

公差配合与测量技术实训教程

周养津 主编

西北大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

公差配合与测量技术实训教程/周养津 主编/

西北大学出版社/2011. 06

ISBN 978-7-5604-2907-6

【书 名】公差配合与测量技术实训教程

【作 者】周养津

【出版发行】西安市：西北大学出版社，2011. 06

【ISBN号】978-7-5604-2907-6

【原书定价】18. 00

【中图法分类号】TG801（工业技术>金属学与金属工艺>公差与技术测量及机械量仪>一般性问题>公差与技术测量的理论）

【参考文献格式】周养津. 公差配合与测量技术实训教程. 西安市：西北大学出版社，2011. 06.

内 容 简 介

本书内容包括测量技术的基本知识、孔与轴的检测、形状和位置误差的检测、表面粗糙度的检测、角度的检测、螺纹的检测以及齿轮的检测。主要介绍零件几何参数误差的常用测量方法、常用测量仪器的基本结构、测量原理及基本操作技术。另外,书中还附有相应的实验报告。本书反映了新知识、新技术、新工艺和新方法,贴近教学需求,完全能满足学生实践技能的训练要求。

本书既可作为机械类、计量类专业学生的教材,也可作为相关专业人员的参考资料。

前言

高等职业技术教育的培养目标是为社会培养较高层次的应用型和技能型人才。本教材编写的指导思想是:按照机械类人才培养目标,面向机械工业各类企业的车间、计量室的实际需求,突出针对性和实用性,依据“必需够用”的原则,重点解决“测什么、为什么测、怎么测”的问题,使读者达到掌握几何量基本理论知识和基本操作技能的目的。本教材的内容编排,以三项基本几何量误差和典型零件的几何参数误差为检测对象,以测量的四要素为框架,介绍基本测量原理和操作方法及相关的基础知识。

本书由西安航空职业技术学院周养萍编著,西安飞机工业(集团)有限责任公司亓江文主审,本书部分插图由西安航空职业技术学院邓志博绘制。

由于编者水平有限,希望广大读者对书中不妥之处予以批评指正。

编著者

2011年6月

目 录

1	测量技术基础	/1
1.1	概 述	/1
1.2	长度基准与长度量值传递系统	/2
1.3	测量方法与测量器具	/7
1.4	测量误差	/10
1.5	光滑工件尺寸的检测	/14
2	常用量具的使用	/19
2.1	钢直尺、内外卡钳及塞尺	/19
2.2	游标读数量具	/25
2.3	螺旋测微量具	/38
2.4	指示式量具	/54
2.5	角度量具	/65
2.6	水平仪	/73
2.7	量具的维护和保养	/80
3	孔轴尺寸的测量	/82
实验 3.1	用内径百分表测量孔径	/82
实验 3.2	用立式光学计测量轴径	/84
实验 3.3	用卧式万能测长仪测量内径	/86
4	形位误差的测量	/88
实验 4.1	直线度误差的测量	/88
实验 4.2	平行度误差的测量	/90
实验 4.3	端面圆跳动和径向圆跳动的测量	/93
实验 4.4	对称度误差的测量	/95
5	角度、锥度的测量	/98
实验 5.1	角度的测量	/98
实验 5.2	锥度的测量	/100

6	表面粗糙度的测量	/103
	实验 6.1 用光切显微镜测量表面粗糙度	/103
	实验 6.2 用表面粗糙度样板测量表面粗糙度	/106
7	螺纹的测量	/107
	实验 7.1 用三针法测量外螺纹中径	/107
	实验 7.2 用工具显微镜测量螺纹参数	/109
8	齿轮的测量	/112
	实验 8.1 齿轮齿厚偏差的测量	/112
	实验 8.2 齿轮公法线长度的测量	/115
	参考文献	/119

1 测量技术基础

1.1 概 述

1.1.1 测量与检验

几何量测量是机械制造业中最基本、最主要的检测任务之一,也是保证机械产品加工与装配质量必不可少的重要技术措施。测量技术主要研究对零件的几何量进行测量和检验,零件的几何量包括长度、角度、几何形状、相互位置、表面粗糙度等。

