

全国技工学校机械类通用教材
工具钳工工艺学

('96新版)



中国劳动出版社

全国技工学校机械类通用教材

工具钳工工艺学

('96 新版)

劳动部教材办公室组织编写

中国劳动出版社

图书在版编目(CIP)数据

工具钳工工艺学/杨国良编. —北京:中国劳动出版社,1996

全国技工学校机械类通用教材

ISBN 7-5045-1982-0

I. 工… II. 杨… III. 钳工-工艺-技工学校-教材 IV. TG93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 22903 号

内容简介

本书是由劳动部教材办公室组织编写,供技工学校机械类专业使用的通用教材。主要内容有:钳工常用量具,划线,金属切削的基础知识,鑿削、锯削与锉削,钻孔、扩孔、铰孔和绞孔,攻螺纹与套螺纹,刮削与研磨,矫正、弯形与绕弹簧,铆接、粘接与锡焊,钳工常用设备及工具,装配的基础知识,精密量具、量仪及制造,夹具及制造,压力加工与冲裁工艺,冲裁模及制造,冲裁模的装配与修理,其他模具简介和刀具制造工艺基础等。

本书也可用于职业学校机械专业教学和企业职工培训。

本书由杨国良、李之浩、王兴民、孙尔寿、卢士铎编写,杨国良主编;李振欧、刘金录审稿,李振欧主审。

工具钳工工艺学

(‘96 新版)

劳动部教材办公室组织编写

责任编辑 万 象

中国劳动出版社出版

(100029 北京市惠新东街 1 号)

国防出版社印刷厂印刷 新华书店总店北京发行所发行

1997 年 3 月北京第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:19.75

字数:477 千字 印数:31000 册

定价:16.80 元

'96 新版教材说明

为适应我国社会主义市场经济发展的新形势,贯彻党中央提出的科教兴国,全面提高劳动者素质的战略方针,我们按照劳动部新颁发的技工学校专业目录,对劳动部原培训司组织编写的机械类通用教材进行了修订。为了便于区别不同版本的教材,凡按新标准修订的教材,一律称为'96 新版教材。

新版教材以劳动部、机械工业部 1995 年联合颁发的《机械工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》为依据,广泛听取有关省、市、自治区劳动厅(局)教学管理部门及技工学校的意见,注意反映科技进步和文化发展的新成果,进一步突出专业操作技能,促进理论与实践的紧密结合,增强教材的实用性与适应性。

这次修订工作得到了北京、上海、天津、辽宁、湖南、湖北、广东、广西、河南、河北、陕西、四川等省、市、自治区劳动厅(局)的大力支持和协助,对此我们表示衷心的感谢。

欢迎广大师生和读者对新版教材提出意见。

劳动部教材办公室

1996 年 1 月

目 录

第一章 绪论.....	1
习题.....	2
第二章 钳工常用量具.....	3
§ 2.1 测量概述	3
§ 2.2 游标卡尺	4
§ 2.3 千分尺	6
§ 2.4 百分表	7
§ 2.5 万能游标量角器	8
§ 2.6 量块.....	10
§ 2.7 塞尺.....	12
§ 2.8 量具的维护和保养.....	12
习题	13
第三章 划线	14
§ 3.1 划线概述.....	14
§ 3.2 划线基准的选择.....	15
§ 3.3 划线时的找正和借料.....	16
§ 3.4 等分圆周的画法.....	18
§ 3.5 划线实例.....	22
习题	25
第四章 金属切削的基础知识	26
§ 4.1 金属切削加工的基本概念.....	26
§ 4.2 刀具切削部分的定义.....	27
§ 4.3 切削用量.....	29
§ 4.4 切屑的形成及种类.....	30
§ 4.5 切削力.....	31
§ 4.6 切削热和切削液.....	32
§ 4.7 刀具的磨损与寿命.....	35
§ 4.8 切削用量的选择.....	36
§ 4.9 钳工常用的刀具材料.....	37
习题	37
第五章 铰削、锯削与锉削.....	39
§ 5.1 铰削与铰子.....	39
§ 5.2 锯削与手锯.....	41
§ 5.3 锉削与锉刀.....	43

