

员工岗位手册系列

QIANGONG GANGWEI SHOUC

# 钳工 岗位手册

技术工人岗位必备  
规范化您的岗位操作

北京京城机电控股有限责任公司工会 编  
赵莹◎主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



员工岗位手册系列

# 钳 工

## 岗位手册

北京京城机电控股有限责任公司工会 编

主 编 赵 莹

副主编 冯国营

参 编 常丽云 杨朝辉 郑文中

孟庆霞



机械工业出版社

本手册是钳工岗位必备的工具书，内容依据国家最新的职业技能标准编写，涵盖了钳工岗位必需的基本知识和技能，以及掌握这些知识和技能必备的基础数据资料，同时汇集了大量的生产实践经验。本手册内容丰富、取材先进，具有简明、实用、通俗易懂的特点。

本手册主要由职业道德及岗位规范、钳工岗位知识、操作规范和典型案例四篇组成。第一篇主要内容有：职业道德，钳工岗位规范；第二篇主要内容有：钳工基础知识，金属材料及热处理，量具与测量及基本操作技术，装配工艺管理标准，钳工基本操作技术，装配的基本知识；第三篇主要内容有：通用钳工规范，划线钳工规范；第四篇以典型案例为主，包括减速器、车床主轴轴组、活塞式压缩机、M7120D 型平面磨床磨头的装配，圆锥体和多面体的展开，滚珠丝杠副，贴塑导轨，注塑导轨。此外，本手册还附有常用基础资料，常用数学计算，钳工专用资料，公差配合与表面粗糙度，螺栓、螺钉和螺柱的性能等级、力学性能及预紧力矩等内容。

本手册非常适合钳工岗位的技术工人学习和培训使用，对现场的有关工程技术人员了解钳工岗位知识、指导钳工工作也有着重要的参考价值。同时，本手册还是职业院校机械加工专业师生必备的参考书。

## 图书在版编目（CIP）数据

钳工岗位手册/赵莹主编；北京京城机电控股有限责任公司工会编. —北京：机械工业出版社，2013. 8

（员工岗位手册系列）

ISBN 978-7-111-45077-1

I. ①钳… II. ①赵…②北… III. ①钳工—技术手册 IV. ①TG9-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 295636 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：何月秋 责任编辑：何月秋 章承林

版式设计：霍永明 责任校对：刘雅娜

封面设计：陈 沛 责任印制：刘 岚

涿州市京南印刷厂印刷

2014 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·20.5 印张·419 千字

0001—5000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-45077-1

定价：42.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

策划编辑(010)88379732

社服中心：(010)88361066

网络服务

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线：(010)88379203

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

## 《员工岗位手册系列》编委会名单

主 任 赵 莹

编 委 (按姓氏笔画排序)

于 丽	马 军	方咏梅	王 诚	王兆华	王克俭
王连升	王京选	王博全	卢富良	石仲洋	刘 哲
刘运祥	刘海波	孙玉荣	权英姿	阮爱华	吴玉琪
吴伯新	吴振江	张 健	张 维	张文杰	张玉龙
张红秀	李 平	李 英	李洪川	李笑声	杜跃熙
周 强	周纪勇	林乐强	武建军	宣树青	胡德厚
赵晓军	夏增周	徐文秀	爱新觉罗·蕤琪	聂晓溪	
袁新国	常胜武	韩 湧	廉 红	谭秀田	薛俊明



# 序

当前我国正面临千载难逢的战略机遇期，同时，国际金融危机、欧债危机等诸多不稳定因素也将对我国经济发展产生不利影响。在严峻考验面前，创新能力强、结构调整快、职工素质高的企业才能展示出勃勃生机。事实证明：在“做强二产”，实现高端制造的跨越发展中，除了自主创新，提高核心竞争力外，还必须拥有一支高素质的职工队伍，这是现代企业生存发展的必然要求。我国已进入“十二五”时期，转方式、调结构，在由“中国制造”向“中国创造”转变的关键期和提升期，重要环节就是培育一批具有核心竞争力和持续创新能力的创新型企业，造就数以千万的技术创新人才和高素质职工队伍，这是企业在经济增长中谋求地位的战略选择；是深入贯彻科学发展观，加快职工队伍知识化进程，保持工人阶级先进性的重大举措；也是实施科教兴国战略，建设人才战略强国的重要任务。

《2002 年中国工会维权蓝皮书》中有段话：“有一个组织叫工会，在任何主角们需要的时候和地方，他们永远是奋不顾身地跑龙套，起承转合，唱念做打……为职工而生，为维权而立。”北京京城机电控股有限责任公司工会从全面落实《北京“十二五”时期职工发展规划》入手，从关注企业和职工共同发展做起，组织编撰完成了涵盖 30 个职业的“员工岗位手册系列”，很好地诠释了这句话。此套丛书是工会组织发动企业工程技术人员、一线生产技师、职业教师和工会工作者共同参与编著而成的，注重了技术层面的维度和深度，体现了企业特色工艺，涵盖了较强的专业理论知识，具有作业指导书、学习参考书以及专业工具书的特性，是一套独特的技能人才必备的“百科全书”。全书力求实现企业工会让广大职工体验“一书在手，工作无忧”以及好书助推成长的深层次服务。

我们希望，机电行业的每名职工都能够通过“员工岗位手册系列”的帮助，学习新知识，掌握新技术，成为本岗位的行家能手，为“十二五”发展战略目标彰显工人阶级的英雄风采！

中共北京市委常委，市人大常委会副主任、  
党组副书记，市总工会主席

梁伟

# 前言

在机械制造过程中，钳工是一个重要的工种，它涉及的专业面宽，需要的知识面广，在工作中往往要用到较多的专业资料和相关的专业知识。为了给广大生产一线的钳工提供一本专用的工具书，在北京京城机电控股有限责任公司工会的领导下，我们以实用为原则，以服务一线钳工为目的；依照钳工岗位的要求，化繁从简，拾遗炼聚，编写了这本手册。

本手册旨在为提高钳工队伍的专业素养和职业技能提供帮助，确保钳工掌握专业化和标准化的岗位操作规范，不断提高工作效率和工作质量，尽量避免生产出残次品和发生安全事故。本手册充分明确了钳工岗位的“应知”“应会”内容，以及各工序的操作方法、操作要求和操作步骤。同时汇集了大量的生产实践经验，内容丰富，取材先进。本手册编写时力求简明、实用、通俗易懂，使得读者易于理解，方便操作。

本手册主要由职业道德及岗位规范、钳工岗位知识、操作规范和典型案例四篇组成。第一篇主要内容有：职业道德，钳工岗位规范；第二篇主要内容有：钳工基础知识，金属材料及热处理，量具与测量及基本操作技术，装配工艺管理标准，钳工基本操作技术，装配的基本知识；第三篇主要内容有：通用钳工规范，划线钳工规范；第四篇以典型案例为主，包括减速器、车床主轴轴组、活塞式压缩机、M7120D 型平面磨床磨头的装配，圆锥体和多面体的展开，滚珠丝杠副，贴塑导轨，注塑导轨。此外，本手册还附有常用基础资料，常用数学计算，钳工专用资料，公差配合与表面粗糙度，螺栓、螺钉和螺柱的性能等级、力学性能及预紧力矩等内容。

本手册由赵莹任主编，冯国营任副主编，常丽云、杨朝辉、郑文中、孟庆霞等同志参与了编写工作。

由于编写工作量较大，参加编写人员水平有限，书中难免有不妥和错漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

# 目 录

## 序 前言

### 第一篇 职业道德及岗位规范

第一章 职业道德 .....	1	第二章 钳工岗位规范 .....	5
----------------	---	------------------	---

### 第二篇 钳工岗位知识

第一章 钳工基础知识 .....	31	第七节 铰孔 .....	107
第二章 金属材料及热处理 .....	39	第八节 攻螺纹 .....	108
第一节 金属材料的力学性能 .....	39	第九节 刮削 .....	119
第二节 金属材料的工艺性 .....	45	第十节 研磨 .....	123
第三节 钢 .....	46	第十一节 铆接 .....	126
第四节 铸铁 .....	51	第十二节 弯曲与校正 .....	129
第五节 有色金属 .....	52	第六章 装配的基本知识 .....	134
第六节 钢的热处理方法 .....	58	第一节 装配的概念及装配类型 .....	134
第七节 钢的简易鉴别 .....	62	第二节 保证产品装配精度的方法 .....	139
第三章 量具与测量及基本操作技术 .....	66	第三节 螺纹连接的装配 .....	141
第四章 装配工艺管理标准 .....	81	第四节 键、销连接的装配 .....	147
第五章 钳工基本操作技术 .....	86	第五节 滚动轴承的装配 .....	150
第一节 划线 .....	86	第六节 滑动轴承的装配 .....	155
第二节 锯削 .....	92	第七节 传动机构的装配 .....	157
第三节 錾削 .....	94	第八节 部件装配 .....	168
第四节 锉削 .....	98	第九节 总装配 .....	169
第五节 钻孔 .....	100	第十节 旋转件的平衡 .....	172
第六节 扩孔和铰孔 .....	106		

### 第三篇 操作规范

第一章 通用钳工规范·····	175	第三节 划线工具及其使用、 保养·····	196
第一节 装配钳工常用设备的 操作规程·····	175	第四节 样板划线·····	204
第二节 常用设备的维护、使用 与保养·····	181	第五节 钻模板的划线·····	206
第二章 划线钳工规范·····	194	第六节 特形工件划线方法·····	208
第一节 概述·····	194	第七节 箱体划线·····	211
第二节 划线前的准备工作·····	195	第八节 凸轮划线·····	214

### 第四篇 典型案例

案例 1 减速器的装配·····	235	案例 5 圆锥体和多面体的 展开·····	253
案例 2 车床主轴轴组的装配·····	241	案例 6 滚珠丝杠副·····	259
案例 3 活塞式压缩机的装配·····	244	案例 7 贴塑导轨·····	264
案例 4 M7120D 型平面磨床磨头 的装配·····	250	案例 8 注塑导轨·····	267

### 附 录

附录 A 常用基础资料·····	272	附录 E 螺栓、螺钉和螺柱的 性能等级、力学性能及 预紧力矩·····	315
附录 B 常用数学计算·····	279	参考文献·····	318
附录 C 钳工专用资料·····	285		
附录 D 公差配合与表面粗 糙度·····	294		





## 第一章

## 职业道德

### 一、职业道德的基本概念

职业道德是规范约束从业人员职业活动的行为准则。加强职业道德建设是推动社会主义物质文明和精神文明建设的需要，是促进行业、企业生存和发展的需要，也是提高从业人员素质的需要。掌握职业道德基本知识，树立职业道德观念是对每一个从业人员最基本的要求。

#### 1. 道德与职业道德

道德，就是一定社会、一定阶级向人们提出的处理人和人之间、个人与社会之间、个人与自然之间各种关系的一种特殊的行为规范。道德是做人的根本。道德是一个庞大的体系，而职业道德是这个体系中一个重要部分，它是社会分工发展到一定阶段的产物。所谓职业道德，它是指从事一定职业劳动的人们，在特定的工作和劳动中以其内心信念和特殊社会手段来维持的，以善恶进行评价的心理意识、行为原则和行为规范的总和，它是人们在从事职业的过程中形成的一种内在的、非强制性的约束机制。职业道德的内容包括职业道德意识、职业道德行为规范和职业守则等。职业道德是社会道德在职业行为和职业关系中的具体体现，是整个社会道德生活的重要组成部分。

#### 2. 职业道德的特征

职业道德的特征有以下三个方面：

1) 范围上的局限性。任何职业道德的适应范围都不是普遍的，而是特定的、有限的。一方面，他主要适用于走上社会岗位的成年人；另一方面，尽管职业道德也有一些共同性的要求，但某一特定行业的职业道德也只适用于专门从事本职业的人。

2) 内容上的稳定性和连续性。由于职业分工有其相对的稳定性，与其相适应的职业道德也就有较强的稳定性和连续性。

3) 形式上的多样性。因行业而异,一般来说,有多少种不同的行业,就有多少种不同的职业道德。

## 二、职业道德的社会作用

### 1. 职业道德与企业的发展

(1) 职业道德是企业文化的重要组成部分 职工是企业的主体,企业文化必须以企业职工为中介,借助职工的生产、经营和服务行为来实现。

(2) 职业道德是增强企业凝聚力的手段 职业道德是协调职工同事之间、职工与领导之间以及职工与企业之间关系的法宝。

(3) 职业道德可以提高企业的竞争力 职业道德有利于企业提高产品和服务的质量;可以降低产品成本、提高劳动生产率和经济效益;有利于企业的技术进步;有利于企业摆脱困难,实现企业阶段性的发展目标;有利于企业树立良好形象、创造著名品牌。

### 2. 职业道德与人自身的发展

(1) 职业道德是事业成功的保证 没有职业道德的人干不好任何工作,每一个成功的人往往都有较高的职业道德。

(2) 职业道德是人格的一面镜子 人的职业道德品质反映着人的整体道德素质,职业道德的提高有利于人的思想道德素质的全面提高,提高职业道德水平是人格升华最重要的途径。

## 三、社会主义职业道德

职业道德是社会主义道德体系的重要组成部分。由于每个职业都与国家、人民的利益密切相关,每个工作岗位、每一次职业行为,都包含着如何处理个人与集体、个人与国家利益的关系问题。因此,职业道德是社会主义道德体系的重要组成部分。

职业道德的实质内容是树立全新的社会主义劳动态度。职业道德的实质就是在社会主义市场经济条件下,约束从业人员的行为,鼓励其通过诚实的劳动,在改善自己生活的同时,增加社会财富,促进国家建设。劳动无疑是个人谋生的手段,也是为社会服务的途径。劳动的双重含义决定了从业人员要有全新的劳动态度和职业道德观念。社会主义职业道德的基本规范如下:

### 1. 爱岗敬业, 忠于职守

任何一种道德都是从一定的社会责任出发,在个人履行对社会责任的过程中,培养相应的社会责任感,从长期的良好行为和规范中建立起个人的道德。因此,职业道德首先要从爱岗敬业、忠于职守的职业行为规范开始。

爱岗敬业是对从业人员工作态度的首要要求。爱岗就是热爱自己的工作岗位,热爱本职工作。敬业就是以一种严肃认真的态度对待工作,工作勤奋努力,精益

求精，尽心尽力，尽职尽责。

爱岗与敬业是紧密相连的，不爱岗很难做到敬业，不敬业更谈不上爱岗。如果工作不认真，能混就混，爱岗就会成为一句空话。只有工作责任心强，不辞辛苦，不怕麻烦，精益求精，才是真正的爱岗敬业。

忠于职守，就是要求把自己职业范围内的工作做好，达到工作质量标准 and 规范要求。如果从业人员都能够做到爱岗敬业、忠于职守，就会有力地促进企业与社会的发展和进步。

## 2. 诚实守信，办事公道

诚实守信、办事公道是做人的基本道德品质，也是职业道德的基本要求。诚实就是人在社会交往中不讲假话，能够忠于事物的本来面目，不歪曲、篡改事实，不隐瞒自己的观点，不掩饰自己的情感，光明磊落，表里如一。守信就是信守诺言，讲信誉、重信用，忠实履行自己应承担的义务。办事公道是指在利益关系中，正确处理好国家、企业、个人及他人的利益关系，不徇私情，不谋私利。在工作中要处理好企业和个人的利益关系，做到个人服从集体，保证个人利益和集体利益相统一。

信誉是企业市场经济中赖以生存的重要依据，而良好的产品质量和服务是建立企业信誉的基础。企业的从业人员必须在职业活动中以诚实守信、办事公道的职业态度，为社会创造和提供质量过硬的产品和服务。

## 3. 遵纪守法，廉洁奉公

任何社会的发展都需要有力的法律、规章制度来维护社会各项活动的正常运行。法律、法规、政策和各种组织制定的规章制度，都是按照事物发展规律制定出来的，用于约束人们的行为规范。从业人员除了要遵守国家的法律、法规和政策外，还要自觉遵守与职业活动行为有关的制度和纪律，如劳动纪律、安全操作规程、操作程序、工艺文件等，才能很好地履行岗位职责，完成本职工作任务。

廉洁奉公强调的是，要求从业人员公私分明，不损害国家和集体的利益，不利用岗位职权牟取私利。遵纪守法、廉洁奉公，是每个从业人员都应该具备的道德品质。

## 4. 服务群众，奉献社会

服务群众就是为人民服务。一个从业人员既是别人服务的对象，又是为别人服务的主体。每个人都承担着为他人做出职业服务的职责，要做到服务群众就要做到心中有群众、尊重群众、真心对待群众，做什么事都要想到方便群众。

奉献社会是职业道德中的最高境界，同时也是做人的最高境界。奉献社会就是不计个人的名利得失，一心为社会做贡献；是指一种融在一件件具体事情中的高尚人格，就是为社会服务，为他人服务，全心全意为人民服务。从业人员达到了一心为社会做贡献的境界，就与为人民服务的宗旨相吻合了，就必定能做好自己的本职工作。

#### 四、职业守则

- 1) 遵守国家法律、法规和有关规定。
- 2) 具有高度的责任心，爱岗敬业、团结合作。
- 3) 严格执行相关标准、工作程序与规范、工艺文件和安全操作规程。
- 4) 学习新知识新技能，勇于开拓和创新。
- 5) 爱护设备、系统及工具、夹具、量具。
- 6) 着装整洁，符合规定；保持工作环境清洁有序，文明生产。

## 第二章

# 钳工岗位规范

### 一、钳工概述

#### 1. 定义

钳工是使用钳工工具、钻床等按技术要求对工件进行加工、修整、装配的工种。它可以完成目前机械不能完成的零件的加工、机器设备的装配、维修等工作。钳工分为普通钳工、划线钳工、模具钳工、机修钳工、装配钳工等。

#### 2. 职业能力特征

具有一定的学习能力和较强的计算能力，具有一定的空间感和形体知觉，手指、手臂灵活，动作协调。

#### 3. 岗位描述

从事钳工工作的人员，应达到以下要求：掌握钳工国家职业标准相应等级所必需的技术基础和专业理论，并能够熟练运用专业技能完成相应工作，根据相应等级要求能够独立处理、解决技术或工艺难题，具有一定的创新能力和组织管理能力，并能指导低等级工进行生产的实用人员。

### 二、钳工岗位守则

#### 1. 钳工职业守则

- 1) 遵守法律、法规和有关规定。
- 2) 爱岗敬业，具有高度的责任心。
- 3) 严格执行工作程序、工作规范、工艺文件和安全操作规程。
- 4) 工作认真负责，团结合作。
- 5) 爱护设备及工具、夹具、刀具、量具。
- 6) 着装整洁，符合规定；保持工作环境清洁有序，文明生产。

#### 2. 钳工设备操作须知

- 1) 设备的操作人员应遵守下列规定，对设备进行操作维护：
  - ① 应掌握“三好”“四会”的基本功要求，遵守操作的“五项纪律”。



② 应熟悉所操作设备的性能、结构原理和操作要领。要做到：操作熟练，维护精心，不超规范、不超负荷使用设备。

2) 执行“设备谁使用谁维护”的原则。严格做到：

① 工作前：空运转检查机床，并按润滑图表的规定加油。

② 工作中：遵守操作维护规程，正确操作，不许离开岗位。

③ 工作后：认真清理擦拭设备，经常保持设备内外清洁（达到设备维护的“四项要求”）。

3) 凭证操作设备。操作工人在独立操作设备前，必须经过设备性能结构原理、安全操作、维护要求等方面的技术教育和实际操作基本功的培训，经考试（考核）合格取得设备操作证后，方可独立操作。

4) 操作者应负责保管好自己使用的机床和附件，未经领导同意，不准他人使用。

5) 设备操作证应妥善保管，不得丢失，不准涂改、撕毁、转借。调动工作时应将操作证交回签发部门。

6) 改变或更换操作设备机型时，需要重新培训考试，签发操作证。

7) 操作者必须执行设备交接班制度，每日班后应认真填写交接班记录和设备运转情况记录。

8) 发生事故应立即停车，切断电源，保护现场并逐级报告，不得自己处理。

### 3. “三好”“四会”“五项纪律”“四项要求”的基本内容

#### (1) 三好

1) 管好设备。操作者应负责保管好自己使用的设备，未经领导同意，不准他人操作使用。

2) 用好设备。严格贯彻操作规程，不超负荷使用设备。禁止不文明操作。

3) 修好设备。设备操作工人要配合维修工人修理设备，及时排除设备故障，按计划交修设备。

#### (2) 四会

1) 会使用。操作者应先学习设备操作维护规程。熟悉性能、结构、传动原理，看懂加工工艺和工装刀具，正确使用设备。

2) 会维护。学习和执行设备维护、润滑规定，上班加油，下班清扫，经常保持设备内外清洁、完好。

3) 会检查。了解自己所用设备的结构、性能及易损零件部位，熟悉日常点检、完好检查的项目、标准和方法，并能按规定要求进行日常点检。

4) 会排除故障。熟悉所用设备特点，懂得拆装注意事项及鉴别设备正常与异常，会进行一般的调整和简单故障的排除。自己不能解决的问题要及时报告，并协同维修人员进行排除。

### (3) 设备操作者的“五项纪律”

- 1) 实行定人定机。凭操作证使用设备，遵守安全操作规程。
- 2) 经常保持设备整洁，按规定加油，保证合理润滑。
- 3) 遵守交接班制度。
- 4) 管好工具、附件，不得遗失。
- 5) 发现异常立即停车检查，自己不能处理的问题应及时通知有关人员检查处理。

### (4) 设备维护的“四项要求”

- 1) 整齐。工具、工件、附件放置整齐，设备零部件及安全防护装置齐全，线路、管道完整。
- 2) 清洁。设备内外清洁，无黄袍；各滑动面、丝杠、齿条等无黑油污，无碰伤；各部位不漏油、不漏水、不漏气、不漏电；切屑垃圾清扫干净。
- 3) 润滑。按时加油、换油、油质符合要求，油壶、油枪、油杯、油嘴齐全，油毡、油线清洁，油标明亮，油路畅通。
- 4) 安全。实行定人定机和交接班制度；熟悉设备结构，遵守操作维护规程，合理使用，精心维护，检测异状，不出事故。

## 4. 钳工安全操作规范守则

- 1) 操作者在独立操作前，必须经过安全操作方面的技术教育和实际操作基本功的培训，经考试（考核）合格取得操作证后，方可独立操作。
- 2) 工作场地要经常保持整齐清洁，搞好环境卫生；使用的工具和加工的零件、毛坯和原材料等的放置要有序，并整齐稳固，以保证操作中的安全和方便。
- 3) 使用的机床、工具（如砂轮机、钻床、手电钻和各种工具等）要经常检查，发现损坏，要停止使用，修好再用。不能擅自使用损坏和不熟悉的机床和工具。
- 4) 钳工工作中，如錾削、锯削、钻孔及在砂轮上修磨工具等，都会产生很多切屑，清除切屑时要用刷子，不要用手，更不可用嘴吹，以免切屑飞入眼睛。
- 5) 使用电气设备时，必须严格遵守操作规程，防止触电，造成人身事故。如发现有人触电，不要慌乱，应及时切断电源，进行抢救。
- 6) 在进行某些操作时，必须使用防护用具（如防护眼镜、胶皮手套和胶鞋等），如发现防护用具失效，应立即修补或更换。
- 7) 在某些特殊工艺中（如锡钎焊等）需要跟有毒的化学药品接触，因此，必须严格遵守操作规程，否则，可能烧坏皮肤，甚至引起爆炸事故。

## 5. 钳工加工工艺守则

### (1) 台虎钳的使用

- 1) 使用台虎钳夹持工件已加工面时，需要垫铜、铝等软材料的垫板；夹持有色金属或玻璃等工件时，需要加木板、橡胶垫等；夹持圆形薄壁件需要用 V 形或

弧形垫块。

2) 夹紧工件时，不允许用锤子敲打台虎钳手柄。

(2) 錾削

1) 錾削时，錾刃应经常保持锋利，錾子楔角应根据被錾削的材料按表 1-2-1 选用。

表 1-2-1 錾子楔角的选用

工 件 材 料	低 碳 钢	中 碳 钢	有 色 金 属
錾子楔角	50° ~ 60°	60° ~ 70°	30° ~ 50°

2) 錾削脆性材料时，应从两端向中间錾削。

(3) 锯削

1) 锯条安装的松紧程度要适当。

2) 工件的锯削部位，装夹时应尽量靠近钳口，防止振动。

3) 锯削薄壁管件时必须选用细齿锯条。锯削薄板件，除选用细齿锯条外，薄板两侧必须加木板，而且在锯削时锯条相对工件的倾斜角应小于或等于 45°。

(4) 锉削

1) 根据工件材质选用锉刀。有色金属件应选用单齿纹锉刀，钢件应选用双齿纹锉刀，不得混用。

2) 根据工件加工余量、尺寸精度或表面粗糙度按表 1-2-2 选用锉刀。

表 1-2-2 锉刀的选择

锉 刀	适 用 条 件		
	加工余量/mm	尺寸精度/mm	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$
粗齿锉	0.5 ~ 2	0.2 ~ 0.5	100 ~ 25
中齿锉	0.2 ~ 0.5	0.05 ~ 0.2	12.5 ~ 6.3
细齿锉	0.05 ~ 0.2	0.01 ~ 0.05	6.3 ~ 3.2

3) 不得用一般锉刀锉削带有氧化皮的毛坯及加工件的淬火表面。

4) 锉刀不得沾油，若锉刀齿面有油渍，可用煤油或清洗剂清洗后再用。

(5) 攻螺纹

1) 丝锥切入工件时，必须保证丝锥轴线与孔端面垂直。

2) 攻螺纹时，应勤倒转，必要时退出丝锥，清除切屑。

3) 根据工件的材料合理选用润滑剂。

(6) 铰削

1) 手铰孔时用力要均衡，铰刀退出时必须正转不得反转。

2) 在铰孔时应根据工件材料和孔的表面粗糙度要求，合理选择润滑剂。

(7) 刮削

- 1) 刮削显示剂一般用红丹油（铅丹油），稀释度要适当，使用时要涂得薄而均匀，显示剂要保持清洁，无灰尘杂质，不用时要盖严。
- 2) 平面刮削的操作要点应按表 1-2-3 的规定。

表 1-2-3 平面刮削的操作要点

种 类	操 作 要 点
粗刮（长刮法）	1. 刮削量最大的部位采用长刮法 2. 刮削方向一般应顺工件长度方向 3. 在 25mm×25mm 内应有 3~4 点，点的分布要均匀
细刮	1. 采用短刀栓刮削 2. 每遍刮削方向应相同并与前一遍刮削方向交错 3. 在 25mm×25mm 内应有 12~15 点，点的分布要均匀
粗刮（点刮法）	1. 采用点刮法刮削，每个研点只刮削一刀，不重复，大的研点全刮去，中等研点刮去一部分，小而虚的研点不刮 2. 在 25mm×25mm 内出现点数达到要求即可

3) 曲面刮削的操作要点：

- ① 刮削圆孔时，一般使用三角刮刀，刮削圆弧面时一般使用蛇头刮刀或半圆刮刀。
- ② 刮削轴瓦时，最后一遍刀迹应与轴瓦轴线成 45°交叉刮削。
- ③ 刮削轴瓦时，靠近两端的接触点数应比中间的点数多；在圆周方向上，工作中受力的接触角部位的点应比其余部位的点密集。

(8) 研磨

- 1) 研磨前应根据工件材料及加工要求，选好磨料种类和粒度。磨料种类和粒度的选择见表 1-2-4。

表 1-2-4 磨料种类和粒度的选择

磨料种类的选择				磨料粒度的选择	
工 件 材 料	加 工 要 求	磨 料 名 称	代号	加工要求表面粗糙度	粒 度
碳钢、可锻铸铁、硬青铜	粗、精研	棕刚玉	A	开始粗研 ( $Ra\ 0.80\mu m$ )	F100 ~ F220
淬火钢、高速钢、高碳钢	精研	白刚玉	WA	粗 研 ( $Ra\ 0.4\mu m \sim Ra\ 0.1\mu m$ )	F360 ~ F600
淬火钢、轴承钢、高速钢		铬刚玉	PA	半精研 ( $Ra\ 0.2\mu m \sim Ra\ 0.1\mu m$ )	F800 ~ F1000
不锈钢、高速钢高强度、高韧性材料		单晶刚玉	SA	精研 ( $Ra\ 0.10\mu m$ 以下)	F1200 以上

(续)

磨料种类的选择				磨料粒度的选择	
工件材料	加工要求	磨料名称	代号	加工要求表面粗糙度	粒 度
铸铁、黄铜、铝、非金属材料	精研	黑碳化硅	C	—	—
硬质合金、陶瓷、宝石、玻璃		绿碳化硅	GC		
硬质合金、宝石	精研、抛光	碳化硼	BC		
硬质合金、人造宝石等高硬脆材料	粗、精研	人造金刚石	JR		
钢、铁、光学玻璃	精研、抛光	氧化铁、氧化铬	—		

- 2) 研磨剂应保持清洁无杂质，使用时应调得干稀合适，涂得薄而均匀。
- 3) 研磨工具的选择要求：

① 粗研平面时，应用一般研磨平板，精研时用精研平板。

② 研磨外圆柱面用的研磨长度一般应是工件外径的 1~2 倍，孔径应比工件外径大 0.025~0.05mm。

③ 研磨圆柱孔用的研磨棒工作部分的长度一般应为被研磨孔长度的 1.5 倍左右，研磨棒的直径应比被研磨孔小 0.010~0.025mm。

④ 研磨圆锥面用的研磨棒（套）工作部分的长度应是工件研磨长度的 1.5 倍左右。
- 4) 研磨操作：

① 研磨平面时，应采用 8 字形旋转和直线运动相结合的方式进行研磨。

② 研磨外圆和孔时，研出的网纹与轴线成 45°。在研磨过程中应注意调整研磨套（棒）与工件配合的松紧程度，以免产生椭圆或棱圆。且在研孔过程中应注意及时除去孔端多余的研磨剂，以免产生喇叭口。

③ 研磨圆锥面时，每转 4~5 圈应将研磨棒拔出一些，然后再推入继续研磨。

④ 研磨薄型工件时，必须注意温升的影响，研磨时应不断变换研磨方向。

⑤ 在研磨过程中用力要均匀、平稳，速度不宜太快。
- 5) 研磨后应及时将工件清洗干净并采取防锈措施。

三、钳工安全操作规程

1) 进入工作场地必须穿戴工作服。操作时操作者戴好防护镜，不准戴手套，女同志必须戴上工作帽，发辫必须纳入帽内。如果使用电动设备工具，应按规定检查接地线并采取绝缘措施。



2) 禁止使用有裂纹、毛刺、手柄松动等不符合要求的工具，并严格遵守常用工具安全操作规程。

3) 钻孔、打锤时不准戴手套，使用钻床时，必须遵守《钻床安全操作规程》。

4) 清除金属屑必须采用工具，禁止用手拿及用嘴吹。

5) 剔、铲工件时，正面不得有人，在固定的工作台上剔、铲工件时，前面应设挡板或防护网。

6) 工作中应注意周围人员及自身安全，防止工件、工具脱落及切屑飞溅伤人，两人以上工作时要有一人负责指挥。

7) 进行设备检修时：工作前必须办理《安全检修票》；进入设备检修必须事先办理《进入设备、容器作业许可证》；进入易燃、易爆物的设备内检修时，必须事先办理《动火许可证》。

8) 进行设备检修（检查）作业时，要办理《设备检修停、送电联系单》，由电工进行停、送电，并按规定采取安全措施；不需经过电工，可由操作人员直接停车、断电的设备，在检修时，停车、断电后，刀开关处应加锁或在刀开关处挂上“禁止合闸”的标牌，必要时设专人监护。

9) 清洗工件时，不准用挥发性强的可燃液体清洗，如汽油、苯、丙酮等，必要时应有防火措施。

10) 在潮湿地点和阴雨天使用电器设备时，需经过电工检查合格后才能使用。

11) 刮研操作时，工件必须稳固，刮刀不准对着人操作。

12) 研磨大型曲拐轴、甩头瓦时，应有保险装置或垫木，或采用适当的安全措施。

13) 研合时，手指不准伸向吻合的错动面。

14) 使用清管器时，应检查蛇口管、软轴及电气接地应良好，清管器连接要紧固，两人操作开关信号必须明确，相互配合要好，清管时不准戴手套。

15) 划线平台周围要保持清洁，1m 以内禁止堆放物件，所用千斤顶必须底平，顶尖丝扣松紧合适。起重千斤顶不准倾斜，底部应垫平，其他应遵守《千斤顶安全操作规程》。

16) 工件划线时应支撑牢固，支撑大件时，禁止将手伸入工件下面，必要时要用支架或起重机吊起，当日不能完成，应做好防护。

17) 划线所用紫色酒精，在 3m 以内不准有明火，禁止在气炉上面烘烤。

18) 使用倒链、千斤顶等小型起重设备时，必须遵守《起重安全操作规程》。

19) 用人移动物件时，要统一指挥，稳步前进，口号一致。

20) 检查拆卸或装配工作中间停止或休息时，零件必须放稳妥。

21) 在拆装侧面工件时，如齿轮箱侧盖，应先拆下部螺栓，装配时应先装上部螺栓；拆卸重心不平衡的机件时，应先拆离重心远的螺栓，装配时应先装离重心近的螺栓。拆装弹簧时，应注意防止弹簧崩出伤人。

22) 高处作业及使用梯子作业时, 应按《高处作业安全操作规程》和《使用梯子安全注意事项》进行作业。

23) 机器设备试车前, 先检查机器设备是否完好。检修人员撤离现场后, 需办理停送电联系手续。试车中不准调整和接触转动部位。

24) 工作完毕或因故离开工作岗位, 必须停车断电。

25) 在交叉和多层作业时, 必须戴好安全帽, 带好工具包, 防止落物伤人, 并注意统一指挥。

26) 高空作业, 必须办理高处作业证。作业所用工具, 必须用绳拴住或采取其他防护措施, 以免失手掉落伤人。

## 四、钳工上岗条件及工作责任

### 1. 上岗条件

(1) 文化程度 具有技工学校、职业高中或具有本专业知识的同等水平。

(2) 岗位培训及工作经历 取得岗位合格证书, 从事相同岗位工作三年以上。

(3) 专业知识

1) 掌握钳工所需要的技术基础理论知识, 具有分析和解决工艺问题的能力。

2) 具备零件加工技术综合运用能力。

3) 掌握常用工具、夹具、量具的名称、规格、使用、维护保养方法。

4) 掌握零件加工、机械装配、调试及精度检验的工艺特点, 并能熟练地进行工艺计算。

5) 对本专业的发展有一定的了解, 并能在实践中进行创新。

6) 掌握切削温度变化的主要因素及切削温度对刀具寿命和工件变形的影响。

(4) 实际操作能力

1) 能看懂零件图、装配图, 正确执行工艺规程。

2) 能正确合理地使用工具操作和调整自用机床, 并能维护和保养。

3) 能正确使用工具、夹具、量具, 并能维护和保养。

4) 能根据工件材料、加工技术要求, 正确选择工具。

### 2. 工作责任

1) 对零件的工序加工和装配质量、加工时间负责。

2) 对使用的设备、工具、夹具、量具的维护保养负责。

3) 对工作场地及周围环境的卫生负责。

4) 按工艺规定, 保证加工精度和装配精度。

5) 本工序出现加工问题, 及时与施工员、检验员协商处理。

## 五、文明生产守则和注意事项

### 1. 文明生产

文明生产是协调生产过程中人、物、环境三者之间关系的生产活动。各企业应根据自己企业的特点、传统及企业文化制订文明生产的内容，使人、物、环境和谐有序地生产、流动及保持。文明生产大致涉及以下七个方面内容：

- 1) 员工管理。
- 2) 生产管理。
- 3) 质量管理。坚持三检制度，合格后转入下道工序。
- 4) 工艺管理。岗位技能培训，考核合格后方可上岗。
- 5) 定置管理。做到工完、料净、场地清。
- 6) 设备及工、夹、量具的管理。做到“三好”“四会”。“三好”即用好、管好、保养好；“四会”即会使用、会保养、会检查、会排除一般故障。
- 7) 安全生产管理。贯彻“安全第一，预防为主”的思想，每名员工都应知道并做到“三不一要”，即我不伤害自己，我不伤害别人，我不被别人伤害，以及我要安全。

### 2. 注意事项

希望钳工岗位工人能够按照岗位安全规范和操作守则，运用岗位知识和技能，安全地完成本岗位零件的加工，生产出合格的零件。在此特别强调几个注意事项，望钳工们注意。

- 1) 首先树立“安全第一，预防为主”的思想，坚持“三不一要”。
- 2) 遵守企业管理制度，维护企业形象。
- 3) 正确处理加工数量与加工质量的关系。
- 4) 必须执行工艺纪律，按“三检三按”方针进行加工。三检，即自检、互检、专职检；三按，即按设计图样、按工艺文件、按技术标准。
- 5) 参加岗位培训，掌握钳工的专业知识，不断学习提高操作技能。

## 六、装配通用技术条件（JB/T 5000.10—2007）

### 1. 范围

JB/T 5000 的本部分规定了重型机械产品装配的一般要求、装配部件的形位公差、装配连接方法、典型部件装配、总装及试车等通用技术要求。

本部分适用于重型机械产品装配。

除产品图样，技术文件和订货技术条件有特殊要求外，均应符合本部分的规定。

### 2. 装配的一般要求

- 1) 进入装配的零件及部件（包括外购件、外协件），均必须通过质量检验部门的验收，方能进行装配。

- 2) 零件在装配前必须清理和清洗干净，不得有毛刺、飞边、氧化皮、锈蚀、切屑、油污、着色剂、防锈油和灰尘等。
- 3) 装配前应对零、部件的主要配合尺寸，特别是过盈配合尺寸及相关精度进行复查。经钳工修整的配合尺寸，必须由检验部门复检。
- 4) 装配过程中的机械加工工序应符合图样和 JB/T 5000.9 的规定；焊接工序应符合 JB/T 5000.3 的规定。
- 5) 除有特殊要求外，装配前必须将零件的尖角和锐边倒钝。
- 6) 装配过程中不允许磕碰、划伤和锈蚀。
- 7) 输送介质的孔要用照明法或通气法检查是否畅通。
- 8) 装配后无法再进入的部位要先涂底漆和面漆。油漆未干的零、部件不得进行装配。
- 9) 基座、机身等机器的基础件，装配时应校正水平（或垂直）。其校正精度，对结构简单、精度低的机器不低于 0.2mm/m；对结构复杂、精度高的机器不低于 0.1mm/m。
- 10) 零、部件的各润滑点装配后必须注入适量的润滑油或润滑脂。

3. 装配部件的几何公差

1) 本几何公差是指装配部件被测要素的未注几何公差，主参数  $L \leq 1000\text{mm}$  见表 1-2-5，主参数  $L \geq 1000 \sim 10000\text{mm}$  见表 1-2-6。

表 1-2-5 装配部件的未注几何公差（ $L \leq 1000\text{mm}$ ）（单位：mm）

特 性	公 差 等 级			
	sf	f	m	g
平面度公差	0.05	0.1	0.2	0.5
平行度公差	0.03	0.1	0.2	0.5
垂直度公差	0.05	0.1	0.2	0.5
倾斜度公差	0.03	0.1	0.2	0.5
水平度公差	0.05	0.1	0.2	0.5
同轴度公差	0.03	0.1	0.2	0.5

表 1-2-6 装配部件的未注几何公差（ $L \geq 1000 \sim 10000\text{mm}$ ）（单位：mm）

主参数 $L$		> 1000 ~ 1600	> 1600 ~ 2500	> 2500 ~ 4000	> 4000 ~ 6300	> 6300 ~ 10000
公差等级	sf (0.05mm/m)	0.08	0.11	0.14	0.22	0.35
	f (0.10mm/m)	0.16	0.21	0.28	0.40	0.70
	m (0.20mm/m)	0.32	0.43	0.56	0.88	1.40
	g (0.50mm/m)	0.80	1.06	1.40	2.2	3.50

注：表 1-2-5 的特性适用于表 1-2-6。

- 2) 几何公差主参数是指装配时相关部件被测要素的长度尺寸。
- 3) 当相关技术文件中未注明几何公差时，一般使用公差等级中的 m 等级，如与 m 等级不相符的几何公差要求时，应在所属产品图样或检验大纲中注明。

4. 装配连接方法

(1) 螺钉、螺栓连接

- 1) 螺钉、螺栓和螺母紧固时，严禁打击或使用不合适的旋具和扳手。紧固后螺钉槽、螺母和螺钉、螺栓头部不得损坏。
- 2) 图样或工艺文件中有规定拧紧力矩要求的紧固件，必须采用力矩扳手并按规定的拧紧力矩紧固；为规定拧紧力矩的紧固件，其拧紧力矩可参考表 1-2-7。

表 1-2-7 一般连接螺栓拧紧力矩

力学性能等级	螺纹规格 $d$ mm												
	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64
	拧紧力矩 $T_A$ N·m												
5.6	3.3	8.5	16.5	28.7	70	136.3	235	472	822	1319	1991	3192	4769
8.8	7	18	35	61	149	290	500	1004	1749	2806	4236	6791	10147
10.9	9.9	25.4	49.4	86	210	409	705	1416	2466	3957	5973	9575	14307
12.9	11.8	30.4	59.2	103	252	490	845	1697	2956	4742	7159	11477	17148
A2—70	5	12.8	24.9	43.3	105.8	205.9	355	713	1242	1992	3008	4822	7204

力学性能等级	螺纹规格 $d$ mm								
	M72×6	M80×6	M90×6	M100×6	M110×6	M125×6	M140×6	M160×6	
	拧紧力矩 $T_A$ N·m								
5.6	6904	9573	13861	19327	25756	37733	53263	80383	
8.8	14689	20368	29492	41122	54799	80284	113326	171027	
10.9	20712	40494	41584	57982	77267	113200	159790	241148	
12.9	24824	34422	49841	69496	92610	135680	191521	289036	
A2—70	10429	14461	20939	29197	38907	57002	80461	121429	

- 注：1. 适用于粗牙螺栓、螺钉。
2. 拧紧力矩允许偏差为  $\pm 5\%$ 。
3. 摩擦因数为  $\mu = 0.125$ 。
4. 所给数值为使用润滑剂的螺栓，对于无润滑剂的螺栓的拧紧力矩应为表中值的 133%。
- 3) 同一零件用多件螺钉（螺栓）紧固时，各螺钉（螺栓）需交叉、对称、逐步、均匀拧紧。如有定位销，应从靠近定位销的螺钉（螺栓）开始。
- 4) 螺钉、螺栓和螺母拧紧后，其支承面应与被紧固零件贴合。
- 5) 螺母拧紧后，螺栓、螺钉头应露出螺母端面 2~3 个螺距。
- 6) 沉头螺钉紧固后，沉头不得高出沉孔端面。



7) 严格按照图样及技术文件上规定性能等级的紧固件装配, 不允许用低性能紧固件替代高性能紧固件。

#### (2) 销连接

1) 圆锥销装配时应与孔进行涂色检查, 其接触率不应小于配合长度的 60%, 并应分布均匀。

2) 定位销的端面一般应突出零件表面。带螺尾圆锥销装入相关零件后, 其大端应沉入孔内。

3) 开口销装入相关件后, 尾部须分开, 其扩角为  $60^\circ \sim 90^\circ$ 。

#### (3) 键联接

1) 平键装配时, 不得配置成阶梯形。

2) 平键与轴上键槽两侧面应均匀接触, 其配合面不得有间隙, 钩头键、楔键装配后, 其接触面积应不小于工作面积的 70%, 且不接触部分不得集中于一端。外露部分应为斜面的 10% ~ 15%。

3) 花键装配时, 同时接触的齿数不少于  $2/3$ , 接触率在键齿的长度和高度方向不得低于 50%。

4) 滑动配合的平键 (或花键) 装配后, 相配件须活动自如, 不得有局部卡住和松紧不匀的现象。

#### (4) 铆钉连接

1) 铆接时不得损坏被铆接零件的表面, 也不得使被铆接的零件变形。

2) 除特殊要求外, 一般铆接后不得出现松动现象, 铆钉头部必须与被铆零件紧密接触并应光滑圆整。

#### (5) 粘合连接

1) 粘结剂牌号必须符合设计或工艺要求并采用有效期内的粘合剂。

2) 被粘接的表面必须做好预处理, 彻底清除油污、水膜、锈迹等杂质。

3) 粘接时粘结剂应涂抹均匀。固化的温度、压力、时间等必须严格按工艺或粘结剂使用说明的规定执行。

4) 粘接后应立即清除流出的多余粘结剂。

#### (6) 过盈连接

1) 压装:

① 压装时的压入方法可参考表 1-2-8 选取。

压入力的计算按下面方法进行计算。

a) 压入力  $P$  的计算公式为

$$P = p_{\text{fmax}} \pi d_f L_f \mu \quad (1-2-1)$$

式中  $P$ ——压入力, 单位为 N;

$p_{\text{fmax}}$ ——结合表面承受的最大单位压力, 单位为  $\text{N}/\text{mm}^2$ ;

$d_f$ ——结合直径, 单位为 mm;

表 1-2-8 过盈连接各种装配方法的工艺特点及使用范围

装 配 方 法		主要设备和工具	工 艺 特 点	使 用 范 围
压装	冲击压入	手锤或用重物冲击	简便，但导向性不易控制，易出现歪斜	适用于配合面要求较低或其长度较短、过渡配合的连接件，如销、键、短轴等，多用于单件生产
	工具压入	螺旋式、杠杆式、气动式压入工具	导向性比冲击压入好，生产率较高	适用于不宜用压力机压入的小尺寸连接件，如小型轮圈、轮毂、齿轮、套筒、连杆、衬套和一般要求的滚动轴承等。多用于小批生产
	压力机压入	齿条式、螺旋式、杠杆式、气动式压力机和液压机	压力范围由 10 ~ 10000kN，配合夹具可提高导向性	适用于中型和大型连接件，如车轮、飞轮、齿圈、轮毂、连杆衬套、滚动轴承等，易于实现压合过程自动化，成批生产中广泛采用
	液压垫压入	液压垫（一般用厚 2 ~ 3mm 的钢板制成空心，注入压力液体）	压 力 常 在 10000kN 以上	用于压入行程短的大型、重型连接件，多用于单件或小批生产以代替大型压力机
热装	火焰加热	喷灯、氧乙炔、丙烷加热器炭炉	加 热 温 度 低 于 350℃，丙烷（或其他气体燃料）。加热器热量集中，加热温度易于控制，操作简便	适用于局部受热和热胀尺寸要求严格控制的中型和大型连接件，如汽轮机、鼓风机、透平压缩机的叶轮、组合式曲轴的曲柄等
	介质加热	沸水槽，蒸汽加热槽，热油槽	沸水槽加热温度 80 ~ 100℃，蒸汽加热槽可达 120℃，热油槽加热可达 90 ~ 320℃，均可使连接件除油干净、热胀均匀	适用于过盈量较小的连接件，如滚动轴承、液体静压轴承、连杆衬套、齿轮。对忌油连接件，如氧压缩机上的连接件，需用沸水槽或蒸汽加热槽加热
	电阻加热和辐射加热	电阻炉，红外线辐射加热箱	加 热 温 度 可 达 400℃以上，热胀均匀，表面洁净，加热温度易于自动控制	适用于小型和中型连接件，大型连接件需专用设备，成批生产中广泛应用
	感应加热	感应加热器	加 热 温 度 可 达 400℃以上，加热时间短，调节温度方便，热效率高	适用于采用特重型和重型过盈配合的中型和大型连接件，如汽轮机叶轮、大型压榨机部件等

(续)

装 配 方 法		主要设备和工具	工 艺 特 点	使 用 范 围
冷装	干冰冷缩	干冰冷缩装置 (或以酒精、丙酮、汽油为介质)	可冷至 - 78℃ , 操作简便	适用于过盈量小的小型连接件和薄壁衬套等
	低温箱冷缩	各种类型低温箱	可冷至 - 140 ~ - 40℃。冷缩均匀, 表面洁净,冷缩温度易于自动控制, 生产率高	适用于配合面精度较高的连接件,在热态下工作的薄壁套筒件,如发动机气门座圈等
	液氮冷缩	移动式或固定式液氮槽	可冷至 - 195℃ , 冷缩时间短,生产率高	适用于过盈量较大的连接件,如发动机主、副连杆衬套等,在过盈连接装配自动化中常采用
	液氧冷缩	移动式或固定式液氧槽	可冷至 - 180℃ , 冷缩时间短,生产率高	

$L_f$ ——结合长度,单位为 mm;  
 $\mu$ ——结合表面摩擦因数,见表 1-2-9。

表 1-2-9 结合表面摩擦因数

材 料	摩擦因数 $\mu$		材 料	摩擦因数 $\mu$	
	无 润 滑	有 润 滑		无 润 滑	有 润 滑
钢-钢	0.07 ~ 0.16	0.05 ~ 0.13	钢-青铜	0.15 ~ 0.20	0.03 ~ 0.06
钢-铸钢	0.11	0.07	钢-铸铁	0.12 ~ 0.15	0.05 ~ 0.10
钢-结构钢	0.10	0.08	铸铁-铸铁	0.15 ~ 0.25	0.05 ~ 0.10
钢-优质结构钢	0.11	0.07	—	—	—

b) 最大单位压力  $p_{fmax}$  的计算公式为

$$p_{fmax} = \frac{\delta_{max}}{d_f \left( \frac{C_a}{E_a} + \frac{C_i}{E_i} \right)}$$

(1-2-2)

式中  $\delta_{max}$ ——最大过盈量,单位为 mm;  
 $C_a$ 、 $C_i$ ——系数,见式 (1-2-3 和式 1-2-4);  
 $E_a$ 、 $E_i$ ——分别为包容件和被包容件的材料弹性模量,单位为  $N/mm^2$ ,见表 1-2-10。

c) 系数  $C_a$ 、 $C_i$  的计算公式分别为

$$C_a = \frac{d_a^2 + d_f^2}{d_a^2 - d_f^2} + \nu \tag{1-2-3}$$

$$C_i = \frac{d_f^2 + d_i^2}{d_f^2 - d_i^2} - \nu \tag{1-2-4}$$

式中  $d_a$ 、 $d_i$ ——分别为包容件外径和被包容件内径（实心轴  $d_i=0$ ），单位为 mm；  
 $\nu$ ——泊松系数，见表 1-2-10。

表 1-2-10 材料的弹性模量和泊松系数

材 料	弹性模量 $E/(\text{kN/mm}^2)$	泊松系数 $\nu$	线膨胀系数 $\alpha \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$	
			加 热	冷 却
碳钢、低合金钢、合金结构钢	200 ~ 235	0.30 ~ 0.31	11	-8.5
HT 150、HT 200	70 ~ 80	0.24 ~ 0.25	11	-9
HT 250、HT 300	105 ~ 130	0.24 ~ 0.26	10	-8
可锻铸铁	90 ~ 100	0.25		
非合金球墨铸铁	160 ~ 180	0.28 ~ 0.29		
青铜	85	0.35	17	-15
黄铜	80	0.36 ~ 0.37	18	-16
铝合金	69	0.32 ~ 0.36	21	-20
镁铝合金	40	0.25 ~ 0.30	25.5	-25

② 压装的轴或轴套允许有引入端，其导向锥角  $10^\circ \sim 20^\circ$ ，导锥长度等于或小于配合长度的 15%。

③ 实心轴压入盲孔时允许开排气槽，槽深不大于 0.5mm。

④ 压入件表面除特殊要求外，压装时须涂清洁的润滑剂。

⑤ 采用压力机压装时，其压力机的压力一般为所需压入力的 3 ~ 3.5 倍。压装过程中压力变化应平稳。

2) 热装：

① 热装的加热方法可参考表 1-2-8 选取。

② 热装零件的加热温度根据零件材质、结合直径、过盈量及热装的最小间隙等确定，确定方法如下：

a) 热装时包容件的加热温度可按推荐公式（1-2-5）计算。即

$$t_n = \frac{e_{ot}}{\alpha d_f} + t = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{\alpha d_f} + t \tag{1-2-5}$$

式中  $t_n$ ——包容件加热温度，单位为  $^\circ\text{C}$ ；

$e_{ot}$ ——包容件内径的热胀量，单位为 mm（等于过盈量  $\Delta_1$  与热装时的最小间隙  $\Delta_2$  之和）；

$\alpha$ ——材料的线膨胀系数，单位为 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，见表 1-2-10（加热）；

$d_f$ ——结合直径，单位为 mm；

$t$ ——环境温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

b) 热装时所需的最小间隙  $\Delta_2$  按表 1-2-11 选取。

表 1-2-11 热装时所需的最小间隙  $\Delta_2$  (单位: mm)

结合直径 $d_f$	>80 ~100	>100 ~120	>120 ~150	>150 ~180	>180 ~220	>220 ~260	>260 ~310	>310 ~360	>360 ~440	>440 ~500	>500 ~560
装配间隙 $\Delta_2$	0.1	0.12	0.20	0.25	0.30	0.38	0.46	0.54	0.66	0.75	0.84
结合直径 $d_f$	>560 ~630	>630 ~710	>710 ~800	>800 ~900	>900 ~1000	>1000 ~1120	>1120 ~1250	>1250 ~1400	>1400 ~1600	>1600 ~1800	>1800 ~2000
装配间隙 $\Delta_2$	0.94	1.10	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.60	2.90	3.20

注：热装时所需的最小间隙的  $\Delta_2$  经验数据为配合直径的  $1/1000 \sim 1.5/1000$ 。

c) 加热和保温时间的经验数据，一般可按每 10mm 厚需要 10min 的加热时间，每 40mm 厚需要 10min 的保温时间。

d) 应用举例：已知包容件为钢制件，其结合直径  $d_f = 150\text{mm}$ ，最大过盈量  $\Delta_1 = 0.117\text{mm}$ ，求热装时加热温度。

解：查表 1-2-10，钢制零件受热时的线膨胀系数  $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，查表 1-2-11，热装时所需的最小间隙  $\Delta_2 = 0.20\text{mm}$ ，取环境温度  $t = 25^{\circ}\text{C}$ ，则

$$t_n = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{\alpha d_f} + t = \left( \frac{0.117 + 0.20}{12 \times 10^{-6} \times 150} + 25 \right)^{\circ}\text{C} = 217^{\circ}\text{C}$$

③ 用油加热零件的加热温度必须比所用油的闪点低  $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

④ 热装零件应自然冷却，不准急冷。

⑤ 零件加热后必须紧靠轴肩或其他相关定位面，冷缩后的间隙不得大于配合长度尺寸的  $0.3\text{mm}/\text{m}$ 。

3) 冷装：

① 冷装时常用的冷却方法可参考表 1-2-8 选取。

② 冷装时零件的冷却温度及时间的确定方法如下：

a) 冷装时的冷却温度应控制合适，可按推荐公式（1-2-6）计算。即

$$t_c = \frac{e_{it}}{\alpha d_f} = \frac{2\Delta_1}{\alpha d_f} \tag{1-2-6}$$

式中  $t_c$ ——冷却温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

$e_{it}$ ——被包容件外径的冷缩量，单位为 mm，（按经验数据取为结合面过盈量  $\Delta_1$  的 2 倍）；

$\alpha$ ——材料的线膨胀系数，单位为 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，见表 1-2-10（冷却）；

$d_f$ ——结合直径，单位为 mm。

b) 零件的冷却时间按式（1-2-7）计算。即

$$T_c = k\delta + 6\text{min} \tag{1-2-7}$$

式中  $T_c$ ——零件冷却所需的时间，单位为 min；

$\delta$ ——被冷却零件的最大半径或壁厚，单位为 mm；

$k$ ——与零件材质和冷却介质有关的综合系数（见表 1-2-12），单位为 min/mm。

表 1-2-12 综合系数  $k$

零件材质		钢	铸铁	黄铜	青铜
冷却介质	液态氮	1.2	1.3	0.8	0.9
	液态氧	1.4	1.5	1.0	1.1

c) 冷却剂工作温度见表 1-2-13。

表 1-2-13 冷却剂工作温度

干冰加酒精或丙酮 $-78^{\circ}\text{C}$	液态氮 $-120^{\circ}\text{C}$
液态氧 $-180^{\circ}\text{C}$	液态氮 $-195^{\circ}\text{C}$

d) 应用举例：已知被包容件为钢制件，其结合直径  $d_f = 150\text{mm}$ ，最大过盈量  $\Delta_1 = 0.090\text{mm}$ ，求冷却时冷却温度和冷却时间。

**解：**查表 1-2-10，钢制零件冷却时的线膨胀系数  $\alpha = -8.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，则零件的冷却温度为

$$t_c = \frac{2\Delta_1}{\alpha d_f} = \frac{2 \times 0.090}{-8.5 \times 10^{-6} \times 150}^{\circ}\text{C} = -141^{\circ}\text{C}$$

采用液态氮冷却，则零件冷却时间为

$$T_c = k\delta + 6\text{min} = (1.2 \times 75 + 6)\text{min} = 96\text{min}$$

③ 被冷却零件去除后应立即装入包容件。对零件表面有厚霜者，不得装配，应重新冷却。

3) 胀套：

① 胀套与结合件的配合表面必须干净无污物，无腐蚀，无损伤。装前均匀涂一层不含  $\text{MoS}_2$  等添加剂的润滑油。

② 胀套螺栓必须使用力矩扳手，并对称、交叉、逐步、均匀拧紧。

③ 螺栓的拧紧力矩  $T_A$  值按设计图样或工艺文件规定，也可参考表 1-2-7，并按下列步骤进行：

a) 以  $T_A/3$  值拧紧。

b) 以  $T_A/2$  值拧紧。

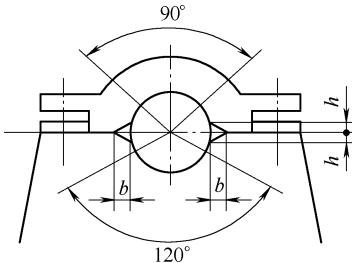
- c) 以  $T_A$  值拧紧。
- d) 以  $T_A$  值检查全部螺栓。

5. 典型部件装配

(1) 滚动轴承装配

1) 轴承外圈与开式轴承座及轴承盖的半圆孔不准有卡住现象，装配时允许修整半圆孔，修整尺寸不应超过表 1-2-14 规定值。

表 1-2-14 轴承盖（座）修整尺寸 (单位：mm)

	轴承外径 $D$	$b$	$h$
	$\leq 120$	$\leq 0.10$	$\leq 10$
	$> 120 \sim 260$	$\leq 0.15$	$\leq 15$
	$> 260 \sim 400$	$\leq 0.20$	$\leq 20$
	$> 400$	$\leq 0.25$	$\leq 30$

2) 轴承外圈与开式轴承座及轴承盖的半圆孔应接触良好，用涂色检验时，与轴承座对称于中心线  $120^\circ$ 、与轴承盖在对称于中心线  $90^\circ$  的范围内均匀接触。在上数范围内用塞尺检查时， $0.03\text{mm}$  的塞尺不得插入外圈的  $1/3$ 。

3) 轴承内外端面应紧靠轴向定位面，其允许最大间隙：对圆锥滚子轴承和角接触球轴承为  $0.05\text{mm}$ ；其他轴承为  $0.1\text{mm}$ 。

4) 轴承外圈装配后与定位端轴承盖端面应接触均匀。

5) 采用润滑脂的轴承，装配后应注入相当于轴承空腔容积  $30\% \sim 50\%$  的符合规定的清洁润滑脂。凡润滑油润滑的轴承，不准加润滑脂。

6) 轴承热装时，其加热温度应不高于  $100^\circ\text{C}$ 。轴承冷装时，其冷却温度应不低于  $-80^\circ\text{C}$ 。

7) 可拆卸轴承装配时，必须严格按原组装位置，不得装反或与别的轴承混装。对可调头装的轴承，装配时应将轴承的标记端朝外。

8) 在轴的两端装配径向间隙不可调的深沟球轴承，且轴向位移是以两端端盖限时，其一端必须留有轴向间隙  $C$ （见图 1-2-1）。 $C$  值的大小按式（1-2-8）计算。即

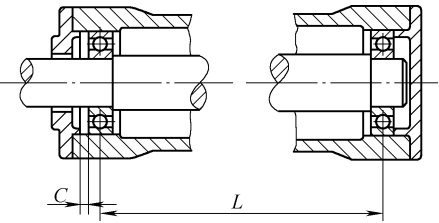


图 1-2-1 轴向间隙

$$C = \alpha \Delta t L + 0.15\text{mm} \tag{1-2-8}$$

式中  $\alpha$ ——轴材料线膨胀系数，单位为  $^\circ\text{C}^{-1}$ ，对钢： $\alpha = 12 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ；

$\Delta t$ ——轴最高温度与环境温度之差，单位为  $^\circ\text{C}$ ；



$L$ ——两轴承中心距，单位为 mm；  
0.15mm——轴热胀后剩余间隙。  
一般情况  $\Delta t = 40^{\circ}\text{C}$ ，故装配时只需根据  $L$  尺寸，即可按简易公式（1-2-9）计算  $C$  值。即

$$C = 0.0005L + 0.15\text{mm} \tag{1-2-9}$$

9) 单列圆锥滚子轴承、角接触球轴承、双向推力球轴承轴向游隙按表 1-2-15 调整。双列和四列圆锥滚子轴承装配时应检查其轴向游隙，并应符合表 1-2-16 和表 1-2-17 的要求。

表 1-2-15 单列圆锥滚子轴承、角接触球轴承、双向推力球轴承轴向游隙  
(单位：mm)

轴 承 内 径	单列圆锥滚子轴承		角接触球轴承		双向推力球轴承	
	轻系列	轻宽中及中宽系列	轻系列	中及重系列	轻系列	中及重系列
≤30	0.03 ~ 0.10	0.04 ~ 0.11	0.02 ~ 0.06	0.03 ~ 0.09	0.03 ~ 0.08	0.05 ~ 0.11
>30 ~ 50	0.04 ~ 0.11	0.05 ~ 0.13	0.03 ~ 0.09	0.04 ~ 0.10	0.04 ~ 0.10	0.06 ~ 0.12
>50 ~ 80	0.05 ~ 0.13	0.06 ~ 0.15	0.04 ~ 0.10	0.05 ~ 0.12	0.05 ~ 0.12	0.07 ~ 0.14
>80 ~ 120	0.05 ~ 0.15	0.07 ~ 0.18	0.05 ~ 0.12	0.06 ~ 0.15	0.06 ~ 0.15	0.10 ~ 0.18
>120 ~ 150	0.07 ~ 0.18	0.08 ~ 0.20	0.06 ~ 0.15	0.07 ~ 0.18	—	—
>150 ~ 180	0.09 ~ 0.20	0.10 ~ 0.22	0.07 ~ 0.18	0.08 ~ 0.20	—	—
>180 ~ 200	0.12 ~ 0.22	0.14 ~ 0.24	0.09 ~ 0.20	0.10 ~ 0.22	—	—
>200 ~ 250	0.18 ~ 0.30	0.18 ~ 0.30	—	—	—	—

表 1-2-16 双列圆锥滚子轴承轴向游隙 (单位：mm)

轴 承 内 径	轴 向 游 隙	
	一 般 情 况	内圈比外圈温度高 25 ~ 30℃
≤80	0.10 ~ 0.20	0.30 ~ 0.40
>80 ~ 180	0.15 ~ 0.25	0.40 ~ 0.50
>180 ~ 225	0.20 ~ 0.30	0.50 ~ 0.60
>225 ~ 315	0.30 ~ 0.40	0.70 ~ 0.80
>315 ~ 580	0.40 ~ 0.50	0.90 ~ 1.00

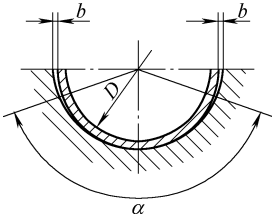
表 1-2-17 四列圆锥滚子轴承轴向游隙 (单位：mm)

轴 承 内 径	轴 向 游 隙	轴 承 内 径	轴 向 游 隙
>120 ~ 180	0.15 ~ 0.25	>400 ~ 630	0.30 ~ 0.40
>180 ~ 315	0.20 ~ 0.30	>630 ~ 1000	0.35 ~ 0.45
>315 ~ 400	0.25 ~ 0.35	>1000 ~ 1250	0.40 ~ 0.50

- 10) 滚动轴承装好后用手转动应灵活、平稳。
- (2) 滑动轴承装配
- 1) 上、下轴瓦应按加工时的配对标记装配。
- 2) 上、下轴瓦的接合面要紧密贴合，用 0.05mm 塞尺检查不得插入。
- 3) 轴瓦垫片应平整无棱刺，形状应与瓦口相同，其宽度和长度比瓦口面的相应尺寸小 1~2mm。垫片与轴颈必须有 1~2mm 的间隙，两侧厚度应一致，其允差应小于 0.2mm。
- 4) 用定位销固定轴瓦时，应保证瓦口面和端面与相关轴承孔的开合面和端面保持平齐状态下钻铰、配销。螺钉销钉装入后不得松动，销端面应低于轴瓦内孔 1~2mm。
- 5) 上、下轴瓦外圆与相关轴承座孔应接触良好，在允许接触角内的接触率应符合表 1-2-18 要求。

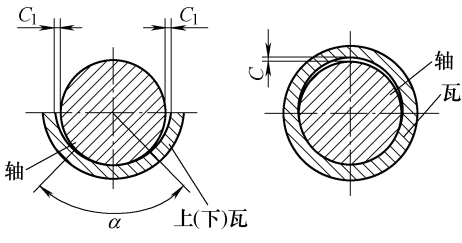
表 1-2-18 上、下轴瓦外圆与相关轴承座孔的接触要求

项 目		接 触 要 求	
		上 瓦	下 瓦
接触角 $\alpha$	稀油润滑	$130^{\circ} \pm 5^{\circ}$	$150^{\circ} \pm 5^{\circ}$
	油脂润滑	$120^{\circ} \pm 5^{\circ}$	$140^{\circ} \pm 5^{\circ}$
$\alpha$ 角内接触率		$\geq 60\%$	$\geq 70\%$
瓦侧间隙 $b/\text{mm}$		$D \leq 200\text{mm}$ 时，0.05mm 塞尺不准插入	
		$D > 200\text{mm}$ 时，0.10mm 塞尺不准插入	



- 6) 上、下轴瓦内孔与相关轴颈接触  $\alpha$  以外的部分均需加工出油楔（表 1-2-19 图中的  $C_1$ ）。楔形从瓦口开始由最大逐步过渡到零，楔形最大值按表 1-2-19 规定。

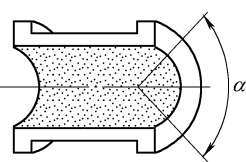
表 1-2-19 上、下轴瓦油楔尺寸

油楔最大值 $C_1$		
稀油润滑	$C_1 \approx C$	
油脂润滑	距瓦两端面 10~15mm 范围内 $C_1 \approx C$	
	中间部件 $C_1 \approx 2C$	

- 注：C 值为轴的最大配合间隙。
- 7) 轴瓦孔刮研后，应与相关轴颈接触良好。接触角范围内的接触斑点按表 1-2-20 规定。

表 1-2-20 上、下轴瓦内孔与相关轴颈的接触要求

接触角 $\alpha$		$\alpha$ 角范围内接触斑点 点数/25mm × 25mm			
稀油 润滑 120°	油脂 润滑 90°	轴转速/ (r/min)	轴瓦内径/mm		
			≤180	>180 ~ 360	>360 ~ 500
		≤300	4	3	2
		>300 ~ 500	5	4	3
		>500 ~ 1000	6	5	4
		>1000	8	6	5



- 8) 整体轴套的装配可根据过盈的大小采用压装或冷装。
- 9) 轴套装入机件后，轴套内径与轴配合应符合设计要求，必要时可以通过适当的修刮来保证。两件结合面经着色研和，接触痕迹应均匀分布，其未接触部分按限定区域内不得超过表 1-2-21 限定的方块值。

表 1-2-21 均匀接触限定值 (单位：mm)

长度参数范围	限定方块值	长度参数范围	限定方块值
≤200	25 × 25	>800 ~ 1600	80 × 80
>200 ~ 400	40 × 40	>1600	100 × 100
>400 ~ 800	60 × 60		

注：1. 长度参数范围系数系指长方形平面的长度，对于圆柱面和弧面按其展开图形的长度。

2. 如果结合面宽度尺寸小于或等于所选档次中限定方块值的边长时，可降到相应档次（结合面）的宽度大于限定方块值边长的档次使用。

- 10) 球面轴承的球体与球面座应均匀接触，用涂色法检查，其接触率不应小于 70%。
- 11) 合金轴承衬的刮研接触要求按 7)。刮削量不得大于合金轴承衬壁厚的 1/30。
- 12) 合金轴承衬表面呈黄色不准使用，在规定的接触角内不准有缝隙现象；在接触角外的缝隙面积不得大于非接触区总面积的 10%。

(3) 齿轮与齿轮箱装配

- 1) 齿轮（蜗轮）基准端面与轴肩（或定位端面）应贴合，用 0.05mm 的塞尺检查不得插入，并应保证齿轮基准端面与轴线的垂直度要求。
- 2) 相啮合的圆柱齿轮副，两齿宽中心平面的轴向错位应符合如下规定：  
当齿宽  $B \leq 100\text{mm}$  时，位置偏差  $\Delta B \leq 0.05B$ ；当齿宽  $B > 100\text{mm}$  时，位置偏差  $\Delta B \leq 5\text{mm}$ 。
- 3) 齿轮副啮合时的齿面接触斑点不小于表 1-2-22 的规定。接触斑点的分布位置应趋向于齿面中部，齿顶和齿端棱边不允许有接触。

表 1-2-22 齿面接触斑点

精度等级	圆柱齿轮		锥 齿 轮		蜗 轮	
	沿齿高	沿齿长	沿齿高	沿齿长	沿齿高	沿齿长
	%					
5	55	80	65 ~ 85	60 ~ 80	65	60
6	50	70	55 ~ 75	50 ~ 70		
7	45	60			40 ~ 70	30 ~ 65
8	40	50				
9	30	40	30 ~ 60	25 ~ 55	45	40
10	25	30				
11	20	30			30	30

- 4) 齿轮（蜗杆）副装配后应检查齿侧间隙，并符合图样或工艺要求。
- 5) 锥齿轮应按加工配对编号装配。
- 6) 齿轮箱与盖的结合面应接触良好。在自由状态下，箱盖与箱体的间隙不应超过表 1-2-23 的规定值；紧固后用 0.05mm 的塞尺检查，局部塞入不应超过结合面宽的 1/3。

表 1-2-23 箱盖与箱体在自由状态下的允许间隙 （单位：mm）

齿轮箱长度	≤1000	> 1000 ~ 2000	> 2000 ~ 3000	> 3000 ~ 4000
箱盖与箱体间隙	≤0. 08	≤0. 12	≤0. 15	≤0. 20

- 7) 齿轮传动装置装配后，应按设计或工艺要求进行空运转试车。
- 8) 齿轮箱的清洁度应符合 JB/T 7929 的规定。
- (4) 带轮与链轮传动装配

1) 平行传动的带轮，两轴线平行度公差为  $0.15L/1000$ （ $L$  为两轴中心距，单位为 mm），两轮的轮宽中间平面应在同一平面上，公差为 0.5mm。

2) 主动链轮与从动链轮的齿宽中心平面应重合，其偏移误差不大于  $1.5L/1000$ （ $L$  为两链轮中心距，单位为 mm）

3) 链条与链轮啮合时，链条工作边必须拉紧并应保证啮合平稳。

4) 链条非工作边的初垂度按链轮中心距的 1% ~ 5% 调整。
- (5) 联轴器装配

1) 每套联轴器在拆装过程中，必须与原装配组合一致。

2) 刚性联轴器装配时，两轴线的径向位移应小于 0.03mm。

3) 挠性、齿式、轮胎、链条联轴器装配时，其装配精度应符合表 1-2-24 规定。

表 1-2-24 联轴器装配精度

联轴器轴孔直径/mm	两轴线的同轴度公差 (圆跳动) /mm	两轴线的角度偏差
≤100	0.05	0.05°
>100 ~ 180		
>180 ~ 250		
>250 ~ 315	0.10	0.10°
>315 ~ 450		0.15°
>450 ~ 560	0.15	0.20°
>560 ~ 630		0.25°
>630 ~ 710	0.20	0.25°
>710 ~ 800		0.30°

注：1. 两个半联轴器均须做转动测量，这样可以补偿其外圆的圆度偏差。  
2. 用百分表测量，两轴线间差值是表列公差之半。  
3. 两轴线的角度偏差可用百分表检测或塞尺检查联轴器两法兰间的间隙。

(6) 制动器和离合器装配

1) 制动带与制动板铆接后必须贴紧，局部间隙应符合以下要求：

- ① 制动轮直径 < 500mm 时，局部间隙 ≤ 0.3mm。
- ② 制动轮直径 ≥ 500mm 时，局部间隙 ≤ 0.5mm。
- ③ 塞尺插入深度小于等于带宽的 1/3，且全长上不得多于两处。

2) 制动带与制动板铆接时，铆钉头应埋入制动带厚度的 1/3，制动带不许有铆裂现象。

- 3) 带式制动器在自由状态时，制动带与制动轮之间的间隙为 1 ~ 2mm。
- 4) 块式制动器在自由状态时，制动块与制动轮之间的间隙为 0.25 ~ 0.50mm。
- 5) 片式摩擦离合器在自由状态时，主动盘和从动盘必须彻底分离。
- 6) 干式摩擦片必须干燥、清洁，工作面不允许沾上油污和杂物。
- 7) 离合器的摩擦片接触面积不小于总摩擦面积的 75%。

(7) 液压缸、气缸及密封件装配

1) 组装前严格检查并清除零件加工时残留的锐角、毛刺和异物，保证密封件装入时不被擦伤。

2) 装配时必须十分注意密封件的工作方向，对 O 形圈与保护挡环并用时应注意挡环的位置。

3) 对弹性较差的密封件，必须采用具有扩张或收缩功能的工装进行装配。

4) 带双向密封圈的活塞装入不通孔液压缸时，应采用引导工装，不允许用螺钉旋具硬塞。

5) 液压缸、气缸装后要进行密封及动作试验，达到如下要求：

- ① 行程符合要求。
- ② 运行平稳，无卡阻和爬行现象。
- ③ 无外部渗漏现象，内部渗漏按图样要求。
- 6) 各种密封圈、毡垫、皮碗等密封件装配前必须浸透油；钢纸板用热水泡软；纯铜垫作退火处理。
- (8) 管路装配  
管路装配要求应符合 JB/T5000. 11、JB/T6996 的规定。

6. 其他

- 1) 平面刮研：
  - ① 平面刮研时必须使用相应的精度等级的平板或平尺。推拉平板或平尺时应沿水平方向施力，严禁在平板或平尺顶面施力。
  - ② 相关两个平面需要互研时，只能在两个平面各自按平板或平尺刮研接近合格后方准互研。
  - ③ 被刮研表面的接触斑点不少于表 1-2-25 规定。

表 1-2-25 刮研表面接触斑点 （单位：点数/25mm×25mm）

滑动速度/( m/s)	接触面积≤0. 2m <sup>2</sup>	接触面积>0. 2m <sup>2</sup>
≤0. 5	3	2
0. 5 ~ 1. 5	4	3

- 2) 锥轴与轴孔配合表面接触应均匀，着色研合检验时其接触率不低于 70%。
- 3) 平衡试验要求：
  - ① 有平衡力矩要求的零、部件，装配时应按规定进行静平衡或动平衡试验。
  - ② 对有静平衡试验要求而未注明具体要求时，则按 GB/T 9239. 1—2006 中 G16 级执行。
  - ③ 对转动零部件的不平衡质量可用下述方法进行校正：
    - a) 用补焊、喷镀、粘接、铆接、螺纹连接等加配质量（配重）。
    - b) 用钻削、磨削、铣削、镗削等去除局部质量（去重）。
    - c) 在平衡槽中改变平衡块的数量或质量。
  - ④ 用加配置质量的方法校正时，必须牢固可靠，以防在工作过程中松动或飞出。
  - ⑤ 用去除质量的方法校正时，注意不得影响零件的刚度、强度和外观。
  - ⑥ 对组合式转动体，经总体平衡后不得再任意移动、调换零件。
- 4) 装配打印：
  - ① 机器在装配中如有不允许用户在安装时互换的零件或变更相关件的装配位置，且这些零、部件装配后又需拆开包装的，则必须打出能够容易识别原装配关系的钢印或粘贴标签。

② 装配中已配好的管路又需拆开包装的，在连接处必须粘贴标签或牵挂钢印标签。

③ 同一打印组的编号必须一致，同一台产品中不同打印组的编号不得重复。

④ 打印字迹必须清晰、整齐。

⑤ 打印的位置应靠近相关连接处的非滑动面上。若毛坯，则在磨出的平面上打印；若在大件上打印，则应用红漆圈上方框。各打印处不准涂油漆或腻子，但必须涂防锈油。

## 7. 总装及试车

1) 产品出厂前必须进行总装。对于特大型产品或成套设备，因受制造厂条件所限而不能总装的，应进行试装。试装时必须保证所有连接或配合部位符合设计要求。

2) 产品总装后均应按产品标准和有关技术文件的规定进行试车和检验。对于特大型产品或成套的设备，因受制造厂条件限制而不能试车时，则应按有关合同或协议执行。

3) 试车一般要求：

① 产品的运转为双向运转的，必须双向试车；运转为单向的，试车方向必须与工作方向一致。

② 拖动产品的试车工具的转速应符合产品工作要求，允许偏差为  $\pm 10\%$ 。

③ 随机的气、液管路应按 JB/T5000. 11—2007 的规定进行清洗和防锈处理。

④ 产品试车前，随机的润滑管、液压管应先单独进行循环清洗。清洁度应符合 JB/T5000. 11—2007 的规定。

4) 空运转试车：

① 凡机器产品（包括成套设备中的单机），都应按相关技术文件的要求在装配后进行空运转试车（包括手动盘车试验）。

② 单机空运转试车，对需手动盘车设备，不少于三个全行程；对连续运转的设备，试车时间不少于 2h；对往复运动的设备，全行程往复不少于五次。

③ 对有多种动作程序的设备，各动作要进行联动程序的连续操作或模拟操作，运转五次以上，各动作应平稳、到位、无故障。

5) 负荷及工艺性试车按产品标准、技术文件或合同规定进行。

6) 在试车过程中轴承温度应符合图样或工艺要求，在图样及工艺未作规定时应符合表 1-2-26 规定。

7) 有压力要求的设备（如液压机），应对密封及系统进行密封耐压试验。如技术文件无明确试验要求时，其试验压力为工作压力的 100% ~ 125%。保压 5 ~ 10min，不得渗漏。

8) 产品在总装试车过程中，应做好关键件配合尺寸、单配件尺寸及试车的各项记录并作为产品技术档案存档。



表 1-2-26 轴承试车时的温升要求

项 目		温 升	最 高 温 度
		℃	
滚动轴承	空运转试车	≤35	≤85
	负荷试车	≤45	≤85
滑动轴承	空运转试车	≤20	≤70
	负荷试车	≤30	≤70

注：1. 最高温度是指实测最高温度。  
2. 运转规定时间内每相隔 30min 测温一次，做好记录；若 30min 内温度变化≤0.5℃，则为最终温度。

### 第一章

### 钳工基础知识

#### 一、钳工的任务

任何机械制造工厂，不管它生产的规模大小，制造的产品千差万别，但其生产过程通常都包括以下内容：①原材料的采购与存贮；②生产的准备；③毛坯的制造；④零部件的加工；⑤产品的装配；⑥产品的涂装、包装和出厂。

为了完成整个生产过程，机械制造工厂要设立相应的车间，配备各种管理人员和技术工人。按工作性质和任务的不同，技术工人可分为：铸工、锻工、焊工、电工、车工、铣工、刨工、磨工、镗工、钳工等。

钳工是机械制造工厂不可缺少的一个工种，它的工作范围很广，是一种比较复杂、细致的工种。工厂流行这样一句话，“三十六行钳工为王”，可见钳工的重要性。其工作内容主要包括：①零件加工前的划线；②某些零件的加工；③机械设备的装配和调试；④机械设备的维修；⑤用一般机械加工方法不太适宜或不能解决的某些零件的加工。因此，有人称钳工为“万能钳工”。

钳工又是以手工方法为主，经常在台虎钳上进行操作的一个工种。它的基本操作包括：测量、划线、錾削、锉削、锯削、钻孔、扩孔、铰孔、铰孔、攻螺纹与套螺纹、校正和弯曲、铆接、研磨、刮研等。

随着生产机械化和自动化程度的不断提高，钳工有些手工操作的劳动，已被现代机械操作所代替。但是尽管这样，总会有些工作必须由钳工用手工操作来完成，如一些精密配合面，要由钳工刮研、研磨来保证。

目前，有些工业部门根据生产实践的需要，又把钳工分为：划线钳工、装配钳工、修配钳工、工具样板钳工、安装钳工和各种专业的检修钳工等。

## 二、钳工操作的特点

### 1. 钳工操作的三大优点

1) 加工灵活，在不适于机械加工的场合，尤其是在机械设备的维修工作中，钳工加工可获得满意的效果。

2) 可加工形状复杂和高精度的零件，技术熟练的钳工可加工出比现代化机床加工的零件还要精密和光洁的零件，可以加工出连现代化机床也无法加工的形状非常复杂的零件，如高精度量具、样板和复杂的模具等。

3) 投资小，钳工加工所用的工具和设备价格低廉，携带方便。

### 2. 钳工操作的两大缺点

1) 生产效率低，劳动强度大。

2) 因为是手工操作，加工质量不稳定，加工质量的高低受工人技术熟练程度的影响。

## 三、钳工常用工具和使用方法

钳工常用的工具有划线用的划针、划针盘、划规（圆规）、中心冲（样冲）、高度尺和平台，如图 2-1-1 所示。

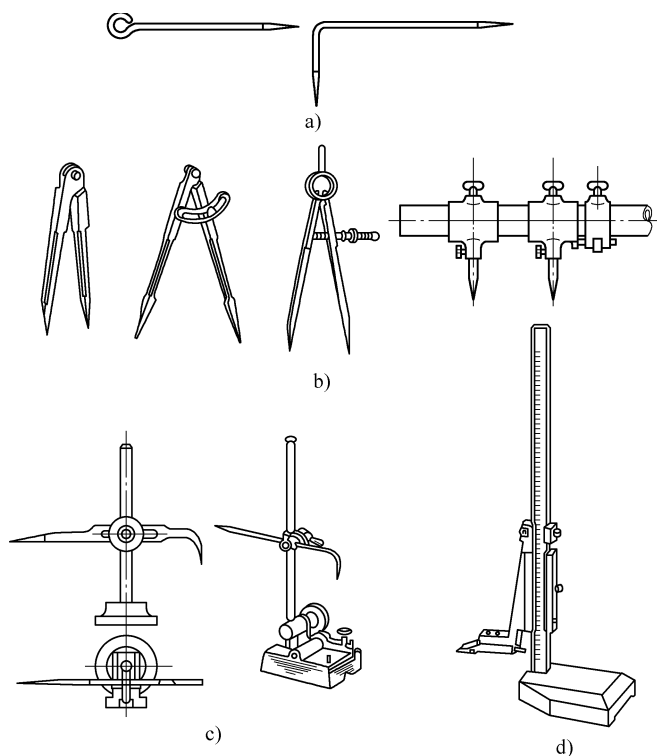


图 2-1-1 划线用的工具

a) 划针 b) 划规（圆规） c) 划针盘 d) 高度尺

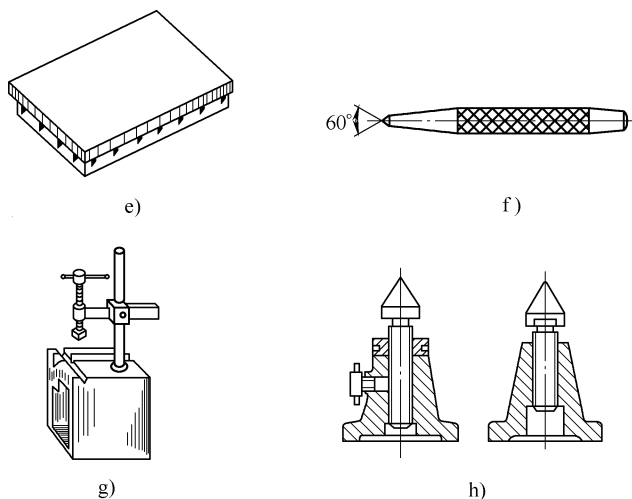


图 2-1-1 划线用的工具 (续)

e) 平台 f) 中心冲 (样冲) g) 方箱 h) 千斤顶

其中, 平台、方箱和千斤顶为划线基准工具。

平台材料一般为铸铁材料。上平面通常经精刨或刮削而成, 作为划线时工件的基准。平台应平整放置, 以防变形, 在使用过程中, 不得用锤子或其他件敲打其工作台面。不用时涂上油, 以防生锈。

千斤顶作为划线用支撑件, 在使用中, 一定要放稳支实 (特别是大件或毛坯件), 严防因千斤顶滑倒造成零件歪倒伤人。

钳工常用的划线用量具有直尺、盒尺、高度尺和游标卡尺。

高度尺相当于直尺划针盘的组合, 是一种精密的划线工具, 因此不允许用来划毛坯工件。使用时要防止碰坏划针。

划针、划规 (圆规)、划针盘、样冲为划线工具。

划针直接用来在工件上划线条, 用直径  $\phi 2 \sim \phi 5 \text{ mm}$  的弹簧钢丝制成, 针尖需经过淬火硬化。为了提高针尖的使用寿命, 可在针尖一端焊上硬质合金。为了便于使用, 划针杆一般制成四方、六角或八角形的。在工件平面上划线与铅笔在纸上划线相同, 正确的划线方法如图 2-1-2 所示。划出的线条要细而清晰。

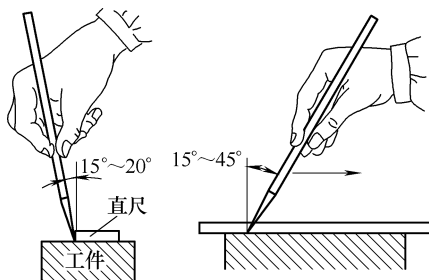


图 2-1-2 正确的划线方法

划针盘是用来划线和校正工件的位置。

通常在划线时, 划针盘针尖部分伸出的长度应尽量短些, 这样能提高划针的刚度, 划针的倾斜角度也要适中, 角度太大, 划出的线也不会清楚。

样冲的作用是避免划出的线段被擦掉，划线后要用样冲在线条上打出适量的样冲孔作为标记。用划规和钻中心孔时，也需要先打上样冲孔。样冲用工具钢制作并要淬硬，尖角一般为 $60^\circ$ 。打样冲孔的方法如图 2-1-3 所示。打样冲孔的要求是：样冲尖要对准线条正中。一般在直线段冲孔的距离可大些，在曲线上距离要短些。凡是线条交叉或折断处都必须打样冲孔。薄壁零件、光滑的表面样冲孔要浅，毛坯件样冲孔要深些。

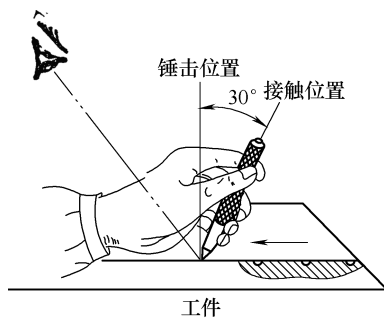


图 2-1-3 打样冲孔的方法

錾削用的锤子和各种錾子分别如图 2-1-4 和图 2-1-5 所示。

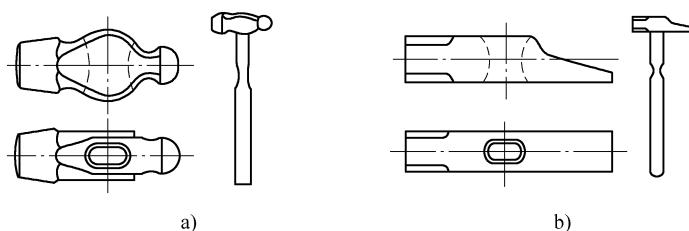


图 2-1-4 锤子

a) 圆头锤子 b) 方头锤子

在钳工工作中，锤子的用途很广，不仅用于拆卸各种机械零件，还可用于零件的整形、錾削、冲孔等。锤子由锤头和木柄两部分组成。

扁錾用于錾削大平面、薄板，清理毛刺等。尖錾用于錾槽和分割曲线板料。油槽錾用于滑动平面上和其他凹面开油槽。

锉削用的普通锉刀如图 2-1-6 所示，用于锉削或修整金属工件的表面、凹槽及内孔等。

锯削用的锯弓和锯条如图 2-1-7 所示。锯弓和锯条组成手锯，主要用于锯割各种材料。

孔加工用工具有麻花钻、各种铰钻和铰刀。

麻花钻工作部分酷似“麻花”形状，麻花钻也因此得名。麻花钻是一种双刃的刀具，是钻孔的主要工具，由碳素工具钢或高速钢制成，经过热处理，硬度可达 $62 \sim 65\text{HRC}$ ，并且在 $600^\circ\text{C}$ 的切削温度下硬度也不降低。

铰钻用于加工平底的或锥形的沉孔或凸台，如图 2-1-8 所示。

对于精度、表面质量要求高的孔，单靠钻、扩加工难以达到要求，需要用铰刀（见图 2-1-9）对已粗加工或半精加工的孔进行铰削。

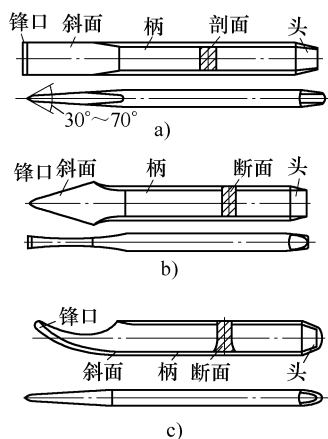


图 2-1-5 各种錾子

a) 扁錾 b) 尖錾 c) 油槽錾

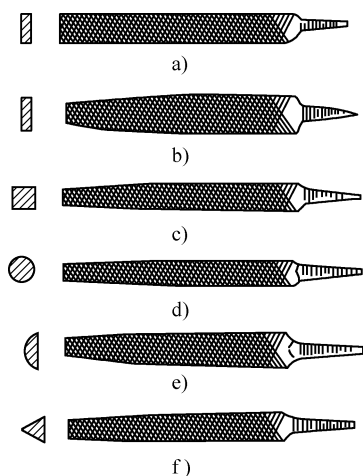


图 2-1-6 锉削用的普通锉刀

a) 齐头扁锉 b) 尖头扁锉 c) 方锉  
d) 圆锉 e) 半圆锉 f) 三角锉

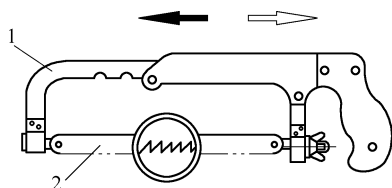


图 2-1-7 锯削用的锯弓和锯条

1—锯弓 2—锯条

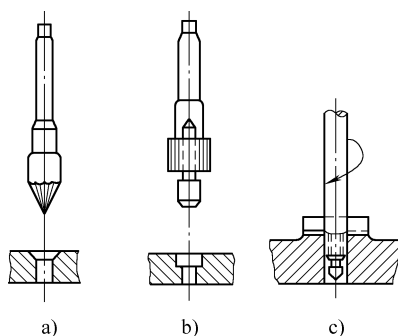
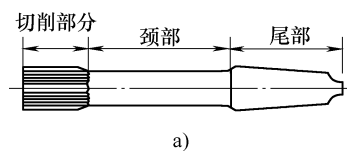
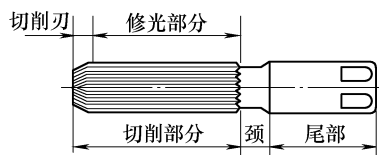


图 2-1-8 铰钻

a) 圆锥形埋头铰钻 b) 圆柱形埋头铰钻 c) 端面铰钻



a)



b)

图 2-1-9 铰刀

a) 机用铰刀 b) 手用铰刀

攻螺纹用工具有各种丝锥、套螺纹用圆板牙和铰手。

丝锥是加工内螺纹的工具，普通丝锥有手用和机用两种。手用丝锥用合金工具钢制成，机用丝锥用高速钢制成。丝锥如图 2-1-10 所示。

板牙是加工外螺纹的工具，用合金工具钢制成，如图 2-1-11 所示。

活动式铰杠用于夹持丝锥，手工攻螺纹用，如图 2-1-12 所示。

刮削用具有直头刮刀、弯头刮刀和曲面刮刀，如图 2-1-13 ~ 图 2-1-15 所示。

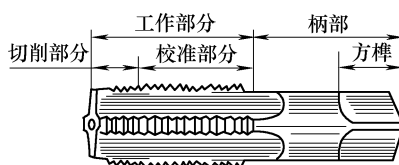


图 2-1-10 丝锥

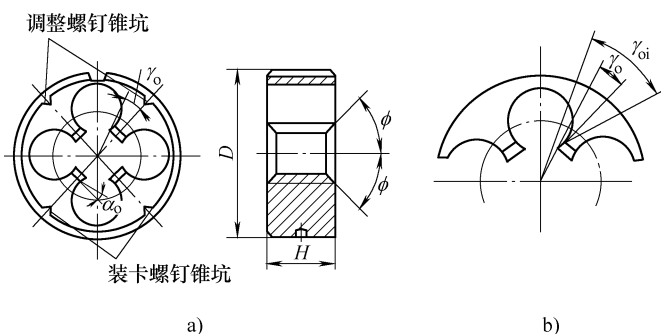


图 2-1-11 板牙

a) 外形和几何角度 b) 前角的变化

刮刀的作用是将已加工过的表面刮去一层很薄的材料，使零件达到所需要的尺寸精度、几何精度、表面粗糙度、相配合零件的配合精度和美观等。刮削后工件表面会留下的一层微浅、美丽的花纹，既可以增加表面的美观，也可以用来来储油，减小摩擦，以提高零件的使用寿命。直头刮刀用于刮削平面外曲面及刮花用。弯头刮刀的特点是刀头薄，一面有刃，有弹性。曲面刮刀用于刮削内曲面。

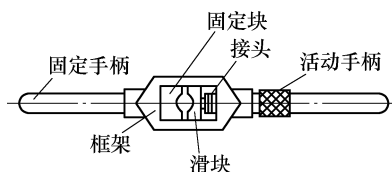


图 2-1-12 活动式铰杠

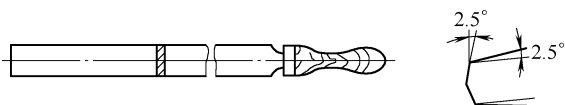


图 2-1-13 直头刮刀

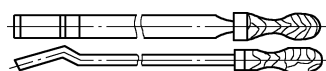


图 2-1-14 弯头刮刀

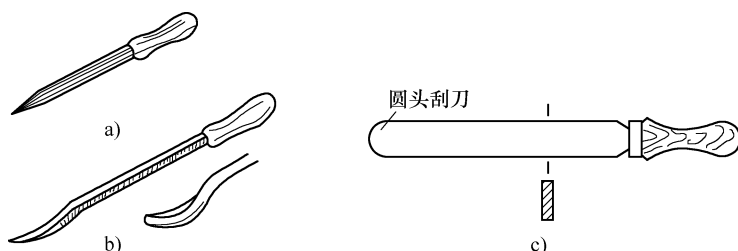


图 2-1-15 曲面刮刀

a) 三角刮刀 b) 匙形刮刀 c) 圆头刮刀



各种扳手和螺钉旋具用于拆装螺钉和螺母用，如图 2-1-16 所示。

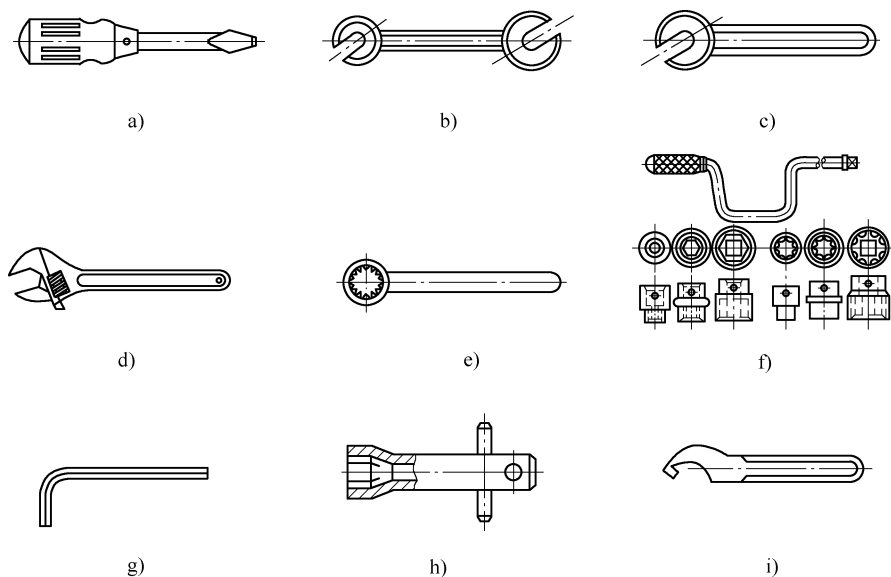


图 2-1-16 各种扳手和螺钉旋具

- a) 螺钉旋具 b) 双头扳手 c) 单头扳手 d) 活扳手 e) 单头梅花扳手  
f) 成套套筒扳手 g) 内六角扳手 h) 方套筒扳手 i) 勾扳手

台虎钳是用来夹持工件的工具，可分为固定式和回转式（活动式）两种，如图 2-1-17 所示。

台虎钳的规格用钳口的宽度表示，有 100mm、125mm、150mm 等。安装台虎钳时，必须使固定钳身的钳口工作面处于钳台边缘以外，以保证夹持长条形工件时，工件的下端不受钳台边缘的阻碍，如图 2-1-18 所示；必须把台虎钳牢固地固定在钳台上，工作时两个夹紧螺钉必须扳紧，保证钳身没有松动现象，以免损坏台虎钳和影响加工质量；手柄夹紧工件时，只允许用手的力量扳紧手柄，不能用锤子敲击手柄或套上长管子扳手柄，以免丝杠、螺母或钳身因受力过大而损坏；强力作业时，应尽量使力量朝向固定钳身，否则丝杠和螺母会因受到过大的力而损坏；不要在活动钳身的光滑平面上进行敲击作业，以免降低活动钳身与固定钳身的配合性能，从而影响正常使用；丝杠、螺母和其他活动表面应经常加清洁并加注润滑油和做防锈处理。

钳台用来安装台虎钳、放置工具和工件等。钳台高度为 800 ~ 900mm，装上台虎钳后，钳口高度以恰好齐人的手肘为宜，如图 2-1-19 所示。钳台的长度和宽度

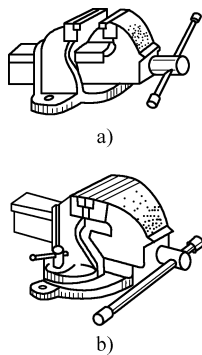


图 2-1-17 台虎钳

- a) 固定式 b) 回转（活动）式

随工作需要而定。

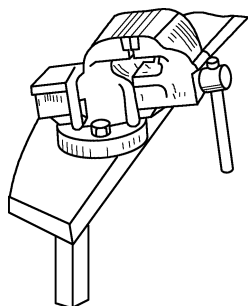


图 2-1-18 台虎钳在钳台上的安装



图 2-1-19 台虎钳安装高度

砂轮机主要由电动机、砂轮、机体（机座）、托架和防护罩组成，如图 2-1-20 所示。砂轮机常用来刃磨刀具和工具。

砂轮机在使用时转动要平稳。由于砂轮质地较脆，工作时转速很高，使用时用力不当会发生砂轮碎裂造成人身事故。因此，安装砂轮时一定要使砂轮平衡，装好后必须先试转 3 ~ 4min，检查砂轮转动是否平稳，有无振动与其他不良现象，待转动正常后方可进行磨削。砂轮的旋转方向应正确，以使磨屑向下方飞离砂轮。使用砂轮时，要戴好防护眼镜。

