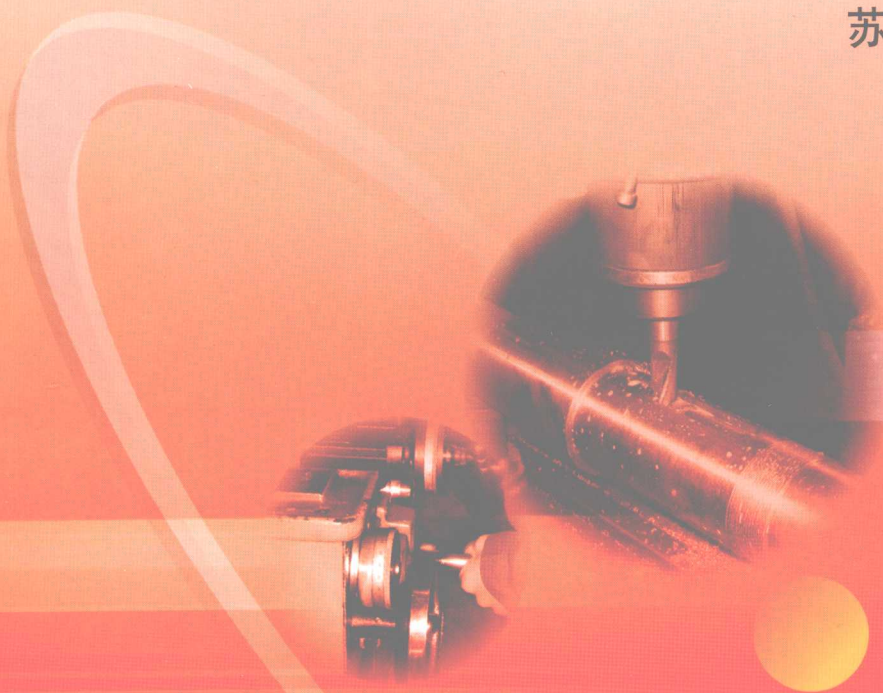




中等职业教育“十一五”规划教材
(机电技术应用专业)

机械加工基础

苏伟 主编



赠电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育“十一五”规划教材

(机电技术应用专业)

机械加工基础

主 编 苏 伟

副主编 朱红梅

参 编 姜庆华 王茂辉

唐天广 户凤荣

李 聪 王 娟

于 聪

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书是中等职业教育“十一五”系列规划教材。本书主要内容包括机械加工检测技术、金属切削加工的基础知识、机械加工设备、机床夹具、机械加工工艺、典型表面的机械加工方法、钳工技术、机械加工质量及控制和先进加工技术等。

本书可作为中等职业学校机电技术应用专业教材使用，也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械加工基础/苏伟主编. —北京: 机械工业出版社, 2008.4
中等职业教育“十一五”规划教材 (机电技术应用专业)
ISBN 978-7-111-23873-7

I. 机… II. 苏… III. 机械加工—专业学校—教材 IV. TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 050258 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: 高倩 责任编辑: 齐志刚
版式设计: 霍永明 责任校对: 樊钟英
封面设计: 姚毅 责任印制: 邓博

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2008年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.25印张·423千字

标准书号: ISBN 978-7-111-23873-7

0001—3000册

定价: 26.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379195

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书参考了劳动和社会保障部制定的《国家职业标准》中相关工种中级工等级考核标准编写的。编写过程中,在借鉴国外先进的职业教育理念、模式和方法的基础上,结合我国的实际情况,进行适当探索,注重理论联系实践,充分体现了新时期职业教育的特色。

本书内容以学生必须掌握的零件制造的各个环节所需要的知识和技能为主线,阐述了机械加工检测技术、金属切削加工的基础知识、机械加工设备、机床夹具、机械加工工艺、典型表面的机械加工方法、钳工技术、机械加工质量及控制和先进加工技术,具有一定的广度,同时也涉及了新材料、新设备、新工艺。另外,各章后均配有思考与练习题。

本书在编写中力求先进性、适用性、趣味性等特点,并注意结合我国机械加工行业的特点,使读者由浅入深地学习机械加工相关知识,达到举一反三,触类旁通。

本课程教学共需 90 学时,学时分配参考表 0-1:

表 0-1 课时分配

章 次	学 时 数		
	现场教学	讲 授	合 计
绪 论		1	1
第 1 章 机械加工检测技术	2	7	9
第 2 章 金属切削加工的基础知识	2	6	8
第 3 章 机械加工设备		6	6
第 4 章 机床夹具	2	10	12
第 5 章 机械加工工艺		14	14
第 6 章 典型表面的机械加工方法		18	18
第 7 章 钳工技术		10	10
第 8 章 机械加工质量及控制		4	4
第 9 章 先进加工技术		6	6
机 动			2
合 计	6	82	90

