



机电类技师鉴定培训教材

# 铸造工技师 鉴定培训教材

ZHUZAOGONG JISHI JIANDING PEIXUN JIAOCAI

机电类技师鉴定培训教材编审委员会组织编写

陆文龙 ○ 主编



- ◆ 汲取首套技师培训教材精华
- ◆ 紧扣职业技能鉴定考核要求
- ◆ 包含教材题库答案模拟试卷
- ◆ 注重分析解决问题能力提升

机电类技师鉴定培训教材

# 铸造工技师鉴定培训教材

机电类技师鉴定培训教材编审委员会组织编写

陆文龙 主编



机械工业出版社

本书是依据《国家职业技能标准 铸造工》(技师)的鉴定要求,紧扣职业技能鉴定培训的需要编写的。本书的主要内容包括:金属材料基础知识,造型制芯技术及特种铸造技术,液态金属充型和浇注系统设计,铸件的凝固、收缩和冒口补缩系统设计,铸造合金熔炼与铸件热处理,铸造工艺方案设计,铸造工艺装备设计,铸件缺陷分析,铸造生产管理与技术培训。每章末均配有复习思考题,书末配有试题库、模拟试卷样例及答案,以便于企业培训、考核鉴定和读者自查自测。

本书既适合作为职业技能鉴定培训机构、企业培训部门、技师学院进行技师鉴定的考前培训教材,又可作为读者考前复习和自测用书,也可供职业技能鉴定部门在技师鉴定命题时参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

铸造工技师鉴定培训教材/陆文龙主编;《机电类技师鉴定培训教材》编审委员会组织编写. —北京: 机械工业出版社, 2015.7

机电类技师鉴定培训教材

ISBN 978-7-111-50422-1

I. ①铸… II. ①陆…②机… III. ①铸造-职业技能-鉴定-教材 IV.  
①TG2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 120211 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:荆宏智 王华庆 责任编辑:王华庆 版式设计:赵颖喆

责任校对:肖琳 封面设计:路恩中 责任印制:李洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 14.5 印张 · 356 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-50422-1

定价: 39.80 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

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 机电类技师鉴定培训教材

## 编审委员会

**主任** 郝广发

**副主任** 季连海 刘亚琴 徐 彤 吴茂林  
施 斌 荆宏智

**委员** (按姓氏笔画排序)

王平凡	王江宁	毛永年	尹子文
邓振飞	刘光虎	刘海涛	许顺生
朱为国	李 超	李世和	李援瑛
吴元徽	谷育红	陆根奎	陆文龙
张凯良	周泽祺	姜 平	贾恒旦
徐佩兰	殷作禄	梅建强	崔静波
谢中南	谢 剑	董桂桥	瞿云才

## 《铸造工技师鉴定培训教材》编审人员

**主编** 陆文龙

**副主编** 章安静 柳秉毅

**参编** 黄英娜 徐 杰 何 涛 苏 好

**主审** 司乃潮

# 序

技师是技术工人队伍中的高技能人才，是我国人才队伍的重要组成部分，是各行各业产业大军的核心骨干，在加快产业优化升级、提高企业竞争力、推动技术创新和科技成果转化等方面具有不可替代的重要作用。而随着我国成为“世界制造业中心”进程的加快，高技能人才的总量、结构和素质还不能适应经济与社会发展的需要，特别是在制造、加工等传统产业领域，高技能人才严重短缺，已成为制约经济与社会持续发展和阻碍产业升级的“瓶颈”，企业迫切需要掌握真才实学的高技能人才。

大力加强高技能人才的培养工作，除需要加强高技能人才培养模式的研究和师资队伍建设外，还需要开发出有技师培养特色的实用教材。但由于技师培养模式多样，教材编写难度大，因此市面上这样的教材实在难寻，我们原来组织出版的“机械工业技师考评培训教材”也已显龙钟之态。

为更好地为行业服务，满足行业技师鉴定培训的需要，我们经过充分调研，决定对我们2001年组织出版的国内机械行业首套技师培训教材“机械工业技师考评培训教材”进行重新编写，并定名为“机电类技师鉴定培训教材”。

原来的“机械工业技师考评培训教材”是为配合技师评聘工作的开展，满足机械行业对工人技师培训和考评的需要，在没有《国家职业标准》的情况下，根据到各地调研了解的需求情况，为填补市场空白而编写的。教材出版后，以其独树一帜、适应需求、内容实用、针对性强等特点，受到全国各级技师培训、鉴定部门的欢迎，在市面上没有其他版本的技师培训教材的情况下，成为各级技师培训、鉴定部门的不二选择，许多地方均采用那套教材作为技师培训和鉴定用教材，那套教材也因此成为技师培训和鉴定的品牌教材。

新版“机电类技师鉴定培训教材”按劳动和社会保障部颁布的《国家职业标准》中对技师的要求，根据各地技能鉴定部门、企业、学校对技师能力的要求和培训培养模式，采用模块化的形式进行编写，并在汲取首套技师培训教材精华的基础上，在以下几方面做了改进：

在模块设置上，除专业模块外，设置公共基础模块和专业基础模块。

公共基础模块包括《公共基础知识》《技师论文写作·点评·答辩指导》，是本次新增模块。它是《国家职业标准》对各工种技师的共同要求，适用于所有工种。其内容包括：职业道德，职业培训指导，生产管理、质量管理、安全生产和通用的四新知识，以及技师论文写作、点评与答辩内容。

专业基础模块包括《机械制图与零件测绘》《机械基础与现代制造技术》《金属材料与加工工艺》和《电工与电子基础》四种。《机械制图与零件测绘》中删减了基础的内容，重点加入了测绘方面的内容。《机械基础与现代制造技术》中增加了液气压故障诊断与排除、数控技术方面的内容。《金属材料与加工工艺》《电工与电子基础》的内容也进行了相应的更新。

在工种选择上，增加了近几年需求量较大的数控车工、数控铣工、模具有工，并按新的

《国家职业标准》规范了部分工种的名称，需求量较小的工种本次暂不重编。新版教材共包括车工、铣工、钳工、机修钳工、模具工、汽车修理工、制冷设备维修工、铸造工、焊工、冷作钣金工、热处理工、涂装工、维修电工、电工、数控车工、数控铣工 16 个机电行业主要工种。

在编写依据上，基础课教材以劳动和社会保障部最新颁布的《国家职业标准》相关工种技师知识要求中的通用部分为依据，专业工种教材则以该工种技师知识要求中的专用部分为依据，紧扣职业技能鉴定培训需要的原则编写。对没有国家职业标准，但社会需求量大且已单独培训和考核的职业，则以相关国家职业标准和有关地方鉴定标准和要求为依据编写。

在内容安排上，每本教材仍包括两大部分内容：第一部分为培训教材，第二部分为试题库、模拟试卷样例及答案。

教材部分按复习指导的性质编写，根据技师的定位，按相关工作内容和知识安排章、节，提炼应重点培训和复习的内容，同时对技能方面提出要求。每章的章首有培训目标，章末附有针对本章内容的复习思考题。

书末附有本工种技师考核鉴定的试题库和答案，以及便于自检自测的模拟试卷。我们对原试题库中的经典内容进行了精选和保留，补充增加了最新的职业技能鉴定试题、全国及部分省市和行业的大赛试题，使得试题更具典型性、代表性、通用性和实用性。

综上所述，新版“机电类技师鉴定培训教材”的特色如下：

- 汲取首套技师培训教材精华——保留了首套技师培训教材的经典内容，考虑了现阶段企业和市场的需要，更新了教材和试题库内容，加强了论文写作和答辩内容。
- 依据国家职业标准要求编写——以《国家职业标准》对技师的要求为依据，以便于培训为前提，提炼应重点培训和复习的内容，同时提出对技能方面的要求。
- 紧扣职业技能鉴定考核要求——按复习指导的性质编写，教材中的知识点紧扣《国家职业标准》和职业技能鉴定考核的要求，适合考前 2~3 个月短期培训使用。
- 包含教材题库答案模拟试卷——分公共基础、专业基础和专业模块。每部分培训目标、复习思考题、培训内容、试题库模拟试卷样例、答案齐全。
- 注重分析解决问题能力提升——加强了高难度生产加工，复杂设备的安装、调试和维修，技术质量难题的分析和解决，复杂工艺的编制，故障诊断与排除等方面的内容。

新版教材在编写过程中力求突出“新”，做到“知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新”，使教材更具先进性，内容更加实用。全套教材既适合作为各级职业技能鉴定培训机构、企业培训部门进行技师鉴定的考前培训教材，又可作为读者考前复习和自测用书，也可供职业技能鉴定部门在技师鉴定命题时参考。

在本套教材的调研、策划、编写过程中，得到了许多企业和鉴定培训机构的有关领导、专家、工程技术人员、技师和高级技师的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

虽然我们在编写这套技师培训教材中尽了很大的努力，但是教材中难免存在不足之处，诚恳地希望专家和广大读者批评指正。

# 前 言

技师是技术型人才队伍中具有高级技能的人才，是生产第一线的一支重要力量。他们对提高产品的质量和市场竞争力起着非常重要的作用。积极稳妥地开展技师评聘工作，对鼓励广大技术工人钻研业务、提高技术水平，推动企业生产技术进步以及稳定技术工人队伍有积极的促进作用。

为配合技师评聘工作的开展，满足机械行业对铸造工技师培训和考评的需要，我们经过广泛的调研，听取了行业专家的意见，依据《国家职业技能标准 铸造工》（技师）的鉴定要求编写了这本《铸造工技师鉴定培训教材》。

本书内容分为两大部分：第一部分为培训教材；第二部分为试题库、模拟试卷样例及答案。教材部分内容精练、实用，针对性强，主要介绍应重点培训和复习的内容；试题部分题意明确，有典型性和实用性，题型有判断题、选择题、填空题、计算题和简答题。

本书汲取了相关图书的优点，略去了低起点的内容，同时采用了最新国家职业技能标准、相关技术标准和法定计量单位。本书既适合作为职业技能鉴定培训机构、企业培训部门、技师学院进行技师鉴定的考前培训教材，又可作为读者考前复习和自测用书，也可供职业技能鉴定部门在技师鉴定命题时参考。

本书由陆文龙任主编，章安静、柳秉毅任副主编，黄英娜、徐杰、何涛、苏好参加编写，司乃潮主审。其中，第一章、第九章由黄英娜编写，第二章由柳秉毅编写，第三章、第五章、第七章由章安静编写，第四章、第六章、试题库由陆文龙编写，第八章由徐杰编写，模拟试卷样例由何涛编写，附录由苏好编写，全书由陆文龙统稿。

在本书的编写过程中得到了南京工程学院、南京汽车集团有限公司铸造分厂、南京浦镇车辆有限公司铸造分厂、江苏省铸造学会、江苏大学等单位的大力支持，在此表示衷心感谢！

在本书的编写过程中，参考了相关的文献资料，在此向这些文献资料的作者表示衷心感谢！

由于时间仓促，书中难免存在不足之处，欢迎广大读者提出宝贵的意见和建议。

编 者



# 目录

## Contents

### 序

### 前言

<b>第一章 金属材料基础知识</b>	1
第一节 金属材料及其分类	1
一、金属的基本特征	1
二、金属与金属材料的定义	1
三、金属材料的分类	1
第二节 金属材料的物理性能和力学性能	2
一、金属材料的物理性能	2
二、金属材料的力学性能	3
第三节 金属材料的铸造性能	5
一、金属材料的充型能力	5
二、金属材料的收缩	5
第四节 铁碳相图及其应用	6
一、铁碳相图	6
二、典型铁碳合金的组织转变	7
三、铁碳相图的应用	11
复习思考题	12
<b>第二章 造型制芯技术及特种铸造技术</b>	13
第一节 造型材料	13
一、黏土型砂	13
二、水玻璃砂	15
三、油砂与合脂砂	16
四、树脂砂	18
五、涂料	19
第二节 造型技术	19
一、手工造型方法	19
二、机器造型的基本原理和方法	21
三、黏土砂造型设备及造型生产线	24
四、造型机常见故障及排除方法	27

第三节 制芯技术 .....	28
一、砂芯的级别 .....	28
二、砂芯的制造方法 .....	29
三、机器制芯 .....	29
四、射芯机常见故障及排除方法 .....	34
第四节 特种铸造技术 .....	36
一、金属型铸造 .....	36
二、压力铸造 .....	36
三、离心铸造 .....	37
四、熔模铸造 .....	38
五、实型铸造 .....	39
复习思考题 .....	40
<b>第三章 液态金属充型和浇注系统设计 .....</b>	<b>41</b>
第一节 液态金属的充型 .....	41
一、液态金属的充型能力及流动性 .....	41
二、影响液态金属充型能力的因素 .....	41
第二节 浇注系统的结构、组成及作用 .....	43
一、浇注系统及其组成 .....	43
二、浇注系统各组元的作用及结构 .....	43
三、浇注系统的类型及选择 .....	45
第三节 铸铁件浇注系统尺寸的计算 .....	48
一、奥赞公式 .....	48
二、浇注时间 .....	50
三、浇注系统各组元截面积的确定 .....	52
四、阶梯式浇注系统的计算 .....	52
第四节 其他铸造合金件的浇注系统 .....	54
一、铸钢件浇注系统的优点 .....	54
二、铸铜件浇注系统的优点 .....	56
三、铸铝件浇注系统的优点 .....	56
四、金属过滤技术 .....	56
第五节 垂直分型浇注系统 .....	57
一、工艺特点 .....	57
二、计算原理 .....	57
三、设计要点 .....	58
四、设计方法举例 .....	59
复习思考题 .....	60
<b>第四章 铸件的凝固、收缩和冒口补缩系统设计 .....</b>	<b>62</b>
第一节 铸件的凝固 .....	62
一、铸件凝固及与传热有关的一般问题 .....	62

二、铸件的凝固方式 .....	62
三、灰铸铁和球墨铸铁的凝固特点 .....	64
四、铸件的凝固原则 .....	64
五、铸件凝固原则的选择 .....	65
六、控制铸件凝固原则的措施 .....	65
第二节 铸件的收缩 .....	65
第三节 铸件的缩孔和缩松 .....	67
一、缩孔和缩松的形成机理 .....	67
二、缩孔和缩松的防止方法 .....	68
第四节 铸造应力和铸件变形 .....	68
一、铸造应力的定义及分类 .....	68
二、铸造应力的形成机理 .....	68
三、减小和消除铸造应力的方法 .....	69
四、铸件变形 .....	70
第五节 铸件的裂纹 .....	70
一、铸件的热裂 .....	71
二、铸件的冷裂 .....	71
第六节 冒口的补缩原理及冒口尺寸的确定 .....	71
一、冒口的作用、种类和位置 .....	71
二、冒口的补缩原理 .....	72
三、铸钢件冒口的有效补缩距离 .....	73
四、铸铁和有色合金件冒口的有效补缩距离 .....	73
五、铸钢件冒口的设计计算 .....	75
六、铸铁件冒口的设计计算 .....	79
七、提高冒口补缩效率的方法 .....	84
第七节 补贴与冷铁的应用 .....	87
一、补贴的应用 .....	87
二、冷铁的应用 .....	89
第八节 铸件收缩缺陷与冒口补缩系统设置关系的实例分析 .....	93
复习思考题 .....	98
<b>第五章 铸造合金熔炼与铸件热处理 .....</b>	<b>99</b>
第一节 铸铁及其熔炼 .....	99
一、铸铁的分类及用途 .....	99
二、铸铁 .....	100
三、铸铁的熔炼 .....	106
第二节 铸钢及其熔炼 .....	111
一、铸钢 .....	111
二、铸钢的熔炼 .....	112
第三节 铸造有色合金及其熔炼 .....	116

一、铸造铜合金	116
二、铸造铝合金	118
三、铸造有色合金的熔炼	119
第四节 铸造合金熔炼节能技术	122
一、铸铁熔炼的节能技术	122
二、铸钢熔炼的节能技术	123
三、铸造有色合金熔炼的节能技术	123
第五节 铸造合金熔炼工艺的编制	124
第六节 铸件的热处理	124
一、灰铸铁件的热处理	124
二、球墨铸铁件的热处理	125
三、铸钢件的热处理	126
四、铸造有色合金件的热处理	126
复习思考题	128
<b>第六章 铸造工艺方案设计</b>	<b>129</b>
第一节 铸造工艺方案的确定	129
一、零件结构的铸造工艺性	129
二、造型和制芯方法的选择	132
三、浇注位置的确定	133
四、分型面的确定	134
五、砂箱中铸件数量的确定及排列	135
第二节 砂芯设计	136
一、砂芯形状（分块）的确定及分盒面的选择	136
二、芯头设计	137
第三节 铸造工艺参数	140
一、铸件尺寸公差和重量公差	140
二、机械加工余量	140
三、铸件线收缩率	141
四、起模斜度	141
五、最小铸出孔及槽	141
六、工艺补正量	142
七、分型负数	142
八、反变形量	143
第四节 铸造工艺和操作规程的编制	143
一、铸造工艺符号及表示方法	143
二、铸造工艺卡片	143
第五节 铸造工艺实例分析	143
一、箱体类铸件	143
二、筒体类铸件	147

第六节 铸造材料消耗定额的估算 .....	148
一、铸造材料消耗定额的意义 .....	148
二、铸造材料消耗定额的分类 .....	148
三、铸件合金材料消耗定额的估算 .....	149
四、原材料消耗定额制订的一般程序 .....	151
复习思考题 .....	151
<b>第七章 铸造工艺装备设计 .....</b>	<b>152</b>
第一节 模样与模板 .....	152
一、模样 .....	152
二、模板 .....	155
三、模样和模底板的装配 .....	156
第二节 芯盒 .....	158
一、芯盒的分类 .....	158
二、金属芯盒的设计 .....	158
三、热芯盒的结构设计 .....	160
四、壳芯盒的设计 .....	161
五、冷芯盒的设计 .....	162
第三节 砂箱 .....	162
一、砂箱的分类 .....	162
二、砂箱的选择和设计 .....	163
三、砂箱的结构 .....	163
复习思考题 .....	166
<b>第八章 铸件缺陷分析 .....</b>	<b>167</b>
第一节 铸件缺陷的分类 .....	167
一、按缺陷外观特征分类 .....	167
二、按缺陷形成机理分类 .....	169
三、按工序分类 .....	170
第二节 铸件缺陷分析 .....	170
一、气孔、针孔 .....	171
二、缩陷、缩孔、缩松 .....	171
三、冷裂 .....	171
四、热裂 .....	171
五、冷隔 .....	172
六、夹砂结疤 .....	172
七、粘砂 .....	172
八、夹渣 .....	172
九、冲砂、掉砂、砂眼 .....	172
第三节 铸件缺陷实例分析 .....	173
一、变速器壳缺陷分析 .....	173

二、柴油机飞轮缺陷分析	174	
第四节 铸件质量检验	175	
一、铸件外观质量检验	176	
二、铸件表面缺陷检验	176	
三、铸件内部缺陷检验	177	
四、理化性能检验	177	
第五节 铸造缺陷修补	177	
一、矫正法	178	
二、焊补法	179	
三、钎焊法	179	
四、熔补法	179	
五、浸渗修补法	179	
六、填腻修补法	180	
七、其他修补方法	181	
复习思考题	181	
<b>第九章 铸造生产管理与技术培训</b>	182	
第一节 铸造生产管理基本知识	182	
一、生产过程组织	182	
二、生产技术准备	182	
三、生产计划和控制	182	
四、生产要素管理	182	
五、生产设备管理	183	
六、生产现场环境管理	183	
七、物资管理	183	
八、技术管理	183	
第二节 铸造生产质量分析与控制方法	184	
一、企业质量管理概述	184	
二、质量管理中常用的统计分析方法	184	
三、铸造生产过程的质量控制	184	
第三节 铸造生产技术管理	185	
一、生产技术管理	185	
二、安全技术规程	186	
复习思考题	186	
<b>试题库</b>	187	
一、判断题	试题 (187)	答案 (201)
二、选择题	试题 (189)	答案 (201)
三、填空题	试题 (193)	答案 (201)
四、计算题	试题 (197)	答案 (202)
五、简答题	试题 (197)	答案 (204)

模拟试卷样例	199
模拟试卷样例答案	211
附录	213
附录 A 技师论文写作与答辩要点	213
附录 B 碳素钢和低合金钢铸件的工艺出品率	216
参考文献	218



# 第一章

## 金属材料基础知识

**培训目标** 了解金属材料的分类，掌握金属材料的物理、力学性能以及铸造性能，能够根据铁碳相图简要分析合金的主要成分及组织性能。

金属材料的基础知识是铸造工艺的基础，本章主要讨论与金属材料有关的一些基础知识，介绍一般金属材料的物理性能、力学性能、铸造性能以及铁碳相图的简单应用。

### 第一节 金属材料及其分类

#### 一、金属的基本特征

与非金属相比，金属具有以下几个基本特征：

1) 除汞（俗称水银，化学元素符号为 Hg）以外，所有金属在常温时，都是晶体物质，它们的原子排列有一定规则，如金、银、铜、铝、铁等。

2) 金属都具有特定的光泽，称为金属光泽，如银是白色的，纯铜是紫红色的，而黄铜则是金黄色的。

3) 除锗（化学元素符号为 Ge）外，固体金属的电阻随着温度的升高而增大，这一特性称为“正的温度电阻率”。非金属具有负的温度电阻率，即随着温度的升高其电阻反而降低。这就是用橡胶制成的电工用防护套在高温时容易被电流击穿的原因。

4) 金属具有良好的导电性和传热性，所以输电线、炊具和散热器等都是用金属制造的。

5) 金属还具有良好的力学性能和加工性能，如钢丝绳可以吊起重物，钢轨能承受火车的重量，各种金属还可以按需要轧成板、管、棒或进行切削加工等。

#### 二、金属与金属材料的定义

金属是指在常温下具有正的温度电阻率，良好的导电性、传热性、力学性能和可加工性能，并具有特定光泽的晶体物质。例如，金、银、铜、铁、锡等具有上述特征，但没有一定的形状、尺寸等概念。

金属材料是金属经过特定加工处理而成的。具有一定截面形状及几何尺寸的材料的总称。例如，4号角钢、6.5mm 线材等不但具有金属的基本特征，而且具有一定的截面形状与几何尺寸等。

#### 三、金属材料的分类

##### 1. 根据纯度分类

根据纯度的不同，可将金属材料分为纯金属和合金两类。

纯金属是指由一种金属元素组成的物质，如纯铜、纯铝、纯镍等。但世界上绝对纯的金属是极少的，实际应用的金属材料都含有一定量的其他元素。例如，工业用的高纯铝中铝含量为 99.99%（质量分数）左右；一号纯铜中铜含量为 99.95%（质量分数）左右，其余为

杂质元素。

## 2. 按色泽分类

通常人们按不同的色泽把金属材料分为黑色金属和有色金属两类。

黑色金属是指铁、锰、铬或以这些元素为基本组成的合金。例如，钢与生铁的基本组成都是铁，锰铁、铬铁的基本组成是铁和锰或铬，它们属于黑色金属。

有色金属是指除黑色金属以外的所有金属元素（包括硅、硒、碲、砷、硼等半金属元素）和以这些元素为基本组成的合金，如铜、铝、铅、锡、锌及其合金。

黑色金属以钢铁材料为主，所以也可以说，金属材料包括两大类型，即钢铁材料和有色金属。

# 第二节 金属材料的物理性能和力学性能

## 一、金属材料的物理性能

金属材料的物理性能是金属材料不受外界条件影响时的固有性能。它所涉及的范围很广，这里主要介绍密度、熔点、导电性、导热性和磁性五个方面。

### 1. 密度

金属材料的密度是指其单位体积的质量。其符号为 $\rho$ ，计算公式为

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中  $m$ ——质量 (kg)；

$V$ ——体积 ( $m^3$ )。

金属材料的相对密度是指其密度与4℃时同体积水的质量之比。它是一个无单位量。

### 2. 熔点

金属在加热时，由固态转变为液态时的温度称为熔点。例如，铝在加热到660.1℃时就转变为液态，而钨则要加热到3380℃以上才转变成液态。

### 3. 导电性

导电性是指物体传导电流的能力。

根据物质导电能力的不同，可以将其分为导体和非导体两类。金属属于导体，但不同的金属，其导电能力并不一致。大部分金属属于良导体，其中银的导电能力最强，铜次之，金居三，铝居四。

### 4. 导热性

导热性是指物体传导热量的能力。严格地说，衡量金属材料传导热量能力的指标有传热系数与导热系数两个物理量。

### 5. 磁性

磁铁可以把铁钉吸住，而且时间一长，该铁钉又可吸起比它更小的钢针。这是因为某些物体能被外磁场吸引并磁化，即显示出磁效应。

根据磁性强弱的不同，可以把金属材料分为铁磁性物质、顺磁性物质和逆磁性物质三种。

逆磁性物质又叫抗磁性物质或无磁性物质，是能抵抗或削弱外磁场作用的物质。例如，

铜、铅、锌、锡、钛、金、银、汞以及它们的合金等，不受外磁场影响，始终保持无磁特性。

## 二、金属材料的力学性能

金属材料在承受外力时所表现出来的特性，或其对变形和破裂的抗力，统称为力学性能。力学性能包括静载荷下的弹性、强度、塑性和硬度，动载荷下的冲击韧度，交变载荷下的疲劳强度、高温强度及断裂韧度等。

鉴定金属材料力学性能的方法是进行各种性能试验，并由此获得有关的指标。常见的性能试验有拉伸试验、硬度试验、冲击试验、疲劳试验及蠕变试验等。

### 1. 弹性、刚度、强度及塑性

通过拉伸试验，可以测定金属材料在单向拉应力作用下的弹性极限、屈服强度、抗拉强度、断后伸长率及断面收缩率等指标。

拉伸试验时，随着拉力的不断增加，试样的内部结构及外观尺寸、形状等，都发生一系列的变化。其变化过程大致可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。

#### (1) 弹性和刚度

1) 弹性。金属材料在外力作用下产生的形状或尺寸的变化叫做变形。在拉伸试验初期，当拉力不超过一定范围时，绝大多数试样在去除外力后均能恢复原有的形状和尺寸。金属材料的这种性质称为弹性。去除外力后能够消失的变形称为弹性变形。弹性变形以后，随着拉力的不断增加，试样开始变细变长，此时如果再去掉拉力，变形只能部分地复原而残留下一部分不能消失的变形。金属材料的这种性质称为塑性。不能消失而残留下来的变形称为塑性变形（或称为永久变形）。

金属材料的弹性变形具有可逆性，同时，在弹性变形过程中，不论是加载还是卸载，其应力和应变都保持单值的线性关系，符合胡克定律，即  $\sigma/\varepsilon = k$ （常数）。其中比例常数  $k$  称为弹性模量（或称为杨氏模量），当是正应力时，用  $E$  表示。

2) 刚度。工程上将材料对弹性变形的抗力称为刚度。拉伸时的刚度常用试样的原始横截面积  $S_0$  与该材料弹性模量  $E$  的乘积  $S_0E$  表示。 $S_0E$  值越大，拉伸件弹性变形越小，亦即刚度越好。因此，弹件模量  $E$  也是衡量构件刚度的主要性能指标。

(2) 强度 材料受外力作用时，抵抗变形和断裂的能力称为强度，以单位面积所能承受的载荷表示，常用单位为 MPa。通过拉伸试验，可以由应力-应变曲线上一些有价值的点来确定金属材料的一系列强度指标。

1) 屈服强度。拉伸试验时，当作用在试样上的拉力增加到一定值（载荷指示器的指针停止转动或开始往回转）时，应力-应变曲线上出现了平台或锯齿状，在载荷不增加甚至有所减少的情况下，试样还继续发生明显的伸长，这种现象称为屈服。材料屈服时，在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点，称为屈服强度。应区分上屈服强度（ $R_{eH}$ ）和下屈服强度（ $R_{eL}$ ）。

2) 抗拉强度。若将屈服了的试样继续拉伸，则金属材料会显示抵抗变形的能力，应力又开始上升。这种随着塑性变形量的增大，变形抗力有所增加的现象，称为加工硬化。当拉伸应力达到一个最大值时，试样的某一局部横截面积便开始急剧减小，出现所谓“颈缩”现象。以后的变形主要集中在颈缩附近。相应最大拉力  $F_m$  时的应力称为抗拉强度  $R_m$ 。

抗拉强度表征金属材料最大均匀变形的抗力，或材料在拉伸条件下所能承受的最大应力。

(3) 塑性 金属材料在外力作用下，能产生塑性变形而不破裂的能力，称为塑性。塑性一般用断后伸长率和断面收缩率来表示。

1) 断后伸长率  $A$ 。断后伸长率  $A$  以拉伸试验时试样的相对伸长或平均应变量表示，即试样拉断后标距增长量与原始标距之比。

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100\%$$

式中  $L_u$ ——试样拉断后的标距 (mm)；

$L_o$ ——试样的原始标距 (mm)。

2) 断面收缩率  $Z$ 。断面收缩率是拉伸试验时，试样横截面的缩减量与原横截面积之比值，即

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100\%$$

式中  $S_u$ ——断裂后试样颈缩处的最小横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

$S_o$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

金属材料的断面收缩率与试样尺寸无关，它能较可靠地代表金属材料的塑性。另外，由金属材料内部质量所引起的塑性变化，断面收缩率比断后伸长率反应更为敏感。

## 2. 硬度

金属材料的硬度一般是指金属材料表面局部区域抵抗变形或抵抗破裂的能力。

根据试验方法和适用范围的不同，大致可将硬度分为压痕硬度、刻痕硬度、回弹硬度三种类型。显然，“硬度”这个概念不是一个确定的物理量，随着测量方法的不同，其含义也不同。目前，金属材料检验中用得最多的是布氏硬度和洛氏硬度，它们均属于压痕硬度试验法的范畴。

(1) 布氏硬度 布氏硬度试验是在 1900 年由瑞典工程师 Johan August Brinell 提出的。其试验方法是：对一定直径的硬质合金球，施加一定载荷，将其压入试样表面，并保持一定时间，待塑性变形稳定后，卸除载荷，在试样表面便留下一个压痕，然后用读数显微镜测量压痕直径，再由压痕平均直径计算得出布氏硬度值，用符号 HBW 表示。

$$\text{布氏硬度} = \text{常数} \times \frac{\text{试验力}}{\text{压痕表面积}} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中  $F$ ——载荷 (N)；

$D$ ——硬质合金球直径 (mm)；

$d$ ——压痕平均直径 (mm)。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度试验法是美国人洛克威尔 (S. P. Rockwell 和 H. M. Rockwell) 于 1919 年提出的。它和布氏硬度法一样，也是一种压入硬度试验。但它不是测压痕的面积，而是测量压入的深度，以压痕深度表征材料的硬度。试验时以金刚石圆锥体或硬质合金球作压入器，先加以初载荷，然后加以主载荷，垂直压入试样表面之后，卸除主载荷，在保留初载荷的情况下，记录主载荷所引起的残余压入深度，并以此压痕深度来计算硬度值。

### 3. 冲击韧度<sup>①</sup>

金属材料的冲击韧度通常是在一次摆锤弯曲冲击试验中求得的。试验时，使抬高的摆锤落于试样，将试样冲断，并测定冲断试样所消耗的冲击吸收能量。冲击韧度定义为

$$a_K = \frac{K}{S}$$

式中  $K$ ——冲断试样所消耗的冲击吸收能量；

$S$ ——试样被冲断后缺口处的横截面积。

$a_K$  值只能用于比较材料抵抗冲击能力，并无绝对的物理意义，只能说明在相同试验条件下， $a_K$  值大的材料，其冲击韧性一般较好。

### 4. 疲劳强度

许多机械结构件，如连杆、齿轮、车轴、汽轮机叶片等，经常要承受交变载荷。尽管交变应力远低于材料的屈服强度，但这些机械结构件经过较长时间的使用后，也常发生突然断裂，而且断裂前一般没有明显的宏观塑性变形，这种现象称为疲劳破坏。

通过疲劳试验可测出构件的疲劳强度。

### 5. 高温强度

金属材料在温度高于某一值时，如果受到外力作用，即使应力小于屈服强度，也会随着时间的推移而产生缓慢的塑性变形，这种现象称为蠕变。温度越高蠕变越明显。

金属材料的高温强度，可在高温拉力试验机或装有管式电阻加热炉及测量和控制温度等辅助设备的一般试验机上进行。

## 第三节 金属材料的铸造性能

铸造性能是表示金属材料在铸造成型的整个工艺过程中，容易获得外形正确、内部健全铸件的性能。它是一个复杂的综合性能。除合金元素外，工艺因素对铸造性能的影响很大。因此，必须掌握金属材料的铸造性能，以便采取工艺措施，防止铸造缺陷，提高铸件质量。

### 一、金属材料的充型能力

#### 1. 充型能力的概念

液态金属充满型腔，形成轮廓清晰、形状完整铸件的能力，叫做液态金属的充型能力。它是指考虑了铸型及工艺因素影响的熔融金属的流动性。

铸造合金的流动性能，通常以螺旋形流动性试样的长度来衡量。将金属液浇入螺旋形试样的铸型中，在相同的铸型及浇注条件下，得到的螺旋形试样越长，表示该合金的流动性越好。

#### 2. 影响充型能力的因素

铸造合金类型、铸型条件、浇注条件和铸件结构等因素对合金的充型能力有重要影响。

### 二、金属材料的收缩

金属在从高温液态冷却到常温的过程中，体积和尺寸缩小的现象称为收缩。收缩是铸造合金的物理本性，又是影响铸件几何形状和尺寸以及致密性，甚至会造成某些缺陷的重要铸

<sup>①</sup> “冲击韧度”在最新的标准中未列出，在此仅作为参考。

造性能之一。

金属的收缩量通常用体收缩率和线收缩率来表示。金属从高温液态到常温的体积改变量称为体收缩。金属在固态由高温到常温的线尺寸改变量称为线收缩。

#### 第四节 铁碳相图及其应用

钢和铸铁是现代工业上使用最广泛的金属材料，它们都是由铁和碳两种主要元素组成的合金。钢铁的成分不同，其组织和性能也不同。下面将依据铁碳相图及对典型铁碳合金结晶过程的分析，来研究铁碳合金的成分、组织、性能之间的关系。

## 一、铁碳相图

铁碳相图是研究钢和铸铁的基础，对于钢铁材料的应用以及制订热加工和热处理工艺也具有重要的指导意义。

铁和碳的结合方式有两种：其一是碳溶于铁中形成间隙固溶体，如碳可以分别溶于  $\delta$ -Fe、 $\gamma$ -Fe、 $\alpha$ -Fe 中，形成相应的固溶体；其二是铁和碳发生化学作用形成一系列化合物，如  $Fe_3C$ 、 $Fe_2C$ 、 $FeC$  等。因此，整个铁碳相图包括  $Fe$ - $Fe_3C$ 、 $Fe_3C$ - $Fe_2C$ 、 $Fe_2C$ - $FeC$ 、 $FeC$ -C 等几个部分，如图 1-1 所示。

Fe<sub>3</sub>C 中碳的质量分数为 6.69%。工业上使用的铁碳合金，碳的质量分数不超过 5%，所以铁碳相图中只有 Fe-Fe<sub>3</sub>C 部分（图 1-1 中的影线部分）有实用意义，通常称为 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，如图 1-2 所示。

### 1. 铁碳相图中的相

铁碳相图中存在五种相。

(1) 液相 铁和碳的液溶体, 用符号 L 表示。

(2) 高温铁素体 ( $\delta$ ) 碳在  $\delta$ -Fe 中的间隙固溶体, 呈体心立方晶格, 在  $1394^{\circ}\text{C}$  以上存在。

(3) 铁素体 碳在  $\alpha$ -Fe 中的间隙固溶体, 呈体心立方晶格。铁素体中碳的溶解度很小, 室温时碳的质量分数约为 0.0008%, 在 727°C 时溶碳量最大, 为 0.0218% (质量分数)。其性能特点是强度低、硬度低、塑性好。铁素体用符号 F 表示。

(4) 奥氏体 碳在  $\gamma$ -Fe 中的间隙固溶体, 呈面心立方晶格。奥氏体中碳的溶解度较大, 在 1148℃时溶碳量最大, 达 2.11% (质量分数)。其性能特点是强度较低、硬度不高、

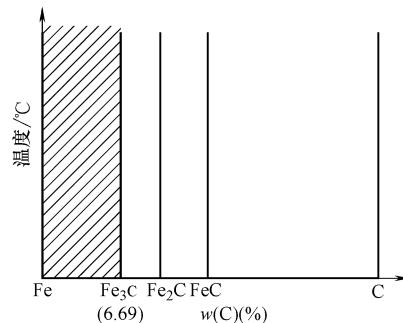


图 1-1 铁碳合金的各种化合物

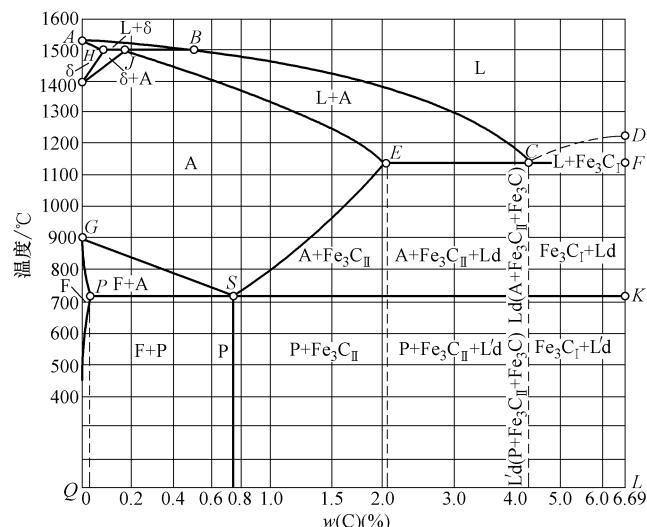


图 1-2 铁碳相图

塑性良好。奥氏体用符号 A 表示。

(5) 渗碳体 铁与碳的一种具有复杂晶格的间隙化合物, 化学式为  $\text{Fe}_3\text{C}$ 。其性能特点是硬度很高、塑性极差、脆性大。渗碳体直接用其化学式表示。

## 2. 铁碳相图中的特性点和特性线

(1) 铁碳相图中的特性点 铁碳相图中的部分特性点见表 1-1。

表 1-1 铁碳相图中的部分特性点

符 号	温 度 /℃	碳质量分数(%)	含 义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.30	共晶点 $\text{L}_c \rightarrow \text{A} + \text{Fe}_3\text{C}$
D	1227	6.69	$\text{Fe}_3\text{C}$ 的熔点
E	1148	2.11	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightarrow \gamma\text{-Fe}$ 同素异构转变点
P	727	0.0218	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点 $\text{A} \rightarrow \text{F} + \text{Fe}_3\text{C}$
Q	室温	0.0008	室温时碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度

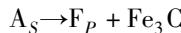
相图中 C 点和 S 点是两个重要的特性点。

1) C 点: 共晶点。合金在平衡结晶过程中冷却到 1148℃ 时, C 点成分的液相将同时结晶出 E 点成分的奥氏体和渗碳体。



这种由一种液相在恒温下同时结晶出两种固相的反应称为共晶反应。

2) S 点: 共析点。合金在平衡结晶过程中冷却到 727℃ 时, S 点成分的奥氏体会同时析出 P 点成分的铁素体和渗碳体。



这种由一种固相在恒温下同时析出两种完全不同的固相的反应称为共析反应。S 点成分的奥氏体共析反应产物是由铁素体和渗碳体两种晶体组成的共析组织, 称为珠光体, 用符号 P 表示。珠光体中的渗碳体称为共析渗碳体。

(2) 铁碳相图中的特性线 相图中的 ABCD 线为液相线, AHJECF 线为固相线。

ECF 线为共晶反应线, 碳质量分数为 2.11% ~ 6.69% 的铁碳合金, 在平衡结晶过程中冷却到该线时均会发生共晶反应。

PSK 线为共析反应线, 碳质量分数为 0.0218% ~ 6.69% 的铁碳合金, 在平衡结晶过程中冷却到该线时均会发生共析反应。PSK 线又称为  $\text{A}_1$  线。

GS 线是合金冷却时从奥氏体中开始析出铁素体的临界温度线, 通常称为  $\text{A}_3$  线。

ES 线是碳在奥氏体中的固溶线, 通常称为  $\text{A}_{cm}$  线。由于在 1148℃ 时奥氏体中的溶碳量最大, 可达 2.11% (质量分数), 而在 727℃ 时仅为 0.77% (质量分数), 所以碳质量分数大于 0.77% 的铁碳合金自 1148℃ 冷却到 727℃ 的过程中, 将从奥氏体中析出渗碳体。析出的渗碳体称为二次渗碳体 ( $\text{Fe}_3\text{C}_{II}$ )。ES 线又称为从奥氏体中开始析出  $\text{Fe}_3\text{C}_{II}$  的临界温度线。

## 二、典型铁碳合金的组织转变

根据铁碳合金室温平衡组织的不同, 可将其分为工业纯铁、钢和白口铸铁三类。

- (1) 工业纯铁 碳的质量分数小于或等于 0.0218%。
- (2) 钢 碳的质量分数大于 0.0218% 而小于或等于 2.11%，可分为：
  - 1) 亚共析钢：碳的质量分数大于 0.0218% 而小于 0.77%。
  - 2) 共析钢：碳的质量分数等于 0.77%。
  - 3) 过共析钢：碳的质量分数大于 0.77% 而小于或等于 2.11%。
- (3) 白口铸铁 碳的质量分数大于 2.11% 而小于 6.69%，可分为：
  - 1) 亚共晶白口铸铁：碳的质量分数大于 2.11% 而小于 4.30%。
  - 2) 共晶白口铸铁：碳的质量分数等于 4.30%。
  - 3) 过共晶白口铸铁：碳的质量分数大于 4.30% 而小于 6.69%。

为了便于分析，将铁碳相图中实际应用很少的左上角部分和  $GPQ$  线以左碳质量分数很低的部分加以简化，形成图 1-3 所示的简化铁碳相图。下面选择相图中的六种典型铁碳合金，分析其组织转变过程。

### 1. 共析钢

碳的质量分数等于 0.77% 的钢为共析钢（见图 1-3 中的 I），其平衡结晶过程中的组织转变如图 1-4 所示。

合金冷却时，自 1 点开始从液相中结晶出奥氏体，至 2 点全部结晶完毕。在 2 点和 3 点间，单相奥氏体冷却，不发生变化。到 3 点时，奥氏体发生共析反应，生成珠光体。奥氏体完全转变成珠光体后温度继续下降，珠光体不再发生变化。因此，共析钢的室温平衡组织全部为珠光体，如图 1-5 所示。

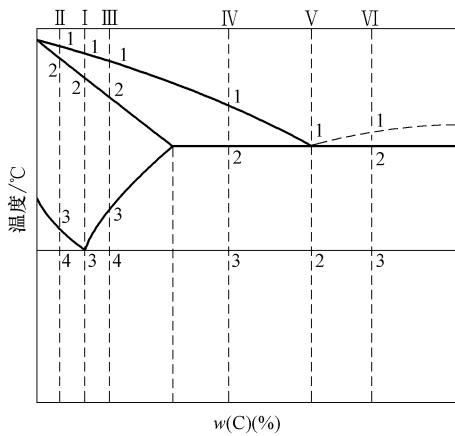


图 1-3 简化的铁碳相图

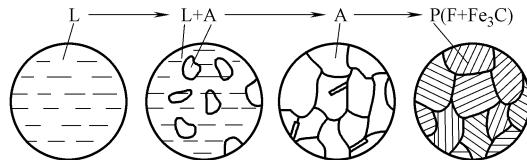


图 1-4 共析钢组织转变示意图



图 1-5 共析钢的室温平衡状态显微组织

### 2. 亚共析钢

以碳质量分数为 0.4% 的铁碳合金为例（见图 1-3 中的 II），其平衡结晶过程中的组织转变如图 1-6 所示。

合金冷却时，于 2 点开始从液相中结晶出奥氏体，到 2 点全部结晶完毕。在 2 点和 3 点间，单相奥氏体冷却。从 3 点起，冷却时从奥氏体中析出铁素体，铁素体在奥氏体晶界处优

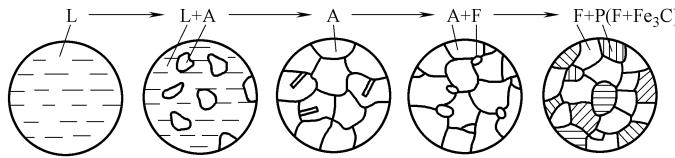


图 1-6 亚共析钢的组织转变示意图

先形核并长大,到4点时,奥氏体的成分变为碳的质量分数为0.77%,铁素体的成分变为碳的质量分数为0.0218%。此时,奥氏体发生共析反应,转变为珠光体,铁素体不变化。4点以下合金组织不再发生变化。因此,亚共析钢的室温平衡组织为铁素体和珠光体。图1-7所示为碳质量分数为0.40%的亚共析钢的室温平衡状态显微组织。

### 3. 过共析钢

以碳的质量分数为1.2%的铁碳合金为例(见图1-3中的Ⅲ),其平衡结晶过程中的组织转变如图1-8所示。

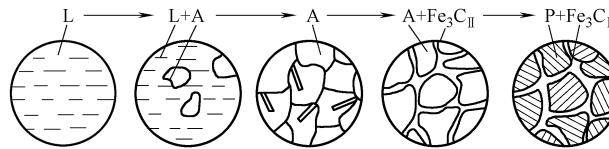


图 1-8 过共析钢的组织转变示意图

合金冷却时,于1点开始从液相中结晶出奥氏体,到2点全部结晶完毕。在2点和3点间,单相奥氏体冷却。从3点起,冷却时从奥氏体中析出二次渗碳体,二次渗碳体呈网状分布在奥氏体晶界上。到4点时,奥氏体的成分变为碳的质量分数为0.77%,此时奥氏体发生共析反应转变为珠光体,而二次渗碳体不发生变化。4点以下合金组织不再发生变化。因此,过共析钢的室温平衡组织为珠光体和二次渗碳体。图1-9所示为碳的质量分数为1.2%的过共析钢的室温平衡状态显微组织。

### 4. 共晶白口铸铁

碳的质量分数为4.3%的铁碳合金是共晶白口铸铁(见图1-3中的Ⅴ),其平衡结晶过程中的组织转变如图1-10所示。

合金冷却时,于1点发生共晶反应,全部转变为莱氏体(由奥氏体和渗碳体组成的共晶组织,称为高温莱氏体)。在1点和2点之间,莱氏体中的奥氏体不断析出二次渗碳体。二次渗碳体与共晶渗碳体相连,在显微镜下无法分辨,此时的莱氏体由奥氏体、二次渗碳体和共晶渗碳体所组成。到2点时,奥氏体的成分变为碳质量分数为0.77%,并发生共析反



图 1-7 碳质量分数为0.4%的亚共析钢的室温平衡状态显微组织



图 1-9 碳的质量分数为1.2%的过共析钢的室温平衡状态显微组织

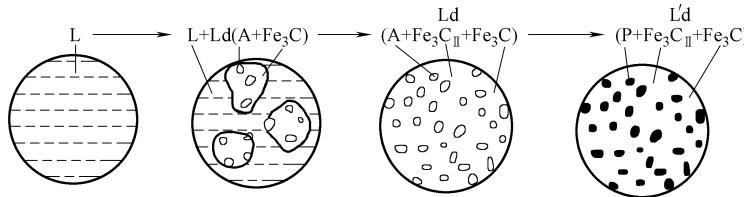


图 1-10 共晶白口铸铁的组织转变示意图

应，转变为珠光体，高温莱氏体转变为低温莱氏体（由珠光体、二次渗碳体和共晶渗碳体组成，用符号 L'd 表示）。因此，共晶白口铸铁的室温平衡状态组织为低温莱氏体，如图 1-11 所示。

### 5. 亚共晶白口铸铁

以碳的质量分数为 3.0% 的铁碳合金为例（见图 1-3 中的Ⅳ），其平衡结晶过程中的组织转变如图 1-12 所示。

合金冷却时，于 1 点开始从液相中结晶出奥氏体。在 1 点和 2 点之间，结晶出来的奥氏体数量不断增加，液相逐渐减少。到 2 点时，奥氏体的成分变为碳的质量



图 1-11 共晶白口铸铁的室温平衡状态显微组织

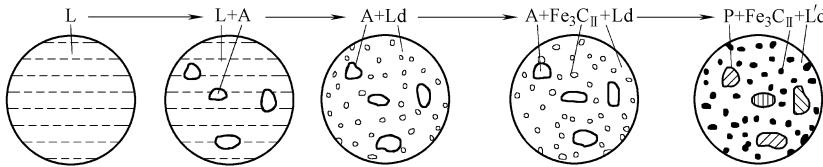


图 1-12 亚共晶白口铸铁的组织转变示意图

分数为 2.11%，液相的成分变为碳的质量分数为 4.3%，并发生共晶反应，转变成高温莱氏体，奥氏体不参与反应。在 2 点和 3 点之间继续冷却时，从奥氏体中不断析出二次渗碳体。到 3 点时，所有奥氏体的成分变为碳的质量分数为 0.77%，并发生共析反应，转变成珠光体，同时高温莱氏体也转变为低温莱氏体。3 点以下合金组织不再变化。因此，亚共晶白口铸铁的室温平衡组织为珠光体、二次渗碳体和低温莱氏体。图 1-13 所示为亚共晶白口铸铁的室温平衡状态显微组织。

### 6. 过共晶白口铸铁

以碳的质量分数为 5.0% 的铁碳合金为例（见图 1-3 中的Ⅵ），其平衡结晶过程中的组织转变如图 1-14 所示。

合金冷却时，于 1 点开始从液相中结晶出一次渗碳体。到 2 点时，液相的成分变为碳的质量分数为 4.3%，并发生共晶反应，转变成高温莱氏体。在 2 点和 3 点之间，从高温莱氏体中的奥氏体不断析出二次渗碳体，并在 3 点时发生共析反应，转变成珠光体，高温莱氏



图 1-13 亚共晶白口铸铁的室温平衡状态显微组织

体转变为低温莱氏体，一次渗碳体始终不变。3点以下合金组织不再变化。因此，过共晶白口铸铁的室温组织为一次渗碳体和低温莱氏体。图1-15所示为过共晶白口铸铁的平衡状态显微组织。

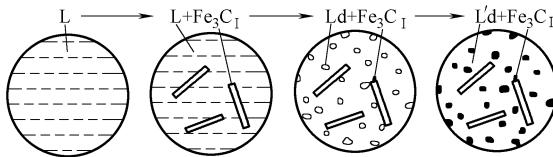


图 1-14 过共晶白口铸铁的组织转变示意图

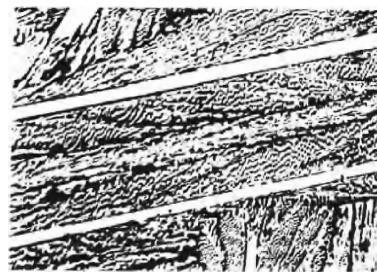


图 1-15 过共晶白口铸铁的室温平衡状态显微组织

### 三、铁碳相图的应用

#### 1. 铁碳相图在钢铁材料选用方面的应用

铁碳相图总结了铁碳合金的平衡组织以及性能随成分变化的规律，以便于根据工件的性能要求来选择材料。对塑性、韧性要求较高时，应选用含碳量较低（质量分数为0.10%~0.25%）的钢材；各种机器零件要求强度、塑性和韧性有较好的配合，应选用含碳量适中（质量分数为0.25%~0.60%）的钢材；各种工具要求有较高的硬度与耐磨性，应选用含碳量高（质量分数为0.6%~1.3%）的钢材。当然，为了进一步提高钢的性能，还需要有其他工艺的配合。

#### 2. 铁碳相图在铸造工艺方面的应用

根据相图中的液相线，可以确定不同成分的钢和铸铁的浇注温度，如图1-16所示。浇注温度不能太高，也不能太低，一般在液相线以上50~200℃。对于铸钢而言，碳的质量分数应选在0.15%~0.60%之间，因为在此成分范围内钢的结晶温度范围小，铸造时流动性较好。

#### 3. 铁碳相图在塑性加工工艺方面的应用

奥氏体呈面心立方晶格，塑性好，因而钢的轧制或锻造必须选择在铁碳相图中单相奥氏体区的适当温度范围内进行。一般始锻（轧）温度应选在固相线以下100~200℃范围内。温度过高时，钢的氧化显著加快，晶粒粗大甚至会产生奥氏体晶界熔化现象。终锻（轧）温度视钢种不同而异：亚共析钢一般应控制在GS线以上一点，如果在GS线以下，则会有大量铁素体析出，形成两相组织，且不均匀，对变形不利，此外还会形成带状组织，使钢的韧性下降；过共析钢则宜选择在PSK线以上不多处进行，其目的是打碎网状二次渗碳体。

#### 4. 铁碳相图在热处理工艺方面的应用

铁碳相图对制订热处理工艺有重要的指导作用。一般情况下，退火、正火、淬火等热处

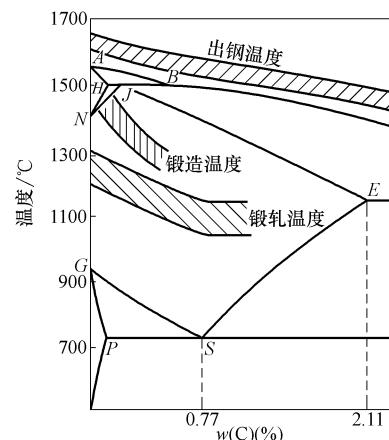


图 1-16 铁碳相图与热加工温度的关系

理工艺的加热温度均依据铁碳相图确定。铁碳相图虽然在生产上有其重要的指导意义，但是也有一定的局限性，表现在：

1) 铁碳相图只能说明平衡条件下，不同成分的铁碳合金在不同温度下所具有的状态及室温时所得到的组织，不能反映生产实践中不平衡加热和冷却时的变化情况，如索氏体、托氏体、贝氏体、马氏体、过饱和固溶体等亚稳定相、不稳定相和组织的存在条件及其变化规律等都不能反映出来。另外，铁碳相图虽然指出了铁碳合金在室温下存在的铁素体和渗碳体两相及其组织状况，但是当条件改变时，它们的相对量、大小、形状、分布等都要变化，所得组织也不相同，这些在铁碳相图中也是无法反映出来的。

2) 铁碳相图是用极纯的铁与碳配制成各种合金测定出来的，只反映铁碳二元合金中相的平衡状态，而工业上使用的钢铁材料中常不可避免地存在各种杂质元素，如硅、锰、硫、磷等，所以，铁碳相图上的临界点和相的成分都与实际材料有出入。特别是在铁碳合金中有意识加入含量较高的合金元素时，相图的变化更大，在这样的条件下，铁碳相图的参考价值就很有限了。

### 复习思考题

1. 简述金属与金属材料的基本定义。
2. 金属材料的力学性能及物理性能指的是什么？
3. 铸钢和铸铁都属于铁碳合金，为什么它们的力学性能有很大的差异？
4. 铁碳相图在工业生产中的应用主要有哪些？

## 第二章

# 造型制芯技术及特种铸造技术

**培训目标** 掌握造型材料的选用方法，型（芯）砂的配比及混制工艺；了解型砂性能对铸件质量和铸造工艺过程的影响；了解机器造型（芯）及其设备；了解特种铸造的特点、工艺过程、造型方法等。

造型制芯技术是铸造工艺设计的主要内容之一。本章主要介绍造型材料、造型技术和制芯技术及其装备，简要叙述特种铸造的分类及其应用范围。

铸造方法分为砂型铸造和特种铸造两大类。砂型铸造是以型砂为主要造型材料制备铸型并在重力下浇注的铸造工艺。它具有适应性广、成本低等优点，是应用最广泛的铸造方法。

## 第一节 造型材料

造型材料是砂型铸造的基础，它对铸件质量、生产率和生产成本等都有很大的影响。铸件中产生的气孔、夹砂、粘砂等缺陷往往都与造型材料有关。

型砂、芯砂是砂型铸造中所用的基本造型材料，通常由砂子（原砂）、黏结剂及附加物等组成。生产中多按照所用黏结剂的不同对型（芯）砂进行分类。

### 一、黏土型砂

#### 1. 黏土型砂用原材料

(1) 原砂 自然界中的砂土是岩石的风化物。铸造上将直径大于  $22\mu\text{m}$  的颗粒称为砂，直径小于或等于  $22\mu\text{m}$  的颗粒称为泥分。铸造用原砂通常分为硅砂和非硅质砂两类。

1) 硅砂。理论上硅砂是指矿相为石英的  $\text{SiO}_2$  颗粒，由粒径为  $0.053\sim3.35\text{mm}$  的石英颗粒组成。就其矿床在自然界的形成方式而言，铸造用硅砂分为三种，即沉积砂、砂岩砂和人造硅砂。

硅砂的矿物组成及化学成分将直接影响其耐火度及回用性能，而耐火度又直接与铸件的表面粗糙度有关。但是硅砂的物理性能、含泥量及颗粒形状有时比化学成分更为重要。硅砂的表面状态、颗粒形状、粒度及其分布等都是用于评定其是否适于生产优质铸件的基本性能。

2) 非硅质砂。硅砂以外的一些砂统称非硅质砂，也称为特种砂。作为铸造原砂的非硅质砂，主要有锆砂、铬铁矿砂、橄榄石砂、刚玉砂等，目前大多用于铸钢件生产中。

(2) 黏土 铸造用黏土是型砂的主要黏结剂。黏土的主要化学成分为硅、铝和水分，同时也有镁、铁和碱土金属。黏土是由颗粒极为细小的黏土矿物组成的，被水润湿后，即有可塑性和黏结性，烘干硬结后具有干强度。只要承受的温度不高，黏土在遇水后还有可能恢复原来的性能，有较好的复用性。黏土在自然界分布很广，具有储存量丰富、成本低廉、货源充足、适应性广、黏结强度优异等特点。

黏土按矿物成分的不同分为普通黏土和膨润土两类。两者各种性能都有较大区别。普

通黏土的主要矿物成分是高岭石或伊利石，膨润土的主要矿物成分是蒙脱石。

膨润土主要分为两种，即钙基膨润土和钠基膨润土。我国目前开采的膨润土大都属于钙基膨润土，但在生产中往往满足不了要求，利用黏土矿物的阳离子交换性质，可对钙基膨润土进行活化处理，使之转化为钠基膨润土。

(3) 附加物 为了改善型砂的某些性能，常需要在型砂中加入一些起辅助作用的附加物。常用的附加物大致分以下几类：

1) 抗粘砂材料。高温金属液进入型腔后，常侵入砂粒的间隙，与砂型（芯）中的某些物质发生作用，在铸件表面形成粘砂缺陷。为了防止这类缺陷的产生，加入抗粘砂材料能有效地防止粘砂缺陷的产生。

最常用的抗粘砂材料是煤粉。它是将烟煤磨碎制得的粉料，主要用于黏土湿型砂，具有很好的防粘砂作用，能显著改善铸件的表面质量。

其他防粘砂材料还有石墨粉、石英粉、重油、氧化铁粉等。

2) 溃散附加物。溃散附加物主要用于改善型（芯）砂的溃散性，常用的是纤维素类附加物，主要有木屑粉、核桃粉、稻壳粉、燕麦皮等。这类材料在热浇注或烘干后燃烧，能增加型砂的退让性和溃散性。

3) 提高型（芯）砂强度的材料，如糖浆、纸浆、谷物、淀粉，加入后可提高型（芯）砂的强度。

## 2. 黏土型砂的制备

在拟定黏土型砂的配方之前，必须先根据浇注合金种类、铸件结构和要求、造型方法和工艺、清理方法等因素确定型砂应具有的性能范围，然后再根据各种造型原材料的品种和规格、砂处理方法和设备性能、砂铁比等因素拟定型砂配方。以下仅以铸铁件普通机器造型用湿型黏土型砂的制备要求为例作简单介绍。

### (1) 湿型砂的性能要求

1) 强度：一般指湿压强度，控制在  $0.08 \sim 0.14 \text{ MPa}$ 。

2) 水分：根据实际生产的存放时间、气温和砂温等因素，水分应比试验数据高，一般将水的质量分数控制在  $4.5\% \sim 6\%$ 。

3) 透气性：对于生产  $50\text{kg}$  以下的小件，湿透气性大于 80 即能满足生产要求。

4) 紧实率：对于机器造型，型砂紧实率一般控制在 45% 左右。

### (2) 湿型砂对原材料的要求

1) 原砂。湿型砂一般采用粒度为  $50/100$  目、 $70/140$  目、 $100/200$  目且颗粒度均匀的圆形或多角形天然硅砂，以保证得到表面光洁的铸件。采用粒度均匀分布在相邻的 3 个筛号上，筛余留量都超过 10%，但不超过 35% 的细砂更好，因为用这样的砂制得的铸件可以有较好的表面强度，抗夹砂能力强。

2) 黏土。湿型砂大多用膨润土作黏结剂，而优先采用品质较高的膨润土，或对钙基膨润土做活化处理。这样可提高型砂强度，或在保证强度的前提下少加膨润土。

3) 煤粉。铸铁件湿型中加入煤粉，以防止粘砂、夹砂，得到表面光洁的铸件。煤粉也应优先考虑使用优质的煤粉，在保证铸件表面质量的前提下尽量少加。

4) 其他附加物。为了改善型砂的某些性能，有时还加入渣油、氧化铁粉、淀粉等附加物。

## 二、水玻璃砂

水玻璃砂的优点为：①硬化快，不需进炉烘干，可缩短生产周期，减少工序，节约燃料，提高劳动生产率；②硬化强度高，可省去芯骨，简化操作工序；③所得型芯尺寸精确；④便于组织机械化、自动化生产；⑤水玻璃价格便宜，制造简便，来源广泛。水玻璃砂的缺点是：①溃散性差，铸件清理难度较大；②旧砂回用及再生困难；③吸湿性较大，水玻璃砂对环境相对湿度非常敏感，制造的型或芯容易吸湿而导致强度下降。

### 1. 水玻璃

水玻璃有钠水玻璃、钾水玻璃、锂水玻璃等，铸造上用作黏结剂的主要是钠水玻璃。

(1) 水玻璃的模数 水玻璃的主要参数是模数和密度。水玻璃中的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  的物质的量之比称为水玻璃的模数，用  $M$  表示。

$$M = \frac{n(\text{SiO}_2)}{n(\text{Na}_2\text{O})} = \frac{w(\text{SiO}_2)}{w(\text{Na}_2\text{O})} \times 1.033$$

式中  $n(\text{SiO}_2)$ 、 $n(\text{Na}_2\text{O})$ —— $\text{SiO}_2$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  的物质的量 (mol)；

$w(\text{SiO}_2)$ 、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ —— $\text{SiO}_2$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  的质量分数 (%)。

必须指出：模数仅表示水玻璃中  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{SiO}_2$  的相对含量，而浓度能反映水玻璃中硅酸钠的绝对含量。

(2) 浓度和密度 水玻璃的浓度是指它的水溶液中有多少  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ ，一般用密度来表示。生产中常用波美度计测出溶液的波美度 ( ${}^{\circ}\text{Bé}$ )，换算成密度 ( $\rho$ )。

(3) 水玻璃模数和密度的选用 目前大多采用  $M = 2.1 \sim 2.6$ ， $\rho = 1.44 \sim 1.50\text{g/cm}^3$  的水玻璃；夏季为延长可使用时间，选用  $M = 2.2 \sim 2.5$  的水玻璃；冬季为缩短硬化时间，选用  $M = 2.6 \sim 2.9$  的水玻璃；生产周期短的中小型芯时，可  $M = 2.6 \sim 2.9$ ， $\rho = 1.44 \sim 1.508\text{g/cm}^3$  的水玻璃。

(4) 水玻璃模数的调整 在水玻璃中加入氢氧化钠 ( $\text{NaOH}$ )，中和水玻璃中部分游离的  $\text{SiO}_2$ ，可降低模数。在水玻璃中加入氯化铵 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )、盐酸 ( $\text{HCl}$ ) 等使之与水玻璃中的  $\text{Na}_2\text{O}$  作用，减少与  $\text{SiO}_2$  结合的  $\text{Na}_2\text{O}$ ，可以提高模数。

### 2. 水玻璃砂的硬化原理及方法

#### (1) 水玻璃砂的硬化原理

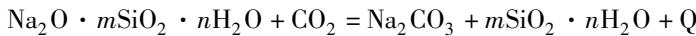
1) 化学硬化：加入液体、固体或气体硬化剂，与水玻璃起化学反应，生成具有黏结性能的硅酸凝胶的硬化方法。

2) 物理硬化：物理硬化是一种单纯的脱水硬化过程。在加热时，随着水分降低，硅酸浓度不断增加，硅酸分子间发生脱水聚合反应，形成多分子的硅酸胶粒，硅酸胶粒又聚合成网状立体结构的胶凝体，将砂粒黏结在一起，使型砂具有较高的强度。

#### (2) 水玻璃砂的硬化方法

1)  $\text{CO}_2$  硬化法： $\text{CO}_2$  硬化水玻璃具有操作简单，硬化迅速，生产周期短，对环境无污染，生产成本低等优点，故应用最广泛。

将  $\text{CO}_2$  气体吹入砂型或砂芯后，气体与水玻璃发生反应，生成硅酸溶胶，反应式为



同时， $\text{CO}_2$  气体本身也是干燥剂（露点为  $-30^{\circ}\text{C}$ ），吹  $\text{CO}_2$  有脱水、硬化作用。

吹气方法有扎气孔吹气法、盖罩法和插管吹气法等。吹气压力越大，硬化反应就会越快，硬化深度也就越大。生产中常取吹气压力为  $0.15 \sim 0.3\text{MPa}$ ，其硬化深度可达  $20 \sim$

30mm。 $\text{CO}_2$ 的流量和吹气时间实际上控制着  $\text{CO}_2$  的用量，因此可以用控制流量的方法来控制硬化过程。理论上  $\text{CO}_2$  的用量为水玻璃质量的 1/9，但实际使用量则为水玻璃质量的 1/2。吹气时间应该根据吹气方法、型（芯）大小等确定。

## 2) 物理硬化法

① 加热硬化。加热硬化是脱水硬化过程。其优点是所得砂型和砂芯的强度高、水分少，不容易使铸件产生气孔、砂眼等缺陷；其缺点是需要加热设备，硬化时间比吹  $\text{CO}_2$  的时间长。一般加热硬化设备多采用烘窑或移动式烘炉，加热温度为 200 ~ 250℃，烘干时间为 40 ~ 150min。

② 自然干燥硬化和联合硬化。水玻璃砂在空气中停放，也可获得一定的强度，由于硬化时间长，硬化层较浅，因此在实际生产中很少应用，而是将  $\text{CO}_2$  硬化与加热联合使用，或将抽真空与吹  $\text{CO}_2$  联合使用。

③ 微波加热硬化。微波加热具有速度快、易于操作、水分去除充分、加热均匀等特点，是一种很有应用前途的工艺。

## 3. 水玻璃砂的性能

### (1) 常温性能

1) 强度。水玻璃砂的湿压强度较低，一般在 10kPa 以下。其湿强度随着水玻璃的黏度增加而增大。通常采用加入黏土等附加物的方法来提高水玻璃砂的湿强度，而其硬化强度（干强度）则主要取决于水玻璃模数、水玻璃浓度、水玻璃加入量、 $\text{NaOH}$  加入量、黏土含量和水分等。

2) 透气性。在采用同样的原砂时，水玻璃砂的透气性比普通黏土砂高。随着水玻璃及附加物含量的增加，其透气性下降。

### (2) 高温性能

1) 热强度与退让性。在加热开始阶段，随着温度升高，热强度增加，达到一定温度（350℃）后热强度出现峰值，随后随着温度继续升高，热强度下降。在多数温度情况下，水玻璃砂的热强度较低，因而具有较好的退让性，很少阻碍铸件的收缩。

2) 发气性。水玻璃砂的发气性取决于其残留水分，残留水分越少，发气量越少。

### (3) 工艺性能

1) 保存性。水玻璃砂的保存性较差，混好的砂放置不久，砂表面即硬化失效，故混砂与制芯、造型应很好地配合，做到及时供砂。

2) 不粘模性。水玻璃砂容易粘模，并且水分越多越易粘模。因此，木模芯盒应尽量光滑，并涂以快干漆或喷洒脱模剂。

3) 流动性。水玻璃砂的流动性与所用水玻璃的黏度和附加物的加入量有关，加入柴油有助于提高流动性。

## 4. 水玻璃砂的配制

常用水玻璃砂的配比（质量比）为：硅砂 100、水玻璃 5 ~ 9、膨润土 2 ~ 3、柴油 0.5 ~ 1.0。配制时先加干料，混匀后添加湿料混碾。其过程一般为

砂 + 黏土等粉状物  $\xrightarrow{\text{干混 2~3min}}$  加水玻璃和水等液体湿混  $\xrightarrow{2~3\text{min}}$  出砂

## 三、油砂与合脂砂

含有油类黏结剂的油砂是传统的制造 I、II 级砂芯的芯砂材料。用作黏结剂的油类主要

是植物油，如桐油、亚麻油、梓油、米糠油等。合脂是油类黏结剂的代用品，合脂砂主要代替植物油砂制作Ⅱ、Ⅲ级砂芯。

### 1. 植物油砂

(1) 植物油砂的性能 植物油属于有机憎水类黏结剂，与黏土等无机黏结剂有很大区别，主要有湿强度、流动性、干强度、发气量等性能。

1) 湿强度。油在硬化前表面张力很小，因此油砂的湿强度很低，一般需加入膨润土、糊精、糖浆来增加湿强度，但是膨润土不宜多加。当糊精、糖浆的质量分数为1%~2%时，不仅可以提高植物油砂的湿强度，而且可提高其干强度。

2) 流动性。植物油砂的流动性较好，但加入糊精、膨润土等附加物后流动性有所下降。

3) 干强度。植物油砂烘干后在砂粒周围会形成坚韧的固体薄膜，干强度很高，一般比强度达到0.8~1.0MPa/1% (比强度是指质量分数为1%的黏结剂可获得砂芯的干强度)。油的加入量应当根据砂芯的强度要求和所用附加物来确定，在保证砂芯强度要求的情况下应尽量少用。

4) 发气量。由于植物油在高温下燃烧和分解，再加上糊精等材料，故植物油砂的发气量较大。发气量除了与植物油加入量及附加物加入量有关外，还与烘干工艺有关。

5) 退让性和溃散性。植物油类黏结剂在300℃以上便开始分解和燃烧，经浇注后油膜就会失去强度，因此植物油砂退让性和溃散性均良好。

6) 防粘砂性。由于植物油黏结剂在加热分解和燃烧过程中生成CO和H<sub>2</sub>等还原性气体，并在裂解后沉积出光亮碳，因而植物油砂的防粘砂性较好。

(2) 植物油砂的混制 混制工艺因所用附加物和混砂机的类型而异，只要使油均匀分布在砂粒表面即可，为了保证混砂容易而均匀，一般采用先干混后湿混的原则，例如：

原砂 + 黏土、糊精  $\xrightarrow{\text{干混 2~3min}}$  加水或含水材料  $\xrightarrow{\text{湿混 2~3min}}$  加油  $\xrightarrow{\text{混 2~3min}}$  出砂

### 2. 合脂砂

由于合脂砂的许多性能及烘干工艺与植物油砂比较接近，因此常被用来代替价格比较昂贵的植物油砂。

#### (1) 合脂砂的性能

1) 湿强度。合脂砂的湿强度较低，不能满足制芯要求。为了提高其湿强度，需要加入膨润土、糊精等附加物。加入膨润土虽然可使合脂砂的湿强度提高，但是烘干后其干强度则大幅下降。加入糊精则在提高合脂砂的湿强度的同时也提高其干强度。适当延长混砂时间，能提高合脂砂的湿强度。

2) 流动性和蠕变。与植物油砂不同，合脂砂湿强度低，流动性也较差。由于合脂砂的湿强度与流动性均较低，因此在常温下往往会出现蠕变现象，制好的砂芯放在烘芯板上会逐渐下沉。尤其在烘干过程中合脂砂的热蠕变更大，严重时甚至使砂芯开裂或坍塌。合脂砂的蠕变特征是由合脂的黏度特性决定的。

3) 干强度。合脂砂的干强度比较高，纯合脂的比强度可达0.7MPa左右。合脂砂的干强度除受合脂本身质量影响外，还与原砂、合脂的稀释比和加入量、附加物以及烘干规范有较密切的关系。

4) 发气量。合脂砂的发气量较大,且随着合脂加入量的增加而增加,因此在满足强度的前提下应尽量减少合脂的加入量。发气量还与烘干规范有很大关系,烘干温度越高或烘干时间越长,在浇注过程中的发气量越低。

5) 退让性和溃散性。合脂在300℃以上就很快分解,在500℃以上即迅速燃烧而使芯砂溃散。因此,合脂砂在浇注后有良好的退让性和溃散性。

6) 不粘模性。合脂砂容易黏附芯盒,合脂的加入量越大,粘模倾向越大,水分越多及原砂越细,越易粘模。为减轻粘模,在操作过程中应经常用少量煤油或柴油作脱模剂。

(2) 合脂砂的配制 合脂砂的配制工艺与植物油砂很相似,先加原砂和粉状附加物,干混2~3min,再加水湿混2~3min,最后加合脂,湿混10min左右卸砂。合脂砂的混砂时间应比植物油砂稍长。

#### 四、树脂砂

树脂砂是以合成树脂为黏结剂的型、芯砂。它与油砂和合脂砂相比,具有硬化速度快,生产率高,铸件质量好,节省造型材料,便于实现机械化、自动化等优点。

##### 1. 热壳法树脂砂(树脂覆膜砂)

热壳法造型制芯是将树脂砂与加热到250℃左右的金属模具相接触,从而形成与金属模腔轮廓一致的型腔或型芯,厚度为6~20mm的坚硬薄壳(壳型或壳芯)的造型制芯方法。其所用的树脂砂像干砂一样松散,其砂粒表面覆有一层固体树脂膜,称为覆膜砂。

覆膜砂由酚醛树脂(黏结剂)、原砂、乌洛托品(硬化剂)、硬脂酸钙(润滑剂)以及其他附加物(如偶联剂、增塑剂、氧化铁粉)等组成,通过冷法或热法覆膜工艺制备而成。

(1) 酚醛树脂 酚类和醛类缩合而成的一类树脂的总称。其中性能最好,应用较广的是苯酚与甲醛缩合而成的高聚物。覆膜砂用树脂黏结剂是热塑性的线性酚醛树脂。

##### (2) 原砂 壳芯用覆膜砂对原砂的要求较高,具体要求如下:

1) 粒度较细,一般分布在相邻4个或5个筛上,但200目以下的尽量少用,一般采用100/50目或70/140目。

2) 粒形较圆且表面光洁。

3) 含泥量及含水量均要低,一般泥的质量分数小于0.5%,微粉的质量分数小于1%,水的质量分数小于0.2%。

4) 碱性氧化物少。

(3) 硬化剂 常用的硬化剂是六亚甲基四胺(即乌洛托品),它受热分解为氨气和亚甲基气体,使受热后流动于砂粒间的热塑性酚醛树脂在弱碱性触媒氨的作用下,通过亚甲基进一步缩合而迅速硬化,把砂粒结成坚硬壳。

(4) 其他附加物 为改善覆膜砂的性能,有时还加入一些附加物,如硅砂粉、滑石粉、水、硬脂酸钙等。

##### 2. 热芯盒法树脂砂

热芯盒法制芯是用液态热固性树脂黏结剂和催化剂与原砂配制芯砂,射入加热到一定温度的芯盒内,使靠近芯盒表面的芯砂受热而制成砂芯的方法。其黏结剂在很短时间内即缩聚而硬化,而只要砂芯表层有数毫米结成硬壳即可从芯盒中取出,中心部分的砂芯利用余热和硬化反应放出的热量自行硬化。

### 3. 自硬法树脂砂

自硬法树脂砂是指以有关合成树脂作黏结剂，通过相应的催化剂作用，在常温条件下在芯盒或砂箱内自行硬化成型的一种树脂砂。目前，自硬法树脂砂可分为三种，即酸自硬树脂砂、尿烷自硬树脂砂、酚醛-酯自硬树脂砂。

(1) 酸自硬呋喃树脂砂 它是以呋喃树脂作黏结剂，用酸作催化剂，在常温下自行硬化的自硬砂。这种砂的硬化易于控制，对多种硬化剂的适应性都较好，是铸造行业用量最大的树脂砂。

(2) 酚醛尿烷树脂砂 酚醛尿烷树脂砂的黏结剂由三部分组成，组分Ⅰ为苯基醚酚醛树脂，组分Ⅱ为聚异氰酸酯，组分Ⅲ为胺催化剂，三者均为液体。组分Ⅰ和组分Ⅱ之比(质量比)常用的为50:50，或为了减少含氮量而采用60:40。这两种组分的总加入量为砂质量的1.5%~2.0% (视原砂情况而定)。催化剂用于调整树脂砂的硬化速度，通常加入量为组分Ⅰ质量的1%~5%。

### 4. 吹气硬化法树脂砂(冷芯盒法树脂砂)

吹气硬化工艺，是在热芯盒制芯的基础上，为了克服其需要加热而必须使用金属芯盒的缺点而发展起来的新型制芯工艺。其特点是无需加热，硬化速度快，适应性强等。吹气硬化法根据所用黏结剂和所吹气体的不同，有胺法、SO<sub>2</sub>法及低毒、无毒气体促硬法等。

## 五、涂料

用涂料来涂刷铸型(或砂芯)表面，是提高铸件质量的重要手段。涂料的主要作用有：提高铸件表面质量；防止化学粘砂；加固砂型(芯)；根据铸造工艺的要求，配制具有特殊性能的涂料，如表面合金化等。

铸造涂料一般由五种基本组分组成，即耐火骨料、载体材料、悬浮剂、黏结剂及各种辅料。

涂料的涂敷方法如下：

(1) 刷涂法 刷涂法是最简单、最灵活、最常用的涂敷方法，适用于单件或小批量生产。

(2) 浸涂法 将砂芯全部或局部浸湿在涂料里，使其黏附一层涂料。浸涂法是一种高效的涂敷方法，适用于大批量生产。

(3) 喷涂法 喷涂法包括有气喷涂和无气喷涂两种方法。喷涂法生产效率高，适用于外形较简单的砂型(芯)。

## 第二节 造型技术

造型是砂型铸造的最基本工序。砂型铸造的造型方法分为手工造型和机器造型。

### 一、手工造型方法

手工造型所用的造型工具和设备比较简单，生产准备时间比较短，操作灵活，可用于各种形状及大小的铸件。手工造型的缺点是生产率低，工人劳动强度较大，铸件质量不够稳定等，故主要用于单件、小批量生产。

根据铸件的结构、尺寸、生产批量和生产条件等的不同，可选用不同的手工造型方法。常用造型方法的特点和应用范围见表2-1。

表 2-1 常用造型方法的特点和应用范围

造型方法	主要特点	应用范围
按模样特征分类	整模造型	模样制成整体,分型面平直,铸型型腔全部在一个砂箱中;造型简单,铸件不会产生错型缺陷
	挖砂造型	模样是整体的,但铸件的分型面是曲面;造型时,必须挖去阻碍起模的型砂;造型操作费时,生产效率低
	假箱造型	利用假箱或模底板制下砂型,翻型后自然形成分型面,不用挖砂修分型面
	分模造型	模样沿最大截面处分割为两半,型腔位于上、下两个砂型中;造型简便,但是模样制作较复杂
	活块造型	对于铸件上有妨碍起模的小凸台、肋条等的情况,制模时可将该部位做成与主体模成活连接的模块(活块)。起模时先起主体模,再从侧面取出活块。模样制作与造型操作较复杂
	刮板造型	用木制刮板代替模样,可节省大量制模工时,缩短生产周期,但造型操作费时,要求工人造型操作水平较高
按造型方式分类	砂箱造型	利用砂箱造型,操作方便,劳动量较小
	劈箱造型(劈模造型)	将模样和砂箱分成相应的几块,经分别造型后组装成型。此方法便于造型、烘干、搬运、合型和检验,但制模、制砂箱和铸型组合工作量大
	脱箱造型	造型后取走砂箱,无箱或加套箱后浇注,可省砂箱
	叠箱造型	将两个以上的铸型造好后层叠起来浇注,可提高金属液的利用率和生产场地利用率
	组芯造型	铸型由多块砂芯组成,可在砂箱、地坑中或胎模中组装
	地坑造型	在地坑中造型,不用砂箱,只用盖箱,操作较麻烦,劳动量大,生产周期长

砂型铸造常用的铸型有湿型、干型、表面烘干型、自硬型和覆砂金属型等。砂型铸造的铸型种类及特点见表 2-2。

表 2-2 砂型铸造的铸型种类及特点

铸型种类	主要特点	应用范围
湿型	砂型不需烘干,成本低,劳动条件好,生产效率高,生产周期短,砂型不易变形,尺寸精度高	适用于各种批量的中、小型铸件生产,广泛用于机械化造型
干型	含水少、强度高、透气性好、易于保证质量,但砂型尺寸精度较低,生产成本较高,且生产周期长,劳动条件差,不易实现机械化生产	适用于结构复杂,质量要求高,单件或小批量生产的大、中型铸件
表面烘干型(表干型)	只将砂型表层 10~30mm 的砂层烘干,兼有湿型和干型的优点	适用于结构较复杂,质量要求较高的单件或小批量生产的大、中型铸件

(续)

铸型种类	主要特点	应用范围
自硬型	利用化学反应硬化砂型,强度高,含水少,砂型尺寸精度高,生产效率高,劳动条件好,可实现机械化生产,但生产成本较高	适用于结构复杂,质量要求高,单件或成批量生产的大、中型铸件
覆砂金属型	在随形金属型(砂箱)表面覆以5~20mm厚的型砂,形成铸型。铸件尺寸精度高,型砂消耗少,生产效率高,可使球墨铸铁无冒口铸造,但随形金属型(砂箱)制作成本较高	适用于质量要求高,大量生产的中、小型球墨铸铁件,如曲轴、凸轮轴和连杆等

## 二、机器造型的基本原理和方法

机器造型是指用机器来完成填砂、紧实和起模等造型操作过程。它是现代化砂型铸造车间所用的基本造型方法。与手工造型相比,机器造型可以提高生产率和铸件质量,减轻工人劳动强度,但设备及工装模具投资较大,主要用于成批量生产。

### 1. 型砂的紧实及其要求

在紧实力的作用下,型砂的体积变小的过程称为紧实过程。用单位体积内型砂的质量或型砂表面的硬度来衡量型砂砂粒间排列堆集的密集程度,即紧实度。

#### (1) 紧实度的常用测量方法

1) 密度法。将单位体积内型砂的质量定义为型砂的紧实度 $\delta$ 。

$$\delta = \frac{m}{V}$$

式中  $m$ ——型砂的质量(g);

$V$ ——型砂的体积( $\text{cm}^3$ )。

这种测量紧实度的方法简单而有效。通常,十分松散的型砂,  $\delta = 0.6 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ ; 从砂斗填到砂箱的松散砂,  $\delta = 1.2 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$ ; 一般紧实度的型砂,  $\delta = 1.55 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ ; 高压紧实后的型砂,  $\delta = 1.6 \sim 1.8 \text{ g/cm}^3$ 。

2) 硬度法。在实际生产中,常用型砂硬度计来测量型砂的紧实度。砂型的表面硬度越大,其型砂的紧实度越高。一般紧实的型砂的表面硬度在60~80硬度单位之间,高压造型可达到90硬度单位以上。常用的湿型硬度计分为A、B、C三种类型,其中A型和B型用于检测手工和一般机器造型湿砂型的硬度,C型用于高压造型砂型的检测。

#### (2) 对砂型紧实的工艺要求

1) 紧实后的砂型应有足够的强度,能够经受得起搬运、翻转过程中的震动和铁液的冲刷作用而不被破坏。

2) 紧实后的砂型应起模容易,起模后能保持铸型的精确度,不会发生损坏和脱落现象。

3) 砂型应具有必要的透气性,以免产生气孔等缺陷。

这些要求,有时会互相矛盾,应根据具体情况对不同的要求有所侧重,或采用一些辅助措施加以补偿。例如,高压造型时,常用扎通气孔的方法来解决透气性问题。

### 2. 型砂紧实方法及原理

由于黏土砂造型具有较大的灵活性、适应性和经济性,因此直到目前为止它仍是铸造业

应用最广泛的一种造型技术。黏土砂的紧实方法通常分为压实紧实、震击紧实、射砂紧实、气冲紧实、抛砂紧实五大类。

### (1) 压实紧实

1) 压实紧实原理。压实造型是利用压头直接加压将砂箱内的型砂紧实的造型方法。先把型砂填入砂箱, 然后使压头向下或压头不动而砂箱上行, 压头压入砂箱上方的辅助框中, 使砂柱高度降低(见图 2-1), 型砂紧实。因紧实前后型砂质量不变, 故

$$H_0\delta_0 = H\delta$$

式中  $H_0$ —砂柱初始高度;

$H$ —砂柱紧实后的高度;

$\delta_0$ —型砂紧实前的紧实度;

$\delta$ —型砂紧实后的紧实度。

由于  $H_0 = H + h$ , 故

$$h = H\left(\frac{\delta}{\delta_0} - 1\right)$$

压实时, 砂型的平均紧实度与砂型单位面积上的压实力(压实比压)有关。图 2-2 所示为性能不同的砂型的压实曲线, 表示了砂型平均紧实度  $\delta$  与压实比压  $p$  之间的变化关系。由图 2-2 可见, 无论哪一种型砂, 在压实开始时即使  $p$  增加很小, 也会引起  $\delta$  很大的变化; 但当压实比压逐渐增大时,  $\delta$  的增大减慢; 在高比压阶段, 虽然  $p$  增大很多, 但是  $\delta$  的增加很小。

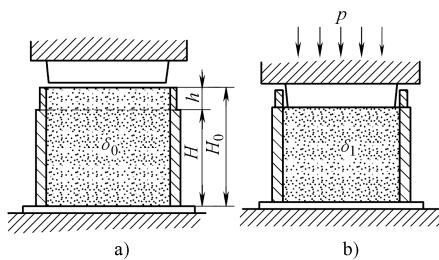


图 2-1 压实紧实示意图

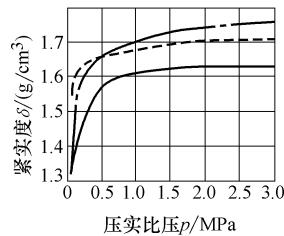


图 2-2 性能不同的砂型的压实曲线

2) 压实紧实方法。按加压方式的不同, 压实紧实又可分为压板加压(上压式)、模底板加压(下压式)、对压加压三类。不同的压实方法, 型砂紧实度的分布不相同。

3) 影响紧实度的因素。现以上压式为例来讨论影响紧实度的因素。

① 砂箱不同位置的影响。研究表明, 在砂型的中心部分, 沿整个砂型高度上, 紧实度大致相同, 但在靠近箱壁或箱角处的摩擦阻力较大, 故该处砂型紧实度沿砂型高度的分布严重不均匀。

② 砂箱高度的影响。砂型中心部分(沿着砂型高度)的紧实度基本均匀的说法, 对于一定高度的砂型才适合, 当砂箱的高度超过砂箱的宽度时就不再适合了。砂箱高度越大, 紧实度的均匀性越差, 仅在离压板较近处, 紧实度是高而均匀的。

③ 模样高度的影响。以上所述是砂箱中没有模样或模样很矮时的情况。若砂箱内模样较高, 情况则更为复杂。如图 2-3 所示, 设模样深凹处的高与宽之比, 用深凹比  $A$  表示, 即

$$A = \frac{H}{B_{\min}} = \frac{\text{深凹处的高度(或深度)}}{\text{深凹处短边宽度}}$$

$A$  越大，则深凹处底部的型砂越不容易紧实。根据试验，对于黏土砂， $A < 0.8$  时，平均紧实度尚无明显下降；当  $A > 0.8$  时，深凹处底部型砂的紧实度就难以得到保证了。

④ 压缩比的影响。如图 2-4 所示，如把砂型分成模样顶上和模样四周两个部分，假定在压实过程中型砂无侧向移动，各面独立受压，则对模样四周，有

$$(H + h) \delta_0 = H \delta_1$$

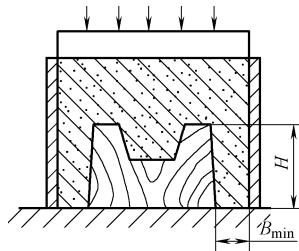


图 2-3 带高模样的砂型

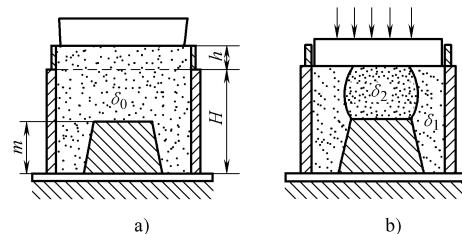


图 2-4 压缩比对压实紧实度不均匀性影响的分析

对模样顶上，有

$$(H + h - m) \delta_0 = (H - m) \delta_2$$

得

$$\delta_1 = \delta_0 + \frac{h}{H} \delta_0$$

$$\delta_2 = \delta_0 + h \delta_0 / (H - m)$$

式中  $H$ ， $h$ ， $m$ ——分别为砂箱、辅助框和模样的高度；

$\delta_0$ ， $\delta_1$ ， $\delta_2$ ——分别为压实前型砂的紧实度、压实后模样四周型砂的平均紧实度及模样顶上的型砂的平均紧实度。

$\frac{h}{H}$  和  $h/(H - m)$  可定义为砂柱的压缩比， $m$  越大，则模样顶上的型砂的压缩比越大， $\delta_2$  与  $\delta_1$  的差值也就越大。

#### 4) 提高压实紧实度均匀性的方法

① 成形压板。如图 2-5a 所示，按照模样的形状制作与其形状相似的成形压板，使压板下各处的型砂的压缩比相同，故紧实后砂型的紧实度较为均匀。

② 多触头压头。如图 2-5b 所示，将压板分成许多小压板，这就是多触头压头，各压头能随着模样的高低压入型砂中不同的深度，使砂型的压缩比均匀化。

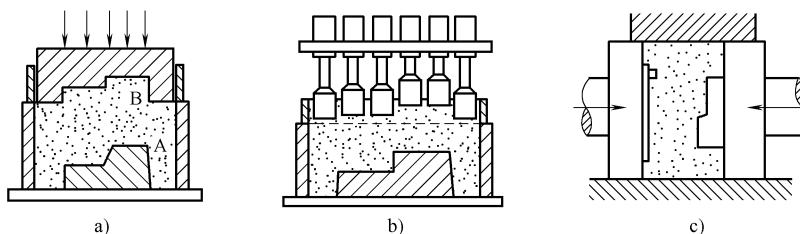


图 2-5 提高压实紧实度均匀性的几种方法

a) 成形压板 b) 多触头压头 c) 对压紧实

③ 对压紧实。如图 2-5c 所示, 对压压实就是将上压板加压和模底板加压结合起来, 从砂型的两面加压, 从而使砂型两面的紧实度都较高且较均匀。

(2) 震击紧实 普通震击紧实的过程如图 2-6 所示。将压缩空气由气孔通入气缸, 使震击活塞 2 推动工作台 1 连同充满型砂的砂箱上升一段行程  $S_j$  后, 排气孔打开, 再经惯性上行  $S_g$  后, 震击活塞急剧下落。砂箱中的型砂随着砂箱下落时, 获得了一定的运动速度。当工作台落至与机座接触时, 向下的速度骤然减小到零, 因此产生了很大的惯性加速度。由于惯性力的作用, 在各层型砂之间产生瞬时的压力, 将型砂紧实。经过十几次到几十次的反复撞击后, 得到所需的型砂紧实度。

