

高等學校教材

几何量公差与检测 实验指导书

徐红兵 主编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

几何量公差与检测 实验指导书

徐红兵 主 编
王亚元 杨建风 副主编
范 真 主 审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

几何量公差与检测实验指导书/徐红兵主编. —北京:
化学工业出版社, 2005. 11

高等学校教材

ISBN 7-5025-7933-8

I. 几… II. 徐… 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 (2005) 第 140057 号

高等学校教材

几何量公差与检测实验指导书

徐红兵 主编

王亚元 杨建风 副主编

范真 主审

责任编辑: 程树珍 陈丽

文字编辑: 彭喜英

责任校对: 周梦华

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 9 1/4 字数 208 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7933-8

定 价: 16.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

“几何量公差与检测”课程的实验是机械类、近机类各专业的技术基础实验，是“几何量公差与检测”课程学习的重要教学环节。生产和科学技术的发展对检测的准确度和效率提出了越来越高的要求。为适应当前教学的需要，通过本实验课的学习，要求学生熟悉几何量检测的基础知识和基本技能，了解几何量测量的基本原理和基本方法，加深对几何量公差基本概念的认识和理解，提高几何量测量工作能力，学会正确使用普通计量器具和处理测量数据的方法，对从事机械设计、机械制造、计量测试和管理的人员具有重要意义。

本书共分为几何量测量基础知识、尺寸测量、形位误差测量、表面粗糙度轮廓的测量、螺纹测量、齿轮测量、凸轮轴测量、光滑圆锥体测量和 GLOBAL 三坐标机的使用九部分和附录（实验报告）。学生根据该指导书能够独立完成实验内容，满足学分制要求的开放实验。

本书由江苏大学徐红兵主编，王亚元、杨建风副主编。第二章～第五章、第八章、第九章由徐红兵编写；第一章和附录由王亚元编写；第六章和第七章由杨建风编写，全书由范真老师主审。

在本书编写过程中，得到了江苏大学领导以及戈晓岚、毛卫平、王宏宇、王春艳等老师的帮助，在此表示感谢。

由于我们的水平和时间有限，书中难免存在不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2005 年 9 月

内 容 提 要

本书共分九章和附录：第一章，几何量测量基础知识；第二章，尺寸测量；第三章，形位误差的测量；第四章，表面粗糙度轮廓的测量；第五章，螺纹的测量；第六章，齿轮的测量；第七章，凸轮轴的测量；第八章，光滑圆锥体的测量；第九章，GLOBAL 三坐标机的使用；附录，实验报告。

本书基于开放性实验，实验操作步骤详细，学生可以在实验指导书下，完成各个实验项目，熟悉几何量检测的基础知识和基本技能，对从事机械设计、机械制造、标准化、计量测试和管理的人员都具有重要意义。通过几何量检测实验课的学习，达到了解几何量测量的基本原理和基本方法；加深对几何量公差基本概念的认识和理解；提高几何量测量工作能力；学会正确使用普通计量器具和处理测量数据的方法。

本书主要作为高等院校机械类、近机类各专业“几何量公差与检测”课程的检测实验教材，也可作为几何量检测工程技术人员的参考书。

目 录

量具、量仪的维护保养一般知识	1
实验规则	2
第一章 测量技术基础	3
一、长度计量单位和基准量值的传递	3
二、测量器具和测量方法	4
第二章 尺寸测量	14
A. 用投影立式光学计测量塞规	14
B. 用内径百分表测量气缸孔	19
C. 用万能测长仪测量轴承内径	21
第三章 形状和位置误差的测量	26
A. 直线度误差的测量	26
B. 平面度误差的测量	32
C. 位置误差测量	35
D. 圆度误差的测量	40
第四章 表面粗糙度轮廓的测量	46
A. 用光切显微镜测量表面粗糙度 R_a	47
B. 用干涉显微镜测量表面粗糙度 R_a	51
C. 用粗糙度仪 3^+ 测量表面粗糙度 R_a	54
第五章 螺纹测量	56
A. 用工具显微镜测量外螺纹参数	56
B. 用三针法测量外螺纹中径	63
C. 用螺纹千分尺测量外螺纹中径	66
第六章 齿轮测量	67
A. 齿距累积总偏差 ΔF_p 和单个齿距偏差 Δf_{pk} 的测量	67
B. 齿廓总偏差 ΔF_a 的测量	73
C. 螺旋线总偏差 ΔF_β 的测量	75
D. 齿厚偏差 ΔE_{sn} 的测量及公法线长度偏差 ΔE_w 的测量	77
E. 切向综合总偏差 $\Delta F'_i$ 和一齿切向综合偏差 $\Delta f'_i$ 的测量	81
F. 齿轮径向跳动 ΔF_r 的测量	82
G. 径向综合总偏差 $\Delta F''_i$ 和一齿径向综合偏差 $\Delta f''_i$ 的测量	85
第七章 凸轮轴的测量	88
A. 凸轮检查仪测量凸轮轴	88
B. 改造的分度头测量凸轮轴	91
第八章 光滑圆锥体的测量	94

