

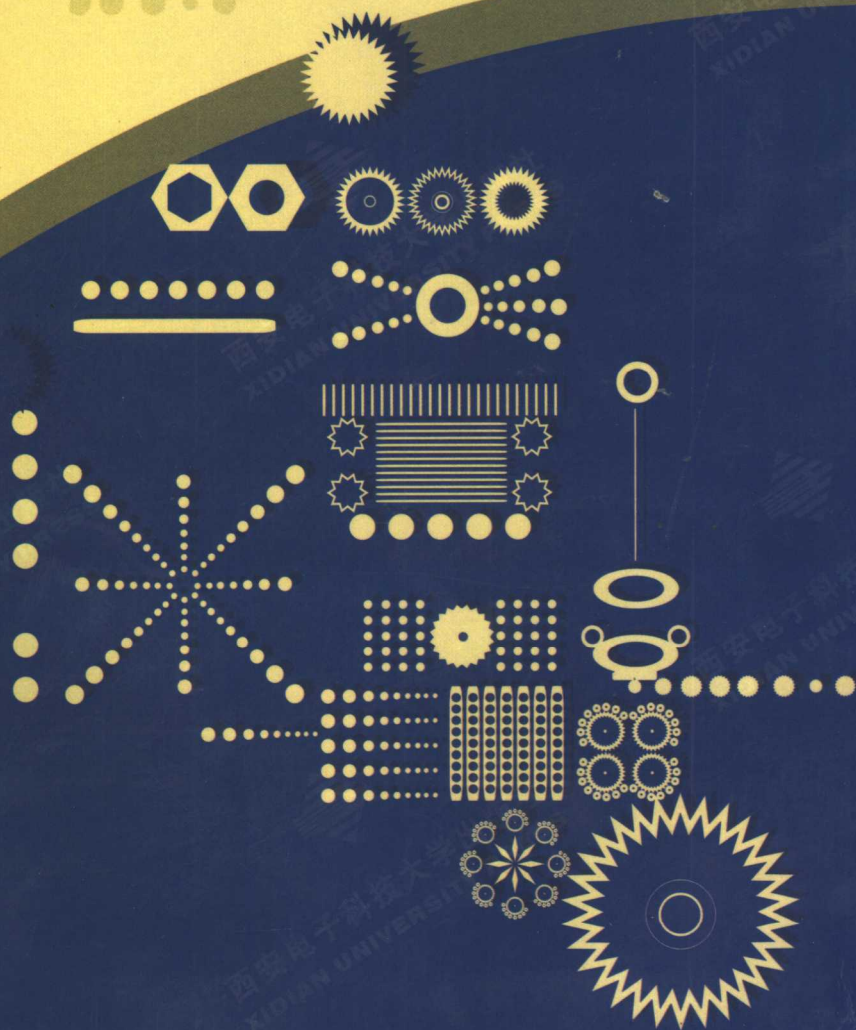
面向  
21  
世纪

中国高等职业技术教育研究会推荐  
机电类专业高职高专规划教材

# 数控加工实训教程

朱岱力 主编

刘继平 主审



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

## 内 容 简 介

本书按数控中级工考证的要求编写,从数控技能鉴定应知、应会两方面入手,全面系统地介绍了数控加工及相关的基础知识。全书内容包括机械加工基础知识,数控编程技巧及数控车、数控铣、加工中心及线切割等机床的基本操作,刀具的选用及安装,各种加工方法的手工编程应用举例,MasterCAM 软件在数控车、铣床上的加工方法及其参数选择。每章最后附有习题与思考题,供读者练习。

本书图文并茂,通俗易懂,并能理论联系实际,可作为高职高专学校数控机床操作及编程的实验和实训教材,还可以作为数控车、铣中级工考证培训教材和企业培训数控技术应用人才的参考书籍。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控加工实训教程 / 朱岱力主编. — 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.8

面向 21 世纪机电类专业高职高专规划教材

ISBN 7-5606-1691-7

I. 数… II. 朱… III. 数控机床—加工—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 074900 号

策 划 马乐惠

责任编辑 郑 东 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 11.25

字 数 254 千字

印 数 1~4000 册

定 价 14.00 元

ISBN 7-5606-1691-7/TP·0416

**XDUP 1983001-1**

\*\*\*如有印装问题可调换\*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 序

进入 21 世纪以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,必须重视内涵建设,不断深化教育教学改革。根据市场和社会的需要,不断更新教学内容,编写具有鲜明特色的教材是其必要任务之一。

为配合教育部实施紧缺人才工程,解决当前机电类精品高职高专教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种的基础上,又联合策划、组织编写了“数控、模具及汽车类专业”系列高职高专教材共 60 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业(数控、模具和汽车)的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职高专教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,且大都已重印,有的教材出版一年多的时间里已重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。本轮教材预计 2006 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校基本建设的一项重要工作,多年来,各高职高专院校都十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高职高专教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,为不断推出有特色、高质量的高职高专教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2005 年 10 月

