

# 7天充好电

——机械领域从业人员读本



陈永 王金荣 主编

7TIAN CHONGHAODIAN  
JIXIE LINGYU CONGYE  
RENYUAN DUBEN

- 7天掌握机械制造的必备知识
- 7天架起从校园到职场的桥梁



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 7 天 充 好 电

## ——机械领域从业人员读本

主 编 陈 永 王金荣  
副主编 李民宗 王喜萍  
参 编 蒋佳国 李君艳 张金凤 孙玉福 汪大经  
        潘继民 高俊霞 靳先芳 刘胜新 李立碑  
主 审 吴振远



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了机械领域从业人员的必备知识。其主要内容包括解读机械图样、熟知机械零件、控制机械零件精度、熟知机械工程材料知识、夯实机械基础知识、掌握机械制造工艺、了解机械装配与调试、熟悉常用工具、掌握机械制造工艺流程共9章。本书具有极强的针对性和实用性,可使读者通过7天左右的学习,基本掌握机械制造需要熟知的背景知识和实践环节,为工作做好实战的准备。

本书适于机械行业的技术人员和工人使用,也非常适于刚刚进入机械行业的人员和相关专业在校师生阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

7天充好电:机械领域从业人员读本/陈永,王金荣主编. —北京:  
机械工业出版社, 2012. 1

ISBN 978 - 7 - 111 - 36467 - 2

I. ①7… II. ①陈…②王… III. ①机械工程 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第234995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:陈保华 责任编辑:陈保华

版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

封面设计:路恩中 责任印制:杨曦

保定市中国美凯印刷有限公司印刷

2012年1月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·18.25印张·375千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 36467 - 2

定价:36.00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) 88379734

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

目前我国机械领域的发展思路从“以发展机械主机带动零部件发展”转变为“机械主机与基础零部件共同发展”，不少有识之士对我国机械行业如何在21世纪前期具有并长期具备充足的活力和竞争力予以了极大的关注。随着国民经济的快速发展和我国与世界市场的逐渐接轨，如何为机械领域提供更加合格、优秀的技术人员和操作者已成为制约当前我国相关领域发展的一个关键因素。相关资料表明：机械行业在未来的工业经济中不仅具有广阔的应用空间和发展前景，而且还将对产品质量、企业的制造能力及竞争力产生深远的影响。

为了方便机械行业的技术人员和工人、各类机械领域技术培训学校的师生、刚刚进入机械行业的人员对机械领域必备知识的学习，我们编写了这本书。

本书系统地介绍了机械领域从业人员的必备知识。其主要内容包括解读机械图样、熟知机械零件、控制机械零件精度、熟知机械工程材料知识、夯实机械基础知识、掌握机械制造工艺、了解机械装配与调试、熟悉常用工具、掌握机械制造工艺流程共9章。本书具有极强的针对性和实用性，可使读者通过7天左右的学习，基本掌握机械制造需要熟知的背景知识和实践环节，为工作做好实战的准备。

本书由陈永、王金荣任主编，李民宗、王喜萍任副主编，参加编写的人员有蒋佳国、李君艳、张金凤、孙玉福、汪大经、潘继民、高俊霞、靳先芳、刘胜新、李立碑。吴振远老师对全书进行了详细审阅。

在本书的编写过程中，参考了国内外同行的大量文献资料和相关标准，谨向相关人员表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，书中错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 解读机械图样</b> .....	1
1.1 投影基本知识 .....	1
1.2 视图 .....	1
1.2.1 基本视图 .....	1
1.2.2 向视图 .....	2
1.2.3 局部视图 .....	3
1.2.4 斜视图 .....	4
1.2.5 剖视图 .....	4
1.2.6 断面图 .....	8
1.2.7 规定画法和简化画法 .....	10
1.3 尺寸标注 .....	12
1.3.1 尺寸线及尺寸界线 .....	12
1.3.2 尺寸数字 .....	12
1.4 技术要求 .....	18
1.5 标题栏 .....	18
1.6 看懂机械图样的技巧 .....	18
1.6.1 解读零件图 .....	19
1.6.2 解读装配图 .....	19
<b>第 2 章 熟知机械零件</b> .....	23
2.1 紧固件 .....	23
2.1.1 紧固件标记方法 .....	23
2.1.2 螺栓 .....	25
2.1.3 螺钉 .....	27
2.1.4 螺母 .....	28
2.1.5 垫圈 .....	30
2.1.6 销 .....	31
2.1.7 铆钉 .....	33
2.2 传动件 .....	35
2.2.1 轴承 .....	35
2.2.2 齿轮 .....	39
2.2.3 传动带 .....	41
2.3 弹簧 .....	42
<b>第 3 章 控制机械零件精度</b> .....	45

---

3.1 公差 .....	45
3.1.1 尺寸公差 .....	45
3.1.2 一般公差 .....	46
3.1.3 几何公差 .....	47
3.2 配合 .....	48
3.2.1 间隙配合 .....	49
3.2.2 过盈配合 .....	49
3.2.3 过渡配合 .....	49
3.3 基孔制与基轴制 .....	50
3.3.1 基孔制 .....	50
3.3.2 基轴制 .....	51
3.4 表面粗糙度 .....	51
3.4.1 概述 .....	51
3.4.2 表面粗糙度的形状特征及加工方法 .....	52
3.4.3 表面粗糙度的符号及意义 .....	53
3.4.4 不同加工方法能达到的表面粗糙度 .....	55
3.4.5 表面光洁度与表面粗糙度数值换算 .....	57
<b>第4章 熟知机械工程材料知识</b> .....	<b>58</b>
4.1 金属材料的分类及用途 .....	58
4.1.1 工业分类 .....	58
4.1.2 钢铁材料 .....	58
4.1.3 非铁金属材料 .....	64
4.2 金属材料的牌号 .....	68
4.2.1 钢铁材料牌号表示方法 .....	68
4.2.2 用火花法鉴别钢铁材料的牌号 .....	76
4.2.3 非铁金属材料牌号表示方法 .....	81
4.3 金属材料的状态及标记 .....	83
4.3.1 钢铁材料的交货状态 .....	83
4.3.2 钢铁材料的标记代号 .....	85
4.3.3 钢铁材料的涂色标记 .....	87
4.3.4 非铁金属材料的交货状态 .....	88
4.3.5 非铁金属材料的涂色标记 .....	88
4.4 金属材料的物理性能及力学性能 .....	89
4.4.1 金属材料的物理性能 .....	89
4.4.2 金属材料的力学性能 .....	93
4.5 金属材料理论重量计算方法 .....	98
4.6 塑料 .....	99
4.7 橡胶 .....	103
4.8 常用塑料及树脂缩写代号 .....	105

4.9 陶瓷 .....	107
<b>第5章 夯实机械基础知识 .....</b>	<b>110</b>
5.1 螺旋传动 .....	110
5.2 链传动 .....	111
5.3 带传动 .....	114
5.4 齿轮传动 .....	117
5.5 蜗杆传动 .....	119
5.6 平面连杆机构 .....	120
<b>第6章 掌握机械制造工艺 .....</b>	<b>124</b>
6.1 铸造 .....	124
6.1.1 铸造基本知识 .....	124
6.1.2 铸造生产基本操作过程 .....	126
6.1.3 铸造工艺规程 .....	130
6.1.4 铸造工艺符号 .....	131
6.1.5 普通砂型铸造 .....	136
6.1.6 熔模精密铸造 .....	136
6.1.7 金属型铸造 .....	138
6.1.8 压力铸造 .....	138
6.1.9 离心铸造 .....	139
6.1.10 重力铸造 .....	140
6.2 塑性加工 .....	140
6.2.1 塑性加工的种类 .....	140
6.2.2 锻造 .....	142
6.2.3 冲压 .....	143
6.3 焊接 .....	147
6.3.1 熔焊 .....	148
6.3.2 压焊 .....	149
6.3.3 钎焊 .....	149
6.3.4 焊缝符号表示方法 .....	151
6.3.5 常用金属材料的焊接难易程度 .....	155
6.4 热处理 .....	156
6.4.1 热处理基本知识 .....	156
6.4.2 整体热处理 .....	157
6.4.3 表面热处理 .....	159
6.4.4 其他热处理 .....	160
6.4.5 热处理工艺代号 .....	160
6.5 车削 .....	162
6.5.1 车削加工基础 .....	162
6.5.2 车刀 .....	166

---

6.5.3 车床 .....	168
6.6 铣削 .....	170
6.6.1 铣削加工基础 .....	170
6.6.2 铣刀的分类及要求 .....	172
6.6.3 铣削加工基本技术 .....	175
6.6.4 铣床 .....	179
6.7 刨削 .....	181
6.7.1 刨削加工基础 .....	181
6.7.2 刨刀的分类及要求 .....	183
6.7.3 刨削加工基本技术 .....	186
6.7.4 刨床 .....	188
6.8 磨削 .....	190
6.8.1 磨削加工基础 .....	190
6.8.2 砂轮 .....	191
6.8.3 研磨 .....	192
6.8.4 超精加工 .....	193
6.8.5 磨床 .....	194
6.9 钳加工 .....	195
6.9.1 钳工基础 .....	195
6.9.2 划线 .....	196
6.9.3 錾削 .....	200
6.9.4 锉削 .....	202
6.9.5 锯削 .....	206
6.9.6 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔 .....	208
6.9.7 攻螺纹和套螺纹 .....	211
6.9.8 刮削 .....	213
6.10 表面处理 .....	214
6.10.1 喷丸 .....	215
6.10.2 喷砂 .....	216
6.10.3 电镀 .....	216
6.10.4 化学镀 .....	218
6.10.5 钢铁的氧化与磷化 .....	218
6.10.6 涂装 .....	219
6.10.7 抛光 .....	220
6.10.8 滚压 .....	222
6.10.9 表面胀光 .....	222
6.10.10 喷涂 .....	223
<b>第7章 了解机械装配与调试 .....</b>	<b>227</b>
7.1 装配概述 .....	227

7.1.1	装配的基本概念	227
7.1.2	装配精度	228
7.1.3	装配的组织形式	232
7.2	装配工作的主要内容	232
7.2.1	清洗	232
7.2.2	连接	232
7.2.3	矫正、调整和配作	233
7.2.4	平衡	233
7.3	连接件装配	234
7.3.1	键连接装配	234
7.3.2	销连接装配	236
7.3.3	过盈连接装配	238
7.3.4	螺纹连接装配	239
7.4	传动件装配	245
7.4.1	带传动机构装配	245
7.4.2	链传动机构装配	248
7.4.3	齿轮传动机构装配	250
7.4.4	蜗杆传动机构装配	254
7.5	轴承装配	256
7.5.1	滑动轴承装配	256
7.5.2	滚动轴承装配	259
<b>第8章</b>	<b>熟悉常用工具</b>	<b>266</b>
8.1	常用手工工具	266
8.1.1	手钳	266
8.1.2	扳手	267
8.1.3	旋具	269
8.1.4	锤	269
8.1.5	锉	270
8.1.6	锯	270
8.1.7	刀	271
8.2	常用电动工具	271
8.3	常用气动工具	273
8.3.1	气枪	273
8.3.2	气动磨具	273
8.3.3	气动切削工具	274
<b>第9章</b>	<b>掌握机械制造工艺流程</b>	<b>276</b>
9.1	机械制造工艺流程的组成	276
9.2	各种生产类型及特征	276
9.3	制定工艺流程的技术依据和步骤	277

---

9.3.1 技术依据 .....	277
9.3.2 制定工艺流程的步骤 .....	277
9.3.3 机械制造工艺流程简介 .....	278
参考文献 .....	282



# 第 1 章 解读机械图样

## 1.1 投影基本知识

机械图样的绘制必须按照投影法则进行。零件在太阳光、灯光等光源的照射下会产生影子，在此现象的启示下，假设光源发出的光线能透过零件，则零件表面的顶点、棱线就会在选定的平面上投下影子，产生的平面图形即为投影，如图 1-1 和图 1-2 所示。

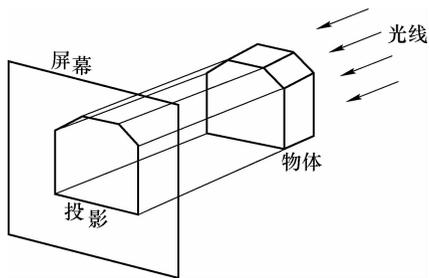


图 1-1 投影法

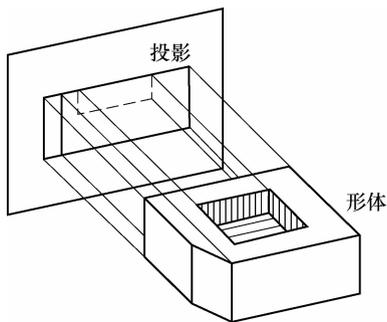


图 1-2 零件的投影

## 1.2 视图

### 1.2.1 基本视图

为了全面表达物体的形状及大小，必须绘制从各方向看到的投影图，即视图，如图 1-3 所示。

- 1) 光线在物体正面由前向后投射所得的视图称为主视图。
- 2) 光线在物体背面由后向前投射所得的视图称为后视图。
- 3) 光线在物体正上方由上向下投射所得的视图称为俯视图。
- 4) 光线在物体正下方由下向上投射所得的视图称为仰视图。
- 5) 光线在物体正侧方投射所得的视图称为侧视图。
- 6) 光线在物体正左侧方投射所得的视图称为左视图。
- 7) 光线在物体正右侧方投射所得的视图称为右视图。

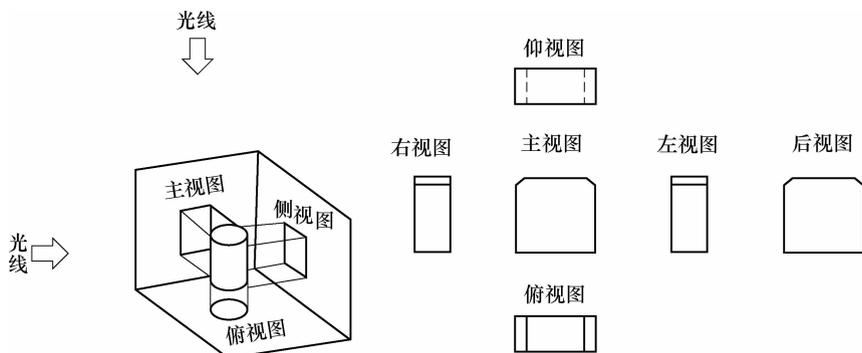


图 1-3 视图

图 1-4 所示为一个零件向 6 个基本投影面投影所得的视图的展开方式。在同一张图样内，6 个基本视图按图 1-4 所示配置关系时，可不标注视图名称。

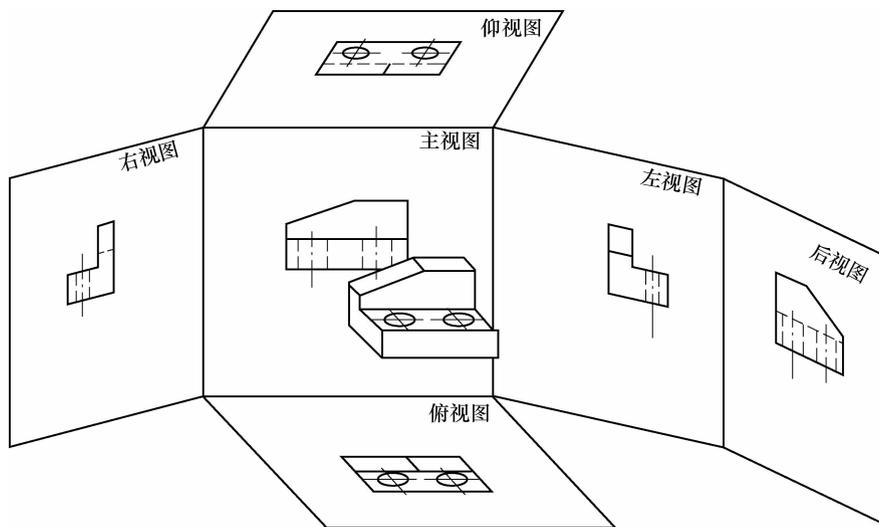


图 1-4 6 个基本视图

大多数情况下，画出主视图、俯视图和左视图就可以大致把零件的形状表示清楚，有时用两个或一个视图也可以将零件的形状表示清楚。因此，在绘制机械图样时，仅画出能够表达物体形状的视图即可，数量越少越好。

### 1.2.2 向视图

向视图是可以自由配置的视图，有时为了合理利用图纸或因其他原因不能按标准配置，或不能把视图画在同一张图纸上时，可选用向视图。图 1-5 所示为将图 1-

4 中的右视图、仰视图和后视图三个视图画成 A、B、C 三个向视图，并自由配置在图纸的适当位置。

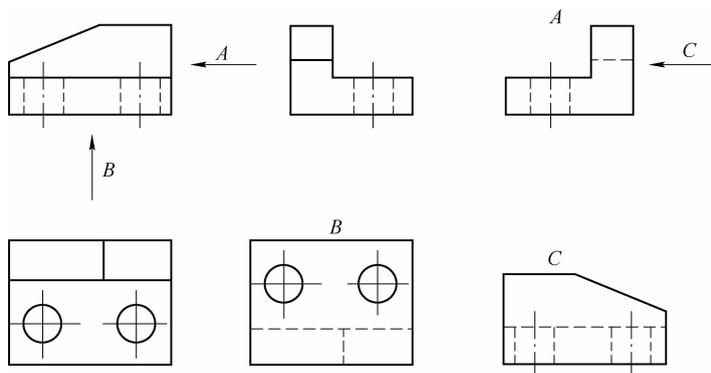


图 1-5 向视图

向视图必须标注。在向视图上方标注大写字母，在相应视图附近用箭头指明投射方向，并标注相同的字母，字母一律水平书写。

### 1.2.3 局部视图

将零件的某一部分向基本投影面投射得到的视图叫做局部视图。局部视图的应用有以下两种情况：

1) 为了节省绘图时间和图幅，对称构件或零件的视图可只画 1/2 或 1/4，并在对称中心线两端面画出两条与其垂直的平行细实线，如图 1-6 所示。

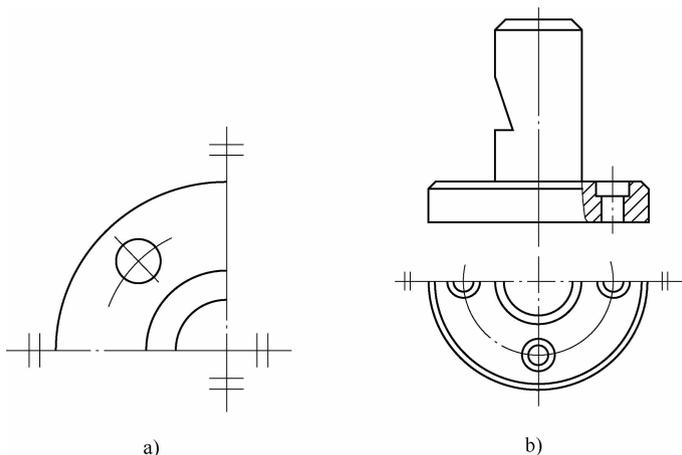


图 1-6 1/4 及 1/2 局部视图

a) 只画出 1/4 b) 只画出 1/2

2) 表达零件的局部形状时,可只画出局部视图,如图 1-7 所示。

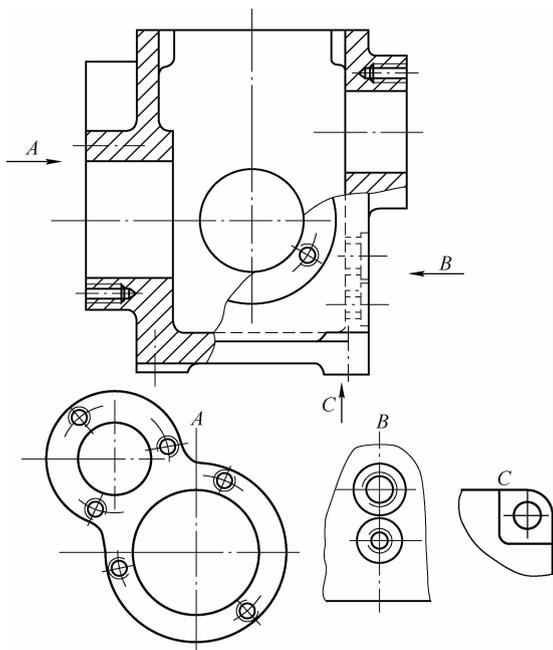


图 1-7 局部视图

### 1.2.4 斜视图

斜视图是零件向不平行于基本投影面的平面投射所得的视图,用于表达零件上倾斜结构的真实形状,如图 1-8 所示。对于垂直于斜面的孔和槽,用斜视图可以按照实际的尺寸画出它的形状,也易于标注尺寸。

绘制斜视图时,一般在原图附近绘制,并且只需要用辅助投影法表示重要部位,其他部分可以省略。

### 1.2.5 剖视图

视图主要用来表达零件的可见外部形状,而零件的内部形状则要用虚线表示,如图 1-9 所示。这样不仅影响图形的清晰程度,造成内部结构线看起来产生重叠、杂乱,难以识读,而且也不便于看图和标注尺寸。为了清楚地表达零件内部结构形状,避免过多出现细虚线,通常采用剖视的方法。

#### 1. 剖视图的概念

假想用剖视平面将零件剖开,移去位于观察者与剖切面之间的部分,将剩余部分向投影面投影,所得到的视图称为剖视图,简称剖视,如图 1-10 所示。剖切面与零件接触的部分,称为断面。

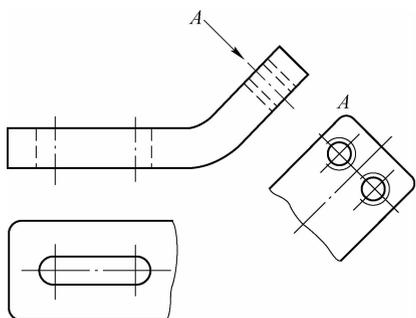


图 1-8 斜视图

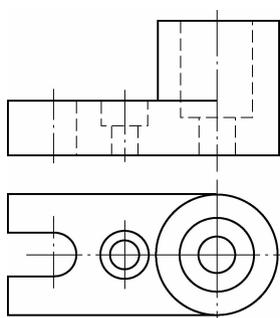


图 1-9 未剖开的零件及其视图

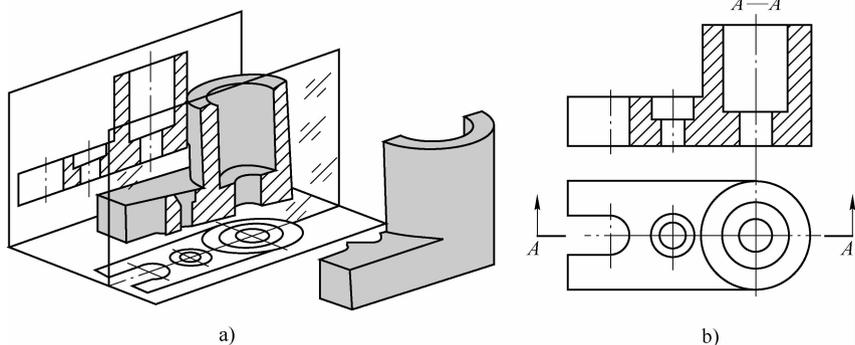


图 1-10 剖视图的概念

a) 剖切零件 b) 剖视图

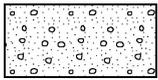
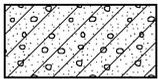
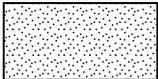
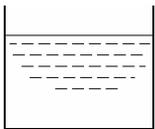
## 2. 剖面符号

在剖视图中的断面区域内必须画出剖面符号，零件的材料不同，其剖面符号也不一样，如表 1-1 所示。

表 1-1 各种材料的剖面符号

材料类别	剖面符号	材料类别	剖面符号
金属材料 (已有规定剖面符号者除外)		非金属材料 (已有规定剖面符号者除外)	
线圈绕组元件		胶合板 (不分层数)	
转子、电枢、变压器和电抗器等的叠钢片		基础周围的泥土	

(续)

材料类别	剖面符号	材料类别	剖面符号
混凝土		木材	纵断面 
钢筋混凝土			横断面 
型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片、硬质合金刀片等		砖	
玻璃及供观察用的其他透明材料		格网 (筛网、过滤网等)	
		液体	

注：1. 表中所规定的剖面符号仅表示材料的类别，材料的名称和代号必须另行注明。

2. 叠钢片的剖面线方向应与束装中叠钢片的方向一致。
3. 由不同剖面符号的材料嵌入或附着在一起的成品，用其中主要材料的剖面符号表示，如夹丝玻璃的剖面符号可用玻璃的剖面符号表示。
4. 在零件图中，也可以用涂色代替剖面符号。
5. 木材、玻璃、液体、叠钢片、砂轮及硬质合金刀片等剖面符号，也可在外形视图中画出全部或一部分作为材料的标志。
6. 液面用细实线绘制。

### 3. 全剖视图

用剖切平面把零件完全剖开所得的剖视图，称为全剖视图，如图 1-11 所示。当零件的外形简单或已通过其他视图表达清楚，而内部结构比较复杂，在平行于投影面方向上不对称时，可采用全剖视图。

### 4. 半剖视图

当零件内外结构都比较复杂，且具有对称平面时，在垂直于该对称平面的投影面上可以对称平面为界，一半画成视图，另一半画成剖视图，称为半剖视图，如图 1-12 所示。这种剖视方法，通常用于上下、左右对称且同时表达零件的外形与内部结构的情况。

从图 1-12 中可以看出，当零件对称时，只要分别取其视图和全剖视图的一半，合在一起，即可形成半剖视图。看机械图样时，可根据零件的特点，从半个外形视图想象出零件的外部形状，又可从半个剖视图联系其他视图想象出机件的内部形状，从而了解整个零件的形状特点。

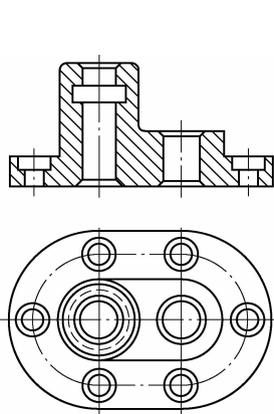


图 1-11 全剖视图

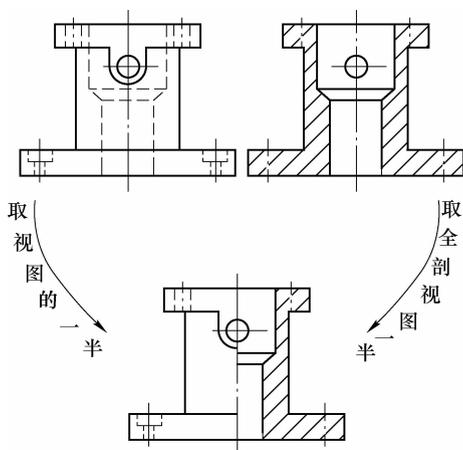


图 1-12 半剖视图的形成

### 5. 局部剖视图

如果对零件进行全剖，必要部分的外形难以表示时，可以采用局部剖视图。局部剖视图是把零件的任意一处剖开，通常用于要局部地表达零件内部构造的情况下。局部剖视图中剖与不剖部分用波浪线（或双折线）分界，波浪线不应和图样上其他图线重合，也不应超出零件的实体，如图 1-13 所示。

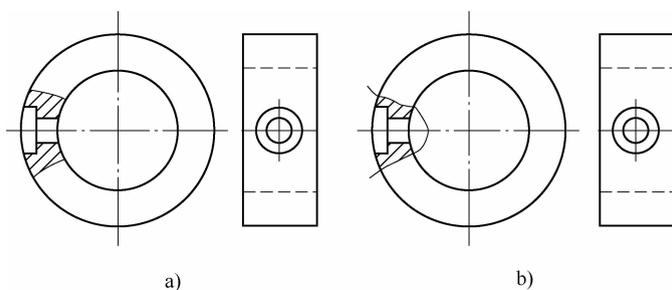


图 1-13 局部剖视图

a) 正确 b) 错误

### 6. 剖视图中按照不剖处理的情况

使用剖面法进行剖切的目的是为了使图样更容易理解，如果进行剖切反而会使形状或相互关系变得难以识读，这种情况下，可按照不剖来处理。另外，一些形状简单的零件也没有必要进行剖切处理。

在装配图中，对于紧固件及轴、连杆、球、钩子、键、销等实心零件，若按纵向剖切，且剖切平面通过其对称平面或轴线时，这些零件均按不剖绘制，如图 1-14 所示。若需要特别表明这些零件的某些结构，如凹槽、键槽、销孔等，可采用局部剖视图。

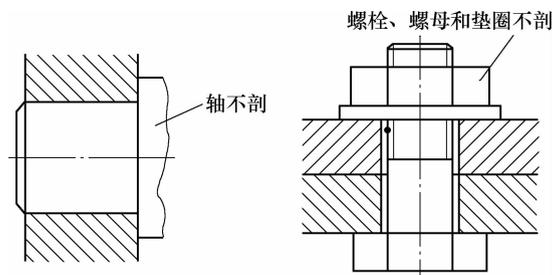


图 1-14 不画出剖面的零件

### 1.2.6 断面图

假想用剖切平面将零件的某处切断，仅画出该剖切平面与零件接触部分的断面实形，称为断面图，如图 1-15 所示。断面图与剖视图的区别在于：断面图是对断面的投影，只画出零件的断面形状，而剖视图是对零件的投影，除了画出断面形状外，还要画出剖切平面与投影面之间的可见部分的投影。

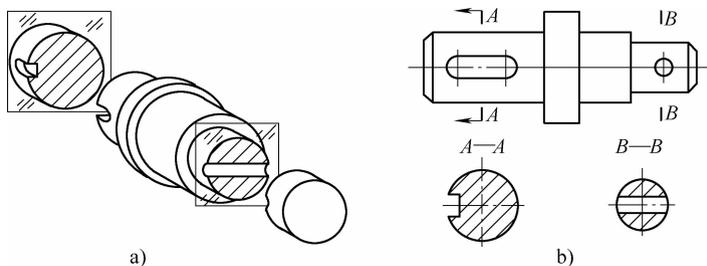


图 1-15 断面图

a) 断面的形成 b) 断面图

断面图分为移出断面图和重合断面图两类。

#### 1. 移出断面图

移出断面图的图形应画在视图之外，轮廓线用粗实线绘制，如图 1-16 所示。

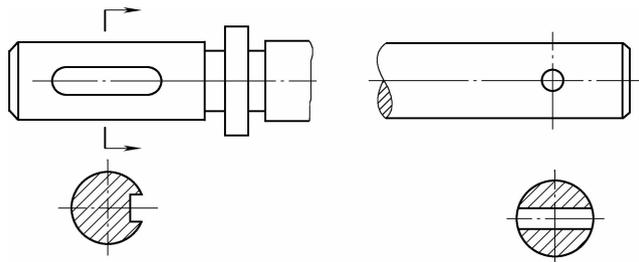


图 1-16 移出断面图

绘制由两个或多个相交的剖切平面剖切零件而得到的移出断面时，图形的中间应断开，如图 1-17 所示。

当剖切平面通过回转面形成的孔或凹坑的轴线时，或者通过非圆孔会导致出现完全分离的断面图形时，应按剖视图绘制，如图 1-18 所示。

## 2. 重合断面图

当断面形状简单，且不影响图样清晰时，可使用重合断面图，如图 1-19 所示。重合断面图画在视图内，其轮廓线用细实线表示。当视图的轮廓线与重合断面图的轮廓线重叠时，视图的轮廓线仍应连续画出，不可间断。

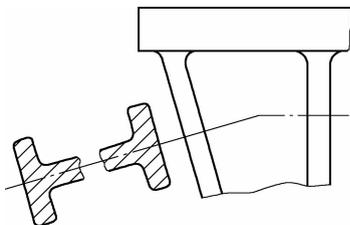


图 1-17 图形中间断开的断面图

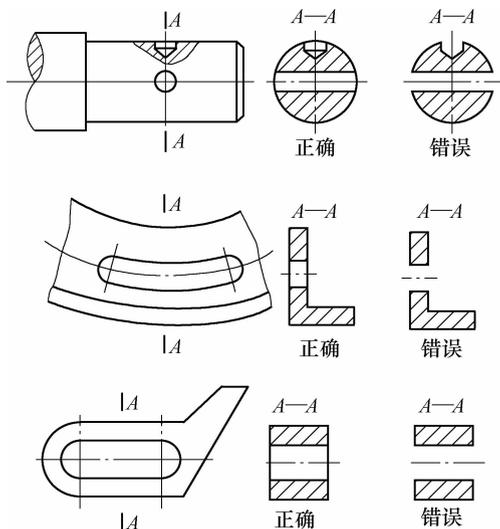


图 1-18 部分按剖视图绘制的断面图

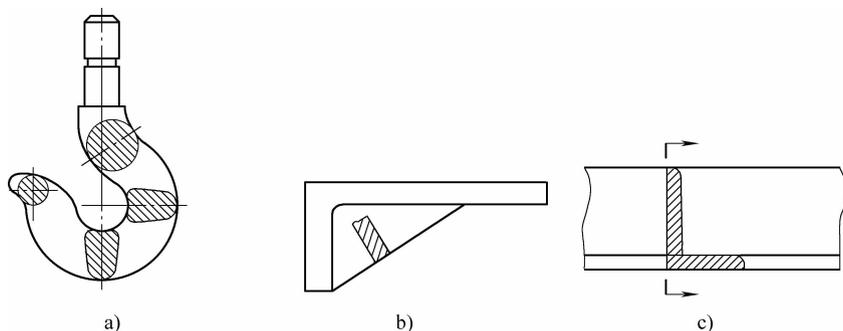


图 1-19 重合断面图

a) 吊钩 b) 支架 c) 角钢

### 1.2.7 规定画法和简化画法

1) 对于网状物、编织物或零件上的滚花部分,可在轮廓线附近用粗实线示意画出,并在图中或技术要求中具体注明,如图 1-20 所示。



图 1-20 滚花及网状物的画法

2) 当零件具有若干相同的结构(如齿、槽等),并按一定规律分布时,可只画出几个完整的结构,其余用细实线连接,并在图样中注明该结构的总数,如图 1-21 所示。

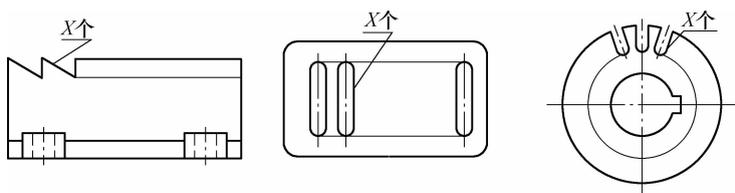


图 1-21 相同结构的简化画法

3) 零件具有若干直径相同且成规律分布的孔,可只画出一个或几个,其余只需用细点画线表示其中心位置,并注明数量,如图 1-22 所示。

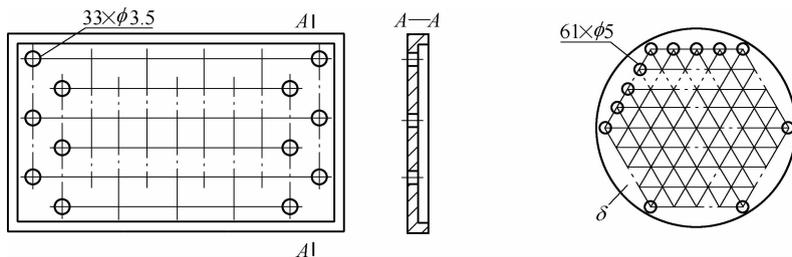


图 1-22 直径相同且规律分布的孔的简化画法

4) 圆盘形法兰和类似结构上按圆周均匀分布的孔, 可按图 1-23 所示的方式表示。

5) 较长的零件沿其长度方向的形状一致或按一定规律变化时, 可采用简化画法。如果是中断线可用波浪线或双点画线表示(均为细实线); 如果是断面线可用波浪线和双折线表示(均为细实线), 如图 1-24 所示。

6) 用细实线表示带传动中的带(见图 1-25)。

7) 用点画线表示链传动中的链条(见图 1-26)。

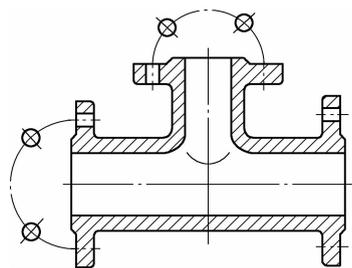


图 1-23 圆盘形法兰上均匀分布孔的简化画法

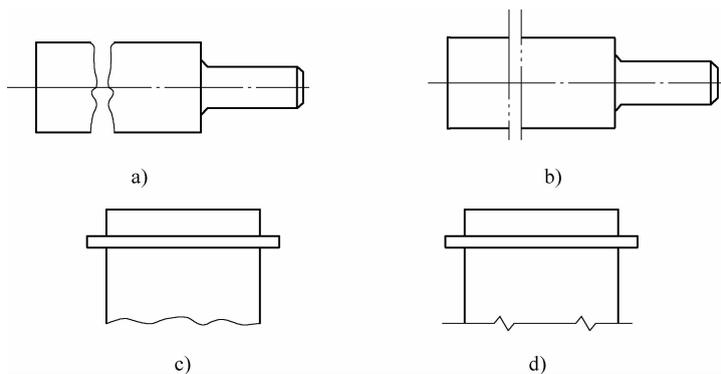


图 1-24 较长零件的简化画法

- a) 用波浪线表示中断线 b) 用双点画线表示中断线  
c) 用波浪线表示断面线 d) 用双折线表示断面线

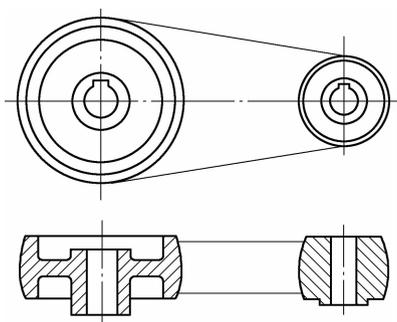


图 1-25 带的简化画法

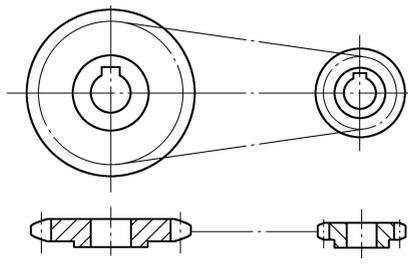


图 1-26 链条的简化画法

## 1.3 尺寸标注

### 1.3.1 尺寸线及尺寸界线

- 1) 尺寸线和尺寸界线均以细实线画出。
- 2) 尺寸线的两个终端为向外的箭头。
- 3) 线性尺寸的尺寸线应平行于所表示长度的线段，如图 1-27 所示。
- 4) 图形的轮廓线、中心线或它们的延长线，可以用作尺寸界线，但不能用作尺寸线，如图 1-28 所示。

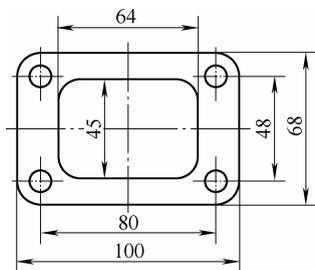


图 1-27 尺寸线平行于所表示长度的线段

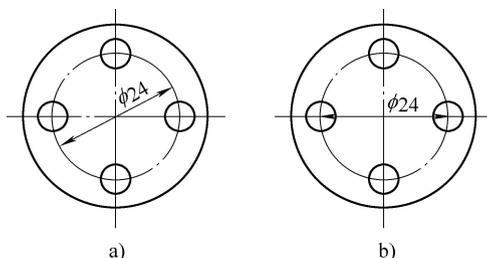


图 1-28 尺寸线的注法  
a) 正确 b) 错误

- 5) 对于未完整表示的图形，可在尺寸线的一端画出箭头，但尺寸线应超过该图形的中心线或断裂处，如图 1-29 所示。

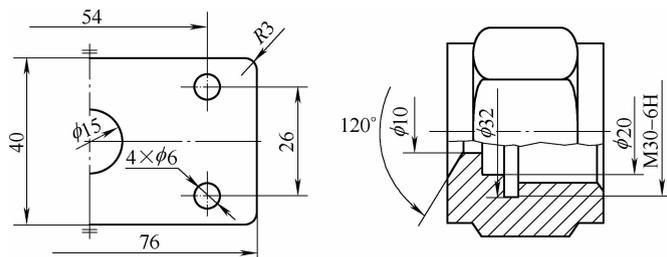


图 1-29 在尺寸线的一端画出箭头

### 1.3.2 尺寸数字

- 1) 在表示长度的尺寸中，没有标记单位符号的数字，其所有单位都是毫米 (mm)。
- 2) 图样上标注的尺寸都是成品的完成尺寸，如某零件图上给出的技术条件中有表面镀铬，则所有尺寸均为镀铬后的尺寸，对于尺寸精度要求很高的情况尤其要注意这一点。

3) 水平方向的尺寸线标注尺寸时数字要朝上, 垂直方向的尺寸线数字应朝左。对于倾斜的尺寸线, 应以垂直方向的标注法为标准而向左倾斜, 这与水平方向的标注法相比, 方向不同。尺寸数字的标注如图 1-30 所示。

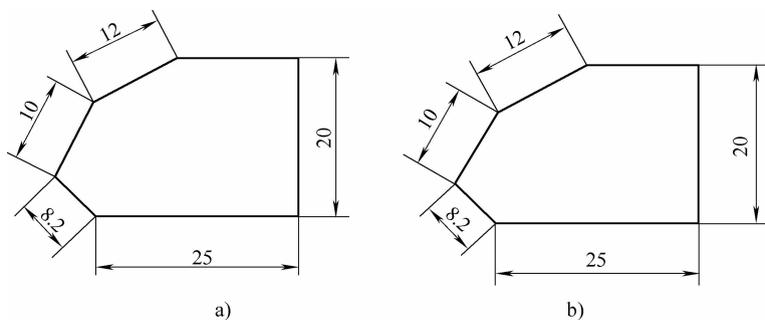


图 1-30 尺寸数字的标注

a) 错误 b) 正确

4) 尺寸数字不可被任何图线通过, 不可避免时, 需要把图线断开, 如图 1-31 所示。

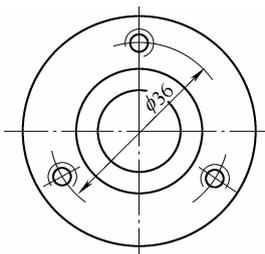


图 1-31 断开图线标注数字

5) 直径尺寸的数字之前应加注符号“ $\phi$ ”, 如图 1-32 所示。

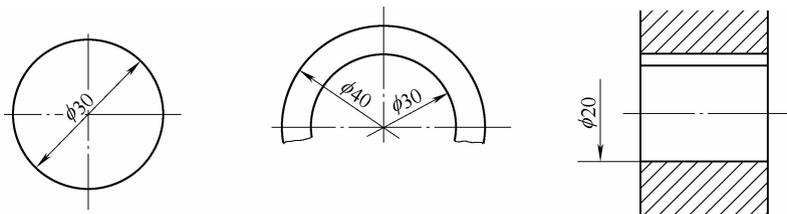


图 1-32 直径数字的表示方法

6) 半径尺寸的数字之前应加注符号“ $R$ ”, 如图 1-33 所示。

7) 半径尺寸应注在投影为圆弧的视图上, 如图 1-34 所示。

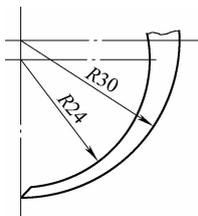


图 1-33 半径数字的表示方法

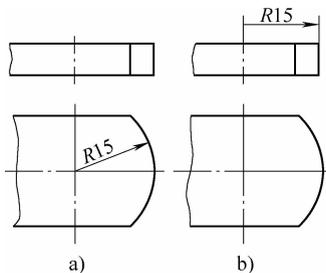


图 1-34 半径尺寸的标注

a) 正确 b) 错误

8) 在圆弧的圆心很远、半径很大的情况下，如果把尺寸线画到圆心，就会画到图样的外面，这时就不必把尺寸线画到圆心，可以从中间切断尺寸线，如图 1-35 所示。

9) 在半径很大时，又要把尺寸线的一端放到中心线上，可以把尺寸线折成 Z 字形，如图 1-36 所示。

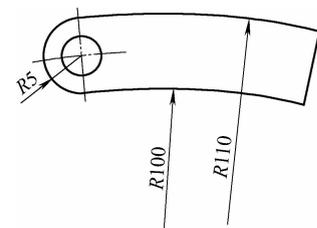


图 1-35 大圆弧标注时切断尺寸线

10) 标注球面的直径和半径时，应在符号“ $\phi$ ”、“ $R$ ”前再加注符号“ $S$ ”，如图 1-37 所示。

11) 对于截面为正方形的结构，可在正方形边长尺寸前加注符号“ $\square$ ”，或以“边长  $\times$  边长”的形式标注其尺寸，如图 1-38 所示。

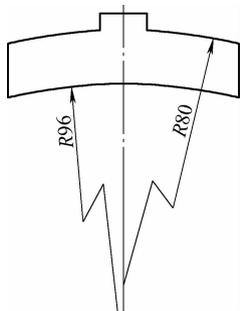


图 1-36 尺寸线折成 Z 字形

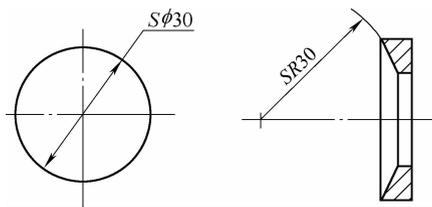


图 1-37 球面直径和半径的标注

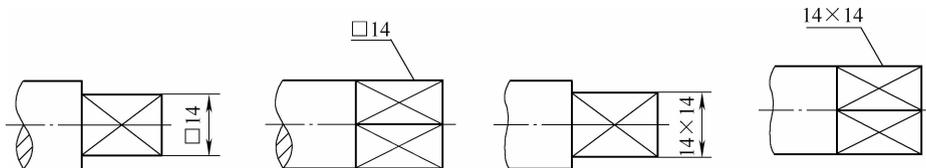


图 1-38 正方形的标注方法

12) 倒角尺寸的标注如图 1-39 所示。

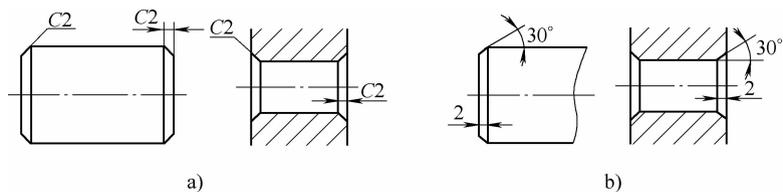


图 1-39 倒角尺寸的标注

a) 45°倒角 b) 非45°倒角

13) 一般退刀槽的尺寸可按“槽宽×直径”或“槽宽×槽深”的形式标注，若图形较小，也可用指引线的形式标注，指引线应由轮廓线引出，如图 1-40 所示。

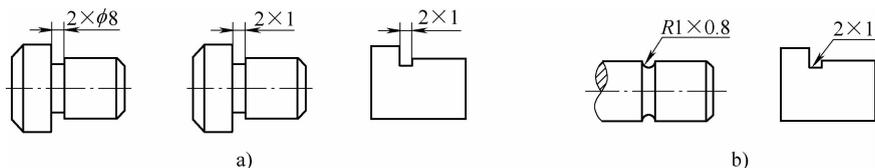


图 1-40 退刀槽的尺寸标注

a) 一般注法 b) 指引线注法

14) “EQS”是均布的意思，如图 1-41 所示。

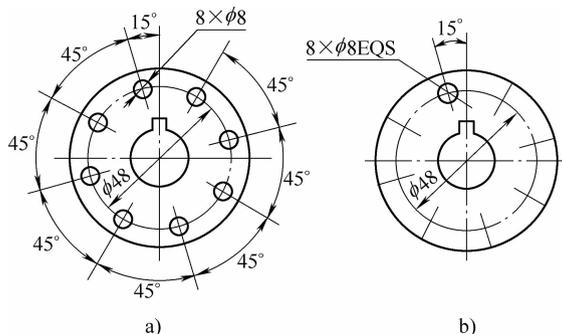


图 1-41 相同结构要素的尺寸标注

a) 简化前 b) 简化后

15) 在同一图形中，尺寸数值不同而又重复的同类要素，可采用标记（如涂色）或标注字母的方法标注其尺寸（见图 1-42），也可用列表的形式表明其尺寸（见图 1-43）。

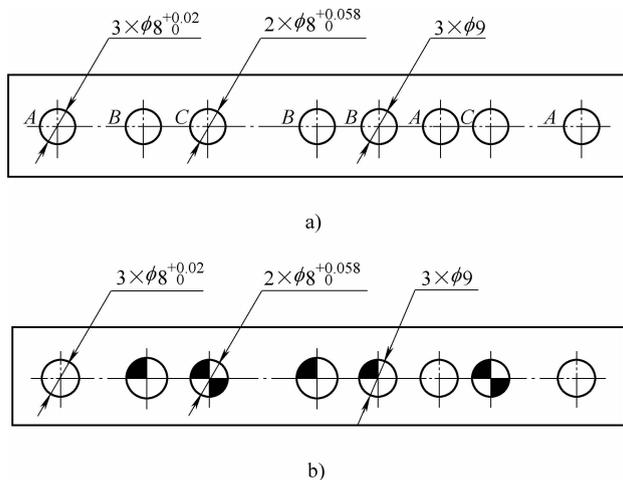
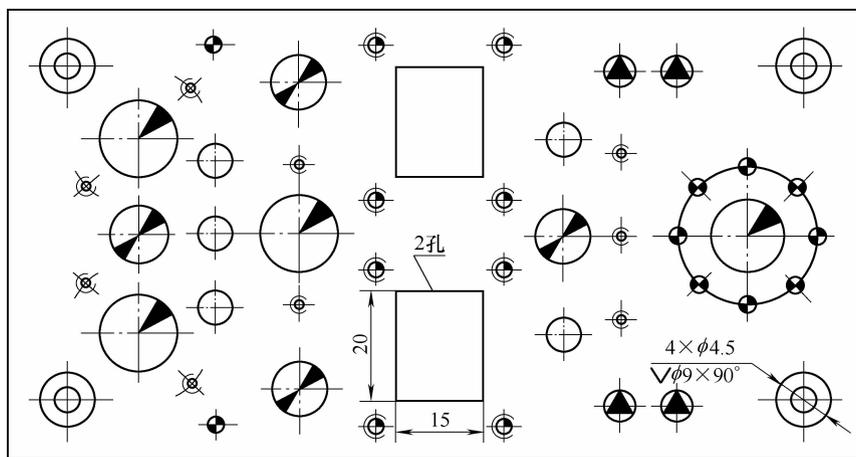


图 1-42 标注字母或标记的方法

a) 标注字母 b) 标记

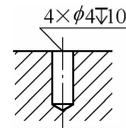
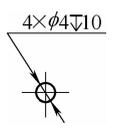
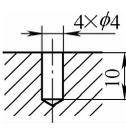
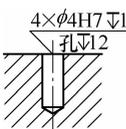
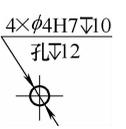
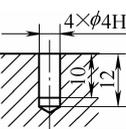
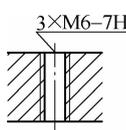
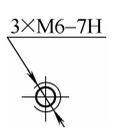
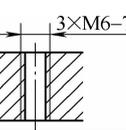
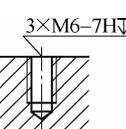
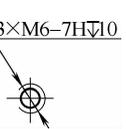
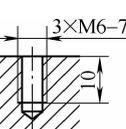
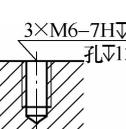
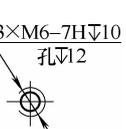
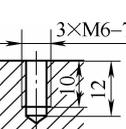
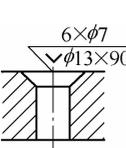
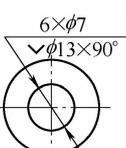
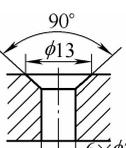
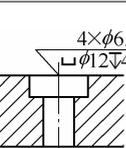
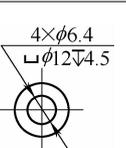
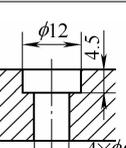
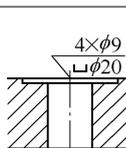
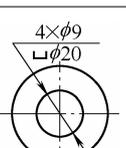
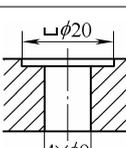


孔的 标记							
数量	4	4	5	4	10	8	9
尺寸	$\phi 14$	$\phi 10$	$\phi 6$	$\phi 5$	$\phi 3$	M4-7H	M3-7H

图 1-43 列表的形式

16) 孔的尺寸注法如表 1-2 所示。

表 1-2 孔的尺寸注法

类型	旁注法	普通注法	说 明	
光 孔				4 孔, 直径 $\phi 4$ , 深 10 $\nabla$ : 表示深度的符号
				4 孔, 钻孔深 12, 精加工后为 $\phi 4H7$ , 深度 10
螺 孔				3 螺孔 M6, 精度 7H
				3 螺孔 M6, 精度 7H, 螺纹深度 10
				3 螺孔 M6, 精度 7H, 螺纹深 10, 钻孔深 12
沉 孔				6 孔, 直径 $\phi 7$ , 沉孔锥顶角 $90^\circ$ , 大口直径 $\phi 13$ $\nabla$ : 表示埋头孔的符号
				4 孔, 直径 $\phi 6.4$ , 柱形沉孔直径 $\phi 12$ , 深 4.5 $\square$ : 表示沉孔或铰平的符号
				4 孔, 直径 $\phi 9$ , 铰平直径 $\phi 20$ , 铰平深度一般不注, 铰去毛面为止

## 1.4 技术要求

技术要求一般包括下列内容：

- 1) 对材料、毛坯、热处理的要求。
- 2) 对有关结构要素的统一要求（如圆角、倒角等）。
- 3) 表面质量要求。
- 4) 对校准、调整及密封的要求。
- 5) 试验条件和方法。
- 6) 视图中难以表达的各种特殊要求。
- 7) 零件的性能和质量要求（如噪声、制动及安全等）。

## 1.5 标题栏

标题栏一般由更改区、签字区、名称及代号区和其他区组成，也可根据实际情况增加或减少，如图 1-44 所示。其他区一般由材料标记、阶段标记、重量、比例等组成。关于图样代号，除了填写在标题栏以外，还应将代号倒着写在图样左上角，这样就为在图样破损或者整理时提供了很大的便利。

						(材料标记)			(单位名称)			
标记	处数	分区	更改 文件号	签名	年、月、日	阶段标记			重量		比例	
设计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)							
											(图样代号)	
审核												
工艺			批准			共 张			第 张			

图 1-44 标题栏

## 1.6 看懂机械图样的技巧

对于机械图样，初学者认为：零件图容易看懂，装配图不容易看懂。实际上是这样一个关系：对于识图者来讲是：装配图难看懂；对于绘制图样的人来讲是：装配图容易绘制，而零件图难绘制。

绘制装配图只要将各个零件的装配关系表达清楚，重要的装配尺寸予以要求即可。而零件图的绘制，要牵扯到很多内容，例如：①空间几何形状；②形体尺寸；③公差配合；④设计基准；⑤测量基准；⑥材料及标准；⑦表面粗糙度；⑧热处理；⑨表面处理；⑩加工工艺。这 10 个方面都要考虑，并在图中予以表达。

### 1.6.1 解读零件图

零件图的尺寸、公差、表面粗糙度三个方面的要求一个都不能缺少。有些初学者认为图中有些要求给个尺寸就可以了，是无关紧要的尺寸，不影响装配，但实际制造零件的加工者是不清楚装配性能与使用要求的，只看零件的尺寸、公差、表面粗糙度三个方面的要求。加工者是根据这三个方面的要求去加工零件的。因此，任何一个尺寸，三个方面的要求必须齐全，缺一不可。

看懂一张零件图应从以下几个方面去看：

- 1) 从三视图上看清楚零件的空间形体。
- 2) 看清楚图中零件的设计基准。
- 3) 看清楚哪些是主要尺寸，哪些是次要尺寸。
- 4) 看清楚尺寸公差、表面粗糙度。
- 5) 看清楚材料、热处理、表面处理要求。
- 6) 看清楚哪些是形体尺寸，哪些是位置尺寸。
- 7) 看清楚技术要求。

### 1.6.2 解读装配图

解读装配图主要应注意以下几点：

1) 要清楚装配图是零件装配位置指示图，它标示了一个零件在产品中的位置及与相邻零件的装配关系。装配图重点表达零件的装配位置，至于零件的结构、形状，去看零件图，在装配图中可以不表达清楚，尺寸甚至可以不按比例绘出。

2) 零件与零件在装配时只要有配合性质的，不管间隙多大，都视为接触。在装配图中，零件与零件接触的部位，按单个零件的形体绘制，接触部位是合二为一的画法，而不能因为是两个零件，就按两个零件的形体去绘图。

3) 当两个零件在零件图上的名称尺寸不一致时，不论间隙多么小，均按两个零件的形体画出，间隙的大小不考虑。这时局部的尺寸可以不按比例去绘制。

4) 一个零件在装配图上无论结构相隔多么远，其剖面线间隔、方向是相同的。如果存有疑问，就查看零件图。

5) 剖面通过零件的实心轴时（或标准件轴心时），按不剖绘图，这是因为实心零件内部与其他零件没有装配关系。从序号表中可以知道标准件的大致结构。

6) 看清楚重要的装配尺寸。

7) 看清楚装配后产品的总高、总宽、总长尺寸。

8) 结合装配图序号，看一下序号中零件的名称，大致应该知道零件的种类及特点，若是不清楚，就结合零件图去分析。

9) 看一下装配图的技术要求。

图 1-45 所示为机械加工中常用的机用平口钳的装配图。通过解读此图，可以

了解一般解读装配图的方法。

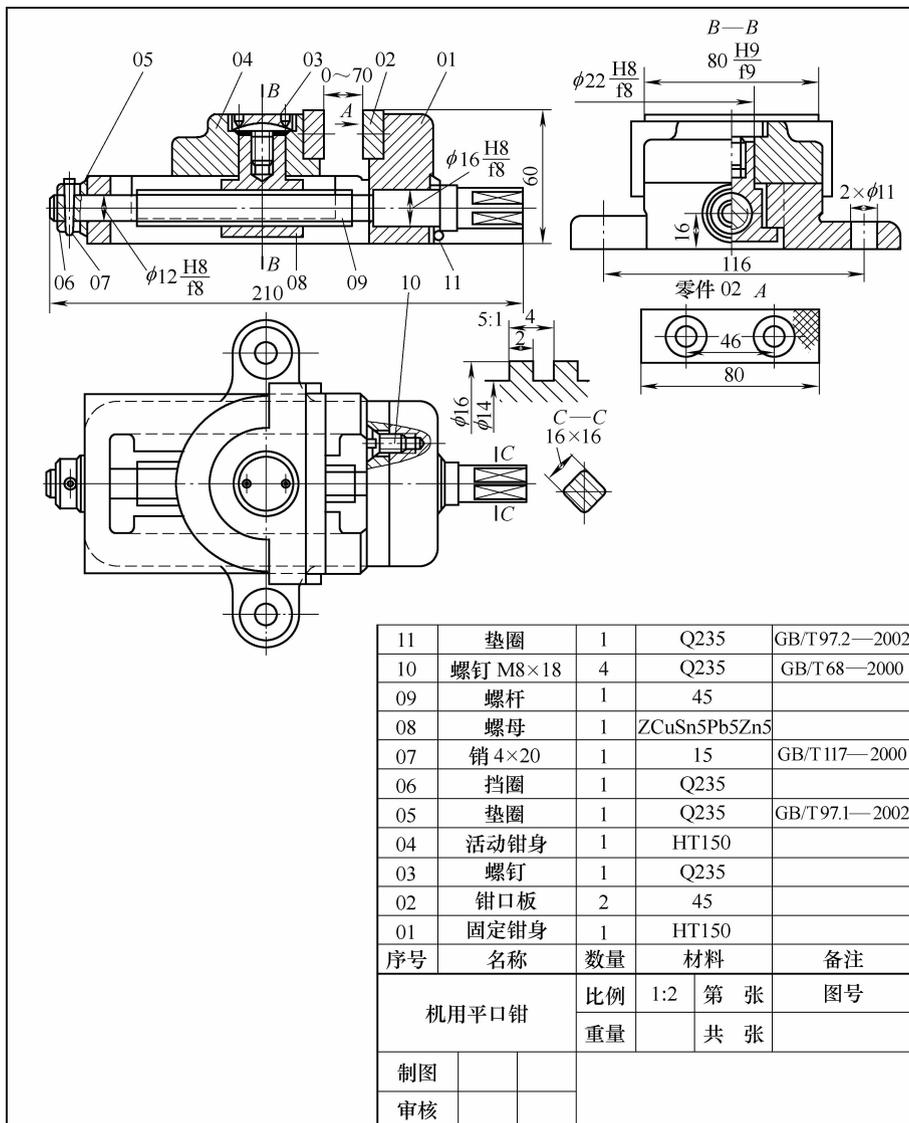


图 1-45 机用平口钳

### 1. 看标题栏和明细栏

看标题栏，了解部件的名称；看明细栏，了解零件的概况。可以知道此部件叫机用平口钳，共有 11 个零件，其中 4 个为标准件，并知道了每个零件的数量、材料。视图是按缩小的比例绘制的。

## 2. 分析视图

此装配图共有6个视图,即主视图、俯视图、左视图、剖面图、局部放大图、指示方向投影图。其中主视图为全剖视图,有一个剖中剖视图;左视图为 $B-B$ 位置剖切的半剖视图;俯视图有一个局部剖视图。

## 3. 看明细栏与视图

把明细栏与视图结合去看,可以知道每个零件的装配位置,从明细栏的序号,结合视图中零件编号指引线就可以知道零件在装配图中的位置及与其他零件的装配关系。例如第07号销子零件是装在第09号螺杆零件的一端上,与销子零件配合的还有第06号挡圈零件与第05号垫圈零件。

## 4. 分析零件在装配图中的画法

第09号螺杆零件是一个实心零件,按规定在装配图中不剖画出;它装配在第01号固定钳身零件上,其两端与固定钳身零件有配合的性质,所以在固定钳身的结合处画一条线。固定钳身零件是此部件最大的零件,在主视图的螺杆零件的两端可以看到固定钳身零件的剖面线,其剖面线方向一致,间隔相同。第04号活动钳身与第08号螺母零件配合,有配合的部位画一条线,没有配合的部位画两条线,而且剖面线方向相反。第08号螺母零件装在第09号螺杆零件上,其画法按国标的螺钉螺母的配合规定绘制。从 $C-C$ 剖面图可以知道螺杆零件一端的截面为正正方形,其平面是规定的简化画法表达。5:1的局部放大图虽然没有指示哪一个部位放大,但也应该知道是螺杆零件的螺纹,若有疑问,就查螺杆零件的零件图。指示方向 $A$ 向移出投影图,表达了钳口板的大致尺寸与形状。

## 5. 分析装配图尺寸

此部件的长、宽、高尺寸,装配图中已表明分别为210mm、116mm、60mm;性能特征尺寸为,钳口开合长度0~70mm,钳口长度80mm,螺杆螺距4mm;重要的配合尺寸为80H9/f6,含义是活动钳身槽宽为80mm,公差是H9,与之配合的固定钳身导轨的宽度为80mm,公差是f6; $\phi 22H8/f8$ 含义是活动钳身的孔为 $\phi 22\text{mm}$ ,公差是H8,与之配合的螺母一端的外径是 $\phi 22\text{mm}$ ,公差是f8。

## 6. 分析各个零件的作用

图1-46所示为机用平口钳的立体示意图,结合立体示意图直观地看一下各个零件的作用。

- 1) 固定钳身是此部件的基座。
- 2) 钳口板是此部件装夹零件用的钳口。
- 3) 螺钉是联接第08号螺母零件的。

4) 活动钳身是一个运动零件,它由螺杆的转动传动给螺母,再由螺母传给与之配合的活动钳身,活动钳身0~70mm长度范围内的往复直线运动,实现夹紧零件的作用。

- 5) 第05号与第11号垫圈零件都是起到减少螺杆与固定钳身的摩擦作用。

- 6) 档圈与第 07 号销子零件结合起到限位作用。
- 7) 螺母将螺杆的转动转变为活动钳身的直线运动。
- 8) 螺杆是整个部件的动力源，它是实现平口钳功能的动力源。它主要是通过四方手柄进行转动的。
- 9) 4 个 M8 × 18 螺钉起紧定两个钳口板的作用。

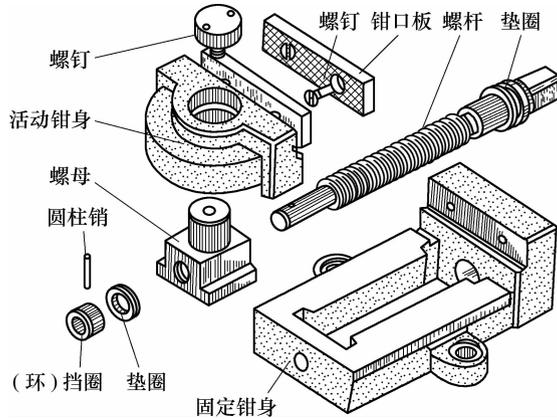


图 1-46 机用平口钳分解图



## 3. 紧固件的标记 (见表 2-1)

表 2-1 紧固件的标记 (GB/T 1237—2000)

序号	紧固件名称	完整标记	简化标记
1	螺栓	<p>螺纹规格 <math>d = M12</math>、公称长度 <math>l = 80\text{mm}</math>、性能等级为 10.9 级、表面氧化、产品等级为 A 级的六角头螺栓的标记如下</p> <p>螺栓 GB/T 5782—2000-M12 × 80-10.9-A-O</p>	<p>螺纹规格 <math>d = M12</math>、公称长度 <math>l = 80\text{mm}</math>、性能等级为 8.8 级、表面氧化、产品等级为 A 级的六角头螺栓的标记如下</p> <p>螺栓 GB/T 5782 M12 × 80</p>
2	螺钉	<p>螺纹规格 <math>d = M6</math>、公称长度 <math>l = 6\text{mm}</math>、长度 <math>z = 4\text{mm}</math>、性能等级为 33H 级、表面氧化的开槽盘头定位螺钉的标记如下</p> <p>螺钉 GB/T 828—1988-M6 × 6 × 4-33H-O</p>	<p>螺纹规格 <math>d = M6</math>、公称长度 <math>l = 6\text{mm}</math>、长度 <math>z = 4\text{mm}</math>、性能等级为 14H 级、不经表面处理的开槽盘头定位螺钉的标记如下</p> <p>螺钉 GB/T 828 M6 × 6 × 4</p>
3	螺母	<p>螺纹规格 <math>D = M12</math>、性能等级为 10 级、表面氧化、产品等级为 A 级的 1 型六角螺母的标记如下</p> <p>螺母 GB/T 6170—2000-M12-10-A-O</p>	<p>螺纹规格 <math>D = M12</math>、性能等级为 8 级、不经表面处理、产品等级为 A 级的 1 型六角螺母的标记如下</p> <p>螺母 GB/T 6170 M12</p>
4	垫圈	<p>标准系列、规格尺寸为 8mm、性能等级为 300HV、表面氧化、产品等级为 A 级的平垫圈的标记如下</p> <p>垫圈 GB/T 97.1—2002-8-300HV-A-O</p>	<p>标准系列、规格尺寸为 8mm、性能等级为 140HV、不经表面处理、产品等级为 A 级的平垫圈的标记如下</p> <p>垫圈 GB/T 97.1 8</p>
5	自攻螺钉	<p>螺纹规格 ST3.5、公称长度 <math>l = 16\text{mm}</math>、Z 型槽、表面氧化的 F 型十字槽盘头自攻螺钉的标记如下</p> <p>自攻螺钉 GB/T 845—1985-ST3.5 × 16-F-Z-O</p>	<p>螺纹规格 ST3.5、公称长度 <math>l = 16\text{mm}</math>、H 型槽、镀锌钝化的 C 型十字槽盘头自攻螺钉的标记如下</p> <p>自攻螺钉 GB/T 845 ST3.5 × 16</p>
6	销	<p>公称直径 <math>d = 6\text{mm}</math>、公差为 m6、公称长度 <math>l = 30\text{mm}</math>、材料为 C1 组马氏体不锈钢、表面简单处理的圆柱销的标记如下</p> <p>销 GB/T 119.2—2000-6 m6 × 30-C1-简单处理</p>	<p>公称直径 <math>d = 6\text{mm}</math>、公差为 m6、公称长度 <math>l = 30\text{mm}</math>、材料为钢、普通淬火 (A 型)、表面氧化的圆柱销的标记如下</p> <p>销 GB/T 119.2 6 × 30</p>

(续)

序号	紧固件名称	完整标记	简化标记
7	铆钉	公称直径 $d = 5\text{mm}$ 、公称长度 $l = 10\text{mm}$ 、性能等级为 10 级的开口型扁圆头抽芯铆钉的标记如下 抽芯铆钉 GB/T 12618.1—2006-5 × 10-08	公称直径 $d = 5\text{mm}$ 、公称长度 $l = 10\text{mm}$ 、性能等级为 10 级的开口型扁圆头抽芯铆钉的标记如下 抽芯铆钉 GB/T 12618.1 5 × 10
8	挡圈	公称直径 $d = 30\text{mm}$ 、外径 $D = 40\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 25 ~ 35HRC、表面氧化的轴肩挡圈的标记如下 挡圈 GB/T 886—1986-30 × 40-35 钢、热处理 25 ~ 35HRC-O	公称直径 $d = 30\text{mm}$ 、外径 $D = 40\text{mm}$ 、材料为 35 钢、不经热处理及表面处理的轴肩挡圈的标记如下 挡圈 GB/T 886 30 × 40

## 2.1.2 螺栓

螺栓由头部和螺杆（带有外螺纹的圆柱体）两部分组成，如图 2-1 所示。螺栓与螺母配合，用于紧固连接两个带有通孔的零件，这种连接形式称为螺栓连接。如把螺母从螺栓上旋下，又可以使这两个零件分开，故螺栓连接属于可拆卸连接的一种。

### 1. 螺栓的分类

1) 螺栓按连接的受力方式分为普通型和铰制孔用型两类。普通型主要承载轴向的受力，也可以承载要求不高的横向受力，螺杆与孔间可以有一定的间隙，如图 2-2a 所示；铰制孔用型的螺栓要和孔的尺寸配合，螺杆与孔间的间隙非常小，用于受横向力的情况下，如图 2-2b 所示。



图 2-1 螺栓

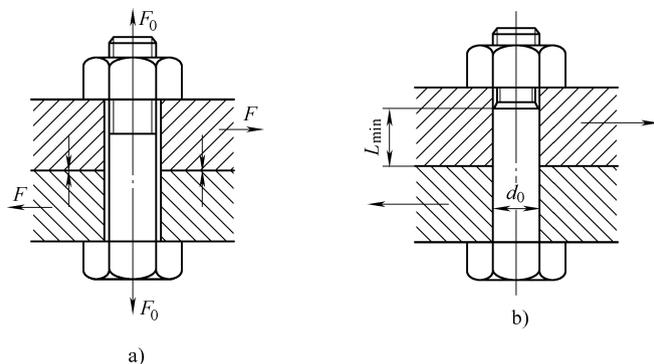


图 2-2 螺栓的受力

a) 承受轴向力 b) 承受横向力

2) 螺栓按头部形状分为六角头、圆头、方形头、沉头等类型,如图 2-3 ~ 图 2-6 所示,其中六角头是最常用的。一般沉头螺栓用在要求连接后表面光滑无凸起的地方,因为沉头可以拧到零件的凹槽里,方头的拧紧力可以大些,但是它的尺寸较大。



图 2-3 六角头螺栓



图 2-4 圆头螺栓



图 2-5 方形头螺栓



图 2-6 沉头螺栓

3) 螺栓按螺纹长度分为全螺纹和非全螺纹两类,如图 2-7 所示。

4) 按螺纹的牙型分为粗牙和细牙两类,粗牙型在螺栓的标志中不显示。

5) 螺栓按照性能等级分为 3.6、4.8、5.6、5.8、8.8、9.8、10.9、12.9 八个等级,其中 8.8 级以上(含 8.8 级)螺栓材质为低碳合金钢或中碳钢并经热处理(淬火+回火),通称高强度螺栓,8.8 级以下(不含 8.8 级)通称普通螺栓。

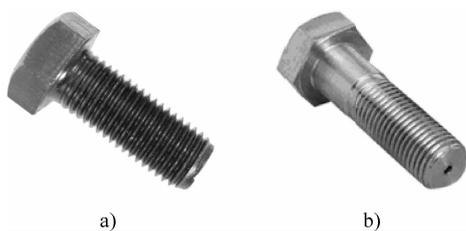


图 2-7 螺栓按螺纹长度分类

a) 全螺纹 b) 非全螺纹

普通螺栓按照制作精度可分为 A、B、C 三个等级,A、B 级为精制螺栓,C 级为粗制螺栓。对于钢结构用连接螺栓,除特别注明外,一般为普通粗制 C 级螺栓。A、B 级螺栓的栓杆由车床加工而成,表面光滑,尺寸精确,其材料性能等级为 8.8 级,制作安装复杂,价格较高,很少采用;C 级螺栓用未加工的圆钢制成,尺寸不够精确,其材料性能等级为 4.6 级或 4.8。抗剪连接时变形大,但安装方便,生产成本低,多用于抗拉连接或安装时的临时固定。

## 2. 螺栓的应用

螺栓是应用广泛的可拆连接紧固件，一般与螺母配套使用。由于螺栓连接具有易装拆和可重复使用的特点，因此应用非常广泛。主要用在被连接件不太厚且需要经常拆卸的地方，被连接件能够钻成通孔，从而能从两边进行装配，如图 2-8 所示。

### 2.1.3 螺钉

螺钉是指具有各种结构形状头部的螺纹紧固件，如图 2-9 所示。

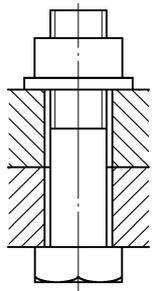


图 2-8 螺栓连接



图 2-9 螺钉

#### 1. 螺钉的分类

1) 螺钉按头型分类，如图 2-10 所示。

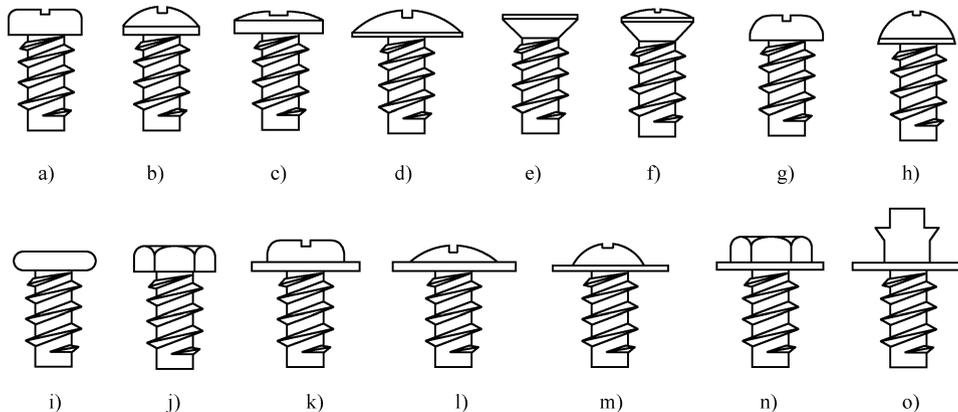


图 2-10 螺钉的头型

a) 平头 b) 盘头 c) 球面中柱头 d) 扁圆头 e) 沉头 f) 半沉头 g) 半圆头 h) 圆头  
i) 圆柱头 j) 六角头 k) 垫圈平头 l) 垫圈圆头 m) 垫圈圆头 n) 垫圈六角头 o) 凤梨齿头

2) 螺钉按槽型分类，如图 2-11 所示。

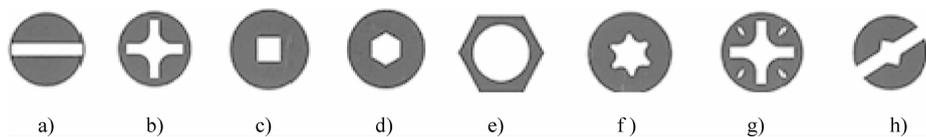


图 2-11 螺钉的槽型

- a) 一字槽 b) 十字槽 c) 方插口 d) 内六角  
e) 凹穴六角 f) 菊花槽 g) 米字槽 h) 一字方形

3) 螺钉按牙型和尾型分类, 如图 2-12 所示。

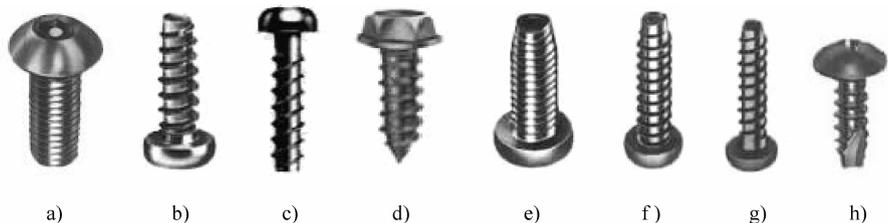


图 2-12 螺钉的牙型和尾型

- a) 机丝牙 b) 自攻平尾单线牙 c) 自攻平尾双线牙 d) 尖尾自攻牙  
e) 机丝三角牙 f) 自攻单线三角牙 g) 自攻双线三角牙 h) 自攻割尾单线牙

## 2. 螺钉的应用

(1) 机用螺钉 普通槽（一字槽）螺钉多用于较小零件的连接。十字槽（优选 H 型十字槽）螺钉旋拧时对中性好，易实现自动化装配，外形美观，生产率高，槽的强度高，不易拧突、打滑，但需要用专用的旋具装卸。内六角螺钉可施加较大的力矩，连接强度高，能代替六角螺栓，且头部能埋于零件中，常用于结构要求紧凑表面要求平整的零件。

(2) 紧固螺钉 紧固螺钉是依靠锐利的端部直接顶进零件，用于不常装卸处或顶进硬度小的零件。

(3) 自攻螺钉 自攻螺钉常用于连接较薄的金属板。

### 2.1.4 螺母

螺母是和螺栓或螺杆一起配套使用的一种紧固件。螺母内侧有螺纹，可以与螺栓连接，用以固定带有通孔的两个部件。螺母和螺栓的连接属于可拆卸连接，当把螺母从螺栓上旋下后，两个被连接的部件可分离。同等规格螺母和螺栓，才能连接在一起，例如 M12 × 1.25 的螺母只能与 M12 × 1.25 的螺栓搭配（在螺母中，M12 指螺母内径约为 12mm，1.25 指两个螺纹牙之间的距离为 1.25mm），如图 2-13 所示。



图 2-13 螺栓与螺母的配合

### 1. 螺母的分类

根据形状的不同,螺母可分为六角螺母、六角开槽螺母、盖形螺母、翼形螺母、环形螺母、方螺母、圆螺母、防松螺母、自锁螺母等,如图2-14所示。



图2-14 常见的螺母形状

a) 六角螺母 b) 六角开槽螺母 c) 盖形螺母 d) 翼形螺母  
e) 环形螺母 f) 方螺母 g) 圆螺母 h) 防松螺母 i) 自锁螺母

### 2. 螺母的应用

(1) 六角螺母 六角螺母与螺栓、螺钉配合使用,起连接紧固机件作用。其中 I 型六角螺母应用最广, C 级螺母用于表面比较粗糙、精度要求不高的机器、设备或结构上; A 级和 B 级螺母用于表面比较光洁、精度要求较高的机器设备上。II 型六角螺母的厚度大,多用于经常需要装拆的场合。六角薄螺母的厚度较薄,多用于被连接件的表面空间受限制的场合。

(2) 六角开槽螺母 六角开槽螺母专供与螺杆末端带孔的螺栓配合使用,以

便把开口销从螺母的槽中插入螺杆的孔中，防止螺母自动回松，主要用于具有振动载荷或交变载荷的场合。六角螺母的厚度较厚的，多用于经常需要装拆的场合。六角螺母的厚度较薄的，多用于被连接件的表面空间受限制的场合。

(3) 盖形螺母 盖形螺母是常用的标准件，外形看就是螺母上面有一个球形的盖子，多用于外观需要美观的固定场合。

(4) 翼形螺母 翼形螺母能用手直接装拆，配合螺栓用于连接强度要求不高且需要经常装拆的场合，如钢锯架、报纸夹等。

(5) 环形螺母 环形螺母也叫吊环螺母，用来配合起重、吊装机具作起吊重物用。

(6) 方螺母 方螺母常与半圆头方颈螺栓配合，用于简单、粗糙的机件上，作紧固连接用。其特点是扳手转动角度较大，不易打滑。

(7) 圆螺母 圆螺母常与止动垫圈配用。装配时将垫圈内舌插入轴上的槽内，而将垫圈的外舌嵌入圆螺母的槽内，螺母即被锁紧。常作为滚动轴承的轴向固定。

(8) 防松螺母 防松螺母是在螺母与构件的接触面上加上一个扩大头，且在其表面印上牙型，起到防止松动的作用，其实就是将螺母和垫圈一起加工成一个紧固件，省去了垫圈。

(9) 自锁螺母 螺母的工作原理是采用螺母和螺栓之间的摩擦力进行自锁的，但是在动载荷中这种自锁的可靠性就会降低。在一些重要的场合应采取一些防松措施，保证螺母锁紧的可靠性。用自锁螺母就是其中的一种防松措施。多用于汽车、压缩机、建筑机械、风力发电设备、农用机械铸造业、钻孔设备、船舶工业、军工、采矿设备、石油钻井钻机（陆上或海上）、公用设施、轨道交通等领域。

### 2.1.5 垫圈

在螺纹紧固件中因螺栓、螺钉、螺母的支承面不可能做得很大（受材料与工艺的限制），为减小承压面的压应力，保护被连接件的表面而采用垫圈。垫圈是指形状呈扁圆环形的一类紧固件，如图 2-15 所示。



图 2-15 垫圈

#### 1. 垫圈的分类

垫圈根据其作用可分为两类：①置于螺栓、螺钉或螺母的支撑面与连接零件表面之间，起着增大被连接零件接触表面面积，降低单位面积压力和保护被连接零件表面不被损坏的作用；②弹性垫圈起阻止螺母回松、防振的作用。

常见的垫圈如图 2-16 所示。

#### 2. 垫圈的选择

1) 为防止连接副的松动，可采用防松的弹簧垫圈和多齿形锁紧垫圈、圆螺母止动垫圈，以及鞍形、波形、锥形弹性垫圈。

2) 平垫圈主要用于减小压力。当有的部位拧紧轴向力很大时, 易将垫圈压成碟形, 这时可通过改变材料和提高硬度来解决。

3) 弹簧垫圈的锁紧效果一般, 重要部位尽量少用或不用, 而采用自锁结构。

4) 齿形弹性垫圈中的连接齿形锁紧力大而且均匀, 在汽车行业中使用较多。

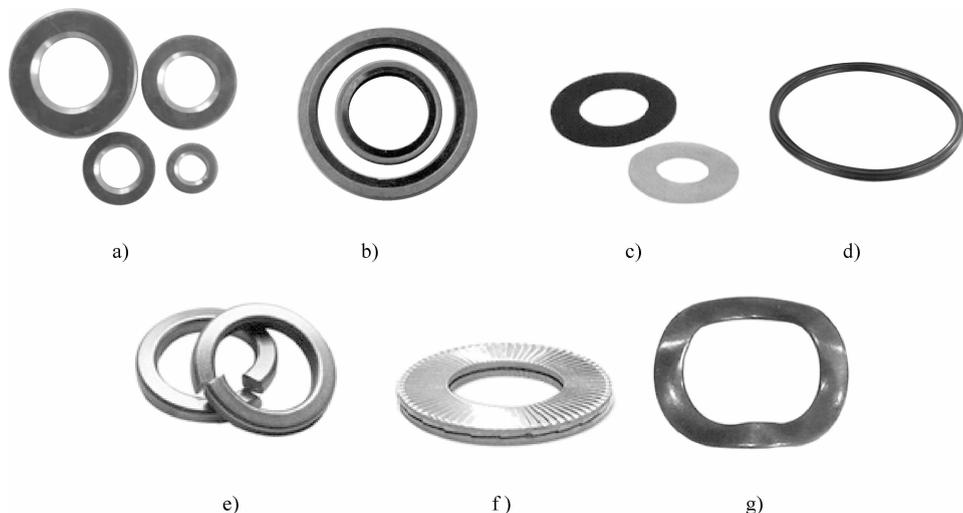


图 2-16 常用垫圈

a) 平垫圈 b) 组合垫圈 c) 橡胶垫圈 d) 密封垫圈  
e) 弹簧垫圈 f) 防松垫圈 g) 波形垫圈

## 2.1.6 销

销贯穿于两个零件孔中, 主要用于定位, 也可用于连接或导向, 如图 2-17 所示。

### 1. 销的分类

1) 按照结构形式可分为圆柱销、圆锥销、槽销、销轴和开口销等, 如图 2-18 所示。

2) 按照销的作用可分为定位销 (确定相对位置)、连接销 (用于连接, 可传递较小的载荷) 和安全销, 如图 2-19 所示。



图 2-17 用于定位的圆柱销

### 2. 销的连接

1) 当采用销定位时, 为便于销的拆卸, 孔尽可能加工成通孔。

2) 若不允许加工成通孔时, 应采用带内螺纹孔的销。

3) 对于圆锥销, 为保证锥面配合, 锥销顶与锥孔底必须留有间隙。

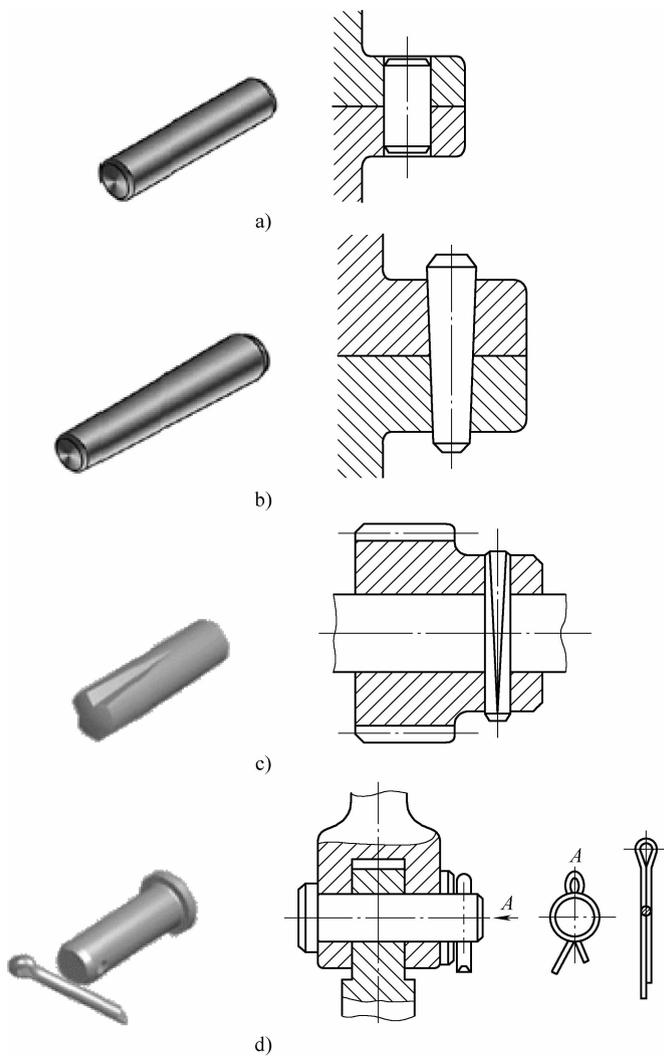


图 2-18 销按结构形式分类

a) 圆柱销 b) 圆锥销 c) 槽销 d) 销轴和开口销

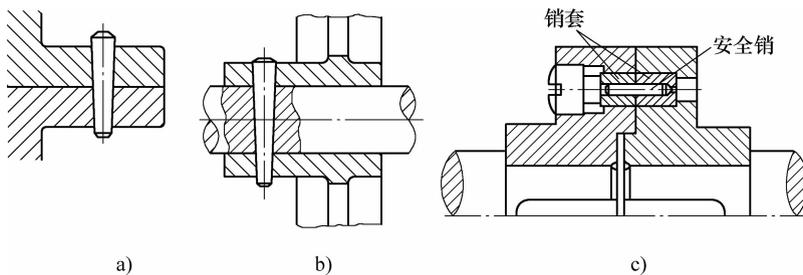


图 2-19 销按作用分类

a) 定位销 b) 连接销 c) 安全销

### 2.1.7 铆钉

铆钉是利用自身形变或过盈连接来进行铆接的。常用的铆钉如图 2-20 所示。

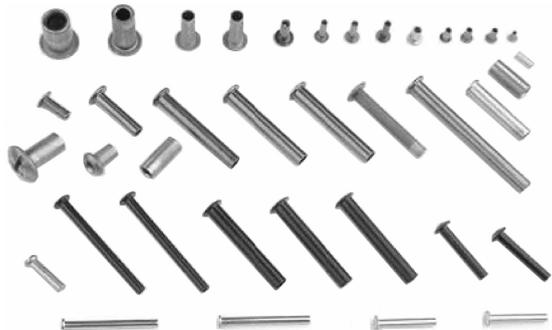


图 2-20 常用的铆钉

#### 1. 铆钉的分类

1) 铆钉按照结构可分为半圆头铆钉、平头铆钉、沉头铆钉、抽芯铆钉、空心铆钉等，如图 2-21 所示。这些铆钉通常是利用自身形变连接被铆接件的（一般小于 8mm 的用冷铆，大于 8mm 的用热铆）。

