

国家级实验教学示范中心机械类专业系列实验教材



几何量公差 与检测实验教程

杨建风 徐红兵 主编
王春艳 王亚元

JIHELIANG GONGCHA
YU JIANCE SHIYAN JIAOCHENG



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

几何量公差 与检测实验教程

JIHELIANG GONGCHA
YU JIANCE SHIYAN JIAOCHENG

杨建风 徐红兵 主编
王春艳 王亚元

RFID

江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇江

图书在版编目(CIP)数据

几何量公差与检测实验教程 / 杨建风等主编. —镇江: 江苏大学出版社, 2016. 3
ISBN 978-7-5684-0020-6

I. ①几… II. ①杨… III. ①机械元件—尺寸公差—实验—高等学校—教材②机构元件—测量—实验—高等学校—教材 IV. ①TG801-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 302615 号

几何量公差与检测实验教程

Jiheliang Gongcha Yu Jiance Shiyan Jiaocheng

主 编/杨建风 徐红兵 王春艳 王亚元
责任编辑/吴蒙蒙 常 钰
出版发行/江苏大学出版社
地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)
电 话/0511-84446464(传真)
网 址/http://press. ujs. edu. cn
排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司
印 刷/江苏凤凰数码印务有限公司
经 销/江苏省新华书店
开 本/787 mm×1 092 mm 1/16
印 张/12. 25
字 数/303 千字
版 次/2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷
书 号/ISBN 978-7-5684-0020-6
定 价/24. 00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

◎ 前 言 ◎

几何量公差与检测实验是机械类、近机类各专业的技术基础实验,是课程学习的重要教学环节。通过实验课,可以使学生熟悉几何量测量的基本知识、测量原理,常用计量器具的使用方法,数据处理方法,同时可以帮助学生巩固在课堂上所学的内容,培养学生的基本技能和动手能力。

经过近几年实验教学的实践,在既有的《几何量公差与检测实验指导书》基础上,更新了部分实验内容,增设了第 10 章零件精度综合性检测,旨在让学生运用有关几何量检测的知识,对典型零件的尺寸、精度等方面要求,进行全面检测,提高学生动手能力及工程实践能力。

本书第 1 章和实验报告由王亚元编写,第 2、5、8 章由徐红兵编写,第 3 章由杨建风、王春艳编写,第 4 章由王亚元、王春艳编写,第 6、7 章由杨建风编写,第 9 章由王春艳编写,第 10 章由王春艳、杨建风、王亚元编写。

本书在编写过程中,得到了毛卫平老师的帮助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不当或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2015 年 9 月

目 录

量具、量仪的维护保养	001
实验规则	002

1

测量技术基础

1.1 长度计量单位和基准量值的传递	003
1.2 测量器具和测量方法	004
1.3 测量器具的选择	017
1.4 等精度测量列的数据处理	019

2

尺寸测量实验

实验 2.1 用投影立式光学计测量塞规	023
实验 2.2 用内径百分表测量气缸孔	030
实验 2.3 用万能测长仪测量轴承内径	032

3

几何误差测量

实验 3.1 直线度误差的测量	039
实验 3.2 平面度误差的测量	045
实验 3.3 方向、位置误差的测量	049
实验 3.4 圆度误差的测量	055

4

表面粗糙度轮廓的测量

实验 4.1 用光切显微镜测量表面粗糙度轮廓 R_z	064
实验 4.2 用干涉显微镜测量表面粗糙度轮廓 R_z	068
实验 4.3 用粗糙度仪 3^+ 测量表面粗糙度轮廓 R_a	071

5

螺纹测量

实验 5.1 用工具显微镜测量外螺纹参数	077
----------------------------	-----

实验 5.2 用三针法测量外螺纹中径	084
实验 5.3 用螺纹千分尺测量外螺纹中径	087

6 齿轮测量

实验 6.1 齿距累积总偏差 ΔF_p 和单个齿距偏差 Δf_{pt} 的测量	089
实验 6.2 齿廓总偏差 ΔF_α 的测量	096
实验 6.3 螺旋线总偏差 ΔF_β 的测量	100
实验 6.4 齿厚偏差 ΔE_{sn} 及公法线长度偏差 ΔE_w 的测量	103
实验 6.5 齿轮径向跳动 ΔF_r 的测量	107
实验 6.6 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	111