A. 用正弦规测量圆锥塞规	95
B. 用钢球法测量圆锥套规	97
第九章 GLOBAL 三坐标测量机的使用	98
一、GLOBAL 三坐标测量机的介绍	98
二、测头校验	99
三、工件测量	101
附录	108
几何量公差与检测实验报告	108
报告一 尺寸测量	109
报告二 形状和位置误差测量	112
报告三 表面粗糙度测量	116
报告四 螺纹测量	119
报告五 齿轮测量	122
报告六 凸轮轴的测量	133
报告七 光滑圆锥体的测量	135
参考文献	137

量具、量仪的维护保养一般知识

技术测量工作是机器制造的眼睛，对保证产品质量起着极其重要的作用，而量仪质量的好坏，精度保持的情况，直接影响它的作用的发挥。量仪质量由制造工厂保证，而量仪精度的保持，则是使用者的责任。在使用时必须注意以下几点。

① 量具、量仪使用前，要将手上污垢清洗干净，保持量具、量仪外表的清洁和测量地点的整齐、清洁。

② 操作前，一定要了解量仪的结构原理和性能，否则不得任意动手，以防破坏（在实验室，要经教师同意后，方可使用）。

③ 操作要认真、细心，严格遵守仪器操作规程。仪器的操作手柄或手轮应轻轻转动，锁紧机构不宜用力过大，说话不要嘴对仪器，对金属表面不要任意用手去摸。

④ 仪器使用过程中发生故障，不得任意拆卸，必须按仪器结构原理仔细检查或送专门单位检查修理（学生实验时，仪器发生故障，由教师处理）。

⑤ 仪器使用完毕后，一定要将手接触过的地方用纱布、棉花、汽油和绸布清洗干净，金属表面涂上防锈油，防止生锈（所用棉花、纱布、汽油、绸布和防锈油，都要经过检查合格后才能使用）。

清洗过程为先用纱布或棉花擦去表面脏物→用沾上汽油的干净棉花擦洗表面→再用干净的绸布擦净表面汽油挥发物→涂上防锈油→盖上防尘布→整理工作现场。

⑥ 必须按期保养，鉴定量仪、量具，以保证量值的准确，对修复的量仪、量具必须经检查鉴定后，方可再使用。

实 验 规 则

(1) 实验是巩固课堂教学，培养实际工作能力的重要方面。因此学生在实验前必须复习与本次实验有关的教材内容和预习实验指导书，才能达到实验的目的和要求。

(2) 按规定时间准时进入实验室。有特殊情况必须请假，并及时与实验室联系，尽快补做，不能无故缺席。为保证测量结果的正确性和仪器的正常使用，入室必先换鞋或穿上鞋套，入室后必须保持安静、整齐、清洁、卫生，不得随地吐痰，严禁吸烟。

(3) 实验时应按操作程序正确使用量具、量仪，不得任意拆卸、摆弄。要树立认真负责、一丝不苟的工作态度和爱护国家财产的优良品质。

(4) 实验所用量具、量仪，在使用中发生故障时，应立即报告指导教师，不得自行处理。

(5) 实验时专心、细心。对量仪、量具等要轻拿轻放，调整仪器的活动部分动作要缓慢，对锁紧机构锁紧时用力不宜过大。

(6) 认真完成实验报告，并须经指导教师评阅。实验完毕后，按量具、量仪等保养要求，进行清洗保养，并整理工作现场。

第一章 测量技术基础

机械制造中的测量技术主要研究对零件几何参数进行测量和检验的问题。

测量就是把被测的量（如长度、角度等）与具有测量单位的标准量进行比较的过程。

一个完整的测量过程应包括以下几个方面。

测量对象 指几何量，即长度、角度、形状相对位置误差以及表面粗糙度等。

测量单位 长度单位有米（m）、毫米（mm）、微米（ μm ）；角度单位为度（ $^{\circ}$ ）、分（'）、秒（"）。

测量方法 测量时所采用的测量原理、测量器具和测量条件的总和。测量条件是测量时零件和测量器具所处的环境，如温度、湿度、振动和灰尘等。测量时的标准温度为 20°C 。一般计量室的温度应控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm (0.05 \sim 2)^{\circ}\text{C}$ ，精密计量室的温度应控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm (0.03 \sim 0.05)^{\circ}\text{C}$ ，同时还要尽可能使被测零件与测量器具在相同温度下进行测量。计量室的相对湿度应以 $50\% \sim 60\%$ 为适宜，测量时应远离振动源，保持室内较高的清洁度等。