测量是指将被测量与一个作为测量单位的标准量进行比较,从而确定被测量量值的过程。

一个完整的测量过程包括以下四个方面的内容:

(1) 测量对象: 主要指零件上有精度要求的几何参数。

(2) 测量单位: 也称计量单位。我国规定的法定计量单位中长度计量单位为米(m),平面角的角度计量单位为弧度(rad)及度($^{\circ}$)、分(')、秒(")。

(3) 测量方法: 指测量时所采用的测量器具、测量原理、检测条件的综合。

(4) 测量精度: 是指测量结果与真值的一致程度。在测量过程中,不可避免地存在着测量误差,测量精度和测量误差是两个相互对应的概念。测量误差小,说明测量结果更接近真值,测量精度高。测量误差大,说明测量结果远离真值,测量精度低。对测量过程中误差的来源、特性、大小进行定性、定量分析,以便消除或减小某种测量误差或者明确测量总误差的变动范围,是保证测量质量的重要措施。

检验是一个比测量含义更广泛的概念。在几何量测量技术中,检验一般指通过一定的手段,判断零件几何参数的实际值是否在给定的允许变动范围之内,从而确定产品是否合格。在检验中,并不一定要求知道被测几何参数的具体量值。

例如: 用塞规检验孔的尺寸。检验时,只要量规的通端能通过被检验零件,止端不能通过被检验零件,该零件尺寸即为合格。

1.1.2 几何量测量的目的和任务

在零件的加工过程中,在机器与仪器的装配及调整过程中,不论是为了控制产品的最终质量,或者是为了控制生产过程中每一工序的质量,都需要直接或间接地进行一系列测量和检验工作,有的是针对产品本身的,有的是针对工艺装备的,否则产品质量就得不到保证。因此测量技术的目的就是为了保证产品的质量,保证互换性的实现。同时也为不断提高制造技术水平,提高劳动生产率和降低成本创造条件。

几何量测量的目的就是为了确定被测工件几何参数的实际值是否在给定的允许范围之内,因此几何量测量的主要任务是:

- (1) 根据被测工件的几何结构和几何精度的要求,合理地选择测量器具和测量方法。
- (2) 按一定的操作规程,正确地实施检测方案,完成检测任务,并得出检测结论。
- (3) 通过测量,分析加工误差的来源与影响,以便改进工艺或调整装备,提高加工质量。

1.2 长度基准与长度量值传递系统

1.2.1 长度基准的建立

为了保证工业生产中长度测量的精确度,首先要建立统一、可靠的长度基准。国际单位制中的长度单位基准为米(m),机械制造中常用的长度单位为毫米(mm),精密测量时多用微米(μm)为单位,超精密测量时则用纳米(nm)为单位。它们之间的换算关系如下:

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

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

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

随着科学技术的不断进步和发展,国际单位“米”也经历了三个不同的阶段。早在1719年,法国政府决定以地球子午线通过巴黎的四千万分之一的长度作为基本的长度单位——米。1875年国际米尺会议决定制造具有刻线的基准米尺,1889年第一届国际计量大会通过该米尺作为国际米原器,并规定了1米的定义为“在标准大气压和0℃时,国际米原器上两条规定的刻线之间的距离”。国际米原器由铂铱合金制成,存放在法国巴黎的国际计量局,这是最早的米尺。

在1960年召开的第十一届国际计量大会上,考虑到光波干涉测量技术的发展,决定正式采用光波波长作为长度单位基准,并通过了关于米的新定义:“米的长度等于氪(86Kr)原子的 $2p_{10}$ 与 $5d_5$ 能量级之间跃迁所对应的辐射在真空中波长的1650763.73倍”。从此实现了长度单位由物理基准转换为自然基准的设想,但因以氪(86Kr)辐射波长作为长度基准,使其复现精度受到一定限制。

