	0.07	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～20.0	3.0～3.5	9.0～12.0	—
ZG03Cr26Ni5Cu3Mo3N	0.03	1.0	1.5	0.035	0.025	25.0～27.0	2.5～3.5	4.5～6.5	(2.4～3.5)%Cu (0.12～0.25)%N
ZG03Cr26Ni5Mo3N	0.03	1.0	1.5	0.035	0.025	25.0～27.0	2.5～3.5	4.5～6.5	(0.12～0.25)%N
ZG03Cr14Ni14Si4	0.03	3.5～4.5	0.8	0.035	0.025	13～15	—	13～15	—

注：表中的单个值表示最大值。

表 6-20　承压钢铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 16253—1996）

评定项目	合格品的质量要求
一般要求	压力容器用承压钢铸件应符合《压力容器安全技术监察规程》的有关规定。当合同有要求时，首次生产的铸件（包括工序、技术文件等）应经劳动部门锅炉压力容器安全监察机构及有关部门的认可
化学成分	各牌号铸钢件的化学成分应符合表 6-21 的规定
热处理	铸件及试块的热处理类型应符合表 6-22 的规定。当某牌号有一种以上的热处理类型时，除另有规定外，制造厂可任选热处理的类型；并且只要符合规定的全部性能要求，也允许制造厂对表 6-22 的热处理温度作适当调整
修补	1）除合同规定不允许焊补外，铸件的一般缺陷可在未经需方预先同意的情况下进行焊补 2）清除缺陷后凹坑的深度超过 25mm 或铸件壁厚 20%（两者中取较小者）；或面积超过 65cm^2；或铸件水压试验渗漏者，均认为是重大焊补。重大焊补需事先征得需方同意，并在图样或照片上显示焊补部位及范围，将这些资料提供给需方
力学性能	28mm 厚Ⅰ型试块的室温力学性能和低温冲击性能应符合表 6-22 的规定
表面质量 内在质量	1）所有铸件应经目检，无浇、冒口残根，无粘砂、氧化皮、裂纹等缺陷 2）铸件表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定 3）铸件内部质量应进行无损检测
形状尺寸	铸件的形状和尺寸应符合图样或合同的要求，尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定
重量	铸件重量应符合图样或合同的要求，重量公差应符合 GB/T 11351—1989 的规定

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-21　承压钢铸件的化学成分（摘自 GB/T 16253—1996）（质量分数，%）

序号	牌号①	元　　素②								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他
		碳　素　钢								
1	ZG240-450A	0.25	0.60	1.20	0.035	0.035	—	—	—	—
2	ZG240-450AG	0.25	0.60	1.20	0.035	0.035	—	—	—	—
3	ZG240-450B	0.20	0.60	1.00～1.60	0.035	0.035	—	—	—	—
4	ZG240-450BG	0.20	0.60	1.00～1.60	0.035	0.035	—	—	—	—
5	ZG240-450BD	0.20	0.60	1.00～1.60	0.030	0.030	—	—	—	—
6	ZG280-520③、④	0.25	0.60	1.20	0.035	0.035	—	—	—	—
7	ZG280-520G③、④	0.25	0.60	1.20	0.035	0.035	—	—	—	—
8	ZG280-520D③	0.25	0.60	1.20	0.030	0.030	—	—	—	—

（续）

序号	牌号①	元　素②								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他
铁素体和马氏体合金钢										
9	ZG19MoG	0.15 ~ 0.23	0.30 ~ 0.60	0.50 ~ 1.00	0.035	0.035	0.030	0.40 ~ 0.60	—	—
10	ZG29Cr1MoD	0.29	0.30 ~ 0.60	0.50 ~ 0.80	0.030	0.030	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.30	—	—
11	ZG15Cr1MoG	0.10 ~ 0.20	0.30 ~ 0.60	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	1.00 ~ 1.50	0.45 ~ 0.65	—	—
12	ZG14MoVG	0.10 ~ 0.17	0.30 ~ 0.60	0.40 ~ 0.70	0.035	0.035	0.30 ~ 0.60	0.40 ~ 0.60	0.40	V：0.22 ~0.32
13	ZG12Cr2Mo1G	0.08 ~ 0.15	0.30 ~ 0.60	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	2.00 ~ 2.50	0.90 ~ 1.20	—	—
14	ZG16Cr2Mo1G	0.13 ~ 0.20	0.30 ~ 0.60	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	2.00 ~ 2.50	0.90 ~ 1.20	—	—
15	ZG20Cr2Mo1D	0.20	0.30 ~ 0.60	0.50 ~ 0.80	0.030	0.030	2.00 ~ 2.50	0.90 ~ 1.20	—	—
16	ZG17Cr1Mo1VG	0.13 ~ 0.20	0.30 ~ 0.60	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	1.20 ~ 1.60⑤	0.90 ~ 1.20	⑥	V：0.15 ~ 0.35
17	ZG16Cr5MoG	0.12 ~ 0.19	0.80	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	4.00 ~ 6.00	0.45 ~ 0.65	—	—
18	ZG14Cr9Mo1G	0.10 ~ 0.17	0.80	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	8.00 ~ 10.0	1.00 ~ 1.30	—	—
19	ZG14Cr12Ni1MoG	0.10 ~ 0.17	0.80	1.00	0.035	0.035	11.5 ~ 13.5	0.50	1.00	—
20	ZG08Cr12Ni1MoG	0.05 ~ 0.10	0.80	0.40 ~ 0.80	0.035	0.035	11.5 ~ 13.0	0.20 ~ 0.50	0.80 ~ 1.80	—
21	ZG08Cr12Ni4Mo1G	0.08	1.00	1.50	0.035	0.035	11.5 ~ 13.5	1.00	3.50 ~ 5.00	—
22	ZG08Cr12Ni4Mo1D	0.08	1.00	1.50	0.030	0.030	11.5 ~ 13.5	1.00	3.50 ~ 5.00	—
23	ZG23Cr12Mo1NiVG	0.20 ~ 0.26	0.20 ~ 0.40	0.50 ~ 0.70	0.035	0.035	11.3 ~ 12.3	1.00 ~ 1.20	0.70 ~ 1.00	V：0.25 ~ 0.35
24	ZG14Ni4D	0.14	0.30 ~ 0.60	0.50 ~ 0.80	0.030	0.030	—	—	3.00 ~ 4.00	—

（续）

序号	牌号①	元　素②								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他
铁素体和马氏体合金钢										
25	ZG24Ni2MoD	0. 24	0. 30 ~ 0. 60	0. 80 ~ 1. 20	0. 030	0. 030	—	0. 15 ~ 0. 30	1. 50 ~ 2. 00	—
26	ZG22Ni3Cr2MoAD	0. 22	0. 60	0. 40 ~ 0. 80	0. 030	0. 030	1. 35 ~ 2. 00	0. 35 ~ 0. 60	2. 50 ~ 3. 50	—
27	ZG22Ni3Cr2MoBD	0. 22	0. 60	0. 40 ~ 0. 80	0. 030	0. 030	1. 50 ~ 2. 00	0. 35 ~ 0. 60	2. 75 ~ 3. 90	—
奥氏体不锈钢										
28	ZG03Cr18Ni10	0. 03	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	17. 0 ~ 19. 0	—	9. 0 ~ 12. 0	—
29	ZG07Cr20Ni10	0. 07	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	18. 0 ~ 21. 0	—	8. 0 ~ 11. 0	—
30	ZG07Cr20Ni10G	0. 04 ~ 0. 10	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	18. 0 ~ 21. 0	—	8. 0 ~ 12. 0	—
31	ZG07Cr18Ni10D	0. 07	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	17. 0 ~ 20. 0	—	9. 0 ~ 12. 0	—
32	ZG08Cr20Ni10Nb	0. 08	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	18. 0 ~ 21. 0	—	9. 0 ~ 12. 0	Nb：8 × %C≤1. 0
33	ZG03Cr19Ni11Mo2	0. 03	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	17. 0 ~ 21. 0	2. 0 ~ 2. 5	9. 0 ~ 13. 0	—
34	ZG07Cr19Ni11Mo2	0. 07	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	17. 0 ~ 21. 0	2. 0 ~ 2. 5	9. 0 ~ 13. 0	—
35	ZG07Cr19Ni11Mo2G	0. 04 ~ 0. 10	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	17. 0 ~ 21. 0	2. 0 ~ 2. 5	9. 0 ~ 13. 0	—
36	ZG08Cr19Ni11Mo2Nb	0. 08	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	17. 0 ~ 21. 0	2. 0 ~ 2. 5	9. 0 ~ 13. 0	Nb：8 × %C≤1. 0
37	ZG03Cr19Ni11Mo3	0. 03	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	17. 0 ~ 21. 0	2. 5 ~ 3. 0	9. 0 ~ 13. 0	—
38	ZG07Cr19Ni11Mo3	0. 07	2. 00	2. 00	0. 045	0. 035	17. 0 ~ 21. 0	2. 5 ~ 3. 0	9. 0 ~ 13. 0	—

① 牌号尾部的符号“A”、“B”表示不同级别，“G”表示用于高温，“D”表示用于低温。

② 除规定范围者外，均为最大值。

③ 碳低于最大值时，每降低 0. 01%（质量分数）的碳，允许锰质量分数的上限升高 0. 04%，直到锰的质量分数达 1. 40% 为止。

④ 对某些产品，经供、需双方同意，可按 $w(C) \leqslant 0.30\%$、$w(Mn) \leqslant 0.90\%$ 供应。

⑤ 对薄断面铸件，铬的最小质量分数允许为 1. 00%。

⑥ 根据壁厚，镍的质量分数可以小于 1. 00%。

表 6-22　承压钢铸件的热处理和力学性能（摘自 GB/T 16253—1996）

序号	牌号	力学性能①						热处理②、③				
		R_{eL}	R_m	A_5	Z	KV		类型	奥氏体化温度/℃	冷却	回火温度/°C	冷却
		/MPa		（%）		/℃	/J					
碳素钢												
1	ZG240-450A	240	450～600	22	35	室温	27	A	890～980	F	—	—
								N（+T）		A	600～700	—
								（Q+T）		L		
2	ZG240-450AG	240	450～600	22	35	室温	27	N（+T）	890～980	A	600～700	A、F
								Q+T		L		
3	ZG240-450B	240	450～600	22	35	室温	45	A	890～980	F	—	—
								N（+T）		A	600～700	A、F
								（Q+T）		L		
4	ZG240-450BG	240	450～600	22	35	室温	45	N（+T）	890～980	A	600～700	A、F
								Q+T		L		
5	ZG240-450BD	240	450～600	22	—	-40	27	N（+T）	890～980	A	600～700	A、F
								Q+T		L		
6	ZG280-520	280	520～670④	18	30	室温	35	A	890～980	F	—	—
								N（+T）		A	600～700	A、F
								（Q+T）		L		
7	ZG280-520G	280	520～670④	18	30	室温	35	N（+T）	890～980	A	600～700	A、F
								Q+T		L		
8	ZG280-520D	280	520～670④	18	—	-35	27	（N+T）	890～980	A	600～700	A、F
								Q+T		L		
铁素体和马氏体合金钢												
9	ZG19MoG	250	450～600	21	35	室温	25	N+T	900～960	A	630～710	A、F
								Q+T		L		
10	ZG29Cr1MoD	370	550～700	16	30	-45	27	（N+T）	850～910	A	640～690	A、F
								Q+T		L		
11	ZG15Cr1MoG	290	490～640	18	35	室温	27	N+T	900～960	A	650～720	A、F
								Q+T		L		
12	ZG14MoVG	320	550～650	17	30	室温	13	N+T	950～1000	A	680～750	A、F
13	ZG12Cr2Mo1G	280	510～660	18	35	室温	25	N+T	930～970	A	680～750	A、F

（续）

序号	牌　　号	力　学　性　能①						热　　处　　理②、③				
		R_{eL}	R_m	A_5	Z	KV		类型	奥氏体化温度/℃	冷却	回火温度/°C	冷却
		/MPa		（%）		/℃	/J					
14	ZG16Cr2Mo1G	390	600 ~ 750	18	35	室温	40	(N + T) N_{AC} + T Q + T	930 ~ 970	A AC L	680 ~ 750	A、F
15	ZG20Cr2Mo1D	390	600 ~ 750	18	—	-50	27	(N + T) (N_{AC} + T) Q + T	930 ~ 970	A AC L	680 ~ 750	A、F
16	ZG17Cr2Mo1VG	420	590 ~ 740	15	35	室温	24	N_{AC} + T Q + T	940 ~ 980	AC L	680 ~ 750	A、F
17	ZG16Cr5MoG	420	630 ~ 780	16	35	室温	25	N + T	930 ~ 990	A	620 ~ 750	A、F
18	ZG14Cr9Mo1G	420	630 ~ 780	16	35	室温	20	N + T	930 ~ 990	A	620 ~ 750	A、F
19	ZG14Cr12Ni1MoG	450	620 ~ 770	14	30	室温	20	N + T	950 ~ 1050	A	620 ~ 750	A、F
20	ZG08Cr12Ni1MoG	360	540 ~ 690	18	35	室温	35	N + T	10000 ~ 1050⑤	A	650 ~ 720	A、F
21	ZG08Cr12Ni4Mo1G	550	750 ~ 900	15	35	室温	45	N + T	950 ~ 1050	A	570 ~ 620	A、F
22	ZG08Cr12Ni4Mo1D	550	750 ~ 900	15	—	-80	27	N_{AC} + T (N + T)	950 ~ 1050	AC A	570 ~ 620	A、F
23	ZG23Cr12Mo1NiVG	540	740 ~ 880	15	20	室温⑥	21	N + T	1020 ~ 1070	A	680 ~ 750	A、F
24	ZG14Ni4D	300	460 ~ 610	20	—	-70	27	Q + T	820 ~ 870	L	590 ~ 660	A⑦
25	ZG24Ni2MoD	380	520 ~ 670	20	—	-35	27	Q + T	900 ~ 950	L	600 ~ 670	A⑦
26	ZG22Ni3Cr2MoAD	450	620 ~ 800	16	—	-80	27	(N + T) N_{AC} + T Q + T	900 ~ 950	A AC L	580 ~ 650	A⑦
27	ZG22Ni3Cr2MoBD	655	800 ~ 950	13	—	-60	27	(N + T) N_{AC} + T Q + T	900 ~ 950	A AC L	580 ~ 650	A⑦

（续）

序号	牌　号	力学性能①						热处理②、③				
		R_{eL}	R_m	A_5	Z	KV		类型	奥氏体化温度/℃	冷却	回火温度/°C	冷却
		/MPa		（%）		/℃	/J					
奥氏体不锈钢												
28	ZG03Cr18Ni10	210	440 ~ 640	30	—	—	—	S	1040 1100	L⑧	—	—
29	ZG07Cr20Ni10	210	440 ~ 640	30	—	—	—	S	1040 1100	L⑧	—	—
30	ZG07Cr20Ni10G	230	470 ~ 670	30	—	—	—	S	1040 1100	L⑧	—	—
31	ZG07Cr18Ni10D	210	440 ~ 640	30	—	-195⑨	45	S	1040 1100	L⑧	—	—
32	ZG08Cr20Ni10Nb	210	440 ~ 640	25	—	—	—	S	1040 1100	L⑧	—	—
33	ZG03Cr19Ni11Mo2	210	440 ~ 620	30	—	—	—	S	≥1050	L⑧	—	—
34	ZG07Cr19Ni11Mo2	210	440 ~ 640	30	—	—	—	S	≥1050	L⑧	—	—
35	ZG07Cr19Ni11Mo2G	230	470 ~ 670	30	—	—	—	S	≥1050	L⑧	—	—
36	ZG08Cr19Ni11Mo2Nb	210	440 ~ 640	25	—	—	—	S	≥1050	L⑧	—	—
37	ZG03Cr19Ni11Mo3	210	440 ~ 640	30	—	—	—	S	≥1050	L⑧	—	—
38	ZG07Cr19Ni11Mo3	210	440 ~ 640	30	—	—	—	S	≥1050	L⑧	—	—

① 除规定范围者外，均为最小值。

② 热处理类型符号的含义：

A 为退火（加热到 Ac_3 以上，炉冷）；N 为正火（加热到 Ac_3 到以上，空冷）；Q 为淬火（加热 Ac_3 到以上，液体淬火）；T 为回火；N_{AC} 为快速正火（加热 Ac_3 到以上，快速空冷）；S 为固溶处理；括号内的热处理方法只适用于特定情况。

③ 冷却方式符号的含义：

A 为空冷；F 为炉冷；L 为液体淬火或液冷；AC 为快速空冷

④ 如满足最低屈服强度要求，则抗拉强度下限允许降至 500MPa。

⑤ 冷却到 100℃以下后，可采用亚临界热处理：820 ~ 870℃，随后空冷。

⑥ 该铸钢一般用于温度超过 525℃的场合。

⑦ 如需方不限制，也可用液冷。

⑧ 根据铸件厚度情况，也可快速空冷。

⑨ 该温度下的冲击吸收能量已经过试验验证。

6.2.3　用标准评定铸造有色合金件质量

1）用标准 GB/T 9438—1999 评定铝合金铸件质量是否合格，具体指标见表 6-23 ~ 表 6-26。

2）用标准 GB/T 13820—1992 评定镁合金铸件质量是否合格，具体指标见表 6-27 ~ 表 6-29。

3）用标准 GB/T 16746—1997 评定锌合金铸件质量是否合格，具体指标见表 6-30 和表 6-31。

4）用标准 GB/T 13819—1992 评定铜合金铸件质量是否合格，具体指标见表 6-32 ~ 表 6-34。

5）用标准 GB/T 6614—1994 评定钛及钛合金铸件质量是否合格，具体指标见表 6-35 和表 6-36。

表 6-23　铝合金铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 9438—1999）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>1）合金的化学成分应符合 GB/T 1173—1995 的规定，具体指标见表 6-24 和表 6-25
2）对于不承受载荷或承受轻微载荷且没有特殊物理性能和使用性能要求的Ⅲ类铸件，经用户同意，可不进行化学成分分析</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>1）单铸或附铸试样的力学性能应符合 GB/T 1173—1995 的规定，具体指标见表 6-26
2）从铸件上切取试样检验力学性能，三根试样的抗拉强度和伸长率的平均值，分别不低于 GB/T 1173—1995 规定值的 75% 和 50%。允许其中一根试样的性能偏低，Ⅰ类铸件设计指定部位的抗拉强度和伸长率分别不低于规定值的 70% 和 40%，Ⅰ类铸件非指定部位和Ⅱ类铸件分别不低于规定值的 65% 和 40%
3）按图样或有关文件的规定，对铸件进行硬度检验，其硬度值不得低于 GB/T 1173—1995，具体指标见表 6-26 的规定</td></tr>
<tr><td>几何形状尺寸</td><td>铸件的几何形状和尺寸应符合铸件图样的要求，铸件尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定</td></tr>
<tr><td>质量</td><td>除另有规定外，铸件的质量公差应符合 GB/T 11351—1989 的规定</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>1）铸件应清理干净，不得有飞边，非加工表面上的浇口、冒口应清理与铸件表面齐平。待加工面上浇口、冒口等的残留量应在图样规定的余量范围内，如果没有专门规定，一般不应高出铸件表面 5mm，但不得影响射线检测
2）铸件表面上不允许有冷隔、裂纹、缩孔和穿透性缺陷及严重的残缺类缺陷（如欠铸、机械损伤等）
3）铸件待加工表面上，允许有经加工可去掉的任何缺陷。但裂纹必须打磨干净
4）铸件上作为加工基准所用的部位应平整
5）在金属型铸件的非加工表面上，允许有铸型分型、错箱、顶杆及排气塞等痕迹，但凸出表面不超过 1mm，凹下表面不超过 0.5mm
6）砂型、金属型等铸件的非加工表面和加工后表面，一般允许有以下缺陷：
① 在非加工表面上，单个孔洞的最大直径不大于 3mm，深度不超过壁厚的 1/3；在安装边上不超过壁厚的 1/4，且不大于 1.5mm；在上述缺陷的同一断面的反面，不得有类似缺陷；成组孔洞，对于Ⅰ、Ⅱ类铸件孔洞的最大直径不大于 1.5mm，深度不超过壁厚的 1/3，且不大于 1mm；对于Ⅲ类铸件，最大直径不大于 2mm，深度不超过壁厚的 1/3，且不大于 1.5mm
② 在加工后，表面上单个孔洞的最大直径不大于 1.5mm，深度不大于 1mm
上述缺陷的数量、边距等应符合下表的规定：
<table>
<tr><td rowspan="3">表面孔洞限量</td><td colspan="9">单个孔洞</td><td colspan="6">成组孔洞</td><td rowspan="3">孔洞边缘距铸件边缘的距离/mm</td></tr>
<tr><td colspan="3">在 10cm × 10cm 单位面积上孔洞总数/个（不多于）</td><td colspan="3">孔洞边距/mm（不小于）</td><td colspan="3">一个铸件上的孔洞总数/个（不多于）</td><td colspan="3">以 3cm × 3cm 单位面积为一组其孔洞数/个（不多于）</td><td colspan="3">在一个铸件上组的数量/组（不多于）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">铸件表面积/cm²</td><td colspan="15">铸件类别</td></tr>
<tr><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td><td></td></tr>
<tr><td>＜1000</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>4</td><td>6</td><td>7</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td rowspan="6">不小于孔洞最大直径的 2 倍</td></tr>
<tr><td>1000 ~ 3000</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>6</td><td>8</td><td>9</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr>
<tr><td>＞3000 ~ 6000</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>13</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr>
<tr><td>＞6000 ~ 8000</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>15</td><td>15</td><td>17</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td></tr>
<tr><td>＞8000 ~ 30000</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>18</td><td>18</td><td>20</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td></tr>
<tr><td>＞30000 ~ 100000</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>20</td><td>22</td><td>25</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>3</td><td>4</td><td>6</td></tr>
</table>
注：在非加工表面上最大直径小于 1mm，加工后表面上最大直径小于 0.5mm 的单个孔洞不予计算
7）Ⅰ类或液压、气压件的砂型、金属型等铸件的加工表面一般按 JB/T 7946.3—1999 的 2 级针孔验收，局部允许 3 级针孔但一般不超过受检面积的 25%。当气密性试验满足设计要求时，允许降一级验收。Ⅱ类或其他砂型和金属型等铸件按 3 级针孔验收
8）螺纹孔内起始旋入 4 个牙距之内不允许有缺陷。4 个牙距之外是否允许有缺陷以及允许缺陷的大小、数量按图样规定
9）铸件非加工表面上的铸字和标志应清晰可辨，位置和字体应符合图样要求</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>内部质量</td><td>1）铸件内部针孔，当用 X 射线照相方法检测时，对于Ⅰ类铸件或液压、气压件应按 GB/T 11346—1989 和 HB 6578—1992 的 2 级验收，允许局部有 4 级针孔，但一般不得超过受检面积的 25%。当气密性试验满足设计要求时，允许降一级验收。Ⅱ类铸件按 3 级针孔验收
2）各类铸件内部不允许存在裂纹。各类铸件内部气孔、缩孔、疏松、夹杂物等缺陷不超过下表中所规定的级别。允许用户和制造厂家按 HB6578—1992 规定的部分内容进行验收
<table>
<tr><td rowspan="3">缺陷种类</td><td colspan="6">内部缺陷允许级别</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ⅰ类铸件指定部位</td><td colspan="2">Ⅰ类铸件非指定部位和Ⅱ类铸件</td><td colspan="2">其他铸件</td></tr>
<tr><td>≤12mm</td><td>>12～50mm</td><td>≤12mm</td><td>>12～50mm</td><td>≤12mm</td><td>>12～50mm</td></tr>
<tr><td>气孔</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>缩孔</td><td>1</td><td>—</td><td>2</td><td>—</td><td>3</td><td>—</td></tr>
<tr><td>疏松</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>3</td></tr>
<tr><td>夹杂物（低密度）</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>4</td></tr>
<tr><td>夹杂物（高密度）</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td></tr>
</table>
注：表中≤12mm、>12～50mm 分别代表铸件壁厚尺寸，详见 HB 6578—1992
3）在 1）和 2）条中所述的缺陷是指其中一种缺陷单独存在时的规定。如两种或两种以上不同类型的缺陷同时存在，其验收方法与用户另行商定
4）铸件内部针孔，当用低倍试验方法检验时，对于Ⅰ类铸件或液压、气压件应按 JB/T 7946.3—1999 的 2 级验收，允许局部有 3 级针孔，但一般不得超过受检面积的 25%。当气密性试验满足设计要求时，允许降一级验收。Ⅱ类铸件按 3 级针孔验收
5）铸件内部的偏析，由专用技术标准规定
6）要求气密性的铸件，应按图样或专用技术文件的要求进行气密性试验。必要时，允许对铸件进行浸渗处理</td></tr>
<tr><td>修补矫正</td><td>1）可用打磨的方法清除任何缺陷，但打磨后的尺寸应符合铸件尺寸公差的要求
2）变形的铸件允许用机械方法矫正，矫正后应全部检查有无裂纹
3）除另有规定外，铸件可用焊补的方法修复
4）焊补用填充金属按合同规定
5）当采用氩弧焊焊补时，焊补面积、焊补处数、焊补最大深度，一般应符合下表的规定。特殊情况下的焊补，由用户在专用技术文件中规定
<table>
<tr><td colspan="6">铸件允许的焊补面积及数量</td></tr>
<tr><td>铸件类型</td><td>铸件表面积/cm²</td><td>焊补面积不大于/cm²</td><td>修补处数不多于/个</td><td>焊补最大深度/mm</td><td>一个铸件上总焊补数不多于/个</td></tr>
<tr><td>小型件</td><td>≤1000</td><td>10（φ36mm）</td><td>3</td><td>—</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="6">中型件</td><td rowspan="2">>1000～3000</td><td>10</td><td>3</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">5</td></tr>
<tr><td>15（φ44mm）</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="4">>3000～6000</td><td>10</td><td>4</td><td>—</td><td rowspan="4">10</td></tr>
<tr><td>15</td><td>3</td><td>—</td></tr>
<tr><td>20（φ50mm）</td><td>2</td><td>10</td></tr>
<tr><td>25（φ56mm）</td><td>1</td><td>8</td></tr>
<tr><td rowspan="4">大型件</td><td rowspan="4">>6000</td><td>10</td><td>4</td><td>—</td><td rowspan="4">13</td></tr>
<tr><td>15</td><td>4</td><td>—</td></tr>
<tr><td>20</td><td>3</td><td>10</td></tr>
<tr><td>25</td><td>2</td><td>8</td></tr>
</table>
注：1. 焊补面积是指扩修后的面积
2. 焊补面积小于 2cm² 的焊区，不计入焊补数</td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求
修补矫正	6）同一处焊补不超过 3 次，焊区边缘间距（包括反面的焊区）不得小于两相邻焊区直径之和 7）凡以热处理状态供应的铸件，焊补后需按原规定状态进行热处理，热处理后的铸件应按规定检验力学性能。当氩弧焊区面积小于 $2cm^2$，焊区间距不小于 100mm 时，经冶金部门同意，焊补后可不经热处理，但在一个铸件上不得多于 5 处。而 ZL301、ZL305 合金的铸件，焊补后一律按原状态进行热处理 8）焊补区不得有裂纹、未焊透、未熔合等缺陷。在任一焊区中允许有最大直径不大于 2mm 且不超过壁厚 1/3 的气泡和夹杂 3 个。边距不小于 10mm，直径小于 0.5mm 的分散气泡或夹杂不计 9）凡经焊补的铸件应在焊补处标记，或在有关技术文件中标注在示意图上备检验

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-24　铸造铝合金的化学成分（摘自 GB/T 1173—1995）

铸造铝合金		主要元素（质量分数，%）							
牌号	代号	Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	其他	Al
ZAlSi7Mg	ZL101	6.5 ~ 7.5	—	0.25 ~ 0.45	—	—	—	—	余量
ZAlSi7MgA	ZL101A	6.5 ~ 7.5	—	0.25 ~ 0.45	—	—	0.08 ~ 0.20	—	余量
ZAlSi12	Zl102	10.0 ~ 13.0	—	—	—	—	—	—	余量
ZAlSi9Mg	ZL104	8.0 ~ 10.5	—	0.17 ~ 0.35	—	0.2 ~ 0.5	—	—	余量
ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	4.5 ~ 5.5	1.0 ~ 1.5	0.4 ~ 0.6	—	—	—	—	余量
ZAlSi5Cu1MgA	ZL105A	4.5 ~ 5.5	1.0 ~ 1.5	0.4 ~ 0.55	—	—	—	—	余量
ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	7.5 ~ 8.5	1.0 ~ 1.5	0.3 ~ 0.5	—	0.3 ~ 0.5	0.10 ~ 0.25	—	余量
ZAlSi7Cu4	ZL107	6.5 ~ 7.5	3.5 ~ 4.5	—	—	—	—	—	余量
ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	11.0 ~ 13.0	1.0 ~ 2.0	0.4 ~ 1.0	—	0.3 ~ 0.9	—	—	余量
ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	11.0 ~ 13.0	0.5 ~ 1.5	0.8 ~ 1.3	—	—	—	Ni0.8 ~ 1.5	余量
ZAlSi5Cu6Mg	ZL110	4.0 ~ 6.0	5.0 ~ 8.0	0.2 ~ 0.5	—	—	—	—	余量
ZAlSi9Cu2Mg	ZL111	8.0 ~ 10.0	1.3 ~ 1.8	0.4 ~ 0.6	—	0.10 ~ 0.35	0.10 ~ 0.35	—	余量
ZAlSi7Mg1A	ZL114A	6.5 ~ 7.5	—	0.45 ~ 0.60	—	—	0.10 ~ 0.20	Be0.04 ~ 0.07①	余量

（续）

铸造铝合金	主要元素(质量分数,%)								
牌号	代号	Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	其他	Al
ZAlSi5Zn1Mg	ZL115	4.8 ~ 6.2	—	0.4 ~ 0.65	1.2 ~ 1.8	—	—	Sb0.1 ~ 0.25	余量
ZAlSi8MgBe	ZL116	6.5 ~ 8.5	—	0.35 ~ 0.55	—	—	0.10 ~ 0.30	Be0.15 ~ 0.40	余量
ZAlCu5Mn	ZL201	—	4.5 ~ 5.3	—	—	0.6 ~ 1.0	0.15 ~ 0.35	—	余量
ZAlCu5MnA	ZL201A	—	4.8 ~ 5.3	—	—	0.6 ~ 1.0	0.15 ~ 0.35	—	余量
ZAlCu4	ZL203	—	4.0 ~ 5.0	—	—	—	—	—	余量
ZAlCu5MnCdA	ZL204A	—	4.6 ~ 5.3	—	—	0.6 ~ 0.9	0.15 ~ 0.35	Cd0.15 ~ 0.25	余量
ZAlCu5MnCdVA	ZL205A	—	4.6 ~ 5.3	—	—	0.3 ~ 0.5	0.15 ~ 0.35	Cd0.15 ~ 0.25 V0.05 ~ 0.3 Zr0.05 ~ 0.2 B0.005 ~ 0.06	余量
ZAlRE5Cu3Si2	ZL207	1.6 ~ 2.0	3.0 ~ 3.4	0.15 ~ 0.25	—	0.9 ~ 1.2	—	Ni0.2 ~ 0.3 Zr0.15 ~ 0.25 RE4.4 ~ 5.0②	余量
ZAlMg10	ZL301	—	—	9.5 ~ 11.0	—	—	—	—	余量
ZAlMg5Si1	ZL303	0.8 ~ 1.3	—	4.5 ~ 5.5	—	0.1 ~ 0.4	—	—	余量
ZAlMg8Zn1	ZL305	—	—	7.5 ~ 9.0	1.0 ~ 1.5	—	0.1 ~ 0.2	Be0.03 ~ 0.1	余量
ZAlZn11Si7	ZL401	6.0 ~ 8.0	—	0.1 ~ 0.3	9.0 ~ 13.0	—	—	—	余量
ZAlZn6Mg	ZL402	—	—	0.5 ~ 0.65	5.0 ~ 6.5	—	0.15 ~ 0.25	Cr0.4 ~ 0.6	余量

① 在保证合金力学性能前提下，可以不加铍。

② 混合稀土中含各种稀土总质量分数不少于98%，其中铈的质量分数约45%。

表 6-25　铸造铝合金的杂质允许含量（摘自 GB/T 1173—1995）

铸造铝合金		杂质含量(质量分数,%)≤														
牌号	代号	Fe①		Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Ti	Zr	Ti + Zr	Be	Ni	Sn	Pb	杂质总和①	
		S	J													S	J
ZAlSi7Mg	ZL101	0.5	0.9	—	0.2	—	0.3	0.35	—	—	0.2	0.1	—	0.01	0.05	1.1	1.5
ZAlSi7MgA	ZL101A	0.2	0.2	—	0.1	—	0.1	0.10	—	0.20	—	—	—	0.01	0.03	0.7	0.6
ZAlSi12	ZL102	0.7	1.0	—	0.30	0.10	0.1	0.5	0.20	—	—	—	—	—	—	2.0	2.2
ZAlSi9Mg	ZL104	0.6	0.9	—	0.1	—	0.25	—	—	—	0.15	—	—	0.01	0.05	1.1	1.4
ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	0.6	1.0	—	—	—	0.3	0.5	—	—	0.15	0.1	—	0.01	0.05	1.1	1.4
ZAlSi5Cu1MgA	ZL105A	0.2	0.2	—	—	—	0.1	0.1	—	—	—	—	—	0.01	0.05	0.5	0.5
ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	0.6	0.8	—	—	—	0.2	—	—	—	—	—	—	0.01	0.05	0.9	1.0
ZAlSi7Cu4	ZL107	0.5	0.6	—	—	0.1	0.3	0.5	—	—	—	—	—	0.01	0.05	1.0	1.2
ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	—	0.7	—	—	—	0.2	—	0.20	—	—	—	0.3	0.01	0.05	—	1.2
ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	—	0.7	—	—	—	0.2	0.2	0.20	—	—	—	—	0.01	0.05	—	1.2
ZAlSi5Cu6Mg	ZL110	—	0.8	—	—	—	0.6	0.5	—	—	—	—	—	0.1	0.05	—	2.7
ZAlSi9Cu2Mg	ZL111	0.4	0.4	—	—	—	0.1	—	—	—	—	—	—	0.01	0.05	1.0	1.0
ZAlSi7Mg1A	ZL114A	0.2	0.2	—	—	0.1	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.75	0.75
ZAlSi5Zn1Mg	ZL115	0.3	0.3	—	0.1	—	—	0.1	—	—	—	—	—	0.01	0.05	0.8	1.0
ZAlSi8MgBe	ZL116	0.60	0.60	—	0.3	—	0.3	0.1	—	0.20	—	—	—	0.01	0.05	1.0	1.0
ZAlCu5Mn	ZL201	0.25	0.3	0.3	—	0.05	0.2	—	—	0.2	—	—	0.1	—	—	1.0	1.0
ZAlCu5MoA	ZL201A	0.15	—	0.1	—	0.05	0.1	—	—	0.15	—	—	0.05	—	—	0.4	—
ZAlCu4	ZL203	0.8	0.8	1.2	—	0.05	0.25	0.1	0.20	0.1	—	—	—	0.01	0.05	2.1	2.1
ZAlCu5MnCdA	ZL204A	0.12	0.12	0.06	—	0.05	0.1	—	—	0.15	—	—	0.05	—	—	0.4	—
ZAlCu5MnCdVA	ZL205A	0.15	0.15	0.06	—	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.3	0.3
ZAlR5Cu3Si2	ZL207	0.6	0.6	—	—	—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	—	0.8	0.8
ZAlMg10	ZL301	0.3	0.3	0.30	0.10	—	0.15	0.15	0.15	0.20	—	0.07	0.05	0.01	0.05	1.0	1.0
ZAlMg5Si1	ZL303	0.5	0.5	—	0.1	—	0.2	—	0.2	—	—	—	—	—	—	0.7	0.7
ZAlMg8Zn1	ZL305	0.3	—	0.2	0.1	—	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.9	—
ZAlZn11Si7	ZL401	0.7	1.2	—	0.6	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	—	1.8	2.0
ZAlZn6Mg	ZL402	0.5	0.8	0.3	0.25	—	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	1.35	1.65

注：1. 熔模、壳型铸件的主要元素及杂质含量按表 6-24 规定，本表中砂型（S）指标检验。

2. 当用杂质总质量分数来表示杂质含量时，如无特殊规定，其中每一种未列出的元素质量分数≤0.05%。

① S 为砂型，J 为金属型。

表 6-26　铸造铝合金的力学性能（摘自 GB/T 1173—1995）

序号	合金牌号	合金代号	铸造方法①	合金状态②	力学性能≥		
					抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_5 (%)	布氏硬度 HBW5/250/30
1	ZAlSi7Mg	ZL101	S、R、J、K	F	155	2	50
			S、R、J、K	T2	135	2	45
			JB	T4	185	4	50
			S、R、K	T4	175	4	50
			J、JB	T5	205	2	60
			S、R、K	T5	195	2	60
			SB、RB、KB	T5	195	2	60
			SB、RB、KB	T6	225	1	70
			SB、RB、KB	T7	195	2	60
			SB、RB、KB	T8	155	3	55
2	ZAlSi7MgA	ZL101A	S、R、K	T4	195	5	60
			J、JB	T4	225	5	60
			S、R、K	T5	235	4	70
			SB、RB、KB	T5	235	4	70
			JB、J	T5	265	4	70
			SB、RB、KB	T6	275	2	80
			JB、J	T6	295	3	80
3	ZAlSi12	ZL102	SB、JB、RB、KB	F	145	4	50
			J	F	155	2	50
			SB、JB、RB、KB	T2	135	4	50
			J	T2	145	3	50
4	ZAlSi9Mg	ZL104	S、J、R、K	F	145	2	50
			J	T1	195	1.5	65
			SB、RB、KB	T6	225	2	70
			J、JB	T6	235	2	70
5	ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	S、J、R、K	T1	155	0.5	65
			S、R、K	T5	195	1	70
			J	T5	235	0.5	70
			S、R、K	T6	225	0.5	70
			S、J、R、K	T7	175	1	65
6	ZAlSi5Cu1MgA	ZL105A	SB、R、K	T5	275	1	80
			J、JB	T5	295	2	80
7	ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	SB	F	175	1	70
			JB	T1	195	1.5	70
			SB	T5	235	2	60
			JB	T5	255	2	70
			SB	T6	245	1	80
			JB	T6	265	2	70
			SB	T7	225	2	60
			J	T7	245	2	60

（续）

序号	合金牌号	合金代号	铸造方法①	合金状态②	力学性能≥		
					抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_5 （%）	布氏硬度 HBW5/250/30
8	ZAlSi7Cu4	ZL107	SB	F	165	2	65
			SB	T6	245	2	90
			J	F	195	2	70
			J	T6	275	2.5	100
9	ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	J	T1	195	—	85
			J	T6	255	—	90
10	ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	J	T1	195	0.5	90
			J	T6	245	—	100
11	ZAlSi5Cu6Mg	ZL110	S	F	125	—	80
			J	F	155	—	80
			S	T1	145	—	80
			J	T1	165	—	90
12	ZAlSi9Cu2Mg	ZL111	J	F	205	1.5	80
			SB	T6	255	1.5	90
			J、JB	T6	315	2	100
13	ZAlSi7Mg1A	ZL114A	SB	T5	290	2	85
			J、JB	T5	310	3	90
14	ZAlSi5Zn1Mg	ZL115	S	T4	225	4	70
			J	T4	275	6	80
			S	T5	275	3.5	90
			J	T5	315	5	100
15	ZAlSi8MgBe	ZL116	S	T4	255	4	70
			J	T4	275	6	80
			S	T5	295	2	85
			J	T5	335	4	90
16	ZAlCu5Mn	ZL201	S、J、R、K	T4	295	8	70
			S、J、R、K	T5	335	4	90
			S	T7	315	2	80
17	ZAlCu5MnA	ZL201A	S、J、R、K	T5	390	8	100
18	ZAlCu4	ZL203	S、R、K	T4	195	6	60
			J	T4	205	6	60
			S、R、K	T5	215	3	70
			J	T5	225	3	70
19	ZAlCu5MnCdA	ZL204A	S	T5	440	4	100
20	ZAlCu5MnCdVA	ZL205A	S	T5	440	7	100
			S	T6	470	3	120
			S	T7	460	2	110

（续）

序号	合金牌号	合金代号	铸造方法①	合金状态②	力学性能≥		
					抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_5 (%)	布氏硬度 HBW5/250/30
21	ZAlRE5Cu3Si2	ZL207	S	T1	165	—	75
			J	T1	175	—	75
22	ZAlMg10	ZL301	S、J、R	T4	280	10	60
23	ZAlMg5Si1	ZL303	S、J、R、K	F	145	1	55
24	ZAlMg8Zn1	ZL305	S	T4	290	8	90
25	ZAlZn11Si7	ZL401	S、R、K	T1	195	2	80
			J	T1	245	1.5	90
26	ZAlZn6Mg	ZL402	J	T1	235	4	70
			S	T1	215	4	65

① S—砂型铸造；K—壳型铸造；J—金属型铸造；R—熔模铸造；B—变质处理。

② F—铸态；T1—由高温成形过程冷却，然后自然时效至基本稳定的状态；T2—由高温成形过程冷却，经冷加工后自然时效至基本稳定的状态；T4—固溶处理后自然时效至基本稳定的状态；T5—由高温成形过程冷却，然后进行人工时效的状态；T6—固溶处理后进行人工时效的状态；T7—固溶处理后进行过时效的状态；T8—固溶处理后经冷加工，然后进行人工时效的状态。

表 6-27　镁合金铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 13820—1992）

评定项目	合格品的质量要求
化学成分	合金的化学成分应符合 GB 1177—1991 的规定，见表 6-28
力学性能	1）Ⅰ类铸件应测定与铸件同熔炼炉次单铸试样的力学性能，其指标应符合 GB 1177—1991 的规定，具体指标见下表；Ⅰ类铸件切取试样的力学性能应符合表 6-29 的规定，除需方另有规定，不测定切取试样的规定塑性延伸强度 2）Ⅱ类铸件应测定每批铸件的单铸试样的力学性能，其指标应符合 GB 1177—1991 的规定，具体指标同样见下表： 3）Ⅲ类铸件不检验力学性能

牌　　号	合金代号	合金状态	力学性能　≥		
			抗拉强度 R_m /MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 A_5 (%)
ZMgZn5Zr	ZM1	T1	235	140	5
ZMgZn4RE1Zr	ZM2	T1	200	135	2
ZMgRE3ZnZr	ZM3	F	120	85	1.5
		T2	120	85	1.5
ZMgRE3Zn2Zr	ZM4	T1	140	95	2
ZMgAl8Zn	ZM5	F	145	75	2
		F4	230	75	6
		T6	230	100	2
ZMgRE2ZnZr	ZM6	T6	230	135	3
ZMgZr8AgZr	ZM7	T4	265	—	6
		T6	275	—	4
ZMgAl10Zn	ZM10	F	145	85	1
		T4	230	85	4
		T6	230	130	1

注：当需方有要求时，应检测屈服强度。合金状态含义见表 6-26 呼应注②

（续）

评定项目	合格品的质量要求
几何形状尺寸	铸件尺寸和几何形状应符合图样上的要求，尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定

表面质量

1）铸件应清理干净，不得有飞边。非加工表面上的浇口、冒口应清理到与铸件表面齐平。待加工表面上的浇口、冒口残留量，一般不得高出铸件表面 5mm

2）铸件上不允许有冷隔、未浇满、裂纹、穿透性的孔洞和疏松

3）铸件应进行氧化处理。氧化处理后，铸件表面上不允许存在熔剂夹渣

4）在铸件待加工表面上，允许有不超出机械加工余量范围内的任何缺陷

5）铸件上作为加工基准用的部位应平整

6）在铸件非加工表面和加工后的表面，在清理干净后存在的孔洞应符合下表的规定

铸件种类	铸件表面面积/cm^2	铸件类别	允许缺陷									孔洞边缘距铸件边缘或内孔边缘的距离
			单个孔洞					成组孔洞				
			孔洞直径	孔洞深度	数量/个		孔洞之间的距离/mm	孔洞直径	孔洞深度	以 3cm × 3cm 面积为一组，其孔洞数/个	在一个铸件上组的数量/组	
			/mm		在 10cm × 10cm 面积上	在一个铸件上		/mm				
			≤		≤		≥	≤		≤		
小型铸件	≤1000	Ⅰ	4	3	3	4	20	2	1.5	4	2	不小于孔洞最大直径的两倍
		Ⅱ	4	3	3	4	20	2	1.5	5	2	
		Ⅲ	4	3	3	5	15	2	1.5	6	3	
中型铸件	>1000 ~ 6000	Ⅰ	4	3	3	8	30	2	1.5	4	3	
		Ⅱ	4	3	3	8	30	2	1.5	5	3	
		Ⅲ	4	3	3	9	25	2	1.5	6	3	
大型铸件	>6000 ~ 8000	Ⅰ	4	3	3	15	30	2	1.5	4	5	
		Ⅱ	4	3	3	15	30	2	1.5	5	5	
		Ⅲ	4	3	3	17	25	2	1.5	6	6	
超大型铸件	>8000	Ⅰ	4	3	3	28	30	2	1.5	4	7	
		Ⅱ	4	3	3	28	30	2	1.5	5	7	
		Ⅲ	4	3	3	30	25	2	1.5	6	8	

铸件经氧化处理后，非加工表面上允许有直径不大于 1.5mm、深度不大于 1mm 的分散点状表面孔洞，加工后表面上允许有直径不大于 1mm、深度不大于 0.5mm 的分散点状表面孔洞

① 单个孔洞和成组孔洞的深度均不得超过壁厚的 1/3；在安装边上，不得超过壁厚的 1/4，有上述缺陷的同一断面的反面，其对称部位不得有类似的缺陷

② 螺纹孔内、螺钉旋入四个牙距之内不允许有缺陷

7）在金属型铸件的非加工表面上，允许有分型、顶杆及排气塞等痕迹，但凸出表面不得超过 1mm 或凹下表面不得超过 0.5mm

8）铸件表面允许有因镁铝反偏析形成的灰斑

9）铸件非加工表面上的铸字和标志应清晰可认，其位置、字体和标印方法应符合图样要求

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>内部质量</td><td>
1）铸件内部允许的气孔、夹渣在无特殊规定时，可参照表面质量要求的 6）加工后表面的要求进行检验
2）ZM5、ZM10 合金铸件显微疏松按 HB 5057—1993 评定，其验收等级按下表的规定
<table>
<tr><td colspan="5">铸件显微疏松 X 射线探伤验收等级</td></tr>
<tr><td rowspan="2">铸件类别</td><td rowspan="2">探伤部位</td><td colspan="3">验收等级/级
≤</td></tr>
<tr><td>第一组</td><td>第二组</td><td>第三组</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ⅰ</td><td>指定部位</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td></tr>
<tr><td>非指定部位</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td></tr>
<tr><td>Ⅱ</td><td>指定部位</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td></tr>
</table>
注：1. 对各类铸件允许存在的显微疏松等级不同于本表中规定时，由供需双方商定
2. Ⅱ类铸件非指定部位不检查，如需检查时，其验收等级比指定部位降低一级
3）含锆镁合金铸件的内部缺陷，由专用技术标准规定或由供需双方商定
4）本标准规定以外的铸件内部缺陷，由专用技术标准规定
5）铸件的 X 射线探伤和荧光检测部位和比例，由需方根据铸件类别和生产情况在图样或技术文件中规定。
6）铸件内部不允许有裂纹
7）要求气密性的铸件，应在图样上注明。除另有规定外，当气密性试验不合格时，可进行浸渗处理，但浸渗总次数不应超过 3 次
</td></tr>
<tr><td>修补</td><td>
1）除另有规定外，铸件可进行修补
2）可用打磨的方法排除任何缺陷，打磨后的尺寸应符合铸件尺寸公差 GB/T 6414—1999 的规定
3）变形的铸件允许矫正，矫正后不允许有裂纹
4）除另有规定外，允许用焊补的方法修复任何缺陷，所有铸件的各个部位只要便于焊补、打磨和检验，均可焊补
5）当采用氩弧焊焊补时，经扩修后允许焊补的面积、深度、个数和间距可按下表的规定
<table>
<tr><td colspan="7">铸件允许焊补的规定</td></tr>
<tr><td>铸件种类</td><td>铸件表面面积/cm^2</td><td>焊区最大扩修面积/cm^2</td><td>焊区最大深度/mm</td><td>一个铸件上允许焊区的个数/个</td><td>一个铸件上允许焊区的总个数/个</td><td>焊区边缘最小间　距</td></tr>
<tr><td>小型铸件</td><td>≤1000</td><td>10</td><td>无规定</td><td>3</td><td>3</td><td rowspan="12">不小于相邻两焊区最大直径的和</td></tr>
<tr><td rowspan="3">中型铸件</td><td rowspan="3">>1000 ~ 6000</td><td>10</td><td>无规定</td><td>4</td><td rowspan="3">6</td></tr>
<tr><td>15</td><td>10</td><td>1</td></tr>
<tr><td>20</td><td>8</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="3">大型铸件</td><td rowspan="3">>6000 ~ 8000</td><td>10</td><td>无规定</td><td>6</td><td rowspan="3">9</td></tr>
<tr><td>20</td><td>12</td><td>2</td></tr>
<tr><td>30</td><td>8</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">超大型铸件</td><td rowspan="4">>8000</td><td>10</td><td>无规定</td><td>7</td><td rowspan="4">12</td></tr>
<tr><td>20</td><td>12</td><td>3</td></tr>
<tr><td>30</td><td>8</td><td>1</td></tr>
<tr><td>40</td><td>6</td><td>1</td></tr>
</table>
6）同一处焊补的次数不得多于 3 次，焊区内应标有焊补印记
7）以热处理状态供应的铸件，焊补后应按原状态进行热处理
机械加工前后暴露的小缺陷其扩修面积小于 4cm^2、间距大于 100mm，经技术主管部门同意，焊补后可不进行热处理
8）Ⅰ、Ⅱ类铸件焊补处需经荧光（或其他相应的检验方法）或 X 射线检测
小于 4cm^2 不便于 X 射线检测的焊区，经技术主管部门同意，焊后可不进行 X 射线检测
9）焊补后，焊区不允许有裂纹、分层和未焊透，每个焊区内允许有最大直径不超过 2mm 且不超过壁厚的 1/3，间距不小于 10mm 的单个气孔、夹渣 3 个。直径小于 0.5mm 以下的分散气孔、夹渣不计
</td></tr>
</table>

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-28　铸造镁合金的化学成分（摘自 GB 1177—1991）

铸造镁合金		化学成分①（质量分数,%）										
牌　　号	代号	Zn	Al	Zr	RE	Mn	Ag	Si	Cu	Fe	Ni	杂质总量
ZMgZn5Zr	ZM1	3.5 ~ 5.5	—	0.5 ~ 1.0	—	—	—	—	0.1	—	0.01	0.30
ZMgZn4RE1Zr	ZM2	3.5 ~ 5.0	—	0.5 ~ 1.0	0.75 ~ 1.75②	—	—	—	0.1	—	0.01	0.30
ZMgRE3ZnZr	ZM3	0.2 ~ 0.7	—	0.4 ~ 1.0	2.5 ~ 4.0②	—	—	—	0.1	—	0.01	0.30
ZMgRE3Zn2Zr	ZM4	2.0 ~ 3.0	—	0.5 ~ 1.0	2.5 ~ 4.0②	—	—	—	0.1	—	0.01	0.30
ZMgAl8Zn	ZM5	0.2 ~ 0.8	7.5 ~ 9.0	—	—	0.15 ~ 0.5	—	0.30	0.2	0.05	0.01	0.50
ZMgRE2ZnZr	ZM6	0.2 ~ 0.7	—	0.4 ~ 1.0	2.0 ~ 2.8③	—	—	—	0.1	—	0.01	0.30
ZMgZn8AgZr	ZM7	7.5 ~ 9.0	—	0.5 ~ 1.0	—	—	0.6 ~ 1.2	—	0.1	—	0.01	0.30
ZMgAl10Zn	ZM10	0.6 ~ 1.2	9.0 ~ 10.2	—	—	0.1 ~ 0.5	—	0.30	0.2	0.05	0.01	0.50

① 合金可加入铍，其质量分数不大于0.002%。

② 铈质量分数不小于45%的铈混合稀土金属，其中稀土金属总质量分数不小于98%。

③ 钕质量分数不小于85%的钕混合稀土金属，其中 w（Nd）+w（Pr）不小于95%。

表 6-29　镁合金铸件切取试样的力学性能

合金牌号	合金代号	取样部位	铸造方法①	取样部位厚度/mm	热处理状态	抗拉强度② R_m/MPa		规定塑性延伸强度② $R_{p0.2}$/MPa		伸长率② A_5(%)	
						平均值	最小值	平均值	最小值	平均值	最小值
ZMgZn5Zr	ZM1	无规定	S、J	无规定	T1	205	175	120	100	2.5	—
ZMgZn4RE1Zr	ZM2		S		T1	165	145	100	—	1.5	—
ZMgRE3ZnZr	ZM3		S、J		T2	105	90	—	—	1.5	1.0
ZMgRE3Zn2Zr	ZM4		S		T1	120	100	90	80	2.0	1.0
ZMgAl8Zn	ZM5	Ⅰ类铸件指定部位	S	≤20	T4	175	145	70	60	3.0	1.5
					T6	175	145	90	80	1.5	1.0
				>20	T4	160	125	70	60	2.0	1.0
					T6	160	125	90	80	1.0	—
			J	无规定	T4	180	145	70	60	3.5	2.0
					T6	180	145	90	80	2.0	1.0