本书由吉林航空工程学校苏伟(绪论、第 3 章、7.1~7.4)担任主编、朱红梅(第 1 章、6.1、6.2)担任副主编,唐山职业技术学院姜庆华(第 4 章、7.5~7.8)、吉林工业职业技术学院王茂辉(9.5~9.7)、马鞍山职教中心唐天广(第 8 章)、吉林航空工程学校户凤荣(2.7、9.1~9.4)、李聪(第 5 章)、王娟(6.3、6.4)和于聪(2.1~2.6)老师等参编。

本书可供中等职业学校机电专业学生选用,也适用于近机械类专业作为选修课,同时对于广大机械加工工人来说也是一本可读之书。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点、错误,恳请读者批评指正。

目 录

前言		第4章 机床夹具	116
绪论	1	4.1 机床夹具概述	116
0.1 机械制造业的地位、组成、现状和 发展趋势	1	4.2 工件的定位	118
0.2 机械加工零件的种类和特点	3	4.3 工件的夹紧	130
思考与练习	4	4.4 典型机床夹具	137
第1章 机械加工检测技术	5	思考与练习	146
1.1 测量的基本概念	5	第5章 机械加工工艺	148
1.2 常用量具	8	5.1 机械加工工艺概述	148
1.3 公差与配合	18	5.2 机械加工工艺规程	152
1.4 形状和位置公差	23	5.3 零件的加工工艺分析	156
1.5 表面粗糙度	26	5.4 毛坯的选择	159
思考与练习	31	5.5 机械加工工艺路线的拟订	160
第2章 金属切削加工的基础知识	33	5.6 加工余量的确定	166
2.1 金属切削加工运动	33	5.7 工艺尺寸链	168
2.2 刀具切削部分的几何角度	36	5.8 机械加工生产率和技术经济分析	172
2.3 金属切削过程	40	思考与练习	176
2.4 切削力和切削功率	44	第6章 典型表面的机械加工方法	178
2.5 切削热和切削温度	49	6.1 车削加工	178
2.6 刀具材料、磨损和寿命	50	6.2 铣削加工	192
2.7 刀具几何参数和切削用量的 合理选用	59	6.3 刨削加工	200
思考与练习	64	6.4 磨削加工	204
第3章 机械加工设备	66	思考与练习	209
3.1 机械加工设备的型号	66	第7章 钳工技术	210
3.2 通用机械加工设备	73	7.1 钳工技术概述	210
3.3 数控加工设备	100	7.2 划线	212
3.4 特种加工设备	109	7.3 錾削	219
思考与练习	114	7.4 锯削	222
		7.5 锉削	225
		7.6 钻削	229
		7.7 攻螺纹和套螺纹	235
		7.8 装配	238

思考与练习	240	9.2 激光加工技术	255
第 8 章 机械加工质量及控制	241	9.3 超声波加工技术	257
8.1 机械加工精度	241	9.4 高速切削加工技术	259
8.2 机械加工表面质量	249	9.5 干切削加工技术	260
思考与练习	251	9.6 硬切削加工技术	261
第 9 章 先进加工技术	252	9.7 精密和超精密加工技术	262
9.1 快速成形制造技术	252	思考与练习	266
		参考文献	267

绪 论

 要点提示:

- 1) 了解机械制造业在国民经济中的地位与任务。
- 2) 了解机械制造企业的组成系统。
- 3) 了解机械制造业的发展趋势。
- 4) 掌握常见机械加工零件的种类。

0.1 机械制造业的地位、组成、现状和发展趋势

0.1.1 机械制造业在国民经济中的地位与任务

机械制造业是工业的主体。今天它已经发展成为一个规模庞大包罗万象的行业。机械制造是各种机械、机床、工具、仪器、仪表制造过程的总称。与机械制造业相关的产品，涵盖了家用电器、汽车零部件、建筑机械和工厂设备诸多领域。机械制造技术是研究这些机械产品的加工原理、工艺过程和方法以及相关设备的一门工程技术。机械制造业是国民经济的基础和支柱，是向其他各部门提供工具、仪器和各种机械设备的技術装备部门。

机械制造业在国民经济中占有十分重要的位置，也是国民经济的支柱产业。美国 68% 的财富来源于制造业，日本国民经济的 49% 是由制造业提供的。中国的制造业在工业总产值占有 40% 以上的比例。可见机械制造业发展水平是衡量一个国家经济实力和科学技术水平重要标志之一。

我国机械工业的主要任务是为国民经济各个部门的发展提供所需的各类先进、高效、节能的新型机电装备，并努力提高质量，保证交货期，积极降低成本，将我国机械加工工业提高到新的水平。机械制造业是一个国家的工业基础，制造业的兴旺才是国家强盛的象征。各行各业都离不开机械设备，人类文明的发展是和制造业分不开的。这是因为工业、农业、国防和科学技术的现代化程度，都会通过机械工业的发展程度反映出来。

0.1.2 机械制造企业的组成系统

1. 机械加工工艺系统

机械加工工艺系统是制造企业中处于最底层的一个个加工单元，一般由机床、刀具、夹具和工件四要素组成。

机械加工工艺系统是各个生产车间生产过程中的一个主要组成部分。其整体目标是要求在不同的生产条件下，通过自身的定位装夹机构、运动机构、控制装置以及能量供给等机构，按不同的工艺要求直接将毛坯或原材料加工成形，并保证质量、满足产量和低成本地完

