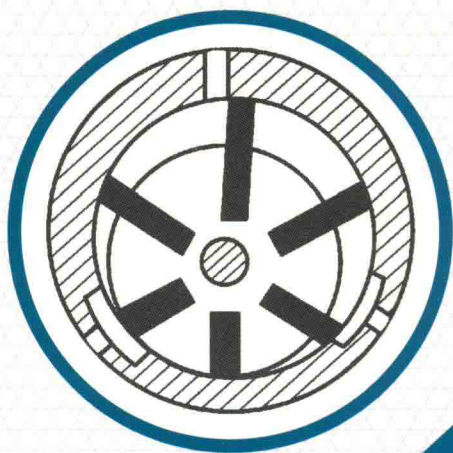




高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

顾问 ● 张 策 张福润 赵敖生

互换性与技术测量 指导书



主编◎余兴波

HUHUANXING YU JISHU CELIANG ZHIDAOSHU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

顾问 ● 张 策 张福润 赵敖生

互换性与技术测量 指导书

主 编 余兴波

副主编 常化申 杨 琳 王 娜 谢卫荣

参 编 程志青 卢君宜 于 地 朱燕丛

HUHUANXING YU JISHU CELIANG ZHIDAOSHU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书是与《互换性与技术测量》基本教材配套使用的指导书。

本书共分几何量测量基础知识、线性尺寸测量、表面粗糙度轮廓幅度参数测量、几何误差测量、螺纹测量、圆柱齿轮测量、三坐标测量机等7章,共13个实验。实验内容包含实验目的、测量原理(测量方法)、量仪说明、实验步骤、测量数据处理方法和示例、思考题等内容。

本书可作为应用型高等工科院校机械类、近机类专业“互换性与技术测量”课程教学与实验教材使用,也可供生产企业和计量、检验机构的专业人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与技术测量指导书/余兴波主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.5

ISBN 978-7-5609-9670-7

I. ①互… II. ①余… III. ①零部件-互换性-高等学校-教学参考资料 ②零部件-测量技术-高等学校-教学参考资料 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 101473 号

互换性与技术测量指导书

余兴波 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:吴 晗

封面设计:陈 静

责任校对:马燕红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:湖北翰之林传媒有限公司

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:3.75

字 数:92千字

版 次:2014年11月第1版第1次印刷

定 价:9.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

编审委员会

顾问: 张策 天津大学仁爱学院

张福润 华中科技大学文华学院

赵敖生 三江学院

主任: 吴昌林 华中科技大学

副主任: (排名不分先后)

潘毓学 长春大学光华学院

李杞仪 华南理工大学广州学院

王宏甫 北京理工大学珠海学院

王龙山 浙江大学宁波理工学院

魏生民 西北工业大学明德学院

编委: (排名不分先后)

陈秉均 华南理工大学广州学院

邓乐 河南理工大学万方科技学院

王进野 山东科技大学泰山科技学院

卢文雄 贵州大学明德学院

石宝山 北京理工大学珠海学院

王连弟 华中科技大学出版社

孙立鹏 华中科技大学武昌分校

刘跃峰 桂林电子科技大学信息科技学院

宋小春 湖北工业大学工程技术学院

孙树礼 浙江大学城市学院

齐从谦 上海师范大学天华学院

吴小平 南京理工大学紫金学院

沈萌红 浙江大学宁波理工学院

张胜利 湖北工业大学商贸学院

邹景超 黄河科技学院工学院

陈富林 南京航空航天大学金城学院

郑文 温州大学瓯江学院

张景耀 沈阳理工大学应用技术学院

陆爽 浙江师范大学行知学院

范孝良 华北电力大学科技学院

顾晓勤 电子科技大学中山学院

胡夏夏 浙江工业大学之江学院

黄华养 广东工业大学华立学院

盛光英 烟台南山学院

诸文俊 西安交通大学城市学院

黄健求 东莞理工学院城市学院

侯志刚 烟台大学文经学院

曲尔光 运城学院

神会存 中原工学院信息商务学院

范扬波 福州大学至诚学院

林育兹 厦门大学嘉庚学院

胡国军 绍兴文理学院元培学院

睦满仓 长江大学工程技术学院

容一鸣 武汉理工大学华夏学院

刘向阳 吉林大学珠海学院

宋继良 黑龙江东方学院

吕海霆 大连科技学院

李家伟 武昌工学院

于慧力 哈尔滨石油学院

张万奎 湖南理工学院南湖学院

殷劲松 南京理工大学泰州科技学院

李连进 北京交通大学海滨学院

胡义华 广西科技大学鹿山学院

张洪兴 上海师范大学天华学院

秘书 俞道凯 华中科技大学出版社

总 序

《国家中长期教育改革和发展规划纲要》(2010—2020)颁布以来,胡锦涛总书记指出:教育是民族振兴、社会进步的基石,是提高国民素质、促进人的全面发展的根本途径。温家宝总理在2010年全国教育工作会议上的讲话中指出:民办教育是我国教育的重要组成部分。发展民办教育,是满足人民群众多样化教育需求、增强教育发展活力的必然要求。目前,我国高等教育发展正进入一个以注重质量、优化结构、深化改革为特征的新时期,从1998年到2010年,我国民办高校从21所发展到了676所,在校生从1.2万人增长为477万人。独立学院和民办本科学校在拓展高等教育资源,扩大高校办学规模,尤其是在培养应用型人才等方面发挥了积极作用。