测量精度 指测量结果与零件真值的接近程度。

检验是指判断被测的量是否在规定的公差范围内，通常不一定要得到被测量的具体数值。

测量技术的基本任务 ①建立统一的计量单位，并复制成为标准形式，确保量值传递；②拟定合理的测量方法，并采用相应的测量器具使其实现；③对测量方法的精度进行分析和估计，正确处理测量所得的数据。

一、长度计量单位和基准量值的传递

（一）长度计量单位基准

为了进行长度测量，必须建立统一可靠的长度单位基准。目前世界各国所使用的长度单位有米制和英制两种。

中国颁布的法定计量单位是以国际单位制的基本长度单位“米”为基本单位。在机械制造中常用的测量单位有毫米（mm）和微米（ μm ）。

1 米（m）=1000 毫米（mm）

1 毫米（mm）=1000 微米（ μm ）

1983 年第十七届国际计量大会审议并批准了“米”的新定义，即 1 米是光在真空中，在 $1/299792458\text{s}$ 的时间间隔内所经过的距离。

（二）基准量值的传递

在生产实践中，不可能直接利用光波波长进行长度尺寸的测量，为了保证机械制造中长度测量的量值统一，必须建立从光波长度基准到生产中使用的各种量具、量仪和工件尺寸的传递系统，量块和线纹尺是实现光波长度到测量实际之间的尺寸传递媒介，是机械制造中的实用长度基准。长度尺寸的传递系统如图 1-1。在尺寸传递系统中，基准量具以量块（端面量具）应用最为广泛，量块在第二章有具体使用实例。

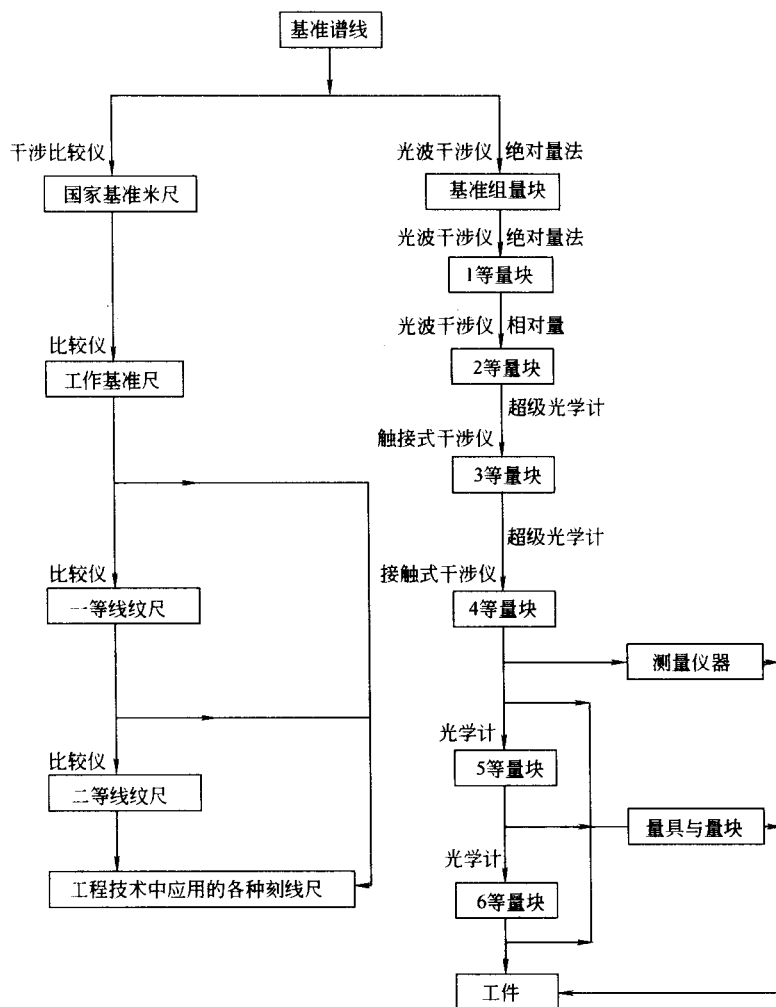


图 1-1 长度量值传递系统

二、测量器具和测量方法

(一) 测量器具（计量器具）的分类

1. 测量器具（计量器具）的基本分类

测量器具包括量具和量仪两大类：量具——使用时，以固定形式复现一给定量的一个或多个已知值的一种测量器具；量仪——将被测的或有关的量转换成指示值或等效信息的一种测量器具。