成机械加工任务。

现代加工工艺系统一般是由计算机控制的先进自动化加工系统,计算机已成为现代加工工艺系统中不可缺少的组成部分。

2. 机械制造系统

机械制造系统是将毛坯、刀具、夹具、量具和其他辅助物料作为原材料输入,经过存储、运输、加工、检验等环节,最后输出机械加工的成品或半成品的系统。

机械制造系统既可以是一台单独的加工设备,如各种机床、焊接机、数控线切割机,也可以是包括多台加工设备、工具和辅助系统(如搬运设备、工业机器人、自动检测机等)组成的工段或制造单元。一个传统的制造系统通常可以概括地分成三个组成部分:机床、工具和制造过程。

机械加工工艺系统是机械制造系统的一部分。

3. 生产系统

如果以整个机械制造企业为分析研究对象,实现企业最有效地生产和经营,不仅要考虑原材料、毛坯制造、机械加工、试车、油漆、装配、包装、运输和保管等各种要素,而且还必须考虑技术情报、经营管理、劳动力调配、资源和能源的利用、环境保护、市场动态、经济政策和社会问题等要素,这就构成了一个企业的生产系统。生产系统是物质流、能量流和信息流的集合,可分为三个阶段,即决策控制阶段、研究开发阶段以及产品制造阶段。

0.1.3 机械制造业的现状

近几年来,数控机床和各种加工中心自动换刀机床的普及,使机床向着高速、高精度方向发展。

在机床数控化过程中,机械部件的成本在机床系统中所占的比重不断下降,模块化、通用化和标准化的数控软件,使用户可以很方便地达到加工要求。同时,机床结构也发生了根本变化。

随着加工设备的不断完善,机械加工工艺也在不断地变革,从而使机械制造精度不断提高。

近年来新材料不断出现,使其强度、硬度、热硬性等不断提高。新材料的迅猛发展对机械加工提出新的挑战。一方面迫使普通机械加工方法要改变刀具材料、改进所用设备;另一方面对于高强度材料,特硬、特脆和其他特殊性能材料的加工,要求应用更多的物理、化学、材料科学的现代知识来开发新的制造技术。由此出现了很多特种加工方法,如电火花加工、电解加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工以及激光加工等。这些加工方法突破了传统的金属切削方法,使机械制造工业出现了新的面貌。

0.1.4 机械制造业的发展趋势

在未来的几年,以下四个方向将成为机械制造业的发展趋势。

(1) 技术融合 在机械制造业的许多领域,电子控制、软件技术和机械工程同样重要。例如,德国格伦第巴赫机械制造公司,是世界最大的为大型集成玻璃制造厂生产玻璃处理系统的公司。该公司的软件控制、电子机械装置占据了其产值的1/3。

(2) 服务性思维 在从电梯到发电设备、工厂设备等的各个领域,生产厂家的利润增

多，主要不是因为它按固定的规格生产目录中的产品，而是因为制造厂家能按用户的要求制造产品，以满足特殊的需求。此外，也通过出售诸如维修或其他“售后”服务之类的额外服务而增加产值。

(3) 全球产品开发 例如，美国最大的家用电器制造商惠而浦公司对由 2000 名工程师组成的全球产品开发小组进行了改组，以集思广议开发新产品，缩短了某些新产品的开发时间。

(4) 更新生产策略 例如，印刷机制造产业中，部分制造商借用汽车产业中的构想，把投入不同市场的不同印刷机产品建立在同一个基本工程结构之上，然后在制造过程的后期修改设计，使产品适应特定顾客群体的需要，从而使生产与开发同步，实现更新生产策略。

0.2 机械加工零件的种类和特点

0.2.1 机械加工零件的种类

无论是机器或是机械装置，都是由许多零件组成和装配的。根据零件的结构形状，大致可分为四类。

(1) 轴类零件 在机器中主要用来支承传动件（如齿轮、带轮等），实现旋转运动并传递动力。轴套类零件包括各种轴（机床主轴、传动轴、齿轮轴）、螺栓和套筒等，如图 0-1a 所示。