当前我国机械行业发展迅猛,急需大量的机械类应用型人才。全国应用型高校中设有机械专业的学校众多,但这些学校使用的教材中,既符合当前改革形势又适用于目前教学形式的优秀教材却很少。针对这种现状,急需推出一系列切合当前教育改革需要的高质量优秀专业教材,以推动应用型本科教育办学体制和运行机制的改革,提高教育的整体水平,加快改进应用型本科的办学模式、课程体系和教学方式,形成具有多元化特色的教育体系。现阶段,组织应用型本科教材的编写是独立学院和民办普通本科院校内涵提升的需要,是独立学院和民办普通本科院校教学建设的需要,也是市场的需要。

为了贯彻落实教育规划纲要,满足各高校的高素质应用型人才培养要求,2011年7月,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,召开了高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材编写会议。本套教材以“符合人才培养需求,体现教育改革成果,确保教材质量,形式新颖创新”为指导思想,内容上体现思想性、科学性、先进性和实用性,把握行业岗位要求,突出应用型本科院校教育特色。在独立学院、民办普通本科院校教育改革逐步推进的大背景下,本套教材特色鲜明,教材编写参与面广,具有代表性,适合独立学院、民办普通本科院校等机械类专业教学的需要。

本套教材邀请有省级以上精品课程建设经验的教学团队引领教材的建设,邀请本专业领域内德高望重的教授张策、张福润、赵敖生等担任学术顾问,邀请国家级教学名师、教育部机械基础学科教学指导委员会副主任委员、华中科技大学机械学院博士生导师吴昌林教授担任总主编,并成立编审委员会对教材质量进行把关。

我们希望本套教材的出版,能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型机械工程建设人才,我们也相信本套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,真正成为高等院校机械类应用型本科教材中的全国性品牌。

高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

编审委员会

2012-5-1

目 录

第 1 章 几何量测量基础知识	(1)
第 2 章 线性尺寸测量	(11)
实验一 用立式光学比较仪测量光滑极限塞规	(11)
实验二 用内径指示表测量孔径	(14)
第 3 章 表面粗糙度轮廓幅度参数测量	(17)
实验三 用光切显微镜测量轮廓的最大高度	(17)
实验四 用触针式轮廓仪测量轮廓的算术平均偏差	(22)
第 4 章 几何误差测量	(26)
实验五 几何误差测量	(26)
实验六 用指示表和平板测量平面度误差	(29)
实验七 用指示表和平板测量平行度误差和位置度误差	(32)
第 5 章 螺纹测量	(34)
实验八 在大型工具显微镜上用影像法测量外螺纹	(34)
实验九 用三针法测量外螺纹的单一中径	(41)
第 6 章 圆柱齿轮测量	(43)
实验十 齿轮单个齿距偏差和齿距累积总偏差的测量	(43)
实验十一 齿轮齿廓总偏差的测量	(46)
实验十二 齿轮径向圆跳动的测量	(48)
第 7 章 三坐标测量机	(51)
实验十三 三坐标测量机基本实验	(51)

第 1 章 几何量测量基础知识

一、几何量测量的基本概念

零件加工后,其几何量需加以测量或检验,以确定它们是否符合零件图上给定的技术要求。几何量测量是指为了确定被测几何量的量值,将被测几何量 x 与作为计量单位的标准量 E 进行比较,从而得出两者比值 q 的过程。表示为

$$x = qE$$

任何一个几何量的测量必须有被测量对象和所采用的计量单位。此外,测试过程中还应该注意两个方面:应怎么进行比较(即应采用适当的测量方法)? 怎样保证测量结果准确可靠(即应保证测量精度)?