2. 按测量器具的结构特点和用途分类

(1) 基准量具和量仪 测量中用作标准的量具，如量块、角度量块、基准米尺、激光比较仪等。它是按基准复制出来的一个代表固定尺寸的量具和量仪，在测量中体现标准量。

(2) 极限量规 一种没有刻度的专用检验工具。用极限量规检验零件时，只能判断零件是否合格，而不能得出零件尺寸、形状和位置误差的具体数值。

(3) 通用量具和量仪 有刻度并能量出具体数字值的量具和量仪。它可用来测量在一定范围内的任意值。一般分为以下几种。

- ① 游标量具：如游标卡尺、齿厚游标卡尺等。
- ② 螺旋测微量具：如外径千分尺、内径千分尺等。
- ③ 机械式量具：如百分表、机械比较仪、扭簧比较仪等。
- ④ 光学量具：光学比较仪、光切显微镜等。
- ⑤ 电动量具：电感式量仪、电容式量仪等。
- ⑥ 气动量具：浮标式气动量仪、水柱式气动量仪等。

(4) 检测装置 量具、量仪和定位元件等构成的组合体，是一种专用检验工具。如检验夹具、主动测量装置、自动分选机和坐标测量机等。它使测量工作更为迅速、方便和可靠，便于实现测量自动化等。

近年来，由于光栅、磁栅、感应同步器以及激光技术、计算机技术在长度测量中的应用越来越广泛，不仅测量器具的精度有了很大的提高，而且能采用脉冲计数、数字显示、自动记录和打印测量结果等方式，从而有助于实现自动测量和自动控制。

(二) 测量方法的分类

① 按是否直接测量被测参数，可分为直接测量和间接测量。

直接测量 直接测量被测参数来获得被测尺寸。例如用卡尺、比较仪测量。

间接测量 测量与被测尺寸有关的几何参数，经过计算获得被测尺寸。如图 1-2 所示，测量圆弧直径 D 是通过测量弦长 S 和弓形高 H ，经过计算得到 D 。它们的关系式是

$$\frac{D}{2} = \frac{S^2}{8H} + \frac{H}{2}$$

显然，直接测量比较直观，间接测量比较繁琐。一般当被测尺寸不易测量时，就不得不采用间接测量。

② 按量具、量仪的读数值是否直接表示被测尺寸的数值，可分为绝对测量和相对测量。

绝对测量 读数值直接表示被测尺寸的大小。如用游标卡尺测量。

相对测量 读数值只表示被测尺寸相对于标准量的偏差。如用比较仪测量轴的直径，需先用量块调整好仪器的零位，然后进行测量，测得值是被测轴的直径相对于量块尺寸的差值，这就是相对测量。一般说来相对测量的精度比较高，但测量较麻烦。