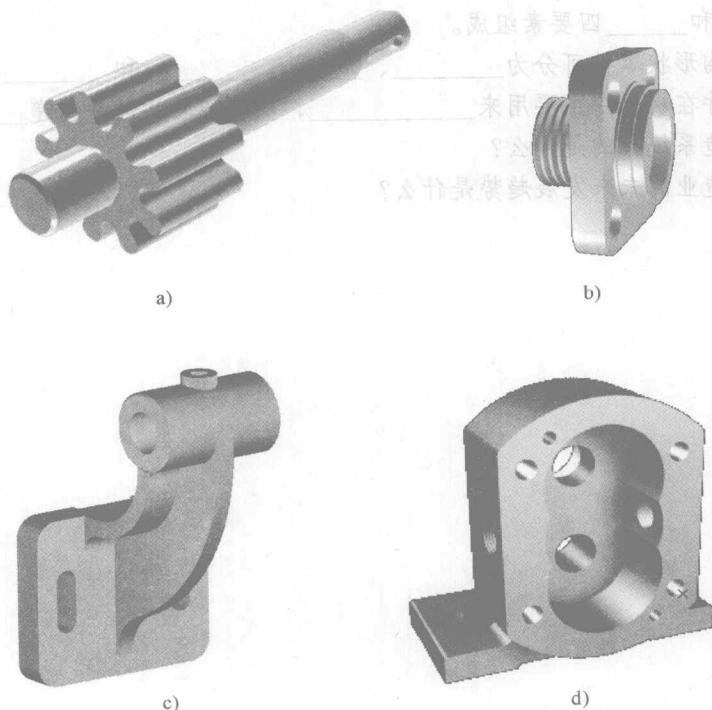


图 0-1 常见典型零件图

a) 轴类零件 b) 盘类零件 c) 叉架类零件 d) 箱体类零件

(2) 盘类零件 主要起传动、连接、支承、密封等作用,如手轮、齿轮、各种端盖、挡环、联轴器和套筒等,如图 0-1b 所示。

(3) 叉架类零件 主要起连接、拨动、支承等作用,它包括拨叉、连杆、支架、摇臂、杠杆等零件,如图 0-1c 所示。

(4) 箱体类零件 一般起支承、容纳、定位和密封等作用,内外形状较为复杂。如机床主轴箱、阀体以及减速器箱体、泵体和阀座等属于这类零件,其中大多为铸件,如图 0-1d 所示。

0.2.2 机械加工的特点

- 1) 机械加工是一个系统工程。
- 2) 设计与工艺一体化。
- 3) 精密加工是机械制造的前沿和关键。

精密加工和超精密加工技术是衡量现代制造技术水平的重要指标之一,代表了机械制造技术在精度方面的极限。

思考与练习

- 1) 是工业的主体。
- 2) 机械加工工艺系统是制造企业中处于最底层的一个个加工单元,往往由 、 和 四要素组成。
- 3) 根据结构形状零件可分为 、 和 零件。
- 4) 轴类零件在机器中主要用来 , 实现旋转运动并传递 。
- 5) 机械制造系统指的是什么?
- 6) 世界制造业的未来发展趋势是什么?



图 0-1 零件类型 (a) 轴类零件 (b) 盘类零件 (c) 叉架类零件 (d) 箱体类零件

第 1 章 机械加工检测技术

要点提示:

- 1) 了解常用的机械加工用量具。
- 2) 掌握常用量具的测量范围。
- 3) 学会使用常用量具进行检测。
- 4) 了解常见公差和配合术语，能够读出常见公差和配合的含义。
- 5) 了解常用形状和位置公差代号和意义。
- 6) 了解常用表面粗糙度的代号和含义。

无论在零件制造前，还是制造中和制成后都必须进行检测，确保材料成分、力学性能、尺寸、角度、形状、相对位置、表面粗糙度和颜色等是否达到了相应的技术要求。

1.1 测量的基本概念

机械加工中，常见的测量包括长度尺寸和角度尺寸的检测；形状、几何要素间相互位置 and 表面粗糙度检测。

1.1.1 长度和角度单位

国际单位制的基本长度单位是米（m）。而在机械制造业中通常规定以毫米（mm）作为计量长度的单位。在技术测量中也用到微米（ μm ）为计量单位。m、mm、 μm 之间的换算关系如下：

$$1\text{m} = 1000\text{mm}$$

$$1\text{mm} = 1000\mu\text{m}$$

1983 年第 17 届国际计量大会审议并批准通过了米的定义：1m 是光在真空中在 $(1/299\ 792458)$ 秒时间间隔内所行程的长度。与此同时废除以前各种对米的定义。

有关米制长度单位见表 1-1。

表 1-1 长度单位

单位名称	代号	与基本单位的换算关系
千米	km	1000m (10^3m)
百米	hm	100m (10^2m)
十米	dam	10m
米	m	1m

(续)

单位名称	代 号	与基本单位的换算关系
分米	dm	0.1m (10^{-1} m)
厘米	cm	0.01m (10^{-2} m)
毫米	mm	0.001m (10^{-3} m)
微米	μm	0.000001m (10^{-6} m)

角度基本单位是度,用 $^{\circ}$ 表示;分用 $'$ 。秒用 $''$ 表示。一个圆为 360° , $1^{\circ}=60'$ 、 $1'=60''$ 、 $1^{\circ}=3600''$ 。

1.1.2 测量器具的分类

量具、量仪的总称为测量器具。量具和量仪的主要区别:量具没有传动放大系统,而量仪一般具有传动放大系统(即用机械、光学、电动、气动等结构原理把尺寸参数放大或细分)。量仪属于精密测量器具。

1. 按结构形式分

- (1) 固定刻线量具 如钢直尺、钢卷尺等。
- (2) 游标量具 如游标卡尺、游标深度尺、游标高度尺等。
- (3) 微动螺旋量具 如千分尺、内径千分尺、公法线千分尺等。
- (4) 指示量具 如百分表、千分表、内径百分表等。
- (5) 光学量具 如光学测齿卡尺。

