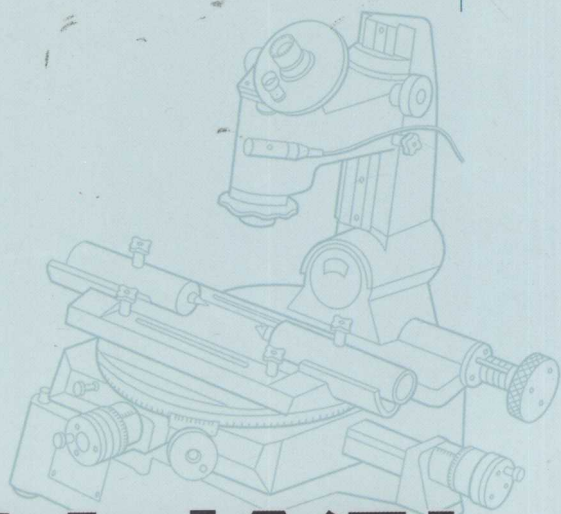


| 世纪出版 | 精品教材 | JIHELIANG GONGCHA YU JIANCE
SHIYAN ZHIDAO SHU

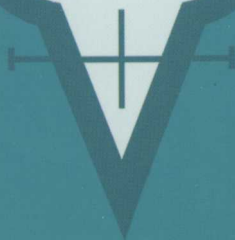


几何量公差与检测

实验指导书

第六版

甘永立·主编



上海科学技术出版社



图书在版编目(CIP)数据

几何量公差与检测实验指导书/甘永立主编.—6版.
上海:上海科学技术出版社,2010.1
ISBN 978-7-5323-9854-6

I.几... II.甘... III.①机械元件—互换性—实验—高等学校—教学参考资料②机械元件—测量—实验—高等学校—教学参考资料 IV.TG801-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 131037 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 6.5

字数:148 千字

1989 年 3 月第 1 版 1995 年 2 月第 2 版

2002 年 4 月第 3 版 2004 年 7 月第 4 版

2005 年 7 月第 5 版

2010 年 1 月第 6 版 2010 年 1 月第 24 次印刷

印数 134 401—139 500

ISBN 978-7-5323-9854-6/TG·196

定价 11.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内 容 提 要

《几何量公差与检测》课程即《互换性与测量技术基础》课程。本书是与《几何量公差与检测》或《互换性与测量技术基础》基本教材配套使用的教材。

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、圆锥角测量、圆柱螺纹测量和圆柱齿轮测量等7章,共20个实验。每个实验均包含实验目的、测量原理(测量方法)、量仪说明、实验步骤、思考题等内容,若干实验还有测量数据处理方法和示例的内容。

本书供高等学校机械类各专业师生在教学中使用,也可作为继续教育院校机械类各专业的教材。

配套电子课件下载说明

本书编制了20个实验的23种实验报告及参考资料——齿轮类零件精度和箱体类零件精度综合性检测实验(第八章)的课件,在上海科学技术出版社网站公布,欢迎读者登录 www.sstp.cn/pebooks/download/ 浏览、下载。

第六版前言

《几何量公差与检测》课程即《互换性与测量技术基础》课程,是机械类各专业的一门重要技术基础课。

根据机械工业部教育局 1982 年教高字第 17 号文和 1987 年教学便字第 0005 号文的指示,上海科学技术出版社分别于 1985 年出版了《几何量公差与检测》基本教材、1987 年出版了与该基本教材配套的《几何量公差与检测习题试题集》教材。该基本教材业已出版了 9 版,该题集业已出版了 5 版。

根据国家机械工业委员会教育局 1987 年教高便字第 050 号文的指示,上海科学技术出版社 1989 年出版了《几何量公差与检测实验指导书》教材。该指导书与上述两本教材配套使用,业已出版了 5 版。