习题	46
第六章 钻孔、扩孔、铰孔与铰孔	47
§ 6.1 钻孔与钻头	47
§ 6.2 扩孔与扩孔钻	56
§ 6.3 铰孔与铰钻	57
§ 6.4 铰孔与铰刀	59
习题	64
第七章 攻螺纹与套螺纹	66
§ 7.1 攻螺纹与丝锥	67
§ 7.2 套螺纹与板牙	74
习题	75
第八章	77
§ 8.1 刮削	77
§ 8.2 研磨	82
习题	88
第九章 矫正、弯形与绕弹簧	89
§ 9.1 矫正	89
§ 9.2 弯形	91
§ 9.3 绕弹簧	93
习题	95
第十章 铆接、粘接与锡焊	97
§ 10.1 铆接	97
§ 10.2 粘接	101
§ 10.3 锡焊	102
习题	103
第十一章 钳工常用设备及工具	104
§ 11.1 钻床	104
§ 11.2 电动工具	111
§ 11.3 剪板机	112
§ 11.4 带锯机	113
§ 11.5 电脉冲加工机床的原理与使用	115
§ 11.6 电火花线切割机床的原理与使用	117
习题	118
第十二章 装配基础知识	119
§ 12.1 装配工艺概述	119
§ 12.2 装配前零件的清理和清洗	120
§ 12.3 装配尺寸链	121
§ 12.4 螺纹连接的装配	128
§ 12.5 销连接的装配	135

习题.....	136
第十三章 精密量具、量仪及制造	138
§ 13.1 精密测量的基本概念.....	138
§ 13.2 测量直线尺寸的量具和量仪.....	139
§ 13.3 测量角度和锥度的量具、量仪	143
§ 13.4 螺纹的测量.....	148
§ 13.5 表面粗糙度的测量.....	151
§ 13.6 形位误差的测量.....	152
§ 13.7 样板制造.....	165
§ 13.8 平板与角尺的制造.....	169
习题.....	172
第十四章 夹具及制造.....	174
§ 14.1 机床夹具概述.....	174
§ 14.2 工件定位原理.....	175
§ 14.3 工件在夹具中加工时的定位误差.....	184
§ 14.4 工件在夹具中的夹紧.....	190
§ 14.5 常用钻床夹具的类型.....	193
§ 14.6 常用其他机床夹具.....	197
§ 14.7 组合夹具.....	202
§ 14.8 夹具零件的加工.....	207
§ 14.9 夹具的装配.....	210
习题.....	212
第十五章 压力加工与冲裁工艺.....	215
§ 15.1 压力加工与模具.....	215
§ 15.2 压力机.....	219
§ 15.3 冲裁工艺分析.....	226
§ 15.4 冲裁间隙与凸、凹模刃口尺寸计算	229
§ 15.5 冲裁力.....	233
习题.....	239
第十六章 冲裁模及其制造.....	240
§ 16.1 冲裁模的分类和结构.....	240
§ 16.2 成形件的选用与制造.....	246
§ 16.3 定位件的选用与制造.....	253
§ 16.4 卸料件的选用与制造.....	256
§ 16.5 结构零件的选用与制造.....	257
§ 16.6 模具的图案和文字加工.....	262
习题.....	268
第十七章 冲裁模的装配与修理.....	270
§ 17.1 冲裁模的装配与调试.....	270

§ 17.2 冲裁模的维修.....	275
第十八章 其他模具.....	279
§ 18.1 弯形模.....	279
§ 18.2 拉延模.....	280
§ 18.3 锻模的构造.....	284
§ 18.4 塑料成形模具.....	288
习题.....	291
第十九章 刀具制造工艺基础.....	292
§ 19.1 刀具的焊接和刀片的夹固.....	292
§ 19.2 中心孔与刀具安装基准的加工.....	294
§ 19.3 刀齿加工.....	295
§ 19.4 刀具的刃磨.....	298
§ 19.5 铣刀及其制造工艺.....	300
§ 19.6 螺纹刀具及其制造工艺.....	302
习题.....	304

第一章 绪 论

一、工具钳工的工作内容

机器设备都是由若干个零、部件组成的,而零件大多数是用金属材料经过铸造、锻造、冲压、焊接等加工方法先制成毛坯或半成品,然后经过车、铣、刨、磨、钳等金属切削加工及热处理制成零件。所以,一台机器的产生,需要许多工种的工人相互配合来完成。一般的机械厂应设有铸造工、锻造工、冷作工、电(气)焊工、车工、铣工、刨工、插工、磨工和钳工等多种工种。

钳加工是指一般在钳台上以手工工具为主,对工件进行各种加工的方法。按 1992 年公布的《中华人民共和国工种分类目录》把钳工分为钳工、工具钳工和机修钳工。

钳工是指使用钳工工具、钻床,按技术要求对工件进行加工、修整、装配的工种。

工具钳工是指使用钳工工具及设备对工具、量具、辅具、验具、模具进行制造、装配、检验和修理的工种。

机修钳工是指使用工、量具及辅助设备,对各类设备进行安装、调试和维修的工种。

钳工尽管专业分工不同,但都必须掌握好基本操作技能,其内容有:划线、錾削、锯削、锉削、钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹和套螺纹、矫正和弯形、铆接、刮削、研磨、装配和调试、测量及简单的热处理等。