李家亮

# 面向 21 世纪

## 机电类专业高职高专规划教材

### 编审专家委员会名单

**主 任：**刘跃南（深圳职业技术学院教务长，教授）

**副主任：**方 新（北京联合大学机电学院副院长，教授）

刘建超（成都航空职业技术学院机械工程系主任，副教授）

杨益明（南京交通职业技术学院汽车工程系主任，副教授）

**数控及模具组：**组长：刘建超（兼）（成员按姓氏笔画排列）

王怀明（北华航天工业学院机械工程系主任，教授）

孙燕华（无锡职业技术学院机械与汽车工程系主任，副教授）

皮智谋（湖南工业职业技术学院机械工程系副主任，副教授）

刘守义（深圳职业技术学院工业中心主任，副教授）

陈少艾（武汉船舶职业技术学院机电工程系主任，副教授）

陈洪涛（四川工程职业技术学院机电工程系副主任，副教授）

钟振龙（湖南铁道职业技术学院机电工程系主任，副教授）

唐 健（重庆工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

戚长政（广东轻工职业技术学院机电工程系主任，教授）

谢永宏（深圳职业技术学院机电学院副院长，副教授）

**汽车组：**组长：杨益明（兼）（成员按姓氏笔画排列）

王世震（承德石油高等专科学校汽车工程系主任，教授）

刘 锐（吉林交通职业技术学院汽车工程系主任，教授）

李春明（长春汽车工业高等专科学校汽车工程系副主任，教授）

汤定国（上海交通职业技术学院汽车工程系主任，高讲）

李祥峰（邢台职业技术学院汽车维修教研室主任，副教授）

陈文华（浙江交通职业技术学院汽车系主任，副教授）

徐生明（四川交通职业技术学院汽车系副主任，副教授）

韩 梅（辽宁交通职业技术学院汽车系主任，副教授）

颜培钦（广东交通职业技术学院汽车机械系主任，副教授）

**项目策划：**马乐惠

**策 划：**马武装 毛红兵 马晓娟

**电子教案：**马武装

# 前 言

数控加工是现代工业的支柱之一，也是工业经济持续发展的基础。近年来，我国正从制造大国向制造强国迈进，制造设备的大规模数控化使企业急需一批熟练掌握数控编程、数控设备操作和维修的工程技术人员。为此，国家制定了数控技能型人才的培养、培训方案：“国家高技能人才培养工程”和“三年五十万新技师培养计划”。技能型人才培养要逐步形成基本技能与操作技能、综合实践能力与综合技能有机结合的实践教学体系。其中，加强实践性教学环节尤为重要。

根据近年国家出台的完善就业准入制度和职业资格证书制度，本书从实训教学出发，以国家职业技能技术鉴定的数控车、铣中级工的应知应会内容为主线，介绍了机械加工基础知识、数控加工工艺分析、刀具选择、CAD/CAM 软件的应用、数控设备的操作及注意事项，并在实例介绍中配有典型零件加工程序和程序说明。

本书立足于新形势下企业对高等技术应用人才在数控加工领域的要求，注重理论教学与实践操作相结合，提高学生实际加工的能力，体现了培养数控加工高技能人才的理念，重点突出一个“用”字。本书具有以下特点：

1. 在课程结构上打破原有的课堂教学体系，以国家职业技能鉴定为标准，突出实践操作和编程技能的运用；
2. 注重数控设备应用、工艺工装使用和加工方法的正确选用；
3. 介绍了新工艺、新刀具。

本书在取材和叙述上力求便于讲授和学生自学，特别适宜职业技术学院数控、模具、机电类专业学生进行数控机床操作的实践性学习，也适宜于国家职业技能鉴定中级工考试培训，也可作为数控技术工人的培训教材。