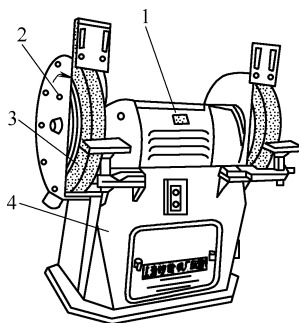


图 2-1-20 砂轮机

1—电动机 2—机架  
3—砂轮 4—防护罩

## 第二章

# 金属材料及热处理

金属材料的种类很多，主要用于制造各种构件、机器零件和工具等。为了能够充分合理地利用金属材料，保证产品的质量和使用的可靠性，只有正确地认识金属材料，了解其性能，才能科学合理地选择和应用金属材料。

金属材料具有多种性能，通常把金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。其中，使用性能是指金属材料为保证机械零件或工具正常工作应具备的性能；工艺性能是指金属材料在制造机械零件和工具的过程中，适应各种冷加工和热加工的性能。

材料不同，采用的热处理不同，性能也不同。下面对金属材料的力学性能、工艺性能、常用金属材料牌号、性能及鉴别、材料热处理方面的相关知识加以简单的介绍。

### 第一节 金属材料的力学性能

机械零件和工具，都在各种外力的作用下使用。在一定的外力作用下，金属本身不发生永久变形或断裂，表现为具有一定的抵抗能力。把金属这种对外力的抵抗能力称为力学性能。

金属材料的力学性能是通过专门的试验测定的。衡量金属材料力学性能的主要指标包括强度、刚度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

#### 一、强度

强度是指金属材料在外力作用下，对永久变形和断裂的抵抗能力。强度的大小用材料单位面积上所产生的抵抗力，即应力来表示。

常用的强度测定方法是拉伸试验。进行拉伸试验时，将标准的拉伸试样装在拉伸试验机上，对试样逐渐施加外力，在外力的作用下，试样横截面积上承受抗拉应力，使试件伸长、变细，最后断裂。根据拉伸试验过程中外力与其相对应的

变形量之间的关系，可以绘制出拉伸试样的力-伸长曲线。通常把拉伸力  $F$  作为纵坐标，伸长量  $\Delta L$  作为横坐标，画出拉伸试样的应力-应变曲线。拉伸试样及低碳钢的应力-应变曲线如图 2-2-1 所示。

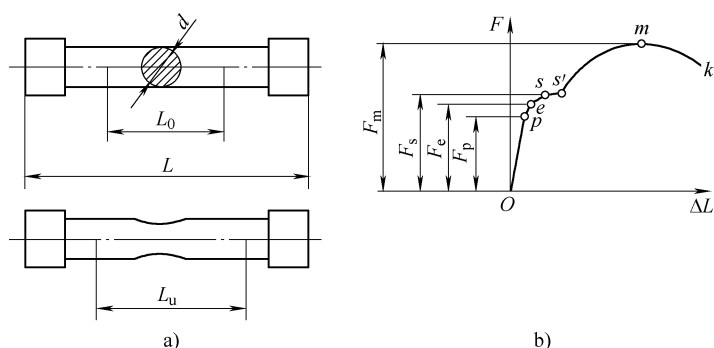


图 2-2-1 拉伸试样及低碳钢的应力-应变曲线

观察拉伸试验和力-伸长曲线，当外力为零时，试样变形量也为零。当开始施加外力时，试样逐渐伸长，如果去除外力，变形消失，试样恢复原长，金属的这一变形称为弹性变形。 $Op$  是斜直线，这说明试样的应变与应力成正比，试样变形规律符合胡克定律。即

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{或} \quad \tau = G\gamma$$

式中  $\sigma$ 、 $\tau$ ——正应力和切应力；

$\varepsilon$ 、 $\gamma$ ——正应变和切应变。

弹性模量  $E$  和剪切模量  $G$  是表示材料抵抗弹性变形的能力和衡量材料“刚度”的指标，弹性模量越大，材料的刚度越大。图 2-2-1 中， $F_p$  是试样保持完全弹性变形的最大拉伸力。

当拉伸力不断增加，超过  $F_e$  时，试样将产生塑性变形，去除拉伸力后，变形不能完全恢复，塑性伸长将被保留下来。当拉伸力增加到  $F_s$  时，则拉伸曲线出现  $ss'$  水平线段。这说明当拉伸力不再增加的情况下，试样本身变形仍在继续，这种现象称为屈服现象。拉伸力  $F_s$  称为屈服拉伸力。

当拉伸力超过屈服拉伸力后，试样抵抗变形的能力将会增加，此现象为冷变强化，即变形抗力增加现象。在力-伸长曲线上表现为上升曲线  $s'm$ ，即随着变形的增大，试样变形抗力逐渐增大。当外力增加到  $F_m$  时，试样局部出现缩颈现象。由于缩颈使试样局部截面积迅速缩小，单位面积的拉伸力增大，使变形更集中在缩颈区，最后延续到点  $k$  时试样被拉断。 $F_m$  是试样拉断前能承受的最大拉伸力，称为极限拉伸力。

金属材料抵抗拉伸力的强度主要有屈服强度  $R_{eH}$  和  $R_{eL}$ 、规定残余延伸强度  $R_r$  和抗拉强度  $R_m$ 。

### 1. 屈服强度和规定残余延伸强度

屈服强度是指试样在拉伸试验过程中,当拉伸力不再增加的情况下,试样本身变形仍在伸长时的应力。屈服强度包括上屈服强度  $R_{eH}$  和下屈服强度  $R_{eL}$ 。

工业上使用的脆性金属材料,如高碳钢、铸铁等,在进行拉伸试验时,没有明显的屈服现象,也不会产生缩颈现象,这就要规定一个相当于屈服强度的强度指标,即规定残余延伸强度。

规定残余延伸强度是指试样卸除拉伸力后,其标距部分的残余伸长与原始标距的百分比达到规定值时的应力,用字母  $R$  并加脚注“ $r$  和规定残余伸长率”表示。例如国家标准规定  $R_{m0.2}$  表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

### 2. 抗拉强度

当外力增加到  $F_m$  时,试样局部出现缩颈现象。由于缩颈使试样局部截面积迅速缩小,单位面积的拉伸力增大,使变形更集中于缩颈区,此时,外力开始下降,而变形集中于缩颈部分进行,直至断裂。金属材料断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度,用  $R_m$  表示。即

$$R_m = F_m / S_0$$

式中  $F_m$ ——试样断裂前承受的最大外力 (N);

$S_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$R_m$ ——抗拉强度 (MPa)。

以上强度指标是设计和使用金属材料的重要依据。机械零件和工具的使用应力只能限制在弹性变形范围内,即小于比例极限。若超过其屈服强度,会引起明显的变形,导致机械零件和工具的损坏。若大于抗拉强度,则会发生断裂,造成事故,这更是绝对不允许的。

## 二、塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破裂的能力。常用的塑性变形指标有断后伸长率和断面收缩率。通过拉伸试验可以求得。如图 2-2-1 所示,试样由开始变形到拉断,其长度由原标距长度  $L_0$  延伸到  $L_u$ ,横截面积由  $S_0$  缩小到  $S_u$ 。

### 1. 断后伸长率

试样拉断后标距的延伸量与试样原始标距长度之比,用  $A$  表示。即

$$A = (L_u - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中  $L_0$ ——试样原始标距长度 (mm);

$L_u$ ——试样拉断后的标距长度 (mm)。

### 2. 断面收缩率

试样拉断后缩颈处横截面积的缩减量与试样原始横截面积之比,用  $Z$  表示。即

$$Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100\%$$

式中  $S_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ );

$S_u$ ——试样拉断缩颈后横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

断后伸长率  $A$  和断面收缩率  $Z$  是金属材料两个重要的塑性指标, 它反应金属材料塑性变形能力的大小。 $A$ 、 $Z$  的值越大, 金属材料的塑性越好; 反之, 塑性就差, 脆性也越大。对于变形量要求较大的零件或制品的加工, 特别是拉伸加工, 则要求材料必须具有足够高的断后伸长率和断面收缩率。

### 三、硬度

硬度是指金属材料抵抗其他更硬物体压入的能力, 任何机器零件和工具都应具备足够的硬度, 才能保证其使用性能和延长寿命。由于硬度试验方法简便, 不需专门试样, 不损坏零件, 因此, 硬度常作为检测热处理质量的方法之一。测量硬度的方法很多, 最常用的方法有布氏、洛氏两种。

#### 1. 布氏硬度 HBW

它是用一定直径的硬质合金球, 以相应的试验力压入被测金属表面, 经规定的保持时间后, 卸除试验力, 测量被测金属表面压痕直径, 然后根据压头直径、压头施加的力和压痕直径计算其硬度值。

由于金属材料有硬有软, 工件有薄有厚, 在进行布氏硬度测量时, 压头直径有 10mm、5mm、2.5mm 和 1mm 四种, 压头施加的力和保持时间应根据被测金属种类和厚度正确选择。

布氏硬度测量的特点是: 试验时金属材料表面压痕大, 能在较大范围内反映被测金属材料的平均硬度, 测得的硬度值比较准确, 数据重复性强。但由于其压痕较大, 对金属材料表面的损伤也较大, 不宜检测太小或太薄的零件。通常布氏硬度多数用于调质、退火、正火零件的硬度检验。这种方法不可检验硬度高于 650HBW 的金属。

#### 2. 洛氏硬度 HR

它是用一定的试验力, 把直径为 1.5875mm (淬火钢球或硬质合金钢球) 或 120°圆锥形金刚石压头压入材料表面, 通过材料表面的压痕深度来计算硬度值。洛氏硬度分为 HRA、HRB、HRC 三种。其中 HRA 是用 120°圆锥形金刚石压头施加 98.07N 初试验力和 490.3N 主试验力测得的硬度, 用于测量高硬度的材料 ( $>700\text{HBW}$ ); HRB 是用直径为 1.5875mm 的硬质合金球压头施加 98.07N 初试验力和 882.6N 主试验力测得的硬度, 用于测量软钢、有色金属等 (60 ~ 230HBW); HRC 是用 120°圆锥形金刚石压头施加 98.07N 初试验力和 1373N 主试验力测得的硬度, 应用最普遍, 常用于高、中硬度 (230 ~ 700HBW) 的零件, 如各种钢制工具、齿轮、弹簧等。洛氏硬度测定简便, 能直接从刻度盘上读出硬度值, 压痕较小, 可测定成品件及较薄零件的硬度。但由于压痕小, 故准确性低于布氏硬度。一般同一试件应测三点以上, 取其平均值。

3. 维氏硬度（HV）

维氏硬度主要用来测定薄件和钢板制件的硬度，也可用来测定渗碳、氮碳共渗、软氮化表面硬化制件的硬度。

维氏硬度的测定原理与布氏硬度基本相似，以夹角为 136°的正四棱锥体金刚石为压头，试验时，在规定的试验力（49.03 ~980.7N）作用下，压头压入试件表面，经规定保持时间后卸除试验力，此时试样表面出现一个四棱锥形压痕，测量压痕对角线的平均长度，可算出其维氏硬度值。维氏硬度是用正四棱锥形压痕单位面积上承受的平均压力表示硬度值的。计算式为

$$HV = 0.1891 F / d^2$$

式中  $F$ ——试验力，单位为 N；

$d$ ——压痕两条对角线的算术平均值，单位为 mm。

各种硬度法测得的硬度值，不能直接进行比较，必须经过专门的硬度换算表换算成统一硬度后，方能比较其高低。各种硬度值的换算对照表见表 2-2-1。

表 2-2-1 各种硬度值的换算对照表

布氏硬度/ HBW	洛氏硬度		维氏硬度	布氏硬度/ HBW	洛氏硬度		维氏硬度
	HRA	HRC	HV		HRA	HRC	HV
	86.6	70	1037		81.2	60	713
	86.3	69.5	1017		80.9	59.5	700
	86.1	69	997		80.6	59	688
	85.8	68.5	978		80.3	58.5	676
	85.5	68	959		80.1	58	664
	85.2	67.5	941		79.8	57.5	653
	85	67	923		79.5	57	642
	84.7	66.5	906		79.3	56.5	631
	84.4	66	889		79	56	620
	84.1	65.5	872		78.7	55.5	609
	83.9	65	856		78.5	55	599
	83.6	64.5	840		78.2	54.5	589
	83.3	64	825		77.9	54	579
	83.1	63.5	810		77.7	53.5	570
	82.8	63	795		77.4	53	561
	82.5	62.5	780		77.1	52.5	551
	82.2	62	766		76.9	52	543
	82	61.5	752		76.6	51.5	534
	81.7	61	739	501	76.3	51	525
	81.4	60.5	726	494	76.1	50.5	517



(续)

布氏硬度/ HBW	洛氏硬度		维氏硬度	布氏硬度/ HBW	洛氏硬度		维氏硬度
	HRA	HRC	HV		HRA	HRC	HV
488	75.8	50	509	302		32.5	308
481	75.5	49.5	501	298		32	304
474	75.3	49	493	294		31.5	300
468	75	48.5	485	291		31	296
461	74.7	48	478	287		30.5	292
455	74.5	47.5	470	283		30	289
449	74.2	47	463	280		29.5	285
442	73.9	46.5	456	276		29	281
436	73.7	46	449	273		28.5	278
430	73.4	45.5	443	269		28	274
424	73.2	45	436	266		27.5	271
418	72.9	44.5	429	263		27	268
413	72.6	44	423	260		26.5	264
407	72.4	43.5	417	257		26	261
401	72.1	43	411	254		25.5	258
396	71.8	42.5	405	251		25	255
391	71.6	42	399	248		24.5	252
385	71.3	41.5	393	245		24	249
380	71.1	41	388	242		23.5	246
375	70.8	40.5	382	240		23	243
370	70.5	40	377	237		22.5	240
365	70.3	39.5	372	234		22	237
360	70	39	367	232		21.5	234
355		38.5	362	229		21	231
350		38	351	227		20.5	229
345		37.5	352	225		20	226
341		37	347	222		19.5	223
336		36.5	342	220		19	221
332		36	338	218		18.5	218
327		35.5	333	216		18	216
323		35	329	214		17.5	214
318		34.5	324	211		17	211
314		34	320				
310		33.5	316				
306		33	312				

## 四、疲劳强度

金属材料在低于屈服强度的交变应力作用下发生破裂的现象称为疲劳损坏。疲劳强度是指金属材料承受时间交变载荷作用而不破裂的最大应力（细轴经过反复弯曲而折断，就属于疲劳损坏）。在对称应力作用下的疲劳强度用  $S$  表示。

实际上，试验规定对于钢铁材料其循环基数为  $10^7$ ，对于非铁金属，其循环基数为  $10^8$ 。

机器零件的疲劳断裂具有很大危险性，常造成重大事故，必须引起足够的重视。疲劳的实质，主要是由于金属材料的表面粗糙或内部杂质等缺陷引起疲劳裂纹源的作用，在交变应力作用下，逐渐扩展导致断裂的。因此，对零件表面精加工、喷丸强化、表面热处理及合理选材可有效地提高疲劳强度。

## 第二节 金属材料的工艺性

金属材料的工艺性能，一般是指其切削加工性、铸造性、可锻性、焊接性和热处理性能。

### 一、切削加工性

切削加工性是指金属材料接受切削成为有用工件的能力，是在一定的切削条件下，根据工件的精度和表面粗糙度，以及刀具的磨损速度和切削力的大小等进行评定的。

一般认为，硬度过高或过低的金属材料，其切削加工性能较差（硬度过高切削难，硬度较低时，易粘刀，表面粗糙度值容易变大）。金属材料硬度控制在  $160 \sim 230\text{HBW}$  范围内时，切削加工性能最佳。

### 二、铸造性

铸造性是指金属熔化后，浇注成合格铸件的难易程度。评定金属材料的铸造性，主要依据其流动性（液态金属能够充满铸型的能力）、收缩性（金属由液态凝固时和凝固后的体积收缩程度）和偏析倾向（金属在凝固过程中因结晶先后而造成的内部化学成分和组织的不均匀现象）三项内容。灰铸铁、铸造铝合金、铸造青铜和铸钢等，都具有较好的铸造性。

### 三、可锻性

可锻性是指金属材料在热压力加工过程中成形的难易程度。如材料的塑性和塑性变形抗力及应力裂纹倾向等都能反映可锻性的好坏。低碳钢、低碳合金钢具有良好的可锻性，而铸铁就不能进行锻压加工。

四、焊接性

焊接性是指金属材料能适应普通常用的焊接方法和焊接工艺，其焊缝质量能达到要求的特性。焊接性能好的金属材料能获得无裂纹、气孔等缺陷的焊缝及较好的力学性能。低碳钢的焊接性能比较好，而铸铁、高碳钢和一部分淬透性好的合金钢的焊接性能较差。

五、热处理性能

热处理性能是指金属材料通过热处理后改变或改善力学性能的能力。钢是采用热处理最为广泛的金属材料，通过热处理，可以改善金属材料的切削加工性能，提高力学性能和材料的硬度，延长使用寿命。

第三节 钢

钢是经济建设中极为重要的金属材料。由于钢具有良好的工艺性能和使用性能，且比较经济实惠，因而在各个领域中得到广泛的应用。

一、钢的分类、牌号、表示方法及用途

钢是以铁为主要成分的铁碳合金。碳钢是指碳的质量分数为 0.0218% ~ 2.11% 的铁碳合金。碳钢除含铁、碳元素外，还含有硅、锰、硫、磷、氧等杂质元素。碳钢的价格低廉，而且产量多，目前在工业上应用得最多。

碳钢的使用性能和工艺取决于碳、硅、锰、硫、磷的含量和热处理工艺。碳元素是钢中除铁外最主要的元素。它的含量对碳钢的力学性能及其他性能起很大作用。

1. 钢的分类

钢有多种分类方法，常见的分类方法见表 2-2-2。

表 2-2-2 钢的常见分类方法

按化学成分分	碳素钢——钢中除铁、碳外，还含有少量的硅、锰、硫、磷			
	合金钢——钢中除含有碳素钢所含有的各种元素外，还含有一些其他元素（如铬、镍、钼、钨、钒等）。如果碳素钢中 $w(\text{Mn})$ 超过 0.8%，或 $w(\text{Si})$ 超过 0.5% 时，这种钢即称为合金钢			
按质量分数分	分类	低碳钢	中碳钢	高碳钢
	质量分数 $w(\text{C})$ (%)	$\leq 0.25$	$< 0.25 \sim 0.60$	$> 0.60$

(续)

	质量分数 (%)	$w(S) \leq$	$w(P) \leq$
按质量分	普通钢	0.05	0.045
	优质钢	0.035	0.035
	高级优质钢	0.025	0.025
	特级质量钢	0.015	0.025
按用途分	结构钢——指作建筑结构、机器零件等用的钢 工具钢——指作工具、模具、量具等用的钢 特殊性能钢——指作特殊用途和工具有特殊性能的钢，如不锈钢、耐热钢、磁钢等		
按炼钢方法分	转炉钢——用转炉（用空气或氧气）吹炼出来的钢。它按炉衬材料分为酸性转炉钢和碱性转炉钢；按送风方法又分为底吹转炉钢、侧吹转炉钢和顶吹转炉钢 平炉钢——用平炉（马丁炉）炼出来的钢。它按炉衬材料分为酸性平炉钢和碱性平炉钢，以后者为主 电炉钢——用电炉炼出来的钢。有电弧炉钢、感应炉钢、电渣重中熔炉钢等，以电弧炉钢为常用		
按浇注前脱氧程度分	沸腾钢——脱氧不完全的钢。浇注时在钢锭模里产生沸腾而得名沸腾钢 镇静钢——脱氧完全的钢。在浇注时钢液镇静，没有沸腾现象而称为镇静钢		

2. 钢牌号、表示方法及用途

根据 GB/T 221—2008 的规定，我国钢号表示方法采用阿拉伯数字、大写汉语拼音字母及化学元素符号相结合的表示方法。

碳素结构钢和低合金结构钢的牌号通常由四部分组成。

第一部分：前缀符号 + 屈服强度值（N/mm<sup>2</sup> 为单位），其中通用结构钢前缀符号用代表屈服强度的拼音字母“Q”表示。

第二部分（必要时）：钢的质量等级，用英文字母 A、B、C、D 表示。

第三部分（必要时）：脱氧方式符号，即沸腾钢、镇静钢、特殊镇静钢，分别以 F、Z、TZ 表示。镇静钢、特殊镇静钢表示符号通常可以省略。

第四部分（必要时）：产品用途、特性和工艺方法表示符号，具体规定见表 2-2-3。

表 2-2-3 钢牌号中表示用途、冶炼方法和浇注方法的代号

名 称	汉 字	符 号
锅炉用钢（管）	锅	G
锅炉和压力容器用钢	容	R
桥梁用钢	桥	q
汽车大梁用钢	梁	L
矿用钢	矿	K
保证淬透性钢	淬透性	H
船用钢	采用国际符号	

## 二、合金钢的分类、牌号、表示方法及用途

在碳钢中有目的地加入一种或几种合金元素，改变钢的性能，使之具有高的机械强度、热硬性，好的耐蚀性、耐热性、电磁性等，这就是合金钢。合金钢中常加入的合金元素有锰、铬、镍、硅、钨、铝、铜、硼、氮、钛、钴、钼、钒、锆、铌等。合金元素的加入，改变了钢的内部组织结构，从而改善了钢的使用性能。各种元素及其在钢中的含量不同，对钢的性能起着质的影响。锰、硅、镍能提高钢的强度、硬度。当加入锰、硅的质量分数小于1%时，并不降低其韧性。钛、铌、钒、钼、锰、铬、钨加入后，与碳化合形成碳化物，具有极高的硬度，钢的强度、熔点及其耐磨性也相应得到提高，但含量过多，会使钢变脆。上述合金元素除锰外，一般都能提高钢的强度及冲击韧度；除钴外，都能增加钢的淬透性，保证钢具有优良的综合力学性能。合金元素能提高钢的耐回火性，在回火时能保证不降低钢的强度和硬度，又增加了韧性。加入钛能使钢的组织致密；加入铬的质量分数超过13%将使钢具有防锈、耐酸的能力，成为不锈钢；加入硅的质量分数在2.5%~4.4%时，能使钢成为良好的软磁材料；以镍为主的镍基合金，是重要的耐高温材料；加入铜后，可以提高钢的防锈能力和抵抗若干种酸腐蚀的作用；加入氮后，能提高钢的硬度及耐热性等。

综上所述，各种合金钢因加入各种不同的合金元素而体现出不同的优良性能，而正确的热处理工艺又能使钢的各种优良性能得到充分的发挥。

### 1. 合金钢的分类

(1) 按加入合金元素的多少分类

- 1) 低合金钢（合金元素总的质量分数 $\leq 5\%$ ）。
- 2) 中合金钢（合金元素总的质量分数为5%~10%）。
- 3) 高合金钢（合金元素总的质量分数 $\geq 10\%$ ）。

(2) 按用途分类

1) 合金结构钢。合金结构钢是在优质碳素钢的基础上，有目的地加入一些合金元素的钢。由于钢中加入一定量的合金元素，提高了钢的淬透性，经过热处理后比碳素钢具有更好的综合力学性能，常用于制造性能要求高、尺寸较大的重要的机械零件。

合金结构钢按用途和热处理工艺特点，可分为渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢等。

渗碳钢经渗碳淬火及低温回火，心部保证了高韧性和足够的强度，而表层则获得高硬度及耐磨性，常用来制作表面耐磨并承受动力负荷的零件。

调质钢经过淬火加高温回火的双重热处理后具有良好的综合力学性能，常用来制作多种负荷下工作、受力情况比较复杂的高强度、高韧性的机械零件。

弹簧钢经淬火及回火处理，具有高的抗拉强度、屈服比、疲劳强度和足够的

塑性和韧性，常用于制作各种弹性零件。

滚动轴承钢经球化退火、淬火和低温回火，具有高而均匀的硬度和耐磨性，高的弹性极限和接触疲劳强度，足够的韧性和淬透性，在大气和润滑剂中具有一定的耐蚀能力，常用于制作各种滚珠、滚柱和套圈。

2) 合金工具钢。合金工具钢在机械加工中用来作刀具、模具及量具。刀具钢具有高硬度（切削金属时所用刀具的硬度一般都在 60HRC 以上）；高的耐磨性，耐磨的刀具使用寿命长；高的热硬性，以保证刀具在高温下保持继续切削的能力。模具钢按其工作条件不同又分为冷作模具钢和热作模具钢。冷作模具钢具有高的硬度、耐磨性和一定的韧性。常用的有 CrWMn、9Mn2V 等。热作模具钢具有高的强度和韧性，而且在高温下有保持其强度和韧性的能力及抗热疲劳的能力，还有好的淬透性和导热性等，常用的有 5CrMnMo 和 5CrNiMo 钢。

量具钢具有高的硬度与耐磨性，热处理变形小，在使用时尺寸稳定，并有好的加工工艺性，常用的有 Cr06、9SiCr 等钢。

3) 特殊性能钢。特殊性能钢主要指具有特殊的物理性能、化学性能的钢种。它包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

不锈钢是具有抵抗空气、水、酸、碱等介质腐蚀作用的钢种。它在化工、仪表、医疗器械及其他腐蚀环境下工作的机械中广泛应用。常用的不锈钢主要有铬和铬镍不锈钢。

耐热钢是在高温条件下，具有良好的抗氧化能力及较高强度的钢种。它广泛用于制造锅炉、汽轮机、航空发动机、冶金及石油等高温条件下工作的设备。耐热钢包括抗氧化钢和热强钢两种。抗氧化钢在高温下有良好的抗氧化能力和一定的强度。钢中加入足够的铬、硅、铝等抗氧化元素，能使钢在高温下与氧接触时，首先形成一层致密的高熔点氧化膜，使钢免于被高温氧化性气体的继续腐蚀。热强钢是在高温下有较好的抗氧化能力，并有较高强度的钢。钢中常加入铬、镍、钨、钼、硅等合金元素，提高钢的高温强度和高温抗氧化能力。

耐磨钢是指在冲击载荷作用下发生冷作硬化的一种高碳高锰钢。它主要用于在强烈冲击和严重磨损条件下的零件，如拖拉机履带、球磨机衬板、挖掘机铲齿、铁道道岔等。

常用的耐磨钢是 ZGMn13，其中碳的质量分数为 1.0% ~ 1.3%，锰的质量分数达 11% ~ 14%。由于钢中含锰量很高，在室温下硬度较低，而塑性较好。这种钢只有在受到强烈冲击和剧烈摩擦时，因塑性变形而产生加工硬化的情况下才有耐磨性，在一般机器工作条件下，它并不耐磨。耐磨钢因加工时极易氧化，使切削加工困难。因此，用耐磨钢制造零件时，大都是铸造成形的。

4) 高速工具钢（也称高速钢、锋钢）。它是具有高的热硬性的合金钢，是高碳高合金工具钢。高速钢中碳的质量分数一般在 0.70% ~ 1.5% 之间，以保证钢的

高硬度和高耐磨性。钢中常加入钨、钼、铬、钒等合金元素，其总的质量分数超过 10%，可大大提高钢的淬透性和耐回火性，在高速切削产生高温条件下工作时，仍有很高的硬度和耐磨性。高速钢的热处理过程与其他工具钢相似，例如，锻→退火→加工成工具→淬火、回火等，使内部组织发生变化，从而得到良好的热硬性。

高速钢的品种较多，我国常用的有钨系高速钢、钨钼系高速钢和超硬高速钢三种。超硬高速钢是在钨钼系基础上，加入质量分数为 5% ~ 10% 的钴与少量铝的一种新钢种，它的热硬性比一般高速钢高。

高速钢除主要用于制造各种刀具外，还广泛应用于制造冲模、挤压模等模具，以及某些要求耐磨性好的重要机械零件。高速钢是贵重的工具钢，应节约使用。

2. 合金钢的牌号、表示方法及用途

合金钢的品种繁多，其种类、代号及用途见表 2-2-4。

表 2-2-4 合金钢的种类、代号及用途

名称	代 号 举 例		代 号 含 义	用 途 举 例
	汉 字 牌 号	代 号		
合金 结构钢	20 铬	20Cr	1. 合金钢牌号采用化学元素符号表示 2. 钢号前面的数字表示以平均万分数表示的碳的质量分数。如 20Cr 表示碳的质量分数为 0.2%，高合金钢含碳的质量分数不标出，合金工具钢碳的质量分数大于或等于 1% 时不标出 3. 数字后面加上化学元素符号，表示合金钢中的主要元素，元素符号后面的数字表示该元素的含量 4. 滚动轴承钢加“滚”或“G” 5. 钢号之后加“高”或“A”为高级优质钢	制造主要机器的零件。 如柴油机凸轮轴，高压鼓风机叶轮、叶片、高速负荷砂轮轴等
	30 铬锰硅	30CrMnSi		
合金 工具钢	铬 12	Cr12		制造重要刀具、量具和模具
	4 铬钨 2 硅	4CrW2Si		
高速 工具钢	钨 18 铬 4 钒	W18Cr4V		制造各种切削工具，如车刀、钻头、滚刀、机用锯条及要求高的模具等
	钨 9 铬 4 钒 2	W9Cr4V2		
弹簧钢	60 硅 2 锰高	60Si2MnA		制造各种重要弹簧，如汽车、火车厢下的扁簧、钢板等
滚动 轴承钢	滚铬 15	GCr15		制造滚动轴承钢球、圆柱滚子、圆锥滚子、套圈等
	滚铬 15 硅锰	GCr15SiMn		
不锈 耐酸钢	12 铬 13	12Cr13		制造耐蚀零件
耐热钢	06 铬 13 铝	06Cr13Al		制造耐热零件



## 第四节 铸 铁

铸铁是  $w(\text{C})$  大于 2% 的铁碳合金。工业用铸铁是以铁、碳、硅为主并含有锰、磷、硫等杂质的多元合金,  $w(\text{C})$  一般在 2.5% ~ 4% 范围内。

铸铁是一种生产工艺简单, 并且具有许多优良性能的金属材料。虽然其力学性能低于钢, 但有钢所不及的良好铸造性、耐磨性、减振性及切削加工性, 可用于制造各种形状复杂的零件。随着铸造技术的发展, 有些经一定处理的铸铁在力学性能及物理、化学性能方面已接近于钢, 因此, 铸铁在机器制造、交通运输、国防工业等部门广泛应用。需要说明的是, 以前铸铁的价格低于钢, 现在铸铁的价格已超过钢材, 因此, 在选用上也要加以注意。

### 一、白口铸铁

白口铸铁因其断面呈亮白色而命名。白口铸铁中极大部分的碳都以化合物 ( $\text{Fe}_2\text{C}$ ) 存在, 其性脆而硬, 因而白口铸铁具有脆硬的特性。白口铸铁的主要用途是生产可锻铸铁的胚料及作为炼钢的原料。

### 二、灰铸铁

铸铁中的碳主要以片状石墨形式出现, 断口呈灰色, 故称灰铸铁。灰铸铁的组织实际是钢的基体上分布着片状石墨。因此, 可把灰铸铁内部的片状石墨看成裂纹或空洞分布在钢的基本组织中, 起到割裂基体和应力集中的作用, 所以灰铸铁与其相同基体的钢相比, 力学性能比钢低得多。灰铸铁中石墨数量越多, 石墨片粗大且分布不均匀, 灰铸铁的性能就越差。相反, 石墨数量较少、细小并且分布均匀, 就能提高铸铁的性能。灰铸铁在机械工业中使用较多, 常被用于铸造机器、床身、箱体、壳体等。灰铸铁的牌号是用灰铸铁两字汉语拼音的字母“HT”表示的, 字母后有一组数字, 表示该铸铁的最低抗拉强度  $R_m$ , 其单位为 MPa。例如 HT200 即是灰铸铁, 其  $R_m \geq 200\text{MPa}$ 。

### 三、可锻铸铁

铸铁中的碳大部分或几乎全部以团絮状石墨形式存在, 因其有一定的塑性和韧性, 故称可锻铸铁。实际上, 可锻铸铁并不可锻造。团絮状石墨是由白口铸铁加热到 900 ~ 1000℃, 并经长时间保温, 然后缓慢冷却, 致使渗碳体 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 分解, 碳以石墨碳形态析出并聚集而成。这一过程称为“可锻化退火”。由于退火后的石墨碳在金属基体中呈团絮形态存在, 与呈片状的石墨相比, 它对金属基体的割裂及应力集中的程度危害大为减少, 因而力学性能比灰铸铁好。可锻铸铁的断口呈灰墨色的称黑心可锻铸铁, 断口呈白亮色的称白心可锻铸铁。珠光体可锻铸



铁是其基体主要为珠光体的黑心可锻铸铁。可锻铸铁一般用于铸钢和灰铸铁在工艺或性能上不易达到要求的零件，例如截面较小，形状比较复杂，尺寸不大或强度、韧性要求较高的零件。可锻铸铁的牌号由三个字母及两组数字组成。其中前两个字母“KT”是“可铁”两字汉语拼音的前缀，表示可锻铸铁，第三个字母H或B或Z是黑或白或珠的汉语拼音前缀，分别表示黑心、白心、珠光体，其后的第一组数字表示最低的抗拉强度 $R_m$ ，第二组数字表示最低的伸长率 $A$ 。如KTH300-06即为黑心可锻铸铁， $R_m \geq 300\text{MPa}$ ， $A \geq 6\%$ ；KTZ550-04即为珠光体可锻铸铁， $R_m \geq 550\text{MPa}$ ， $A \geq 4\%$ ；KTB380-12即为白心可锻铸铁， $R_m \geq 380\text{MPa}$ ， $A \geq 12\%$ 。

四、球墨铸铁

铸铁中碳的大部分或几乎全部以球状石墨形式存在的铸铁称为球墨铸铁。球化良好的铸铁对金属基体的割裂和引起应力集中的程度远比片状和团絮状石墨为小。球墨铸铁比灰铸铁和可锻铸铁有更好的力学性能。球墨铸铁还有铸铁所特有的良好的切削加工性、耐磨性、减振性和铸造性等。因此，球墨铸铁被广泛应用。球墨铸铁的牌号是用球铁两字汉语拼音的前缀“QT”表示的，字母后有两组数字，第一组数字表示最低的抗拉强度 $R_m$ ，第二组数字表示最低的伸长率 $A$ 。如QT500-7即为球墨铸铁， $R_m \geq 500\text{MPa}$ ， $A \geq 7\%$ 。

铸铁的名称和代号汇总见表 2-2-5。

表 2-2-5 铸铁的名称和代号汇总

铸 铁 名 称	代 号	铸 铁 名 称	代 号
灰铸铁	HT	抗磨球墨铸铁	QTM
蠕墨铸铁	RuT	冷硬灰铸铁	HTL
球墨铸铁	QT	耐蚀灰铸铁	HTS
黑心可锻铸铁	KTH	耐蚀球墨铸铁	QTS
白心可锻铸铁	KTB	耐热白口铸铁	BTR
珠光体可锻铸铁	KTZ	耐热球墨铸铁	QTR
耐磨灰铸铁	HTM	奥氏体灰铸铁	HTA

第五节 有 色 金 属

工业生产中，通常把钢铁称为黑色金属，除黑色金属以外的其他金属及其合金统称为有色金属。有色金属的用量虽比黑色金属少，但其具有某些特殊性能及优点，因此，其已经成为现代工业技术中不可缺少的金属材料。有色金属与黑色金属相比，具有一系列特点，其中如银、铜、铝等具有良好的导热性和导电性；

铅、钛等具有优异的化学稳定性；镍铁合金具有高导磁性；铝合金和钛合金等，相对密度小而强度高；钨、铌、钽、锆等具有很高的熔点，从而弥补了黑色金属的不足。

有色金属的种类很多，这里只对机械制造业中常用的铝及铝合金、铜及铜合金、硬质合金等作一简单的介绍。

## 一、铝及铝合金

## 1. 铝

铝是一种轻金属，密度为  $2.7\text{g/cm}^3$ ，白色，可塑性和导电性、导热性都比较好，因其表面氧化能形成紧密的氧化膜，故能耐腐蚀。纯铝机械强度低，一般只能用来作为电线、电器零件和一些日用品。在机械工业中大都用它的合金。铝的质量分数不低于 99% 时为工业纯铝，工业纯铝的代号用  $1 \times \times \times$  系列表示。牌号的最后两位数表示最低含铝的质量分数。当最低铝的质量分数精确到 0.01% 时，牌号的最后两位数字就是最低铝的质量分数中小数点后面的两位。牌号第二位字母表示原始纯铝的改型情况。如果第二位的字母是 A，则表示为原始纯铝；如果是 B ~ T 的其他字母（按国际规定字母表的次序选用），则表示为原始纯铝的改型，与原始纯铝相比，其元素含量略有改变。

工业纯铝的强度和硬度都很低，不能作为结构材料使用。但在铝中加入硅、铜、镍、镁、锰等合金元素制成的铝合金，既能保持纯铝的优良特性，又具有比纯铝高得多的力学性能，因而能用于制造承受一定载荷的机械零件。工业纯铝的力学性能和用途见表 2-2-6。

表 2-2-6 工业纯铝的力学性能和用途

牌 号	$w$ (Al) (%)	抗拉强度 $R_m$ /MPa	伸长率 $A$ (%)	硬度 HBW	用 途
1070A	99.7	60 ~ 90	13 ~ 30	20 ~ 28	导电体及防腐器械
1060	99.6				
1050A	99.5				制造各种优质铝合金
1035	99.3				
1200	99.0				
8A06	—				制造普通铝合金及日用品

## 2. 铝合金的分类

铝合金按其成分及生产工艺特点,可分为变形铝合金和铸造铝合金两类。变形铝合金因其塑性较高,适于压力加工。其中能热处理强化的称热处理强化铝合金,不能热处理强化的称热处理不能强化铝合金。铸造铝合金适于铸造而不适于压力加工。

3. 变形铝合金

经过冷、热加工变形后，以锻坯、板材、管材和棒材等形式供应的铝合金都属于变形铝合金。变形铝合金按其性能和用途又可分为防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻造铝合金等。

变形铝及合金采用国际四位数字体系牌号。国际四位数字体系牌号的第一位数字表示组别，如下所示：

纯铝（铝的质量分数量不小于 99.00%）	1 × × ×
合金组别按下列主要合金元素划分	
Cu	2 × × ×
Mn	3 × × ×
Si	4 × × ×
Mg	5 × × ×
Mg + Si	6 × × ×
Zn	7 × × ×
其他元素	8 × × ×
备组用	9 × × ×

变形铝的主要特征及用途如下：

(1) 防锈铝合金 防锈铝合金是铝-锰系或铝-镁系合金。这类合金具有比纯铝更高的强度和硬度，并具有良好的耐蚀性、可塑性和焊接性。主要用于制造耐蚀性高的焊接容器、管道、壳体及受力小的结构件等。各种防锈铝合金均不能用热处理方法强化，但可通过压力加工方法提高其强度。

(2) 硬铝合金 硬铝合金是铝-铜-镁系合金。这类合金经热处理后，强度、硬度明显提高，但耐蚀性差，尤其不耐海水腐蚀。若需要防护的硬铝件，可以在其表面包一层纯铝，以提高其耐蚀性。硬铝合金主要用于制造飞机的大梁、隔框、空气螺旋桨以及螺栓、铆钉等。

(3) 超硬铝合金 超硬铝合金是在硬铝合金的基础上，再加入锌形成的铝-铜-镁-锌系合金。这类合金的强度比硬铝合金还高，但它的耐蚀性较差，表面一般也要用纯铝包覆，以防腐蚀。超硬铝合金主要用于制造飞机上受力较大的结构零件，如飞机大梁、桁架、起落架等。

(4) 锻造铝合金 锻造铝合金大多属于铝-铜-镁-硅系合金。这类合金的力学性能与硬铝合金相近，而且具有良好的热塑性和耐蚀性，适用于压力加工方法制造形状复杂的零件，如蒸汽机轮、风扇叶轮、内燃机活塞等。

二、铜及铜合金

1. 铜、纯铜

纯铜是玫瑰红色的金属，表面被氧化生成氧化铜薄膜后呈紫红色。它的导电

性、导热性比铝还高，容易经冷、热加工制成线材、板材和各种机械零件。由于它的表面能生成氧化铜保护膜，故其耐蚀性也非常好。但是纯铜的机械强度不高，且价格较贵，故目前使用的大都为铜合金。工业纯铜的代号用“T + 顺序号”表示。T 是铜字的汉语拼音前缀。工业纯铜有 T1、T2、T3 三种。顺序号越大，纯度越低。工业纯铜大都用来作为铜合金的原料。工业纯铜的化学成分和用途见表 2-2-7。

表 2-2-7 工业纯铜的化学成分和用途

牌 号	代 号	$w(\text{Cu})$ (%)	杂质 (质量分数,%)		杂质总量 (质量分数,%)	用 途
			Bi	Pb		
一号铜	T1	99.95	0.002	0.005	0.05	电线、电缆、导电螺钉、雷管、化工蒸发器、贮藏器和各种管道
二号铜	T2	99.9	0.002	0.005	0.1	
三号铜	T3	99.7	0.002	0.01	0.3	一般用的铜材，如电器开关、垫圈、垫片、铆钉、管嘴、油管、管道

2. 铜合金的分类

常用的铜合金有黄铜、白铜、青铜等。在机械工业中，铜及其合金的用量仅次于钢铁。

3. 黄铜

在纯铜中加入一定量的锌便成为黄铜，随着含锌量的增加，铜的颜色将逐渐由紫红变成淡黄。按化学成分的不同，它可分为普通黄铜和特殊黄铜两类。

(1) 普通黄铜 黄铜的力学性能与锌的含量有关。 $w(\text{Zn})$  在 39% 以下时，塑性很好，适于冷、热压力加工； $w(\text{Zn})$  在 39% ~ 45% 之间，则塑性下降而强度增高，脆性也加大，仅适于热压力加工和铸造。普通黄铜广泛用于制造机械零件、电器组件和日常用品。普通黄铜的代号用“H + 数字”表示。H 是“黄”字的汉语拼音前缀，数字表示平均含铜的质量分数 (%)。如 H80，表示平均  $w(\text{Cu})$  为 80% 的普通黄铜。

(2) 特殊黄铜 特殊黄铜是在普通黄铜中加入铅、铝、锰、硅等元素，以提高黄铜的力学性能、耐蚀性能以及改善某些工艺性能的黄铜。特殊黄铜是以加入元素的名称命名的，如加入铅时，称为铅黄铜，加入铝时称铝黄铜等。特殊黄铜的代号用“H + 主加元素的化学符号 + 数字”表示。数字依次表示铜和加入元素的平均质量分数 (%)。如 HSn62-1，表示平均  $w(\text{Cu})$  为 62%， $w(\text{Sn})$  约 1% 的锡黄铜。铸造黄铜则在牌号前加“Z”。常用黄铜的成分、力学性能及用途见表 2-2-8。

表 2-2-8 常用黄铜的成分、力学性能及用途

代号	化学成分 (质量分数,%)		加工 状态	力 学 性 能			用 途
	Cu	其他		$R_m$ / MPa	$A$ (%)	硬度 HBW	
H90	88.0 ~ 91.0	余量 Zn	软	260	45	52	双金属片、供水和排水管、徽章、 艺术品 (又称金色黄铜)
			硬	480	4	130	
H68	67.0 ~ 70.0	余量 Zn	软	320	55	—	复杂的冲压件、散热器外壳、弹 壳、导管、波纹管、轴套
			硬	660	3	150	
H62	60.5 ~ 63.5	余量 Zn	软	320	49	56	螺钉、铆钉、销钉、螺母垫圈、气 压表弹簧、网筛夹线板
			硬	500	3	164	
HSn62-1	61.0 ~ 63.0	0.7 ~ 1.1Sn	软	400	40	50	与海水和汽油接触的船舶零件 (又称海军黄铜)
		余量 Zn	硬	700	4	95	
HSi80-3	79.0 ~ 81.0	2.4 ~ 4.0Si	软	300	40	90	船舶零件,在海水、淡水和蒸汽 ( < 265℃ ) 条件下工作的零件
		余量 Zn	硬	600	4	180	
HMn58-2	57.0 ~ 60.0	1.0 ~ 2.0Mn	软	400	40	85	腐蚀条件下工作的重要零件和弱电 流用零件
		余量 Zn	硬	700	10	175	
HPb59-1	57.0 ~ 60.0	0.8 ~ 1.9Pb	软	400	45	44	热冲压件及切削加工零件,如销、 螺母、螺钉、垫片、衬套、喷嘴等
		余量 Zn	硬	650	16	140	
HA1 77-2	57.0 ~ 60.0	2.5 ~ 3.5Al	软	380	50	75	船舶、电机及其他在常温下工作的 高强度、耐蚀零件
		2.0 ~ 3.0Ni 余量 Zn	硬	650	15	150	

注：软—600℃退火；硬—变形度 50%。

4. 白铜

白铜是以铜和镍为主的铜合金。普通白铜是铜和镍的二元合金；在普通白铜的基础上加入其他元素时成为特殊白铜。

(1) 普通白铜 通常把  $w$  (Ni) 小于 50% 的铜镍合金称为普通白铜。它有优良的塑性，还具有很好的耐蚀性、耐热性和特殊的电热性，因此，它是制造精密机械零件和电器组件不可缺少的材料。普通白铜的代号用“B + 数字”表示。B 是白字的汉语拼音前缀，数字表示平均含镍的质量分数 (%)。如 B19，表示平均  $w$  (Ni) 为 19% 的普通白铜。

(2) 特殊白铜 特殊白铜是在普通白铜中加入锌、铝、铁、锰、等元素，以改善白铜的力学性能、工艺性能、电热性以及某些特殊性能的白铜。

5. 青铜

青铜是纯铜和某些元素（锡、铝、硅、铍、铅）组成的合金的统称。以锡为主要加入元素的称为锡青铜，以铝或硅、铅、锰、镍、铍等为主要加入元素的称

为无锡青铜或特殊青铜，如铝青铜、硅青铜、铅青铜、铍青铜等。大多数特殊青铜都具有比锡青铜更高的力学性能、耐磨性及耐蚀性能。

青铜的代号用“Q + 主加元素的化学符号 + 数字”表示。Q 是青字的汉语拼音前缀，数字依次表示主加元素和其他加入元素的平均质量分数（%）。铸造青铜在牌号前加“Z”，如 ZQSn10-1，表示平均  $w(\text{Sn})$  为 10%，其他加入元素的质量分数约为 1% 的铸造锡青铜。

锡青铜也称为普通青铜，是以锡为主加元素的铜合金。锡对青铜的力学性能有很大影响。当  $w(\text{Sn})$  小于 5% ~ 6% 时，塑性良好；超过 6% 时，强度增高而塑性急剧下降；大于 20% 时，强度急剧下降。因此，工业上使用的锡青铜  $w(\text{Sn})$  一般在 3% ~ 14% 之间。 $w(\text{Sn})$  小于 8% 时的锡青铜，由于具有较好的塑性和适当的强度，适于压力加工；而  $w(\text{Sn})$  大于 10% 的锡青铜，塑性较差，只适用于铸造。锡青铜具有良好的耐蚀性、耐磨性和铸造工艺性，适于制造耐磨性和耐腐蚀的零件以及铸造对外形尺寸要求较严的铸件，但因其致密度较低，不宜于制造要求致密度高及密封性好的铸件。常用青铜的化学成分、力学性能及用途见表 2-2-9。

表 2-2-9 常用青铜的化学成分、力学性能及用途

牌号	代号	化学成分 (质量分数, %)		加工 状态	力 学 性 能			用 途
		第一主 加元素	其他		$R_m/\text{MPa}$	$A(\%)$	硬度 HBW	
4-3 锡青铜	QSn 4-3	Sn 3.5 ~ 4.5	Zn 2.7 ~ 3.3 余量 Cu	软	350	40	60	弹性组件、管配件、化工机械中耐磨零件及抗磁零件
				硬	550	4	160	
6.5-0.1 锡青铜	QSn 6.5-0.1	Sn 6.0 ~ 7.0	P 0.1 ~ 0.25 余量 Cu	软	350 ~ 450	60 ~ 70	70 ~ 90	弹簧、接触片、振动片、精密仪器中的耐磨零件
				硬	700 ~ 800	7.5 ~ 12	160 ~ 200	
7 铝青铜	QAl 7	Al 6.0 ~ 8.0	—	软	470	70	70	重要用途的弹簧和弹性元素
				硬	980	3	154	
2 铍青铜	QBe 2	Be 1.9 ~ 2.2	Ni 0.2 ~ 0.5 余量 Cu	软	500	40	90HV	重要的弹簧与弹性组件、耐磨零件，在高速、高压和高温下工作的轴承
				硬	1250	3	330	
3-1 硅青铜	QSi 3-1	Si 2.75 ~ 3.5	Mn 1.0 ~ 1.5 余量 Cu	软	350 ~ 400	50 ~ 6	80	弹簧、在腐蚀介质中工作的零件及蜗轮、蜗杆、齿轮、衬套制动销等
				硬	650 ~ 750	01 ~ 5	180	

第六节 钢的热处理方法

随着科技的迅猛发展，结构体积小巧、坚固耐用、可靠性强是人类追求的目标。因此，人们对钢铁材料性能的要求越来越高。提高钢材性能主要有两个途径：一是调整钢的化学成分，在钢中有意加入一些合金元素，即合金化的方法；二是对钢进行热处理，通过热处理改变其内部组织，从而改善材料的加工工艺性能和使用性能。例如，用 T8 工具钢制造的镗子，淬火前材料的硬度仅为 180 ~ 200HBW，硬度极低（接近被加工材料硬度），难以镗削金属，经过淬火处理后，硬度可达 60 ~ 62HRC，硬度提高很多，而且耐磨性好，切削刃锋利。由此可见，热处理是充分挖掘材料潜力，提高生产效率和产品质量，延长零件的使用寿命，减少刀具磨损的有效手段。所以，热处理在机器制造业中占有很重要的地位。

热处理即采用适当的方式对金属材料或工件进行加热、保温和冷却，以获得所预期的组织结构与性能的工艺。根据加热和冷却方式的不同，热处理的分类及主要目的见表 2-2-10。

表 2-2-10 热处理的分类及主要目的

按 大 类 分	具 体 类 型	主 要 目 的
整体热处理	退火 正火	细化晶粒，消除内应力，调整钢件的硬度，以利于切削加工
	淬火	提高工件的强度和硬度，增加工件的耐磨性，延长工件的使用寿命
	回火	消除淬火后的内应力，增加韧性
	调质	使钢件获得高韧性和足够的强度，使其具有良好的综合力学性能
	时效	消除毛坯制造时产生的内应力，以防止或减少由于内应力引起的变形
表面热处理	火焰淬火感应加热（高频、中频、工频）淬火	使工件表面具有高的硬度，提高耐磨性，工件心部具有足够的塑性和韧性
化学热处理	渗碳 渗氮 碳氮共渗及渗金属等	提高钢外层的硬度、耐磨性和疲劳强度

热处理的方法虽然很多，但各种热处理工艺过程都是由加热、保温、冷却三个阶段组成的。通常将这一工艺过程用“温度-时间”曲线表示，图 2-2-2 所示即



为简单的热处理工艺曲线。

## 一、退火与正火

经过轧制、锻造、铸造、焊接的零件坯料内部常存在各种组织和性能上的缺陷，经过适当的退火或正火处理，可以消除这些缺陷，为后面的加工工序做准备。

退火与正火的目的是调整钢件硬度，以利于切削加工。如高碳钢和一些合金钢经轧制或锻造后，常因硬度较高难以切削加工；而低碳钢坯料往往因硬度太低，切削时易“粘刀”而影响加工效率和零件表面粗糙度。经适当的退火与正火处理后，钢件硬度可控制在 170 ~ 230HBW 之间，最适于切削加工。也可以消除钢中残留应力，以防止变形及开裂，并改善钢的力学性能。

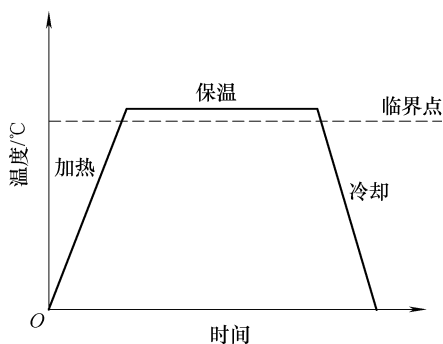


图 2-2-2 简单的热处理工艺曲线

### 1. 退火

将钢加热到适当温度（不同钢号的临界温度不同，一般是 710 ~ 750℃，个别合金钢到 800 ~ 900℃），在此温度保持一定时间（保温），然后，在炉内或埋入导热性差的介质中缓慢冷却的热处理工艺称为退火。根据钢的成分和退火目的不同，退火又分为以下几种：

（1）晶粒细化处理 主要应用于铸件、锻件、焊接件的处理，目的是细化晶粒，消除内应力，降低硬度，改善切削加工性能。

（2）球化退火 是一种使工件中的碳化物球状化而进行的退火，主要应用于合金钢工件。经球化退火后，工件硬度降低、脆性减少，提高了切削加工性能。

（3）再结晶退火 即经冷塑性变形加工的工件加热到再结晶温度以上，保持适当时间，通过再结晶使冷变形过程中产生的晶体学缺陷基本消失，重新形成均匀的等轴晶粒，以消除形变强化效应和残余应力的退火。钢在冷态下加工或锻造后，会产生加工硬化和很大的内应力。为了改善钢件的力学性能，保证机械加工的顺利进行，一般采用再结晶退火工艺。

（4）去应力退火 即为去除工件塑性变形加工、切削加工或焊接造成的内应力及铸件内存在的残余应力而进行的退火。这种退火由于加热温度低于临界点，工件不发生组织转变，只是在热状态下消除了内应力。去应力退火常用于处理铸件和焊接件，以防止变形和开裂。

常用材料的退火温度见表 2-2-11。



表 2-2-11 常用材料的退火温度

材 料	退火温度/℃	退 火 方 法
纯铜	400 ~ 450	空气中冷却
黄铜	500 ~ 540	空气中冷却
纯铝	200 ~ 250	保温 40 ~ 45min 后，空气中冷却
合金铝	350 ~ 400	保温 30min，炉中冷却至 250℃，在空气中冷却
T8	750 ~ 770	保温 30min 后，炉中冷却至 650 ~ 680℃，随炉冷却
T10、T12	750 ~ 770	保温 30min 后，炉中冷却至 680 ~ 700℃，随炉冷却
Cr12	850 ~ 900	保温，随炉冷却
W18Cr4V	870 ~ 880	保温，随炉冷却

2. 正火

将工件加热奥氏体化后在空气中或其他介质中冷却获得以珠光体组织为主的热处理工艺即正火。

正火的目的与退火基本相同，不同的是正火的加热温度稍高，而且冷却速度较退火快。正火后，钢的强度、硬度都比退火时高，塑性较退火时低。

二、淬火

将工件加热奥氏体化后以适当方式冷却获得马氏体或（和）贝氏体组织的热处理工艺。称为淬火。其主要目的是提高工件的强度和硬度，增加工件的耐磨性，延长工件的使用寿命。

对于工具钢来说，淬火的主要目的是提高其硬度，以此保证用其制造的刀具的切削加工性能及制造模具的耐磨性能。对于碳钢制造的零件，淬火是为以后回火做好结构和性能上的准备。因为淬火后，强度、硬度增加，韧性降低，通过回火后，适当降低部分硬度，可大大增加零件的韧性。

工件淬火后常有硬度不足的缺陷，这是由于加热温度低，保温时间不足或冷却速度不够快造成的，可在正火后重新进行淬火处理。工件变形开裂，主要是淬火内应力造成的。减少、避免变形和开裂的主要措施是，正确选材和合理设计零件结构。零件结构设计中，应尽量减少不对称性，避免尖角等。淬火前进行退火或正火、预热，加热时严格控制加热温度，采用合适的冷却方法均可减少内应力。

三、回火

回火是紧接着淬火之后进行的一种热处理工艺。工件淬硬后加热到临界点  $A_{c1}$  以下的某一温度，保温一定时间，然后在油、水或空气中冷却到室温的热处理工艺称为回火。回火的主要目的是消除淬火后的内应力，增加韧性。回火后零件的强度、硬度下降，塑性、韧性提高。根据回火温度和作用的不同，回火又分为以

下几种。

1. 低温回火

工件在 250℃ 以下进行的回火称为低温回火。其目的是在保持工件淬火后得到的高硬度和耐磨性的情况下，降低淬火脆性及内应力。这种回火方法主要用于各类高碳工具、模具、量具、滚动轴承、渗碳件及表面淬火件等。低温回火后的硬度一般为 58 ~ 64HRC。

2. 中温回火

工件在 250 ~ 500℃ 之间进行的回火称为中温回火。这种回火方法可以在保持一定硬度的情况下，使工件得到较高的弹性。中温回火可显著减少淬火应力，并使零件得到较高的屈服强度、抗拉强度和韧性。中温回火主要用于各种弹簧、弹簧夹头、锻模及回火硬度在 35 ~ 45HRC 之间的零件。

3. 高温回火

在 500℃ 以上进行的回火称为高温回火。高温回火几乎能完全消除淬火内应力，并使工件得到高强度和高韧性的综合力学性能。工件淬火并高温回火的复合热处理工艺即为调质处理。常用工具淬火和回火后的硬度见表 2-2-12。

表 2-2-12 常用工具淬火和回火后的硬度

工 具 名 称	材 料	硬度 HRC	工 具 名 称	材 料	硬度 HRC
铰 子	T7、T7A、T8	56 ~ 58	圆板牙	T10A、GCr15	60 ~ 63
刮 刀	T12、T12A	62 ~ 64		9SiCr 9CrWMn	
锉 刀	T10、T10A	60 ~ 67	卡 尺	CrWMn	60 ~ 62
锤 子	T7、T8	49 ~ 56	刀 片	Cr12	62 ~ 64
手锯条	T10、T12	55 ~ 59	扳 手	40、45、40Cr	40 ~ 50
钻头铤钻	W6Mo 5Cr4V2, 9Cr2	61 ~ 63	螺钉 旋具	T7、T8	46 ~ 52 54 ~ 58
	9CrMnMo T10A、T12A	60 ~ 62	冲子 冲头	T7、T8	54 ~ 58
丝锥 板牙			冲模	T12、T12A CrWMn	60 ~ 62
铣刀 铰刀	9SiCr CrWMn	62 ~ 64	带锯	9Mn2V 60、65、65Mn	54 ~ 56

四、调质

工件淬火并高温回火的复合热处理工艺称为调质。其目的是使钢件获得高韧

性和足够的强度，使其具有良好的综合力学性能。调质一般在机械加工以后进行，绝大部分是把毛坯或经粗加工的零件调质后再进行机械加工。它主要用于承受冲击、交变载荷作用下的重要结构零件、工模具，如轴、齿轮、连杆、螺栓等；还常作为渗碳、表面淬火等表面强化件及某些精密零件、模具、量具的预备热处理。中碳钢调质后的硬度一般在 200 ~ 300HBW 之间。

## 五、时效

时效即工件经固溶处理或淬火后在室温或高于室温的适当温度保温，以达到沉淀硬化的目的。

时效处理有自然时效和人工时效两种。

自然时效是将要加工的工件，先在需要加工的表面进行粗加工，然后在室温停放一段时间，使其内应力逐渐减小。

人工时效是将工件在高于室温的适当温度进行的。比如，精加工之前，将工件加热到 100 ~ 160℃，保持 10 ~ 40h，然后缓慢冷却。

时效处理的目的是消除毛坯制造或粗加工时产生的内应力，以防止或减少工件由于内应力引起的变形。

## 六、发黑和发蓝处理

发黑和发蓝处理同属于氧化处理方法。其主要作用是使工件表面生成一层很薄的保护膜而增强工件表面防锈和耐蚀能力，同时可使工件表面光泽美观。对于淬火工件进行发黑和发蓝处理时，还可消除淬火应力。

### 1. 发黑处理

将工件放在很浓的碱和氧化剂液中氧化，使工件表面生成一层黑色的四氧化三铁薄膜的过程，称为发黑处理。发黑处理主要应用于碳素钢和低碳合金钢及其制成的工件，由于材质和其他因素的影响，发黑层的薄膜有蓝黑色、黑色、红棕色及棕褐色等。其组织较致密，厚度为 0.6 ~ 0.8μm。

### 2. 发蓝处理

发蓝是利用回火的方法，使钢件表面生成各种不同颜色的氧化膜，具体方法是：将工件加热到 350 ~ 450℃，保温 5 ~ 6min 取出工件，将需要发蓝的表面涂上石蜡，再放回箱中加热 10 ~ 15min，就得到一层蓝色的氧化膜。这种方法主要用于一般常见的紧固件和各种小型零件，如螺母、螺钉、垫圈及表针等。

## 第七节 钢的简易鉴别

人们在实践中鉴别材料的方法很多，一方面是借助于各种仪器设备，另一方面是根据在生产实践中积累的经验进行直观检查。借助仪器设备虽然准确，但时

间较长,而钢的简易鉴别不需要专门的设备,简单易行,在现场施工中较为适用,也能获得理想的结果。

## 一、钢的火花鉴别

钳工在生产实践中,常用火花爆裂对钢材牌号进行判断。钢在砂轮上打磨,被砂轮切削成细小的热粉末,高速飞射到空中,在空气中急速氧化,产生高热,甚至达到钢的熔点,处于熔融状态。粉末中的碳与氧化合成一氧化碳气体,由于体积膨胀,产生很大的内压应力,当内压力超过熔融液体的表面张力时,便会爆裂产生火花。经一次爆裂后,若被粉碎的粉末中尚存在残留的碳元素,则将进行第二次或多次爆裂。

钢材的牌号不同,火花的形状、色泽也不同。钢中所含有的元素对火花的特性也有很大影响。碳是引起火花爆裂的主要元素,随着碳含量的增加,花粉增多,亮度增加。当其他元素和碳共存时,有助长碳素爆裂的,有阻止碳素爆裂的,作用不同。其中助长碳素爆裂的有锰、铬等元素,阻止碳元素爆裂的有钨、硅、镍、钼等元素。由此可知,通过火花鉴别,可以判断钢材的化学成分及钢号。

### 1. 火束各部分的名称

(1) 火束 钢材在砂轮上磨削所产生的各种线状及花状的全部火花称为火束,如图 2-2-3 所示。

(2) 流线 火束中发光的线条状的火流称为流线,常见的有直线流线、断续流线及波状流线,如图 2-2-4 所示。

(3) 节点与芒线 流线中途爆裂的明亮点称为节点。由于节点射出的细短流线称为芒线,芒线又称分叉。芒线射出途中又可产生节点和芒线,因此,有一次芒线、二次芒线、三次芒线之分,如图 2-2-5 所示。

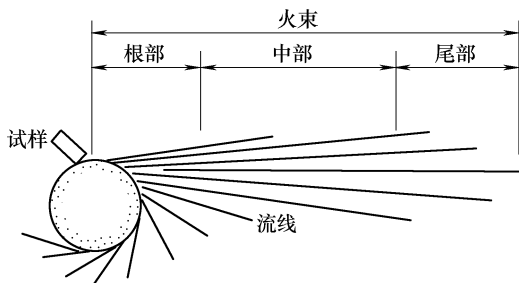


图 2-2-3 火束及其组成

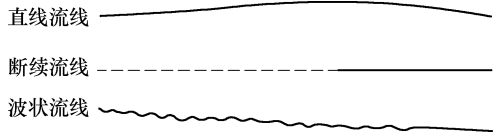


图 2-2-4 流线的形状

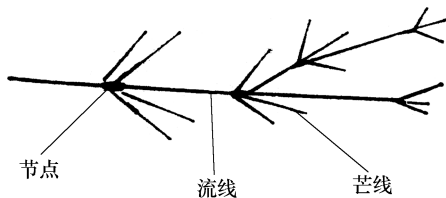


图 2-2-5 节点与芒线

(4) 节花与花粉 由节点和芒线所组成的火花称为节花。流线上的节点与一次芒线组成一次火花;一次芒线上的节点与二次芒线组成二次火花;二次芒线上

的节点与三次芒线组成三次火花。分布在节花之间的明亮小点称为花粉，如图 2-2-6 所示。

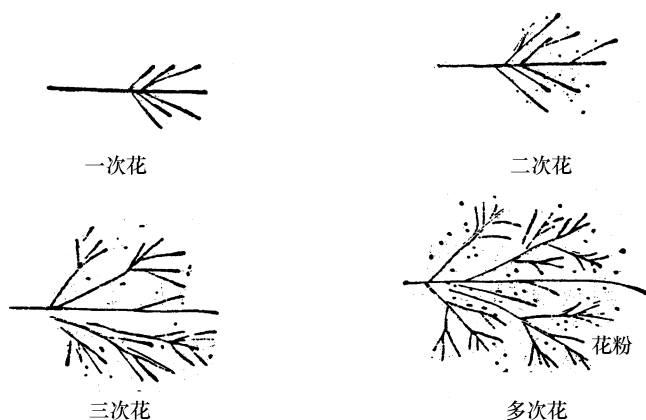


图 2-2-6 节花与花粉

## 2. 碳钢的火花特征

(1) 碳钢的火花特征 碳钢随含碳量的增加，火束长度缩小，流线增多且由粗变细，芒线也逐渐变细变短，爆裂火花数量增多，由一次节花转为三次节花。含碳量较高时，三次节花极多，三层、四层重叠开花，出现大量的花粉。

(2) 合金钢的火花特征 合金钢的火花随合金元素的不同而变化。一类是助长火花爆裂的元素，如 W、Mo、Si 等。助长火花爆裂的元素表现为火花活泼，芒线多而细，三次节花和花粉增多并且开花大。例如，锰钢的火花具有较大的白亮节点，火花较大。铬钢的火花分叉非常多，呈大星形，活泼美观。抑制火花爆裂的元素起着减少爆裂火花的作用，甚至无明显爆裂火花，导致火束暗淡，流线色泽不鲜。例如，含钨元素较高的钢，几乎无爆裂火花，呈暗红色的断续流线。总之，合金钢的火花比较复杂，掌握它的特征必须对钢种反复观察。

## 3. 常见的火花特征

(1) 20 钢的火花特征 20 钢火束较长，流线不多，略带红色，芒线稍粗，花量少，呈多根分叉的一次节花，如图 2-2-7 所示。

(2) 45 钢的火花特征 45 钢火束较短，发光明亮，流线稍细而多，多根分叉的三次节花数量较多，有小花及花粉，如图 2-2-8 所示。



图 2-2-7 20 钢的火花特征



图 2-2-8 45 钢的火花特征

(3) T10 钢的火花特征 T10 钢火束短，呈暗红色，根部暗淡，流线多而细密，有大量的三次节花、碎花和花粉，如图 2-2-9 所示。

(4) W18Cr4V 钢的火花特征 W18Cr4V 钢的火束细长呈暗红色，无火花爆裂，流线断续而细，尾部呈狐尾状，如图 2-2-10 所示。



图 2-2-9 T10 钢的火花特征



图 2-2-10 W18Cr4V 钢的火花特征

火花鉴别时，应避免其他光线照射，最好在暗处进行，钢材与砂轮摩擦时，用力要均匀适中，为便于观察，火花要略高于水平方向射出。由于非平衡组织的火花比较活跃，鉴别前必须掌握钢材的组织状态，除此，还要备有标准钢材试样，以便对照。

## 二、钢的硬度鉴别

硬度在一定程度上能反映钢中含碳量的高低。测定硬度，目前有布氏、洛氏等硬度测量仪器。在生产实践中，利用锉刀也可以大致鉴定普通钢的硬度，硬度大的锉削难，硬度小的锉削易，从而就能大致地判断出钢的含碳量。低硬度的钢材用任何锉刀都能锉动；中硬度的钢材只能用细锉或油光锉才能锉动，粗锉就锉不动了；高硬度的钢材只有用油光锉才能锉动。实践中通过锉削感觉鉴定硬度的情况如下：低硬度 40HRC；中硬度 40~50HRC；高硬度 50HRC 以上。

## 三、钢的断面鉴别

用肉眼或放大镜（不超过 30 倍）对试样或工作断裂表面的观察分析称为断面鉴别法。断面分析具有全面和直观的优点，因此，它已经成为金属分析的一种重要方法。从断面晶粒大小、色泽、棱角能鉴别钢的大致含碳量，根据含碳量相应地能判断出钢的性能。含碳量低的钢，断面晶粒细致，色泽呈灰白色；含碳量高的钢，断面晶粒稍粗，色泽稍呈白色。合金钢的断面，一般晶粒都细。高速钢的断面，晶粒更细，和破碎的细瓷差不多。铸钢件的断面晶粒较细，色泽银灰，棱角尖锐。

量具与测量及基本操作技术

一、基本知识（见表 2-3-1、表 2-3-2）

表 2-3-1 量具与测量的常用名词术语和定义

名词术语	定 义
实物量具	使用时以固定形态复现或提供给定量的一个或多个已知量值的量具。例如：钢直尺、螺纹量规、铸铁平板、量块
测量仪器	单独地或连同辅助装置一起用以进行测量的器具。例如：坐标测量仪、激光干涉仪、电感传感器、百分表、游标卡尺
量程	标称范围两极限值之差的模。例如：-10~10V 的标称范围，其量程为 20V
示值范围	极限示值界限内的一组值
分度值	对应相邻标尺标记的两个值之差
测量	为确定量值进行的一组操作
直接测量法	不必测量与被测量有函数关系的其他量，而能直接得到被测量值的测量方法
间接测量法	通过测量与被测量有函数关系的其他量，来得到被测量值的测量方法
真值	与给定的特定量定义一致的值
[测量器具] 示值	测量器具所给出的量值
测量仪器准确度	测量仪器给出接近真值的响应能力
测量仪器 [示值] 误差	测量仪器的示值与对应输入量的真值之差
灵敏度	测量仪器的响应变化除以相应的激励变化
偏差	一个值减去其参考值
修正值	用代数方法与未修正测量结果相加，以补偿其系统误差测的值
标称值	用于指导使用测量器具特性圆整值或近似值
[显示装置] 分辨力	能被有效辨别的显示装置的示值间的最小差异



表 2-3-2 检测的一般程序及选择原则

序号	程 序	选 择 原 则
1	选择测量方法	明确测量目的,在确定生产批量的前提下,根据被测件的结构尺寸、精度特征,以及现有器具的条件等选择适当的被测量方法,并保证测量的精度
2	选择计量器具	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由工件的批量决定 批量小,选用通用的器具;批量大,选用专用量具、检验夹具,以提高测量效率</li> <li>2. 由工件的结构和质量大小情况来决定 较小的简单工件,可放到计量器具上检测;质量大、复杂的工件,可将计量器具放到工件上测量</li> <li>3. 由工件尺寸的大小来决定 要使所用的计量器具的测量范围、示值范围、分度值等能满足工件尺寸大小的要求</li> <li>4. 由工件的尺寸公差大小来决定 工件的公差小,计量器具精度要高;工件的公差大,计量器具精度应低</li> </ol>
3	选择测量基准面	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 测量基准面应和设计基准面、工艺基准面、装配基准面相一致</li> <li>2. 当工艺基准面不能与设计基准面一致时,应以下列原则选择测量基准: <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 在工序间检测时,测量基准面应与工艺基准面一致</li> <li>(2) 在终结检测时,测量基准面应与装配基准面一致</li> </ol> </li> <li>3. 辅助基准面的选择原则 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 选择精度较高的尺寸或尺寸较长的尺寸作辅助基准面</li> <li>(2) 选择稳定性较好且精度较高的尺寸作辅助基准面</li> <li>(3) 当被测参数较多时,应在精度大致相同的情况下,选择各参数之间关系较密切、便于控制各参数的一个尺寸作为辅助基准面</li> </ol> </li> </ol>
4	选择定位方法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 对于平面,可用平面或三点支承定位</li> <li>2. 对于球面,可用平面或 V 形块定位</li> <li>3. 对于圆柱表面,可用 V 形块或顶尖,自定心卡盘定位</li> <li>4. 对于内圆柱表面,可用心轴、自定心卡盘定位</li> </ol>
5	控制测量条件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 应控制检测所处环境的温度、振动、灰尘、腐蚀性气体等的客观情况</li> <li>2. 减小或消除温度误差 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 选择与被测工件膨胀系数一致或相近的计量器具进行测量,应先将温度稳定后,再进行测量</li> <li>(2) 在标准温度条件下进行测量</li> </ol> </li> </ol>
6	测量结果的处理	测量中,由于存在误差,测量的值只能是真值的近似值,在计算结果里,只允许最后一位数字是可疑的或不可靠的,并应遵循测得值计算过程中的计算法则和近似数的截取方法



二、量具的分类及用途（见表 2-3-3）

表 2-3-3 量具的分类及用途

类别	名 称	用 途
游标 量具	游标卡尺	测量一般件的内、外尺寸
	带百分表的游标卡尺	测量较精密工件的内、外尺寸
	深度游标卡尺	测量凹槽深度尺寸
	高度游标卡尺	测量高度尺寸和用于精确划线
微分 量具	外径千分尺	测量外径、长度和厚度等
	内径千分尺	测量内孔尺寸
	深度千分尺	测量孔、槽深度尺寸
	杠杆千分尺	精密测量外径、长度和厚度尺寸等
	齿厚游标卡尺	测量齿轮的齿厚尺寸
	公法线千分尺	测量齿轮的公法线长度
	带表千分尺	用于外尺寸的精密测量
	内侧千分尺	测量深沟、槽和浅孔的直径尺寸
指示式 量仪	千分表	检验机床几何精度和几何误差
	内径百分表	测量孔和槽的尺寸
	杠杆齿轮比较仪	测量工件的几何误差和进行长度尺寸的比较测量
	扭簧比较仪	测量工件的长度尺寸和形状误差
角度 量具	角度块	检测角度、样板等
	条式和框式水平仪	测量直线度、平面度、垂直度、倾斜度
	正弦规	测量锥体的内、外锥度和角度
	直角尺	检测工件的垂直度误差
平直 量具	样板直尺	检验工件的直线度和平面度误差
	平尺	检验工件的直线度和平面度误差
	平板	用涂色法检验工件的平面度误差
	垂直量仪	测量内、外角的垂直度误差

三、检测方法及科学选择量具

1. 检测方法（见表 2-3-4 ~ 表 2-3-6）

表 2-3-4 轴与孔的检测方法

检测项目	检 测 器 具	检 测 方 法
轴	卡规	成批大量生产中，对公差等级为 IT6 ~ IT16 的轴，常用卡规检验，检验时，通端（T）能通过，止端（Z）不能通过，则工件为合格品。其他情况常用千分尺和量仪等检验

(续)

检测项目	检测器具	检测方法
孔	塞规	对公差等级为 IT6 ~ IT16 的孔，常用塞规检验，检验时，通端（T）能通过，止端（Z）不能通过，则工件为合格品。其他情况常用内径千分尺、内径百分表等测量
	浮标式气动量仪，气动塞规，上限和下限校对环规	在成批大量生产中，常使用浮标式气动量仪测量孔的尺寸 检测前，先将塞规插入下限校对环规，进行零位调节，使浮标处于“0”位，再将塞规插入上限校对环规，使浮标处于被测孔的上限位置，如浮标不在此位，应调整倍率。这样，反复用上、下限校对环规进行零位和倍率调整，直到满意为止

表 2-3-5 常用角度的检测方法

检验方法	测量角度	检验说明
直接测量法	<10°	用专门制作的角度样板或用仪器检测
	≥10°	用角度块检测
	90°	1. 用直角尺检测 2. 用直角尺与塞尺结合，测得工件的实际角度
	0° ~ 360°	用游标万能角度尺检验工件角度或用角度划线
间接测量法	—	用圆柱、量块测量得的尺寸，再通过计算求出角度

表 2-3-6 圆柱齿轮的单项检测

检测项目	检验量具	检测方法
齿厚	齿厚游标卡尺	检测时，先将垂直齿的游标调整到相应的尺寸（齿顶高）并用螺钉紧定，然后将游标卡尺卡在齿轮上，并以齿顶圆定位将游标卡尺放正位置；调整水平游标尺，使两测量爪与齿轮两齿面接触后读数，水平游标尺的示值与理论齿厚之差，即为齿厚偏差
公法线长度	公法线千分尺	检测时，按规定的跨齿测量，使尺的两平行测头卡入相应的齿槽中，进行测量和读数，测得的公法线长度与公法线的理论长度之差，即为公法线长度极限偏差

2. 科学选择量具，保证零件的质量

工厂在检验零件时，时常是仅凭检验人员的经验去选择测量器具，若检验人员的经验不足则难以选择到正确的测量器具。若精度高的零件选用精度低的测量器具检验，就会带来很大测量误差，直接影响零件的质量，反之会影响经济性，造成不必要的浪费。因此，要应用科学的方法选择测量器具。选择方法就是按照测量器具的不确定度值来选择。测量器具的不确定度值由被测工件公差带的安全裕度 A 值来确定，而 A 值由被测工件公差值的大小所确定。这三者的关系，见表 2-3-7 ~ 表 2-3-10。被测工件公差带的安全裕度 A 如图 2-3-1 和图 2-3-2 所示。

表 2-3-7 工件公差、安全裕度 A 与测量器具不确定度允许值

(单位: mm)

工 件 公 差		安全裕度 A	测量器具不确定度 允许值 $U_1$
大于	至		
0.009	0.018	0.001	0.0009
0.018	0.032	0.002	0.0018
0.032	0.058	0.003	0.0027
0.058	0.100	0.006	0.0054
0.100	0.180	0.010	0.0090
0.180	0.320	0.018	0.0160
0.320	0.580	0.032	0.0290
0.580	1.000	0.060	0.0540
1.000	1.800	0.100	0.0900
1.800	3.200	0.180	0.1600

表 2-3-8 千分尺和游标卡尺的不确定度值

(单位: mm)

尺 寸 范 围		测量器具类型				
		外径千分尺 分度值 0.01	内径千分尺 分度值 0.01	游标卡尺 分度值 0.02	游标卡尺 分度值 0.05	
大于	至	不确定度值				
0	50	0.004	0.008	0.020	0.050	
50	100	0.005				
100	150	0.006				
150	200	0.007	0.013	—	0.10	
200	250	0.008				
250	300	0.009				
300	350	0.010	0.020			
350	400	0.011				
400	450	0.012				
450	500	0.013	0.025			
500	600	—	0.030			0.150
600	700					
700	1000					

表 2-3-9 指示表的不确定度值 (单位: mm)

尺 寸 范 围		指示表类型			
		千分表（0 级） 分度值 0.001	千分表（1 级） 分度值 0.01、 0.02、0.05	百分表（0 级） 分度值 0.01	百分表（1 级） 分度值 0.01
大于	至	不确定值			
0	25	0.005	0.010	0.018	0.030
25	40				
40	65				
65	90	0.005			
90	115				
115	165				
165	215	0.006			
215	265				
265	315				

表 2-3-10 比较仪的不确定度值 (单位: mm)

尺 寸 范 围		比较仪的类型			
		分度值 0.0005	分度值 0.001	分度值 0.002	分度值 0.005
大于	至	不确定值			
0	25	0.0006	0.001	0.0017	0.0030
25	40	0.0007		0.0011	
40	65	0.0008			
65	90	0.0008			
90	115	0.0009	0.0012	0.0019	
115	165	0.0010	0.0013		
165	215	0.0012	0.0014	0.0020	0.0035
215	265	0.0014	0.0016	0.0021	
265	315	0.0016	0.0017	0.0022	

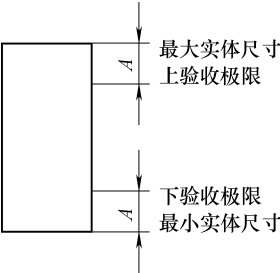


图 2-3-1 轴公差带

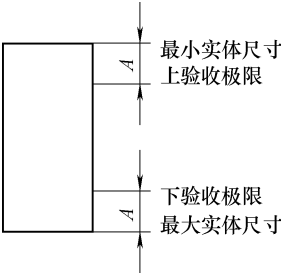


图 2-3-2 孔公差带

测量器具的具体选择方法，首先根据工件图样上标注的工件公差值，从表 2-3-7 中查得对应的安全裕度  $A$  值和测量器具不确定度允许值  $U_1$ ，再根据工件的尺寸大小和应采用的测量器具，从表 2-3-8 或表 2-3-9、表 2-3-10 中查得相关测量器具的不确定度值。如果此值小于或等于  $U_1$  值，则此测量器具符合使用要求。

由于测量器具和测量系统都存在内在公差，因此，测不出工件尺寸的真值。检验工件时，最好按工件的中间公差来检验，即将工件的最大实体尺寸和最小实体尺寸分别向公差带内移动一个安全裕度  $A$ （图 2-3-1、图 2-3-2），此称为验收极限。

$$\text{上验收极限} = \text{最大实体尺寸} - A$$

$$\text{下验收极限} = \text{最小实体尺寸} + A = \text{最大实体尺寸} - \text{公差} + A$$

3. 几何公差的检测（见表 2-3-11）

表 2-3-11 几何公差的检测

检 验 项 目	检验方法的说明
直线度	用直尺检验。直尺的刃口长度必须大于被检验表面的长度。检验时，一边观察直尺刃口与被检验表面的透光情况，一边左右摆动直尺 $15^\circ$ 左右，尽量使最大缝隙调至最小缝隙后，再判断缝隙的大小，该缝隙即是被检验工件表面的直线度误差 缝隙小于 $0.5\mu\text{m}$ ，看不见透光；缝隙大于 $0.5 \sim 3\mu\text{m}$ ，可看见蓝光；缝隙大于 $3\mu\text{m}$ 可见白光
直线度、 平面度	用水平仪检验。首先将被检验表面两端调平，然后将水平仪从一端测到另一端。移动水平仪桥板时要沿直线前进，且要“首尾相接”，记录水平仪每个位置的读数大小和正负号。将测得的一系列数据处理后求得被检验平面的直线度误差 检验若干个断面的直线度，经处理后求得被检平面的平面度误差
直线度、 平面度	用自准直仪检验。自准直仪固定不动，平面反射镜在被检平面上像水平仪那样沿直线并“首尾相接”向前移动。当被检平面有直线度误差时，从反射镜上反射回的光的影像与自准仪内的十字像不重合，这时可调整自准直仪的测微装置鼓轮，使两个像重合，读出鼓轮调整前后的差值。记录下平面反射镜在每个位置时鼓轮调整前后的读数差及其符号，将这些数值进行数据处理后，即得到被检平面的直线度误差 测量若干个平面的直线度误差，经数据处理后得到平面度误差
直线度	用钢丝检验。选用粗细均匀的优质钢丝，将其一端固定，以重力 $G = 80gd^2$ （ $d$ 为钢丝直径， $g$ 为重力加速度）的力拉紧钢丝，并使钢丝与被检平面平行。检验时读数显微镜按等距离沿直线一步一步向另一端移动。如果钢丝的影像与显微镜内的十字像不重合，则调整显微镜的测微鼓轮使两个像重合，并记录下鼓轮调整前后的差值。将显微镜移至每个位置的鼓轮读数差及其正负符号记录下来，对这些数值进行处理，即求得被检验平面的直线度误差
平面度	用平尺检验。将被检验平面和平尺的工作面擦干净，在被检验平面上涂一层薄薄的红丹油，将平尺的工作面扣在被检验的平面上。来回拖动平尺，根据被检平面上的接触斑点数来评定被检验平面的平面度误差

(续)

检 验 项 目	检验方法的说明
平面度	用打表法检验。将被检验平面用固定支承和可调支承调平（用指示计测平面上最远三点，使指示计在这三点处的读数相同），然后将指示计的支座在平板上拖动，观察指示计指针的变化。根据指示计的最大与最小读数之差评定被检平面的平面度误差
直线度	<p>用塞入法检验。用两块等尺寸量块将平尺支承在被检平面上，然后用不同尺寸的量块塞入平尺与被检平面之间</p> <p>设 <math>a</math> 为两等高量块的尺寸，<math>a_1</math>、<math>a_2</math>、<math>\cdots</math>、<math>a_n</math> 为塞入两表面之间的量块尺寸，故各处的高度差为：<math>h_1 = a_1 - a</math>，<math>h_2 = a_2 - a</math>，<math>\cdots</math>，<math>h_n = a_n - a</math>。对 <math>h_1</math>、<math>h_2</math>、<math>\cdots</math>、<math>h_n</math> 进行数据处理后即求得被检平面的直线度误差</p> <p>也可以将被检平面直接扣在检验平板的工作面上，然后用塞尺塞入两表面间的缝隙。若恰好能塞入，不紧也不松，这片塞尺的厚度尺寸即是被检平面上的直线度误差</p>
平面度	<p>用平晶检验。根据光圈数或干涉条纹的弯曲程度来评定被检验平面的直线度和平面度误差</p> <p>当用大直径平晶检验小平面工件时，一次读数即可得出检验结果；当用小直径平晶检验大平面工件时，采用分段检验，将检验得到的一系列数据进行处理后求得被检结果</p>
平行度	用打表法检验。将被检验工件的一个平面放在检验平板上，用指示计检验工件的另一平面，指示计最大与最小读数差即是平行度误差
垂直度	<p>用直角尺检验，将被检验工件放在检验平板上，使直角尺的测量面与被检平面靠紧，根据两表面间的缝隙大小来判断被检工件的垂直度误差</p> <p>如果直角尺的测量面与被检验平面处接触无缝隙（不透光），则说明被检平面不仅直线度无误差，而且与基面垂直；若两表面有缝隙，说明被检平面有直线度误差；若直角尺下部与被检验平面接触上部有缝隙，说明检验平面与其基面不垂直，反之也一样。缝隙可用塞尺测量，塞尺量出的是线值，若要换算成角度值，可按下式计算</p> $\alpha = \arctan a/H'$ <p>式中 <math>a</math>——塞尺厚度（mm）；  <math>H'</math>——直角尺长边工作尺寸（mm）</p>
圆度、圆柱度	<p>用圆度仪检验。被测工件固定，圆度仪主轴带动指示计旋转测出工件被测断面的圆度误差</p> <p>指示计作准确的轴向移动，分别测出若干断面的圆度误差，经处理后得到圆柱度误差</p>
线轮廓度	用样板检验，将样板的刃口扣在工件被检部位，根据样板刃口与被检部位间的缝隙大小来判断线轮廓误差
圆柱形工件的直线度	均匀地每隔一定的角度测量一个数值，工件转一周则测量得到若干个数值，根据这些数值找出工件该断面的圆心。测量 $n$ 个断面，就找得 $n$ 个圆心，这些圆心连起来即得工件的实际轴线，根据实际轴线求出直线度误差
径向圆跳动	将被检验工件支在 V 形架上或顶在偏摆仪顶尖间，指示计的测头位于被测表面的最高点（其测杆要垂直于工件的轴线），工件旋转一周，指示计的最大与最小读数差，即是径向圆跳动

(续)

检 验 项 目	检验方法的说明
全跳动	工件的定位、安装要求都与测量径向圆跳动一样。其差别在于：被检工件绕基准轴线旋转一周的同时，指示计在平行于轴线的方向上连续移动。在整个被测长度内，指示计最大与最小读数之差，即是全跳动
同轴度	用同轴的量规检验孔，如果孔的实际要素超过理想边界，则同轴量规塞不进孔内

四、测量条件的选择

在测量过程中，如果对条件的影响不充分注意，即使用最好的测量设备，最仔细地进行测量，测量的结果也可能是不准确的。影响测量准确度的客观条件有温度、湿度、振动、灰尘等。因此，在进行测量时，必须考虑这些因素的影响。

1. 温度

物体都有热胀冷缩的特性，同一尺寸在不同温度条件下它的尺寸是不同的，因此对于某零件给出尺寸时，必须说明其温度。零件的尺寸如果没有指明其温度条件，那是没有意义的。为使测量工作能有一个统一的判断标准温度下的长度，在长度测量中，是以 20℃ 为标准温度的。

对偏离标准温度所引起的尺寸，其变化量为

$$\Delta L = L\alpha\Delta t$$

式中  $L$ ——工件的长度 (mm)；

$\alpha$ ——材料的线膨胀系数 ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )；

$\Delta t$ ——温度差 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

温度误差计算，一般有以下三种情况：

1) 温度既不相等，又非标准温度，而且线膨胀系数也各不相同。即  $t_1 \neq t_2 \neq t_{20}$ ， $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ，则

$$\begin{aligned}\Delta L &= L\alpha\Delta t = L [\alpha_2 (t_2 - 20)] - L [\alpha_1 (t_1 - 20)] \\ &= L [\alpha_2 (t_2 - 20) - \alpha_1 (t_1 - 20)]\end{aligned}$$

设：量块温度  $t_1 = 18^{\circ}\text{C}$ ， $\alpha_1 = 11.5 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；零件  $t_2 = 20.8^{\circ}\text{C}$ ， $\alpha_2 = 23 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ； $L = 100\text{mm}$ ，则

$$\begin{aligned}\Delta L &= 100 [23 (20.8 - 20) - 11.5 (18 - 20)] \times 10^{-6} \text{mm} \\ &= 0.0041 \text{mm}\end{aligned}$$

2) 温度彼此不相同，且不是标准温度，但线膨胀系数相等。即  $t_1 \neq t_2 \neq t_{20}$ ， $\alpha_1 = \alpha_2$ ，则

$$\Delta L = L\alpha\Delta t = L\alpha (t_2 - t_1)$$

设：量块  $t_1 = 22^{\circ}\text{C}$ ， $\alpha_1 = 11.5 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；零件  $t_2 = 25^{\circ}\text{C}$ ， $\alpha_2 = 11.5 \times 10^{-6}$ ； $L = 100\text{mm}$ ，则

$$\Delta L = 100 \times 11.5 (25 - 22) \times 10^{-6} \text{mm}$$
$$= 0.0035 \text{mm}$$

3) 温度彼此相等。但不是标准温度，线膨胀系数不相同。即  $t_1 = t_2 \neq t_{20}$ ， $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ，则

$$\Delta L = L\alpha\Delta t = L (\alpha_2 - \alpha_1) (t_1 - t_{20})$$

设：量块  $t_1 = 24^\circ\text{C}$ ， $\alpha_1 = 11.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ；零件  $t_2 = 24^\circ\text{C}$ ， $\alpha_2 = 23 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ； $L = 100\text{mm}$ ，则

$$\Delta L = 100 [ (23 - 11.5) (24 - 20) ] \times 10^{-6} \text{mm}$$
$$= 0.0046 \text{mm}$$

2. 湿度

湿度是指空气中水分的多少。在一般测量中，湿度的大小可不必考虑，但对某些金属材料的尺寸却有较大影响，由于空气中有  $\text{SO}_2$ （二氧化硫）、 $\text{H}_2\text{S}$ （硫化氢）、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ （硫酸氨）等，容易引起化学反应，造成金属的锈蚀。

3. 防振

防振是精密测量工作的基本要求之一。所有的光学长度计量仪器的光路系统都是由反光镜、棱镜、透镜等组成的，有些反光镜是以弹簧力作为夹持力的。所以必须考虑振动对于仪器结构的影响和对仪器示值的影响。振动对于精密测量工作的影响主要表现为示值不稳定，严重时甚至无法进行读数。特别是应用光波干涉原理的高精密仪器和装置，振动的影响尤为明显。

4. 防尘

空气的洁净是保证精密测量工作顺利进行的极重要的环境条件之一。实践证明，在精度较高的产品生产中测试和试验，灰尘对于精密测试危害极大。

五、装配与成品检验

1. 部装检验

按工艺规程将合格的零件装配成部（组）件的过程称为部装。

(1) 部装检验依据 标准、产品图样、工艺文件和检验作业指导书。

(2) 部装检验方法 巡回检查。监督工人遵守装配工艺规程，检查每个装配工位，检查有无错装和漏装的零件。部件完工后，再对部件进行全面检查。部件检查内容见表 2-3-12。

表 2-3-12 部件检查内容

检 验 项 目	检 查 内 容
装配场地	1. 装配场地要整齐、清洁，不允许存放任何与装配无关的物品 2. 装配场地如需要恒温、恒湿的，当温度、湿度未达到规定要求之前，不准装配



(续)

检 验 项 目	检 查 内 容
零件外观	1. 零件出库时, 要检查其是否有合格证或质量标志或证明文件, 确认合格后, 方准进行组装。不合格的零件, 不准装配 2. 零件不得碰撞 3. 零件加工表面无损伤、划痕、锈蚀现象 4. 零件非加工表面的油漆膜无划伤、破损, 颜色要符合要求 5. 零件表面要擦洗干净, 装配时表面要无油垢、污物 6. 中、小件转入装配场地时, 要放在工位器具内, 不准放在地上 7. 大件吊进装配场地时, 要检查放置地基的情况, 防止其变形 8. 大件质量处理记录 9. 重要焊接件的质量记录

2. 总装检验

按工艺规程将合格的零件和部件装配成最终产品的工艺过程称为总装。

(1) 总装检验依据 产品标准、装配工艺规程、产品图样以及检验作业指导书。

(2) 总装检验方法 巡回检查。监督工人遵守装配工艺规程, 检查每个装配工位, 检查有无错装和漏装。总装检验项目和内容见表 2-3-13。

表 2-3-13 总装检验项目和内容

检 验 项 目	检 验 内 容
装配场地	1. 装配场地必须整齐、清洁, 不允许存放任何与装配无关的物品 2. 光线要充足, 通道要畅通 3. 有恒温、恒湿要求的产品装配, 温度、湿度要达到规定要求, 才准装配
一般件的检验	1. 零件、部件、外购件、外协件必须符合产品图样、标准、工艺文件的要求, 不准装入产品图样规定以外的任何多余物件 2. 机械传动和移动部件装配后, 运动应平稳、灵活、轻便 3. 定位机构应保证准确、可靠 4. 有刻度装置的手轮手柄, 装配后的反向空行程量应符合标准规定 5. 高速旋转的零部件在总装时, 应保证动、静平衡精度的规定要求 6. 两配合件的错位量及错位的不均匀量应按两配合件的大小进行检查, 其允许值应符合标准规定的要求
接触质量的检查	1. 若两个配合件的接合面均是刮研面, 则用涂色法检验接触质量, 刮研点应均匀, 接触点数应符合规定要求 2. 若两个配合件的接合面均是机械加工出来的, 则用涂色法检验接触斑点, 检验方法应按标准规定进行 3. 若两个配合件的接合面一个是刮研面, 另一个是机械加工面, 则用机械加工面检验刮研面的接触情况; 在不超过两处的、个别的 25mm × 25mm 内的最少点数, 不得少于所采用标准规定点数的 50% 4. 静压导轨油腔封油边的接触斑点数, 不得少于所采用标准的规定点数

(续)

检 验 项 目	检 验 内 容
配合间隙的检查	<div>1. 重要固定接合面和特别重要固定接合面应紧密贴合。重要固定接合面在总装紧固后，用塞尺检验其间隙，不得超过标准的规定</div> <div>2. 特别重要的固定接合面除用涂色法检验外，在紧固前后，均应用塞尺检验，其间隙量符合标准规定</div> <div>3. 用塞尺检查时，允许局部插入，但不得超过两处，其插入深度应符合标准规定</div> <div>4. 用塞尺检验滑动导轨和移置导轨时，其间隙量应符合标准规定</div> <div>5. 塞尺在导轨、镶条、压板端部的滑动面间插入深度，不得超过标准规定</div>
紧固件的检查	<div>1. 装配后的螺栓、螺钉头部和螺母的端部，应与被紧固的零件平面均匀地接触，不允许倾斜和留有间隙</div> <div>2. 装配在同一部位的螺钉长度应一致，不允许长短不一致</div> <div>3. 紧固的螺钉、螺栓和螺母不应有松动现象，紧固力应一致</div> <div>4. 在螺母紧固后，各种止动垫圈应达到制动要求</div>
油压系统的检查	<div>1. 液压系统的装配应符合标准的规定，其运动应轻便、灵活</div> <div>2. 采用静压装置的机械，其节流比应符合设计要求</div>
轴承装配的检查	<div>1. 可调滑动轴承，应检查调整余量是否符合标准规定</div> <div>2. 滚动轴承应检验位置是否保持正确，受力是否均匀，无损伤现象</div> <div>3. 过盈配合轴承应检验加热是否均匀</div> <div>4. 滑动轴承应检验飞边锐角，应无划痕或损伤</div> <div>5. 用润滑脂的轴承应检查润滑脂的用量，其理化指标应符合规定要求</div>
齿轮装配的检查	<div>1. 齿轮与轴的配合间隙或过盈应符合产品图样的规定</div> <div>2. 两啮合齿轮的错位量不允许超过图样规定</div> <div>3. 齿轮在转动时，啮合斑点和噪声应符合标准规定</div>
电气装配的检查	<div>1. 所用各种电气组件均为图样所规定的</div> <div>2. 各种电气组件的规格和性能匹配，应符合标准规定</div>

3. 成品检验

对完成全部生产过程的产品进行全面检验称为成品检验。

(1) 成品检验依据 标准、产品图样、工艺规程和检验作业指导书。

(2) 成品检验的要求

1) 对有恒温、恒湿要求的产品，必须在规定的恒温、恒湿条件下进行检验，检验所用的量具、检具也应在此环境下定温 2h 以上。

2) 对于没有特殊要求的产品，也要注意检验场地温度变化的影响，尽量避免阳光直射、气流、忽冷、忽热对检验结果的影响。

3) 检验前，应将产品安装固定好，将产品调至水平位置，调整各部位处于正常位置。

4) 检验时，不应拆卸零、部件，应对产品整机进行检验。

5) 在检验的全过程中,凡是能影响产品性能、精度的零、部件和机构,不准任意调整。

6) 检验后,应将产品封存保管好。

下面以机床为例,介绍其成品检验项目、检验内容和方法,见表 2-3-14。

表 2-3-14 机床的成品检验项目、检验内容和方法

检 验 项 目	检 验 内 容
外观检验	<div>1. 产品的颜色应符合产品图样的规定</div> <div>2. 产品外观不应有划痕、损伤、凸凹不平、表面粗糙等图样未规定的缺陷</div> <div>3. 产品外露零件的表面,不应有划痕、磕碰、锤伤、扭伤、锈蚀等缺陷,外露焊缝应均匀、平整</div> <div>4. 产品外露接合面的边缘,应均匀、整齐,其错位量和不均匀量均不得超过图样规定</div> <div>5. 操纵手柄和手轮的防锈镀层应均匀一致,不应有脱落现象</div> <div>6. 发蓝件、电镀件的色调应均匀一致,不允许有退色和脱落现象</div> <div>7. 各种门、盖周边与其相关件的组合缝隙应均匀一致,其不均匀值不得超过图样规定</div> <div>8. 液压、润滑、冷却和电器的管子,不允许折叠、扭曲,排列要整齐紧凑、美观大方</div> <div>9. 产品非加工表面所涂油漆应符合图样的规定</div>
空转检验	<div>1. 主运动机构应从最低速度起进行试验,运转时间按规定要求,进行逐级空转试验</div> <div>2. 有快速装置的产品,应作快速移动试验</div> <div>3. 无级变速,交换齿轮和带轮传动变速的产品,一般可作低、中、高速空转试验</div> <div>4. 进给机构一般应作低、中、高进给量或进给速度试验</div> <div>5. 在空运转试验中,检验主运动速度和进给速度或进给量是否正确,工作是否平稳、可靠</div> <div>6. 温升试验。在空转试验达到稳定温度状态下,检验主运动机构精度在冷、热状态下的变化量;检查各部位是否有变形、变质、漏油或渗油等现象发生</div> <div>7. 动作试验。动作试验主要检验以下动作是否准确、灵活、平稳、可靠:<div>(1) 主运动的起动、制动、点动反转和停止动作</div><div>(2) 进给运动的起动、点动、反程和停止动作</div><div>(3) 在反复变换运动速度时变速机构的动作</div><div>(4) 自动机构动作</div><div>(5) 定位、分度机构的动作</div><div>(6) 夹紧装置、调整机构动作</div><div>(7) 装卸附件、刀具、工件动作</div></div> <div>8. 噪声检验。成品噪声测量结果不准超过标准规定</div> <div>9. 在空转试验中,还应对液压系统、电气系统等进行检验</div> <div>10. 空转至功率稳定后,检查主传动系统的空转功率</div>