（续）

合金牌号	合金代号	取样部位	铸造方法①	取样部位厚度/mm	热处理状态	抗拉强度② R_m/MPa		规定塑性延伸强度② $R_{p0.2}$/MPa		伸长率② A_5(%)	
						平均值	最小值	平均值	最小值	平均值	最小值
ZMgAl8Zn	ZM5	Ⅰ类铸件非指定部位；Ⅱ类铸件	S	≤20	T4	165	130	—	—	2.5	1.5
					T6	165	130	—	—	1.0	—
				>20	T4	150	120	—	—	1.5	—
					T6	150	120	—	—	1.0	—
			J	无规定	T4	170	135	—	—	2.5	1.5
					T6	170	135	—	—	1.0	—
ZMgRE2ZnZr	ZM6	无规定	S、J		T6	180	150	120	100	2.0	1.0
ZMgZn8AgZr	ZM7	Ⅰ类铸件指定部位	S		T4	220	190	110	—	4.0	3.0
					T6	235	205	135	—	2.5	1.5
		Ⅰ类铸件非指定部位；Ⅱ类铸件			T4	205	180	—	—	3.0	2.0
					T6	230	190	—	—	2.0	—
ZMgAl10Zn	ZM10	无规定	S、J		T4	180	150	70	60	2.0	—
					T6	180	150	110	90	0.5	—

① “S”表示砂型铸件；“J”表示金属型铸件，当铸件某一部分的两个主要散热面在砂芯中成型时，按砂型铸件的性能指标。

② 平均值是指铸件上 3 根试样的平均值，最小值是指 3 根试样中允许有 1 根低于平均值但不低于最小值。

表 6-30　锌合金铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 16746—1997）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>外观质量</td><td>
1）清除铸件表面夹砂、飞边等多肉类缺陷，铸件表面可进行喷砂处理，铸件上作为基准用的部位应平整
2）铸件尺寸应符合图样的要求，尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定。铸件尺寸公差不包括由于起模斜度而引起的尺寸增减，但必须保证铸件的最小极限尺寸
3）铸件非加工表面粗糙度由用户在图样中注明
4）铸件上不允许有冷隔、裂纹、穿透性缺陷及严重的残缺类缺陷（浇不到、未浇满、机械损伤等）的存在
5）铸件待加工表面上，允许有经加工可去掉的任何缺陷
6）在金属型铸件的非加工表面上，允许存在分型、顶杆、排气塞等痕迹。但凸出表面不得超过 1mm 或凹下表面不得超过 0.5mm
7）砂型、金属型等铸件的非加工表面和加工表面清理干净后允许存在下列孔洞：
① 单个孔洞的最大直径不大于 3mm，深度不超过壁厚的 1/3，在安装边上不超过壁厚的 1/4，且不大于 1.5mm。在上述缺陷的同一断面的反面对称部位不得有类似的缺陷。在非加工表面上最大直径小于 1mm，在加工表面上最大直径小于 0.5mm 的单个孔洞不计
② 成组孔洞，对于Ⅰ、Ⅱ类铸件孔洞的最大直径不大于 1.5mm，深度不超过壁厚的 1/3，且不大于 1mm；对于Ⅲ类铸件，最大直径不大于 2mm，深度不超过壁厚的 1/3，且不大于 1.5mm
上述缺陷的数量、边距等应符合下表的规定
<table>
<tr><td colspan="10">表面孔洞限量</td></tr>
<tr><td colspan="6">单个孔洞</td><td colspan="3">成组孔洞</td><td rowspan="3">孔洞边缘距铸件边缘或距内孔边缘的距离（mm）不小于孔洞最大直径的两倍</td></tr>
<tr><td colspan="3">在 10cm × 10cm 单位面积上孔洞数/个（不多于）</td><td colspan="3">孔洞边距/mm（不小于）</td><td colspan="3">以 3cm × 3cm 单位面积为一组其孔洞数/个（不多于）</td></tr>
<tr><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td></tr>
<tr><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td></td></tr>
</table>
注：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ代表铸件的类别
</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>外观质量</td><td>8）Ⅰ类铸件或液压、气压件的砂型、金属型等铸件的加工表面上允许存在 2 级针孔。局部允许 3 级针孔，但一般不超过受检面积的 25%；Ⅱ类铸件按降一级针孔度验收
9）螺纹孔内起始旋入 4 个牙距之内不允许有缺陷。4 个牙距之外是否允许有缺陷以及允许缺陷的大小、数量按图样规定</td></tr>
<tr><td>内在质量</td><td>1）铸件合金化学成分应符合 GB/T 1175—1997 的规定，具体指标见表 6-31
2）合金及其铸件的力学性能应符合 GB/T 1175—1997 的规定，具体指标见下表
<table>
<tr><th rowspan="2">牌　　号</th><th rowspan="2">代　号</th><th rowspan="2">铸造方法及状态①</th><th colspan="3">力学性能≥</th></tr>
<tr><th>抗拉强度 R_m/MPa</th><th>伸长率 A_5/%</th><th>布氏硬度 HBW</th></tr>
<tr><td>ZZnAl4Cu1Mg</td><td>ZA4-1</td><td>J、F</td><td>175</td><td>0.5</td><td>80</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZZnAl4Cu3Mg</td><td rowspan="2">ZA4-3</td><td>S、F</td><td>220</td><td>0.5</td><td>90</td></tr>
<tr><td>J、F</td><td>240</td><td>1</td><td>100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZZnAl6Cu1</td><td rowspan="2">ZA6-1</td><td>S、F</td><td>180</td><td>1</td><td>80</td></tr>
<tr><td>J、F</td><td>220</td><td>1.5</td><td>80</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZZnAl8Cu1Mg</td><td rowspan="2">ZA8-1</td><td>S、F</td><td>250</td><td>1</td><td>80</td></tr>
<tr><td>J、F</td><td>225</td><td>1</td><td>85</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZZnAl9Cu2Mg</td><td rowspan="2">ZA9-2</td><td>S、F</td><td>275</td><td>0.7</td><td>90</td></tr>
<tr><td>J、F</td><td>315</td><td>1.5</td><td>105</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZZnAl11Cu1Mg</td><td rowspan="2">ZA11-1</td><td>S、F</td><td>280</td><td>1</td><td>90</td></tr>
<tr><td>J、F</td><td>310</td><td>1</td><td>90</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZZnAl11Cu5Mg</td><td rowspan="2">ZA11-5</td><td>S、F</td><td>275</td><td>0.5</td><td>80</td></tr>
<tr><td>J、F</td><td>295</td><td>1.0</td><td>100</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ZZnAl27Cu2Mg</td><td rowspan="3">ZA27-2</td><td>S、F</td><td>400</td><td>3</td><td>110</td></tr>
<tr><td>S、T_3</td><td>310</td><td>8</td><td>90</td></tr>
<tr><td>J、F</td><td>420</td><td>1</td><td>110</td></tr>
</table>
① T_3 工艺为 320℃、3h、炉冷，其余字符含义见表 6-26 呼应注。
3）铸件内部针孔，对于Ⅰ类铸件或液压、气压件应按 3 级验收，允许局部有 5 级针孔，但一般不得超过受检面积的 25%；Ⅱ类铸件按降一级针孔度验收
4）各类铸件内部不允许存在裂纹，Ⅰ类铸件指定部位不允许存在偏析，各类铸件内部气孔、缩孔、疏松、夹杂物等缺陷不超过下表中所规定的级别
<table>
<tr><th colspan="7">内部缺陷允许级别</th></tr>
<tr><th rowspan="2">缺陷种类</th><th colspan="2">Ⅰ类铸件指定部位</th><th colspan="2">Ⅰ类铸件非指定部位和Ⅱ类铸件</th><th colspan="2">其他铸件</th></tr>
<tr><th>6mm</th><th>19mm</th><th>6mm</th><th>19mm</th><th>6mm</th><th>19mm</th></tr>
<tr><td>气孔</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>缩孔</td><td>1</td><td>—</td><td>2</td><td>—</td><td>3</td><td>—</td></tr>
<tr><td>疏松</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>3</td></tr>
<tr><td>夹杂物（低密度）</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>4</td></tr>
<tr><td>夹杂物（高密度）</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>3</td></tr>
</table>
注：表中 6mm、19mm 分别代表铸件的壁厚尺寸，详见 HB 6578—1992</td></tr>
</table>

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-31　铸造锌合金的化学成分（摘自 GB/T 1175—1997）（质量分数,%）

铸造锌合金		合金元素				杂质含量≤					杂质总和
牌号	代号	Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Cd	Sn	其他	
ZZnAl4Cu1Mg	ZA4-1	3.5 ~ 4.5	0.75 ~ 1.25	0.03 ~ 0.08	其余	0.1	0.015	0.005	0.003	—	0.2
ZZnAl4Cu3Mg	ZA4-3	3.5 ~ 4.3	2.5 ~ 3.2	0.03 ~ 0.06	其余	0.075	Pb + Cd 0.009		0.002	—	—
ZZnAl6Cu1	AZ6-1	5.6 ~ 6.0	1.2 ~ 1.6	—	其余	0.075	Pb + Cd 0.009		0.002	Mg0.005	—
ZZnAl8Cu1Mg	ZA8-1	8.0 ~ 8.8	0.8 ~ 1.3	0.015 ~ 0.030	其余	0.075	0.006	0.006	0.003	Mn0.01 Cr0.01 Ni0.01	—
ZZnAl9Cu2Mg	ZA9-2	8.0 ~ 10.0	1.0 ~ 2.0	0.03 ~ 0.06	其余	0.2	0.03	0.02	0.01	Si0.1	0.35
ZZnAl11Cu1Mg	ZA11-1	10.5 ~ 11.5	0.5 ~ 1.2	0.015 ~ 0.030	其余	0.075	0.006	0.006	0.003	Mn0.01 Cr0.01 Ni0.01	—
ZZnAl11Cu5Mg	ZA11-5	10.0 ~ 12.0	4.0 ~ 5.5	0.03 ~ 0.06	其余	0.2	0.03	0.02	0.01	Si0.05	0.35
ZZnAl27Cu2Mg	ZA27-2	25.0 ~ 28.0	2.0 ~ 2.5	0.010 ~ 0.020	其余	0.075	0.006	0.006	0.003	Mn0.01 Cr0.01 Ni0.01	—

表 6-32　铜合金铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 13819—1992）

评定项目	合格品的质量要求
化学成分	合金的化学成分应符合 GB 1176—1987 的规定,具体指标见表 6-33 和表 6-34
力学性能	铸件的力学性能应符合 GB 1176—1987 的规定见下表

牌　　号	铸造方法②	抗拉强度 R_m /MPa≥	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa≥	伸长率 A_5≥ (%)	硬度 HBW ≥
ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	S	175	—	8	60
	J	215	—	10	70
ZCuSn3Zn11Pb4	S	175	—	8	60
	J	215	—	10	60
ZCuSn5Pb5Zn5	S、J	200	90	13	60
	Li、La	250	100①	13	65①
ZCuSn10Pb1	S	220	130	3	80①
	J	310	170	2	90①
	Li	330	170①	4	90①
	La	360	170①	6	90①

（续）

评定项目	合格品的质量要求					
	牌　　号	铸造方法②	抗拉强度 R_m /MPa≥	规定塑性延伸强度 $R_{P0.2}$/MPa≥	伸长率 A_5≥（%）	硬度 HBW ≥
力学性能	ZCuSn10Pb5	S	195	—	10	70
		J	245	—	10	70
	ZCuSn10Zn2	S	240	120	12	70①
		J	245	140①	6	80①
		Li、La	270	140①	7	80①
	ZCuPb10Sn10	S	180	80	7	65①
		J	220	140	5	70①
		Li、La	220	110	6	70①
	ZCuPb15Sn8	S	170	80	5	60①
		J	200	100	6	65①
		Li、La	220	100	8	65①
	ZCuPb17Sn4Zn4	S	150	—	5	55①
		J	175	—	7	60①
	ZCuPb20Sn5	S	150	60	5	45①
		J	150	70	6	55①
		La	180	80	7	55①
	ZCuPb30	J	—	—	—	25①
	ZCuAl8Mn13Fe3	S	600	270①	15	160
		J	650	280①	10	170
	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	S	645	280	20	160
		J	670	310	18	170
	ZCuAl9Mn2	S	390	—	20	85
		J	440	—	20	95
	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	S	630	250	16	160
	ZCuAl10Fe3	S	490	180	13	100①
		J	540	200	15	110①
		Li、La	540	200	15	110①
	ZCuAl10Fe3Mn2	S	490	—	15	110
		J	540	—	20	120
	ZCuZn38	S	295	—	30	60
		J	295	—	30	70
	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	S	725	380	10	160①
		J	740	400	7	170①
		Li、La	740	400	7	170①

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
<table>
<tr><th>牌　　号</th><th>铸造方法②</th><th>抗拉强度 R_m /MPa≥</th><th>规定塑性延伸强度 $R_{P0.2}$/MPa≥</th><th>伸长率 A_5≥ (%)</th><th>硬度 HBW ≥</th></tr>
<tr><td rowspan="3">ZCuZn26Al4Fe3Mn3</td><td>S</td><td>600</td><td>300</td><td>18</td><td>120①</td></tr>
<tr><td>J</td><td>600</td><td>300</td><td>18</td><td>130①</td></tr>
<tr><td>Li、La</td><td>600</td><td>300</td><td>18</td><td>130①</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZCuZn31Al2</td><td>S</td><td>295</td><td>—</td><td>12</td><td>80</td></tr>
<tr><td>J</td><td>390</td><td>—</td><td>15</td><td>90</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ZCuZn35Al2Mn2Fe2</td><td>S</td><td>450</td><td>170</td><td>20</td><td>100①</td></tr>
<tr><td>J</td><td>475</td><td>200</td><td>18</td><td>110①</td></tr>
<tr><td>Li、La</td><td>475</td><td>200</td><td>18</td><td>110①</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZCuZn38Mn2Pb2</td><td>S</td><td>245</td><td>—</td><td>10</td><td>70</td></tr>
<tr><td>J</td><td>345</td><td>—</td><td>18</td><td>70</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZCuZn40Mn2</td><td>S</td><td>345</td><td>—</td><td>20</td><td>80</td></tr>
<tr><td>J</td><td>390</td><td>—</td><td>25</td><td>90</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZCuZn40Mn3Fe1</td><td>S</td><td>440</td><td>—</td><td>18</td><td>100</td></tr>
<tr><td>J</td><td>490</td><td>—</td><td>15</td><td>110</td></tr>
<tr><td>ZCuZn33Pb2</td><td>S</td><td>180</td><td>70</td><td>12</td><td>50①</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZCuZn40Pb2</td><td>S</td><td>220</td><td>—</td><td>15</td><td>70</td></tr>
<tr><td>J</td><td>280</td><td>120①</td><td>20</td><td>90</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ZCuZn16Si4</td><td>S</td><td>345</td><td>—</td><td>15</td><td>90</td></tr>
<tr><td>J</td><td>390</td><td>—</td><td>20</td><td>100</td></tr>
</table>
注：砂型铸件本体试样的抗拉强度不得低于表中规定值的 80%，伸长率不得低于 50%
① 数据为参考值
② S 为砂型铸造；J 为金属型铸造；Li 为离心铸造；La 为连续铸造
</td></tr>
<tr><td>几何形状、尺寸、质量</td><td>1）铸件的几何形状及尺寸应符合图样要求，尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定。铸件尺寸公差不包括由起模斜度而引起的尺寸增减
2）铸件的机械加工余量可参照 GB/T 6414—1999 的规定
3）铸件的质量公差可参照 GB/T 11351—1989 的规定</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>1）铸件表面粗糙度应符合图样要求
2）铸件的浇口、冒口、飞边等，在非加工表面上应清理到与铸件表面平齐，在待加工表面上允许的残留高度应符合下表的规定
<table>
<tr><th>铸件最大外廓尺寸/mm</th><th>浇冒口残留高度不大于/mm</th></tr>
<tr><td>≤600</td><td>5</td></tr>
<tr><td>>600～1200</td><td>10</td></tr>
<tr><td>>1200</td><td>15</td></tr>
</table>
3）铸件表面不允许有裂纹、冷隔及穿透性缺陷
4）铸件上的铸字、标志应清晰，字体与位置应符合图样要求
5）铸件的非加工表面，允许有氧化夹杂，其深度不得超过规定壁厚公差的下差，其面积在Ⅰ类铸件上不得超过铸件面积的 5%，在Ⅱ、Ⅲ类铸件上不得超过铸件面积的 10%。铸件的待加工表面允许存在加工后能够去除的任何缺陷
6）根据各类铸件非加工表面和加工后各表面的不同工作条件，将铸件表面分为 a、b、c、d 四级，级分别由需方在图样上注明，未注明级别时，加工面视为 c 级，非加工面视为 d 级，各级表面允许存在的缺陷见下表</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">铸件表面面积/cm²</td><td colspan="12">单　个　孔　洞</td></tr>
<tr><td colspan="2">直径/mm ≤</td><td colspan="4">在10cm×10cm单位面积上孔洞数/个 ≤</td><td colspan="4">孔洞边距/mm ≥</td><td colspan="4">一个铸件上的孔洞总数/个 ≤</td></tr>
<tr><td>加工面</td><td>非加工面</td><td>a级</td><td>b级</td><td>c级</td><td>d级</td><td>a级</td><td>b级</td><td>c级</td><td>d级</td><td>a级</td><td>b级</td><td>c级</td><td>d级</td></tr>
<tr><td>≤1000</td><td>1.5</td><td>2.5</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>25</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
<tr><td>>1000~3000</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>25</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr>
<tr><td>>3000~6000</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>25</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td></tr>
<tr><td>>6000</td><td>2.5</td><td>3.5</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td><td>25</td><td>15</td><td>10</td><td>10</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="3">铸件表面面积/cm²</td><td colspan="10">成　组　孔　洞</td><td rowspan="2">孔洞边缘距铸件边缘或距内孔边缘的距离</td></tr>
<tr><td colspan="2">直径≤ /mm</td><td colspan="4">以3cm×3cm单位面积为一组孔洞数/个≤</td><td colspan="4">一个铸件上组的数量/个≤</td></tr>
<tr><td>加工面</td><td>非加工面</td><td>a级</td><td>b级</td><td>c级</td><td>d级</td><td>a级</td><td>b级</td><td>c级</td><td>d级</td><td>不小于孔洞最大直径的两倍</td></tr>
<tr><td>≤1000</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>—</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>—</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>>1000~3000</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>—</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>—</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr>
<tr><td>>3000~6000</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>—</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>—</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr>
<tr><td>>6000</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>—</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>—</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
</table>
注：非加工表面上的直径和深度均不大于1.0mm，加工面上的直径小于0.5mm，深度小于1.0mm的单个孔洞可不做缺陷计算
① 非加工表面允许存在的单个孔洞的深度不大于2.5mm。加工后表面允许存在的单个孔洞的深度不大于1.5mm，且均不超过该处壁厚的1/3，在安装边上不超过壁厚的1/4
② a级表面不允许存在成组孔洞
Ⅰ、Ⅱ类铸件非加工表面允许存在的成组孔洞的深度不大于1.5mm，加工后表面允许存在的成组孔洞的深度不大于1.0mm，且不超过该处壁厚的1/4
Ⅲ类铸件非加工表面允许存在的成组孔洞的深度不大于2.0mm，加工后表面允许存在的成组孔洞的深度不大于1.5mm，且不超过该壁厚的1/3
③ 允许存在单个孔洞和成组孔洞表面缺陷的铸件，其缺陷同一断面反面的对称部位不得有类似缺陷
7）螺纹孔内，螺纹旋入4个螺距之内不允许存在缺陷，4个螺距之外是否允许存在缺陷及其程序，按有关规定执行
</td></tr>
<tr><td>内部质量</td><td>1）需方对铸件内部质量有特殊要求时，如水压试验、气压试验、X射线检测、超声波检测、导电性检验等，由有关技术标准规定或由供需双方商定
2）铸件金相组织中相含量需测定时，由供需双方商定</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>修整</td><td>
1）可用打磨的方法清除铸件表面缺陷，但修磨后的尺寸公差应符合图样要求
2）除特殊规定外，铸件缺陷允许用焊补方法修复，其焊补面积、焊补处数、焊补深度应符合下表规定
<table>
<tr><th>铸件种类</th><th>铸件表面面积/cm²</th><th>单个焊补最大面积①/cm²</th><th>允许焊补处数②/个</th><th>焊区最大深度/mm</th><th>一个铸件上允许焊补的最多处数/个</th></tr>
<tr><td>小型件</td><td>≤1000</td><td>10</td><td>3</td><td>—</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中型件</td><td rowspan="2">>1000～3000</td><td>10</td><td>3</td><td>—</td><td rowspan="2">5</td></tr>
<tr><td>15</td><td>2</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="4">大型件</td><td rowspan="4">>3000～6000</td><td>10</td><td>4</td><td>—</td><td rowspan="4">10</td></tr>
<tr><td>15</td><td>3</td><td>—</td></tr>
<tr><td>20</td><td>2</td><td>10</td></tr>
<tr><td>25</td><td>1</td><td>8</td></tr>
<tr><td rowspan="4">特大件</td><td rowspan="4">≥6000</td><td>10</td><td>4</td><td>—</td><td rowspan="4">13</td></tr>
<tr><td>15</td><td>4</td><td>—</td></tr>
<tr><td>20</td><td>3</td><td>10</td></tr>
<tr><td>25</td><td>2</td><td>8</td></tr>
</table>
① 焊补面积是指扩修后的面积
② 焊补面积小于 2cm² 的焊区，不计入焊补处数
3）同一部位缺陷的焊补次数不得超过 3 次，焊区边缘间距不得小于两相邻焊区直径之和
4）凡经焊补的铸件，应在焊补处做标志
5）焊补区应修理平整，不得有裂纹
6）铸件焊补后，应进行消除内应力处理
7）除受很大振动载荷的重要铸件外，工作中锡铅钎料没有熔化的可能性，且不影响设计强度和使用性能时，允许用钎焊修补
8）除有特殊规定外，允许对要求致密性的铸件进行渗补
9）铸件变形允许矫正，但变形量大的重要铸件矫正后应进行消除内应力处理
</td></tr>
</table>

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-33 铸造铜合金的化学成分（摘自 GB 1176—1987）

铸造铜合金		主要化学成分（质量分数，%）									
牌号	名称	Sn	Zn	Pb	P	Ni	Al	Fe	Mn	Si	Cu
ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	2-8-6-1 锡青铜	2.0～4.0	6.0～9.0	4.0～7.0	—	0.5～1.5	—	—	—	—	其余
ZCuSn3Zn11Pb4	3-11-4 锡青铜	2.0～4.0	9.0～13.0	3.0～6.0	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuSn5Pb5Zn5	5-5-5 锡青铜	4.0～6.0	4.0～6.0	4.0～6.0	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuSn10Pb1	10-1 锡青铜	9.0～11.5	—	—	0.5～1.0	—	—	—	—	—	其余

（续）

铸造铜合金		主要化学成分（质量分数,%）									
牌　　号	名　称	Sn	Zn	Pb	P	Ni	Al	Fe	Mn	Si	Cu
ZCuSn10Pb5	10-5 锡青铜	9.0 ~ 11.0	—	4.0 ~ 6.0	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuSn10Zn2	10-2 锡青铜	9.0 ~ 11.0	1.0 ~ 3.0	—	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuPb10Sn10	10-10 铅青铜	9.0 ~ 11.0	—	8.0 ~ 11.0	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuPb15Sn8	15-8 铅青铜	7.0 ~ 9.0	—	13.0 ~ 17.0	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuPb17Sn4Zn4	17-4-4 铅青铜	3.5 ~ 5.0	2.0 ~ 6.0	14.0 ~ 20.0	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuPb20Sn5	20-5 铅青铜	4.0 ~ 6.0	—	18.0 ~ 23.0	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuPb30	30 铅青铜	—	—	27.0 ~ 33.0	—	—	—	—	—	—	其余
ZCuAl8Mn13Fe3	8-13-3 铝青铜	—	—	—	—	—	7.0 ~ 9.0	2.0 ~ 4.0	12.0 ~ 14.5	—	其余
ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	8-13-3-2 铝青铜	—	—	—	—	1.8 ~ 2.5	7.0 ~ 8.5	2.5 ~ 4.0	11.5 ~ 14.0	—	其余
ZCuAl9Mn2	9-2 铝青铜	—	—	—	—	—	8.0 ~ 10.0	—	1.5 ~ 2.5	—	其余
ZCuAl 9Fe4Ni4Mn2	9-4-4-2 铝青铜	—	—	—	—	4.0 ~ 5.0	8.5 ~ 10.0	4.0 ~ 5.0	0.8 ~ 2.5	—	其余
ZCuAl10Fe3	10-3 铝青铜	—	—	—	—	—	8.5 ~ 11.0	2.0 ~ 4.0	—	—	其余
ZCuAl10Fe3Mn2	10-3-2 铝青铜	—	—	—	—	—	9.0 ~ 11.0	2.0 ~ 4.0	1.0 ~ 2.0	—	其余
ZCuZn38	38 黄铜	—	其余	—	—	—	—	—	—	—	60.0 ~ 63.0
ZCuZn 25Al6Fe3Mn3	25-6-3-3 铝黄铜	—	其余	—	—	—	4.5 ~ 7.0	2.0 ~ 4.0	1.5 ~ 4.0	—	60.0 ~ 66.0
ZCuZn 26Al4Fe3Mn3	26-4-3-3 铝黄铜	—	其余	—	—	—	2.5 ~ 5.0	1.5 ~ 4.0	1.5 ~ 4.0	—	60.0 ~ 66.0
ZCuZn31Al2	31-2 铝黄铜	—	其余	—	—	—	2.0 ~ 3.0	—	—	—	66.0 ~ 68.0
ZCuZn35Al2Mn2Fe1	35-2-2-1 铝黄铜	—	其余	—	—	—	0.5 ~ 2.5	0.5 ~ 2.0	0.1 ~ 3.0	—	57.0 ~ 65.0
ZCuZn38Mn2Pb2	38-2-2 锰黄铜	—	其余	1.5 ~ 2.5	—	—	—	—	1.5 ~ 2.5	—	57.0 ~ 60.0
ZCuZn40Mn2	40-2 锰黄铜	—	其余	—	—	—	—	—	1.0 ~ 2.0	—	57.0 ~ 60.0
ZCuZn40Mn3Fe1	40-3-1 锰黄铜	—	其余	—	—	—	—	0.5 ~ 1.5	3.0 ~ 4.0	—	53.0 ~ 58.0
ZCuZn33Pb2	33-2 铅黄铜	—	其余	1.0 ~ 3.0	—	—	—	—	—	—	63.0 ~ 67.0
ZCuZn40Pb2	40-2 铅黄铜	—	其余	0.5 ~ 2.5	—	—	0.2 ~ 0.8	—	—	—	58.0 ~ 63.0
ZCuZn16Si4	16-4 硅黄铜	—	其余	—	—	—	—	—	—	2.5 ~ 4.5	79.0 ~ 81.0

表 6-34 铸造铜

铸造铜合金		杂质					
牌 号	名 称	Fe	Al	Sb	Si	P	S
ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	3-8-6-1 锡青铜	0.4	0.02	0.3	0.02	0.05	—
ZCuSn3Zn11Pb4	3-11-4 锡青铜	0.5	0.02	0.3	0.02	0.05	—
ZCuSn5Pb5Zn5	5-5-5 锡青铜	0.3	0.01	0.25	0.01	0.05	0.10
ZCuSn10Pb1	10-1 锡青铜	0.1	0.01	0.05	0.02	—	0.05
ZCuSn10Pb5	10-5 锡青铜	0.3	0.02	0.3	—	0.05	—
ZCuSn10Zn2	10-2 锡青铜	0.25	0.01	0.3	0.01	0.05	0.10
ZCuPb10Sn10	10-10 铅青铜	0.25	0.01	0.5	0.01	0.05	0.10
ZCuPb15Sn8	15-8 铅青铜	0.25	0.01	0.5	0.01	0.10	0.10
ZCuPb17Sn4Zn	17-4-4 铅青铜	0.4	0.05	0.3	0.02	0.05	—
ZCuPb20Sn5	20-5 铅青铜	0.25	0.01	0.75	0.01	0.10	0.10
ZCuPb30	30 铅青铜	0.5	0.01	0.2	0.02	0.08	—
ZCuAl8Mn13Fe3	8-13-3 铝青铜	—	—	—	0.15	—	—
ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	8-13-3-2 铝青铜	—	—	—	0.15	—	—
ZCuAl9Mn2	9-2 铝青铜	—	—	0.05	0.20	0.10	—
ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	9-4-4-2 铝青铜	—	—	—	0.15	—	—
ZCuAl10Fe3	10-3 铝青铜	—	—	—	0.20	—	—
ZCuAl10Fe3Mn2	10-3-2 铝青铜	—	—	0.05	0.10	0.01	—
ZCuZn38	38 黄铜	0.8	0.5	0.1	—	0.01	—
ZCuZn25Al6Fe3Mn3	25-6-3-3 铝黄铜	—	—	—	0.10	—	—
ZCuZn26Al4Fe3Mn3	26-4-3-3 铝黄铜	—	—	—	0.10	—	—
ZCuZn31Al2	31-2 铝黄铜	0.8	—	—	—	—	—
ZCuZn35Al2Mn2Fe1	35-2-2-1 铝黄铜	—	—	—	0.10	—	—
ZCuZn38Mn2Pb2	38-2-2 锰黄铜	0.8	1.0①	0.1	—	—	—
ZCuZn40Mn2	40-2 锰黄铜	0.8	1.0①	0.1	—	—	—
ZCuZn40Mn3Fe1	40-3-1 锰黄铜	—	1.0①	0.1	—	—	—
ZCuZn33Pb2	33-2 铅黄铜	0.8	0.1	—	0.05	0.05	—
ZCuZn40Pb2	40-2 铅黄铜	0.8	—	—	0.05	—	—
ZCuZn16Si4	16-4 硅黄铜	0.6	0.1	0.1	—	—	—

① 此元素不计入杂质总和。

② 其他未列出的杂质元素，计入杂质总和。

合金的杂质限量（摘自 GB 1176—1987）

限量,(质量分数,%)≤

As	C	Bi	Ni	Sn	Zn	Pb	Mn	总和②
—	—	—	—	—	—	—	—	1.0
—	—	—	—	—	—	—	—	1.0
—	—	—	2.5①	—	—	—	—	1.0
—	—	—	0.10	—	0.05	0.25	0.05	0.75
—	—	—	—	—	1.0①	—	—	1.0
—	—	—	2.0①	—	—	1.5①	0.2	1.5
—	—	—	2.0①	—	2.0①	—	0.2	1.0
—	—	—	2.0①	—	2.0①	—	0.2	1.0
—	—	—	—	—	—	—	—	0.75
—	—	—	2.5①	—	2.0①	—	0.2	1.0
0.10	—	0.005	—	1.0①	—	—	0.3	1.0
—	0.10	—	—	—	0.3①	0.02	—	1.0
—	0.10	—	—	—	0.3①	0.02	—	1.0
0.05	—	—	—	0.2	1.5①	0.1	—	1.0
—	0.10	—	—	—	—	0.02	—	1.0
—	—	—	3.0①	0.3	0.4	0.2	1.0①	1.0
0.01	—	—	—	0.1	0.5①	0.3	—	0.75
—	—	0.002	—	1.0①	—	—	—	1.5
—	—	—	3.0①	0.2	—	0.2	—	2.0
—	—	—	3.0①	0.2	—	0.2	—	2.0
—	—	—	—	1.0①	—	1.0①	0.5	1.5
—	—	—	3.0①	1.0①	Sb + P + As 0.40	0.5	—	2.0
—	—	—	—	2.0①	—	—	—	2.0
—	—	—	—	1.0	—	—	—	2.0
—	—	—	—	0.5	—	0.5	—	1.5
—	—	—	1.0①	1.5①	—	—	0.2	1.5
—	—	—	1.0①	1.0①	—	—	0.5	1.5
—	—	—	—	0.3	—	0.5	0.5	2.0

表 6-35　钛及钛合金铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 6614—1999）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>合金的化学成分应符合 GB/T 15073—1994 的规定，具体指标见表 6-36</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>铸件铸态时的室温力学性能应符合 GB/T 15073—1994 的规定，具体指标见下表
<table>
<tr><th rowspan="2">牌　　号</th><th rowspan="2">代号</th><th colspan="4">力　学　性　能</th></tr>
<tr><th>R_m ≥ /MPa</th><th>$R_{p0.2}$ ≥ /MPa</th><th>A_5 ≥ (%)</th><th>HBW ≤</th></tr>
<tr><td>ZTi1</td><td>ZTA1</td><td>345</td><td>275</td><td>20</td><td>210</td></tr>
<tr><td>ZTi2</td><td>ZTA2</td><td>440</td><td>370</td><td>13</td><td>235</td></tr>
<tr><td>ZTi3</td><td>ZTA3</td><td>540</td><td>470</td><td>12</td><td>245</td></tr>
<tr><td>ZTiAl4</td><td>ZTA5</td><td>590</td><td>490</td><td>10</td><td>270</td></tr>
<tr><td>ZTiAl5Sn2.5</td><td>ZTA7</td><td>795</td><td>725</td><td>8</td><td>335</td></tr>
<tr><td>ZTiAl6V4</td><td>ZTC4</td><td>895</td><td>825</td><td>6</td><td>365</td></tr>
<tr><td>ZTiMo32</td><td>ZTB32</td><td>795</td><td>—</td><td>2</td><td>260</td></tr>
<tr><td>ZTiAl6Sn4.5Nb2Mo1.5</td><td>ZTC21</td><td>980</td><td>850</td><td>5</td><td>350</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>几何形状尺寸</td><td>1）铸件几何形状和尺寸应符合铸件图样或订货协议的规定
2）铸件尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定，一般应不低于 CT11 级</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>1）铸件应修整飞边，表面光洁，不得有粘砂现象
2）允许用打磨或其他方法清除铸件飞边和表面轻微流痕、冷隔等缺陷。打磨后不允许发生氧化发蓝，并应与基体呈圆滑过渡。铸件打磨后应保证符合铸件图样尺寸的要求。不允许打磨的部位应在图样和合同中注明
3）铸件不应有裂纹和穿透性孔洞，对铸件密封面的要求应在图样和合同中注明
4）需方要求并在合同中注明时，铸件表面可参照 GB/T 9443—2007 进行无损检测</td></tr>
<tr><td>内部质量</td><td>需方要求并在合同中注明时，铸件可进行 X 射线检测，并参照 GB/T 5677—2007 的要求</td></tr>
<tr><td>焊接修补</td><td>1）铸件上裸露的气孔、缩孔、疏松、裂纹、夹杂和打磨后的缺陷，允许进行焊补。焊补前对缺陷部位应彻底清除干净直至露出光亮金属表面。不允许焊补的部位应在合同中注明
2）加工过程中暴露的缺陷，或 X 射线检测发现的缺陷，根据需要可进行焊补
3）焊补应在真空或氩气保护下进行，焊缝不得有严重氧化现象
4）填充焊丝一般可采用与铸件相应牌号的材料或同一类型同一强度级别的材料，其质量应符合 GB/T 3623—2007 的规定</td></tr>
</table>

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-36　铸造钛及钛合金的化学成分（摘自 15073—1994）

铸造钛合金		化学成分（质量分数,%）													
		主要成分					杂质①≤								
牌　号	代号	Ti	Al	Sn	Mo	V	Nb	Fe	Si	C	N	H	O	其他元素②	
														单个	总和
ZTi1	ZTA1	基	—	—	—	—	—	0.25	0.10	0.10	0.03	0.015	0.25	0.10	0.40
ZTi2	ZTA2	基	—	—	—	—	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015	0.35	0.10	0.40
ZTi3	ZTA3	基	—	—	—	—	—	0.40	0.15	0.10	0.05	0.015	0.40	0.10	0.40
ZTiAl4	ZTA5	基	3.3 ~ 4.7	—	—	—	—	0.30	0.15	0.10	0.04	0.015	0.20	0.10	0.40
ZTiAl5Sn2.5	ZTA7	基	4.0 ~ 6.0	2.0 ~ 3.0	—	—	—	0.50	0.15	0.10	0.05	0.015	0.20	0.10	0.40
ZTiMo32	ZTB32	基	—	—	30.0 ~ 34.0	—	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015	0.15	0.10	0.40
ZTiAl6V4	ZTC4	基	5.5 ~ 6.8	—	—	3.5 ~ 4.5	—	0.40	0.15	0.10	0.05	0.015	0.25	0.10	0.40
ZTiAl6Sn4.5N62Mo15	ZTC21	基	5.5 ~ 6.5	4.0 ~ 5.0	1.0 ~ 2.0	—	1.5 ~ 2.0	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015	0.20	0.10	0.40

① 杂质其他元素单个含量和总量只有在有异议时才考虑分析。

② 对杂质含量有特殊要求时，应经供需双方协商后在有关文件中注明。

6.2.4　用标准评定熔模铸造件质量

用标准 JB/T 5100—1991 评定熔模铸造碳钢件质量是否合格，具体指标见表 6-37 和表 6-38。

表 6-37　熔模铸造碳钢件合格品的质量评定（摘自 JB/T 5100—1991）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>尺寸公差</td><td>1）成批大批量生产的铸件尺寸公差按 GB/T 6414—1999 中 CT4 ~ CT7 级规定或按图样及订货协议规定的技术条件
2）铸件尺寸公差不包括起模斜度，起模斜度按下表规定：
<table>
<tr><td rowspan="2">模样主要成型表面高度/mm</td><td colspan="4">起模斜度</td></tr>
<tr><td>外表面</td><td>单面增值/mm</td><td>内表面</td><td>单面增值/mm</td></tr>
<tr><td>≤10</td><td>30′</td><td>0.08</td><td>1°30′</td><td>0.26</td></tr>
<tr><td>>10 ~ 18</td><td>20′</td><td>0.10</td><td>1°</td><td>0.31</td></tr>
<tr><td>>18 ~ 30</td><td>15′</td><td>0.12</td><td>45′</td><td>0.34</td></tr>
<tr><td>>30 ~ 50</td><td>15′</td><td>0.20</td><td>45′</td><td>0.65</td></tr>
<tr><td>>50 ~ 80</td><td>10′</td><td>0.23</td><td>30′</td><td>0.69</td></tr>
<tr><td>>80 ~ 120</td><td>10′</td><td>0.34</td><td>30′</td><td>1.04</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>表面粗糙度</td><td>熔模铸造碳钢件表面粗糙度为 Ra1.60 ~ Ra12.5μm 范围内</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>表面缺陷</td><td>
1）铸件非加工表面孔洞类缺陷按下表规定执行，且不得在铸件反面对应部位有类似缺陷存在
<table>
<tr><td colspan="5">铸件非加工表面上孔洞类缺陷限值</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">尺寸参数</td><td colspan="3">铸件分类</td></tr>
<tr><td>Ⅰ</td><td>Ⅱ</td><td>Ⅲ</td></tr>
<tr><td>直径不大于 1.0mm、深度不大于 0.5mm 的孔洞数/个</td><td>直径不大于 1.2mm、深度不大于 1.0mm 的孔洞数/个</td><td>直径不大于 2.0mm、深度不大于 1.8mm 的孔洞数/个</td></tr>
<tr><td rowspan="2">每 25mm × 25mm 区域内</td><td>铸件壁厚 ≤4mm</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤3</td></tr>
<tr><td>铸件壁厚 >4mm</td><td>≤3</td><td>≤3</td><td>≤4</td></tr>
<tr><td colspan="2">孔间距离/mm</td><td>>10</td><td>>10</td><td>>5</td></tr>
</table>
2）铸件加工表面允许存在可加工除去的任何缺陷，加工后表面允许存在直径不大于0.5mm、深度不大于 0.3mm、相互距离不小于 10mm 的单个孔洞
3）铸件表面脱碳层一般不检查，如用户有要求时，应在订货合同或有关技术文件中规定，脱碳层深度应符合下表规定：
<table>
<tr><td colspan="6">铸件表面允许的脱碳层深度</td></tr>
<tr><td>铸件壁厚/mm</td><td>≤3</td><td>>3 ~ 5</td><td>>5 ~ 10</td><td>>10 ~ 20</td><td>>20</td></tr>
<tr><td>最大单面脱碳层深度/mm</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.8</td><td>1.0</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
铸件力学性能应符合下表规定：
<table>
<tr><td rowspan="3">熔模铸钢牌号</td><td colspan="5">力学性能　最小值</td></tr>
<tr><td rowspan="2">R_{eL} 或 $R_{p0.2}$ /MPa</td><td rowspan="2">R_m /MPa</td><td rowspan="2">A (%)</td><td colspan="3">根据合同选择</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Z (%)</td><td colspan="2">冲击性能</td></tr>
<tr><td>kV /J</td><td>a_K① /(J/cm²)</td></tr>
<tr><td>RZG200-400</td><td>200</td><td>400</td><td>25</td><td>40</td><td>30</td><td>58.8</td></tr>
<tr><td>RZG230-450</td><td>230</td><td>450</td><td>22</td><td>32</td><td>25</td><td>43.1</td></tr>
<tr><td>RZG270-500</td><td>270</td><td>500</td><td>18</td><td>25</td><td>22</td><td>34.3</td></tr>
<tr><td>RZG310-570</td><td>310</td><td>570</td><td>15</td><td>21</td><td>15</td><td>29.4</td></tr>
<tr><td>RZG340-640</td><td>340</td><td>640</td><td>10</td><td>18</td><td>10</td><td>19.6</td></tr>
</table>
①a_K 为冲击韧度（U 型缺口）
</td></tr>
<tr><td>铸件裂纹</td><td>铸件不允许有裂纹</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td>铸件化学成分应符合表 6-38 的规定</td></tr>
<tr><td>铸件修整</td><td>
1）加工面上浇冒口余根留量不大于 1 ~ 3mm，非加工面上浇冒口余根应磨平，或余量不大于 0.5mm，个别难清理余根可由供需双方商定
2）易变形铸件允许校正。校正后需要消除应力的铸件，应在技术文件中注明
3）铸件允许焊补。不允许焊补的铸件应在图样中注明，焊补后不得影响外观质量和加工性能，焊补后需经热处理
</td></tr>
<tr><td>热处理</td><td>铸件必须经过热处理</td></tr>
</table>

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-38　熔模铸造碳钢件的化学成分（摘自 JB/T 5100—1991）

熔模铸钢牌号	元素最高含量（质量分数,%）									
	C①	Si	Mn①	S	P	残余元素②				
						Ni	Cr	Cu	Mo	V
RZG200-400	0. 20	0. 50	0. 80	0. 04	0. 04	0. 30	0. 35	0. 30	0. 20	0. 05
RZG230-450	0. 30		0. 90							
RZG270-400	0. 40									
RZG310-570	0. 50									
RZG340-640	0. 60									

① 对上限每减少 0. 01%（质量分数）的碳，允许增加 0. 04%（质量分数）的锰；对 RZG200-400 中锰最高至 1. 00%（质量分数），其余四个牌号的锰最高至 1. 2%（质量分数）。

② 残余元素总量不超过 1. 00%（质量分数），如需方无要求，残余元素不进行分析。

6. 2. 5　用标准评定压铸件质量

1）用标准 GB/T 15114—2009 评定铝合金压铸件质量是否合格，具体指标见表 6-39 和表 6-40。

2）用标准 GB/T 25747—2010 评定镁合金压铸件质量是否合格，具体指标见表 6-41 和表 6-42。

3）用标准 GB/T 13821—2009 评定锌合金压铸件质量是否合格，具体指标见表 6-43 ~ 表 6-45。

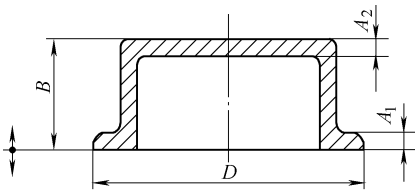
4）用标准 GB/T 15117—1994 评定铜合金压铸件质量是否合格，具体指标见表 6-46 和表 6-47。

表 6-39　铝合金压铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 15114—2009）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td colspan="5">合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>化学成分</td><td colspan="5">铝合金压铸件的化学成分见表 6-40</td></tr>
<tr><td rowspan="10">力学性能</td><td colspan="5">1）如果没有特殊规定，力学性能不作为验收依据
2）当采用压铸试样检验时，其力学性能见下表</td></tr>
<tr><td rowspan="2">合金牌号</td><td rowspan="2">合金代号</td><td colspan="3">力学性能（不低于）</td></tr>
<tr><td>抗拉强度
R_m
/MPa</td><td>伸长率
（$L_0=50$）
A（%）</td><td>布氏硬度
HBW</td></tr>
<tr><td>YZAlSi10Mg</td><td>YL101</td><td>220</td><td>2. 0</td><td>70</td></tr>
<tr><td>YZAlSi12</td><td>YL102</td><td>220</td><td>2. 0</td><td>60</td></tr>
<tr><td>YZAlSi10</td><td>YL104</td><td>220</td><td>2. 0</td><td>70</td></tr>
<tr><td>YZAlSi9Cu4</td><td>YL112</td><td>320</td><td>3. 5</td><td>85</td></tr>
<tr><td>YZAlSi11Cu3</td><td>YL113</td><td>230</td><td>1. 0</td><td>80</td></tr>
<tr><td>YZAlSi17Cu5Mg</td><td>YL117</td><td>220</td><td><1. 0</td><td>—</td></tr>
<tr><td>YZAlMg5Si1</td><td>YL302</td><td>220</td><td>2. 0</td><td>70</td></tr>
<tr><td colspan="5">3）当采用压铸件本体检验时，由供需双方商定技术要求</td></tr>
<tr><td>尺寸及其公差</td><td colspan="5">1）压铸件的几何形状和尺寸应符合铸件图样的规定
2）压铸件的尺寸公差应按 GB/T 6414—1999 的规定执行。受分型面和模具活动部分影响的尺寸公差还需增加一个附加量（有特殊规定和要求时，必须在图样上注明）
①线型尺寸受分型面影响时的附加量（增或减），应符合下表规定</td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求
尺寸及其公差	线型尺寸受分型面影响时的附加量（增或减）



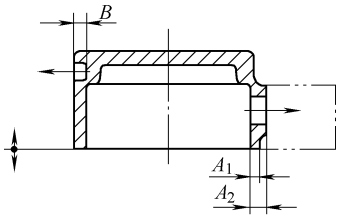
1

铸件在分型面上的投影面积/cm^2	A 处和 B 处的附加量/mm
≤150	0.10
>150 ~ 300	0.15
>300 ~ 600	0.20
>600 ~ 1200	0.30
>1200 ~ 1800	0.40

注：铸件在分型面上的投影面积，包括浇注系统和排气系统在分型面上的投影面积。

②线型尺寸受模具活动部分影响时的附加量（增或减）应符合下表规定

线型尺寸受模具活动部分影响时的附加量（增或减）



2

模具活动部分投影面积/cm^2	A 处和 B 处的附加量/mm
≤50	0.10
>50 ~ 100	0.20
>100 ~ 300	0.30
>300 ~ 600	0.40

注：投影面积是指用模具活动部分形成的并在与移动方向垂直的面上的投影面积

3）压铸件的尺寸公差不包括起模斜度。其不加工表面包容面以小端为基准、被包容面以大端为基准；待加工表面。包容面以大端为基准，被包容面以小端为基准。有特殊规定和要求时，须在图样上注明

4）压铸件有几何公差要求时，应符合以下规定，其标注方法应符合 GB/T 1182—2008 的规定

①压铸件的表面形状公差值合格品的质量要求应在有关尺寸公差值范围内，其平面度公差见下表

被测量部位尺寸/mm	铸态	整形后
	平面度公差值/mm	
≤25	0.20	0.10
>25 ~ 63	0.30	0.15
>63 ~ 100	0.40	0.20
>100 ~ 160	0.55	0.25
>160 ~ 250	0.80	0.30
>250 ~ 400	1.10	0.40
>400 ~ 630	1.50	0.50
>630	2.00	0.70

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td rowspan="3">尺寸及其公差</td><td>②压铸件的平行度、垂直度、轴向圆跳动公差见下表</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">被测量部位在测量方向上的尺寸/mm</td><td colspan="3">被测部位和基准部位在同一半模内</td><td colspan="3">被测部位和基准部位不在同一半模内</td></tr>
<tr><td>二个部位都不动的</td><td>二个部位中有一个动的</td><td>两个部位都动的</td><td>二个部位都不动的</td><td>二个部位中有一个动的</td><td>两个部位都动的</td></tr>
<tr><td colspan="6">压铸件的平行度、垂直度、轴向圆跳动公差值/mm</td></tr>
<tr><td>≤25</td><td>0.10</td><td>0.15</td><td>0.20</td><td>0.15</td><td>0.20</td><td>0.30</td></tr>
<tr><td>>25～63</td><td>0.15</td><td>0.20</td><td>0.30</td><td>0.20</td><td>0.30</td><td>0.40</td></tr>
<tr><td>>63～100</td><td>0.20</td><td>0.30</td><td>0.40</td><td>0.30</td><td>0.40</td><td>0.60</td></tr>
<tr><td>>100～160</td><td>0.30</td><td>0.40</td><td>0.60</td><td>0.40</td><td>0.60</td><td>0.80</td></tr>
<tr><td>>160～250</td><td>0.40</td><td>0.60</td><td>0.80</td><td>0.60</td><td>0.80</td><td>1.00</td></tr>
<tr><td>>250～400</td><td>0.60</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>1.20</td></tr>
<tr><td>>400～630</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>1.20</td><td>1.00</td><td>1.20</td><td>1.40</td></tr>
<tr><td>>630</td><td>1.00</td><td>—</td><td>—</td><td>1.20</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>
注：表中的数值不包括压铸件与镶嵌件有关部位的位置公差
</td></tr>
<tr><td>③压铸件的同轴度、对称度公差见下表，其标注方法应符合 GB/T 1182—2008 的规定</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">被测量部位在测量方向上的尺寸/mm</td><td colspan="3">被测部位和基准部位在同一半模内</td><td colspan="3">被测部位和基准部位不在同一半模内</td></tr>
<tr><td>两个部位都不动的</td><td>两个部位中有一个动的</td><td>两个部位都动的</td><td>两个部位都不动的</td><td>两个部位中有一个动的</td><td>两个部位都动的</td></tr>
<tr><td colspan="6">压铸件的同轴度、对称度公差值/mm</td></tr>
<tr><td>≤30</td><td>0.15</td><td>0.30</td><td>0.35</td><td>0.30</td><td>0.35</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>>30～50</td><td>0.25</td><td>0.40</td><td>0.50</td><td>0.40</td><td>0.50</td><td>0.70</td></tr>
<tr><td>>50～120</td><td>0.35</td><td>0.55</td><td>0.70</td><td>0.55</td><td>0.70</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>>120～250</td><td>0.55</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>1.20</td></tr>
<tr><td>>250～500</td><td>0.80</td><td>1.20</td><td>1.40</td><td>1.20</td><td>1.40</td><td>1.60</td></tr>
<tr><td>>500～800</td><td>1.20</td><td>—</td><td>—</td><td>1.60</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>
注：表中数值不包括压铸件与镶嵌件有关部位的位置公差
</td></tr>
<tr><td>加工余量</td><td>压铸件加工余量按 GB/T 6414—1999 的规定执行。若有特殊规定和要求，则其加工余量必须在图样上注明</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>1）铸件表面粗糙度应符合图样或客户的要求或按 GB/T 6060.1—1997 的规定执行
2）铸件不允许有裂纹、欠铸和任何穿透性缺陷
3）铸件允许存在的擦伤、凹陷、缺肉和网状飞边等缺陷，其缺陷的程度和数量应与供需双方商定的标准相一致
4）铸件的浇口、飞边、溢流口、隔皮、顶杆痕迹等应进行清理，其允许留有的痕迹，由供需双方商定
5）如图样无特别规定，有关压铸工艺的设置，如顶杆位置、分型线的位置、浇口和溢流口的位置等，由供方自行确定
6）压铸件需要特殊加工的表面，如抛光、喷丸、抛丸、镀铬、涂覆、阳极氧化、化学氧化等应在图样上注明</td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求
内部质量	1）压铸件如能满足其使用要求，则压铸件气孔、缩孔缺陷不作为报废的依据 2）对压铸件的气压密封性、液压密封性、内部缺陷及标准 GB/T 15114—2009 未列项目有要求时，应符合供需双方商定的验收标准 3）在不影响压铸件使用的条件下，经需方同意，供方可以对压铸件进行浸渗、修补和变形校正处理

注：1. 当供需双方在合同或协议中有规定时，供方应对合同中规定的所有试验和检验项目负责。合同或协议中无规定时，经需方同意，供方可以用自己适宜的手段执行标准 GB/T 15114—2009 所规定的试验和要求。需方有权对标准中的任何试验和检验项目进行检验，其质量标准应根据供需双方之间的协议而定。