《几何量公差与检测》(第二版)基本教材于 1992 年获第二届全国高等学校机电类专业优秀教材二等奖。

实验课是本课程的重要教学环节。通过实验课,可以使學生熟悉有关几何量测量的基本知识、测量原理(测量方法)、常用计量器具的使用方法和数据处理方法,同时可以巩固學生在课堂上所学的内容,培養學生的基本技能和动手能力。经过近几年教学的实践和本学科的发展,与时俱进,我协作组决定出版第六版《几何量公差与检测实验指导书》教材,以进一步满足教学的需要。

本书分为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、圆锥角测量、圆柱螺纹测量和圆柱齿轮测量等 7 章,共 20 个实验,系统地介绍有关计量器具的测量原理、结构和使用方法。各校可根据具体的设备条件和不同专业的教学要求,选做本书中的一些实验,示范表演另一些实验。

第一、二、三、四、五、六版教材均由吉林工业大学(现吉林大学)甘永立主编。第六版教材的作者如下:第一章、第七章实验十四、实验十五、实验十六、实验十七、实验十八,甘永立;第二章实验一和实验二,湖南大学周海萍;第二章实验三和第四章实验八,长春大学王颖淑;第三章实验四、实验五和实验六,合肥工业大学潘晓蕙;第四章实验七,吉林大学侯磊;第四章实验九和第七章实验二十,长春理工大学李丽娟;第四章实验十和第七章实验十九,吉林大学寇尊权;第五章实验十一、第六章实验十二和实验十三,西安理工大学王新年。

由于我们的水平所限,书中难免存在缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

本书编制了 20 个实验的 23 种实验报告及齿轮类零件精度和箱体类零件精度综合性检测实验课件,在上海科学技术出版社网站公布,欢迎读者登录 www.sstp.cn/pebooks/download/ 浏览,下载。

《几何量公差与检测》课程协作组

2009 年 11 月

目 录

实验守则.....	1
实验报告的内容和要求.....	2
第一章 几何量测量基础知识.....	3
一、几何量测量的基本概念.....	3
二、计量器具的基本技术性能指标.....	3
三、测量方法的分类.....	4
四、量块.....	5
五、游标尺.....	7
六、千分尺.....	8
七、指示表.....	9
八、机械比较仪.....	12
第二章 线性尺寸测量.....	13
实验一 用立式光学比较仪测量光滑极限塞规.....	13
实验二 用测长仪测量光滑极限量规.....	16
实验三 用内径指示表测量孔径.....	22
第三章 表面粗糙度轮廓幅度参数测量.....	25
实验四 用光切显微镜测量轮廓的最大高度.....	25
实验五 用触针式轮廓仪测量轮廓的算术平均偏差.....	29
实验六 用干涉显微镜测量轮廓的最大高度.....	33
第四章 几何误差测量.....	38
实验七 直线度误差测量.....	38
实验八 用指示表和平板测量平面度误差、平行度误差和位置度误差.....	47
实验九 用光学分度头测量圆度误差.....	52

实验十 径向和轴向圆跳动测量	58
第五章 圆锥角测量	61
实验十一 用正弦尺、量块、平板和指示式量仪测量外圆锥角	61
第六章 圆柱螺纹测量	63
实验十二 在大型工具显微镜上用影像法测量外螺纹	63
实验十三 用三针法测量外螺纹的单一中径	69
第七章 圆柱齿轮测量	72
实验十四 齿轮单个齿距偏差和齿距累积总偏差的测量	72
实验十五 齿轮齿廓总偏差的测量	78
实验十六 齿轮螺旋线总偏差的测量	83
实验十七 齿轮齿厚偏差的测量	86
实验十八 齿轮公法线长度偏差的测量	88
实验十九 齿轮径向跳动的测量	91
实验二十 齿轮径向综合偏差的测量	94