(续)

检 验 项 目	检 验 内 容
负荷试验	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 切削力试验：在小于或等于产品计算的转速范围内，选一适当转速，逐渐加大进给量，使之达到规定的切削力，然后检验各运动机构是否灵活、可靠，以及是否安全</li> <li>2. 主传动系统最大转矩试验：在小于或等于产品计算转速范围内，选一适当转速，逐渐加大进给量，使之达到规定的转矩，然后检验主传动系统各传动组件和变速机构是否准确、可靠、平稳</li> <li>3. 承载能力空转试验：在产品上安装规定的最大质量工件，在低速和规定的高速运转时，检查产品运转情况是否良好，以及是否平稳、可靠</li> <li>4. 最大功率试验：选择适当的加工方法、刀具、试件、切削速度、进给量，逐渐改变背吃刀量，使之达到最大功率，然后检验主传动系统是否平稳，电气、液压等系统是否可靠</li> <li>5. 抗振性切削试验：选择适当的加工方法、刀具、试件、切削速度、进给量进行抗振性切削试验，试验结果不应有振动现象发生</li> </ol>
精度检验	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 几何精度检验（以卧式车床为例） <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 溜板移动在垂直平面内的直线度</li> <li>(2) 溜板移动时的倾斜度</li> <li>(3) 溜板移动在水平面内的直线度</li> <li>(4) 尾座移动对溜板移动的平行度</li> <li>(5) 主轴锥孔中心线的圆跳动</li> <li>(6) 溜板移动对主轴中心线的平行度</li> <li>(7) 小刀架移动对主轴中心线的平行度</li> <li>(8) 主轴的轴向窜动</li> <li>(9) 主轴轴肩支承面的全跳动</li> <li>(10) 主轴定心轴颈的圆跳动</li> <li>(11) 溜板移动对尾座顶尖套锥孔中心线的平行度</li> <li>(12) 溜板移动对尾座顶尖套伸出方向的平行度</li> <li>(13) 主轴锥孔中心线和尾座顶尖套锥孔中心线对床身导轨的等高度</li> <li>(14) 丝杠两轴承中心线和开合螺母中心线对床身导轨的等距度</li> <li>(15) 丝杠的轴向窜动</li> <li>(16) 从主轴到丝杠间传动链的精度</li> <li>(17) 精车外圆的几何精度</li> <li>(18) 精车端面的平面度</li> </ol> </li> <li>2. 运动的均匀性、工作精度、其他精度等的检验按有关标准规定进行</li> <li>3. 振动、刚度、热变形试验，按有关标准规定进行</li> </ol>
工作试验	应用规定的切削规范加工各种不同试件来进行工作试验，而后检验电气、液压和所有机构以及安全防护装置等工作是否正常，所加工的零件的精度、生产效率、噪声、振动等是否符合规定要求

(续)

检 验 项 目	检 验 内 容
寿命试验	对于批量生产的产品还应进行寿命试验。抽查其寿命情况，其使用寿命应符合有关规定的要求
出厂检验	1. 包装前质量检验：各种标志、铭牌、标牌应符合图样规定的要求；外观良好，外表无损伤、划痕、锈蚀等现象；各表面无飞边、残漆等现象；各紧固件应牢固无松动现象 2. 包装质量的检验：各加工表面应涂防锈油；所带随机附件、工具的规格、数量应符合图样的规定；所带文件应完整、统一，应符合标准图样的规定；包装箱的标志、字迹要清楚、正确，符合图样规定

## 装配工艺管理标准

### 一、钳工工艺守则

#### 1. 操作要求

1) 工作前应检查台虎钳的紧固性，如装夹面为加工面时，钳口需加铜质或铝质等软质垫板，以保护工件。

2) 夹紧工件时，只允许转动丝杠手柄，不允许在手柄上加套管或用锤子敲打。

3) 工作后台虎钳必须擦拭干净，加润滑油，并把钳口松开 5 ~ 10mm。

4) 工作时锤子与錾子头部不应有油。手上油汗应擦干净，防止因滑动而失去控制，发生事故。

5) 根据工件表面粗糙度的要求，选择锉齿不同的粗细锉刀，细锉不可作粗锉使用，用新锉刀时会时常有飞边，最好先锉削较软金属后，再加工硬金属，以免锉齿碎裂。

6) 保持锉刀齿面清洁，经常用钢丝刷清理。如锉刀有油渍，可在煤油或清洗剂中清洗刷净。使用锉刀时，必须安装锉刀把。

7) 为了能得到较光洁的螺纹，以及便于切削，攻螺纹时应根据不同的材质，合理地加注润滑油。

8) 铰孔时用力要均匀平稳，用力不宜太大。应根据工件的材质和表面粗糙度要求合理地选用铰削量和润滑剂。

9) 应根据工件的硬度、尺寸和外形，选择锯齿的粗细。工件宽且硬，选用粗锯齿，反之则选用细锯齿。

10) 根据工艺文件要求，先检查研磨前孔的尺寸精度、几何公差、表面粗糙度，再选择合适的研棒，研棒直径应比孔小 0.01 ~ 0.025mm。

11) 研孔时用力要均匀平稳，研磨过程中要不断加添研磨剂，以保持切削作用。应除去内孔两端多余的研磨剂，以免产生喇叭口。注意调整研磨棒与孔的配合松紧度，以免产生椭圆和菱形圆。

## 2. 工具和安全

- 1) 使用电钻必须注意安全装置和绝缘性能是否良好，电源电压是否与电钻电压相符。
- 2) 选用电钻要适当，钻较大的孔，不要用小的电钻，以免烧坏电钻。装卸刀具应使用专用扳手，不许用扁铲、锤子砸钻夹头，以免使其损坏。
- 3) 锉屑不准用嘴吹，锉过的工件表面不得用手去摸。
- 4) 使用手持电动或手动砂轮，要检查保护装置和安全情况。砂轮使用不能太薄，到一定程度要及时更换。
- 5) 钻削时，严禁戴手套接近旋转体。
- 6) 镗削工件时应带上安全眼镜，并在钳工台上用护栏挡住，以防伤人。
- 7) 零件放在钳工台上应用橡皮、木板或塑料板垫好。使用的工具应排列放置整齐，用完后应上油包好，以免生锈和碰伤。

## 二、划线工艺守则

- 1) 划线前必须熟悉图样、工艺，工件吊上划线平台时，应先在平台上放上木块，防止用手架起千斤顶时压上手指。
- 2) 划线除按划线起点尺寸划线外，还应检查各部壁厚的尺寸是否均匀，有导轨面的零件要重点保持导轨厚度公称尺寸，检查各加工面是否有余量，以及毛坯是否有缺陷，以便及时提交有关人员处理。毛坯外形不符合图样要求时，要画出整形线，交有关人员安排工序修整。
- 3) 划线后，应在上面轻打出样冲眼。打样冲眼时，应把样冲垂直对准线条，整齐地打出样冲眼，拐角和弯曲处样冲眼要密些。
- 4) 画多孔零件中心线时，应严格按图样尺寸标注方法（坐标法或串联法）进行划线。
- 5) 凡已进行机加工工序的零件，在进行划线时，一般应取已加工面作基准。
- 6) 凡在精度较高的加工面或外观板件上划线时，不允许有划伤或样冲眼痕迹（能在加工后除去的除外）。
- 7) 做好首件检查和成批自我检查，以保证下道工序加工质量。
- 8) 下班后划线平台（或平板）上一般不应存有工件，平台（或平板）工具应擦拭干净，并涂上薄油层。

## 三、装配工艺守则

### 1. 清理与防锈

- 1) 所有零件在装配前应仔细地消除飞边、锈迹、各种涂色和切屑，并应清洗干净。
- 2) 用煤油或汽油清洗各类轴套、偏心套、分油器，保证各油孔通畅清洁无异



物，且应保证各油管内部清洁畅通。清洗后，必须加以保护，以防止水、气、污物及其他脏物进入内部。

3) 关键件、主要件、大件在贮运过程中应涂防锈油，其他零部件也应作防锈处理。

4) 试车后，要求放油，清理油箱内部，擦拭干净，检查并清洗过滤器及分油器。

5) 凡重要部件或部件重要部位在组装、部装后均应涂中间工序防锈油。

## 2. 一般要求与组装

1) 装配到机器上的零件必须是符合图样要求的合格零件。外购件、外协件等都必须经验收合格后，才能进车间进行装配。

2) 装配时为避免接合面（如平面与平面，轴与孔，螺钉与螺孔，销钉与销孔等）生锈和便于拆卸，应涂机油。

3) 组装  $Ra0.8\mu\text{m}$  以上表面粗糙度要求的零件时，不准使用锉刀，必要时在取得检查员同意下，可用粒度为 F120 的砂纸修饰。

4) 防松垫圈在螺母拧紧后，必须将花齿扳起来卡入螺母槽中。

5) 滑动零件（如花键轴和带花键的齿轮等）应保证相对地灵活移动，未经工艺员和检查员同意，不准私自修整花键侧面的公差。

6) 间隙配合的花键必须均匀地自由移动，不许有局部卡住和松紧不匀的现象，一般可通过倒换配合键槽达到以上要求。

7) 花键配合在每个键的工作面上必须有  $2/5$  以上的接触面，其不接触的间隙不许超过图样所规定的公差范围。

8) 压入平键及装配轴承时不得用铁锤直接敲打，应用木锤、铅锤、铝锤、纯铜锤装配，或用装配工具进行装配，并特别注意勿使木屑或金属屑落入轴承中。

9) 轴承内径有  $r6$  和  $s6$  过盈配合的，必须先把轴承放在油内或低温干燥箱内，加热到  $70 \sim 100^\circ\text{C}$ ，再进行装配。

10) 在装配深沟球轴承时，应避免由于装配位置不正确而造成预加的轴向负荷。在装配推力轴承时，应注意松环与静止零件接触，调整轴向间隙。

11) 滑动轴承的摩擦面上不允许有擦伤、碰伤等缺陷，表面应光洁。孔内的油槽尖棱应倒圆，轴瓦在轴颈上的接触面积不少于全部滑动表面  $70\%$ ，衬套不少于  $55\%$ 。

12) 对配合精度要求较高的轴套等零件，在装配时应按设计要求选配，以保证所规定的配合间隙，同时应做好选配标记。

## 3. 部装和总装要求

1) 各配钻孔应按装配图和工艺规定，必须达到正确可靠，不得偏斜。部件流水装配时，钻孔和铰孔等工序完成后，应将切屑清理干净，才能转到下道工序，以免影响下道工序的装配质量。

2) 对于重要的固定连接零件, 在加工的连接面上应紧密贴合, 结合面的要求是用 0.02mm 的塞尺插入接触面的深度不许超过窄面宽度的 1/3, 允许在不影响质量的情况下进行刮研。

3) 调整垫 (设计要求的调整垫、调整环) 应根据装配实际情况进行调整、修配或配磨。

4) 有相对位置要求的配合零件, 应按照图样或最后调整情况在规定的部位作出标记, 如啮合的齿轮、链轮的“零”点等。

5) 凡经选配对号入座的零件, 选配后或装配时, 必须在明显的非接触面上相互都作标记, 如轴套与箱体。

6) 滑动齿轮应没有啃住现象, 相啮合的锥齿轮的齿背要求对齐。相啮合的圆柱齿轮的轴向错位规定如下:

齿宽在 30mm 以下的不许超过 1mm; 齿宽在 30mm 以上的不许超过 1.5mm。

7) 蜗轮与蜗杆啮合后, 在蜗轮啮合面上涂樟丹检验不允许产生“吊角”情况, 如有时, 可刮削蜗轮表面, 保证齿面上的接触区符合标准或图样的要求。

8) 高速且精度要求较高的回转的轴、轮、齿轮等零件, 要进行动平衡试验, 中速且精度要求高的回转的轴、轮等应进行静平衡试验。

9) 部件上各外露件, 如螺钉、铆钉、销钉、标牌、轴头及发蓝、电镀等件均应整齐完好, 不许有损伤或字迹不清等现象, 否则应予以更换, 以确保外观质量。

10) 装配在同一位置的螺钉, 应保证长短一致, 松紧均匀。主要部位的螺钉, 应用力矩扳手紧固。销钉头应平齐或外露部分不超过倒角。螺钉紧固后要作紧固标记。

11) 装配时, 应按工艺要求做好组件、部件的调整工作。

12) 按全机组装工艺调整全机机动关系, 保证全部部件相互位置的精确性和工作的正确性。

#### 4. 电气、润滑和液压系统

1) 油管内部应清洁畅通。油管排列整齐, 曲线一致, 圆弧过渡处需牢固地加以固定。润滑油应保证充足地输送到所有的润滑部位。

2) 润滑系统中的分油器和油管接头不得漏油。

3) 液压泵的性能应良好, 长时间停车后, 低速运转时应能正常供油。

4) 护罩和护罩上的法兰盘与小门应密封好, 机器运转时不应漏油。

5) 电气系统的外部线路排列应整齐美观, 并应牢固地加以固定。

#### 5. 密封件

1) 装油封毛毡圈时, 毛毡圈的内孔应小于 2mm (即每边露出 1mm), 装配时应在毛毡上加入润滑油。如用毛毡条代替毛毡圈时, 接口部分应剪成 30°斜角。

2) 装配橡胶油封时, 应轻轻地装入, 检查油封骨架是否合格。装配骨架式油封 (唇口朝外) 时应使用专用装配工具, 防止油封由于装配不当而造成变形损伤。

骨架式油封应注意检查锁紧弹簧是否在槽内。

3) 各种类型的密封装置, 应密封可靠, 要防止污物、灰尘渗入轴承以及轴承内的油漏出。

4) 试车完毕后, 应彻底清洗试车油墨, 清除各种油污、脏物和切屑。

5) 机组式平版胶印机在机组拆开前, 在传动链断开处的齿轮啮合点做标记, 以便用户安装时使用。

#### **6. 试车要求**

1) 各种类型的机器应按工厂质检部下发的试验方法与验收规则, 做空运转试验、光电检测试验及综合精度检验。

2) 空运转试验前, 应检查配合件和紧固件的螺钉、螺母、定位销等是否牢固。做整机清洗后注入 102 防锈油。

3) 试车后应检查各紧固螺钉、螺母等的松紧情况, 是否有松开或脱落现象, 如有, 应予以排除, 排除后作紧固标记。

## 第五章

# 钳工基本操作技术

## 第一节 划 线

在毛坯或已加工工件表面上划出需要加工的界线，便于根据图样进行加工，这种操作称为划线。

工件划线后，在加工时就有了明确的标志。它明确地表示出了工件表面的加工余量，并通过所划的线来找正、确定孔或面的位置。通过划线，可以预先检查出毛坯各部位尺寸是否合乎要求。有些毛坯超差较小，还可以通过划线借料的方法找过来，免于报废。划线还能提前发现毛坯问题，避免造成人力和物力的浪费。

根据加工中的作用，划出的线可分为加工线、证明线和找正线三种。按图样要求划在零件表面作为加工界线的线称为加工线。用来检查发现零件加工后的各种差错，甚至出现废品时作为分析原因的线称为证明线。一般证明线距加工线的距离，根据零件的大小、形状常取 5 ~ 10mm，但当证明线与其他线容易混淆时，也可以省略不划。加工线外边画的线称之为找正线，用于在零件加工前装夹时对零件进行找正。找正线与加工线间的距离，根据零件的大小一般取 3 ~ 10mm，特殊情况下也有 10mm 以上的，一般情况下也可以用加工线作为找正线。

要求所划出的各种线，必须清晰、准确无误。为防止重要地方的线条经多次转运加工被擦掉或碰得模糊不清，在线上要打样冲眼。

划线可分为平面划线和立体划线。平面划线在零件的一个表面，即在平面上进行；立体划线在零件的几个不同平面，即立体地进行划线。

绘划工具包括划针、划规、划针盘、划卡以及锤子、样冲等。绘划工具使用中应注意：绘划的针尖都经过淬火或镶有硬质合金，不得碰撞或敲击；划线高度游标卡尺是较精密的划线工具，只能用于测量，不允许直接在毛坯表面划线；样冲由工具钢制成，并经淬火硬化，其尖角一般磨成  $45^{\circ}$  ~  $60^{\circ}$ ，一般划线后要用样冲在线条上冲出小而均匀的样冲眼以便于观察，钻孔或划圆弧时也用样冲冲出圆心，便于钻头或划规尖对准圆心。

夹持和支持工具包括 V 形块、C 形夹头、千斤顶和各种垫铁等，用来夹持和支持零件。

## 一、划线基准

在零件图样上用来确定点、线、面位置的基准称为设计基准。所谓划线基准，是指在划线时零件上的用来确定各部分尺寸、几何形状及工件上各要素的相对位置的某些点、线、面。划其他的尺寸线都从这些点、线、面开始量起。

正确地选择划线基准对划好线是十分必要的。合理的划线基准可以使划线变得方便而准确，划线基准选不好，会使划线失败。因此，划线前必须认真分析图样及加工工艺，针对零件选好基准。

选定基准的一般原则是：首先将划线基准尽量与设计基准选择一致，其次考虑毛坯形状，尽量以毛坯孔或大面积较平整的表面作为划线基准。

常用以下三种选定基准的类型：

1) 以两个互成直角的平面为基准，如图 2-5-1a 所示。该图中每一方向的尺寸，大都以这两个面为基准（图样上的设计基准）标注，此时，就可把这两个面作为划线基准。

2) 以两条中心线作为基准，如图 2-5-1b 所示。该零件上的大部分尺寸从这两条中心线开始标注，而且两个方向的尺寸分别与其中心线对称，因此，可把这两条中心线作为划线基准。

3) 以一个平面和一条中心线作为基准，如图 2-5-1c 所示。该零件高度方向的尺寸以底线为依据确定，宽度方向的尺寸则对称于中心线。

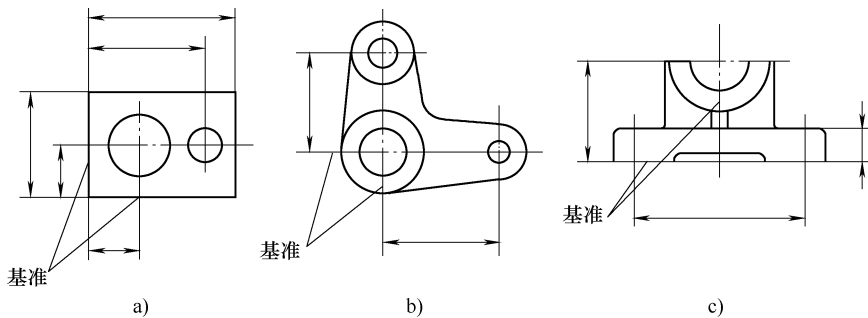


图 2-5-1 选择划线基准的三种类型

## 二、划线时的找正和借料

### 1. 找正

待加工的铸、锻、焊接毛坯由于工艺手段等原因，在尺寸形状上都存在一定的误差和缺陷，如果误差较大，则可能造成工件报废。因此，划线前对毛坯都要

进行找正，找正应在确定划线基准后进行。

找正时应遵循以下原则：

1) 当毛坯工件上有不加工表面时，按不加工表面找正后再划线，这样会使不加工面与待加工面间保持厚度一致。图 2-5-2 所示为一轴承座毛坯，外圆和 A 面不用加工，在划内孔的加工线时，应先以外圆为依据找正，孔中装入定中心用的填充物（铅块或可调的定心工具），用划规找出圆心，按圆心划出内孔加工线。这样，内孔与外圆就可以基本达到同心。同样，在划底面加工线之前，应先以上平面 A（不加工面）为依据找正，划出底面加工线，这样，底座各处的厚度就比较均匀。

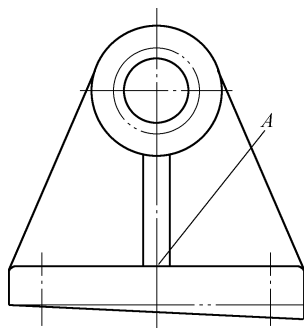


图 2-5-2 毛坯工件的找正

2) 当毛坯上都是加工表面时，各待加工表面的自身位置找正后再划线，可使各待加工表面的加工余量得到合理均匀地分布，避免出现留量不均匀或偏斜现象。

由于零件的结构形状各异，找正工作要按工件的实际情况进行。当工件上有两个以上的不加工面时，应选择其中面积较大的较重要的或外观质量要求较高的面为主要找正依据，兼顾其他较次要的不加工面，使各主要不加工表面与待加工表面之间的尺寸（如壳体的壁厚、凸台高低等）尽量达到均匀，并把难以弥补的误差反映到次要或不明显的部位上去。

当零件上有已加工表面时，加工面应作为找正依据。

## 2. 借料

当毛坯件在形状、尺寸和位置上的误差和缺陷在找正后仍不能补救时，应考虑用借料的方法来补救。

当不合格的毛坯超差不大时，通过试划和调整，使毛坯的各待加工面余量重新分配，把原有误差的影响减小到最低程度而补救过来，变成合格品，这种补救方法称为借料。

借料时，要首先检查毛坯各部位尺寸及偏移的情况，以确定借料的方向和尺寸，并划好基准线，然后试划其余各线，直至合适为止。

图 2-5-3 所示为一齿轮箱体，铸造误差造成 A 孔向右偏移了 6mm，使中心距由设计的 200mm 变为 194mm。按常规，两孔若均以各自不加工的凸台外圆找正，则 A 孔右侧将无加工余量，造成报废。

现用借料的方法将 A、B 两孔分别向左、右侧借过 3mm，试划两孔中心线和内孔圆周尺寸线，发现这样可使两孔均有了适当的加工余量。这样做使铸造误差平均反映到两孔的凸台外圆上，使外圆凸台与内孔之间稍有偏心（见图 2-5-3b），但偏心程度不显著，对外观质量影响不大，一般可符合零件要求。

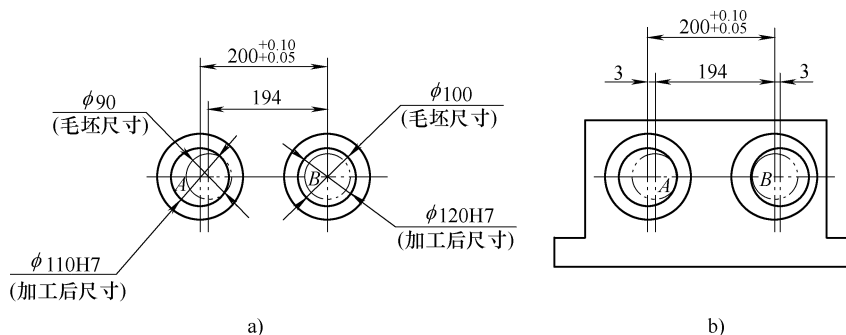


图 2-5-3 齿轮箱体的划线

### 3. 划线步骤

1) 仔细分析图样,明确零件及其划线各有关部位在机械中的作用和要求,对于一些较复杂的零件要经过多次划线和加工才能完成。因此划线前要熟知零件的整个工艺过程,按要求划出本工序线。划线时,应避免所划的线被加工掉而重划和多划不需要的线。

2) 选择划线基准。

3) 清理并检查工件。去除冒口、飞边、泥砂、油污等。

4) 工件涂色。在铸、锻件毛坯上常用白灰浆(用白石灰、水胶或桃胶加水混合熬成)涂色。工件表面粗糙度值大,量极少的情况下也可以使用白粉笔作为工件的涂色。已加工表面常用淡金水(虫胶漆和酒精溶液混合)加入着色剂(盐基染料)涂色。不论用哪种涂料,都要涂得薄而均匀,才能保证划线清晰,涂得厚时会脱皮。

5) 划线。

6) 仔细检查所划线是否正确,有无漏划。

7) 在线条上冲样冲眼。使用样冲时,样冲尖要对准线的中心或孔的中心,锤击力要适当均匀。样冲眼应在线和孔的中心上,不要偏斜。样冲眼之间的距离及样冲眼的大小,需根据工件大小、线长短、孔的大小来决定,以加工能看得清为准。一般在加工线上的样冲眼不宜过大、过深。样冲眼密度按“直线上稀、曲线上密、交点一定要有”的原则来掌握。粗糙毛坯和孔的中心样冲眼应大些、深些为好,这样有利于钻孔时对准中心。薄板或薄工件用力不可太大,以防止变形。较软材料和精加工表面禁止打样冲眼。

### 4. 借助分度头划线

(1) 分度头的结构 分度头是等分圆周的工具,在划线时也常常用到。图 2-5-4a 所示为万能分度头的外形。万能分度头主要由壳体、主轴、鼓形回转体、分度盘和分度叉等组成。

主轴前端有内锥孔和外螺纹,可用来装入顶尖和安装自定心卡盘,分度盘也



固定在主轴上，和主轴一起旋转，上有  $0^\circ \sim 360^\circ$  的刻度，用做分度。主轴球形仰头能在壳体的环形导轨内转动，可以相对于工作台上仰  $90^\circ$  和下倾  $10^\circ$  的范围内转动任意角度，角度选择合适后可用壳体上的螺钉固定，便于进行划线。

分度头的传动系统如图 2-5-4b 所示。分度头手柄一端装在分度盘中央的套筒内，另一端的齿轮与蜗杆轴上的齿轮啮合。在简单分度时，用紧固螺钉将分度盘固定，转动手柄，通过齿轮传动，蜗杆带动蜗轮转动即可进行分度。分度盘后面的交换齿轮轴是作复杂分度的，其上可安装进行分度的交换齿轮。

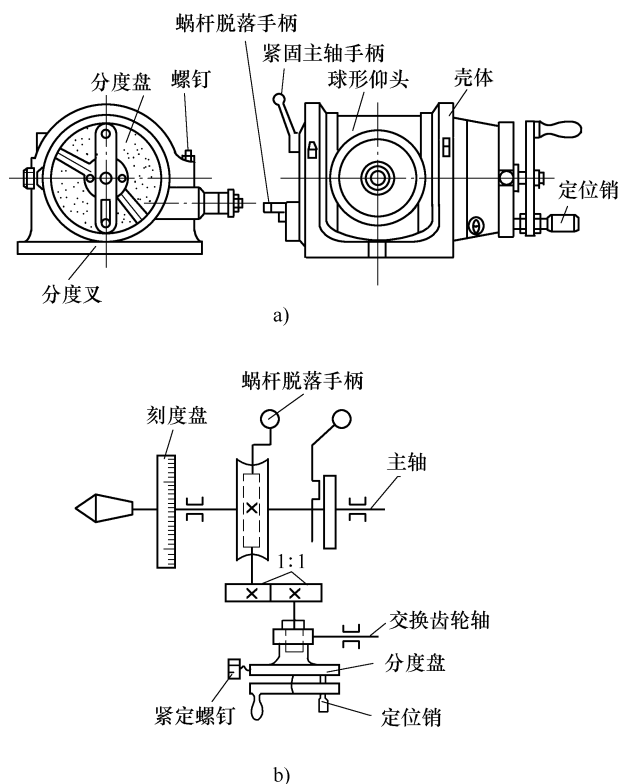


图 2-5-4 万能分度头

a) 外形 b) 传动系统

(2) 分度原理和分度计算 分度头可用来等分圆周或划角度线。把工件装在分度头主轴前端，分度头放在划线平台上，配合划针盘，可划出水平线、垂直线及各种角度线。

设分度头上的蜗轮齿数为 40，蜗杆为单头。当手柄转过一周，分度头便转动  $1/40$  周。如果要求主轴上安装的工件作  $z$  等分，即每转过  $1/z$  周划一条线，则手柄转过的圈数可按传动关系式算出。即

$$1/40 = 1/(zn)$$

$$n = 40/z$$

式中  $n$ ——分度头手柄转数；  
 $z$ ——工件的等分数。

例1 用分度头八等分一圆周。

解 已知  $z = 8$ ， $n = 40/z = 40/8 = 5$ ，即手柄每转过 5 周，在圆周上划一条线。

例2 用分度头六等分一圆周。

解 已知， $z = 6$ ， $n = 40/z = 40/6 = 6 \frac{2}{3}$ ，即手柄每转过  $6 \frac{2}{3}$  周，工件才转过  $1/6$  周。

由例2 可见，生产中常会遇到需要手柄转过不是整数周，这时用下列公式计算。即

$$40/z = a + P/Q$$

式中  $a$ ——分度手柄的整周数；  
 $Q$ ——分度盘某一圈的孔数；  
 $P$ ——手柄在孔数为  $Q$  的孔圈上应转过的孔数。

(3) 分度盘的选用 分度盘用来分度计数。在分度盘上有几圈孔数不同、等分很准确的小孔。当分度计算后所得的  $n$  值带有分数时，应把这个分数的分母与分子同时扩大（或缩小）若干倍，使得到的分母值与分度盘上某一圈的孔数相同，此时的分子值就是手柄应转过的孔距数。如上述例2 中，手柄转过 6 周后，还要再转  $2/3$  周，此时参照表 2-5-1，可把分母、分子同时扩大 8 倍，将  $2/3$  扩大为  $16/24$ ，即在有 24 个孔的孔圈上转过 16 个孔距数。当然  $2/3$  也可以扩大为  $44/66$ ，即在 66 孔圈上转过 44 个孔，结果同样是使主轴转过了  $2/3$  周。还可扩大为其余多种倍数值，由于孔数较多的孔圈，离轴心较远，摇动手柄比较方便，故常被采用。

万能分度头附带的分度盘往往不只一块，各种孔数的分度盘见表 2-5-1。

表 2-5-1 分度盘的孔数

附带的块数	分度盘的孔数
1 块	正面：24、25、28、30、34、37、38、39、41、42、43 反面：46、47、49、51、53、54、57、58、59、62、66
2 块	第 1 块正面：24、25、28、30、34、37 反面：38、39、41、42、43 第 2 块正面：46、47、49、51、53、54 反面：57、58、59、62、66
3 块	第 1 块：15、16、17、18、19、20 第 2 块：21、23、27、29、31、33 第 3 块：37、39、41、43、47、49

分度叉能使分度准确而迅速，在转动手柄前要调整好分度叉。两叉脚间的夹角可以根据孔距数进行调整。在调整时，夹角间的孔数应比需转过的孔距多一个，因为第一个孔是作为零来计数的，要到第二个孔才算作一个孔距数。手柄每转动一次分度后，分度叉应顺手柄转动方向转至新的定位位置（第二次分度的起始位置）。

使用分度头时，每次分度前必须先松开主轴紧固手柄，分度时，分度手柄必须朝一个方向摇动，以保证分度准确。当分度手柄将转到预定孔位时，注意不要让它转过头，定位销要刚好插入孔内。如发现已过了头时，则必须反向转过半圈左右后，再重新转到预定孔位。分度划线时要紧固主轴，以防主轴在划线过程中松动。

第二节 锯 削

用锯对原材料或工件进行切断或切槽等的加工方法称为锯削。  
锯条属于切削部分。手用锯条长度一般为 300mm，一般用碳素工具钢或合金钢制成，并经热处理淬硬。手锯是在向前推进时进行切削的，为此，锯条安装时必须使锯齿朝前，若锯条装反，不但不能正常锯削，反而使锯齿磨损加快。锯条的安装方法如图 2-5-5 所示。

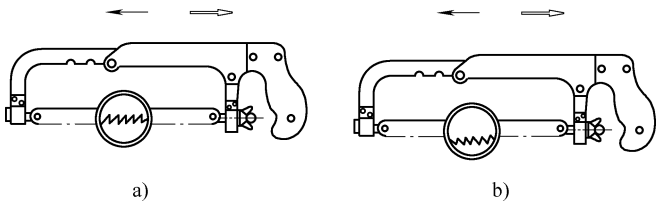


图 2-5-5 锯条的安装方法  
a) 正确 b) 错误

锯齿的粗细是以锯条每 25mm 长度内的齿数来表示的，有 14、18、24 和 32 等几种。粗齿锯条容屑槽较大，适用于锯软材料和锯较大的断面；细齿锯条适用于锯削硬材料、薄板或管子等。锯条的粗细规格及应用见表 2-5-2。

表 2-5-2 锯条的粗细规格及应用

锯齿粗细	每 25mm 长度内的齿数	应 用
粗	14 ~ 18	锯削软钢、黄铜、铝、铸铁、纯铜及人造胶质材料
中	22 ~ 24	锯削中等硬度钢、厚壁的钢管、铜管
细	32	薄纯金属，薄壁管子
细变中	32 ~ 20	一般工厂用于起锯

锯条绷紧程度要适中，锯条的松紧可用锯弓上的蝶形螺母进行调节。过紧则锯条受力大还会使锯条失去应有的弹性，容易崩断；过松则锯条易弯曲折断，锯缝也易产生歪斜。装好的锯条应使它与锯弓保持在同一中间平面内，这对保证锯

缝正直和防止锯条折断都是必要的。

推锯时锯弓的运动方式有两种：一种是直线运动，适用于锯缝底面要求为平直的槽或者薄壁的工件；另一种是锯弓可以上下摆动，这样，可以减少切削阻力，提高工作效率，且操作自然，两手不易疲劳。

当推锯速度过快、所锯材料过硬而未加适当的切削液时，会造成锯齿部分过热，齿侧迅速磨损，使锯条与锯缝摩擦增加，导致锯齿磨损进一步加剧；当起锯时起锯角度过大，锯齿钩住工件棱边锋角，或所选用的锯条锯齿粗细不合适，或推锯过程中推锯角度突然变化或所锯的材料中突然遇到硬杂质时，均会引起锯条崩齿；若锯条安装松紧不当，工件夹持不牢，行锯不稳而产生抖动，锯缝歪斜时纠正过急，都会出现锯条折断现象。

锯管子和薄板时，必须用细齿锯条。否则，会因齿距大于板厚，使锯齿钩住而造成掉齿或崩断。因此要求锯削时，断面上至少有两个以上的锯齿同时参加切削，才能避免锯齿被钩住而造成崩断的现象出现。

锯削时，根据材料的形状、薄厚不同，锯削方法可分以下几种。

### 一、棒料的锯削

如果锯削的断面要求平整，则应从开始连续锯到结束（见图 2-5-6）；若锯出的断面要求不高，可分几个方向锯断（见图 2-5-7），这样，由于锯削面小而容易锯入，提高工作效率。

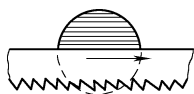


图 2-5-6 连续锯削

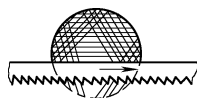


图 2-5-7 几个方向锯削

### 二、管子的锯削

锯管子前，要划出垂直于轴线的锯削线。由于锯削线要求不高，最简单的办法可用矩形纸条（划线边必须直）按锯削尺寸绕在工件外圆上，然后用划笔划出。锯削时必须把管子夹正，对于薄管子和精加工过的管子，应夹在有 V 形槽的两个木衬垫之间，以防管子被夹扁或夹坏表面。

锯削薄壁管子时，不可在一个方向从开始连续锯削到结束。否则，锯齿会被管壁钩住而造成崩裂。正确的方法应是先在一个方向锯到管子的内壁处；然后把管子向推锯方向转一定角度，并连接原锯缝再锯到管子内壁处，如此逐渐改变方向不断转锯，直到锯断为止，如图 2-5-8 所示。

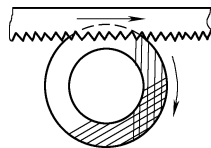


图 2-5-8 管子的锯削

### 三、薄材料的锯削

锯削比较薄的板料，锯削时会发生弯曲和颤动，会使锯削无法进行，锯削时应尽可能从宽面上锯下去，当只能在板料的狭面上锯下去时，可用两块木板夹持，连木板一起锯下，为的是避免锯齿钩住，同时也增加了薄板的刚性，锯削时不会颤动，如图 2-5-9a 所示。如果锯断较长的板料，可用两根角铁钳口做靠板，夹紧板料，然后贴着角铁锯削，如图 2-5-9b 所示。也可以把薄板料夹在台虎钳上，用手锯作横向推锯，使锯齿与薄板接触的齿数增加，避免锯齿崩裂，如图 2-5-9c 所示。

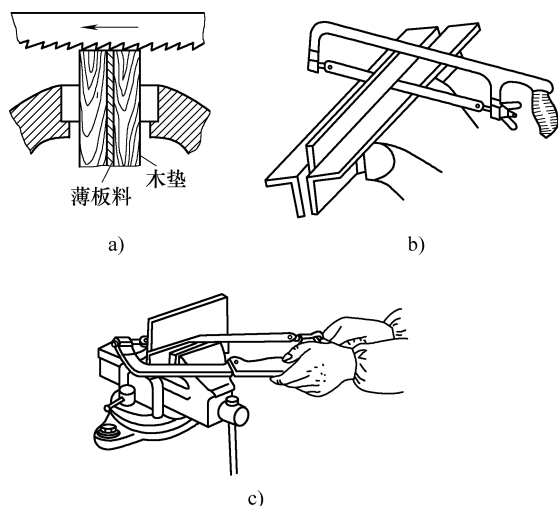


图 2-5-9 薄材料的锯削

### 四、深缝锯削

当锯缝的深度超过锯弓的宽度时，应将锯条转过 90° 重新安装，使锯弓转到工件的旁边，当锯弓横过来锯弓的高度仍不够时，也可以再把锯条安装成锯齿在锯内（锯条在锯弓内旋转 180°）进行锯削，如图 2-5-10 所示。

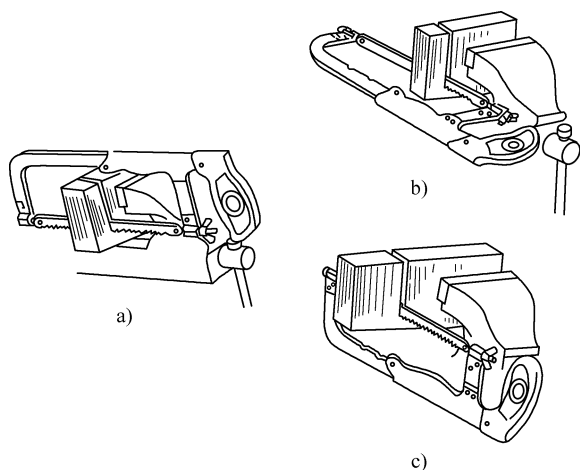


图 2-5-10 深缝锯削

## 第三节 錾 削

錾削是用锤子敲击錾子对工件进行加工的一种方法，这种操作称为錾削。錾削主要用在不便于机械加工的场合，包括去除毛坯的飞边、分割板料、剔出废铆钉和锈蚀的螺钉、錾掉配合件突出的错位、剔油槽等，有时也用作较小面积的粗

加工。

## 一、铰子

铰子的质量直接影响铰削质量和效率。影响铰子质量的主要因素是切削刃的合理形状和硬度。

### 1. 楔角 $\beta$

切削刃（切削部分）的形状用楔角 $\beta$ 表示，楔角即前刀面与后刀面之间的夹角。楔角越大，铰刀的强度越高，但切削阻力也越大；楔角越小，铰子刃口越锋利。所以，选择楔角时应在保证足够强度的前提下，尽量取小值。铰硬材料时，楔角要大些，铰软材料时，楔角应小些。一般铰削钢或铸铁等硬材料时，楔角取 $60^\circ \sim 70^\circ$ ；铰削中等硬度材料时，楔角取 $50^\circ \sim 60^\circ$ ；铰削铜或铝等软材料时，楔角取 $30^\circ \sim 50^\circ$ 。

### 2. 后角 $\alpha$

后刀面与切削平面之间的夹角称为后角，后角的大小由铰子掌握的位置所决定。后角的作用是减少后刀面与切削表面的摩擦，并使铰子容易切入材料。后角大小一般凭经验掌握，为 $5^\circ \sim 8^\circ$ ，过小易滑脱；过大容易切入过深，如图 2-5-11 所示。

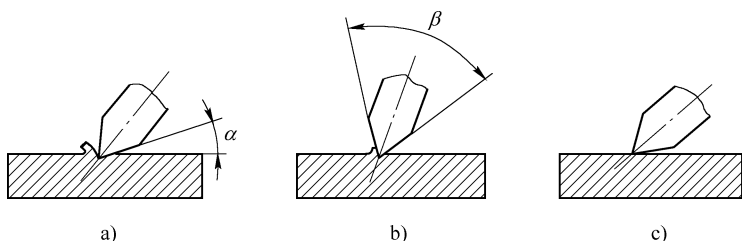


图 2-5-11 后角及后角对铰削的影响

铰刀的硬度要比工件被切削处硬度高，铰刀越硬，越锋利，越不易卷刃。但硬度过高会造成铰刀变脆而易崩刃，甚至飞溅伤人，所以，铰子的硬度要合适。

铰子一般用工具钢 T7A 锻成，并经淬火处理。铰子的热处理包括淬火和回火两过程。“淬黄火”的铰子硬度较高，韧性差；“淬蓝火”的铰子硬度较低，韧性较高。一般采用两者之间的硬度——“淬金黄火”。具体做法是：把铰子切削部分约 20mm 长的一端，放到加热炉内加热到  $750 \sim 800^\circ\text{C}$ （呈樱红色）后迅速取出，并垂直把铰子放入冷水中冷却（浸入深度为 5 ~ 6mm）即完成淬火。铰子放入水中冷却时，要沿着水面缓慢地摇动，其目的是加速冷却，提高淬火硬度，使淬硬部分与不淬硬部分不至于有明显的界线，避免铰子在此线上断裂，去除吸附在铰子表面的气泡，避免出现淬火软点。铰子淬火后还要回火，回火是利用其本身余热进行的。当淬火的铰子露出水面的部分呈黑色时，即由水中取出，擦去氧化皮，

观察錾子刃部的颜色变化。对一般宽錾，在錾子刃口部分呈紫红色与暗蓝色之间（紫色）时，对一般狭錾，在錾子刃口部分呈黄褐色与红色之间（褐红色）时，将錾子再次入水中冷却，至此即完成了錾子的淬火－回火处理的全过程。因为把錾子全部放入冷水时间的早晚，对于刃口硬度影响极大，太早，刃口太脆，太晚，刃口又太软。只有经过不断地实践，才能熟练地得到理想的錾子硬度。冬天淬火要用温水，否则，刃口易断裂。

錾子刃磨时要保证前刀面和后刀面光滑平整，楔角正确而锋利，必要时在砂轮上刃磨后还要在磨石上精磨，刃磨时要注意不断浸水冷却，防止因温度太高而退火。

錾子有扁錾、尖錾、油槽錾等几种，如图 2-5-12 所示。

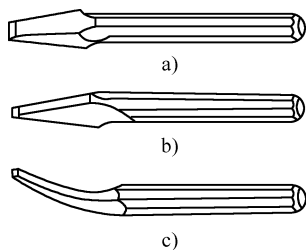


图 2-5-12 錾子种类

a) 扁錾 b) 尖錾 c) 油槽錾

## 二、錾削方法

錾削时眼睛要看錾刃。初学者往往看锤子或錾柄，是错误的。挥锤时手臂应放松，学会使腕力。錾子与工件之间的夹角要适中，錾子倾斜过大，会使錾削切入过深；倾斜太小则不能切入，容易滑脱。正确的錾削方法如图 2-5-13 所示。

### 1. 錾削平面

用扁平錾，起錾应从尖角处着手比较容易。将要錾削到尽头时，要防止工件端头崩裂，一般离尽头 10mm 左右时，可调头再錾去余下部分。

錾削较窄平面时，錾刃可与前进方向倾斜一个角度，以利于切削；錾较宽平面时，一般先用狭（尖）錾开槽，再用扁錾錾去剩余部分，这样比较省力。

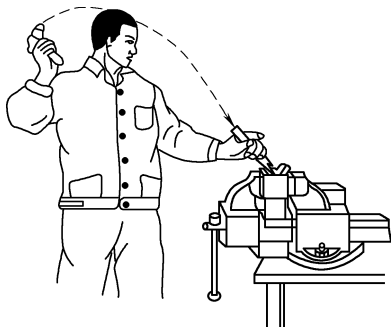


图 2-5-13 正确的錾削方法

### 2. 錾油槽

錾削前首先要根据图样上油槽端面的形状把油槽錾的切削部分刃磨准确。錾削时錾子的倾斜角度要随曲面变动，使錾削出的油槽光滑且深浅一致，必要时可进行修整，錾好后要把槽边飞边修光。

### 3. 錾切板料

如图 2-5-14 所示，錾切薄板料时工件的切断线要与台虎钳钳口平齐，工件夹牢，用扁錾沿钳口并斜对板面（约  $45^\circ$ ）錾切。錾削的板料厚度不能太厚，一般在 4mm 以下。

在铁砧上切断大尺寸板料时，板料下面要衬以软垫铁，以免损坏錾子刃口。



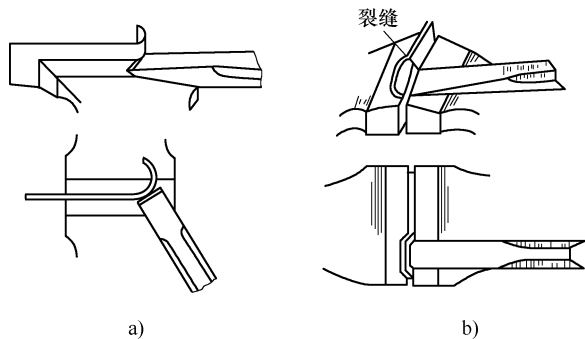


图 2-5-14 錾切板料  
a) 正确 b) 错误

要求弯曲錾切板料时，一般先按轮廓线钻出密集的排孔，再用扁錾逐步切成。

三、錾削时的安全注意事项

- 1) 錾削前工件必须夹紧，伸出台虎钳钳口的高度一般在 10 ~ 15mm 为宜，同时下面要垫上衬垫。
- 2) 錾削脆性金属时，要从两边向中间錾削，防止边缘棱角錾裂崩缺。
- 3) 錾削时要防止切屑飞出伤人，前面应有防护网，操作者应戴上防护眼镜。
- 4) 錾屑要用刷子刷掉，不得用手擦或用嘴吹。
- 5) 錾削时要防止錾削部位滑出。为此，錾子用钝后要及时刃磨锋利，并保持正确的楔角。
- 6) 錾子头部如有明显的飞边时，要及时磨去。
- 7) 錾削时錾子和锤子不准对着旁人，操作中握锤的手不准戴手套，以免锤子滑出伤人。
- 8) 发现锤柄松动或损毁，应立即装牢或者更换，同时锤柄不能沾有油污，以免锤头或锤子飞出伤人。

四、錾削平面废品形式及产生的原因 （见表 2-5-3）

表 2-5-3 錾削平面废品形式及产生的原因

废 品 形 式	产生的原因
表面粗糙	1. 錾子的刃口崩裂或刃口卷刃不锋利 2. 锤击力不均匀 3. 錾子头部已锤平，使受力方向经常改变
表面凹凸不平	1. 錾削过程中，在某一段后角太大，造成錾面凹下 2. 錾削过程中，在某一段后角太小，造成錾面凸起



(续)

废 品 形 式	产生的原因
表面有梗痕	1. 左手未将錾子放正、握稳，从而使錾子刃口倾斜，再錾时刃角梗入 2. 刃磨錾子时将刃口磨成中凹
崩裂和塌角	1. 錾到尽头时未调头錾子，使棱角崩裂 2. 起錾量太大造成塌角
尺寸超差	1. 起錾时尺寸不准 2. 测量检查不及时

第四节 锉 削

用锉刀从零件表面锉掉多余的金属，使零件达到图样所要求的尺寸形状和表面粗糙度，这种加工方法称为锉削。它可以在锯、锯之后对零件进行精加工。它不但适合平面加工还可以进行曲面加工。锉削是一种比较精细的手工加工方式，精度可达 0.01mm，表面粗糙度可达  $Ra0.8\mu m$ 。锉削是钳工工作中的主要操作方法之一，是钳工的基本功，生产中常常用到。

一、锉刀

锉刀用高碳工具钢 T12 或 T13 制成，并经淬硬，一般硬度为 62 ~ 67HRC，锉刀的齿纹有单齿纹和双齿纹两种。

单齿纹锉刀的齿纹只有一个方向，一般只用于锉软金属，如铝、锡等，或是要求较光洁的表面。

双齿纹锉刀的齿纹有两个互相交错的排列方向。根据锉刀的制作工艺，先加工的浅的齿纹是底齿纹，它和锉刀中心线夹角为 55°；后加工的深的齿纹是面齿纹，它和锉刀中心线夹角为 75°，由于底齿纹和面齿纹的角度不同，所以，锉削时锉痕不会重叠，锉出的表面也比较光洁。如果底齿角和面齿角相同，则锉齿以锉刀中心线依次排列，不再错开，锉出的表面就会产生沟槽，而且比较粗糙。锉刀齿的粗细规格以齿距的大小来表示。其精细等级分为以下几种：

- (1) 1 号锉纹 用于粗锉刀，齿距为 2.3 ~ 0.83mm。
- (2) 2 号锉纹 用于中锉刀，齿距为 0.77 ~ 0.42mm。
- (3) 3 号锉纹 用于细锉刀，齿距为 0.33 ~ 0.25mm。
- (4) 4 号锉纹 用于双细锉刀，齿距为 0.25 ~ 0.20mm。
- (5) 5 号锉纹 用于油光锉，齿距为 0.20 ~ 0.16mm。

一般根据工件的加工余量、加工精度要求和工件材料的软硬程度来选用锉刀的粗细。粗锉刀有较大的容屑空间，一般适用于锉削软材料，以及加工余量较大

或精度、表面粗糙度要求不高的工件。细锉刀则相反。用细锉刀锉软材料时，很容易造成切屑堵塞，不但会拉伤零件表面，严重时会使锉刀丧失工作能力，故细锉刀不宜锉软金属。

为了延长锉刀的使用寿命，不准用新锉刀锉硬金属；不准用锉刀锉淬硬工件；对有硬皮的锻件或粘砂的铸件，必须将其去掉后，才可用半锋利的锉刀锉削；新锉刀先使用一面，用钝后，再用另一面；使用锉刀时不宜速度过快，否则容易过早磨损。

锉刀应经常用铜丝刷清除锉齿上的切屑，还应避免沾水、沾油，以防生锈和打滑，平时不用时应放在干燥处。

## 二、锉削方法

### 1. 顺向锉

顺向锉（见图 2-5-15a）是顺着同一方向对工件进行锉削。锉削后可得到正直的锉痕，比较整齐美观，适用于最后锉光。

### 2. 交叉锉

交叉锉（见图 2-5-15b）是从两个交叉方向对工件进行锉削。锉削时锉刀与工件的接触较大，锉刀容易掌握平稳，从锉痕上还能判断出锉削面的高低情况，容易把平面锉平。即将锉完时可改用顺向锉。

### 3. 横锉

横锉（见图 2-5-15c）是用两手对称地横握锉刀，用大拇指推锉刀顺着工件长度方向进行锉削，适用于锉削窄长平面和修正尺寸。

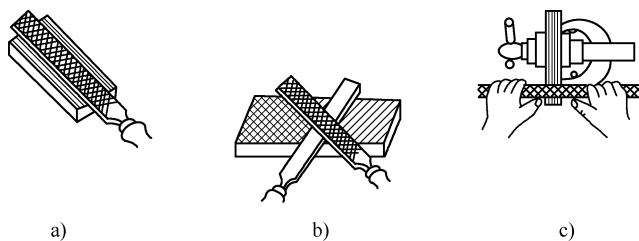


图 2-5-15 平面基本锉削方法

a) 顺向锉 b) 交叉锉 c) 横锉

平面锉削时可用金属直尺或刀口形直尺检查平面度，从纵向、横向及对角线方向观察其间有无透光间隙，找出不平处。

在平面锉削时，尤其是用大锉刀锉削小平面时，锉刀不易持平，易产生中凸。这时，可在低处用手擦摸一下，使之略带油污，再锉时，这部分由于打滑不易锉去，而中凸部分锉去较多以获得平整的锉面。

锉削接近结束时，为获得较光洁的锉面，可在作修光用的细锉刀齿面上涂些

粉笔灰。粉笔灰嵌入锉刀齿间，使锉齿切入工件表面的深度减小，使锉后的表面平整光洁。

### 三、锉削平面产生平面中凸的原因

- 1) 锉削时双手的用力不能使锉刀保持平衡，锉刀在开始推出时，左手压力太大，锉刀前端被压下，造成工件前后端被锉得多，中间锉得少，形成中凸。
- 2) 锉削姿势不正确，造成整个面的锉削量不均匀。
- 3) 锉刀本身中凹，致使锉出的工件中凸。

## 第五节 钻 孔

用钻头在材料上钻出孔的操作称为钻孔。

无论何种机器，没有孔不能装配为一体，两个以上的零件连接在一起，就需要钻出各种不同的孔，然后用螺钉、铆钉等连接起来，因此，钻孔在生产中占有重要的地位。

钻孔时，工件不动，钻头同时完成旋转和下移运动，也就是切削运动和向工件内的进给运动。由于两种运动是同时连续进行的，所以钻头是按照螺旋运动的规律来钻孔的。

### 一、麻花钻的构造

麻花钻是常用的一种钻头，它由柄部、颈部和工作部分组成，如图 2-5-16 所示。

麻花钻的工作部分可分为切削部分和导向部分。切削部分担任主要切削工作，其上有两条主切削刃、一条横刃、两个前刀面和两个后刀面。图 2-5-17 所示的导向部分在切削过程中，可以保持钻头正直的钻削方向，同时还是切削部分的后备部分。导向部分还具有修光孔壁的作用，并起排屑和输送切削液的作用。导向部分有两条螺旋槽和两条窄的螺旋棱边，并以螺旋槽表面相交形成两条棱边（副切削刃）。钻头的直径由头部向柄部逐渐减小，倒锥一般为 10mm 长度内减小 0.05 ~ 0.10mm，这样，可以减小钻头与孔壁的摩擦。

麻花钻工作部分沿轴心线的实心部分称为钻心。它的作用是连接两个螺旋形刃瓣，以保持钻头的强度和刚度。钻心由切削部分向柄部逐渐变大。

钻头工作部分的材料一般用高速钢制成，淬硬至 62 ~ 68HRC。

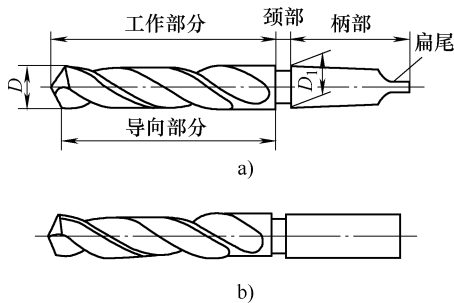


图 2-5-16 麻花钻

a) 锥柄的 b) 直柄的

二、麻花钻切削部分的几何参数

如图 2-5-17 所示，钻孔时的切削平面为图中  $p-p$  平面，基面为图中  $q-q$ ，两平面是互相垂直的。麻花钻切削时的几何参数如下：

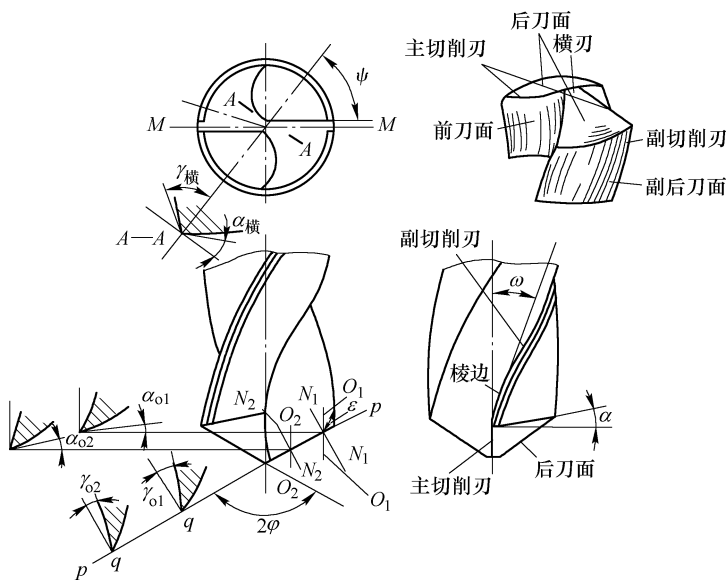


图 2-5-17 麻花钻的几何参数

(1) 齿顶角 ( $2\varphi$ ) 齿顶角是钻头两主切削刃在其平行平面  $M-M$  上投影所夹的角，也称锋角、顶尖角。标准麻花钻的齿顶角  $2\varphi = 118^\circ \pm 2^\circ$ 。

齿顶角的选择与材料的性质有关。齿顶角影响主切削刃上的背向力，齿顶角越小，进给力越小，同时钻头外缘处刃尖角越大，有利于散热和提高钻头的寿命。但在相同的条件下，减小齿顶角，将使钻头所受的切削转矩增大，并造成排屑困难和妨碍切削液进入，一般钻硬材料比钻软材料选用的齿顶角要大一些。麻花钻切削角的选择见表 2-5-4。

表 2-5-4 麻花钻切削角的选择 [单位: ( $^\circ$ )]

钻 孔 材 料	顶角 $2\varphi$	后角 $\alpha_o$	螺旋角 $\omega$
一般钢铁材料	116 ~ 118	12 ~ 15	20 ~ 32
一般韧性钢铁材料	116 ~ 118	6 ~ 9	20 ~ 32
铝合金 (深孔)	118 ~ 130	12	32 ~ 45
铝合金 (通孔)	90 ~ 120	12	17 ~ 20
软黄铜和青铜	118	12 ~ 15	10 ~ 30
硬青铜	118	5 ~ 7	10 ~ 30

(续)

钻 孔 材 料	顶角 $2\varphi$	后角 $\alpha_o$	螺旋角 $\omega$
铜和铜合金	110 ~ 130	10 ~ 15	30 ~ 40
软铸铁	90 ~ 118	12 ~ 15	20 ~ 32
冷 (硬) 铸铁	118 ~ 135	5 ~ 7	20 ~ 32
淬火钢	118 ~ 125	12 ~ 15	20 ~ 32
铸钢	118	12 ~ 15	20 ~ 32
锰钢 [ $w(\text{Mn}) = 7\% \sim 13\%$ ]	150	10	20 ~ 32
高速钢	135	5 ~ 7	20 ~ 32
镍钢 (250 ~ 400HBW)	135 ~ 150	5 ~ 7	20 ~ 32
木材	70	12	30 ~ 40
硬橡皮	60 ~ 90	12 ~ 15	10 ~ 20

(2) 前角 ( $\gamma_o$ ) 它是在正交平面  $N_1 - N_1$  或  $N_2 - N_2$  (通过主切削刃上任意一点并垂直切削平面和基面的平面) 内, 前刀面与基面之间的夹角, 即图中  $\gamma_{o1}$ 、 $\gamma_{o2}$ 。前角在主切削刃上越靠近外径处越大, 在外缘处为  $30^\circ$ , 接近横刃处则为  $-30^\circ$ , 横刃上为  $-60^\circ$ 。前角的大小也与螺旋角数值相等, 前角越大切削越省力, 但切削部分的强度也越低。

(3) 后角 ( $\alpha_o$ ) 后角是圆柱断面  $O_1 - O_1$  或  $O_2 - O_2$  内后刀面与切削平面之间的夹角 (图中  $\alpha_{o1}$ 、 $\alpha_{o2}$ )。切削刃上每一点的后角也是不相等的, 与前角相反, 在外缘处的后角最小, 中心处的后角最大。后角越小, 则钻削时钻头与工件切削表面间的摩擦越严重; 后角越大, 钻头越锋利, 但切削刃强度削弱, 影响钻头寿命, 而且钻削时易振动, 钻削的孔易产生多角形。

钻硬材料时为保证切削刃强度, 后角可适当小些; 钻软材料时, 后角可稍大些。但钻削有色金属时, 后角不宜太大, 否则会产生扎刀。

(4) 螺旋角 ( $\omega$ ) 螺旋角是主切削刃上最外缘处螺旋线的切线与钻头轴线之间的夹角, 一般为  $18^\circ \sim 30^\circ$ , 小直径钻头取小的角度, 以提高强度。

在钻头不同外径处, 螺旋角是不等的, 从钻头的外缘到中心逐渐减小, 螺旋角一般以外缘处的数值来表示。

(5) 横刃斜角 ( $\psi$ ) 横刃斜角是横刃与主切削刃的平行轴向断面 M-M 之间的夹角。它的大小与后角的大小有关, 当刃磨后钻头的后角越大, 横刃斜角就越小, 相应横刃长度就变长一些, 所以刃磨麻花钻时, 可用横刃斜角来判断靠近钻心处的后角磨得是否正确。标准麻花钻的横刃斜角  $\psi = 50^\circ \sim 55^\circ$ 。

三、麻花钻的刃磨

钻头刃磨的目的是要把钝了或损坏的切削部分刃磨成正确的几何形状, 或当

工件材料变化时, 钻头的切削部分和角度也需要重新刃磨, 使钻头保持良好的切削加工性能。

钻头的切削部分对钻孔的质量和效率有直接的影响。同样材质和规格的钻头, 经过有经验师傅的刃磨, 使用寿命、效率和精度都能提高很多。

麻花钻刃磨后应检查顶角  $2\varphi$  的大小是否正确, 两切削刃的长度、高低应相同, 这样才能使孔钻得垂直; 检查钻头外缘处及中心的后角  $\alpha_0$  应符合要求。刃磨时, 为了避免刃口退火, 必须经常将钻头放入水中冷却, 保持切削部分的硬度。

#### 四、钻头的修磨

为适应钻削不同的材料而达到不同的钻削要求, 以及改进钻头的性能, 需对钻头切削部分形状进行修磨。麻花钻的修磨如图 2-5-18 所示。

(1) 修磨横刃 (见图 2-5-18a) 其目的是把横刃修短, 使靠近钻心处的前角增大。一般直径在 5mm 以上的钻头均需修磨横刃, 修磨后横刃长度为原来的  $1/3 \sim 1/5$ , 修磨后形成内刃, 内刃斜角  $\tau = 20^\circ \sim 30^\circ$ , 内刃处前角  $\gamma_r = 0^\circ \sim 15^\circ$ 。横刃经修磨后, 切削条件改善, 定心作用加强。

(2) 修磨主切削刃顶角 (见图 2-5-18b) 一般顶角  $2\varphi_0 = 70^\circ \sim 75^\circ$ ,  $f_0 = 0.2D$  ( $D$  为钻孔直径)。

(3) 修磨棱边 (见图 2-5-18c) 在靠近主切削刃的一段棱边上, 磨出  $6^\circ \sim$

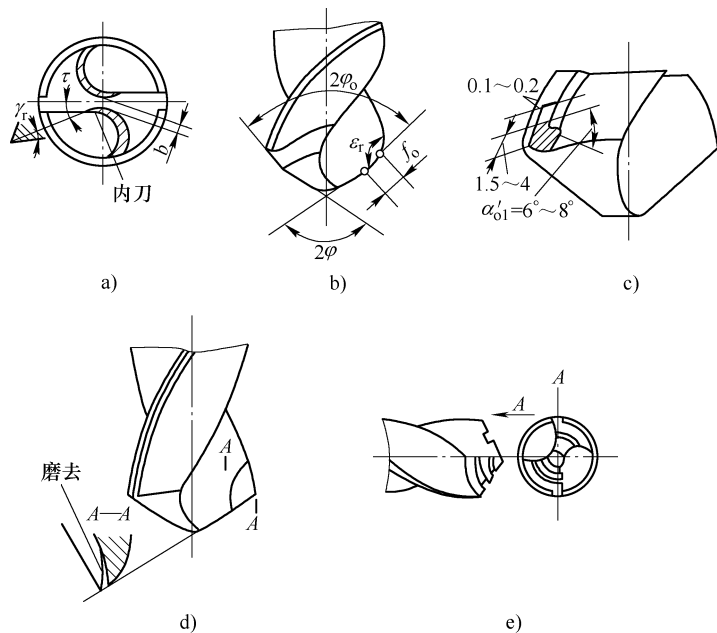


图 2-5-18 麻花钻的修磨

a) 修磨横刃 b) 修磨顶角 c) 修磨棱边 d) 修磨前刀面 e) 修磨出分屑槽

8°的副后角并保留棱边宽度为原来的 1/3 ~ 1/2，以减少摩擦和提高钻头寿命。

(4) 修磨前刀面（见图 2-5-18d） 将主切削刃和副切削刃交角处的前刀面磨去一块，以减小此处的前角，提高切削刃强度，避免扎刀。

(5) 修磨出分屑槽（见图 2-5-18e） 开槽后可使宽切屑变窄，便于排屑。

五、钻孔用切削液及切削用量

1. 钻孔用切削液

钻头在切削过程中会产生大量的热量，容易引起切削刃退火造成严重损坏，失去切削能力。钻孔时，为了降低切削温度和增加润滑性能，提高钻头的寿命、钻孔质量和效率，应根据工件材料性质的不同，选择适当的切削液。钻削开始，从钻头切入金属时，就要不断地浇注切削液。除钻铸铁和小直径的孔，可以不使用切削液外，其他的材料一般都应使用。使用切削液时，必须注到孔的内部，也就是切削作用发生的地方。钻孔时切削液的选择可参照表 2-5-5。

表 2-5-5 钻孔时切削液的选择

钻孔工件的材料	切 削 液
碳钢、铸钢、可锻铸铁	质量分数为 3% ~ 5% 的乳化液或机油
合金钢	硫化切削油或质量分数为 3% ~ 5% 的乳化液
一般铸铁	不用切削液
冷硬铸铁	煤油
黄铜及青铜	不用切削液或质量分数为 5% ~ 8% 的乳化液
铝及铝合金	不用切削液或乳化液
硬橡皮、电木、纤维板	不用切削液
镁合金	质量分数为 4% 的盐水
不锈钢	质量分数为 3% 的肥皂加质量分数为 2% 的亚麻油水溶液或硫化切削液
工具钢	质量分数为 3% ~ 5% 的乳化液或机油

2. 钻孔切削用量的选择

(1) 切削要素

1) 切削速度  $v$ 。钻头转动时，在钻头大径上一点的线速度称为切削速度（主体运动速度）。它可由下式计算：

$$v = \pi Dn/1000$$

式中  $v$ ——切削速度（m/min）；

$D$ ——钻头直径（mm）；

$n$ ——钻头每分钟转数（r/min）；

根据上式可以求出：

$$n = 1000v / (\pi D) = 318.3 v / D$$

2) 进给量*f*。钻头每转一周向下移动的距离称为进给量，以 mm/r 计算。

(2) 切削用量的选择 切削用量是指切削速度和进给量。切削速度与工件的材料性质、钻头直径、钻头材料、进给量和冷却润滑液有关。切削速度越大，效率越高，但必须适当。切削速度过大，容易使钻头温度升高，造成钻头刃口退火和损坏。进给量也要适当，应按工件的材料性质等因素选择，如进给量过大，刃口容易损坏或折断钻头。钻孔切削用量多凭经验选择，一般情况下，钻小孔时，转速快些，进给量小些；钻大孔时，进给量大些；钻硬质材料转速要慢些，进给量要小些；钻软质材料转速快些，进给量大些。若用小钻头钻硬质材料时，可适当地减慢速度。钻孔切削用量的选择见表 2-5-6。

表 2-5-6 高速钻头钻碳钢的切削速度和进给量（加切削液）

进给 量 <i>f</i> / (mm/r)	钻头直径 <i>d</i> /mm										
	2	4	6	10	14	20	24	30	40	50	60
	切削速度 <i>v</i> / (m/min)										
0.05	46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.08	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.10	26	42	49	—	—	—	—	—	—	—	—
0.12	23	36	43	—	—	—	—	—	—	—	—
0.15	—	31	36	38	—	—	—	—	—	—	—
0.18	—	26	31	35	—	—	—	—	—	—	—
0.20	—	—	28	33	38	—	—	—	—	—	—
0.25	—	—	—	30	34	35	37	—	—	—	—
0.30	—	—	—	27	31	31	34	33	—	—	—
0.35	—	—	—	—	28	29	31	30	—	—	—
0.40	—	—	—	—	26	27	29	29	30	30	—
0.45	—	—	—	—	—	26	27	27	28	29	27
0.50	—	—	—	—	—	—	26	26	26	27	26
0.60	—	—	—	—	—	—	—	24	24	25	25
0.70	—	—	—	—	—	—	—	—	23	23	23
0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	22
0.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21



## 第六节 扩孔和铰孔

### 一、扩孔

用扩孔钻对零件已有的孔进行扩大加工，称为扩孔。扩孔的目的是减少一次加工的影响，提高加工孔的精度。扩孔一般用于铰孔前的准备。

一般对直径  $D > 30\text{mm}$  的孔，先用小于孔径  $0.5 \sim 0.7\text{mm}$  的钻头钻孔后，再进行扩孔。对要求较高的孔还可以分两次扩孔以提高质量。

扩孔钻结构与麻花钻类似，相当于将麻花钻的端处磨平（横刃去掉）。扩孔钻通常具有  $3 \sim 4$  个切削刃，因此具有较好的导向性能，能保证正确的扩孔方向，并可以获得较小的表面粗糙度值，如图 2-5-19 所示。

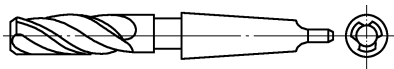


图 2-5-19 扩孔钻

### 二、铰孔

用铰削方法加工平底或锥形沉孔（或凸台），称为铰削。铰削时采用的刀具主要有圆柱形铰钻、锥形铰钻和端面铰钻，如图 2-5-20 所示。

(1) 圆柱形铰钻 其端面切削刃起主切削作用，铰钻的前角和螺旋角相同，一般为  $15^\circ$ ，后角一般为  $8^\circ$ 。外圆上的切削刃起修光孔壁作用，副后角一般为  $8^\circ$ 。铰钻前端是导柱，可保证定心和导向。

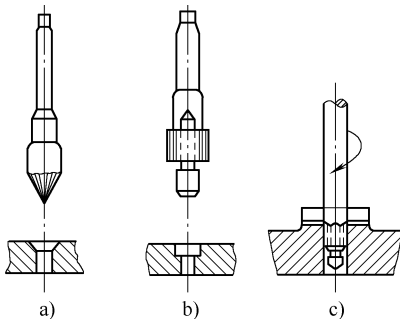


图 2-5-20 铰钻及其应用

目前较普遍使用的还有一种圆柱形铰钻，其切削刃是硬质合金，导柱可以相对中心转动，由于导柱与工件没有相对滑动，所以在切削时不会伤及工件孔。

a) 锥形埋头铰钻 b) 圆柱形埋头铰钻  
c) 端面铰钻

(2) 锥形铰钻 其圆锥角有  $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$  四种，可根据工件要求选择，其中  $90^\circ$  的用得较多。锥形的大头直径  $d$  为  $12 \sim 60\text{mm}$ ，刀齿一般为  $4 \sim 12$  个。锥形铰钻也可用麻花钻改制，但效果不如锥形铰钻。

铰孔时容易产生振动，所以加工时应注意：用麻花钻改制的铰钻要尽量短，刃磨时应注意两切削刃长度相同、角度对称；铰钻的后角和外缘处前角要适当减小；切削速度应比钻孔时慢些，速度高，振纹更厉害，避免方法是铰孔的切削速度保持在钻孔的  $1/3 \sim 1/2$ ，一般采用手动进刀，出刀慢些；工作时可在导柱和切削表面加一些机油润滑。采取这些措施后，可使振动减小，提高铰孔质量。

## 第七节 铰 孔

为了提高孔的精度和使孔壁表面粗糙度值更小,用铰刀对孔进行精加工,称为铰孔。铰孔在机械零件中的应用很广泛,有些孔要求高精度和小的表面粗糙度值,其中不少是需要铰刀加工的。铰孔比其他加工方法易保证精度且效率高,特别适合精度要求较高的小孔及锥孔的加工。

### 一、铰刀

铰刀按使用方法分为机用铰刀和手用铰刀两种,如图 2-5-21 所示。机用铰刀和手用铰刀的主要区别是:前者工作部分较短,齿数较少,柄部较长;后者相反。按用途不同来分,铰刀可分为圆柱形铰刀和圆锥形铰刀。圆柱形铰刀又分为固定式铰刀和可调式铰刀两种。

铰刀是多刃的切削工具,它的构造主要有切削部分、颈部和尾部。刀齿的数目根据铰刀直径的不同有 4~12 条几种。切削刃的形状为楔形,因为它的切削量很小,所以前角为  $0^\circ$ ,起刮削作用;如果要求精度高,可改为负前角,前角一般为  $-5^\circ \sim 0^\circ$ ,后角不宜过大,它关系到切削刃的强度(后角越小,强度越高),一般铰硬质材料后角为  $8^\circ$ ,脆性材料为  $5^\circ$ 。为了测量准确,切削刃都是偶数的,但分布不均匀,以保证铰刀的切削均匀平稳,防止孔壁产生颤痕。铰刀的切削刃如图 2-5-22 所示。铰刀修光部分起着保证铰刀对中、修光孔壁、作为被磨部分等作用。铰刀刀齿顶有  $0.3 \sim 0.5\text{mm}$  的宽刃带,用于对准孔位。

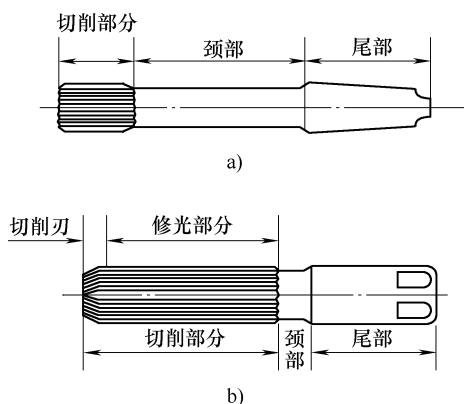


图 2-5-21 铰刀各部名称

a) 机用铰刀 b) 手用铰刀

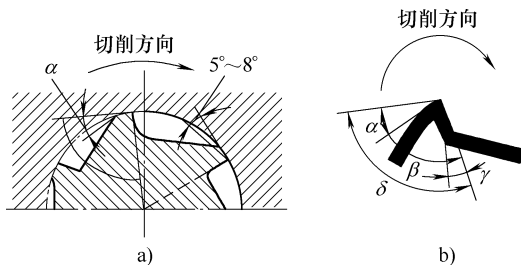


图 2-5-22 铰刀的切削刃

a) 前角为  $0^\circ$  切削刃 b) 负前角切削刃

## 二、铰杠（铰刀扳手）

铰杠是手工铰孔的工具，常用的为活动式铰杠。加工时，将铰刀柄尾放牢、方榫夹在铰杠方孔内，扳动铰杠使铰刀旋转。这种铰杠方孔是可以调节的，即通过活动手柄的转动，带动滑块前后移动，使方孔扩大或缩小，以适合夹持不同尺寸的铰刀方头。

## 三、铰孔时的切削余量和切削液

铰孔的前道工序必须留有一定的加工余量，供铰孔时加工。铰孔加工余量要适当，铰出的孔壁才能光洁，如果余量过大，容易使铰刀磨损，影响孔的表面粗糙度和精度，还会出现多边形，因此，要留有合理的铰削余量。铰孔余量的大小一般为：若用一把铰刀一次把孔铰成，且孔径在 20mm 以下时，铰孔余量为 0.1 ~ 0.2mm；如果采用粗铰刀、精铰刀两次把孔铰成时，孔径在 5 ~ 80mm 时，粗铰余量为 0.25 ~ 0.5mm，精铰余量为 0.05 ~ 0.15mm。

铰刀工作时，其后刀面与孔壁的摩擦很大，所以铰孔时必须使用切削液。这样，可以减少摩擦，保证孔面有更小的表面粗糙度值，防止铰刀受热膨胀而使孔径扩大，还可以延长铰刀的寿命。铰孔时用的切削液与钻孔相同。

## 四、铰孔方法及注意事项

- 1) 按照要求确定铰孔的次数及选择铰刀。
- 2) 铰孔前，工件夹持要正确，铰刀在铰杠上装夹后，将铰刀插入孔内，用直角尺检验，使铰刀与孔端面垂直。两手握住铰杠柄部，稍加均衡压力，按顺时针方向扳动铰杠进行铰削。
- 3) 铰孔中严禁倒转。当在铰削中铰刀旋转困难时，应按原旋转方向将铰刀用力向上提起，查明原因，及时处理。
- 4) 铰刀是精加工刀具，用后要将切屑清理干净，涂油放入专用盒内，以防生锈或碰伤。
- 5) 孔的尺寸精度和表面质量主要是从刀具获得的，因此，在加工过程中要计算孔的尺寸精度、观察孔的表面质量，以便及时更换刀具。

# 第八节 攻 螺 纹

## 一、螺纹的概念

从任何一部机器上都可以找到各式各样的螺纹，这些螺纹有的是在机床上车出的，有的是滚压出来的。精密的螺纹可以在加工中心上铣出，甚至在螺纹磨床

上磨出来。螺纹除用机械加工外,钳工在装配与维修工作中,常用手工攻螺纹。攻螺纹一般适用于加工直径较小的普通螺纹。

用丝锥加工内螺纹即称为攻螺纹。在介绍攻螺纹之前,先介绍螺纹的构造、种类和各要素,以及钳工经常碰到的普通螺纹的标准。

### 1. 螺旋线的概念

如果在任何一圆柱体上绕以一个纸制的直角三角形,如图 2-5-23 所示,纸制直角三角形的一个直角边( $AB$ 边)的边长,与圆柱体底圆圆周长度相等,那么斜边( $AC$ 边)便在圆柱体表面上形成曲线,这一曲线称为螺旋线。螺旋线旋转一周,起点与终点间的距离(即直角边 $BC$ 的长度),称为导程,螺旋线的升高角度( $AB$ 直角边和 $AC$ 斜边之间的 $\phi$ 角),称为螺旋升角(导程角)。沿着螺旋线加工成一定形状的凹槽,即在圆柱表面上形成一定形状的螺纹。

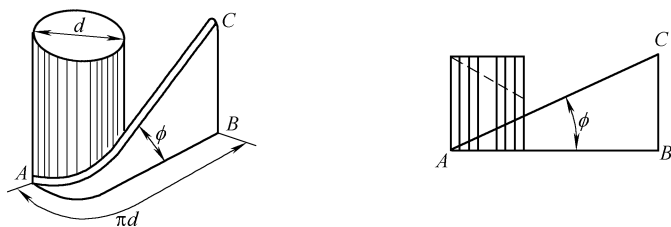


图 2-5-23 螺旋线的形成

按螺纹在圆柱面上的绕行方向,可分为右旋(正扣)和左旋(反扣)两种。螺纹从左向右升高称为右旋螺纹,按顺时针方向旋进;与此相反,称为左旋螺纹,如图 2-5-24 所示。根据用处不同,在圆柱面上的螺纹线数有单线、双线和多线几种。螺纹线数越多,传递速度越快。

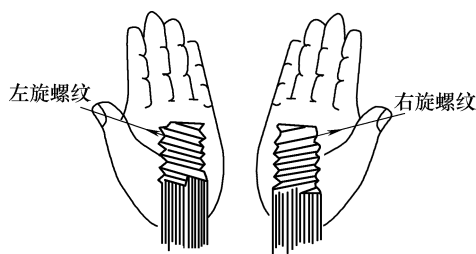


图 2-5-24 判断左、右旋螺纹的方法

### 2. 螺纹要素及螺纹的主要尺寸

(1) 螺纹要素 螺纹要素有牙型、外径、螺距、导程、线数、公差和旋向等。根据这些要素来加工螺纹。

(2) 牙型 牙型是指螺纹轴向剖面内的形状,如图 2-5-25 所示。

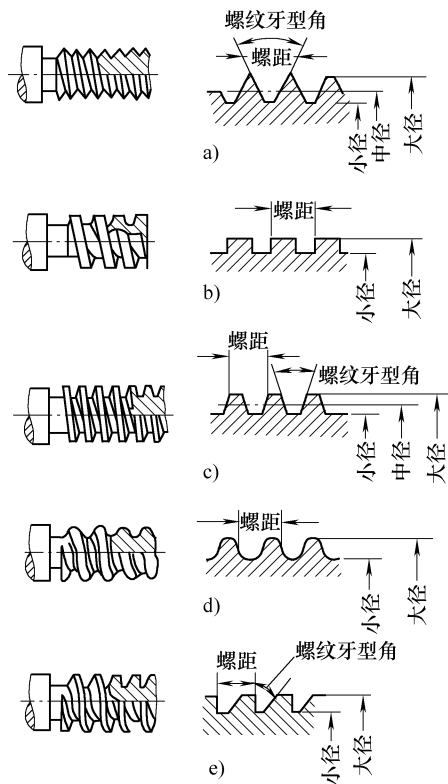


图 2-5-25 各种螺纹的剖面形状

a) 普通螺纹 b) 矩形螺纹 c) 梯形螺纹 d) 半圆形螺纹 e) 锯齿形螺纹

(3) 螺纹的主要尺寸 以普通螺纹为例，螺纹的主要尺寸如图 2-5-26 和图 2-5-27 所示。

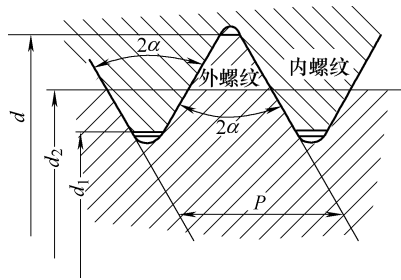


图 2-5-26 普通螺纹的主要参数

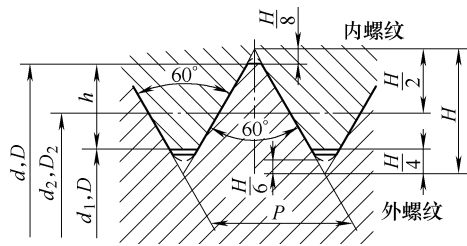


图 2-5-27 普通螺纹各部分的名称

1) 大径。大径是螺纹的最大直径（即外螺纹的顶径  $d$ 、内螺纹的底径  $D$ ），是螺纹的公称直径。

2) 小径。小径是螺纹的最小直径（即外螺纹的底径  $d_1$ 、内螺纹的顶径  $D_1$ ）。

3) 中径 ( $d_2$ 、 $D_2$ )。螺纹的有效直径称为中径。在这个直径上螺纹的牙厚和槽宽相等, 即牙厚等于螺距的一半 (中径等于大、小径的平均值)。

4) 螺纹的牙型高度 ( $h$ )。螺纹的牙顶到牙底在垂直于螺纹轴线上的距离, 称为螺纹的牙型高度。

5) 牙型角 ( $\alpha$ )。在螺纹剖面上两侧面所夹的角称为牙型角。

6) 螺距 ( $P$ )。相邻两牙在中性线上对应两点间的轴向距离称为螺距。

7) 导程 ( $P_h$ )。螺纹上一点沿螺旋线转一周时, 该点沿轴线方向所移动的距离称为导程。单线螺纹的导程等于螺距。导程与螺距的关系可用下式表达:

$$\text{多线螺纹导程 } (P_h) = \text{线数 } (z) \times \text{螺距 } (P)$$

### 3. 螺纹的应用及代号

#### (1) 螺纹的应用范围

1) 普通螺纹应用很广泛, 例如, 设备的连接螺栓、螺母等。

2) 梯形螺纹和矩形螺纹主要用在传动和受力大的机械上, 如台虎钳、机床上的丝杠、千斤顶的螺杆等的螺纹。

3) 管螺纹主要应用在管的连接上, 如水管口的螺纹等。

4) 锯齿形螺纹用于承受单面压力的机械上, 如压力机上螺杆的螺纹等。

#### (2) 螺纹代号 各种螺纹都有规定的标准代号。

1) 普通螺纹。牙型角是  $60^\circ$ , 尺寸单位是 mm。它分为粗牙、细牙两种, 两者之间不同之处是: 当大径相同时, 细牙普通螺纹的螺距比粗牙普通螺纹的螺距小。GB/T 197—2003 规定螺纹公差精度分为精密、中等、粗糙三级。在下列情况下, 中等精度螺纹不标注其公差带代号。

内螺纹: 5H (公称直径  $\leq 1.4\text{mm}$  时); 6H (公称直径  $\geq 1.6\text{mm}$  时)。

外螺纹: 6h (公称直径  $\leq 1.4\text{mm}$  时); 6g (公称直径  $\geq 1.6\text{mm}$  时)。

2) 管螺纹。牙型角为  $55^\circ$  或  $60^\circ$ , 它是用尺寸代号表示的。例如  $Rp3/4$ , 表示尺寸代号为  $3/4$  的  $55^\circ$  右旋圆柱内螺纹。

3) 标准螺纹的代号。按国家标准规定, 标准螺纹的代号包括螺纹特征代号、尺寸代号、公差带代号、旋向代号、旋合长度代号。

标准螺纹的代号及标注示例见表 2-5-7。

表 2-5-7 标准螺纹的代号及标注示例

螺纹类型	特征代号	代号示例	示例说明
粗牙普通螺纹	M	M10	粗牙普通螺纹, 公称直径 10mm, 公差带 6g
细牙普通螺纹	M	M10 $\times$ 1	细牙普通螺纹, 公称直径 10mm, 螺距 1mm, 公差带 6g
梯形螺纹	Tr	Tr40 $\times$ 14 (P7) LH	梯形螺纹, 公称直径 40mm, 导程 14mm, 螺距 7mm, 左旋
锯齿形螺纹	B	B70 $\times$ 10	锯齿形螺纹, 公称直径 70mm, 螺距 10mm

(续)

螺纹类型	特征代号	代号示例	示例说明
55°圆锥内螺纹	Rc	Rc3/4	55°圆锥内螺纹，尺寸代号为 3/4
55°圆柱内螺纹	Rp	Rp5/8	55°圆柱内螺纹，尺寸代号为 5/8
55°圆锥外螺纹	R	R <sub>1</sub> 1	55°圆锥外螺纹，尺寸代号为 1

非标准螺纹和特殊螺纹（如矩形螺纹）没有规定的代号，螺纹各要素一般都应标注在工件图样（牙型放大图）上。

钳工攻螺纹常碰到的有粗牙、细牙普通螺纹，其相关参数见表 2-5-8。

表 2-5-8 普通螺纹的公称直径与螺距（单位：mm）

公称直径 <i>d</i> 、 <i>D</i>	螺距 <i>P</i>		公称直径 <i>d</i> 、 <i>D</i>	螺距 <i>P</i>	
	粗 牙	细 牙		粗 牙	细 牙
3	0.5	0.35	20	2.5	2、1.5、1
4	0.7	0.5	24	3	2、1.5、1
5	0.8	0.5	30	3.5	2、1.5、1
6	1	0.75	36	4	3、2、1.5
8	1.25	1、0.75	42	4.5	3、2、1.5
10	1.5	1.25、1、0.75	48	5	3、2、1.5
12	1.75	1.5、1.25、1	56	5.5	4、3、2、1.5
16	2	1.5、1	64	6	4、3、2、1.5

4. 螺纹的测量

为了弄清螺纹的尺寸规格，必须对螺纹的大径、螺距和牙型进行测量，以利于加工及质量检查。螺纹的测量方法一般有如下几种：

- 1) 用游标卡尺测量螺纹大径。
- 2) 用螺纹样板量出螺距及牙型。将螺纹样板放在被测量的螺纹上，一旦样板牙型与工件牙型对应上，此片螺纹样板上标注的规格即是被测螺纹的螺距。

二、攻螺纹

1. 丝锥的结构

丝锥由螺纹部分（含切削锥和校准部分）、容屑槽、颈部和柄部组成，如图 2-5-28 所示。丝锥的螺纹部分由高速钢或合金钢制成，并经淬火处理。

(1) 切削锥 它是丝锥前部的圆锥部分，有锋利的切削刃，起主要切削作用。切削刃的前角为 8°~10°，后角为 4°~6°。

(2) 校准部分 它是确定螺纹孔直径、修光螺纹、引导丝锥轴向运动和作为丝锥的备磨部分，其后角为 0°。



(3) 容屑槽 它有容纳、排除切屑和形成切削刃的作用,常用的丝锥上有3或4条容屑槽。

(4) 柄部 它的形状及作用与手用铰刀的相同。

## 2. 丝锥的种类和应用

(1) 手用丝锥 手用丝锥一般由两支或三支组成一组,以不等径成组丝锥为例,它可分头锥、二锥和精锥。各丝锥的切削锥角各不相等,校准部分大径也不相同。

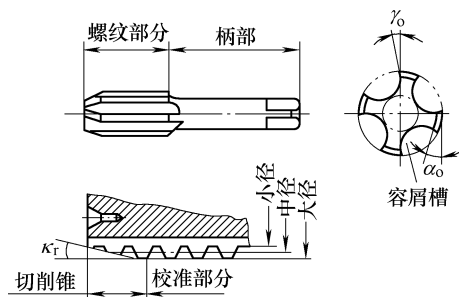


图 2-5-28 丝锥的结构

1) 三支组丝锥:其头锥切削锥角为 $4^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ,切削锥中不完整牙有5~7个,完成切削总工作量的60%;二锥切削锥角为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ,切削锥中不完整牙有3或4个,完成切削总工作量的30%;精锥切削锥角为 $18^{\circ} \sim 23^{\circ}$ ,切削锥中不完整牙有1或2个,完成切削总工作量的10%,由于三支组丝锥分三次攻螺纹,总切削量划为三部分,因此可减少切断面积和阻力,攻螺纹时省力,螺纹表面也比较光洁,还可以防止丝锥折断与损坏切削刃。

2) 两支组丝锥:其头锥切削锥角为 $7^{\circ}$ ,不完整牙约有6个;二锥切削锥角为 $20^{\circ}$ ,不完整牙约有2个。

3) 应用:通常攻M6~M12的螺纹,一套有两支丝锥;攻M6以下及M24以上螺纹一套有三支丝锥。这是因为攻小螺纹的丝锥的强度不高,容易折断,所以备三支;而攻大螺纹的丝锥的切削负荷大,需要分几次逐步切削,所以也做成三支一套。细牙普通螺纹丝锥不论大小规格均为两支一套。

(2) 管螺纹丝锥 它又分为圆柱管螺纹丝锥和圆锥管螺纹丝锥两种。圆柱管螺纹丝锥的工作部分较短,是两支组;圆锥管螺纹丝锥只有单支,但较大尺寸时也有两支组的。管螺纹丝锥用于管子接头等处的螺纹切削。

(3) 机用丝锥 机用丝锥用于机械攻螺纹。为了装夹方便,丝锥柄部较长。一般机用丝锥是一支,攻螺纹一次完成,其切削锥的切削锥角大,比较长,适用于攻长孔螺纹,不便于浅孔攻螺纹。机用丝锥也可用于手工攻螺纹。

## 3. 铰杠

手用丝锥攻螺纹时一定要用铰杠夹持丝锥,铰杠分普通铰杠和丁字形铰杠两类。各种铰杠又分固定式铰杠和活铰杠两种。

(1) 固定式铰杠 铰杠两端是手柄,中部方孔适合一种尺寸的丝锥方头。由于方孔的尺寸是固定的,不适合多种尺寸的丝锥方头。使用时要根据丝锥尺寸的大小,来选择不同规格的铰杠。这种铰杠的优点是制造方便,可随便在一段铁条钻上个孔,用锉刀锉成所需尺寸的方孔就可使用,适宜经常攻一定大小的螺纹时使用。

(2) 活铰杠 这种铰杠的方孔尺寸经调节后,可适合不同尺寸的丝锥方头,



使用很方便。

常用的铰杠规格见表 2-5-9。

表 2-5-9 常用的铰杠规格 (单位: mm)

丝锥直径	≤6	8 ~ 10	12 ~ 14	≥16
铰杠长度	150 ~ 200	200 ~ 250	250 ~ 300	400 ~ 450

(3) 丁字形铰杠 这种铰杠常用在比较小的丝锥上。当需要对工件台阶旁边的螺孔或箱体内部的螺孔攻螺纹时, 用普通铰杠会碰到工件, 此时则要用丁字形铰杠。小的丁字形铰杠一般都是固定的, 用于攻 M6 以下的螺纹。视工件的需要确定铰杠的长度。

4. 攻螺纹前螺纹底孔直径的确定

攻螺纹时丝锥对金属有切削和挤压作用, 如果螺纹底孔与螺纹小径一致, 会产生金属咬住丝锥的现象, 造成丝锥损坏与折断。因此, 钻螺纹底孔的钻头直径应比螺纹的小径稍大些, 如果大得太多, 会使攻出的螺纹不足而造成废品。底孔直径的确定跟材料有很大关系, 可通过查表 2-5-10 ~ 表 2-5-12 来确定底孔直径。

表 2-5-10 攻常用普通螺纹前钻底孔的钻头直径 (单位: mm)

螺纹公称 直径 $d$	螺距 $P$	钻 头 直 径		螺纹公称 直径 $d$	螺距 $P$	钻 头 直 径	
		铸 铁、青 铜、黄铜	钢、可锻铸 铁、纯 铜、 层压板			铸 铁、青 铜、黄铜	钢、可锻铸 铁、纯 铜、 层压板
2	0.4	1.6	1.6	10	1.5	8.4	8.5
	0.25	1.75	1.75		1.25	8.6	8.7
2.5	0.45	2.05	2.05		1	8.9	9
	0.35	2.15	2.15		0.75	9.1	9.2
3	0.5	2.5	2.5	12	1.75	10.1	10.2
	0.35	2.65	2.65		1.5	10.4	10.5
4	0.7	3.3	3.3		1.25	10.6	10.7
	0.5	3.5	3.5		1	10.9	11
5	0.8	4.1	4.2	14	2	11.8	12
	0.5	4.5	4.5		1.5	12.4	12.5
6	1	4.9	5		1	12.9	13
	0.75	5.2	5.2	16	2	13.8	14
8	1.25	6.6	6.7		1.5	14.4	14.5
	1	6.9	7		1	14.9	15
	0.75	7.1	7.2	18	2.5	15.3	15.5

(续)

螺纹公称直径 $d$	螺距 $P$	钻头直径		螺纹公称直径 $d$	螺距 $P$	钻头直径	
		铸 铁、青 铜、黄铜	钢、可锻铸 铁、纯 铜、 层压板			铸 铁、青 铜、黄铜	钢、可锻铸 铁、纯 铜、 层压板
18	2	15.8	16	22	2.5	19.3	19.5
	1.5	16.4	16.5		2	19.8	20
	1	16.9	17		1.5	20.4	20.5
20	2.5	17.3	17.5		1	20.9	21
	2	17.8	18	24	3	20.7	21
	1.5	18.4	18.5		2	21.8	22
	1	18.9	19		1.5	22.4	22.5
					1	22.9	23

表 2-5-11 攻常用圆柱管螺纹前钻底孔的钻头直径

尺寸代号	钻头直径/mm
1/8	8.8
1/4	11.7
3/8	15.2
1/2	18.9
3/4	24.4
1	30.6
1 1/4	41.6
1 1/2	45.1

表 2-5-12 攻 55°、60°圆锥管螺纹前钻底孔的钻头直径

55°圆锥管螺纹			60°圆锥管螺纹		
尺寸代号	每 25.4mm 内包 含的牙数 $n$	钻头直径/mm	尺寸代号	每 25.4mm 内包 含的牙数 $n$	钻头直径/mm
1/8	28	8.4	1/8	27	8.6
1/4	19	11.2	1/4	18	11.1
3/8	19	14.7	3/8	18	14.5
1/2	14	18.3	1/2	14	17.9
3/4	14	23.6	3/4	14	23.2
1	11	29.7	1	11.5	29.2
1 1/4	11	38.3	1 1/4	11.5	37.9
1 1/2	11	44.1	1 1/2	11.5	43.9
2	11	55.8	2	11.5	56

### 5. 机动攻螺纹的操作方法

1) 应根据工件材料、所攻螺纹的深度和丝锥的大小等情况,选择合适的攻螺纹安全夹头。

2) 选择合适的切削速度。一般情况下,丝锥直径小的速度高一些;丝锥直径越大,速度应越低;螺距大的应选择低速。可参考以下数值确定参数:一般材料  $6 \sim 15\text{m/min}$ ; 调质钢或较硬钢  $5 \sim 15\text{m/min}$ ; 不锈钢  $2 \sim 7\text{m/min}$ ; 铸铁  $8 \sim 10\text{m/min}$ 。

3) 当丝锥即将切入螺纹底孔时,进给要慢,以免把丝锥牙撞坏,开始攻削时,应手动操纵进给手柄,施加均匀压力,帮助丝锥切入工件,当切削部分全部切入后,应停止施加压力,靠丝锥自行切入,以免将牙型切废。

4) 攻通孔螺纹时,丝锥的校准部分不能全部出头,否则反车退出丝锥时会产生乱牙现象。

5) 当丝锥切入工件以后,应不断地加切削液,并经常倒转或退出丝锥排屑。

6) M16 以上的螺纹应该考虑采用机动的方法攻螺纹,一是减轻手工劳动,二是攻出的螺纹与孔平面垂直度好,质量和效率也都很高。

### 6. 用丝锥攻螺纹的方法及注意事项

1) 钻底孔。攻螺纹前在工件上钻出适宜的底孔,可查表 2-5-10 ~ 表 2-5-12。

2) 倒角。钻孔后两面孔口用  $90^\circ$  的铤钻倒角,使倒角的最大直径和螺纹的公称直径相等。这样,丝锥容易顺利切入工件,孔边螺纹也不至于在丝锥从孔内出来时崩裂。

3) 将工件装夹在台虎钳上。一般的工件夹持在台虎钳上攻螺纹,但较小的工件可以放平,左手握紧工件,右手使用丝锥攻螺纹。

注意选用合适的铤杠,可按照丝锥柄部上的方头尺寸来选用。

4) 头锥攻螺纹。将切削锥放入工件孔内,必须使丝锥与工件表面垂直,并要认真检查校正,攻螺纹开始切削时,两手要加适当压力,并按顺时针方向(右旋螺纹)将丝锥旋入孔内。当切削刃切进后,两手不要再加压力,只用平稳的旋转力将螺纹攻出。在攻螺纹时,两手用力要均衡,旋转要平稳,每当旋转  $1/2 \sim 1$  周时,将丝锥反转  $1/4$  周,以割断和排除切屑,防止切屑堵塞容屑槽,造成丝锥损坏和折断。

5) 二锥、精锥攻螺纹。头锥攻螺纹后,再用二锥、精锥扩大及修光螺纹。

① 二锥、精锥必须先用手旋进头锥已攻过的螺纹中,使其得到良好的引导后,再用铤杠,按前述方法,前后旋转直到攻螺纹完成。

② 及时清除丝锥和底孔内的切屑。深孔、不通孔和韧性金属材料攻螺纹时,必须随时旋出丝锥,清除丝锥和底孔内的切屑,这样,可以避免丝锥在孔内咬住或折断。

③ 正确使用切削液。为了改善螺纹的表面质量,保证丝锥良好的切削性能,根据材质的不同及需要,可参照表 2-5-13 选用切削液。

表 2-5-13 攻螺纹时切削液的选用

被加工材料	切 削 液
铸铁	煤油或不用切削液
钢	肥皂水、乳化液、机油、豆油等
青铜或黄铜	菜子油或豆油
纯铜或铝合金	煤油、松节油、浓乳化液

## 7. 断丝锥的取出

丝锥折断在孔中，根据不同情况，可采用不同方法将断丝锥从孔中取出。

1) 丝锥折断部分露出孔外，可用钳子拧出，或用尖錾或样冲轻轻地将断丝锥剔出，如图 2-5-29 所示，此方法适用于较小且卡的不太死的断丝锥。如果断丝锥与孔咬得太死，用上述方法取不出时，可将弯杆或螺母气焊在断丝锥上部，然后旋转弯杆或用扳手扭动螺母，即可将断丝锥取出，如图 2-5-30 所示。对于不太大的断丝锥，可用焊条迅速点焊在断丝锥上，然后将焊条折弯后取出。

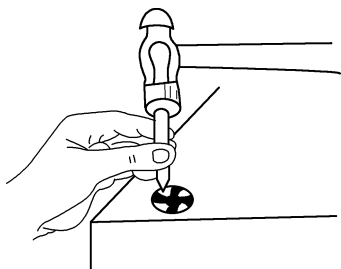


图 2-5-29 用尖錾或样冲  
剔除断丝锥法

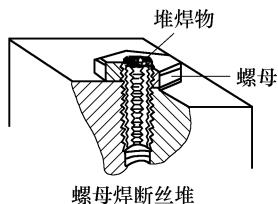
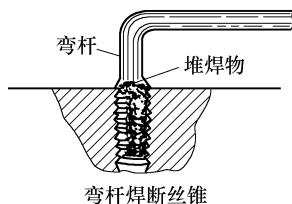