2. 根据压铸生产特点，规定一个检验批量是指每台压铸设备在正常操作情况下，一个班次的生产量。设备、模具和操作连续性的任何重大变化都应视为一个新的批量的开始。

3. 供方对每批压铸件都要随机或统计地抽样检验，确定是否符合全部技术要求或图样的规定。检验结果应予以记录。

表 6-40　铝合金压铸件的化学成分（摘自 GB/T 15114—2009）

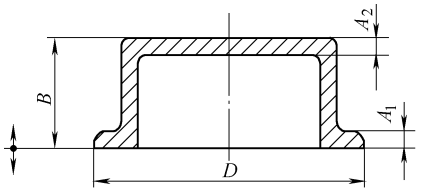
牌号	代号	化学成分(质量分数,%)										
		Si	Cu	Mn	Mg	Fe	Ni	Ti	Zn	Pb	Sn	Al
YZAlSi10Mg	YL101	9.0 ~ 10.0	≤0.6	≤0.35	0.45 ~ 0.05	≤1.0	≤0.50	—	≤0.40	≤0.10	≤0.15	余量
YZAlSi12	YL102	10.0 ~ 13.0	≤1.0	≤0.35	≤0.10	≤1.0	≤0.50	—	≤0.40	≤0.10	0.15	余量
YZAlSi10	YL104	8.0 ~ 10.5	≤0.3	0.80 ~ 0.50	0.30 ~ 0.50	0.5 ~ 0.8	≤0.10	—	≤0.30	≤0.05	≤0.01	余量
YZAlSi9Cu4	YL112	7.5 ~ 9.5	3.0 ~ 4.0	≤0.50	≤0.10	≤1.0	≤0.50	—	≤2.90	≤0.1	≤0.15	余量
YZAlSi11Cu3	YL113	9.5 ~ 11.5	2.0 ~ 3.0	≤0.50	≤0.10	≤1.0	≤0.30	—	≤2.90	≤0.10	—	余量
YZAlSi17Cu5Mg	YL117	16.0 ~ 18.0	4.0 ~ 5.0	≤0.5	0.50 ~ 0.70	≤1.0	≤0.10	≤0.20	≤1.40	≤0.10	—	余量
YZAlMg5Si1	YL302	≤0.35	≤0.25	≤0.35	7.60 ~ 8.60	≤1.1	≤0.15	—	≤0.15	≤0.10	≤0.15	余量

注：除有范围的元素及铁为必检元素外，其余元素在有要求时抽检。

表 6-41　镁合金压铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 25747—2010）

评定项目	合格品的质量要求
化学成分	镁合金压铸件的化学成分见表 6-42
力学性能	1)如果没有特殊规定,力学性能不作为验收依据 2)以 GB/T 13822—1992 规定的压铸单铸试棒确定的典型力学性能见下表(供参考) 3)当采用压铸件本体检验时,由供需双方商定技术要求

（续）

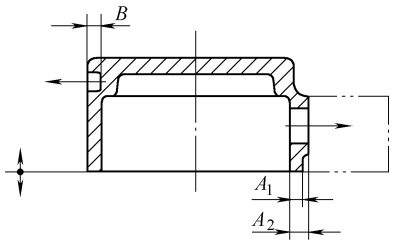
<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">牌号</th><th rowspan="2">代号</th><th colspan="3">拉伸性能　≥</th><th rowspan="2">布氏硬度
HBW　≥</th></tr>
<tr><th>抗拉强度
R_m/MPa</th><th>规定塑性延伸强度
$R_{p0.2}$/MPa</th><th>伸长率 A(%)
($L_0=50$)</th></tr>
<tr><td>YZMgAlZSi</td><td>YM102</td><td>230</td><td>120</td><td>12</td><td>55</td></tr>
<tr><td>YZMgAl2Si(B)</td><td>YM103</td><td>231</td><td>122</td><td>13</td><td>55</td></tr>
<tr><td>YZMgAl4Si(A)</td><td>YM104</td><td>210</td><td>140</td><td>6</td><td>55</td></tr>
<tr><td>YZMgAl4Si(B)</td><td>YM105</td><td>210</td><td>140</td><td>6</td><td>55</td></tr>
<tr><td>YZMgAl4Si(S)</td><td>YM106</td><td>210</td><td>140</td><td>6</td><td>55</td></tr>
<tr><td>YZMgAl2Mn</td><td>YM202</td><td>200</td><td>110</td><td>10</td><td>58</td></tr>
<tr><td>YZMgAl5Mn</td><td>YM203</td><td>220</td><td>130</td><td>8</td><td>62</td></tr>
<tr><td>YZMgAl6Mn(A)</td><td>YM204</td><td>220</td><td>130</td><td>8</td><td>62</td></tr>
<tr><td>YZMgAl8Mn</td><td>YM205</td><td>220</td><td>130</td><td>8</td><td>62</td></tr>
<tr><td>YZMgAl8Zn1</td><td>YM302</td><td>230</td><td>160</td><td>3</td><td>63</td></tr>
<tr><td>YZMgAl9Zn1(A)</td><td>YM303</td><td>230</td><td>160</td><td>3</td><td>63</td></tr>
<tr><td>YZMgAl9Zn1(B)</td><td>YM304</td><td>230</td><td>160</td><td>3</td><td>63</td></tr>
<tr><td>YZMgAl9Zn1(C)</td><td>YM305</td><td>230</td><td>160</td><td>3</td><td>63</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>尺寸及其公差</td><td>
1)压铸件的几何形状和尺寸应符合铸件图样的规定
2)压铸件的尺寸公差应按 GB/T 6414—1999 的规定。受分型面和模具活动部分影响的尺寸公差还需要增加一个如下所述的附加量,有特殊规定和要求时,必须在图样上注明
①线型尺寸受分型面影响时的附加量(增或减)应符合下表规定
线型尺寸受分型面影响时的附加量(增或减)


1
<table>
<tr><th>铸件在分型面上的投影面积/cm^2</th><th>A 处和 B 处的附加量/mm</th></tr>
<tr><td>≤150</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td>>150 ~ 300</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td>>300 ~ 600</td><td>0.20</td></tr>
<tr><td>>600 ~ 1200</td><td>0.30</td></tr>
<tr><td>>1200 ~ 1800</td><td>0.40</td></tr>
</table>
注:铸件在分型面上的投影面积,包括浇注系统和排气系统在分型面上的投影面积
②线型尺寸受模具活动部分影响时的附加量(增或减)应符合下表规定
</td></tr>
</table>

（续）

评定项目	合格品的质量要求

线型尺寸受模具活动部分影响的附加量（增或减）



2

模具活动部分投影面积/cm^2	A 处和 B 处的附加量/mm
≤50	0.1
>50～100	0.2
>100～300	0.3
>300～600	0.4

注：投影面积是指用模具活动部分形成的并在与移动方向垂直的面上的投影面积

3）压铸件的尺寸公差不包括起模斜度。其不加工表面：包容面以小端为基准，被包容面以大端为基准；待加工表面：包容面以大端为基准，被包容面以小端为基准。有特殊规定和要求时，必须在图样上注明

4）压铸件有几何公差要求时，应符合以下规定。其标注方法应符合 GB/T 1182—2008 的规定

①压铸件的表面形状公差值应在有关尺寸公差值范围内，其平面度公差见下表

被测量部位尺寸/mm	铸态	整形后
	压铸件的平面度公差值/mm	
≤25	0.20	0.10
>25～63	0.30	0.15
>63～100	0.40	0.20
>100～160	0.55	0.25
>160～250	0.80	0.30
>250～400	1.10	0.40
>400～630	1.50	0.50
>630	2.00	0.70

②压铸件的平行度、垂直度、轴向圆跳动公差见下表

被测量部位在测量方向上的尺寸/mm	被测部位和基准部位在同一半模内			被测部位和基准部位不在同一半模内		
	两个部位都不动的	两个部位中有一个动的	两个部位都动的	两个部位都不动的	两个部位中有一个动的	两个部位都动的
	压铸件的平行度、垂直度、轴向圆跳动公差值/mm					
≤25	0.10	0.15	0.20	0.15	0.20	0.30
>25～63	0.15	0.20	0.30	0.20	0.30	0.40
>63～100	0.20	0.30	0.40	0.30	0.40	0.60
>100～160	0.30	0.40	0.60	0.40	0.60	0.80
>160～250	0.40	0.60	0.80	0.60	0.80	1.00
>250～400	0.60	0.80	1.00	0.80	1.00	1.20
>400～630	0.80	1.00	1.20	1.00	1.20	1.40
>630	1.00	—	—	1.20	—	—

注：本表中的公差值不包括压铸件与镶嵌件有关部位的位置公差

③压铸件的同轴度、对称度公差见下表

尺寸及其公差

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>尺寸及其公差</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="3">被测量部位在测量方向上的尺寸/mm</td><td colspan="3">被测量部位和基准部位在同一半模内</td><td colspan="3">被测量部位和基准部位不在同一半模内</td></tr>
<tr><td>两个部位都不动的</td><td>两个部位中有一个动的</td><td>两个部位都动的</td><td>两个部位都不动的</td><td>两个部位中有一个动的</td><td>两个部位都动的</td></tr>
<tr><td colspan="6">压铸件的同轴度、对称度公差值/mm</td></tr>
<tr><td>≤30</td><td>0.15</td><td>0.30</td><td>0.35</td><td>0.30</td><td>0.35</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>>30~50</td><td>0.25</td><td>0.40</td><td>0.50</td><td>0.40</td><td>0.50</td><td>0.70</td></tr>
<tr><td>>50~120</td><td>0.35</td><td>0.55</td><td>0.70</td><td>0.55</td><td>0.70</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>>120~250</td><td>0.55</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>0.80</td><td>1.00</td><td>1.20</td></tr>
<tr><td>>250~500</td><td>0.80</td><td>1.20</td><td>1.40</td><td>1.20</td><td>1.40</td><td>1.60</td></tr>
<tr><td>>500~800</td><td>1.20</td><td>—</td><td>—</td><td>1.60</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>
注：本表中的公差值不包括压铸件与镶嵌件有关部位的位置公差
</td></tr>
<tr><td>加工余量</td><td>压铸件的加工余量按 GB/T 6414—1999 的规定执行。若有特殊规定和要求，则其加工余量必须在图样上注明</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>1）压铸件表面粗糙度应符合图样或客户的要求，或按 GB/T 6060.1—1997 的规定执行
2）压铸件不允许有裂纹、贯穿性欠铸等穿透性缺陷
3）压铸件允许存在的擦伤、欠铸、凹陷、缺肉和网状飞边等缺陷，其缺陷的程度和数量应与供需双方商定的标准相一致
4）压铸件的浇口、飞边、溢流口、隔皮、顶杆痕迹等应进行清理，其允许留有的痕迹，由供需双方商定
5）如图样无特别规定，有关压铸工艺的设置，如顶杆位置、分型线的位置、浇口和溢流口的位置等，由供方自行确定
6）压铸件需要特殊加工的表面，如抛光、喷丸、抛丸、镀铬、涂覆、阳极氧化、化学氧化等应在图样上注明</td></tr>
<tr><td>内部质量</td><td>1）压铸件如能满足其使用要求，则压铸件气孔、缩孔缺陷不作为报废的依据
2）对压铸件的气压密封性、液压密封性、内部缺陷及标准 GB/T 25747—2010 未列项目有要求时，应符合供需双方商定的验收标准
3）在不影响压铸件使用的条件下，经需方同意，供方可以对压铸件进行浸渗、修补和变形校正处理</td></tr>
</table>

注：1. 当供需双方在合同或协议中有规定时，供方应对合同中规定的所有试验和检验项目负责。合同或协议中无规定时，经需方同意，供方可以用自己适宜的手段执行标准 GB/T 25747—2010 所规定的试验和要求。需方有权对标准中的任何试验和检验项目进行检验，其质量标准应根据供需双方之间的协议而定。

2. 根据压铸生产特点，规定一个检验批量是指每台压铸设备在正常操作情况下，一个班次的生产量。设备、模具和操作连续性的任何重大变化都应视为一个新的批量的开始。

3. 供方对每批压铸件都要随机或统计地抽样检验，确定是否符合全部技术要求或图样的规定。检验结果应予以记录。

表 6-42　镁合金压铸件的化学成分（摘自 GB/T 25747—2010）

合金牌号	合金代号	元素含量（质量分数，%）									
		Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	RE	其他元素	Mg
YZMgAl2Si	YM102	1.8~2.5	≤0.20	0.18~0.70	0.70~1.20	≤0.01	≤0.001	≤0.005	—	≤0.01	余量
YZMgAl2Si（B）	YM103	1.8~2.5	≤0.25	0.05~0.15	0.70~1.20	≤0.008	≤0.001	≤0.0035	0.06~0.25	≤0.01	余量

（续）

合金牌号	合金代号	元素含量(质量分数,%)									
		Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	RE	其他元素	Mg
YZMgAl4Si(A)	YM104	3.5 ~ 5.0	≤0.12	0.20 ~ 0.50	0.50 ~ 1.50	≤0.06	≤0.030	—	—	—	余量
YZMgAl4Si(B)	YM105	3.5 ~ 5.0	≤0.12	0.35 ~ 0.70	0.50 ~ 1.50	≤0.02	≤0.002	≤0.0035	—	≤0.02	余量
YZMgAl4Si(S)	YM106	3.5 ~ 5.0	≤0.20	0.18 ~ 0.70	0.50 ~ 1.50	≤0.01	≤0.002	≤0.004	—	≤0.02	余量
YZMgAl2Mn	YM202	1.6 ~ 2.5	≤0.20	0.33 ~ 0.70	≤0.08	≤0.008	≤0.001	≤0.004	—	≤0.01	余量
YZMgAl5Mn	YM203	4.4 ~ 5.4	≤0.22	0.26 ~ 0.60	≤0.10	≤0.01	≤0.002	≤0.004	—	≤0.02	余量
YZMgAl6Mn(A)	YM204	5.5 ~ 6.5	≤0.22	0.13 ~ 0.60	≤0.50	≤0.35	≤0.030	—	—	—	余量
YZMgAl6Mn	YM205	5.5 ~ 6.5	≤0.22	0.24 ~ 0.60	≤0.10	≤0.01	≤0.002	≤0.005	—	≤0.02	余量
YZMgAl8Zn1	YM302	7.0 ~ 8.1	0.4 ~ 1.0	0.13 ~ 0.35	≤0.30	≤0.10	≤0.010	—	—	≤0.30	余量
YZMgA19Zn1(A)	YM303	8.3 ~ 9.7	0.35 ~ 1.00	0.13 ~ 0.50	≤0.50	≤0.10	≤0.030	—	—	—	余量
YZMgAl9Zn1(B)	YM304	8.3 ~ 9.7	0.35 ~ 1.00	0.13 ~ 0.50	≤0.50	≤0.35	≤0.030	—	—	—	余量
YZMgAl9Zn1(D)	YM305	8.3 ~ 9.7	0.35 ~ 1.00	0.15 ~ 0.50	≤0.10	≤0.03	≤0.002	≤0.005	—	≤0.02	余量

注：除有范围的元素和铁为必检元素外，其余元素有要求时抽检。

表 6-43　锌合金压铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 13821—2009）

评定项目	合格品的质量要求
化学成分	锌合金压铸件的化学成分见表 6-44
力学性能	1)除非在合同、订单或图样上有具体规定,不以拉伸试验所测定的力学性能作为检验依据 2)在严格控制条件下压铸试样的典型力学性能见下表(供参考)

（续）

<table>
<tr><td>评定项目</td><td>合格品的质量要求</td></tr>
<tr><td>力学性能</td><td>
<table>
<tr><td>牌号</td><td>YX040A</td><td>YX040B</td><td>YX041</td><td>YX043</td><td>YX081</td><td>YX111</td><td>YX272</td></tr>
<tr><td>抗拉强度/MPa</td><td>283</td><td>283</td><td>328</td><td>359</td><td>372</td><td>400</td><td>426</td></tr>
<tr><td>下屈服强度/MPa</td><td>221</td><td>221</td><td>269</td><td>283</td><td>283 ~ 296</td><td>310 ~ 331</td><td>359 ~ 370</td></tr>
<tr><td>抗压强度/MPa</td><td>414</td><td>414</td><td>600</td><td>641</td><td>252</td><td>269</td><td>358</td></tr>
<tr><td>伸长率(%)</td><td>10</td><td>13</td><td>7</td><td>7</td><td>6 ~ 10</td><td>4 ~ 7</td><td>2.0 ~ 3.5</td></tr>
<tr><td>布氏硬度 HBW</td><td>82</td><td>80</td><td>91</td><td>100</td><td>100 ~ 106</td><td>95 ~ 105</td><td>116 ~ 122</td></tr>
<tr><td>抗剪强度/MPa</td><td>214</td><td>214</td><td>262</td><td>317</td><td>275</td><td>296</td><td>325</td></tr>
<tr><td>冲击吸收能量/J</td><td>58</td><td>58</td><td>65</td><td>47.5</td><td>32 ~ 48</td><td>20 ~ 37</td><td>9 ~ 16</td></tr>
<tr><td>疲劳强度/MPa</td><td>47.6</td><td>47.6</td><td>56.5</td><td>58.6</td><td>103</td><td>—</td><td>145</td></tr>
<tr><td>弹性模量/GPa</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>85.5</td><td>83</td><td>77.9</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>几何形状及尺寸</td><td>1）压铸件的几何形状和尺寸应符合铸件图样的规定
2）压铸件的尺寸公差应符合 GB/T 6414—1999 的规定。或参见表 5-17、表 5-19 和表 5-20。有特殊规定或要求时，必须在图样上注明
3）压铸件的尺寸公差不包括起模斜度。其不加工表面：包容面以小端为基准，被包容面以大端为基准；待加工表面：包容面以大端为基准，被包容面以小端为基准。有特殊规定和要求时，必须在图样上注明</td></tr>
<tr><td>加工余量</td><td>压铸件加工余量按 GB/T 6414—1999 的规定执行。若有特殊规定和要求，则其加工余量必须在图样上注明</td></tr>
<tr><td>表面质量</td><td>1）锌合金压铸件表面按使用要求分为 3 级（见下表），如果有更高要求的部位，应在图样中有关表面分别注明
<table>
<tr><td>级别</td><td>符号</td><td>使 用 范 围</td><td>表面粗糙度 Ra/μm</td></tr>
<tr><td>1</td><td>Y1</td><td>镀、抛光、研磨的表面，相对运动的配合面，危险应力区表面</td><td>≤1.6</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Y2</td><td>要求密封的表面、装配接触面等</td><td>≤3.2</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Y3</td><td>保护性的涂覆表面及紧固接触面，油漆打腻表面，其他表面</td><td>≤6.3</td></tr>
</table>
2）铸件表面粗糙度应符合图样或客户的要求
3）铸件不允许有裂纹、欠铸和任何穿透性缺陷
4）铸件允许存在的擦伤、凹陷、缺肉和网状飞边等缺陷，其缺陷的程度和数量应与供需双方商定的标准相一致
5）铸件的浇口、飞边、溢流口、隔皮、顶杆痕迹等应进行清理，其允许留有的痕迹，由供需双方商定
6）如果图样无特殊规定，有关压铸工艺的设置，如顶杆位置、分型线的位置、浇口和溢流口的位置等，由供方自行确定
7）压铸件需要特殊加工的表面，如抛光、喷丸、抛丸、镀铬、涂覆、阳极氧化、化学氧化等应在图样上注明</td></tr>
<tr><td>内部质量</td><td>1）压铸件如能满足其使用要求，则压铸件气孔、缩孔缺陷不作为报废的依据
2）在不影响压铸件使用的条件下，经需方同意，供方可以对压铸件进行浸渗、修补和变形校正处理
3）对本标准未列项目验收时，由供需双方商定</td></tr>
</table>

注：1. 当供需双方在合同或协议中有规定时，供方应对合同中规定的所有试验和检验项目负责。合同或协议中无规定时，经需方同意，供方可以用自己适宜的手段执行标准 GB/T 13821—2009 所规定的试验和要求。需方有权对标准中的任何试验和检验项目进行检验，其质量标准应根据供需双方之间的协议而定。

2. 根据压铸生产特点，规定一个检验批量是指每台压铸设备在正常操作情况下，一个班次的生产量。设备、模具和操作连续性的任何重大变化都应视为一个新的批量的开始。

3. 供方对每批压铸件都要随机或统计地抽样检验，确定是否符合全部技术要求或图样的规定，检验结果应予以记录。

表 6-44　锌合金压铸件的化学成分（摘自 GB/T 13821—2009）

合金牌号	合金代号	主要成分(质量分数,%)				杂质含量(质量分数,%)≤			
		Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Sn	Cd
YZZnAl4A	YX040A	3.5～4.3	≤0.25	0.02～0.06	余量	0.10	0.005	0.003	0.004
YZZnAl4B	YX040B	3.5～4.3	≤0.25	0.005～0.02	余量	0.075	0.003	0.001	0.002
YZZnAl4Cu1	YX041	3.5～4.3	0.75～1.25	0.03～0.08	余量	0.10	0.005	0.003	0.004
YZZnAl4Cu3	YX043	3.5～4.3	2.5～3.0	0.02～0.05	余量	0.10	0.005	0.003	0.004
YZZnAl8Cu1	YX081	8.0～8.8	0.8～1.3	0.015～0.03	余量	0.075	0.006	0.003	0.006
YZZnAl11Cu1	YX111	10.5～11.5	0.5～1.2	0.015～0.03	余量	0.075	0.006	0.003	0.006
YZZnAl27Cu2	YX272	25.0～28.0	2.0～2.5	0.010～0.02	余量	0.075	0.006	0.003	0.006

表 6-45　锌合金压铸件表面质量分级表

序号	缺陷名称		检验范围	表面质量级别			说　明
				1 级	2 级	3 级	
1	花纹麻面有色斑点		三者面积不超过总面积的百分数(%)	5	25	40	—
2	流痕		深度/mm	≤0.05	≤0.07	≤0.15	—
			面积不大于总面积百分数(%)	5	15	30	—
3	冷隔		深度	不允许	≤1/5 壁厚	≤1/4 壁厚	在同一部位对应处不允许同时存在 长度是指缺陷流向的展开长度
			长度不大于铸件最大轮廓尺寸/mm		1/10	1/5	
			所在面上不允许超过的数量		2 处	2 处	
			离铸件边缘距离/mm		≥4	≥4	
			两冷隔间距/mm		≥10	≥10	
4	擦伤		深度/mm	≤0.05	≤0.01	≤0.25	除 1 级表面外,浇口部位允许增加一倍
			面积不大于总面积百分数(%)	3	5	10	
5	凹陷		凹入深度/mm	≤0.10	≤0.30	≤0.50	—
6	粘附物痕迹		整个铸件不允许超过	不允许	1 处	2 处	—
			占带缺陷表面积百分数(%)		5	10	—
7	边角残缺深度/mm		铸件边长≤100mm 时	0.3	0.5	1.0	不超过边长度的 5%
			铸件边长 >100mm 时	0.5	0.8	1.2	—
8	气泡	平均直径≤3mm	每 100cm² 缺陷个数不超过	不允许	1	2	允许两种气泡同时存在,但大气泡≤3 个,总数≤10 个,且边距≥10mm
			整个铸件不超过个数		3	7	
			离铸件边缘距离/mm		≥3	≥3	
			气泡凸起高度/mm		≤0.2	≤0.3	
		平均直径为 3～6mm	每 100cm² 缺陷个数不超过	不允许	1	1	—
			整个铸件气泡不超过		1	3	—
			离铸件边缘距离/mm		≥5	≥5	—
			气泡凸起高度/mm		≤0.3	≤0.5	—

（续）

序号	缺陷名称	检验范围	表面质量级别			说　明
			1 级	2 级	3 级	
9	顶杆痕迹	凹入铸件深度不超过该处壁厚的	不允许	1/10	1/10	—
		最大凹入量/mm		0.4	0.4	—
		凸起高度/mm		≥0.2	≥0.2	—
10	网状痕迹	凸起或凹下/mm	不允许	≤0.2	≤0.2	—
11	各类缺陷总和	面积不超过总面积的百分数(%)	5	30	50	—

表 6-46　铜合金压铸件合格品的质量评定（摘自 GB/T 15117—1994）

评定项目	合格品的质量要求				
化学成分	合金的化学成分应符合 GB/T 15116—1994 的规定，具体指标见表 6-46				
力学性能	当采用压铸试样检验时，其力学性能应符合 GB/T 15116—1994 的规定，具体指标见下表				
	合金牌号	合金代号	力学性能（不低于）		
			抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_5 (%)	布氏硬度 HBW 5/250/30
	YZCuZn40Pb	YT40-1 铅黄铜	300	6	85
	YZCuZn16Si4	YT16-4 硅黄铜	345	25	85
	YZCuZn30Al3	YT30-3 铝黄铜	400	15	110
	YZCuZn35Al2Mn2Fe	YT35-2-2-1 铝锰铁黄铜	475	3	130
几何形状尺寸	1）铸件的几何形状和尺寸应符合铸件图的规定 2）铸件尺寸公差应按 GB/T 6414—1999 的规定执行 3）铸件尺寸公差不包括起模斜度				
加工余量	铸件需要机械加工，其加工余量应在图样上注明或按 GB/T 6414—1999 的规定执行				
表面质量	1）铸件表面粗糙度应符合 GB/T 6060.1—1997 的规定 2）铸件不允许有裂纹、欠铸、疏松、气泡和任何穿透性缺陷 3）铸件允许有擦伤、凹陷、缺肉和网状飞边等缺陷，但其缺陷的程度和数量应该与供需双方同意的标准相一致 4）铸件的浇口、飞边、溢流口、隔皮、顶杆痕迹等应清理干净，但允许留有痕迹				
内部质量	1）铸件若能满足其使用要求，则铸件内部缺陷不作为报废的依据 2）在不影响铸件使用的条件下，当征得需方同意，可以对铸件进行浸渗和修补处理				

注：其他评定项目与质量要求由供需双方在订货时商定。

表 6-47　压铸铜合金的化学成分（摘自 GB/T 15116—1994）

压铸铜合金		化学成分（质量分数,%）						
牌号	代号	主要成分						
		Cu	Pb	Al	Si	Mn	Fe	Zn
YZCuZn40Pb	YT40-1 铅黄铜	50.0 ~ 63.0	0.5 ~ 1.5	0.2 ~ 0.5	—	—	—	余
YZCuZn16Si4	YT16-4 硅黄铜	79.0 ~ 81.0	—	—	2.5 ~ 4.5	—	—	余

（续）

压铸铜合金		化学成分（质量分数,%）						
牌号	代号	主要成分						
		Cu	Pb	Al	Si	Mn	Fe	Zn
YZCuZn30Al3	YT30-3 铝黄铜	66.0 ~ 68.0	—	2.0 ~ 3.0	—	—	—	余
YZCuZn35Al2Mn2Fe	YT35-2-2-1 铝锰铁黄铜	57.0 ~ 65.0	—	0.5 ~ 2.5	—	0.1 ~ 3.0	0.5 ~ 2.0	余

牌号	代号	杂质含量（质量分数,%）≤								
		Fe	Si	Ni	Sn	Mn	Al	Pb	Sb	总和①
YZCuZn40Pb	YT40-1 铅黄铜	0.8	0.05	—	—	0.5	—	—	1.0	1.5
YZCuZn16Si4	YT16-4 硅黄铜	0.6	—	—	0.3	0.5	0.1	0.5	0.1	2.0
YZCuZn30Al3	YT30-3 铝黄铜	0.8	—	—	1.0	0.5	—	1.0	—	3.0
YZCuZn35Al2Mn2Fe	YT35-2-2-1 铝锰铁黄铜	—	0.1	3.0	1.0	—	—	0.5	Sb + Pb + As0.4	2.0

① 杂质总和中不含 Ni。

6.3 用综合法评定铸件质量等级

6.3.1 用综合法评定铸件质量等级的基本思路

对一个铸造工厂的铸件质量评定，不能只看铸件实物质量，而且还应注意铸件质量的稳定性和可靠性，这就是用综合法评定铸件质量等级的基本思路。

我国铸造行业制定有 JB/T 7528—1994《铸件质量评定方法》标准，它规定了采用砂型铸造、金属型铸造、低压铸造和熔模铸造等工艺方法生产的各种金属及合金铸件质量等级的评定方法。

该标准指出，通常可从铸件实物质量、技术管理和售后服务三个方面综合评定铸件质量等级。

1. 总则

1）评定依据是有关标准（即有关的国际标准、现行国家标准、行业标准、国外先进标准或企业标准）或有关技术文件中规定的技术指标。

2）当企业内控标准中规定的技术指标与国家标准或行业标准规定的技术指标不一致时，以较高指标为准。

3）对重大新产品或质量纠纷仲裁的铸件质量评定，则依据有关技术要求规定的检测项目和指标进行。

4）检测项目根据被评定铸件的有关标准或技术文件中规定的项目而定。

5）为确保铸件质量，对铸件的使用性能、寿命、可靠性等有直接影响或起重要作用的关键项质量指标实行质量否决权。关键项指标的数量则根据对铸件质量的要求确定。不同种类铸件的关键项指标及数目可以不同。

6）有特殊要求的铸件可以特殊处理。

2. 抽样检测的一般规定

（1）抽样规定

1）抽样对象。经生产单位质检部门验收合格的成品铸件。

2）抽样方式。随机抽样。

3）抽样地点。在生产单位的铸件成品库中抽取。

4）抽样数量。对成批和大量生产的铸件抽样数见表 6-48；对单件和小批生产的铸件抽样数见表 6-49。

表 6-48　成批和大量生产的铸件抽样数

铸件质量范围/kg	≤100	>100 ~ 1000	>1000
抽样数/件	10	5	3

表 6-49　单件和小批生产的铸件抽样数

铸件质量范围/kg	≤100	>100 ~ 1000	>1000
抽样数/件	5	3	商定

5）抽样基数。抽样基数见表 6-50。

表 6-50　抽样基数

生产批量	抽样基数
成批和大量生产	抽样数的 5 ~ 10 倍
小批生产	抽样数的 3 ~ 5 倍
单件生产	商定

（2）检测项目、条件及方法　铸件质量检测项目包括铸件实物质量、技术管理和售后服务三部分。

铸件实物质量主要分为外部质量和内部质量。外部质量包括表面粗糙度、尺寸偏差、质量偏差、表面缺陷及清理状态；内部质量包括力学性能、化学成分、金相组织、内部缺陷及耐压试验。除此以外的项目，可以根据有关技术要求增加。

技术管理主要包括工艺文件及工艺纪律管理、标准化及计量管理、检测能力及质量保证管理等。

售后服务主要包括用户评价意见、售后服务、信息反馈及处理等。

检测人员应是专职质量管理人员、质检员和试验员。检测用具、仪器及设备应符合计量检定和质量检测的要求，能够提供精确可靠的检测数据。

各检测项目均按有关标准或技术要求进行操作。

统计力学性能、化学成分、金相组织、压力试验等项目的合格品率（含等级品率）时，以近半年内随机抽检任两个月的检测报告的原始凭证为依据。

6.3.2　用综合法评定铸件质量等级的评定依据

1. 铸件实物质量

（1）铸件外观质量

1）铸件尺寸公差按 GB/T 6414—1999 规定，铸件尺寸公差分等应符合表 6-51。

表 6-51　铸件尺寸公差分等

铸件类别		成批和大批生产							单件和小批生产	
		质量分等	砂型手工造型 ≤	砂型机器造型、壳型 ≤	金属型 ≤	低压铸造 ≤	压力铸造 ≤	熔模铸造 ≤	干湿砂型 ≤	自硬砂型 ≤
铸钢件		优等品	CT10	CT8	—	—	—	CT4	CT12	CT12
		一等品	CT11	CT9	—	—	—	CT6	CT13	CT13
		合格品	CT13	CT10	—	—	—	CT7	CT15	CT14
铸铁件	灰铸铁件	优等品	CT10	CT8	CT7	CT7	—	CT5	CT12	CT11
		一等品	CT11	CT9	CT8	CT8	—	CT6	CT13	CT12
		合格品	CT13	CT10	CT9	CT9	—	CT7	CT15	CT13
	球墨铸铁件	优等品	CT10	CT8	CT7	CT7	—	CT5	CT12	CT11
		一等品	CT11	CT9	CT8	CT8	—	CT6	CT13	CT12
		合格品	CT13	CT10	CT9	CT9	—	CT7	CT15	CT13
	可锻铸铁件	优等品	CT10	CT8	CT7	CT7	—	—	CT12	CT11
		一等品	CT11	CT9	CT8	CT8	—	—	CT13	CT12
		合格品	CT13	CT10	CT9	CT9	—	—	CT15	CT13
有色金属铸件	铜合金铸件	优等品	CT9	CT8	CT7	CT7	CT6	CT4	CT12	CT10
		一等品	CT10	CT9	CT8	CT8	CT7	CT5	CT13	CT11
		合格品	CT12	CT10	CT9	CT9	CT8	CT6	CT15	CT12
	铝合金铸件	优等品	CT8	CT6	CT6	CT6	CT4	CT4	CT11	CT10
		一等品	CT9	CT7	CT7	CT7	CT5	CT5	CT12	CT11
		合格品	CT11	CT9	CT8	CT8	CT7	CT6	CT13	CT12

注：同一铸件用机器造型和手工造型生产时，其尺寸公差等级在铸件质量分等标准中可另行规定。

2）铸件表面粗糙度按 GB/T 6060. 1—1997 规定，铸钢件、铸铁件砂型铸造表面粗糙度分等应符合表 6-52；有色金属铸件砂型铸造、金属型铸造表面粗糙度分等应符合表 6-53；有色金属压铸件表面粗糙度分等应符合表 6-54。

表 4-52　铸钢件、铸铁件砂型铸造表面粗糙度分等

铸件	等级	铸件质量			
		≤50kg ≤	>50 ~ 100kg ≤	>100 ~ 1000kg ≤	>1000kg ≤
铸钢件 *Ra*/μm	优等品	25	25	25	50
	一等品	25	25	50	100
	合格品	50	50	100	800
铸铁件 *Ra* /μm	优等品	12. 5	12. 5	12. 5	25
	一等品	12. 5	12. 5	25	50
	合格品	25	25	50	100

注：1. 铸件的内腔非主要表面和加工表面的粗糙度可以相应地降低一级验收。

2. 对大于 10000kg 的砂型铸钢件，其表面粗糙度可以相应地降低一级验收。

表 6-53　有色金属铸件砂型铸造、金属型铸造表面粗糙度分等

工艺方法	合金	等级	铸件质量			
			≤20kg ≤	>20～50kg ≤	>50～100kg ≤	>100kg ≤
砂型铸造 *Ra*/μm	铜合金	优等品	6.3	6.3	12.5	25
		一等品	12.5	12.5	25	50
		合格品	25	25	50	100
	铝合金	优等品	6.3	6.3	12.5	—
		一等品	6.3	6.3	12.5	—
		合格品	12.5	12.5	25	—
金属型铸造 *Ra*/μm	铜合金	优等品	3.2	6.3	12.5	12.5
		一等品	6.3	12.5	25	25
		合格品	12.5	25	50	50
	铝合金	优等品	1.6	3.2	6.3	—
		一等品	1.6	3.2	6.3	—
		合格品	3.2	6.3	12.5	—

注：质量 >200kg 的铸件表面粗糙度允许降一级验收。

表 6-54　有色金属压铸件表面粗糙度分等

合金	等级	铸件质量	
		≤1kg ≤	>1kg ≤
铜合金 *Ra*/μm	优等品	1.6	3.2
	一等品	3.2	6.3
	合格品	6.3	12.5
铝合金 *Ra*/μm	优等品	0.8	0.8
	一等品	0.8	1.6
	合格品	1.6	3.2

3）铸件质量公差按 GB/T 11351—1989 规定，铸件质量公差分等应符合表6-55。

表 6-55　铸件质量公差分等

铸件类别	质量分等	成批和大量生产						单件和小批生产	
		砂型手工造型 ≤	砂型机器造型壳型 ≤	金属型 ≤	低压铸造 ≤	压力铸造 ≤	熔模铸造 ≤	干湿砂型 ≤	自硬砂型 ≤
铸钢件	优等品	MT10	MT8	—	—	—	MT4	MT13	MT12
	一等品	MT11	MT9	—	—	—	MT6	MT14	MT13
	合格品	MT13	MT10	—	—	—	MT7	MT15	MT14

（续）

铸件类别		质量分等	成批和大量生产						单件和小批生产	
			砂型手工造型 ≤	砂型机器造型壳型 ≤	金属型 ≤	低压铸造 ≤	压力铸造 ≤	熔模铸造 ≤	干湿砂型 ≤	自硬砂型 ≤
铸铁件	灰铸铁件	优等品	MT10	MT8	MT7	MT7	—	MT5	MT13	MT11
		一等品	MT11	MT9	MT8	MT8	—	MT6	MT14	MT12
		合格品	MT13	MT10	MT9	MT9	—	MT7	MT15	MT13
	球墨铸铁件	优等品	MT10	MT8	MT7	MT7	—	MT5	MT13	MT11
		一等品	MT11	MT9	MT8	MT8	—	MT6	MT14	MT12
		合格品	MT13	MT10	MT9	MT9	—	MT7	MT15	MT13
	可锻铸铁件	优等品	MT10	MT8	MT7	MT7	—	—	MT13	MT11
		一等品	MT11	MT9	MT8	MT8	—	—	MT14	MT12
		合格品	MT13	MT10	MT9	MT9	—	—	MT15	MT13
有色金属铸件	铜合金铸件	优等品	MT9	MT8	MT7	MT7	MT6	MT4	MT13	MT10
		一等品	MT10	MT9	MT8	MT8	MT7	MT5	MT14	MT11
		合格品	MT12	MT10	MT9	MT9	MT8	MT6	MT15	MT12
	铝合金铸件	优等品	MT8	MT7	MT6	MT6	MT5	MT4	MT11	MT10
		一等品	MT9	MT8	MT7	MT7	MT6	MT5	MT12	MT11
		合格品	MT11	MT9	MT8	MT8	MT7	MT6	MT13	MT12

4）铸件焊补。除技术文件规定不允许的铸件外，一般情况下允许按有关规定焊补。

5）铸钢件浇冒口切割余量按表 6-56 规定。

6）铸件表面缺陷按有关技术文件规定处理。

表 6-56　铸钢件浇冒口切割余量　（单位：mm）

铸钢件浇冒口直径或宽度		≤100	>100～200	>200～500	>500～750	>750
优等品	残余高度	+3	+4	+6	+9	+13
	凹入量	−2	−3	−3	−5	−5
一等品	残余高度	+3	+5	+7	+10	+15
	凹入量	−2	−3	−3	−6	−6
合格品	残余高度	+3	+6	+10	+13	+19
	凹入量	−3	−3	−3	−6	−6

（2）铸件内在质量

1）力学性能。铸造碳钢件力学性能按 GB/T 11352—2009 规定；灰铸铁件力学性能按 GB/T 9439—2010 规定；可锻铸铁件力学性能按 GB/T 9440—2010 规定；球墨铸铁件力学性能按 GB/T 1348—2009 规定；蠕墨铸铁件力学性能按 GB/T 26655—2011 规定；铝合金铸件力学性能按 GB/T 1173—1995 规定；柔性机械接口灰铸铁管力学性能按 GB/T 6483—2008 规定；铜合金铸件力学性能按 GB/T 1176—1987 规定；其他铸件力学性能按有关标准执行。

2）化学成分。铸造碳钢件化学成分（除磷、硫外）按 GB/T 11352—2009 规定；铝合金铸件化学成分按 GB/T 1173—1995 规定；铜合金铸件化学成分按 GB/T 1176—1987 规定；其他铸件化学成分按有关标准执行。

3）金相组织。灰铸铁件金相按 GB/T 7216—2009 评定；铝合金铸件针孔按 GB/T 11346—1989 评定，针孔分等应符合表 6-57 规定；球墨铸铁金相按 GB/T 9441—2009 评定；其他铸件金相按有关标准评定。

表 6-57　铝合金针孔分等

质量等级	Ⅰ类铸件	Ⅱ类铸件
优等品	符合一级针孔级别，且允许有不超过受检面积 25% 的二级针孔级别	符合二级针孔级别，且允许有不超过受检面积 25% 的三级针孔级别
一等品	符合二级针孔级别	符合三级针孔级别
合格品	符合二级针孔级别，且允许有不超过受检面积 25% 的三级针孔级别	符合三级针孔级别，且允许有不超过受检面积 25% 的四级针孔级别

注：Ⅰ类铸件，承受重载荷，工作条件复杂用于关键部位、铸件损坏将危及整机安全运行的重要铸件。
Ⅱ类铸件，承受中等载荷，用于重要部位，铸件损坏将影响部件的正常工作，造成事故。

4）硫、磷含量。铸造碳钢件、球墨铸铁件的硫、磷含量分等按表 6-58 规定。

表 6-58　铸造碳钢件、球墨铸铁件的硫、磷含量分等（质量分数，%）

质量等级	铸造碳钢件		球墨铸铁件	
	S	P	S	P
优等品	≤0.030	≤0.030	≤0.010	≤0.070（或≤0.060）
一等品	≤0.035	≤0.035	≤0.020	≤0.070（或≤0.060）
合格品	≤0.04	≤0.04	≤0.030	≤0.07

注：1. 球墨铸铁件的硫含量是指球化处理后的含量。
2. 优等品、一等品，铁素体基体组织的球墨铸铁件的 w(P) ≤0.06%，珠光体基体组织的球墨铸铁件的 w(P) ≤0.07%；合格品为铁素体和珠光体或混合基体组织的球墨铸铁件，其 w(P) ≤0.07%。

5）内部缺陷。铸件内部缺陷不得超出供需双方协议及有关标准所允许的范围。

2. 技术管理

（1）工艺文件　铸件生产过程的工艺文件齐全，能满足生产铸件的需要。

（2）采用标准情况　铸件生产过程中应全面贯彻执行国家标准和行业标准。

（3）检测手段　评定铸件质量的检测手段齐全，或检测手段虽不全，但铸件有检验报告。

3. 用户服务与反馈

1）检查主要用户的铸件质量评价意见和处理情况的存档资料。

2）考核企业对用户意见的处理情况时，对严重的质量问题应有分析处理报告。

6.3.3　用综合法评定铸件质量等级的评定方法

1）铸件质量评定采用多指标加权综合评定法。铸件质量评定一级指标为：铸件实物质量、技术管理和售后服务。一级指标加权系数见表 6-59。

表 6-59　一级指标加权系数

项目	铸件实物质量	技术管理	售后服务
加权系数	W_1 = 0.85	W_2 = 0.10	W_3 = 0.05

2）铸件实物质量中各检测项目为二级指标。铸件实物质量的各项二级指标加权系数见表 6-60。表中的字母 A、B、C……，表示检测项目中从重要到次要的排列顺序。当检测项目确定后，各检测项目的加权系数应从表 6-61 中对应选取。

表 6-60　铸件成品检测项目与各项次二级指标加权系数表

各项加权系数	检测项目数						
	5	6	7	8	9	10	11
A W_{11}	0. 30	0. 25	0. 25	0. 20	0. 20	0. 20	0. 15
B W_{12}	0. 25	0. 20	0. 20	0. 20	0. 15	0. 15	0. 15
C W_{13}	0. 20	0. 20	0. 15	0. 15	0. 15	0. 15	0. 15
D W_{14}	0. 15	0. 15	0. 15	0. 15	0. 15	0. 10	0. 10
E W_{15}	0. 10	0. 10	0. 10	0. 10	0. 10	0. 10	0. 10
F W_{16}	—	0. 10	0. 10	0. 10	0. 10	0. 10	0. 10
G W_{17}	—	—	0. 05	0. 05	0. 05	0. 05	0. 05
H W_{18}	—	—	—	0. 05	0. 05	0. 05	0. 05
I W_{19}	—	—	—	—	0. 05	0. 05	0. 05
J W_{110}	—	—	—	—	—	0. 05	0. 05
K W_{111}	—	—	—	—	—	—	0. 05
合计	1	1	1	1	1	1	1

3）技术管理的二级指标加权系数见表 6-61。

表 6-61　技术管理的二级加权系数表

项目	工艺文件及工艺纪律管理	标准化及计量管理	检测能力及质量保证管理
加权系数	W_{21} = 0. 50	W_{22} = 0. 25	W_{23} = 0. 25

4）售后服务的二级指标加权系数见表 6-62。

表 6-62　售后服务的二级指标加权系数

项目	用户评价意见	售后服务	信息反馈及处理
加权系数	W_{31} = 0. 30	W_{32} = 0. 40	W_{33} = 0. 30

5）对铸件质量评定中的关键项目实行质量否决权可分为两种形式：一种为单项否决，即在某一项二级指标的检测数据中，不合格品率或其较低等级品率大于等于该项实测结果的 30% 时，不论该单项综合平均分多高，则对该单项按不合格品或较低等级品实行否决；另一种为铸件质量等级否决，即在各关键项指标中，以最低等级项的质量等级对铸件进行评定。

6）实行单项否决时，单项分不乘否决权系数，只计否决等级的最低分。如实行不合格否决时，该单项得 0 分；实行合格品否决时，该项得 60 分；实行一等品否决时，该单项得 80 分。实行对铸件质量等级否决时，对优于否决项的各项指标得分的总和乘以否决权系数后，加上实行否决的各项得分和低于否决项的各项得分，即为该铸件质量等级评定总分。质量等级否决权加权系数见表 6-63。

7）评定方法将代表铸件质量的特性值转化为满足度（E），综合计算满足度进行质量等级评定。各质量等级对应的满足度见表 6-64。

表 6-63　质量等级否决权加权系数

等级否决权	加权系数	等级否决权	加权系数
优等品	$W_{F优}=1$	合格品	$W_{F合格}=0.8$
一等品	$W_{F一等}=0.95$	不合格品	$W_{F不合格}=0.6$

表 6-64　质量等级对应的满足度

质量等级	满足度 E（%）	
	>	≤
不合格品	0	60
合格品	60	80
一等品	80	95
优等品	95	100

8）铸件实物质量可分等级的二级指标满足度见表 6-65；不分等级的二级指标满足度见表 6-66。

表 6-65　铸件实物质量可分等级的二级指标满足度表

项目	不合格品	合格品		一等品		优等品	
		>	≤	>	≤	>	≤
满足度 E（%）	0	60	80	80	95	95	100

表 6-66　铸件实物质量不分等级的二级指标满足度表

项目	不合格	合格
满足度 E(%)	0	100

9）技术管理评定方法采取扣分形式，但每项得分直到扣完为止，不计负分。其检测内容、评分方法见表 6-67。

表 6-67　技术管理的评定方法

分类	检查项目	检查方法	评分方法	基础分	备注
工艺文件及工艺纪律管理	1）工艺图、铸件图、工艺卡是否齐全	1）抽检铸件图样、工艺卡	1）不齐的，缺一项扣 4 分	100	砂型硬度无要求的不检 涂料无要求的可不检
	2）工艺规程技术内容是否全面	2）抽检与被评产品有关的工艺规程	2）没有工艺规程扣 10 分，不全面扣 4 分		
	3）工艺文件更改有规定，手续齐全	3）检查更改手续的有关规定及更改记录	3）没有规定扣 10 分，没有记录扣 6 分		
	4）有工艺纪律制度和考核办法	4）检查有关规章和制度及考核记录	4）无制度扣 10 分，无考核记录扣 10 分，执行不好扣 4 分		
	5）进厂原辅材料有检验报告	5）检查原砂、合金炉料、生铁、焦炭、涂料质量检验报告及复检报告单	5）没有来料报告扣 6 分，没有复检报告扣 4 分，报告不全扣 2 分		

（续）

分类	检查项目	检查方法	评分方法	基础分	备注
工艺文件及工艺纪律管理	6）型、芯砂检验合格率	6）抽查两个月的型、芯砂常规检查报告单	6）型芯砂合格率 < 85% 扣 4 分，不按规定执行的扣 4 分	100	砂型硬度无要求的不检 涂料无要求的可不检
	7）砂型硬度检测记录	7）对机械造型抽查两个月的报告	7）硬度合格率低于 90% 扣 4 分		
	8）涂料检测记录	8）配比粘度检验记录	8）无记录扣 6 分		
	9）工装、模样检测维修记录	9）工装模样的交检及维修记录	9）无记录扣 6 分		
	10）熔炼过程控制及记录	10）加料批量是否准确，炉前、炉后分析，出炉、浇注温度等熔炼记录	10）1 项不合格扣 2 分，无记录扣 10 分		
	11）清理、补焊过程控制及记录	11）补焊及复检记录	11）无复检记录扣 4 分		
	12）各工序间是否有专（兼）质检员及信息传递	12）质量信息传递及反馈记录处理结果	12）无工序质检员扣 4 分，不能及时处理质量信息扣 4 分		
标准化及计量管理	1）有现行的国家、行业标准，并执行现行标准	1）检查是否有标准，是否执行	1）没有标准扣 10 分，执行老标准的扣 2 分，贯彻不好扣 4 分	100	化学成分不做验收依据的，不抽查化学成分 没有要求的可不检
	2）有铸造企业（内控）标准或指标	2）是否有企业标准	2）没有企业标准或内控指标扣 4 分		
	3）有标准化、计量管理制度	3）检查有关制度及计量检定报告	3）没有制度扣 4 分，执行不好扣 2 分		
	4）有专（兼）职标准化、计量机构或人员	4）检查是否做到落实，有无检查记录	4）没有机构或人员扣 4 分		
	5）化学分析仪器齐全	5）化学分析仪器能否满足质量控制的要求	5）化学分析不全扣 8 分		
	6）力学性能试验设备齐全	6）能否满足生产要求（抗拉强度、下屈服强度、伸长率、断面收缩率、冲击性能、金相组织、无损检测和压力等情况）	6）性能试验缺 1 项扣 4 分		

（续）

分类	检查项目	检查方法	评分方法	基础分	备注
标准化及计量管理	7）检测仪器设备是否定期进行计量检定	7）主要仪器设备必须有计量合格证	7）主要仪器设备无计量合格证一台（件）扣 4 分	100	化学成分不做验收依据的，不抽查化学成分 没有要求的可不检
	8）检验人员是否经过培训持证上岗	8）理化、无损检测人员要有证书	8）试验人员一人无证扣 4 分		
	9）化学成分报告抽查	9）抽查两个月的原始记录	9）化学成分报告不全扣 8 分		
	10）抽查力学性能试验报告	10. 抽查两个月的原始记录	10）力学性能试验报告不全扣 10 分		
	11）质量保证及监督情况	11）抽查首批或定期检查记录	11）没有档案记录扣 4 分		
	12）试样保管情况	12）备查试样是否有编号、有记录	12）试样不存、无备查的扣 4 分，管理不好的扣 4 分		

10）售后服务评定方法采用扣分形式，直到每单项扣完为止，但不得负分。其检测内容及评分方法见表 6-68。

表 6-68　售后服务评定方法

分类	检查项目	检查方法	评分方法	基础分	备注
产品质量	用户评价意见	抽检用户意见	用户评价满意不扣分，评价较满意扣 10 分，评价一般扣 30 分，不满意扣 100 分	100	近一年内的评价意见
售后服务	定期访问用户主动上门走访	抽查走访售后服务记录	1）定期走访，有记录不扣分	100	—
			2）定期走访，无记录扣 10 分		
			3）没有很好执行的扣 100 分		
信息反馈	质量信息反馈及处理	1）抽查信息反馈制度	1）没有制度不得分，制度不健全扣 10 分	100	—
		2）是否有专兼职人员	2）没有专、兼职人员扣 10 分		
		3）抽查信息反馈记录	3）信息记录不全扣 10 分		
		4）信息反馈能否及时处理	4）信息反馈不及时扣 10 分，无处理结果扣 15 分		

6.3.4　用综合法评定铸件质量等级的计分方法

1. 铸件实物单项得分

$$C_D = W_{1i}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} C_i\right)$$

式中　C_D——铸件实物单项得分；

W_{1i}——铸件实物二级指标第 i 项单项加权系数；

n——抽样数；

C_i——第 i 件单项得分。

（1）有分级的二级指标计算方法

1）尺寸公差、质量公差的合格品到优等品分为三级时：

$$E = C_i = \frac{40 \times (\text{合格品标准数值} - \text{实测数值})}{\text{合格品标准数值} - \text{优等品标准数值}} + 60$$

2）尺寸公差、质量公差的合格品到优等品分为四级时，有以下两种计算形式：

① 实测数值在合格品到一等品之间时：

$$E = C_i = \frac{20 \times (\text{合格品标准数值} - \text{实测数值})}{\text{合格品标准数值} - \text{一等品标准数值}} + 60$$

② 实测数值在一等品到优等品之间时

$$E = C_i = \frac{20 \times (\text{一等品标准数值} - \text{实测数值})}{\text{一等品标准数值} - \text{优等品标准数值}} + 80$$

当 $E < 60$ 分时，即计 $E = 0$ 分。

（2）没有分级的二级指标计算方法

1）检测数据合格：$E = C_i$100 分。

2）检测数据不合格：$E = C_i$0 分。

2. 铸件实物各项指标合计得分

$$C_H = \sum C_{Di}$$

式中　C_H——铸件实物各项指标合计得分；

C_{Di}——铸件实物第 i 项单项得分。

3. 铸件实物质量等级评分

$$C_{S优} = W_{F优}\sum C_{D优} = C_H$$

$$C_{S一等} = W_{F一等}\sum C_{D优} + \sum C_{D一等}$$

$$C_{S合格} = W_{F合格}\ (\sum C_{D优} + \sum C_{D一等})\ + \sum C_{D合格}$$

$$C_{S不合格} = W_{F不合格}\ (\sum C_{D优} + \sum C_{D一等} + \sum C_{D合格})\ + \sum C_{D不合格}$$