本书由朱岱力主编并统稿，刘继平担任主审。第 1、2 章由朱岱力编写，第 4、6 章由欧阳凌江编写，第 5、7 章由陈波编写，第 3 章由申晓龙编写。

本书在编写过程中得到了任东、罗永新、陈年华、陈志坚和湖南工业职业技术学院数控中心教师们的大力支持，在此表示感谢。

书中难免存在一些错误之处，恳求读者批评指正。

编 者  
2006 年 5 月

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 金属材料加工的基本知识.....   | 1  |
| 1.1 金属材料.....            | 1  |
| 1.1.1 金属材料的分类.....       | 1  |
| 1.1.2 常用材料的牌号、性能和用途..... | 2  |
| 1.1.3 钢的热处理.....         | 3  |
| 1.2 刀具材料.....            | 4  |
| 1.2.1 刀具材料应具备的性能.....    | 4  |
| 1.2.2 常用刀具材料.....        | 4  |
| 1.2.3 切削液的合理选用.....      | 5  |
| 1.3 公差及测量.....           | 5  |
| 1.3.1 公差及其加工误差的概念.....   | 5  |
| 1.3.2 常用量具及其使用方法.....    | 7  |
| 1.3.3 量具的维护与保管.....      | 10 |
| 习题与思考题.....              | 10 |
| 第 2 章 数控机床概述.....        | 11 |
| 2.1 数控机床的工作原理及组成.....    | 11 |
| 2.2 数控机床的分类.....         | 12 |
| 2.2.1 按加工工艺方法分类.....     | 12 |
| 2.2.2 按控制运动的方式分类.....    | 12 |
| 2.2.3 按有无检测装置分类.....     | 13 |
| 2.3 数控机床的使用与维护.....      | 14 |
| 2.3.1 数控设备的常用操作规程.....   | 14 |
| 2.3.2 数控机床的日常维护与保养.....  | 15 |
| 习题与思考题.....              | 16 |
| 第 3 章 数控加工工艺与编程基础.....   | 17 |
| 3.1 数控加工工艺编制.....        | 17 |
| 3.1.1 确定数控机床上加工的内容.....  | 17 |
| 3.1.2 数控加工零件的工艺性分析.....  | 17 |
| 3.1.3 数控加工路线的设计.....     | 19 |
| 3.1.4 数控加工工序的设计.....     | 20 |
| 3.1.5 数控加工专用技术文件的编写..... | 25 |
| 3.2 数控编程基础.....          | 26 |
| 3.2.1 数控编程概述.....        | 26 |
| 3.2.2 程序结构与格式.....       | 27 |
| 3.3 数控机床的坐标系统.....       | 28 |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 3.3.1 机床坐标系与运动方向 .....             | 28        |
| 3.3.2 坐标系的原点 .....                 | 29        |
| 3.4 常用编程指令 .....                   | 30        |
| 习题与思考题 .....                       | 35        |
| <b>第4章 数控自动编程 .....</b>            | <b>37</b> |
| 4.1 自动编程简介 .....                   | 37        |
| 4.2 典型 CAD/CAM 软件介绍 .....          | 38        |
| 4.2.1 Master CAM 的特点 .....         | 38        |
| 4.2.2 Master CAM8.0 的主要功能 .....    | 38        |
| 4.2.3 系统流程图 .....                  | 39        |
| 4.3 Master CAM8.0 数控车削自动编程应用 ..... | 40        |
| 4.3.1 车削端面编程 .....                 | 41        |
| 4.3.2 粗车外圆编程 .....                 | 43        |
| 4.3.3 精车外圆编程 .....                 | 47        |
| 4.3.4 切槽加工编程 .....                 | 48        |
| 4.3.5 螺纹加工编程 .....                 | 51        |
| 4.3.6 切断加工编程 .....                 | 53        |
| 4.4 Master CAM8.0 数控铣削自动编程应用 ..... | 57        |
| 4.4.1 外形轮廓加工 .....                 | 58        |
| 4.4.2 沟槽铣削加工 .....                 | 61        |
| 习题与思考题 .....                       | 65        |
| <b>第5章 数控车削编程及加工 .....</b>         | <b>68</b> |
| 5.1 数控车削加工概述 .....                 | 68        |
| 5.1.1 数控车削加工的对象 .....              | 68        |
| 5.1.2 数控车床的配制与加工能力 .....           | 68        |
| 5.2 数控车床编程技术 .....                 | 70        |
| 5.2.1 数控车床编程的特点 .....              | 70        |
| 5.2.2 数控车床工件坐标系的建立及常见错误 .....      | 70        |
| 5.2.3 暂停指令——G04 .....              | 71        |
| 5.2.4 子程序调用 .....                  | 71        |
| 5.2.5 单一固定循环——G90 .....            | 73        |
| 5.2.6 螺纹车削循环指令——G92 .....          | 75        |
| 5.2.7 复合固定循环指令——G71、G72、G73 .....  | 76        |
| 5.3 车刀的选择及车刀的安装 .....              | 82        |
| 5.3.1 数控车刀的类型 .....                | 83        |
| 5.3.2 数控车床刀具的安装 .....              | 83        |
| 5.4 数控车床操作 .....                   | 86        |
| 5.4.1 数控车床操作面板功能 .....             | 86        |
| 5.4.2 数控车床操作方法和步骤 .....            | 90        |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 5.4.3 数控车床对刀操作 .....             | 92         |
| 5.4.4 数控程序的处理 .....              | 92         |
| 5.5 典型零件编程与加工实例 .....            | 93         |
| 习题与思考题 .....                     | 100        |
| <b>第 6 章 数控镗铣加工实训</b> .....      | <b>103</b> |
| 6.1 数控镗铣床加工概述 .....              | 103        |
| 6.2 数控镗铣床的编程技术 .....             | 103        |
| 6.2.1 坐标系的建立及常见错误 .....          | 103        |
| 6.2.2 刀具半径补偿功能及注意事项 .....        | 107        |
| 6.2.3 子程序调用 .....                | 108        |
| 6.2.4 比例及镜像功能 .....              | 110        |
| 6.2.5 固定循环指令 .....               | 112        |
| 6.2.6 刀具选择与刀具交换指令 .....          | 114        |
| 6.3 数控镗铣床常用附件及刀具 .....           | 115        |
| 6.3.1 常用附件及附属设备 .....            | 115        |
| 6.3.2 刀具及刀柄 .....                | 118        |
| 6.3.3 立铣刀刀夹头的种类及安装 .....         | 119        |
| 6.3.4 立铣刀在加工中应注意的问题 .....        | 121        |
| 6.3.5 铣削方式的选用 .....              | 122        |
| 6.4 数控镗铣床及加工中心的基本操作 .....        | 123        |
| 6.4.1 数控铣床操作面板功能 .....           | 123        |
| 6.4.2 机床操作方法和步骤 .....            | 126        |
| 6.4.3 数控镗铣床及加工中心的对刀操作 .....      | 128        |
| 6.4.4 G54~G59 参数设置 .....         | 132        |
| 6.4.5 数控铣床及加工中心刀具补偿参数设置 .....    | 132        |
| 6.4.6 数控程序处理 .....               | 133        |
| 6.4.7 自动加工方式 .....               | 134        |
| 6.5 数控镗铣床操作要则 .....              | 136        |
| 6.6 典型零件编程与加工实例 .....            | 136        |
| 习题与思考题 .....                     | 141        |
| <b>第 7 章 数控电火花线切割加工及编程</b> ..... | <b>144</b> |
| 7.1 数控电火花线切割加工概述 .....           | 144        |
| 7.2 DK7725 电火花机床操作 .....         | 145        |
| 7.2.1 机床操作面板与控制柜面板 .....         | 145        |
| 7.2.2 机床操作步骤 .....               | 147        |
| 7.3 电火花线切割工艺 .....               | 151        |
| 7.3.1 线切割电参数的选择 .....            | 151        |
| 7.3.2 电极丝的选择 .....               | 152        |
| 7.3.3 走丝路线的选择 .....              | 152        |