震击时, 越往下的砂层受到的压力越大, 越易被紧实, 而砂型顶部的型砂所受的压力趋近于零, 仍呈较疏松的状态。故震击造型时型砂紧实度的分布规律与压实造型时相反, 越接近模底板的型砂的紧实度越高。因此, 可以将震击造型与压实造型结合在一起使用, 也就是震压造型。

普通震击紧实的缺点是震击对地基和环境影响大, 并且产生的噪声也较大。为了减小震击力对地基的影响, 可采取一些减震措施。

(3) 射砂紧实 射砂紧实方法除用于造型外, 更多地用于制芯。它是利用压缩空气将型(芯)砂以很高的速度射入芯盒或砂箱内而使型(芯)砂紧实的方法。

射砂能同时完成快速填砂和预紧实双重操作。其生产率高, 劳动条件好, 工作噪声小, 紧实度较均匀。但射砂紧实的紧实度不够高, 芯盒与模样的磨损较大。射砂紧实广泛用于制芯和造型的填砂与预紧实, 是一种高效率的制芯、造型方法。

(4) 抛砂紧实 其工作原理如图 2-7 所示。抛砂造型机的抛砂头转子上装有叶片, 型砂由传送带连续地送入, 高速旋转的叶片接住型砂并将其分成一个个砂团, 当砂团随叶片转到出口处时, 由于离心力的作用, 被高速抛出并落入砂箱, 使填砂和紧实过程同步完成。这种造型方法多用于单件小批量生产及大件生产, 但生产率不高。

### 三、黏土砂造型设备及造型生产线

#### 1. 震压造型机

震压造型的基本过程是: 首先从震压造型机的震击进气孔进气, 震击活塞带动工作台上升, 当升至一定高度时排气口打开, 工作台下降, 落到震击气缸顶部产生撞击震动, 使砂型紧实, 如此反复震实多次后停止, 再从压实进气孔进气, 使压实活塞推举砂箱上升至压头处进行压实。下面以 Z145 型震压造型机为例进行介绍。该设备是典型的以震击为主、压实为辅的小型造型机, 广泛用于小型机械化铸造车间, 最大砂箱内尺寸为

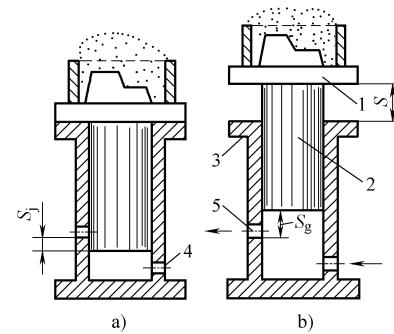


图 2-6 震击紧实原理

1—工作台 2—活塞 3—气缸  
4—进气孔 5—排气孔

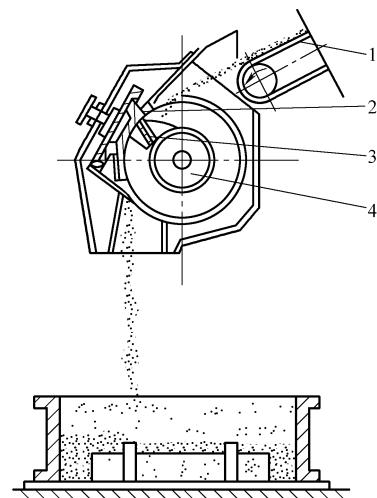


图 2-7 抛砂紧实原理

1—送砂传送带 2—弧形板  
3—叶片 4—抛砂头转子

500mm × 400mm × 200mm (长 × 宽 × 高)，比压为 0.125MPa。

Z145 型震压造型机的结构如图 2-8 所示。机架是悬臂单立柱结构，压板架是转臂式的。为了适应不同高度的砂箱，打开压板机构上的防尘罩，转动手柄，可以调整压板在转臂上的高度。转臂可以绕中心轴 10 旋转。由转臂动力缸 9 推动一个齿条，带动中心轴 10 上的齿轮，使转臂摇转。为了使转臂转动终了时能平稳停止，避免冲击，动力缸在行程两端都有油阻尼缸缓冲。

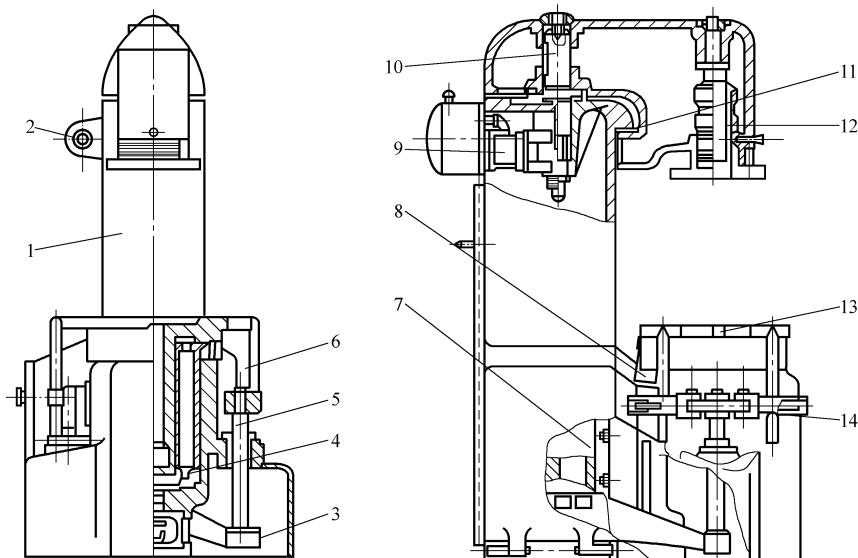


图 2-8 Z145 型震压造型机的结构

1—机身 2—按压阀 3—起模同步架 4—震压气缸 5—起模导向杆 6—起模顶杆  
7—起模液压缸 8—震动器 9—转臂动力缸 10—转臂中心轴  
11—垫块 12—压板机构 13—工作台 14—起模架

## 2. 垂直分型无箱射压造型机

垂直分型无箱射压造型机的造型原理如图 2-9 所示。造型室由造型框及正、反压板组成。正、反压板上有模样，封住造型室后，从上面射砂填砂，再由正、反压板两面加压，紧实成两面有型腔的型块（见图 2-9a），然后反压板退出造型室并向上翻起让出型块通道（见图 2-9b），接着正压板将造好的型块从造型室推出，且一直前推，直至使其与前一块型块合，并且还将整个型块向前推过一个型块的厚度（见图 2-9c），以后正压板退回，反压板放下并封闭造型室，机器即进入另一个造型循环。

## 3. 造型生产线

造型生产线是根据生产铸件的工艺要求，将主机（造型机）和辅机（翻箱机、合型机、落砂机、压铁机、捅箱机、落箱机等）按照一定的工艺流程，由运输设备（造型输送机、辊道等）联系起来，并采用一定的控制方法所组成的机械化或自动化造型生产体系。

（1）造型输送机 造型输送机是造型生产线中联系造型、下芯、合型、压铁、浇注、落砂等工艺的主要运输设备。常见的造型输送机有水平连续式造型输送机、脉动式造型输送机和间歇式造型输送机等。

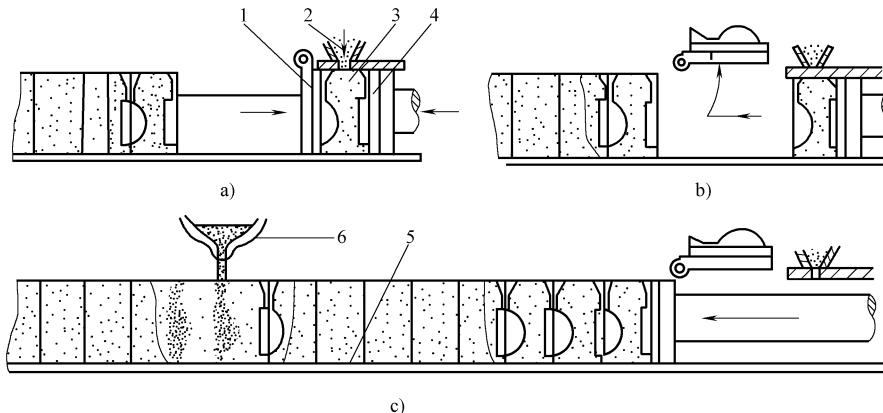


图 2-9 垂直分型无箱射压造型机的造型原理

1—反压板 2—射砂机构 3—造型室 4—正压板 5—浇注台 6—浇包

1) 水平连续式铸型输送机。水平连续式铸型输送机由输送小车、传动装置、张紧装置和轨道系统等部分组成，具有工作可靠，故障率低，可以根据工艺要求敷设成各种复杂的布置路线等优点，因此在生产中使用非常广泛。但落箱、浇注、加卸压铁等工序都在输送小车运动过程中进行，使得实现这些工序的机械设备复杂化。

2) 脉动式铸型输送机。脉动式铸型输送机的运动是有节奏的，按工艺要求定出静止及运动的时间，每次移动一个输送小车的距离，且要求定位准确，以便实现下芯、合型、浇注等工序的自动化。脉动式铸型输送机大多采用液压传动。脉动式铸型输送机的优点是：输送小车每次移动的距离不变，能在静态下实现下芯、合型、浇注等工序，但其传动装置的制造精度要求较高，成本高，维修工作量大。

3) 间歇式铸型输送机。间歇式铸型输送机的静止与移动是根据需要而定的，为非节奏性运动。其传动方式可分为液压传动、机械传动及手动。此种输送机的结构简单，布线紧凑，能在静止状态下实现落箱、下芯、合型、浇注等工序，工作节奏可以灵活安排或随时任意改变，但动力消耗大，控制系统复杂，生产率不高，适用于多品种铸件的批量生产。

(2) 造型生产线的辅机 在造型生产线上，为完成造型工艺过程而设置各式各样的辅机，如落砂机、翻箱机、合型机等。这些辅机的动作和结构大多比较简单，一般由工作机构（机械手）、驱动装置（气动、液动或机动）、定位装置（限位夹紧）和缓冲装置等组成。常见的造型生产线辅机的类型及其作用和特点见表 2-3。

表 2-3 常见的造型生产线辅机的类型及其作用和特点

名 称	作 用	特 点
刮砂机	刮除砂箱上的余砂	用气动(或液压)砂铲
扎气孔机	在高紧实铸型上扎气孔	用气动(或液压)气孔钎
铣浇道机	在高紧实铸型上铣出浇道	用电动或气动铣刀
翻箱机	使砂箱绕水平轴线翻转 180°	用气动(或液压)齿轮齿条机构等
合型机	将上、下型合拢	用气动(或液压)升降机构
落箱机	将砂箱落到铸型输送小车上	用气动(或液压)升降机构
压铁机	取、放压铁	用气动(或液压)机械手升降机构
捅箱机	使铸型及铸件与砂箱分离	用气动(或液压)推头

#### 四、造型机常见故障及排除方法

造型机种类和型号较多,出现故障的情况也比较复杂。震压式造型机部分常见故障及排除方法见表 2-4。高压多触头造型机部分常见故障及排除方法见表 2-5。Z145A 型造型机起模机构部分常见故障及排除方法见表 2-6。

表 2-4 震压式造型机部分常见故障及排除方法

故障现象	故障原因分析	故障排除方法
造型机震击无力	<p>①管路气压太低,其原因有:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 管路泄漏严重</li> <li>b. 气罐和空气过滤器内积水太多,管压下降</li> <li>c. 多台造型机同时工作,空气压缩机供气不足</li> <li>d. 空气过滤器过滤网堵塞</li> </ul> <p>②震击活塞上的活塞环磨损严重或断成碎块,缸内串气使震击无力</p> <p>③活塞环缺口相对,漏气严重</p> <p>④震击缸磨损严重,缸内串气。磨损原因有:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 使用时间长,自然磨损</li> <li>b. 无防尘装置,砂尘进入缸内,加速磨损</li> <li>c. 造型机安装不水平,活塞与缸单边磨损</li> </ul> <p>⑤震击机构长时间未清洗,运动阻力增加</p> <p>⑥导向杆安装不垂直,运动阻力增加</p> <p>⑦震击进气孔被异物堵塞,进气不畅</p> <p>⑧活塞上的工艺孔堵头、闷盖等松动,气腔漏气</p> <p>⑨油雾器不喷油,缸内润滑情况不好,运动阻力大</p> <p>⑩气阀阀芯运动受阻,震击进气孔未完全打开</p>	<p>①检查管路密封情况,减少管路泄漏,然后打开气罐和空气过滤器底部截止阀,排净里面的积水。若管路无明显泄漏现象,气罐和空气滤清器内也无积水,但气压仍上不去,则属于空气压缩机故障或空气压缩机匹配不合理,应维修空气压缩机或更换功率较大的空气压缩机</p> <p>②更换新的活塞环。安装活塞时应避免用斧子或锤子直接敲击,以免活塞环因损伤而过早损坏</p> <p>③一般每道沟槽至少两道活塞环,安装时应错开缺口</p> <p>④更换震击缸。在工作台与压实缸间,应设置完整的防尘罩。若缸内壁单边磨损严重,则应重新调整造型机水平度,确保活塞垂直运动</p> <p>⑤清洗震击缸和活塞,并在缸壁和活塞表面均匀涂一层油</p> <p>⑥拆下导向杆,清除导杆座内浮砂,均匀压紧导杆螺栓</p> <p>⑦拆开震击活塞,清除堵塞物</p> <p>⑧安装堵头时,应将堵头清洗干净,涂上厌氧胶或清漆,用力拧紧。闷盖螺钉需用弹簧垫圈压紧</p> <p>⑨拆开油雾器,清除吸油口和喷油口污物即可。油杯内应有足够的机油</p> <p>⑩清洗气阀阀芯,使阀芯工作时准确到位</p>
造型机压实无力	<p>①管路气压太低,原因与造型机震击无力故障相同</p> <p>②压实活塞上 Y 形密封圈破损,缸内串气,压实无力</p> <p>③Y 形密封圈 V 形槽内积满污物,密封圈承压时张不开,缸内串气而压实无力</p> <p>④砂粒进入缸和活塞间,拉毛缸壁,运动阻力大</p> <p>⑤造型机安装不水平,活塞与缸单边摩擦,运动阻力大</p> <p>⑥油雾器不喷油,缸内润滑不好,运动阻力大</p> <p>⑦气阀阀芯运动受阻,压实进气孔未完全打开</p>	<p>①按造型机震击无力故障的第①种排除方法处理</p> <p>②更换 Y 形密封圈</p> <p>③清洗密封圈及活塞、缸套</p> <p>④用半圆锉修理缸壁,使活塞上下运动自如</p> <p>⑤缸壁单边磨损严重时,应重新校正造型机使之水平,保证活塞垂直运动</p> <p>⑥按造型机震击无力故障第⑨种排除方法处理</p> <p>⑦按造型机震击无力故障第⑩种排除方法处理</p>

表 2-5 高压多触头造型机部分常见故障及排除方法

故障现象	故障原因分析	故障排除方法
多触头压头漏油	①各触头油缸或气缸密封圈损坏 ②触头导向套磨损或表面损伤拉毛 ③多触头压头组合缸缸体或箱体存在铸造缺陷,如皮下气孔、缩松或微小裂纹等;焊接式箱体存在焊接缺陷,如局部虚焊、夹渣或气孔等。这些缺陷在压实时特别是在高压压实时会漏油或漏气	①检查并更换密封圈 ②检查、修复或更换导向套 ③检查铸造缺陷或焊接缺陷并重新焊补和加工,若修复无效,则需更换缸体或箱体
多触头复位不准	①弹簧复位浮动式多触头压头中弹簧疲劳变形或断裂 ②部分导向套变形或污物卡阻,使触头活塞杆与导向套卡死或运动不灵活 ③部分触头活塞上的密封圈损坏,内泄漏严重	①更换弹簧 ②清洗、修复或更换导向套 ③更换触头活塞上的密封圈

表 2-6 Z145A 型造型机起模机构部分常见故障及排除方法

故障现象	故障原因分析	故障排除方法
起模动作无力	①按压阀失灵,未能控制分配阀 ②分配阀失灵,使起模缸没有进气 ③进气管路堵塞 ④进气气压不足 ⑤起模缸单向阀卡死或弹簧失效 ⑥起模缸内活塞滑动阻力太大,有异物卡住或输入的气压油不足	①拆开按压阀,清洗阀室各阀芯,使其滑动自如。若弹簧失效,则更换弹簧,然后向阀内加润滑油 ②先检查分配阀是否到位,若已到位,则说明阀体内某构件不动作,如扇形齿轮缺齿或卡死,棘爪离合器断裂,轴卡死不转等,此时应拆开阀进行检修 ③检查并疏通进气管路 ④调整车间用气,使进气压力大于或等于 0.6 MPa ⑤检修起模缸单向阀,若卡死则拨动,若弹簧失效则予以更换 ⑥检查并清洗起模缸,向油箱内补充机油
起模不平稳	①起模缸断续进气 ②起模架偏斜,使导向杆和起模顶杆相应倾斜 ③四根起模顶杆未装平 ④调节起模顶杆间距时,未将顶杆固定在横梁上的螺钉拧紧,引起顶杆摆动	①分别检修按压阀、分配阀和管路,使进气正常 ②重新安装起模架,并测定导向杆的垂直度 ③松开起模杆的固定螺钉,重新调整至高度一致。可拧动六角顶杆尖进行微调 ④检查并调整四顶杆,使之齐平后拧紧固定螺钉

### 第三节 制芯技术

砂芯的主要作用是形成铸件的内腔和孔,因此,砂芯的几何形状应与要形成的内腔及内孔相一致。有时,对于外部形状复杂的某些铸件的局部凹凸面,或者某些特定铸件的重要部分或铸型浇注条件恶劣处,工艺上也可用砂芯来形成。

由于砂芯是用来形成铸件内腔或重要部分的,因此,在铸件浇注和凝固期间,砂芯除芯头外,一般都被高温金属液包围。由此可见,砂芯的工作条件比铸型更为恶劣,故对砂芯的性能要求比铸型更高。

#### 一、砂芯的级别

砂芯的等级可按其复杂程度划分,一般分为五级。

(1) 一级砂芯 几何形状复杂,断面细薄或厚薄相差悬殊,与金属液接触面积大,且

芯头尺寸小，如发动机机体水套芯、发动机缸盖水道芯、液压阀体件砂芯。

(2) 二级砂芯 几何形状较为复杂，与金属液接触面积大，在重要铸件中所形成的内腔完全或部分不用加工，如发动机机体主体芯。

(3) 三级砂芯 砂芯复杂程度一般，没有细薄的断面，形成的铸件内腔需进行加工。

(4) 四级砂芯 四级砂芯外形不复杂，形成的铸件内外表面需进行加工或不加工，如一般机床床身的砂芯。

(5) 五级砂芯 用来形成大型铸件的内腔，要求有良好的干强度，常在砂芯中心部位安放焦炭块来改善其退让性和透气性。

## 二、砂芯的制造方法

手工制芯是传统的制芯方法，一般依靠人工填砂紧实，也可借助于木锤或小型捣固机进行紧实。制好后的砂芯需在烘炉内烘干硬化。

手工制芯可分为芯盒制芯及刮板制芯两种。手工芯盒制芯是最基本的制芯方法，根据砂芯的形状、大小及工艺特点分为敞口整体式芯盒制芯、对开式芯盒制芯和可拆式芯盒制芯等。敞口整体式芯盒适用于制造尺寸不大、形状较简单的砂芯，对开式芯盒适用于制造圆柱形或对称形的砂芯，可拆式芯盒适用于制造形状比较复杂的砂芯。

## 三、机器制芯

机器制芯方法包括挤压紧实制芯、震击紧实制芯、射砂紧实制芯、吹砂紧实制芯等。

挤压紧实制芯主要用于圆形、椭圆形或多边形等横截面不变的砂芯制造，一般用活塞挤压，或用螺旋进给挤压等，砂芯通过成形管时获得紧实，是一种连续性制芯方法。砂芯长度根据需要切割成段，烘干后修出芯头即可。

震击紧实制芯通过机械或气动震击使砂芯达到紧实。这种制芯方法的紧实程度好，紧实后的砂芯通过机械连杆机构翻转  $180^\circ$ ，到起芯工位取芯。

目前应用最多的制芯方法是射砂紧实制芯，也称为射芯制芯。射芯制芯是一种高效率的机械化制芯方式。它以压缩空气为动力，将芯砂高速射入芯盒并获得紧实。其中，热芯盒射芯机以电能或燃气为热能将芯盒加热，使砂芯硬化；冷芯盒射芯机以压缩空气为辅助动力，将硬化剂吹入芯盒使砂芯硬化。

### 1. 射砂紧实原理

图 2-10 所示为射砂机工作原理。由储气筒中迅速进入到射膛的压缩空气，将芯砂由射砂孔射入芯盒的空腔中，靠芯砂所获得的动能和芯盒内砂层之间所形成的压力差( $p_1 - p_2$ )的作用，使芯砂在芯盒内得到紧实，而压缩空气经射砂机上的排气孔排出。射砂过程在较短的时间内同时完成填砂和紧实，生产率很高。

射砂紧实过程包括加砂、射砂、排气紧实三个工序。

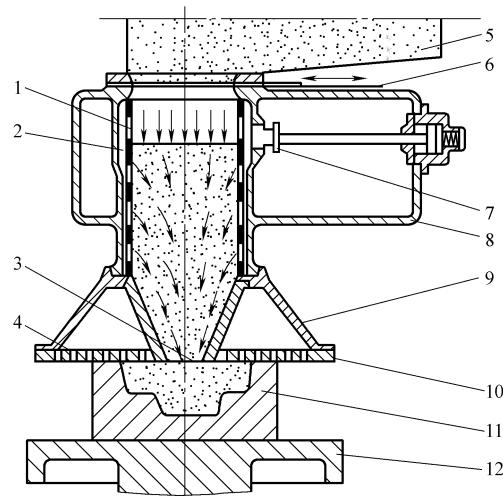


图 2-10 射砂机工作原理  
 1—射砂筒 2—射膛 3—射砂孔 4—排气孔 5—砂斗  
 6—加砂闸板 7—进气阀 8—储气筒 9—射砂头  
 10—射砂板 11—芯盒 12—工作台

① 加砂：打开加砂闸板 6，砂斗 5 中的砂子加入射砂筒 1 中，然后关闭加砂闸板。

② 射砂：打开进气阀 7，储气筒 8 中的压缩空气从射砂筒 1 的顶横缝和竖缝进入筒内，形成气砂流射入芯盒中。

③ 排气紧实：芯盒中的空气通过排气塞排除，高速气砂流由于芯盒壁阻挡而滞止，砂气流的动能转变成芯砂的紧实功，使芯砂得到紧实。射砂紧实时，主流方向上以冲击紧实为主，在非主流方向或拐角处（此处常设置若干排气塞），芯砂靠压力差下的滤流作用得到紧实。

#### （1）影响动能大小的主要因素

1) 射砂压力：动能与速度  $v$  的二次方成正比。在一定范围内，压力越大，砂流速度也就越快，一般射砂压力为  $0.6 \sim 0.65 \text{ MPa}$ 。

2) 射砂孔截面积：射砂孔截面积太小时，砂流通过时阻力大，影响砂流速度；截面积太大时，砂流速度降低。因此，要获得最佳动能，必须选择最适宜的射砂孔截面积。

（2）影响压力差的主要因素 压力差  $p_1 - p_2$  指砂层自由表面层压力  $p_1$  与排气口处压力  $p_2$  之间的差。这种压力差与芯盒内形成的料层（瞬时）厚度成正比，它和气流方向相一致地作用在射入芯盒的砂粒上，起到紧实砂芯的作用。

1) 芯盒型腔深度：芯盒型腔越深，气流阻力越大，压力差也就越大。

2) 排气方式：芯盒下部排气，建立了  $p_1 - p_2$  压差；上部紧砂面排气，气流从上部排掉，压力差受到损失。

3) 排气截面积：排气截面积与芯砂黏结剂种类有很大关系。对于流动性很差的芯砂，排气截面积要大。

在射砂紧实中，砂流动能和压力差是影响紧实效果的两个主要因素。哪个因素起主要作用，取决于芯盒的结构及排气系统的布置情况。

#### 2. 普通射芯制芯

普通射芯制芯是指通过射芯紧实，紧实后的砂芯从芯盒中取出另行烘干硬化的一种制芯方法，主要用于油类黏结剂芯砂。

普通射芯制芯工艺特点：

1) 要求芯砂有良好的流动性，其湿压强度应小于  $15 \text{ kPa}$ 。

2) 保持较高及较稳定的射砂压力。工作压力应当稳定在  $0.6 \sim 0.65 \text{ MPa}$  范围内，这是保证射砂质量的首要条件。

3) 选择恰当的射砂孔截面积，其大小对射砂质量很重要。

4) 射砂孔的布置方法及数量，应根据射砂单位面积上的进砂量及单个射砂孔的射砂范围来确定。

5) 芯盒的排气结构。这在普通射芯制芯中尤为重要，通过设备在通气射砂板上的排气塞，将砂流中的气体排掉。

6) 射砂头。普通射芯制芯机在射砂头内应安装导砂块，如图 2-11 所示。导砂块能将芯砂

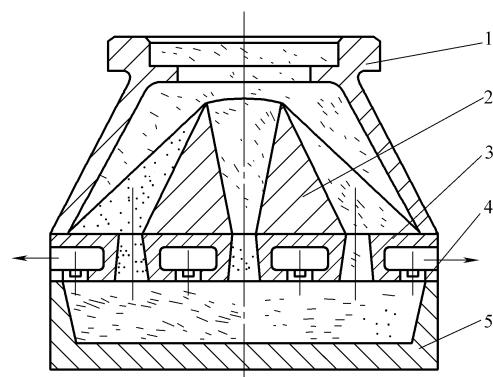


图 2-11 普通射芯制芯的射砂头

1—射砂头 2—导砂块 3—射砂板

4—排气塞 5—芯盒

在射砂头内引向射砂孔，并使引导的芯砂在分流中松散，起到提高射砂质量的作用。

7) 设置通气道与安放芯骨。

3. 热芯盒制芯

热芯盒制芯是将芯砂射入加热至一定温度的芯盒内，砂芯靠芯盒的热量进行硬化的一种制芯方法。热芯盒制芯采用热固性树脂作为黏结剂。随着对铸件质量要求的提高，热固性树脂砂在很多方面已满足不了工艺要求，现已越来越多地采用热塑性固态树脂作为黏结剂的覆膜砂射芯制芯。它在射砂质量、砂芯强度、表面质量、尺寸精度、抗吸湿能力等方面均比热固性树脂砂芯好。

热芯盒制芯具有硬化快，生产率高，砂芯强度高、尺寸准确、表面光洁、溃散性好，工艺简单等优点，而且便于实现自动化，适合批量生产。

(1) 热芯盒制芯工艺特点

1) 芯盒分盒方式。热芯盒基本上分为垂直分型、水平分型和水平-垂直组合分型方式。

① 垂直分型：芯盒本体分为左、右两部分，如图 2-12 所示。

② 水平分型：芯盒本体分为上芯盒、下芯盒及抽模块，如图 2-13 所示。

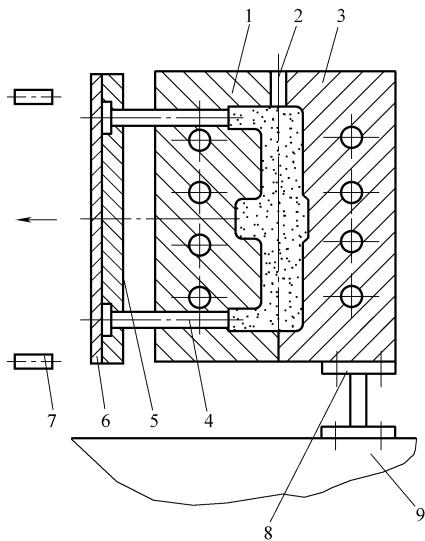


图 2-12 垂直分型热芯盒

1、3—芯盒 2—砂芯 4—顶芯杆 5—顶芯杆安装板 6—顶芯板 7—顶出杆 8—座脚 9—工作台

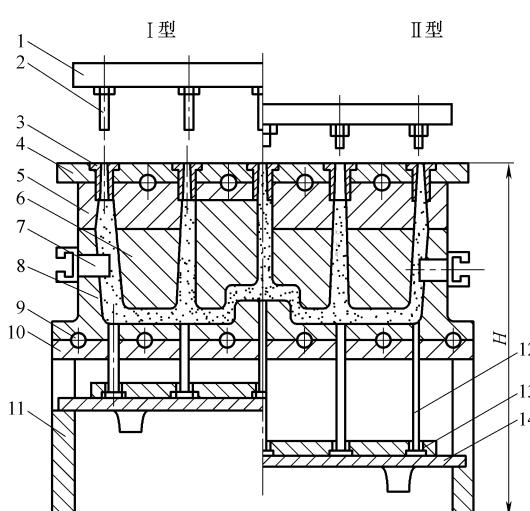


图 2-13 水平分型热芯盒

I 型—上顶芯取芯 II 型—下顶芯取芯

1—上顶芯 2—顶芯杆 3—射芯套 4—上芯盒加热板 5—上芯盒 6—抽芯块 7—抽模块 8—下芯盒 9—加热管 10—下芯盒加热板 11—辅助框 12—下顶芯杆 13—顶杆安装板 14—下顶芯板

2) 顶芯装置。顶芯装置由顶芯杆、回位杆、固定杆、固定板、盖板组成，靠机械动作完成顶芯。在垂直分型结构中，当芯盒打开到一定位置时，顶芯板碰到固定位置的顶出杆，带动顶芯板上的顶芯杆将砂芯顶出。水平分型芯盒的顶芯装置都是由气缸动作来完成顶芯的。图 2-13 所示 I 型为上顶式，II 型为下顶式。可根据砂芯的具体结构来选择顶芯方式并选用相应的射芯机类型。

3) 抽芯块。砂芯厚大部分要用抽芯块或凸块。特别是用干态芯砂的热芯盒时, 其厚大部分不易硬化, 为了节省能源, 提高砂芯硬化质量, 同时减少用砂量, 应设置图 2-13 所示的抽芯块或凸块。

4) 芯盒排气结构。热芯盒主要通过间隙排气和在底面局部深凸处通过排气塞排气。其深度一般为 0.2~0.3mm, 其中选用热芯盒湿态砂时深度为 0.3mm, 选用热芯盒干态砂时深度为 0.2mm。要注意的是在多个型腔的芯盒中, 各个腔型的排气槽要单独开设, 不能连在一起, 以防相互干扰。

5) 射砂板。一般热芯盒都要做成水冷射砂板。在悬臂单工位射芯机中, 如果是射头旋转后起芯的, 就可用一般射砂板。由于干态芯砂会从射孔中漏出来, 因此必须有挡砂装置。

6) 射砂头。热芯盒湿态砂用一般射砂头, 热芯盒干态砂就要用排气射砂头。

7) 垂直分型热芯盒的安装及支撑。芯盒与射芯机左右由夹紧缸连接, 芯盒开合动作不一定很平稳, 会影响砂芯脱模质量, 因此最好将不设顶芯杆的一半芯盒固定在工作台的基准上, 使设顶芯杆的一半芯盒与夹紧缸连接进行开合动作。对于芯盒的支撑, 轻型小芯盒可以通过平底螺杆在导轨上滑动, 重量较大的芯盒用滚轮装置较好。

#### (2) 热芯盒制芯操作要点

1) 保持芯盒内腔清洁。这是保证砂芯尺寸精度和射芯质量的重要操作要点, 应经常用热芯盒清洗剂或酒精等擦洗。

2) 应按设备润滑及安全操作规程进行保养和操作。每班工作结束后应拆卸射头, 并用柴油将储砂筒、射砂头清洗干净。

#### 4. 壳芯制芯

壳芯制芯是热芯盒制芯的另一种形式。壳芯制芯时砂芯也靠芯盒加热硬化, 不同的是制出的砂芯是中空薄壳的。壳芯法的主要优点是: 强度高于一般热芯; 壳层厚度一般为 5~12mm, 节约用砂, 利于透气; 尺寸精确, 表面光洁; 不吸湿, 利于存放; 流动性好, 可制复杂的砂芯。

(1) 壳芯中空薄壳的形成 如图 2-14 所示, 芯砂被压缩空气吹入芯盒后, 靠近芯盒型腔壁的芯砂受到高温作用后软化而结壳, 而内层温度低, 达不到软化结壳的程度; 当结壳层达到工艺要求的厚度时, 将未结壳的芯砂倒出, 已结壳的砂芯在进一步的加热过程中得到硬化。

(2) 壳芯制芯方式 壳芯制芯一般有底吹式和顶吹式两种。底吹式只能用于小砂芯, 如发动机缸盖中的气道砂芯用底吹式生产较理想。对于中大型砂芯, 则适合用顶吹式生产, 如发动机机体主体芯。

#### 5. 冷芯盒制芯

冷芯盒制芯, 就是在常温下, 砂芯在芯盒内硬化的一种制芯方法。其优点是: 无需加热, 节约能源; 无需使用金属芯盒, 降低工装制造费用; 固化速度快, 生产效率高。

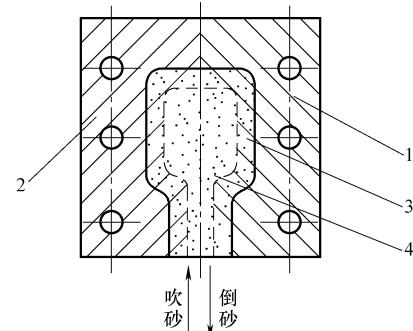


图 2-14 壳芯制芯原理

1、2—壳芯盒 3—结壳层 4—未结壳层

冷芯盒制芯的种类有气体硬化冷芯盒制芯和自硬冷芯盒制芯两类。

常用的气体硬化冷芯盒制芯方法一般有以下三种：

① 三乙胺气雾法：采用液态酚醛树脂和聚异氰酸酯为黏结剂，在三乙胺气雾的催化作用下硬化的制芯方法，使用最广。

②  $\text{SO}_2$ 气体硬化法：采用呋喃树脂为黏结剂，通入  $\text{SO}_2$  气体与砂中的过氧化物发生化学反应，使芯砂迅速硬化的方法。这种方法在我国开发较早，也有一定应用。

以上两种气体硬化剂都有毒性，应注意密封系统和净化系统的完好，加强环境保护。

③  $\text{CO}_2$ 冷芯盒法：以水玻璃为黏结剂，通入  $\text{CO}_2$  气体使之硬化的方法。该方法属于传统制芯工艺，过去都是手工紧实成型或用普通射芯机紧实成型，现在我国已有这方面的专用射砂机来完成自动化生产。

(1) 气体硬化冷芯盒制芯 气体硬化冷芯盒制芯的工艺特点为：

1) 芯盒分型方式有水平分型（见图 2-15）、垂直分型和水平-垂直组合分型。

2) 射砂紧实及射砂孔。由于三乙胺冷芯盒树脂芯砂流动性好，制芯时射砂压力及砂流速度要求均不高，推荐射砂压力为  $0.24 \sim 0.28 \text{ MPa}$ ，射砂孔的直径为  $16 \sim 25 \text{ mm}$ 。

3) 吹气硬化和废气的排除

① 吹气孔的位置：通常吹气孔就是吹砂孔，因此，在设计吹砂孔位置时，应考虑吹气位置，两者的要求是一致的，即布置吹砂孔时考虑的是要使砂芯各处吹满、吹好，布置吹气孔时要使砂芯各处都有硬化气体通过而达到良好的硬化。

② 废气的排除：硬化气体吹气和废气排除组成了气体流动系统。

冷芯盒的排气装置有两方面的作用：其一在吹砂紧实时，造成压力差；其二在吹气硬化时也形成压力差，使硬化气体有动力并引导气体通过砂层来硬化砂芯，并将废气排除。

4) 吹砂紧实度与水分。水分影响砂芯的强度和硬度，因为水分能与树脂中的第二组分起反应，从而影响砂粒间的黏结强度，并降低砂的流动性。水分的来源：未经冷冻干燥处理的压缩空气、硬化气体、原砂中的水分。砂芯中水的质量分数要求控制在  $0.20\%$  以下。

5) 芯盒的密封。气雾法冷芯盒必须有良好的密封，这样可以缩短硬化时间，减少硬化剂用量，提高硬化质量，保持环境清洁。

(2) 自硬冷芯盒制芯 自硬冷芯盒制芯是指在室温下，无需加热和吹入硬化气体，砂芯在芯盒内迅速自行硬化的办法。自硬树脂砂制芯已得到广泛使用，在有条件的工厂已在很大程度上替代了油类黏结剂制芯，有的工厂将工艺设备组成流水线生产大型优质铸件，代替落后的黏土干型砂及水玻璃砂造型、制芯，其应用范围很广。

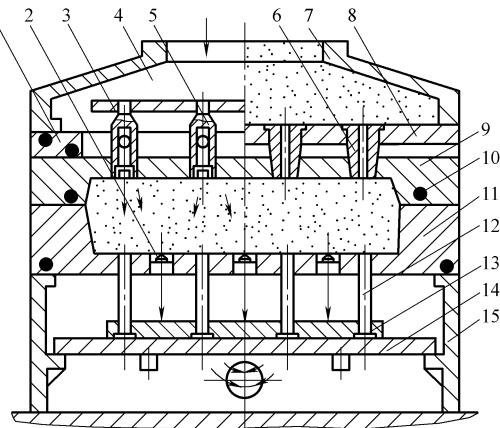


图 2-15 气雾硬化水平分型冷芯盒的结构

1—吹气罩板 2—排气塞 3—上顶芯杆安装板 4—吹气罩  
5—吹气杆 6—射砂嘴 7—射砂头 8—射砂板 9—上芯  
盒 10—密封条 11—下芯盒 12—下顶芯杆 13—下  
顶芯杆安装板 14—下顶芯板 15—废气室

由于自硬树脂砂在室温下硬化，故不宜用射芯机制芯，在条件较好的工厂多采用连续混砂机及简单震击或捣固的方法紧实。

## 6. 射芯机

射芯机种类很多，有普通射芯机、热芯盒射芯机、特殊用途射芯机、壳芯机和冷芯盒射芯机等。

(1) 普通射芯机 该射芯机只完成对芯砂的射砂紧实，常用于植物油黏结剂及合脂黏结剂芯砂的制芯，取芯后由烘芯炉烘干硬化，也可用于水玻璃芯砂的射砂紧实，配上  $\text{CO}_2$  吹气罩硬化。这类射芯机的主要型号有 Z8512、Z8525 等。

(2) 热芯盒射芯机 该射芯机是射芯制芯的主要设备，其形式很多，按工位分，有单工位、双工位及多工位射芯机；按分型方式分，有垂直分型、水平分型及垂直-水平组合分型射芯机；按操作性能分，有手动操作和自动操作的射芯机。图 2-16 所示的 Z8612B 型射芯机是一种应用较广的单工位垂直分型的射芯机。

(3) 壳芯机 该射芯机是用于生产中空高质量砂芯的制芯机。砂芯靠吹砂紧实，是射砂紧实的另一种形式。其按照吹砂形式，可分为底吹式和顶吹式两种。顶吹式用得较多，旧机型主要有 K85、K87 等系列，新机型为 KW95 系列。

(4) 冷芯盒射芯机 冷芯盒射芯机可分为两种：一种是用冷芯盒树脂砂制芯的射芯机，该类射芯机结构复杂，由射芯机、硬化气体发生器、废气净化装置及电液压控制系统构成；另一种是水玻璃砂  $\text{CO}_2$  吹气自动化射芯机。

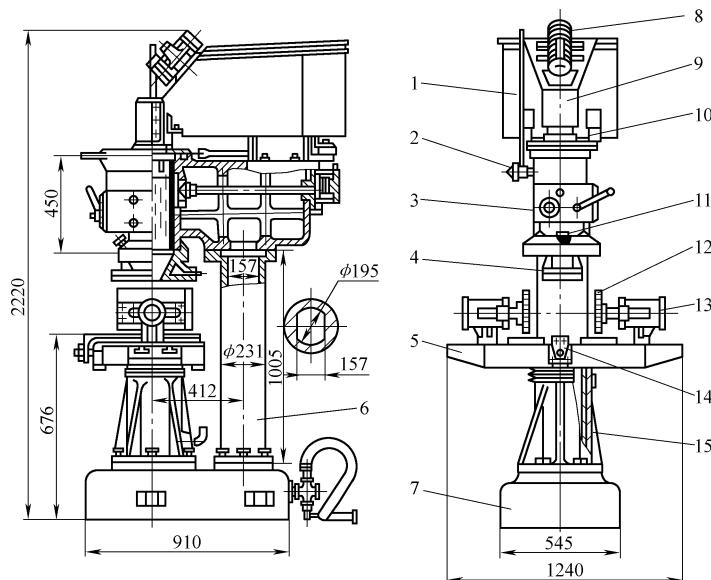


图 2-16 Z8612B 型射芯机

1—砂斗 2—排气阀 3—射砂机构 4—水冷射头 5—工作台 6—立柱  
7—底座 8—振动电动机 9—有机玻璃罩 10—橡胶减振柱 11—射头  
装卸螺钉 12—加热板 13—夹紧缸 14—气动拖板 15—升降杆

## 四、射芯机常见故障及排除方法

射芯机部分常见故障及排除方法见表 2-7。

表 2-7 射芯机部分常见故障及排除方法

故障现象	故障原因分析	故障排除方法
工作压力不足	①压缩空气总阀门未完全打开 ②调压阀未调到位 ③管路局部堵塞、严重漏气或管路太长 ④空气干燥器里装配的用铜合金粉末冶金烧结的多孔性过滤杯太脏,使流通面积变小,流量减少,压力损失增大	①彻底打开总阀门 ②检查并修复调压阀 ③疏通管路和堵漏处,并控制管路长度 ④放掉空气干燥器里的水,将多孔性过滤杯取出放入汽油或煤油中清洗干净
工作台不上升	①无电信号 ②工作台气缸的电磁阀被卡死或内漏 ③工作台气缸磨损,活塞上的密封件损坏	①检查工作台电路 ②清洗或更换电磁气阀 ③修复或更换气缸、密封件
不射砂	①射砂控制阀无动作,阀本身被卡死,射砂条件未满足,如闸板未关闭、无电信号等 ②射孔被堵死 ③射砂时间太短或为零	①检查并调整射砂控制阀、电气信号,关闭闸板 ②捅通射孔,使水冷射板通水 ③调整射砂时间,一般为 2~3s
喷砂	①芯盒没有夹牢 ②芯盒和射头的射孔没有对准 ③芯盒和射头接触的密封圈损坏 ④射筒里的砂量不足,射砂时气体随着砂子一起以砂气流的形式充填芯盒,这种情况下作用于芯盒的力要大得多,往往造成芯盒下沉而喷砂 ⑤工作台面、芯盒上表面与射头不平行 ⑥闸板密封件损坏 ⑦闸板未关严或根本没有关 ⑧闸板或闸板的盖压板磨损严重	①检查举升夹紧机构,对于 40kg 射芯机,要检查油路是否被有效地切断 ②应调整芯盒和射头的射孔,使其对准。最好使芯盒的射孔比水冷射板的射孔大 ③更换密封圈 ④调整加砂时间,使射筒里的砂量足够 ⑤应调整到顶紧后,其平行度误差小于 0.2mm ⑥更换闸板密封件 ⑦检查并关闭闸板 ⑧应及时调整或更换闸板或闸板的盖压板,使它们之间的间隙不大于 0.5mm
排气带砂	①射砂筒特别是上口碰伤或变形 ②射砂筒的缝隙太大或已破损	①应修整其上口,使其圆度误差大于 2mm ②更换射砂筒
射砂不满,砂芯局部有缺陷	①射孔堵塞,砂芯突然局部出现缺陷时往往是由此而引起的 ②芯盒排气不畅通。如果是新芯盒,则原因可能是芯盒设计制造有问题;如果是旧芯盒,则原因可能是排气塞堵塞 ③芯盒和射头的射孔没有对准 ④射砂筒里砂量不足 ⑤射砂时间不足 ⑥射砂压力过高或过低 ⑦芯砂混制时间和储存时间太长,芯砂干固,流动性太差	①检查并捅开不通的射孔 ②对新的芯盒要重新布置排气塞,对旧芯盒要检查排气塞并疏通排气塞 ③应调整射头的射嘴,使之对准芯盒 ④调整加砂时间,将射砂筒里的砂子加满 ⑤调整射砂时间 ⑥检查并调整射砂压力 ⑦应按工艺要求制备或更换芯砂

(续)

故障现象	故障原因分析	故障排除方法
顶芯困难	①砂芯和芯盒的附着力太大 ②顶芯杆和顶芯孔对不准 ③顶芯杆松动或弯曲 ④用弹簧复位的动顶芯杆因长度不一致或没彻底复位而在受力顶芯时不同步	①尽量加大射孔的锥度、起模斜度,缩短射孔的长度,提高芯盒表面的光洁度 ②应使顶芯杆直径比顶芯孔直径小2mm,并调整顶芯杆和顶芯孔的位置使其对准 ③校正顶芯杆并紧固 ④应检查调整动顶芯杆
不加砂	①加砂时间太短 ②闸门气缸的控制气阀无动作 ③闸门气缸里的密封件损坏,使闸门打不开 ④震动电动机烧坏 ⑤砂斗里的芯砂已固化	①调整加砂时间 ②检查电信号,清洗或更换气阀 ③更换密封件 ④应修复或更换震动电动机 ⑤应清除并更换芯砂

## 第四节 特种铸造技术

### 一、金属型铸造

金属型铸造是将液态金属浇入金属铸型，在重力作用下充型而获得铸件的铸造方法。由于铸型用金属制成，可以反复使用，故金属型铸造又称为硬模铸造，在国外被称为永久型铸造。

金属型的种类很多，分类的方法也不同，按照分型方式的不同可分为整体式金属型、水平分型式金属型、垂直分型式金属型及复合分型式金属型等。图2-17是水平分型和垂直分型两种形式的金属型结构简图。

金属型的材料根据浇注合金的种类选择。浇注低熔点合金（如锡合金、锌合金、镁合金）时，可选用灰铸铁；浇注铝合金、铜合金时，可选用合金铸铁；浇注铸铁和铸钢时，必须选用碳素钢和合金钢等。

金属型铸件具有较高的尺寸精度和较小的表面粗糙度值，因而可减少铸件的加工余量。

金属型铸造的主要缺点是：金属型结构复杂且工艺要求高，加工周期长，成本高。

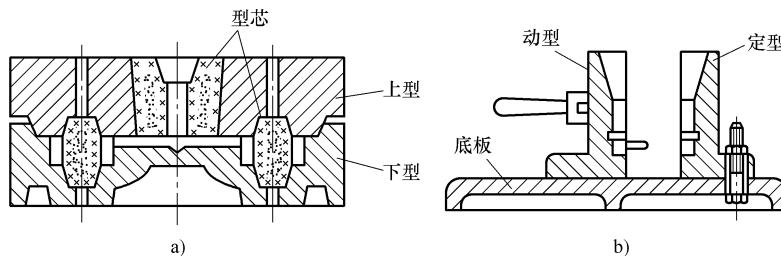


图2-17 金属型结构简图

a) 水平分型 b) 垂直分型

### 二、压力铸造

压力铸造是使熔融金属在高压（5~150MPa）作用下高速充型，并在压力下凝固的铸造方法，简称压铸。

### 1. 压力铸造的工艺过程

压力铸造工艺过程如图 2-18 所示。压铸型闭合后，用定量勺将合金液注入压室中，压射冲头向前推进，将金属液迅速压入铸型型腔，金属在压力下凝固完毕后，压射冲头退回，压铸型打开，顶出机构顶出铸件。

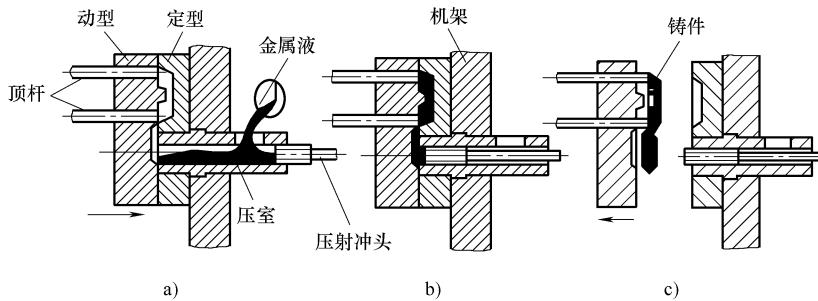


图 2-18 压力铸造工艺过程

a) 合型、浇注 b) 压射 c) 开型、顶出铸件

### 2. 压力铸造的特点和应用

1) 高压和高速充型是压力铸造的最大特点，因此，它可以铸出形状复杂、轮廓清晰的薄壁铸件，如铝合金压铸件的最小壁厚可为 0.5mm，最小铸出孔直径为 0.7mm。

2) 铸件的尺寸精度高（公差等级可达 IT11 ~ IT13），表面质量好，一般不需机械加工可直接使用，而且组织细密，铸件强度高。

3) 压铸件中可嵌铸其他材料（如钢、铁、铜合金、金刚石等）的零件，以节省贵重材料和机械加工工时。有时嵌铸还可以代替部件的装配过程。

4) 生产率高，劳动条件好，压力铸造是所有铸造方法中生产率最高的。

压力铸造存在的不足之处主要是：压铸机造价高、投资大；压铸型结构复杂，制造费用高，生产周期长，而且工作条件恶劣，对其使用寿命影响较大。由于液态金属高速充型，液流中易裹携大量空气，最后以气孔的形式留在压铸件中，因此压铸件机械加工的余量不能过大，以免气孔暴露于表面，影响铸件的使用性能。压铸件一般也不能进行热处理，因为在高温时，铸件内部的气体会膨胀而使表面鼓泡。

压力铸造主要用于大批量生产的有色合金（铝合金、镁合金、锌合金等）的中小型铸件，如发动机气缸体、气缸盖、箱体、化油器、发动机罩、仪表和照相机的壳体与支架、管接头、齿轮等，在汽车、拖拉机、航空器、仪表、电器、医疗器械上获得了广泛的应用。

### 三、离心铸造

离心铸造是将熔融金属浇入高速旋转的铸型中，使其在离心力作用下填充铸型并结晶，从而获得铸件的方法。离心铸造可以在金属型中浇注，也可以在砂型中浇注。

#### 1. 离心铸造的工艺过程

离心铸造工艺主要包括确定铸型转速、控制浇注温度以及金属液的定量。铸型转速的快慢决定了离心力的大小，没有足够大的离心力，就不可能获得形状正确和性能良好的铸件。

根据回转轴的空间位置，离心铸造可分为立式和卧式两大类。立式离心铸造机的铸型是绕垂直轴回转的（见图 2-19a），主要用来生产高度小于直径的环类铸件。卧式离心铸造机的铸型绕水平轴旋转（见图 2-19b），主要用来生产长度大于直径的套类和管类铸件。

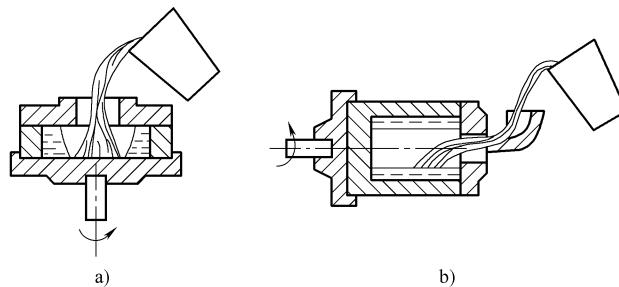


图 2-19 离心铸造示意图  
a) 立式离心铸造机 b) 卧式离心铸造机

## 2. 离心铸造的特点和应用

- 1) 离心铸造不用型芯即可铸出中空铸件，工艺简单、生产率高、成本低。
- 2) 在离心力作用下，金属液的充型能力得到提高，金属液自外表面向内表面顺序凝固，因此铸件内部组织致密，无缩孔、气孔、夹渣等缺陷，力学性能提高。
- 3) 便于铸造“双金属”铸件，如制造钢套铜衬滑动轴承。
- 4) 不用浇注系统和冒口，金属利用率较高。

离心铸造的不足之处是：利用自由表面形成内孔，故尺寸误差大；金属液中的气体和夹杂物因密度小而集中在铸件内表面，使其质量较差，且不适于密度偏析大的合金。

离心铸造主要用于生产空心回转体铸件，如铸铁管、铜套、缸套、活塞环等。此外，在耐热钢管、特殊无缝钢管毛坯、冶金轧辊等生产方面，离心铸造的应用也很有成效。

## 四、熔模铸造

熔模铸造是用易熔材料制成模样，造型后将模样熔化并排出型外，从而获得无分型面的型腔，经浇注后获得铸件的铸造方法。由于其模样大多采用蜡质材料制成，故又称为“失蜡铸造”。这种铸造工艺能获得具有较高精度和表面质量的铸件，是精密铸造的重要方法。

### 1. 熔模铸造的工艺过程

熔模铸造的工艺过程如图 2-20 所示。其主要工序包括蜡模制造、结壳、脱蜡、焙烧和浇注等。

影响蜡模表面质量的制模工艺参数主要有注蜡温度、压型温度、压力、保压时间等。

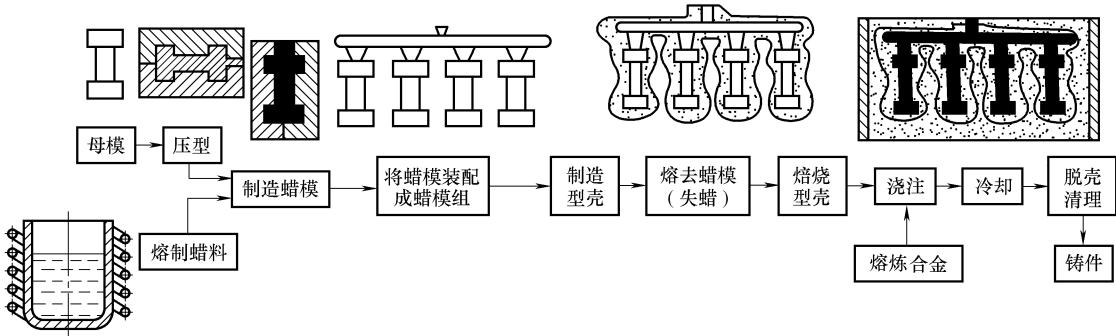


图 2-20 熔模铸造工艺过程

## 2. 熔模铸造的特点和应用

1) 铸件的精度和表面质量较高。因为熔模铸造所用的蜡模尺寸精确, 表面光洁, 型腔无分型面, 所以铸件的尺寸精度较高, 表面粗糙度较低, 尺寸公差等级一般可达 IT11 ~ IT14, 表面粗糙度可达  $Ra6.3 \sim Ra2.5 \mu\text{m}$ 。

2) 可生产各类金属材料的铸件。由于可选用高级耐火材料制造型壳, 因此许多高熔点的合金铸件都可以用熔模铸造法制造。

3) 可制造形状较复杂的铸件。铸出孔的最小直径为 0.5mm, 铸件最小壁厚可达 0.3mm。由几个零件组成的复杂部件, 适于用熔模铸造整体铸出。

4) 生产批量不受限制, 中、小批量或大批量均可, 特殊需要时也可单件生产。在大批量生产条件下, 可采用机械化流水作业。

5) 工艺过程较复杂, 生产周期长, 铸件成本较高。由于受蜡模和型壳强度、刚度的限制, 铸件不宜过大, 多用于小型零件 (从几十克到几千克)。

熔模铸造是少、无切削加工工艺之一。在机械制造中, 对于形状复杂、机械加工困难的零件, 可考虑采用熔模铸造, 目前应用最多的是生产碳素钢和合金钢铸件, 如汽轮机叶片、泵的叶轮、切削刀具、仪表元件, 以及汽车、拖拉机、机床和风动工具上的小型零件等。

## 五、实型铸造

实型铸造又称为消失模铸造或汽化模铸造。其原理是: 用泡沫塑料制作的模样代替木模或金属模样, 造型后不取出模样, 浇入高温金属液后, 泡沫塑料模样因燃烧、汽化而消失, 金属液填充占据原来模样的空间位置, 凝固冷却后即获得铸件。

实型铸造的型砂有以水玻璃或树脂为黏结剂的自硬砂和无黏结剂的干硅砂。图 2-21 所示为目前应用较为普遍的无黏结剂干硅砂造型法铸造工艺过程。先在砂箱中填入部分干砂,

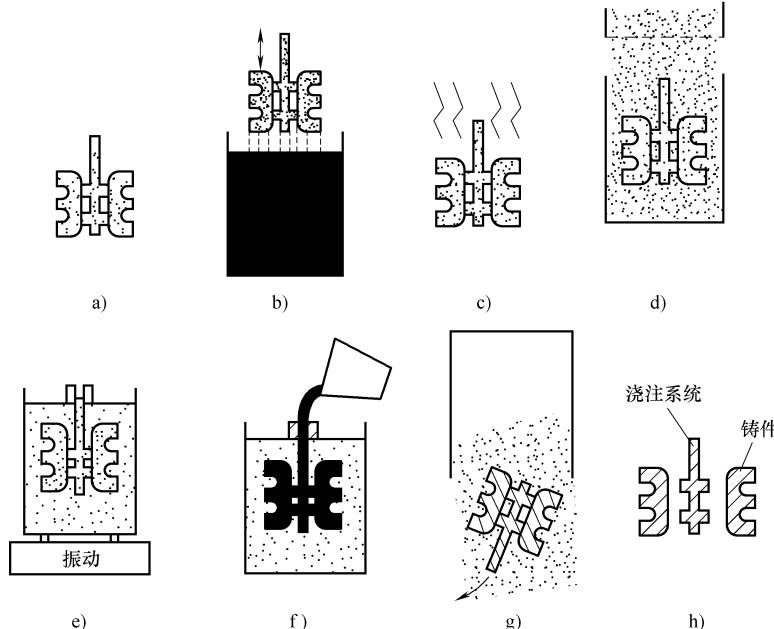


图 2-21 实型铸造工艺过程示意图

a) 制作模样 b) 浸涂料 c) 烘干 d) 加砂 e) 紧实 f) 浇注 g) 落砂 h) 切割、清理

然后放入刷过涂料并烘干的泡沫塑料模样，继续在砂箱中填满干砂，填砂的同时进行微震，获得具有一定紧实度的铸型，再在砂箱上安放带有孔洞的压板和压铁并安装浇口杯，浇注金属液，待铸件凝固冷却后，即可落砂取出铸件。实型铸造浇注过程通常是在真空（负压）条件下进行的，由砂箱和抽真空装置组成一个封闭系统。负压的作用是固定干砂，防止冲砂和型壁移动，加快排气，提高充型能力，形成密封的浇注条件，改善工作环境。

实型铸造不需起模，不用型芯，不必合型，大大简化了造型工艺，并避免了下芯、起模、合型等引起的铸件尺寸误差和缺陷；由于采用了干砂造型，节省了大量黏结剂，型砂回用方便，使砂处理系统大为简化，铸件极易落砂，劳动条件得到改善；由于没有分型面，铸件无飞边，使清理打磨工作量减轻一半以上；但泡沫塑料模汽化烟雾对生产环境有一定影响；生产大尺寸的铸件时，由于模样易变形，必须采取适当的防变形措施。

实型铸造可用于各类铸造合金，适合于生产结构复杂、难以起模和外型芯较多的铸件，如模具、气缸头、管件、曲轴、叶轮、壳体、艺术品、床身、机座等。

### 复习思考题

1. 湿型铸造有何特点？为什么采用湿型铸造时多用单一砂？有何利弊？
2. 铸造用原砂、型砂中的泥是否就是黏土？两者有何区别？
3. 橄榄石砂、镁砂、锆砂、铬铁矿砂等非石英质原砂与硅砂相比有哪些特点？它们适于在什么场合采用？
4. 请简述震击紧实造型机的工作原理。
5. 请简述机械制芯的种类及应用场合。
6. 特种铸造有哪些类型？各适用于哪些场合？

### 第三章

## 液态金属充型和浇注系统设计

**培训目标** 掌握液态金属充型的基本原理，以及浇注系统的基本组成、结构特点和设计原理；会分析浇注系统对铸件质量的影响并能应用浇注系统的理论提出铸件质量的改进措施。

本章主要介绍液态金属充型的基本理论，浇注系统的结构、组成及作用，浇注系统的设计。

### 第一节 液态金属的充型

#### 一、液态金属的充型能力及流动性

##### 1. 液态金属的充型能力

液态金属充满铸型型腔，获得形状完整、轮廓清晰的铸件的能力，称为液态金属的充型能力。金属液大多在纯液态下充满型腔，但也有在充型的同时伴随着结晶的情况。如果结晶的晶粒在金属液未充满型腔之前堵塞了浇注系统的通道，将会使铸件产生“浇不足”等缺陷。

##### 2. 液态金属的流动性

液态金属本身的流动能力称为流动性。它是金属的铸造性能之一，与金属的成分、温度、杂质含量及其物理性质有关。

液态金属的充型能力与流动性是两个不同的概念。

#### 二、影响液态金属充型能力的因素

液态金属的充型能力受金属性质、铸型性质、浇注条件和铸件结构四个方面的影响。

##### 1. 金属性质方面

这类因素是内因，决定着金属本身的流动能力（即流动性），主要有合金成分、结晶潜热、比热容、密度、导热系数，以及液态金属的黏度和表面张力等。

液态金属的流动性与成分之间存在着一定的对应关系。图 3-1 所示为 Pb-Sn 合金流动性与成分的关系曲线。

由图 3-1 可看出，纯金属、共晶成分的合金流动性出现最大值，而有结晶温度范围的合金流动性下降，且在最大结晶温度范围的合金

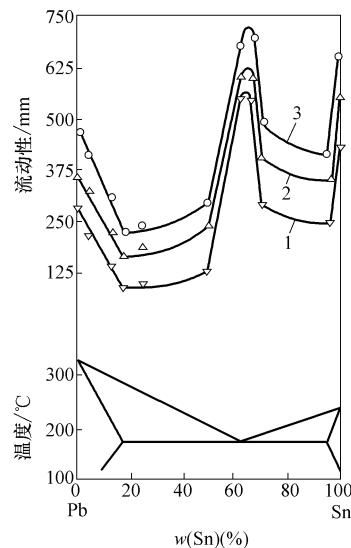


图 3-1 Pb-Sn 合金流动性与成分的关系曲线

1—液相线温度  $t_L$  2— $t_L + 25^\circ\text{C}$  3— $t_L + 50^\circ\text{C}$

流动性出现最小值。合金成分与流动性的这种对应关系，主要是由成分不同时合金的结晶特点不同所决定的。图 3-2 所示为 Fe-C 合金的流动性和成分的关系。

## 2. 铸型性质方面

铸型对金属液的流动阻力和对金属液热交换的强度都对金属液的充型能力有重要影响。

1) 铸型的蓄热系数表示铸型从其中的金属吸取热量并储存于本身中的能力。蓄热系数越大，铸型的激冷能力越强，金属液在铸型中保持液态的时间就越短，使充型能力下降。一般情况下，砂型比金属型充型能力好，干型比湿型充型能力好，热型比冷型充型能力好。

2) 预热铸型可以减小金属液与铸型的温差，使充型能力提高。例如，金属型在浇注之前预热，熔模铸造时在浇注前对型壳进行高温焙烧等，都是为了提高充型能力。

## 3. 浇注条件方面

(1) 浇注温度 浇注温度对液态金属的充型能力有决定性的作用。浇注温度越高，充型能力越好。但浇注温度过高时，金属液易吸气且氧化严重，并引起铸件的收缩量加大。

根据生产经验，灰铸铁浇注温度见表 3-1。一般铸钢件浇注温度为 1520~1620℃，铸铁件为 1280~1450℃，铝合金为 680~780℃，锡青铜与铝青铜为 1050~1220℃，普通黄铜为 980~1150℃，复杂件取上限，厚大件取下限。

(2) 充型压头 液态金属在流动方向上所受的压力越大，充型能力就越好。但压头过大或充型速度过高时，不仅会发生喷射和飞溅现象，使金属氧化而产生铁豆缺陷，而且型中气体来不及排出，反而增加，形成浇不到或冷隔等缺陷。

表 3-1 灰铸铁浇注温度

铸件壁厚/mm	<4	4~10	10~20	20~50	50~100	100~150	>150
浇注温度/℃	1360~1450	1340~1430	1320~1400	1300~1380	1230~1340	1200~1300	1180~1280

(3) 浇注系统的结构 浇注系统的结构越复杂，流动阻力就越大，充型能力也就越低。所以，在保证铸件质量的前提下，浇注系统的结构越简单越好。

## 4. 铸件结构方面

铸件结构方面的因素主要是铸件的模数和复杂程度。

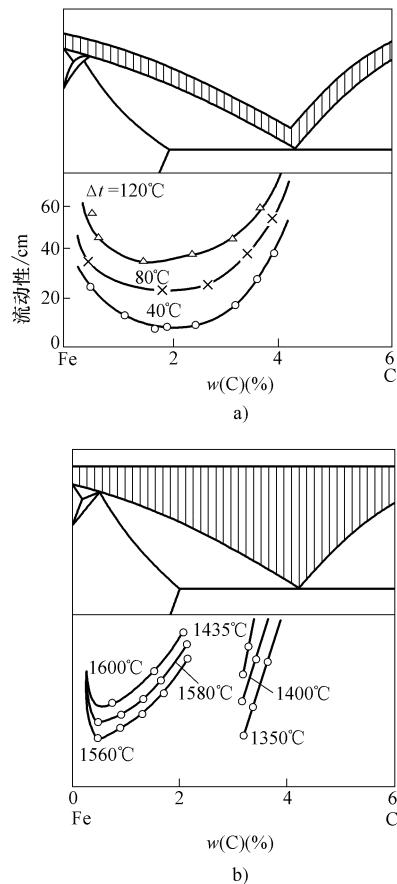


图 3-2 Fe-C 合金的流动性和成分的关系  
a) 相同过热度的流动性 b) 相同浇注温度的流动性

1) 铸件的模数 (或称为换算厚度、当量厚度、折算厚度)  $M$  (cm) 为

$$M = \frac{V}{S} \quad (3-1)$$

式中  $V$ —铸件实际体积 (cm<sup>3</sup>);

$S$ —铸件全部散热面积 (cm<sup>2</sup>)。

如果铸件的体积相同, 那么在同样的浇注条件下, 模数大的铸件, 由于与铸型的接触面积相对减小, 热量散失较慢, 因此充型能力较好。铸件的壁越薄、模数越小, 则充型能力越差。

2) 铸件结构复杂, 则型腔结构复杂, 对金属液流动的阻力大, 铸件的填充就困难。

## 第二节 浇注系统的结构、组成及作用

### 一、浇注系统及其组成

#### 1. 浇注系统的组成

浇注系统是铸型中液态金属流入型腔的通道的总称。它的基本组元有浇口杯、直浇道、直浇道窝、横浇道和内浇道。典型浇注系统的结构如图 3-3 所示。

#### 2. 浇注系统对铸件质量的影响

浇注系统设计得是否合理的检验标准主要是铸件质量。通常由于浇注系统开设不当而造成的铸件缺陷有砂眼、夹砂、气孔、冷豆、未浇满和冷隔等。在实际生产中, 由于浇注系统问题而引起的废品量约为铸件总废品量的 30%。所以浇注系统设计得正确与否对铸件的质量影响很大。其主要影响因素有: 金属液在浇注系统中的流动形式、金属液进入型腔时的速度、金属液对砂型 (芯) 壁的冲击、铸型温度、金属液在浇注系统内的吸气。

### 二、浇注系统各组元的作用及结构

#### 1. 浇口杯

浇口杯的作用有: 承接来自浇包的金属液, 防止飞溅和溢出; 减轻金属液对铸型的直接冲击; 可以撇去部分熔渣、杂质, 阻止其进入直浇道; 利用浇口杯可提高金属静压力, 可以使用较低尺寸的砂箱。浇口杯的常用结构如图 3-4 所示。

#### 2. 直浇道

直浇道的作用是将来自浇口杯的金属液引入横浇道、内浇道并最后充填型腔。它提供足够的压头以保证金属液克服沿程的各种阻力, 在规定的时间内, 以一定的速度充填型腔。一般直浇道的锥度为 1:50 或 1:25, 浇口杯与直浇道相接处的圆角  $R \geq 0.25d_h$  ( $d_h$  为直浇道上孔口直径)。

金属液对直浇道底部有强烈的冲击作用, 并产生涡流和高度紊流区, 常引起冲砂、渣孔

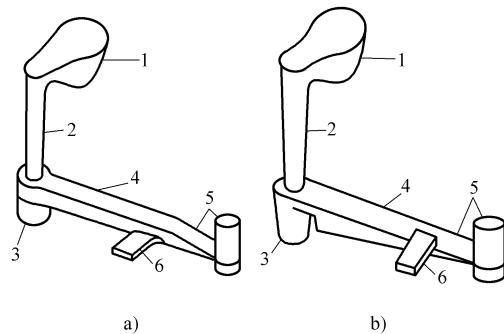


图 3-3 典型浇注系统的结构

a) 封闭式 b) 开放式

1—浇口杯 2—直浇道 3—直浇道窝  
4—横浇道 5—集渣槽 6—内浇道

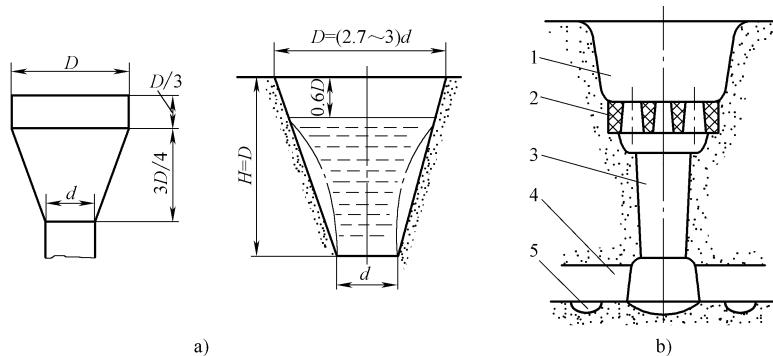


图 3-4 浇口杯的常用结构

a) 浇口杯 b) 带过滤网的浇口杯

1—浇口杯 2—过滤网 3—直浇道 4—横浇道 5—内浇道

和大量氧化夹杂物等铸造缺陷。设置直浇道窝（凹井）可改善金属液的流动状况，其作用如下：

1) 缓冲作用。液流落下的动能有相当大的一部分被窝内液体吸收而转变为压力能，再由压力能转化为水平速度流向横浇道，从而减轻对直浇道底部铸型的冲刷作用。

2) 缩短直-横拐弯处的高度紊流区。直浇道窝可减轻液流进入横浇道的孔口压缩现象，缩短高速紊流（过渡）区，这样也改善了横浇道内的压力分布，如图 3-5 所示。

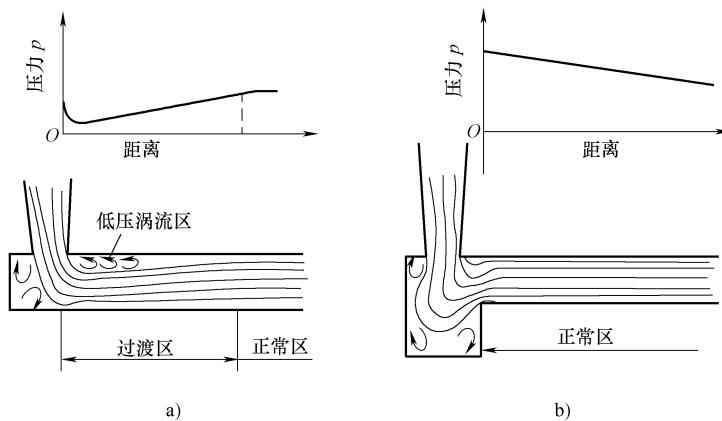


图 3-5 直浇道窝对液流的影响

a) 无直浇道窝 b) 有直浇道窝

- 3) 改善内浇道的流量分布。
- 4) 减小直-横浇道拐弯处的局部阻力系数和水力损失。
- 5) 浮出金属液中的气泡。注入型内的最初金属液中常带有一定量的气体，在直浇道窝内可以浮出去。

直浇道窝的大小、形状应适宜，砂型应紧实，底部放置干砂芯片、耐火砖等可防止冲砂。直浇道窝常做成半球、圆锥台等形状，推荐形状如图 3-6 所示。

### 3. 横浇道

横浇道的作用是：向内浇道分配洁净的金属液；储留最初浇入的含气和渣的低温金属液并阻留渣滓；使金属液流平稳和减少氧化夹杂物。为了节约金属，中小铸件多不用浇口杯，主要靠横浇道阻渣，故横浇道又称为捕渣道。

为加强横浇道的阻渣效果，常在横浇道上设置筛网芯或集渣包。由于内浇道的吸作用，内浇道与横浇道连接处的尺寸就显得尤其重要。通常将内浇道设在横浇道的下方，使  $h_{\text{横}} = (5 \sim 6) h_{\text{内}}$ ，以保证内浇道的吸作用不会达到横浇道的顶部，如图 3-7 所示。

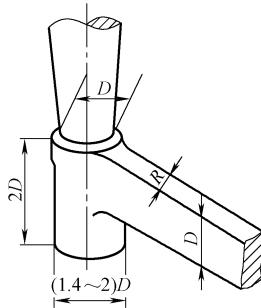


图 3-6 直浇道窝的推荐形状

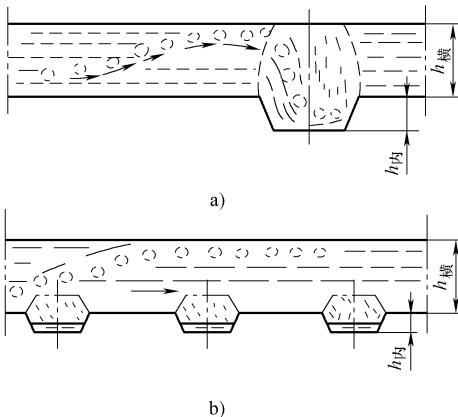


图 3-7 吸作用区范围

a) 作用区大 b) 作用区小

### 4. 内浇道

内浇道的作用是控制充型速度和方向，分配金属液，调节铸件各部位的温度和凝固顺序。浇注系统内的金属液通过内浇道对铸件有一定的补缩作用。设计内浇道时还应避免金属液流入型腔时产生喷射和飞溅，使充型平稳。

内浇道的截面形状有多种，用得较多的是扁梯形内浇道。其优点是高度较低，不易把横浇道的渣吸入，容易清理，与铸件相连接处不易产生疏松缺陷。

## 三、浇注系统的类型及选择

浇注系统的结构有不同的类型，一般可按内浇道在铸件上的位置及浇注系统各基本组元的比例关系分类。设计浇注系统时，应根据合金种类、铸件的结构及不同的技术要求分别选择不同结构、组成的浇注系统，以获得合格的铸件。

### 1. 按内浇道在铸件上的位置分类

内浇道直接引导液态金属进入型腔。按液态金属进入型腔的位置分，浇注系统有顶注式、底注式、中间注入式、阶梯式和缝隙式等几种形式。

#### (1) 顶注式浇注系统 金属液自型腔顶部引入型腔的浇注系统即为顶注式浇注系统。

顶注式浇注系统的优点是：型腔易于充满，对薄壁铸件可减少浇不到、冷隔等缺陷；充型后铸件自上而下逐层凝固，高温金属位于顶部，顶部冒口补缩效果最好；浇注系统结构简单，易于清理。其缺点是：金属液对型腔底部的冲击力大，易出现激溅、氧化、卷入空气等现象，使充型不稳定，可能因此造成砂眼、铁豆、气孔、氧化夹渣等缺陷。顶注式浇注系统

又分为简单顶注式、楔形式、压边式、雨淋式、搭边式等几种形式，如图 3-8 所示。

### (2) 底注式浇注系统 金属液

自铸型底部引入型腔的浇注系统为底注式浇注系统。其内浇道开设在铸件底部。图 3-9 所示为底注式浇注系统的三种形式。

底注式浇注系统的优点是：充型平稳，不会产生激溅、氧化及由此而形成的铸件缺陷；横浇道、内浇道呈充满状态，有利于挡渣；型腔气体易排除。其缺点是：不利于补缩，温度场分布与靠重力补缩的顺序正好相反，高温金属液位于底部，且铸件内浇道附近易于过热，该处易发生缩孔、缩松和晶粒粗大等缺陷；金属液面在型腔内上升过

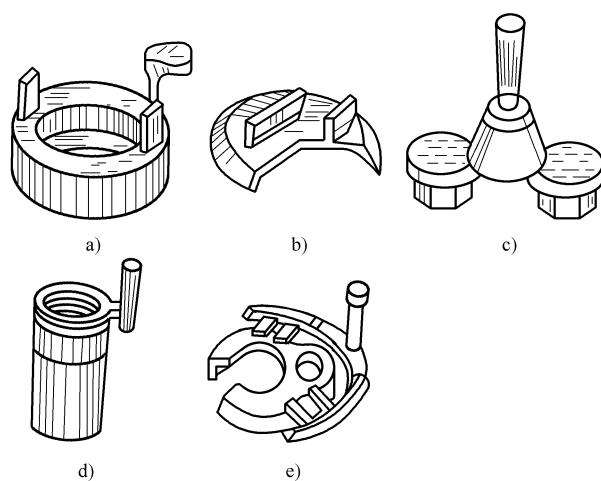


图 3-8 顶注式浇注系统

a) 简单顶注式 b) 楔形式 c) 压边式 d) 雨淋式 e) 搭边式

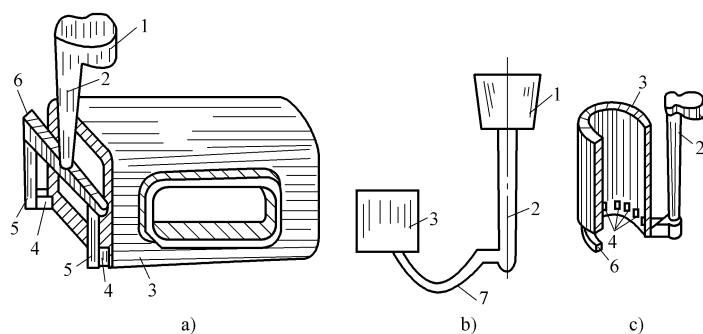


图 3-9 底注式浇注系统的三种形式

a) 基本形式 b) 牛角式 c) 底注雨淋式

1—浇口杯 2—直浇道 3—铸件 4—内浇道 5—分直浇道 6—横浇道 7—牛角浇口

程中较长时间与空气接触，表面氧化现象严重（铝合金最明显），但这是很难避免的。它不但妨碍金属液内气体的逸出，而且难以保证将薄壁铸件充满，易在铸件顶部、远处形成浇不到、冷隔等缺陷。浇注系统内金属消耗相对较大。

(3) 中注式浇注系统 当型腔分布在上、下型内时，内浇道开设在分型面上，这样能使金属液自铸型中部引入型腔。这种自铸型中部引入金属液的浇注系统称为中注式浇注系统，如图 3-10 所示。

中注式对内浇道以下的型腔部位为顶注式，而对于内浇道以上的型腔部分则相当于底注式。因此，中注式兼有

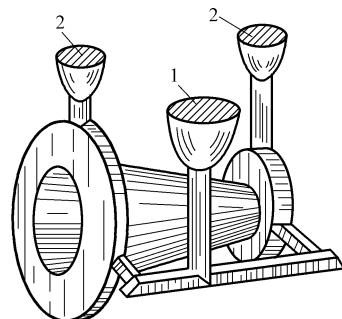


图 3-10 中注式浇注系统

1—浇口杯 2—出气冒口

顶注式和底注式的优缺点，且因内浇道、横浇道都开设在分型面上，造型方便，而广为应用，适用于高度不大的铸件。

(4) 阶梯式浇注系统 阶梯式浇注系统是指在铸件不同高度方向上开设若干内浇道，使金属液从底部开始，逐层地从若干不同高度引入型腔的浇注系统，如图 3-11 所示。

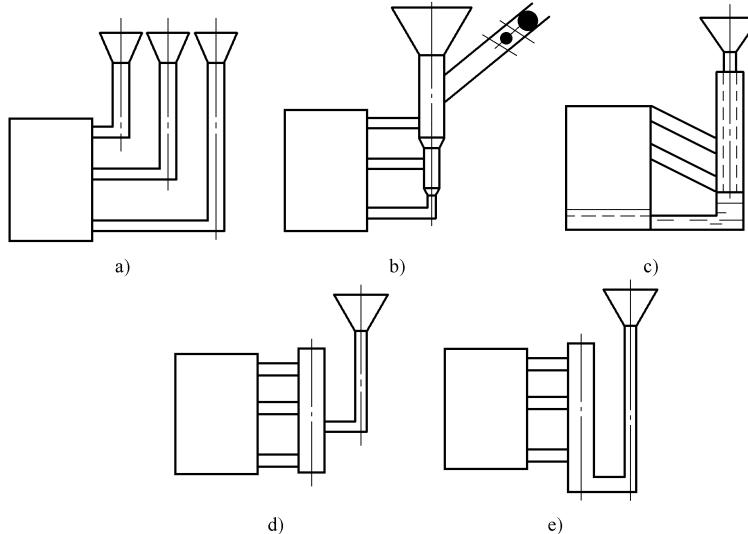


图 3-11 阶梯式浇注系统

- a) 多直浇道形式 b) 用球塞法控制 c) 控制各组元比例  
d) 带缓冲直浇道 e) 带反直浇道

有一种缝隙式浇注系统，即金属液沿型腔全部或部分高度方向设置的单层薄片内浇道进入型腔的浇注系统，如图 3-12 所示。这种浇注系统的作用类似于阶梯式浇注系统，不同的是金属液通过缝隙均匀地自上而下引入并始终让高温金属液处于上部，充型更为平稳，补缩更为有利，主要用于铝合金铸件。

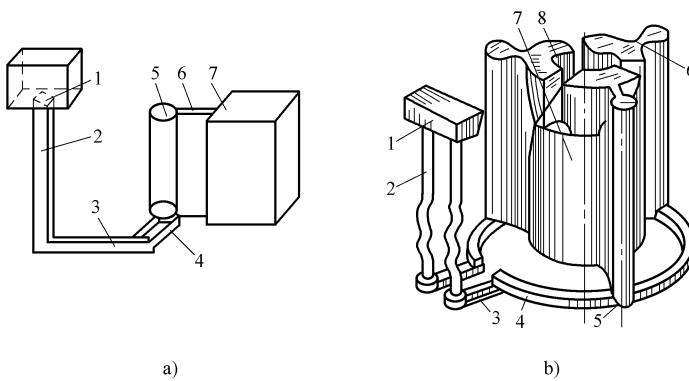


图 3-12 缝隙式浇注系统

- a) 一般缝隙式 b) 蛇形直浇道缝隙式  
1—浇口盆 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道 5—中间直浇道  
6—缝隙口 7—铸件 8—冒口

## 2. 按浇注系统各基本组元截面积的比例关系分类

(1) 封闭式浇注系统 这类浇注系统是指直浇道出口截面积大于横浇道截面积总和, 横浇道出口截面积总和大于内浇道截面积总和, 即正常浇注条件下, 所有组元都能被金属液充满的浇注系统。

在整个浇注过程中, 将截面积最小的浇道称为“阻流”组元。在封闭式浇注系统内, 内浇道入口为阻流截面。

封闭式浇注系统组元截面积比一般为

$$A_{\text{直}} : \sum A_{\text{横}} : \sum A_{\text{内}} = 1.15 : 1.1 : 1 \quad (3-2)$$

这种浇注系统容易被金属液充满, 撇渣能力较强, 可防止气体卷入金属液中, 通常用于中小型铸铁件。但封闭式浇注系统中金属液流速较大, 有时甚至向型腔产生喷射现象, 不适于易氧化的有色合金铸件或压头高的铸件, 也不宜于用柱套包浇注的铸钢件。

(2) 开放式浇注系统 开放式浇注系统各组元截面积的关系正好与封闭式浇注系统相反, 即直浇道出口截面积小于横浇道截面积总和, 横浇道出口截面积总和小于内浇道截面积总和。直浇道下端为阻流截面。

在铝合金、镁合金铸件上常用的开放式浇注系统各组元的截面积比可确定为

$$A_{\text{直}} : \sum A_{\text{横}} : \sum A_{\text{内}} = 1 : 2 : 4 \quad (3-3)$$

### (3) 几点说明

1) 浇注系统的充满理论。“封闭”“开放”是指浇注系统的截面积比例关系, 应同“充满”“不充满”区分开。在直浇道压头一定的条件下, 封闭式浇注系统容易充满, 且充满的程度高; 开放式浇注系统也可以充满, 但充满的程度低, 当开放比例大到一定数值时, 就会出现充不满现象。

2) 浇注系统大孔出流理论。浇注系统大孔出流理论于 20 世纪 80 年代中期问世。该理论由西安理工大学魏兵等人提出, 经过二十多年在全国推广应用, 已日臻完善。大孔出流理论为浇注系统的充满理论提供了定量的数学判据。

该理论认为: 在浇口杯-直浇道-内浇道系统中, 当直浇道的截面积  $S_1$  与内浇道截面积  $S_2$  的比值小于 5 时, 内浇道的流速  $v_2$  与流量  $Q_2$  不能按小孔出流理论即托里拆利定理来处理, 而应该按大孔出流理论来研究。

## 第三节 铸铁件浇注系统尺寸的计算

铸铁件浇注系统尺寸计算包括确定阻流截面积、浇注时间和各组元之间的比例关系等内容。

### 一、奥赞公式

应用水力学的伯努利方程推导出计算阻流面积的水力学公式。该公式基于图 3-13 所示的以内浇道入口为阻流截面的浇注系统计算原理图。所推导的公式为

$$A_{\text{阻}} = \frac{m}{\rho \mu \sqrt{2gH_p}} \quad (3-4)$$

式中  $A_{\text{阻}}$ ——浇注系统阻流(最小)截面积( $\text{mm}^2$ );

$m$ ——流经阻流截面的金属总质量( $\text{kg}$ );

$\rho$ ——金属液密度 (kg/mm<sup>3</sup>);

*t*——充填型腔的总时间, 也称为浇注时间 (s);

$\mu$ —充填全部型腔时, 浇注系统阻流截面的流量系数;

$g$ —重力加速度,  $9800\text{mm/s}^2$ ;

$H_p$ ——充填型腔时的平均静压头 (mm);

式 (3-4) 为著名的奥赞公式。

为便于工程计算

影响  $\mu$  值的因素较多, 除了金属液在浇注系统中的沿程及局部损失 (大约为 20% 左右) 外,  $\mu$  值基本上依铸型的种类及其复杂程度而定。铸件形状越复杂, 壁越薄, 对金属液流动的阻力越大。铸铁及铸钢的  $\mu$  值可按表 3-2 选取。例如, 对湿型浇注薄壁 (壁厚小于或等于 100mm) 铸铁件, 可取 0.35。考虑到其他工艺因素的影响, 选取的  $\mu$  值可按表 3-3 修正。

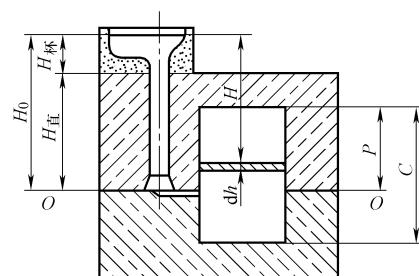


图 3-13 浇注系统计算原理图

表 3.2 锆钛及锆钢的  $\gamma$  值

种 类		铸型阻力		
		大	中	小
湿型	铸铁	0.35	0.42	0.5
	铸钢	0.25	0.32	0.42
干型	铸铁	0.41	0.48	0.6
	铸钢	0.30	0.38	0.5

表 3-3  $\mu$  的修正值

影响 $\mu$ 值的因素	$\mu$ 的修正值
浇注温度升高能使 $\mu$ 值增大。浇注温度从 1280℃ 即可开始,每升高 50℃ 即可使 $\mu$ 值增大	+ 0.005 以下
有出气口和明冒口,减小了型内气体压力,能使 $\mu$ 值增大	+ 0.05 ~ 0.20
直浇道和横浇道截面积比内浇道截面积大得多时,可减少阻力损失,并缩短封闭前的时间,使 $\mu$ 值增大	+ 0.05 ~ 0.20
采用顶注式浇注系统(相对于中间引入式)会使 $\mu$ 值增大	+ 0.1 ~ 0.2
采用底注式浇注系统(相对于中间引入式)会使 $\mu$ 值减小	- 0.1 ~ 0.2
型砂透气性很差,且无出气冒口和明冒口时, $\mu$ 值减小	- 0.05 以下
内浇道数量增多时,阻力增大, $\mu$ 值减小(2 ~ 4 个内浇道时)	- 0.05 ~ 0.1

注：封闭式浇注系统中  $\mu$  的最大值为 0.75，计算结果大于此值时，仍取  $\mu = 0.75$ 。当以浇口杯出口作为控制流量的阻流截面时， $\mu$  值为 0.85。

## 2. 平均压头 $H_{\text{均}}$ 的确定

在浇注过程中，除了顶注式浇注系统，其他浇注系统作用在内浇道的压头  $H_0$  通常是变化的，这需要使用平均压头  $H_{\text{均}}$  来计算。平均压头  $H_{\text{均}}$  的计算公式为

$$H_{\text{均}} = H_0 - \frac{P^2}{2C} \quad (3-5)$$

式中  $H_0$ ——内浇道以上的金属液压头, 即内浇道至浇口杯液面的高度 (cm);

$C$ ——浇注时铸件的高度 (cm);

$P$ ——内浇道以上的铸件高度 (cm)。

对于封闭式浇注系统, 在不同注入位置时平均压头  $H_{\text{均}}$  的计算公式有以下形式:

$$\text{顶注式} \quad P = 0, \text{ 则 } H_{\text{均}} = H_0 \quad (3-6)$$

$$\text{底注式} \quad P = C, \text{ 则 } H_{\text{均}} = H_0 - \frac{C}{2} \quad (3-7)$$

$$\text{中注式} \quad P = \frac{C}{2}, \text{ 则 } H_{\text{均}} = H_0 - \frac{C}{8} \quad (3-8)$$

浇注铸型的最小压头  $H_{\text{小}}$  对充满型腔是必需的。计算的压头不能低于  $H_{\text{小}}$ , 这一数值也可以用来校核上砂箱的高度是否足够。

$H_{\text{小}}$  的值应根据型腔阻力大小等因素确定, 其计算公式为

$$H_{\text{小}} = L_1 \operatorname{tg} \varphi \quad (3-9)$$

式中  $L_1$ ——直浇道中心线到铸件最高、最远点的水平距离;