实 验 守 则

制定本守则,旨在使学生注意爱护实验设备、掌握正确的实验方法和认真进行实验操作,保证实验质量。

1. 实验前按实验指导书有关内容进行预习,了解本轮各个实验的目的、要求和测量原理。

2. 按规定的时间到达实验室。入室前,掸去衣帽上的灰尘,穿上工作服和拖鞋。除与本轮实验有关的书籍和文具外,其他物品不得携入室内。

3. 实验室内保持整洁、安静,严禁吸烟,不准乱扔纸屑和废棉花,不准随地吐痰。

4. 开始做实验之前,应在教师指导下,对照量具量仪,了解它们的结构和调整、使用方法。

5. 做实验时,必须经教师同意后方可使用量具量仪。在接通电源时,要特别注意量仪所要求的电压和所使用的变压器。实验中要严肃认真,按规定的操作步骤进行测量,记录数据。操作要仔细,切勿用手触摸量具量仪的工作表面和光学镜片。

6. 要爱护实验设备,节约使用消耗性用品。若量具量仪发生故障,应立即报告教师进行处理,不得自行拆修。

7. 凡与本轮实验无关的量具量仪,均不得动用或触摸。

8. 对量具量仪的测量面、精密金属表面和测头、被测工件,要先用优质汽油洗净,再用棉花擦干后使用。测量结束后要再清洁这些表面,并均匀涂上防锈油。

9. 实验完毕,要切断量仪的电源,清理实验场地,将所用的实验设备整理好,放回原处,认真书写实验报告。经教师同意后,方可离开实验室。

10. 凡不遵守实验守则经指出而不改正者,教师有权停止其实验。若情节严重,对实验设备造成损坏者,应负赔偿责任,并给予处分。

实验报告的内容和要求

撰写实验报告是训练学生撰写科技论文的能力的环节。实验报告是考核学生学习成绩和评估教学质量的重要依据。

学生对所做的实验应该做到测量原理清楚,测量方法和操作步骤正确,测量数据比较可靠,并且会处理测量数据和查阅公差表格。

实验报告应由每个学生独立完成,用钢笔、炭黑墨水笔或圆珠笔工整书写。报告内容要层次清楚,文字简明通顺,图、表清晰,符合汉语规范和法定计量单位。

实验报告一般包含下列 7 项内容:

- (1) 实验名称;
- (2) 实验目的;
- (3) 测量原理;
- (4) 实验步骤;
- (5) 实验记录;
- (6) 测量数据处理及相应结论;
- (7) 回答思考题。

其中前 4 项应在预习时书写。

实验记录包括:

- (1) 实验所用计量器具的名称、标尺分度值(或分辨力)、标尺示值范围和计量器具测量范围;
- (2) 被测工件的名称,被测部位的公称尺寸、极限偏差或公差,测量草图(注明被测部位);
- (3) 调整计量器具示值零位所选用的各块量块的尺寸;
- (4) 测量数据(列表,并注明数据的计量单位和有关符号)。

必要时,在实验报告上可要求画出被测孔、轴尺寸公差带示意图,确定安全裕度、验收极限和计量器具的测量不确定度的允许值,以及分析测量误差和书写实验心得。

按 GB/T 3177—2009《产品几何技术规范(GPS) 光滑工件尺寸的检验》的规定,安全裕度 A 取为被测孔、轴尺寸公差 T 的十分之一(即 $A=0.1T$),计量器具的测量不确定度的允许值 u_1 取为安全裕度 A 的十分之九(即 $u_1=0.9A$)。所选用计量器具的测量不确定度 u_1' 应不大于允许值 u_1 。相应地,被测孔、轴的上验收极限为工件的上极限尺寸减去一个安全裕度 A ,下验收极限为工件的下极限尺寸加上一个安全裕度 A 。

第一章 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。这可用下式表示:

$$x = qE$$

由上式可知,任何一个几何量测量过程必须有被测对象和所采用的计量单位。此外,还包含:两者应怎么进行比较(即应采用适当的测量方法),并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 0-1,其中主要的指标如下。