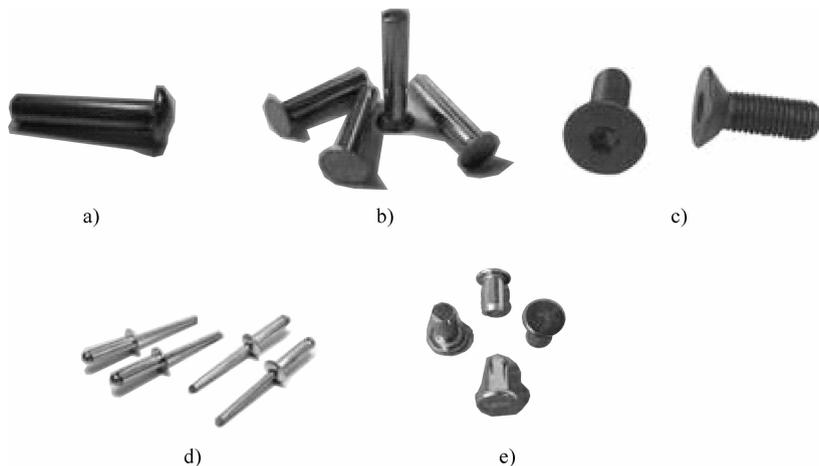


图 2-21 按结构分类

a) 半圆头铆钉 b) 平头铆钉 c) 沉头铆钉 d) 抽芯铆钉 e) 空心铆钉

另外，还有对插铆钉（见图 2-22），它比较特殊，分为两部分，较粗的一段带帽杆体中心有孔，与较细的另一段带帽杆体是过盈配合。铆接时，将细杆打入粗杆即可。

2) 按照受力形式，铆钉又可分为剪力铆钉、拉力铆钉和剪拉铆钉三类，如图 2-23 所示。

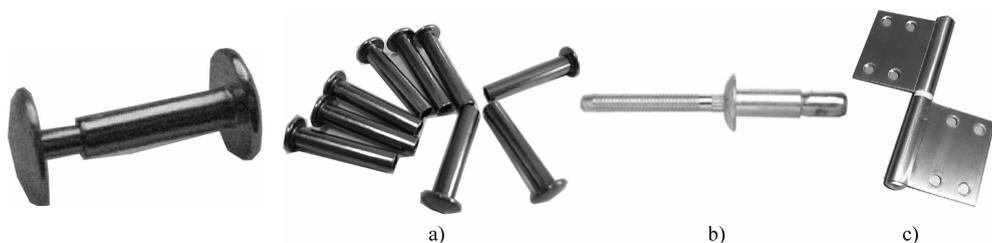


图 2-22 对插铆钉

图 2-23 按受力形式分类

a) 剪力铆钉 b) 拉力铆钉 c) 剪拉铆钉

## 2. 铆钉的应用

- 1) 半圆头铆钉主要用于较大横向载荷的铆接场合。
- 2) 平锥头铆钉如图 2-24 所示，由于钉头粗大，耐蚀性强，常用于船壳、锅炉水箱等腐蚀强烈的铆接场合。
- 3) 120°沉头铆钉主要用于表面平整且载荷不大的铆接场合。
- 4) 平头铆钉用于一般载荷的铆接场合。
- 5) 扁平头和扁圆头铆钉如图 2-25 所示，主要用于金属薄板或皮革、帆布、木料等非金属材料的铆接场合，大扁平头铆钉主要用于非金属材料的铆接场合。



图 2-24 平锥头铆钉



a)



b)

图 2-25 铆钉

a) 扁平头铆钉 b) 扁圆头铆钉

- 6) 半空心铆钉，即在铆钉的圆柱部分加工一沉孔，主要用于载荷不大的铆接场合。
- 7) 无头铆钉主要用于非金属材料的铆接场合。
- 8) 空心铆钉，即在半空心铆钉的基础上将沉孔一直加工到头部，其重量轻，钉头小，用于载荷不大的非金属材料的铆接场合。
- 9) 管状铆钉如图 2-26 所示，用于非金属材料的铆接场合。
- 10) 标牌铆钉如图 2-27 所示，主要用于铆接机器、设备等上面的铭牌。

11) 抽芯铆钉是一类单面铆接用的铆钉，但必须使用专用工具（拉铆枪）进行铆接。这类铆钉特别适用于不便采用普通铆钉（必须从两面进行铆接）的铆接场合，广泛应用于建筑、汽车、船舶、飞机、机器、家具等产品上。其中，以开口



图 2-26 管状铆钉

型扁圆头抽芯铆钉应用最广，沉头抽芯铆钉适用于表面平滑的铆接场合，封闭型抽芯铆钉适用于较高载荷和要求具有一定密封性能的铆接场合。

12) 如击芯铆钉是另一类单面铆接的铆钉，图 2-28 所示。铆接时，用锤子敲击铆钉头部露出钉芯，使之与钉头端面平齐，即完成铆接操作。特别适用于不便采用普通铆钉（必须从两面进行铆接）或抽芯铆钉（必须使用拉铆枪）的铆接场合。

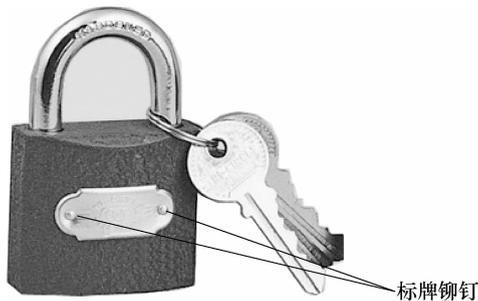


图 2-27 三环锁上的标牌铆钉



图 2-28 击芯铆钉

## 2.2 传动件

### 2.2.1 轴承

轴承是机械结构中用于确定旋转轴与其他零件相对运动位置、起支承或导向作用的零部件，如图 2-29 所示。

#### 1. 轴承的分类

按照轴承的摩擦性质可分为滑动轴承和滚动轴承两类。

(1) 滑动轴承 滑动轴承就是在滑动摩擦下工作的轴承，如图 2-30 所示。滑动轴承结构简单，径向尺寸小，易于制造，便于安装，且具有工作平稳、无噪声、耐冲击和承载能力强等优点。但润滑不良时，会使滑动轴承迅速失效，并且轴向尺寸较大。



图 2-29 轴承



图 2-30 滑动轴承

1) 按能承受载荷的方向可分为径向(向心)滑动轴承和推力(轴向)滑动轴承两类。向心轴承又分为整体式滑动轴承、剖分式滑动轴承和调心式滑动轴承,如图 2-31 所示。

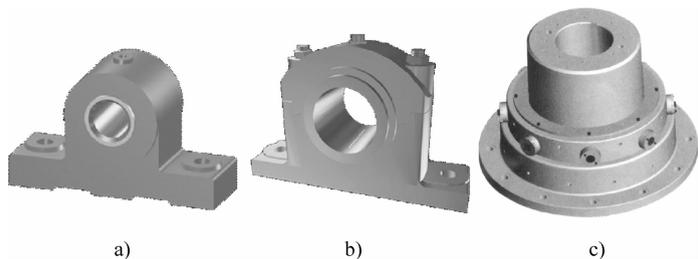


图 2-31 滑动轴承

a) 整体式滑动轴承 b) 剖分式滑动轴承 c) 调心滑动轴承(立式)

2) 按润滑剂种类可分为油润滑轴承、脂润滑轴承、水润滑轴承、气体轴承、固体润滑轴承、磁流体轴承和电磁轴承 7 类。

3) 按润滑膜厚度可分为薄膜润滑轴承和厚膜润滑轴承两类。

4) 按轴瓦材料可分为青铜轴承、铸铁轴承、塑料轴承、宝石轴承、粉末冶金轴承、自润滑轴承和含油轴承等。

5) 按轴瓦结构可分为圆轴承、椭圆轴承、阶梯面轴承、可倾瓦轴承和箔轴承等。

(2) 滚动轴承 滚动轴承就是在承受载荷和彼此相对运动的零件间有滚动体作滚动运动的轴承。滚动轴承使用维护方便,工作可靠。与滑动轴承比较,滚动轴承的径向尺寸较大,减振能力较差,高速运转工况下寿命低。

1) 轴承按其所能承受的载荷方向或公称接触角的不同分为:①向心轴承,主要用于承受径向载荷,其公称接触角为  $0 \sim 45^\circ$ ,如图 2-32 所示。按公称接触角不同,又分为径向接触轴承(公称接触角为  $0$  的向心轴承)和向心角接触轴承(公称接触角为大于  $0$  且不大于  $45^\circ$  的向心轴承)。②推力轴承,主要用于承受轴向载荷,其公称接触角为大于  $45^\circ$  且不大于  $90^\circ$ ,如图 2-33 所示。按公称接触角不同又分为轴向接触轴承(公称接触角为  $90^\circ$  的推力轴承)和推力角接触轴承(公称接触角大于  $45^\circ$  且小于  $90^\circ$  的推力轴承)。



图 2-32 向心滚动轴承



图 2-33 推力滚动轴承

2) 轴承按其滚动体的种类分为：①球轴承，滚动体为球，图 2-34 为深沟球轴承。②滚子轴承，滚动体为滚子，如图 2-35 所示。滚子轴承按滚子种类又分为：圆柱滚子轴承，滚动体是圆柱滚子的轴承，圆柱滚子的长度与直径之比小于或等于 3。滚针轴承，滚动体是滚针的轴承，滚针的长度与直径之比大于 3，但直径小于或等于 5mm；圆锥滚子轴承，滚动体是圆锥滚子的轴承；调心滚子轴承，滚动体是球面滚子的轴承。



图 2-34 深沟球轴承

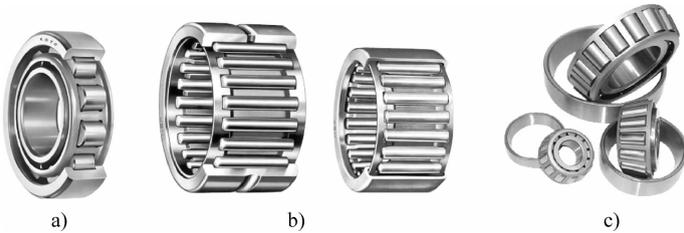


图 2-35 滚子轴承

a) 圆柱滚子轴承 b) 滚针轴承 c) 圆锥滚子轴承

3) 轴承按其工作时能否调心分为：①调心轴承，滚道是球面形的，能适应两滚道轴线间的角偏差及角运动的轴承，如图 2-36 所示。②非调心轴承（刚性轴承），能抵抗滚道间轴线线角偏移的轴承。



图 2-36 调心轴承

4) 轴承按滚动体的列数分为：①单列轴承，具有一列滚动体的轴承，如图 2-37a 所示。②双列轴承，具有两列滚动体的轴承，如图 2-37b 所示。③多列轴承，具有多于两列滚动体的轴承，如三列、四列轴承，如图 2-37c 所示。

5) 轴承按其部件能否分离分为：①可分离轴承，具有可分离部件的轴承，如图 2-38 所示。②不可分离轴承，轴承在最终配套后，套圈不能任意自由分离的轴承，例如深沟球轴承。

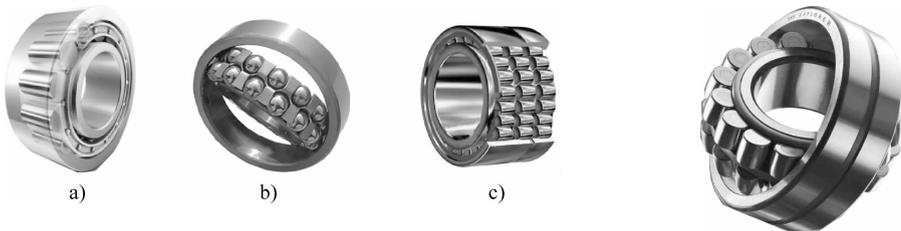


图 2-37 轴承按滚动体列数分类

a) 单列 b) 双列 c) 三列



图 2-38 可分离的圆柱滚子轴承

轴承按其结构形状（如有无装填槽，有无内、外圈，以及套圈的形状、挡边的结构，甚至有无保持架等）还可以分为多种结构类型。

## 2. 轴承的应用

(1) 深沟球轴承 可承受径向负荷与双向轴向载荷，适用于高速旋转及要求低噪声、低振动的场合。外圈带止动环或凸缘的轴承，既容易轴向定位，又便于外壳内的安装。最大载荷型轴承的尺寸与标准轴承相同，但内、外圈有一处装填槽，增加了装球数，提高了额定负荷，主要用于汽车的后轮、变速器、电气装置部件，以及通用电动机和家用电器。

(2) 角接触球轴承 套圈与球之间有接触角，标准的接触角为 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 和 $45^\circ$ ，接触角越大轴向载荷能力也越大，接触角越小则越有利于高速旋转。角接触球轴承适用于高速及高精度旋转，结构上是背面组合的两个单列角接触球轴承共用内圈与外圈，可承受径向载荷与双向轴向载荷。主要用于机床主轴、燃汽轮机、离心分离机、小型汽车前轮、差速器小齿轮轴、空气压缩机、各类变速器、燃料喷射泵、印刷机械。

(3) 四点接触球轴承 可承受径向载荷与双向轴向载荷，单个轴承可代替正面组合或背面组合的角接触球轴承。该类轴承承受任何方向的轴向载荷时都能形成其中的一个接触角，因此套圈与球总在任一接触线上的两点接触。主要用于飞机喷气式发动机、燃汽轮机。

(4) 调心球轴承 由于外圈滚道面呈球面，具有调心性能，可自动调整因为轴或外壳的挠曲及不同心引起的轴心不正。圆锥孔轴承通过使用紧固件可方便地安装在轴上。主要用于木工机械、纺织机械传动轴。

(5) 圆柱滚子轴承 圆柱滚子与滚道呈线接触，承受径向载荷能力大，适用于承受重载荷与冲击载荷。主要用于电动机、发电机、内燃机、燃汽轮机、机床主轴、减速装置、装卸搬运机械。

(6) 圆锥滚子轴承 该类轴承装有圆台形滚子，滚子由内圈大挡边引导。设计上使得内圈滚道面、外圈滚道面及滚子滚动面的各圆锥面的顶点相交于轴承中心线上的一点，单列轴承可承受径向载荷与单向轴向载荷，双列轴承可承受径向载荷与双向轴向载荷。按接触角的不同，分为小锥角、中锥角和大锥角三种类型，接触角越大承受轴向载荷能力也越大。外圈与内组件（内圈与滚子和保持架组件）可分离，便于装拆。适用于承受大载荷与冲击载荷的工作场合。主要用于汽车前轮、后轮，变速器，差速器小齿轮轴。

(7) 调心滚子轴承 可承受径向载荷与双向轴向载荷，特别是承受径向载荷能力大。主要用于造纸机械、减速装置、铁路车辆车轴、轧钢机齿轮箱座、轧钢机辊道子、破碎机、振动筛、印刷机械、木工机械。

(8) 推力球轴承 单向轴承可承受单向轴向载荷，双向轴承可承受双向轴向载荷（二者均不能承受径向载荷）。主要用于汽车转向销、机床主轴。

(9) 推力圆柱滚子轴承 圆柱滚子采用凸面加工, 因此滚子与滚道面之间的压力分布均匀, 可承受单向轴向载荷, 且承受轴向载荷能力大, 轴向刚性也强。主要用于石油钻机等。

(10) 推力滚针轴承 该类轴承占用空间小, 有利于机械的紧凑设计。主要用于汽车、耕耘机、机床等的变速装置。

## 2.2.2 齿轮

齿轮是轮缘上有齿、能连续啮合传递运动和动力的机械零件, 如图 2-39 所示。

### 1. 齿轮的分类

齿轮可按齿形、齿轮外形、齿线形状、轮齿所在的表面、制造方法及齿面硬度等分类。

1) 齿轮按齿形可分为渐开线齿轮、摆线齿轮、圆弧齿轮和压力角齿轮。渐开线齿轮(见图 2-40)比较容易制造, 因此在现代使用的齿轮中, 渐开线齿轮占绝大多数, 而摆线齿轮和圆弧齿轮应用较少。

小压力角齿轮的承载能力较小, 而大压力角齿轮, 在传递转矩相同的情况下轴承的负荷增大, 因此仅用于特殊情况。变位齿轮的优点较多, 已遍及各类机械设备中。利用变位齿轮传动的机构如图 2-41 所示。



图 2-39 齿轮



图 2-40 渐开线齿轮

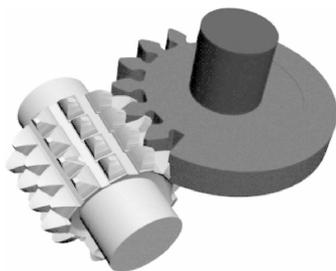


图 2-41 利用变位齿轮传动的机构

2) 齿轮还可按其外形分为圆柱齿轮、锥齿轮、非圆齿轮、齿条、蜗轮蜗杆, 如图 2-42 所示。

3) 按齿线形状分为直齿轮、斜齿轮(见图 2-43a)、人字齿轮(见图 2-43b)、曲线齿轮(见图 2-43c)。

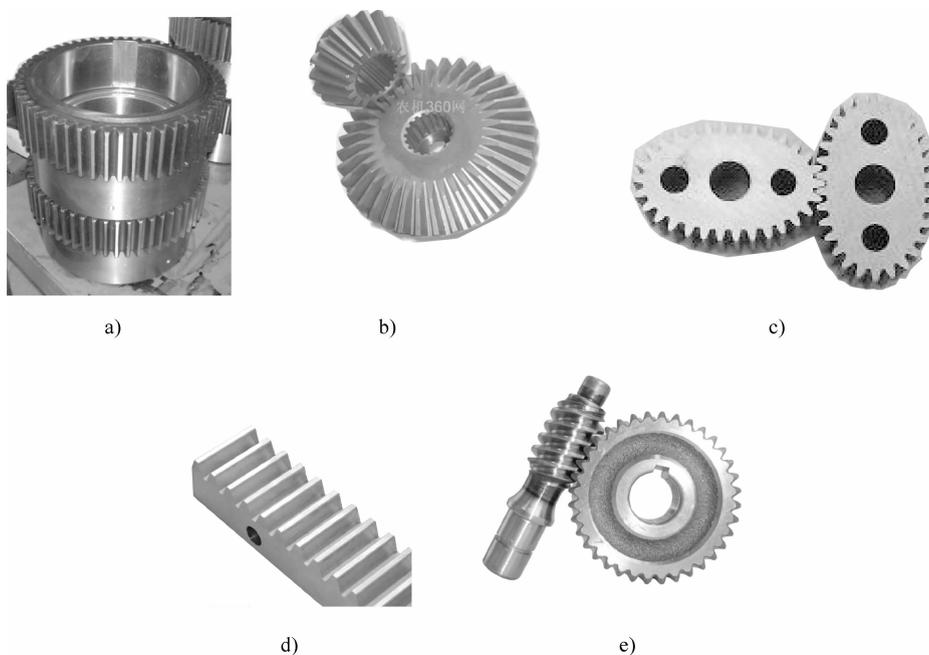


图 2-42 按外形分类

a) 圆柱齿轮 b) 锥齿轮 c) 非圆齿轮 d) 齿条 e) 蜗轮蜗杆

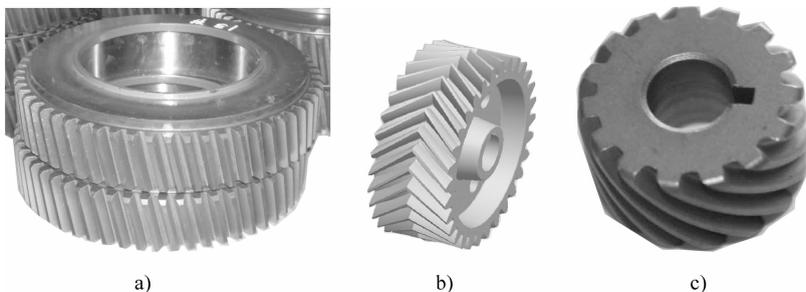


图 2-43 按齿线形状分类

a) 斜齿轮 b) 人字齿轮 c) 曲线齿轮

4) 按轮齿所在的表面分为外齿轮、内齿轮（见图 2-44）。

5) 按制造方法可分为铸造齿轮、切制齿轮、轧制齿轮、烧结齿轮等。

6) 按硬度不同，齿面可区分为软齿面和硬齿面两种。软齿面的齿轮承载能力较低，但制造比较容易，啮合性好，多用于传动尺寸和重量无严格限制的机械中。因为配对的齿轮中，小齿轮转动次数多于大齿轮，因此为使大小齿轮工作寿命大致相等，小齿轮齿面硬度一般要比大齿轮的高。硬齿面齿轮的承载能力高，它是在齿轮精加工之后，再进行表面淬火或渗碳淬火处理，以提高硬度。但在热处理中，齿

轮不可避免地会产生变形,因此在热处理之后还应进行磨削、研磨或精切,以消除因变形产生的误差,提高齿轮的精度。

## 2. 齿轮的应用

齿轮传动的优点是传动平稳,传动比精确,工作可靠,效率高,寿命长,使用时转动速度和安装尺寸范围大。缺点是制造需用专用设备及刀具,运转过程中无过载保护。

齿轮传动广泛应用于大型机床(见图2-45)、汽车、船舶、飞机、起重机械、矿山机械、轻工机械和仪表等领域。

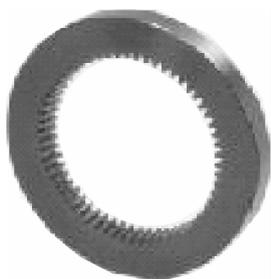


图 2-44 内齿轮

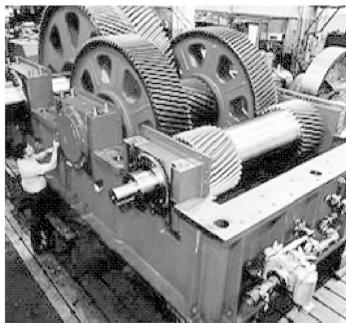


图 2-45 大型机床上的齿轮

### 2.2.3 传动带

传动带是将电动机或发动机旋转产生的动力,通过带轮由其传导到机械设备上,又称为动力带。它种类繁多,用途广泛。从大到几千千瓦的巨型电动机,小到不足1kW的微型电动机,甚至包括家电、计算机、机器人等精密机械都离不开传动带。传动带的最大特点是可以自由变速,远近传动,结构简单,更换方便。

#### 1. 传动带的分类

(1) V带 V带的截面形状如图2-46所示。V带分为普通V带和窄V带,普通V带的宽高比为1:(1.5~1.6),而窄V带的宽高比为1:1.2。

(2) 平带 平带的形状如图2-47所示。

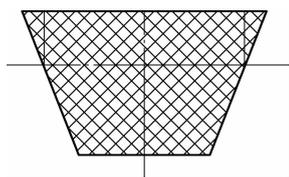


图 2-46 V带截面

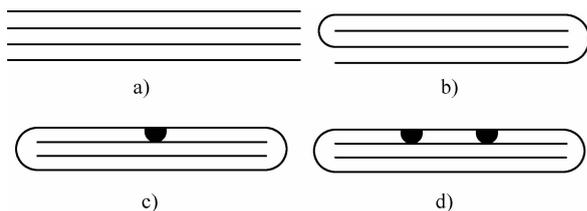


图 2-47 平带

a) 切边式 b) 包边式(边部封口)  
c) 包边式(中部封口) d) 包边式(双封口)

## 2. 传动带的应用

1) V带是传动带中产量最大、品种最多、用途最广的一种产品。应用最多的是普通V带，已成为各种机械装置动力传动和变速的主要器材，在当今农机、机床、汽车、船舶、办公设备等领域，发挥着日益重要的作用。窄V带的结构尺寸比普通V带可以减少约50%，能节省大量原材料，同时受力均匀，有效接触面积大，弯曲应力小，可大大延长使用寿命。窄V带的传动效率可达90%~97%，极限速度达40~50m/s，传动能力提高0.5~1.5倍，最适于短距离、小带轮的变速传动，故又称为变速带。其特点是在带的上、下表面，大多制成单面或双面的弧形或齿形状态，使之易于调速，主要用在低速的圆锥式和圆盘式无级变速器方面。

2) 平带是传动带最老的一个品种，已有100余年的历史。它以结构简单、传动方便、不受距离限制、容易调节更换等特点，在各种工农业机械中得到普遍采用。平带宽度一般为16~600mm，长度最大可达200m。但平带的传动效率较低（一般为85%左右），占据面积较大，限制了其使用范围。

## 2.3 弹簧

弹簧是用弹性材料制成的在外力作用下发生形变，除去外力后又能够回复原状的零件。常用弹簧种类如图2-48。



图 2-48 常用弹簧种类

### 1. 弹簧的分类

1) 按承受载荷的不同 分为拉伸弹簧、压缩弹簧、扭转弹簧和弯曲弹簧等，如图2-49所示。

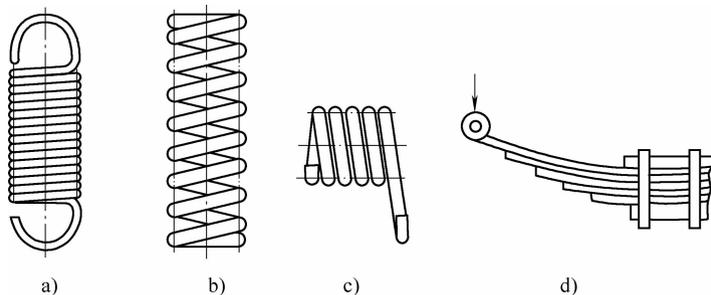


图 2-49 按承受载荷分类

a) 拉伸弹簧 b) 压缩弹簧 c) 扭转弹簧 d) 弯曲弹簧

2) 按弹簧形状的不同分为螺旋弹簧、环形弹簧、蝶形弹簧、盘簧、板簧等,如图 2-50 所示。

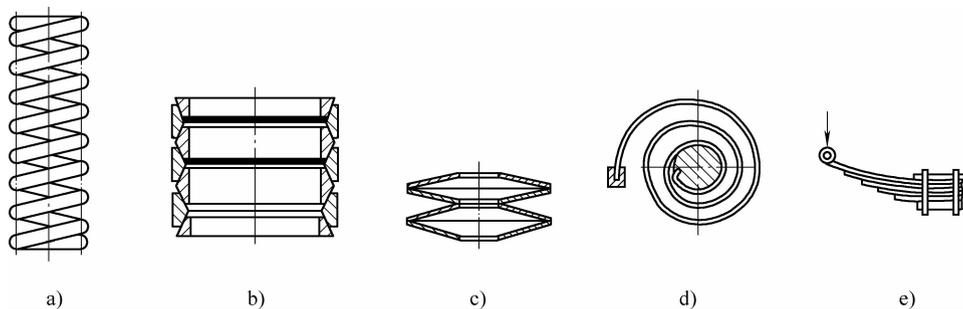


图 2-50 按形状分类

a) 螺旋弹簧 b) 环形弹簧 c) 蝶形弹簧 d) 盘簧 e) 板簧

3) 按制作弹簧材料的不同分为金属弹簧、橡胶弹簧、空气弹簧和塑料弹簧等。

## 2. 弹簧的应用

1) 控制机构的运动或零件的位置,例如离合器、制动装置、凸轮机构、阀门及调速器中的弹簧。图 2-51 所示为制动装置的回位弹簧。

2) 缓冲及吸振,例如汽车、火车车厢下的减振弹簧(见图 2-52),各种缓冲器中的弹簧。

3) 储存能量作为动力源,例如机械钟表、仪器、玩具等使用的发条(见图 2-53)等。

4) 测量力和力矩,例如弹簧秤、测力计(见图 2-54)中的弹簧等。

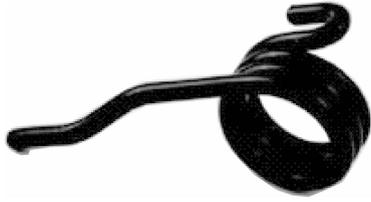


图 2-51 制动装置的回位弹簧

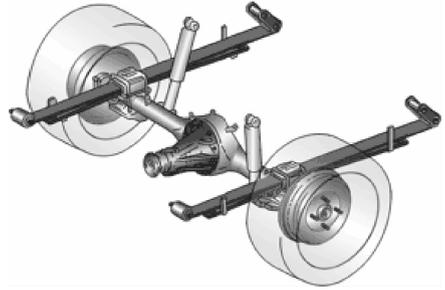


图 2-52 汽车减振板弹簧



图 2-53 发条

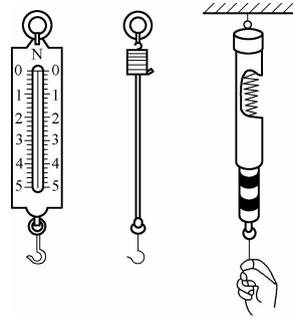


图 2-54 弹簧测力计

# 第 3 章 控制机械零件精度

## 3.1 公差

### 3.1.1 尺寸公差

由于设备精度、加工方法及其他因素的原因，机械工人无论如何努力，也无法做到加工出的产品尺寸与图样中的完全一致，所以符合加工标准的尺寸应有合理的变动范围，也就是加工时所允许的最大误差量，称之为公差。

(1) 极限尺寸 与规定尺寸相比，将加工后尺寸中允许的最大尺寸叫做上极限尺寸，最小尺寸叫做下极限尺寸。

(2) 极限偏差 上极限尺寸减去公称尺寸（图样上规定的尺寸）叫做上极限偏差，下极限尺寸减去公称尺寸叫做下极限偏差，上、下极限偏差用“+”或“-”表示。

如图 3-1 所示，公称尺寸的右侧是用尺寸极限偏差表示的公差，当尺寸上极限偏差与下极限偏差相等时，可以写成一个用“±”表示的数值。

如图 3-1a 所示，当公称尺寸是  $\phi 30\text{mm}$  时，公差就是  $0.4\text{mm}$ （变化范围是  $-0.2 \sim +0.2\text{mm}$ ），上极限尺寸是  $30.2\text{mm}$ ，下极限尺寸是  $29.8\text{mm}$ 。这个数值的含义是：无论加工多少个零件，所有零件的  $\phi 30\text{mm}$  尺寸都应保证在  $29.8 \sim 30.2\text{mm}$  之间。当孔的公称尺寸是  $\phi 10\text{mm}$  时，公差就是  $0.1\text{mm}$ （变化范围是  $+0.1 \sim +0.2\text{mm}$ ），上极限尺寸是  $10.2\text{mm}$ ，下极限尺寸是  $10.1\text{mm}$ 。这个数值的含义是：无论加工多少个零件，所有零件的  $\phi 10\text{mm}$  尺寸都应保证在  $10.1 \sim 10.2\text{mm}$  之间。

如图 3-1b 所示，当轴的公称尺寸是  $\phi 10\text{mm}$  时，公差就是  $0.1\text{mm}$ （变化范围是  $-0.1 \sim 0\text{mm}$ ），上极限尺寸是  $10.0\text{mm}$ ，下极限尺寸是  $9.9\text{mm}$ 。这个数值的含义是：无论加工多少个零件，所有零件的  $\phi 10\text{mm}$  尺寸都应保证在  $9.9 \sim 10.0\text{mm}$  之间。

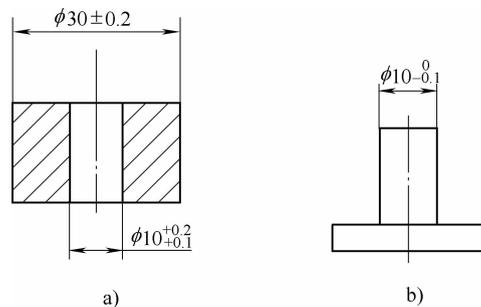


图 3-1 极限偏差  
a) 孔 b) 轴

当两个零件组装在一起时，如果每个零件尺寸都在公差范围内，那么  $\phi 10\text{mm}$  的轴就一定能装进  $\phi 10\text{mm}$  的孔里去。无论生产多少个零件，每个都能保证顺利安装，这叫做互换性。零件具有互换性有利于生产部门之间开展广泛的组织协作，有利于采用先进的设备和工艺进行高效率、大批量的专业化生产。这不仅可以缩短生产周期，降低成本，保证质量，还可以为产品提供备件，便于维修。世界上许多国家都将汽车的部分零件设计的与坦克、装甲车相同，也是为了发生战争时可将汽车的零件用来组装、维修坦克或装甲车。

产品设计时没有将孔的尺寸写成  $10.1^{+0.1}_0\text{mm}$ ，是为了制造及装配时容易看懂图样。一般情况下，都是选择孔的公称尺寸和轴的公称尺寸相等。

### 3.1.2 一般公差

按 GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》的规定，图样中所有没有标注公差尺寸，一律按照一般公差进行加工。

#### 1. 一般公差的定义

一般公差是指在车间通常加工条件可保证的公差。在正常维护和操作情况下，它代表经济加工精度。采用一般公差的尺寸，通常不注出极限偏差，所以一般公差又称未注公差，在正常车间精度保证的条件下，一般可不检验该尺寸。

#### 2. 一般公差的作用

一般公差可简化制图，使图样清晰易读，并突出了标有公差要求的部位，以便在加工和检验时引起重视，还可简化零件上某些部位的检验。

#### 3. 一般公差的应用

一般公差主要用于较低精度的非配合尺寸和由工艺方法来保证的尺寸，如铸件和冲压件尺寸用模具保证。

#### 4. 线性尺寸的一般公差标准

(1) 公差等级 线性尺寸的一般公差分为四级，即 f（精密级）、m（中等级）、c（粗糙级）、v（最粗级）。

(2) 极限偏差数值 线性尺寸一般公差的极限偏差数值如表 3-1 所示，倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值如表 3-2 所示。

表 3-1 线性尺寸一般公差的极限偏差数值 (单位: mm)

公差等级	尺寸分段							
	0.5 ~ 3	>3 ~6	>6 ~30	>30 ~120	>120 ~400	>400 ~1000	>1000 ~2000	>2000 ~4000
f(精密级)	$\pm 0.05$	$\pm 0.05$	$\pm 0.1$	$\pm 0.15$	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	$\pm 0.5$	—
m(中等级)	$\pm 0.1$	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	$\pm 0.5$	$\pm 0.8$	$\pm 1.2$	$\pm 2$
c(粗糙级)	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	$\pm 0.5$	$\pm 0.8$	$\pm 1.2$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$
v(最粗级)	—	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$

表 3-2 倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值 (单位: mm)

公差等级	尺寸分段			
	0.5 ~ 3	>3 ~ 6	>6 ~ 30	>30
f(精密级)	±0.2	±0.5	±1	±2
m(中等级)				
c(粗糙级)	±0.4	±1	±2	±4
v(最粗级)				

### 3.1.3 几何公差

#### 1. 几何公差的定义

在零件加工过程中, 由于设备精度、加工方法等多种因素, 使零件表面、轴线、中心对称平面等的实际形状、方向和位置相对于所要求的理想形状、方向和位置, 存在着不可避免的误差, 这种误差叫做几何公差 (原名形状及位置公差)。

#### 2. 几何公差项目的符号 (表 3-3)

表 3-3 几何公差项目的符号

公差类型	几何特征	符 号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度		无
	圆度	○	无
	圆柱度		无
	线轮廓度		无
	面轮廓度		无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	有
	倾斜度		有
	线轮廓度		有
	面轮廓度		有

(续)

公差类型	几何特征	符号	有无基准
位置公差	位置度		有或无
	同心度(用于中心点)		有
	同轴度(用于轴线)		有
	对称度		有
	线轮廓度		有
	面轮廓度		有
跳动公差	圆跳动		有
	全跳动		有

### 3. 几何公差的代号

几何公差的代号如图 3-2 所示, 包括:

- 1) 几何公差特征项目的符号。
- 2) 几何公差框格和指引线。
- 3) 几何公差值和有关符号。
- 4) 基准字母(形状公差无该项内容)。

#### 4. 几何公差的基准符号

对有方向、位置、跳动公差要求的零件, 在图样上必须标明基准, 基准符号如图 3-3 所示。

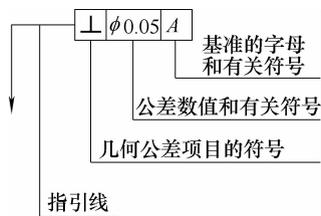


图 3-2 几何公差的代号



图 3-3 几何公差的基准符号  
a) 三角形涂黑 b) 三角形不涂黑

## 3.2 配合

把轴装入孔时, 根据使用目的不同, 孔与轴之间需要有合适的尺寸差, 这个尺

寸差有时可以是正值，有时可以是负值，有时是零。这种孔与轴的相互关系称为配合。

### 3.2.1 间隙配合

间隙配合是指具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。它的特点如下：

- 1) 孔的公差带在轴的公差带之上，如图 3-4 所示。
- 2) 孔和轴配合时存在间隙，允许孔轴有相对的运动。

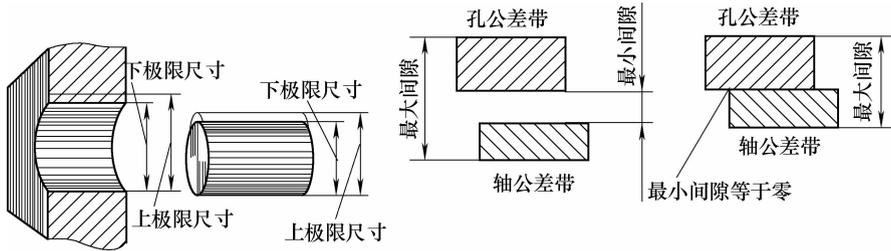


图 3-4 间隙配合

当孔为上极限尺寸而与其相配的轴为下极限尺寸时，配合处于最松状态，此时的间隙称为最大间隙。当孔为下极限尺寸而与其相配的轴为上极限尺寸时，配合处于最紧状态，此时的间隙称为最小间隙。

### 3.2.2 过盈配合

过盈配合是指具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合。它的特点如下：

- 1) 孔的公差带在轴的公差带之下，如图 3-5 所示。
- 2) 孔和轴配合时存在过盈，不允许孔和轴有相对的运动。

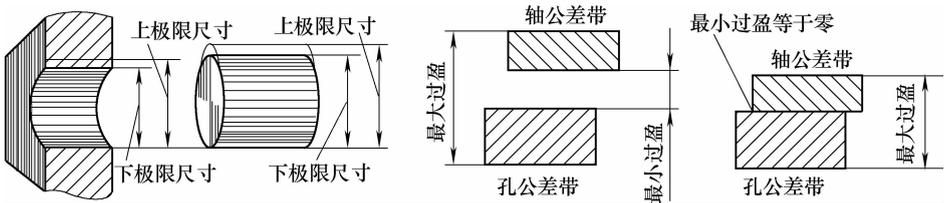


图 3-5 过盈配合

当孔为下极限尺寸而与其相配的轴为上极限尺寸时，配合处于最紧状态，此时的过盈称为最大过盈。当孔为上极限尺寸而与其相配的轴为下极限尺寸时，配合处于最松状态，此时的过盈称为最小过盈。

### 3.2.3 过渡配合

过渡配合是指可能具有间隙或过盈的配合，它的特点如下：

- 1) 孔的公差带与轴的公差带相互交叠, 如图 3-6 所示。
- 2) 孔和轴配合时, 可能存在间隙, 也可能存在过盈。

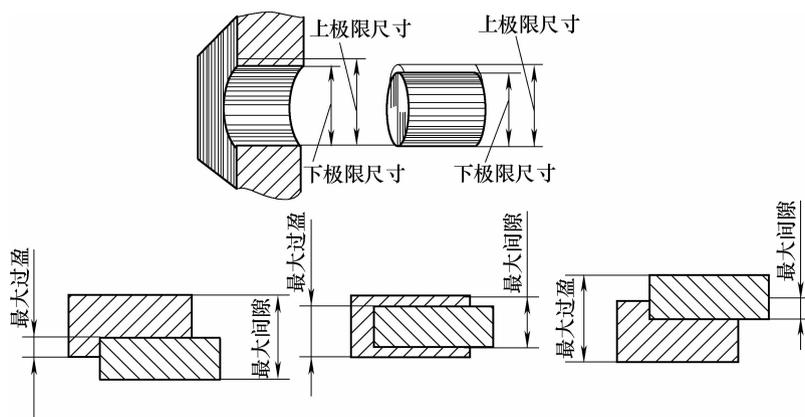


图 3-6 过渡配合

当孔为上极限尺寸而与其相配的轴为下极限尺寸时, 配合处于最松状态, 此时的间隙称为最大间隙。当孔为下极限尺寸而与其相配的轴为上极限尺寸时, 配合处于最紧状态, 此时的过盈称为最大过盈。

### 3.3 基孔制与基轴制

在进行孔与轴的配合加工时, 要以孔或轴的其中一方为基准, 而让另一方与其配合。把孔作为基准称为基孔制, 把轴作为基准称为基轴制。由于采用基孔制所需的量规等工具的准备费用相对较低, 所以一般情况下都采用基孔制。

#### 3.3.1 基孔制

基孔制是先确定一个有一定公差的基准孔, 然后再通过相应的轴径大小来确定产生间隙配合或过盈配合, 如图 3-7 所示。因此, 将难加工的孔作为基准, 让相对容易加工的轴与其相配合, 这样就能让加工变得相对容易, 这也是基孔制的优点。

基孔制中选作基准的孔称为基准孔, 代号为“H”, 基准孔以下极限偏差作为基本偏差, 数值为零, 上极限偏差为正值, 因而其公差带位于零线上方。基准孔的下极限尺寸等于公称尺寸。

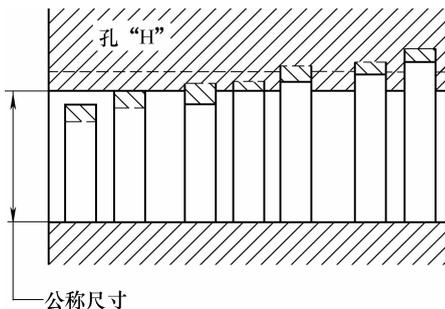


图 3-7 基孔制配合

### 3.3.2 基轴制

基轴制与基孔制正好相反，先确定基准轴，然后再规定孔径的配合种类，如图3-8所示。像传动轴那样一根轴上连续有数种配合时，要采用基轴制。

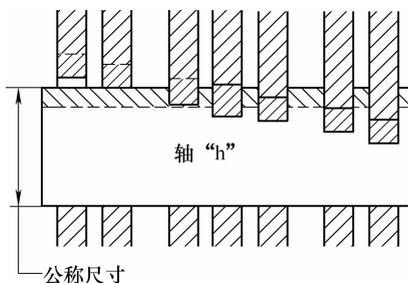


图 3-8 基轴制配合

基轴制中选作基准的轴称为基准轴，代号为“h”。基准轴以上极限偏差作为基本偏差，数值为零，下极限偏差为负值，因而其公差带位于零线下方。基准轴的上极限尺寸等于公称尺寸。

## 3.4 表面粗糙度

### 3.4.1 概述

不同的加工方法得到的加工表面的平整度不同，如图3-9所示。

无论是什么加工方法获得的零件表面，总会存在着由较小间距和峰谷组成的微量高低不平的痕迹，表述这些峰谷的高低程度和间距状况的微几何形状特性，称为表面粗糙度。它可以反映零件被加工后表面上的微观几何形状误差。

表面粗糙度与零件使用性能的关系如下：

#### 1. 对配合性质的影响

对于有配合要求的零件表面，配合性质都会受到表面粗糙度的影响，如间隙配合时，表面粗糙度值过大则易磨损，使间隙很快地增大，从而引起配合性质的改变，特别是在零件尺寸小和公差小的情况下，此影响更为明显。又如过盈配合时，表面粗糙度值过大会减小实际有效过盈量，从而降低连接强度。因此，提高零件的表面质量，可以提高间隙配合的稳定性或过盈配合的连接强度，从而更好地满足零件的使用要求。

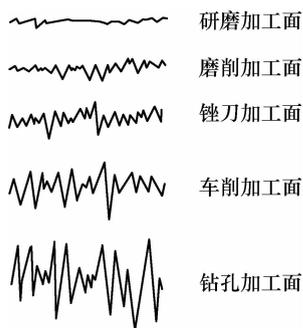


图 3-9 不同加工方法得到的加工表面

## 2. 对摩擦、磨损的影响

两个不平的表面接触时首先是表面的凸峰接触，这样两配合表面的实际有效接触面积减少，接触部分压力增大，凸峰被挤压变形甚至折断，若为间隙配合，凸峰之间的作用会形成摩擦阻力，使零件磨损。通常表面越粗糙，摩擦因数就越大，摩擦阻力越大，摩擦所消耗的能量也越大，零件磨损也就越快。

但是，在某些场合（如滑动轴承及液压导轨面的配合处），若表面过于光滑，则不利于润滑油的储存，形成半干摩擦甚至干摩擦，有时还会增加零件接触面的吸附力，反而使摩擦因数增大，加剧磨损。因此选择合适的表面粗糙度，才能有效地减小零件的摩擦和磨损。

## 3. 对耐蚀性的影响

若零件的表面越粗糙，腐蚀性的物质则越容易在凹谷处积聚，并逐渐渗透到金属材料的表层，形成表面锈蚀。因此，降低零件表面粗糙度值可提高其耐蚀性。

## 4. 对零件疲劳强度的影响

零件承受交变载荷的作用时，在表面上凹痕容易形成应力集中现象，零件的负荷加重，其疲劳强度会降低，并有可能因应力集中产生疲劳断裂。因此，在加工中要特别注意提高零件沟槽和台阶圆角处的表面质量，以增加零件的疲劳强度。

## 5. 对接触刚度的影响

零件表面越粗糙，表面间的实际接触面积就越小，单位面积受力就越大，峰顶处的塑性变形增大，接触刚度降低，从而影响机器的工作精度和抗振性能。

## 6. 对结合密封性的影响

表面凹凸不平会导致气体或液体通过表面接触的空隙渗漏。表面越粗糙，结合面的密封性就越差。因而降低表面粗糙度值，可提高零件的密封性能。

综上所述，表面粗糙度直接影响机械零件的使用性能和寿命，因此，应对零件的表面粗糙度数值进行合理的选择确定。

### 3.4.2 表面粗糙度的形状特征及加工方法

表面粗糙度的形状特征及加工方法如表 3-4 所示。

表 3-4 表面粗糙度的形状特征及加工方法

表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	表面形状特征	加工方法
50	明显可见刀痕	粗车、镗、钻、刨
25	微见刀痕	粗车、刨、立铣、平铣、钻
12.5	可见加工痕迹	车、镗、刨、钻、平铣、立铣、锉、粗铰、磨、铣齿
6.3	微见加工痕迹	车、镗、刨、铣、刮 $1\sim 2$ 点/ $\text{cm}^2$ 、拉、磨、锉、液压、铣齿
3.2	看不见的加工痕迹	车、镗、刨、铣、铰、拉、磨、滚压、刮 $1\sim 2$ 点/ $\text{cm}^2$ 、铣齿

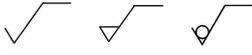
(续)

表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	表面形状特征	加工方法
1.6	可辨加工痕迹的方向	车、镗、拉、磨、立、铣、铰、刮3~10点/cm <sup>2</sup> 、滚压
0.8	微辨加工痕迹的方向	铰、磨、刮3~10点/cm <sup>2</sup> 、镗、拉、滚压
0.4	不可辨加工痕迹的方向	布轮磨、磨、研磨、超级加工
0.2	暗光泽面	超级加工
0.1	亮光泽面	超级加工
0.05	镜状光泽面	
0.025	雾状镜面	
0.012	镜面	

### 3.4.3 表面粗糙度的符号及意义

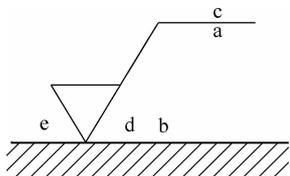
1) 表面粗糙度的图形符号及意义如表3-5所示。

表3-5 表面粗糙度的图形符号及意义

符 号	意义及说明
	基本符号,表示指定表面可用任何工艺获得。当不加注表面粗糙度参数值或有关说明(如表面热处理、局部热处理状况)时,仅适用于简化代号标注,没有补充说明时不能单独使用
	去除材料的扩展符号,基本符号加一短横,表示指定表面是用去除材料的方法获得,如车、铣、钻、磨、剪切、抛光、腐蚀、电火花加工、气割等
	不去除材料的扩展符号,基本符号加一圆圈,表示指定表面是用不去除材料的方法获得,如铸、锻、冲压变形、热轧、冷轧、粉末冶金等;或者是用于保持原供应状况的表面(包括保持上道工序的状况)
	完整符号,当要求标注表面结构的补充信息时,应在上述3个图形符号的长边上加一横线
	工件轮廓各表面的图形符号,当在图样某个视图上构成封闭轮廓的各表面有相同的表面结构要求时,应在完整图形符号上加一圆圈,标注在图样中工件的封闭轮廓线上。如果标注会引起歧义时,各表面应分别标注

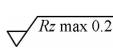
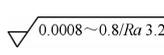
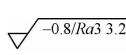
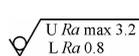
2) 表面结构完整图形符号的组成如表3-6所示。

表 3-6 表面结构完整图形符号的组成

	a	注写表面结构的单一要求。标注表面结构参数代号、极限值和传输带或取样长度。为了避免误差,在参数代号和极限值间应插入空格。传输带或取样长度后应有一斜线“/”,之后是表面结构参数代号,最后是数值
	b	当需注写两个或多个表面结构要求时,在位置 a 注写第一个表面结构要求,在位置 b 注写第二个表面结构要求。如果要注写第三个或更多个表面结构要求,图形符号应在垂直方向扩大,以空出足够的空间。扩大图形符号时,a 和 b 的位置随之上移
	c	注写加工方法。注写加工方法、表面处理、涂层或其他加工工艺要求等,如车、磨、镀等表面加工方法
	d	注写表面纹理和方向,如“=”、“X”、“M”等
	e	注写加工余量。注写所要求的加工余量,以毫米为单位给出数值

3) 表面结构代号标注示例如表 3-7 所示。

表 3-7 表面结构代号标注示例

符 号	含 义 解 释
	表示不允许去除材料,单向上限值,默认传输带,R 轮廓,表面粗糙度的最大高度 0.4 $\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认)，“16% 规则”(默认)
	表示去除材料,单向上限值,默认传输带,R 轮廓,表面粗糙度的最大高度的最大值 0.2 $\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认)，“最大规则”
	表示去除材料,单向上限值,传输带 0.008 ~ 0.8mm, R 轮廓,算术平均偏差 3.2 $\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认)，“16% 规则”(默认)
	表示去除材料,单向上限值,传输带:取样长度 0.8 $\mu\text{m}$ ( $\lambda_s$ 默认 0.0025mm), R 轮廓,算术平均偏差 3.2 $\mu\text{m}$ ,评定长度包括 3 个取样长度,“16% 规则”(默认)
	表示不允许去除材料,双向极限值,两极限值均使用默认传输带,R 轮廓。上限值:算术平均值差 3.2 $\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认)，“最大规则”;下限值:算术平均偏差 0.8 $\mu\text{m}$ ,评定长度为 5 个取样长度(默认)，“16% 规则”(默认)

4) 新旧标准表面结构图形标注对照如表 3-8 所示。

表 3-8 新旧标准表面结构图形标注对照

序号	GB/T 131 的版本			
	1983(第 1 版) <sup>①</sup>	1993(第 2 版) <sup>②</sup>	2006(第 3 版) <sup>③</sup>	说明主要问题的示例
1				 $Ra$ 只采用“16% 规则”



(续)

加工方法		表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$																
		0.012	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	100			
压力铸造																		
热轧																		
模锻																		
冷轧																		
挤压																		
冷挤																		
刮削																		
刨削	粗																	
	精																	
插削																		
钻孔																		
扩孔	粗																	
	精																	
金刚镗孔																		
镗孔	粗																	
	半精																	
	精																	
铰孔	粗																	
	半精																	
	精																	
拉削	半精																	
	精																	
滚铣	粗																	
	半精																	
	精																	
端面铣	粗																	
	半精																	
	精																	
金刚车																		
车外圆	粗																	
	半精																	
	精																	

(续)

加工方法		表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$													
		0.012	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	100
车端面	粗														
	半精														
	精														
磨外圆	粗														
	半精														
	精														
磨平面	粗														
	半精														
	精														
珩磨	平面														
	圆柱														
研磨	粗														
	半精														
	精														
抛光	一般														
	精														
滚压抛光															
超精加工															
化学磨															
电解磨															
电火花加工															

### 3.4.5 表面光洁度与表面粗糙度数值换算

表面光洁度与表面粗糙度数值换算如表 3-10 所示。

表 3-10 表面光洁度与表面粗糙度数值换算 (单位:  $\mu\text{m}$ )

表面光洁度		$\nabla 1$	$\nabla 2$	$\nabla 3$	$\nabla 4$	$\nabla 5$	$\nabla 6$	$\nabla 7$	$\nabla 8$	$\nabla 9$	$\nabla 10$	$\nabla 11$	$\nabla 12$	$\nabla 13$	$\nabla 14$
表面粗糙度	$Ra$	50	25	12.5	6.3	3.2	1.60	0.80	0.40	0.20	0.100	0.050	0.025	0.012	—
	$Rz$	200	100	50	25	12.5	6.3	6.3	3.2	1.60	0.80	0.40	0.20	0.100	0.050

# 第 4 章 熟知机械工程材料知识

## 4.1 金属材料的分类及用途

### 4.1.1 工业分类

工业分类的依据及类别如表 4-1 所示。

表 4-1 工业分类的依据及类别

分类依据	类 别	分类依据	类 别
是否有铁	钢铁材料、非铁金属材料	市场价值	贵金属、贱金属
颜色	黑色金属、有色金属		
密度	重金属、轻金属	储量	稀有金属、富有金属

钢铁材料也叫做黑色金属材料，属于贱金属，包括生铁、铁合金、铸铁、铸钢、结构钢、工具钢、不锈钢、耐热钢等。非铁金属材料也叫做有色金属材料，包括铝、镁、铜、锌、钛、镍、稀土金属、稀有金属、贵金属、半金属等，以及它们的合金。一般工业生产中金属材料的分类如表 4-2 所示。

表 4-2 工业生产中金属材料的分类

类别	金 属 名 称
黑色金属	铁、铬、锰
轻非铁金属	密度小于 $4.5 \text{ g/cm}^3$ 的非铁金属，包括铝、镁、钾、钠、钙、锶、钡等
重非铁金属	密度大于 $4.5 \text{ g/cm}^3$ 的非铁金属，包括铜、铅、锌、镍、钴、锡、镉、铋、锑、汞等
贵金属	在地壳中含量少，开采和提取都比较困难，对氧和其他试剂稳定，价格比一般金属贵的非铁金属。包括金、银、铂、钯、铑、铱、钌、铱等
稀有金属	在地壳中分布不广，开采冶炼较难，工业应用较晚，包括钨、钼、钒、钛、铌、钽、锆、镓、铟、锗、锂、铍、铷、铯、铊、铀、钍等
半金属	物理化学性质介于金属和非金属之间的物质，包括硅、硒、碲、砷、硼等

### 4.1.2 钢铁材料

#### 1. 生铁

生铁是碳的质量分数大于 2% 的铁碳合金，工业生铁中碳的质量分数一般为

2.5%~4%，并含硅、锰、硫、磷等元素，是用铁矿石经高炉冶炼的产品。生铁按用途不同分为炼钢生铁和铸造生铁。

1) 炼钢生铁是炼钢的主要原料，在生铁产量中占80%~90%，硬而脆，断口呈白色，也叫白口铁。一般硅含量较低，硫含量较高。

2) 铸造生铁是指用于铸造各种铸件的生铁，俗称翻砂铁，在生铁产量中占10%左右，是炼钢厂的主要商品铁，断口呈灰色，所以也叫灰口铁。一般硅含量较高，硫含量稍低。

## 2. 铸铁

铸铁与生铁的区别是进行了二次加工。即铸铁是将铸造生铁在炉中重新熔化，并加入铁合金、废钢进行成分调整而得到的。铸铁中碳的质量分数大于2.11%。铸铁具有许多优良的性能且生产简便、成本低廉，是应用最广泛的材料之一。

(1) 按断口颜色分类 铸铁按断口颜色不同分为灰口铸铁（见图4-1a）、白口铸铁（见图4-1b）和麻口铸铁（见图4-1c）。

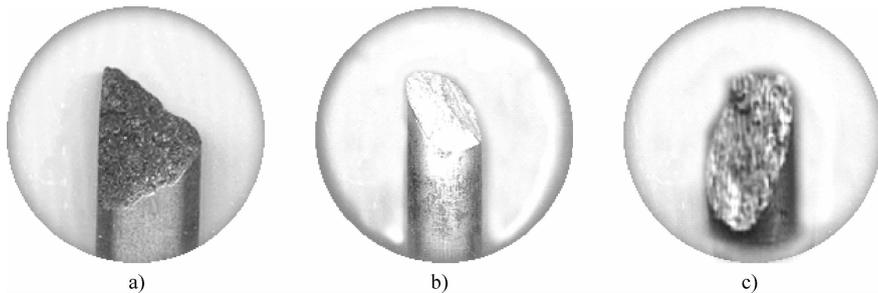


图4-1 铸铁断口

a) 灰口铸铁 b) 白口铸铁 c) 麻口铸铁

1) 灰口铸铁的碳以自由状态的石墨形式存在，断口呈暗灰色，包括灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁等。大多数灰口铸铁的力学性能指标远低于钢，但抗压强度与钢相当，具有良好的铸造性、减振性、耐磨性、可加工性等性能。

2) 白口铸铁是不含石墨的铸铁，几乎全部的碳都与铁形成碳化三铁。具有很大的硬度和脆性，不能承受冷加工，也不能承受热加工。它是一种良好抗磨材料，可在高磨损条件下工作。白口铸铁包括普通白口铸铁、低合金白口铸铁、中合金白口铸铁和高合金白口铸铁。白口铸铁一般用于制造犁铧、磨片、导板等。

3) 麻口铸铁是介于白口铸铁和灰铸铁之间的一种铸铁，其断口呈灰白相间的麻点状。由于麻口铸铁性能不好，故应用较少。

(2) 按生产方法和组织性能分类 铸铁按生产方法和组织性能不同可分为灰铸铁、孕育铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和特殊性能铸铁。

1) 灰铸铁具有一定的强度、硬度、良好的减振性和耐磨性，具有高导热性，好的抗热疲劳能力，同时还具有良好的铸造工艺性能，以及优异的可加工性。灰铸

铁生产简便，成本低，在工业和民用生活中得到了广泛的应用。

2) 孕育铸铁是在灰铸铁的基础上，采用孕育处理（即在铁液中加入少量的孕育剂）得到的一种高性能铸铁。这种铸铁的强度、塑性和韧性均比灰铸铁要好得多，主要用来制造力学性能要求较高且截面尺寸变化较大的大型铸件。

3) 可锻铸铁也叫马铁，虽然名曰“可锻”，但这种铸铁却不可锻造，一般是由白口铸铁经退火而成，只是比灰铸铁具有更高的韧性，用于制造形状复杂且承受振动载荷的薄壁小型件，如汽车与拖拉机的前后轮壳、低压阀门、管接头等。

4) 球墨铸铁与钢相比，除塑性、韧性稍低外，其他性能均接近，是兼有钢和铸铁优点的优良材料。

5) 特殊性能铸铁是一些具有某些特性的铸铁，根据用途的不同，可分为耐磨铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁等。

(3) 按碳在铸铁中存在的状态分类 按碳在铸铁中存在的状态的不同，可将铸铁分为白口铸铁、灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁。

1) 白口铸铁中的碳不以石墨形式存在，断口呈亮白色，硬而脆。

2) 碳以石墨形式存在的有灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁。①灰铸铁中石墨以片状形式存在，如图 4-2a 所示；②可锻铸铁中石墨以团絮状形式存在，如图 4-2b 所示；③球墨铸铁中石墨以圆球状形式存在，如图 4-2c 所示；④蠕墨铸铁中石墨以蠕虫状形式存在，如图 4-2d 所示。

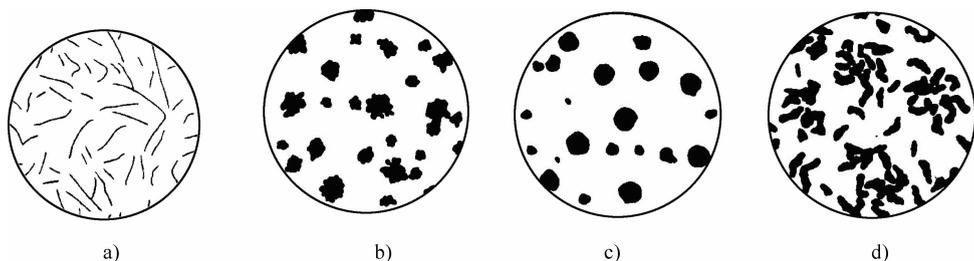


图 4-2 铸铁中的石墨形式

a) 片状 b) 团絮状 c) 圆球状 d) 蠕虫状

### 3. 钢

钢是碳的质量分数为 0.04% ~ 2.11% 的铁碳合金。钢的分类方法很多，一般可按品质、用途、化学成分、制造加工形式和冶炼方法分类。

(1) 按品质分类 钢按品质不同可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。

1) 普通钢中含有杂质较多，其中磷和硫（有害元素）的质量分数最高均可达 0.07%，主要用于制作建筑结构和要求不太高的机械零件。

2) 优质钢含杂质元素较少，其中磷和硫的质量分数最高均可为 0.04%，主要用于制作机械结构零件和工具，如轴承、弹簧等。

3) 高级优质钢含杂质元素极少, 其中硫和磷的质量分数均少于 0.03%, 主要用于重要机械结构零件和工具。为了区别于一般优质钢, 这类钢的钢号后面, 通常加符号“A”以便识别。

(2) 按用途分类 钢按用途不同分为结构钢、工具钢、特殊钢和专业用钢。

1) 结构钢又分为建筑及工程用结构钢和机械制造用结构钢。①建筑及工程用结构钢是用于建筑、桥梁、锅炉或其他工程上制造金属结构件的钢, 多为低碳钢。由于大多要经过焊接施工, 故其含碳量不宜过高。②机械制造结构钢用于制造机械设备上的结构零件, 基本上都是优质钢和高级优质钢。

2) 工具钢是用于制造工具的钢, 可制造刀具、模具、量具、手工工具等。

3) 特殊钢指用特殊方法生产, 具有特殊物理性能、化学性能和力学性能的钢, 主要包括不锈钢、耐热钢、高电阻合金钢、耐磨钢、磁钢等。

4) 专业用钢指各工业部门专业用途的钢, 如农机用钢、机床用钢、汽车用钢、航空用钢、锅炉用钢、电工用钢、焊条用钢等。

(3) 按化学成分分类 钢按化学成分不同分为碳素钢和合金钢。

1) 碳素钢是指碳的质量分数不大于 2.0%, 并含有少量锰、硅、硫、磷和氧等杂质元素的铁碳合金, 按含碳量的不同又分为四类: ①工业纯铁, 是指碳的质量分数不大于 0.04% 的铁碳合金; ②低碳钢, 是指碳的质量分数在 0.04% ~ 0.25% 范围内的铁碳合金; ③中碳钢, 是指碳的质量分数在 0.25% ~ 0.60% 范围内的铁碳合金; ④高碳钢, 是指碳的质量分数在 0.6% ~ 2.0% 的铁碳合金。

2) 合金钢是在碳素钢的基础上, 为改善钢的性能, 在冶炼时加入一些合金元素(如铬、镍、钼、钨、钒、钛等)而炼成的钢。按合金元素的总含量不同可分为三类: ①低合金钢, 是指合金元素的总质量分数不大于 5% 的钢; ②中合金钢, 是指合金元素的总质量分数在 5% ~ 10% 范围内的钢; ③高合金钢, 是指合金元素的总质量分数大于 10% 的钢。

(4) 按制造加工形式分类 钢按制造加工形式的不同分为铸钢、锻钢、热轧钢、冷轧钢、冷拔钢等。

1) 铸钢是指用铸造方法生产出来的钢材, 碳的质量分数为 0.15% ~ 0.6%, 随着碳含量的增加, 铸造碳钢的强度增大, 硬度提高。铸造碳钢具有较高的强度、塑性和韧性, 成本较低, 在重型机械中用于制造承受大载荷的零件, 如轧钢机机架、水压机底座等。在铁路车辆上用于制造受力大又承受冲击的零件如摇枕、侧架、车轮等。

2) 锻钢是指采用锻造方法生产出来的钢材。锻钢的力学性能比铸钢件高, 能承受较大的冲击力, 用于制造一些重要的机器零件, 如大型阀门(见图 4-3a)、法兰(见图 4-3b)等。

3) 热轧钢是指用热轧方法生产出的钢材, 例如型钢、钢管、钢板等。

4) 冷轧钢是指用冷轧方法生产出的各种钢材, 例如薄板、精密钢带和精密钢

管。与热轧钢相比，它的特点是表面光洁，尺寸精确，力学性能好。

5) 冷拔钢是指用冷拔方法生产出的钢材，例如钢丝。特点是精度高，表面质量好。

(5) 按冶炼方法分类 钢按冶炼方法不同分为沸腾钢、镇静钢、半镇静钢及特殊镇静钢。

1) 沸腾钢是指脱氧不完全的钢。钢在冶炼后期不加脱氧剂，导致钢液中含氧量较高（质量分数为 0.02% ~ 0.04%）、在锭模中发生强烈反应生成一氧化碳气泡，浇注时钢液在钢锭模内产生沸腾现象，气体逸出。钢锭凝固后，蜂窝气泡分布在钢锭中，在轧制过程中

这种气泡空腔会被粘合起来。优点是钢的收缩率高，生产成本低，表面质量和深冲性能好，广泛应用于一般建筑工程。缺点是钢的杂质多，成分不均匀。

2) 镇静钢是指炼钢时采用锰铁、硅铁和铝锭等作脱氧剂，脱氧进行较完全的钢。浇注时钢液很平静，没有沸腾现象。镇静钢虽然生产成本较高，但其组织致密，成分均匀，性能稳定，适用于预应力混凝土等重要的结构工程。

3) 半镇静钢是指脱氧介于沸腾钢和镇静钢之间的钢。浇注时沸腾现象较沸腾钢弱，生产很难控制，在钢产量中所占比例很小。

4) 特殊镇静钢是比镇静钢脱氧程度还要充分彻底的钢。这类钢质量最好，适用于特别重要的结构工程。

镇静钢、半镇静钢、沸腾钢的特征如图 4-4 所示。

(6) 常用钢材分类 常用钢材分类如表 4-3 所示。

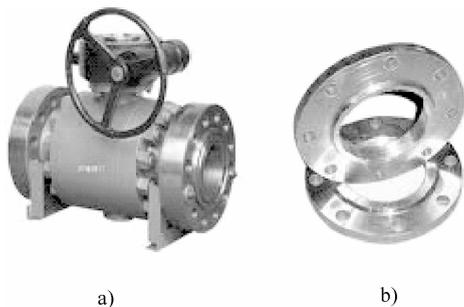


图 4-3 锻钢制造的零件

a) 大型阀门 b) 法兰

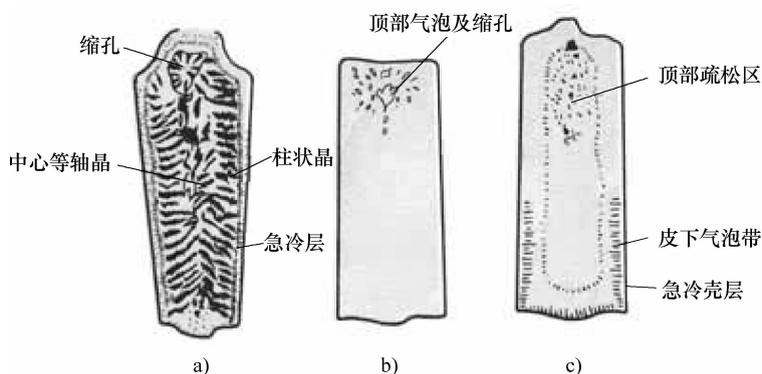


图 4-4 镇静钢、半镇静钢、沸腾钢的特征

a) 镇静钢 b) 半镇静钢 c) 沸腾钢

表 4-3 常用钢材分类

序号	分类	说 明
1	型钢	按断面形状分圆钢、扁钢、方钢、六角钢、八角钢、角钢、工字钢、槽钢、丁字钢、乙字钢等
2	钢板	1) 按厚度分厚钢板 (厚度 > 4mm) 和薄钢板 (厚度 ≤ 4mm) 2) 按用途分一般用钢板、锅炉用钢板、造船用钢板、汽车用厚钢板、一般用薄钢板、屋面薄钢板、酸洗薄钢板、镀锌薄钢板、镀锡薄钢板和其他专用钢板等
3	钢带	按交货状态分热轧钢带和冷轧钢带
4	钢管	1) 按制造方法分无缝钢管 (有热轧、冷拔两种) 和焊接钢管 2) 按用途分一般用钢管、水煤气用钢管、锅炉用钢管、石油用钢管和其他专用钢管等 3) 按表面状况分镀锌钢管和不镀锌钢管 4) 按管端结构分带螺纹钢管和不带螺纹钢管
5	钢丝	1) 按加工方法分冷拉钢丝和冷轧钢丝等 2) 按用途分一般用钢丝、包扎用钢丝、架空通信用钢丝、焊接用钢丝、弹簧钢丝、琴钢丝和其他专用钢丝等 3) 按表面情况分抛光钢丝、磨光钢丝、酸洗钢丝、光面钢丝、黑钢丝、镀锌钢丝和其他金属钢丝等
6	钢丝绳	1) 按绳股数目分单股钢绳、六股钢绳和十八股钢绳等 2) 按内芯材料分有机芯钢绳和金属芯钢绳等 3) 按表面状况分不镀锌钢绳和镀锌钢绳

(7) 钢材十五大类目录 钢材十五大类目录如表 4-4 所示。

表 4-4 钢材十五大类目录

序号	类别	品 种 规 格
1	重轨	重量大于 24kg/m
2	轻轨	重量不大于 24kg/m
3	其他钢材	鱼尾板、垫板、车轮坯、锻件坯、车轮、轮箍、法兰 (直径为 700 ~ 2100mm)、盘件 (直径为 300 ~ 500mm)、坯件 (最大尺寸为 600 ~ 2100mm)、钢球
4	大型型钢	1) 圆钢、方钢、六角钢、八角钢: 对边 ≥ 81mm 2) 扁钢: 宽度 ≥ 101mm 3) 工字钢、槽钢: 高度 ≥ 180mm 4) 角钢: 等边, 边宽 ≥ 150mm; 不等边, 边宽 ≥ 150mm × 100mm 5) 异型钢: 18 号异型槽钢
5	中型型钢	1) 圆钢、螺纹钢、方钢、六角钢、八角钢: 对边 38 ~ 80mm 2) 扁钢: 宽度 60 ~ 100mm 3) 工字钢、槽钢: 高度 < 180mm 4) 角钢: 等边, 边宽 50 ~ 149mm; 不等边, 边宽 40mm × 60mm ~ 99mm × 149mm 5) 异型钢: 10 号斜腿槽钢

(续)

序号	类别	品 种 规 格
6	小型型钢	1) 圆钢、方钢、螺纹钢、六角钢、八角钢: 对边 10 ~ 37mm 2) 扁钢: 宽度 ≤ 59mm 3) 角钢: 等边, 边宽 20 ~ 49mm; 不等边, 边宽 20mm × 30mm ~ 39mm × 59mm 4) 异型钢: 磁极钢、小槽钢等
7	线材	1) 盘条: 直径 6 ~ 9mm 2) 其他: 优质盘条、电焊盘条等
8	中厚钢板	厚度大于 4mm, 包括普通中板和优质中板, 如造船、汽车、锅炉等用的中板
9	薄板	厚度不大于 4mm, 包括普通薄板、优质薄板和镀层薄板、黑铁皮、马口铁等
10	硅钢片	1) 电动机硅钢片, 分冷轧、热轧 2) 变压器硅钢片 0.35mm、0.50mm, 分冷轧、热轧
11	钢带	1) 普通钢带、优质钢带, 分冷轧、热轧 2) 镀锡钢带、打包铁皮等
12	优质钢材	1) 碳素结构钢、碳素工具钢、弹簧钢、合金结构钢、高速工具钢、不锈钢等。分圆、方、六角、扁、异型材 2) 冷拉优质钢 3) 高温合金 4) 精密合金
13	无缝钢管	热轧、冷轧、冷拔的无缝管及镀锌无缝管, 包括一般锅炉、合金、不锈钢、渗铝无缝管、石油用无缝管、地质用无缝管、异型断面管及其他用管
14	焊接钢管	一般焊管、镀锌焊管、电线套管、薄壁管、异型管、螺旋焊管、波纹管、吹氧管等
15	金属制品	1) 钢丝绳 2) 钢绞线 3) 钢丝 4) 铁丝、镀锌铁丝、通信铁丝、黑铁丝

### 4.1.3 非铁金属材料

非铁金属材料包括铜及铜合金、铝及铝合金、镁及镁合金、钛及钛合金、锌及锌合金、铅及铅合金等。相对于钢铁材料, 非铁金属材料具有许多优良的特性, 在工业领域尤其是高科技领域具有极其重要的地位。

#### 1. 铜及铜合金

铜及铜合金包括纯铜、黄铜、青铜和白铜, 后三者又称为杂铜, 生产成本比纯铜低。

(1) 纯铜 纯铜是玫瑰红色金属, 表面形成氧化铜膜后呈紫色。纯铜分为普通纯铜、无氧铜、磷脱氧铜、银铜四类。

(2) 黄铜 向纯铜中加入锌, 就会使铜的颜色变黄, 称为黄铜, 所以黄铜的主要成分是铜和锌, 黄铜的力学性能很好, 可用于制造精密仪器、船舶的零件及枪炮的弹壳等。黄铜敲起来声音好听, 因此锣、钹、铃、号等乐器都是用黄铜制作的。

黄铜根据其化学成分特点可分为普通黄铜和特殊黄铜。按生产工艺又可分为加工黄铜和铸造黄铜。

普通黄铜中加入少量其他元素, 如铝、铁、硅、锰、铅、锡、镍等元素就构成了特殊黄铜。通常情况下, 加入某种金属元素, 就叫做某黄铜, 如镍黄铜、铅黄铜就是添加了镍、铅的黄铜。这些元素的加入除可不同程度地提高黄铜的强度和硬度外, 其中铝、锡、锰、镍等元素还可以提高合金的耐蚀性和耐磨性, 锰用于提高耐热性, 硅可改善合金的铸造性能, 铅则改善了材料的切削加工性能和润滑性等。

特殊黄铜的强度、耐蚀性比普通黄铜好, 铸造性能也得到了一定程度的改善。特殊黄铜常用于制造螺旋桨, 压紧螺母等船用重要零件和其他耐蚀零件。

黄铜的主要用途如表 4-5 所示。

表 4-5 黄铜的主要用途

类别	用 途
普通黄铜	散热器, 冷凝器管道, 热双金属, 双金属板, 造纸工业用金属网, 弹壳, 弹簧, 螺钉, 垫圈
锡黄铜	汽车拖拉机的弹性套管, 海轮用管材, 冷凝器管, 船舶零件
铅黄铜	汽车拖拉机零件及钟表零件, 热冲压或切削制作的零件
铁黄铜	适于在摩擦及受海水腐蚀条件下工作的零件
锰黄铜	制造海轮零件及电信器材, 耐腐蚀零件, 螺旋桨
铝黄铜	海水中工作的高强度零件, 船舶及其他耐腐蚀零件, 蜗杆及重载荷条件下工作的压紧螺母

(3) 白铜 向纯铜中加入镍, 就会使铜的颜色变白, 称为白铜, 所以白铜的主要成分是铜和镍。白铜色泽和银一样, 不易生锈。镍含量越高, 颜色越白。只要镍的质量分数不超过 70%, 肉眼都会看到铜的黄色, 通常白铜中镍的质量分数为 25%。纯铜加镍能显著提高强度、耐蚀性、硬度、电阻和热电性, 并降低电阻温度系数。因此白铜比其他铜合金的力学性能、物理性能都好, 且色泽美观, 耐蚀性好, 常用于制造硬币、电器、仪表和装饰品。

白铜按化学成分可分为简单白铜和特殊白铜。

简单白铜只含有铜、镍两种元素, 具有较高的耐蚀性、抗腐蚀疲劳性能及优良的冷热加工性能。用于在蒸汽和海水环境下工作的精密机械、仪表零件及冷凝器、蒸馏器、换热器等。

普通白铜中加入少量其他元素，如铁、锌、锰、铝等辅助合金元素，就构成了特殊白铜。通常情况下，加入某种金属元素，就叫做某白铜，如铝白铜、锰白铜就是因为添加了铝、锌。特殊白铜的耐蚀性、强度和塑性高，成本低。用于制造精密机械、仪表零件及医疗器械等。

(4) 青铜 青铜原指向纯铜中加入锡而得到的铜合金。加入锡后就会使铜的颜色变青，故称为青铜，青铜的主要成分是铜和锡。现在除黄铜、白铜以外的铜合金均称青铜，并常在青铜名字前冠以另外添加元素的名称。常用青铜有锡青铜、铝青铜、铍青铜、硅青铜、铅青铜等。其中，工业用量最大的为锡青铜和铝青铜，强度最高的为铍青铜。

青铜一般具有较好的耐蚀性、耐磨性、铸造性和优良的力学性能，常用于制造精密轴承、高压轴承、船舶上抗海水腐蚀的机械零件，以及各种板材、管材、棒材等。由于青铜的熔点比较低（约为 800℃），硬度高（为纯铜或锡的两倍多），所以容易熔化和铸造成形。青铜还有一个反常的特性——“热缩冷胀”，常用来铸造艺术品，冷却后膨胀，可以使花纹更清楚。

1) 锡青铜是以锡为主加元素的铜合金，锡的质量分数一般为 3% ~ 14%。锡青铜的锡含量是决定其性能的关键，含锡质量分数 5% ~ 7% 的锡青铜塑性最好，适用于冷热加工；而含锡质量分数大于 10% 时，合金强度升高，但塑性却很低，只适于铸造成形。锡青铜耐蚀性良好，锡青铜在大气、海水和无机盐类溶液中耐蚀性比纯铜和黄铜好，但在氨水、盐酸和硫酸中耐蚀性较差。主要用于耐蚀承载件，如弹簧、轴承、齿轮轴、蜗轮、垫圈等。

2) 铝青铜是以铝为主加元素的铜合金，铝的质量分数为 5% ~ 11%，强度、硬度、耐磨性、耐热性及耐蚀性高于黄铜和锡青铜，铸造性能好，但焊接性能差。工业上压力加工用铝青铜的含铝质量分数一般低于 5% ~ 7%；含铝质量分数 10% 左右的合金，强度高，可用于热加工或铸造。

铝青铜强度高，韧性好，疲劳强度高，受冲击不产生火花，且在大气、海水、碳酸及多数有机酸中的耐蚀性都高于黄铜和锡青铜。因此，铝青铜在结构件上应用极广，主要用于制造船舶、飞机及仪器中在复杂条件下工作要求高强度、高耐磨性、高耐蚀性零件和弹性零件，如齿轮、轴承、摩擦片、蜗轮、轴套、弹簧、螺旋桨等。

3) 铍青铜是指以铍为主加元素的铜合金，含铍质量分数为 1.7% ~ 2.5%。铍青铜具有高的强度和硬度，高的疲劳强度和弹性极限，弹性稳定，弹性滞后小，耐磨性、耐蚀性高，具有良好的导电性和导热性，无磁性，冷热加工及铸造性能好，但其生产工艺复杂，价格高。铍青铜广泛地用于制造精密仪器仪表的重要弹性元件、耐磨耐蚀零件、航海罗盘仪中零件和防爆工具等。

铜分为铸造铜和加工铜两大类，GB/T 5231—2001《加工铜及铜合金化学成分和产品形状》中常用加工铜及铜合金的分类如表 4-6 所示。

表 4-6 常用加工铜及铜合金的分类

类别	加工铜	加工黄铜	加工白铜	加工青铜
组别	纯铜、无氧铜、脱氧铜、银铜	普通黄铜、镍黄铜、铁黄铜、铅黄铜、铝黄铜、锰黄铜、锡黄铜、硅黄铜、加砷黄铜	普通白铜、铁白铜、锰白铜、锌白铜、铝白铜	锡青铜、铝青铜、铍青铜、硅青铜、锰青铜、铅青铜、铬青铜、镉青铜、镁青铜、铁青铜、碲青铜

## 2. 铝及铝合金

纯铝按含铝质量分数的多少分为高纯铝、工业高纯铝和工业纯铝，纯度依次降低。高纯铝含铝质量分数为 99.93% ~ 99.996%，主要用于科学试验、化学工业和其他特殊领域。工业高纯铝含铝质量分数为 99.85% ~ 99.9%，工业纯铝含铝质量分数为 98.0% ~ 99.0%，主要用作配制铝基合金。此外，纯铝还可用于制作电线、铝箱、屏蔽壳体、反射器、包覆材料及化工容器等。

铝合金既具有高强度又保持纯铝的优良特性。根据合金元素和加工工艺特性，将铝合金分为铸造铝合金和变形铝合金两大类。

(1) 铸造铝合金 铸造铝合金的力学性能不如变形铝合金，但铸造铝合金有良好的铸造性能，可以制成形状复杂的零件，不需要庞大的加工设备，并具有节约金属、降低成本、减少工时等优点。按化学成分中铝之外的主要元素是否含有硅、铜、镁、锌，铸造铝合金可分为铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金和铝锌合金四大类。使用铝合金轮毂的车辆，可以减少能耗，其所节省的能量远远超过炼铝时所消耗的能量，经济效益好。

(2) 变形铝合金 变形铝合金有很好的力学性能，适合于变形加工。在建筑工业中用铝合金制作房屋的门窗及结构材料。在食品工业，储槽、罐头盒、饮料容器等大多用铝制成。日常生活中所用的锅、盆等大多也用铝制成。

## 3. 锌及锌合金

锌是一种灰色金属，密度为  $7.14\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点为  $419.5^\circ\text{C}$ ，沸点为  $911^\circ\text{C}$ 。在室温下较脆， $100\sim 150^\circ\text{C}$  时变软，超过  $200^\circ\text{C}$  后又变脆。锌的化学性质活泼，在空气中，表面易生成一层薄而致密的碱式碳酸锌膜，可阻止进一步氧化。当温度达到  $225^\circ\text{C}$  后，锌氧化激烈。燃烧时，发出蓝绿色火焰。锌易溶于酸，也易在溶液中置换出金、银、铜等。

由于锌在常温下表面易生成一层薄而致密的保护膜，可阻止进一步氧化，有很好的防护作用，所以锌最大的用途是用于电镀工业。

## 4. 镍及镍合金

镍合金按用途分为高温合金、耐蚀合金、耐磨合金、精密合金和形状记忆合金。

(1) 镍基高温合金 镍基高温合金在  $650\sim 1000^\circ\text{C}$  高温下有较高的强度和抗氧

化、抗燃气腐蚀能力，是高温合金中应用最广、高温强度最高的一类合金。常用于制造航空发动机叶片和火箭发动机、核反应堆、能源转换设备上的高温零部件。

(2) 镍基耐蚀合金 镍基耐蚀合金具有良好的综合性能，可耐各种酸腐蚀和应力腐蚀。最早应用的是镍铜合金（又称蒙乃尔合金），此外，还有镍铬合金、镍钼合金、镍铬钼合金等。可用于填充各种耐腐蚀零部件的小孔。

(3) 镍基耐磨合金 镍基耐磨合金除具有高耐磨性外，其抗氧化性、耐蚀性、焊接性也好。可制造耐磨零部件，也可作为包覆材料，通过堆焊和喷涂工艺将其包覆在其他基体材料表面。

(4) 镍基精密合金 镍基精密合金包括镍基软磁合金、镍基精密电阻合金和镍基电热合金等。最常用的软磁合金是含镍质量分数 80% 左右的玻莫合金，是电子工业中重要的铁心材料。镍基精密电阻合金的主要合金元素是铬、铝、铜，这种合金具有较高的电阻率、较低的电阻温度系数和良好的耐蚀性，用这种合金制作的电阻器，可在 1000℃ 温度下长期使用。

(5) 镍基形状记忆合金 镍基形状记忆合金的回复温度是 70℃，形状记忆效果好。改变镍钛成分比例，可使回复温度在 30 ~ 100℃ 范围内变化。多用于制造航天器上使用的自动张开结构件、宇航工业用的自激励紧固件、生物医学上使用的人造心脏等。

## 4.2 金属材料的牌号

### 4.2.1 钢铁材料牌号表示方法

#### 1. 生铁牌号表示方法

生铁牌号通常由字母和数字两部分组成。

1) 第一部分是一位或两位大写汉语拼音字母，如表 4-7 所示。

表 4-7 生铁牌号的第一部分（字母）

生铁名称	采用字母	备 注	
		采用的汉字	拼音
炼钢用生铁	L	炼	Lian
铸造用生铁	Z	铸	Zhu
球墨铸铁用生铁	Q	球	Qiu
耐磨生铁	NM	耐磨	NaiMo
脱碳低磷粒铁	TL	脱粒	TuoLi
含钒生铁	F	钒	Fan

2) 第二部分是两位阿拉伯数字,表示主要元素平均含量(以千分之几计),炼钢用生铁、铸造用生铁、球墨铸铁用生铁、耐磨生铁为硅元素平均含量,脱碳低磷粒铁为碳元素平均含量,含钒生铁为钒元素平均含量。

示例:Z30表示硅的平均质量分数在3.0%左右的铸造用生铁;TL14表示碳的平均质量分数在1.4%左右的脱碳低磷粒铁;F04表示钒的平均质量分数在0.4%左右的含钒生铁。

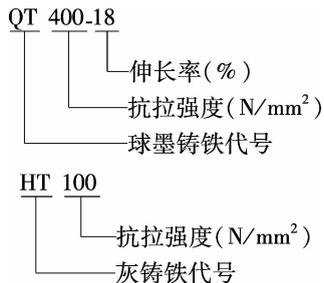
## 2. 铸铁牌号表示方法

铸铁牌号一般用力学性能、化学成分或两种共用表示。无论哪一种方法,在牌号的开头均用代表该类铸铁的字母表示,如表4-8所示。

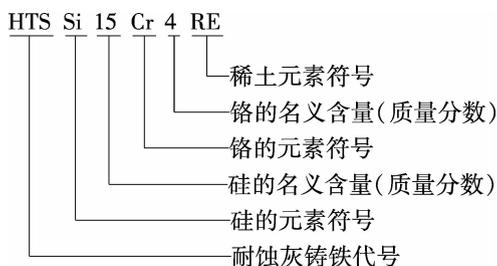
表4-8 各种铸铁名称及代号

铸铁名称	代号	铸铁名称	代号
灰铸铁	HT	耐热球墨铸铁	QTR
灰铸铁	HT	耐蚀球墨铸铁	QTS
奥氏体灰铸铁	HTA	蠕墨铸铁	RuT
冷硬灰铸铁	HTL	可锻铸铁	KT
耐磨灰铸铁	HTM	白心可锻铸铁	KTB
耐热灰铸铁	HTR	黑心可锻铸铁	KTH
耐蚀灰铸铁	HTS	珠光体可锻铸铁	KTZ
球墨铸铁	QT	白口铸铁	BT
球墨铸铁	QT	抗磨白口铸铁	BTM
奥氏体球墨铸铁	QTA	耐热白口铸铁	BTR
冷硬球墨铸铁	QTL	耐蚀白口铸铁	BTS
抗磨球墨铸铁	QTM		

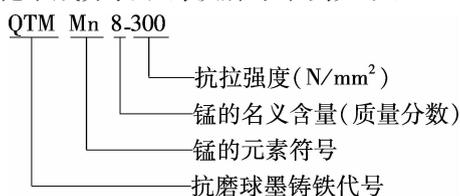
1) 以力学性能表示铸铁牌号举例如下:



2) 以化学成分表示铸铁牌号举例如下:



3) 以力学性能和化学成分表示铸铁牌号举例如下:



灰铸铁新旧牌号对照关系如表 4-9 所示。

表 4-9 灰铸铁新旧牌号对照

新牌号 (GB/T 9439—2010)	HT100	HT150	HT200	HT250	HT300	HT350	—
旧牌号 (GB/T 5675—1985)	HT10—26	HT15—33	HT20—40	HT25—47	HT30—54	HT35—60	HT40—68

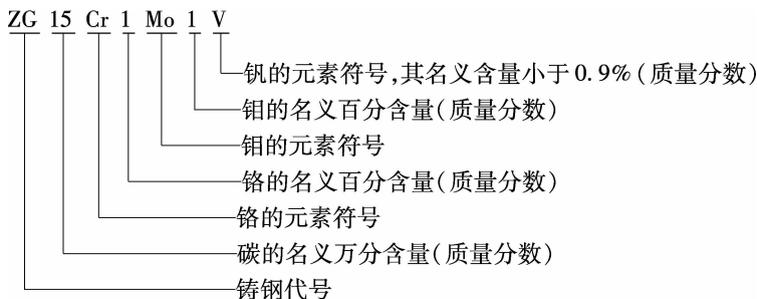
### 3. 铸钢牌号表示方法

铸钢牌号一般用力学性能或化学成分表示。无论哪一种方法，在牌号的开头均用代表该类铸钢的字母“ZG”表示。

1) 以力学性能表示铸钢牌号举例如下:



2) 以化学成分表示铸钢牌号举例如下:



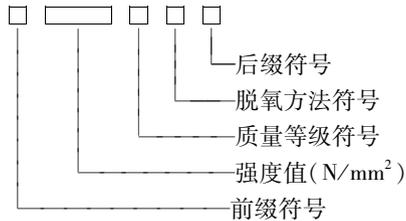
需要说明的是,长期以来,人们在工业生产中仍习惯用1985年以前的旧牌号,表4-10是铸钢新旧牌号对照。

表4-10 铸钢新旧牌号对照

新牌号 (GB/T 11352—2009)	ZG 200-400	ZG 230-450	ZG 270-500	ZG 310-570	ZG 340-640
旧牌号 (GB/T 979—1967)	ZG15	ZG25	ZG35	ZG45	ZG55

#### 4. 碳素结构钢和低合金结构钢牌号表示方法

碳素结构钢和低合金结构钢牌号由前缀符号、强度值、质量等级符号、脱氧方法符号、后缀符号按顺序组成,如下所示:



1) 产品名称对应的前缀符号如表4-11所示。

表4-11 产品名称对应的前缀符号

产品名称	前缀符号	产品名称	前缀符号
通用结构钢	Q	焊接气瓶用钢	HP
细晶粒热轧带肋钢筋	HRBF	管线用钢	L
冷轧带肋钢筋	CRB	船用锚链钢	CM
预应力混凝土用螺纹钢筋	PSB	煤机用钢	M

2) 质量等级分为A、B、C、D四个等级。

3) 脱氧方法有F(沸腾钢)、Z(镇静钢)、TZ(特殊镇静钢)和bZ(半镇静钢)四种,其中“Z”和“TZ”一般情况下省略。

4) 产品名称对应的后缀符号如表4-12所示。

示例1: Q235AF表示最小屈服强度为 $235\text{N/mm}^2$ 的A级碳素结构钢(沸腾钢)。

示例2: HP345表示最小屈服强度为 $345\text{N/mm}^2$ 的焊接气瓶用钢(镇静钢或特殊镇静钢)。

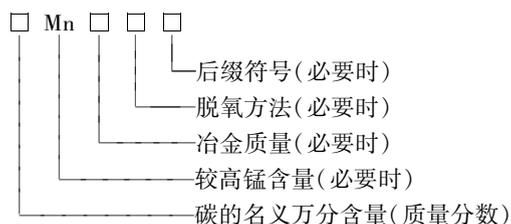
示例3: Q345R表示最小屈服强度为 $345\text{N/mm}^2$ 的锅炉和压力容器用钢(镇静钢或特殊镇静钢)。

表 4-12 产品名称对应的后缀符号

产 品 名 称	后 缀 符 号	产 品 名 称	后 缀 符 号
锅炉和压力容器用钢	R	汽车大梁用钢	L
锅炉用钢（管）	G	高性能建筑结构用钢	GJ
低温压力容器用钢	DR	低焊接裂纹敏感性钢	CF
桥梁用钢	Q	保证淬透性钢	H
耐候钢	NH	矿用钢	K
高耐候钢	GNH		

### 5. 优质碳素结构钢和优质碳素弹簧钢牌号表示方法

优质碳素结构钢和优质碳素弹簧钢牌号表示方法如下：



- 1) 如果含锰量较低时则不必写出“Mn”。
- 2) 冶金质量分为优质钢（不标注）、高级优质钢（A）和特级优质钢（E）。
- 3) 脱氧方式有沸腾钢（F）、半镇静钢（bZ）和镇静钢（不标注）。
- 4) 后缀符号与普通碳素结构钢相同，如表 4-12 所示。

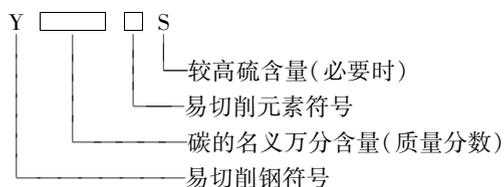
示例 1：碳的质量分数为 0.50%、锰的质量分数较高的特级优质碳素结构钢（镇静钢）的牌号表示为 50MnE。

示例 2：碳的质量分数为 0.08%、锰的质量分数较低的优质碳素结构钢（沸腾钢）的牌号表示为 08F。

示例 3：碳的质量分数为 0.45%、锰的质量分数较低的高级优质保证淬透性用钢（镇静钢）的牌号表示为 45AH。

### 6. 易切削钢牌号表示方法

易切削钢牌号表示方法如下：



对于易切削元素符号按下列规定使用：

1) 含钙、铅、锡等易切削元素时, 分别用 Ca、Pb、Sn 表示; 加硫和加磷、磷时, 不加符号 S 和 P。

2) 如果是锰含量较高的加硫或加磷、磷的易切削钢, 用符号 Mn 表示。

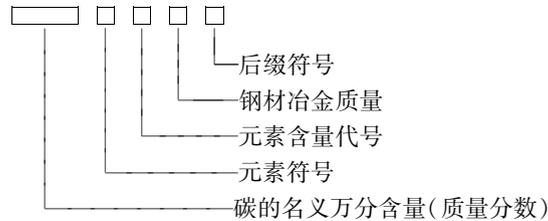
示例 1: 碳的质量分数为 0.45%、含有钙的易切削钢的牌号表示为 Y45Ca。

示例 2: 碳的质量分数为 0.45%、锰的质量分数较高、硫的质量分数较低的易切削钢的牌号表示为 Y45Mn。

示例 3: 碳的质量分数为 0.45%、锰的质量分数较高、硫的质量分数较高的易切削钢的牌号表示为 Y45MnS。

### 7. 合金结构钢和合金弹簧钢牌号表示方法

合金结构钢和合金弹簧钢牌号表示方法如下:



1) 元素含量代号如表 4-13 所示。

表 4-13 元素含量代号

元素平均质量分数	<1.50%	1.50% ~ 2.49%	2.50% ~ 3.49%	3.50% ~ 4.49%	4.50% ~ 5.49%	...
含量代号	不标注	2	3	4	5	...