$\varphi$ ——保险压力角, 可参考表 3-4 确定。

表 3-4 保险压力角  $\varphi$  值

铸件壁厚/mm	$L_1/\text{mm}$													
	4000	3000	2800	2600	2400	2200	2000	1800	1600	1400	1200	1000	800	600
3~5	按具体位置确定										10°~11°	11°~12°	12°~13°	13°~14°
5~8	6°~7°	6°~7°	6°~7°	7°~8°	7°~8°	8°~9°	8°~9°	8°~9°	8°~9°	8°~9°	9°~10°	9°~10°	9°~10°	10°~11°
8~15	5°~6°	5°~6°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	8°~9°	9°~10°	9°~10°	10°~11°
15~20	5°~6°	5°~6°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	8°~9°	9°~10°
20~25	5°~6°	5°~6°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	7°~8°	8°~9°
25~35	4°~5°	4°~5°	5°~6°	5°~6°	5°~6°	5°~6°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	7°~8°	7°~8°
35~45	4°~5°	4°~5°	4°~5°	4°~5°	4°~5°	5°~6°	5°~6°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	6°~7°	7°~8°
备注	用两个或更多的直浇道注入金属液(如从铸件两端注入)时, 则取铸件的平分线至直浇道中心线的距离										用一个直浇道注入金属液			

## 二、浇注时间

### 1. 快浇、慢浇

浇注时间对铸件质量有重要影响, 应根据铸件结构、合金和铸型等方面的特点来选择快浇、慢浇或正常浇注。

#### (1) 快浇

1) 快浇的优点: 金属液的温度和流动性降低幅度小, 易充满型腔; 减少皮下气孔倾向; 充型期间对砂型上表面的热作用时间短, 可减少夹砂结疤缺陷。

2) 快浇的缺点: 对型壁有较大的冲击作用, 容易造成胀砂、冲砂、抬箱等缺陷; 浇注系统的重量稍大, 工艺出品率略低。

快浇适用于薄壁的复杂铸件, 铸型上半部分有薄壁的铸件, 具有大平面的铸件, 铸件表

面易生成氧化膜的铸件，采用底注式浇注系统而铸件顶部又有冒口和各种中大型灰铸铁件、球墨铸铁件，以及选用树脂砂型生产的铸件。

### (2) 慢浇

1) 慢浇的优点：金属对型腔的冲刷作用轻，可以防止胀砂、冲砂、抬箱等缺陷，有利于型内、芯内气体的排除。

2) 慢浇的缺点：浇注期间金属对型腔上表面烘烤时间长，促成夹砂结疤类缺陷；金属液温度和流动性降低幅度大，易出现冷隔、浇不到及铸件表面桔皮缺陷；慢浇还常降低造型生产线的生产率。

慢浇适用于有高的砂胎或吊砂的湿型，以及型内砂芯多、砂芯大而芯头小或砂芯排气差的情况。

近年来普遍认识到快浇对铸件的益处，因此浇注时间比过去普遍缩短，特别是灰铸铁件和球墨铸铁件更是如此。

对于铸铁、铸钢件，建议根据表 3-5 的经验数据确定浇注时间；对于球墨铸铁件，建议根据图 3-14 确定浇注时间。

表 3-5 普通灰铸铁件、铸钢件的浇注时间

灰铸铁件		铸钢件	
铸件质量/kg	浇注时间/s	铸件质量/kg	浇注时间/s
≤250	4~6	>500~1000	12~20
>250~500	5~8	>1000~3000	20~50
>500~1000	6~20	>3000~5000	50~80
>1000~3000	10~30	>5000~10000	80~160
>3000	20~60	>10000	160~300

### 2. 型内液面上升速度的核算

由经验数据或图表确定的浇注时间没有考虑铸件的具体条件和工艺因素，因此，在确定浇注时间之后，还应核算金属液面在型腔中的上升速度，主要核算铸件最大横截面处的型内金属液面上升速度。若金属液面上升太慢，则可能形成氧化膜或结壳，易产生冷隔；在砂型顶面和侧壁，则会因受高温金属液较长时间烘烤，而易出现夹砂等缺陷。当不满足要求时，应缩短浇注时间或改变浇注位置。

核算公式为

$$v = C/t \quad (3-10)$$

式中  $v$ ——型腔中金属液面上升速度 (mm/s)；

$C$ ——铸件最大横截面在一定浇注位置上的高度 (mm)；

$t$ ——浇注时间 (或浇注某段铸件的时间) (s)。

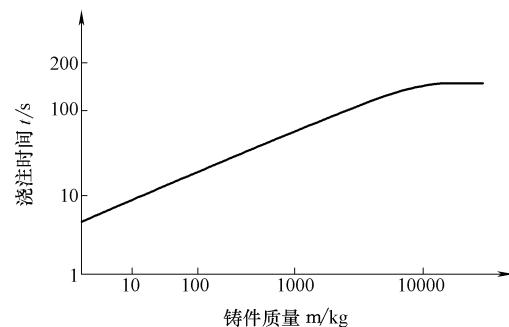


图 3-14 球墨铸铁件的浇注时间

铸铁件可依表 3-6 确定液面上升速度。

表 3-6 型内铸铁液面最小上升速度

铸件壁厚 $\delta$ /mm	液面上升速度 $v$ /(mm/s)	铸件壁厚 $\delta$ /mm	液面上升速度 $v$ /(mm/s)
>40(水平浇注大平板)	8~12	4~10	20~30
>40(上箱有大平面)	20~30	1.5~4	30~100
10~40	10~30		

### 三、浇注系统各组元截面积的确定

#### 1. 浇注系统各组元比例

浇注系统中主要组元的截面积比例关系 ( $A_{直} : \sum A_{横} : \sum A_{阻}$ ) 称为浇口比。以阻流面积为尺度(作为 1)，可依据表 3-7 选择和确定浇口比。

树脂砂型总截面比可比黏度砂型大 50% 左右，以利于金属液快速充型。当采用封闭式浇注系统时，浇道截面积比例可取  $\sum A_{内} : \sum A_{横} : A_{直} = 1:1.25:1.25$ 。

表 3-7 铸铁件的浇口比

类型		$\sum A_{内} : \sum A_{横} : A_{直}$	特点及应用
封闭式	I	1:1.5:2 1:1.2:1.4 1:1.1:1.15 1:1.06:1.11	以内浇道入口为阻流截面，浇注系统充满快，金属液在横浇道内流速较高，阻渣效果欠佳，进入型腔时呈喷射状态，充型不平稳，可用于灰铸铁件、干型
	II	1:1.4:1.2 1:1.5:1.1 3:8:4	以横浇道截面积力最大，阻渣效果较好，俗称“半封闭式”，仍以内浇道入口为阻流截面，充型不平稳，适用于灰铸铁件
	III	(2.5~1.5):2.5:1	以直浇道下口或附近的横浇道入口为阻流截面，浇注系统可充满，阻渣效果好，充型较平稳，适用于各种铸铁件
开放式	全开放	不推荐使用	以浇包嘴或浇口杯入口为阻流截面，浇注系统的组元呈非充满流态，阻渣效果极差，造成金属氧化、带气
	先封闭后开放	4:4:1(阻流) 5:5:1(阻流)	阻流截面以前的直浇道封闭，阻渣以后“开放”，这时横浇道设在下型，内浇道设在上型，充满平稳，也有阻渣效果，适用于球墨铸铁件

#### 2. 浇注系统设计中需注意的问题

1) 砂型铸造中，一般内浇道的最小截面积不得小于  $0.4\text{cm}^2$ ，若小于此值，则会产生浇注困难。

2) 通常，砂型铸造所计算的直浇道的直径为  $15\sim100\text{mm}$ ，直径小于  $15\text{mm}$  时，浇注将会产生困难，而直径大于  $100\text{mm}$  是罕见的。

### 四、阶梯式浇注系统的计算

阶梯式浇注系统应用比较广。当铸件高度超过  $800\text{mm}$  时，宜采用阶梯式浇注系统，即在铸件不同高度上开设内浇道，分别引入金属液。

应用阶梯式浇注系统时，除多直浇道外，只有满足以下两个条件才能实现合理的分层引

注，而分层引注又恰恰是采用阶梯式浇注系统的真正意图。

开设阶梯式浇注系统必须满足以下两个条件：

- 1) 连接各层内浇道的分配直浇道（图 3-15 中的中间段）呈非充满状态。
- 2) 分配直浇道中金属液面以下的有效静压头应小于两层内浇道之间的距离，即  $h_{\text{有效}} < H_0$ ，否则，就会发生自两层内浇道中间流出金属液的“混流”现象。

计算原理及步骤：

(1) 计算阻流截面积  $A_{\text{阻}}$  为使分配直浇道呈非充满状态，将阻流截面定置在主直浇道下端的  $A-A$  截面。可见，从浇口杯上液面至  $A-A$  截面间为封闭式系统，液流呈充满状态，浇注系统的阻流截面即为此状态下的金属液流截面。流经  $A-A$  截面的金属液流速  $v$  可表示为

$$v = \mu_1 \sqrt{2gH_1} \quad (3-11)$$

若铸件位置低于  $A-A$  水平面，则充满期内  $\mu$  值不变，故有

$$m = \mu_1 A_{\text{阻}} \rho t \sqrt{2gH_1} \quad (3-12)$$

由此得

$$A_{\text{阻}} = \frac{m}{\mu_1 \rho t \sqrt{2gH_1}} \quad (3-13)$$

若  $A-A$  截面低于铸件顶部最高点，则

$$A_{\text{阻}} = \frac{m}{\mu_1 \rho t \sqrt{2gH_p}} \quad (3-14)$$

式中  $A_{\text{阻}}$ ——阻流截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$m$ ——通过  $A-A$  截面的金属液质量 ( $\text{kg}$ )；

$\rho$ ——金属液密度 ( $\text{kg}/\text{mm}^3$ )；

$t$ ——浇注时间；

$g$ ——重力加速度， $9800 \text{ mm/s}^2$ ；

$\mu_1$ ——从浇口杯顶液面到阻流截面的流量系数；

$H_1$ ——从浇口杯顶液面到阻流截面的垂直距离 ( $\text{mm}$ )；

$H_p$ ——阻流截面的平均静压头 ( $\text{mm}$ )，即  $H_p = H_1 - \frac{P^2}{2C}$ ，其中， $P$  为  $A-A$  截面上的铸件高度， $C$  为铸件总高度。

阶梯式浇注系统流量系数  $\mu$  值的确定见表 3-8。

表 3-8 阶梯式浇注系统流量系数  $\mu$  值的确定

浇注系统的组成	二组元(杯、直)	三组元(杯、直、横)	四组元(杯、直、横、内)
$\mu$ 值	0.76	0.58	0.48

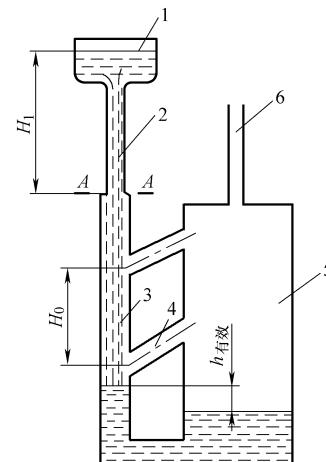


图 3-15 阶梯式浇注系统计算原理图  
1—浇口杯 2—主直浇道 3—分配直浇道  
4—内浇道 5—型腔 6—出气孔

(2) 分配直浇道截面积 按经验，分配直浇道截面积一般等于 1~2 倍阻流截面积。

(3) 每层内浇道的总截面积 当浇注稳定时，可以认定通过阻流截面的金属液流量  $Q_1$

和通过底层内浇道的金属液流量  $Q_2$  相等, 即

$$Q_1 = \mu_1 A_{\text{阻}} \sqrt{2gH_1} \quad (3-15)$$

$$Q_2 = \mu_2 A_{\text{内(底)}} \sqrt{2gh_{\text{有效}}} \quad (3-16)$$

由式 (3-15) 与式 (3-16) 两式相等, 得

$$A_{\text{内(底)}} = \frac{\mu_1 \sqrt{H_1}}{\mu_2 \sqrt{h_{\text{有效}}}} A_{\text{阻}} \quad (3-17)$$

$$h_{\text{有效}} = \left( \frac{\mu_1 A_{\text{阻}}}{\mu_2 A_{\text{内(底)}}} \right)^2 H_1$$

即

$$h_{\text{有效}} = \left( \frac{\mu_1}{\mu_2} \right)^2 \left( \frac{A_{\text{阻}}}{A_{\text{内(底)}}} \right)^2 H_1 \quad (3-18)$$

式中  $\mu_2$  —— 分配直浇道中自由液面到型腔内自由液面的流量系数 (对于湿型取  $\mu_2 = 0.35 \sim 0.5$ , 对于干型取  $\mu_2 = 0.4 \sim 0.6$ , 型内阻力大时  $\mu_2$  取下限);

$A_{\text{内(底)}}$  —— 底层内浇道总截面积。

由式 (3-18) 不难看出,  $h_{\text{有效}}$  与  $A_{\text{内(底)}}^2$  成反比。 $h_{\text{有效}}$  值越小, 越不易出现“混流”现象, 但  $A_{\text{内(底)}}^2$  变得较大。太大的  $A_{\text{内(底)}}^2$  往往使底层进入的金属液量过多, 将造成底部温度高, 不利于铸件补缩。

令  $h_{\text{有效}} = KH_0$ , 并推荐  $K = 0.25 \sim 0.5$ , 式 (3-17) 可化为

$$A_{\text{内(底)}} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \sqrt{\frac{H_1}{KH_0}} A_{\text{阻}} \quad (3-19)$$

依式 (3-19) 可方便地计算出底层内浇道截面积。根据顺序凝固的要求, 可令上层内浇道的截面积为底层截面积的 1~2 倍, 即

$$\sum A_{\text{内(上层)}} = (1 \sim 2) A_{\text{内(底层)}} \quad (3-20)$$

## 第四节 其他铸造合金件的浇注系统

### 一、铸钢件浇注系统的特点

铸钢熔点高, 钢液易氧化、流动性差、收缩大, 易产生缩孔、缩松、热裂、变形等缺陷, 所以, 除了应按有利于补缩的工艺方案设置浇注系统外, 还应配合使用冷铁、收缩肋、拉肋等, 采用不封闭的浇注系统, 其形状、结构力求简单, 并有较大的截面积, 使钢液充型快而平稳。对于中小铸件, 多采用底注式浇注系统; 对于高大铸件, 则宜采用阶梯式浇注系统。

铸钢件通常采用漏包 (底注包) 浇注。漏包的保温性好, 流出的钢液中夹杂物少, 但漏包浇注时压力大, 易冲坏浇道, 所以中、大型铸钢件的直浇道通常使用耐火材料管, 当每个内浇道流经的钢液量超过 1t 时, 内、横浇道也用耐火砖管。

漏包浇注时浇注系统的计算步骤如下:

(1) 确定浇注时间 浇注时间可按式 (3-21) 确定。

$$t = k \sqrt{m_1} \quad (3-21)$$

式中  $t$ ——浇注时间 (s)；

$m_1$ ——型内金属液总质量 (kg)；

$k$ ——随铸件重量、形状而定的系数，其数值可参考表 3-9 确定。

表 3-9 铸钢件浇注时间计算公式中的  $k$  值

浇注质量/kg	50	500	1000 ~ 10000
复杂形状	0.5	0.6	0.8
简单形状	0.75	0.9	1.2

计算得出的浇注时间过长时，可用浇注时钢液在型腔内的上升速度验算，见表 3-10。

表 3-10 钢液在铸型中的上升速度

铸件质量/t	$\leq 5$	$> 5 \sim 15$		$> 15 \sim 35$			$> 35 \sim 55$			$> 55 \sim 160$		
铸件的结构特点	—	复杂	简单	复杂	一般	实体	复杂	一般	实体	复杂	一般	实体
上升速度 $v$ / (mm/s)	$\geq 25$	$\geq 20$	$\geq 10$	$\geq 15$	$\geq 12$	$\geq 8$	$\geq 12$	$\geq 9$	$\geq 6$	$\geq 10$	$\geq 7$	$\geq 4$

注：对于大型合金钢铸件或试压铸件，钢液上升速度应比表中数值增加 30% ~ 35%。

(2) 确定包孔直径 已知铸型中浇注金属液总质量  $m_1$  和浇注时间  $t$ ，同时考虑浇包注孔数量  $n$ ，可按式 (3-22) 计算钢液流量  $q_m$ 。

$$q_m = \frac{m_1}{tn} \quad (3-22)$$

又

$$q_m = \mu_{\text{孔}} A_{\text{孔}} \rho \sqrt{2gH} \quad (3-23)$$

故

$$A_{\text{孔}} = \frac{m_1}{\mu_{\text{孔}} \rho t n \sqrt{2gH}} \quad (3-24)$$

式中  $A_{\text{孔}}$ ——包孔截面积 ( $\text{cm}^2$ )；

$q_m$ ——钢液流量 ( $\text{kg/s}$ )；

$\mu_{\text{孔}}$ ——包孔的消耗系数，取 0.89；

$\rho$ ——钢液密度， $0.0071 \text{ kg/cm}^3$ ；

$g$ ——重力加速度， $980 \text{ cm/s}^2$ ；

$H$ ——钢液面在浇包中的高度 (cm)。

按钢液流量  $q_m$  及包中钢液液面高度  $H$  也可求出包孔直径  $d$ 。钢液流量  $q_m$  见表 3-11。

表 3-11 钢液流量  $q_m$

包孔直径/mm	30	35	40	45	50	55	60	70	80
钢液流量/(\text{kg/s})	10	20	29	42	55	72	90	120	150

(3) 确定浇注系统各组元截面 使用底注包浇注时，应采用开放式浇注系统，要满

足  $A_{\text{阻}} \leq A_{\text{横}} \leq A_{\text{内}}$  的条件, 各组元截面积比例关系为  $\sum A_{\text{孔}} : \sum A_{\text{直}} : \sum A_{\text{横}} : \sum A_{\text{内}} = 1 : (1.8 \sim 2.0) : (1.8 \sim 2.8) : 2$ 。当使用耐火砖管时, 可采用  $A_{\text{直}} = A_{\text{横}} = A_{\text{内}}$ , 也可根据漏包注孔直径直接按表 3-12 确定各浇道的尺寸。

表 3-12 根据注孔直径确定浇道尺寸

注孔直径/mm	直浇道的最小直径/mm	直浇道不在横浇道对称位置时横浇道的最小直径/mm	直浇道在横浇道对称位置时横浇道的最小直径/mm	内浇道最小直径/mm			
				40	60	80	100
				内浇道数量/个			
35	60	60	40	2	1	—	—
40	60	60	40	2	1	—	—
45	60	60	40	3	1	—	—
50	80	80	60	3	2	1	—
55	80	80	60	4	2	1	—
60	80	80	60	5	2	1	—
70	100	100	80	6	3	2	1
80	100	100	80	8	4	2	1

## 二、铸铜件浇注系统的特点

锡青铜及磷青铜氧化倾向小, 铸造时易产生分散缩孔和缩松。对于长套筒铸件, 可使用顶注雨淋式浇注系统; 短小圆筒、圆盘及轴瓦类铸件可采用压边式浇注系统; 对于复杂铸件, 可采用带过滤网式集渣包的浇注系统, 一般可不设大尺寸冒口。

铝青铜、铝铁青铜、锰黄铜、铝黄铜等氧化性强, 易形成氧化渣, 收缩大, 易产生集中缩孔, 因此浇注系统应采用底注开放式, 并设有滤网或集渣包。浇道的位置应有利于冒口补缩或使浇道通过冒口注入。

黄铜的铸造性能接近于铝青铜等不含锡的青铜。黄铜液中因有锌蒸气保护和自然脱气作用, 很少形成氧化膜和析出性气孔, 可依顺序凝固的原则设置浇注系统和冒口。

## 三、铸铝件浇注系统的特点

铝合金的特点是热导率大, 在流动过程中降温快; 易氧化吸气, 且氧化膜的密度与铝液相近, 混入铝液中后难以上浮; 凝固收缩大, 易产生缩孔、缩松。所以, 要求铝合金的铸件充型平稳, 无涡流, 充型时间短, 挡渣能力强, 并有利于补缩, 除了高度小于 10mm 且不重要的小铸件可采用顶注式浇注系统外, 一般都采用底注开放式或垂直缝隙式浇注系统。

铝合金铸件一般应遵循快浇的原则。

## 四、金属过滤技术

金属过滤技术的发展, 为得到高纯净度的金属铸件提供了条件。这项技术的主要优点是: 可大大减少金属中的非金属夹杂物, 防止铸件夹渣缺陷, 改善金属的力学性能特别是疲劳强度, 延长刀具寿命, 提高铸件的表面品质, 减小加工余量, 简化浇注系统结构, 提高铸件的工艺出品率, 并可改善某些合金铸件的耐腐蚀性。市场供应三种典型的过滤网板, 即陶瓷网格过滤板、泡沫陶瓷过滤板及编织的玻璃纤维过滤网。

过滤网、板在浇注系统中的安放位置如图 3-16 所示。

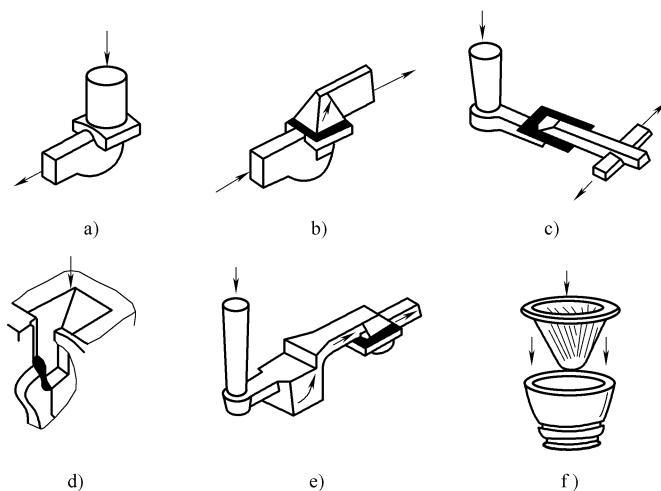


图 3-16 过滤网、板在浇注系统中的位置

a) 直浇道下端 b)、c) 上、下横浇道搭接处 d) 浇口杯中 e) 型内球化室或反应室之后 f) 浇口杯上面

## 第五节 垂直分型浇注系统

### 一、工艺特点

在造型、浇注、冷却过程中分型面均呈垂直状态，即为垂直分型。垂直分型主要应用于挤压造型。

实践表明，垂直分型恒压等流量浇注系统有较多的优点，如上下各层铸件质量比较一致；浇注系统占用模板面积小；工艺出品率高。

### 二、计算原理

垂直分型恒压等流量浇注系统属于充满式浇注系统，每层铸件的内浇道（阻流）保持充型时恒定的压头，并使每个内浇道的流量相等，尽量使各层型腔同时充满。

以内浇道入口为阻流截面，用奥赞公式计算每个铸件的内浇道截面积  $A_{\text{内}}$ 。

$$A_{\text{内}} = \frac{m}{\mu \rho t \sqrt{2gH_p}} \quad (3-25)$$

式中  $m$ ——一个铸件的质量；

$\mu$ ——内浇道的流量系数；

$\rho$ ——金属液的密度；

$t$ ——充填一个铸件的时间；

$g$ ——重力加速度；

$H_p$ ——每个铸件的平均计算压头。

为简便起见，忽略铸件高度的影响，用浇口杯上液面到内浇道中心的距离  $H_0$  取代  $H_p$ 。

依据式 (3-25) 制作的铸铁件垂直分型工艺的内浇道计算诺模图如图 3-17 所示。从图 3-17 中，由  $m$ 、 $\mu$ 、 $t$ 、 $H_0$  可查出  $A_{\text{内}}$ 。

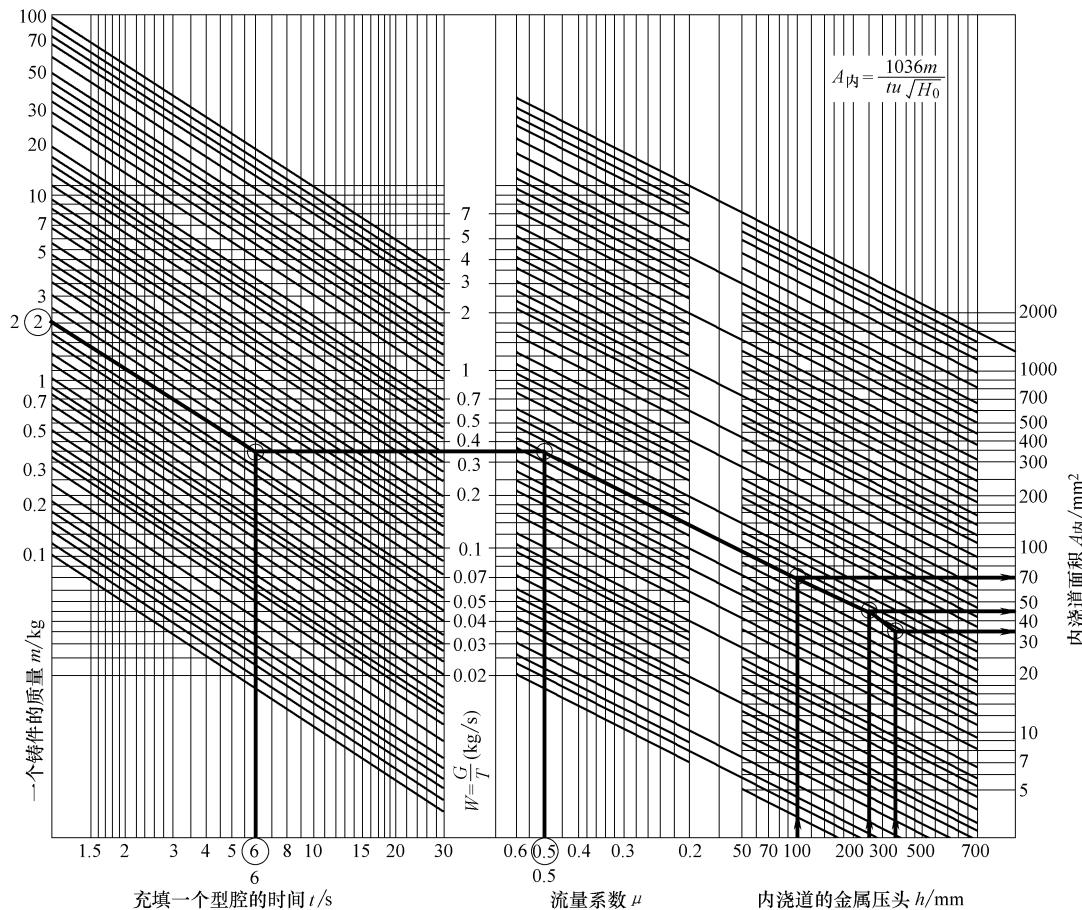


图 3-17 铸铁件垂直分型的内浇道计算诺模图

### 三、设计要点

(1) 以内浇道为阻流的强封闭式浇注系统 目的是维持各层内浇道充型时金属压头恒定，使每个型腔同时充满，浇口杯应足够大。

(2) 严格控制浇注时间 浇注时间应服从造型机节拍并严格地控制。根据经验，浇注时间的变化超过 1s，废品就会大幅度增加。浇注速度与浇注时间的关系见表 3-13。

表 3-13 浇注速度与浇注时间的关系

型内金属质量 $m/kg$	浇注速度 $v/(kg/s)$	浇注时间 $t/s$	型内金属质量 $m/kg$	浇注速度 $v/(kg/s)$	浇注时间 $t/s$
12	1.5 ~ 2	6 ~ 8	30	3.7	8
15	2	8	35	4	8
20	2.5	8	40	4	10
25	3	8	50	4.2	12

(3) 小的薄壁件可利用浇注系统当“冒口” 如对薄小的可锻铸铁件，可用浇注系统

作为冒口进行补缩。对于较大的热节或铸件，则另设冒口，使内浇道通过冒口，以提高冒口的补缩效率。

#### 四、设计方法举例

图 3-18 为某灰铸铁件的垂直分型浇注系统计算原理图，也是模板布置简图，以此例说明垂直分型浇注系统的设计方法和步骤。

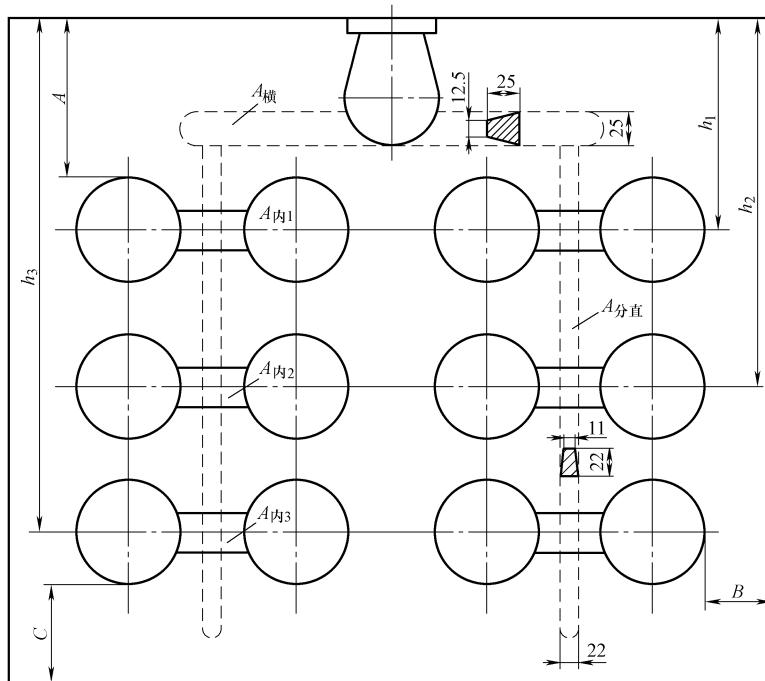


图 3-18 某灰铸铁件垂直分型浇注系统计算原理图

(1) 首先草拟出模板布置简图 依造型机模板尺寸  $600\text{mm} \times 800\text{mm}$  (宽  $\times$  长) 及合理的吃砂量 (图 3-18 中  $A$ 、 $B$ 、 $C$  尺寸) 等, 草拟出模板布置图, 初步确定出各层内浇道的金属压头, 即  $h_1 = 100\text{mm}$ ,  $h_2 = 250\text{mm}$ ,  $h_3 = 350\text{mm}$ 。

(2) 计算型内金属质量 每个铸件的质量为  $2\text{kg}$ , 共布置 12 件。铸件工艺出品率按  $70\%$  估计, 则型内金属质量为  $2 \times 12\text{kg}/0.7 = 34.3\text{kg}$ 。

(3) 确定浇注时间和浇注速度 已知造型机生产率为 300 型/h, 造一型的时间为 12s。依表 3-13 查得浇注时间为 8s。约用 2s 的时间充填浇注系统, 则充填每个铸型的时间为 6s。每个型腔的浇注速度为  $2\text{kg}/6\text{s} = 0.33\text{kg/s}$ 。

(4) 浇口杯的选用 根据铸型的浇注速度, 利用表 3-14 的经验数据, 可查出浇口杯尺寸。本例中, 若用手工浇注, 则使用 4 号浇口杯, 铸液质量为  $5.5\text{kg}$ ; 若自动浇注, 则使用 2 号浇口杯, 铸液质量为  $4\text{kg}$ 。

(5) 计算内浇道截面积 用式 (3-25) 计算或查图 3-17, 以流量系数  $\mu = 0.5$ ,  $H_0 = 100\text{mm}$ 、 $250\text{mm}$ 、 $350\text{mm}$ , 求出各层铸件的内浇道截面积分别为  $A_1 = 70\text{mm}^2$ ,  $A_2 = 45\text{mm}^2$ ,  $A_3 = 38\text{mm}^2$ 。

表 3-14 手工和自动浇注用浇口杯的规格

手工用					自动用							
序号	尺寸/mm				浇注速度 / (kg/s)	两半杯质量 / kg	序号	尺寸/mm			浇注速度 / (kg/s)	两半杯质量 / kg
	A	B	C	D				A	B	C		
1	50	38	15	30	0~2	3.5	1	40	30	15	0~3	3
2	60	40	15	30	2~2.8	3	2	45	35	15	3~5	4
3	70	50	22	40	2.8~3.8	4	3	50	40	22	5~7	6
4	80	55	22	45	3.8~5	5.5	4	60	45	22	7~11	9

(6) 分直浇道截面积 每个分直浇道充填 6 件, 与其相连接的内浇道截面积总和为

$$\sum A_{\text{内}} = 2(A_1 + A_2 + A_3) = 2 \times (70 + 45 + 38) \text{ mm}^2 = 306 \text{ mm}^2$$

分直浇道截面积为内浇道总面积的 1.2 倍, 故

$$A_{\text{分直}} = 1.2 \sum A_{\text{内}} = 1.2 \times 306 \text{ mm}^2 = 367 \text{ mm}^2$$

按浇道标准规格, 选取分直浇道的截面尺寸为梯形, 上底宽度为 11mm, 下底宽度为 22mm, 高度为 22mm, 实际  $A_{\text{分直}} = 363 \text{ mm}^2$ 。

(7) 水平横浇道尺寸 横浇道的截面积可比分直浇道截面积加大 30%。

$$A_{\text{横}} = 1.3 \times 363 \text{ mm}^2 = 472 \text{ mm}^2$$

选取梯形面积: 上底宽度为 12.5mm, 下底宽度为 25mm, 高度为 25mm, 实际截面积为  $469 \text{ mm}^2$ 。

### 复习思考题

1. 优良的浇注系统能起到哪些作用?
2. 为什么说砂型铸造时不会出现负压流动?

3. 怎样才能防止浇口杯内出现水平漩涡流动?
4. 怎样发挥横浇道的阻渣作用?
5. 浇注系统的类型有哪些? 各有什么特点?
6. 奥赞公式存在什么问题? 如何改进?
7. 金属液在开放式浇注系统中不一定以充满的方式流动, 为什么?
8. 铸钢件的浇注系统有什么特点?
9. 有色合金铸件的浇注系统有什么特点?

**培训目标** 掌握铸件凝固和收缩的理论及工艺因素对铸件形成过程的影响；会分析铸件形成过程中铸造缺陷产生的原因，并能提出解决此类铸造缺陷的方法；掌握冒口补缩原理及其设计原理。

本章主要介绍铸件的凝固过程、凝固特征对铸件质量的影响，缩孔、缩松的形成机理和预防措施，以及冒口设计原理等。

## 第一节 铸件的凝固

### 一、铸件凝固及与传热有关的一般问题

铸件的凝固是铸造合金与铸型热交换的结果。如果铸件与铸型的温度梯度比较大，产生强烈的传热效果，将会改变铸件的结晶特征。因此，在铸件凝固过程中，必须采取有效的工艺措施，以防止铸件产生浇不足、缩孔、缩松、热裂、析出性气孔等铸造缺陷。

根据铸件的温度场随时间的变化，可以预计铸件断面上的凝固区域在凝固过程中各时刻的大小及变化、凝固前沿向中心推进的速率、缩孔和缩松的位置、凝固时间等，可为正确设计浇注系统，设置冒口和冷铁，或采取其他工艺措施控制凝固过程提供可靠的依据。这对消除铸造缺陷，改善铸件组织和性能，提高铸件质量是非常重要的。

### 二、铸件的凝固方式

(1) 凝固区域 铸件在凝固过程中，除纯金属和共晶合金之外，其断面上一般存在三个区域，即固相区、凝固区和液相区。铸件的质量与凝固区域的大小和结构有密切关系。图 4-1 是铸件在凝固过程中的某一瞬间的凝固区域示意图。

随着铸件的冷却，液相线等温面和固相线等温面向铸件中心推进，在铸件全部凝固后，凝固区域消失。

(2) 凝固方式 铸件的凝固方式是根据铸件凝固时其断面上的凝固区域的大小来划分的，一般分为逐层凝固、糊状凝固（体积凝固）、中间凝固三种方式。

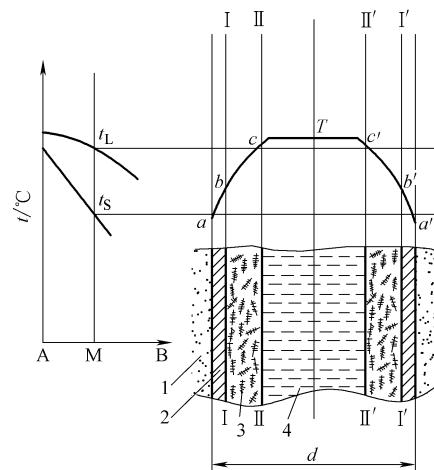


图 4-1 铸件在凝固过程中的某一瞬间的凝固区域示意图

$d$ —铸件壁厚  $T$ —铸件瞬间温度曲线

$t_L$ —液相线  $t_S$ —固相线

1—铸型 2—固相区 3—凝固区 4—液相区

1) 逐层凝固。逐层凝固如图 4-2 所示。图 4-2 所示为在恒温下结晶的纯金属或共晶成分的合金某瞬间的凝固情况。 $t_c$  为结晶温度,  $T_1$  和  $T_2$  是铸件断面上两个不同时刻的温度场。

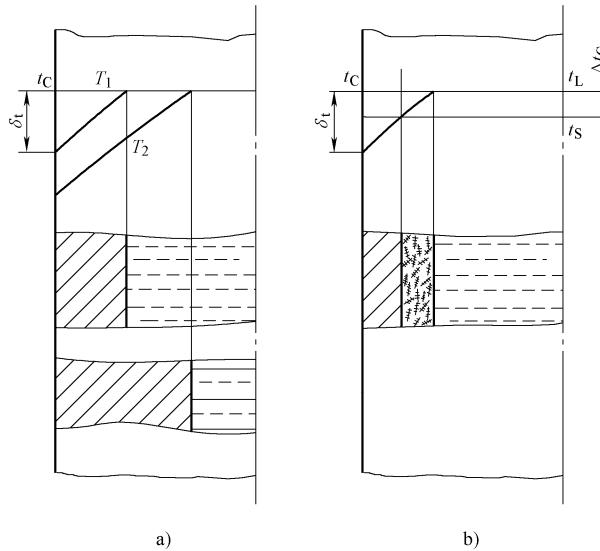


图 4-2 逐层凝固

a) 纯金属或共晶合金 b) 窄结晶温度范围合金

从图 4-2 可以看出, 恒温下结晶的合金, 在凝固过程中其铸件断面上的凝固区的宽度等于零, 断面上的固体和液体由一条界线清楚地分开。随着温度下降, 凝固层逐渐加厚直至凝固结束。这种凝固方式称为逐层凝固。

如果合金的结晶温度范围  $\Delta t_c$  很小或断面上的温度梯度  $\delta_t$  很大, 则铸件断面上的凝固区域会很窄, 如图 4-2b 所示。这种情况也属于逐层凝固方式。

2) 糊状凝固。糊状凝固如图 4-3 所示。当合金的结晶温度范围  $\Delta t_c$  很宽, 或铸件断面温度场较平坦 (见图 4-3b) 时, 在铸件凝固过程中, 铸件断面上凝固区域很宽, 在某一段时间内, 凝固区域甚至会贯穿于铸件的整个断面, 铸件表面尚未出现固相区, 这种凝固方式称为糊状凝固或体积凝固。

3) 中间凝固。中间凝固如图 4-4 所示。如果合金的结晶温度范围  $\Delta t_c$  较窄 (见图 4-4a), 或者铸件断面上的凝固区域宽度介于逐层凝固和糊状凝固之间, 则属于中间凝固方式。

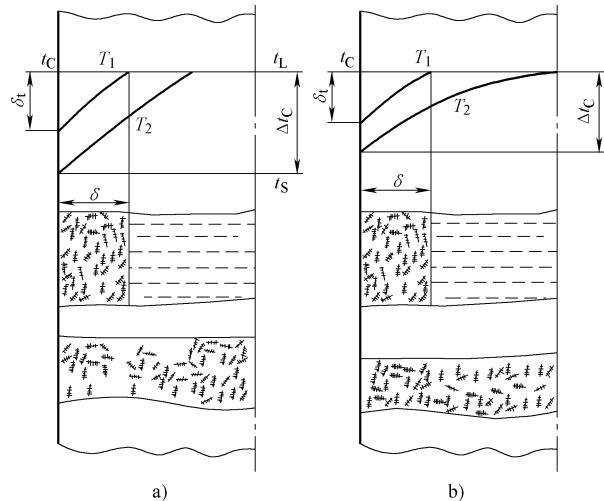


图 4-3 糊状凝固

a) 合金的结晶温度很宽 b) 铸件断面温度场较平坦

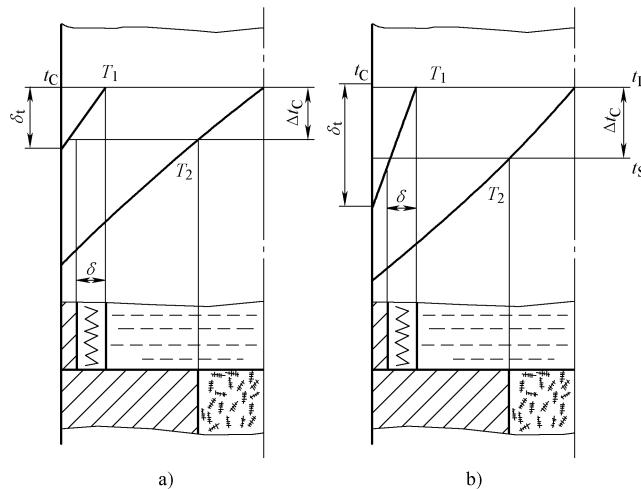


图 4-4 中间凝固

a) 合金的结晶温度范围较窄 b) 铸件断面温度梯度较大

### 三、灰铸铁和球墨铸铁的凝固特点

灰铸铁和球墨铸铁的凝固过程可分为两个阶段：第一阶段是从液相线温度到共晶转变开始温度，析出奥氏体枝晶，称为枝晶凝固阶段；第二阶段是从共晶转变开始温度到共晶转变终了温度，发生奥氏体 + 石墨的共晶转变，称为共晶凝固阶段。

试验表明，灰铸铁和球墨铸铁在枝晶凝固阶段的凝固过程十分相似，但在共晶凝固阶段却表现出明显的不同，如图 4-5 所示。

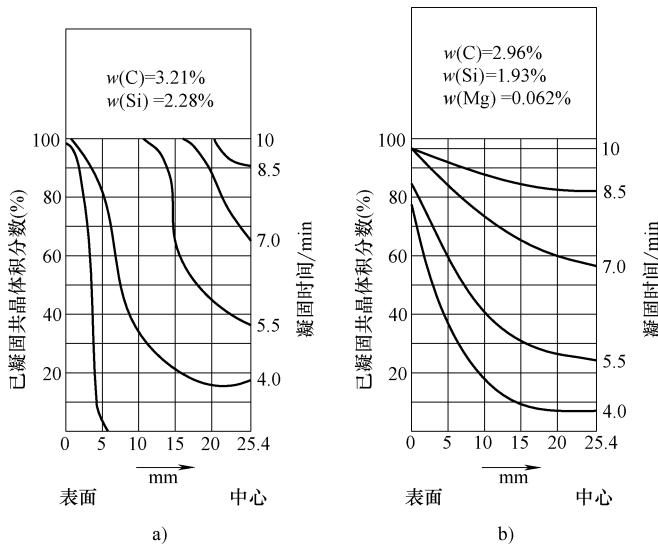


图 4-5 灰铸铁和球墨铸铁的共晶凝固曲线

a) 灰铸铁 b) 球墨铸铁

### 四、铸件的凝固原则

(1) 顺序凝固原则 顺序凝固原则是通过采取工艺措施，使铸件各部分能按照远离冒口的部分先凝固，然后是靠近冒口的部分凝固，最后是冒口本身凝固的次序进行凝固，即在

铸件上远离冒口的部分到冒口之间建立一个递增的温度梯度，如图 4-6 所示。

(2) 同时凝固原则 同时凝固原则是采取工艺措施保证铸件各部分之间温度差较小，使铸件厚度不同的各部分同时凝固，如图 4-7 所示。

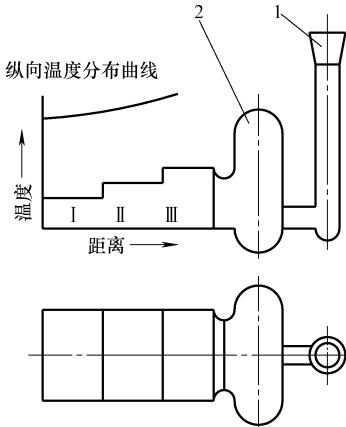


图 4-6 顺序凝固原则示意图

1—浇道 2—冒口

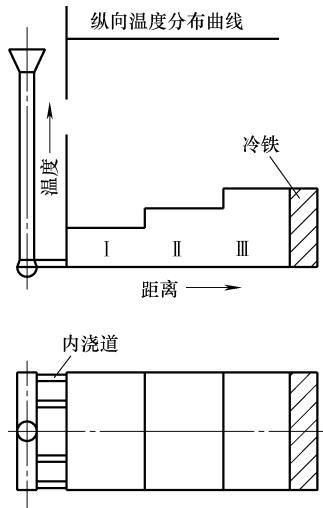


图 4-7 同时凝固原则示意图

## 五、铸件凝固原则的选择

顺序凝固和同时凝固各有其优缺点，选择凝固原则时，应根据铸件的合金特点、铸件的工作条件和结构特点及可能出现的缺陷等综合考虑。

图 4-8 所示为水泵缸体在不同凝固原则下所采用的两种铸造方案。图 4-8a 所示为采用同时凝固原则的铸造方案，在铸件壁厚较大的部位安放冷铁，使铸件各部分的冷却速度趋于一致。如果对该件致密度有较高的要求，则应采用顺序凝固的原则，如图 4-8b 所示。

## 六、控制铸件凝固原则的措施

在生产中，控制铸件凝固原则的工艺措施有很多，包括正确地布置浇口位置、确定合理的浇注工艺、采用冒口补缩、在铸件上增加补贴、采用冷铁或不同蓄热系数的铸型材料、浇注后改变铸件的位置等。

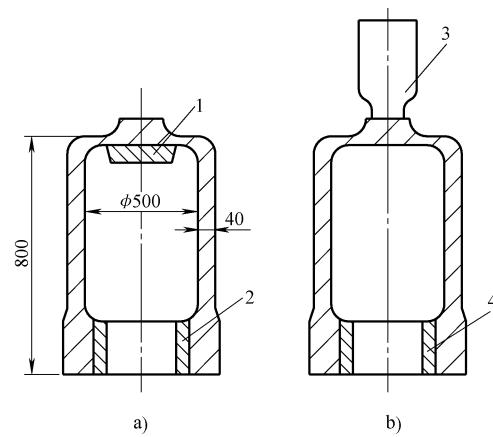


图 4-8 水泵缸体的两种铸造方案

1,2,4—冷铁 3—冒口

## 第二节 铸件的收缩

铸造合金的收缩是产生缩松、缩孔、裂纹、应力和变形等缺陷的基本原因。因此，研究铸件收缩规律和收缩特点，对获得形状、尺寸准确，组织致密的优质铸件，合理设置冒口、

冷铁和铸肋，防止上述铸造缺陷产生，有着重要的意义。

绝大多数金属或合金，从浇入铸型到冷却至室温的收缩都要经历三个阶段（见图 4-9），即液态收缩阶段、凝固收缩阶段、固态收缩阶段。

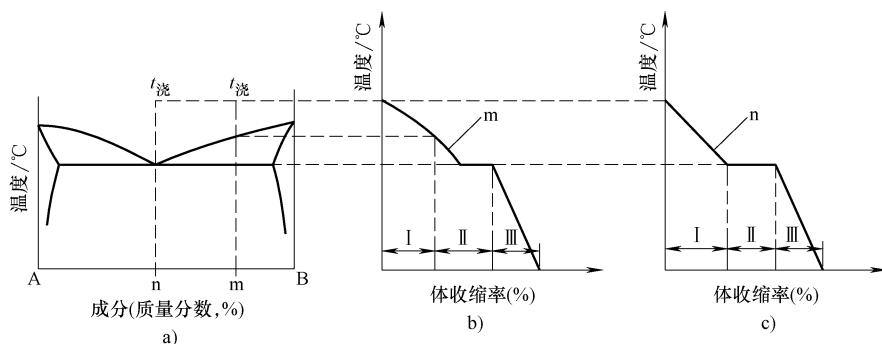


图 4-9 铸造合金的收缩过程示意图

a) 相图 b) m 合金凝固过程 c) n 合金凝固过程  
m—有一定结晶温度范围的合金 n—在恒温下凝固的合金

金属的线收缩是铸件中产生缩孔、缩松、应力、变形和裂纹等缺陷的基本原因。对于在固定温度下结晶的纯金属和共晶合金，线收缩就是在金属完全凝固以后由固相线温度开始的。对于具有结晶温度范围的合金，当金属液的温度降至稍低于液相线温度时，结晶虽已开始，但固相数量不多，树枝晶还未形成连续的骨架，一旦形成连续的骨架，就开始产生线收缩，如图 4-10 中虚线所示。图 4-11 中的单点画线为各种成分合金的线收缩开始温度的连线，称为线收缩开始温度线。

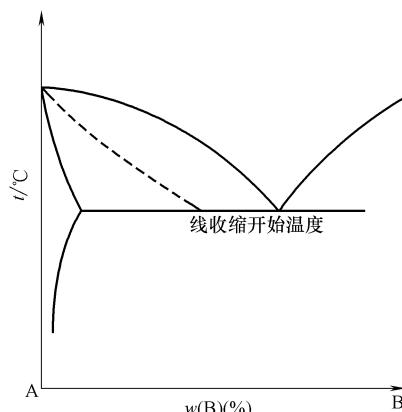


图 4-10 合金线收缩开始的温度与成分的关系

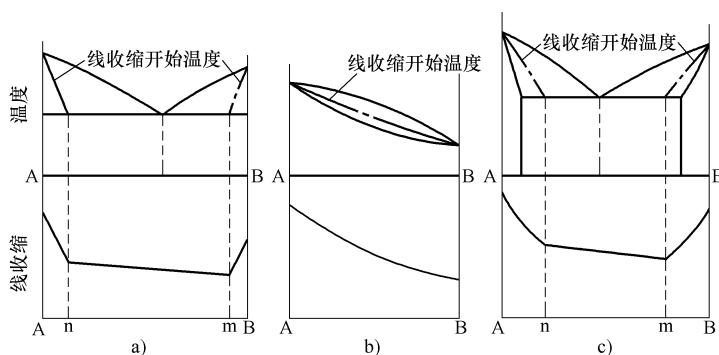


图 4-11 合金的线收缩与成分的关系

a) 类型一 b) 类型二 c) 类型三

### 第三节 铸件的缩孔和缩松

铸件在凝固过程中,由于合金的液态收缩和凝固收缩,会在铸件最后凝固的部位出现孔洞。体积大而集中的孔洞称为集中缩孔,简称缩孔;细小而分散的孔洞称为分散缩孔,简称缩松。

#### 一、缩孔和缩松的形成机理

缩孔和缩松是由于型内的金属液在凝固过程中收缩而引起的。但是,不同种类的金属缩孔和缩松产生的机理是不同的。

(1) 缩孔形成机理 合金的凝固特征不同,产生缩孔的机理也就不同。

1) 在凝固过程中不产生体积膨胀的合金产生缩孔的机理。在金属液充满型腔后,型腔的传热作用使其温度下降,金属液在型腔内由表及里逐层凝固。如果在冷却和凝固过程中合金的收缩得不到补偿,则会在铸件最后凝固的部位出现缩孔,如图 4-12 所示。

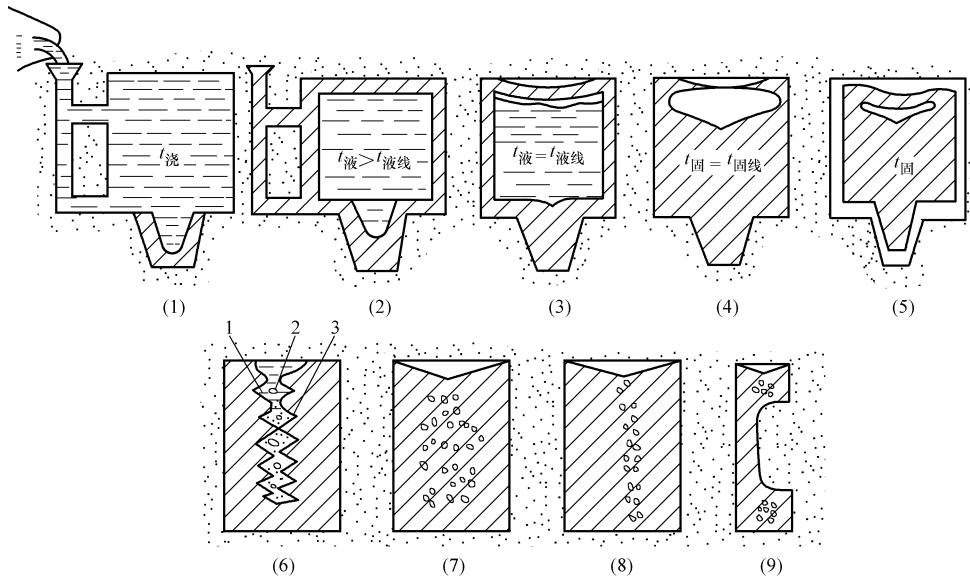


图 4-12 铸件中缩孔和缩松形成过程示意图

1—缩孔 2—树枝晶间空隙 3—金属液

2) 灰铸铁和球墨铸铁缩孔产生的机理。在灰铸铁共晶凝固过程中,石墨以片状析出,其尖端在共晶液中优先长大,所产生的体积膨胀绝大多数直接作用在初生奥氏体枝晶或共晶团的液体上,并推动液体通过枝晶间的通道去补缩因液态和固态收缩而形成的小孔洞,如图 4-13a 所示。

球墨铸铁共晶团中的石墨呈球状,如图 4-13b 所示。在其共晶凝固时,石墨核心析出后立即被一层奥氏体壳包围。当球墨铸铁的液态收缩、凝固收缩和型腔扩大的总和大于石墨化膨胀和固态收缩的总和时,铸件便会产生缩孔。

(2) 缩松形成机理 铸件凝固后期,在其最后凝固部分的残余金属液中,温度梯度小,使其按同时凝固原则凝固,即在金属液中出现许多细小的晶粒,在晶粒长大互相连接后,将剩余的金属液分割成互不相通的小熔池,这些小熔池在进一步冷却和凝固时得不到液体的补

缩，会产生许多细小的孔洞，即缩松。

## 二、缩孔和缩松的防止方法

防止缩孔和缩松产生的方法主要从合金性质、铸型条件、铸造工艺及铸件结构四个方面考虑。

### (1) 合金性质

1) 在使用条件允许的情况下，尽量选取结晶温度窄的合金成分。例如，对于灰铸铁及球墨铸铁，力求将化学成分选定在共晶点附近，以利于减小或消除铸件的缩孔和缩松。

2) 有效地控制熔炼过程，采用冶金性能良好的液态合金。

(2) 铸型条件 铸型刚度的大小将影响灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁凝固过程中型壁的迁移和大小。铸型刚度因造型的紧实率及铸型种类的不同而异，应根据铸件的技术要求及实际生产情况合理地选择铸型，在可能的情况下，增加铸型刚度，改善铸型的散热条件。

### (3) 铸造工艺 合理的铸造工艺可以有效地防止缩孔和缩松。

1) 合理地采取浇注系统的引入位置及浇注工艺，综合利用冒口、冷铁和补贴，以及在浇口杯和冒口上加发热剂、保温剂。

2) 采取合理的熔炼工艺，减少金属中气体及氧化物，提高其流动性和补缩能力。

3) 将铸型置于压力罐中，浇注后迅速关闭浇注孔，使铸件在压力下凝固，可以消除显微缩松。

(4) 铸件结构 合理改进铸件结构，力求壁厚均匀，减小热节，或使铸件壁厚变化有利于顺序凝固。

## 第四节 铸造应力和铸件变形

铸件从凝固末期（当结晶骨架已形成并开始线收缩时）至常温的冷却过程中，当其线收缩受到阻碍时，就可能产生铸造应力和铸件变形等缺陷。

### 一、铸造应力的定义及分类

铸件在凝固后的冷却过程中，将继续进行由于温度下降而产生的收缩，有些合金还会产生固态相变而引起膨胀或收缩，这些都使铸件的体积和尺寸发生变化。在此期间，如果这种变化受到阻碍，便会在铸件中产生应力，称为铸造应力。

铸造应力按其形成原因可分为热应力、相变应力及机械阻碍应力三种。

### 二、铸造应力的形成机理

(1) 热应力 通常以应力框铸件为例，如图 4-14 所示。应力框由杆 I 和杆 II 组成。开始冷却时，杆 I 和杆 II 具有相同的温度。由于杆 I 较粗，冷却前期杆 II 的冷却速度大于杆

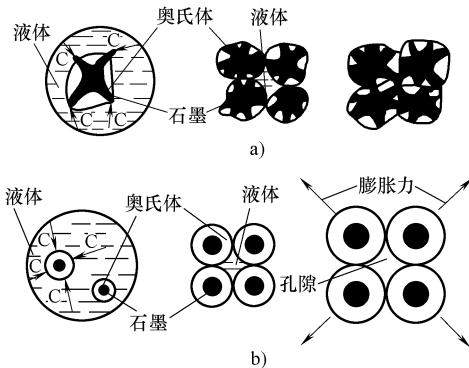


图 4-13 灰铸铁和球墨铸铁石墨长大特点

a) 片状石墨长大 b) 球状石墨长大

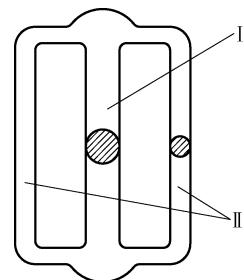


图 4-14 应力框铸件

I, 而后期必然是杆 I 的冷却速度比杆 II 快。热应力形成过程可分为三个阶段：

1) 第一阶段 (高温阶段)：应力框凝固后，细杆 II 比粗杆 I 冷却快，先开始收缩，但两长度相等，因此，粗杆 I 因细杆 II 收缩而被压缩，细杆 II 因粗杆 I 而被拉伸。因两杆都处于高温塑性状态，各自都产生塑性变形，故铸件内不产生应力。

2) 第二阶段 (中温阶段)：细杆 II 的温度下降较快，进入低温弹性状态，而粗杆 I 仍处于塑性状态，粗杆 I 因细杆 II 的收缩而产生压缩塑性变形，但铸件内部仍不产生应力。

3) 第三阶段 (低温阶段)：粗杆 I 和细杆 II 都进入低温弹性状态，细杆 II 已冷却至更低的温度，甚至已达到常温，不再收缩，而粗杆 I 还要继续收缩，因此粗杆 I 的收缩受到细杆 II 的阻碍，故粗杆 I 被拉伸，细杆 II 被压缩，粗杆 I 内产生拉应力，而细杆 II 内产生压应力。

(2) 相变应力 铸件在冷却过程中往往产生固态相变，相变时晶体体积会因之发生变化，从而影响铸件收缩的方向和数值。如果铸件各部分温度不一致，相变不同时发生，则会产生相变应力。如果铸件各部分温度均匀一致，相变同时发生，则可能不产生宏观应力而只有微观应力。

(3) 机械阻碍应力 铸件中的机械阻碍应力是由于铸件在冷却过程中收缩受到机械阻碍而产生的。

机械阻碍应力表现为拉应力或剪切应力，与铸件部位无关。

机械阻碍应力是在弹性状态下产生的，在形成应力的原因消除后，应力也随之消失，所以机械阻碍应力是一种临时应力。铸件厚实处的机械阻碍应力与残余热应力相同。铸件细薄处的机械阻碍应力与残余热应力相反。铸造应力是热应力、相变应力和机械阻碍应力三者的代数和。根据不同情况，三种应力有时互相抵消，有时互相叠加；有时是临时性的，有时则留下来。根据铸件部位不同，三种应力的分布特点见表 4-1。

表 4-1 三种应力分布特点

铸件部位	热应力	相变应力		机械阻碍应力	
		由于共析转变	由于石墨化	落砂前	落砂后
细薄处或截面外层	压应力	拉应力	拉应力	拉应力	0
厚实处或截面内层	拉应力	压应力	压应力	拉应力	0

### 三、减小和消除铸造应力的方法

#### 1. 减小铸造应力的措施和途径

减小铸造应力的措施主要是设法减小铸件在冷却过程中各部分的温度差以及改善铸型和型砂的退让性。主要从以下几个方面考虑：

(1) 合金方面 在满足铸件工作条件和成本的前提下，选择弹性模量和收缩系数小的合金材料。

(2) 铸型和砂型方面 在铸件厚实处放置冷铁，使铸件在冷却过程中的温度分布均匀；提高铸型预热温度；提高铸型和型芯的退让性；减小铸型表面摩擦阻力，采用细的面砂和涂料；铸件凝固后及早卸去压箱铁，松开砂箱紧固装置等；确定合适的铸件冷却时间。

(3) 浇注条件方面 合理开设内浇道和正确设置冒口，同时考虑温度分布和阻力最小的要求。

(4) 铸件结构方面 铸件壁厚应尽量均匀，厚、薄壁连接处合理过渡，热节应小而

分散。

## 2. 消除铸件中残余应力的方法

(1) 热处理法(人工时效) 一般是将铸件加热至塑性状态,在此温度下保温一定的时间,使应力消失,再缓慢冷却至室温。

(2) 自然时效 将具有残余应力的铸件置于室外数月至半年以上,使残余应力松弛或部分消除。此方法费用低,但时间太长,效率低,残余应力消除不彻底,目前生产中较少采用。

(3) 共振时效 其原理是调整振动频率,使铸件在具有共振频率的激振力作用下获得相当大的振动能量。在共振过程中,交变应力与残余应力叠加,铸件局部屈服,产生塑性变形,使铸件中的残余应力逐步消失。

## 四、铸件变形

### 1. 铸件变形的机理

在铸件冷却过程中,各部分冷却速度不一致,收缩也不一致,而各部分又彼此相连相互制约,使其几何形状与图样不符,称为铸件变形。

### 2. 防止铸件变形的措施

(1) 反变形措施 在模样上做出与铸件变形量相等、方向相反的预变形量,按该模样生产的铸件,经过冷却变形后,尺寸、形状刚好符合图样要求。

(2) 设置拉肋 给易产生变形的开口形铸件设置拉肋,在铸件热处理后将其去掉,可有效地防止铸件变形,如图 4-15 所示假想线。

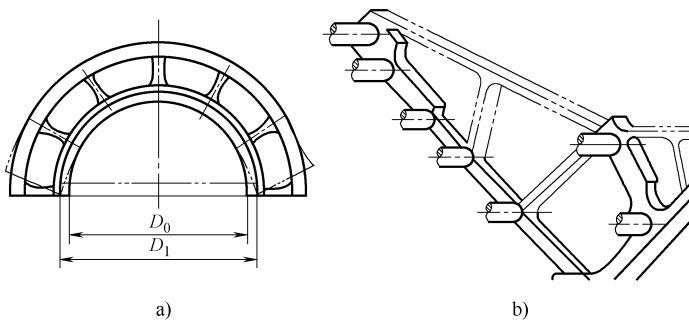


图 4-15 铸件变形——扩口变形

a) 半圆形铸钢件的扩口变形 b) 用拉肋防止其扩口变形

(3) 改变铸件结构 采用弯形轮辐代替直轮辐,以减小收缩阻力,防止变形。

(4) 设置加强肋 对于结构简单的平直板铸件,可设置加强肋,提高刚度,防止变形。

(5) 提高铸型刚度 对于易产生变形的铸件,加大压铁重量,可防止铸件变形。

(6) 控制铸件的开箱时间 适当延长铸件的开箱时间可避免或减小铸件的变形。对于易变形的铸件,可采用打箱后不打开砂型的方式,防止铸件变形。

## 第五节 铸件的裂纹

铸件表面或内部存在的不规则的曲线状断裂称为裂纹。裂纹通常按产生的温度范围可分为热裂和冷裂。

## 一、铸件的热裂

(1) 热裂的特征 热裂是铸件处于塑性变形状态下形成的。其产生于高温状态, 表面严重氧化而呈氧化色, 没有金属光泽。铸钢件热裂表面近似黑色, 铝合金铸件热裂表面则呈暗灰色。裂口内有时可见树枝状结晶末端。裂纹是沿晶界产生和发展的, 故热裂纹外形曲折而不规则。

(2) 热裂形成的温度范围 热裂形成的温度范围主要有以下两种:

1) 热裂是在凝固温度范围内邻近于固相线温度时形成的, 或者是在有效结晶温度区间形成的, 此时合金处于固-液态。

2) 热裂是在金属凝固以后, 即稍低于固相线温度下形成的, 此时合金处于固态。

(3) 热裂的形成机理 关于热裂的形成机理主要有液膜理论、强度理论及形成功理论。

## 二、铸件的冷裂

冷裂是铸件处于弹性状态时, 铸造应力超过合金的强度极限而产生的。冷裂一般出现在铸件的受拉部位, 特别是有应力集中的地方。凡能促使铸造应力增大的因素, 都能使铸件冷裂倾向增大。

(1) 冷裂的特征 冷裂的特征与热裂的特征明显不同, 其外形呈圆滑曲线状或连续直线状, 往往穿过晶粒而不是沿晶界断裂。冷裂断口表面干净, 具有金属光泽或呈轻微的氧化色。

(2) 冷裂形成机理 现以带轮和飞轮的冷裂为例, 如图 4-16 所示。

带轮的轮缘和轮辐比轮毂薄, 因此冷却较快, 比轮毂先收缩, 对轮毂施加压力, 处于临界温度以上的轮毂被压缩而产生塑性变形, 应力随之消失。但当温度降至临界温度以下, 轮毂进行收缩时, 却要受到先冷却的轮缘和轮辐的阻碍, 在轮辐内就会产生拉应力。如果拉应力大于轮辐的强度, 就会发生断裂。

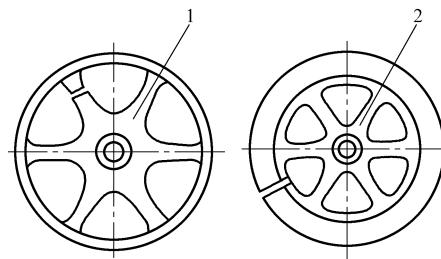


图 4-16 轮子的冷裂示意图

1—带轮 2—飞轮

## 第六节 冒口的补缩原理及冒口尺寸的确定

### 一、冒口的作用、种类和位置

#### 1. 冒口的作用

冒口的主要作用是在铸件成型过程中提供由于体积变化而需要补偿的金属液, 以防止在铸件中出现收缩类的缺陷。

#### 2. 冒口的种类和形状

(1) 冒口的种类 按冒口在铸件上的位置可分为顶冒口和侧冒口两类; 按冒口顶部是否被型砂覆盖又分为明冒口和暗冒口。侧冒口多做成暗冒口形式。

(2) 冒口的形状 冒口的形状有球形、球顶圆柱形、长(腰)圆柱形及扁球形等多种。图 4-17 所示为常用的五种冒口形状。

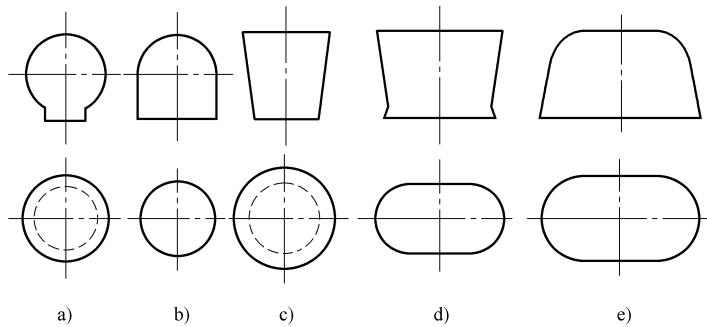


图 4-17 常用的冒口形状

a) 球形 b) 球顶圆柱形 c) 圆柱形 (带起模斜度) d) 腰圆柱形 (明) e) 腰圆柱形 (暗)

### 3. 冒口的位置

确定冒口位置时应遵循下列原则:

- 1) 冒口就近设在铸件热节点的上方或侧旁。
- 2) 冒口尽量设在铸件最高、最厚的部位。
- 3) 冒口不应设在铸件重要的部位和受力大的部位, 以防止晶粒粗大而降低其力学性能。
- 4) 冒口位置不应设在铸造应力集中处, 应注意减轻其对铸件的收缩阻碍, 以免引起裂纹。
- 5) 尽量用一个冒口同时补缩几个热节或铸件。
- 6) 冒口布置在加工面上, 可借加工精整铸件表面, 零件外观质量好。
- 7) 对不同高度的多个冒口, 应用冷铁使各个冒口的补缩范围相隔开。

### 二、冒口的补缩原理

为了防止缩孔和缩松, 冒口必须保证铸件实现顺序凝固, 使铸件凝固过程中始终有“补缩通道”, 这样, 冒口中的金属液才能不断地被补送给铸件, 否则冒口再大, 也达不到补缩的目的。图 4-18 所示为铸钢齿轮, 轮缘厚度为  $t$ , 轮缘与辐板交接处热节直径为  $d_y$ 。因为  $d_y > t$ , 所以轮缘处较热节处先凝固, 堵塞了液体补缩通道。当热节中心还处在液态或凝固收缩阶段时, 冒口中的钢液已无法补充到热节中心处, 结果该处出现缩孔, 如图 4-18b 所示。

图 4-19 所示为平板铸件的缩松区。板厚为  $t$ , 中间设置一个冒口, 铸件末端比铸件中部多一个冷却端面, 形成一定的温度梯度, 所以末端部分晶体生长比平板的中间部分晶体生长得快, 凝固前沿呈楔形, 补缩通道扩张角  $\alpha$  向着冒口扩大, 末端区  $l_3$  是致密的无缩孔、无缩松区。靠近冒口部分, 由于冒口中金属液的热量集

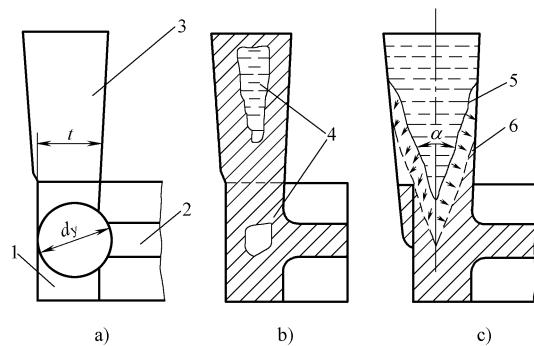


图 4-18 冒口补缩

1—轮缘 2—辐板 3—冒口 4—缩孔  
5—等液相线 6—等固相线 (面)

中而造成温差，使结晶速度较平板的中心部分慢，凝固前沿也呈楔形，因此  $l_1$  区也是致密的。 $l_1$  区称为冒口作用区（也称为冒口区）。如果末端区  $l_3$  与冒口区  $l_1$  是相连接的，便可获得致密铸件（图 4-19 中的左半部分）。当有一个邻接末端区  $l_3$  与  $l_1$  的中间区域  $l_2$  时，在  $l_2$  区域内末端的激冷作用不能实现，上下凝固前沿相平行。

凝固后期，由于枝晶的生长隔断了补缩通道，这里就会产生轴线缩松（图 4-19 中的右半部分）。

### 三、铸钢件冒口的有效补缩距离

板件及杆件铸钢冒口的有效补缩距离如图 4-20 所示。更精确的数据可从图 4-21 所示的曲线查出。这些曲线是用  $w(C) = 0.2\% \sim 0.3\%$  的碳素钢铸件试验取得的。试验结果表明：板形铸钢件  $L = 4.5t$ ，杆形铸钢件  $L = 30\sqrt{t}$ 。

有些铸件由各种厚度不同的板状小单元组合而成，构成阶梯形板件。阶梯形铸钢件冒口的有效补缩距离和厚度的关系，如图 4-22 所示。由此看出，阶梯形铸钢件延长了冒口的有效补缩距离。

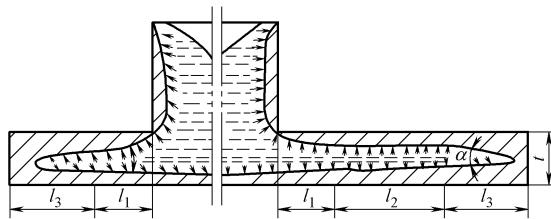


图 4-19 平板铸件的缩松区

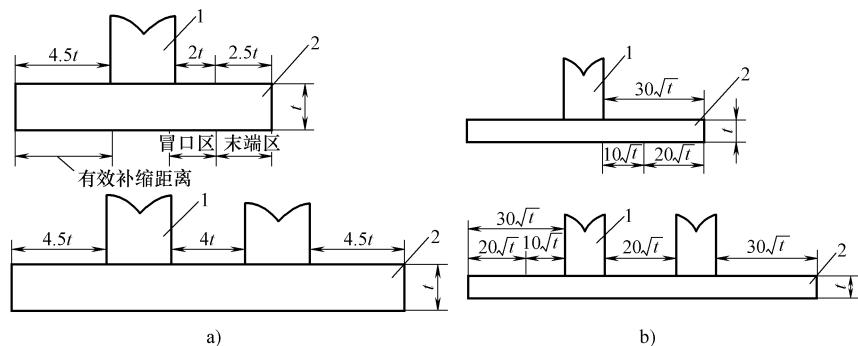


图 4-20 板件及杆件铸钢冒口的有效补缩距离

a) 板形件 (断面的宽厚比超过 5:1) b) 杆形件 (断面的宽厚比在 5:1 以内)

1—冒口 2—铸件

### 四、铸铁和有色合金件冒口的有效补缩距离

#### 1. 灰铸铁件冒口有效补缩距离

一般亚共晶灰铸铁以中间凝固方式凝固，而共晶灰铸铁的凝固方式则接近于层状凝固。灰铸铁凝固时，由于石墨化膨胀可抵消一部分或全部凝固时的体收缩，因此，冒口主要用来补缩液态收缩。即使亚共晶铸铁，在共晶转变之前固体析出量也较少（一般少于 30%）。这有利于铸铁的补缩，只要控制铸型刚度（如采用干型浇注），灰铸铁件冒口的有效补缩距离可达

$$L = (6 \sim 10) D_{冒} \quad (4-1)$$

式中  $D_{冒}$ ——冒口直径 (mm)。

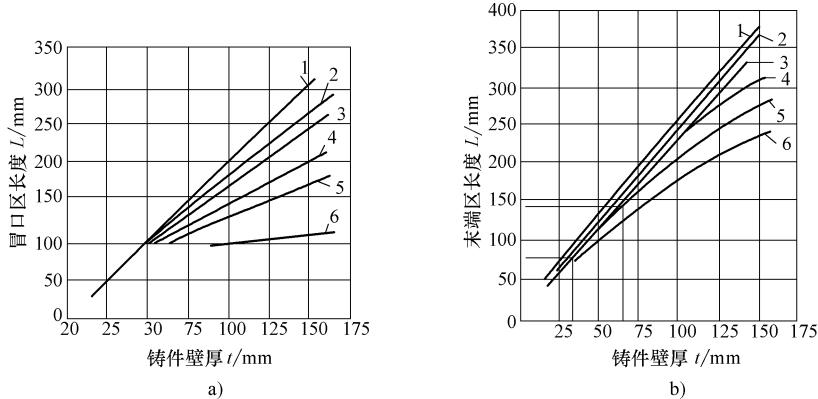


图 4-21 铸钢冒口有效补缩距离试验曲线

a) 冒口区长度与壁厚的关系 b) 末端区长度与壁厚的关系

1—5:1 (铸件断面的宽厚比, 余同) 2—4:1 3—3:1 4—2:1 5—1.5:1 6—1:1

图 4-23 所示为共晶度对灰铸铁件冒口有效补缩距离的影响。从图 4-23 可以看出，随着灰铸铁共晶度的增大，冒口的有效补缩距离增大。

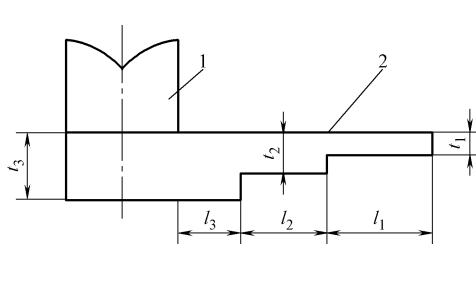


图 4-22 阶梯形铸钢件冒口的有效补缩距离和厚度的关系

$$l_1 = 3.5t \quad l_2 = 3.5t_3 - t_1 \quad l_3 = t_1 + 110 \text{ mm}$$

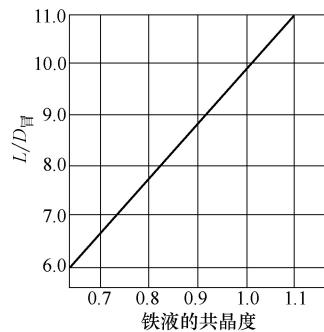


图 4-23 共晶度对灰铸铁件冒口有效补缩距离的影响

## 2. 球墨铸铁件冒口的有效补缩距离

球墨铸铁件的凝固方式一般为糊状凝固，冒口的补缩通道会较早地受到先析出的共晶团的阻碍，这不利于铸件的补缩，容易出现缩松。球墨铸铁件冒口的补缩距离见表 4-2。

表 4-2 球墨铸铁件冒口的补缩距离 (单位: mm)

铸件壁厚	水平补缩			垂直补缩
	湿型	湿型	湿型	
6.35	—	31.75	—	—
12.70	101.6 ~ 114.3	106.3	88.9	88.9
15.86	—	—	127.0	—
19.05	—	—	—	133.4
25.40	101.6 ~ 127.0	114.3	127.0	165.1
38.10	139.7 ~ 152.4	—	—	228.6
50.80	—	228.6	—	—

注：表中三组湿型数据是在不同试验条件下得到的。

可锻铸铁件冒口的补缩距离为壁厚的4~4.5倍。

### 3. 非铁合金件冒口的有效补缩距离

(1) 铜合金 锡青铜和磷青铜类合金凝固范围一般较宽, 呈糊状凝固特性, 冒口的有效补缩距离小, 易出现分散缩松; 不含锡的青铜和黄铜, 凝固范围一般较窄, 其冒口补缩距离大。铜合金件冒口的补缩距离见表4-3。一般情况下, 黄铜件冒口的补缩距离为(5~9) $t$  ( $t$ 为铸件壁厚), 铝青铜和锰青铜件冒口的补缩距离为(5~8) $t$ 。

表4-3 铜合金件冒口的补缩距离

合金种类	铸件形状	末端区长	冒口区长	补缩距离
锡锌青铜 [ $w(\text{Sn}) = 8\%$ , $w(\text{Zn}) = 4\%$ ]	板件	$4t$	0	$4t$
	杆件	$10\sqrt{t}$	0	$10\sqrt{t}$
锰铁黄铜 [ $w(\text{Cu}) = 55\%$ , $w(\text{Mn}) = 3\%$ , $w(\text{Fe}) = 1\%$ ]	板件	$5t$	$2.5t$	$7.5t$
铝铁青铜 [ $w(\text{Al}) = 9\%$ , $w(\text{Fe}) = 4\%$ ]	板件	$5.5t$	$3t$	$8.5t$

注: 1. 干型、水平浇注条件下测出。

2.  $t$ 为板厚或杆的边长。

(2) 铝合金 铝合金的特点是密度小、导热快、熔点低、收缩大。共晶型铝合金凝固时易产生集中缩孔。非共晶铝合金呈糊状凝固, 冒口补缩效果不佳, 容易出现缩松缺陷。共晶铝合金铸件冒口的补缩距离为 $4.5t$ ; 非共晶型铝合金铸件冒口的补缩距离为 $2t$ 。对于硅含量为7% (质量分数) 或铜含量为4% (质量分数) 的铝合金铸件, 几乎无法测出冒口的有效补缩距离 (等于零), 剖开铸件, 断面上均匀出现不同程度的缩松。

## 五、铸钢件冒口的设计计算

冒口尺寸的设计计算是一个复杂的问题, 因为影响冒口补缩效果的因素很多, 如合金的铸造性能、浇注温度、浇注方法、铸件结构、浇冒口安放位置和铸型的热物理性质等。铸钢件冒口属于通用冒口, 其计算原理适用于实行顺序凝固的一切合金铸件。

### 1. 模数法

冷凝物体的模数就是它的体积 $V$ 与散热面积 $A$ 之比, 即 $M = V/A$ 。在铸件材质、铸型性质和浇注条件确定之后, 铸件的凝固时间主要取决于铸件的结构和尺寸。铸件的体积越大, 金属液就越多, 凝固时间也就越长。当铸件体积相等, 液体金属的质量及所含热量相等时, 若铸件的结构不一样, 则散热表面积就不相等。显然, 表面积越大, 散热应越快, 凝固时间越短; 反之, 表面积越小, 凝固时间就越长。

(1) 计算原理 模数法原理是: 如果冒口的模数 $M_{\text{冒}}$ 大于铸件被补缩部位的模数 $M_{\text{件}}$ , 就能保证冒口晚于铸件凝固。即:

$$M_{\text{冒}} > M_{\text{件}}$$

一般地

$$M_{\text{冒}} = f M_{\text{件}}$$

式中  $f$ —冒口安全系数,  $f \geq 1$ 。

在冒口补缩过程中, 冒口中的金属逐渐减少, 顶面形成缩孔并使散热面积增大 ( $A$ 增大), 因而冒口模数不断减小; 铸件由于得到炽热的金属液的补充 ( $V$ 增大), 模数相对有

所增大。根据试验,冒口模数相对减小的值约为原始模数的17%。一般取安全系数 $f=1.2$ 。安全系数过大时,会使冒口尺寸增大,浪费金属,加重铸件热裂和偏析倾向。

对于碳素钢、低合金钢铸件,冒口、冒口颈、铸件的模数应满足下列比例关系:

1) 明顶冒口

$$M_{\text{冒}} = (1.1 \sim 1.2) M_{\text{件}} \quad (4-2)$$

2) 暗侧冒口

$$M_{\text{件}} : M_{\text{颈}} : M_{\text{冒}} = 1:1.1:1.2 \quad (4-3)$$

3) 钢液通过冒口浇注

$$M_{\text{件}} : M_{\text{颈}} : M_{\text{冒}} = 1:(1 \sim 1.03):1.2 \quad (4-4)$$

式中  $M_{\text{冒}}$ 、 $M_{\text{颈}}$ 、 $M_{\text{件}}$ ——分别为冒口、冒口颈和铸件被补缩部位的模数。

为了保证冒口中有足够的金属液补充铸件的收缩,还应该满足下列条件:

$$\varepsilon_V (V_{\text{件}} + V_{\text{冒}}) + V_e \leq \eta \quad (4-5)$$

式中  $V_{\text{件}}$ ——冒口所能补缩的铸件体积;

$V_{\text{冒}}$ ——冒口体积;

$V_e$ ——因型壁移动而扩大的体积;

$\varepsilon_V$ ——合金的体收缩率,具体数值见表4-4;

$\eta$ ——冒口的补缩率,各种冒口的补缩率见表4-5。

表4-4 常用合金的体收缩率  $\varepsilon$

铸件材质	$\varepsilon$ (%)
中碳钢	2.5~3.0
$w(C) = 1\%$ 的碳素钢	4.0
灰铸铁	1.90~膨胀
白口铸铁	4.0~5.5
纯铝	6.6
纯铜	4.92

表4-5 冒口的补缩率  $\eta$

冒口种类或工艺措施	$\eta$ (%)
圆柱或腰圆柱形冒口	12~15
球形冒口	15~20
补浇冒口时	15~20
浇口通过冒口时	30~35
发热保温冒口	30~50
大气压力冒口	15~20

(2) 铸件形状系数的影响 铸件形状系数 $q$ 又名周界商,定义为铸件体积 $V$ 与其模数 $M^3$ 之比,即

$$q = V/M^3$$

$q$ 值使铸件形状数量化,  $q$ 值的大小表明了铸件形状的特征,这说明形状越接近简单的实心球体,  $q$ 值越小;反之,铸件形状越接近展开的大平板,  $q$ 值越大。实心球体  $q$ 值最小,为113,而大平板件  $q$ 值非常大。生产中的  $q$ 值多为113~5000。在其他条件相同时,  $q$ 值越大,补缩效率越高。保温冒口补缩效率  $\eta$ 与铸件形状系数  $q$ 的关系见表4-6。在设计和校核冒口时,  $q$ 值大的铸件取冒口补缩效率的上限值;  $q$ 值小的铸件应选取下限值。

表4-6 保温冒口补缩效率  $\eta$ 与铸件形状系数  $q$ 的关系

铸件形状系数 $q$	<200	250	300	400	500~1000	>5000
冒口补缩效率 $\eta$ (%)	25	30	33	35	40	45

(3) 模数法计算冒口的步骤

1) 把铸件划分为几个补缩区,计算各区的铸件模数。

- 2) 计算冒口及冒口颈的模数。
- 3) 确定冒口形状和尺寸 (应尽量采用标准系列的冒口尺寸)。
- 4) 检查顺序凝固条件。
- 5) 校核冒口补缩能力。

(4) 铸件模数的计算 任何复杂的铸件, 均可看成是由许多简单的几何体 (板、杆、圆柱体等) 组合而成的。只要掌握一些简单几何体、组合体的模数计算公式, 就不必用繁琐的公式去计算铸件的体积和表面积了。

## 2. 补缩液量法

其基本原理建立在两个假设的基础上: 假定一为铸件与冒口的凝固层增长速度相等; 假定二为冒口内供补缩用的金属液所占部位 (缩孔球) 的直径  $d_0$ 。这样, 当冒口高度和直径相等时, 铸件中最大凝固层厚度为壁厚的  $1/2$ 。依据假定一, 冒口中凝固层厚度也为铸件厚度的  $1/2$ , 因而, 冒口中缩孔球直径  $d_0$  等于冒口直径与铸件厚度之差 (见图 4-24), 即

$$\begin{aligned} d_0 &= D_r - t \\ \text{故} \quad D_r &= t + d_0 \end{aligned} \quad (4-6)$$

式中  $D_r$ ——冒口直径;

$t$ ——铸件壁厚。

该方法还认为, 直径为  $d_0$  的球体应等于铸件 (被补缩部分) 的总体收缩体积, 即

$$\begin{aligned} \frac{1}{6}\pi d_0^3 &= \varepsilon V \\ \text{故} \quad d_0 &= \sqrt[3]{\frac{6\varepsilon V}{\pi}} \end{aligned} \quad (4-7)$$

式中  $V$ ——铸件 (被补缩部分) 体积;

$\varepsilon$ ——铸件金属的凝固收缩率。

$\varepsilon$  值可由表 4-4 查出, 计算出铸件体积  $V$ , 利用式 (4-7) 即可得出补缩球直径  $d_0$ , 然后用式 (4-6) 可求出冒口直径  $D_r$ 。

实际生产中, 为使冒口补缩可靠, 常使冒口的高度  $H_r$  大于冒口直径  $D_r$ , 取

$$H_r = (1.15 \sim 1.8) D_r \quad (4-8)$$

## 3. 比例法

比例法也称为热节圆法。比例法是在分析、统计大量工艺资料的基础上, 总结出的冒口尺寸经验确定法。我国各地工厂根据长期的实践经验, 总结归纳出冒口各种尺寸相对于热节圆直径的比例关系, 汇编成了各种冒口尺寸计算图表。比例法简单易行, 广为采用。

这种方法就是使冒口根部直径大于铸件被补缩处热节圆直径或壁厚, 再以冒口根部直径来确定其他尺寸。

冒口根部直径的计算公式为

$$D = cd \quad (4-9)$$

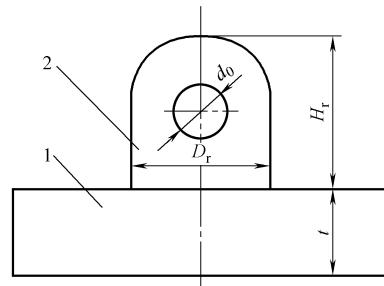


图 4-24 补缩液量法示意图

1—铸件 2—冒口

式中  $D$ ——冒口根部直径；

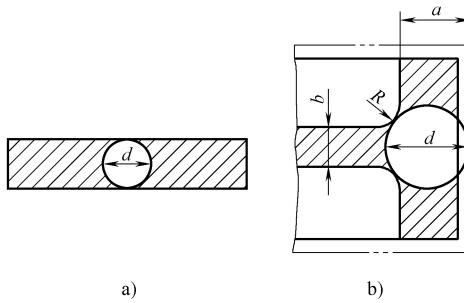
$d$ ——铸件被补缩热节处的内切圆直径；

$c$ ——比例系数。

铸件被补缩热节圆处内切圆（简称热节圆）

的直径可按作图法（按铸件实际尺寸画图）作出，如图 4-25 所示。画热节圆时要把所有工艺参数（加工余量、铸造收缩率等）都加上。

确定比例系数值是应用比例法的关键，由于系数的范围较宽，需要丰富的经验才能准确确定。可参考表 4-7 选择比例系数及确定其他参数。



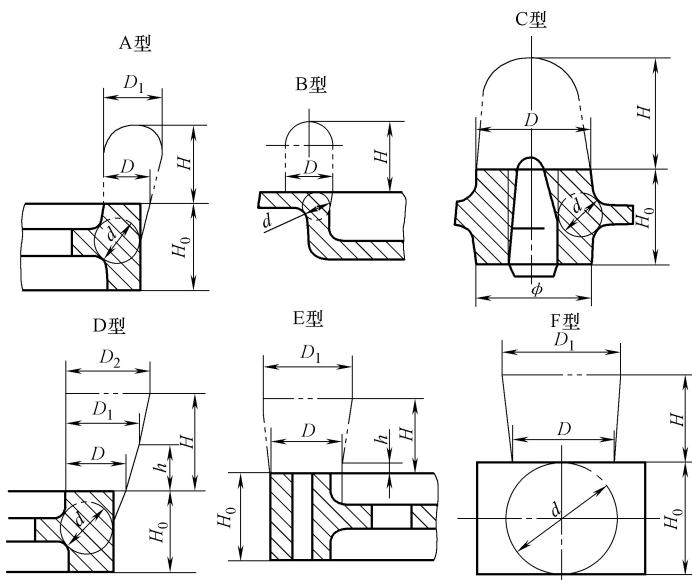
a)

b)

图 4-25 热节圆直径

a) 壁厚均匀 b) 壁厚相交

表 4-7 普通顶冒口尺寸关系



类型	$H_0/d$	$D$	$D_1$	$D_2$	$h$	$H$	冒口延伸度 (%)	应用实例
A型	$< 5$ $> 5$	$(1.4 \sim 1.6)d$ $(1.6 \sim 2.0)d$	$(1.5 \sim 1.6)D$ $(1.5 \sim 1.6)D$	—	—	$(1.8 \sim 2.0)D$ $(2.0 \sim 2.5)D$	35~40 30~35	车轮、齿轮、 联轴器
B型	$1 \text{ mm} < d < 50 \text{ mm}$	$(2.0 \sim 2.5)d$	—	—	—	$(2.0 \sim 2.5)D$	30~35	瓦盖
C型	$< 5$ $> 5$	$D = \phi$ $D = \phi$	—	—	—	$(1.3 \sim 1.5)D$ $(1.4 \sim 1.8)D$	100 100	—
D型	$< 5$ $> 5$	$(1.5 \sim 1.8)d$ $(1.6 \sim 2.0)d$	$(1.3 \sim 1.5)D$ $(1.3 \sim 1.5)D$	$1.1D_1$ $1.1D_1$	$0.3H$ $0.3H$	$(2.0 \sim 2.5)D$ $(2.5 \sim 3.0)D$	100 100	制动臂
E型	$< 5$ $> 5$	$(1.3 \sim 1.5)d$ $(1.6 \sim 1.8)d$	$(1.1 \sim 1.3)D$ $(1.3 \sim 1.5)D$	—	$15 \sim 20$ $15 \sim 20$	$(2.0 \sim 2.5)D$ $(2.5 \sim 3.0)D$	100 100	制动臂
F型	—	$(1.4 \sim 1.8)d$ $(1.5 \sim 1.8)d$	$(1.3 \sim 1.5)D$ $(1.3 \sim 1.5)D$	—	—	$(1.5 \sim 2.2)D$ $(2.0 \sim 2.5)D$	50~100 50~100	锤座立柱

