

高等学校 21 世纪规划教材

GONGCHA PEIHE YU CELIANG JISHU SHIYAN ZHIDAO SHU

公差配合与测量技术

实验指导书

杨 斌 白月飞 主编

甘肃科学技术出版社

高等学校 21 世纪规划教材

公差配合与测量技术实验指导书

主 编 杨 斌 白月飞
副主编 曹秀鸽

兰 州
甘肃科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

公差配合与测量技术实验指导书 / 杨斌, 白月飞主编.
兰州: 甘肃科学技术出版社, 2008.7
ISBN 978-7-5424-1204-1

I. 公… II. ①杨…②白… III. ①公差—配合—技术培训—教材②技术测量—技术培训—教材 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 102471 号

责任编辑 张 荣(8773238)

封面设计 新印象

出版发行 甘肃科学技术出版社(兰州市南滨河东路 520 号 0931-8773237)

印 刷 甘肃云盛印刷有限公司(兰州市城关区伏龙坪 4 号)

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 8.75

字 数 180 千

版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数 1~1 000

书 号 ISBN 978-7-5424-1204-1

定 价 25.00 元

前 言

《公差配合与测量技术》一书是一门机械类专业的重要专业基础课,具有联系各门基础课和专业课的纽带作用。

本书按照高等教育培养目标的要求,在充分考虑相关专业的基础上,选取了典型测试对象,编写了相关的实验课题。每个课题均按测量参数、测量内容及测量方法来介绍,包括实验目的、实验器材、工作原理、操作步骤等内容。本书注重实际操作及应用,重点阐述了各类量具、量仪的结构,工作原理及使用方法,重在提高学生的实际操作能力,读者通过对本书的学习,可以掌握最典型、最常用的测量手段。作为一本实训教材,本书附录中还列有 20 个实验报告和相关技术标准。

本书由兰州城市学院杨斌、白月飞、曹秀鸽、金伟和兰州石化职业技术学院的李荣、及兰州石化公司吕刚编写,杨斌、白月飞任主编。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,恳请广大师生和读者提出宝贵的意见。

编 者

2008 年 6 月

目 录

第一章 测量技术的基础.....	(1)
第一节 技术测量的基本知识.....	(1)
第二节 测量长度尺寸的常用量具.....	(5)
第三节 常用机械式量仪.....	(13)
第四节 其他计量器具简介.....	(17)
第五节 计量器具的维护和保养.....	(20)
第二章 测量误差和计量结果评定.....	(21)
第一节 概述.....	(21)
第二节 误差的来源.....	(23)
第三节 误差分类及其性质.....	(24)
第四节 误差的处理方法.....	(26)
第三章 测量数据处理.....	(30)
第一节 基本概念.....	(30)
第二节 有效数字的运算.....	(31)
第四章 实验要则.....	(34)
第五章 尺寸测量.....	(36)
第一节 外尺寸测量.....	(36)
第二节 内尺寸测量.....	(41)
第六章 形状和位置误差的测量.....	(46)
第一节 直线度误差测量.....	(47)
第二节 平面度误差测量.....	(53)
第三节 其他形位误差的检测.....	(59)
第七章 表面粗糙度的测量.....	(63)
第八章 螺纹测量.....	(75)
第九章 齿轮测量.....	(85)
第十章 角度和锥度测量.....	(100)
第十一章 三坐标测量机及其应用.....	(102)
附录.....	(110)
参考文献.....	(132)

第一章 测量技术的基础

第一节 技术测量的基本知识

机械零件要实现互换性,除了要合理地规定公差,还需要在加工的过程中进行正确地测量和检验,只有通过测量和检验判定为合格的零件,才具有互换性。

“测量”就是将被测的几何量与一个作为测量单位的标准量进行比较的实验过程。任何一个完整的测量过程都包括测量对象(长度、角度、表面粗糙度、几何形状和相互位置等)、计量单位、测量方法(指计量器具和测量条件的综合)和测量精度(指测量结果与真值的符合程度)四个要素。