③ 按被测表面与量具、量仪的测量头是否接触，可分为接触测量和非接触测量。

接触测量 测量头与被测零件表面接触，并有机作用力的测量力存在。如用千分尺测量零件。

非接触测量 测量头不与被测零件表面接触，非接触测量可避免测量力对测量结果的影响。如利用投影法、光波干涉法测量等。

④ 按一次测量参数的多少，可分为单项测量和综合测量。

单项测量 对被测零件的每个参数分别单独测量。

综合测量 测量反映零件有关参数的综合指标。

综合测量一般效率较高，对保证零件的互换性更为可靠，常用于完工零件的检验。单

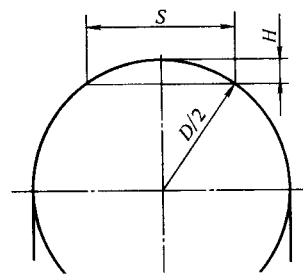


图 1-2 用弦高法测量圆弧直径

项测量能分别确定每一参数的误差，一般用于工艺分析、工序检验及被指定参数的测量。

⑤ 按测量在加工过程中所起的作用，可分为主动测量和被动测量。

主动测量 工件在加工过程中进行测量，其结果直接用来控制零件的加工过程，从而及时防止废品的产生。

被动测量 工件加工后进行的测量。此种测量只能判别工件是否合格，去除废品。

⑥ 按被测零件在测量过程中所处的状态，可分为静态测量和动态测量。

静态测量 测量时相对静止。如千分尺测量直径。

动态测量 测量时被测表面与测量头模拟工作状态做相对运动。

动态测量方法能反映出零件接近使用状态下的情况，是测量技术的发展方向。

(三) 测量器具的基本度量指标

度量指标是合理选择和使用测量器具的主要指标。基本度量指标如图 1-3。

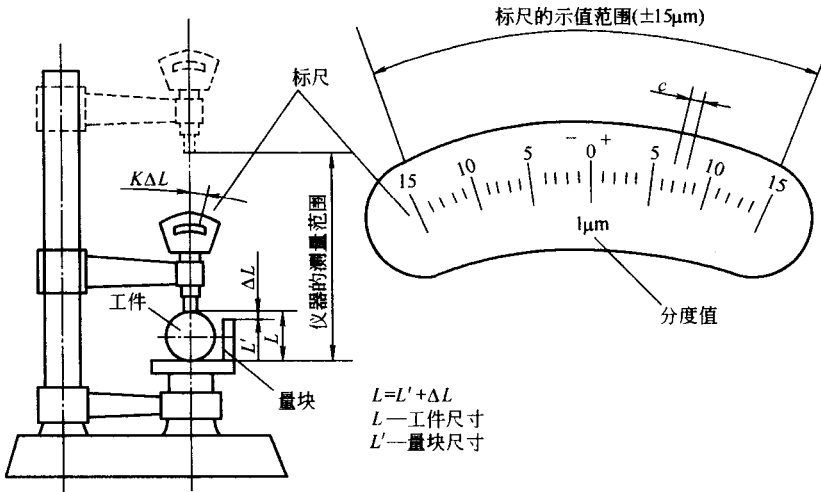


图 1-3 测量器具的基本度量指标

刻度值 (分度值) 测量器具刻度尺或度盘上最小一格所代表的被测尺寸。如图 1-3 所示，表盘上的刻度值是 $1\mu\text{m}$ 。

刻度间距 测量器具刻度标尺或度盘上两刻线间的距离，通常都是等距刻度，一般为 $1\sim 2.5\text{mm}$ 。

测量范围 测量器具所能测量尺寸的最大值和最小值。如图 1-3 所示，仪器测量范围为 $0\sim 180\text{mm}$ 。

示值范围 测量器具刻度标尺或度盘内全部刻度所代表的范围。如图 1-3 所示，标尺示值范围为 $\pm 15\mu\text{m}$ 。

测量范围和示值范围的含义是不同的。例如，某比较仪的示值范围为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，而其测量范围为 $0\sim 180\text{mm}$ 。有的测量器具的测量范围等于其示值范围，如某些千分尺、卡尺等。

显然，选择测量器具时，被测量值必须在其测量范围之内。

灵敏度 指能使仪器指示装置发生最小变动的被测量值的最小变动量。对于给定的被测量值，测量器具的灵敏度 S 用被观察变量的增量 ΔL 与其相应的被测量的增量 ΔX 之商

来表示, 即

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta X}$$

如图 1-4 所示, 其灵敏度 S 等于指针相对标尺刻度增值方向的位移, 与引起指针位移的被测量的增量之比。

测量力 测量头与被测零件表面在测量时相接触的力。测量力将引起测量器具和被测零件的弹性变形, 影响测量精度。

示值误差 仪器指示数值与被测量真值之差。它是测量器具本身各种误差的综合反映, 其中有测量器具的构成原理误差、装配调整误差和分度误差等。

回程误差 对同一尺寸进行正、反向测量时, 测量器具指示数值的变化范围。

(四) 常用测量器具的测量原理、基本结构与使用方法

1. 游标类量具

游标类量具是利用游标读数原理制成的一种常用量具, 它具有结构简单、使用方便、测量范围大等特点。

常用的游标量具有游标卡尺、深度游标尺、高度游标尺, 它们的读数原理相同, 所不同的主要是测量面的位置不同 (图 1-5)。

(1) 游标量具的结构 游标量具的主体是一个刻有刻度的尺身, 沿着尺身滑动的尺框上装有游标, 游标量具的刻度值有 0.1mm、0.05mm、0.02mm 三种。

为了读数方便, 有的游标卡尺上装有测微表头, 图 1-6 所示是带表游标卡尺, 它是通过机械传动装置, 将两测量爪相对移动转变为指示表的回转运动, 并借助尺身刻度和指示表, 对两测量爪相对移动所分隔的距离进行读数。