二、计量器具的基本技术性能指标

计量器具的基本技术性能指标是合理选择和使用计量器具的重要依据。参看图 1-1,其中主要的指标如下。

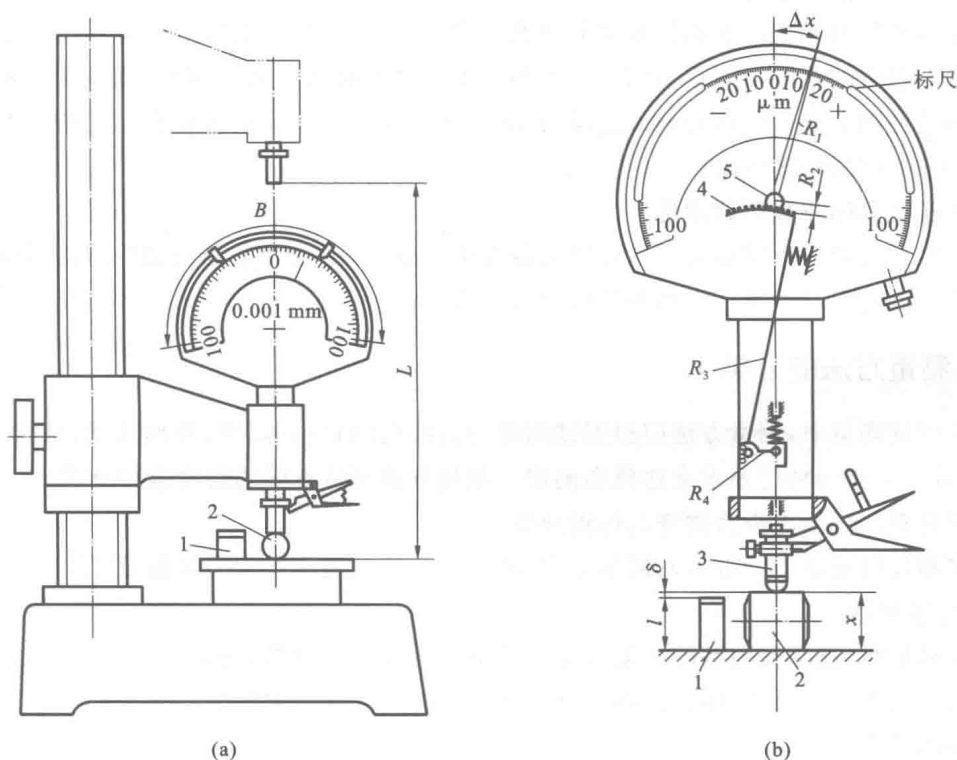


图 1-1 杠杆齿轮式机械比较仪

(a) 外形图; (b) 测量原理图

1—量块; 2—工件; 3—测头; 4—扇形齿轮; 5—小齿轮

1. 标尺刻度间距

标尺刻度间距是指计量器具标尺或分度盘上相邻两刻线中心之间的距离或圆弧长度。为适于人眼观察,刻度间距一般为 $1\sim 2.5\text{ mm}$ 。

2. 标尺分度值

标尺分度值是指计量器具标尺或分度盘上每一刻度间距所代表的量值。一般长度计量器具的分度值有 0.1 mm 、 0.05 mm 、 0.02 mm 、 0.01 mm 、 0.005 mm 、 0.002 mm 、 0.001 mm 等几种。例如,图 1-1 所示机械比较仪的分度值为 0.001 mm 。再如,千分尺的分度值为 0.01 mm ,光学比较仪的分度值为 0.001 mm 。

3. 分辨率

分辨率是指计量器具所能显示的最末一位数所代表的量值。由于在一些量仪(如数字式量仪)中,读数采用非标尺或非分度盘显示,因此就不能使用分度值这一概念,而将其称作分辨率。例如,国产 JC19 型数显式万能工具显微镜的分辨率为 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 。

4. 标尺示值范围

标尺示值范围是指计量器具所能显示或指示的被测几何量起始值到终止值的范围。例如,图 1-1 所示机械比较仪的分度盘(标尺)所能指示的最低值为 $-100\text{ }\mu\text{m}$,最高值为 $100\text{ }\mu\text{m}$,因此示值范围 B 为 $-100\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 。再如, $25\sim 50\text{ mm}$ 千分尺的示值范围为 $25\sim 50\text{ mm}$ 。

5. 计量器具的测量范围

计量器具的测量范围是指计量器具在允许的误差范围内所能测出的被测几何量量值的下限值到上限值的范围。测量范围上限值与下限值之差称为量程。例如,图 1-1 所示机械比较仪的测量范围 L 为 $0\sim 180\text{ mm}$,量程为 180 mm 。再如 $25\sim 50\text{ mm}$ 千分尺的测量范围为 $25\sim 50\text{ mm}$,量程为 25 mm 。

6. 计量器具的测量不确定度

计量器具的测量不确定度是指在规定条件下测量时,由于计量器具的误差而对被测几何量的量值不能肯定的程度。它用测量极限误差表示。

三、测量方法的分类

在几何量测量中,测量方法应根据被测零件的特点(如材料硬度、外形尺寸、结构、批量大小等)和被测对象的精度要求来选择和确定。测量方法可从不同的角度进行分类。

1. 按实测几何量是否为被测几何量分类

按实测几何量是否为被测几何量分类,测量可分为直接测量和间接测量。

1) 直接测量

直接测量时,被测几何量的量值直接由计量器具读出。例如,用游标卡尺、千分尺或测长仪测出轴径或孔径的大小,用公法线千分尺测出齿轮公法线长度的值。

2) 间接测量

间接测量时,欲测量的几何量的量值由实测几何量的量值按一定的函数关系式运算后获得。例如,用正弦尺和量块、指示式量仪测量外圆锥角,用三针法测量外螺纹的单一中径均属于间接测量。

间接测量的测量精度通常比直接测量的低。

2. 按计量器具上的示值是否为被测几何量的量值分类

按计量器具上的示值是否为被测几何量的量值分类,测量可分为绝对测量和相对测量。

1) 绝对测量

绝对测量时,计量器具显示或指示的示值为被测几何量的量值。例如,用游标卡尺、千分尺或立式测长仪测量轴径的大小。

2) 相对测量

相对测量(比较测量)时,计量器具显示或指示的是被测几何量相对于已知标准量的偏差,被测几何量的量值为已知标准量与该偏差的代数和。如图 1-1(b)所示,用机械比较仪测量轴径时,先用尺寸为 l 的量块调整示值零位,该比较仪指示出的示值 Δx 为被测轴径 x 相对于量块尺寸 l 的偏差,即 $x=l+\Delta x$ 。

一般来说,相对测量的测量精度比绝对测量的高。

3. 按测量时被测表面与计量器具的测头是否接触分类

按测量时被测表面与计量器具的测头是否接触分类,测量可分为接触测量和非接触测量。

1) 接触测量

接触测量时,计量器具的测头与被测表面接触,并有机作用力的测量力。例如,用机械比较仪测量轴径,用千分尺测量轴径。

用接触测量法测量不同形状的表面时,应选用相应形状的测头。例如,测量圆球表面、圆柱面和平面时,应分别使用平面形测头、刀刃形测头和圆球形测头。

2) 非接触测量

非接触测量时,计量器具的测头不与被测表面接触。例如,用光切显微镜测量表面粗糙度轮廓的最大高度,在工具显微镜上用影像法测量外螺纹的牙侧角、螺距和中径时,均采用了非接触测量方法。

4. 按被测工件上是否有几个几何量一起测量分类

按被测工件上是否有几个几何量一起测量分类,测量可分为单项测量和综合测量。

1) 单项测量

单项测量是指分别对工件上的几个被测几何量进行独立的测量。例如,用显微镜分别测量外螺纹的牙侧角、螺距和中径,用渐开线测量仪和双测头式齿距比较仪分别测量同一齿轮的齿廓总偏差和单个齿距偏差。