“检验”是与测量相似的一个概念,通常只确定被测几何量是否在规定的极限范围之内,从而判定零件是否合格,而不须确定量值。

一、计量的单位

为了保证测量的正确性,必须保证测量过程中测量单位的统一,为此我国以国际单位制为基础确定了法定计量单位。我国的法定计量单位中,长度单位为米(m),平面角的角度计量单位为弧度(rad)及度($^{\circ}$)、分(')、秒(")。长度计量单位的换算关系见表1-1,角度计量单位换算关系见表1-2。

表 1-1 长度计量单位

单位名称	符 号	与基本单位的关系
米	m	基本单位
毫米	mm	$1\text{mm}=10^{-3}\text{m}(0.001\text{m})$
微米	μm	$1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}(0.000\ 001\text{m})$
纳米	nm	$1\text{nm}=10^{-9}\text{m}(0.000\ 000\ 001\text{m})$

表 1-2 角度计量单位

单位名称	符 号	与基本单位的关系
度	°	基本单位 $1^\circ = (\pi/180)\text{rad} = 0.0174533 \text{ rad}$
分	'	$1^\circ = 60'$
秒	"	$1' = 60''$
弧度	rad	基本单位 $1 \text{ rad} = (\pi/180)\text{rad} = 57.29577951^\circ$

二、测量方法的分类

1. 直接测量和间接测量

(1) 直接测量: 直接用量具或量仪测出被测几何量值的一种方法。用游标卡尺测量长度尺寸 L 。

(2) 间接测量: 先测出与被测几何量相关的其他几何参数, 再通过计算获得被测几何量值的方法。

2. 绝对测量和相对测量

(1) 绝对测量: 从量具或量仪上直接读出被测几何量数值的方法。如用游标卡尺测量轴径, 可直接从卡尺上读出尺寸值。

(2) 相对测量: (比较测量或微差测量) 通过读取被测几何量与标准量的偏差来确定被测几何量数值的方法。如用机械式比较仪测量轴径, 测量时先用量块调整零位, 再将轴放在工作台上测量。轴径等于比较仪上指示的偏差值 ΔL 与标准量值 L' 之代数和: $L = L' + \Delta L$ 。相对测量一般能获得较高的测量精度。

3. 单项测量和综合测量

(1) 单项测量: 在一次测量中只测量一个几何量的量值。

(2) 综合测量: 在一次测量中可得到几个相关几何量的综合结果, 以判断工件是否合格。如用螺纹量规综合检验螺纹的合格性。

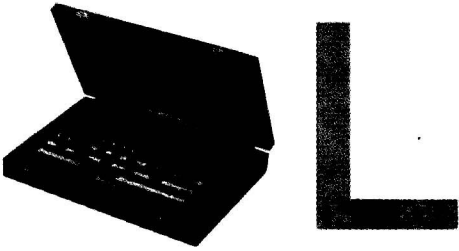
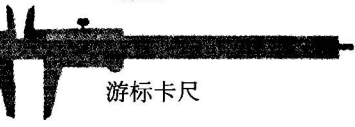
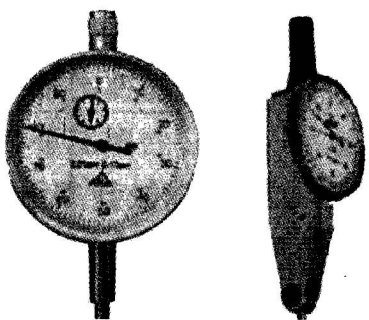
另外, 测量方法还可分为接触与非接触测量、主动与被动测量、动态与静态测量等。