随着光速测量精度的提高,在1983年召开的第十七届国际计量大会上审议并批准了又一个米的新定义“米等于光在真空中 $1/299792458$ 秒的时间间隔内的行程长度”。米的新定义带有根本性变革,它仍然属于自然基准范畴,但建立在一个重要的基本物理常数(真空中的光速)的基础上,其稳定性和复现性是原定义的100倍以上,实现了质的飞跃。

米的定义复现主要采用稳频激光,我国采用碘吸收稳定的 $0.633\mu\text{m}$ 氦氖激光辐射作为波长基准。

1.2.2 长度量值传递系统

用光波波长作为长度基准,虽然能够达到足够的准确性,但不便在生产中直接应用。为了保证量值统一,必须建立各种不同精度的标准器,通过逐级比较,把长度基准量值应用到

生产一线所使用的计量器具中去,用这些计量器具去测量工件,就可以把基准单位量值与机械产品的几何量联系起来。这种系统称为长度量值传递系统,如图 1-1 所示。

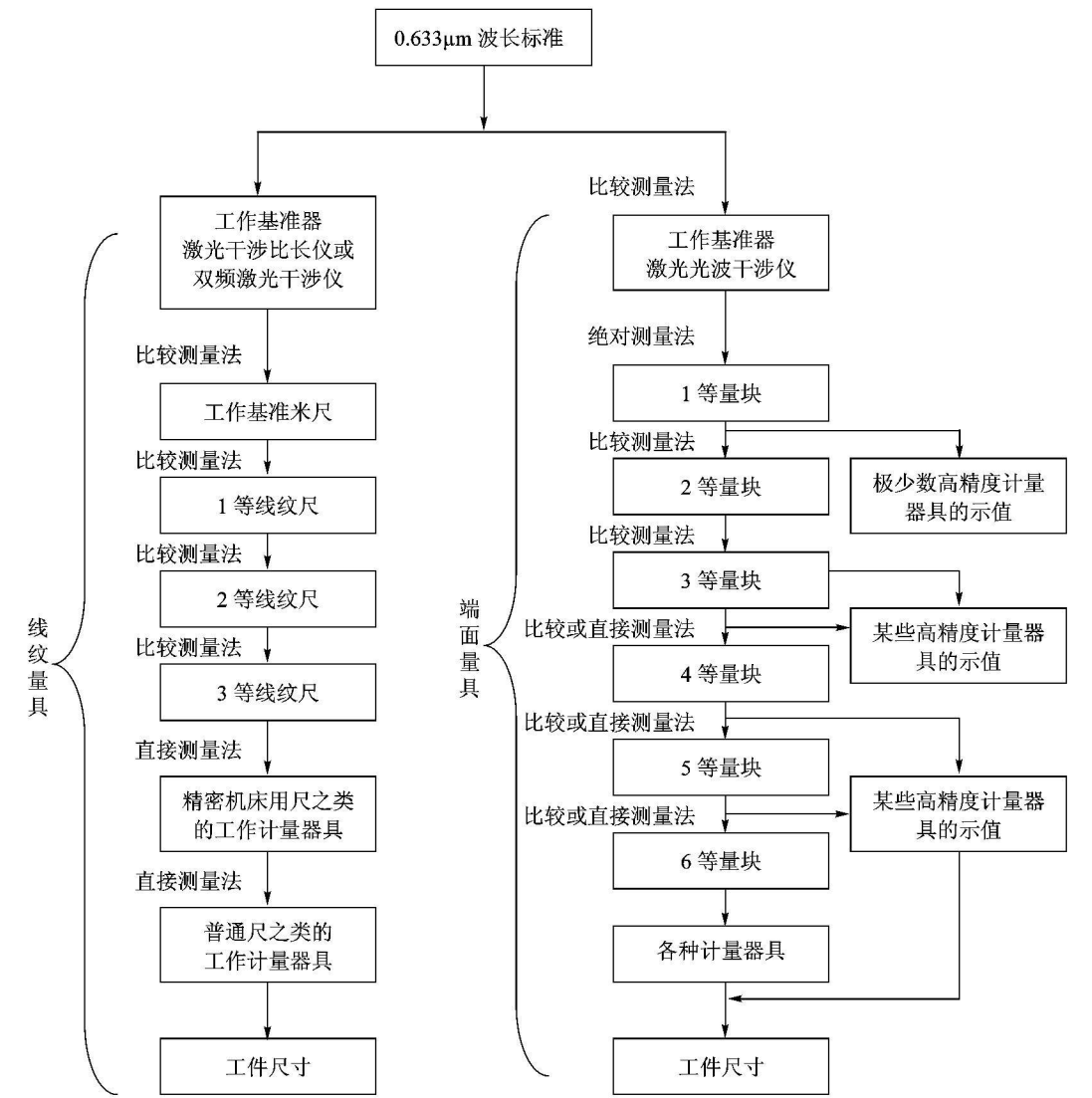


图 1-1 长度量值传递系统

1.2.3 量块

量块是机械制造中精密长度计量应用最广泛的一种实体标准,也是生产中常用的工作基准器和精密量具。量块是一种没有刻度的平行端面量具,其形状一般为矩形截面的长方体或圆形截面的圆柱体(主要应用于千分尺的校对棒)两种,常用的为长方体(图 1-2)。量块有两个平行的测量面和四个非测量面,测量面极为光滑平整,非测量面较为粗糙一些。两测量面之间的距离 L 为量块的工作尺寸。量块的截面尺寸如表 1-1 所示。

量块一般用铬锰钢或其他特殊合金制成,其线膨胀系数小,性质稳定,不易变形,且耐磨

性好。量块除了作为尺寸传递的媒介,还广泛用来检定和校对量具、量仪;相对测量时用来调整仪器的零位;有时也可直接检验零件;同时还可用于机械行业的精密划线和精密调整等。