由于各地区、各工厂的生产条件不同，所给出的经验比例系数也不完全一致，应用时应注意生产条件、铸件类型、合金成分等条件的变化，做到尽可能一致。

应用表 4-7 的顺序一般如下：

(1) 选择比例系数  $c$  先根据铸件的结构选择冒口的类型，并按条件在该类型中选取比例系数  $c$ 。例如，若铸件属于表中 D 型，且  $H_0/d < 5$ ，则  $D = (1.5 \sim 1.8)d$ 。当  $d$  值大时， $c$  值取下限为 1.5；当  $d$  值小时， $c$  值取 1.8。

(2) 确定冒口高度 冒口直径  $D$  值确定后，再表 4-7 中选择恰当比例值确定冒口高度  $H$ 。冒口越高则补缩压力越大，但消耗的金属越多。一般铸件壁厚较厚时， $H$  值减小，壁薄时  $H$  值增大。

(3) 求每个冒口长度或冒口个数 表 4-7 中所列冒口延伸度是指冒口根部沿铸件长度方向的尺寸之和与铸件被补缩长度之比。例如，某齿轮铸件，轮缘直径为  $D_{\text{件}}$ ，则其周长为  $\pi D_{\text{件}}$ ，冒口延着轮缘长度方向的尺寸为  $l$ ，冒口数量为  $n$ ，则冒口延伸度  $L = nl/\pi D_{\text{件}}$ 。按表 4-7 查得该冒口类型中的延伸度值，已知  $D_{\text{件}}$  和初步确定的冒口数量  $n$ ，即可算出每个冒口长度  $l$ ；同样，在  $l$  值确定后，也可求得冒口的个数  $n$ 。

#### 4. 工艺出品率的校核

$$\text{工艺出品率} = \frac{\text{铸件重量}}{\text{铸件重量} + \text{浇注系统重量} + \text{冒口重量}} \quad (4-10)$$

浇注系统重量占铸件重量的 3% ~ 6%，当铸件重量为 500 ~ 600kg 时取 6% 左右，当铸件重量在 25t 以上时取 3%。

工艺出品率视铸件种类、铸件重量、壁厚、冒口形式而定，一般在 50% ~ 70% 范围内选取。采用普通冒口时，冒口的尺寸可根据此数值进行验算和调整，即将冒口重量数代入计算后，若工艺出品率低于或高于此数值，则应适当进行调整。

#### 六、铸铁件冒口的设计计算

灰铸铁、球墨铸铁在凝固过程中的石墨化膨胀，可以抵消一部分液态收缩和凝固态收缩，使得铸件的总收缩量减小。这种特征使铸铁件的冒口设计不同于其他合金。石墨化膨胀的大小、出现的早晚与冶金质量和冷却速度有关。球墨铸铁的冶金质量是指从 25.4mm 厚 ( $M_{\text{件}} = 0.79\text{cm}$ ) 的 Y 形试块上取样作金相检查，以  $1\text{mm}^2$  面积石墨球数作为评定标准，具体见表 4-8。

表 4-8 球墨铸铁冶金质量评定标准

冶金质量	石墨球数 (个/ $\text{mm}^2$ )
好	> 150
中	90 ~ 150
差	< 90

冶金质量可看作是铸铁体积收缩倾向的大小。冶金质量好的铸铁，在相同的冷却条件下，体积收缩倾向小，形成缩孔、缩松和铸件胀大变形的倾向小，容易获得健全的铸件。在冶金质量一定的条件下，冷却速度小，铸铁的收缩倾向也小。由于白口铸铁在凝固收缩时没有石墨化膨胀，因此下述理论不适用于白口铸铁。

##### 1. 直接实用冒口（又称压力冒口）

直接实用冒口适用于模数为 0.48 ~ 2.5cm 的高强度铸型（如干型、高密度造型、自硬型等）生产的铸件。

(1) 冒口和冒口颈 冒口有效体积依铸件液态收缩体积而定, 一般比铸件所需补缩的铁液量大。可按图 4-26 确定冒口的有效补缩体积。图 4-26 中横坐标的数值为铁液的浇注温度减去铸铁的共晶温度 (1150℃)。

为有效控制冒口颈在铸件液态收缩结束或共晶膨胀开始时及时凝固, 冒口颈模数  $M_{\text{颈}}$  可由式 (4-11) 确定。

$$M_{\text{颈}} = \frac{t_{\text{浇}} - 1150}{t_{\text{浇}} - 1150 + \frac{l}{c}} M_{\text{件}} \quad (4-11)$$

式中  $M_{\text{颈}}$  —— 冒口颈模数 (cm);

$M_{\text{件}}$  —— 设置冒口部位的铸件模数 (cm);

$t_{\text{浇}}$  —— 浇注温度 (℃);

$c$  —— 铁液比热容, 与铁液温度有关, 在 1150 ~ 1350℃ 范围内为 835 ~ 963J/(kg · ℃);

$l$  —— 铸铁结晶潜热, 为  $(193 \sim 247) \times 10^3 \text{ J/kg}$ 。

设置冒口的部位应满足的条件是: 当冒口颈开始凝固时, 该部分的石墨化膨胀量能抵偿所有更厚部分的液态收缩量, 直到比它厚的部分开始膨胀为止。一个铸件上能满足这样条件的部位可能有几个, 这时就应该选择其中模数小的那个部分设置冒口, 只有这样才能充分发挥铸件体积膨胀的作用, 同时使冒口和冒口颈的模数最小。

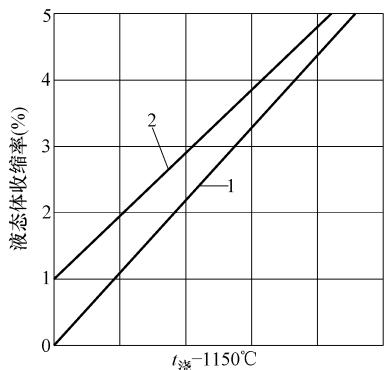


图 4-26 铸铁的液态体收缩率与浇注温度的关系曲线  
1—碳当量为 4.3% 2—碳当量为 3.6%

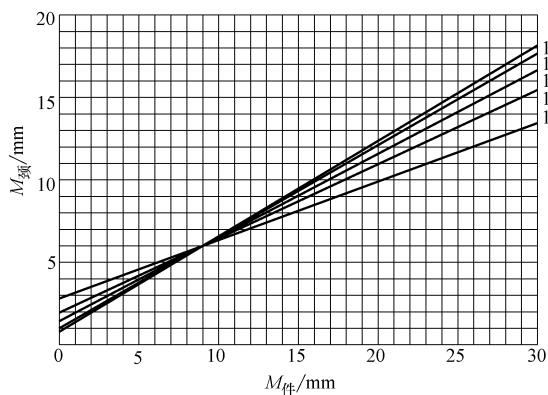


图 4-27  $M_{\text{件}}$  和  $M_{\text{颈}}$  的关系图

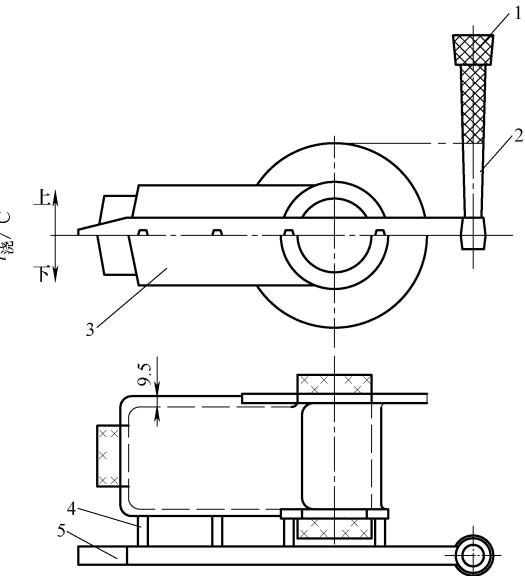


图 4-28 浇注系统当冒口 (阴影部分)

1—浇口杯 2—直浇道 3—铸件  
4—内浇道 (冒口颈) 5—横浇道

考虑到其他方面的因素，将式(4-11)修正成 $M_{件}$ 和 $M_{颈}$ 的关系图(见图4-27)，可以用来近似地确定冒口颈的模数 $M_{颈}$ 。

(2) 用浇注系统代替直接实用冒口 适用于湿型铸造，铸件模数 $M_{件} < 0.48$ 的薄壁小型球墨铸铁件。

对于薄壁铸件，由于冒口颈很小，可用浇注系统代替冒口。如图4-28所示， $M_{件} = 0.475$ ， $M_{颈} = 0.4$ ，超过铸件最高水平面的浇口杯和直浇道部分实质上就是冒口。内浇道的截面尺寸按冒口颈计算，也可以用图4-27确定冒口颈(内浇道)的模数，此时浇注温度应采用浇注后型内的金属液温度。因为浇注薄壁小件时，浇注温度和充完型后的金属液温度差别较大，所以应以最后的浇注温度来选择冒口颈(内浇道)的模数，否则会导致液态收缩缺陷，即出现集中缩孔和缩凹。当浇注厚大件时，浇注温度和浇完后型内金属温度并无太大差别。

理论上，所有铸件都能用浇注系统作冒口，但当铸件较厚时，把冒口和浇注系统分开会使工艺出品率提高。

### (3) 直接实用冒口的优缺点

1) 主要优点：铸造工艺出品率高；冒口位置便于选择，冒口颈可以很长；冒口便于去除，花费少。

2) 主要缺点：要求铸型刚度高，模数超过0.48cm的球墨铸铁件，要求使用高强度铸型，如干型、自硬砂型和V法砂型等；要求将浇注温度范围严格控制在 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 内，保证冒口颈凝结时间准确；对于形状复杂的多模数铸件，关键模数不易确定；为了验证冒口颈是否正确，需要进行工艺试验。

如果生产条件较好，铸件形态简单，或铸件批量大，能克服上述缺点，则用直接实用冒口能获得较大的经济效益。

## 2. 控制压力冒口(又称释压冒口)

控制压力冒口适用于砂型铸造且模数为0.48~2.5cm的球墨铸铁件。其特点是：只利用部分共晶膨胀量来补偿铸件的凝固收缩。图4-29为控制压力冒口示意图。浇注结束后，冒口补给铸件的液态收缩，在共晶膨胀初期冒口颈畅通，可使铸件内部的铁液回填冒口以“释放压力”。应用合理的冒口颈尺寸或一定的暗冒口体积控制回填程度，可使铸件内建立适中的内压来克服凝固收缩，从而获得既无缩孔、缩松缺陷，又能避免胀大变形的铸件。

控制压力冒口的方法有以下三种：

- 1) 冒口颈适时凝结。
- 2) 用暗冒口的体积实现控制。暗冒口被回填满，即告终止。
- 3) 采用冒口颈尺寸和暗冒口容量双重控制。

以上三种方法都有成功的实例，但比较起来，以第三种方法更为经济可靠，推荐使用双重控制法。

(1) 冒口和冒口颈 冒口以暗侧冒口为宜，安放在铸件厚大部位附近。冒口模数 $M_{冒}$ 与铸件厚大部分的模数 $M_{件}$ 及冶金质量有关，如图4-30所示。当冶金质量好时， $M_{冒}$ 按曲线2取值，反之按曲线1取值，一般取中间值。冒口的有效补缩体积位于铸件最高点以上。

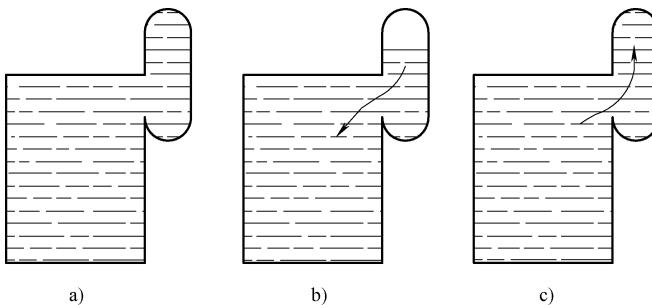
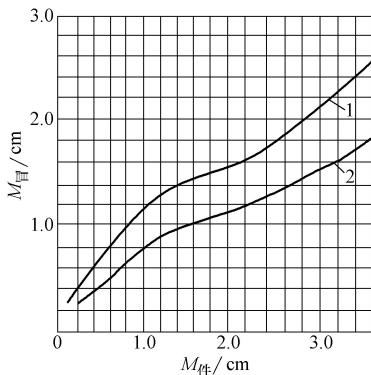


图 4-29 控制压力冒口示意图

a) 浇注结束 b) 液态收缩 c) 冒口回填

图 4-30  $M_{\text{冒}}$  和  $M_{\text{件}}$  的关系图

1—冶金质量差 2—冶金质量好

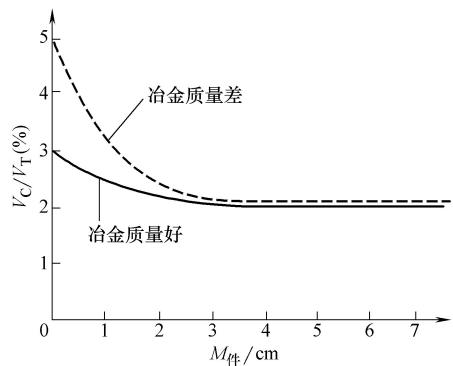


图 4-31 需要补缩金属液量与铸件模数的关系

注:  $V_t$  为设置冒口部位铸件或热节体积,  $V_c$  为铸件需补缩体积。

按所确定的冒口模数  $M_{\text{冒}}$  选定冒口尺寸, 然后按图 4-31 校核冒口的有效补缩体积。一般要求冒口有效补缩体积大于铸件的液态收缩体积, 若不能满足, 则应增大  $M_{\text{冒}}$ 。

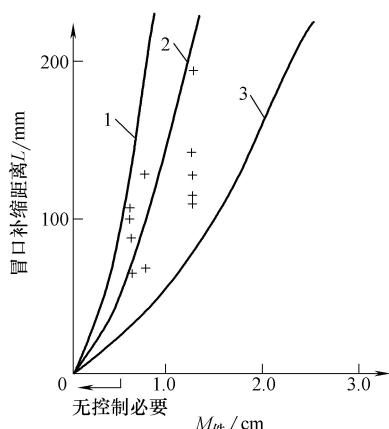
冒口颈的模数按式 (4-12) 确定。

$$M_{\text{颈}} = 0.67M_{\text{冒}} \quad (4-12)$$

冒口颈的形状可选用圆形、正方形或矩形。

(2) 冒口的有效补缩距离 控制压力冒口的补缩距离是指由凝固部位向冒口输送回填铁液的距离。这与传统的冒口补缩距离的概念不同, 该距离与铁液的冶金质量和铸件的模数密切相关, 如图 4-32 所示。冶金质量好, 模数大, 输送距离也大, 输送距离达不到的部位, 铸件内膨胀压力过高, 将导致型壁塑性变形, 使铸件胀大, 内部有可能存在缩松。

灰铸铁比球墨铸铁倾向于层状凝固, 铁液输送距离较球墨铸铁大。对于质量要求高且壁厚均匀的球墨铸件, 可根据冒口补缩距离计算冒口数量。

图 4-32 铁液输送距离与治  
金质量及铸件模数的关系1—冶金质量好 2—冶金质量中等  
3—冶金质量很差

### (3) 其他经验

- 1) 尽量采用内浇道通过侧冒口的引入方式。
- 2) 采用大气压力暗冒口。
- 3) 采用扁薄内浇道, 长度至少为厚度的 4 倍。这要求浇注后迅速凝固, 促使冒口中快速形成大缩孔, 以便容纳回填铁液。
- 4) 快浇。
- 5) 宜高温浇注, 要求浇注温度为  $1370 \sim 1450^{\circ}\text{C}$ 。
- 6) 采用冶金质量好的铁液。
- 7) 适用于湿砂型铸造模数  $M = 0.48 \sim 2.5\text{cm}$  的球墨铸铁件和  $M = 0.75 \sim 2.0\text{cm}$  的灰铸铁件。此时要求铸型硬度大于 85 标准值。控制压力冒口是应用最广泛的冒口。

### 3. 无冒口铸造

无冒口铸造适用于砂型刚性好、模数大于  $2.5\text{cm}$  的球墨铸铁件。因为模数大时冷却速度较慢, 共晶石墨化充分, 所以在坚固的铸型内, 可利用足够大的膨胀压力来消除铸件的缩孔、缩松缺陷, 实现“自补缩”。

无冒口铸造必须满足的工艺条件是:

- 1) 冶金质量好, 减少铁液的液态和凝固态收缩量, 减小缩孔、缩松倾向。
- 2) 铸件平均模数大于  $2.5\text{cm}$ 。铸件的模数大时, 可获得很高的膨胀压力。
- 3) 采用高强度、高刚度的砂型, 并且上、下型紧固牢靠, 杜绝型壁变形和抬型。
- 4) 低温浇注。将浇注温度控制在  $1300 \sim 1350^{\circ}\text{C}$ , 以减少其液态收缩。
- 5) 快浇, 防止铸型顶部被过分地烘烤和减少膨胀损失。
- 6) 采用小的扁薄内浇道, 分散引入金属液。每个内浇道的截面积不超过  $15\text{mm} \times 60\text{mm}$ , 使之尽早凝固, 促使铸件内部尽快建立起共晶膨胀压力。
- 7) 设置明出气孔, 并使其均匀布置。

### 4. 铸铁件冒口均衡凝固理论

铸铁件冒口均衡凝固理论是近年来发展起来的, 经过大推广, 获得了较大的经济效益和社会效益。

铸铁件冒口均衡凝固理论既强调用冒口进行补缩, 又强调利用石墨化膨胀的自补缩作用。

均衡凝固理论认为, 一个铸件在凝固的某一时刻, 有些部分正在收缩, 有些部分则已进入石墨化膨胀, 与此同时, 铁液相通, 则收缩和膨胀可以叠加相抵, 当某个时间收缩值与膨胀值相等时, 就达到了均衡状态。如图 4-33 所示, 在  $P$  点以后, 冒口的补缩时间中止, 只需自身的石墨化膨胀已足够补缩, 冒口仅用来补缩均衡时刻到来之前的自补不足的差额。

图 4-33 中的曲边三角形  $ABC$  表示铸件的总收缩; 曲边三角形  $ADC$  表示铸件总膨胀; 曲边三角形  $AB'P$  表示铸件的表观收缩;  $P$  为均衡点,

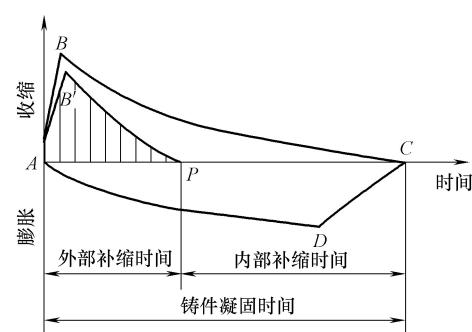


图 4-33 铸铁件凝固时收缩和膨胀的叠加

其对应的时间为收缩量等于膨胀量的时间，此时表观收缩为零，冒口补缩作用终止，铸件的收缩速度大，即收缩集中，相对石墨化膨胀后移，表观收缩大，必须加强冒口的外部补缩。这相当于小型球墨铸铁件和高牌号灰铸铁件的情况。对于厚大铸铁件，收缩速度小，相对石墨化膨胀提前，有利于胀缩相抵，使均衡点前移，从而缩短冒口的补缩时间。所以，凡有利于铸件收缩后移和石墨化膨胀提前的因素，都有利于胀缩的早期叠加，使均衡点  $P$  前移，从而使冒口尺寸减小。提高铸型刚性，可提高石墨化膨胀的利用程度，不使型壁外移，也有利于  $P$  点前移。

均衡凝固理论冒口的设计要点：

- 1) 冒口不必晚于铸件凝固，冒口尺寸或模数可以小于铸件的壁厚或模数，冒口的凝固时间只要大于或等于铸件的表观收缩时间就可以了。
- 2) 采用“短、薄、宽”的冒口颈，以保证在  $P$  点前补缩通道畅通，而在  $P$  点后，冒口颈很快凝固，便于在铸件内部建立必要的石墨化膨胀压力来完成自补缩。经近些年的研究与实践，铸铁件冒口自成体系。推荐的铸铁件冒口类型及结构如图 4-34 所示。
- 3) 冒口不应该设在铸件的热节上，冒口应靠近热节，以利于补缩，又要离开热节，以减少冒口对铸件的热干扰。
- 4) 热节（冒口根部）处应安放冷铁来平衡壁厚差，缩短热节处的凝固和收缩时间，以适应冒口的补缩，有效地防止热节（冒口根部）处产生缩松。
- 5) 利用刚性好的铸型并将其卡紧，以最大限度地利用石墨化膨胀。

## 七、提高冒口补缩效率的方法

普通冒口一般靠冒口中金属液柱的自重来进行补缩，因此又叫自重压力冒口。这种冒口的补缩效率较差，其质量占铸件质量的 40% ~ 80% 甚至更多。若能提高冒口的补缩效率，则可使冒口的质量减小，从而提高铸件的工艺出品率。

提高冒口补缩效率的途径有：

- 1) 提高冒口中金属液的补缩压力，如采用大气压力冒口等。
- 2) 延长冒口中金属保留液态的时间，如采用发热冒口和保温冒口等。

### 1. 大气压力冒口

大气压力冒口就是在暗冒口顶部插入一个透气性好的砂芯（见图 4-35b），或者在暗冒口顶部做出倒锥形的吊砂（见图 4-35c），将其伸入到冒口最热区域，由于砂芯底部或吊砂的尖端部分剧烈受热，使其晚于冒口的其他部分凝固，而大气压力却可通过砂的孔隙作用在冒口内的金属液面上，从而提高冒口的补缩压力。大气压力冒口的补缩效率为 15% ~ 20%。

机器造型中的中、小铸铁件多采用带吊砂的大气压力冒口。

铸钢件多采用带砂芯的大气压力冒口。其冒口尺寸可按普通冒口的计算方法确定。冒口高度取允许的最小值，大气压力冒口的直径  $D_{冒}$ 、冒口颈的最小尺寸  $l_1$  与铸件热节圆直径  $D_{节}$  之间可按经验公式计算，见式（4-13）和式（4-14）。

$$l_1 = (1.3 \sim 1.7) D_{节} \quad (4-13)$$

$$D_{冒} = (2.0 \sim 2.5) D_{节} \quad (4-14)$$

冒口颈若采用椭圆形，则短轴长为  $l_1$ ，而长轴取  $(1.2 \sim 1.5) l_1$ 。

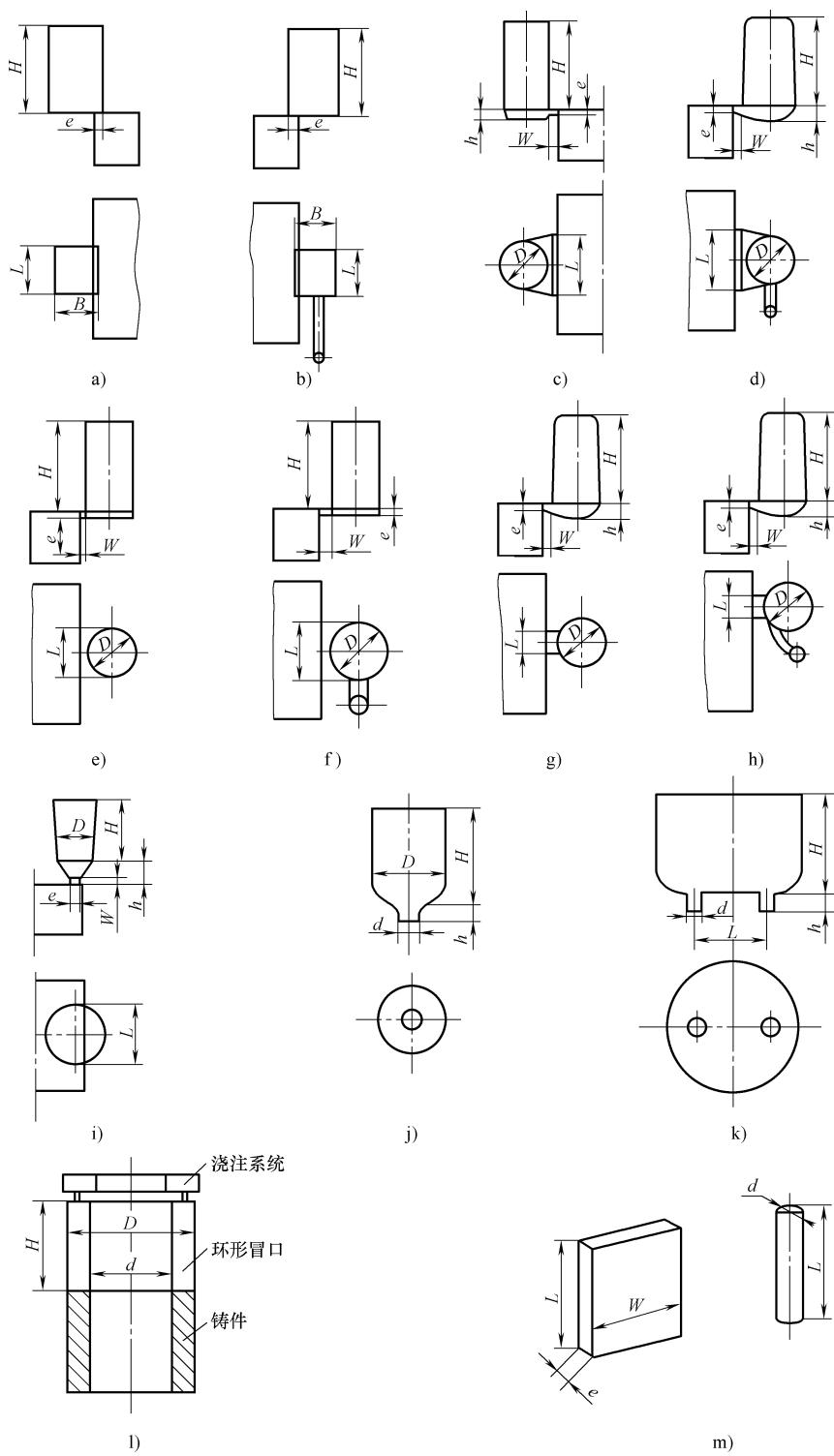


图 4-34 推荐的铸铁件冒口类型及结构

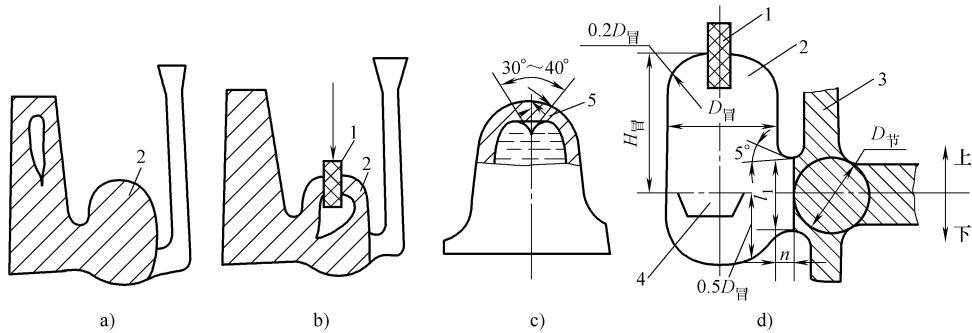


图 4-35 普通暗侧冒口和大气压力侧冒口

a) 普通侧暗冒口 b) 大气压力侧暗冒口 c) 带吊砂的侧暗冒口 d) 铸钢件用大气压力冒口举例  
1—砂芯 2—冒口 3—铸件 4—内浇道 5—吊砂 n—补缩颈长度 ( $\geq 15\text{mm}$ )

## 2. 发热冒口及保温冒口

(1) 发热冒口 发热冒口是指用发热材料制成的发热冒口套，造型时放入铸型中，形成冒口的空腔。在浇注将要结束时，在冒口顶部的液面上撒上发热剂，是为了防止冒口金属液散热过快。这种冒口利用发热材料与金属液接触时发生化学反应放出大量热量，使冒口内液态金属的作用时间延长。发热冒口的补缩效率可达  $25\% \sim 30\%$ ，其冒口的体积仅为普通冒口的  $1/2 \sim 1/4$ 。

发热套材料通常由发热剂、保温剂及黏结剂组成。其中，发热剂为铝粉和氧化铁粉，保温剂为木炭粉、木屑和煤粉，黏结剂为水玻璃和膨润土。

以下是冒口套的配方(质量分数)实例：

1) 膨润土为 2.5%，木炭粉为 53.5%，氧化铁粉为 10%，木屑为 11%，水玻璃为 20%，铝屑为 3%，水为 20% ~ 30% (占发热套材料量)。

2) 膨润土为 2.0%，氧化铁粉为 15%，木屑为 23%，水玻璃为 24%，无烟煤粉为 30%，植物油为 2%，铝屑为 4%，水适量。

3) 膨润土为 2.0%，木炭粉为 25%，氧化铁粉为 15%，木屑为 14%，水玻璃为 25%，无烟煤粉为 15%，铝屑为 4%，水适量。

发热冒口多用于直径小于 400mm 的冒口。由于发热冒口使用的材料较贵，且混合料混合不当时，冒口作用不稳定，另外，发热冒口燃烧时会产生大量的烟气，对环境的操作不利，故进一步发展了保温冒口。

(2) 保温冒口 保温冒口通常采用蓄热系数小的材料制成像发热套那样的保温套，只是套的根部不用再加型砂层，因为它不会使铸钢件增碳。影响保温冒口保温性能的主要因素有保温材料的蓄热系数和保温套的壁厚。

保温冒口的蓄热系数值越小，保温性能就越好，所以要求保温材料在保持高温体积稳定的条件下，密度越小越好，导热率越低越好。保温冒口常用材料见表 4-9。

试验结果表明，珍珠岩、发泡石膏和陶瓷棉三种材料中以陶瓷棉为最好。用这种材料做的冒口体积为普通冒口体积的  $1/8$ 。

表 4-9 保温冒口用材料

材料	主要成分
珍珠岩	膨胀珍珠岩 95% (体积分数), 水玻璃 4% (体积分数), 质量分数为 10% 的 NaOH 水溶液 1% (体积分数)
发泡石膏	石膏 78% (质量分数), 水泥 20% (质量分数), 发泡剂 0.25% (质量分数), 促凝剂 (钾矾) 0.5% (质量分数), 水 (另加)
陶瓷棉	陶瓷棉加木质纤维素
湿型砂	红砂 100/200, 水分约为 6% (质量分数)

保温冒口壁越厚, 保温效果越好。但当壁厚 ( $\delta$ ) 与保温冒口模数 ( $M$ ) 之比  $\delta/M \geq 1$  时, 保温效果增加不明显。由此可见, 保温冒口过厚是不经济的。一般保温冒口的补缩效率为 25% ~ 30%, 冒口体积与普通冒口相比可减小 50% 左右。应用保温冒口, 其带来的经济效益是明显的。

延长冒口中金属液补缩作用的方法还有采用加氧冒口和电弧加热冒口。加氧冒口的作用原理是在铸型充满一定时间内, 向冒口顶部吹入氧气, 使补加的发热剂 (硅铁和锰铁) 氧化发热, 从而使冒口中的钢液温度提高, 而浮在冒口顶面的熔渣又可形成多孔性保温层, 不仅使冒口顶部的结壳时间延长, 而且使大气压力长时间作用在冒口中的钢液上, 使冒口的补缩效率得以提高。这种方法一般用在重型件的大尺寸明冒口上。

电弧加热冒口用于重型铸钢件的生产中。例如, 大型轧钢机架和大型水轮机转子, 从浇注到完全凝固需数小时以上, 在这段时间内, 采用石墨电极的电弧加热冒口, 可使冒口内金属保持熔融状态, 从而保证铸件得到充分补缩。

## 第七节 补贴与冷铁的应用

### 一、补贴的应用

为增加冒口的补缩效果, 沿冒口补缩距离向着冒口方向铸件断面逐渐增厚的多余金属称为补贴。冒口附近热节或铸件尺寸超出冒口补缩距离时, 利用补贴可造成向冒口敞开的补缩通道实现补缩。应用补贴可防止铸件下部热节处产生缩孔, 还可以延长补缩距离, 减少冒口数量。

去除金属补贴会增加铸件清理和机械加工时。为克服补贴的这一缺点, 可以应用加热补贴和发热补贴, 如图 4-36 所示。加热补贴的耐火隔片至少要被金属液加热到 1480°C 才有效。发热 (保温) 补贴的应用具有良好的经济效益。

根据在铸件上位置的不同, 补贴又分为垂直补贴和水平补贴。水平补贴 (见图 4-37) 的最大长度为冒口模数的 4.7 倍。截面 A—A 处的补贴模数应按冒口颈模数计算, 即  $M_1 = ab/[2(a+b-c)]$ 。

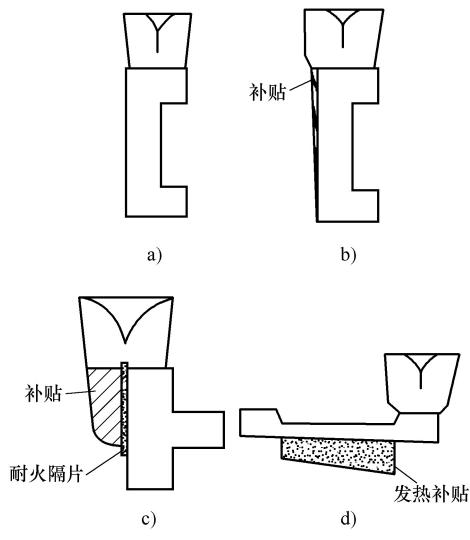


图 4-36 补贴种类

a) 补贴 b) 金属补贴 c) 加热补贴  
d) 发热 (保温) 补贴

垂直补贴的尺寸可依图 4-38 确定。图 4-38 所示为对板型碳素钢铸件进行顶注、立浇试验后经 X 射线检查而总结出来的关系曲线，表示补贴厚度  $a$  和铸件壁高  $H$ 、壁厚  $t$  间的关系。

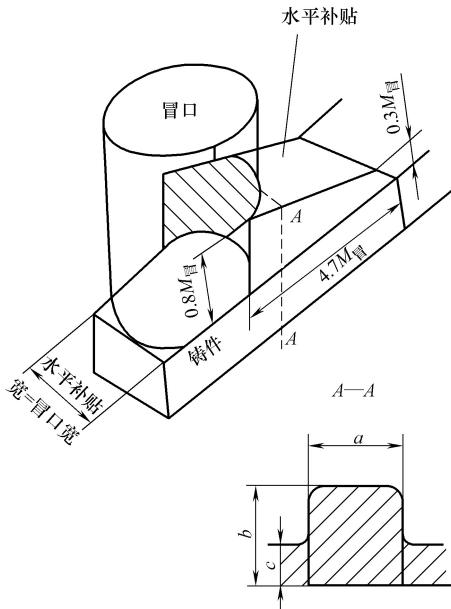


图 4-37 水平补贴

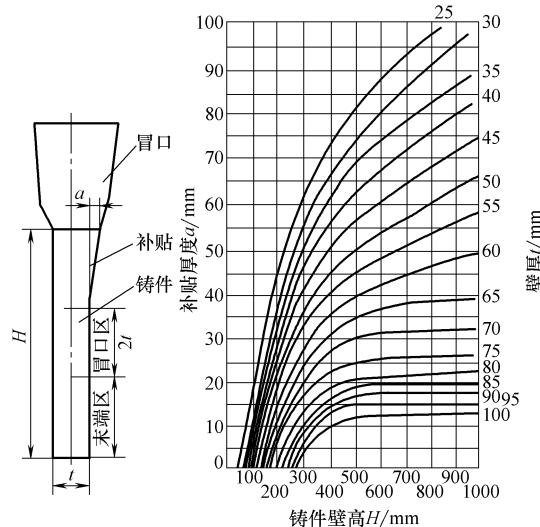


图 4-38 垂直补贴厚度与铸件壁高、壁厚的关系曲线

当生产条件与上述试验有差别时，若用于杆件（断面宽厚比小于 5:1），则采用底注式浇注系统。对于高合金钢铸件，需要将图 4-38 给出的补贴厚度乘以补偿系数。铸钢件垂直补贴的补偿系数见表 4-10。

表 4-10 铸钢件垂直补贴的补偿系数

补偿原因	补偿条件		补偿系数
杆件比板件的冒口补缩距离小，需要有较大的补贴厚度才能保证铸件致密	杆件断面宽厚比	4:1	1.0
		3:1	1.25
		2:1	1.5
		1.5:1	1.7
		1.1:1	2.0
充型方式和化学成分不同	底注式，碳素钢及低合金钢铸件		1.25
	顶注式，高合金钢铸件		1.25
	底注式，高合金钢铸件		1.25 × 1.25 = 1.56

注：实际应用的垂直补贴厚度等于图 4-38 中查出的  $a$  值乘以补偿系数。

齿轮铸件轮缘和轮毂的补贴尺寸多采用滚圆法确定。图 4-39 所示为齿轮铸件轮缘和轮毂补贴的具体求法。

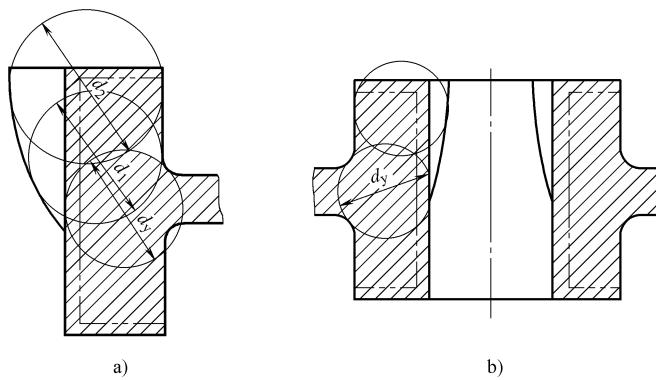


图 4-39 齿轮铸件轮缘和轮毂补贴的具体求法

a) 轮缘的补贴 b) 轮毂的补贴

1) 按比例画出轮缘和轮毂（最好用 1:1），并添上加工余量（用双点画线表示切削加工以后的截面轮廓）。

2) 画出热节圆直径  $d_y$ ，考虑到砂尖角效应，需将其做必要的扩大，通常把作图得出的内切圆直径  $d_y$  加大 10 ~ 30mm。

3) 按图 4-39a 那样自下而上地滚圆，使  $d_1 = 1.05d_y$ ,  $d_2 = 1.05 d_1$ ,  $d_1$  和  $d_2$  的圆心分别在  $d_y$  和  $d_1$  的圆周上，且  $d_1$  和  $d_2$  均与轮缘内壁相切。

4) 连接各滚圆外切点，就可得到所需要的补贴外形曲线。

图 4-39b 所示为轮毂的补贴。一般来说，轮毂不铣齿，对它的要求没有对轮缘的要求高，只要用热节内切圆沿着轮毂内壁连续滚到轮毂冒口根部，然后作出这些圆的外切线，即可得到轮毂冒口的补贴。其作图步骤与轮缘冒口补贴相似，但滚圆的直径不变。这种补贴在轮毂的圆周上都有。如果轮毂要求很高，同样也可以用轮缘冒口的滚圆补贴法。

## 二、冷铁的应用

为增加铸件局部的冷却速度，在型腔内安放的金属物或其他激冷物称为冷铁。冷铁按在型腔内放置部位的不同，可分为内冷铁和外冷铁。

冷铁的作用主要是：

- 1) 加快铸件局部的冷却速度。
- 2) 改变铸件的温度场。
- 3) 控制整个铸件的凝固特征，改变铸件的局部组织，提高铸件合格率。

### 1. 外冷铁

外冷铁作为铸型的一部分，浇注后不与铸件熔合，落砂后可回收并重复使用。外冷铁的材料以导热性好、热容量大、有足够的熔点为佳。常用的材料有轧制钢材和铸铁、铸钢的成型冷铁。其形状一般根据铸件需激冷部位的形状确定。

外冷铁的种类可分为直接外冷铁和间接外冷铁。直接外冷铁如图 4-40 所示。它与铸件

直接接触，激冷能力强。如果直接外冷铁因激冷作用太强而使铸件产生裂纹，则可采用间接外冷铁，如图 4-41 所示。间接外冷铁与被激冷铸件之间有厚度为 10~20mm 的砂层相隔，故又称为暗冷铁或隔砂冷铁。

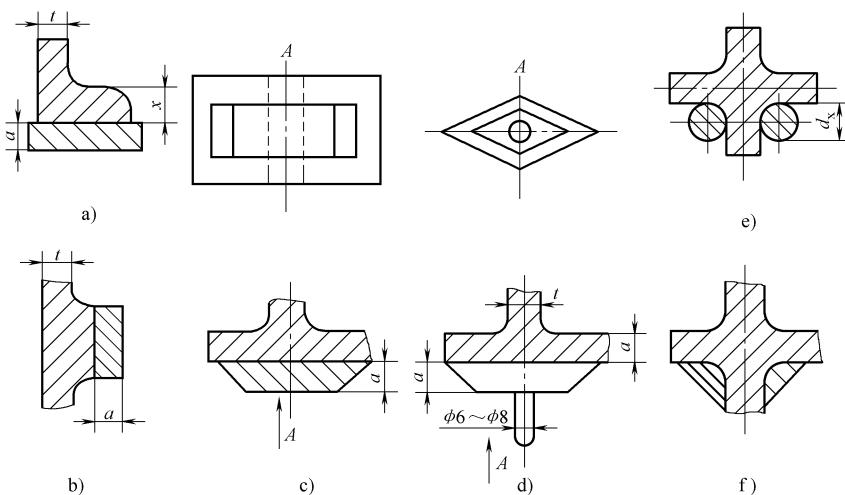


图 4-40 直接外冷铁

a) b) 平面直线形 c) 带切口平面 d) 平面棱形 e) 圆柱形 f) 异形

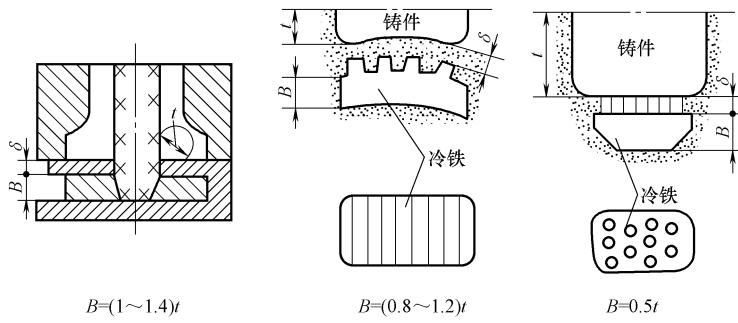


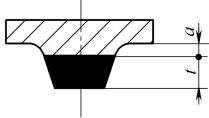
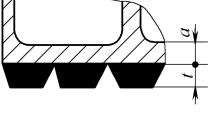
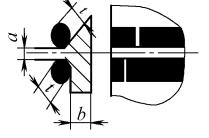
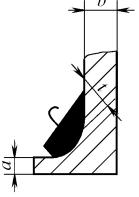
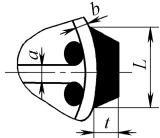
图 4-41 间接外冷铁

常用外冷铁的位置和尺寸见表 4-11。

表 4-11 常用外冷铁的位置和尺寸

冷铁安放位置	尺寸	备注
	$t = (0.5 \sim 0.7)a$	如法兰宽度较大(超过 200),外冷铁可分为内外两圈或多圈交错安放

(续)

冷铁安放位置	尺寸	备注
	$t = (0.7 \sim 1.0)a$	—
	$t = (0.6 \sim 0.7)a$	—
	(1) $b > a, t = (0.6 \sim 0.8)a$ (2) 根据圆角处半径, 采用相同 $R$ 的冷铁	转角半径小于或等于 $R15$ 时, 放圆钢外冷铁; 转角半径大于 $R15$ 时, 用成型圆冷铁
	(1) $b > a, t = (0.7 \sim 0.9)a$ (2) 按转角处半径, 采用相同 $R$ 的冷铁	转角半径小于或等于 $R15$ 时, 放圆钢外冷铁; 转角半径大于 $R15$ 时, 用成型圆冷铁
	圆角冷铁根据转角半径放 $t = (0.5 \sim 0.6)a$ $L = 100 \sim 200\text{mm}$	转角半径小于或等于 $R15$ 时, 放圆钢外冷铁; 转角半径大于 $R15$ 时, 用成型圆冷铁

安放冷铁时应注意的几个问题:

- 1) 冷铁工作表面不得有孔洞、裂纹、氧化皮等缺陷。为了提高冷铁的使用寿命和防止与铸件熔接, 冷铁的工作表面可刷涂料, 且应保持干燥。
- 2) 在铸件厚度大于 150mm 时, 尽量不用外冷铁, 以免与铸件熔接。
- 3) 板状外冷铁厚度不宜超过 80mm, 圆钢外冷铁直径不宜超过 40~50mm, 这是因为冷

铁的激冷效果并不随厚度的增大而一直增加。所以，厚壁铸件最好采用内冷铁激冷。

4) 厚大的板状外冷铁的四周应作成 $45^{\circ}$ 的斜面，使砂型和冷铁界面处平缓地过渡，防止因温差过大而使铸件产生裂纹，如图 4-42 所示。

5) 外冷铁的长度不宜太长，否则会使其安放困难，或因膨胀变形将砂型挤坏，铸件也易产生裂纹。所以当激冷面积较大时，可将外冷铁分成小块，按一定间隔安放，其间隔一般可为铸件壁厚的 2 倍左右，效果不减，如图 4-43 所示。

6) 冷铁安放位置要得当，保证补缩通道畅通，避免在热节处形成缩孔，

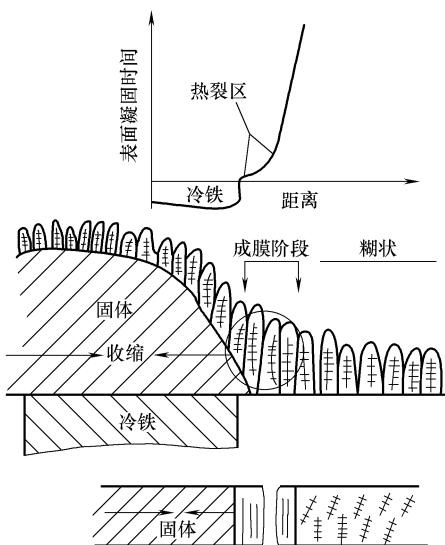


图 4-42 冷铁边界处的裂纹

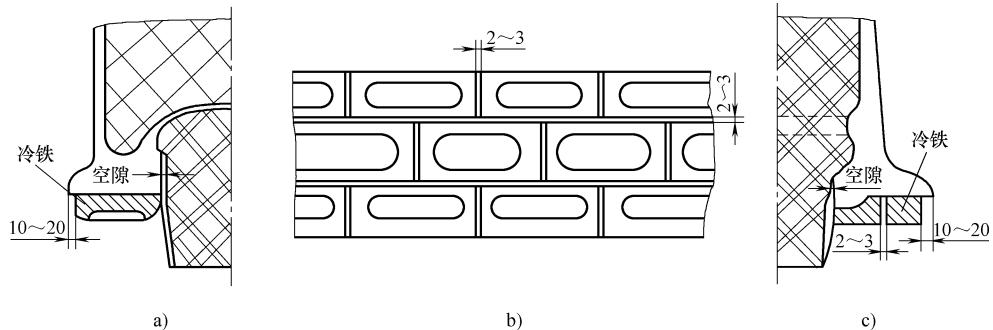


图 4-43 机床床身使用冷铁工艺

如图 4-44 所示。当冷铁和冒口配合使用时，冷铁离冒口不能太近，否则会加速冒口冷却，降低冒口的补缩效果，如图 4-45 所示。

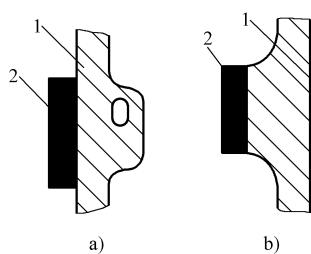


图 4-44 冷铁位置对补缩通道的影响

a) 补缩通道变小 b) 补缩通道正常

1—铸件 2—冷铁

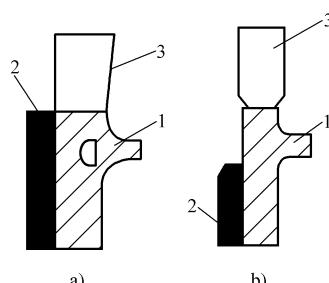


图 4-45 冷铁位置对冒口补缩力的影响

a) 冒口补缩力减弱 b) 冒口补缩力正常

1—铸件 2—冷铁 3—冒口

## 2. 内冷铁

将金属激冷物直接插入需要激冷的部位的型腔中，浇注后该激冷物对金属液产生激冷并同金属熔接在一起，最终成为铸件的一部分。这种激冷物称为内冷铁。

内冷铁通常在外冷铁激冷效果不够时才采用，而且多用于厚大且质量要求不高的铸件，如铁型砧、落锤等。对于承受高温、高压的铸件，不宜采用内冷铁。

图 4-46 所示为铸钢件常用内冷铁的形状和放置方法。

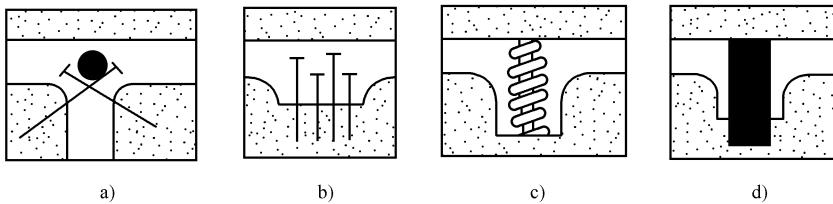


图 4-46 铸钢件常用内冷铁的形状和放置方法

a) 横卧圆钢冷铁 b) 插钉冷铁 c) 螺旋形内冷铁 d) 直立圆头冷铁

确定内冷铁的尺寸、重量和数量的原则是：冷铁要有足够的激冷作用以控制铸件的凝固，且能够和铸件本体熔接在一起而不削弱铸件强度。

内冷铁的质量  $m_{\text{冷}}$  可根据经验公式计算，即

$$m_{\text{冷}} = K m_{\text{件}} \quad (4-15)$$

式中  $m_{\text{件}}$  —— 铸件或热节部位的质量 (kg)；

$K$  —— 比例系数，即内冷铁质量与铸件热节部分质量的比值，见表 4-12。

表 4-12  $K$  值的选定

铸钢件类型	$K \times 100$	内冷铁直径/mm
小型铸件或要求高的铸件	2~5	5~15
中型铸件或铸件上不太重要的部分，如凸肩等	6~7	15~19
大型铸件对熔化内冷铁非常有利时，如床座、锤头、型砧	8~10	19~30

使用内冷铁时应注意的几个问题：

- 1) 内冷铁的表面应十分干净，使用前应除去锈、油污及水分。
- 2) 干型中的内冷铁应在铸型烘干后放入型腔；水玻璃砂型和湿型放置内冷铁后应尽快浇注，以免冷铁表面氧化、聚集水分而使铸件产生气孔。
- 3) 需要存放的内冷铁必须镀锡防锈。
- 4) 放置内冷铁的上方砂型应有明出气孔或明冒口。

概括以上内容，为获得优质铸件，应根据铸件的凝固特点和具体的要求选择正确的凝固原则，以控制铸件的凝固。为实现某种凝固原则，应综合运用冒口、冷铁和补贴等工艺措施，以达到预期目的。

## 第八节 铸件收缩缺陷与冒口补缩系统设置关系的实例分析

冒口的主要作用是在铸件形成过程中提供由于体积变化而需要补偿的金属液，以防止在

铸件内出现收缩缺陷。合适的冒口工艺可以有效地防止或减少铸件的收缩缺陷。收缩缺陷与合金的凝固特性有关，也与冒口自身的设计有关。

本节主要介绍铸件收缩缺陷与冒口设计的要因分析。

众所周知，大多数铸件在凝固过程中需要设置冒口，但是对不同的铸件结构、不同的合金却有不同的冒口设计方法，主要是源于它们的凝固特征。因此，在设计冒口时，首先应根据铸造合金的种类确定冒口的设计原则，其次要根据铸件的结构、生产批量、生产条件等确定其设计原则。

因为铸造合金的种类繁多，所以在此仅以铸钢通用的冒口为例，说明冒口设计的一般过程。此实例用模数法进行冒口设计。

实例名称：80t 启闭机大齿轮冒口的设计。

### 1. 生产条件及技术要求

(1) 生产性质 单件生产。

(2) 材质 ZG 340-640。

(3) 结构及使用条件 大齿轮齿顶圆直径为 1334.4mm，单辐板，靠近轮毂部分辐板较薄，厚度只有 40mm，一侧分布有六条 25mm 厚的肋条。辐板外圆稍厚，为 70mm。考虑加工余量后，铸件的轮缘及中央轮毂较厚大，轮缘和辐板交接处形成热节，热节圆直径达 140mm；轮缘和辐板交接处热节圆直径达 80mm。该齿轮可分为三个部分，厚实的中央轮毂、薄壁的辐板和厚大的轮缘。

铸钢大齿轮在机器中主要用来传递转矩。

(4) 主要技术要求 根据 GB 11352—2009，ZG 340-640 的化学成分为： $w(C) \leq 0.6\%$ ， $w(Si) \leq 0.6\%$ ， $w(Mn) \leq 0.9\%$ ， $w(P) \leq 0.035\%$ ， $w(S) \leq 0.035\%$ ，抗拉强度  $R_m \geq 640\text{ MPa}$ ，屈服强度  $R_{eH} \geq 340\text{ MPa}$ ，断后伸长率  $A \geq 10\%$ 。铸件机加工前经正火处理，硬度为 160~210HBW。由于齿轮要传递转矩，因此要求铸件不得有缩孔、缩松缺陷，铸件内外表面无气孔、砂眼、夹渣、粘砂等缺陷。

(5) 造型、熔炼、浇注 手工刮板造型，水玻璃砂烘干型，型砂成分为：40/70 目硅砂 100%，白泥为石英砂质量的 5%，水玻璃（模数 2.2）为石英砂质量的 7%。5t 电弧炉炼钢，用 7t 漏包浇注，浇注温度为 1490~1530℃（热电偶）。

### 2. 铸造工艺方案

(1) 凝固原则的选择 铸钢的体收缩大，且齿轮的轮缘和轮毂部分较大，与辐板交接处形成热节区，很容易形成缩孔、缩松缺陷，因此，应按顺序凝固的原则进行铸造工艺设计。在轮缘、轮毂处分别设置冒口。浇注后，薄壁的辐板先凝固，其液态和凝固收缩分别由厚壁的轮缘和轮毂处的钢液补给，冒口最后凝固，用来补给轮缘及轮毂处凝固所需要的钢液，以便消除缩孔、缩松缺陷。

(2) 浇注位置及分型面的确定 浇注方案如图 4-47 所示。

方案 1 及方案 2 都可行。由于 70mm 厚的辐板及六条肋都偏向一侧，故方案 2 优于方案 1。这样，在轮毂上方设置冒口，六条肋可以起到增加补缩通道的作用，能更有效地对 40mm 辐板处进行补缩。对轮缘冒口而言，对 70mm 厚的辐板处，因补缩距离较近而更有效。因此，确定采用方案 2，即分型面通过轮缘表面。浇注位置为：六条肋呈向上位置，轮毂中央设置砂芯，采用刮板造型，六条肋、个别小搭子及冒口需制造木模。

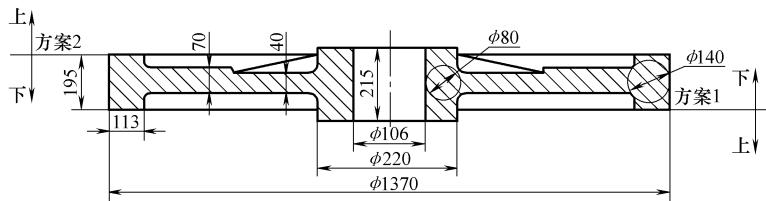


图 4-47 浇注方案

所采用的铸造工艺图如图 4-48 所示。

### 3. 主要工艺参数

(1) 机械加工余量 按单件、小批量碳素钢铸件的生产经验数据选取。由于是刮板造型，精度较差，因此应将机械加工余量适当加大一些。上表面加工余量为 15mm，底面加工余量为 10mm，齿顶圆外表面加工余量为 18mm，中央轮毂加工余量为 12mm。

(2) 铸造收缩率 2.0%。

(3) 轮缘厚度的工艺补正量 依齿轮的生产经验，取  $e = 4\text{mm}$ 。

### 4. 冒口设计

首先按图样尺寸，计算出铸件的理论重量为 12.52kN。型腔的扩大量按 6% 计，则  $12.52\text{kN} \times 6\% = 0.75\text{kN}$ ，故铸件重量为  $12.52\text{kN} + 0.75\text{kN} \approx 13.3\text{kN}$ 。

(1) 轮缘冒口

1) 铸件模数。可将轮缘部分近似看作“T”形杆件，因而

$$M_{\text{件}} = \frac{ab}{2(a+b)-c} \quad (4-16)$$

式中  $a$ ——铸件图上轮缘厚度，为 113mm。但由于冒口下部设置补贴，轮缘实际厚度增大，故此处以热节圆直径 140mm 作为  $a$ ；

$b$ ——轮缘高度，195mm；

$c$ ——辐板与轮缘交接处厚度，70mm。

于是有

$$M_{\text{件}} = \frac{14 \times 19.5}{2 \times (14 + 19.5) - 7} \text{cm} = 4.55 \text{cm}$$

2) 冒口模数。 $M_{\text{冒}} = 1.2M_{\text{件}} = 1.2 \times 4.55 = 5.46 \text{cm}$ 。

3) 冒口尺寸的确定。依腰圆形暗冒口的形状（见图 4-49）和尺寸、重量、模数系列，查得  $M_{\text{冒}} = 5.52\text{cm}$  时，冒口尺寸为  $A = 240\text{mm}$ ， $B = 480\text{mm}$ ， $H = 310\text{mm}$ ，每个冒口重 2.06kN。

4) 用铸件所需补给量求出冒口个数。该冒口能补缩铸件的最大重量  $W_{\text{件(最大)}}$  为

$$W_{\text{件(最大)}} = W_{\text{冒}} \frac{\eta - \varepsilon}{\varepsilon} \quad (4-17)$$

式中  $\eta$ ——冒口的补缩效率，一般可取 14%；

$\varepsilon$ ——钢液的凝固收缩值，对 ZG 340-640，浇注温度为 1530℃ 时， $\varepsilon = 5.4\%$ 。

$$W_{\text{件(最大)}} = 2.06 \times \frac{14 - 5.4}{5.4} \text{kN} = 3.28 \text{kN}$$

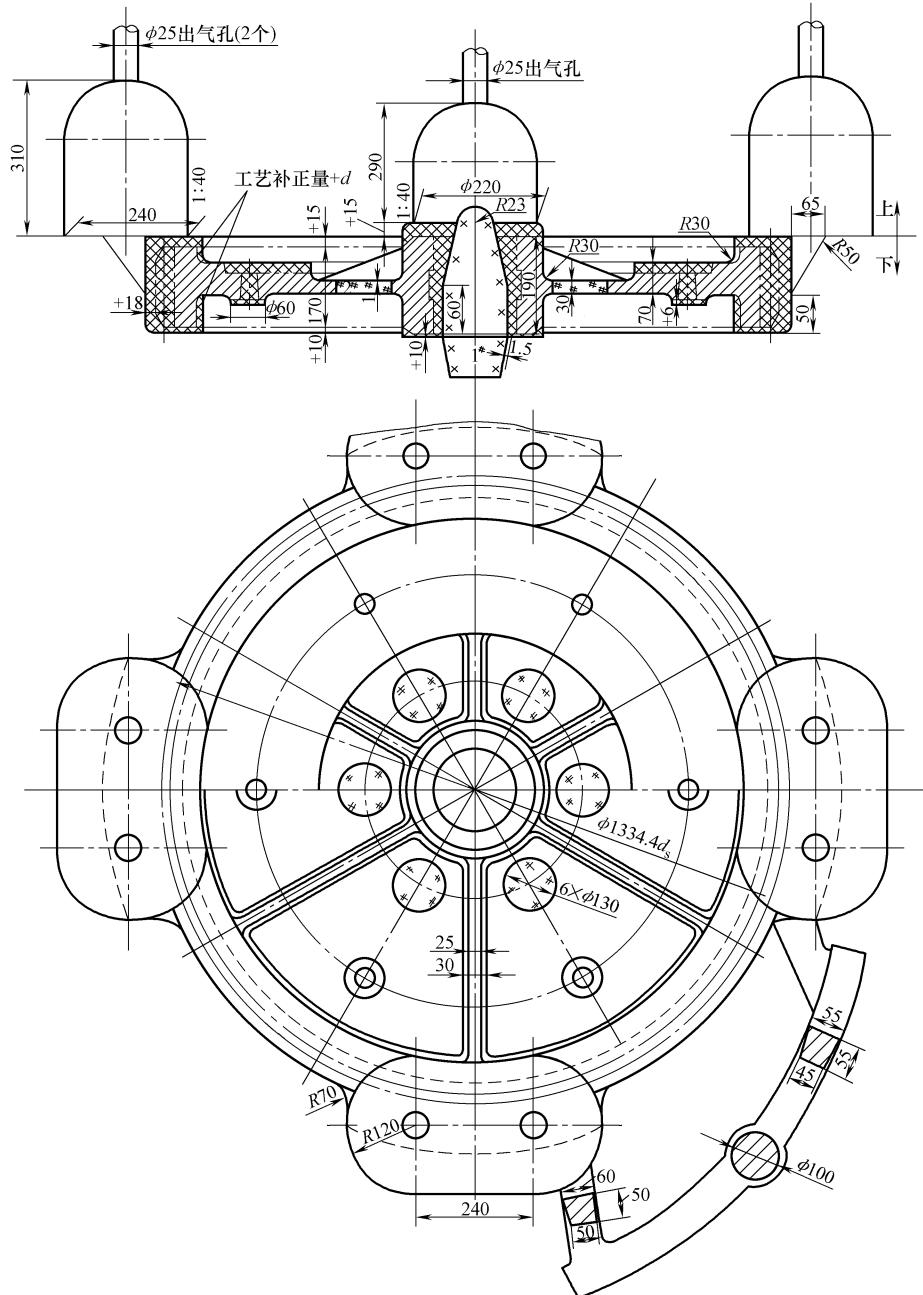


图 4-48 铸造工艺图

由图样尺寸计算出铸件的轮缘重量  $W_1 + W_2 = 7.10\text{kN} + 4.05\text{kN} = 11.45\text{kN}$ ，因此，可算出冒口个数  $n$ 。

$$n = \frac{W_1 + W_2}{W_{\text{件(最大)}}} = \frac{11.45\text{kN}}{3.28\text{kN}} = 3.49$$

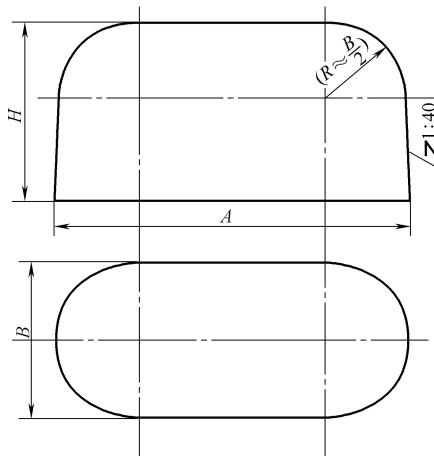


图 4-49 腰圆形暗冒口尺寸

决定采用四个腰圆形暗冒口。

5) 验算冒口补缩距离。冒口的补缩距离可按图 4-21 中相应尺寸选取。按图 4-21 中的曲线 5 (按厚度为 140mm、宽 195mm 的杆件) 查得冒口补缩距离约为 170mm, 而每个冒口单边作用区长度  $l$  为

$$l = \frac{\pi D - 4(A + 2K)}{8} \quad (4-18)$$

式中  $D$ ——热节圆直径, 为 1230mm;

$A$ ——冒口根部长度 (mm);

$K$ ——水平补缩长度, 为 70mm。

故得

$$l = \frac{1230 \times \pi - 4 \times (480 + 2 \times 70)}{8} \text{ mm} \approx \frac{1360}{8} \text{ mm} = 170 \text{ mm}$$

验算结果表明: 每个冒口单边作用区长度  $l = 170 \text{ mm}$ , 与查得的冒口补缩距离相等, 用四个腰圆冒口正好可以满足要求。

6) 轮缘冒口补贴。垂直补贴宽度  $K$  用的经验公式为

$$K = D_0 - t + \frac{H}{5} \quad (4-19)$$

式中  $D_0$ ——热节圆直径, 为 140mm;

$t$ ——轮缘厚度, 为 113mm;

$H$ ——轮缘高度, 为 195mm。

$$K = 140 \text{ mm} - 113 \text{ mm} + \frac{195 \text{ mm}}{5} = 66 \text{ mm}$$

取  $K$  为 65mm。

补贴从热节下部, 距底面 50mm 处开始, 以免补缩通道被堵塞。

(2) 轮毂冒口

1) 铸件模数。轮毂部分可近似地看作 “T” 形杆围成的空心圆柱体, 因此, 铸件模

数为

$$M_{\text{件}} = \frac{fa \times b}{2(fa + b) - c} \quad (4-20)$$

式中  $a$ ——热节圆直径 (mm)；

$f$ ——考虑砂尖效应而放大的系数；

$b$ ——轮缘高度 (mm)；

$c$ ——非散热边长度，这里为辐厚 (mm)。

取  $a = 80\text{mm}$ ,  $f = 1.1$ ,  $b = 115\text{mm}$ ,  $c = 40\text{mm}$ , 则

$$M_{\text{件}} = \frac{1.1 \times 8 \times 21.5}{2 \times (1.1 \times 8 + 21.5) - 4} \text{cm} = 3.34\text{cm}$$

## 2) 冒口模数

$$M_{\text{冒}} = 1.2 M_{\text{件}} = 1.2 \times 3.34\text{cm} = 4\text{cm}$$

3) 选定冒口尺寸。查相关资料得  $M_{\text{冒}} = 4.04$  时，尺寸为  $\phi 220\text{mm} \times 290\text{mm}$ ，重量  $M_{\text{冒}} = 693\text{N}$ 。

4) 验算冒口补缩能力。冒口补缩能力的计算公式为

$$W_{\text{件(最大)}} = W_{\text{冒}} \frac{\eta - \varepsilon}{\varepsilon} = 693\text{N} \times \frac{14 - 5.4}{5.4} = 1100\text{N}$$

轮毂部分重量仅为  $550\text{N}$ ，辐板与之连接处也只有  $40\text{mm}$  厚，由于有六条肋估计补缩辐板重量的  $1/2$ ，辐板重  $950\text{N}$ ，故所需补缩铸件的总重量为

$$550\text{N} + \frac{950\text{N}}{2} = 1025\text{N}$$

可见，冒口有足够的补缩能力。

5) 冒口补贴宽度。经验公式为

$$K_1 = (D_1 - t_1) + 5 \sim 20\text{mm} \quad (4-21)$$

式中  $D_1$ ——热节圆直径 (mm)；

$t_1$ ——轮毂厚度 (mm)。

因  $D_1 = 80\text{mm}$ ,  $t_1 = 57\text{mm}$ , 故冒口补贴宽度为

$$K_1 = (80\text{mm} - 57\text{mm}) + 7\text{mm} = 30\text{mm}$$

补贴从热节下部，距底部  $60\text{mm}$  处开始，以免补缩通道被堵塞。

(3) 验算工艺出品率 浇注系统重量估计为  $800\text{N}$ 。

$$\text{工艺出品率} = \frac{13300\text{N}}{13300\text{N} + 4 \times 2060\text{N} + 693\text{N} + 800\text{N}} \times 100\% = \frac{13300}{23033} \times 100\% \approx 57.7\%$$

依据相关资料，查得工艺出品率应为  $56\% \sim 62\%$ ，说明工艺出品率是合适的。

## 复习思考题

1. 冒口的作用是什么？常用哪几种形式的冒口？
2. 铸钢冒口和铸铁（灰铸铁和球墨铸铁）冒口在设计原则上有哪些相同点和不同点？
3. 用模数法计算冒口有什么优缺点？
4. 球墨铸铁的实用冒口有几种？其补缩原理有何异同？
5. 比较传统冒口颈和几种实用冒口颈的冻结时间，并排出顺序，指明应在何时冻结。

# 第五章

## 铸造合金熔炼与铸件热处理

**培训目标** 了解铸造合金的种类，熟悉铸造合金的力学性能及物理性能特点；掌握铸造合金熔炼设备及熔炼工艺；熟悉常用合金元素对铸造合金的金相组织、力学性能的影响，并能通过化学成分的调整使其达到所要求的力学性能和金相组织；在铸造合金的熔炼方面，能提出扩大熔炼设备使用范围的改进方案，迅速排除熔炼设备的常见故障；能选用耐火材料来修补无芯感应电炉，并对熔炼设备提出修理、修改、修补的工艺要求；能根据各类铸造合金的应用场合编制热处理工艺。

### 第一节 铸铁及其熔炼

本节主要介绍灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁的性能特点、生产工艺和有关的基本知识，冲天炉及工频感应电炉熔炼铸铁的基本知识及工艺。

#### 一、铸铁的分类及用途

铸铁是指碳的质量分数大于 2.11% 或者组织中具有共晶组织的铁碳合金。工业上所用的铸铁，实际上都不是简单的铁-碳二元合金，而是以铁、碳、硅为主要元素的多元合金。铸铁的化学成分范围大致为： $w(C) = 2.11\% \sim 4.0\%$ ， $w(Si) = 0.6\% \sim 3.0\%$ ， $w(Mn) = 0.2\% \sim 1.2\%$ ， $w(P) = 0.04\% \sim 1.2\%$ ， $w(S) = 0.04\% \sim 0.2\%$ 。有时还可加入其他合金元素，以便获得各种性能的合金铸铁。

铸铁是近代工业生产中应用最为广泛的一种铸造合金材料。在一般机械制造、冶金、矿山、石油化工、交通运输和国防工业等部门中，铸铁件质量占所有机器质量的 45% ~ 90%。学习和研究铸铁制造技术，对于发展铸铁生产，充分发挥铸铁件在国民经济各部门中的作用是很有意义的。

工业生产中较为常见的铸铁的分类及其应用见表 5-1。

表 5-1 铸铁的分类及其应用

类别	组织特征	断口特征	成分特征	性能特征	用 途
工程结构件用铸铁	1. 灰铸铁 (普通灰铸铁、高强度铸铁)	基体 + 片状石墨	灰口	仅含 C、Si、Mn、P、S 五元素或外加少量合金元素	$R_m = 150 \sim 400 \text{ MPa}$ ，基本上无塑性 大量地应用于各种机器零件，如机床、内燃机、汽车、农用机械等
	2. 球 墨 铸铁	基体 + 球状石墨	灰口(银白色断口)	1. 普通五元素或外加不同量的合金元素 2. $w(\text{Mg}_{\text{残}}) \geq 0.03\%$ 、 $w(\text{RE}_{\text{残}}) \geq 0.02\%$	$R_m = 400 \sim 900 \text{ MPa}$ ， $A = 2\% \sim 20\%$ ， $a_K = 15 \sim 120 \text{ J/cm}^2$ 应用于受力复杂，强度、韧性、耐磨性要求较高的零件，如曲轴、齿轮、连杆等

(续)

类别	组织特征	断口特征	成分特征	性能特征	用途	
工程结构件用铸铁	3. 蠕墨铸铁	基体 + 蠕虫状石墨(往往伴有少量球状石墨)	灰口(斑点状断口)	同球墨铸铁,但Mg <sub>残</sub> 及RE <sub>残</sub> 的含量稍低	$R_m$ 、A比球墨铸铁低,但高于灰铸铁	高强度零件,如机床零件等,耐热零件,如汽缸盖,小型钢锭模,发动机排气管等
	4. 可锻铸铁(黑心)	生坯:珠光体+莱氏体 退火后:基体+团絮状石墨	生坯:白口 退火后:灰口(黑色绒状断口)	低碳,低硅,铬的质量分数小于0.06%	$R_m = 300 \sim 700 \text{ MPa}$ , A = 2% ~ 12%	用于受冲击、振动的零件,如汽车后桥外壳、弹簧、钢板支座、机床把手等,也可用于阀门、管件、农机零件、线路金属器具等
特殊用途铸铁	5. 抗磨铸铁	基体 + 不同类型的渗碳体	白口(中锰铸铁及冷硬铸铁例外)	除五元素外,可加入低、中、高量的合金元素	主要有高的耐磨性能,但韧性较低	农机磨损件、球磨机磨球、衬板、抛丸机叶片、电厂灰渣泵零件、磨煤机易损部件、冷硬铸件等
	6. 耐热铸铁	基体 + 片状或球状石墨	灰口	有Si、Al、Cr系(中硅、高铝、中硅铝、高铬等铸铁)	有高的耐热性及抗氧化性能,但强度较低、较脆	锅炉配件、石油化工、冶金设备、加热炉中的耐热零件
	7. 耐蚀铸铁	基体 + 片状或球状石墨	灰口	主要合金元素有Si、Ni,含量高	主要有高的耐蚀性能	化工工业中的各种耐酸、碱、氯、海水、盐等腐蚀的零件

## 二、铸铁

### 1. 灰铸铁

(1) 灰铸铁的牌号 抗拉强度是灰铸铁最主要的力学性能,灰铸铁的牌号就是按其大小来区分的。根据GB/T 9439—2010《灰铸铁件》的规定,按单铸 $\phi 30 \text{ mm}$ 试棒的最小抗拉强度值将灰铸铁分为八种,见表5-2。

表5-2 按单铸试棒性能分类

牌号	抗拉强度 $R_m/\text{MPa}$	牌号	抗拉强度 $R_m/\text{MPa}$
HT100	$\geq 100$	HT250	$\geq 250$
HT150	$\geq 150$	HT275	$\geq 275$
HT200	$\geq 200$	HT300	$\geq 300$
HT225	$\geq 225$	HT350	$\geq 350$

灰铸铁的力学性能是由金属基体组织及石墨形态决定的。灰铸铁的主要基体组织有珠光体、珠光体+铁素体及铁素体三种,珠光体+铁素体基体也称混合基体。

(2) 灰铸铁的性能 灰铸铁中存在的片状石墨,一方面减少了金属基体的承载面积,另一方面石墨片的尖角处造成了应力集中,所以,灰铸铁的抗拉强度较差,塑性较低。由此可见,片状石墨的数量、大小及分布状况是影响灰铸铁力学性能的主要因素。

灰铸铁的性能特点为:强度性能较差,具有较高的抗压强度(与其抗拉强度比较),较低的缺口敏感性,良好的减振性,良好的减摩性;

### (3) 灰铸铁的化学成分

1) 碳和硅。通过调整碳和硅的含量可以控制灰铸铁的组织和性能。灰铸铁中, 碳的质量分数大多为 2.4% ~ 3.6%, 硅的质量分数为 1.2% ~ 3.0%。

2) 锰和硫。锰和硫两者同时存在, 会形成高熔点的硫化锰, 不仅无阻碍石墨化的作用, 而且可作为石墨化的非自发晶核。灰铸铁中锰的质量分数一般为 0.6% ~ 1.2%。硫在灰铸铁中是有害元素, 一般将其质量分数控制在 0.15% 以下。

3) 磷。磷的质量分数大于 0.3% 时, 会生成硬而脆的低熔点磷共晶, 对灰铸铁的组织性能极其有害。磷使铸铁液相线下移, 可提高铸铁流动性。在一般的灰铸铁中, 磷的质量分数不应超过 0.2%, 高强度灰铸铁中磷的质量分数应控制在 0.12% 以下, 有致密性要求的灰铸铁中磷的质量分数应控制在 0.06% 以下, 有耐磨及高流动性要求的灰铸铁中磷的质量分数可达 0.3% ~ 1.5%。

(4) 衡量灰铸铁冶金质量的指标 实践表明, 同一成分的铁液经不同的处理, 能得到不同性能的铸铁, 因此必须对灰铸铁件生产的冶金过程做周密的考虑, 以便既能得到必需的强度指标, 又能保证铸铁具有良好的工艺性能, 尤其是可加工性能。为衡量灰铸铁的冶金质量, 给出了一些综合指标。这些指标已逐渐为工程结构件 (如机床铸件、内燃机铸件等) 的生产控制所接受, 但不适用于要求高硬度的特殊铸件。

1) 成熟度及相对强度。 $\phi 30\text{mm}$  试棒上测得的  $R_m$  与由共晶度算出的抗拉强度之比称为成熟度。

$$RG = \frac{R_m}{1000 - 800Sc}$$

式中  $RG$ ——成熟度;

$R_m$ ——从  $\phi 30\text{mm}$  试棒测得的抗拉强度 (MPa);

$Sc$ ——共晶度。

对于灰铸铁,  $RG$  可在 0.5 ~ 1.5 内波动, 适当的过热与孕育处理能提高  $RG$  值。若  $RG < 1$ , 则表明孕育效果不良, 生产水平低, 未能发挥材质的潜力。 $RG$  应在 1.15 ~ 1.30 之间。

如果用  $\phi 30\text{mm}$  试棒上测出的硬度来计算, 则称为相对强度, 用百分比表示为

$$RZ = \frac{R_m}{2.27HBW - 227} \times 100\%$$

式中  $RZ$ ——相对强度;

$R_m$ ——从  $\phi 30\text{mm}$  试棒测得的抗拉强度 (MPa);

$HBW$ ——从  $\phi 30\text{mm}$  试棒测得的布氏硬度值。

2) 硬化度及相对硬度

$$HG = \frac{HBW}{530 - 344Sc} = \frac{HBW}{170.5 + 0.793(T_L - T_S)}$$

式中  $HG$ ——硬化度;

$Sc$ ——共晶度;

$T_L$ 、 $T_S$ ——铸铁液相线和固相线温度;

$HBW$ ——从  $\phi 30\text{mm}$  试棒测得的布氏硬度值。

$$RH = \frac{HBW}{100 + 0.44R_m} = \frac{HBW}{\text{从 } R_m \text{ 计算出的强度值}}$$

式中  $RH$ ——相对硬度；

$HBW$ ——从  $\phi 30\text{mm}$  试棒测得的布氏硬度值；

$R_m$ ——从  $\phi 30\text{mm}$  试棒测得的抗拉强度 (MPa)；

$RH$  波动在  $0.6 \sim 1.2$  之间，以  $0.8 \sim 1.0$  为佳。 $RH$  低，表明灰铸铁的强度高，硬度低，有良好的可加工性能。良好的孕育处理能降低  $RH$  值。

3) 品质系数。品质系数  $Q_i$  为成熟度与硬化度之比，即

$$Q_i = RG/HG$$

$Q_i$  在  $0.7 \sim 1.5$  之间波动，应尽量将  $Q_i$  控制在大于 1。

必须指出， $Q_i$  与用  $RZ/RH$  算出的值相比，两者有很大的差别，因为在实际计算评定时，应严格按定义进行，否则所得结果无对比性。

(5) 提高灰铸铁性能的主要途径 为提高灰铸铁的性能，常采用的措施有合理选定化学成分、孕育处理、微量或低合金化，并且各种措施还可同时采取。

1) 合理选定化学成分：提高  $\text{Si}/\text{C}$  比 (即  $\text{Si}$  含量与  $\text{C}$  含量之比)。对于灰铸铁而言，随着碳当量增高，性能降低，但经过实际应用发现，在碳当量较低且不变时，适当提高  $\text{Si}/\text{C}$  比 (如由 0.5 提高至 0.75)，强度会有所提高，可加工性能有较大改善，但缩松、渗漏倾向可能会增大。在较高碳当量时，提高  $\text{Si}/\text{C}$  比反而使抗拉强度下降，但白口倾向总是减小的。

在选定化学成分的基础上，适当提高锰含量，无论对强度、硬度还是对耐磨性，都有好处。

2) 进行孕育处理 (孕育铸铁)

① 孕育处理的目的。其目的为：促进石墨化，降低白口倾向；降低断面敏感性；控制石墨形态，消除过冷石墨；适当增加共晶团数，促进细片状珠光体的形成。

② 生产孕育铸铁的条件。根据铸件不同的要求，选出合理的化学成分，主要是碳当量  $\text{Si}/\text{C}$  比、锰含量及是否要加入合金元素等。

铁液要有一定的过热度。温度、化学成分、纯净度是铁液的三项冶金指标。加入一定量的孕育剂是生产孕育铸铁的必要条件。近几年，孕育剂的发展很快，有锶、铈、钡、钛、锆碳、硅等元素的特种孕育剂，但是用得最多的还是  $75\text{SiFe}$ 。孕育剂的加入量与铁液成分、温度、氧化程度、铸件壁厚、冷却速度、孕育剂类型及孕育方法有关，尤其以铁液成分、铸件壁厚及孕育方法的影响最大。

③ 化学成分的选择

a. 碳当量。孕育铸铁的碳当量一般选择在  $3.2\% \sim 4.0\%$  之间，但薄壁件 (气缸体、气缸盖) 的碳当量可增大到  $3.9\% \sim 4.05\%$ 。HT200 铸铁经孕育后强度可达  $280\text{MPa}$  ( $\phi 30\text{mm}$  试棒)。

b. 碳。孕育铸铁中碳的质量分数一般在  $2.9\% \sim 3.2\%$  之间。碳含量过低时，

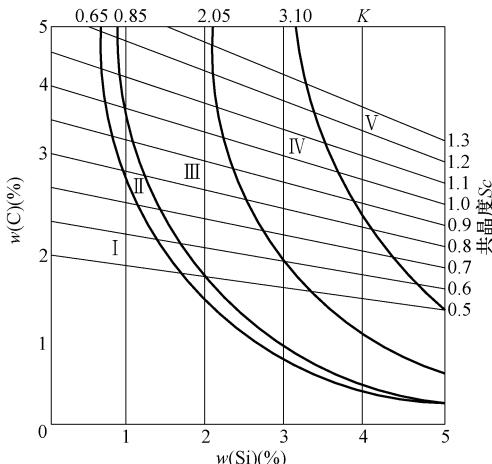


图 5-1 灰铸铁组织图

I—白口区 II—麻口区 III—珠光体灰铸铁区 IV—珠光体-铁素体灰铸铁区 V—铁素体铸铁区

注：石墨化因子  $K = \frac{4}{3}w(\text{Si}) \left( 1 - \frac{5}{3w(\text{C}) + w(\text{Si})} \right)$

冲天炉熔炼会发生困难，铁液铸造性能变差；碳含量过高时，孕育效果很差，不能提高强度。一些低合金（含 Cr、Mo、Cu 等）铸件，其碳含量可达 3.4% ~ 3.5%（质量分数）。

c. 硅。孕育铸铁的硅含量范围较大，一般在 1.2% ~ 2.2%（质量分数）之间。硅对力学性能的影响不像碳那样显著。确定硅含量临界值时可参考铸件组织图（见图 5-1），也可进行工艺试验。

d. Si/C 比。在铸件尺寸和碳当量一定时，适当增加硅含量，降低碳含量，即提高 Si/C 比，可以提高孕育铸铁抗拉强度和硬度。在 Si/C 比为 0.7 ~ 0.8 时，抗拉强度可比 Si/C 比为 0.4 ~ 0.5 时提高一级左右，并且铸铁的残余应力减小，弹性模量增大，相对强度较高。

e. 锰。锰是阻碍石墨化、稳定珠光体的元素，但它在孕育铸铁中阻碍石墨化的作用不太显著，可与硫相结合。由于孕育铸铁以珠光体为基体，故其锰含量比一般灰铸铁高一些。但近年来的一些研究认为，灰铸铁中锰的质量分数可大幅度降低至 0.4% 而不影响其力学性能。

f. 磷。磷对孕育铸铁的组织没有太大的影响，但会使其力学性能下降，所以常将其质量分数限制在 0.15% 以下。有些孕育铸铁和机床类铸件要求耐磨时，磷的含量可高一些。

g. 硫。在孕育铸铁中硫是一种很微妙的元素。一般认为硫是强烈阻碍石墨化的元素。实际上硫与氧相似，在含量过高或过低时都将促使铸铁组织白口化。孕育铸铁中硫的质量分数以 0.06% ~ 0.12% 为佳。

④ 孕育方法。常用的孕育方法是在出铁槽中加入一定粒度的孕育剂（粒度大小随浇包大小而定，一般为 5 ~ 10mm）。为有效地提高孕育处理的效果，孕育方法近几十年来有了很大发展，如随流孕育、浮硅孕育、型内孕育等，都收到了令人满意的效果。

生产中采用何种孕育方法，由具体的工艺情况而定。孕育剂的加入量与铁液成分、铸件壁厚、铁液温度、熔化条件、炉料组成、孕育方法、孕育剂种类、铸铁种类、浇注时间及铸型条件等因素有关。一般炉前孕育时孕育剂的加入量为铁液质量的 0.2% ~ 0.5%，瞬时孕育时孕育剂的加入量为铁液质量的 0.05% ~ 0.2%。

⑤ 炉前控制。生产过程中，为及时检查铁液的化学成分，确定孕育剂的加入量并检查孕育效果，避免出现废品，必须在炉前采取简单、迅速、正确的检查方法，并据此采取相应的措施。

炉前常用的方法是三角试块及圆试样。炉前检查较为准确的方法有快速化学分析法、直读光谱分析法、热分析法、炉前快速金相法等。

3) 辅以适当的低合金化：低合金化是提高灰铸铁力学性能的另一个有力手段。由于合金元素加入量较少，因此组织上仍然没有脱离灰铸铁的范畴，但却使石墨有一定程度的细化，铁素体量减少甚至消失，珠光体则有一定程度的细化，而且其中的铁素体由于溶有一定量的合金元素而得到固溶强化，因而这类铸铁总有较高的强度。

## 2. 球墨铸铁

(1) 球墨铸铁的牌号及力学性能 根据 GB/T 1348—2009《球墨铸铁件》的规定，球墨铸铁的牌号及力学性能见表 5-3。

(2) 化学成分的选择及其影响 球墨铸铁的化学成分对其组织、力学性能和铸造性能有很大的影响，因此，必须合理地选择。

### 1) 基本元素

① 碳和硅。由于球状石墨对基体的削弱作用很小, 故球墨铸铁中石墨数量对力学性能的影响不显著, 当碳的质量分数在 3.2% ~ 3.8% 范围内变化时, 对球墨铸铁的力学性能无明显的影响。

表 5-3 球墨铸铁的牌号及力学性能 (单铸试块)

牌号	抗拉强度 $R_m$ /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 $A$ (%)	布氏硬度 HBW	主要金相组织
	最小值				
QT350-22L	350	220	22	≤160	铁素体
QT350-22R	350	220	22	≤160	铁素体
QT350-22	350	220	22	≤160	铁素体
QT400-18L	400	240	18	120 ~ 175	铁素体
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

确定球墨铸铁的碳、硅含量时, 主要从保证铸造性能考虑, 碳含量高一些还能提高镁的吸收率, 为此将碳当量选择在共晶成分左右。

② 锰。对于热处理状态的铁素体球墨铸铁, 可将锰的质量分数控制在 0.5% 以下; 对于珠光体球墨铸铁, 可将锰的质量分数控制在 0.4% ~ 0.8%。其中, 铸态珠光体球墨铸铁中的锰含量虽然可适当高一些, 但是通常用铜来稳定珠光体。

③ 磷。球墨铸铁中应将磷的质量分数控制在 0.04% ~ 0.06%, 对于寒冷地区使用的铸件, 宜采用下限的磷含量。当球墨铸铁中有钼存在时, 更应注意控制磷的含量。

④ 硫。基于硫在球墨铸铁中的有害作用, 国外一般要求原铁液中硫的质量分数低于 0.02%。我国目前由于焦炭中硫含量较高, 原铁液中硫含量往往达不到这一标准, 因此应进一步改善熔炼条件, 有条件的话可以进行炉前脱硫, 力求降低硫含量。

⑤ 残余镁量及稀土量。为了保证石墨球化, 镁和稀土在中和了硫、氧等反球化元素的作用后应有一定的残余量。采用纯镁作球化剂时, 一般残余镁的质量分数为 0.03% ~ 0.08%, 如果过高反而会降低球化率。在有稀土的情况下, 残余镁量可以适当低一些。

稀土元素有脱硫、去气、净化铁液和球化等作用, 但白口倾向增大, 而且偏析严重, 将降低球墨铸铁的力学性能特别是塑性和韧性。残余稀土的质量分数常控制在 0.02% ~ 0.04%。

2) 合金元素。在球墨铸铁中合金元素的作用体现在: 一方面, 对于需要进行热处理的球墨铸铁, 合金元素对热处理工艺起辅助作用, 使球墨铸铁能更好地通过热处理得到所需的组织性能; 另一方面, 合金元素可以使球墨铸铁直接在铸态下得到所需的组织与性能, 不用热处理就可生产出铸态球墨铸铁, 从而降低生产成本。常用的合金元素有镍、铜、铬、钼、钒、钨、锑、锡、铋等。

3) 微量元素。球墨铸铁中常存在一些非特意加入的微量元素, 如 Ti、As、Pb、Al、

Cr、Sn、Sb等。在大多数情况下，这些元素对铸铁的性能起不良作用，如：干扰石墨球化，促使在共晶团边界上析出脆性相，在铁素体球墨铸铁中阻碍基体的铁素体化过程。加入0.01%~0.02%（质量分数）的稀土能中和这些元素的有害作用。

### （3）球化处理

1) 熔炼要求：由于球化处理一般要降温50~100℃，因此为了保证浇注温度，铁液必须有较灰铸铁高得多的温度，至少应在1450℃以上，国外通常要求在1500℃以上。其次，必须满足球墨铸铁对化学成分的要求，即较高的碳含量，低的硅、锰、磷、硫含量。最后，要求原材料的磷、硫含量足够低，并含有尽可能少的反球化元素，且来源及成分稳定。此外，对铁液的氧化程度也必须进行严格控制，以控制铁液中氧的含量。

2) 球化剂及球化处理：球化剂就是含有球化元素，能使石墨呈球状的添加剂。球化能力强的元素有镁、稀土（铈、镧、钇等）、钙等。球化处理工艺取决于球化剂的类型。

镁是一种良好的球化剂。镁的密度为1.74g/cm<sup>3</sup>，熔点为651℃，沸点为1107℃。球化处理时，常采用压力加镁的方法。但这种方法需要专用设备，处理工艺复杂，操作不便，危险性大，现已很少采用。