二、工具钳工的工作场地

工具钳工的工作场地是指工具钳工固定的工作地点。工作场地常用的设备有钳台、台虎钳、砂轮机、台钻和立钻等。

1. 钳台 钳台也称钳桌,有多种样式,如图 1.1 所示为其中的一种。钳台的高度一般以 800~900mm 为宜,其长度和宽度由工作需要而定。为保证钳台工作时稳定,一般以木料制作。台面上安装台虎钳,安装的合适高度应恰好齐人手肘,如图 1.1 所示。

2. 台虎钳 台虎钳是用来夹持工件的。其规格是用钳口的宽度表示,常用的有 100mm、125mm 和 150mm 等。

台虎钳有固定式和回转式两种。两者主要结构和工作原理基本相同,由于回转式台虎钳钳身可以回转,能满足各种不同方位加工的需要,使用方便,故应用广泛。

为了充分利用工具钳工工作场地,提高劳动生产率和工作质量,保证安全生产,必须对工作场地进行合理的组织与安排。为此,应注意以下几点:

(1)主要设备布局要合理。钳台应放在光线明亮和工作方便的地方。面对面使用的钳台中间要装安全网。砂轮机、钻床应安装在场地的边沿。尤其是砂轮机的位置,一定要做到砂轮一旦碎裂飞出时不致伤人。

(2)毛坯、半成品和工件要摆放整齐,尽量放在搁架上,以便于工作。

(3)工、量具安放与保管要整齐合理,取用方便,不许任意堆放,以防损坏。精密量具、工具要轻拿轻放。常用的工具、量具应放在工作位置附近,用后要及时维护与收藏。

(4)工作场地应保持清洁。工作完毕,所用过的设备和工具都应该按要求进行清理或涂油,

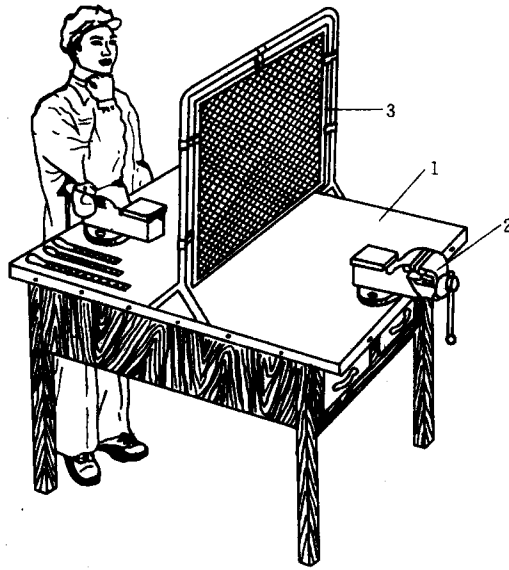


图 1.1 钳台及安装

1—钳台 2—台虎钳 3—防护网

并放回原来位置。工作场地要清扫干净,铁屑等污物要送到指定地点。

习 题

1. 钳工的种类有哪些?各自的工种定义是什么?
2. 钳工应掌握哪些基本操作技能?
3. 怎样合理组织工具钳工工作场地?

第二章 钳工常用量具

§ 2.1 测量概述

一、量具的类型

为了确保零件和产品的质量,就必须用量具来测量。用来测量、检验零件及产品尺寸和形状的工具叫做量具。量具的种类很多,根据其用途和特点,可分为三种类型:

1. 万能量具。这类量具一般都有刻度,在测量范围内可以测量零件和产品形状及尺寸的具体数值,如游标卡尺、千分尺、百分表和万能量角器等。

2. 专用量具。这类量具不能测量出实际尺寸,只能测定零件和产品的形状及尺寸是否合格,如卡规、塞规等。

3. 标准量具。这类量具只能制成某一固定尺寸,通常用来校对和调整其他量具,也可以作为标准与被测量件进行比较,如量块。

二、长度单位基准

测量的实质是被测量的参数与一标准量进行比较的过程,长度尺寸的测量就是这样,因此,必须有一个精密准确的基标,即长度单位基准。

现在国际上把光在真空中 299792458 分之一秒所经过的行程作为量度长度的标准,称为米。国际长度标准采用氪⁸⁶光波自然基准器确定,它的性能稳定,测量精度可达 $0.001\mu\text{m}$ (微米),不怕损坏,只要有氪⁸⁶同位素,各国都可复制应用。