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 0-1 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. 分辨力

分辨力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,而将其称作分辨力。例如,国产 JC19 型数显式万能工具显微镜的分辨力为 $0.5 \mu\text{m}$ 。

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 0-1 所示机械比较仪的分度盘(标尺)所能指示的最低值为 $-100 \mu\text{m}$,最高值为 $+100 \mu\text{m}$,因此示值范围 B 为 $-100 \mu\text{m}$ 到 $+100 \mu\text{m}$ 。再如, $25 \sim 50 \text{ mm}$ 千分尺的示值范围为 25 mm 到 50 mm 。

5. 计量器具测量范围

计量器具测量范围是指计量器具在允许的误差限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 0-1 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 。

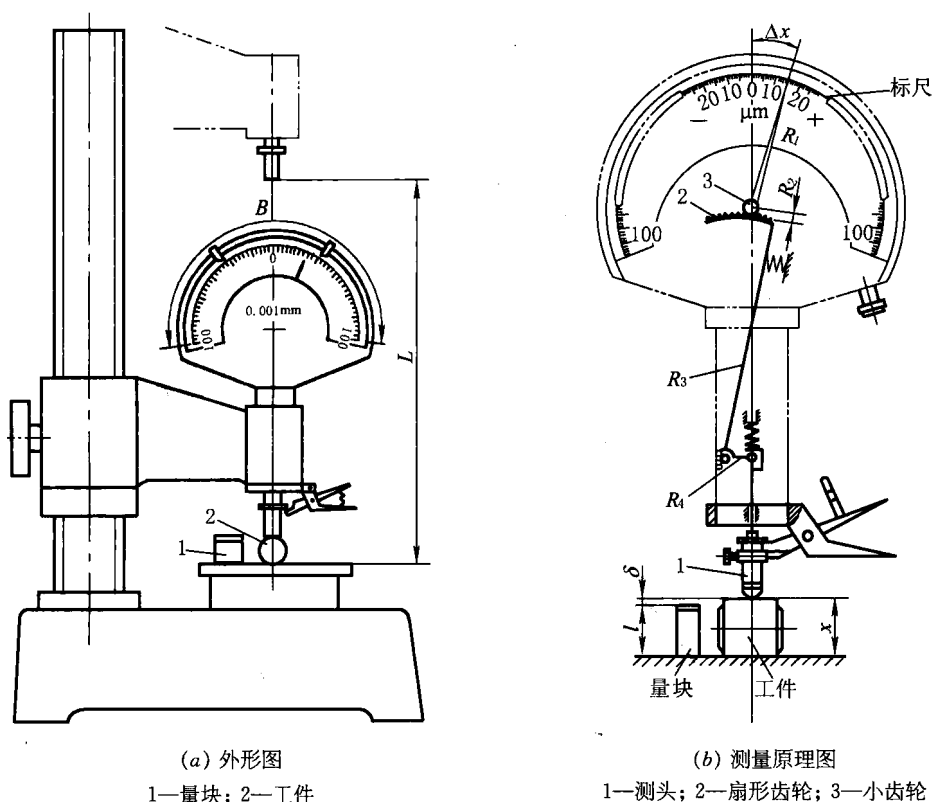


图 0-1 杠杆齿轮式机械比较仪

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

测量可分为直接测量和间接测量。

(1) 直接测量

直接测量是指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数值。

(2) 间接测量

间接测量是指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。

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

测量可分为绝对测量和相对测量。

(1) 绝对测量

绝对测量是指计量器具显示或指示的示值即是被测几何量的量值。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)是指计量器具显示出或指示出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。例如图 0-1b 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 δ ,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

测量可分为接触测量和非接触测量。

(1) 接触测量

接触测量是指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被测表面时,应选用相应形状的测头。例如,测量球面、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

非接触测量是指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。

4. 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,用工具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六面体的量具(如图 0-2 所示),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。