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| 7.3.4 工件的装夹 .....                   | 154     |
| 7.3.5 运丝起点的确定 .....                 | 154     |
| 7.3.6 短路和断丝的处理 .....                | 155     |
| 7.4 程序编制 .....                      | 155     |
| 7.4.1 程序格式 .....                    | 155     |
| 7.4.2 编程基础 .....                    | 155     |
| 7.4.3 直线程序的编制 .....                 | 156     |
| 7.4.4 圆弧程序的编制 .....                 | 157     |
| 7.4.5 偏移补偿 .....                    | 159     |
| 7.5 典型零件编程与加工实例 .....               | 159     |
| 7.5.1 自动补偿偏移量的编程 .....              | 159     |
| 7.5.2 人工补偿偏移量编程 .....               | 160     |
| 习题与思考题 .....                        | 162     |
| <br>附录 FANUC 数控系统准备功能 G 代码指令表 ..... | <br>164 |
| 参考文献 .....                          | 167     |

# 第 1 章 金属材料加工的基本知识

## 1.1 金属材料

金属材料是机械制造中使用最广泛的材料，为了正确地使用和加工材料，必须了解材料的使用性能和工艺性能，如力学性能、物理性能、铸造性能、锻造性能等。

金属的力学性能是指金属在力作用下，所显示出的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力—应变关系的特性，它是选择材料的主要依据。金属力学性能常用的判据有强度、硬度、塑性、韧性等，见表 1-1。

表 1-1 常用力学性能判据及含义

| 力学性能 | 性能判据  |            |     | 含 义                 |
|------|-------|------------|-----|---------------------|
|      | 名 称   | 代号         | 单位  |                     |
| 强度   | 抗拉强度  | $\sigma_b$ | MPa | 拉伸试样在拉断前所受的最大拉应力    |
|      | 屈服点   | $\sigma_s$ | MPa | 拉伸试样产生屈服现象时的应力      |
| 硬度   | 布氏硬度  | HBS(W)     | —   | 试样压痕单位面积上所受载荷       |
|      | 洛氏硬度  | HRC        | —   | 通过测量残余压痕深度增量计算的硬度数值 |
| 塑性   | 断后伸长率 | $\delta$   | —   | 试样纵向相对伸长变形率         |
|      | 断面收缩率 | $\psi$     | —   | 试样横向相对收缩变形量         |
| 韧性   | 冲击吸收功 | $A_b$      | J   | 试样冲断时单位面积上所做的功      |

### 1.1.1 金属材料的分类

金属材料通常分为黑色金属和有色金属两大类，如图 1-1 所示。

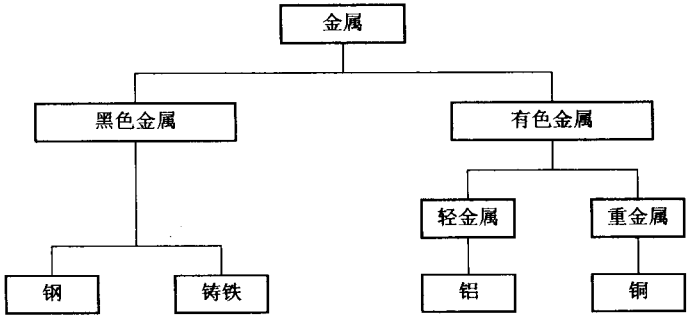


图 1-1 金属材料的分类

## 1.1.2 常用材料的牌号、性能和用途

### 1. 铸铁

铸铁是对主要由铁、碳和硅组成的合金的总称。铸铁是以铁和碳为主要组成元素，并含有硅、锰、磷、硫等杂质元素的合金。根据碳在铸铁中存在的形态，铸铁一般可分为白口铸铁、灰铸铁和麻口铸铁等。工业上最常用的有灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁等。