7 凸轮轴测量

实验 7.1 凸轮检查仪测量凸轮轴	114
实验 7.2 改造的分度头测量凸轮轴	118

8 光滑圆锥体的测量

实验 8.1 用正弦规测量圆锥塞规	122
实验 8.2 用钢球法测量圆锥环规	124

9 三维测量技术

9.1 GLOBAL 三坐标测量机	125
9.2 CIMCORE 柔性三维测量机	137
9.3 三坐标画线测量机	144

10 零件精度综合性检测

参考文献	148
------------	-----

量具、量仪的维护保养

测量技术是机器制造的眼睛,对保证产品质量起着极其重要的作用,而量具、量仪质量的好坏,精度保持的情况,直接影响其作用的发挥。量具、量仪质量由制造工厂保证,而量具、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,一定要了解量具、量仪的结构原理和性能,否则不得随意操作,以防对其造成破坏(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: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) 必须按期保养并鉴定量具、量仪,以保证量值的准确。对修复的量具、量仪必须经检查鉴定后,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环节。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教程中的相关内容,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,进入实验室必先换鞋或穿上鞋套,在实验室内必须保持安静、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,并送交指导教师评阅。实验完毕后,按量具、量仪的保养要求,对其进行清洗保养,并整理工作现场。



测量技术基础

机械制造中的测量技术的主要研究内容是零件几何参数的测量和检验。

测量就是把被测量(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:

① 测量对象:指几何量,即长度、角度、几何误差及表面粗糙度轮廓等。

② 测量单位:长度单位有米(m)、毫米(mm)、微米(μm);角度单位有度($^{\circ}$)、分($'$)、秒($''$)。

③ 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 $20 \pm (0.05 \sim 2)^{\circ}\text{C}$,精密计量室的温度应控制在 $20 \pm (0.03 \sim 0.05)^{\circ}\text{C}$,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。

④ 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。

1.1 长度计量单位和基准量值的传递

1.1.1 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计量单位基准。目前世界各国使用的长度单位有米制和英制两种。

我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(m)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):

$$1\text{ m}=1000\text{ mm}$$

$$1\text{ mm}=1000\text{ }\mu\text{m}$$

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米是光在真空中于 $1/299792458$ 秒的时间间隔内所经路径的长度。

1.1.2 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。长度尺寸量值传递系统如图 1-1 所示。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,在第 2 章中有量块的具体使用实例。