图 2-5-30 焊接弯杆或螺母取出断丝锥法

2) 丝锥折断部分在孔内时，可用在带方头的一段断丝锥上拧上两个螺母，再用几段钢丝插入到丝锥容屑槽和螺母之间，然后，用扳手逆时针方向旋转，将断丝锥取出，如图 2-5-31 所示。钢丝直径由容屑槽的大小而定。在用上述方法取出断丝锥时，应适当加入润滑剂，如润滑油等。

3) 在用以上几种方法都不能取出断丝锥时，如有条件，可用电火花打孔方法取出断丝锥，但往往受设备及工件尺寸所限；还可以将断丝锥退火，然后，用钻头钻削取出，此种方法只适用于可改大螺孔的情况。

断丝锥也会遇到难以取出的情况，从而造成螺孔或工件的报废。因此，在攻螺纹时要严格按照操作方法及要求进

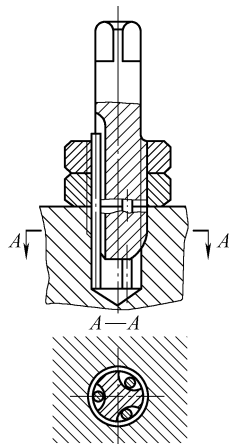


图 2-5-31 孔内断丝锥  
取出法

8. 攻螺纹时产生废品及丝锥折断的原因和防止方法（表 2-5-14、表 2-5-15）

表 2-5-14 攻螺纹时产生废品的原因及防止方法

废品形式	产生的原因	防止方法
螺纹乱扣	1. 底孔直径太小，丝锥攻不进，使孔口乱扣 2. 头锥攻过后，二锥攻时放置不正，头锥、二锥中心不重合 3. 攻螺孔歪斜很多，而用丝锥强行“借”仍借不过来 4. 低碳钢及塑性好的材料，攻螺纹时没用切削液 5. 丝锥的切削锥磨钝	1. 认真检查底孔，选择合适的底孔钻头，将底孔扩大再攻 2. 先用手将二锥旋入螺孔内，使头锥、二锥中心重合 3. 保持丝锥与底孔中心一致，操作中两手用力均衡，偏斜太多不要强行借正 4. 使用切削液 5. 将丝锥后角修磨锋利
螺孔偏斜	1. 丝锥与工件端面不垂直 2. 铸件内有较大砂眼 3. 攻螺纹时两手用力不均衡，倾向于一侧	1. 起削时要使丝锥与工件端面垂直，要注意检查与校正 2. 攻螺纹前注意检查底孔，如砂眼太大，不宜攻螺纹 3. 要始终保持两手用力均衡，不要摆动
螺纹牙高不够	底孔的直径太大	正确计算与选择底孔与钻头的直径

表 2-5-15 攻螺纹时丝锥折断的原因及防止方法

折断原因	防止方法	折断原因	防止方法
1. 攻螺纹时底孔太小 2. 丝锥太钝，工件材料太硬 3. 丝锥铰杠过大，扭转力矩大，操作者手部感觉不灵敏，往往丝锥卡住仍感觉不到，继续扳动，使丝锥折断 4. 没及时清除丝锥容屑槽内的切屑，特别是韧性大的材料，切屑在孔中堵住	1. 正确计算与选择底孔直径 2. 将丝锥后角修磨锋利 3. 选择适当规格的铰杠，要随时注意出现的问题，并及时处理 4. 按要求反转割断切屑，及时排除，或把丝锥退出清理切屑	5. 韧性大的材料（不锈钢等）攻螺纹时没有用切削液，工件与丝锥咬住 6. 丝锥歪斜单面受力太大 7. 不通孔攻螺纹时，丝锥尖端与孔底相顶，仍旋转丝锥，使丝锥折断	5. 使用切削液 6. 攻螺纹前要用直角尺找正，使丝锥与工件保持垂直 7. 应事先做出标记，攻螺纹时注意观察丝锥旋进深度，防止相顶，并要及时清除切屑

## 第九节 刮 削

刮削是用刮刀在工件表面上刮去一层很薄的金属的精加工方法，是机加工不能替代的一种加工方法。

刮削时应先将工件与基准件互研，由显示剂反映出工件研配表面上的高点、次高点，再用刮刀反复推挤掉。这种微量切削使工件表面组织被切削掉和挤紧，使之与基准件的接触点逐渐增加，从而达到工件的正确几何形状和与基准件的良好贴合。刮削表面能获得均匀分布的凹坑，以利贮存润滑油，从而使运动副具有良好的润滑条件；导轨或工件平面的几何形状可按照实际使用要求，刮成中凹或中凸等各种特殊形状。刮削可以达到一般机械加工难以达到的精度要求和消除由一般机械加工所遗留的误差或表面缺陷。

### 一、刮研工具

刮研工具除刮刀外，还有校准工具。

常用的校准工具有标准平板、校准尺、直角尺等。其中，标准平板有多种规格，用来检查较宽的平面。选用时，其面积应不大于刮削平面的  $3/4$ 。各种直角尺用后应吊起来存放，不便吊起的直角尺应安放平稳，以防变形。

刮刀有平面刮刀和曲面刮刀两种。刮刀一般采用 T10A 工具钢或 GCr15 轴承钢锻制而成，刃口必须锋利，刮削硬件时，也可焊上硬质合金。

平面刮刀分为粗刮刀、细刮刀、精刮刀三种。淬火后的刮刀，在砂轮上粗磨后，必须在磨石上精磨。粗刮刀  $\beta_0$  为  $90^\circ \sim 92.5^\circ$ ，切削刃必须平直；细刮刀  $\beta_0$  为  $95^\circ$ ，切削刃稍带圆弧；精刮刀  $\beta_0$  为  $97.5^\circ$ ，切削刃圆弧半径比细刮刀小些，如图 2-5-32 所示。

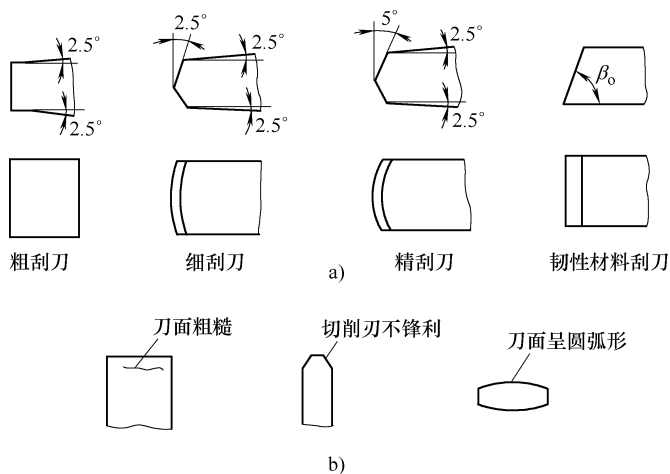


图 2-5-32 刮刀头部形状和角度

a) 刮刀头部角度      b) 刮刀头部的错误形状

曲面刮刀主要用来刮削曲面，如滑动轴承内孔等。常用三角刮刀和蛇头刮刀等，如图 2-5-33 所示。

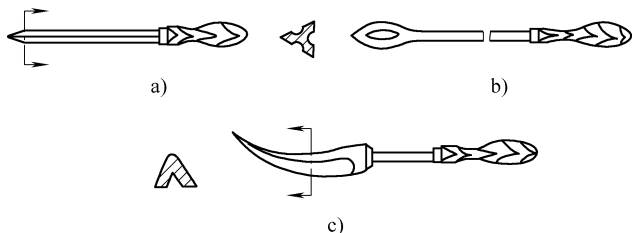


图 2-5-33 曲面刮刀

## 二、刮削的显点和精度检查

刮削前首先应判断工件误差的位置和大小，方法是涂上显示剂（红丹粉）后，将被刮削面用标准工具或与其相配合的工件合在一起对研。经过对研，凸起处被显示出来，再用刮刀将其刮去。这种方法称为显示法或称研点法。所用显示剂有红丹粉和蓝油两种。红丹粉又分铅丹（氧化铅，呈橘红色）和铁丹（氧化铁，呈红褐色）两种。将红丹粉研成颗粒状，用机油调和后使用，广泛用于钢和铸铁工件。蓝油是用蓝粉和蓖麻油及适当机油调合成的，呈深蓝色，研点小而清楚，多用于精密工件和有色金属及其合金的工件。

刮削时，显示剂可以涂在工件表面上，也可以涂在校准件上。前者在工件表面显示的结果是红底黑点（黑点为高点），没有闪光，容易看清楚，适合精刮时选用。后者只在工件表面的高处着色，研点暗淡，不易看清，但切屑不易粘附在切削刃上，刮削方便，一般在粗刮时选用。

能否正确使用显示剂与刮研质量有很大关系。粗刮时，应调得稀一些，一般均匀地涂在工件表面上，可涂得稍厚些，可使显出的点子较大。精刮时，应调得稠一些，涂在工件表面上，应涂得薄而均匀，这样，显示出的点子细小，便于精刮时提高刮削精度。

在使用显示剂时，必须注意保持清洁，防止混进砂粒、切屑等划伤工件表面。涂显示剂用的棉纱必须用砂布包裹，其他涂用物也要保持干净，以准确显点。

对刮削面的质量要求一般包括几何精度、尺寸精度、接触精度及贴合程度、表面粗糙度等。常用的检查方法有以下两种：

### 1. 以接触点的数目来表示

用边长为 25mm 的正方形方框罩在被检查面上，根据在方框内接触点数目多少来表示。各种平面接触精度的接触点数见表 2-5-16。

表 2-5-16 各种平面接触精度的接触点数

平面种类	接触点数/ 25mm×25mm	应用举例
一般平面	2~5	较粗糙机件的固定接合面
	5~8	一般接合面
	8~12	机器台面，一般基准面，机床导向面、密封接合面
	12~16	机床导轨及导向面、工具基准面、量具接触面
精密平面	16~20	精密机床导轨、直尺
	20~25	1级平面、精密量具
超精密平面	>25	0级平面、高精度机床导轨、精密量具

曲面刮削中，主要是对滑动轴承内孔的刮削。各种滑动轴承不同精度的接触点数见表 2-5-17。

表 2-5-17 各种滑动轴承不同精度的接触点数

轴承直径 /mm	机床或精密机械主轴轴承			锻压设备、通用 机械的轴承		动力机械、冶金 设备的轴承	
	高精密	精密	普通	重要	普通	重要	普通
	接触点数/25mm×25mm						
≤120	25	20	16	12	8	8	5
>120		16	10	8	6	6	2

2. 用允许的平面度和直线度表示

工件平面较大时的平面度，以及机床导轨面的直线度，用方框水平仪进行检查。

有些工件还要用一定厚度的塞尺检查配合面之间的间隙，对于承受压力的气缸、阀体等，还需进行气压或液压试验。

三、刮削方法及缺陷分析

刮削余量一般在 0.05~0.4mm 之间。刮削面积大，所留余量也大些。一般来说，工件在刮削前的加工精度（直线度和平面度）应不低于几何公差国家标准规定的 9 级精度。

平面刮削的一般过程可分为粗刮、细刮、精刮和刮花等。

1. 粗刮

粗刮是用粗刮刀在刮削面上均匀地产去一层较厚的金属，以便很快地去除粗糙表面或较多的余量。刮削时可采用连续推铲的方法，刮削的刀迹连成长片。根据凸凹误差情况将刮削平面刮削平整。粗刮的接触点数要求为 2~3 点/



25 mm × 25 mm。

## 2. 细刮

细刮是用细刮刀在刮削面上刮去稀疏的大块研点，进一步改善刮削表面的不平现象。刮削时采用短刮法，即刀迹长度约为切削刃宽度。随着研点的增多，刀迹要逐步缩短。每一遍刮削应按一定的方向进行，再刮第二遍时要交叉刮削，以消除原方向的刀迹。否则，出现的研点会出现条状分布。为了使研点很快增加，在刮削研点时，可把研点的周围部分也刮去，这样，当最高点刮去后，周围的次高点会很快显示出来，可加快刮削速度。在刮削过程中，要防止刮刀倾斜，以免将刮削面划出深痕。随着研点的逐渐增多，显示剂要涂得薄而均匀。合研后对发亮的研点（硬点）应刮重些，暗淡的研点（软点）应刮轻些，直到显示出的研点软硬均匀。

细刮的接触点要求为 12 ~ 15 点/25 mm × 25 mm。

## 3. 精刮

刮削时采用精刮刀，用点刮法，即刀迹长为 5 mm 左右。精刮时要注意：落刀要轻，起刀要迅速挑起。在每个研点上只刮一刀，不应重复，并始终交叉进行刮削。当接触点增多到 20 点/（25 mm × 25 mm）以上时，可将研点分成三类：将最亮的研点全部刮去；中等研点在其顶部刮去一小片；小研点留着不刮。在刮到最后三遍时，交叉刀迹大小应一致，排列整齐，以使刮削面美观。

在精刮过程中，应特别注意清洁工作。在合研时，往往因中间加有杂质而在刮削面上拉出细纹或深痕来，修复工作十分费力，严重时甚至造成废品。

刀迹的宽度可以反映出刮削的深度，因此，可以用控制刀迹的宽度来控制刀迹的深度。粗刮时刀迹的宽度为刃口长度的  $\frac{2}{3}$  ~  $\frac{3}{4}$ ；细刮时刀迹的宽度应为刃口长度的  $\frac{1}{3}$  ~  $\frac{1}{2}$ ，精刮时刀迹的宽度则应更窄一些。刀迹过宽还会影响到单位面积内的接触点数。

如刮削面有孔或螺纹孔时，应控制刮刀不要直接用力在孔口刮过，以免将孔口刮低。如果刮削面上有狭窄边框时，应注意掌握刮刀的刮削方向与窄边所成的角度小于  $30^\circ$ ，以防将窄边刮低。

## 4. 刮花

刮花的目的：一是纯为了刮削面的美观；二是为了能在相对滑动的表面之间创造良好的润滑条件，而且还可以根据花纹的消失程度来判断平面的磨损程度。在接触精度要求高、接触点要求多的工件中，不应刮成大块花纹；否则，不能达到所要求的刮削精度。

## 5. 刮削时的缺陷分析

(1) 刮面产生深凹痕 其原因是由于刮刀切削刃口圆弧过小，刮削时压力又大，以致刀痕过深，或在粗刮时用力不均，刮刀倾斜。

(2) 产生振痕 当多次朝一个方向刮削或在刮钢制工件时,刮刀楔角过小,前角过大,便会产生振痕。

(3) 表面撕纹 刮刀切削刃表面粗糙度值大,存在细微裂缝或因淬火温度过高而造成刃口处金相组织变粗,都将使刮削表面出现有规则的粗糙条状刮痕。

(4) 表面有划道 是由于显示剂不干净、混入杂质或在研点时加有砂粒、切屑等杂质所造成的。

(5) 形状精度误差 若推磨研点时压力不均匀,工件伸出基准件过多,工件质量不对称,研点时又未采取措施,产生了假高点,按假高点刮削或基准件误差太大时,就会使刮削面形状不精确。

## 第十节 研 磨

用研磨工具和研磨剂从工件表面磨掉一层极薄的金属,使工件表面具有精确的尺寸、几何精度和很高的表面质量,这种操作方法称为研磨。

研磨属于精加工工序,它在工具、量具(键槽塞规)和精密机械制造过程中具有广泛的应用。

### 一、研磨工具与研磨剂

#### 1. 研磨工具

研磨工具是研磨时决定工件表面几何形状的一种标准工具。它可以根据需要作成不同尺寸的圆柱体、圆锥体、环形等。研磨时要求研磨工具的几何形状尽可能与工件一致,并且表面光滑,无裂纹。研磨时研具表面硬度应稍低于被研工件,这样,在研磨中可使研磨剂中微小磨粒容易均匀嵌入研磨工具表面上,这些细微的磨粒具有较高的硬度,构成无数个微切削刃,来对工件表面进行微量切削。反之,磨粒会嵌入工件表面,研磨时会对研磨工具进行切削。但研磨工具也不可过软,否则,磨粒会全部嵌进研磨工具而失去研磨作用。研磨工具材料的组织结构应细密均匀,变形小,具有一定的弹性和较好的耐磨性,以保证被研工件获得较高的尺寸、形状精度和较小的表面粗糙度值。

#### 2. 研磨工具常用的材料

研磨工具常用的材料有灰铸铁、球墨铸铁,还可采用软钢、铜、巴氏合金和铅,后两种主要用于抛光铜合金制成的精密轴瓦或研磨软质零件。

(1) 灰铸铁 作研磨工具的最好材料,它具有润滑性能好、研磨效率高、经济、磨耗小等优点,尤其适合于精研,采用高磷铸铁可获得很小的表面粗糙度值。作为研磨工具材料的铸铁的成分见表 2-5-18。

表 2-5-18 铸铁研磨工具材料的成分

用于精密研磨铸铁材料成分（质量分数）		用于一般粗研磨铸铁材料成分（质量分数）	
碳	2.7% ~ 3.0%	碳	0.35% ~ 3.7%
锰	0.4% ~ 0.7%	锰	0.4% ~ 0.7%
锑	0.45% ~ 0.55%	锑	0.45% ~ 0.55%
硅	1.3% ~ 1.8%	硅	1.5% ~ 2.2%
磷	0.65% ~ 0.7%	磷	0.1% ~ 0.15%

(2) 软钢 它的强度高于灰铸铁，不易折断、变形，多用于研磨螺纹和小孔（直径 8mm 以下）。

(3) 铜 多用于余量较大的粗研磨。

(4) 铅 适用于软金属的光研磨。

3. 研磨剂

研磨剂由磨料（研磨粉）和研磨液调和而成。

常用的磨料系列与用途见表 2-5-19。

表 2-5-19 常用的磨料系列与用途

系列	磨料名称	代号	特 征	适 用 范 围
刚玉	棕刚玉	A	棕褐色。硬度高，韧性大，价格便宜	粗、精研磨钢、铸铁、黄铜
	白刚玉	WA	白色。硬度比棕刚玉高，韧性比棕刚玉差	精研磨淬火钢、高速钢、高碳钢及薄壁零件
	铬刚玉	PA	玫瑰红或紫红色。韧性比白刚玉高，磨削光洁程度好	研磨量具、仪表零件及高精度表面
	单晶刚玉	SA	淡黄色或白色。硬度和韧性比白刚玉高	耐磨不锈钢、高钒高速钢等强度高、韧性大的材料
碳化物	黑碳化硅	C	黑色有光泽。硬度比白刚玉高，性脆而锋利，导热性和导电性良好	研磨铸铁、黄铜、铝、耐火材料及非金属材料
	绿碳化硅	GC	绿色。硬度和脆性比黑碳化硅高，具有良好的导热性和导电性	研磨硬质合金、硬铬宝石、陶瓷、玻璃等硬材料
	碳化硼	BC	灰黑色。硬度仅次于金刚石，耐磨性好	精研磨和抛光硬质合金、人造宝石等硬质材料
金刚石	人造金刚石	JR	无色透明或淡黄色、黄绿色或黑色。硬度高，比天然金刚石脆，表面粗糙	粗、精研磨硬质合金、人造宝石、半导体等高硬度脆性材料
	天然金刚石	JT	硬度最高，价格昂贵	
其他	氧化铁	—	红色至暗红色，比氧化铬软	精研磨或抛光钢、铁、玻璃等材料
	氧化铬	—	深绿色	

磨料粒度按颗粒尺寸分粗磨粒和微粉两类，其中粗磨粒粒度标记从 F4 ~ F220，微粉标记从 F230 ~ F2000（按光电沉降法测量）。在研磨时应根据工件要求的精度和表面粗糙度来选用。常用研磨粉粒度标记见表 2-5-20。

表 2-5-20 常用研磨粉的粒度标记和应用

研磨粉粒度标记	研磨加工类别	可达到的表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$
F100 ~ F220	用于最初的研磨加工	—
F280 ~ F360	用于粗研磨加工	0.2 ~ 0.1
F400 ~ F600	用于半粗研磨加工	0.1 ~ 0.05
F800 ~ F2000	用于精研磨加工	< 0.05

研磨液的作用在于使研磨粉分布均匀、冷却润滑，并在工作表面形成氧化膜，从而加速研磨过程。常用研磨液有 N15 号或 N32 号机油，在精研中常用 1 份机油和 3 份煤油混合使用。煤油主要用于磨削速度快，而对工件表面粗糙度要求不高的粗研磨。熟猪油最适用于精研磨。此外，根据需要在研磨液中再加入适量的石蜡、蜂蜡等填料和粘性较大且氧化作用较强的油酸、脂肪酸、硬脂酸等，效果更好。

二、研磨方法

研磨时，研磨余量不能太大；否则，会使研磨时间增加。一般研磨余量在 0.005 ~ 0.03mm 以内比较合适。对大尺寸或精度要求高的工件其余量可大一点。

研磨分手工研磨和机械研磨两种。手工研磨时，为了使工件表面各处都受到均匀的切削，应选择合理的运动轨迹。这对提高研磨效率、工件表面质量和研具的寿命都有直接的影响。手工研磨运动轨迹一般采用直线、螺旋线、8 字形和仿 8 字形等几种，如图 2-5-34 所示。

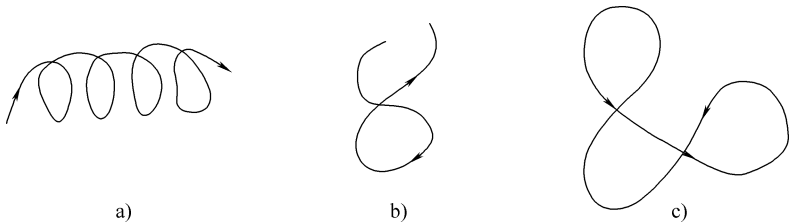


图 2-5-34 手工研磨运动轨迹

a) 螺旋形 b) 8 字形 c) 仿 8 字形

直线研磨运动轨迹可获得较高的几何精度，适用于有台阶的窄长平面，但难以获得小的表面粗糙度值。螺旋形运动轨迹用于研磨圆柱形工件的端面，可获得较高的表面质量。8 字形或仿 8 字形研磨运动轨迹用于研磨小平面工件，能使相互研磨的两表面保持均匀接触，有利于提高研磨质量。

圆柱面的研磨一般以手工研磨与机械研磨配合运动进行。

研具有研磨环和研磨棒。

研磨后工件表面质量的好坏，除了与能否合理选用研磨剂以及研磨工艺是否合理有很大关系外，研磨时能否注意清洁对研磨质量也是有直接影响的。若不注意清洁工作，轻则使工件拉毛，重则拉出深痕。因此，在整个研磨过程中，要特别注意清洁，防止工件表面受伤。

## 第十一节 铆 接

用铆钉把两个或数个工件连接在一起称为铆接。一般铆接分为活动铆接和固定铆接两种。

活动铆接：连接起来的各部分仍可相对运动。如剪刀、圆规等工具的铆接。

固定铆接：连接起来的各部分都是相对固定的，为刚性连接。按用途和要求不同，固定铆接还可以分为：

1) 强固铆接（坚固铆接）：用于结构需要足够强度、承受作用力较大的钢件。如屋架、桥梁、起重机等。

2) 紧密铆接：应用于低压密封容器及各种液体、气体管路的铆接，用这种方法铆接的容器只能承受较小均匀的压力，但对接缝处要求非常严密，以防止漏气或漏液体。例如气罐、水箱、油罐等。这种铆接的特点是铆钉小而排列密，铆缝中常加橡胶板或其他填料来提高密封性。

3) 坚固紧密铆接：这种铆接不但能承受较大的压力，而且要求接缝非常紧密，即使在较大的压力下，液体或气体也不会渗漏出来。用于高压容器（如蒸汽锅炉、压缩空气罐）及其他高压容器的铆接。

按铆接的方法不同，铆接还可以分为以下三种：

1) 冷铆：铆接时，铆钉不需要加热，直接铆出铆钉头。用作冷铆的铆钉材料必须具有较高的塑性。直径在 8mm 以下的钢制铆钉都可以用冷铆方法铆接。

2) 热铆：把整个铆钉加热到一定的温度，然后再铆接称为热铆。因为铆钉受热后塑性好，容易成形。并且冷却后铆钉杆收缩，加大了结合处的强度。热铆时要把铆钉孔直径放大 0.5 ~ 1mm，使热态膨胀铆钉容易插入孔内。直径大于 8mm 的钢铆钉多用热铆。

3) 混合铆：在铆接时，只把铆钉的铆头端部加热。对于细长的铆钉，采用这种方法可以避免铆接时铆钉杆在铆接力的作用下产生弯曲，使铆接无法正常进行。

### 一、铆钉和铆接工具

#### 1. 铆钉的类型和材料

铆钉的形状如图 2-5-35 所示，有半圆头、锥形平头、平头、扁圆埋头和空心

等铆钉，还有较新型的抽芯和击芯铆钉。

铆钉的材料通常是铝制的，也有钢制和铜制的。一般活动铆接和强度高的铆接使用钢制的铆钉。

## 2. 铆接工具

常用的手工铆接工具有锤子、压紧冲头、罩模和顶模。现在还有专用的铆钉机器。

(1) 压紧冲头 如图 2-5-36a 所示，当铆钉插入孔内后，锤子锤击压紧冲头，使工件贴紧，以防止图 2-5-36b 所示现象发生。

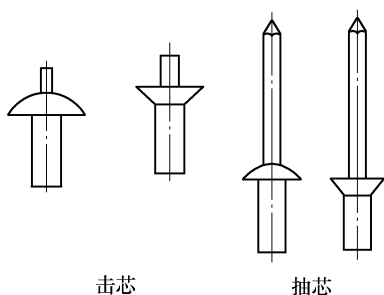
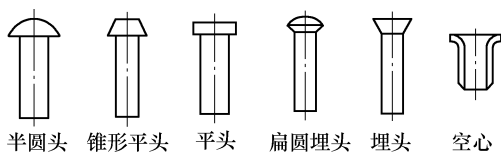


图 2-5-35 铆钉的形状

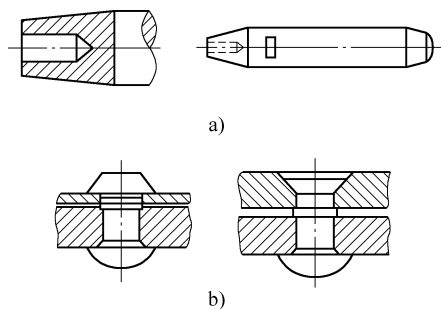


图 2-5-36 压紧冲头

(2) 罩模和顶模 如图 2-5-37 所示，罩模和顶模的工作部分都是凹面，凹面形状应按所用铆钉的头部形状制作，一般是凹球面，并经过淬火和抛光。铆接时，罩模用于铆出完整的铆合头，顶模用于顶住另一端的铆合头，防止铆合头变形，顶模的柄部做成扁平面，可夹持在台虎钳上。

现在一些中小件，可在铆钉机上进行铆接。铆钉机的动力是由液压来实现的。上面冲头的施力方式是，绕铆钉机中心边转边碾压铆钉头。装不同的冲头，可以实现各种铆钉的铆接。铆接质量比手工铆接质量稳定且效率高。

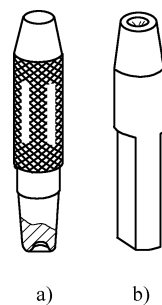


图 2-5-37 罩模和顶模  
a) 罩模 b) 顶模

二、铆钉尺寸和孔径的确定

1. 铆钉直径

铆钉直径是根据铆接工件的板厚确定的，一般取工件板厚的 1.8 倍，然后圆整为标准直径，也可根据表 2-5-21 来选择。

表 2-5-21 铆钉直径的选择 (单位: mm)

构件计算厚度	9.5 ~ 12.5	13.5 ~ 18.5	9 ~ 24	24.5 ~ 28	28.5 ~ 31
铆钉直径	19	22	25	28	31

标准铆钉直径可按表 2-5-22 选取。

表 2-5-22 标准铆钉直径 (单位: mm)

铆钉 直径	公称 直径	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	13.0	16.0
	允差	±0.1			+0.2 -0.1			+0.3 -0.2			+0.4 -0.2	

2. 铆钉长度

确定所用铆钉的长度，除了考虑连接件的厚度外，留作铆合头所需的材料，其长度必须足够用来做出完整的铆合头，铆钉长度可用下式计算。即

半圆头铆钉杆的长度  $L_{\text{半圆}} = S + (1.25 \sim 1.5) d$

埋头铆钉的长度  $L_{\text{埋头}} = S + (0.8 \sim 1.2) d$

击芯和抽芯铆钉杆的长度  $L_{\text{击}} = S + (2 \sim 3) \text{ mm}$

$L_{\text{抽}} = S + (3 \sim 6) \text{ mm}$

式中  $S$ ——铆接件的总厚 (mm)；

$d$ ——铆钉直径 (mm)。

3. 通孔直径

固定铆接时，通孔直径按表 2-5-23 选取。孔径小，铆接牢固，但铆钉插入较困难；孔径大，工件容易松动。在实际工作中，通常用与铆钉直径相同尺寸的钻头钻出通孔即可。

活动铆接时，通孔直径应作适当的放大。

表 2-5-23 标准铆钉直径及通孔直径 (单位: mm)

公称直径		2	2.5	3	4	5	6	8	10
通孔直径	精装配	2.1	2.6	3.1	4.1	5.2	6.2	8.2	10.3
	粗装配	2.2	2.7	3.4	4.5	5.6	6.6	8.6	11



### 三、铆接方法

#### 1. 半圆头铆钉的铆接

铆接步骤：工件钻孔（最理想的加工方法是把连接的工件合在一起钻孔）→插入铆钉→铆钉下端用顶模顶住，用压紧冲头使工件贴合→用锤子铆出大致的形状→用罩模铆出完整的铆合头。

#### 2. 埋头铆钉的铆接

在工件中常用圆杆作铆钉，要铆出两个铆合头。

铆接步骤与半圆头铆钉相仿（沉头座角度一般为 $90^\circ$ ）。即：插入铆钉→用压紧冲头使工件贴合→用锤子镦粗铆钉→分别铆出两端铆合头→修平铆合头。

#### 3. 空心铆钉的铆接

把空心铆钉插入孔内，用报废的顶尖或样冲先冲一下铆钉端头，使铆钉孔口扩张并与工件孔口贴合，然后用特制冲头使铆钉头贴合工件。

#### 4. 活动铆接

活动铆接铆合时，锤子的锤击力不要太大，要经常检查工件的相对转动情况，发现铆得太紧时，可把铆钉的一端放在带孔的垫上，用锤子锤击几下另一端的铆合头，并加一些润滑油，把工件相对地转动几下。

#### 5. 机械铆接

由于手工铆接效率低、劳动强度大，所以在大批量生产中，常采用机械铆接的方法。它主要利用机械化铆钉枪和铆钉机进行铆接。

## 第十二节 弯曲与校正

### 一、弯曲

#### 1. 弯曲的概念

将棒料、条料、板料、管子及各种型材等弯曲成所需要的形状，这一操作就称为弯曲。

要使材料发生弯曲，材料就必须具有一定的塑性。

在弯曲过程中，材料受到力的作用后形状发生变化，而且材料的性质也跟着发生变化，材料变硬变脆，这一现象称为冷作硬化（如把铅丝来回弯几下后，铅丝的受弯曲部位就会变硬）。材料的冷作硬化现象可通过退火处理得到消除。

#### 2. 弯曲前材料的长度计算

在弯曲时，如果图样上没有标注展开长度，就要计算出来，才能下料和弯曲成形。材料在弯曲时材料外层伸长，内侧受压缩而缩短。中间层材料的长度没有发生变化，此层称为中性层。通常钳工就是按中性层来计算材料长度的。



例 设有厚 4mm、宽 12mm 的扁钢，用以制成如图 2-5-38 所示的多直角形工件，求材料长度  $L$ 。

解

$$L = (2 \times 48) \text{ mm} + [2 \times (42 - 8) + 76 + (4 \times 4\pi/4)] \text{ mm} = (96 + 68 + 76 + 12.56) \text{ mm} = 252.56 \text{ mm}$$

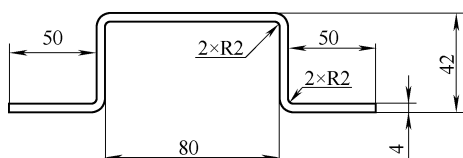


图 2-5-38 多直角形工件

### 3. 弯直角

弯直角的方法是，先在弯曲处划好线，然后将工件夹在台虎钳上，使线和钳口平齐，两边与钳口垂直，用锤子敲打工件根部，使之呈直角形，如果台虎钳钳口比工件折线短，可用直角铁作夹具夹持工件。

若材料为薄的板料，可用木锤进行锤击；若材料为厚的板料，而且所弯的边也较短，可用硬木块垫着，再用锤子进行锤击；若工件表面质量要求不高，则可用锤子直接锤击。锤击时，要锤击在靠近弯曲处的折点部位，不应锤击材料的上端。弯制如图 2-5-39 所示的工件，其制作步骤如下：

- 1) 计算材料的长度（实际工作中，对于尺寸要求较严的零件，可放些余量，待弯曲完毕后再修正）。
- 2) 在板料上划线。最好从坯料的中心向两端划，划出中间两直角所在的位置。
- 3) 台虎钳钳口放置角铁衬垫，按线把坯料正确夹牢，弯出第一个直角，如图 2-5-39a 所示。
- 4) 将衬胎 1 贴住第一个直角，弯出第二个直角，如图 2-5-39b 所示。
- 5) 以弯好的两直角为基准，划出其余两直角的位置。
- 6) 将衬胎 2 放入原先的两直角内，按划线夹紧工件，弯曲其余两直角，如图 2-5-39c 所示。
- 7) 整形，去飞边。

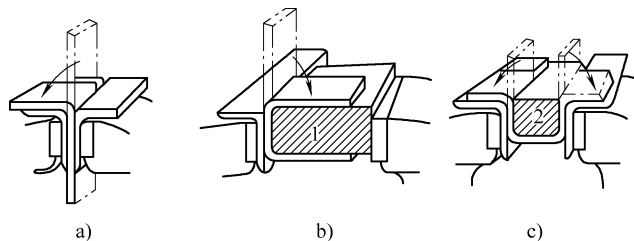


图 2-5-39 弯制多直角形工件

#### 4. 弯圆弧

弯制圆弧形工件的方法如图 2-5-40 所示，图中箭头所指的位置为锤击处。图中箭头长，表示锤击力要大而且锤击点要密；箭头短，则锤击力要小些而且锤击点也要疏些。

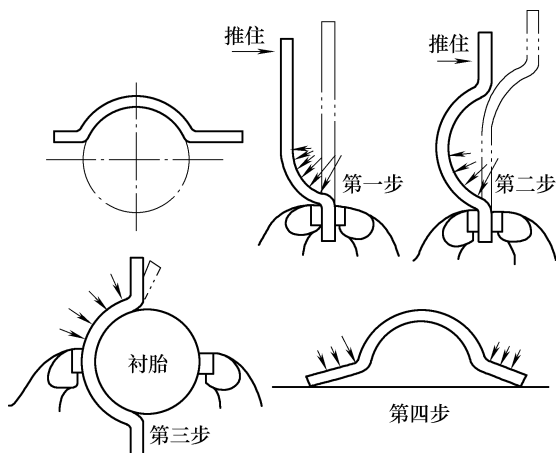


图 2-5-40 弯制圆弧形工件

#### 5. 弯管子

管子内径较大（大于 10mm）时要用管内灌砂的方法，如图 2-5-41a 所示。弯曲前，要在管内灌满干砂子（灌砂时，要不断地敲击管壁使其充实），管子两端要堵上木塞，如果管子有接缝，应把接缝放在中性层位置上，如图 2-5-41b 所示。

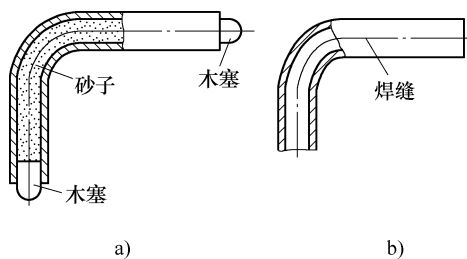


图 2-5-41 弯管子

弯管子最好在弯管工具上进行。弯管工具上转盘和靠铁上的圆弧槽半径要按所弯管子的外径而定，转盘的大小则按弯曲半径而定。使用时，管子插入圆弧槽内，用钩子钩住管子后，就可扳动手柄进行弯曲。

### 二、校正

#### 1. 校正的概念

板料、方钢、圆钢等零件由于贮运、加工、热处理等原因经常产生弯曲、翘

曲或扭曲等缺陷，将翘曲的工件或材料用锤子或借助某些机械消除变形，使其恢复原有状态，这一操作就称为校正。

要求被校正的材料必须有一定的塑性，脆性材料不适合校正。

## 2. 校正工具

1) 平板、铁砧、V形块等。平板用于校正基准面，铁砧用于敲打材料的砧座，V形块多用于校正轴类零件。

2) 锤子、木锤等。锤子用于一般情况下的校正，木锤则用于校正已加工表面、薄形零件和其他有色金属件等。

3) 螺旋压力校直机。螺旋压力校直机用于校正棒料和轴类零件。

4) 检验用的平板、直角尺、划针盘及百分表等。

## 3. 校正方法

常用的校正方法有直接回曲法、延展法和压直法等。

(1) 直接回曲法 直接回曲法就是直接对材料的变形部位校正，此方法适用于条料的校正。

条料扭曲变形，用扳手直接使之恢复，如图 2-5-42 所示。校直时，将工件夹在台虎钳上，用特制扳手将条料扭转到原来的形状。条料弯曲变形，可用图 2-5-43 所示的方法直接对弯曲部位进行校正。用图 2-5-43a 所示的方法时，台虎钳必须夹在紧靠条料弯曲的地方，以防多曲现象产生，条料用扳手稍校直后，放到台虎钳钳口夹直（图 2-5-43b），然后再放在平板上用锤子继续敲直（图 2-5-43c）。

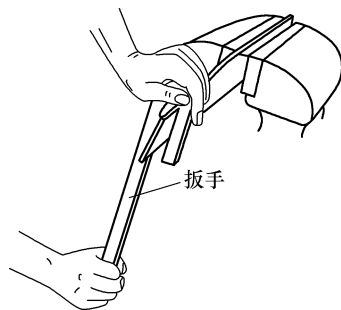


图 2-5-42 条料扭曲的校正

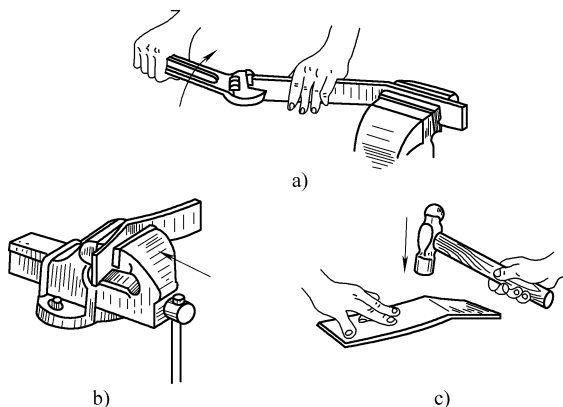


图 2-5-43 条料弯曲的校正

(2) 延展法 延展法是用锤子锤击材料的某些部位,使受锤部位下部材料延长和展开,从而达到校正变形部位的目的。

(3) 压直法 压直法多用于轴弯曲矫直,细轴可用手动螺旋压力机,直径大的轴用油压机。轴用两个 V 形块支承, V 形块间距不要太远,用百分表找出弯曲点,旋动压机丝杠或用油压机压轴的高点,边压便测量,直到压直。

(4) 伸张法 弯曲的细长线材可用伸张法来校直,如图 2-5-44 所示。校直时,将线材的一端夹紧在台虎钳上,在靠近钳口处把线材在圆木上绕一周,左手握住圆木向后拉,右手展开线材,把它拉直。

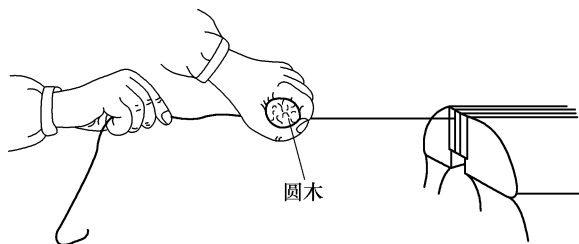


图 2-5-44 线材的校直

翘曲的金属薄板可用木锤校平,较薄的板也可以将翘曲的金属薄板放在平板上,左手压住板的一端,右手持平木块贴紧翘曲的金属薄板朝外将其用力展平。

## 装配的基本知识

### 第一节 装配的概念及装配类型

#### 一、装配工作的概念及其重要性

按照设计要求，将经过检查合格的单个零件，通过各种形式，依次连接成组件、部件，最终连接成一台整体机器的过程，称为装配。

装配是机器制造中的最后一道工序。因此，装配过程是保证机器达到各种技术要求的关键工序。对金属切削机床来说，装配质量好，就能加工出各项精度达到要求的工件；反之，则不能。例如，在装配时，零件表面如果有碰伤或配合表面擦洗不干净问题，会引起定位不准，滑动表面出现问题，设备会很快研伤，造成设备事故。所以，装配工作的好坏对产品质量有很大的影响。如果零件的配合不符合规定的技术要求，机器就不可能正常工作；零部件之间、机构之间的相对位置不正确，常常使它们无法连接。因此，机器质量的好坏，不仅取决于组成机器的各个零件的质量，在很大程度上则是取决于零件与零件的相互配合和零件之间的相互位置、接触精度等原因。有时零件的制造误差稍大，而经过经验丰富的师傅的严密细致的选配以及精确的调整，仍有可能装配出较高质量的产品；反之，合格的零件也可能装出不合格的产品。由此可见，装配是一项非常细致和重要的工作。

#### 二、装配过程

##### 1. 装配前的准备

1) 必须研究和熟悉装配图样上的各项技术要求，了解产品的结构和零件的作用以及相互连接的关系。

2) 确定装配方法和程序，准备好所需的工具、量具，熟悉装配工艺规程。

3) 对零件的几何尺寸精度等进行认真的检查，特别要注意零件上的各种标记，以免装错。

4) 准备好所需的各种物料(如铜皮、铁皮、保险片、止动铁丝等)。

5) 领取和清洗零件。清洗时,可用柴油、煤油等去掉零件上的锈蚀、切屑、油污及其他脏物,零件的清洗看起来比较简单,但实际上这项工作对于产品的质量影响很大。清洗后,涂一层润滑油。有飞边时,应用磨石修去,但应注意不要损伤零件表面的精度和表面粗糙度。

6) 对旋转零件要进行必要的动、静平衡试验,以消除因零件重心与旋转中心不一致而引起的振动。

7) 对要求密封的各种管道、罐等工件,要进行水压试验。

8) 对要求修配的零件,要进行认真的修配。

## 2. 装配分类

根据设计图样,装配一般分为组件装配、部件装配和总装配。

(1) 组件装配 它是从一个部件里分出来的,通常由几个零件连接成为一个单独的构件,一般称为装配的基本单元。

(2) 部件装配 以设计图样的一个部件为单位,将这个部件的所有零件都装配齐全,使之成为一个整体的机构,也就是将组件、零件连接成部件的过程。部件装配后,应根据技术要求进行调整和试验,合格后,才可进入总装配。

(3) 总装配 将零件、组件、部件连接成一台整体机器的过程。

## 3. 调整、精度检验和试车

调整工作包括机构间隙(如轴与轴承的间隙,滚动轴承的预紧)的调整、压力调整(如传动带与带轮之间的压力)、机构间相互位置关系的调整等。

试车包括机构或机器运转的灵活性、平稳性、机构间的位置关系、密封性、温度、转速、噪声、功率和机床的切削加工性能等方面。

## 4. 喷漆、上油及装箱

喷漆是为了防锈和使机器外表美观。上油是不使滑动面与零件已加工表面生锈。值得注意的是,包装前加工表面一定要按技术要求涂规定的防锈油,普通机油不能真正起到长效防锈作用。

# 三、装配时连接的种类

在装配过程中,产品装配的次序和质量受零件相互连接的性质直接影响,所以在装配时,机器零件连接的种类应当仔细分析研究。

按连接松紧程度的不同,有以下几类:

## 1. 固定连接

零件和零件之间没有相对运动。固定连接又可分为:

1) 固定可拆卸的连接。如螺纹、键、楔、销等连接,在拆卸时,不致损伤其连接零件。

2) 固定不可拆卸的连接。如焊接、铆接、压合、粘接等连接。

## 2. 活动连接

零件之间在工作时能作相对运动。活动连接又可分为：

- 1) 活动可拆卸的连接。如轴与滑动轴承、柱塞与套筒等间隙配合零件。
- 2) 活动不可拆卸的连接。如任何活动连接的铆合头等。

## 四、装配方法

为了使装配精度符合要求，目前采用的装配方法有如下四种：

### 1. 完全互换法

装配时，它要求任何一个零件，不再经过修配即可装入部件中，装上去就能达到规定的技术质量要求，因此，对零件加工精度要求较高，主要依靠先进的工艺装备来保证零件公差的一致性。这种装配方法，适用于专业产品的成批生产和流水线生产。

### 2. 选配法

将零件的制造公差带适当放宽，装配前按比较严格的公差范围将零件分成几组。然后，将对应的各组配合件进行装配，以达到要求的装配精度（如机器的几根支承梁要求长度一致，可将尺寸精度适当放宽些，然后选配分组）。用选配法，可提高装配精度，但并不增加零件的加工费用。这种方法适用在成批生产中某些精确配合处。选配以后的零件要分别做好标记，以免装配时搞错。

### 3. 修配法

当装配精度要求较高，采用完全互换不够经济，可通过修整指定零件上预留的调整量以达到规定要求的装配方法，称为修配法。

例如，车床尾座两顶尖不等高，如图 2-6-1 所示。装配时，可刮尾座底座来达到精度要求。尾座底座刮去的厚度  $A_2 = A_1 - A_3$ 。这种方法虽然使装配工作复杂化和增加了装配时间，但不需要采用高精度的设备来保证零件的加工精度。采用修配法，在加工时不必太精确，可留适当余量，在装配时进行修配。这样，既能达到要求的精度，又可以减少机床加工时间，比较适合单件小批生产。

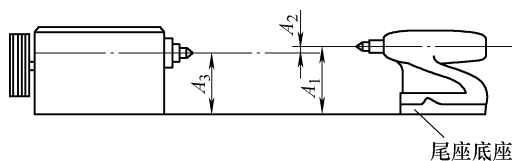


图 2-6-1 修刮尾座底座

### 4. 调整法

装配时，通过调整一个或几个零件的位置或尺寸，以消除零件间的积累误差，来达到装配精度要求，如用不同尺寸的可换垫片、可调节螺钉、镶条等进行调整，称为调整法。这种方法比修配法方便，也能达到较高的装配精度，在大批生产或

单件生产中都可采用。但这种方法的不足之处是，往往使部件的刚性降低，有时会使机器各部分的位置精度降低，调整得不好，会影响机器的性能和使用寿命。所以，要认真仔细地进行调整。

## 五、装配工作要点

1) 所有零件必须经过检验合格后才能进入装配。过盈配合或单独配作的零件，在装配前对有关尺寸应严格复检，并做好配作标记。有必要的情况下要进行试装。

2) 进入装配的零件必须倒棱角、去飞边，防止表面被刮伤和虚角掉下后割伤或研伤其他零件，不利于安全操作。

3) 将零件清洗干净，达到清洁度标准的要求，并注意防锈。

4) 机座、底盘等就位，按规定调整水平。调平只能在没有外力情况下进行。

5) 零部件装配的程序，一般情况下是先下后上，先内后外，先难后易，先大后小，先精后粗，以利于保证装配精度。

6) 运动部分的接触应良好。变速和变速机构要操纵灵活。旋转运动的间隙配合面，应有合适的配合间隙，防止运动时咬死。

7) 固定接合面一定要整体接触良好，不能出现局部间隙。

8) 选定合适的调整环节，以便调整修配达到较好的精度。

9) 应力求适当的精度储备，获得优质品，延长机器寿命。

10) 重而庞大的产品，对其部件装配的质量要求、检验项目和精度标准要严格控制，以保证用户安装成整机的要求。

11) 旋转体运转应平稳；密封系统要防止泄漏；紧固件连接要牢固；运动面要加润滑油脂。

在装配过程中，尽量采用新工艺、新技术，减轻劳动强度，提高装配质量和效率。

## 六、装配工作的要求

### 1. 装配工作的质量

装配质量与是否严格遵守工艺规程有密切关系，一个产品的装配工作必须严格按装配顺序进行，如常见的装配工作有清理、清洗、连接、校正、调整、配作、平衡、试验、验收等，不能随意倒置。每道装配工序的制订都是经过精心设计和多年经验的积累，所以必须严格按工艺要求和顺序，否则不可能装配出高质量、高性能的机器。

### 2. 对操作者的要求

装配工作对操作者来讲，必须具有认真细致的工作作风，必须十分重视产品的质量，同时要不断提高装配的技术水平。



### 3. 要有专用的检测工具

装配工作在检测过程中必须有专用的检测工具、量仪和完整的检测手段。

### 4. 对工作场地的要求

合理组织装配工作的场地，保持环境清洁是提高劳动生产率和产品质量的一项重要措施，为此必须注意以下几点：

- 1) 主要设备的布置要合理适当，如钳工工作台要放在便于工作和光线适宜的地方。
- 2) 工具的收藏要整齐，不应任意堆放，以防损坏。
- 3) 装配件要有规则存放，尽量放在搁架上，大件应放在水平位置，以防变形，并注意防锈。
- 4) 工作场地应保持清洁。

## 七、装配注意事项

- 1) 严格遵守装配工艺规程（包括装配作业指导书）和装配工艺守则。
- 2) 正确使用各种刀具、量具和工艺装备。
- 3) 装配的零件和产品，应妥善存放和搬运。
- 4) 机器运转时，严禁用手触摸或调整运动部件。
- 5) 排除电气部分故障时，应切断电源后方可操作。
- 6) 工件及容器在进行压力试验时，如发现密闭压盖泄漏，不得在有压力的情况下继续拧紧螺母，更不能振动和敲击。
- 7) 在与易燃物接触的工作中，应严防火灾。

## 八、试车、验收工作要点

- 1) 验收前，将机器调到自然水平。
- 2) 变位机构的定位应准确可靠。
- 3) 齿轮啮合装配后的接触斑点和侧隙应符合规定要求。
- 4) 重要固定接合面应紧密贴合。
- 5) 滑动面应用涂色法或塞尺检验其接触状况。
- 6) 有刻度装置的手轮、手柄的方向空程量应按规定检查，操作力应符合规定。
- 7) 机器在空运转时测量噪声应符合规定要求。
- 8) 机器内部不应有切屑、污物。
- 9) 外观质量要符合要求。
- 10) 按规定进行机器的空运转试验。
- 11) 按规定进行机器的负荷运转试验。
- 12) 按标准进行机器的几何精度和工作精度的检验。
- 13) 有生产效率要求的机器，要进行生产效率试验。

14) 机器的电气、液压、气动系统和涂漆质量应符合规定。

## 第二节 保证产品装配精度的方法

### 一、装配精度的概念

为保证机器有良好的工作性能,应对机器提出若干项精度要求,这些精度要求应该在装配过程中予以保证。

装配精度包括:距离精度、相互位置精度和机器各部分的运动精度。

#### 1. 距离精度

一定的间隙、一定的配合和一定的尺寸要求,都属于距离精度。如两顶尖对机床导轨的不等高要求,就是一个距离尺寸关系,属于距离精度。

#### 2. 相互位置精度

在装配中的相互位置精度包括平行度、垂直度、同轴度等方面的要求。如铣床中央T形槽对工作台纵向移动的平行度即属于相互位置精度。

#### 3. 机器各部分的运动精度

机器各部分的运动精度包括传动精度和回转精度。如在车床上车削螺纹,车刀与工件的回转运动应保持严格的速比关系,若传动链的各个环节如齿轮产生了制造或安装误差,将影响螺纹的加工精度。

### 二、零件精度与装配精度的关系

机器由许多零件装配而成,因此零件精度将直接影响机器的装配精度。因此,为了保证机器的装配精度,就需要控制零件的加工误差。一般来说,机器的装配精度要求高,则零件的加工精度要求也高。但是,如果根据生产实际情况,制订了合理的装配工艺,也可以用加工精度较低的零件来达到较高的装配精度。因此,研究零件精度与装配精度的关系,对指导设计和制订工艺工作都是非常必要的。

#### 1. 累积误差的形成

机器的每一项精度要求均和它相互联系的零件或部件有关,有时只和一个零件有关,有时则和若干个零件有关。

如在卧式车床的装配精度中,要满足尾座移动对溜板移动的平行度要求,只要保证床身溜板移动的导轨和尾座移动的导轨互相平行即可。由此可见,这项精度仅与床身一个零件有关,生产中称之为单件自保。

#### 2. 尺寸链的建立

在分析具有累积误差的装配精度时,首先应该找出影响这项精度的相关零件,并分析其具体影响因素,然后确定各相关零件具体影响因素的加工精度。为了便于分析,可以将各有关影响因素按照一定的顺序,一个一个地连接起来,形成封

闭环环，该链环称为装配尺寸链。

从图 2-6-2 中可以看出，影响车床两顶尖不等高的相关零件有：主轴箱、尾座和底板。其具体影响因素为：主轴箱主轴锥孔中心至底面的距离  $A_1$ ；尾座底板的厚度  $A_2$ ；尾座套筒锥孔中心至底面的距离  $A_3$ 。设主轴锥孔中心对尾座套筒锥孔中心的不等高度为  $A_\Delta$ ，若将  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  及  $A_\Delta$  一个一个依次连接起来，就形成图 2-6-2a 所示的装配尺寸链。为了使尺寸链更加醒目，将标注在装配图上的尺寸链简化为 2-6-2b 所示的形式，这就是装配尺寸链简图。根据装配尺寸链简图，可以列出装配尺寸链方程式。即

$$A_\Delta = A_2 + A_3 - A_1$$

上面这种类型的尺寸链，所涉及的都是尺寸精度问题，故称距离尺寸链。在这种尺寸链中，有距离计算问题，也有尺寸误差的累积问题。

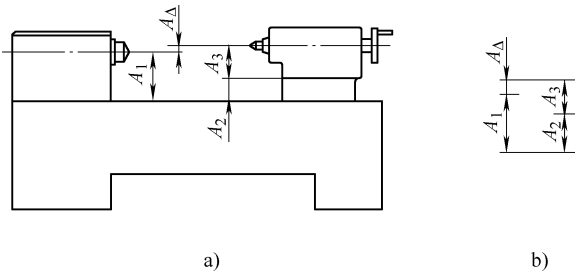


图 2-6-2 车床总装示意图

图 2-6-3 所示为检验车床溜板移动对尾座套筒伸出方向的平行度误差。与这项精度有关的零件有尾座和底板，其具体影响因素在垂直平面内为：尾座孔中心对其底面的平行度，底板上下平面的平行度；在水平面内为：尾座孔中心对其底面小导轨的垂直度，底板的上下导轨对下导轨的垂直度。

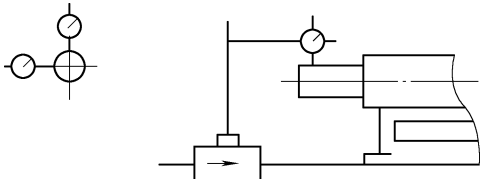


图 2-6-3 检验车床溜板移动对尾座顶尖套伸出方向的平行度

这种尺寸链所涉及的是垂直度、平行度等相互位置精度方面的问题，称为相互位置尺寸链。它没有直接的尺寸关系，主要是误差累积问题。

在装配尺寸链中，所要保证的装配精度是尺寸链中的封闭环，而与该装配精度有关零件的具体影响因素是尺寸链的组成环。

通过研究装配尺寸链，可以很好地解决机器的装配精度与零件精度之间的关

系，从而能够使产品在一定的生产条件下，经济、合理地达到质量要求（尺寸链的计算可参考其他参考书）。

### 第三节 螺纹连接的装配

螺纹连接是一种可拆卸的固定连接，由于它具有结构简单、连接可靠、装拆简便、调整更换方便等优点，所以在机器制造中应用得最多。

#### 一、紧固双头螺柱的装配

##### 1. 双头螺柱装配时的主要技术要求

1) 双头螺柱的使用方式为紧固端与机体（床身、底座）螺纹配合，另一端用螺母等件将被连接的零件固定。为了在拆螺母的过程中双头螺柱没有任何松动和旋下的现象，双头螺柱的紧固应当采用螺纹中径有过盈和带有台肩的形式(图 2-6-4)，以达到螺纹配合的紧固性。当双头螺柱装入软材料工件时过盈要大些。

2) 双头螺柱的轴心线必须与机体表面垂直，通常用直角尺进行检验，如图 2-6-5所示。螺栓轴线的垂直度误差较小时，一般可以把它敲准。

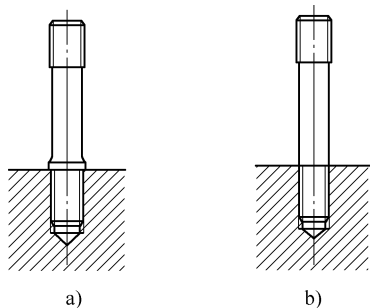


图 2-6-4 双头螺柱的紧固形式

a) 带有台肩的双头螺柱 b) 带有过盈或末几圈带浅螺纹的双头螺柱

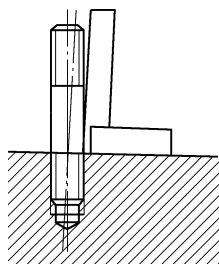


图 2-6-5 用直角尺检验双头螺柱的垂直度

3) 双头螺柱装入基体时，必须加些润滑油，以免旋入时产生咬住现象，同时使今后拆卸更换时较为方便。

##### 2. 发动机上双头螺柱的装配

除上述应注意事项之外，双头螺柱装配时还应注意以下几点：

1) 双头螺柱安装得歪斜时，不应用校直的方法消除，这样容易造成螺柱的弯曲或根部断裂。解决的方法是，应该把它拧出来，再用丝锥校正螺孔（只适合较小的偏斜）；对偏斜大的，则应钻掉孔内螺纹，重新攻大一级螺纹，再更换一端有相应直径的双头螺柱。

2) 当没有把螺栓拧到底, 就感觉阻力太大, 这时, 不应硬拧, 以免将螺纹破坏。应该拧出来, 再用丝锥校正一下, 并选择一个螺纹中径较小的螺栓拧入。

3) 双头螺柱旋入过深或过松时, 应旋出, 选择一个中径较大的螺栓旋入, 以保证螺栓的伸出长度和紧密配合。

### 3. 旋紧双头螺柱的专用工具

图 2-6-6a 所示为用两个螺母旋紧法。方法是将两个螺母相互旋紧, 此时螺母与双头螺柱没有相对转动。然后, 旋动上面的一个螺母, 双头螺柱即旋入螺孔中。拆螺母时将下面螺母固定住, 松上一个螺母, 这种方法的缺点是在拆下螺母时, 可能把已经旋紧的双头螺柱松动。

图 2-6-6b、c 所示为使用长螺母的旋紧法。用制动螺钉 2 或楔来阻止螺母和双头螺柱之间的相对运动, 然后, 旋动长螺母 1, 双头螺柱即可旋入, 在松掉螺母时, 先使制动螺钉 2 回松。

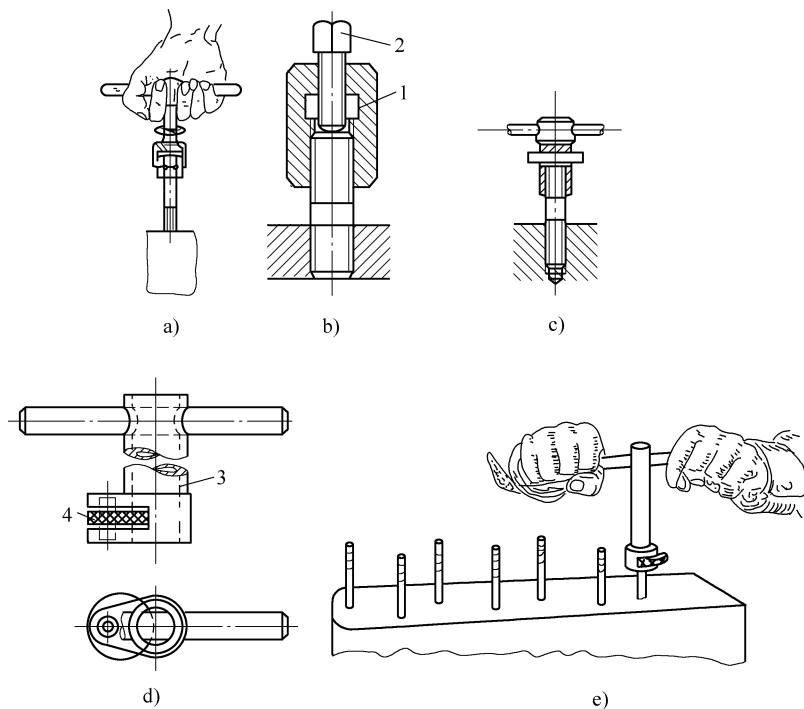


图 2-6-6 旋紧双头螺柱的专用工具

a) 用两个螺母旋紧 b)、c) 用长螺母旋紧 d)、e) 用带偏心盘的套筒旋紧

1—长螺母 2—制动螺钉 3—套筒 4—偏心盘

图 2-2-6d、e 所示为用带偏心盘的套筒旋紧法。偏心盘 4 的周围有滚花, 当套筒 3 套入双头螺柱时, 依旋紧方向转动手柄, 偏心盘即可在双头螺柱的圆柱处楔紧而将它旋入螺孔中。回松时, 将手柄倒转, 偏心盘由于失去楔紧, 故套筒便可方便地退出。

## 二、螺母和螺钉的装配

在装配螺母和螺钉的时候，要保证它们连接得紧固有力，不会松动，拆卸的时候，要求零件完整无损。为此，掌握旋紧螺纹的要点是很重要的。对正确使用旋紧（或回松）螺纹用的工具不能忽视。

螺母和螺钉装配时的要求：

- 1) 螺纹连接要有适当的强度，并能够互换。
- 2) 螺钉或螺母与零件贴合的表面应光洁、平整，贴合处的表面应当经过加工，贴面不平，接合面变小，容易造成松动或使螺钉受力不均而弯曲。
- 3) 螺钉、螺母应当在机油中洗净，螺孔内的脏物应当用压缩空气吹净。
- 4) 螺纹装配后要稳固、可靠、经久耐用。

5) 在工作中有振动时，为防止螺钉和螺母松动，必须采取防松装置。防松装置有以下几种：

① 将开口销插入螺钉孔内，使螺母自动回松不超过一定的限度，如图 2-6-7 所示。

② 对成对的或成组的螺钉和螺母，可以用钢丝穿过螺钉头部并互相绑住，以防止回松，如图 2-6-8 所示。用钢丝绑住的时候，必须用钢丝钳或尖头钳拉紧钢丝，钢丝旋转的方向必须与螺纹旋转方向相同，才能使螺钉或螺母不松动。

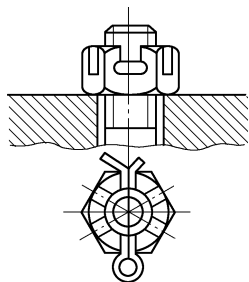


图 2-6-7 用开口销防止螺纹回松

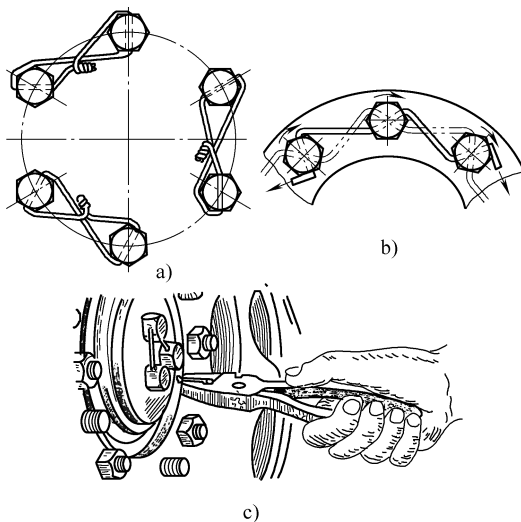


图 2-6-8 用钢丝防止螺纹回松

a) 成对的 b) 成组的 c) 用钢丝钳拉紧

③ 用弹簧垫圈防止螺纹的回松, 这种防松装置可靠, 所以应用较普遍, 如图 2-6-9 所示。

④ 用点铆的办法制止螺纹的回松。其具体做法是: 将螺钉旋紧后, 在螺钉与被拧紧件接合处用样冲冲 1~2 个点。这种方法用在不常拆卸的螺钉上。

⑤ 用保险垫圈防止螺纹的回松, 如图 2-6-10 所示。使用带翅垫圈时, 必须把内、外翅插入槽内。

⑥ 用止动螺钉来防止螺纹的回松, 如图 2-6-11 所示。

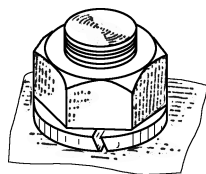


图 2-6-9 用弹簧垫圈防止螺纹回松

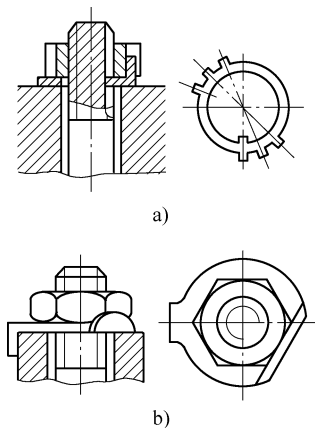


图 2-6-10 用保险垫圈防止螺纹回松  
a) 用带翅垫圈 b) 用止退垫圈

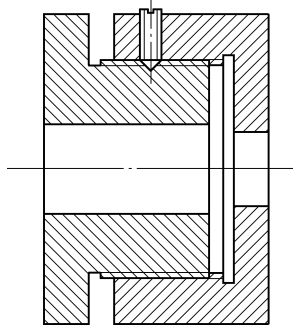


图 2-6-11 用止动螺钉防止螺纹回松

⑦ 锁紧螺母防止螺纹的回松。它是依靠两螺母在锁紧时螺母与螺栓半边间隙消除产生的摩擦力来防松的。若薄、厚螺母混用时, 薄螺母在下, 厚螺母在上。

⑧ 用防松胶防松。对于不常拆卸的螺钉, 可将螺钉用清洗剂清洗干净后, 涂防松厌氧胶后拧入工件。

6) 旋紧螺钉的方法。螺钉的旋紧程度和次序, 对装配工作的精度和机器的寿命有很大关系。因此, 装配必须采用正确的旋紧方法。旋紧时必须按照图 2-6-12 所示的顺序号依次进行。下面举几种常见的例子分别说明。

① 条形工件, 如图 2-6-12a 所示。螺钉的数量很多时, 先分别将螺钉旋到靠近工件处, 但不要加力, 然后, 按图示的顺序号 1、2、…依次旋到旋紧程度的  $\frac{1}{3}$  左右, 以后, 再按上述次序旋到  $\frac{2}{3}$  左右, 最后, 再按次序全部旋紧。这样做能使全部螺钉的旋紧程度一致, 同时, 被连接的工件也不会变形。

② 方形工件, 如图 2-6-12b 所示。分布在四角上的螺钉, 应该对称交叉旋紧, 也就是先把 1 和 2 旋紧  $\frac{1}{3}$ , 再分别旋紧 3 和 4, 然后再按同一次序再旋紧。

③ 圆形工件, 如图 2-6-12c 所示, 与方形工件旋紧方法相同。



7) 螺钉旋紧时力度的掌握。旋紧螺钉时, 松紧程度必须合适。旋紧力太大时, 会出现螺钉拉长或断裂、螺纹拉坏或滑牙、机件变形等现象, 从而使螺钉在工作过程中发生断裂, 甚至可能引起严重事故。旋紧力太小时, 则不能保证机器工作时的可靠性和准确性, 并容易产生回松现象。对于重要的连接部位应用力矩扳手进行旋紧。

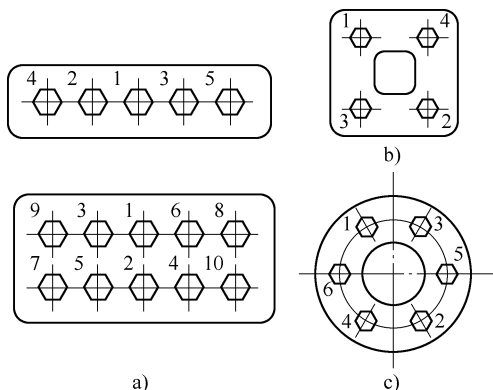


图 2-6-12 旋紧螺钉的次序

### 三、装配螺纹时常用的工具

由于螺纹连接的种类很多, 所以, 装配工具也有各种不同的形式, 必须根据生产需要进行合理的选择。

#### 1. 螺钉旋具 (俗称起子、改锥)

螺钉旋具用来旋紧 (或松开) 头部带沟槽的螺钉, 一般是用碳素工具钢制成的。螺钉旋具的种类很多, 可根据工作情况的不同来选用。

(1) 标准螺钉旋具 由柄、刀体和刀口组成。根据工作情况的不同, 它又有不同的规格。

根据旋拧螺钉头部的沟槽形状, 螺钉旋具可分为一字槽螺钉旋具和十字槽螺钉旋具两种。

使用螺钉旋具时, 要注意刀口的宽度和厚度必须与螺钉头上沟槽的长度和宽度相符。不能把螺钉旋具当撬棒或錾子用。修磨时螺钉旋具要保持螺钉旋具的宽度和厚度, 并经常浸水, 以防止螺钉旋具刀口退火, 使用时软口。

(2) 弯头螺钉旋具 这种螺钉旋具有两个刀口, 一端刀口与柄平行, 另一端刀口与柄垂直, 当空间受限制时, 可以调换使用。

根据使用情况不同, 还有限力螺钉旋具、丁字螺钉旋具、机械化螺钉旋具等。

#### 2. 扳手

扳手是用来旋紧六角形、正方形螺钉和各种螺母的。扳手用工具钢、合金钢或可锻铸铁制成。它的开口处要求光洁和坚硬耐磨。扳手可分为下列几种:

(1) 固定扳手 它主要用来装卸方形和六角形的螺母或螺钉。固定扳手还可分为呆扳手和整体扳手等。除了单头和双头的之外, 还有梅花的, 如图 2-6-13 所示。扳手的规格都是以扳手的长度和开口大小来决定的, 使用时, 必须严格地符合螺钉或螺母的尺寸, 以保证旋紧力适当和避免损伤螺钉或螺母的棱角或使扳手打滑。



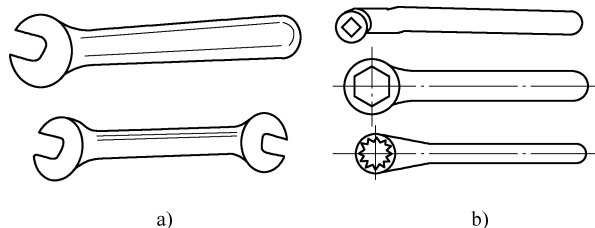


图 2-6-13 固定扳手

a) 呆扳手 b) 整体扳手

用得最广泛的是十二角梅花扳手，它只要转过  $30^\circ$ ，就能调换方向。所以，容易在狭窄的地方工作。整体扳手比呆扳手强度高，因为它受力的面积大，故使用比较广泛。

(2) 活扳手 工作中经常需要很多不同尺寸的扳手，扳手太多时，保存和使用都不方便，故常采用活扳手。活扳手开口的尺寸能在一定范围内调节，它的规格很多，按长度有 100mm、150mm、200mm、250mm、300mm、350mm、400mm、450mm 等几种；按钳口的最大尺寸有 19mm、30mm、36mm、41mm、46mm、50mm 等几种。工厂中习惯用英寸叫法，如 3in (1in = 25.4mm)、4in、6in、8in、10in、12in、14in、18in 活扳手等。

活扳手使用时应让固定钳口受主要作用力；否则，会损坏扳手。钳口的尺寸应适合螺钉或螺母的尺寸；否则，会损坏扳手。不同规格的螺钉或螺母应选用不同规格的活扳手，不能把管子接在扳手上。活扳手的效率不高，不够精确，活动钳口容易歪斜，往往会损坏螺钉或螺母，除修理时应用外，一般最好不选用它。

(3) 套筒扳手 在螺钉或螺母用普通扳手无法装拆或为了节省装拆时间时采用。它由一套尺寸不等的扳手组成。

(4) 锁紧扳手 锁紧扳手用在圆螺母上，在圆螺母的边缘或平面上开槽或钻孔，以使用锁紧扳手锁紧。

1) 钩头锁紧扳手，如图 2-6-14a 所示，用来锁紧圆螺母。

2) U 形与冕形锁紧扳手，如图 2-6-14b、c 所示，用来锁紧在平面开槽或钻孔的螺母。

3) 销头锁紧扳手，如图 2-6-14d 所示，用来锁紧在圆柱上钻孔的螺母。

(5) 内六角扳手 用于旋紧内六角圆柱头螺钉，根据螺纹的规格可采用不同的内六角扳手。

(6) 特种扳手

1) 棘轮扳手，如图 2-6-15 所示，用于在狭窄的地方装卸螺钉或螺母。这种扳手只要摆动的角度不小于  $20^\circ$  时，就能旋紧螺钉或螺母。当需要扳手松开螺钉或螺母时，可以把它翻转过来，用另一面进行工作。

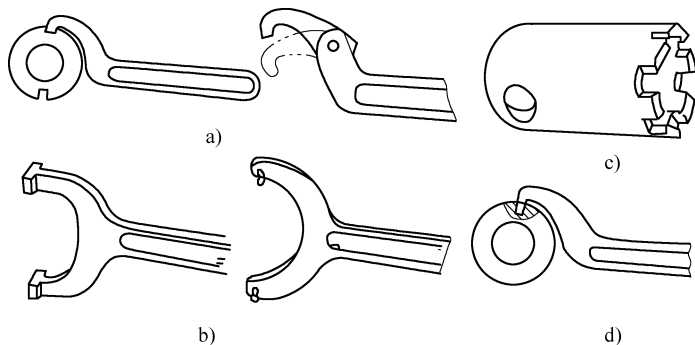


图 2-6-14 锁紧扳手

a) 钩头锁紧扳手 b) U 形锁紧扳手 c) 冕形锁紧扳手 d) 销头锁紧扳手

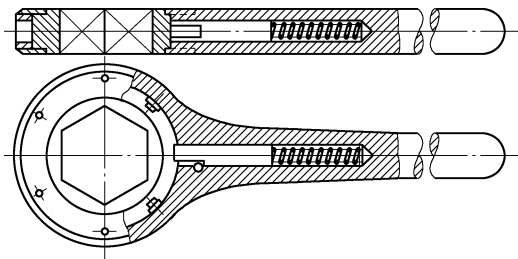


图 2-6-15 棘轮扳手

2) 管子钳，装卸管子等要用管子钳。

特种扳手还有指示式扭力扳手、带万向接头的扳手等。

## 第四节 键、销连接的装配

### 一、键连接的装配

键用于把轴和套类零件（如齿轮、带轮、蜗轮、联轴器等）连接成一体，用来传递转矩。

#### 1. 平键的装配

平键依据断面形状分为正方形与长方形两种。正方形键一般用于实心轴与厚轮毂的连接，长方形键一般用于空心轴与薄轮毂的连接。

平键在装配时，它与轴上键槽的两侧面必须带有一定的过盈。这样，在工作中，如有顺逆旋转时，键不会产生松动现象，以免降低轴和键槽的使用寿命及工作的平稳性。键的底面应与槽底贴实，而键顶面和轮毂间必须留有  $0.10 \sim 0.40\text{mm}$  的间隙，便于安装和拆卸。为了使键拆卸时不损坏，可在键上面备有起键螺纹孔，拆卸时，螺钉通过螺孔顶在键槽底部，从而将键从键槽中取出。

平键的装配方法如下：

- 1) 清除键槽的锐边，以防装配时造成过大过盈。
- 2) 修配键与槽的配合精度及键的长度。
- 3) 修锉键的圆头（一般键在轴端部为平头，装在轴中间的键端为半圆头）。
- 4) 键安装于轴的键槽中必须与槽底接触，一般采用台虎钳夹紧（必须在台虎钳与键平面之间垫上铜皮）或敲击等方法。
- 5) 轮毂上的键槽与键配合过紧时，可修整轮毂的键槽，但不允许松动。

## 2. 滑键和导向键的装配

滑键和导向键不仅带动轮毂旋转，还应能使轮毂沿轴线方向来回移动，所以在滑键和导向键的装配时，键与滑动件的键槽宽度的配合必须是间隙配合，而键与非滑动件（轴）的键座（或键槽）两侧面必须为过盈配合，且没有松动现象。有时为防止键因振动而松动，还应用沉头螺钉把键固定，如图 2-6-16 所示，这样才能保证滑动件在工作时的正常滑动。

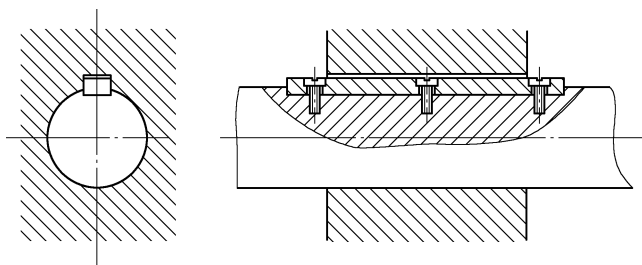


图 2-6-16 导向键固定在轴上

## 3. 斜键（楔形键）的装配

斜键的形状与平键相似，只是在顶面带有斜度。斜键带有钩头，如图 2-6-17a 所示，主要是为了便于拆装。其拆卸工具如图 2-6-17b、c 所示。斜键的顶面与键槽的顶面接触，能承受振动和一定的轴向力。键槽的斜度与键的斜度一致，一般是 1:100。

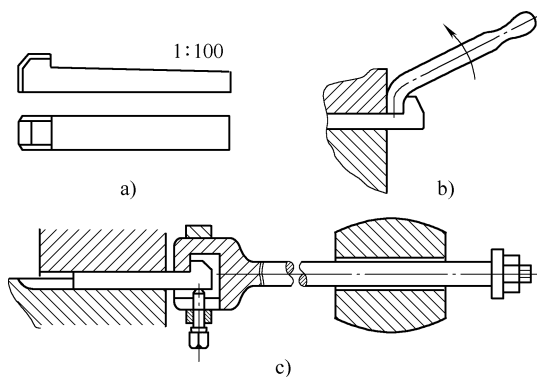


图 2-6-17 斜键及其拆卸工具

a) 斜键 b)、c) 拆卸工具

斜键的装配方法如下：

- 1) 清除键槽锐边。
- 2) 修配键与槽的配合精度，然后把轮毂套在轴上。
- 3) 使轴与轮毂键槽对正，在斜键的斜面用涂色法来检查斜度正确与否，用刮削法进行修整，使键和轮毂键槽紧密贴合，并使接触长度符合要求。
- 4) 清洗斜键及键槽等，最后把斜键上油后，敲入键槽中。

#### 4. 半圆键（月牙键）的装配

半圆键一般用在直径较小的轴或锥形轴上，以传递不大的动力，如机床上手轮和轴配合等。这种键的装配方法与平键相同，但键在键槽中可以滑动，能自动适应轮毂中的斜度。

#### 5. 花键的装配

当需要传递较大的动力时，就要采用花键连接，如图 2-6-18 所示。

花键轴与内花键多为滑动间隙配合，故属于滑键形式。花键轴在滚或铣出后，一般外圆经过磨削。内花键是用拉床用花键拉刀拉出来的，因此，轴与孔配合比较准确。在装配前必须清理花键轴和孔上凸起处的飞边和锐边，以防装配时产生拉毛、咬住现象。花键分大径定心、小径定心和齿侧定心几种

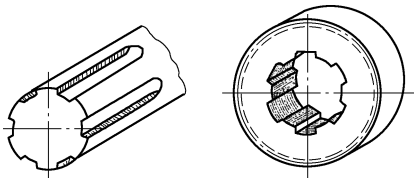


图 2-6-18 花键

方式。装配时，不得修整规定的定心面。装配花键时，一般可调换相互位置，取其配合较好的位置使用。装配后，应进行检查，检查方法是用手转动装在轴上的轮，应感觉不到有任何间隙，零件全长松紧程度要一致，不允许有局部倾斜或花键的咬塞现象。

## 二、销连接的装配

销在机械设备中除起连接作用外，还起定位和保险作用。销的种类很多，应用最广的有圆柱销和圆锥销两种。圆锥销的锥度为 1:50。按连接的用途，销又可分为紧固销和定位销。

#### 1. 圆柱销的装配

圆柱销全靠配合时的过盈，故一经拆卸失去过盈就必须调换。为了保证销与销孔的过盈量，要求销和销孔表面粗糙度值较小，通常两零件的销孔必须同时钻孔和铰孔，以保证两零件销孔的重合性和配合精度。装配时，在销上涂润滑油，用铜棒垫在销的端面上，把销打入孔中，对某些定位销，不能用打入法，可用 C 形夹头把销压入孔内，如图 2-6-19 所示。压入法比打入法好，销不会变形，工

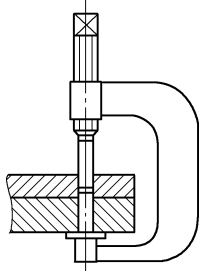


图 2-6-19 用 C 形夹头把销压入孔内

件间也不会移动。

## 2. 圆锥销的装配

圆锥销大部分是定位销，其本身有 1:50 的锥度，比圆柱销连接更加牢固可靠，它的优点是装拆方便，可在一个孔内装拆几次，而不破坏连接质量。装配后，销子的大端应稍露出零件的表面，或与零件的表面一样平；小头应与零件的表面一样平或缩进一些。圆锥销铰好后，如果能用手将圆锥销塞入孔内 80% ~ 85%，则能获得正常的过盈，而销装入孔中的深度一般也较适当，如图 2-6-20 所示。圆锥销在经过试装后，进入正式装配时，一定要用手将圆锥销塞入孔内 80% ~ 85%，再将销完全压入，若销从插入就用锤子敲入，有可能造成定位不准。

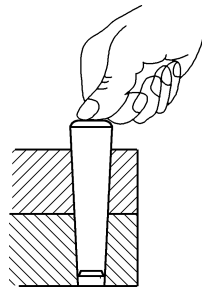


图 2-6-20 圆锥销的正确配合

有时为了便于取出销，可采用螺尾锥销，旋紧销上的螺母即可将销拔出。对于内螺纹圆锥销，要用拔销器取出。

特别注意：在不通孔中装配实心圆柱销或圆锥销时，应在销的侧面修磨一小平面或开个小槽，目的是让孔中的空气能够顺利地排出，否则会因不通孔内部压力的增高而将销弹出伤人。

## 第五节 滚动轴承的装配

滚动轴承是机器中不可缺少的组成部分，应用比较广泛。本节主要介绍滚动轴承在装配时应注意的事项。

### 一、滚动轴承概述

#### 1. 滚动轴承的构造

滚动轴承通常由外圈、内圈、滚动体和保持架组成。内圈的外表面和外圈的内表面都有供滚动体滚动的滚道。内圈和轴颈配合，外圈和轴承座或机座配合。通常是内圈随轴颈旋转，外圈不转，也可以是外圈旋转而内圈不转。

滚动体有球、圆柱滚子、滚针、圆锥滚子和球面滚子等。

制造内、外圈和滚动体的主要材料是高碳铬轴承钢（GCr4、GCr15 等），热处理后硬度一般不低于 60HRC，工作面经过磨削和抛光。保持架常用软钢、铜合金或塑料制成。

#### 2. 滚动轴承的分类

1) 按滚动体的种类可分为球轴承和滚子轴承（按滚子种类又分为圆柱滚子轴承、滚针轴承、圆锥滚子轴承和调心滚子轴承）。

2) 按承受载荷的方向，可分为向心轴承和推力轴承。

① 向心轴承。主要用于承受径向载荷的滚动轴承，其公称接触角从 0° 到 45°。

按公称接触角不同,又分为:

- a) 径向接触轴承: 公称接触角为  $0^\circ$  的向心轴承, 如深沟球轴承 (图 2-6-21a)。
- b) 角接触向心轴承: 公称接触角大于  $0^\circ$  到  $45^\circ$  的向心轴承, 如角接触球轴承 (图 2-6-21b)。

② 推力轴承。主要用于承受轴向载荷的滚动轴承, 其公称接触角大于  $45^\circ$  到  $90^\circ$ 。按公称接触角的不同, 又分为:

- a) 轴向接触轴承: 公称接触角为  $90^\circ$  的推力轴承, 如推力球轴承 (图 2-6-21c)。
- b) 角接触推力轴承: 公称接触角大于  $45^\circ$  但小于  $90^\circ$  的推力轴承。

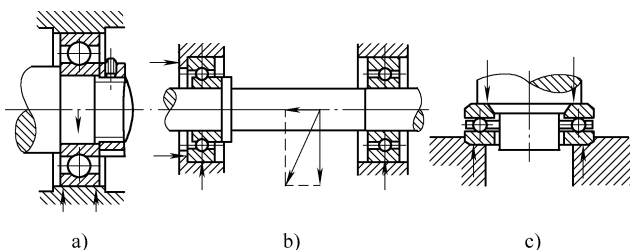


图 2-6-21 滚动轴承的承载方向

滚动轴承的装配, 主要是指滚动轴承内圈与轴、外圈与轴承座的孔的配合。配合应根据轴承的类型、尺寸, 以及载荷的大小和方向、性质等决定。轴承与轴的配合按基孔制, 与轴承座的配合按基轴制。转动的圈 (内圈或外圈) 一般采用有过盈不大的过渡配合; 固定的圈常采用过盈较小或有间隙的过渡配合和间隙配合。

## 二、径向接触轴承的装配

由于径向接触轴承的内、外圈都比较薄, 装配时容易变形, 因此在装配前, 必须测量一下轴颈和轴承座孔的尺寸, 随时掌握它们之间的配合情况, 避免过松或过紧的装配。

装配前, 先将轴承、轴颈和装配轴承外圈的孔用清洁的煤油或汽油洗涤。洗涤后, 在配合面上涂润滑油。

装配时必须保证轴承的滚动体不受压力, 配合面无擦伤, 轴颈或轴承座孔台肩处的圆角应符合要求, 如图 2-6-22 所示。

轴承装在轴上时, 不可用锤子直接敲打轴承外圈, 如图 2-6-23 所示, 应使用附加工具, 将力加在内圈上。

轴与滚动轴承的内圈过盈量小时, 也可用圆钢车成装配套筒, 垫在轴承内圈上, 用锤子敲入。

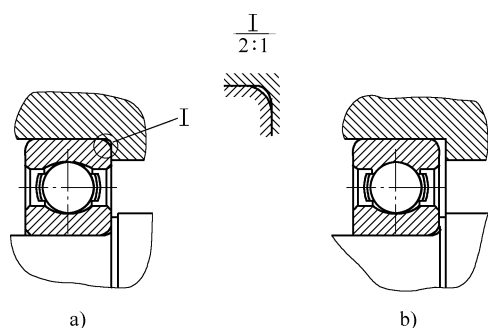


图 2-6-22 滚动轴承在台肩处的配合  
a) 正确 b) 不正确

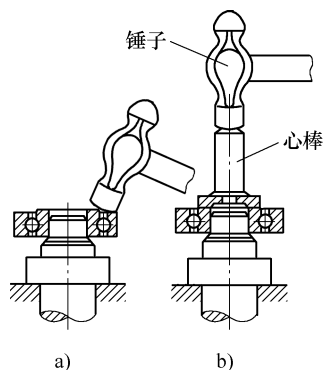


图 2-6-23 把轴承装在轴上  
a) 不正确 b) 正确

当轴承内、外圈过盈量大时，装配套筒应同时压紧在轴承内、外圈端面上，使压力同时作用在内、外圈上，同时将其压入轴和壳体（图 2-6-24）；或用热套法（即把滚动轴承放在润滑油、混合油或水中加热。如果保持架是塑料的，只宜用水加热）。用热套法安装轴承比敲击法装配质量好，因此应用较广。

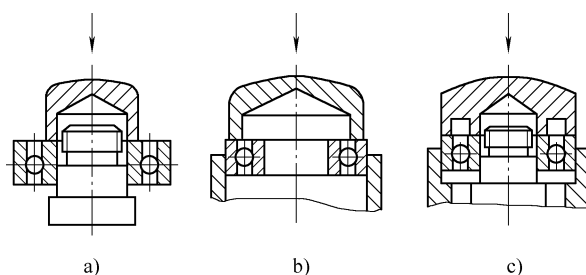


图 2-6-24 装配轴承时的加力方法

### 三、圆锥滚子轴承的装配

圆锥滚子轴承可承受在运转时的轴向和径向两个方向的载荷。它的特点是内、外圈分开。内圈和滚动体一起装在轴颈上，外圈则装配在轴承座的孔内。轴承内圈和外圈的间隙是安装后进行调整而定的。间隙太大，工作时振动会造成精度较差；间隙太小，磨损加快。调整间隙的方法通常是依靠外圈的轴向移动，如图 2-6-25 所示；或内圈的轴向移动来控制，如图 2-6-26 所示，通过调整轴右端的螺母，实现内圈的移动。



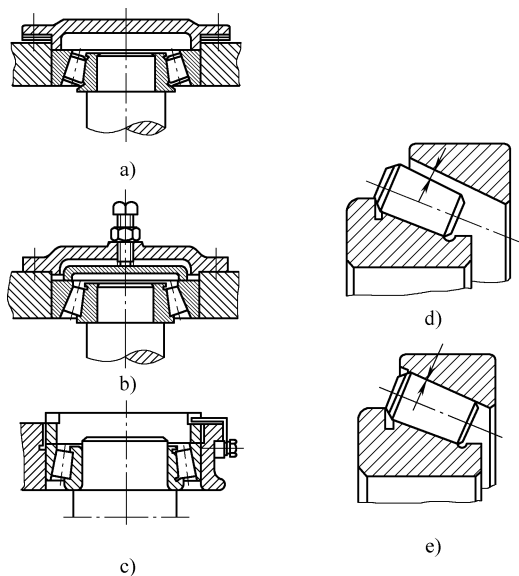


图 2-6-25 圆锥滚子轴承以外圈移动来控制间隙

a) 用垫片 b) 用螺钉 c) 用螺母 d) 调整前的间隙 e) 调整后的间隙

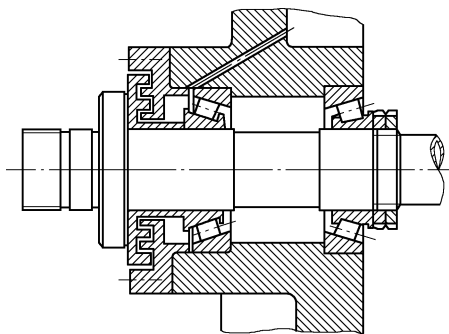


图 2-6-26 圆锥滚子轴承以内圈移动来控制间隙

#### 四、推力轴承的装配

在一根传动轴或主轴上，为了消除其轴向窜动、承受轴向载荷及减少端面摩擦，大都装有推力轴承。

推力轴承由轴圈、滚动体及座圈等零件组成。

座圈的内孔比轴圈的内孔大  $0.2\text{mm}$ ，在装配时一定要使轴圈靠在转动零件的平面上，座圈靠在静止零件的平面上（有时它的背面与静止零件相配）。否则，在轴承与零件之间要产生滑动摩擦，滚动体丧失作用，轴将很快被损坏。

推力轴承的间隙也是用螺母来调整的，如图 2-6-27 所示。

## 五、滚动轴承装配的注意事项

- 1) 滚动轴承上标有规格、牌号的端面应装在可见的部位，以便于将来更换。
- 2) 保证轴承装在轴上和轴承座孔中以后，没有歪斜和卡住现象。滚动轴承装配后的歪斜情况如图 2-6-28 所示。

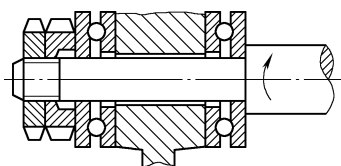


图 2-6-27 推力轴承间隙的调整

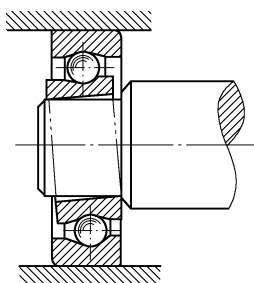


图 2-6-28 滚动轴承装配后的歪斜情况

- 3) 为了保证滚动轴承工作时的热胀裕量，在同轴的两个轴承中，必须有一个轴承的外圈（或内圈）可以在热胀时产生轴向移动，以免轴或轴承因没有这个裕量而产生附加应力，甚至在工作时使轴承咬住。

- 4) 严格避免铜、铁屑等进入轴承内，轴承内要清洁，有时要加些润滑脂，通过加密封盖或密封圈来防止漏油。

- 5) 装配后，轴承运转应灵活，无噪声，工作时温度不超过  $50^{\circ}\text{C}$ 。

- 6) 滚动轴承磨损到一定限度时，要更换新的轴承。更换时将旧的滚动轴承用顶拔器拆卸，如图 2-6-29 所示。然后，按前述装配方法将新轴承装上即可。

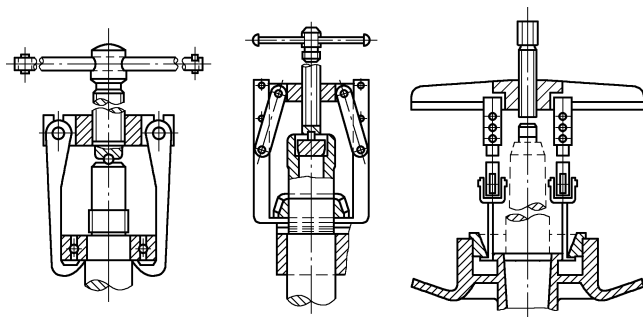


图 2-6-29 滚动轴承顶拔器

使用顶拔器时应注意以下几点：

- ① 顶拔器两爪的弯角不能大于  $90^{\circ}$ 。
- ② 两爪尖要钩在滚动轴承的平面上。
- ③ 拆轴承时两爪与螺杆保持平行，不能外撇。

- ④ 顶拔器螺杆头应制成  $90^\circ$  角或装有弹子头。
- ⑤ 使用顶拔器时，两爪与螺杆的距离应相等。

## 第六节 滑动轴承的装配

滑动轴承是轴的支座，它的特点是工作可靠、平稳、无噪声，润滑油膜具有吸振能力，故能承受较大的冲击载荷，常用于重载、低速机构中。

为了减少摩擦，提高工作效率，轴套的材料应耐磨、易散热，有的还要能含有润滑油。常用的轴承材料有：铜合金、灰铸铁、锡基铸造轴承合金、铜基铸造轴承合金、石墨含油材料等。为了节约滑动轴承材料，大都把轴承压入轴套或基体中使用。

滑动轴承工作时在轴与滑动轴承的轴套（轴瓦）中要加润滑油润滑。工作时，当轴的转速达到一定程度时，轴颈和滑动轴承之间由于“油楔”的作用，轴被润滑油托起，轴颈和滑动轴承被一层油膜隔开，两个滑动表面不直接接触，使摩擦因数大大地减小，因而增加滑动轴承的承载能力，延长零件的使用寿命。

对滑动轴承装配的要求，主要是使轴颈与滑动轴承的轴套（轴瓦）之间获得所需要的配合间隙并保证接触良好，使轴在滑动轴承中运转平稳。

滑动轴承装入基体的顺序决定于滑动轴承的结构。滑动轴承有整体式和对开式两种。整体式又分为固定式和可调式两种。

### 一、整体固定式滑动轴承（轴套）的装配

整体固定式滑动轴承装入基体的顺序是：检查选配轴承座和轴套，涂油后压入固定轴套或基体，装配后检验和修整。

装配时，根据轴承的尺寸和配合过盈量的大小，以及轴承在基体上的位置，可用加热基体或冷却滑动轴承的方法装入滑动轴承。对于较大的滑动轴承，常采用冷却滑动轴承的方法装配。

#### 1. 压入滑动轴承的方法和工具

根据滑动轴承在基体的位置和滑动轴承的尺寸，可用简单或特殊工具，靠锤子或压力机将滑动轴承压入基体中。

如图 2-6-30 所示，用垫板和锤子敲入是一种最简单的敲入方法。用这样的方法敲入滑动轴承时，开始必须放正位置，边压边检查，待敲正后，再加大力敲入。否则，会使贴合表面擦伤，使滑动轴承变形。如图 2-6-30b 所示，在孔上放一导向套，当开始敲入轴套时，导向套对滑动轴承起导向作用，防止轴承歪斜。

为了保证滑动轴承与孔的中心对正，可用图 2-6-31 所示的工具压入滑动轴承。工作时，滑动轴承 2 先装上特制的心轴 1，然后在心轴上用沉头螺钉固定垫板 3。将心轴 1 的下端放入孔内，经垫板 3 来传递锤子或压力机的压力，将轴承压入孔

内，在心轴 1 的导向下，轴承不会歪斜。在大批量生产中，采用这种工具最为适宜。

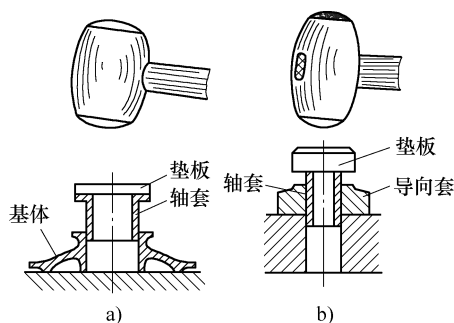


图 2-6-30 敲入滑动轴承

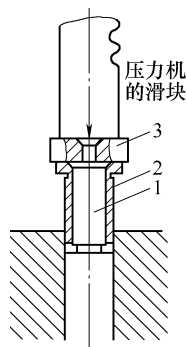


图 2-6-31 压入滑动轴承  
1—心轴 2—滑动轴承 3—垫板

在压入滑动轴承前，必须仔细检查滑动轴承和基体上的孔，修整端面上的尖角飞边，擦净接触表面，并涂上润滑油，有油孔的滑动轴承压入时要对准轴承座或机体上的油孔。

直径过大或配合过盈量大于 0.1mm 时，如果在常温下压装滑动轴承，就会引起损坏。因此，常用加热机体或冷却轴承的方法装配。加热或冷却时间的长短，按零件的形状、质量和材料来决定。

## 2. 固定滑动轴承的方法

滑动轴承压入后，为防止转动，可用螺钉、销钉或紧定螺钉来固定，如图 2-6-32 所示。

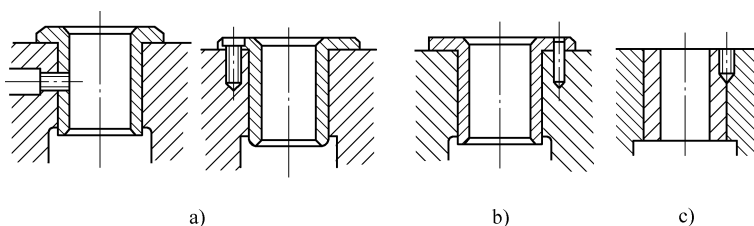


图 2-6-32 滑动轴承的固定  
a) 螺钉固定 b) 销钉固定 c) 紧定螺钉固定

## 3. 装配后的检查和修整

滑动轴承压入后，内孔易发生变形（如椭圆形、圆锥形、偏斜或孔径缩小等）或工作表面擦伤。因此，在装配后需要进行检查和修整。

修整时，常采用铰孔和刮削、合镗、同磨等方法，使滑动轴承和轴颈之间的

间隙及接触点达到所要求的质量。

## 二、对开式滑动轴承的装配

对开式滑动轴承的轴瓦有厚壁和薄壁两种。轴瓦一般用锡基、铜基铸造轴承合金整体浇注而成，也有在铁基内表面浇注锡基、铜基铸造轴承合金或其他耐磨合金。

在轴瓦装入轴承座之前，应修光所有配合面的飞边，油槽边按要求倒角（加工后的油槽边角均高于配合表面，为了保证接触面，同时便于润滑油从油槽与轴的夹缝中流出），以利于润滑。检查轴承盖和轴瓦上的油孔是否能对正。最后，用油枪注入煤油洗净所有的油孔和油槽。