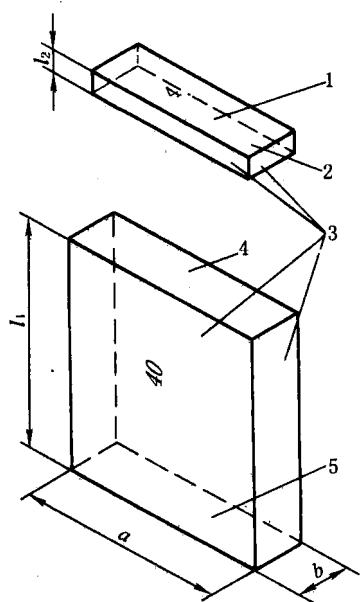
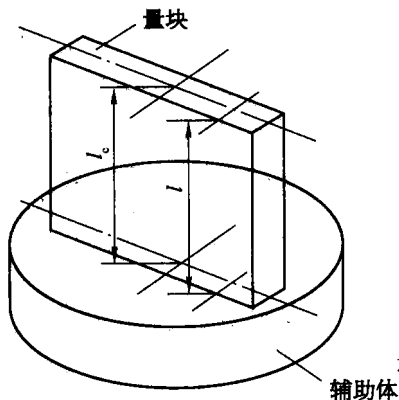
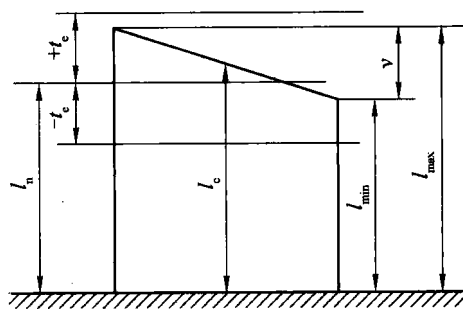


图 0-2 量块

1、4—上测量面；2、5—下测量面；
3—侧面；a—测量面长度；b—测量面
宽度； l_1 、 l_2 —量块长度(量块尺寸)



(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

图 0-3 有关量块尺寸精度的术语

1. 有关量块尺寸精度的术语

参看图 0-3, 有关量块尺寸精度的术语如下。

(1) 量块长度

量块长度 l 是指量块一个测量面上的任意点(距测量面边缘 0.8 mm 范围内不计)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

量块中心长度 l_c 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

量块的标称长度 l_n 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) 任意点的量块长度偏差

任意点的量块长度偏差 e 是指任意点的量块长度与标称长度的代数差, 即 $e = l - l_n$ 。图 0-3b 中的“ $+t_e$ ”和“ $-t_e$ ”为量块长度极限偏差。

(5) 量块的长度变动量

量块的长度变动量 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, 即 $v = l_{\max} - l_{\min}$ 。

(6) 量块测量面的平面度误差

量块测量面的平面度误差是指包容量块测量面的实际表面且距离为最小的两个平行平面之间的距离。

每块量块只指示一个尺寸。标称长度 $l_n \leq 5.5$ 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 $l_n \geq 6$ 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, 如图 0-2 和图 0-4 所示。

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) 量块的分级

按照 JJG 146—2003《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,精度依次降低,3 级最低。量块分“级”的主要依据是量块长度极限偏差($L_n \pm t_n$)、量块长度变动量 v 的允许值和量块测量面的平面度公差。

(2) 量块的分等

按照 JJG 146—2003《量块检定规程》的规定,量块的检定精度分为五等:1、2、3、4、5 等,其中 1 等最高,精度依次降低,5 等最低。量块分“等”的主要依据是量块测量的不确定度的允许值、量块长度变动量 v 的允许值和量块测量面的平面度公差。

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。为了减少量块组的长度(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尺寸为 36.375 mm 的量块组,可分别选用 1.005 mm、1.37 mm、4 mm 和 30 mm 共四块量块。