2) 综合测量

综合测量是指同时测量工件上几个相关几何量的综合效应和综合指标,以判断综合结果是否合格。例如,用螺纹量规的通规检验螺纹单一中径、螺距和牙侧角实际值的综合结果是否合格,用齿轮双啮仪测量齿轮齿廓总偏差和单个齿距偏差的综合结果是否合格。

四、量块

量块是一种没有刻度的、形状为长方体的量具(见图 1-2),量块具有两个平行的测量面。这两个测量面极为光滑平整,它们之间具有精确的尺寸。量块是长度量值传递系统中的实物标准,是实现从光波波长(自然长度标准)到测量实践之间长度量值传递的媒介,可以用来检定和调整计量器具、机床、工具和其他设备,也可直接用于测量工件。

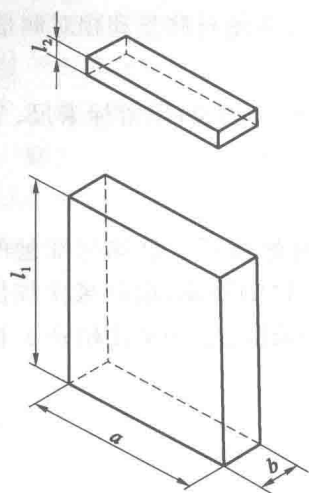


图 1-2 量块

a —测量面长度; b —测量面宽度;
 l_1 、 l_2 —量块长度(量块尺寸)

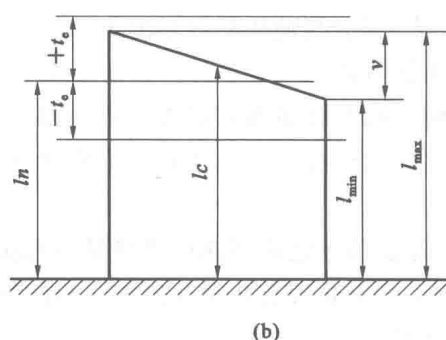
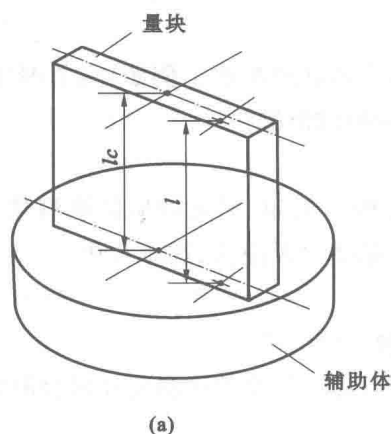


图 1-3 有关量块尺寸精度的术语

(a) 量块研合在辅助体的表面上;(b) 量块的长度极限偏差和变动量

5) 量块长度变动量 V

量块长度变动量 V 是指量块测量面上任意点中的最大长度 $l_{\max}$ 与最小长度 $l_{\min}$ 之差。

6) 量块测量面的平面度误差 f_d

量块测量面的平面度误差是指包容测量面且距离为最小的两个相互平行平面之间的距离。

每块量块只指示一个尺寸。标称长度 $ln \leq 5.5 \text{ mm}$ 的量块,代表其标称长度的数码刻印在上测量面上,标称长度 $ln \geq 6 \text{ mm}$ 的量块(按国标规定的量块尺寸系列,没有标称长度大于 5.5 mm 且小于 6 mm 的量块),代表其标称长度的数码刻印在面积较大的一个侧面上。

2. 量块的精度等级

为了满足不同应用场合的需要,国家标准对量块规定了若干精度等级。

1. 有关量块尺寸精度的术语

参看图 1-3,有关量块测量面与尺寸精度的术语如下。

1) 量块长度 l

量块长度 l 是指量块一个测量面上的任意点(不包括距测量面边缘为 0.8 mm 区域内的点)到与其相对的另一测量面相研合的辅助体表面之间的垂直距离。

2) 量块的中心长度 lc

量块中心长度 lc 是指对应于量块未研合测量面中心点的量块长度。

3) 量块的标称长度 ln

量块的标称长度 ln 是指标记在量块上,用以表明其与主单位(m)之间关系的量值,也称为量块长度的示值。

4) 量块长度偏差 e

量块长度偏差 e 是指任意点的量块长度与标称长度的代数差,即 $e = l - ln$ 。图 1-3(b)中的“ $+t_e$ ”和“ $-t_e$ ”为量块长度极限偏差。

1) 量块的分级

按照 JJG 146—2011《量块检定规程》的规定,量块的制造精度分为五级:K、0、1、2、3 级,其中 K 级精度最高,3 级最低。量块分“级”的主要依据是量块长度偏差。

2) 量块的分等

按照 JJG 146—2011《量块检定规程》的规定,量块的检定精度分为 1、2、3、4、5 五等,其中 1 等最高,5 等最低。量块分“等”的主要依据是量块测量长度的不确定度。

量块按“级”使用时,应以量块的标称长度作为工作尺寸,该尺寸包含了量块的制造误差。量块按“等”使用时,应以经检定后所给出的量块中心长度的实际尺寸作为工作尺寸,该尺寸排除了量块制造误差的影响,仅包含检定时较小的测量误差。因此,量块按“等”使用的测量精度比量块按“级”使用时高。