用稀土镁硅铁合金作球化剂时，多采用冲入法球化处理工艺。球化剂加入量视原铁液中的硫含量而定。处理时先将球化剂放入包底一侧专门设置的堤坝或凹坑内，并在球化剂上面覆盖铁屑或细硅铁粒等，压紧以延缓球化反应的时间，防止球化上浮，提高吸收率。出铁时，将铁液冲入浇包的另一侧，并同时进行炉前孕育。反应完毕后搅拌、扒渣，经炉前检查合格后即可浇注。

3) 孕育剂及孕育处理：常用的孕育剂是硅的质量分数为75%的硅铁合金（75SiFe）。目前，球墨铸铁的孕育剂根据不同需要，已商品化和系列化。

除炉前采用二次孕育处理工艺外，质量要求较高的铸件，在浇注时还要采用瞬时孕育工艺。生产铸态铁素体球墨铸铁时，还应采用多次孕育。

4) 炉前检验：球化处理后的铁液经炉前检验，判断球化质量，发现问题时应及时采取补救措施，避免造成铸件报废。常用的炉前检验方法有：①圆棒（或三角试块）试样断口检验；②炉前快速金相法；③比电阻法。第一种方法因迅速、简便、较可靠而较常使用。

### 3. 蠕墨铸铁

因铸铁基体中石墨形态呈蠕虫状，故由此而得名。蠕虫状石墨介于片状和球状之间，因而它的力学性能也介于同基体的灰铸铁和球墨铸铁之间。根据JB/T 4403—1999《蠕墨铸铁件》的规定，蠕墨铸铁分为五种，见表5-4。

表5-4 蠕墨铸铁的牌号

牌号	抗拉强度 $R_m$ /MPa	屈服强度 $R_{el}$ /MPa	断后伸长率 $A$ (%)	布氏硬度 HBW	蠕化率VG (%)	主要基体组织
	最小值					
RuT420	420	335	0.75	200~280	≥50	珠光体
RuT380	380	300	0.75	193~274		珠光体
RuT340	340	270	1.0	170~249		珠光体+铁素体
RuT300	300	240	1.5	140~217		铁素体+珠光体
RuT260	260	195	3	121~197		铁素体

蠕墨铸铁中不同的元素对其性能的影响不同，碳和锰主要影响蠕墨铸铁的力学性能，硅和磷则主要影响其力学性能中的断后伸长率和冲击韧性，而硫的影响与其在球墨铸铁中相似。对于蠕墨铸铁的化学成分要求，从目前的资料看来，和球墨铸铁的成分要求基本相似，即高碳、低硫、低磷，一定的硅、锰含量。

### 三、铸铁的熔炼

铸铁的熔炼是铸铁件生产的重要环节之一，也是决定铸铁件质量的重要因素。它的基本任务是提供化学成分和温度符合要求，非金属夹杂物与气体含量少的优质铁液。

对铸铁熔炼的基本要求可概括为优质、高产、低耗、长寿与简便五个方面。任何熔炼设备，都要力求结构简单，操作方便，安全可靠，并尽量提高机械化和自动化程度，尽量降低对周围环境的污染。

铸铁熔炼可以采用冲天炉、非焦化铁炉、电炉、坩埚炉或冲天炉与电炉双联熔炼等方法，其中以冲天炉的应用最为广泛。

#### 1. 冲天炉熔炼

(1) 冲天炉的结构 冲天炉的结构如图 5-2 所示。冲天炉的类型比较多，但其基本结构大致相同。它由四个部分组成：炉底部分、炉身部分（包括送风系统）、前炉部分、炉顶部分（烟囱及除尘系统）。

(2) 冲天炉操作工艺 冲天炉的操作工艺是决定冲天炉工作效果的基本因素。它包括燃料与原材料的选用、操作参数的选定、操作过程中各个环节的控制等。

1) 炉料的准备。冲天炉的炉料由金属料、燃料及熔剂等组成。金属料有

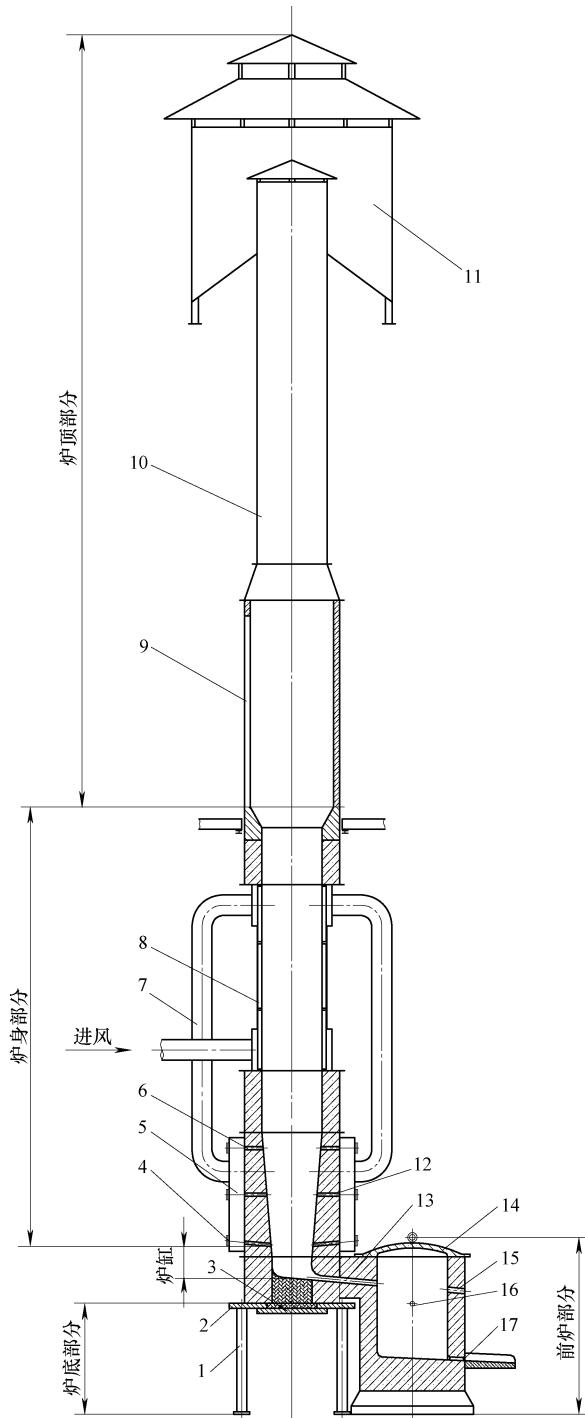


图 5-2 冲天炉的结构

1—炉脚 2—炉底板 3—炉底门 4—风口窥视孔 5—风箱  
6—耐火砖 7—风管 8—热风胆 9—加料口 10—烟囱  
11—除尘器 12—风口 13—过桥 14—前炉盖 15—前炉窥视孔  
16—出渣口及出渣槽 17—出铁口及出铁槽

新生铁、回炉铁、废钢及铁合金等。所有金属料必须符合规定要求，不同成分的金属料应分类管理，防止相互混杂，使用前应除污去锈并破碎。新生铁、回炉铁、废钢等金属料的料块最大尺寸不应超过炉径的 1/3，重量以不超过批料重的 1/10 ~ 1/20 为宜。块度过大，易造成化学成分不均；块度过小，易串料。

焦炭的质量和块度对熔炼质量有很大的影响，必须符合规定。用于底焦的块度应大一些，以 100 ~ 150mm 为宜，层焦可小一些。

冲天炉造渣用的熔剂有石灰石 ( $\text{CaCO}_3$ )、氟石 ( $\text{CaF}_2$ ) 等。熔剂一般的块度为 20 ~ 50mm。

2) 修炉与烘炉。每开一次炉，炉衬都要受到很大的侵蚀和损坏，在下一次开炉前必须对其进行修理。修炉时，先铲除炉壁上的残渣挂铁，然后刷上耐火泥浆，覆上修炉材料，并敲打结实。修炉材料一般由 40% ~ 50% 的耐火砂和 60% ~ 50% 的硅砂以及适量的水分混合而成。修前炉则用老煤粉与耐火泥制作混合料。修好的炉壁必须紧实，尺寸正确，表面光滑。炉壁和过桥修完后，合上炉底门，先放上一层废干砂，再放一层旧型砂，并舂打结实，其厚度为 200 ~ 300mm；也有全部用硅砂加入适量水分修筑炉底的，但都必须保证开炉时不漏铁液，打炉时易于松塌，且尺寸符合要求。

炉子修理完备后，可在炉底和前炉装入木柴，引火烘炉；前炉必须自然干燥一定的时间后烘炉，前炉必须烘透，以保证铁液温度，并可保证前炉在出第一包铁液时顺利打开。

3) 点火加底焦。烘炉后加入木柴，引火点着，并敞开风口盖进行自然通风。待木柴烧旺后，由加料口往炉内加入 1/3 的底焦量；待其烧着后，再加入 1/2 左右的底焦量，然后鼓小风几分钟，并测量底焦高度，再加底焦至规定的高度。这里的所谓底焦量，是指装入金属炉料以前加入炉内的全部焦炭量，而底焦高度则是从第一排风口中心线起，至底焦顶面为止的那一部分高度，炉缸内的底焦是不包括在底焦高度内的。

4) 装料与开风。加完底焦后，加入石灰石，其加入量约两倍于层焦和石灰石用量，以防止底焦烧结或过桥堵塞。然后，封闭冲天炉工作门，关上风口盖鼓小风三四分钟，再敞开风口自然通风，并装料。一般先熔化低牌号的铸铁，然后熔化高牌号的，再熔化低牌号的。每批金属料一般先加入废钢，然后加入新生铁、回炉铁与铁合金。加入一批金属料后再加入层焦和石灰石，必要时加入氟石（氟石有很好的造渣能力，但有毒并且污染环境，一般情况下不宜加入）。石灰石量约占层焦量的 30%。为确保熔炼效果，加入炉内的焦炭、金属料与熔剂都应力求洁净，防止泥沙混杂，且尺寸符合要求；金属料的最大尺寸不得超过加料口附近炉膛直径的 1/3。

装料完毕后，焖火 1h 左右，即可开风。开风时仍敞开一部分风口，一段时间后关闭，以免因一氧化碳积聚而发生爆炸事故。冲天炉的风量以每分钟鼓风的立方米数（标准状态）计量，故其单位为  $\text{m}^3/\text{min}$ 。此外，还以送风强度来衡量冲天炉风量，这是指单位炉膛截面积每分钟的风量，其单位为  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ 。对曲线炉膛冲天炉，为反映底焦的燃烧情况，此炉膛截面积可按主风口所在的炉膛截面积计算，为求与熔化强度指标一致，也可按炉膛最大截面积计算。

5) 熔化与出渣。在正常熔化过程中，应严格控制风量、风压，不得随意停风；按熔炼工艺规定的时间取样，定时测量铁液温度、风量、风压、风温等；经常观察风口、出渣口、出铁口、加料口，注意铁液温度的变化、炉渣质量、风量、风压、三角试块（圆试样）白口的变化情况，以便及时发现问题并迅速排除故障，保证熔化正常进行；按时打开出渣口。

6) 停风与打炉。停风时,先打开部分风口,然后关风。停风的时机要很好地掌握,既要防止因停风过早而造成铁液量不足,也要避免因停风过晚而造成底焦与炉衬的无谓烧失。停风前应力求炉内有一两批剩余铁料。停风后即可打炉,并立即将打落的炽热焦炭与铁料用水熄灭。对于热风炉胆冲天炉,打炉后不能继续送风,应立即停风,让热风炉胆缓冷,因为此时继续送风会使热风炉胆强制冷却,这显然是不利的。

(3) 冲天炉工作的一般过程 冲天炉开风后,经风口进入炉内的空气使底焦燃烧,产生热量,由此而生成的高温炉气向上流动,并使底焦面上的第一批金属炉料熔化。熔化后的铁滴,在底焦层内下落的过程中,被高温炉气和炽热焦炭进一步加热,然后经炉缸和过桥进入前炉。随着底焦的燃烧损耗和金属炉料的熔化,料层逐渐下降,而层焦和批料不断加以补偿,使熔化过程连续地进行。在炉气的热作用下,石灰石分解成二氧化碳与生石灰。后者与焦炭中的灰分和侵蚀的炉衬合成为熔点较低的炉渣。

#### (4) 冲天炉熔炼过程中的故障及其排除方法

1) 卡料。卡料也称为悬料、搁料或搭棚。料柱上部的金属炉料和下部的底焦,都可能发生卡料。

##### ①上部卡料

a. 主要特征:料面停止不动;风压显著下降;加料口有火焰出现(也称为炉头火),且逐渐变旺。

b. 产生原因:金属料块过大或形状不规则;炉壁凹凸不平或炉膛直径从加料口向熔化区逐渐缩小;大量细薄废钢料熔结于炉膛壁。

c. 排除方法:严格控制料块尺寸和形状;改善炉型与修炉质量,必要时在加料口处的炉膛内增高小口径铁套;注意观察下料情况,一旦出现卡料现象,立即用铁棒捅料;短时间停风或减小风量;卡料排除后适当补焦。

##### ②下部卡料

a. 主要特征:料面停止不动;风压显著上升;严重时风口区焦炭全部烧尽。

b. 主要原因:炉料夹带的泥沙杂质过多;焦炭含灰量过高;熔剂块度太小,加入量太少;炉型尺寸不当。

c. 排除方法:严格控制炉料洁净度;加大熔剂粒度和加入量,特别是底焦顶面上的熔剂加入量;短时间停风,以使结渣层在辐射热作用下熔融软化;从风口吹入氟石粉。

上述两种卡料故障一旦发生而又实在无法排除时,只能停风打炉。

#### 2) 落生

① 主要特征:风口区出现未熔化的铁料。

② 产生原因:金属块度过大;下料速度过快;底焦高度过低;卡料故障排除过晚。

③ 排除方法:控制金属料块度和底焦高度;掌握好风焦配合;及时排除卡料故障;短时间停风,以便已进入风口区的铁料逐渐熔化;实在无法排除时只能打炉。

#### 3) 过桥堵塞

① 主要特征:前炉盖放气孔软弱无力;前炉铁液量远少于化铁量。

② 产生原因:开炉初期过桥被焦炭堵塞而未被热气流充分预热;炉渣黏度太大;炉衬跌落堵塞过桥入口;过桥太长,截面尺寸太小,因而降温严重而又易堵塞。

③ 排除方法:前炉盖上开设放气孔,随时注意观察;开炉初期注意维护过桥畅通;适

当增加熔剂量，并提高修炉质量；调整过桥尺寸，并将过桥做成长后炉向前炉方向扩大的形状，以免冷铁液在过桥口积聚；一旦发现过桥堵塞，应立即打通前炉窥视孔，尽力用铁棒打通；如果堵塞时间不长，则应立即降低风量，以免炉缸内铁液积聚过多；但如果堵塞时间过长，则应立即停风，以免铁液倒灌而进入风箱，造成严重事故。

## 2. 工频感应电炉化铁

工频是指电源的工业频率（一般为50Hz）。直接用工频电流，按电磁感应原理熔炼金属的设备称为工频感应电炉。

工频感应电炉分为无芯和有芯两种，本书着重介绍工频感应电炉。

(1) 工频感应电炉的基本结构 图5-3所示为无芯工频感应电炉的炉体结构。它由坩埚、感应圈、磁性轭铁和其他有关部分组成。

### 1) 坩埚

① 酸性坩埚。酸性坩埚由硅砂和硼酸，经磁选并去除杂质，按一定配比混制均匀后打结而成。硅砂中  $w(\text{SiO}_2) \geq 99\%$ ， $w(\text{FeO}) \leq 0.05\%$ 。表5-5所列为无芯工频感应炉酸性炉衬材料的配比实例。

② 碱性坩埚。有些工厂采用下列配比的镁砂散料制作碱性坩埚；烧结镁砂55%（10~30目80%，40~70目20%），烧结镁砂粉45%（100~140目60%，200目以上40%），密度为1.3~1.4g/cm<sup>3</sup>的卤水5%（占镁砂和镁砂粉总质量）。

③ 坩埚尺寸。坩埚厚度应根据炉子的大小选择（见表5-6）。坩埚过厚时炉子熔化率低，过薄时寿命不长。

表5-5 无芯工频感应电炉酸性炉衬材料配比实例

序号	炉衬材料配比(质量分数, %)					用途	
	硅砂粒度				硼酸		
	4~9mm	1.5~3mm	0.8~1.5mm	120目			
1	—	40	30	30	1.7~2.0	大修	
2	15	35	15	35	1.1~1.3	中修	
3	35	15	15	35	1.0~1.3	热补	
4	—	—	100	—	—	粘补	

修筑坩埚时，先在感应圈内壁放置玻璃丝布和石棉纸板等绝缘材料，然后捣炉底，并在捣成的炉底上放置由钢板焊制成的坩埚铁模，再逐层捣实坩埚壁。用于捣法打结成的坩埚炉衬，需经过烘炉与烧结后才能熔化。烘炉一般采用电烘，即在空载情况下供电，使坩埚铁模

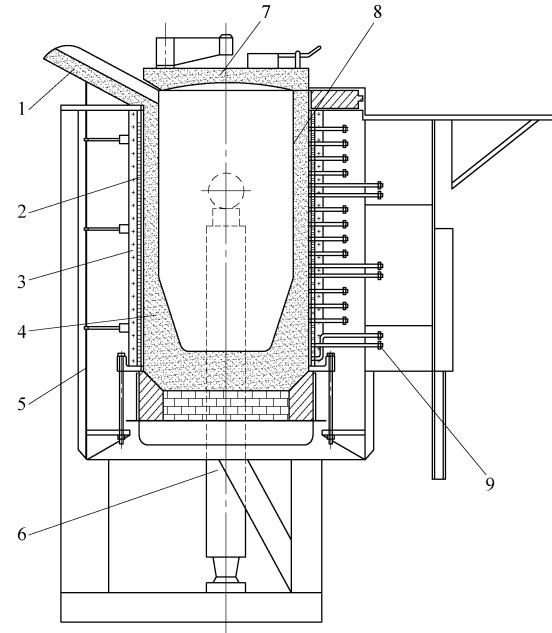


图5-3 无芯工频感应电炉炉体结构

1—出铁槽 2—感应圈 3—磁性轭铁 4—坩埚  
5—支架 6—倾转机构 7—炉盖 8—坩埚铁模  
9—水电引入系统

表 5-6 坩埚尺寸

炉子容量/t	坩埚内径/mm	坩埚厚度/mm
0.5	400	70~80
1.5	600	90~110
3.0	730	120
10.0	1130	150

逐渐升温。它既不熔化，也不软化，但能使炉衬水分逐渐均匀地蒸发。

2) 感应圈。感应圈由截面为圆形、矩形或其他形状的空心纯铜管制成。为提高感应圈的允许电流密度，圈内通水冷却，此时允许电流密度可达  $20\sim30\text{A/mm}^2$ ，而实心纯铜圈在自然冷却时的电流密度则仅为  $3\sim4\text{A/mm}^2$ 。冷却水出水温度控制在  $50\sim55^\circ\text{C}$ ，冷却水升温不超过  $25^\circ\text{C}$ 。冷却水压大多为  $50\sim300\text{kPa}$ ，水的流速大致控制在  $1.0\sim1.5\text{m/s}$ 。感应圈的截面尺寸和形状应确保在规定的高度范围内所需的匝数，并使电能损失小，冷却强度足够。

3) 磁性轭铁。磁性轭铁也称为磁轭或轭铁，由  $0.35\text{mm}$  或  $0.5\text{mm}$  厚的硅钢片叠成，起辅助导磁作用，以加强功率传递。这是无芯工频感应电炉的特有部件。轭铁通常分为  $6\sim12$  组，兼起支架作用，用以紧固感应圈，简化炉架结构。其截面大小取决于感应圈的每匝电压值，且截面宽度大于厚度，以利于沿炉子周围较为均匀地引导磁力线。

以上是无芯工频感应电炉的三个主要组成部分，其余部分如图 5-3 所示。

## (2) 工频感应电炉的熔炼特点

### 1) 操作特点

① 烘炉。无芯工频感应电炉借助于坩埚铁模通电烘炉，有芯工频感应电炉则需用煤气或其他外加燃料烘炉。炉衬必须缓慢加热烘烤，确保彻底烘透而又不开裂。

② 加料。冷炉开炉时，无芯工频感应电炉应先加与坩埚内径相近的大块金属料作为开炉块，然后加入熔点较低而元素烧损较少的炉料，再加其他炉料（合金材料大多在最后入炉）。有芯工频感应电炉在冷炉开炉时最好直接加入铁液或块度小而熔点低的炉料，热炉开炉时最好留  $1/4\sim1/3$  炉的铁液启熔。

③ 供电。先低压供电，以预热炉料，然后提高供电功率，至铁液温度符合要求后，或停电扒渣出炉，或降低供电电压进行保温。这种炉子的铁液可较为精确地进行控制和调节。

### 2) 铁液成分的变化

① 碳、硅含量变化。工频感应电炉大多采用酸性炉衬。当铁液温度超过  $\text{C}-\text{Si}-\text{O}$  系的平衡临界温度时，炉衬中的  $\text{SiO}_2$  将被铁液中的碳还原，使铁液脱碳增硅，从而使碳当量减小，炉衬侵蚀加剧。实践表明，当铁液在  $1400^\circ\text{C}$  以上保温时，就可能出现上述现象。温度越高，保温时间越长，铁液脱碳增硅就越强烈。工频感应电炉熔炼可锻铸铁时的炉衬侵蚀要比熔炼有高温要求的球墨铸铁时小。

② 锰的变化。在酸性炉中，锰一般是烧损的，但烧损量不大，约 5%。

③ 磷、硫的变化。磷、硫一般没有变化，但通过炉内加入碳化钙脱硫，可将铁液中的硫含量降低至 0.01%（质量分数）以下。

有芯工频感应电炉熔炼时，由于金属液与外界隔绝，气相稳定，元素的氧化反应更弱，烧损更小。

此外，炉内补加的合金元素一般烧损量也较小。所以，工频感应电炉熔炼出的铁液的化学成分能够比较精确地达到预定的要求；但由于炉渣不能感应发热，渣温较低，故工频感应电炉的冶金性能较差。

### 3) 铁液质量

① 温度成分均匀。金属熔化后，由一次磁力线产生的二次磁场，与铁液中的电流相互作用，产生由坩埚中心向上面后分向两壁的电磁力。功率越大，频率越低，与感应圈相对的铁液面积越小，电磁力就越大。因此，工频感应电炉的这种电磁搅拌力比高频感应电炉与中频感应电炉大。

② 铁液白口倾向大。与冲天炉相比，工频感应电炉熔炼出的铁液的白口倾向大，易于产生过冷石墨，所以铸铁的强度与硬度较高。当碳当量相同时，工频感应电炉铸铁的石墨化碳量比冲天炉铸铁的低。

总的来说，用工频感应电炉熔炼铸铁，可以正确地控制和调节铁液温度与成分，获得纯度高的低硫铁液，熔炼烧损少，噪声和污染小，而且可以充分利用各种废钢屑和废料，大块炉料可整块入炉重熔，所以有很大的优越性。

4) 冲天炉与工频感应电炉双联。这种双联方式旨在进一步提高冲天炉的铁液温度，调整铁液的化学成分。冲天炉与工频感应电炉通常用流槽直接连接。在大量流水线生产中，工频感应电炉铁液往往还转入浇注炉进行保温与自动浇注。为使生产能均衡地进行，工频感应电炉的容量应按冲天炉熔化率和熔炼工作制度确定。表 5-7 所列数据可供参考。

表 5-7 工频感应电炉的平均熔化率 (参考数据)

容量/t	0.15	0.25	0.5	1.0	1.5	10.0
平均熔化率 / (t/h)	0.075 ~ 0.10	0.10 ~ 0.15	0.20 ~ 0.30	0.35 ~ 0.50	0.50 ~ 0.75	4.0 ~ 5.0

双联熔炼是以较低的能量耗费，获得高温优质铁液的行之有效的铸铁熔炼方法。这种方法目前正在国内外迅速发展。

## 第二节 铸钢及其熔炼

### 一、铸钢

铸钢中碳的质量分数小于 2.11%，硅、锰、磷、硫等元素含量一般很少。

铸钢在强度和韧性方面比一般的铸铁要高得多，常用于制造承受重载荷和冲击作用的零件。部分铸钢具有焊接性，不仅有利于缺陷的修补，而且能够采用铸焊结合的方法，将一些重型、复杂铸件分段铸造，然后焊成整体。铸钢与锻钢相比，能够用铸造方法生产出结构非常复杂的零件。但铸钢熔点高，铸造性能差，生产工艺和熔炼设备复杂，对原材料的要求高。即使如此，铸钢也是一种优良的机械工程材料，在很多领域广泛应用。

铸钢按化学成分可以分为铸造碳钢和铸造合金钢两大类。

#### 1. 铸造碳钢

根据碳含量的不同，铸造碳钢可以分为低碳钢、中碳钢和高碳钢三种。其中，中碳钢的应用最多。一般工程用铸造碳钢的化学成分见表 5-8，力学性能见表 5-9。

表 5-8 一般工程用铸造碳钢的化学成分的上限值 (质量分数,%) (GB/T 11352—2009)

铸钢牌号	C	Si	Mn	S	P	残余元素					
						Ni	Cr	Cu	Mo	V	残余元素总量
ZG 200-400	0.2	0.5	0.8	0.035	0.9	0.40	0.35	0.4	0.2	0.05	1.00
ZG 230-450	0.3		0.5								
ZG 270-500	0.4		0.5								
ZG 310-570	0.5		0.5								
ZG 340-640	0.6		0.6								

注: 1. 对上限每减少 0.01% 的碳, 允许增加 0.04% 的锰。ZG200-400 锰含量最高至 1.00%, 其余四个牌号锰含量最高可至 1.2%。

2. 如需方无要求, 残余元素可不进行分析。

表 5-9 一般工程用铸造碳钢的力学性能

铸钢牌号	最小值					
	屈服强度 $R_{eH}(R_{p0.2})$ /MPa	抗拉强度 $R_m$ /MPa	断后伸长率 $A(%)$	根据合同选择		
				断面收缩率 $Z(%)$	$KV/J$	$KU(J/cm^2)$
ZG 200-400	200	400	25	40	30	47
ZG 230-450	230	450	22	32	25	35
ZG 270-500	270	500	18	25	22	27
ZG 310-570	310	570	15	21	15	24
ZG 340-640	340	640	10	18	10	16

## 2. 铸造合金钢

为了改善和提高铸钢的某些性能, 在铸钢中加入一种或几种合金元素, 即为铸造合金钢。常用于加入钢中的合金元素主要有铬、钼、镍、钴、铝、钒、钛、硼等。当锰的质量分数大于 1.1%, 硅的质量分数大于 0.6% 时, 也为铸造合金钢。按加入合金元素含量的多少, 铸造合金钢可分为低合金钢、中合金钢、高合金钢三种。

铸造合金钢按合金元素可分为锰系、锰硅系、铬系、铬钼系、铬镍钼系、铬锰硅系等。除此之外, 还有硼系、铜锰硅系, 以及一些特殊的高合金, 如不锈钢耐酸钢、炉用耐热钢、特殊用途铸造合金钢及耐热合金等。总之, 铸造合金钢的品种繁多, 用途广泛。

## 二、铸钢的熔炼

### 1. 熔炼设备

铸钢生产常用的熔炼设备有电弧炉、平炉和感应炉。三相交流电弧炉使用最为广泛。其优点是熔炼钢种广泛, 钢液质量高, 开炉、停炉方便, 易于组织生产。

### 2. 炼钢工艺

在铸钢有两种熔炼方法, 即氧化法和不氧化法。两种方法的区别在于炼钢过程中是否有氧化期。此外还有一种吹氧返回法。

碱性电弧炉氧化法炼钢是我国当前普遍采用的炼钢方法。由于炼钢过程中所造碱性渣能有效地除去钢液中的磷和硫, 并且在炼钢的氧化期通过碳的氧化而形成钢液的沸腾, 能有效

地清除钢中的气体和杂质，因此，碱性电弧炉氧化法炼钢，不仅对炉料的适应性强，而且炼得的钢液比较纯净。从炼钢学的角度来看，碱性电弧炉炼钢的冶金反应过程也是最完整的。本书主要介绍碱性电弧炉氧化法炼钢工艺。

电弧炉熔炼的基本原理是：利用电极与金属料之间放电产生的电弧所发出的热量来熔化金属料，使钢液过热。铸钢车间通常用三相电弧炉。

三相电弧炉主要由炉体、炉盖、电极、电极升降与夹持机构、倾炉机构、电气装置和水冷装置等构成，如图 5-4 所示。

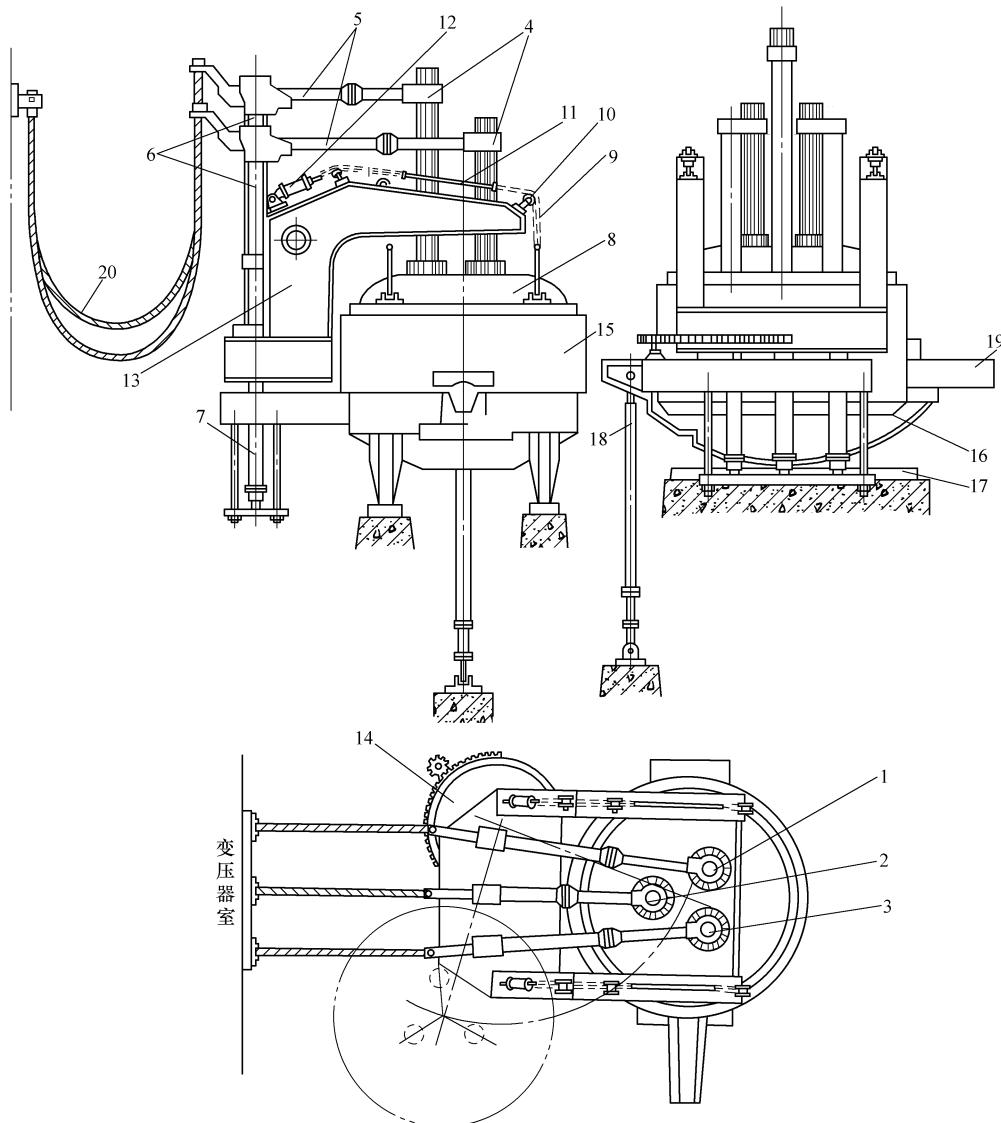


图 5-4 HX 型三相电弧炉结构

- 1—1号电极 2—2号电极 3—3号电极 4—电极夹持 5—电极支承横臂 6—升降电极  
 7—升降电极液压缸 8—炉盖 9—提升炉盖链条 10—滑轮 11—拉杆 12—提升炉盖液压缸  
 13—提升炉盖支承臂 14—转动炉盖机构 15—炉体 16—月牙板 17—支承轨道  
 18—倾炉液压缸 19—出钢槽 20—电缆

氧化法能冶炼碳钢、各类低合金钢和高合金钢。其炼钢工艺过程包括补炉、装料、熔化期、氧化期、还原期和出钢。

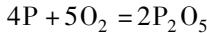
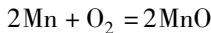
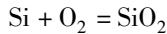
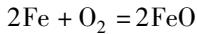
碱性电弧炉炼钢在这几个阶段中的任务、技术要求及过程控制如下：

(1) 补炉 一般情况下，在每炼完一炉钢以后，装入下一炉的炉料以前，照例要进行补炉。其目的是修补炉底和炉壁被侵蚀和被碰坏的部位。对于采用卤水镁砂打结的炉衬，其损坏处也采用以卤水作黏结剂的镁砂来修补。补炉操作的要点是：炉温高、操作快、补层薄。这样做有利于补层的烧结。

(2) 配料和装料 为了炼好钢，需要事先配好炉料。电弧炉炼钢所用的炉料主要由碳素废钢和废铸件所组成，也可适当搭配一部分炼钢生铁。配料的基本要求是要使炉料有适宜的平均碳含量，氧化脱碳量一般为0.3%~0.4%。当炉料主要由比较洁净的废钢料组成时，氧化脱碳量取下限，而当炉料锈蚀比较严重，或含有较多的薄钢皮和钢屑，且生铁占比较大时，氧化脱碳量取上限。

补炉完毕后，往炉中装料以前，先在炉底上铺一层石灰，其质量约为炉料质量的1%。其目的是在炉料熔化的过程中造渣脱磷，此外在加料时能减小炉料对炉底的冲击作用，保护炉底。

(3) 熔化期 熔化期的任务是将固体炉料熔化成钢液，并进行脱磷。炉料熔化后形成钢液熔池。在炉料熔化过程中，炉料中的铁和硅、锰、磷等元素被炉气中的氧氧化，反应式为



氧化生成的FeO、SiO<sub>2</sub>、MnO及P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>等氧化物与加入炉内的生石灰（主要成分是CaO）化合而形成炉渣，覆盖住钢液表面。为了脱磷，在熔化末期分批加入小块矿石，其总量根据炉料磷含量确定，为装料量的1%~2%。炉料熔清后，熔化期就结束了。这时的炉渣中含有大量的磷，应倾炉放渣，然后加入石灰造渣材料，另造新渣。

(4) 氧化期 氧化期的任务是脱磷，去除钢液中的气体和夹杂物，并提高钢液的温度。在氧化期的前一阶段，钢液温度较低，主要是造渣脱磷。在氧化期中期提高钢液的温度。待钢液温度提高（一般要求热电偶温度在1550℃以上）后，进入后一阶段，进行氧化脱碳沸腾精炼，以去除钢液中的气体和夹杂物。氧化脱碳方法有矿石脱碳法、吹氧脱碳法和吹氧-矿石脱碳法。

采用矿石脱碳法时，应将铁矿石分批加入。这是因为矿石溶解于钢液中时会吸收热量，使钢液降温，从而影响钢液的沸腾，因此一般将矿石分三批加入，两批间隔大约10min。加入矿石的批量按每吨钢液加入10kg计算。每批矿石能使钢液脱碳约0.1%。

采用吹氧脱碳法时用吹氧管将氧气吹入钢液中。吹氧前钢液温度应达到1550℃，吹氧压力一般为0.5MPa左右。为了使钢液脱碳0.3%左右，每吨钢液的平均耗氧量一般为4~6m<sup>3</sup>。

在矿石脱碳（或吹氧脱碳、吹氧-矿石脱碳）过程之后，钢液中含有大量的FeO。为了减少钢液中残留的FeO含量，在最后一批矿石加入钢液后，经过大约3min，钢液沸腾开始

减弱, 以后继续进行 10~15 min 的脱碳过程 (大功率电炉取上限, 小功率电炉取下限)。在炼钢工艺上称此阶段为“净沸腾”。

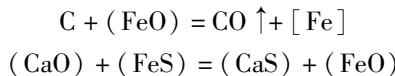
当钢液中的磷含量和碳含量都已符合工艺要求, 钢液温度足够高时, 即可扒除氧化渣进入还原期。

(5) 还原期 还原期的任务是脱氧、脱硫和调整钢液温度及化学成分。

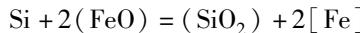
扒除氧化渣后, 首先往熔池中加入锰铁进行预脱氧。通过预脱氧可以快速除去钢液中的部分氧化亚铁, 这样就能减轻后续通过炉渣进行脱氧的任务, 加速整个还原期的进程。

在还原期进行钢液的脱氧和脱硫。脱氧和脱硫是同时进行的。还原渣有两种: 白渣和电石渣。

白渣的造渣方法为: 先加入造渣材料 (石灰和炭粉), 关上炉门还原 10~15 min, 在还原过程中, 炉渣中的碳起脱氧作用, 而生石灰则起脱硫作用。反应式为

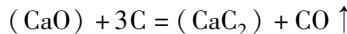


随着还原过程的进行, 炉渣逐渐失去脱氧和脱硫能力, 因此需要补充造渣材料, 调整炉渣。造渣材料中包括生石灰和硅铁粉。硅铁粉中的硅起还原作用, 反应式为

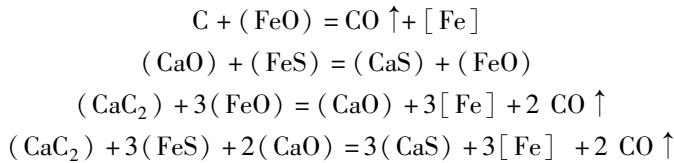


调整炉渣的过程一直持续到形成良好的白渣为止。为了充分脱氧和脱硫, 钢液在良好的白渣下还原的时间一般应为 25~30 min。

电石渣的造渣方法为: 先加入造渣材料 (石灰和炭粉), 关上炉门, 加大电流还原 15~20 min, 在电弧的高温和还原性炉气的条件下, 炉渣中的一部分石灰被碳还原生成电石 ( $\text{CaC}_2$ )。反应式为



电石渣中的碳起脱氧作用, 生石灰起脱硫作用, 电石则既起脱氧作用, 又起脱硫作用。反应式为



随着还原过程的进行, 炉渣逐渐失去脱氧和脱硫的能力, 因此需要调整炉渣。为此, 可分批加入造渣材料 (石灰石和炭粉)。调整炉渣的过程一直进行到形成良好的电石渣为止。为了充分地进行脱氧和脱硫, 钢液在良好的电石渣下还原的时间应不少于 20 min。与白渣相比, 电石渣的脱氧和脱硫能力更强。但是脱氧和脱硫反应生成的碳与钢液接触时, 会被钢液吸收, 故电石渣对钢液有增碳作用, 特别是对碳含量低的钢种, 钢液的增碳现象显著。故电石渣仅适用于冶炼碳含量较高 ( $>0.35\%$ ) 的钢种。还应指出, 电石渣黏度大, 出钢时不易与钢液分离, 而易在钢液中生成夹杂物, 故在采用电石渣还原时, 出钢前应先将电石渣变为白渣。方法是打开电炉门, 使空气进入炉内, 则渣中的  $\text{CaC}_2$  即被空气中的氧化而生成  $\text{CaO}$ 。

钢液经过白渣或电石渣充分还原后, 氧含量和硫含量都已降至符合要求时, 可以测量钢液温度。当钢液温度达到出钢温度要求时, 可以调整钢液的化学成分。冶炼碳钢时, 应加入适量的硅铁和锰铁调整硅含量和锰含量。冶炼合金钢时, 除了调整硅、锰含量以外, 还要调

整合金元素含量。

化学成分调好后，即可用铝脱氧（最后的脱氧，称为“终脱氧”）。用铝脱氧有两种方法，即插铝法和冲铝法。插铝法是在临出钢以前，用钢钎将铝块插到钢液中进行脱氧。冲铝法是在出钢时，将铝块放在出钢槽上，利用钢液将铝冲熔进行脱氧。在这两种方法中，插铝法效果较好。冲铝法的操作比较简便，但有时会发生铝块被炉渣裹住，不能起到脱氧作用的情况。插铝时应停电操作。插铝后，升起电极，倾炉出钢。出钢的原则是：钢液流要粗，而且要使钢液与炉渣一起出到钢液包（通常称为盛钢桶）中（即所谓“大口出钢”，“钢渣混出”），钢液在钢液包中镇静5min以上，然后开始浇注。

### 第三节 铸造有色金属及其熔炼

#### 一、铸造铜合金

##### 1. 铸造青铜

铸造青铜分为铸造锡青铜、铸造铝青铜和铸造锡青铜。

(1) 铸造锡青铜 铸造锡青铜具有良好的耐磨性、耐蚀性，同时还具有足够的强度和一定的塑性，常用于制造耐磨和耐蚀零件，如轴套、轴瓦和要求耐蚀的管配件、阀门、泵体等。铸造锡青铜中锡的质量分数一般为2%~10%。增加锡含量，可使塑性下降而强度增高。锡含量较高时，易产生“锡汗”。

铸造锡青铜不易形成集中缩孔，所以不用很大的补缩冒口补缩。其线收缩率不大，铸件变形、缩裂的倾向较小。

为了进一步改善铸造锡青铜的性能，常加入一些锌、铅、磷、镍等元素。

铸造锡青铜的牌号、化学成分及性能见表5-10。

表5-10 铸造锡青铜的牌号、化学成分及性能

牌号	化学成分(质量分数,%)						铸造方法	力学性能(≥)			
	Sn	Zn	Pb	P	Ni	Cu		$R_m$ /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A(%)	HBW
ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	2.0~4.0	6.0~9.0	4.0~7.0	—	0.5~1.5	其余	S	175	—	8	60
							J	215	—	10	70
ZCuSn3Zn11Pb4	2.0~4.0	9.0~13.0	3.0~6.0	—	—	其余	S、R	175	—	8	60
							J	215	—	10	60
ZCuSn5Pb5Zn5	4.0~6.0	4.0~6.0	4.0~6.0	—	—	其余	S、J、R	200	90	13	60
							Li、La	250	100	13	65
ZCuSn10P1	9.0~11.5	—	0.8~1.0	—	其余	S、R	220	130	3	80	
						J	310	170	2	90	
						Li	330	170	4	90	
						La	360	170	6	90	
ZCuSn10Pb5	9.0~11.0	—	4.0~6.0	—	—	其余	S	195	—	10	70
							J	245	—	10	70
ZCuSn10Zn2	9.0~11.0	1.0~3.0	—	—	—	其余	S	240	120	12	70
							J	245	140	6	80
							Li、La	270	140	7	80

注：S表示砂型铸造，J表示金属型铸造，R表示熔模铸造，La表示连续铸造，Li表示离心铸造。

(2) 铸造铝青铜 铸造铝青铜中铝的质量分数通常为 6% ~ 11%。随着铝含量的增加, 合金的强度、硬度提高, 而塑性下降。

铸造铝青铜比铸造锡青铜有更高的力学性能, 更好的耐磨性和耐蚀性, 常用于在高负荷、高速条件下工作的耐磨零件, 如轴套、齿轮、蜗轮等。

二元铸造铝青铜在缓慢冷却的情况下, 易产生缓冷脆性, 在砂型铸造厚大铸件时特别突出。加入锰、铁、镍可以防止缓冷脆性。

铸造铝青铜的结晶范围小, 属于层状凝固, 流动性好, 体积收缩大, 易形成集中缩孔, 采用大冒口补缩能够获得组织致密的铸件。铸造铝青铜易氧化吸气, 铸件易产生夹渣和气孔缺陷。

铸造铝青铜的牌号、化学成分及性能见表 5-11。

表 5-11 铸造铝青铜的牌号、化学成分及性能

牌号	化学成分(质量分数, %)					铸造方法	力学性能(≥)			
	Al	Fe	Mn	Ni	Cu		$R_m$ / MPa	$R_{p0.2}$ / MPa	A (%)	HBW
ZCuAl8Mn13Fe3	7.0 ~ 9.0	2.0 ~ 4.0	12.0 ~ 14.5	—	其余	S	600	270	15	160
				—		J	650	280	10	170
ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	7.0 ~ 8.5	2.5 ~ 4.0	11.5 ~ 14.0	1.8 ~ 2.5	其余	S	645	280	20	160
				—		J	670	310	18	170
ZCuAl9Mn2	8.0 ~ 10.0	—	1.5 ~ 2.5	—	其余	S、R	390	150	20	85
				—		J	440	160	20	95
ZCuAl9FeNi4Mn2	8.5 ~ 10.0	4.0 ~ 5.0	0.8 ~ 2.5	4.0 ~ 5.0	其余	S	630	250	16	160
				—		S	490	180	13	100
ZCuAl10Fe3	8.5 ~ 11.0	2.0 ~ 4.0	—	—	其余	J	540	200	15	110
				—		Li、La	540	200	15	110
ZCuAl10Fe3Mn2	9.0 ~ 11.0	2.0 ~ 4.0	1.0 ~ 2.0	—	其余	S、R	490	—	15	110
				—		J	540	—	20	120

## 2. 铸造黄铜

普通铸造黄铜的力学性能比纯铜高, 不生锈, 耐腐蚀, 能很好地进行压力加工。通常铸造黄铜中锌的质量分数为 30%, 铜的质量分数为 70%, 即所谓三七铜。特殊黄铜随加入的元素不同, 其性能特点各异。铸造黄铜具有良好的铸造性能。加入质量分数为 0.5% ~ 1.5% 的锡, 能改善耐蚀能力, 故铸造黄铜有著名的海军黄铜之称。铸造黄铜的牌号、化学成分及性能见表 5-12。

表 5-12 铸造黄铜的牌号、化学成分及性能

牌号	化学成分(质量分数, %)							铸造方法	力学性能(≥)			
	Cu	Pb	Al	Fe	Mn	Si	Zn		$R_m$ / MPa	$R_{p0.2}$ / MPa	A (%)	HBW
ZCuZn38	60.0 ~ 63.0	—	—	—	—	—	余量	S	295	95	30	60
								J	295	95	30	70
ZCuZn25Al6Fe3Mn3	60.0 ~ 66.0	—	4.5 ~ 7.0	2.0 ~ 4.0	2.0 ~ 4.0	—	余量	S	725	380	10	160
						—		J	740	400	7	170
								Li、La	740	400	7	170

(续)

牌号	化学成分(质量分数,%)							铸造方法	力学性能(≥)			
	Cu	Pb	Al	Fe	Mn	Si	Zn		$R_m$ /MPa	$R_{P0.2}$ /MPa	A (%)	HBW
ZCuZn26Al4Fe3Mn3	60.0 ~ 66.0	—	2.5 ~ 5.0	2.0 ~ 4.0	2.0 ~ 4.0	—	余量	S	600	300	18	120
	J	600	300	18	130							
	Li、La	600	300	18	130							
ZCuZn31Al2	66.0 ~ 68.0	—	2.0 ~ 3.0	—	—	—	余量	S	295	—	12	80
	J	390	—	15	90							
ZCuZn35Al12Mn2Fe1	57.0 ~ 65.0	—	0.5 ~ 2.5	0.5 ~ 2.0	0.1 ~ 3.0	—	余量	S	450	170	20	100
	J	475	200	18	110							
	Li、La	475	200	18	110							
ZCuZn38n2Pb2	57.0 ~ 60.	1.5 ~ 2.5	—	—	1.5 ~ 2.5	—	余量	S	245	—	10	70
	J	345	—	18	80							
ZCuZn40Mn2	57.0 ~ 60.0	—	—	—	1.0 ~ 2.0	—	余量	S、R	345	—	20	80
	J	390	—	25	90							
ZCuZn40Mn3Fe1	53.0 ~ 58.0	—	—	0.5 ~ 1.5	3.0 ~ 4.0	—	余量	S、R	440	—	18	100
	J	490	—	15	110							
ZCuZn33Pb2	63.0 ~ 67.0	1.0 ~ 3.0	—	—	—	—	余量	S	180	70	12	50
ZCuZn40Pb2	58.0 ~ 63.0	0.5 ~ 2.5	0.2 ~ 0.8	—	—	—	余量	S、R	220	95	15	80
	J	280	120	20	90							
ZCuZn16Si4	79.0 ~ 81.0	—	—	—	—	2.5 ~ 4.5	余量	S、R	345	180	15	90
	J	390	—	20	100							

## 二、铸造铝合金

铸造铝合金密度小,塑性好,具有良好的导电、导热、耐蚀性能,力学性能好,铸造性能也好。因此,铸造铝合金在航空工业、机械制造、电气工业、铁路运输及日用工业中得到广泛应用。

铸造铝合金按主要加入元素的不同分为四类,即铸造铝硅合金、铸造铝铜合金、铸造铝镁合金和铸造铝锌合金,其代号分别用ZL1××、ZL2××、ZL3××、ZL4××表示。部分铝合金的代号、化学成分及力学性能见表5-13。

表5-13 部分铝合金的代号、化学成分及力学性能

类别	代号	化学成分(质量分数,%)						杂质 (≤)	力学性能(≥)		
		Si	Cu	Mg	Mn	其他	Al		$R_m$ /MPa	A (%)	HBW
铝硅 合金	ZL101	6.5 ~ 7.5	—	0.25 ~ 0.45	—	—	其余	1.5	135 ~ 225	1 ~ 4	45 ~ 70
	ZL101A	6.5 ~ 7.5	—	0.25 ~ 0.45	—	Ti;0.08 ~ 0.2	其余	0.7	195 ~ 295	2 ~ 5	60 ~ 80
	ZL102	10.0 ~ 13.0	—	—	—	—	其余	2.2	135 ~ 155	2 ~ 4	50
	ZL104	8.0 ~ 10.5	—	0.17 ~ 0.35	0.20 ~ 0.50	—	其余	1.4	150 ~ 240	1.5 ~ 2	50 ~ 70
	ZL105	4.5 ~ 5.5	1.0 ~ 1.5	0.4 ~ 0.6	—	—	其余	1.4	155 ~ 235	0.5 ~ 1	65 ~ 70
	ZL105A	4.5 ~ 5.5	1.0 ~ 1.5	0.4 ~ 0.55	—	—	其余	0.5	275 ~ 295	1 ~ 2	80
	ZL106	7.5 ~ 8.5	1.0 ~ 1.5	0.3 ~ 0.5	0.3 ~ 0.5	Ti;0.1 ~ 0.25	其余	1.0	175 ~ 265	1 ~ 2	60 ~ 80
	ZL107	6.5 ~ 7.5	3.5 ~ 4.5	—	—	—	其余	1.2	165 ~ 275	2 ~ 2.5	65 ~ 100
	ZL108	11.0 ~ 13.0	1.0 ~ 2.0	0.4 ~ 1.0	0.3 ~ 0.9	—	其余	1.2	195 ~ 225	—	85 ~ 90
	ZL109	11.0 ~ 13.0	0.5 ~ 1.5	0.8 ~ 1.3	—	Ni;0.8 ~ 1.5	其余	1.2	195 ~ 245	0.5	90 ~ 100
	ZL110	4.0 ~ 6.0	5.0 ~ 8.0	0.2 ~ 0.5	—	—	其余	2.7	125 ~ 205	—	80 ~ 90
	ZL111	8.0 ~ 10.0	1.3 ~ 1.8	0.4 ~ 0.6	0.1 ~ 0.35	Ti;0.1 ~ 0.35	其余	1.0	205 ~ 315	1.5 ~ 2	80 ~ 100

(续)

类别	代号	化学成分(质量分数, %)						杂质 (≤)	力学性能(≥)		
		Si	Cu	Mg	Mn	其他	Al		$R_m$ /MPa	A (%)	HBW
铝铜合金	ZL201	—	4.5 ~ 5.3	—	0.6 ~ 1.0	Ti; 0.15 ~ 0.35	其余	1.0	295 ~ 335	2 ~ 8	70 ~ 90
	ZL201A	—	4.8 ~ 5.3	—	0.6 ~ 1.0	Ti; 0.15 ~ 0.35	其余	0.4	390	8	100
	ZL203	—	4.0 ~ 5.0	—	—	—	其余	2.1	195 ~ 225	3 ~ 6	60 ~ 70
铝镁合金	ZL301	—	—	9.5 ~ 11.0	—	—	其余	1.0	280	9	60
	ZL303	0.8 ~ 1.3	—	4.5 ~ 5.5	0.1 ~ 0.4	—	其余	0.7	143	1	55
铝锌合金	ZL401	6.0 ~ 8.0	—	—	—	Zn; 9.0 ~ 13.0	其余	2.0	195 ~ 245	1.5 ~ 2	80 ~ 90
	ZL402	—	—	0.5 ~ 0.65	0.2 ~ 0.5	Ti; 0.15 ~ 0.25 Zn; 5.0 ~ 6.5 Cr; 0.4 ~ 0.6	其余	1.65	220 ~ 235	4	65 ~ 70

### 1. 铸造铝硅合金

铸造铝硅合金又称为硅铝明，其常用的硅的质量分数为 4% ~ 13%。铸造铝硅合金是共晶合金，流动性好，收缩小，裂纹倾向小，易获得致密铸件，常用来制造活塞、气缸盖、电动机外壳、风机叶片等。

在铸造铝硅合金的共晶组织中，硅呈粗大片状，所以合金的抗拉强度和断后伸长率都不是很高。对合金液进行变质处理，可以改善合金的力学性能。一般铸造铝合金都要进行变质处理。

普通铸造铝硅合金 (Al - Si 二元合金) 热处理强化效果不好，因此不进行热处理强化，单纯变质处理仍不能满足所需的强度要求。在此基础上加入镁或铜，可以实现热处理强化，如加镁的 ZL101、ZL104，加铜的 ZL107，同时加镁和铜的 ZL105、ZL110 等。

### 2. 铸造铝铜合金

铸造铝铜合金中铜的质量分数一般为 4% ~ 5%。铸造铝铜合金有较好的高温力学性能，随着铜含量的增加，其高温强度也随之增加，同时脆性增大。

铸造铝铜合金可以进行热处理强化，铜含量为 5% 的铸造铝铜合金效果最佳。

铸造铝铜合金的可加工性能较好，但耐蚀性和铸造性能比铸造铝硅合金差，易出现缩松、热裂等铸造缺陷。

## 三、铸造有色合金的熔炼

### 1. 铸造铜合金的熔炼

各类铸造铜合金的熔炼工艺不尽相同，但均应遵循下列原则：

1) 所有炉料表面必须清理干净，预热，熔剂应焙烧或预熔，彻底去除水分。更换合金牌号时，特别要注意的是，铝青铜、铝黄铜、硅黄铜用过的坩埚和炉衬不可熔炼锡青铜、铅青铜、镍白铜。

2) 铜合金液易氧化、吸气，应遵守“快速熔炼，及时浇注”的原则，不使铜液在炉内停留时间过长。

3) 控制炉氛为中性，锡青铜、铅青铜可在弱氧化性炉氛中熔炼。

4) 加料次序很重要，应遵循“快速熔化”和“防止氧化、吸气”的原则，具体次序应

根据炉料组成、熔炼设备特性灵活运用。

- 5) 熔炼温度与铜液质量密切相关, 应严格控制, 以符合工艺要求。
- 6) 及时、准确执行炉前质量检验。

下面介绍铸造铜合金熔炼要点。

(1) 锡青铜 锡青铜中的合金元素锡、铅、锌、磷等熔点都比较低, 除磷以 P-Cu 中间合金的形式加入外, 其余都以纯金属状态直接加入炉中。

在此以 ZCuSn5Pb5Zn5 铸造锡青铜为例说明熔炼工艺要点。

ZCuSn5Pb5Zn5 铸造锡青铜传统的熔炼工艺: 先加入木炭覆盖剂, 加热坩埚, 然后加入全部纯铜, 熔清后升温至 1200℃左右, 用 0.3%~0.4% 的磷铜脱氧后, 依次加入回炉料和锡、锌、铅, 最后补加 0.1%~0.2% 的磷铜脱氧, 改善流动性, 出炉温度为 1200℃, 浇注温度为 1100~1180℃。传统工艺的特点是先熔清熔点高的基本组成铜, 再加入低熔点的合金元素, 最后加入容易熔化、蒸发的锌。

(2) 铸造铝青铜 铸造铝青铜中含有铝、铁、锰等元素, 熔清后铜液表面覆盖一层  $Al_2O_3$  保护膜, 故可以不加覆盖剂, 但必须防止铜液吸氢。ZCuAl10Fe3Mn2 铸造铝青铜有两种不同的熔炼工艺, 即一次熔炼工艺和二次熔炼工艺。一次熔炼工艺的特点是利用铝热反应发热熔清高熔点的铁, 先在坩埚底部加入经除油的低碳钢屑, 上面覆盖纯铜, 开风熔化, 纯铜熔清后, 升温至 1150℃左右, 估计钢屑尚有 1/3 左右未熔清时, 加入铝锭并搅拌, 利用铝热效应升温使钢屑熔清, 然后加回炉料降温, 炉前质量检测合格后, 加少量  $Na_3AlF_6$  清渣, 即可浇注。此方法的关键是掌握好加铝的时间, 过早则钢屑不能熔清, 过晚则钢液过热跑温, 严重氧化、吸氢。

(3) 铸造黄铜 铸造黄铜中含有大量的锌, 由于锌的沸点低, 高锌黄铜在熔炼时会沸腾, 产生除气效果, 故熔炼铸造黄铜时, 一般不进行精炼。

熔炼铸造黄铜时应遵循“低温加锌”和“逐块加锌”的原则, 防止铜液剧烈沸腾, 不然会引起铜液飞溅, 锌被大量损耗, 甚至危害人身安全。熔炼铸造铝黄铜时, 应在加锌之前加铝。熔炼铸造锰黄铜时应加 0.2%~0.5% 的铝, 可防止锰被氧化, 提高铜液流动性, 并改善合金的表面光泽。

## 2. 铸造铝合金的熔炼

铸造铝合金的熔炼, 无论是熔炼理论或实际的操作, 都是比较复杂的。铸造铝合金熔炼的内容包括配料计算、炉料处理、熔炼设备选用、熔炼工具处理及熔炼工艺过程控制。

铸造铝合金的熔炼工艺大致分为熔炼前的准备、装料、熔化、调整化学成分、精炼、变质处理、调整温度、浇注。

铸造铝合金的牌号很多, 其具体熔炼工艺各不相同, 但其熔炼过程和操作都是相同的。下面通过几种铸造铝合金的熔炼, 说明其熔炼的基本原理。

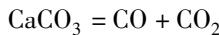
(1) ZL104 300kg 以下熔化量一般在电阻坩埚炉中熔炼。首先进行配料计算, 算出炉料及熔剂, 将熔炼工具清理干净并预热。用新坩埚时, 先空炉加热至 600~700℃, 呈暗红色, 保持 30~60min, 烧去铁坩埚内的水分及可燃杂质, 然后冷却至 200℃左右, 喷上涂料。若能熔化一次 ZL104 的回炉料或杂铝后再正式熔炼, 则更为理想。对于旧坩埚, 则应将内壁清理干净, 用小锤轻敲, 凭声音判断有无裂纹出现。检查后, 将坩埚加热至 200℃左右, 喷涂料。常用涂料见表 5-14。涂料由填充剂、黏结剂和适量水或酒精组成, 使用涂料时应

根据具体用途,选择合适的填充剂和稠度。常用的填充剂有白垩粉、滑石粉、氧化锌、石棉粉等。

表 5-14 常用涂料成分、配比及用途

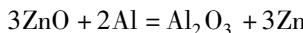
组成	1	2	3	4	5	6	7	8
白垩粉( $\text{CaCO}_3$ )	15	—	—	—	90	—	—	—
滑石粉( $3\text{MgO} \cdot 4\text{Si}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	—	—	15	90	—	—	—	—
刚玉粉( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	—	—	—	—	—	—	—	250g
氧化锌( $\text{ZnO}$ )	—	15	—	—	—	23	20	—
石棉粉	—	—	—	—	—	—	—	—
水玻璃	3	3	3	10	10	2	15	硅溶胶 12mL
水( $\text{H}_2\text{O}$ )	82	82	82	适量	适量	75	适量	酒精 15mL
用途	工具	工具	工具	坩埚	坩埚	金属型型腔	金属型浇冒口	工具、坩埚

白垩粉遇铝液将发生分解,反应式为



故用表 5-14 中 1 号涂料喷涂的工具留取铝液时,起初有  $\text{CO}_2$  气泡产生,但  $\text{CaO}$  仍能紧紧地黏附在工具或坩埚上,不易脱落。

用氧化锌作填充剂时,与铝液反应,反应式为



反应结果,  $\text{ZnO}$  被还原,涂料容易剥落,但氧化锌有优点:当工具预热至  $350^\circ\text{C}$  左右时,涂料由白色转为杏黄色,可借以估计工具的温度,判断工具表面是否吸附水汽;其次,氧化锌涂料不会分解出气态产物。因此,常用表 5-14 中的 1 号、2 号涂料喷涂熔炼工具,用 4 号、5 号涂料喷涂坩埚,用 6 号或 7 号涂料喷涂金属型型腔或浇冒口。8 号涂料既不分解,也不会被还原,非常稳定,寿命长,不污染铝液,缺点是价格高,只在重要场合使用。

涂料的稠度由涂料层厚度决定。涂料层越厚,对稠度的要求越高。由于坩埚与高温铝液长时间接触,在浇注过程中无法补涂,因此熔炼前应涂得厚一些,涂料的稠度要大。

金属的浇冒口要有良好的保温作用。因此用 7 号涂料,涂料层要厚,稠度要大。

熔炼工具的涂料层要薄,即使有剥落,也可以补涂。如果涂得太厚,则受急冷急热时,涂料剥落后落入铝液中,成为夹渣。当锌作为合金中的杂质且严格控制含量时,最好不用氧化锌作涂料。坩埚喷好涂料后,升温至  $500 \sim 600^\circ\text{C}$ ,呈暗红色时,开始装料。炉料预热温度为  $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 。预热温度越高,熔化速度越快。但温度过高时,会使炉料失去强度,导致装料不便。严禁把冷料直接加入铝液中,否则会使铝液飞溅甚至爆炸。

传统的加料次序是先加较低熔点的回炉料和  $\text{Al-Si}$  合金锭,再加熔点较高的铝锭和  $\text{Al-Mn}$  中间合金,待全部熔清后,再加回炉料将温度降至  $680 \sim 700^\circ\text{C}$ ,加入镁锭,搅拌均匀后,即可进行精炼、变质,炉前质量检测合格后,浇注试棒,最后浇注铸件。

近年来推荐直接加硅、锰,具有一定的优点。加料次序改为先投铝锭,升温至  $700^\circ\text{C}$ ,把预热至  $600 \sim 700^\circ\text{C}$  的结晶硅或电解锰直接加入铝液中,同时吹氮精炼,搅拌铝液,加速结晶硅、电解锰的熔化。全部熔清后,用回炉料降温后加镁,搅拌均匀后即可变质。

此方法省去了熔制中间合金的工时，节约了能源，免去了熔制中间合金的高温操作，对提高冶金质量有利。此方法的关键是要创造良好的合金化条件，保证铝液与结晶硅、电解锰的表面直接接触，直至熔清。不宜随便翻动铝液上的结晶硅、电解锰，以防止在表面生成 $\text{SiO}_2$ 或 $\text{MnO}$ 膜，外包一层 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，隔断铝液和结晶硅、电解锰的接触，阻止合金化过程，这样熔炼会失败。

(2) ZL201 熔炼 ZL201 的工艺要点是：严格控制化学成分，防止产生钛偏析。为此应使用纯度较高的铝锭，回炉料不能超过 60%，配料时要准确掌握各元素的熔耗率，并验算铁、硅含量。防止和消除钛偏析的工艺措施有：

1) 不允许使用化学成分不均匀，存在大片状 $\text{TiAl}_3$ 或冶金质量差的 $\text{Al}-\text{Ti}$ 中间合金；配料时钛的质量分数控制在 0.15% ~ 0.3%。

2) 熔炼时加强搅拌，尽量采用感应电炉熔炼。

3) 尽量缩短搅拌后到浇注铸件时的保温时间，不得超过 30min。ZL201 对杂质铁、硅很敏感，最好用石墨坩埚，投料前要清理干净并预热。

铜、锰、钛分别以 $\text{Al}-\text{Cu}$ 、 $\text{Al}-\text{Mn}$ 、 $\text{Al}-\text{Ti}$ 中间合金的形式加入，也可以 $\text{K}_2\text{TiF}_6$ 的形式加入钛。为了获得成分准确、冶金质量高的合金，常用二次熔炼法，即先熔制预制合金锭，快速熔化，调整成分后即可进行浇注。在熔炼工艺成熟，能准确控制合金成分，保证合金质量的条件下，可以省去预制合金锭。

## 第四节 铸造合金熔炼节能技术

铸造合金的熔炼是一个高耗能的工序，因此，铸造合金熔炼的节能显得十分重要。本节就铸造合金熔炼方面的节能问题做一般性的介绍。

### 一、铸铁熔炼的节能技术

#### 1. 冲天炉熔炼

(1) 风机的选择 冲天炉常用风机有两类：离心式（定压式）鼓风机和回转式鼓风机。

普通的离心式鼓风机具有耗电少的优点，冲天炉熔化 1t 铁液的平均耗电量为 7 ~ 9kW · h，但其风量随炉内阻力的增加而急剧减少，不能满足冲天炉操作的要求。冲天炉专用高压离心风机是根据我国冲天炉的特点而设计的。它具有风压高、风量适中、结构简单、耗电少、噪声低等特点，已较为广泛地应用在中小型冲天炉上。

冲天炉专用风机有 HTD 系列高压离心鼓风机及 8-09、9-12 型系列高压离心鼓风机。

(2) 预热送风 预热送风是强化冲天炉熔炼的有效措施之一。热风能强化底焦燃烧，提高炉温，从而提高铁液温度。当热风温度为 200℃ 时，铁液温度可提高 10 ~ 20℃，热风温度为 500℃ 以上时，铁液温度可提高 100℃ 左右。如果维持铁液温度不变，则可相应减少焦炭消耗量，并可提高熔化率。

(3) 富氧送风 富氧送风是在送风过程中加入一定比例的氧气，以提高送风中氧的浓度，强化冲天炉熔炼的方法。提高空气中氧的浓度，能促使碳的燃烧反应进行得更剧烈，同时能加快反应的速度，进而对冲天炉中焦炭的燃烧过程起到显著的强化作用。

#### 2. 双联熔炼

双联熔炼的主要形式见表 5-15。

表 5-15 双联熔炼的主要形式

炉的组合		炉的连接方式
熔化用炉	过热精炼或保温储存铁液用炉	
冲天炉	有芯感应电炉	直接或间接
	无芯感应电炉	直接或间接
	电弧炉	间接
无芯感应电炉	有芯感应电炉	间接
	无芯感应电炉	间接
	电弧炉	间接
电弧炉	有芯感应电炉	间接
	无芯感应电炉	间接
高炉	有芯感应电炉	间接
	无芯感应电炉	间接

双联熔炼的主要特点是：

- 1) 在铁液供求方面：能较可靠地实现铁液的供求平衡，把停工损失减少到最小，并可最大限度地发挥熔化炉的熔化能力。
- 2) 在铁液成分和温度方面：可获得稳定的铁液成分，波动范围小，并能进行成分调整、合金化和脱硫，还能补偿运送和浇注过程中所造成的温度损失。
- 3) 在冶金特性方面：铁液经过电炉后，晶核数量减少，过冷度增加，白口倾向加大，生成枝晶状石墨和点状石墨的倾向加大，石墨尺寸小。
- 4) 在能源和材料利用方面：可充分利用炉子的热效率，并且还可回用冷铁液和浇注剩余铁液，提高金属材料的利用率，每吨铁液的费用可降低 5.4% ~ 54%。
- 5) 在生产适应性方面：在两班工作时，第三班可向保温炉添加炉料，熔化并升高铁液温度，或聚集夜间熔化炉熔炼的铁液，以便第二天一上班就有合格的铁液供应浇注工部，提高工作效率。另外，还可利用一种成分的铁液，通过添加合金等办法得到多种牌号的铸铁。双联熔炼对各种类型的铸造生产都具有较强的适应性。

## 二、铸钢熔炼的节能技术

近年来随着大功率晶闸管整流元件的实用化，一种新型直流电弧炉已经问世。其由于电弧稳定，具有低耗、节能等优点而受到广泛关注。其主要优点是电极耗量大幅度降低，国外多采用单电极直流炼钢电弧炉。我国研制出了一种和国外不同的直流电弧炉——双电极磁镜式电弧炉。除此，同一额定功率的炼钢电弧炉按配套的变压器容量的不同分为三类，即一类是普通功率，二类是高功率，三类是超高功率。

近代铸钢熔炼技术发展的一个重要方向是炉外精炼。炉外精炼过程是先采用电弧炉（或平炉、感应电炉等）进行钢的初炼（熔化炉料以及脱磷等），而将其后的精炼（脱碳、脱硫、脱氧等）放在精炼设备中完成。炉外精炼能够提高钢液的精炼效果，大幅度改善钢的质量，而且能缩短炼钢时间，降低能耗。因此，钢的炉外精炼首先是新技术，同时也是节能技术，故称为节能新技术比较合适，有大力推广的必要。

## 三、铸造有色合金熔炼的节能技术

铸造有色合金一般要求快速熔炼，主要是防止合金元素的烧损，同时，又起到节能的目

的。关于部分铸造有色合金熔炼的新技术已在具体的熔炼工艺中进行了介绍，这里不再重复。

## 第五节 铸造合金熔炼工艺的编制

铸造合金的熔炼工艺是合金熔炼的纲领性文件，如同铸造工艺图一样，是综合性的技术文件，在铸造生产中具有十分重要的意义。

本节将介绍铸造合金熔炼工艺编制的一般过程。需特别指出的是，铸造合金的熔炼工艺通常只在铸造工艺卡里作为铸造工艺的一个组成部分。然而，其作用却十分重要。编制铸造合金熔炼工艺时一般应遵循以下基本原则：

### 1. 熔炼前的工艺分析和准备

- 1) 了解铸造合金的工艺性。
- 2) 掌握铸造合金的熔炼工艺特点。
- 3) 了解铸造合金的技术要求。

### 2. 熔炼设备及工艺措施的选用

- 1) 根据以上分析可对熔炼设备进行选用，同时应注意经济性。
- 2) 根据生产的批量选用熔炼设备。
- 3) 确定熔炼过程中的检测措施。
- 4) 掌握铸造合金在熔炼过程中的变化。

### 3. 炉料的选用

炉料应根据铸件的工艺要求合理地选用。例如，熔炼铸铁时新生铁通常根据铸铁的牌号选用；熔炼灰铸铁时，新生铁中锰的含量可高一些，而球墨铸铁则不宜。又如，普通中碳铬钢，可选用中、高碳铬铁作为铬的铁合金，而不应选用微碳铬铁。微碳铬铁完全可以满足工艺要求，但价格很贵，没有必要，只有低碳及超低碳合金钢才有必要选用。

另外，选用炉料时还应注意合金液的冶金性能。

### 4. 加热规范的确定

合理的加热规范是合金熔炼的基本要求。

### 5. 熔炼工艺过程中的工艺措施

(1) 工艺措施的确定 熔炼过程中工艺措施同样是合金熔炼的基本保证，应根据不同的合金采取相应的工艺措施。例如，大部分钢种一般采用铝进行终脱氧，含氮的钢种（铬锰氮钢）则不宜采用铝进行终脱氧而用硅钙合金。再如，工频感应电炉炼钢时一般采用沉淀脱氧，而电弧炉炼钢时则先用扩散脱氧，出钢前用铝进行沉淀脱氧。

(2) 熔炼过程的检测 熔炼过程中的检测是确保熔炼过程顺利进行的基本保证，如温度的测量、风量及风压的测量、炉渣酸碱性的检测、球化级别及孕育效果的检测等。

## 第六节 铸件的热处理

### 一、灰铸铁件的热处理

由于一般热处理改变不了石墨的片状特征，因此，较少对灰铸铁件进行热处理，最常用

的有：低温退火，消除内应力处理，也称为时效；改善可加工性能的降低硬度（去除铸件内残留的少量自由碳化物）的热处理（也称为高温石墨化退火）。

## 二、球墨铸铁件的热处理

### (1) 球墨铸铁件热处理的特点

1) 硅是提高共析转变温度和降低马氏体临界冷却速度的元素，故球墨铸铁热处理加热温度较高，淬火冷却速度也较慢。

2) 硅降低碳在奥氏体中的溶解能力，要想在奥氏体中溶入必要数量的碳，高温下的保温时间要比钢长一些。

3) 石墨的导热性较差，故球墨铸铁热处理的加热速度要缓慢。

4) 石墨球能起着碳的“储备库”的作用，故当基体组织完全奥氏体化后，通过控制加热温度和保温时间，可调整奥氏体中的碳含量，以改变球墨铸铁热处理后的组织和性能。

### (2) 热处理方法

1) 去应力退火。球墨铸铁的弹性模量比灰铸铁高，故铸造应力比灰铸铁约大2倍。对于不再进行其他热处理的球墨铸铁件，通常应进行去应力退火。去应力退火工艺为：将铸件缓慢加热到500~620℃，保温2~8h，然后随炉缓冷。

2) 石墨化退火。石墨化退火的目的是消除白口组织，降低硬度，改善可加工性能以及获得铁素体球墨铸铁。根据铸态组织的不同，分为高温石墨化退火和低温石墨化退火两种。

① 高温石墨化退火。高温石墨化退火工艺为：将铸件加热到900~950℃，保温2~4h，使自由渗碳体石墨化，然后随炉缓冷至600℃，使铸件发生中间石墨化和第二阶段石墨化，再出炉冷却。

② 低温石墨化退火。低温石墨化退火工艺为：将铸件加热至共析温度范围附近，即720~760℃，保温2~8h，使铸件发生第二阶段石墨化，然后随炉缓冷至600℃，再出炉空冷。

3) 正火。球墨铸铁正火的目的是增加基体组织中珠光体的数量和减小层状珠光体的片层间距，以提高其力学性能，并可作为表面淬火的预备热处理。正火可分为高温正火和低温正火。

① 高温正火。高温正火工艺是将铸件加热至共析温度范围以上，一般为900~950℃，保温1~3h，使基体组织全部奥氏体化，然后出炉空冷，对硅含量较高的厚壁铸件，则应采用风冷或喷雾冷却，保证正火后能获得珠光体球墨铸铁。

② 低温正火。低温正火工艺是将铸件加热至共析温度范围内，即820~860℃，保温1~4h，使基体部分奥氏体化，然后出炉空冷。低温正火的组织为珠光体加分散铁素体。

4) 等温淬火。当铸件形状比较复杂，又需要高强度和较好的塑性和韧性时，往往采用等温淬火工艺。球墨铸铁等温淬火工艺是把铸件加热至860~920℃，保温一定的时间，然后迅速放入温度为250~350℃的等温盐浴中进行0.5~1.5h的等温处理，然后出炉空冷。

5) 调质处理。球墨铸铁调质的目的是获得回火索氏体和球状石墨组织，其硬度为250~340HBW，具有良好的综合力学性能。其加热温度为860~920℃，除形状简单的铸件采用水冷外，一般采用油冷。

在此有一个关于（铸）钢与铸铁热处理加热工艺规范的问题需要说明：钢（包括各类铸钢）的加热温度是根据碳含量确定的，而铸铁的加热温度是以铸铁中的硅含量确定的。正如上文所指出的，硅能够提高共析转变温度和降低马氏体临界冷却速度，硅溶入铁素体可

以稳定铁素体，使其分解速度减慢。准确地说，铸铁热处理时的加热温度应根据硅的临界点确定，但多数基本上是一个温度范围。

### 三、铸钢件的热处理

#### 1. 铸造碳钢件的热处理

一般铸钢件的热处理有三个目的：细化晶粒、消除魏氏组织和消除铸造应力。铸造碳钢件的热处理工艺有退火、正火和正火+回火。铸造碳钢件不宜采用淬火处理的方法。

(1) 退火 将铸件加热至奥氏体区温度并保温一段时间，然后随炉冷却。适宜的加热温度是奥氏体上临界温度  $Ac_3$  以上  $30\sim50^{\circ}\text{C}$ ，具体温度应依照钢的碳含量而定。

(2) 正火 正火所采用的加热温度及保温时间与退火相同，不同之处是保温时间达到后将铸件空冷至常温。

(3) 正火+回火 为了进一步提高钢的性能，可采取在正火后加回火的热处理工艺。回火温度为  $550\sim650^{\circ}\text{C}$ ，在此温度下的保温时间一般为  $2\sim3\text{h}$ 。

对于一些要求特别高的铸件，可采用双重正火+回火的热处理工艺。

#### 2. 铸造低合金钢的热处理

低合金钢铸件的热处理不仅具有上述作用，而且要发挥合金元素提高钢的淬透性的作用。因此，低合金钢铸件热处理的主要方式是淬火+回火或正火+回火。低合金钢铸件的热处理工艺特点如下：

(1) 预备退火热处理 由于低合金钢中合金元素偏析倾向大，加上钢的导热性差，在铸件凝固和冷却过程中所产生的内应力比碳钢铸件更大，铸件更容易变形和开裂。因此，应先进行消除内应力和细化组织的退火处理，再进行铸件的粗加工和其后的淬火+回火或正火+回火处理。

铸造低合金钢的热处理温度见表 5-16。

表 5-16 铸造低合金钢的热处理温度

钢 种	预备退火温度/℃	淬火或正火温度/℃	回火温度/℃
低 Mn	850~950	870~930	600~680
低 Mn-Cr	930~1000	870~930	600~680
Si-Mn	850~1000	850~900	600~680
低 Mo	900~1000	870~930	600~700
Cr-Mn	870~1000	870~930	650~750

(2) 淬火(正火)温度及保温时间 低合金钢铸件淬火或正火时，可采取比碳钢铸件高一些的加热温度，一般采用  $Ac_3 + (50\sim100)^{\circ}\text{C}$ 。表 5-16 中列举了一些铸造低合金钢的加热温度。低合金钢铸件的保温时间与碳钢铸件相同，一般按照铸件壁厚确定，每  $25\text{mm}$  增加  $1\text{h}$  的保温时间。

(3) 回火后的冷却速度 低合金钢铸件在回火后，均应采取快冷。即使是加铝、钼的锰钢或铬钢，采取快速冷却也能改善其力学性能，特别是屈服强度和韧性。因此，在铸件结构条件允许，不易产生变形和开裂的情况下，可采取水冷或喷雾。

### 四、铸造有色金属件的热处理

#### 1. 铝铸件的热处理

为提高铝铸件的服役性能，必须对其进行相应的热处理。铝铸件进行热处理的目的为：

提高综合力学性能；消除偏析和针状组织；改善组织和性能；稳定组织和性能；消除铸造应力。

## 2. 热处理的常用规范

(1) 人工时效 对有“自动淬火”效应的合金(如ZL401等)，常采用人工时效，以使过饱和相沉淀，提高合金的力学性能。

(2) 退火 消除铸造应力以及切削加工引起的切削应力；提高零件尺寸稳定性；使铝硅类合金中的共晶硅球化，提高合金的塑性。

(3) 固溶处理 加热至固相线附近，使强化相溶入 $\alpha$ (Al)中，淬入淬火冷却介质中获得过饱和的 $\alpha$ (Al)固溶体，提高合金的强度和塑性。固溶处理对于铝镁类合金来说是最终热处理工序；对于需要进行人工时效，进一步提高合金抗拉强度的合金来说，是热处理前期工序。

(4) 固溶处理后不完全人工时效 固溶处理后进行不完全人工时效，时效-强化时间可分三段，即强度上升段、强度峰值段、强度下降段。不完全人工时效相当于强度上升段。

(5) 固溶处理后完全人工时效 人工时效时间取强度峰值段，铸件可获得最大的抗拉强度，塑性则下降。大部分铸铝合金采用该规范。

(6) 固溶处理后稳定化回火 固溶处理后，在比人工时效稍高的温度下保温，使部分强化相脱溶，称为稳定化回火，适用于在较高温度下工作的零件，能使组织和尺寸稳定，尚保留一定的抗拉强度。

(7) 固溶处理后软化回火 固溶处理后在比人工时效更高的温度下保温，使固溶体脱溶分解，强化相聚集球化，牺牲合金强度以获得高塑性。

(8) 铸造淬火 将刚凝固的高温铸件自铸型中取出后直接淬入低温介质中，以获得固溶处理的部分效果。铸造淬火用于金属型铸造的活塞，能缩短生产周期，节约能源，降低成本，具有可观的经济价值。

(9) 等温淬火 固溶处理后，不必降温到室温停留24h，直接自热处理炉中淬入该合金人工时效温度的介质中。等温淬火在不降低力学性能的同时，可减少淬火引起的变形，还能缩短生产周期。

(10) 循环处理 经过多次加热至350℃左右然后冷却，在150~190℃进行循环处理，可使铸件体积更加稳定，用于精密仪表零件。

## 3. 铜铸件的热处理

大多数铸造铜合金都不能进行热处理，而是在铸造状态下使用。但也有少数铸造铜合金，如铍青铜、锆青铜、铬青铜能显著地被热处理强化并在热处理后使用。此外，铝质量分数大于9.4%的铝青铜，经过适当的热处理后能在一定程度上改善力学性能，特别是耐蚀性能。

### (1) 热处理的分类

1) 消除应力退火：目的在于消除铸造和补焊后产生的内应力。

2) 强化热处理：包括固溶处理和时效处理，目的在于提高合金的物理化学和力学性能。

3) 消除铸造缺陷的热处理：当铸造锡青铜加热至400~650℃时， $\alpha$ 枝晶的 $\delta$ 相扩散溶入 $\alpha$ 相中，引起合金的体积膨胀，从而堵塞锡青铜的显微缩孔，改善其耐压性。

## (2) 热处理操作要点

1) 加热速度。铜合金虽有良好的导热性，但为了防止铸件表面晶粒粗化和厚大截面铸件内产生过大的热应力，加热和冷却速度都要适中，并使之均匀加热和冷却。

2) 温度的控制。某些铜合金的固溶处理温度很接近其固相线温度，容易产生过热和过烧，应当精确地控制热处理温度。

淬火转移速度对可热处理强化的铜合金的性能有较大的影响，因此要求固溶处理后迅速淬火。

3) 防止变形。铍青铜等进行时效处理时，伴随着产生较大的体积应变，容易产生翘曲和变形。为减少变形，时效处理可分为两个阶段进行，即先在 200 ~ 250℃ 保温一段时间后再升到规定的时效温度；也可以采取较高的时效温度，即轻度过时效。

## 复习思考题

1. 铸铁的力学性能特点是什么？铸铁在工程中有什么应用？
2. 怎样选定铸铁的化学成分？如何提高铸铁的力学性能？
3. 球墨铸铁有几种牌号？比起灰铸铁，球墨铸铁有哪些优点？其应用于哪些场合？
4. 冲天炉熔炼过程中会出现哪些问题？如何避免？
5. 工频感应电炉熔炼铸铁与冲天炉熔炼铸铁相比，化学成分有什么差异？
6. 为什么说电弧炉熔炼是铸钢生产最理想的方法？
7. 纯铜的熔炼与铜合金的熔炼主要的区别有哪些？
8. 铸钢件热处理的工艺方法有哪几种？各种工艺方法的目的是什么？
9. 铝合金的热处理工艺有哪几种？

# 第六章

## 铸造工艺方案设计

**培训目标** 掌握铸造工艺方案设计的基本方法和工艺规程的主要内容；通过对实例的分析，掌握各类铸件的铸造工艺方案的拟订方案；了解和掌握铸造工艺材料的工时定额。

铸造工艺方案是铸造工艺设计的主要内容之一。本章主要讨论砂型铸造工艺方案及与之有关的一般问题和概念，简要叙述铸造材料消耗定额的估算方法。

### 第一节 铸造工艺方案的确定

铸造工艺设计是根据铸造零件的结构特点、技术要求、生产批量以及生产条件等，确定铸造工艺方案和工艺参数，绘制铸造工艺图，编制工艺卡等技术文件的过程。

砂型铸造工艺方案一般包括造型、制芯方法，铸型种类的选择，浇注位置及分型面的确定等。

#### 一、零件结构的铸造工艺性

##### 1. 从避免缺陷方面审查铸件结构

1) 铸件应有合适的壁厚。为了避免浇不到、冷隔等缺陷，铸件不应太薄。铸件的最小允许壁厚与铸造合金的流动性密切相关。合金成分、浇注温度、铸件尺寸和铸型的热物理性能都将显著影响金属液的流动性。在普通砂型铸造的条件下，铸件最小允许壁厚见表 6-1。

表 6-1 砂型铸造时铸件允许的最小壁厚 (单位: mm)

铸件尺寸	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	铜合金	镁合金
>200	6~8	3~4	3~4	2.5~3.5	3	3~5	4
200~400	9~12	4~5	4~8	3~4	3	6~8	4~6
400~800	10~14	5~6	8~10	3.5~4.5	4~5	—	—
800~1250	14~20	6~8	10~12	4~5.5	5~6	—	—
≥1250	20~25	8~12	12~16	5~8	6~10	—	—

注: 1. 如有特殊需要，在改善铸造条件的情况下，铸件的最小壁厚可适当减小。

2. 在铸件结构复杂、合金流动性差的情况下，应取上限值。

铸件也不应设计得太厚，在实际生产中，各种合金铸件的临界壁厚可按最小壁厚的 3 倍来考虑。设计受力件时，不可单纯用增厚的方法来增加铸件的强度，如图 6-1 所示。

2) 铸件壁厚不应造成严重的收缩阻碍，铸件壁的过渡和连接要合理。壁厚薄不均的铸件在其过渡和连接处因凝固和冷却速度不一致，会产生较大的内应力，热节处易产生缩松、缩孔，连接和过渡处易产生裂纹，如图 6-2 所示。

3) 铸件内壁应薄于外壁。铸件的内壁和肋等散热条件差，应薄于外壁，以使内、外壁

能均匀冷却，减轻内应力和防止裂纹。一般情况下内壁较外壁应薄 10% ~ 20%。

4) 利于补缩和实现顺序凝固。对于铸钢体收缩大的合金铸件，易产生缩松缺陷，应仔细审查零件的结构，创造实现顺序凝固的可能性。图 6-3 所示为壳型铸造的合金钢壳体。图 6-3a 所示方案铸出的件，在 A 点以下部分，因超出冒口的补缩范围而有缩松，水压试验时出现渗漏；图 6-3b 所示方案中，只在底部 76mm 范围内壁厚相等，由此向上，壁厚以 1° ~ 3° 向上增厚，有利于顺序凝固和补缩。

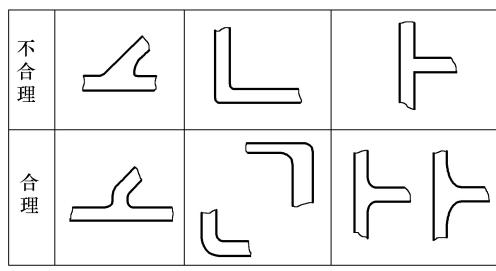


图 6-2 壁与壁相交的几种形式

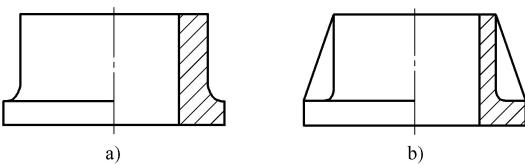


图 6-1 采用加强肋减小铸件壁厚

a) 不合理 b) 合理

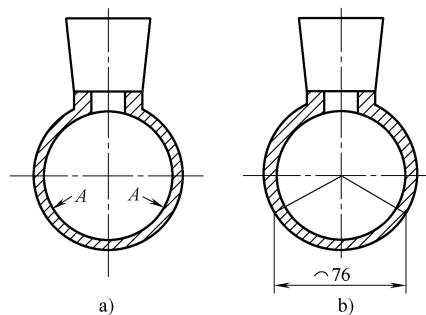


图 6-3 合金钢壳体结构改进

a) 不合理 b) 合理

5) 铸件结构应有利于防止变形。某些细长件和面积较大的平板件易产生翘曲变形，设计时应尽量按同时凝固的原则和采用对称结构进行壁厚设计，如图 6-4 所示。

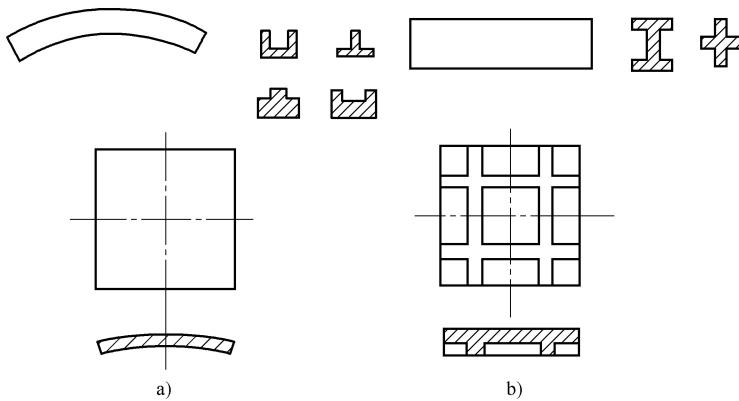


图 6-4 防止变形的铸件结构

a) 不合理 b) 合理

6) 壁厚力求均匀，防止形成热节。薄厚不均的铸件在冷却过程中会形成较大的内应力，在热节处易造成缩松、缩孔和热裂纹。因此，应取消那些不必要的厚大部分，肋和壁的布置

应尽量减少交叉，防止形成热节，如图 6-5 所示。

7) 避免浇注位置上有水平的大平面结构。在浇注时，如果型腔内有较大的平面存在，当金属液上升到该位置时，由于断面突然扩大，金属液面上升的速度非常小，灼热的金属液面较长时间地近距离烘烤顶面型壁，易造成夹砂、渣孔、砂孔或浇不到等缺陷。因此，应尽可能把水平壁改进为稍倾斜的壁或曲面壁，如图 6-6 所示。

## 2. 从简化铸造工艺方面改进零件结构

1) 改进妨碍起模的凸台、凸缘和肋板结构，取消外表侧凹。铸件侧壁上的凸台、凸缘和肋板以及铸件侧壁凹入部分都会妨碍起模，或增加造型（制芯）的难度和模具制造的工作量。如果能改进结构，就可简化造型和减轻模具制造的工作量，如图 6-7 和图 6-8 所示。