三、计量器具的分类

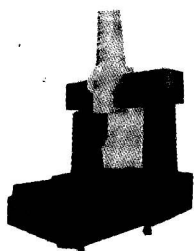
计量器具按结构特点可分为四类, 见表 1-3。

第一章 测量技术的基础

表 1-3 计量器具的分类

种 类	分类及用途	常用计量器具示例
量具 量具是以固定形式复现量值的计量器具 量具一般结构比较简单, 没有传动放大系统	标准量具 用来复现单一量值的量具	
量具 量具是以固定形式复现量值的计量器具 量具一般结构比较简单, 没有传动放大系统	通用量具 用来复现一定范围内的一系列不同量值的量具 按其结构特点又分为固定刻线量具、游标量具、螺旋测微量具	固定刻线量具:  钢直尺 游标量具:  游标卡尺 螺旋测微量具:  千分尺
量规 量规是指没有刻度的专用计量器具 量规用于检验零件(尺寸、形状、位置)是否合格。量规检验不能获得被测几何量的具体数值, 只判断合格性	光滑极限量规 用于检验光滑圆柱形工作的合格性	
量规 量规是指没有刻度的专用计量器具 量规用于检验零件(尺寸、形状、位置)是否合格。量规检验不能获得被测几何量的具体数值, 只判断合格性	圆锥量规 用于检验圆锥的锥度及尺寸	
量仪 量仪是将被测几何量值转换成可直接读取的指示值或等效信息的计量器具 量仪一般具有传动放大系统	按原始信号转换的原理不同可分为机械式量仪、光学式量仪、电动式量仪和气动式量仪四类, 其中机械式量仪应用最广	

续表

种类	分类及用途	常用计量器具示例
计量装置	计量装置是指为确定被测几何量值所必须使用的计量器具的辅助设备的总体 计量装置能测量较多的几何量和较复杂的零件。如右图所示的数控高精度三坐标测量机(数控检测中心)	

四、计量器具的基本计量参数

计量器具的计量参数是反映其性能和功用的指标,是选择和使用计量器具的主要依据。基本计量参数如下,如图 1-1 所示。

1. 刻度间距 c

是指计量器具的标尺或刻度盘上两相邻刻线中心的距离(一般在 $1\sim 2.5\text{mm}$)。

2. 分度值 i (刻度值)

是指计量器具的标尺或刻度盘上每一小格所代表的测量值。如图示量仪的分度值为 0.001mm 。一般分度值越小,计量器具的测量精度越高。

3. 示值范围

是指计量器具的标尺或刻度盘上所指示的起始值到终了值的范围。如图示量仪的示值范围为 $\pm 0.015\text{mm}$ 。

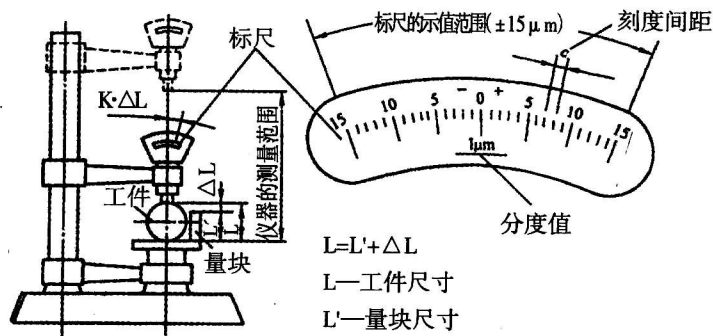


图 1-1 计量器具参数图

4. 测量范围

是指计量器具能测出的被测量的最小值到最大值的范围。如图示量仪的测量范围取决于指示器在专用表座上沿被测尺寸方向的可调范围。

5. 示值误差

是指计量器具的指示值与被测量的真值之差值。

6. 校正值(修正值)

为了消除计量器具示值误差的影响,加到测量结果上的数值。它与示值误差大小相等,符号相反。

另外计量器具的基本计量参数还有灵敏阈、灵敏度、示值稳定性和测量力等。

第二节 测量长度尺寸的常用量具

一、通用量具

1. 游标量具

游标量具是一种常用量具,具有结构简单、使用方便、测量范围大等特点。常用的长度游标量具的游标卡尺、游标深度尺和游标高度尺等,它们的读数原理相同,只是在外形结构上有所差异。

(1) 游标卡尺的结构和用途

游标卡尺的结构和种类较多,常用的游标卡尺的结构和测量指标见表 1-4。

从结构图中可以看出,游标卡尺的主体是一个刻有刻度的尺身,其上有固定量爪。沿着尺身可移动的部分称为尺框,尺框上有活动量爪,并装有带刻度的游标和紧固螺钉。有的游标卡尺为了调节方便还装有微调装置。在尺身上滑动尺度,可使两量爪的距离改变,以完成不同尺寸的测量工作。游标卡尺通常用来测量零件的长度、厚度、内外径、槽宽度及深度等。