(1) 灰铸铁。该铸铁中的碳主要以片状石墨存在，其断口呈灰色。这类铸铁铸造性能优良；耐磨、可切削性良好；切口敏感性低，且价格便宜，是目前工业上应用最广泛的金属材料之一。

灰铸铁的牌号是由“灰铁”两字的拼音字首“HT”及一组数字组成，数字表示其最低抗拉强度。如 HT200，表示最低抗拉强度为 200 MPa 的灰铸铁。

(2) 球墨铸铁。球墨铸铁是铁液在浇注前经过球化处理，使石墨呈球状分布的铸铁。其强度、塑性、韧性均高于灰铸铁。

球墨铸铁的牌号是由“球铁”两字的拼音字首“QT”和两组数字组成，数字分别表示其最低抗拉强度和断后伸长率。如 QT600-3，表示最低抗拉强度为 600 MPa、最低断后伸长率为 3% 的球墨铸铁。

### 2. 碳素钢和合金钢

碳素钢是指碳的质量分数小于 2.11%，并含有少量锰、硅、硫、磷等杂质元素的铁碳合金。合金钢是在碳钢的基础上，冶炼时有目的地加入一些合金元素而得到的复杂钢。

(1) 碳素结构钢：这类钢具有较好的塑性和韧性，强度、硬度一般，价格低廉，主要用于制造工程结构件和不重要的机械零件，如拉杆，转轴等。最常见的牌号有 Q235-A，牌号中的“Q235”表示屈服点为 235 MPa；“A”是质量等级。

(2) 优质碳素结构钢：这类钢的质量优于结构钢，有害元素硫、磷的含量低，常用于制造中小型机器零件。牌号用两位数字表示钢中碳的含量，如 45 钢表示碳质量分数为 0.45% 的优质碳素结构钢。

10、15、20 钢属低碳钢，强度、硬度较低，塑性、韧性良好，且具有良好的焊接性能，常用来制造冲压件、焊接件等。这类钢件进行渗碳、淬火、低温回火处理后可获得表面硬度高，心部韧性良好的特性，适用于要求耐磨，而又承受冲击的零件，如活塞销、齿轮等。

20、35、40、45、50 钢属中碳钢，对其进行调质处理后可获得良好的综合力学性能，其中 45 钢应用最为广泛，常用于制造轴、连杆、齿轮等受力复杂的零件。

55、60、65 属中高碳钢，进行淬火、中温回火处理后可获得高的屈服点和高的弹性，主要用于制造弹簧、钢丝绳、轧辊等。

(3) 碳素工具钢：这类钢的牌号用“T”和数字表示，其中“T”表示碳素工具钢，数字表示钢中碳含量的百分之几。如 T12 表示碳的质量分数为 1.2% 的优质碳素工具钢；高级优质钢在牌号末尾加“A”，如 T12A 表示碳的质量分数为 1.2% 的高级优质碳素工具钢。这类钢主要用于制造手用切削刀具、不重要的小型模具，如锉刀、手锯条、冲头、铰子等。

(4) 常用合金钢：合金钢种类很多，下面介绍几种常用的典型合金钢：

20CrMnTi 是合金渗碳钢，对其进行渗碳、淬火、低温回火处理后，可获得表面硬、心

部韧的性能，主要用于制造受冲击的耐磨零件，如汽车变速齿轮等。

40Cr 是合金调质钢，进行调质处理后，可获得优良的综合力学性能，常用于制造重要的轴、连杆、发动机连杆螺栓等。

GCr15 为滚动轴承钢，经淬火、低温回火后可获得 62~64 HRC 的硬度值，主要用于制造中小型滚动轴承的套圈、滚动体，也可用于制造高精度量具、模具等。

4Cr13 为不锈钢，经热处理后具有良好的耐腐蚀性能，并具有一定的强度和硬度，主要用于制造医疗器械，如手术刀等。

### 3. 有色金属

通常把除了钢铁以外的其它金属材料称为有色金属。有色金属具有特殊的物理、化学性能和其他优良的性能。因此，在工业生产中有特殊的用途，常用的有铜及铜合金、铝及铝合金等。如防锈铝 5A05、硬铝 2A11、普通黄铜 H68、锡青铜 QSn4-3 等。

## 1.1.3 钢的热处理

热处理的目的是提高材料的机械性能，消除残余应力和改善金属的切削加工性。按照热处理的目的不同，热处理工艺可分为两大类：预备热处理和最终热处理。

### 1. 预备热处理

预备热处理的目的是改善材料的加工性能，消除内应力或为最终热处理准备良好的金相组织，其热处理工艺有退火、正火、时效、调质等。

(1) 退火和正火：退火和正火用于需加工的毛坯。含碳量高于 0.5% 的碳钢和合金钢，为降低其硬度易于切削，常采用退火处理；含碳量低于 0.5% 的碳钢和合金钢，为避免其硬度过低切削时粘刀，而采用正火处理。退火和正火尚能细化晶粒、均匀组织，为以后的热处理做好准备。退火和正火常安排在毛坯制造之后、粗加工之前进行。