2) 化学元素符号的排列顺序按含量递减进行。

3) 高级优质钢的冶金质量符号为 A, 特级优质钢的冶金质量符号为 E, 优质钢不标注。

4) 后缀符号表示方法如表 4-12 所示。

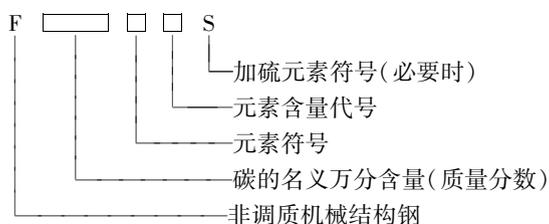
示例 1: 碳的质量分数为 0.25%、铬的质量分数为 1.50% ~ 1.80%、钼的质量分数为 0.25% ~ 0.35%、钒的质量分数 0.15% ~ 0.30% 的高级优质钢的牌号表示为 25Cr2MoVA。

示例 2: 碳的质量分数为 0.18%、锰的质量分数为 1.2% ~ 1.5%、钼的质量分数为 0.45% ~ 0.65%、铌的质量分数为 0.025% ~ 0.050% 的锅炉和压力容器用特级优质钢的牌号表示为 18MnMoNbER。

示例 3: 碳的质量分数为 0.60%、硅的质量分数为 1.60% ~ 2.00%、锰的质量分数为 0.70% ~ 1.00% 的优质钢的牌号表示为 60Si2Mn。

### 8. 非调质机械结构钢牌号表示方法

非调质机械结构钢牌号表示方法如下:

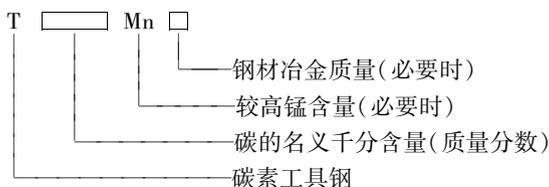


元素含量代号如表 4-13 所示。

示例：碳的质量分数为 0.35%、锰的质量分数为 1.00% ~ 1.49%、钒的质量分数 0.06% ~ 0.13%、含有硫元素的非调质机械结构钢的牌号表示为 F35MnVS。

### 9. 碳素工具钢牌号表示方法

碳素工具钢牌号表示方法如下：



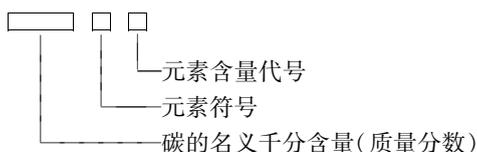
示例 1：碳的质量分数为 0.8% 的碳素工具钢的牌号表示为 T8。

示例 2：碳的质量分数为 0.8%、锰的质量分数较大的碳素工具钢的牌号表示为 T8Mn。

示例 3：碳的质量分数为 1.3% 的特级优质碳素工具钢的牌号表示为 T13E。

### 10. 合金工具钢牌号表示方法

合金工具钢牌号表示方法如下：



1) 如果碳的名义质量分数小于 1.00% 时，采用一位阿拉伯数字表示（以千分之几计）；如果碳的名义质量分数不小于 1.00% 时，不标注。

2) 元素含量代号如表 4-13 所示。如果铬的质量分数小于 1% 时，在铬的含量（以千分之几计）前面加数字“0”。

示例 1：碳的质量分数为 0.9%、硅的质量分数为 1.20% ~ 1.49%、铬的质量分数为 1.0% ~ 1.25% 的合金工具钢的牌号表示为 9SiCr。

示例 2：碳的质量分数为 1.30% ~ 1.45%、铬的质量分数为 0.6% 的合金工具钢的牌号表示为 Cr06。

示例 3：碳的质量分数为 0.3%、铬的质量分数为 2.20% ~ 2.49%、钨的质量分数为 7.50% ~ 8.49%、钒的质量分数为 0.20% ~ 0.50% 的合金工具钢的牌号表

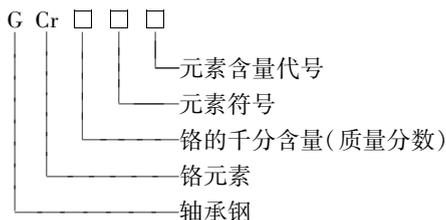
示为 3Cr2W8V。

### 11. 高速工具钢牌号表示方法

高速工具钢牌号表示方法与合金结构钢相同，但在牌号头部一般不标明表示碳含量的阿拉伯数字。为了区别牌号，在牌号头部可以加“C”表示高碳高速工具钢，如 W3Mo3Cr4V2、CW6Mo5Cr4V2。

### 12. 轴承钢牌号表示方法

(1) 高碳铬轴承钢牌号表示方法 高碳铬轴承钢牌号表示方法如下：



示例 1：铬的质量分数为 1.5% 的高碳铬轴承钢的牌号表示为 GCr15。

示例 2：表示铬的质量分数为 1.5%、硅的质量分数为 0.45% ~ 0.75%、锰的质量分数为 0.95% ~ 1.25% 的高碳铬轴承钢的牌号表示为 GCr15SiMn。

(2) 渗碳轴承钢 渗碳轴承钢的表示方法是在头部加符号“G”，采用合金结构钢的牌号表示方法，高级优质渗碳轴承钢的牌尾加“A”。

示例：碳的质量分数为 0.20%、铬的质量分数 0.35% ~ 0.65%、镍的质量分数为 0.40% ~ 0.70%、钼的质量分数为 0.15% ~ 0.30% 的高级优质渗碳轴承钢的牌号表示为 G20CrNiMoA。

### 13. 不锈钢及耐热钢牌号表示方法

不锈钢和耐热钢的牌号采用化学元素符号和表示各元素含量的阿拉伯数字表示，各元素含量的阿拉伯数字表示应符合下列规定：

(1) 碳含量 用两位或三位阿拉伯数字表示碳含量最佳控制值（质量分数，以万分之几或十万分之几计）。

1) 只规定碳含量上限者，当碳的质量分数上限不大于 0.10% 时，以其上限的 3/4 表示碳含量；当碳的质量分数上限大于 0.10% 时，以其上限的 4/5 表示碳含量。例如：碳的质量分数上限为 0.08%，碳含量以 06 表示；碳的质量分数上限为 0.20%，碳含量以 16 表示；碳的质量分数上限为 0.15%，碳含量以 12 表示。对超低碳不锈钢（即碳的质量分数不大于 0.030%），用三位阿拉伯数字表示碳含量最佳控制值（以十万分之几计）。例如：碳的质量分数上限为 0.03% 时，其牌号中的碳含量以 022 表示；碳的质量分数上限为 0.02% 时，其牌号中的碳含量以 015 表示。

2) 规定上、下限者，以平均碳含量乘以 100 表示。例如：碳的质量分数为 0.16% ~ 0.25% 时，其牌号中的碳含量以 20 表示。

(2) 合金元素含量 合金元素含量以化学元素符号及阿拉伯数字表示,表示方法同合金结构钢第二部分。钢中有意加入的铌、钛、锆、氮等合金元素,虽然含量很低,也应在牌号中标出。

示例1:碳的质量分数不大于0.08%、铬的质量分数为18.00%~20.00%、镍的质量分数为8.00%~11.00%的不锈钢的牌号表示为06Cr19Ni10。

示例2:碳的质量分数不大于0.030%、铬的质量分数为16.00%~19.00%、钛的质量分数为0.10%~1.00%的不锈钢的牌号表示为022Cr18Ti。

示例3:碳的质量分数为0.15%~0.25%、铬的质量分数为14.00%~16.00%、锰的质量分数为14.00%~16.00%、镍的质量分数为1.50%~3.00%、氮的质量分数为0.15%~0.30%的不锈钢的牌号表示为20Cr15Mn15Ni2N。

示例4:碳的质量分数不大于0.25%、铬的质量分数为24.00%~26.00%、镍的质量分数为19.00%~22.00%的耐热钢的牌号表示为20Cr25Ni20。

## 4.2.2 用火花法鉴别钢铁材料的牌号

火花鉴别法是利用试样在砂轮上磨削时发射出的火花来鉴别钢种的方法。这种方法快速、简便,在冶金和机械制造工厂的车间现场广泛用以鉴别钢种和进行废钢分类,并用以鉴定热处理后表面的含碳量。在没有其他分析手段的情况下,也用来大致估计钢材的成分。

### 1. 火花的形成

试样与高速旋转的砂轮接触时,由于摩擦,试样的温度急剧升高,被砂轮切削下来的颗粒以很高的速度抛射出去,同空气摩擦,温度继续升高,发生激烈氧化甚至熔化,因而在运行中呈现出一条条光亮流线。这种被氧化颗粒的表面生成一层氧化铁薄膜,而颗粒内所含的碳元素,在高温下极易与氧结合成一氧化碳,又把氧化铁还原成铁,铁再与空气氧化,又被碳还原。如此多次重复,以致颗粒内聚积愈来愈多的一氧化碳气体,在压力足够时便冲破表面氧化膜,发生爆裂,形成爆花。流线和爆花的色泽、数量、形状、大小同试样的化学成分和物理特性有关,这就是鉴别的依据。

钢材在砂轮上磨削时所发射出的火花由根部火花、中部火花和尾部火花构成火花束,火花束由流线、节点、芒线、苞花、爆花、花粉和尾花所组成,如图4-5所示。

火花鉴别是用肉眼观察的,因此容易受操作经验的影响。为了减少错觉和误差,应制备已知成分的标准样块,在鉴别时进行比较。操作时磨削压力要适中,使火花束大致向水平方向发射。要选用黑色背景和较暗环境以增强鉴别能力。

### 2. 火花的结构

(1) 流线 火花束中线条状的光亮火花称为流线。由于钢的化学成分不同,流线开头可分为直线型流线、断续型流线和波浪型流线,如图4-6所示。

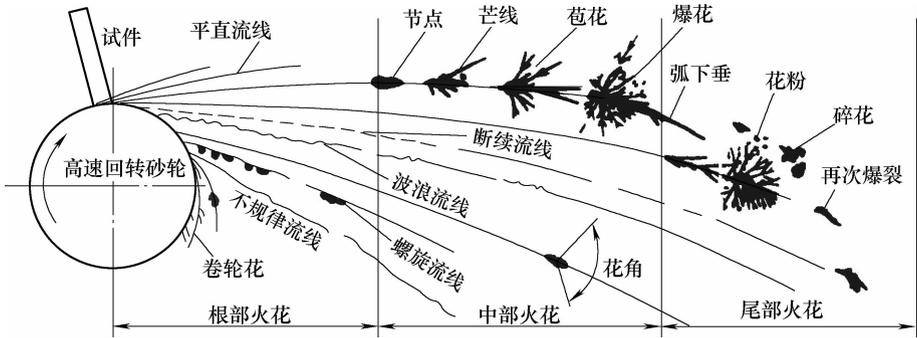


图 4-5 火花束的组成

碳含量越高流线越短，碳钢的流线多是亮白色，合金钢和铸钢是橙色和红色，高速钢的流线接近暗红色。碳钢的流线为直线状，高速钢的流线呈断续状或波浪状。

(2) 节点和苞花 流线上明亮且较粗的点称为节点和苞花，节点是含硅的特征，苞花是含镍的特征。

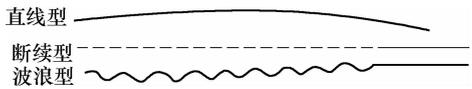


图 4-6 流线形状

(3) 爆花 流线中途爆裂所产生的

光亮火花称为爆花（见图 4-7），爆花由节点和芒线组成，是钢中含碳元素所特有的火花特征。爆花形状随钢中碳含量而变化，粉碎状的花粉随碳含量的增高而增加。爆花随流线上芒线的爆裂情况的不同，有一次花、二次花、三次花和多次花之分。一次爆花是流线上第一次发射出来的爆花，它是碳含量在 0.25%（质量分数）以下的碳钢的火花特征。二次爆花是在一次爆花的芒线上，又一次发生爆裂所呈现的爆花，它是碳含量在 0.25%~0.6%（质量分数）的中碳钢的火花特征。三次爆花是在二次爆花的芒线上，再一次发生爆裂的爆花，它是高碳钢的火花特征。碳含量越高，三次爆花越多、越明亮。分散在爆花芒线间的点状火花称为花粉。

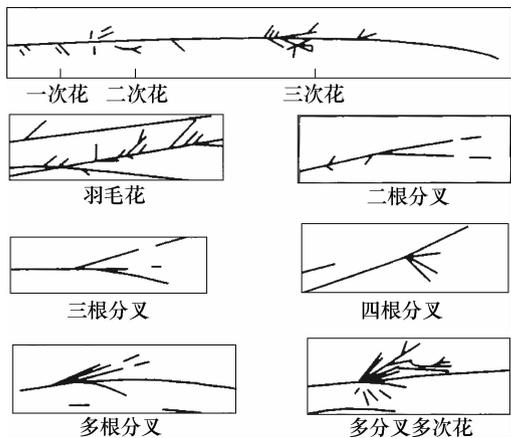


图 4-7 爆花的各种形式

(4) 芒线 由爆花爆裂而产生的若干聚集的短线称为芒线（又称分叉）。随碳含量增高，分叉增多，有两根分叉、三根分叉、四根分叉和多根分叉之分。

(5) 尾花 流线尾端呈现出不同形状的爆花称为尾花。随钢中合金

元素不同，尾花的形状分为直尾尾花、狐尾尾花和枪尖尾花等，如图 4-8 所示。直尾尾花的尾端和整根流线相同，呈羽毛状，是钢中含有硅的火花特征。狐尾尾花的尾端逐渐膨胀呈狐狸尾巴形状，是钢中含有钨的火花特征，其亮度和粗细程度比流线其他部位更明亮、更粗一些，狐尾尾花的数量及长度与钢中钨含量成反比。枪尖尾花的尾端膨胀呈三角枪尖形状，是钢中含有钼的火花特征。

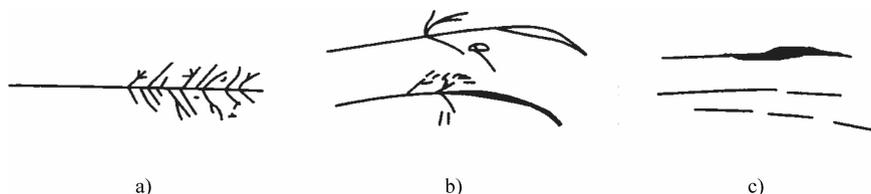


图 4-8 尾花形状

a) 直尾尾花 b) 狐尾尾花 c) 枪尖尾花

### 3. 合金元素对火花特征的影响

钢中加入合金元素后，火花特征将发生变化。镍、硅、钼、钨等合金元素抑制爆花爆裂，锰、钒等合金元素则促进爆花爆裂。

(1) 镍 镍对爆花有较弱的抑制作用，使花形不整齐并缩小，流线较碳钢细。随着镍含量增高。流线的数量减少及长度变短，色泽变暗。

(2) 硅 硅也有抑制爆花爆裂作用，当硅含量达到 2% ~ 3%（质量分数）时，这种抑制作用就较明显，它能使爆裂芒线缩短。硅锰弹簧钢的火花呈橙红色，流线粗而短，芒线短粗且少，火花试验时手感抗力较小。

(3) 钼 钼具有较强烈的抑制爆花爆裂、细化芒线和加深火花色泽的作用。钼钢的火花色泽是不明亮的，当钼含量较高时，火花呈深橙色。钼钢有没有枪尖尾花与钼含量和碳含量有关，碳含量越低，枪尖越明显。

(4) 钨 钨抑制爆花爆裂作用最为强烈，钨含量达到 1.0%（质量分数）左右时，爆花显著减少，钨含量为 2.5%（质量分数）时，爆花呈秃尾状。钨抑制爆花爆裂作用的大小，与钢中碳含量有关，低碳钢中钨含量为 4% ~ 5%（质量分数）时，钨可完全抑制爆花爆裂。从火花色泽上看，钨钢中碳含量越高，越是呈暗红色火花。

(5) 锰 锰元素有促进爆花爆裂作用，锰钢的火花爆裂强度比碳钢强，爆花位置比碳钢离砂轮远。钢中锰含量稍高时，钢的火花比较整齐，色泽也比碳钢黄亮。碳含量较低的锰钢的火花呈白亮色，爆花核心有大而白亮的节点，花形较大，芒线稀少且细长。碳含量较高的锰钢，爆花有较多的花粉。低锰钢的流线粗而长，高锰钢的流线短粗且量少。由于锰是助长爆裂的元素，因此有时可能误认为钢的碳含量高。

(6) 钒 钒也是促进爆花爆裂的元素。

(7) 铬 铬的影响比较复杂。对于低铬低碳钢, 铬有促进火花爆裂、增加流线长度和数量的作用, 火花呈亮白色, 爆花为一次花和二次花, 花形较大。对于碳含量较高的低铬钢, 铬助长爆裂的作用不明显, 并阻止枝状爆花的发生, 流线粗短而量少, 火花束仍然明亮。由于碳含量高, 爆花有花粉。随铬含量增加, 火花的爆裂强度、流线长度、流线数量等均有所减少, 色泽也将变暗。铬钢中若含有抑制爆裂和促进爆裂的合金元素存在, 则钢的火花现象表现复杂, 若判定钢的铬含量, 需配合其他试验方法。

#### 4. 碳钢的火花特征 (见表 4-14)

表 4-14 碳钢的火花特征

$w(C)$ (%)	流 线					爆 花				磨砂轮时 手的感觉
	颜色	亮度	长度	粗细	数量	形状	大小	花粉	数量	
0	亮黄	暗	长	粗	少	无		爆花		软
0.05	↓	↓	↓	↓	↓	两根分叉	小	无	少	
0.1	↓	↓	↓	↓	↓	三根分叉	↓	无	↓	
0.2	↓	↓	↓	↓	↓	多根分叉	↓	无	↓	
0.3	↓	↓	↓	↓	↓	二次花多分叉	↓	微量	↓	
0.4	↓	↓	↓	↓	↓	三次花多分叉	↓	稍多	↓	
0.5	↓	亮	长	粗	↓	↓	大	↓	↓	
0.6	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
0.7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
0.8	↓	暗	短	细	多	↓	小	↓	↓	
0.8 以上	黄橙	暗	短	细	多	复杂	小	多量	多	

(1) 低碳钢 火束较长, 流线稍多, 呈草黄色, 自根部起逐渐膨胀粗大, 至尾部逐渐收缩, 尾部下垂呈半弧夹形, 花量不多, 主要为一次花。

(2) 中碳钢 火束较短, 流线多而稍细, 呈明亮黄色, 花量较多, 主要为二次花, 也有三次花, 火花盛开。

(3) 高碳钢 火束短而粗, 流线多而很细密, 呈橙红色, 花量多而密, 主要为三次花及花粉。

(4) 高速工具钢 火束细长, 流线少, 呈暗红色, 中部和根部为断续流线, 有时呈波浪状, 尾部膨胀而下垂成点状狐尾尾花, 仅在尾部有少量爆花, 花量极少。

#### 5. 常见钢种的火花特征

(1) 20 钢的火花特征 (见图 4-9) 流线不太多, 带红色, 火束长, 芒线稍粗, 花量不多, 有多根分叉, 一次花爆裂, 尾端呈明显的枪尖形, 色泽呈草黄色。

(2) 20Cr 钢火花特征 (见图 4-10) 与 20 钢的火花比较, 色泽白亮, 辉光度高, 爆花大而整齐, 流线粗而长, 一次多叉爆花, 且有少量二次花。花形较大, 芒线粗而稀, 爆花核心有明亮节点。



图 4-9 20 钢火花特征



图 4-10 20Cr 钢火花特征

(3) 45 钢火花特征 (见图 4-11) 火束较短, 流线较多而稍细, 辉光度高, 爆裂为多分叉三次花, 有小花及花粉, 尾尖端有分叉。

(4) T10 钢火花特征 (见图 4-12) 流线多而细, 火束比中碳钢更短更粗, 三次花占 5/6 以上, 爆花辉光度稍弱, 带有红色爆裂和碎花, 小花和花粉极多。

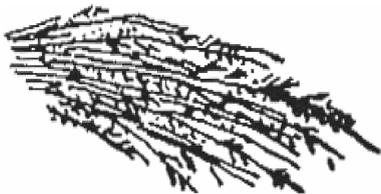


图 4-11 45 钢火花特征



图 4-12 T10 钢火花特征

(5) GCr15 钢火花特征 (见图 4-13) 火束粗而短, 整个火束呈橙黄色, 芒线多而细, 三次花占 5/6 以上。尾部细而长, 碎花及小花和花粉极多。

(6) W18Cr4V 钢火花特征 (见图 4-14) 火束细长, 整个火花呈极暗红色, 无火花爆裂, 仅在尾端略有三四根分叉爆花。芒线长而尖端秃, 常呈断续流线或波浪状流线。尾端膨胀而下垂, 呈狐尾尾花。



图 4-13 GCr15 钢火花特征

(7) 灰铸铁火花特征 (见图 4-15) 灰铸铁中因碳含量和硅含量较高, 有游离的石墨碳存在, 因此流线尾端有羽毛状尾花, 火束短而细, 流线呈暗红色, 辉光度在尾部增强。



图 4-14 W18Cr4V 钢火花特征

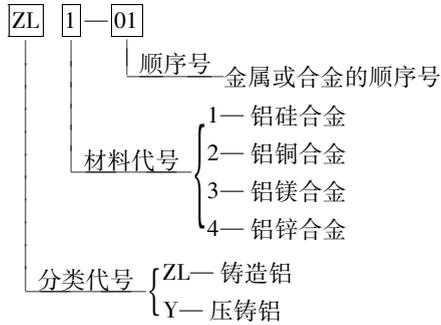


图 4-15 灰铸铁火花特征

### 4.2.3 非金属材料牌号表示方法

#### 1. 铝及铝合金牌号表示方法

1) 铸造铝及铝合金牌号表示方法如下:



2) 变形铝及铝合金牌号用四位字符表示, 牌号的第一位数字表示铝及铝合金的组别, 如表 4-15 所示。

表 4-15 铝及铝合金的组别

组 别	牌号系列
纯铝 (铝的质量分数不小于 99.00%)	1 × × ×
以铜为主要合金元素的铝合金	2 × × ×
以锰为主要合金元素的铝合金	3 × × ×
以硅为主要合金元素的铝合金	4 × × ×
以镁为主要合金元素的铝合金	5 × × ×
以镁和硅为主要合金元素并以 $Mg_2Si$ 相为强化相的铝合金	6 × × ×
以锌为主要合金元素的铝合金	7 × × ×
以其他合金元素为主要合金元素的铝合金	8 × × ×
备用合金组	9 × × ×

3) 变形铝及铝合金基础状态代号及名称如表 4-16 所示。

表 4-16 变形铝及铝合金基础状态代号及名称

序号	代号	名 称
1	F	自由加工状态
2	O	退火状态
3	H	加工硬化状态
4	W	固溶处理状态
5	T	热处理状态
	TO	固溶处理后, 经自然时效再通过加工的状态

(续)

序号	代号	名 称
5	T1	由高温成形过程冷却, 然后自然时效至基本稳定状态
	T2	由高温成形过程冷却, 经冷加工后自然时效至基本稳定状态
	T3	固溶热处理后进行冷加工, 再经自然时效至基本稳定状态
	T4	固溶处理后自然时效至基本稳定状态
	T5	由高温成形过程冷却, 然后进行人工时效的状态
	T6	固溶处理后进行人工时效的状态
	T7	固溶处理后进行过时效的状态
	T8	固溶处理后经冷加工, 然后进行人工时效的状态
	T9	固溶处理后经人工时效, 然后进行冷加工的状态
	T10	由高温成形过程冷却, 进行冷加工, 然后人工时效的状态

- 注: 1. 代号 W 是一种不稳定状态, 仅适用于经固溶处理后, 室温下自然时效的合金, 表示产品处于自然时效阶段。
2. 代号 T 不同于 F、O、H 状态, 适用于处理后, 经过 (或不经过) 加工硬化达到稳定状态的产品。T 代号后必须跟有一位或多位阿拉伯数字。
3. 某些 6XXX 系列合金, 无论是炉内固溶处理, 还是从高温成形过程急冷以保留可溶性组分在固体中, 均能达到相同的热处理效果, 这些合金的 T3、T4、T6、T7、T8 和 T9 状态可采用上述两种处理方法的任一种。
4. 在 TX 状态代号后再添加一位阿拉伯数字 (称作 TXX 状态), 或添加二位阿拉伯数字 (称作 TXXX 状态), 表示经过了明显改变产品特性的特定工艺处理的状态。

## 2. 铜及铜合金牌号表示方法

(1) 铸造铜合金的牌号表示方法 铸造铜合金的牌号是以“ZCu××××”表示的, “Z”表示铸造, “Cu”表示铜合金, 后面再加其他元素符号及其含量代号, 如 ZCuSn10Zn2、ZCuPb10 等。

### (2) 变形铜及铜合金的牌号表示方法

1) 黄铜牌号表示方法如下: ①普通黄铜的牌号以“H”开头 (H 是黄的汉语拼音第一个字母), 后面加铜的含量数值 (以百分之几计), 如 H96 表示含铜质量分数为 96% 左右的普通黄铜, H62 表示含铜质量分数为 62% 左右的黄铜。②特殊黄铜的牌号仍以“H”开头, 后面加主添加元素的符号, 再加铜元素的含量数值 (以百分之几计)。例如: HNi65-5 表示镍黄铜, 含铜质量分数为 65% 左右; HFe59-1-1 表示铁黄铜, 含铜质量分数 59% 左右; HPb61-1 表示铅黄铜, 含铜质量分数 61% 左右; HAl66-6-3-2 表示铝黄铜, 含铜质量分数 66% 左右; HMn55-3-1 表示锰黄铜, 含铜质量分数 55% 左右; HSn70-1 表示锡黄铜, 含铜质量分数 70% 左右; HSi80-3 表示硅黄铜, 含铜质量分数 80% 左右。③唯一例外的是加砷黄铜, 它

的牌号是以“H”开头，后面加铜的含量（以百分之几计），再加字母“A”，如H68A表示含铜质量分数为68%左右的加砷黄铜。

2) 白铜牌号表示方法如下：①普通白铜的牌号以“B”开头（B是白的汉语拼音第一个字母），后面加镍的含量数值（以百分之几计），如B5表示含镍质量分数为5%左右的普通白铜。②特殊白铜的牌号仍以“B”开头，后面加主添加元素的符号，再加镍元素的含量数值（以百分之几计）。例如：BFe11-1-1表示铁白铜，含镍质量分数为11%左右；BMn40-1.5表示锰白铜，含镍质量分数为40%左右；BZn18-18表示锌白铜，含镍质量分数为18%左右；BA113-3表示铝白铜，含镍质量分数为13%左右。

3) 青铜牌号表示方法如下：以“Q”开头（Q是青的汉语拼第一个字母），后面加主添加元素的符号，再加主添加元素的含量数值（以百分之几计）。例如：QSn1.5-2表示锡青铜，含锡质量分数为1.5%左右；QAl5表示铝青铜，含铝质量分数为5%左右；QBe2表示铍青铜，含铍质量分数2%左右；QSi3-1表示硅青铜，含硅质量分数3%左右；QMn5表示锰青铜，含锰质量分数5%左右。

需要注意的是变形铜合金牌号中的数值表示意义不同：对于黄铜，表示的是铜元素的质量分数；对于白铜，表示的是镍元素的质量分数；对于青铜，表示的是主添加元素的质量分数。

### 3. 锌及锌合金牌号表示方法

1) 铸造锌合金的牌号是以“ZZn××××”表示的，“Z”表示铸造，“Zn”表示锌合金，后面再加其他元素符号及其含量代号，如ZZnAl6Cu1、ZZnAl4Cu1Mn等。

2) 压铸锌合金的牌号是以“YZZn××××”表示的，“Y”表示压力，“Z”表示铸造，“Zn”表示锌合金，后面再加其他元素符号及其含量代号，如YZZnAl4Cu1等。

3) 锌锭的牌号是以“Zn”开头，后面加锌的质量分数的数值来表示的，如Zn99.95。

4) 其他锌合金加工制品牌号表示方法：①电池用锌板的牌号用“XD×”表示，其中“×”是阿拉伯数字，表示序号，如XD1。②胶印锌板的牌号用“XJ×”表示，其中“×”是阿拉伯数字，表示序号，如XJ1。③锌饼的牌号用“XB×”，其中“×”是阿拉伯数字，表示序号，如XB1。

## 4.3 金属材料的状态及标记

### 4.3.1 钢铁材料的交货状态

钢铁材料的交货状态如表4-17所示。

表 4-17 钢铁材料的交货状态

名称	说 明
热轧状态	<p>钢材在热轧或锻造后不再对其进行专门热处理，冷却后直接交货，称为热轧或热锻状态</p> <p>热轧（锻）的终止温度一般为 800~900℃，之后一般在空气中自然冷却，因而热轧（锻）状态相当于正火处理。所不同的是因为热轧（锻）终止温度有高低，不像正火加热温度控制严格，因而钢材组织与性能的波动比正火大。目前不少钢铁企业采用控制轧制，由于终轧温度控制很严格，并在终轧后采取强制冷却措施，因而钢的晶粒细化，交货钢材有较高的综合力学性能。无扭控冷热轧盘条比普通热轧盘条性能优越就是这个道理</p> <p>热轧（锻）状态交货的钢材，由于表面覆盖有一层氧化铁皮，因而具有一定的耐蚀性，储运保管的要求不像冷拉（轧）状态交货的钢材那样严格，大中型型钢、中厚钢板可以在露天货场或经苫盖后存放</p>
冷拉（轧）状态	<p>经冷拉、冷轧等冷加工成形的钢材，不经任何热处理而直接交货的状态，称为冷拉或冷轧状态。与热轧（锻）状态相比，冷拉（轧）状态的钢材尺寸精度高、表面质量好、表面粗糙度值低，并有较高的力学性能</p> <p>由于冷拉（轧）状态交货的钢材表面没有氧化皮覆盖，并且存在很大的内应力，极易遭受腐蚀或生锈，因而冷拉（轧）状态的钢材，其包装、储运均有较严格的要求，一般均需在库房内保管，并应注意库房内的温湿度控制</p>
正火状态	<p>钢材出厂前经正火热处理，这种交货状态称正火状态。由于正火加热温度 [亚共析钢为 <math>A_{c_3} + (30 \sim 50)^\circ\text{C}</math>，过共析钢为 <math>A_{c_{cm}} + (30 \sim 50)^\circ\text{C}</math>] 比热轧终止温度控制严格，因而钢材的组织、性能均匀。与退火状态的钢材相比，由于冷却速度较快，钢的组织中珠光体数量增多，珠光体层片及钢的晶粒细化，因而有较高的综合力学性能，并有利于改善低碳钢的魏氏组织和过共析钢的渗碳体网状，可为成品的进一步热处理做好组织准备。碳素结构钢、合金结构钢钢材常采用正火状态交货。某些低合金高强度钢如 14MnMoVBRE、14CrMnMoVB 钢为了获得贝氏体组织，也要求正火状态交货</p>
退火状态	<p>钢材出厂前经退火热处理，这种交货状态称为退火状态。退火的目的主要是为了消除和改善前道工序遗留的组织缺陷和内应力，并为后道工序作好组织和性能上的准备</p> <p>合金结构钢、保证淬透性结构钢、冷镦钢、轴承钢、工具钢、汽轮机叶片用钢、铁素体型不锈钢耐热钢的钢材常用退火状态交货</p>
高温回火状态	<p>钢材出厂前经高温回火热处理，这种交货状态称为高温回火状态。高温回火的回火温度高，有利于彻底消除内应力，提高塑性和韧性，碳素结构钢、合金结构钢、保证淬透性结构钢钢材均可采用高温回火状态交货。某些马氏体型高强度不锈钢、高速工具钢和高强度合金钢，由于有很高的淬透性以及合金元素的强化作用，常在淬火（或正火）后进行一次高温回火，使钢中碳化物适当聚集，得到碳化物颗粒较粗大的回火索氏体组织（与球化退火组织相似），因而，这种交货状态的钢材有很好的切削加工性能</p>
固溶处理状态	<p>钢材出厂前经固溶处理，这种交货状态称为固溶处理状态。这种状态主要适用于奥氏体型不锈钢材出厂前的处理。通过固溶处理，得到单相奥氏体组织，以提高钢的韧性和塑性，为进一步冷加工（冷轧或冷拉）创造条件，也可为进一步沉淀硬化做好组织准备</p>

### 4.3.2 钢铁材料的标记代号

钢铁材料的标记代号如表 4-18 所示。

表 4-18 钢铁材料的标记代号 (GB/T 15575—2008)

代号	中文名称	英文名称
W	加工状态 (方法)	working condition
WH	热加工	hot working
WHR	热轧	hot rolling
WHE	热扩	hot expansion
WHEX	热挤	hot extrusion
WHF	热锻	hot forging
WC	冷加工	cold working
WC	冷轧	cold rolling
WCE	冷挤压	cold extrusion
WCD	冷拉 (拔)	cold draw
WW	焊接	weld
P	尺寸精度	precision of dimensions
E	边缘状态	edge condition
EC	切边	cut edge
EM	不切边	mill edge
ER	磨边	rub edge
F	表面质量	workmanship finish and appearance
FA	普通级	A class
FB	较高级	B class
FC	高级	C class
S	表面种类	surface kind
SPP	压力加工表面	pressure process
SA	酸洗	acid
SS	喷丸 (砂)	shot blast
SF	剥皮	flake
SP	磨光	polish
SB	抛光	buff
SBL	发蓝	blue
S_	镀层	metallic coating
SC_	涂层	organic coating

(续)

代号	中文名称	英文名称
ST	表面处理	treatment surface
STC	钝化 (铬酸)	passivation
STP	磷化	phosphatization
STO	涂油	oiled
STS	耐指纹处理	sealed
S	软化程度	soft grade
S 1/4	1/4 软	soft quarter
S 1/2	半软	soft half
S	软	soft
S2	特软	soft special
H	硬化程度	hard grade
H 1/4	低冷硬	hard low
H 1/2	半冷硬	hard half
H	冷硬	hard
H2	特硬	hard special
	热处理类型	
A	退火	annealing
SA	软化退火	soft annealing
G	球化退火	globurizing
L	光亮退火	light annealing
N	正火	normalizing
T	回火	tempering
QT	淬火 + 回火	quenching and tempering
NT	正火 + 回火	normalizing and tempering
S	固溶	solution treatment
AG	时效	aging
	冲压性能	
CQ	普通级	commercial quality
DQ	冲压级	drawing quality
DDQ	深冲级	deep drawing quality
EDDQ	特深冲级	extra deep drawing quality
SDDQ	超深冲级	super deep drawing quality
ESDDQ	特超深冲级	extra super deep drawing quality

(续)

代号	中文名称	英文名称
U	使用加工方法	use
UP	压力加工用	use for pressure process
UHP	热加工用	use for hot process
UCP	冷加工用	use for cold process
UF	顶锻用	use for forge process
UHF	热顶锻用	use for hot forge process
UCF	冷顶锻用	use for cold forge process
UC	切削加工用	use for cutting process

### 4.3.3 钢铁材料的涂色标记

钢铁材料的涂色标记如表 4-19 所示。

表 4-19 钢铁材料的涂色标记

类别	牌号或组别	涂色标记	类别	牌号或组别	涂色标记
优质 碳素 结构 钢	05 ~ 15	白色	合金 结构 钢	铬硅钼钒钢	紫色 + 棕色
	20 ~ 25	棕色 + 绿色		铬铝钢	铝白色
	30 ~ 40	白色 + 蓝色		铬钼铝钢	黄色 + 紫色
	45 ~ 85	白色 + 棕色		铬钨钒铝钢	黄色 + 红色
	15Mn ~ 40Mn	白色两条		硼钢	紫色 + 蓝色
	45Mn ~ 70Mn	绿色 3 条		铬钼钨钒钢	紫色 + 黑色
合金 结构 钢	锰钢	黄色 + 蓝色	高速 工具 钢	W12Cr4V4Mo	棕色 1 条 + 黄色 1 条
	硅锰钢	红色 + 黑色		W18Cr4V	棕色 1 条 + 蓝色 1 条
	锰钒钢	蓝色 + 绿色		W9Cr4V2	棕色两条
	铬钢	绿色 + 黄色		W9Cr4V	棕色 1 条
	铬硅钢	蓝色 + 红色	铬轴 承钢	GCr6	绿色 1 条 + 白色 1 条
	铬锰钢	蓝色 + 黑色		GCr9	白色 1 条 + 黄色 1 条
	铬锰硅钢	红色 + 紫色		GCr9SiMn	绿色两条
	铬钒钢	绿色 + 黑色		GCr15	蓝色 1 条
	铬锰钛钢	黄色 + 黑色		GCr15SiMn	绿色 1 条 + 蓝色 1 条
	铬钨钒钢	棕色 + 黑色	不锈耐 酸钢	铬钢	铝色 + 黑色
	钼钢	紫色		铬钛钢	铝色 + 黄色
	铬钼钢	绿色 + 紫色		铬锰钢	铝色 + 绿色
	铬锰钼钢	绿色 + 白色		铬钼钢	铝色 + 白色
	铬钼钒钢	紫色 + 棕色		铬镍钢	铝色 + 红色

(续)

类别	牌号或组别	涂色标记	类别	牌号或组别	涂色标记
不锈钢 酸钢	铬锰镍钢	铝色 + 棕色	不锈钢 酸钢	铬钼钒钴钢	铝色 + 紫色
	铬锰钛钢	铝色 + 蓝色		铬镍铜钛钢	铝色 + 蓝色 + 白色
	铬镍铌钢	铝色 + 蓝色		铬镍钼铜钛钢	铝色 + 黄色 + 绿色
	铬钼钛钢	铝色 + 白色 + 黄色		铬镍钼铜铌钢	铝色 + 黄色 + 绿色(铝色为 宽色条, 其余为窄色条)
	铬钼钒钢	铝色 + 红色 + 黄色			
	铬镍钼钛钢	铝色 + 紫色			

#### 4.3.4 非金属材料的交货状态

非金属材料的交货状态如表 4-20 所示。

表 4-20 非金属材料的交货状态

代号	状 态	代号	状 态
m	消除应力状态	CT	超弹硬状态
M(C)	软状态 <sup>①</sup>	R	热轧状态
M <sub>2</sub>	轻软状态	CYS <sup>②</sup>	淬火 + 冷加工 + 人工时效状态
TM	特软状态	ST	固溶状态
Y(CY)	硬状态	TH01	1/4 硬时效状态
Y <sub>2</sub> (CY <sub>2</sub> )	1/2 硬状态	TH02	1/2 硬时效状态
Y <sub>3</sub> (CY <sub>3</sub> )	1/3 硬状态	TH03	3/4 硬时效状态
Y <sub>4</sub> (CY <sub>4</sub> )	1/4 硬状态	TH04	硬时效状态
Y <sub>8</sub> (CY <sub>8</sub> )	1/8 硬状态	TF00	软时效状态
T	特硬状态	Sh	烧结状态
TY	弹硬状态	X	交叉碾压状态

注：工业生产中，在表示非金属材料的状态时，有时用括号内的代号。

① 也称为退火状态。

② 根据硬度大小分为 CYS、CY<sub>2</sub>S、CY<sub>3</sub>S、CY<sub>4</sub>S、CY<sub>8</sub>S。

#### 4.3.5 非金属材料的涂色标记

非金属材料的涂色标记如表 4-21 所示。

表 4-21 非金属材料的涂色标记

名称	牌号或组别	标记涂色	名称	牌号或组别	标记涂色
锌锭	Zn-01	红色二条	锌锭	Zn-3	黑色一条
	Zn-1	红色一条		Zn-4	绿色二条
	Zn-2	黑色二条		Zn-5	绿色一条

(续)

名称	牌号或组别	标记涂色	名称	牌号或组别	标记涂色
铝锭	Al-00(特一号)	白色一条	铅锭	Pb-5	绿色二条
	Al-0(特二号)	白色二条		Pb-6	绿色一条
	Al-1(一号)	红色一条	镍板	Ni-01(特号)	红色
	Al-2(二号)	红色二条		Ni-1(一号)	蓝色
	Al-3(三号)	红色三条		Ni-2(二号)	黄色
铅锭	Pb-1	红色二条	铸造 碳化 钨	(二号)	绿色
	Pb-2	红色一条		(三号)	黄色
	Pb-3	黑色二条		(四号)	白色
	Pb-4	黑色一条		(六号)	浅蓝色

## 4.4 金属材料的物理性能及力学性能

### 4.4.1 金属材料的物理性能

金属材料的物理性能包括熔点、密度、线胀系数、比热容、热导率、电阻率和平均电阻温度系数等。

#### 1. 熔点

熔点是物质固、液两种状态可以共存并处于平衡态的温度。物质的熔点并不是固定不变的，影响熔点的因素有环境压强和物质中的杂质。人们平时所说的物质的熔点，通常是指纯净的物质。但在现实生活中，大部分的物质都不是纯净的，例如冰中溶有盐，其熔点就会明显下降，海水就是溶有盐的水，海水冬天结冰的温度比河水低，就是这个原因。北方的城市在冬天下大雪时，常常往公路的积雪上撒盐，就是为了让雪的纯度降低。同样的道理，金属合金的熔点总是低于纯金属。

金属的熔点对材料的熔炼、热加工有直接的影响。钢在切削加工时，不会燃烧，但在切削镁合金时，很容易发生镁燃烧的现象。这是因为镁合金的熔点和燃点低。

#### 2. 密度

密度是一种反映物质特性的物理量，人们往往感觉铁块“重”一些，木板“轻”一些，这里的“重”和“轻”实质上指的是密度的大小。密度是物质的一种特性，它不随物质体积等的改变而改变，同种物质的密度是永远不变的。

#### 3. 线胀系数

热胀冷缩现象在自然界中普遍存在，对人类生活和生产有着广泛的影响，这种现象早已经被人们所熟知，并被研究和利用。图 4-16 就是生活中的热胀冷缩现象。



图 4-16 生活中的热胀冷缩

线胀系数是指单位温度变化引起的单位长度试样的线膨胀量。当温度由  $t_1$  变到  $t_2$  时，试样的长度相应地从  $L_1$  变到  $L_2$ ，则材料在该温度区间的平均线胀系数  $\bar{\alpha}$  可用下式表示：

$$\bar{\alpha} = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta t}$$

- 式中  $\bar{\alpha}$ ——平均线膨胀系数 ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )；  
 $L_1$ ——试样的初始长度 (mm)；  
 $L_2$ ——试样受热膨胀后的长度 (mm)；  
 $t_1$ ——试样的初始温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；  
 $t_2$ ——试样的终止温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；  
 $\Delta L$ ——试样长度变化量 (mm)；  
 $\Delta t$ ——试样温度变化量 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

#### 4. 比热容

在图 4-17 中同一时刻，为什么海水和沙子的温度不一样？



图 4-17 海水和沙子的温差

出现这种现象的原因就是物质的比热容不同。比热容又称比热容量，是单位质量的某种物质在温度升高  $1^{\circ}\text{C}$  时吸收的热量或温度降低  $1^{\circ}\text{C}$  时所放出的热量。

比热容的单位是复合单位，在国际单位制中，能量、功、热量的主单位统一为

焦耳, 温度的主单位是开尔文, 因此比热容的主单位为  $J/(kg \cdot K)$ 。摄氏度和开尔文仅在温标表示上有所区别, 在表示温差的量值上意义等价, 因此这些单位中的  $^{\circ}C$  和  $K$  可以任意互相替换。

### 5. 热导率

市场上销售的不锈钢锅的底部均镀了一层铜, 这是什么原因呢?

这是因为不锈钢的导热性能差, 加热时, 如果没有镀铜, 火焰正对部位局部高温过热, 而其余加热部位的温度相对差异较大, 会造成局部食物烧焦。而铜的导热性能就比较好, 镀铜后可以很好地解决这个问题。这里所说的导热能力可以简单地理解为热导率。

热导率 (或称导热系数), 是物质导热能力的量度, 是指在物体内部垂直于导热方向取两个相距  $1m$ 、面积为  $1m^2$  的平行平面, 若两个平面的温度相差  $1^{\circ}C$ , 则在  $1s$  内从一个平面传导至另一个平面的热量就规定为该物质的热导率, 其单位为  $W/(m \cdot K)$ 。

### 6. 电阻率

导体在导电的同时还对电流有着阻碍作用, 而且不同的导体对电流的阻碍作用不同, 也就是不同导体材料的电阻率不同。

电阻率是用来表示各种物质电阻特性的物理量, 在常温 ( $20^{\circ}C$ ) 下, 某种材料制成的长  $1m$ 、横截面积  $1mm^2$  导体的电阻, 叫做这种材料的电阻率。电阻不仅取决于导体的电性能, 而且还与导体的几何形状有关。导体电阻大小与导体的长度  $l$  成正比, 与横截面积  $A$  成反比, 关系式如下:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

式中  $R$ ——导体的电阻 ( $\Omega$ );

$\rho$ ——导体材料的电阻率 ( $\Omega \cdot m$ );

$l$ ——导体长度 ( $m$ );

$A$ ——导体的横截面积 ( $m^2$ )。

电阻率的倒数称为电导率, 是导体材料传导电流能力的表征, 常用下式表示:

$$\sigma = 1/\rho$$

式中  $\rho$ ——电阻率 ( $\Omega \cdot m$ );

$\sigma$ ——电导率 [ $(\Omega \cdot m)^{-1}$ ]。

### 7. 平均电阻温度系数

平均电阻温度系数是指当温度改变  $1^{\circ}C$  时, 电阻值的相对变化量, 常用下式表示:

$$\bar{\alpha}_{t_1, t_2} = \frac{R_2 - R_1}{R_0(t_2 - t_1)}$$

式中  $\bar{\alpha}_{t_1, t_2}$ —— $t_1 \sim t_2$  温度范围内的平均电阻温度系数 ( $^{\circ}C^{-1}$ );

$R_1$ ——起始温度  $t_1$  下的电阻值 ( $\Omega$ )；

$R_2$ ——终止温度  $t_2$  下的电阻值 ( $\Omega$ )；

$R_0$ ——基准温度  $t_0$  下的电阻值 ( $\Omega$ )；

$t_1$ ——起始温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；

$t_2$ ——终止温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

## 8. 常用金属材料的物理性能 (表 4-22)

表 4-22 常用金属材料的物理性能

元素名称	元素符号	熔点 / $^{\circ}\text{C}$	密度 / $(\text{g}/\text{cm}^3)$	线胀系数 / $10^{-6}\text{K}^{-1}$	比热容 / $[\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})]$	热导率 / $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	电阻率 / $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	电阻温度系数 / $10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
钯	Pd	1552	12.02	11.76	0.243	71.8	10.8	3.77
钡	Ba	725	3.512	18.8	0.192	18.4	36.0	6.1
铋	Bi	271.3	9.808	13.5	0.122	7.92	106.80	4.45
铂	Pt	1769	21.45	8.9	0.134	71.6	10.6	3.927
钒	V	1887	5.87	8.3	0.486	30.7	25	—
钙	Ca	839	1.55	22.3	0.658	201	4.06	4.16
锆	Zr	1852	4.574	5.85	0.276	22.7	40.0	4.4
镉	Cd	320.9	8.642	30.6	0.230	96.9	6.83	4.26
铬	Cr	1875	7.19	8.5	0.4598	93.9	13.0	2.5
汞	Hg	-38.47	13.546	181.9	0.1396	8.30	95.8	0.99
钴	Co	1495	8.832	13.7	0.414	69.04	6.24	6.58
钾	K	63.65	0.862	83.0	0.757	102.5	6.15	5.4
金	Au	1064.43	19.32	14.1	0.129	317.9	2.35	3.98
硒	Se	1541	2.992	10.2	0.5674	15.8	51.4	2.82
铼	Re	3180	21.04	6.6	0.138	71.2	19.3	3.95
铑	Rh	1966	12.41	8.4	0.247	150	4.51	4.57
锂	Li	180.54	0.534	47.0	3.570	84.8	8.55	4.6
钌	Ru	2310	12.41	6.7	0.238	117	7.6	4.2
铝	Al	660.4	2.702	23.2	0.903	247	2.65	4.29
镁	Mg	648.8	1.738	25.2	1.025	156	4.45	3.7
锰	Mn	1244	7.47	22.8	0.477	7.81	144.0	0.17
钼	Mo	2617	10.22	5.0	0.251	138	5.2	4.7
钠	Na	97.82	0.9674	69.6	1.2220	142	4.28	5.5
铌	Nb	2468	8.57	7.1	0.267	53.7	12.5	2.28
镍	Ni	1453	8.902	12.7	0.444	90.9	6.84	6.75
铍	Be	1278	1.8520	12.4	1.886	201	4.02	25.2

(续)

元素名称	元素符号	熔点 /℃	密度 /( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	线胀系数 / $10^{-6}\text{K}^{-1}$	比热容 / $[\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})]$	热导率 / $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	电阻率 / $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	电阻温度系数 / $10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
铅	Pb	327.502	11.3437	28.9	0.130	35.3	20.648	4.22
铷	Rb	38.89	1.532	88.1	0.360	58.2	12.5	5.3
铈	Ce	798	6.6893	6.3	0.1923	11.3	74.4	0.87
钛	Ti	1675	4.507	8.41	0.523	21.9	42.0	5.5
钽	Ta	2996	16.60	6.55	0.144	54.4	12.45	3.83
锑	Sb	630.74	6.697	11.4	0.207	24.4	39.0	5.4
铁	Fe	1538	7.870	11.76	0.447	80.4	9.7	6.16
铜	Cu	1084.88	8.93	16.8	0.385	401	1.67	4.33
钨	W	3410	19.35	4.6	0.134	173	5.65	4.83
锡	Sn	231.968	7.168	21.2	0.222	66.8	11.4	4.5
锌	Zn	419.53	7.133	29.7	0.385	116	5.916	4.19
铱	Ir	2447	22.65	6.8	0.134	147	5.3	4.33
银	Ag	961.9	10.5020	19.2	0.236	429	1.59	4.10

#### 4.4.2 金属材料的力学性能

金属材料要发挥作用，大多需要形成结构件，形成结构件后就要受到各种力的作用，这些力有时还是变化的。

金属材料在不同环境（温度、介质、湿度）下，承受各种外加载荷（拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等）时所表现出的力学特征，称为金属材料的力学性能，主要包括强度、硬度、塑性和冲击韧性等。

检验金属材料力学性能的试验很多，通过试验测定相关数值后，即可作为设计的依据。

##### 1. 硬度

硬度是指材料对压入塑性变形、划痕、磨损或切削等的抗力，是材料在一定条件下抵抗本身不发生残余变形物压入的能力。

机械加工车间里的车、铣、刨、磨、钻加工，都是通过具有不同材质和不同形状的工具进行的，可见不同金属的硬度是不同的，如图4-18所示。

##### (1) 常见硬度相关术语

1) 布氏硬度 (HBW)：材料抵抗采用硬质合金球压头施加试验力所产生永久压痕变形的度量单位。在较早的相关标准里还有 HBS 的符号（指压头的材料为钢质），现在已经取消。

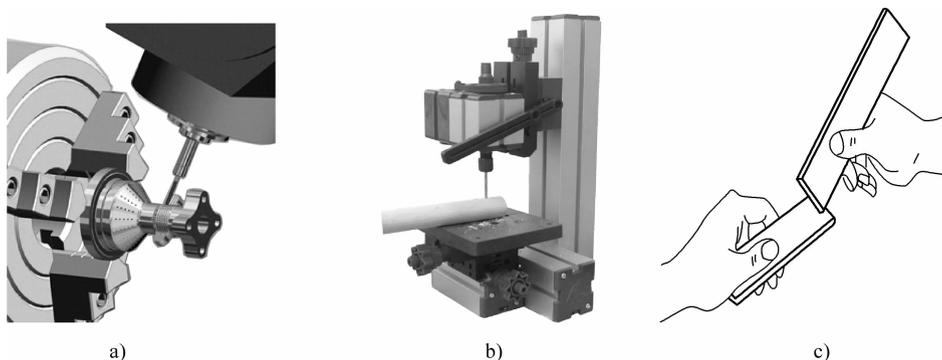


图 4-18 不同金属的不同硬度  
a) 铣 b) 钻 c) 不同金属相互刻划

2) 努氏硬度 (HK): 材料抵抗采用金刚石菱形锥体压头施加试验力所产生永久压痕变形的度量单位。

3) 肖氏硬度 (HS): 应用弹性回跳法将撞销 (具有尖端的小锥, 尖端上常镶有金刚石) 从一定高度落到所测试材料的表面上而发生回跳, 用测得的撞销回跳的高度来表示的硬度。

4) 洛氏硬度 (HR): 材料抵抗采用硬质合金, 或对应某一标尺的金刚石圆锥体压头施加试验力所产生永久压痕变形的度量单位。

5) 维氏硬度 (HV): 材料抵抗采用金刚石正四棱锥体压头施加试验力所产生永久压痕变形的度量单位。

6) 里氏硬度 (HL): 用规定质量的冲击体在弹性力作用下以一定速度冲击试样表面, 冲头在距试样表面 1mm 处的回弹速度与冲击速度的比值计算的硬度值。

(2) 各种硬度间的换算关系 (见表 4-23)

(3) 钢铁材料硬度与强度的换算关系 为了能用硬度试验代替某些力学性能试验, 生产上需要一个比较准确的硬度和强度的换算关系。布氏硬度与抗拉强度的换算关系近似为:

- 1) 低碳钢:  $R_m \approx 3.53HBW$ 。
- 2) 高碳钢:  $R_m \approx 3.33HBW$ 。
- 3) 合金钢:  $R_m \approx 3.19HBW$ 。
- 4) 灰铸铁:  $R_m \approx 0.98HBW$ 。

(4) 非铁金属材料硬度与强度的换算关系 非铁金属材料硬度 (HBW) 与抗拉强度  $R_m$  ( $N/mm^2$ ) 的关系可按关系式  $R_m = KHBW$  计算, 其中强度-硬度系数 K 值按表 4-24 取值。

表 4-23 各种硬度间的换算关系

洛氏 硬度 HRC	肖氏 硬度 HS	维氏 硬度 HV	布氏 硬度 HBW	洛氏 硬度 HRC	肖氏 硬度 HS	维氏 硬度 HV	布氏 硬度 HBW	洛氏 硬度 HRC	肖氏 硬度 HS	维氏 硬度 HV	布氏 硬度 HBW
70		1037	—	52	69.1	543	—	34	46.6	320	314
69		997	—	51	67.7	525	501	33	45.6	312	306
68	96.6	959	—	50	66.3	509	488	32	44.5	304	298
67	94.6	923	—	49	65	493	474	31	43.5	296	291
66	92.6	889	—	48	63.7	478	461	30	42.5	289	283
65	90.5	856	—	47	62.3	463	449	29	41.6	281	276
64	88.4	825	—	46	61	449	436	28	40.6	274	269
63	86.5	795	—	45	59.7	436	424	27	39.7	268	263
62	84.8	766	—	44	58.4	423	413	26	38.8	261	257
61	83.1	739	—	43	57.1	411	401	25	37.9	255	251
60	81.4	713	—	42	55.9	399	391	24	37	249	245
59	79.7	688	—	41	54.7	388	380	23	36.3	243	240
58	78.1	664	—	40	53.5	377	370	22	35.5	237	234
57	76.5	642	—	39	52.3	367	360	21	34.7	231	229
56	74.9	620	—	38	51.1	357	350	20	34	226	225
55	73.5	599	—	37	50	347	341	19	33.2	221	220
54	71.9	579	—	36	48.8	338	332	18	32.6	216	216
53	70.5	561	—	35	47.8	329	323	17	31.9	211	211

表 4-24 非铁金属材料强度-硬度系数  $K$  值

材料	$K$ 值	材料	$K$ 值
铝	2.7	铝黄铜	4.8
铅	2.9	铸铝 ZL103	2.12
锡	2.9	铸铝 ZL101	2.66
铜	5.5	硬铝	3.6
单相黄铜	3.5	锌合金铸件	0.9
H62	4.3~4.6		

## 2. 拉伸性能

(1) 上屈服强度和下屈服强度 从应力-应变曲线上可看到, 当应力达到某值后, 塑性应变急剧增加, 应力出现微小波动, 这种现象称为屈服。上屈服强度是指

试样发生屈服而力首次下降前的最高应力，用符号  $R_{eH}$  表示，单位为  $N/mm^2$  或 MPa。下屈服强度是指在屈服期间不计初始瞬时效应时的最低应力，用符号  $R_{eL}$  表示，单位为  $N/mm^2$  或 MPa。

(2) 抗拉强度 金属材料受拉，断裂前的最大应力值称为抗拉强度（也称强度极限），用符号  $R_m$  表示，单位为  $N/mm^2$  或 MPa。

(3) 规定非比例延伸强度 试样标距部分的非比例延长达到规定的原始标距百分比时的应力称为规定非比例延伸强度，用符号  $R_p$  表示，单位为  $N/mm^2$  或 MPa。使用的符号应附以下角标说明所规定的百分率，例如  $R_{p0.2}$  表示规定非比例延伸率为 0.2% 时的应力。

(4) 规定残余延伸强度 试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达到原始标距百分比时的应力称为规定残余延伸强度，用符号  $R_r$  表示，单位为  $N/mm^2$  或 MPa。使用的符号应附以下角标说明所规定的百分率，例如  $R_{r0.2}$  表示规定残余延伸率为 0.2% 时的应力。

(5) 断后伸长率 试样拉断后，标距的残余伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率，用符号  $A$  表示。对于比例试样，若原始标距不为  $5.65\sqrt{S_0}$  ( $S_0$  为平行长度的原始横截面积)，符号  $A$  应附以下角标说明所使用的比例系数，例如  $A_{11.3}$  表示原始标距为  $11.3\sqrt{S_0}$  的断后伸长率。对于非比例试样，符号  $A$  应附以下角标说明所使用的原始标距，例如  $A_{80mm}$  表示原始标距为 80mm 的断后伸长率。

(6) 断面收缩率 试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率，用符号  $Z$  表示。

(7) 泊松比 泊松比 ( $\mu$ ) 是指在材料的比例极限内，由均匀分布的轴向应力作用下横向应变与轴向应变之比的绝对值，它是反映材料横向变形的弹性常数。例如，一杆受拉伸时，其轴向伸长伴随着横向收缩（反之亦然），而横向应变与轴向应变之比称为泊松比。材料的泊松比一般通过试验方法测定。

### 3. 冲击韧性

材料抵抗冲击载荷的能力称为材料的冲击韧性。冲击载荷是指以较高的速度施加到零件上的载荷，当零件在承受冲击载荷时，瞬间冲击所引起的应力和变形比静载荷时要大得多，因此在制造这类零件时，就必须考虑到材料的冲击性能。众所周知的泰坦尼克号的沉没就与船体材料的冲击性能有直接关系。如果对泰坦尼克号所用钢板进行冲击试验，估计结果如图 4-19a 所示，现代船用钢板的冲击试验结果如图 4-19b 所示。

冲击试验是利用能量守恒原理，将具有一定形状和尺寸的带有 V 型或 U 型缺口的试样，在冲击载荷作用下冲断，以测定其冲击吸收能量的一种试验方法。冲击试验是试样在冲击试验力的作用下的一种动态力学性能试验。冲击试验对材料的缺陷很敏感，它能灵敏地反映出材料的宏观缺陷、显微组织的微小变化和材料品质，

因此冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理工艺质量的有效方法。

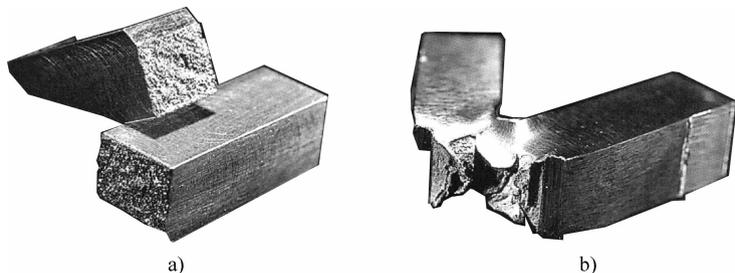


图 4-19 不同钢板的冲击试验结果

a) 冲击韧性低 b) 冲击韧性高

冲击吸收能量  $K$  是通过一次摆锤冲击试验获得的，如图 4-20 所示。

试验时，先将标准冲击试样放置在摆锤冲击试验机的支座上，把具有重量  $G$ （单位为  $N$ ）的摆锤提高到距离试样高度为  $h$ （单位为  $m$ ）的位置，摆锤势能为  $Gh$ ，然后使其下落，将试样冲断，冲断试件后摆锤上升到距原试件的高度为  $h'$  之处，此时摆锤剩余势能为  $Gh'$ ，那么冲断试样所消耗掉的能量为  $Gh - Gh'$ ，称为冲击吸收能量  $K$ （单位为  $J$ ）。即

$$K = G(h - h')$$

冲击吸收能量  $K$  值越高，表示材料的冲击韧性越好。一般把冲击吸收能量  $K$  值高的材料称为韧性材料， $K$  值低的材料称为脆性材料。

吸收能量  $K$  是由指针或其他指示装置示出的能量值。用字母  $V$  和  $U$  表示标准冲击试样缺口几何形状，用下标数字 2 或 8 表示摆锤刀刃半径，例如  $KV_2$ 。

对于冲头、空气锤锤杆等承受冲击的零件，应具有一定的冲击韧性才能满足其使用性能要求。但其值也不能要求过高，因为当冲击吸收能量  $K$  升高时，往往其硬度值和强度值会降低，耐磨性能和承载性能也会下降，零件的使用寿命缩短。

由于冲击吸收能量的大小与很多因素有关，很难准确地反映材料的脆性和韧性，所以冲击吸收能量一般仅作为选用材料时的参考，而不直接用于强度计算。但冲击吸收能量对材料的内部组织和缺陷非常敏感，如晶粒粗化、冷脆、回火脆性及夹渣、气泡、偏析等微小缺陷都可以通过冲击吸收能量  $K$  值表现出来。

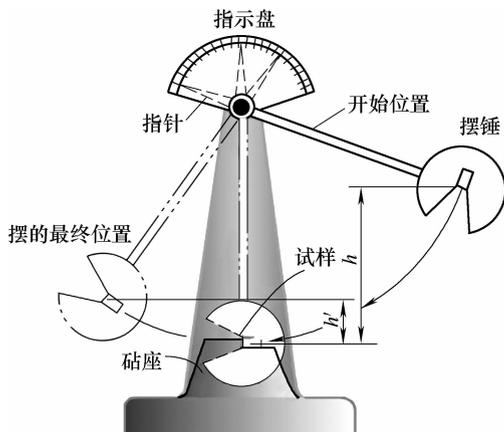


图 4-20 一次摆锤冲击试验过程

## 4.5 金属材料理论重量计算方法

金属材料理论重量计算方法如表 4-25 所示。

表 4-25 常用金属材料理论重量计算公式

序号	类别	理论重量 $m/(kg/m)$
1	圆钢、钢线材、钢丝	$m = 0.00617 \times \text{直径}^2$
2	方钢	$m = 0.00785 \times \text{边长}^2$
3	六角钢	$m = 0.0068 \times \text{对边距离}^2$
4	八角钢	$m = 0.0065 \times \text{对边距离}^2$
5	等边角钢	$m = 0.00785 \times \text{边厚} \times (2 \times \text{边宽} - \text{边厚})$
6	不等边角钢	$m = 0.00785 \times \text{边厚} \times (\text{长边宽} + \text{短边宽} - \text{边厚})$
7	工字钢	$m = 0.00785 \times \text{腰厚} \times [\text{高} + f \times (\text{腿宽} - \text{腰厚})]$
8	槽钢	$m = 0.00785 \times \text{腰厚} \times [\text{高} + e \times (\text{腿宽} - \text{腰厚})]$
9	扁钢、钢板、钢带 <sup>①</sup>	$m = 0.00785 \times \text{宽} \times \text{厚}$
10	钢管	$m = 0.02466 \times \text{壁厚} \times (\text{外径} - \text{壁厚})$
11	纯铜棒	$m = 0.00698 \times \text{直径}^2$
12	六角纯铜棒	$m = 0.0077 \times \text{对边距离}^2$
13	纯铜板 <sup>①</sup>	$m = 8.89 \times \text{厚度}$
14	纯铜管	$m = 0.02794 \times \text{壁厚} \times (\text{外径} - \text{壁厚})$
15	黄铜棒	$m = 0.00668 \times \text{直径}^2$
16	六角黄铜棒	$m = 0.00736 \times \text{对边距离}^2$
17	黄铜板 <sup>①</sup>	$m = 8.5 \times \text{厚度}$
18	黄铜管	$m = 0.0267 \times \text{壁厚} \times (\text{外径} - \text{壁厚})$
19	铝棒	$m = 0.0022 \times \text{直径}^2$
20	铝板 <sup>①</sup>	$m = 2.71 \times \text{厚度}$
21	铝管	$m = 0.008478 \times \text{壁厚} \times (\text{外径} - \text{壁厚})$
22	铅板 <sup>①</sup>	$m = 11.37 \times \text{厚度}$
23	铅管	$m = 0.355 \times \text{壁厚} \times (\text{外径} - \text{壁厚})$

注：1. 腰高相同的工字钢，如有几种不同的腿宽和腰厚，需在型号右边加 a、b、c 予以区别，如 32a、32b、32c 等。腰高相同的槽钢，如有几种不同的腿宽和腰厚也需在型号右边加 a、b、c 予以区别。

2.  $f$  值：一般型号及带 a 的为 3.34，带 b 的为 2.65，带 c 的为 2.26。

3.  $e$  值：一般型号及带 a 的为 3.26，带 b 的为 2.44，带 c 的为 2.24。

4. 各长度单位均为 mm。

① 理论重量  $m$  的单位为  $kg/m^2$ 。

## 4.6 塑料

目前已工业化生产的塑料有 300 多种，常用的有 60 多种，其品牌、规格则数以万计。由于塑料的原料丰富，制取方便，成型加工简单，成本低，并且不同的塑料具有不同性能，所以塑料是应用最广泛的有机高分子材料，也是最主要的工程结构材料之一。塑料的主要成分是合成树脂，此外，还包括填料或增强材料、增塑剂、固化剂、稳定剂等各种添加剂。

塑料按受热后表现的性质分为热塑性塑料和热固性塑料。热塑性塑料是受热软化、冷却又变硬，可以多次反复的塑料，受热时结构基本不发生变化；热固性塑料在一定温度初次加热时会软化或熔融，并发生结构的变化，冷却后塑料会固化成型，重新加热时不会再软化，软化和固化是不可逆的。

塑料根据性能和应用分为通用塑料、工程塑料和特种塑料。其中通用塑料产量大，用途广，价格低；工程塑料具有类似金属的力学性能，可以代替金属材料制造机器零件或结构件；特种塑料是具有特殊性能的塑料，如高耐蚀性塑料、导磁塑料、导电塑料、医用塑料等。

工程塑料是指一类可以作为结构材料，在较宽的温度范围内承受机械应力，在较为苛刻的化学物理环境中使用的高性能的高分子材料。一般指能承受一定的外力作用，并具有良好的力学性能和尺寸稳定性，在高、低温下仍能保持其优良性能，可以作为工程结构件的塑料，如 ABS、尼龙、聚碳酸酯、聚砜等。图 4-21 所示为工程塑料生产的磁力泵。



图 4-21 工程塑料磁力泵

### 1. 聚碳酸酯 (PC)

聚碳酸酯既具有类似非铁金属的强度，同时又兼备延展性及强韧性，它的冲击强度极高，用铁锤敲击不能将其破坏；耐高低温性好，使用温度范围宽，线胀系数小，阻燃性好，属于自熄性材料；耐蠕变性能较高，尺寸稳定性好；耐磨性一般，绝缘性能一般，但几乎不受温度和湿度的影响；环境性能一般，不耐一些有机溶剂，耐紫外线性能不好，但耐空气中的臭氧性较好；其透光率可达 93%，折射率为 1.587，但其耐磨性差、硬度低、双折射高的缺点使其不宜用于高精度光学制品中。聚碳酸酯 CD 和 DVD 光盘是最有潜力的市场之一。图 4-22 所示为聚碳酸酯光盘。



图 4-22 聚碳酸酯光盘

## 2. 聚酰胺 (PA)

聚酰胺商品名为尼龙,是最早发现的能承受载荷的热塑性塑料,也是目前工业中应用最广泛的一种工程塑料。尼龙具有良好的综合性能,特别是具有较高的韧性、一定的强度、低的摩擦系数和良好的自润滑性。热稳定性较差,有一定的吸水性。尼龙被广泛应用于制造使用温度在 100 ℃ 以下的轻载齿轮(见图 4-23)、尼龙绳(见图 4-24)、蜗轮、轴承、轴套等。

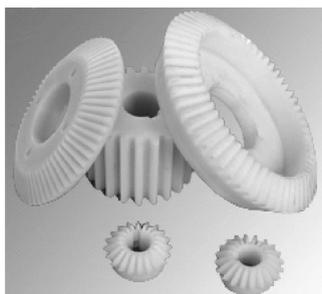


图 4-23 尼龙轻载齿轮

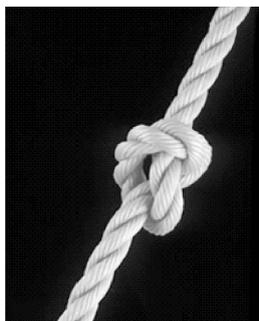


图 4-24 尼龙绳

## 3. 聚甲醛 (POM)

聚甲醛由甲醛单体聚合制得,是继聚酰胺之后发展起来的高结晶性的热塑性塑料。聚甲醛具有优良的综合性能,疲劳强度在热塑性塑料是最高的。有优良的耐磨性和自润滑性,可在 -40 ~ 100 ℃ 长期工作,吸水性小,具有好的耐水、耐油、耐化学腐蚀性和电绝缘性,但热稳定性差。聚甲醛可代替非铁金属及其合金,在汽车、机床、化工、农机等部门制造轴承、齿轮、凸轮、管道等各种机械零件。图 4-25 所示为聚甲醛管道。

## 4. ABS 塑料

ABS 塑料由丙烯腈、丁二烯、苯乙烯三种单体共聚而成的三元共聚物,又称“塑料合金”。ABS 塑料兼有丙烯腈的高硬度、高强度、耐油耐蚀,丁二烯的高弹性、高韧性,苯乙烯的绝缘性、着色性和成型加工性的优点,质坚、性韧、刚性大。但是它不耐高温、不耐燃,耐气候性也差。ABS 塑料可以用来制造齿轮、泵叶轮、轴承、方向盘、扶手等,电器工业中用作电信器材、电话、收音机、电机外壳等。表面可以电镀一层金属,代替金属部件。图 4-26 所示为 ABS 塑料空竹。



图 4-25 聚甲醛管道

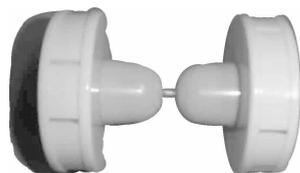


图 4-26 ABS 塑料空竹

### 5. 聚四氟乙烯 (F-4)

聚四氟乙烯在氟塑料中应用最广,产量最大,是结晶型热塑性塑料。聚四氟乙烯具有优良的耐蚀性,不受任何化学试剂侵蚀,故有“塑料王”之称。它的热稳定性高,耐低温性好,可在 $-180\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 长期使用。摩擦因数极低(0.04),并有自润滑性,吸水性小,在潮湿条件下仍能保持良好的绝缘性,不易老化。但强度较低,可加工性较差,在 $390\text{ }^{\circ}\text{C}$ 释放有毒气体,成本高。聚四氟乙烯用作减摩密封零件,如热垫圈、密封圈、自润滑轴承等,化工用的耐蚀泵、反应器,高频电子仪器的高频电缆等,医疗上制作人工心肺装置、代用血管等。图4-27所示为聚四氟乙烯产品。

### 6. 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)

聚甲基丙烯酸甲酯即有机玻璃,透光性、染色性优异,是重要的光学材料。聚甲基丙烯酸甲酯具有优异的光学性能,透光率为92%,比普通玻璃(透光率为88%)高。强度高于无机玻璃,抗破碎能力是无机玻璃的10倍。硬度低,表面容易擦伤起毛,并溶于丙酮等有机溶剂,导热性差,膨胀系数大,使用温度不超过 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。聚甲基丙烯酸甲酯可以用来制造有一定透明度和强度要求的零件,如油杯、窥孔玻璃、汽车和飞机的玻璃窗等。图4-28所示为聚甲基丙烯酸甲酯椅子。



图4-27 聚四氟乙烯产品



图4-28 聚甲基丙烯酸甲酯椅子

### 7. 聚氯乙烯 (PVC)

聚氯乙烯由氯乙烯单体经聚合反应制得,是最早生产的产品之一,产量大,成本低。聚氯乙烯化学稳定性高,绝缘性好、阻燃、耐磨,具有消声减振作用,成本低,加工容易,但耐热性差,冲击强度低,有一定毒性。根据配料不同可以分为硬质和软质塑料。聚氯乙烯硬质塑料机械强度高、耐蚀性好,主要用于化工设备和各种耐蚀容器,可以代替不锈钢和铝材。软质塑料主要用于制造人造革,用于日常生活和农业生产。图4-29所示为聚氯乙烯排水管。

### 8. 聚乙烯 (PE)

聚乙烯由乙烯单体聚合反应制得,分为高压聚乙烯和低压聚乙烯两种,因用途

广，在塑料行业中产量最大。高压聚乙烯密度较低，质地柔软，长期使用温度为 80℃；低压聚乙烯密度较高，质地刚硬，耐磨性、耐蚀性和绝缘性好，长期使用温度为 100℃。高压聚乙烯用于薄膜、软管等，低压聚乙烯用于硬管、板材和小载荷的机械零件。图 4-30 所示为聚乙烯薄膜。



图 4-29 聚氯乙烯排水管



图 4-30 聚乙烯薄膜

### 9. 酚醛塑料 (PF)

酚醛塑料由酚类和醛类有机物反应得到的树脂（电木）。酚醛塑料有一定的机械强度，刚度大，制品尺寸稳定，耐热性、耐蚀性、介电性能良好。酚醛塑料可以用来制造齿轮、凸轮、带轮等，在电器工业中用它制造电器开关、插头、收音机外壳等电器绝缘零件。图 4-31 所示为酚醛塑料产品。

### 10. 氨基塑料

氨基塑料主要由脲甲醛塑料（UF）、尿素和甲醛缩聚合成。氨基塑料性能与酚醛塑料相似，但强度低，着色性好，表面光泽如玉，俗称“电玉”，电绝缘性好。氨基塑料一般用作色彩鲜丽、外观漂亮的装饰品和各种电器绝缘件、日用器皿餐具等。图 4-32 所示为电玉灯座。



图 4-31 酚醛塑料产品



图 4-32 电玉灯座

### 11. 环氧树脂 (EP)

环氧树脂由环氧氯丙烷和双酚 A（二酚基丙烷）缩聚合成。环氧树脂强度高，有突出的尺寸稳定性和耐久性；能耐各种酸、碱和溶剂的侵蚀，能耐大多数霉菌的侵蚀，在较宽的频率范围和温度范围内有良好的电绝缘性。环氧树脂广泛用于机械、电机、化工、航空、船舶、汽车、建材各行业，用于制造塑料模具、精密量

具、绝缘器件等。也可用于制造压层塑料、浇注塑料等。另外，对各种物质有极好的粘附力，有“万能胶”之称，可以制造粘结剂（见图4-33）。



图 4-33 环氧树脂粘结剂

## 4.7 橡胶

橡胶是一种具有高弹性的高分子材料，弹性可以超过 100%，最高能达到 1000%；具有很好的绝缘性和气密性。常用作弹性材料、密封材料、减振防振材料和传动材料。

橡胶按原料来源可分为天然橡胶和合成橡胶（未经硫化处理）。

### 1. 天然橡胶

天然橡胶是由橡胶树的胶乳制取的。天然橡胶有很好的弹性，断后伸长率可高达 1000%，在 0~100℃ 其回弹率可达 85% 以上；经硫化处理后抗拉强度提高，耐磨性、耐蚀性、介电性、耐低温性及加工工艺性都很好；耐油和耐溶剂及耐臭氧老化性差，不耐高温，使用温度为 -70~100℃。天然橡胶被广泛用来制造轮胎、胶带、胶管及胶鞋等。图 4-34 所示为橡胶轮胎。

### 2. 合成橡胶

合成橡胶包括丁苯橡胶、顺丁橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶、硅橡胶和氟橡胶几种。

(1) 丁苯橡胶（SBR）由丁二烯和苯乙烯共聚而成，约占合成橡胶的 80%。丁苯橡胶耐磨性、耐热性和抗老化性都很好，其耐磨性超过了天然橡胶。根据苯乙烯的百分含量，丁苯橡胶主要有丁苯-10、丁苯-30、丁苯-50 等，苯乙烯的含量越多，橡胶的硬度、耐磨性、耐蚀性越高，但弹性和耐低温性越低。丁苯橡胶强度较低，成型性较差。通常可以任何比例与天然橡胶混合使用。丁苯橡胶主要用来制造轮胎、胶管及胶鞋等。图 4-35 所示为丁苯橡胶胶鞋。



图 4-34 橡胶  
轮胎

(2) 顺丁橡胶（BR）由丁二烯聚合而成。顺丁橡胶的弹性是目前各种橡胶

中最好的，耐磨性比天然橡胶高 30% 左右，耐低温性也好，但是加工性不好，抗撕裂性差。顺丁橡胶主要用于制作轮胎、三角带、耐热胶管、减振器及制动皮碗等。图 4-36 所示为顺丁橡胶三角带。



图 4-35 丁苯橡胶胶鞋



图 4-36 顺丁橡胶三角带

(3) 丁腈橡胶 (NBR) 丁腈橡胶是丁二烯和丙烯腈的共聚物，是特种橡胶中产量最大的品种。丁腈橡胶具有好的耐油性、耐磨性、耐热性、耐水性、气密性和抗老化性，但电绝缘性、耐低温性、耐酸性差。丁腈橡胶主要用来制造各种耐油制品，如耐油胶管、贮油槽、油封等。图 4-37 所示为丁腈橡胶耐油胶管。

(4) 氯丁橡胶 (CR) 由氯丁二烯单体聚合而成，既可作通用橡胶又可作为特殊橡胶使用。氯丁橡胶断裂强度高，伸长率大，弹性好，耐油，耐酸，耐热，不燃烧，不透气，有“万能橡胶”之称，但耐低温性差，密度大，成本高。氯丁橡胶主要用来制作高速运转的三角带、地下矿井的运输带、在 400 °C 以下使用的耐热运输带、石油化工中输送腐蚀物质和输油的胶管及各种垫圈，作金属、皮革、木材、纺织品的粘结剂，以及海底电缆的绝缘层。图 4-38 所示为氯丁橡胶耐热运输带。



图 4-37 丁腈橡胶耐油胶管



图 4-38 氯丁橡胶耐热运输带

(5) 硅橡胶 由二甲基硅氧烷与有机硅单体共聚而成，属于特种橡胶。硅橡胶稳定性高，耐高温和低温，可在 -100 ~ 350 °C 范围内保持良好的弹性，有良好的绝缘性和抗老化性，无毒、无味，有较好的透气性，但其强度和耐磨性较低，不耐酸、碱。硅橡胶主要用来制造各种耐高、低温的橡胶制品，如耐热密封垫圈，耐高温电线的绝缘层等。图 4-39 所示为硅橡胶绝缘层包裹的电线。

(6) 氟橡胶 具有很高的化学稳定性,在酸、碱、强氧化剂中的耐蚀性居各类橡胶之首,强度和硬度较高,耐高温,耐油和耐老化性能也很好,但耐低温性和可加工性较差。氟橡胶是军工和尖端技术中的高级密封件、高真空密封件和化工设备中的衬里等不可缺少的重要橡胶材料。图4-40所示为氟橡胶垫片。