(2) 游标卡尺的刻线原理和读数方法

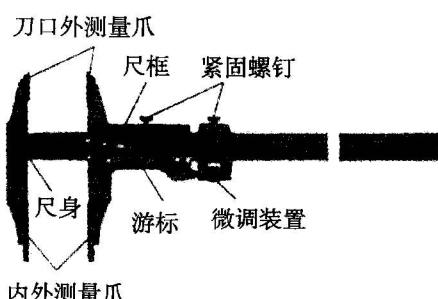
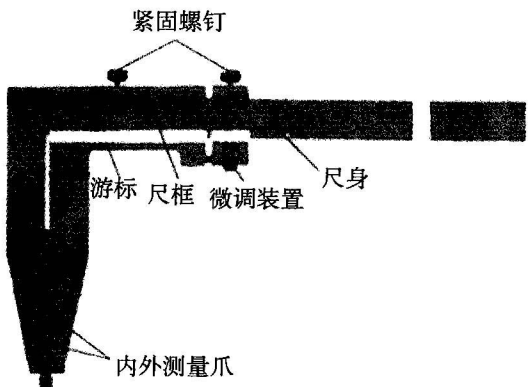
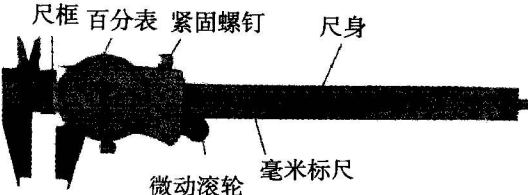
游标卡尺的读数部分由尺身与游标组成。其原理是利用尺身刻线间距和游标刻线间距之差来进行小数读数。通常尺身刻线间距 a 为 1mm,尺身刻线 $(n-1)$ 格的长度等于游标刻线 n 格的长度。相应的游标刻线间距 $b = \frac{(n-1) \times a}{n}$,尺身、尺身刻线间距与游标刻线间距之差 $i = a - b$ 即为游标卡尺的分度值。游标卡尺的分度值有 0.10 mm、0.05 mm 和 0.02 mm 三种。

特别提示:

用游标量具测量零件进行读数时,其读数方法和步骤是:

- (1) 根据游标零线所处位置读出主尺在游标零线前的整数部分的读数值。
- (2) 判断游标上第几根刻线与主尺上的刻线对准,游标刻线的序号乘以该游标量具的分度值即可得到小数部分的读数值。
- (3) 最后将整数部分的读数值与小数部分的读数值相加即为整个测量结果。

表 1-4 常用游标卡尺

种 类	结 构 图	测 量 范 围 mm	分 度 值 mm
三用卡尺 (I 型)		0~125 0~150	0.02 0.05
双面卡尺 (III 型)		0~200 0~300	0.02 0.05
单面卡尺 (IV 型)		0~200 0~300	0.02 0.05
		0~500	0.02 0.05 0.1
		0~1000	0.05 0.1
带表卡尺			

下面就以分度值为 0.02mm 的游标尺为例将读数的方法和步骤进行说明。如图 1-2(a) 所示为分度值 $i=0.02\text{mm}$ 的游标尺的刻线图。尺身刻线间距 $a=1\text{mm}$, 游标的刻线格数为 50 格, 游标刻线间距 $b=\frac{(50-1)\times 1}{50}=0.98\text{mm}$ 与尺身刻线间距之差为 $1-0.98=0.02\text{mm}$ 。

如图 1-2(b)所示,被测尺寸的读数方法和步骤如下:

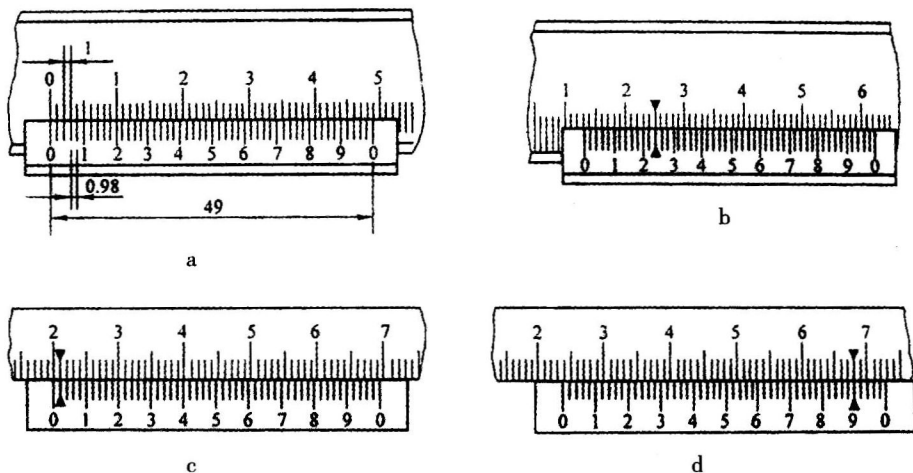


图 1-2 被测尺寸读数示意图

- (1) 游标的零线落在尺身的 13~14mm, 因而整数部分的读数值为 13mm。
- (2) 游标的第 12 格刻线与尺身的一条刻线对齐, 因而小数部分的读数值为 $0.02 \times 12=0.24\text{mm}$ 。
- (3) 最后将整数部分的读数值与小数部分的读数值相加, 所以被测尺寸为 13.24mm。

同理, 如图 1-2(c)所示, 被测尺寸为: $23+45 \times 0.20\text{mm}=23.90\text{mm}$ 。

特别提示:

使用游标卡尺时应注意以下事项:

- (1) 测量前, 将卡尺的测量面用软布擦干净, 卡尺的两个量爪合拢, 应密不透光。如漏光严重, 需进行修理。量爪合拢后, 游标零线应与尺身零线对齐。如不对齐, 就存在零位偏差, 一般不能使用。有零位偏差时如要使用, 需加校正值。游标在尺身上滑动要灵活自如, 不能过松或过紧, 不能晃动, 以免产生测量误差。
- (2) 测量时, 要先注意看清尺框上的分度值标记, 以免读错小数值产生粗大误差。应使量爪轻轻接触零件的被测表面, 保持合适的测量力, 量爪位置要摆正, 不能歪斜。
- (3) 读数时, 视线应与尺身表面垂直, 避免产生视觉误差。

2. 测微螺旋量具

测微螺旋量具是利用螺旋副的运动原理进行测量和读数的一种测微量具。按用途可分为外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺及专门测量螺纹中径尺寸的螺纹千分尺和测量齿轮公法线长度的公法线千分尺等。

(1) 外径千分尺

① 外径千分尺的结构

外径千分尺的外形、结构如图 1-3 所示。其尺架上装有砧座和锁紧装置,固定套管与尺架结合成一体,测微螺杆与微分筒和测力装置结合在一起。当旋转测力装置时,就带动微分筒和测微螺杆一起旋转,并利用螺纹传动副沿轴向移动,使砧座和测微螺杆和两个测量面之间的距离发生变化。

千分尺测微螺杆的移动量一般为 25mm,少数大型千分尺也有制成 100mm 的。

② 外径千分尺的读数原理和读数方法

在千分尺的固定套管上刻有轴向中线,作为微分筒读数的基准线。在中线的两侧,刻有两排刻线,每排刻线的间距为 1mm,上下两排相互错开 0.5mm。测微螺杆的螺距为 0.5mm,微分筒的外圆周上刻有 50 等分的刻度。当微分筒旋转一周时,测微螺杆轴向移动 0.5mm。如微分筒只转动一格时,则螺杆的轴向移动为 $0.5/50=0.01\text{mm}$,因而 0.01mm 就是千分尺的分度值。