滑动轴承装入轴承座和轴承盖的时候，应在轴瓦的两个平面上垫上铅片或木板。然后，用锤子轻轻敲入，要求轴瓦的外表面与轴承座和轴承盖能紧紧地贴合，如果贴合不好（图 2-6-33），滑动轴承受到轴颈的压力后，将引起变形或耐磨层破裂和脱落，精度遭到破坏。

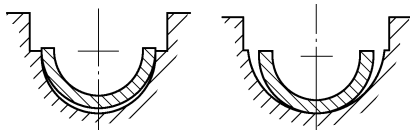


图 2-6-33 轴瓦的不正确配合

为了保证轴瓦与轴颈配合良好，在装配时应进行必要的检验和修刮。其方法是：先在轴颈上涂好显示剂，接着把轴放在装有下半轴瓦的轴承座上，将轴转动 2~3 圈，然后把轴取下来，按照研出的斑痕来判断轴瓦与轴颈的配合情况。如果在轴瓦上的斑痕很大而且不均匀，则必须进行修刮。当下半轴瓦的全长上都有了斑点以后，再将上半轴瓦装上，拧紧轴承盖的螺栓，使轴慢慢地转动几圈后，按着色情况刮削上、下半轴瓦，直到轴瓦上出现要求的斑点数目为止。

刮削完轴瓦后，还要用垫片调整轴瓦与轴颈的间隙，以保证形成油膜从而达到液体润滑。

轴瓦上的油槽可用油槽镗子镗出，也可由车削或铣削加工。

## 第七节 传动机构的装配

机械传动一般有三种形式：两轴同轴传递、两轴平行传递和两轴垂直或交叉传递。

本节主要介绍上述三种情况在装配时如何找正两轴的相对位置，以保证两轴的同轴、平行或垂直。

### 一、两轴同轴传递动力的装配

在机器装配中把两根轴同轴连接在一起，一般采用联轴器。

在机械传动中,用联轴器连接传递转矩的方法很多。装配时主要的技术要求是,保证两轴线同轴,使其运转时不产生振动,延长机器的使用寿命。

图 2-6-34 所示为箱体输入轴与电动机轴的连接,首先要保证电动机轴与箱体输入轴同轴,再确定箱体与电动机的装配位置。

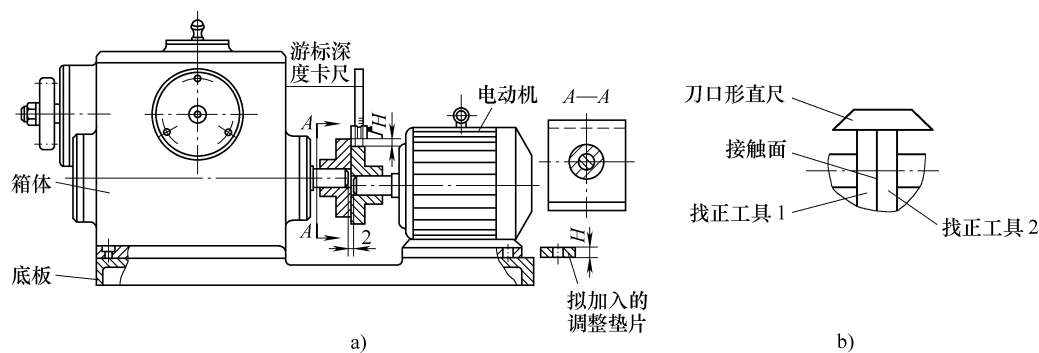


图 2-6-34 用找正工具找正两轴同轴

a) 测量不等高值 b) 用刀口形直尺找正

### 1. 使用找正工具的装配

使用专用的找正工具,找正箱体输入轴与电动机轴同轴,以确定调整垫片的厚度,达到两轴同轴的要求。使用找正工具的方法如下:

1) 分别在箱体输入轴和电动机轴上装配找正工具 1、2,并将箱体、电动机置于底板上。

2) 调整箱体输入轴与电动机轴端相距 2mm 左右。用刀口形直尺检查找正工具 1、2 的两侧面并保持平直,两找正工具平面接触应良好。

3) 用游标深度卡尺测量上下与前后两个方向找正工具 1、2 的不等高值  $H$  ( $H$  值即为垫片的厚度),此时,便可确定箱体与电动机的装配位置,把它们的螺钉安装孔配划在底板上。

采用上述找正工具找正两轴线同轴,调整起来很简便,并能达到一般联轴器的同轴要求,找正精度是否理想,在很大程度上取决于找正工具本身的制造精度和操作是否合理。

4) 找正工具的制造。根据轴径的大小,以轴径来确定找正工具的孔径,找正工具的孔与两轴之间的配合间隙越小,找正精度越高,但要满足好装、好卸的要求。找正工具的  $D$  面为正方形(图 2-6-35),四边边长都相等,而且边与孔对称。设边长为  $a$ ,则边长与中心的距离即为  $a/2$ ;厚度  $b$  要根据两轴颈伸出的长度来定(但应比轴颈短,以便于移动);平面应与孔垂直;找正面宽度  $c$  尽量宽些(用刀口形直尺检查两侧面平直时能使接触线增长,有利于提高测量精度)。

## 2. 不用找正工具的装配

(1) 凸缘联轴器的装配 如图 2-6-36 所示, 先在轴 1 和轴 5 装上键 4 和圆盘 2、3; 然后用直尺 a 靠紧基准圆盘 (例如圆盘 2) 的凸缘, 移动轴 5, 并使圆盘 3 也紧贴着直尺进行找正。此时转动轴 5, 并用塞尺测量圆盘 3 与直尺的间隙  $Z$ , 在回转一圈中, 间隙  $Z$  应相等。

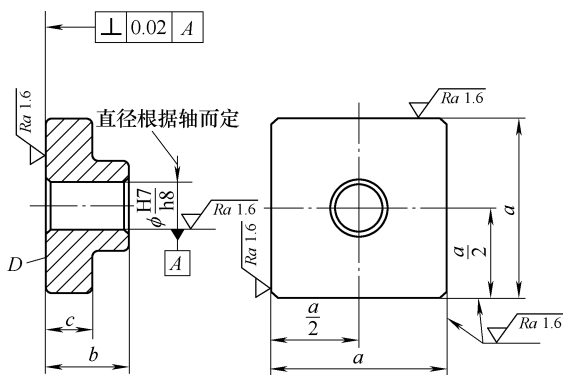


图 2-6-35 找正工具

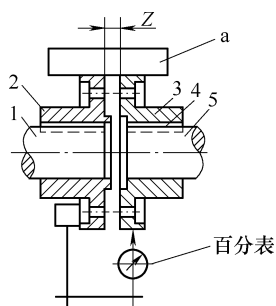


图 2-6-36 凸缘联轴器的装配  
1、5—轴 2、3—圆盘 4—键

初步找正后, 将百分表固定在圆盘 2 上, 并使百分表的测头抵在圆盘 3 的凸缘上, 找正圆盘 3, 使它的径向摆动量在允许范围内。然后, 移动轴 5, 使圆盘 2 的凸缘少许插进圆盘 3 的台阶孔内。最后, 移动轴 5 使两圆盘端面靠紧, 用螺栓紧固, 装好后用手转动一下感觉畅快程度, 如转动较紧, 应重新调试。

这种方法简单易行, 并且不用辅助工具, 但要求圆盘 2、圆盘 3 的孔与外圆、凸缘及台阶孔的同轴度要好些。

(2) 十字沟槽联轴器的装配 如图 2-6-37 所示, 这种联轴器在工作时允许两轴线有一定的径向偏移和略有倾斜 (因为它有一定的自定心功能), 所以比较容易装配。它的装配顺序是: 分别在轴 1 和轴 7 上安装键 3 和键 6, 安装套筒 2 和套筒 5, 并用直尺按找正凸缘联轴器的方法来找正; 再在两套筒间安装中间盘, 移动轴使圆盘留有少许间隙 (一般为  $0.5 \sim 1\text{mm}$ )。

## 二、两轴平行传递动力的装配

带轮、摩擦轮、直齿轮和链轮, 都是在两根相互平行的轴之间传递动力的。它们的结构型式各有不同, 但装配时的技术要求是基本相同的。如两轴必须相互平行、两轴中心距有一定的范围、两啮合件的轴向位置要正确等。如果装配时达不到这些技术要求, 那么, 机器在工作时会产生振动、噪声, 并加速机件的磨损, 缩短机器的使用寿命。



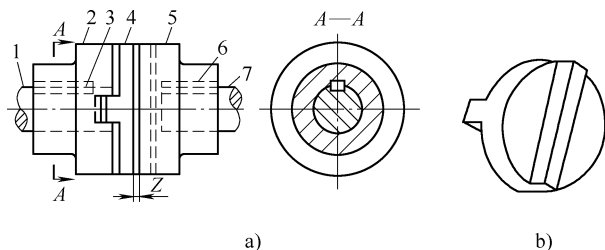


图 2-6-37 十字沟槽联轴器的装配

a) 视图 b) 圆盘

1、7—轴 2、5—套筒 3、6—键 4—圆盘

### 1. 带传动机构的装配

(1) 带传动的特点和形式 带传动是由主动轮、从动轮和张紧轮及两轮上的传动带组成的。由于传动带张紧，在传动带和带轮的接触面间产生摩擦力。当主动轮旋转时，借摩擦力带动从动轮旋转，这样，就把主动轴的动力传给从动轴。带传动可分为平带传动、V 带传动和同步带传动等。

平带常用的有皮革带和橡胶布带，有接头。

V 带的端面是梯形，一般制成整圈，无接头。它的截面尺寸和长度都已标准化了。

同步带一般用在数控设备上，它能保证两轮传动比恒定。

选择传动带型号是根据所传递的功率和传动带速度来决定的。

带轮由轮缘、轮辐及轮毂组成。平带传动时，两带轮之一的轮缘常制成弧形凸起，以免传动带从带轮上滑下。直径小些的带轮常常不用轮辐，而做成整体式的，为了改变转速，平带轮也有制成宝塔式（多级式）的。V 带轮的轮缘上制有梯形槽。

带传动可用于中心距较大的两轴间且传动平稳，过载时打滑，可防止其他零件的损坏，并有结构简单等优点，故使用比较广泛。

#### (2) 装配时的主要技术要求

- 1) 带轮装在轴上，应没有歪斜和摆动。
- 2) 当两个带轮的宽度相同时，它们的端面应位于同一平面内。
- 3) 平带在轮冠上应保持在中间位置，工作时不应脱落。
- 4) 传动带的张紧力应能保证传动带和带轮的接触面间有足够的摩擦力，以传递一定的功率。

(3) 带轮的装配 带轮装在轴上，一般采用过渡配合，并且靠键来传递动力。

安装时，首先按轴和轮毂孔中的键槽来修配键，涂上润滑剂后，再把带轮装在轴上。压装时，最好采用专用的螺旋压装工具，如图 2-6-38 所示。不要直接敲

打带轮的端部，特别是在已装进机器里的轴上安装带轮时，敲打不但会损伤轴颈，而且会损伤其他机件。压装后，可通过压板对轮的各个地方轻轻敲打，以消除因倾斜而产生的卡住现象。

(4) 带轮装配后的检查 带轮装到轴上后，应在轮缘处检查其径向及端面摆动。摆动量的大小，随工作要求而定。

检查摆动的方法有两种：较大的带轮可用划针盘来检查，较小的带轮可用百分表来检查。

用划针盘检查的方法如图 2-6-39 所示。把划针盘安置在底座上，并使划针轻轻地抵住轮缘及端面上的最高处，旋转带轮，找出摆动位置，并用粉笔标上记号。然后，测定针尖与轮面之间的间隙 ( $\delta_1$ 、 $\delta_2$ )。如摆动量过大，则必须找出原因来进行修整。如：轴是否弯曲，轮和轴的配合间隙是否正确等。

带轮轴向之间的相对位置对带传动质量有很大影响，如果两个带轮安装时有过大的偏移，会使传动带的张紧力不均，造成传动带的自行滑脱和加速磨损（尤其是 V 带）。所以对于相互传动的带轮，它们的相对位置必须经过检查和调整。

当两带轮轴间的距离不大时，可以用直尺检查，如图 2-6-40a 所示。相距较远时可用图 2-6-40b 所示的方法：将钢丝的一端系在一轮缘上，拉紧另一端，并使钢丝贴住此带轮的端面；然后，观察另一带轮的端面是否跟钢丝贴住，如果未贴住，则可测量钢丝与带轮端面之间的间隙  $a$  的大小，进行调整。如两带轮宽度不同，可将钢丝系在宽轮上，用上述方法进行检查，但窄轮与钢丝之间有两轮宽差一半的间隙。

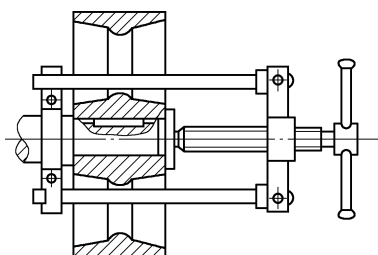


图 2-6-38 螺旋压装工具

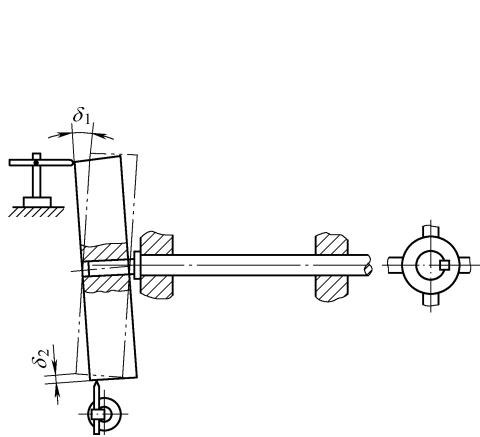


图 2-6-39 带轮端面 and 径向摆动的检查

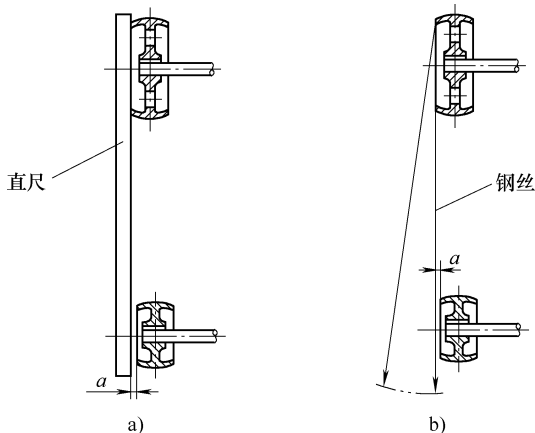


图 2-6-40 带轮安装位置的检查

带安装在带轮上，其张紧程度应适当，张紧力过小容易打滑，过大增加带

与轴的负荷，带容易损坏。张紧力的大小一般凭经验进行选定。对于 V 带，通常的判断方法是用大拇指在 V 带切边的中间处，在 1m 的范围内能将带按下 15mm 左右即可。安装新带时，其最初张紧力应比正常张紧力大。这样，工作一段时期后，带仍能保持一定的张紧力。

上面叙述了用经验法检查带的张紧力，也可用计算法计算带的下垂度来检验张紧力是否合适。计算公式为

$$f = Pl/2F_0$$

式中  $f$ ——下垂度 (mm)；

$P$ ——作用在测定点的力 (N)；

$l$ ——测定点距中心的距离 (mm)；

$F_0$ ——带的初拉力 (N)。

当测量所得的下垂度  $f$  值偏离上述公式的计算值很多时，说明张紧力不符合要求，应重新调整。

V 带的初拉力按表 2-6-1 选取。

表 2-6-1 V 带的初拉力

型 号	Z		A		B		C		D		E	
小带轮计算直径/mm	63 ~ 80	≥90	90 ~ 112	≥120	125 ~ 160	≥180	200 ~ 224	≥250	315	≥355	500	≥560
初拉力/N	50	70	100	120	165	210	275	350	580	700	850	1050

(5) 带轮的拆卸 在修理带传动装置前，必须把带轮从轴上拆下来。一般情况下，不应该用锤子敲打。带轮用键固定的则应该用专用工具先将键取出。拆卸带轮时，一般都用拉出器。

多根 V 带传动时，为避免各根 V 带的载荷分布不均匀，带的配组公差应满足规定要求（外购带应选一下，一组带的长度应尽量一致）。更换带时必须同时更换。

2. 齿轮传动机构的装配

(1) 齿轮传动的应用和特点 齿轮传动是由分别装在主动轴及从动轴上的两个齿轮相互啮合而组成的，用于两轴平行传递动力。

圆柱齿轮可分为直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮和人字齿圆柱齿轮。直齿圆柱齿轮便于制造，应用广泛。斜齿圆柱齿轮的优点是传动平稳，噪声低，允许的传动速度高，承载能力较强，两齿轮间中心距通过改变齿轮螺旋角就能得到调整，但斜齿轮在传动时有轴向分力。

齿轮传动是应用最广的一种传动形式，它能保证传动比稳定不变，传递的动力很大，结构紧凑，效率高，但对制造和安装的精度要求高。

齿轮常用的材料是 45 钢和 40Cr 合金钢，也有用铸铁的。为了提高齿轮的强度和齿面的硬度，钢制的齿轮一般采用正火、调质处理，齿面还要进行硬化处理。

(2) 圆柱齿轮传动结构装配的检验要求 工作时传动平稳，没有噪声；相互啮合的齿轮轴线要互相平行，中心距和平行度符合要求；齿轮的侧隙、接触斑点符合要求。

(3) 齿轮在轴上的装配 安装前，应检查齿轮的轮齿和齿轮孔有无碰伤，并去掉毛刺，检查齿轮孔与轴的配合是否适当。齿轮和轴的配合可采用间隙配合，而工作时不移动的齿轮通常采用过渡配合，一般都采用键连接。

压装时，要避免齿轮在轴上歪斜和产生变形。当齿轮孔和轴的过盈量不大时，可用手工工具敲击压装；但对于过盈量较大和精度要求高的齿轮，最好采用压入工具或专用的压入装置装配。

装配齿轮常出现的问题是：齿轮在轴颈上径向摆动、端面摆动和未靠紧轴肩。

精度要求高的齿轮传动机构，在压装后需进行检验。检验径向跳动时，可用百分表在齿轮的齿圈处进行测量，如图 2-6-41 所示。在齿轮齿间放入测头（球、圆柱等），用百分表测得读数后，再每转过 3 或 4 个齿重复检查一次，取其最大与最小读数之差。

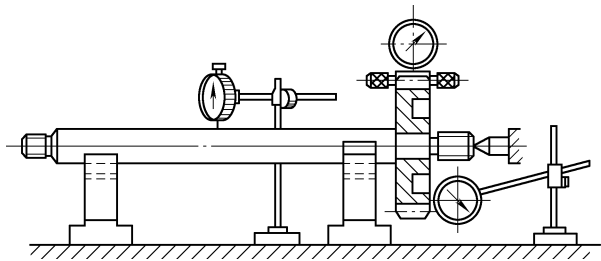


图 2-6-41 齿轮径向跳动检查

检查轴向圆跳动如图 2-6-42 所示，测量时应注意将百分表测杆与端面垂直，测量点应按规定要求尽量靠近齿轮外端。当测定的摆动量超过要求时，就要根据摆动情况检查其原因，有时可将齿轮变换某一个角度后压入，或对配合面进行修整。

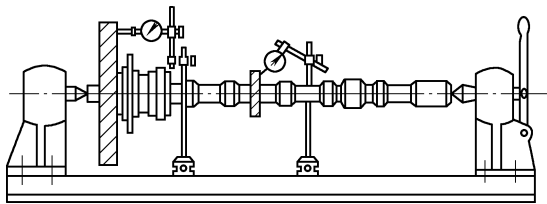


图 2-6-42 齿轮轴向圆跳动的检查

(4) 装有齿轮的轴组件在箱体上的安装 一对相互啮合的齿轮，轮、轴的轴线必须处在一个平面内，互相平行，并且保持适当的中心距。要达到这个要求，必须对箱体孔进行精加工，使加工后两孔轴线位置和中心距符合要求。

装配后，转动齿轮应没有咬住或阻滞现象，变换机构应保持准确的定位。

检查齿轮轴中心距的方法，可用普通量具或专用工具进行。图 2-6-43 所示为用游标卡尺和内径百分表检验齿轮中心距的方法。

(5) 齿轮传动机构装配质量的检验 齿轮传动机构装配后，必须要有良好的啮合质量。啮合质量的检验有侧隙的检验和接触斑点的检验。

测量侧隙一般采用压铅法，即将铅丝（熔丝）或铅片放在轮齿间，旋转齿轮后，对压扁的铅丝或铅片用千分尺进行测量，其厚度的测得值即为齿轮的侧隙；也可用塞尺直接进行测量。齿轮传动侧隙的偏差应符合表 2-6-2 所规定的数值。

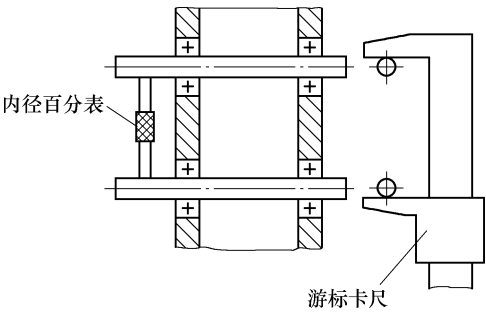


图 2-6-43 用游标卡尺和内径百分表  
检验齿轮中心距的方法

表 2-6-2 齿轮传动侧隙的偏差

偏差/ $\mu\text{m}$ 配合公差 带代号	中心距/ $\text{mm}$									
	$\leq 50$	$> 50$ $\sim 80$	$> 80$ $\sim 120$	$> 120$ $\sim 200$	$> 200$ $\sim 320$	$> 320$ $\sim 500$	$> 500$ $\sim 800$	$> 800$ $\sim 1250$	$> 1250$ $\sim 2000$	$> 2000$ $\sim 3150$ $\sim 5000$
H7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G7	42	52	65	85	105	130	170	210	260	360
F8	85	105	130	170	210	260	340	420	530	710
D8	170	210	260	340	420	530	670	850	1060	1400

精确的测量方法可采用图 2-6-44 所示的装置，将一个齿轮固定，在另一个齿轮上装有夹紧杆 1，由于侧隙的存在，装有夹紧杆的齿轮便可以摆动一个角度，从而推动百分表 2 的测头，得到表针摆动的读数为  $C$ 。根据节圆半径  $R$ 、指针长度  $L$ ，即可按下式求得侧隙  $C_n$  的值（式中  $C$ 、 $R$ 、 $L$  的单位均为  $\text{mm}$ ）。即

$$C_n = CR/L$$

相互啮合的两齿轮的接触斑点，是用涂色法来检验的。轮齿上印痕（接触斑点）的分布面积为：在齿高上一般为总面积的 30% ~ 50%，在齿宽上一般为总面积的 40% ~ 70%（依齿轮的精度而定），如图 2-6-45 所示。通过涂色检验，还可以判断装配时产生误差的原因。

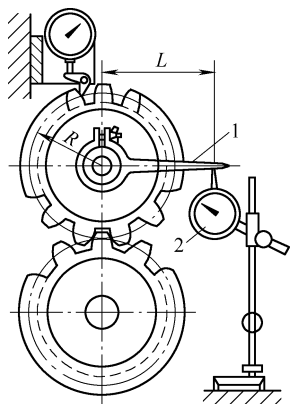


图 2-6-44 检查齿轮啮合中的侧隙

1—夹紧杆 2—百分表

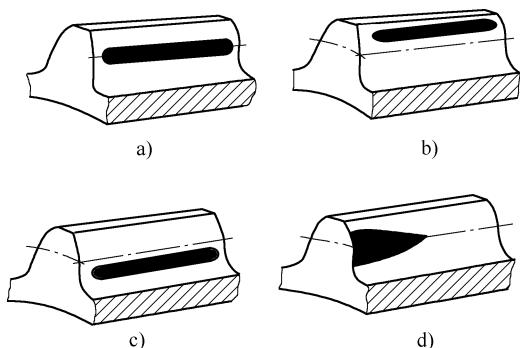


图 2-6-45 用涂色法检查齿轮啮合情况

a) 正确 b) 中心距太大 c) 中心距太小  
d) 中心线歪斜

当接触斑点的位置正确而面积太小时，还可在齿面上加研磨剂进行研磨，以达到足够的接触面积。

### 三、两轴垂直或交叉传递动力的装配

在机械设计中，通常采用一对锥齿轮实现在同一平面上两垂直轴的传动，用蜗轮、蜗杆实现两轴的交叉传动。

#### 1. 锥齿轮传动机构的装配

对于锥齿轮装配的技术要求是：安装一对啮合锥齿轮轴的箱体，孔中心线应在同一平面内，按照要求的角度交于固定点上，两轮中心线的夹角不得超过规定的偏差，这项精度要求应该在箱体加工中得以保证。装配前为了验证箱体孔中心线相互位置的正确性，可采用图 2-6-46 所示的专用工具，即用检棒 1 和检棒 2 检查两孔轴线是否在同一平面内相交，如果两孔加工正确，检棒 1 就能通过检棒 2 的孔（检棒 1 和检棒 2 的制造精度误差，可以忽略不计）。经过上述检查合格后，再进行装配，才能确保装配质量。如两孔的正确性得不到确认，装配后发现问题还要返工。

图 2-6-47 所示为锥齿轮组件，如果装配的两孔轴线正确，就只需要调整齿轮的啮合，即调整锥齿轮 1、2 的轴向位置。锥齿轮 1 的轴向位置可通过调整垫片的尺寸进行，锥齿轮 2 的则需移动固定圈的位置。调好后，根据固定圈的位置在轴上配钻固定孔，用螺钉或销钉固定，此组件装配完毕。

锥齿轮之间啮合情况和其位置正确与否的辨别方法是着色法，即在主动轮齿面上均匀涂上一层显示剂，并来回转动，使主动轮上的显示剂印染到从动轮上，视其齿面的显示情况，可以判别出误差的类型，并有针对性地加以调整。根据显示情况调整如下：图 2-6-48a 所示为从动轮小端显示，说明主动轮靠前，从动轮靠

后, 应按箭头方向调整主动轮后移, 从动轮前移; 图 2-6-48b 所示为从动轮大端显示, 说明主动轮靠后, 从动轮靠前, 应按箭头方向调整主动轮前移, 从动轮后移; 图 2-6-48c 所示印痕为窄长条并接近齿顶, 则说明锥齿轮间隙太大, 应同时调整两个齿轮靠近; 图 2-6-48d 所示印痕仍为窄长条并接近齿根, 则说明间隙太小, 要将两个齿轮同时后移; 图 2-6-48e 所示印痕恰好在中间位置, 则证明装配位置已调整正确, 这表明印痕达到了齿面长  $L$  的  $\frac{2}{3}$ , 两孔轴线在同一平面内并垂直。只有经过上述调整好的锥齿轮传动机构, 运转时磨损才会均匀, 而且噪声小。

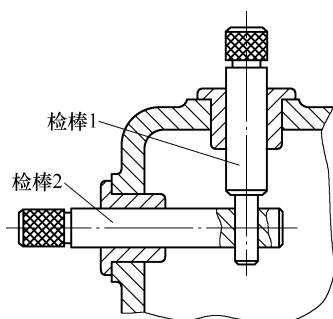


图 2-6-46 检查两孔轴线在同一平面内相交示意图

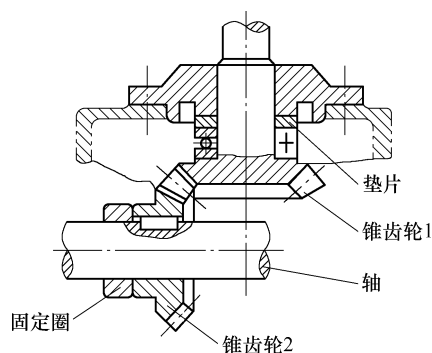


图 2-6-47 锥齿轮组件

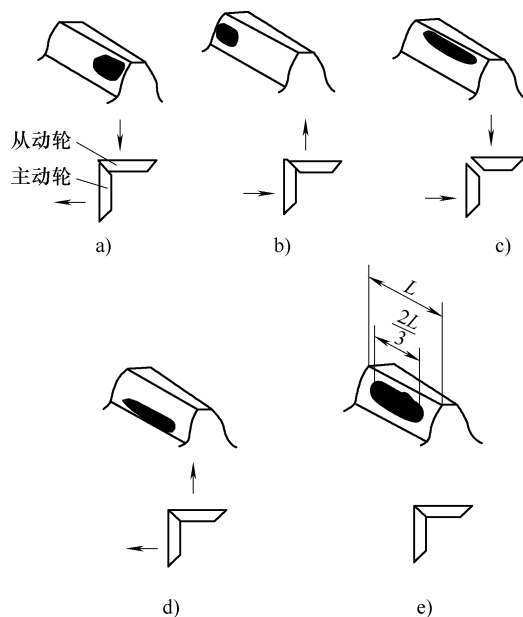


图 2-6-48 用涂色法检查锥齿轮啮合情况

a) 从动轮小端显示 b) 从动轮大端显示 c) 显示印痕为窄长条并接近齿顶 d) 显示印痕为窄长条并接近齿根 e) 显示印痕在中间位置



2. 蜗杆传动机构的装配

机械设计时，为了实现两轴传递空间交角为  $90^\circ$  交叉的运动，通常采用由蜗轮和蜗杆组成蜗杆传动。蜗杆传动通常以蜗杆为主动件。蜗杆传动具有传动结构紧凑，并且有大的降速比，工作平稳，噪声小，可以自锁。其缺点是传动效率低，当蜗杆传动不自锁时效率为  $0.7 \sim 0.97$ ，自锁时效率  $< 0.5$ 。由于效率低，摩擦发热大，因而它不适合高速和大功率传动。一般蜗杆和轴制成一体，而蜗轮的齿圈用较耐磨的锡青铜制成，轮毂用钢或铸铁制成。

蜗杆传动的应用范围很广，可用于分度（如分度头、滚齿机工作台转动机构）及减速和传动（如蜗杆减速器机构），在装配时要区别对待。如主要功能用来分度，则以提高运动精度为主，在提高零件分度精度同时，还需尽量减小蜗杆副之间的间隙，减少机构在运动中的空转角度；如用于减速和传动，则以提高接触精度为主，使蜗杆机构能传递较大的转矩，增强耐磨性能。

装配蜗杆机构的主要技术要求是：保证蜗轮上的圆弧中心与蜗杆的轴线互相垂直，蜗杆和蜗轮的中心距要准确，并要求有适当的啮合间隙和正确的啮合接触面。其调整方法是：在蜗杆上均匀涂一层显示剂，转动蜗杆，按蜗轮上的接触斑点来判断啮合质量。图 2-6-49a、b 所示为蜗轮、蜗杆两轴线不在同一平面内的情况，如蜗杆位置已固定，则可按箭头方向调整蜗轮的轴向位置，使之达到图 2-6-49c 所示的要求。

齿侧间隙的检验：蜗杆与蜗轮啮合时的侧隙不得超过表 2-6-3 的规定。

表 2-6-3 蜗杆与蜗轮啮合时的侧隙

中心距/mm	> 40 ~ 80	> 80 ~ 160	> 160 ~ 320	> 320 ~ 600
侧隙/ $\mu\text{m}$	95	130	190	260

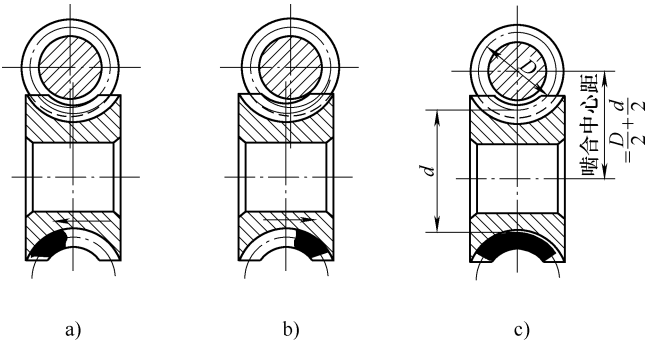


图 2-6-49 蜗轮、蜗杆两轴线在同一平面上显示图  
a)、b) 不在同一平面内 c) 在同一平面内

蜗轮、蜗杆装配后，还要检查它的运转灵活性，即当蜗轮停止在任何位置上，

转动蜗杆的转矩都应一致，均不应有咬住现象。

## 第八节 部件装配

一台机器是由若干个零件、部件组装而成的。部件基本是按设计图样所划分的，部件装配就是按要求将一些相对独立的零件、组件装配成一个整体，并使其达到相应的技术要求。部件装配是总装配的基础，这一工序进行得好与坏，会直接影响到总装配的进行和机器质量。部件装配产生的质量问题一旦带到总装配，轻则无法正常连接，重则使整台机器的精度无法调试出来。受多种原因干扰，有时一个部件存在的问题在整体试车还不容易被查出，因而会造成整个装配的返工。一些有质量问题的部件可能还会装在机床内部，拆卸此部件要牵动其他相关零件，使总装配时间增加。更严重的是，某些部件的质量问题可能在机器使用时才发现，以致造成事故。综上所述，部件装配一定要保证质量。

### 一、零件装配前的准备

#### 1. 零件的清洗

清洗是装配前的首项工作。清洗的目的是：避免杂质进入机械的安装部位。杂质进入安装的固定表面，会影响零件的定位精度。杂质进入运动表面，会研伤摩擦副，这种研伤会迅速扩大，使机床精度完全丧失以致无法工作。杂质一旦研伤用于液压、气压传动的零件，会造成密封失灵，机器无法正常工作。清洗工作主要是清洗零件表面的防锈油、灰尘、切屑、锈迹等对机械有害的污物，对于润滑、液压、气动等件的清洗要更加彻底。擦拭清洗后的零件表面一定要用专用的清洁纸或清洁布。因为零件不清洁造成装配质量问题屡见不鲜，一定要引起高度重视。

#### 2. 零件的整形

主要是去除零件的飞边和碰撞的印痕等。去除零件的飞边和碰撞的印痕的原因：

- 1) 飞边会在装配过程中对操作者造成危害。
- 2) 飞边和碰撞的印痕会影响定位精度和运动精度，而且飞边一旦脱落下来，会起到杂质的作用。

#### 3. 装配零件的补充加工

补充加工包括配划、钻孔、铰孔、攻螺纹等。

为了减少零件某些部位的加工难度，对于一些孔较多、安装位置不易确定，或装配过程中两件位置要求很高，加工不易保证位置精度的零件（如销钉孔等），需要配划、配钻、配铰等配作加工。如减速器箱体与上盖的安装孔较多，为了减小箱体与上盖连接螺钉孔的加工难度，箱体与箱盖孔可以采用配钻方法。配钻方

法是：将箱盖放在箱体上，待位置确定后，按照箱盖孔位置用划针划出箱体螺孔位置线，在勾画圆的中心打上样冲孔，钻孔攻螺纹孔。在批量生产中，最好做一个与箱盖光孔等径的样冲，以箱盖孔为导向将孔直接冲出。然后钻孔、攻螺纹、清洗孔，配作孔工序结束。在有条件的情况下，孔应尽可能在装配前加工完成（减少装配时配作工作量）。在装配中，如一部分孔确实需要配作，但要采取保护措施，不要让切屑进入装配体内。如有少量切屑进入，一定要清洗干净后才能进入总装配。

## 二、零件的预装配

为了保证装配工作的正常进行，某些相配零件应先预装（试装），发现问题后拆下来，经过修配、刮削、调整等工作，确认无误后再进行部件装配。对于有些较复杂或在装配过程中易出现问题的零件都要试装。如一些装配箱体內的轴类零件组件，上面有齿轮、蜗轮、键等零件，如不经试装，在箱体部件装配过程中，一旦某零件装不上，由于内部空间狭小不易操作，只能全部拆下来重装。因此只有通过试装后，部件装配时才能确定零件与零件之间能否正确装配。

## 三、组件装配

部件又可以划分为组件，组件是由几个零件组成的，它可作为一个独立的单元体装入部件中。组件装配、调整后，经检查无误后便可进入部件装配。

## 四、部件组装及调试

部件由多种零件组合而成，组装后，这些零件按照要求连接成部件，这些装配后的零件只有经过正确的定位和（零件之间的间隙和位置）调整，才能满足部件的各项技术要求。部件装配后还要进行各种试验，对于减速器来说要进行空转实验。一些部件要进行动、静平衡试验。对于液压、气压部件，还要进行要求的压力密封试验。

部件经装配试验后，要做好部件试验记录。与其他零件有选配要求的做好选配标记。涂上防锈油，即可转入总装配。

# 第九节 总 装 配

将预先装好的部件、组件和一些零件结合成为完整产品的过程，称为总装配。

## 一、总装配的任务

零件经过补充加工，装配成组件、部件后，即可进入总装配。总装配的任务包括部件与部件的连接，零件与部件的连接，以及在连接过程中，部件与部件相

对位置的校正、部件与基面（床身或机座等的导轨）相对位置的调整和校正等。校正的方法，则是利用床身或机座等基面与部件本身的轴、孔，或者通过专用的工艺装备，借助于各部件间的调整面（即允许修刮的面）来进行，以此达到总装配的预期要求。在各部件相对位置确定以后，进行钻孔、攻螺纹、铰销孔及总体性连接和装配工作。

## 二、总装配的组织形式

根据产品的复杂程度和批量，总装配的组织形式一般分为以下两种。

### 1. 分组法

分组法是指对所组装的产品，从总装配、调整、空运转试验、载荷试验、校验精度，直至成品为止，完全由一个装配小组负责到底。此种组织形式当装配工作量较大时，装配周期较长，影响装配场地的周转，并且每个作业小组都需要配置一套工艺装备，很不经济。因此，分组法常用于单件、小批量生产中。

### 2. 分工序法

分工序法又称流水作业法，由几个人组成一个小组专门装配该产品的某一工序（包括几个部件），各工序间又按照工艺过程组成流水作业线。分工序法对大型、复杂设备及大规模生产作业。这种组织形式进度快，周期短，并且可减少工艺装备的需要，具有一定的优越性。

分工序法是一种比较完善的生产组织形式，有利于采用机械化、自动化的输送方式。

## 三、总装对基础的要求

因为总装的设备有自重，且要进行空转及载荷试验，因此，用于总装的地面基础必须结实牢固（地面基础不牢，水平不易调出，即使勉强调出也不会稳定，对后序整体调试产生影响）。一般可用调整垫铁来支承被装配的机座，以便于调整机座的安装水平。

## 四、总装配的步骤

1) 熟悉图样和相关的技术文件，了解产品的结构与使用性能，确定总装配的工艺过程。

2) 检查零件与装配有关要素的形状和尺寸精度是否合格。

3) 确定基准。由于所有零部件的装配位置和几何精度均以此为基准，所以基准应该是较好的基准件，并具有稳定的基准要素。

4) 总装配。进行总装配的原则与部件相似，先内后外，先下后上，先难后易，先重大后轻小，先精密后一般。

5) 调整试验。检查各连接的可靠性和运转灵活性。

## 五、总装配与电气装配的关系

在机器总装配过程中，应同时考虑到与电气的装配关系。因为有些电气控制元件和控制线路是装配在各个部件内部的，且有些线路往往经过这个部件而控制另外的部件。所以，必须相互关照，避免返工。

## 六、总装配后的调试与检验

调整的目的在于查明机器各部分的互相作用及各机构工作的协调性。试验是用来确定机器工作的正确性和可靠性。

调试工作包括以下范围：

1) 检查总装后的机器基础，使机座安装水平。如工作台是沿导轨移动的，要在两端极限位置上检查。

2) 检查总装后，要在滑动和旋转部分加润滑油，以防运转时出现拉毛、咬住或烧毁的危险。

3) 机器设备的调试应与机床电气的调试互相配合。

4) 按照设计规范调整，使各项运动的动作协调，能很好配合，无噪声等，达到规定值。

5) 最后，严格按照技术要求进行逐项检查工作。

6) 机器空运转试验。试验前，操作者和检验人员应对装配好的机器进行复查，当确认没有问题后，才能进行试验（如有可能，可采用手工盘车，避免因有问题而撞坏机器）。此时，应在所有用润滑油的部位加油，要注意所加油的牌号。

空转试验是检查机器各部分作用的，并使摩擦表面互磨。开始时应用较慢的速度转动，试验时应注意机器的传动、机器的各个部分摩擦表面的情况、润滑系统的工作等。同时，也不应让油从连接部位和油封中流出，特别要注意轴承的工作情况和温度。温度过高时，应立即停车，消除故障后再行试验。当机器运转时发现不正常的声音，也应立即停车检查。消除故障后，再继续进行空转试验。以后，逐渐增加机器的运转速度，并注意机器所有各部分的工作。空运转试验继续到机器各部分的工作已经正常时为止。

7) 机器的载荷试验。载荷试验主要是考核机器设备的承受能力能否达到设计要求，并检查机器主要零件材料的选择、加工和热处理工艺是否正确等。如果零件材料选择不恰当，设计的刚性和强度太差，则在载荷试验时，就会使零件破坏、机器变形而影响精度。当试验时发现小的问题，要对机器进行修理。修理后再进行第二次试验，直至载荷试验合格为止。

8) 机器的超载试验。为了防止机器设备在工作中突然发生故障和出现短时的超载而导致损坏，在设计时都加有一定的保险系数。这种保险系数是根据机器设备的使用情况和可能发生的故障而确定的。超载试验实际上就是检验保险系数

是否可靠，但必须限制在短时间内进行。

9) 总装配后的整理工作。机器在经过总装、调试、空转、载荷试验以后，即进入结尾整理阶段，包括各种门、盖、罩和标示牌的安装及表面修饰等。

机器外表面的修饰，就是在不加工表面涂漆，加工表面要上防锈油等。目的是防止机器表面锈蚀，使机器外表美观。

以上工序结束后，经检查部门检验合格，同意出厂时，才能装箱出厂，有些机器还有附件或备件，在装箱时要一并装入。

## 第十节 旋转件的平衡

### 一、平衡的基本概念

一台机器上有很多旋转的零件或部件，如带轮、砂轮、曲轴以及电机转子等，由于材料组织不均匀、形状不对称、装配误差及结构形状局部的不对称（如键槽）等原因，在其径向各截面上或多或少地存在一些不平衡量。此不平衡量由于与旋转中心之间有一定的距离，因此当旋转件转动时，不平衡量便要产生离心力，其离心力大小与不平衡量、不平衡量距旋转中心之间的径向距离，以及转速的平方成正比。即

$$F = mr \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2$$

式中  $F$ ——离心力 (N)；

$m$ ——不平衡量 (kg)；

$r$ ——不平衡量与旋转中心之间的径向距离 (m)；

$n$ ——转速 (r/min)。

例如，有一个直径为 400mm 的叶轮，在离旋转中心 0.15m 的径向位置有 0.06kg 的不平衡量，如果此件以  $n = 2800$  r/min 的转速旋转，则产生的离心力为

$$F = mr \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 = 0.06 \times 0.15 \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 \text{ N} = 773 \text{ N}$$

旋转件因不平衡产生的离心力，其方向随物体的旋转而不断周期性地改变，因而，旋转件的旋转中心位置也要不断发生变化，这就是产生振动的最基本原因。

因此，为保证机器的运转精度，凡转速较高或直径较大的旋转件，即使其几何形状完全对称（因为内部组织不均匀），也最好在装配前进行平衡试验，并达到要求的平衡精度。

旋转件不平衡的种类可归纳为以下两种。

#### 1. 静不平衡

旋转件上有不平衡量，该不平衡量所产生的离心力，或几个不平衡量所产生



的离心力合力，通过旋转件的质心，它不会使旋转件旋转时产生轴线倾斜的力矩，这种不平衡称为静不平衡。

静不平衡的旋转件在自然静止时，其不平衡量在重力作用下会处于铅垂线下方。在旋转时，其不平衡离心力使旋转件产生垂直于旋转轴线方向的振动。

## 2. 动不平衡

旋转件上的各不平衡量所产生的离心力，如果形成力偶，则旋转件在旋转时不仅会产生垂直于旋转轴线方向的振动，而且还要使旋转轴线产生倾斜的振动，这种不平衡称为动不平衡。动不平衡的旋转件一般都同时存在静不平衡。

旋转件上不平衡量分布是复杂和无规律的，但它们最终产生的影响，总是属于静不平衡或动不平衡两种。

## 二、静平衡

旋转件的静不平衡可以用静平衡方法来解决。静平衡只能平衡旋转件质心的不平衡，而不能消除不平衡力偶。因此，静平衡一般仅适用于长径比较小（如盘状旋转件）或长径比虽比较大而转速不高的旋转件。

静平衡方法的实质在于确定旋转件上不平衡量的大小和位置。

### 1. 静平衡的一般方法

1) 将待平衡的旋转零件装上专用心轴后放在平衡支架上。平衡支架的支承导轨常采用圆柱形或窄棱形，如图 2-6-50 所示。支承面一般采用淬火件，保证支承面坚硬、光滑，并有较高的直线度和平行度，将两个支承面准确调至水平，以使旋转件在其上有较高的灵敏度。

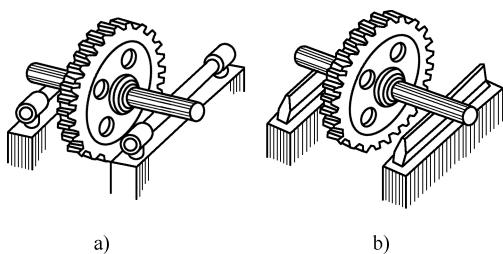


图 2-6-50 静平衡装置

a) 圆柱形平衡架 b) 窄棱形平衡架

2) 用手推动一下旋转件使其缓慢滚动，待自然静止后，在它的正下方作一记号。重复转动若干次，若每次自然静止后，原来记号的位置保持不变，说明测量比较准确，记号位置就是不平衡量的所在处。

3) 在记号位置的相对部位，粘上一定质量的橡皮泥（黑色金属可用吸铁石），使橡皮泥（或吸铁石）的质量  $m$  对旋转中心产生的力矩，恰好等于不平衡量  $m'$  对



旋转中心产生的力矩，即  $mr = m'l$ ，如图 2-6-51b 所示，此时旋转件便获得了静平衡。

4) 去掉橡皮泥或吸铁石，测出其质量，然后在不平衡位置去除适当的材料（其质量要按力矩平衡原理算出），直至旋转件在任意角度都能自然地静止不动，静平衡便告完成。

## 2. 对静平衡的要求

为了使静平衡工艺准确，旋转件装上心轴后，其转动的灵敏度是很关键的，太低不可能获得较高的静平衡精度。因此，对平衡支架和心轴都有较高的要求，平衡支架的支承面（圆柱面或棱形面）必须坚硬（50 ~ 60HRC）、光滑（表面粗糙度小于  $Ra0.4\mu\text{m}$ ）和具有较好的直线度（不大于  $0.005\text{mm}$ ）。两个支承面在水平面内必须相互平行（平行度误差不大于  $1\text{mm}$ ），并严格找正至水平位置（水平度不大于  $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$ ，最好带载荷测量）。专用心轴本身具有较好的平衡精度，心轴的直线度和圆柱面的表面粗糙度都应有较良好的质量。

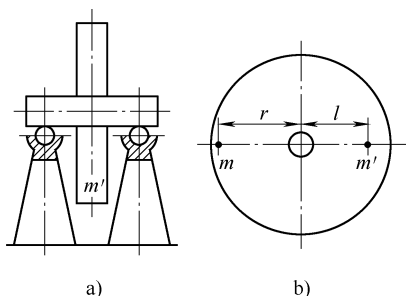


图 2-6-51 旋转件的静平衡

## 三、动平衡

对长径比较大的旋转件，动不平衡问题往往较普遍和突出，所以要进行动平衡。由于动平衡是在旋转状态下进行的，较小的不平衡量可反映出较大的离心力，因此高速旋转的盘状零件，经过动平衡可获得较高的平衡精度。而如果只进行静平衡，则由于灵敏度受限，微小的剩余不平衡量，在高速旋转时仍会产生较大的离心力而达不到要求的平衡精度。

由此可见，动平衡转速的高低对于平衡的精度也有一定影响。所以，有些转速和要求不高的旋转件，只需作低速动平衡即可；而转速较高的旋转件则必须作高速动平衡。

为了防止动平衡时，因不平衡量过大而产生剧烈的振动，在低速动平衡前一般都要先经过静平衡；而在高速动平衡前要先作低速动平衡。

低速动平衡的平衡转速较低，通常为  $150 \sim 500\text{r/min}$ ；而高速动平衡的平衡转速则较高，通常要在旋转件的工作转速下进行平衡。

动平衡在动平衡机上进行，动平衡机有框架式平衡机、弹性支梁平衡机、电子平衡机和动平衡仪。旋转件在旋转时，使动平衡机的支承（或轴承座）产生振动，依靠测振仪器测出振动的幅值和相位，再通过一定的计算，便可进行平衡工作。

## 第三篇 操作规范

### 第一章

## 通用钳工规范

生产设备是装配钳工工作的工具，会使用、会维护即可得以有效的利用，并可延长其使用寿命，同时还可避免人身和设备事故的发生。

本章从装配钳工常用设备的操作规程入手，首先介绍了钻床、电动工具、砂轮机、起重机等工具和设备的使用，这些都属于基础内容，应该熟练掌握；然后介绍了装配钳工常用设备的构造、使用与保养，这部分内容需要学员在实践中掌握。随着科学技术的不断发展，设备的先进性、自动化程度会大大提高，设备维护的标准也将发生变化。

### 第一节 装配钳工常用设备的操作规程

培养目标 掌握装配钳工常用设备的操作规程。

#### 一、钻床操作规程

##### 1. 钻孔

1) 钻孔时严禁戴手套，袖口应扎紧，女工应戴工作帽。操作者手中不能拿棉纱等纺织、编织物，以免不小心被切屑或钻头钩住发生人身事故。

2) 钻孔时不准用手和抹布清除切屑，也不能用嘴吹来清除切屑，必须用毛刷清除。对带状切屑应用钩子钩断或及时断掉切屑，并尽量在停车时清除。

3) 工作时，操作者的头部不得与旋转的主轴靠得太近，以免发生危险。停车时应让主轴自然停止，不可用手制动，也不能用反转制动。

4) 钻孔时工件一定要夹紧，特别是在体积较小的工件上钻较大直径的孔时，装夹必须牢固。

5) 钻头应锋利，钻孔时进给力应适当。尤其在钻削通孔时，当孔即将钻通

时，应减小进给力，以防进给量突然增加而发生工件甩出等事故。

6) 严禁在开车状态下装拆工件。检验工件和变换主轴转速均应在停车状态下进行。

7) 清扫钻床或加注润滑油时，必须切断电源。

8) 调整进给速度必须在停车时进行。自动进给时应根据钻头的直径、工件材料的种类调整好进给速度，并固定好行程限位块。

9) 钻床工作时操作者严禁离开，特别是采用机动进给时，以防止超过行程而造成设备事故。

10) 拆卸钻头过渡锥套时，应使用标准楔铁，严禁用锤子、铁棒等乱砸乱撬，防止损坏主轴。

11) 使用摇臂钻床时，摇臂下降时必须使钻头离开工件和工作台面，操作者注意力应当集中，慎重操作，防止设备动作失灵、下滑导致操作失误而撞坏设备。切忌钻孔时升降主轴箱。

12) 当钻孔直径接近摇臂钻床的最大极限时，工件应靠近立柱侧装夹，且应在工件夹紧状态下工作。

## 2. 夹持工件

1) 在薄板上或在较小工件上钻孔，直径超过 8mm 时，必须用台虎钳或小型机用虎钳等夹持工件，不可直接用手握住工件钻孔（图 3-1-1a）。

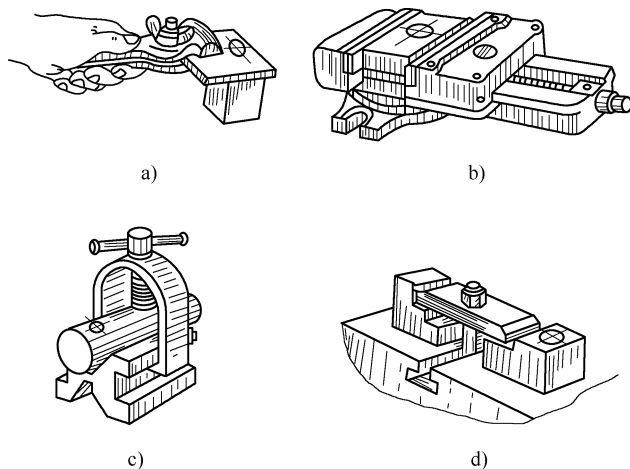


图 3-1-1 夹持工件的方法

2) 在较长工件上钻孔时，虽然可用手握住，但最好在钻床工作台上加装固定螺钉挡靠工件，这样比较安全可靠。

3) 在平整的工件上钻孔，一般把工件夹在机用虎钳上（图 3-1-1b）。装夹时，应使工件表面与钻头垂直。如钻孔直径较大时，机用虎钳应用螺栓、压板固定在

钻床工作台上。用机用虎钳夹持工件钻通孔时，工件底部应垫上垫铁，空出钻孔部位，以免钻坏机用虎钳。

4) 在圆柱形工件上钻孔，应将工件放在 V 形块上（图 3-1-1c），以免工件转动。装夹时应使钻头轴线与 V 形块两斜面的对称平面重合，保证钻出孔的中心线通过工件的轴线。

5) 钻大孔或不使用机用虎钳夹持的工件，可用压板、螺栓和垫铁将其固定在钻床工作台上（图 3-1-1d）。这时应注意：

① 垫铁应尽量靠近工件，以减小压板的弯曲变形。

② 垫铁应稍高于工件的被压紧表面，但不能低于工件的被压紧表面，否则，工件被压紧后压板与工件的着力点将在工件的边缘处，当只用一块压板压紧工件时，工件就会翘起；而垫铁稍高时，即使压板略有弯曲变形，仍能保证压紧的着力点不偏在工件的边缘处，工件才不会翘起。

③ 螺栓应尽量靠近工件，这样可使工件上获得较大的压紧力，并能避免工件在夹紧过程中移动。

④ 如工件的压紧表面已经过精加工，则应垫上铜皮等物以防被压板压出印痕；严禁用布料等纺织、编织物垫在已加工表面，以免被切屑钩住发生事故。

### 3. 钻头安装的注意事项

直柄钻头用钻夹头夹持，其夹持长度不能小于 15mm，否则钻头在钻孔时受扭转力矩作用易发生歪斜和脱落。锥柄钻头用柄部的莫氏锥体直接与钻床主轴套筒连接，连接时必须将钻头锥柄及主轴锥孔擦干净，且使锥柄的扁尾与主轴上的腰形孔方向相对，利用加速冲力一次装接。当钻头锥柄小于主轴锥孔时，可以加过渡套来连接。要保证钻头在钻床主轴上连接牢固，且在旋转时径向圆跳动（用于几何公差时）量最小。

### 4. 起钻后钻孔位置偏移必须校正

钻孔前，孔中心的样冲眼不能打得太小，否则钻头横刃在起钻时不能预先落入样冲眼的锥孔中，钻孔时，钻头就会偏离中心。起钻时，先使钻头对准钻孔中心钻出一浅锥坑，用目测方法检查起钻浅锥坑与划线圆的同轴度，并要不断进行校正。如孔位偏移较多，可以反方向校正样冲眼或用油槽铰在钻出的浅锥坑上铰出几条槽，以减小此处的切削阻力，使钻头偏过来达到校正目的（图 3-1-2）。

校正过程必须在起钻锥坑的直径小于钻头直径前完成，这是保证达到钻孔位置精度的重要一环。如果起钻锥坑的直径已达到孔径，而孔位仍有偏移，这时再校正就困难了，会导致孔的位置误差增大并影响装配精度。

采用手动进给时，进给力不应过大，否则将使钻头产生弯曲变形（钻细长孔时尤为突出）而导致钻孔轴线歪斜现象（图 3-1-3）。钻孔轴线歪斜将直接影响孔的形状、位置精度及装配质量。同时也会产生危险，如钻头折断、工件飞离等。

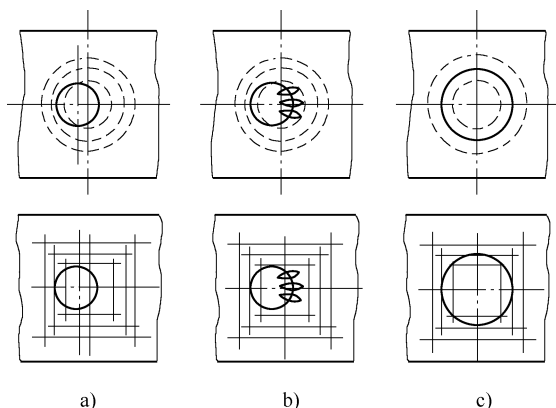


图 3-1-2 用镗削槽口来校正起钻偏位的孔

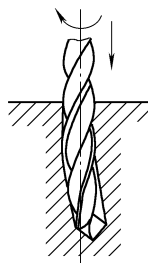


图 3-1-3 钻孔时轴线歪斜

## 二、手电钻操作规程

- 1) 根据不同的孔径合理选用手电钻，并要注意保护接地或保护接零。
- 2) 手电钻使用前应先空运转，检查传动部分运转声音及旋向是否正常。使用手电钻时，用力要均匀，应精力集中控制压力。压力要合适，同时要保持钻头轴线与加工表面垂直。将要钻透时应减小压力，防止用力过大，钻头突然受阻时在反作用力作用下扭伤手腕。当钻头在孔中停转后，重新启动时也应注意类似问题。
- 3) 不要超载使用手电钻。当钻头直径接近或等于手电钻最大工作能力时，对手电钻施力应适当减小，防止过载损坏手电钻。
- 4) 不要用手电钻代替电动扳手紧固螺栓。由于手电钻转速高，螺栓紧固后，突然受阻时，反作用力容易使手腕扭伤。
- 5) 手电钻应经常清除灰尘和油污并保证通风。手电钻不得在易燃、易爆的条件下工作，不能在潮湿和有腐蚀气体的环境中存放。手电钻不要乱拖、乱丢，以防损坏。
- 6) 新手电钻或长期存放的手电钻在使用前应测定绝缘电阻，电阻值必须超过  $0.5\text{M}\Omega$ ，否则应进行干燥处理。

## 三、电动工具操作规程

- 1) 禁止私自乱接手持电动工具电源线。当需要使用电动工具时应由电工接线，并检验金属外壳是否带电，应有安全接地，最好有安全防护插座。
- 2) 禁止使用电源线破损的电动工具。使用中应注意保护电源线，禁止乱拖拽，严防重物、车轮等碾轧电源线破坏绝缘，造成触电、短路等事故。
- 3) 禁止在无绝缘保护措施的情况下使用电动工具。特别是在比较潮湿的环境操作时更应注意穿好绝缘鞋，戴好绝缘手套，站在绝缘橡胶垫或干燥的木板上工

作，防止触电。

4) 禁止使用零地共用线电动工具。当电源线受到拖拽或零线接触不好时，电动工具金属表面将产生电压造成触电事故。

#### 四、砂轮机操作规程

砂轮机是钳工工作场地的常用设备，由电动机、砂轮机座、托架和防护罩等部分组成，主要用来刃磨錾子、钻头和刮刀等刀具或其他工具，也可用来磨去工件或材料的飞边、锐边，毛坯件表面的硬皮等。砂轮机也是较易发生安全事故的设备，砂轮较脆，转速又很高，因此，使用砂轮机要严格按照操作规程进行工作，以防出现安全事故。

1) 使用砂轮机时，开动前应首先认真查验砂轮片与防护罩之间有无杂物，砂轮片是否有撞击痕迹或破损。确认无任何问题时再起动砂轮机，砂轮机启动后，应在砂轮旋转平稳后再进行磨削。若砂轮跳动明显，应及时停机修整。

2) 砂轮机托架和砂轮之间的距离应保持在 3mm 以内，以防工件扎入造成事故。过大时应进行调整后方可使用。磨削工件或刀具时，不能用力过猛。

3) 不要在砂轮机上磨铝、铜等软金属和木料。砂轮磨损超过极限时，禁止使用。

4) 磨削时，操作者应站立在砂轮机的侧面或斜侧面位置，以防砂轮碎裂飞出伤人。

5) 不要使用不合格的砂轮片。更换砂轮片时应参照磨工的安全操作规程，禁止使用有裂纹、有破损的砂轮片。

6) 安装砂轮片时夹板不要直接与砂轮片接触，两夹板与砂轮片间应加纸板垫，且不应失圆，转动要平稳。

7) 使用砂轮机时必须戴防护眼镜。

#### 五、手砂轮机操作规程

1) 不要使用无安全防护罩和无良好接地线的手砂轮机。使用前必须认真仔细检查砂轮片有无撞伤及裂纹，金属外壳是否带电，电源线是否完好，如有破损应进行修理。使用手砂轮机应首先进行空转试验，确认转向无误后方可使用。

2) 使用手砂轮机时精力必须集中。起动砂轮前应握紧手砂轮机壳体，切忌砂轮紧贴地面或工件，防止手砂轮机开动时由于反作用力沿地面或工件滚动，脱手使砂轮飞出，造成事故。正在转动的手砂轮机不准随意放在地面或工件上，必须待砂轮完全停稳后，放在指定的安全地方。暂时不用时必须关闭电源。

3) 不要使用砂轮侧面磨削工件，使用手砂轮机时，要用砂轮正面，必须拿稳砂轮机，并应缓慢接触工件，禁止撞击或猛压。操作时周围最好不站人，操作者不准把身体正对砂轮，要戴好防护眼镜及必要的防护用品。



4) 不要使用有破损迹象的砂轮, 无手动开关的手砂轮机不得使用。由于手砂轮机转速高, 砂轮强度低, 容易碎裂, 安装砂轮片时配合要适当, 用扳手紧固螺母时松紧要适当。

5) 手砂轮机要放在干燥处, 切忌放在潮湿和可能接触到水的地方, 以防止破坏内绝缘。

## 六、装配过程中的起重规程

钳工在装配过程中, 对一些较重的零件或部件, 应采用起重设备, 以减轻操作者的劳动强度, 提高工作效率, 保障生产安全。

### 1. 千斤顶操作规程

千斤顶适用于升降高度不大的重物以及重物的移动等。常用的有螺旋千斤顶、齿条千斤顶和液压千斤顶等。使用千斤顶时应遵守下列规程;

1) 千斤顶应垂直地安置在重物下面, 工作地面应坚实平坦, 以防止陷入和倾斜。

2) 用齿条千斤顶工作时, 止退棘爪必须紧贴棘轮。

3) 液压千斤顶工作时, 调节螺杆不得旋出过长, 尽量避免全部旋出螺杆, 主活塞的行程不得超过极限高度标志。

4) 重物不得超过千斤顶的负载能力, 保证安全使用。

5) 使用千斤顶时地基要坚实, 安放必须平稳, 缓速顶升, 随垫随顶, 多台千斤顶同时升降重物时要有专人统一指挥, 尽量保持几个千斤顶的升降速度和高度一致, 以免重物产生倾斜。要稳起稳放以免发生事故。

### 2. 起重机操作规程

1) 禁止使用挂钩、链条、制动等装置有缺陷和隐患的手动葫芦。用手动葫芦起吊工件、重物时, 吊挂葫芦的构架必须牢固可靠。

2) 禁止超负荷使用手动葫芦勉强起吊重物。应根据重物的大小、自来选择手动葫芦进行起吊。

3) 禁止将重物在半空中长时间悬挂, 吊物下禁止人员通过或逗留。起重物件时, 必须捆绑牢固, 绳索应在允许负荷范围内使用, 当绳索经过比较锐利的棱角处时应加垫软物, 以防绳索过度磨损而断开, 当用两个以上葫芦同时起吊同一物件时, 必须有专人指挥, 起吊或放下时应缓慢进行。

4) 起吊重物时, 严禁匆忙起吊, 应先检查捆绑是否牢固, 质心是否合理。然后起吊 0.5m, 经检查确认稳妥后方可起吊。

5) 设备安装时应合理吊运, 根据设备自重选择绳索的长度、粗细, 应先起吊 0.5m 左右高度试选重物质心, 确认后再进行起吊, 严禁不合理吊运, 以免机器变形, 影响设备精度。

6) 禁止使用超过磨钝标准的钢丝绳, 断丝超过规定、接头有破损的钢丝绳也



禁止使用。

7) 使用中的钢丝绳禁止与带电的金属（包括电线、焊机电缆线等）接触，以免烧坏或受热后降低钢丝绳的强度。

8) 禁止钢丝绳超能力起吊重物，钢丝绳的直径必须根据起吊重物的自重合理选择。

9) 使用绞车时，要将其安放在平整及没有障碍物的地方，要利用牢固的地锚或桩锚拉住，固定要可靠，防止磨架受力移动或歪倒。

10) 使用绞车时，跑绳应水平引向导向滑轮，不得直接引向高处。

11) 使用绞车时，跑绳的一端由磨芯上部引出，并让有经验的人拉紧，绳索绕在磨芯上一般为4~6圈。

12) 起重作业时，吊索与物件的水平夹角最好在45°以上，如水平夹角太小，吊索的高度可以降低，但吊索或设备所受的水平力会增加。受力过大容易造成机器变形和强度薄弱时损坏机器。

## 第二节 常用设备的维护、使用与保养

培训目标 能够正确使用钳工常用设备，并进行维护与保养。

### 一、钻床的使用、维护与保养

钻床是一种常用的孔加工机床。在钻床上装夹钻头、扩孔钻、铰钻、铰刀、镗刀、丝锥等刀具，可进行钻孔、扩孔、铰孔、镗孔及攻螺纹等加工。钻床是装配钳工常用的机床之一。

钻床根据其结构和适用范围不同，可分为台式钻床（简称台钻）、立式钻床（简称立钻）和摇臂钻床（简称摇臂钻）三种。

#### 1. 台钻的结构和操作

台钻是一种可放在工作台上使用的小型钻床，最大钻孔直径一般为12mm。台钻主轴最低转速较高，一般不低于400r/min，因此在台钻上不适用于铰孔、铰孔和攻螺纹；台钻常用V带传动，由五级塔形带轮来变换速度。

台钻主轴的进给只有手动进给，而且一般都具有控制钻孔深度的装置，如刻度盘、刻度尺、定程装置等。钻孔后，主轴能在涡卷弹簧的作用下自动复位。

(1) 台钻的结构 Z512型台钻是一种结构简单、装配钳工常用的钻床，如图3-1-4所示。

电动机7通过带轮6和V带传动使主轴5可变换几种不同转速。本体8套在立柱12上作上下移动，并可绕立柱中心转到任意位置，调整到适当位置后可用手柄9锁紧。如本体要放低，应先把保险环11调节到适当位置后，用螺钉10锁紧，然后略放松手柄靠本体自重落到保险环上，再把手柄9锁紧。当松开工作台锁紧手柄

13, 工作台 2 也可在立柱 12 上上下下移动, 或绕立柱中心转到任意位置。钻削小工件上的孔时, 可把工件放在工作台上; 当工件较大或较高时, 可把工作台转开后固定, 把工件直接放在钻床底座 1 上进行钻孔。

### (2) 台钻的操作

1) 主轴转速的调整。根据钻头直径和加工材料, 选择合适的转速。转速的调整是通过台钻上部罩壳 4 内一组塔形带轮来实现的。调整时主轴应停止运转, 将罩壳打开, 用手转动带轮, 应先将 V 带往小带轮上挂, 然后再往大带轮上挂, 逐挡将 V 带挂到适当的带轮上为止。

2) 工作台上下、左右位置的调整。用左手托住工作台, 右手松开工作台锁紧手柄

13, 摆动工作台 2 使其向下或向上移动到所需位置, 然后再将工作台锁紧手柄 13 锁紧。

3) 主轴进给位置的调整。主轴进给靠旋转进给手柄 3 来实现。主轴的伸出量不宜过长, 因此, 在钻孔前应先将主轴试升降一下, 检查工件放置高度是否合适(用工作台升降来调整)。

### (3) 台钻的正确使用及维护保养

1) 钻孔时工件要用压板压紧(除在较大工件上钻小孔时可用手握紧外)。当通孔将要钻通时, 要减小进给力, 以防止发生钻头扎刀、工件甩出等事故。

2) 钻孔时, 工作台面上不准放置刀具、量具及其他物品。钻通孔时, 必须使钻头能通过工作台面上的让刀孔(或 T 形槽), 或在工件下面垫上垫块, 以免钻坏工作台面。

3) 工作台面要经常保持清洁, 使用完毕后, 必须将台钻外露的滑动面及工作台面擦干净, 并对各滑动面及各注油孔加注润滑油。

## 2. 立式钻床的构造、使用及维护保养

立式钻床的最大钻孔直径有  $\phi 25\text{mm}$ 、 $\phi 35\text{mm}$ 、 $\phi 40\text{mm}$  和  $\phi 50\text{mm}$  等几种规格。立式钻床可以实现自动进给。主轴转速和自动进给量都有较大的调整范围, 因此适用于各种中型工件的钻孔、扩孔、铰孔、铰孔及攻螺纹等加工。由于它的功率较大、机构也较完善, 所以可获得较高的效率和加工精度。

(1) Z535 型立式钻床的构造和性能 Z535 型立式钻床是目前装配钳工常用的一种钻床, 如图 3-1-5a 所示。

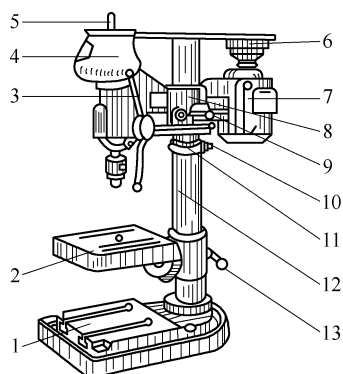


图 3-1-4 Z512 型台钻

- 1—底座 2—工作台 3—进给手柄  
4—罩壳 5—主轴 6—带轮 7—电动机  
8—本体 9—手柄 10—螺钉 11—保险环  
12—立柱 13—工作台锁紧手柄

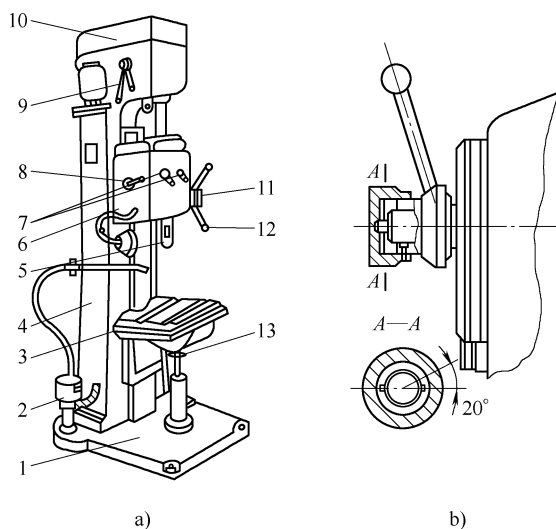


图 3-1-5 Z535 型立式钻床

1—底座 2—液压泵 3—工作台 4—床身 5—主轴 6—进给箱 7—进给手柄  
8—正反转手柄 9—变速手柄 10—主轴箱 11—端盖 12—操纵手柄  
13—工作台升降手柄

床身 4 固定在底座 1 上。主轴箱 10 固定在床身的顶部。进给箱 6 装在床身的垂直导轨上，并可沿垂直导轨上下移动。为使操作方便，床身内装有与主轴自重平衡的重锤。工作台 3 装在床身垂直导轨下部，也可沿垂直导轨上下移动，以适应加工不同高度的工件。

Z535 型立式钻床还装有冷却装置。切削液贮存在底座的空腔内，使用时由液压泵 2 排出。

Z535 型立式钻床的主要性能和规格如下：

最大钻孔直径	$\phi 35\text{mm}$
主轴孔锥度	莫氏 4 号
主轴行程	225mm
主轴转速	68 ~ 1000 r/min
进给量	0.11 ~ 1.6mm/r
工作台行程	325mm
电动机功率	4.5kW

## (2) 立式钻床的操作

1) 主轴转速的调整。根据钻头直径和工件材料，确定主轴转速。转速变换是通过变速手柄 9 来实现的。正反转手柄 8 用来控制主轴 5 的正反转或停止。

2) 工作台升降装置的调整。根据工件钻孔位置的高低，通过安装在工作台下的工作台升降手柄 13，使工作台沿床身上的垂直导轨上下移动进行调整。还有一

种床身为圆柱形的，工作台为圆柱形可沿轴心自转，同时可围绕床身旋转，如图 3-1-6 所示，这样可使工件的钻孔位置便于找正。

3) 主轴进给的调整。主轴的进给有自动进给和手动进给两种。

自动进给时，先将两只进给手柄 7 拨至所需位置以确定所需进给量，然后将端盖 11 向外拉，并相对于手柄顺时针旋转 20°，如图 3-1-5b 所示，使其处于自动进给位置。当主轴旋转时，便能实现自动进给。

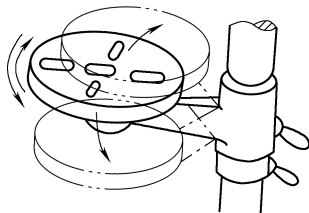


图 3-1-6 圆柱式立柱工作台

手动进给时，应将端盖相对于手柄逆时针旋转 20°，并向里推至原位，此时，自动进给装置脱开。

操纵手柄 12 逆时针旋转时作进给，顺时针旋转时则退出。

攻螺纹时，必须置手柄于手动进给位置，先用手动进给使丝锥切入，当丝锥切入 2~3 圈后，就可不用手动进给施以轴向压力，而依靠丝锥自身的螺纹来带动主轴进给。攻完螺纹后，可将主轴反转，使丝锥退出。

### (3) 立式钻床的使用规则

1) 工作前，按润滑要求加油润滑，同时检查手柄位置是否正常，导轨面有无杂物。开车低速运转，检查主轴油窗是否有油，各传动部位有无异常现象。

2) 工作中不用自动进给时，必须将端盖向里推，使自动进给装置脱开。

3) 工作时要注意安全。工件、夹具、刀具装夹要牢固。钻通孔时，要在工件下面垫上垫块。钻削铸件或钻深孔时，要经常退刀、排屑。不可超规范切削。

4) 防止切屑、水及其他杂物落入导轨面、电动机或电气箱内。

5) 工作后，应将各手柄拨至停止或空挡位置，工作台降到最低位置，断开电源。最后按机床清洁标准擦拭机床、涂油保护。

(4) 立式钻床的维护保养 做好机床设备的维护保养工作，对于减少设备事故，延长机床使用寿命具有十分重要的作用。机床的维护保养实行“三级保养制”，即日常维护保养、一级保养和二级保养。

1) 立式钻床的日常维护保养。又称日保，由操作者进行，应满足整齐、清洁、安全、润滑四项要求。日保要经常进行，以便做到预防为主；如若发现隐患应及时排除，重大问题立即上报。

2) 立式钻床的一级、二级保养。又称二保，应以操作者为主，维修工人为辅。

3) 机床外观。清洗机床表面、工作台、丝杠、齿条、锥齿轮。清除导轨面及工作台面磕碰飞边，补齐螺钉、手柄球等。

4) 主轴和进给箱。清除主轴锥孔飞边；调整电动机传动带；检查各手柄位置；更换必要的传动机构磨损件。

5) 润滑。检查油质、油量；清洗油毡，检查油路，二保时要清洗换油。

6) 冷却。清洗冷却泵、过滤器及冷却油槽, 检查管路。二保要更换切削液。

7) 电气。清扫电动机及电气箱(必要时配合电工进行)。二保要按需拆洗电动机, 更换油脂。

### 3. 摇臂钻床的维护

摇臂钻床简称摇臂钻, 适用于较大工件及多孔的工件加工。在立式钻床上加工多孔工件时, 每加工一个孔, 工件就得移动并找正一次, 这对于加工大型工件来说是非常繁重的工作, 并且使钻头中心准确地与工件上的钻孔中心重合也很困难。此时, 若采用主轴可以移动的摇臂钻床来加工就比较方便。

Z35 型摇臂钻床的组成如图 3-1-7 所示, 工件不大时, 可压在工作台 5 上加工; 若工件很大, 在工件台 5 上放不下时, 可把工作台 5 移走, 把工件直接放在机座 6 上加工。主轴箱 2 装在可绕垂直立柱 1 回转的摇臂 3 上, 并可沿着摇臂上的水平导轨往复移动。通过上述两种运动, 可将主轴 4 调整到机床加工范围内的任何位置上。所以, 摇臂钻床能在很大范围内进行孔加工。

摇臂钻床的主轴转速和进给量的调节范围都很广, 工作时可获得较高的生产效率及加工精度。在摇臂钻床上加工多孔的工件时, 工件可以不动, 只要调整摇臂和主轴箱在摇臂上的位置, 即可方便地对准孔中心。此外, 摇臂还可沿立柱上下升降, 使主轴箱的高低位置适合于工件加工部位的高度。

目前我国生产的摇臂钻床规格较多, 其中 Z35 型摇臂钻床是在装配制造业中应用较广的一种, 如图 3-1-7 所示。

Z35 型摇臂钻床的主要性能及规格如下:

最大钻孔直径	$\phi 50\text{mm}$
主轴孔锥度	莫氏 5 号
主轴在主轴箱内最大行程	350mm
主轴沿摇臂导轨最大行程	1050mm
主轴变速级数	18 级
主轴变速范围	34 ~ 2000r/min
进给量级数	18 级
进给量范围	0.3 ~ 1.2mm/r
摇臂沿立柱最大行程	680mm

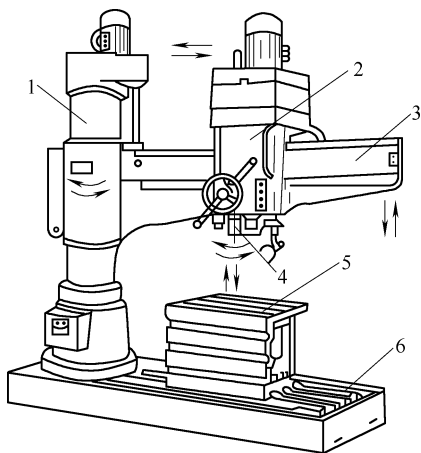


图 3-1-7 Z35 型摇臂钻床

1—立柱 2—主轴箱 3—摇臂 4—主轴  
5—工作台 6—机座

主电动机功率

4 ~ 5kW

## 二、压装机的使用、维护与保养

压装装配是装配车间常见到的一种过盈连接，也是一种较之热装和冷装最经济和效率最高的装配工艺方法，是装配钳工应熟练掌握的操作技能。压装装配的连接大多数都辅有键的结构。压装装配往往压装力都较大，一般都采用液压控制的液压压装机，因为液压系统调压方便，施力大，便于实现较低的压配速度，操作方便、工作安全，通过系统压力表即可知道压装过程压力的大小和变化，实现对压装过程的安全控制。

由于使用压装机的场合不同，对于不同的工件及结构，液压压装机有其突出的优点。液压压装机的结构尺寸小，操作和控制方便，使用范围广，可分为立式和卧式两种。图 3-1-8 所示就是一台框架结构的立式液压压装机，其液压系统和控制部分未明示出。压装机的液压系统很简单，因其动作简单，系统构成元件很少。由于压装机要求的工作压力一般都很高（32MPa），所以液压泵大都采用变量柱塞泵。变量泵可以根据压装速度调整输出流量。系统有溢流阀用以保护液压泵和系统的工作安全，过滤器用以保证系统的清洁度，还有压力表、单向阀、油压阀、截止阀、控制滑阀等液压元件。

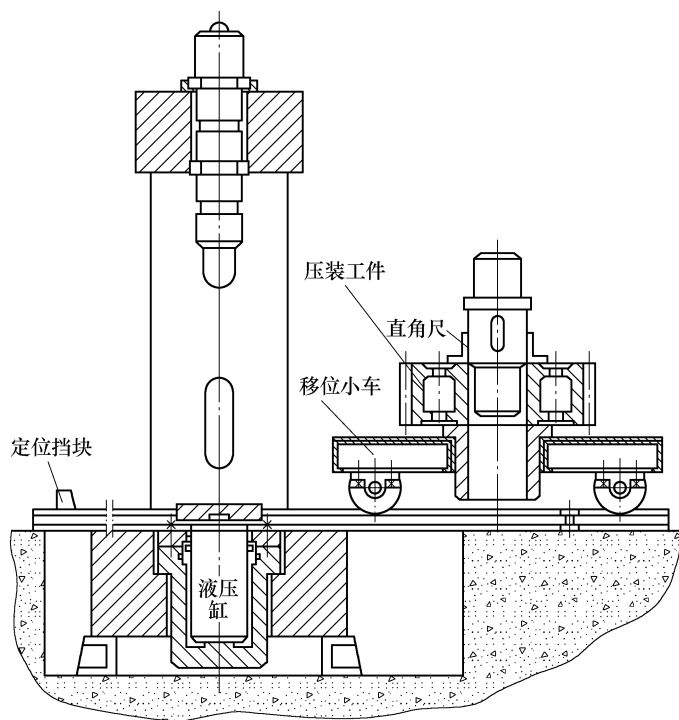


图 3-1-8 立式液压压装机



功能较全的压装机还辅有压装时的压力曲线记录和绘制装置等。例如，卧式的火车轮轴压装机，由于在火车轮轴的压装工艺上，对压装力在压装过程中的变化要求很严格，所以在压装过程中要反映和记录压力变化的实际状态，将压力变化过程用曲线形式描绘出来，作为判断其是否符合要求的依据，并存档保存起来。

立式压装机和卧式压装机在形态上不同，故而在使用上也表现出各自的优缺点。

立式压装机有两种结构形式。一种是液压缸上置式，即主液压缸设置在压装机上横梁上，但液压缸必须是活塞式结构，否则就要依靠活塞式副液压缸控制液压缸回程。另一种是液压缸下置式，如图 3-1-8 所示，液压缸设在压装机下梁（机座）内，可采用柱塞式液压缸，其柱塞回程靠柱塞等连接件的自重。机架也有框架式和立柱式之分，因为框架式结构多采用焊接连接，即使采用螺柱预紧结构，其侧架与上下横梁接触面也很大，所以机架本身刚度很好，能适于大吨位的压装。立柱式结构（往往为两柱式）加工制订工艺简单方便，适于较小吨位的压装。

立式压装机最大的优点是：结构紧凑，占地面积小，压装时工件对中性好，垂直压装操作方便，不易出现歪斜、啃卡等不良现象，下置柱塞液压缸较之活塞液压缸结构简单、成本低、回程顺利、工作可靠合理。其缺点是：由于有上横梁，工件压装过程的吊装操作不方便。但如果设置移位小车，装卸工件可在压装机外面，就克服了结构上的缺点，移位小车在导轨上可以自由推动，前端设定位挡铁，确保压装工件与液压缸压装中心同轴，操作很方便。再有就是下置液压缸结构，虽然压装机质心较低、较平稳，但在压装过程中，液压缸柱塞上推时，被压装的工件也要随着上移，因为压装的包容件结构尺寸大，自重很大，显得不平稳，安全性差些。由于框架较宽，占去了压装操作的部分位置，对压装观察也形成不便和死角。

卧式压装机与立式压装机相反，它需要较大的安装场地，压装工件水平放置，受自重影响，对中调整较困难，压装过程及操作由于对中定位不稳固，易出现问题。柱塞液压缸行程不如立式的大，回程困难。卧式压装机多为柱式结构，缩小了横向尺寸，有利于操作人员观察和靠近工件。其突出优点就是空间开阔，装卸工件及操作方便，观察清楚，工件安置平稳，无倒落危险。

压装机在使用与维护中应注意以下几点：

- 1) 使用压装机要考虑工作压力、工作行程、工作台面等是否在额定的工作范围内。
- 2) 开机前检查压装机各润滑部位是否注满润滑油。
- 3) 检查各运动件间隙和制动器的松紧程度是否合适。
- 4) 检查各运转部件是否有杂物夹入。
- 5) 检查接电后作空行程运动是否达到规定的要求。
- 6) 要保持工作场地的清洁。



7) 影响压装精度的因素有工作面和滑块底平面的平面度与两面的平行度、压装行程对工作台面的垂直度、导轨间隙等，这些都是对压装机进行保养的重点。

8) 对于采用液压系统的压装机还要做好液压系统的保养。

三、清洗

机器装配过程中的清洗对提高产品装配质量、延长产品使用寿命均有重要意义。特别是对于轴承、精密配件、密封件以及有特殊清洗要求的工件等更为重要。

清洗工艺包括清洗液、清洗方法及其工艺参数，需根据工件清洗要求，生产批量，工件材料，表面油脂、污物和机械杂质的性质及其黏附状况等因素确定。同时，所选清洗液要与清洗方法相适应。还需注意工件经清洗后应具有一定的中间防锈能力。

1. 清洗方法

常用清洗方法的特点及适用范围见表 3-1-1。

表 3-1-1 常用清洗方法的特点及适用范围

清 洗 方 法	清 洗 液	特 点	适 用 范 围
擦洗	汽油、煤油、轻柴油、乙醇和化学清洗液	操作简易，清洗装备简单，生产率低	单件、小批生产的中小型工件和大件的局部清洗
浸洗	常用的各种清洗液均适用	操作简易；清洗时间较长，一般为 2 ~ 20min。通常采用多步清洗	批量较大、形状较复杂的工件。清洗轻度黏附的油垢
喷洗	汽油、煤油、轻柴油、化学清洗液、三氯乙烯和碱液	清洗效果好，生产率高，劳动条件较好，装备较复杂	中批、大批生产的工件，形状复杂的不宜采用。清洗黏附较严重的污垢和半固体油垢
气相清洗	三氯乙烯蒸气	清洗效果好，装备较复杂，劳动保护要求高	中小型工件。清洗中等黏附程度的油垢，去污效果好
超声波清洗	汽油、煤油、轻柴油、化学清洗液和三氯乙烯	清洗效果好，生产率高；装备维护管理较复杂	清洗要求高的中小型工件，往往用于工件的最后清洗
浸、喷联合清洗	汽油、煤油、轻柴油、化学清洗液、三氯乙烯和碱液	清洗效果好，生产率高；清洗设备占地面积大，维护管理较复杂	成批生产、形状复杂、清洗要求高的工件。清洗油垢和半固体油垢
气、浸联合， 气、喷联合或气、 浸、喷联合清洗	三氯乙烯溶液与三氯乙烯蒸气	同上，但生产率稍低	适宜于气相清洗、尺寸不大和清洗要求高的工件。能清洗油垢，特别是气、浸联合喷型，能清洗黏附严重的污垢，去污效果好

## 2. 清洗液

(1) 石油溶剂 石油溶剂易于贮存和配制防锈剂，是一种传统的清洗液。采用这类清洗液必须考虑防火、通风等安全措施。

常用的石油溶剂主要有汽油、煤油和轻柴油。有特殊要求时可用性质相近的有机溶剂，如乙醇、丙酮等。

工业汽油和直馏汽油主要用于清洗油脂、污垢和一般黏附的机械杂质，适用于钢铁和有色金属工件；航空汽油用于清洗质量要求高的工件。

灯用煤油和轻柴油的应用与汽油相同，但清洗能力不及汽油。清洗后干得较慢，但比汽油安全。

为避免工件锈蚀，可在石油溶剂中加入少量（如质量分数为 1% ~ 3%）置换型防锈油或防锈添加剂。置换型防锈油有 201、FY-3、661 等。防锈汽油也可自行配制，防锈汽油配方见表 3-1-2。这种防锈汽油清洗能力强，对于手汗、无机盐、油脂等均能清洗干净，且对钢铁、铜合金等工件具有中间防锈作用。同时，操作者手部应涂敷“液体手套”，以防手汗锈蚀工件，也可避免汽油、煤油、柴油等对手部皮肤的刺激。

表 3-1-2 防锈汽油配方

成 分	质量分数 (%)	成 分	质量分数 (%)
石油硫酸钠	1	1% 苯丙三氮唑酒精溶液	1
司本-80	1	蒸馏水	2
十二烷基醇酰胺	1	200 号汽油	94

石油溶剂一般均在常温下使用。如需加热使用时，灯用煤油油温不应大于 40℃，溶剂煤油油温不应大于 65℃，并不得用火焰直接对容器加热。对机械油、汽轮机油、变压器油，油温不应大于 120℃。

(2) 碱液 配制碱液时，也可加入少量表面活性清洗剂，以增强清洗能力。

用碱液清洗时应注意：油垢过厚时应先擦除；材料性质不同的工件，不宜放在一起清洗；工件清洗后，应用水冲洗或漂洗洁净，并使之干燥。常用的碱液配方、工艺参数及适用性见表 3-1-3。

表 3-1-3 常用的碱液配方、工艺参数及适用性

成分/(g/L)	主要工艺参数	适 用 性
氢氧化钠 50 ~ 55 磷酸钠 25 ~ 30 碳酸钠 25 ~ 30 硅酸钠 10 ~ 15	清洗温度 90 ~ 95℃ 浸洗或喷洗 清洗时间 10min	钢铁工件，黏附较严重油垢或有少量难溶性油垢和杂质
氢氧化钠 70 ~ 100 碳酸钠 20 ~ 30 磷酸钠 20 ~ 30	清洗温度 90 ~ 95℃ 浸洗或喷洗 清洗时间 7 ~ 10min	镍铬合金钢工件

(续)

成分/(g/L)	主要工艺参数	适 用 性
氢氧化钠 5~10 磷酸钠 50~70 碳酸钠 20~30	清洗温度 80~90℃ 浸洗或喷洗 清洗时间 5~8min	钢及铜合金工件
氢氧化钠 5~10 磷酸钠 ≈50 硅酸钠 ≈30	清洗温度 60~70℃ 浸洗或喷洗 清洗时间 ≈5min	铝及铝合金工件

(3) 化学清洗液 化学清洗液含有表面活性剂，又称乳化剂清洗液，对油脂、水溶性污垢具有良好的清洗能力。这种清洗液配制简便、稳定耐用、无毒、不易燃、使用安全、成本低，有些化学清洗液还具有一定的中间防锈能力，所以很适用于装配过程中中间工序的清洗。化学清洗液配方很多，常用化学清洗液配方、工艺参数及适用性见表 3-1-4。

表 3-1-4 常用化学清洗液配方、工艺参数及适用性

成分及质量分数 (%)	主要工艺参数	适 用 性
105 清洗剂 0.5 6501 清洗剂 0.5 水 余量	清洗温度 85℃ 喷洗压力 0.15MPa 清洗时间 1min	钢铁工件。主要清洗以机油为主的油垢和机械杂质
664 清洗剂 2~3 水 余量	清洗温度 75℃ 浸洗，上下窜动 清洗时间 3~4min	钢铁工件。不适于清洗铜、锌等有色金属工件。主要清洗硬脂酸、石蜡、凡士林等
6501 清洗剂 0.2 6503 清洗剂 0.2 油酸三乙醇胺 0.2 水 余量	清洗温度 35~45℃ 超声波清洗（工作频率 17~21kHz） 清洗时间 4~8min	精密加工的钢铁工件。清洗矿物油和含氧化铬等物的研磨膏残留物
6503 清洗剂 0.5 TX-10 清洗剂 0.3 聚乙二醇（相对分子质量约 400） 0.2 邻苯二甲酸二丁酯 0.2 磷酸三钠 1.5~2.5 水 余量	清洗温度 35~45℃ 超声波清洗（工作频率 17~21kHz） 清洗时间 4min	精密加工的钢铁工件。主要清洗油脂
664 清洗剂 0.5 平平加清洗剂 0.3 三乙醇胺 1.0 油酸 0.5 聚乙二醇（相对分子质量约 400） 0.2 水 余量	清洗温度 75~80℃ 浸洗，上下窜动 清洗时间 1min	精密加工的钢铁工件。清洗油脂能力很强

(4) 三氯乙烯 三氯乙烯具有除油效率高、清洗效果好、不燃等优点,加入适当稳定剂可清洗铝、镁合金等有色金属工件。但其清洗装置较复杂,要求有良好的通风系统及清洗液回收系统,同时还应注意工件和清洗槽的防腐问题。

三氯乙烯是强溶剂,沸点较低,易于汽化及冷凝,蒸气密度大,且不易扩散,故适宜于气相清洗,也可用于浸洗、喷洗或三种清洗形式联合使用。用于超声波清洗时,特别适用于清洗质量要求很高的仪表零件、光学元件、电子元件等。

此外,还有超声波清洗。超声波清洗的机理是在清洗液内引入超声波振动,使清洗液中出现大量空化气泡,并逐渐长大,然后突然闭合。闭合时会产生自中心向外的微激波,压力可达几百甚至几千个大气压,促使工件上所黏附的油垢剥落。同时空化气泡的强烈振荡,加强和加速了清洗液对油垢的乳化作用和增溶作用,提高了清洗能力。

### 3. 清洗方式的选择

应根据工厂的生产规模、批量、工件的结构尺寸、形状特点、清洁度要求、材质、清洗前的状况等具体条件来选择清洗方式及相应的清洗设备与清洗液。

对于产品批量大、生产效率高的情况,应选择与之相匹配的清洗设备,传送带式流水作业,连续不断地投入和传出,甚至可以利用先进的自动控制技术,如图 3-1-9 所示的清洗机。还可以铺设一些机械手以及自动调节和记数、清洗液的回收处理、自动检验反馈等控制系统。

对较大工件、小批量的可采用转盘或固定式清洗室,从不同方位选择不同角度利用清洗喷头对工件喷射清洗液。清洗过程中可以按需要对工件进行翻转。喷洗干净之后停止喷洗,再使用压缩空气吹净、吹干。

压缩空气喷头结构如图 3-1-10 所示;清洗用喷头如图 3-1-11 所示。

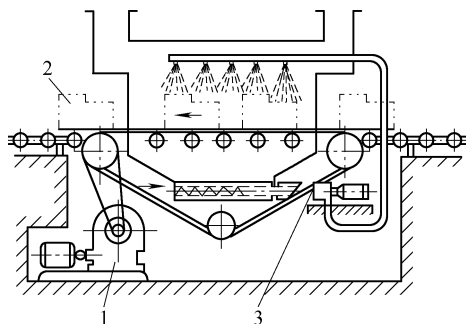


图 3-1-9 清洗机

1—电动机 2—工件 3—循环泵

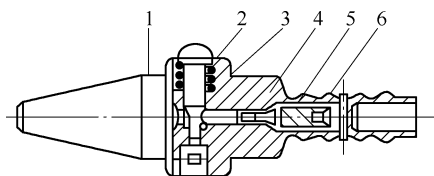


图 3-1-10 压缩空气喷头

1—喷头 2—开关 3—弹簧 4—顶杆  
5—锥形阀 6—本体

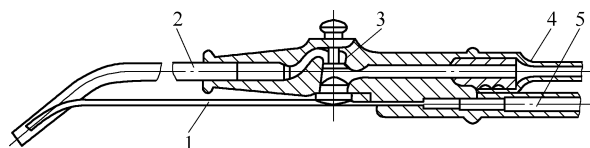


图 3-1-11 清洗用喷头

1—洗涤剂喷管 2—压缩空气喷管 3—开关 4—压缩气管 5—洗涤剂管

对小型工件，黏附油垢严重时，应先浸洗或喷洗。为提高清洗质量、缩短清洗时间，常采用几种不同的清洗液，分槽依次进行，每槽清洗油垢的作用各有所侧重。

尺寸和质量较大的工件，多为局部清洗，可将工件局部浸入超声波清洗槽中进行清洗；也可根据大型工件形状或局部清洗部位的要求，进行特殊结构设计，以实现局部清洗。

工件形状十分复杂或具有大小不等的孔、凹槽时，可用不同振动频率的超声波清洗。清洗操作应保持环境的清洁，严格按工艺规程进行，这对实现安全生产十分重要。

#### 4. 零件清理工作的注意事项

1) 装配前零件应清理干净。装配前，零件上残存的型砂、切屑、铁锈等都必须清除干净，对于孔、槽及其他容易存留杂物的地方要特别仔细地进行清理，并去除飞边和锋利的棱边，有些零件如箱体内部清理后还需涂漆。

如果清理不彻底，会对装配质量和机械的使用寿命造成影响。如滑动导轨会因配合面间有残存的砂粒、切屑等而加速磨损，甚至会出现导轨“咬合”等严重事故。

2) 注意清理装配过程中产生的切屑。在装配过程中，对某些零件要进行补充加工，如定位销孔的钻、铰及攻螺纹等，这些加工会产生切屑，必须清除。必要时，应尽可能不在装配场所进行补充加工，以免切屑落入配合表面。

3) 清理重要配合面时不要破坏其原有精度。加工面上的铁锈、干油漆等可用锉刀、刮刀、砂布清除，对重要的配合表面，在清理时要特别仔细，不允许破坏其原有精度。

4) 清洗过程中不要损伤零件。零件清洗时应注意不能损伤零件，如有轻微碰撞或有飞边，可用磨石、刮刀等修整后进行再次清洗。

5) 不要用汽油清洗橡胶制品零件。对于密封圈等橡胶制品零件，严禁用汽油清洗，以防产生变形。应采用清洗液或酒精进行清洗。

6) 不要用棉纱清洗滚动轴承。滚动轴承清洗时应用毛刷等工具，不能使用棉纱，以免棉纱头进入轴承中而影响轴承装配质量。

7) 清洗后的零件要防止二次污染。对于已经清洗过的零件，切勿在装配时再随意擦拭，这样做很容易弄脏零件，造成二次污染。

清洗后的零件，应等零件上的油滴干后再进行装配，以免污油影响装配清洁质量。清洗后的零件如不马上装配应采取措施，不应暴露放置时间过长，以免灰尘等弄脏零件。

8) 装配前不可忽视加润滑油和做必要的修整。相配合的表面在装配前一般都要加油润滑，否则会在装配中出现零件配合表面拉伤等现象。对活动连接的配合表面，不加油润滑容易造成配合表面运动滞阻、磨损加剧，甚至会因缺乏润滑而使表面拉毛。

零件上因机械加工而产生的飞边和在工序转运过程中因碰撞而产生的印痕，往往容易被忽视，从而影响装配精度。因此，装配中应时时注意对零件的这些缺陷进行修整。

## 第二章

# 划线钳工规范

### 第一节 概 述

机械零件是由毛坯根据图样的技术要求经过各种不同的方式加工而成的。加工时，根据图样和技术要求，用划线工具准确地在工件表面上（毛坯表面或已加工表面）划出加工界限的工作，称为划线。

划线的作用是使零件在加工时有明确的标志，还可以检查毛坯是否正确，有些毛坯不太合格可以通过划线借料的方法而得到补救。通常一些较复杂的工件毛坯和半成品，在进入粗、精加工时，就是凭借划线作为加工和校正依据的，所以划线的正确与否，直接关系到机械加工的质量和生产效率，如果划线工作出现差错，严重时将导致工件报废，造成不应有的损失。

划线是一项复杂、细致而重要的工作，它是加工的依据，直接关系到产品质量的好坏，是钳工特别是工具钳工必须熟练掌握的基本技能之一。在划线前，必须熟悉工件图样的技术要求和加工工艺，并对待加工工件进行仔细的分析，合理地“选择划线基准”和“校正工件划线位置”，反复核对图样的各部分尺寸，以免因看错视图或尺寸而造成零件报废，这是做好划线工作的关键。正式划线时，更应严肃认真，一丝不苟，使划出的每一根线，达到正确、明晰，待所有线全部划好以后，位置不动，必须重新仔细地检查一遍，防止出错。

#### 一、划线的种类

##### (1) 按用途分

- 1) 在板料（钢板、铁板、铝板、塑料板等）、条料上划落料线，供气割、剪切、锯开、机械加工用。
- 2) 在半成品上划线，用以确定精加工表面及孔的位置。
- 3) 在铸、锻毛坯上划线，用以确定加工面的位置和孔的中心。