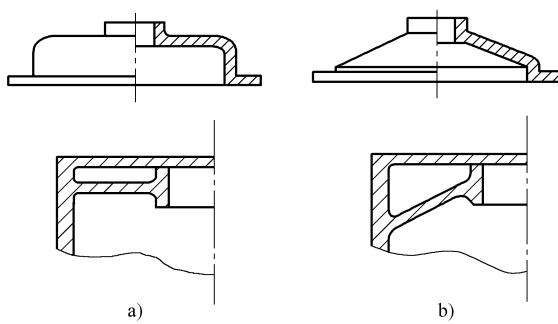


图 6-6 避免水平壁的铸件结构

a) 不合理 b) 合理

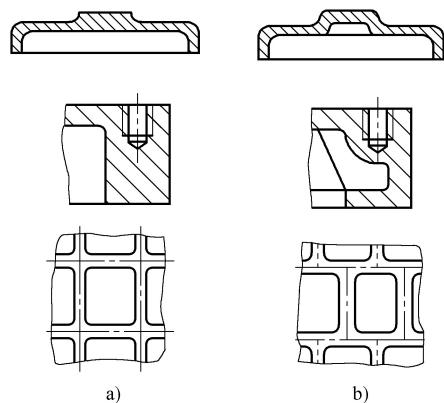


图 6-5 壁厚力求均匀

a) 不合理 b) 合理

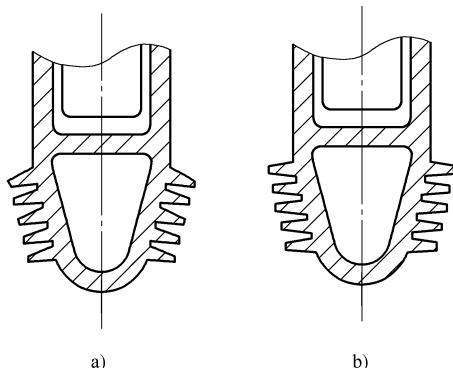


图 6-7 发动机油箱散热肋妨碍起模部分的改进

a) 不合理 b) 合理

2) 简化制芯操作和减少砂芯数量。铸件内腔结构越复杂，使用的砂芯就会越多，从而增加铸造工艺的复杂程度和制造成本，如图 6-9 所示。

3) 减少和简化分型面。减少和简化分型面，不但可以减少砂箱用量，简化操作，而且可以大大提高铸件的尺寸精度。图 6-10a 所示结构必须采用不平分型面，从而增加了制造模样和模板的工作量；改进后（见图 6-10b），则可用一个平直的分型面进行造型。

4) 有利于砂芯的安置、固定、排气和清理。为了保证铸件的尺寸精度，防止芯偏和气孔，且便于清理，铸件的结构设计应尽量避免使用悬臂砂芯、吊芯和芯撑，如图 6-11 所示。

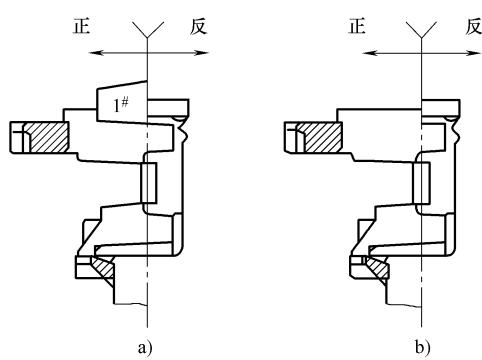


图 6-8 带有外表侧凹的铸件结构的改进

a) 不合理 b) 合理

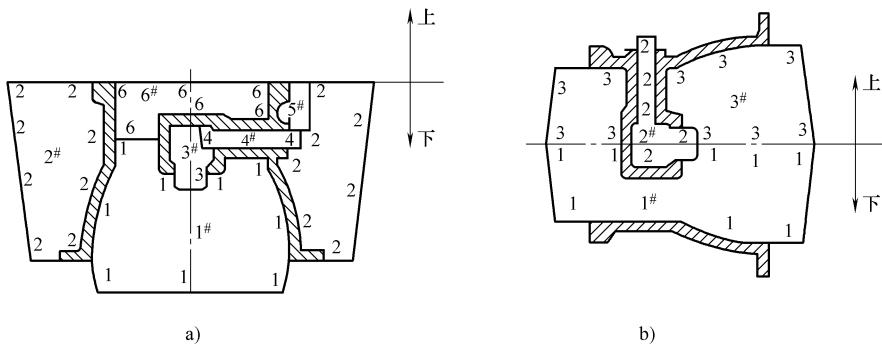


图 6-9 铸件内腔结构的改进

a) 合理 b) 不合理

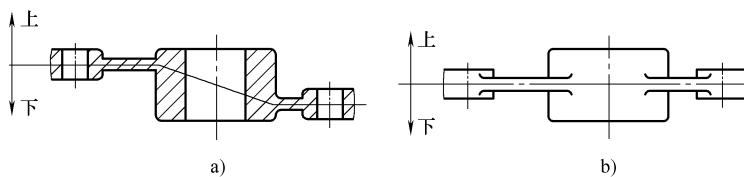


图 6-10 简化分型面的铸件结构

a) 不合理 b) 合理

5) 简化模具。单件、小批量生产中，模样和芯盒的费用占铸件成本的比很大。为了降低铸件成本，铸件应设计成规则的、容易加工的形状。图 6-12 所示为阀体的结构，原设计为非对称结构（图 6-12a 所示），模样和芯盒难以制造；改进后（图 6-12b 所示）呈对称结构，且采用刮板造型法，大大减少了模具制造的费用。

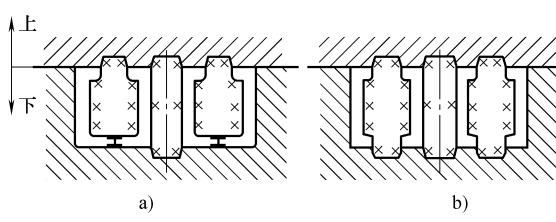


图 6-11 活塞结构的改进

a) 不合理 b) 合理

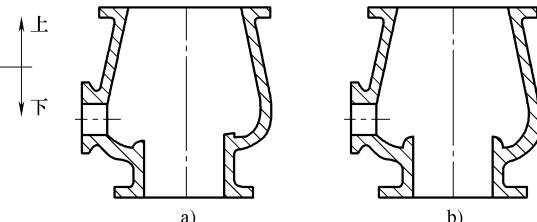


图 6-12 阀体结构的改进

a) 不合理 b) 合理

## 二、造型和制芯方法的选择

砂型铸造的各种造型、制芯方法已在第二章中介绍，可参照以下原则选用：

### 1. 优先采用湿型

在考虑应用湿型时应注意以下几种情况：

- 1) 铸件过高，金属静压力超过湿型的抗压强度时，应考虑使用干砂型或自硬砂型等。
- 2) 浇注位置上铸件有较大水平壁时，用湿型容易引起夹砂缺陷，应考虑使用其他砂型。

3) 造型过程过长或需长时间等待浇注的砂型不宜用湿型, 湿型放置太久会风干, 使砂型表面强度降低, 易出现冲砂缺陷。

## 2. 造型、制芯方法应和生产批量相适应

1) 大批量生产的工厂应创造条件采用技术先进的造型、制芯方法; 小型铸件可采用水平分型和垂直分型的无箱高压造型机生产线、实型造型生产线等; 中型铸件可选用各种有箱高压造型线、气冲造型线。为了适应快速、高精度造型生产线的要求, 制芯方法可选用冷芯盒、热芯盒及壳芯等制芯方法。

2) 中等批量的大型铸件可以考虑应用树脂自硬砂造型和制芯以及抛砂造型等。

3) 单件、小批量生产的铸件, 手工造型仍是重要的方法。手工造型能够适应各种复杂的要求, 比较灵活, 不要求很多的工艺装备。

## 3. 要兼顾铸件的精度要求和成本

各种造型、制芯方法所获得的铸件精度不同, 初始投资和生产率也不一致, 最终的经济效益也有差异。因此, 要做到多、快、好、省, 就应当兼顾到各个方面。应对所选的造型方法进行初步的成本估算, 以便选定经济效益高又能保证铸件要求的造型、制芯方法。

## 三、浇注位置的确定

浇注时铸件在铸型中所处的位置称为铸件的浇注位置。生产中常以浇注时分型面所处的位置, 即水平、垂直或倾斜位置, 分别称为水平浇注、垂直浇注或倾斜浇注。在工艺设计时, 应注意以下原则:

1) 铸件的重要加工面、主要工作面和受力面应尽量放在底部或侧面, 以防止这些表面上产生砂眼、气孔、夹渣等铸造缺陷, 如图 6-13 所示。

2) 铸件的大平面应朝下, 避免夹砂结疤、气孔类缺陷, 如图 6-14 所示。对于宽大的平板类铸件, 有时为了增大金属液的上升速度, 保证铸件质量, 可采用倾斜浇注, 如图 6-15 所示。倾斜浇注时, 依砂箱大小,  $H$  值一般控制在  $200 \sim 400\text{mm}$  范围内。

3) 尽量少用吊砂、吊芯或悬臂式砂芯, 以便保证铸件质量, 便于下芯、合型及检验, 如图 6-16 所示。

4) 铸件的薄壁部分应放在下半部或置于内浇道以下, 避免出现浇不到、冷隔等缺陷, 如图 6-17 所示。

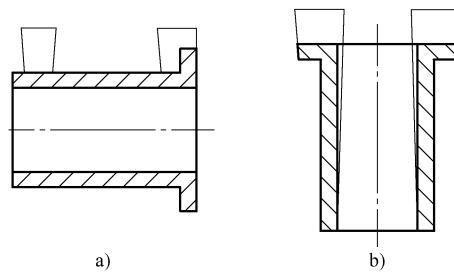


图 6-13 起重机卷筒的浇注位置  
a) 不合理 b) 合理

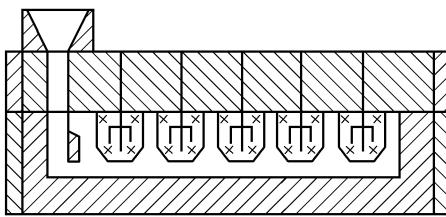


图 6-14 具有大平面的铸件的浇注位置

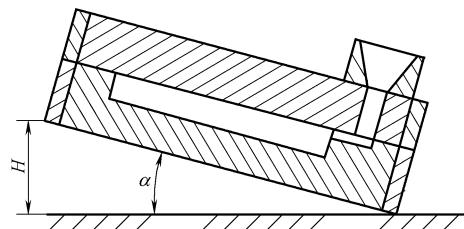


图 6-15 大平板类铸件的倾斜浇注

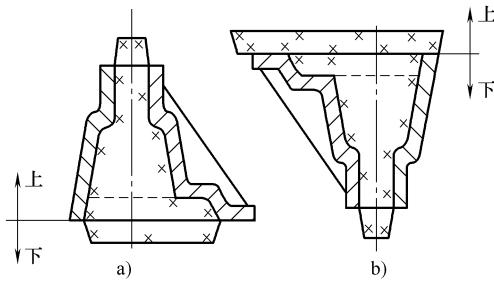


图 6-16 便于合型的浇注位置

a) 不合理 b) 合理

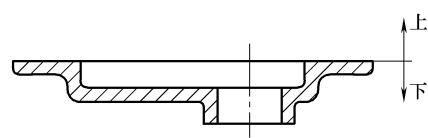


图 6-17 曲轴箱的浇注位置

5) 应有利于铸件的补缩。对于合金体收缩率大或结构厚薄不均的铸件，确定浇注位置时应优先考虑实现顺序凝固的条件，以便于安放冒口和发挥冒口的补缩作用，如图 6-18 所示。

6) 应使合型位置、浇注位置和铸件冷却相一致。

#### 四、分型面的确定

选择分型面应注意以下原则：

1) 应使铸件全部或大部分置于同一砂箱内，以减少因错型而造成的尺寸偏差；若不能满足上述要求，则应尽量把铸件的加工面和加工基准面置于同一砂箱内。图 6-19 所示为汽车后轮毂的分型方案，加工内孔时以  $\phi 350$ mm 的外圆周定位。

2) 减少分型面的数量，可以减少砂箱使用数量，易于简化造型操作，提高铸件精度。尤其是机械造型，一般只允许一个分型面，应尽量避免使用活块，必要时用砂芯代替活块。如图 6-20a 所示为增加 2#砂芯来减少分型面；图 6-20b 所示为采用 2#砂芯来代替活块。

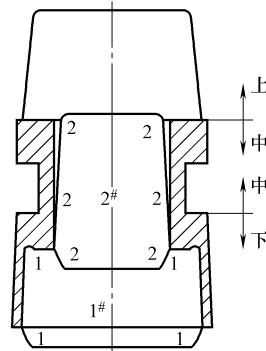


图 6-18 双排链轮铸钢件的浇注位置

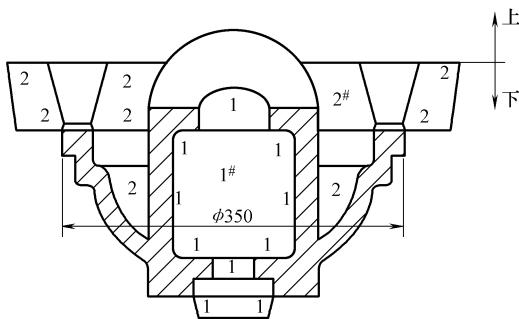


图 6-19 后轮毂的分型方案

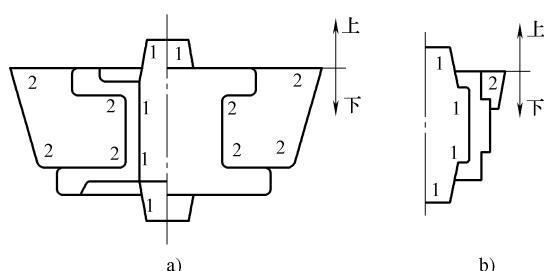


图 6-20 减少分型面的数量

3) 应尽量选用平面，以简化造型过程和模板的制造，易于保证铸件精度，如图 6-21 所示。

4) 为方便起模，分型面应选在铸件的最大截面处，对于较高的铸件，尽量不使模样在一砂箱内过高。图 6-22 中方案 2 为大型铸件托架所选用的分型面。

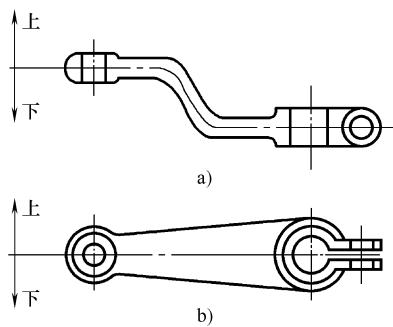


图 6-21 起重机壁的分型面

a) 不合理 b) 合理

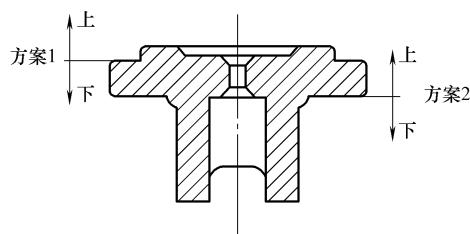


图 6-22 托架分型面的选择

5) 在考虑简化造型、浇注及制芯的基础上, 分型面的选择还应有利于落砂清理。图 6-23a 所示方案铸件的中部飞边将无法打磨。

以上简要介绍了选择分型面的原则, 这些原则之间有的相互矛盾和制约。一个铸件应以哪几项原则为主来选择分型面, 需要进行多方案对比, 根据实际的生产条件, 并结合经验来做出正确的判断, 最后选出最佳方案。

### 五、砂箱中铸件数量的确定及排列

#### 1. 确定砂箱中铸件数量的一般原则

砂箱中铸件数量一般要根据工艺要求和生产条件来确定。铸件尺寸、吃砂量、设备情况等因素都会影响铸件在砂箱中的数量和排列。

#### 2. 吃砂量的确定

吃砂量是指模样与砂箱壁、箱顶(底)和箱带之间的距离。吃砂量太小, 砂型紧实度差, 强度低, 易产生胀砂、冲砂、跑火等缺陷; 吃砂量太大, 则不经济且不合理。影响吃砂量的因素较多, 故在设计时应综合考虑。吃砂量参考数值见表 6-2。

表 6-2 吃砂量参考数值

(单位: mm)

模样平均轮廓尺寸	$a$	$b$ 和 $c$	$d$	一箱中模样高度的 1/2
滑脱砂箱 $\leq 400$	$\geq 20$	30~50		
	30~50	40~70		
400~700	50~70	70~90		
700~1000	70~100	90~120		
1000~2000	100~150	120~150		
2000~3000	100~150	150~200		
3000~4000	100~150	200~250		
$\geq 4000$	150~200	$> 250$		

静压造型的吃砂量比其他成型方法的吃砂量小一些，如震实造型砂箱边缘模样高度与吃砂量的比为1.5:1，而静压造型为3:1。

树脂砂型吃砂量比普通砂型小，模样与砂箱壁之间的距离可取20~50mm，上、下面之间的距离取50~100mm。

模样平均轮廓尺寸的计算公式为

$$A = L + B/2$$

式中  $A$ ——模样平均轮廓尺寸 (mm)；

$L$ ——模样在分型面处的最大长度 (mm)；

$B$ ——模样在分型面处的最大宽度 (mm)。

### 3. 铸件在砂箱中的排列

一箱中生产多件同种铸件时，模样最好对称排列。确定砂箱中铸件的排列数量时主要应考虑铸件尺寸、生产批量、吃砂量、设备等因素。

## 第二节 砂芯设计

设计砂芯时，砂芯的形状、尺寸以及在砂型中的位置应符合铸件要求，具有足够的强度和刚度，在铸件形成过程中砂芯所产生的气体能及时排出型外，铸件收缩时阻力小，并且易清砂。

### 一、砂芯形状（分块）的确定及分盒面的选择

砂芯的设计主要依据铸件结构、质量要求和生产条件，并使制芯到下芯整个过程方便，保证铸件尺寸精确，不致造成气孔等缺陷，同时要求简化芯盒结构。其一般原则如下：

#### 1. 保证铸件尺寸精确

在砂芯制造工艺不复杂的条件下，尽量减少砂芯的分块数量，铸件型腔尺寸要求严格的部分应由同一半砂芯形成。

#### 2. 应使操作方便

大而复杂的砂芯、细而长的砂芯可分为多个小而简单的砂芯。大而复杂的砂芯，分块后结构简单，制芯方便。细而长的砂芯，应分成数段，并设法使芯盒通用。图6-24所示为空气压缩机大活塞的砂芯，为了操作方便，将砂芯分为3块，这样可以简化制芯和芯盒结构。砂芯上的细薄连接部分或悬臂凸出部分应分块制造，待烘干后黏结装配在一起。

#### 3. 应使芯盒捣砂面宽敞且砂芯烘干支持面最好为平面

捣砂面宽敞便于芯盒内安装芯骨和填砂。对于进炉烘干的大砂芯或外形复杂的砂芯，常将其沿最大截面分为两半制作，这样既可以使捣砂面宽敞，又可获得平直的烘干支持面，如

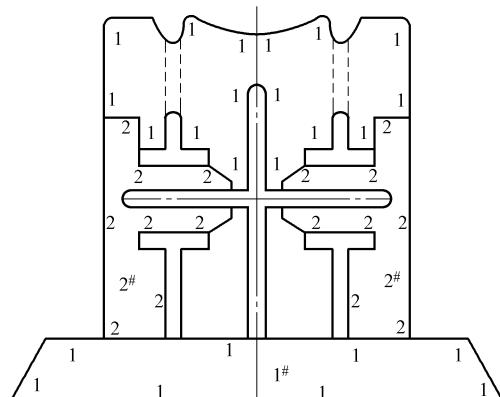


图6-24 将砂芯分块

图 6-25 所示。

#### 4. 保证铸件壁厚均匀

使砂芯的起模斜度与模样的起模斜度大小、方向一致，保证铸件壁厚均匀，如图 6-26 所示。

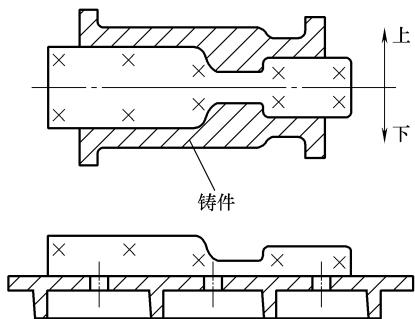


图 6-25 用平面烘干板烘干的大砂芯

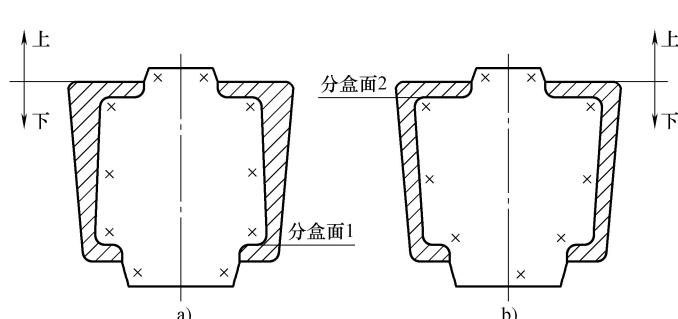


图 6-26 保证铸件壁厚均匀

a) 合理 b) 不合理

除以上原则外，还应使每块砂芯有足够的断面，以保证有一定的强度和刚度，并能顺利排出砂芯中的气体；尽量使芯盒结构简单，便于制造和使用等。

## 二、芯头设计

芯头可分为垂直芯头和水平芯头（包括悬臂式芯头）两大类。

### 1. 芯头的组成

图 6-27 所示为典型的芯头结构。它包括压环、防压环和集砂槽等。它适用于砂型铸造的金属模、塑料模和木模。

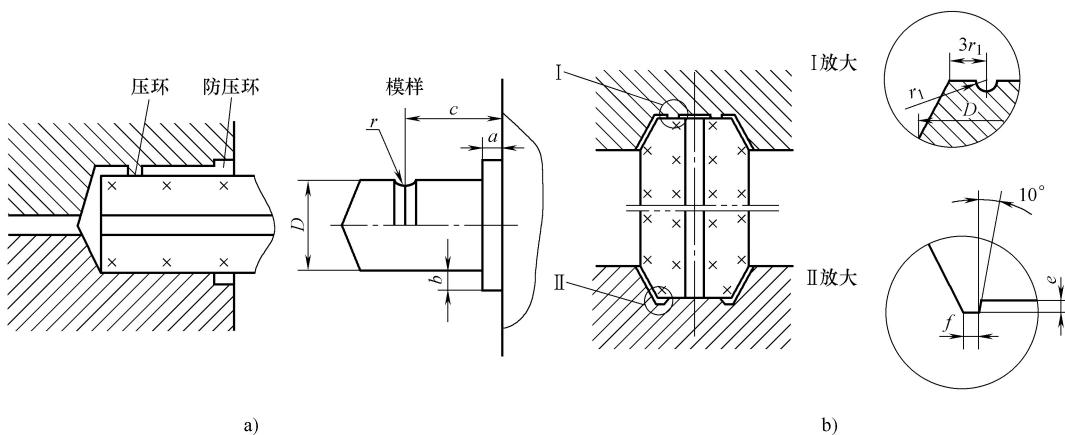


图 6-27 典型的芯头结构

a) 水平芯头 b) 垂直芯头

(1) 芯头长度 芯头长度如图 6-29 中尺寸  $l$  所示。垂直芯头长度通常称为芯头高度，如图 6-28 中的尺寸  $h$ 、 $h_1$ 。芯头不应过长或过高。芯头过长会增加砂箱尺寸，增加填砂量；芯头过高不便于盖箱。对于水平芯头，应考虑砂芯所受金属液浮力的影响，砂芯越大，芯头

长度也要随之增大，以使芯头和铸型之间有更大的成压面积；对于垂直芯头，砂芯的重量或浮力由垂直芯头的底部面积来承受。对于直径小于160mm和长度小于1.0m的中、小型砂芯，水平芯头长度一般在20~100mm之间。

垂直芯头的高度根据砂芯的总高度和横截面积确定，一般取15~150mm。确定芯头高度时应注意以下几点：

1) 对于细而高的砂芯，上下都应留有芯头，以免在液体金属的冲击下发生偏斜，而下芯头应该取高一些。

2) 对于粗而矮的砂芯，可不用上芯头（高度为零），以使造型、合型方便。

3) 对于等截面的或上下对称的砂芯，为了下芯方便，上、下芯头可用相同的高度和斜度。而对于需要区分上、下芯头的砂芯，一般应使下芯头高度大于上芯头高度。

(2) 芯头斜度 对于垂直芯头，上、下芯头都应有斜度，如图6-28中的 $\alpha$ 和 $a$ 所示。为合型方便，避免上、下芯头和铸型相碰，上芯头和上芯头座的斜度应做大一些。对于水平芯头，在制芯条件允许的情况下，芯头可不留斜度，但芯座必须留有斜度，至少在端面上要留有斜度，并且上型斜度比下型的大，以免合型时与砂芯相碰。

(3) 芯头间隙 为了下芯方便，芯头和芯头座之间应留有间隙，如图6-28和图6-29中的 $s$ 、 $s_1$ 、 $s_2$ 所示。间隙的大小取决于铸型种类，砂芯的大小、精度，以及芯座本身的精度。

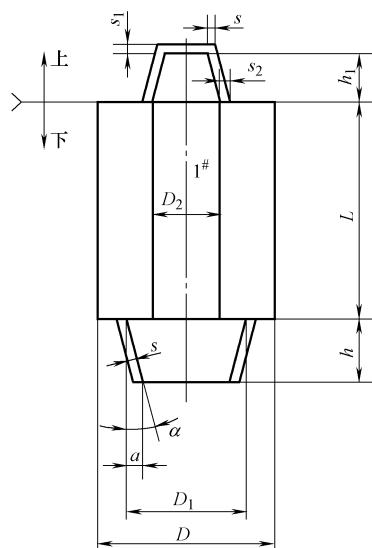


图6-28 扩大下芯头的垂直芯头  
( $D_1 = (1.5 - 2)D_2, D_1 \leq 0.8D$ )

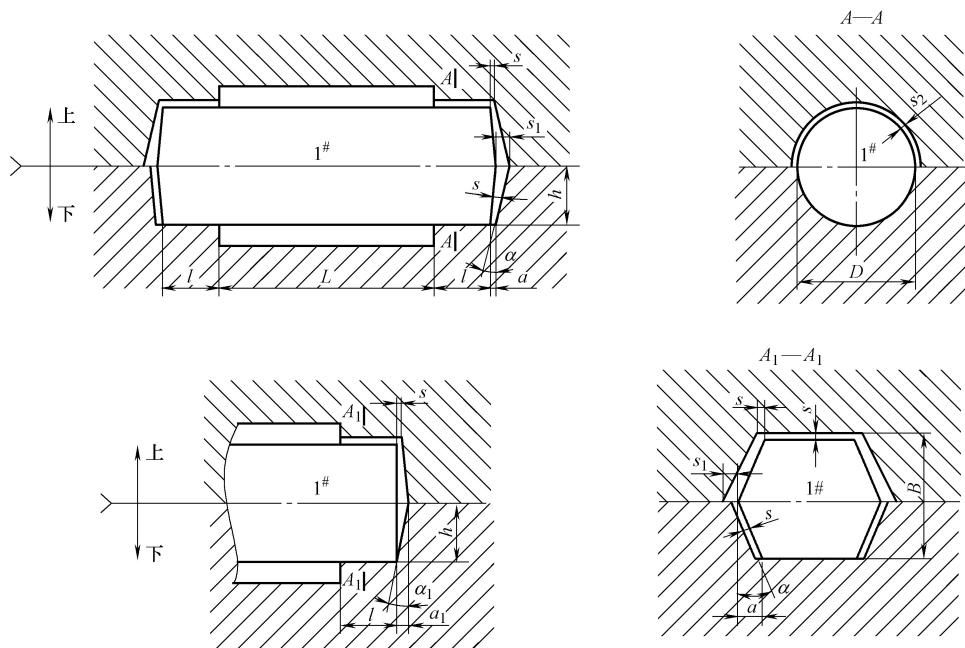


图6-29 水平芯头的斜度

机械造型、制芯的间隙一般较小，而手工造型、制芯的间隙较大。芯头尺寸越大，间隙越大，一般为 0.2~6mm。

#### (4) 压环、防压环和集砂槽 (见图 6-27)

1) 压环 (压紧环)：在上模样芯头上车削一道半圆凹沟 ( $r = 2 \sim 5\text{mm}$ )，造型后在上芯头上凸起一道环型砂，合型后把砂芯压紧，避免液体金属沿间隙钻入芯头，堵塞通气道。

2) 防压环：在水平芯头靠近模样的根部，设置高度为 0.5~2mm，宽度为 5~12mm 的凸起圆环，称为防压环。造型后，相应部位形成下凹的环状缝隙，下芯、合型后，它可防止此处砂型被压塌，从而防止吊砂缺陷。

3) 集砂槽：在芯座模样的边缘上设一道凸环，造型后砂型内形成环砂槽，称为集砂槽。一般集砂槽深度为 2~5mm，宽度为 3~6mm。

#### 2. 芯头承压面积的核算

为了保证在金属的最大浮力作用下不超过铸型的许用压应力，要求芯头的承压面积应足够大。由于砂芯的强度通常都大于铸型的强度，故只核算铸型的许用压应力即可。芯头的承压面积  $S$  应满足的关系为

$$S \geq kF_{\text{芯}} / [\sigma_{\text{压}}]$$

式中  $F_{\text{芯}}$ ——计算的最大浮力；

$k$ ——安全系数， $k = 1.3 \sim 1.5$ ；

$[\sigma_{\text{压}}]$ ——铸型的许用压应力。

对于一般湿型，铸型的许用压应力可取 40~60kPa，活化膨润土砂型可取 60~100kPa，干砂型可取 0.6~0.8MPa。

如果实际  $S$  不满足上述要求，则芯头尺寸过小，应适当放大芯头。在许可的条件下，可附加芯撑，增加芯头的承压面积。

#### 3. 特殊定位芯头

有的砂芯有特殊的定位要求，如防止砂芯在型内绕轴线转动，不许轴向位移偏差过大或下芯时搞错方位，这时就应采用特殊定位芯头。图 6-30 所示为特殊定位的芯头。这些芯头结构都可防止砂芯转动和下错方向。图 6-30d 所示水平芯头兼有防止沿轴线移动的作用。

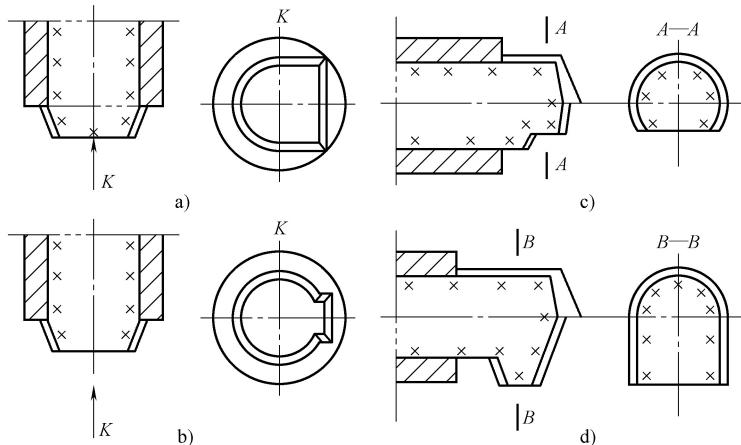


图 6-30 特殊定位芯头  
a)、b) 垂直芯头 c)、d) 水平芯头

### 第三节 铸造工艺参数

铸造工艺参数是指铸造工艺设计时需要确定的工艺数据。铸造工艺参数包括机械加工余量、铸造收缩率、起模斜度、最小铸出孔的尺寸、工艺补正量、分型负数、反变形量等。这些工艺参数中，除铸造收缩率、机械加工余量和起模斜度外，其余的都只用于特定的条件下。

#### 一、铸件尺寸公差和重量公差

(1) 铸件尺寸公差 铸件尺寸公差指铸件各部分的尺寸允许的极限偏差。我国的铸件尺寸公差标准 GB/T 6414—1999 《铸件 尺寸公差与机械加工余量》所规定的公差是指正常生产条件下通常能达到的公差，由精到粗分为 16 级，命名为 CT1 ~ CT16。砂型铸造时，成批量和大量生产的铸件公差等级为 CT7 ~ CT13，小批量和单件生产的铸件公差等级为 CT10 ~ CT15 级。

(2) 铸件重量公差 铸件重量公差是指以占铸件公称重量的百分率为单位的铸件重量变动的允许值。GB/T 11351—1989 《铸件重量公差》规定了铸件重量公差的数值、确定方法及检验规则，与 GB/T 6414—1999 配套使用。重量公差代号用字母“MT”表示。铸件重量公差和铸件尺寸公差相对应，由精到粗分为 16 级，即 MT1 ~ MT16。

#### 二、机械加工余量

在铸件工艺设计时预先增加的，而后在机械加工时又被切去的金属厚度，称为机械加工余量，如图 6-31 所示。

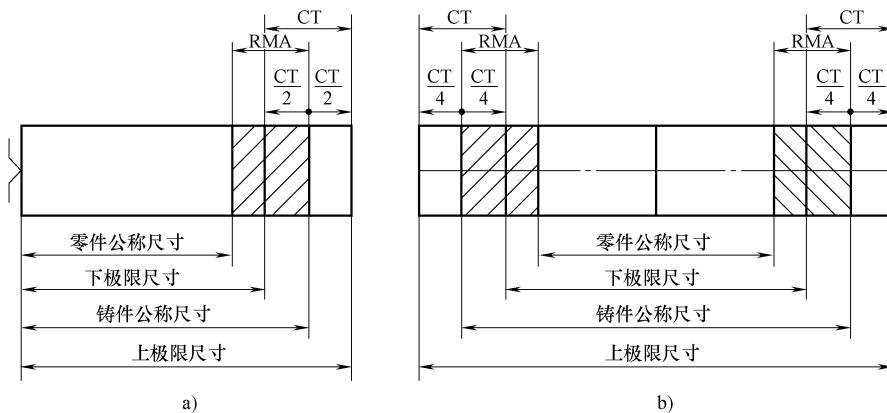


图 6-31 机械加工余量与尺寸公差的关系

a) 单侧加工 b) 双侧加工

该图表示机械加工余量和铸件尺寸公差之间的关系：最小机械加工余量等于机械加工余量减去铸件尺寸的下极限偏差。因此，铸件尺寸公差越小（精度高），机械加工余量越小。

GB/T 6414—1999 规定了机械加工余量的数值、确定方法、检验及评定规则。机械加工余量用字母 RMA 表示。机械加工余量由精到粗分为 A、B、C、D、E、F、G、H、J 和

K 共 10 个等级。机械加工余量用尺寸公差和要求的机械加工余量代号统一标准, 如 GB/T 6414—CT12-RMA6 (H) 表示: 对于轮廓最大尺寸在 400 ~ 630mm 范围内的铸件, 要求的机械加工余量等级为 H, 要求的机械加工余量为 6mm, 铸件的一般公差为 GB/T 6414—CT12。此外, 相对于浇注位置, 铸件顶面的加工余量应比底面, 侧面的加工余量降一级选用。

### 三、铸件线收缩率

铸件在凝固和冷却过程中, 一般要产生线收缩, 使铸件实际尺寸比模样尺寸小。因此在制造模样或芯盒时需要加上相应的收缩量。铸件线收缩率  $\varepsilon$  的定义为

$$\varepsilon = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

式中  $A$ —同一尺寸在模样上的长度;

$B$ —同一尺寸在铸件上的长度。

通常, 灰铸铁  $\varepsilon = 0.7\% \sim 1.0\%$ , 铸造碳钢  $\varepsilon = 1.3\% \sim 2.0\%$ , 铝硅合金  $\varepsilon = 0.8\% \sim 1.2\%$ ; 铸造青铜  $\varepsilon = 1.2\% \sim 1.4\%$ 。

### 四、起模斜度

起模斜度的具体数值参见 JB/T 5105—1991 中的规定, 使用时应注意以下几点:

- 1) 起模斜度应小于或等于产品图上所规定的起模斜度。
- 2) 尽量使铸件内、外壁的模样斜度和芯盒斜度取值相同, 方向一致。
- 3) 在非加工面上留起模斜度时, 要注意与相配零件的外形一致, 保持美观。

图 6-32 所示为起模斜度的三种形式。图 6-32a 所示为在铸件加工面上采用增加铸件尺寸的方法; 图 6-32b 所示为在铸件不与其他零件配合的非加工面上, 采用增加、增加和减少、减少铸件尺寸方的方法; 图 6-32c 所示为在铸件与其他零件配合的非加工面上, 采用减少、增加和减少铸件尺寸的方法。应注意, 原则上在铸件上加放起模斜度不应超出铸件的壁厚公差。

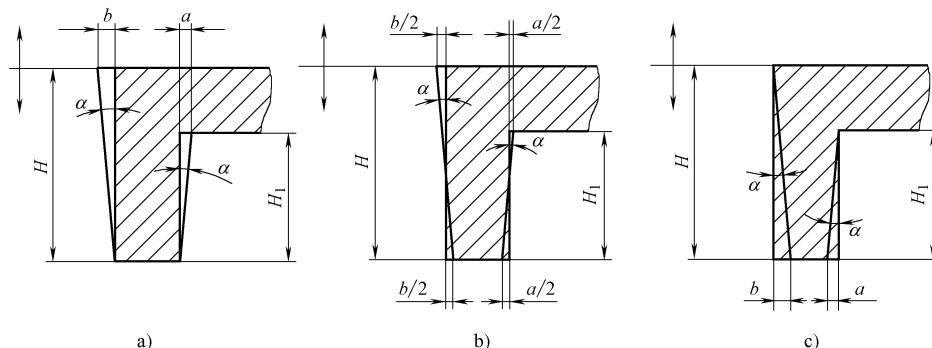


图 6-32 起模斜度的三种形式

### 五、最小铸出孔及槽

铸件较小的孔、槽, 或铸件壁很厚, 一般不宜铸出孔, 直接加工而成。有些特殊要求的孔, 如弯曲孔, 无法实行机械加工, 则一定要铸出。铸件最小铸出孔见表 6-3。

表 6-3 铸件最小铸出孔

生产批量	最小铸出孔直径 $d/\text{mm}$	
	灰铸铁件	铸铜件
大量生产	12~15	—
成批量生产	15~30	30~50
单件、小批量生产	30~50	50

注：最小铸出孔直径是指毛坯尺寸。

## 六、工艺补正量

在单件、小批量生产时，为保证加工后的铸件某些部分的厚度符合图样要求，需要在铸件相应非加工面上增加金属层厚度，增加的金属层厚度称为工艺补正量，如图 6-33 所示。对于成批量、大量生产的铸件或永久性产品，不应使用工艺补正量，而应修改模具尺寸。工艺补正量可粗略地按经验公式来确定，即

$$e \leq 0.002L$$

式中  $e$ ——工艺补正量；

$L$ ——加工面到加工基准面的距离。

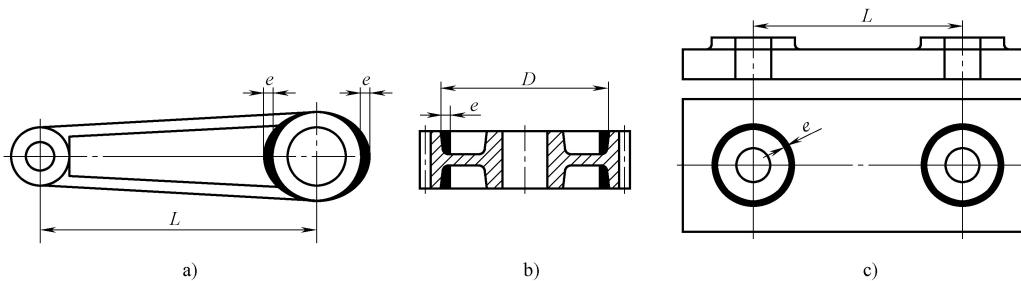


图 6-33 工艺补正量应用实例

a) 大型连杆 b) 大型铸钢齿轮 c) 大型铸钢底座

## 七、分型负数

干型、表面烘干型及尺寸较大的湿型，分型面由于烘干、修整等原因都很不平整，上下箱接触面很不严密。为了保证铸件尺寸精度，在拟定工艺时，为抵消铸件在分型面部位的增厚（垂直于分型面的方向），在模样上相应减去一定的尺寸，减去的尺寸称为分型负数（见图 6-34 和表 6-4）。

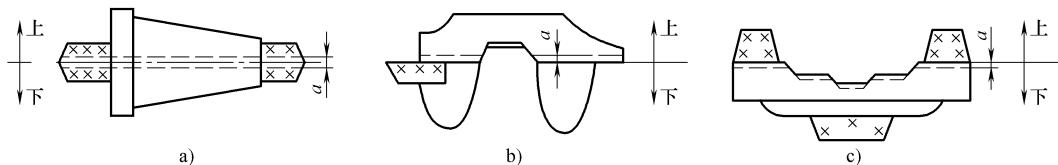


图 6-34 模样分型负数的几种留法

a) 两半模样都留 b) 上模样留 c) 下模样留

分型负数的大小和砂箱尺寸、铸件大小有关。一般大型铸件在起模后分型面容易损坏，修型烘干后变形量较大，分型负数也相应增大，一般在 0.5~6mm 之间。

干砂型、表面烘干型、自硬砂型及砂箱尺寸超过 2m 以上的湿型才应用分型负数，湿型的分型负数一般较小。

表 6-4 模样的分型负数

砂箱的平均轮廓尺寸 (长 + 宽/2)/mm	分型负数 $a/\text{mm}$	
	I	II
$\leq 800$	1	2
$> 800 \sim 1500$	2	3
$> 1500 \sim 2000$	3	4
$> 2000 \sim 3000$	4	5
$> 3000$	5	6

注：1. I 适用于工艺装备好、成批量生产的干型、表面烘干型，II 适用于工艺装备差、单件生产的干砂型。

2. 采用湿态砂、水玻璃砂、化学自硬砂型、固化后起模时，分型负数应减小。

## 八、反变形量

铸造较大平板类、床身等铸件时，由于冷却速度的不均匀，铸件冷却后常出现变形。为了解决挠曲变形的问题，在制造模样时，按铸件可能产生变形的相反方向做出反变形模样，使铸件冷却后的变形量正好抵消反变形量，以得到符合设计要求的铸件。这种在模样上做出的预变形量称为反变形量，如图 6-35 所示。

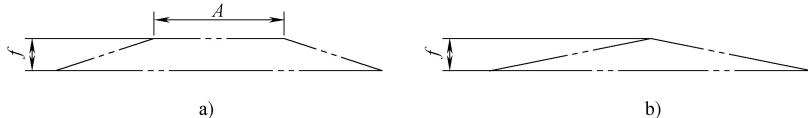


图 6-35 反变形的几种形式

a) 竹节形 b) 三角形

## 第四节 铸造工艺和操作规程的编制

### 一、铸造工艺符号及表示方法

铸造工艺图的正确绘制，除了要正确掌握常用机械制图规则以外，还必须了解和学会铸造工艺符号的运用。JB/T 2435—2013 统一规定了铸造工艺符号及表示方法。

### 二、铸造工艺卡片

铸造工艺卡片用表格化的形式，集中体现了铸造工艺设计和操作要点的主要内容。和铸造工艺图一样，铸造工艺卡片是铸造过程中最基本、最重要的技术资料和技术文件，也是施工单位编制生产计划，调整劳动组织，安排物资供应，进行质量检验和经济核算的主要凭据。

铸造工艺卡片具体内容的详略因生产条件、生产性质和类型而异。通常，对于需成批量、大量生产的定型产品，其工艺卡片内容应详细；单件、小批量生产的铸件工艺卡片内容可以适当简化。

## 第五节 铸造工艺实例分析

### 一、箱体类铸件

箱体类铸件一般指封闭或半封闭的箱形或框架形铸件，如齿轮箱、床身、柴油机缸体等。其特征是内腔容积较大，尺寸要求较高，壁较薄，有些铸件内腔具有轴板及轴孔，有些

还要求铸件的耐压和耐磨，其铸造难度相对较高。

通常，箱体类铸件的工艺特点是：重点考虑砂芯的制作、安放、固定、排气及检查问题；浇注系统应满足快速、平稳、顺利排气的要求；一般按同时凝固原则来设计冒口。

箱体类铸件较易产生的铸造缺陷有气孔、砂眼、夹砂、冷隔、裂纹等。

### 1. S195 型柴油机缸体

(1) 材质 HT250。

(2) 基本结构参数及技术要求

- 1) 壁厚：一般为 5mm，最大壁厚为 15cm。
- 2) 结构：铸件为封闭式箱形结构，毛坯轮廓尺寸为 528mm × 306mm × 183mm。
- 3) 重量：铸件毛坯重 41kg，加工后净重 34.4kg，每箱浇注总重量为 98kg。
- 4) 铸件水套要求在 0.3 ~ 0.4MPa 的水压下保持 3min 不渗漏。
- 5) 内外表面要求清洁、无粘砂、飞边及毛刺，表面粗糙度小于或等于  $Ra25\mu\text{m}$ 。
- 6) 铸件不允许有裂纹、冷隔、错型等缺陷。

(3) 生产方式及条件 大批量生产，GF 型气冲造型线造型，K87 型壳芯机及 Z8612B 型射芯机制芯，冲天炉与工频感应电炉双联熔炼。

(4) 铸造工艺方案

S195 型柴油机缸体工艺简图如图 6-36 所示。

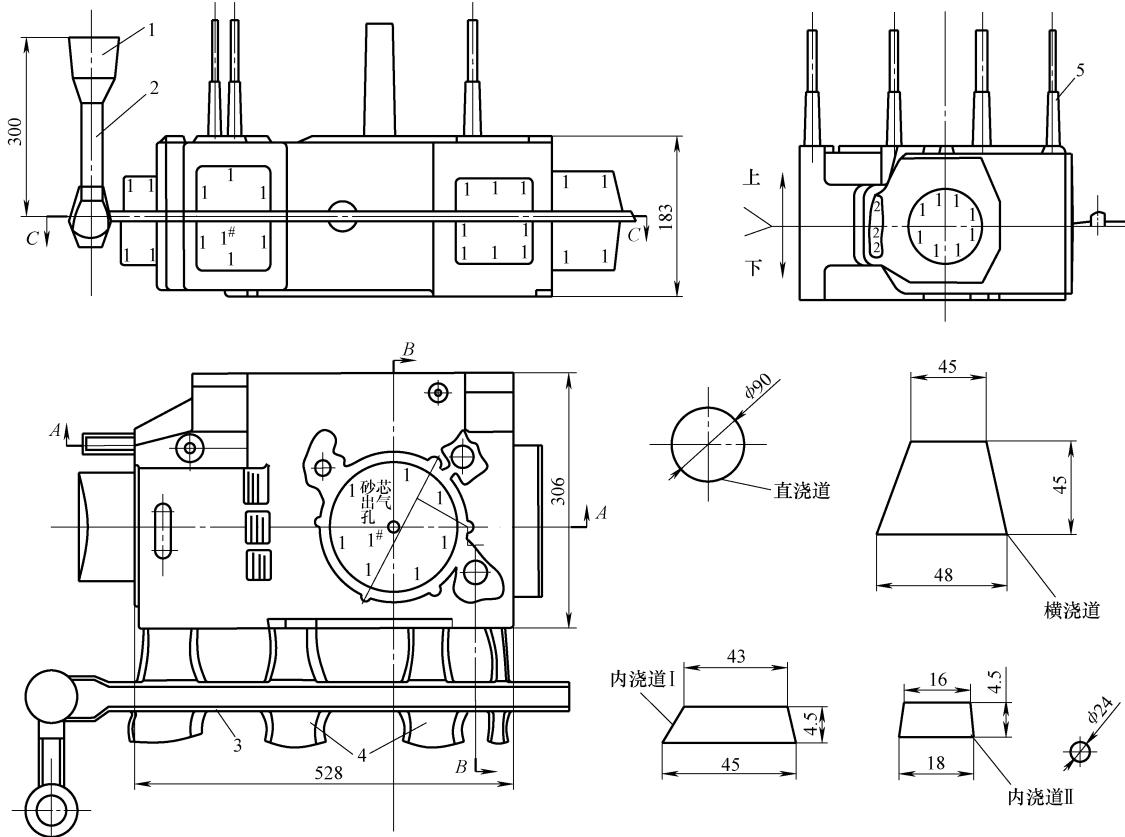


图 6-36 S195 型柴油机缸体工艺简图

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道 5—出气孔

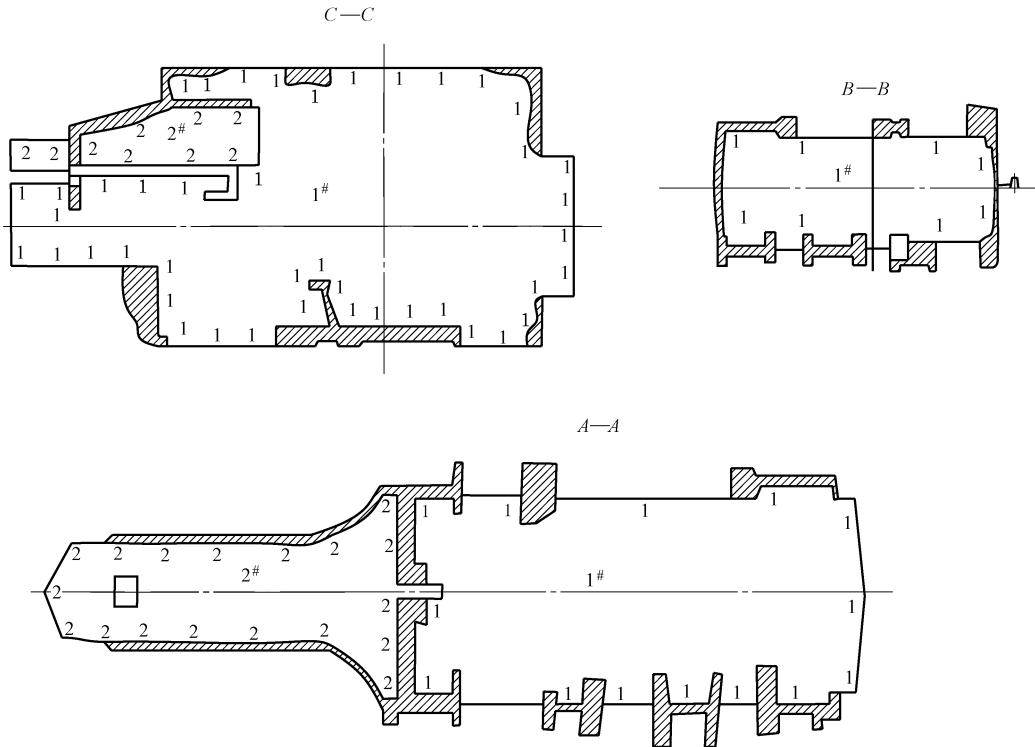


图 6-36 S195 型柴油机缸体工艺简图 (续)

1) 浇注位置和分型面。从铸造及下芯方便且有利于排气等多方面考虑,采用平做平浇方式,中间对称分型,浇注位置为齿轮室盖朝下,浇注位置采用中注式。该方案的特点是:分型面设计于缸体中部,模样分模面与主体砂芯的芯盒分盒面保持一致,起模斜度方向相同,有利于保证铸件的尺寸精度,且便于造型和下芯;齿轮室盖面设于下型是考虑到室盖面外形复杂,自来芯较多,将其置于下型有利于保证造型质量,另外,置于上型的飞轮端主轴孔垂直芯头的直径较大,有利砂芯的排气及保证砂芯在浇注时不产生上浮现象。

2) 每箱铸件数量的确定 造型线砂箱尺寸为  $1000\text{mm} \times 800\text{mm} \times 300\text{mm}$ , 根据缸体尺寸定为一箱两件。

### 3) 确定工艺参数

① 机械加工余量: 因缸体采用金属模样并在气冲造型线上大量生产, 侧底面取机械加工余量为  $3\text{mm}$ , 其余取  $3.5\text{mm}$ 。

② 收缩率: 根据合金种类及结构, 各向收缩率同取  $1\%$ 。

③ 起模斜度和铸造圆角: 一般起模斜度为  $1^\circ$ , 自来芯取  $3^\circ$ ; 铸造圆角取  $R=3\text{mm}$ 。

④ 浇注温度:  $1380\sim1420^\circ\text{C}$ 。

⑤ 开箱时间: 大于  $40\text{min}$ 。

4) 砂芯的设计。根据缸体内腔结构, 其主结构形状由两个砂芯形成, 其中  $1^\#$  砂芯为主体芯(壳芯),  $2^\#$  砂芯为挺杆孔芯(热芯盒), 下芯时先下  $1^\#$  芯, 再下  $2^\#$  芯。为保证下芯位置准确,  $1^\#$  主体芯采用专用夹具下芯。

5) 浇注系统的设计。因缸体的结构为薄壁箱体, 浇注时要求快速、平稳充型。根据每箱排放两个铸件且为对称布置的特点, 将两个缸体并在一起计算。

① 采用水力学计算公式计算  $\Sigma A_{\text{内}}$ 。

$$\sum A_{\text{内}} = \frac{m}{0.31\mu t \sqrt{H_p}}$$

式中  $\Sigma A_{\text{内}}$ ——内浇道总截面积 ( $\text{cm}^2$ );

$m$ ——每箱铸型浇注铁液总重量 (kg),  $m = 98\text{kg}$ ;

$\mu$ ——流量系数, 查有关表格并修正为 0.30;

$t$ ——浇注时间 (s),  $t = S \sqrt{m}$ , 查有关表得  $S = 1.85$ , 则  $t \approx 18.31\text{s}$ ;

$H_p$ ——平均静压头高度 (cm), 中间注入浇道  $H_p = H_0 - \frac{c}{8} = 30\text{cm} - \frac{18.3}{8}\text{cm} = 27.7\text{cm}$ ;

$$\text{综上, } \sum A_{\text{内}} = \frac{98}{0.31 \times 0.30 \times 18.31 \times \sqrt{27.7}} \text{cm}^2 \approx 10.93\text{cm}^2$$

取  $\Sigma A_{\text{内}} = 11\text{cm}^2$ 。

② 内浇道从壁较薄的水箱窗口面引入, 取内浇道截面积形状为扁梯形, 因受铸件结构、位置、尺寸所限, 每个铸件所设四道内浇道采用两种尺寸。

③ 浇注系统各部分比例设置为:  $\Sigma A_{\text{内}} : \Sigma A_{\text{横}} : A_{\text{直}} = 1:1.8:1.4$ 。为加强挡渣作用, 在上、下型横浇道搭建处放置一块高硅氧纤维滤网, 网孔尺寸为  $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 。

#### 6) 排气系统的设计

① 砂型的排气。在缸体主轴孔法兰边、凸轮轴孔盒平衡轴孔等凸台处设置  $\phi 10\text{mm}$  出气孔 15 处。

② 砂芯的排气。在 1# 芯主轴孔垂直芯头中心和后封闭门水平芯头处设置砂芯排气道, 另在 2# 芯内设置两处  $\phi 8\text{mm}$  的排气道从水平芯头处引出气体。设计时在芯头部位均做出压紧环, 以防止铁液钻入排气道。

### 2. 床身

(1) 材质 HT250。

(2) 基本结构参数和技术条件

1) 壁厚: 一般壁厚为  $12 \sim 13\text{mm}$ , 最大壁厚为  $65\text{mm}$ 。

2) 结构: 铸件为半封闭式箱形结构, 毛坯轮廓尺寸为  $2240\text{mm} \times 40\text{mm} \times 479\text{mm}$ 。

3) 重量: 铸件重量为  $520\text{kg}$ , 浇注总重量为  $620\text{kg}$ 。

4) 硬度: 导轨面硬度为  $190 \sim 240\text{HBW}$  (铸态), 且硬度均匀。

5) 导轨面不允许有任何铸造缺陷。

6) 铸件必须经人工时效处理。

(3) 生产方式及条件 成批量生产; 干型、抛砂机造型; 手工制芯; 冲天炉熔炼。

(4) 铸造工艺方案

1) 浇注位置和分型面: 沿床身轴向中心线分型, 两箱造型; 下芯合型后翻转  $90^\circ$ , 浇注位置为导轨面朝下。

2) 每箱铸件数量: 每箱一件。

3) 确定工艺参数

① 加工余量：导轨处为6~9mm，床脚等处为5~7mm；为预防床身变形，在导轨面处设反变形量3mm。

② 收缩率：轴向取1%，径向取0.8%。

③ 浇注温度：1340~1380℃。

4) 砂芯设计：铸件的内腔和肋板等均由砂芯形成。为便于制芯，将主体芯3#、4#分成两半制芯，干燥后再组装成整体，在接合面各留0.5mm的砂芯减量，芯头间隙取2mm。

5) 浇注系统的设计：因该床身较短，铁液可从床身一端的底部沿导轨长度方向注入。使用一个直浇道，截面积为28cm<sup>2</sup>，内浇道总截面积为18.5cm<sup>2</sup>。浇注系统各个部分比例为 $\Sigma A_{\text{内}} : \Sigma A_{\text{横}} : A_{\text{直}} = 1:1.3:1.5$ 。

由于材质为灰铸铁，且铸件顶部壁厚均匀，故采用同时凝固方式，不设置补缩冒口，只在前后床脚处设偏出气冒口，尺寸为22mm×20mm的3个，尺寸为35mm×20mm的1个。

## 二、筒体类铸件

根据筒体类铸件直径与高度比的不同，可将其分为长筒类和短筒类。这类铸件的铸造工艺方案有立浇和平浇两大类。立浇又可分为平做立浇和立做立浇。前者适用于长筒类铸件，后者适用于短筒类铸件。相对而言，立浇的铸件质量要优于平浇，但操作较麻烦。立浇常采用顶雨淋、底雨淋或多层阶梯式浇道；平浇常采用中注式浇道。

(1) 材质 HT350。

(2) 基本结构参数及技术要求

1) 壁厚：主要壁厚为36mm。

2) 结构：长筒类结构，铸件轮廓尺寸为φ350mm/φ290mm×850mm（带环形冒口）。

3) 重量：铸件重量为160kg，浇注总重量为250kg。

4) 硬度：207~241HBW，要求硬度均匀。

5) 铸件不允许存在任何铸造缺陷（铸件表面都需要进行机械加工）。

6) 铸件需进行7.5MPa水压试验。

7) 铸件必须经人工时效处理。

(3) 生产方式及条件 成批量生产；干型，手工造型与制芯；冲天炉加电弧炉双熔炼。

(4) 铸造工艺方案

1) 浇注位置和分型面：由于该铸件质量要求高，故采用立做立浇方案，四箱造型。

2) 每箱铸件数量：每箱一件。

3) 确定工艺参数

① 加工余量：铸件内、外圆各为6mm，底面为9mm。

② 收缩率：各向收缩率取0.8%。

③ 浇注温度：1340~1380℃。

4) 砂芯的设计：主体砂芯的中部用带孔钢管作芯骨和排气道，另外，要求用强度较高、变形量较小的芯砂作主体砂芯，砂芯的烘干质量和表面质量要严格控制。对于雨淋式浇注系统的砂芯，要保证紧实度和四个内浇道截面尺寸。

5) 浇注系统的设计：浇注系统采用顶注雨淋式，铁液通过直浇道、横浇道从椭圆形内浇道注入型腔。为防止铁液冲刷型（芯）壁，将内浇道的中心对准铸件壁的中心。浇注系

统各部分比例为  $\Sigma A_{\text{内}} : \Sigma A_{\text{横}} : A_{\text{直}} = 1:4.2:3.6$ 。为进一步提高挡渣效果，采用定量拔塞式外浇口杯。另外，在铸件的顶端加高一段作为补缩冒口，可以在车削加工时割除并从中取样进行试验。冒口顶部开设两道出气口，以排出型腔内的气体并作为浇注指标。为保证铸件底端的质量，在铸件底端设一圈存放冷铁液的存储槽。

## 第六节 铸造材料消耗定额的估算

本节将简要介绍铸造材料消耗定额的意义及其估算方法。

### 一、铸造材料消耗定额的意义

#### 1. 铸造材料消耗定额是铸造生产成本核算的需要

现代工业生产的先进性主要体现在两个方面：一是生产工艺先进，产品的外观及内部质量优良；二是与同类产品相比，材料消耗少。所以，铸造产品除了生产工艺先进外，在生产中消耗的能源少才能真正体现出综合先进性，在市场上才有很强的竞争力。

对铸造产品进行材料消耗定额，可以促进节能降耗，提高企业的经济效益，这是极有意义的。

#### 2. 铸造材料消耗定额是工艺技术的需要

先进的铸造生产工艺应该包含两个方面：一是铸件的正品率高且稳定，二是铸造材料消耗定额少。由此可见，铸造材料的消耗定额同样体现了铸造生产工艺的先进性，体现了其技术经济价值。

#### 3. 铸造材料消耗定额是经济利益分配、生产管理的需要

生产同样一种铸造产品会因生产方式、生产设备的优良而异，在原、辅材料消耗方面有很大的差异，这是自然的。但在同一个单位会因人而异，这主要体现在技术水平上。这时，运用经济杠杆对生产中消耗较少的单位（或人）进行奖励，能够促进技术进步，提高企业的经济效益。

### 二、铸造材料消耗定额的分类

#### 1. 按材料消耗的主次及量的多少分类

通常将在铸造生产中用量大而消耗多的材料称为原材料，如铸造用原砂、涂料、新生铁、废钢、修炉材料、各种铁合金等；将在铸造生产中作辅助用且用量相对较少的材料称为辅助材料，如修理模具用的铁钉、合型用的封箱条等。但在铸造生产中，原、辅材料的分类并不是绝对的。

#### 2. 按材料的生产工序分类

这种分类方法是按材料消耗的各工序而定的，如造型用原、辅材料，模具制造用原、辅材料，熔炼用原、辅材料，铸件清理用原、辅材料等。

#### 3. 按原材料价值分类

这种分类方法完全是根据财务成本核算的需要，比较专一。在原材料购进时常发现有些辅助材料的价格高于原材料，所以我国有些生产单位会根据这种情况对铸造原材料进行分类。

综上所述，不管按那种方法分类，最终都会形成一个适合本单位经济核算的最佳方法，

旨在降低生产成本，提高生产管理水平和技术经济效益。

### 三、铸件合金材料消耗定额的估算

铸造用的材料，一般称为炉料，主要有金属料、燃料和熔剂等。金属料包括生铁、废钢、回炉料、铁合金（如硅铁、锰铁、铬铁），以及铜、铝、铅、锌、锡、镍等多种有色金属及其中间合金。本节主要介绍构成铸件实体的金属料材料消耗定额的估算方法。

铸件合金材料消耗定额，一般是以每吨合格铸件（指清理过的不带浇冒口的铸件）所需的铸铁、铸钢或其他合金的重量来制定的。

一般来说，铸件的合金材料消耗定额，包括不带浇冒口的铸件重量和铸造过程中的挥发、汽化、散失等不可回收的损耗部分，其计算方法可分为两种情况。

1) 不利用切屑时，合金材料消耗定额的计算公式为

$$C_x = g_x + G_y$$

式中  $C_x$ ——铸件合金材料消耗定额（kg）；

$g_x$ ——不带浇冒口的铸件重量（kg）；

$G_y$ ——金属熔化过程中不可回收的金属消耗量（kg）。

铸件金属重量  $g_x$  是按铸件图上的尺寸通过理论计算或实际称量等方法确定的。一般情况下，在零件净重与铸件净重（不带浇冒口）和铸件毛重（带浇冒口）之间存在一定的比例关系，见表 6-5。在计算其材料消耗定额时，可参照这一比例来确定铸件的重量。

表 6-5 零件净重与铸件净重和铸件毛重的比例

合金名称和铸造方法	系 数		
	零件重量(g)	铸件净重( $g_x$ )	铸件毛重( $g_m$ )
铝合金, 砂型铸造	1	1.35	3.2
铝合金, 金属型铸造	1	1.3	3.0
镁合金, 砂型铸造	1	1.4	3.5
镁合金, 金属型铸造	1	1.35	3.2
铸钢	1	1.4	1.8
铸钢, 熔模精密铸造	1	1.1	2.0
铸铁	1	1.4	2.6
铸铜	1	1.4	1.8
压铸, 零件重量在 15kg 以下	1	1.05	15(带压型残余)
压铸, 零件重量为 15~50kg	1	1.05	5(带压型残余)
压铸, 零件重量为 50~100kg	1	1.05	3(带压型残余)
压铸, 零件重量在 100kg 以上	1	1.05	1.8

金属熔化和铸造过程中不可回收的损耗量  $G_y$  是根据实际生产中积累的统计资料，通过分析计算求得平均损耗率（见表 6-6），乘以金属配料重量而求得的。其计算公式为

$$G_y = G_l \sum y$$

式中  $G_y$ ——金属熔化和铸造过程中不可回收的损耗量（kg）；

$G_l$ ——金属配料重量（kg）；

$\Sigma y$ ——金属熔化和铸造过程中不可回收的损耗率。

表 6-6 金属剩余系数和金属不可回收的损耗率

合金名称与铸造方法	1 + 金属剩余系数 ( $K_{rs}$ )	金属不可回收的损耗率(%)	
		占配料重量 ( $\Sigma y$ )	占切屑重量 ( $\Sigma r$ )
铝合金,砂型铸造	1.12	5.2	15
铝合金,金属型铸造	1.10	4.5	15
镁合金,砂型铸造	1.25	7.2	22
镁合金,金属型铸造	1.22	6.0	22
铝合金,压铸	1.10	5.0	20
镁合金,压铸	1.22	6.5	35
铸钢,离心和砂型铸造、电弧炉	1.10	4.5	12 <sup>①</sup>
铸钢,高频感应电炉	1.06	3.5	10 <sup>①</sup>
铸钢,精密铸造、电弧炉	1.0	4.0	30 <sup>②</sup>
铸钢,精密铸造、高频感应电炉	1.06	3.0	25 <sup>②</sup>
铸铁,冲天炉	1.25	6.0	—
铸铁、合金铸铁,电弧炉	1.10	5.0	25 <sup>③</sup>
铸铁、合金铸铁,高频感应电炉	1.10	4.0	20 <sup>③</sup>
青铜,砂型铸造	1.10	5.0	12 <sup>①</sup>
青铜,金属型铸造	1.10	4.5	12 <sup>①</sup>

① 当用高合金钢或锡青铜浇注时,若机械加工的切屑未经预熔即投入炉料中,则 $\Sigma r$ 取半数值。

② 包括投入炉料内的回收金属量。回收金属是指机械加工切下的切屑经预熔和选制后的金属。

③ 包括投入炉料内的回收金属量。这里的回收金属是指加工高合金铸铁铸件时切下的切屑。

金属配料重量  $G_l$  是根据铸件毛重和熔化金属时的剩余(包括熔炉内、坩埚内和浇口杯内的残渣以及浇注时溅出的熔渣)系数进行计算的。其计算公式为

$$G_l = g_m K_{rs}$$

式中  $G_l$ ——金属配料重量 (kg);

$g_m$ ——铸件毛重 (kg);

$K_{rs}$ ——1 + 剩余系数 (见表 6-6)。

2) 利用切屑时,合金材料消耗定额的计算公式为

$$C_x = g + G_y + G_r$$

式中  $C_x$ ——铸件合金材料消耗定额 (kg);

$g$ ——零件净重(铸件经机械加工后的重量) (kg);

$G_y$ ——金属熔化和铸造过程中不可回收的损耗量 (kg);

$G_r$ ——切屑回收和重熔时不可回收的损耗量 (kg)。

切屑回收和重熔时不可回收的损耗量  $G_r$  是用铸件的切屑重量,乘以损耗率而求得的。其计算公式为

$$G_r = G_g \Sigma r$$

式中  $G_r$ ——切屑回收和重熔时不可回收的损耗量 (kg);

$G_g$ ——铸件的切屑重量 (kg)；

$\Sigma r$ ——切屑回收和重熔时不可回收的损耗率 (见表 6-6)。

铸件的切屑重量  $G_g$  是由铸件重量  $g_Z$  减去零件的净重  $g$  而求得的。其计算公式为

$$G_g = g_Z - g$$

由此可见，做好铸件的切屑分类（按合金牌号）回收工作，对节约金属炉料有着重要的技术经济意义。

#### 四、原材料消耗定额制订的一般程序

加强原材料消耗定额的管理，搞好原材料消耗定额的制订、修订、执行、考核工作，是原材料消耗定额工作的重要内容。

在工业企业中，原材料消耗定额的制订和修订，应在生产技术副厂长（副总）或总工程师的领导下，由工艺技术部门统一归口管理。

原材料消耗定额一经制订后，不得随便更改，但也不能一成不变。随着产品设计的更新，新技术、新工艺、新材料的应用，材料节约措施的实现，有必要对原材料消耗定额进行相应的修改，这是保持定额水平先进、合理的必要措施。

原材料消耗定额经企业的生产技术副厂长（副总）或总工程师审查批准后生效执行。

### 复习思考题

1. 怎样确定砂芯的数量？
2. 芯头长一些好，还是短一些好？芯头间隙留大一些好，还是不留间隙好？
3. 压环、防压环、积砂槽各起什么作用？什么情况下应用？不行不行？
4. 怎样才能使所生产的铸件尺寸精确？具体说明应怎样做。
5. 要想使单件生产的大型铸件不报废，你认为应使用哪些铸造工艺参数？
6. 在铸造企业中，为什么要制订原材料消耗定额？

## 第七章

# 铸造工艺装备设计

**培训目标** 掌握模样、模板、芯盒、砂箱等工艺装备的设计方法，了解模样与模板的分类以及装配，学会金属芯盒及特种芯盒的设计原则，能够根据铸造要求选择和设计不同的砂箱。

铸造工艺装备是铸造生产中必需的元素，它们直接关系到铸件质量、生产效率、生产成本等诸多方面。因此，铸造工艺装备的设计极其重要。本章主要介绍了常见铸造工艺装备的基础知识及其设计原则。

## 第一节 模样与模板

### 一、模样

在铸造生产中，模样是用来形成铸件外表和型腔的必要工艺装备，必须具有足够的强度、刚度以及与铸件技术要求相适应的表面粗糙度和尺寸精度。

#### 1. 模样的分类

在铸造生产中广泛使用的模样，按结构可分为整体模样、分开式模样、刮（车）板模样、骨架模样等；按模样制作材料可分为金属模样、木质模样、塑料模样、泡沫塑料汽化模样等。

#### 2. 模样的设计和选择

模样设计的主要内容一般包括模样材料的选择、模样结构的设计、模样尺寸的确定以及对模样技术要求的制订等。

模样材料的选择关系到铸件的尺寸精度、生产成本、制模周期和使用寿命等。模样材料应根据铸件的造型方法、生产批量，结合各种材料的使用特点来选用。

模样结构主要依据模样选用的材料、制造方法、模样的使用场合等进行设计。好的模样结构应经济合理，使用方便，同时能满足工艺要求，保证产品质量。

#### 3. 模样尺寸的计算与标注

模样的工作尺寸是模样所有尺寸中最重要的尺寸，即直接形成铸件的尺寸。模样工作尺寸的计算公式为

$$A_M = (A_c + A_t)(1 + \varepsilon_1) \quad (7-1)$$

式中  $A_M$ ——模样的工作尺寸 (mm)；

$A_c$ ——产品零件尺寸 (mm)；

$A_t$ ——零件铸造工艺附加尺寸 (加工余量 + 起模斜度 + 其他工艺余量) (mm)；

$\varepsilon_1$ ——铸件线收缩率 (视铸件材质、铸件结构及铸造条件而定)。

其中， $A_t$  和  $\varepsilon_1$  是决定铸件尺寸偏差的关键，有时需通过工艺试验取得大量数据进行统计分析后方可确定。

模样尺寸的标注基准面应与零件加工基准面一致,这是保证铸件尺寸精度的一个重要措施,特别是在安装模样时,其定位基准线更应服从铸件图,如图 7-1 所示。其内腔流道尺寸均以 A 面为基准,所以模样上标注尺寸也必须以 A 面为准,特别是在模底板上的装配尺寸也应以 A 面定位。

#### 4. 金属模样

(1) 金属模样的材料及性能 金属模样材料及性能见表 7-1。

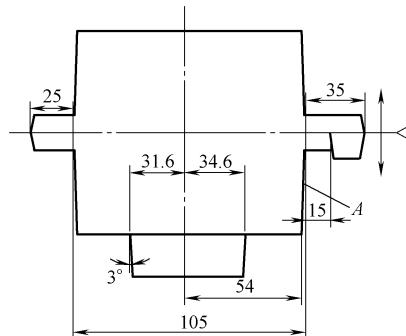


图 7-1 按零件加工基准面标注模样尺寸

表 7-1 金属模样的材料及性能

材料种类	特点		应用范围
	优点	缺点	
铝合金	质轻,易加工,加工后表面光滑,具有良好的耐蚀表皮	强度、硬度都较低,不耐磨	各种模样及整铸模板
铸铁(灰铸铁和球墨铸铁)	有良好的可加工性,加工后表面光滑,具有良好的耐蚀表皮	密度大,易氧化锈蚀,钳工不易加工,不易焊补	尺寸较大的模样和模板
铜合金	易加工,加工后表面光滑,耐蚀,耐磨	较其他材料的密度大,成本高	各种肋条、活块、镶片等

#### (2) 金属模样的结构设计

1) 手工造型用金属模样: 手工造型用金属模样可分整体式和分开式,其结构必须考虑手工操作的特点。为减轻工人的劳动强度,在满足模样结构强度的前提下,尽量减少模样的重量。模样上必须有敲模和起模装置。对于大平面结构,可在型体上设置起模螺孔。因铝模样直接攻螺纹不耐用,可嵌入钢套,并通过此螺孔将模样紧吊在砂箱上,以防止翻箱时脱落。分开式模样还需在分模面上设置定位结构。组合式模样在结构上必须考虑防止使用中模样装配处松动,需打入紧固螺钉。

2) 机械造型用金属模样: 机械造型用金属模样一般装在模底板上使用。为把模样牢固地安装在模底板上,设计模样时必须考虑模样与模底板的紧固和定位问题。一般多利用模样原有的凸缘或凸耳,若没有凸缘或凸耳,则必须在模样的内侧专门设计。

机械造型,特别是高压造型时,在紧砂过程中,模样要承受很高的压实力和冲击载荷。因此,设计模样时,应使其具有足够的强度和刚度,特别是模样较高处,极易变形和被压坏。机械造型对模样的磨损也较大,特别是采用射砂紧实的造型,设计模样时必须注意材料的耐磨性,必要时在模样表面上进行镀层处理。

机械造型要求设计模样时,在模样的较高部位装上出气针或出气片的定位座。

机械造型用模样,特别是高效自动造型线,不允许使用带活块结构的模样,否则将无法进行高效率的生产,而应改为下芯结构。

3) 金属模样壁厚及加强肋: 在保证满足模样使用要求的前提下,壁厚越小越好,以减轻模样重量和节省金属。按照模样大小的不同,可以制成实心或空心的。前者一般适用于平

均轮廓尺寸  $[(\text{长度} + \text{宽度})/2]$  小于 50mm 或高度低于 30mm 的小模样；中大模样可制成空心体，并在内腔附设加强肋，以保证其强度和刚度。模样的壁厚可根据平均轮廓尺寸及所选用的金属材料由图 7-2 选定。

加强肋的排列有矩形和辐射两种。肋条可以正交或交错，错交能减小模样制造时的铸造应力。肋的厚度可按模样壁厚的 80% ~ 100% 选取，肋的高度视模样高度而定。对于大平面且高度小于 100mm 的板状模样，肋应设在分模面上；高度小于 75mm 的板状模样，肋可略高于分模面以上 5 ~ 10mm；对于高模样，可用拱形肋，这种肋的最小高度不应小于模样壁厚的 5 倍。

4) 金属模样的活块结构：模样上妨碍铸件从铸型中取出的部分应做成活动的，此活动部分称为活块。另外，模样上的浇冒口和出气孔，为造型和起模时操作方便，一般做成活块，如图 7-3 所示。

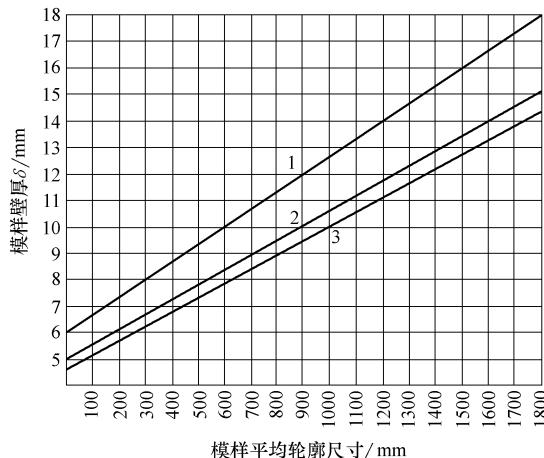


图 7-2 确定金属模样壁厚的曲线

1—铝合金 2—铸铁 3—青铜

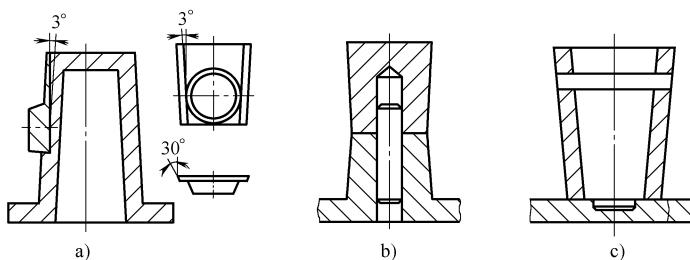


图 7-3 模样活块结构

a) 燕尾槽式 b) 滑销式 c) 榫式

对于起模后留在砂型中的活块，需考虑能否从型腔中取出和如何取出的问题。例如，型腔较深较窄时，取出活块很不方便，这时就要在活块上设计相应的结构。若采用提取针法取出，则应在活块上设计提针孔，或在活块上设计把手，直接用把手把出。

为使活块放置在模样上平稳，需要采取必要的措施。例如：活块伸出部分较大，而活块在支撑重心又难以设计到模样本体上时，可另设支撑钉，防止松动。又如为防止起模后活块松动或掉落，可在活块部分设置紧钉。

## 5. 木模样

木模样的整体结构可归纳为以下三种：

(1) 实体结构 一般较小的木模样，特别是高压造型选用的木模样，必须做成实体结构。在个别较薄的部位和易压坏变形的部位，可通过镶制金属或塑料等部件构成复合模样。

(2) 空心框架结构 中、大型木模样一般采用多块木料经合理的拼接组合，形成中空

的骨架。有时为保证模样的刚度,满足使用性能的要求,对较大的木模样,中心可做成钢骨架结构。

(3) 刮板结构 对于单件或小批量生产的旋转体或几何形状较简单的铸件,为节省制造模样的材料和制模工时,刮板是常用的一种模样结构。

### 6. 塑料模样

塑料模样是以环氧树脂塑料为主要原材料的模样。另外,为使塑料硬化,改善塑料性能,需要加入硬化剂、增塑剂、稀释剂和填料。制作较大的塑料模样时,为增加其刚度和便于制造,还需要木质或金属骨架结构件。在塑料模样制造过程中还需用一些辅助材料,如脱模剂、清洗剂等。

## 二、模板

模板一般由模底板、模样、浇冒口及定位销等装配而成,但也有整铸的。通常模底板的工作面形成铸件的分型面,模样及浇冒口形成铸件的外轮廓及浇冒口型腔。采用模板造型,可以提高生产率和铸件质量及铸件尺寸精度。所以,模板不仅在成批量生产中使用,而且在单件小批量生产中应用。

### 1. 模板的分类

模板按制造方法可分为整铸式模板和装配式模板;按模板材料可分为铸铁模板、铸钢模板、铸铝模板和塑料模板;按模板结构可分为双面模板、单面模板、导向模板和组合模板等;按造型机类型可分为高压造型模板和射砂造型模板。

### 2. 模底板的结构与尺寸

#### (1) 模底板的尺寸

1) 模底板的平面尺寸。模底板的平面尺寸可按式(7-2)和式(7-3)确定。

$$A_0 = A + 2b \quad (7-2)$$

$$B_0 = B + 2b \quad (7-3)$$

式中  $A$ —砂箱内框长度;

$B$ —砂箱内框宽度;

$A_0$ —模底板长度;

$B_0$ —模底板宽度;

$b$ —砂箱分型面外凸缘的宽度。

2) 模底板的高度。模底板的高度  $h$  必须根据使用要求和选用的造型机来确定。

① 普通平面式模底板:  $h_{\text{铸铁}} = 80 \sim 150 \text{ mm}$ ,  $h_{\text{铸铝}} = 30 \sim 90 \text{ mm}$ 。

② 普通凹面式模底板:  $h$  根据模样下凹的深度决定。

③ 双层销耳式模底板:  $h > 100 \text{ mm}$ 。

3) 模底板定位销孔中心距。模底板定位销孔中心距应与所配用砂箱的定位孔中心距相一致。

#### (2) 模底板的壁厚和加强肋

1) 壁厚  $\delta$  和加强肋厚度  $t$  及连接圆角半径  $r$  可根据模底板平均轮廓尺寸和所选用的材料确定。

2) 加强肋的布置。加强肋的布置有矩形正交、矩形错交、圆形错交、异形正交等,如图 7-4 所示。

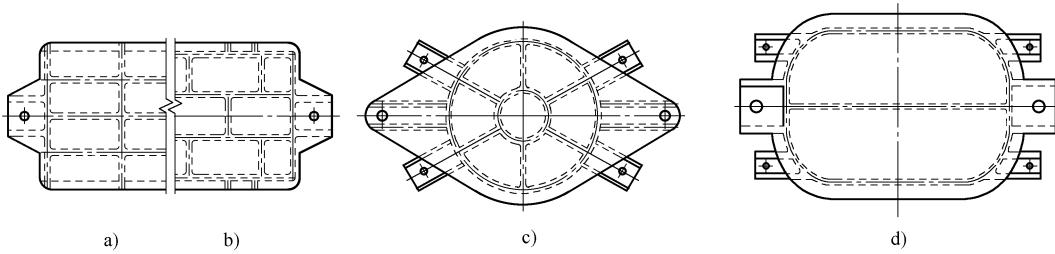


图 7-4 模底板加强肋的布置

a) 矩形正交 b) 矩形错交 c) 圆形错交 d) 异形正交

(3) 模底板和砂箱的定位装置 模底板和砂箱之间常用定位销和销套定位。其定位方式有直接定位、间接定位等, 如图 7-5 所示。

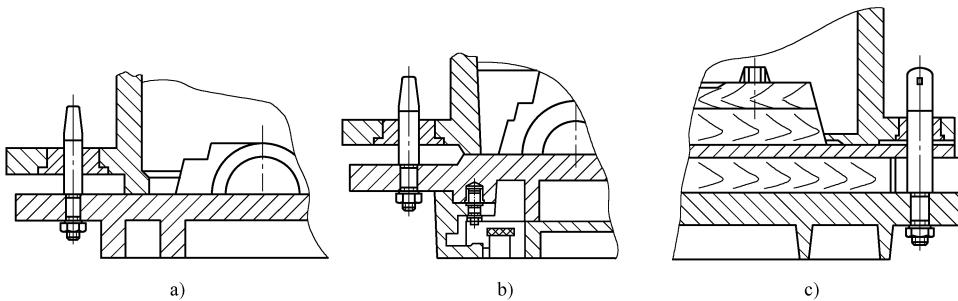


图 7-5 模底板与砂箱的定位方式

a)、b) 直接定位 c) 间接定位

(4) 模底板上的定位销耳 模底板上的定位销一般装在沿中心线长度方向两端的销耳上, 对于大型模底板, 也有装在两长边的端头处的。销耳结构如图 7-6 所示。

(5) 模底板的吊运结构 对于平均轮廓尺寸小于 500mm 的小型模底板, 一般设有手柄, 以便模板的搬运和安装; 对于中、大型模底板, 为了便于翻型起模和搬运, 需设吊轴。吊轴可以和模底板一起铸出, 称为整铸式, 也可以使用铸接方式。

(6) 模底板与造型机工作台的连接装置 模底板一般设置紧固耳, 用螺栓紧固在造型工作台上。因此, 紧固耳的位置必须和造型机工作台台面上的 T 形槽或螺孔的位置相适应。

### 三、模样和模底板的装配

#### 1. 模样在模底板上的装配

(1) 模样在模底板上的放置形式 放置形式有平放式和嵌入式两种。平放式是将模样放在模底板上, 模底板不必挖槽, 比较方便, 应用较多。嵌入式是根据模样的结构特点将模样下部或整个凹模样嵌入模底板中, 并通过紧固件与模底板连接。

(2) 模样在模底板上的定位 模样在模底板上常采用定位销定位, 以防止模样因螺钉松动而错位。定位销在模样上的位置, 一般选择在模样高度较低的地方, 并尽量使其距离远一些。定位销常采用圆柱销, 也可以采用圆锥销。定位销数量, 对平放式的模样, 一般每块模样上最少 2 个, 最多不超过 4 个; 对于嵌入式装配的模样, 则根据嵌入情况, 可以适当减

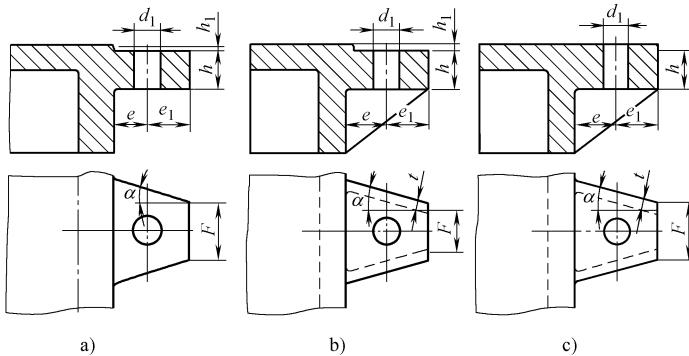


图 7-6 模底板上定位销耳的结构

a) I型 b) II型 c) III型

少或不用定位销。

(3) 模样在模底板上的紧固 模样紧固在模底板上的常用方式有螺钉紧固、螺栓紧固、铆钉紧固以及过盈配合紧固。用螺钉紧固时有上固定法和下固定法两种。

1) 上固定法。螺钉或螺栓穿过模样而紧固在模底板上, 模样上设有沉头座沉孔, 紧固后用金属或塑料填平。这种固定法的优点是模底板钻孔时可以将模样作为钻模进行配钻, 安装操作简便。其缺点是模样工作表面易被损坏, 安装后必须填平修补。

2) 下固定法。用螺钉通过模底板, 从底面把模样紧固在模底板上, 这时模样上要攻螺纹, 而模底板上要钻通孔。其优点是模样工作表面不受损坏, 一般用在模样较高的情况下。

3) 对于小型模样, 可用销子以过盈配合或用铆钉铆接的方式加以紧固。

## 2. 浇冒口模样和芯头在模底板上的装配

(1) 直浇道、冒口和出气口等模样在模底板上的装配 由于设计成上大下小的直浇道、冒口、出气口等模样, 必须在起模前先从铸型顶部拔出, 因此此类模样和模底板或铸件模样之间常用销子定位而并不紧固。设计成上小下大的直浇道、冒口、出气口等模样, 用螺钉和螺母直接紧固在模底板上。

(2) 浇道模样在模底板上的固定 内浇道、横浇道、直浇道座、直浇道窝模样一般高度都不大, 常用螺钉和铆钉直接紧固在模底板上, 除压边横浇道模样外, 都不必用定位销定位。

(3) 装配式芯头模样的定位与紧固 为了加工制造模样时方便, 芯头往往单独加工制作, 然后再与铸件模样装配成一体。水平芯头要与模样本体和模底板贴合, 因此除用螺钉紧固外, 还需用一个定位销定位, 如图 7-7 所示。

垂直芯头尺寸较小时用螺钉直接紧固在模样本体上, 尺寸较大时用螺钉穿过模样本体与模底板紧固在一起, 如图 7-8 所示。

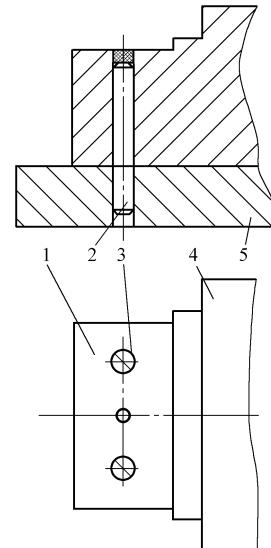


图 7-7 水平芯头安装实例

1—芯头 2—定位销 3—沉头螺钉  
4—模样本体 5—模底板

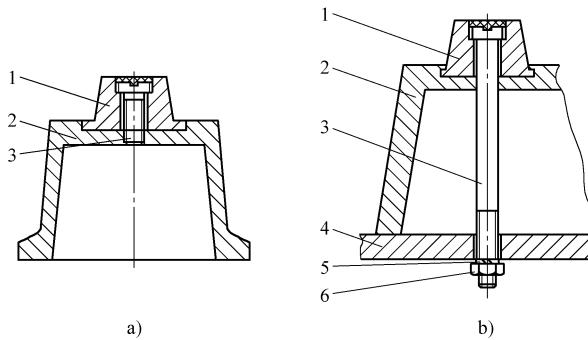


图 7-8 垂直芯头安装实例

a) 用于小芯头 b) 用于大芯头

1—芯头 2—模样 3—圆柱头螺钉 4—模底板 5—弹簧垫圈 6—螺母

## 第二节 芯 盒

芯盒是制芯工艺过程中必需的工艺装备。正确选择和设计芯盒是保证铸件质量、提高生产效率、降低成本、减轻劳动强度的重要环节。在大量生产中,为了提高砂芯精度和芯盒耐用性,多采用金属芯盒。本节主要介绍金属芯盒和特种芯盒。

### 一、芯盒的分类

在铸造生产中,芯盒按材料可分为金属芯盒、木质芯盒、塑料芯盒和金木结构芯盒四类;按制芯方法可分为手工制芯用芯盒和机器制芯用芯盒;按芯盒结构可分为敞开整体式芯盒、垂直对开式芯盒、水平对开式芯盒、多向开合式芯盒等。

### 二、金属芯盒的设计

金属芯盒设计的主要内容一般包括:芯盒材料的选择、分盒面的确定、芯盒内腔尺寸的计算、芯盒结构及其附属结构的设计,以及对金属芯盒技术要求的制订等。

#### 1. 分盒面的确定

砂芯分盒面的选择应遵循下列原则:

- 1) 尽量使砂芯的分盒面和砂型的分型面一致,以使砂芯的起模斜度和模样的起模斜度大小和方向一致,保证铸件壁厚均匀。
- 2) 优先采用平直分盒面,有时为了适应砂芯的形状,需要采用曲面或折面分盒。
- 3) 应有较大的敞开面,以利于砂芯的充填与紧实,并便于安放芯骨和开设砂芯气路。
- 4) 尽可能使砂芯的烘干支撑面为平面,以简化烘干板的结构,增加烘干板的通用性。
- 5) 尽量将尺寸要求高的部分放在同一片芯盒内,避免被分盒面分割。
- 6) 应使芯盒结构简单,便于制造,方便制芯操作,并能满足砂芯尺寸的精度要求。

#### 2. 芯盒内腔尺寸的设计

芯盒内腔尺寸的计算公式为

$$A_b = (A_c \pm A_t) (1 + \varepsilon_1) \quad (7-4)$$

式中  $A_b$ ——芯盒内腔尺寸 (mm);

$A_c$ ——产品零件尺寸 (mm);

$A_t$ ——铸造工艺尺寸 (加工余量、起模斜度、工艺补正量等) (mm);