图 4-39 硅橡胶绝缘层包裹的电线



图 4-40 氟橡胶垫片

## 4.8 常用塑料及树脂缩写代号

常用塑料及树脂缩写代号如表4-26所示。

表 4-26 常用塑料及树脂缩写代号

类别	缩写代号	塑料及树脂的全称	类别	缩写代号	塑料及树脂的全称
均聚物和天然聚合物	CA	乙酸纤维素	均聚物和天然聚合物	LCP	液晶聚合物
	CAB	乙酸-丁酸纤维素		LDPE	低密度聚乙烯
	CAP	乙酸-丙酸纤维素		LLDPE	线性低密度聚乙烯
	CF	甲酚-甲醛树脂		MC	甲基纤维素
	CMC	羧甲基纤维素		MDPE	中密度聚乙烯
	CN	硝酸纤维素		MF	三聚氰胺-甲醛树脂
	CP	丙酸纤维素		MPF	三聚氰胺-酚甲醛树脂
	CS	酪素塑料		PA	聚酰胺(尼龙)
	CSF	酪素甲醛树脂		PAA	聚丙烯酸
	CTA	三乙酸纤维素		PAEK	聚芳醚酮
	EC	乙基纤维素		PAI	聚酰胺(酰)亚胺
	EP	环氧树脂		PAK	聚丙烯酸酯
	FF	呋喃甲醛树脂		PAN	聚丙烯腈
	GPS	通用聚苯乙烯		PB	聚丁烯
	HDPE	高密度聚乙烯		PBAK	聚丙烯酸丁酯
HIPS	高抗冲聚苯乙烯	PBT	聚对苯二甲酸丁二酯		

(续)

类别	缩写代号	塑料及树脂的全称	类别	缩写代号	塑料及树脂的全称
均聚物和天然聚合物	PC	聚碳酸酯	均聚物和天然聚合物	PP	聚丙烯
	PCTFE	聚三氟氯乙烯		PP-C	氯化聚丙烯
	PDAP	聚邻苯二甲酸二烯丙酯		PPO	聚苯醚,聚亚苯醚
	PDAIP	聚间苯二甲酸二烯丙酯		PPS	聚苯硫醚,聚对亚苯硫醚
	PDCPD	聚二环戊二烯		PPSU	聚苯砜
	PE	聚乙烯		PS	聚苯乙烯
	PE-C	氯化聚乙烯		PSU	聚砜
	PEEK	聚醚醚酮		PTFE	聚四氟乙烯
	PEEKK	聚醚醚酮酮		PUR	聚氨酯,聚氨基甲酸酯
	PEES	聚醚酯		PUR-T	热塑性聚氨酯
	PEI	聚醚(酰)亚胺		PVAC	聚乙酸乙烯酯
	PEK	聚醚酮		PVAL	聚乙烯醇
	PEKEKK	聚醚酮醚酮酮		PVB	聚乙烯醇缩丁醛
	PEKK	聚醚酮酮		PVC	聚氯乙烯
	PEOX	聚氧化乙烯		PVC-C	氯化聚氯乙烯
	PESU	聚醚砜		PVDC	聚偏氯乙烯
	PES	聚酯		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PET	聚对苯二甲酸乙二酯		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PESUR	聚酯型聚氨酯		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PEUR	聚醚型聚氨酯		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PF	苯酚-甲醛树脂		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PFA	全氟烷氧基链烷		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PI	聚酰亚胺		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PIB	聚异丁烯		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PIR	聚异氰脲酸酯		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PMCA	聚 $\alpha$ -氯代丙烯酸甲酯		PVDF	聚偏二氟乙烯
	PMI	聚甲基丙烯(酰)亚胺		PVDF	聚偏二氟乙烯
	均聚物和天然聚合物	PMMA		聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)	共聚物
PMMI		聚N-甲基甲基丙烯(酰)亚胺	ABS	(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物	
PMP		聚4-甲基戊烯-1	ACS	(丙烯腈/氯化聚乙烯/苯乙烯)共聚物	
PMS		聚 $\alpha$ -甲基苯乙烯			
POM		聚氧亚甲基,聚甲醛			

(续)

类别	缩写代号	塑料及树脂的全称	类别	缩写代号	塑料及树脂的全称
共聚物	AES	(丙烯腈/乙烯-丙烯-二烯/苯乙烯)共聚物	共聚物	MPF	(三聚氰胺/苯酚-甲醛)共聚物
	A/MMA	(丙烯腈/甲基丙烯酸甲酯)共聚物		PEBA	聚醚嵌段酰胺
	AS	(丙烯腈/苯乙烯)共聚物		PFEP	全氟(乙烯/丙烯)共聚物;(四氟乙烯-六氟丙烯)共聚物
	ASA	(丙烯腈/苯乙烯/丙烯酸酯)共聚物		PVCA	聚氯乙烯/乙酸乙烯酯
	E/AK	(乙烯/丙烯酸酯)共聚物		SAN	(苯乙烯/丙烯腈)共聚物
	E/EAK	(乙烯/丙烯酸乙酯)共聚物		S/B	(苯乙烯/丁二烯)共聚物
	E/MA	(乙烯/甲基丙烯酸)共聚物		SMAH	(苯乙烯/顺丁烯二酸酐)共聚物
	E/P	(乙烯/丙烯)共聚物		S/MS	(苯乙烯/ $\alpha$ -甲基苯乙烯)共聚物
	E/P/D	(乙烯/丙烯/二烯三元)共聚物		VC/E	(氯乙烯/乙烯)共聚物
	EPDM	(乙烯/丙烯/二烯)共聚物		VC/E/MAK	(氯乙烯/乙烯/丙烯酸甲酯)共聚物
	E/TFE	(乙烯/四氟乙烯)共聚物		VC/MAK	(氯乙烯/丙烯酸甲酯)共聚物
	E/VAC	(乙烯/乙酸乙烯酯)共聚物		VC/MMA	(氯乙烯/甲基丙烯酸甲酯)共聚物
	E/VAL	(乙烯/乙烯醇)共聚物		VC/OAK	(氯乙烯/丙烯酸辛酯)共聚物
	MABS	(甲基丙烯酸甲酯/丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物		VC/VAC	(氯乙烯/乙酸乙烯酯)共聚物
	MBS	(甲基丙烯酸甲酯/丁二烯/苯乙烯)共聚物		VC/VDC	(氯乙烯/偏二氯乙烯)共聚物

## 4.9 陶瓷

陶瓷材料分为普通陶瓷和特种陶瓷。普通陶瓷是用天然原料烧结而成的传统陶瓷,种类多、产量大,质地坚硬,能承受 1200℃ 高温,具有良好的耐蚀性、电绝缘性和可加工性,成本低,但强度较低,主要应用在日用陶瓷、电器、化工、建筑等工业部门。特种陶瓷是采用人工合成的原料烧结成的现代陶瓷,具有优良的性能,种类繁多,如耐高温陶瓷、高强度陶瓷、高耐磨陶瓷、耐蚀陶瓷、压电陶瓷、介电陶瓷、光学陶瓷、磁性陶瓷、生物陶瓷、半导体陶瓷等。

(1) 氧化铝陶瓷( $Al_2O_3$ ) 其强度高于普通陶瓷 2~6 倍,抗拉强度和硬度很高,能在 1600℃ 高温下长期工作,耐磨性高,耐蚀性强,具有良好的绝缘性,但脆性大,抗热震能力差。氧化铝陶瓷常用来制造高速切削刀具、内燃机的火花塞、

耐磨耐蚀的农用水泵、石油化工用的密封环、高温热电偶套管和各种耐磨零件（如金属拉丝模），也是制造电炉和各种高温炉的良好材料。图 4-41 所示为氧化铝陶瓷火花塞。

(2) 氮化硅陶瓷 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 其化学稳定性好，硬度高，可加工性好，成品精度高，烧结变形小，强度较高，耐蚀性好，其抗热震能力在陶瓷中最强。氮化硅陶瓷广泛用于农业、化工、机械和国防尖端技术，主要用于制造耐高温、耐蚀、耐磨而形状复杂的零件（如高速切削工具、高温轴承和耐磨轴承、热电偶套管等）。图 4-42 所示为氮化硅陶瓷轴承。



图 4-41 氧化铝陶瓷火花塞

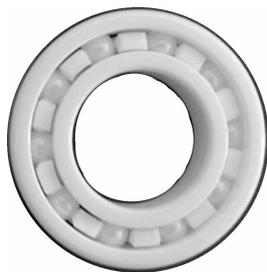


图 4-42 氮化硅陶瓷轴承

(3) 碳化硅陶瓷 ( $\text{SiC}$ ) 其性能很稳定，高温强度高，导热性能好，抗热震能力强，强耐磨性高，耐放射性元素的照射。碳化硅陶瓷可用于制造火箭尾喷管和喷嘴、浇注金属的浇道口、换热器、核燃料的包装密封材料等。火箭（见图 4-43）尾部的喷管及喷嘴均由碳化硅陶瓷制成。

(4) 氮化硼陶瓷 ( $\text{BN}$ ) 其具有良好的耐热性和高温绝缘性，在  $2000^\circ\text{C}$  仍是绝缘体；导热性好，其导热性与不锈钢相当，是良好的散热材料；膨胀系数小，比金属和其他陶瓷低很多；硬度较其他陶瓷低，可进行切削加工，并有自润滑性。氮化硼陶瓷常用来制造熔炼半导体的坩埚、半导体散热绝缘零件、高温绝缘材料、高温轴承、玻璃成型模具等。图 4-44 所示为氮化硼陶瓷坩埚。

氮化硼用碱金属或碱土金属为触媒，在  $6000 \sim 9000\text{N}/\text{mm}^2$  的压力下转变为立方氮化硼，立方氮化硼结构牢固，硬度和金刚石相当，是优良的耐磨材料，可用于制造磨具和金属切削刀具。图 4-45 所示为立方氮化硼磨具。

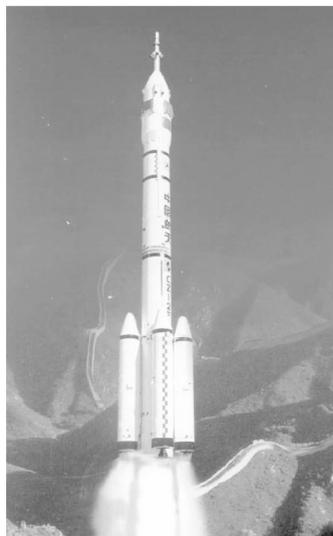


图 4-43 火箭尾部的喷管及喷嘴均由碳化硅陶瓷制成



图 4-44 氮化硼陶瓷坩埚



图 4-45 立方氮化硼磨具

# 第 5 章 夯实机械基础知识

## 5.1 螺旋传动

螺旋传动是利用螺旋副来传递运动和力的一种机械传动，它可以将主动件的回转运动转变为从动件的直线运动，如常用的测量工具千分尺（见图 5-1a）和万向精密虎钳（见图 5-1b）。



图 5-1 回转运动转变为直线运动  
a) 千分尺 b) 万向精密虎钳

常用的螺旋传动有普通螺旋传动、差动螺旋传动和滚珠螺旋传动。

### 1. 普通螺旋传动

由螺母和螺杆组成的简单螺旋副实现的传动称为普通螺旋传动，如螺纹千斤顶（见图 5-2）。

### 2. 差动螺旋传动

由两个螺旋副组成的使活动的螺母与螺杆产生差动的螺旋传动称为差动螺旋传动，它是指活动螺母及与其相配合的活动螺杆相对于机架均产生移动，而移动的距离不同的一种螺旋传动，如图 5-3 所示。

在图 5-3 中，螺杆分别与活动螺母和机架组成两个螺旋副。若机架和活动螺母的旋向同为右旋，且按图示方向回转螺杆时，螺杆会向左旋，活动螺母相对螺杆向右移动。当螺杆旋转一圈时，活动螺母的实际移动距离就是这两段螺纹的导程之差。

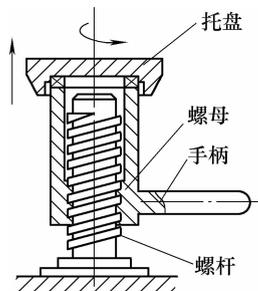


图 5-2 螺纹千斤顶

### 3. 滚珠螺旋传动

在传动精度要求高的地方，如电子行业、自动化设备、飞机、轮船、车床等，需要用滚珠螺旋传动。

滚珠螺旋传动主要由滚珠、螺杆、螺母及滚珠循环装置组成，如图 5-4 所示。当螺杆或螺母转动时，滚动体在螺杆与螺母间的螺纹滚道内滚动，使螺杆和螺母间为滚动摩擦。

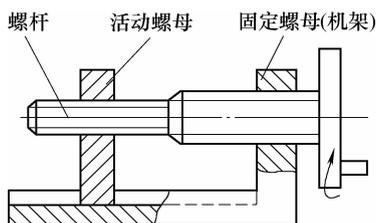


图 5-3 差动螺旋传动

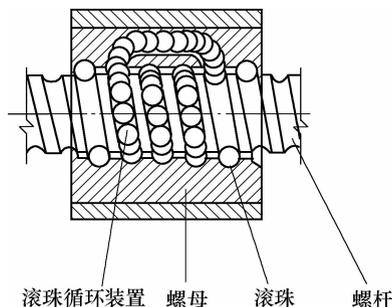


图 5-4 滚珠螺旋传动

滚珠螺旋传动的摩擦因数、效率、磨损、寿命、抗爬行性能、传动精度和轴向刚度等虽比静压螺旋传动稍差，但远比滑动螺旋传动为好。滚动螺旋传动的效率一般在 90% 以上。它不自锁，具有传动的可逆性；但结构复杂，制造精度要求高，抗冲击性能差。按滚珠循环方式分外循环和内循环两种。外循环的导路为一导管，将螺母中几圈滚珠连成一个封闭循环。内循环用反向器，一个螺母上通常有 2~4 个反向器，将螺母中滚珠分别连成 2~4 个封闭循环，每圈滚珠只在本圈内运动。外循环的螺母加工方便，但径向尺寸较大。

## 5.2 链传动

在我们这样一个自行车王国里，用的最多传动就是链传动，如图 5-5 所示。链传动是通过链条将具有特殊齿形的主动链轮的运动和动力传递到具有特殊齿形的从动链轮的一种传动方式。链传动有许多优点，与带传动相比，无弹性滑动和打滑现象，平均传动比准确，工作可靠，效率高；传递功率大，过载能力强，相同工况下的传动尺寸小；所需张紧力小，作用于轴上的压力小；能在高温、潮湿、多尘、有污染等恶劣环境中工作。链传动的缺点主要有：仅能用于两平行轴间的传动；成本高，易磨损，易伸长，传动平稳性差，运转时会产生附加动载荷、振动、冲击和噪声，不宜用在急速反向的传动中。

链传动（见图 5-6）是由主动轮、链条（见图 5-7）和从动轮组成，链轮（见图 5-8）上制有特殊齿形，通过链轮齿与链条的啮合来传递运动和力。



图 5-5 自行车及其动力传动形式

a) 自行车 b) 链传动



图 5-6 链传动的基本结构

图 5-7 链条

按照用途不同，链可分为起重链、牵引链和传动链三大类。起重链主要用于起重机械中提起重物，其工作速度  $v \leq 0.25\text{m/s}$ ；牵引链主要用于链式输送机中移动重物，其工作速度  $v \leq 4\text{m/s}$ ；传动链用于一般机械中传递运动和动力，通常工作速度  $v \leq 15\text{m/s}$ 。传动链主要用于一般机械中传递运动和力，是应用最多的一种链传动，它的种类繁多，最常用的是滚子链和齿形链。齿形链是利用特定齿形的链片和链轮相啮合来实现传动的，其传动平稳，噪声很小，又称无声链传动。齿形链允许的工作速度较高，但制造成本高，重量大，多用于高速或运动精度要求较高的场合。



图 5-8 链轮

链条长度以链节数来表示。链节数最好取为偶数，以便链条连成环形时正好是外链板与内链板相接，接头处可用弹簧夹或开口销锁紧。若链节数为奇数时，则需采用过渡链节。在链条受拉时，过渡链节还要承受附加的弯曲载荷，通常应避免采用。

### 1. 滚子链

滚子链由内链板、外链板、套筒、销轴、滚子组成，如图 5-9 所示。外链板固

定在销轴上，内链板固定在套筒上，滚子与套筒间和套筒与销轴间均可相对转动，因而链条与链轮的啮合主要为滚动摩擦。滚子链可单列使用和多列并用（见图 5-10），多列并用可传递较大功率。

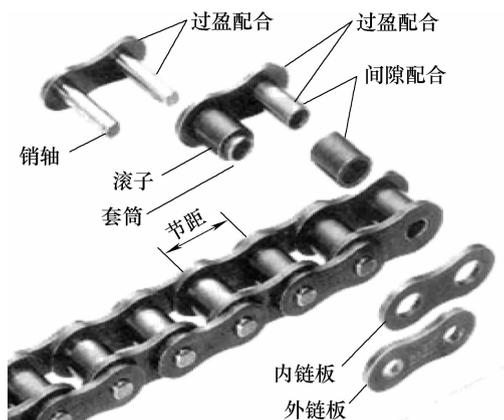


图 5-9 滚子链的结构与组成

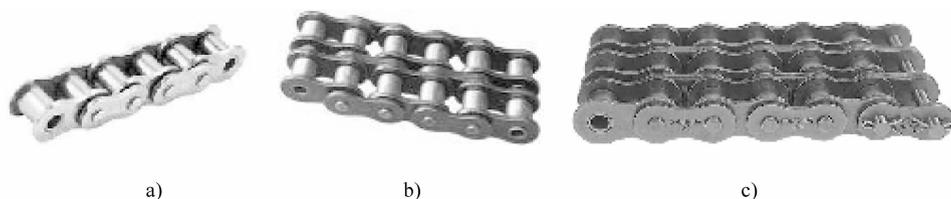


图 5-10 滚子链的列数  
a) 单列 b) 双列 c) 多列

国家标准仅规定了滚子链链轮齿槽的齿面圆弧半径、齿沟圆弧半径和齿沟角的最大值和最小值（见 GB/T 1243—2006《传动用短节距精密滚子链、套筒链、附件和链轮》）。各种链轮的实际端面齿形均应在最大和最小齿槽形状之间。这样处理使链轮齿廓曲线设计有很大的灵活性，但齿形应保证链节能平稳自如地进入和退出啮合，并便于加工。符合上述要求的端面齿形曲线有多种。

## 2. 齿形链

齿形链（见图 5-11）由许多冲压而成的齿形链板用铰链连接而成，为避免啮合时掉链，链条应有导向板（分为内导式和外导式）。齿形链板的两侧是直边，工作时链板侧边与链轮齿廓相啮合。铰链可做成滑动副或滚动副，滚柱式可减少摩擦和磨损，效果较轴瓦式好。与滚子链相比，齿形链运转平稳，噪声小，承受冲击载荷的能力高；但结构复杂，价格较贵，也较重，所以它的应用没有滚子链那样广泛。齿形链多用于高速（可达 40m/s）或运动精度要求较高的传动。我国相关国家标准是 GB/T 10855—2003《齿形链和链轮》。



图 5-11 齿形链

## 5.3 带传动

带传动（见图 5-12）是利用张紧在带轮上的柔性带进行运动或动力传递的一种机械传动。根据传动原理的不同，有靠带与带轮间的摩擦力传动的摩擦型带传动，也有靠带与带轮上的齿相互啮合传动的同步带传动。带传动结构简单，传动平稳，能缓冲吸振，可以在大的轴间距和多轴间传递动力，且其造价低廉，不需润滑，维护容易等，在近代机械传动中应用十分广泛。摩擦型带传动能过载打滑，运转噪声低，但传动比不准确（滑动率在 2% 以下）；同步带传动可保证传动同步，但对载荷变动的吸收能力稍差，高速运转有噪声。带传动除用以传递动力外，有时也用来输送物料、进行零件的整列等。

带传动分为平带传动、V 带传动和同步带传动。

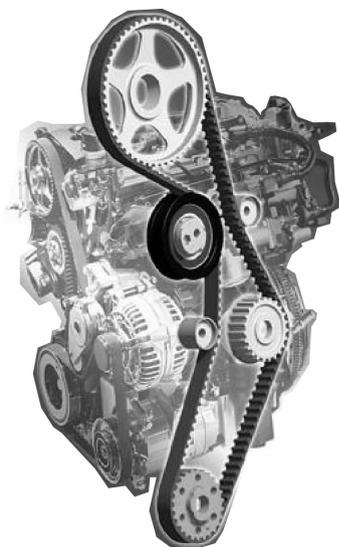


图 5-12 带传动

### 1. 平带传动

平带传动工作时带套在平滑的轮面上，借带与轮面间的摩擦进行传动，如图 5-13 所示。传动形式有开口传动、交叉传动和半交叉传动等，分别适应主动轴与从动轴不同相对位置 and 不同旋转方向的需要。平带传动结构简单，但容易打滑，通常用于传动比为 2.5 ~ 3.5 的传动。

平带有胶带、编织带、强力锦纶带和高速环形带等。胶带是平带中用得最多的一种。其强度较高，传递功率范围广。编织带挠性好，但易松弛。强力锦纶带强度高，且不易松弛。平带的截面尺寸都有标准规格，可选取任意长度，用胶合、缝合或金属接头连接成环形。高速环形带薄而软，挠性好，耐磨性好，且能制成无端环形，传动平稳，专用于高速传动。

### 2. V 带传动

V 带传动工作时带放在带轮上相应的型槽内，靠带与型槽两壁面的摩擦实现传动，如图 5-14 所示。V 带通常是数根并用，带轮上有相应数目的型槽。用 V 带传

动时，带与轮接触良好，打滑小，传动比相对稳定，运行平稳。V带传动适用于中心距较短和较大传动比（7.5~8.5）的场合，在垂直和倾斜的传动中也能较好工作。此外，因V带数根并用，其中一根破坏也不致发生事故。我国相关国家标准有GB/T 13575.1—2008《普通和窄V带传动 第1部分：基准宽度制》和GB/T 13575.2—2008《普通和窄V带传动 第2部分：有效宽度制》。

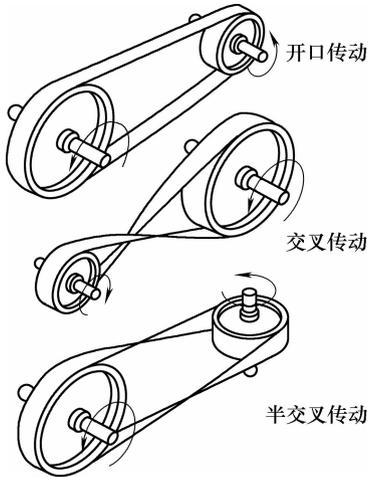


图 5-13 平带传动

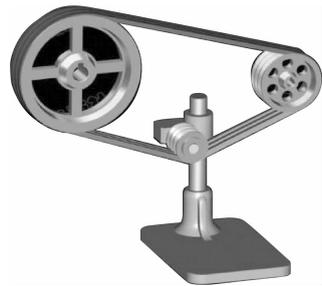


图 5-14 V带传动

V带分为帘布芯结构和绳芯结构，如图5-15所示，我国相关国家标准是GB/T 11544—1997《普通V带和窄V带尺寸》。V胶带是V带中用得最多的一种，它是由强力层、伸张层、压缩层和包布层制成的无端环形胶带。强力层主要用来承受拉力，伸张层和压缩层在弯曲时起伸张和压缩作用，包布层的作用主要是增强带的强度。V胶带的截面尺寸和长度都有标准规格。此外，还有一种活络V带，它的截面尺寸的标准与V胶带相同，而长度规格不受限制，便于安装调紧，局部损坏可局部更换，但强度和平稳性等都不如V胶带。V带常多根并列使用，设计时可按传递的功率和小轮的转速确定带的型号、根数和带轮结构尺寸。

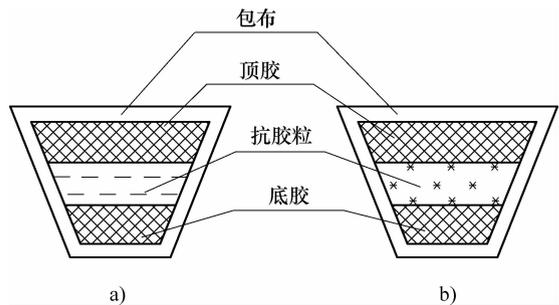


图 5-15 V带截面  
a) 帘布芯结构 b) 绳芯结构

V带在轮槽中的安装位置如图5-16所示。

V带安装时，调整主动轮和从动轮的距离，使V带达到合适的张紧度，用大拇指能将V带按下15mm左右，说明张紧程度合适，如图5-17所示。

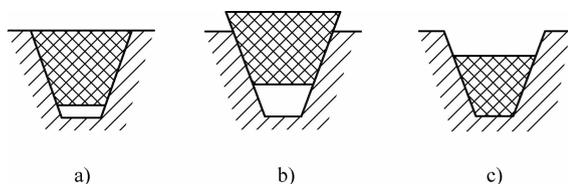


图 5-16 V 带在轮槽中的安装位置

a) 正确 b) 错误 c) 错误

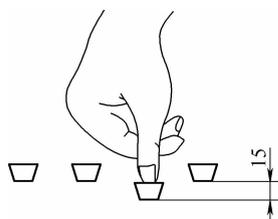


图 5-17 V 带的张紧程度

带轮的一般形式如图 5-18 所示，我国相关国家标准有 GB/T 10412—2002《普通和窄 V 带轮（基准宽度制）》和 GB/T 10413—2002《窄 V 带轮（有效宽度制）》。

### 3. 同步带传动

这是一种特殊的带传动，带的工作面做成齿形，带轮的轮缘表面也做成相应的齿形，带与带轮主要靠啮合进行传动，如图 5-19 所示。坦克（见图 5-20）的行进装置就是采用了同步带传动的原理。同步齿形带一般采用细钢丝绳作强力层，外面包覆聚氨酯或氯丁橡胶。强力层中线定为带的节线，带线周长为公称长度。

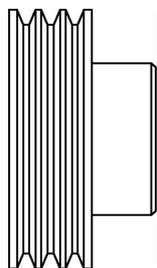


图 5-18 带轮

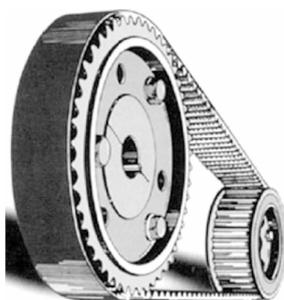


图 5-19 同步带传动



图 5-20 采用同步带传动的坦克

与普通带传动相比，同步齿形带传动的特点如下：

1) 钢丝绳制成的强力层受载后变形极小，齿形带的周节基本不变，带与带轮间无相对滑动，传动比恒定、准确。

2) 齿形带薄且轻, 可用于速度较高的场合, 传动时线速度可达  $40\text{m/s}$ , 传动比可达 10, 传动效率可达 98%。

3) 结构紧凑, 耐磨性好。

4) 制造和安装精度要求甚高, 要求有严格的中心距, 成本较高。同步齿形带传动主要用于要求传动比准确的场合。

## 5.4 齿轮传动

齿轮是机械产品的重要基础零件, 齿轮传动 (见图 5-21) 是传递机器动力和运动的一种主要形式。齿轮的设计与制造水平将直接影响到机械产品的性能和质量。由于它在工业发展中有突出地位, 致使齿轮被世界各国公认为工业化的一种象征。

### 1. 齿轮传动的基本要求

(1) 传动平稳 要求齿轮传动的瞬时传动比不变, 尽量减小冲击、振动和噪声, 以保证机器的正常工作。

(2) 承载能力高 要求在尺寸小、重量轻的前提下, 轮齿的强度高、耐磨性好, 在预定的使用期限内不出现断齿、齿面点蚀及严重磨损等失效现象。

在齿轮的设计、生产和科研中, 有关齿廓曲线、齿轮强度、制造精度、加工方法及热处理工艺等, 都是围绕上述两个基本要求进行的。

### 2. 齿轮传动的特点

齿轮传动的特点为: 传递的功率大 (可达  $100000\text{kW}$  以上), 速度范围广 (圆周速度可从很低到  $300\text{m/s}$ ), 效率高 ( $94\% \sim 98\%$ ), 工作可靠, 寿命长, 结构紧凑, 能保证恒定的瞬时传动比, 可传递空间任意两轴间的运动; 制造和安装精度要求高, 成本高, 不宜用于中心距较大的传动。

### 3. 齿轮传动的类型

齿轮传动的类型很多, 按照两齿轮传动时的相对运动为平面运动或空间运动, 可将其分为平面齿轮传动和空间齿轮传动两大类。

(1) 平面齿轮传动 平面齿轮传动是用于两平行轴之间的传动。

1) 直齿圆柱齿轮传动的形式如图 5-22 所示。

2) 斜齿圆柱齿轮传动的形式如图 5-23 所示。

3) 人字齿圆柱齿轮传动的形式如图 5-24 所示。

4) 内啮合齿轮传动的形式如图 5-25 所示。

5) 齿轮齿条传动的形式如图 5-26 所示。



图 5-21 齿轮传动



图 5-22 直齿圆柱齿轮传动



图 5-23 斜齿圆柱齿轮传动

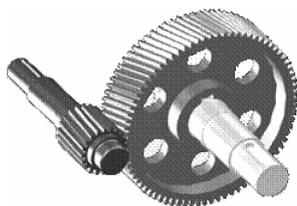


图 5-24 人字齿圆柱齿轮传动

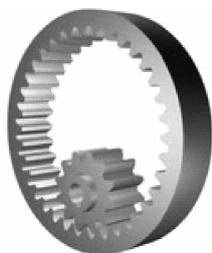


图 5-25 内啮合齿轮传动



图 5-26 齿轮齿条传动

(2) 空间齿轮传动 空间齿轮传动用于两轴不平行之间的传动。

- 1) 直齿锥齿轮传动的形式如图 5-27 所示。
- 2) 斜齿锥齿轮传动的形式如图 5-28 所示。
- 3) 交错轴斜齿轮传动的形式如图 5-29 所示。

#### 4. 齿廓啮合基本定律

齿轮传动要求准确平稳，即要求在传动过程中，瞬时传动比保持不变，以免产生冲击、振动和噪声。不论齿廓在任何点接触，过接触点所作两齿廓的公法线必须与连心线交于一固定点。一对齿轮啮合传动时，齿廓在任意一点接触，传动比等于两轮连心线被接触点的公法线所分两线段的反比。



图 5-27 直齿锥齿轮传动



图 5-28 斜齿锥齿轮传动



图 5-29 交错轴斜齿轮传动

## 5.5 蜗杆传动

蜗杆传动常用于两轴交错、传动比较大、传递功率不太大或间歇工作的场合。蜗杆传动是在空间交错的两轴间传递运动和动力的一种传动，两轴线间的夹角可为任意值，常用的为 $90^\circ$ 。蜗杆传动用于在交错轴间传递运动和动力。蜗杆传动广泛应用于机床、汽车、仪器、冶金机械及其他机器或设备中，这是因为使用轮轴运动可以减少力的消耗。

蜗杆传动由蜗杆和蜗轮组成，如图 5-30 所示。一般蜗杆为主动件。蜗杆上只有一条螺旋线的称为单头蜗杆，即蜗杆转一周，蜗轮转过一齿；若蜗杆上有两条螺旋线，就称为双头蜗杆，即蜗杆转一周，蜗轮转过两个齿。

### 1. 蜗杆传动的特点

1) 传动比大，结构紧凑，体积小，重量轻。  
2) 传动平稳，无噪声。因为蜗杆齿是连续不间断的螺旋齿，它与蜗轮齿啮合时是连续不断的，蜗杆齿没有进入和退出啮合的过程，因此工作平稳，冲击、振动、噪声小。

3) 具有自锁性，蜗杆的螺旋升角很小时，蜗杆只能带动蜗轮传动，而蜗轮不能带动蜗杆转动。

4) 蜗杆传动效率低，一般认为蜗杆传动效率比齿轮传动低。尤其是具有自锁性的蜗杆传动，其效率在 50% 以下，一般效率只有 70% ~ 90%。

5) 发热量大，齿面容易磨损，成本高。

### 2. 蜗杆回转方向的确定

蜗杆和螺纹一样有右旋和左旋之分，分别称为右旋蜗杆和左旋蜗杆。但蜗轮和蜗杆齿的旋向应一致，即同为左旋或右旋。

(1) 判断蜗杆或蜗轮的旋向 采用右手定则，手心对着自己，四指顺着蜗杆或蜗轮轴线方向摆正，若齿向与右手拇指指向一致，则该蜗杆或蜗轮为右旋，反之则为左旋，如图 5-31 所示。



图 5-30 蜗杆传动

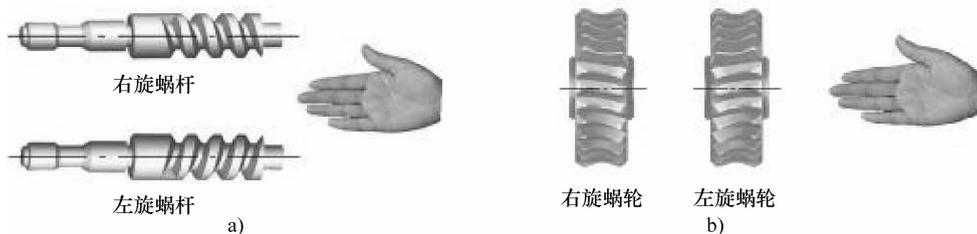


图 5-31 右手定则判断蜗杆或蜗轮的旋向

a) 蜗杆旋向 b) 蜗轮旋向

(2) 判断蜗轮的回转方向 采用左右手定则，左旋蜗杆用左手，右旋蜗杆用右手，用四指弯曲表示蜗杆的回转方向，拇指伸直代表蜗杆轴线，则拇指所指方向的相反方向即为蜗轮上啮合点的线速度方向，如图 5-32 所示。

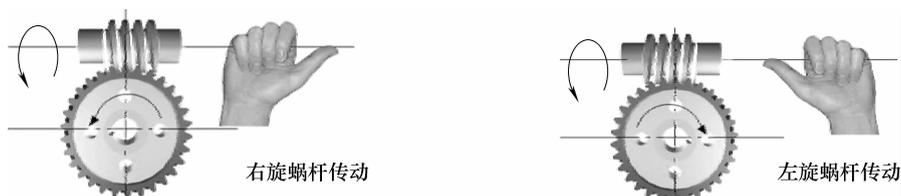


图 5-32 左右手定则判断蜗轮的回转方向

### 3. 蜗杆或蜗轮的形式

1) 一般蜗杆与轴制成一体，称为蜗杆轴，如图 5-33 所示。

2) 蜗轮的结构形式可分为 3 种：①整体式（见图 5-34a），用于铸铁和直径很小的青铜蜗轮；②齿圈压配式（见图 5-34b），轮毂为铸铁或铸钢，轮缘为青铜；③螺栓连接式（见图 5-34c），轮缘和轮毂采用铰制孔，用螺栓连接，这种结构装拆方便。



图 5-33 蜗杆轴

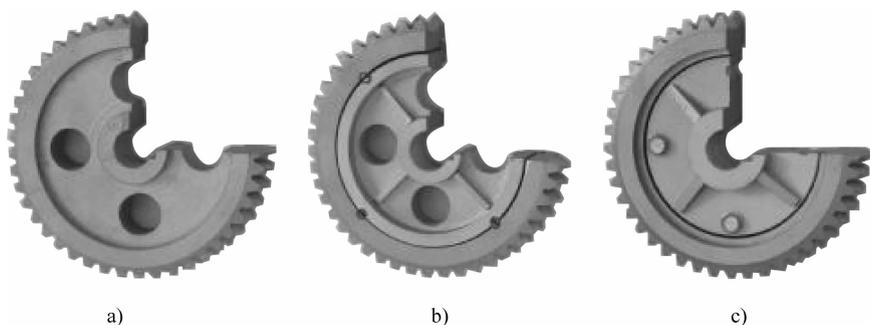


图 5-34 蜗轮的结构形式

a) 整体式 b) 齿圈压配式 c) 螺栓连接式

## 5.6 平面连杆机构

在工程实际中，平面连杆机构能完成各种各样的功能运动，因而获得广泛的应用，如铲土机、起重机等，如图 5-35 所示。

平面连杆机构是由一些刚性构件用转动副或移动副相互连接而组成的，在同一平面或相互平行平面内运动的机构。平面连杆机构是低副机构，低副是面接触，耐磨损；加上转动副和移动副的接触表面是圆柱面和平面，制造简便，易于获得较高

的制造精度。因此，平面连杆机构在各种机械和仪器中获得广泛应用。连杆机构的缺点是：低副中存在间隙，数目较多的低副会引起运动累积误差；而且它的设计比较复杂，不易精确地实现复杂的运动规律。

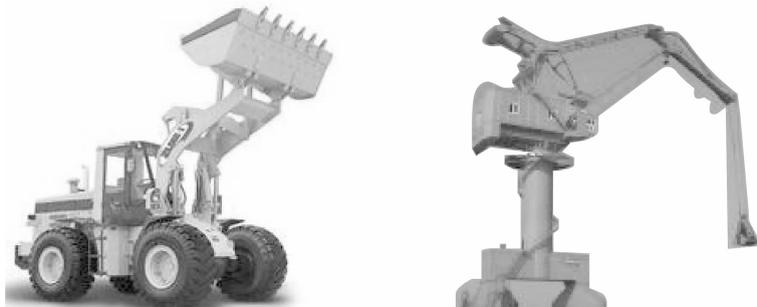


图 5-35 平面连杆机构的应用

最简单的平面连杆机构是由四个构件组成的，称为平面四杆机构。它的应用非常广泛，而且是组成多杆机构的基础。常用四连杆运动示意如图 5-36 所示。

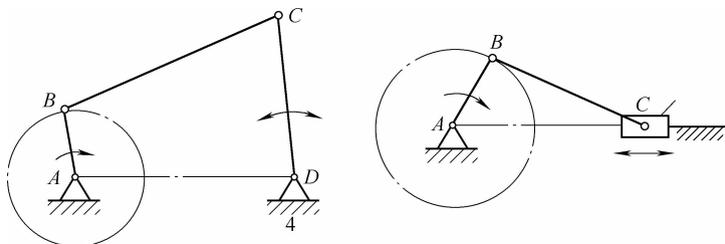


图 5-36 四连杆机构运动简图

平面连杆机构的运动设计一般可归纳为以下三类基本问题：

1) 实现构件给定位置（亦称刚体导引），即要求连杆机构能引导某构件按规定顺序精确或近似地经过给定的若干位置。

2) 实现已知运动规律（亦称函数生成），即要求主、从动件满足已知的若干组对应位置关系，包括满足一定的急回特性要求，或者在主动件运动规律一定时，从动件能精确或近似地按给定规律运动。

3) 实现已知运动轨迹（亦称轨迹生成），即要求连杆机构中作平面运动的构件上某一点精确或近似地沿着给定的轨迹运动。

在进行平面连杆机构运动设计时，往往是以上述运动要求为主要设计目标，同时还要兼顾一些运动特性和传力特性等方面的要求，如整转副要求、压力角或传动角要求、机构占据空间位置要求等。另外，设计结果还应满足运动连续性要求，即当主动件连续运动时，从动件也能连续地占据预定的各个位置，而不出现错位或错序等现象。

平面连杆机构运动设计的方法主要是几何法和解析法，此外还有图谱法和模型

试验法。几何法是利用机构运动过程中各运动副位置之间的几何关系，通过作图获得有关运动尺寸，所以几何法直观形象，几何关系清晰，对于一些简单设计问题的处理是有效而快捷的，但由于作图误差的存在，所以设计精度较低。解析法是将运动设计问题用数学方程加以描述，通过方程的求解获得有关运动尺寸，故其直观性差，但设计精度高。随着数值计算方法的发展和计算机的普及应用，解析法已成为各类平面连杆机构运动设计的一种有效方法。

### 1. 曲柄摇杆机构

曲柄摇杆机构是指两连架杆中一个为曲柄一个为摇杆的铰链四杆机构。雷达天线俯仰角摆动机构、汽车窗雨刷和缝纫机踏板机构均属于曲柄摇杆机构，如图 5-37 所示。



图 5-37 曲柄摇杆机构的应用

### 2. 双曲柄机构

铰链四杆机构中两连架杆均为曲柄。其特点是当主动曲柄连续等速转动时，从动曲柄一般作不等速转动。在双曲柄机构中，如果两对边构件长度相等且平行，则成为平行四边形机构。这种机构的传动特点是主动曲柄和从动曲柄均以相同的角速度转动，而连杆作平动。冲压双曲柄机构、惯性筛等属于双曲柄机构，如图 5-38 所示。

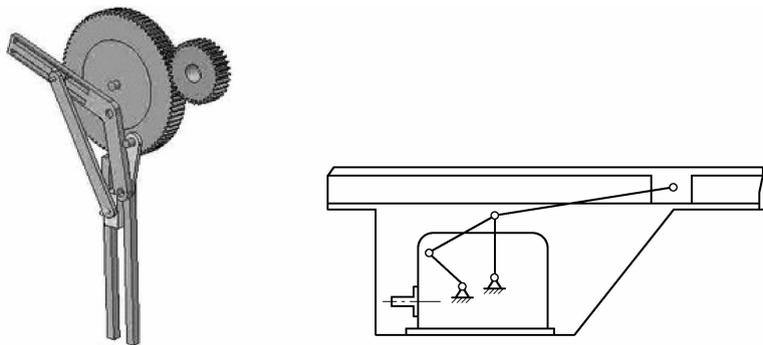


图 5-38 双曲柄机构的应用

### 3. 双摇杆机构

双摇杆机构是两连架杆均为摇杆的铰链四杆机构，如双摇杆起重机等，如图5-39所示。



图 5-39 双摇杆起重机

# 第 6 章 掌握机械制造工艺

任何机器都是由许多零件按照一定的设计要求制造和装配而成的。机械制造工艺是各种机械制造方法和过程总称，一般包括热加工、冷加工、钳加工和装配等。机械制造的工艺过程如图 6-1 所示。

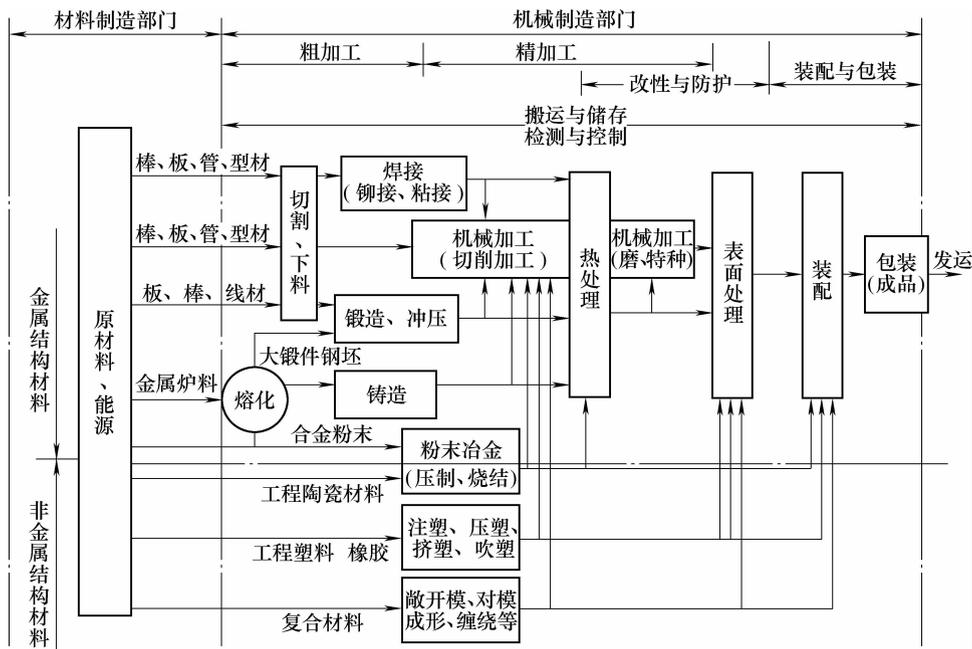


图 6-1 机械制造的工艺过程

## 6.1 铸造

### 6.1.1 铸造基本知识

铸造是最常用的生产零件毛坯的一种液态金属成形方法。铸造是指将固态金属熔成具有流动性的液态合金，再浇入具有一定几何形状和一定尺寸大小的型腔的铸型中，在重力场或其他力作用下充满型腔，待凝固冷却后，就成为所需要的零件毛坯。用铸造方法制成的零件毛坯称为铸件。铸造过程如图 6-2 所示。

#### 1. 铸造方法

铸造方法总体上可分为砂型铸造和特种铸造两类。在砂型铸造中根据用砂性质

的不同又可分为粘土砂铸造、水玻璃砂铸造和树脂砂铸造三种。在特种铸造中根据形成铸件的不同条件又可分为熔模铸造、陶瓷型铸造、金属型铸造、离心铸造、压力铸造、真空吸铸及连续铸造等。从普遍应用的砂型铸造到特种铸造，虽然方法各具特点，但是铸件形成过程的实质是相同的，即为了获得铸件，首先必须熔配出符合化学成分要求的液态金属，然后使其在铸型中凝固、冷却，形成铸件。

铸造生产中，砂型铸造应用最为广泛。因为它生产率较高，成本低，灵活性大，适应面广，而且相对来说技术也较为成熟，所以世界各国用砂型生产的铸件占铸件总产量的80%以上。



图 6-2 铸造过程

## 2. 铸造的特点

### (1) 铸造的优点：

- 1) 可以生产出形状复杂，特别是具有复杂内腔的零件毛坯，如各种箱体、床身、机架等。
- 2) 铸造生产的适应性广，工艺灵活性大。工业上常用的金属材料均可用来进行铸造，铸件的重量可由几克到几百吨，壁厚可为0.5mm~1m。
- 3) 铸造用原材料大都来源广泛，价格低廉，并可直接利用废件，生产成本低。

因此，铸造广泛应用于机械制造、矿山冶金、工程车辆、机床工具、锻压设备、石化通用设备、农用机械、能源动力、轻工纺织、家用电器、土建工程、电力电子、航天航空、船舶舰艇、国防军工等国民经济各个部门，是现代大机械工业的基础。

### (2) 铸造的缺点

- 1) 铸件尺寸均一性差；与压力加工和粉末冶金相比，金属的利用率低。
- 2) 内在质量比锻件差。
- 3) 工作环境粉尘多，温度高，劳动强度大，生产率低等。

## 3. 铸造工艺

(1) 铸型（使液态金属成为固态铸件的容器）准备 铸型按所用材料可分为砂型、金属型、陶瓷型、泥型、石墨型等；按使用次数可分为一次性型、半永久型和永久型。铸型准备的优劣是影响铸件质量的主要因素。

(2) 铸造金属的熔化与浇注 铸造金属主要有铸铁、铸钢和铸造非铁合金。

(3) 铸件处理和检验 铸件处理包括清除型芯和铸件表面异物、切除浇冒口、铲磨毛刺和披缝等凸出物以及热处理、整形、防锈处理和粗加工等。

## 4. 铸造常用术语（见表6-1）

表 6-1 铸造常用术语

序号	术语	释 义
1	铸造	将熔融金属浇入铸型，凝固后获得具有一定形状、尺寸和性能的金属零件毛坯的成形方法
2	砂型铸造	在砂型中生产铸件的铸造方法
3	特种铸造	与砂型铸造不同的其他铸造方法，如熔模铸造、壳型铸造、陶瓷型铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、连续铸造等
4	铸型	用型砂、金属或其他耐火材料制成，包括形成铸件形状的空腔、型芯和浇冒口系统的组合整体。砂型用砂箱支撑时，砂箱也是铸型的组成部分
5	铸锭	将熔融金属浇入锭型铸成的用作金属炉料或供进一步加热用的金属锭块，例如钢锭、生铁锭、铝锭等
6	铸铁熔炼	在化铁炉内将生铁、废钢等金属炉料加热熔化，并通过冶金反应除去有害杂质和气体，获得具有所要求化学成分和温度的铸铁液的过程
7	双联熔炼	用两种熔炼炉联合起来熔炼金属的方法，例如转炉-平炉、转炉-电炉、冲天炉-感应电炉等，前一熔炼炉用于升温、保温、调整成分和精炼
8	精炼	除去液态金属中的气体、杂质元素和夹杂物等，以改善金属液质量的操作
9	真空精炼	将熔融金属移入带有加热装置的真空炉中精炼的冶金技术
10	炉外精炼	在熔炼炉外对出炉金属液进行精炼的方法，用以除去金属液内的气体和杂质，调整金属液成分，提高金属液的纯净度

## 6.1.2 铸造生产基本操作过程

### 1. 型砂的制备

造型、制芯所用型砂的制备，是将按一定比例配合的造型材料，根据工艺要求进行混碾，达到符合造型要求的过程。

型砂是由原砂、粘结剂及其他辅助材料混制而成。原砂是耐高温材料，它是型砂的主体材料，常用  $\text{SiO}_2$  含量较高的硅砂作原砂。粘结剂的作用是把砂粒粘结在一起，通常用粘土、树脂等作粘结剂。有时为了满足某些性能的要求，型砂中还要加入其他造型材料，如煤粉、锯末等辅助材料。

型砂的制备过程，包括配料、混合、松散等工序。目前，工厂多采用碾轮式或转子式混砂机混制型砂。造型材料的质量和型砂制备工作的好坏直接影响型砂性能，进而影响铸件质量。

### 2. 造型及制芯

造型是用型砂、模样（芯盒）等工艺装备，制造砂型的过程。在实际生产中，由于铸件的结构形状、尺寸大小和技术要求等不同，致使造型、制芯方法多种多样。手工造型是目前应用最广的造型方法。对于大量生产的中小型铸件，一般采用

机器造型。

(1) 手工造型 手工造型是全部用手工或用手动工具紧实型砂的造型方法。它操作灵活,无论铸件结构复杂程度、尺寸大小如何,都能适应。因此,在单件小批生产中,特别是不能用机器造型的重型复杂铸件,常采用手工造型。

手工造型劳动强度大,生产率较低。铸件的质量主要取决于操作人员的技术水平和熟练程度,要求操作人员应具备较高的操作技能。

一个完整的造型工艺过程,包括准备工作、安放模样、填砂、紧实、起模、修型、合型等主要工序。图6-3是手工造型的主要工序流程图。

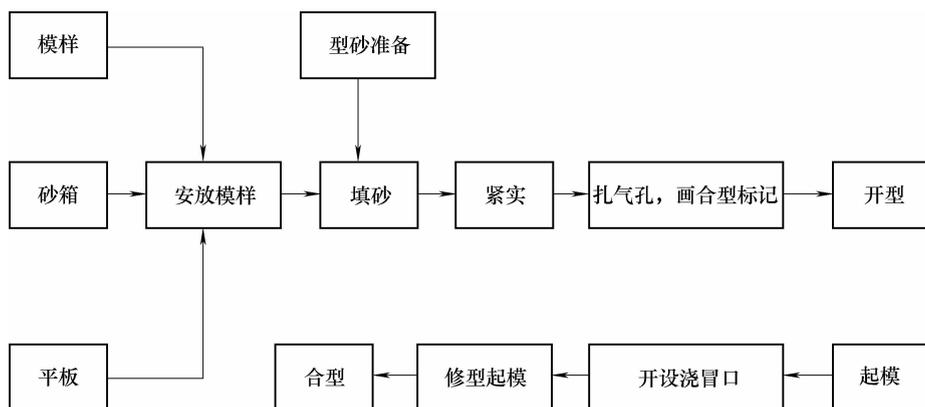


图6-3 手工造型主要工序

手工造型的工作场地可分为固定和不固定两种。当造型始终在一个地方,而合型浇注等工序又在其他地方进行时,叫做固定造型场地。如果造型、合型和浇注等工序都在同一场地进行,而造型工人要不断移动造型位置时,叫做不固定的造型工作场地。手工造型一般采用固定的工作场地,其准备工作要点如下:

1) 照明光线应来自左上方,这样容易看清楚型腔的底面,以减轻造型者视力的疲劳。

2) 造型平板或模板应放在正前方,空砂箱应放在左侧边,型砂放在左前侧,造型工具应放在右侧,以便顺手拿取。在修型时,所用的修型工具应全部拿在左手备用,不能随便乱放。

(2) 机器造型 机器造型是利用机器来完成造型工序的操作过程。它与手工造型相比,生产率高,铸件质量稳定,劳动强度低,但机器造型的设备和工艺装备费用较高,生产准备工作时间长。

(3) 制芯 砂芯一般是借助芯盒成形的,也可用车板和导向刮板制芯。砂芯是砂型的重要组成部分,其主要作用是形成铸件的内腔。砂芯的制造与造型相似,但砂芯的工作条件比砂型恶劣。

整个砂芯是由主体和芯头两部分构成。主体形成铸件内腔,芯头起支撑、定位

和排气作用。芯头的形状、大小应与模样上的芯头座相适应。芯头与芯座之间有相应的斜度和适当的间隙。在砂芯内部安放芯骨，开设通气道。较大的砂芯中间可填充焦炭或炉渣等加强通气。干砂芯的工作表面要刷一层涂料，以防铸件内表面粘砂。

### 3. 砂型烘干

对一些大型和要求较高的铸件，一般采用干型浇注。干型浇注的砂型必须经过烘干。烘干过程通常是在烘干炉内进行，由升温、保温和冷却三个阶段组成。

砂型的烘干操作包括装炉、烘干和出炉等。砂型烘干时，要严格遵守其烘干规范。首先使砂型热透，内外层之间温差减小，再加速炉气的流通，将砂型烘干。烘干的砂型需在炉内降温冷却到 50 ~ 80℃ 时才可出炉。

砂型的烘干质量通常用间接法、直接法和经验法等进行检验。间接法是利用高温计测定烘炉内温度的变化，或利用湿度计测定烘炉内湿度的变化，以便控制砂型的烘干质量。直接法是用仪表直接测量砂型的烘干程度。在实际生产中，常用各种经验方法判断砂型是否烘干。例如，用手指弹击砂型表面，若发出清脆的声音，则表示砂型已经烘干；若发出低沉的声音，表示未烘干。也可用金属棒插入出气孔内，停留片刻，提出金属棒的插入部分，如有水汽凝聚在金属棒上面，则表明砂型还未烘干。较大的砂型出炉时，可观察其通气孔，如果通气孔有水汽冒出，表明还未烘干等。

### 4. 合型

合型是将砂型的各个组元如上型、下型、砂芯、浇口盆等，组合成一个完整砂型的操作过程。合型是一项非常细致的操作工序，砂芯安装要正确、牢固可靠，上型必须准确地合在下型上面。砂型的合型质量，对铸件落砂、清理、去除飞翅和机械加工等都有很大的影响，铸件的许多缺陷，如跑火、气孔、偏芯、错型等都与合型质量好坏有关。

### 5. 金属熔炼

金属熔炼是通过加热将固态的金属炉料熔炼成具有一定成分和温度的液态合金，以满足工业生产需要的过程。

金属的熔炼不仅是把固体金属熔化为液体，而且要使金属液达到预定的化学成分和温度，还要尽量减少金属液中的气体和夹杂物，使浇注成的铸件具有良好的性能。

制造铸件所用的合金统称为铸造合金，常用的铸造合金有铸铁、铸钢、铸造铜合金和铸造铝合金等。

(1) 铸铁 铸铁分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁和特种铸铁。

铸铁熔炼是在化铁炉中进行的，常用的化铁炉是冲天炉和感应电炉。冲天炉是以气体对流的形式进行加热熔炼。熔炼时通过鼓风机鼓入空气，使炉内的底焦燃烧，燃烧所产生的高温炉气，沿炉膛上升与炉料接触，炉料被高温炉气加热。当炉

料下降到底焦的顶面时,已达到熔化温度,被熔成铁液。当铁液下滴,在流经底焦的过程中温度进一步提高。高温铁液流过后桥贮存在前炉,待前炉贮存足量铁液时,可打开出铁口流出铁液。感应电炉熔炼是利用交流电感应的作用,使坩埚内的金属炉料本身发出热量,将其熔化,并进一步使液体金属过热的一种熔炼方法。感应电炉几乎可以熔炼所有金属。

(2) 铸钢 铸钢具有较高的强度、塑性和韧性,并具有良好的焊接性、可加工性等。铸钢件的生产工艺和熔炼设备要比铸铁件复杂,对原材料的要求较高,铸造性能较差。铸钢是一种优良的结构材料,在工业生产中的应用也比较广泛。

铸钢熔炼时,必须控制好熔炼过程中的各个环节,才能保证钢液质量。电弧炉是应用最广的炼钢设备,它是通过电弧产生的高温作为能源来熔化炉料,以氧化法应用最广。氧化法炼钢的工艺过程是电极下的炉料在电弧作用下熔化,熔化后的钢液通过炉料间的缝隙流到炉底。由于炉料不断熔化,使电极下面的炉料熔成井洞状。电极沿井洞下降一定深度,又加速了炉料的熔化。炉料全部熔化后,加入氧化剂,使钢液沸腾(即氧化期),最后使钢液还原脱氧(还原期)。氧化法炼钢的主要操作程序是补炉、装料、熔化、氧化、还原和出钢,其中熔化期占整个熔炼时间的一半以上,氧化期和还原期则决定钢液的质量。

(3) 非铁合金 除钢和铁外的合金,统称为非铁合金。铸造铜合金和铸造铝合金是常用的铸造非铁合金。非铁合金具有优良的导电性、导热性、耐磨性、耐腐蚀性,以及质轻、摩擦因数小等特点,它们是工业生产中不可缺少的材料。

对于小型非铁合金铸件时,一般在坩埚炉或感应电炉内熔炼合金。坩埚炉的使用要有正确的操作方法,要求使用前补炉烘干,装料不能过紧,不得在红热的坩埚炉中加入冷料等。

## 6. 浇注

浇注是将熔融金属用浇包注入型腔的操作过程。浇注时,浇包要靠近浇口杯,并使浇口保持充满状态,以免熔渣进入型腔,使铸件产生夹渣等缺陷。

## 7. 落砂清理

落砂是铸件凝固并冷却到一定温度后,用手工或机械的方法,使铸件与砂型分开的过程。落下的旧砂可以处理后循环使用。

清理是去除铸件内外表面的粘砂和多余金属,如浇冒口、飞翅、氧化皮等。

铸铁件的浇冒口可用敲击的方法去除,铸钢件的浇冒口要用气割等方法去除。铸件的表面清理可用砂轮、滚筒、抛丸、喷丸等方法来完成。

## 8. 铸件热处理

为了消除铸件中的铸造应力,防止铸件产生变形或裂纹,提高铸件的力学性能和工艺性能,必须对铸件进行热处理。

热处理是铸件生产过程不可缺少的一道工序。它是按热处理工艺要求,将铸件加热到一定的温度范围,保温一段时间,再以规定的降温速度冷却到适当温度的过

程。铸件的材质和技术要求不同，热处理的方法也不同，如灰铸铁件一般进行退火处理，铸钢要进行正火和回火处理。

### 6.1.3 铸造工艺规程

铸造工艺规程是指导铸造生产的技术文件，它是根据产品结构、技术要求、生产批量、生产条件等因素制定的，是生产技术准备、科学管理和铸件验收的依据。铸件工艺规程主要包括铸造工艺图、铸造工艺卡片、工装图、铸型装配图、铸件粗加工图及铸件检测图等。

#### 1. 铸造工艺图

在零件图上用规定的各种铸造工艺符号、各种工艺参数来标明铸件的铸造工艺方案，这个标有铸造工艺符号和说明的零件图，称为铸造工艺图。

铸造工艺图是铸造中最基本、最重要的工艺规程，它是模样与芯盒制造、生产准备、造型制芯与合型操作、铸件清理与验收的依据。同时，也是绘制铸件图、铸型装配图、编制铸造工艺卡片的依据。

铸造工艺图上表达的具体内容有：

- 1) 铸件的浇注位置。
- 2) 分型面。
- 3) 砂芯轮廓形状、数量和芯头尺寸间隙。
- 4) 浇注系统位置和尺寸。
- 5) 冒口位置和尺寸。
- 6) 冷铁位置和尺寸。
- 7) 铸肋。
- 8) 各种工艺参数。

#### 2. 铸造工艺卡片

工艺卡片是体现工艺设计及操作要求的重要技术文件。它主要以表格形式表示，必要时附有简图，内容主要包括造型、制芯、合型、浇注清理、热处理等工序的工艺参数及操作要点，所使用的主要设备、工装以及工时消耗等。工艺卡片既是工人操作的指导书，又是生产管理及其他技术文件的依据。但是工艺卡片只绘出了铸件的主要尺寸，不能单独用它来制作工装。

#### 3. 工装图

工装图主要包括模样的结构与尺寸、芯盒的结构与尺寸、模板的设计图、砂箱设计图、测量工具图等。

#### 4. 铸型装配图

对成批大量生产的重要铸件可绘制铸型装配图，它是生产准备、合型、检验、工艺调整的依据。铸型装配图是根据铸造工艺图绘制的，表明合型后的铸型结构。

从铸型装配图可以看出铸件的浇注位置、砂芯数目、下芯顺序、浇冒口和冷铁

的布置、砂箱结构和尺寸大小等。铸型装配图主要供合箱使用，有时与铸造工艺卡片一起使用。

对单件小批量生产的铸件不需要绘制铸型装配图，直接用铸造工艺图就能指导生产。

### 5. 铸件粗加工图

铸件粗加工图适用于需要粗加工后交货的铸件，供技术检验使用。铸件粗加工图的内容主要有铸件要求粗加工以后的尺寸、表面粗糙度及无损检测的要求、水压试验要求等，并要留出精加工的余量。

### 6. 铸件检测图

铸件检测图是铸件检验的技术文件，图上规定了检测的区域和等级。

## 6.1.4 铸造工艺符号

正确理解技术图样上的铸造工艺符号，是一个合格铸工必备的基础知识。

### 1. 分型线

分型线用细实线（蓝图上用红色线）表示，并写出“上、中、下”字样，如图6-4所示。

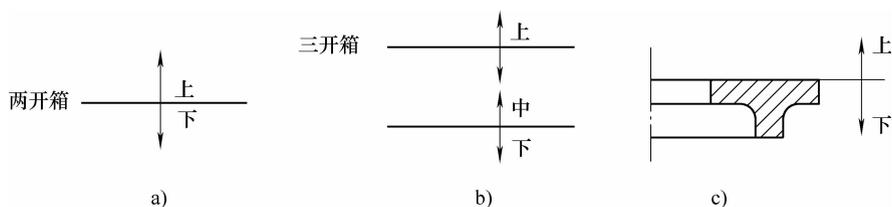


图6-4 分型线

a) 两開箱 b) 三開箱 c) 图例

### 2. 分模线

分模线用细实线（蓝图上用红色线）表示，在任一端画“<”号，如图6-5所示。

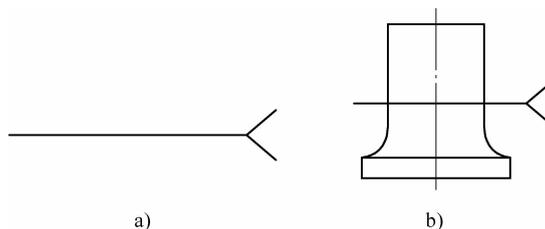


图6-5 分模线

a) 分模线符号 b) 图例

### 3. 分型分模线

分型分模线用细实线（蓝图上用红色线）表示，如图 6-6 所示。

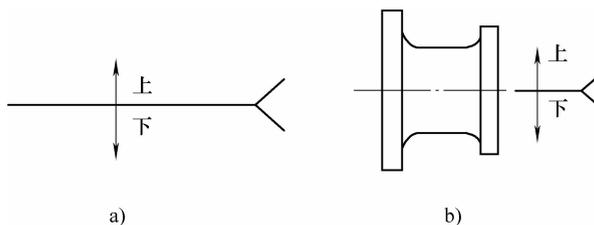


图 6-6 分型分模线

a) 分型模线符号 b) 图例

### 4. 分型负数

分型负数用细实线（蓝图上用红色线）表示，并注明减量数值，如图 6-7 所示。

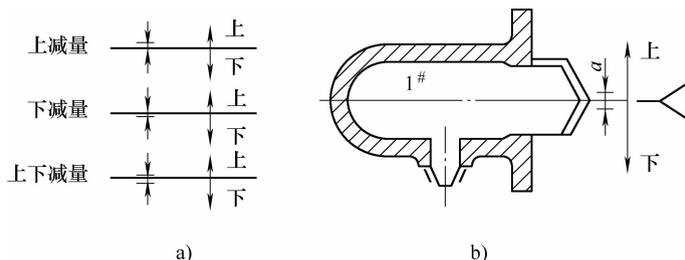


图 6-7 分型负数

a) 分型负数符号 b) 图例

### 5. 冒口

各种冒口均用细实线（蓝图上用红色线）表示，注明斜度和各部尺寸，如图 6-8 所示。

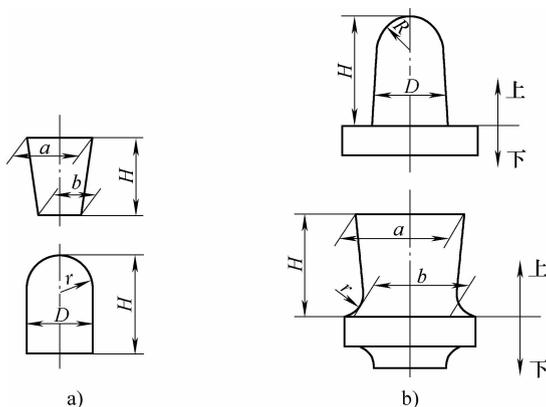


图 6-8 冒口

a) 冒口符号 b) 图例

### 6. 冒口切割余量

冒口切割余量用虚线（蓝图上用红虚线）表示，注明切割余量数值，如图 6-9 所示。

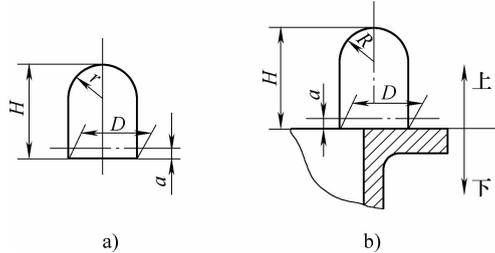


图 6-9 冒口切割余量

a) 冒口切割余量符号 b) 图例

### 7. 出气孔

出气孔用细实线表示（蓝图上用红色线表示），注明各部尺寸，如图 6-10 所示。

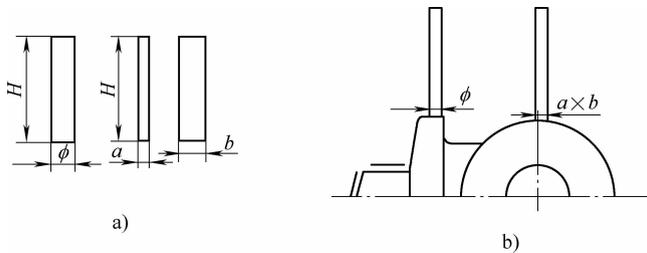


图 6-10 出气孔

a) 出气孔符号 b) 图例

### 8. 泥芯编号、边界符号及芯头边界

泥芯编号用阿拉伯数字 1#、2# 等标注，芯头边界用细实线（蓝图上用蓝色线）表示，边界符号一般只在芯头及泥芯交界处用泥芯编号相同的小号数字表示，铁芯须写出“铁芯”字样，如图 6-11 所示。

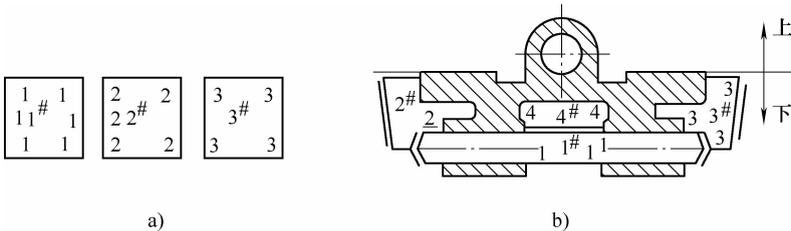


图 6-11 泥芯编号、边界符号及芯头边界

a) 泥芯编号、边界符号及芯头边界符号 b) 图例

### 9. 芯头斜度与芯头间隙

芯头斜度与芯头间隙用细实线（蓝图上用蓝色线）表示，并注明斜度及间隙数值，如图 6-12 所示。

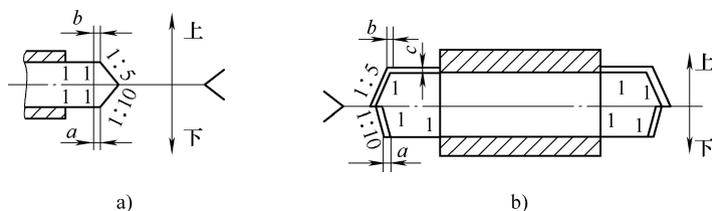


图 6-12 芯头斜度与芯头间隙

a) 芯头斜度与芯头间隙符号 b) 图例

### 10. 泥芯增减量与泥芯间的间隙

泥芯增减量与泥芯间的间隙用细实线（蓝图上用蓝色线）表示，并注明增减量与间隙数值，如图 6-13 所示。

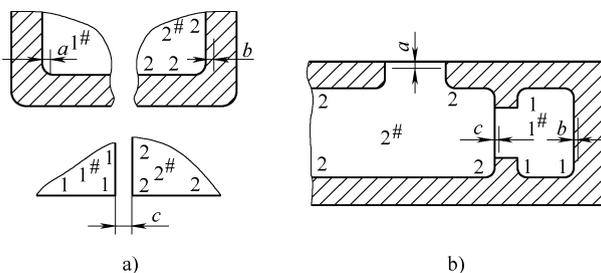


图 6-13 泥芯增减量与泥芯间的间隙

a) 泥芯增减量与泥芯间的间隙符号 b) 图例

### 11. 捣砂方向、出气方向、紧固方向

捣砂方向、出气方向、紧固方向用粗实线（蓝图上用蓝色）表示，箭头表示方向，箭尾画出不同符号，如图 6-14 所示。

### 12. 模型活块

模型活块用细实线（蓝图上用红色线）表示，并在此线上画两条平行短线，如图 6-15 所示。

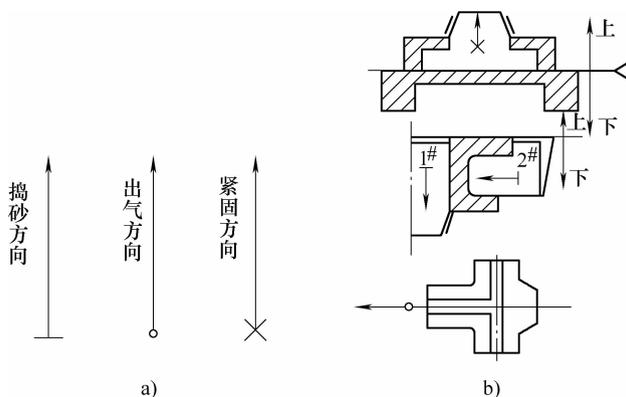


图 6-14 捣砂方向、出气方向、紧固方向  
a) 捣砂方向、出气方向、紧固方向符号 b) 图例

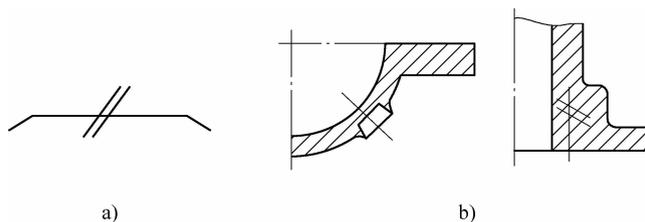


图 6-15 模型活块  
a) 模型活块符号 b) 图例

### 13. 冷铁

冷铁用细实线（蓝图上用蓝色线）表示，圆钢冷铁涂淡黑色（蓝图上涂淡蓝色），成形冷铁打叉，如图 6-16 所示。

### 14. 拉肋及收缩肋

拉肋及收缩肋用细实线（蓝图上用红色线）表示。注明各部尺寸，并写出“拉肋”或“收缩肋”字样，如图 6-17 和图 6-18 所示。

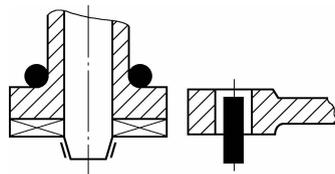


图 6-16 冷铁

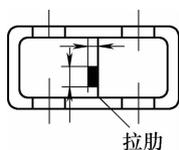


图 6-17 拉肋



图 6-18 收缩肋

### 6.1.5 普通砂型铸造

在铸造生产中，最基本的工艺方法是砂型铸造，用这种方法生产的铸件占有所有铸件总重量的90%以上。图6-19所示为普通砂型铸造的工艺流程，图6-20所示为浇注过程示意图。

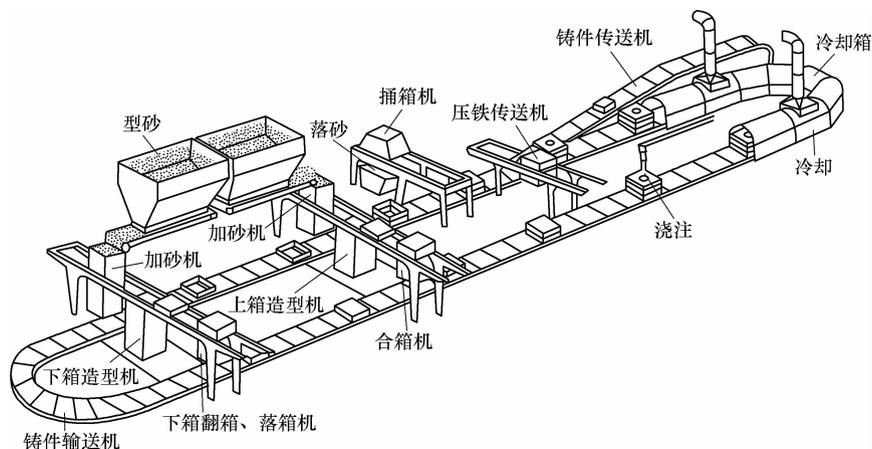


图 6-19 普通砂型铸造生产工艺流程

钢铁和大多数非铁合金铸件都可用砂型铸造方法获得。由于砂型铸造所用的造型材料价廉，铸型制造简便，对铸件的单件生产、成批生产和大量生产均能适应，长期以来，一直是铸造生产中的基本工艺。普通砂型铸件如图6-21所示。

### 6.1.6 熔模精密铸造

所谓熔模精密铸造，就是用易熔材料（例如蜡料）制成可溶性模型（简称熔模），在其上涂覆若干层特制的耐火涂料，经过干燥和化学硬化形成一个整体模组，再用蒸汽或热水从模组中熔失熔模而获得中空的型壳，然后将型壳放入焙烧炉中高温焙烧，最后在其中浇注熔融的金属得到铸件的方法。通常所用的易熔模料是用蜡基材料制作的，故又称“失蜡铸造”。用此法获得的铸件与砂型铸造相比，具有较高的尺寸精度和较低的表面粗糙度值，可实现产品少切削或无切削，常将“熔模精密铸造”简称为“精密铸造”、“熔模精铸”或“精铸”。图6-22所示为几种常见的熔模精密铸造零件。

熔模精密铸造的生产工艺流程，包括注射易熔模料，取出易熔模，组合，涂挂耐火材料，模组撒砂，脱蜡焙烧，浇注和清壳切割等，如图6-23所示。图6-24所示为几种熔模模型。

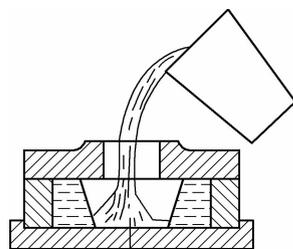


图 6-20 浇注



图 6-21 普通砂型铸件



图 6-22 常见熔模精密铸件

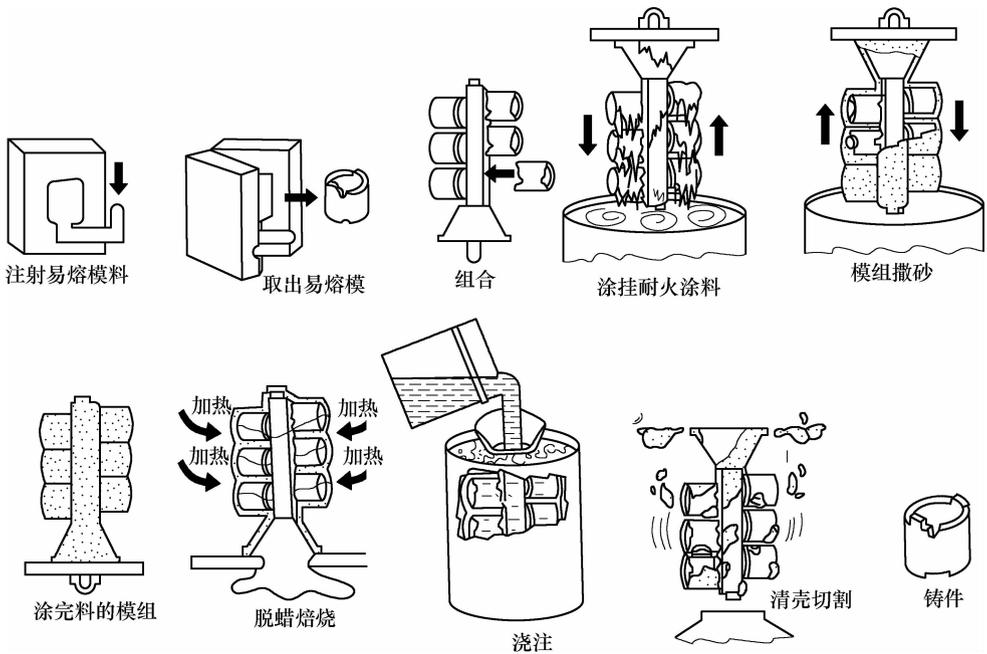


图 6-23 熔模精密铸造过程



图 6-24 熔模模型

### 6.1.7 金属型铸造

金属型铸造又称硬模铸造，是将金属液浇注到由金属制成的铸型中而获得铸件的铸造方法。金属型可以使用几百次到上万次，故又叫永久型铸造。

金属型铸造得到的铸件精度高，表面质量好，内部组织致密，力学性能好，其铸型可以连续重复使用，大大节约了生产成本，提高了生产率，适合中小型简单铸件的批量生产。金属型铸造的主要缺点是金属型无透气和退让性，铸件冷却速度大，容易产生浇不到、冷隔、裂纹等缺陷。

图 6-25 所示为几种常见金属型铸件。



图 6-25 金属型铸件

### 6.1.8 压力铸造

压力铸造是将液态或半液态金属高速压入铸型，并在高压下凝固结晶而获得铸件的方法。一般在压铸机（见图 6-26）上完成。

将加热为液态的铝或铝合金等金属浇入压铸机的入料口，经压铸机压铸，铸造出模具限制的形状和尺寸的零件，这样的零件通常叫做压铸件。常见非铁金属压铸件如图 6-27 所示。

### 6.1.9 离心铸造

将液态金属浇入旋转的铸型里，在离心力作用下充型并凝固成铸件的铸造方法，称为离心铸造。离心铸造用的机器称为离心铸造机。离心铸造不用型芯和浇注系统即可获得中空铸件，大大简化了管、套类铸件的生产过程，而且节约了金属材料。其铸件组织致密，无缩孔、缩松、气孔、夹渣等缺陷，力学性能良好。由于离心力的作用，金属液的充型能力有所提高，可浇注流动性差的合金，又可方便地铸造双金属铸件。离心铸造可用于铸造管、套类铸件，如铸铁管、铜套、内燃机缸套、双金属钢背铜套等，如图 6-28 所示。

离心铸造是在离心铸造机上完成的，按照铸型的旋转轴方向不同，离心铸造机分为卧式、立式和倾斜式三种。卧式离心铸造机主要用于浇注各种管状铸件，如灰铸铁、球墨铸铁的水管和煤气管，管径最小为 75mm，最大可达 3000mm。此外，可浇注造纸机用大口径铜辊筒，各种碳钢、合金钢管，以及要求内外层有不同成分的双层材质钢轧辊。立式离心铸造机则主要用来生产各种环形铸件和较小的非圆形铸件。

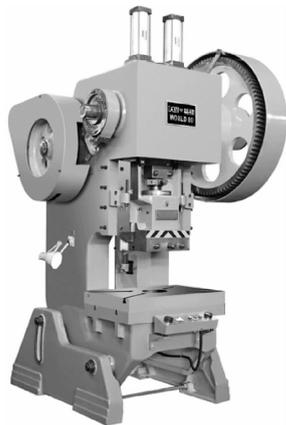


图 6-26 压铸机



图 6-27 非铁金属压铸件

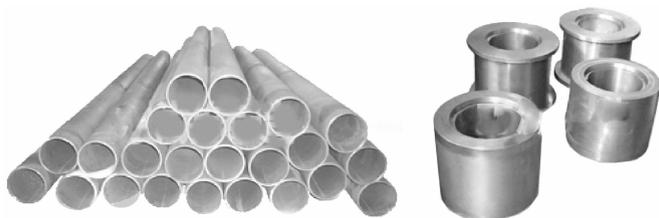


图 6-28 离心铸造的各类管件

## 6.1.10 重力铸造

重力铸造是指金属液在地球重力作用下注入铸型的工艺，也称重力浇铸。广义的重力铸造包括砂型浇铸、金属型浇铸、熔模铸造、消失模铸造等；狭义的重力铸造主要指金属型浇铸。重力铸造一般在重力铸造机（见图 6-29）上完成，所铸成的铸件称为重力铸件，如图 6-30 所示。

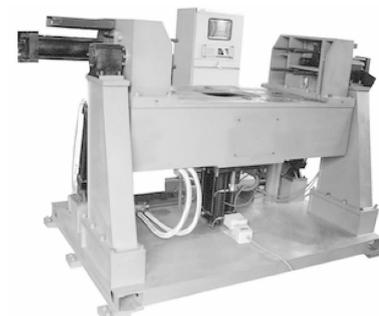


图 6-29 重力铸造机



图 6-30 重力铸件

## 6.2 塑性加工

### 6.2.1 塑性加工的种类

塑性加工分为体积成形和板料成形两大类。体积成形的坯料一般为棒材或扁坯，坯料经受很大的塑性变形，坯料的形状或横截面以及表面积与体积之比发生显著的变化，包括轧制、挤压、拉拔、锻造，如图 6-31 ~ 图 6-34 所示。板料成形的坯料是各种板材或用板材预先加工成的中间坯料，板材的形状发生显著变化，但其横截面形状基本上不变，包括拉深、弯曲、胀形、剪切，如图 6-35 ~ 图 6-38 所示。

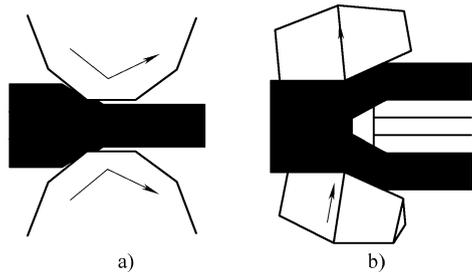


图 6-31 轧制  
a) 板材 b) 管材

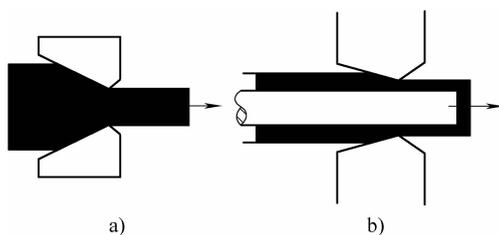


图 6-32 拉拔  
a) 实心 b) 空心

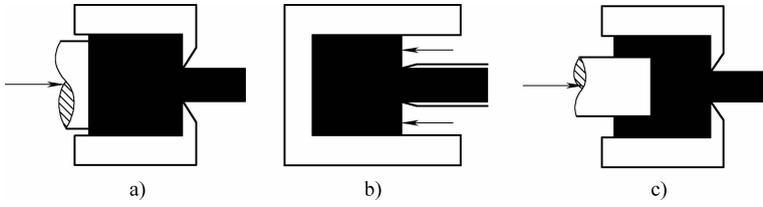


图 6-33 挤压

a) 正挤压 b) 反挤压 c) 复合挤压

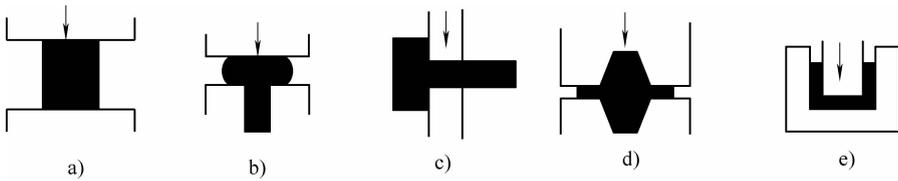


图 6-34 锻造

a) 墩粗 b) 墩头 c) 拔长 d) 开式 e) 闭式

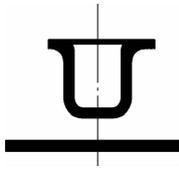


图 6-35 拉深

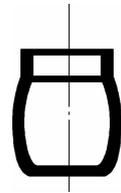
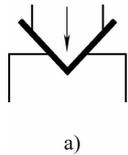
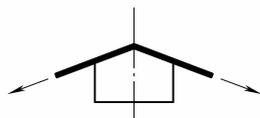


图 6-36 胀形



a)



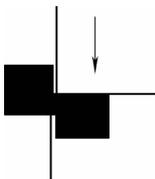
b)



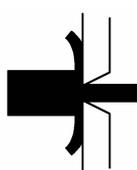
c)

图 6-37 弯曲

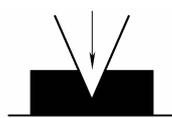
a) V形弯 b) 胀弯 c) 辊弯



a)



b)



c)



d)

图 6-38 剪切

a) 切断 b) 剥皮 c) 斜切 d) 修边

## 6.2.2 锻造

锻造是指在锻压设备及工（模）具的作用下，使坯料或铸锭产生塑性变形，以获得一定几何尺寸、形状和重量的锻件的加工方法。图 6-39 所示为锻造生产时的场景。

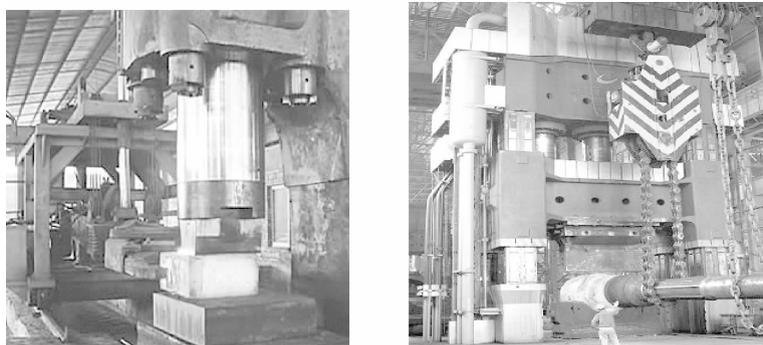


图 6-39 锻造生产

锻造成形方法主要分为无模自由成形（也称为自由锻）、模膛塑性成形（也称为模锻）及特种锻造。

### 1. 自由锻

自由锻指将金属坯料放在锻造设备的上、下砧间，施加冲击力或压力，使之产生自由变形而获得所需形状的成形方法。坯料在锻造过程中，除与上、下砧或其他辅助工具接触的部分表面外，都是自由表面，变形不受限制，锻件的形状和尺寸靠锻工的技术来保证，所用设备与工具通用性强。自由锻造的优点有：使用的工具简单、通用，生产准备周期短，灵活性大，所以使用范围广，特别适用于单件、小批量生产。自由锻是大型件唯一的锻造方法。其缺点是生产率低，对操作工人的技术要求高，工人的劳动强度大；锻件精度差，后续机械加工量大。国外工业发达国家的中小型自由锻件在其锻件总产量的比重只有 20% ~ 40%。自由锻的工序有基本工序、辅助工序和修整工序。自由锻的基本工序是使金属坯料实现较大变形以获得锻件所需的基本形状和尺寸的工序，包括镦粗、拔长、冲孔、弯曲、扭转、切割等。辅助工序是为使基本工序操作方便而进行的预先变形工序，如压钳口、压钢锭棱边、切肩等。精整工序是用以减少锻件表面缺陷的工序。