(2) 游标的读数原理 如图 1-7 (a) 所示, 尺身的刻度间距 $a = 1\text{mm}$, 将尺身刻度 $(n-1)$ 格的宽度刻 10 格作为游标的刻度间距 $b = 0.9\text{mm}$, 这样, 尺身刻度间距与游标的刻度间距之差为 0.01mm (即游标读数值)。因此, 当游标零线与尺身零线对准时, 除游标的最后一根刻线与尺身刻线对准外, 游标的其他刻线都不与尺身刻线对准。若将游标向右移动 0.1mm, 则游标的第 1 根刻线与尺身刻线对准; 若将游标向右移动 0.2mm, 则游标的第 2 根刻线与尺身刻线对准; 依此类推。

所以, 游标在尺身的刻度间距 1mm 向右移动的距离, 可由游标刻线与尺身刻线对准时游标刻线序号决定。如游标的第 5 根刻线与尺身刻线对准, 则表示游标向右移动 0.5mm [图 1-7 (b)]。因此, 有了游标装置, 就很容易读出尺身划线间隔的小数部分的读数。

用游标量具测量零件进行读数时, 应先根据游标零线所处位置读出尺身刻度的整数部分的值, 其次再判断游标第几根刻线与尺身刻线对准, 用游标刻线的序号乘上读数值, 即得到小数部分的读数。将整数部分与小数部分相加即为测量结果。例如, 在游标读数值为 0.05mm 的游标卡尺上, 游标零线的位置在尺身划线“24”与“25”之间, 且游标上的第 8 根刻线与尺身刻线对推, 则被测尺寸为 $24.00\text{mm} + 8 \times 0.05\text{mm} = 24.40\text{mm}$ 。