$\varepsilon_1$ ——铸件线收缩率。

式 (7-4) 中, “ $A_c \pm A_t$ ” “+” 号适用于因工艺尺寸使砂芯尺寸增大时, “-” 号适用于因工艺尺寸使砂芯尺寸减小时。芯盒内腔尺寸是指形成铸件尺寸的有关尺寸, 芯盒本身结构尺寸不包括在内。芯头长度因不直接形成铸件尺寸, 故不计算收缩率。

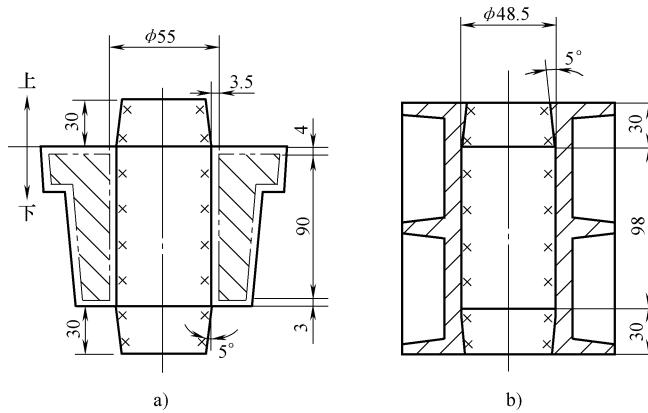


图 7-9 法兰盘铸造工艺和芯盒简图

a) 零件铸造工艺图 b) 芯盒简图

图 7-9 为法兰盘铸造工艺图和芯盒简图, 其芯盒内腔尺寸计算如下:

零件材料为灰铸铁, 收缩率可按 1% 计算。

砂芯长度  $L = (90\text{mm} + 4\text{mm} + 3\text{mm}) \times (1 + 1\%) = 97.97\text{mm}$ , 取 98mm。

砂芯直径  $D = (55\text{mm} - 3.5\text{mm} \times 2) \times (1 + 1\%) = 48.48\text{mm}$ , 取 48.5mm。

### 3. 金属芯盒及其附属结构的设计

(1) 芯盒壁厚与加强肋 在保证芯盒的强度、刚度和使用寿命的前提下, 尽可能减小芯盒壁厚, 以减轻芯盒重量和改善操作条件。芯盒壁厚根据芯盒尺寸、制芯方法和芯盒材料确定。

为了增加芯盒强度与刚度, 在芯盒外壁上要设置加强肋。加强肋的布置应排列合理, 便于芯盒制造和使用。芯盒加强肋通常可随芯盒周边形状布置, 其高度应根据芯盒形状和大小选定, 但最低高度不得小于 3 倍壁厚。

(2) 芯盒的凸缘及耐磨护板 为了提高芯盒本体的强度和刚度, 便于合盒、刮砂和起芯等操作, 在芯盒填砂面和分盒面处, 设有加宽、加厚的凸缘。为了防止铝质芯盒凸缘面磨损, 应在凸缘面上加设耐磨护板。耐磨护板常采用 Q235A 钢制造, 其厚度为 3mm。

(3) 芯盒的活块 芯盒中妨碍出芯或难以出芯的部分应设置活块。常用的活块结构有滑座式、燕尾槽式和定位销式三种, 其中滑座式使用最为广泛。

滑座式活块的固定、定位依靠在芯盒本体上设置的窝座。窝座可以设置在盒体壁上, 也可设置在盒体的底部。为保证活块安装在芯盒中的稳定性, 应将活块重心置于窝座一侧。

(4) 芯盒中的镶块 在制作芯盒时, 常将其中某些部分做成装配式结构, 这些装配部分称为镶块。采用镶块是为了简化工艺。镶块与芯盒本体的定位与紧固方式有嵌入式和定位

销式两种。

(5) 芯盒的手柄和吊轴 芯盒应设置手柄或其他装置, 用以搬运、翻转、提取和起芯。大型芯盒则要安装吊轴。手柄和吊轴的安装位置应能使芯盒平稳搬运, 同时还应满足芯盒翻转等操作要求。

(6) 芯盒的定位装置 凡是对开分盒面的芯盒, 都必须设置定位装置。常用的芯盒定位装置是定位销和定位套。

(7) 芯盒的夹紧装置 对开式芯盒合盒、填砂紧实时, 要用夹紧装置锁紧。夹紧装置应做到紧固效果好、经久耐用、使用方便、灵活紧凑。在生产实践中, 常用的有蝶形螺母铰链式、双螺母铰链式和铰链卡板式。

(8) 芯盒填砂板 在封闭的水平对开芯盒上, 为使砂芯合盒后能得到良好的紧实度, 需使用填砂板。填砂板用 Q235A 钢制成, 依靠定位销与芯盒定位。

### 三、热芯盒的结构设计

热芯盒制芯工艺是用射芯机以  $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$  的压缩空气, 将湿态树脂砂射入加热至一定温度 ( $200 \sim 260^\circ\text{C}$ ) 的芯盒内, 迅速成型硬化的制芯工艺。

热芯盒制芯使用的工艺装备包括热芯盒、射砂头和加热装置等。热芯盒由芯盒本体、活块、排气装置、定位装置和顶出机构等部分组成, 如图 7-10 所示。

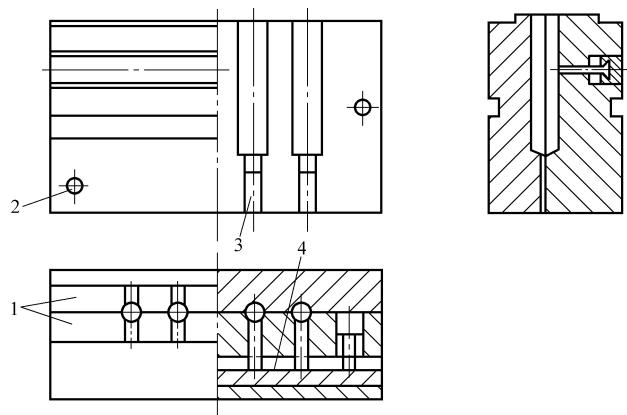


图 7-10 热芯盒结构简图

1—芯盒本体 2—定位销 (套) 3—排气装置 4—顶出机构

(1) 分盒面的选择 热芯盒分盒面的选择, 除遵照常用金属芯盒的有关原则外, 还应满足下列条件:

- 1) 尽可能简化热芯盒分盒面的形状, 为了便于加工制造, 最好采用平直分盒面。
- 2) 尽可能不采用活块。
- 3) 确保开盒后砂芯留在设有顶出机构的半片芯盒中。
- 4) 根据射砂工艺要求, 确保砂芯的良好充填和足够的紧实度。
- 5) 减少芯盒的磨损, 提高芯盒的使用寿命。

#### (2) 射砂口的设计

1) 位置的选择。射砂口是砂芯进入芯盒的通道。为了确保砂芯获得满意的紧实度, 利于芯盒排气, 减少砂芯修整工作量, 射砂口应选择在下列位置:

- ① 芯头处。
- ② 砂芯的大端。
- ③ 砂芯的平面处。
- ④ 确保砂流畅通地进入芯盒，不产生涡流。
- ⑤ 射砂口对称均匀布置，采用上顶芯机构的水平分盒射砂口更应如此。
- ⑥ 避免砂流直接冲刷芯盒凸出部分、斜面和芯棒。

2) 尺寸及数量的选择。射砂口尺寸取决于砂芯的重量和在射砂方向上砂流通过芯盒内腔的最小截面积。射砂口小时，砂流动能高，有利于砂芯的紧实。但射砂口过大时，在射砂时间内，进入芯盒的砂量可能不够，造成砂芯局部不能紧实或成型。所以，在可能的情况下，应尽量选择大一些的射砂口尺寸，以便缩短射砂时间。但过大的射砂口会降低砂流速度，使砂芯紧实度下降，影响砂芯表面质量。常用的是圆形射砂口，其尺寸为  $\phi 10 \sim \phi 20\text{mm}$ 。

射砂口的数量主要取决于射制砂芯的尺寸、几何形状及射砂方向的投影面积。一般情况下，砂芯尺寸越大，几何形状越复杂，射砂方向的投影面积越大，射砂口的数量也就越多。

3) 形状的选择。根据射制砂芯的几何形状，选择射砂口断面形状。常用的射砂口有圆形、腰圆形、长条形、十字形和环形等几种。其中圆形射砂口结构简单，加工方便，生产中使用广泛。

(3) 排气装置的设计 热芯盒排气方式主要有排气塞排气、排气槽排气和顶杆间隙排气三种。

排气塞使用灵活性大，不受位置的限制，但比较容易堵塞，使用寿命较短，且排气塞加工比较复杂，制造成本高。排气槽排气和顶杆间隙排气形式加工方便，容易清理，使用寿命长，制造成本低，但排气槽只能开设在分盒面、射砂面，以及镶块、活块的配合面上，顶杆间隙排气受到顶杆位置的限制，因此这两种排气装置的灵活性较差。在芯盒的设计中，应优先考虑选用排气槽排气和顶杆间隙排气形式。

(4) 定位装置的设计 为了确保砂芯尺寸和形状准确，防止错边，热芯盒需设置定位装置。常用定位装置是定位销和套。由于两半芯盒加热温度的差异，加热后的膨胀量有所不同，造成定位销与定位套相互咬死以致开盒困难。因此，应采用圆形和槽式混合定位形式，其数量和形状，可根据芯盒外形尺寸选取。

(5) 顶出机构的设计 在热芯盒内紧实硬化的砂芯与芯盒之间有较大的黏着力，为完整地取出砂芯，必须在芯盒内设置专门的顶出机构。出芯方式主要有顶出杆出芯、移动托板出芯和旋转出芯三种。

(6) 加热装置 根据加热能源的不同，热芯盒加热有电加热和煤气加热两种。

#### 四、壳芯盒的设计

用壳芯盒制得的砂芯呈中空薄壳状，故称为薄壳芯或壳芯。壳芯盒与热芯盒相比，具有重量轻、节约芯砂、砂芯透气性好、尺寸精度高和表面粗糙度小等优点。因此，在成批量生产中，砂芯尺寸较大、形状较复杂以及内腔要求高的铸件常采用壳芯。该项工艺借助于壳芯机，将树脂覆膜砂吹入加热到一定温度的芯盒中，经结壳、硬化并倒出未结壳的余砂后，获得中空、薄壳砂芯。

壳芯制造使用的工艺装备包括壳芯盒、吹砂板和加热装置等。

(1) 壳芯盒壁厚及加强肋 壳芯盒壁厚的选择依据与热芯盒相同。芯盒加强肋的布置及高度根据芯盒的形状、尺寸和选用的壳芯机规格选定，但其最小高度不得小于40mm。

(2) 吹砂口的设计 覆膜砂进入芯盒的通道称为吹砂口。为了减少砂芯修整工作量，利于未硬化的余砂被顺利地排除，吹砂口一般应开设在芯头处，并尽量远离浇道，以免吹砂口处跑火。根据砂芯的几何形状选择吹砂口截面形状。常用吹砂口的形状有圆形、腰形、方形及长方形。吹砂口的尺寸一般可按吹砂口处芯头截面尺寸和所要求的砂芯结壳厚度选取。在实际生产中，壳芯的结壳厚度一般为7~15mm。

(3) 吹砂板的设计 吹砂板安装在壳芯机的砂斗上，吹砂时与壳芯盒紧贴。为了防止砂斗内芯砂因受热硬化而堵死吹砂口，吹砂板必须设计成带有水冷腔的中空式结构。常用的水冷吹砂板有整铸式和装配式两种结构。

### 五、冷芯盒的设计

冷芯盒制芯是新型、高效制芯工艺。该项工艺一般借助于射芯机，将混有树脂黏结剂和添加物的芯砂混合料射入芯盒，在气体硬化剂的作用下成型硬化。

根据所用黏结剂和气体硬化剂品种的不同，冷芯盒制芯又分为三乙胺气雾冷芯盒法、二氧化硫冷芯盒法和酯硬化冷芯盒法三种。这里主要介绍三乙胺气雾冷芯盒法。三乙胺气雾冷芯盒法是采用酚醛树脂和聚异氰酸酯作为黏结剂，以三乙胺气雾作为硬化剂的制芯工艺。

(1) 芯盒本体的设计 冷芯盒制芯属于常温制芯工艺，芯盒无需加热，因此芯盒本体可以选用各种材料。冷芯盒本体可设计成带有加强肋、壁厚均匀的框形结构，也可设计为正方体形或长方体形的实体结构。

(2) 密封装置的设计 在吹气硬化过程中，为确保芯盒工作时的密封性，在芯盒分盒面、吹气罩与芯盒接触面、顶芯板与顶杆孔的接触面以及芯盒与排气面等处应加设密封件。分盒面、吹气罩与芯盒接触面、顶芯板与顶杆孔的接触面通常采用密封环。

(3) 射砂口的设计 冷芯盒射砂口的位置、形状、数量和大小原则上可参照热芯盒射砂口有关规定进行设计。为确保砂芯具有良好的硬化效果，应尽可能增大射砂口面积，并将射砂口设置在砂芯深凹及厚实的部位，确保硬化气体在砂芯中均匀扩散。

(4) 排气装置的设计 排气装置的设计原则是确保硬化气流能均匀地通过整个砂芯后排出，即达到硬化气流的平衡。排气装置的设置应尽量避免与进气口直接相对。在布置过程中，应尽可能使各进气口与各排气口保持大致相同的距离。排气装置一般设置在砂芯深凹处和厚实部位。

## 第三节 砂 箱

砂箱是铸件生产中必备的工艺装备之一，用于制作砂型和运输砂型。设计砂箱时必须使砂箱既符合铸型工艺的要求，又符合车间造型、运输设备的要求。

### 一、砂箱的分类

砂箱按造型方法可分为手工造型用砂箱、机器造型用砂箱、抛砂机造型用砂箱等；按材料可分为木砂箱、铝合金砂箱、铸铁砂箱、球墨铸铁砂箱等。

图7-11所示为气冲造型机自动生产线用中、大型砂箱。

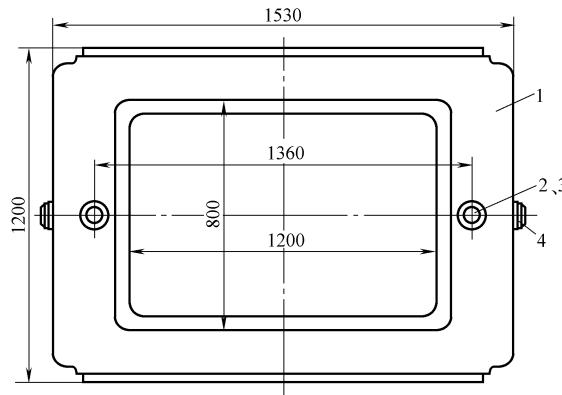


图 7-11 气冲造型机自动生产线用中、大型砂箱  
1—箱体 2—定位销 3—定位衬套 4—缓冲垫

## 二、砂箱的选择和设计

在进行砂箱的选择和设计时，应注意以下原则：

- 1) 应满足铸件工艺流程中的生产要求。
- 2) 砂箱应尽量标准化、系列化、通用化。
- 3) 在具有足够的强度、刚度且方便使用的条件下，尽量使砂箱结构简单、轻便。
- 4) 合理选择箱壁、箱带、排气孔等结构。
- 5) 砂箱要保证必要的加工精度。
- 6) 应选择耐用、经济、来源广泛的材料。

## 三、砂箱的结构

(1) 砂箱内框尺寸的确定 砂箱的内框尺寸主要根据零件工艺布置图和吃砂量来确定。机器造型用砂箱还应与所选用的造型机工作台面、起模高度、最大震击举升力相适应。然后，根据通用砂箱规格系列表来选择和确定合适的砂芯内框尺寸。

### (2) 箱壁截面形式

1) 简易砂箱的截面形式多用于单件小批量生产。简易砂箱箱壁截面结构如图 7-12 所示。

2) 在大批量的手工和半机械化生产中，经常使用的砂箱箱壁截面形式多带有凸缘结构。凸缘结构增强了箱壁的强度和刚度。向砂箱内凸出的凸缘，可使砂型不易脱落。对于大、中型砂箱，内壁通常做成不带凸缘的直壁，这样可减少砂箱制造困难，并便于脱箱。

3) 在高压、气冲造型机生产线上使用的中、大型专用砂箱，其箱壁强度和刚度要求高，箱壁截面一般做成箱形，以满足使用要求。

(3) 砂箱侧壁加强肋的布置形式 布置砂箱壁外缘加强肋是增加砂箱强度和刚度，提高砂箱使用寿命的重要措施。肋的布置和尺寸根据砂箱的高度和内框平均尺寸而定。对于内框尺寸小于 750mm 的铸铁砂箱，可考虑不设加强肋。对于砂箱高度低于 300mm 的大型砂箱，可只设竖向加强肋，或只设一根横向肋。对于高度大于 500mm 的砂箱，可以布置两条或两条以上的加强肋。对于过长的砂箱，也可设计“人”字形的加强肋。

砂箱四角容易损坏，设计砂箱时应给出合理的转角尺寸，并适当加大砂箱转角部分的壁厚，如图 7-13 所示。

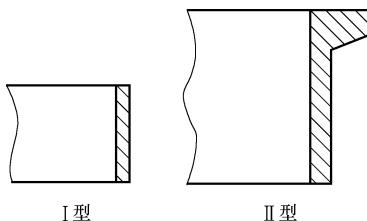


图 7-12 简易砂箱箱壁截面结构

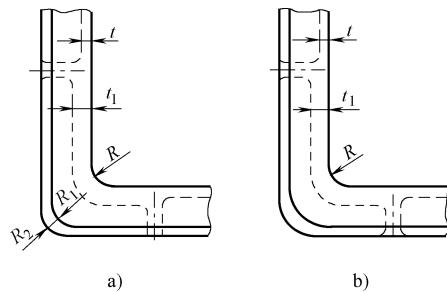


图 7-13 砂箱转角部分的结构

a) 圆角不同心 b) 圆角同心

(4) 箱带的布置形式 砂箱箱带的布置形式如图 7-14 所示。

(5) 砂箱壁排气孔的形式 为了排除在烘干和浇注时铸型内产生的气体，除了射压造型、高压造型及小型砂箱外，一般在砂箱壁上要设计出均匀布置的排气孔，如图 7-15 所示。在砂箱的箱带、转角和吊轴附近均不设置排气孔。

(6) 砂箱的吊运结构

1) 箱把：常用于人工搬运的小砂箱，箱把共两对，供两人抬用，其间距相当于人的肩宽（300~400mm）。

2) 吊轴：吊轴有铸入式和整铸式两种。铸入式吊轴常用于大、中型砂箱；整铸式吊轴一般一个砂箱设 2 个，根据需要也可设 4 个，如图 7-16 所示。

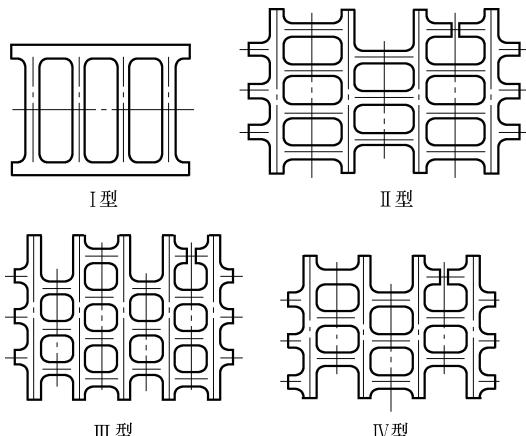


图 7-14 砂箱箱带的布置形式

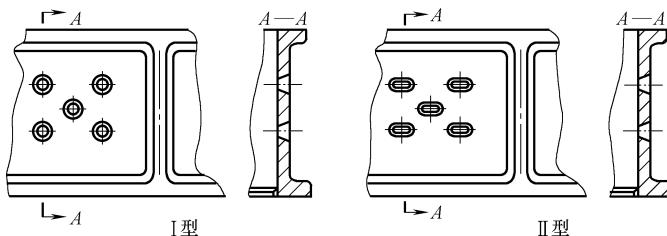


图 7-15 砂箱壁排气孔的布置形式

3) 吊环：在中、大型砂箱的设计中，除吊轴外，还常设置 4~6 个吊环，如图 7-17 所示。

(7) 砂箱的定位结构 单件小批量生产时常采用做记号和内箱锥的办法使砂箱定位。批量生产和半机械化生产时，常采用定位销和定位孔的配合方式来保证定位精度。定位箱耳与砂箱本体紧固相连，一般设置在砂箱短边的中间，也可以设置在砂箱两侧，或类似对角线分布，如图 7-18 所示。

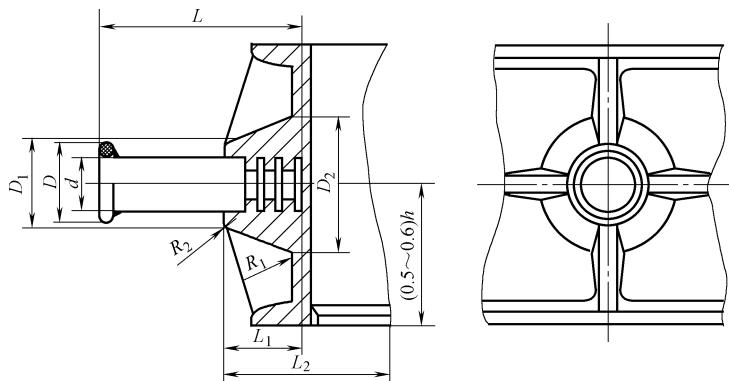


图 7-16 铸入式吊轴部分的结构

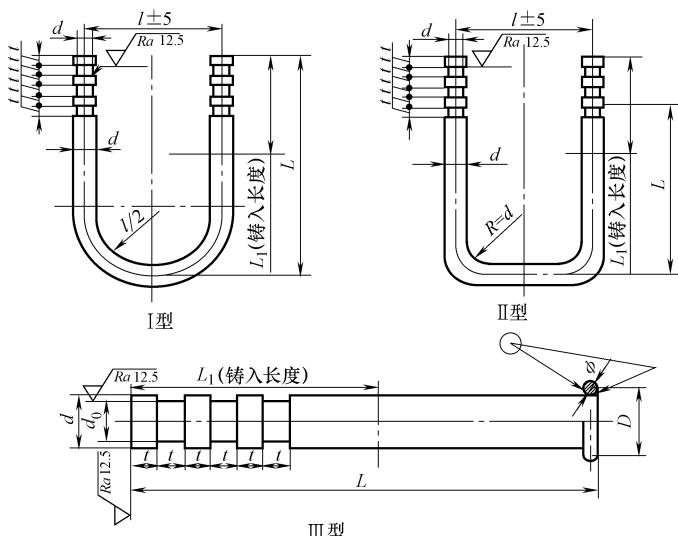


图 7-17 吊环及吊轴部分的结构

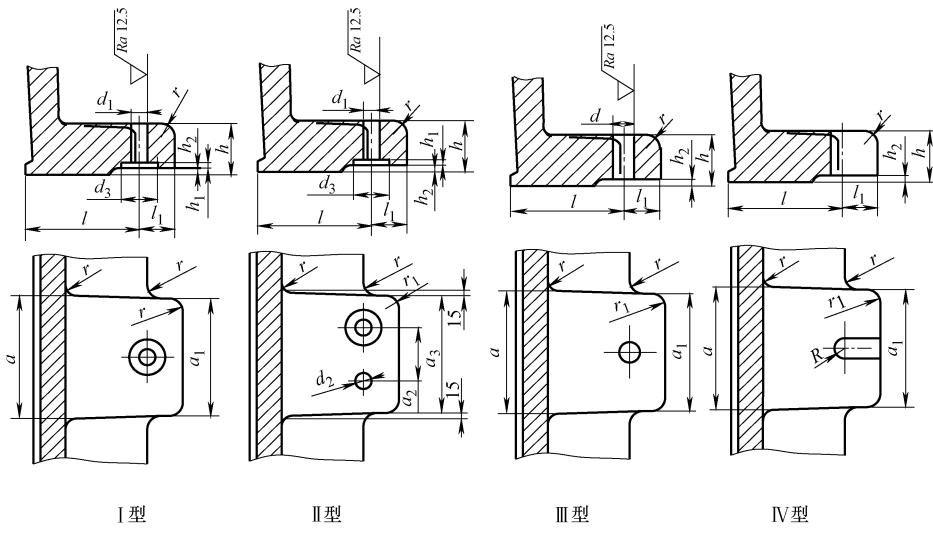


图 7-18 砂箱定位和紧固箱耳的结构

(8) 砂箱的夹紧结构 合箱后一定要采取夹紧措施, 以防止搬运过程中上、下砂箱错动和浇注时抬型。常用的夹紧方式如图 7-19 所示。

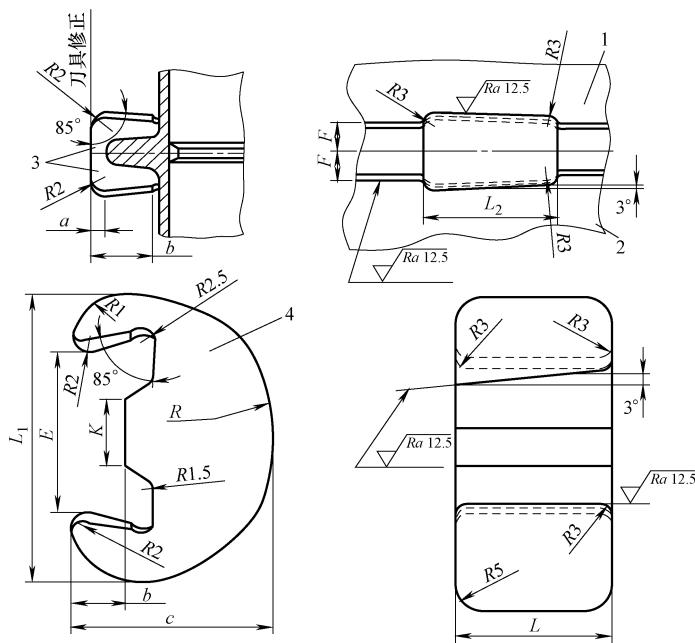


图 7-19 楔形箱耳卡台、卡箱结构  
1—上砂箱 2—下砂箱 3—楔形箱耳卡台 4—箱卡

### 复习思考题

- 常用的铸造工艺装备有哪几种?
- 如何区分模样或芯盒的凸体尺寸和凹体尺寸? 这样划分尺寸的目的是什么?
- 模样在模板上怎样固定? 怎样定位? 才能防止错箱?
- 为何将较大尺寸的高压造型用砂箱设计成双层壁?
- 哪种芯盒造型最简便? 哪种芯盒造型最不方便?

# 第八章

## 铸件缺陷分析

**培训目标** 了解铸件常见缺陷的类型；能够分析缺陷产生的原因并作出相应的调整使其得到改善；对于一般缺陷，能够进行适当的修补。

铸造缺陷是铸造过程中难以避免的问题。如何控制缺陷对铸件的不良影响，将直接关系铸件的质量。本章主要介绍铸件缺陷的分类，以及如何对它们进行分析、修补等问题。

### 第一节 铸件缺陷的分类

#### 一、按缺陷外观特征分类

铸件缺陷的分类以铸件缺陷外观特征为依据，我国将铸件缺陷分为8类，见表8-1。

表8-1 铸件缺陷 (GB/T 5611—1998)

类别	序号	名称	定义或释义
多肉类缺陷	1	飞翅 (飞边)	垂直于铸件表面上厚薄不均匀的薄片状金属凸起物，常出现在铸件分型面和芯头部位
	2	毛刺	铸件表面上的刺状金属凸起物，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
	3	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
	4	胀砂	铸件内外表面局部胀大，重量增加的现象
	5	冲砂	砂型或砂芯表面局部型砂被金属液冲刷掉，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，常位于浇道附近，被冲刷掉的型砂往往在铸件其他部位形成砂眼
	6	掉砂	砂型或砂芯的局部砂块在机械力的作用下掉落，使铸件表面相应部位形成金属凸起物，其外形与掉落砂块很相似。在铸件其他部位往往出现砂眼或缺陷
	7	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、如明浇铸件的上表面、离心浇注件的内表面等。其化学成分与铸件金属往往有差异
孔洞类缺陷	8	气孔	由气体形成的孔洞，表面一般比较光滑，主要呈梨形、圆形、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
	9	针孔	出现在铸件表面的成群小孔，一般为针头大小。铸件表面在机械加工1~2mm后可以去掉的称为表面针孔，在机械加工或热处理后才能发现的长孔称为皮下气孔
	10	缩孔	铸件在凝固过程中，由于补缩不良而产生的孔洞。其形状极不规则，孔壁粗糙并带有枝状晶，常出现在铸件最后凝固的部位
	11	缩松	铸件断面上出现的分散而细小的缩孔，借助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，在铸件气密性试验时可能渗漏
	12	疏松 (显微缩松)	铸件缓慢凝固区出现的细小孔洞

(续)

类别	序号	名称	定义或释义
裂纹冷隔类缺陷	13	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
	14	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
	15	热处理裂纹	铸件在热处理过程中产生的穿透或不穿透裂纹。其断口有氧化现象
	16	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,呈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,腐蚀则呈毛细裂纹,故又称为发裂。其断口有氧化现象
	17	冷隔	在铸件上穿透或不穿透,边缘呈圆角状的缝隙,多出现在远离浇道的宽大上表面或薄壁处、金属流汇合处、激冷部位等
表面缺陷	18	粘型	熔融金属黏附在金属型型腔表面的现象
	19	鼠尾	铸件表面出现的较浅( $\leq 5\text{mm}$ )的带有锐角的凹槽
	20	沟槽	铸件表面出现的较深( $>5\text{mm}$ )的边缘光滑的V形凹痕,通常有分枝,多发生在铸件上、下表面
	21	夹砂结疤(夹砂)	铸件表面产生的疤片状金属凸起物。其表面粗糙,边缘锐利,有一小部分金属和铸件本体相连,疤片状凸起物与铸件之间有砂层
	22	机械粘砂(渗透粘砂)	铸件的部分或整个表面上,黏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
	23	化学粘砂	铸件的部分或整个面上牢固地黏附一层由金属氧化物、砂子和黏土相互作用而生成的低熔点化合物。其硬度高,只能用砂轮磨去
	24	表面粗糙	铸件表面粗糙、凹凸不平,但未与砂粒形成粘砂缺陷
	25	皱皮	铸件上不规则的粗粒状或褶皱状的表皮,一般带有较深的网状沟槽
	26	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上
	27	浇不到	铸件残缺或轮廓不完整或可能完整但边角圆且光亮。它常出现在远离浇道的部位及薄壁处。其浇注系统是充满的
残缺类缺陷	28	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
	29	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的部分产生严重凹陷,有时会沿未充满的型腔表面留下类似飞边的残片
	30	型漏(漏箱)	铸件内有严重的空壳状残缺。有时铸件表面虽然较完整,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
	31	损伤(机械损伤)	铸件受机械撞击而破损,残缺不完整的现象
	32	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
尺寸、形状和重量差错类缺陷	33	超重	铸件的重量超出允许误差的上限
	34	变形	铸件由于铸造或热处理冷却速度不一,收缩不均或由于模样与铸型发生变化等原因,造成几何尺寸与图样不符
	35	错型(错箱)	铸件的一部分与另一部分在分型面处相互错开
	36	错芯	砂芯在分型面处错开,铸件孔腔尺寸不符合铸件图的要求
	37	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、形状和尺寸发生差错,不符合铸件图的要求

(续)

类别	序号	名称	定义或释义
夹杂类缺陷	38	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
	39	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
	40	内渗物(内渗豆)	铸件孔洞缺陷内部带有光泽的豆状金属渗出物。其化学成分与铸件不一致,接近共晶成分
	41	渣气孔	铸件浇注位置表面上的非金属夹杂物,通常在加工后发现与气孔共存,孔径大小不一,成群集结
	42	砂眼	铸件内部或表面带有砂粒的孔洞
成分、组织和性能不合格类缺陷	43	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。回火碳有时包有铁素体壳
	44	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
	45	石墨漂浮	在球墨铸铁件纵向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。其金相组织特征为石墨球破裂,同时缺陷区富有含氧化合物、硫化镁
	46	石墨集结	在加工大断面铸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
	47	偏析	铸件或铸锭的各部分化学成分、金相组织不一致现象
	48	反白口	灰铸铁件和球墨铸铁件断面的中心部位出现白口组织或麻口组织,外层是正常的组织
	49	球化不良	在球墨铸铁件的断面上,有块状黑斑或明显的小黑点,越近中心越密的现象。其金相组织有较多的厚片状石墨或枝晶状石墨
	50	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
	51	表面脱碳	铸钢件或铸铁件表层有脱碳层或存在碳量降低的现象

## 二、按缺陷形成机理分类

各种缺陷产生的原因不完全一致,有的缺陷产生的原因很少,有的缺陷产生的原因比较多。从原因到缺陷生成之间所经历的各种物理和化学变化通常称为机理,它们可作为铸件缺陷分类的依据,见表 8-2。砂型引起的铸件缺陷见表 8-3。

表 8-2 铸件缺陷的产生机理

类别	序号	性能	生成缺陷
A、物理-力学性能变化	A1 金属	A11	吸气性
		A12	流动性
		A13	氧化性
		A14	收缩特性
		A15	凝固特性
		A16	表面张力
		A17	浮力
	A2 型砂	A21	粒度
		A22	湿度
		A23	透气性
		A24	湿强度

(续)

类别	序号	性能	生成缺陷
A、物理-力学性能变化	A2 型砂	A25	湿变形量
		A26	流动性
		A27	干强度
		A28	急热强度
		A29	高温强度
		A210	热溃散性
		A211	发气性
B、化学反应	B1		金属/大气
	B2		金属/炉衬
	B3		金属/铸型
	B4		金属/金属

表 8-3 砂型引起的铸件缺陷

铸件缺陷 型砂性能	气孔	热裂	针孔	鼠尾	砂眼	夹砂 结疤	表面 粗糙	机械 粘砂	化学 粘砂	脉纹	掉砂	落砂 困难
砂粒细度	太细	太细	细	不分散	—	太细	太粗	太粗	—	—	—	过细
湿度	太湿	太湿	高	高	低	高	过高 过低	—	太湿	—	过高 过低	高
透气性	低	—	太高	—	—	低	高	高	—	高	—	低
湿强度	—	—	低	—	低	低	高	—	—	低	低	高
湿变形量	—	—	—	—	低	高	—	—	—	—	低	—
流动性	—	—	—	—	—	高	低	低	—	—	低	—
干强度	—	太高	—	太高	低	—	—	—	—	—	—	高
急热强度	—	—	—	太高	—	高	高	高	高	—	—	—
高温强度	—	太高	—	—	—	—	低	低	—	—	—	高
热溃散性	—	低	—	太高	—	—	—	高	—	高	—	低
型腔气孔	—	—	氧化性	—	—	—	—	—	氧化性	氧化性	—	—
发气性	太高	—	太高	—	—	高	—	—	低	—	—	—
热变形量	—	—	—	低	低	低	—	—	—	低	—	—

### 三、按工序分类

我国某些企业按工序将铸件缺陷分类为造型废、浇注废、料废、毛坯废、芯废、混砂废。

按工序分类意味着缺陷是由于工序控制不当或工艺参数不合理造成的。从管理的角度出发，可严格遵守各项工序的操作规程，将铸件缺陷控制到最低限度。

## 第二节 铸件缺陷分析

铸件缺陷的种类很多，下面主要介绍常见缺陷的产生原因及防止措施。

## 一、气孔、针孔

根据气孔形成的机理可将其分为侵入气孔、析出气孔及反应气孔三种。

(1) 气孔产生的原因 在金属液中溶解的气体,当浇注温度较低时,来不及向上逸出;炉料潮湿、锈蚀、油污,带有容易产生气体的夹杂物;出铁液槽和浇包未烘干;型砂中的水分超过了所要求的范围,透气性差;涂料中含有过多的发气材料;型芯未烘干或未固化,存放时间过长吸湿返潮,通气不良;湿型局部舂得太紧,砂型的排气性较差;浇冒口设计不合理,位置不合适,压头小,排气不良;浇注时有断流和气体卷入现象。

(2) 防止方法 炉料要烘干、除锈、去油污;焦炭的质量要好(块度适中、固定碳含量高、硫含量低、灰分少),以提高金属液的出炉温度;孕育剂、球化剂和所用的工具要烘干;防止液体金属在熔炼过程中过度氧化,熔炼球墨铸铁时,尽量降低原铁液中的硫含量;型砂要混制均匀,严格控制型砂中的水含量;在保证强度的前提下,尽量减少黏土的加入量,以提高型砂的透气性;尽量减少型砂中发气物质的含量;在烘干型、芯的过程中,要控制其烘干程度;制造砂型时舂砂要均匀,型、芯排气要通畅;浇注系统设计要合理,增加直浇道高度,以提高液态金属的静压力;出气冒口要放在型腔的最高处和型腔中气体不易排出的地方。

## 二、缩陷、缩孔、缩松

(1) 产生原因 合金的液态和凝固收缩量大于固态收缩量且在液态和凝固收缩时得不到足够的金属液补充;浇注温度过高时易产生集中缩孔,浇注温度过低时易产生分散缩松;浇注系统和冒口与铸件连接不合理,产生较大的接触热节;铸型的刚度低,在液态金属压力和析出石墨时的膨胀力的作用下,型壁易扩张变形。

(2) 防止方法 正确设计内浇道、冒口、冷铁的位置,确保铸件在凝固收缩过程中不断有液体金属补充;改进铸件结构,使铸件有利于补缩;保证铸型有足够的刚度,对较大的铸件采用干型,防止型壁向外扩张。

## 三、冷裂

(1) 产生原因 铸件壁厚相差悬殊,薄、厚壁之间没有过渡,突然变化,致使冷却速度差别大,收缩不一致,造成铸件局部应力集中;金属液中磷含量高,增加了脆性;铸件内部的残留应力大,受到机械作用力而开裂。

(2) 防止方法 力求铸件壁厚均匀,使铸件各部分的冷却速度尽量趋于一致;尽量不使铸件收缩受阻;提高合金的熔炼质量,减少有害元素和非金属夹杂物;提高型、芯砂的质量,改善砂型、砂芯的退让性;延长铸件开箱时间,使铸件在型内缓慢冷却;对铸件进行时效处理,减少残留应力。

## 四、热裂

(1) 产生原因 铸件壁厚突然变化,在合金凝固时容易产生应力集中;金属液中硫含量高,使金属液材料产生热脆性;浇注系统阻碍了铸件的收缩;铸型和砂芯的退让性差,芯骨结构不合适,吃砂量太小等。

(2) 防止方法 铸件设计尽量避免壁厚的突然变化,铸件转角处做成适当的圆角,铸件中容易产生拉应力的部位和凝固较迟的部位可采用冷铁或工艺肋;单个内浇道截面积不宜过大,尽量采用分散的多个内浇道,内浇道与铸件交接处应尽量避免形成热节,浇冒口与铸件交接处要有适当的圆角,浇冒口形状和安放位置不要妨碍铸件的收缩;黏土砂中加入适量

木屑或采用有机黏结剂，以改善型芯砂的溃散性；砂型和砂芯不应舂得过紧；改用刚度合适的芯骨，芯骨外部要有足够的吃砂量。

### 五、冷隔

(1) 产生原因 金属液浇注温度低，流动性差；浇注系统设计不合理，内浇道数量少且断面面积小，直浇道的高度太低，致使金属液的压头不够；金属液在型腔中的流动受到阻碍。

(2) 防止方法 提高浇注温度，改善熔炼工艺，防止金属液氧化，提高流动性；改进浇注操作，防止大块熔渣堵塞浇口，浇注过程中不能断流；合理布置浇注系统，增大内浇道截面积，增加内浇道数量或改变其位置，采用较高的上型或浇口杯；加强对合型、紧固铸型的检查，防止分型面和砂芯出气孔等处跑火；改变铸件浇注位置，薄壁铸件的大平面尽量放在下面或采用倾斜浇注；铸件壁厚不能过小；提高型砂透气性，适当设置出气冒口。

### 六、夹砂结疤

(1) 产生原因 造型时紧实不均匀；砂型的抗夹砂能力差；浇注位置不合适。

(2) 防止方法 从减小砂型膨胀力入手，在型砂中加入煤粉、沥青、重油、木屑等，使砂型膨胀时有缓冲作用；湿型使用优质膨润土，以提高湿强度；型砂的粒度适当粗一些，以提高型砂的透气性，上砂型多扎气眼；造型时力求紧实度均匀，避免砂型局部紧实度过大；严格控制型砂中水分的含量，不宜过高；在易产生缺陷的砂型处可插钉加固，避免表层剥落；浇注温度不宜过高，浇注时间尽量缩短，使金属液能快速而均匀地充满型腔。

### 七、粘砂

根据粘砂形成机理可将其分为机械粘砂和化学粘砂。

(1) 产生原因 铸件表面金属氧化，氧化物与造型材料作用生成低熔点化合物；浇注时金属液压力过大，渗入砂粒间隙；当金属液温度过高，在砂型中保持液态时间较长时，金属液渗入砂型能力增强，并容易与造型材料发生化学反应，造成粘砂；造型材料的耐火度低。

(2) 防止方法 湿型在保证有足够透气性的前提下，尽可能选用粒度细的原砂；提高砂型紧实度，尤其是高大砂型下部的紧实度；铸铁件湿型砂中可加入煤粉、重油和沥青等；适当降低浇注温度；减少吃砂量以提高粘砂层的冷却速度；避免型、芯局部过热；选用耐火度高或冷却能力强的造型材料。

### 八、夹渣

(1) 产生原因 浇注前金属液上面的浮渣没有扒干净，浇注时挡渣效果不好，浮渣随着金属液进入铸型；浇注系统设计不合理，挡渣效果差，进入浇注系统的渣子直接进入型腔而没有被排出。

(2) 防止方法 浇注系统要使金属液流动平稳，设置集渣包和挡渣装置；尽量降低金属液中硫的含量；尽量提高金属液的出炉温度；浇包要保持清洁，最好用茶壶式浇包；浇注前可加入除渣剂，如稻草灰、冰晶石等。

### 九、冲砂、掉砂、砂眼

(1) 产生原因 砂型、砂芯的强度低，型、芯烘烤过度；液态金属流动过快，对型、芯的局部表面冲刷时间过长；分型面不平整，芯头间隙小，下芯、合型操作时型、芯局部被压破，在紧固铸型过程中受冲击碰撞，型、芯局部掉砂；型砂的水分过高且通气性差，浇注

时有沸腾现象产生；砂型内散落的砂子没有清理干净，造成由散砂形成的砂眼。

(2) 防止方法 提高型、芯的强度；防止型、芯烘烤过度；防止内浇道正对铸型或转角处；在受金属液剧烈冲刷的部位，使用专门配置的耐冲刷及耐火材料制品；大的干型要预留合适的分型负数；砂型在合型、紧固铸型、放压铁和运输过程中，操作要小心，防止冲击碰撞；型、芯修补处和薄弱部位要采取加固措施（如插钉等）；下芯、合型前要仔细检查，清理掉多余的砂子。

### 第三节 铸件缺陷实例分析

#### 一、变速器壳缺陷分析

铸件质量为 106kg，材质为 HT200，壁厚为 12.7 ~ 60mm。铸件为空腔类铸件，生产时需要下芯形成内部空腔，型芯较重，采用机器下芯。

##### 1. 铸造缺陷

在铸件局部有孔洞缺陷产生，小的如黄豆，大的如鸽蛋。有的孔洞形状多变，孔壁粗糙，并伴有枝状晶；有的孔形规则、圆整、表面光滑，并有氧化色泽；有的介于二者之间，孔壁略粗糙，但也有氧化色泽。孔内往往有铁豆，豆体和铸件相连。

##### 2. 生产条件

湿型砂气冲压力造型，即型腔是在设备高强气冲压力下成型的，生产过程中可以通过调节气冲压力的大小获得不同强度的铸型，一般情况下气冲压力保持在一个稳定值。变速器外模形成的铸型较大，占据了整个砂箱的很大部分，靠近砂箱边缘的吃砂量不是大，但在长期的生产中验证了其生产的可行性，并批量生产。

##### 3. 缺陷辨别

要分析缺陷首先要辨别缺陷的性质，是气孔还是缩孔或其他；孔洞中的铁豆是冷豆还是内渗豆。

(1) 铁豆 铁豆有冷豆和内渗豆两种。冷豆为浇注和冲型过程中飞溅出的铁液滴冷却成豆状，表面被氧化，豆与铸件本体是同一化学成分。孔洞是铁豆表面氧化膜分解形成的，先有豆后有孔。内渗豆与铸件本体相连，化学成分接近共晶成分，与铸件本体化学成分不一致，磷含量高于本体。内渗豆是在凝固末期，低熔点共晶液在共晶石墨化膨胀挤压力的作用下，从铸件内部已成形的孔洞挤出而形成，先有孔后有豆。对变速器壳孔内铁豆的化学成分进行分析测定，结果符合内渗豆特征，确定为内渗豆。要解决此缺陷，先要解决孔的问题，无孔即无豆。

(2) 孔洞 先确定孔的性质是气孔、缩孔还是气缩孔。变速器壳孔洞的情况比较复杂，不能一概而论，要根据不同情况分别判断。经分析发现有规律可循，有主要矛盾在起作用。

1) 缩孔：在碳当量低尤其是碳的质量分数低于 3.65% 的情况下，变速器壳局部地方就有缩瘤现象，热节部位也易生成具有典型特征的缩孔。由于变速器壳采用无冒口工艺，当碳当量低时，共晶张力不够，自补能力不足，易产生缩孔。

2) 气缩孔：在已形成缩孔的前提下，砂芯中气体易于向热节部位的孔洞侵入，或溶解在铁液中的气体向处于真空状态的缩孔内扩散和析出。外来的气体扩大了缩孔体积，钝化了缩孔内典型的树枝状结晶，成为既有别于纯气孔的光滑表面，又有别于典型缩孔的树枝晶表

面, 形成孔壁较粗糙, 既有树枝晶残留痕迹, 又有气体氧化色彩的孔洞。这是一种缩孔在前, 气体在后的气缩孔。

以上两种孔洞的根源是缩孔, 而在化学成分控制较严的情况下, 因成分不当而生成缩孔的概率较小。现场发现的孔洞大部分是气孔和气缩孔。

3) 气孔: 以下理由用以判断孔洞是否为气孔。

① 具有典型的气孔特征, 孔壁光滑而不粗糙。

② 孔洞所在的热节部位, 是最薄弱、最后凝固结壳, 气体最容易浸入的部位。浇口从侧壁导入铁液, 此处温度一直保持最高, 因此大部分孔洞产生在此处。形成的孔洞内有明显的气道尾巴, 尖头指向砂芯, 是典型的浸入性气孔。

③ 油塞孔芯大部分被铁液包围, 工作条件差, 加上芯头小, 中间大, 不利于气体排出而产生气孔。

#### 4. 侵入性气孔的形成及根源

经过长期观察和研究, 发现孔洞的多少与铁液的渣含量有直接的关系。纤维过滤网上的渣量增加; 纤维过滤网一旦被铁液冲破, 铸件内的夹渣增加, 孔洞数量反而下降; 冲天炉熔化过程正常, 铁液出炉温度在 1480℃ 左右, 铁液净化程度好, 孔洞数量减少。这些现象的出现, 为揭示孔洞产生的根源提供了重要线索。

侵入性气孔形成的条件是:  $p_{\text{气}} > p_{\text{液}} + p_{\text{阻}} + p_{\text{腔}}$ 。说明只有在气体压力  $p_{\text{气}}$  大于金属静压力  $p_{\text{液}}$  与金属液毛细压力  $p_{\text{阻}}$  及型腔内金属液面上的气体压力  $p_{\text{腔}}$  之和时, 才会造成气体入侵金属液和侵入性气孔的产生。

例如, 采用覆砂金属造型生产曲轴时, 铁液浇入铸型的路线是: 外浇口杯→直浇道→上型横浇道→内浇道→铸型。纤维过滤网起着过滤铁液和挡渣的作用。一旦铁液中渣量大, 纤维过滤网面上就会形成一层密实的渣面, 轻则影响铁液的通过量, 重则阻碍铁液的通道。这就带来了两方面的后果: 一是堵塞铁液的补缩通道, 易形成缩孔, 本工艺虽是无冒口铸造, 但对共晶转变的液态收缩还是有足够的铁液补缩的; 二是隔断了铁液压力的通道, 使整个浇注系统成为非压力系统, 金属液高度 ( $h$ ) 趋于零, 使金属液静压力  $p_{\text{液}}$  基本丧失 ( $p_{\text{液}} = \rho gh$ )。由于  $p_{\text{液}}$  在抵御气体入侵三阻力中起着重要作用, 使侵入性气孔形成条件的平衡式  $p_{\text{气}} = p_{\text{液}} + p_{\text{阻}} + p_{\text{腔}}$  发生了利于气体入侵的倾斜, 为气体入侵铸件提供了条件。这就是曲轴侵入性气孔和气缩孔的形成机理和产生根源。

基于上述分析, 采取了一系列净化铁液、减少渣量、使浇注系统畅通的措施, 收到了明显效果, 孔洞率最低达 0.47%, 但一旦渣量回升, 孔洞率仍会增大。

## 二、柴油机飞轮缺陷分析

飞轮是柴油机蓄能零件, 材质为 HT200, 铸件重量为 35kg, 轮辐厚度为 15mm, 外圈轮缘厚度为 60mm。柴油机工作时, 飞轮高速转动, 因此不能有影响强度的铸造缺陷, 以免飞轮破裂伤人。

(1) 铸造缺陷 柴油机零件大多为薄壁件, 相对于飞轮来说属于厚壁件, 在上型压边冒口前端, 经常出现面积较大, 有一定深度的疤状金属凸起物。

(2) 生产条件 该铸件采用水平中压气动微振造型机造型, 机械化流水线生产, 单一型砂。砂箱尺寸为 670mm × 510mm × 150mm/170mm, 每箱布置一只铸件, 用两只压边冒口从轮缘处进铁液浇注, 如图 8-1 所示。熔化设备为带前炉的 7t 冲天炉, 浇注温度控制在

1290~1340℃，型砂经混砂机混制，处理后送造型线生产。型砂湿强度为0.1~0.13MPa，水的质量分数为3.9%~4.5%，透气性大于90，泥的质量分数为16%，上平面砂型硬度为80~90个硬度单位。

(3) 缺陷鉴别 从缺陷外形看，铸件表面有不规则片状金属凸起物，表面粗糙，边缘锐利，部分与铸件本体相连，金属片状物与铸件之间夹有砂层。敲去片状物，除去夹砂层，露出的缺陷部位凹入铸件周围平面3~5mm，夹砂层下面的光滑平面为原铸型平面，这与冲砂、胀砂、掉砂等形成的金属凸起物有明显差异。鉴别结论为：夹砂结疤。

(4) 缺陷分析 砂型受热时，由于硅砂晶体发生晶形转变，即从 $\beta$ 向 $\alpha$ 转变，体积膨胀，表层盒内层受热程度不一，膨胀也不一致，故层间应力增加，促使表层脱离内层而拱起。另外，型砂中水分在热作用下，向砂型内部迁移，在100℃左右区域内，水分含量特别高，形成高湿区。黏土的黏结力和热湿拉强度下降，两者结合造成表层砂拱起、开裂，一旦铁液钻入，即成为夹砂结疤。

该铸件由于工艺条件的限制，促使夹砂结疤的形成。主要原因为：

1) 由于砂箱尺寸的限制，浇注系统难以布置，只能用两只压边冒口浇注。铁液进入型腔点少、集中、速度慢，上型烘烤时间长。

2) 单一砂型，性能不理想。

(5) 改进措施

1) 增加煤粉含量，有时候配入淀粉物质。

2) 使用活化膨润土，增加黏土含量，水分控制不宜高，紧实均匀，避免局部过硬。

3) 适当降低浇注温度，缩短浇注时间。

4) 主要工艺措施：重新布置工艺，增加和均匀分布进铁液点，用多道压边内浇道顶注，圆弧形横浇道可保证补缩，如图8-2所示。由于多点进铁液，减少了局部烘烤和冲刷，缩短了浇注时间。经上述各项改进措施，缺陷从根本上解决了。

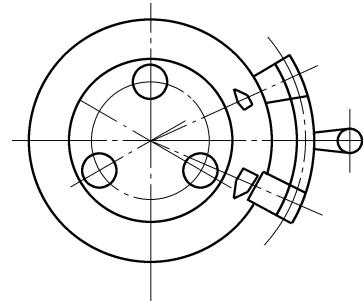


图8-1 飞轮工艺布置及缺陷

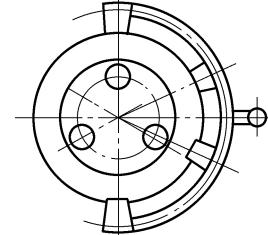


图8-2 飞轮工艺改进

## 第四节 铸件质量检验

铸造生产是指经造型、制芯、熔炼等一系列过程，最终制成铸件。铸造生产流程中虽设置了各种质量控制手段和各个工序的中间检验环节，但铸件的最终检验仍是不可缺少的重要环节。其目的是保证铸件质量符合交货验收条件。

铸件质量检验的依据是：铸件图样、铸造工艺文件、有关标准及铸件交货验收技术条件。

铸件质量主要包括以下两方面：

(1) 铸件外观质量 包括铸件尺寸公差、铸件表面粗糙度、铸件重量公差、浇冒口残

余量、铸件焊补质量及铸件表面缺陷等。

(2) 铸件内在质量 包括铸件的化学成分、力学性能、金相组织、内部缺陷及其他特殊的物理-化学性能等。

铸件质量检验结果分为三类：合格品、返修品和废品。合格品是指外观和内在质量符合验收条件的铸件；返修品是指铸件外观和内在质量不完全符合验收条件，但经返修后能达到标准的铸件；废品是指外观和内在质量不合格，不允许返修或返修后仍不能达到验收条件的铸件。

铸件质量的检验主要分为四个方面：外观质量、表面缺陷、内部缺陷、理化性能。

### 一、铸件外观质量检验

(1) 铸件形状和尺寸检验 以铸件图样和铸造工艺文件规定为依据，可用划线检测的手段检验铸件的全部或部分尺寸，或用专用的工、夹、量具检测铸件的主要尺寸，根据实物与图样的符合性程度，判断铸件的质量。也可用三坐标测量仪法。三坐标测量仪是一种由微型计算机控制的，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，铸造上可用于测量铸件和工装模具的尺寸。

(2) 铸件表面粗糙度的评定 铸件表面粗糙度是评定毛坯铸件表面质量的重要指标。铸件表面粗糙度用其表面轮廓算术平均偏差  $R_a$  或微观平面度十点高度  $R_z$  进行分级。具体实施时，应采用符合 GB/T 6060.1—1997 《表面粗糙度比较样块 铸造表面》规定的铸造表面粗糙度比较样块进行比对。评定方法应按照 GB/T 15056—1994 《铸造表面粗糙度 评定方法》的规定进行。比较样块不适用于浇冒口、补贴的参与表面和表面缺陷。

(3) 铸件外观缺陷的检验 用肉眼或借助低倍放大镜及其他工具检查铸件表面的宏观缺陷，可检查项目有气孔、缩孔、砂眼、夹渣、粘砂、夹砂结疤、裂纹、冷隔等一切目视极易发现的缺陷。这是最普通且常用的检验方法。

### 二、铸件表面缺陷检验

铸件表面或接近表面的缺陷，常用渗透检测、压力检测、磁粉检测等无损探伤方法检验。

(1) 渗透检测 渗透检测主要用于检查铸件表面开口缺陷，尤其适用于不能采用磁粉检测方法的不锈钢铸件和有色合金铸件。其原理是：在被检铸件表面浸涂渗透力强的液体，使液体渗入细微缝隙和孔眼中，并在被检表面喷涂显示材料，经毛细作用，将孔隙中的渗透液吸附出来并进行显示。检测方法有荧光检测、着色检测、浸油检测。

渗透检测简单易行、高效、低耗，不受铸件几何形状和尺寸限制，一次可同时检测出不同方向的表面缺陷，但只便于检测表面开口的缺陷，灵敏度不高，被检测铸件表面粗糙度值应小。

(2) 压力检测 压力检测是用于检验铸件壁穿透性裂纹、砂眼、气孔、缩孔等影响铸件耐压和气密性缺陷的方法。对缸盖、缸体及其他耐压零件要进行压力检测。压力检测是将具有一定压力的水、油、气压入铸件的空腔，如果铸件有穿透性缺陷，压入物将从铸件壁渗透出来，从而显示出缺陷的位置。试验压力通常要超过铸件工作压力的 30% ~ 50%。

用水或油进行压力检测称为液压试验。由于压力高，缺陷易发现，因此液压试验应用较广泛。用空气进行压力检测称为气压试验。小铸件可浸入水中试验，大铸件可在疑点处涂上肥皂水等发泡，当有气体渗出时，缺陷处就有气泡生成。

(3) 磁粉检测 磁粉检测常用于铸钢、铸铁等铁磁性材料表面或近表面缺陷的无损检验，主要用于检查裂纹以及夹渣、气孔等。磁粉检测操作简单、可靠，价格便宜，应用十分广泛。

### 三、铸件内部缺陷检验

铸件内部缺陷的主要检验方法有射线检测法和超声波检测法。射线检测法较超声波检测法更利于缺陷种类的判定。随着对铸件质量要求的提高，射线检测法和超声波检测法已广泛应用于铸件缺陷检验，有的甚至在铸件清理流水线上，对铸件进行全数检查。

(1) 射线检测 用射线检测铸件缺陷的方法称为射线检测。其原理是：利用 X 射线或  $\gamma$  射线穿透被测材料时，材料中的原子对射线的能量不断吸收和散射，使射线能量逐渐衰减，衰减的快慢与物体的密度有关，密度越大，衰减越快，并与厚度成正比，而铸件缺陷部位对射线的吸收能力大大低于金属对射线的吸收能力，因而在射线感光的胶片上，便显示出不同黑度的图像。

(2) 超声波检测 超声波检测的原理是：用指向性和束射性强的超声波在介质中直线传播，遇到缺陷时在界面上会产生反射，特别是由金属传向空气或由空气传向金属时，差不多 99% 的能量从界面上反射回去，反射信号被探头接收，经处理后显示在荧光屏上，根据反射信号的特征，判断被测材料内部有无缺陷，以及缺陷的位置、形状和大小。

超声波检测适用范围广、灵敏度高，当缺陷表面与超声波传播方向垂直时，检出率更高、更灵敏。由于灰铸铁中的片状石墨和夹渣相当于裂纹，对检测灵敏度有影响，因此，该方法一般应用于球墨铸铁件。

### 四、理化性能检验

理化性能检验主要包括化学成分分析、金相组织检验、力学性能检验及特殊性能检验。

(1) 化学成分分析 对于铸钢件、有色合金铸件以及要求特殊性能的高合金铸件和特种铸铁件，常把其化学成分作为铸件验收的条件之一。对于一般铸铁件，虽然化学成分不作验收依据，但是由于化学成分对基体组织、力学性能、铸造性能及铸造缺陷有很大影响，因此为了保证铸件质量，在生产过程中仍要对化学成分进行检查和控制。

(2) 金相组织检验 铸件的金相组织对材料的力学性能有着决定性的影响。相同化学成分的铸件，可具有不同的金相组织和力学性能。因此在技术标准、合同条文和验收依据中，均对金相组织做相应的规定。

(3) 力学性能检验 主要指常规力学性能检验，检验项目通常包括抗拉强度、屈服强度、断后伸长率、冲击韧度、硬度等。要制取单铸试样、附铸试样或本体试样，在专门测试设备上测定。单铸试样的制取必须在冷却条件与铸件相仿的条件下进行。

## 第五节 铸造缺陷修补

在铸件检验时，经常会发现裂纹、缩孔、缩松、气孔、尺寸不合格等内部和外部缺陷，影响铸件的外观、使用性能和寿命。然而，有缺陷存在的铸件并不都是废品。只要进行认真修补，去除缺陷，满足铸件的技术要求，大部分经修补的铸件就可以作为正品使用。铸件修补的目的在于，避免重新铸造，使有缺陷的铸件恢复正常，达到验收标准规定的外观质量和内在质量要求，从而赢得时间，保证工期，提高产品合格率，创造更好的经济效益。铸件缺

陷修补是铸造生产过程中不可缺少的一道重要工序。

铸件缺陷修补的原则：若铸件经修补后外观、性能和使用寿命均能满足要求，且经济上合算，则应进行修补；反之，如果技术上无把握，经济上得不偿失，就不做修补。铸件修补的方法很多，各种方法的适用范围也不同，应根据铸件材质、种类、缺陷类型来选择不同的修补方法。常用的铸件修补方法及适用范围见表 8-4。

表 8-4 常用的铸件修补方法及适用范围

序号	修补方法	适用范围
1	矫正	用于校正变形的铸件
2	电弧焊	主要用于铸钢件，其次用于铸铁与有色金属铸件
3	气焊	多用于铸铁与有色金属，铸钢件用的很少
4	钎焊	修补铸铁件和有色金属件的孔洞与裂纹等，但零件使用温度不宜过高
5	熔补	多用于熔补铸铁件的大孔洞与浇不到等局部缺陷
6	浸渗	修补非加工面上的渗漏缺陷，用于承受水压检验压力低的容器铸件，或渗漏不很严重的铸件
7	填腻修补	修补不影响使用性能的小孔洞与渗漏缺陷
8	塞补	修补不影响使用性能的孔洞、偏析等缺陷
9	金属喷镀	修补非加工表面上的渗漏处。修补后零件工作温度低于 400℃
10	粘接	粘补不承受冲击载荷和受力很小的部位的表面缺陷

### 一、矫正法

按加热方法的不同，可将矫正铸件变形的方法分为冷态矫正、局部加热矫正、火焰矫正和整体加热矫正四种。

(1) 冷态矫正 常温下矫正，无需加热，最适用于矫正简单且材质塑性好的薄壁铸件。对塑性较差的材质，矫正变形量不宜过大，而对于脆性材料，则不能进行冷态矫正。

矫正时，可分别采用大锤、千斤顶、压力机等工具和设备，并借助于适当的胎模，在选定的施加外力部位靠锤、挤、压和顶等机械作用力，使铸件发生弹性变形和一定量的塑性变形，最后达到矫正的目的。

(2) 局部加热矫正 当铸件塑性差、强度高，冷态矫正有困难时，可进行局部加热矫正。以气体火焰或其他热源将低碳钢铸件变形的局部加热至 750~900℃，铸件表面呈红黄色，使之处于热塑性状态，然后施力进行矫正。该方法主要用于壁厚在 60mm 以内的大中型铸件和预计塑性较差的中小铸件。

(3) 火焰矫正 火焰矫正是局部加热矫正的一种特殊形式，是基于局部加热使金属发生压缩塑性变形来实现的。常采用氧-乙炔中性火焰，使用线状或三角加热法。

(4) 整体加热矫正 整体加热矫正是对整个铸件或铸件大部分进行加热后矫正。上述几种方法都难以矫正的中小铸件，或厚大变形铸件无大型矫正设备时，可采用此矫正法。

大型铸件变形常在热处理过程中外加重量，如加适当重量压铁或支垫来进行矫正。热处理时装压方法：使基本平面向下，用垫铁垫稳、垫实，使局部变形翘起部位向上，下面安放适当数量的垫铁，垫铁与铸件间的空隙为该处的变形尺寸，然后选择适当重量的压铁，压在变形部位上。

## 二、焊补法

焊补是修复铸件最常用的方法之一。对气孔、缩孔、裂纹、砂眼及冷隔等缺陷均可使用焊补法。按焊接工艺特点，焊补法可分为冷焊法和热焊法。

(1) 冷焊法 冷焊铸件不需加热，可直接施焊。这种方法操作简单，劳动条件好，常用于焊补铸件非加工面上的缺陷，多用镍基或铜基铸铁焊条，以防铸件产生白口组织而减小应力。焊接时尽量采用小电流，避免由于温差过大而使铸件母体白口组织层增厚。凡承载动载荷的部位不允许用冷焊法。

(2) 热焊法 热焊法是将铸件预热后再施焊。焊补前将铸件加热至红褐色(600℃左右)，快速施焊，焊后保温缓冷。这种方法虽然劳动条件差，但焊接质量比冷焊好，所以常用于焊补铸件加工面的各种缺陷。一般采用高硅铸铁焊条，可获得灰口组织。

无论采用何种焊补法，施焊前必须做好铸件缺陷部位的准备工作。具体要求如下：在缺陷部位开出上大下小向外扩张的坡口，将坡口内的夹杂物去除干净，直至露出完好的金属为止；对裂纹缺陷，应在距离裂纹的首、末端5~10mm处钻出止裂孔，孔径为8mm，深度超过裂纹深度2~3mm。有的热焊法需在缺陷处造型，以防止金属液流溢，同时还可降低冷却速度。

## 三、钎焊法

钎焊是在铸件待修补的部位放上熔点低于铸件的钎料(填充金属和焊剂)，将铸件与钎料一起用气焊火焰局部加热，钎料熔化后渗入焊缝的方法。在焊接过程中铸件不被熔化，这是钎焊与电焊、气焊等熔焊的本质区别。钎焊的主要优点是：铸件无需预热，钎焊过程中加热温度较低，所以铸件产生的热应力小，不易出现裂纹和变形，也不易产生白口组织，工艺简便，焊补处易于切屑加工。其缺点是：钎料不宜加高温，致使铸件修补受到一定限制。钎焊法主要用于修补铸件的孔洞和裂缝等缺陷。

## 四、熔补法

熔补法是利用金属液的热量将铸件缺陷表面熔化，同时使铸件被修补部分与熔补的金属熔接在一起。熔补法常用于大型铸件上浇不到或残缺尺寸较大的缺陷。熔补前将铸件残缺处铲磨干净，再放上弥补残缺部分的砂型，四周用型砂围好。注入砂型的金属液流经补缺部位后，从砂型下部的一个流出口流出，积存在下面的聚集槽内。待铸件被修补处软化后(可用金属棒探知)，将流出口堵塞，并继续注入金属液，使残缺部分充满。为了避免铸件产生过大的应力，应注意熔补以后铸件的保温，使其缓慢冷却。

## 五、浸渗修补法

容器铸件在压力下工作，经试验发现渗漏，如果渗漏部位无法焊补，当其工作温度较低(<250℃)时，可采用浸渗修补方法加以修补。浸渗修补方法是将呈胶状的浸渗剂渗入铸件的孔隙，浸渗剂硬化后与铸件孔隙内壁连成一体，达到堵漏的目的。

### 1. 浸渗剂

(1) 水玻璃型浸渗剂 该类浸渗剂的组成及技术标准见表8-5。其主要组成是水玻璃和粒度超细的金属或非金属氧化物。这种浸渗剂价格较低，工艺简单，在室温下就能固化，耐热、耐蚀性好，但脆性大，易产生龟裂，收缩量大，渗补直径小于0.15mm的孔隙较为合适，对较大孔隙往往要进行多次渗补。

表 8-5 水玻璃型浸渗剂组成及技术标准

组成	成 分									技术标准			
	粒度小于 300 目的填加成分									密度 $\rho$ / ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	pH 值	黏度 $\eta$ / ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )	耐温/°C
名称	$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{ZnO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	水玻璃	1.32 ~ 1.35	11.7 ± 0.2	(25 ~ 30) × 10 <sup>2</sup>	-50 ~ 550
含量(质量分数, %)	32.7	11.66	1.32	0.47	0.16	0.13	0.04	0.03	余量				

(2) 合成树脂型浸渗剂 合成树脂型浸渗剂表面张力小、收缩量小, 耐蚀、耐压, 一次浸渗成功率高, 可修补直径小于 0.2mm 的孔洞。其固化温度为 135°C (需在烘箱中烘 1~2h), 但有毒气, 必须有通风系统。由于树脂的膨胀率比金属大 10 倍, 因此在固化聚合和冷却时收缩量大, 易使某些被修补部位未能完全密封而出现渗漏。

(3) 厌氧型浸渗剂 常用的厌氧型浸渗剂为厌氧胶。我国生产的厌氧胶有 Y-50, GY-340, ZY-801、802、80、804, 以及铁猫 350 等几种。其特点是黏度小、浸渗能力强、存储性好 (一年以上)、用量少, 但价格较贵, 耐热性低 (<150°C), 适用于铁、铝、铜以及其他合金铸件的浸补。

## 2. 浸补方法

(1) 整体浸补 目前我国一般采用真空加压整体浸补法: 铸件经清洗、晾干后, 放入浸渗罐内, 罐内抽真空 (压力小于 5kPa) 1.5~2min, 注入浸渗剂淹没铸件并超过铸件顶面 3~5mm, 取出铸件洗净, 待浸渗剂固化后即可。

(2) 局部浸渗 局部浸渗时采用厌氧型浸渗剂——厌氧胶。其工艺为: 铸件经耐压试验找出渗漏点, 打上标记, 用氧气-乙炔或喷灯对渗漏点表面进行喷扫, 将温度控制在 200°C 以下, 将蘸足厌氧胶的棉球放置于渗漏点, 胶水渗入孔隙后, 绝氧固化, (一般需 24h 才能完全固化), 再进行耐压试验, 检查渗补质量。局部浸渗设备简单, 施工方便。

## 六、填腻修补法

对于铸件不太重要但有装饰意义的部位出现的孔洞类缺陷, 可根据铸件的颜色, 配置腻子来填补。腻子的种类很多, 可根据铸件缺陷以及使用要求来选用。例如, 对于非受力部位的孔洞类缺陷, 修补时可采用的腻子配方为 (质量分数): 铁粉 75%、水玻璃 20%、水泥 5%。填补时, 要将缺陷处清理干净, 用刮刀压入腻子, 修平即可。铸件的非加工面和非重要部位的孔洞类缺陷均可使用环氧树脂填补, 其配方及填补工艺见表 8-6。用环氧树脂填补的部位硬度高、耐磨、耐蚀、耐酸, 但不耐热 (工作温度小于 100°C)。

表 8-6 环氧树脂配方及填补工艺

品名	配比	作用	填补工艺
6101 环氧树脂	100g	黏结剂	1. 将铸件缺陷部位用锉子清除干净, 然后用丙酮酸擦洗干净
(邻)苯二甲酸二丁酯	15mL	增塑剂	2. 称取环氧树脂, 加入增塑剂, 在小铁杯内调匀, 用红外线灯烘烤至 40~50°C
还原铁粉	40g	填料, 增加强度	3. 依次加入还原铁粉、硅砂粉和氧化铁粉并调匀
硅砂粉	40g	填料, 增加强度	4. 加入无水乙二胺, 搅拌 3~5min, 使其完全均匀, 一般以不冒烟为佳, 然后倒入缺陷部位, 应高出铸件 1~2mm
氧化铝粉	20g	填料, 调色	5. 经红外线灯烘烤 2~3h, 直到完全固化, 然后自然干燥 2h, 经机械加工或人工锉平
无水乙二胺	8~10mL	固化剂	

## 七、其他修补方法

### 1. 金属喷镀法

当铸件非加工表面有小缩孔、气孔、缩松缺陷时，可用金属喷镀法进行修补。金属喷镀法是采用喷枪，使金属丝经电弧或氧乙炔火焰熔化，再以压缩空气流将熔滴雾化，喷镀在铸件表面上。常用的喷镀材料为直径为1.0~1.5mm的锌条。喷镀前应对有缺陷的铸件进行去油、除锈处理，将铸件缺陷部位清理干净，然后根据缺陷情况和铸件使用要求作分层喷镀，每喷一层均用清水将其湿透，然后再喷，直到符合要求为止。电弧喷镀时电压、电流、压缩空气压力、喷射距离和喷镀前铸件表面温度等喷镀规范，可参考表8-7。

表8-7 电弧喷镀规范

工作电压/V	工作电流/A	压缩空气压力/MPa	喷射距离/mm	喷镀前铸件表面温度/℃
20~30	50~60	0.539~0.588	40~60	<70

可用小锤振击喷镀后的铸件表面，边振边观察喷镀金属有无起层或脱落现象，以检查喷镀质量。必要时可借助放大镜观察其表面有无龟裂现象，用钢直尺或卷尺等测量工具检查铸件是否变形。

### 2. 塞补法

在铸件不太重要的较厚部位有较大的孔洞类缺陷时，可用镶入金属塞头的方法来修补铸件缺陷。

塞补方法：将孔洞加工成相应大小的塞孔，配好金属塞头，材质应与铸件材质相同。塞头和塞孔可用紧配合或车制的螺纹联接。

对承压部位进行塞补时，为更好地密封，可用水玻璃、树脂等黏结剂使塞头和塞孔胶合，必要时，还可焊上一层金属来增强密封性。

## 复习思考题

1. GB/T 15611—1998将铸件缺陷分为哪几类？
2. 铸件质量包括哪几个方面？
3. 如何进行缺陷鉴别和缺陷分析？
4. 简述铸件缺陷修补方法及其适用范围。

# 第九章

## 铸造生产管理与技术培训

**培训目标** 了解铸造生产管理的基本知识，掌握铸造生产质量分析与控制方法以及铸造生产的技术培训方法。

铸造生产管理与技术管理是铸造生产过程中重要的环节，对提高生产效率和产品质量有着不可或缺的作用。本章内容主要包括铸造生产管理的基本知识、铸造生产质量分析、铸造生产控制方法、铸造生产技术培训等。

### 第一节 铸造生产管理基本知识

#### 一、生产过程组织

##### 1. 生产过程

生产过程是指从投料开始，经过一系列的加工，直至成品生产出来的全部过程。工业企业生产一般是由许多部分构成的，根据各部分在生产过程中的作用，可划分为3类：基本生产过程、辅助生产过程、生产服务过程。

##### 2. 合理组织生产过程的基本要求

合理组织生产过程的基本要求有：生产过程的连续性、生产过程的比例性、生产过程的节奏性、生产过程的适应性。

#### 二、生产技术准备

生产技术准备的任务是以最快的速度、最少的费用开发出适销对路的产品，做好企业产品、技术和生产方式新旧交替的准备工作，实现有条不紊地转变，提高企业的生产技术水平和经济效益。

#### 三、生产计划和控制

##### 1. 生产计划

根据对本企业产品或服务的需求，确定产品品种与产量，设置产品交货期，编制产品出产计划、全厂生产作业计划和各车间生产作业计划。

##### 2. 生产控制

生产控制是指在生产计划执行过程中，随时检查实际执行情况，一旦发现偏离，立即采取措施进行调整。为了保证经济、准时地完成生产作业计划，并不断挖掘生产作业系统的潜力，必须对生产过程进行全方位、全过程的控制，这包括生产作业进度、产品质量、资源消耗、资金占用、材料采购、成本等方面控制。

#### 四、生产要素管理

##### 1. 劳动定额

劳动定额是指在一定的生产技术组织条件下，生产一定数量的产品所消耗的时间，或在一定时间内所生产的合格产品的数量。

劳动定额的表现形式主要有两种：工时定额和产量定额。工时定额是指完成单位合格产品所必须消耗的工时数额，用时间来表示。产量定额是指在单位时间内完成的合格产品数量，用产量来表示。

## 2. 劳动组织

劳动组织的主要内容包括：做好劳动分工协作和职能配备；确定先进合理的定员和人员构成；完善劳动协作的组织形式；做好设备管理；合理安排工作时间和工作轮班；合理组织工作。

## 五、生产设备管理

生产设备管理体系是生产设备管理的核心和行动指南，需要根据具体情况确定。在生产设备管理体系中要明确设备的使用部门、维修部门和管理部门之间的纵向和横向关系，所承担的工作范围和责任，工作内容及相互之间信息的传递方法，以使各部门之间形成既明确分工又密切合作的有机整体。

设备台账是资产管理的依据，它将正在服役的设备按照规定和标准进行整理造册。台账中包括设备的资产编号、设备编号、规格、型号、名称、所在部门、制造国、制造厂商、制造日期、投入使用日期、主要参数和性能指标等。

## 六、生产现场环境管理

### 1. 现场整理

将现场的东西分为需要与不需要两个类别，并且将后者移出现场或处理掉，建立起需要品的上限数量。

### 2. 现场整顿

将现场的物品依使用类别分类，以最少的找寻时间及工作量来安置这些物品。

### 3. 现场清扫

把工作环境打扫干净，包括机器设备、工具、地面、墙壁等。

### 4. 现场清洁

员工在工作时要将工作服、安全眼镜、手套、工作鞋等穿戴整齐，以保持个人的清洁，并维持一个干净、健康的工作环境。

## 七、物资管理

物资管理的内容主要包括：制订合理、先进的物资消耗定额，确定正常的物资储备定额，编制物资采购计划，建立和健全各项规章制度。物资消耗定额是指在一定的生产技术组织条件下，制造单位产品或完成单位劳务所必须消耗的物资数量的标准。制订物资消耗定额的主要方法有经验估算法、统计分析法和技术分析法等。

## 八、技术管理

企业技术管理工作的基本任务包括：建立良好的生产技术秩序，保证企业的生产顺利进行；加快科技成果转化生产力的进程，不断改进工艺，提高企业的生产技术水平；有计划地开展课题研究工作，培训技术人才，建立企业的工艺技术储备。

企业技术管理工作的主要内容有：工艺技术文件的编制、工艺技术文件的修订、技术档案的管理。

企业员工和工程技术人员的技术培训属于技术管理的重要内容，是开发员工智力、培养人才、提高企业素质的重要途径，也是国家教育体系中的一个重要组成部分。

## 第二节 铸造生产质量分析与控制方法

### 一、企业质量管理概述

铸造生产作为制造业生产中的一个组成部分，其所采用的质量管理方法与一般的工业企业是基本相同的。

#### 1. 质量管理的发展过程及特点

质量管理的理论与方法是随着生产技术与规模以及管理科学的发展而发展起来的，它经历了检验质量管理、统计质量管理、全面质量管理、实施质量管理四个发展阶段，并形成了相应的方法。

#### 2. 质量管理体系的主要特征

1) 规范化、系统化、文件化。规范化就是严格按照 ISO 9001 标准的通用要求，结合企业的实际，策划、建立、实施并改进质量管理体系，形成一套国际通行的规范方法。

2) 应用过程方法，通过控制过程来控制结果（产品质量）。

3) 运用“以顾客为关注焦点”的主线和 PDCA（策划—运行—检查—改进）模式，持续增强顾客满意度。

### 二、质量管理中常用的统计分析方法

质量管理中要对影响产品质量的各种因素进行定量和定性分析，从而抓住主要矛盾，提出解决产品质量问题的措施。本书主要介绍排列图法和因果图法。

#### 1. 排列图法

排列图又称为主次因素分析图。其绘制方法是：统计一定时期内不合格品或某种缺陷出现的频数（如件数、次数等），再计算各类不合格品或缺陷的频数相对于全部不合格品或缺陷数所占的百分数（即频率），按频数或频率的大小，依次作直方图，由左向右为下降，然后依次将各频率相加连成折线。

#### 2. 因果图法

因果图是反映影响产品质量诸因素因果关系的图表（也称为树枝图或鱼刺图）。影响产品质量的因素有设计、加工、装配、调试等环节。产品的质量与这些环节紧密相关，最终体现在产品的使用性能上。生产者应从各方面针对具体问题进行分析，以便采取合理措施，保证产品质量稳定。

### 三、铸造生产过程的质量控制

铸造生产过程的质量控制包括原材料的质量控制、生产设备及工装的质量控制、工艺过程的质量控制。

#### 1. 原材料的质量控制

原材料的质量控制不容忽视。由于不同产品或工件的质量要求不同，所以对原材料的质量要求也不同。生产企业应当根据有关的国家标准或行业标准，并结合产品质量要求和原材料供应的具体情况，制订本企业所用各种原材料的技术条件及验收标准，并据此对原材料（如金属原料、回炉料、造型材料、筑炉材料、燃料等）进行质量检验和管理。

#### 2. 工艺装备的质量控制

工艺装备质量对工件的加工质量有很大影响。工艺装备应由制造部门按照技术标准要求

负责全面检查，使用部门进行复检验收。未经检验和未做合格结论的工艺装备不得投入使用。工艺装备在使用过程中会产生磨损、变形等情况，从而影响加工质量，因此要对工艺装备进行定期检查。

### 3. 工艺过程的质量控制

操作者的技术水平、生产经验、身体状况、精神状态和工作态度等都会给产品质量带来影响。为了保证产品质量稳定，必须保持生产过程的稳定，这就需要对生产中各主要工艺过程制订出正确和完善的操作规程（也称为工艺守则）和工艺卡。同时，应当加强工艺过程检查，以确保操作规程和工艺卡中规定的内容得到贯彻执行，并对每一道工序的质量进行严格的控制。

要做好以上工作，首先必须建立完善的质量管理制度和质量管理机构，其次要采用先进和科学的管理方法与检测手段，并对所测得的数据进行科学的分析和处理。要用准确可靠的数据来评定每一道工序的质量，否则就不可能对铸造生产过程实行及时而严格的控制。

## 第三节 铸造生产技术管理

### 一、生产技术管理

生产技术管理是一门综合性的科学，涉及多方面的内容，是从生产管理实践中概括形成的。它指导人们管理企业生产和开展技术研究活动。

在此根据铸造工人所必须了解和掌握的知识，就班组目标管理、班组生产作业计划管理、班组质量管理和班组技术管理作简单介绍。

#### 1. 班组目标管理

（1）班组目标的制订 首先要根据车间、工段目标对本班组的分工要求和保证措施加以具体化，再结合本班组在一定时期内自我发展的要求，综合考虑进行制订。

（2）班组目标的实施 班组目标在实现过程中的管理十分重要。在目标实现过程中，要依据目标，不断定期检查对照，纠正偏差和抓好进度，实行总体控制，要防止流于形式，在目标完成后要进行成效评价。

#### 2. 班组生产作业计划管理

组织职工完成生产计划，是班组生产作业计划管理的中心环节。通过生产作业计划管理提高班组管理水平，合理组织人力、物力、财力来提高班组工作效率，为车间、企业提高经济效益奠定基础。

#### 3. 班组质量管理

班组质量管理的好坏将直接影响企业的生存与发展。要做好班组质量管理工作主要以下几个方面着手：

- 1) 开展思想教育活动，树立质量第一的观念。
- 2) 学习全面质量管理知识，努力掌握科学方法。
- 3) 严格按照标准办事，掌握质量信息反馈。
- 4) 注重“四个结合”。“四个结合”是指质量管理与劳动竞赛结合，质量管理与技术练兵、技术比赛结合，质量管理与经济责任制结合，质量管理与学习理论知识结合。

#### 4. 班组技术管理

班组技术管理的主要内容如下：

- 1) 贯彻工艺文件，严肃工艺纪律。班组每个成员必须做到按图样、按工艺、按技术标准的“三按”生产，不得擅自修改与违反。
- 2) 班组技术攻关，努力挖潜革新。
- 3) 学习文化技术，开展操作比武。要组织班组成员充分利用业余时间认真学习文化技术知识，熟练掌握工厂技术标准、图样和工艺的标记符号、产品的性能和用途。组织班组职工结合生产产品进行操作比武，通过操作比武提高工人岗位技能水平。
- 4) 保管好技术文件。在接受工作任务后要立即借用产品图样和工艺技术文件，细心查阅，完全领会生产要求后再动手操作，避免发生错误而导致产品报废。对产品技术资料一定要细心保管和保持完整，切不可将其污损或遗失。

班组管理除了上述内容外还有：班组的劳动管理、班组的设备与工具管理、班组的安全管理与文明生产、岗位经济责任制及班组的生活管理等。

### 二、安全技术规程

铸造生产工序繁多，技术复杂，安全事故较一般机器制造车间多，如爆炸、烫伤、机械损伤，以及由于高温、粉尘和有害气体等的存在，易引起中毒和职业病。因此，加强铸造生产的安全技术措施，严格遵守安全技术操作规程，对保证工人的身体健康和生产的正常秩序有着重要的意义。

#### 1. 安全生产注意事项

熟悉安全技术规程，并在生产中严格遵守，避免事故的发生。

在从事每项新的工作之前，应周密考虑在操作中可能发生的问题，做到防患于未然。

集体操作时，要讲究配合，互相督促，共同遵守安全操作规程。

随时保持工作场地的清洁整齐，做好交接班的安全记录。

#### 2. 安全技术操作规程

铸造生产中的每个操作岗位都必须制订相应的适合本企业的安全技术操作规程。

### 复习思考题

1. 铸造生产管理包括哪几个方面的内容？为什么要对铸造生产进行生产管理？
2. 铸造生产质量分析与铸件缺陷分析是不是一回事？它们的关系如何？
3. 企业技术管理的主要内容是什么？
4. 为什么要对企业员工和工程技术人员进行技术培训？

# 试 题 库

## 一、判断题 (对的画√, 错的画×)

1. 具有黑色金属光泽的金属称为黑色金属。 ( )
2. 合金是指由两种以上元素组成并且具有金属特征的物质。 ( )
3. 金属在固态时由高温到常温的线尺寸改变量称为线收缩。 ( )
4. 共析钢的室温平衡组织全部为马氏体。 ( )
5. 共晶白口铸铁的室温平衡组织为低温莱氏体。 ( )
6. 湿型砂中加入煤粉的作用主要是防止铸件粘砂和提高铸件表面质量。 ( )
7. 水玻璃砂的保存性较差, 故混砂和造型制芯应很好地配合, 做到及时供砂。 ( )
8. 树脂砂用于铸造生产能满足各种铸造合金及不同生产条件的要求。 ( )
9. 铸造用涂料的主要作用是防止粘砂和加固砂型(芯)。 ( )
10. 热芯盒射芯机上射砂头的结构对射砂的效果影响不大。 ( )
11. 冷芯盒制芯工艺中最常用的芯砂硬化气体催化剂之一是三乙胺气。 ( )
12. 金属型铸造时应尽早开型取出铸件, 这主要是为了提高生产效率。 ( )
13. 离心铸造不适于生产密度偏析大的合金铸件。 ( )
14. 横浇道也称为“撇渣道”, 因此只要设计好横浇道, 可以不采取其他挡渣措施。 ( )
15. 可锻铸铁、球墨铸铁件冒口颈尺寸远大于阻流截面尺寸, 所以它们都是敞开式浇注系统。 ( )
16. 型腔内最小液面上升速度取决于铸件壁厚。 ( )
17. 在横浇道上有多个相同面积的内浇道时, 离直浇道最近的内浇道进铁液多, 离直浇道最远的内浇道进铁液少。 ( )
18. 某灰铸铁件采用流水线生产, 铸件重量为36kg, 每箱金属液总重量为45kg, 则此铸件的工艺出品率为75%。 ( )
19. 铸型浇注时内浇道至外浇道液面的高度与内浇道以上铸件高度之差称为平均压头。 ( )
20. 恒温下结晶的合金的凝固方式通常为逐层凝固。 ( )
21. 糊状凝固合金的铸件产生缩松和热裂的倾向较小。 ( )
22. 灰铸铁和球墨铸铁在共晶凝固阶段都以糊状凝固方式凝固。 ( )
23. 铸铁的固态收缩可分为珠光体转变前的收缩、共析转变期的膨胀、珠光体转变后的收缩三个阶段。 ( )
24. 球墨铸铁缩孔的形成仅与合金的收缩特性及石墨化膨胀有关, 而与铸型刚度无关。 ( )
25. 冒口尺寸与铸造合金的性质和温度、铸件的结构等因素有关, 而与造型材料无关。 ( )

26. 冒口具备补缩的基本条件是，冒口的大小和形状应使冒口中的金属液最后凝固，并形成朝向冒口的顺序凝固。 ( )
27. 一个冒口只能补缩一个铸件的一个热节。 ( )
28. 压力冒口的补缩距离与金属液的冶金质量和铸件的模数无关。 ( )
29. 由于内冷铁要和铸件熔接在一起，故要求保证砂芯表面材质相同或相适应，如铸钢件和铸铁件一般采用低碳钢材质的内冷铁。 ( )
30. 水玻璃砂型和湿型放置内冷铁后应停留数小时后再浇注。 ( )
31. 铸铁的组织和性能主要取决于铸铁中的碳含量。 ( )
32. 球化处理是指在铁液中加入球化剂，使石墨结晶时呈球状析出的方法。 ( )
33. 片状石墨的数量和分布状况是影响灰铸铁性能的主要因素。 ( )
34. 在球墨铸铁中，残余镁量及稀土量越高越好。 ( )
35. 冲天炉内的造渣是靠随同每批炉料加入的定量熔剂来完成的。 ( )
36. 电弧炉熔炼的基本原理是，利用电极与金属料之间放电产生的电弧所发出的热量来熔化金属料和使钢液过热。 ( )
37. 氧化法炼钢时氧化期的任务是脱氧、脱硫和调整钢液温度及化学成分。 ( )
38. 铝合金熔炼的一般顺序为：熔炼前的准备→装料→熔化→调整化学成分→精炼→变质处理→调整温度→浇注。 ( )
39. 铸件的壁厚过薄，容易产生浇不到、冷隔、铸件过硬等缺陷。 ( )
40. 铸件内外壁的厚度应依次递增。 ( )
41. 确定分型面时，应将铸件各部分尽量放在同一砂箱内。 ( )
42. 水平芯头端面要做出合型斜度，且上型斜度比下型斜度小。 ( )
43. 木模样具有强度高、尺寸精确、表面光洁、耐磨耐用等特点。 ( )
44. 尺寸精度高的铸件，应选取较大的机械加工余量。 ( )
45. 大型平板类、床身等类铸件的工艺设计应考虑反变形量。 ( )
46. 对于干型、表面烘干型及尺寸较大的湿型铸件，在进行工艺设计时应考虑分型负数。 ( )
47. 模样材料的选择与铸件的使用寿命有关。 ( )
48. 用铸铁做成的金属模样具有良好的耐蚀表面。 ( )
49. 手工造型用金属模样上必须有敲模和起模装置。 ( )
50. 加强肋的肋条正交能减小模样制造时的铸造应力。 ( )
51. 模底板定位销孔中心距应与所配用砂箱的定位孔中心距相一致。 ( )
52. 热芯盒的射砂口应该在芯头处。 ( )
53. 在设置热芯盒的排气装置时，应优先考虑排气塞排气。 ( )
54. 芯盒加强肋高度应根据芯盒形状和大小选定，但最低不得小于2倍壁厚。 ( )
55. 凡是对开分盒面的芯盒，都必须设置定位装置。 ( )
56. 排气塞使用灵活性大，不受位置的限制，但比较容易堵塞，使用寿命较短。 ( )
57. 飞翅（飞边）常出现在铸件分型面和芯头部位。 ( )
58. 冷裂往往比热裂的断面氧化严重。 ( )
59. 砂粒太粗容易形成气孔，太细容易造成机械粘砂 ( )

60. 金属液中磷含量高容易导致铸件产生冷裂。 ( )
61. 内浇道数量多，断面面积大，容易导致冷隔。 ( )
62. 降低金属液的出炉温度可有效防止夹渣。 ( )
63. 有缺陷存在的铸件并不都是废品。 ( )
64. 采用冷焊法冷焊铸件不需加热，可直接施焊。 ( )
65. 对员工进行技术培训，是开发员工智力、培养人才、提高企业素质的重要途径，也是国家教育体系中的一个重要组成部分。 ( )
66. 工程技术人员的技术培训工作，以鼓励其加强自学为主，但也要重视培训工作。 ( )
67. 自觉遵守安全操作规程是班组设备管理的主要任务。 ( )
68. 用坩埚炉熔炼时，应首先检查坩埚有无裂纹，并预热到1000℃以上。 ( )