根据 GB 3100~3102-82 规定,我国的法定计量单位包括:国际单位制的基本单位;国际单位制的辅助单位;国际单位制中具有专门名称的导出单位;国家选定的非国际单位制单位;由以上单位构成的组合形式的单位;由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位。

目前我国法定的长度单位名称和代号如表 2.1 所示。

表 2.1 长度计量单位

单 位 名 称	符 号	对基准单位的比
米	m	基准单位
分 米	dm	$10^{-1}\text{m}(0.1\text{m})$
厘 米	cm	$10^{-2}\text{m}(0.01\text{m})$
毫 米	mm	$10^{-3}\text{m}(0.001\text{m})$
(丝 米)①	dmm	$10^{-4}\text{m}(0.0001\text{m})$
(忽 米)①	cmm	$10^{-5}\text{m}(0.00001\text{m})$
微 米	μm	$10^{-6}\text{m}(0.000001\text{m})$

①丝米、忽米不是法定计量单位,工厂里有时采用。

在实际工作中,有时还会遇到英制尺寸,常用的有 ft(英尺),in(英寸)等,其换算关系为 $1\text{ft}=12\text{in}$ 。

英制尺寸常以英寸为单位。

为了工作方便,可将英制尺寸换算成米制尺寸。因为 $1\text{in}=25.4\text{mm}$,所以把英寸乘以 25.4mm 就可以了。如 $5/16\text{in}$ 换算成米制尺寸: $25.4\text{mm}\times 5/16\approx 7.938\text{mm}$ 。

§ 2.2 游标卡尺

游标卡尺是一种中等精度的量具,可以直接量出工件的外径、孔径、长度、宽度、深度和孔距等尺寸。

一、游标卡尺的结构

图 2.1 所示是两种常用游标卡尺的结构形式。

如图 2.1a 所示,游标卡尺由尺身 1 和游标 2 组成,3 是辅助游标。松开螺钉 4 和 5 即可推动游标在尺身上移动,通过两个量爪 9 可测量尺寸。需要微动调节时,可将螺钉 5 紧固,松开螺钉 4,转动微动螺母 6,通过小螺杆 7 使游标微动。量得尺寸后,可拧紧螺钉 4 使游标紧固。

游标卡尺上端有两个量爪 8,可用来测量齿轮公法线长度和孔距尺寸。下端两量爪 9 的内侧面可测量外径和长度;外侧面是圆弧面,可测量内孔或沟槽。

图 2.1b 所示的游标卡尺比较简单轻巧,上端两爪可测量孔径、孔距及槽宽,下端两量爪可测量外圆和长度等,还可利用尺后的测深杆测量内孔和沟槽深度。

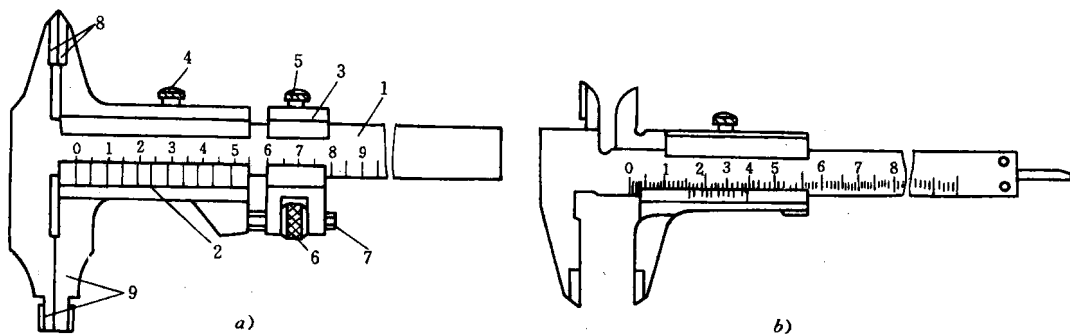


图 2.1 游标卡尺

a)可微动调节的游标卡尺 b)带测深杆的游标卡尺

二、游标卡尺的刻线原理和读法

游标卡尺按其测量精度,有 $1/20\text{mm}$ (0.05) 和 $1/50\text{mm}$ (0.02) 两种。

1. $1/20\text{mm}$ 游标卡尺

尺身上每小格是 1mm ,当两量爪合并时,游标上的 20 格刚好与尺身上的 19mm 对正(图 2.2)。因此,尺身与游标每格之差为: $1-19/20=0.05(\text{mm})$,此差值即为 $1/20\text{mm}$ 游标卡尺的测量精度。