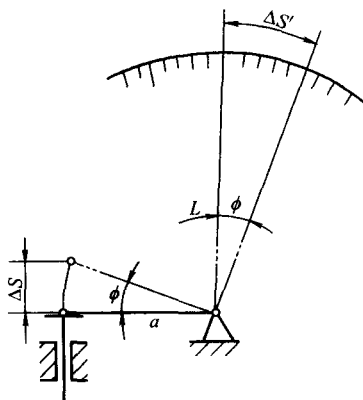


图 1-4 机构放大示意

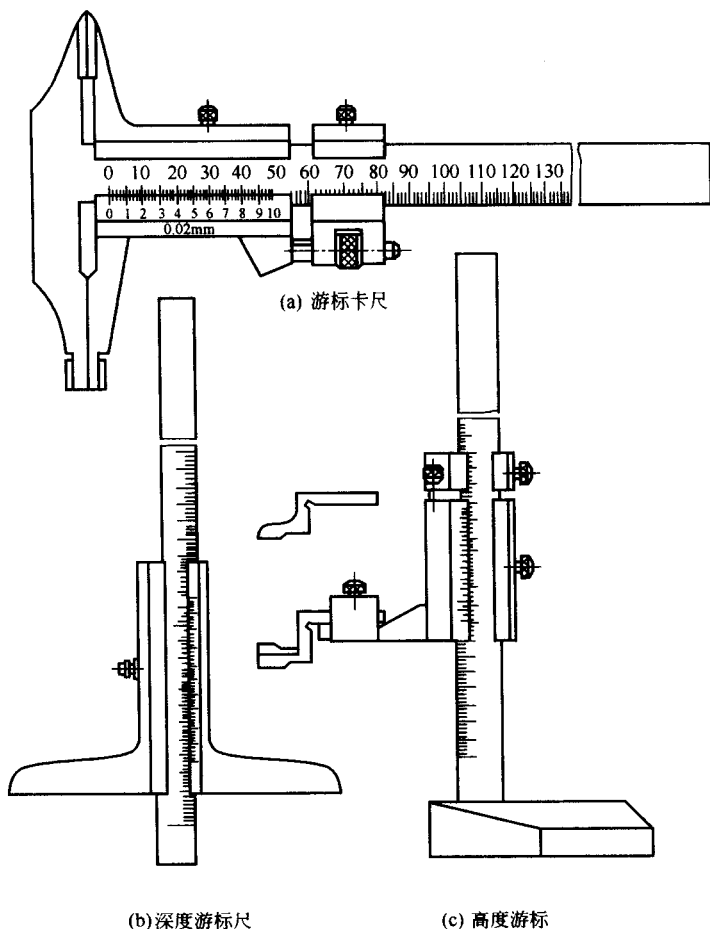


图 1-5 游标量具

如图 1-8 所示为电子数显卡尺，它具有非接触性电容式测量系统，测量结果由液晶显示器显示。其外形结构各部分名称如图所示。电子数显卡尺测量方便可靠。

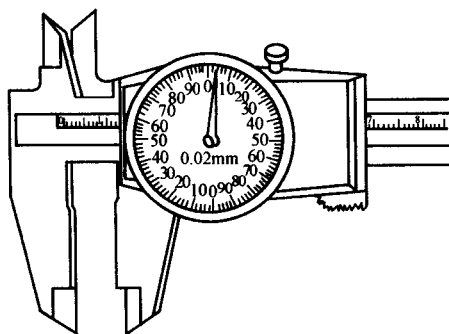


图 1-6 带表游标卡尺

2. 螺旋测微类量具

螺旋测微类量具是利用螺旋副运动原理进行测量和读数的一种测微量具。按用途分为外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺。其中，外径千分尺最普遍，主要用于测量轴类尺寸；内径千分尺用于测量内尺寸。

(1) 外径千分尺结构 如图 1-9 所示是测量范围为 0~25mm 的外径千分尺。由尺架、测微头、测力装置等组成。尺架 1 的

一端装有固定测砧，另一端则装有测微头。尺架的两侧面上覆盖着绝缘板 12，防止使用时手的温度影响千分尺的测量精度。

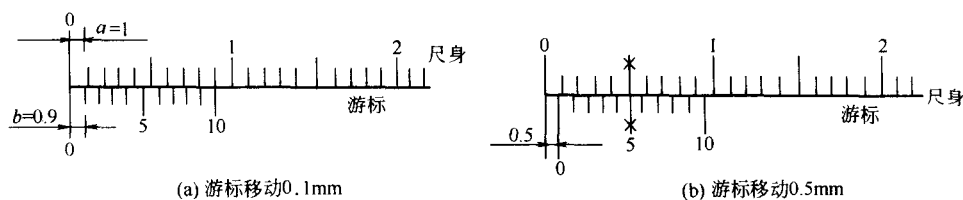


图 1-7 游标的度数原理

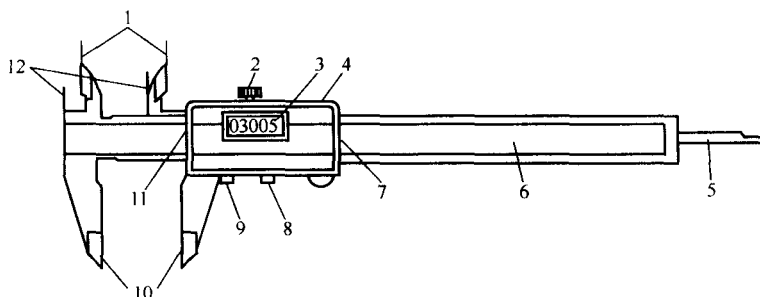


图 1-8 电子数显卡尺

1—内测量爪；2—紧固螺钉；3—液晶显示器；4—数据输出端口；5—深度尺；6—尺身；
7, 11—防尘板；8—置零按钮；9—米制/英制转换按钮；10—外测量爪；12—台阶测量面

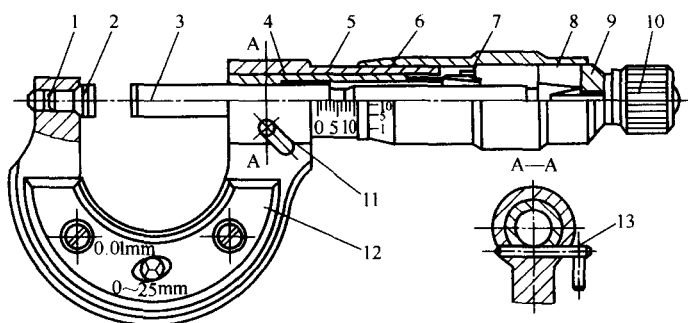


图 1-9 外径千分尺

1—尺架；2—固定测砧；3—测微螺杆；4—螺纹轴套；5—固定套筒；6—微分筒；
7—调节螺母；8—接头；9—垫圈；10—测力装置；11—锁紧手把；12—绝缘板；13—锁紧轴

测微头由下述零件组装而成。螺纹轴套 4 压入尺架 1 中，固定套筒 5 用螺钉紧固在它的上面，测微螺杆 3 的螺距为 0.5mm，精度很高，与外螺纹、螺纹轴套 4 右端的内螺纹紧密配合，其配合间隙可用螺母 7 调整，使测微螺杆可在螺纹轴套 4 螺孔中自如地旋转而间隙极小。测微螺杆右端的外圆锥与接头 8 的内圆锥配合，接头上开有轴向槽，能沿着测微螺杆的外圆锥胀大，使微分筒 6 与测微螺杆结合成一体。