(2) 时效处理：时效处理主要用于消除毛坯制造和机械加工中产生的内应力。

(3) 调质：调质即是在淬火后进行高温回火的热处理，它能获得均匀细致的回火索氏体组织，为以后的表面淬火和渗氮处理时减少变形做准备，因此调质也可作为预备热处理。

### 2. 最终热处理

最终热处理的目的是提高零件的硬度、耐磨性和强度等力学性能。处理主要有淬火、渗碳淬火和渗氮处理等。

(1) 淬火。淬火有表面淬火和整体淬火。其中表面淬火因为变形、氧化及脱碳较小而应用较广，使零件具有外部强度高，耐磨性好，而内部保持良好的韧性、抗冲击性等优点。

(2) 渗碳淬火。渗碳淬火适用于低碳钢和低合金钢，其方法是先提高零件表层的含碳量，经淬火后使零件表层获得高的硬度，而心部仍保持一定的强度、较高的韧性和塑性。渗碳分整体渗碳和局部渗碳。

(3) 渗氮处理。渗氮是使氮原子渗入金属表面获得一层含氮化合物的处理方法。渗氮层可以提高零件表面的硬度、耐磨性、疲劳强度和抗蚀性。

## 1.2 刀具材料

### 1.2.1 刀具材料应具备的性能

(1) 高硬度。刀具切削部分材料的硬度要求高于被加工材料的硬度，在常温状态下，刀具硬度应在 60HRC 以上。

(2) 高耐磨性。刀具切削部分材料应具有高耐磨性，使刀具在长时间的切削中保持其形状和角度不变。

(3) 足够的强度和韧性。刀具切削部分材料承受着各种切削力、冲击与振动，应具备足够的强度和韧性，以保证在正常切削条件下，不至于崩刃或断裂。

(4) 高耐热性。耐热性是指高温下，刀具切削部分材料保持原有硬度的性能。可用红硬性或高温硬度来表示。

(5) 良好的加工工艺性和经济性。

### 1.2.2 常用刀具材料

作为刀具的材料有很多种，目前数控机床使用较多的主要有高速钢、硬质合金、陶瓷材料、金刚石等。

#### 1. 高速钢

高速钢的抗弯强度高、韧性好，常温硬度一般大于 60 HRC，在切削温度达 500~600℃ 时，仍能保持高硬度( $\geq 60\text{HRC}$ )，刃磨时刃口可磨得较锋利，并且具有较好的工艺性，可制造刃形复杂的刀具，如钻头、丝锥、成型刀具。常用的高速钢牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等。

#### 2. 硬质合金

硬质合金是用具有高耐磨性、高耐热性的 WC、TiC 等金属粉末，以 Co 作为粘结剂，采用粉末冶金的方法制成的合金。其硬度高达 93HRA(相当于 81HRC)，工作温度高达 900~1000℃ 时，仍能保持切削力，允许的切削速度比高速钢高 4~7 倍，刀具耐用度比高速钢提高 5~8 倍。能切削高硬度(50HRC)材料。但其抗弯强度低、冲击韧性差、制造工艺性差，不适于制造复杂的整体刀具，多制成各种形状的刀片，焊接或夹固在刀杆上使用。

常用的硬质合金以 WC 为主要成分，根据是否加入其他碳化物而分为以下几类：

(1) 钨钴类(WC+Co)硬质合金(YG)。它由 WC 和 Co 组成，具有较高的抗弯强度，导热性好，但耐热性和耐磨性较差，主要用于加工铸铁和有色金属。细晶粒的 YG 类硬质合金(如 YG3X, YG6X)，在含钴量相同时，其硬度耐磨性比 YG3、YG6 高，强度和韧性稍差，适用于加工铸铁、奥氏体不锈钢、耐热合金、硬青铜等。

(2) 钨钛钴类(WC+TiC+Co)硬质合金(YT)。由于 TiC 的硬度和熔点均比 WC 高，因此和 YG 相比，其硬度、耐磨性、红硬性增大，粘结温度高，抗氧化能力强，但导热性能较差，抗弯强度低，适用于加工钢材等韧性材料。

(3) 钨钛钽钴类(WC+TiC+TaC+Co)硬质合金(YW)。在 YT 类硬质合金的基础上添加 TaC(NbC), 提高了抗弯强度、冲击韧性、高温硬度、抗氧化能力和耐磨性。既可以加工钢, 又可以加工铸铁及有色金属。因此常称为通用硬质合金(又称为万能硬质合金)。目前主要用于加工耐热钢、高锰钢、不锈钢等难切削材料。

### 1.2.3 切削液的合理选用

为了有效地减少切削过程中的摩擦, 改善散热条件, 从而降低切削力、功率消耗、切削温度和刀具磨损, 提高生产率和加工表面质量, 常使用切削液。切削液是为了提高加工效果而使用的液体, 它具有冷却、润滑、清洗、防腐的作用。