研合量块组时,首先用优质汽油将所选用的各块量块清洗干净,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:将量块沿着其测量面长边方向,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 0-4 所示,使两块量块的测量面全部接触,并研合在一起。

使用量块时要小心,避免碰撞或跌落,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,减少手拿量块的时间,以减少手温的影响。量块使用后要立即用优质汽油洗净,用洁布擦去手迹,并涂上防锈油。

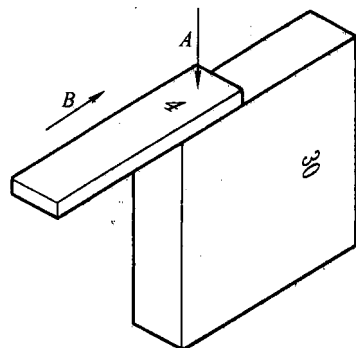


图 0-4 量块的研合

A—加力方向; B—推进方向

五、游标尺

游标尺有游标卡尺、游标深度尺、游标高度尺和游标测齿卡尺等几种。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分别相同。它们用于测量线性尺寸。

参看图 0-5 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。它是指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。

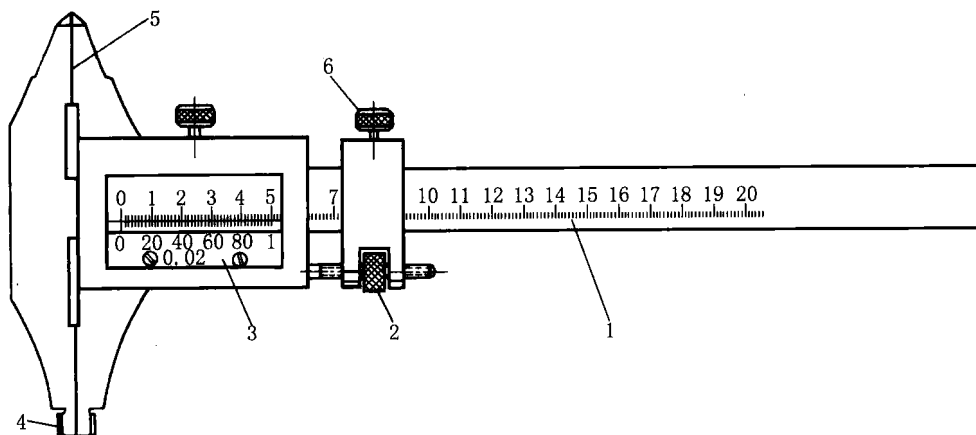


图 0-5 游标卡尺

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皆分别相同,用于测量线性尺寸。

参看图 0-6,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 $0.5/50=0.01$ mm,此即为千分尺的分度值。

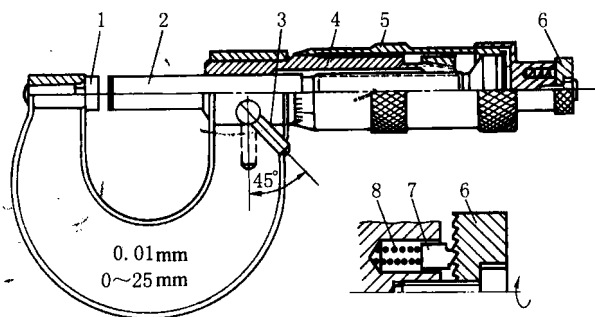


图 0-6 外径千分尺

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 发出喀喀的响声。喀喀声表示工件已与测微螺杆 2 及测量砧 1 接触。

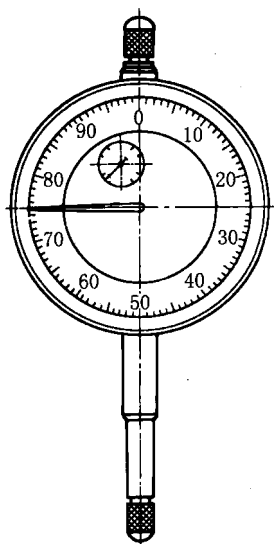
读数时,先从固定套管 4 上读出整数毫米部分和 0.5 mm 部分,再从微分筒 5 上读出小于 0.5 mm 的部分。三者相加,就是被测工件尺寸的数值。