测力装置（图 1-10）主要靠一对棘轮 3 和 4 的作用，棘轮 4 和转帽 5 连成一体，棘轮 3 可压缩弹簧 2 沿轴向移动，但不能转动，弹簧的弹力用于控制测量压力。测量时，用于旋转转帽 5，如棘轮 4 对棘轮 3 所产生的测量压力小于弹簧 2 的弹力时，转帽的运动就通过棘轮 4、3 传给螺钉 1，带动测微螺杆转动。如测量压力超过弹簧 2 的弹力时，棘轮 3 便压缩弹簧而在棘轮 4 上打滑，测微螺杆停止前进。

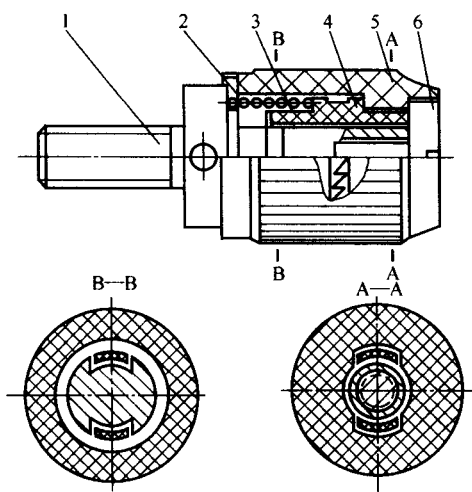


图 1-10 测力装置

1—螺钉；2—弹簧；3、4—棘轮；5—转帽；6—微分筒

锁紧装置是用来锁紧测微螺杆的。在锁紧轴 13 (图 1-9 中 A—A 剖面) 的圆周上有一缺口槽，转动锁紧手把 11，便可锁紧或松开测微螺杆。

(2) 千分尺的工作原理 千分尺是应用螺旋副的传动原理，将角位移转变为直线位移。当测微螺杆的螺距为 0.5mm 时，固定套筒上的刻度间隔也是 0.5mm，微分筒的圆锥面刻有 50 等分的圆周刻线。将微分筒旋转一圈时，测微螺杆轴向位移 0.5mm；当微分筒转过一格时，测微螺杆轴向位移为 $0.5\text{mm} \times (1/50) = 0.01\text{mm}$ ，这样，可由微分筒上的刻度精确地读出测微螺杆轴向位移的小数部分。因此，千分尺的分度值为 0.01mm。

常用的外径千分尺的测量范围有 0～25mm、25～50mm、50～75mm 以至几米以上，但测微螺杆的测量位移一般均为 25mm。外径千分尺的读数如图 1-11。

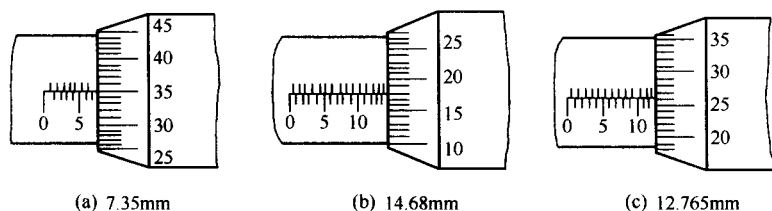


图 1-11 千分尺读数举例

在使用千分尺时，如果微分筒的零线与固定套筒的中线没有对难，可记下差数，以便在测量结果中除去，也可在测量前加以调整。

3. 机械量仪

机械量仪是利用机械结构将直线位移经传动、放大后，通过读数装置表示出来的一种测量器具。机械量仪应用十分广泛，主要用于长度的相对测量以及形状和相互位置误差的测量等。

机械量仪的种类很多，主要有百分表、内径百分表、杠杆百分表、扭簧比较仪和机械比较仪等。

(1) 百分表 百分表是一种应用最广的机械量仪，其外形及传动原理见图 1-12。

从图 1-12 可以看到，当有齿条的测量杆 5 上下移动时，带动与齿条相啮合的小齿轮 1 转动，此时与小齿轮固定在同一轴上的大齿轮 2 也跟着转动，通过大齿轮即可带动中间齿轮 3 及与中间齿轮固定在同一轴上的指针 6。这样通过齿轮传动系统就可将测量杆的微小位移经放大转变为指针的偏转，并由指针在刻度盘上指示出相应的数值。

为了消除齿轮传动系统中由于齿侧间隙而引起的测量误差，在百分表内装有游丝 8，由游丝产生的扭转力矩作用在大齿轮 7 上，大齿轮 7 也与中间齿轮 3 啮合，这样可保证齿