式中　$C_{S优}$——评定为优质品铸件得分；

$C_{S一等}$——评定为一等品铸件得分；

$C_{S合格}$——评定为合格品铸件得分；

$C_{S不合格}$——评定为不合格品铸件得分。

4. 铸件实物质量一级加权后总得分

$$C_V = C_S W_1$$

式中　C_V——铸件实物质量一级加权后总分；

C_S——铸件实物质量评级得分；

W_1——铸件实物一级加权系数。

5. 技术管理一级加权后得分

$$D_V = W_2 \sum (D_i W_{2i})$$

式中　D_V——技术管理一级加权后总得分；

W_2——技术管理一级加权系数；

D_i——第 i 项技术管理得分；

W_{2i}——第 i 项技术管理二级加权系数。

6. 售后服务一级加权后总得分

$$E_V = W_3 \sum (E_i W_{3i})$$

式中　E_V——售后服务一级加权后总得分；

W_3——售后服务一级加权系数；

E_i——第 i 项售后服务得分；

W_{3i}——第 i 项售后服务二级加权系数。

7. 铸件产品质量综合评定得分

$$F = C_V + D_V + E_V$$

式中　F——铸件产品质量综合评定得分。

8. 难易程度附加分

由于铸件种类繁多，工艺难度和技术水平差异很大，为使不同工艺方法、不同材质和不同用途的铸件同在公平、一致、合理的基础上进行质量评定，可以难易程度附加分的形式加以调节和处理。难易程度附加分见表 6-69。

表 6-69　难易程度附加分

分类	检查内容		附加分
结构难度	非常复杂	壁很薄，壁厚不均匀度 > 1:5，外型内腔很复杂，不同芯子个数≥5 块，对尺寸精度要求很高，机加工要求很高	2
	复杂	壁薄，壁厚不均匀度≥1:3 ~ 1:5，外型内腔复杂，不同芯子个数≥4 块，对尺寸精度要求高，机加工要求高	1
熔炼难度	很难	铸钢件、超低碳钢，对渣的成分要求严格；铸铁件对碳当量有严格要求，同时对金相组织要求严格；有色铸件，对成分控制严格	2
	难	铸钢件、低碳钢，对成分和渣均控制严格；铸铁件，对碳当量有要求，同时对金相组织要求较严；有色铸件，对成分控制严格	1
重要铸件	非常重要	是主机上的关键铸件，对主机性能、寿命、安全至关重要	2
	重要	是主机上的重要铸件，对主机的性能、寿命、安全很重要	1
特殊要求	很高	对耐压、耐热、耐磨或耐蚀要求很高，内部射线探伤要求很严	2
	高	对耐压、耐热、耐磨或耐蚀要求较高，内部射线探伤要求较严	1

当含有附加分时，铸件实物计分方法为：

$$C_V = (C_S + A) W_1$$

式中　A——附加分总分。

6.3.5　用综合法评定铸件质量等级的应用示例

以某铸造厂生产的铸钢阀体为例，用综合法评定其铸件质量等级。其铸件产品质量检测数据汇总及评定结果见表 6-70。铸件外观质量检测记录表见表 6-71。铸件内部质量检测记录表见表 6-72。

表 6-70 铸件产品质量检测数据汇总及评定结果

年 月 日

单位名称	××铸造厂		铸件名称及规格型号	阀体	铸件图号	150Z41M25-1	
工艺及造型方法	手工造型	生产批量	大批量	合金牌号	ZG230-450	公称质量/kg	88
抽样数量/件	5	检测项目总数/项	8	否决权项号码	1、2、3、4	评定依据	JB/JQ 82001—1990 GB/T 11352—1989 等

序号	检测项目	分等标准指标			实测结果					单项总分	单项平均分	单项加权系数	单项得分	单项评定等级	备注
		优等品	一等品	合格品	采集数据总数/个	优等品率（%）	一等品率（%）	合格品率（%）	不合格品率（%）						
1	力学性能	—	—	—	115	—	—	87	13	6960	60	0.2	12	合格品	—
2	化学成分	—	—	—	115	74.8	16.5	8.7	—	9995.72	86.17	0.2	17.23	一等品	—
3	尺寸公差	CT10	CT11	CT13	60	83.3	16.7	—	—	5861.6	97.7	0.15	14.66	优等品	—
4	表面粗糙度 Ra/μm	25	25	50	50	—	—	100	—	3170	63.4	0.15	9.51	合格品	—
5	压力试验	—	—	—	450	—	—	96.7	3.3	85000	100	0.1	10	优等品	在主机厂检验
6	表面缺陷	—	—	—	—	80	20	—	—	486	97.2	0.1	9.72	优等品	—
7	质量公差	MT10	MT11	MT13	5	100	—	—	—	500	100	0.05	5	优等品	—
8	清理状态	—	—	—	20	100	—	—	—	492.5	98.5	0.05	4.93	优等品	—

累计各项总分	83.05	实施否决权项码	2.4	等级否决加权系数	0.8	附加分	—	总评分	70.74	等级评定	合格品

表 **6-71**　铸件外观质量检测记录表

年　月　日

单位名称	××铸造厂		铸件名称	阀体	铸件图号	150Z41M25-1								
造型方法	手工造型	生产批量	大批量	合金牌号	ZG230-450	抽样号	1							
尺寸公差/mm	序号	图样尺寸	标准指标			实测尺寸	评定结果	序号	图样尺寸	标准指标			实测尺寸	评定结果
			优等品	一等品	合格品					优等品	一等品	合格品		
	1	ϕ320	±2.2	±3.1	±6	320.5	100	11	ϕ214	±2.0	±2.8	±5.5	216.5	87.5
	2	ϕ186	±2.0	±2.8	±5.5	186	100	12						
	3	33	±1.3	±1.8	±3.5	34	100	13						
	4	ϕ310	±2.2	±3.1	±6	312.5	100	14						
	5	ϕ150	±1.8	±2.5	±5	152	94.3	15						
	6	36	±1.3	±1.8	±3.5	37.5	92	16						
	7	354	±2.2	±3.1	±6	356	100	17						
	8	164	±2.0	±2.8	±5.5	166	100	18						
	9	14	±1.1	±1.5	—	14.5	100	19						
	10	14	±1.1	±1.5	—	14.5	100	20	最大错型	1	1.5	1.5	1	100
	总分		1173.8		平均分		97.82		评定等级		优等品			
表面粗糙度 *Ra*/μm	标准指标			序号	实测数据	评定结果	序号	实测数据	评定结果	序号	实测数据	评定结果		
	优等品	一等品	合格品	3	50	60	8	50	60	13				
	25	25	50	4	25～50	70	9	50	60	14				
	序号	实测数据	评定结果	5	50	60	10	25～50	70	15				
	1	50	60	6	25～50	70	11			16				
	2	50	60	7	50	60	12			17				
	总分		630		平均分		63		评定等级		合格品			

（续）

单位名称	××铸造厂		铸件名称	阀体	铸件图号	150Z41M25-1	
造型方法	手工造型	生产批量	大批量	合金牌号	ZG230-450	抽样号	1

质量公差/kg	公称质量	标准指标（%）						实测质量	实测偏差（%）	评定结果	评定等级
	88	优等品	±5	一等品	±6	合格品	±8	88.2	0.023	100	优等品

表面缺陷	缺陷种类	发生部位	数量	缺陷程度			扣分	评定结果	评定等级
				重要	一般	轻微			
	少量粘砂	侧面	1			✓	3	97	优等品

清理状态	检测项目	标准指标			实测数据	得分	评定结果	评定等级
		优等品	一等品	合格品				
	浇冒口残留量/mm	+4 −3	+5 −3	+6 −3	+5 −2	80	95	优等品
	飞边清理	✓			干净	100		
	型、芯砂清理	✓			干净	100		
	标志	✓			清晰	100		

检测人： 记录人： 审核：

注：共抽取5个铸钢阀体进行外观质量检测，本表是抽样号为1的检测结果。

表 **6-72** 铸件内部质量检测记录表

年 月 日

单位名称	××铸造厂	铸件名称	阀体		
造型方法	手工造型	生产批量	大批量		

力学性能	原始记录抽查月份	1990.8,1991.4	抽检批次	115	合格批次	100	合格率(%)	87				
	标准要求指标					现场实测结果						
	R_m/MPa	$R_{p0.2}$/MPa	A(%)	Z(%)	a_k/(J/cm^2)	HBW	R_m/MPa	$R_{p0.2}$/MPa	A(%)	Z(%)	a_k/(J/cm^2)	HBW
	≥485	≥250	≥22	≥35		≤238	492.7	335.7	25.4	36.5		232
	原始记录抽查得分	10	现场抽查得分	50	评定结果	60	评定等级	合格品				
化学成分(质量分数,%)	原始记如抽查月份	1990.8,1991.4	抽查批次	115	合格批次	115	合格率(%)	100				
	标准要求指标											
	C	Si	Mn	P	S							
	≤0.30	≤0.60	≤1.00	≤0.040	≤0.045							
	现场实测结果											
	C	Si	Mn	P	S							
	0.24	0.42	0.69	0.021	0.024							
	P 分等标准要求指标		P 原始记录抽查结果		S 分等标准要求指标		S 原始记录抽查结果					
	优等品	一等品	合格品	优等品率	一等品率	合格品率	优等品	一等品	合格品	优等品率	一等品率	合格品率
	≤0.030	≤0.035	≤0.040	100	—	—	≤0.030	≤0.035	≤0.040	74.8	16.5	8.7
	P 现场检测结论			S 现场检测结论			原始记录抽查得分					
	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品	现场检测得分					
	✓			✓			评定结果	86.17	评定等级		一等品	

（续）

单位名称	××铸造厂	铸件名称	阀体	
造型方法	手工造型	生产批量	大批量	

金相组织	原始记录抽查月份		抽查批次		合格批次		合格率(%)			
	标准要求指标				现场实测指标					
	石墨	基体组织	共晶团				石墨	基体组织	共晶团	
	原始记录抽查得分		现场检测得分		评定结果		评定等级			
压力试验	原始记录抽查月份	90,8,91.4	抽查批次	450件	合格批次	445	合格率(%)	98.9		
	标准要求指标		现场检测结果							
	原始抽查得分	50	现场检测得分	50	评定结果	100	评定等级	优等品		
内部缺陷	标准要求指标		现场检测结果							
	优等品	一等品	合格品	检测件数	优等品率(%)	一等品率(%)	合格品率(%)	不合格品率(%)	备注	
	总分		平均分		评定结果		评定等级			
备注										

检测人：　　记录人：　　审核：

第 7 章　不合格品铸件的缺陷分析与质量改进

7.1　铸件缺陷分类与分析方法

铸件缺陷是铸造生产过程中，由于种种原因，在铸件表面和内部产生的各种缺陷的总称。

铸件缺陷是导致铸件性能低下、使用寿命短、提前报废和失效的重要原因。

进行铸件缺陷分析，就是要找出产生缺陷的原因，并提出防止缺陷出现的对策，以减少和消除铸件缺陷，达到提升铸件质量的目的。

7.1.1　铸件缺陷的分类

在铸造生产中，常见的铸件缺陷有 100 多种。我国国家标准 GB/T 5611《铸造术语》根据铸件缺陷的形貌特征将其分为 8 大类：①多肉类缺陷；②孔洞类缺陷；③裂纹、冷隔类缺陷；④表面类缺陷；⑤残缺类缺陷；⑥形状及质量差错类缺陷；⑦夹杂类缺陷；⑧性能、成分及组织不合格类缺陷。

1. 多肉类缺陷

多肉类缺陷是铸件表面各种多肉类缺陷的总称，主要有飞边、毛刺、外渗物（外渗豆）、粘模多肉、冲砂、掉砂、胀砂、抬型（抬箱）等。其定义和特征见表 7-1。

表 7-1　多肉类缺陷的名称、定义和特征

类-种	名称	定义和特征
1-1	飞边	垂直于铸件表面上厚薄不均匀的薄片状金属突起物。常出现在铸件分型面和芯头部位
1-2	毛刺	铸件表面上刺状金属突起物。常出现在型和芯的裂缝处，形状极不规则。呈网状或脉状分布的毛刺称为脉纹
1-3	外渗物（外渗豆）	铸件表面渗出来的金属物。多呈豆粒状，一般出现在铸件的自由表面上，例如明浇铸件的上表面、离心浇注铸件的内表面等。其化学成分与铸件金属往往有差异
1-4	粘模多肉	因砂型（芯）起模时部分砂块粘附在模样或芯盒上所引起的铸件相应部位多肉
1-5	冲砂	砂型或砂芯表面局部型（芯）砂被金属液冲刷掉，在铸件表面的相应部位上形成的粗糙、不规则的金属瘤状物。常位于浇口附近，被冲刷掉的型（芯）砂，往往在铸件的其他部位形成砂眼
1-6	掉砂	砂型或砂芯的局部砂块在机械力作用下掉落，使铸件表面相应部位形成的块状金属突起物。其外形与掉落的砂块很相似。在铸件其他部位则往往出现砂眼或残缺
1-7	胀砂	铸件内外表面局部胀大，有质量增加的现象。由型壁退移引起
1-8	抬型（抬箱）	由于金属液的浮力使上型或砂芯局部或全部抬起，使铸件高度增加的现象

2. 孔洞类缺陷

孔洞类缺陷是在铸件表面和内部产生的不同大小、形状的孔洞缺陷的总称，主要有气孔、气缩孔、针孔、表面针孔、皮下气孔、呛火、收缩缺陷、缩孔、缩松、疏松（显微缩松）、渗漏等。其定义和特征见表 7-2。

表 7-2 孔洞类缺陷的名称、定义和特征

类-种	名称	定义和特征
2-1	气孔	铸件内由气体形成的孔洞类缺陷。其表面一般比较光滑,主要呈梨形、圆形和椭圆形。一般不在铸件表面露出,大孔常孤立存在,小孔则成群出现
2-2	气缩孔	分散性气孔与缩孔和缩松合并而成的孔洞类铸造缺陷
2-3	针孔	一般为针头大小分布在铸件截面上的析出性气孔。铝合金铸件中常出现这类气孔,对铸件性能危害很大
2-4	表面针孔	成群分布在铸件表层的分散性气孔。其特征和形成原因与皮下气孔相同,通常暴露在铸件表面,机械加工 1 ~ 2mm 后即可去掉
2-5	皮下气孔	位于铸件表皮下的分散性气孔。为金属液与砂型之间发生化学反应产生的反应性气孔。形状有针状、蝌蚪状、球状、梨状等。大小不一,深度不等。通常在机械加工或热处理后才能发现
2-6	呛火	浇注过程中产生的大量气体不能顺利排出,在金属液内发生沸腾,导致在铸件内产生大量气孔,甚至出现铸件不完整的缺陷
2-7	收缩缺陷	金属凝固收缩时,由于金属液未对铸件有效补缩而产生的缺陷,包括缩孔、缩松、缩陷、缩沉等
2-8	缩孔	铸件在凝固过程中,由于补缩不良而产生的孔洞。形状极不规则、孔壁粗糙并带有枝状晶,常出现在铸件最后凝固的部位。广义的缩孔包括缩松
2-9	缩松	铸件断面上出现的分散而细小的缩孔。借助高倍放大镜才能发现的缩松称为显微缩松。铸件有缩松缺陷的部位,在气密性试验时易渗漏
2-10	疏松 (显微缩松)	铸件缓慢凝固区出现的很细小的孔洞。分布在枝晶内和枝晶间。是弥散性气孔、显微缩松、组织粗大的混合缺陷,使铸件致密性降低,易造成渗漏
2-11	渗漏	铸件在气密性试验时或使用过程中发生的漏气、渗水或渗油现象。多由于铸件有缩松、疏松、组织粗大、毛细裂纹、气孔或夹杂物等缺陷引起

3. 裂纹、冷隔类缺陷

裂纹、冷隔类缺陷主要有冷裂、热裂、缩裂(收缩裂纹)、热处理裂纹、网状裂纹(龟裂)、白点(发裂)、冷隔、浇注断流、重皮等。其定义和特征见表 7-3。

表 7-3 裂纹、冷隔类缺陷的名称、定义和特征

类-种	名称	定义和特征
3-1	冷裂	铸件凝固后在较低温度下形成的裂纹。裂口常穿过晶粒延伸到整个断面
3-2	热裂	铸件在凝固后期或凝固后在较高温度下形成的裂纹。其断面严重氧化,无金属光泽,裂口沿晶粒边界产生和发展,外形曲折而不规则
3-3	缩裂 (收缩裂纹)	由于铸件补缩不当、收缩受阻或收缩不均匀而造成的裂纹。可能出现在刚凝固之后或在更低的温度下
3-4	热处理裂纹	铸件在热处理过程中产生的穿透或不穿透的裂纹。其断口有氧化现象
3-5	网状裂纹 (龟裂)	金属型和压铸型因受交变热机械作用发生热疲劳,在型腔表面形成的微细龟壳状裂纹。铸型龟裂在铸件表面形成龟纹缺陷
3-6	白点(发裂)	钢中主要因氢的析出而引起的缺陷。在纵向断面上,它呈现近似圆形或椭圆形的银白色斑点,故称白点;在横断面宏观磨片上,腐蚀后则呈现为毛细裂纹,故又称发裂

（续）

类-种	名称	定义和特征
3-7	冷隔	在铸件上穿透或不穿透的，边缘呈圆角状的缝隙。多出现在远离浇口的宽大上表面或薄壁处，金属流汇合处，以及冷铁、芯撑等激冷部位
3-8	浇注断流	铸件表面某一高度可见的接缝。接缝的某些部分熔合不好或分开。由浇注中断而引起
3-9	重皮	充型过程中因金属液飞溅或液面波动，型腔表面已凝固金属不能与后续金属熔合所造成的铸件表皮折叠缺陷

4. 表面类缺陷

表面类缺陷是铸件表面上产生的各种缺陷的总称，主要有表面粗糙、粘砂、化学粘砂、机械粘砂（渗透粘砂）、夹砂结疤（夹砂）、涂料结疤、沟槽、粘型、龟裂（网状花纹）、流痕（水纹）、缩陷、鼠尾、印痕、皱皮、拉伤等。其定义和特征见表 7-4。

表 7-4　表面类缺陷的名称、定义和特征

类-种	名称	定义和特征
4-1	表面粗糙	铸件表面毛糙、凹凸不平，其微观几何特征超出铸造表面粗糙度测量上限，但尚未形成粘砂缺陷
4-2	粘砂	铸件表面或内腔粘附着一层难以清除的砂粒。分为机械粘砂和化学粘砂两类
4-3	化学粘砂	铸件的部分或整个表面上牢固地粘附一层由金属氧化物、砂子和粘结剂相互作用而生成的低熔点化合物。化学粘砂只能用砂轮磨去
4-4	机械粘砂（渗透粘砂）	铸件的部分或整体表面上，粘附着一层砂粒和金属的机械混合物。清铲粘砂层时可以看到金属光泽
4-5	夹砂结疤（夹砂）	铸件表面产生的疤片状金属突起物。其表面粗糙，边缘锐利，有一小部分金属和铸件本体相连，疤片状突起物与铸件之间有砂层
4-6	涂料结疤	由于涂层在浇注过程中开裂，金属液进入裂缝，在铸件表面产生的疤痕状金属突起物
4-7	沟槽	铸件表面产生较深（>5mm）的边缘光滑的 V 形凹痕。通常有分枝，多发生在铸件的上、下表面
4-8	粘型	熔融金属粘附在金属型型腔表面的现象
4-9	龟裂（网状花纹）	1）磁力检测时熔模铸件表面出现的龟壳状网纹缺陷。多出现在铸件过热部位。因浇注温度和型壳温度过高，金属液与型壳内 Na_2O 残留量过高而析出的“白霜”发生反应所致 2）因铸型型腔表面龟裂而在金属型铸件或压铸件表面形成的网状花纹缺陷
4-10	流痕（水纹）	压铸件表面与金属流动方向一致的，无发展趋势且与基体颜色明显不一样的微凸或微凹的条纹状缺陷
4-11	缩陷	铸件的厚断面或断面交接处上平面的塌陷现象。缩陷的下面，有时有缩孔。缩陷有时也出现在内缩孔附近的表面
4-12	鼠尾	铸件表面出现较浅（$\leqslant$5mm）的带有锐角的凹痕
4-13	印痕	因顶杆或镶块与型腔表面不齐平，而在金属型铸件或压铸件表面相应部位产生的凸起或凹下的痕迹
4-14	皱皮	铸件上不规则的粗粒状或皱摺状的表皮。一般带有较深的网状沟槽
4-15	拉伤	金属型铸件和压铸件表面由于与金属型啮合或粘结，顶出时顺出型方向出现的擦伤痕迹

5. 残缺类缺陷

残缺类缺陷是铸件由于各种原因造成的外形缺损缺陷的总称，主要有浇不到（浇不足）、未浇满、型漏、损伤、跑火、漏空等。其定义和特征见表 7-5。

表 7-5 残缺类缺陷的名称、定义和特征

类-种	名称	定义和特征
5-1	浇不到（浇不足）	铸件残缺或轮廓不完整或可能完整但边角圆且光亮。常出现在远离浇口的部位及薄壁处。其浇注系统是充满的
5-2	未浇满	铸件上部产生缺肉，其边角略呈圆形，浇冒口顶面与铸件平齐
5-3	型漏	铸件内有严重的空壳状残缺。有时铸件外形虽较完整，但内部的金属已漏空，铸件完全呈壳状，铸型底部有残留的多余金属
5-4	损伤	铸件受机械撞击而破损、残缺不完整的现象
5-5	跑火	因浇注过程中金属液从分型面处流出而产生的铸件分型面以上部分严重凹陷和残缺。有时会沿未充满的型腔表面留下类似飞边的残片
5-6	漏空	在低压铸造中，由于结晶时间过短，金属液从升液管漏出，形成类似型漏的缺陷

6. 形状及质量差错类缺陷

形状及质量差错类缺陷主要有铸件变形、形状不合格、尺寸不合格、拉长、挠曲、错型（错箱）、错芯、偏芯（漂芯）、型芯下沉、串皮、型壁移动、舂移、缩沉、缩尺不符、坍流、铸件质量不合格（超重）等。其定义和特征见表 7-6。

表 7-6 形状及质量差错类缺陷的名称、定义和特征

类-种	名称	定义和特征
6-1	铸件变形	铸件在铸造应力和残余应力作用下所发生的变形及由于模样或铸型变形引起的变形
6-2	形状不合格	铸件的几何形状不符合铸件图的要求
6-3	尺寸不合格	在铸造过程中由于各种原因造成的铸件局部尺寸或全部尺寸与铸件图的要求不符
6-4	拉长	由于凝固收缩时铸型阻力大而造成的铸件部分尺寸比图样尺寸大的现象
6-5	挠曲	1）铸件在生产过程中，由于残余应力、模样或铸型变形等原因造成的弯曲和扭曲变形 2）铸件在热处理过程中因未放平或在外力作用下而发生的弯曲和扭曲变形
6-6	错型（错箱）	由于合型时错位，铸件的一部分与另一部分在分型面处相互错开
6-7	错芯	由于砂芯在分芯面处错开，铸件孔腔尺寸不符合铸件图的要求
6-8	偏芯（漂芯）	由于型芯在金属液作用下漂浮移动，使铸件内孔位置、形状和尺寸发生偏错，不符合铸件图的要求
6-9	型芯下沉	由于芯砂强度低或芯骨软，不足以支撑自重，使型芯高度降低、下部变大或下弯变形而造成的铸件变形缺陷
6-10	串皮	熔模铸件内腔中的型芯露在铸件表面，使铸件缺肉。主要原因是型芯在型壳焙烧、浇注过程中移位、变形或折断，浇注后型芯偏离正常位置，露出铸件表面。浇注温度和型壳温度偏低、空心铸件壁厚过薄时，使金属液充填不满时也会造成露芯
6-11	型壁移动	金属液浇入砂型后，型壁发生位移的现象。造成型壁移动的原因有：金属液热作用使型壁膨胀；金属液压力和铸铁石墨化的膨胀力使砂型进一步被紧实。在同样的湿型条件下，型壁移动可能性大小次序为：球墨铸铁 > 孕育灰铸铁 > 未孕育灰铸铁 > 铸钢 > 白口铸铁
6-12	舂移	由于舂移砂型或模样，在铸件相应部位产生的局部增厚缺陷。往往发生在舂紧过度的砂型部位。主要原因是已紧实的型砂受到单方向的过大紧实力作用而沿模样表面滑移，或模样活块移动等

（续）

类-种	名称	定义和特征
6-13	缩沉	使用水玻璃石灰石砂型生产铸件时产生的一种铸件缺陷，其特征为铸件断面尺寸胀大
6-14	缩尺不符	由于制模时所用的缩尺与合金收缩不相符而产生的一种铸造缺陷
6-15	坍流	离心铸造时，因转速低、停车过早、浇注温度过高等引起合金液逆旋转方向由上向下流淌或淋降，在离心铸件内表面形成的局部凹陷、凸起或小金属瘤
6-16	铸件质量不合格（超重）	铸件实际质量相对于公称质量的偏差值超出铸件质量公差

7. 夹杂类缺陷

夹杂类缺陷是铸件中各种金属和非金属夹杂物的总称。通常是氧化物、硫化物、硅酸盐等杂质颗粒机械地保留在固体金属中内，或凝固时在金属内形成，或在凝固后的反应中在金属内形成。主要有夹杂物（内生夹杂物和外生夹杂物）、夹渣、黑渣、涂料渣孔、冷豆、磷豆、内渗物（内渗豆）、砂眼、锡豆、硬点、渣气孔等。其定义和特征见表 7-7。

表 7-7　夹杂类缺陷的名称、定义和特征

类-种	名称	定义和特征
7-1	夹杂物	铸件内或表面上存在的和基体金属成分不同的质点，包括渣、砂、涂料层、氧化物、硫化物、硅酸盐等
7-2	内生夹杂物	在熔炼、浇注和凝固过程中，因金属液成分之间或金属液与炉气之间发生化学反应而生成的夹杂物，以及因金属液温度下降，溶解度减小而析出的夹杂物
7-3	外生夹杂物	由熔渣及外来杂质引起的夹杂物
7-4	夹渣	因浇注金属液不纯净，或浇注方法和浇注系统不当，由裹在金属液中的熔渣、低熔点化合物及氧化物造成的铸件中夹杂类缺陷。由于其熔点和密度通常都比金属液低，一般分布在铸件顶面或上部，以及型芯下表面和铸件死角处。断口无光泽呈暗灰色
7-5	黑渣	球墨铸铁件中由硫化镁、硫化锰、氧化镁和氧化铁等组成的夹渣缺陷。在铸件断面上呈暗灰色。一般分布在铸件上部，砂芯下表面和铸件死角处
7-6	涂料渣孔	因涂层粉化、脱落后留在铸件表面而造成的，含有残留涂料堆积物质的不规则坑窝
7-7	冷豆	浇注位置下方存在于铸件表面的金属珠。其化学成分与铸件相同，表面有氧化现象
7-8	磷豆	含磷合金铸件表面渗析出来的豆粒或汗珠状磷共晶物
7-9	内渗物（内渗豆）	铸件孔洞缺陷内部带有光泽的豆粒状金属渗出物。其化学成分和铸件本体不一致，接近共晶成分
7-10	砂眼	铸件内部或表面带有砂粒的孔洞
7-11	锡豆	锡青铜铸件的表面或内部孔洞中渗析出来的高锡低熔点相，呈粒状或汗珠状金属物
7-12	硬点	在铸件的断面上出现分散的或比较大的硬质夹杂物，多在机械加工或表面处理时发现
7-13	渣气孔	铸件浇注位置上表面的非金属夹杂物。通常在加工后发现与气孔并存，孔径大小不一，成群集结

8. 成分、组织及性能不合格类缺陷

成分、组织及性能不合格类缺陷主要有：物理-力学性能不合格、化学成分不合格、金相组织不合格、白边过厚、菜花头、断晶、反白口、过烧、巨晶、亮皮、偏析、反偏析、正偏析、宏观偏析、微观偏析、重力偏析、晶间偏析（晶界偏析）、晶内偏析（枝晶偏析）、球化不良、球化衰退、组织粗大、石墨粗大、石墨集结、铸态麻口、石墨漂浮、表面脱碳等。其定义和特征见表 7-8。

表 7-8　成分、组织及性能不合格类缺陷的名称、定义和特征

类-种	名称	定义和特征
8-1	物理、力学性能不合格	铸件的强度、硬度、伸长率、冲击韧性及耐热性、耐蚀性、耐磨性等性能不符合技术条件的规定
8-2	化学成分不合格	铸件的化学成分不符合技术条件的规定
8-3	金相组织不合格	铸件的金相组织不符合技术条件的规定
8-4	白边过厚	铁素体可锻铸铁件退火时因氧化严重在表层形成的过厚的无石墨脱碳层
8-5	菜花头	由于溶解气体析出或形成密度比铸件小的新相,铸件最后凝固处或冒口表面鼓起、起泡或重皮的现象
8-6	断晶	定向结晶叶片,由于横向温度场不均匀和叶片扭度较大等原因造成的柱状晶断续生长缺陷
8-7	反白口	灰铸铁件断面的中心部位出现白口组织或麻口组织。外层是正常的灰口组织
8-8	过烧	铸件在高温热处理过程中,由于加热温度过高或加热时间过久,使其表层严重氧化,或晶界处和枝晶间的低熔点相熔化的现象。过烧使铸件组织和性能显著恶化,无法挽救
8-9	巨晶	由于浇注温度高、凝固慢,在钢锭或厚壁铸件内部形成的粗大的枝状晶缺陷。高温轧制能破坏钢锭内的巨晶组织。均匀化退火可以改善铸件内的巨晶组织
8-10	亮皮	在铁素体可锻铸铁的断面上存在的清晰发亮的边缘。缺陷层主要是由含有少量回火碳的珠光体组成的。回火碳有时包有铁素体壳
8-11	偏析	铸件或铸锭的各部分化学成分或金相组织不均匀的现象
8-12	反偏析	与正偏析相反的偏析现象。溶质分配系数 $K<1$ 且凝固区间宽的合金缓慢凝固时,因形成粗大枝晶,富含溶质的剩余金属液在凝固收缩力和析出气体压力作用下沿枝晶间通道向先凝固区域流动,使溶质集中在铸锭或铸件的先凝固区域或表层,中心部分溶质较少
8-13	正偏析	溶质分配系数 $K<1$ 的合金凝固时,凝固界面处一部分溶质被排出到液相中,随着温度的降低,液相中的溶质浓度逐渐增加,导致低熔点成分和易熔杂质从铸件外部到中心逐渐增多的区域偏析
8-14	宏观偏析	铸件或铸锭中用肉眼或放大镜可以发现的化学成分不均匀性。分为正偏析、反偏析、V 形偏析、带状偏析、重力偏析。宏观偏析只能在铸造过程中采取适当措施来减轻,无法用热处理和变形加工来消除
8-15	微观偏析	铸件中用显微镜或其他仪器方能确定的显微尺度范围内的化学成分不均匀性。分为枝晶偏析(晶内偏析)和晶界偏析。晶粒细化和均匀化热处理可减轻这种偏析
8-16	重力偏析	在重力或离心力作用下,因密度差使金属液分离为互不融合的金属液层,或在铸件内产生的成分和组织偏析。减轻或防止重力偏析的方法有浇注时充分搅拌、合金中加入阻碍初晶浮沉的元素、降低浇注温度、加快凝固速度等
8-17	晶间偏析(晶界偏析)	晶粒本体或枝晶之间存在的化学成分不均匀性。由合金在凝固过程中的溶质再分配导致某些溶质元素或低熔点物质富集晶界所造成
8-18	晶内偏析(枝晶偏析)	固溶合金按树枝方式结晶时,由于先结晶的枝干与后结晶的枝干及枝干间的化学成分不同所引起的枝晶内和枝晶间化学成分差异。枝晶偏析程度取决于合金凝固速度、偏析元素扩散能力和溶质的平衡分配系数。孕育处理和均匀化退火可改善枝晶偏析
8-19	球化不良	球墨铸铁件因原铁液硫含量高、采用球化剂不当、球化剂加入量不足或球化处理后停留时间过长而引起的石墨未球化或球化率过低的现象。其特征是在铸件断面上有块状黑斑或明显的小黑点,越近中心越密,金相组织中有较多的厚片状石墨或枝晶间石墨

（续）

类-种	名称	定义和特征
8-20	球化衰退	因铁液硫含量过高或球化处理后停留时间过长而引起的铸件球化不良缺陷
8-21	组织粗大	铸件内部晶粒粗大，加工后表面硬度偏低；渗漏试验时会发生渗漏现象
8-22	石墨粗大	铸铁件的基体组织上分布着粗大的片状石墨。机械加工后，可看到均匀分布的石墨孔洞。加工面呈灰黑色，断口晶粒粗大。有这种缺陷的铸件，硬度和强度低于相应牌号铸铁的规定值。气密性试验时会发生渗漏现象
8-23	石墨集结	在加工大断面铸铁件时表面上充满石墨粉且边缘粗糙的部位。石墨集结处硬度低，且渗漏
8-24	铸态麻口	可锻铸铁件的一种金相组织缺陷。其断口退火前白中带灰，退火后有片状石墨，降低铸件的力学性能
8-25	石墨漂浮	在球墨铸铁件纵断面的上部存在的一层密集的石墨黑斑。和正常的银白色断面组织相比，有清晰可见的分界线。金相组织特征为石墨球破裂，同时缺陷区富有含氧化合物和硫化镁
8-26	表面脱碳	铸钢件或铸铁件因充型金属液与铸型中的氧化性物质发生反应，使铸件表层碳含量低于规定值

7.1.2　铸件缺陷的分析方法

在铸造生产中，要定期进行铸件缺陷分析，按照 PDCA（Plan 计划、Do 执行、Check 检查、Action 总结处理）循环开展 QC（Quality 质量、Control 管理）小组活动，常用的铸件缺陷分析手法有直方图法、排列图法、因果图法、散布图法、控制图法、分层法、调查表法等。

1. 直方图法

直方图法是对定量数据分布情况的一种图形表示，如图 7-1 所示。

（1）直方图的作用

1）了解整批或某一时间段内各种铸件缺陷的分布状况，从而确定主要铸件缺陷类型或主要铸件质量问题。

2）及时掌握各工序能力及工序能力保证铸件质量的程度，并通过工序能力估算工序的铸件不合格率。

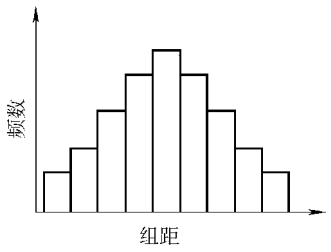


图 7-1　直方图的基本形式

（2）直方图（又称频数分布图）的作图方法与步骤

1）收集数据（不少于 100 个，一般取 100 个为宜）。

2）找出数据中的最大值与最小值，计算极差 R。

3）确定组数 k 与组距 h（组数 k 值应根据样本数量决定，组数太少反映不出真实情况，组数太多又会减弱分布规律）。

4）确定各组的上组界和下组界（分组的组界值要比抽取的数据多一位小数以使数据不会落在组界位置。因此，先取测定单位的 1/2，然后用最小值减去测定单位的 1/2 作为第 1 组的下界值，再加上组距，作为第 1 组的上界值，以此加到最大一组的上界值）。

5）确定组的中心点［中心点 =（上组界 + 下组界）/2］，整理数据表中数据，制作频率表

6）绘制直方图（在方格纸上，以分组的组界值为横坐标，各组的频数为纵坐标，用直线连成直方块，即可得到直方图）。

2. 排列图法

排列图法是将一定期间所汇集的缺陷数、不良数等数据依项目、原因加以分类，并按其影响程度的大小加以排列的图形，如图 7-2 所示。

（1）排列图的作用：

1）分析铸件缺陷的主要类型。

2）分析产生铸件缺陷的主要工序的原因。

3）分析产生铸件缺陷的关键工序。

4）分析铸件缺陷类型的主次地位等。

（2）排列图（又称柏拉图）的作图方法与步骤

1）收集一定期间的数据。

2）将收集的数据进行整理。

3）计算各类项目的频率和累计频率，并填入表中。

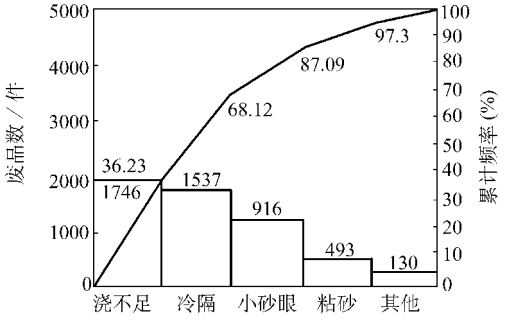


图 7-2　排列图（铸件不合格品）

4）按比例在坐标纸上画出两个纵坐标和一个横坐标。其中，左边纵坐标代表频数，右边纵坐标代表累计频率，横坐标代表项目，且按项目个数取等距。

5）根据各个项目的数据，在坐标中画出柱状图。

6）根据右边纵坐标的比例，找出各类项目的累计频率点，并从零点开始依次连接各点，画出柏拉图曲线。

7）在图上明确标注出各项目的频数及各累计频率值。

3. 因果图法

因果图（又称鱼骨图）是一种在结果和因素之间分层次并用箭头联起来表示因果关系的图形。由于因果图形似鱼骨，故又称“鱼骨图”，如图 7-3 所示。

（1）因果图法的作用　通过因果图可以分析铸件缺陷类型与可能影响其缺陷的因素（原因），以便把握现状，分析原因，寻找措施和方法，更快、更好地解决问题。

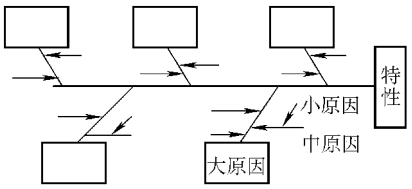


图 7-3　因果图的基本形式

（2）因果图的作图方法与步骤

1）确定结果（即明确质量中存在的主要缺陷问题）。

2）将结果写在纸的右侧，从左至右画出主干线。

3）列出影响结果的大原因（主要原因），画出大原因的分支线。

4）分析、寻找影响结果的中原因、小原因、细小原因，画出分叉线，并按层次连接到主干线上。

5）根据对结果影响的重要程度，将认为有显著影响的关键因素标出来，作为制订改进方案的重点考虑对象。

（3）绘制因果图时的注意事项

1）确定原因应召集有关的所有人员共同参加讨论，充分发挥民主，听取每一位参与者的意见。

2）列出的原因尽可能具体，可以量化的要量化，抽象的原因要具体化。

3）有多少铸件缺陷类型（或质量特性）就要绘制出多少张因果图。

4）如果分析出的原因不能采取措施改正，就说明问题还没有得到解决，因此还要将原因进一步细分，直到能采取措施为止。

（4）使用因果图时的注意事项

1）要客观评价每一个因素（原因）的重要性，尽可能采用数据，结合技能和经验来客观评价因素（原因）的重要性。

2）要不断改进因果图，从而提高解决问题的能力。

4. 散布图法

散布图（双称相关图）是分析研究两个变量之间相关关系的图形，如图7-4 所示，图中以纵轴表示结果，横轴表示原因，用点表示分布状态，根据分布形态判断两者的相互关系，因此散布图也称相关图。

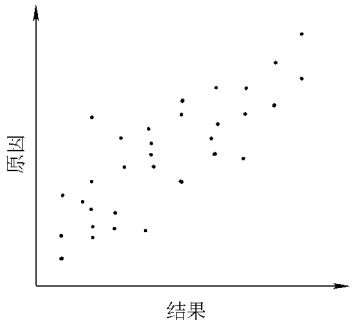


图 7-4　散布图的基本形式

（1）散布图的作用　通过散布图可以分析判断铸件缺陷与某一工艺因素之间的相关关系，进而可以确定改进铸件质量因素的有效手段。

（2）散布图的作图方法与步骤

1）确定研究对象（可以是原因与结果数据关系，或结果与结果数据关系，或原因与原因数据关系）。

2）收集数据（数据至少收集 30 组，并整理写到数据表中）。

3）在坐标纸上建立直角坐标系（为便于分析相关关系，两个坐标数值的最大值之间的范围应基本相等）。

4）将各组对应数据表示在坐标系相应的位置上（如果两组数据相同，其点必然重合，用“⊙”等表示）。

5）当散布图上描出的点明显偏离其他数据点时，应立即查明原因，并且决定是否删除或进行校正。

5. 控制图法

可参见本书4. 1. 2 节。

6. 分层法

分层法是根据使用目的和要求，将数据按其性质、来源、影响因素等进行分类的方法。

分层的目的是将杂乱无章的数据和错综复杂的因素系统化和条理化，以便进行比较分析，找出主要的质量原因并采取相应的技术措施。

分层的依据根据问题的需要自由选择、确定。但应掌握其基本要领，应使同一层的数据在性质上差异尽可能小，而层与层间的差别尽可能大。例如，按铸件缺陷分层有裂纹、气孔、缩孔、砂眼等。

分层的方法可以采用统计表的形式，也可以采用图形的形式。

分层法的实施步骤：①确定研究的主题；②制作 表格并收集数据；③将收集的数据进行层别或绘制图形，使人一目了然；④对数据进行比较分析，找出其内在或外在的原因，确定改进的项目。

7. 调查表法

调查表法就是将需要调查的内容或项目一一列出来，然后定期或不定期的逐项调查，并将问题点记录下来的方法。

调查表可以是过程工序问题调查表、缺陷类型调查表、缺陷位置调查表、缺陷原因调查表等。

调查表法是其他 QC 手段和方法的起点。

调查表法的实施步骤：①确定调查对象；②制作调查表；③依照调查表项目进行调查，并记录；④对调查出的问题进行分析和改进。

7. 2　不合格品铸件的常见缺陷分析与质量改进

不合格品铸件是指铸件经检验和评定为质量不符合验收条件的铸件，又称为缺陷铸件。

7.2.1　不合格品铸铁件的常见缺陷分析与质量改进

1. 不合格品灰铸铁件的常见缺陷分析与质量改进

在灰铸铁件生产中，常见的灰铸铁件缺陷有气孔、成分与性能不合格、热裂与冷裂、缩孔与缩松、渣眼与铁豆、冷隔与浇不足、砂眼与夹砂、多肉与错箱、变形等。通常，产生这些缺陷的原因不单是造型制芯的问题，有时还有熔炼浇注、配砂、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产灰铸铁件时，各生产工序产生铸件缺陷的概况见表 7-9，其缺陷分析与质量改进方法见表 7-10 ~ 表 7-13。

表 7-9　生产灰铸铁件时各工序产生的铸件缺陷概况表（供参考）

原因	气孔	成分、组织及性能不合格	缩松	缩孔	热裂	冷裂	渣眼	铁豆	冷隔	浇不足	砂眼	夹砂	粘砂	变形	错型	多肉	抬箱	损伤	温裂	过硬	各工序产生的缺陷数
熔炼	※	※	○	○	○	○	○		○	○										○	10
浇注	○		○	○	○		○	○	○	○											8
造型	※			○	○		○	○	○	○	※	※	○	○	○	○	○				14
造芯	※				※																2
配砂	※							○			○	※	※								5
落砂清理		○				○								○				※		○	5
热处理		○												○					※		3
产生各缺陷的原因数	5	3	2	3	4	2	3	3	3	3	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	

注：※—产生缺陷的主要原因；○—产生缺陷的次要原因。

表 7-10　不合格品灰铸铁件由于熔炼浇注造成的缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
气孔	筛状气孔：比较均匀地分布于铸件的整个或大部分断面上 皮下气孔：离铸件表面 1 ~ 3mm 处，出现密布的细小气孔 用外观检查、机械加工、抛丸清理或磁粉粒测可发现	当铁液中气体含量较多，并且浇注温度过低，析出的气体来不及上浮和逸出铸件时产生 1）炉料本身气体含量高或锈蚀严重，表面油脂物多 2）皮下针孔主要是由氢气造成的。硅可减少氧在铸铁中的含量，却可增加氢的含量，故高硅铸铁易出现氢气孔。炉料中含有铝或氧化铝时，也易产生针孔 3）浇包不干 4）孕育剂不干	1）炉料应进行妥善管理。对锈蚀严重或表面油脂物多的炉料，要经过清理或处理后方可使用 2）对本身气含量高的炉料，应经重熔再生后方可使用 3）炉前可加入适量的稀土，以便去气 4）控制合适的铁液出炉温度及浇注温度 5）炉缸、前炉和铁液包均需烘干 6）浇注时要避免断流 7）孕育剂应充分预热 8）浇注时必须点火引气
成分、组织及性能不合格	材质太硬或太软 铸件断面的宏观组织和微观组织不符合标准或技术条件 用断面观察、化学分析、金相检验、硬度试验等可以发现	1）碳硅当量偏低时，材质偏硬，碳硅当量偏高时，则偏软 2）铁液过热不适当 3）孕育处理不足	1）正确配料，并防止操作时窜料 2）控制合适的过热温度 3）遵守操作规程及正确处理炉前孕育

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
缩松	在铸件内部有许多分散小缩孔，其表面粗糙，水压试验时渗水 用机械加工或磁粉检测可以发现	1）磷含量偏高时，凝固区间扩大；同时，低熔点磷共晶体在最后凝固时得不到补足，造成显微缩孔。尤其对于高牌号灰铸铁（碳含量较低），体收缩率较大，更应注意 2）浇注速度太快，使需要补缩的部位来不及补充足够的铁液	1）w（P）一般控制在 0.15% 以下，并控制铁液化学成分稳定 2）浇注时适当慢浇，以利于充分补缩
缩孔	在铸件热节处产生形状不规则，表面粗糙的集中孔洞 用外观检查，机械加工或磁粉检测可以发现	1）由于体收缩率较大，铁液化学成分不符合技术要求，尤其是高牌号低碳铸铁 2）浇注温度过高，增加了液体收缩值	1）正确控制铁液的化学成分，尽量使 w（S）低，一般在 0.12% 以下 2）控制适宜的浇注温度 3）对于大件，可在冒口处补浇铁液 4）适当增加孕育量
热裂	裂纹处，带有暗色或几乎是黑色的氧化表面 用外观检查、透光法、磁粉检测、打压试验、煤油渗透等方法发现	1）铁液化学成分不合要求，使固体收缩值较大，如碳低、硫高 2）铸件中含有低熔点夹杂物，降低了高温强度（因为热裂产生在凝固将近结束时，主要在铸件热节处收缩受机械阻碍而产生）	1）控制合理的化学成分，尽量使原铁液中硫含量低 2）浇注时避免熔渣进入型腔
冷裂	裂纹处，较干净或略带暗红色轻微的氧化表面 发现方法与热裂相同	1）铁液化学成分不合要求，使固体收缩值较大 2）铁液中磷含量过高，增加了脆性，从而降低铸铁的抗拉强度（因为冷裂产生在铸件冷却以后，主要在铸件厚、薄交界的应力集中处，由于热应力而产生）	1）控制合理的化学成分 2）一般铁液中 w（P）应在 0.15% 以下
渣眼	在铸件外部或内部的孔穴中有熔渣 用外观检查、机械加工或磁粉检测可以发现	1）铁液中熔渣多或浇包中的渣未除净，浇注时又未注意挡渣 2）浇注时由于断流而带入的熔渣	1）适当提高铁液温度，并在浇包内加入少量干砂，以利聚渣撇除。用苏打去硫时，应加石灰（或草灰）聚渣，以免硫重新转入铁液 2）预先除净铁液包中的残渣 3）浇注时，注意挡渣，且不可发生断流
铁豆	气孔中有小铁珠 用铸件断面检查、机械加工可以发现	由于铁液浇注温度过低，当铁液飞溅后产生的铁豆，不能再被铁液熔化，结果与外入气体一块包入铸件中；或者此铁豆由于表面被氧化，并与铁液中的碳作用 $FeO + C \longrightarrow Fe + CO\uparrow$ 生成的 CO 与铁豆一块包入铸件中	1）适宜的浇注温度 2）浇注时不可断流
冷隔与浇不足	铸件上有未完全融合的缝隙或局部缺肉，周围呈圆边 用外观检查可以发现	1）铁液温度太低，降低了铁液的流动性 2）铁液中碳、硅含量较低，硫含量较高时，同样也使铁液流动性降低 3）浇注时发生断流或一次铁液量不足，进行二次补浇时易产生冷隔	1）适当提高铁液的浇注温度 2）控制合适的铁液化学成分，尽量降低硫含量 3）一次浇满，避免补浇，并且在浇注时不可断流

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
过硬	在铸件边缘和薄壁处出现白口铁组织 用断面观察、硬度检验、机械加工可以发现	1）碳硅当量偏低 2）孕育处理不足	1）正确配料 2）适当增加孕育量

表 7-11　灰铸铁件由于造型制芯时造成的缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
气孔	局部气孔：铸件局部地方出现的孔穴表面较干净光滑的单个气孔或蜂窝状气孔 用外观检查、机械加工或磁粉检测可以发现	1）浇注系统设置不合理，使排气不畅通或产生涡流，卷入气体 2）砂型紧实度过高，降低了透气性 3）砂芯排气不良或通气道堵塞	1）浇注系统的设置应考虑型腔内排气畅通及平稳流入铸型 2）砂型紧实度要求均匀，不宜过紧 3）砂芯排气要求畅通。合箱时注意封死芯头间隙，以免铁液钻入堵塞通气道 4）在铸件的最高处设置出气孔或出气片等 5）起模和修型时，不宜刷水过多 6）对于大平面铸件，可采用倾斜浇注，出气孔处稍高，以利排气 7）芯撑和冷铁必须干净，无锈
砂眼	铸件的孔穴内含有砂粒 用外观检查、机械加工或磁粉检测可以发现	1）浇注系统位置不合适，如直对砂芯或浇口太小，铁液冲刷力大破坏局部砂型 2）由于模型结构设计不够好，发生粘模，而砂型又未修理好，或对铸件拐弯处未捣圆角 3）湿型在浇注前的停留时间过长，使干燥部分或凸出部位脱落 4）造型和合箱时的落砂未清理干净	1）浇注系统位置和大小要合适 2）合理选择起模斜度和圆角，手工造型时可压出圆角。成批生产中，模样应涂刷分型剂以免粘模，并注意修理好损坏部位 3）缩短湿型在浇注前的停留时间 4）合理选用芯头和芯座之间的间隙，以免合箱时压碎 5）合箱前必须将型内落砂清理干净，仔细合箱并及时盖住浇冒口，以免重新掉入砂粒
夹砂	在铸件表面上，一层铁和铸件之间夹有一层型砂 用外观检查或机械加工可以发现	铁液进入砂型后，使型面层的水分向内迁移，在离型面 3 ~ 5mm 处形成高水分带，该处强度大大降低，易引起铁液潜入，或由于硅砂粒高温膨胀的应力使表面层鼓起，铁液钻入，形成夹砂 1）砂型紧实度过硬或紧实不均匀 2）浇注位置不当。对于水平浇注的大平面铸件，有时由于铁液断续覆盖大平面的某处而产生夹砂	1）砂型紧实度不宜过紧，要求均匀，并加强透气 2）手工造型时，局部薄弱处可插钉子加强 3）尽量使大平面朝下或置于侧面，减少铁液对上平面的烘烤面积和烘烤时间 4）对大平面铸件，浇注系统可分散布置，并适当加大内浇口截面，缩短浇注时间或倾斜浇注

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
粘砂	铸件表面铁液与砂粘在一起，形成粗糙的表面 用外观检查可以发现	1）砂型紧实度不均匀或太小 2）涂料刷得太薄	1）适当提高砂型紧实度，减小砂粒间隙（保证透气性要求），并捣实均匀 2）选用适当的涂料（多为石墨粉水涂料），并刷以一定的厚度，既能提高耐火性，又可以防止铁液钻入砂粒
热裂	裂纹处，带有暗色或几乎是黑色的氧化表面 用外观检查、透光法、磁粉检测、打压试验、煤油渗透等方法发现	1）砂芯和砂型的退让性差，铸件收缩受到阻碍 2）芯骨吃砂量太小或砂箱箱带离铸件太近，阻碍铸件收缩 3）内浇道设置过分集中，局部过热，增加应力 4）铸件的飞边过大，飞边处的裂纹，延伸到铸件上	1）砂型紧实度要求适宜，并在型砂中可加入适量的锯末 2）改用较小的芯骨，使吃砂量适宜，并选用合理的砂箱 3）内浇道布置应适当分散 4）在铸件厚、薄交界处增设收缩肋 5）正确选择分型面位置，并使合型尽量密合
变形	长的或扁平类铸件在靠近壁厚的一方凹入，成弯曲形 用外观检查、划线等方法发现	由于铸件壁厚不均匀，冷却有先后，从而产生热应力，当其值大于该材质的屈服强度时，则产生变形和弯曲	1）厚壁处设置冷铁或内浇口开在薄壁处，创造同时凝固条件 2）模样上留出预变形曲率或增设加强肋 3）改善铸件结构
错箱	铸件沿分型面发生相对的位移 用外观检查或划线测量可以发现	1）模样尺寸不对或变形 2）砂箱或分型板定位不准确 3）合型不准 4）模样在模板上的位置偏移	1）检查并修整模样 2）检查、修理或改换砂箱及分型板 3）注意准确地合型 4）检查并调整模样在模板上的位置
多肉	铸件上有形状不规则的毛刺、披缝或凸出部分 用外观检查发现	由于铁液的压力作用使型腔局部胀大造成，多半出现在下型 如砂型紧实度不够或不均匀，局部太松等	适当提高砂型紧实度，并要求均匀捣实
缩孔	在铸件热节处产生形状不规则，表面粗糙的集中孔洞 用外观检查、机械加工或磁粉检测可以发现	1）铸件补缩不足 2）冷铁设置不当 3）内浇道位置不当 4）砂型紧实度不够，胀型后产生	1）适当加大冒口尺寸 2）在厚壁处设置冷铁，创造同时凝固条件或与冒口配合使用时创造顺序凝固条件 3）正确选择浇注位置和浇注系统，以造成同时凝固或顺序凝固 4）要求砂型紧实度合适
抬箱	铸件外形与图样不符 用外观检查发现	1）压箱重力不够 2）夹箱紧固时受力不均匀或太松	1）足够的压箱重力或用螺栓均匀紧固 2）分型面应平整，合型时要注意密合，以免铁液漏出
铁豆	气孔中有小铁珠 用铸件断面检查、机械加工可以发现	1）砂型潮湿 2）内浇道离铸件最低处太高，浇注时造成铁液飞溅，形成铁豆，铁液充满后，又未能把铁豆熔化，使其与气体一块包入铸件中 3）砂芯透气性差	1）修型时刷水不宜过多 2）合理确定浇注系统位置 3）加强砂芯的透气性