##### (2) 按复杂程度分

- 1) 平面划线。它是在工件的一个平面上进行划线的。这种划线比较简单。
- 2) 立体划线。它是同时在工件上几个互成不同角度（通常是互相垂直）的表



面上进行划线的。这种划线比较复杂。

## 二、划线的作用

- 1) 确定各表面的加工余量，确定孔的位置，使机械加工有明确的标志。
- 2) 通过划线可及时发现和处理不合格的毛坯，避免加工后造成损失。当毛坯误差不大时，往往又可以依靠划线时借料的方法予以补救，使加工后的零件仍能符合要求，节省了原材料，也提高了经济效率。

## 第二节 划线前的准备工作

划线前必须做好以下准备工作，否则无法进行划线或划出的线看不清楚。

(1) 工件的清理 铸件上的浇口、冒口、“披缝”要去掉，粘在表面的型砂要清除；锻件上的飞边、氧化皮要除去；对中小毛坯最好用滚筒、喷砂、抛丸或酸洗来清理。

对于半成品，划线前要把毛刺修掉，把油污擦净，否则涂料涂不牢，划出的线不正确、不清晰。

(2) 工件的涂色 所谓工件的涂色就是在工件划线部位的表面上刷上一薄层与工件表面颜色不同的涂料，由于涂料颜色的衬托，使划线线条更为清晰。

涂料要有一定的附着力，而且刷涂料时要薄而均匀，只有这样才能保证划线清晰，如果涂得厚了，会脱皮。一般常用的涂料及应用如下：

1) 锻件和锻件的毛坯表面上涂石灰水，也有涂电石糊的，小的毛坯也可涂粉笔。划线后白底黑线，效果较好。若加入适量的牛皮胶水，则附着力更强。

2) 钢、铸铁半成品（光坯）上一般涂蓝油（龙胆紫加虫胶和酒精，虫胶溶入酒精又称淡金水）、绿油（孔雀绿加淡金水）、红油（混红加淡金水），也有涂硫酸铜溶液（硫酸铜加酒精）的。

3) 铝、钢等有色金属光坯上一般涂蓝油，也有涂墨汁的。

(3) 在工件孔中装中心塞块 在有孔的工件上划圆时，为了划出孔的中心以便于用圆规（矩叉）划圆，这时必须在孔中装入中心塞块。常用的中心塞块如图3-2-1所示。

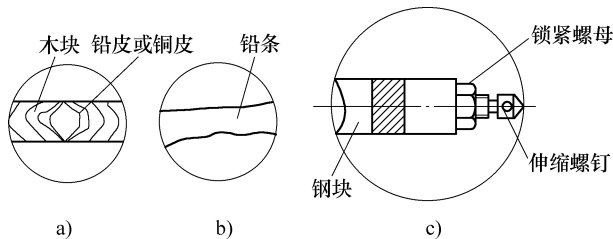


图 3-2-1 划孔中心线用的塞块

a) 木塞块 b) 铅塞块 c) 可调节塞块

一般小孔用木塞块和铅塞块，大孔用可调节塞块。塞块要塞紧，保证打样冲眼以及工件搬动、翻转时不会松动。

### 第三节 划线工具及其使用、保养

在划线工作中，为了保证既准确又迅速，必须首先熟悉各种划线工具，并能正确使用它们。

#### 一、划线平台

划线平台是由铸铁制成的，其工作表面经过刨削、精刨和刮削加工而成，为划线的基准面。

划线平台是划线的基本工具，其平面度直接影响划线精度。一般划线平台用木架支承，如图 3-2-2 所示。大件划线用的平台由若干块平板拼成，如图 3-2-3 所示。划线时工人可以站在平台上工作。

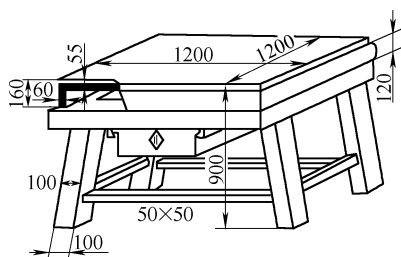


图 3-2-2 常用划线平台的支承

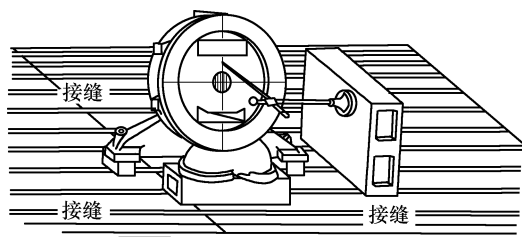


图 3-2-3 大面积划线平台

中、小件半成品划线，一般在刮削较精密的平台（400mm × 600mm 平台）上进行。

划线平台各处要均匀使用，避免局部地方磨凹。划线平台要经常保持清洁，防止切屑、灰砂等划伤台面，工件和工具在平台上要轻放，防止平台受撞击，更不允许在平台上进行任何锤击工作。划线平台上如有被工件撞坏的凸起部分应该用油光锉修去。修正时把锉刀手柄卸下，将锉刀平放在平台上，细心地将高点锉平，也可用刮刀把高点铲去。如平台上有锈斑，要用砂布打光。平台不用时要擦净，并上油加盖，防止锈蚀。

#### 二、划针与划针盘

##### 1. 划针

划针是用来划线条的，常与钢直尺、直角尺或划线样板等导向工具一起使用，如图 3-2-4 所示，弯头划针用在直划针划不到的地方。对已加工面划线时，应使用

弹簧钢丝或高速钢划针，直径为  $\phi 3 \sim \phi 6\text{mm}$ ，尖端磨成  $15^\circ \sim 20^\circ$ ，并经淬硬，这样就不易磨损变钝。划线的线条宽度应在  $0.05 \sim 0.1\text{mm}$  范围内。对铸件、锻件等毛坯划线时，应使用焊有硬质合金的划针，以便保持长期锋利，其线条宽度应在  $0.1 \sim 0.15\text{mm}$  范围内。钢丝制成的划针用钝后重磨时，要经常浸入水中冷却，以防针尖过热而退火变软。

用划针划线时，划针的握持方法与用铅笔画线时相似。左手要压紧导向工具，防止其滑动而影响划线的准确性，划针要紧靠导向工具的边缘，上部向外侧倾斜  $15^\circ \sim 20^\circ$ ，沿划线前进方向倾斜  $45^\circ \sim 75^\circ$ ，如图 3-2-5 所示。

用划针划线要做到一次划成，不要重复地划同一根线条，否则线条会变粗或不重合，反而模糊不清。

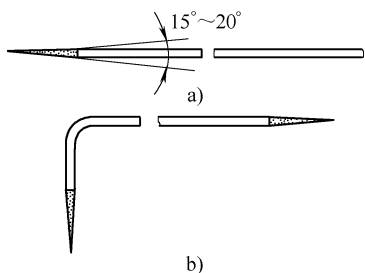


图 3-2-4 划针

a) 直划针 b) 弯头划针

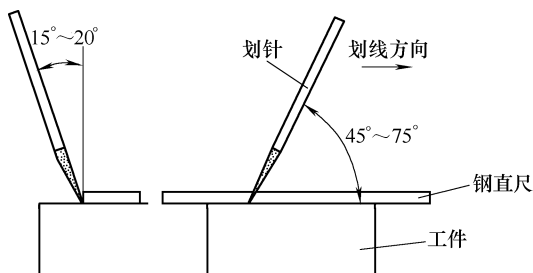


图 3-2-5 用划针划线的方法

划针很尖，使用时要小心。划针千万不能插在胸袋中。划针不用时最好在针尖部位套上细塑料管，不使针尖露出。

## 2. 划针盘

划针盘是在工件上划线和找正工件位置常用的工具（图 3-2-6）。图 3-2-6a 所示为划线用的普通划针盘。划针的一端焊上硬质合金，另一端弯头是找正工件用的。图 3-2-6b 所示为可微调节的划针盘，旋动调整螺钉，使装有支杆的跷动杠杆转动很小角度，这样划针尖有微量的上下移动。这种划针盘目前主要应用在刨床、车床上找正工作位置，因为它的刚性差，很少用来划线。在成批划线时，为了减少调整划针高度的时间，一般每个划针盘只划一个尺寸线，所以要使用多个划针盘。划针伸出的长度应该尽量短些，这样划针盘的刚性较好，划针不会抖动。用大的划针盘划线时，在划针盘移动的地方要涂上一层油，这样推动划针盘省力，划线时划针也不会抖动。

用划针盘划线时应注意以下几点：

1) 划针应处于水平位置且不宜伸出过长，否则会因刚性不好而产生抖动，影响划线的精度。

2) 划针一定要夹紧，不能在划线过程中发生走动。

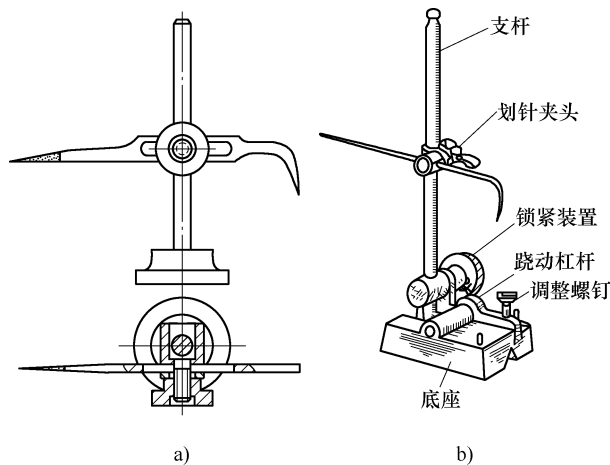


图 3-2-6 划针盘

a) 普通划针盘 b) 可微调节的划针盘

- 3) 移动底座时，应使它紧贴平台台面，不应有摇晃或跳动。划针沿划线方向应朝后倾斜一定的角度，以减少抖动。
- 4) 底座与平台的接触面，要保持清洁。
- 5) 划针盘使用完毕后，应使划针直端向下，以减少所占的空间和防止伤人，或者在划针尖上套一段塑料软管，不使针尖露出。

三、量高尺和高度游标卡尺

1. 量高尺

量高尺由底座与钢直尺组成，钢直尺垂直固定在底座上（图 3-2-7）。所划的尺寸可用划针盘直接从钢直尺上取得。钢直尺的每 1 刻度是 1mm（部分是 0.5mm）。如所划的尺寸不足整数毫米，取尺寸时只能用划针尖在两刻度间进行估计。用划针盘与量高尺配合取尺寸，划线精度为  $\pm 0.2\text{mm}$ 。这种办法用于毛坯划线。

2. 高度游标卡尺

高度游标卡尺（图 3-2-8）实际上就是游标卡尺和划针盘的组合。它的划线脚前端镶硬质合金，它的读数精度一般为 0.02mm，用于半成品（光坯）划线。它是精密工具，不允许用来划毛坯。要防止碰坏硬质合金划线脚。万一硬质合金崩掉一角时，要仔细地在平整的绿色碳化硅砂轮上修磨其侧面，以保持划线脚的锋利。高度游标卡尺要防止锈蚀，不用时应上好油装在盒中或放进特制的直立箱子中。

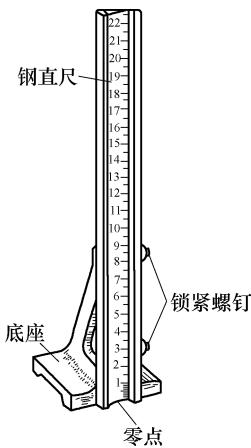


图 3-2-7 量高尺

#### 四、圆规

常用的圆规如图 3-2-9 所示。在圆规尖脚上焊有硬质合金。

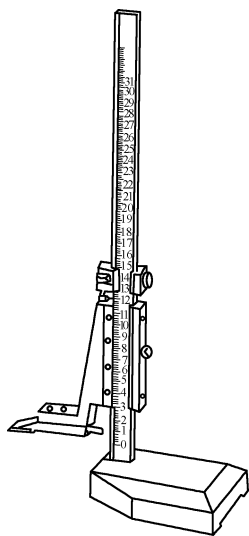


图 3-2-8 高度游标卡尺

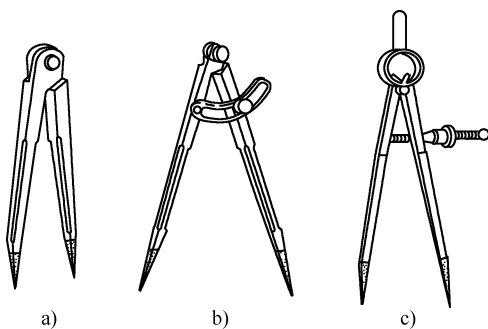


图 3-2-9 圆规

图 3-2-9a、b 所示圆规调节尺寸较麻烦，但刚性较好，目前用得较多，尤其适用于划毛坯。图 3-2-9c 所示弹簧圆规调节尺寸方便，但刚性不如前两种，一般用于在光坯上划圆。划直径小于  $\phi 12\text{mm}$  的圆，最好用制图仪中的小圆规，在装铅笔的脚上换装一根划针。划直径大于  $\phi 250\text{mm}$  的圆时，用特殊的大尺寸圆规，如图 3-2-10 所示。它由一根圆管和装有划针的两个套管组成。套管可在圆管上移动来调节划针间的距离，其中一个套管还可以微量调节。

用圆规划圆时，圆规两尖脚要在同一个平面上，如果两尖脚不在同一平面上，则尖脚间的距离不是所划圆的半径。如果由于零件形状的限制，圆规两尖脚不能在同一个平面内时，这时要划出半径为  $r$  的圆，则圆规两尖脚的距离应该调整为  $R$ ，如图 3-2-11 所示， $R =$

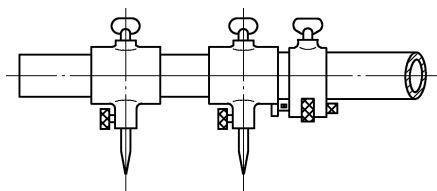


图 3-2-10 大尺寸圆规

$\sqrt{r^2 + h^2}$ ， $h$  为两阶梯表面的垂直距离。当  $h$  较大时，由于圆规定心尖脚不能顶在样冲眼的中心，所划出的圆是有误差的。因此，只有  $h/r$  较小时才能在阶梯面上划圆。当阶梯高度  $h$  较大时，就要用特殊圆规（图 3-2-12）来划圆，或用分度头和高度游标卡尺配合划线代替划圆。

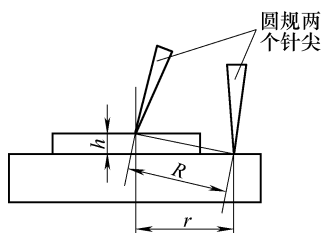


图 3-2-11 在阶梯表面上划圆

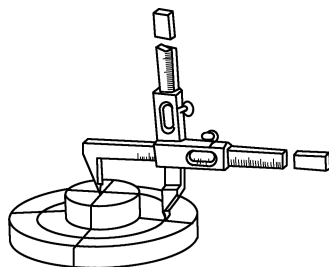


图 3-2-12 特殊圆规

## 五、平行垫铁与方箱

平行垫铁如图 3-2-13a 所示，它是钢制的，相对的两个平面互相平行。每副平行垫铁有两块，两块的高度  $h$  和宽度  $b$  两个尺寸一起磨出来。平行垫铁常有许多副，其尺寸各不相同，主要用来把工件平行垫高。

方箱如图 3-2-13b 所示，由灰铸铁制成，尺寸精度在  $0.01\text{mm}$  之内，方箱也有许多块。有些工件用 O 形夹头在方箱上，翻转方箱就可一次划出全部互相垂直的线来。为了便于夹持各种工件（包括轴类工件），可采用附有夹持装置、带 V 形槽的特殊方箱，如图 3-2-14 所示。

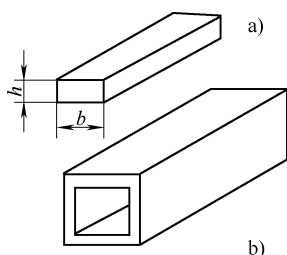


图 3-2-13 平行垫铁和方箱

a) 平行垫铁 b) 方箱

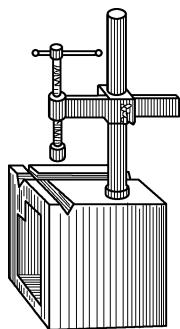


图 3-2-14 特殊方箱

方箱也可用于把工件平行垫高。当高度游标卡尺不够高时，也可在高度游标卡尺下垫上一、二、三块方箱，这样就可以划出比高度游标卡尺的刻度高  $100\text{mm}$ 、 $200\text{mm}$ 、 $300\text{mm}$  的线来。

## 六、V 形铁、直角铁和 C 形夹头

### 1. V 形铁

V 形铁如图 3-2-15 所示，主要用来安放轴、套筒、圆盘等圆形工件，以便找

正中心与划出中心线。一般 V 形铁都是一副两块，两块的平面与 V 形槽部是在一次安装中磨出的。

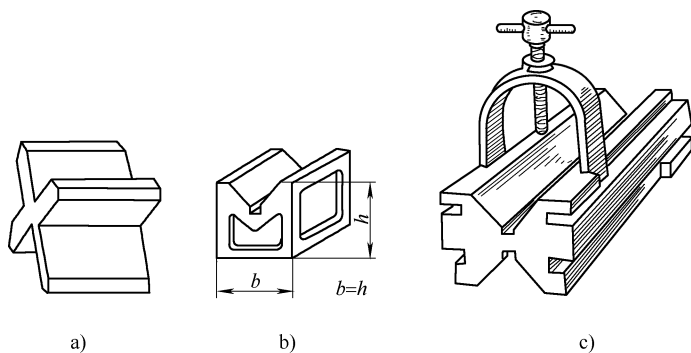


图 3-2-15 V 形铁

a) 普通 V 形铁 b) 精密 V 形铁 c) 带夹持弓架 V 形铁

精密 V 形铁的尺寸做成  $b = h$ ，相互表面间的平行度、垂直度误差在  $0.01\text{mm}$  之内。V 形槽的中心线必须在 V 形铁的对称平面内并与底面平行，同心度、平行度的误差也在  $0.01\text{mm}$  之内。V 形槽半角误差  $\pm 30'' \sim \pm 1'$  之内，精密 V 形铁也可作方箱使用。带有夹持弓架的 V 形铁，可以把圆柱形工件牢固地夹持在 V 形铁上，并翻转到各个位置划线，与图 3-2-14 所示的特殊方箱相仿。

直径很大的圆柱形工件可放在滚轮支持器（图 3-2-16）上划线。两个滚轮架 a 的位置可以在长槽 b 中移动，然后用螺钉固定。

前面所讲的平行垫铁、方箱、V 形铁都是精密工具，用后要涂油放在专用的本盒中，以防遗失、碰坏、生锈。

## 2. 直角铁和 C 形夹头

直角铁如图 3-2-17 所示，由铸铁制成，经过精刨，有的还经过刮削。它的两个平面的垂直精度较高。直角铁上的孔或槽是搭压板时穿螺钉用的。在薄而面积大的工件上划线时可用 C 形夹头，如图 3-2-18 所示，将工件夹在直角铁的垂直面上。在工件上划与其底面垂直的线时，可把工件底面用 C 形夹头或压板压紧在直角铁的垂直面上，如图 3-2-19 所示。

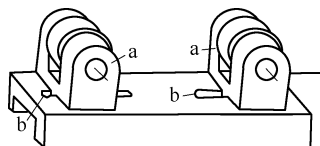


图 3-2-16 滚轮支持器

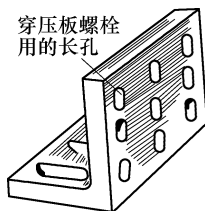


图 3-2-17 直角铁



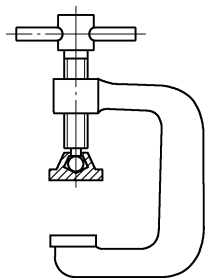


图 3-2-18 C 形夹头

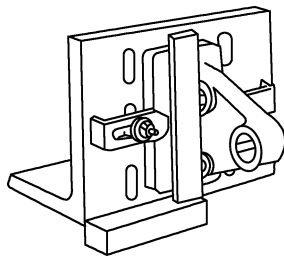


图 3-2-19 直角铁在划线中的应用

## 七、千斤顶、斜楔垫铁和样冲

### 1. 千斤顶

千斤顶用来支承毛坯或形状不规则的划线工件，并可调整高度，使工件各处的高低位置调整到符合划线的要求，如图 3-2-20 所示。

用千斤顶支承工件时，要保证工件稳定可靠。为此，要求三个千斤顶的支承点离工件的质心应尽量远些；在工件较重的部位放两个千斤顶，较轻的部位放一个千斤顶。工件上的支承点尽量不要选择在容易发生滑动的地方，以防工件突然翻倒。结构完善的千斤顶如图 3-2-20a 所示，由底座、六角螺钉、锁紧螺母、螺母与螺杆组成。在螺杆上铣一条键槽、六角螺钉的圆柱头就嵌在键槽中。底座的内孔没有内螺纹，其内孔与螺杆的外径滑配。旋动螺母时，因螺杆不能转动，所以螺杆沿轴向上下运动。

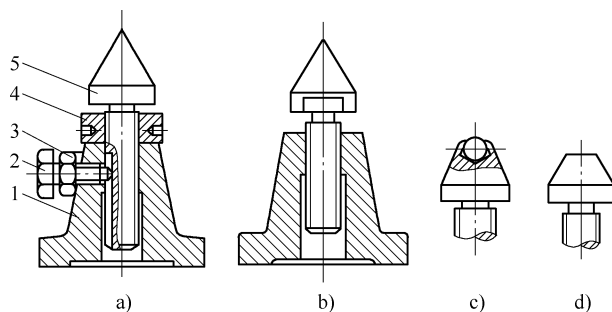


图 3-2-20 千斤顶

1—底座 2—六角螺钉 3—锁紧螺母 4—螺母 5—螺杆

a) 结构完善的千斤顶 b) 简单的千斤顶 c) 带钢球的千斤顶螺杆 d) 平端的千斤顶螺杆

图 3-2-20b 所示为一种简单的千斤顶，它只由螺杆和底座两个零件组成。螺杆上部铣出两个上扁平面，可用扳手转动螺杆。

千斤顶螺杆的顶端，做成略带圆角的锥面，这样支承点稳定，尤其是对图 3-2-20b 所示的简单千斤顶更应该如此。因为这种千斤顶如采用图 3-2-20d 所示

的平端，则一方面转动螺杆时很吃力，另一方面很可能使零件移动位置，甚至从千斤顶跌下来发生危险。为了使千斤顶的螺杆容易转动，可在螺杆顶端嵌入钢球，如图 3-2-20c 所示。

带 V 形铁的千斤顶如图 3-2-21 所示，用于支持工件的圆柱面。

由于千斤顶可以支持很重的工件，又可微量调节工件高低，所以划线中用得非常广泛。使用千斤顶的安全注意事项如下：

1) 三个千斤顶的支承点离工件的质心要尽量远，三个支承点所组成的三角形面积应尽量大。在工件较重的一端应该放两个千斤顶，较轻的一端放一个。

2) 千斤顶底面要擦干净，安放平稳，不能摇动。当千斤顶顶在圆弧面上时，在所顶的位置应打一个较大的样冲眼，把千斤顶尖端顶在样冲眼内，这样可以防滑。

3) 当工件需要竖起来划线，三个千斤顶顶在一个窄长的平面上时，此时要用行车把工件吊住起保险作用。正常时，绳子不受力，千斤顶有调节工件高低的余地，如果工件倒下来，绳子就会受力。

4) 当工件很重或三个千斤顶所支承的面积较小，则在工件下应再垫几个保险千斤顶。为不改变三个支承千斤顶的支承平面，这些保险千斤顶与工件间应留有距离。

## 2. 斜楔垫铁

斜楔垫铁（图 3-2-22）和 V 形垫铁（图 3-2-23）也可用来支承毛坯或不平的工件，使用时比千斤顶方便，但只能用于微量调节工件高低。V 形垫铁适用于支持工件的圆柱面。

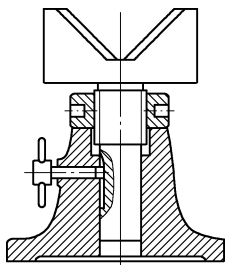


图 3-2-21 带 V 形铁的千斤顶



图 3-2-22 斜楔垫铁

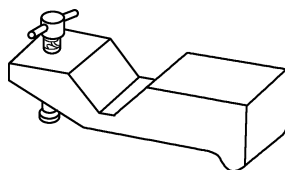


图 3-2-23 V 形垫铁

## 3. 样冲

在加工过程中，由于搬运、装夹等原因，工件上已划好的线可能被擦掉。为了便于看清所划的线，要在划好的线条上用样冲打出小而均匀的冲眼。在圆的中心处也要打样冲眼，便于钻孔时钻头对准。样冲如图 3-2-24 所示，由工具钢制成，冲尖处磨成  $45^\circ \sim 60^\circ$  角，并淬火硬化。工厂中实际使用的样冲往往是用断的圆拉刀，废的丝锥、立铣刀等改制的。

打样冲眼时要注意以下几点：

1) 打样冲眼位置要准确，样冲尖应对正线条宽度的中间。

2) 冲眼的距离要看线条的长短、曲直而定,对长的直线条,样冲眼距离可大些,对短的曲线条,样冲眼距离要小些。在线条交叉或转折处必须打样冲眼。

3) 冲眼的深浅视零件表面情况而定。粗糙表面应深些,光滑表面或薄工件可浅些,较软材料上可不打样冲眼,精加工表面禁止打样冲眼。

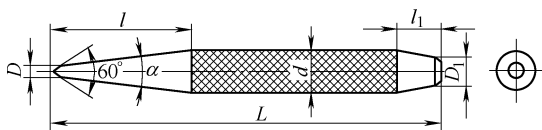


图 3-2-24 样冲

## 第四节 样板划线

样板是一种专用量具,用于测量工件、刀具的尺寸和几何形状,也可用样板进行划线。样板的种类很多,这里仅介绍两种样板的划线方法。

### 一、梯形样板划线

图 3-2-25a 所示一副(两块)带槽样板。首先根据图样尺寸锯削出两块样板毛坯,经过矫平后(不平的毛坯直接影响样板的制造和测量精度),再锉削两个互成直角的基准面 I、II,作为划线和以后的加工基准,如图 3-2-25b 所示。

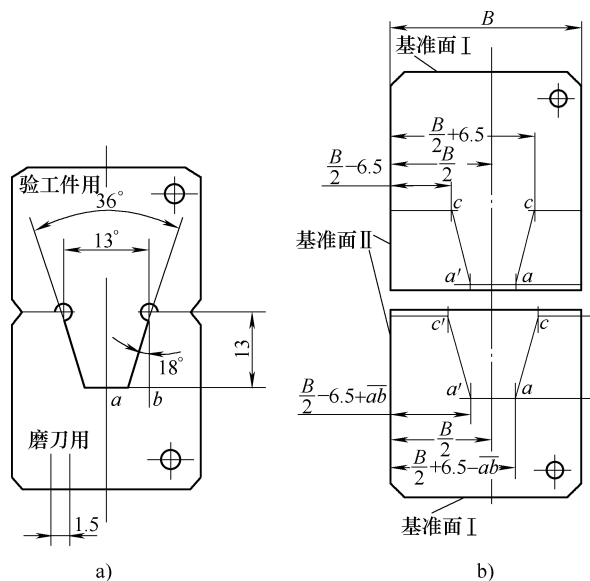


图 3-2-25 带槽样板

样板中的斜线可用辅助样板（图 3-2-26）划出，也可计算出  $a$ 、 $b$  之间的距离再划线。距离  $\overline{ab}$  可用下式计算

$$\overline{ab} = h \tan \frac{\alpha}{2}$$

式中  $h$ ——梯形的高度（mm）；

$\alpha$ ——梯形的锥角（°）。

根据图 3-2-25 知， $h = 13\text{mm}$ ， $\alpha = 36^\circ$ ；查三角函数表得  $\tan 18^\circ = 0.3249$ ，则  $\overline{ab} = 13 \times 0.3249\text{mm} = 4.22\text{mm}$ 。

划线的一般步骤如下：

1) 以基准面 I 为基准，划出梯形高度的两条平行线。

2) 以基准面 II 为基准，先划出中心线，然后划出梯形大端和小端尺寸线，与梯形高度平行线相交于  $a$ 、 $a'$ 、 $c$  和  $c'$  四点，当用辅助样板划线时，只划出梯形大端的尺寸线，得出交点  $c$  和  $c'$ 。

3) 连接交点  $ac$ 、 $a'c'$  成斜线或用辅助样板划线。

4) 检查所划的线是否正确。

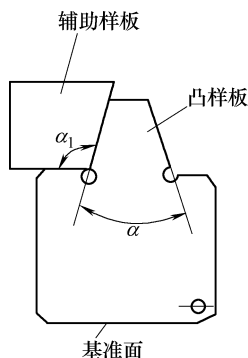


图 3-2-26 凸样板和辅助样板

## 二、圆弧样板划线

图 3-2-27 所示为一副链轮样板。划线前的准备工作与梯形样板相同。需要注意的是凹圆弧样板的中心，如果在凹样板外面时，下料的尺寸要放大一些。图示的样板角度是  $60^\circ$ ，可用几何划法划出斜线，其他角度则采取计算法。现将划线步骤说明如下：

1) 以基准面 I 为基准，划出圆弧中心线和样板肩部的平行线。

2) 以基准面 II 为基准，划出中心线和尺寸为  $16.4\text{mm}$  的平行线，得出交点  $a$  和  $a'$ 。

3) 以  $a$  和  $a'$  为圆心，用适当尺寸为半径划圆弧得出交点  $b$  和  $b'$ 。再以  $b$  和  $b'$  为圆心，用同样半径划圆弧得交点和  $c$  和  $c'$ ，连接  $ac$  和  $a'c'$  得斜线。

4) 划  $R5.1$  圆弧线，划出的圆弧线应与斜线相切，如果不相切，就说明划线错误或图样设计尺寸不正确。

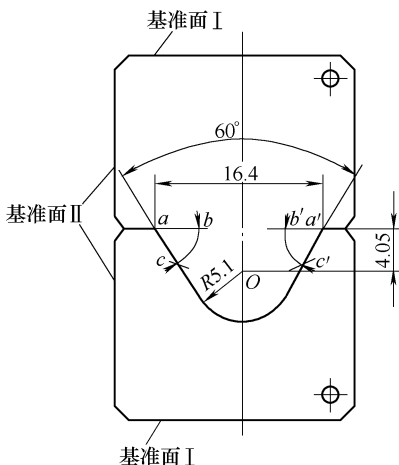


图 3-2-27 链轮样板

## 第五节 钻模板的划线

钻模板如图 3-2-28 所示。这个工件在划线前  $\phi 300\text{mm}$  的外圆、 $\phi 75\text{mm}$  的内孔都已车削好，两面也已磨好，现在要划七个小孔的线。

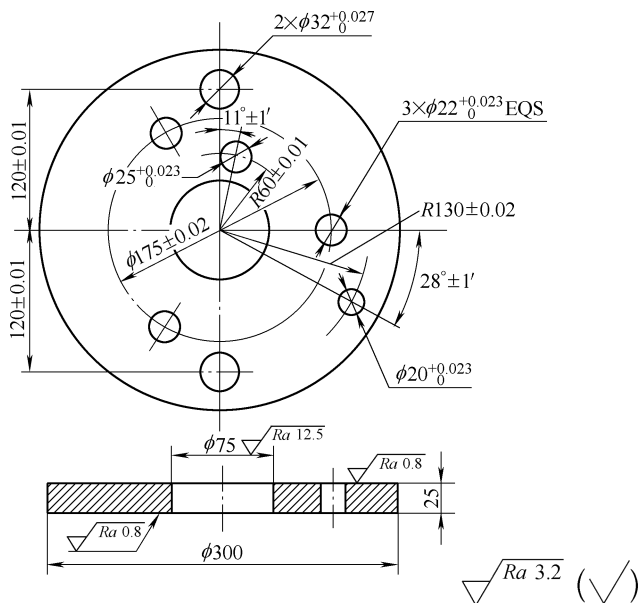


图 3-2-28 钻模板

钻模板的划线属于平面划线。从图 3-2-28 中的尺寸注法及工件形状来看，放在分度头上划线很方便。但是因为工件很大，一般分度头上不能装夹，这时只能将图线尺寸换算成坐标尺寸，把工件直接竖放在划线平台上用高度游标卡尺来划线。其划线基准是两个互相垂直的中间平面。

尺寸换算如图 3-2-29 所示。

将钻模板上角度、半径尺寸换算成坐标尺寸如下：

$$x_1 = 130 \cos 28^\circ \text{mm} = 130 \times 0.88295 \text{mm} = 114.784 \text{mm};$$

$$y_1 = 130 \sin 28^\circ \text{mm} = 130 \times 0.46947 \text{mm} = 60.031 \text{mm};$$

$$x_2 = 60 \sin 11^\circ \text{mm} = 60 \times 0.19018 \text{mm} = 11.449 \text{mm};$$

$$y_2 = 60 \cos 11^\circ \text{mm} = 60 \times 0.98163 \text{mm} = 58.898 \text{mm};$$

$$x_3 = x_4 = 87.5 \sin 30^\circ \text{mm} = 87.5 \times 0.5 \text{mm} = 43.750 \text{mm};$$

$$y_3 = y_4 = 87.5 \cos 30^\circ \text{mm} = 87.5 \times 0.866 \text{mm} = 75.775 \text{mm}。$$

划线步骤如下：

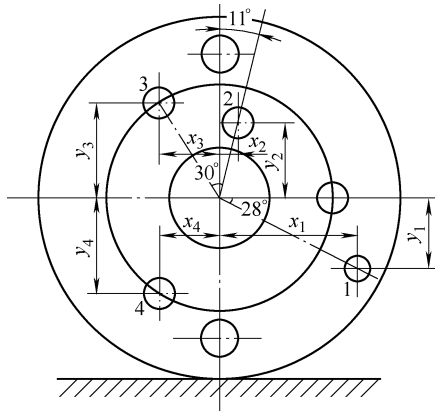


图 3-2-29 尺寸换算

1) 将钻模板用台虎钳夹住立在划线平台上, 如图 3-2-30 所示。台虎钳各面间互相垂直, 用它夹住钻模板的端面, 这个端面就垂直了, 可用直角尺检查, 如图 3-2-30a 所示。如略有不垂直对划线尺寸影响极微, 所以一般用台虎钳夹住就可以了。钻模板也可用 C 形夹头夹在角铁上使之垂直。

2) 量出钻模板实际外径  $D$ , 将高度游标卡尺调节到  $D/2$  划出中心线 (划线基准), 把高度游标卡尺调高一些, 划一辅助线, 如图 3-2-30a 所示, 以便下道划线时校垂直用; 然后分别将高度游标卡尺调节到  $\frac{D}{2} + 120\text{mm}$ 、 $\frac{D}{2} - 120\text{mm}$ 、 $\frac{D}{2} - y_1$ 、 $\frac{D}{2} - y_4$ 、 $\frac{D}{2} + y_2$ 、 $\frac{D}{2} + y_3$ , 划各个孔的中心线。

3) 将钻模板逆时针转过  $90^\circ$ , 再用台虎钳夹住, 如图 3-2-30b 所示, 用直角尺校正辅助线, 调节钻模板位置, 使辅助线垂直于底面, 然后旋紧台虎钳 (因为一般直角尺尺座较宽, 与工件相碰, 钢直尺贴不住直径线, 所以要在边上另划一辅助线用以校垂直)。

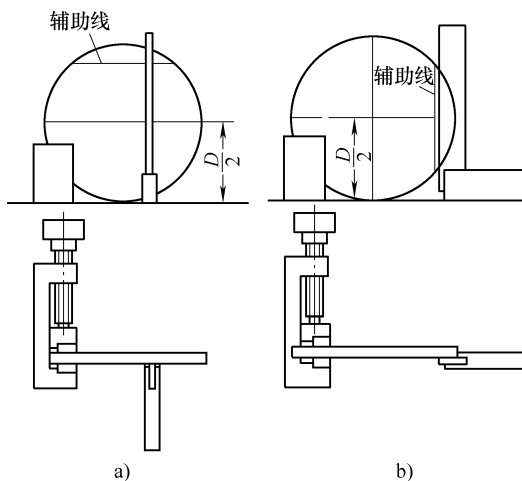


图 3-2-30 钻模板的划线方法

a) 划  $y$  方向尺寸 b) 划  $x$  方向尺寸

4) 将高度游标卡尺调节到  $D/2$ , 划出直径线 (也是划线基准), 然后分别将高度游标卡尺调节到  $\frac{D}{2} + x_3$ 、 $\frac{D}{2} + x_4$ 、 $\frac{D}{2} - x_2$ 、 $\frac{D}{2} - x_1$ , 划出各个孔的中心线。

5) 打中心孔的样冲眼, 划出  $\phi 175 \pm 0.02$ 、 $R130 \pm 0.02$  圆弧, 在圆弧与中心线交点上、划线基准中心线上打上样冲眼。

## 第六节 特形工件划线方法

所谓特形工件，就是其形状特异，一些待加工表面及加工孔的位置往往都不在垂直、水平位置，其尺寸标注也比较复杂，这些零件的形状极其不规则。例如，杠杆、拨叉及支架等就是这类零件。所以对这些特形工件划线时，很难找到其规律的东西，只能根据具体工件而定，一般情况下都借助于一些夹具或辅助工具，如角铁、方箱、千斤顶、V形块等来实现。除此之外，在选择划线基准时，一般应选择比较重要的中心线作为划线基准，如孔的中心线，如图 3-2-31 所示。但有时只选孔的中心线不能满足划线基准的要求，就需要在零件上选一比较有利的部位划一参考线，作为辅助基准来保证其他部位划线的顺利进行。

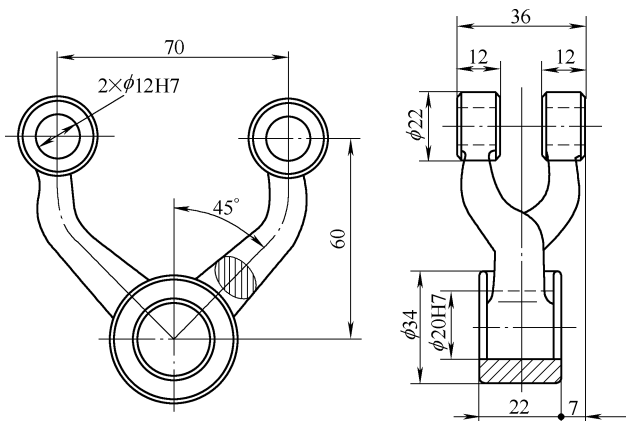


图 3-2-31 特形工件

图 3-2-32 所示的传动机架是一个特形工件。由图可知该零件外形是不规则的。 $\phi 40\text{mm}$  孔的中心线与  $\phi 75\text{mm}$  孔的中心线成  $45^\circ$ ，而且其交点在工件之外而不在工件本体上，这给划线时的尺寸控制带来一定的难度。因此，划线需要在划出辅助基准线和有辅助夹具的前提下才能完成。为了尽可能减少安装次数，在一次安装中尽可能多地划出所有加工尺寸线，可利用三角函数解尺寸链的方法。

划线过程如下：

1) 把工件固定在划线角铁上，如图 3-2-33 所示。以划线平台面为基准，使 A、B、C 三个凸缘部分中心尽可能调整到同一条水平线上。同时用直角尺检查上、下两个凸台表面，使其与划线平板台面垂直；然后将工件和安装角铁同时转动  $90^\circ$ ，使角铁大平面紧贴平板台面，如图 3-2-34 所示。用划针盘找正 D、E 两凸缘部分毛坯表面与平板台面平行。经过以上找正后，将工件与角铁紧固。



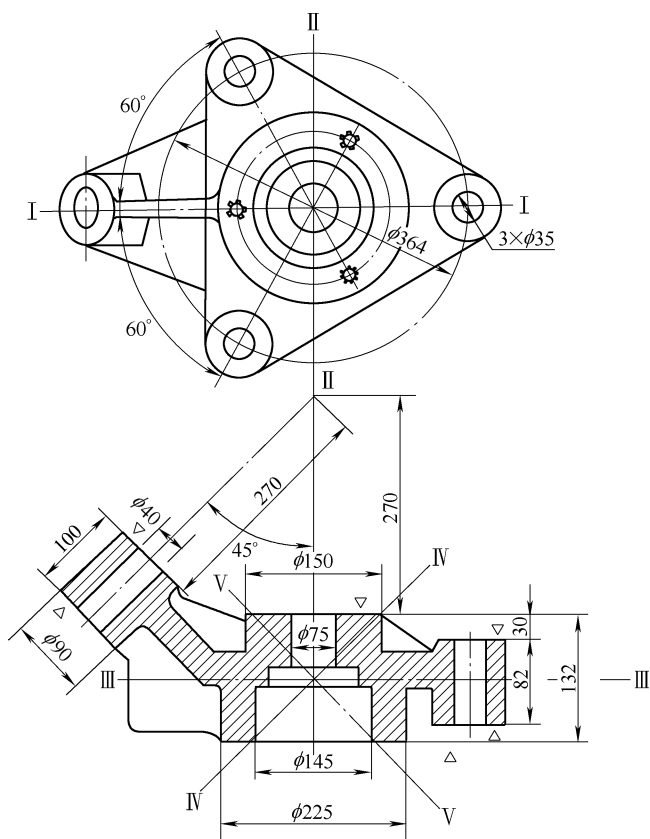


图 3-2-32 传动机架

2) 图 3-2-33 所示传动机架的第一划线位置。通过  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三个中心点划出中心线  $I-I$  基准线，高度为  $a$ ，再以此线为基准划两个  $\phi 35\text{mm}$  孔的中心线，高度分别为  $a + \frac{364}{2}\cos 30^\circ\text{mm}$  和  $a - \frac{364}{2}\cos 30^\circ\text{mm}$ 。

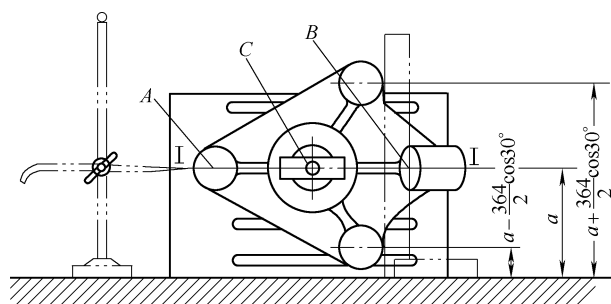


图 3-2-33 传动机架划线（一）

3) 图 3-2-34 所示为传动机架的第二划线位置。根据毛坯情况找出孔  $\phi 75\text{mm}$  的中心，划中心线 II-II，高度为  $b$ ，作为第二划线基准尺寸，再以此为基准划三个  $\phi 35\text{mm}$  孔的中心线，高度分别为  $b + \frac{364}{2}\sin 30^\circ\text{mm}$  和  $b - \frac{364}{2}\text{mm}$ 。

4) 图 3-2-35 所示传动机架的第三划线位置。根据工件毛坯厚度，确定各凸台两端的加工余量，找正后划出中心线 III-III，高度为  $c$ ，作为第三划线基准线，确定其与 II-II 相交点为  $O$ 。然后以此为基准划各凸台上、下两加工界线。大凸台上、下加工界线高度分别为  $c + \frac{132}{2}\text{mm}$  和  $c - \frac{132}{2}\text{mm}$ ，三个小凸台的上、下加工界

线高度分别为  $c + \frac{132}{2}\text{mm} - 30\text{mm}$  和  $c + \frac{132}{2}\text{mm} - 30\text{mm} - 82\text{mm}$ 。两基准线 II-II 与 III-III 相交于  $O$  点，如图 3-2-36 所示。

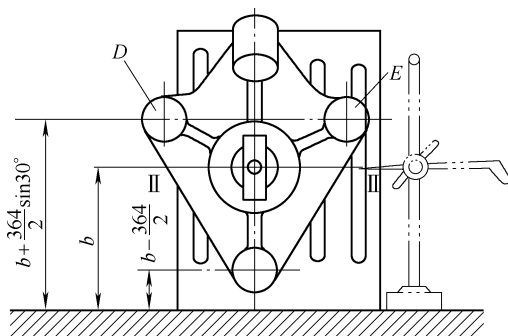


图 3-2-34 传动机架划线 (二)

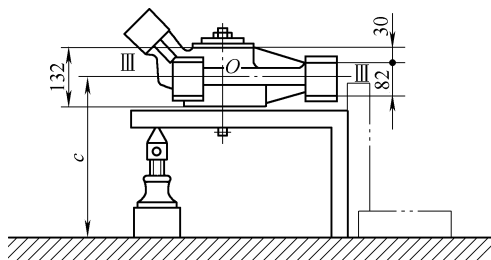


图 3-2-35 传动机架划线 (三)

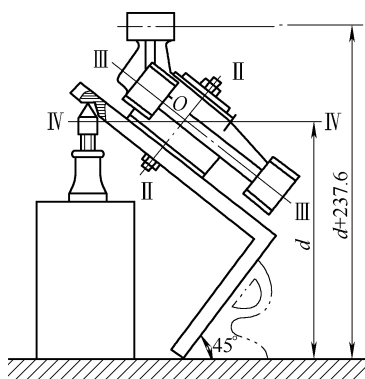


图 3-2-36 传动机架划线 (四)

5) 如图 3-2-36 所示，将划线角铁斜放，用  $45^\circ$  斜面规或游标万能角度尺进行校正固定。按图样要求使角铁与平板表面成  $45^\circ$  倾角，为第四划线位置。通过 II-II 与 III-III 交点  $O$ ，划出辅助基准线 IV-IV，高度为  $d$ ，以此为基准划孔  $\phi 40\text{mm}$  的中心线，高度为  $d + 237.6\text{mm}$ ，与 I-I 中心线相交，交点即为  $\phi 40\text{mm}$  孔的圆心。辅助基准 IV-IV 到  $\phi 40\text{mm}$  孔中心线的距离是  $\left(270 + \frac{132}{2}\right) \times \sin 45^\circ\text{mm} = 336 \times 0.707\text{mm} \approx 237.6\text{mm}$ 。

6) 如图 3-2-37 所示, 将划线角铁向另一方向倾斜成  $45^\circ$ , 用角铁或游标万能角度尺进行校正固定, 如图 3-2-37 所示, 为第五划线位置。通过交点  $O$ , 划出第五辅助基准线  $V-V$ , 高度为  $e$ , 再以此为基准, 分别划出 100mm 尺寸的上、下界线。划针盘的高度分别为

$$e - \left[ 270 - \left( 270 + \frac{132}{2} \right) \times \sin 45^\circ \right] \text{mm} = e - 32.4 \text{mm}$$

$$e - \left[ 270 - \left( 270 + \frac{132}{2} \right) \times \sin 45^\circ \right] \text{mm} - 100 \text{mm} = e - 132.4 \text{mm}$$

7) 将工件从角铁上卸下来, 在  $\phi 75 \text{mm}$  和  $\phi 40 \text{mm}$  孔内塞上中心塞块, 用钢直尺连接已划出的中心线, 作交接圆心, 划出各孔的加工线。

8) 在各尺寸上打均匀的样冲眼。最后检查无误, 划线结束。

以上划线方法是将空间尺寸经过换算成为所需要的尺寸。还有一种方法,

可在空间位置增加一辅助平面, 即将一块高于 270mm 的铁板, 连同压板固定在工件上, 使  $45^\circ$  交线能划在辅助铁板上。以此办法无需空间计算就可直接划出尺寸线。

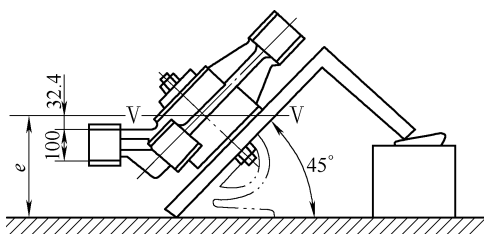


图 3-2-37 传动机架划线 (五)

## 第七节 箱体划线

在机器制造业中, 箱体是一种常见零件形式, 如各种机床的主轴箱、进给箱, 汽车、拖拉机的发动机体、变速器箱体、差速器壳等, 工装、夹具、模具的主体。有些箱体需分成箱盖和箱体 (座) 两部分; 有些夹具、模具还分成上、下模 (体), 都要分别制造。

箱体工件的工艺性和加工工序比较复杂, 各种尺寸和位置精度要求较高, 夹具体、模具体要求更高。而划线既是加工前的工序, 又是加工时找正的依据 (单件加工更是如此), 所以在进行箱体划线时, 必须掌握全局, 只有弄清了线与线之间、划线与加工之间以及箱体上加工部位和箱体内零件的装配关系等问题, 认真负责地划好每一条线, 才能使以后的箱体加工达到质量要求。

### 一、箱体划线的方法

箱体工件的划线, 除按一般划线时选择划线基准、找正、借料外, 还应注意以下几点:

1) 划线前必须仔细检查毛坯质量, 有严重缺陷和误差很大的毛坯, 就不要勉

强去划线，避免出现废品和浪费较多工时。

2) 认真掌握技术要求，如对箱体工件的外观要求、精度要求和几何公差要求；分析箱体的加工部位与装配工件的相互关系，避免因划线前考虑不周而影响工件的装配质量。

3) 了解零件机械加工工艺路线，知道各加工部位应划的线与加工工艺的关系，确定划线的次数和每次要划哪些线，避免因所划的线被加工掉而重划。

4) 第一划线位置应该是选择待加工表面和非加工表面比较重要和比较集中的位置，这样有利于划线时能正确找正和及早发现毛坯的缺陷，既保证了划线质量，又可减少工件的翻转次数。

5) 箱体工件划线一般都要准确地划出十字找正线，为划线后的刨、铣、镗、钻等加工工序提供可靠的找正依据。一般常以基准孔的轴线作为十字找正线，划在箱体的长而平直的部位，以便于提高找正的精度。

6) 第一次划出的箱体十字找正线，在经过加工以后再次划线时，必须以已加工的面作为基准面，划出新的十字找正线，以备下道工序找正。

7) 为避免和减少翻转次数，其垂直线可利用直角尺或角铁一次划出。

也可采用图 3-2-38 所示的垂直划针盘。使用时，划针盘安放在所划线的对应位置，底座固定在平台上，紧固划针螺钉，将划针固定在转筒上，松开滑块手柄，使滑块在夹板滑槽中上下移动，转筒且可绕其心轴回转，因此可以划出任意平面和曲面上的垂直线。

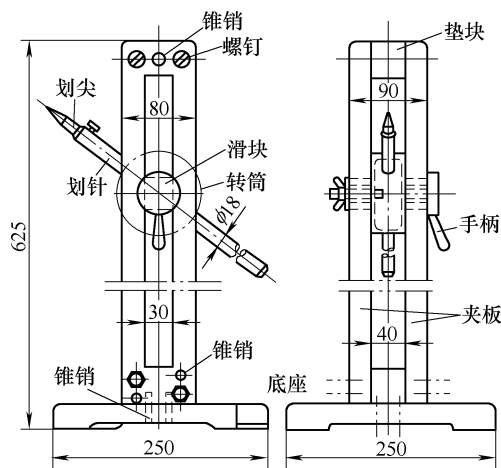


图 3-2-38 垂直划针盘

8) 某些箱体，内壁不需加工，而且装配齿轮或其他零件的空间又较小，在划线时要特别注意找正箱体内壁，以保证加工后能顺利装配。

经过上述研究分析后，就可以进行划线。

## 二、箱体划线实例

### A150 减速器箱体划线。

A150 减速器属于一种速比较大、散热较好、稳定性高的减速器。图 3-2-39 所示为 A150 减速器箱体，从图中可以看出，蜗轮容纳在  $\phi 300\text{mm}$  非加工孔中，划线时首先要考虑， $\phi 300\text{mm}$  的毛坯孔与  $\phi 140\text{mm}$  的加工孔应尽可能同心，使蜗轮装配

下

图 3-2-39 A150 减压器相序

1

图 3-2-40 A150 减速器箱体划线

a) 第一划线位置    b) 第二划线位置    c) 第三划线位置

 $\psi$

$\phi 100\text{mm}$  孔的第二位置线Ⅲ-Ⅲ，Ⅲ-Ⅲ线与Ⅱ-Ⅱ线的交点，即为  $\phi 100\text{mm}$  孔的中心；再以Ⅲ-Ⅲ线为基准上移 110mm，划出 A 面加工线，以 A 面加工线为基准下移 230mm，划出 B 面加工线，即完成第二划线位置的划线工作。

将箱体再翻转  $90^\circ$ ，如图 3-2-40c 所示，安放在平台上，调整斜铁，用直角尺找正Ⅱ-Ⅱ、Ⅰ-Ⅰ位置线，分别与平台面垂直，并兼顾 C、B 面使其留有足够的加工余量，接着依据  $\phi 300\text{mm}$  毛坯孔壁和  $\phi 220\text{mm}$  外圆凸台，划出  $\phi 140\text{mm}$  孔的第二位置线Ⅳ-Ⅳ、Ⅳ-Ⅳ线与Ⅰ-Ⅰ线的交点，即为  $\phi 140\text{mm}$  孔的中心；然后以Ⅳ-Ⅳ线为基准上移 160mm，划出 D 面加工线，再以 D 面加工线为基准下移 320mm，划出 C 面加工线。这样，第三划线位置的划线工作即完成。

用样冲在加工界线、位置线及交点处均匀打上样冲眼，并用划规划圆  $\phi 140\text{mm}$ 、 $\phi 310\text{mm}$ 、 $\phi 100\text{mm}$  的校正线，同样打上样冲眼。

待加工后，配划各螺孔的位置线。

## 第八节 凸轮划线

凸轮机构是由具有曲线轮廓或凹槽的构件，通过高副接触带动从动件实现预期运动规律的一种高副机构。它广泛地应用于各种机械，特别是自动机械、自动控制装置和装配生产线中。在设计机械时，当需要其从动件必须准确地实现某种预期的运动规律时，常采用凸轮机构。

凸轮机构的优点是结构简单、紧凑，占据空间较小；具有多用性和灵活性，从动件的运动规律取决于凸轮轮廓曲线的形状。对于几乎任意要求的从动件的运动规律，都可以毫无困难地设计出凸轮轮廓线来实现。

凸轮机构的缺点是凸轮轮廓线与从动件之间是点或线接触的高副，易于磨损，故多用于传力不大的场合。

### 一、凸轮的类型

凸轮机构是由凸轮、从动件和机架这三个基本构件所组成的一种高副机构。工程实际中所使用的凸轮机构形式多种多样，常用的分类方法有以下几种。

#### 1. 按照凸轮的形状分类

(1) 盘形凸轮 这种凸轮是一个绕固定轴转动并且具有变化向径的盘形零件，如内燃机配气机构中的凸轮。当其绕固定轴转动时，可推动从动件在垂直于凸轮转轴的平面内运动。它是凸轮的最基本形式，结构简单，应用最广。如图 3-2-41a ~ f 所示，凸轮的形状为盘形，其从动件沿凸轮轮廓曲线作径向直线往复运动或摆动。其中，图 3-2-41a、b、c 所示属于外接凸轮，其从动件在回程时多半靠弹簧的力量或自重而运动；图 3-2-41d 所示属于内接凸轮，又称为平面沟槽凸轮，其从动件的往复运动完全由凸轮控制；图 3-2-41e、f 所示是两种共轭凸轮，即从动件上的两个

转子与凸轮轮廓始终保持接触，从动件的往复运动也完全由凸轮控制，同时由于图 3-2-41f 所示是由连成一体的一对主、副凸轮组成，因此又称为双连共轭凸轮。在上述各种盘形凸轮中，外接凸轮加工简单，应用较广；内接凸轮及共轭凸轮加工较困难，主要是在高速凸轮机构中应用。

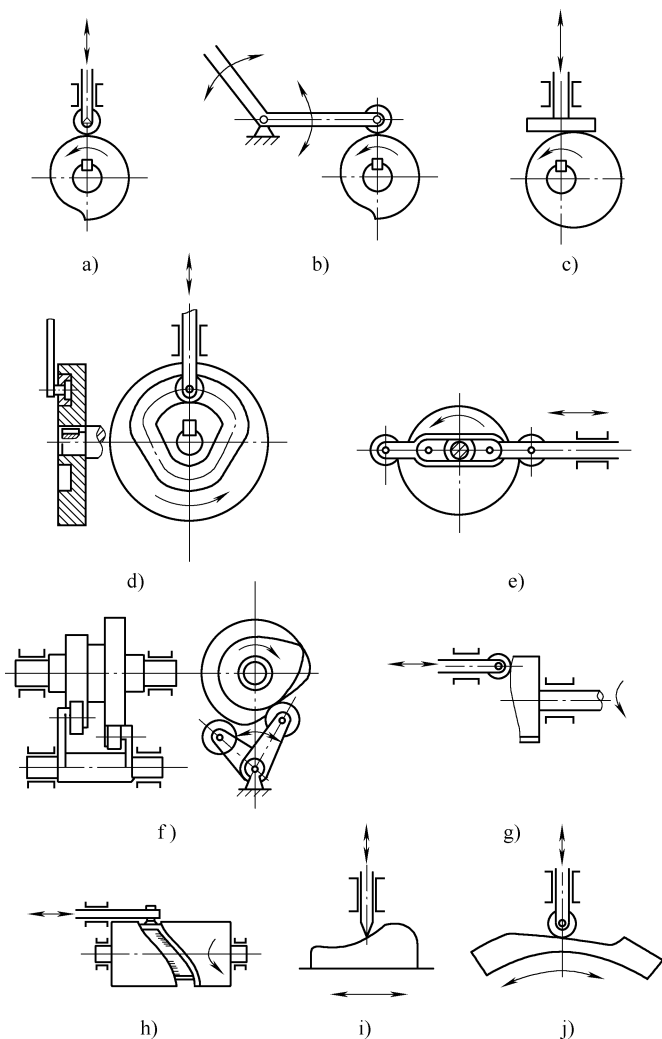


图 3-2-41 各种类型的凸轮

a)、b)、c)、d)、e)、f) 盘形凸轮 g)、h) 圆柱形凸轮 i)、j) 块状凸轮

(2) 块状凸轮 如图 3-2-41j 所示，凸轮镶拼在支承盘或板面上，可以调整中心距离，凸轮作往复移动或摆动，其从动件沿凸轮轮廓曲线也作相应的往复移动或摆动。

(3) 圆柱形凸轮 如图 3-2-41g、h 所示，凸轮的形状为圆柱形，其从动件沿



凸轮轮廓曲线作轴向直线往复运动。其中，图 3-2-41h 所示凸轮又称为外圆沟槽凸轮。

## 2. 按照从动件的形状分类

1) 尖端从动件，如图 3-2-41i 所示。从动件的尖端能够与任意复杂的凸轮轮廓保持接触，从而使从动件实现任意的运动规律。这种从动件结构最简单，但尖端处易磨损，故只适用于速度较低和传力不大的场合。

2) 平底从动件，如图 3-2-41c 所示。从动件与凸轮轮廓之间为线接触，接触处易形成油膜，润滑状况好。此外，在不计摩擦时，凸轮对从动件的作用力始终垂直于从动件的平底，受力平稳，传动效率高，常用于高速场合。其缺点是与之配合的凸轮轮廓必须全部为外凸形状。

3) 转子从动件，如图 3-2-41 中的其他几种。为减小摩擦磨损，在从动件端部安装一个滚轮，把从动件与凸轮之间的滑动摩擦变成滚动摩擦，因此摩擦磨损较小，可用来传递较大的动力，故这种形式的从动件应用很广。

以上介绍了凸轮机构的几种分类方法。将不同类型的凸轮和从动件组合起来，就可以得到各种不同形式的凸轮机构。设计时，可根据工作要求和使用场合的不同加以选择。

## 二、凸轮的轮廓曲线

凸轮的轮廓曲线是根据从动件的动作要求来设计的。经常用到的有等速运动曲线、等加速和等减速运动曲线、余弦加速度运动（简谐运动）曲线以及正弦加速度运动曲线等。

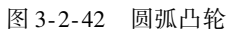
其中，等速运动曲线最简单，其凸轮轮廓曲线即为所谓的“阿基米德螺旋线”，形状如图 3-2-41a、b 所示；当凸轮转过相等的角度时，从动件则沿径向移动相等的距离。这种运动曲线常用于各种进刀机构。

后两种运动曲线较常见于各种高速凸轮机构，它们的凸轮轮廓曲线比较复杂，在此不作详细叙述。

但必须指出，除了采用尖端从动件外，由上述运动曲线所直接求得的凸轮轮廓曲线，并不就是凸轮的实际轮廓曲线。如以转子从动件为例，首先求得的轮廓曲线是表示转子中心的移动轨迹，通常称为“理论轮廓曲线”，如图 3-2-41d 中的点画线所示，而实际轮廓曲线则是图中这些与转子圆相切的曲线，即所谓的“包络线”，如图 3-2-41d 中的粗实线所示。对于尖端从动件的凸轮机构，由于从动件上始终是同一点接触，因此两种轮廓曲线完全重合。在一般凸轮工作图样中，通常都会有两种轮廓曲线，尤其是对于某些要求较高的凸轮（如内接凸轮与共轭凸轮），有时还应按理论轮廓曲线尺寸数据进行划线（详见后面叙述），所以必须弄清楚凸轮的理论轮廓曲线和实际轮廓曲线的概念，防止在划线工作中由于混淆而出错。

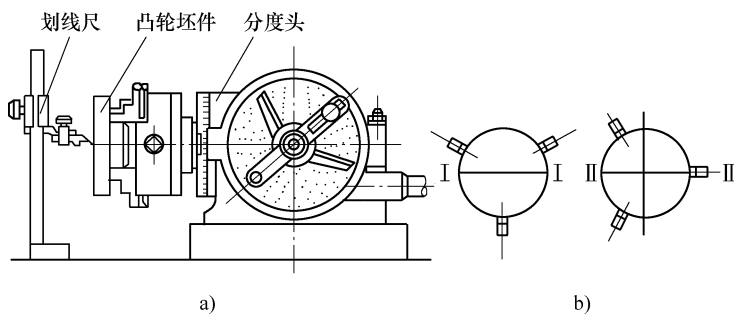
### 三、凸轮划线的基本方法

凸轮划线大都是在凸轮工件上的轴孔、外圆、端面等已经加过工，制成半成品后，借这些轴孔、外圆、端面作为基准来划线的。对部分圆弧曲线中心点落在孔中心的凸轮，应该将孔填平；对曲线中心点落在坯件外的凸轮，则可以利用几何关系或拼块等方法来划线，待划线的工作表面需涂上甲基品紫等显色剂，以保证划出来的线条清晰。



中小型凸轮在分度头上划线较方便，首先划中心十字线，接着划射线或等距线。中心十字线的划法如下：

1) 如图 3-2-43 所示, 将凸轮毛坯装夹在分度头的自定心卡盘上, 摇动分度头, 用百分表校正坯件外圆 (或内孔) 和端面, 也可校正以 H7/h6 配合装在坯件孔内的检验棒。



a) 划第一条中心线    b) 转过  $90^\circ$ , 划第二条中心线

217

中心线Ⅱ-Ⅱ；这样中心十字线就划好了。

凸轮坯件划中心十字线的其他方法，尚可参考前述轴的中心十字线划法。

### 3. 划凸轮分度射线

1) 在分度头上划分度射线。当在分度头上划出工件的中心十字线后，接着便可十分方便地划凸轮分度射线。在通常采用的分度头上，装夹工件的自定心卡盘是通过一对速比为 1:40 的蜗轮、蜗杆啮合带动的，分度操作手柄与蜗杆相连，当手柄摇过 40 转时，工件转过一转，即手柄每摇一转，工件就转过  $9^\circ$ 。而一般凸轮的分度角都取整数值，所以只要将分度孔板取 9 的整倍数即可十分方便而又准确地进行分度了。其分度孔数  $n$  的计算公式如下

$$\text{分度头孔数 } n = \text{分度角 } \theta \times \frac{\text{分度孔柄数 } n_0}{9}$$

例如，分度角  $\theta = 5^\circ$ ，取分度孔板数  $n_0 = 63$ ，则

$$\text{分度孔数 } n = 5 \times \frac{63}{9} = 35$$

即每次分度只需将操作手柄摇过 35 孔。

在划分度射线时，由于划线尺（或划针盘）的划针尖在划中心十字线时，已校正分度头中心高上，因此，只要用已划出的中心水平线作为基准线，按计算求得的分度孔摇动手柄，即可依次划出图样上所要求的各条分度射线。

2) 应用计算或几何作图方法划分度射线。在不具备分度头，或某些大型凸轮工件在分度头上不易装夹的情况下，可以采用计算或几何作图的方法划凸轮分度射线。

如图 3-2-44 所示，应用弦长进行分度。其方法为：首先选定一个合适的半径  $R$ （通常可取凸轮的最小半径），用划规在工件端面上划一圆周，然后通过计算求得夹角  $\varphi$  及分度角  $\varphi/n$  所对应的总弦长  $S_0$  与分度弦长  $S$ ，再用划规在圆周上依次截取，如截取后终点不相重合时，可将分度弦长  $S$  调整试凑，直至完全等分为止。最后将中心  $O$  与各交点相连，即可划出各条分度射线。弦长计算公式如下

$$\text{总弦长 } S_0 = 2R \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$\text{分度弦长 } S = 2R \sin \frac{\varphi}{2n}$$

**例 1** 凸轮工件上某段曲线的夹角  $\varphi = 30^\circ$ ，要分成 6 等份，试应用弦长进行分度（凸轮曲线的最小半径为 115mm）。

**解** 因为这一凸轮曲线的最小半径是整数，所以可直接取它为划线半径，即  $R = 115\text{mm}$ 。则

$$\text{总弦长 } S_0 = 2 \times 115 \times \sin \frac{30^\circ}{2} \text{mm} = 59.52\text{mm}$$

$$\text{分度弦长 } S = 2 \times 115 \times \sin \frac{30^\circ}{2 \times 6} \text{ mm} = 10.03 \text{ mm}$$

当工件装夹在 V 形铁（或分度头）上划分度射线时，如图 3-2-45 所示，还可应用计算弦高的方法进行分度。其方法为：首先在工件端面上用划规按选定半径  $R$  划一圆弧，然后按夹角  $\varphi$  及分度角  $\varphi/n$  分别求得各段弦高  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $\dots$ 、 $H_n$ ，计算公式如下

$$\text{第 } i \text{ 段弦高 } H_i = R \sin \left( \frac{i}{n} \varphi \right)$$

$$\text{夹角 } \varphi \text{ 对应弦高 } H_n = R \sin \varphi$$

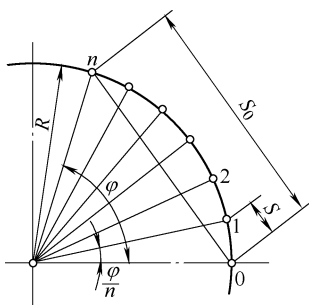


图 3-2-44 用弦长分度

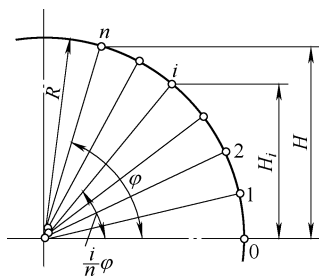


图 3-2-45 用弦高分度

**例 2** 同上例，应用弦高进行分度，试求出第 4 条分度射线及夹角  $\varphi$  所对应的弦高  $H_4$  与  $H_6$ 。

$$\text{解 第 4 段弦高 } H_4 = 115 \times \sin \left( \frac{4}{6} \times 30^\circ \right) \text{ mm} = 39.33 \text{ mm}$$

$$\text{夹角 } \varphi \text{ 对应弦高 } H_6 = 115 \sin 30^\circ \text{ mm} = 57.50 \text{ mm}$$

在求得各段弦高后，便可将划线尺尖调整至工件的中心高加对应弦高的高度上，在圆周上依次截取，然后用调整至中心高的划线尺，通过相应地转动工件，将中心  $O$  与圆周上截得的各交点相连，即可划出夹角的射线及各条分度射线。当夹角  $\varphi$  过大时（如大于  $60^\circ$ ），截取交点就可能不清晰，甚至难以分辨，这时可将工件上的十字线转过  $90^\circ$ ，利用夹角  $\varphi$  的余角  $(90^\circ - \varphi)$  进行划线。

此外，当等分数为 2 的乘方幂时（2、4、8、10、16、32、 $\dots$ 、 $2^n$ ），还可以较方便地应用 2 等分角度的几何作图法，如图 3-2-46 所示，对任一已作出的夹角  $\varphi$  依次进行 2 等分、4 等分、8 等分、 $\dots$ ，直至完全等分为止。该方法也可称为“等分法”，但它具有较大的局限性，不能进行任意的等分。

#### 4. 凸轮轮廓曲线的划法

(1) 凸轮圆弧轮廓曲线的划法 凸轮圆弧轮廓

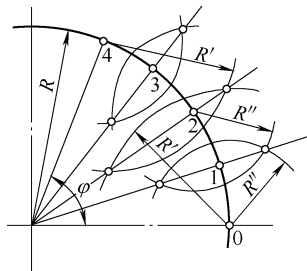


图 3-2-46 用等分法分度

曲线是根据各段圆弧中心坐标位置来决定的。在划线时,各圆弧中心位置是否准确,将对凸轮轮廓曲线产生直接的影响。下面介绍几种划圆弧的方法。

1) 在划线箱(或分度头)上定中心划圆弧,以图 3-2-47 所示圆弧凸轮工件为例,其轮廓曲线主要由 $\widehat{ABC}$ 、 $\widehat{CD}$ 、 $\widehat{EF}$ 、 $\widehat{GZ}$ 各段圆弧组成(此外还包括两段过渡圆弧 $\widehat{DE}$ 、 $\widehat{FG}$ 及直线段 $AZ$ ),据此,便可将凸轮坯件按图 3-2-47 所示装夹在划线箱的 V 形槽中(或装夹在分度头卡盘上),进行划线。其划线方法如下:

① 对其中心点与凸轮轴孔中

心重合的圆弧段,如 $\widehat{ABC}$ 及 $\widehat{EF}$ ,可以直接在划线箱 V 形槽中(或分度头上)转动凸轮划线。其方法是在凸轮垂直中心线上,用划线尺尖在 B 点截取  $OB$  等于  $R$ ,并使划线尺尖停在 B 点不动。转动凸轮即可划出圆弧段 $\widehat{ABC}$ ,然后再按半径  $R_3$  划出圆弧段 $\widehat{EF}$ 。但划线尺较易走动,一般也可以用划规直接划出圆弧。

② 对以十字坐标标出中心的

圆弧段,如 $\widehat{GZ}$ ,应根据坐标定出中心  $O_1$ ,然后用划规划圆弧。其划法是在划线尺上取尺寸等于  $H + h$  划一短线,再将划线箱翻转  $90^\circ$ ,在划线尺上取尺寸等于  $H_1 + h_1$ ,划线得交点  $O_1$ ,即为 $\widehat{GZ}$ 段圆弧中心,然后用划规以  $R_1$  为半径划出圆弧段 $\widehat{GZ}$ 。

③ 对中心点标注在角度射线上的圆弧段,如 $\widehat{CD}$ ,应先分出  $30^\circ$  角度射线,再将角度射线转至垂直位置,按中心高  $[H + (R - R_2)]$  用划线尺在角度射线上截取中心点  $O_2$ ,用划规以  $O_2$  为圆心,以  $R_2$  为半径,即可划出 $\widehat{CD}$ 圆弧段。

2) 求过渡中心划圆弧。有时图样上某些圆弧的中心位置没有明确地标注出来,而只是介于其他两圆弧之间,与相邻圆弧相切,这是一种过渡圆弧。过渡圆弧的中心可以从相邻圆弧和公切圆弧间的几何关系中求得,其原理为两相切圆弧的切点必然通过两圆弧的中心。

① 作已知 A、B 圆弧的内切过渡圆弧 C 的方法,如图 3-2-48a 所示。

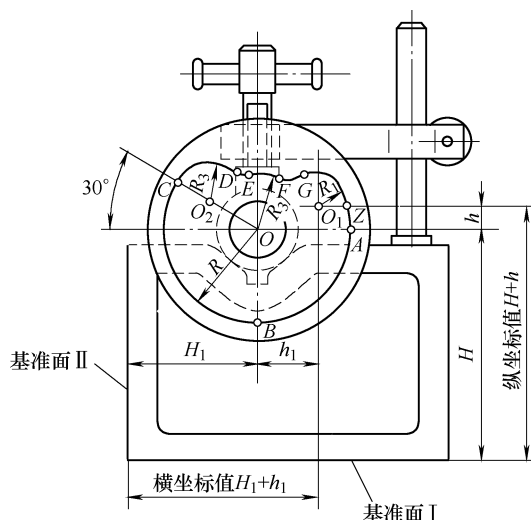


图 3-2-47 在划线箱上定中心划圆弧

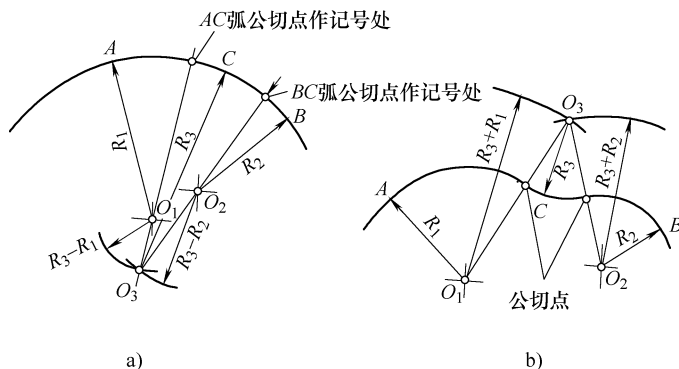


图 3-2-48 求过渡圆弧中心划圆弧

a) 内切过渡圆弧 b) 外切过渡圆弧

已知圆弧  $A$  的半径为  $R_1$ ，中心为  $O_1$ ；圆弧  $B$  的半径为  $R_2$ ，中心为  $O_2$ ；且知过渡圆弧  $C$  的半径为  $R_3$ ，求其中心  $O_3$ 。作图方法为：以  $A$  圆弧中心  $O_1$  为圆心，以  $R_3 - R_1$  为半径划弧，再以  $B$  圆弧中心  $O_2$  为圆心，以  $R_3 - R_2$  为半径划弧，得交点  $O_3$ ，即为过渡圆弧  $C$  的中心。然后即可以  $O_3$  为圆心、 $R_3$  为半径作过渡圆弧  $C$ ，它与  $A$ 、 $B$  圆弧必然相切。

② 作已知  $A$ 、 $B$  圆弧外切过渡圆弧  $C$  的方法，如图 3-2-48b 所示。已知圆弧  $A$  半径为  $R_1$ ，中心为  $O_1$ ；圆弧  $B$  的半径为  $R_2$ ，中心为  $O_2$ ；且知过渡圆弧  $C$  的半径为  $R_3$ ，求其中心  $O_3$ 。作图方法为：以  $A$  圆弧中心  $O_1$  为圆心，以  $R_3 + R_1$  为半径划弧；再以  $B$  圆弧中心  $O_2$  为圆心，以  $R_3 + R_2$  为半径划弧，得交点  $O_3$ ，即为过渡圆弧  $C$  的中心。然后即可以  $O_3$  为圆心、 $R_3$  为半径作过渡圆弧  $C$ ，它与  $A$ 、 $B$  圆弧必然相切。有关求凸轮过渡圆弧的实例，可参考以下盘形端面沟槽凸轮的划线。

在使用划规划凸轮圆弧时须注意，当圆弧中心点  $O$  所在平面高于或低于圆弧所在平面时，应将划规所取的实际半径作相应修正，修正半径  $R'$  可利用几何关系作图求出。如对于图 3-2-49a 所示凸轮工件，先可用深度游标卡尺量出凸台高度  $H$ ，然后如图 3-2-49b 所示，在平整的铜皮上划出十字线，并分别截取  $OA$ 、 $OB$  等于高度  $H$  及半径  $R$ ，线段  $AB$  长度即为修正半径  $R'$ ，再以  $O$  点为圆心， $R'$  为半径，便可划出所需凸轮圆弧。此外，修正半径也可应用勾股定理求得，即  $R' = \sqrt{R^2 + H^2}$ ，但计算较为麻烦。

(2) 凸轮等速运动曲线的划法 所谓等速运动曲线是指当凸轮转过相等角度，从动杆就移动（上升或下降）相等距离，习惯上又称为“阿基米德螺旋线”。这种等速曲线，在机床自动进刀机构中应用较多。如果从动件采用尖端从动杆时，凸轮实际轮廓曲线即为等速曲线，而当从动件的转子直径很小，或凸轮曲线要求不高时，也可将凸轮实际轮廓曲线当做等速曲线。划线时，可用逐点划线法、圆弧划线法，以及两者相结合的分段作圆弧法等。







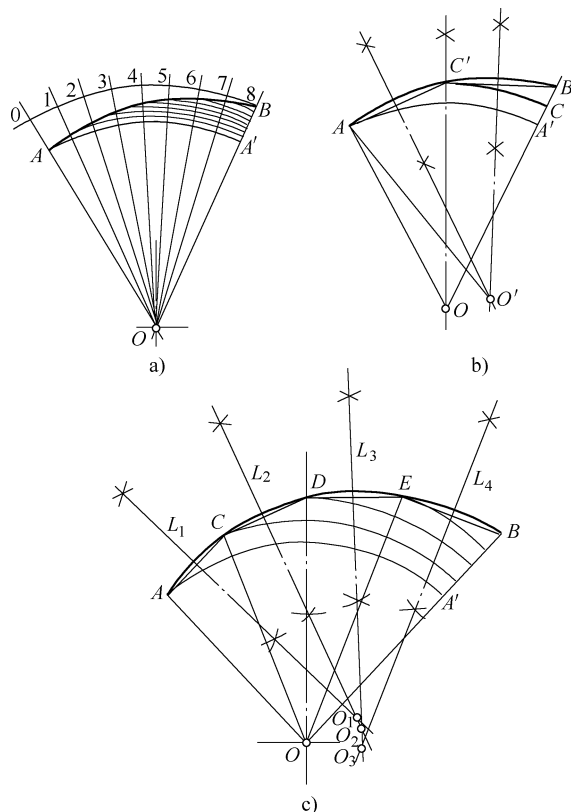


图 3-2-50 划等速曲线的方法

a) 逐点划线法 b) 圆弧划线法 c) 分段作圆弧法

③ 连接线段  $AC$ 、 $CD$ 、 $DE$ 、 $EB$ ，并分别作出这些线段的垂直平分线  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ ，得  $L_1$ 、 $L_2$  的交点  $O_1$ ， $L_2$ 、 $L_3$  的交点  $O_2$ ， $L_3$ 、 $L_4$  的交点  $O_3$ 。

④ 以  $O_1$  为圆心，过  $A$ 、 $C$ 、 $D$  点划圆弧；以  $O_2$  为圆心，过  $C$ 、 $D$ 、 $E$  点划圆弧；以  $O_3$  为圆心，过  $D$ 、 $E$ 、 $B$  点划圆弧，即为近似的等速运动曲线。

(3) 圆柱凸轮轮廓曲线的展开画法 运动曲线在圆柱面上的凸轮，一般都在工作图上划出展开图，如图 3-2-51 所示。其划线方法是按照展开图，在一块平整的铜皮或铁皮的，划出横坐标  $x$  和纵坐标  $y$ 。在横坐标  $x$  上，从  $O$  点起（即凸轮起始点），将凸轮圆柱面展开，展开长度为圆柱的外圆周长（ $\pi D$ ），再将周长分为若干等份，图上分为 36 等份，每等份为  $10^\circ$ 。在等分点上分别作纵坐标  $y$  的平行线。再以圆柱凸轮端面  $A$  为基准，从 0 线开始，分别截取凸轮曲线各相应点的轴向高度，即在  $y$  坐标上的高度。如  $0^\circ$  为 7.1、 $10^\circ$  为 7.2、 $20^\circ$  为 7.36、…，依次作得各点，然后将各点用曲线板连接成平滑的曲线，用剪刀剪去多余的部分，将其围在凸轮圆柱面上，使基线与凸轮端面  $A$  靠齐，并按图样要求对准 0 线，即可用划针沿铜皮在凸轮圆柱面上划出轮廓曲线。

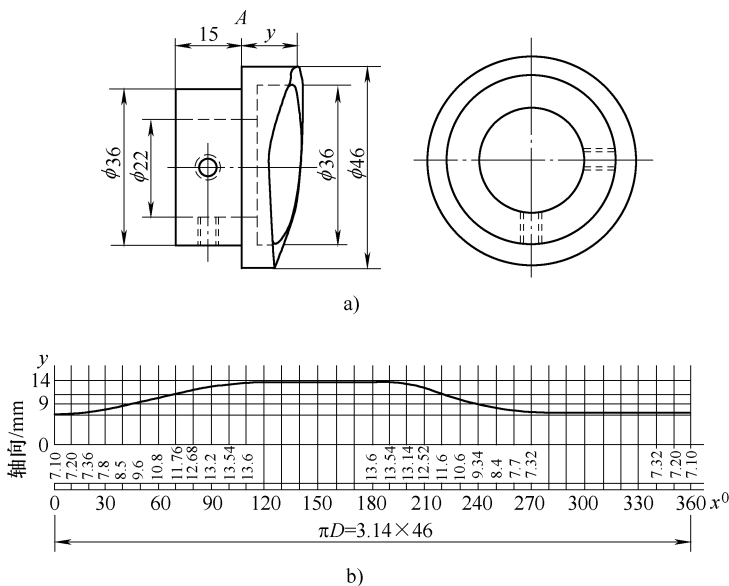


图 3-2-51 圆柱凸轮轮廓曲线的展开划法

### 5. 划凸轮曲线时的注意事项

- 1) 凸轮划线必须保持清晰、准确，曲线连接要求平滑，不需要的辅助线应当去掉，着重突出加工线。
- 2) 样冲孔必须冲正，落在线的正中，以便于加工检查。
- 3) 凸轮曲线的公切点（如过渡圆弧的切点），应打上明确的标记，以便于加工时掌握。凸轮曲线的起始点，装配“0”线等，必须明确标出。
- 4) 对某些精度要求较高的凸轮曲线，需经过装配、调整和钳工修整准确后才能定型，划线时，应根据工艺要求，留有一定的修整余量。

## 四、典型凸轮划法实例

当掌握了凸轮划线的一些技术规定后，还必须通过实际应用来加深理解，进一步提高对凸轮划线的认识，逐步地提高划线技术和技能。

### 1. 等速上升曲线凸轮的划法

图 3-2-52a 所示为铲齿车床的交换凸轮，工作曲线为  $0^\circ \sim 270^\circ$  等速上升曲线（即阿基米德螺旋线），上升量为 9mm，因所包含的角度达  $270^\circ$ ，用分段圆弧划线法较为适宜。其下降曲线从  $270^\circ \sim 360^\circ$ ，因要求不高，可直接用一段圆弧连接。其划线步骤如下：

（1）划线前的准备工作 凸轮坯件上除外缘外应全部加工好。划线时以锥孔为基准，用一个  $\phi 25.5\text{mm}$  锥度为 1:10 的心轴装夹。如采用  $\phi 34\text{mm}$  台阶孔为基准，则因第二次换向装夹车削时，会导致同轴度误差，从而显著地影响划线质量。

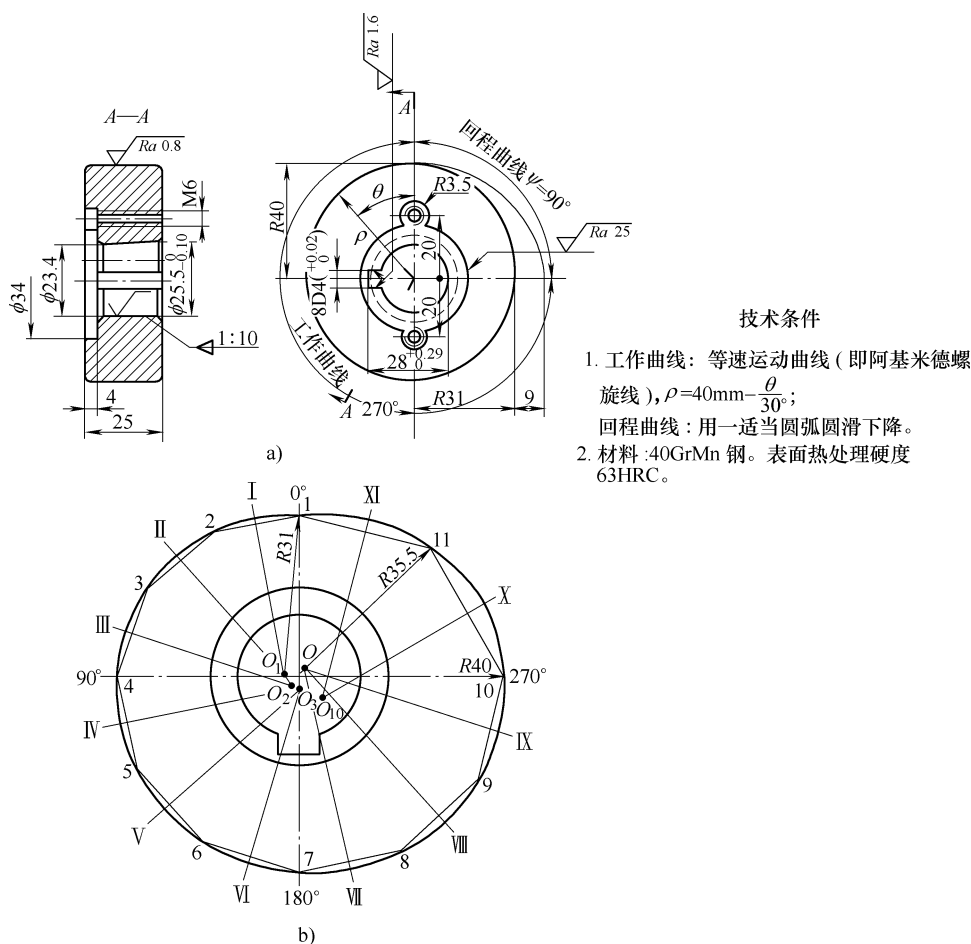


图 3-2-52 等速运动曲线凸轮的划法

a) 铲齿车床的交换凸轮工件 b) 凸轮曲线的划法

(2) 划中心十字线 首先将心轴装夹在分度头的自定心卡盘上，摇动分度头校正心轴，然后将凸轮坯件装夹在心轴上，以键槽定向划出中心十字线，即定出“0”位置。

(3) 划分度射线 凸轮工作曲线上升量为 9mm，包含角为 270°。为了计算方便，可将曲线分成 9 等份，每等份为 30°，上升量为 1mm，从 0°起，分度头每转过 30°（手柄摇过 3 $\frac{1}{3}$  转）作一条射线，即图 3-2-52b 中所示的 1、2、3、…、10（至 270°）共 10 条分度射线。此外在下降曲线的等分中点再划一条射线 11。

(4) 定距离 按图样尺寸及每隔 30°上升 1mm 的要求定凸轮曲线上的各点位置。先将坯件的“0”位转至最高点（或最低点），用游标高度卡尺在射线 1 上截取 1 点为 R31mm；然后将分度头转过 30°在射线 2 上截取 2 点为 R32mm；这样依次

截取，至射线 10 为  $R40\text{mm}$ ；射线 11 上截取 11 点为  $R35.5\text{mm}$ 。

将毛坯从心轴上取下，用外圆与  $\phi 34\text{mm}$  孔紧配的垫铁将该台阶孔垫平，但应注意，垫铁既不能松动，又不可将划线用的端面敲坏。

(5) 求各段圆弧的中心 先在截得的各点上冲好样冲孔，再用划规依次作线段 1-2 的垂直平分线 I，2-3 的垂直平分线 II，3-4 的垂直平分线 III、……。I、II 交于  $O_1$ ，II、III 交于  $O_2$ ，III、IV 交于  $O_3$ 、……。在各交点上冲好样冲孔，即求得各段圆弧的中心。

(6) 划圆弧作凸轮的工作曲线 用划规以  $O_1$  为圆心，以  $O_11$  为半径，划由 1 点至 3 点的圆弧  $\widehat{1-2-3}$ ；再以  $O_2$  为圆心，以  $O_23$  为半径，划由 3 点至 5 点的圆弧  $\widehat{3-4-5}$ ；然后依次划出圆弧  $\widehat{5-6-7}$ 、 $\widehat{7-8-9}$ 、 $\widehat{9-10}$ 。上述圆弧所连成的曲线即为所求的凸轮工作曲线，它属于近似等速运动曲线（阿基米德螺旋线）。

(7) 作凸轮下降曲线 凸轮下降曲线因精度要求不高，只需用一段圆弧直接连接，因此划线时可采用圆弧划线法。如图 3-2-52b 所示，作线段 10-11 的垂直平分线 X，11-1 的垂直平分线 XI，X 与 XI 交于  $O_{10}$ ，则可在冲好样冲孔后用划规以  $O_{10}$  为圆心，以  $O_{10}1$  为半径，划  $\widehat{10-11-1}$ ，即求得凸轮的下降曲线。

(8) 冲样冲孔 在加工线上冲样冲孔，并去掉不必要的辅助线，以保持划线面的清晰。

这种等速运动曲线的凸轮，如要求较高的精度，也可采用逐点划线法来划线，具体步骤如下：

其中，(1)~(4)步与上述分段划线法相同，在求得曲线上各点以后，将工件从心轴上取下来，使用曲线板连接各点。连曲线时应注意，曲线板应与工件曲线的曲率变化方向一致，即曲线板上曲率半径较小的一端应在工件曲线上曲率半径较小的一方。此外，每一段弧至少应有三点与曲线板重合，其中两点落在上一段已连好的曲线上，这样可以保证曲线连接平滑。为了保证曲线的精度，曲线上标注的点数不能太少，如本例可每隔  $15^\circ$  作一射线，共有 19 条射线，点与点之间的上升量为  $0.5\text{mm}$ 。

## 2. 盘形端面沟槽凸轮的划线

图 3-2-53a 所示为盘形端面沟槽凸轮，凸轮实际轮廓曲线由内槽曲线构成。划线时，应先将内槽滚子中心运动曲线（即理论轮廓曲线）划出来，然后作与滚子圆弧相切的曲线，即得凸轮的实际轮廓曲线。其划线方法大致如图 3-2-53b 所示。

(1) 划线前准备 凸轮坯件上除上端面沟槽外应全部加工完成。划线时将  $\phi 90\text{mm}$  凸台装夹在分度头的自定心卡盘上，找正内孔  $\phi 50\text{mm}$  和端面。

(2) 划中心十字线和分度射线 按照上述一般方法划中心十字线，然后转动分度头划出  $8^\circ$  基准线、 $41^\circ$  及  $68^\circ 45'$  的分度射线。

(3) 划  $R108\text{mm}$ 、 $R56.5\text{mm}$  圆弧 用划线尺在垂直中心线上分别截取  $R108\text{mm}$

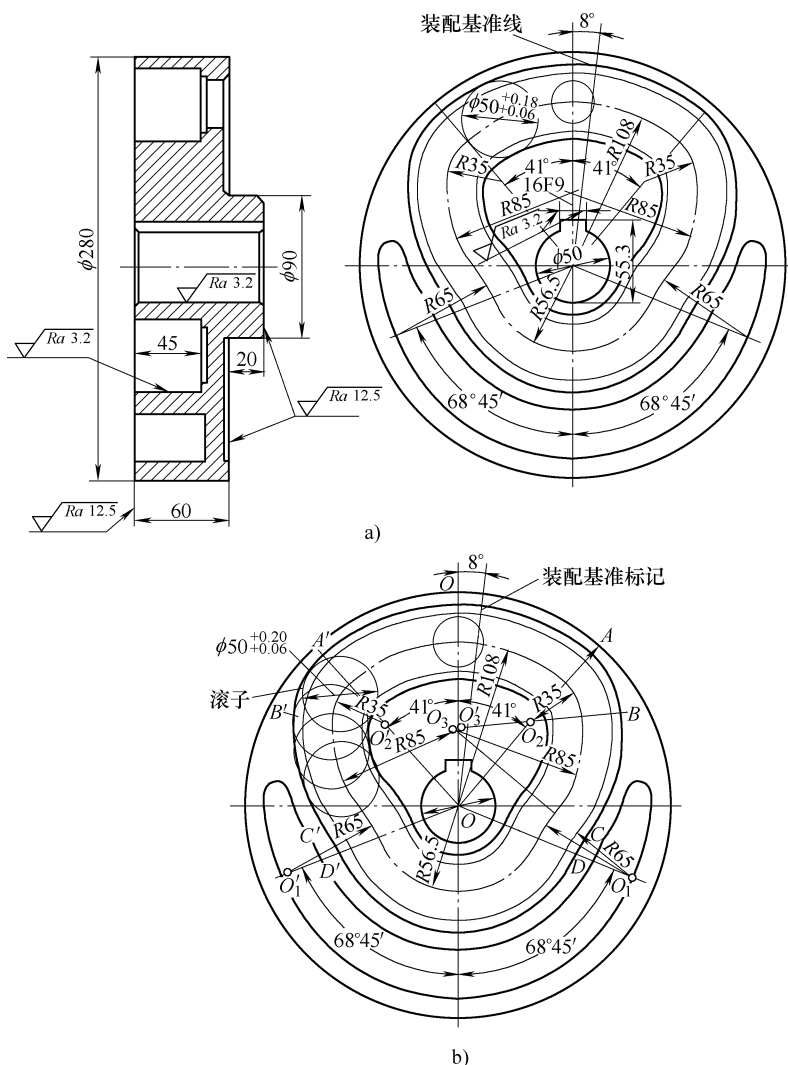


图 3-2-53 盘形端面沟槽凸轮

a) 工件 b) 划线方法

与  $R56.5\text{mm}$ ，转动分度头分别划出  $41^\circ$ 、 $48^\circ45'$  的圆弧段。

(4) 划  $R65\text{mm}$ 、 $R35\text{mm}$  圆弧 首先在分度头上定出  $R65\text{mm}$  的圆心。先将  $R65\text{mm}$  所在角度射线转至垂直位置，在其上方（或下方）加上（或减去）划线尺的高度等于分度头中心高的数值，即  $56.5\text{mm} + 65\text{mm} = 121.5\text{mm}$ ，定出左右两个  $R65\text{mm}$  的圆心  $O_1$ ，再用同样方法定出左右两个  $R35\text{mm}$  的圆心  $O_2$ 。然后，从分度头上取下凸轮坯件，用划规以  $O_1$  为圆心、 $R65\text{mm}$  为半径，划圆弧与  $R56.5\text{mm}$  相切，再用同样方法划出左右两个  $R35\text{mm}$  圆弧。

(5) 划  $R85\text{mm}$  圆弧  $R85\text{mm}$  为外切于  $R65\text{mm}$ ，内切于  $R35\text{mm}$  的过渡圆弧，

划线时先以  $R65 + R85\text{mm}$  为半径, 以  $O_1$  为圆心划圆弧, 再以  $(R85 - R35)\text{mm}$  为半径, 以  $O_2$  为圆心划圆弧, 得交点  $O_3$  即为  $R85\text{mm}$  的圆心, 然后以  $O_3$  为圆心, 以  $R85\text{mm}$  为半径, 即可划出两个与  $R65\text{mm}$ 、 $R35\text{mm}$  相切的过渡圆弧。

(6) 作凸轮实际轮廓曲线 以滚子半径  $R25\text{mm}$  为半径, 沿滚子中心曲线全长均匀地取一系列的点为圆心, 作一系列圆, 然后作与这些滚子圆弧相切的曲线 (即包络线), 两条内外包络线就是凸轮的实际轮廓曲线。

(7) 标记 作凸轮轮廓曲线特殊点的标记。

1) 在与 16F9 键槽中心线偏  $8^\circ$  的装配基准上划一短粗线标记。

2) 标记轮廓线的各公切点。连接圆心  $O$  与  $O_2$  并延长, 使与轮廓曲线相交于  $A$  点, 即为  $R108\text{mm}$  两段圆弧的公切点; 同理, 连接圆心  $O_2$  与  $O_3$  并延长, 使与轮廓曲线相交于  $B$  点; 连接圆心  $O_3$  与  $O_1$  并延长, 使与轮廓曲线相交于  $C$  点; 连接圆心  $O$  与  $O_1$  并延长, 使与轮廓曲线相交于  $D$  点; 即求得各圆弧段的公切点。然后在  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  处分别划短粗线标记。

最后, 去掉不必要的辅助线, 打样冲眼。

### 3. 在铣床上划正弦沟槽凸轮曲线

图 3-2-54a 所示为一正弦沟槽凸轮工件, 其工作部分是一段  $240^\circ$  正弦曲线的沟槽, 坯件两端面  $A$ 、 $B$  上留有加工余量 (图 3-2-54b), 在划线后应铣去。由于端面  $A$ 、 $B$  与孔中心线不垂直, 不能作为划线基准, 所以不能用展开法划线。这时可按图 3-2-54b 所示, 在工具铣床上划线, 其划线方法如下:

1) 将凸轮坯件紧固套在一检验棒上, 检验棒装夹在分度头卡盘上, 一端用尾座顶尖顶住, 并预先校正好。

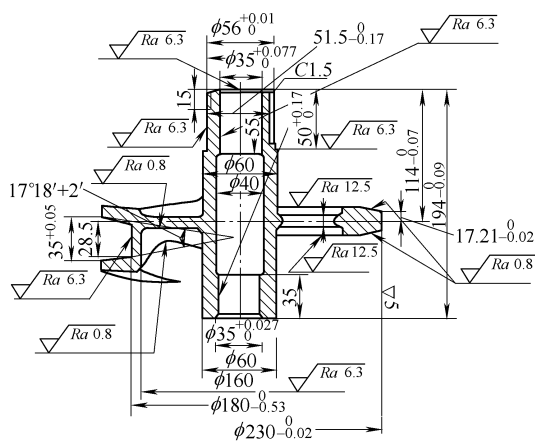
2) 将一锋利顶尖装夹在铣床主轴锥孔中, 转动分度头, 使顶尖对准凸轮起始“0”线位置, 并校正正在沟槽中线上。

3) 按图 3-2-54a 所示的凸轮曲线数据进行划线, 转动分度头为凸轮分度。如本例, 每次转过  $12^\circ$ , 并相应摇动手轮, 按凸轮曲线的升降值纵向移动工作台, 然后升降工作台, 用顶尖在凸轮外圆上打一样冲孔, 即可依次求得凸理论论轮廓曲线上的各点, 然后即以各点为圆心, 凸轮沟槽宽度  $C$  的一半为半径划圆, 这一系列圆的包络线就是凸轮的实际轮廓曲线。

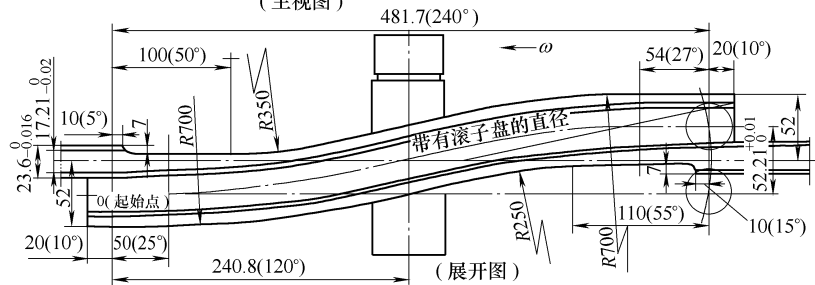
### 4. 摆动凸轮的划线方法

摆动凸轮机构在自动车床上应用较广。图 3-2-55 所示为钟表纵切自动车床天平刀架凸轮机构, 凸轮绕轴  $O_1$  转动, 摆杆则由于凸轮的作用绕轴  $O_2$  摆动, 刀具安装在摆杆上, 随摆杆摆动, 因此刀具的进刀尺寸便由凸轮曲线加以控制。

摆动凸轮与一般从动件作直线往复运动的凸轮不同。当凸轮转过相等角度时, 摆动触头 (或转子中心) 并不一定落在凸轮的分度射线上, 所以一般不用前面所述角度射线进行分度, 通常是用摆动触头的摆动轨迹 (弧线) 作为凸轮的分度弧线, 绘制凸轮坐标图。图 3-2-56 所示即为上述机构中摆动凸轮工件的坐标图, 图