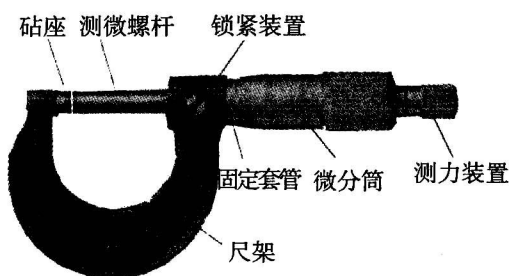


图 1-3 外径千分尺外形结构图

提示:

千分尺的读书方法为:

(1) 先从微分筒的边缘向左看固定套管上距微分筒边缘最近的刻线,从固定套管中线上侧的刻度读出整数,从中线下侧的刻度读特别出 0.5mm 的小数;

(2) 再从微分筒上找到与固定套管中线对齐的刻线,将此刻线数乘以 0.01mm 就是小于 0.5mm 的小数部分的读数,最后把以上几部分相加即为测量值。

例 1-1: 读出图 1-4 中外径千分尺的读数。

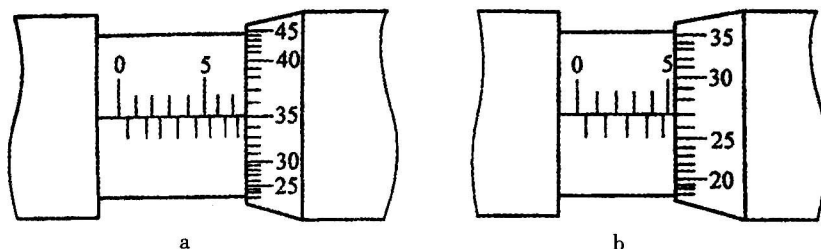


图 1-4 外径千分尺读数示意图

解:从 a 图中可以看出,距微分筒最近处刻线为中线下侧的刻线,表示 0.5mm 的小数,中线上侧距离微分筒最近的为 7mm 的刻线,表示整数,微分筒上数值为 35 的刻线对准中线,所以外径千分尺的读数 $=7+0.5+0.01 \times 35=7.85\text{mm}$

从 b 图中可以看出,距微分筒最近的刻线为 5mm 的刻线,而微分筒上数值为 27 的刻线对准中线,所以外径千分尺的读数 $=5+0.01 \times 27=5.27\text{mm}$

特别提示:使用千分尺时应注意以下事项:

(1) 测量之前,转动千分尺的测力装置上的棘轮,使两个测量面合拢,检查测量面间是否密合,同时观察微分筒上的零线与固定套管的中线是否对齐,如有零位偏差,可送检修部分调整,或在读数时加修正值。

(2) 测量时,千分尺的测微螺杆的轴线应垂直零件被测表面。先用手转动千分尺的微分筒,待测微螺杆的测量面接近工作被测表面时,再转动测力装置上的棘轮,使测微螺杆的测量面接触工作表面,听到 2~3 声“咔咔”声后即停止转动,此时已得到合适的测量力,可读取数值。不可能手猛力转动微分筒,以免使测量力过大而影响满面测量精度,严重时还会损坏螺纹传动副,如图 1-5 所示。

(3) 读数时最好不从工件上取下千分尺,如需取下读数时,应先锁紧测微螺杆,然后再轻轻取下,以防止尺寸变动产生测量误差。

(4) 读数要细心,看清刻度,特别要注意分清整数部分和 0.5mm 的刻线。

③ 外径千分尺的特点

外径千分尺使用方便,读数准确,其测量精度比游标卡尺高,在生产中使用广泛。常用的外径千分尺的规格按测量范围划分,在 500mm 以内一般 25mm 为一挡,如 0~25mm, 25~50mm 等,500~1000mm 多以 100mm 为一挡,如 500~600mm,600~700mm 等。