2. 按测量对象分

- (1) 测量长度尺寸的量具 如千分尺、游标卡尺和百分表等。
- (2) 测量角度的量具 如水平仪、游标万能角度尺等。
- (3) 测量表面粗糙度的量具 如表面粗糙度比较样板。
- (4) 测量螺纹用的量具 如螺纹量规、螺纹千分尺等。
- (5) 测量齿轮用的量具 如公法线千分尺、齿厚游标卡尺等。

3. 按用途分

- (1) 专用量具 如螺纹量规、光滑极限量规等。
- (2) 通用量具 专用量具以外的量具。

4. 量仪按原始信号转换原理不同可分

仪器是有传动放大系统(即用机械、光学、气动和电动等的结构原理把尺寸参数放大或细分)的精密测量器具;

- (1) 机械式仪器 如机械式万能测齿仪等。
- (2) 光学仪器 如工具显微镜、测长仪等。
- (3) 气动仪器 如水柱式气动量仪等。
- (4) 电动仪器 如电感式量仪等。

5. 量仪按测量对象不同分

- (1) 测量长度尺寸的量仪 如测长仪等。
- (2) 测量角度的量仪 如光学分度头等。
- (3) 测量表面粗糙度的量仪 如光切显微镜、电动轮廓仪等。

(4) 测量齿轮用的量仪 如单面啮合检查仪等。

1.1.3 量具、量仪的度量指标

度量指标表明了量具、量仪的性能,也是选择与使用量具、量仪的依据。

(1) 刻度间距 标尺或分度盘上相邻两条刻线的中线之间的距离。

(2) 分度值 标尺或分度盘上相邻两条刻线的间隔所代表的量值。

(3) 示值范围 标尺或分度盘上全部分度范围所代表的量值。

(4) 测量范围 测量器具所能测出的最小量值到最大量值的范围。

(5) 测量力 测量中,量具、量仪的测头与被测表面间的接触力。测量时,测量力的变化将使测量结果发生变化。

(6) 灵敏度 能使测量器具的示值发生最小的变动值,即反映了被测量的最小变化量。

(7) 示值误差 量具、量仪的示值与被测量的真值之间的差值。

(8) 示值稳定性 在测量条件不变的情况下,对同一个被测量位置进行多次重复测量时,测量器具显示的最大值与最小值之差值。

1.1.4 测量误差的种类及产生原因

任何一项测量,即使采用精密测量器具和完善的测量方法,测量结果也不可避免地存在着测量误差。

测量误差

$$\Delta = X - Q$$

式中 Δ ——测量误差;

X ——测量结果;

Q ——被测量的真值。

测量误差 Δ 可能是正值、零或负值。

测量误差可分为三类:

1. 系统误差 在相同的测量条件下,对同一个被测量进行多次重复测量时,误差的大小与方向(即正负)保持不变;或当条件变化时,误差按某一确定的规律变化。这种测量误差称为系统误差。

产生系统误差的原因:

1) 量具、量仪的设计原理误差。设计不符合阿贝原则——在设计测量器具或测量工件时,应将被测长度与基准长度安置在同一直线上的原则。

2) 量具、量仪的制造、装配误差。测量器具标尺的示值不准确、量仪上导轨和直尺的直线度误差、分度盘和指针的安装偏心(误差是按正弦规律变化)、光学系统放大倍数的误差等。

3) 标准误差。用来校正、调整测量器具的标准器具(如量块、量棒)的误差。

4) 温度误差。由于温度变化使测量产生的误差。

2. 随机误差 在相同的测量条件下,对同一个被测量位置进行多次重复测量时,误差的大小和方向无规律地变化且无法预知的,这种测量误差称为随机误差。

产生随机误差的原因:

1) 量具、量仪的零、部件的配合不稳定(如间隙在不断地变化)。相对运动面上的摩擦及润滑油膜的变化。

2) 测量力的变化。测量表面产生的变形不同。测量时测头有冲击性,则测量力的变化产生误差。

3) 读数误差。会存在对准误差和估读误差。

3. 粗大误差 在一定条件下,测量结果明显偏离真值时所对应的误差,称为粗大误差。

产生粗大误差的原因是测量人员的粗心大意,造成操作错误,看错、读错和记错测量结果等,或者测量时有冲击或振动的环境的影响。

1.2 常用量具

量具是用来测量工件尺寸、角度、形状误差和相互位置误差的工具。常用量具有钢直尺、游标卡尺、千分尺、百分表、直角尺、塞尺等。

1.2.1 常用量具及使用方法

1. 钢直尺(钢尺)

钢直尺是用不锈钢制成的一种直尺,如图 1-1 所示。钢直尺是常用长度量具中最基本的一种。尺边平直,尺面有米制或英制的示值,可以用来测量工件的长度、宽度、高度和深度。有时还可用来对一些要求较低的工件表面进行平面度误差检查。