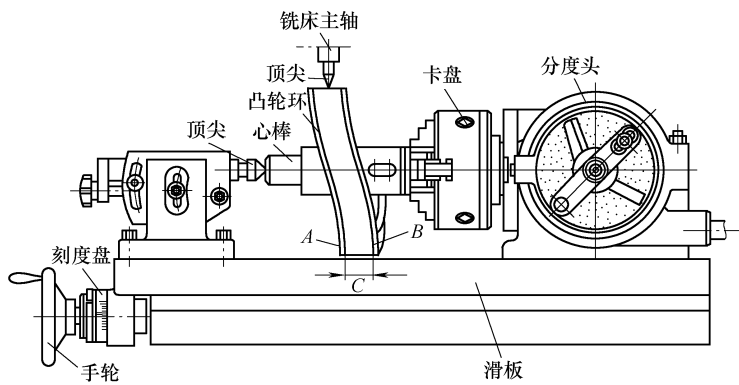
(主视图)



a)

凸轮曲线数值

转角 $t$	升降值 $H/\text{mm}$
$12^\circ$	0.043
$24^\circ$	0.337
$36^\circ$	1.021
$48^\circ$	2.539
$60^\circ$	4.743
$72^\circ$	7.760
$84^\circ$	11.551
$96^\circ$	16.000
$108^\circ$	20.928
$120^\circ$	26.106
$132^\circ$	31.283
$144^\circ$	36.211
$156^\circ$	40.660
$168^\circ$	44.451
$180^\circ$	47.468
$192^\circ$	49.672
$204^\circ$	51.102
$216^\circ$	51.875
$228^\circ$	52.169
$240^\circ$	52.212



b)

图 3-2-54 在铣床上划正弦沟槽凸轮曲线  
a) 工件 b) 划线装置



中一般都标志有“0”线、凸轮旋转方向、凸轮回转中心  $O_1$  至摆杆回转中心  $O_2$  的距离  $R_1$ ，以及摆杆上触头的摆动半径  $R_2$ （即摆杆回转中心  $O_2$  至触头与凸轮接触点之间的距离）等，图中的各条弧线就是凸轮的分度弧线，它表示摆杆上触头的摆动轨迹，在分度弧线上分别标志有凸

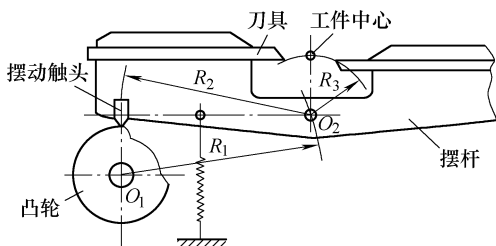


图 3-2-55 钟表纵切自动车床天平刀架凸轮机构

轮曲线的分度角与径向尺寸。分度角是指分度弧线与带有刻度的分度圆的交点读数，径向尺寸则是指凸轮中心至分度弧线与凸轮曲线交点的距离。

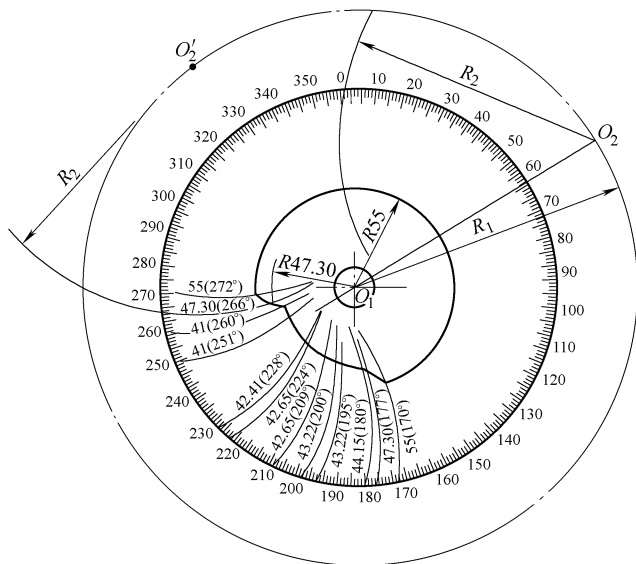


图 3-2-56 摆动凸轮工件坐标图

在划摆动凸轮的轮廓曲线时,可采用图 3-2-57 所示的划线仪,应用坐标图的原理进行划线。使用划线仪划线较为简便,而且精度较高,其划线方法如下:

(1) 划分度弧线 如图 3-2-57 所示, 将凸轮坯件装夹在划线仪中心, 校正、压紧, 松开活动支架上的紧固手柄, 移动活动支架, 调整定位滑套中心到凸轮回转中心的距离, 使其等于坐标图上规定的尺寸  $R_1$ 。然后, 将如图 3-2-58a 所示的分度弧线划线尺的定心脚插入定位滑套中, 并使其划尖至定位滑套中心的距离等于尺寸  $R_2$ 。划分度弧线时, 先定出“0”线, 然后摆动手轮, 按箭头方向回转分度盘, 根据坐标图中的分度要求依次划出凸轮分度弧线。为了防止分度盘窜动, 每

次分度后必须将分度盘锁紧。

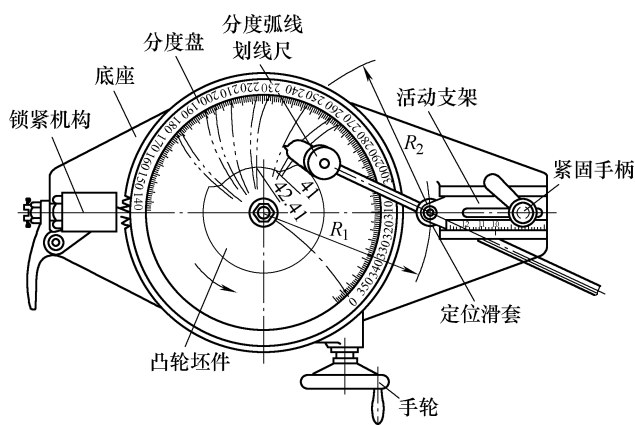


图 3-2-57 摆动凸轮划线仪

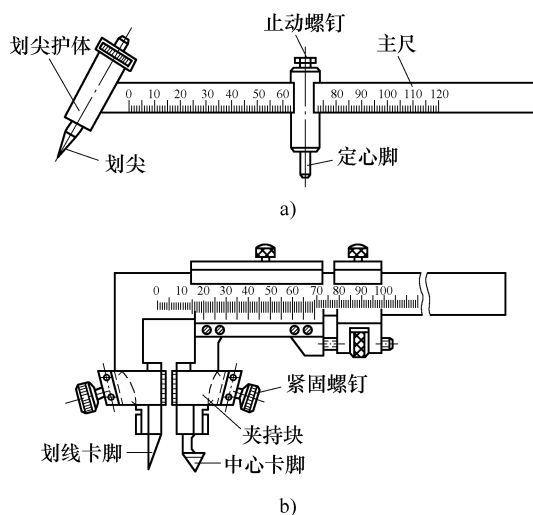


图 3-2-58 划线工具

a) 分度弧线划线尺 b) 带划线卡脚的游标卡尺

(2) 划凸轮升降曲线 在划凸轮升降曲线时，为了使截取的尺寸尽可能准确，可采用图 3-2-58b 所示的带划线卡脚的游标卡尺，即在游标卡尺上装上中心卡脚、划线卡脚与夹持块等附件。划线时，按坐标图在卡尺上取该分度弧线上的径向尺寸，如在图 3-2-56 中， $228^\circ$ 分度弧线上径向尺寸为  $42.41\text{mm}$ ，即调节卡脚间距离使之达到该尺寸，然后将卡尺上中心卡脚置于凸轮中心上，用划线卡脚划一短弧线与  $228^\circ$ 分度弧线相交，该交点即为凸轮升降曲线上的一点，在依次划出各条分度弧线上的各点后，即可用曲线板平滑连接，作出所要求的凸轮曲线。

(3) 在凸轮坯件表面用钢印数字 按坐标图标出“0”位及有关分度线编号标

记和配件编号标记，再在凸轮曲线上冲样孔。

### 5. 块状凸轮的划线

图 3-2-59a 所示为一块状凸轮工件，这种工件单独划线比较困难，在单件或少量生产时，可按前面样板划线方法，先按图制作一块凸轮曲线的样板，然后在坯件上按样板划出凸轮曲线，或者也可将坯件先做成一整体，以便于装夹和求中心，在车好整体外形后，即可很方便地进行凸轮划线及加工，最后再将坯件切成块状外形，但这样做比较浪费。成批生产时，可先做一辅助夹具，如该例即可采用图 3-2-59b 所示的划线夹具，上面提供凸轮中心及装夹基准（即图中  $\phi 165\text{mm}$  外圆），划线时，夹具装夹在分度头卡盘上；块状凸轮坯件则以  $\phi 165\text{mm}$  外圆为基准紧固装在夹具上。这种划线方法既省料，效率又高。

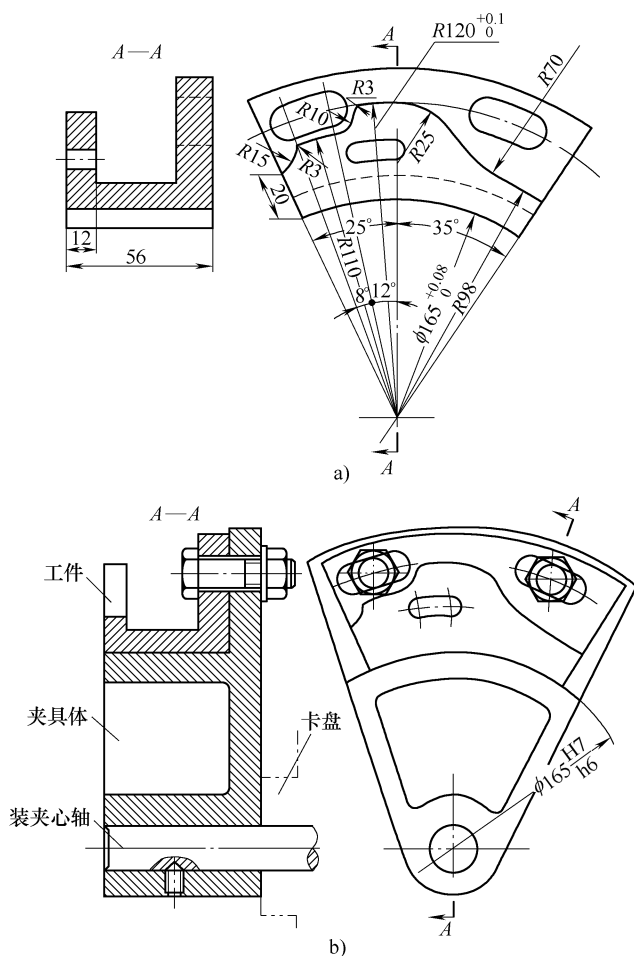


图 3-2-59 块状凸轮

a) 工件 b) 划线夹具

上述划线夹具在加工凸轮曲线时也可采用。

## 6. 共轭凸轮的划线

共轭凸轮通常应用于高速凸轮机构中，由于它要求从动件上两个转子在任意位置都与凸轮轮廓保持接触（即所谓“共轭”），所以对凸轮曲线的精度要求很高，为了保证凸轮曲线达到共轭要求，划线方法也具有一定的特点。

图 3-2-41e 所示是一种往复移动的共轭凸轮机构，凸轮曲线如图 3-2-60 所示，两从动件转子的中心距 310mm，在划线时可利用转子中心距为定值这一共轭特性来进行，其方法如下：

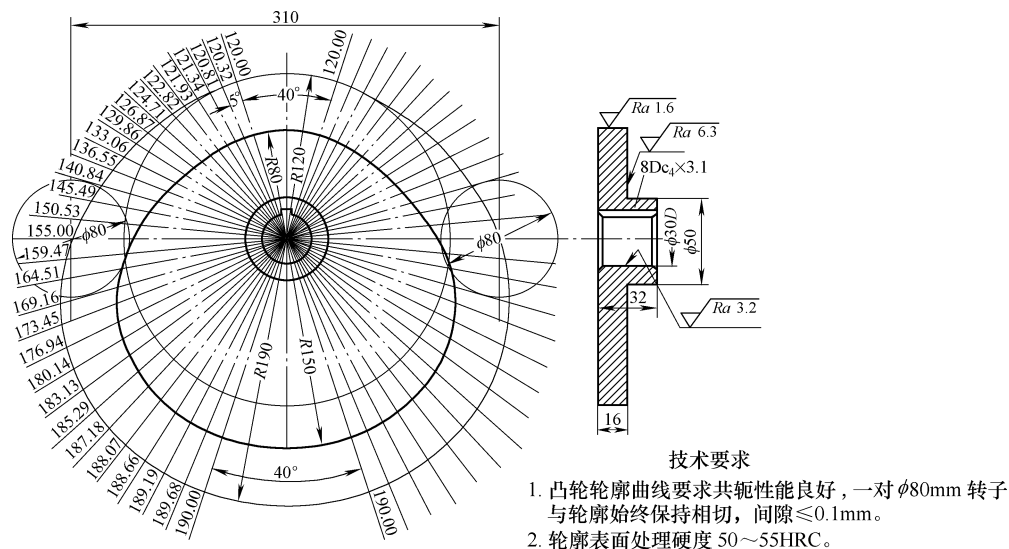


图 3-2-60 往复移动的共轭凸轮

1) 在分度头上划凸轮工件的中心十字线与分度射线，方法同前。

2) 按图样上凸轮升降曲线数值划理论轮廓曲线。首先在分度头上用划线尺划出凸轮上半部各条分度射线上的升降点（即转子中心），随后取下工件在各点上冲好样冲孔，再利用一把精度较高的划线用游标卡尺，将两卡脚中心距准确调整至 310mm，然后将中心卡脚尖定在已冲好的样冲孔上，用划线卡脚尖划出同一条分度射线上另一个转子的中心点，这样依次进行，即可划出凸轮下半部各条分度射线上的各个升降点，再在各点上冲好样冲孔，这些点便构成了凸轮的理论轮廓曲线。

3) 划凸轮的实际轮廓曲线。将划规两脚尖距离调整至转子半径 40mm，利用上面求得理论轮廓曲线（即包络线），也即凸轮的实际轮廓曲线，然后在曲线与各条分度射线的交点上分别冲好样冲孔，即完成划线工序。

图 3-2-61 所示是另一种双连摆动共轭凸轮机构的划线，凸轮由 A、B 两个连成一体的主、副凸轮组成，从动件则由连在一起的两个转子中心摆动半径为

60mm、夹角为  $103^\circ$  的摆动脚组成，转子半径为 60mm，工作时要求两转子分别与主、副凸轮始终保持接触。为了达到这一共轭要求，在加工凸轮工件时，一般是先将主凸轮划线加工好，其划线方法与一般凸轮同样，然后再以主凸轮为基准划出副凸轮曲线。在划副凸轮曲线时，可利用图 3-2-61b 所示的划线工具，在工具上工件装夹中心至摆动脚中心距、摆动脚的摆动半径及夹角大小均同于凸轮机构，在两个摆动脚上分别装有一个与工作转子直径相同的转子和一个划线卡脚，其划尖转动半径也与工作转子相同，在划线时，带有转子的摆动脚由一个弹簧拉紧，使转子与主凸轮始终保持接触，利用另一摆动脚上的划线卡脚即可在副凸轮上划出转子圈，当凸轮工件按分度角转至各个不同位置时，即可在副凸轮上相应地划出一系列转子圈，然后取下凸轮工件，作这些转子圈的包络线，即划出副凸轮的实际轮廓曲线。由于划线工具与凸轮工作机构的动作原理及各部尺寸完全一致，所以能够方便而又准确地划出副凸轮曲线。

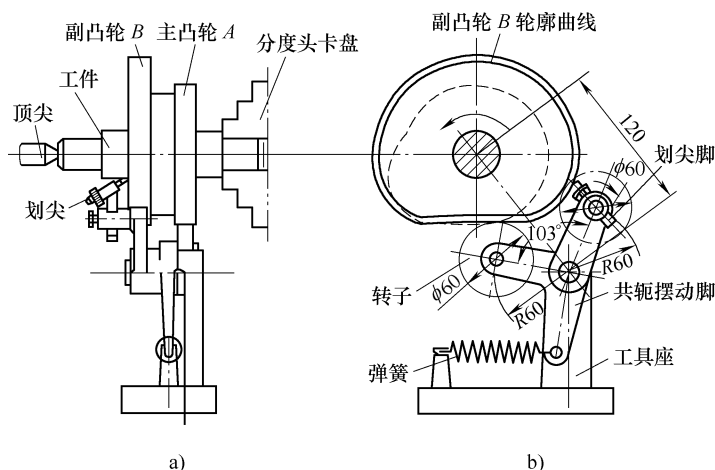


图 3-2-61 双连摆动共轭凸轮机构的划线

## 第四篇 典型案例

### 案例 1

### 减速器的装配

#### 一、减速器部件的结构分析

对减速器部件结构的分析是通过部件的作用和部件的装配图及有关零件图来进行的，如图 4-1-1 所示。

本减速器是装在电动机与工作机之间的，其作用是用来降低输出转速并相应地改变其输出转矩。减速器的运动由联轴器传来，经蜗杆轴传至蜗轮，蜗轮的运动通过其轴上的平键传给锥齿轮副，最后由安装在锥齿轮轴上的齿轮传出。各传动轴采用圆锥滚子轴承支承，各轴承的游隙分别采用调整垫片和调整螺钉进行调整。蜗轮的轴向装配位置，可通过修整轴承端盖台肩的厚度尺寸来控制。锥齿轮的轴向装配位置，则可通过修整有关的调整垫圈（垫片）的厚度尺寸来进行控制。箱盖上设有窥视孔，可检视齿轮的啮合情况及向箱体内注入润滑油。

#### 二、部件的装配技术要求

部件的装配技术要求，可根据部件的作用和性能要求及机构本身的工作要求提出，一般在装配图和有关技术文件中给以规定。本减速器的主要装配技术要求如下：

- 1) 零件和组件必须正确安装在规定位置，不得装入图样未规定的垫圈、衬套之类的零件。
- 2) 固定连接件必须保证连接的牢固性。
- 3) 旋转机构能灵活转动，轴承间隙合适，润滑良好，各密封处不得有漏油现象。
- 4) 锥齿轮副、蜗轮与蜗杆的啮合侧隙和接触斑痕必须达到规定的技术要求。
- 5) 运转平稳，噪声要小于规定值。

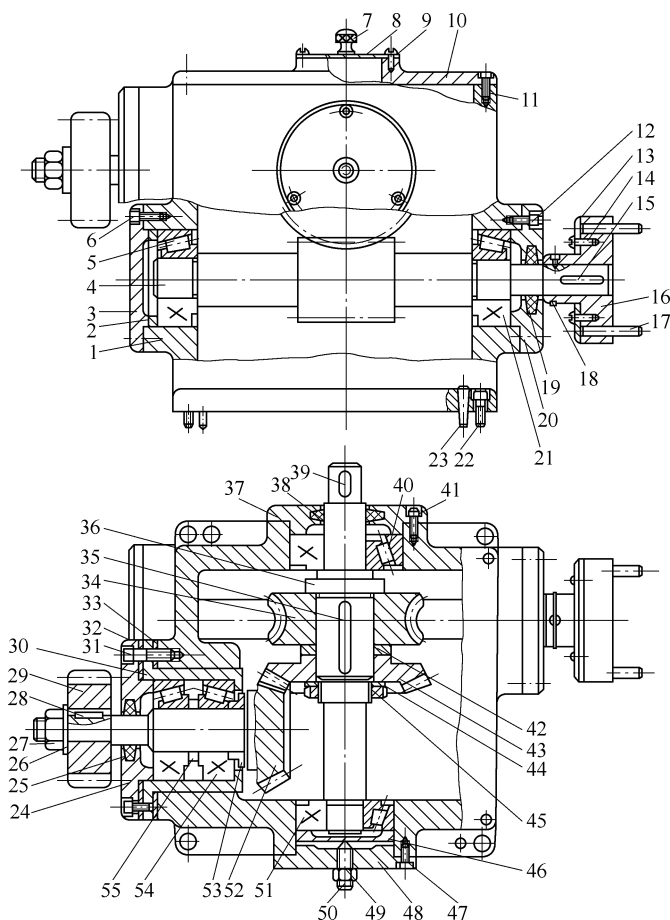


图 4-1-1 减速器部件图

1—箱体 2、32、33、42—调整垫圈 3、20、24、37、48—轴承盖 4—蜗杆轴 5、21、40、51、54—轴承 6、9、11、12、14、22、31、41、47、50—螺钉 7—手把 8—盖板  
10—箱盖 13—环 15、28、35、39—键 16—联轴器 17、23—销 18—防松钢丝圈 19、25、38—毛毡 26—垫圈 27、45、49—螺母 29、43、52—齿轮 30—轴承套 34—蜗轮  
36—蜗杆 44—止动垫圈 46—压盖 53—衬垫 55—隔圈

6) 部件在达到热平衡时，润滑油和轴承的温度不得超过规定要求。

### 三、装配

(1) 零件的清洗、整形 包括对所有装配零件上的防锈油、锈污、残留切屑和铸件残存的型砂等污物进行清洗；修锉箱盖、轴承端盖等铸件的非加工面，使其外形与箱体衔接光滑；对有关装配零件进行去飞边、倒钝锐边工作，修整在工序转运中因碰撞而产生的损伤；在箱体内部清理后，应涂以淡色底漆。

(2) 装配零件的补充加工 包括轴承盖与轴承套、轴承盖与箱体轴承座孔端



面，以及箱盖与箱体等连接螺孔的配钻孔和攻螺纹工作，如图 4-1-2 所示。

(3) 零件的预装（试装） 为了保证预装工作顺利进行，某些相配零件应进行试装，待配合达到要求后再拆下。本减速器的试装工作包括：蜗杆轴配键并与联轴器试配，如图 4-1-3a 所示；蜗轮轴配键并与蜗轮、调整垫圈及锥齿轮试配，如图 4-1-3b 所示；锥齿轮轴配键并与直齿圆柱齿轮试配，如图 4-1-3c 所示。

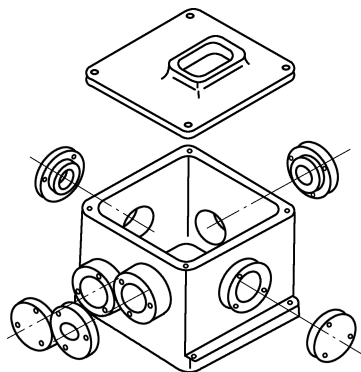


图 4-1-2 箱体与各有关零件的配钻孔和攻螺纹

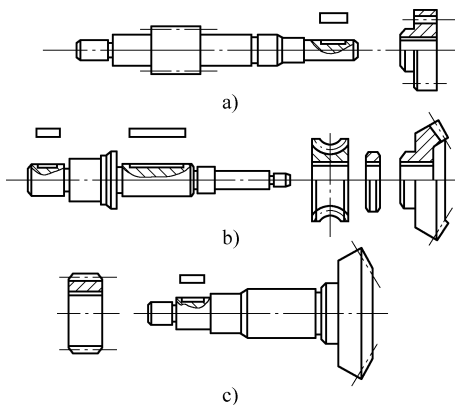


图 4-1-3 轴类零件配键、预装示意图

(4) 组件装配 按装配单元系统图的概念，该减速器可以划分为锥齿轮轴、蜗轮轴、蜗杆轴、联轴器、3 个轴承盖及箱盖 8 个组件。其中只有锥齿轮轴组件（图 4-1-4）可以独立进行装配，这是因为该组件在装配后，完全可以整体装入  $\phi 95H7$  孔中。不能独立进行装配的组件，在部件总装前应先进行预装试配工作。

锥齿轮轴组件的装配顺序及其装配单元系统图，分别如图 4-1-5 和图 4-1-6 所示。

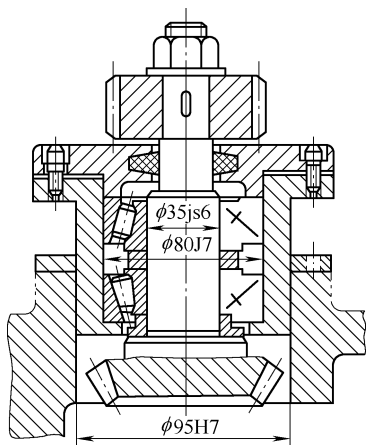


图 4-1-4 锥齿轮轴组件

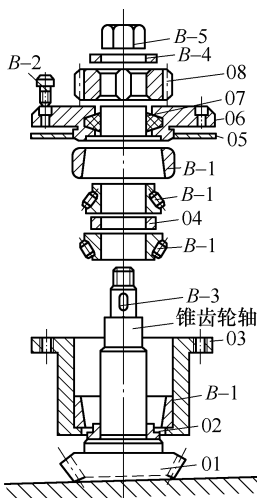


图 4-1-5 锥齿轮轴组件的装配顺序

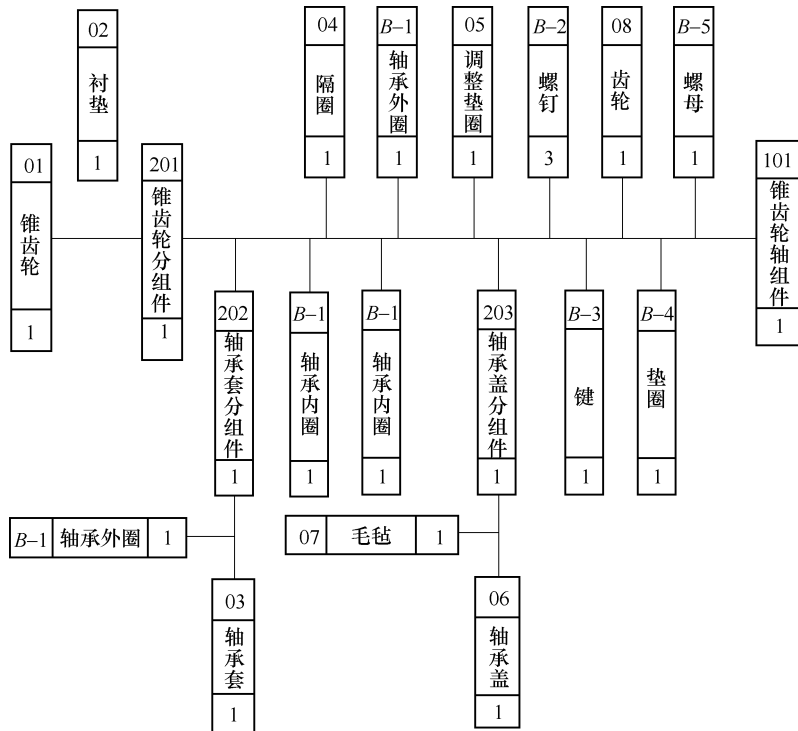


图 4-1-6 锥齿轮轴组件装配单元系统图

其装配工艺要点如下：

1) 装配轴承内、外圈时，应复检配合处的尺寸偏差是否合乎要求，然后将配合表面擦净，并涂上机油，用压力机或锤子垫上软金属衬垫，逐步装入至端部贴紧。

2) 油封毛毡内、外径尺寸落料应准确。

3) 在装入轴承盖时，要通过检测端面间隙选择合适的调整垫片厚度，以保证轴承的轴向间隙符合要求，然后用 3 个内六角圆柱头螺钉均匀固紧。

4) 组件装好后，应检查锥齿轮轴的旋转灵活性及有无明显的轴向窜动。

(5) 总装与调整 在完成减速器各组件装配后，即可进行总装配工作。总装从基准零件（箱体）开始。根据该减速器的结构特点，采用先装蜗杆轴，后装蜗轮的装配顺序。

1) 装配蜗杆轴。将蜗杆组件（蜗杆与两轴承内圈的组合）首先装入箱体，然后从箱体孔的两端装入两轴承外圈，再装上右端轴承盖组件，并用螺钉拧紧。这时可轻轻敲击蜗杆轴左端，使右端轴承消除间隙并贴紧轴承盖，再装入左端调整垫圈和轴承盖，用塞尺测量间隙  $\Delta$ ，以确定保证蜗杆轴轴向间隙符合要求时调整垫圈的厚度修整量，并加以修整，然后将上述零件装入，用螺钉固紧。最后用百分

表在轴的伸出端进行实际的轴向间隙情况检查，如图 4-1-7 所示，以便作进一步的修整。

2) 试装蜗轮轴。确定蜗轮轴向的正确位置，如图 4-1-8 所示。先将轴承 5 的内圈装入轴的大端，然后将轴通过箱体孔，装上已试配好的蜗轮、轴承外圈以及工艺套 2（为了调整时拆卸方便，暂以工艺套代替小端的轴承），然后移动蜗轮轴，使蜗轮与蜗杆达到正确的啮合位置，即使蜗轮轮齿的对称中间平面与蜗杆轴线重合，用游标深度卡尺测量尺寸  $H$ ，并修整轴承盖 1 的台阶尺寸至  $H_{-0.02}^0$ 。

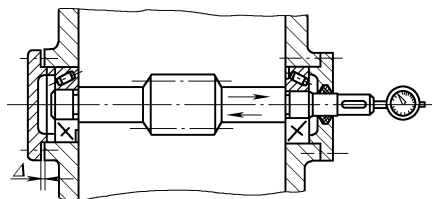


图 4-1-7 调整蜗杆轴轴承的轴向间隙

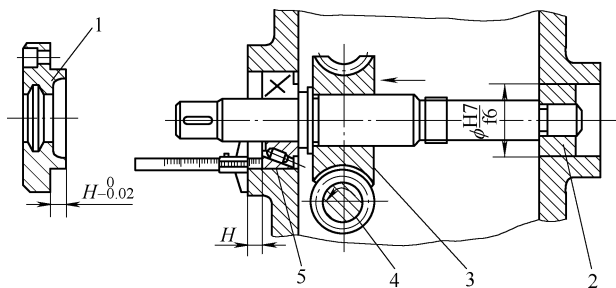


图 4-1-8 蜗轮轴向装配位置调整示意图

1—轴承盖 2—工艺套 3—蜗轮 4—蜗杆 5—轴承

3) 试装锥齿轮轴组件。确定两锥齿轮的轴向正确装配位置，如图 4-1-9 所示。先调整好蜗轮轴轴承的轴向间隙，再装入锥齿轮轴组件，调整两锥齿轮的轴向位置，使其达到两锥齿轮的背锥面平齐，轮齿啮合正确，然后分别测量出应放置的调整垫圈（片）的尺寸  $H_1$  和  $H_2$ ，并修整好垫圈（片）尺寸，然后卸下各零件。

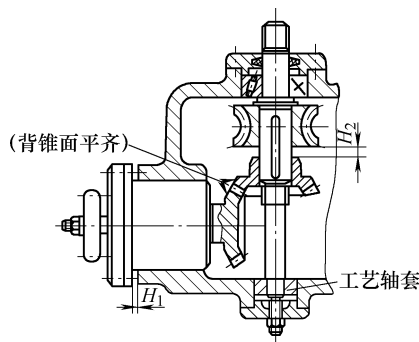


图 4-1-9 锥齿轮轴向装配位置调整示意图

4) 装配蜗轮与锥齿轮轴组件。

① 从大轴承孔方向将蜗轮轴装入，同时依次将键、蜗轮、调整垫圈、锥齿轮、止动垫圈和圆螺母装在轴上，然后从箱体轴承孔的两端分别装入滚动轴承及轴承盖，用螺钉固紧并调整好轴承间隙。装好后，用手转动蜗杆轴时，应灵活无阻滞现象。

② 将锥齿轮轴组件与调整垫圈一起装入箱体，用螺钉固紧，复验齿轮啮合侧

隙量，并作进一步调整。

5) 安装联轴器，然后与试车用的动力轴连接空运转，用涂色法检验齿轮的接触斑痕情况，并作必要的调整。

6) 清理减速器内腔，安装箱盖组件，注入润滑油，最后装上盖板，连上电动机。

(6) 部件的空运转试车 用手转动联轴器试转，一切符合要求后，接上电源，用电动机带动进行空运转试车。试车运转时间不低于 30min，达到热平衡时，轴承的温度及温升值不超过规定要求，齿轮和轴承无显著噪声并符合其他各项装配技术要求。

## 案例 2

# 车床主轴轴组的装配

### 一、车床主轴的结构分析

对车床主轴部件结构的分析主要是通过部件的作用和部件的装配图来进行的，如图 4-2-1 所示为 C630 型车床主轴部件。

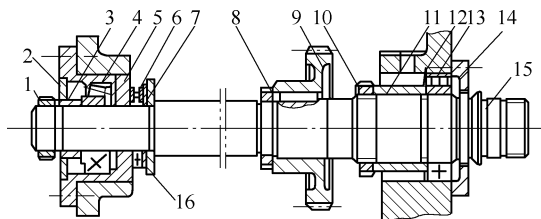


图 4-2-1 C630 型车床主轴部件

1、8、10—螺母 2—盖板 3—衬套 4—后轴承 5—轴承座 6—推力球轴承 7—垫圈 9—大  
齿轮 11—调整套 12—卡环 13—前轴承 14—前法兰盘 15—主轴 16—开口垫圈

C630 型车床主轴部件的前端采用双列向心短圆柱滚子轴承，这种轴承的特点是：只能承受切削时的背向力，与其他滚动轴承相比，同样的内孔尺寸，滚动体较多，承载能力和刚度较大，其外形尺寸较小。轴承内圈有锥度为 1:12 的锥孔与前轴颈的锥面配合，由于内圈是薄壁圆环，当用螺母通过隔套将内环挤向轴颈锥面大端时，可使轴承内圈的直径因弹性变形作少量的增大，以调整内、外圈与滚子之间的间隙。后轴承采用圆锥滚子轴承和推力轴承各一个。其间隙要求可通过调整螺母进行调整，通过调整螺母可控制主轴的轴向窜动量，并使主轴轴向双向固定。为了减少主轴的弯曲变形，应该把大齿轮安装在靠近前轴承的地方。当主轴运转使温度升高时，允许主轴向前端伸长，而不影响前轴承所调整的间隙。大齿轮与主轴用锥面接合，装拆方便。

主轴部件是车床的关键部分，在工作时承受很大的切削抗力。加工工件的精度和表面粗糙度在很大程度上取决于主轴部件的刚度和回转精度。

## 二、主轴部件的精度要求

主轴部件的精度是指它在装配调整之后的回转精度，包括主轴的径向圆跳动、轴向窜动以及主轴旋转的均匀性和平稳性。

## 三、主轴部件的装配

### 1. C630 型车床主轴部件的装配顺序

- 1) 将卡环 12 和前轴承 13 的外圈装入主轴箱体前轴承孔中。
- 2) 将前轴承 13 的内圈按定向装配法从主轴 15 的后端套上，并依次装入调整套 11 和调整螺母 10（图 4-2-2a），适当预紧螺母 10，防止轴承内圈改变方向。

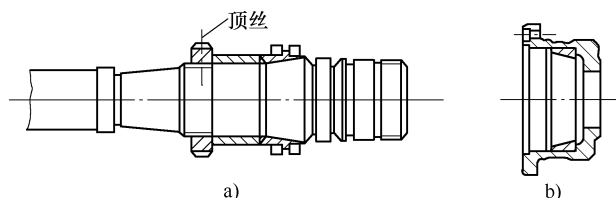


图 4-2-2 主轴分组件装配  
a) 主轴组件 b) 后轴承壳体小组件

3) 将图 4-2-2a 所示的主轴组件从箱体前轴承孔中穿入，在此过程中，依次将键、大齿轮 9、螺母 1、垫圈 7、开口垫圈 16 和推力球轴承 6 装在主轴上，然后把主轴穿至要求的位置。

推力球轴承装配时要注意松圈与紧圈的位置，一定要使紧圈与轴肩紧靠，使紧圈与轴保持固定不变的位置。

4) 从箱体后端，将图 4-2-2b 所示的后轴承壳体小组件装入箱体，并拧紧螺钉。

5) 将后轴承 4 的内圈按定向装配法装在主轴上。敲击时用力不要过大，以免主轴移动。

6) 依次装入衬套 3、盖板 2、螺母 1 及前法兰盘 14，并拧紧所有螺钉。

7) 对装配情况进行全面检查，防止遗漏和错装。

### 2. 装配时的注意事项

- 1) 为了提高主轴的旋转精度，应采用合理的装配方法。
- 2) 必要时应保持规定的湿度和恒温条件及环境清洁条件，并注意范围内的振源影响。
- 3) 应根据温度、载荷和转速等工作条件的不同，合理选取润滑剂的类型及其型号。
- 4) 应根据结构和润滑剂的类型不同来合理选择密封装置。

## 四、主轴部件的调整

主轴部件的调整分预装调整和试运转调整两步进行。

### 1. 主轴的预装调整

在主轴箱没装其他零件之前，先将主轴进行一次预装，对 C630 型车床而言，应先调整后轴承，再调整前轴承。因为后轴承为圆锥滚子轴承，在未调整之前，主轴可以任意翘动，不能定心，因而影响前轴承调整的准确性，所以应当先调整好。

(1) 后轴承的调整 先将螺母 10 松开，旋转螺母 1，逐渐收紧后轴承 4 和推力球轴承 6。用百分表触及主轴前端面，用适当的力前后推动主轴，保证轴向间隙在 0.01mm 之内。同时用手转动大齿轮 9，若感觉不太灵活，可能是后轴承 4 内、外圈没有装正，可用大木锤（或铜棒）在主轴前后端敲击，直到手感觉主轴旋转灵活为止，最后将两螺母锁紧。

(2) 前轴承的调整 逐渐拧紧螺母 10，通过调整套 11 的移动，使轴承内圈作轴向移动，迫使内圆胀大。用百分表触及主轴前端轴颈处（图 4-2-3），撬动杠杆使主轴受 200 ~ 300N 的背向力，保证轴承顶隙在 0.005mm 之内，且用手转动大齿轮，应感觉灵活自如，最后将螺母 10 锁紧。

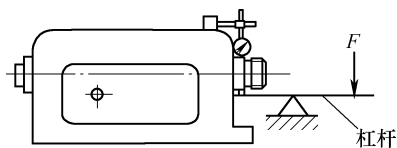


图 4-2-3 主轴顶隙的检查

装配轴承内圈时，应先检查其内锥面与主轴锥面的接触面积，一般应大于 50%。如果锥面接触不良，收紧轴承时，会使轴承内滚道发生变形，破坏轴承精度，减少轴承使用寿命。

### 2. 主轴的试运转调整

机床正常运转时，主轴箱内温度升高，主轴轴承间隙也会发生变化。而主轴的实际理想工作间隙，是在机床温升稳定后所调整的间隙。试车调整方法为：按要求给主轴箱加入润滑油，用划针在螺母边缘和主轴上作出标记，记住原始位置；适当拧松螺母 10 和螺母 1；用木锤（或铜棒）在主轴前后端适当振击，使轴承回松，保持间隙在 0 ~ 0.02mm 之内；主轴从低速到高速空转时间不超过 2h，在最高速的运转时间不少于 30min，一般油温不超过 60℃ 即可；停车后锁紧螺母 10 和螺母 1，结束调整工作。



### 案例 3

## 活塞式压缩机的装配

### 一、活塞式压缩机的工作原理

图 4-3-1 所示为单作用活塞式压缩机的工作原理示意图。气缸的内表面和活塞工作端面所形成的空间构成了压缩气体的工作腔。当活塞在气缸内往复运动时，气体在气缸内被压缩并完成吸气、压缩、排气和膨胀四个过程。

(1) 吸气过程 当活塞向右移动时，气缸内工作腔的容积逐渐增大而压力降低，当压力低于进气管中压力时，气体顶开吸气阀进入气缸，直到活塞运动至最右端（此点称为内止点）。

(2) 压缩过程 当活塞向左移时，吸气阀关闭，同时由于排气管中压力大于气缸内部压力，气缸内气体还不足以顶开排气阀而被封闭在气缸的密封工作腔内，并随着活塞继续向左运动，工作腔容积越来越小，气体压力逐步提高。

(3) 排气过程 活塞继续左移至某一位置时，工作腔压力达到工作要求的数值，此时排气阀被迫开启，气体在该压力下被排出，直到活塞运动到左边末端（此点称为外止点）。

(4) 膨胀过程 为了防止活塞运动到止点处时与气缸盖相撞击，在设计制造时，活塞与气缸体左侧内壁处总会留有一定的间隙，所以气体不可能被全部排尽。当活塞再次向右移动时，随着工作腔容积的不断增大，具有压力的残留气体将随之发生膨胀，当工作腔压力降低到低于外界压力时，压缩机才开始下一次的吸气过程。

活塞不停地在气缸内往复运动，使气缸循环地吸入和排出气体。活塞往复运动一次，完成吸气、压缩、排气，膨胀四个过程，称为一个工作循环。活塞从内止点到外止点的运行距离称为行程（或冲程）。

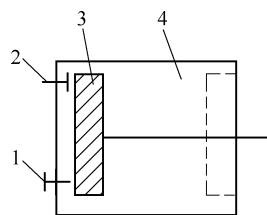


图 4-3-1 单作用活塞式压缩机的工作原理示意图

1—排气阀 2—吸气阀  
3—活塞 4—气缸

二、活塞式压缩机的分类

活塞式压缩机种类繁多，可从不同角度进行分类，见表 4-3-1。

表 4-3-1 活塞式压缩机的分类

分 类	名 称	说 明
按输气量	微型	输气量 $< 1\text{m}^3/\text{min}$
	小型	输气量为 $1 \sim 10\text{m}^3/\text{min}$
	中型	输气量为 $10 \sim 100\text{m}^3/\text{min}$
	大型	输气量 $> 100\text{m}^3/\text{min}$
按排气压力	低压	排气压力 $0.3 \sim 1\text{MPa}$
	中压	排气压力 $1 \sim 10\text{MPa}$
	高压	排气压力 $10 \sim 100\text{MPa}$
	超高压	排气压力 $> 100\text{MPa}$
按压缩级数	单级	气体经一次压缩即达排气终压
	多级	气体经多次压缩达排气终压
按气缸的工作容积	单作用式	仅活塞的一侧气缸为工作容积，如图 4-3-2a 所示
	双作用式	活塞的两侧气缸均为工作容积，并实现同一级次的压缩，如图 4-3-2b 所示
	级差式	同一气缸与活塞各工作面形成几个工作容积，并实现不同级次的压缩，如图 4-3-2c 所示
按气缸排列方式	立式	气缸中心线与地面垂直，Z 型，如图 4-3-3a 所示
	卧式	气缸中心线呈水平，且气缸只布置在机身的单侧，P 型，如图 4-3-3b 所示
	角式	气缸中心线互成一定角度，以其气缸排列的方式分别为 L、V、W 型，如图 4-3-3c ~ f 所示
	对动型	气缸水平布置于机身两侧，且相邻的曲拐相差 $180^\circ$ ，其中气缸在电动机单侧者为 M 型，如图 4-3-3g 所示；气缸在电动机两侧者为 H 型，如图 4-3-3h 所示
	对置型	气缸水平布置于机身的两侧，且相邻的曲拐相差 $180^\circ$ ，D 型，如图 4-3-3i 所示
按冷却方式	风冷	气缸用空气冷却
	水冷	气缸用水套冷却
按润滑方式	气缸有油润滑	气缸内注油润滑
	气缸无油润滑	气缸内不注润滑油，依靠自润滑材料润滑
按用途	动力用	提供动力或仪表用压缩气源
	工艺用	在工艺流程中输送工艺气体

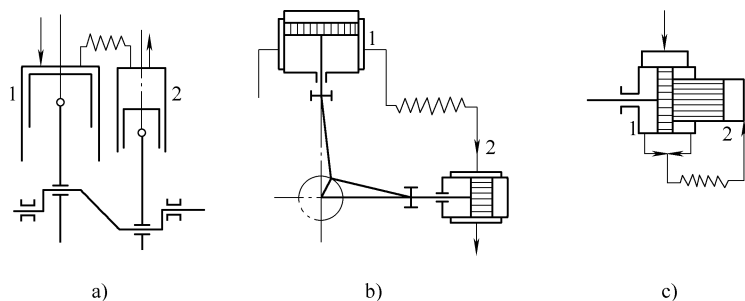


图 4-3-2 不同气缸工作容积示意图

a) 单作用式 b) 双作用式 c) 级差式

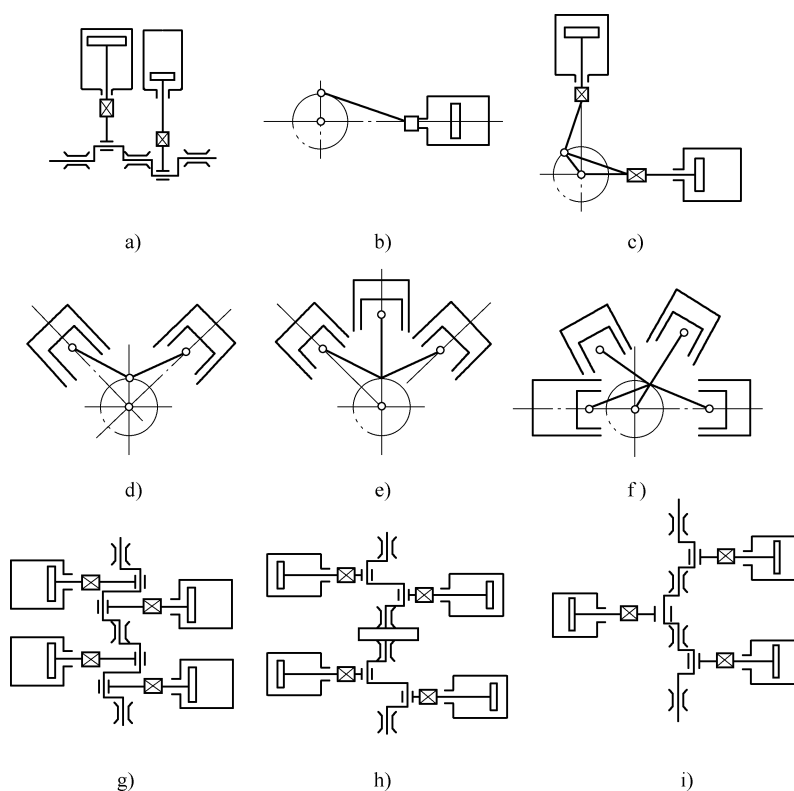


图 4-3-3 不同气缸排列方式图

a) 立式 b) 卧式 c)、d)、e)、f) 角式 g)、h) 对动型 i) 对置型

### 三、活塞式压缩机的结构

图 4-3-4 所示为一台 4L-20/8 型空气压缩机的剖视图。带轮 13 带动曲轴 16，并通过两个连杆 15 分别驱动一级活塞 10 和二级活塞 5 作往复运动。经过空气过滤器的空气自吸气口进入压缩机。当一级活塞 10 向下运动时，一级气缸 9 内的容积加大，一级吸气阀 11 被打开，空气进入气缸内。当一级活塞 10 向上运动时，气缸

内空气被压缩，一级排气阀 12 被打开，空气即排入冷却器 7 内。在二级活塞 5 向右运动时，二级气缸 4 的容积加大，冷却器 7 内的空气经管道及二级吸气阀 2 进入二级气缸 4。当二级活塞 5 向左运动时，二级气缸 4 内的空气被压缩，二级气缸 4 的二级排气阀 3 被打开，经过两级压缩后的高压空气即被排入输出管路内。

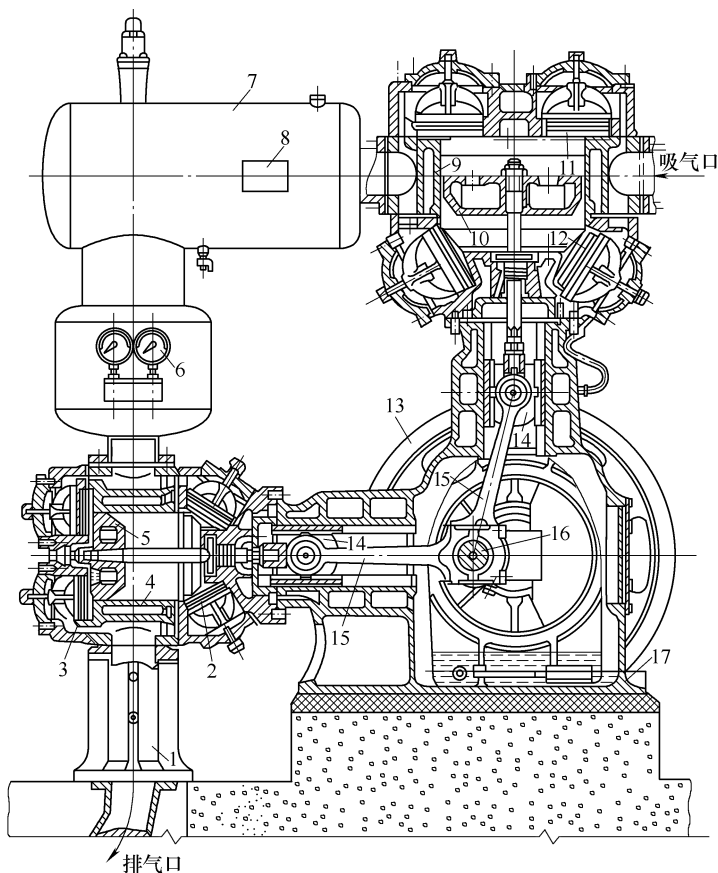


图 4-3-4 4L-20/8 型空气压缩机的剖视图

- 1—排气管 2—二级吸气阀 3—二级排气阀 4—二级气缸 5—二级活塞 6—仪表 7—冷却器  
8—铭牌 9—一级气缸 10—一级活塞 11—一级吸气阀 12—一级排气阀 13—带轮  
14—十字头 15—连杆 16—曲轴 17—机身

除以上基本组成部分外，空气压缩机上还装有润滑液压泵及油路系统、冷却水管路系统、控制及显示仪表、溢流阀及气罐等附加装置。

#### 四、活塞式压缩机的装配要点

压缩机各零部件经检查、检验合格后，即可进行总装配。由于压缩机的结构复杂，零部件多，且有些零件体积和质量大，因而装配一台压缩机需要多工种的

相互配合，并按周密的装配工艺规程和顺序在统一指挥下协调完成。压缩机装配质量的好坏，直接影响到机器的性能、使用寿命及成本的支出。

活塞式压缩机的装配主要包括装配前的准备工作、设备基础的检查与验收、各组成部件的组装和压缩机的试车与验收等内容。

### 1. 装配前的准备工作

装配前的准备工作，包括以下几个方面内容：

(1) 技术准备 装配对象的总装图、说明书及必要的技术文件等技术资料必须齐全，据此研究制订装配工艺规程。规程内容包括装配技术要求，合理的装配顺序、装配方式方法，装配时所用的工、量、器具与材料、搬运、起重的合理方法及合理的劳动力组织（技术配备）等。装配人员必须详细了解有关的技术资料。

(2) 现场准备（物资准备） 在施工现场必须准备装配用的夹具、工具、量具及材料和辅助用品等。

(3) 零部件摆放 清洗好的零、部件分组、分类摆放在指定位置，以便于安装。

### 2. 设备基础的检查与验收

压缩机安装前，应严格地进行基础质量的检查和验收工作，以确保安装质量，缩短安装工期。

验收基础前，拆去模板后，将基础及周围进行必要的清理，然后进行检查，其内容包括：

1) 必须具备基础的形状及主要尺寸、几何实测图表、坐标与标高实测图表等有关技术文件。

2) 检查基础外观应没有裂纹、蜂窝、空洞、露筋及其他缺陷。

3) 对照压缩机实物和图样核实基础尺寸，包括外廓尺寸、基础地脚螺栓孔的位置、深度等是否与实物相符、地脚螺栓螺纹是否良好、螺纹长度是否符合标准、螺母和垫圈是否配套等。

### 3. 装配工作特点和装配中的注意事项

活塞式压缩机的装配特点是先把零件组装成组合件（或部件），然后再进行总装配。压缩机的装配原则是以装配方便为准则安排总装顺序的。一般压缩机的安装顺序大致为：机身→中体→气缸→十字头→曲轴→连杆→活塞→气缸盖→机身盖→其他小的零部件。安装时应注意：不要造成在安装某一零部件时还需拆已装好的部件；当遇有零部件有几种装配方法时，应以最省力、最方便为原则，如十字头由曲轴箱内安装方便、省力，而由中体油窗安装较为困难，则一般由曲轴箱内装入。

活塞式压缩机在装配过程中，应严格控制并确保主要零部件的位置精度达到技术要求，使主要零部件的装配间隙等符合技术标准。例如位置精度包括机身纵、横方向的水平度，中体或十字头滑道轴线的水平度，十字头滑道中心线与曲轴中

心线的垂直度，气缸中心线与十字头滑道中心线及气缸与气缸中心线的同轴度，多级气缸列与中心线的平行度，活塞杆中心线与十字头滑道中心线的平行度等；装配间隙则包括各级气缸的余隙，曲柄销与连杆大头瓦、十字头与滑道、十字头销与连杆小头衬套等的顶隙，主轴颈与主轴承的径向、轴向间隙等。同时，装配中还应保证主轴颈与主轴承、十字头滑板与滑道、十字头销与连杆小头衬套、密封圈与活塞杆等处的接触面积满足技术要求。除此之外，在装配过程中还应注意以下事项：

- 1) 零部件必须进行认真检查或试验，符合要求后，才可装配。
- 2) 部件组装时，应按程序进行，防止“忘”“错”“掉”等现象产生，每一组合件组装完毕，均应进行检测。
- 3) 装配时，运动件的光洁面处要滴入适量的润滑油。
- 4) 装配油、水、气管路时，应注意防漏。
- 5) 装配时，应选用合适的工具紧固各连接螺栓。
- 6) 所有的装配零部件必须进行严格清洗，润滑油孔道应吹除干净，保证畅通。
- 7) 装配过程中，必须严格执行安全规程和文明生产准则，防止人身或设备事故的发生。

## 案例 4

# M7120D 型平面磨床磨头的装配

## 一、磨头的结构

图 4-4-1 所示为 M7120D 型平面磨床磨头的结构图。其主要由两部分组成，磨头体壳和磨头上轴、轴瓦。体壳的前部有一长圆孔，内装两套 3 块短轴瓦式轴承，由两个单独封闭油室隔开，以及控制轴向窜动的两套球面推力轴承，主轴尾部装有电动机转子，电动机定子固定在体壳上。主轴各部件的作用如下：

1) 油封环 9、22。主要起封油作用，前后各一套，与两端盖组成封闭的油腔，提供轴承润滑。

2) 平衡环 5。控制轴向窜动并起平衡作用。

3) 球面环 19、圆柱销 20、球面推力轴承 21。共同控制轴向窜动，靠 21 的端面产生的油膜来润滑端面。弹簧 18 及圆柱销 7 起自动补偿球面推力轴承的轴向磨损及定位作用，同时还具有缓冲轴向冲击的作用。

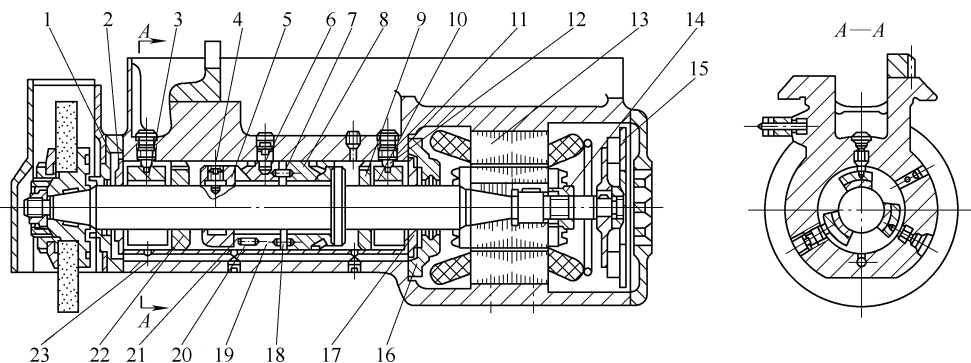


图 4-4-1 M7120D 型平面磨床磨头的结构图

- 1—法兰盖 2、17—端盖 3—前轴瓦 4、6—定位螺钉 5—平衡环 7、20—圆柱销 8、19—球面环  
9、22—封油环 10—后轴瓦 11—压紧螺母 12—球面支承螺钉 13—定子 14—螺母 15—风叶  
16—后法兰盖 18—弹簧 21—球面推力轴承 23—体壳



- 4) 压紧螺母 11、球面支承螺钉 12。起调整轴承间隙的作用，调整好后拧紧。
- 5) 定位螺钉 6。磨头装配完毕，用以支承球面环，以防止轴向移动。
- 6) 支紧螺钉。对封油环 9、22 起固定作用，以防主轴起动时造成漏油。

## 二、磨头的装配工艺

### 1. 装配前的准备工作

- 1) 清洁工作，包括对各零部件的清洁、清理，特别是主轴轴颈、轴瓦、封油环、球面推力轴承、体壳孔等重要零部件的清洁。可用汽油（如 200 号工业汽油等）、煤油或轻柴油清洗，再用压缩空气吹干净。
- 2) 对主轴进行动平衡测试，要求动平衡精度不低于 II 级。
- 3) 按图样等要求对主轴、轴瓦、轴承精度等进行复检。

### 2. 磨头的装配

#### (1) 装配技术要求

- 1) 主轴的轴向窜动  $\leq 0.005\text{mm}$ 。
- 2) 主轴的径向圆跳动（用于几何公差时） $\leq 0.005\text{mm}$ 。
- 3) 主轴与轴瓦的冷态间隙：前轴承为  $0.008 \sim 0.01\text{mm}$ ，后轴承为  $0.01 \sim 0.012\text{mm}$ 。
- 4) 低速运转 2h 后，再高速运转 2h 的温升  $\leq 20^\circ\text{C}$ 。

#### (2) 装配工艺过程

- 1) 装上球面推力轴承及轴承内部的弹簧，各弹簧的弹性长短要一致；装上左端的紧定螺钉。
- 2) 把主轴放入体壳内的装配位置，用定位螺钉将球面推力轴承位置固定。
- 3) 装上前、后两个油封环，注意回油孔位置位于上方，拧入定位螺钉，装配时用专用工具将定位螺钉和封油圈上的螺孔对准，装配封油环也要用专用工具，以防装偏。

4) 装入前后 6 块轴瓦及球头支承螺钉，位置要正确，且使轴瓦上的箭头方向与主轴的实际转向一致。

5) 装上前、后定心套（图 4-4-2），使主轴基本上位于前后体壳孔的中心位置。

6) 用十字扳手（图 4-4-3）、螺钉旋具、活动扳手调整主轴、轴瓦之间的间隙至要求（即前轴承为  $0.008 \sim 0.01\text{mm}$ ，后轴承为  $0.01 \sim 0.012\text{mm}$ ）。

7) 用铜棒以适当的力在轴承承载方向敲击主轴，重新测量间隙（图 4-4-4），若不符合要求，应重新调整。调整完毕，卸下前、后定心套。

8) 装上前、后法兰，用塞尺检验圆周各处间隙应均匀，装上其他零件及润滑

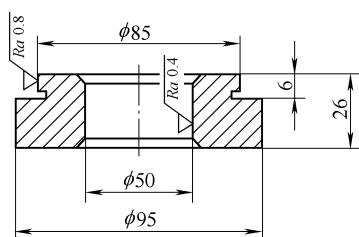


图 4-4-2 定心套

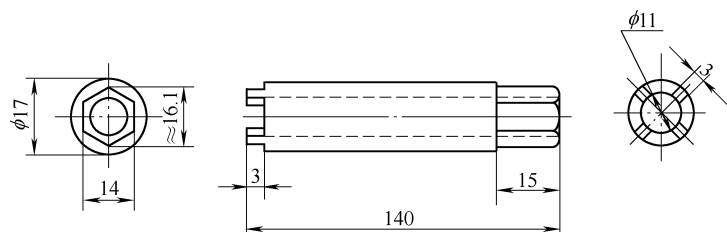


图 4-4-3 磨头主轴轴瓦间隙调整十字扳手

油管等。

9) 磨头的试运转及精度测量。试运转, 先低速运转 2h, 后高速运转 2h, 检查温升 (不得超过  $20^{\circ}\text{C}$ ), 并检查主轴精度, 如图 4-4-5 所示。

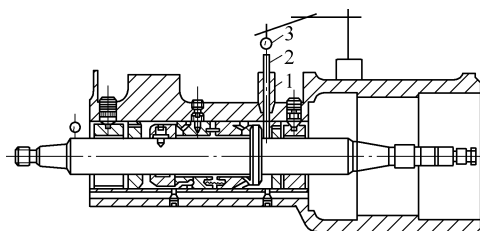


图 4-4-4 主轴轴瓦间隙测量示意图

1—测量套 2—量棒 3—千分尺

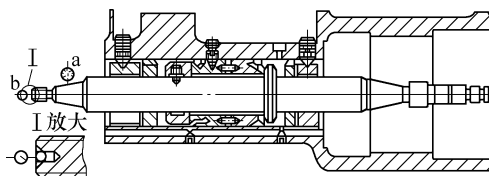


图 4-4-5 主轴装配精度测量示意图

### 三、磨头的装配及试运转注意事项

- 1) 主轴与轴瓦的接触面积应在装配前检查。
- 2) 手动转动主轴时, 旋向要与实际旋转方向一致, 不能反向, 避免损伤轴瓦。
- 3) 磨头装配好后, 对主轴各工作精度、轴承与轴瓦间隙要再次测量, 合格后方可试运转。
- 4) 磨头运转期间, 人不能离开设备, 尤其是运转开始后的前 20min 内, 更要密切注意磨头的动态。一旦发现有异常 (如温升过快、有异常响声、漏油等), 应立即停车。
- 5) 磨头试运转后, 对主轴的各项精度要重新测量。
- 6) 磨头装配好后, 要妥善放置, 避免振动、受热、受潮及灰尘进入。

## 圆锥体和多面体的展开

### 一、可展表面与不可展表面

一块长方形的钢板可以卷成圆筒，反过来也可将圆筒摊开成长方形的钢板。这样将零件的表面摊平在一个平面上，而不发生撕裂或产生皱褶的过程就称展开。在平面上画得的图形称展开图，作展开图的过程称展开放样。

作展开图的方法通常有两种：一种是计算法，一种是作图法，大多数零件都采用作图法。

根据组成零件表面的展开性质，展开表面可分为可展表面和不可展表面。

(1) 可展表面 零件的表面能全部平坦地摊平在一个平面上，而不发生撕裂或起皱，这种表面称为可展表面。可展表面有平面立体、柱面和锥面等。

(2) 不可展表面 如果零件的表面不能自然平整地展开摊平在一个平面上，这种表面称为不可展表面。不可展表面有球面、圆环表面和螺旋面等。

### 二、展开方法

物体表面的展开，在机械行业中大多采用平行线展开法、放射线展开法和三角形展开法。

(1) 平行线法展开的原理 将零件的表面看做由无数条相互平行的素线组成的，取相邻素线及其两端线所围成的微小面积作为平面，只要将每一小块平面的真实大小，依顺序地画在平面上，就将得到零件表面的展开图。所以这种方法适用于零件表面的素线或棱线互相平行的几何形体，如各种棱柱体表面展开、圆柱体曲面展开等都可用平行线法。平行线法展开常见的如棱柱体的展开图。

(2) 放射线展开法的原理 将零件的表面看做由无数条直素线构成的，且这些素线都汇交于一点，任意相邻的两条素线及其所夹的底边端线，可以看做一个近似三角形平面。当把各三角形的底边无限缩短时，那么小三角形面积的总和与原来的形体表面积就接近相等。这样，如果把所有的小三角形的实形按顺序不遗漏、不重叠地画在一个平面上，则原来形体表面的实形就被展开了。它适用于表

面素线汇交于一点的几何体，如各种圆锥体表面和圆台表面的展开。

(3) 三角形展开法的原理 将零件表面看做由许多小三角形平面组成的，然后把这些小三角形按其在表面上的真实大小和左右相互位置的顺序，不遗漏、不重叠地画在一个平面上，就得到了形体表面的展开图。它适用于表面的素线在某个区域内平行，在某个区域内相交，但交点不在同一点上或整个表面素线都相交但交点各有不同的零件，如上圆下方过渡接头等。

### 三、展开实例

#### 1. 圆锥体的展开

(1) 正圆锥体的展开 由于锥体表面素线不是互相平行的，而是所有素线汇交于一点，所以其展开方法就用放射线法。正圆锥表面上所有素线都汇交于顶点，且各素线的长度都相等。因此进行展开时应先在俯视图上确定出若干条素线的实际位置，并与顶点连接形成若干个共顶三角形。把各共顶三角形实形连续依次画出就得到所求的展开图。

正圆锥体的具体展开方法是，按已知尺寸画出主视图和俯视图，在俯视图上任意等分圆周，图中为 12 等分，将等分点 1~7 和  $O$  分别连接。由等分点 1~7 引上垂线与主视图底边相交于  $1' \sim 7'$ ，再把  $1' \sim 7'$  点与  $O'$  点相连接。以  $O'$  点为圆心，以  $O'7'$  为半径画弧，在此弧上截取 12 个  $S$  长度，连接  $O'-1^x$  形成扇形即是所求展开图，如图 4-5-1 所示。

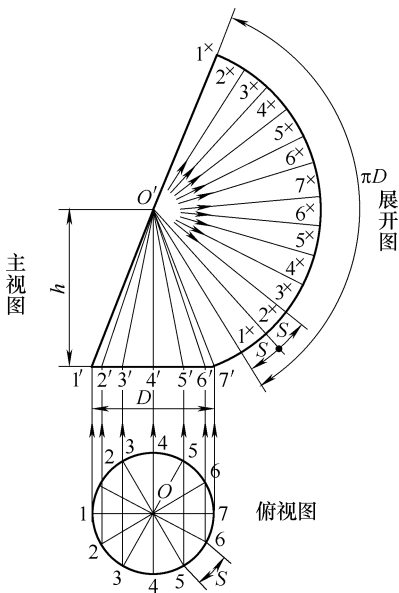


图 4-5-1 正圆锥的展开

(2) 平口正圆锥管的展开 平口正圆锥管是无锥顶的圆锥（也称为正圆锥台），其中图 4-5-2a 所示为零件的立体图，图 4-5-2b 所示的粗实线部分为其投影图。通常的作法是将俯视图上两个分别代表顶圆和底圆的圆周分成若干等份，图示分成 12 等份，则根据投影关系将 1、2、3、…这些等分点分别标到主视图上，将锥体两侧母线延长，交于  $O'$  点， $O'7''7'$  的长则为展开扇形的大端半径  $R$ 。而  $O'7''$  的长则为小端半径  $R_1$ 。再在图样另一处取一中心  $O$ ，分别以  $R_1$  和  $R$  为半径作一合适的扇形，画一扇形始边  $O-1$ ，自“1”点起逐一作一段圆弧，其长度等于俯视图上的“12”“23”“34”…，取 12 段为止，最后一点连接  $O$ ，如图 4-5-2c 所示。

另外在取扇形面积时，扇形的中心角  $\alpha$  也可通过计算求得，若圆锥底面直径为  $d$ ，则

$$\alpha = \frac{360^\circ \pi d}{2\pi R} = 180^\circ \frac{d}{R}$$

式中  $\alpha$ ——扇形的中心角 ( $^{\circ}$ );  
 $d$ ——底圆直径 (mm);  
 $R$ ——底圆到锥顶的距离 (mm)。

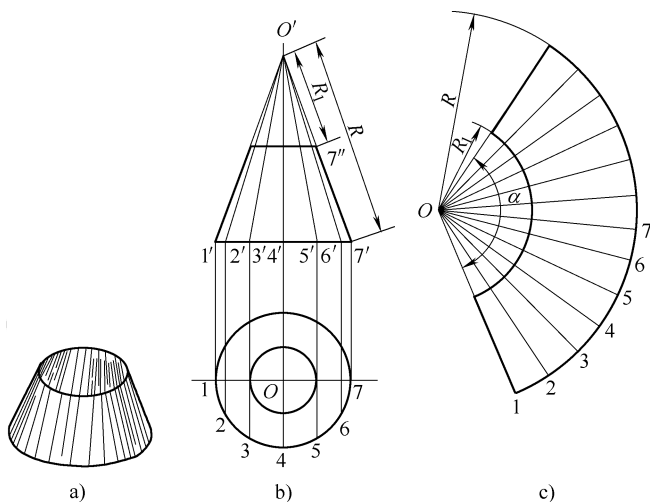


图 4-5-2 平口正圆锥管的展开  
 a) 立体图 b) 投影图 c) 展开图

(3) 斜口正圆锥管的展开 图 4-5-3a 所示为斜口正圆锥管的立体图, 其展开图如图 4-5-3b 所示。具体作法是: 斜口正圆锥管可以想象成由一只具有顶锥的正圆锥管被切割锥顶后形成的, 其扇形求法与上述平口正圆锥管一样。从图中可看出, 把锥体分成若干等份的各素线在投影圆上都不是实际长度, 所以必须把斜口正圆锥表面各等分素线实长求得, 然后画出展开图。图 4-5-3b 中的素线实长是通过用旋转法求得的, 将投影图上的  $a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ 、 $\dots$  都旋转到扇形相应的素线  $O1$ 、 $O2$ 、 $O3$ 、 $\dots$  上, 这样, 扇形中的 “1a” “2b” “3c”、 $\dots$  则为斜口正圆锥体上有关素线的实长, 只要再连接  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $\dots$  各点, 就得到所要求的展开图。

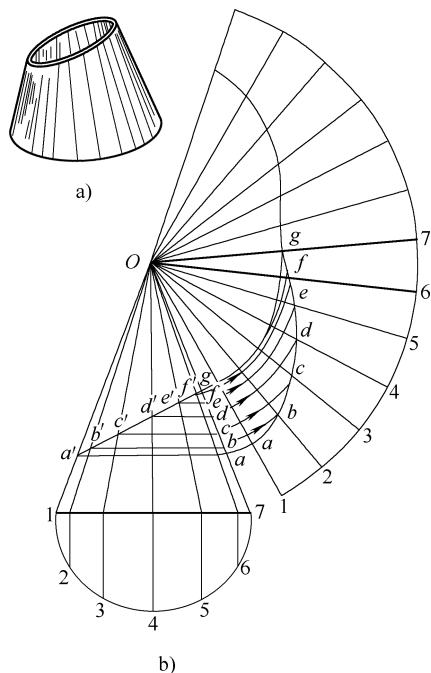


图 4-5-3 斜口正圆锥管的展开  
 a) 立体图 b) 展开图

(4) 斜圆锥管的展开 如果圆锥的轴线与底面不垂直, 则该圆锥称斜圆锥。斜

圆锥的顶点至底圆的距离（即斜圆锥表面各素线的长度）都不相等，作展开图时必须分别求出各条素线的实长，先画出整个圆锥面的展开图，再画出截去的顶部。图 4-5-4 所示为斜圆锥管的展开图。其具体作法如下：

1) 将底圆分成若干等份，各等分点 1、2、3、…、7 与顶点  $O$  连接，这样将斜圆锥面分成许多小的三角形。

2) 用旋转法求出各条素线的实长，例如  $O2$  实长，在俯视图中以  $O$  为圆心， $O2$  为半径作圆弧与水平线相交，交点与顶点  $O'$  连接的线段即为  $O2$  的实长。求出各素线的实长后，再利用等分圆弧的弧长，依次作出各三角形的展开图（图中只画了一半，另一半与其对称）。

3) 用以上同样的方法，作截去顶部的展开图，图 4-5-4b 所示即为斜圆锥管的  $1/2$  展开图。

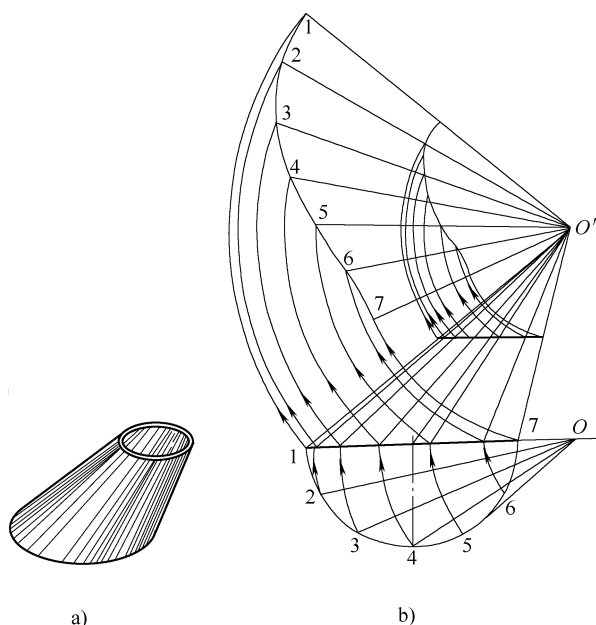


图 4-5-4 斜圆锥管的展开

a) 立体图 b) 斜圆锥管的  $1/2$  展开图

## 2. 多面体的展开

(1) 上口斜截四棱柱管的展开 图 4-5-5a 所示为上口斜截四棱柱管的立体图，各棱线相互平行，它由四个面组成，只要顺序画出四个面的实际大小，即得其展开图。作法如下：

1) 作棱柱的投影图，并在各棱线处标上 1、2、…、6 代号，由投影图分析可知，主视图的形状就是四棱柱管前后两面的实形，棱柱的底线与各棱线垂直，所以展开时以主视图底线的延长线展开，在其上量取俯视图上 1、2、3、…、6、1 各点，并过各点作垂线。

2) 在各垂直线上量取主视图上相应各棱线的高度, 得  $1'$ 、 $2'$ 、 $3'$ 、 $\dots$ 、 $6'$ 、 $1'$  各点。用直线连接各点, 即得上口斜截四棱柱管的展开图。

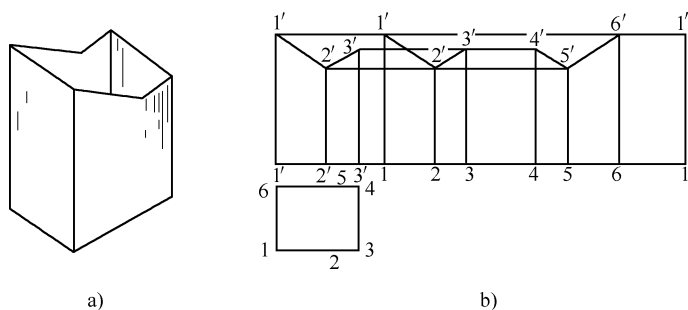


图 4-5-5 上口斜截四棱柱管的展开

a) 立体图 b) 展开图

(2) 圆方过渡管接头的展开 圆方过渡管接头表面结构如图 4-5-6a 所示, 由立体图可知它的形状是: 4 个全等斜圆锥面由底口方角点向顶圆过渡并产生 8 条过渡线, 形成 4 个等腰三角形面。过渡线不反映实长, 为了获得展开图还必须用辅助线将各斜圆锥面划分成若干个小三角形平面, 并在求出各三角形实形后, 再根据三角形展开基本方法依次按顺序作出各代表实形的三角形平面, 便可获得所求的展开图。作法如下:

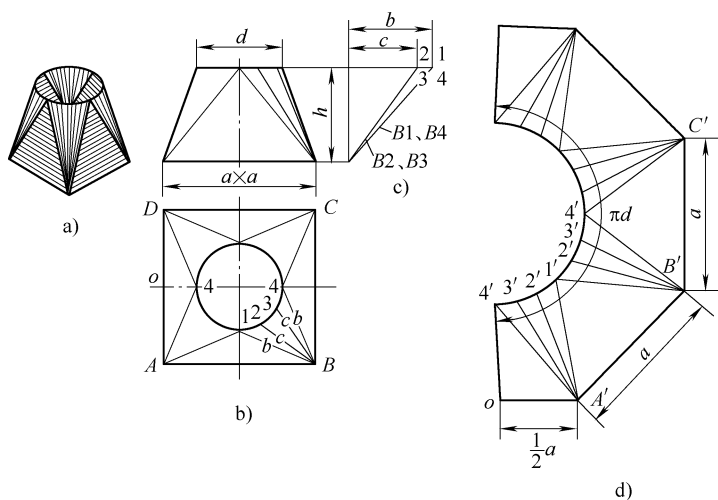


图 4-5-6 圆方过渡管接头的展开

a) 立体图 b) 主俯视图 c) 实长图 d) 展开图

- 1) 按已知尺寸作出圆方过渡管接头的主视图和俯视图。
- 2) 3 等分俯视图  $1/4$  圆周, 等分点为 1、2、3、4 并与  $B$  点连接, 则分  $B$  角斜



圆锥面为3个小三角形平面。其中线段  $B1 = B4$ 、 $B2 = B3$  并分别以  $b$ 、 $c$  表示其长度。

3) 求  $b$ 、 $c$  实长时，用直角三角形法求出，如图 4-5-6c 所示。

4) 作展开图时，先划出一线段  $B'C'$  使其长度等于  $a$ ，分别以  $B'$ 、 $C'$  为圆心，以所求实长  $b$  为半径画弧交于  $4'$  点。再分别以  $B'$ 、 $C'$  为圆心，以  $b$ 、 $c$  实长为半径画弧，再与以  $4'$  点为圆心，以俯视图顶圆上等分弧长  $\frac{34}{4}$  为半径，向两侧依次画的圆弧相交于  $3'$ 、 $2'$ 、 $1'$  点。以  $1'$  点为圆心，以实长  $b$  为半径画弧，再与以  $B'$  点为圆心，以  $a$  为半径的圆弧相交于  $A'$  点。然后用同样的方法依次求出其余各点，再分别用圆滑的曲线和直线连接各点，即完成展开图。

## 案例 6

### 滚珠丝杠副

滚珠丝杠传动系统是一个以滚珠作为滚动媒介的滚动螺旋传动体系。滚珠丝杠副是回转运动与直线运动相互转换的新型传动装置，其结构原理如图 4-6-1 所示。在丝杠 1 和螺母 2 上加工有圆弧形的螺旋槽，当它们装在一起时就形成了螺旋线滚道，并在滚道内装满滚珠 3。当丝杠相对于螺母旋转时，两者发生轴向位移，而滚珠则沿着滚道流动。螺母的螺旋槽两端用回珠管 4 连接起来，使滚珠能周而复始地循环运动。管道两端还起着挡珠作用，防止滚珠沿着滚道流出，从而形成闭合回路。

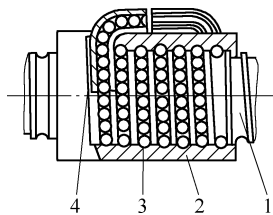


图 4-6-1 滚珠丝杠副的结构原理  
1—丝杠 2—螺母 3—滚珠 4—回珠管

#### 一、滚珠丝杠副的传动特点

1) 传动效率高，摩擦损失小。滚珠丝杠副传动效率  $\eta = 0.92 \sim 0.96$ ，比常规的丝杠螺母副提高了 3 ~ 4 倍（滑动丝杠效率为 0.2 ~ 0.4）。因此，消耗功率只相当于常规丝杠螺母副的 1/4 ~ 1/3。所以能以较小的转矩得到较大的推力。

2) 传动平稳。滚珠丝杠传动系统为点接触滚动运动，工作中摩擦阻力小、灵敏度高、起动时无颤动、低速时无爬行现象，因此可精密地控制微量进给。

3) 同步性好。由于运动平稳、反应灵敏、无阻滞、无滑移，用几套相同的滚珠丝杠传动系统同时传动几个相同的部件或装置，可以获得很好的同步效果。

4) 高可靠性。与液压传动系统以及其他传动机械相比，滚珠丝杠传动系统故障率很低，维修保养也较简单，只需进行一般的润滑和防尘。在特殊场合可在无润滑状态下工作。

5) 有可逆性。滚珠丝杠传动系统可以将螺旋运动转换成直线运动，也可以将

直线运动转换成旋转运动，即丝杠和螺母都可以作为主动件。

6) 磨损小，使用寿命长，精度保持性好。若给予适当预紧载荷，可消除丝杠和螺母的轴向间隙，从而提高刚性，在承载时减少滚珠和螺母、丝杠间的弹性变形，消除反向时的空程死区，提高定位精度和重复定位精度。

7) 制造工艺复杂，滚珠丝杠和螺母等元件的加工精度高，表面粗糙度值要求小，制造费用较高。

8) 不能自锁，特别是在用于升降的场合，由于重力的作用，下降时当传动切断后，不能停止运动，故常需在传动系统中增加制动装置。

二、滚珠丝杠副的应用

由于滚珠丝杠副具有传动效率高、传动平稳、使用寿命长，以及可以预紧以消除间隙并提高系统刚性等优点，因此在各类机床，尤其是数控机床的直线运动，以及进给系统中得到普遍应用。滚珠丝杠副在机床上的应用见表 4-6-1。

表 4-6-1 滚珠丝杠副在机床上的应用

应用方面	采用滚珠丝杠的目的	用 途 举 例
数控机床	1. 滚珠丝杠副的传动效率高，使机床进给机构的起动转矩和运动转矩大大减小，以适应采用小容量的步进电动机 2. 滚珠丝杠副的进给精度高，可满足数控机床移动部件的正确定位和均匀位移的要求 3. 滚珠丝杠副的工作寿命长，可使数控机床长期工作仍能保持精度不变 4. 滚珠丝杠副经预紧后进给刚度高	数控铣床、车床、镗床、磨床及自动换刀自动机床、数控电加工机床
精密机床	1. 滚珠丝杠副的进给精度高，可满足数控机床移动部件的正确定位和均匀位移的要求 2. 滚珠丝杠副的工作寿命长，可使数控机床长期工作仍能保持精度不变 3. 滚珠丝杠副经预紧后进给刚度高	精密车床、坐标镗床、齿轮磨床、螺纹磨床、坐标磨床，电加工机床等精密机床的工作台、头架、滑座的进给丝杠副
一般机床	滚珠丝杠副的传动效率高，运转轻快，减轻操作者劳动强度	镗床、铣床升降台的升降丝杠副
	利用滚珠丝杠副的运动可逆性，将直线运动转换为旋转运动	液压仿形铣床工作台进给丝杠副
	利用滚珠丝杠的运动同步性，保证运动平稳	双柱横梁式镗床、龙门刨床、龙门铣床、立式车床等机床的横梁升降丝杠副

### 三、滚珠丝杠副的支承方式

螺母座、丝杠的轴承及其支架等刚度不足将严重地影响滚珠丝杠的传动刚度。滚珠丝杠常用推力轴承支承，以提高轴向刚度（当滚珠丝杠的轴向负载很小时，也可用角接触球轴承支承）。滚珠丝杠在机床上的支承方式如图 4-6-2 所示。

(1) 一端装角接触球轴承 其支承方式如图 4-6-2a 所示。这种支承方式只适合于短丝杠，它承载能力小，轴向刚度低，一般用于数控机床的调整环节或小规格升降台铣床的垂直坐标轴中。

(2) 一端装组合式角接触球轴承，另一端装深沟球轴承 其支承方式如图 4-6-2b 所示。这种支承方式一般用于要求中等速度的回转坐标轴中。

(3) 两端均装深沟球轴承 其支承方式如图 4-6-2c 所示。这种支承方式承受刚度小，一般用于中等速度回转及轴向载荷较小的坐标轴中。

(4) 两端均装角接触球轴承 其支承方式如图 4-6-2d 所示。此支承方式可承受较高的轴向载荷，适用于高速度、高精度回转坐标轴中。其最大的特点是滚珠丝杠被施加预拉伸力，由此来补偿因滚珠丝杠在高速回转时因摩擦温升而引起

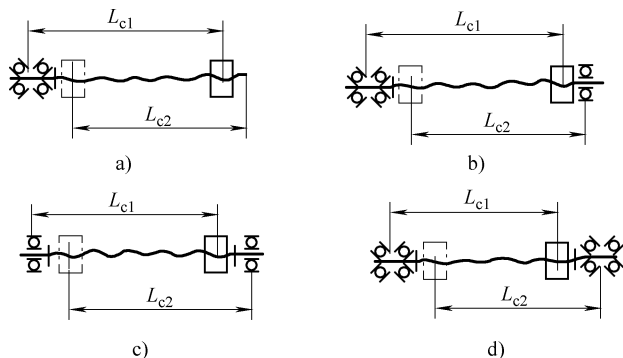


图 4-6-2 滚珠丝杠副的支承方式

### 四、滚珠丝杠副的安装方法

滚珠丝杠副作为关键性滚动传动元件，被广泛应用于各种需要定位或传动的机构中，对机构性能的影响举足轻重。

在实际应用中，滚珠丝杠副的安装方式的选择，同样会影响整个机构的工作效果，根据具体应用情况的不同，滚珠丝杠副的安装可以有多种不同的方式。不同的安装方式（支承方式）都有其各自的特点，选取时，要综合考虑实际工作要求：定位精度、传动速度、转矩和推力情况等，使滚珠丝杠副实现最佳效果。

下面以安装加工中心的滚珠丝杠副为例介绍。

1) 先将工作台倒转放置, 丝杠安装螺母孔中套入长 400mm 的精密试棒, 测量轴线对工作台滑动导轨面在垂直方向的平行度, 要求为  $0.005\text{mm}/1000\text{mm}$ , 如图 4-6-3 所示。

2) 以同样方法测量其轴线对工作台滑动导轨面在水平方向的平行度, 要求为  $0.005\text{mm}/1\ 000\text{mm}$ , 如图 4-6-4 所示。

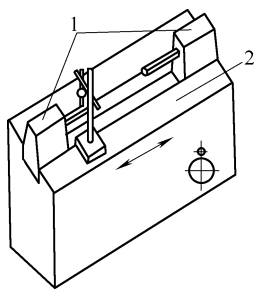


图 4-6-3 轴承座孔轴线与导轨  
的平行度误差 (一)  
1—轴承座 2—底座

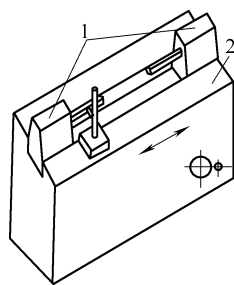


图 4-6-4 轴承座孔轴线与导轨  
的平行度误差 (二)  
1—轴承座 2—底座

3) 测量工作台滑动面与螺母座孔中心的高度尺寸, 并作记录。

4) 将轴承座装于底座的两端, 并各自套入精密的试棒, 测量轴线对底座导轨面在垂直方向的平行度以及在水平方向的平行度, 两者均应达到  $0.005\text{mm}/1\ 000\text{m}$ , 分别如图 4-6-5 和图 4-6-6 所示。

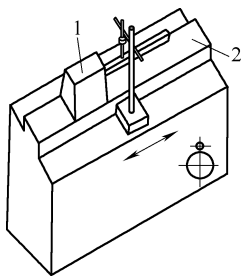


图 4-6-5 丝杠垂直方向与导轨  
的平行度误差  
1—螺母座 2—工作台

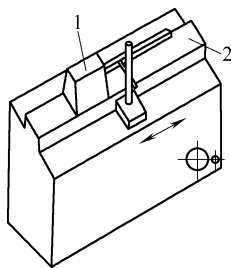


图 4-6-6 丝杠水平方向与导轨  
的平行度误差  
1—螺母座 2—工作台

5) 测量底座导轨面与轴承座孔中心线的高度尺寸, 修整配合螺母座孔的高度尺寸。

6) 将工作台和底座导轨面擦拭干净, 将工作台安放在底座正确位置上, 装上镶条, 以试棒为基准, 测量螺母座轴线与轴承座孔轴线的同轴度。如果达到装配要求, 则可紧固螺钉并配钻、铰定位销孔, 如有偏差则需修整直达到要求为止。

7) 以上工作完成后, 将轴承座孔、螺母座孔擦拭干净, 再将滚珠丝杠副仔细装入螺母座, 紧固螺钉。

8) 将选定适当配合公差的轴承安装上, 轴承安装应采用专用套筒, 以免损坏轴承, 然后再拧紧锁紧螺母, 装好法兰盘。

## 贴塑导轨

随着机床向着高精度、数控化、自动化方向的发展，国内外开发了低摩擦因数、高耐磨和无爬行的导轨材料，近十年来对塑料导轨的研究已经取得了很大的进展，可供应用的塑料品种也不断增加，在数控机床滑动导轨副中得以广泛应用。贴塑导轨是一种金属对塑料的摩擦形式，属滑动摩擦导轨。导轨的一个滑动面上贴有一层抗磨软带，另一个滑动面通常是淬硬的支承导轨面。软带是以聚四氟乙烯为基材，添加合金粉和氧化物的高分子复合材料。塑料导轨材料含有固体润滑剂微粒，具有良好的自润滑性质。同时还具有刚度好，动、静摩擦因数差值小，耐磨性好，无爬行，减振性好等特点。此外，贴塑导轨施工简单，维修方便。

### 一、贴塑导轨的工艺流程

#### 1. 表面处理

由于分子结构上的特点，一般软带表面具有不可粘性，因而严重影响其应用，故必须对其表面进行处理及配套专用粘结剂方可使用。国内对软带一般采用钠-萘表面处理。

#### 2. 粘结剂的选用

粘结剂是一种以双组分 A 型环氧树脂为主剂，异氰酸酯为固化剂，并用液体橡胶为增韧剂的双组分室温固化的粘结剂。

#### 3. 粘接工艺

塑料软带通常情况下粘接于机床的动导轨即工作台或溜板上，使它与支承导轨即床身导轨（铸铁或钢）的表面配合运动，如图 4-7-1 所示。

粘接时，先用清洗剂（如丙酮、三氯乙烯和全氯乙烯）彻底清洗被粘贴导轨面（切不可使用汽油或酒精，因为它们会在被清洗表面残留一层薄膜，影响粘接效果），清洗后用白色的干净擦布反复擦拭，直至擦不出任何污迹为止。将塑料软带的粘贴面（黑褐色表面）用清洗剂擦拭干净。然后将配套的粘结剂均匀地涂敷在软带和导轨粘接面上。为了保证粘接的可靠性，粘结剂应纵向涂布于金属导轨上，横向涂布于塑料软带上，涂布应均匀，涂层不宜过薄或太厚。软带刚粘贴在



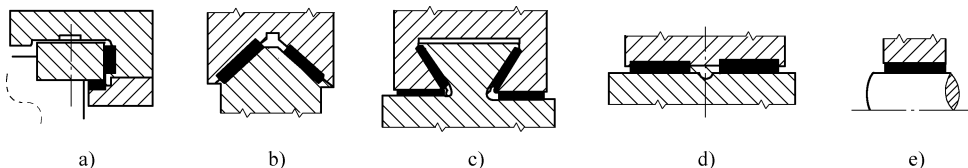


图 4-7-1 软带应用部位

a) 平导轨 b) V 形导轨 c) 燕尾导轨 d) 轴向支承 e) 轴支承

金属导轨上时需前后左右蠕动一下，使其全面接触；用手或器具从软带长度中心向两边挤压，以赶走气泡，粘贴后在导轨面上应施加一定压力，加以固化。为了保证粘结剂充分扩散和硬化，一般在室温下固化时间不少于 24h。通常情况下，粘结剂用量约为  $500\text{g}/\text{m}^2$ ，粘结层厚度约  $0.1\text{mm}$ 。接触压力为  $0.05 \sim 0.1\text{MPa}$ ，如图 4-7-2 所示。加压必须均匀，可利用机床工作台的自重反转压在床身导轨上，必要时再加重物。产品上批量使用，也可定制压铁作配压件。为避免挤出的余胶粘住床身导轨，可预先在床身导轨面上铺一层油封纸或涂一层机油。

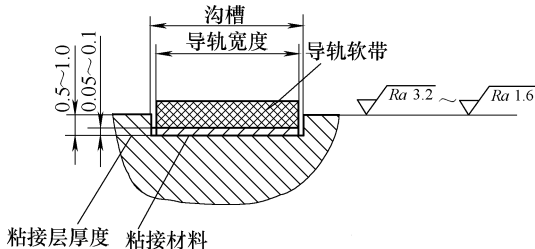


图 4-7-2 贴塑导轨的粘接

#### 4. 制作油槽

在软带上开油槽，油槽的形状因要求而异，如图 4-7-3 所示。V 形油槽应为倒角状，底部内角为圆角，避免产生局部的应力集中。油槽一般不要开透软带，油槽深度可为软带厚度的  $1/2 \sim 2/3$ ，油槽与软带边缘的距离不能小于  $3\text{mm}$ 。进油孔应位于油槽的中央，其直径应略大于油槽的宽度。

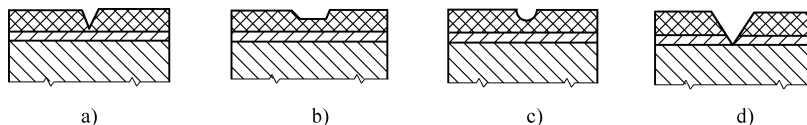


图 4-7-3 油槽形状

a) 楔形 b) 矩形 c) 半圆形 d) V 形

#### 5. 精加工

对于贴塑导轨均需要进行精加工，通常采用手工刮研方法。刮研的目的在于：改善接触情况，工作台或溜板导轨面与相配的床身导轨面配刮要求  $8 \sim 10$  点/ $(25\text{mm} \times 25\text{mm})$ ，导轨中间部分接触较轻一些；改善润滑性能，由于贴塑导轨表面经过刮研后，其表面所形成的低凹部分容易贮存润滑油，移动部件在运动中则形成一层油膜，因而有效地改善了导轨润滑性能。

还应修切多余的飞边，使导轨软带尺寸比溜板导轨基体在各边都窄 1 ~ 2mm，并成 45°或 60°倒角，以防在机加工时或使用中剥离。

## 二、贴塑导轨的维修

由于软带的硬度低于金属，故磨损往往发生在软带上，维修时只需要更换软带。软带有各种厚度，可根据需要选取。

## 案例 8

# 注塑导轨

注塑用涂层材料由以环氧树脂为基材的填有某些填料的糊状混合物和环氧树脂液态状固化剂组成。这种材料固化后具有摩擦因数低，耐磨性能高，收缩率小，成形性好，与金属附着力强，有足够的硬度和强度，施工工艺简单，维修方便等优点，因此受到广泛的欢迎，在国内外的各类机床上，特别是在数控机床上得到了广泛的应用。

### 一、预加工

涂层材料应注射在机床导轨副的短导轨面上，而对与其相配的导轨面（支承导轨面）则需要用周边导轨磨削工艺方法加工，表面粗糙度不大于  $Ra\ 0.8\mu\text{m}$ 。为了保证涂层材料能和不同金属材料的导轨（如铸铁、钢等）牢固地结合在一起，就需要对其进行预加工，不同导轨的加工形式如图 4-8-1 所示。

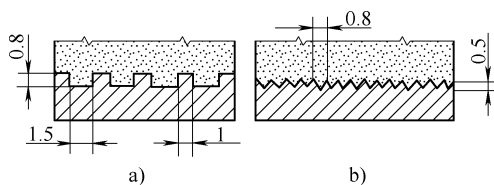


图 4-8-1 导轨的加工形式

a) 用梳刀刨 b) 用尖刀刨

- (1) 用梳刀刨 梳刀适用于基体材料为灰铸铁、球墨铸铁、钢等。
- (2) 用  $60^\circ$  尖刀刨 尖刀适用于灰铸铁材料。
- (3) 用面铣刀铣 用面铣刀进行端面铣削，对钢或铜均适用，但铣削后需进行喷砂处理。刀具一般采用  $60^\circ$  三角不重磨刀片，背吃刀量  $a_p = 0.3 \sim 0.4\text{mm}$ ，进给量  $f = 3 \sim 35\text{mm/r}$ 。

### 二、注塑的工艺过程

#### 1. 用脱模剂涂敷支承导轨面

首先将支承导轨面用丙酮清洗干净，去除油污和脏物。然后用毛刷将脱模剂均匀地涂敷在上面，约等待 10min 后吹干，干燥后的脱模剂呈乳白色。用一块软质擦布在干燥的脱模剂表面轻轻擦拭，直至表面不再有强光闪烁为止。

2. 清洗被涂层导轨表面

为了使涂层材料能够牢固地附着在导轨表面上，清洗是十分重要的。清洗最好采用丙酮，切不可用汽油或酒精。清洗后的导轨面不能用手触摸，以防弄脏。

3. 粘贴密封条

为了防止涂层材料在注塑过程中从导轨两侧间隙中流失，同时保证注塑导轨具有一定厚度，导轨的两侧需要加工成支承边形式（图 4-8-2a），或者采用橡胶密封条密封条用 502 胶粘贴（图 4-8-2b），两种边缘密封方式根据具体结构需要而异。采用支承边密封方式的优点是注塑时调整精度方便，缺点是涂层导轨面高出支承边的高度尺寸受到一定限制，一般只有 0.05 ~ 0.10mm，因为高度尺寸过大，涂层材料就会从导轨边缘流失。采用橡胶密封条密封方式的最大优点是，可保证较厚的涂层厚度，在同样条件下其磨损期限较长，缺点是注塑时调整比较困难。

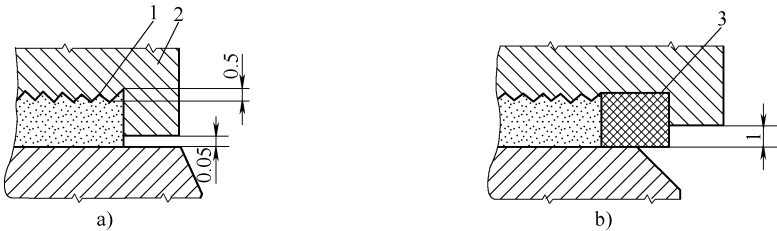


图 4-8-2 两种密封方式的截面

1—涂层 2—支承边 3—橡胶密封条

4. 翻转被注塑导轨，安放在支承导轨上

橡胶密封条粘贴好之后，将工作台或溜板翻转安放在支承导轨的已涂敷脱模剂的部位。安放过程中，起吊要平，放置要轻，不得偏斜，最大偏斜量不得超过 0.5mm，否则可能损坏密封条。

5. 调整注塑夹具

为了保证被注塑导轨的位置精度，必须对其进行认真的精度调整。对于中、小型机床的注塑是通过安装在溜板或工作台两端的专用夹具进行调整的（图 4-8-3），夹具用螺钉和工作台或溜板连接在一起，压板经修磨后与工作台或溜板用螺钉紧固，压板和床身导轨之间的间隙控制在 0.05 ~ 0.1mm。调整时，首先将置于注塑夹具上的垂直和水平位置的千分表调整至“0”位，然后通过夹具上的调整螺钉调整被注塑导轨的抬起量（涂层导轨厚度一般为 0.06mm），两只千分表的偏摆数值应一致，最终将锁紧螺母紧固。应该

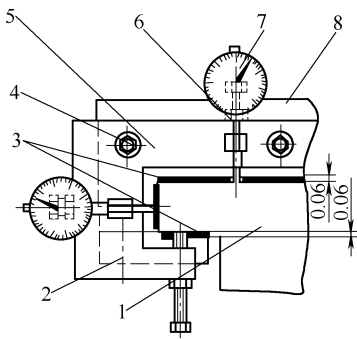


图 4-8-3 溜板注塑调整示意图

1—导轨 2—压板 3—密封条

4—螺钉 5—注塑夹具

6—调整螺钉 7—千分表 8—溜板

特别注意的是，在紧固锁紧螺母时，切不可用力过大，以免使那些较长的导轨弯曲变形，以致在注塑结束、松开调整螺钉时，导轨又恢复到原来形态造成涂层厚度不均的现象。

## 6. 搅拌注塑材料

注塑材料在注塑前需要仔细搅拌，通常情况下，固化剂是按照注塑材料的不同包装质量按比例匹配好的，搅拌时只需将固化剂直接混合，用一根塑料棒在包装盒中一起搅拌即可。另一种比较好的方法是用一个夹紧在台式钻床上的搅拌器(图 4-8-4)，以 200 ~ 300r/min 的转速搅拌，搅拌的时间为 2min。搅拌时间过长，会使涂层材料温度升高而影响其性能。另外，搅拌时要注意的，容器底部的注塑材料一定要和固化剂搅拌均匀；否则，注塑后部分材料就不能完全固化，致使注塑导轨出现部分部位达不到最佳力学性能的现象。