还有一种 $1/20\text{mm}$ 游标卡尺,是游标上的 20 格刚好与尺身上的 39mm 对正,尺身与游标每格之差也是 0.05mm 。这种放大刻度的游标卡尺线条清晰,容易看准。

用游标卡尺测量工件时,读数方法分三个步骤(图 2.3):

(1)读出游标上零线左面尺身的毫米整数;

(2) 读出游标上哪一条刻线与尺身刻线对齐(第一条零线不算,第二条起每格算 0.05mm);

(3) 把尺身和游标上的尺寸加起来即为测得尺寸。

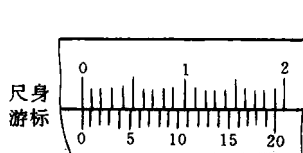


图 2.2 1/20mm 游标卡尺刻线原理

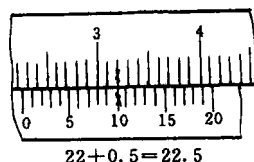
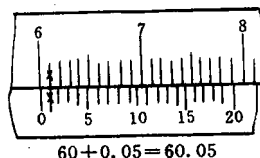


图 2.3 1/20mm 游标卡尺的读数方法

2. 1/50mm 游标卡尺

尺身上每小格 1mm,当两量爪合并时,游标上的 50 格刚好与尺身上的 49mm 对正(图 2.4)。尺身与游标每格之差为: $1 - 49/50 = 0.02(\text{mm})$,此差值即为 1/50mm 游标卡尺的测量精度。

1/50mm 游标卡尺测量时的读数方法与 1/20mm 游标卡尺相同(图 2.5)。

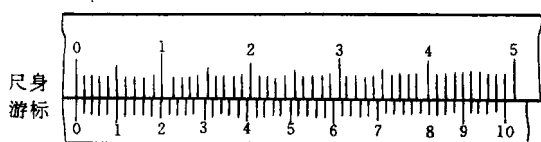


图 2.4 1/50mm 游标卡尺刻线原理

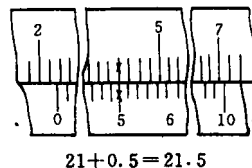
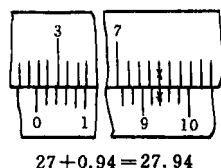


图 2.5 1/50mm 游标卡尺的读数方法

三、游标卡尺的测量范围和精度

游标卡尺的规格按测量范围分为:

0~125mm、0~200mm、0~300mm、0~500mm、300~800mm、400~1000mm、600~1500mm、800~2000mm 等。

测量工件尺寸时,应按工件的尺寸大小和尺寸精度要求选用量具。游标卡尺只适用于中等精度(IT10~IT16)尺寸的测量和检验。不能用游标卡尺去测量铸锻件等毛坯的尺寸,因为这样容易使量具很快磨损而失去精度;也不能用游标卡尺去测量精度要求高的工件,因为游标卡尺存在一定的示值误差。由表 2.2 可知,1/50mm 游标卡尺的示值误差为 $\pm 0.02\text{mm}$,因此不能测量精度较高的工件尺寸。

表 2.2

游标卡尺的示值误差

(mm)

测量精度	示值总误差
0.02	± 0.02
0.05	± 0.05

如果条件所限,只能用游标卡尺测量精度要求高的工件时,就必须先用量块校对卡尺,了解误差数值,在测量时要把误差考虑进去。

除了图 2.1 所示的普通游标卡尺外,还有游标深度尺、游标高度尺和齿轮游标卡尺等。其刻线原理和读数方法与普通游标卡尺相同。

§ 2.3 千 分 尺

千分尺是一种精密量具,它的测量精度比游标卡尺高,而且比较灵敏。因此,对于加工精度要求较高的工件尺寸,要用千分尺来测量。

一、千分尺的结构

千分尺的结构如图 2.6 所示。图中 1 是尺架,尺架的左端有砧座 3,右端是表面有刻线的固定套管 2,里面是带有内螺纹(螺距 0.5mm)的衬套 7,测微螺杆 6 右面的螺纹可沿此内螺纹回转,并用轴套 4 定心。在固定套管 2 的外面是有刻线的微分筒 9,它用锥孔与 6 右端锥体相连。转动手柄 5,通过偏心锁紧可使 6 固定不动。松开罩壳 10,可使 6 与微分筒 9 分离,以便调整零线位置。棘轮 13 用螺钉 8 与罩壳 10 连接,转动棘轮盘 13,6 就会移动。当测微螺杆 6 的左端面接触工件时,棘轮 13 在棘爪销 12 的斜面上打滑,6 就停止前进。由于弹簧 11 的作用,使棘轮 13 在棘爪销斜面滑动时发生吱吱声。如果棘轮盘 13 反方向转动,则拨动棘爪销 12、微分筒 9 转动,使 6 向右移动。