1) 镦粗是使坯料高度减小，横截面积增大的锻造工序，如图 6-40 所示。

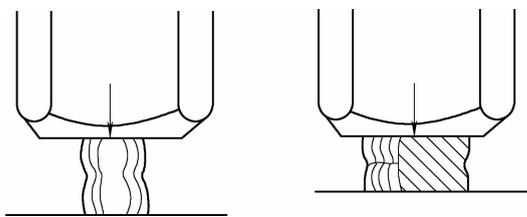


图 6-40 镦粗

2) 拔长是使坯料横截面积减小、长度增加的锻造工序,如图6-41所示。

## 2. 模锻

模锻是将加热好的坯料放在锻模模膛内,在压力的作用下迫使坯料变形而获得锻件的一种加工方法。坯料变形时,金属的流动受到模膛的限制和引导,从而获得与模膛形状一致的锻件。按使用设备不同,模锻可分为锤上模锻、胎模锻、曲柄压力机上模锻、摩擦压力机上模锻、平锻机上模锻等。

### (1) 模锻的优点

1) 模膛可引导金属的流动,锻件的形状可以比较复杂。

2) 锻件内部的锻造流线比较完整,从而提高了锻件的力学性能和使用寿命。

3) 锻件表面光洁,尺寸精度高,节约材料和切削加工工时。

4) 生产率较高。

5) 操作简单,易于实现机械化。

6) 生产批量越大,成本越低。

### (2) 模锻的缺点

1) 模锻是整体成形,摩擦阻力大,故模锻所需设备吨位大,设备费用高。

2) 锻模加工工艺复杂,制造周期长,故只适用于中小型锻件的成批生产。

## 3. 锻造设备

锻造设备包括自由锻设备、模锻设备等。

(1) 常用的自由锻设备 常用的自由锻设备有锻锤和压力机。锻锤常用的有空气锤和蒸汽-空气锤,如图6-42所示。常用的压力机有水压机和油压机。

(2) 常用的模锻设备 常用的模锻设备有模锻锤(见图6-43a)、曲柄压力机(见图6-43b)、平锻机(见图6-43c)、摩擦压力机(见图6-43d)、螺旋压力机、液压机、精压机等。

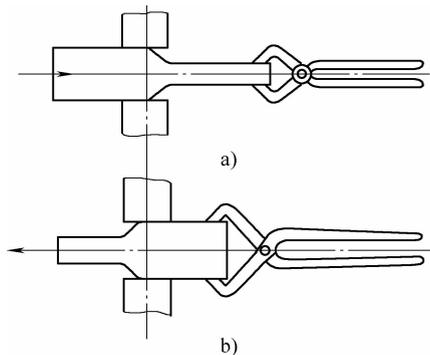


图6-41 拔长

a) 退移法送料 b) 推进法送料



图6-42 空气锤

### 6.2.3 冲压

冲压是冲压加工的简称,是通过压力机和安装在压力机上的模具,对模具里的材料(一般是金属或非金属材料)施力,使材料在模具里产生变形,从而获得形状、尺寸符合要求的零件的生产技术。冲压加工通常是在常温下进行,不需要对材料加热。

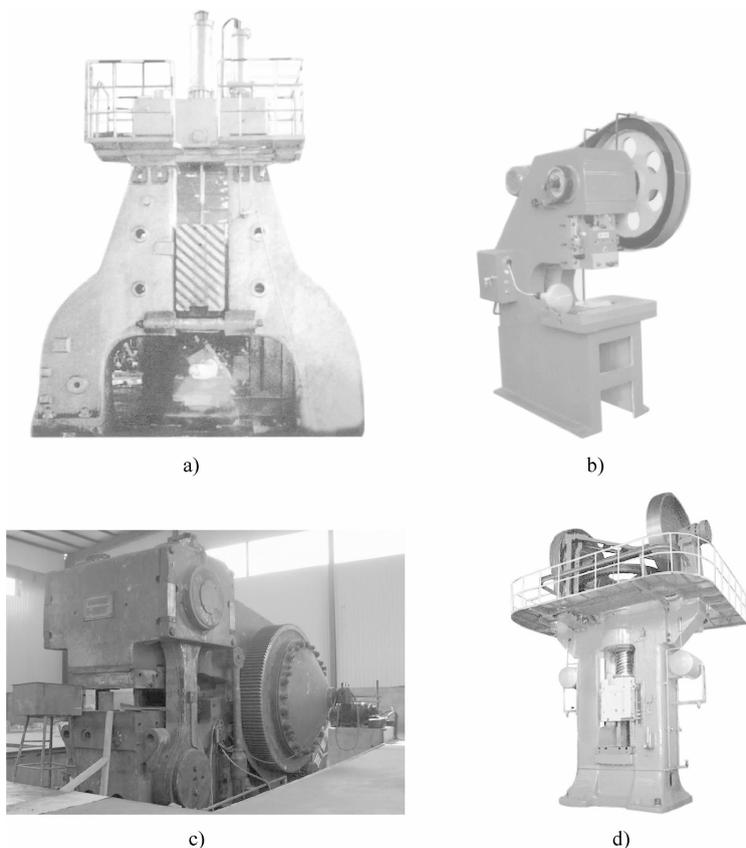


图 6-43 常用模锻设备

a) 模锻锤 b) 曲柄压力机 c) 平锻机 d) 摩擦压力机

冲压工艺是指冲压加工过程和具体实施方法，包括各种冲压工序。冲压工艺与模具设计就是根据冲压零件的形状、尺寸精度及技术要求，制定冲压加工方案，设计冲压模具的全过程。

冲压工艺有分离工序和变形工序两大类，所包含的冲压工序如图 6-44 所示。

### 1. 分离工序

分离工序是指坯料在模具作用下，沿一定的轮廓线分离而获得冲压件的加工方法。分离工序主要有落料、冲孔（冲槽）和切割等。

1) 落料工序一般用于制造各种形状的平板零件，它是指用模具沿封闭线冲切板料得到零件的过程，冲下的部分是零件，如图 6-45a 所示。

2) 冲孔工序一般用于冲出零件上的孔，它是指用模具沿封闭线冲切平板件或成形件得到带孔（槽）的零件的过程，冲下的部分是废料，如图 6-45b 所示。

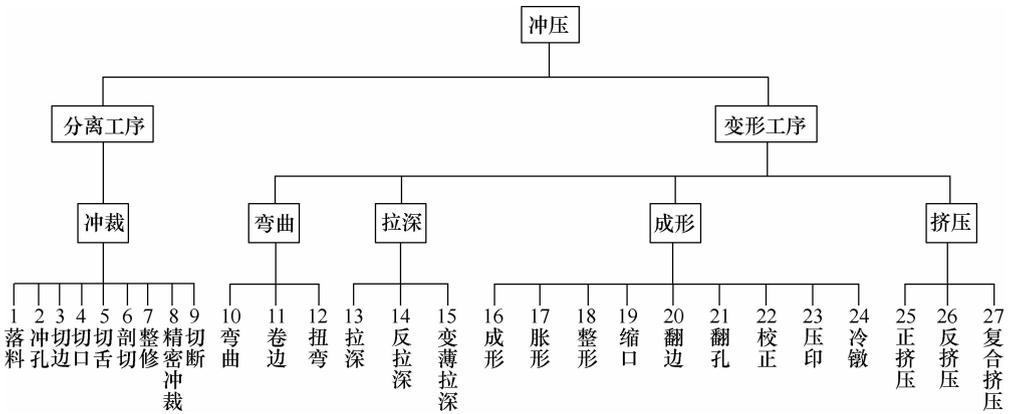


图 6-44 冲压的种类

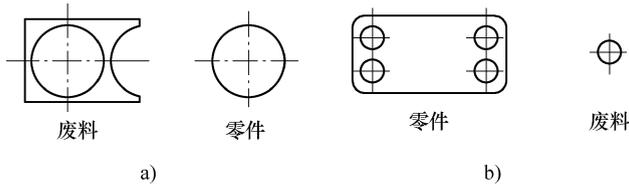


图 6-45 落料与冲孔

a) 落料 b) 冲孔

3) 切割工序一般包括切断、剖切和切边，如图 6-46 所示。切断是指用模具将形状简单的平板零件切断的过程；剖切是指用模具将冲压成的半成品切成两个或几个零件的过程；切边是指用模具将零件边缘多余的材料冲切下来的过程，主要用于立体成形件。

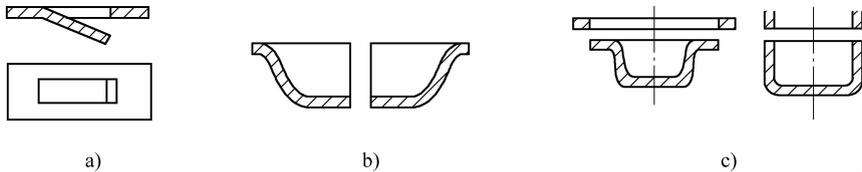


图 6-46 切割

a) 切口 b) 剖切 c) 切边

## 2. 变形工序

变形工序是指坯料在模具压力作用下，使坯料产生变形，但不产生分离而获得具有一定形状和尺寸的冲压件的加工方法。变形工序主要有弯曲、拉深、翻边、胀形、扩口、缩口、扭曲、起伏、压印和顶镦等。

1) 弯曲是指用模具将材料加工成一定形状的过程，如图 6-47 所示。



图 6-47 弯曲

2) 拉深是指用模具将材料加工成一定形状的空心件，或使空心毛坯进一步变形的过程，一般有变形拉深和变薄拉深两种工艺，如图 6-35 所示。

3) 翻边是指用模具将材料上的孔或外缘翻成直壁或用卷边模将条料端部按一定半径卷成圆形的过程，如图 6-48 所示。

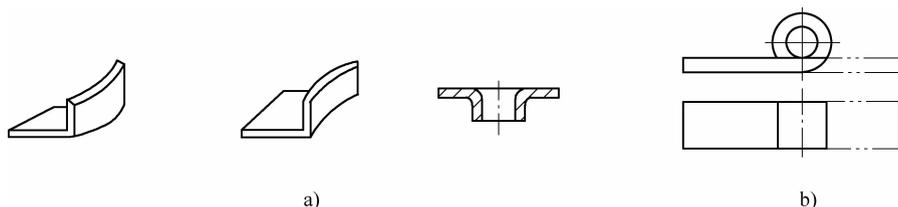


图 6-48 翻边

a) 直壁翻边 b) 卷边

4) 胀形是用模具对圆筒形半成品件施力，使其直径局部增大的过程，如图 6-36 所示。

5) 扩口和缩口是指用模具对空心毛坯、管状毛坯或空心零件施力，达到端口处直径扩大或缩小目的的过程，如图 6-49 所示。



图 6-49 扩口和缩口

图 6-50 扭曲

7) 起伏是在板材毛坯或零件的表面上用局部成型的方法制成各种形状的突起与凹陷，如图 6-51 所示。

8) 压印和顶镦如图 6-52 所示。

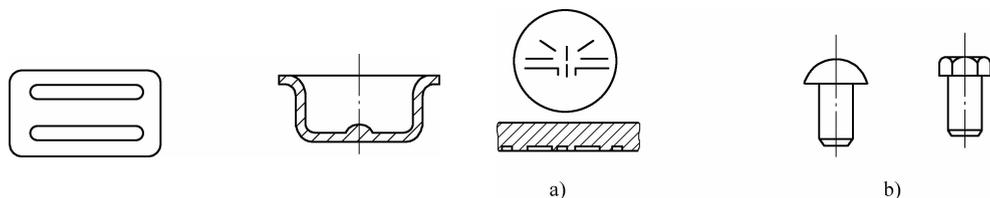


图 6-51 起伏

图 6-52 压印和顶镦

a) 压印 b) 顶镦

### 3. 冲压成形实例

图 6-53 所示为一个闹钟双铃提环的冲压成形过程。

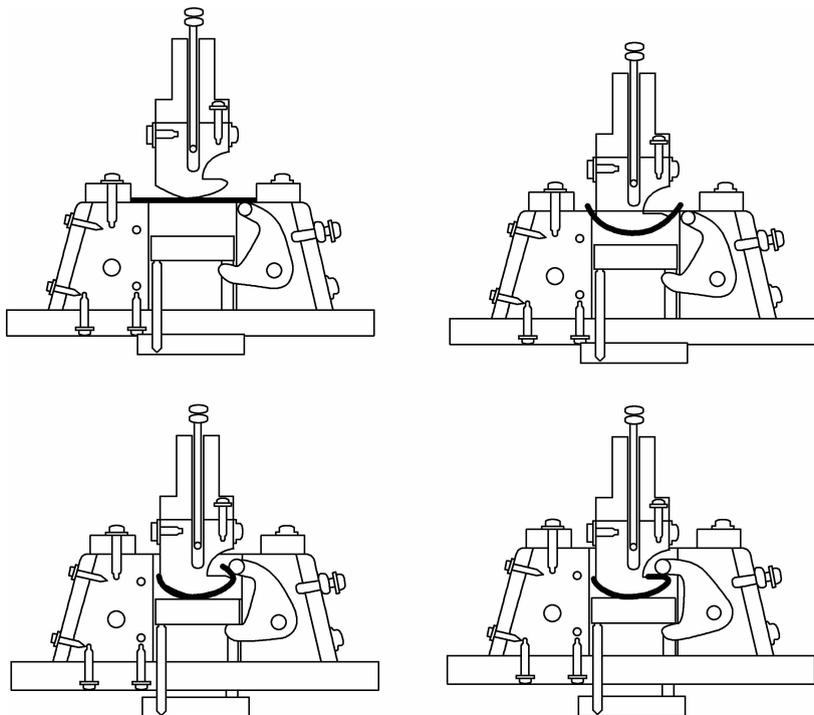


图 6-53 闹钟双铃提环的冲压成形过程

## 6.3 焊接

焊接是通过加热、加压，或两者并用，使两工件产生原子间结合而实现永久性连接的加工工艺。焊接应用广泛，既可用于金属，也可用于非金属。从近年来我国完成的一些标志性工程可以看出，焊接技术发挥了重要作用。例如，三峡水利枢纽的水电装备是一套庞大的焊接系统，包括导水管、蜗壳、转轮、大轴、发电机机座等，其中马氏体不锈钢转轮直径 10.7m、高 5.4m、重 440t，是目前世界上最大的铸-焊结构转轮。“神舟”号飞船的返回舱和轨道舱都是铝合金的焊接结构，其气密性和变形控制是焊接制造的关键。上海卢浦大桥（见图 6-54）是世界上最长的全焊钢拱桥，炼油厂（见图 6-55）的油罐大都是焊接而成，国家大剧院的椭球型穹顶是世界最重的钢结构穹顶。这些大型结构都是我国最新且具有代表性的重要焊接工程。由此可见，焊接技术在国民经济建设中具有重要的作用。



图 6-54 上海卢浦全焊钢拱桥



图 6-55 炼油厂

### 6.3.1 熔焊

熔焊是在焊接过程中将工件接口加热至熔化状态，不加压力完成焊接的方法。熔焊时，热源将待焊两工件接口处迅速加热熔化，形成熔池。熔池随热源向前移动，冷却后形成连续焊缝而将两工件连接成为一体。最典型的熔焊是焊条电弧焊，如图 6-56 和图 6-57 所示。

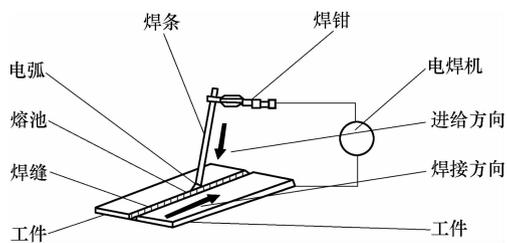


图 6-56 焊条电弧焊

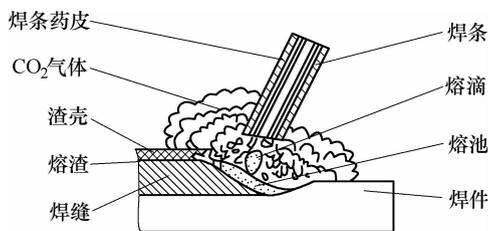


图 6-57 焊条电弧焊的熔池

熔焊又分为以电弧热为热源的熔化极焊和非熔化极焊，如图 6-58 所示。

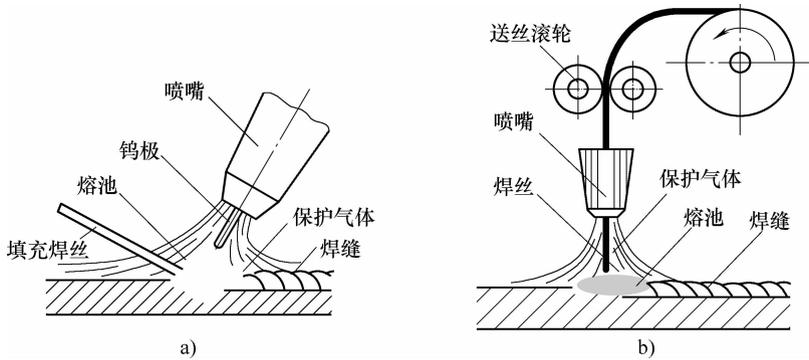


图 6-58 电弧焊

a) 非熔化极焊 b) 熔化极焊

### 6.3.2 压焊

压焊是在加压条件下，使两工件在固态下实现原子间结合的焊接方法，又称固态焊接。常用的压焊工艺是电阻对焊。当电流通过两工件的连接端时，该处因电阻很大而温度上升，当加热至塑性状态时，在轴向压力作用下连接成为一体。

各种压焊方法的共同特点是在焊接过程中施加压力而不加填充材料。多数压焊方法如扩散焊、高频焊、冷压焊等都没有熔化过程，因而没有像熔焊那样的有益合金元素烧损和有害元素侵入焊缝的问题，从而简化了焊接过程，也改善了焊接安全卫生条件。同时由于加热温度比熔焊低，加热时间短，因而热影响区小。许多难以用熔焊焊接的材料，往往可以用压焊焊成与母材同等强度的优质接头（见图 6-59）。图 6-60 所示为台式压焊机。



图 6-59 压焊接头

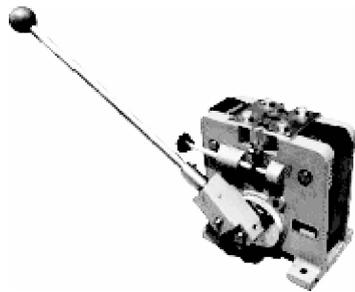


图 6-60 台式压焊机

### 6.3.3 钎焊

钎焊是利用钎料，在低于母材熔点而高于钎料熔点的温度下，与母材一起加

热，钎料熔化后通过毛细作用，扩散并填满钎缝间隙而形成牢固接头的一种焊接方法。美国焊接学会对钎焊的定义是：“一组焊接方法，它通过把各种材料加热到适当的温度，通过使用具有液相温度高于 450℃ 但低于母材固相线温度的钎料完成材料的连接，钎料依靠毛细吸附作用分布到接头紧密配合面上”。图 6-61 所示为钎焊接头示意图，图 6-62 所示为钎焊钎剂及钎料，图 6-63 所示为磷铜钎焊铜翅片管。

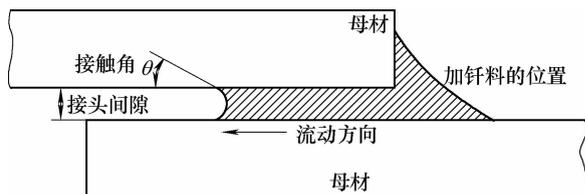


图 6-61 钎焊接头

钎焊、熔焊和压焊并称为现代三大焊接技术。而钎焊与熔焊或压焊相比，主要有下列不同之处：①钎焊时只有钎料熔化而母材保持固态，钎料的熔点低于母材的熔点；②焊接过程中，不需对工件施加压力；③焊接过程中钎料和母材的组织及力学性能变化不大，应力和变形可减小到最低程度，容易保证工件的尺寸精度；④接头平整光滑，工艺简单，可同时焊接多个工件，一次可焊成几十条或上百条钎缝，生产率高；⑤可以实现异种金属、金属与非金属的连接，且对工件厚度无严格限制；⑥钎焊设备简单，生产投资费用少；⑦钎焊接头强度比较低，耐热性较差，并且多采用搭接形式，增加了母材消耗和结构重量。

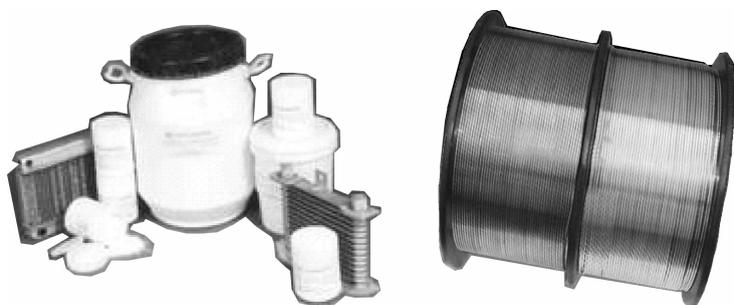


图 6-62 钎剂及钎料

钎焊一般在钎焊机（见图 6-64）上完成。材料钎焊连接时，工件变形小，接头一般是以搭接形式装配，焊缝光滑美观，适合于焊接精密、复杂和由不同材料组成的构件，如蜂窝结构板、叶片、硬质合金刀具和印制电路板等。钎焊前对工件必须进行细致加工和严格清洗，除去油污和过厚的氧化膜，保证接口装配间隙，间隙一般要求在 0.01 ~ 0.2mm 之间。目前钎焊工艺在航空航天、电子电器、机械制造、交通工具、先进武器系统等方面获得广泛的应用。



图 6-63 磷铜钎焊铜翅片管



图 6-64 钎焊机

### 6.3.4 焊缝符号表示方法

GB/T 324—2008《焊缝符号表示方法》对焊缝符号的表示规则有明确的规定。

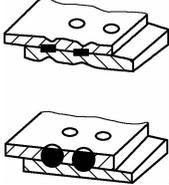
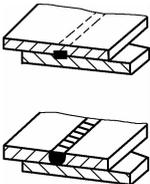
#### 1. 基本符号

表示焊缝的基本符号如表 6-2 所示。

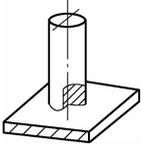
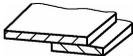
表 6-2 表示焊缝的基本符号

序号	名称	示意图	符号
1	卷边焊缝（卷边完全熔化）		
2	I形焊缝		
3	V形焊缝		
4	单边V形焊缝		
5	带钝边V形焊缝		
6	带钝边单边V形焊缝		

(续)

序 号	名 称	示意图	符 号
7	带钝边 U 形焊缝		
8	带钝边 J 形焊缝		
9	封底焊缝		
10	角焊缝		
11	塞焊缝或槽焊缝		
12	点焊缝		
13	缝焊缝		
14	陡边 V 形焊缝		
15	陡边单 V 形焊缝		
16	端焊缝		

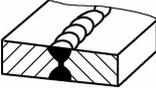
(续)

序号	名称	示意图	符号
17	堆焊缝		
18	平面连接 (钎焊)		
			
19	斜面连接 (钎焊)		
20	折叠连接 (钎焊)		

## 2. 基本符号的组合

在标注双面焊焊接接头和焊缝时,基本符号可以组合使用,如表 6-3 所示。

表 6-3 基本符号的组合

名称	示意图	符号
双面 V 形焊缝 (X 焊缝)		
双面单 V 形焊缝 (K 焊缝)		
带钝边的双面 V 形焊缝		
带钝边的双面单 V 形焊缝		
双面 U 形焊缝		

### 3. 补充符号

补充符号用来补充说明有关焊缝或接头的某些特征（诸如表面形状、衬垫、焊缝分布、施焊位置等），如表 6-4 所示。

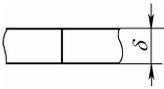
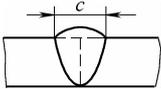
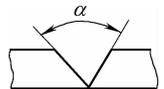
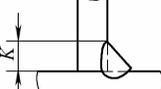
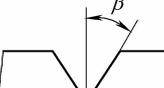
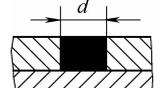
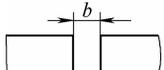
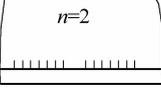
表 6-4 补充符号

名称	符 号	说 明	名称	符 号	说 明
平面		焊缝表面通常经过加工后平整	临时衬垫		衬垫在焊接完成后拆除
凹面		焊缝表面凹陷	三面焊缝		三面带有焊缝
凸面		焊缝表面凸起	周围焊缝		沿着工件周边施焊的焊缝 标注位置为基准线与箭头 线的交点处
圆滑过渡		焊趾处过渡圆滑	现场焊缝		在现场焊接的焊缝
永久衬垫		衬垫永久保留	尾部		可以表示所需的信息

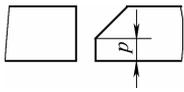
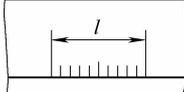
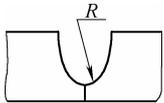
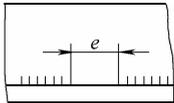
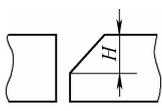
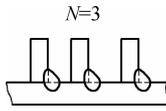
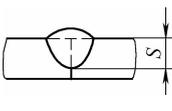
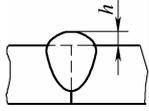
### 4. 尺寸符号

产品图样上焊缝的尺寸符号如表 6-5 所示。

表 6-5 尺寸符号

符号	名 称	示意图	符号	名 称	示意图
$\delta$	工件厚度		$c$	焊缝宽度	
$\alpha$	坡口角度		$K$	焊脚尺寸	
$\beta$	坡口面角度		$d$	点焊：熔核直径 塞焊：孔径	
$b$	根部间隙		$n$	焊缝段数	

(续)

符号	名称	示意图	符号	名称	示意图
$p$	钝边		$l$	焊缝长度	
$R$	根部半径		$e$	焊缝间距	
$H$	坡口深度		$N$	相同焊缝数量	
$S$	焊缝有效厚度		$h$	余高	

### 6.3.5 常用金属材料的焊接难易程度

常用金属材料的焊接难易程度如表 6-6 所示。

表 6-6 常用金属材料的焊接难易程度

种 类		焊条 电弧焊	埋 弧焊	CO <sub>2</sub> 气体 保护焊	惰 性 气体 保护焊	电 渣 焊	电 子 束 焊	气 焊	气 压 焊	点 缝 焊	闪 光 对 焊	铝 热 焊	钎 焊
铸 铁	灰铸铁	B	D	D	B	B	C	A	D	D	D	B	C
	可锻铸铁	B	D	D	B	B	C	A	D	D	D	B	C
	合金铸铁	B	D	D	B	B	C	A	D	D	D	A	C
铸 钢	碳素钢	A	A	A	B	A	B	A	B	B	A	A	B
	高锰钢	B	B	B	B	A	B	A	D	B	B	B	B
纯铁		A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A
碳 素 钢	低碳钢	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A
	中碳钢	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	B
	高碳钢	A	B	B	B	B	A	A	A	D	A	A	B
	工具钢	B	B	B	B	—	A	A	A	D	B	B	B
	含铜钢	A	A	A	B	—	A	A	A	A	A	B	B

(续)

种 类	焊条 电弧焊	埋弧焊	CO <sub>2</sub> 气体 保护焊	惰性 气体 保护焊	电渣焊	电子束焊	气焊	气压焊	点缝焊	闪光对焊	铝热焊	钎焊	
低合金钢	镍钢	A	A	A	B	B	A	B	A	A	A	B	B
	镍铜钢	A	A	A	—	B	A	B	A	A	A	B	B
	锰钼钢	A	A	A	—	B	A	B	B	A	A	B	B
	碳素钼钢	A	A	A	—	B	A	B	B	—	A	B	B
	镍铬钢	A	A	A	—	B	A	B	A	D	A	B	B
	铬钼钢	A	A	A	B	B	A	B	A	D	A	B	B
	镍铬钼钢	B	A	B	B	B	A	B	A	D	B	B	B
	镍钼钢	B	B	B	A	B	A	B	B	D	B	B	B
	铬钢	A	B	A	—	B	A	B	A	D	A	B	B
	铬钒钢	A	A	A	—	B	A	B	A	D	A	B	B
	锰钢	A	A	A	B	B	A	B	B	D	A	B	B
不锈钢	铬钢(马氏体)	A	A	B	A	C	A	A	B	C	B	D	C
	铬钢(铁素体)	A	A	B	A	C	A	A	B	A	A	D	C
	铬镍钢(奥氏体)	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	D	B
耐热合金	A	A	A	A	D	A	B	B	A	A	D	C	
高镍合金	A	A	A	A	D	A	A	B	A	A	D	B	

注：A 指通常采用；B 指有时采用；C 指很少采用；D 指不采用。

## 6.4 热处理

### 6.4.1 热处理基本知识

金属热处理是将金属工件放在一定的介质中加热到适宜的温度，并在此温度中保持一定时间后，又以不同速度在不同的介质中冷却，通过改变金属材料表面或内部的显微组织结构来控制其性能的一种工艺。热处理是机械零件和工模具制造过程中的重要工序之一。它可以保证和提高工件的各种性能，还可以改善毛坯的组织和应力状态，以利于进行各种冷、热加工。例如，白口铸铁经过长时间退火处理可以改变其性能，扩大其应用范围；齿轮采用正确的热处理工艺，使用寿命会比不经热处理的齿轮成倍或几十倍地提高；价廉的碳素钢通过渗入某些合金元素就可具有某些价格昂贵的合金钢性能，可以代替耐热钢、不锈钢；工模具则几乎全部需要经过热处理才可使用。与其他加工工艺相比，热处理一般不改变工件的形状和整体的化

学成分,而是通过改变工件内部的显微组织,或改变工件表面的化学成分,赋予或改善工件的使用性能。其特点是改善工件的内在质量,而这一般不是肉眼所能看到的,它是机械制造中的特殊工艺过程。

热处理工艺一般包括加热、保温、冷却三个过程,有时只有加热和冷却两个过程,这些过程互相衔接,不可间断,如图6-65所示。

### 1. 加热

加热是热处理的重要工序之一。金属热处理的加热方法很多,最早是采用木炭和煤作为热源,进而应用液体和气体燃料。电的应用使加热易于控制,且无环境污染。利用这些热源可以直接加热工件,也可以通过熔融的盐或金属,进行间接加热。

金属加热时,工件暴露在空气中,常常发生氧化、脱碳(钢铁零件表面碳含量降低)现象,这对于热处理后零件的表面性能有很不利的影响。因而金属通常应在可控气氛或保护气氛中、熔融盐中和真空中加热,也可采用涂料或包装方法进行保护加热。

### 2. 保温

当金属工件表面达到要求的加热温度时,还需在此温度保持一定时间,使内外温度一致,显微组织转变完全,这段时间称为保温时间。采用感应加热等进行表面热处理时,加热速度极快,一般就没有保温时间,而化学热处理的保温时间往往较长。

### 3. 冷却

冷却也是热处理工艺过程中不可缺少的步骤,冷却方法因工艺不同而变化,主要是控制冷却速度。一般退火的冷却速度最慢,正火的冷却速度较快,淬火的冷却速度更快。但还因钢种不同而有不同的要求。

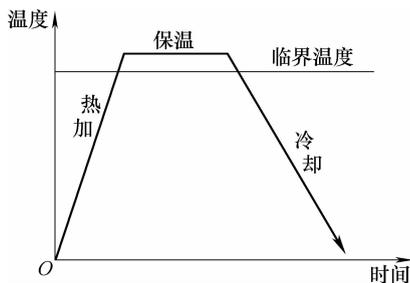


图 6-65 热处理工艺一般过程

## 6.4.2 整体热处理

整体热处理的工艺过程如图6-66所示。

### 1. 退火

退火是将钢加热到一定温度并保温一段时间,然后使它慢慢随炉冷却的热处理方法。退火根据工艺用途不同又分为完全退火、不完全退火、球化退火、等温退火、去应力退火、再结晶退火。

退火的目的是调整工件硬度,使其便于切削加工;消除残留应力,防止变形和开裂;细化晶粒,提高力学性能;为最终热处理做组织准备。故退火是属于半成品热处理,又称预备热处理。

## 2. 正火

正火是将钢加热到临界温度以上，使钢全部转变为均匀的奥氏体，然后在空气中自然冷却的热处理方法。正火可细化晶粒，改善加工性能。

正火与退火的不同点是正火冷却速度比退火冷却速度稍快，因而正火组织要比退火组织更细一些，其力学性能也有所提高。另外，正火采用炉外冷却方式，不占用设备，生产率较高。因此，生产中应尽可能采用正火来代替退火。

## 3. 淬火

淬火是将钢加热到临界温度以上，保温一段时间，然后很快放入淬火冷却介质中，使其温度骤然降低，并以大于临界冷却速度的速度急速冷却，而获得以马氏体为主的不平衡组织的热处理方法。

常用的淬火方法有单液淬火、双液淬火、分级淬火、等温淬火。淬火能增加钢的强度和硬度，但要降低其塑性。淬火中常用的淬火冷却介质有水、油、碱水和盐类溶液等。

淬火可以提高金属工件的硬度及耐磨性，因而广泛用于各种工、模、量具及要求表面耐磨的零件，如齿轮（见图 6-67）、轧辊、渗碳零件等。另外，淬火还可使一些特殊性能的钢获得一定的物理化学性能，如淬火使永磁钢增强铁磁性，使不锈钢提高耐腐蚀性等。

## 4. 回火

回火是将已经淬火的钢重新加热到一定温度，再用一定方法冷却的热处理方法。其目的是降低或消除淬火引起的残留内应力，防止变形和开裂；提高钢的塑性和韧性，降低其脆性；调整钢制零件的性能以满足使用要求；稳定工件尺寸。

回火分为低温回火、中温回火和高温回火三类。回火多与淬火、正火配合使用。

(1) 低温回火（150~250℃） 低温回火所得组织为回火马氏体，其目的是在保持钢的高硬度和高耐磨性的前提下，降低其内应力和脆性，以免使用时崩裂或过早损坏。它主要用于各种高碳的切削刀具、量具、冲压模具、滚动轴承及渗碳件

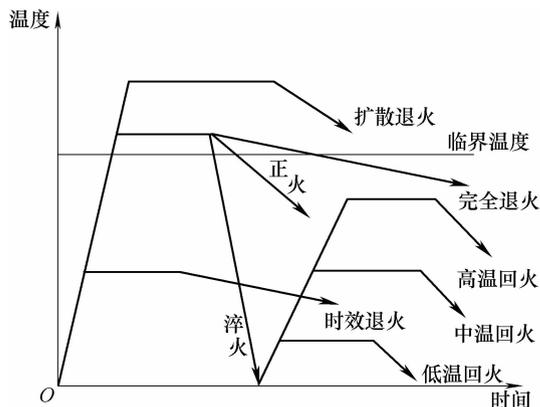


图 6-66 整体热处理的工艺过程



图 6-67 淬火后的齿轮

等。回火后硬度一般为 60HRC 左右。

(2) 中温回火 (350 ~ 500℃) 中温回火所得组织为回火托氏体, 其目的是获得高的屈服强度、弹性极限和较高的韧性。因此, 它主要用于各种弹簧 (见图 6-68) 和热作模具的处理。回火后硬度一般为 45HRC 左右。

(3) 高温回火 (500 ~ 650℃) 高温回火所得组织为回火索氏体, 习惯上将淬火加高温回火相结合的热处理称为调质处理, 其目的是获得强度、硬度、塑性和韧性都较好的综合力学性能。调质处理广泛用于各种重要零件, 特别是交变载荷的零件, 广泛用于汽车、拖拉机、机床等的重要结构零件, 如连杆 (见图 6-69)、螺栓、齿轮及轴类。回火后硬度一般为 260HBW 左右。



图 6-68 中温回火后的弹簧



图 6-69 连杆

### 6.4.3 表面热处理

#### 1. 表面淬火

表面淬火时通过快速加热, 使钢件表面很快达到淬火的温度, 在热量来不及穿到工件心部就立即冷却, 实现局部淬火。表面淬火的目的在于获得高硬度、高耐磨性的表面, 而心部仍然保持原有的良好韧性, 常用于机床主轴、齿轮、发动机的曲轴等。

表面淬火方法有多种, 主要有感应淬火 (见图 6-70) 和火焰淬火等。

#### 2. 化学热处理

化学热处理是利用化学反应 (有时兼用物理方法) 改变钢件表层化学成分及组织结构的金属热处理工艺。由于机械零件的失效和破坏大多数都萌发在表面层, 特别在可能引起磨损、疲劳、金属腐蚀、氧化等条件下工作的零件, 表面层的性能尤为重要。经化学热处理后的钢件, 心部为原始成分的钢, 表层则是渗入了合

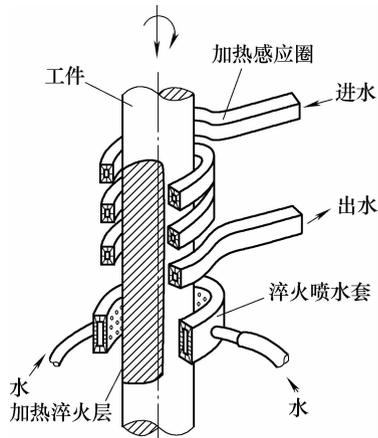


图 6-70 感应淬火

金元素的材料。心部与表层之间是紧密的晶体型结合，它比电镀等表面防护技术所获得的心部、表面的结合要好得多。图 6-71 所示为一个标准的化学热处理车间。

最常用的化学热处理方法有渗碳（见图 6-72）、渗氮和碳氮共渗。



图 6-71 化学热处理车间

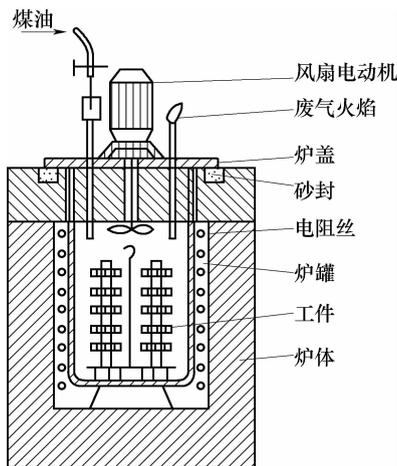


图 6-72 渗碳

#### 6.4.4 其他热处理

##### 1. 时效处理

为了消除精密量具或模具、零件在长期使用中尺寸、形状的变化，常在低温回火后、精加工前，把工件重新加热到  $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，保持  $5 \sim 20\text{h}$ 。这种稳定精密制件质量的处理，称为时效处理。

##### 2. 形变热处理

把压力加工形变与热处理紧密地结合起来进行，使工件获得很好的强度、韧性配合的方法称为形变热处理。形变热处理有效地综合利用了形变强化和相变强化，将压力加工与热处理操作相结合，使成形工艺同获得最终性能统一起来。通过形变热处理，不但能够得到一般加工处理所达不到的高强度、高塑性和高韧性的良好配合，而且还能大大简化钢材或零件的生产流程，从而带来相当高的经济效益。因此，形变热处理得到了冶金工业、机械制造业的普遍重视，发展极为迅速。

##### 3. 表面形变强化

表面形变强化是指使钢件在常温下发生塑性变形，以提高其表面硬度，并产生有利的残留压应力分布的表面强化工艺。其工艺简单，成本低廉，是提高钢件疲劳强度、延长其使用寿命的重要工艺措施。

#### 6.4.5 热处理工艺代号

热处理工艺部门经常用代号表示热处理工艺，GB/T 12603—2005《金属热处

理工艺分类及代号》规定了不同的热处理工艺代号，如表 6-7 所示。

表 6-7 热处理工艺代号

工 艺	代 号	工 艺	代 号
热处理	500	可控气氛加热淬火	513-01
整体热处理	510	真空加热淬火	513-02
可控气氛热处理	500-01	盐浴加热淬火	513-03
真空热处理	500-02	感应加热淬火	513-04
盐浴热处理	500-03	流态床加热淬火	513-10
感应热处理	500-04	盐浴加热分级淬火	513-10M
火焰热处理	500-05	盐浴加热盐浴分级淬火	513-10H + M
激光热处理	500-06	淬火和回火	514
电子束热处理	500-07	调质	515
离子轰击热处理	500-08	稳定化处理	516
液态床热处理	500-10	固溶处理、水韧化处理	517
退火	511	固溶处理 + 时效	518
去应力退火	511-St	表面热处理	520
均匀化退火	511-H	表面淬火和回火	521
再结晶退火	511-R	感应淬火和回火	521-04
石墨化退火	511-G	火焰淬火和回火	521-05
脱氢处理	511-D	激光淬火和回火	521-06
球化退火	511-Sp	电子束淬火和回火	521-07
等温退火	511-I	电接触淬火和回火	521-11
完全退火	511-F	物理气相沉积	522
不完全退火	511-P	化学气相沉积	523
正火	512	等离子体增强化学气相沉积	524
淬火	513	离子注入	525
空冷淬火	513-A	化学热处理	530
油冷淬火	513-O	渗碳	531
水冷淬火	513-W	可控气氛渗碳	531-01
盐水淬火	513-B	真空渗碳	531-02
有机水溶液淬火	513-Po	盐浴渗碳	531-03
盐浴淬火	513-H	固体渗碳	531-09
加压淬火	513-Pr	流态床渗碳	531-10
双介质淬火	513-I	离子渗碳	531-08
分级淬火	513-M	碳氮共渗	532
等温淬火	513-AI	渗氮	533
形变淬火	513-Af	气体渗氮	533-01
气冷淬火	513-G	液体渗氮	533-03
淬火及冷处理	513-C	离子渗氮	533-08

(续)

工 艺	代 号	工 艺	代 号
流态床渗氮	533-10	渗锌	536(Zn)
氮碳共渗	534	渗钒	536(V)
渗其他非金属	535	多元共渗	537
渗硼	535(B)	硫氮共渗	537(S-N)
气体渗硼	535-01(B)	氧氮共渗	537(O-N)
液体渗硼	535-03(B)	铬硼共渗	537(Cr-B)
离子渗硼	535-08(B)	钒硼共渗	537(V-B)
固体渗硼	535-09(B)	铬硅共渗	537(Cr-Si)
渗硅	535(Si)	铬铝共渗	537(Cr-Al)
渗硫	535(S)	硫氮碳共渗	537(S-N-C)
渗金属	536	氧氮碳共渗	537(O-N-C)
渗铝	536(Al)	铬铝硅共渗	537(Cr-Al-Si)
渗铬	536(Cr)		

## 6.5 车削

### 6.5.1 车削加工基础

#### 1. 概述

切削加工就是利用切削工具从工件上切除多余金属材料的加工方法。车削加工是在车床上利用工件的旋转和刀具的移动来加工各种回转体表面的切削加工方法。在切削加工中，车削加工占有十分重要的地位。车削加工区别于其他切削加工方法的显著特点是加工回转体，车削除了可以加工金属材料外，还可以加工木材、塑料、橡胶、尼龙等非金属材料。车削加工精度高，车床上加工尺寸公差等级可达IT11~IT6，表面粗糙度 $Ra$ 值可达0.8~12.5 $\mu\text{m}$ 。

车削加工范围很广，可以车外圆（见图6-73）、钻中心孔（见图6-74）、切槽（见图6-75）、车各种螺纹（见图6-76）、车端面（见图6-77）、镗孔（见图6-78）、车锥面（见图6-79）、滚花和盘绕弹簧等。若在车床上装上各种相应的夹具和附件，还可进行磨削、研磨、抛光、拉削和铣削平面，以及其他特殊、复杂零件的内、外圆加工。因此，车削加工在机械制造业中应用极为广泛。

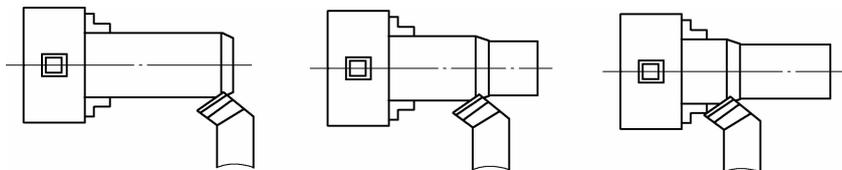


图 6-73 车外圆

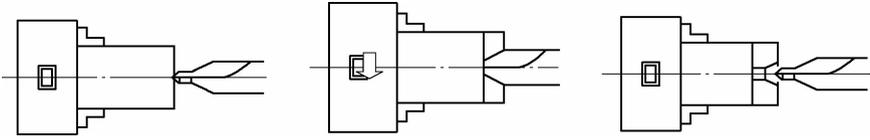


图 6-74 钻中心孔

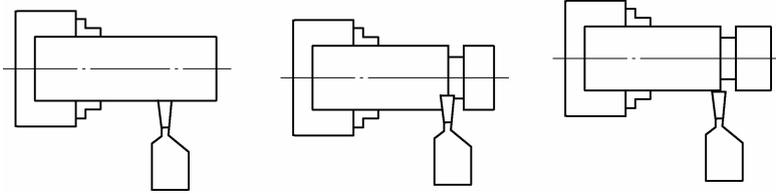


图 6-75 切槽

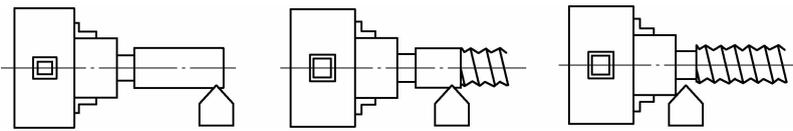


图 6-76 车螺纹

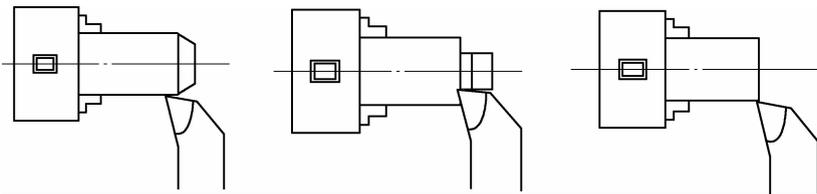


图 6-77 车端面

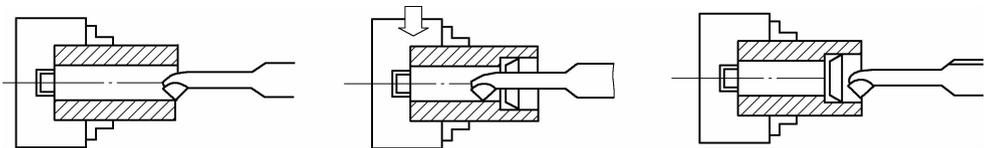


图 6-78 镗孔

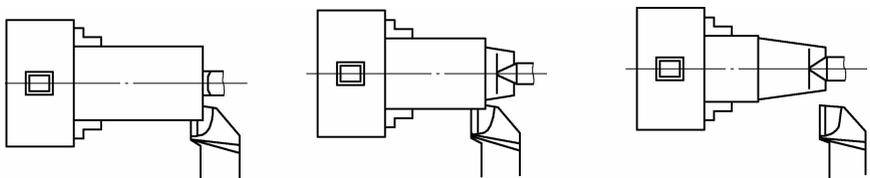


图 6-79 车锥面

## 2. 切削主要参数

金属切削过程中存在着刀具与工件之间的相对运动，称为切削运动。

切削运动分为主运动和进给运动。直接切除毛坯上的被切削层，使之变为切削的运动，称为主运动，是由机床或人力提供的主要运动，它促使工件与刀具之间产生相对运动，是切削中所需要的基本运动。由于速度高，消耗机床动力大，一般在切削运动中主运动只有一个。保证被切削层不断或间断地投入切削，以逐渐加工出整个工件表面的运动称为进给运动。没有进给运动就无法连续切削，而且进给运动速度低，消耗机床动力小，在切削运动中可以有多个。

在切削过程中，随着工件表层金属被切除，工件存在着三个不断变化的表面，待加工表面、过渡表面和已加工表面，车削外圆时的三个表面如图 6-80 所示。

进行切削时，为了获得理想的加工表面，增加加工效率，降低加工成本，必须选择合理的切削参数，包括切削速度  $v_c$ 、进给量  $f$  及背吃刀量  $a_p$ 。

1) 切削速度是切削刃选定点相对于工件的主运动的瞬时速度，计算公式如下：

$$v_c = \pi d_w n / 1000$$

式中  $v_c$ ——切削速度 (m/min)；

$d_w$ ——切削刃选定点 (或刀具) 直径 (mm)；

$n$ ——车床主轴每分钟转速 (r/min)。

2) 进给量指刀具在进给运动方向上相对工件的位移量，在车削加工中，进给量常以车床主轴回转一周时刀具的移动量来表示，单位为 mm/r。

3) 背吃刀量是指在通过切削刃基点并垂直于工作平面的方向上测量的吃刀量，计算公式如下：

$$a_p = (d_w - d_m) / 2$$

式中  $a_p$ ——背吃刀量 (mm)；

$d_w$ ——工件待加工表面的直径 (mm)；

$d_m$ ——工件已加工表面的直径 (mm)。

粗加工时，应在单位时间内切除尽量多余的加工余量，使工件接近于最终的形状和尺寸。因此在机床刚度及功率允许时，选择大的背吃刀量  $a_p$  和较大的进给量  $f$ ，并选择适当的切削速度  $v_c$ 。

精加工时，应当保证工件的加工精度和表面粗糙度。此时加工余量小，一般应取小的背吃刀量  $a_p$  和小的进给量  $f$ ，以降低表面粗糙度值，然后再选择合适的切削

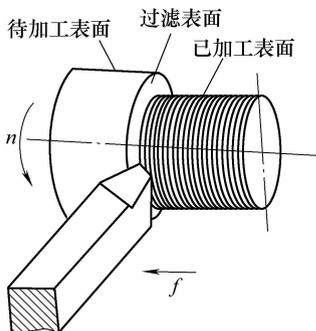


图 6-80 车削外圆时的三个表面

速度  $v_c$ 。

### 3. 切削液

在金属切削过程中,选择合适的切削液可以减少刀具与工件之间的摩擦,降低切削力和切削温度,从而提高刀具的使用寿命,改善工件表面质量,如图 6-81 所示。

切削液分为水溶液、乳化液、油类切削液三种,切削液主要有以下四种作用:

(1) 冷却作用 切削液能带走切削区内的大量热,改善散热条件,减小摩擦,减少摩擦热。因此降低了切削区的温度,减小了热变形及刀具磨损,提高了刀具寿命、工件的加工质量和生产率,降低了生产成本。

(2) 润滑作用 切削液渗入工件与刀具之间,形成化学性吸附膜,减小摩擦而起到润滑作用。能抑制积屑瘤的生长,改善材料的切削加工性能和已加工表面质量,减少金属分子间的结合力,使切削容易进行。有良好的渗透性及润湿性,能形成耐高温、高压和在剧烈摩擦时而不被破坏的润滑膜,使润滑作用持久。同时,还具有良好的渗透性,能流进切削区内,侵入金属表层微小裂纹中,促使其扩大,有利于切削,减小了切削阻力。

(3) 清洗作用 切削液流动性好,能冲刷刀具和工件上的细微切屑,降低工件表面粗糙度值,提高刀具、机床的使用寿命。清洗性能的好坏与切削液的渗透性、流动性和使用的压力有关。经常向其中加入大量的表面活性剂,以提高清洗效果,并给予一定压力,保持一定流量来提高冲刷能力,及时冲走碎屑和磨粉等杂物。

(4) 防锈作用 使其能附在金属表面上形成一种保护膜,不使金属受到腐蚀而生锈。

切削液的选用如表 6-8 所示。

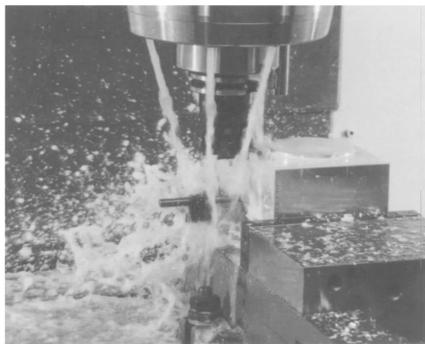


图 6-81 切削液

表 6-8 切削液的选用

选用依据	加工条件	切削液选用原则
工件材料	切削钢等塑性材料	需用切削液
	切削铸铁等脆性材料	因使用切削液的作用不明显,且会弄脏工作场地和使碎屑粘附在机床导轨与滑板间造成阻塞和擦伤,故一般不使用切削液
	切削高强度钢、高温合金等难切削材料	选用极压切削油或极压乳化液
	切削铜、铝及其合金	因硫对其有腐蚀作用,故不能使用含硫的切削液
	切削镁合金	不能使用水基切削液,以免引起燃烧

(续)

选用依据	加工条件	切削液选用原则
刀具材料	高速钢刀具	热硬性差, 一般应使用切削液
	硬质合金刀具	热硬性好, 耐热、耐磨, 一般不用切削液, 必要时可使用低浓度的乳化液或合成切削液, 但必须连续、充分浇注, 以免刀片因冷热不均匀, 产生较大内应力而导致破裂
加工方法	钻孔 (尤其是钻深孔)、铰孔、攻螺纹、拉削等加工	因工具与已加工表面的摩擦严重, 宜采用乳化液、极压乳化液、极压切削油, 并充分浇注
	使用螺纹刀具、齿轮刀具及成形刀具切削	刀具价格较贵, 刃磨困难, 要求刀具寿命高, 宜采用极压切削油、硫化切削油等
	磨削	因其加工时温度很高, 且会产生大量的细屑及脱落的磨粒, 容易堵塞砂轮和使工件烧伤, 要选用冷却作用好、清洁能力强的切削液, 如合成切削液和低浓度乳化液
	磨削不锈钢、高温合金	应选用润滑性能较好的极压型合成切削液和极压乳化液
加工要求	粗加工	金属去除量大, 切削温度高, 应选用冷却作用好的切削液
	精加工	为保证加工质量, 宜选用润滑作用好的极压切削液

## 6.5.2 车刀

### 1. 车刀的形式

车削加工中用到的车刀多种多样, 按用途可分为直头外圆车刀、45°弯头外圆车刀、90°车刀、端面车刀、镗刀、切断刀、宽刃光刀, 如图 6-82 所示。按结构可分为整体式车刀、焊接式车刀、机夹式车刀、机夹式可转位式车刀, 如图 6-83 所示。

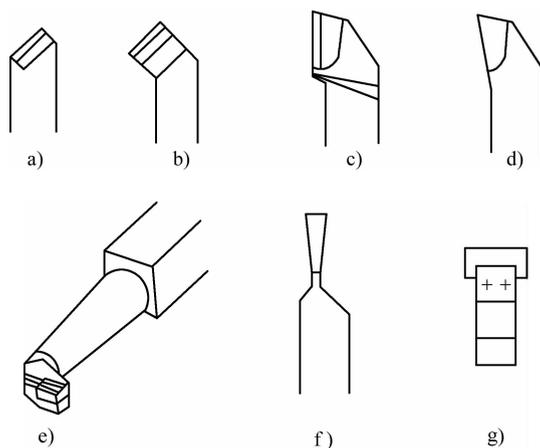


图 6-82 车刀的分类

- a) 直头外圆车刀 b) 45°弯头外圆车刀 c) 90°车刀  
d) 端面车刀 e) 镗刀 f) 切断刀 g) 宽刃光刀

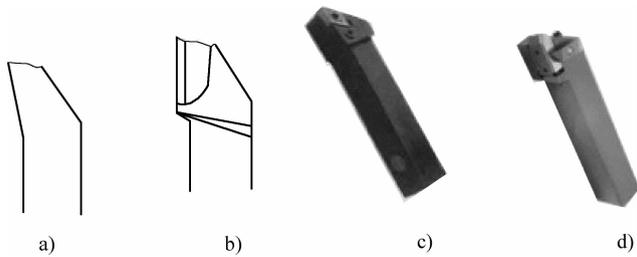


图 6-83 车刀的分类

- a) 整体式车刀 b) 焊接式车刀 c) 机夹式车刀  
d) 机夹式可转位式车刀

## 2. 刀头的组成

车刀主要是由承担切削工作的刀头（又称切削部分）和原装的刀杆（又称夹持部分）组成，其中切削部分由三面、两刃、一尖组成，如图 6-84 所示。

(1) 前刀面 刀具上切屑流经的表面。

(2) 主后刀面 刀具上同前刀面相交形成主切削刃的后刀面。

(3) 副后刀面 刀具上同前刀面相交形成副切削刃的后刀面。

(4) 主切削刃 对车刀来说是前刀面与主后刀面的交线，承担主要切削任务。

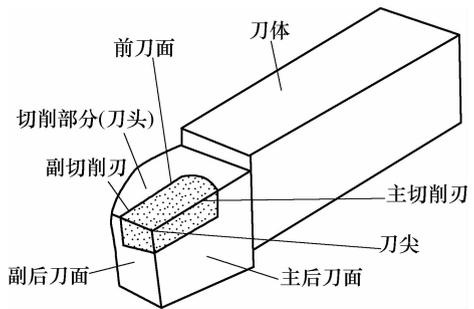


图 6-84 刀头的组成

(5) 副切削刃 对车刀来说是前刀面与副后刀面的交线，参加部分切削工作。

(6) 刀尖 主切削刃与副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃，为增加刀尖强度，通常磨成一小段过渡圆弧。

## 3. 车刀切削部分的材料

(1) 优质碳素工具钢 常用牌号有 T10A、T12A 等。淬火后有较高的硬度（60~64HRC），容易刃磨锋利；但热硬性差，在 200~250℃ 时，硬度即明显下降，允许的切削速度很低（8~10m/min）。一般用来制造切削速度低、尺寸较小的手动工具。

(2) 合金工具钢 常用牌号有 9SiCr、CrWMn 等。其热硬性、韧性较碳素工具钢要好，热硬性温度为 300~350℃，切削速度较碳素工具钢高 10%~20%。常用来制造形状复杂的低速刀具，如铰刀、丝锥和板牙等。

(3) 高速工具钢 常用牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等。由于含有大量高硬度的碳化物，热处理后硬度可达 63~66HRC，其热硬性温度达 550~600℃（在 600℃ 高温下硬度为 47~48.5HRC），切削速度约为 30m/min。适于制造成形车刀、

铣刀、钻头和拉刀等。

(4) 硬质合金 以钴为粘结剂，将高硬度难熔的金属碳化物（WC、TiC、TaC、NbC 等）粉末用粉末冶金方法粘结而成。其常温硬度达 89 ~ 93HRA，热硬性温度高达 900 ~ 1000℃，耐磨性好，切削速度比通用高速钢高 4 ~ 7 倍，但韧性差，抗弯强度低。

#### 4. 车刀的安装

车刀的安装对切削表面的质量和车刀的使用寿命有很大的影响，安装过程中应注意的问题如图 6-85 所示。

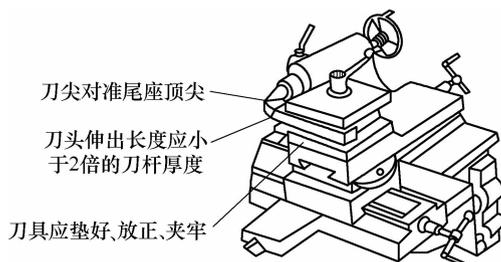


图 6-85 车刀的安装

### 6.5.3 车床

#### 1. 概述

车床是指主要用车刀对旋转的工件进行车削加工的机床。在车床上还可用钻头、扩孔钻、铰刀、丝锥、板牙和滚花工具等进行相应的加工。不同的工件需要不同的车刀来完成。

#### 2. 车床分类

车床根据自动化程度可以分为普通车床和数控车床。

卧式车床（见图 6-86）是普通车床中应用最广泛的一种，因其主轴以水平方式放置故称为卧式车床。卧式车床能对轴、盘、环等多种类型工件进行多种工序加工，常用于加工工件的内外回转表面、端面和各种内外螺纹，采用相应的刀具和附件，还可进行钻孔、扩孔、攻螺纹和滚花等。

如果说动力车床是现代车床的先驱，那数字控制车床（见图 6-87）则是汇集数百年来车床的演进技术与优点集于一身的车床。



图 6-86 卧式车床



图 6-87 数控车床

除了卧式车床及数控车床外，还分为马鞍车床、加高车床、落地车床、立式车

床、转塔车床、回轮车床和仿形车床等类型。

### 3. 车床的传动路线

车床的传动路线如图 6-88 所示。

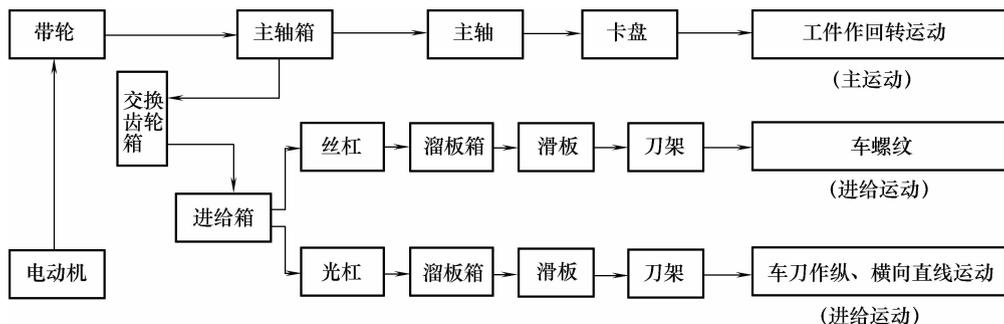


图 6-88 车床的传动路线

### 4. 车床附件

工件的定位和安装将直接影响到切削加工的精度以及生产率，但由于工件的形状、大小、加工数量和质量的具体要求不同，所采用的装夹工具也不一样。

常用的车床附件有自定心卡盘、单动卡盘、中心架、跟刀架、顶尖、拨盘、鸡心夹、花盘、心轴等。

(1) 自定心卡盘 自定心卡盘是机床上应用最为广泛的一种通用夹具，可夹持轴类、盘类及回转体表面，也可根据工件的偏心数据，经计算利用垫片调节加工偏心零件。其特点是自动定心、装卸方便，但夹紧力差。自定心卡盘如图 6-89 所示。

(2) 单动卡盘 在加工截面形状为方形或椭圆形零件时，通常使用单动卡盘。他除了具备自定心卡盘之功用外，还可夹持安装圆形、正方形、长方形、内外圆偏心、椭圆形及其他不规则零件。其特点是装夹精度高，夹紧力大，可夹持较重、较大的零件。单动卡盘如图 6-90 所示。



图 6-89 自定心卡盘



图 6-90 单动卡盘

(3) 顶尖 顶尖是车床或磨床上支持工件并使工件围绕其转动的圆锥形金属棒。顶尖在车床中位置如图 6-91 所示。

(4) 跟刀架 跟刀架(见图 6-92)固定于床鞍上并随床鞍一起作纵向移动,主要用于加工细长的光轴和长丝杠等。

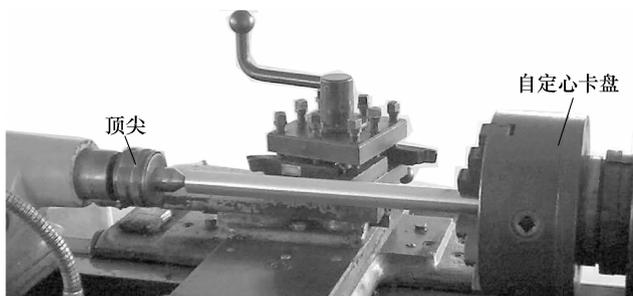


图 6-91 顶尖



图 6-92 跟刀架

## 6.6 铣削

### 6.6.1 铣削加工基础

铣削加工是目前应用最为广泛的金属切削加工方法之一,是指在铣刀的旋转和工件相对铣刀作进给运动共同作用下,将金属从工件表面切削下来的过程,如图 6-93 所示。铣削加工的主要特点是用多刀刃的铣刀来进行切削,效率高,加工范围广,可以加工各种形状较复杂的零件。加工精度也较高,其公差等级一般为 IT9 ~ IT7,表面粗糙度值  $Ra$  为  $1.6 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 。

铣削加工的主要内容如图 6-94 所示。

铣削加工中,铣削工件的过程可分为切削工作和辅助工作两部分。切削工作是铣刀与工件接触,产生加工过程和加工表面的工作。辅助工作就是在加工前的准备工作(如安装刀具与工件、按所需要的切削速度和进给量调整机器等)和加工后的辅助工作(停车、把刀具退回原位、取下成品)。

(1) 切削运动 切削运动是指在切削过程中,形成加工表面所必需的刀具与工件间的相对运动,分为主运动和进给运动。主运动是形成机床切削速度或消耗主

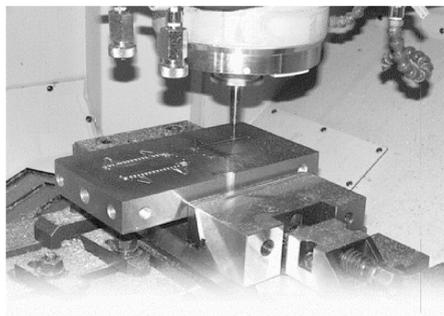


图 6-93 铣削加工

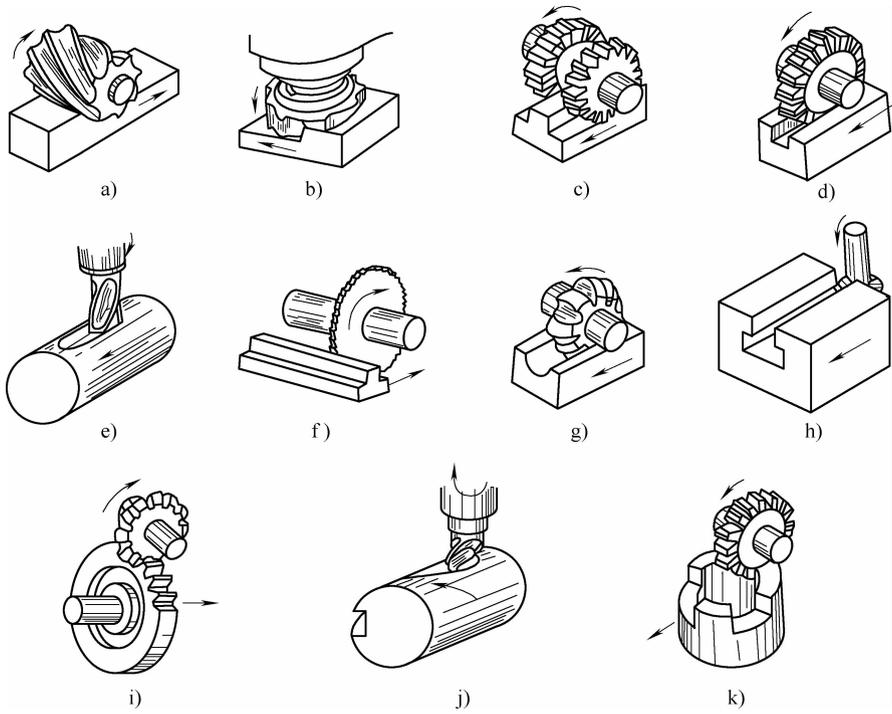


图 6-94 铣削加工的主要内容

- a) 圆柱形铣刀铣平面 b) 端铣刀铣平面 c) 铣台阶 d) 铣直角通槽 e) 铣键槽 f) 切断  
g) 铣特形面 h) 铣特形沟槽 i) 铣齿轮 j) 铣螺旋槽 k) 铣牙嵌式离合器

要动力的运动。铣削加工中，铣刀的旋转运动即是主运动。进给运动是不断送进工件材料进行切削形成切削层的运动。铣削加工中，工件的移动或转动、铣刀的移动等都是进给运动。

(2) 辅助运动 为了完成加工中的辅助工作而必须进行的运动，统称为辅助运动。例如，铣削前工作台快速接近工件，切削完毕后又快速退回的运动等。

切削时产生的表面分为待加工表面、已加工表面和切削表面三类，如图 6-95 所示。

1) 待加工表面是指工件上即将加工切去切屑的表面。

2) 已加工表面是指工件上已经加工切去切屑后获得的表面。

3) 切削表面是指刀刃直接切出的表面，即已加工表面与待加工表面之间的过渡表面。

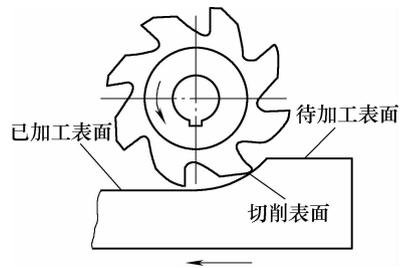


图 6-95 切削时产生的表面

在切削运动中, 铣刀切下切屑的过程包含许多因素, 如铣削速度 ( $v_c$ )、进给量 ( $v_f$ )、铣削深度 ( $a_e$ ) 和铣削宽度 ( $a_p$ ), 这些统称为铣削用量, 如图 6-96 所示。

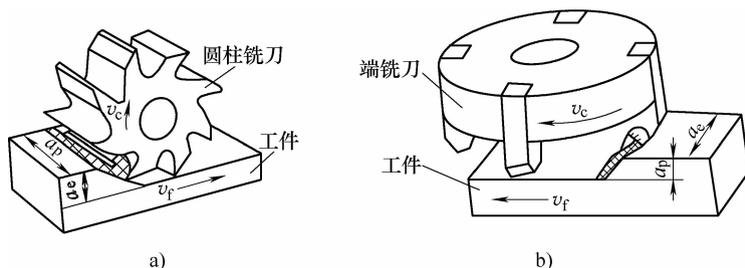


图 6-96 铣削用量

a) 周铣铣平面 b) 端铣铣平面

(1) 铣削速度 铣刀上离中心最远的一点在 1min 内所走过的距离称为铣削速度。

(2) 进给量 铣削过程中, 工件相对铣刀所移动的距离称为进给量。进给量包括进给速度、每转进给量和每齿进给量三种。

1) 进给速度是指铣刀转过 1min 的时间内, 在进给运动方向上工件相对于铣刀所移动的距离。

2) 每转进给量是指铣刀转过一整周的时间内, 在进给运动方向上工件相对于铣刀所移动的距离。

3) 每齿进给量是指铣刀转过一个刀齿的时间内, 在进给运动方向上工件相对于铣刀所移动的距离。

(3) 铣削深度 铣削深度是指通过切削刃基点并垂直于工件平面的方向上测量的吃刀量, 又称为背吃刀量, 是沿铣刀轴线方向测量的刀具切入工件的深度。

(4) 铣削宽度 铣削宽度是指在平行于工件平面并垂直于切削刃基点的进给运动方向上测量的吃刀量, 又称为侧吃刀量, 是沿垂直于铣刀轴线方向测量的工件被切削部分的尺寸。

## 6.6.2 铣刀的分类及要求

铣刀的种类繁多, 同一种刀具因不同的用途其分类也不相同, 通常根据铣刀的某一方面特征或用途来分类。

(1) 按用途分类 铣刀按加工用途的不同可以分为加工平面用铣刀、加工直角沟槽用铣刀、加工特形沟槽用铣刀、加工特形面用铣刀和切断加工用铣刀。

1) 加工平面用铣刀主要有面铣刀和圆柱铣刀两种, 对小平面的加工也可以用立铣刀和三面刃盘铣刀, 如图 6-97 所示。

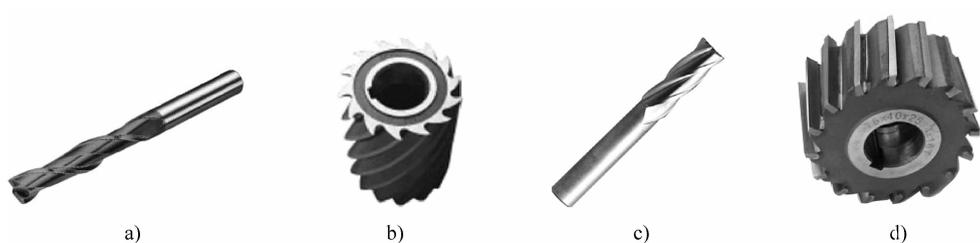


图 6-97 加工平面用铣刀

a) 面铣刀 b) 圆柱铣刀 c) 立铣刀 d) 三面刃盘铣刀

2) 加工直角沟槽用铣刀常用的有三面刃铣刀、立铣刀、切口铣刀以及加工键槽用的键槽铣刀和盘形槽铣刀, 如图 6-98 所示。

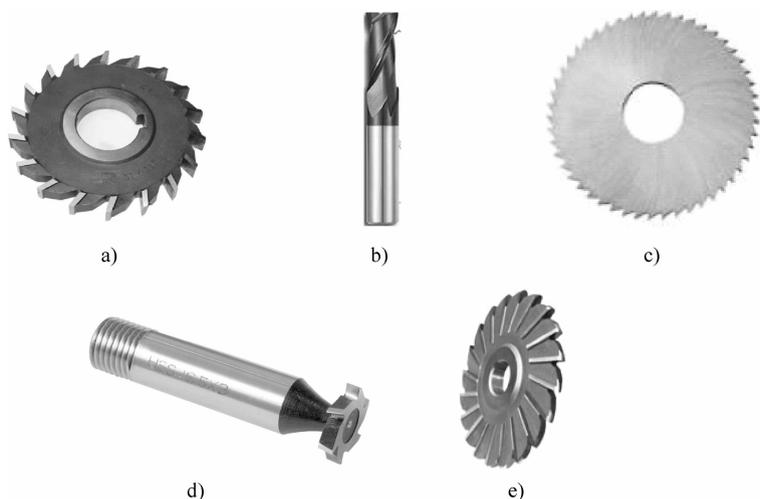


图 6-98 加工直角沟槽用铣刀

a) 三面刃铣刀 b) 立铣刀 c) 切口铣刀 d) 键槽铣刀 e) 盘形槽铣刀

3) 属于铣削加工的特形沟槽很多, 如 T 形槽、V 形槽、燕尾槽等, 所用的铣刀有 T 形槽铣刀、角度铣刀和燕尾槽铣刀等, 如图 6-99 所示。

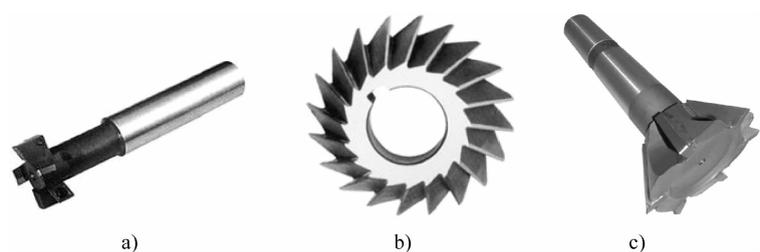


图 6-99 加工特形沟槽用铣刀

a) T 形槽铣刀 b) 角度铣刀 c) 燕尾槽铣刀

4) 加工特性面的铣刀一般是特制铣刀，常用的有凹凸圆弧铣刀，齿轮盘铣刀等，如图 6-100 所示。

5) 切断用铣刀常用的是锯片铣刀，如图 6-101 所示，一些薄片状切口铣刀也可用于切断工件。



图 6-100 加工特形面用铣刀  
a) 凹凸圆弧铣刀 b) 齿轮盘铣刀

(2) 按铣刀结构形式分类 铣刀按结构形式的不同可分为整体铣刀和镶齿铣刀，如图 6-102 所示。

1) 整体铣刀是指铣刀的切削部分、装夹部分及刀体呈一个整体，这类刀一般体积不大，可由焊接方法制成。

2) 镶齿铣刀是将刀齿镶嵌在刀体上，经修磨而成的铣刀，这类铣刀可以节省制刀材料，提高利用率，具有工艺性能好等特点。

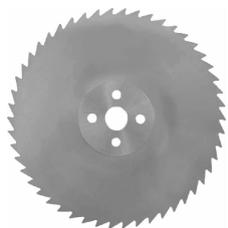


图 6-101 锯片铣刀

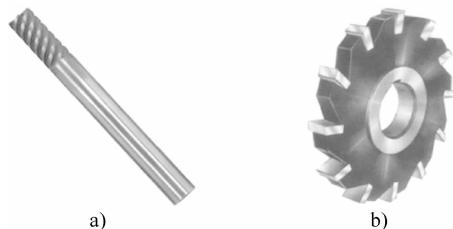


图 6-102 整体铣刀和镶齿铣刀  
a) 整体铣刀 b) 镶齿铣刀

(3) 按刀齿构造分类 铣刀按刀齿构造的不同可分为尖齿铣刀和铲齿铣刀。铣刀刀齿的截面图如图 6-103 所示。

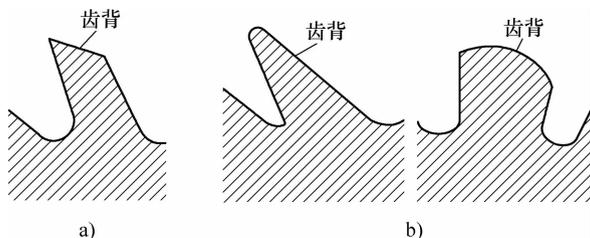


图 6-103 铣刀刀齿的断面图  
a) 尖齿铣刀刀齿 b) 铲齿铣刀刀齿

1) 尖齿铣刀的齿背为直线或折线，制造和刃磨均较容易，刃口锋利，铣削性能好，生产中常用的铣刀大多数是尖齿铣刀，如圆柱铣刀、立铣刀和三面刃铣

刀。

2) 铲齿铣刀的齿背为阿基米德螺旋线, 刃磨时只磨前刀面, 在刃磨后, 只要前角不变, 刀齿的刀口形状也不会改变, 但制造费用较大, 铣削性能较差。铣削特形面的铣刀一般都采用铲齿铣刀, 如凸凹半圆铣刀和正齿轮铣刀等。

(4) 按安装方式分类 铣刀按安装方法的不同可分为带孔铣刀 (见图 6-104) 和带柄铣刀 (见图 6-105)。

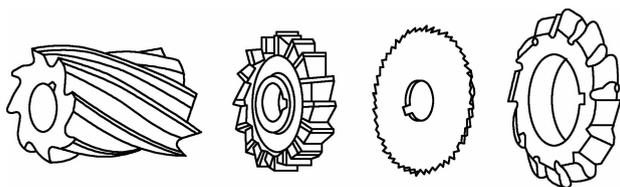


图 6-104 带孔铣刀

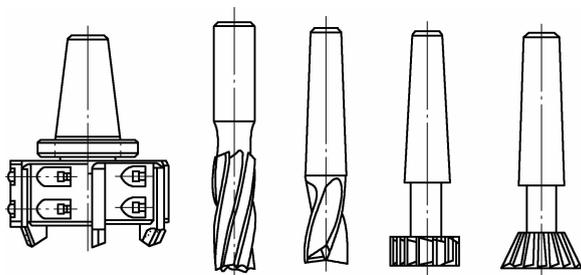


图 6-105 带柄铣刀

(5) 按铣刀切削部分的材料分类 铣刀按切削部分的材料不同可分为高速钢铣刀和硬质合金铣刀。高速钢铣刀是常用铣刀, 一般形状较复杂的铣刀都是高速钢铣刀。硬质合金铣刀多数是断面铣刀, 适用于高速铣削。

### 6.6.3 铣削加工基本技术

铣削加工是一种重要的金属材料切削加工方法, 它可以用于加工平面、斜面、特形面、沟槽、齿形等。

#### 1. 平面的铣削

用铣削方法加工工件的平面称为铣平面。铣平面主要有周铣和端铣两种方法, 也可以用立铣刀加工面积较小的平面。

(1) 周铣 周铣是利用分布在铣刀圆柱面上的刀刃进行铣削并形成平面的加工, 包括顺铣和逆铣。周铣主要在卧式铣床上进行, 铣出的平面与工作台台面平行。

顺铣时铣刀与工件接触部位的旋转方向与工件进给方向相同，逆铣时铣刀与工件接触部位的旋转方向与工件进给方向相反，如图 6-106 所示。

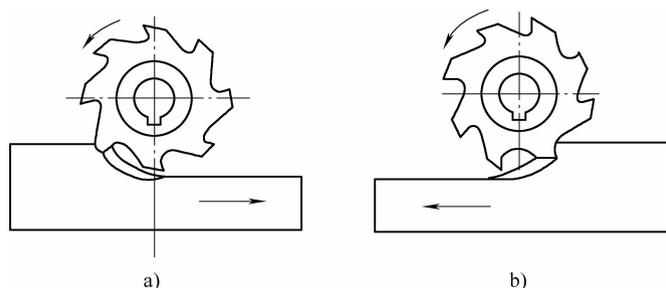


图 6-106 顺铣与逆铣

a) 顺铣 b) 逆铣

顺铣时，铣刀刀刃的切削厚度由最大到零，不存在滑行现象，刀具磨损较小，工件冷硬程度较轻。垂直分力向下，对工件有一个压紧作用，有利于工件的装夹。但是水平分力方向与工件进给方向相同，不利于消除工件台丝杆和螺母间的间隙，切削时振动大。但其表面粗糙度值较小，适合精加工。

逆铣时，铣刀刀刃不能立刻切入工件，而是在工件已加工表面滑行一段距离。刀具磨损加剧，工件表面产生冷硬现象，垂直分力对工件有一个上抬作用，不利于工件的装夹。但是水平分力方向与工件进给方向相反，有利于消除工件台丝杆和螺母间的间隙，切削平稳，振动小。表面粗糙度值较大，适合粗加工。

选择顺铣或逆铣的原则如下：

- 1) 机床精度好、刚性好、精加工，较适应顺铣；反之，较适应逆铣。
- 2) 零件内拐角处精加工用顺铣。
- 3) 粗加工用逆铣，精加工用顺铣。

(2) 端铣 端铣是利用分布在铣刀端面上的刀刃进行铣削并形成平面的加工方法。用面铣刀铣平面可以在卧式铣床上进行，铣出的平面与铣床工作台台面垂直。

周铣与端铣的特点对比如表 6-9 所示。

表 6-9 周铣与端铣的特点对比

项 目	周铣	端铣	项 目	周铣	端铣
有无修光刃	无	有	是否容易镶嵌硬质合金刀片	难	易
工件表面质量	差	好	刀具寿命	低	高
刀柄刚度	小	大	生产效率	低	高
切削振动	大	小	加工范围	广	较窄
同时参加切削的刀齿	少	多			

平面的铣削如图 6-107 所示。

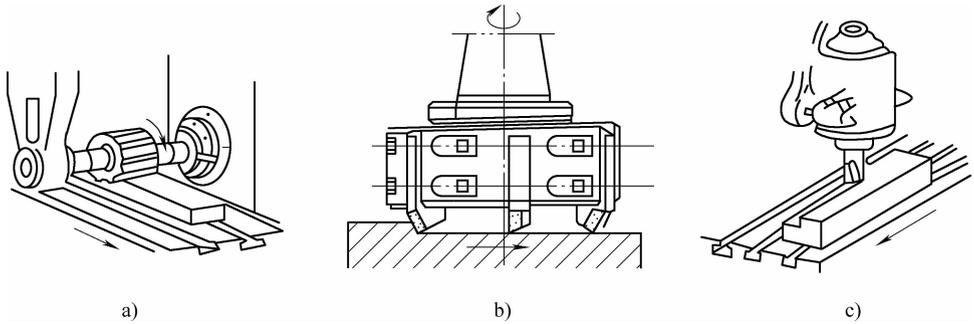


图 6-107 平面的铣削

a) 周铣 b) 端铣 c) 立铣

## 2. 斜面的铣削

斜面是指工件上相对基准平面倾斜的平面，即与基准平面相交成所需角度的斜面。斜面的铣削方法有工件倾斜铣斜面、铣刀倾斜铣斜面和用角度铣刀铣斜面三种。

(1) 工件倾斜铣斜面 将工件倾斜所需角度安装进行铣削，如图 6-108 所示。

(2) 铣刀倾斜铣斜面 将铣刀倾斜所需角度铣削斜面。在立铣头可偏转的立式铣床、装有立铣头的卧式铣床、万能工具铣床上，均可将面铣刀和立铣刀按要求偏转一定角度进行斜面的铣削，如图 6-109 所示。

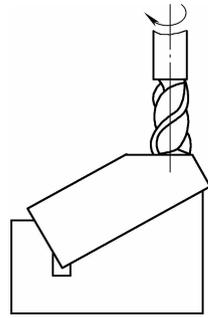


图 6-108 工件倾斜铣斜面

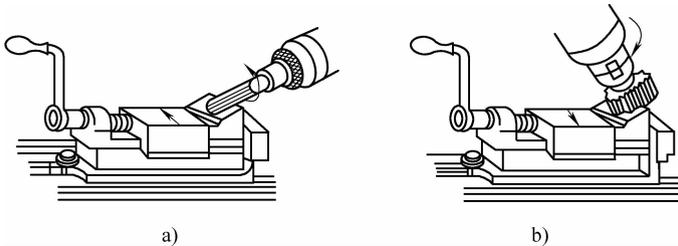


图 6-109 铣刀倾斜铣斜面

a) 用立铣刀铣斜面 b) 用面铣刀铣斜面

(3) 用角度铣刀铣斜面 用切削刃与轴线倾斜成某一角度的铣刀铣削斜面，斜面的倾斜角度由角度铣刀保证，如图 6-110 所示。受铣刀刀刃宽度的限制，用角度铣刀铣削斜面只适用于宽度不大的斜面。

### 3. 沟槽的铣削

在铣床上加工的沟槽种类很多，常见的有直角沟槽、V形槽、燕尾槽、T形槽和各种键槽等。此外，花键、齿轮、齿形离合器等加工工艺实质也属加工沟槽，只是对刀具选择要求更为严格。常见的沟槽铣削加工如图 6-111 所示。

### 4. 特形面的铣削

一个或多个方向截面内的形状为非圆曲线的型面称为特形面。只在一个方向截面内的形状为非圆曲线的特形面称为简单特形面。简单特形面是由一直素线沿非圆曲线平行移动而形成的。素线较短时称为曲线回转面，如盘形凸轮的工件型面。素线较长时则称简单特形面，俗称成形面。

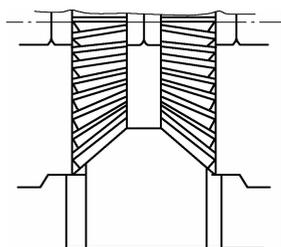


图 6-110 用角度铣刀铣斜面

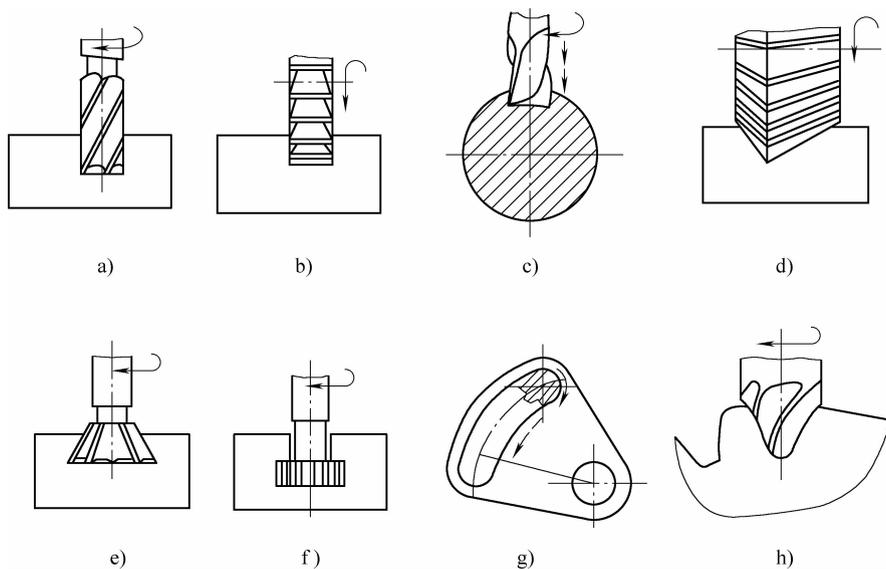


图 6-111 常见的沟槽铣削加工

- a) 立铣刀铣直槽 b) 三面刃铣刀铣直槽 c) 键槽铣刀铣键槽 d) 铣角度槽  
e) 铣燕尾槽 f) 铣 T 形槽 g) 圆形工作台上立铣刀铣圆弧槽 h) 指状铣刀铣齿槽

曲线回转面的铣削在单件、小批量生产时通常按划线用立铣刀手动进给加工，如图 6-112 所示。这种方法生产率低，加工质量不稳定，且要求操作者技术熟练。在成批、大量生产中常采用靠模铣削。