七、指示表

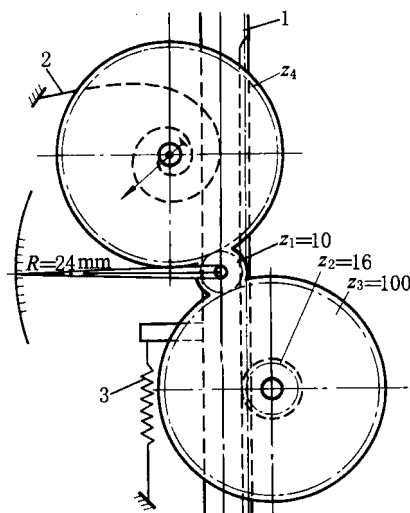
指示表按其分度盘的分度值分为百分表(分度值为 0.01 mm)和千分表(分度值为 0.005 mm、0.002 mm 或 0.001 mm),按其外形分为钟表型指示表和杠杆型指示表。它们利用齿轮传动将测杆的微量直线位移放大转换成指针的角位移,在分度盘上指示出来。它们用于测量线性尺寸、几何误差和齿轮误差等。

1. 钟表型百分表及其测量原理

参看图 0-7,用钟表型百分表测量时,具有齿条的测杆 1 作直线运动,带动与该齿条啮合的小齿轮 z_2 转动,从而使与小齿轮 z_2 固定在同一根轴上的大齿轮 z_3 及短指针转动。大齿轮 z_3 又带动小齿轮 z_1 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小齿轮 z_1 啮合的齿轮 z_4 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。



(a) 外形图



(b) 测量原理图

图 0-7 钟表型百分表

1—测杆; 2—游丝; 3—弹簧

百分表的放大倍数 K 按下式计算:

$$K = \frac{2R}{mz_1} \cdot \frac{z_3}{z_2}$$

式中 z_1 、 z_2 、 z_3 ——齿轮齿数;

m ——齿轮模数(mm);

R ——长指针的长度(mm)。

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 $i = a/K = 1.5/150 = 0.01 \text{ mm}$ 。

进行测量时, 先将测杆向表内压缩 1~2 mm (长指针按顺时针方向旋转 1~2 转), 然后转动分度盘, 使分度盘上的零刻线对准长指针, 以调整示值零位。长指针旋转一转, 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了几转。