(2) 其他类型千分尺简介

其他类型的千分尺的读数原理与读数方法与外径千分尺相同,只是由于用途不同,在外形和结构上有所差异,见表 1-5。

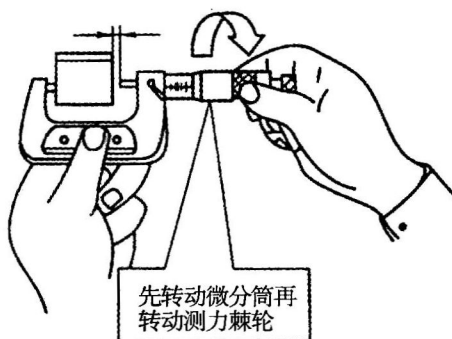
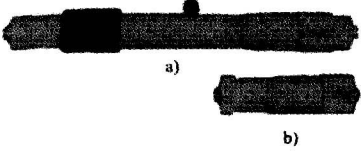
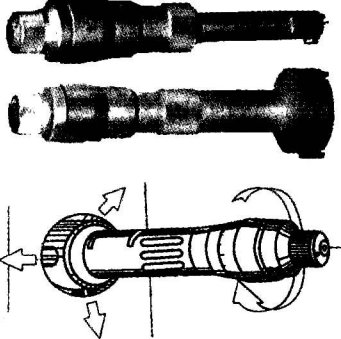
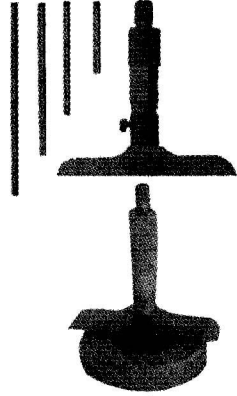
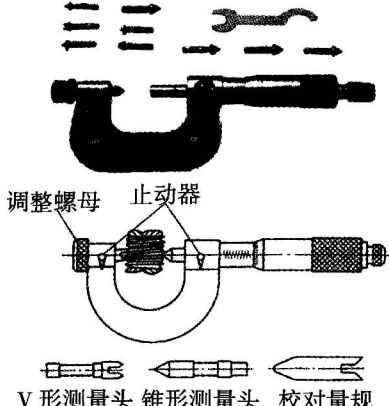


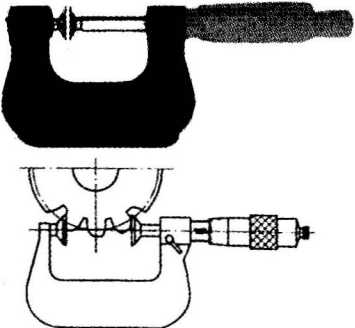
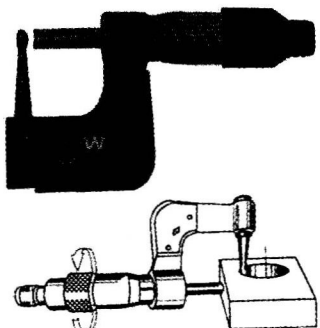
图 1-5 千分尺使用图

表 1-5 其他类型千分尺

名称	图 样	特 点
内测千分尺		用来测量孔径等内尺寸,有 5~30 mm 和 25~50 mm 两种测量范围。其固定套筒上的刻线与外径千分尺刻线方向相反,但读数方法与外径千分尺相同

续表		
名称	图 样	特 点
内 测 千 分 尺(接 杆式)		在不加接长杆时,可测量 50~63 mm 的孔径或内尺寸。去掉千分尺前端的保护螺母,把接长杆与内径千分尺旋合,便可改变(一般是增大)测量范围
内 径 千 分 尺(三 爪式)		测头有三个可伸缩的测爪,由于三爪有三点与孔壁接触,故测量比较准确,其刻线和内部结构与内测千分尺基本相同
深度千 分 尺		主要结构与外径千分尺相似,只是多了一个基座而没有尺架。深度千分尺主要用于测量孔和沟槽的深度及两平面间的距离。在测微螺杆的下面连接着可换测量杆,测量杆有四种尺寸,测量范围分别为:0~25 mm,25~50 mm,50~75 mm,75~100mm
螺纹千 分 尺		主要用于测量螺纹的中径尺寸,其结构与外径千分尺基本相同,只是砧座与测量头的形状有所不同。其附有各种不同规格的测量头,每一对测量头用于一定的螺距范围,测量时可根据螺距选用相应的测量头。测量时,V型测量头与螺纹牙型的凸起部分相吻合,从固定套管和微分筒上可读出螺纹的中径尺寸