#### 1. 切削液的分类

常用切削液有水溶液、切削油和乳化液。

(1) 水溶液。水溶液是以水为主要成分的切削液。因为水的导热性比油大, 所以, 水溶液的冷却性能很好。主要用于磨削、钻削和粗加工等切削温度较高的加工。

(2) 切削油。切削油的主要成分是矿物油, 可在其中加入油性添加剂和极压添加剂, 以改善其油性及极压性。

(3) 乳化液。乳化液是通过乳化添加剂形成的切削油和水溶液的混合液。其性能介于水溶液和切削油之间。也可在其中加入油性添加剂或极压添加剂, 以改善其油性或极压性。

#### 2. 切削液的合理选用

切削液应根据工件材料、刀具材料、加工方法和技术要求等具体情况进行选用。通常考虑以下几个方面:

(1) 高速钢刀具红硬性差, 需采用切削液。硬质合金刀具红硬性好, 一般不加切削液; 若硬质合金刀具使用切削液, 必须连续、充分地浇注, 不能间断。

(2) 切削铸铁或铝合金时, 一般不用切削液。如要使用切削液, 应选用煤油为宜。

(3) 切削铜合金和有色金属时, 一般不宜选用含有极压添加剂的切削液。

(4) 切削镁合金时, 严禁使用乳化液作为切削液, 以防燃烧引起事故。

(5) 粗加工时, 应以冷却为主, 可选用水溶液或低浓度的乳化液; 精加工时, 应以润滑为主, 可选用切削油或浓度较高的乳化液。

(6) 低速精加工时, 可选用油性较好的切削油。

(7) 粗磨时, 可选用水溶液; 精磨时, 可选用乳化液或极压切削液。

## 1.3 公差及测量

### 1.3.1 公差及其加工误差的概念

机械加工误差是指零件加工后的实际几何参数与理论几何参数之间的偏差程度。尺寸精度是指零件加工后的实际尺寸与理想尺寸的符合程度。尺寸公差是切削加工中零件尺寸允许的变动量。在基本尺寸相同的情况下, 尺寸公差越小, 则尺寸精度越高, 加工越困难。

(1) 基本尺寸: 设计给定的尺寸。如图示 1-2 小轴零件图上的  $\phi 30\text{ mm}$ 、 $\phi 50\text{ mm}$ 、 $10\text{ mm}$ 、

70 mm、15 mm 等。

(2) 极限尺寸：允许尺寸变化的两个界限值。两界限值中较大的一个称最大极限尺寸；较小的一个称最小极限尺寸。如图示 1-2 中  $\phi 30_{-0.033}^0$  的最大极限尺寸为  $\phi 30$  mm；最小极限尺寸为  $\phi 29.967$  mm。零件加工后的实际尺寸必须大于最小极限尺寸且小于最大极限尺寸，这时零件为合格；否则为不合格。

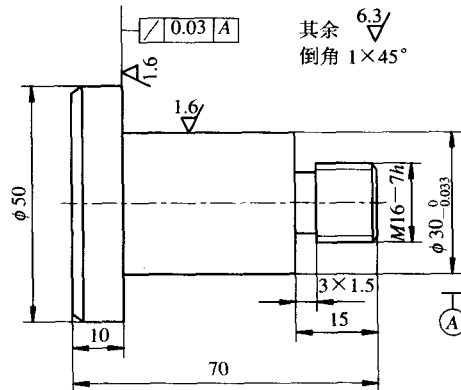


图 1-2 小轴

(3) 尺寸偏差：某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差为上偏差。孔用 ES 表示，轴用 es 表示。最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差。孔用 EI 表示，轴用 ei 表示。如图示 1-2 中  $\phi 30_{-0.033}^0$  mm (es=0, ei=-0.033 mm)。零件加工后测量的偏差称为实际偏差。实际偏差处于上、下尺寸偏差之间的零件为合格，否则为不合格。

(4) 尺寸公差：允许尺寸的变动量。公差等于最大极限尺寸减去最小极限尺寸的绝对值，也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。基本尺寸、极限尺寸、尺寸偏差及尺寸公差之间的关系见图 1-3 所示。

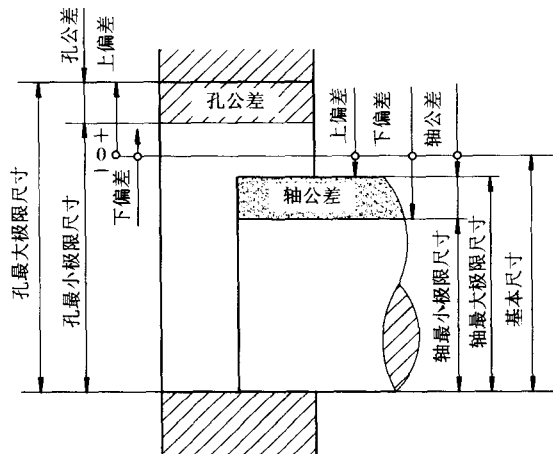


图 1-3 各尺寸间的关系示意图

(5) 公差等级：用以确定尺寸精确程度的等级。标准规定有 20 个等级，它们是 IT01、IT0、IT1、…，IT17、IT18。其中 IT01 级精度最高，IT18 级精度最低。

(6) 基本偏差：用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般以靠近零线的那个偏差称为基本偏差。图示 1-4 所示为基本偏差系列。