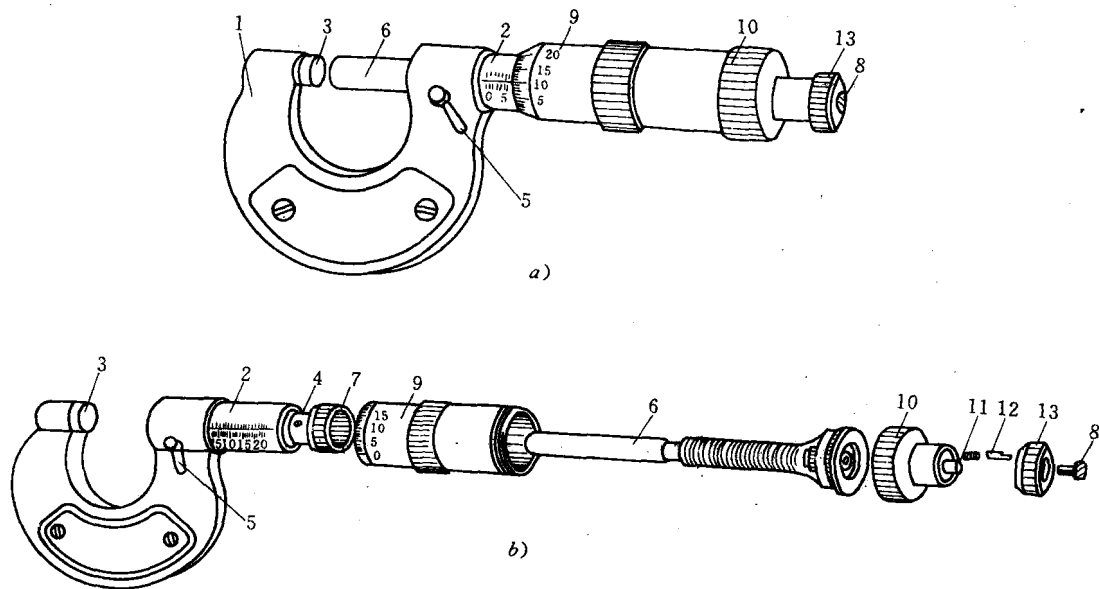


图 2.6 千分尺的结构

二、千分尺的刻线原理及读数方法

测微螺杆 6 右端螺纹的螺距为 0.5mm,当微分筒转一周时,螺杆 6 就移动 0.5mm。微分筒圆锥面上共刻有 50 格,因此微分筒每转一格,螺杆 6 就移动

$$0.5 \div 50 = 0.01(\text{mm})。$$

固定套管上刻有主尺刻线,每格 0.5mm。

在千分尺上读数的方法可分三步:

1. 读出微分筒边缘在固定套管主尺的毫米数和半毫米数。
2. 看微分筒上哪一格与固定套管上基准线对齐,并读出不足半毫米的数。

3. 把两个读数加起来就是测得的实际尺寸。

图 2.7 所示为千分尺的读数方法。

三、千分尺的测量范围和精度

千分尺的规格按测量范围分有：0~25、25~50、50~75、75~100、100~125mm 等。使用时按被测工件的尺寸选用。

千分尺的制造精度分为 0 级和 1 级两种，0 级精度最高，1 级稍差。千分尺的制造精度主要由它的示值误差和两测量面平行度误差的大小来决定。

四、内径千分尺

内径千分尺用来测量内径及槽宽等尺寸，外形如图 2.8 所示。内径千分尺的刻线方向与千分尺的刻线方向相反。测量范围有 5~30mm 和 25~50mm 两种，其读数方法和测量精度与千分尺相同。