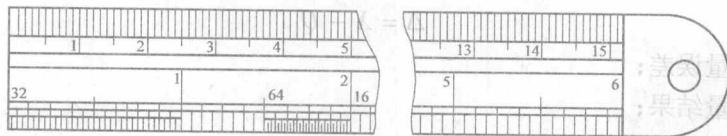


图 1-1 钢直尺

钢直尺的规格(测量范围)有 150mm、300mm、500mm 和 1000mm 四种规格。尺面上米制尺寸标尺间距一般为 1mm,但在 1~50mm 一段内标尺间距为 0.5mm,为钢直尺的最小分度值。由于分度线本身宽度就有 0.1~0.2mm,再加上尺本身的分度误差,所以用钢直尺测量出的数值误差比较大,而且 1mm 以下的小数值只能靠估计得出,因此不能用作精确的测定。

钢直尺的背面还刻有米、英制换算表。有的钢直尺,将米制与英制尺寸线条分别刻在尺面相对的两条边上,做到一尺两用。

2. 游标卡尺

游标卡尺是一种常用量具。它能直接测量工件的外径、内径、长度、宽度、深度和孔距等。常用的游标卡尺测量范围有 0~125mm、0~200mm 和 0~300mm 等几种。按读数值有 0.1mm、0.05mm 和 0.02mm 三种。常用的是读数值为 0.02mm 的游标卡尺。

(1) 游标卡尺的结构 游标卡尺由尺身、游标、内量爪、外量爪、深度尺和紧固螺钉等组成,普通游标卡尺和数显游标卡尺的结构及外形如图 1-2 所示。

(2) 0.05 mm 游标卡尺刻线原理 尺身每 1 格长度为 1mm,游标总长为 39mm,等分 20 格,每格长度为 $39/20=1.95\text{mm}$,则尺身 2 格和游标 1 格长度之差为: $2\text{mm}-1.95\text{mm}=0.05\text{mm}$,所以它的读数值为 0.05mm,如图 1-3 所示。

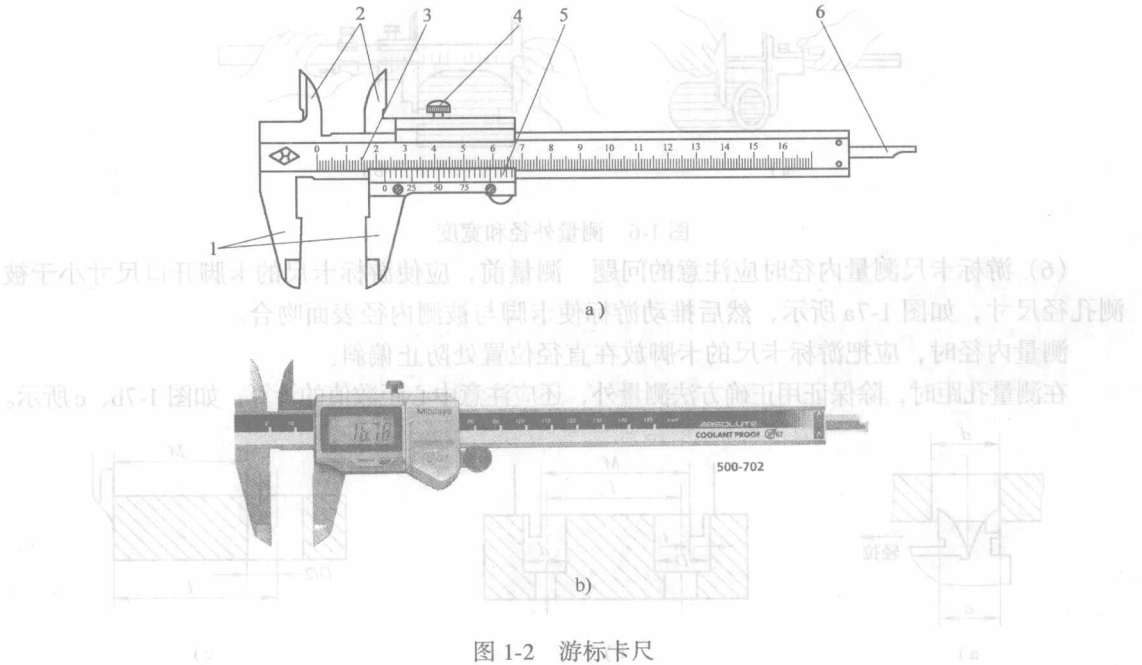


图 1-2 游标卡尺

a) 游标卡尺结构图 b) 数显游标卡尺

1—外量爪 2—内量爪 3—尺身 4—紧固螺钉 5—游标 6—深度尺

(3) 0.02mm 游标卡尺的刻线原理 尺身每 1 格长度为 1mm，游标总长度为 49mm，等分 50 格，游标每格长度为 $49/50 = 0.98\text{mm}$ ，尺身 1 格和游标 1 格长度之差为： $1\text{mm} - 0.98\text{mm} = 0.02\text{mm}$ ，所以它的读数值为 0.02mm，如图 1-4 所示。