素线较长的简单特形面不宜用立铣刀的圆周刃在立式铣床上加工，通常用盘形特形铣刀（即成形铣刀）在卧式铣床上加工，如图 6-113 所示。

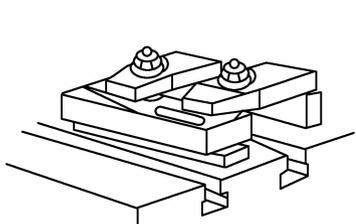


图 6-112 用立铣刀按划线  
铣削曲线回转面

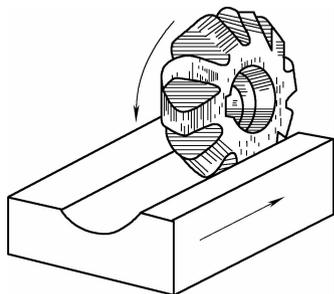
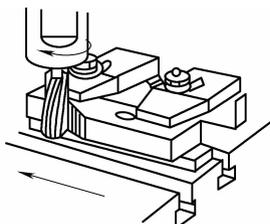


图 6-113 用成形铣刀  
铣削简单特形面

## 6.6.4 铣床

### 1. 概述

铣床是指主要用铣刀在工件上加工各种表面的机床，如图 6-114 所示。通常铣刀旋转运动为主运动，工件和铣刀的移动为进给运动。它可以加工平面、沟槽，也可以加工各种曲面、齿轮等。铣床除能铣削平面、沟槽、轮齿、螺纹和花键轴外，还能加工比较复杂的型面，效率较刨床高。

铣床加工不同工件时需要相应的铣刀，例如，要在铣床上加工平面、台阶、沟槽和切断工件等时，就需要使用不同的铣刀。常用铣刀如图 6-115 所示。

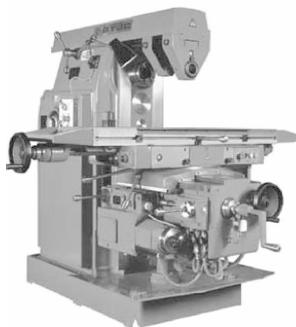


图 6-114 铣床



图 6-115 常用铣刀

### 2. 铣床分类

(1) 升降台铣床 升降台铣床有卧式、立式和万能式等类型，主要用于加工

中小型零件，主轴可绕水平轴偏摆一定的角度，但工作台不能偏摆。升降台铣床如图 6-116 所示。

(2) 龙门铣床 龙门铣床包括龙门铣镗床、龙门铣刨床和双柱铣床，均用于加工大型零件。龙门铣床如图 6-117 所示。

(3) 单柱铣床和悬臂铣床 前者的水平铣头可沿立柱导轨移动，工作作纵向进给；后者的立铣头可沿悬臂导轨水平移动，悬臂也可沿立柱导轨调整高度。两者均用于加工大型零件。悬臂铣床如图 6-118 所示。

(4) 工作台不升降铣床 工作台不升降铣床有矩形工作台式和圆形工作台式两种，是介于升降台铣床和龙门铣床之间的一种中等规格的铣床，其垂直方向的运动由铣头在立柱上升降来完成。

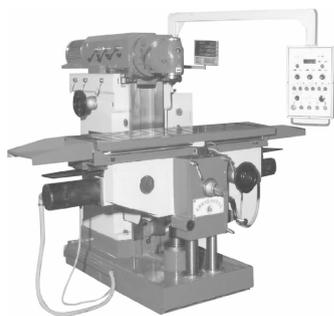


图 6-116 升降台铣床

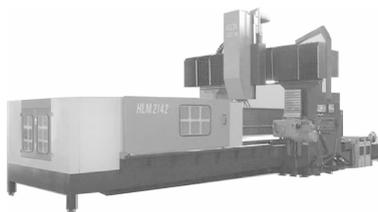


图 6-117 龙门铣床

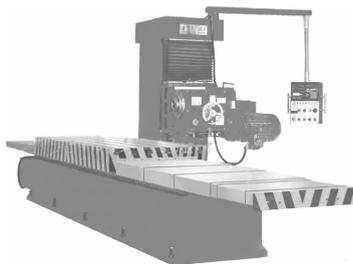


图 6-118 悬臂铣床

(5) 仪表铣床 仪表铣床是一种小型的升降台铣床，用于加工仪器仪表和其他小型零件。仪表铣床如图 6-119 所示。

(6) 工具铣床 工具铣床用于模具和工具制造，配有立铣头、万能角度工作台和插头等多种附件，还可进行钻削、镗削和插削等加工。工具铣床如图 6-120 所示。

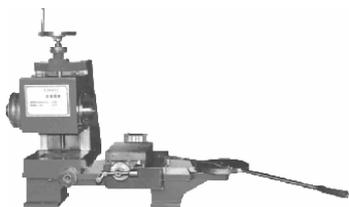


图 6-119 仪表铣床

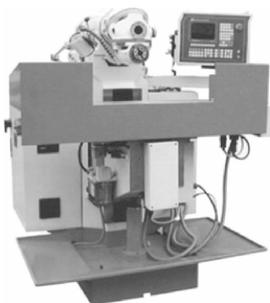


图 6-120 工具铣床

(7) 其他铣床 如键槽铣床、凸轮铣床、曲轴铣床、轧辊轴颈铣床和方钢锭铣床等,是为加工相应的工件而制造的专用铣床。

## 6.7 刨削

### 6.7.1 刨削加工基础

#### 1. 刨削加工的特点

刨削加工是在刨床上利用刨刀和工件之间的相对运动来完成的切削加工过程。刨削加工的表面有平面(按加工时所处的位置分为水平面、垂直面、斜面)、沟槽(包括直角槽、V形槽、T形槽、燕尾槽)和直线形成形面等,如图6-121所示。刨削后两平面之间的尺寸公差等级可达IT9~IT8,表面粗糙度值 $Ra$ 可达 $1.6\sim 3.2\mu\text{m}$ 。

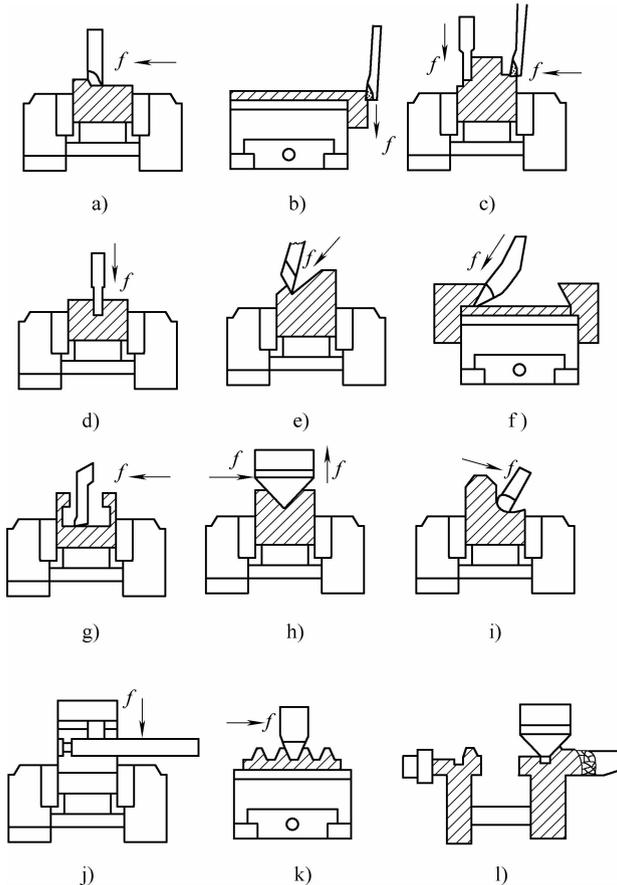


图 6-121 刨削加工

- a) 刨平面 b) 刨垂直面 c) 刨阶台 d) 刨沟槽 e) 刨斜面 f) 刨燕尾槽 g) 刨梯形槽  
h) 刨形槽 i) 刨曲面 j) 孔内刨削 k) 刨齿条 l) 刨复合表面

刨削的运动方式如图 6-122 所示。刨削加工可以在牛头刨床和龙门刨床上进行。牛头刨床多用于单件小批量生产中小型零件，刨削水平面时，刨刀的往复直线运动为主运动，工件的横向间歇移动为进给运动。在龙门刨床上刨削时，工件的直线往复移动是主运动，刀具的横向间歇移动是进给运动。刨刀或工件前进时切下切削的行程称为工作行程，返回时不切削称为空行程。空行程刨刀需抬起让刀，以避免刀具和工件摩擦。

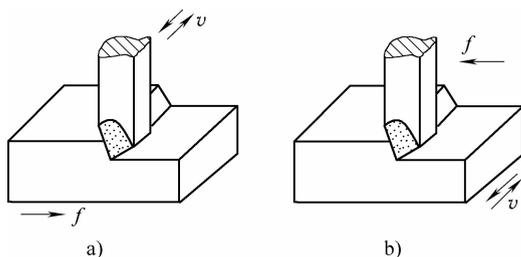


图 6-122 刨削运动

a) 牛头刨床上的刨削 b) 龙门刨床上的刨削

刨削加工与其他切削加工相比，其特点如下：

- 1) 工件或刀具进行主动无进给运动，故刀具角度不因切削运动而发生变化。
- 2) 刨削加工的运动是往复运动，因而限制了切削速度的提高。
- 3) 刨削加工的切削过程是间断切削，刀具在空返回程中能得到自然冷却。
- 4) 切削过程中有冲击，冲击的大小与切削层面积、被加工材料的力学性能、切削速度有关。

## 2. 刨削加工热量

在刨削加工时，会产生大量的热量，即切削热。其来源主要有三个方面：①被加工金属的变形；②切削与刀具前面的摩擦；③刀具后面与切削表面的摩擦，其中以被加工金属变形所产生的热量最多。切削热主要通过切屑传出，通常可以根据切屑的不同颜色来判断温度的高低。切削热对刀具寿命影响极大，它高到一定程度，刀头材料就会软化，刀头急剧磨损，从而缩短刀具寿命，降低生产率，影响加工质量。在加工中如遇到切屑颜色由浅色突然变深时，就是由于刨刀长期使用后，没有及时刃磨而变钝的缘故。减小切削热的主要方法如下：

- 1) 改变刀具的加工角度。适当改变刀具的加工角度可以增加散热面积，使热量容易传出。
- 2) 使用冷却液。使用冷却液不但能在切削过程中带走大量的热，而且还由于润滑作用，减小切削与刀具前面、加工工件与刀具后面间的摩擦力，从而减小切削热。

## 3. 刨削加工的切削用量

刨削加工的切削用量是指刨刀在切削时所采用的切削深度、进给量和切削速度。切削深度是指工件在已加工表面和待加工表面间的垂直距离；进给量是指刨刀或工件每往复一次，工件和刨刀间相对移动的距离；切削速度是指工件和刨刀在切削时的相对速度。

切削用量的选择是否合理,对切削力、切削热、工件精度和表面粗糙度有很大影响,同时还与提高生产率有着重要的关系。合理选择切削用量,应满足以下要求:

- 1) 保证刨削安全,确保不发生人身事故或损坏刨床事故。
- 2) 保证工件已加工表面的表面粗糙度和精度。

3) 粗刨时,在满足以上两项要求的前提下,要充分发挥机床的潜力和刀具的切削性能,尽可能选用较大的切削用量,已达到工时最少,生产效率最高,成本最低的效果。精刨时,按精度允许选取最合理的与刀具几何角度相适宜的切削用量。

切削用量常用的选取原则如下:

(1) 切削深度的选择 最经济的切削深度应该留出半精加工和精加工余量,把剩余的加工余量尽可能一次切完。但有时加工余量太大,一次切除会产生振动,或受刀具刨床的能力的限制,往往不能一次切除所有的加工余量,要分几次切削。在有可能的条件下,次数越少越好。分几次切削时也应该把前几次的切削深度选得大些,最后一次的切削深度选得小些。

(2) 进给量的选择 进给量受机床动力、工件表面粗糙度等限制。粗加工的进给量是根据刨床、工件、刀具的刚性和强度来选择的。精加工的进给量是根据工件的表面粗糙度要求来选择的。

(3) 切削速度的选择 切削速度对切削功率、刀具磨损、刀具寿命、工件的表面粗糙度和尺寸精度有较大影响。切削速度越高,切削功率越大,刀具磨损越快,刀具寿命越低。粗刨时,由于选择切削深度、进给量、切削力较大,切削速度要选择低一些。精刨时一般切削深度、进给量都较小,切削力也较小,切削速度也可以选高一些。只有在精刨塑性大的软金属时,为了获得较好的加工表面粗糙度才采用低速切削。刀头材料不同,选择的切削速度也不同,用硬质合金刨刀刨削时,切削速度可以高一些,而用高速钢刨刀时,切削速度应低一些。

## 6.7.2 刨刀的分类及要求

### 1. 刨刀的分类

在刨削加工中,应根据刨床的情况和加工需要合理地选择和使用刨刀。

刨刀是刨削加工所使用的工具。刨刀的种类很多,通常可按加工表面的形状和用途,以及刀具的形状和结构对刨刀进行分类。

(1) 按加工表面的形状和用途分类 刨刀按加工形状和用途不同一般分为平面刨刀、偏刀、切刀、弯切刀、角度刀和样板刀等。其中,平面刨刀用于刨削水平面;偏刀用于刨削垂直面、阶台面和外斜面等;切刀用于刨削直角槽、沉割槽和切断工作;弯切刀用于刨削T形槽和侧面沉割槽;角度刀用于刨削带角度的工件,如燕尾槽和内斜面等;样板刀用于刨削V形槽和特殊形状的表面。常用的刨刀种类如图6-123所示。

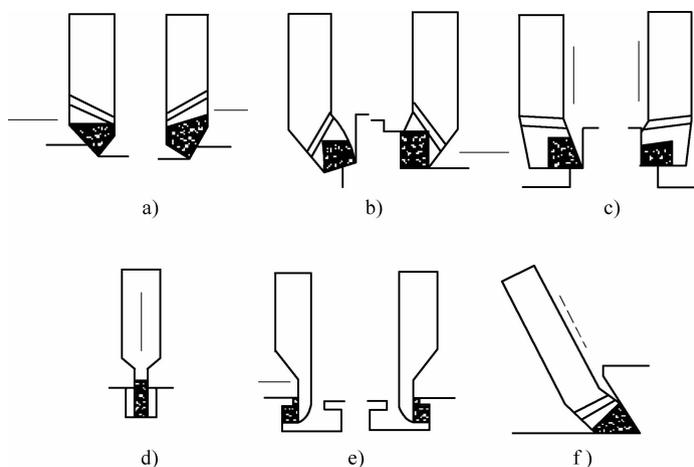


图 6-123 常用刨刀的种类

a) 平面刨刀 b) 弯头刨刀 c) 偏刀 d) 切刀 e) 弯刀 f) 燕尾槽角度刨刀

(2) 按形状和结构分类 刨刀按形状和结构的不同一般可以分为左刨刀和右刨刀、直刨刀和弯头刨刀、整体刨刀、组合刨刀和不重磨刨刀等。

1) 左刨刀和右刨刀是按主切削刃在工作时所处的左右位置不同区分的。主切削刃在左边的刨刀称为左刨刀，主切削刃在右边的刨刀称为右刨刀。此外，按左右手大拇指所指主切削刃的方向不同，也可以区分左、右刨刀，如图 6-124 所示。

2) 直头刨刀和弯头刨刀是按刨刀头的平直与否来区分的。刨刀杆纵向是直的刨刀称为直头刨刀，刨刀刀头向后弯的刨刀称为弯头刨刀。弯头刨刀在受到较大的切削阻力时，刀杆所产生的弯曲变形，是向上方向弹起的，因此刀尖不会啃入工件，从而避免折断刀杆或啃伤加工表面，所以这种刨刀应用较广泛。直头刨刀和弯头刨刀如图 6-125 所示。

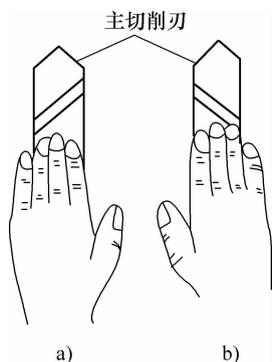


图 6-124 左刨刀和右刨刀

a) 左刨刀 b) 右刨刀

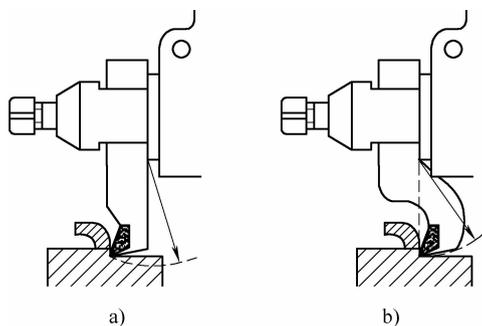


图 6-125 直头刨刀和弯头刨刀

a) 直头刨刀 b) 弯头刨刀

3) 整体刨刀和组合刨刀是按刨刀刀头与刀杆是否为一整体来区分的。整体刨刀是由一块刀具材料制成的,如图 6-126a 所示。这种刨刀制造容易,结构简单,刃磨方便,但是因刨刀整体由一种材料制成,一是浪费贵重的刀具材料,二是使刀杆的强度、耐冲击和振动性能受到限制,刨刀的热处理工艺也增加了困难。组合刨刀是用不同材料的刀杆和刀头两部分焊接或镶嵌而成的,如图 6-126b 所示。这种刨刀既保证了刨刀切削部分的硬度,又使刀体具有良好的强度和耐冲击性能。

4) 机械固夹刨刀和不重磨刨刀是按刨刀刀片的使用和更换方式来区分的。机械固夹刨刀用机械固夹法将硬质合金刀片装夹在刀体上,刀片损坏后,可以迅速更换。不重磨刨刀将多刃的刀片,机械夹固在刀体的头部,使用时,不需要刃磨。当一个刀刃用钝后,只要将刀片转过一定的角度,用另一个刀刃,直至所有的刀刃全部用钝后再更换刀片。机械固夹刨刀和不重磨刨刀如图 6-127 所示,机械固夹刨刀的实物如图 6-128 所示。

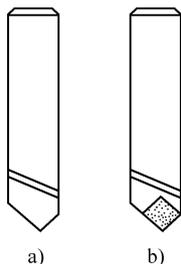


图 6-126 整体刨刀和组合刨刀  
a) 整体刨刀 b) 组合刨刀

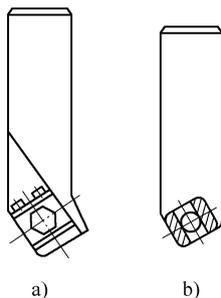


图 6-127 机械固夹刨刀和不重磨刨刀  
a) 机械固夹刨刀 b) 不重磨刨刀

## 2. 刨刀刀头材料的性能要求

切削时,刨刀的切削部分是在较大的切削力、较高的切削温度、剧烈的摩擦和冲击条件下进行工作的,应根据不同的工件材料和加工要求,合理选择刀具材料,使它既能完成切削工作,又能保持较高的寿命。对刨刀刀头材料的要求如下:

(1) 硬度 刀头材料的硬度应高于被加工工件材料的硬度。

(2) 强度和韧性 刀头材料在切削过程中承受压力、冲击力和振动能力,要保证有足够的强度和韧性,保证切削过程中的耐冲击和抗振能力。

(3) 耐磨性 保证刀头在长期的切削过程中,切削部分长时间切削而不容易磨损。

(4) 耐热性 刀头在高温下仍能保持硬度、强度、韧性和耐磨性等性能。

(5) 工艺性能 刨刀材料要求有良好的加工性能和刃磨性能。

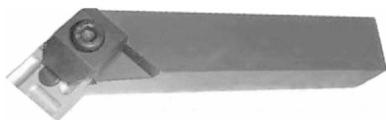


图 6-128 机械固夹刨刀

刀头材料主要是碳素工具钢、合金钢、高速钢、硬质合金和陶瓷材料等，最常用的是高速钢和硬质合金，它们能够满足刨刀刀头材料的要求。

### 6.7.3 刨削加工基本技术

刨削加工是一种重要的金属切削加工方法，它可以用于加工平面、斜面、直角沟槽、V形槽、T形槽、燕尾槽等。

#### 1. 平面的刨削

平面是机器零件、部件上最常见的一种表面，例如刨床工作台、横梁、平口钳等上都有平面。平面刨削（见图 6-129）是加工各种复杂工件的基础，因此对平面刨削的掌握十分重要。其一般加工顺序如下：

- 1) 装夹工件和刀具。
- 2) 把刨床的工作台或横梁升降到适当的位置。
- 3) 调整行程长度及行程位置。
- 4) 移动刀架，把刨刀调整到选好的切削深度。
- 5) 进行试切，开始刨削。
- 6) 刨削完毕后，先停车检验，合格后卸下工件。

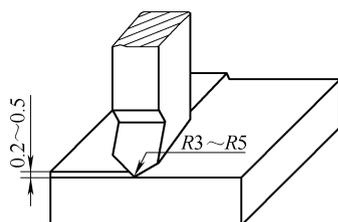


图 6-129 平面的刨削

#### 2. 斜面的刨削

斜面是与水平面成一定角度的平面，零件上的斜面分为内斜面和外斜面两种。通常采用倾斜刀架法刨斜面，就是把刀架和刨刀分别倾斜一定的角度，从上向下倾斜进给进行刨削，如图 6-130 所示。刨斜面时，刀架转盘的刻度不能对准零线，刀架盘扳过的角度是工件斜面与垂直面之间的夹角。

#### 3. 直角沟槽的刨削

进行直角沟槽刨削时，当槽的精度要求不高且宽度较窄时，可按图 6-131a 一次将槽刨完。当精度要求较高且宽度又较大时，可先用较窄的切槽刀开槽，然后用等宽的切槽刀精刨，如图 6-131b 所示。

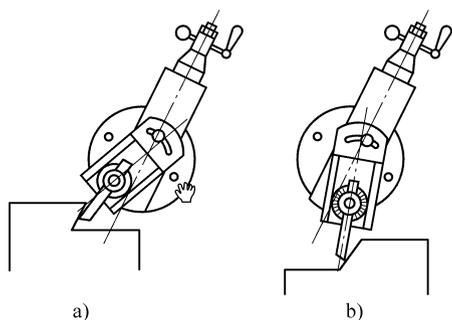


图 6-130 斜面的刨削

a) 刨内斜面 b) 刨外斜面

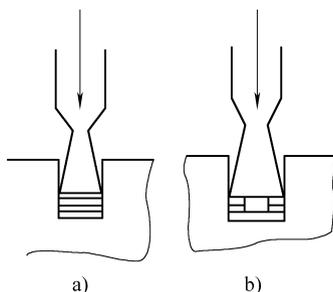


图 6-131 直角沟槽的刨削

a) 低精度槽的刨削 b) 高精度槽的刨削

#### 4. V形槽的刨削

- 1) 按尺寸划线, 用水平走刀粗刨大部分余量, 如图 6-132a 所示。
- 2) 按图 6-132b 切空刀槽。
- 3) 倾斜刀架, 用偏刀刨两斜面, 如图 6-132c 所示。
- 4) 尺寸小的 V 形槽, 可用样板刀精刨, 如图 6-132d 所示。
- 5) 可按图 6-132e 用夹具刨 V 形槽。

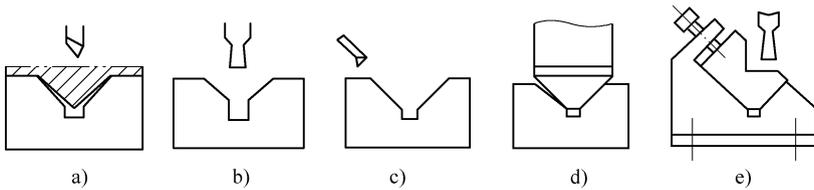


图 6-132 V形槽的刨削

- a) 粗刨大部分余量 b) 切空刀槽 c) 偏刀刨斜面  
d) 样板刀精刨小尺寸 V 形槽 e) 使用夹具刨 V 形槽

#### 5. T形槽的刨削

- 1) 用直槽刀按图 6-133a 所示切出直槽。

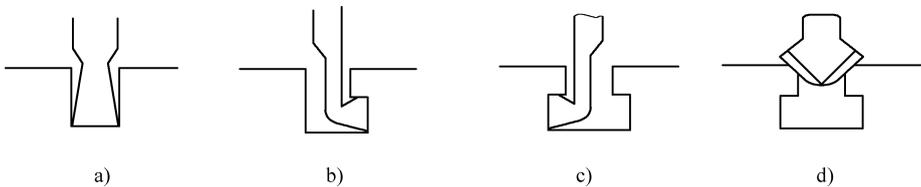


图 6-133 T形槽的刨削

- a) 直槽刀切直槽 b) 左弯头刀切一侧面凹槽  
c) 右弯头刀切另一侧面凹槽 d) 倒角刀倒角

- 2) 按图 6-133b 用左弯头刀加工一侧面凹槽。

- 3) 按图 6-133c 用右弯头刀加工另一侧面凹槽。

- 4) 用  $45^\circ$  倒角刀按图 6-133d 倒角。

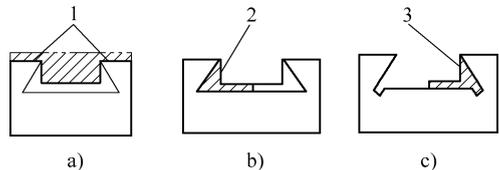


图 6-134 燕尾槽的刨削

#### 6. 燕尾槽的刨削

- 1) 工件按要求装夹后, 精刨图 6-134a 中平面 1 到一定尺寸。

- a) 精刨平面 1 和切槽刀刨直角槽 b) 偏刀刨斜面 2 及槽底 c) 偏刀刨斜面 3 及槽底

2) 按图 6-134a 用切槽刀刨直角槽, 直角槽略小于燕尾槽小头宽度, 直角槽深度略小于燕尾槽深度。

3) 扳转刀架和拍板座, 用偏刀刨斜面的方法, 先粗刨后精刨一斜面 2, 如图 6-134b 所示, 并刨槽底相应部分到尺寸。

4) 反方向扳转刀架和拍板座, 换反方向偏刀, 如果是直燕尾槽, 可直接加工另一斜面 3 及相应槽底到尺寸, 如图 6-134c 所示。

5) 切空刀槽、倒角。

## 6.7.4 刨床

### 1. 概述

刨床是指用刨刀加工工件表面的机床。刨削加工是在刨床上利用刨刀来加工工件的方法, 刀具与工件作相对直线运动。刨床结构简单, 调整和操作方便, 加工费用低。刨削加工的表面有平面(按加工时所处的位置分为水平面、垂直面、斜面)、沟槽(包括直角槽、V 形槽、T 形槽、燕尾槽)和直线形成形面等。

常用的刨刀有平面刨刀、偏刀、角度刀及成形刀等。刨刀的几何参数与车刀相似, 但是它切入和切出工件时, 冲击很大, 容易发生“崩刀”或“扎刀”现象。因而刨刀刀杆截面较粗大, 以增加刀杆刚性和防止折断, 而且往往做成弯头的, 这样弯头刨刀刀刃碰到工件上的硬点时, 比较容易弯曲变形, 而不会像直头刨刀那样使刀尖扎入工件, 破坏工件表面和损坏刀具。虽然如此, 刨削还是有被铣削、磨削和拉削代替的趋势。但刨刀的制造简单, 安装和调整方便, 生产准备时间短, 故在单件或小批生产中, 刨削仍有一定的应用范围。

普通刨削的精度可达 IT10 ~ IT11, 表面粗糙度值  $Ra$  为  $1.25 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 。对精度要求高的铸铁件平面, 如导轨面和平板表面等, 可在粗刨后留出  $0.05 \sim 0.15\text{mm}$  的余量, 再在精度高的刨床上进行宽刀精刨, 即用切削刃很宽和刃口很直并研磨到  $Ra$  为  $0.08 \sim 0.16 \mu\text{m}$  的刨刀, 以  $2 \sim 8\text{m}/\text{min}$  的切削速度和  $0.03 \sim 0.1\text{mm}$  的切削深度, 并用煤油作为切削液, 从工件表面切去很薄一层金属, 表面粗糙度值  $Ra$  可达到  $0.32 \sim 1.25 \mu\text{m}$ 。

对某些脆硬和高强度材料, 如硅钢、淬硬钢和花岗石等以及大平面的刨削, 可采用自转式滚切刨刀, 以延长刨刀的寿命, 而且在切削的同时还起到辗压作用。常用刨刀如图 6-135 所示。

### 2. 刨床分类

(1) 悬臂刨床 悬臂刨床是指具有单立柱和悬臂的刨床, 因此也叫单臂刨床。其工作台沿床身导轨作纵向往复运动, 垂直刀架可沿悬臂导轨横向移动, 悬臂升降定位为机械锁紧或液压

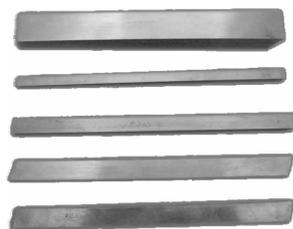


图 6-135 常用刨刀

锁紧，定位比较准确。悬臂刨床如图 6-136 所示。

(2) 龙门刨床 龙门刨床因它有一个“龙门”式框架而得名。它具有双立柱和横梁，工作台沿床身导轨作纵向往复运动，立柱和横梁分别装有可移动侧刀架和垂直刀架。龙门刨床如图 6-137 所示。

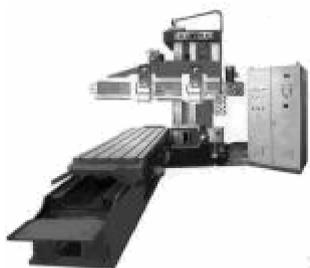


图 6-136 悬臂刨床

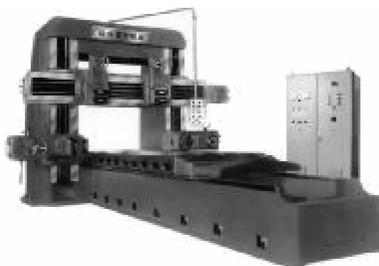


图 6-137 龙门刨床

(3) 牛头刨床 牛头刨床应用较为广泛。刨刀安装在滑枕的刀架上作纵向往复运动，通常工作作横向或纵向间歇进给运动，多用于单件小批量生产。牛头刨床刨削水平面时，刨刀的往复直线运动为主运动，工件的横向间歇移动为进给运动；牛头刨床刨削垂直面或斜面时，刨刀的往复直线运动为主运动，刨刀的垂向或斜向的间歇移动为进给运动。牛头刨床如图 6-138 所示。

(4) 立刨床（插床） 该类机床刀具在垂直面内作往复运动，工作作进给运动。立刨床的主参数是最大插削长度，主要用于单件、小批量生产中加工工件的内表面，如方孔、各种多边形孔和键槽等，特别适合加工不通孔或有台阶的内表面。立刨床如图 6-139 所示。

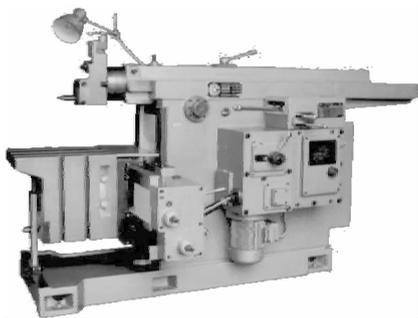


图 6-138 牛头刨床

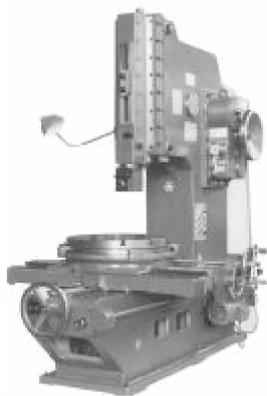


图 6-139 立刨床

## 6.8 磨削

### 6.8.1 磨削加工基础

#### 1. 概述

磨削加工是指在磨床上用砂轮对工件表面进行切削加工的方法。磨削运动过程分为主运动（砂轮的高速转动）和进给运动（工件的移动和转动）两种运动。

磨削加工应用范围很广，通常作为零件精加工工序，不但能加工一般的金属材料和非金属材料，而且还能加工各种高硬、超硬材料（如淬火钢、硬质合金等），可以获得很高的加工精度和表面质量，也可以用于粗加工、切割加工等。

#### 2. 常用磨削方式

磨削加工按其加工对象可分六种基本类型：平面磨削、外圆磨削、内圆磨削、无心磨削、自由磨削、环端面磨削。按砂轮与工件相对运动关系又可分往复式、切入式及综合磨削。磨削方式如图 6-140 所示。

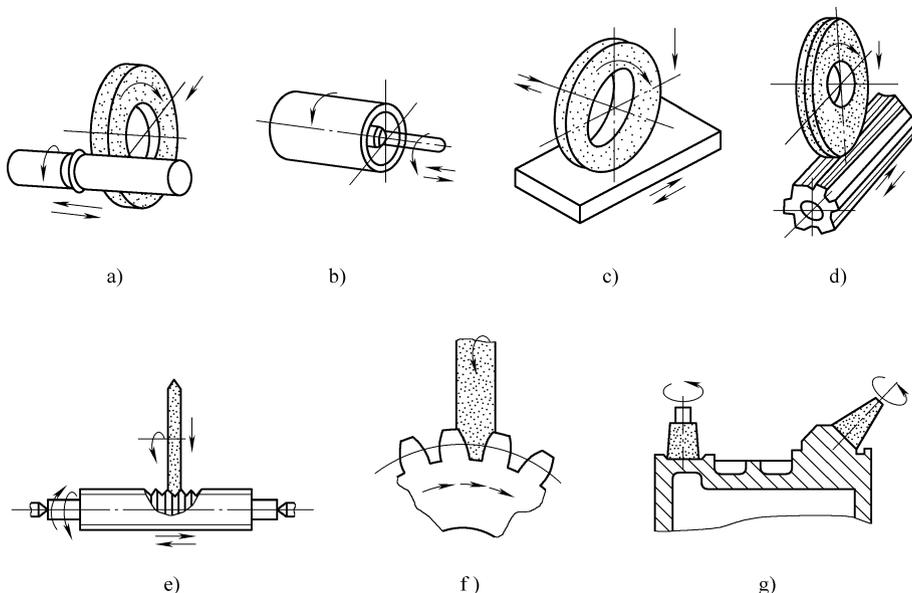


图 6-140 常用磨削方式

a) 磨外圆 b) 磨孔 c) 磨平面 d) 磨花键 e) 磨螺纹 f) 磨齿轮 g) 磨导轨

#### 3. 磨削液

一般磨削加工都要采用磨削液。正确地采用磨削液，不但可以降低磨削温度，减少磨削力，降低动力消耗，而且还可延长砂轮使用寿命和改善工件表面质量。磨

削液的作用是润滑、冷却、清洗、防锈。

### 6.8.2 砂轮

砂轮是由许多细小而又极硬的磨粒用结合剂粘结烧制而成的，如图 6-141 所示。

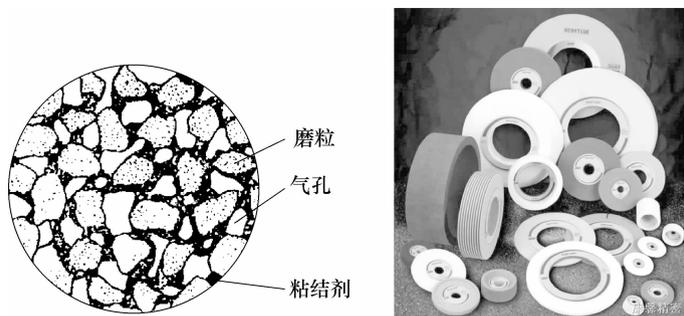


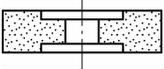
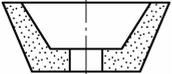
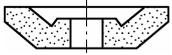
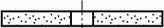
图 6-141 砂轮

砂轮主要有平形、单面凹形、薄片形、筒形、碗形、碟形、双斜边形等，以适应磨削不同形状和尺寸的表面。常用砂轮的名称、代号、几何形状及用途如表 6-10 所示。

表 6-10 常用砂轮的名称、代号、几何形状及用途

名 称	代号	断面图	基本用途
平形砂轮	1		用于外圆、内圆、平面、无心磨削、刀具刃磨和螺纹磨削
筒形砂轮	2		用于立式平面磨床上磨平面
单斜边砂轮	3		用于工具磨削，如刃磨铣刀、铰刀、插齿刀等
双斜边砂轮	4		用于磨削齿轮齿面和单线螺纹等
杯形砂轮	6		主要用于刃磨铣刀、铰刀、拉刀等，也可用于磨平面和内圆

(续)

名 称	代号	断面图	基本用途
双面凹一号砂轮	7		主要用于外圆磨削和刃磨刀具，还用做无心磨削的导轮和磨削轮
碗形砂轮	11		应用范围广泛，主要用于刃磨铣刀、铰刀、拉刀、盘形车刀等，也可用于磨机床导轨
碟形一号砂轮	12a		用于刃磨铣刀、铰刀、拉刀和其他刀具，大尺寸的一般用于磨削齿轮齿面
薄片砂轮	41		用于切断和开槽等

使用砂轮进行磨削加工时，参加切削的磨粒数目多，磨粒硬度高，热稳定性好，自锐性好；磨削温度高，高速磨粒的瞬时表面温度达  $400 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 。不宜加工较软的非铁金属材料。

砂轮经过长期使用会发生磨损，常见的砂轮磨损表现为磨耗磨损和破碎磨损。磨耗磨损是由于磨粒与工件之间的摩擦引起的，一般发生在磨粒与工件的接触处。破碎磨损是由磨粒的破碎或者结合剂的破碎而引起的，表现为磨粒破碎或磨粒脱落。当砂轮磨耗量达到一定数值时会使工件发生颤动、表面粗糙度值突然增大或表面烧伤，这表示砂轮需要进行修整。

### 6.8.3 研磨

研磨是一种古老、简便可靠的表面光整加工方法，是通过研磨工具（简称研具）在一定压力下与加工面作复杂的相对运动而完成的。研具与工件之间的磨粒、研磨剂在相对运动中，能使磨粒从工件表面上切去极薄的一层材料，从而得到极高的尺寸精度和极低的表面粗糙度值。

研磨能获得其他机械加工较难达到的稳定的高精度表面，研磨过表面的表面粗糙度值低，耐磨性、耐蚀性好，使用的工具简单，被加工材料适应范围广，适用于多品种、小批量的零件加工。

#### 1. 研磨的分类

研磨分为湿研、干研和半干研三种。

(1) 湿研 将液状研磨剂涂敷或连续加注于研具表面，使磨料在工件与研具间不断地滑动和滚动，从而实现对工件的切削。

(2) 干研 将磨料均匀地压嵌在研具表层上, 研磨时需在研具表面涂以少量的润滑剂, 多用于精研。

(3) 半干研 所用研磨剂为糊状的研磨膏, 粗、精研均可采用。

## 2. 研具

研具的作用是使研磨剂能够暂时固着或获得一定的研磨运动, 并将自身的几何形状按一定的方式传递到工件上。常用来制造研具的材料有铸铁和黄铜, 前者适合研磨钢件及铸铁件, 后者则适合研磨各种软金属。常用研磨平台及研具如图 6-142 所示。



图 6-142 常用研磨平台及研具

## 3. 研磨方法

可以采用手工研磨和机器研磨两种方法, 研磨平面一般在精磨之后进行。手工研磨平面时, 研磨剂涂在研磨平板(研具)上, 手持工件作直线往复运动或“8”字形运动, 研磨方法如图 6-143 所示。研磨一定时间后, 将工件调转  $90^\circ \sim 180^\circ$ , 以防工件倾斜。

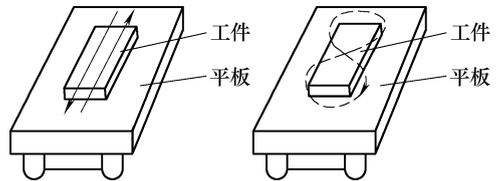


图 6-143 研磨平面

对于工件上局部待研的小平面、方孔、窄缝等表面, 也可手持研具进行研磨。

## 6.8.4 超精加工

超精加工是使用细粒度磨条(油石)以较低的压力和切削速度对工件表面进行精密加工的方法, 如图 6-144 所示。超精加工实际上是摩擦抛光过程, 是降低表面粗糙度值的一种有效的光整加工方法。它具有设备简单、操作方便、效果显著、经济性好等优点。

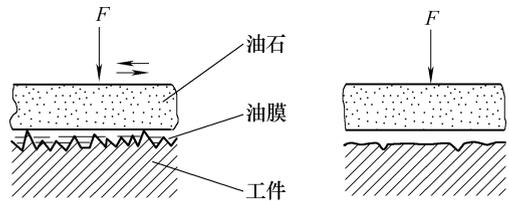


图 6-144 超精加工

超精加工磨粒运动轨迹复杂, 能由切削过程过渡到抛光过程, 表面粗

糙度值  $Ra$  达  $0.01 \sim 0.05 \mu\text{m}$ 。超精加工磨条的粒度极细, 只能切削工件凸峰, 所以加工余量很小, 一般为  $0.00025 \sim 0.005 \text{mm}$ 。切削速度低, 磨条压力小, 工件表面不易发热, 不会烧伤表面, 也不易使工件表面变形。超精加工后的工件表面耐磨性好。

## 6.8.5 磨床

### 1. 概述

磨床是利用磨具对工件表面进行磨削加工的机床。大多数磨床是使用高速旋转的砂轮进行磨削加工，少数是使用油石、砂带等其他磨具和游离磨料进行加工，如珩磨机、超精加工机床、砂带磨床、研磨机和抛光机等。磨床能加工硬度较高的材料，如淬硬钢、硬质合金等；也能加工脆性材料，如玻璃、花岗石。磨床能作高精度和表面粗糙度值很小的磨削，也能进行高效率的磨削，如强力磨削等。

### 2. 磨床分类

(1) 外圆磨床 外圆磨床包括普通外圆磨床、万能外圆磨床和无心外圆磨床等。外圆磨床是使用最多最广泛的磨床，主要用于磨削圆柱形和圆锥形外表面。万能外圆磨床（见图 6-145）则还可以磨削内孔和锥度较大的内、外锥面。缺点是自动化程度低，不太适合大批量生产。

(2) 内圆磨床 内圆磨床包括有普通内圆磨床（见图 6-146）、无心内圆磨床、行星式内圆磨床等。它主要用于磨削圆柱形和圆锥形内表面。与外圆磨床不同的是其主轴转速比较高。自动化或半自动化的内圆磨床多用于大批量工件的生产加工。

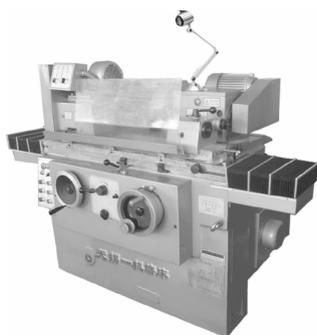


图 6-145 万能外圆磨床

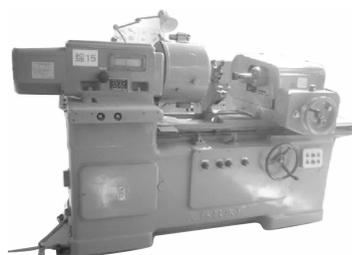


图 6-146 普通内圆磨床

(3) 无心磨床 使用无心磨床（见图 6-147）时，工件采用无心夹持，一般支承在导轮和托架之间，由导轮驱动工件旋转，主要用于磨削圆柱形表面。

(4) 平面磨床 平面磨床主要用于磨削工件平面，如图 6-148 所示。其工件一般夹紧在工作台上，或靠电磁力吸附在电磁工作台上，然后用砂轮的周边或端面磨削工件平面。这种磨床工作效率高，适于大批量生产，易于实现自动化。

(5) 工具磨床 工具磨床专门用于工具制造和刀具刃磨削，如图 6-149 所示。它包括万能工具磨床、工具曲线磨床、钻头沟槽磨床、丝锥沟槽磨床等，多用于工具制造厂和机械制造厂的工具车间。

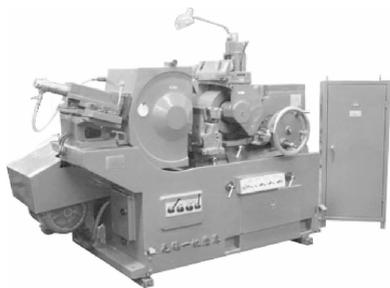


图 6-147 无心磨床



图 6-148 平面磨床

(6) 多用磨床 多用磨床用于磨削圆柱、圆锥形内、外表面或平面，并能用相应的附件磨削多种工件的磨床，如图 6-150 所示。



图 6-149 万能工具磨床



图 6-150 多用磨床

(7) 专用磨床 从事对某类零件进行磨削的专用磨床，按其加工对象又可分为花键轴磨床、曲轴磨床、凸轮磨床、活塞环磨床、齿轮磨床等。

## 6.9 钳加工

### 6.9.1 钳工基础

#### 1. 概述

钳工工作主要是以手工操作为主，利用各种工具和常用设备对金属进行加工。钳工工艺包括锯、锉、錾、刮、钻孔、攻螺纹、套螺纹等加工方法和铆接、粘接、螺纹连接等连接方法，以及划线、测量、按照各种配合方式将零件装配成整体的方法等。钳工加工灵活、方便，能够加工形状复杂、质量要求较高的零件，所用工具简单，制造刀具方便，材料来源充足，成本低；但是劳动强度大，生产率低，产品

质量不稳定，对工人技术水平要求较高，主要适用于机械制造、装配、维修，以及不便进行机床加工的手工制作。

钳工分工较细，总体分为：普通钳工、安装钳工、修理钳工、工具钳工，还有专业性较强的划线工、钻工、模具工等工种。

## 2. 钳工常用设备

(1) 钳台 钳台是钳工的主要工作场所，用于放置钳工的各种工具、量具和需要加工的工件，台面上必须安装台虎钳和防护网，如图 6-151 所示。

钳台安装台虎钳后高度一般为 950 ~ 1000mm。为了提高锉削效率，减少体力消耗，可以根据操作者身高选择钳台。选择时右手握拳，头部到钳口高度等于下颚至胳膊肘的高度为合适高度，如图 6-152 所示。

(2) 台虎钳 台虎钳是用来夹持工件的通用夹具，如图 6-153 所示。

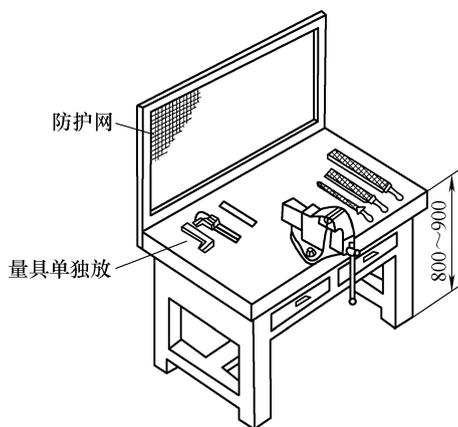


图 6-151 钳台

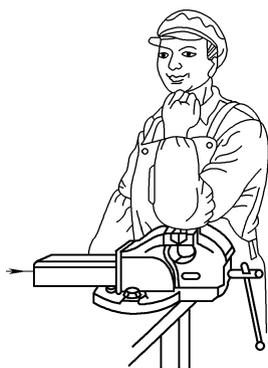


图 6-152 钳台合适高度



图 6-153 台虎钳

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外，以防夹持长工件时受到阻碍。台虎钳一定要安装牢固，不能有松动现象。

## 6.9.2 划线

根据设计图样或实物所要求的尺寸，在工件的毛坯或半成品上划出加工界线或找出基准点、线的操作叫做划线。划线能够确定工件加工表面的加工余量和位置，检查毛坯的形状、尺寸是否符合图样要求，并能合理分配各加工面的余量。

### 1. 划线常用工具

(1) 划线平板 划线平板是划线的基准工具，由铸铁制成，如图 6-154 所示。其上平面是划线的基准平面，要求平直和光洁。

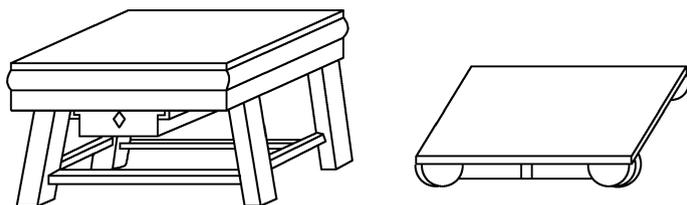


图 6-154 划线平板

(2) 划针 划针是划线的基本工具，如图 6-155 所示。划线时划针的针尖应紧贴钢直尺移动。

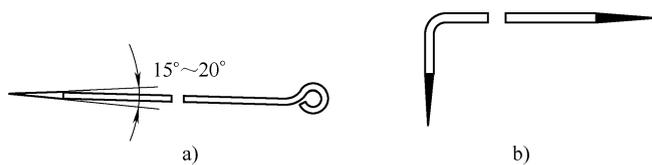


图 6-155 划针

a) 直划针 b) 弯头划针

(3) 划线盘 划线盘是立体划线和校正工件位置时用的工具，如图 6-156 所示。

(4) 划规 划规是划圆或弧线、等分线段及量取尺寸的工具，如图 6-157 所示。

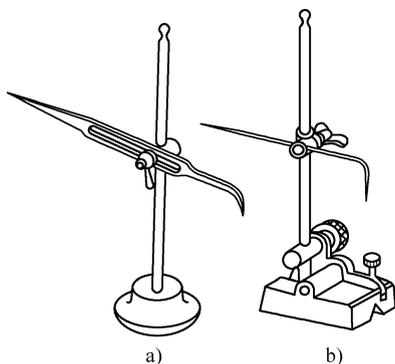


图 6-156 划线盘

a) 直划线盘 b) 可微调划线盘

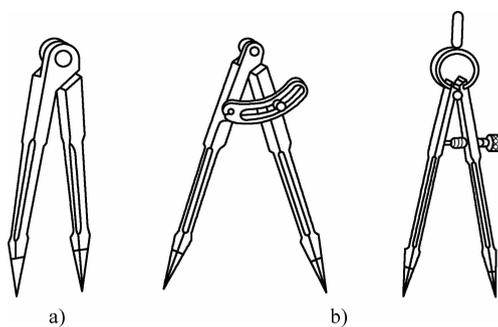


图 6-157 划规

a) 普通划规 b) 弹簧划规

(5) 样冲 样冲是在划出的线条上冲出样眼的工具,如图 6-158 所示。

(6) V 形架 V 形架用来支承圆柱形工件,使工件轴线与平板平行,便于找出中心和划出中心线,如图 6-159 所示。较长的工件可放在两个等高的 V 形架上。



图 6-158 样冲

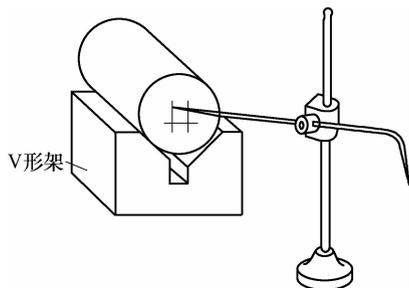


图 6-159 V 形架

(7) 千斤顶 千斤顶可调整工件的高度,用来支持毛坯或形状不规则的工件进行立体划线。通常用三个千斤顶支承工件,如图 6-160 所示。

## 2. 基本划线手法

(1) 划直线的方法 划直线的工具为划针。正确使用划针的方法是划针向钢直尺外侧倾斜  $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ,同时向划线方向倾斜  $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ,如图 6-161 所示。

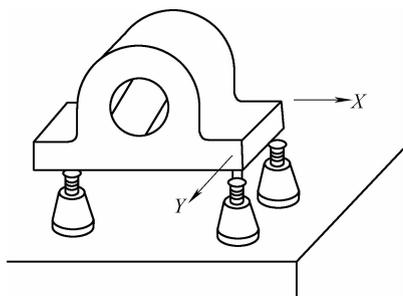


图 6-160 千斤顶

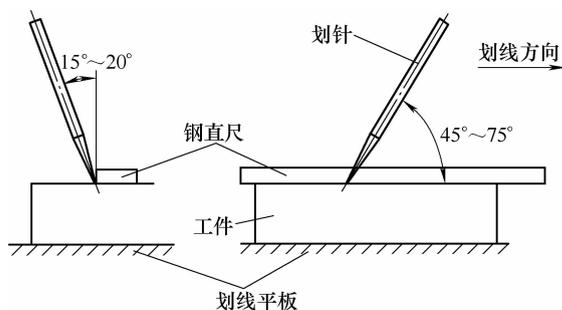


图 6-161 划针的使用方法

划线时左手按住钢直尺,以防钢直尺滑动,右手拇指和食指夹住划针,中指顶住划针使划针针尖紧贴钢直尺导向面,将划针向后拉动,即可划出清晰的直线,如图 6-162 所示。

(2) 垂直线的划法 垂直线可以采用几何作图法、直角尺划线和划针盘划线三种方法。最简单便捷的是直角尺划垂直线,以相邻侧面作为基准,可以很轻松准确的划出垂直线,如图 6-163 所示。

(3) 平行线的划法 划平行线可以采用几何作图法、直角尺划线和划针盘划线三种方法,如图 6-164 所示。

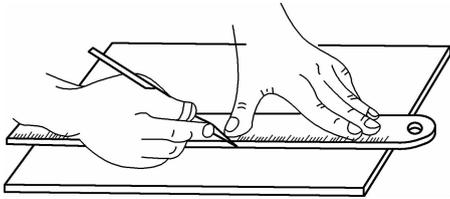


图 6-162 划直线的方法

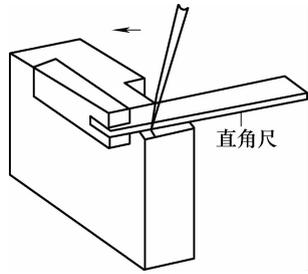


图 6-163 直角尺划垂直线法

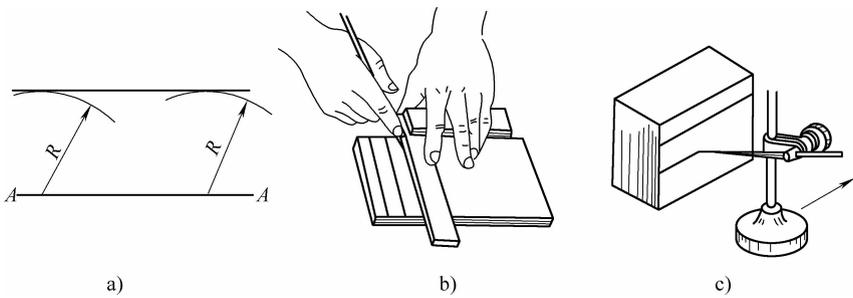


图 6-164 划平行线的方法

a) 几何作图法 b) 直角尺划线 c) 划针盘划线

1) 几何作图法是在划好的线上取两点，分别以两点为圆心、以相同半径用划规划两圆弧，然后用钢直尺作两圆弧的切线，即为所求的平行线，如图 6-164a 所示。

2) 直角尺划线法是用钢直尺和划针划出所需的距离，再用直角尺尺座靠紧工件垂直面，尺身一边对正划好的距离，用划针划出平行线，如图 6-164b 所示。

3) 划针盘划线法是在当工件可以垂直安放在划线平台上时（可以紧靠方箱、角铁的侧面），可用划针盘在高度尺上度量出尺寸后，沿平台移动划出，如图 6-164c 所示，图中箭头方向即为划针盘移动方向。

(4) 圆弧的划法 划圆弧的工具是划规。使用划规时，用双手掰开划规的两只规脚进行初调，再用右手握住划规的铰接部分。划圆周时，要用顺划、反划两个半圆弧合并而成，如图 6-165 所示。

(5) 冲眼的方法 冲眼是为了方便工件在后续加工中的找正，因此冲眼要求大小适中且均匀，冲眼点必须在加工线的中央，不能偏离，否则偏离的冲眼点会误导以后补线。冲眼的位置如图 6-166 所示。

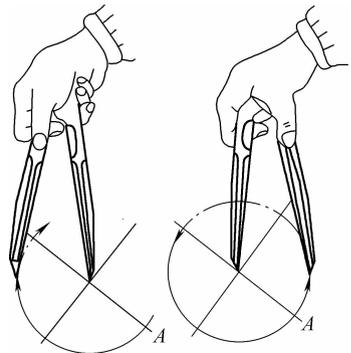


图 6-165 圆弧的划法

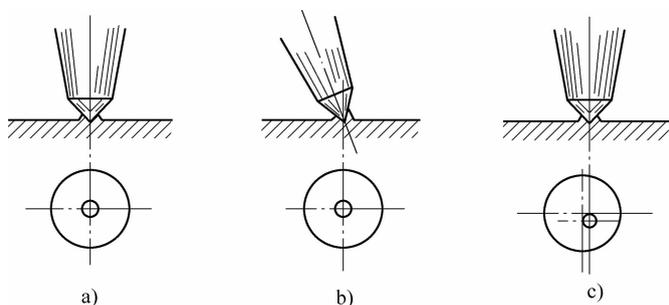


图 6-166 冲眼的位置  
a) 正确 b) 不垂直 c) 偏心

冲眼操作时用左手握住样冲略向前倾斜（避免左手遮挡视线），使样冲的尖部对准线中心，对准后即将样冲扶正，使样冲垂直对准线中央，锤子轻敲击样冲端部进行冲眼，如图 6-167 所示。

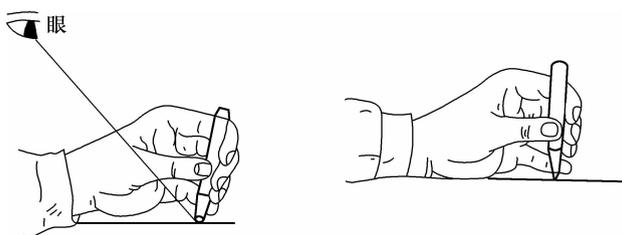


图 6-167 冲眼操作方法

### 6.9.3 錾削

錾削是利用钢锤敲击錾子对工件进行切削加工的一种加工方法,如图 6-168 所示。

錾削主要用于不便于机械加工的场所,工作范围包括去除凸缘,分割材料、錾削油槽或用于薄型工件的落料、粗加工等。

#### 1. 錾子

1) 錾子有扁錾、尖錾和油槽錾三种,它们各自的特点与用途如表 6-11 所示。

2) 錾子的握法有正握法、反握法和立握法,如图 6-169 所示。

#### 2. 锤子

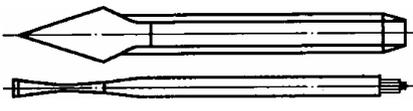
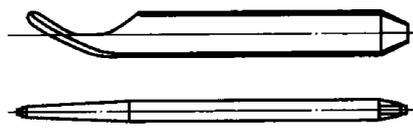
锤子的握法有紧握法和松握法。紧握法要求在抬起或进行锤击时都用五个手指紧紧握住锤子,如图 6-170a 所示。紧握法锤子操作时落点容易掌握,但长时间锤击会引起手



图 6-168 錾削

臂酸胀。松握法在抬起锤子时拇指和食指紧握木柄，小指、无名指和中指都适当的放松，在进行锤击时随着锤子接近落点时，小指、无名指和中指突然握紧，使下垂的锤子增加了锤击力的力度，如图 6-170b 所示。松握法锤击时手臂不易疲劳，锤击力度大，但容易击偏，应在握锤熟练的基础上运用。

表 6-11 錾子的分类与用途

錾子的种类	图 解	结构特点	用途说明
扁錾		切削部分扁平，切削刃略带圆弧	用于去除凸缘、毛边和分割材料
尖錾		切削刃较强，切削部分的两个侧面从切削刃起向柄部逐渐变狭窄	用于錾槽和分割曲线板料
油槽錾		切削刃强，并呈圆弧形或菱形，切削部分常做成弯曲形状	用于錾削润滑油槽

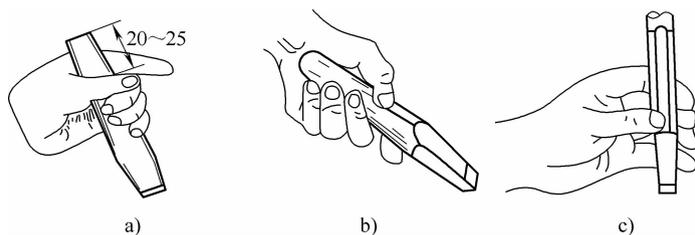


图 6-169 錾子的握法

a) 正握法 b) 反握法 c) 立握法

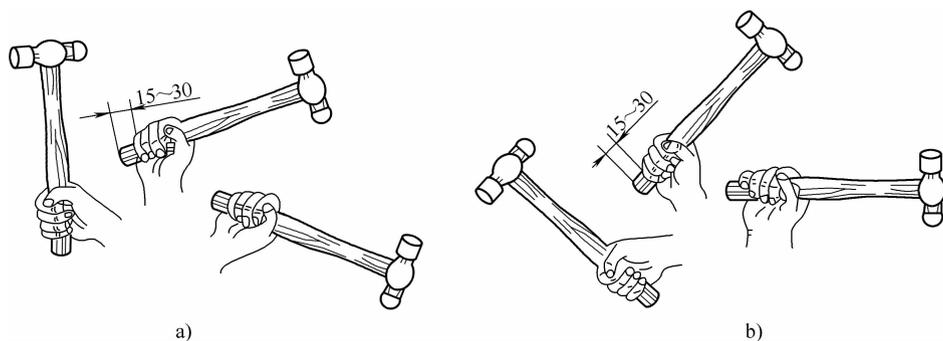


图 6-170 握锤方法

a) 紧握法 b) 松握法

挥锤的方法有手挥法、肘挥法和臂挥法三种，如图 6-171 所示。顾名思义，手挥法是用手腕的力量挥动锤子，肘挥法是手腕和肘部一起挥动，臂挥法是手腕、肘部和全臂挥动锤子，力度依次加大。手挥法一般用于錾削的开始和结尾阶段，肘挥法在錾削和装拆作业时使用较广，臂挥法用于需要大力錾削或拆除紧固机件作业。

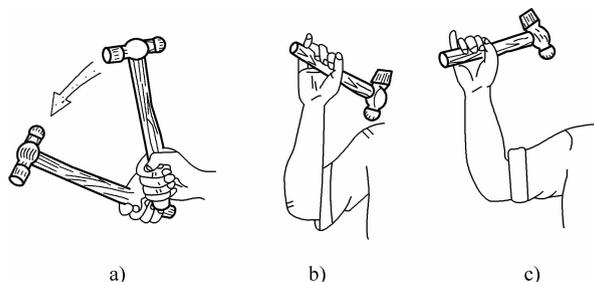


图 6-171 挥锤方法

a) 手挥法 b) 肘挥法 c) 臂挥法

### 3. 錾削姿势

錾削时操作者站在钳台前，左脚与台虎钳中心线成  $30^\circ$  角，右脚与台虎钳中心线成  $75^\circ$  角，以保证站立着挥锤时落点对准錾子的端部。握錾子的手的小臂应保持水平位置，肘部不能下垂，也不能抬高，以免影响錾子的切削角，如图 6-172 所示。



图 6-172 錾削姿势

## 6.9.4 锉削

锉削是利用锉刀对工件材料进行切削加工的操作。其应用范围很广，可削锉工件的外表面、内孔、沟槽和各种形状复杂的表面，锉削加工精度最高可达  $0.01\text{mm}$ 。

### 1. 锉刀

锉刀有钳工锉、整形锉和特种锉三种。钳工锉按断面形状不同又分为五种，即

平锉、方锉、圆锉、三角锉、半圆锉。整形锉用于修整工件上的细小部位。特种锉用于加工特殊表面。锉刀的种类、规格和型号很多，每一种锉刀都有它特定的用途，在选用锉刀时应根据工件的形状规格、软硬、加工余量、精度要求等，选择合适的锉刀。不同锉削表面选择锉刀的类型如图 6-173 所示。

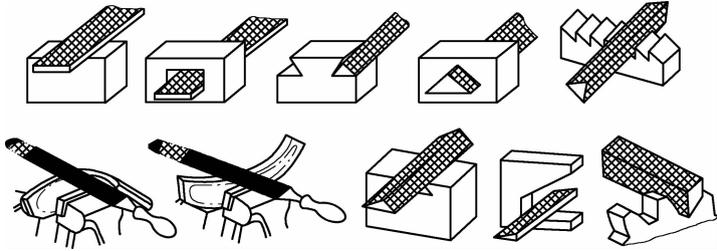


图 6-173 锉刀的选择

## 2. 锉刀的握法

锉刀的握法对钳工来说很重要，一般握法如图 6-174 所示。右手紧握刀柄，柄端抵在大拇指根部的手掌上，大拇指放在刀柄上部，其余手指由下而上握着刀柄。左手的基本握法是将拇指根部的肌肉压在锉刀头上，拇指自然伸直，其余四指弯向手心，用中指、无名指捏住锉刀前端。锉削时手推动锉刀并决定推动方向，左手协同右手使锉刀保持平衡。

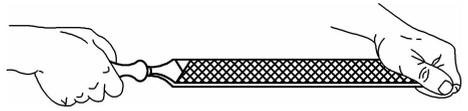


图 6-174 锉刀的一般握法

由于锉刀的种类很多，锉刀的握法也随锉刀的大小和使用场合的不同而改变。图 6-175a 所示是长度大于 250mm 的大型锉刀的握法，图 6-175b 所示是中小型锉刀的握法。

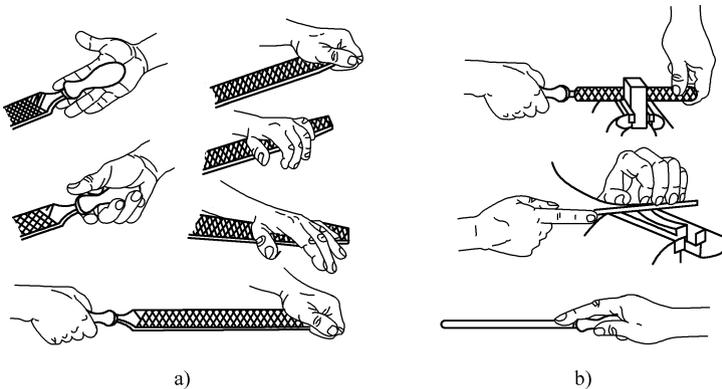


图 6-175 不同类型锉刀的握法

a) 大型锉刀的握法 b) 中小型锉刀的握法

### 3. 锉削姿势

(1) 站立位置 锉削时，操作者应面对台虎钳站在虎钳中心线一侧，左脚与台虎钳中心线成 $30^\circ$ 角，右脚与台虎钳中心线成 $75^\circ$ 角，如图6-176所示。这种站立方式使站立者更稳定，操作更便捷。

(2) 站立姿势 站立锉削时，两脚站稳，身体稍向前倾，重心放在左脚上，身体靠左膝弯曲，两肩自然放平，目视锉削面，右小臂与锉刀成一直线，并与锉刀面平行，左小臂与锉削面基本保持平行，如图6-177所示。锉削开始后，身体要向前倾斜 $10^\circ$ 左右，左肘弯曲，右肘向后。锉刀推出 $1/3$ 行程时身体向前倾斜 $15^\circ$ 左右，此时右腿伸直，右臂向前推，推到 $2/3$

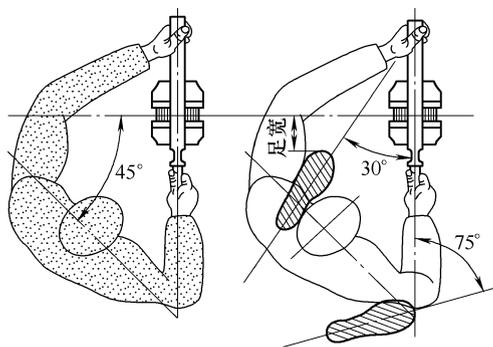


图 6-176 锉削时的站立位置

时，身体倾斜到 $18^\circ$ 左右，最后左腿继续弯曲，右肘渐渐伸直，右臂向前使锉刀继续推进至尽头，身体随锉刀的反作用方向回到 $15^\circ$ 位置。

(3) 锉削力 锉削时有两个力，一个是推力，一个是压力，其中推力由右手控制，压力由两手控制。在锉削中，要保证锉刀前后两端所受的力矩相等，即随着锉刀的推进，左手所加的压力由大变小，右手的压力由小变大，否则锉刀不稳易摆动。锉削用力分解如图6-178所示。锉刀只在推进时加力进行切削，返回时，不发力，不切削，把锉刀返回即可，否则易造成锉刀过早磨损；锉削时利用锉刀的有效长度进行切削加工，不能只用局部位置，否则该处磨损过重，降低使用寿命。



图 6-177 锉削时的站立姿势

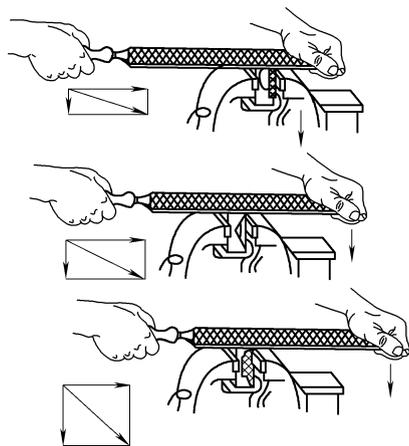


图 6-178 锉削时两手用力的分解

#### 4. 基本锉削方法

(1) 锉削平面 锉削平面的方法有顺向锉、交叉锉和推锉三种，如图 6-179 所示。

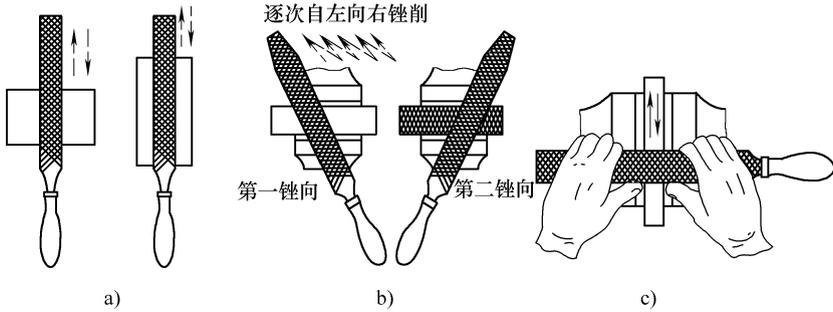


图 6-179 锉平面方法

a) 顺向锉法 b) 交叉锉法 c) 推锉法

(2) 锉削外圆弧 常用横锉和滚锉两种方法，如图 6-180 所示。其中横锉法用于圆弧粗加工，滚锉法用于精加工或余量较小时。

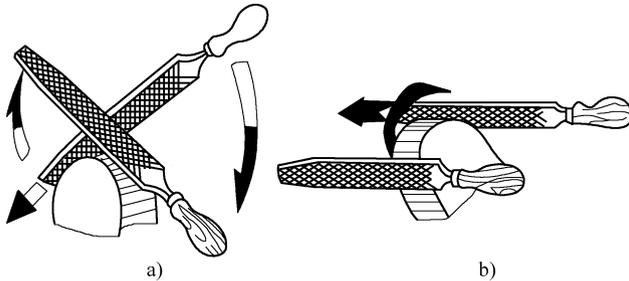


图 6-180 锉削外圆弧方法

a) 横锉法 b) 滚锉法

(3) 锉削内圆弧 常用横锉和推锉两种方法。推锉法一般用于粗加工。采用横锉法时前进运动、向左或向右移动、绕锉刀中心线转动，三个运动同时完成，如图 6-181 所示。

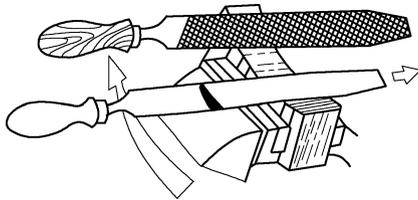


图 6-181 锉内圆弧方法

## 6.9.5 锯削

锯削是用手锯锯断金属材料或在工件上锯出沟槽的操作，可以用来分割各种材料或半成品，也可以用来锯掉工件上的多余部分和在工件上锯槽。

### 1. 锯削工具

(1) 锯弓 锯弓是用来张紧锯条的，锯弓分为固定式和可调式两类。

(2) 锯条 锯条是用来直接锯削材料或工件的工具。锯条的长度以两端装夹孔的中心距来表示，手锯常用的锯条长为 300mm、宽为 12mm、厚为 0.8mm。

(3) 锯条的安装 手锯在前推时才能起到切削的作用，因而在安装手锯时齿尖应向前安装，如图 6-182 所示。

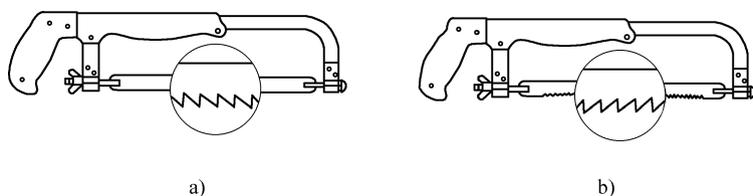


图 6-182 锯条的安装

a) 正确 b) 不正确

### 2. 锯削姿势

(1) 锯弓的握法 锯弓的握法正确与否对锯削质量有很大的影响。正确握锯弓的方法如图 6-183 所示，左手轻扶锯弓前端，右手握住锯柄。

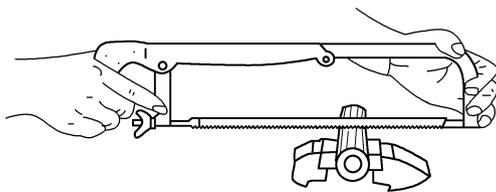


图 6-183 握锯弓的方法

(2) 站立位置 锯削站位与锉削相同。锯削时，操作者应面对台虎钳站在台虎钳中心线一侧，左脚与台虎钳中心线成  $30^\circ$  角，右脚与台虎钳中心线成  $75^\circ$  角，如图 6-184 所示。这种站立方式使站立者更稳定，便于锯削。

(3) 锯削姿势 锯削时站位姿势与锉削姿势相似，如图 6-185 所示。当右手推锯时身体也随之前倾，这样可以身体摆动增加右手的推力，以减缓右手的疲劳，提高工作效率。锯削时推力和压力均由右手控制。左手所加压力不要太大，其主要任务是扶正锯弓的作用。锯弓推至终点回程中，不应施加压力，以免加速锯齿磨损。

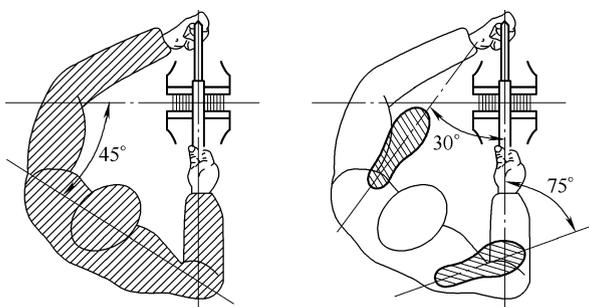


图 6-184 锯削站立位置

### 3. 基本锯削方法

(1) 工件的夹持 工件一般应夹在台虎钳的左面，以便操作。工件伸出钳口不应过长，应使锯缝离开钳口侧面 20mm 左右，防止工件在锯削时产生振动。锯缝线要与钳口侧面保持平行，便于控制锯缝不偏离划线线条。工件要夹紧牢靠，还要避免将工件夹变形和夹坏已加工面。

(2) 速度及行程长度的控制 推锯时给以适当压力，拉锯时应将所给压力取消，以减少对锯齿的磨损。锯削时应尽量利用锯条的有效长度。注意推拉频率，对软材料和非铁金属材料频率为每分钟往复 50 ~ 60 次，对普通钢铁材料频率为每分钟往复 30 ~ 40 次。

(3) 起锯方法 起锯时利用锯条的前端（远起锯）或后端（近起锯），靠在一个面的棱边上起锯，锯条与工件表面倾斜角约为  $15^\circ$ ，最少要有三个齿同时接触工件，如图 6-186 所示。为了起锯平稳准确，可用大拇指挡住锯条，使锯条保持在正确的位置，如图 6-187 所示。

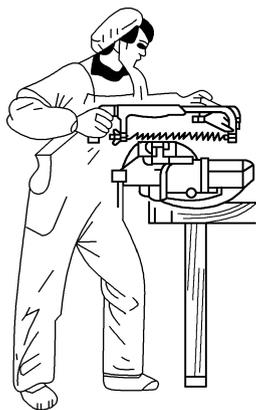


图 6-185 锯削姿势

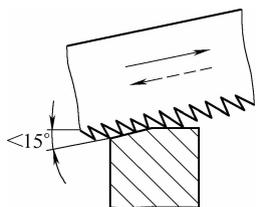


图 6-186 起锯角度

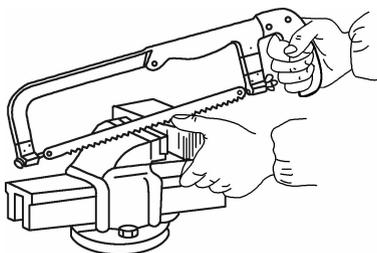


图 6-187 起锯时手的位置

(4) 锯削圆管方法 选用细齿锯条，当管壁锯透后，随即将管子沿着推锯方

向转动一个适当角度，再继续锯削，依次转动，直至将管子锯断。

(5) 锯削棒料 如果断面要求平整，则应沿一个方向从开始连续锯到结束，若要求不高，可分几个方向锯下，以减小锯切面，提高工作效率。

(6) 锯削薄板 锯削薄板时，尽可能从宽面锯下去。若必须从窄面锯下时，可用两块木垫夹持，连木块一起锯下，也可把薄板直接夹在台虎钳上，用手锯作横向斜推锯。

(7) 锯削扁钢 锯削钢时，在锯口处划线，分别从宽面的两端锯下。两锯缝将要接触时，轻轻敲击使之断裂分离。

### 6.9.6 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔

孔加工是钳工的重要操作技能之一。孔加工的方法主要有两类：一类是在实体工件上加工出孔，即用麻花钻、中心钻等直接钻孔；另一类是对已有孔进行再加工，即扩孔钻、铰孔钻和用铰刀对孔进行扩孔、铰孔和铰孔等。扩孔是用扩孔钻或钻头对工件上已钻出的孔进行扩大的钻削加工。铰孔是用铰刀对已钻出孔径进行加工的方法。铰孔是用铰孔钻铰出孔端平面或各种形状的孔口的钻削方法。

#### 1. 常用工具

常用工具包括钻头、扩孔钻、铰刀、铰孔钻。

(1) 钻头 钻头的样式有很多种，有麻花钻、扁钻、深孔钻、中心钻等。麻花钻是最常用的，也是钳工常用刀具之一，有直柄和锥柄两种。它有两个前刀面，两个后刀面，两个副切削刃，一个横刃，一个顶角（ $116^{\circ} \sim 118^{\circ}$ ）。直柄麻花钻如图 6-188 所示。

(2) 扩孔钻 扩孔钻也是扩孔工具，如图 6-189 所示。与钻头不同的是，扩孔钻有 3~4 个切削刃，无横刃，加工孔的精度、表面质量较好。



图 6-188 直柄麻花钻



图 6-189 扩孔钻

(3) 铰刀 铰刀是铰孔工具，如图 6-190 所示。铰刀有手用、机用、可调锥形等多种样式。

(4) 铤孔钻 铤孔钻是铤孔工具,如图 6-191 所示。铤孔钻有锥形、柱形、端面等几种样式。



图 6-190 铤刀



图 6-191 铤孔钻

## 2. 操作方法

(1) 钻孔 第一步划线、打样冲眼;第二步试钻一个深度约为孔径  $1/4$  的浅坑,判断是否对中;第三步钻孔,钻孔时进给力不要太大,要时常抬起钻头排屑,同时加冷却液,钻孔要通时,要减少进给防止切削突然增大,折断钻头。

(2) 扩孔 扩孔用于扩大已加工出的孔,它常作为孔的半精加工。扩孔过程如图 6-192 所示。

(3) 铤孔 铤孔是用铤刀从工件孔壁上切除微量金属层,以提高其尺寸精度和表面质量,余量可根据孔的大小从相关手册中查取。铤孔过程如图 6-193 所示。

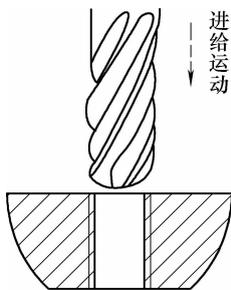


图 6-192 扩孔过程

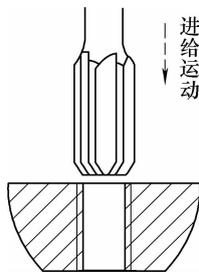


图 6-193 铤孔过程

(4) 铤孔 铤孔的目的是为保证孔端面与孔中心线的垂直度,以便使与孔连接的零件位置正确,连接可靠。铤孔过程如图 6-194 所示。

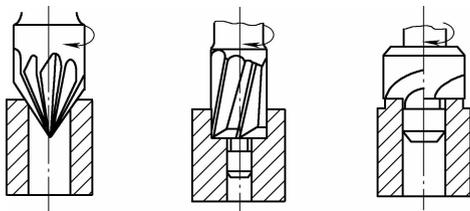


图 6-194 铤孔

### 3. 钻床

钻床是加工内孔的机床，主要用于加工外形复杂、没有对称旋转轴线的工件（如杠杆、盖板、箱体、机架等零件上的单孔或孔系），也用来加工直径不大、精度要求较低的孔。加工时，用钻头在实心材料上钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹或铤平面等。在钻床上配有工艺装备时，还可以进行镗孔；在钻床上配有万能工作台，还能进行分割钻孔、扩孔、铰孔。

(1) 台式钻床 台式钻床简称台钻，如图 6-195 所示。这是一种体积小，操作简便，通常安装在专用工作台上使用的小型加工机床。台式钻床的钻孔直径一般在 13mm 以下，最大不超过 16mm。其主轴变速一般通过改变三角带在带轮上的位置来实现，主轴进给靠手动操作。

(2) 立式钻床 主轴竖直布置且中心位置固定的钻床，称为立式钻床（简称立钻），如图 6-196 所示。常用于机械制造和修配工厂加工中小型工件的孔。加工前，先调整工件在工作台上的位置，使被加工孔中心线对准刀具轴线。加工时，工件固定不动，主轴在套筒中旋转并与套筒一起作轴向进给。工作台和主轴箱可沿立柱导轨调整位置，以适应不同高度的工件。

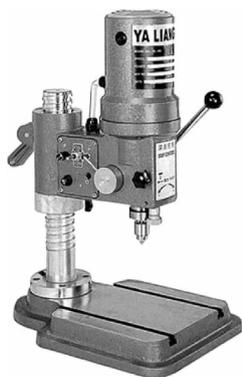


图 6-195 台式钻床

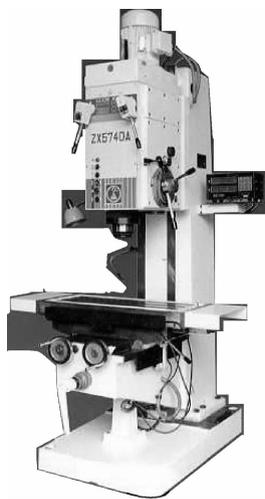


图 6-196 立式钻床

(3) 摇臂钻床 摇臂钻床是具有广泛用途的万能性机床，有一个能绕立柱作 360° 回转的摇臂，可以进行钻孔、扩孔、镗孔、铰孔、刮平面和攻螺纹等作业，适用于各类机器制造业中加工中小型零件。摇臂钻床如图 6-197 所示。

(4) 深孔钻床 深孔钻床是使用特制深孔钻头钻削深孔的钻床，如图 16-198 所示。用深孔钻床钻削深度比直径大得多的孔（如枪管、炮筒和机床主轴等零件的深孔）时，为便于除切屑及避免机床过于高大，一般为卧式布局，常备有切削液输送装置（由刀具内部输入切削液至切削部位）及周期退刀排屑装置等。

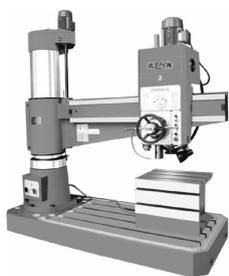


图 6-197 摇臂钻床



图 6-198 深孔钻床

### 6.9.7 攻螺纹和套螺纹

攻螺纹是用丝锥在孔中切削出内螺纹的加工方法，套螺纹是用板牙在圆管或管子上切削出外螺纹的加工方法。

#### 1. 常用工具

(1) 攻螺纹工具 攻螺纹的常用工具有丝锥和铰杠。

1) 丝锥是专门用来攻螺纹的刀具，如图 6-199 所示。其结构简单，使用方便，在小尺寸的内螺纹加工上应用极为广泛。丝锥的种类很多，按牙的粗细不同，分为粗牙丝锥和细牙丝锥；按其功能分为手用丝锥、机用丝锥、螺母丝锥、板牙丝锥、锥形螺纹丝锥、梯形螺纹丝锥等。

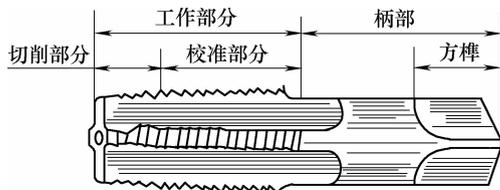


图 6-199 丝锥

2) 铰杠是用来夹持丝锥柄部的方榫，并带动丝锥旋转切削的工具。

铰杠（见图 6-200）有普通铰杠和 T 形铰杠两类，各类铰杠又可分为固定式和可调式两种。

攻螺纹时要合理的选用铰杠，铰杠尺寸太小攻螺纹困难，尺寸太大易折断丝锥。



图 6-200 铰杠

(2) 套螺纹工具 套螺纹常用工具有板牙、板牙架等。

1) 板牙是加工外螺纹的工具，如图 6-201 所示。板牙有固定式的和开缝式的两种，常用的为固定式，孔的两端有 60° 的锥度部分，这是板牙的切削部分，后面的牙为导向部位。

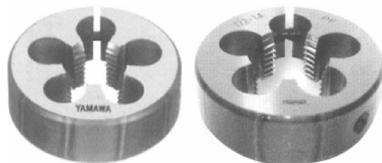


图 6-201 板牙

2) 板牙架是装夹板牙的工具，如图 6-202 所示。不同规格的板牙配有相应的板牙架。



图 6-202 板牙架

## 2. 攻螺纹方法

1) 攻螺纹前先钻螺纹底孔，底孔直径的选择，可查有关手册，也可用公式计算。

2) 攻螺纹前要在钻孔的孔口进行倒角，以利于丝锥的定位和切入。

3) 起攻时用右手掌按住铰杠中部，沿丝锥轴线用力加压，左手配合作顺时针旋转，如图 6-203 所示。

4) 检查垂直度。当旋入 1~2 圈后，用角尺检查丝锥与孔端面的垂直度，若不垂直应立即矫正垂直。可用目测或直角尺从两个方向检查是否垂直，如图 6-204 所示。

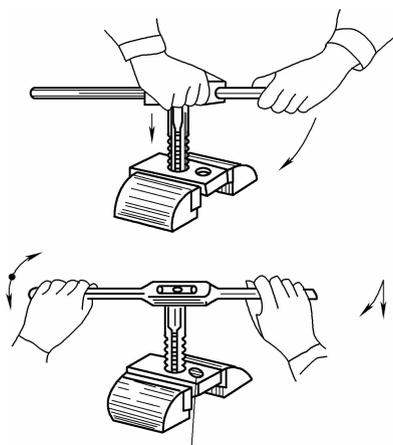


图 6-203 起攻方法

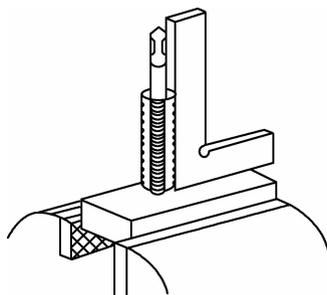


图 6-204 垂直度检查

5) 攻螺纹。当丝锥开始切削时，即导向部位进入工件里面时，即可平行转动手柄，不再加压，这时每转动 1~2 圈，要反转 1/4 圈，如图 6-205 所示，以便使切屑断落，防止切屑挤坏螺纹，同时攻螺纹时要加润滑油（攻铸铁等脆性材料时不能加润滑油）。