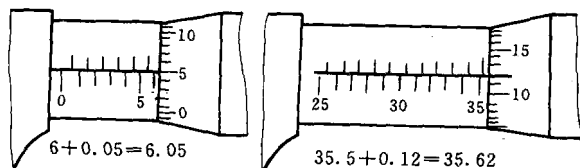


图 2.7 千分尺的读数方法

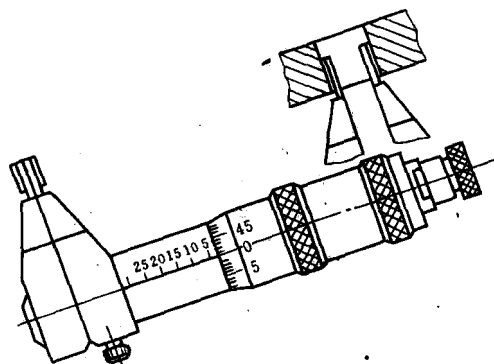


图 2.8 内径千分尺

五、其他千分尺

除了千分尺和内径千分尺外，还有深度千分尺、螺纹千分尺（用于测量螺纹中径）和公法线千分尺（用于测量齿轮公法线长度）等，其刻线原理和读法与千分尺相同。

§ 2.4 百分表

百分表可用来检验机床精度和测量工件的尺寸、形状和位置误差。

一、百分表的结构

百分表结构如图 2.9 所示。图中 1 是淬硬的触头，用螺纹旋入齿杆 2 的下端。齿杆的上端有齿。当齿杆上升时，带动齿数为 16 的小齿轮 3。与小齿轮 3 同轴装有齿数为 100 的大齿轮 4，再由这个齿轮带动中间的齿数为 10 的小齿轮 5。与小齿轮 5 同轴装有长指针 6，因此长指针就随着小齿轮 5 一起转动。在小齿轮 5 的另一边装有大齿轮 7，在其轴下端装有游丝，用来消除齿轮间的间隙，以保证其精度。该轴的上端装有短指针 8，用来记录长指针的转数（长指针转一周时短指针转一格）。拉簧 11 的作用是使齿杆 2 能回到原位。在表盘 9 上刻有线条，共分 100 格。转动表圈 10，可调整表盘刻线与长指针的相对位置。

二、百分表的刻线原理

百分表内的齿杆和齿轮的周节是 0.625mm。当齿杆上升 16 齿时（即上升 $0.625 \times 16 = 10\text{mm}$ ），16 齿小齿轮转一周，同时齿数为 100 齿的大齿轮也转一周，就带动齿数为 10 的小齿轮和长指针转 10 周，即齿杆移动 1mm 时，长指针转一周。由于表盘上共刻 100 格，所以长指针

每转一格表示齿杆移动 0.01mm。

三、内径百分表

内径百分表可用来测量孔径和孔的形状误差,对于测量深孔极为方便。

内径百分表的结构如图 2.10 所示。在测量头端部有可换触头 1 和量杆 2。测量内孔时,孔壁使量杆 2 向左移动而推动摆块 3,摆块 3 使杆 4 向上,推动百分表触头 6,使百分表指针转动而指出读数。测量完毕时,在弹簧 5 的作用下,量杆回到原位。

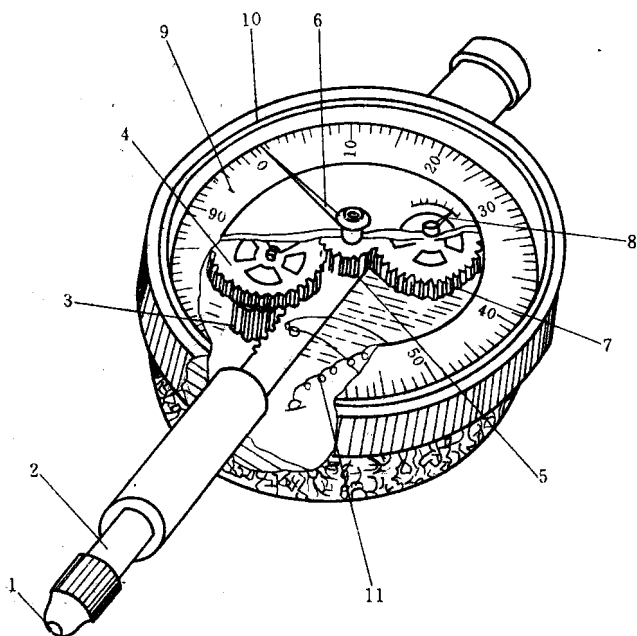


图 2.9 百分表的结构

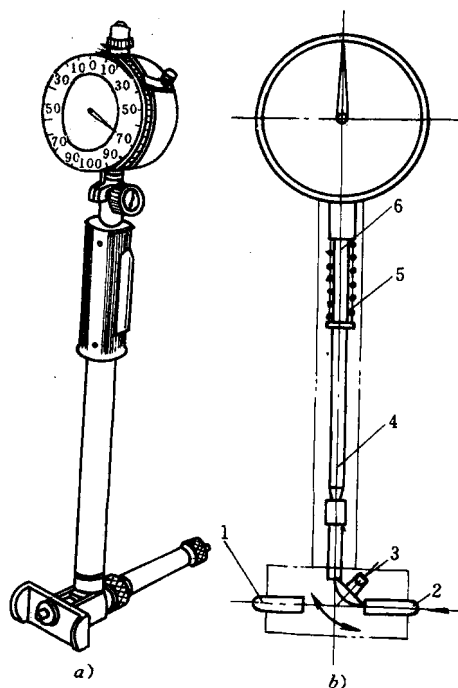


图 2.10 内径百分表

通过更换可换触头 1,可改变内径百分表的测量范围。内径百分表的测量范围有 6~10、10~18、18~35、35~50、50~100、100~160、160~250mm 等。