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
渣眼	在铸件外部或内部的孔穴中有熔渣 用外观检查、机械加工或磁粉检测可以发现	浇注系统挡渣差	合理选用浇注系统，并加强挡渣措施
冷隔与浇不足	铸件上有未完全融合的缝隙或局部缺肉，周围呈圆边 用外观检查可以发现	1）浇注系统设置不当，或浇口截面太小 2）铸件局部壁太薄 3）冷铁位置选择不当 4）吊芯、合型时错位使铸件部分壁太薄，甚至完全没有壁厚	1）适当加大浇注系统尺寸 2）对于长形铸件可采用两头浇注，对于高大件可采用阶梯浇注或分散浇口等 3）内浇道不宜离铸件薄壁处太远，或可适当增加薄壁处的厚度 4）吊芯时随时检查尺寸，并注意合型准确

表 7-12 不合格品灰铸铁件由于配砂时的质量问题造成的缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
气孔	局部气孔：铸件的局部地方出现的孔穴表面较干净光滑的单个气孔或蜂窝状气孔 用外观检查、机械加工或磁粉检测可以发现	1）型砂和芯砂发气性大，本身透气性又差时易产生气孔 2）型砂中水含量过多时还易产生细小的针孔	1）适当减少型砂中的水分，并控制适量的煤粉或重油等发气性物质，以便在铸件周围形成气体隔层，使铸件表面光洁，但要求型砂的透气性良好 2）适当减少粘结剂，并可附加一些增加透气性的物质，如木屑等 3）可选用圆形砂粒，以增加透气性
粘砂	铸件表面铁液与砂粘在一起，形成粗糙的表面 用外观检查可以发现	1）型砂中含灰分及杂质过多，使型砂耐火度降低 2）湿型中煤粉或重油加入量过少 3）涂料质量不好	1）定时去掉部分旧砂，加入部分新砂，以提高其耐火度，而且不用过粗的砂粒作面砂 2）根据煤粉和重油的质量，加入适量的煤粉和重油 3）采用优质石墨或部分鳞片石墨
夹砂	在铸件表面上，一层铁和铸件之间夹有一层型砂 用外观检查或机械加工可以发现	铁液进入砂型后，使型面层的水分向内迁移，在离型面 3 ~ 5mm 处形成高水分带，该处强度大大降低，易引起铁液潜入，或由于硅砂粒高温膨胀的应力使表面层鼓起，铁液钻入，形成夹砂 1）原砂粒度过于集中，或水分过高 2）型砂退让性差 3）煤粉和重油加入量太少 4）型砂中有夹杂物	1）原砂粒度不应过分集中 2）正确控制湿型的水含量；并在膨润土中加 Na_2CO_3（苏打）进行活化，降低水分对强度的敏感性 3）用于中、大件的活化湿型砂，应选用粒度较粗的砂，并适量加入减少内应力的附加物，如木屑、焦炭粉等，以增加其耐火度、透气性、湿压强度和退让性 4）对原材料，如膨润土等，应进行化学分析，并妥善管理 5）控制适量的煤粉和重油含量，使铁液浇入后，在型腔表面能生成气体隔层
砂眼	铸件的孔穴内含有砂粒 用外观检查、机械加工或磁粉检测可以发现	1）型砂中灰分过多 2）型砂或芯砂的表面强度不够	1）定期对旧砂进行去灰处理 2）适当增加粘土含量或其他芯砂粘结剂 3）对于中、大件可采用活化湿型砂，即型砂中加入一定量苏打，并刷涂料，表面烘干，提高其湿压强度

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
铁豆	气孔中有小铁珠 用铸件断面检查、机械加工可以发现	芯砂发气量大、透气性又差时，产生的大量气体使铁液翻滚飞溅，易在砂芯附近的铸件表面形成小气孔夹铁豆	1）适当减少芯砂中发气量大的附加物，并要求烘干砂芯 2）要求芯砂透气性良好

表 7-13　不合格品灰铸铁件由于落砂清理、热处理时造成的缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改进方法
损伤	损坏了铸件的完整性 用外观检查可以发现	1）在开箱、搬运或清理时不注意 2）打浇、冒口的方向不对或冒口颈过大，造成带肉缺陷	1）认真按照工艺规程和要求操作 2）正确掌握打浇、冒口的方向
冷裂	裂纹处较干净或略带暗红色轻微的氧化表面 用外观检查、透光法、磁粉检测、打压试验、煤油渗透等方法发现	1）薄壳零件落砂时被振裂，并违反操作规程 2）采用水爆清砂时热应力较大，当应力超过铸件某部分的抗拉强度时产生冷裂	1）对易裂的薄壳零件，清理时应挑出另行清理，并认真执行合理的操作规程 2）根据铸件结构和性能特点选用合理的清理方式和清理工具 3）严格执行水爆工艺 4）在运输和清理过程中，尽量减轻碰撞
温裂	开裂处金属表皮氧化 用外观检查、透光法，磁粉检测、打压试验、煤油渗透等方法发现	由于气割、焊接或热处理不当，温差应力大所引起	正确制订并认真执行合理的焊接、热处理规范和操作规程
变形	长的或扁平类铸件在靠近壁厚的一方凹入，成弯曲形 用外观检查、划线等方法发现	若在铸件冷却过程中产生的铸造应力超过该材质的屈服强度，则会产生塑性变形和挠曲 为减少和消除铸件的残余应力，可采用人工时效，若热处理规范不正确，则仍会产生变形和挠曲	1）改变热处理规范，使其合理，并认真执行 2）延长开箱时间或把刚落砂的铸件送入保温炉中保温，并随炉缓慢冷却
金相不合格	铸件断面的粗视组织和显微组织不符合标准或技术条件 用断面观察、金相检验可以发现	1）开箱时间不当 2）热处理规范不正确	1）按技术要求，合理控制铸件的开箱时间 2）改变热处理规范，使其合理，并认真执行
过硬	在铸件边缘和薄壁处出现白口铸铁组织 用断面观察、硬度检验、机械加工可以发现	开箱时间过早	适当延长开箱时间或在退火炉中缓慢降温

2. 不合格品球墨铸铁件的常见缺陷分析与质量改进

在球墨铸铁件生产中，常见的铸件缺陷除有灰铸铁件的常见缺陷外，还有球化不良、球化衰退、夹渣、缩松、石墨漂浮、皮下气孔等。通常，产生这些缺陷的原因不单是球化处理问题，有时还有造型制芯、熔炼浇注、配砂质量、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产球墨铸铁件时，除表 7-10 ~ 表 7-13 所述内容外，属于球墨铸铁件特有的一些常见缺陷分析与质量改进方法见表 7-14。

表 7-14　不合格品球墨铸铁件特有的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
球化不良	在铸件或试棒断面上分布有明显可见的小黑点，越往中心越密。金相组织中，有集聚分布的厚片状石墨	1）原铁液硫含量过高 2）铁液氧化 3 残留球化剂量不足 4）反球化元素的干扰	1）尽量选用低硫的焦炭和新生铁，若原铁液硫含量过高，应采用炉内、炉外脱硫或相应提高球化剂的加入量。交界铁液一定要分离干净，灰铸铁的铁液不应混入球墨铸铁中。球化处理时，应防止将炉渣出到浇包中 2）操作中严防铁液氧化 3）熔制配比适当、成分稳定的中间合金，并采用合适的处理温度。注意球化处理操作，防止铁液与合金作用过分激烈或“结死”在包底 4）镁球墨铸铁中，加入少量的稀土元素，可中和反球化元素的干扰
球化衰退	球墨铸铁铁液，停留一定时间后，球化效果会消失	铁液的残留镁量和残余稀土量随着时间的延长会逐渐减少，过了一定时间后，球化剂残留量已减少到不足以保证铸件球化时，就造成球化衰退 镁量和稀土量逐渐减少的原因如下： 1）在铁液表面的 MgS、CeS 与空气中氧作用，发生下列反应 $2MgS + O_2 \xlongequal{} 2MgO_{气}\uparrow + 2S$ $2CeS + O_2 \xlongequal{} 2CeO_{气}\uparrow + 2S$ 烟状的 MgO 和 CeO 在空气中逸损，S 返回铁液与 Mg、Ce 作用又生成 MgS、CeS，这样循环，Mg、Ce 不断损失 2）镁在铁液中溶解度极小，大部分镁以微小的气泡悬浮在铁液中。当有搅拌、回包、浇注、机械振动等情况时，镁气泡会集聚上浮，并穿出铁液表面，遇空气燃烧而损失 3）镁、稀土与氧有极大的亲和力，铁液表面的镁和稀土要逐渐氧化，镁还有蒸发损失等	1）经球化处理的铁液应有足够的球化剂残余量 2）降低原铁液硫含量，并防止铁液氧化 3）球化处理后应扒净渣子 4）缩短铁液经球化处理后的停留时间 5）在铁液表面加覆盖剂，如石墨粉、木炭粉、冰晶石粉等
夹渣（黑渣）	在铸件断面上呈现暗黑色，没有光泽。主要由硫化镁、硫化锰、氧化镁、二氧化硅、氧化铁、氢化镁等所组成，是一种非金属夹杂物，可用硫印、氧印等方法显示出来。一般分布在铸件浇注位置的上表面，砂芯的下表面和铸件的死角处	1）铁液硫含量高 2）铁液残留镁量过高 3）铁液表面生成氧化膜 4）浇注温度低 5）扒渣或挡渣不净 6）浇注时铁液不平稳	1）降低原铁液硫含量；在保证铁液球化的前提下降低铁液的残留镁量 2）提高浇注温度。若浇注温度超过 1300℃，夹渣缺陷基本上能消除 3）加入适量的稀土，以保证一定的残留稀土量（一般为 w（RE）为 0.02% ~ 0.04%，大件控制在下限，小件控制在上限） 4）扒渣前，在铁液表面加冰晶石粉，能使渣子流动性提高，便于将渣子扒除；扒渣后，在铁液表面加冰晶石粉，可保护铁液表面不再被氧化。但吸潮后的冰晶石粉遇高温铁液时会析出 HF 气体，刺激咽喉，恶化劳动条件。因此，在一般情况下，尽量不要使用冰晶石粉。使用时，最好经过 200 ~ 250℃的烘烤 5）浇注系统应保证铁液平稳注入型腔 6）适当增加加工余量

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
缩松	在铸件内部有许多分散小缩孔，其表面粗糙，水压试验时渗水	一般认为它是由于球墨铸铁凝固特性所决定的。其影响因素如下： 1）碳、硅含量低；磷含量较高 2）残留镁量偏高 3）工艺设计不合理 4）浇注温度过低，影响冒口的补缩效果 5）铸型紧实度低	1）适当提高铁液的碳、硅含量（以不产生石墨漂浮为度）；尽量降低磷含量。铁液球化处理后，应进行充分孕育，保证石墨充分析出，提高自身补缩能力 2）在保证球化的前提下，适当减少残留镁量，保证适当的稀土残留量（一般 w（RE）为 0.02% ~0.04%） 3）合理布置浇、冒口和冷铁，适当提高浇注温度，从而提高冒口的补缩能力 4）提高铸型紧实度，防止铸件外形胀大，以利于铁液石墨化膨胀时得到自身补缩 5）改进铸件结构，减少铸件壁厚的不均匀度
石墨漂浮	一般产生在铸件冷却位置的上表面、砂芯的下表面和铸件的死角处，厚大铸件易出现这种缺陷。在断口上表面往往呈现均匀的一层密集的黑斑；石墨漂浮区的金相组织是球状石墨或开花石墨集聚，严重时石墨完全爆裂	铁液碳当量超过共晶点，初生的球状石墨在高温液态中析出，由于密度的差别和镁蒸气泡上浮时的带动，使部分石墨球上浮至铸件上表面集聚，随后在共晶转变时迅速长大，形成石墨漂浮。因此，碳当量越高、铸件越厚大、铁液残留镁量越低、浇注温度越高等，越容易产生石墨漂浮	1）严格控制铁液的碳当量，当壁厚大于 70mm 的铸件，其碳当量必须小于 4.55%，当壁厚小于 30mm，碳当量必须小于 4.70%；其余按这个范围适当调整 2）在壁厚处设置冷铁，加快冷却速度，减少石墨漂浮 3）对于大断面铸件可加入少量钼铁或铬铁等强烈阻止石墨化的元素，以减少石墨漂浮 4）对于壁厚相差悬殊的铸件，可采用放大加工余量或大冒口的办法，让石墨漂浮在加工时被切除
皮下气孔	经常出现在铸件上表面的表皮层下 0.5 ~ 2mm 处，形成直径在 1 ~ 3mm 的孔洞，热处理或抛丸清理后，可以清晰地发现这种缺陷	1）残留镁量过高，原铁液硫含量高 2）浇注温度过低 3）浇注时，铁液不平稳 4）型砂水分过多 5）硅铁和稀土一般在低温时要吸收氢，而当它们被加入铁液时，在高温下会放出氢进入铁液 6）从铁液中逸出的镁蒸气和铁液表面的硫化镁与铸型中水蒸气发生下列反应 $Mg + H_2O \longrightarrow MgO + 2[H]$ $MgS + H_2O \longrightarrow MgO + H_2S$ 生成的氢、氧化镁和硫化氢气体有可能通过铸件表面挤入铸件中	1）在保证球化的前提下，适当减少残留镁量，并尽量降低原铁液硫含量 2）提高浇注温度，小件一般要求在 1280℃以上；浇注前应扒净渣子 3）浇注系统应保证铁液平稳注入型腔 4）严格控制型砂水分（一般控制在 w（H_2O）为 4.5% ~5.5%） 5）炉料尽量干净、无锈。中间合金和孕育用硅铁最好预热烘烤，减少稀土和硅铁带入的气体量 6）在铸型表面喷涂锭子油等碳质材料，使铁液与铸型界面上造成还原性气氛，或者在铁液表面或铸型表面撒上少量冰晶石粉或氟硅酸钠等都能减少或消除皮下气孔

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
碎块状石墨	显微组织为少量大石墨球周围共晶团边界处均匀分布碎块状石墨和铁素体，石墨球也生长连接成分枝石墨，其宏观断面为界限分明的暗灰色斑点，主要产生于大断面铸件热节部位或冒口颈下	主要是铸件冷却缓慢共晶凝固时间过长而引起的成分偏析和孕育衰退或 Ce 及其他活性元素过多	1）应选用纯净炉料并根据干扰元素含量严格限制稀土（特别是 Ce）的含量，一般应限制有效的轻稀土残留量≤0.006%（质量分数），重稀土残留量≤0.018%（质量分数） 2）控制较低的碳当量（特别是使 w（Si）<2.5% 可减少此缺陷） 3）在铁液中添加微量锑［w（Sb）为 0.002% ~ 0.007%］，可减少或消除碎块状石墨 4）采用钇基重稀土镁球化剂时加入 0.01%（质量分数）的 Sb 或 Bi，可减少此缺陷，但对冲击性能有不良影响 5）采用钡硅铁长效孕育剂或瞬时型内孕育工艺也有一定效果 6）加快冷却，例如采用带冷却管并通入冷却剂不断导出热量的铸造工艺是防止此缺陷的有力措施
反白口	出现于铸件热节中心。宏观断面为界限清晰的白亮块，与该部位外观轮廓呈相似性，但有时界限不清，常伴随缩松。金相观察为过冷密集细针状渗碳体，常邻接显微缩松。反白口多出现于小件。厚大铸件则表现于热节中心珠光体量增加或呈网状渗碳体	最后凝固的热节中心偏析富集镁、稀土、锰、铬等白口化元素，石墨化元素硅因反偏析而贫乏，增大该区残留铁液过冷度；同时由于孕育不足或孕育衰退不利于石墨形核；薄壁小件热节比大件冷却速度快，因此在偏析过冷和孕育不足的热节中心形成细针状渗碳体和缩松；铁液中含 Cr、Te 或稀土残留量过高易出现此缺陷	1）在保证球化条件下尽量减少残留镁和稀土量，必要时使用低稀土球化剂 2）防止炉料内混入铬等强烈白口化元素 3）强化孕育，如采用后期孕育工艺或用钡硅铁长效孕育剂 4）适当提高小铸件的浇注温度

3. 不合格品蠕墨铸铁件的常见缺陷分析与质量改进

在蠕墨铸铁件生产中，常见的铸件缺陷除有灰铸铁件的常见缺陷外，还有蠕化不成、蠕化率低、蠕化衰退、白口过大、孕育衰退、石墨漂浮、表面片状石墨层、夹渣等。通常，产生这些缺陷的原因不单是蠕化处理问题，有时还有造型制芯、熔炼浇注、配砂质量、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产蠕墨铸铁件时，除表 7-10 ~ 表 7-13 所述内容外，属于蠕墨铸铁件特有的一些常见缺陷分析与质量改进方法见表 7-15。

表 7-15　不合格品蠕墨铸铁件特有的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
蠕化不成	1）炉前三角试块断口暗灰，两侧无缩凹，中心无缩松 2）铸件断口粗，暗灰 3）金相组织：片状石墨大于等于 10% 4）性能：R_m < 260MPa，甚至低于 HT150 灰铸铁 5）敲击声哑如灰铸铁	1）原铁液硫含量高 2）铁液氧化严重 3）铁液量过多 4）蠕化剂少或质差 5）蠕化剂未发挥作用（包底冲入法蠕化剂粘熔于包底；出铁槽冲入法蠕化剂块度大或铁液温度低） 6）含 Mg 蠕化剂烧损大 7）干扰元素过多	1）严格掌握原铁液硫含量使之稳定，用低硫生铁或作脱硫处理 2）调整冲天炉送风制度，防止铁液氧化 3）铁液及蠕化剂准确定量 4）蠕化剂分类存放，成分清楚，按原铁液硫含量计算蠕化剂加入量 5）包底冲入法处理时有足够的镁、锌等搅拌元素，并不熔粘包底；出铁槽冲入处理时蠕化剂块度适当，铁液温度不过低，处理时作充分搅拌，液面覆盖 6）含 Mg 蠕化剂在包底压实、覆盖；铁液温度不过高 7）防止或减少干扰元素混入 补救措施：若发现炉前三角试块异常，判断为蠕化不成，则立即扒渣，补加蠕化剂（一般为加入量的 1/3 ~ 1/2）及孕育剂，搅拌取样，正常后才能浇注
蠕化率低（球化率高）	1）炉前三角试块断口细，呈银灰色 2）两侧缩凹或中心缩松严重（特点与球墨铸铁相同或接近） 3）铸件金相组织：φ（球墨）≥ φ（石墨）60% 4）铸件缩松、缩孔多	处理过头，蠕化剂过多或铁液量少	1）蠕化剂及铁液定量要准确 2）掌握并稳定原铁液硫含量 3）严格掌握蠕化剂成分并妥善管理 补救措施：若炉前判断为处理过头，则可补加原铁液，根据三角试块白口宽度决定孕育与否及孕育剂加入量
蠕化衰退	1）处理后炉前三角试块较正常，浇注中、后期三角试块有蠕化不良的现象 2）铸件断口暗灰 3）金相组织：片状石墨大于 10% 4）敲击声哑如灰铁 5）性能：R_m < 260MPa，甚至低于 HT150 灰铸铁	1）处理后浇注时间过长 2）处理后覆盖不好，氧化严重（特别是使用含 Mg 蠕化剂时） 3）铸件壁厚大，冷却过慢	1）操作迅速准确，处理后及时浇注 2）处理后覆盖好 3）厚大蠕墨铸铁件要适当过量蠕化处理并在厚壁部位采取速冷工艺措施 补救措施：浇注后期再取三角试块复检，若发现衰退，如铁液较多，温度较高，可补加蠕化剂及孕育剂，按常规炉前三角试块检验合格后浇注。如温度低，铁液不多则停止浇注并倾出

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
白口过大、铸件局部白口、反白口	1）三角试块白口宽度过大，甚至全白口 2）铸件边角甚至心部存在莱氏体 3）机械加工困难 4）强度低	1）孕育剂量不足 2）加孕育剂后搅拌不充分 3）蠕化剂过量 4）原铁液成分不合适。如 C、Si 量低，Mn 或反石墨化元素过高产生偏析	1）孕育足够；采用瞬时孕育（特别是薄铸件） 2）搅拌充分 3）蠕化处理不过量 4）严格控制原铁液化学成分 补救措施：①若发现白口过宽，补加孕育剂，充分搅拌；②若发现全白口，大部分因蠕化剂过量，要补加铁液及孕育剂搅拌、取样，合格后再浇注；③已铸成的白口件进行高温退火
孕育衰退	1）炉前三角试块正常，随着时间延长，白口宽度增加 2）铸件边角有渗碳体并随浇注时间延长，白口增厚	1）孕育量不够充分 2）孕育剂吸收差 3）孕育后停留时间长	1）充分孕育 2）孕育剂块度适当，并有足够高的铁液温度 3）采取浮硅孕育等瞬时孕育方法
石墨漂浮	1）多发生在蠕墨铸铁件上表面 2）宏观断口有黑斑 3）金相组织：有开花状石墨 4）局部强度低	1）碳当量高 2）铸件壁厚大 3）浇注温度高	1）控制碳当量 2）控制铸件冷却速度 3）控制浇注温度
表面片状石墨层	1）铸件表层断口有黑边 2）金相显微镜下有片状石墨	1）铸型表面的硫化物与铁液接触时，部分镁、稀土被消耗掉 2）铸型表面气相（如 O_2、N_2、CO、H_2 等）作用于 Mg、稀土、使之消耗 3）铸型材料 SiO_2 与镁及稀土发生反应 4）铁液中残留镁及稀土量居下限 5）镁-钛合金处理比稀土硅铁合金处理更易出现片状石墨层 6）浇注温度高，冷却速度低易出现片状石墨层 7）浇注系统过于集中处易出现片状石墨层	1）使铸型面含硫低，刷涂料 2）铁液中有足够的残留 Mg 及稀土量 3）对表面层要求强度高或不加工表面多的铸件，尽量少用或不用含 Mg 蠕化剂 4）控制浇注温度 5）工艺上合理安排浇注系统及提高冷却速度
夹渣	1）铸件上表面处有熔渣层，其周围石墨为片状 2）铸件中有夹渣	1）渣中硫、氧等与蠕化剂作用，降低了蠕化剂残留量 2）铁液温度低，杂质不易上浮，并流入铸型 3）铁液中裹入氧等气体与稀土、镁等作用形成微粒状夹渣	1）降低原铁液中硫、氧含量 2）提高浇注温度 3）浇注系统合理，加挡渣过滤措施

4. 不合格品可锻铸铁件的常见缺陷分析与质量改进

在可锻铸铁件生产中，常见的铸件缺陷有缩孔、缩松、疏松、气孔、裂纹、粘砂、铸件表面粗糙、缩陷、偏芯、错型、浇不足、型漏、灰口、麻口、反白口、白边过厚、变形、裂纹、氧化层过厚、花心断口、过烧、树枝状晶疏松、回火脆性、退火不足等。通常，产生这些缺陷的原因不单是退火工艺问题，有时还有造型制芯、熔炼浇注、配砂质量、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产可锻铸铁件时，除表 7-10 ~ 表 7-13 所述内容外，属于可锻铸铁件特有的一些常见缺陷分析与质量改进方法见表 7-16。

表 7-16　不合格品可锻铸铁件特有的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
缩松与缩孔	在铸件内部、厚壁处、热节处有分散的小孔洞称为缩松；集中的孔洞称为缩孔。孔洞的表面粗糙	1）由于底焦下降，铁液碳含量急剧下降，使收缩增大 2）浇冒口设置不当，冒口颈截面积过小，冒口与补缩部分距离过长，使铸件补缩不足 3）浇注温度过高，产生缩松、缩孔的倾向增大 4）型砂水分含量过高，透气性降低，阻碍铁液充满冒口，造成补缩不足	1）稳定化学成分，控制 w(C)为 2.3% ~ 2.7% 2）一般把冒口置于铸件最后凝固的部位。冒口颈截面积应合适，冒口颈的长度一般为 5 ~ 8mm 3）要选用适宜的浇注温度 4）严格控制型砂水分
枝状缩松	铸件外层呈现树枝状疏松，从铸件表面起有一根根很细的针状晶体指向中心，使结晶具有辐射状态。一般产生在冒口颈附近、热节、砂芯和铸件尖角处	1）一般产生枝状疏松的原因与缩松相同，主要是补缩不足造成的。与铸件的厚度、铁液化学成分、浇注温度、加铝量和浇冒口布置有关 2）由于可锻铸铁件是亚共晶白口铁，液固相线间距较大，易形成枝晶，氢在高温时大量渗入铁液中，铁液凝固时，氢停留在表面内层，形成枝状疏松	1）严格控制铝含量 w(Al)一般在 0.05% 左右 2）严格控制型砂水含量，提高透气性 3）对于壁厚的铸件应降低浇注温度 4）高硅量加铋孕育，以缩短凝固时间 5）合理布置浇冒口系统，使补缩良好
气孔与针孔	铸件在表面或皮下有密集或分散气孔，孔洞表面光滑	1）型砂含水量过多，灰分过高，粒度过细，使型砂的透气性降低 2）浇注温度过低，凝固快，气泡不易逸出 3）型砂中煤粉含量过高，使其发气量大 4）砂型紧实度过高或砂芯的通气道不良 5）铁液中含气较多 6）冷铁不干净，或位置不当	1）控制型砂的水分，并提高型砂的透气性 2）适当提高浇注温度 3）控制合适的煤粉加入量 4）适当减少型砂和芯砂的粘结剂，对旧砂进行去灰处理 5）砂型紧实度应适宜，并加强砂芯的通气 6）烘干炉缸、前炉及铁液包 7）冷铁需经光洁处理，并合理设置

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
裂纹	铸件外部或内部有穿透或不穿透的裂纹，热裂纹带有暗色或黑色的氧化皮表面；冷裂纹是较干净的脆性裂纹	1）碳含量过低，收缩过大 2）铸件厚壁处补缩不足或冷铁设置不合理 3）型砂或芯砂退让性不好 4）铁液硫含量过高，增加了热脆性 5）内浇道大而集中，个数少，使局部过热 6）铸件结构不合理，壁厚变化太突然 7）铸件开箱过早，冷却太快 8）铸件在落砂清理时，受冲击过大	1）控制碳含量，使 $w(C) \geqslant 2.3\%$。并适当提高铁液出炉温度，降低浇注温度 2）合理设置浇冒口和冷铁 3）砂型不宜太紧实，加入适量木屑改善退让性 4）尽量使铁液硫含量低，或控制合适的锰硫比 5）改进铸件结构，壁厚过渡要求渐变 6）延长开箱时间 7）铸件在清理时，应避免受冲击
渣眼	在铸件外部或内部的孔穴中有熔渣	1）浇包中的渣未除净 2）铁液中熔渣太多 3）浇注时断流 4）浇注系统设置不合理，挡渣效果不好 5）浇注位置不正确	1）除净浇包中的残渣 2）适当提高铁液温度，可在铁液包内加入少量干砂，以利于聚渣撇除 3）浇注时，注意不发生断流，并保持浇口杯充满 4）在横浇道上可设置集渣包，以利于挡渣 5）应使铸件的重要部位放在下面或侧面
多肉	铸件上有形状不规则的毛刺或凸出部分	1）面砂强度不够，产生裂纹，致使铁液钻入 2）涂料不好 3）铸型紧实度不均匀或吃砂量不够	1）应用较细的面砂，并适当增加粘结剂和混砂时间，以提高面砂强度 2）改善涂料 3）要求型砂紧实度均匀，并有足够的吃砂量
铁豆	气孔中有小铁珠	1）型砂潮湿，内浇道离铸件最低处太高，造成铁液飞溅，形成铁豆，铁液充满后，又未能把铁豆熔化，使其与气体一块包入铸件中 2）砂芯透气性不好，发气量又大，产生的大量气体从铁液中向外跑时使铁液翻滚，易在砂芯附近的铸件表面产生铁豆	1）降低型砂水分或采用底部注入式浇注系统，平稳注入型腔，以减少铁液飞溅 2）适当减少芯砂中发气含量大的附加物，并加强砂芯的通气
冷隔与浇不足	铸件上有未完全融合缝隙或局部缺肉，周围呈圆边	1）铁液浇注温度太低 2）铁液化学成分不合适 3）砂型太湿 4）浇注系统设置不合理，浇道截面太小 5）铸件部分壁太薄 6）冷铁位置不当 7）下芯时偏斜	1）适当提高浇注温度 2）控制合适的铁液化学成分 3）降低型砂中的水分 4）加大浇道尺寸，加快浇注速度；对长铸件可两端引入铁液 5）改进铸件结构 6）合理设置冷铁 7）砂芯安放正确

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
铸态麻口、灰口	铸态铸件断面呈麻口或灰口组织	1）配料熔化中，成分不合要求，碳硅含量过高 2）熔化中落料不均匀，或铁液混合不均匀 3）铸件壁厚相差太大，在厚壁处产生麻口或灰口 4）开箱太晚	1）正确选择化学成分，合理配料，熔化过程中碳、硅含量控制在要求的范围内 2）装设前炉，使铁液均匀 3）对厚壁铸件，应适当增加铋的加入量或降低铁液的浇注温度 4）适当提前开箱
铸件硬脆性能不合标准	力学性能不符合牌号要求，尤其是韧性不足，硬度过高；金相组织中有过量的渗碳体或珠光体；黑心可锻铸铁件断口往往呈白色或花心	1）铸件化学成分不当，硅低或硫高或锰高 2）铁液铬含量或氧、氮、氢量超过限度 3）石墨化退火规范不正确或控制不当；第一或第二阶段石墨化不完全 4）采用低温石墨化退火工艺时控制不当 5）脱碳退火温度过低或脱碳气氛控制不当	1）正确控制铁液化学成分和气体含量 2）正确控制石墨化退火或脱碳退火工艺
铸件变形	退火后铸件形状、尺寸发生明显的改变	1）铸件装箱不当 2）第一阶段石墨化退火温度过高，时间过长 3）退火炉内局部温度过高	1）注意装箱方式，增加隔板或填料 2）适当降低第一阶段石墨化退火温度 3）改进退火炉结构和操作，使炉温尽量均匀 4）改用低温石墨化退火工艺
铸件氧化严重	铸件表面形成较厚的氧化皮	1）炉气氧化性强 2）退火箱密封不好 3）退火温度过高，时间过长	1）退火箱密封好 2）硅高时，适当降低退火温度 3）合理控制锰硫化 4）采用低温石墨化退火工艺
过烧	铸件表面粗糙，边缘熔化，断口晶粗大，石墨粗大且形状差。铸件变脆，硬度增高。铸件表层出现一层含氧铁素体，有时局部熔化	1）第一阶段石墨化退火温度过高，时间过长 2）退火炉温度差较大，局部区域的炉温过高，大大超过工艺规定	1）控制第一阶段石墨化退火温度 2）改进退火炉结构和操作，使炉温均匀 3）改用低温石墨化退火工艺
回火脆性	铸件呈白色断口，冲击性能、伸长率明显降低	1）第二阶段石墨化退火后或低温退火后，在 550 ~ 400℃ 范围内降温太慢，停留时间过长，沿铁素体晶界析出碳化物或磷化物 2）铸铁磷含量较高，特别在硅含量高时，更易出现回火脆性 3）在发生回火脆性的温度范围内（400 ~ 550℃）进行热镀锌	1）退火后在 600 ~ 650℃ 出炉快冷 2）适当控制铁液中磷、硅、氮含量 3）镀锌作业避开回火脆性温度区。当出现镀锌回火脆性后，铸件可以进行返镀，消除脆性 4）已发生回火脆性的铸件可重新加热到 650℃ 以上（650 ~ 700℃）短时间保温，然后出炉快冷，韧性即可恢复

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
低温脆性	低温脆性转变温度升高	铸件成分中硅、磷含量过高	控制铸件中硅、磷含量。对在低温下工作并承受冲击载荷的可锻铸铁件，w(Si)不宜超过 1.7%，w(P)不宜超过 0.05%
石墨形状分布不良	石墨形状、分布不良，导致力学性能达不到标准牌号要求	1）铁液化学成分选择不当 2）孕育处理和石墨化退火工艺不当	1）控制化学成分在规定范围内，防止出现铸态石墨 2）孕育剂的加入量要适当，加入硼的质量分数超过 0.02% 时会出现串状石墨 3）退火温度不宜过高，特别是第一阶段石墨化退火温度要严加控制，过高时会出现石墨形状恶化，颗粒数减少 4）采用适当的低温预处理工艺
树枝状晶间疏松	铸件退火后有可见的或肉眼不能发现的微小裂纹，里面有明显氧化色泽的树枝状疏松结构，从表面指向中心	铸件凝固时，由于凝固补缩不足以及结构和结晶等条件，形成微小的热裂及枝晶疏松。在退火过程中，炉气沿裂纹及枝晶间隙侵入，引起疏松处严重氧化和进一步扩大	改善孕育处理，细化晶粒，消除枝晶组织，优化补缩条件，防止板块状白口组织和热裂产生

5. 不合格品耐热铸铁件的常见缺陷分析与质量改进

在耐热铸铁件生产中，常见的铸件缺陷除有灰铸铁件的一般常见缺陷外，还有冷裂、冷隔、石墨飘浮等。通常，产生这些缺陷的原因不单是自身的合金成分问题，有时还有造型制芯、熔炼浇注、配砂质量、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产耐热铸铁件时，除表 7-10 ~ 表 7-13 所述内容外，属于耐热铸铁件特有的一些常见缺陷分析与质量改进方法见表 7-17。

表 7-17　不合格品耐热铸铁件特有的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

耐热铸铁	缺陷名称	产生原因分析	改进方法
硅系耐热铸铁	冷裂	1）硅提高铸铁脆性转变温度，硅锰易偏析，因此使铸铁脆性很大 2）铸铁导热性不良（球墨铸铁更甚），热应力较大	1）严格控制铸铁化学成分；在满足耐热性要求的前提下，硅含量越低越好，w(P) < 0.15%，耐热铸铁中最好 w(Mn) < 0.4%，一般 w(Mn) < 0.7%，中硅耐热铸铁加入少量的 Cr 或稀土以细化石墨，降低脆性 2）增加型芯砂的退让性，消除浇道、飞边、毛刺对铸件收缩的阻碍 3）延缓开箱时间，脆裂敏感件要 12 ~ 24h 后开箱 4）铸件设计要加大圆角半径，避免壁厚急变 5）去应力或铁素体化退火

（续）

耐热铸铁	缺陷名称	产生原因分析	改进方法
铝系耐热铸铁	冷裂	高、中铝铸铁，特别是高铝铸铁容易发生如下现象 1）由于高、中铝铸铁有大的线收缩值及不良的导热性，铸造应力很大 2）高铝铸铁在高、中温时脆性较大	1）严格控制铸铁化学成分：高铝铸铁中铝量不能过高或过低，耐热铸铁残留稀土量不能过高 2）金相组织中不能出现碳化物，以防止高铝灰铸铁中石墨过于粗大 3）打箱时间要晚，开箱后避免吹风急冷，但要早松开砂箱，使铸件自由收缩 4）加大铸件圆角半径，避免壁厚急变 5）增加型砂、芯砂退让性 6）浇道分布应使铸件温度尽量均匀
	夹杂及冷隔	铝极易被氧化，形成 Al_2O_3 膜（在熔炼浇注时及在铸型中都会产生）。当氧化膜卷入铁液中时，形成夹杂缺陷 当氧化膜在铸件表面形成时，则造成冷隔缺陷	1）铁液应平稳迅速充满型腔，防止型腔中几个流股对冲而形成翻腾 2）浇注时不能断流 3）采用底注或倾斜浇注。扁平内浇道可使铁液进入型腔时覆盖面大。内浇道比普通灰铸铁大 10% 以上 4）浇注系统的设计要注意挡渣、集渣 5）注意型腔排气
铝系耐热铸铁	石墨飘浮	铝使碳在铸铁内的溶解度显著降低，因此高、中铝铸铁都易发生石墨飘浮	1）含 w（Al）为 20% ~24% 的铸铁，碳应控制在 w（C）< 1.8% ~2.0%，高铝耐热铸铁可以较高 2）加铝后铁液充分镇静、保温、让石墨充分上浮 3）加入稀土合金
铬系耐热铸铁	冷裂	高、中铬铸铁脆性及收缩都较大，故较易产生。但冷裂倾向比高铝及高硅铸铁小	1）控制碳、硅量不要过高 2）其他工艺措施与硅、铝系耐热铸铁基本相同
	缩孔缩松	高、中铬铸铁有较大的缩孔与缩松倾向	壁厚较大件应设置冒口或冷铁
	冷隔	高、中铬铸铁铬含量高，易氧化形成含 Cr_2O_3 的膜，造成冷隔	1）提高浇注温度 2）加快浇注速度 3）浇注系统设计尽量避免不同方向的金属流汇合及金属流在型腔内流动过长及产生流动死角，浇道断面适当加大

6. 不合格品耐蚀铸铁件的常见缺陷分析与质量改进

在耐蚀铸铁件生产中，常见的铸件缺陷除有灰铸铁件的一般常见缺陷外，还有加工时边角脱落式开裂、皮下气孔、夹渣、缩陷（裂）、冷隔、浸入式气孔等。通常，产生这些缺陷的原因也不单是自身的合金成分问题，有时有造型制芯、熔炼浇注、配砂质量、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施来解决。

生产耐蚀铸铁件时，除表 7-10 ~ 表 7-13 所述内容外，属于耐蚀铸铁件特有的一些常见缺陷分析与质量改进方法见表 7-18。

表 7-18　不合格品耐蚀铸铁件特有的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

材质	缺陷与特征	产生原因分析	改进方法
高硅耐酸铸铁	裂纹常发生于壁厚悬殊大的铸件	1)合金脆性大 2)线收缩率大 3)800℃以下冷速过高	1)控制 w(C) <0.9% 2)添加少量硅铁 3)750℃以上开箱缓冷 4)加少量铜
	加工时边角脱落式开裂	1)铸铁残余应力过大 2)硬度偏高	1)去应力热处理 2)硅量取中下限 3)加 3% ~8%(质量分数)的 Cu
高硅耐酸铸铁	皮下气孔	氢含量超过固溶度	1)熔池充分烘干和预热炉料(温度 >110℃) 2)控制砂型水分宜用干型 3)用少量稀土或稀土镁脱气 4)吹氮精炼和充分搅拌
	夹渣	铁液表面上的二氧化硅等浮渣随铁液流进入铸型	1)采取撇渣浇注系统 2)采用底注式或其他液流平稳的浇注系统 3)避免大平面朝上放置
镍奥氏体铸铁	缩孔、缩松、缩陷(裂)	1)浇注温度过高 2)碳化物量过多 3)砂型刚度偏低	1)适当提高碳含量,降低铬量 2)强化孕育,控制浇注温度 3)提高铸型刚度 4)采用冒口与冷铁最佳搭配
	冷隔	1)铁液氧化 2)浇注温度低 3)浇注速度低	1)降低熔炼温度 2)提高浇注温度、速度 3)采取分散内浇道快浇
	浸入式气孔	1)型腔排气通道不畅通 2)浇注温度低 3)铁液流速快且不平稳	1)提高浇注温度 2)避免铁液流的分溅和旋涡 3)砂型、砂芯应排气充分

7.2.2　不合格品铸钢件的常见缺陷分析与质量改进

在铸钢件生产中，常见的铸件缺陷有气孔、砂眼、渣孔、冲砂、掉砂、夹砂、结疤、粘砂、冷隔、浇不足、皱纹、缩孔、疏松、热裂、冷裂、应力与应变、偏析、晶粒粗大、夹杂物、过热、过烧、开裂、变形、软点、硬度不足、脆性、氧化及脱碳等。通常，产生这些缺陷的原因不单是炼钢工艺问题，有时还有铸件设计、型砂（包括涂料）、造型、精整、焊补及热处理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产铸钢件时，最常见的铸造缺陷、冶金缺陷和热处理缺陷分析与质量改进方法见表 7-19 ~表 7-21。

表 7-19　不合格品铸钢件最常见的铸造缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　　征	产生原因分析	改进方法
粘砂	铸件表面全部或部分覆盖着金属或金属氧化物与造型材料的混合物，或化合物的一层烧结物，使铸件表面粗糙	1）型砂材料中二氧化硅与氧化铁、氧化锰形成熔化物所致 2）型砂中粘土含量高 3）砂粒粗大或春砂紧实度不够 4）浇注温度过高	1）在型砂中加入适当粘结剂或附加物，如在湿型砂中加入铁矿粉等 2）选用化学稳定性较好的造型材料，如高锰钢铸件用碱性材料（镁砂）等 3）选用较细砂粒的型砂，可使砂型的紧实度均匀而紧密 4）选用蓄热性大和热稳定性好的造型材料和涂料，如在大型铸钢件中常用锆砂面砂，镁砂涂料和铬镁砂涂料等 5）控制过高的浇注温度
夹砂与结疤	铸件上的金属疤块下有砂层存在。一般在除掉疤块砂层后能看到铸件正常金属	1）砂型或砂芯舂的松紧不均，型的通气性不够 2）砂型过湿，型砂拌合不匀，浇注后型或芯过热而引起气体或硅砂局部膨胀 3）钢液进入型腔过慢，使型或芯表面局部过热	1）提高型耐火度，以增加其热稳定性 2）调整砂粒粗细，在细砂中加入一定量粗砂，以减少高温变形 3）控制砂型紧实度，尽量使紧实度均匀，不要太紧 4）在型砂中适当加入木屑之类的辅助材料，以增加其退让性，从而减少热应力 5）减少型砂的气体来源。使气体迅速顺利排出 6）选择膨胀性小、导热快的砂种（如锆砂、橄榄砂等），一方面这种砂高温热变形和热应力较小，另一方面导热性好，使钢液迅速凝固，也可减少砂型的变形和应力
裂纹	铸件裂纹可分为热裂纹、冷裂纹。它们都是由于液态钢在高温下收缩变形受阻而形成的。铸件冷却收缩受阻后产生应力，应力超过了钢液在该温度下的强度或塑性极限，便生成裂纹	1）硫、磷等有害元素含量偏高易形成热裂纹 2）钢中的夹杂物与偏析容易形成应力集中 3）钢液的线收缩越大，热裂纹倾向越大 4）铸件设计的结构不良易产生局部应力集中，也会导致热裂纹 5）钢液浇注温度偏高，易于产生热裂纹 6）铸件浇、冒口排列位置不当，导致收缩受阻而产生热裂纹 7）砂型舂得过紧，退让性不良，阻碍收缩，增加热裂倾向 8）铸件冷却速度过快，或打箱过早都会造成更大的冷却应力，增加热裂倾向 9）铸件切割浇、冒口不当或清理不当，热处理后冷却过快或不匀等也会导致热裂 10）铸件冷却至温度较低范围，铸件的残余应力或外界条件而形成冷裂纹	1）加强冶炼控制，特别应控制钢液中的硫、磷等有害元素含量，$w(S)\leqslant 0.035\%$、$w(P)\leqslant 0.035\%$ 或更低 2）造型时采用铸肋、冷铁及圆角等，并控制砂型紧实度 3）采用易割冒口，控制打箱时间及冷却速度

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法
缩孔与缩松	铸件缩孔与缩松均产生于铸钢件表面（切割冒口即发现孔洞）或铸件内部（经加工或无损检测发现）其形状不规则，呈海绵状洞穴或小孔	由于铸件凝固收缩，又得不到足够的钢液补给所致，其原因是： 1）冒口位置安排不合理 2）冒口补贴能力不足和设计不当 3）钢液浇注温度过高，收缩量过大	1）在工艺方案方面，应严格掌握铸件凝固过程的各项原则。最好采用顺序凝固，即保证在铸件凝固过程中，由冒口不断地得到钢液补充。有时根据具体情况，也可采用同时凝固，使缩孔分散至几乎观察不到的程度 2）在冒口、补贴及冷铁方面，正确设计和合理安排冒口、补贴及内冷铁、确保顺序凝固 3）在浇注系统方面，顶注法比底注法较有利于顺序凝固 4）在浇注速度方面，低造浇注比高速浇注较有利于顺序凝固 5）在浇注温度方面，温度太高会使钢液收缩量增大，所以温度控制得低些有利
夹杂物	夹杂物按其原始形成可分为“内生”与“外来”夹杂物，这里指外来夹杂物，它包括金属与非金属夹杂物，来自出钢、浇注过程中设备或浇注系统中剥落混入铸件形成，大多是耐火材料及型砂材料的熔渣	1）原材料与炼钢过程控制不当 2）浇注过程、钢包中钢液与气体、砂型的相互作用	1）在钢液中加入脱氧剂，以形成溶解度很低的新的非金属夹杂物，因此有可能在钢液凝固之前把它除样。假如能形成气体，则可上浮跑掉 2）将钢液进行静置一段时间或同时加以微震，但静置要有一定条件，即保证钢液有足够的温度
气孔	是指“外生”式气孔，这类气孔呈梨形，细颈方向指向气体来源，发生在铸件表面或皮下，热处理后或加工后可发现	1）型砂中的水分过高，冷铁涂料处理不当 2）砂型透气不良 3）浇注系统和型腔在浇注过程中卷入气体而不能排除	1）在铸造工艺方面，应合理设计浇注系统及冒口，使钢液流动平稳，避免气体卷入，同时浇冒口设计应尽可能做到使压力头增大，有利于迫使气体通过砂型向外排出，要应在砂型上合理扎出气眼，安排人工气路，要控制砂型烘干深度，严格处理冷铁、芯撑，不允许有锈蚀和可发气的污物 2）在造型材料方面，应控制其含水量、发气量和透气性，使气体来源减少，并有利于气体排除 3）在浇注方面，浇注前钢液在较高温度下适当镇静。以利于气体上浮，浇注过程中及时点火引气，以利气体外排

表 7-20　不合格品铸钢件最常见的冶金缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法
夹杂物	是指“内在”夹杂物，即所有的氧化物、硫化物聚集颗粒的非金属氧化物形态，还有氯化物、硅酸盐等，其分子式为 FeS、FeO、MnS、$MnO\text{-}Al_2O_3\text{-}SiO_2$ 及 FeO-FeS 等，形状呈球状、网状、沿晶界及枝晶轴向分布	1）来自钢的冶炼过程中的氧和硫及脱氧剂，在冷却凝固过程中，残留的氧化物与硫化物相以不连续的相沉淀出脱氧产物 $Si + O_2 = SiO_2$，$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3$ 2）浇注过程中的二次氧化也产生夹杂，（称为二次氧化夹杂）	1）炼钢时注意脱氧，加入脱氧剂能形成溶解度很低的非金属夹杂物，易于排除样 2）出钢后注意静置，一方面给非金属夹杂物有充分时间上浮，另一方面也为其聚集创造条件，但要求钢液有足够高的温度保证浇注工作顺利进行 3）炼钢时还应利用碳氧化时形成的 CO 来进行去渣，从而减少夹杂物

（续）

缺陷名称	特　　征	产生原因分析	改进方法
气孔	是指“内生”式气孔，钢液中气体随温度下降其溶解度急剧减少，气体向较高温度扩散至壁较厚部位，严重时遍布冒口下部部位	炼钢过程中脱氧不良	1）炼钢时应尽量减少和脱除钢液中的气体，通常应注意不用或少用生锈的金属炉料 2）炼钢时要去气良好 3）盛钢桶（包）要烘烤干燥 4）常用出钢工具避免渗水等
偏析	1）成分偏析：凝固过程中，由于固相和液相成分不同，先凝固部分含有高熔点组元后凝固部分含有低熔点组元，而产生成分偏析 2）树枝状偏析：铸件基本上存在成分上和组织上的不均为称树枝状偏析 3）晶间偏析：存在于树枝状晶体之间的后凝固的低熔点组成物，它与晶体本身成分不同 4）岩石状断口：断口呈岩石状或片状，多产生于铝、硼和碳较高的铸件	1）浇注温度不当 2）浇注速度不当 3）某些低合金钢的脱氧剂用铝量多，氮含量高，硼的含量未控制好	1）出钢时加入稀土元素，有脱硫及产生晶核的作用，有助于防止枝晶偏析 2）控制浇注温度及浇注速度，使浇注温度不要太高，而浇注速度快些有助于改善区域偏析 3）扩散退火适用于消除或改善晶内偏析与晶间偏析，也可用于铸件壁厚不大的区域偏析 4）严格控制铝脱氧剂的用量以及钢中的氮含量和硼含量

表 7-21　不合格品铸钢件最常见的热处理缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	产生原因分析	改进方法	备注
1. 铸钢件退火处理的常见缺陷分析与质量改进			
退火后硬度过高	1）加热温度不当 2）保温时间不足 3）炉冷速率太快，出炉温度高	按正确工艺规范进行或重新退火	—
退火组织中存在网状碳化物组织	1）退火温度低，仍保留了原始组织中粗大网状碳化物 2）冷却缓慢，使二次渗碳体沿奥氏体晶界析出	退火前先高温正火，消除网状组织，再进行退火处理	—
球化不良	1）球化工艺不当（如温度过高或过低，球化时间过短等） 2）退火后冷却太快或碳化物过粗或过细长导致球化退火后金相组织中仍保留部分片状珠光体	1）球化退火温度选在 Ac_3 与 Ac_1 之间，不宜过高 2）退火后冷却要特别慢，或在两相区反复加热冷却	—
2. 铸钢件淬火处理的常见缺陷分析与质量处理			
过烧	加热温度过高接近于开始熔化温度沿晶界处产生熔化或氧化现象	1）正确选择淬火加热温度 2）严格执行操作规范 3）经常检修仪表 4）经常观察炉膛火色是否与所需温度相符 5）正确装炉	无法弥补，作报废处理
过热	1）加热温度过高 2）高温区保温时间过长 3）炉温仪表失控，炉温过高 4）炉温不均匀，局部过热		经一次或两次正火或退火后重新淬火

（续）

缺陷名称	产生原因分析	改进方法	备注
氧化	加热时未注意保护，炉气与钢表面反应，形成一层松脆的氧化皮 $2Fe + O_2 \longrightarrow 2FeO$ $Fe + CO_2 \longrightarrow FeO + CO$ $Fe + H_2O \longrightarrow FeO + H_2$	1）利用具有保护性气氛的无氧加热炉加热 2）装箱加热，填入铸铁屑或陈旧增碳剂 3）铸件表面涂防氧化剂（如硼砂等） 4）改用保护性气氛，炉内放木炭 5）盐浴炉充分脱氧 6）清除铸件表面氧化皮	严重者，作报废处理
脱碳	1）加热时炉气与钢表面发生如下反应 $2C + O_2 \longrightarrow 2CO$ $C + CO_2 \longrightarrow 2CO$ $C + H_2O \longrightarrow CO + H_2$ $C + 2H_2 \longrightarrow CH_4$ 2）盐浴炉脱氧不完全 3）铸件表面有氧化皮		在尺寸允许条件下，机加工去除，严重的直接报废
软点	1）铸件截面厚薄相差太大，致使厚截面上产生软点 2）铸态组织偏析 3）铸件表面有氧化皮，锈斑，致使 铸件表面局部脱碳 4）淬火介质老化或含有较多杂质，致使冷却能力不够 5）铸件浸入淬火介质中的方式不正确，上、下、左右移动不够以致降低了局部地方的冷却速度	1）改进铸件结构设计 2）淬火前，预先均匀化处理 3）应预先清除表面氧化皮锈斑 4）保持淬火介质洁净，定期清理与更换或改用盐水冷却 5）严格执行操作规程	重新淬火，且淬火前应进行退火、正火或高温回火
硬度不足	1）铸件材质淬锈性差，且截面又较大 2）淬火时表面过分脱碳 3）淬火温度不当：亚共析钢加热温度过低，保温时间过短，保留了铁素体组织；过共析钢加热温度过高，保温时间过长，残留奥氏体过多 4）淬火时冷却速度过慢	1）正确选用钢材 2）注意加热保护或盐浴脱氧 3）严格执行操作规范：亚共析钢加热要充分；过共析钢加热温度不能太高 4）改用冷却介质，改善冷却条件	重新通过正确的热处理方法来消除 当残留奥氏体量过多而硬度低时，可采用冷处理、低温回火或多次回火
翘曲变形	1）装炉不合理，由于铸件自重产生变形 2）淬火时由于组织转变，过大体积变化（过共析钢） 3）直接淬火介质选用不当 4）整体淬火热应力过大 5）加热速度太快，尤其当铸件形状结构复杂时，铸件各部位不能均热	1）正确按大件在下、小件在上或大小交错装炉 2）选用合适钢种 3）采用合适热处理工艺——分级淬火 4）采用感应淬火 5）采取缓慢加热或预热措施以及改进铸件结构	采用压力矫正、敲击矫正等方法矫正 在实际生产中按规定矫正或将变形量矫正到机加工余量的 1/2 ~ 1/3 即可
表面裂纹及内裂纹	1）淬火加热时严重过烧或过热 2）未经预热、加热过快，铸件内温差过大 3）加热温度过高，保温时间过长 4）淬火冷却过快，冷却介质选用不当 5）应力集中，铸件形状结构设计不合理 6）分级淬火时，自冷却剂中取出后立即放入水中清洗 7）尺寸形状复杂，淬火后未及时回火 8）回火不充分，组织转变不完全，组织应力大	1）正确选择淬火加热温度，避免铸件过热 2）采取预热 3）严格控制淬火温度和保温时间 4）选用低冷却强度的介质或分级淬火或等温淬火 5）提高设计工艺合理性 6）分级淬火后，自淬火介质取出后空冷 7）从淬火温度冷至 100 ~ 150℃ 取出，及时低温去应力处理 8）充分回火，增加回火次数	按协议规定处理，焊补或报废