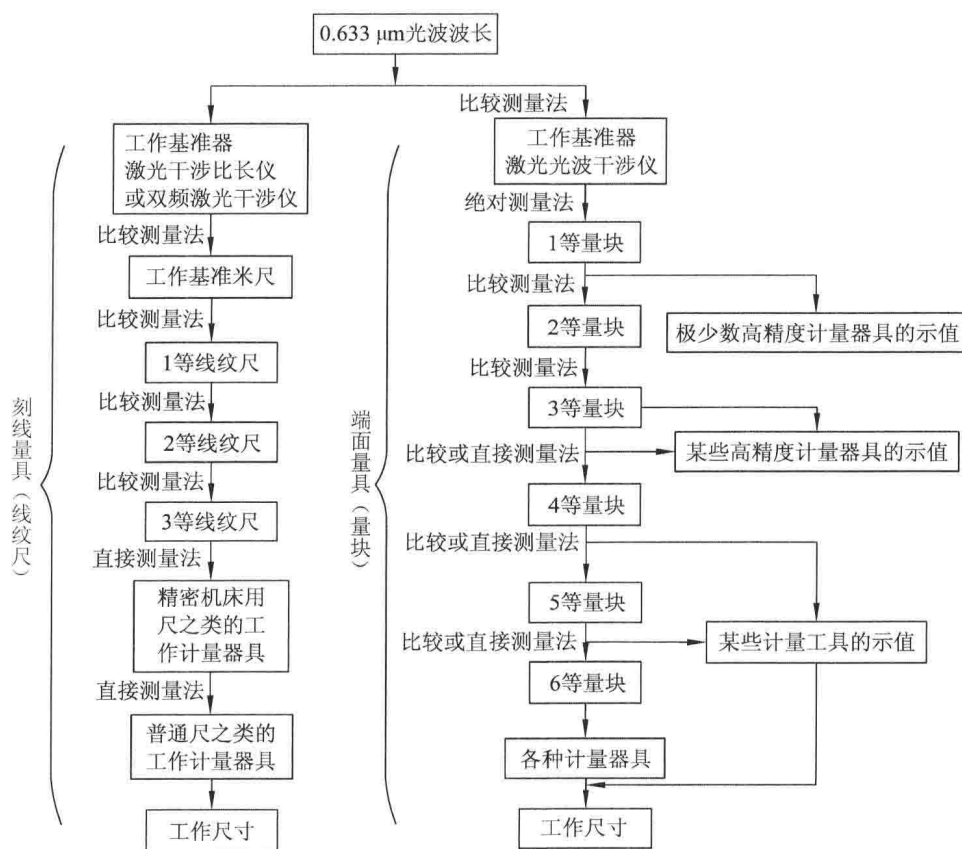


图 1-1 长度尺寸量值传递系统

1.2 测量器具和测量方法

1.2.1 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,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。一般分为游标量具(如游标卡尺、齿厚游标卡尺等),螺旋测微量具(如外径千分尺、内径千分尺等),机械式量具(如百分表、机械比较仪、扭簧比较仪等),光学量具(如光学比较仪、光切显微镜等),电动量具(如电感式量仪、电容式量仪等),气动量具(如浮标式气动量仪、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,不仅使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。

1.2.2 测量方法的分类

(1) 直接测量和间接测量

按是否直接由测量器具测量被测参数,可分为直接测量和间接测量。

① 直接测量:直接测量被测参数以获得被测尺寸。例如用卡尺、比较仪测量。

② 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,被测尺寸圆弧直径 D 是通过测量弦长 b 和弓形高 h ,经过计算得到的。它们之间的关系式是:

$$D = \frac{b^2}{4h} + h \quad (1-1)$$

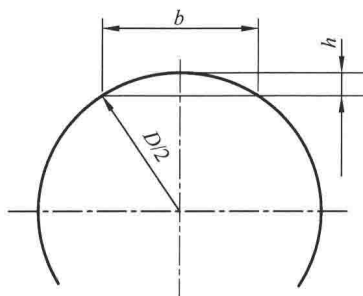


图 1-2 用弓高弦长法测量圆弧直径

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) 绝对测量和相对测量

按测量器具的示值是否为被测尺寸的实际值,可分为绝对测量和相对测量。

① 绝对测量:计量器具的示值直接表示被测尺寸的大小。如用游标卡尺测量。

② 相对测量:计量器具的示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。

一般说来,相对测量的测量精度较高,但测量过程较复杂。

(3) 接触测量和非接触测量

按被测表面与测量器具的测量头是否接触,可分为接触测量和非接触测量。

① 接触测量:测量头与被测零件表面接触,并有机机械作用的测量力存在。如用千分尺测量零件。

② 非接触测量:测量头不与被测零件表面相接触。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) 单项测量和综合测量

按一次测量参数的多少,可分为单项测量和综合测量。

① 单项测量: 分别对被测零件的每个参数单独测量。

② 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) 主动测量和被动测量

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。

① 主动测量: 工件在加工过程中进行的测量,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。

② 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) 静态测量和动态测量

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。

① 静态测量: 测量相对静止。如用千分尺测量直径。

② 动态测量: 测量时被测表面与测量头模拟工作状态中做相对运动。

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。

1.2.3 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。基本度量指标包括刻度值、刻度间距、测量范围、示值范围等,其示意图如图 1-3 所示。