## 二、选择题 (将正确答案的序号填入括号内)

1. Fe-Fe<sub>3</sub>C相图中存在 ( ) 种相。  
 A. 二 B. 三 C. 四 D. 五
2. 碳质量分数为4.3%的铁碳合金是 ( )。  
 A. 共晶白口铸铁 B. 过共晶白口铸铁 C. 亚共晶白口铸铁 D. 过共析钢
3. 铁和碳的结合方式有 ( ) 种。  
 A. 二 B. 三 C. 四 D. 五
4. 工业上使用的铁碳合金，一般碳的质量分数不超过 ( )。  
 A. 4% B. 5% C. 6% D. 7%
5. 黏土湿型砂的砂型表面强度不高，可能会使铸件产生 ( )。  
 A. 气孔 B. 砂眼 C. 开裂 D. 缩孔
6. 在使用水玻璃砂时，一般将水玻璃的模数调整到 ( )。  
 A. 1~2 B. 2~3 C. 3~4 D. 4~5
7. 在油砂中，其湿强度主要与 ( ) 有关。  
 A. 植物油加入量 B. 附加物加入量 C. 混制工艺 D. 紧实度
8. 合脂砂的蠕变现象主要由 ( ) 决定。  
 A. 合脂加入量 B. 原砂种类 C. 合脂本身的黏度 D. 烘干温度
9. 树脂覆膜砂的熔点主要与 ( ) 有关。  
 A. 芯盒温度 B. 树脂软化点  
 C. 加热时间 D. 树脂软化点与混制工艺
10. 热芯盒树脂砂的保存期(可使用时间)取决于 ( )。  
 A. 催化剂种类 B. 催化剂加入量 C. 原砂温度及湿度 D. 三者全是
11. 造型机械中，使用成本较低，生产率较高，适用于精度要求较高的中、小型铸件的是 ( ) 造型机。  
 A. 气冲 B. 静压 C. 震击 D. 微振压实
12. Z145型造型机采用的起模方式是 ( )。  
 A. 手工起模 B. 翻转起模 C. 顶箱起模 D. 机械手起模
13. 某铸钢件，其浇注系统各组元的比例为  $A_{\text{直}} : \sum A_{\text{横}} : \sum A_{\text{内}} = 1:1.1:1.3$ ，则它采用了

- ( ) 浇注系统。
- A. 封闭-开放式      B. 半封闭式      C. 开放式      D. 封闭式
14. 某铸铁件, 其浇注金属总重量为 160kg, 平均壁厚为 12mm, 则其浇注时间为 ( ) s。
- A. 32      B. 30      C. 28      D. 25
15. 某浇注总重量为 300kg 的铸钢件, 用包孔直径为 35mm 的漏包浇注, 则其浇注时间为 ( ) s。
- A. 15      B. 20      C. 10      D. 25
16. 内浇道“吸动作用”的区域通常应 ( ) 内浇道的截面积。
- A. 大于      B. 小于      C. 等于      D. 大于或等于
17. 充型平稳, 对铸型冲击力小, 不会产生飞溅的浇注系统是 ( ) 浇注系统。
- A. 顶注式      B. 底注式      C. 中间注入式      D. 阶梯注入式
18. 能控制金属液流充型速度和方向的浇道是 ( )。
- A. 直浇道      B. 横浇道      C. 内浇道      D. 浇口杯
19. 共晶合金铸件在一般情况下的凝固方式是 ( )。
- A. 糊状凝固      B. 逐层凝固      C. 同时凝固      D. 中间凝固
20. 采用顺序凝固原则的主要优点是 ( )。
- A. 有利于发挥冒口的补缩作用      B. 金属的消耗量小  
C. 铸件不易变形或产生热裂      D. 热应力较小
21. 亚共晶灰铸铁和球墨铸铁凝固的共同点是 ( )。
- A. 共晶凝固方式相同      B. 石墨长大机理相同  
C. 枝晶凝固阶段凝固方式相同      D. 共晶团所起的作用相同
22. ( ) 一般采用同时凝固原则。
- A. 铸钢件      B. 碳、硅含量高的薄壁铸铁件  
C. 可锻铸铁件      D. 黄铜铸件
23. 对铸件的形状和尺寸精度影响最大的是合金的 ( )。
- A. 固态收缩      B. 液态收缩      C. 凝固收缩      D. 液态和凝固收缩
24. 铸件细薄处的机械阻碍应力与 ( )。
- A. 残余热应力方向相同      B. 残余相变应力方向相同  
C. 残余热应力方向相反      D. 残余相变应力方向相反
25. 铸钢件上加设补贴的作用是 ( )。
- A. 增加冒口的补缩距离      B. 增加铸钢的强度  
C. 防止铸件变形      D. 防止铸件产生裂纹
26. 设置在铸件补缩部位上面的冒口称为 ( )。
- A. 明冒口      B. 暗冒口      C. 顶冒口      D. 侧冒口
27. 下列措施中, ( ) 对防止球墨铸铁缩孔是无效的。
- A. 利用共晶石墨化膨胀力      B. 控制凝固顺序  
C. 采用低刚度铸型      D. 采用冷铁
28. 采用补贴的方法一般可以实现 ( )。

- A. 同时凝固      B. 逐层凝固      C. 顺序凝固      D. 体积凝固
29. 灰铸铁具有( )。  
 A. 较高的抗拉强度和硬度      B. 较好的塑性  
 C. 较高的抗压强度      D. 较好的韧性
30. 下列牌号的铸铁中, 石墨形状呈球状的是( )。  
 A. KTB350-04      B. KTH350-10      C. KTZ700-02      D. QT450-10
31. 能够显著提高灰铸铁强度的方法是( )。  
 A. 调质处理      B. 球化退火      C. 孕育处理      D. 球化处理
32. 工业上生产球墨铸铁时, 可选用( )作球化剂。  
 A. 锰铁      B. 稀土镁硅铁合金      C. 硅铁      D. 硅钙合金
33. 球墨铸铁在选定碳当量后, 铁液的化学成分应满足( )的要求。  
 A. 高碳高硅      B. 高碳低硅      C. 低碳低硅      D. 低碳高硅
34. 从三角试块判断, ( )表明球化良好。  
 A. 银白色断口, 有时中心有些缩松      B. 银白色断口, 夹有分散小黑点  
 C. 断口暗灰、晶粒粗      D. 浇注位置上表面及侧面明显凹陷
35. 炉渣上带白道或白点, 说明( )。  
 A. 溶剂加入量适宜      B. 炉渣内硫含量过高  
 C. 石灰石加入量过多      D. 铁液氧化严重
36. 在碱性电弧炉炼钢中, 加入石灰石和炭粉作为( )使用。  
 A. 氧化剂      B. 还原剂      C. 变质剂      D. 造渣剂
37. ZCuZn25A16Fe3Mn3 属于( )。  
 A. 锡青铜      B. 铝青铜      C. 铸造黄铜      D. 锌铝合金
38. 铸造有色合金常用的熔化炉有( )等。  
 A. 冲天炉和感应电炉      B. 电弧炉和反射炉  
 C. 冲天炉和坩埚炉      D. 坩埚炉和感应电炉
39. 铝合金固溶处理后完全人工时效热处理状态的代号是( )。  
 A. T1      B. T4      C. T5      D. T6
40. 球墨铸铁低温正火后, 其基体组织是( )。  
 A. 马氏体      B. 铁素体 + 少量马氏体  
 C. 珠光体 + 分散铁素体      D. 下贝氏体
41. 下列铸件的最小壁厚最大的是( )。  
 A. 铸钢      B. 灰铸铁      C. 球墨铸铁      D. 白口铸铁
42. 铸件外壁、内壁和肋的厚度关系应该是( )。  
 A. 外壁 > 内壁 > 肋      B. 肋 > 内壁 > 外壁      C. 内壁 > 外壁 > 肋      D. 内壁 > 肋 > 外壁
43. 浇注时, 应避免( )位置有较大的平面。  
 A. 水平      B. 倾斜      C. 垂直      D. 任何
44. 减少分型面不仅可以减少砂箱数量, 减少造型和合型工时, 更重要的是可以提高( )。  
 A. 型砂利用率      B. 铸件尺寸精度      C. 铸件强度      D. 出品率

45. 为简化造型工艺, 应尽量避免采用 ( ) 分型。  
 A. 平面 B. 斜面 C. 曲面 D. 垂直
46. 大量、成批量生产的小型铸件宜采用 ( )。  
 A. 剥箱造型 B. 脱箱造型 C. 刮板造型 D. 假箱造型
47. 单件生产的大型铸件, 常采用 ( )。  
 A. 剥箱造型 B. 叠箱造型 C. 地坑造型 D. 刮板造型
48. 形状复杂的砂芯, 常采用 ( ) 芯盒制芯。  
 A. 整体式 B. 对分式 C. 可拆式 D. 脱落式
49. 下列不属于模样设计主要内容的是 ( )。  
 A. 材料的选择 B. 结构设计  
 C. 尺寸的确定 D. 加工工艺方案的确定
50. 铸铁作为模样材料时有优点也有缺点, 下列不属于其缺点的是 ( )。  
 A. 不耐磨 B. 密度大 C. 易氧化锈蚀 D. 铸工不易加工
51. 就木模的整体结构来讲, 可分为三种, 下列不属于其中的是 ( )。  
 A. 实体结构 B. 空心框架结构 C. 刮板结构 D. 活块结构
52. 下列不属于金属模样活块常用结构的是 ( )。  
 A. 燕尾槽式 B. 对称式 C. 滑销式 D. 槌式
53. 在大量生产中, 为了提高砂芯精度和芯盒耐用性, 多采用 ( )。  
 A. 木质芯盒 B. 塑料芯盒 C. 金属芯盒 D. 金木结构芯盒
54. 下列不属于金属芯盒设计的主要内容的是 ( )。  
 A. 芯盒材料的选择 B. 分盒面的确定  
 C. 芯盒内腔尺寸的计算 D. 芯盒加工工艺方案的确定
55. 下列变化不会使射砂口的数量变多的是 ( )。  
 A. 砂芯尺寸增大 B. 砂芯几何形状变复杂  
 C. 射砂方向的投影面积增大 D. 射砂时间延长
56. 下列关于排气塞的说法, 正确的是 ( )。  
 A. 使用灵活性大 B. 不易堵塞 C. 使用寿命长 D. 制造成本高
57. 下列缺陷不属于多肉类缺陷的是 ( )。  
 A. 飞边 B. 毛刺 C. 外渗物 D. 菜头花
58. 表面一般比较光滑, 主要为梨形、圆形、椭圆形的孔洞, 一般不在铸件表面露出, 这一类缺陷是指 ( )。  
 A. 气孔 B. 针孔 C. 缩孔 D. 缩松
59. 下列不属于形状及尺寸差错类缺陷的是 ( )。  
 A. 超重 B. 偏芯 C. 浇不到 D. 拉长
60. 砂型湿度过高或过低都容易造成铸造缺陷, 其中, 砂型湿度过低可能导致 ( ) 缺陷。  
 A. 热裂 B. 砂眼 C. 化学粘砂 D. 落砂困难
61. 下列方法不可作为防止热裂措施的是 ( )。  
 A. 铸件中容易产生拉应力的部位和凝固较迟的部位可采用冷铁或工艺肋

- B. 单个内浇道截面积不宜过小，尽量不要采用分散的多个内浇道
62. 磁粉检测常用于铸钢、铸铁等铁磁性材料表面或近表面缺陷的无损检验，主要用于检测（ ）。
- A. 砂眼、偏芯、夹渣等 B. 浇不到、冷隔、裂纹等  
C. 裂纹、夹渣、气孔等 D. 砂眼、裂纹、浇不到等
63. 铸件表面或接近表面的缺陷，不使用（ ）方式检验。
- A. 浸渗法 B. 压力法 C. 磁粉检测 D. 射线检测
64. 下列关于水玻璃浸渗剂的说法，错误的是（ ）。
- A. 收缩大 B. 耐蚀性好 C. 耐热性差 D. 在室温下就能固化
65. 在 ISO 9000 系列标准文件中，有四个核心标准，其中最重要的是（ ）标准。
- A. ISO 9000 B. ISO 9001 C. ISO 9004 D. ISO 19011
66. （ ）操作时，伸入炉内的工具和往炉内加入的材料必须干燥，防止爆炸。
- A. 电炉炼钢工 B. 冲天炉化铁工 C. 铸钢浇注工 D. 铸铁浇注工
67. 铸铁浇注工操作时，浇包使用前要预先（ ），以保证使用安全。
- A. 加热 B. 清洗 C. 烘烤 D. 冷却至室温
68. 大件起吊时，必须先进行试吊，试吊高度一般不得超过（ ）。
- A. 50mm B. 160mm C. 120mm D. 100mm

### 三、填空题

1. 塑性一般用\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_来表示。
2. 断面收缩率是拉伸试验时，试样\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_的比值。
3. 布氏硬度用符号“\_\_\_\_\_”表示。
4. 常用的高温强度指标有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。
5. 过共晶白口铸铁的室温破坏组织为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
6. 影响黏土型砂湿压强度的因素有：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
7. 在黏土加入量一定的条件下，砂粒越\_\_\_\_\_，粒度越\_\_\_\_\_，型砂的湿压强度越高。
8. 在水玻璃中加入黏土等附加物的目的是\_\_\_\_\_。
9. 油砂的湿强度很低，一般需加入\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等附加物来增加湿强度。
10. 铸造用涂料的主要作用有：\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_。
11. 抛砂紧实方法生产率\_\_\_\_\_，主要用于\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_生产。
12. 气冲造型机上气冲装置的关键在于\_\_\_\_\_及其\_\_\_\_\_。
13. 造型生产线是根据生产铸件的工艺要求，将\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_按照一定的工艺流程，由\_\_\_\_\_联系起来的机械化或自动化造型生产体系。
14. 射砂紧实过程包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_三个工序。
15. 壳芯制芯有\_\_\_\_\_吹式和\_\_\_\_\_吹式两种。\_\_\_\_\_吹式用于小砂芯，\_\_\_\_\_吹式用于中大砂芯。
16. 冷芯盒制芯的种类有\_\_\_\_\_冷芯盒制芯和\_\_\_\_\_冷芯盒制芯两类。
17. 常用的气体硬化冷芯盒制芯方法有：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
18. 液态金属的充型能力受\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_四个方面的影响。
19. 铸件的壁越薄、模数越\_\_\_\_\_，则充型能力越\_\_\_\_\_。
20. 液态金属在平底的浇口杯中流动时易出现\_\_\_\_\_。

21. 当气体被卷入型腔而又不能顺利逸出时，就会在铸件中形成\_\_\_\_\_。
22. 液态金属在直浇道中存在两种流态：\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_。
23. 金属液在充型时， $A_{\text{内}}/A_{\text{阻}}$ 比值越\_\_\_\_，则充型越平稳。
24. 浇注系统的类型按内浇道进入型腔的位置分类有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等几种形式。
25. 在对铸钢件进行浇注时，中小铸件多采用\_\_\_\_\_浇注系统，高大铸件则宜采用\_\_\_\_\_浇注系统。
26. 大多数铸件在凝固过程中，其断面上一般存在三个区域，即\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
27. 具有糊状凝固方式的合金有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等。
28. 具有中间凝固方式的合金有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等。
29. 灰铸铁和球墨铸铁的凝固过程可分为两个阶段：第一阶段析出\_\_\_\_\_，称为\_\_\_\_\_阶段；第二阶段发生\_\_\_\_\_，称为\_\_\_\_\_阶段。
30. 铸造应力的产生主要是由铸件\_\_\_\_\_以及铸型和型芯等\_\_\_\_\_导致的。因此，要减小铸造应力，主要应设法减小铸件在冷却过程中\_\_\_\_\_以及改善铸型和型砂的\_\_\_\_\_。
31. 液膜理论认为，热裂的形成是铸件在凝固末期\_\_\_\_\_和铸件在凝固过程中\_\_\_\_\_共同作用的结果。\_\_\_\_\_是产生热裂的根本原因，而\_\_\_\_\_是产生热裂的必要条件。
32. 强度理论认为，合金存在\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_是产生热裂的重要原因。
33. 影响冒口有效补缩距离的因素包括：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_以及\_\_\_\_\_等。
34. 采用模数法计算冒口的步骤是：1) \_\_\_\_\_；2) \_\_\_\_\_；3) \_\_\_\_\_；4) \_\_\_\_\_；5) \_\_\_\_\_。
35. 采用比例法设计冒口时，应使冒口\_\_\_\_\_直径大于铸件\_\_\_\_\_直径或\_\_\_\_\_。
36. 采用比例法设计冒口时，需校核铸件的工艺出品率。若工艺出品率过高，则说明冒口补缩铸件的金属液\_\_\_\_\_，应适当\_\_\_\_\_；若工艺出品率过低，则说明冒口中的金属液\_\_\_\_\_，应适当\_\_\_\_\_。
37. 直接实用冒口（浇注系统当冒口）适用于模数为\_\_\_\_\_的\_\_\_\_\_铸型生产的铸件。直接实用冒口的主要优点是：①\_\_\_\_\_；②\_\_\_\_\_；③\_\_\_\_\_。
38. 提高冒口补缩效率的途径有：①提高冒口中\_\_\_\_\_，如采用\_\_\_\_\_冒口等；②延长冒口中\_\_\_\_\_，如采用\_\_\_\_\_冒口和\_\_\_\_\_冒口等。
39. 为增加冒口的补缩效果，沿着冒口补缩距离，向着冒口方向铸件断面\_\_\_\_\_称为补贴。
40. 孕育处理的目的在于促进\_\_\_\_\_，降低\_\_\_\_\_；降低\_\_\_\_\_；控制\_\_\_\_\_，消除\_\_\_\_\_；适当增高\_\_\_\_\_和促进\_\_\_\_\_的形成，从而达到改善铸铁的\_\_\_\_\_及其他性能的目的。在生产中，常用\_\_\_\_\_的减少、\_\_\_\_\_的增加和\_\_\_\_\_的降低

低来进行孕育效果的评定。

41. 球墨铸铁中的硫与\_\_\_\_\_元素有很强的化合能力，生成\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_，不仅消耗\_\_\_\_\_，造成\_\_\_\_\_，而且还使\_\_\_\_\_增多，导致铸件产生缺陷，此外还会使\_\_\_\_\_速度加快。

42. 蠕墨铸铁的化学成分要求和\_\_\_\_\_的化学成分要求基本相似，即\_\_\_\_、\_\_\_\_、\_\_\_\_，\_\_\_\_\_。

43. 对铸铁熔炼的基本要求可概括为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_五个方面。铸铁熔炼可以用\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_双联熔炼等方法，其中以\_\_\_\_\_的应用最为广泛。

44. 在炼钢工艺上有两种基本方法，即\_\_\_\_\_法和\_\_\_\_\_法。这两种方法的区别在于炼钢过程中是否有\_\_\_\_\_。

45. \_\_\_\_\_电弧炉\_\_\_\_\_法炼钢是当前普遍采用的一种炼钢方法。由于炼钢过程中造\_\_\_\_\_渣，能有效地除去钢液中的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_，并且在炼钢的\_\_\_\_\_期中通过\_\_\_\_\_而使钢液沸腾，能有效地清除钢中的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。因此，用这种方法炼钢，不仅对炉料的\_\_\_\_\_强，而且炼出的钢液比较\_\_\_\_\_。

46. 在铸造铝硅合金的共晶组织中，硅呈\_\_\_\_\_状，所以合金的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_都不是很高。对合金液进行\_\_\_\_\_处理，可以改善合金的力学性能。

47. 铝合金熔炼的内容包括：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_以及\_\_\_\_\_。

48. 铸铁冲天炉熔炼的节能技术主要有：①\_\_\_\_\_；②\_\_\_\_\_；③\_\_\_\_\_等。

49. 合金熔炼前的工艺分析和准备包括：①\_\_\_\_\_；②\_\_\_\_\_；③\_\_\_\_\_。

50. 铸钢件正火的作用与\_\_\_\_\_相同，但由于冷却速度快，钢的晶粒比\_\_\_\_\_时更\_\_\_\_，而且使得奥氏体能在\_\_\_\_\_下发生\_\_\_\_\_转变，因而能得到分散度更大的\_\_\_\_\_（即\_\_\_\_\_）。

51. 铝铸件热处理的目的为：①\_\_\_\_\_；②\_\_\_\_\_；③\_\_\_\_\_；④\_\_\_\_\_；⑤\_\_\_\_\_。

52. 砂型铸造工艺方案一般包括：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、浇注位置及分型面的确定等。

53. 为了避免浇不到、冷隔等缺陷，铸件不应太\_\_\_\_\_。

54. 在实际生产中，各种合金铸件的临界壁厚可按最小壁厚的\_\_\_\_\_倍来考虑。

55. 体收缩大的铸钢件，易于产生缩松缺陷，应仔细审查零件的结构，创造实现\_\_\_\_\_凝固的可能性。

56. 浇注时，壁厚力求均匀，防止形成\_\_\_\_\_。

57. 铸件过高，金属静压力超过湿型的抗压强度时，应考虑使用\_\_\_\_\_或自硬砂型等。

58. 确定砂箱中铸件的排列数量时，主要应考虑\_\_\_\_\_、设备、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等因素。

59. 芯头可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两大类。

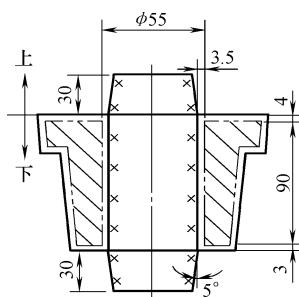
60. 间隙的大小取决于铸型种类、砂芯的大小和精度及芯座本身的\_\_\_\_\_。
61. 铸件重量公差和铸件尺寸公差相对应，由精到粗分为\_\_\_\_\_级。
62. 铸造线收缩率主要取决于\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、砂型和砂芯的退让性、浇冒口系统结构等因素。
63. 为了保证铸件尺寸精度，在拟定工艺时，为抵消铸件在分型面部位的增厚（垂直分型面的方向），在模样上相应减去一定的尺寸，减去的尺寸称为\_\_\_\_\_。
64. 铸造生产使用的各种模样，按结构可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等。
65. 模样设计的主要内容一般包括：\_\_\_\_\_；\_\_\_\_\_以及\_\_\_\_\_等。
66. 模板按制造方法可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
67. 模底板一般设置\_\_\_\_\_，用\_\_\_\_\_紧固在造型工作台上。
68. 模样在模底板上常采用定位销定位，定位销一般设置在模样高度较\_\_\_\_\_的地方，并尽量使其距离\_\_\_\_\_一些。
69. 模样紧固在模底板上的常用方式有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_以及\_\_\_\_\_。
70. 在大量生产中，为了提高砂芯精度和芯盒耐用性，多采用\_\_\_\_\_。
71. 在选择砂芯分盒面时，尽量将尺寸要求\_\_\_\_\_的部分放在同一片芯盒中，以避免被分盒面分割。
72. 在生产规模方面，\_\_\_\_\_生产常采用做记号和内箱锥的办法使砂箱定位。
73. 在大批量手工和半机械化生产中，经常使用的砂箱箱壁截面多带有\_\_\_\_\_结构。
74. 浇不到缺陷常出现在\_\_\_\_\_浇道的部位以及\_\_\_\_\_。
75. 铸件的一部分与另一部分在分型面处相互错开，这种缺陷叫做\_\_\_\_\_。
76. 气孔根据形成的机理可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_三种。
77. 为了防止粘砂，可适当\_\_\_\_\_浇注温度，\_\_\_\_\_吃砂量以提高粘砂层的冷却速度。
78. 铸件质量主要包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_两方面。
79. 铸件质量的检验主要分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_四个方面。
80. 理化性能检验主要包括\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_。
81. \_\_\_\_\_是铸件化学成分、金相组织等内在质量因素的最终反映。
82. 浸渗修补有两种方法，分别是\_\_\_\_\_法和\_\_\_\_\_法。
83. 工业企业的生产一般是由许多部分构成的，根据各部分在生产过程中的作用，可划分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和生产服务过程三类。
84. 合理组织生产过程的基本要求是生产过程的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和适应性。
85. 劳动定额的表现形式主要有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。
86. 质量管理中常用的统计分析方法有三种，即排列图法、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
87. 加强铸造生产的安全技术措施，严格遵守安全技术操作规程，对保证\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_有着重要的意义。

#### 四、计算题

- 某厂料库有一批钢材，牌号为20。为检测这批钢材的力学性能是否合格，用随机抽样的方法将其制成直径为10mm、标距为100mm的试样进行拉伸试验，测得产生屈服现象时的拉力为21630N，断裂前试样承受的最大拉力为34940N，断裂后测得标距增长65mm，断裂处直径为5mm。试判断该钢材的力学性能是否合格？
- 分别在某砂型的顶部和靠模板处（底部）各取一块体积为5cm<sup>3</sup>的砂样，测得顶部砂样的重量为7.5g，底部砂样的重量为8.5g，分别求出两处砂型的紧实度 $\delta_{\text{顶}}$ 和 $\delta_{\text{底}}$ 。
- 甲、乙两个铸件的体积相等，均为2100cm<sup>3</sup>，而甲铸件的表面积为1050cm<sup>2</sup>，乙铸件的模数为2.1cm，试比较哪一个铸件冷却速度快。
- 已知：碳的质量分数为0.45%的中碳钢浇注温度为1600℃，开始凝固的温度为1510℃，凝固结束时的温度为1440℃。铸件是边长为20cm的正方体，合金的凝固温度范围较窄，接近于逐层凝固，凝固期间表层硬壳的收缩不计，试计算其缩孔体积。 $(\alpha_{\text{液}} = 1.0 \times 10^{-4}/\text{℃}，\text{碳质量分数为} 0.45\% \text{ 的中碳钢凝固体收缩率} \varepsilon_{V_{\text{凝}}} = 4.3\%)$
- 有一铸钢件的热节圆直径 $T = 150\text{mm}$ ，如按 $D = (1.3 \sim 2.0)T$ 的关系确定冒口直径 $D$ ，试求该铸件所设最大冒口和最小冒口的直径。
- 已知某牌号为HT300的灰铸铁件的化学成分中，C、Si和P的质量分数分别为3.2%、1.6%和0.11%，并通过 $\phi 30\text{mm}$ 试棒测得其抗拉强度为320MPa，硬度为230HBW，试计算该铸铁的成熟度及相对强度。
- 测得某冲天炉炉渣中CaO、MgO、SiO<sub>2</sub>的质量分数分别为28%、4%和45%，试通过计算说明该炉渣的性质。

- 现有平面尺寸为 $1200\text{mm} \times 800\text{mm}$ 的砂箱，其凸缘宽度为50mm，试计算模底板的平面尺寸。

- 下图为法兰盘零件铸造工艺图，铸造材料为铸钢，收缩率为1.73%，试计算法兰盘的芯盒内腔尺寸。



第9题图

#### 五、简答题

- 铁碳相图在钢铁材料选用方面有哪些应用？
- 铁碳相图在铸造工艺方面有哪些应用？
- 铁碳相图在塑性加工工艺方面有哪些应用？
- 铁碳相图在热处理工艺方面有哪些应用？
- 型砂的紧实率对控制型砂的质量有何影响？

6. 试述水玻璃砂的优点和不足之处。
7. 试叙述多触头压实能提高砂型紧实度均匀性的原因。
8. 试叙述垂直分型无箱射压造型机造型循环的工作过程。
9. 热芯盒（包括壳芯盒）制芯法有哪些特点？壳芯法制芯有哪些优点？
10. 冷芯盒树脂砂法制芯有何特点？
11. 与砂型铸造相比，金属型铸造有何优越性和不足之处？
12. 试比较砂型铸造和熔模铸造在工艺和应用上的相同点和不同点。
13. 试简述浇注条件对充型能力的影响。
14. 简述设计浇注系统的基本要求。
15. 分别简述直浇道和横浇道的作用。
16. 按浇注系统各基本组元截面积的比例关系，可以把浇注系统分为哪几种？试分析它们各自的特点和适用范围。
17. 简述恒温等流量浇注系统的优点。
18. 铸件凝固方式有哪几种？铸件凝固方式的影响因素有哪些？
19. 什么是同时凝固原则？可采取哪些工艺措施实现同时凝固？
20. 试叙述灰铸铁“自补缩能力”的形成机理及其对铸件缩孔倾向的影响。
21. 冒口具备补缩能力的基本条件是什么？
22. 试叙述均衡凝固理论冒口的设计要点。
23. 使用内冷铁时应注意哪些问题？
24. 生产孕育铸铁需满足怎样的条件？如何选择孕育铸铁原铁液的化学成分？
25. 试叙述冲天炉熔炼过程中铁液中金属元素含量的变化情况及其影响因素。
26. 试叙述碱性电弧炉氧化法炼钢的工艺过程。
27. 铸造铜合金的熔炼应遵循哪些原则？
28. 选择浇注位置时应注意哪些原则？
29. 选择分型面时应注意哪些原则？
30. 简述砂芯设计的一般原则。
31. 在确定芯头高度时要注意哪些问题？
32. 简述模样设计的主要内容和设计要求。
33. 试述铝合金、铸铁及铜合金作为金属模样时的优缺点及其使用范围。
34. 简述金属芯盒的设计内容。
35. 简述砂箱定位机构的设计原则。
36. 简述化学粘砂、机械粘砂、夹砂结疤的异同。
37. 简要分析缩陷、缩孔、缩松产生的原因及防止办法。
38. 简述铸件缺陷修补的原则。
39. 简述铸件缺陷的修补方法和适用范围。
40. 做好班组质量管理工作主要从哪几个方面着手？
41. 班组技术管理工作的主要内容有哪些？
42. 生产现场文明生产的具体做法是什么？
43. 何谓岗位经济责任制？岗位经济责任制的特征和形式是什么？

# 模拟试卷样例

## 一、判断题 (对的画√, 错的画×; 每题 2 分, 共 20 分)

1. 合金是指由两种以上元素组成的, 并且具有金属特征的物质。 ( )
2. 在水玻璃中加入氢氧化钠的目的是降低水玻璃的模数。 ( )
3. 横浇道也称为“撇渣道”, 因此只要设计好横浇道, 可以不必采取其他挡渣措施。 ( )
4. 铸造合金的弹性系数和固态收缩系数越大, 铸件中热应力也就越大。 ( )
5. 浇注时, 使金属液通过冒口再流入型腔, 能提高冒口的补缩效率。 ( )
6. 冲天炉氧化带中, 从下往上, 自由氧浓度不断增加, 二氧化碳浓度不断减少。 ( )
7. 分型面应选在铸件的最小截面上。 ( )
8. 热芯盒在设置排气装置时, 优先考虑排气塞排气。 ( )
9. 内浇道数量多, 断面面积大, 容易导致冷隔。 ( )
10. 型砂工在供砂前, 先空车运转, 待正常后方可供砂。 ( )

## 二、选择题 (将正确答案的序号填在括号内; 每题 2 分, 共 20 分)

1. 提高金属液的充型压力和浇注速度可使充型能力增加, 如增加直浇口的高度; 也可用人工加压方法, 如 ( )。
  - A. 砂型铸造
  - B. 失蜡铸造
  - C. 永久型铸造
  - D. 压力铸造
2. 在压实造型过程中, 影响砂型平均紧实度的主要因素是 ( )。
  - A. 压头形状
  - B. 压实比压
  - C. 型砂性能
  - D. 砂箱高低
3. 内浇道“吸动作用”的区域通常都应 ( ) 内浇道的截面积。
  - A. 大于
  - B. 小于
  - C. 等于
  - D. 大于或等于
4. 在发热冒口中, 常用水玻璃、膨润土等材料作 ( )。
  - A. 发热剂
  - B. 保温剂
  - C. 黏结剂
  - D. 催化剂
5. 从三角试块判断, ( ) 表明球化良好。
  - A. 银白色断口, 有时中心有些缩松
  - B. 银白色断口, 夹有分散小黑点
  - C. 断口暗灰, 晶粒粗
  - D. 浇注位置上表面及侧面明显凹陷
6. ZL105A 属于 ( )。
  - A. 铝硅合金
  - B. 铝铜合金
  - C. 铝镁合金
  - D. 铝锌合金
7. 大量、成批量生产的小型铸件宜采用 ( )。
  - A. 劈箱造型
  - B. 脱箱造型
  - C. 刮板造型
  - D. 挖砂造型
8. 下列关于冷芯盒的说法, 错误的是 ( )。
  - A. 冷芯盒本体可设计成带有加强肋、壁厚均匀的框形结构
  - B. 冷芯盒的分盒面、吹气罩与芯盒接触面、顶芯板与顶杆孔的接触面通常采用密封环
  - C. 为确保砂芯具有良好的硬化效果, 尽可能减小冷芯盒射砂口面积

- D. 冷芯盒的排气装置一般设置在砂芯深凹处和厚实部位
9. 焊补是修复铸件最常用的方法之一, ( ) 缺陷一般不使用焊补法。  
 A. 气孔                    B. 缩孔                    C. 裂纹                    D. 机械粘砂
10. 在 ISO 9000 系列标准文件中, 有四个核心标准, 其中最重要的是 ( ) 标准。  
 A. ISO 9000            B. ISO 9001            C. ISO 9004            D. ISO 19011
- 三、填空题 (每空 1.5 分, 共 30 分)**
1. 亚共晶白口铸铁的室温平衡组织为 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 和低温莱氏体。
  2. 常用的气体硬化冷芯盒制芯方法有 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 三种。
  3. 液态金属在平底的浇口杯中流动时易出现 \_\_\_\_\_。
  4. 采用比例法设计冒口时, 应使冒口 \_\_\_\_\_ 直径大于铸件 \_\_\_\_\_ 直径或 \_\_\_\_\_。
  5. 在炼钢工艺上有两种基本方法, 即 \_\_\_\_\_ 法和 \_\_\_\_\_ 法。这两种方法的区别在于炼钢过程中是否有 \_\_\_\_\_。
  6. 浇注时, 壁厚力求均匀, 防止形成 \_\_\_\_\_。
  7. 模样紧固在模底板上的常用方式为 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 以及 \_\_\_\_\_。
  8. 生产现场环境管理一般包括 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 和现场清洁四项内容。

**四、计算题 (每题 5 分, 共 10 分)**

1. 已知某铸铁件的浇注质量为 250kg, 采用顶注式浇注系统, 其各组元面积比为  $\Sigma A_{\text{内}} : \Sigma A_{\text{横}} : A_{\text{直}} = 1:1.1:1.2$ , 浇注时间为 16s, 阻力系数  $\mu = 0.41$ , 上型高度为 250mm, 试求浇注系统各组元截面积总值  $\Sigma A_{\text{内}}$ ,  $\Sigma A_{\text{横}}$ ,  $A_{\text{直}}$ 。
2. 已知某牌号为 HT300 的灰铸铁件的化学成分中, C、Si 和 P 的质量分数分别为 3.2%、1.6% 和 0.11%, 并通过  $\phi 30\text{mm}$  试棒测得其抗拉强度为 320MPa, 硬度为 230HBW, 试计算该铸铁的成熟度及相对强度。

**五、简答题 (每题 5 分, 共 20 分)**

1. 铁碳相图在铸造工艺中有哪些应用?
2. 选择浇注位置时应注意哪些原则?
3. 常见的铸件缺陷有哪几类?
4. 生产现场文明生产的具体做法是什么?

# 试题库答案

## 一、判断题

- |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. ×  | 2. ×  | 3. √  | 4. ×  | 5. √  | 6. √  | 7. √  | 8. √  | 9. √  |
| 10. × | 11. √ | 12. × | 13. √ | 14. × | 15. × | 16. × | 17. × | 18. × |
| 19. × | 20. √ | 21. × | 22. × | 23. √ | 24. × | 25. × | 26. √ | 27. × |
| 28. × | 29. √ | 30. × | 31. × | 32. √ | 33. √ | 34. × | 35. √ | 36. √ |
| 37. × | 38. √ | 39. √ | 40. × | 41. √ | 42. × | 43. × | 44. √ | 45. √ |
| 46. √ | 47. × | 48. √ | 49. √ | 50. × | 51. √ | 52. √ | 53. × | 54. × |
| 55. √ | 56. √ | 57. √ | 58. × | 59. × | 60. √ | 61. × | 62. × | 63. √ |
| 64. √ | 65. √ | 66. √ | 67. × | 68. × |       |       |       |       |

## 二、选择题

- |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. D  | 2. A  | 3. A  | 4. B  | 5. B  | 6. B  | 7. B  | 8. C  | 9. B  | 10. B |
| 11. D | 12. C | 13. C | 14. C | 15. A | 16. A | 17. B | 18. C | 19. B | 20. A |
| 21. C | 22. B | 23. A | 24. C | 25. A | 26. C | 27. C | 28. C | 29. C | 30. D |
| 31. C | 32. B | 33. B | 34. B | 35. C | 36. D | 37. C | 38. D | 39. D | 40. C |
| 41. A | 42. A | 43. A | 44. B | 45. C | 46. B | 47. C | 48. C | 49. D | 50. A |
| 51. D | 52. B | 53. C | 54. D | 55. D | 56. A | 57. D | 58. A | 59. C | 60. B |
| 61. B | 62. C | 63. D | 64. C | 65. B | 66. A | 67. C | 68. D |       |       |

## 三、填空题

1. 断后伸长率 断面收缩率 2. 横截面的缩减量 原横截面积 3. HBW 4. 蠕变极限 持久强度 5. 一次渗碳体 低温莱氏体 6. 原砂性能 水分 混制工艺 紧实度  
7. 细 不均匀 8. 增加湿强度 9. 膨润土 糊精 糖浆 10. 提高铸件表面质量 防止化学粘砂 加固砂型(芯) 11. 不高 单件小批量 大件 12. 快开阀的结构 开启速度  
13. 主机(或造型机) 辅机 运输设备 14. 加砂 射砂 排气紧实 15. 底 顶 底顶 16. 气体硬化 自硬 17. 三乙胺法  $SO_2$  气体硬化法  $CO_2$  冷芯盒法 18. 金属性质  
铸型性质 浇注条件 铸件结构 19. 小 差 20. 水平涡流 21. 气孔 22. 充满式流动  
非充满式流动。 23. 大 24. 顶注式 底注式 中间注入式 阶梯式 缝隙式 25. 底注  
式 阶梯式 26. 固相区 凝固区 液相区 27. 高碳钢 球墨铸铁 锡青铜 铝镁合金  
28. 中碳钢 高锰钢 白口铸铁 29. 奥氏体枝晶 枝晶凝固 奥氏体+石墨的共晶转变  
共晶转变 30. 各部分的冷却速度不一致 阻碍收缩 各部分的温度差 退让性 31. 晶间  
存在液膜 受拉应力 液膜 铸件收缩受阻 32. 热脆区 在热脆区内合金的断裂应变低  
33. 铸件结构 铸造合金成分与凝固特性 冷却条件 对铸件质量要求的高低 34. 把铸件  
划分为几个补缩区, 计算各区的铸件模数 计算冒口及冒口颈的模数 确定冒口形状和尺寸  
检查顺序凝固条件 校核冒口补缩能力 35. 根部 被补缩处热节圆 壁厚 36. 不够  
增加冒口的尺寸或数量 未被充分利用 减小冒口尺寸或减少冒口数量 37. 0.48 ~ 2.5cm

高强度 铸件工艺出品率高 冒口位置便于选择 冒口去除方便 38. 金属液的补缩压力  
 大气压力 金属保留液态的时间 发热 保温 39. 逐渐增厚的多余金属 40. 石墨化  
 白口倾向 断面敏感性 石墨形态 过冷石墨 共晶团数 细片状珠光体 强度 白口倾向  
 共晶团数 过冷度 41. 球化 硫化物 硫氧化合物 球化剂 球化不稳定 夹杂物 球  
 化衰退 42. 球墨铸铁 高碳 低硫 低磷 一定的硅、锰含量 43. 优质 高产 低耗  
 长寿 简便 冲天炉 非焦化铁炉 电炉 坩埚炉 冲天炉 电炉 冲天炉 44. 氧化 不  
 氧化 氧化期 45. 碱性 氧化 碱性 磷 硫 氧化 碳的氧化 气体 杂质物 适应性  
 纯净 46. 粗大片 抗拉强度 断后伸长率 变质 47. 配料的计算 炉料的处理 熔炼  
 设备的选用 熔炼工具的处理 熔炼工艺过程的控制 48. 选用冲天炉专用高压离心风机  
 预热送风 富氧送风 49. 了解铸造合金的工艺性 掌握铸造合金的熔炼工艺特点 了解铸造  
 合金的技术要求 50. 退火 退火 细 较低的温度 共析 珠光体 索氏体 51. 提高  
 铝铸件的综合力学性能 消除偏析和针状组织 改善组织和性能 稳定铝铸件的组织和性能  
 消除铸造应力 52. 造型方法 制芯方法 铸型种类的选择 53. 薄 54. 三 55. 顺序  
 56. 热节 57. 干砂型 58. 铸件尺寸 生产批量 吃砂量 59. 垂直芯头 水平芯头 60.  
 精度 61. 16 62. 合金成分 铸件结构和大小 63. 分型负数 64. 整体模样 分开式模样  
 刮(车)板模样 骨架模样 65. 模样材料的选择 结构设计尺寸的确定 对模样技术要求的制订  
 66. 整铸式模板 装配式模板 67. 紧固耳 螺栓 68. 低 远 69. 螺钉紧固  
 螺栓紧固 铆钉紧固 过盈配合紧固 70. 金属芯盒 71. 高 72. 单件小批量 73. 凸缘  
 74. 远离 薄壁处 75. 错型(错箱) 76. 侵入气孔 析出气孔 反应气孔 77. 降低  
 减少 78. 外观质量 内在质量 79. 外观质量 表面缺陷 内部缺陷 理化性能 80. 化  
 学成分分析 金相组织检验 力学性能测定 特殊性能检验 81. 力学性能 82. 整体浸补  
 局部浸补 83. 基本生产过程 辅助生产过程 84. 连续性 比例性 节奏性 85. 工时  
 定额 产量定额 86. 因果图法 控制图法 87. 工人的身体健康 生产的正常秩序

#### 四、计算题

1. 解 20 钢的力学性能指标为：屈服强度不低于 245MPa，抗拉强度不低于 410MPa，  
 断后伸长率不低于 25%，断面收缩率不低于 55%。

$$R_e = \frac{F_e}{S_o} = \frac{21630}{3.14 \times 0.005^2} \text{ MPa} = 275.5 \text{ MPa} > 245 \text{ MPa}$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_o} = \frac{34940}{3.14 \times 0.005^2} \text{ MPa} = 445.1 \text{ MPa} > 410 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100\% = \frac{65}{100} \times 100\% = 65\% > 25\%$$

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100\% = \frac{10^2 - 5^2}{10^2} \times 100\% = 75\% > 55\%$$

所以，该钢材的力学性能合格。

2. 解 根据紧实度求解公式可知：

$$\delta = G/V, \text{ 则 } \delta_{\text{顶}} = G_{\text{顶}}/V = 7.5 \text{ g}/5 \text{ cm}^3 = 1.5 \text{ g}/\text{cm}^3$$

$$\delta_{\text{底}} = G_{\text{底}}/V = 8.5 \text{ g}/5 \text{ cm}^3 = 1.7 \text{ g}/\text{cm}^3$$

答  $\delta_{\text{顶}} = 1.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,  $\delta_{\text{底}} = 1.7 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

3. 解  $M_{\text{甲}} = V/S = 2100 \text{cm}^3 / 1050 \text{cm}^2 = 2 \text{cm}$

$$M_{\text{乙}} = 2.1 \text{cm}$$

答 甲铸件模数较小, 故冷却较快。

4. 解 (1) 液态体收缩 计算公式为

$$\varepsilon_{V\text{液}} = \alpha_{V\text{液}} (t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}) \times 100\%$$

已知:  $\alpha_{V\text{液}} = 1.0 \times 10^{-4} / \text{°C}$ ,  $t_{\text{浇}} = 1600 \text{°C}$ ,  $t_{\text{液}} = 1510 \text{°C}$

$$\varepsilon_{V\text{液}} = 1.0 \times 10^{-4} / \text{°C} \times (1600 \text{°C} - 1510 \text{°C}) \times 100\% = 0.9\%$$

因此液态体收缩  $V_{\text{缩液}}$  为

$$V_{\text{缩液}} = V_{\text{铸件}} \times \varepsilon_{V\text{液}} = 8000 \text{cm}^3 \times 0.9\% = 72 \text{cm}^3$$

$$V_{\text{液}} = 8000 \text{cm}^3 - 72 \text{cm}^3 = 7928 \text{cm}^3$$

(2) 凝固体收缩 碳的质量分数为 0.45% 的中碳钢  $\varepsilon_{V\text{凝}} = 4.3\%$ , 因此凝固体收缩  $V_{\text{缩凝}}$  为

$$V_{\text{缩凝}} = V_{\text{液}} \times \varepsilon_{V\text{凝}} = 7928 \text{cm}^3 \times 4.3\% = 340.9 \text{cm}^3 \approx 341 \text{cm}^3$$

(3) 缩孔总体积  $V_{\text{缩总}}$

$$V_{\text{缩总}} = V_{\text{缩液}} + V_{\text{缩凝}} = 72 \text{cm}^3 + 341 \text{cm}^3 = 413 \text{cm}^3$$

5. 解  $D_{\text{max}} = 150 \text{mm} \times 2 = 300 \text{mm}$

$$D_{\text{min}} = 150 \text{mm} \times 1.3 = 195 \text{mm}$$

答 该铸件的最大冒口直径为 300mm, 最小冒口直径为 195mm。

6. 解 灰铸铁成熟度的计算公式为

$$RG = \frac{R_m}{1000 - 800Sc}$$

需先计算出铸铁的共晶度  $Sc$ 。

得  $[w(\text{Si}) + w(\text{P})]/3 = (1.6\% + 0.11\%)/3 = 0.57\%$

$$Sc = 3.2\% / (4.26\% - 0.57\%) = 0.87$$

故  $RG = 320 / (1000 - 800 \times 0.87) = 1.05$

由灰铸铁相对强度的计算公式

$$RZ = \frac{R_m}{2.27HBW - 227}$$

得  $RZ = 320 / (2.27 \times 230 - 227) = 108\%$

答 该灰铸铁的成熟度为 1.05, 相对强度为 108%。

7. 解 将有关数据代入炉渣碱度的计算公式

$$\text{炉渣碱度} = \frac{w(\text{CaO}) + w(\text{MgO})}{w(\text{SiO}_2)}$$

可算得该炉渣的碱度为

$$(28\% + 4\%) / 45\% = 0.71 < 0.8$$

答 该炉渣的性质为酸性。

8. 解 根据模底板平面尺寸计算公式可知:

$$A_0 = A + 2b = 1200 \text{mm} + 2 \times 50 \text{mm} = 1300 \text{mm}$$

$$B_0 = B + 2b = 800\text{mm} + 2 \times 50\text{mm} = 900\text{mm}$$

故模底板的平面尺寸为  $1300\text{mm} \times 900\text{mm}$ 。

### 9. 解 由芯盒内腔尺寸计算公式

$$A_b = (A_c \pm A_t) (1 + \varepsilon_1)$$

可得, 砂芯长度  $L = (90\text{mm} + 4\text{mm} + 3\text{mm}) \times (1 + 1.73\%) = 98.68\text{mm}$ , 取  $98.7\text{mm}$ ; 砂芯直径  $D = (55\text{mm} - 3.5\text{mm} \times 2) \times (1 + 1.73\%) = 48.83\text{mm}$ , 取  $48.8\text{mm}$ 。

## 五、简答题

1. 答 铁碳相图总结了铁碳合金的平衡组织、性能随成分变化的规律, 便于我们根据工件的性能要求来选择材料。建筑结构用各种型钢对塑性、韧性要求较高, 应选用碳含量较低 (0.10% ~ 0.25%) 的钢材; 各种机器零件需要求强度、塑性和韧性有较好的配合, 应选用碳含量适中 (0.25% ~ 0.60%) 的钢结构; 各种工具要求有较高的硬度并耐磨, 则应选用碳含量高 (0.6% ~ 1.3%) 的钢材。

2. 答 根据铁碳相图中的液相线, 可以确定不同成分的钢和铸铁的浇注温度。浇注温度不能太高, 也不能太低, 一般在液相线以上  $50 \sim 100^\circ\text{C}$ 。若浇注温度太高, 则铸件组织不均匀 (特别是大件), 收缩大; 若浇注温度太低, 则流动性差, 铸件质量难以保证。此外, 从铁碳相图中可以看出合金的结晶温度范围, 判断其铸造时流动性是否良好。由于共晶白口铸铁的凝固温度区间最小, 故它在铸造时的流动性最好, 可以获得高质量的铸件。对于铸钢而言, 碳质量分数应选在  $0.15\% \sim 0.60\%$  之间, 因为在此成分范围内钢的结晶温度范围小, 铸造时流动性较好。

3. 答 奥氏体呈面心立方晶格, 塑性好, 因而钢的轧制或锻造必须选择在铁碳相图中单相奥氏体区的适当温度范围内进行。一般始锻 (轧) 温度应选在固相线以下  $100 \sim 200^\circ\text{C}$  范围内。始锻 (轧) 温度过高时, 钢的氧化显著加快, 晶粒粗大甚至会发生奥氏体晶界熔化现象。终锻 (轧) 温度视钢种不同而异。亚共析钢的终锻 (轧) 温度一般应控制在  $GS$  线以上一点, 如果在  $GS$  线以下, 则会由于有大量铁素体析出而形成两相组织, 且不均匀, 对变形不利, 还会形成带状组织使钢的韧性下降。过共析钢的终锻 (轧) 温度则宜选择在  $PSK$  线以上不多处, 其目的是打碎网状二次渗碳体。

4. 答 铁碳相图对制订热处理工艺有重要的指导作用。一般情况下, 退火、正火、淬火等热处理工艺的温度均依据铁碳相图确定。

5. 答 ①根据紧实率能够判断水分含量是否适于造型, 因为紧实率对水分很敏感, 水的质量分数有  $0.2\%$  的变化, 紧实率就能够反映出来。②紧实率可以反映出型砂吸水物质的变化, 当紧实率不变, 而水分发生变化时, 则可反映出型砂中吸水物质的变化, 因而可考虑型砂成分发生变化。③将紧实率与湿压强度和水分一起考虑, 可推测出, 型砂中黏土含量、型砂中有效黏土含量、混砂效率。因此, 生产中用紧实率控制型砂性能是一种简单而迅速的方法。

6. 答 水玻璃砂的主要优点是: ①硬化快, 且不需进炉烘干, 从而缩短了生产周期和减少了工序, 节约燃料, 提高劳动生产率; ②硬化强度高, 因而可去除芯骨等, 简化操作程序; ③所得型、芯尺寸精确; ④便于组织机械化、自动化生产; ⑤水玻璃价格便宜, 制造简便、来源极广; ⑥不污染环境。

水玻璃砂的不足之处: ①落砂困难; ②旧砂回用再生困难; ③吸湿性较大, 水玻璃砂对

环境相对湿度非常敏感，制造的型或芯容易吸湿而导致强度下降。

7. 答 多触头压头由许多个独立的小压头组成，每一个小压头所连接的液压缸之间的油路互通（浮动式），或每个小压头由独立的油压驱动（主动式），使每个压头对型砂施加的压力大致相同。压实时各小压头随所在位置模样高度的不同，其压入砂层的深度就不一样（模样高度越低，压入深度越深），使各处型砂之间的压缩比的差距减小，从而使紧实度更均匀。

8. 答 垂直分型无箱射压造型机的造型循环由以下6个工序组成：

(1) 射砂 造型室关闭后，压缩空气由储气罐进入射砂筒，将型砂射入造型室内。

(2) 压实 液压油进入主液压缸，推动前活塞及压实板向前移动，压实砂型。

(3) 起模Ⅰ 反压板向前平移，使固定在反压板上的模板脱离砂型，随后反压板上翻到水平位置，使造型室向前开启。

(4) 推出合型 压实板向前移动将砂型推出造型室，并与前一砂型平稳合型，将整串砂型向前推进一个砂型厚度的距离。

(5) 起模Ⅱ 压实板退回，使固定在压实板上的模板平稳地脱离砂型。

(6) 关闭造型室 后活塞通过导杆使反压板复位关闭造型室。

9. 答 其主要特点是砂芯硬化速度快，砂芯尺寸精度高，砂芯质量好，便于机械化、自动化生产，能够满足生产各类复杂铸件砂芯的需要。壳芯法的主要优点：①强度优于一般热芯；②壳层厚度一般为5~12mm，节约用砂，利于透气；③尺寸精确，表面光洁；④不吸湿，利于存放；⑤流动性好，可制复杂砂芯。

10. 答 冷芯盒树脂砂制芯具备了热芯盒的某些优点，如硬化速度快、砂芯尺寸精度高、生产能力大，还克服了热芯盒的某些不足，如能量消耗少、生产适应性强，可满足不同批量的生产，可使用不同材料的芯盒。其不足之处是：硬化气体有毒性，扩散性强，工装设备需要良好的密封，要有废气净化装置，硬化气体发生器及制芯设备复杂庞大。重要砂芯一般要涂上涂料，增加工艺的复杂性。

11. 答 金属型铸造的优点：

1) 金属型型腔表面光洁，故铸件尺寸精度较高，表面质量好。

2) 金属型导热性好，铸件冷却快，晶粒细小，强度高。

3) 金属型一型多用，生产率高，易于实现机械化，工人劳动条件好。

金属型铸造的不足之处：金属型的制造周期长、成本高，铸造工艺要求较严格，不宜生产大型、薄壁和形状复杂的铸件，铸铁件还容易产生白口组织。

12. 答 砂型铸造和熔模铸造在工艺和应用上的相同点：

1) 一次性铸型，故铸造过程工序较多。

2) 可浇注各种合金的铸件，重力下浇注。

砂型铸造和熔模铸造在工艺和应用上的不同点：

1) 砂型铸造使用木模或金属模造型，有分型面；熔模铸造用蜡模，无分型面。

2) 砂型铸件精度较低，熔模铸造是精密铸造。

3) 砂型铸造可生产各种尺寸的铸件，熔模铸造主要用于中、小型铸件。

13. 答

(1) 浇注温度 浇注温度对液态金属的充型能力有决定性的作用。浇注温度越高，充

型能力越好。但浇注温度过高，易吸气且氧化严重，并引起铸件的收缩量加大。根据生产经验，一般铸件都有一定的浇注温度范围，复杂件取上限，厚大件取下限。

(2) 充型压头 液态金属在流动方向上所受的压力越大，充型能力就越强。但压头过大或充型速度过高时，不仅会发生喷射和飞溅现象，使金属氧化而产生铁豆缺陷，而且型中气体来不及排出，形成浇不到或冷隔等缺陷。

(3) 浇注系统的结构 浇注系统的结构越复杂，流动阻力就越大，充型能力也就越低。所以，在保证铸件质量的前提下，浇注系统的结构越简单越好。

14. 答 控制流经浇注系统的金属液充填型腔和形成铸件的全过程；浇注系统的布局合理；设计的浇注系统应经济合理。

15. 答 直浇道的作用：缓冲作用；缩短直-横拐弯处的高度紊流区；改善内浇道的流量分布；减小直-横浇道拐弯处的局部阻力系数和水力损失；浮出金属液中的气泡。

横浇道的作用：向内浇道分配洁净的金属液；储留最初浇入的含气和渣的低温金属液并阻留渣滓；使金属液流平稳和减少氧化夹杂物。

16. 答 可将它们分为开放式浇注系统和封闭式浇注系统。

封闭式浇注系统的直浇道出口截面积大于横浇道截面积总和，横浇道出口截面积总和大于内浇道截面积总和，即正常浇注条件下，所有组元都能被金属液充满的浇注系统。这种浇注系通常用于中小型铸铁件，但不适于易氧化的有色合金铸件或压头高的铸件，也不适于用柱套包浇注的铸钢件。

开放式浇注系统的直浇道出口截面积小于横浇道截面积总和，横浇道出口截面积总和小于内浇道截面积总和，主要用于易氧化的合金铸件、球墨铸铁件和柱套包浇注的中大型铸钢件。

17. 答 上下各层铸件质量比较一致；浇注系统占用模板面积小；工艺出品率高。

18. 答 铸件凝固方式有三种：逐层凝固方式、体积凝固方式、中间凝固方式。影响因素：合金凝固温度区间由无（或小）到大，凝固方式的变化为逐层凝固方式、中间凝固方式、体积凝固方式；铸件中的温度梯度较大时，固-液相区较窄，合金趋于逐层凝固，温度梯度较为平坦时，固-液相区明显加宽，合金趋于体积凝固方式。

19. 答 同时凝固原则是指采取一定的工艺措施，尽量减小铸件各部分之间的温度差，使铸件的各部分几乎同时进行凝固。这是从工艺方面减小铸造应力的基本方法。

为实现铸件的同时凝固，可采用的工艺措施有：将内浇口开设在铸件薄壁处；在铸件厚壁处安放冷铁以加快冷却。

20. 答 灰铸铁在共晶凝固过程中，石墨以片状析出，其尖端在共晶液中优先长大，所产生的体积膨胀可直接作用在初生奥氏体枝晶或共晶团的液体上，并推动液体通过枝晶间的通道去补缩由于液态和固态收缩而形成的小孔洞，这就是灰铸铁的“自补缩能力”。由于灰铸铁的共晶凝固倾向于中间凝固方式，其凝固中期已有完全凝固的外壳，能够承受一定能力的石墨化膨胀能力，所以灰铸铁的“缩前膨胀”可忽略不计。可见，灰铸铁的“自补缩能力”可使其产生缩孔的倾向减少。

21. 答 冒口应具备补缩能力的基本条件是：

1) 冒口的凝固时间应大于或等于铸件（或铸件被补缩部分）的凝固时间。

2) 冒口中存有足够的金属液补充铸件（或铸件被补缩部分）的收缩。

3) 铸件上被补缩部位在凝固过程中必须与冒口间存在金属液的补缩通道。

22. 答 均衡凝固理论冒口的设计要点如下：

1) 冒口不必晚于铸件凝固，冒口在尺寸上或模数上可以小于铸件的壁厚或模数。冒口的凝固时间只要大于或等于铸件的表观收缩时间就可以了。

2) 采用“短、薄、宽”的冒口颈，以保证在均衡点前补缩通道畅通，而在均衡点后冒口颈很快凝固，便于在铸件内部建立必要的石墨化膨胀压力来完成自补缩。

3) 冒口不应该设在铸件的热节上，冒口应靠近热节，以利于补缩，又要离开热节，以减少冒口对铸件的热干扰。

4) 热节（冒口根部）处应安放冷铁来平衡壁厚差。缩短热节处的凝固和收缩时间，以适应冒口的补缩，有效地防止热节（冒口根部）处的缩松。

5) 利用刚性大的铸型并将其卡紧，以最大限度地利用石墨化膨胀。

23. 答 使用内冷铁时应注意以下几个问题：

1) 内冷铁的表面应十分干净，使用前应除去锈、油污及水分。

2) 干型中的冷铁应在铸型烘干后放入型腔；水玻璃砂型和湿型放置内冷铁后应尽快浇注，以免冷铁表面氧化、聚集水分而使铸件产生气孔。

3) 需要存放的内冷铁必须镀锡防锈。

4) 放置内冷铁的上方砂型应有明出气孔或明冒口。

24. 答 生产孕育铸铁时，应根据铸件不同的要求，选出合理的化学成分，主要是碳当量、硅碳比、锰含量及是否要加入合金元素等。传统的观点是原铁液在孕育处理前要有一定的过冷倾向，经过孕育处理后则白口倾向降低，使铸件凝固时可完全进入灰口区域（即具有所谓临界状态的碳、硅成分）。

一般原铁液中碳的质量分数为 2.9% ~ 3.2%，硅的质量分数为 1.2% ~ 2.2%。锰在孕育铸铁中的作用，除中和硫外，还能增加珠光体含量。所以，孕育铸铁中的锰含量一般较高，其质量分数为 0.8% ~ 1.0%。硫、磷作为有害元素，都会降低铸铁强度，应加以限制，一般硫的质量分数限制在 0.12% 以下，磷的质量分数限制在 0.15% 以下。

25. 答 在冲天炉熔炼过程中，由于炉气呈氧化性，因此硅、锰和铁等金属元素都会氧化烧损。它包括直接氧化烧损和间接氧化烧损。直接氧化烧损是指硅、锰和铁等元素与炉气中的 O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 直接发生反应所造成的氧化烧损。间接氧化烧损是指硅、锰等元素通过 FeO 氧化烧损。影响金属元素氧化烧损的主要因素有：温度、炉气与金属元素的氧化特性、金属炉料及炉渣等。

26. 答 碱性电弧炉氧化法炼钢的工艺过程如下：

① 补炉。一般每炼完一炉钢以后，在装料前，照例要进行补炉，目的是修补侵蚀和损坏的炉衬。

② 装料。补炉完毕，即可装料。

③ 熔化期。熔化期的任务是将固体炉料熔化成钢液，并进行脱磷。

④ 氧化期。氧化期的主要任务是脱磷，去除钢液中的气体和夹杂物，并提高钢液的温度。

⑤ 还原期。还原期的任务是脱氧、脱硫和调整钢液温度及化学成分。

⑥ 出钢。出钢时要求钢液流要粗，而且要使钢液与炉渣一起出到钢液包中。

27. 答 各类铸造铜合金熔炼工艺均应遵循下列原则：

1) 所有炉料表面必须清理干净及预热，熔剂应焙烧或预熔，彻底去除水分。更换合金牌号时需注意，铝青铜、铝黄铜、硅黄铜用过的坩埚、炉衬不可熔炼锡青铜、铅青铜、镍白铜。

2) 铜合金液易氧化、吸气，应遵守“快速熔炼，及时浇注”的原则，不使铜液在炉内停留时间过长。

3) 控制炉中气氛为中性，对锡青铜、铅青铜可在弱氧化性炉氛中熔炼。

28. 答 ①铸件的重要加工面、主要工作面和受力面应尽量放在底部或侧面，防止这些表面上产生砂眼、气孔、夹渣等铸造缺陷。②铸件的大平面应朝下，避免夹砂结疤、气孔类缺陷。③尽量少用吊砂、吊芯或悬臂式砂芯，以保证铸件质量，便于下芯、合型及检验。④铸件的薄壁部分应放在下半部或置于内浇道以下，避免出现浇不到、冷隔等缺陷。⑤应有利于铸件的补缩。⑥应使合型位置、浇注位置和铸件冷却相一致。

29. 答 ①应使铸件全部或大部分置于同一砂型内，以减少因错型造成的尺寸偏差。若不能满足上述要求，则应尽量把铸件的加工面和加工基准面置于同一砂型内。②尽量减少分型面的数量，可以减少砂箱使用数量，易于简化造型操作，提高铸件精度。③应尽量选用平面，以简化造型过程和模底板制造，易于保证铸件精度。④为方便起模，分型面应选在铸件的最大截面处，对于较高的铸件，尽量不使模样在同一砂型内过高。⑤在考虑简化造型、浇注及制芯的基础上，分型面还应有利于落砂清理。

30. 答 ①保证铸件尺寸精确。②应使操作方便。③应使芯盒捣砂面宽敞且砂芯烘干支持面最好为平面。④保证铸件壁厚均匀。⑤使每块砂芯有足够的断面，保证有一定的强度和刚度，并能顺利排出砂芯中的气体；尽量使芯盒结构简单，便于制造和使用。

31. 答 ①对于细而高的砂芯，上下都应留有芯头，以免在液体金属的冲击下发生偏斜，而下芯头应该取高一些。②对于粗而矮的砂芯，可不用上芯头（高度为零），这可使造型、合型方便。③对于等截面的或上下对称的砂芯，为了下芯方便，上下芯头可用相同的高度和斜度，而对需要区分上、下芯头的砂芯，一般应使下芯头高度高于上芯头。

32. 答 模样设计的主要内容一般包括：模样材料的选择；结构设计；尺寸的确定以及对模样技术要求的制订等。

主要设计要求有：经济合理，使用方便，同时能满足工艺要求，保证产品质量。

33. 答

1) 铝合金

优点：质轻，易加工，加工后表面光滑，具有良好的耐蚀表皮。

缺点：强度、硬度都较低，不耐磨。

应用范围：各种模样及整铸模板。

2) 铸铁

优点：有良好的机械加工性，加工后表面光滑，具有良好的耐蚀表皮。

缺点：强度、硬度都较低，不耐磨。

应用范围：各种模样及整铸模板。

3) 铜合金

优点：易加工，加工后表面光滑，耐蚀，耐磨

缺点：较其他材料重，成本高。

应用范围：各种肋条、活块、镶片等。

34. 答 金属芯盒设计的主要内容一般包括：芯盒材料的选择、分盒面的确定、芯盒内腔尺寸的计算、芯盒结构及其附具结构的设计以及对金属芯盒技术要求的制订等。

35. 答 单件小批量生产常采用做记号和内箱锥的办法使砂箱定位。批量生产和半机械化生产中，常采用定位销和定位孔的配合方式来保证定位精度。定位箱耳与砂箱本体紧固相连，一般设置在砂箱短边的中间，也有的设置在砂箱两侧，或类似对角线分布。

36. 答

(1) 相同点 它们都属于铸造缺陷中的表面缺陷。

(2) 不同点 夹砂结疤是指铸件表面产生的疤片状金属凸起物。其表面粗糙，边缘锐利，有一小部分金属和铸件本体相连，疤片状凸起物与铸件之间有砂层。机械粘砂是指铸件的部分或整个表面上，黏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。化学粘砂是指铸件的部分或整个面上，牢固地黏附一层由金属氧化物、砂子和黏土相互作用而生成的低熔点化合物，硬度高，只能用砂轮磨去。

37. 答

(1) 产生原因 合金的液态收缩和凝固收缩大于固态收缩且在液态收缩和凝固收缩时得不到足够的金属液补充；浇注温度过高时易产生集中缩孔，浇注温度过低时易产生分散缩松；浇注系统和冒口与铸件连接不合理，产生较大的接触热节；铸型的刚度低，在液态金属压力和析出石墨时膨胀力的作用下，型壁易扩张变形。

(2) 防止方法 正确设计内浇道、冒口、冷铁的位置，确保铸件在凝固收缩过程中不断有液体金属补充；改进铸件结构，使铸件有利于补缩；保证铸型有足够的刚度，对较大的铸件采用干型，防止型壁向外扩张。

38. 答 若经修补，铸件的外观、性能和使用寿命均能满足要求，且经济上合算，则应修补；反之，技术上无把握，经济上得不偿失，就不做修补。

39. 答 铸件缺陷的修补方法和适用范围如下：

- 1) 矫正，用于校正变形的铸件。
- 2) 电焊，主要用于铸钢件，其次用于铸铁与有色合金铸件。
- 3) 气焊，多用于铸铁与有色金属。
- 4) 钎焊，修补铸铁件和有色金属件的孔洞与裂纹等。
- 5) 熔补，多用于熔补铸铁件的大孔洞与浇不到等局部缺陷。

40. 答 做好班组质量管理工作主要从以下几个方面着手：

1) 开展思想教育活动，树立质量第一的观念。班组长要把“质量第一”的思想教育贯穿于工作始终，加强全班组成员的责任感。要动员全班组成员都能自觉地参与班组质量管理，控制每道工序，严格把关，及时分析，定时反馈，形成班组的质量保证体系。

2) 学习全面质量管理知识，努力掌握科学方法。学习全面质量管理的理论，使班组成员都能掌握科学管理的知识和方法，并运用于班组实践。贯彻执行自检、互检、专职检查的规定，将事后把关检查转移到事先控制上来，使班组质量管理工作系统化、制度化和正规化。

3) 严格按照标准办事，掌握质量信息反馈。在生产过程中严格执行企业内所制订的生

产技术、质量等方面规章制度和操作规程，主动收集质量信息，重视外部对本班组质量工作的意见，记录汇总，采取有效的攻关对策。

4) 注重“四个结合”。“四个结合”是指质量管理与劳动竞赛结合，与技术练兵、技术比赛结合，与经济责任制结合，与学习理论知识结合。

41. 答 班组技术管理工作的主要内容如下：

1) 贯彻工艺文件，严肃工艺纪律。班组每个成员必须做到按图样、按工艺、按技术标准的“三按”生产，不得擅自修改与违反。在生产过程中如遇设备、材料、工艺装备等因素变更而需要改变工艺时，一定要经过原审批程序批准，方可改变。群众性的技术革新和合理化建议，对原来工艺需要进行修改时，必须将试验成果进行技术鉴定和生产验证，证明成果在技术上可行、经济上合理后，才可纳入工艺文件或形成新的工艺文件。

2) 班组技术攻关，努力挖潜革新。班组应组织职工对生产薄弱环节（如质量不稳定、安全保证弱、消耗体力大、耗能耗料多、生产效率低的新产品）进行技术攻关，群策群力，想办法、措施搞革新，在保证质量和安全的基础上，提高生产效率，保证完成和超额完成生产任务。

3) 学习文化技术，开展操作比武。要组织班组成员充分利用业余时间认真学习文化技术知识，熟练掌握工厂技术标准、图样和工艺的标记符号、产品的性能和用途。组织班组职工结合生产产品进行操作比武，通过操作比武提高工人岗位技能水平。

4) 保管好技术文件。在接受工作任务后要立即借用产品图样和工艺技术文件，细心查阅，完全领会生产要求后再动手操作，避免发生错误而导致产品报废。对产品技术资料一定要细心保管和保持完整，切不可将其污损或遗失。

42. 答 生产现场文明生产的具体做法是：班组成员应养成良好习惯，自觉遵守劳动纪律，严守工作岗位，认真地按工艺文件、操作规程进行文明操作。不要在安全通道上堆放物品，应经常打扫安全通道，把车间场地、门窗、照明设施的清洁卫生按分块包干的办法落实到个人。专人定期检查评分，并结合经济责任制评分、计奖。

43. 答 落实到每个生产者或工作岗位上，并把完成的生产任务和工作质量的好坏，同企业的生产结果，以及各生产单位、部门及个人的经济效益紧密联系起来的管理制度。

岗位经济责任制的特征：一是以责任为前提，以个人的劳动成果（工作成效）进行定量考核，坚持按劳分配、多劳多得和奖勤罚懒的原则，不搞平均主义；二是赋予每个职工改革、创新和自我管理的权利，从而用主人翁精神进行创造性的劳动和工作。

# 模拟试卷样例答案

## 一、判断题

1. × 2. √ 3. × 4. √ 5. √ 6. × 7. × 8. × 9. × 10. √

## 二、选择题

1. D 2. B 3. A 4. C 5. B 6. A 7. B 8. C 9. D 10. B

## 三、填空题

1. 珠光体 二次渗碳体 2. 三乙胺法  $\text{SO}_2$  气体硬化法  $\text{CO}_2$  冷芯盒 3. 水平涡流  
4. 根部 被补缩处热节圆 壁厚 5. 氧化 不氧化 氧化期 6. 热节 7. 螺钉紧固 螺栓  
紧固 铆钉紧固 过盈配合紧固 8. 现场整理 现场整顿 现场清扫

## 四、计算题

1. 解 已知  $m = 250\text{kg}$ ,  $t = 16\text{s}$ ,  $\mu = 0.41$ ,  $h_0 = 25\text{cm}$ , 因为浇注系统是顶注式, 所以  $h_p = h_0 = 25\text{cm}$ , 则:

$$\sum A_{\text{内}} = \frac{m}{0.31\mu t \sqrt{h_p}} = \frac{250}{0.31 \times 0.41 \times 16 \times \sqrt{25}} \text{cm}^2 = 24.6 \text{cm}^2$$

$$\sum A_{\text{横}} = \sum A_{\text{内}} \times 1.1 = 24.6 \text{cm}^2 \times 1.1 = 27.1 \text{cm}^2$$

$$A_{\text{直}} = \sum A_{\text{内}} \times 1.2 = 24.6 \text{cm}^2 \times 1.2 = 29.5 \text{cm}^2$$

答  $\sum A_{\text{内}} = 24.6 \text{cm}^2$ ,  $\sum A_{\text{横}} = 27.1 \text{cm}^2$ ,  $A_{\text{直}} = 29.5 \text{cm}^2$ 。

2. 解 灰铸铁成熟度的计算公式为

$$RG = \frac{R_m}{1000 - 800Sc}$$

需先计算出铸铁的共晶度  $Sc$ 。

由  $[w(\text{Si}) + w(\text{P})]/3 = (1.6\% + 0.11\%)/3 = 0.57\%$

得  $Sc = 3.2\% / (4.26\% - 0.57\%) = 0.87$

故  $RG = 320 / (1000 - 800 \times 0.87) = 1.05$

由灰铸铁相对强度的计算公式

$$RZ = \frac{R_m}{2.27 \text{HBW} - 227}$$

得  $RZ = 320 / (2.27 \times 230 - 227) = 108\%$

答 该灰铸铁的成熟度为 1.05, 相对强度为 108%。

## 五、问答题

1. 答 根据铁碳相图中的液相线, 可以确定不同成分的钢和铸铁的浇注温度。浇注温度不能太高, 也不能太低, 一般在液相线以上  $50 \sim 100^\circ\text{C}$ 。若浇注温度太高, 则铸件组织不均匀 (特别是大件), 收缩大; 若浇注温度太低, 则流动性差, 铸件质量难以保证。此外, 从铁碳相图上可以看出合金的结晶温度范围, 判断其铸造时流动性是否良好。由于共晶白口铸铁的凝固温度区间最小, 因此它在铸造时的流动性最好, 可以获得高质量的铸件。对于铸

钢而言，碳质量分数应选在 0.15% ~ 0.60% 之间，因为在此成分范围内钢的结晶温度范围小，铸造时流动性较好。

2. 答 选择浇注位置时应注意以下原则：

① 铸件的重要加工面、主要工作面和受力面应尽量放在底部或侧面，防止这些表面上产生砂眼、气孔、夹渣等铸造缺陷。

② 铸件的大平面应朝下，避免夹砂结疤、气孔类缺陷。

③ 尽量少用吊砂、吊芯或悬臂式砂芯，以便保证铸件质量，便于下芯、合型及检验。

④ 铸件的薄壁部分应放在下半部或置于内浇道以下，避免出现浇不到、冷隔等缺陷。

⑤ 应有利于铸件的补缩。

⑥ 应使合型位置、浇注位置和铸件冷却相一致。

3. 答 常见的铸造缺陷有 8 大类，分别是：多肉类缺陷，孔洞类缺陷，裂纹冷隔类缺陷，表面缺陷，残缺类缺陷，尺寸、形状和重量差错类缺陷，夹杂类缺陷，组织和性能不合格类缺陷。

4. 答 生产现场文明生产的具体做法是：班组成员应养成良好习惯，自觉遵守劳动纪律，严守工作岗位，认真地按工艺文件、操作规程进行文明操作。不要在安全通道上堆放物品，应经常打扫安全通道，把车间场地、门窗、照明设施的清洁卫生按分块包干的办法落实到个人。专人定期检查评分，并结合经济责任制评分、计奖。

# 附录

## 附录 A 技师论文写作与答辩要点

### 一、论文写作

#### 1. 论文的定义

论文是讨论和研究某种问题或某种技术的文章，是一个人从事某一专业或某一工种的学识、技术和能力的基本反映，也是个人劳动成果、经验和智慧的升华。论文由论点、论据、引证、论证、结论等几个部分构成。

- (1) 论点 论述中的确定性意见及支持性意见的理由。
- (2) 论据 证明论题判断的依据。
- (3) 引证 引用他人的论文或著作作为明证、根据、证据。
- (4) 论证 根据个人的了解或理解并结合论据证明论题真实性的论述过程。
- (5) 结论 从一定的前提推论得到的结果，对事物作出的总结性判断。

#### 2. 撰写技术论文的方法

(1) 技术论文的一般格式和具体要求 技术论文写作的一般格式为：题目，作者姓名、工作单位及部门，摘要，关键词，引言，正文，结论或结语，参考文献等。具体要求如下：

- 1) 数据可靠：必须是经过反复验证，确定证明正确、准确可用的数据。
- 2) 论点明确：论述中的确定性意见及支持性意见的理由要充分。
- 3) 引证有力：证明论题判断的论据在引证时要充分，有说服力，经得起推敲，经得起验证。
- 4) 论证严密：引用论据或个人了解、理解证明时要严密，使人口服心服。
- 5) 判断准确：做结论时对事物作出的总结性判断要准确，有概括性、科学性、严密性、总结性。
- 6) 实事求是：文字陈述简练，不夸张臆造，不弄虚作假，不剽窃抄袭。论文全文的长短根据内容需要而定，一般不超过 4000 字。论文内容经得起专业软件对论文相似度（查重率）的检测。

(2) 论文命题的选择 论文命题应做到贴切、鲜明、简短，这是撰写论文的关键。铸造行业每个单位情况不同，技术工种数也不同并且就同一工种而言，其技术复杂程度，难易、深浅各不相同，因此不能用一种模式、一种定义来表达各不相同的技术情况。论文命题是论文的精髓所在，是论文方向性、选择性、关键性、成功性的关键和体现，命题选择失误往往导致论文失败。论文命题的目的不是刻意地去寻找那些尚未开发的领域，而是把生产实践中解决的生产问题、工作问题通过筛选总结整理出来，上升为理论，以达到指导今后生产和工作目的。因此，在写论文之前，一定要反复思考和构思，确定自己想写的内容后再选择符合命题的标题，标题字数一般不超过 20 字。

(3) 命题内容的选择 命题内容应根据砂处理、造型、制芯、熔炼、浇注、清理、铸件加工、铸件热处理和焊补等自己熟悉的工作扬长避短地进行选择，这是撰写论文的根本。可以在工艺改进、质量攻关、技术改进方面，在学习、消化推广和应用国内外先进技术方面，在防止和排除重大隐患方面，在设备的安装、调试、操作、维修和保养方面，在工作中成绩显著、贡献突出、确有推广价值的技术成果以及为企业和社会创造了直接或间接经济效益的项目等方面，选择自己最擅长、最突出的某一方面作为自己命题的内容，然后再从中选择最具代表性的某一项进行整理、浓缩，作为自己命题内容的基础材料。

(4) 摘要 摘要又称概要、内容提要。摘要是以提供文献内容梗概为目的，不加评论和补充解释，简明、确切地记述文献重要内容的短文。其基本要素包括研究目的、方法、结果和结论。具体地讲，摘要就是研究的主要对象和范围，采用的手段和方法，得出的结果和重要结论，有时也包括具有情报价值的其他重要信息。摘要应具有独立性和自明性，并且拥有与文献同等量的主要信息，即使不阅读全文，也能获得必要的信息，字数一般在 100 ~ 300 字之间。摘要的基本要素如下：

- 1) 目的：研究、研制、调查等的前提、目的和任务，所涉及的主题范围。
- 2) 方法：所用的原理、理论、条件、对象、材料、工艺、结构、手段、装备、程序等。
- 3) 结果：实验或研究的结果、数据、被确定的关系、观察结果、得到的效果、性能等。
- 4) 结论：结果的分析、研究、比较、评价、应用，以及提出的问题、今后的课题、假设、启发、建议、预测等。
- 5) 其他：不属于研究、研制、调查的主要目的，但就其见识和情报价值而言也很重要的信息。

(5) 关键词 关键词是能够在最大程度上概括论文所要反映的信息内容的字或词，是论文信息的概括化和集中化。关键词一般为 3 ~ 8 个，可从科学技术文献出版社出版的《汉语主题词表》中查出。

(6) 引言 引言是论文的开场白，主要说明本课题研究的目的和意义、与课题相关的国内外专家的成果和存在的问题、研究的理论依据和主要方法、设备基础和预期目标等。

(7) 正文 正文是论文的主体，包括论点、论据、引证、论证、实践方法（包括其理论依据）、实践过程、引用参考文献、实际成果等。写好这部分要有材料、有内容，文字简明精炼、通俗易懂，准确地表达必要的理论和实践成果。在写作中表达数据的图、表要经过精心挑选；论文中引用他人的文章、数据、论点、材料等均应按出现顺序依次列出参考文献，并准确无误。具体要求如下：

- 1) 正文的层次标题应简短明了，一般不超过 15 字，其层次的划分及编号一般使用阿拉伯数字分级编号法，如“1”“1.1”“1.1.1”。
- 2) 插图应采用计算机绘制，插图下方应注明图序和图名。若为照片，则应层次清晰、反差合适、裁剪恰当。
- 3) 表格应采用三线表，可适当加注辅助线。
- 4) 量和单位应严格执行国务院颁发的《中华人民共和国法定计量单位》。
- 5) 外文字符必须区分大小写，正、斜、黑、花体。对于容易混淆的字符，必要时应用

铅笔注明大小写和文种。

6) 引言和正文在引用文献时, 视具体情况将序号加方括号作为上角标标记在论文中, 或作为语句的组成部分, 如“XX [1] X [2-3] XX [2-6] 对 XXXX 做了研究, 数学模型见文献 [7]”。

(8) 结论 结论是对整篇论文的归结, 它不应是前文已经分别作过的研究、实践成果的简单重复, 而应该上升到更深层次的理论高度进行概括, 文字组织要有说服力, 要突出科学性、严密性, 使论文有完善的结尾。

(9) 参考文献 参考文献的著录原则和要求是: 按文中引用的编号先后顺序, 并在文后按同一顺序列出, 同一文献只编 1 个序号, 未公开发表的资料一般不宜引用, 文献的作者 3 人以内全部列出, 4 人或 4 人以上则列出前 3 位, 后加“, 等”或“, et al”; 外国人姓名采用姓前名后著录法, 名字部分可缩写, 并省略缩写点“.”。参考文献的著录格式如下:

1) 期刊文章

[序号] 作者. 题名 [J]. 期刊名, 出版年份, 卷号 (期号): 起止页码.

2) 书籍

[序号] 作者. 书名 [M]. 版次 (第 1 版不标注). 出版地: 出版者, 出版年: 起止页码.

3) 论文集

[序号] 作者. 论文集名 [C]. 出版地: 出版者, 出版年: 起止页码.

4) 学位论文

[序号] 作者. 题名 [D]. 保存地点: 保存单位, 年份.

5) 报纸文章

[序号] 作者. 题名 [N]. 报纸名, 出版日期 (版次).

6) 专利

[序号] 专利所有者. 专利名: 专利国别, 专利号 [P]. 公开日期 [引用日期] 获取和访问路径.

7) 标准

[序号] 主要责任者. 标准编号 标准名称 [S]. 出版地: 出版者, 出版年.

8) 电子文献

[序号] 主要责任者. 题名: 其他题名信息 [文献类型标志/文献载体标志]. 出版地: 出版者, 出版年 (更新或修改日期) [引用日期]. 获取和访问路径.

(10) 论文的修改定稿 论文完稿后应反复推敲, 反复修改, 精益求精。论文的体裁不强求统一, 但要突出重点。论文的内容和表达方式不需要面面俱到, 但通篇体例应统一, 所用的各种符号、代号、图样均应符合国家标准规定, 对外文符号应书写清楚, 大小写、正斜体易搞混时应加标注。

(11) 论文撰写应注意的几个问题

1) 要明确读者对象: 要解决“为谁写”“写什么”“给谁看”的问题; 要考虑生产和社会需要, 结合当前我国的有关技术政策、产业政策, 考虑自己的经验和能力; 若是为工人师傅写的, 则应尽量结合生产实际写得通俗一些, 深入浅出, 易看、易懂。

2) 要充分地参考相关资料: 要写好技术论文, 一定要掌握足够的资料, 包括自己的经

验总结和国内外资料；要对资料进行充分的分析、比较，加以消化，分清哪些是有用的，哪些是无用的，并根据选择的课题和命题拟出较详细的撰写提纲，包括主次的分类、段落的分节、重点的选择、图表的设计拟定、顺序的排列等。

3) 要仔细校阅：初稿完成后，不能算定稿，必然存在不少问题，如论文格式、表述方式、图的画法、公式的表述、名词术语、字体标点、技术内容、文字表达及文章结构等方面需进行反复推敲与修改，使文字表达符合我国的语言习惯，文字精练，逻辑关系明确。除自审外，最好请有关专家审阅，按其所提的意见再修改一次，以消除差错，进一步提高论文质量，达到精益求精的目的。

## 二、论文答辩

1) 专业技术工种专家组需由5~7名专业技术工种的专家、技师、高级技师、工程师、高级工程师组成。

2) 答辩时先由答辩者宣读论文，然后由专家组进行提问考核，时间约为30min。

3) 对具体论文主要从论文项目的难度、项目的实用性、项目经济效果、项目的科学性进行评估。

4) 答辩时对论文中提出的结构、原理、定义、原则、公式推导、方法等知识论证的正确性主要通过提问的方式来考核。

5) 对本工种的专业工艺知识，主要考核答辩者的熟悉程度并予以确认。

6) 在相关知识方面，若答辩者为铸造生产线调整技师，则可考核：铸件机加工工艺与加工夹具知识，铸造生产线的新技术应用情况及其发展最新动向，或设备零部件成型技术与模具制造知识，铸造机器人在生产线上的应用情况及其应用前景。

## 附录B 碳素钢和低合金钢铸件的工艺出品率

组别	名称	铸件重量/kg	大部分铸件壁厚 $\delta/\text{mm}$	工艺出品率(%)	
				明冒口	半球型暗冒口
I	一般重要的小铸件	<100	<20	54~62	59~67
			20~50	53~60	58~65
			>50	52~58	57~63
	特别重要的小铸件	<100	<20	52~58	57~63
			20~50	51~57	56~62
			>50	50~56	55~61
II	一般重要的中等铸件	100~150	<30	56~64	61~69
			30~60	54~62	59~67
			>60	52~60	57~65
	特别重要的中等铸件	100~150	<30	54~62	59~67
			30~60	53~60	58~65
			>60	50~58	55~63
III	一般重要的大铸件	500~5000	<50	57~65	62~70
			50~100	55~63	60~68
			>100	53~61	58~66

(续)

组别	名称	铸件重量/kg	大部分铸件壁厚 $\delta/\text{mm}$	工艺出品率(%)	
				明冒口	半球型暗冒口
III	特别重要的大铸件	500 ~ 5000	< 50	55 ~ 63	60 ~ 68
			50 ~ 100	53 ~ 61	58 ~ 66
			> 100	51 ~ 59	56 ~ 64
IV	一般重要的重型铸件	> 5000	< 50	58 ~ 66	62 ~ 70
			50 ~ 100	56 ~ 64	60 ~ 68
			> 100	54 ~ 62	66 ~ 68
	特别重要的重型铸件	> 5000	< 50	57 ~ 65	61 ~ 69
V	齿轮	≤ 100	—	54 ~ 58	55 ~ 60
		100 ~ 500		—	58 ~ 62
		> 500		55 ~ 59	59 ~ 63
VI	齿圈	≤ 1000	—	56 ~ 60	59 ~ 63
		> 1000		58 ~ 62	61 ~ 65
VII	外形或内表面加工的圆筒活塞	> 1000	—	61 ~ 67	—

注: 1. 要进行液压试验或专门探伤检查的重要铸件, 一般不允许焊补。

2. 表中V和VI组铸件沿轮缘没有采用外冷铁。

## 参 考 文 献

- [1] 机械工业技师考评培训教材编审编委会. 铸造工技师培训教材 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] 魏华胜. 铸造工程基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [3] 丛书编委会. 铸造设备故障分析与排除方法 [M]. 北京: 海洋出版社, 1998.
- [4] 司乃潮, 贾志宏, 傅明喜. 液态成形技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [5] 姜不居. 熔模精密铸造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [6] 李希晨. 金属材料及其成形性能 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [7] 卢小虎. 铸造工入门 [M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2005.
- [8] 缪良. 铸造企业管理 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [9] 刘喜俊. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [10] 王文清, 李魁盛. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [11] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 第 1、3、5、6 卷 [M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [12] 李魁盛. 铸造工艺设计基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [13] 李庆春. 铸件成形理论基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [14] 机械工业职业技能鉴定指导中心. 铸造工技能鉴定考核试题库 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [15] 周述积, 侯英伟, 茅鹏. 材料成型工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [16] 陆文华, 李隆盛, 黄良余. 铸造合金及其熔炼 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [17] 曹文龙. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [18] 曹瑜强. 铸造工艺及设备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [19] 王春祺. 铸造孕育理论与实践 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2004.
- [20] 机械工业产品原材料消耗工艺定额工作手册编写组. 机械工业产品原材料消耗工艺定额工作手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [21] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 第 2、4 卷 [M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2012.

## 读者信息反馈表

感谢您购买《铸造工技师鉴定培训教材》一书。为了更好地为您服务，有针对性地为您提供图书信息，方便您选购合适图书，我们希望了解您的需求和对我们图书的意见和建议，愿这小小的表格为我们架起一座沟通的桥梁。

姓名		所在单位名称		
性别		所从事工作（或专业）		
通信地址			邮 编	
办公电话			移动电话	
E-mail				
<p>1. 您选择图书时主要考虑的因素（在相应项前面画√）： (      ) 出版社 (      ) 内容 (      ) 价格 (      ) 封面设计 (      ) 其他</p> <p>2. 您选择我们图书的途径（在相应项前面画√）： (      ) 书目 (      ) 书店 (      ) 网站 (      ) 朋友推介 (      ) 其他</p>				
<p>希望我们与您经常保持联系的方式：</p> <p><input type="checkbox"/>电子邮件信息 <input type="checkbox"/>定期邮寄书目 <input type="checkbox"/>通过编辑联络 <input type="checkbox"/>定期电话咨询</p>				
<p>您关注（或需要）哪些类图书和教材：</p>				
<p>您对我社图书出版有哪些意见和建议（可从内容、质量、设计、需求等方面谈）：</p>				
<p>您今后是否准备出版相应的教材、图书或专著（请写出出版的专业方向、准备出版的时间、出版社的选择等）：</p>				

非常感谢您能抽出宝贵的时间完成这张调查表的填写并回寄给我们，我们愿以真诚的服务回报您对我社的关心和支持。

请联系我们——

地址 北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社技能教育分社

邮编 100037

社长电话(010) 88379083 88379080 68329397 (带传真)

E-mail jnfs@compbook.com

# 机电类技师鉴定培训教材

- 公共基础模块** 公共基础知识  
技师论文写作·点评·答辩指导
- 专业基础模块** 机械制图与零件测绘  
机械基础与现代制造技术  
金属材料与加工工艺  
电工与电子基础
- 专业模块** 车工技师鉴定培训教材  
铣工技师鉴定培训教材  
数控车工技师鉴定培训教材  
数控铣工技师鉴定培训教材  
钳工技师鉴定培训教材  
模具有工技师鉴定培训教材  
机修钳工技师鉴定培训教材  
汽车修理工技师鉴定培训教材  
制冷设备维修工技师鉴定培训教材  
铸造工技师鉴定培训教材  
焊工技师鉴定培训教材  
冷作钣金工技师鉴定培训教材  
热处理工技师鉴定培训教材  
涂装工技师鉴定培训教材  
维修电工技师鉴定培训教材  
电工技师鉴定培训教材

地址：北京市百万庄大街22号

邮政编码：100037

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版



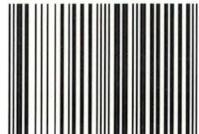
机工教育微信服务号

上架指导 工业技术/机械工程/铸造

ISBN 978-7-111-50422-1

策划编辑◎荆宏智 王华庆

ISBN 978-7-111-50422-1



9 787111 504221 >

定价：39.80元