3. 量块的使用

两块量块的测量面,或一块量块的测量面与一个辅助体(玻璃或石英)的测量平面之间具有相互研合的能力(研合性)。因此,可以从成套的各种不同尺寸的量块中选取几块适当的量块组成所需要的尺寸。为了监视量块组的长度(尺寸)累积误差,选取的量块块数应尽量少,通常以不超过四块为宜。选取量块时,从消去所需要的尺寸的最小尾数开始,逐一选取。例如,从 83 块一套的量块中选取标称尺寸为 36.375 mm 的量块组,可选用标称尺寸分别为 1.005 mm、1.37 mm、4 mm 和 30 mm 的四块量块。

研合量块组时,首先用优质汽油将所选用的各量块清洗干净,用洁布擦干,然后以大尺寸量块为基础,顺次将小尺寸量块研合上去。研合方法如下:先将两块量块测量面的端缘部分接触并研合,然后稍加压力,将一块量块沿着另一块量块推进,如图 1-4 所示,使量块与量块的测量面全部接触,并研合在一起。

使用量块时要小心,避免碰撞或掉落,切勿划伤其测量面。对于量块组和大尺寸量块,最好用竹镊子夹持,少用手拿量块,以减少手温对量块的影响。量块使用后立即用优质汽油洗净,用洁布擦去手迹,并涂上防锈油。

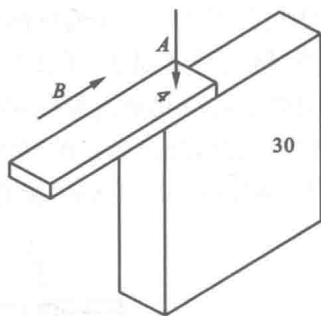


图 1-4 量块的研合

A—加力方向;B—推进方向

五、游标尺

游标尺有游标卡尺、深度游标尺、高度游标尺和齿厚游标卡尺等几种。它们的读数装置都由主尺和游标两部分组成,读数原理和读数方法皆相同。它们用于测量线性尺寸。

参看图 1-5 所示的游标卡尺,装有游标的尺框 3 可以沿主尺 1 移动。测量工件时,尺框在主尺上移动到适当的位置后,将锁紧螺钉 6 拧紧,再旋转微动螺母 2,还可以使尺框(游标)移动一段不大的距离。两副测量爪 4 和 5 的内测量面都用于测量外尺寸,测量爪 4 的外侧测量面用于测量内尺寸。

被测工件尺寸的整数毫米部分在游标零刻线左边的主尺上读出,比 1 mm 小的部分则利用游标读出。游标分度值有 0.1 mm、0.05 mm、0.02 mm 等三种。它是主尺一个或两个刻度间距与游标一个刻度间距的微小差值。

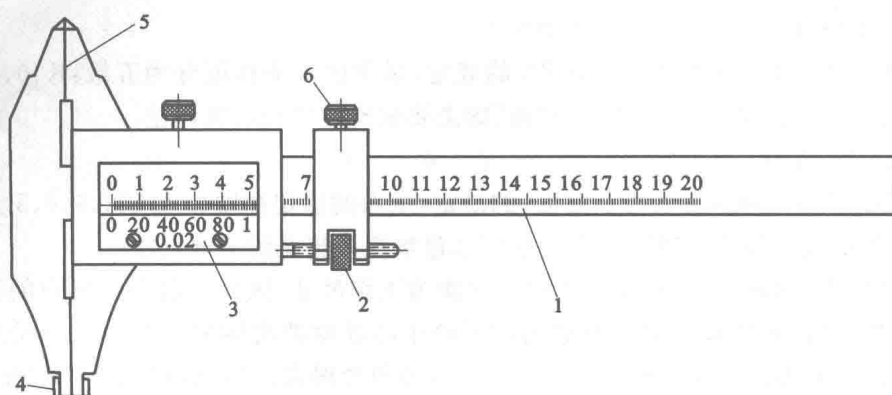


图 1-5 游标卡尺

1—主尺；2—微动螺母；3—尺框（游标）；4—内、外尺寸测量爪；5—外尺寸测量爪；6—锁紧螺钉

六、千分尺

千分尺（百分尺）有外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺和专用千分尺（如公法线千分尺）等几种，都是利用螺旋副运动原理制成的计量器具。它们的读数原理和读数方法都相同，用于测量线性尺寸。

参看图 1-6，外径千分尺的读数装置由固定套管 4 和微分筒 5 组成。固定套管 4 的外面有刻度间距为 0.5 mm 的纵向刻度标尺，里面有螺距为 0.5 mm 的调节螺母。微分筒 5 上有等分 50 格的圆周刻度，并且与螺距为 0.5 mm 的测微螺杆 2 固定成一体。测量时，利用测微螺杆与调节螺母构成的螺旋副，将微分筒的角位移转换为测微螺杆的轴向直线位移。当微分筒旋转一周时，测微螺杆的轴向位移为 0.5 mm；当微分筒旋转一格时，测微螺杆的轴向位移为 $0.5/50 \text{ mm} = 0.01 \text{ mm}$ ，此即为千分尺的分度值。

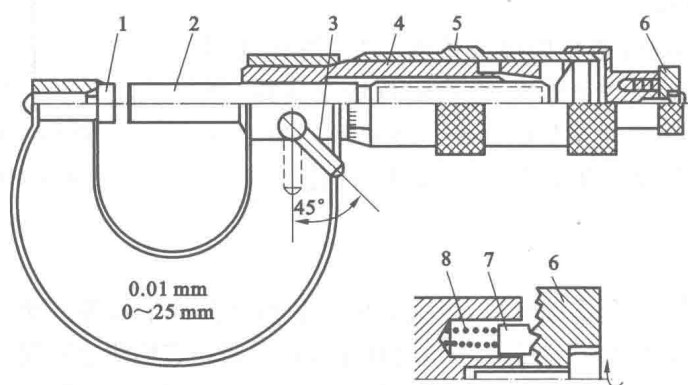


图 1-6 外径千分尺

1—测量砧；2—测微螺杆；3—锁紧柄；4—固定套管；

5—微分筒；6—棘轮；7—棘爪；8—弹簧

当旋转微分筒 5 而测微螺杆 2 及测量砧 1 与工件快要接触时，应缓慢旋转棘轮 6，在弹簧 8 的作用下，使棘轮 6 经棘爪 7 带动微分筒 5 旋转，直到棘爪 7 发出“咯咯”的响声。“咯咯”声表示工件已与测微螺杆 2 及测量砧 1 接触。