（续）

缺陷名称	产生原因分析	改进方法	备注
3. 铸钢件回火处理的常见缺陷分析与质量改进			
回火不足	回火温度低、保温时间短，致使硬度和脆性大	按正确工艺规范进行或重新淬火后再回火	—
回火过度	回火温度过高，造成硬度过低		—
回火脆性	1）铸件在回火脆性温度区回火 2）回火后未迅速通过脆性区，施行快冷	1）尽量避开脆性温度区进行回火 2）回火后不能炉冷，改为水冷、油冷或空冷 3）重新淬火，调质处理	—

7.2.3　不合格品铸造有色合金件的常见缺陷分析与质量改进

1. 不合格品铸造铝合金件的常见缺陷分析与质量改进

在铸造铝合金件生产中，常见的铸件缺陷有气孔、针孔、疏松、夹杂、夹渣、裂纹、偏析、偏析瘤、成分超差、冷隔等。通常，产生这些缺陷的原因不单是精炼变质处理问题，有时有造型制芯、熔炼浇注、型砂质量、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施来解决。

采用砂型生产铸造铝合金件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-22。

表 7-22　不合格品铸造铝合金件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
气孔	孔壁表面一般比较光滑，带有金属光泽。单个或成群或存在于铸件皮下。油烟气孔呈油黄色	1）液体金属浇注时被卷入的气体在合金液凝固后以气孔的形式存在于铸件中 2）金属与铸型反应后在铸件表皮下生成的皮下气孔 3）合金液中的夹渣或氧化皮上附着的气体被混入合金液后形成气孔	1）浇注时防止空气卷入 2）合金液在进入型腔前先经过过滤网以去除合金液中的夹渣、氧化皮和气泡 3）更换铸型材料或加涂料层防止合金液与铸型发生反应 4）在允许补焊部位将缺陷清理干净后进行补焊
针孔	均匀地分布在铸件的整个断面上的小孔（直径小于 1mm）。凝固快的部位孔小数量少，凝固慢的部位孔大数量也多。在共晶合金中呈圆形孔洞，在凝固间隔宽的合金中呈长形孔洞。在 X 射线底片上呈小黑点在断口上呈互不连接的乳白色小凹点	合金在液体状态下熔解的气体（主要为氢），在合金凝固过程中自合金中析出而形成的均布形式的孔洞	1）合金液体状态下彻底精炼除气 2）在凝固过程中加大凝固速度防止溶解的气体自合金中析出 3）铸件在压力下凝固，防止合金溶解的气体析出 4）炉料、辅助材料及工具应干燥
疏松	呈海绵状的不紧密组织，严重时呈缩孔。孔的表面呈粗糙的凹坑，晶粒大。断口呈灰色或浅黄色，热处理后为灰白、浅黄或灰黑色。多在热节部位产生。在 X 射线底片上呈云雾状，荧光检查时呈密集的小亮点	1）合金液除气不干净形成气体性疏松 2）最后凝固部位补缩不足 3）铸型局部过热、水分过多、排气不良	1）保持合理的凝固顺序和补缩 2）炉料净洁 3）在疏松部位放置冷铁 4）在允许补焊的部位，将缺陷部位清理干净后补焊

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
夹杂	由涂料、造型材料、耐火材料等混入合金液中而形成的铸件表面或内部的与铸件成分不同的质点	1）外来物混入液体合金并浇注入铸型 2）精炼效果不良 3）铸型内腔表面的外来物或造型材料剥落	1）仔细精炼并注意扒渣 2）熔炼工具涂料层应附着牢固 3）浇注系统及型腔应清理干净 4）炉料应保持洁净 5）表面夹杂可打磨去除，必要时可进行补焊
夹渣	氧化夹渣以团絮状存在于铸件内部，断口呈黄色或灰白色。熔剂夹渣呈暗褐色点状，夹渣清除后呈光滑表面的孔洞，在空气中暴露一段时间后有时出现腐蚀特征	1）精炼变质处理后除渣不干净 2）精炼变质后静置时间不够 3）浇注系统不合理，二次氧化皮卷入合金液中 4）精炼后合金液搅动或被污染	1）严格执行精炼变质浇注工艺要求 2）浇注时应使金属液流平稳地注入铸型 3）炉料应保持净洁，回炉料处理及使用量应严格遵守工艺规程
裂纹	裂纹呈直线或不规则的曲线。热裂纹断面呈氧化特征，无金属光泽，多产生在热节区尖角内侧，厚薄断面交汇处，常和疏松共生。断裂金属表面洁净	1）铸件各部分冷却不均匀 2）铸件凝固和冷却过程受到外界阻力而不能自由收缩，内应力超过合金强度而产生裂纹	1）尽可能保持顺序凝固或同时凝固，减少内应力 2）细化合金组织 3）选择适宜的浇注温度 4）增加铸型的退让性
偏析	在熔炼过程中坩埚底部和上部的化学成分不均匀。铸件的先凝固部位与后凝固部位的化学成分不均匀	1）合金凝固时析出相与液相所含溶质浓度不同，多数情况液相溶质富集而又来不及扩散使先后凝固部分的化学成分不同 2）熔炼过程中某些元素形成的化合物因密度与母液密度不同，在一定温度范围，沿坩埚底部造成化学成分不均匀	1）熔炼过程中加强搅拌并适当的静置 2）适当增加凝固冷却速度
偏析瘤	在铸件表面上形成瘤状的突起物。金相检查一般为低熔点共晶富集区	当铸件中心部位尚未凝固时，铸件表面收缩中心未凝固的液相穿透表面相层渗出而生成	1）适当降低浇注温度 2）适当提高铸型的冷却能力 3）延长开型时间
成分超差	化学组元超过上限或低于下限含量，杂质元素超过允许的上限含量	1）中间合金或预制合金成分不均匀或成分分析误差过大 2）炉料计算或配料称量错误 3）熔炼操作失当，易氧化元素烧损过大 4）熔炼搅拌不匀，易偏析元素分布不均	1）炉前分析成分不合格时可适当进行调整 2）最终检验不合格时可会同设计使用部门协商处理
冷隔	铸件金属被氧化皮隔开，不完全隔为一体即成冷隔，严重的就成为欠铸。冷隔常出现在铸件的顶部壁上、薄的水平面和垂直面上、厚薄转角处或在铸肋上。冷隔多呈线条状	1）浇注系统不当，使合金液流程过长，或汇流处集中在很薄的部位 2）铸型排气不良，使合金液流受阻，表面氧化，不能很好融合 3）浇注温度过低 4）铸件结构不当，如外缘圆角太小，合金液流不畅	1）改进浇注系统设计，避免合金液流程过长，防止汇流处集中在很薄的部位 2）采取倾斜浇注，使液流通畅 3）提高铸型排气能力，严格控制型砂水分 4）适当提高浇注温度和浇注速度 5）改进铸件结构设计，避免外缘圆角过小

2. 不合格品铸造镁合金件的常见缺陷分析与质量改进

在铸造镁合金件生产中，常见的铸件缺陷有显微疏松、松孔、气孔、裂纹（热裂、冷裂）、冷隔、欠铸、夹砂、夹杂（氧化皮、熔剂等）、偏析等。通常，产生这些缺陷的原因不单是自身的合金成分问题，有时还有造型制芯、熔炼浇注、型砂质量、落砂处理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产铸造镁合金件时，与合金自身有直接关系的某些常见缺陷分析与质量改进方法见表 7-23。

表 7-23　不合格品铸造镁合金件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　　征	产生原因分析	改进方法
氧化冷隔	金属液流被氧化皮隔开而未熔合为一体。严重时成为欠铸。常出现在铸件的顶壁上、薄的水平或垂直面上、厚薄转接处或薄肋条上	1）浇注温度过低，合金流动性差 2）型腔排气不良，阻碍合金液的流动 3）直浇道、横浇道或内浇道的面积不够，金属液充填的速度缓慢或流动的距离太远 4）型芯错位或移动，使某一部位的壁厚明显变薄 5）浇注时金属液流中断或不稳定	1）适当提高浇注温度和金属型温度 2）增加铸型、型芯的排气能力 3）合理选择浇注系统的位置、数量和面积 4）增加铸件某一部位的厚度 5）保持金属液流平稳、均匀而无紊流地进入铸型
氧化皮	断口呈深灰、黑和浅黄色而不规则的点或小块状存在于铸件内部，外形上呈薄片、皱皮或团絮状，有时还带有少量的熔剂。薄壁铸件则常露于表面	1）合金熔炼过程中因生成氧化物而造成的夹杂。主要原因是炉料不清洁、熔剂不干燥、精炼作用不完全、浇注前的静置时间不够以及熔炼操作不当 2）浇注过程中因形成氧化皮而造成。主要原因是浇注系统设计不合理，浇注时合金剧烈氧化或产生涡流以及浇注操作不当 3）铸型本身原因主要是砂型及型芯烘烤不良、保护剂不足、合箱后停放时间过长、型砂过湿、砂型捣得太实等	1）保持炉料精洁、熔剂干燥，仔细精炼，充分静置并往合金中加入少量铍 2）正确设计浇注系统，采用过滤器，起动坩埚要平稳，正确浇注，避免氧化和燃烧。浇注时不断撒入硫黄、硼酸防护剂或喷入保护气氛 3）造型操作要正确，控制型砂水分，砂芯要干透，控制好合箱时间
熔剂夹杂	大块熔剂夹杂在铸件内呈水滴状，常与熔渣同时出现。细小熔剂夹杂呈分散状，经过一段时间后在铸件表面上或断口上呈暗色斑点。表面上的大块熔剂夹杂在出型后呈暗褐色，而细小熔剂则难以被发现。熔剂夹杂一般分布在浇注系统和内浇道附近或铸件下部。机械加工暴露出熔剂的表面在空气中停留一段时间后呈暗色斑点，然后在斑点上出现白色粉末（“长毛”）	1）违反精炼和静置的规定 2）熔剂的成分、配制、保管不当 3）未遵守浇包在坩埚中舀取金属液的规定而将熔剂搅入合金液内，坩埚中剩留的合金液过少 4）可提式坩埚中的熔剂未清理干净，出炉时不平稳，浇注后剩留的合金液过少 5）浇包未洗涤干净，洗涤熔剂的使用次数太多、变脏以及温度太低 6）浇注系统设计不良	1）应遵守合金的熔炼规范和浇包在坩埚中舀取合金液的规定，两次舀取金属液之间的时间间隔不少于 4min 2）使用合格的熔剂并定期检查 3）浇注前仔细清除坩埚周围边缘和可提式坩埚浇嘴上的熔剂 4）吊出坩埚时要平稳，坩埚中要剩留规定比例的合金液 5）熔剂坩埚的温度不低于 780℃，浇包和工具洗净后要滴净所有的熔剂 6）采用合理的浇注系统

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
反应后的砂夹杂	这种缺陷存在于含锆的合金铸件中，呈“不均匀分布的点状偏析”，即轮廓极为分明、直径约 1mm 的圆形亮区，在射线照片上常显示为带有比中心还亮的亮圈	被卷入的砂粒同熔融的含锆合金起反应后生成的单个缺陷 1）春砂太软 2）型砂湿强度低 3）内浇道太少、太狭窄，致使金属液的进口速度太高 4）浇注温度高	1）使用有足够湿强度的型砂和芯砂 2）砂型的紧实度要合适，并要仔细去除型面上和浇注系统内的浮砂 3）采用合适的浇注系统和适宜的浇注温度 4）砂型装配好后应在较短的时期内进行浇注
显微疏松和松孔	显微疏松是金属枝晶间或晶界孔洞。分布在铸件补缩不良的部位，用肉眼无法分辨但在显微镜下可看到成片的小孔 在断口上呈淡黄、灰色或黑色。射线照相检验时在底片上呈羽毛状或海绵状暗区。一般在铸件内部，有时穿透整个壁厚，造成铸件气密性不合格 松孔是金属不致密的宏观疏松，可用肉眼分辨。分布在铸件内部，露出表面后则呈虫蛀状，所以又称为“虫蛀状疏松”	1）凝固过程中补缩不良 ① 浇注系统和冒口设置不当 ② 冷铁位置和厚度不当 ③ 铸件形成毛刺、飞边等 ④ 引入合金液的位置不当 ⑤铸件局部过热和金属型温度过高 ⑥ 浇注温度过高 2）合金中气体含量多促使显微疏松形成和加剧 ① 炉料、熔剂潮湿 ② 回炉料等表面腐蚀 ③ 铸型通气不良 3）某些合金本身的结晶间隔大，如 ZM1、ZM5，显微疏松倾向性大 4）变质或加锆细化合金不够，合金的结晶组织粗大，加剧和促使显微疏松的形成	1）正确使用冒口、冷铁，使铸件定向凝固 2）向冒口内导入热金属液或加大冒口等以延缓冒口的冷却 3）开设冷却肋或冷却刺 4）改变零件的局部结构，消除热节部位，以利于定向凝固 5）适当降低硬模温度，按定向凝固原则调整涂料 6）使内浇道均匀分布于铸型上，在某些情况下，在内浇道对面放置冷铁 7）适当降低合金的浇注温度 8）炉料应干燥并清洁 9）变质良好 10）型砂的水分要适当，铸型的排气要畅通
合金偏析	含锆镁合金中的共晶偏析（共晶富集）	产生于稀土镁合金铸件中。在射线照片上的特征类似于显微疏松、热裂、缩管等缺陷的亮区	这种偏析是合金凝固期间形成显微疏松、热裂、缩管等缺陷后，又被邻近富有稀土金属一类高 X 射线密度的合金元素的共晶液体所充填所致	与排除显微疏松、热裂、缩孔等缺陷的方法相同 在缺陷被共晶液体完全填满的情况下虽对铸件的力学性能无明显影响，但其临界工艺状态应引起注意
	含锆镁合金中的流线（共晶贫缺）	主要产生在铸件较薄的断面处，在射线照片上显示出暗色的扩散线条，其形状与铸件表面上可见的流痕相符	型腔一部分被金属液所充填并在与来自另一股金属流相遇之前凝固，然后已凝固的前沿部分熔化后再开始凝固。这样，在贴近凝固前沿的合金成分贫缺高射线密度的合金元素	情况严重时是一冷隔，因此其排除方法与冷隔相同。一般情况下可以不采取措施

（续）

缺陷名称	特　征		产生原因分析	改进方法
合金偏析	镁-铝系合金中的反偏析	化学氧化处理后的铸件表面上出现由灰色至黑色的不规则形状或斑点 刚出型的铸件上呈现部分微蓝色	1）合金中铝含量增高，生成反偏析的程度增大 2）合金晶粒粗大 3）冷却快，温度梯度大 4）合金中含有质量分数≥0.05%的 Si、Be 等杂质	1）变质良好，则晶粒细小 2）适当提高金属型的工作温度 3）降低杂质含量 4）反偏析不严重时，可用普通机械方法除掉表皮层
	密度偏析	一般分布在铸件的厚大部分。在射线照片上呈白色，可以与基体相融合的一些白色扩散斑点相连而形成斑纹状，甚至云状	液相线以上沉淀出的质点的凝聚。出现在铸件厚大截面处的较低部位。在 Mg-Zn-Zr 合金中是 Zn-Zr 化合物；在 Mg-Al 合金中是 Mn 化合物。除合金成分外，尚有以下因素： 1）浇注温度过高 2）铸件厚大部分冷却太慢 3）金属型温度过高，局部涂料太厚	偏析的存在说明凝固条件不良 1）在冷却较慢的部位安放冷铁 2）降低浇注温度，缩短铸件的凝固时间 3）适当降低金属型的工作温度并控制涂料厚度
热裂	铸件上出现的直或曲折裂隙（穿通裂纹）、裂口（非穿通裂纹）。热裂纹处的断口被强烈氧化而呈深灰色或黑色，无金属光泽并沿晶界裂开		1）采用了热裂倾向大的合金 2）合金中有促使形成裂纹的杂质 3）合金变质不好或变质失效使晶粒粗大 4）铸件形状不合理，如有尖角、截面剧变等 5）铸件个别部位的收缩受阻 6）浇注系统设置不当 7）冷铁设置不当 8）铸件出箱清砂过早	1）细化合金组织 2）防止含铝和含锆合金相混，控制铍的添加量 3）改善零件设计，消除尖角，使厚薄铸件均匀过渡 4）减少铸件收缩时的阻力，提高铸型和型芯的退让性 5）尽可能使铸件定向凝固 6）降低浇注温度 7）正确放置冷铁

3. 不合格品铸造锌合金件的常见缺陷分析与质量改进

在铸造锌合金件生产中，常见的铸件缺陷有冷隔、气孔、缩孔与缩松、裂纹、夹渣、重力偏析等。通常，产生这些缺陷的原因不单是熔炼浇注问题，有时还有造型制芯、型砂质量、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产铸造锌合金件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-24。

表 7-24　不合格品铸造锌合金件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
冷隔	为线条状、深浅不一的槽，棱角呈圆角，常发生于铸件的宽大表面、难充填的薄壁断面或金属流在型腔中的汇合处	1）浇注温度过低 2）金属氧化、流动性差 3）浇注速度过低或浇注中断 4）铸型排气不良 5）压铸时型腔中的两金属流股未完全熔合	1）适当提高浇注温度 2）改善合金的流动性 3）改进浇注系统以提高充型速度 4）改进铸型排气 5）适当提高铸型温度或对产生缺陷部位的型壁加强温度控制

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
气孔	孔洞大小不一，可能是单个的，也可能是成群的，不规则地分布于铸件内部、表面或接近表面处（属外源性或侵入性气孔）	1）铸型、砂芯水分过高 2）金属型涂料未烘透 3）液体金属在浇注系统中产生紊流，卷入了气体 4）型腔中的气体未及时排出	1）严格控制型、芯砂的含水量 2）金属型、芯必须先经预热再喷涂料，喷涂料及补喷涂料后均应烘透 3）改进浇注系统设计并采用合理的浇注工艺使金属液平稳充型 4）从工艺设计上保证型、芯排气畅通
缩孔与缩松	为敞露或封闭的孔洞，通常内壁粗糙并常见树枝状结晶。缩孔可以是集中的，也可以是分散的。高铝锌合金缓慢冷却时缩孔常位于铸件底面（底面缩孔）。缩孔附近常见缩松区	铸造工艺设计不合理，未能保证顺序凝固，铸件凝固时在局部冷却缓慢处未得到充分补缩	1）设置冷铁加速局部冷却 2）使冒口尺寸应适当并提高冒口补缩效率 3）降低浇注温度 4）使高铝锌合金铸件的重要表面朝上 5）进行变质处理
裂纹	裂口呈波浪形或直线形，纹路狭长，穿透壁厚或不穿透壁厚	1）铅、锡、铁、镉等有害杂质的含量超过允许值 2）铸件厚薄悬殊、转变突然，交接处圆角半径过小 3）金属型铸造或压铸时开型过早，铸件在出型时开裂 4）金属型芯歪斜或导向装置不良，取出型芯时铸件开裂	1）熔炼时严格控制杂质含量，还可对合金进行晶粒细化处理 2）改进铸件设计并正确设置浇冒口和冷铁 3）延长开型时间 4）调整好型芯和推杆
夹渣	呈不规则明孔或暗孔，孔内充塞着渣	1）液体金属中混入或析出金属或非金属夹杂物 2）金属液表面的熔渣未清除干净并被浇入型腔	1）使用清洁的炉料，必要时进行精炼 2）彻底清渣，使用清洁的浇注工具并防止浇注时带入熔渣
重力偏析	铸件下部锌含量较高，而上部铝含量较高	1）金属液未充分搅拌 2）浇注温度过高 3）冷却速度过慢	1）浇注前充分搅拌金属液 2）降低浇注温度，加快冷却速度 3）进行变质处理

4. 不合格品铸造铜合金件的常见缺陷分析与质量改进

在铸造铜合金件生产中，常见的铸件缺陷有气孔、针孔、铸件表面出现虫蛀状或局部发黑、锡汗和铅汗、夹渣、偏析、缩孔、缩松、浇不足（缺肉）、冷隔等。通常，产生这些缺陷的原因不单是熔炼浇注问题，有时还有造型制芯、型砂质量、落砂清理等许多生产工序的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产铸造铜合金件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-25。

表 7-25　不合格品铸造铜合金件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	产生原因分析	改进方法
气孔	1）合金液吸气严重 2）浇注温度太高 3）型砂中水分、粘土或细砂含量过高，或春得太实、透气性差 4）油砂含油过高 5）型砂、芯子未烘干 6）浇注系统设计不当，或浇注时操作不当卷入空气 7）浇包吸水 8）冷铁表面有锈、潮湿或敷料脱落 9）金属型涂润滑油过多 10）金属型模温过高或过低，通气不良 11）出气孔被堵塞或数量不足	1）严格控制炉料和造型材料成分，特别应注意控制水分含量 2）改进设计，留足出气孔 3）干型要烘透 4）控制浇注温度 5）浇注时不断流，液柱要短 6）冷铁除锈，烘干 7）金属型温度要适当，锡青铜为 80 ~ 120℃，黄铜和无锡青铜为 150 ~ 200℃ 8）金属型分型面上多开一些通气槽，气体不易排出的部位用通气塞将气体引出
针孔	1）炉料潮湿，含油污，锈蚀 2）熔炼时炉内气氛为还原性 3）熔炼温度过高，时间过长，吸气严重 4）除气不良，熔剂脱水不净 5）浇注系统设计不当	1）在弱氧化性或氧化性气氛下快速熔炼 2）对吸气严重的锡青铜、磷青铜使用氧化性熔剂 3）电弧炉熔炼时应采用覆盖熔剂 4）适时进行除气处理
铸件表面出现虫蛀状或局部发黑	1）含铅青铜中杂质铝或硅含量过高 2）含铅的青铜、黄铜中的杂质磷含量过高 3）浇注温度过高 4）型砂透气性太差	1）降低杂质含量，或采用熔剂精炼 2）调整浇注温度 3）增加型砂的透气性
锡汗和铅汗	1）杂质铝或磷含量过高 2）在还原性气氛下熔炼 3）浇注温度太高 4）型砂含水分高，透气性差	1）降低杂质含量，或采用熔剂精炼 2）调整浇注温度 3）在弱氧化性或氧化性气氛下快速熔炼，充分除气 4）增加型砂的透气性 5）使用涂料
夹渣	1）炉料沾污严重 2）加料顺序不合适，渣量大 3）精炼质量不高 4）浇注系统撇渣能力低 5）二次氧化 6）浇注温度太低、熔渣浮不上来	1）严格执行熔炼工艺，限制回炉料的用量 2）调整加料顺序 3）选用合适的精炼剂精炼 4）改进浇注系统设计，采用过滤网和集渣包 5）防止二次氧化
偏析	1）搅拌不均 2）浇注温度过高 3）冷却速度太小	1）浇注前充分搅拌 2）降低浇注温度 3）提高铸型的冷却速度，如采用石墨型、金属型或水冷模 4）采用搅拌铸造、振动铸造、压力铸造技术
缩孔与缩松	1）浇注温度过高或过低 2）浇注速度过快或过慢 3）浇注系统设计不合适，冒口补缩作用不足，冷铁位置不利于顺序凝固	1）调整浇注温度和浇注速度 2）改进浇注系统设计，以利于顺序凝固，增大冒口补缩能力，合理设置暗冒口或使用冷铁芯子，防止金属型个别部位过热 3）底注时浇注速度不宜过慢，顶注时不宜过快，以防局部过热

（续）

缺陷名称	产生原因分析	改进方法
浇不足（缺肉）	1）杂质含量高，流动性低 2）浇注温度太低，浇注速度太慢或产生型漏 3）型砂含水分高，透气性差 4）冒口过小，静压不足 5）芯子上浮，浇道不畅通	1）严格控制炉料杂质含量 2）提高浇注温度 3）改进浇注系统设计，增加冒口高度，加快金属液的流动速度和增加补给量 4）降低铸型水分，增开出气孔 5）对锡青铜薄壁件采用分层分散的浇注系统
冷隔	1）金属液吸气严重 2）浇注温度太低，浇注速度太慢 3）型砂含水分高，透气性差，排气能力不足 4）冒口太小，静压不足，浇道阻力大	1）适当提高浇注温度和浇注速度 2）改进浇注系统设计，增大充型速度 3）防止浇注时断流 4）对锡青铜薄壁件，采用分层分散的浇注系统

5. 不合格品铸造钛合金件的常见缺陷分析与质量改进

在铸造钛合金件生产中，由于钛的活性和熔铸工艺条件的限制，使得铸造钛合金件比其他金属铸件更容易产生各种冶金缺陷，其常见的缺陷有缩孔、缩松、气孔、表面裂纹、跑火（型漏）、鼓胀、表面针孔、夹砂、夹杂、变形、冷隔、流痕、毛刺等。通常，产生这些缺陷的原因不单是熔铸工艺问题，有时还有工艺设计、造型工艺、浇注工艺、精整工艺、焊补工艺、热处理工艺等问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产铸造钛合金件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-26。

表 7-26 不合格品铸造钛合金件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
缩孔	孔内表面光洁，孔洞圆滑	补缩冒口设置不当	设计正确的浇注系统
缩松	连续或不连续海绵状缩松	铸件大面积薄壁部位补缩差	设计正确的浇注系统
气孔	不同尺寸圆孔，内表面光亮	铸型除气不佳或钛液与型材发生交互反应	控制造型材料及铸型焙烧除气工艺
表面裂纹	锯齿形的光洁的表面裂纹	表面 α 脆性层在铸造应力作用下开裂	正确设计工艺
跑火（型漏）	金属流失，铸件充填不满	型壳浇注时开裂，或石墨型装配不当	控制造型工艺
鼓胀	铸件局部突起或增厚	型壳强度不够，装配不良	控制造型工艺
表面针孔	圆形密集或非密集的表面小孔	铸型表面不洁或粗糙造成局部反应的结果	控制造型工艺
夹砂	铸件局部夹砂或突起的金属反应层	由型壳或砂型表面开裂起皮或脱落造成	控制造型工艺
夹杂	表面与内部的高低密度夹杂	铸型表面破损或型腔内存在外来夹杂物	控制造型工艺

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
变形	铸件尺寸不符	蜡模、铸型变形或浇冒口设置不当，或脱型精整时操作不当	正确设计工艺
冷隔、流痕	表面线形凹下或未焊合的金属痕迹	铸型激冷或浇注系统不合理	正确设计工艺
毛刺	表面上不光滑的小刺凸起物	铸型表面不致密	控制造型工艺

6. 不合格品铸造轴承合金件的常见缺陷分析与质量改进

在铸造轴承合金件生产中，常见的轴承缺陷有铅偏析（组织偏析、成分偏析）、缩孔、气孔、裂纹、夹渣、脱壳等。通常，产生这些缺陷的原因不单是浇注问题，有时还涉及合金成分的合理选择、合金熔炼、离心机的转速控制等许多生产实际问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产铸造轴承合金件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-27 和表 7-28。

表 7-27　不合格品铸造铜基合金轴承件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
表面裂纹	合金层表面存在着方向性或不规则分布的裂纹	1）冷却速度过大或不均匀 2）合金的磷含量过高 3）离心机转速过大或夹具不同心	1）控制水温、水压和水的流量，避免冷却速度过大 2）合理设计和安装冷却喷嘴，使钢壳均匀冷却 3）调整离心机转速和夹具
内裂纹	轴瓦横截面的铜层之间沿圆周方向产生圆弧形裂纹	产生内裂纹的根本原因是由于在冷却过程中轴瓦内产生的热应力超过合金在该温度下的强度极限	在不影响钢壳和合金结合强度的前提下尽可能降低钢壳的加热温度
组织偏析	铅分布不均匀，局部区域呈微观或宏观聚集，铅块较大	1）加入的第三元素不适当 2）合金的浇注温度过低 3）冷却速度过慢 4）冷却不均匀	1）合理选择第三元素，加入量要适当 2）提高浇注温度 3）提高冷却速度 4）合理设置冷却喷嘴，使钢壳均匀冷却
成分偏析	铅含量沿合金层断面分布不均匀	1）合金液成分不均匀 2）离心机转速太大 3）浇注温度过高或过低 4）冷却速度过慢 5）喷水过晚	1）浇注前应加强搅拌 2）降低离心机转速 3）浇注温度要合适 4）提高冷却速度 5）及时喷水
与钢壳粘结不良	敲击时有破裂声，破坏性检验时合金层与钢壳脱离	1）钢壳清洗不干净 2）钢壳或硼砂温度过高或过低 3）合金温度过低 4）合金中磷含量过高 5）硼砂质量差 6）钢壳从高温硼砂炉中取出后操作速度太慢，未立即进行浇注	1）钢壳应清洗干净 2）严格控制钢壳、硼砂和合金温度合金中 w(P) 不应超过 0.1% 3）严格控制硼砂质量，不用质量不合格的硼砂 4）操作速度要快，避免钢壳降温

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
缩孔	合金表面沿圆周方向有细小的孔眼或隐藏在表面皮下层	合金或钢壳温度过高，冷却速度太慢，不能形成从外向内的定向凝固	降低合金或钢壳的温度，提高冷却速度
夹渣	合金表面或内部存在着非金属夹杂物	1）合金浇注温度过低 2）硼砂或钢壳的温度过高或过低 3）硼砂质量低劣 4）熔炼时脱氧不充分	1）合金浇注温度及硼砂或钢壳温度应控制适当 2）严格控制硼砂质量，金属炉料要干净 3）熔炼时脱氧要充分
气孔	合金表面或表面层有不规则分布的小孔洞	1）合金熔炼时间过长 2）熔炼和浇注温度过高 3）冷却速度过快或过慢	1）熔炼时所用的炉料要干燥清洁 2）熔炼时间不宜过长，合金浇注温度不宜过高 3）应正确控制冷却速度

表 7-28　不合格品铸造锡基和铅基合金轴承件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
与钢壳粘结不良	敲击时有破裂声音，撬开合金后钢壳表面灰黑色无毛绒或有白色块状锡层未与合金粘结	钢壳清洗不干净，镀锡温度过高，夹具预热不够，钢壳镀锡后未立即浇注合金，合金温度太低，合金浇注凝固后冷却速度过快，合金间产生较大的收缩热应力	检查钢壳清洗和镀锡工艺，钢壳预热温度提高到 400℃左右，夹具预热温度达到 200℃以上，钢壳镀锡后立即浇注合金，检查合金的浇注温度，凝固后立即将轴瓦装入炉温为 120 ~ 160℃保温炉内随炉冷却至常温
晶粒粗大	显微组织中弥散相尺寸粗大	浇注温度太高，冷却速度太慢	调整合金浇注温度，加快冷却速度
成分偏析	合金层的内外层成分和组织不一致，显微组织中硬相化合物聚集在合金层外层	离心机转速太快，冷却速度太慢，合金液浇注温度过高	降低离心机转速，浇注前应将合金液搅拌均匀，合金液浇注温度不应太高，一般在 470℃以下，浇注后加快冷却速度
裂纹	轴瓦合金层表面或合金与钢壳交界处沿侧面的圆周方向有裂纹	锡基合金的钢壳镀锡时误用了焊锡，冷却不均匀并过快，离心机夹具松动、两端不同心，转动中有振动	锡基合金的钢壳镀锡时需用纯锡，调整冷却速度，检查冷却方式是否均匀合理，检修离心机和夹具
缩孔	合金层表面沿圆周方向有细小的孔洞或隐藏在表面皮下层	冷却速度太慢，而浇注速度太快，合金层太薄，不能形成从外向内的顺序凝固	提高离心机转速，加快合金冷却速度，凝固后期浇注速度减慢，适当增加合金层厚度
气孔	合金表面或表面层有不规则分布的孔洞	熔炼温度过高，合金液过热，浇注温度过高或过低，冷却速度过快，夹具预热温度不够，预热不均匀	合金浇注温度要适当，不能过高或过低，调整冷却速度，夹具预热温度达 200℃以上，浇注工艺要正确，防止浇注时卷入气体，熔炼时要防止合金液过热
夹渣	合金层表面或内部有非金属夹杂物	合金浇注温度过低，合金液内渣子未除净，钢壳加热温度过高，加热时间过长，熔剂表面生成熔渣浮于表面	调整浇注温度和钢壳预热温度，合金液表面熔渣应扒净或用氯化铵进行精炼处理

7. 不合格品铸造高温合金件的常见缺陷分析与质量改进

在铸造高温合金件生产中，由于高温合金成分中活性元素较多，对杂质要求严格，因此比其他金属铸件更容易产生各种冶金缺陷，常见的有疏松（显微疏松）、缩松、夹渣、氧化夹杂、化学粘砂、氧化物斑疤、气孔、热裂等。通常，产生这些缺陷的原因不单是熔铸工艺问题，有时还有熔模精密铸造工艺、合金热处理工艺等问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产铸造高温合金件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-29。

表 7-29　不合格品铸造高温合金件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	产生原因分析	改进方法
疏松 （显微疏松）	1）合金液含气量大，凝固时析出气体，妨碍补缩 2）铸件过冷过慢，枝晶粗大，妨碍补缩 3）铸件冷却过快，来不及补缩	1）加强脱气和除气，炉子真空度要足够 2）严格控制浇注温度 3）适当提高壳型温度
缩松	1）合金本身结晶温度范围较宽，倾向于糊状凝固方式 2）浇注系统和铸件结构不利于定向凝固 3）浇注温度不当 4）壳型材料导热性差，铸件冷却缓慢	1）适当调整合金成分，缩小结晶温度范围 2）改善铸件结构和浇注系统以利定向凝固 3）严格控制浇注温度 4）改善浇注方法，提高铸件冷却速度
夹渣	1）造渣不良，除渣不干净 2）炉料太脏 3）炉子真空度低	1）铸锭表面要清理干净，最好“扒皮”后使用 2）采用陶瓷过滤器挡渣
氧化夹杂	1）炉料不干净，熔炼浇注操作不当，金属液氧化物多 2）合金液与坩埚壁或壳型材料发生反应	1）选用干净炉料，最好经喷砂或滚筒清理后使用 2）仔细清理坩埚 3）选用化学稳定性好的坩埚材料和壳型材料
化学粘砂	1）合金液中氧化物较多 2）合金液与壳型材料发生严重反应 3）壳型材料选用不当或涂料配比不合适 4）浇注温度过高	1）严格执行熔铸工艺，减少氧化物 2）选用合适的壳型材料，杂质含量要低 3）适当降低浇注温度和型壳预热温度
氧化物斑疤	真空炉重熔前，母合金锭未经打磨或清理	母合金使用前要经“扒皮”处理，去掉表面氧化层
气孔	1）炉料不干净 2）熔炼工艺不合适、脱氧、除气不够充分 3）浇注温度过高	1）炉料要经过清理，表面要干净 2）控制合金液的过热温度和时间，充分脱氧和除气 3）严格控制浇注温度
热裂	1）合金的凝固区间大或合金液中夹杂多 2）铸件壁厚差大，浇注系统不合理 3）壳型或型芯的退让性差 4）铸型温度低，而浇注温度高	1）合理选用合金，炉料要干净，熔炼工艺要合适 2）改进铸件设计，采用合理的浇注系统，减少铸件收缩阻力 3）选用合适的壳型材料或加入适量添加剂，提高其退让性 4）掌握合适的浇注工艺

7.2.4　不合格品特种铸造件的常见缺陷分析与质量改进

1. 不合格品熔模铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在熔模铸造件生产中，常见的铸件缺陷有浇不到（欠铸）、冷隔、夹皮、凹陷、蛤蟆皮、鼓包、铁刺、麻点、铁珠、嵌豆、缩松、集中气孔、多孔性气孔和针孔、脱皮夹砂（冲砂）、夹渣、粘砂、热裂、冷裂、跑火、拉长、变形、表面粗糙等。通常，产生这些缺陷的原因不单是制壳工艺问题，有时还有工艺设计、压型设计与制造、易熔模制造、熔炼浇注、落砂清理等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产熔模铸造件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-30。

表 7-30　不合格品熔模铸造件的常见表面缺陷、内部缺陷及尺寸和表面粗糙的原因分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改 进 方 法
浇不到（欠铸）	液体金属未充满型腔造成铸件缺肉	1）浇注温度和型壳温度低，金属液流动性差 2）金属液含气量大，氧化严重以致流动性下降 3）铸件壁太薄 4）浇注系统大小和设置位置不合理，直浇道高度不够 5）型壳焙烧不充分或型壳透气性差，在铸型中形成气袋 6）浇注速度过慢或浇注时金属液断流 7）浇注量不足	1）适当提高浇注温度和型壳温度 2）采用正确的熔炼工艺，减少金属液的气含量和非金属夹杂 3）对于薄壁件应注意浇注系统设计，减少流动阻力和流程，增加直浇道高度 4）焙烧要充分，提高型壳透气性 5）适当提高浇注速度，并避免浇注过程断流 6）保证必需的浇注量
冷隔	铸件上有未完全融合的缝隙，其交接边缘圆滑		
结疤（夹砂）	铸件表面上有大小不等、形状不规则的疤片状突起物	由于型壳内层局部分层剥离，浇注时金属液充填已剥离的型壳部位，致使铸件表面局部突起 1）撒砂时浮砂太多或砂粒中粉尘、细砂多，在砂粒之间产生分层 2）涂料粘度大，局部堆积，硬化不透，在涂料之间产生分层 3）气温高或涂料与撒砂间隔时间长，撒砂时涂料表面已结成硬皮，涂料与砂粒之间产生分层 4）第二层或加固层涂料粘度大、流动性差，涂料不能很好渗入前层细砂间隙，在后层涂料与前层砂粒之间产生分层 5）型壳前层残留硬化剂过多，后层涂料不能很好渗入前层砂粒间隙，在后层涂料和前层砂粒之间产生分层 6）硬化温度大大高出工作室温度，硬化后骤冷收缩造成型壳局部开裂剥离 7）易熔模与面层涂料的润湿性差，在型壳层和易熔模之间形成空隙 8）型壳焙烧、浇注时膨胀收缩变化大造成内层开裂剥离 9）涂料粘度大，料层过薄或撒砂不足，造成型壳硬化过度，开裂剥离 10）面层和加固层耐火材料差异太大，膨胀收缩不一致，使面层分层剥离	1）撒砂砂粒不可过细且要尽量均匀，粉尘要多，湿度不宜过高，撒砂时要抖去浮砂 2）严格控制涂料粘度，涂料要涂均匀，力求减少局部堆积，并应合理选择硬化工艺参数 3）缩短涂料与撒砂的间隔时间 4）适当减小第二层或加固层涂料的粘度，采用低粘度的过渡层涂料 5）干燥时间要控制适当。在加固层涂料中适当加入少量表面活性剂。必要时可在干燥后用水淋洗外表面，洗去残留硬化剂 6）选择合适的硬化温度和工作室温度 7）易熔模表面进行脱脂处理，面层涂料中加入表面活性剂，改善易熔模与面层涂料的润湿性 8）选择线能量变化小的耐火材料，避免焙烧后型壳降温太多 9）控制涂料粘度，撒砂时应尽量使涂料层上均匀撒附上砂粒 10）尽量避免面层与加固层采用膨胀收缩系数相差大的耐火材料

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改 进 方 法
夹皮	铸件表面局部出现翘状疤块，疤块与铸件间夹有片状壳层	产生原因与结疤相同，只是型壳内层局部分层开裂但未剥离，浇注时金属液通过裂纹钻入型壳夹层形成夹皮。其中因涂料局部堆积、硬化不透，在熔失易熔模时型壳内层开裂、内陷而产生更是常见	改进方法也与结疤的相同，其中特别要严格控制涂料粘度，涂料时要防止涂料堆积及硬化不透
凹陷	铸件表面出现不规则的凹陷和条纹状沟痕	产生原因与夹皮相同，产生原因的轻度表面，由于尚未产生裂纹或裂纹较细、浅，因此浇注时金属液未钻入裂纹或钻入裂纹较浅（此时凹陷中间可见与裂纹部位一致的尾翅）	
蛤蟆皮	铸件表面局部呈现严重的凹凸不平	1）水玻璃型壳热水脱蜡时脱蜡液碱性偏大，模料皂化，造成型壳内层局部酥软“煮烂” 2）面层涂料粘度过大，局部堆积，硬化不透，热水脱蜡时局部面层涂料层不规则散落 3）模料熔失不充分，焙烧不彻底，使皂化物和其他有害杂质沉积在型壳内表面某个部位 4）水玻璃型壳的水玻璃模数高、密度大、硬化不充分，造成型壳局部钠盐集聚	1）及时补充 HN_4Cl，脱蜡液应维持一定酸性 2）面层涂料及第二层涂料应涂挂均匀，避免涂料局部堆积和硬化不透 3）脱蜡后的型壳用热水冲洗，并保证充分焙烧 4）采用低密度、高粉液化的水玻璃涂料，尽量减少水玻璃型壳表面的自由 Na_2O 含量
鼓包	铸件表面局部鼓胀，鼓胀表面光洁	1）铸件结构不合理，平面较大 2）同结疤（夹砂）中 1）～5）的原因，型壳外层产生分层但未剥离，导致型壳局部强度降低 3）涂料配比及硬化、风干参数与焙烧工艺不匹配，导致型壳“发酥”，强度降低 4）涂料粘度小，型壳层薄，型壳整体强度较低 5）型壳高温强度低，浇注时承受不了金属液压力	1）改进结构，增设工艺肋及工艺孔等 2）采取同结疤（夹砂）中 1）～5）的措施，避免型壳分层，提高强度 3）进行工艺试验，改进操作工艺 4）适当提高涂料粘度或适当增加层数，保证必需的型壳厚度 5）改进涂料配方，适当增加型壳层数，必要时可采用一些局部强化措施
铁刺	铸件表面上出现许多分散或密集的微小突刺	1）面层涂料中粉料量少，粘度低 2）面层涂料相对易熔模的涂挂性差 3）面层涂料配制时搅拌时间不充分，涂挂时面层涂料中的粉料趋向撒砂砂粒分布 4）表面层撒砂砂粒较大	1）适当增加面层涂料中粉料加入量，提高面层涂料粘度。对于水玻璃型壳的面层，其水玻璃密度应稀释至 1.26～1.29g/cm^3 2）改善面层涂料对易熔模的涂挂性 3）保证面层涂料充分搅拌 4）采用较细小、均匀的面层砂
麻点	铸件表面上有密集、圆点状凹坑	型壳中残留钠盐多，浇注时钠盐受钢液热作用而挥发，产生的气体存在于型壳和钢液表面之间，或与金属表面发生氧化反应而形成密集的麻点	1）采用合理的制壳工艺，保证充分硬化，充分风干 2）保持一定的脱蜡液温度和足够的脱蜡时间，脱蜡后用热水冲洗型壳 3）选择合理的焙烧工艺，保证焙烧充分和适当降低金属液的浇注温度
铁珠	铸件的凹槽或拐角处，有多余的光滑金属颗粒	1）涂挂面层涂料时操作不当，气泡憋在易熔模的拐角及凹槽处 2）面层涂料气含量高 3）涂料对易熔模的涂挂性差	1）涂挂面层涂料时模组缓慢进入料浆，并用软毛刷涂刷，以消除拐角部位气泡 2）涂料配制后给予足够的镇静时间，也可加消泡剂 3）易熔模充分脱脂，适当降低涂料粘度，便于涂挂

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改进方法
嵌豆	嵌在铸件内且和铸件不完全融合的金属颗粒	因浇注系统设置不当或浇注操作不当，引起金属液飞溅，飞溅出的金属液滴凝固、氧化后粘附在型腔内壁上，且未能与铸件完全熔合而形成嵌豆	1）改进浇注系统的设置，使金属液平稳地充满型腔 2）浇注操作要平稳，避免金属液飞溅
缩松	铸件内部形成不规则的表面粗糙的孔洞，其中微小密集的孔洞称为缩松	1）铸件结构不合理，平面较大 2）同结疤（夹砂）中1）~5）的原因，型壳外层产生分层但未剥离，导致型壳局部强度降低 3）涂料配比及硬化、风干参数与焙烧工艺不匹配，导致型壳“发酥”，强度降低 4）涂料粘度小，型壳层薄，型壳整体强度较低 5）型壳高温强度低，浇注时承受不了金属液压力	1）改进结构，增设工艺肋及工艺孔等 2）采取同结疤（夹砂）中1）~5）的措施，避免型壳分层，提高强度 3）进行工艺试验，改进操作工艺 4）适当提高涂料粘度或适当增加层数，保证必须的型壳厚度 5）改进涂料配方，适当增加型壳层数，必要时可采用一些局部强化措施
集中气孔	铸件上有明的或暗的光滑孔洞	1）型壳透气性差，浇注时型腔内气体来不及排出 2）型壳焙烧不充分，未充分排除模料残留物以及制壳材料中的发气性物质 3）冷型壳浇注，型壳受潮 4）钢液气含量过高，脱氧不良 5）浇注系统设计不合理，浇注时卷入气体	1）改善型壳透气性，必要时可在型壳上设置排气孔 2）充分焙烧型壳 3）热型壳浇注，型壳不得受潮 4）改进脱氧方法 5）改进浇注系统结构
多孔性气孔和针孔	铸件上的细小、分散或密集的孔洞	1）炉料不干净，有锈蚀和油垢 2）钢液脱氧不良，镇静时间不够，气含量高 3）铝合金液精炼除气不充分 4）型壳焙烧不充分或焙烧后型壳吸潮 5）浇包烘烤不充分 6）金属液中含有易与型壳面层发生化学反应的组元	1）炉料要清理干净 2）改进脱氧方法，浇注前有适当的镇静时间，并控制钢液温度防止过热吸气 3）改进铝合金液的精炼除气方法 4）充分焙烧型壳且应防止型壳吸潮 5）浇包应烘烤充分 6）选择合适的面层耐火材料
脱皮夹砂（冲砂）	铸件表面或内部有被制壳耐火材料或型壳等充填的孔洞	1）由于结疤（夹砂）的原因型壳局部开裂剥离落入型腔中 2）模组组装质量不高，焊接处形成隙缝，致使面层涂料渗入接缝，形成涂料飞翘，浇注时涂料飞翘被金属液冲入型腔 3）热水熔失易熔模时浇口杯未清理干净或熔失时热水翻滚 4）模料脏，未经过滤 5）在型壳运输、焙烧过程中落入造型材料 6）浇注时浇口杯面层或炉子、浇包的炉衬材料掉入	1）防止措施同结疤（夹砂） 2）模组焊接处应呈圆角，无接缝、凹坑和孔洞 3）热水熔失易熔模前浇口杯上的浮砂、料皮应清理干净。经常清除热水熔失装置内砂粒。熔失时避免热水翻滚 4）严格模料回收工艺 5）型壳运输、焙烧过程中应小心，避免掉入造型材料，浇注前要摇砂、倒砂、吸砂 6）浇注时小心操作，力求避免掉入耐火材料
夹渣	铸件表面或内部有被熔渣充填的孔洞	1）金属熔炼时浮渣不良，扒渣不干净 2）没有去掉浇包中的残渣 3）浇注时未很好挡渣 4）浇注系统设置不合理，挡渣作用不良	1）金属液应有足够的出炉温度，并进行适当镇静以利于熔渣上浮 2）浇包使用前要清理干净 3）必要时采用茶壶式或底注式浇包 4）合理设计浇注系统

（续）

缺陷名称		特征	产生原因分析	改 进 方 法
粘砂	机械粘砂	铸件表面上金属与型壳材料牢固粘合，分为机械粘砂和化学粘砂两种	1）面层涂料粘度低，撒砂粒度过粗 2）面层涂料对易熔模的涂挂性差，涂挂不匀，加固层涂料和撒砂直接与金属液接触 3）浇注温度过高，浇注压头过大 4）金属液对撒砂砂粒有良好的润湿性和渗透力	1）适当提高面层涂料粘度，采用较细的撒砂砂粒 2）易熔模进行脱脂处理，改善涂料对易熔模的涂挂性 3）适当降低浇注温度和浇注压头 4）合理选用耐火材料
	化学粘砂		1）面层耐火材料纯度低，耐火度不高 2）面层耐火材料选择不当，易与金属液发生化学反应 3）金属熔炼质量不高，含有较多的氧化物夹杂 4）浇注温度过高 5）铸件结构不合理和浇注系统设计不合理，造成型壳局部过热	1）提高型壳面层材料纯度 2）面层耐火材料应与铸件材料相匹配 3）改进熔炼工艺，减少氧化物夹杂 4）适当降低浇注温度 5）改进浇注系统设计，改善型壳散热条件，防止局部过热
热裂纹		铸件表面或内部产生不规则的晶间裂纹，裂纹表面呈氧化色	1）铸件结构不合理，壁厚相差大，转角处圆角半径太小 2）浇注系统设计不合理，增大了铸件厚薄处的温差或使铸件收缩受阻 3）型壳高温强度过高，退让性差 4）金属的凝固区间大，有害杂质含量高，热裂倾向大 5）浇注时型壳温度偏低、浇注温度过高 6）型壳局部散热条件差	1）改进铸件结构，如减小壁厚差、增大圆角半径、设置工艺肋等 2）合理设计浇注系统 3）适当降低型壳的高温强度 4）改进熔炼工艺，降低有害杂质含量和氧化物夹杂 5）适当提高型壳温度，降低浇注温度 6）改善铸件易裂部位的冷却条件
冷裂纹		铸件上有连续贯穿性裂纹，裂纹断口光亮或有轻度氧化	1）铸件结构和浇注系统设计不合理，在铸件冷却过程中收缩受阻，产生的热应力和相变应力超过在弹性状态的铸件材料的强度而断裂 2）在落砂清理、切割浇冒口或校正铸件过程中，在残余应力的铸件受到外力作用而断裂 3）金属质量不高，杂质含量多	1）改进铸件结构，减小壁厚差，增设加强肋等。合理设计浇注系统，提高型壳的退让性，避免或减小收缩受阻，减少铸造应力 2）铸件生产过程中应避免受剧烈撞击 3）改进熔炼工艺，提高金属液质量，减少杂质含量
跑火		金属穿透型壳，在铸件上形成不规则的多余金属突起	1）型壳整体强度低，承受不了热应力和金属液的压力 2）铸件深孔、凹槽窄细，制壳操作措施不得力，使涂挂不完全，壳层变薄 3）型壳受机械损伤 4）浇注温度过高，浇注速度过快	1）提高型壳的整体强度，特别是高温强度 2）适当降低涂料粘度，采用较细的砂，细心操作以改善深孔、凹槽处的涂挂质量 3）型壳在运输过程中应注意避免碰撞和掉件 4）适当降低浇注温度和浇注速度
拉长		铸件的几何尺寸超出图样规定范围	1）压型设计不合理，考虑各种收缩因素不够 2）压型长期使用后磨损 3）由于模料收缩大且有波动或未保持规定的制模条件，致使易熔模尺寸不精确 4）型壳强度不高 5）制壳原材料及焙烧、浇注温度有较大的波动 6）机械加工铸件时改变了工艺基准	1）认真考虑各种收缩因素后正确设计压型 2）修整或更换压型 3）改进模料并保证规定的制模条件 4）严格制壳工艺，避免型壳分层，提高型壳强度 5）严格原材料管理，控制焙烧及浇注温度 6）协商确定合理的加工工艺基准