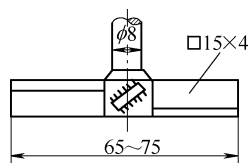


图 4-8-4 搅拌器示意图

## 7. 注塑

注入涂层材料是通过专用压注器进行的，如图 4-8-5 所示。首先，将后盖旋下，丝杠、手把和活塞也同时取下，将已搅拌好的材料倒入贮料筒中(图 4-8-6)，材料的残存气体在倒入过程中会自动排出，当材料灌满后，压下活塞，旋紧后盖，开始注塑。将压注器接头旋入注塑螺孔中，转动手把，涂层材料就会缓慢地流向导轨间，此时应注意观察注塑夹具上的千分表，每只千分表的偏摆量不得大于 0.01mm。如果偏摆量数值过大，应立即调整注塑压力，即减缓压注器手把的手旋速度。当涂层材料整齐地从被注塑导轨缝隙整个宽度处溢出时，表明导轨间已注满涂层材料。此时，立即用早已准备好的金属板堵住导轨面间的隙缝。至此，整个注塑过程结束。

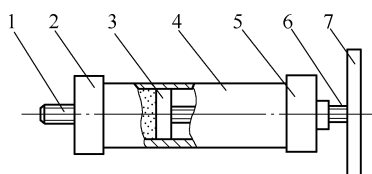


图 4-8-5 压注器

1—接头 2—前盖 3—活塞 4—贮料筒  
5—后盖 6—丝杠 7—手把

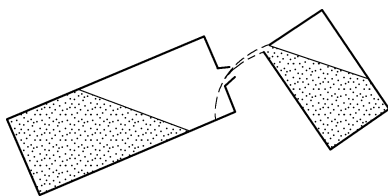


图 4-8-6 倒入方法示意图

为了保证注塑导轨质量，不同导轨长度的涂层厚度（不包括齿槽）可按表 4-8-1 选择。

## 8. 固化

涂层导轨的固化时间在室温下一般不少于 16h，在此期间，涂层导轨不允许有任何受压和振动。因此，一般应安排在下午注塑，经过一夜时间的固化，次日便

可拆除涂层导轨。

表 4-8-1 涂层厚度 (单位: mm)

导 轨 长 度	涂 层 厚 度	备 注
400 以下	2	—
400 ~ 1200	2.5	—
1200 以上	2.5	增加一个出气口

9. 清理注塑器具

注塑结束后,所有器具(含注塑夹具、压注器等)上粘结的涂层材料应立即用丙酮清洗干净。

10. 分离被涂层导轨

先松开所有的紧固螺钉和调整螺钉,拆下注塑夹具,然后用一小型千斤顶或用一根撬杠,在被注塑导轨的适当位置上微微撬动,直至听到分离的声音,即可用起重机吊离。

11. 清除橡胶密封条

清理被涂层导轨,将其所有橡胶密封条彻底消除干净,对注塑导轨的四周和边角处多余的注塑材料用刮刀清除干净,最终用丙酮将涂层导轨清洗干净。

12. 修补涂层导轨面,制作润滑油槽

涂层后的导轨面上,有时会出现一些小的气孔,需要进行修补。首先用小刮刀或手电钻将出现气孔的部位清除干净,然后用丙酮擦洗,略等片刻,补上适量的含有固化剂的涂层材料,固化后再用刮刀刮平即可。

制作润滑油槽的方法有两种:一种是通过高速手磨工具磨制,如图 4-8-7 所示;另一种是模制润滑油槽,首先用硬纸板根据设计需要裁剪成不同形式的润滑油槽模板,一般厚度为 2~3mm,如图 4-8-8 所示。注塑前,将成形模板用 502 胶水粘贴在已涂敷过脱模剂的支承导轨上,再将被涂层导轨翻转,按照已划好的位置安放在支承导轨上进行注塑。当涂层材料安全固化后,分离开导轨,将纸质油槽模板彻底清除干净,即会在涂层导轨上模制出非常整齐美观的润滑油槽。

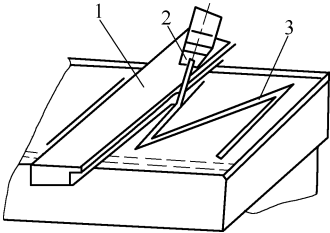


图 4-8-7 手磨工具磨制油槽  
1—直尺 2—手磨工具 3—油槽

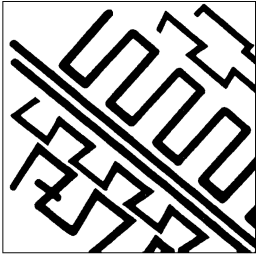


图 4-8-8 纸质油槽模板

### 13. 手工刮研涂层导轨

刮研的目的主要是为了改善接触性能和润滑性能，经过手工刮研，导轨面的刀痕所形成的凹下部分可贮存润滑油，并在运动中形成油膜，从而改善导轨润滑性能。

## 三、注塑导轨副的维修

在注塑（涂层）导轨副中，由于硬度的提高，表面粗糙度值很小，使得导轨副中涂层导轨磨损量很小，其精度寿命可保持三班运行在 10 年以上。在设备大修中，如果发现导轨副中涂层导轨已有严重磨损现象，即支承导轨面已有严重磨痕，涂层导轨两侧支承边已与塑料导轨面呈一平面，就必须重新修磨支承导轨和重新注塑涂层，方法如下：

（1）修磨支承导轨 按照出厂装配要求对支承导轨进行周边导轨磨削，对于普通机床导轨直线度公差为  $0.01\text{mm}/1\,000\text{mm}$ ，对于高精度数控机床导轨直线度公差为  $0.005\text{mm}/1\,000\text{mm}$ ，表面粗糙度值为  $Ra0.4\mu\text{m}$ 。

（2）涂层导轨的重新注塑 首先用铍子清除已磨损的导轨涂层，根据导轨基体原齿槽面的损坏情况，必要时需重新加工齿槽和支承边。齿槽面加工时应尽量粗糙些（ $Ra6.3 \sim 12.5\mu\text{m}$ ），以增加对涂层材料的附着力。另一种方法是对已清除了涂层塑料的导轨基体进行喷砂处理，砂粒直径为  $0.25 \sim 0.5\text{mm}$ ，同样可达到较好的效果。在上述工作完成后，按注塑工艺重新注塑。



附录

附录 A  
常用基础资料

一、国内外部分标准代号（表 A-1、表 A-2）

表 A-1 国内部分标准代号

标准代号	标准类别	标准代号	标准类别
GB	国家标准	TH、TH/Z	通用机械
GB/T	国家推荐标准	GC	机床
JB、JB/Z、JZ	机电、仪表	GL	量具
NJ、NJ/Z	农业机械	GR	刃具
ZJ、ZZ、ZQ	—	QB、SG	轻工
ZB、ZX、ZH、Q/ZB	重型机械	FZ、FJ、FJ/Z	纺织
DZ、ODG、ODD、Q/D	电机、电器	WS2、WS2/Z	医疗器械
		HBS、HBS/Z	航空
Y	仪表	SJ、SJ/Z、NE、E	电子工业
JJG	计量	QJ、QJ/Z	航天
YB、YB/Z	冶金	TB、TB/Z	铁道
HG、HGB	煤炭	SD、DL	水电
SY	石油	YD、YD/Z	邮电
MT、MT/Z	煤炭	CB、CZ、CB/Z	船舶
JG、JC	建筑材料	JT、JT/Z	交通

表 A-2 常见国际标准及国外标准代号

代 号	意 义	代 号	意 义
ISO	国际标准	CSN	前捷克和斯洛伐克标准
ISO/DIS	国际标准草案	DIN	德国标准
ISO/R	国际标准（推荐标准）（1972 年以前）	DS	丹麦标准
IEC	国际电工委员会标准	ELOT	希腊标准
ANSI	美国国家标准	TS	土耳其标准
SIS	瑞典标准	UNE	西班牙标准
SN	瑞士标准	UNI	意大利标准
S. S.	新加坡标准	БДC	保加利亚标准
S. I.	以色列标准	ГОСТ	前苏联国家标准
NCh	智利标准	JIS	日本工业标准
NEN	荷兰标准	KS	韩国工业标准
NF	法国标准	MS	马来西亚标准
NZS	新西兰标准	MSZ	匈牙利标准
BS	英国标准	NB	巴西标准
CSA	加拿大国家标准	NBE	比利时标准

二、固体材料的密度（表 A-3）

表 A-3 固体材料的密度（单位：g/cm<sup>3</sup>）

材 料 名 称	密 度	材 料 名 称	密 度	材 料 名 称	密 度
灰铸铁	6.6 ~ 7.8	纯铜（铜 99.5%）	8.9	铸铝	2.56
白口铸铁	7.4 ~ 7.7	锰青铜	7.8	铝板	2.73
可锻铸铁	7.2 ~ 7.6	锡青铜	8.8	硬铝	2.85
球墨铸铁	7.3	硅青铜	8.2	铸造铝合金	2.55 ~ 2.95
工业纯铁	7.87	2 铍青铜	8.28	锡（铸）	7.2
碳钢（钢材）	7.85	铝青铜	7.5	锡（轧）	7.4
铸钢	7.8	铅青铜	9.2	钨钴类硬质合金	14.4 ~ 15.3
高速钢（钨 9%）	8.8	铸铜	8.6	钨钴钛类硬质合金	11 ~ 13.2
高速钢（钨 18%）	8.7	电解铜	8.95	镍铬合金	8.4
不锈钢（铬 13%）	7.75	铸锌	6.86	锡基轴承合金	7.34 ~ 7.75
黄铜 90	8.8	锌板	7.2	铅基轴承合金	9.33 ~ 10.67
黄铜 80	8.65	铸铅	11.3	巴氏合金	7.5 ~ 10.5
黄铜 62	8.5	铅板	11.37		

三、常用材料的熔点（表 A-4）

表 A-4 常用材料的熔点

名 称	熔点/℃	名 称	熔点/℃
灰铸铁	1200	铝	658
铸钢	1425	铅	327
钢	1400 ~ 1500	锡	232
黄铜	950	镍	1452
青铜	995	尼龙 1010	200 ~ 210
纯铜	1083	有机玻璃	≥108

四、固体材料的线膨胀系数（表 A-5）

表 A-5 常用固体材料的线膨胀系数

材 料 名 称	$T/^\circ\text{C}$	$\alpha/\times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	材 料 名 称	$T/^\circ\text{C}$	$\alpha/\times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$
工业用铜	20 ~ 100	16. 6 ~ 17. 1	镍铬	20 ~ 100	14. 5
红铜	20 ~ 100	17. 2	镍铬	20	10
黄铜	20 ~ 100	17. 8	40CrSi	20 ~ 100	11. 7
锡青铜	20 ~ 100	17. 6	20Mo	20 ~ 100	12
铝青铜	20 ~ 100	17. 6	3Cr13	20 ~ 100	10. 2
碳钢	20 ~ 100	10. 6 ~ 12. 2	1Cr18	20 ~ 100	16. 6
铬钢	20 ~ 100	11. 2	赛璐	20 ~ 40	74
铸铁	20 ~ 100	8. 7 ~ 11. 1	硬橡	17 ~ 25	77
康铜	20 ~ 100	15. 2	陶瓷	0 ~ 100	0. 3
锌白铜（铜 60%、 镍 15%、锌 20%）	20 ~ 100	18. 4	硬铝	20	22. 6

五、材料的摩擦因数（表 A-6）

表 A-6 材料的摩擦因数

材 料 名 称	摩擦因数 $f$			
	静摩擦		动摩擦	
	无润滑剂	有润滑剂	无润滑剂	有润滑剂
钢-钢	0. 15	0. 1 ~ 0. 12	0. 15	0. 05 ~ 0. 1
钢-软钢			0. 2	0. 1 ~ 0. 2

(续)

材 料 名 称	摩擦因数 $f$			
	静摩擦		动摩擦	
	无润滑剂	有润滑剂	无润滑剂	有润滑剂
钢- 铸铁	0. 3	0. 1 ~0. 15	0. 18	0. 05 ~0. 15
钢- 青铜	0. 15		0. 15	0. 1 ~0. 15
软钢- 铸铁	0. 2		0. 18	0. 05 ~0. 15
软钢- 青铜			0. 18	0. 07 ~0. 15
铸铁- 铸铁		0. 18	0. 15	0. 07 ~0. 12
铸铁- 青铜			0. 15 ~0. 2	0. 07 ~0. 15
青铜- 青铜		0. 1	0. 2	0. 07 ~0. 1

六、物体的摩擦因数（表 A-7）

表 A-7 物体的摩擦因数

摩擦物体的名称			摩擦因数 <i>f</i>
滚动 轴 承	单列向心球 轴 承	径向载荷	0. 002
		轴向载荷	0. 004
	单列向心推力球 轴 承	径向载荷	0. 003
		轴向载荷	0. 005
	单列圆锥滚子 轴 承	径向载荷	0. 008
		轴向载荷	0. 02
	双列向心球面球轴承		0. 0015
	短圆柱滚子轴承		0. 002
	长圆柱或螺旋滚子轴承		0. 006
	滚针轴承		0. 008
	推力球轴承		0. 003
	双列向心球面滚子轴承		0. 004
滑动 轴 承	液体摩擦		0. 001 ~0. 008
	半液体摩擦		0. 008 ~0. 08
	半干摩擦		0. 1 ~0. 5

七、滚动摩擦因数（表 A-8）

表 A-8 滚动摩擦因数

相摩擦或相接触的物体	滚动摩擦因数 <i>f</i>	相摩擦或相接触的物体	滚动摩擦因数 <i>f</i>
铸铁与铸铁	0.5	软钢与钢	0.05
钢制车轮与钢轨	0.5	有滚动轴承的料车与钢轨	0.09
木与钢	0.3~0.4	无滚动轴承的料车与钢轨	0.21
木与木	0.5~0.8	钢质车轮与木面	1.5~2.5
软木与软木	1.5	轮胎与路面	2~1

八、国际单位制的基本单位及专门名称的导出单位（表 A-9、表 A-10）

表 A-9 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克（公斤）	kg
时间	秒	s
电流	安〔培〕	A
热力学温度	开〔尔文〕	K
物质的量	摩〔尔〕	mol
发光强度	坎〔德拉〕	cd

表 A-10 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示示例
频率	赫〔兹〕	Hz	s <sup>-1</sup>
力、重力	牛〔顿〕	N	kg·m/s <sup>2</sup>
压力、压强，应力	帕〔斯卡〕	Pa	N/m <sup>2</sup>
能〔量〕，功，热量	焦〔耳〕	J	N·m
功率，辐〔射能〕通量	瓦〔特〕	W	J/s
电位，电压，电动势	伏〔特〕	V	W/A
电容	法〔拉〕	F	C/V
电阻	欧〔姆〕	Ω	V/A
磁通〔量〕	韦〔伯〕	Wb	V·s
磁通〔量〕密度，磁感应强度	特〔斯拉〕	T	Wb/m <sup>2</sup>
电感	亨〔利〕	H	Wb/A
摄氏温度	摄氏度	℃	—

九、常用法定计量单位及其换算（表 A-11 ~ 表 A-16）

表 A-11 统一公制计量单位和换算

类 别	采用的 单位名称	原 用 名 称	代 号	对主单位 的比值	折 合 市 制
长度	微米	公忽	$\mu\text{m}$	1/1000000	—
	毫米	公厘	mm	1/1000	3 市厘
	厘米	公分	cm	1/100	3 市分
	分米	公寸	dm	1/10	3 市寸
	米	公尺	m	主单位	3 市尺
	千米（公里）	公里	km	1000	2 市里
质量	克	克	g	1/1000	2 市分
	千克	公斤	kg	主单位	2 市斤
	吨	公吨	t	1000	—
容量	毫升	公撮	mL	1/1000	—
	升	公升	L	主单位	1 市升

表 A-12 长度单位换算

米（m）	厘米（cm）	毫米（mm）	英寸（in）	英尺（ft）	码（yd）
1	$10^2$	$10^3$	39.37	3.281	1.094
$10^{-2}$	1	10	0.394	$3.281 \times 10^{-2}$	$1.094 \times 10^{-2}$
$10^{-3}$	0.1	1	$3.937 \times 10^{-3}$	$3.281 \times 10^{-3}$	$1.094 \times 10^{-3}$
$2.54 \times 10^{-2}$	2.54	25.4	1	$8.333 \times 10^{-2}$	$2.778 \times 10^{-2}$
0.305	30.48	$3.048 \times 10^2$	12	1	0.333
0.914	91.44	$9.14 \times 10^2$	36	3	1
0.333	33.333	$3.333 \times 10^2$	13.123	1.094	0.366

表 A-13 面积单位换算

米 <sup>2</sup> （m <sup>2</sup> ）	厘米 <sup>2</sup> （cm <sup>2</sup> ）	毫米 <sup>2</sup> （mm <sup>2</sup> ）	英寸 <sup>2</sup> （in <sup>2</sup> ）	英尺 <sup>2</sup> （ft <sup>2</sup> ）	码 <sup>2</sup> （yd <sup>2</sup> ）
1	$10^4$	$10^6$	$1.550 \times 10^3$	10.764	1.196
$10^{-4}$	1	$10^2$	0.155	$1.076 \times 10^{-3}$	$1.196 \times 10^{-4}$
$10^{-6}$	$10^{-2}$	1	$1.55 \times 10^{-3}$	$1.076 \times 10^{-5}$	$1.196 \times 10^{-6}$
$6.452 \times 10^{-4}$	6.452	$6.452 \times 10^2$	1	$6.944 \times 10^{-3}$	$7.617 \times 10^{-4}$
$9.290 \times 10^{-2}$	$9.290 \times 10^2$	$9.290 \times 10^4$	$1.44 \times 10^2$	1	0.111
0.836	8361.3	$0.836 \times 10^6$	1296	9	1
0.111	$1.111 \times 10^3$	$1.111 \times 10^5$	$1.722 \times 10^2$	1.196	0.133

表 A-14 体积单位换算

米 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )	升 (L)	厘米 <sup>3</sup> (cm <sup>3</sup> )	英寸 <sup>3</sup> (in <sup>3</sup> )	英尺 <sup>3</sup> (ft <sup>3</sup> )	英加仑 (UKgal)
1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	6. 102 × 10 <sup>4</sup>	35. 315	2. 2 × 10 <sup>-2</sup>
10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>3</sup>	61. 024	3. 532 × 10 <sup>-2</sup>	0. 22
10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	6. 102 × 10 <sup>-2</sup>	3. 532 × 10 <sup>-5</sup>	2. 2 × 10 <sup>-4</sup>
1. 639 × 10 <sup>-5</sup>	1. 639 × 10 <sup>-2</sup>	1. 6387	1	5. 787 × 10 <sup>-4</sup>	3. 605 × 10 <sup>-3</sup>
2. 832 × 10 <sup>-2</sup>	28. 317	28. 32 × 10 <sup>4</sup>	1. 728 × 10 <sup>3</sup>	1	6. 229
3. 785 × 10 <sup>-3</sup>	3. 785	3. 785 × 10 <sup>3</sup>	2. 310 × 10 <sup>2</sup>	0. 134	0. 833
4. 546 × 10 <sup>-3</sup>	4. 546	4. 546 × 10 <sup>3</sup>	2. 775 × 10 <sup>2</sup>	0. 161	1

表 A-15 质量单位换算

千克 (kg)	克 (g)	毫克 (mg)	吨 (t)	英吨 (ton)	磅 (lb)
1000			1	0. 9842	2204. 6
1	1000		0. 001		2. 2046
0. 001	1	1000			
1016. 05			1. 0161	1	2240
907. 19			0. 9072	0. 8929	2000
0. 4536	453. 59				1



# 附录 B

## 常用数学计算（表 B-1 ~ 表 B-5）

表 B-1 常用数学常数

常 数	数 值	常 数	数 值
$\pi$	3. 141593	$\pi/3$	1. 047198
$2\pi$	6. 283185	e	2. 718282
$\pi/2$	1. 570796	1/e	0. 367879
$1^\circ = \frac{\pi}{180}$	0. 017453	g	9. 8

表 B-2 30°、45°、60°的三角函数

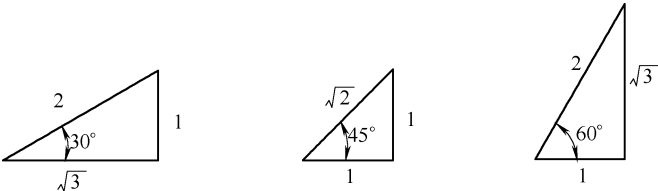
			
函数 \ 角	30°	45°	60°
sin	0. 5	0. 707	0. 866
cos	0. 866	0. 707	0. 5
tan	0. 577	1	1. 732
cot	1. 732	1	0. 577

表 B-3 常用三角计算公式

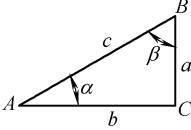
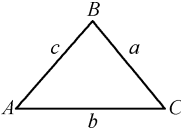
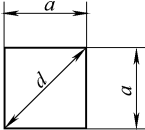
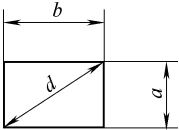
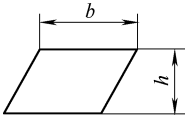
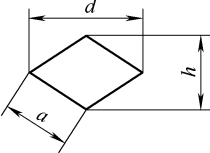
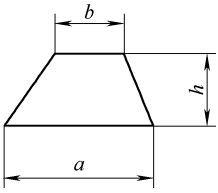
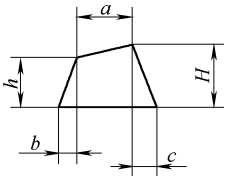
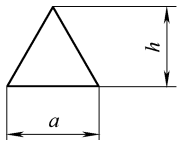
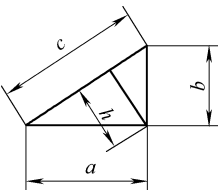
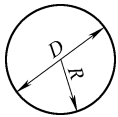
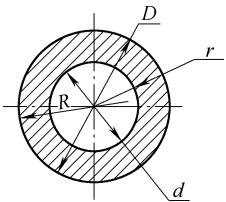
名称	图 形	计 算 公 式
直角三角形		$\sin\alpha = \frac{a}{c} \qquad \cos\alpha = \frac{b}{c} \qquad \tan\alpha = \frac{a}{b}$ $\cot\alpha = \frac{b}{a} \qquad \sec\alpha = \frac{c}{b} \qquad \csc\alpha = \frac{c}{a}$ $\alpha + \beta = 90^\circ \qquad C^2 = a^2 + b^2$ <p>余角函数: <math>\sin(90^\circ - \alpha) = \cos\alpha</math> <math>\cos(90^\circ - \alpha) = \sin\alpha</math> <math>\tan(90^\circ - \alpha) = \cot\alpha</math> <math>\cot(90^\circ - \alpha) = \tan\alpha</math></p>
任意三角形		<p>正弦定理:</p> $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$ <p>余弦定理:</p> $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$ $b^2 = c^2 + a^2 - 2ac \cos B$ $c^2 = a^2 + b^2 - 2ba \cos C$ <p>正切定理:</p> $\tan \frac{A-B}{2} = \frac{a-b}{a+b} \cot \frac{C}{2}$ <p>或</p> $\frac{a-b}{a+b} = \frac{\tan \frac{A-B}{2}}{\tan \frac{A+B}{2}}$

表 B-4 常用图形面积的计算公式

名 称	图 形	计 算 公 式
正方形		面积 $A = a^2$ $a = 0.707d$ $d = 1.414a$
长方形		面积 $A = ab$ $d = \sqrt{a^2 + b^2}$ $a = \sqrt{d^2 - b^2}$ $b = \sqrt{d^2 - a^2}$
平行四边形		面积 $A = bh$ $h = \frac{A}{b}$ $b = \frac{A}{h}$

(续)

名 称	图 形	计 算 公 式
菱形		面积 $A = \frac{dh}{2}$ $a = \frac{1}{2} \sqrt{d^2 + h^2}$ $h = \frac{2A}{d} \quad d = \frac{2A}{h}$
梯形		面积 $A = \frac{a+b}{2}h$ $h = \frac{2A}{a+b}$ $a = \frac{2A}{h} - b$ $b = \frac{2A}{h} - a$
斜梯形		面积 $A = \frac{(H+h)a + bh + cH}{2}$
等边三角形		面积 $A = \frac{ah}{2} = 0.433a^2 = 0.578h^2$ $a = 1.155h$ $h = 0.866a$
直角三角形		面积 $A = \frac{ab}{2}$ $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ $h = \frac{ab}{c}$
圆形		面积 $A = \frac{1}{4}\pi D^2 = \pi R^2$ 周长 $c = \pi D$
圆环形		面积 $A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ $= 0.785(D^2 - d^2)$ $= \pi(R^2 - r^2)$

(续)

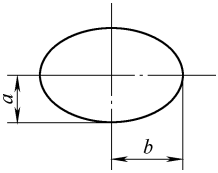
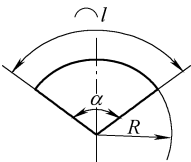
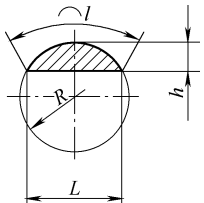
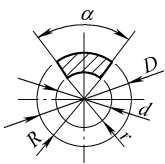
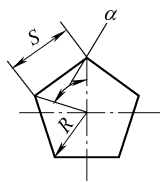
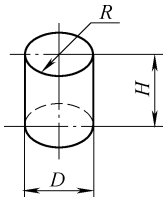
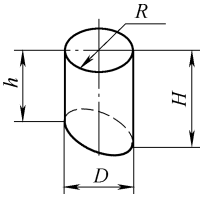
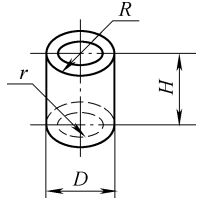
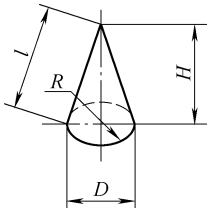
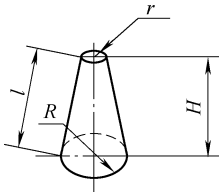
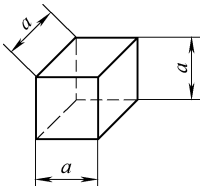
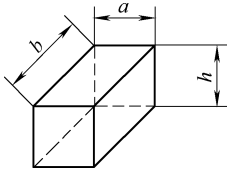
名 称	图 形	计 算 公 式
椭圆形		面积 $A = \pi ab$
扇形		面积 $A = \frac{\pi R^2 \alpha}{360^\circ} = 0.008727 \alpha R^2 = \frac{Rl}{2}$ $l = \frac{\pi Ra}{180^\circ} = 0.01745 R \alpha$
弓形		面积 $A = \frac{lR}{2} - \frac{L(R-h)}{2}$ $R = \frac{L^2 + 4h^2}{8h}$ $h = R - \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - L^2}$
局布圆环形		面积 $A = \frac{\pi \alpha}{360^\circ} (R^2 - r^2)$ $= 0.00873 \alpha (R^2 - r^2)$ $= \frac{\pi \alpha}{4 \times 360^\circ} (D^2 - d^2)$ $= 0.00218 \alpha (D^2 - d^2)$
正多边形		面积 $A = \frac{1}{2} nSR \cos \frac{\alpha}{2}$ 圆心角 $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$ 式中 $S$ ——正多边形边长 $n$ ——正多边形边数

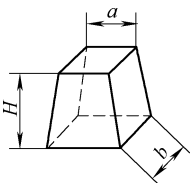
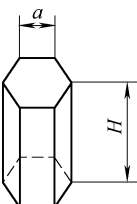
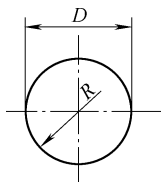
表 B-5 常用几何体的表面积和体积的计算公式

名 称	图 形	计 算 公 式
圆柱体		体积 $V = \pi R^2 H = \frac{1}{4} \pi D^2 H$ 侧表面积 $A_0 = 2 \pi RH$

(续)

名 称	图 形	计 算 公 式
斜底圆柱体		体积 $V = \pi R^2 \frac{H+h}{2}$ 侧表面积 $A_0 = \pi R(H+h)$
空心圆柱体		体积 $V = \pi H(R^2 - r^2)$ $= \frac{1}{4}\pi H(D^2 - d^2)$ 侧表面积 $A_0 = 2\pi H(R+r)$
圆锥体		体积 $V = \frac{1}{3}\pi HR^2$ 侧表面积 $A_0 = \pi Rl = \pi R \sqrt{R^2 + H^2}$ 母线长 $l = \sqrt{R^2 + H^2}$
圆台		体积 $V = \frac{1}{3}\pi H(R^2 + r^2 + Rr)$ 侧表面积 $A_0 = \pi l(R+r)$ 母线长 $l = \sqrt{H^2 + (R-r)^2}$
正方体		体积 $V = a^3$
长方体		体积 $V = abh$

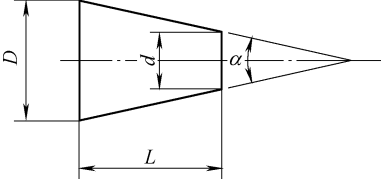
(续)

名 称	图 形	计 算 公 式
正方锥台		体积 $V = \frac{1}{3}H(a^2 + b^2 + ab)$
正六角体		体积 $V = 2.598a^2H$
球体		体积 $V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{1}{6}\pi D^3$ 表面积 $A_0 = 4\pi R^2 = \pi D^2$

钳工专用资料

一、标准锥度、专用锥度（表 C-1 ~ 表 C-5）

表 C-1 标准锥度

<div><div>锥度 <math>C = \frac{D-d}{L} = 2\tan\alpha/2</math> 斜度 <math>K = \frac{C}{2}</math></div></div>				
锥度 C	锥角 $\alpha$	斜角 $\alpha/2$	标记	应用与举例
1:200	0°17'11"	0°8'36"	1:200	承受振动与冲击交变载的连接
1:100	0°34'23"	0°17'11"	1:100	承受振动与交变载荷的连接
1:50	1°8'45"	0°34'23"	1:50	圆锥销、定位销、圆锥销孔的铰刀
1:30	1°54'35"	0°57'17"	1:30	锥形主轴颈，铰刀及扩孔钻锥柄的锥度
1:20	2°51'51"	1°25'56"	1:20	米制工具圆锥、锥形主轴颈、圆锥螺栓
1:15	3°49'6"	1°54'33"	1:15	受轴向力的锥形零件的接合面，主轴与齿轮的配合面
1:12	4°46'19"	2°23'9"	1:12	部分滚动轴承内环的锥孔
1:10	5°43'29"	2°51'45"	1:10	受轴向力、背向力及转矩的接合面，主轴滑动轴承的调整衬套
1:8	7°9'10"	3°34'35"	1:8	受轴向力、背向力的锥形零件的接合面
1:7	8°10'16"	4°5'8"	1:7	管件的开关旋塞
1:5	11°25'16"	5°42'38"	1:5	锥形摩擦离合器，磨床砂轮主轴端部外锥
1:3	18°55'29"	9°27'44"	1:3	易于拆开的机件，具极限转矩的摩擦离合器
1:1.866	30°	15°	1:1.866	摩擦离合器
1:1.207	45°	22°30'	1:1.207	管路连接中轻型螺旋管接口的锥形密合

(续)

锥度 $C$	锥角 $\alpha$	斜角 $\alpha/2$	标记	应用与举例
1:0.866	60°	30°	1:0.866	机床顶尖、工件中心孔
1:0.652	75°	37°30′	1:0.652	直径小于（或等于）8mm 的丝锥及铰刀的反顶尖
1:0.500	90°	45°	1:0.500	沉头螺钉头、螺纹倒角、轴的倒角
1:0.289	120°	60°	1:0.289	螺纹的内倒角、中心孔的扩锥

表 C-2 专用锥度

锥度 $C$	锥角 $\alpha$	斜角 $\alpha/2$	标记	应用与举例
1:16	3°34′47″	1°47′24″	1:16	60°密封管螺纹
7:64	6°15′38″	3°7′49″	7:64	刨（插）齿机工作台的心轴孔
1:4	14°15′	7°7′30″	1:4	车床主轴法兰的定位锥面
7:24	16°35′39″	8°17′50″	7:24	铣床主轴孔及刀杆的锥度
1:0.741	68°	34°	1:0.741	管接头锥形接合面

表 C-3 工具圆锥锥度

圆锥符号		锥度	锥角 $\alpha$	斜角 $\alpha/2$
莫氏	0	1:19.212 = 0.05205	2°58′54″	1°29′27″
	1	1:20.047 = 0.04988	2°51′26″	1°25′43″
	2	1:20.020 = 0.04995	2°51′41″	1°25′50″
	3	1:19.922 = 0.05020	2°52′32″	1°26′16″
	4	1:19.254 = 0.05194	2°58′31″	1°29′15″
	5	1:19.002 = 0.05263	3°00′53″	1°30′26″
	6	1:19.180 = 0.05214	2°59′12″	1°29′36″
公制	4	1:20 = 0.05	2°51′51″	1°25′56″
	6			
	80			
	100			
	12			
	(140)			
	160			
	200			

注：1. 锥角  $\alpha$  按锥度值计算到 1″。  
2. 括号内的尺寸尽可能不采用。

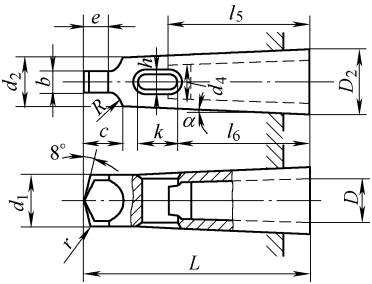


表 C-4 锥度和角度公差

公称尺寸/ mm	精度等级									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
自 1 ~ 3	50''	1'15''	2'	3'	5'	8'	13'	20'	32'	50'
> 3 ~ 6	40''	1'	1'30''	2'30''	4'	6'	10'	16'	25'	40'
> 6 ~ 10	30''	50''	1'15''	2'	3'	5'	8'	13'	20'	32'
> 10 ~ 18	25''	40''	1'	1'30''	2'30''	4'	6'	10'	16'	25'
> 18 ~ 30	20''	30''	50''	1'15''	2'	3'	5'	8'	13'	20'
> 30 ~ 50	15''	25''	40''	1'	1'30''	2'30''	4'	6'	10'	16'
> 50 ~ 80	12''	20''	30''	50''	1'15''	2'	3'	5'	8'	13'
> 80 ~ 120	10''	15''	25''	40''	1'	1'30''	2'30''	4'	6'	10'
> 120 ~ 180	8''	12''	20''	30''	50''	1'15''	2'	3'	5'	8'
> 180 ~ 260	6''	10''	15''	25''	40''	1'	1'30''	2'30''	4'	6'
> 260 ~ 360	5''	8''	12''	20''	30''	50''	1'15''	2'	3'	5'
> 360 ~ 500	4''	6''	10''	15''	25''	40''	1'	1'30''	2'30''	4'

注：1. 锥度公差的公称尺寸，按素线长度决定；角度公差的公称尺寸，按角度短边长度决定。  
2. 公差对于零线为对称分布。  
3. 各级精度适用范围举例：①1~3级，锥度量规、角度样板、锥套等中等精度零件；②9~10级，低精度零件。

表 C-5 短圆锥套管的几何尺寸



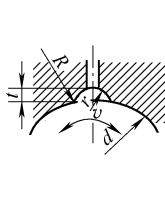
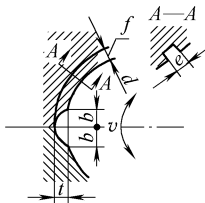
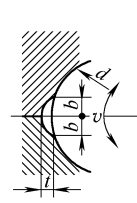
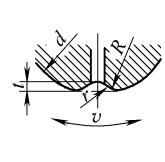
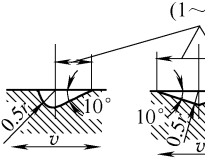
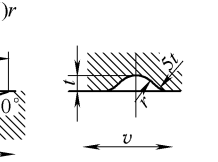
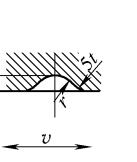
莫氏圆锥		L	D <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	l <sub>6</sub>	K	h	c	b	e	R	r	D	d <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>
外锥	内锥															
1	0	80	12.963	8.973	8.7	49	14.5	4.1	14.5	5.2	9.5	5	1.25	9.045	6.7	51.9
2	1	95	18.805	14.000	13.6	52	18.5	5.4	17.1	6.3	11.1	6	1.5	12.065	9.7	55.5
3	1	115	24.906	19.133	18.6	52	18.5	5.4	21.3	7.9	14.3	7	2	12.065	9.7	55.5
3	2	115	24.906	19.133	18.6	63	22	6.6	21.3	7.9	14.3	7	2	17.781	14.9	66.9

(续)

莫氏圆锥		$L$	$D_2$	$d_2$	$d_3$	$l_6$	$K$	$h$	$c$	$b$	$e$	$R$	$r$	$D$	$d_4$	$L_5$
外锥	内锥															
4	2	140	32.427	25.156	24.6	63	22	6.6	24.9	11.9	15.9	9	2.5	17.781	14.9	66.9
4	3	140	32.427	25.156	24.6	78	27.5	8.2	24.9	11.9	15.9	9	2.5	23.826	20.2	83.2
5	3	170	45.495	36.549	35.7	78	27.5	8.2	30	15.9	19	1	3	23.826	20.2	83.2
5	4	170	45.495	36.549	35.7	98	32	12.2	30	15.9	19	1	3	31.269	26.5	105.7
6	4	220	63.892	52.422	51.3	98	32	12.2	45.6	19	28.6	17	4	31.269	26.5	105.7
6	5	220	63.892	52.422	51.3	125	37.5	16.2	45.6	19	28.6	17	4	44.408	38.2	134.5

二、润滑槽形式和尺寸（表 C-6、表 C-7）

表 C-6 滑动轴承上的润滑槽形式和尺寸（单位：mm）

<div><div> a)</div><div> b)</div><div> c)</div><div> d)</div><div> e)</div><div> f)</div><div> g)</div></div>											
轴颈 $d$	$\leq 10$	$\leq 10 \sim 20$	$\leq 20 \sim 30$	$\leq 30 \sim 45$	$\leq 45 \sim 60$	$\leq 60 \sim 80$	$\leq 80 \sim 100$	$\leq 100 \sim 120$	$\leq 120 \sim 140$	$\leq 140 \sim 180$	$\leq 180 \sim 260$
$r$	1	1.5	2	3	3	4	5	6	7	8	10
$R$	1	1.5	4	6	7	10	15	18	21	24	30
$t$	0.8	1	1	1.5	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5
$e$	—	—	—	5	6	8	10	12	14	16	20
$f$	—	—	—	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	3	3
$b$	—	—	—	4	4.5	6	7.5	9	10.5	12	15

注：1. 径向轴承的润滑槽 a、b、c 用于轴瓦上；d 用于轴上。  
2. 推力轴承的润滑槽 e、f 用于推力轴承上；g 用于轴颈上。  
3. 推力轴承的润滑槽数量；当  $d=80 \sim 175\text{mm}$  时用 4~6 槽；当  $d>175 \sim 260\text{mm}$  时用 6 个槽。  
4.  $v$  表示运动方向。

表 C-7 平面上的润滑槽形式和尺寸 (单位: mm)

B	3.5	7	10.4	14	17
h	1	2	3	4	5
r	2.5				

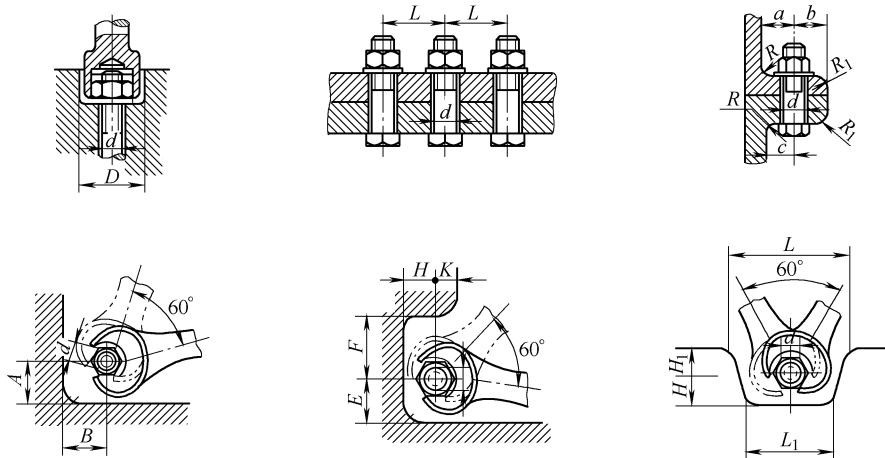
三、呆扳手及呆扳手空间尺寸 (表 C-8、表 C-9)

表 C-8 呆扳手口及呆扳身体尺寸 (单位: mm)

公称 尺寸 S	呆 扳 手 口		被扳工件尺寸				
	最大	最小	最大	最小		最大	
				光制件	毛、半光 制件	六角 D	四方 D <sub>1</sub>
5	5.2	5.1	5	4.84		5.8	7.1
5.5	6.2	6.1	5.42	5.26		7.0	8.5
7	7.3	7.1	7	6.8		8.1	9.9
8	8.3	8.1	8	7.8		9.3	11.3
10	10.3	10.1	10	9.8	9.6	11.5	14.1
12	12.3	12.1	12	11.76	11.6	13.8	16.9
14	14.3	14.1	14	13.76	13.6	16.2	19.8
17	17.3	17.1	17	16.76	16.6	19.6	24.1
19	19.4	19.1	19	18.72	18.5	21.9	26.9
22	22.4	22.1	22	21.72	21.5	25.4	31.2
24	24.4	24.1	24	23.72	23.5	27.7	33.9
27	27.4	27.1	27	26.72	26.5	31.2	38.2
30	30.4	30.1	30	29.72	29.5	34.6	42.4
32	32.5	32.2	32	31.66	31.4	36.9	45.4
36	36.5	36.2	36	35.66	35	41.6	51
41	41.5	41.2	41	40.66	40	47.3	58
46	46.5	46.2	46	45.66	45	53.1	65.1
50	50.5	50.2	50	49.66	49	57.7	71

表 C-9 呆扳手空间位置

(单位: mm)



六角螺母	$d$	M3	M4	M5	M6		M8	M10	M12		M16		M20		M24		M30						
六角头螺栓			M4	M5	M6	M8	M10	M12		M16		M20		M24		M30							
扳手尺寸 $S$		5.5	7	8	10	12	14	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46						
$D$		20		22		26		32	38	45		48	55		65	70	78						
$A \geq$		10	12		15	18	20	22	25	28	30	32	35	38	42	48	52						
$B \geq$		10	12		15	20		25	28	30	32	35	38	40	45	50	55						
$E \geq$		12	14	16	18	20	22	25	28	32	35	40	45	50	55	60	70						
$F \geq$		18	20		24	28	30	36	40	45	50	55	60	65	75	85	95						
$K \geq$		5		6	7	8	9	11	12	15	16	18	20	21	24	27	30						
$H \geq$		8	10		12	15		18	20	22	25	28	30	32	35	40	45						
$H_1 \leq$		5	6		8	10	12	14	16	18	20	22	25		28	32	36						
$L \geq$		35	40		45	55	60	70	80	90	100	110	120		130	140	155						
$L_1$		25	30		35	45	50	55	60	65	70	75	80		90	100	110						
螺纹直径 $d$		M6		M8		M10		M12		M16		M20		M24		M30		M36		M42		M48	
$D$		22		26		32		38		45		55		65		78							
$a$	最大	15		18		20		25		30		40		45		55		70		80		90	
	最小	13		14		15		18		22		25		30		35		42		48		55	
$b \geq$		13		14		16		20		24		28		32		38		45		50		58	
$c \geq$		12		13		14		17		21		24		27		33		40		46		54	
$R \leq$		5								8		10					12						
$R_1 \leq$		3			4			5			6			8			10						

四、常用冲压资料及模具制造有关资料（表 C-10 ~ 表 C-16）

表 C-10 各种材料的抗剪强度和抗拉强度

材 料	抗剪强度/MPa		抗拉强度/MPa	
	软	硬	软	硬
铅	20 ~ 30	—	25 ~ 40	—
锡	30 ~ 40	—	40 ~ 50	—
铝	70 ~ 110	130 ~ 160	80 ~ 120	170 ~ 220
硬铝	220	380	260	480
锌	120	200	150	250
铜	180 ~ 220	250 ~ 300	220 ~ 280	300 ~ 400
黄铜	220 ~ 300	350 ~ 400	280 ~ 350	400 ~ 600
青铜	320 ~ 400	400 ~ 600	400 ~ 500	500 ~ 750
铜镍合金	280 ~ 360	450 ~ 560	350 ~ 450	550 ~ 700
铁板	320	400	—	450
深拉深铁板	300 ~ 350	—	320 ~ 380	—
钢板	450 ~ 500	550 ~ 600	—	600 ~ 700
钢 0.1% <sup>①</sup>	250	320	320	400
钢 0.2%	320	400	400	500
钢 0.3%	360	480	450	600
钢 0.4%	450	560	560	720
钢 0.6%	560	720	720	900
钢 0.8%	720	900	900	1100
钢 1.0%	800	1050	1000	1300
硅钢板	450	560	550	650
不锈钢板	520	560	650 ~ 700	—

① 为钢中碳的质量分数，下同。

表 C-11 镀层金属的性能

种 类	密度/（g/cm <sup>3</sup> ）	熔点/℃	抗拉强度/MPa	伸长率（%）	硬度 HV
锌	7.133	419.5	100 ~ 130	50 ~ 65	35
铝	2.696	660	50 ~ 90	35 ~ 45	17 ~ 23
铅	11.36	372.4	11 ~ 20	30 ~ 50	3 ~ 5
锡	7.298	231.9	10 ~ 20	55 ~ 96	7 ~ 8
铬	7.19	1875	470 ~ 620	0 ~ 24	120 ~ 140
钢	8.96	1083	260	35	42

表 C-12 冲裁凸模与凹模的间隙 Z (单位：mm)

材料 厚度	T8、45、 65Mn		Q235A、 38CrMo、 磷铜、硅铜		纯铜、黄铜、 08、10、15		软 铝		红纸板、 胶纸板、 胶布板		皮革、 云母纸、 纸		间隙 偏差
	Z <sub>小</sub>	Z <sub>大</sub>	Z <sub>小</sub>	Z <sub>大</sub>	Z <sub>小</sub>	Z <sub>大</sub>	Z <sub>小</sub>	Z <sub>大</sub>	Z <sub>小</sub>	Z <sub>大</sub>	Z <sub>小</sub>	Z <sub>大</sub>	±ΔZ
0.35	0.03	0.05	0.03	0.05	0.01	0.03							
0.5	0.05	0.10	0.04	0.07	0.03	0.05	0.02	0.03	0.01	0.02	0.005	0.015	±0.015
0.8	0.12	0.16	0.10	0.13	0.05	0.07	0.03	0.05	0.015	0.03	0.005	0.015	±0.015
1.0	0.16	0.20	0.12	0.16	0.08	0.12	0.04	0.06	0.02	0.04	0.01	0.02	±0.015
1.2	0.22	0.26	0.16	0.20	0.11	0.15	0.06	0.08	0.03	0.055	0.015	0.03	±0.015
1.5	0.31	0.35	0.22	0.26	0.14	0.18	0.08	0.11	0.035	0.07	0.015	0.03	±0.015
1.8	0.37	0.42	0.28	0.32	0.18	0.24	0.09	0.13	0.05	0.09	0.02	0.04	±0.02
2.0	0.42	0.48	0.33	0.39	0.21	0.27	0.10	0.14	0.06	0.10	0.025	0.045	±0.02
2.5	0.53	0.59	0.43	0.49	0.28	0.34	0.15	0.20	0.07	0.13	0.03	0.05	±0.02
3.0	0.64	0.70	0.54	0.60	0.34	0.40	0.18	0.24	0.10	0.16	0.035	0.06	±0.02
3.5	0.74	0.82	0.65	0.72	0.44	0.52	0.25	0.32	0.12	0.18	0.04	0.07	±0.02
4.0	0.86	0.94	0.77	0.85	0.52	0.60	0.28	0.36	0.14	0.20			±0.02
4.5	0.98	1.06	0.88	0.96	0.65	0.73	0.32	0.41	0.16	0.22			±0.02
5.0	1.08	1.18	1.00	1.10	0.76	0.86	0.35	0.45	0.18	0.26			±0.02
6.0	1.3	1.4	1.23	1.33	0.98	1.08	0.50	0.60	0.24	0.32			±0.02
8.0	1.8	1.9	1.7	1.8	1.2	1.4	0.72	0.82	0.35	0.45			±0.02
10	2.3	2.5	2.2	2.4	1.7	1.8	0.90	1.0	0.48	0.58			±0.02

注：1. 表中间隙为凸模与凹模直径上的（双边的）间隙数值，如为单边剪切，其间隙只取表中数值的一半。

2. 间隙偏差（±ΔZ）为由于凸模与凹模的制造公差而引起的间隙的变动范围。

3. 石棉采用皮革的间隙；纤维板、赛璐珞采用胶布板的间隙。

表 C-13 导柱、导套导向部分的实际最大间隙 (单位：mm)

导套的有效长度	导柱、导套的实际最大间隙（直径上）		
	一级精度模架	二级精度模架	三级精度模架
15 ~ 30	0.003	0.004	0.006
30 ~ 40	0.005	0.008	0.012
40 ~ 60	0.007	0.011	0.016
60 ~ 90	0.010	0.016	0.024
> 90	0.015	0.024	0.036

表 C-14 冲裁时的最小孔径  $d$  (单位: mm)

加工材料	一般的孔		精密退料导向孔 $d > 0.4\text{mm}$	
	圆形凸模	方形凸模	圆形凸模	方形凸模
硬钢	$1.3t$	$1.0t$	$0.5t$	$0.4t$
软钢、黄铜	$1.0t$	$0.7t$	$0.35t$	$0.3t$
铝	$0.8t$	$0.5t$	$0.3t$	$0.28t$

注:  $t$  为板厚。

表 C-15 材料的最小弯曲半径

材 料	状 态	$R_{\min}/t$
极软钢	压延	$< 0.5$
半硬钢	压延	$1 \sim 1.5$
铜	压延	$1 \sim 2$
铍青铜	软	$< 0.5$
	硬	$2 \sim 5$
铝	软	$< 0.5$
铝合金	软	$< 1$
	硬	$2 \sim 3$
飞机合金	退火	$< 1$
	硬	$3 \sim 4$
镁合金	退火	$4 \sim 5$
	硬	$8 \sim 9$
	硬 ( $400^{\circ}\text{F}^{\text{①}}$ )	$6 \sim 7$
镍铬铁合金	—	$\approx 0$

①  $1^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9}\text{K}$ 。

$R_{\min}$  表示最小弯曲半径;  $t$  表示板厚。

表 C-16 方向性明显材料的最小弯曲半径

材 料	$R_{\min}/t$	
	垂 直	平 行
黄铜	0	0.5 以下
黄铜	$1 \sim 2$	$10 \sim 12$
磷青铜	$1 \sim 2$	$10 \sim 13$
锌白铜	$1.5 \sim 2$	$5 \sim 6$
镍铜合金	1.5	$7 \sim 9$

注:  $R_{\min}$  表示最小弯曲半径;  $t$  表示板厚。

## 公差配合与表面粗糙度

### 一、公差配合的基本术语与定义

#### 1. 互换性

机械产品在装配时，同一规格的零件或部件能够不经选择、不经调整、不经修配，并能达到预定的设计要求和性能的一种特性，称为互换性。

#### 2. 公差

只要将零件加工后各几何参数（尺寸、形状、位置）所产生的误差控制在一定的范围内，就可以保证零件的使用功能，同时这样的零件也具有了互换性。零件几何参数的这种允许变动量称为公差，它包括尺寸公差、几何公差等。

#### 3. 尺寸

尺寸是指以特定单位表示长度的数值。线性尺寸值包括直径、半径、宽度、深度、高度和中心距等。

#### 4. 公称尺寸

公称尺寸是指由设计给定的理论尺寸（孔用  $D$  表示、轴用  $d$  表示），是根据产品的使用要求，以及零件的强度、结构、等要求确定的。

#### 5. 实际尺寸

实际尺寸是指通过测量所得到的尺寸。由于测量有误差，实际尺寸并非真值，但只能以测得尺寸作为实际尺寸。图 D-1 所示为孔、轴公称尺寸和实际尺寸的关系。

#### 6. 配合

配合是公称尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

#### 7. 孔与轴

(1) 孔 孔是指工件的圆柱形内表面，也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分。

(2) 轴 轴是指工件的圆柱形外表面，也包括其他外表面中由单一尺寸确定



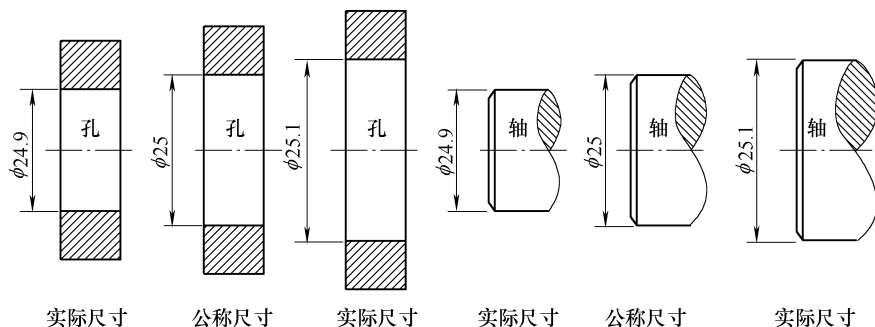


图 D-1 孔、轴公称尺寸和实际尺寸的关系

的部分。

### 8. 极限尺寸

极限尺寸是指规定实际尺寸允许变化的两个界限值。上极限尺寸是指最大允许尺寸；下极限尺寸是指最小允许尺寸。

### 9. 偏差与尺寸公差

(1) 尺寸偏差 尺寸偏差是指某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为尺寸偏差（简称偏差）。偏差可能为正或负，也可为零。

(2) 实际偏差 实际偏差是指实际尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为实际偏差。由于实际尺寸可能大于、等于或小于公称尺寸，因此实际偏差可能为正、零或负值，不论书写或计算时必须带上正或负号。

(3) 极限偏差 极限偏差是指极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为极限偏差。

1) 上极限偏差。上极限尺寸减去公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差；孔用 ES 表示，轴用 es 表示。即

$$ES = D_{\max} - D$$

$$es = d_{\max} - d$$

式中  $D_{\max}$ 、 $D$ ——孔的上极限尺寸和公称尺寸；

$d_{\max}$ 、 $d$ ——轴的上极限尺寸和公称尺寸。

2) 下极限偏差：下极限尺寸减去公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差；孔用 EI 表示，轴用 ei 表示。即

$$EI = D_{\min} - D$$

$$ei = d_{\min} - d$$

式中  $D_{\min}$ 、 $D$ ——孔的下极限尺寸；

$d_{\min}$ 、 $d$ ——轴的下极限尺寸。

由此可见

上极限尺寸 = 公称尺寸 + 上极限偏差

下极限尺寸 = 公称尺寸 + 下极限偏差

(4) 尺寸公差 尺寸公差是指允许的尺寸变动量，简称公差，如图 D-2 所示。公差等于上极限尺寸与下极限尺寸代数差的绝对值，也等于上极限偏差与下极限偏差代数差的绝对值。即

$$\text{公差} = L_{\max} - L_{\min} = ES - EI = es - ei$$

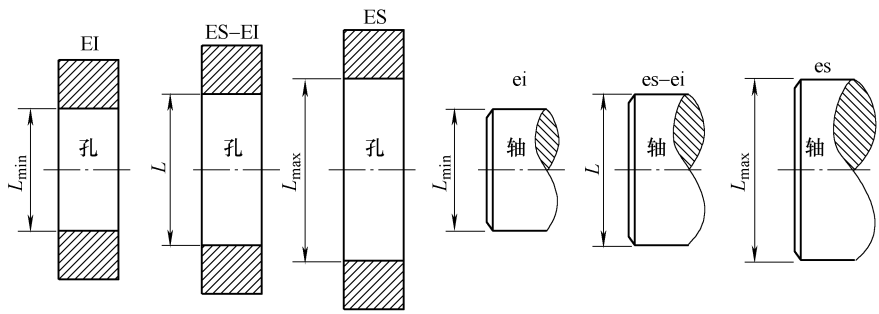


图 D-2 尺寸公差

需要注意的是，公差和极限偏差是两种不同的概念。公差大小决定了允许尺寸变动范围的大小，若公差值大，则允许尺寸变动范围大，因而要求加工精度低；相反，若公差小，则允许尺寸变动范围小，因而要求加工精度高。极限偏差决定了极限尺寸相对公称尺寸的位置。

10. 标准公差与基本偏差

(1) 零线、尺寸公差带、基本偏差

1) 零线：代表公称尺寸所在位置的一条基准直线，基准偏差位于零线上方，表示偏差为正；位于零线下方，表示偏差为负；当与零线重合时，表示偏差为零。

2) 尺寸公差带：表示零件的尺寸相对其公称尺寸所允许变动的范围，由代表上、下极限偏差的两条直线所限定的区域称为公差带图。

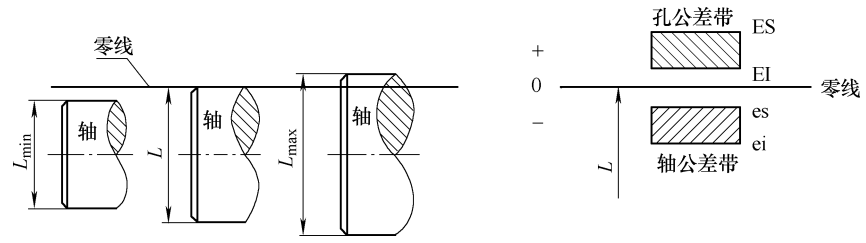


图 D-3 公差带图

(2) 标准公差 标准公差用于确定公差带的大小。国家标准规定了 20 个公差

等级，用 IT01、IT0、IT1 ~ IT18 表示。公差等级越高，则尺寸的精确程度越高。IT01 精度最高，IT18 精度最低。

常用公差等级的应用：IT4、IT5 用于特别精密的零件；IT6、IT7 用于重要的零件；IT8、IT9 用于中速及中等精度要求的零件；IT10、IT11 用于低速、低精度的零件。

(3) 基本偏差 基本偏差一般为公差带靠近零线的那个偏差（当公差带位于零线的上方时，基本偏差为下极限偏差；当公差带位于零线的下方时，基本偏差为上极限偏差），JS、js 除外。国家标准规定孔与轴各有 28 个基本偏差，如图 D-4 所示。

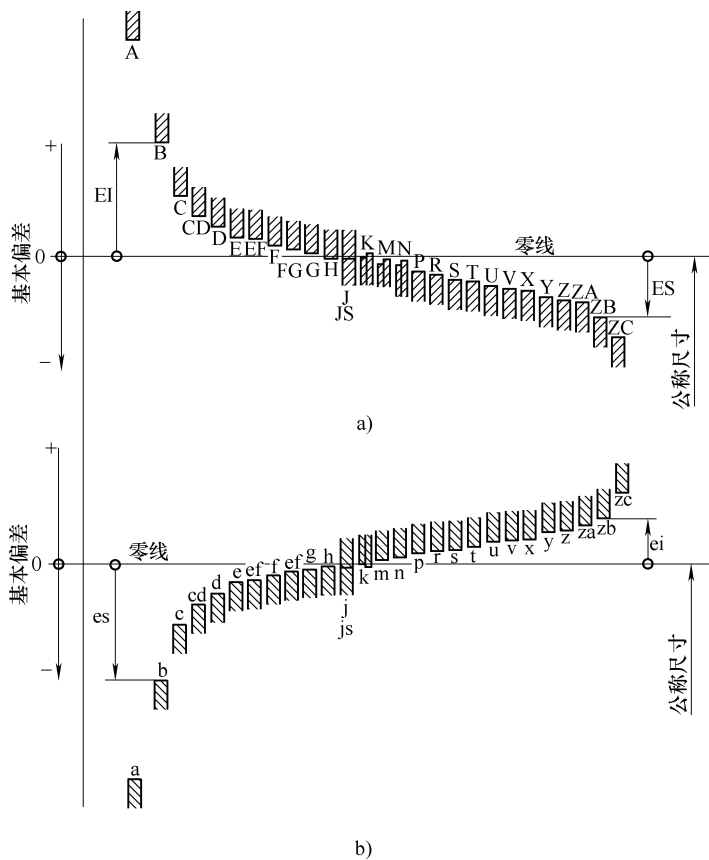


图 D-4 基本偏差

a) 孔 b) 轴

## 11. 配合类型

(1) 间隙配合 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得代数差为“+”，如图 D-5a 所示，用于可动连接，如活动铰链。

(2) 过盈配合 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得代数差为“-”，如图

D-5b 所示, 用于静连接, 如火车轮与轴。

(3) 过渡配合 孔与轴之间可能有间隙, 也可能有过盈, 如图 D-5c 所示, 用于要求具有良好的同轴性而又便于拆装的静连接, 如齿轮与轴。

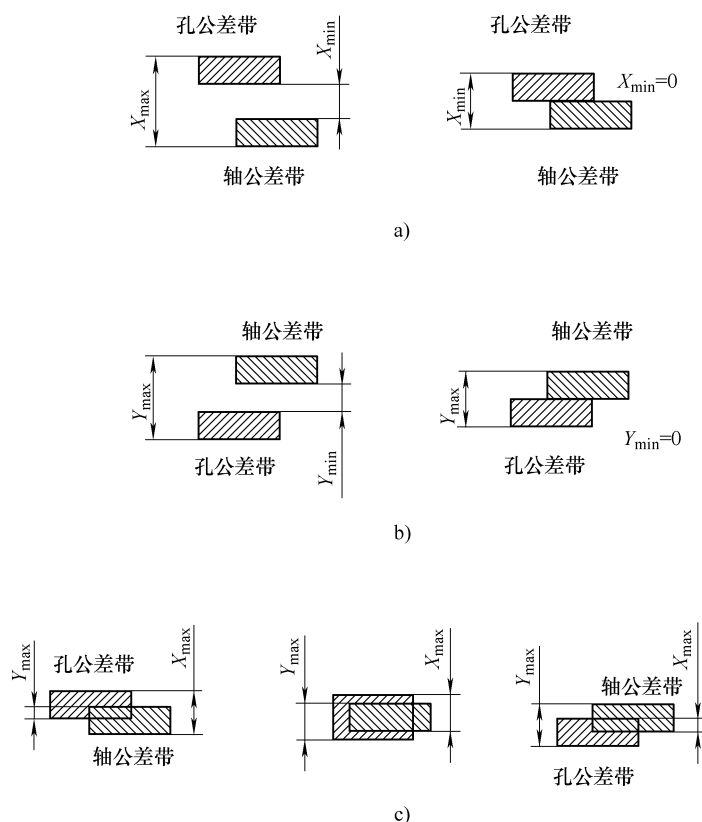


图 D-5 配合类型

a) 间隙配合 b) 过盈配合 c) 过渡配合

## 12. 配合公差

配合公差是指允许间隙或过盈的变动量。它表明配合松紧程度的变化范围。在间隙配合中, 最大间隙与最小间隙之差为配合公差。在过盈配合中, 最小过盈与最大过盈之差为配合公差。在过渡配合中, 配合公差等于最大间隙与最大过盈之差。

## 13. 配合基准制

(1) 基孔制配合 如图 D-6 所示, 孔是基准, 下极限偏差  $EI = 0$ , 代号为 H, 通过改变轴的公差带来获得各种不同的配合特性, 应用广泛, 可减少孔加工刀具。

(2) 基轴制配合 如图 D-7 所示, 轴是基准, 上极限偏差  $es = 0$ , 代号为 h, 通过改变孔的公差带来获得各种不同的配合特性。

基孔制常用与优先配合的选用如图 D-8 所示。

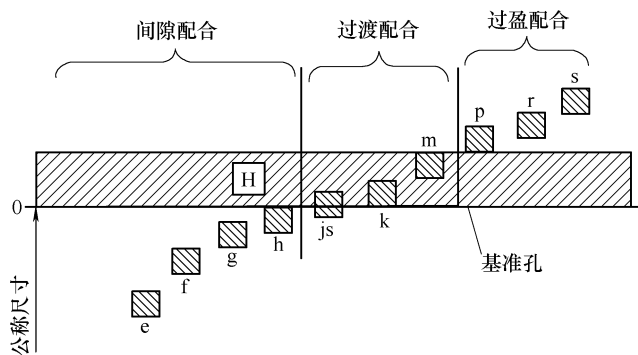


图 D-6 基孔制配合

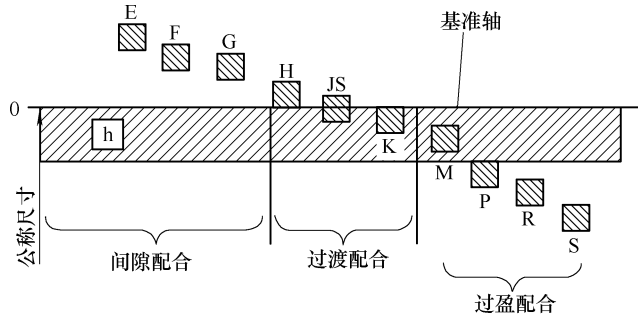


图 D-7 基轴制配合

基 准 孔	轴																						
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z		
	间隙配合								过渡配合				过盈配合										
H6								H6/f5	H6/g5	H6/h5	H6/js5	H6/k5	H6/m5	H6/n5	H6/p5	H6/r5	H6/s5	H6/t5					
H7								H7/f6	H7/g6	H7/h6	H7/js6	H7/k6	H7/m6	H7/n6	H7/p6	H7/r6	H7/s6	H7/t6	H7/u6	H7/v6	H7/x6	H7/y6	H7/z6
H8						H8/e7	H8/f7	H8/g7	H8/h7	H8/js7	H8/k7	H8/m7	H8/n7	H8/p7	H8/r7	H8/s7	H8/t7	H8/u7					
H9				H9/d8	H9/e8	H9/f7		H9/h8															
H10			H10/c9	H10/d9	H10/e9	H10/f9		H10/h9															
H11			H11/c10	H11/d10				H11/h10															
H12			H12/c11	H12/d11				H12/h11															
			H12/b11					H12/h12															
注：1. $\frac{H6}{n5}$ 、 $\frac{H7}{p6}$ 在公称尺寸小于或等于 3mm 和 $\frac{H8}{r7}$ 在公称尺寸小于或等于 100mm 时，为过渡配合。																							
2. 标注 ▽ 的配合优先配合。																							

图 D-8 基孔制常用与优先配合的选用

基轴制常用与优先配合的选用如图 D-9 所示。

基 准  轴	孔																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合								过渡配合				过盈配合								
h5						F6 h5	G6 h5	H6 h5	JS6 h5	K6 h5	M6 h5	N6 h5	P6 h5	R6 h5	S6 h5	T6 h5					
h6						F7 h6	G7 h6	H7 h6	JS7 h6	K7 h6	M7 h6	N7 h6	P7 h6	R7 h6	S7 h6	T7 h6	U7 h6				
h7					E8 h7	F8 h7		H8 h7	JS8 h7	K8 h7	M8 h7	N8 h7									
h8				D8 h8	E8 h8	F8 h8		H8 h8	基轴制优先、常用配合  GB/T 1801—2009												
h9				D9 h9	E9 h9	F9 h9		H9 h9													
h10				D10 h10				H10 h10													
h11	A11 h11	B11 h11	C11 h11	D11 h11				H11 h11													
h12		B12 h12						H12 h12													
注：标注▴的配合为优先配合。																					

图 D-9 基轴制常用与优先配合的选用

二、公差与配合国家标准

机械零件的各种配合都是孔、轴公差带的组合，孔、轴公差带是由其大小和位置决定的，标准公差决定公差带的大小，基本偏差决定公差带的位置。公称尺寸至 3150mm 的标准公差数值见表 D-1；轴的基本偏差数值见表 D-2；孔的基本偏差数值见表 D-3。

表 D-1 公称尺寸至 3150mm 的标准公差数值

公称尺寸/ mm		标准公差等级																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm											mm						
—	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2

(续)

公称尺寸/ mm		标准公差等级																		
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	
大于	至	μm											mm							
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1	
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9	
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7	
500	630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0.7	1.1	1.75	2.8	4.4	7	11	
630	800	10	13	18	25	36	50	82	125	200	320	500	0.8	1.25	2	3.2	5	8	12.5	
800	1 000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0.9	1.4	2.3	3.6	5.6	9	14	
1 000	1 250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.6	4.2	6.6	10.5	16.5	
1 250	1 600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.1	5	7.8	12.5	19.5	
1 600	2 000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1.5	2.3	3.7	6	9.2	15	23	
2 000	2 500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1 100	1.75	2.8	4.4	7	11	17.5	28	
2 500	3 150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1 350	2.1	3.3	5.4	8.6	13.5	21	33	

注：1. 公称尺寸大于 500mm 的 IT1 ~ IT5 的标准公差数值为试行的。  
2. 公称尺寸小于或等于 1mm 时，无 IT14 ~ IT18。

三、表面粗糙度

1. 表面粗糙度及其评定参数（图 D-10）

- (1) 定义 零件表面的微观几何形状误差称为表面粗糙度。
- (2) 特征 加工后零件表面留下的微细而凹凸不平的刀痕。

(3) 评定参数 轮廓算术平均偏差  $Ra$  是指取样长度  $l$  内，被测轮廓上各点至轮廓中线偏距绝对值的算术平均值。即

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad \text{近似为} \quad Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

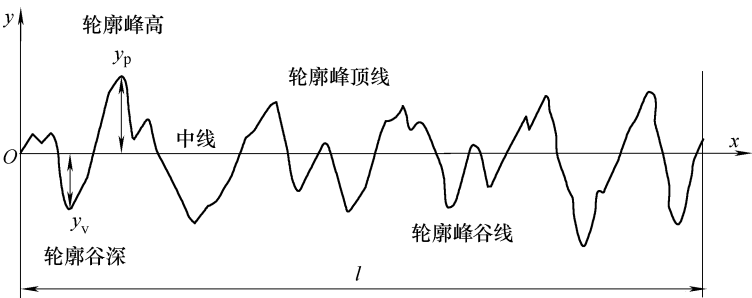


图 D-10 表面粗糙度及其评定参数

2. 表面粗糙度对零件功能的影响

- 1) 对疲劳强度的影响。零件表面越粗糙，越容易产生应力集中，使疲劳强度降低。

表 D-2 轴的基本偏差数值

(单位:  $\mu\text{m}$ )

公称尺寸/mm		基本偏差数值（上极限偏差 es）											
大于	至	所有标准公差等级											
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js
—	3	−270	−140	−60	−34	−20	−14	−10	−6	−4	−2	0	偏差 = ± $\frac{IT_n}{2}$ , 式中 $IT_n$ 是 IT 值数
3	6	−270	−140	−70	−46	−30	−20	−14	−10	−6	−4	0	
6	10	−280	−150	−80	−56	−40	−25	−18	−13	−8	−5	0	
10	14	−290	−150	−95		−50	−32		−16		−6	0	
14	18												
18	24	−300	−160	−110		−65	−40		−20		−7	0	
24	30												
30	40	−310	−170	−120		−80	−50		−25		−9	0	
40	50	−320	−180	−130									
50	65	−340	−190	−140		−100	−60		−30		−10	0	
65	80	−360	−200	−150									
80	100	−380	−220	−170		−120	−72		−36		−12	0	
100	120	−410	−240	−180									
120	140	−460	−260	−200		−145	−85		−43		−14	0	
140	160	−520	−280	−210									
160	180	−580	−310	−230									
180	200	−660	−340	−240		−170	−100		−50		−15	0	
200	225	−740	−380	−260									
225	250	−820	−420	−280									



(续)

公称尺寸/mm		基本偏差数值（上极限偏差 es）											
		所有标准公差等级											
大于	至	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js
250	280	− 920	− 480	− 300		− 190	− 110		− 56		− 17	0	偏 差 = ± $\frac{IT_n}{2}$ ， 式 中 $IT_n$ 是 IT 值数
280	315	− 1 050	− 540	− 330									
315	355	− 1 200	− 600	− 360		− 210	− 125		− 62		− 18	0	
355	400	− 1 350	− 680	− 400									
400	450	− 1 500	− 760	− 440		− 230	− 135		− 68		− 20	0	
450	500	− 1 650	− 840	− 480									
500	560					− 260	− 145		− 76		− 22	0	
560	630												
630	710					− 290	− 160		− 80		− 24	0	
710	800												
800	900					− 320	− 170		− 86		− 26	0	
900	1 000												
1 000	1 120					− 350	− 195		− 98		− 28	0	
1 120	1 250												
1 250	1 400					− 390	− 220		− 110		− 30	0	
1 400	1 600												
1 600	1 800					− 430	− 240		− 120		− 32	0	
1 800	2 000												

(续)

公称尺寸/mm		基本偏差数值（上极限偏差 es）																							
大于	至	所有标准公差等级																							
		a	b		c	cd		d	e	ef	f	fg	g	h	js										
2 000	2 240							- 480	- 260		- 130		- 34	0											
2 240	2 500																								
2 500	2 800							- 520	- 290		- 145		- 38	0											
2 800	3 150																								
公称尺寸/mm		基本偏差数值（下极限偏差 ei）																							
大于	至	IT5 和 IT6	IT7	IT8	IT4 ~ IT7	≤IT3 > IT7	所有标准公差等级																		
							J			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
—	3	- 2	- 4	- 6	0	0	+ 2	+ 4	+ 6	+ 10	+ 14		+ 18		+ 20		+ 26	+ 32	+ 40	+ 60					
3	6	- 2	- 4		+ 1	0	+ 4	+ 8	+ 12	+ 15	+ 19		+ 23		+ 28		+ 35	+ 42	+ 50	+ 80					
6	10	- 2	- 5		+ 1	0	+ 6	+ 10	+ 15	+ 19	+ 23		+ 28		+ 34		+ 42	+ 52	+ 67	+ 97					
10	14	- 3	- 6		+ 1	0	+ 7	+ 12	+ 18	+ 23	+ 28		+ 33		+ 40		+ 50	+ 64	+ 90	+ 130					
14	18													+ 39	+ 45		+ 60	+ 77	+ 108	+ 150					
18	24	- 4	- 8		+ 2	0	+ 8	+ 15	+ 22	+ 28	+ 35		+ 41	+ 47	+ 54	+ 63	+ 73	+ 98	+ 136	+ 188					
24	30											+ 41	+ 48	+ 55	+ 64	+ 75	+ 88	+ 118	+ 160	+ 218					
30	40	- 5	- 10		+ 2	0	+ 9	+ 17	+ 26	+ 34	+ 43	+ 48	+ 60	+ 68	+ 80	+ 94	+ 112	+ 148	+ 200	+ 274					
40	50											+ 54	+ 70	+ 81	+ 97	+ 114	+ 136	+ 180	+ 242	+ 325					
50	65	- 7	- 12		+ 2	0	+ 11	+ 20	+ 32	+ 41	+ 53	+ 66	+ 87	+ 102	+ 122	+ 144	+ 172	+ 226	+ 300	+ 405					
65	80									+ 43	+ 59	+ 75	+ 102	+ 120	+ 146	+ 174	+ 210	+ 274	+ 360	+ 480					

(续)

公称尺寸/mm		基本偏差数值（下极限偏差 ei）																		
		IT5 和 IT6	IT7	IT8	IT4 ~ IT7	≤IT3 > IT7	所有标准公差等级													
大于	至	J			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
80	100	-9	-15		+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120									+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140	-11	-18		+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160									+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180									+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1 000
180	200	-13	-21		+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1 150
200	225									+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1 250
225	250									+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1 050	+1 350
250	280	-16	-26		+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1 200	+1 550
280	315									+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1 000	+1 300	+1 700
315	355	-18	-28		+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1 150	+1 500	+1 900
355	400									+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1 000	+1 300	+1 650	+2 100
400	450	-20	-32		+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1 100	+1 450	+1 850	+2 400
450	500									+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1 000	+1 250	+1 600	+2 100	+2 600
500	560				0	0	+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600							
560	630									+155	+310	+450	+660							
630	710				0	0	+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740							
710	800									+185	+380	+560	+840							

(续)

公称尺寸/mm		基本偏差数值（下极限偏差 ei）																		
		IT5 和 IT6	IT7	IT8	IT4 ~ IT7	≤IT3 > IT7	所有标准公差等级													
大于	至	J			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
800	900				0	0	+ 34	+ 56	+ 100	+ 210	+ 430	+ 620	+ 940							
900	1 000									+ 220	+ 470	+ 680	+ 1 050							
1 000	1 120				0	0	+ 40	+ 66	+ 120	+ 250	+ 520	+ 780	+ 1 150							
1 120	1 250									+ 260	+ 580	+ 840	+ 1 300							
1 250	1 400				0	0	+ 48	+ 78	+ 140	+ 300	+ 640	+ 960	+ 1 450							
1 400	1 600									+ 330	+ 720	+ 1 050	+ 1 600							
1 600	1 800				0	0	+ 58	+ 92	+ 170	+ 370	+ 820	+ 1 200	+ 1 850							
1 800	2 000									+ 400	+ 920	+ 1 350	+ 2 000							
2 000	2 240				0	0	+ 68	+ 110	+ 195	+ 440	+ 1 000	+ 1 500	+ 2 300							
2 240	2 500									+ 460	+ 1 100	+ 1 650	+ 2 500							
2 500	2 800				0	0	+ 76	+ 135	+ 240	+ 550	+ 1 250	+ 1 900	+ 2 900							
2 800	3 150									+ 580	+ 1 400	+ 2 100	+ 3 200							

注：公称尺寸小于或等于 1mm 时，基本偏差 a 和 b 均不采用。公差带 js7 ~ js11，若 IT<sub>n</sub> 值数是奇数，则取偏差 =  $\pm \frac{IT_n - 1}{2}$ 。

表 D-3 孔的基本偏差数值

(单位: μm)

公称尺寸/mm		基本偏差数值																					
		下极限偏差 EI												上极限偏差 ES									
														IT6	IT7	IT8	≤IT8	>IT8	≤IT8	>IT8	≤IT8	>IT8	≤IT7
大于	至	所有标准公差等级												JS	J		K		M		N		P 至 ZC
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H											
—	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	偏差 = ± $\frac{IT_n}{2}$ , 式中 IT <sub>n</sub> 是 IT 值数	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4	在 大 于 IT7 的 相 应 数 值 上 增 加 一 个 Δ 值
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1 + Δ		-4 + Δ	-4	-8 + Δ	0	
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1 + Δ		-6 + Δ	-6	-10 + Δ	0	
10	14	+290	+150	+95		+50	+32		+16		+6	0		+6	+10	+15	-1 + Δ		-7 + Δ	-7	-12 + Δ	0	
14	18																						
18	24	+300	+160	+110		+65	+40		+20		+7	0		+8	+12	+20	-2 + Δ		-8 + Δ	-8	-15 + Δ	0	
24	30																						
30	40	+310	+170	+120		+80	+50		+25		+9	0		+10	+14	+24	-2 + Δ		-9 + Δ	-9	-17 + Δ	0	
40	50	+320	+180	+130																			
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0		+13	+18	+28	-2 + Δ		-11 + Δ	-11	-20 + Δ	0	
65	80	+360	+200	+150																			
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		+16	+22	+34	-3 + Δ		-13 + Δ	-13	-23 + Δ	0	
100	120	+410	+240	+180																			
120	140	+460	+260	200																			
140	160	+520	+280	+210																			
160	180	+580	+310	+230		+145	+85		+43		+14	0		+18	+26	+41	-3 + Δ		-15 + Δ	-15	-27 + Δ	0	
180	200	+660	+340	+240																			
200	225	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0	+20	+30	+47	-4 + Δ		-17 + Δ	-17	-31 + Δ	0		
225	250	+820	+420	+280																			
250	280	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0	+25	+36	+55	-4 + Δ		-20 + Δ	-20	-34 + Δ	0		
280	315	+1 050	+540	+330																			



(续)

公称尺寸/mm		基本偏差数值												Δ 值					
		上极限偏差 ES																	
大于	至	标准公差等级大于 IT7												标准公差等级					
		P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
—	3	−6	−10	−14		−18		−20		−26	−32	−40	−60	0	0	0	0	0	0
3	6	−12	−15	−19		−23		−28		−35	−42	−50	−80	1	1.5	1	3	4	6
6	10	−15	−19	−23		−28		−34		−42	−52	−67	−97	1	1.5	2	3	6	7
10	14	−18	−23	−28		−33		−40		−50	−64	−90	−130	1	2	3	3	7	9
14	18						−39	−45		−60	−77	−108	−150						
18	24	−22	−28	−35		−41	−47	−54	−63	−73	−98	−136	−188	1.5	2	3	4	8	12
24	30				−41	−48	−55	−64	−75	−88	−118	−160	−218						
30	40	−26	−34	−43	−48	−60	−68	−80	−94	−112	−148	−200	−274	1.5	3	4	5	9	14
40	50				−54	−70	−81	−97	−114	−136	−180	−242	−325						
50	65	−32	−41	−53	−66	−87	−102	−122	−144	−172	−226	−300	−405	2	3	5	6	11	16
65	80		−43	−59	−75	−102	−120	−146	−174	−210	−274	−360	−480						
80	100	−37	−51	−71	−91	−124	−146	−178	−214	−258	−335	−445	−585	2	4	5	7	13	19
100	120		−54	−79	−104	−144	−172	−210	−254	−310	−400	−525	−690						
120	140	−43	−63	−92	−122	−170	−202	−248	−300	−365	−470	−620	−800	3	4	6	7	15	23
140	160		−65	−100	−134	−190	−228	−280	−340	−415	−535	−700	−900						
160	180		−68	−108	−146	−210	−252	−310	−380	−465	−600	−780	−1 000						
180	200	−50	−77	−122	−166	−236	−284	−350	−425	−520	−670	−880	−1 150	3	4	6	9	17	26
200	225		−80	−130	−180	−258	−310	−385	−470	−575	−740	−960	−1 250						
225	250		−84	−140	−196	−284	−340	−425	−520	−640	−820	−1 050	−1 350						
250	280	−56	−94	−158	−218	−315	−385	−475	−580	−710	−920	−1 200	−1 550	4	4	7	9	20	29
280	315		−98	−170	−240	−350	−425	−525	−650	−790	−1 000	−1 300	−1 700						

公称尺寸/mm		基本偏差数值												Δ 值					
		上极限偏差 ES																	
大于	至	标准公差等级大于 IT7												标准公差等级					
		P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
315	355	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1 150	-1 500	-1 900	4	5	7	11	21	32
355	400		-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1 000	-1 300	-1 650	-2 100						
400	450	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1 100	-1 450	-1 850	-2 400	5	5	7	13	23	34
450	500		-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1 000	-1 250	-1 600	-2 100	-2 600						
500	560	-78	-150	-280	-400	-600													
560	630		-155	-310	-450	-660													
630	710	-88	-175	-340	-500	-740													
710	800		-185	-380	-560	-840													
800	900	-100	-210	-430	-620	-940													
900	1 000		-220	-470	-680	-1 050													
1 000	1 120	-120	-250	-520	-780	-1 150													
1 120	1 250		-260	-580	-840	-1 300													
1 250	1 400	-140	-300	-640	-960	-1 450													
1 400	1 600		-330	-720	-1 050	-1 600													
1 600	1 800	-170	-370	-820	-1 200	-1 850													
1 800	2 000		-400	-920	-1 350	-2 000													
2 000	2 240	-195	-440	-1 000	-1 500	-2 300													
2 240	2 500		-460	-1 100	-1 650	-2 500													
2 500	2 800	-240	-550	-1 250	-1 900	-2 900													
2 800	3 150		-580	-1 400	-2 100	-3 200													

注：1. 公称尺寸小于或等于 1mm 时，基本偏差 A 和 B 及大于 IT8 的 N 均不采用。公差带 JS7 至 JS11，若  $IT_n$  值数是奇数，则取偏差 =  $\pm \frac{IT_{n-1}}{2}$ 。

2. 对小于或等于 IT8 的 K、M、N 和小于或等于 IT7 的 P 至 ZC，所需 Δ 值从表内右侧选取。例如：18~30mm 段的 K7，Δ=8μm，所以 ES=( -2+8)μm= +6μm；18~30mm 段的 S6，Δ=4μm，所以 ES=( -35+4) μm= -31μm。特殊情况：250~315mm 段的 M6，ES= -9μm（代替 -11μm）。



2) 对耐蚀性的影响。零件表面越粗糙，在刀痕根部越容易产生腐蚀渗透。

3) 对零件配合性能的影响。对间隙配合，零件越粗糙，越容易磨损；对过盈配合，零件越粗糙，连接强度越低。

4) 对振动和噪声的影响等。零件表面越粗糙，振动和噪声越大，如滚动轴承。零件表面越粗糙，摩擦因数越大；但光滑到一定程度时，润滑油被挤出，产生亲和力，反而使摩擦因数增大，如图 D-11 所示。

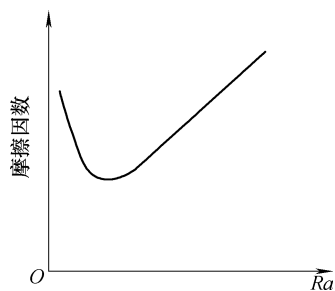


图 D-11 摩擦因数和表面粗糙度  $Ra$  的关系

### 3. 表面粗糙度的符号和代号

(1) 表面粗糙度的符号 表面粗糙度的符号及说明见表 D-4。

表 D-4 表面粗糙度的符号及说明

符 号	说 明
	基本符号，表示表面可用任何方法获得，当不加注表面粗糙度参数值或有关说明（例如，表面处理、局部热处理状况等）时，仅适用于简化代号标注
	基本符号加一横线，表示表面是用去除材料的方法获得的，例如车、铣、钻、磨、剪切、抛光、腐蚀、电火花加工等
	基本符号加一圆圈，表示表面是用不去除材料的方法获得的，例如铸、锻、冲压变形、热轧、粉末冶金等，或者是用于保持原供应状态的表面（包括保持上道工序的状态）
	在上述三个符号的长边上均可加一横线，用于标注有关参数和说明
	在上述三个符号上均可加一小圈，表示所有表面具有相同的表面粗糙度要求

(2) 表面粗糙度的代号 在表面粗糙度符号规定位置上标注表面粗糙度的参数值及其他相关要求，即构成表面粗糙度代号，如图 D-12 所示。

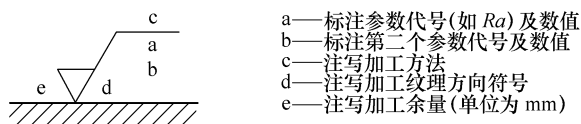


图 D-12 表面粗糙度的代号及各项内容的注写位置

4. 表面光洁度与表面粗糙度  $Ra$ 、 $Rz$  数值换算（表 D-5）

表 D-5 表面光洁度与表面粗糙度  $Ra$ 、 $Rz$  数值换算（单位： $\mu\text{m}$ ）

表面光洁度		$\nabla 1$	$\nabla 2$	$\nabla 3$	$\nabla 4$	$\nabla 5$	$\nabla 6$	$\nabla 7$
表面粗糙度	$Ra$	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8
	$Rz$	200	100	50	25	12.5	6.3	6.3
表面光洁度		$\nabla 8$	$\nabla 9$	$\nabla 10$	$\nabla 11$	$\nabla 12$	$\nabla 13$	$\nabla 14$
表面粗糙度	$Ra$	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	0.012	—
	$Rz$	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05

5. 经济加工方法可达到的表面粗糙度值及其应用（表 D-6）

表 D-6 经济加工方法可达到的表面粗糙度值及其应用

序号	$Ra$ 值不大于 $\mu\text{m}$	表面状况	加工方法	应用举例
1	100	明显可见的刀痕	粗车、镗、刨、钻	粗加工的表面，如粗车、粗刨、切断等表面，用粗镗刀和粗砂轮等加工的表面，一般很少采用
2	25、50			粗加工后的表面，焊接前的焊缝、粗钻孔壁等
3	12.5	可见刀痕	粗车、刨、铣、钻	一般非结合表面，如轴的端面、倒角、齿轮及带轮的侧面、键槽的非工作表面，减重孔眼表面
4	6.3	可见加工痕迹	车、镗、刨、钻、铣、锉、磨、粗铰、铣齿	不重要零件的配合表面，如支柱、支架、外壳、衬套、轴、盖等的端面。紧固件的自由表面，紧固件通孔的表面，内、外花键的非定心表面，不作为计量基准的齿轮顶圈圆表面等
5	3.2	微见加工痕迹	车、镗、刨、铣、刮 1~2 点/ $\text{cm}^2$ 、拉、磨、锉、滚压、铣齿	和其他零件连接不形成配合的表面，如箱体、外壳、端盖等零件的端面。要求有定心及配合特性的固定支承面如定心的轴间，键和键槽的工作表面。不重要的紧固螺纹的表面。需要滚花或氧化处理的表面
6	1.6	看不清加工痕迹	车、镗、刨、铣、铰、拉、磨、滚压、刮 1~2 点/ $\text{cm}^2$ 、铣齿	安装直径超过 80mm 的 G 级轴承的外壳孔，普通精度齿轮的齿面，定位销孔，V 带带轮的表面，大径定心的内花键外径，轴承盖的定中心凸肩表面

(续)

序号	<i>Ra</i> 值不 大于 / $\mu\text{m}$	表面状况	加工方法	应用举例
7	0.8	可辨加工痕迹的方向	车、镗、拉、磨、立铣、刮 3 ~ 10 点/ $\text{cm}^2$ 、滚压	要求保证定心及配合特性的表面，如锥销与圆柱销的表面，与 G 级精度滚动轴承相配合的轴径和外壳孔，中速转动的轴径，直径超过 80mm 的 E、D 级滚动轴承配合的轴径及外壳孔，内、外花键的定心内径，外花键齿侧及定心大径，过盈配合 IT7 的孔 (H7)，间隙配合 IT8 ~ IT9 的孔 (H8、H9)，磨削的齿轮表面等
8	0.4	微辨加工痕迹的方向	铰、磨、镗、拉、刮 3 ~ 10 点/ $\text{cm}^2$ 、滚压	要求长期保持配合性质稳定的配合表面，IT7 的轴、孔配合表面，精度较高的齿轮表面，受变应力作用的重要零件，与直径小于 80mm 的 E、D 级轴承配合的轴径表面、与橡胶密封件接触的轴的表面，尺寸大于 120mm 的 IT13 ~ IT16 孔和轴用量规的测量表面
9	0.2	不可辨加工痕迹的方向	砂轮磨、磨、研磨、超级加工	工作时受变应力作用的重要零件的表面；保证零件的疲劳强度、防腐性和耐久性，并在工作时不破坏配合性质的表面，如轴径表面、要求气密的表面和支承表面，圆锥定心表面等；IT5、IT6 配合表面、高精度齿轮的表面，与 G 级滚动轴承配合的轴径表面，尺寸大于 315mm 的 IT7 ~ IT9 孔和轴用量规及尺寸大于 120 ~ 315mm 的 IT10 ~ IT12 孔和轴用量规的测量表面等
10	0.1	暗光泽面	超级加工	工作时承受较大变应力作用的重要零件的表面；保证精确定心的锥体表面；液压传动用的孔表面。气缸套的内表面，活塞销的外表面，仪器导轨面，阀的工作面；尺寸小于 120mm 的 IT10 ~ IT12 孔和轴用量规测量面等
11	0.05	亮光泽面	超级加工	保证高度气密性的接合表面，如活塞、柱塞和气缸内表面，摩擦离合器的摩擦表面。对同轴度有精确要求的孔和轴；滚动导轨中的钢球或滚子和高速摩擦的工作表面
12	0.025	镜面光泽面	超级加工	高压柱塞泵中柱塞和柱塞套的配合表面，中等精度仪器零件配合表面，尺寸大于 120mm 的 IT6 孔用量规、小于 120mm 的 IT7 ~ IT9 轴用和孔用量规测量表面

(续)

序号	<i>Ra</i> 值不 大于 / $\mu\text{m}$	表面状况	加 工 方 法	应 用 举 例
13	0.012	雾状镜面	超级加工	仪器的测量表面和配合表面，尺寸超过100mm 的量块工作面
14	0.0063	雾状表面	超级加工	量块的工作表面，高精度测量仪器的测量面， 高精度仪器摩擦机构的支承表面

## 附录 E

# 螺栓、螺钉和螺柱的性能等级、 力学性能及预紧力矩

表 E-1 螺栓、螺钉和螺柱的性能等级和力学性能

性能等级		抗拉强度 $R_m$ /MPa		洛氏硬度				规定非比例延伸 强度 $R_{p0.2}$ /MPa		保证应力 $S_p$ /MPa
				min		max				
		公称	min	HRB	HRC	HRB	HRC	公称	min	
4.6		400	400	67	—	—	—	—	—	230
4.8			420	70	—		—	—	—	310
5.6		500	500	80	—		—	—	—	280
5.8			520	83	—		—	—	—	380
6.8		600	600	89	—	99	—	—	—	440
8.8	≤ M16	800	800	—	22	—	32	640	640	580
	> M16	800	830	—	25	—	35	640	660	600
9.8		900	900	—	28	—	37	720	720	660
10.9		1000	1040	—	34	—	41	900	940	830
12.9		1200	1220	—	39	—	44	1080	1100	970

注：1. 本表适用于由碳钢或合金钢制造的、任何形状的、螺纹直径为 3 ~ 39mm 的螺栓、螺钉和螺柱，不适用于紧定螺钉。

2. 性能等级的标记代号由点隔开的两部分数值组成；点左边的一位或两位数字表示抗拉强度的 1/100；点右边的数字表示公称屈服强度（下屈服强度）或规定非比例延伸强度（ $R_{p0.2}$ ）与公称抗拉强度（ $R_m$ ）比值的 10 倍。例如，性能等级 5.6 表示公称抗拉强度  $R_m = 5 \times 100\text{MPa} = 500\text{MPa}$ ，规定非比例延伸强度  $R_{p0.2} = 5 \times 6 \times 10\text{MPa} = 300\text{MPa}$ 。

表 E-2 螺栓、螺钉和螺柱的材料（摘自 GB/T 3098.1—2010）

性能等级	材料和热处理	化学成分极限（熔炼分析%） <sup>①</sup>					回火温度 ℃ min
		C		P	S	B <sup>②</sup>	
		mim	max	max	max	max	
4.6 <sup>③、④</sup>	碳钢或添加元素的碳钢	—	0.55	0.050	0.060	未规定	—
4.8 <sup>④</sup>							
5.6 <sup>③</sup>		0.13	0.55	0.050	0.060		
5.8 <sup>④</sup>		—	0.55	0.050	0.060		
6.8 <sup>④</sup>		0.15	0.55	0.050	0.060		
8.8 <sup>⑥</sup>	添加元素的碳钢（如硼或锰或铬） 淬火并回火或	0.15 <sup>⑤</sup>	0.40	0.025	0.025	0.003	425
	碳钢淬火并回火或	0.25	0.55	0.025	0.025		
	合金钢淬火并回火 <sup>⑦</sup>	0.20	0.55	0.025	0.025		
9.8 <sup>⑥</sup>	添加元素的碳钢（如硼或锰或铬） 淬火并回火或	0.15 <sup>⑤</sup>	0.40	0.025	0.025	0.003	425
	碳钢淬火并回火或	0.25	0.55	0.025	0.025		
	合金钢淬火并回火 <sup>⑦</sup>	0.20	0.55	0.025	0.025		
10.9 <sup>⑥</sup>	添加元素的碳钢（如硼或锰或铬） 淬火并回火或	0.20 <sup>⑤</sup>	0.55	0.025	0.025	0.003	425
	碳钢淬火并回火或	0.25	0.55	0.025	0.025		
	合金钢淬火并回火 <sup>⑦</sup>	0.20	0.55	0.025	0.025		
12.9 <sup>⑥、⑧、⑨</sup>	合金钢淬火并回火 <sup>⑦</sup>	0.30	0.50	0.025	0.025	0.003	425
12.9 <sup>⑥、⑧、⑨</sup>	添加元素的碳钢（如硼或锰或铬或 钼）淬火并回火	0.28	0.50	0.025	0.025	0.003	380

① 有争议时，实施成品分析。

② 硼的质量分数可达0.005%，非有效硼由添加钛和/或铝控制。

③ 对4.6和5.6级冷镦紧固件，为保证达到要求的塑性和韧性，可能需要对其冷镦用线材或冷镦紧固件产品进行热处理。

④ 这些性能等级允许采用易切钢制造，其硫、磷和铅的最大质量分数为：硫0.34%；磷0.11%；铅0.35%。

⑤ 对碳的质量分数低于0.25%的添加硼的碳钢，其锰的最低质量分数分别为：8.8级为0.6%；9.8级和10.9级为0.7%。

⑥ 对这些性能等级用的材料，应有足够的淬透性，以确保紧固件螺纹截面的芯部在“淬硬”状态、回火前获得约90%的马氏体组织。

⑦ 这些合金钢至少应含有下列的一种元素，其最小质量分数分别为：铬0.30%；镍0.30%；钼0.20%；钒0.10%。当含有二、三或四种复合的合金成分时，合金元素的质量分数不能少于单个合金元素质量分数总和的70%。

⑧ 对12.9/12.9级表面不允许有金相能测出的白色磷化物聚集层。去除磷化物聚集层应在热处理前进行。

⑨ 当考虑使用12.9/12.9级，应谨慎从事。紧固件制造者的能力、服役条件和扳拧方法都应仔细考虑。除表面处理外，使用环境也可能造成紧固件的应力腐蚀开裂。

表 E-3 螺母预紧力矩（无预紧力要求时）

螺纹规格 $d/\text{mm}$	螺纹强度级别			
	4. 6	5. 6	6. 8	10. 9
	拧紧力矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$			
M6	3. 5	4. 6	5. 2	11. 6
M8	8. 4	11. 2	12. 6	28. 1
M10	16. 7	22. 3	25	56
M12	29	39	44	97
M14	46	62	70	150
M16	72	96	109	240
M18	100	133	149	330
M20	140	188	212	470
M22	190	256	290	640
M24	240	325	366	810
M27	360	480	540	1190
M30	480	650	730	1620
M36	850	1130	1270	2820
M42	1350	1810	2030	4520
M48	2030	2710	3050	6770

## 参 考 文 献

- [1] 高钟秀. 钳工基本技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 1996.
- [2] 北京第一通用机械厂. 机械工人切削手册 [M]. 6 版. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] 《简明钳工手册》编写组. 简明钳工手册 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [4] 徐树贵, 朱勇, 邢怀喜, 等. 装配钳工 (初级) [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008.
- [5] 刘胜新. 实用金属材料手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [6] 费常贵. 工具钳工 (高级工) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [7] 胡战伟. 装配钳工 [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2003.
- [8] 徐洪义, 邢怀喜, 苗金龙, 等. 装配钳工 (中级) [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008.
- [9] 胡战伟, 杜百灿, 郭学军. 装配钳工 (技师技能 高级技师技能) [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2003.
- [10] 黄云清. 公差配合与测量技术 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [11] 王英杰, 金升. 金属材料及热处理 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2012.



技术工人岗位必备 规范化您的岗位操作

## 员工岗位手册系列

车工岗位手册

铣工岗位手册

**钳工岗位手册**

磨工岗位手册

数控铣床操作工岗位手册

数控车床操作工岗位手册

加工中心操作工岗位手册

机械加工产品检验工岗位手册

金属热处理工岗位手册

铸造工岗位手册

维修电工岗位手册

制图员岗位手册

电机检测及修理工岗位手册

高低压电器装配(配线)工岗位手册

电机装配工岗位手册

天车工岗位手册

起重装卸机械操作工岗位手册

叉车工岗位手册

中央空调工岗位手册

无损检测员岗位手册

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 一般工业技术 / 钳工工艺

ISBN 978-7-111-45077-1

策划编辑◎何月秋

ISBN 978-7-111-45077-1



9 787111 450771

定价:42.00元