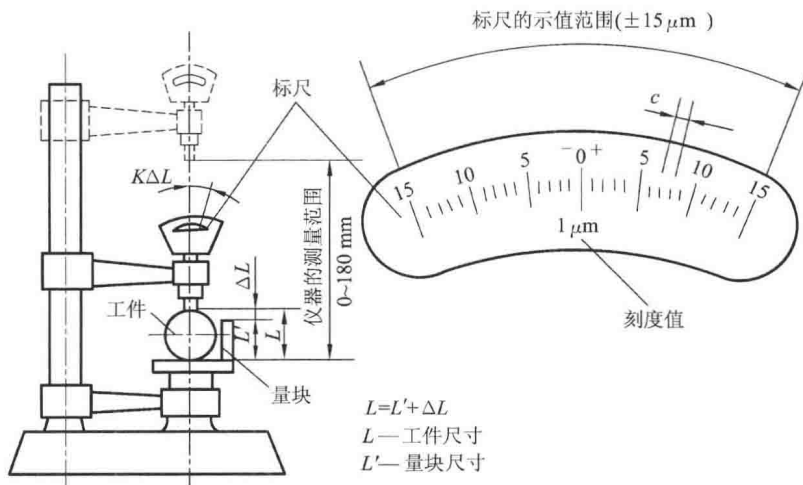


图 1-3 测量器具的基本度量指标示意图

(1) 刻度值(分度值)

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

(2) 刻度间距

刻度间距是指测量器具刻度标尺或度盘上相邻两刻线间的距离,通常为等距刻度,一般为1~2.5 mm。

(3) 测量范围

测量范围是指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 0~180 mm。

(4) 示值范围

示值范围是指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 0~180 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。