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析	改 进 方 法
变形	铸件的平面度、平行度、同轴度以及各单元的相对位置超出图样规定范围	1）铸件结构不合理或浇注系统设计不合理，引起易熔模和铸件在不同工艺阶段变形 2）模料的热稳定性差或制模工作室温度过高 3）压型结构不合理，压型装配不正确，活动部位未固紧 4）压型温度过高，保压时间不足 5）取模方式不当或取模过早 6）易熔模存放不合理或存放时间过长 7）制壳工艺不合理，造成型壳分层变形 8）耐火材料耐火度不够或型壳高温强度低 9）型壳焙烧温度过高 10）浇注温度过高或金属压力过大 11）铸件出箱、脱壳过早 12）铸件清整方式不当 13）铸件热处理工艺不合理	1）改进铸件结构和改进浇注系统设计 2）改进模料或适当降低制模工作室温度 3）改进压型设计，检查压型并仔细装配压型 4）适当降低压型温度，增加保压时间 5）改进取模方法或适当延长取模时间 6）改善存放条件，缩短存放时间 7）严格制壳工艺，防止型壳分层变形 8）采用耐火度较高的耐火材料，设法提高型壳高温强度 9）严格控制焙烧温度 10）严格控制浇注温度，采用合适的金属压力 11）确定合理的出箱、脱壳时间 12）改进铸件清整方式 13）改进热处理工艺
表面粗糙	铸件表面粗糙度值超出图样规定范围	1）由于以下原因造成易熔模粗糙 ①压型型腔表面粗糙，压型清理不干净 ②模料配制不均匀，旧模料使用过多，处理时过滤不充分 ③分型剂过多或不均匀 ④压型温度低，模料注入温度低、注入压力小 ⑤模料皂化 2）面层涂料与易熔模的润湿性差 3）铸件表面出现铁刺、麻点 4）面层涂料粉液比低、粘度小，撒砂粒度粗 5）模料含灰分高，易熔模熔失不充分 6）型壳焙烧不充分 7）型壳存放时间过长，型壳内表面析出茸毛 8）铸件表面粘砂 9）铸件的清整工艺不合理（如喷砂砂粒过粗、喷砂压力过大等）	1）采取以下相应措施降低易熔模表面粗糙度值： ①压型型腔应有合适的表面粗糙度，清洁压型 ②配制模料要搅拌均匀，控制使用旧模料并充分过滤 ③分型剂使用要均匀稀薄 ④适当提高压型温度及模料注入温度、注入压力 ⑤对模料进行回收处理 2）保证易熔模表面脱脂处理质量，确定合理的面层涂料配方，改善面层涂料与易熔模之间的润湿性 3）采取措施防止铁刺和麻点出现 4）提高面层涂料粉液比和粘度，采用较细的面层撒砂 5）改进模料质量，充分熔失易熔模 6）充分焙烧型壳 7）型壳存放时间不宜过长 8）采取措施粘砂 9）选用合理的清整方法和清整工艺

2. 不合格品陶瓷型铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在陶瓷型铸造件生产中，常见的铸件缺陷有毛刺、铁豆、尺寸超差、表面粗糙等。通常，产生这些缺陷的原因不单是制造陶瓷型工艺问题，有时还有浆料配制、起模不合适、浇注打箱不合理等许多方面问题，因此必须具体分析，以便采取合理措施加以解决。

生产陶瓷型铸造件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-31。

表 7-31　不合格品陶瓷型铸造件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	产生原因分析	改 进 方 法
毛刺	1）陶瓷型强度低或浆料“脱液收缩”过大造成陶瓷层型开裂，具体原因如下 ①硅酸乙酯水解液配方不正确 ②水解液存放时间太短或过长 ③浆料配比不正确，耐火材料细粉部分过细、过多或硅酸乙酯水解液用量过多 2）起模不合适造成陶瓷层开裂，具体原因如下 ①起模时间不当，起模过早或过迟 ②起模前振动不适当 3）喷烧工序不当造成陶瓷层开裂，具体原因如下 ①脱模后未及时喷烧 ②喷烧时燃烧不均匀，致使陶瓷型内应力过大 4）浆料层厚薄不均匀或底套耐火材料尺寸稳定性差引起陶瓷层开裂	1）提高陶瓷型强度，防止浆料“脱液收缩”过大，防止陶瓷型开裂。具体措施如下 ①严格控制水解配方及水解工艺 ②正确选择浆料原材料及配方 2）起模时间要适当，起模前切忌不适当振动 3）脱模后立即喷烧并注意燃烧的均匀性 4）陶瓷层厚薄应均匀，所选用的底套耐火材料其尺寸稳定性要好
铁豆	陶瓷浆料中含气，灌浆时气体没逸出。具体原因如下 1）硅酸乙酯水解液粘度过大 2）浆料配方不当，耐火粉料过多、过细 3）催化剂与水解液反应生成气体 4）浆料加料次序不正确，结胶时间过短 5）灌浆时砂底套未开设出气孔	减少陶瓷浆料中气含量，灌浆时尽量让气体逸出，具体措施如下 1）严格控制水解液的粘度 2）选择合理的浆料配方和耐火材料粒度 3）合理选择催化剂，防止与水解液反应 4）采用正确的加料次序混制浆料 5）灌浆时或前对浆料进行抽真空或微振，以去除气体 6）砂底套要开设出气孔
尺寸超差	1）母模尺寸精度达不到要求或铸造收缩率选择不当 2）陶瓷型有裂纹和变形，其尺寸不准确，具体原因如下 ①水解液质量不好 ②浆料质量不好 ③起模时间不合适，起模操作不当 ④起模后没有立即喷烧 ⑤底套耐火材料尺寸稳定性差 ⑥陶瓷浆料层各处不均匀 3）浇注和打箱工艺不够合理影响陶瓷尺寸	1）正确选择母模材质、母模尺寸精度和铸造收缩率 2）防止陶瓷型裂纹和变形，保证陶瓷型尺寸精度，具体措施如下 ①严格控制水解液成分、水解工艺和停放时间 ②严格控制浆料中各种原材料质量配方和混制 ③起模时间合理，起模前切忌振动 ④起模后立即喷烧 ⑤底套用耐火材料尺寸稳定性要好 ⑥陶瓷层各处应尽量均匀 3）浇注和打箱工艺应合理，具体措施如下 ①做精度要求高的钢件要在氮气保护下浇注或采取其他措施 ②对导热性较差的合金钢铸件打箱应晚些，以防止开箱太早使铸件变形
铸件表面粗糙	1）母模表面粗糙 2）分型剂选择不当 3）陶瓷型表面粗糙，可能原因如下 ①水解液质量不佳，粘度过大 ②浆料质量不好，流动性差 ③起模不当造成陶瓷型表面质量不佳 ④起模后未即时喷烧 4）浇注工艺不合理	1）保证母模表面质量 2）正确选择分型剂 3）保证陶瓷型表面质量，具体措施如下 ①严格控制水解配方、工艺操作及停放时间，防止水解液粘度过大 ②严格控制浆料用原材料质量、配方及混制工艺 ③正确选择灌浆时间 ④正确掌握起模时间 ⑤起模前切忌振动 ⑥起模后要立即喷烧 4）浇注时陶瓷型温度、金属液浇注温度和压头应稳定、合理。一些合金应在保护气氛下浇注

3. 不合格品金属型铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在金属型铸造件生产中，常见的铸件缺陷有气孔（气泡）、呛孔和气窝、缩孔及缩松、渣孔（熔剂夹渣或氧化夹渣）、针孔、裂纹（热裂纹、冷裂纹）、冷隔、白口等。通常，产生这些缺陷的原因不单是金属型本身的问题，有时还有金属型铸件工艺设计、金属型铸造机选用、金属型铸造工艺操作、合金熔炼与浇注、造型材料、落砂清理等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产金属型铸造件时，常见的缺陷中除与砂型铸造有共同的缺陷外，由于金属型因素所产生的缺陷分析与质量改进方法见表 7-32。

表 7-32　不合格品金属型铸造件由金属型因素所产生的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	常发生的合金	改进方法
气孔（气泡）呛孔和气窝	气孔是存在于铸件表面或内部的孔洞，呈圆形、椭圆形或不规则形，有时多个气孔组成一气孔团。皮下气孔一般呈梨形。呛孔形状不规则，且表面粗糙。气窝是表面凹进一块，表面较平滑 明孔外观检查就能发现。皮下气孔经机械加工后才能发现。轻合金铸件较浅的皮下气孔相应铸件表面经吹砂后呈暗灰色，有时梨形气孔尖端露出铸件表面，外观检查可见。重要铸件用 X 射线检查气孔，气孔在 X 射线底片上呈黑色。断口、低倍检查也能发现气孔 由于合金和形成气孔的气体作用，气孔表面具有不同的颜色	1）金属型预热温度太低，液体金属经过浇注系统时冷却太快 2）金属型排气设计不良，气体不能通畅排出 3）涂料不好，涂料本身排气性不良，甚至本身分解出气体 4）金属型、外冷铁等表面有缩孔、凹坑，液体金属注入后，缩孔、凹坑处气体迅速膨胀压入合金液形成气孔或呛孔 5）金属型表面锈蚀，且未清理干净	各种合金都常见。有色金属合金铸件（特别像锡青铜等）应特别注意	1）金属型和金属芯喷涂料和补涂料后应彻底烘烤；不能用太细的涂料；涂料后绝对不能抹光；涂料脱落后应立即补喷；涂料面上产生呛孔时，将该处涂料刮掉后重喷 2）采用倾斜浇注
缩孔及缩松	缩孔是铸件中表面粗糙的明孔或暗孔。缩孔轻微时是许多分散的小缩孔，即缩松。缩孔或缩松处晶粒粗大，热处理后断口表面呈不同的颜色 轻合金铸件缩松在 X 射线底片上呈云雾状、严重的呈丝状，表面疏松在荧光内呈密集的小点状。缩孔、疏松常发生在铸件内浇道附近、冒口根部、厚大部位、壁的厚薄转接处及具有大平面的薄壁处	1）金属型工作温度不符合顺序凝固的要求 2）涂料选用不好，涂料层厚度控制不好 3）铸件在金属型中的位置设计不当	各种合金都能发生缩松缺陷。铸钢的缩松倾向大于铸铁；铸铁中，可锻铸铁和球墨铸铁缩松倾向大于普通灰铸铁。铸造有色金属合金缩松倾向大于钢铁，而镁合金的缩松倾向更大于铝合金，锡青铜、黄铜等易产生缩孔	1）提高金属型工作温度 2）调整涂料厚度；喷涂料要均匀；涂料掉落而补涂时，不应形成局部堆积现象 3）对金属型进行局部加热，或石棉保温 4）热节区镶铜块加速冷却 5）金属型上设散热片等加快局部冷却速度，或在型外喷水、喷雾 6）用可卸激冷块，轮换安装在金属型内 7）金属型冒口上设置压缩空气加压装置

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	常发生的合金	改进方法
渣孔（熔剂夹渣或氧化夹渣）	渣孔是铸件上的明孔或暗孔，孔中全部或局部被熔渣所填塞，外形不规则。小点状熔剂夹渣不易发现。内部熔剂夹渣在 X 射线底片上一般呈白色的圆形或雪花片状，或小点状；在断口上呈暗灰色。将夹渣去除后，呈现光滑的孔。一般分布在浇注位置下部、内浇道附近或铸件死角处。氧化夹渣多以网状分布在内浇道附近铸件表面，有时呈薄片，带有皱纹的不规则云状；或在铸型中形成片状夹层；或以团絮状存于铸件内部。打断口时，往往从夹层处断裂，氧化皮夹在其中，是裂纹的根源之一。断口具有不同的颜色。在 X 射线底片上氧化夹渣呈黑色块状或不规则团絮状	渣孔主要是由于冶金、操作及浇注系统等问题引起的，对金属型来说，它不会引起渣孔，而且采用金属型是避免形成渣孔的有效办法	各种合金铸件都可能出现渣孔。但是铸造有色金属合金更多，一般铝合金不易出现熔剂夹渣，而氧化夹渣倾向较大。铝青铜、锰黄铜等都易产生氧化夹渣	1）浇注系统中设置滤网 2）采用倾斜浇注
针孔	针孔是小于或等于 1mm 的小孔，不规则地分布于铸件各部分，特别是铸件厚大截面和冷却速度较缓慢的部位 针孔在低倍试片上呈互不连接的小孔，在 X 射线底片上呈小黑点，在断口上多呈互不连续的乳白色的小凹点	氢气在铝合金中的溶解度随温度的升高而增加，随温度的降低而减少。铸件冷却过程中，若析出的氢气未能排出，则在铸件内形成针孔	铝合金所特有	金属型铸造是有效防止铝合金针孔缺陷的办法，在此基础上还可采取如下措施 1）运用铜质激冷块 2）将砂芯改为金属芯 3）减少加工余量
裂纹（热裂纹，冷裂纹）	裂纹的外观是直线或不规则的曲线。热裂纹断面被强烈氧化呈暗灰色或黑色，无金属光泽；冷裂纹断面金属表面洁净，有金属光泽 一般外裂直接可以看见，而内裂则需经 X 射线检查 裂纹常与缩松、夹渣等有联系，多发生在铸件尖角处内侧、厚薄断面交接处、浇冒口与铸件连接的热节区等	金属型铸造容易产生裂纹缺陷。因为金属型本身没有退让性，冷却速度快，容易在铸件内形成内应力；开型过早或过晚；铸造斜度过小或有反斜度；涂料过薄等都易造成铸件裂纹。金属型本身有裂纹或其他缺陷也容易导致铸件裂纹	各种合金都易产生这种缺陷。但铸造铜合金一般是不易产生裂纹的（除锡青铜）	1）应注意铸件结构工艺性，使壁厚不均匀的部位均匀过渡，注意合适的圆弧尺寸 2）调整涂料厚度，尽可能使铸件各部分达到所要求的冷却速度，避免形成太大的内应力 3）控制金属型的工作温度，增加金属芯的铸造斜度，尽早抽芯开型，取出铸件缓冷
冷隔	冷隔是一种透缝或有圆边缘的表面夹缝，中间被氧化皮隔开，不完全融为一体。冷隔严重时就成了“欠铸”。冷隔常出现在铸件顶部壁上、薄的水平面或垂直面、厚薄转接处或在薄的肋片上	1）金属型排气设计不好 2）工作温度太低 3）涂料不好	各种合金	1）正确设计排气系统 2）大面积薄壁铸件，金属型涂料不要太薄。适当加厚涂料层有利于成型 3）适当提高金属型工作温度 4）运用倾斜浇注 5）采用机械振动金属型进行浇注

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	常发生的合金	改进方法
白口	铸件断面发亮，硬而不易机械加工。断口可以看出白口层	1）金属型预热温度太低 2）未使用涂料，开型时间太晚 3）金属型壁厚太大等	灰铸铁件	1）正确地选择铸铁的化学成分；主要是控制碳和硅的含量，一般 $w(C+Si)\leqslant 6\%$ 2）金属型表面喷刷涂料 3）运用较高的金属型预热温度 4）铸件壁厚与金属型壁厚之比小于 1∶2 5）铁液进行孕育处理（此项可根据需要） 6）尽量提早开型，铸件脱型后送缓冷坑使之自行退火，但此时应注意防止铸件变形

4. 不合格品压力铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在压力铸造件生产中，往往由于对影响压铸生产各种因素的变化规律掌握不够，而使铸件产生缺陷，常见的有流痕及花纹、网状花纹、冷隔、缩陷（凹陷）、印痕、斑点（墨点）、机械拉伤、粘模拉伤、粘附物痕迹、分层（夹皮及剥落）、气孔（集中气孔和分散气孔）、缩孔、夹渣（渣孔）、氧化物夹杂、裂纹、欠铸及轮廓不清晰、变形、化学成分不符合要求、力学性能不符合要求、脆性、渗漏等。通常，产生这些缺陷的原因不单是压铸型本身的问题，有时还有压铸件的设计、压铸机的选用、压铸工艺参数的选用、压铸合金的选用等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产压力铸造件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-33。

表 7-33　不合格品压力铸造件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改 进 方 法
流痕及花纹	外观检查：铸件表面上有与金属液流动方向一致的条纹，有明显可见的与基体颜色不一样无方向性的纹路，无发展趋势	1）首先进入型腔的金属液形成一个极薄而不完全的金属层，被后来的金属所弥补后而留下的痕迹 2）模具温度低，如锌合金模温低于 150℃；铝合金模温低于 180℃，都会产生这类缺陷 3）充填速度高 4）涂料用量过多 5）型腔内反压大	1）调整内浇道截面积或位置 2）适当调整充填速度以改变金属充填型腔的流速 3）提高模具温度 4）适当的选用涂料和使用涂料
网状花纹	外观检查：铸件表面上有网状发丝一样凸起或凹陷的痕迹，随生产的继续不断延伸和扩大	1）压铸模腔表面龟裂而造成的痕迹 2）模具材料不当或热处理工艺不正确 3）模具冷热温差变化大 4）浇注温度过高 5）模具预热不够 6）模具型腔表面过于粗糙 7）模具壁薄或有尖角	1）正确选用模具材料及合理的热处理工艺 2）浇注合金，特别是高熔点合金不允许过热太高 3）模具在压铸前必须预热，工作温度要在要求范围内 4）使模具温度均匀 5）压铜合金时，要经常打磨成型部分表面，定期退火消除应力

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改 进 方 法
冷隔	外观检查：在铸件表面有不规则的明显下陷线形纹路（有穿透和不穿透两种），形状细小而狭长，在外力作用下有发展趋势 产生于各种零件的某些部位上	1）两股金属流互相对接，但未完全熔合而又无夹杂存在其间，两层金属结合力极弱 2）浇注温度低或模具温度低 3）合金成分不正确，流动性差 4）浇注系统不正确，流路太长 5）充填速度低 6）比压低	1）适当提高浇注温度和模具温度 2）提高比压 3）在增加压射速度的同时适当加大内浇道厚度 4）改善排气条件 5）正确配制合金成分，提高流动性 6）避免过热
缩陷（凹陷）	外观检查：在铸件厚大平面的表面上有平滑的凹瘪（状如盘碟）	1）合金收缩大时，由于内部产生缩孔而引起表面缩陷。严重时，在铸件侧转角附近或截面转变处，都可能产生缩陷 2）铸件上相邻截面厚薄相差较大 3）内浇道截面积过小，比压低 4）模具温度高	1）选择收缩性小的合金 2）改善铸件结构，使厚薄相差较大的相邻截面过度缓和 3）正确设置浇注系统 4）降低浇注温度 5）适当调整模具热平衡，如在缺陷处适当加些涂料或加水冷装置等 6）降低模具温度
印痕	外观检查：铸件表面与压铸模零件接触所留下的凸起或凹下的痕迹	1）顶杆端部被磨损 2）顶杆调整不齐 3）模具型腔拼接部分和其他活动部分配合不好 4）模具型腔镶拼不合理	1）工作前要检查，修好模具 2）顶杆长短要调到适当位置 3）紧固镶块或其他活动部分，消除不应有的凸凹 4）设计时消除尖角
斑点（墨点）	外观检查：铸件表面上有墨点	1）涂料不纯或用量过多 2）涂料中含石墨过多	1）减少涂料用量，刷涂料后要用压缩空气吹均匀 2）减少涂料中石墨的含量
机械拉伤	外观检查：铸件表面顺着出模方向留有擦伤的痕迹	1）模具设计和制造不正确，如型芯或成型部分无斜度或有负斜度等 2）型芯或型壁有压痕 3）铸件顶出有偏斜	1）在固定部位拉伤时要检修模具，修正斜度，打光压痕 2）拉伤无一定部位时，在拉伤部位相应的模具上增加涂料 3）检查合金成分，如铝合金中 $w(\mathrm{Fe})\geqslant 0.6\%$ 4）调整推杆，使顶出受力平衡
粘模拉伤	外观检查：压铸合金与型壁粘连而产生拉伤痕迹，在严重的部位会被撕破	1）合金浇注温度高 2）模具温度太高 3）涂料使用不足或不正确 4）模具某些部位表面粗糙 5）浇注系统不正确，使合金正面冲击型壁或型芯 6）模具材料使用不当或热处理工艺不正确，硬度不足 7）铝合金 Fe 含量太低［$w(\mathrm{Fe})<0.6\%$］，ZHPb59-1 含锌低或有偏析 8）充填速度太高	1）降低浇注温度 2）模具温度控制在工艺范围内 3）消除型腔表面的粗糙 4）检查涂料品种或用量是否适当 5）调整内浇道，防止金属液正面冲击 6）校核合金成分，使铝合金含 Fe 量在要求的范围内，消除偏析 7）检查模具材料及热处理工艺和硬度是否合理 8）适当降低充填速度
粘附物痕迹	外观检查：小片状的金属或非金属物与金属的基体部分熔接，在外力的作用下剥落，小片状物剥落后的铸件表面有的发亮，有的成为暗灰色	1）在压铸模腔表面上有金属或非金属残留物 2）浇注时先带进的杂质附在型腔表面上	1）在压铸前对型腔压室及浇注系统要清理干净，去除金属或非金属粘附物 2）对浇注的合金也要清理干净

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改 进 方 法
分层（夹皮及剥落）	外观检查或破坏检查：在铸件局部有金属的明显层次	1）模具刚性不够，在金属液充填过程中，模板产生抖动 2）压射冲头与压室配合不好，在压射中前进速度不平稳 3）浇注系统设计不当	1）加强模具刚度，紧固模具部件，使之稳定 2）调整压射冲头与压室，使之配合好 3）合理设计内浇道
气孔（集中气孔和分散气孔）	解剖后外观检查或无损检测：气孔具有光滑的表面，形状规则成圆形或椭圆形 有些气孔在表面或接近表面，成为气泡	1）合金液导入方向不合理或金属液流动速度太大，产生喷射；过早堵住排气道或正面冲击型壁而形成旋涡包住空气，这种气孔多产生于排气不良或深腔处 2）由于炉料不干净或熔炼温度过高，使金属液中较多的气体没除净，在凝固时析出 3）涂料发气量大或使用过多，在浇注前未烧净，使气体渗入铸件表面层，这种气孔多呈暗灰色表面	1）使用干燥而干净的炉料 2）不使合金过热，并很好地除气 3）改善金属导入方向 4）降低压射速度 5）在保证充填良好的情况下，尽可能增大内浇道截面积 6）排气槽部位要设置合理并有足够大的排气量
缩孔	解剖外观检查或无损检测：缩孔表面呈暗色并不光滑，形状不规则；小而集中的缩孔便是缩松，它是气体和金属的混合物	缩孔是压铸件在冷凝过程中内部补偿不足而造成的孔穴，具体原因如下 1）浇注温度过高 2）比压低 3）铸件在结构上有金属积聚的部位或截面变化剧烈 4）内浇道较小	1）改变铸件结构，消除金属积聚及截面变化大处 2）在可能条件下降低浇注温度 3）提高比压 4）适当改善浇注系统，使压力更好地传递
夹渣（渣孔）	外观检查、无损检测及金相检查：铸件上有不规则的明或暗孔，孔内常被熔渣充塞 在金相检查时，在低倍显微镜下呈暗黑色，在高倍下亮而无色	金属中有夹渣或型腔中有非金属残留物，在压射前未被清除而产生 1）混入熔渣，具体原因如下 ①金属液表面上的熔渣未清除 ②将熔渣及金属同时浇注到压室 2）石墨混入物，具体原因如下 ①用石墨坩埚时边缘有脱落 ②涂料中石墨太多	1）避免混入熔渣，措施如下 ①仔细去除金属表面熔渣 ②遵守金属舀取工艺 2）避免混入物，措施如下 ①在石墨坩埚边缘装上铁环 ②使用涂料要均匀，用量适当
氧化物夹渣	机械加工过程中或加工后外观检查或金相检查：铸件上有硬度高于金属基体的细小质点或块状物，使刀具磨损严重，加工后常常显示出不同亮度	合金中混入或析出比基体金属硬的金属或非金属物质（如 Al_2O_3 及游离硅） 1）氧化铝（Al_2O_3），具体原因如下 ①铝合金精炼不够 ②浇注时混入了氧化物 2）由铝、铁、锰、硅组成的复杂化合物主要是由 $MnAl_3$ 在熔池较冷处形成，然后以 $MnAl_3$ 为核心使 Fe 析出，又有硅等参加反映形成化合物 3）游离硅混入物，具体原因如下 ①铝硅合金硅含量高 ②铝硅合金在半液态浇注，硅游离存在 ③硅铝明的 w（Si）高于 11.6%，且铜、铁含量亦高	1）避免氧化铝夹渣，具体措施如下 ①熔炼时要减少不必要的搅动和过热 ②保持合金液清洁 ③铝合金长期保留在保温炉时，要周期性去气 2）避免复杂化合物夹渣，具体措施如下 ①在铝合金中含有 Ti、Mn、Fe 等组元时，不应偏析，并保持清洁 ②用干燥的去气剂除气，但铝合金含镁时，要注意补偿 3）避免游离硅混入物，具体措施如下 ①铝合金铜、铁含量多时，应使 w（Si）降低到 10.5% 以下 ②适当的提高浇注温度以免使硅析出

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改 进 方 法
裂纹	外观检查：将铸件放在碱性熔液中，裂纹处呈暗灰色 金属基体的破坏与裂开呈直线或波浪线形，纹路狭小而长，在外力作用下有发展趋向 裂纹有穿透裂纹和不穿透裂纹两种	在铸件上由于应力或外力而产生裂纹 1）锌合金铸件的裂纹，具体原因如下 ①锌合金中有害杂质铅、锡、铁和镉的含量超过了规定范围 ②铸件过早的从模具中取出 ③型芯的抽出或推出受力不均 ④铸件壁的厚薄相接处转变剧烈 ⑤熔炼温度过高 2）铝合金铸件的裂纹，具体原因如下 ①合金中铁含量过高或硅含量过低 ②合金中有害杂质的含量过高，降低了合金的可塑性 ③铝硅合金：铝硅铜合金含锌或铜含量过高；铝镁合金中镁含量过多 ④模具，特别是型芯温度太低 ⑤铸件壁厚有剧烈转变之处 ⑥开模时间太短 ⑦受力不均 3）镁合金铸件的裂纹，具体原因如下 ①合金中铝、硅含量高 ②模具温度低 ③铸件壁厚薄变化剧烈 ④取出、抽芯受力不均匀 4）铜合金铸件的裂纹，具体原因如下 ①黄铜中锌的含量过高（冷裂）或过低（热裂） ②硅黄铜中硅的含量高，使合金塑性下降 ③开模时间晚，特别是型芯较多的铸件	1）避免锌合金铸件产生裂纹的措施如下 ①合金材料的配比要注意杂质含量不要过高 ②延长开模时间 ③调整好型芯和推杆，使受力均衡 ④改变壁厚薄不均截面 2）避免铝合金铸件产生裂纹的措施如下 ①正确控制合金成分，在某些情况下可在合金中加铝锭以降低合金中镁含量，或在合金中加铝硅中间合金以提高硅含量 ②提高模具温度 ③改进铸件结构，消除厚薄变化特大的截面 ④调整抽芯机构或推杆，使受力均匀 3）避免镁合金铸件产生裂纹的措施如下 ①合金中加纯镁以降低铝硅含量 ②模具温度要控制在要求的范围内 ③改进铸件结构，消除壁厚薄变化较大的截面 ④调整好型芯和顶杆，使之受力均衡 4）避免铜合金铸件产生裂纹的措施如下 ①保证合金的化学成分：合金元素取其下限；硅黄铜在配制时，硅和锌的含量不能同时取上限 ②提高模具温度 ③适当控制调整开模时间
欠铸及轮廓不清楚	外观检查：金属液未充满型腔，铸件表面有不规则的孔洞、凹陷或棱角不齐，表面形状成自然液流或与液面相似	1）内浇道宽度不够或压铸型排气不良 2）合金流动性差 3）浇注温度低或模具温度低、压射速度低 4）比压不够或压射速度低 5）模具型腔边角尺寸不合理，不易充填	1）改进内浇道，改善排气条件 2）适当提高模具温度和浇注温度 3）提高比压和压射速度 4）模具制造尺寸要正确
变形	外观检查或测量和画线：铸件歪（弯）曲，超出图样要求	1）铸件结构不合理，各部收缩不均匀 2）开模时间太短 3）顶出过程铸件偏斜，受力不均 4）铸件刚性不够 5）堆放不合理或去除浇注系统不当	1）改进铸件结构使壁厚均匀 2）不要堆叠存放，特别是大而薄的铸件 3）时效或退火时，不要堆叠入炉 4）加强刚性 5）必要时可以进行整形

（续）

缺陷名称	特征及发现方法	产生原因分析	改 进 方 法
化学成分不符合要求	化学分析：铸件合金元素不符要求或杂质过多	1）配料不准确 2）原材料及回炉料未加分析即投入使用	1）炉料要经化学分析后才能配用 2）炉料要严格管理，新旧料要有一定比例配用 3）严格遵守熔炼工艺 4）熔炼工具应刷涂料
力学性能不符合要求	进行专门机械试验检查：铸件合金的强度、伸长率低于要求标准	1）化学成分有错误 2）铸件内部有气孔、缩孔、夹渣等 3）对试样处理方法不对（如切取、制备等） 4）零件结构不合理，限制了铸件达到标准	1）配料、熔化要严格控制化学成分及控制杂质含量 2）严格遵守熔炼工艺，按要求制备试样 3）在生产中要定期对铸件进行工艺性试验 4）严格控制合金温度在需要的范围内 5）尽量消除合金形成氧化物的各种因素
脆性	外观检查或金相检查：合金晶粒粗大或极小，使铸件易断裂或碰碎	1）合金过热太大或保温时间过长 2）激烈过冷，结晶过细 3）铝合金中含有锌、铁等杂质太多 4）铝合金中含铜超出规定范围	1）合金不宜过热 2）提高模具温度，降低浇注温度 3）严格控制合金成分在允许的范围内
渗漏	打压（气密性）试验：漏水或渗水	1）压力不足 2）浇注系统设计不合理或铸件结构不合理 3）合金选择不当 4）排气不良	1）提高比压 2）尽量避免加工 3）改进浇注系统和排气系统 4）选用良好合金

5. 不合格品低压铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在低压铸造件生产中，常见的铸件缺陷有气孔、缩孔与缩松、渣孔、裂纹、粘砂、冷隔、结疤、麻点、毛刺、轮廓不清、错箱、变形、尺寸和质量不符合要求、力学性能不合格等。通常，产生这些缺陷的原因不单是浇注工艺问题，而是错综复杂的，多方面的。一种缺陷可能有几种产生原因，某一种原因又可能产生不同的缺陷，且缺陷产生的原因因素是相互联系而又不断变化的，因此必需根据当时的条件具体地分析，以便采取相应的措施，防止缺陷的产生。

生产低压铸造件时常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-34。

6. 不合格品离心铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在离心铸造件生产中，常见的铸件缺陷有淋落、坍流、喇叭口、冷隔、重皮、对火、夹杂、裂纹、气孔、穿透性喇叭孔、偏析、缩孔、白口、渗漏等。通常，产生这些缺陷的原因不单是离心浇注工艺问题（如浇注系统、浇注定量、浇注温度等），有时还有铸型结构与材料、铸型转速、金属型涂料工艺、离心铸造机及其操作等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产离心铸造件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-35 和表 7-36。

表 7-34　不合格品低压铸造件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　征	产生原因分析																									改进方法
		熔炼质量			铸型操作							铸件工艺					浇注工艺							其他			
		合金成分	熔炼温度	精炼质量	造型质量	涂料脱落	下芯质量	合型质量	涂料厚度	冷铁处理量	型芯烘干程度	顺序凝固条件	排气系统	铸件结构	浇道形状位置不妥	顶杆位置不妥	模具温度	浇注温度	充型速度	保压压力	保压时间	冷却速度	脱模时间与温度	升液管涂料脱落	升液管漏气	升液管出口形状	
气孔	铸件上部的皮下气孔										○		⊕						⊕								1）合理控制充型速度，使金属液平稳充型 2）改善铸型、型芯排气条件，铸型、型芯要烘干 3）冷铁表面要平整清洁 4）保证合金液的精炼质量，避免合金液吸气 5）升液管使用前要试压，不得漏气
	铸件上部的内气孔						○			○	○		⊕						⊕								
	鱼泡状气孔																								⊕		
	铸件局部气穴					⊕				⊕	⊕		○						○								
	针孔		○	⊕						⊕	⊕											○					
缩孔与缩松	内缩孔	○										⊕		○			⊕	⊕		○	○	○					1）合理设计铸造工艺，建立顺序凝固条件 2）铸件厚大部位采取强制冷却（如风冷、水冷）措施或加大保压压力 3）对于壁厚悬殊过大的铸件，可以设置冒口或冒口加压措施，以利铸件补缩 4）正确设计内浇道或加大内浇道 5）适当降低浇注温度和浇注速度
	外缩孔	○							○			⊕		○			○	○				○					
	浇道前缩孔											⊕			⊕			○				○					
	缩陷																○	○			⊕	○					
	厚截面缩松											⊕		○			○	○				○					
	厚度不均匀过渡处缩松											⊕		⊕			○	○		○		○					
	浇道与铸件接触处缩松											⊕			⊕		○				○	○					

（续）

缺陷名称	特征	产生原因分析																										改进方法
		熔炼质量			铸型操作							铸件工艺					浇注工艺							其他				
		合金成分	熔炼温度	精炼质量	造型质量	涂料脱落	下芯质量	合型质量	涂料厚度	冷铁处理量	型芯烘干程度	顺序凝固条件	排气系统	铸件结构	浇道形状位置不妥	顶杆位置不妥	模具温度	浇注温度	充型速度	保压压力	保压时间	冷却速度	脱模时间与温度	升液管涂料脱落	升液管漏气	升液管出口形状		
夹渣	大平面灰渣				⊕	⊕	⊕												○					⊕				1）严格控制充型速度 2）清除升液管中合金液的氧化皮 3）防止涂料脱落，下芯后吹净浮砂 4）采用过滤网
	氧化灰渣												⊕		○				⊕								⊕	
裂纹	热裂纹	⊕										○		⊕								○	○					1）选择合理铸件结构 2）控制铸型的冷却速度，缓慢冷却 3）在易产生裂纹处开设冷却加强肋
	冷裂纹	⊕										○		⊕								○	○					
	缩裂纹	○												⊕			○					○	○					
表面缺陷	铸件胀砂				⊕															⊕								1）提高砂型、型芯的强度 2）采用防粘砂涂料 3）控制充型速度、充型压力和保压压力 4）适当提高铸型温度和铸型排气能力
	粘砂				⊕													○	⊕	⊕								
	冷隔												⊕				⊕	⊕	⊕									
	表面结疤				⊕	⊕													○									
	表面麻点					⊕	⊕			⊕							⊕											
精度与性能	错型				⊕			⊕																				1）认真合型操作，防止错型 2）掌握开型、取件时间 3）严格合金熔炼操作规程，控制好冶金质量
	变形、歪曲													⊕		⊕							⊕					
	力学性能不合格	⊕	⊕	⊕													○	○				○						

注：表中⊕表示产生缺陷的主要原因，○表示产生缺陷的次要原因。

表 7-35　不合格品离心铸造件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改 进 方 法
淋落	在浇注时发现型内合金如雨落下，最后形成尺寸不符、表面不光，引起强烈氧化，没有达到离心的目的	转速低	提高铸型转速
坍流	发现铸件内表面有合金坍下，造成局部凹下或凸起，或内表面有小金属瘤长出，而加工后发现缩松	主要原因是停车过早，转速较低。在砂型离心铸造中还可能有浇注温度高、砂型局部过热或透气性差等	不要停车过早。离心机停电转速下降后，观察铸件内表面，如果发现局部发亮，应立即开车，严格掌握停车时间
喇叭口	一端壁渐薄呈喇叭口形	可能是离心机滚轮不同心，使铸型旋转摆动而致；也可能是铸件较长，浇注系统不当，致使合金液流动不好，距浇注系统较远一端合金不能充分满足	1）检修机器调整模具 2）改进浇注系统，提高浇注速度 3）提高铁液温度
冷隔（重皮、对火）	铸件外层合金之间结合不好，表面有没熔好的冷纹现象	常发生于 ZQAl9-4 及黄铜中 铸模或合金温度低，浇注速度低，使合金凝固太快而致	可根据具体情况，提高模温或浇温、浇速等。如发生于较长铸件，则需考虑浇注系统是否不当。开始浇注应迅速布满，而后稍缓
夹杂	在铸件的表面或中间有非金属夹杂物存在。铝青铜和铝合金等易产生	1）铸型内残存涂料没除净 2）浇注时涂料不牢被冲起 3）合金内杂质未除净 4）合金浇注温度低 5）铸型转速低 6）铝合金的氧化物的密度比纯铝大，在离心浇注时其氧化物杂质不能浮到内表面上去，易存在其中	1）铸型内应清理干净 2）易产生夹杂的合金，浇注温度和铸型温度应适当高些，转速应适当高些 3）铝青铜易产生氧化杂质，浇温应适当提高，浇注时铸型温度应高于 120℃。浇注速度应先快而后慢些，由于两端存渣较多，应加大加工余量 4）铝合金应尽量避免氧化。熔化最好用电炉；合金过热温度在 60℃ 以下即可；浇注时液流避免过高，合金液在型内避免喷溅。凡金属氧化物比金属重的均应注意以上问题
裂纹	在铸件外表面有纵裂纹或横裂纹。纯铜、ZQAl9-4 等易出现	1）铸型温度不均匀 2）涂料厚度不均匀，表面不光滑（特别是铸铁、铸钢所用的厚涂料） 3）浇注系统位置不当产生局部热节 4）铸型的端盖装配不严，产生飞边 5）离心机结构不好，转动中有跳动、突然变速等 6）转速过高 7）模具太薄 合金浇注后造成温度不一致，收缩不均则可能形成裂纹，多为纵裂纹，也有横裂纹。在端盖处产生飞边易造成横裂 有的合金浇入铸型后迅速结晶成薄壳，如果模具很薄，由于温度迅速提高而膨胀，则合金结晶薄壳与模具内表面形成间隙，在较大离心力作用下易形成纵裂纹（纯铜最易出现）	1）模具预热应力求均匀 2）涂料要均匀，喷涂时应特别注意，厚涂料使铸型转动挂涂较好 3）浇注系统位置适当，落水点不能过分集中 4）铸型端盖要封严 5）模具中心与托轮的轴要平行 6）应注意模具壁厚，易裂合金应取上限，纯铜件的 $\delta_{模}/\delta_{件}>4$ 为好 7）浇温不应过高，转速不应过高 8）带法兰的件，法兰根部应作成圆角。铸件较长而壁厚又不一致的，模具内表面应制成小阶梯形

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法
气孔	1）表面气孔：在铸件外表面大小不等，表面光亮，有的大如半个豆粒（俗称豆皮孔）一般加工余量稍大些可去掉 2）皮下气孔：铸件加工后外表面发现气孔，气孔内表面光滑，大小不等，有的小如针状（针孔）。有的能加工去除，有的不能去除	1）合金内存在气体 2）型内存在气体，具体原因如下 ①模具内表面有锈或有油遇到高温成气 ②模具涂料没干透 ③模具使用过久，内表面有小裂纹，致使窝气 3）模具预热温度不均匀 4）锡青铜模温过高，铸铁件模温过低 锡青铜由于结晶温度间隔较宽，合金浇注后立即形成枝晶骨架和微观液相区，致使气体很容易侵入而形成气孔。如果浇注温度很低，型内产生气体又多，则可能形成表面气孔。如果模温和浇注温度较高则可能形成皮下气孔	1）在合金熔炼工艺方面注意去气 2）铸型内表面一定要干净，去除油或锈 3）涂料要充分干燥，如上涂料后模温较低，涂料未干透，则应再加热使其干透。干涂料应脱水焙烧 4）模具在使用前应进行高温（200～300℃）脱水去气处理 5）锡青铜浇注时模温不应过高（40～90℃），而且要均匀 6）锡青铜模具可设小孔，而后用耐火材料或石棉绳填塞 7）浇注要正确，防止气体卷入 8）合金浇注温度要适当，不得过高或过低 9）如铸件内部气孔较多，可适当提高铸型转速
穿透性喇叭孔	主要发生于锡青铜铸件，其孔形状为从外表面向内逐渐扩大，如喇叭状	铸型内存在气体。在铸型和模具之间局部存在压力较大的气体，使其合金表面被挤开，而形成裂纹，气体钻入内部，继而有较多气体由此穿过，合金沿气体表面凝固，而在穿透气孔表面被收缩成喇叭孔	参看气孔部分，应注意以下事项： 1）模具要很好预热，浇注时模具温度不得过高，而且要均匀 2）模具的涂料一定要干燥 3）最好不用有小裂纹的模具，因裂纹内窝气，浇注加热后气体膨胀而侵入合金中
偏析	铅青铜容易产生偏析（密度偏析），主要是铸件内外层成分不一致	铅和铜密度相差较大（Cu为8.9g/cm^3，Pb为11.3g/cm^3），铅在液态时不溶解，所以在离心铸造中含铅合金的偏析是影响质量的关键问题之一	生产中多采用快速凝固防止偏析。合金浇注温度不能太高，一般应在1060℃以下，浇注时铸型温度应在60℃以下。浇注后要强烈水冷使之迅速降至300℃以下。浇注转速应尽量低 还可在浇注前往合金中加硫黄粉（质量分数为0.05%以下），起搅拌和结晶骨架作用，防止偏析
缩孔	在铸件内表面，或隐藏在皮下，主要产生于较厚铸件中	铸型冷却速度较慢而浇注速度较快，不能形成从外向内定向结晶	加速铸型冷却（水冷铸型较好）并使浇注后期速度减缓。结晶温度间隔宽的合金易产生晶间缩松，可适当加速铸型冷却和提高铸型转速 还可在合金浇完后继续浇些熔渣或加些草灰，使起到保温作用
白口	灰铸铁套类件在金属型离心铸造中容易局部产生白口	1）主要是涂料太薄，模温太低，浇注后合金被激冷所造成的 2）铁缸套有时发生白点（硬块）：存在于内表面，是一种反白口现象，是一些碳化物的集中。这些往往出现在最后凝固的部位，严重者加工后可用手模出。某厂研究表明，在厚涂料离心浇注壁厚小于30mm缸套时，其w(S)>0.09%，（炉前铁液硫含量要比缸套毛坯硫含量高些），而Mn/S值小于8～9时以及w(Si)<1.7%时，就有出现白点的危险	1）要注意模温不要太低，涂料要均匀，局部不得有漏涂，特别是端盖部分不要产生激冷。两端有时防白口而加长20mm 2）控制成分，使w(S)<0.1%，采取适当的Mn/S值和硅含量[w(Si)为3.0%～3.5%时]，白点（硬块）缺陷是可以避免的

表 7-36　不合格品离心铸造铸铁管的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　　征	产生原因分析	改 进 方 法
轴向壁厚不均	在铸管长度方向的纵向断面上壁厚不均匀，严重时成喇叭口状，或者承插口部位壁厚过厚或过薄，并产生浇不到、缺肉现象	1）扇形包向浇注槽中的浇注速度不均匀 2）浇注槽与管模之间的相对轴向移动速度与扇形包的翻转速度配合不当 3）设备的影响	1）扇形包修筑尺寸一定要规范。生产中要保持扇形包完好，对扇形包包壁上的挂渣、粘铁应及时清理，对粘附或侵蚀严重的扇形包及时更换，以保证等流量浇注 2）调整工艺参数，控制好离心机的浇注转速、浇注流槽与管模的相对移动速度、插口减速控制参数、始点及终浇点的位置和停留时间 3）增强设备的稳定性和可靠性，提高设备运行精度，避免出现走速不稳和翻包不稳现象；保证浇注流槽平整、光滑；防止管模和离心机振动 4）浇注温度要合适
径向壁厚不均	铸管径向断面的不同方向壁厚不一，一侧偏厚，一侧偏薄	管模安装调整不当、管模弯曲、壁厚不均匀，造成管模本身轴线与离心机的旋转轴线发生偏离	1）对要安装使用的管模，生产前要对其外表面从承口到插口取至少 6 个面（托压轮辊道处必测）测试径向圆跳动，要求每处的径向圆跳动均要小于 0.3mm，从而保证管模的平直度 2）保证管模壁厚均匀，要求管模壁厚差控制在 0 ~ 1.0mm 范围内，小管模取下限，大管模取上限 3）保证离心机机头本身和安装在其上用来固定管模的中心环的稳定和可靠，中心环径向圆跳动应小于 0.4mm 4）调整管模位置，通过调整托压轮先将管模插口端调整到机器中心位置。然后调整承口端的径向圆跳动，要求小于 0.4mm，使整个管模处于机器中心位置。避免因管模插口调整偏心或承口径向圆跳动过大而造成管模轴线与旋转轴线偏离现象 5）保证支撑管模旋转的托压轮的稳定和牢固，提高其表面精度。托轮表面径向圆跳动要小于 0.10mm，并且托压轮必须定期检查与更换，避免因托轮振动或托压轮表面与管模接触面粗糙面引起管模振动，从而造成管模轴线相对于旋转轴线偏离而引起壁厚不均
气孔和针孔	在铸管外表面有深度不大的槽状和下陷孔洞缺陷，它一般不会显著地降低铸铁管的强度和水密性，但影响铸管的外观质量；另一种是铸管外表面皮下一定深度（约 2 ~ 3mm）尺寸约 1 ~ 2mm 呈均匀或蜂窝状分布细而长的针状孔洞，严重时会使铸管产生渗漏	铁液在熔炼、处理和浇注过程中吸入大量气体，铁液降温时从铁液中析出，在离心过程中铁液的翻滚促使其上浮，并且管模内壁涂料中水分同时生成气泡。如果气体来不及析出，会使铸管中形成气孔 1）当铸铁凝固速度大于气泡上浮速度，正在凝固的铁液将阻碍气泡在径向增大，因此形成较浅的下陷孔洞和不深的孔槽，成为麻孔或凹坑 2）铸铁凝固速度等于气泡上浮速度，或者两者数值非常接近时，由于铸铁管在一定温度范围内，凝固前沿有液-固层，正在成长的气泡将液体从这个层中挤走。由于离心力的作用，气孔有向铸管内表面运动的趋势，而已经形成的柱状晶粒又会阻碍气孔在直径方向上增大，于是形成了孔径较小，但较深的针孔	1）注意管模内壁脱油脂和清理杂物，对龟纹严重的管模应及时进行修复 2）热模法需控制涂料中水分和膨润土加入量，减少其发气量 3）减少并控制铁液在熔化过程中氧化，减少铁液中溶入的气体 4）球化剂和孕育剂等应预热除潮，扇形包和落、流槽应充分烘烤、预热 5）采用合适的浇注温度 6）水冷金属型应保证一定的模粉量

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法
裂纹与断裂	在铸管的外表面产生圆周向裂纹或纵向裂纹。裂纹常见的形式有两种：管身的裂纹和承口的裂纹	1）机械阻碍。当在承口部位的铁液钻入砂芯与管模的间隙中形成飞边、毛刺或钻入管模龟裂纹时，铸管的收缩受到阻碍，产生圆周向裂纹，甚至断裂（俗称断头） 2）冷却速度不均匀。在水冷金属型小口径铸管的浇注过程中，因流槽振动溅出铁液，这少量的铁液在浇注前被离心旋转成环状。随后，当正常浇注的铁液覆盖其上时导致开裂 3）在铁液浇入管模后，铸管外表面迅速凝固结壳、收缩，而管模受热膨胀，造成铸管与管模间的间隙。凝固的薄壳在管模高速转动产生巨大的离心力作用下沿轴向产生裂纹。一般产生的是热裂，断口氧化严重 4）铸造组织不均匀。由于管模冷却条件不均匀或铁液中微观成分、浓度偏析造成局部组织中碳化物量或珠光体量与周围组织有较大的差异，导致冷却凝固过程中应力集中而出现裂纹和断裂	1）尽可能为铁液的凝固过程提供足够的形核核心，如减少铁液在高温的停留时间，加强孕育、特别是随流孕育，保证管模粉均匀和足量加入等 2）控制好工艺参数，调整离心机机头的冷却水布局。涂料厚度要均匀，使铸管的各个部位冷却均匀 3）水冷金属型要防止流槽振动造成铁液溅出现象 4）管模转速不宜过高，承口砂芯要安放合适，不要产生飞边或毛刺
冷隔型重皮	在水冷金属型离心铸管的外表面经常见到不连续的、近似螺旋线分布的冷隔型疤痕。疤痕又亮又细，严重时在向着插口方向出现分层现象。在衬覆膜树脂砂热模法离心球墨铸铁管的距插口0～500mm处也易产生这种冷隔型的重皮，严重时也产生分层现象	铁液浇入高速旋转的管模时，不仅产生径向圆周流动，同时也沿管模壁做轴向流动。此时流出浇注流槽的铁液大部分向承口方向流动，少部分向插口方向流动。所以在铁液流出流槽落点的插口方向出现一股“超前流”。这股“超前流”向插口方向移动的速度越大，流股的厚度越薄，当它一接触到管模时迅速凝固。当随后浇注的铁液掉落该已凝固的“超前流”内表面上，如未能与“超前流”金属熔合，则形成冷隔夹层	1）合理控制铁液浇注温度和管模温度。水冷金属型应控制好进出口水温度和冷却速度。衬树脂砂热模法生产中，两次浇注之间的间隔时间不能过长，以防插口处模温太低。对于铁液量相对较少、管径较小的铸管要适当地提高浇注温度 2）在水冷金属型离心铸造工艺中，应防止过高的浇注转速，调整适宜的翻包速度和主机行走速度。保证管模内壁打点的深度和密度，修复好流槽弯头，调整好流槽在管模中的位置 3）对衬树脂砂热模法应适当提高浇注流槽相对于管模的轴向移动速度。减少“超前流”铁液的流动距离和降温，以便于被后续铁液所重熔
多肉型重皮	在衬树脂砂热模法和涂料热模法离心铸管的外表面形成一片（条）金属突起层，面积大小不一，多肉状的外表重皮是衬树脂砂热模法工艺相当普遍存在的缺陷	1）覆砂温度过高（大于250℃），覆膜树脂砂固化后树脂产生焦化，丧失了强度，砂壳与管模脱离。浇入铁液时树脂砂壳破裂，铁液穿透树脂砂壳接触到管模内壁，形成面积较大的、外表光亮的重皮 2）覆膜树脂砂的高温强度低，铁液将覆膜砂内层冲刷掉一定厚度，形成较浅薄的有轻微粘砂的重皮 3）因浇注小车行走不稳，铁液落入落槽、流槽时产生严重飞溅 4）涂料层强度过低，浇注时被高温铁液冲蚀	1）覆砂温度不能太高，浇注铁液的时间不能过长，一般不应超过1h 2）随时或定期紧固多节管模的连接用螺栓，避免管模在转动时发生剧烈振动 3）提高覆膜树脂砂的高温固化强度 4）浇注小车行走要平稳，防止铁液飞溅 5）涂料热模法生产时，注意控制涂料工艺参数。严格控制喷嘴至管模的距离，控制喷涂时管模温度，保证涂层有足够的强度和储气能力

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法
渗漏	水压试验时发生细水柱喷出或局部渗漏水现象，气密试验时冒气泡	1）气孔引起。因涂料水分多，发气量大，管模表面吸附水和发气物质受热产生气体并使体积膨胀，气体压力增大，气体穿过铁液时正值铁液凝固，气体无法排出，生成细长的气孔，形成渗漏通道 2）夹渣、夹杂引起。当铁液中氧化物和硫化物较多，或铁液扒渣不净而夹带入较多夹杂物时，使铸管产生渣孔。夹渣有时裹在气体或缩孔、缩松中形成渗漏的通道。涂料法生产时因夹杂有涂料小团块而造成的夹渣孔洞渗漏 3）衬树脂砂热模法离心铸造，管模转速过低，易产生渗漏。可能与离心力不够、组织不致密有关	1）适当提高铁液温度，使气体易从铁液中排除。减少涂料和覆膜树脂砂的发气量，增加排气效果 2）尽量降低原铁液中硫含量 3）注意对铁液的扒渣，减少渣气孔形成的渗漏通道 4）采用合适的管模转速，重力系数不能过小 5）控制好喷涂雾化效果，防止管模温度过低和涂料干不透
凹陷	铸管从管模中拔出时，在铸管壁上可以看到若干个局部区域向内的凹陷。凹陷呈圆形或椭圆形，直径为 ϕ5 ~ ϕ30mm 不等。凹陷是涂料热模法离心球墨铸铁管较常见的缺陷	高温铁液浇入管模后迅速加热涂料，超过350℃时涂料中的膨润土释放出结晶水，受热膨胀产生很大压力。此时，铁液刚凝固成一层很薄的外壳，强度很低，塑性很大，当气体压力超过金属此时的离心力及薄壁壳产生塑性变形所需应力时，就使处于塑性状态的局部管壁壳过早地脱离开管模壁，并向内推移 2 ~ 5mm，形成凹陷	1）控制涂料中膨润土的加入量。涂料必须烘干 2）喷敷在管模上的涂料层必须疏松，以利于气体的储存和流通 3）按工艺要求严格控制管模温度和涂层厚度
龟裂	在离心球墨铸铁管的内表面呈现出网络状纹片，严重时纹片翘曲起几毫米高。它是衬树脂砂和喷涂料热模法离心球墨铸铁管内表面常见的缺陷	热模法离心铸管的铁液凝固速度较慢。凝固初期，铸管表面缓慢地形成薄壳，而中心区域铁液仍处于液固相混合状态，由于铁液在凝固前期体积膨胀，产生的膨胀压力足以冲破内表面已形成的薄壳，在铸铁管内表面形成龟纹，并时有龟纹片翘起现象。龟纹的网络块大小和纹片翘起程度与铁液碳当量和管模的冷却速度有关	1）根据不同的离心铸造方法和管径大小采用合适的碳当量。避免因碳当量过高，从铁液中析出初生石墨球数量过高引起凝固前体积膨胀量过大 2）适当提高管模冷却速度和降低铁液浇注温度
夹渣	分布在离心铸管的内表面。宏观断口为暗黑色，没有光泽，呈条状或斑块状分布	1）球化处理时 Si、Mn、Mg、RE 等与铁液中 O、S 反应形成一次渣；稀土反应产物密度与铁液密度相近，难以从铁液中上浮 2）浇注时，铁液从扇形包、落槽、流槽流动过程中产生的二次渣	1）降低铁液中 S、O 含量，适当提高浇注温度 2）铁液中残留镁量不宜过高，以减少铁液表面氧化 3）球化剂中稀土含量不宜过高，按目前的铁液纯净度，以 w(RE) 为 1% ~2% 为宜 4）加强铁液的扒渣和挡渣效果
粘砂	在衬树脂砂热模法离心铸造中，铸管外表面产生一层较大面积的粘砂或麻点状铁刺，铸管承口内表面密封处粘砂	1）覆砂温度低（ < 160℃），或覆砂后到浇注铁液的时间间隔过短（ < 15min），覆膜树脂砂里层未完全固化，表面没有形成足够强度 2）覆砂时管模转速低。覆膜树脂砂的紧实度不够，它在“松散”状态下固化，易于铁液渗入 3）浇注温度过高，金属液表面的 FeO 与原砂中 SiO_2 反应生成低熔点硅酸盐，形成粘砂	1）覆砂温度不宜过低，而且要有一定的固化时间，保证固化后树脂砂壳有足够的强度 2）承口拐弯处覆砂时采取先低速覆砂，后提高速度使之紧实的方法 3）铁液浇注温度不宜过高，防止与树脂砂形成复合硅酸盐的化学粘砂 4）承口砂芯应选用防粘砂性能较好的涂料