续表二

名 称	图 样	特 点
公法线 千分尺		用于测量齿轮的公法线长度,两个测砧的测量面做成两个相互平行的圆平面。测量前先把公法线千分尺调到比被测尺寸略大,然后把测头插到齿轮齿槽中进行测量,即可得到公法线的实际长度
壁厚千 分尺		主要用来测量带孔零件的壁厚,前端做成杆状球头测砧,以便伸入孔内并使测砧与孔的内壁贴合
深弓千 分尺		也称板厚千分尺,主要用来测量距端面较远处的厚度尺寸,其尺身的弓深较深

二、量块

1. 量块的形状、用途及尺寸系列

量块是没有刻度的平行端面量具,也称块规,是用微变形钢(属低合金刀具钢)或陶瓷材料制成的长方体,如图 1-6 所示。量块具有线膨胀系数小、不易变形、耐磨性好等特点。量块具有经过精密加工很平很光的两个平行平面,叫做测量面。两测量平面之间的距

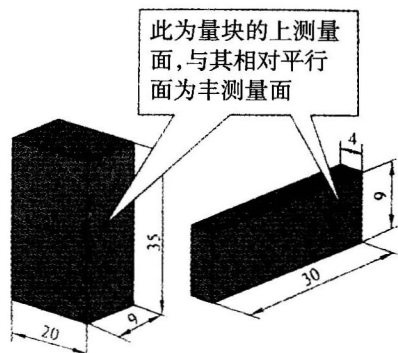


图 1-6 量块形状示意图

离为工作尺寸, 又称标称尺寸, 该尺寸具有很高的精度。量块的标称尺寸大于或等于 10mm 时, 其测量面的尺寸为 35mm × 9mm; 标称尺寸在 10 mm 以下时, 其测量面的尺寸为 30 mm × 9 mm。

量块的测量面非常平整和光洁, 用少许压力推合两块量块, 使它们的测量面紧密接触, 两块量块就能粘合在一起。量块的这种特性称为研合性。利用量块的研合性, 就可用不同尺寸的量块组合所需的各种尺寸。

量块的应用较为广泛。量块可用于检定和校准其他量具、量仪。相对测量时, 用量块组合成一标准尺寸来调整量具和量仪的零位。量块也用于精密机床的调整、精密划线和直接测量精密零件等。

在实际生产中, 量块是成套使用时, 每套包含一定数量的不同标称尺寸的量块, 以便组合成各种尺寸, 满足一定尺寸范围内的测量需求。GB/T6093—1985 共规定了 17 套量块, 并规定量块的制造精度为五级: 00, 0, 1, 2, 3。其中 00 级最高, 其余依次降低, 3 级最低。常用成套量块的级别、尺寸系列、间隔和块数见表 1-6。

表 1-6 成套量块尺寸表

套 别	总块数	级 别	尺寸系列(mm)	间隔(mm)	块 数
1	91	00, 0, 1	0.5 1 1.001, 1.002, ..., 1.009 1.01, 1.02, ..., 1.49 1.5, 1.6, ..., 1.9 2.0, 2.5, ..., 9.5 10, 20, ..., 100	0.001 0.01 0.1 0.5 10	1 1 9 49 5 16 10
2	83	00, 0, 1, 2, (3)	0.5 1 1.005 1.01, 1.02, ..., 1.49 1.5, 1.6, ..., 1.9 2.0, 2.5, ..., 9.5 10, 20, ..., 100	0.01 0.1 0.5 10	1 1 1 49 5 16 10
3	46	0, 1, 2	1 1.00, 1.002, ..., 1.009 1.01, 1.02, ..., 1.09 1.1, 1.2, ..., 1.9 2, 3, ..., 9 10, 20, ..., 100	0.001 0.01 0.1 1 10	1 9 9 9 8 10
4	38	0, 1, 2, (3)	1 1.005 1.01, 1.02, ..., 1.09 1.1, 1.2, ..., 1.9 2, 3, ..., 9 10, 20, ..., 100	0.01 0.1 1 10	1 1 9 9 8 10