读数时，先从固定套管 4 上读出整数毫米部分和 0.5 mm 部分，再从微分筒 5 上读出小于 0.5 mm 的部分。三者相加，就是被测工件尺寸的数值。

七、指示表

指示表按其分度盘的分度值分为百分表(分度值为 0.01 mm)和千分表(分度值为 0.005 mm 、 0.002 mm 或 0.001 mm)，按其外形分为钟表型指示表和杠杆型指示表。它们利用齿轮传动将测杆的微量直线位移放大转换成指针的角位移，在分度盘上指示处理。它们用于测量线性尺寸、几何误差和齿轮误差等。

1. 钟表型百分表及其测量原理

参看图 1-7，用钟表型百分表测量时，具有齿条的测杆 1 做直线运动，带动与该齿条啮合的齿数为 z_2 的小齿轮，从而使与齿数为 z_2 的小齿轮固定在同一根轴上的齿数为 z_3 的大齿轮及短指针转动。齿数为 z_3 的大齿轮又带动齿数为 z_1 的小齿轮及与它固定在同一根轴上的长指针转动。这样，测杆的微量直线位移经齿轮传动放大为长指针的角位移，由分度盘指示出来。为了消除齿轮传动中齿侧间隙引起的空程误差，在百分表内装有游丝 2。由游丝产生的扭力矩作用在与齿数为 z_1 的小齿轮啮合的齿数为 z_4 的齿轮上，以保证齿轮无论正转或反转都在同一侧面的齿面啮合。在百分表内还装有弹簧 3，它用来控制测量力。

百分表的结构中， $R=24\text{ mm}$ ， $m=0.199\text{ mm}$ ， $z_1=10$ ， $z_2=16$ ， $z_3=100$ ，因此， $K\approx 150$ 。沿分度盘圆周刻有 100 格等分刻度，而刻度间距 $a=1.5\text{ mm}$ ，于是百分表的分度值 $i=a/K=1.5/150\text{ mm}=0.01\text{ mm}$ 。

进行测量时，先将测杆向表内压缩 $1\sim 2\text{ mm}$ (长指针按顺时针方向旋转 $1\sim 2$ 周)，然后转动分度盘，使分度盘上零刻线对准长指针，以调整示值零位。长指针旋转一周，则短指针旋转一格。根据短指针所在的位置，可以知道长指针相对于分度盘零刻线的旋转方向和旋转的周数。

使用钟表型指示表时，其测杆的轴线应垂直于被测平面，或通过圆截面的中心线(见图 1-8)，否则会产生测量误差。

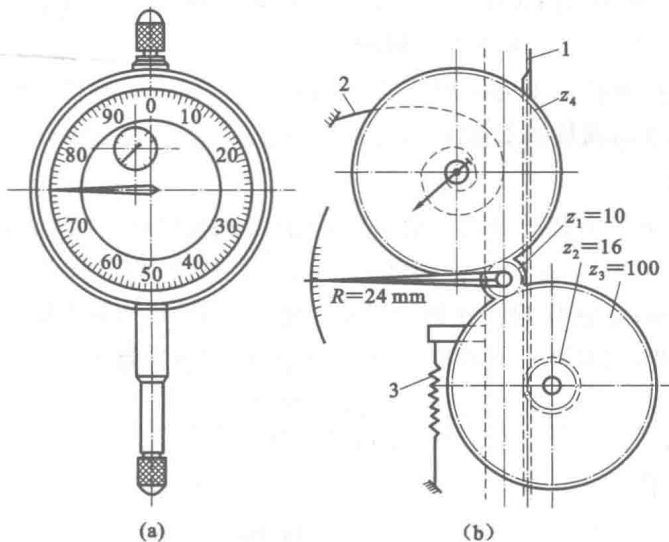


图 1-7 钟表型百分表

(a) 外形图；(b) 测量原理图

1—测杆；2—游丝；3—弹簧

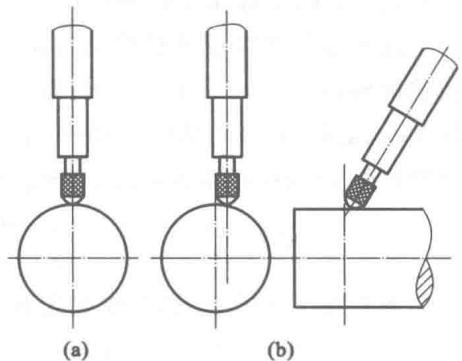


图 1-8 钟表型指示表测杆的测量位置

(a) 正确；(b) 不正确

2. 杠杆型千分表及其测量原理

参看图 1-9, 用杠杆型千分表测量时, 测杆 1 左右摆动, 通过拨杆 2、扇形齿轮 Z_1 (齿数为 z_1)、圆柱齿轮 Z_2 (齿数为 z_2)、平面齿轮 Z_3 (齿数为 z_3) 和圆柱齿轮 Z_4 (齿数为 z_4), 使与齿轮 Z_4 固定在同一根轴上的指针 3 转动。这样, 测杆 1 的测头微量直线位移经过齿轮传动放大为指针 3 的角位移, 由分度盘指示出来。