(5) 灵敏度

灵敏度是指计量器具对被测几何量的响应变化能力。若被测几何量的变化为 ΔX ,该几何量引起量具的响应变化为 ΔL ,则灵敏度 S 为

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

当上式中分子与分母为同种量时,灵敏度亦称为放大比或放大倍数。

(6) 测量力

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

(7) 示值误差

示值误差是指仪器指示数值与被测量真值之代数差。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。

(8) 回程误差

回程误差是指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。

1.2.4 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。

常用的游标量具有长度游标量具和角度游标量具,两种量具读数原理相似。

(1) 长度游标量具

长度游标量具有游标卡尺、深度游标尺和高度游标尺等,其读数原理相同,所不同的主要是测量面的位置不同(图 1-4)。

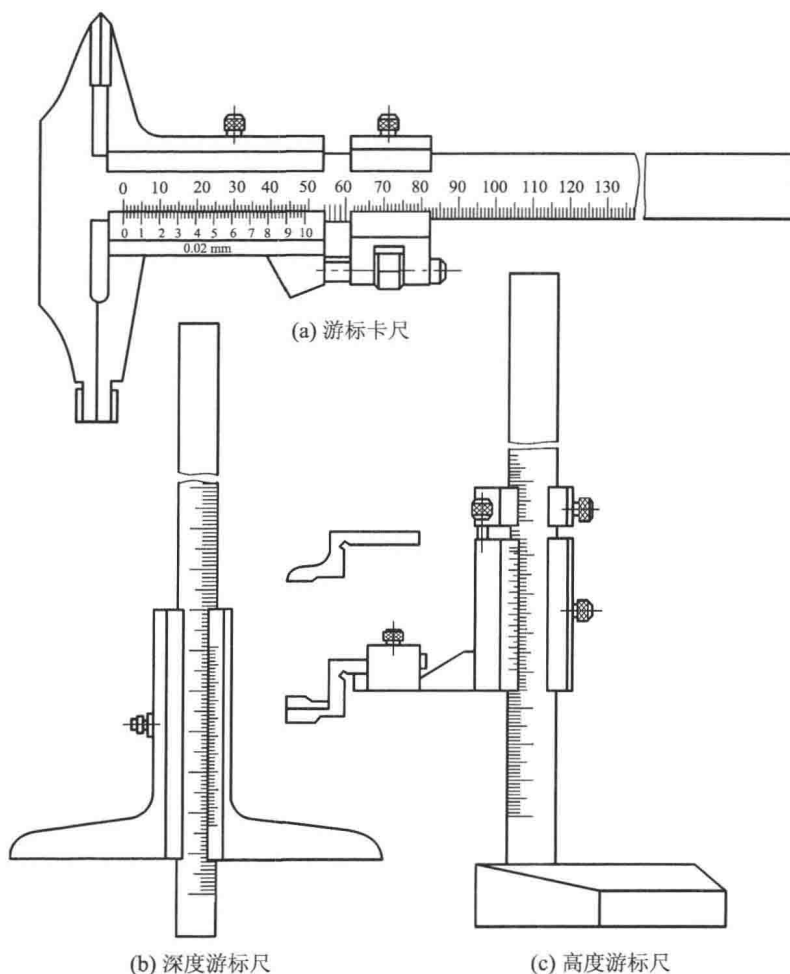


图 1-4 游标量具

① 游标量具的结构

游标量具的主尺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 0.1 mm、0.05 mm、0.02 mm 三种。

为了读数方便,有的游标卡尺上装有测微表头,图 1-5 所示为带表游标卡尺,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。

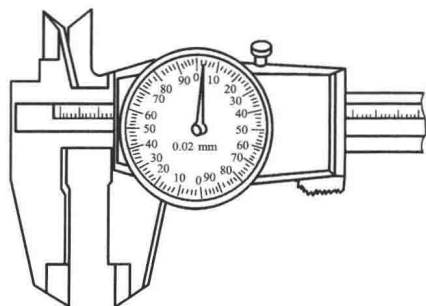


图 1-5 带表游标卡尺

② 游标的读数原理

游标量具是利用尺身(主尺)上的刻度间距与游标上的刻度间距之差,来读小数的。下面以刻度值(分度值)为 0.1 mm 的游标卡尺为例,做一介绍:

如图 1-6a 所示,尺身的刻度间距 $a=1$ mm,将尺身刻度 $(n-1)$ 格的宽度刻 10 格作为游标的刻度间距 $b=0.9$ mm,这样,尺身刻度间距与游标的刻度间距之差为 0.1 mm(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 0.1 mm,则游标的第 1 根线与尺身刻线对准;若将游标向右移动 0.2 mm,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 1 mm 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 0.5 mm (图 1-6b)。因此,有了游标装置,就很容易读出尺身刻线间隔的小数部分的读数。

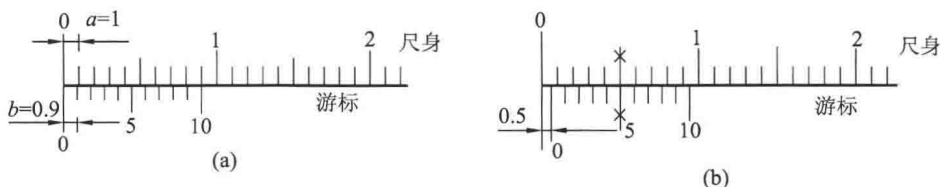
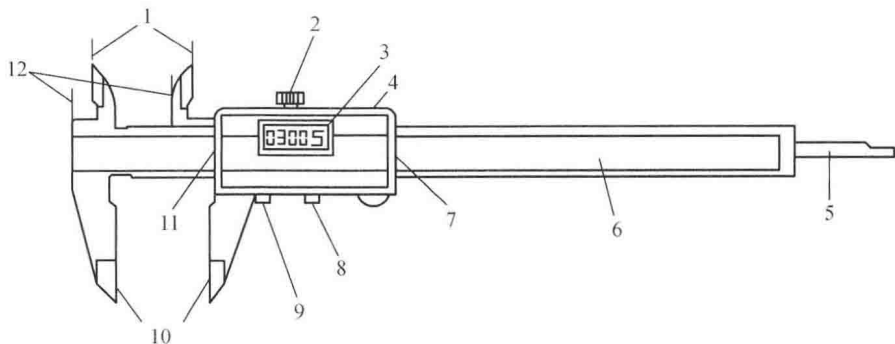