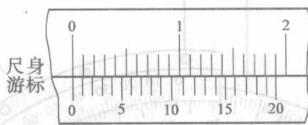


图 1-3 读数值为 0.05mm 游标卡尺刻线原理



图 1-4 读数值为 0.02mm 游标卡尺刻线原理

(4) 游标卡尺的读数方法 游标卡尺测量工件时，读数分三个步骤：

第一步：读出尺身上的整数尺寸，即游标零线左侧，尺身上的 mm 整数。

第二步：读出游标上的小数尺寸，即找出游标上

那一条刻线与尺身上刻线对齐，该游标刻线的次序数乘以该游标卡尺的读数值，即得到 mm 内的小数值。

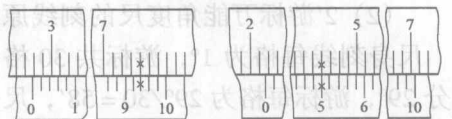


图 1-5 读数值为 0.02mm 游标卡尺读数举例

第三步：把整数部分与小数部分相加，就是测得

的实际尺寸。

如图 1-5 所示，读数值为 0.02mm 游标卡尺读数

举例。

(5) 游标卡尺的使用方法 游标卡尺测量外径和宽度的方法，如图 1-6 所示。测量前，

应使卡口宽度尺寸大于被测量尺寸，然后推动游标，使测量脚平面与被测量的直径垂直或与

被测平面平行接触。

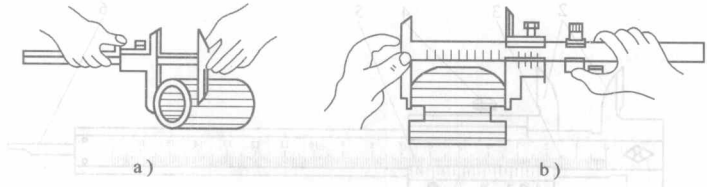


图 1-6 测量外径和宽度

(6) 游标卡尺测量内径时应注意的问题 测量前, 应使游标卡尺的卡脚开口尺寸小于被测孔径尺寸, 如图 1-7a 所示, 然后推动游标使卡脚与被测内径表面吻合。

测量内径时, 应把游标卡尺的卡脚放在直径位置处防止偏斜。

在测量孔距时, 除保证用正确方法测量外, 还应注意中心距数值的计算, 如图 1-7b、c 所示。

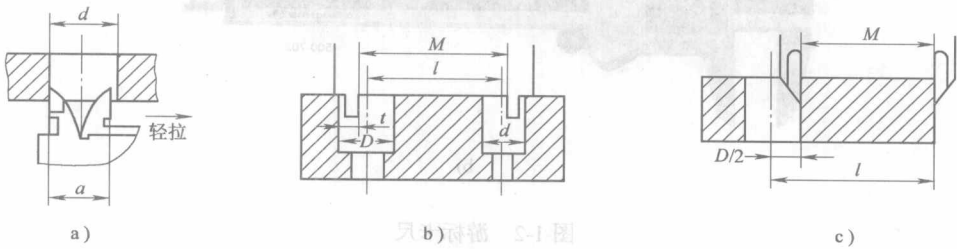


图 1-7 测量孔径和孔距的方法

a) $a < d$ b) $l = M + 2t - \frac{1}{2}(D + d)$ c) $l = M + \frac{1}{2}D$

3. 游标万能角度尺

游标万能角度尺是用来测量工件和样板的内、外角度及角度划线的量具。其读数值有 2' 和 5' 两种, 测量范围为 $0^\circ \sim 320^\circ$ 。

(1) 游标万能角度尺的结构 游标万能角度尺的结构, 如图 1-8 所示, 主要由尺身、扇形板、基尺、游标、直角尺、直尺和卡块等部分组成。

(2) 2' 游标万能角度尺的刻线原理 尺身刻线每格为 1° , 游标共 30 格等分 29° , 游标每格为 $29^\circ/30 = 58'$, 尺身 1 格和游标 1 格之差为 $1^\circ - 58' = 2'$, 所以它的读数值为 2'。