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法
石墨漂浮	多发生在离心球墨铸管管壁断面的内侧。宏观断口呈连续分布、颜色均匀的暗黑色斑。金相组织检查时，可观察到此区域有大量的石墨球密集成串、连接或积聚，多呈开花状	根本的原因是碳当量过高，从铁液中析出的初生石墨球太多。管模冷却速度慢、铁液浇注温度过高、铁液在管模内保持液态的时间过长，均会增加石墨漂浮程度。所以冷却速度较慢的衬树脂砂热模法生产的离心球墨铸铁管，石墨漂浮问题更为严重	1）适当降低铁液的碳当量，热模法离心球墨铸铁管的碳当量应小于 4.3% 2）适当增加管模的冷却速度，减少铁液在液态保持的时间
球化不良和球化衰退	铸管银灰色断口上分布着芝麻大小的黑色斑点。如断口完全呈灰黑色粗晶粒，表明完全不球化。金相组织检查时，则多为变异的团块状、蠕虫状和厚片状石墨，严重时出现片状石墨	产生球化不良和球化衰退是铁液中残留的有效球化元素含量过低，以及铁液中硫、氧含量和反球化元素含量过高所致	1）尽量减少铁液中氧、硫和反球化元素的含量 2）加强扒渣和覆盖操作，防止“回硫”现象和铁液氧化 3）加快铁液的结晶凝固速度，球化处理后到凝固的时间应小于 15min
反白口	在离心球墨铸铁管的最后凝固部位，宏观断口出现白亮块，或在灰铸铁管的断口中心部位出现白口或麻口组织。金相组织观察为过冷密集的细针状渗碳体	由于铁液成分的微观不均匀性，使促进碳化物形成元素（如镁、铬、钒、碲等）由铁液的结晶前沿向铸管断口中心的最后凝固部位推移，浓度增加；石墨化元素硅因反偏析而贫乏，增大了残留铁液的过冷度；又由于凝固后期产生孕育衰退，不利于石墨形成，从而在该区域形成碳化物	1）应尽量减少铁液中杂质元素和碳化物稳定元素的含量 2）加强孕育处理

7. 不合格品消失模铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在消失模铸造件生产中，普通铸件常见的许多缺陷如错箱、偏芯、夹砂、冲砂和塌砂（除无粘结剂干砂外）等缺陷一般是不存在的。但是，由于金属液与聚苯乙烯泡沫塑料模的热分解产物的相互作用，往往会产生消失模铸造所特有的铸造缺陷，如铸钢件的表面渗碳、铸铁件的表面皱皮、碳薄膜、渣状气孔、粘砂、冷隔和夹渣、气孔、表面结皮、节瘤、结晶状网纹、铸件变形等。通常，产生这些缺陷的原因不单是聚苯乙烯泡沫塑料模问题，有时还有浇注系统和操作、型砂质量、铸型紧实状况、涂料质量和厚薄、合金成分等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产消失模铸造件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-37。

表 7-37　不合格品消失模铸造件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法	备　注
皱皮	有波纹状皱皮、夹渣状皱皮和冷隔状皱皮。通常位于铸铁件的上表面或上侧面	浇注时聚苯乙烯分解的产物与铁液的润湿性极差，因此在铸件表面形成碳沉积	1）采用低密度的热溶胶、EPS 等作模样材料 2）合理地设置浇注系统，提高浇注温度和浇注速度 3）改进铸件结构，提高涂层和铸型的透气性	铸铁件所特有

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法	备　注
碳薄膜	铸铁件上表面覆有薄的亮碳膜	1）铸型透气性差 2）泡沫塑料密度大	1）提高型砂透气性 2）减薄涂层厚度 3）选用密度小的模样材料 4）采取内外通气道的排气措施	铸铁件所特有
渣状气孔	深的封闭的或半封闭的，分布在铸件的上表面，很少出现在侧面 通常孔内或表面覆有亮碳薄膜	1）浇注速度太快 2）泡沫塑料密度太大 3）浇注系统分布不合理 4）铸型透气性差	1）控制适宜的浇注速度 2）采用低密度的泡沫塑料 3）浇注系统分布宜保证金属液流平稳 4）提高铸型的透气性 5）设置出气冒口、暗冒口或集渣包	此缺陷常出现在铸铁件和青铜铸件
粘砂	常出现在铸件的底部或下侧面，以及热节和铸型舂砂不紧实的部位	1）模样表面质量差 2）浇注温度过高 3）铸型未舂实或舂得不均匀 4）造型材料的粒度太粗 5）涂层刷得太薄，或涂料的组分不理想	1）改进切削刀具及加工方法 2）选择适宜的浇注温度 3）舂实铸型，使其保持足够均匀的紧实度 4）选用最佳的涂料配方，涂层应刷得均匀，厚度适宜 5）改用细颗粒的砂子，或调整粒度	—
冷隔和夹渣	冷隔处常覆有碳膜，或聚苯乙烯分解产物的残留物	1）浇注温度和速度偏低 2）浇注过程中有停顿现象 3）泡沫塑料模表面粗糙和有较深的小孔 4）泡沫塑料的密度太大 5）有涂料或散砂冲入铸型 6）浇注系统分布不合理	1）提高浇注温度和速度 2）不间断地进行浇注 3）降低模样的表面粗糙度 4）选用低密度的泡沫塑料 5）选用较好的涂料，并采用耐火砖材料的直浇道 6）合理地设置浇注系统，以保证金属液平稳、迅速充型	该缺陷是实型铸造的一种常见缺陷
气孔	较多地出现在铸钢件的上部、侧面，有时铝铸件也会出现这类缺陷	1）型砂透气性差 2）涂层太厚或透气性差 3）浇注温度太高 4）铸型或型砂的水含量太高，发气量大 5）石灰石砂较易产生气孔缺陷 6）泡沫塑料的密度太大	1）提高型砂的透气性 2）采用薄而强度好的涂料 3）选择最佳的浇注温度 4）控制或减少型砂中的水含量 5）改用适宜的型砂，或加强排气措施 6）选用低密度的泡沫塑料	—
表面结皮	结皮层下常有大气孔或黑色碳渣和碳膜	1）浇注时停顿，使先注入的冷铁液接触铸型壁，易在该处形成一层薄的金属结皮 2）浇注不慎使少量铁液先流入铸型，即在铸型壁处先冷却形成薄结皮	1）按浇注工艺谨慎操作，浇注时必须保证金属液流不间断 2）适当地提高金属液的浇注温度	缺陷常出现在大平面或表面积与体积之比较大的铸铁件平面部位

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改进方法	备　注
渗碳	仅出现在低碳或低碳合金钢铸件的表面层	1）合金中碳含量较低[w(C)<0.4%] 2）铸型的透气性差 3）浇注速度和方法不当 4）模样材料的密度大 5）模样的气化不完全	1）提高铸型的透气能力 2）浇注应平稳，以保持一定的δ间隙 3）采用低密度的模样材料 4）改善模样的气化条件，如采用空心结构的模样和内外通气道等措施	—
节瘤	铸件表面出现个别不规则的凸出部分	1）铸型紧实度低或不均匀 2）防粘砂涂料太薄 3）浇注操作不慎，或有部分铁液先流入铸型，而后滞留在铸件表面	1）铸型春均匀 2）增加涂层厚度，并涂刷均匀 3）严格按浇注原则和方法进行操作	缺陷较多地出现在铸铁件的表面，同时常伴随有冷隔和皱皮
结晶状网纹	泡沫塑料模颗粒连接处的凹缝复印在铸件表面	发泡成型模的泡沫聚苯乙烯颗粒粘结不良，使其泡沫晶格间有凹陷状缝隙，金属液在浇注冷却后将复印在铸件表面呈网状表面缺陷	1）改进成型发泡工艺，以提高模样的表面质量 2）在模样表面结合不良的凹缝处，涂上表面光洁涂料	是发泡成型模特有的表面缺陷；仅影响外观，不影响铸件的质量
塌砂	铸型上部的较大平面以及直浇道或铸型的局部受破坏而形成型壁的倒塌	1）铸型的强度和紧实度低，经受不住浇注速度高的金属液的冲刷 2）内浇道出现负压 3）浇注速度过慢（主要出现在无粘结剂干砂） 4）防粘砂涂料的强度不够	1）增加型砂中粘结剂（或硬化剂）的含量，春紧铸型 2）改进浇注系统的结构和分布 3）适当地提高金属液的浇注速度 4）提高涂料的厚度和强度 5）无粘结剂造型材料或强度较低的型砂，直浇道宜选用耐火砖或陶瓷管构成	较多地出现在无粘结剂的干砂铸型
铸件变形	铸件的几何形状受破坏	1）模型强度低或结构不合理，以致在造型过程中引起变形 2）造型操作不慎，或舂砂时用力过大 3）压铁重力不够，或铸型的紧实度低	1）采用强度适宜的泡沫塑料 2）采取增强模样强度和抗变形能力的措施，如加强肋等 3）造型要格外小心，或借助辅助工具（如垫衬板等）进行操作 4）铸型应充分紧实或增加压铁重量	压铁是对无粘结剂造型材料而言的
溶渣与烧结	造型材料与铸件熔结在一起，多出现在铸件的厚壁以及热节和底部	1）浇注温度太高 2）涂料的高温性能差，涂层太薄和强度不足 3）造型材料的颗粒太大 4）造型材料的耐高温性能差	1）降低浇注温度 2）选用好的涂料，增加涂层的强度和厚度 3）选用细颗粒的或粒度组成适宜的造型材料 4）选用高熔点的造型材料，如对铸钢件而言，可将硅砂改用锆砂等	缺陷是无粘结剂造型材料的常见缺陷

8. 不合格品石膏型铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在石膏型铸造铸件生产中，常见的铸件缺陷有尺寸精度不合格、表面粗糙、气孔、晶粒粗大、缩孔、缩角、毛刺、披缝、铸瘤等。通常，产生这些缺陷的原因不单是制造石膏型工艺问题，有时还有模具结构和加工精度、浇冒口设计、浇注工艺参数等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产石膏型铸造件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-38。

表 7-38　不合格品石膏型铸造件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	产生原因分析	改进方法
尺寸精度不合格	1）熔模尺寸精度不合格，具体原因如下 ①模具结构不合理或加工精度低，造成熔模尺寸精度不合格 ②熔模模料性能差，造成熔模尺寸精度不合格 ③熔模压制工艺参数不合理，造成熔模尺寸精度不合格 2）石膏型精度不合格，具体原因如下 ①石膏浆料组成不合理或变化，如石膏质量分数减少 2% 时，石膏芯的尺寸约减小 0.2% ②浆料成形工艺不合理，如搅拌不充分、烘干及焙烧过程因成分不均和变形等 ③石膏型干燥焙烧工艺不合理，出现变形	1）确保熔模尺寸精度合格，具体措施如下 ①模具结构合理，保证加工精度 ②选择性能优良的熔模模料 ③压制工艺参数（型温、模料温度、压力、保压时间）应合理 2）确保石膏型精度合格，具体措施如下 ①稳定石膏型（芯）尺寸精度，确保石膏型（芯）尺寸精度合格 ②石膏浆料组成合理、稳定 ③石膏型干燥焙烧工艺应合理
表面粗糙	1）压型和熔模表面质量不合格 2）石膏型（芯）表面质量不合格 3）浇注工艺参数不合理，如浇注温度或型温过高、金属压头过大等	1）确保压型和熔模表面质量 2）采用能富集在石膏型表面的添加剂，将表面孔隙填平。注意搅拌浆料时防止吸气、消除气泡 3）严格控制浇注工艺参数
气孔	1）石膏型（芯）透气性过低 2）浇注时石膏型（芯）发气	1）选择发气量小的石膏混合料 2）采用真空（负压）浇注
晶粒粗大	石膏型（芯）导热性差，又采用热型浇注	1）通过变质处理以细化铸件晶粒 2）采用锆砂、石墨等蓄热系数较大的填料来增加石膏型（芯）导热性
缩孔、缩陷	石膏型（芯）导热性差，又采用热型浇注使铸件冷却速度慢，在壁厚处易产生缩孔和缩陷	1）合理设计浇冒口系统 2）采用调压和差压铸造法，以加强金属液的补缩能力 3）合理使用冷铁
毛刺、披缝	铸型有裂纹，具体原因如下： 1）脱蜡时因蜡料膨胀使铸型开裂 2）铸型焙烧升温过快 3）铸型受强烈冲击 4）浇注时充型压力过大	1）选择膨胀小的模料，脱蜡工艺合理 2）焙烧工艺合理 3）提高石膏型强度，同时在铸造过程中防止铸型受冲击 4）控制浇注时的压力或真空度
铸瘤	铸件表面上有大小不等的球形铸瘤，其产生原因如下： 1）石膏浆料制备时未充分除气 2）灌浆时卷入的气泡未能排出	1）控制好浆料搅拌时的真空度和搅拌时间 2）适当增加消泡剂加入量 3）灌浆平稳，不卷气

9. 不合格品连续铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在连续铸造件生产中，常见的铸件缺陷有漏水、重皮、沟陷（主要是内沟）、白口、冷隔、弯曲、裂纹、鼓包、错位（承口淌流）等。通常，产生这些缺陷的原因不单是拉管操作问题，有时还有铁液成分和温度、结晶器的结构与安装、铸管机及其附属装置的选用等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产连续铸造件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-39 和表 7-40。

表 7-39　不合格品连续铸造铸铁管的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改 进 方 法
漏水	1）管子水压试验时管壁漏水或泗水 2）漏水多发生在承口部位及距承口 1m 以内的管壁上 3）漏水处管壁多有铁豆及开口的气孔或夹杂	1）转浇口安装不平和不正或个别浇孔扎得不正或过大，以致铁液淋在结晶器工作壁上形成淋片或凝成铁豆掉入结晶器内，贯穿或包在管壁中并在周围产生孔隙 2）铁液温度低，流动性差，开始浇注时铁液流过小或双拉调流不均，易产生冷铁或铁豆、气孔 3）铁液硅含量偏高（或碳当量过高），管壁铸铁组织疏松 4）芯子表面没有清理干净或砂芯强度低，烘得不干等而造成夹杂和气孔 5）结晶器承口部位刷油过多而造成冷隔 6）结晶器漏水产生气孔	1）转浇口安正、安平稳，孔扎正，大小适合 2）在浇注拉管过程中，尤其在管子开始脱模前不要用铁丝通透或少透浇口孔，以免将灰土、铁渣和冷铁带入结晶器内 3）在开始浇注铁液时，铁流大小应适当 4）严格掌握铁液成分和温度、提高流动性 5）芯子表面清理干净，干燥好，强度高 6）承口刷油要均匀适当 7）漏水结晶器要及时更换
重皮	在管壁内外表面上形成不熔接或熔接不好的块状或环状皮层，有的薄层在管体表面仅上部与管壁熔接，而下部未与管壁熔合	1）在拉管过程中掉入冷铁 2）铁液硅含量偏低或过高，流动性差 3）内外结晶器工作壁破裂或变形，在破裂或变形处粘附着冷铁，冷铁脱落 4）内外结晶器有气孔，在气孔处粘有冷铁，冷铁脱落	1）在拉管过程中内外结晶器上的冷铁不要掉入结晶器内 2）严格控制铁液化学成分，提高铁液流动性 3）内外结晶器工作壁破裂或变形处应修理或更换 4）结晶器上部发现裂纹（还可用）时，可将液面控制低些，拉速慢些
沟陷（主要是内沟）	在管壁内表面上形成连续的或者间断的纵向沟槽，沟槽内有时挂有铁片，沟槽截面呈角形或弧形	1）内结晶器的冷却强度比外结晶器差得多 2）拉管速度与铁液凝固速度不相适应，拉管速度偏高 3）内外结晶器不正，管壁厚薄不均 4）内结晶器的锥度大	1）改进内结晶器的结构、材质，提高冷却强度 2）按铁液凝固快慢调整拉管速度，拉管速度宜稍低些 3）内外结晶器找正，使管壁厚度均匀一致 4）改进内结晶器的锥度
白口	管壁表层铸铁呈白口组织	1）铁液碳硅含量低，拉管速度小，起模温度过低达不到自行退火要求 2）内外结晶器安装得不正，管壁厚度不均匀	1）调整铁液碳硅含量 2）按铁液成分和温度调整拉铸速度，提高脱模温度 3）起模不宜过晚 4）调整好结晶器间隙，使壁厚均匀一致

（续）

缺陷名称		特　征	产生原因分析	改 进 方 法
冷隔		管壁截面铸铁呈现不熔接（表面有的呈现细沟纹）	1）铁液温度低，流动性差，转浇口孔堵塞过多 2）转浇口转动失灵，不转 3）铁液浇注不稳定、断流及液面上下波动大 4）起模速度快而造成起模后液面过低	1）铁液温度偏低时透通转浇杯孔，快浇、快拉 2）及时检修转动装置 3）稳定铁液浇注流量和液面 4）起模时液面要保持稳定
弯曲		外观不直，特别是小管最易发生	1）结晶器与升降盘不同心，结晶器安装不垂直，管壁厚度不均匀 2）振动不平稳 3）放管时由于引管装置影响，倒管时吃力，放管时冲击力大	1）拉管机的组装必须严格检查，作到结晶器中心与升降盘同心，结晶器安装要垂直，振动要平稳 2）组装更换结晶器时要调整内外结晶器间隙，使之均匀一致 3）平稳放管，用倒管机放管为好，减少放倒时的冲击力 4）放管后遇弯管要矫直。一般可进行翻动矫直
裂纹	外裂	发生在管的外表面	1）划伤裂，铸管外表面被外器划伤，于划伤处出现裂纹 2）挤裂，外结晶器局部变形，拉管液面掌握不当，铸管外表层被铁液静压力挤裂，有些于裂纹处挤出铁液 3）缩裂，铸管内壁冷却较快，外表层收缩受到阻力而被拉裂 4）摔裂，一般发生在管子插口端，并裂透整个管子	1）注意检查结晶器器壁表面粗糙度和保持清洁 2）根据器壁变形情况控制适宜的液面和拉速 3）严格控制铁液化学成分 4）内外器冷却适当
	瘪裂	指发生在铸管外表面上的凹陷，轻微瘪仅使管子呈椭圆形，严重的陷入较深，瘪坑底上和内表面有裂纹，故称瘪裂 一般易发生于铸管固定方位	1）结晶器变形（鼓包）时，在对应变形位置处出现裂纹 2）拉管速度快，出管温度高 3）管壁厚不均匀时易出现 4）铁液成分含硅偏低	1）调整化学成分 2）合理使用结晶器 3）合理调整、控制适当的液面高度
	内平裂	发生在管子内表面的平面处。裂纹比较细小，主要是收缩受阻所致。一般发生在脱模处或管壁出现问题（壁厚不均等）与管壁出现有明显白口的内壁上，在此附近很少有铁珠挤出	1）由于铸管在结晶器停留时间过长（脱模时间长、拉管停歇时间长、拉速慢、内器变形等），表面层强力收缩，受内结晶器阻碍而产生应力，使之开裂 2）内器变形，中、尾部较大，将铸管内壁挤裂 3）铸液硅含量偏低	1）控制适当的化学成分 2）合理设计和使用结晶器 3）合理调整控制液面和拉管速度 4）防止沟陷的发生
	内沟裂	发生在沟陷处的裂纹，一般较窄而深，沟中无挤出铁片	1）在沟陷上边裂的是管壁脱离结晶器后被铁液静压力挤裂 2）在沟陷下面裂的是缩裂	

（续）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改 进 方 法
鼓包	在管壁内表面出现局部突起	主要因拉管速度太快或结晶器变形，液面低或壁厚不均，液面波动大，冷却强度不同造成热节，强度低处易出现鼓包	控制适当的拉铸速度，结晶器变形要及时更换；减少液面波动，增加铸管在结晶器内的冷却时间
错位（承口淌流）	铸铁管内部圆柱部分的凝固层没有与承口上端连成一体，而相对移动一段距离形成双层圆柱体。实际上是在铸铁管内部圆柱部分的凝固层和承口上端连接处淌出铁液，故也称为承口淌流	此处管壁较厚，结晶器下端冷却差，起模前浇注操作未掌握好，或由于结晶器下部变形，脱模阻力大，浇速太快，或脱模时间太短而脱模时拉断此处凝固层，并流出铁液	1）严格掌握铁液成分和浇注温度 2）浇注速度和脱模操作要适当 3）承口砂芯上端加冷铁圈或采用金属承口芯 4）保持内结晶器的正确锥度和形状，不要使用变形的结晶器

表 7-40　不合格品水平连铸铸铁型材的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	特　征	产生原因分析	改 进 方 法
表面白口	铸铁型材的表层或冷速较快的尖角部存在白口凝固层，硬度大，无法加工	铸铁的凝固过程受化学成分和冷却速度及孕育处理的影响，化学成分不当，铸铁型材局部冷速过快，孕育效果衰退	1）检查是否铁液碳当量过低，在不超限的情况下适当提高 C、Si 含量 2）加强铁液孕育处理 3）调整牵引机工艺参数，在不泄漏的条件下适当提高铸造速度 4）铸铁型材出厂前经高温退火消除白口
球化不良	在铸铁型材显微组织中石墨球化等级不合格，或出现球化衰退	铁液中残留镁量和残留稀土量在连续铸造过程中不断减少，使铁液中的残留镁量和残留稀土量过低	1）适当提高球化剂加入量 2）提高铸造速度，减少铁液在保温包中的停留时间
横向裂纹	铸铁型材表面出现垂直于轴线方向的裂纹，主要存在于型材前进时步与步之间的结合纹处，其深度超过规定的加工余量	铸铁型材在牵引过程中每一步与下一步之间铸焊不好，产生冷隔；铸造速度过慢、石墨型磨损、表面粗糙，使型材表层运动时摩擦力过大产生撕裂	1）提高铁液温度 2）调整牵引参数适当加快牵引速度 3）调整牵引的周期和占空比，增大周期，增加停留时间 4）尽力保护好石墨型，特别是拉铸初期，不要过早使石墨型拉伤 5）选择强度和硬度好的石墨坯料
气孔及夹渣	型材断面上出现气孔或夹渣，气孔的内壁光滑，夹渣一般出现在靠近型材铸造位置的上方	1）铁液冲入保温包时夹带渣进入结晶器 2）球墨铸铁型材成分选择不当时造成石墨漂浮	1）适当提高保温包中铁液液面高度 2）经常清除保温包中铁液液面的浮渣 3）提高铁液温度，提高流动性，有利于渣、气上浮 4）合理选择球墨铸铁的碳当量，避免石墨漂浮
缩松	铸铁型材心部在液芯最后凝固部分出现宏观或微观缩松	连续铸造过程中型材心部未凝固的液芯很长，其中一部分被凝固堵塞与保温包中的铁液分隔开，得不到补缩	1）适当降低铸造速度 2）调整牵引工艺参数，减小步长

（续）

缺陷名称	特　　征	产生原因分析	改 进 方 法
型材表面粗糙	在铸铁型材表面出现轴向突起物，有时出现鱼鳞皮	1）石墨型严重刮伤，由于拉铸初期铸造速度过慢使石墨型过早刮伤 2）连铸机调整不合适，结晶器歪斜 3）石墨坯料等级过低，不适合连铸使用	1）拉铸初始阶段选择合适的铸造速度 2）生产准备阶段，仔细调整生产线各主机轴线使其同轴，结晶器安装要正 3）选用合适的石墨坯料

10. 不合格品真空吸铸件的常见缺陷分析与质量改进

在真空吸铸件生产中，常见的铸件缺陷有表面疵孔及凹穴、内孔加工余量不足、轴向加工余量不足、夹渣等。通常，产生这些缺陷的原因不单是真空系统问题，有时还有结晶器的结构与内壁壁厚的选择、吸铸温度、冷却水温度和流向、涂料的选用等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产真空吸铸件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-41。

表 7-41　不合格品真空吸铸件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺 陷 名 称	产生原因分析	改 进 方 法
表面疵孔及凹穴	1）润滑剂潮湿 2）冷却水温度过低 3）吸铸速度过大，造成液体金属在型腔内飞溅 4）涂料层粗糙，潮湿 5）结晶器内壁渗漏 6）结晶器内器水层面水垢过厚，不均匀，引起导热不良	1）仔细烘烤润滑剂 2）提高冷却水温度 3）调整吸铸速度，选择合适喉管孔径 4）清理型腔，重上涂料，烘干 5）更换结晶器 6）清理水垢
内孔加工余量不足	1）吸铸速度过小，内孔形成较大倒锥 2）吸铸温度过低，内孔形成较大倒锥 3）型腔上部润滑剂积聚太厚 4）保压时间不足	1）调整真空系统，提高吸铸速度 2）提高吸铸温度 3）用砂纸轻轻将上部涂料擦薄 4）延长保压时间
轴向加工余量不足	1）真空值太低（压缩空气管路压力波动太大，或真空泵故障） 2）真空管道堵塞或漏气 3）型腔上部涂料积聚过厚 4）真空表失灵	1）检查真空系统 2）检查、清理管道，保证畅通，不漏气 3）清理型腔 4）调整或更换真空表
夹渣	1）吸铸温度过低，夹渣不能充分上浮 2）脱氧不足造成氧化物夹渣 3）扒开浮渣时用力不当 4）覆盖剂颗粒过小	1）提高吸铸温度 2）做好脱氧处理工作 3）合理操作 4）及时更换覆盖剂

11. 不合格品磁型铸造件的常见缺陷分析与质量改进

在磁型铸造件生产中，常见的铸件缺陷有表面粘铁丸、浇不足、尺寸膨胀、“瘪塌”和“击穿”、铸铁件表面“皱皮”、铸钢件表面渗碳、夹渣、气孔等。通常，产生这些缺陷的原因不单是磁力系统问题，有时还有浇注系统、铁丸质量、涂料、泡沫塑料模等许多方面的问题，因此必须具体分析，以便采取相应的合理措施加以解决。

生产磁型铸造件时，常见的缺陷分析与质量改进方法见表 7-42。

表 7-42　不合格品磁型铸造件的常见缺陷分析与质量改进方法（供参考）

缺陷名称	产生原因分析	改 进 方 法
表面粘铁丸	1）涂料层热阻低，高温强度低，表面产生裂纹 2）涂料层挂得不均匀，太薄 3）铁丸质量差，造型时铁丸紧实度不够 4）落砂前磁型停留时间太长 5）浇注系统设计不当	1）改进涂料配比，改善涂料性能 2）改进上涂料的方法，力求均匀，适当增加涂料层厚度 3）适当紧实铁丸，避免磁型中有空穴 4）适当减少铸件在磁型中停留的时间 5）重新设计浇注系统
浇不足	1）泡沫塑料模密度高 2）涂料层透气性低 3）浇注方法不好 4）浇注温度太低	1）改进发泡成型工艺，降低泡沫塑料模密度 2）改进涂料性能及上涂料的方法 3）改进浇注工艺，注意浇注速度 4）适当提高浇注温度
尺寸膨胀	磁感应强度低	提高磁感应强度
“瘪塌”和“击穿”	1）磁感应强度太高 2）浇注速度太慢	1）降低磁感应强度 2）提高浇注速度
铸铁件表面“皱皮”	1）泡沫塑料模密度太大 2）涂料层透气性低 3）浇冒口系统设计不适合 4）浇注方法不好 5）液体金属中渣子进入磁型	1）降低泡沫塑料模密度 2）提高涂料层透气性 3）改进浇冒口设计 4）改进浇注工艺，注意浇注速度 5）注意挡渣
铸钢件表面渗碳	1）泡沫塑料模密度大 2）涂料层透气性低 3）浇冒口系统设计不合适	1）降低泡沫塑料模密度 2）提高涂料层透气性 3）改变浇冒口系统，变暗冒口为明冒口
夹渣，包括铸件表面上“碳孔”铸件内部的“黑点”或“黑线”	1）泡沫塑料模密度大 2）涂料层透气性差 3）浇冒口系统不合理 4）浇注温度低	1）降低泡沫塑料模密度 2）提高涂料层透气性 3）改变浇冒口系统的设计，增大冒口尺寸 4）提高浇注温度
气孔	1）泡沫塑料模密度大 2）涂料层透气性差 3）浇冒口系统不合理	1）降低泡沫塑料模密度 2）提高涂料层透气性 3）改变浇冒口系统的设计，增大冒口尺寸

7.3　失效铸件的常见缺陷分析与质量改进

7.3.1　失效铸件

失效铸件是一种在使用中丧失规定功能的不合格铸件。

1. 铸件失效的含意

GB/T 2900.13—2008《电工术语　可信性与服务质量》中规定：失效是“产品丧失规定的功能，对可修复产品通常也称为故障”。因此，铸件失效就是指铸件丧失了规定的功能。

这里所指的铸件丧失规定的功能应包括：①铸件在规定的条件下，不能完成其规定的功能；②铸件在规定的条件下，一个或几个性能参数不能保持在规定的范围内；③即使铸件在规定条件下

具有完成规定功能的能力，但因操作者的失误而造成铸件功能的丧失；④由于环境或应力变化，导致功能丧失。

针对上述情况，为概括所有可能发生的事件，给铸件失效下一个广义的含意，就是“铸件失效是一种铸件质量不合格的状态”。

为正确判断铸件是否失效，应合理地确定铸件失效判据是十分重要的，它也是铸件失效分析的依据之一。

2. 铸件失效的分类

（1）按失效原因划分

1）误用失效：不按规定条件使用铸件而引起的失效。

2）本质失效：铸件在规定条件下使用，由于铸件本身固有的弱点或缺陷而引起的失效。

3）独立失效：不是由于设备的其他零件的失效而直接或间接引起的失效。

4）从属失效：由于设备的其他零件失效而引起的失效。

5）初次失效：同类铸件的第一次失效。

6）早期失效：铸件由于设计或铸造上的缺陷等原因而发生的失效。

7）偶然失效：铸件由于偶然因素发生的失效。

8）耗损失效：铸件由于磨损、损耗、疲劳、腐蚀等原因引起的失效。

（2）按失效的可预测性划分

1）可预测失效：通过事前的测试或监控不能预测的铸件失效。

2）不可预测失效：通过事前的测试或监控可以预测到的铸件失效。

（3）按失效后果的严重性划分

1）轻度失效：不致引起设备完成规定功能的铸件失效。

2）严重失效：可能导致设备完成规定功能的铸件失效。

3）致命失效：可能导致人员伤亡或设备重大损失的失效。

（4）按失效程度划分

1）部分（局部）失效：铸件性能超过或低于某种确定的界限，但没有完全丧失规定功能的失效。

2）完全失效：铸件性能超过或低于某种确定的界限，以致完全丧失规定功能的失效。

（5）按失效的突然性与影响程度的组合划分

1）突变失效：铸件突然而完全的失效。

2）退化失效：铸件渐变而部分的失效。

（6）按功能划分

1）功能失效：铸件某项功能不能满足规定的性能指标的失效。

2）潜在失效：铸件功能即将发生而又可以鉴别的失效。

此外，还可以按失效的责任划分、按失效的场合划分、按失效的外部表现划分等。

通过以上的失效分类，可以更明确地了解和掌握各种铸件失效的物理概念，以便进而分门别类地解决各种类型的铸件失效问题。

3. 影响铸件失效的基本因素

影响铸件失效的基本因素主要有设计因素、材质因素、铸造工艺因素、装配调试因素和运转维修因素等。

（1）设计因素　为了保证铸件质量，必须精心设计，必须确立在特定工况、结构、材质、环境等条件下可能发生的基本失效模式，建立起相应的设计计算准则，即保证在给定条件下正常工作（不失效）的准则，从而定出合适的结构、形状、尺寸、材质及有关的技术要求，并提出必要的技

术条件。

（2）铸造工艺因素　实际上，相当数量的铸件尽管其原始设计是正确的，但如果铸造工艺和生产条件不能满足设计要求，仍会发生各式各样的问题，如铸件尺寸和表面粗糙度不合格，铸件内部有疏松、气孔和夹渣，铸件热处理后有淬裂、回火脆裂和硬度不足等缺陷而导致铸件发生失效。

（3）材质因素　材质选用不当，往往是铸件失效的主要原因。同样，材质的内部缺陷也是造成铸件失效的关键。有时，由于安装调试不当，材料未经磨合也能导致铸件失效。

（4）装配调试因素　用铸件或其他零部件组装成机器以及机器安装过程中不能保证要求的质量，即“装配不良”，也是导致铸件发生某种失效的重要因素。

（5）运转维修因素　运转维修不当也是铸件失效的重要因素，为减该因素的影响首先应对运转工况参数（载荷、速度等）进行监控，使维修制度合理、先进，并逐步由定期（大、中、小）维修向“视情维修”（即“预知维修”）过渡，其次应保证满足润滑条件。

应该注意，在以上铸件失效的基本影响因素中不能忽视人的因素，特别是人的素质条件。

7.3.2　分析铸件失效的一般步骤

分析铸件失效的一般步骤：对失效铸件进行现场初步调查→在现场进行初步观察分析→对失效铸件进行检测试验，查清失效原因→写出失效分析报告。

1. 对失效铸件进行现场初步调查

对失效铸件进行现场初步调查是分析铸件失效的第一步。主要是要了解失效铸件的情况，了解得是否真实、全面、及时是决定该项失效分析成败的首要问题。

因此，调查时要尽可能从使用者和制造者手中收集到关于失效铸件的资料及其历史，主要包括如下内容：

1）了解失效铸件所用合金情况，以及铸造生产及其他冷热加工情况和实际工艺操作。

2）了解失效铸件设计要求的力学性能和硬度以及金相组织等技术指标。

3）了解失效铸件在服役状态下的受力情况、工作温度以及介质和环境条件。

4）了解失效铸件损坏的情况，以及原装质量、运行工况和使用操作以及维护是否正常。

5）涉及失效铸件的配偶副损坏时，也必须了解相对配偶副情况。

6）其他有关情况。

现场初步调查除手记外，还常用到照相机、录音设备和摄像设备等。

2. 对失效铸件在现场进行初步观察分析

了解到关于失效铸件的失效过程资料后，一般应对失效铸件的外观进行观察和检查，寻找铸件失效的关键部位，以便有可能作出初步的判断，并提出进一步有针对性的分析方案和计划，特别应明确提供进一步进行力学性能或材料测试分析用的试件取样计划。

对失效铸件进行外观观察检查时应注意以下事项：

1）观察整个失效铸件的变形情况和表面情况，如损坏的失效铸件有否弯曲、变形、颈缩、断裂裂纹发展方向和裂源，以初步判断失效铸件的受力方向和应力状态，进而初步推断失效的几种可能性。

2）观察失效铸件表面有无过烧折叠和斑痕裂纹等热加工缺陷，有无机加工刀痕、刮伤和划痕等冷加工缺陷。

3）观察失效铸件是否有腐蚀、磨损、接触疲劳和麻坑等缺陷，观察配偶副的相应情况。

4）对断裂失效的铸件应观察断裂部位是否在键槽、油孔、夹角、加工深刀痕和凹痕等应力集中处。

5）观察失效铸件的断口和裂纹形貌和分布情况等。

现场初步观察分析时可利用放大镜、显微镜等。

应当指出，如果铸件失效分析涉及法律问题，则现场初步调查和初步观察分析，特别是现场资料的各种记载，应由有关方面共同签字认可，并指定有关方面协商同意的专人保管。

3. 对失效铸件进行检测试验，查清失效原因

根据失效铸件的不同失效类型及其基本影响因素，可以有针对性地进行检测试验和分析，并查清和确定铸件失效的基本原因，进而抓住主要矛盾。

对失效铸件进行检测试验和分析的内容，大致包括“直接”和“间接”的两个基本方面。直接方面：力学（载荷、应力、变形等）、材质（合金种类与组织成分、化学分析、力学性能、表面状态等）、环境（高、低温，化学作用，辐射等）；间接方面：控制功能（机、电、液等控制功能、安全装置、软件等）、人员素质（责任感、生理极限等）、社会（法规、公共关系等）以及自然灾害等。

应该看到，以上有些检测与试验的内容在铸件失效后是难以复现的，但对事后失效分析具有重要的作用。

4. 对失效铸件写出失效分析报告

失效分析报告除有明确的结论外，还应有足够的事实与科学试验的结果以及必要的分析与对策。对于分析调查、试验所得的结论，应实事求是，力求全面、明确、公正地列入失效分析报告中。

通常，失效分析报告包括如下几个基本部分：

1）对失效铸件的实况说明（包括铸件失效时及失效前的工况条件与环境条件等）。

2）失效铸件的力学分析。

3）失效铸件的材质分析。

4）失效机理综述与失效分析结论。

5）失效的对策建议。

为使报告内容重点突出，通常在开头写一个简明的摘要。报告中各种试验、计算等的全部内容可摘列于报告的附录中。

7.3.3　分析铸件失效的常用方法

铸件失效的原因是很复杂的，因此进行铸件失效分析是一个综合性很强的工作，应该按失效铸件的外貌、特征或断裂断口的情况作出初步的判断，抓住重点，有所侧重，选用相应的分析项目，并在分析过程中随时根据情况进行调整。通常采用以下方法的全部或部分。

（1）外观检查　主要观察铸件损坏的外貌特征并拍摄实物照片，做好记录。

（2）断口（或裂纹）分析　由宏观观察对失效铸件作一个大体上的分析，然后用光学和电子显微镜观察。用电子显微镜可以看到对应于断裂机理的各种各样断口形貌，如裂纹源、扩展区和瞬时断裂区、脆性解理断裂形貌、准解理断裂（为高强度韧性和脆性混合断裂）形貌、穿晶韧性断裂形貌、穿晶脆性断裂形貌、沿晶脆性断裂形貌、疲劳断裂形貌等，从而获得解决问题的关键资料。

（3）无损检测　用着色、磁力、超声波和 X 射线等方法，以显露失效铸件表面和内在缺陷的分布情况。

（4）宏观分析　用硫印和酸洗等方法显示失效铸件的宏观缺陷，一般应着重检查：①表面和近表面的缺陷，包括裂纹、过烧迹象、折叠、斑疤、发纹及机械损伤等；②内在缺陷，包括裂纹、白点、缩孔、气孔、疏松、偏析和非金属夹杂的分布等；③合金的结晶取向、枝晶和宏观晶粒分布等。

（5）微观分析　用光学和电子显微镜等手段对失效铸件显微组织析出相与裂纹分布，以及非金属夹杂物、晶粒大小等进行检测，必要时还可配合 X 光进行结构分析或其他相分析。此外，还应在失效铸件的断裂断口或裂纹处截取试样，并与完好部位截取的试样作比较，并着重检查：①断口边沿形状或裂纹的形态、分布与取向；②断口边沿或裂纹内是否存在氧化物或其他夹杂，裂缝两旁是否有脱碳等；③表面缺陷，包括过烧、氧化、腐蚀以及表面脱碳等缺陷；④非金属夹杂物分布及其他内在缺陷；⑤晶粒大小和显微组织是否正常；⑥析出相分布和有无有害相出现；⑦对失效的高温合金铸件还应检查高温工作不稳定相的析出和组织变化情况。

（6）化学分析　用化学方法和光谱分析等手段，鉴定失效铸件的化学成分是否符合要求。必要时，对失效铸件的微量元素（有害）也要进行分析或者采用电子探针配合进行微区相分析。

（7）力学性能试验　用材料试验机对失效铸件进行静载荷、动载荷或交变载荷等各项力学性能指标进行测试，以鉴定其力学性能指标是否达到要求。

7.3.4　失效铸件的缺陷分析与质量改进示例——轨道交通 17 型车钩在使用过程中尾部断裂的分析[26]

1. 试样

17 型车钩尾部的断裂试样和钩身上的连体试样。

2. 理化检验分析与结果

（1）断口宏观分析　尾销孔中间部位断口表面外沿一周为白亮色，厚度为 5mm 左右，向内为呈现河流状及空气氧化后的锈色断口，断口心部为高温氧化色并呈现冰糖状的断口，在高温氧化区域还有部分夹渣，如图 7-5 所示。尾销孔侧面断口也呈现出河流状和冰糖状的亮灰色断口，如图 7-6所示。

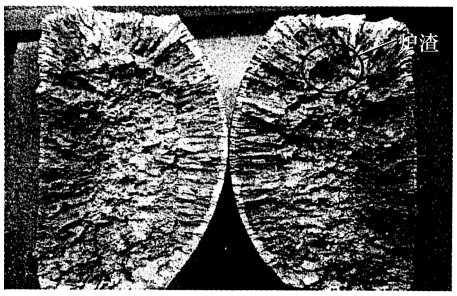


图 7-5　尾销孔中间部位断口 （写真）

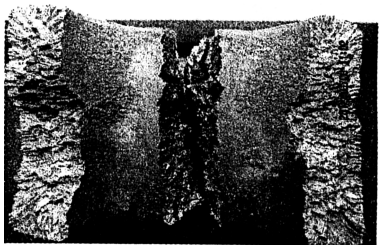


图 7-6　尾销孔侧面断口 （写真）

（2）断口微观分析　从宏观的断口观察来看，断裂是从心部开始并且在热处理之前就已经产生了裂纹，在扫描电镜下观察裂纹源区为沿晶断裂，晶粒轮廓鲜明，呈冰糖状，如图 7-7 所示。利用能谱对断口的白亮部位进行定性分析，其主要的成分 Fe、Al、O；对心部的氧化色进行能谱分析，主要成分是 Fe 和 O，如图 7-8 所示。

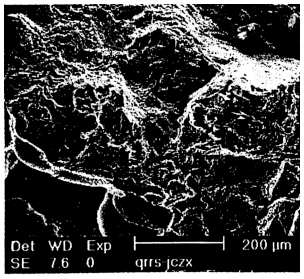


图 7-7　沿晶断口形貌 （写真）

（3）显微组织分析　通过 NEOPHOT21 金相显微镜观察其组织。金相组织为调质 3 级，属于正常组织，组织形貌如图 7-9 所示。

（4）力学性能检测　从断口部位取样加工成标准的拉力试样和冲击试样。在加工拉力试样过程中，试棒直接从中间折断，勉强加工成标准冲击试样。冲击吸收能量的测试结果为：2J、4J、24J，平均值为 10J（标准要求：冲击吸收能量≥27J）。

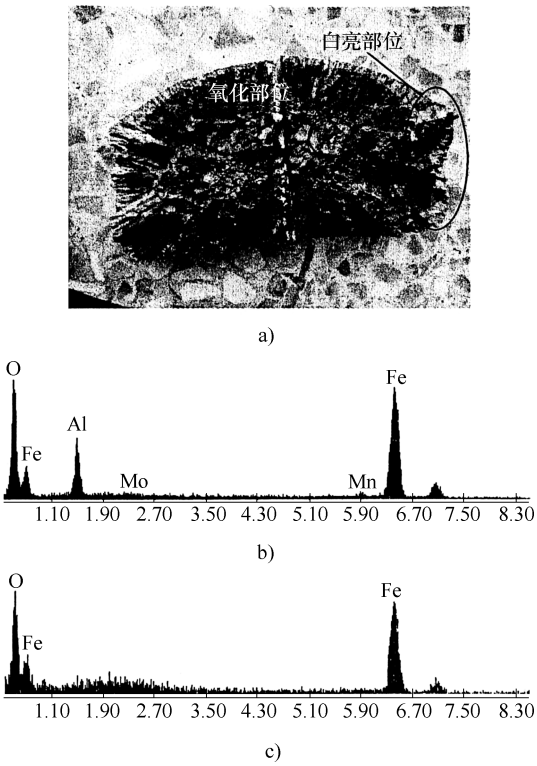


图 7-8　断口部位及能谱分析 （写真）

a）白亮部位　b）白亮部位能谱

c）氧化部位能谱

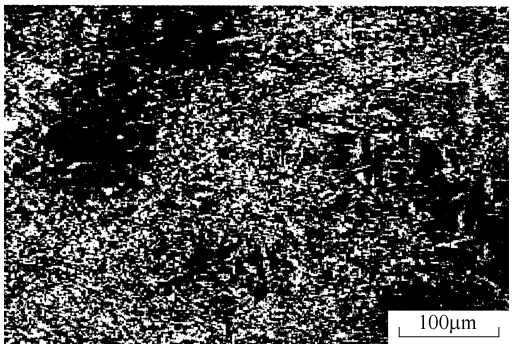


图 7-9　金相组织形貌 （写真）

（5）硬度检测　从断口的其他部位取样磨平并进行布氏硬度检测，检测结果为 253 ~ 278HBW，符合车钩硬度检测标准要求 241 ~ 311HBW，硬度检测合格。

（6）化学分析　利用化学分析法对试块进行化学成分分析的结果见表 7-43，铝含量超过标准上限 4 倍左右。

表 7-43　试样化学成分分析结果

比对	化学成分(质量分数,%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Al
实测值	0. 22	0. 34	1. 32	0. 017	0. 013	0. 07	0. 53	0. 42	0. 22	0. 23
标准值	0. 22 ~ 0. 28	0. 20 ~ 0. 40	1. 20 ~ 1. 50	≤0. 030	≤0. 030	≤0. 30	0. 40 ~ 0. 60	0. 35 ~ 0. 55	0. 20 ~ 0. 30	0. 02 ~ 0. 06

（7）氧、氮含量分析　利用氧、氮联合测定仪分析氧、氮含量，氧的含量为 46×10^{-6}，氮的含量为 135×10^{-6}，氧含量符合标准要求，氮含量不作验收标准。

3. 分析与讨论

从断口的宏观分析来看，断口心部表面平滑、光亮，稍有弯曲的小平面组成冰糖状断口，并且断口表面很少能看见有塑性滑移带的存在。心部出现的高温氧化色说明钩体的钩尾在热处理之前就已经出现裂纹，裂纹源在夹渣部位产生，经过高温加热并淬火后，在热应力和组织应力的共同作用下从裂纹源处发生开裂，但裂纹没有扩展到钩尾表面。车钩心部在已经发生开裂的情况下，再受到牵引力和冲击力的作用，就出现了类似撕裂的河流状断口。

从硬度和金相检测的结果看，金相组织和硬度的结果符合相关标准的要求。试样的冲击吸收能量平均值为 10J，明显低于标准要求（冲击功≥27J）。冲击试验结果表明，试样呈现明显的脆性。在对断口进行电镜扫描和能谱分析时，发现断口属于沿晶脆性断裂。在对断口白亮部位和断口处的炉渣进行能谱检测，发现其成分中都包含铝元素，并且铝含量较高，对试样用化学分析法进行成分分析，发现铝含量达到了 0.23%（质量分数），远大于标准规定的 0.02% ~0.06%（质量分数）。因此可以断定，出现车钩断裂的直接原因是铝含量过高。

铝作为强脱氧元素，强烈缩小 γ 相，它与氧、氮有很大的亲和力，首先表现为其固氮作用；其次，当铝加入钢中时，奥氏体晶粒减小，抑制碳钢的时效，提高钢在低温下的韧性。许多研究已证实，铸钢件产生脆性断口的原因是由于在一次奥氏体晶界上析出氮化铝而使晶界脆化。氮化铝在奥氏体晶粒形成时以粗大薄膜状析出于晶界，产生组织缺陷，降低铸钢的塑性和韧性，增加晶间产生裂纹的倾向。对于目前的碱性电弧炉炼钢来讲，大多数生产单位还是用铝作为终脱氧剂。铝终脱氧工艺的采用，给氮化铝的形成提供了足够的冶金条件，只要钢中铝、氮浓度达到一定范围，氮化铝就会在奥氏体晶界形成。因此，钢中氮和铝的浓度是铸钢件是否产生脆性断口的决定性因素之一。

4. 结论与质量改进

1）车钩断裂的性质为沿晶脆性断裂。

2）导致车钩断裂的直接原因是铝含量超标，大量的氮化铝集中在晶界处，使晶界的强度减弱，在外力的作用下，引起脆性断裂。

3）控制钢中铝含量采用精炼工艺提高产品铸件质量是非常必要的。

参 考 文 献

[1] 陈琦，彭兆弟．中外铸件材料速查手册［M］．沈阳：辽宁科学技术出版社，2011.

[2] 国家标准化管理委员会．中华人民共和国国家标准目录及信息总汇：上、下册［M］．北京：中国标准出版社，2009.

[3] 国家标准化管理委员会．中华人民共和国行业标准目录：上、下册．［M］．北京：中国标准出版社，2002.

[4] 全国铸造标准化技术委员会组编．铸造标准应用手册：上册［M］．北京：机械工业出版社，2012.

[5] 陈琦．铸造工厂的质量管理和质量保证——学习和贯彻国家 GB/T 19000 新系列标准［J］．铸造．1993（7）：38-40.

[6] 房贵如，陈琦．铸造企业质量管理及检验入门与精通［M］．北京：机械工业出版社，2012.

[7] 陈琦．彭兆弟．实用铸造手册［M］．北京：中国电力出版社，2009.

[8] 陈琦，彭兆弟．铸造技术问题对策［M］．2 版．北京：机械工业出版社，2008.

[9] 机械工业仪器仪表综合技术经济研究所．仪器仪表产品目录：第 3 册［M］．北京：机械工业出版社，2009.

[10] 中国机械工程学会铸造分会．铸造手册：第 1 卷铸铁［M］．3 版．北京：机械工业出版社，2011.

[11] 中国机械工程学会铸造分会编．铸造手册：第 2 卷铸钢［M］．3 版．北京：机械工业出版社，2011.

[12] 中国机械工程学会铸造分会．铸造手册：第 3 卷铸造非铁合金．［M］．3 版．北京：机械工业出版社，2011.

[13] 中国机械工程学会铸造分会．铸造手册：第 4 卷造型材料．［M］．3 版．北京：机械工业出版社，2011.

[14] 中国机械工程学会铸造分会编．铸造手册：第 5 卷铸造工艺［M］．3 版．北京：机械工业出版社，2011.

[15] 中国机械工程学会铸造分会编．铸造手册：第 6 卷特种铸造［M］．3 版．北京：机械工业出版社，2011.

[16] 李远才，等．铸造造型材料实用手册［M］．北京：机械工业出版社，2009.

[17] 李红霞．耐火材料手册［M］．北京：冶金工业出版，2007.

[18] 冶金工业信息标准研究院冶金标准化研究所，中国标准化出版社第五编辑室．生铁、铁合金及其他钢铁产品标准汇编［M］．4 版．北京：中国标准出版社，2011.

[19] 章舟，王春景，邓宏远．消失模铸造生产实用手册［M］．北京：化学工业出版社，2011.

[20] 章舟．呋喃树脂砂铸造生产及应用实例［M］．北京：化学工业出版社，2008.

[21] 刘伟，杨永生，刘洪生．模样制造过程质量控制与检验读本［M］．北京：中国标准出版社，2006.

[22] 樊自田，吴和保，董选普，等．铸造质量控制应用技术［M］．北京：机械工业出版社，2009.

[23] 中国机械工程学会，中国模具工业协会，中国模具工程大典编委会．中国模具工程大典：第 8 卷铸造工艺装备设计［M］．北京：电子工业出版社，2007.

[24] 聂小武．实用铸件缺陷分析及对策［M］．沈阳：辽宁科学技术出版社，2010.

[25] 杨裕国．铝压铸成型及质量控制［M］．北京：化学工业出版社，2009.

[26] 徐家颖、鞠花、陶春国，等．关于门型车钩断裂的分析［J］．铸造，2012（11）：1358-1360.

[27] 樊东黎．热加工工艺规范［M］．北京：机械工业出版社，2003.

[28] 中国有色金属工业标准计量质量研究所．国内外有色金属标准目录 2011［M］．北京：中国标准出版社，2011.

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术／热加工工艺／铸造
ISBN 978-7-111-45008-5
策划编辑◎张秀恩

ISBN 978-7-111-45008-5

定价：118.00元