图 1-6 游标的读数原理

用游标量具测量零件,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,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分度值,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,在游标分度值为 0.05 mm 的游标卡尺上,游标零线的位置在尺身刻线“24”与“25”之间,且游标上的第 8 根刻线与尺身刻线对准,则被测尺寸为 $24 + 8 \times 0.05 = 24.40$ mm。

图 1-7 所示为电子数显卡尺的结构示意图。电子数显卡尺具有非接触性电容式测量系统,由液晶显示器显示,测量方便可靠。



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 1-7 电子数显卡尺

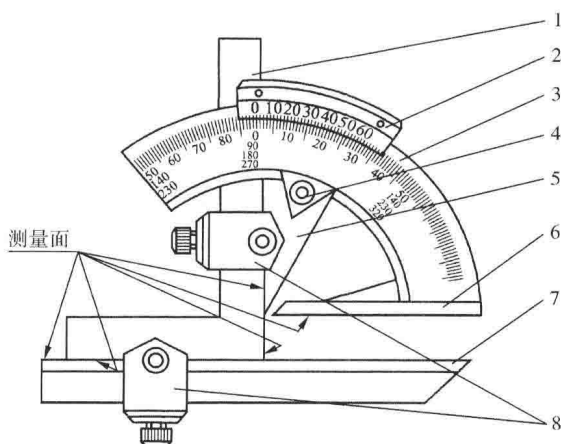
(2) 角度游标量具

角度游标量具的代表是万能角度尺,也叫游标量角器。它是利用活动直尺测量面相对于基尺测量面的旋转,对该两测量面间分隔的角度进行读数的角度测量器具。

① 形式和结构

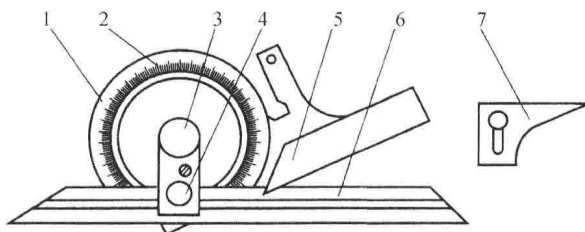
游标量角器有 I 型、II 型两种, I 型测量范围为 $0 \sim 320^\circ$, 游标刻度值为 $2'$ 和 $5'$; II 型测量范围为 $0 \sim 360^\circ$, 游标刻度值为 $5'$ 。

I 型游标量角器的结构如图 1-8 所示。II 型游标量角器的结构如图 1-9 所示。



1—直角尺；2—游标；3—主尺；4—制动器；5—扇形板；6—基尺；7—直尺；8—卡块

图 1-8 I 型游标量角器



1—主尺；2—游标；3—制动器；4—卡块；5—基尺；6—直尺；7—附加直尺

图 1-9 II 型游标量角器

② 游标读数原理

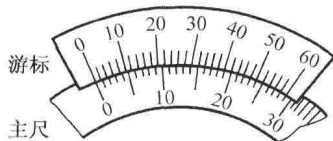
与游标卡尺的读数原理相似，游标量角器也是利用尺身（主尺）上的刻度间距与游标上的刻度间距之差来读数的。

2' 游标量角器的分度如图 1-10a 所示。主尺的分度每格等于 1° ，游标的分度是把主尺上 29 格（ 29° ）对应的一段弧长分成 30 格，即

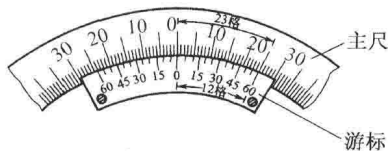
$$\text{游标每格} = \frac{29^\circ}{30} = \frac{60' \times 29}{30} = 58'$$