6) 排屑。对于攻不通孔螺纹，除了要在丝锥上作出深度记号外，还应经常退出丝锥，采用管子清除切屑，如图 6-206 所示。

## 3. 套螺纹方法

1) 套前首先确定圆杆直径，太大难以套入，太小形成不了完整螺纹，可按公式计算。



图 6-205 攻螺纹方法

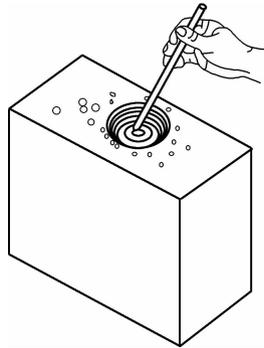


图 6-206 排屑

2) 起套的手法和攻螺纹一样。

3) 套螺纹时，板牙端面与圆杆垂直（圆杆要倒角  $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ），手法和攻螺纹一样，如图 6-207 所示。开始转动要加压，导向部位切入后，两手平行转动手柄即可，时常反转断屑，加润滑油。

### 6.9.8 刮削

刮削是用刮刀从工件表面上刮去一层很薄的金属的方法。所使用的工具简单，不受工件形状、位置及设备条件的限制，具有切削量小、切削力小、产生热量小、装夹变形小等优点，能获得很高的几何精度、尺寸精度、接触精度、传动精度及较低的表面粗糙度值，是一种精加工的方法。

#### 1. 刮刀

刮刀是刮削的工具，分平面刮刀、曲面刮刀和三角刮刀等，如图 6-208 所示。刀头部分具有足够的硬度，刃口必须锋利，用钝后可在油石上修磨。

#### 2. 刮削方法

(1) 手刮法 如图 6-209 所示，用右手握刀柄，左手除拇指外的四指向下握住刮刀头部约 50mm 处，刮刀与被刮削表面成  $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。同时，左脚前跨一步，上身随着往前倾斜，使刮刀向前推进，左手下压，落刀要轻，当推进到所需要位

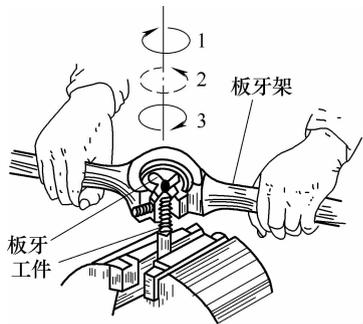


图 6-207 套螺纹方法

1—向前 2—后退 3—继续向前



图 6-208 刮刀

置时，左手迅速提起，完成一个手刮动作。

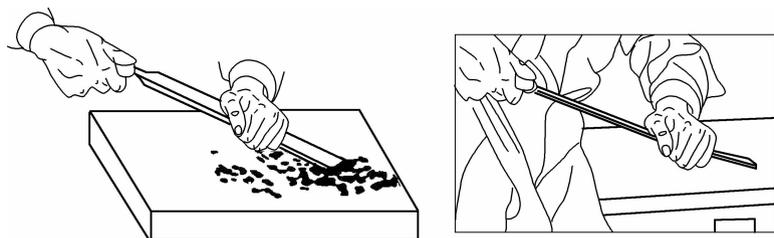


图 6-209 手刮法

(2) 挺刮法 如图 6-210 所示，将刮刀柄放在小腹右下侧，双手并拢握在刮刀前部距刀刃 80mm 处，左手下压，利用腿部和臀部力量，使刮刀向前推进，在推动到位的瞬间，同时用双手将刮刀提起，完成一次刮削。

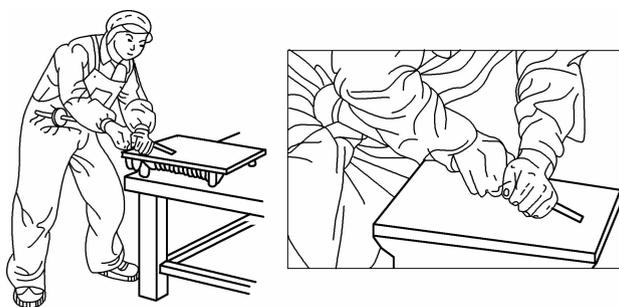


图 6-210 挺刮法

## 6.10 表面处理

利用现代物理、化学、金属学和热处理等学科的边缘性新技术来改变零件表面的状况和性质，使之与心部材料作优化组合，以达到预定性能要求的工艺方法，称为表面处理。

表面处理在基体材料表面上人工形成一层与基体的力学、物理和化学性能不同的表层，目的是满足产品的耐蚀性、耐磨性、装饰或其他特种功能要求。

根据表面处理目的的不同，可将表面处理技术分为表面强化处理、表面装饰处理、表面防腐处理、表面修复处理等。常用的表面处理方法包括热喷涂、喷丸、喷砂、表面滚压、离子镀、激光表面强化、抛光、普通电镀、特种电镀、钢铁氧化、钢铁磷化、铝阳极氧化及着色处理、喷漆与喷塑等。

### 6.10.1 喷丸

喷丸处理也称喷丸强化,是减少零件疲劳、提高寿命的有效方法之一。喷丸强化是在一个完全控制的状态下,将无数称为钢丸的小圆形介质高速连续喷射,捶打到零件表面,从而在表面产生一个残留压应力层。因为当每颗钢丸撞击金属零件上时,宛如一个微型棒捶敲打表面,捶出小压痕或凹陷。为形成凹陷,金属表层必定会产生拉伸。表层下压缩的晶粒试图将表面回复到原来形状,从而产生一个高度压缩力作用下的半球。无数凹陷重叠形成均匀的残余压应力层。最终,零件在压应力层保护下,极大程度地改善了疲劳强度,延长了工作寿命。

喷丸所用的设备是喷丸机,如图6-211所示。

喷丸的方法通常有手工喷丸和机械喷丸两种,如图6-212和图6-213所示。



图 6-211 喷丸机

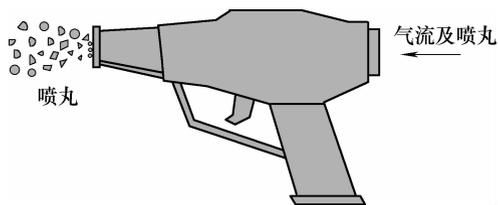


图 6-212 手工喷丸

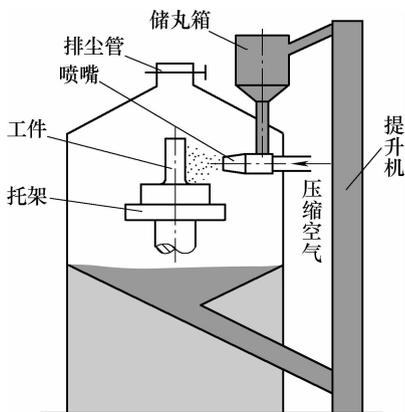


图 6-213 机械喷丸

喷丸采用的介质通常是直径为  $0.5 \sim 2\text{mm}$  的砂粒或铁丸,砂粒的材料多为  $\text{Al}_2\text{O}_3$  或  $\text{SiO}_2$ 。表面处理的效果与丸粒的大小、喷射速度和持续时间有关。喷丸用于提高零件强度、耐磨性、疲劳强度和耐蚀性等,还可用于表面消光、去氧化皮和消除铸件、锻件、焊件的残留应力等。

喷丸处理是工厂广泛采用的一种表面强化工艺,设备简单,成本低廉,不受工件形状和位置限制,操作方便,但工作环境较差。

喷丸与喷砂都是使用高压风或压缩空气作动力,将其高速吹向冲击工件表面达到清理效果,但选择的介质不同,效果也不相同,如图6-214所示。

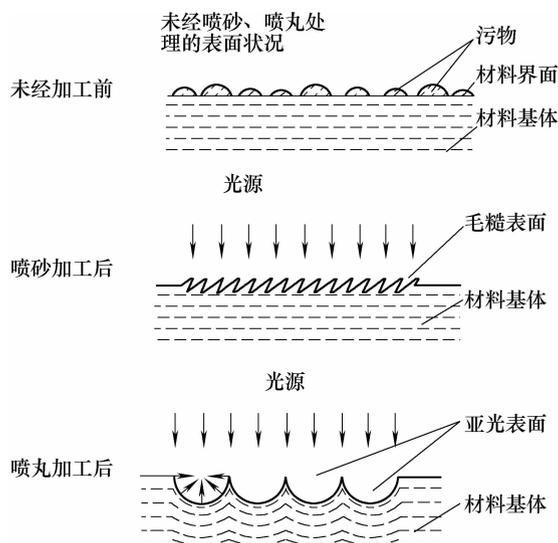


图 6-214 喷丸和喷砂区别

### 6.10.2 喷砂

喷砂是用机械或净化的压缩空气，将砂流强烈地喷向金属制品表面，利用砂流强力的撞击作用，打掉其上的污垢，达到清理或修饰目的的过程。

喷砂的主要用途有：

- 1) 除掉零件表面的锈蚀、焊渣、积炭、旧油漆层和油污。
- 2) 除去铸件、锻件或热处理后零件表面的型砂及氧化皮。
- 3) 除去零件表面的飞边或方向性磨痕。
- 4) 降低零件的表面粗糙度，提高基体与镀覆层的附着力。
- 5) 使零件呈漫反射的消光状态。

喷射用砂要干燥、清洁、无杂物，不能对材料的性能有影响。常用的喷砂设备如图 6-215 所示。



图 6-215 喷砂设备

### 6.10.3 电镀

电镀可以为材料或零件覆盖一层比较均匀致密、具有良好结合力的镀层，以改变其表面特性和外观，达到材料保护或装饰的目的。电镀除了可使产品美观、耐用外，还可获得特殊的功能，可提高金属制品的耐蚀性、耐磨性、耐热性、反光性、导电性、润滑性、表面硬度以及修复磨损零件尺寸及表面缺陷等。如在半导体器件

上镀金，可以获得很低的接触电阻；在电子元件上镀锡可以获得很好的焊接性；在活塞环及轴上镀铬可以获得很高的耐磨性；以及防止局部渗碳的镀铜、防止局部渗氮的镀锡等。一般电镀工艺流程如图 6-216 所示。

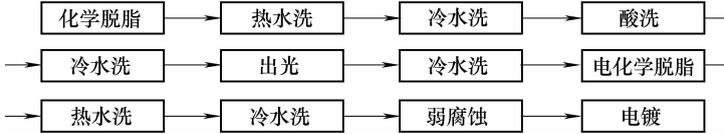


图 6-216 电镀工艺流程图

目前，广泛应用的电镀工艺有镀铜、镀镍、镀铬、镀锌、镀银、镀金等。以镀镍为例：将金属制件浸在金属盐（ $\text{NiSO}_4$ ）的溶液中作为阴极，金属镍板作为阳极，接通直流电源后在工件上就会沉积出金属镀镍层，工作原理如图 6-217 所示。

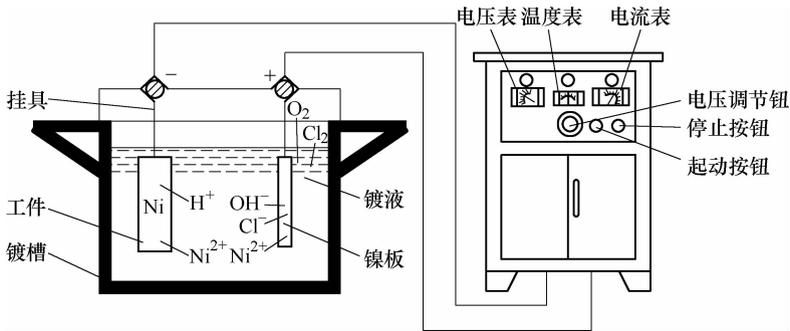


图 6-217 镀镍原理

### 1. 普通电镀

(1) 镀锌 钢铁零件上镀锌主要作用是防腐蚀，用量占全部电镀零件的  $1/3 \sim 1/2$ ，是所有电镀品种中产量最大的一个镀种。镀锌具有成本低、耐蚀性好、美观等优点，在轻工、机电、农机和国防等工业中得到广泛应用。

(2) 镀镉 钢铁零件上镀镉，在海洋和湿热大气环境中，其保护性能比镀锌好，航空、航海及电子工业中的零件大多采用镀镉。但镉盐有毒，且对环境污染严重，使镀镉的应用受到限制。

(3) 镀锡 锡的腐蚀产物对人类无害，且易于钎焊，镀锡广泛用于食品罐头包装制品、饮具、餐具及电子工业中。

(4) 镀铜 镀铜常作为其他镀层的中间层，以提高表面镀层和基体金属的结合力。在电力工业中，也可用铁丝镀铜来代替纯铜导线，以减少铜的耗用量。

(5) 镀镍 镀镍的应用面很广，可用于防护装饰性和功能性两方面。前者主要用于自行车、钟表、家用电器、五金产品、汽车、照相机等零件的防护装饰性镀层，后者主要用于易磨损产品的修复电镀。

(6) 镀铬 铬在大气中能长久保持光泽，在碱液、硝酸、硫酸及许多有机酸中不发生反应，镀铬层有很高的硬度、优良的耐磨性及较低的摩擦因数，故镀铬常用于防护装饰性镀层，防止基体金属生锈，也常用于提高制品的耐磨性。

## 2. 特种电镀

(1) 刷镀 刷镀不用镀槽，旋转的工件接直流电源的负极，镀笔接正极，镀笔前端用脱脂棉包住，浇注的镀液浸在脱脂棉套内，镀液中的金属正离子在电场力作用下在工件表面（阴极）获得电子而沉积于表面上，形成电镀层，如图 6-218 所示。

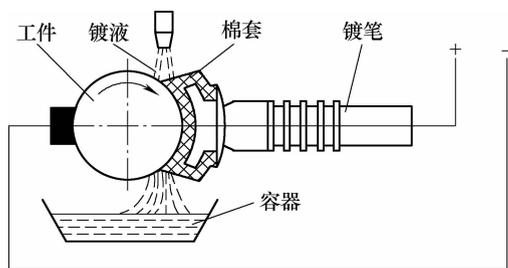


图 6-218 刷镀

刷镀的镀层厚度可达 0.01 ~ 0.5mm，镀层质量好，结合强度高，速度比槽镀快。刷镀设备简单，操作灵活，可进行局部电镀和野外作业。

(2) 非金属电镀 非金属电镀是指对塑料、玻璃、陶瓷、纤维等非金属制品电镀。非金属电镀的关键工艺是表面金属化，使非金属基体上生成导电层，以便进行电镀。表面金属化的方法有化学镀法、喷涂法和涂刷法等。非金属电镀主要用于汽车、飞机某些装饰性零部件，以及电子仪器屏蔽和碳纤维等。

## 6.10.4 化学镀

化学镀技术是在金属的催化作用下，通过可控制的氧化还原反应产生金属的沉积过程。与电镀相比，化学镀技术具有镀层均匀、针孔小、不需直流电源设备、能在非导体上沉积和具有某些特殊性能等特点。另外，由于化学镀技术废液排放少，对环境污染小及成本较低，在许多领域已逐步取代电镀，成为一种环保型的表面处理工艺。目前，化学镀技术已在电子、阀门制造、机械、石油化工、汽车、航空航天等工业中得到广泛的应用。

化学镀的特点：①在形状复杂工件上也能得到均匀厚度镀层；②镀层晶粒细小致密，孔隙与裂纹少；③可以在非金属材料表面沉积金属层。

## 6.10.5 钢铁的氧化与磷化

### 1. 氧化

氧化是将钢件在空气中加热或直接浸于浓氧化性溶液中，使其表面产生极薄的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  薄膜的材料保护技术，也称发蓝或发黑。

钢铁氧化的工艺流程为：化学脱脂→流动热水洗→流动冷水洗→一次氧化→二次氧化→流动冷水洗→流动热水洗→补充处理→流动冷水洗→流动热水洗→吹干或烘干→检验→浸油→停放。

## 2. 磷化

把钢铁工件浸入磷酸盐为主的溶液中,使其表面沉积并形成不溶于水的结晶型磷酸盐转化膜的过程称为磷化处理。常用的磷化处理溶液为磷酸锰铁盐和磷酸锌溶液,磷化处理后的磷化膜厚度一般为 $1\sim 5\mu\text{m}$ ,其耐蚀性是氧化处理的 $2\sim 10$ 倍。

磷化膜与基体结合力较强,有较好的耐蚀性和较高的绝缘性能,在大气、油类、苯及甲苯等介质中均有很好的耐蚀性,对油、蜡、颜料及漆等具有极佳的吸收力,适合作油漆底层。但磷化膜本身的强度、硬度较低,有一定的脆性,当钢材变形较大时易出现细小裂纹,不耐冲击,在酸、碱、海水及水蒸气中耐蚀性较差。在磷化处理后进行表面浸漆、浸油处理,耐蚀性可较大提高。

磷化处理所需设备简单,操作方便,成本低,生产率高。在一般机械设备中可作为钢铁材料零件的防护层,也可作为各种武器的润滑层和防护层。

## 6.10.6 涂装

涂装是指对金属和非金属表面覆盖保护层或装饰层的工艺方法。常用的涂装工艺如表6-12所示。

表 6-12 常用的涂装工艺

序号	涂漆方法	内 容	特 点	使用范围
1	刷涂	人工用各种毛刷涂刷	省料费工,体力劳动繁重	任何形状工件,几乎任何涂料
2	自动浸涂	工件在悬链上借链运动自动沉入漆槽中涂漆	省工省料,生产率高,但漆槽熔剂挥发量大,防火要求严	大批量流水线生产
3	手工喷涂(含高压无气喷涂)	利用压缩空气,喷枪将漆雾化喷到工件表面成膜	漆膜均匀,质量好,但漆浪费大	各种形状工件,尤适用于大面积工件
4	淋涂	工件在工作台上,利用循环泵将漆液喷淋在工件上	工效高,漆液损失少,便于流水作业	大批单一工件底漆涂装
5	幕帘淋涂	工件在连续不断往下流的漆液幕帘下通过而涂装	工效高,漆液损失少,便于流水线作业,但不能对工件垂直面涂装	适宜成批生产,且只需涂单面的大工件
6	流化床涂覆	利用粉末涂料在一定风压下呈“沸腾”状态,在略高于其熔点的预热工件表面上融合冷却后成膜	涂层厚度大,涂覆速度快	适宜大型、形状不同工件
7	辊涂	利用辊涂机械进行辊涂	能采用较高粘度涂料,漆膜厚度均匀,有利于机械化,自动化生产	适用于平板涂装

在生产应用中，用得较多的涂装工艺是高压无气喷涂和静电喷涂。

### 1. 高压无气喷涂

高压无气喷涂是利用低压（ $0.4 \sim 0.6\text{N/mm}^2$ ）压缩空气带动高压泵，将涂料加压到  $10 \sim 20\text{N/mm}^2$ ，经高压喷枪的特殊喷嘴喷出形成涂层，如图 6-219 所示。

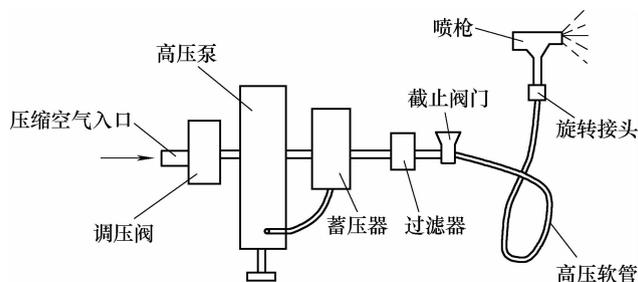


图 6-219 高压无气喷涂

高压无气喷涂的特点是：①没有一般压缩空气喷涂时的涂料微粒回溅及漆雾飞扬现象；②生产率高，比压缩空气喷涂提高几倍至几十倍；③适宜喷涂高粘度的涂料，一次可获  $100 \sim 300\mu\text{m}$  厚度涂层。

### 2. 静电喷涂

静电喷涂是利用高压静电电场使带负电的涂料微粒沿着电场相反的方向定向运动，并将涂料微粒吸附在工件表面的一种喷涂方法，如图 6-220 所示。静电喷涂设备由喷枪、喷杯和静电喷涂高压电源等组成。

静电喷涂比普通喷涂生产率高，成膜质量好，常用于大批量生产的汽车、自行车、机电设备的自动生产线上。图 6-221 所示为静电喷涂汽车车身示意图。

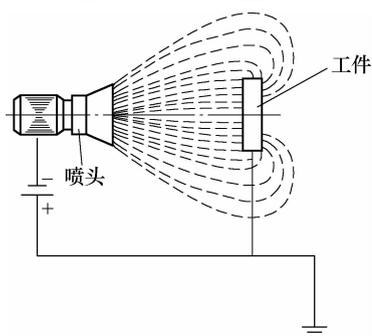


图 6-220 静电喷涂

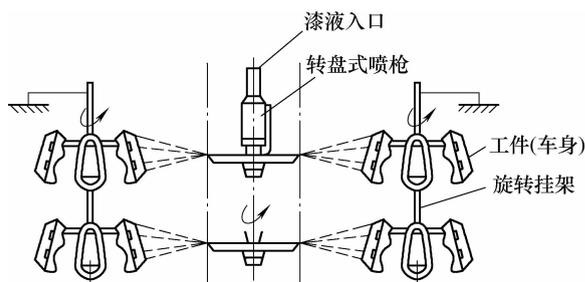


图 6-221 静电喷涂汽车车身

## 6.10.7 抛光

抛光是零件表面进行修饰的一种加工方法，一般只能得到光滑表面，不能提高甚至不能保持原有的加工精度。随预加工状况不同，抛光后的表面粗糙度值  $Ra$  可达  $0.008 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。

抛光可以分为机械抛光、化学抛光和电化学抛光。

### 1. 机械抛光

(1) 轮式抛光 用高速旋转的柔性抛光轮和极细的磨料，对工件表面进行滚压和微量切削以实现抛光。抛光轮用多层帆布、毛毡或皮革叠制而成，用于较大零件的抛光。常用的轮式抛光操作过程如图 6-222 所示。

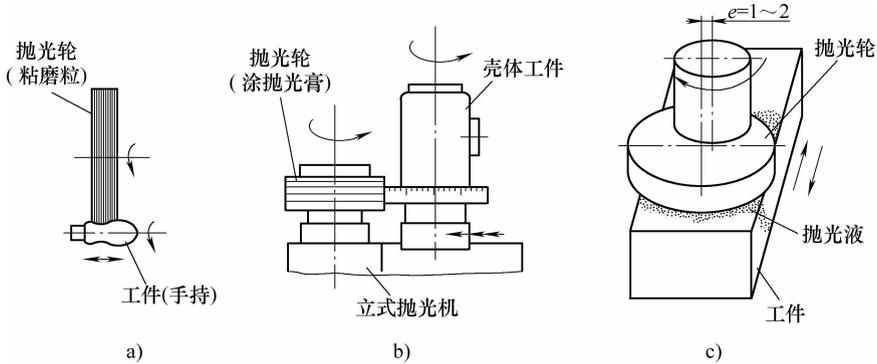


图 6-222 轮式抛光

a) 手持式抛光 b) 立式抛光 c) 卧式抛光

(2) 振动抛光 将工件、磨料和抛光液装入振动箱内，借助振动箱的振动，使工件与工件、工件与磨料相互摩擦，加上抛光液的化学作用，除去工件表面的油污、锈蚀，磨去凸峰，从而获得光滑的表面。

振动抛光的特点如下：

- 1) 快速去除工件周边飞边，包括细小内孔、管孔、夹缝的死角。
- 2) 抛光后的工件不影响原来精度，形状和尺寸都不会有变化，表面粗糙度值  $Ra$  可达到  $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ ，表面呈现光亮金属光泽。
- 3) 时间短，每次处理时间  $5 \sim 20\text{min}$ 。
- 4) 操作方便，成本低，无污染。

### 2. 化学抛光

将金属零件浸入特制的化学溶液中，利用金属表面凸起部位比凹陷部位溶解速度快的现象实现零件表面的抛光称为化学抛光。

化学抛光优点是设备简单，可以处理形状比较复杂的零件。

化学抛光缺点：①抛光质量不如电解抛光；②所用溶液的调整和再生比较困难，在应用上受到限制；③操作过程中，有时使用的硝酸散发出大量黄棕色有害气体，对环境污染严重。

### 3. 电化学抛光

电化学抛光也称电解抛光，是以被抛工件为阳极，以不溶性金属为阴极，两极同时浸入到电解槽中，通以直流电而产生有选择性的阳极溶解，从而实现工件表面

抛光的工艺过程。

电化学抛光与化学抛光类似，不同点是还要通以直流电，工件接阳极，产生阳极溶解，也是利用金属表面凸起部位比凹陷部位溶解速度快的现象进行抛光的。

电解抛光的优点：①内外色泽一致，光泽持久，机械抛光无法抛到的凹陷处也可整平；②生产率高，成本低廉；③可增强工件表面耐蚀性。

### 6.10.8 滚压

滚压是一种压力光整加工工艺，是利用金属在常温状态的冷塑性特点，用滚压工具对工件表面施加一定的压力，使工件表层金属产生塑性流动，填入到原始残留的低凹波谷中，从而使得工件表面粗糙值降低。由于被滚压的表层金属塑性变形，使表层组织冷硬化和晶粒变细，形成致密的纤维状，并形成残留应力层，提高工件的强度和表面硬度，从而改善了工件的耐磨性、耐蚀性和配合性。滚压是一种无切削的塑性加工方法。

滚压的优点如下：

- 1) 提高表面粗糙度，表面粗糙度值基本能达到  $Ra \leq 0.08 \mu\text{m}$ 。
- 2) 修正圆度，圆度误差不大于  $0.01\text{mm}$ 。
- 3) 提高表面硬度。
- 4) 加工后有残留应力层，提高疲劳强度 30% 左右。
- 5) 提高配合质量，减少磨损，延长零件使用寿命。

### 6.10.9 表面胀光

表面胀光是在常温下将直径稍大于孔径的钢球或其他形状的胀光工具挤过工件已加工的内孔，以获得准确、光洁和强化的表面，如图 6-223 所示。

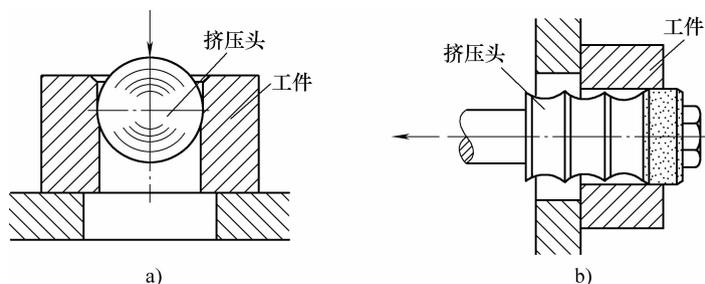


图 6-223 表面胀光

a) 钢球胀光 b) 其他形状工具胀光

胀光余量一般为  $0.07 \sim 0.015\text{mm}$ 。胀光后尺寸公差等级可达 IT5 ~ IT7，表面粗糙度值  $Ra$  可达  $0.025 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。胀光一般在压力机或拉床上进行。

## 6.10.10 喷涂

### 1. 热喷涂

热喷涂是将金属或非金属材料加热熔化，靠压缩气体连续吹喷于工件表面上，形成与基体牢固结合的涂层，使工件表层获得所需要的物理化学性能。热喷涂技术是在普通材料的表面上，制造一个特殊的工作表面，使其达到防腐、耐磨、减摩、抗高温、抗氧化、隔热、绝缘、导电、防微波辐射等一系列功能，并达到节约材料、节约能源的目的。特殊的工作表面称为涂层，把制造涂层的工作方法称为热喷涂。如图6-224所示。

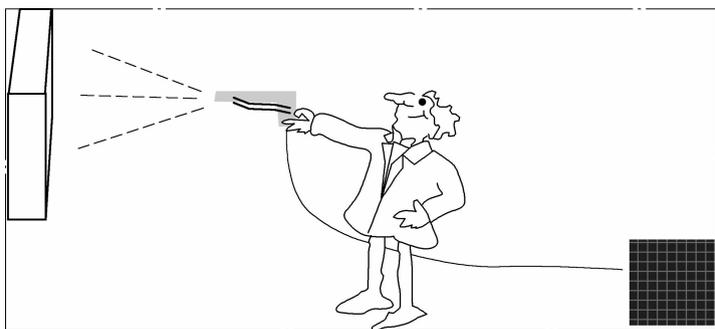


图6-224 热喷涂

热喷涂的特点如下：

(1) 工艺灵活 热喷涂施工对象可大可小，小的可到10mm内孔，大的可到桥梁、铁塔；可在室内喷涂，也可在野外现场作业；可整体喷涂，也可以局部喷涂。

(2) 工件应力变形小 喷涂时基体可保持较低的温度，工件产生的应力变形很小。

(3) 生产率高 每小时喷涂材料重量从几千克到几十千克，生产率高。

热喷涂的应用如下：

(1) 防腐蚀 主要用于大型水闸钢闸门、造纸机烘缸、煤矿井下钢结构、高压输电铁塔、电视台天线、大型钢桥梁、化工厂大罐和管道的防腐喷涂。

(2) 防磨损 通过喷涂修复已磨损的零件，或在零件易磨损部位预先喷涂上耐磨材料，如风机主轴、高炉风口、汽车曲轴、机床主轴、机床导轨、柴油机缸套、油田钻杆、农用机械刀片等。

(3) 特殊功能层 通过喷涂获得表层某些特殊性能，如耐高温、隔热、导电、绝缘、防辐射等，在航空航天和原子能等部门应用较多。

常用的热喷涂技术有火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂等。

### 2. 火焰喷涂

利用火焰为热源，将金属与非金属材料加热到熔融状态，在高速气流的推动下

形成雾流，喷射到基体上，喷射的微小熔融颗粒撞击在基体上时，产生塑性变形，成为片状叠加沉积涂层，这一过程称为火焰喷涂，如图 6-225 所示。火焰喷涂枪如图 6-226 所示。

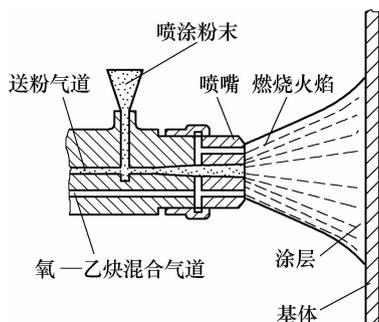


图 6-225 火焰喷涂



图 6-226 火焰喷涂枪

常用火焰喷涂方法有氧-乙炔粉末喷涂、氧-乙炔线材喷涂等。氧-乙炔粉末喷涂用的设备简便，可在现场施工，适用于设备维修。

#### (1) 火焰喷涂技术的优点

1) 一般金属、非金属基体均可喷涂，基体的形状和尺寸通常也不受限制，但小孔目前尚不能喷涂。

2) 涂层材料广泛，金属、合金、陶瓷、复合材料均可作为涂层材料，可使表面具有各种性能，如耐腐蚀、耐磨、耐高温、隔热等。

3) 涂层的多孔性组织有储油润滑及减摩性能，含有硬质相的喷涂层宏观硬度可达 450HBW，喷焊层可达 65HRC。

4) 火焰喷涂对基体影响小，基体表面受热温度为 200 ~ 250℃，整体温度为 70 ~ 80℃，故基体变形小，材料组织不发生变化。

#### (2) 火焰喷涂技术的缺点

1) 喷涂层与基体结合强度较低，不能承受交变载荷和冲击载荷。

2) 基体表面制备要求高。

3) 火焰喷涂工艺受多种条件影响，涂层质量尚无有效检测方法。

### 3. 电弧喷涂

电弧喷涂是利用燃烧于两根连续送进的金属丝之间的电弧来熔化金属，用高速气流把熔化的金属雾化，并对雾化的金属粒子加速使它们喷向工件形成涂层的技术，如图 6-227 所示。电弧喷涂是钢结构防腐、耐磨损和机械零件维修等实际应用工程中最普遍使用的一种热喷涂方法。

电弧喷涂的特点如下：

(1) 防腐寿命长 根据不同的腐蚀环境和具体的工作特点，通过合理的涂层设计，目前电弧喷涂长效防腐涂层体系自身的耐蚀寿命达 50 年以上，是热浸镀锌

的2~3倍,玻璃钢涂层的2~3倍。

(2) 与金属基体的结合力高 电弧喷涂层与基体以镶嵌和微冶金结合共同作用,涂层表现出较高的结合力,是火焰喷涂的3倍,在所有防腐涂层里结合力最高。

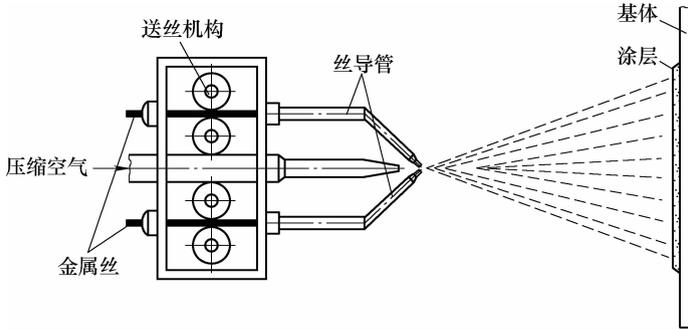


图 6-227 电弧喷涂

(3) 生产率高 同氧-乙炔火焰喷涂相比,电弧喷涂为双丝送入,单机生产率提高了3~4倍。

(4) 涂层质量好 电弧喷涂加热丝材方式为电弧加热,丝材融化温度高,融化均匀,喷涂致密,涂层质量稳定,对工件的热应力没有影响;而氧-乙炔火焰喷涂为火焰加热,丝材融化温度低,存在氧化、碳化等隐患,影响涂层质量。

(5) 可修复性强 钢结构件在加工、起吊、运输、安装过程中,涂层易被碰坏、划伤,电弧喷涂技术可以进行修复,保证了防腐体系的完整性和有效性。

(6) 普适性好 电弧喷涂技术可根据腐蚀环境不同选用相应的耐蚀材料,工艺系统具有普遍适应性。

#### 4. 等离子喷涂

等离子喷涂是利用等离子射流将喷涂材料加热到熔化或接近熔化状态,喷附在制品表面上形成保护层的方法。其设备如图6-228所示,工作原理如图6-229所示。

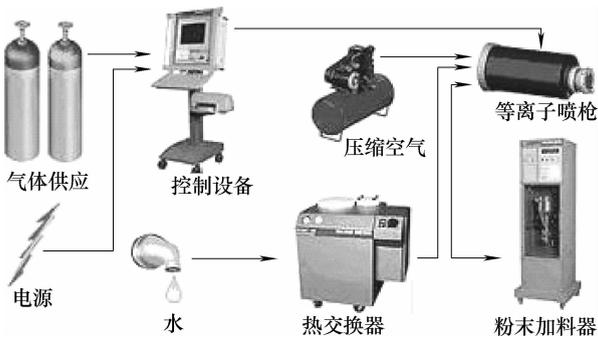


图 6-228 等离子喷涂设备

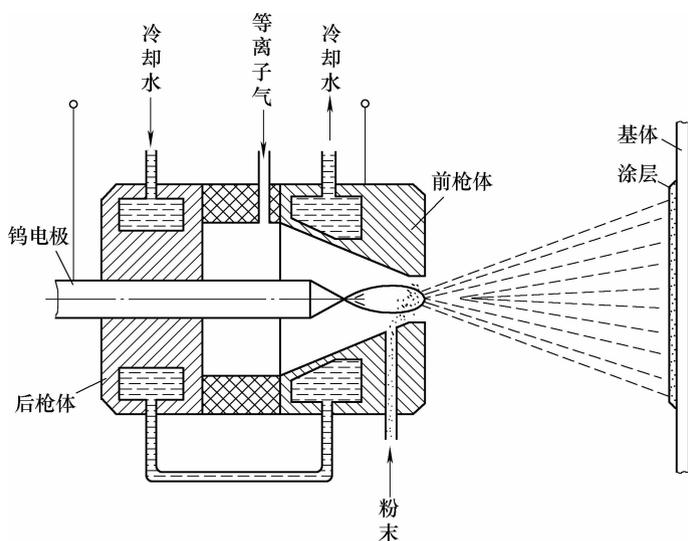


图 6-229 等离子喷涂原理

等离子喷涂技术是继火焰喷涂之后大力发展起来的一种新型多用途的精密喷涂方法，它具有如下特点：

(1) 涂层结构特点 等离子喷涂涂层组织细密，氧化物含量和孔隙率较低，涂层与基体间的结合形式除以机械结合为主外，还可产生微区结合和物理结合，涂层结合强度较高。

(2) 工艺技术特点 喷涂材料应用广泛，从低熔点的铝合金到高熔点的氧化锆都可以喷涂。涂层结合强度高，孔隙率低，氧化物夹杂少，设备控制精度高，可以制备精细涂层。

# 第 7 章 了解机械装配与调试

## 7.1 装配概述

### 7.1.1 装配的基本概念

#### 1. 概述

(1) 装配 按照规定的技术要求,将零件或部件进行配合和连接,使之成为半成品或成品的过程,称为装配。机器的装配是机器制造过程中最后一个环节,它包括装配、调整、检验和试验等工作。

(2) 零件 零件是组成机器的基本件,如图 7-1 所示。零件直接装入机器的不多,一般都预先装成套件、组件或部件才进入总装。

(3) 套件 在一个基准零件上,装上一个或若干零件就构成一个套件,如图 7-2 所示。它是最小装配单元,每个套件只有一个基准零件。为形成套件而进行的装配称为套装。



图 7-1 零件



图 7-2 套件

(4) 组件 在一个基准零件上,装上一个或若干个套件和零件就构成一个组件,如图 7-3 所示。每个组件只有一个基准零件,它连接相关零件和套件,并确定其相对位置。为形成组件而进行的装配称之为组装。

(5) 部件 在一个基准零件上,装上若干个组件、套件和零件就构成部件,如图 7-4 所示。为形成部件进行的装配称之为部装。



图 7-3 组件



图 7-4 部件

(6) 产品或机器 在一个基准零件上, 装上若干个部件、组件、套件和零件就成为机器或称产品, 如图 7-5 所示。一台机器只能有一个基准零件。为形成机器而进行的装配工作, 称之为总装。

## 2. 装配过程

装配过程是使零件、套件、组件和部件间形成一定的相互位置关系的过程, 如图 7-6 所示。

图 7-7 是一个装配过程示例。

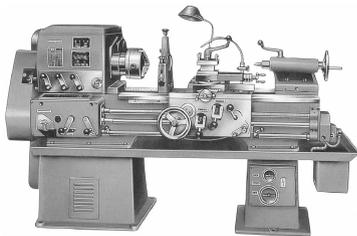


图 7-5 产品

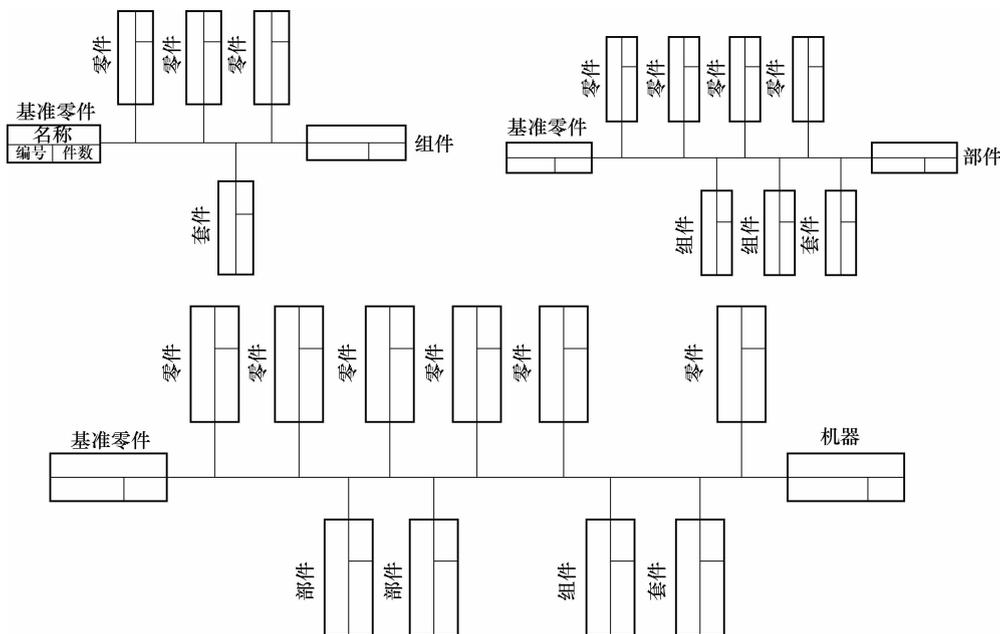


图 7-6 装配过程

### 7.1.2 装配精度

装配精度是装配工艺的质量指标。装配精度包括零件、部件间的距离精度、接触精度、配合精度、相互位置精度、相对运动精度等。保证装配精度是机械装配工作的根本任务。

#### 1. 装配精度概述

(1) 距离精度 距离精度是指保证一定的间隙、配合质量、尺寸要求等相关零件、部件的距离尺寸的准确程度。

(2) 接触精度 接触精度是指配合表面接触达到规定接触面积的大小与显点分布情况。接触精度主要影响接触刚度和配合质量的稳定性。

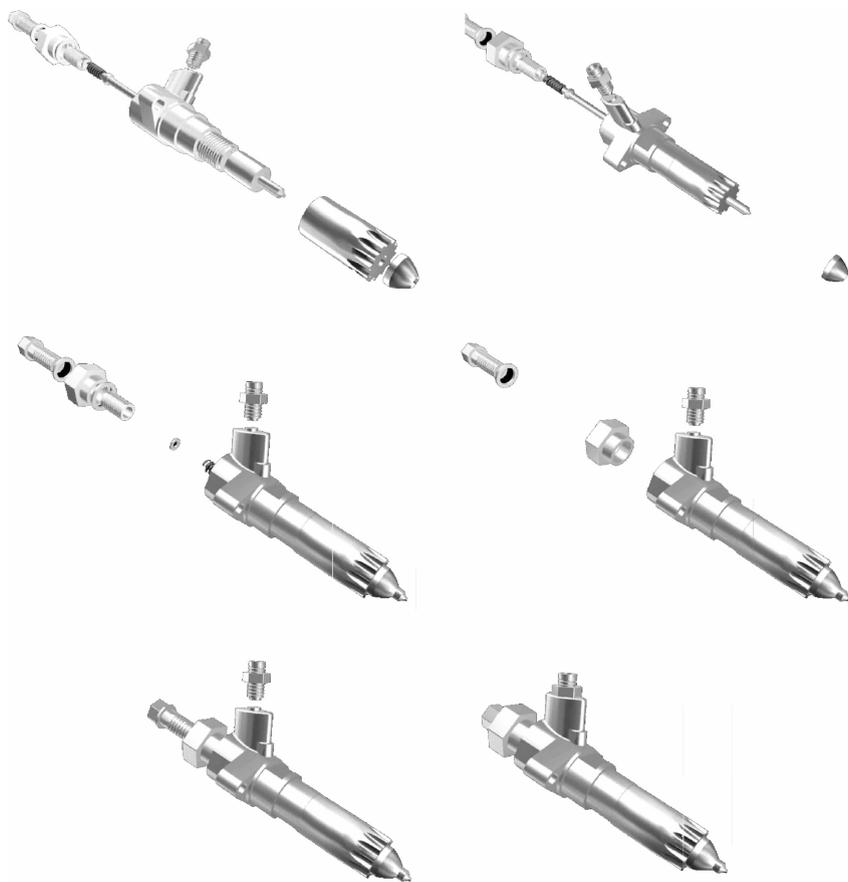


图 7-7 装配过程示例

(3) 相互配合精度 相互配合精度包括配合表面间的配合质量和接触质量。配合质量是指零件配合表面之间达到规定的配合间隙或过盈的程度，它影响配合的性质。接触质量是指两配合或连接表面间达到规定的接触面积的大小和显点分布的情况，它影响接触精度，也影响配合质量。

(4) 相互位置精度 相互位置精度包括平行度、垂直度、同轴度、跳动等，如主轴箱中各轴的平行度等。

(5) 相对运动精度 相对运动精度是指产品中有相对运动的零部件之间在运动方向或相对运动速度的精度。运动方向的精度常表现为部件间相对运动的平行度和垂直度，如机床溜板在导轨上的移动精度，即溜板移动轨迹对主轴中心线的平行度。相对运动速度的精度即传动精度，如滚齿机滚刀主轴与工作台的相对运动精度。

## 2. 保证精度装配工艺方法

(1) 完全互换装配法 只要零件各个尺寸分别按尺寸要求制造，就能做到完

全互换装配，达到“拿起零件就装，装起来保证都合格”的要求。完全互换装配法的优点是装配质量稳定可靠，装配过程简单，装配效率高，易于实现自动装配，产品维修方便；缺点是当装配精度要求较高，尤其是在组成环数较多时，组成环的制造公差规定得严，零件制造困难，加工成本高。完全互换装配法适于在成批生产、大量生产中装配那些组成环数较少或组成环数虽多但装配精度要求不高的机器结构。

(2) 不完全互换装配法 不完全互换装配法的实质是将组成环的制造公差适当放大，使零件容易加工，这会使极少数产品的装配精度超出规定要求，由于很少发生，从总的经济效果分析，仍然是可行的。与完全互换法装配相比，不完全互换装配法的优点是组成环的制造公差较大，零件制造成本低，装配过程简单，生产率高；缺点是装配后有极少数产品达不到规定的装配精度要求，须采取相应的返修措施。不完全互换装配法适于在大批量生产中装配那些装配精度要求不高且组成环数又多的机器结构。

(3) 直接选配法 在装配时，从许多待装配的零件中，直接选择合适的零件进行装配，以保证装配精度的要求。

(4) 分组装配法 当封闭环精度要求很高时，采用互换法解尺寸链，组成环公差非常小，使加工十分困难而又不经济。这时，在零件加工时，常将各组成环的公差相对完全互换法所求数值放大数倍，使其尺寸能按经济精度加工，再按实际测量尺寸将零件分为数组，按对应组进行装配，以达到装配精度的要求。由于同组内零件可以互换，故这种方法又称为分组互换法。分组装配法的优点是零件的制造精度不很高，但可获得很高的装配精度，组内零件可以互换，装配效率高；缺点是额外增加了零件测量、分组和存储的工作量。分组装配法适于在大批量生产中装配那些组成环数少而装配精度又要求特别高的机器结构。

(5) 复合选配法 复合选配法是分组装配法与直接选配法的复合，即零件加工后先测量分组，装配时，在对应组内选配。

(6) 单件修配法 单件修配法是在多环装配尺寸链中，选定某一固定的零件作为修配件（补偿环），装配时用去除金属层的方法改变其尺寸，以满足装配精度的要求。这种修配方法生产中应用最广。

(7) 合并加工修配法 这种方法是将两个或更多的零件合并在一起再进行加工修配，合并后的尺寸可看作为一个组成环，这样就减少了装配尺寸链组成环的数目，并可以相应减少修配的劳动量。合并加工修配法由于零件合并后再加工和装配，给组织装配生产带来很多不便，因此这种方法多用于单件小批生产中。

(8) 自身加工修配法 在机床制造中，有些装配精度要求较高，又没有合适的修配件可选，则在总装时，可以利用机床本身来加工自己的某些部位，保证机床的装配精度，这种方法称为自身加工修配法。例如，在牛头刨床总装后，用自创的方法加工工作台面，就比较容易保证滑枕运动方向与工作台面平行度的要求。自身加

工修配法的优点是组成环均能以加工经济精度制造，并且可获得较高的装配精度；缺点是增加了修配工作量，生产率低，对装配工人技术水平要求高。这种方法适用于单件小批生产中装配那些组成环数较多而装配精度又要求较高的机器结构。

(9) 可动调整装配法 可动调整装配法的优点是组成环的制造精度虽不高，但可获得比较高的装配精度；缺点是需增加一套调整机构，增加了结构复杂程度。可动调整装配法在生产中应用很广。在机器使用中可随时通过调节调整件的相对位置来补偿由于磨损、热变形等原因引起的误差，使之回复到原来的装配精度，操作简便，易于实现。可动调整法应用实例如图 7-8 所示，转动调节螺钉使楔块上移，使两侧螺母分别与丝杠的螺纹两侧紧贴以消除间隙。

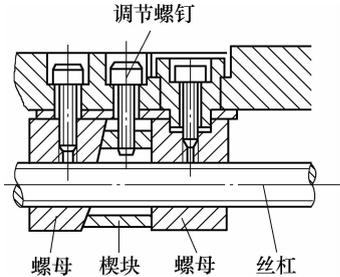


图 7-8 可动调整法

(10) 固定调整法 在以装配精度要求为封闭环建立的装配尺寸链中，组成环均按加工经济精度制造，由于扩大组成环制造公差带来的封闭环尺寸变动范围超差，可通过更换不同尺寸的固定调整环进行补偿，最终达到装配精度要求。这种装配方法称为固定调整装配方法，适于在大批量生产中装配那些装配精度要求较高的机器结构。在产量大、装配精度要求较高的场合，调整件还可以采用多件拼合的方式组成。这种装配方法比较灵活，它在汽车、拖拉机生产中广泛应用。

(11) 误差抵消调整法 在机器装配中，通过调整被装零件的相对位置，使误差相互抵消，可以提高装配精度。这种装配方法称为误差抵消调整法。误差抵消调整法的优点是组成环均能以加工经济精度制造，但可获得较高的装配精度；装配效率比修配装配法高。误差抵消调整法应用实例如图 7-9 所示。从图 7-9 中可看出，将套筒 2 的中心孔的中心下移可进行误差抵消。

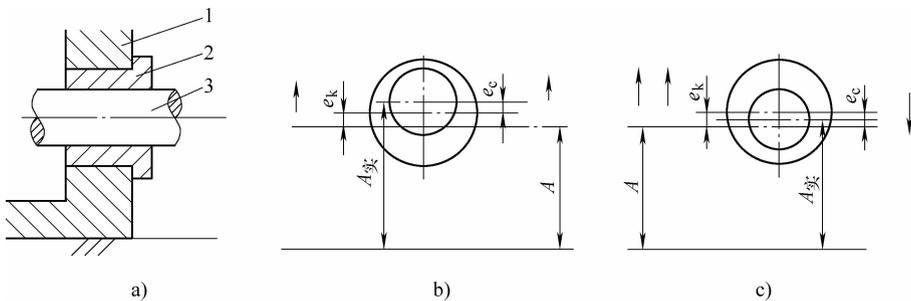


图 7-9 误差抵消调整法应用实例

a) 装配结构示意图 b) 误差叠加 c) 误差抵消  
1—箱体 2—套筒 3—轴

### 7.1.3 装配的组织形式

装配的组织形式随着生产类型和产品复杂程度不同而不同，一般分为固定式装配和移动式装配两种。

#### 1. 固定式装配

固定式装配是将产品或部件的全部装配工作，安排在固定的工作地点进行。在装配过程中产品的位置不变，装配所需要的零件和部件都汇集在工作地附近，主要应用于单件生产或小批量生产中。

#### 2. 移动式装配

移动式装配是指在装配过程中，部件或组件有顺序地由一个工人转移到另一个工人。这种转移可以是装配对象的移动，也可以是工人自身的移动。通常把这种装配组织形式称为流水装配法。移动式装配时，常利用传送带、滚道或轨道上行走的小车来运送装配对象。每个工作地点重复地完成固定的工作内容，并且广泛地使用专用设备和专用工具。因此，装配质量好，生产率高，生产成本低。移动式装配适用于大批量生产，如汽车、拖拉机的装配。

## 7.2 装配工作的主要内容

### 7.2.1 清洗

(1) 目的 去除粘附在零件上的灰尘、切屑和油污，并使零件具有一定的防锈能力。清洗对轴承、配偶件、密封件、传动件等特别重要。

(2) 方法 清洗的方法有擦、浸、喷、超声波振动等。

(3) 清洗液 常用的清洗液有煤油、汽油、碱液和化学清洗液等。

### 7.2.2 连接

连接方法有固定连接和活动连接两种。固定连接能保证装配好后的相配零件间相互位置不变；活动连接能保证装配好后相配零件间有一定的相对运动。在固定连接和活动连接中，又根据它们能否拆卸的情况不同，分为可拆卸连接和不可拆卸连接两种。所谓可拆卸连接是指这类连接不损坏任何零件，拆卸后还能重新装在一起。常见的连接方法及其实现方式如表 7-1 所示。

表 7-1 常见的连接方法及其实现方式

连接方法	连接方法分类	实现方式
固定连接	固定不可拆卸连接	焊接、铆接、胀接、过盈配合、铸造连接、粘结剂粘接、塑性材料的压制等
	固定可拆卸连接	螺纹连接、键连接、销连接等

(续)

连接方法	连接方法分类	实现方式
活动连接	活动可拆卸连接	可由圆柱面、圆锥面、球面和螺纹面等的间隙配合,以及其他各种方法来达到
	活动不可拆卸连接	这种连接用得较少,如滚珠和滚柱轴承、油封等

### 7.2.3 矫正、调整和配作

#### 1. 矫正

矫正是指对各零件间相互位置的找正、找平及相应的调整,装配中的调整法、修配法就包含矫正的内容。当零件是互换的或由装配夹具保证精度的就无需矫正。大型动力机械设备中矫正工作运用较多。以联轴器为例,其连接的旋转件有两类:

(1) 刚性形 经矫正后的中心线基本上成一直线。

(2) 挠性形 轴颈处有一定的倾斜度,矫正后的中心线不是直线。应在装配时按轴承负荷分配、工作介质作用力等因素决定其装配倾斜度。

#### 2. 调整

调整是指相关零件、部件间相互位置的调节工作。

#### 3. 配作

配作是指几个零件配钻、配铰、配刮和配磨等,是装配中间附加的一些钳工和机械加工工作。配钻和配铰要在矫正、调整后进行。配刮和配磨的目的是为增加相配表面的接触面积,并提高接触刚度。

### 7.2.4 平衡

机械转子由于制造上的原因存在着加工尺寸或浇铸砂眼的不对称分布,或材料内部密度不均匀等导致质量的不均匀分布,即相对于它自己的转动轴线产生了不平衡,当在高速转动时,即使不平衡质量不大,也会产生巨大的不平衡离心力,而使轴承受动力载荷,使机器产生振动,当其大小超过许用值时,甚至会破坏机器。因此,燃气轮机、蒸汽轮机机械转子(回转式、离心式压缩机等)或某些高速活塞式机器的曲轴,必须进行静平衡和动平衡。

(1) 静平衡 平行台(架)是最简单、最常用的静平衡设备,它是由固定在底座上的两根棱柱形水平导轨组成的。常用的平行台导轨截面如图7-10所示。

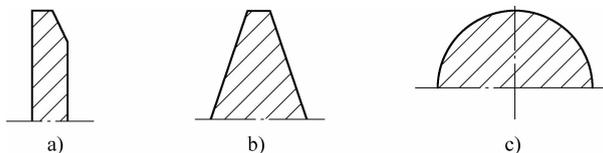


图7-10 平行台导轨截面的形状

a) 平刀形 b) 梯形 c) 圆柱形

(2) 动平衡 动平衡的设备可分为平衡台(见图 7-11)和平衡机(见图 7-12)两大类。制造厂多用平衡机;使用厂和小批生产的制造厂由于条件限制,一般多用平衡台。平衡机可分为摆式平衡机、框架式平衡机、电子平衡机等。



图 7-11 平衡台



图 7-12 平衡机

## 7.3 连接件装配

### 7.3.1 键连接装配

键连接主要用于轴和轴上的回转零件之间的周向固定并传递转矩。例如,轴上装有的齿轮、带轮、联轴器或其他零件都是通过键来传递转矩的。键连接具有结构简单、工作可靠、装拆方便等优点,因此在机器传动机构中应用很广。键连接有松键连接、紧键连接和花键连接等形式。

#### 1. 松键连接

松键连接所用的平键和半圆键均是标准件。普通平键及半圆键多用于静连接,如图 7-13 所示;而导向平键和滑键用于动连接,如图 7-14 所示。

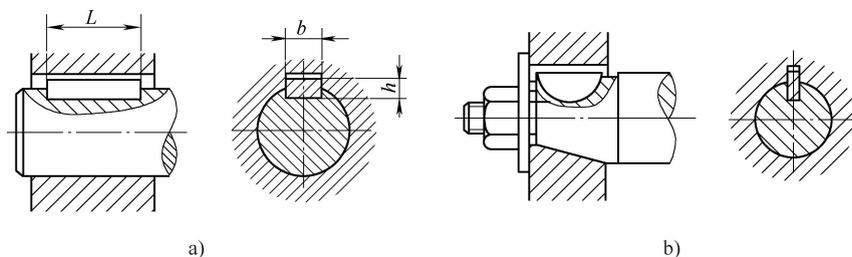


图 7-13 普通平键及半圆键

a) 普通平键 b) 半圆键

松键连接的装配要点如下:

- 1) 清理键及键槽的飞边,并检验键的精度。
- 2) 装配前要修配键与键槽并进行检验。不论是普通平键,还是半圆键,都应

紧嵌在轴槽中；对圆头平键，还应锉削键的长度，并使键头与轴槽有 0.1mm 左右的间隙。

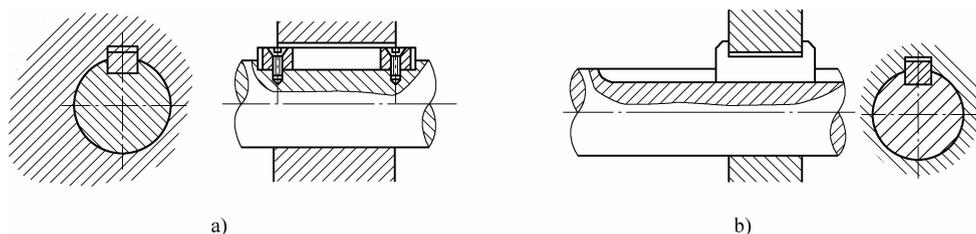


图 7-14 导向平键和滑键

a) 导向平键 b) 滑键

3) 装配时先清洗键与键槽，并在配合面上加油，再用铜棒或带软垫的台虎钳将键压入到键槽中；对于导向平键，还须用螺钉固定在轴槽中。

## 2. 紧键连接

紧键连接的常用形式有楔键连接和切向键连接两种，它们的工作面都是上、下两面，工作时依靠摩擦力和挤压力来传递转矩。

(1) 楔键 楔键连接分为普通楔键和钩头楔键两种，如图 7-15 所示。键的上下两面是工作面，键的上表面和轮毂槽的底面各有 1:100 的斜度，键侧与键槽有一定的微量间隙。装配时需打入，靠过盈作用传递转矩。紧键连接还能轴向固定零件和传递单方向轴向力，但易使轴上零件与轴的配合产生偏心和歪斜，多用于对中性要求不高、转速较低的场合。钩头楔键固定连接装配形式，楔键的楔角较小有很好的自锁条件，打入后有较好的自锁性，常用于不需要经常拆卸的场合。

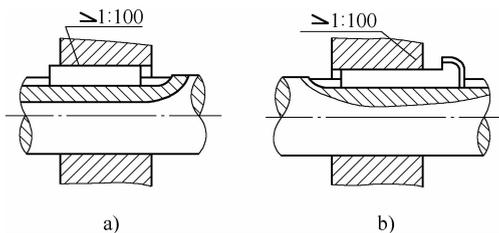


图 7-15 楔键

a) 普通楔键 b) 钩头楔键

(2) 切向键 切向键的上、下两面均为工作面，如图 7-16 所示。装配时要用涂色法检查切向键与键槽及键与键之间的接触情况，并用锉及刮刀修整键槽，且注意在锉（或刮）削修整时须保证一个工作面处于包含轴心线的平面内；接下来可装上切向键，并使两楔键以其斜面互相贴合，以共同楔紧在轴毂之间，此外在键侧和键槽之间还应留有一定的间隙。

紧键连接的装配要点如下：

1) 键的斜度要与轮毂槽的斜度一致（装配时应用涂色检查斜面接触情况），否则套件会发生歪斜。

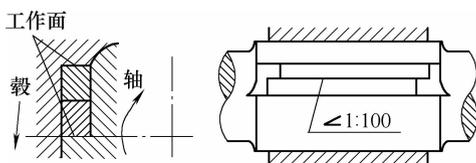


图 7-16 切向键

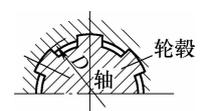
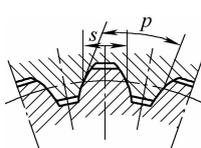
2) 键的上、下工作表面与轴槽、轮槽的底部应贴紧,而两侧面要留有一定间隙。

3) 对于钩头楔键,不能使钩头紧贴套件的端面,必须留出一定的距离,以便拆卸。

### 3. 花键连接

若按工作方式分,花键连接有静连接和动连接两种类型;若按齿形分,花键有矩形、渐开线及三角形三种类型;若按定心方式分,花键有小径定心、大径定心、齿形定心三种,如表 7-2 所示。

表 7-2 花键的定心方式

定心方式	图 示	特点及用途
小径定心		小径定心是矩形花键连接最精密的方法,定心精度高。多用于机床行业
大径定心		大径定心的矩形花键连接加工方便,定心精度较高,可用于汽车、拖拉机和机床等行业
齿形定心		齿形定心方式用于渐开线花键。在受载情况下能自动定心,可使多数齿同时接触。有平齿根和圆齿根两种,圆齿根有利于降低齿根的应力集中。适用于载荷较大的汽车、拖拉机变速器轴等

花键连接按工作方式不同,可分为静连接和动连接两种。其装配要点如下:

1) 静连接花键装配时,内花键与花键轴允许有少量过盈,装配时可用铜棒轻轻敲入,但不得过紧,否则会拉伤配合表面。过盈较大的配合,可将套件加热至 80~120℃ 后进行装配。

2) 动连接花键装配时,内花键在花键轴上应滑动自如,没有阻滞现象,但不能过松,应保证精确的间隙配合。

3) 花键修整时,拉削后热处理的内花键可用花键推刀修整,以消除因热处理产生的微量缩小变形;也可以用涂色法修整,以达技术要求。

4) 花键副的检验时,装配后的花键副应检查花键轴与被连接零件的同轴度或垂直度要求。

### 7.3.2 销连接装配

销连接就是用销钉把被连接件连接成一体,且使它们相互间不能移动和转动。

常用销钉如图 7-17 所示。销连接按销钉的不同分为圆锥销连接和圆柱销连接两种。

### 1. 圆柱销连接

圆柱销用于固定零件、传递动力和定位等，如图 7-18 所示。图 7-18a 所示为用于防止零件轴向方向的移动定位；图 7-18b 所示为两配合件骑缝定位连接，防止配合件径向方向转动的定位。

圆柱销连接装配要点如下：

1) 圆柱销与销孔的配合全靠少量的过盈，以保证连接或定位的紧固性和准确性，故一经拆卸失去过盈就必须调换。

2) 圆柱销装配时，为保证两销孔的中心重合，一般都应将两销孔同时进行钻铰，其表面粗糙度值  $Ra$  要求为  $1.6\mu\text{m}$  或更小。

3) 装配时在销钉上涂油，用铜棒垫在销钉端面上，把销钉打入孔中；也可用 C 形夹头把销钉压入孔内（见图 7-19），压入法销钉不会变形，工件不会移动。

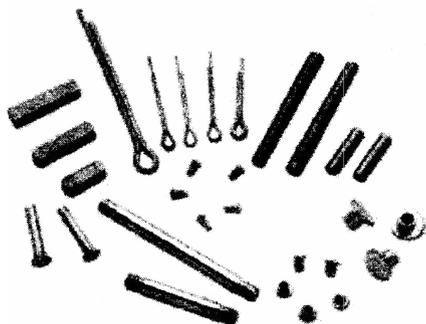


图 7-17 常用销钉

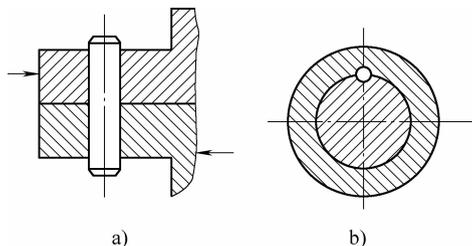


图 7-18 圆柱销

a) 移动定位 b) 转动定位

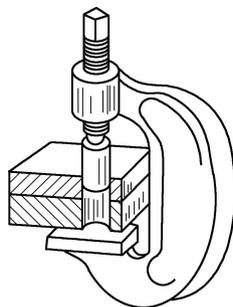


图 7-19 C 形夹头装配销钉

### 2. 圆锥销连接

圆锥销具有 1:50 的锥度，如图 7-20 所示。圆锥销以小端直径和长度表示其规格。圆锥销连接定位准确，装拆方便，在横向力作用下可保证自锁，一般多用作定位，常用于要求经常装拆的场合。

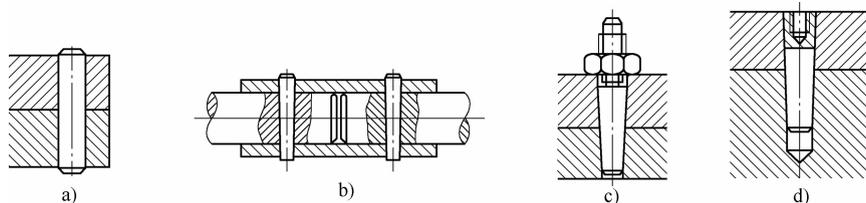


图 7-20 圆锥销

a) 普通件圆锥销 b) 旋转轴圆锥销 c) 带螺纹头圆锥销 d) 带内螺纹圆锥销

圆锥销连接装配要点如下：

1) 当使用圆锥销连接装配时，应注意圆锥销与锥孔的配合质量。锥孔铰好后必须用所配圆锥销进行涂色检查，锥销与锥孔的接触斑点不得少于 85%。

2) 装配时，被连接或定位的两销孔也应同时钻铰，但必须控制好孔径大小。一般用试装法测定，即能用手将圆锥销塞入孔内 80% 左右为宜，如图 7-21 所示。

3) 销钉的装配时用铜锤打入（见图 7-22），圆锥销的大端可稍露出或平于被连接件表面。圆锥销的小端应平于或缩进被连接件表面。

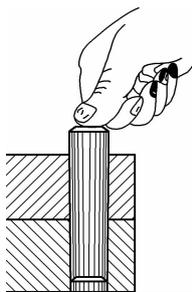


图 7-21 试装圆锥销方法

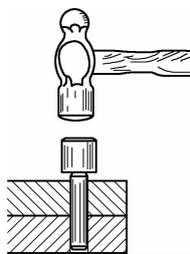


图 7-22 圆锥销的装配

### 7.3.3 过盈连接装配

过盈连接是通过两个被连接件本身的过盈配合来实现，具有结构简单、对中性好、承载力强等优点，但存在装配困难及对配合尺寸精度要求高等缺点。装配后的实际过盈量应保证两个零件的位置正确及连接可靠且不使零件遭到损伤、甚至破坏。常用的配合方法有压入法、热胀法、冷缩法和液压法。

#### 1. 压入法

压入法又分为锤击压入和压力机压入两种情况。前一种方法操作简单，但是导向性差，压入时易歪斜，适用于小批生产中配合精度要求较低及配合长度较短的连接；后一种方法常用于过盈量较小的过盈配合连接，且导向性较好。压入法常用工具及设备如图 7-23 所示。

#### 2. 热胀法

热胀法俗称红套，常用于有较大过盈量的过盈连接件的装配。进行装配前，要求先将孔类零件加热，并使其直径增大，然后将轴装入孔中，待其冷却后即成为一个牢固的结合件。

#### 3. 冷缩法

冷缩法是指将轴等被包容零件进行低温冷却且使之缩小，然后装入孔等包容零件中进行装配的方法。对于过盈量较小的小型连接件和薄壁衬套等，可采用干冰冷缩；而对发动机连杆、衬套等过盈量较大的连接件，可采用液氮冷缩。

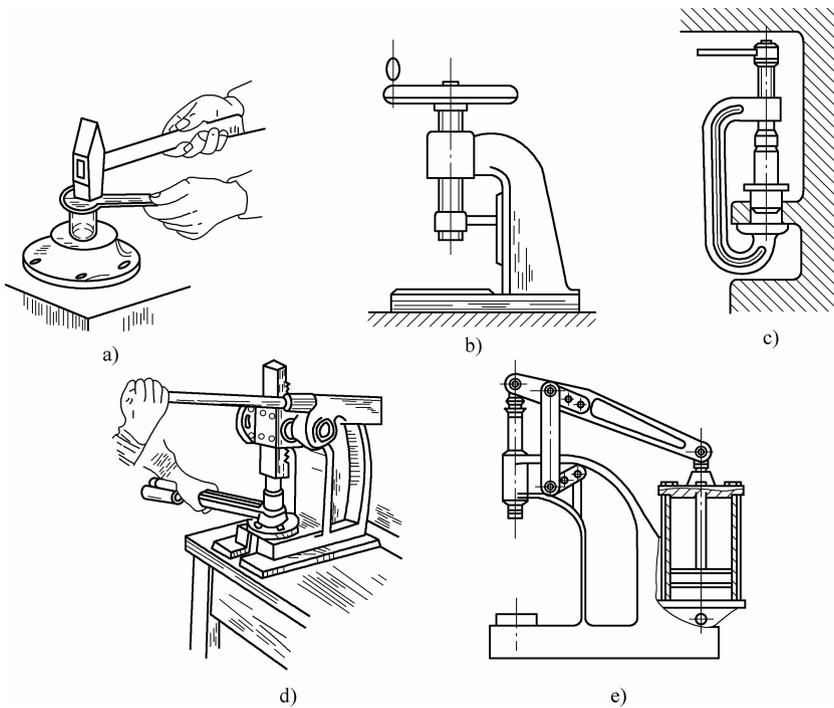


图 7-23 压入法

- a) 锤击压入法 b) 螺旋压力机 c) 专用螺旋 C 形夹头 d) 齿条压力机  
e) 气动杠杆压力机

#### 4. 液压法

液压法即把高压油压入相互连接的配合表面间，借以胀大包容件、同时压入被包容件，另外加以不大的轴向力把两连接件推到预定的位置；然后再放出高压油，两件即形成过盈连接，如图 7-24 所示。当需要拆卸时，把高压油压入，两连接件即可分离。

### 7.3.4 螺纹连接装配

#### 1. 螺纹连接的类型

螺纹连接是利用螺纹零件构成的可拆卸的连接，具有结构简单、连接可靠、夹紧力大、自锁性好、装拆方便等特点，在机械中应用非常普遍。其主要类型如表 7-3 所示，所用螺纹紧固件大部分为标准件。

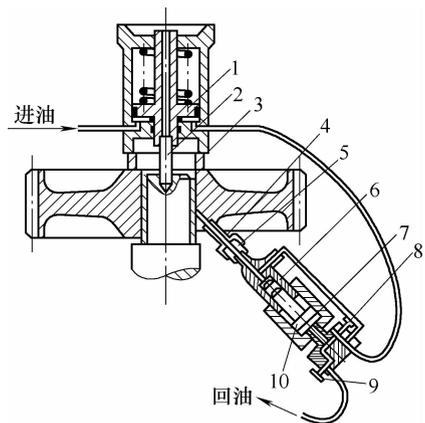


图 7-24 液压法所用液压套合装置

- 1—压力机活塞 2—拉紧螺钉 3—垫圈 4—接头  
5—高压单向阀 6—高压腔 7—低压腔 8—进油截止阀 9—回油截止阀 10—活塞

表 7-3 螺纹连接的类型

名 称	特 点
半圆头螺钉连接	多为小尺寸螺钉,螺钉头上有一字形或十字形槽,便于用旋具装卸。适用受力不大及一些轻小零件的连接。一般不用螺母,直接用螺钉拧入工件螺纹孔中。这类螺钉还有半沉头螺钉
圆柱头螺钉连接	
沉头螺钉连接	
小六角头铰制孔用螺栓连接	螺栓杆部与工件通孔配合良好,起紧固与定位作用,能承受侧向力,一般用于不必打销钉而又有定位要求的连接
双头螺栓连接	装配时一端拧入固定零件的螺纹孔中,再把被连接件用螺母夹紧。这种连接适用于被连接件的厚度较大或经常需要拆卸的地方
六角头螺栓连接	使用时不需螺母,通过零件的孔,拧入另一零件的螺纹孔中。使用于不经常拆卸的地方。螺钉头还有小六角、内六角和方形等

注:螺钉头类型较多,如:T形螺钉、地脚螺钉和不同端部形式与头部形式的紧定螺钉等。

## 2. 螺纹连接的预紧力

螺纹连接在拧紧螺纹副时要有一定的预紧力(预紧力矩),保证螺纹配合具有一定的摩擦力矩,以达到紧固可靠目的。如果预紧力矩过大,会引起螺栓或螺杆拉长使螺纹变形,降低了紧固强度和紧固件的使用寿命;若预紧力矩过小,螺纹配合摩擦力矩小,易受机械振动和其他原因出现松动的现象,使机器无法正常工作。预紧力的控制方法有力矩控制法、力矩-转角控制法和控制螺栓伸长法。

(1) 力矩控制法 力矩控制法常用的工具如下:

1) 利用专门的装配工具控制螺纹的预紧力。在生产线上使用的控制预紧力的工具有:定矩扳手、电动和气动扳手等,它根据产品的要求能在规定的力矩下快速紧固工件。单件或小批量生产中,用测力扳手来控制旋紧力矩的大小。测力扳手如图 7-25 所示。

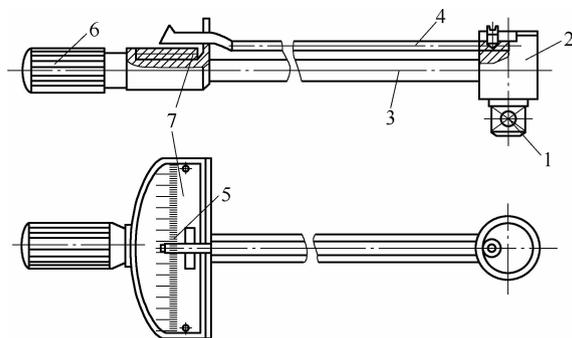


图 7-25 测力扳手

1—钢球 2—柱体 3—弹性杆 4—长指针 5—指针尖  
6—手柄 7—刻度板

2) 六角头螺栓、六角形螺母和内六角圆柱头螺钉等使用的扳手如图 7-26 ~ 图 7-29 所示。

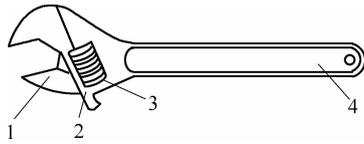


图 7-26 活扳手

1—活动钳口 2—固定钳口 3—螺杆 4—扳手柄

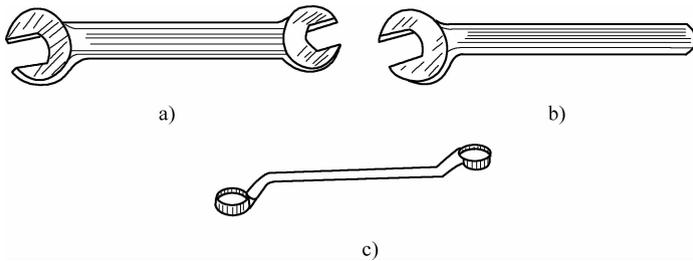


图 7-27 呆扳手

a) 双头呆扳手 b) 单头呆扳手 c) 梅花扳手

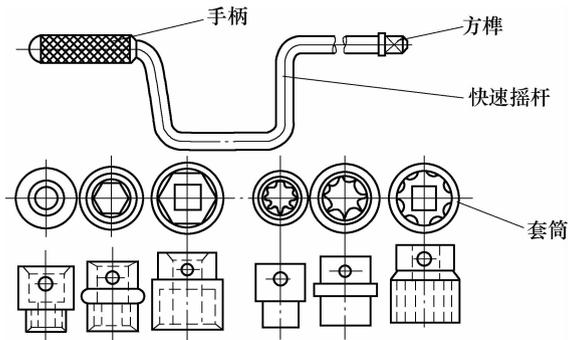


图 7-28 成套规筒扳手

3) 锁紧扳手是专门用于锁紧各种圆螺母的扳手，如图 7-30 所示。

4) 销紧圆螺母端面扳手如图 7-31 所示。

(2) 力矩-转角控制法 先将螺母拧至一定起始力矩(消除结合面间隙)，再将螺母转过一固定角度后，扳手停转。由于起始拧紧力矩值小，摩擦因数对其影响也较小，因此，拧紧力矩值的精度较高。但在拧紧时必须计量力矩和转角两个参数，而且参数需事先进行试验和分析确定。

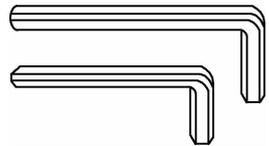


图 7-29 内六角扳手

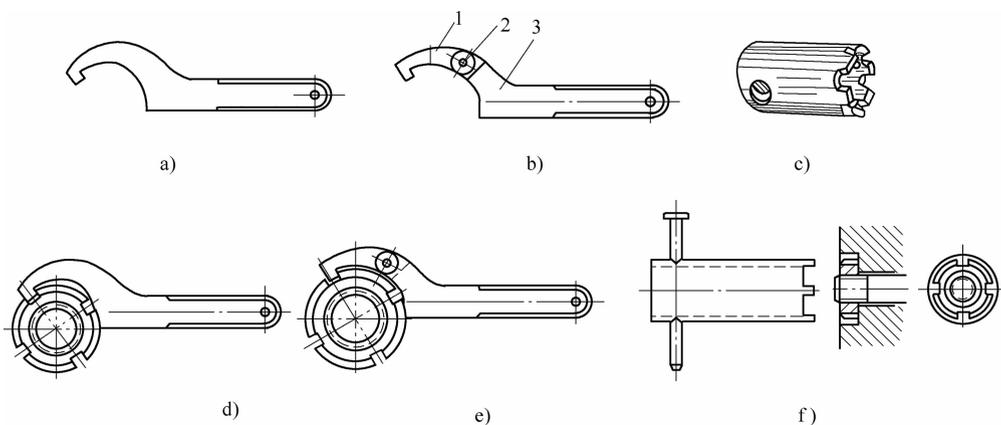


图 7-30 锁紧圆螺母用扳手

- a) 钩形扳手 b) 调节式钩形扳手 c) 套式圆螺母扳手  
 d) 钩形扳手使用方法 e) 调节式钩形扳手使用方法 f) 套式圆螺母扳手使用方法  
 1—钩头 2—小轴 3—手柄

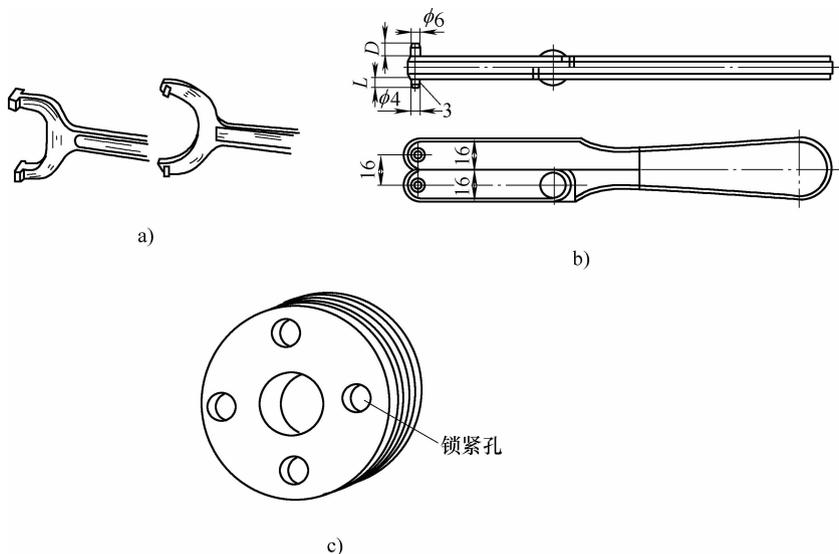


图 7-31 锁紧圆螺母端面扳手

- a) 固定式叉形扳手 b) 双销叉形扳手 c) 圆螺母

(3) 液压拉伸法 液压拉伸法示例如图 7-32 所示。螺母拧紧前，螺栓的原始长度为  $L_1$ ，按规定的拧紧力矩拧紧后，螺栓的长度为  $L_2$ ，测定  $L_1$  和  $L_2$ 。根据螺栓的伸长量，可以确定拧紧力矩是否准确。

### 3. 螺纹连接的装配要求

- 1) 螺栓不应有歪斜或弯曲现象，螺母应与被连接件接触良好。

2) 被连接件平面要有一定的紧固力, 受力均匀, 连接牢固。

3) 拧紧力矩或预紧力的大小要根据装配要求确定。一般紧固螺纹连接无预紧力要求, 可由装配者按经验控制。一般预紧力要求不严格的紧固螺纹拧紧力矩值可参照表 7-4, 也可按下式计算出拧紧力矩:

$$M_t = KF_0 d \times 10^3$$

式中  $M_t$ ——拧紧力矩 (N·m);

$d$ ——螺纹公称直径 (mm);

$K$ ——拧紧力系数, 有润滑时取  $K = 0.13 \sim 0.15$ ,  
无润滑时取  $K = 0.18 \sim 0.21$ ;

$F_0$ ——预紧力 (N)。

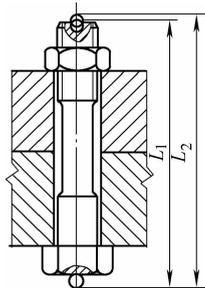


图 7-32 测量螺栓伸长量

表 7-4 一般螺纹拧紧力矩

螺纹直径 $d/\text{mm}$	螺纹强度级别				螺纹直径 $d/\text{mm}$	螺纹强度级别			
	4.6	5.6	6.8	10.9		4.6	5.6	6.8	10.9
	许用拧紧力矩/N·m					许用拧紧力矩/N·m			
6	3.5	4.6	5.2	11.6	22	190	256	290	640
8	8.4	11.2	12.6	28.1	24	240	325	366	810
10	16.7	22.3	25	56	27	360	480	540	1190
12	29	39	44	97	30	480	650	730	1620
14	46	62	70	150	36	850	1130	1270	2820
16	72	96	109	240	42	1350	1810	2030	4520
18	110	133	149	330	48	2030	2710	3050	6770
20	140	188	212	470					

4) 在多点螺纹连接中, 应根据被连接件形状、螺栓的分布情况, 按一定顺序逐次 (一般 2~3 次) 拧紧螺母, 如图 7-33 所示。如有定位销, 拧紧要从定位销附近开始。

#### 4. 螺纹连接的防松装置

螺纹连接一般都有自锁性, 在受静载荷和工作温度变化不大时, 不会自行松脱。但在受冲击、振动及可变载荷的作用下或工作温度变化很大时, 为了保证连接可靠, 防止松动, 在连接的机构中应采取有效的防松措施。按其工作原理的不同, 可分为利用附加摩擦力防松和用机械方法防松两大类。

(1) 附加摩擦力防松装置 附加摩擦力防松装置主要有双头螺杆紧固防松和螺母防松装置 (见图 7-34) 和弹簧垫圈防松装置 (见图 7-35)。

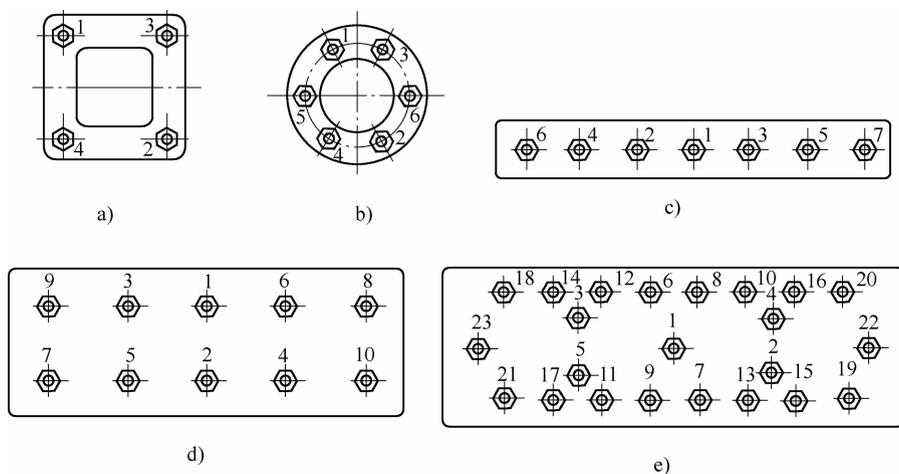


图 7-33 螺栓或螺母的紧固顺序

a) 方框型 b) 圆环型 c) 直线单排型 d) 平行双排型 e) 多孔型

注：图中数字为拧紧顺序号。

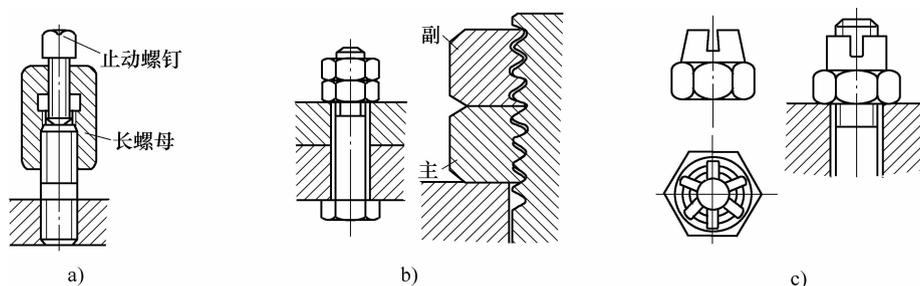


图 7-34 螺杆紧固和螺母防松装置

a) 双头螺杆紧固防松 b) 双螺母防松 c) 自锁螺母防松

(2) 机械法防松装置 机械法防松装置主要有止动垫圈防松装置（见图 7-36）、开口销防松装置（见图 7-37）和螺栓钢丝串联防松装置（见图 7-38）。

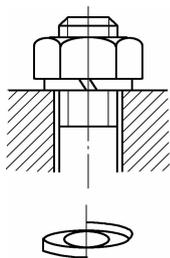


图 7-35 弹簧垫圈防松装置



图 7-36 止动垫圈防松装置

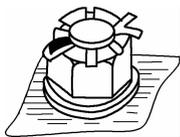


图 7-37 开口销防松装置

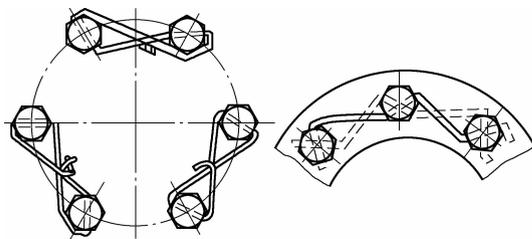


图 7-38 螺栓钢丝串联防松装置

(3) 其他方法防松 其他方法防松还有破坏螺纹副的不可拆防松，如图 7-39 所示。

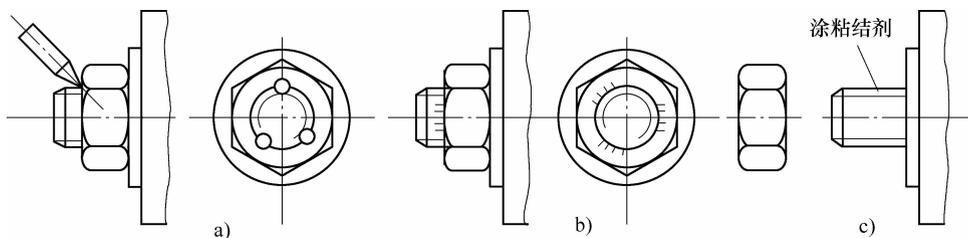


图 7-39 其他方法防松  
a) 冲点 b) 焊接 c) 粘结

## 7.4 传动件装配

### 7.4.1 带传动机构装配

#### 1. 带传动的类型及特点

带传动是通过传动带与带轮之间的摩擦力来传递运动和动力的，具有工作平稳、噪声小、结构简单、制造容易，以及过载打滑起到安全保险作用的特点。带传动有多种类型，按带的断面形状可分为 V 带传动、平带传动及齿形带（同步带）传动三种，如图 7-40 所示。