(3) 游标万能角度尺的读数方法 先读出游标尺零刻度前面的整数度, 再看游标尺第几条刻线和尺身刻线对齐, 读出角度'的数值, 最后两者相加就是测量角度的数值。

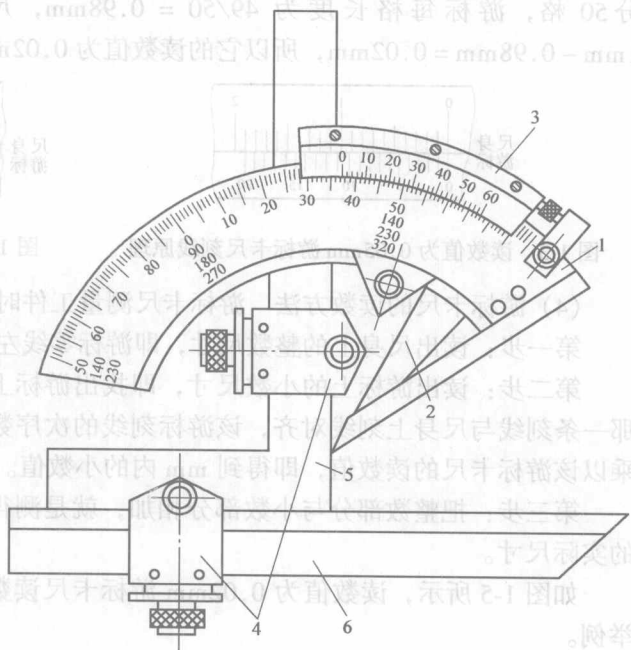


图 1-8 游标万能角度尺

1—尺身 2—基尺 3—游标 4—卡块 5—直角尺 6—直尺

游标万能角度尺测量不同范围角度的方法，分四种组合方式，测量角度分别是 $0^\circ \sim 50^\circ$ 、 $50^\circ \sim 140^\circ$ 、 $140^\circ \sim 230^\circ$ 和 $230^\circ \sim 320^\circ$ ，如图 1-9 所示。

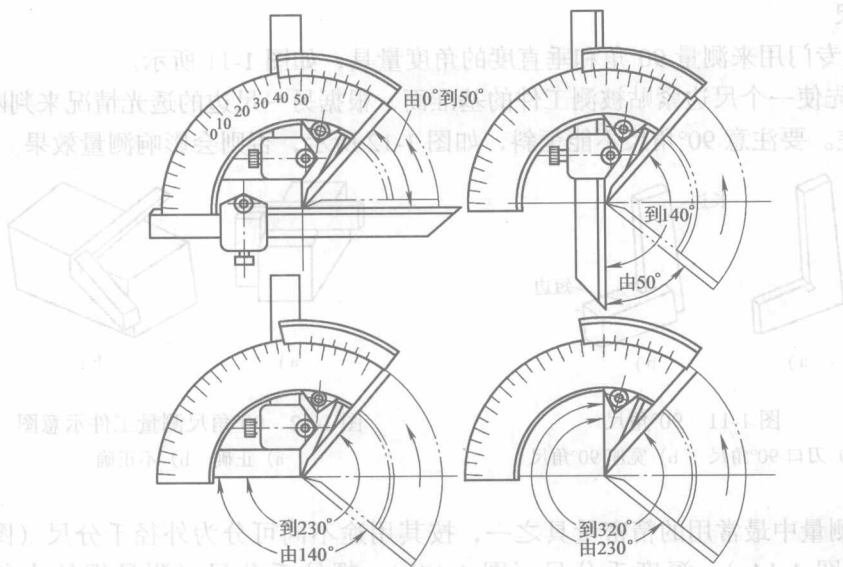


图 1-9 游标万能角度尺不同角度组合示意图

利用扇形角度尺的主尺、游标尺配合角尺和直尺检查外角 α ，如图 1-10a 所示；利用主尺、游标尺配合角尺检查外角 α ，如图 1-10b 所示，利用主尺和游标尺检查燕尾槽内角，如图 1-10c 所示；测量外角，如图 1-10d 所示。

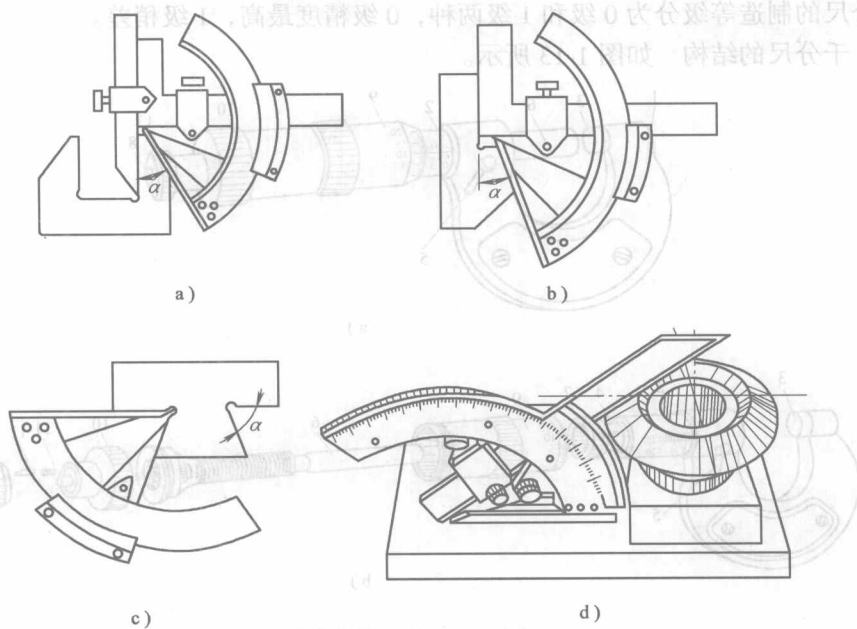


图 1-10 游标万能角度尺测量工件示意图

a) 测量外角 (一) b) 测量外角 (二) c) 测量燕尾槽 d) 测量外角 (三)