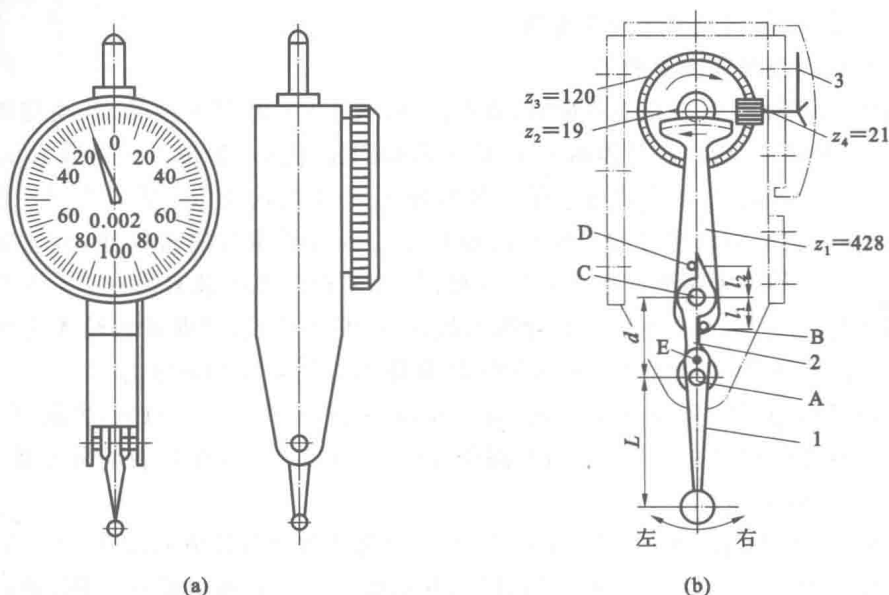


图 1-9 杠杆型千分表

(a) 外形图; (b) 测量原理图

1—测杆; 2—拨杆; 3—指针

扇形齿轮 Z_1 上有两个圆柱销 B 和 D。当测杆 1 绕固定心轴 A 向右摆动时, 测杆 1 上的销轴 E 拨动拨杆 2 向左转动, 拨杆 2 推动圆柱销 D (此时拨杆 2 与圆柱销 B 脱开), 使扇形齿轮 Z_1 绕浮动心轴 C 向左转动, 带动齿轮 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 和指针 3 转动。

当测杆 1 绕固定心轴 A 向左摆动时, 测杆 1 上的销轴 E 拨动拨杆 2 向右转动, 拨杆 2 推动扇形齿轮 Z_1 上的圆柱销 B (此时拨杆 2 与圆柱销 D 脱开), 使扇形齿轮 Z_1 绕浮动心轴 C 也向左转动, 带动 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 和指针 3 转动。

这两条传动链应具有相同的放大比 K 。上述千分表的结构中, 指针 3 的长度 $R=14$ mm; 齿轮的模数 $m=0.111$ mm, 齿数 $z_1=428$, $z_2=19$, $z_3=120$, $z_4=21$; 杠杆 1 的臂长 $L=16$ mm; 心轴 A 与 C 的中心距 $d=15$ mm; 心轴 C 与圆柱销 B 的中心距 $l_1=3.17$ mm; 心轴 C 与圆柱销 D 的中心距 $l_2=5.5$ mm。因此, 当测杆 1 向右摆动时, 放大比 K 如下计算:

$$K = \frac{2R}{mz_4} \cdot \frac{z_3}{z_2} \cdot \frac{mz_1}{2l_2} \cdot \frac{d+l_2}{L} = \frac{2 \times 14}{21} \times \frac{120}{19} \times \frac{428}{11} \times \frac{20.5}{16} \approx 420$$

当测杆 1 向左摆动时, 放大比 K 如下:

$$K = \frac{2R}{mz_4} \cdot \frac{z_3}{z_2} \cdot \frac{mz_1}{2l_1} \cdot \frac{d-l_1}{L} = \frac{2 \times 14}{21} \times \frac{120}{19} \times \frac{428}{6.34} \times \frac{11.83}{16} \approx 420$$

该千分表分度盘圆周刻有正向、反向各 50 格等分刻度, 刻度间距 $a=0.84$ mm, 因此分度盘的分度值 $i=a/K=0.84/420$ mm $=0.002$ mm。

测量时, 用手将测杆 1 绕心轴 A 扳到所需要的测量位置, 转动分度盘使其上的零刻线对

准指针 3,以调整示值零位。参看图 1-10,测杆的轴线应平行于被测平面,允许测杆轴线与被测平面间略有倾斜,但倾斜角 α 不得超过 16° 。

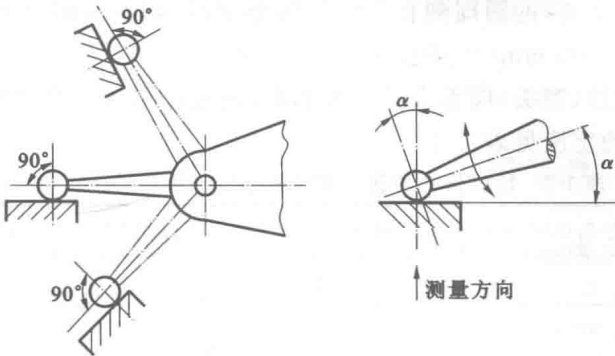


图 1-10 杠杆型指示表测杆轴线的测量位置

3. 指示表的测量不确定度

指示表的测量不确定度见表 1-1。

表 1-1 指示表的测量不确定度(摘自 JB/Z 181—1982)