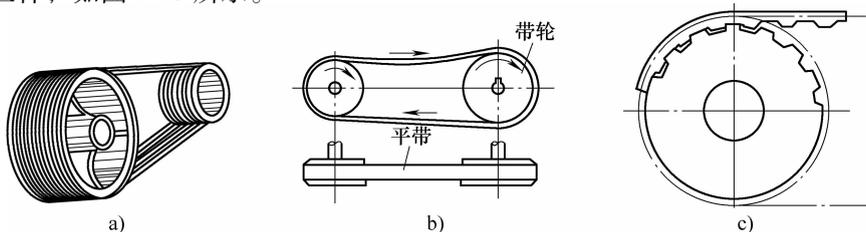


图 7-40 带传动的类型  
a) V 带 b) 平带 c) 齿形带

## 2. 带轮的装配

带轮装夹方式有多种，固定的方式也有所不同，如图 7-41 所示。

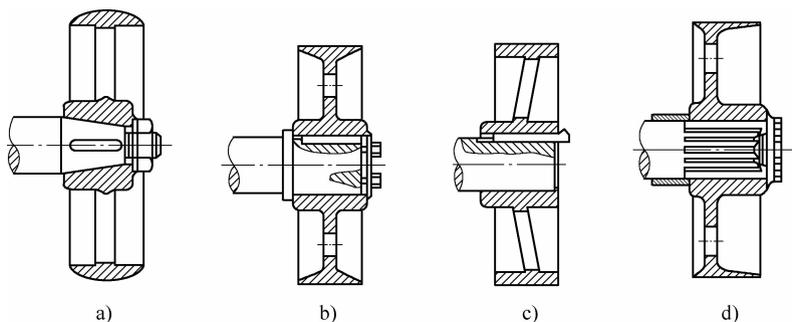


图 7-41 带轮固定方式

a) 带轮圆锥固定 b) 带轮端盖压紧固定 c) 带轮楔键固定 d) 带轮花键固定

(1) 带轮圆锥固定 带轮装夹在圆锥形轴头上，如图 7-41a 所示。带轮锥孔与锥轴配合传递力矩大，有较好的定心作用。

(2) 带轮端盖压紧固定 带轮装夹在圆柱轴头上，如图 7-41b 所示。结构上利用轴肩和垫圈固定。带轮圆柱孔与轴颈配合应有一定的过盈量，装配时应注意带轮与轴颈配合不宜过松，装配后轴头端面不应露出带轮端面，否则传递力矩都作用在平键上，将降低了带轮和传动轴的使用寿命。

(3) 带轮楔键固定 带轮用楔键固定在圆柱轴头上，如图 7-41c 所示。利用楔键斜面进行固定的机构装配时，楔键与轮槽底面接触精度必须达到 75% 以上，否则带轮传动时的振动容易使楔键滑出造成安全事故。

(4) 带轮花键固定 带轮装夹在花键轴头上，如图 7-41d 所示。带轮与花键轴头配合的特点是定位精度高，传递力矩大，装拆方便。花键装配如遇到配合过盈量较大时，可用无刃拉刀或用砂布修正，不宜用手工修锉花键，以免损坏花键的定位精度。

## 3. 带的装配

(1) V 带的装配 V 带的装配有以下要点：

1) 带装配时先将中心距缩小，待带套入带轮后再逐步调整带的松紧。带的松紧程度调整如图 7-42 所示。调节时，用拇指压下带时手感应有一定的张力，压下 10~15mm 后手感明显有重感，手松后能立即复原为宜。由于使用 V 带的型号和带轮直径不同，带的张紧程度也有所不同，V 带的初拉力如表 7-5 所示。

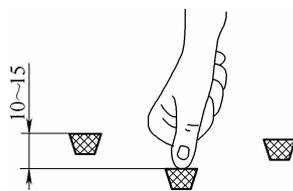


图 7-42 带装夹调整

表 7-5 V 带的初拉力

型 号	Z		A		B		C		D		E	
	68 ~ 80	≥90	90 ~ 112	≥120	125 ~ 150	≥180	200 ~ 224	≥250	315	≥355	500	≥560
初拉力 $F_0/N$	55	70	100	120	165	210	275	350	580	700	850	1050

V 带张紧力也可用衡器（俗称弹簧秤）测量，如图 7-43 所示。图中  $y$  为带的下垂度（mm）， $Q$  为作用力（N），它们之间的近似关系：

$$y = QL / (2F_0)$$

式中  $L$ ——测定点的距离（mm）；

$F_0$ ——带的初拉力（N）。

2) 对于带传动系统，常采用张紧轮机构调整机构带的张紧力。张紧轮装夹方法如图 7-44 所示。V 带的张紧轮的轮槽与 V 带的工作面接触，张紧轮装夹在带的非受力一侧方向，调整张力使带的摩擦力增加。

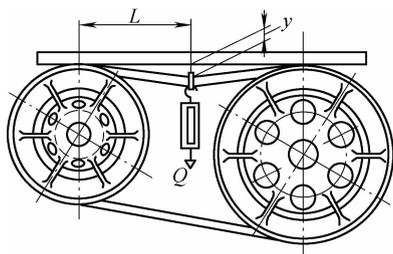


图 7-43 带张紧力衡器测量法

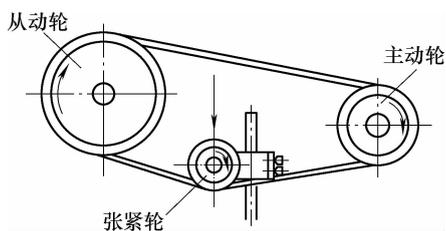


图 7-44 张紧轮装配

3) V 带传动用多根带时，带的长度应基本一致，以保证每根带传递动力一致及减缓带传动中的振动影响。

(2) 平带、齿形带的装配 平带轮装配应保证两带轮装配位置的正确。平带工作时，带应在带轮宽度的中间位置，如图 7-45 所示。齿形（同步带）传动如图 7-46 所示。

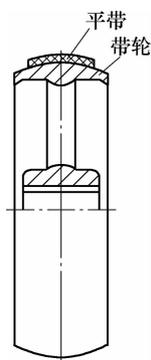


图 7-45 平带装夹要求

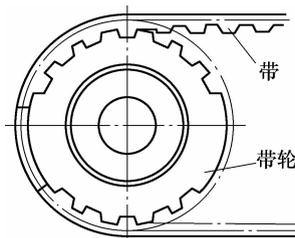


图 7-46 齿形带装夹

## 7.4.2 链传动机构装配

### 1. 链传动的类型

链传动机构通过链和链轮的啮合来传递动力，如图 7-47 所示。链传动具有结构紧凑、对轴的径向压力较小、承载能力大、传动效率高的优点，但链传动时的振动、冲击和噪声较大，链节磨损后链条容易拉长，引起脱链现象。常用的链传动有套筒滚子链（见图 7-48）和齿形链（见图 7-49）两种。

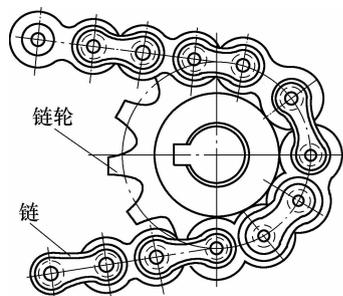


图 7-47 链传动

### 2. 链传动的装配技术要求

1) 链传动机构中的两个链轮轴线应保持平行，否则会引起脱链或加剧链与链轮的磨损。

2) 两链轮的轴向偏移量应小于允许值：两链轮中心距小于 500mm 时，轴向偏移小于 1mm；两链轮中心距不小于 500mm 时，轴向偏移小于 2mm。

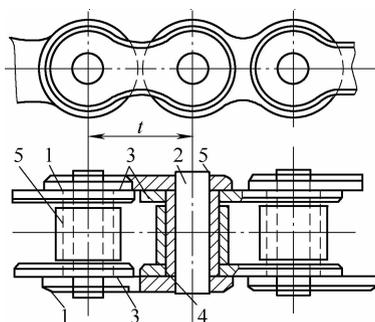


图 7-48 套筒滚子链

1—外链板 2—销轴 3—内链板  
4—套筒 5—滚子

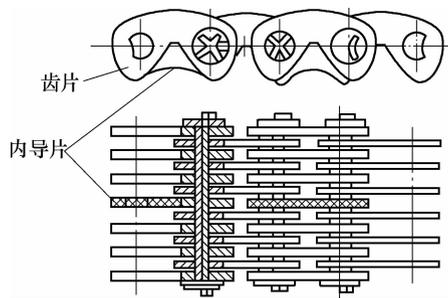


图 7-49 齿形链

3) 链轮装配后应符合规定的要求，链轮跳动量如表 7-6 所示。链轮装配后的跳动量可用划针盘或百分表进行检查，如图 7-50 所示。

表 7-6 链轮跳动量

(单位：mm)

链轮的直径	套筒滚子链的链轮跳动量	
	径向 $\delta$	端面 $a$
$\leq 100$	0.25	0.3
$> 100 \sim 200$	0.5	0.5
$> 200 \sim 300$	0.75	0.8
$> 300 \sim 400$	1.0	1.0
$> 400$	1.2	1.5

4) 链条装配的松紧程度应合适。链条装配过紧会增加传动载荷和加剧磨损, 链条过松传动中会出现弹跳或脱落。

### 3. 链传动的装配

(1) 链轮的装配 链轮在轴上的固定方法有紧定螺钉固定和圆锥销固定两种, 如图 7-51 所示。

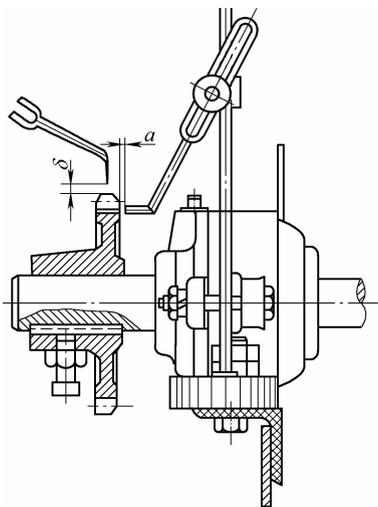


图 7-50 链轮跳动检查方法

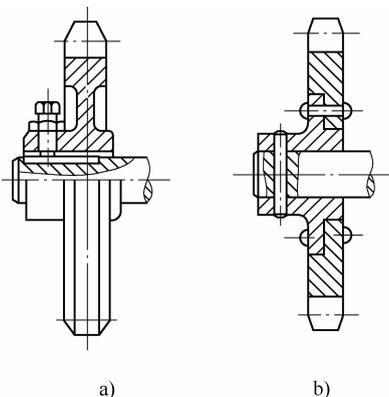


图 7-51 链轮的固定

a) 紧定螺钉固定 b) 圆锥销固定

(2) 链条的装配 链条的装配分为链条两端的连接和链条与链轮的装配两方面。套筒滚子链的结构及接头形式如图 7-52 所示。链节固定有多种方式, 大节距套筒滚子链用开口销连接, 小节距套筒滚子链用卡簧片将活动销固定。

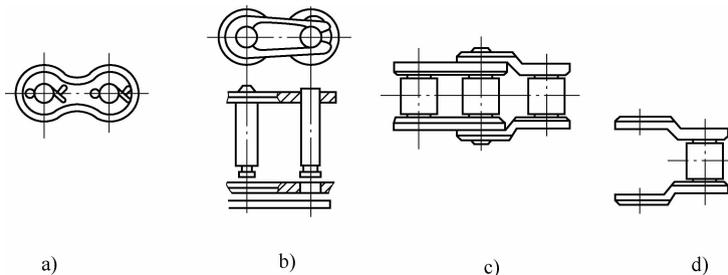


图 7-52 链接头

a) 开口销连接 b) 连接节 c) 半节链连接方法 d) 过渡节

若结构上允许在链条装好后再装链轮, 这时链条的接头可预先进行连接; 若结构上不允许链条预先将接头连接好, 就必须将链条先套在已装好的链轮上, 并采用拉紧工具将链条两端拉紧后再进行连接, 如图 7-53 所示。

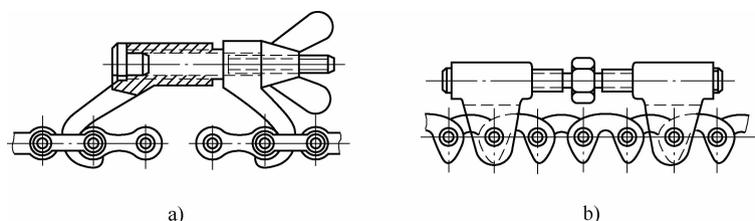


图 7-53 拉紧链条的工具

a) 套筒滚子链的拉紧工具 b) 齿形链的拉紧工具

### 7.4.3 齿轮传动机构装配

#### 1. 齿轮传动机构的装配要求

对齿轮传动机构进行装配时，为保证工作平稳、传动均匀、无冲击振动和噪声的工作目标，应满足以下要求：

1) 齿轮孔与轴的配合要恰当。固定在轴颈的齿轮通常与轴有少量的过盈配合，装配时需要加一定外力压装在轴上，装配后齿轮不得有偏心或歪斜；滑移齿轮装配后不应有阻滞现象；空套在轴上的齿轮配合间隙和轴向窜动不能过大或有晃动现象。

2) 齿轮间的中心距和齿侧间隙要准确，因齿侧间隙用于储油并起润滑和散热作用，故侧隙不应过大或过小。

3) 传动齿轮中相互啮合的两齿应有正确的接触部位且形成一定的接触面积。

4) 高速大齿轮装配后，应进行平衡检查，以免工作时产生过大的振动。

#### 2. 圆柱齿轮传动机构的装配

(1) 齿轮与轴的装配 齿轮在轴上的工作方式有空转、滑移、固定连接三种。齿轮与轴的常见结合方式如图 7-54 所示。

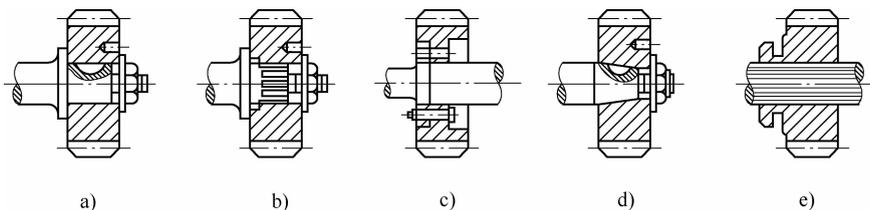


图 7-54 齿轮与轴的结合方式

a) 半圆键连接 b) 花键连接 c) 轴肩螺栓连接 d) 圆锥连接 e) 与花键滑动连接

(2) 把齿轮与轴部件装入箱体 为保证装配质量，装配前应对箱体的有关部位进行检验。

1) 测量同轴线孔的同轴度时，先在各孔中可装入专用定位套，接着用通用心轴进行检验，若心轴能顺利推入相关孔中，则表明孔的同轴度符合要求。如需要测

同轴度的偏差值，拆除待测孔中的定位套，并把百分表装在心轴 1 上，转动心轴，从百分表的指针摆动范围即可得出同轴度偏差值，如图 7-55 所示。

2) 孔距精度和孔系相互位置精度的检验，可用游标卡尺、检验心轴、专用轴套测量，如图 7-56 所示，孔距  $A = (L_1 + L_2) / 2 - (d_1 + d_2) / 2$ ，平行度误差为  $L_1 - L_2$ 。

3) 测量轴线与基面的尺寸精度及平行度的误差。箱体基面用等高垫块支承在平板上，在孔内装入专用定位套并插入检验心轴，然后使用高度游标卡尺（量块及百分表也可）去测量心轴两端的尺寸  $h_1$ 、 $h_2$ ，如图 7-57 所示。这时轴线与基面的距离  $h = (h_1 + h_2) / 2 - d / 2 - a$ ，平行度误差为  $h_1 - h_2$ 。

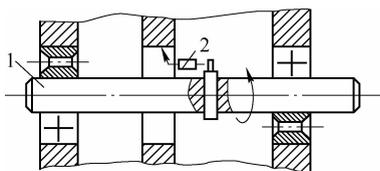


图 7-55 同轴线孔的同轴度测量  
1—心轴 2—百分表

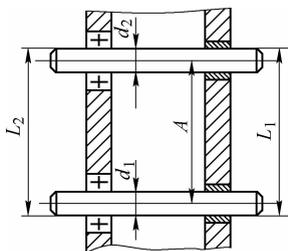


图 7-56 孔距精度和孔系相互位置精度的检验

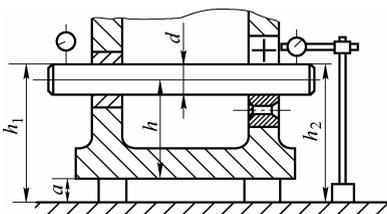


图 7-57 轴线与基面尺寸精度及平行度误差的测量

4) 测量轴线与孔端面的垂直度时，先把心轴插入装有专用定位套的孔中，且一端用角铁抵住，以不让轴窜动；再转动心轴一圈，则百分表指针摆动的范围，就是端面与轴线间的垂直度误差，如图 7-58 所示。

(3) 装配后的检验与调整 当齿轮和轴部件装入箱体后，必须对装配后的侧隙和接触面积进行检验，以保证各传动齿轮之间都有良好的啮合精度。

1) 检验侧隙时，先将百分表的测头与一齿轮的齿面接触，再把另一齿轮固定；然后把接触百分表测头的齿轮从一侧的啮合转到另一侧的啮合，此时百分表上读数的差值就是侧隙的大小，如图 7-59 所示。

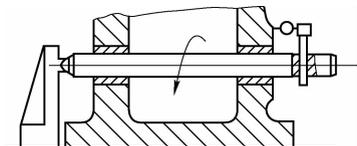


图 7-58 轴线与孔端面的垂直度测量

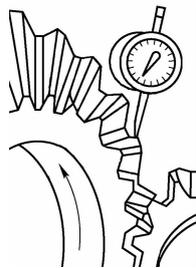
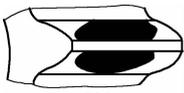
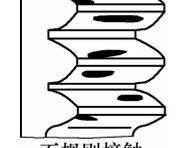


图 7-59 齿轮侧隙的检验方法

2) 对于正常啮合齿轮来说, 其齿面的接触斑点由齿轮公差等级确定。对 6~9 级精度的齿轮, 其接触斑点沿齿宽方向应不小于 40%~70%, 而在齿高方向应不小于 30%~50%。生产中, 直齿圆柱齿轮传动常见接触斑点及调整方法如表 7-7 所示。

表 7-7 常见接触斑点及调整方法

接触斑点	原因	调整方法
 <p>正常</p>		
 <p>上齿面接触</p>	中心距偏大	调整轴承支座或刮削轴瓦
 <p>下齿面接触</p>	中心距偏小	调整轴承支座或刮削轴瓦
 <p>一端接触</p>	齿轮副轴线平行度误差	微调可调环节或刮削轴瓦
 <p>搭角接触</p>	齿轮副轴线相对歪斜	调整可调环节或刮削轴瓦
 <p>异侧齿面接触不同</p>	两面齿向误差不一致	调换齿轮
 <p>不规则接触, 时好时差</p>	齿圈径向圆跳动量较大	1) 运用定向装配法调整 2) 消除齿轮定位基面异物(包括毛刺、凸点等)
 <p>鳞状接触</p>	齿面波纹或带有毛刺等	1) 去除毛刺、硬点 2) 低精度可用磨合措施

### 3. 锥齿轮传动机构的装配

锥齿轮传动属于相交轴间的传动，故在装配前应对箱体孔的加工精度进行测量。

(1) 锥齿轮传动机构的装配要求 对正常收缩齿的直齿锥齿轮来说，其分度圆锥、齿顶圆锥、齿根圆锥应具有同一个锥顶点  $O$ ，且一对齿轮亦应具有共同的锥顶点  $O$ 。在每个齿轮轴向位置确定的情况下进行装配时，将小锥齿轮以“装夹距离”为依据，去测量确定小齿轮的装夹位置并进行轴向定位的情况，如图 7-60a 所示。小齿轮轴位置有偏差时，其轴向定位同样也可以“装夹位置”为依据，并使用专用量规进行测量，如图 7-60b 所示。

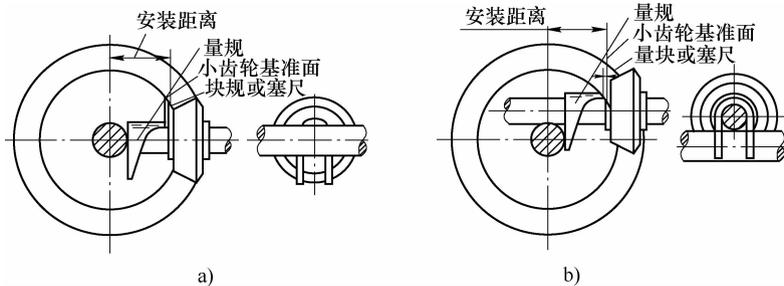


图 7-60 小齿轮的轴向定位

a) 小齿轮装夹距离的测量 b) 小齿轮偏置时装夹距离的测量

大齿轮的轴向位置由侧隙大小确定，其通常用工艺轴来代表尚未装好的大齿轮。大齿轮沿着自己的轴线移动且一直移动到侧隙符合要求的情形，如图 7-61 所示。

(2) 锥齿轮传动机构装配后的检验 锥齿轮传动机构装配后的检验有以下三个方面。

1) 锥齿轮侧隙的检验方法与检验圆柱齿轮副侧隙的方法相同。如果不合格，应移动锥齿轮的轴向位置进行调整。直齿锥齿轮副的法向侧隙  $C_n$  如图 7-62 所示，与齿轮的轴向调整量  $x$  的近似关系为

$$C_n = 2x \sin \alpha \sin \delta$$

式中  $\alpha$ ——压力角 ( $^\circ$ )；

$\delta$ ——节圆锥角 ( $^\circ$ )。

2) 一般采用涂色法检验锥齿轮副啮合。当没有载荷时，齿轮的接触斑点，应

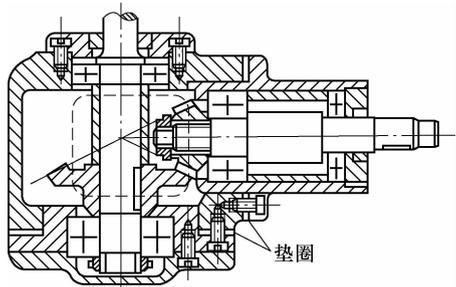


图 7-61 锥齿轮的轴向调整

该靠近轮齿的小端，以确保工作时轮齿面在全齿宽上都能够均匀啮合，且避免重载荷时大端正应力集中引起磨损过快。锥齿轮承受负荷后接触斑点的变化情况如图 7-63 所示。

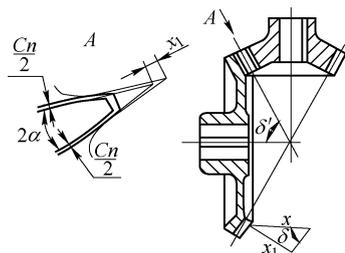


图 7-62 直齿锥齿轮的轴向调整量与侧隙的近似关系

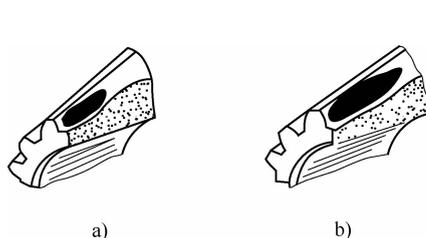


图 7-63 锥齿轮承受负荷后接触斑点的变化  
a) 无载荷 b) 有载荷

3) 对锥齿轮传动副来说，通过装配后进行磨合，可以提高其接触精度。常用磨合方法有加载磨合和电火花磨合两种。加载磨合常用在工装制造中，方法是在齿轮副的输出轴上加一力矩，并在主动轴上进行驱动，使之根据运行速度作传动，以便在运行过程中，使齿轮接触面相互磨合，借以增大啮合区域及增加接触斑点，从而提高齿轮的承载能力。当齿轮磨合合格后，应对整台齿轮箱进行全面清洗，以防止落料与铁屑等杂质残留在里面的某些机件中。

#### 7.4.4 蜗杆传动机构装配

蜗杆传动机构用以传递空间交错轴之间的动力，具有传动平稳、传动比大、结构紧凑、自锁性好等优点，广泛用于急剧降速的各种场合，但也存在发热量大、效率低等不足。

##### 1. 蜗杆传动机构的装配要求

在蜗杆传动机构中，蜗杆轴心线与蜗轮轴心线在空间交错轴间的交角一般为  $90^\circ$ ，且蜗杆为主动件，主要装配要求如下：

- 1) 蜗轮与蜗杆间中心距要准确，应有适当的啮合侧隙和正确的接触斑点。
- 2) 蜗杆轴心线与蜗轮轴心线要互相垂直。
- 3) 蜗杆的轴心线位于蜗轮轮齿的中间平面内。
- 4) 装配后，不管蜗轮在什么位置，转动蜗杆时，手感应相同且无卡住现象。

##### 2. 蜗杆传动机构的装配

一般做法是先对蜗杆箱体中孔的中心距及轴心线间的垂直度进行测量，然后进行装配；通常先装蜗轮、后装蜗杆，装配完后再进行有关检验与调整。

(1) 蜗杆箱体中孔的中心距和轴心线间垂直度的测量 蜗杆箱体孔中心距的测量如图 7-64a 所示。测量时，先把箱体用三齿千斤顶支承在平板上，再把检验心

轴1与2分别插入箱体上的轴孔中,接着调整千斤顶使任一心轴与平面平行,然后分别测量两心轴与平板的距离,即可算出中心距 $a$ 。当一心轴与平面平行时,这时另一心轴不一定平行于平面,此时应测量心轴两端到平面的距离,并取其平均值作为该心轴到平面的距离。

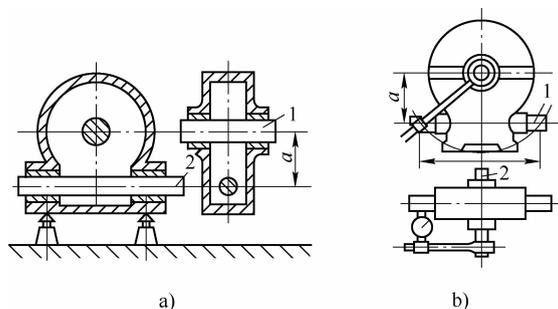


图 7-64 蜗杆箱体位置精度的测量

a) 检验中心距 b) 检验轴线垂直度

箱体轴心线间垂直度的测量如图 7-64b 所示。测量时,先在心轴 2 的一端套一百分表架并用螺钉固定;然后旋转心轴 2,按百分表测头在心轴 1 两端的读数差,即可换算出轴线间的垂直度误差。如果检验结果表明,另一心轴对平面的平行度和两轴线间的垂直度超差,则可在保证中心距误差的范围内,采用刮削轴瓦及底座平面的方法进行修整;如超差太大无法修整时,通常予以报废。

(2) 蜗杆传动机构的装配过程 按先装蜗轮、后装蜗杆的步骤进行。

1) 蜗轮的装配:蜗轮有整体式和组合式之分,而组合式蜗轮有铸造连接、过盈连接、受剪螺栓连接等。在进行装配时,应先把蜗轮的齿冠部分与轮毂部分连接起来,再把整个蜗轮套装到蜗轮轴上,然后把蜗轮轴装入箱体内。

2) 蜗杆的装配:在蜗轮轴装入箱体后,再把蜗杆装入。因蜗杆轴心线的位置,通常由箱体的装夹孔确定,故蜗杆与蜗轮的最佳啮合,是通过改变蜗轮的轴向位置来实现的,而蜗轮的轴向位置可通过改变调整垫圈的厚度进行调整。

(3) 装配后的检验及调整 检验及调整内容包括啮合精度和侧隙两方面。

1) 完成蜗杆和蜗轮的装配后,应先采用涂色法检验蜗杆与蜗轮的相互位置和接触斑点。操作时先把红丹粉涂在蜗杆的螺旋面上并转动蜗杆,然后再左右旋转,以检查蜗轮的差色情况,如图 7-65 所示。

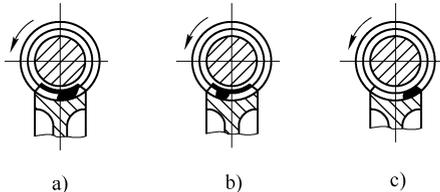


图 7-65 蜗轮齿面上接触斑点的差色情况

a) 正常接触 b) 偏左接触 c) 偏右接触

2) 蜗杆、蜗轮装配后对侧隙的检验如图 7-66 所示。直接测量法(见图 7-66)是在蜗杆轴上固定一带量角器的刻

度盘 2，再使百分表测头顶在蜗轮齿面上，然后用手转动蜗杆，在百分表指针不动的条件下，固定指针 1 所对应的刻度盘读数的最大差值，即为蜗杆的空程角。侧隙用下式来计算：

$$C_n = \frac{Z_1 m \alpha}{7.3}$$

式中  $C_n$ ——蜗杆副的法向侧隙 ( $\mu\text{m}$ )；

$Z_1$ ——蜗杆头数；

$m$ ——模数 (mm)；

$\alpha$ ——空程角 (')。

用测量杆测量侧隙的方法如图 7-66b 所示。

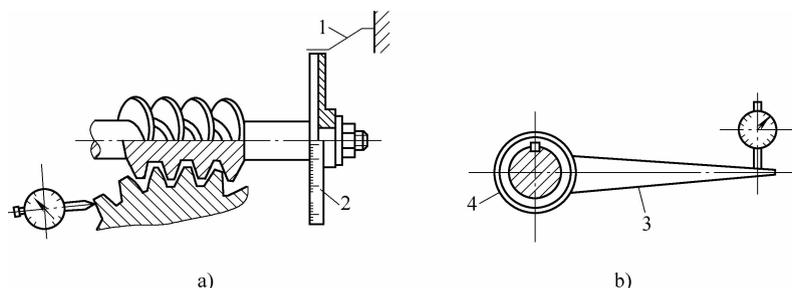


图 7-66 蜗杆传动机构侧隙的检量

a) 直接测量法 b) 使用测量杆的测量法

1—指针 2—分度盘 3—测量杆 4—蜗轮轴

## 7.5 轴承装配

### 7.5.1 滑动轴承装配

#### 1. 滑动轴承的特点及类型

轴承是支承转轴的零件，滑动轴承是一种滑动摩擦的轴承。其主要特点是工作平稳、可靠、无噪声，滑动轴承的润滑油膜具有减振的能力，故能承受较大的冲击载荷。由于采用液体润滑大大减少轴承的摩擦磨损，对于高速运转的机械，有着十分重要的意义。

1) 滑动轴承按润滑的形式分为动压滑动轴承和静压滑动轴承。动压滑动轴承如图 7-67 所示，利用润滑油的粘性和轴颈的高速旋转，把润滑油带进轴承的楔形空间建立起压力油膜，使轴颈与轴承被油膜隔开。静压滑动轴承如图 7-68 所示，利用外界的油压系统供给一定压力的润滑油，使轴颈与轴承处于完全液体摩擦状态。

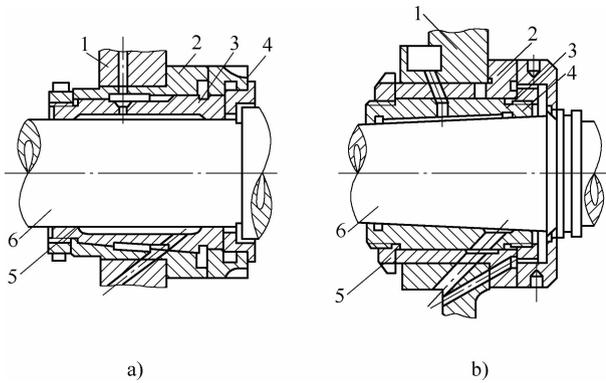


图 7-67 动压滑动轴承

a) 内柱外锥式 b) 外柱内锥式

1—箱体 2—主轴承外套 3—主轴承 4、5—螺母 6—主轴

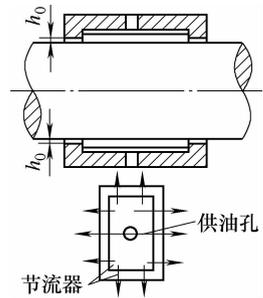


图 7-68 静压滑动轴承

2) 按滑动轴承的结构分为整体式滑动轴承、剖分式滑动轴承、锥形表面滑动轴承和多瓦自动调位轴承。整体式滑动轴承如图 7-69 所示，是在机架上或轴承座上，镶入整体轴瓦后，加工而成。它的结构简单，但工作面磨损后无法调整间隙，必须重新更换新的轴瓦。剖分式滑动轴承如图 7-70 所示，由轴承座、轴承盖、两个对开轴瓦、垫片及双头螺栓组成。多瓦自动调位轴承如图 7-71 所示，有三瓦式和五瓦式两种。

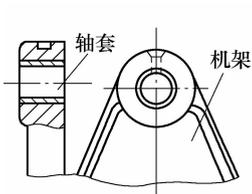


图 7-69 整体式滑动轴承

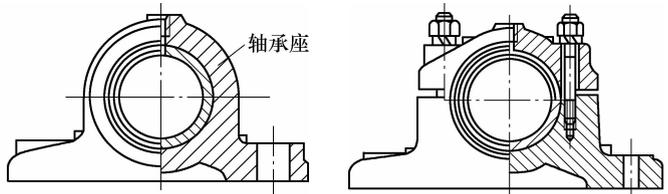


图 7-70 剖分式滑动轴承

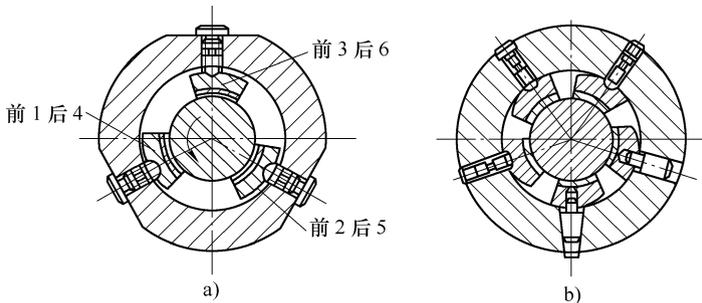


图 7-71 多瓦自动调位轴承

a) 三瓦式 b) 五瓦式

### 2. 整体式滑动轴承（轴套）的装配

1) 将加工合格的轴套和轴承孔除去飞边，擦洗干净之后，在轴套外径或轴承座孔内涂抹润滑脂。

2) 根据轴套的尺寸和配合的过盈大小选择压入方法，将轴套压入机体中。若尺寸或过盈量较大，则宜用压力机压入或用拉紧夹具（见图 7-72）把轴套压入机体中。压入时，需注意轴套上的油孔应与机体上的油孔对准。

3) 在压入轴套之后，对要承受较大载荷的滑动轴承的轴套，还要用紧定螺钉或定位销固定，定位方式，如图 7-73 所示。

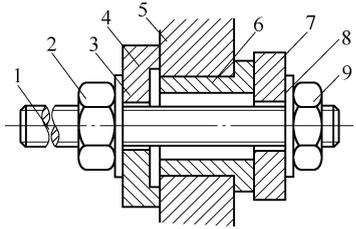


图 7-72 压轴套用拉紧工具  
1—螺杆 2、9—螺母 3、8—垫圈  
4、7—挡圈 5—机体 6—轴套

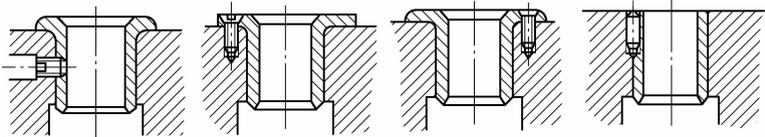


图 7-73 轴套的定位方式

4) 压装后，要检查轴套内孔，若内孔缩小或变形，可用铰削或刮削等方法对轴套进行修整。

### 3. 剖分式滑动轴承的装配

剖分式滑动轴承未总装的零件图如图 7-74 所示。

(1) 轴瓦与轴承座、轴承盖的装配 上下轴瓦与轴承座、轴承盖装配时，应使轴瓦背与座孔接触良好，如不符合要求时，对厚壁轴瓦则以座孔为基准刮削轴瓦背部，对薄壁轴瓦则不修刮，需进行选配。为达到配合的要求，轴瓦的剖分面应比轴承体的剖分面高出一些，其值  $\Delta h = \delta\pi/4$  ( $\delta$  为轴瓦与机体孔配合过盈量，一般  $\Delta h$  取 0.05 ~ 0.10mm，如图 7-75 所示)。轴瓦装入时，在剖分面上应垫上木板，用锤子轻轻敲入。

(2) 轴瓦的定位 轴瓦装夹在机体中，无论在圆周方向和轴向都不允许有位移。通常用定位销和轴瓦上的凸台来止动，如图 7-76 所示。

(3) 轴瓦孔的配刮 用与轴瓦配合的轴来显点，通常先刮削下轴瓦再刮削上轴瓦。在刮削下轴瓦时可不装轴瓦盖，当下轴

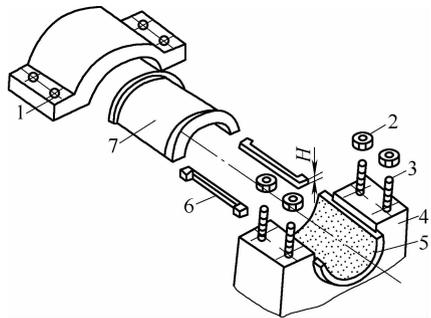


图 7-74 剖分式滑动轴承的零件组成  
1—轴承盖 2—螺母 3—双头螺栓  
4—轴承座 5—下轴瓦 6—垫片  
7—上轴瓦

瓦显点基本符合要求时, 再将上轴瓦盖压紧, 并拧上螺母, 在修刮上轴瓦的同时进一步修正下轴瓦的显点。配刮轴的松紧, 可随着刮削次数, 调整垫片尺寸。当螺母均匀紧固后, 配刮轴能够轻松地转动, 而且无明显间隙, 显点也符合要求时即可。

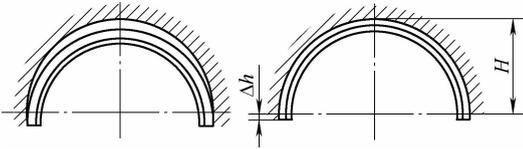


图 7-75 薄壁轴瓦的配合

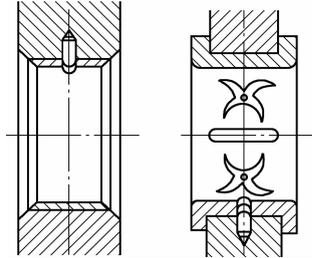


图 7-76 轴瓦的定位

(4) 装配间隙的调整 对配刮好的轴瓦进行清洗, 并重新装入; 再通过调整结合面处的垫片, 来保证轴与轴瓦间的径向配合间隙达到设计要求。

### 7.5.2 滚动轴承装配

滚动轴承采用滚动摩擦, 由外圈、内圈、滚动体和保持器四部分组成。它具有摩擦小、效率高、轴向尺寸小、装拆方便等优点, 广泛用于各种机械的传动系统。

#### 1. 滚动轴承的预紧及间隙调整

(1) 滚动轴承预紧 常用的滚动轴承预紧方法如下:

1) 利用内外套筒的厚度差、加金属垫环及磨窄套筒的方法对角接触球轴承进行预紧, 如图 7-77 所示。

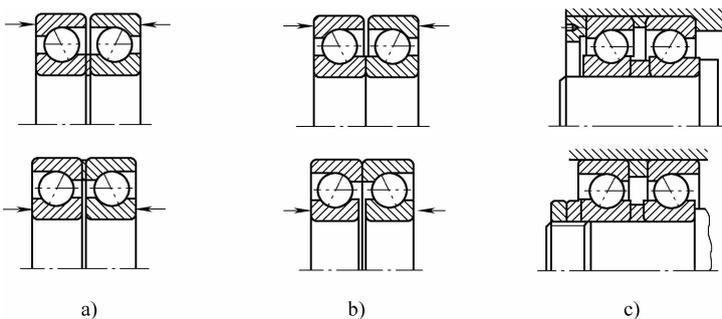


图 7-77 成对角接触球轴承的预紧

a) 加金属垫片 b) 磨窄套筒 c) 内外套筒

2) 利用弹簧变形所产生的弹力来实现轴承的预紧。方法有两种, 一种是通过调节调整螺母的位置, 以改变弹力大小进行弹簧预紧, 如图 7-78 所示; 另外一种是利用两轴承的中间空间位置安置弹簧和定位套来进行弹簧预紧。

3) 调节轴承锥孔内圈的轴向位置实现预紧。通过拧紧螺母而使锥孔内圈向轴颈的大端移动, 如此使内圈直径增大产生预载荷且实现预紧, 如图 7-79 所示。

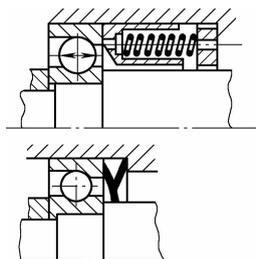


图 7-78 弹簧预紧

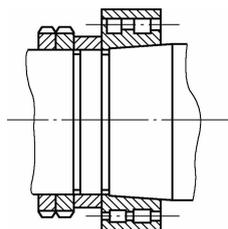


图 7-79 调节轴承锥孔的轴向位置进行预紧

(2) 轴承预紧量的测定 通常放置在平板上进行, 其测定方法按轴承装夹形式的不同分为以下几种。

1) 外圈为定值, 调整内圈的移位置, 如图 7-80 所示。测量时, 把成对的轴承外圈分别装入带有间距  $A$  的外套上, 再在轴承内圈上分别装入两只压盖, 并在其上均匀施加规定的轴向力  $F$  (即预紧力), 且用有关量具 (量块、塞尺等) 测出两轴承内圈间的距离  $B$ , 此值即为垫环的厚度。

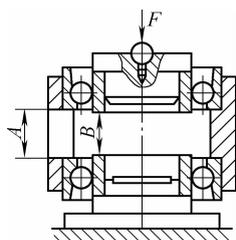


图 7-80 外圈为定值

2) 内圈为定值, 调整外圈的移位置, 如图 7-81 所示。测量时, 把成对的轴承内圈分别装入带有间距  $A$  的内套上, 再在轴承外圈分别装入两只压盖, 在上压盖均匀施加预紧力  $F$ , 然后测出三个不同位置的外圈间距  $B$  且取其平均值, 即为垫环厚度。

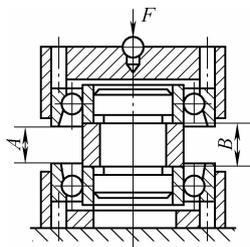


图 7-81 内圈为定值

3) 轴承的内、外圈同时移位, 如图 7-82 所示。内圈定值的内、外圈同一面给定值为  $H_1$  和  $H_2$ , 此时移位量  $K_1 = H_2 - H_1$ , 施加预紧力为  $F$ 。轴承另一面内、外圈的相对位移  $K_2 = H_3 - H_4$ , 在测出  $H_3$ 、 $H_4$  的值后即可求得  $K_2$ , 如此便可得到两组内、外圈差值各自为  $K_1$  和  $K_2$  的垫环。

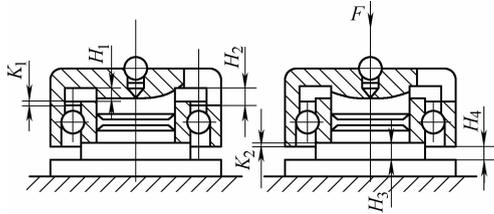


图 7-82 内、外圈同时位移

4) 装配精密轴承部件时,可使用弹簧测量装置进行轴承预紧的测量,如图7-83所示。此时,轴承的预紧量由弹簧尺寸 $H$ 来确定,并分别以轴承外圈及内圈为定值,来测量并确定轴承内圈及外圈的间距 $B$ 。

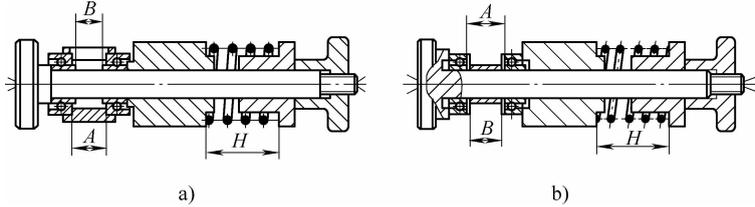


图 7-83 弹簧测量装置  
a) 外圈定值 b) 内圈定值

5) 当预紧量较小或者是仅消除轴承内部原始游隙时,可以凭感觉测量,如图7-84所示。当两轴承间的内、外圈分别装夹规定隔套时,可在上面用手或重物直接压住轴承内圈或外圈,而另一只手去拨动外隔套或内隔套并随时修磨其厚度,直到感觉松紧一致并使隔套的厚度符合预紧要求为止。

(3) 滚动轴承间隙的调整 装配时,可通过使轴承的内、外圈作适量的轴向位移来调整轴承的间隙,常用方法有以下两种:

1) 使用垫片或铅丝调整轴承间隙。垫片法是通过改变轴承盖处的垫片厚度 $\delta$ ,来达到调整轴承轴向间隙 $s$ 的目的,如图7-85a所示。压铅法如图7-85b所示,是在测量过程中将铅丝分成3、4段,并用润滑脂平均粘放在轴承盖与外承外圈之间,且拧紧轴承盖上的螺栓以压扁铅丝(此时的轴承间隙为零);然后再拆下轴承盖,并用千分尺测量出铅丝厚度 $a$ 和 $b$ 值,再用公式 $\delta = a + s - b$ 计算出应加垫片的厚度。

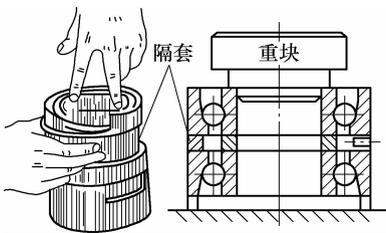


图 7-84 感觉测量法

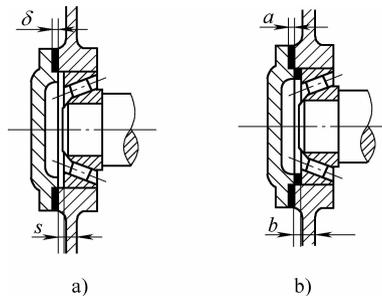


图 7-85 使用垫片调整轴承间隙  
a) 垫片法 b) 压铅法

2) 使用调整螺钉调整轴承间隙,如图7-86所示。调整时,先把螺钉拧紧至轴承间隙为零,再把调整螺钉倒拧 $\alpha$ 角( $15^\circ \sim 25^\circ$ )后将其锁紧,以防工作时螺钉出现松动。

## 2. 滚动轴承的润滑

滚动轴承的润滑非常重要，良好的润滑能减少轴承的摩擦磨损，同时还能吸收和减少振动、降低噪声等，使轴承保持较好的工作状态。常用的润滑剂有润滑油、润滑脂和固体润滑剂三类。润滑方式应根据轴承的工作性质、转速、工作环境及精度要求来选择。

(1) 油润滑 油润滑有油浴润滑、滴油润滑、循环润滑和油雾润滑等方式，可根据工作轴的结构特点、转速高低和负载大小来选择。

1) 油浴润滑如图 7-77 所示，适用于低速或中速 ( $\leq 500\text{r/min}$ ) 工作的轴承。

2) 滴油润滑如图 7-78 所示，适用于较高速度 ( $> 1000\text{r/min}$ ) 工作的轴承。

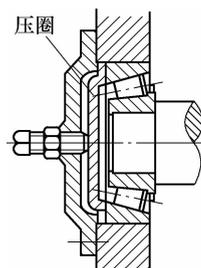


图 7-76 使用调整螺钉调整轴承的轴向间隙

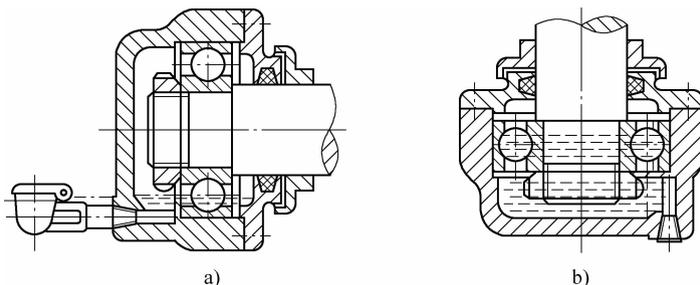


图 7-77 油浴润滑

a) 轴承水平装夹润滑 b) 轴承垂直装夹润滑

3) 循环润滑如图 7-79 所示，适用于有专门的供给油系统（如由油泵供油）的轴承。当油进入轴承润滑后油液返回油池冷却，过滤后重新输入轴承润滑。

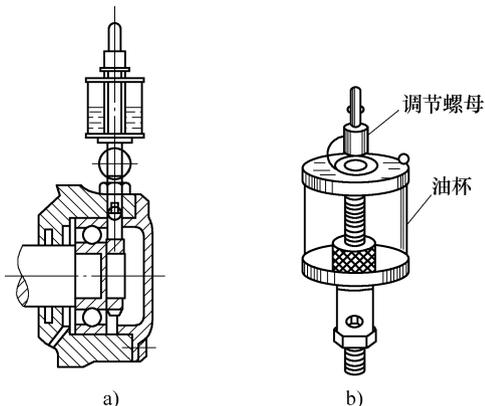


图 7-78 滴油润滑

a) 针阀式油杯滴油润滑 b) 针阀式玻璃油杯

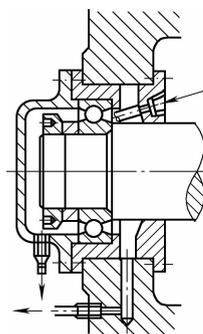


图 7-79 循环润滑

4) 油雾润滑如图 7-90 所示, 适用于高速 (10000r/min 以上) 或重载工作的轴承。润滑油与不含水分的压缩空气混合后, 通过喷雾发生器, 将润滑油雾化吹向轴承工作部位, 能有效地降低轴承的温升并达到润滑的目的。

(2) 脂润滑 润滑脂具有不易渗漏, 不需要经常添加, 密封装置简单, 能防潮, 以及维护保养比较方便等优点, 但是稀稠易受温度变化, 轴承散热效果较差。润滑脂适用于转速和温度不很高的轴承润滑。常用润滑脂有钙基、钠基、锂基及各种混合剂。

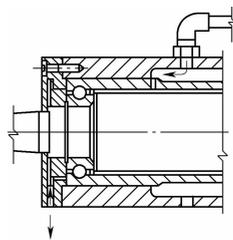


图 7-90 油雾润滑

### 3. 滚动轴承的装配

(1) 滚动轴承的装配方法 滚动轴承装配方法有锤击法、压入法及温差法等。装配时应根据生产条件、批量和轴承的精度, 合理选择装配的方法。

1) 锤击法装配是利用锤子、垫棒将轴承装配到轴上或壳体孔中, 如图 7-91 所示。所使用的垫棒是车制成不通孔的棒料, 内孔直径应大于轴颈直径, 不宜用实心的垫棒。锤击法装配使用工具简单、方便、装配效率较高, 适用于一般精度的轴承装配。

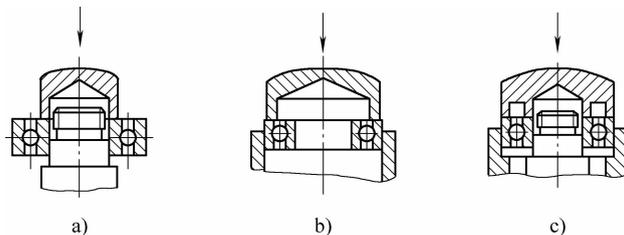


图 7-91 锤击法装配

- a) 将轴承装配在轴颈上    b) 将轴承装夹在壳体孔中  
c) 轴承内外圈同时装入轴颈和壳体孔中

2) 压入法装配是通过手动机械或液力传动工具将轴承压入轴或壳体孔中, 如图 7-92 所示。压入法装配轴承受压时没有冲击力, 压入力均匀分布在轴承圈端面上, 装配质量比敲击法好。

3) 温差法装配是通过将轴承加热 (见图 7-93) 或制冷, 使内圈热胀或外圈冷缩的装配方法。温差法装配的轴承定位精确、质量高, 对精密、高精度轴承的装配, 是唯一行之有效的装配方法。

(2) 滚动轴承的装配要求 滚动轴承在装配过程中有下列要求:

1) 轴承装配前, 应严格进行清洗保持清洁, 轴承不宜用棉纱等织物擦除轴承污垢, 以防止杂物进入轴承内。

2) 滚动轴承装配时, 应将轴承标有代号的端面装在可见部位, 以便以后更换

轴承时能方便地看清轴承的型号。

3) 轴承装配在轴上和壳体孔中, 应没有歪斜和卡住现象。轴颈或壳体孔台肩处无退屑槽时, 装配时应注意台肩处圆弧半径应小于轴承的圆弧半径。

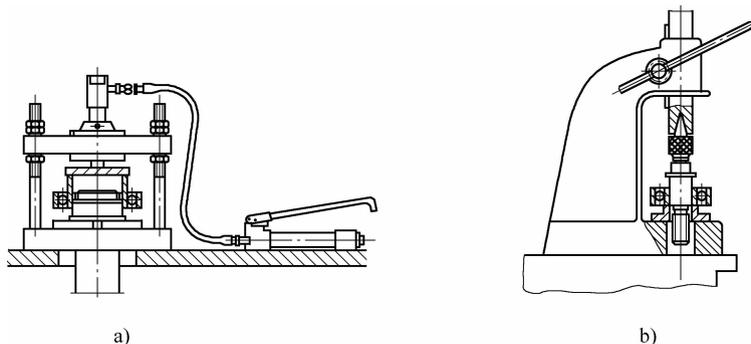


图 7-92 压入法装配

a) 液压压力机压入法 b) 机械压力机压入法

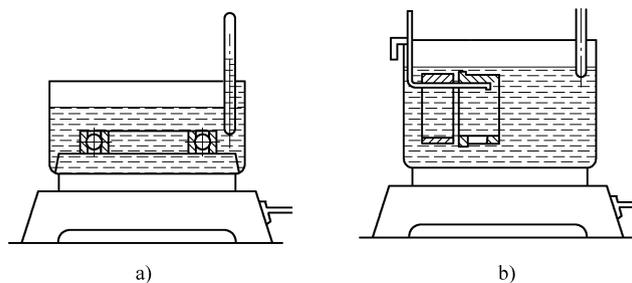


图 7-93 温差法装配

a) 平放式加热 b) 悬挂式加热

4) 为了保证滚动轴承工作时有一定的热胀伸长余地, 在同轴的两个轴承中, 必须有一个轴承外环可以在热胀时产生轴向移动(非分离式轴承)。分离式轴承(如圆锥滚子轴承)应进行二次调整, 即装配后进行粗调, 间隙可适当大些, 试车时达到工作温度后进行第二次调整, 以免轴或轴承因温度升高而产生附加应力。

5) 推力轴承的两个圈分为松、紧两种配合。装配时, 应注意松圈和紧圈的装配位置不能搞错, 紧圈应装在轴肩端面处, 松圈应装在壳体孔端面方向, 否则轴运转后将会使轴和壳体端面损坏。

#### 4. 滚动轴承的拆卸

常用的滚动轴承拆卸方法有锤击法、拉出法等。

(1) 锤击法拆卸 将轴承放在有孔的平台上垫实垫块, 用木锤锤击轴端拆卸轴承, 如图 7-94 所示。

(2) 拉出法拆卸 用轴承顶拔器拆卸滚动轴承时, 应按轴承尺寸调整好顶拔

器拉杆的距离，并让卡爪牢固卡住轴承圈的端面，轻旋螺杆使着力点均匀，然后旋紧螺杆逐渐加力把轴承圈拉出，如图 7-95 所示。

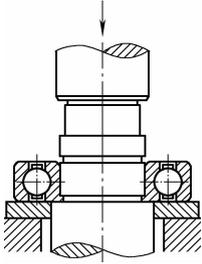


图 7-94 锤击法拆卸

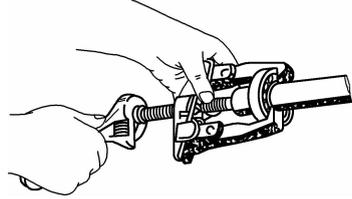


图 7-95 拉出法拆卸

### (3) 拆卸轴承时的注意事项

- 1) 拆卸作用力应直接加在拆卸体上，切勿加在滚动体或者其他零件上。
- 2) 为便于拆卸，应事先在轴承座孔及轴上涂抹润滑油。
- 3) 对已损坏的轴承进行拆卸时，一定注意不要损坏轴、机体与其他零件。
- 4) 拆卸分离型轴承时，需先将轴承的内、外圈进行分离后，再去拆卸内、外圈。

# 第 8 章 熟悉常用工具

## 8.1 常用手工工具

### 8.1.1 手钳

(1) 钢丝钳 钢丝钳也叫花腮钳、克丝钳，用来夹持或弯折薄片形、圆柱形金属零件及切断金属丝，其刃口也可用于切断细金属丝。钢丝钳的柄部有带塑料套（见图 8-1a）和表面镀黑铬（见图 8-1b）两种类型，总长度有 160mm、180mm、200mm 三种。



图 8-1 钢丝钳

a) 柄部带塑料套 b) 柄部表面镀黑铬

(2) 扁嘴钳 扁嘴钳是一种用于夹持、固定工件或者扭转、弯曲、剪断金属丝线的手工工具，如图 8-2 所示。在修理工作中，用以拆装销子、弹簧等，是金属机件装配及电信工程常用的工具。

(3) 圆嘴钳 圆嘴钳如图 8-3 所示，钳头呈圆锥形，用来将金属薄片及金属丝弯成圆形。它是一般电信工程等常用的工具，同时也是制作低端首饰的必备工具之一。



图 8-2 扁嘴钳



图 8-3 圆嘴钳

(4) 尖嘴钳 尖嘴钳如图 8-4 所示，钳柄上套有额定电压 500V 的绝缘套管，是一种常用的钳形工具。主要用来剪切线径较细的单股与多股线，以及给单股导线

接头弯圈、剥塑料绝缘层等，能在较狭小的工作空间操作，不带刃口者只能夹捏工作，带刃口者能剪切细小零件。它是电工、仪表及电信器材等装配及修理工作常用工具之一。

(5) 大力钳 大力钳如图 8-5 所示，用以夹紧零件进行铆接、焊接、磨削等加工。特点是钳口可以锁紧并产生很大的夹紧力，使被夹紧零件不会松脱。而且钳口有多档调节位置，供夹紧不同直径零件使用。长度为 220mm，钳口的最大开口为 50mm。



图 8-5 大力钳



图 8-4 尖嘴钳

(6) 鸭嘴钳 如图 8-6 所示，鸭嘴钳与扁嘴钳相似，但其钳口部分通常制出齿纹，一般不会损伤被夹持的零件表面，多用于纺织厂修理钢箱工作中。长度有 125mm、140mm、160mm、180mm 和 200mm 五种。



图 8-6 鸭嘴钳

### 8.1.2 扳手

(1) 活扳手 活扳手又称络扳手，如图 8-7 所示，它是一种旋紧或拧松有角螺钉或螺母的工具。常用的有 200mm、250mm、300mm 三种，使用时应根据螺母的大小选配。

(2) 呆扳手 呆扳手又称开口扳手，有单头和双头两种，如图 8-8 所示。它的一端或两端带有固定尺寸的开口，其开口尺寸与螺钉头、螺母的尺寸相适应，并根据标准尺寸做成一套。一把呆扳手最多只能拧动两种相邻规格的六角头或方头螺栓、螺母，使用范围较活动扳手较小。它有 M5 ~ M38 多种规格。



图 8-7 活扳手

(3) 梅花扳手 梅花扳手如图 8-9 所示，两端具有带六角孔或十二角孔的工作端，适用于工作空间狭小、不能使用稍大扳手的场合。它有 M5 ~ M38 多种规格。



图 8-8 呆扳手



图 8-9 梅花扳手

(4) 两用扳手 两用扳手如图 8-10 所示，一端与单头呆扳手相同，另一端与梅花扳手相同，两端拧转相同规格的螺栓或螺母。它有 M5 ~ M36 多种规格。

(5) 内六角扳手 内六角扳手又称艾伦扳手,如图 8-11 所示。它通过扭矩施加对螺母的作用力,大大降低了使用者的用力强度。长度有 50 ~ 355mm 多种尺寸。



图 8-10 两用扳手



图 8-11 内六角扳手

(6) 管活两用扳手 管活两用扳手如图 8-12 所示。它的结构特点是固定钳口制成带有细齿的平钳口,活动钳口一端制成平钳口,另一端制成有细齿的凹钳口。向下按动蜗杆时活动钳口可迅速取下,调换钳口位置。如果利用活动钳口的平口,即可当活扳手使用;利用凹钳口,可当管子钳使用。长度有 200mm、250mm、300mm、375mm 四种。

(7) 快速管子扳手 快速管子扳手如图 8-13 所示,用于紧固或拆卸小型金属和其他圆柱形零件,也可作扳手使用,是管路安装和维修工作的常用工具。长度有 200mm、250mm、300mm 三种。



图 8-12 管活两用扳手



图 8-13 快速管子扳手

(8) 棘轮扳手 棘轮扳手如图 8-14 所示,用于装拆螺栓、螺母等,特别适合回转空间很小的场合使用,相应对边尺寸规格为 5.5mm × 7mm、8mm × 10mm、12mm × 14mm、17mm × 19mm、22mm × 24mm。

(9) 扭力扳手 扭力扳手如图 8-15 所示,配合套筒,用于紧固六角头螺栓、螺母,在扭紧时可以表示出扭矩数值。方榫边长有 6.3mm、12.5mm、20mm、25mm 四种规格。



图 8-14 棘轮扳手



图 8-15 扭力扳手

(10) 增力扳手 增力扳手如图 8-16 所示,配合扭力扳手、棘轮扳手或套筒扳

手, 紧固或拆卸螺栓、螺母。输出端方孔边长均为 12.5mm, 总长度有 25mm、30mm、35mm、40mm、50mm、55mm、60mm 七种规格。

### 8.1.3 旋具

(1) 螺旋棘轮螺钉旋具 螺旋棘轮螺钉旋具适合于大量生产中装卸螺钉, 如图 8-17 所示。它的主要特点是将旋转普通螺钉旋具的腕部扭转运动改为手臂的前后推动, 减轻劳动强度, 提高生产率。



图 8-17 螺旋棘轮螺钉旋具



图 8-16 增力扳手

(2) 螺钉旋具 螺钉旋具又称螺丝刀或改锥, 如图 8-18 所示。螺钉旋具是一种紧固和拆卸螺钉的工具, 按其头部形状可分为一字形和十字形两种。

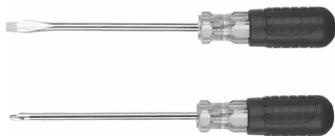


图 8-18 螺钉旋具

(3) 夹柄螺钉旋具 夹柄螺钉旋具如图 8-19 所示, 用来紧固或拆卸一字槽螺钉, 并可在尾部敲击, 比一般螺钉旋具经久耐用。总长度有 150mm、200mm、250mm 和 300mm 四种规格。



图 8-19 夹柄螺钉旋具

### 8.1.4 锤

(1) 什锦锤 什锦锤有三角锉、锥子、木凿、一字槽螺钉旋杆、十字槽螺钉旋杆五个附件, 如图 8-20 所示。如将锤头取下, 换上附件, 即可分别作三角锉、锥子、木凿和螺钉旋具使用。手柄连锤头全长 162mm。

(2) 圆头锤 圆头锤如图 8-21 所示, 是冷加工使用最广的一种锤子。它的一端呈圆球状, 通常用来敲击铆钉; 另一端为圆柱平面, 用于一般锤击。它有 0.11kg、0.22kg、0.34kg、0.45kg、0.68kg、0.91kg、1.13kg 和 1.36kg 八种规格 (不包括手柄)。



图 8-20 什锦锤

(3) 斩口锤 斩口锤如图 8-22 所示, 主要用于敲击凹凸不平、薄而宽的金属工件, 使之表面平整。其斩口还用以敲制皮制品翻边或使金属薄件作纵向或横向的延伸。它有 0.0625kg、0.125kg、0.25kg 和 0.5kg 四种规格。



图 8-21 圆头锤



图 8-22 斩口锤

### 8.1.5 锉

(1) 整形锉 根据截面形状，整形锉分为齐头扁锉、尖头扁锉、三角锉、方锉、圆锉、单面三角锉、刀形锉、双半圆锉、椭圆锉、圆边扁锉和圆边尖扁锉等，如图 8-23 所示。根据锉刀的 Length 和直径分为  $3\text{mm} \times 140\text{mm}$ 、 $4\text{mm} \times 160\text{mm}$ 、 $5\text{mm} \times 180\text{mm}$  三大类，锉纹号分为 0、1、2 和 3 共 4 等，其中 0 号最粗，4 号最细。



图 8-23 整形锉

(2) 钳工锉 钳工锉如图 8-24 所示，用来锉制或修整金属工件的表面和孔、槽，有齐头扁锉、尖头扁锉、方锉、三角锉、半圆锉、圆锉等类型。根据主锉纹的密度，锉纹号分为 1、2、3、4、5 共 5 等，其中 1 号最粗，5 号最细。



图 8-24 钳工锉

(3) 异形锉 异形锉如图 8-25 所示，有刀口锉、菱形锉、扁三角锉、椭圆锉、圆肚锉等。异形锉主要用于锉削工件上特殊的表面。



图 8-25 异形锉

### 8.1.6 锯

(1) 钢锯条 手工钢锯条按其特性分全硬性 (H) 和挠性型 (F) 两种类型，按使用材质分为碳素结构钢 (D)、碳素工具钢 (T)、合金工具钢 (M)、高速钢

(G) 及双金属复合钢 (Bi) 五种类型, 按其形式分为单面齿型 (A)、双面齿型 (B) 两种类型。

(2) 钢锯架 钢锯架分为调节式 (见图 8-26a) 和固定式 (见图 8-26b) 两种。



图 8-26 钢板制钢锯架

a) 调节式 b) 固定式

### 8.1.7 刀

(1) 刮刀 刮刀如图 8-27 所示, 用于刮削轴瓦的凹面、工件上的油槽或孔的边缘。刀身长度有 50mm、75mm、100mm、125mm、150mm、175mm、200mm、250mm、300mm、350mm 和 400mm 等规格。

(2) 滚花刀 滚花刀如图 8-28 所示, 用于在金属制品的表面滚压花纹。它有单轮、双轮和六轮三类, 滚花轮花纹齿距有 0.6mm、0.8mm、1.0mm、1.2mm 和 1.6mm 五种规格。



图 8-27 刮刀



图 8-28 滚花刀

## 8.2 常用电动工具

(1) 电钻 电钻如图 8-29 所示, 配用麻花钻, 用于对金属件钻孔, 也适用于对木材、塑料件等钻孔。额定输出功率为 80 ~ 500W, 单机重量为 1.4 ~ 5.0kg。

(2) 电动冲击扳手 电动冲击扳手如图 8-30 所示, 配用六角套筒头, 用于拆卸六角头螺栓或螺母。它有 M8 ~ M40 多种规格。

(3) 电动刀锯 电动刀锯如图 8-31 所示, 用于锯割金属板、管、棒等材料。

所用锯条为马刀状，比曲线锯条宽。额定输出功率为 26W 和 30W，单机重量为 3.2 kg 和 3.6kg。



图 8-29 电钻



图 8-30 电动冲击扳手

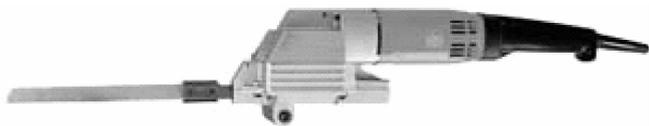


图 8-31 电动刀锯

(4) 电动螺丝刀 电动螺丝刀如图 8-32 所示，用于装拆一字槽或十字槽螺钉、木螺钉和自攻螺钉。额定输出功率为 85W，单机重量为 2.0kg。

(5) 电动自攻螺丝刀 电动自攻螺丝刀如图 8-33 所示，用于拆卸十字自攻螺钉，带有螺钉旋入深度调节装置和自动定位装置。额定输出功率为 140W 和 200W，单机重量为 1.8kg。



图 8-32 电动螺丝刀

(6) 电冲剪 电冲剪如图 8-34 所示，利用上下冲头的冲切来冲剪金属板材及塑料板、布层压板、纤维板等，特别适用于冲剪各种几何形状的内孔，可以保证冲剪后的板材不变形。额定输出功率为 230W、370W、430W 和 650W，单机重量为 2.2kg、2.5kg、4.0kg 和 5.5kg。



图 8-33 电动自攻螺丝刀



图 8-34 电冲剪

## 8.3 常用气动工具

### 8.3.1 气枪

(1) 气动吹尘枪 气动吹尘枪如图 8-35 所示, 用于清除零件型腔内及一般内外表面的污物或切屑。工作气压为  $0.2 \sim 0.49\text{N/mm}^2$ , 重量为  $0.15 \sim 0.19\text{kg}$ 。

(2) 气动拉铆枪 气动拉铆枪如图 8-36 所示, 用于单面铆接结构件上的抽芯铆钉。工作气压为  $0.63\text{N/mm}^2$ , 适用抽芯铆钉的直径为  $2.4 \sim 5\text{mm}$ , 单机重量为  $2.25\text{kg}$ 。



图 8-35 气动吹尘枪



图 8-36 气动拉铆枪

(3) 气动喷砂枪 气动喷砂枪如图 8-37 所示, 用来喷射石英砂, 进行工件喷涂或焊接前的表面净化或毛化等预处理。工作气压为  $0.63\text{N/mm}^2$ , 单机重量为  $1.0\text{kg}$ 。

(4) 气动洗涤枪 气动洗涤枪如图 8-38 所示, 用于喷射一定压力的水及洗涤剂, 以清洗物体表面上的各种污垢。工作气压为  $0.3 \sim 0.5\text{N/mm}^2$ , 单机重量为  $0.56\text{kg}$ 。



图 8-37 气动喷砂枪



图 8-38 气动洗涤枪

### 8.3.2 气动磨具

(1) 直柄式气砂轮机 直柄式气砂轮机如图 8-39 所示, 配用砂轮, 用于修磨铸件的浇冒口、大型机件、模具及焊缝。例如, 配用布砂轮, 可进行抛光; 配用钢

丝轮，可清除金属表面铁锈及旧漆层。工作气压为  $0.63\text{N}/\text{mm}^2$ ，单机重量有 1.0kg、1.2kg、2.1kg、3.0kg、4.2kg 和 6.0kg 六种规格。

(2) 立式端面气动砂轮机 立式端面气动砂轮机如图 8-40 所示，所配用的纤维增强钹形砂轮直接安装在气动发动机的转子轴前端，适用于修磨焊接坡口、焊缝及其他金属表面，切割金属薄板及小型钢。工作气压为  $0.63\text{N}/\text{mm}^2$ ，单机重量为 2.0kg。



图 8-39 直柄式气砂轮机



图 8-40 立式端面气动砂轮机

### 8.3.3 气动切削工具

(1) 气冲剪 气冲剪如图 8-41 所示，用于冲剪金属板材及塑料板、布质层压板、纤维板等，可保证冲剪后不会变形。工作气压为  $0.63\text{N}/\text{mm}^2$ ，单机重量为 2.8kg。

(2) 气剪刀 气剪刀如图 8-42 所示，用于对金属板材进行直线或曲线剪切加工。工作气压为  $0.63\text{N}/\text{mm}^2$ ，单机重量为 1.6kg。



图 8-41 气冲剪



图 8-42 气剪刀

(3) 气动攻丝机 气动攻丝机如图 8-43 所示，用于在工件上攻内螺纹孔。攻螺纹规格有 M6 ~ M10，单机重量为 1.2 ~ 1.7kg。

(4) 气动式管子坡口机 气动式管子坡口机又称钢管倒角机，如图 8-44 所示，用于对金属管端部进行修整，加工坡口，以便进行焊接。坡口管子外径为 11 ~ 630mm，单机重量为 2.7 ~ 5.5kg。

(5) 气动手持式切割机 气动手持式切割机如图 8-45 所示，适用于切割金属、塑料、木材、玻璃纤维和瓷砖等材料。锯片规格尺寸为  $\phi 50\text{mm}$ ，单机重量为 1.0kg。



图 8-43 气动攻丝机



图 8-44 气动式管子坡口机

(6) 气动往复式切割机 气动往复式切割机如图 8-46 所示，用于切割厚度 50mm 以下的橡胶材料。单机重量为 3.2kg。



图 8-45 气动手持式切割机



图 8-46 气动往复式切割机

(7) 气铰 气铰如图 8-47 所示，配有各种不同形状的异型砂轮磨头进行磨削，适用于各种模具的整形及抛光、修磨焊缝、清理飞边，也可配有旋转锉作高速铣削。工作头直径为 8~50mm，单机重量为 0.28~1.2kg。

(8) 气钻 气钻如图 8-48 所示，配有钻头，用于对金属材料、木料和塑料等材质的工件钻孔。工作气压为  $0.63\text{N}/\text{mm}^2$ ，单机重量为 0.9~3.5kg。



图 8-47 气铰



图 8-48 气钻

# 第 9 章 掌握机械制造工艺流程

## 9.1 机械制造工艺流程的组成

机械制造工艺流程的组成如图 9-1 所示。



图 9-1 机械制造工艺流程的组成

## 9.2 各种生产类型及特征

工厂对产品的产量和进度有了明确的计划后，即可确定其生产工艺特征。生产规模不同，各工作地的专业化程度、采用的工艺方法、生产设备、工艺装备均不相同。在制定工艺过程时，必须考虑不同生产类型的工艺特征，以取得最大的经济效果。不同生产类型的工艺措施如表 9-1 所示。

表 9-1 不同生产类型的工艺措施

生产类型 工艺措施内容	单件、小批生产	中批生产	大批、大量生产
毛坯制造	锻件用自由锻，铸件用木模手工造型。毛坯精度低，加工余量大	部分锻件用模锻，部分铸件用金属模造型。毛坯精度中等，加工余量中等	锻件广泛采用模锻，铸件广泛采用金属模及机器造型、压力铸造等高效方法。毛坯精度高，加工余量小

(续)

生产类型 工艺措施内容	单件、小批生产	中批生产	大批、大量生产
机床设备	采用通用机床	采用部分通用机床和部分高生产率机床或专用机床	广泛采用高生产率的专用机床、自动机床、组合机床
刀、夹、量具	采用通用刀、夹、量具	采用部分通用刀、夹、量具和部分专用刀、夹、量具	广泛采用高生产率的专用刀、夹、量具
对工人的技术要求	需要技术熟练、水平较高的工人	需要具有一定熟练程度的技术工人	需要技术熟练的调整工,对一般操作工人的技术要求较低
车间平面布置	按照机床的种类及大小,采用机群式排列布置	按加工零件类别,分工段排列布置	按流水线或生产自动线形式排列布置
工艺技术文件	有简单的工艺过程卡片	有工艺规程	有详细的工艺规程
零件的互换性	没有互换性,一般配对制造,采用修配方法	大部分有互换性,少数用钳工修配	全部要求互换性,对精度要求高的配合件,采用分组选配
生产率	低	较高	高
经济性	生产成本低	生产成本较低	生产成本低

## 9.3 制定工艺流程的技术依据和步骤

### 9.3.1 技术依据

- 1) 零件设计图样,必要时应有与零件相关的部件装配图样或产品装配图样。
- 2) 毛坯的生产情况,如毛坯车间的生产能力与技术水平,以及各种材料、型材的品种规格等。
- 3) 生产纲领和生产类型。
- 4) 产品验收的质量标准。
- 5) 企业、工厂(或车间)的生产条件。

### 9.3.2 制定工艺流程的步骤

#### 1. 分析零件图样

零件图样是制定工艺规程的最基本的原始资料,必须认真消化和仔细分析。研

究、分析的主要内容有：

1) 了解和熟悉该零件在产品或部件中的安装位置和作用，以及该产品的用途、性能及工作条件。

2) 分析零件的结构特点，区分零件的主要表面和次要表面，设计主要表面的加工方法与加工顺序。零件的主要表面是指零件上与其他零件有配合要求的表面和直接参与机器工作过程的表面。主要表面的加工质量对零件工作的可靠性及寿命有很大的影响。反映在零件图样上，主要表面有较高的尺寸精度（尺寸公差小）、较严的几何精度，以及要求有较低的表面粗糙度值。

3) 分析零件的主要技术要求和技术关键，预测加工过程中可能会产生的问题，研究并确定主要技术要求的保证方法。

## 2. 确定毛坯

根据生产类型确定毛坯类型或按有关标准确定选用型材的规格。

在大批、大量生产中，应使毛坯的形状和尺寸尽量接近成品，以达到少切削或无切削，减少切削加工的工作量；在单件、小批生产中，则应尽可能选择简单的毛坯制造工艺，允许毛坯有较大的加工余量。

## 3. 拟定工艺路线

拟定工艺路线的主要任务是：选择定位基准，选择各表面的加工方法，确定各表面的加工顺序，安排热处理工序及辅助工序，确定整个工艺过程的工序数目等。工艺路线的拟定是制定工艺规程的总体布局。工艺路线正确与否，不但影响加工产品的质量和效率，还将影响工人的劳动强度、设备投资、车间布置及生产成本等方面。因此，在拟定工艺路线时应多考虑一些工艺方案并加以比较，从中找出最合理的方案。

## 4. 确定各工序所需要的加工设备和工艺装备

根据产品的生产规模、工厂现有设备、工人技术水平，确定加工设备和工艺装备，必要时可进行购买或自行设计制造。

## 5. 确定工时定额

工时定额是完成某一零件或工序所规定的时间。它是制定生产计划、进行成本核算的重要依据，也是新建和扩建工厂（或车间）时决定设备和人员的重要资料。工时定额一般参照实际生产经验，并考虑有效利用生产设备和工具，实事求是地予以估定。在大批、大量生产或新建、扩建工厂（或车间）时则应依据有关手册资料进行分析、计算，并修正确定。

## 6. 填写工艺文件

将确定的工艺过程和操作事项填入一定格式的表格或卡片，并经严格的审批手续即成为组织和指导生产的工艺文件。

### 9.3.3 机械制造工艺流程简介

机械制造工艺流程中使用最广泛的文件形式有工艺过程卡片和工序卡片两种。

### 1. 机械制造工艺过程卡片

机械制造工艺过程卡片是以工序为单位简要说明零件的加工过程的一种工艺文件。主要内容包括工序号、工序名称、工序内容、车间、工段、设备、工艺装备、工时定额等。它简单明了地反映了机械制造工艺过程的全貌，主要用于组织生产，是进行生产准备工作和安排生产计划的依据。在单件、小批生产中，工艺过程卡片常用来直接指导生产。

### 2. 机械制造工序卡片

机械制造工序卡片是在机械制造工艺过程卡片的基础上，按每道工序编制的一种工艺文件。它一般具有工序简图，并详细说明该工序每一工步的加工内容、工艺参数、操作要求，以及所用机床设备和工艺装备等。机械制造工序卡片主要用于大批量生产中，用来具体指导工人生产。在成批生产时，对于复杂零件或一些零件的重要工序也编写工序卡片。

目前，工艺规程还未有统一的格式，由各企业、工厂根据产品、零件的复杂程度、生产类型和技术、生产管理水平自行拟定。但所有这些工艺文件都应包含下列四方面主要内容：①原始条件包括产品型号、名称；②零件图号（代号）、名称；③材料牌号；④毛坯种类。工艺过程包括工艺路线或工序内容，机床设备，刀、夹、量具，切削用量等。审批内容包括编制、校对、审核（审定）、批准以及会签等。更改记录包括更改文件号、更改标记、更改人及更改日期等。

### 3. 实例

(1) 台阶轴的加工工序卡片 台阶轴如图 9-2 所示，其加工工序卡片如表 9-2 所示。

表 9-2 台阶轴的加工工序卡片

工序号	工序名称	工序内容	工作地
0	毛坯	下料 $\phi 60\text{mm} \times 325\text{mm}$	锯床
1	车工	车两端面至总长, 钻中心孔	中心孔机床
2	车工	车右端三个外圆(两外圆留磨量)切槽及倒角	车床
3	车工	车左端一个外圆(留磨量), 切槽及倒角	卧式车床
4	热处理	调质 28 ~ 32HRC	热处理车间
5	钳工	研磨中心孔	钻床
6	磨工	磨外圆 $\phi 55 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.030 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 至要求	外圆磨床
7	磨工	磨外圆 $\phi 40 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.016 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 至要求	外圆磨床
8	磨工	磨外圆 $\phi 35 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.016 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 至要求	外圆磨床

(续)

工序号	工序名称	工序内容	工作地
9	铣工	铣键槽	键槽铣床
10	铣工	铣螺纹	螺纹铣床
11	钳工	去毛刺	钳工台
12	检验	按图示尺寸检查	检验台

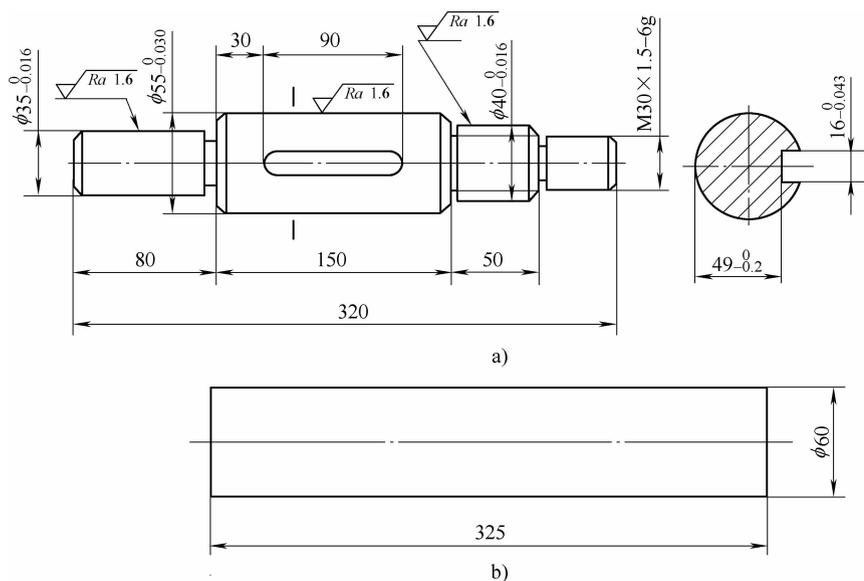


图 9-2 台阶轴

a) 零件图 b) 毛坯图

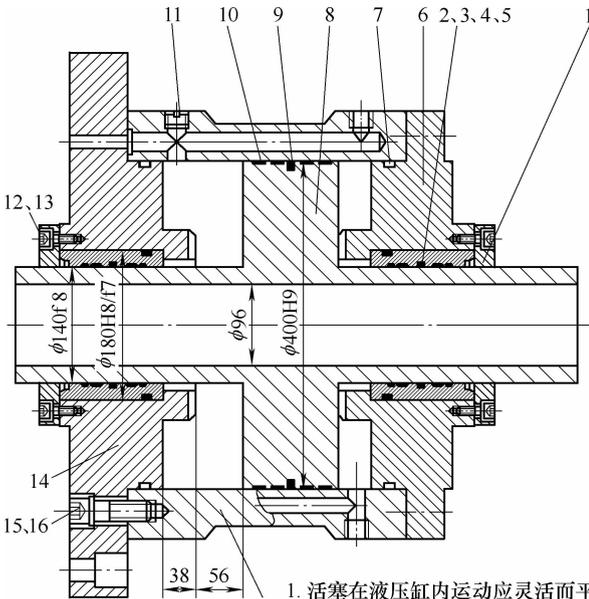
(2) 液压缸部件的装配工序卡片 液压缸部件装配图如图 9-3 所示, 工序卡片如表 9-3 所示。

表 9-3 液压缸部件装配工序卡片

工序号	工步号	装配内容	工艺装备	辅料
0	1	按图领取零件		煤油
	2	清除零件的飞边、毛刺,并用煤油清洗干净;用绸布擦净液压缸内部		
	3	复检零件尺寸,合格的零件方可进入装配		

(续)

工序号	工步号	装配内容	工艺装备	辅料
5	1	将密封圈2、导环3、O形密封圈5按图装入导向套4上的相应位置,然后把导向套组件分别装入缸盖6、14内,止口定位	装配台	
	2	将垫圈13套在螺钉12上,用螺钉12分别把压盖1固紧在缸盖6、14上		
	3	将密封圈9、活塞导环10装在活塞8上,然后把活塞组件装入缸体17内		
	4	将O形密封圈7分别装在缸盖6、14上,然后把缸盖6、14分别套在活塞左右两边的活塞杆上,并装入缸体17内。在固紧缸盖前,按标记使缸盖与缸体上的轴孔对准		
	5	将垫圈16套在螺钉15上,用螺钉15分别把缸盖6、14固紧在缸体17上		
10	1	按图将螺塞11拧入缸体17的螺孔内并焊死	电焊机	焊条
15	1	将液压缸部件吊装在液压缸试压台上,接好管路并试压。试压压力为14MPa,保压10min,各处不得有漏油现象	液压缸试压台	
	2	防锈处理并入库		



17	缸体		1	191	
16	垫圈	GB/T 93—1987 24	48	0.02	
15	螺钉	GB/T 70.1—2008 M24×70	48	0.37	
14	缸盖(二)		1	214	
13	垫圈	GB/T 93—1987 12	24	0.01	
12	螺钉	GB/T 70.1—2008 M12×30	24	0.04	
11	螺塞	M22×1.5	1	0.04	
10	活塞导环	BS50707—4000—A—47	4	0.3	
9	密封圈	GS55044—4000—46N359—8307	1	0.7	
8	活塞		1	136	
7	O形密封圈	JB/T 6657—1993 40×6	2	0.14	
6	缸盖(一)		1	111	
5	O形密封圈	GB/T 3452.1—2005 165×7	2	2.7	
4	导向套		2	0.06	
3	导环	BS50703—1400—C—47	8	0.2	
2	密封圈	GS55043—1400—46 359—8307	2	0.01	
1	压盖		2	5.9	
件号 名称 规格				件数	单重/kg
液压缸部件零件明细表					

技术要求

1. 活塞在液压缸内运动应灵活而平稳,在全行程内不许有卡阻现象。
2. 液压缸需进行压力试验,试验压力为14MPa,保压10min,不得有渗漏油现象。

图 9-3 液压缸部件装配图

## 参 考 文 献

- [1] 陈海魁. 机械制造工艺基础 [M]. 5 版. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2011.
- [2] 陈永. 金属材料常识普及读本 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [3] 崔长华, 左会峰, 崔雷. 机械加工工艺规程设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [4] 孙大俊. 机械基础 [M]. 4 版. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2011.
- [5] 蒋森春, 王雅洁. 机械加工基础入门 [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2011.
- [6] 陈永, 王金荣. 机械工人必备常识 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [7] 技能士の友編集部. 机械图样解读 [M]. 张晨阳, 朱伟, 译. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [8] 娄海滨, 顾淑群. 机械基础常识 [M]. 4 版. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [9] 陈永, 潘继民. 新编五金手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [10] 黄继昌. 机械工人必备手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [11] 尹玉珍. 机械制造技术常识 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [12] 唐世林, 刘党生. 金属加工常识 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
- [13] 吴志远. 图解钳工入门 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [14] 周佩锋. 工具钳工操作技术要领图解 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2005.
- [15] 陈宏钧. 钳工操作技能手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [16] 马鹏飞. 钳工与装配技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [17] 王金荣, 孟迪. 钳工看图学操作 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [18] 孙玉福. 铸工操作质量保证指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [19] 潘继民. 焊工操作质量保证指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

ISBN 978-7-111-36467-2

策划编辑：陈保华

封面设计：路恩中

本书系统地介绍了机械领域从业人员的必备知识。其主要内容包括解读机械图样、熟知机械零件、控制机械零件精度、熟知机械工程材料知识、夯实机械基础知识、掌握机械制造工艺、了解机械装配与调试、熟悉常用工具、掌握机械制造工艺流程共9章。本书具有极强的针对性和实用性，可使读者通过7天左右的学习，基本掌握机械制造需要熟知的背景知识和实践环节，为工作做好实战的准备。

上架指导：工业技术 / 机械工程

地址：北京市百万庄大街22号

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

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

定价：36.00元

ISBN 978-7-111-36467-2



9 787111 364672 >