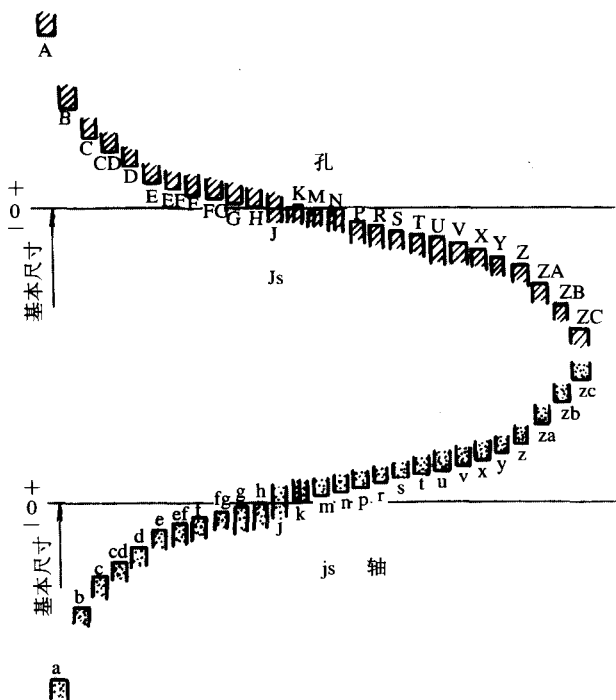


图 1-4 基本偏差系列

(7) 配合：配合是指基本尺寸相同、相互结合的孔轴公差带之间的关系。根据配合后间隙或过盈的大小，分为间隙配合、过盈配合和过渡配合。

(8) 基准制：国标规定采用两种不同方法获得孔与轴的三种配合，称为两种配合制度，即基孔制与基轴制。

基孔制：基本偏差一定的孔的公差带，与不同基本偏差轴的公差带形成各种配合性质的一种制度。国标规定基孔制的孔为基准孔，基准孔的偏差代号为“H”，其下偏差为零。

基轴制：基本偏差一定的轴的公差带，与不同基本偏差孔的公差带形成各种配合性质的一种制度。国标规定基轴制的轴为基准轴，基准轴的偏差代号为“h”，其上偏差为零。

### 1.3.2 常用量具及其使用方法

#### 1. 游标卡尺

游标卡尺是一种中等精度的量具，可测量外径、内径、长度、宽度和深度等尺寸。按用途不同游标卡尺可分为：普通游标卡尺、游标深度尺、游标高度尺等，如图 1-5 和图 1-6 所示。

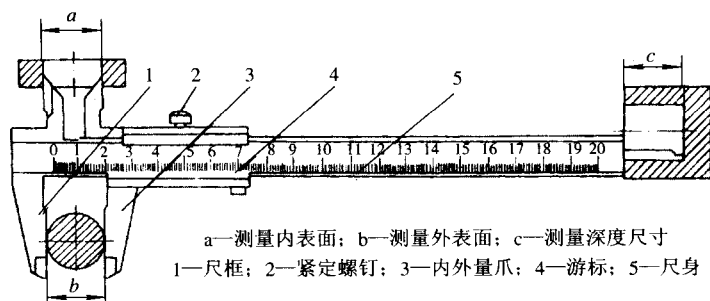


图 1-5 游标卡尺

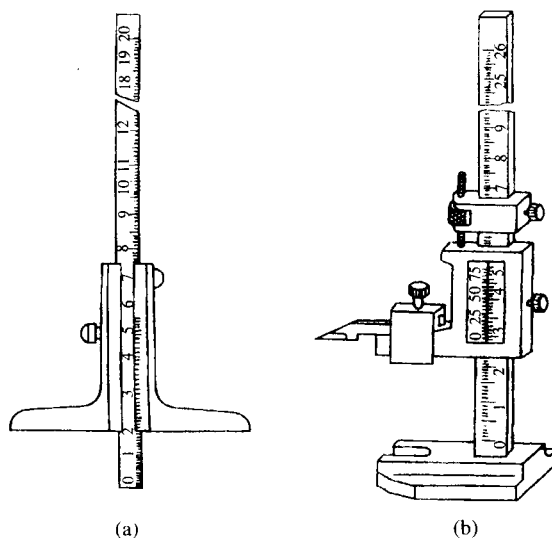


图 1-6 游标深度尺和游标高度尺

(a) 游标深度卡尺；(b) 游标高度卡尺

## 2. 千分尺

千分尺是一种比游标卡尺更精密的量具，测量精度为  $0.01\text{ mm}$ 。常用的千分尺有外径千分尺和内径千分尺。图 1-7 为外径千分尺的结构图，图 1-8 为内径千分尺结构图。

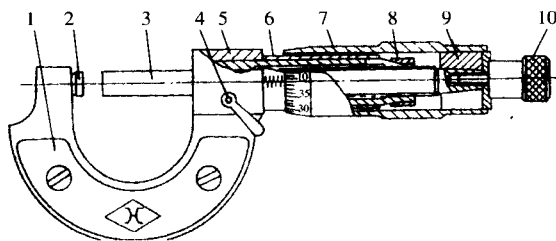


图 1-7 外径千分尺