内径百分表的示值误差较大,一般为 $\pm 0.015\text{mm}$ 。

§ 2.5 万能游标量角器

万能游标量角器是用来测量工件内外角度的量具。按游标的测量精度分为 $2'$ 和 $5'$ 两种,其示值误差分别为 $\pm 2'$ 和 $\pm 5'$ 。测量范围是 $0^\circ \sim 320^\circ$ 。现在仅介绍测量精度为 $2'$ 的万能游标量角器的结构、刻线原理和读数方法。

一、万能游标量角器的结构

如图 2.11 所示,万能游标量角器由刻有角度刻线的尺身 1 和固定在扇形板 2 上的游标 3 组成。扇形板可以在尺身上回转移动,形成与游标卡尺相似的结构。直角尺 5 可用支架 4 固定在扇形板 2 上,直尺 6 用支架固定在直角尺 5 上。如果拆下直角尺 5,也可将直尺 6 固定在扇形板上。

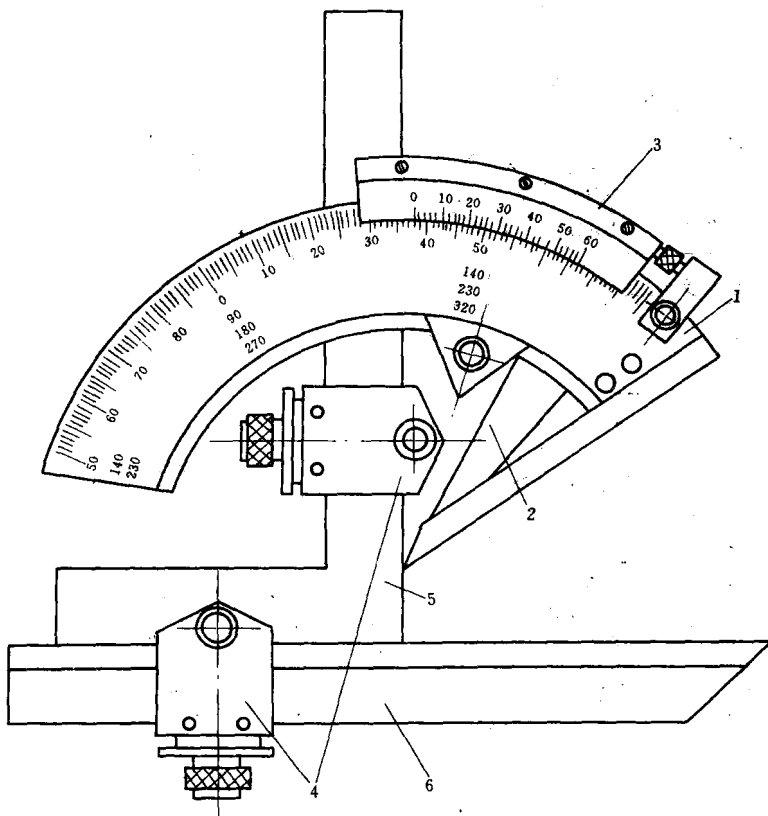


图 2.11 万能游标量角器

二、万能游标量角器的刻线原理及读数方法

尺身刻线每格 1° ，游标刻线是将尺身上 29° 所占的弧长等分为 30 格，即每格所对应的角度为 $\frac{29^\circ}{30}$ ，因此游标 1 格与尺身 1 格相差：

$$1^\circ - \frac{29^\circ}{30} = \frac{1^\circ}{30} = 2'$$

即万能游标量角器的测量精度为 $2'$ 。

万能游标量角器的读数方法和游标卡尺相似，先从尺身上读出游标零线前的整度数，再从游标上读出角度“′”的数值，两者相加就是被测的角度数值。

三、万能游标量角器的测量范围

由于直尺和直角尺可以移动和拆换，因此万能游标量角器可以测量 $0^\circ \sim 320^\circ$ 的任何角度，如图 2.12 所示。