尺寸范围/ mm	分度值为 0.001 mm 的千分表(0 级在全程范围内,1 级在 0.2 mm 内),分度值为 0.002 mm 的千分表(在 1 周范围内)	分度值为 0.001 mm、0.002 mm、0.005 mm 的千分表(1 级在全程范围内),分度值为 0.01 mm 的百分表(0 级在任意 1 mm 内)	分度值为 0.01 mm 的百分表(0 级在全程范围内,1 级在任意 1 mm 内)	分度值为 0.01 mm 的百分表(1 级在全程范围内)
	测量不确定度 u_1' /mm			
≤25				
>25~40				
>40~65	0.005	0.010	0.018	0.030
>65~90				
>90~115				

注:本表规定的数值是使用由四块 1 级(或 4 等)量块组成的标准器测量而得到的。

七、机械式比较仪

比较仪按实现原始信号转换的方法分为机械式量仪、光学式量仪、电动式量仪和气动式量仪等几类。机械式比较仪是指用机械方法实现原始信号转换的量仪,如指示表、杠杆齿轮式比较仪和杠杆式比较仪等。它们用于测量线性尺寸、几何误差和齿轮误差等。

杠杆齿轮式比较仪的测量原理图如图 1-1(b)所示。测杆及安装在其上的测头 3 向上或向下移动时,使杠杆短臂(R_4)产生摆动。杠杆长臂(R_3)的顶端是一个扇形齿轮 4,它随着杠杆短臂(R_4)摆动而向左或向右转动,并带动小齿轮 5 及固定在其上的指针(R_1)按顺时针或逆时针方向转动。因此,测头 3 的微量直线位移 δ ,经过杠杆短臂、杠杆长臂和齿轮传动,放大成指针(R_1)末端相对于圆弧标尺的角位移(若干个刻度间距,示值为 Δx)。该比较仪的结构中, $R_1=50\text{ mm}$, $R_2=1\text{ mm}$, $R_3=100\text{ mm}$, $R_4=5\text{ mm}$ 。因此,该比较仪的放大倍数 K 按下式计算:

$$K = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_4} = \frac{50}{1} \times \frac{100}{5} = 1000$$

该比较仪标尺(分度盘)的圆周刻有 200 格等分刻度,刻度间距 $a=1\text{ mm}$ 。因此,该标尺的分度值 $i=a/K=1/1000\text{ mm}=0.001\text{ mm}$ 。

测量时,测杆的轴线(测头)应垂直于被测平面,或通过圆截面的中心线。

比较仪的测量不确定度见表 1-2。

表 1-2 比较仪的测量不确定度(摘自 JB/Z 181—1982)

尺寸范围/mm	分度值为 0.0005 mm	分度值为 0.001 mm	分度值为 0.002 mm	分度值为 0.005 mm
	测量不确定度 u_1'/mm			
≤ 25	0.000 6	0.001 0	0.001 7	0.003 0
$>25\sim 40$	0.000 7		0.001 8	
$>40\sim 65$	0.000 8	0.001 1		
$>65\sim 90$	0.000 8			
$>90\sim 115$	0.000 9	0.001 2	0.001 9	

注:本表规定的数值是使用由四块 1 级(或 4 等)量块组成的标准器测量得到的。

第2章 线性尺寸测量

实验一 用立式光学比较仪测量光滑极限塞规

线性尺寸可以用相对测量法(比较测量法)进行测量,相对测量常用的量仪有机械比较仪、光学比较仪、电感比较仪和气动比较仪等几种。用比较仪测量时,首先根据被测尺寸的公差值 L 组成量块组,然后用该量块组调整量仪示值零位。若实际被测尺寸相对于量块组尺寸存在偏差,就可以从量仪的标尺上读取该偏差的数值 Δx ,则实际被测尺寸为 $x=L+\Delta x$ 。

一、实验目的

- (1) 掌握用相对测量法测量线性尺寸的原理;
- (2) 了解立式光学比较仪的结构并熟悉它的使用方法;
- (3) 熟悉量块的使用与维护方法。

二、量仪说明和测量原理

立式光学比较仪也称立式光学计,是一种精度较高且结构简单的光学仪器,适用于外尺寸的精密测量。

图 2-1 为立式光学比较仪的外形图。

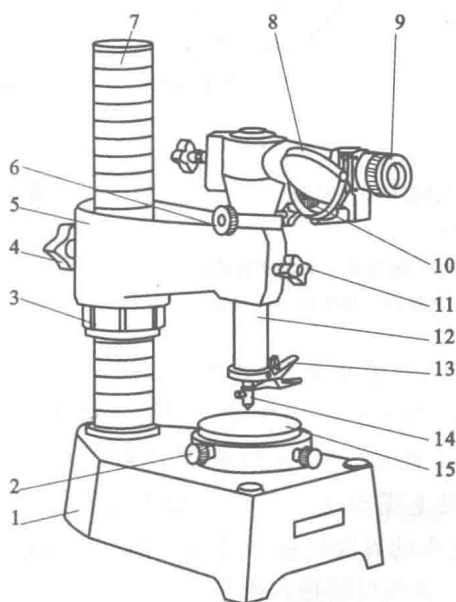


图 2-1 立式光学比较仪

1—底座;2—工作台调整螺钉(共四个);3—横臂升降螺圈;4—横臂固定螺钉;5—横臂;6—细调螺杆;7—立柱;
8—进光反射镜;9—目镜;10—微调螺杆;11—光管固定螺钉;12—直角形光管;13—测杆提升器;14—测杆;15—工作台