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 0-8), 否则会产生测量误差。

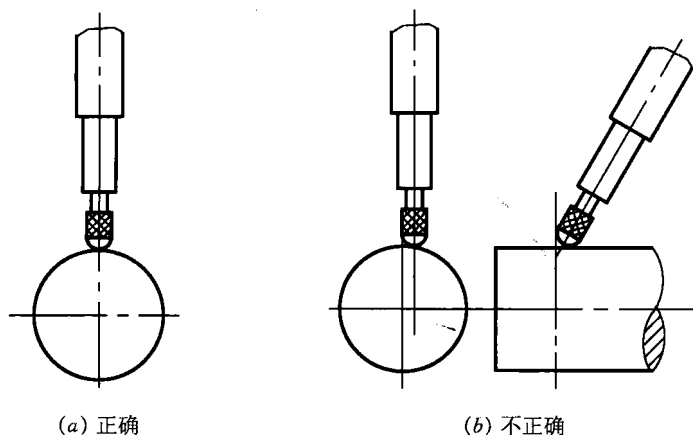


图 0-8 钟表型指示表测杆的测量位置

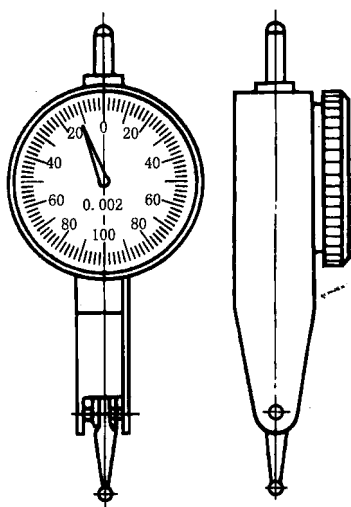
2. 杠杆型千分表及其测量原理

参看图 0-9, 用杠杆型千分表测量时, 测杆 1 的左右摆动, 通过拨杆 2、扇形齿轮 z_1 、圆柱齿轮 z_2 、平面齿轮 z_3 和圆柱齿轮 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 的测头的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。

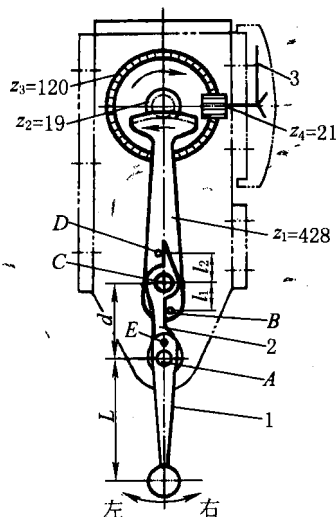
扇形齿轮 z_1 上有两个圆柱销 B 和 D。当测杆 1 绕固定心轴 A 向右摆动时, 测杆 1 上的销轴 E 拨动拨杆 2 向左转动, 拨杆 2 推动圆柱销 D (此时拨杆 2 与圆柱销 B 脱离), 使扇形齿轮 z_1 绕浮动心轴 C 向左转动, 带动齿轮 z_2 、 z_3 、 z_4 和指针 3 转动。

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 脱离), 使扇形齿轮 z_1 绕浮动心轴 C 也向左转动, 带动齿轮 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 $R = 14 \text{ mm}$; 齿轮的模数 $m = 0.111 \text{ mm}$, 齿数 $z_1 = 428$, $z_2 = 19$, $z_3 = 120$, $z_4 = 21$; 杠杆 1 的臂长 $L = 16 \text{ mm}$; 心轴 A 与 C 的中心距 $d = 15 \text{ mm}$; 心轴 C 与圆柱销 B 的中心距 $l_1 = 3.17 \text{ mm}$; 心轴 C 与圆柱销 D 的中心距 $l_2 = 5.5 \text{ mm}$ 。因此, 当测杆 1 向右摆动时, 放大比 K 如下计算:



(a) 外形图



(b) 测量原理图

图 0-9 杠杆型千分表

1—测杆；2—拨杆；3—指针

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

当测杆 1 向左摆动时,放大比 K 如下计算:

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

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 $a = 0.84 \text{ mm}$, 因此分度盘的分度值 $i = a/K = 0.84/420 = 0.002 \text{ mm}$ 。

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 0-10,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° 。

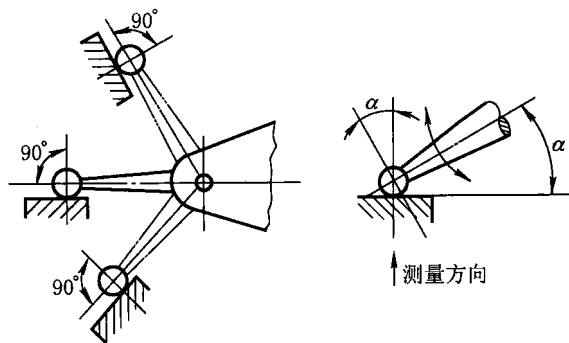


图 0-10 杠杆型指示表测杆轴线的测量位置

3. 指示表的测量不确定度

指示表的测量不确定度见表 0-1。