可见主尺的一格和游标的一格之间相差：

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



(a) 2' 游标量角器分度



(b) 5' 游标量角器分度

图 1-10 游标量角器分度

5' 游标量角器的分度如图 1-10b 所示。主尺的分度每格等于 1° ，游标的分度是把主尺上 23 格（ 23° ）对应的一段弧长分成 12 格，即：

$$\text{游标每格} = \frac{23^\circ}{12} = \frac{60' \times 23}{12} = 115'$$

可见主尺的 2 格和游标的 1 格之间相差：

$$2^\circ - \frac{23^\circ}{12} = 2 \times 60' - 115' = 5'$$

游标量角器的读数方法：游标上的零刻线对准主尺刻度线读出整数部分($^\circ$)，观察游标上哪一条刻线与主尺刻线对准，从这一条刻线读出小数部分($'$)。图 1-11 所示读数值为 $76^\circ 12'$ 。

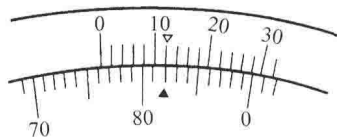


图 1-11 游标量角器的读数

③ 使用方法

I 型游标量角器能测量 $0 \sim 320^\circ$ 范围内的任何角度。所以要根据被测角度的大小，正确使用它的各附件进行测量。

a. 测量 $0 \sim 50^\circ$ 间的角度时，直尺与直角尺全部安装上，被测工件放在基尺和直尺之间，如图 1-12a 所示。

b. 测量 $50^\circ \sim 140^\circ$ 间的角度时，取下直角尺和制动器，将直尺用卡规装在扇形板上，被测工件放在基尺和直尺之间，如图 1-12b 所示。

c. 测量 $140^\circ \sim 230^\circ$ 间的角度时，把直尺和卡块取下来，但要把直角尺推进去，直到直角尺上短边与长边的交点和基尺的尖端对齐为止，然后把直角尺和基尺的测量面靠在被测件工作面上进行测量，如图 1-12c 所示。

d. 测量 $230^\circ \sim 320^\circ$ 间的角度时，把直角尺和卡块取下来，直接用基尺和扇形板测量，面对被测工件进行测量，如图 1-12d 所示。

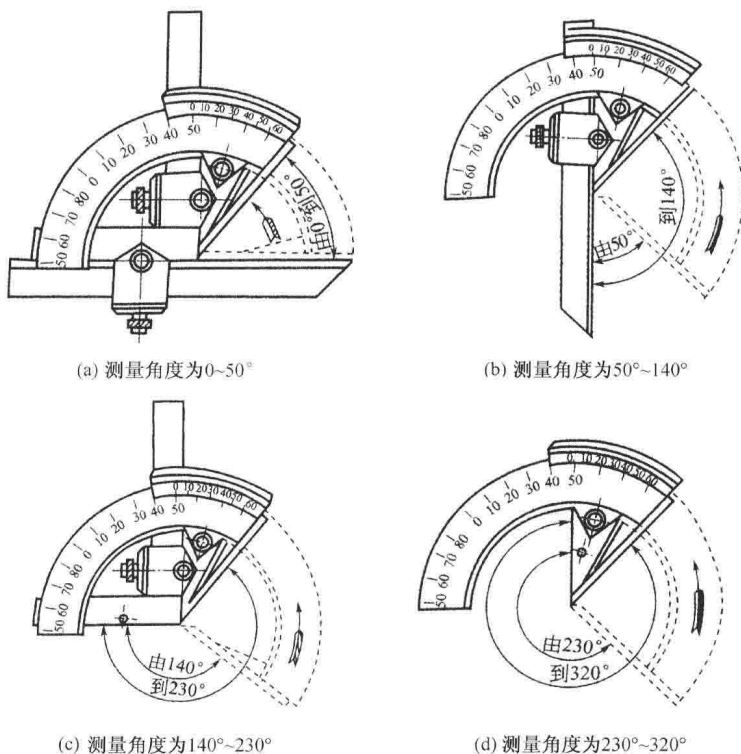


图 1-12 游标量角器的组合使用