表 1-1 量块的截面尺寸

量块工作尺寸/mm	量块截面尺寸/mm ²
<0.5	5×15
≥0.5~10	9×30
>10	9×35

1. 量块的中心长度

量块长度是指量块上测量面的任意一点到与下测量面相研合的辅助体(如平晶)平面间的垂直距离。量块虽然精度很高,但其测量面也非理想平面,两测量面也不是绝对平行,可见量块长度并非处处相等。因此量块的尺寸是指量块测量面上中心点的量块长度,用符号 L 来表示,即用量块的中心长度尺寸代表工作尺寸。量块的中心长度是指量块上测量面的中心到与下测量面相研合的辅助体(如平晶)表面间的距离,如图 1-2 所示。量块上标出的尺寸为名义上的中心长度,称为名义尺寸(或称为标称长度),如图 1-3 所示。

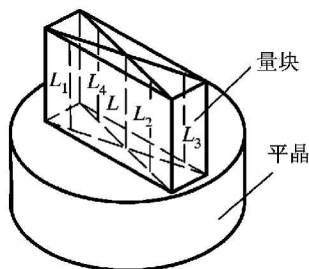


图 1-2 量块的中心长度

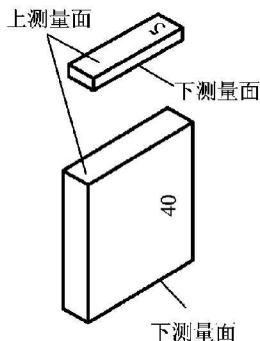


图 1-3 量块

2. 量块的精度等级

(1) 量块的分级

按国标的规定,量块按制造精度分为 6 级,即 00 级、0 级、1 级、2 级、3 级、K 级。其中 00 级精度最高,3 级精度最低,K 级为校准级。各级量块的精度指标见表 1-2。

(2) 量块的分等

量块按其检定精度分为 1,2,3,4,5,6 六等,其中 1 等精度最高,6 等精度最低。各等量块精度指标见表 1-3。

量块按“级”使用时,以量块的名义尺寸作为工作尺寸,该尺寸包含了量块的制造误差。量块按“等”使用时,以经过检定后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”使用比按“级”使用精度高。

表 1-2 各级量块的精度指标(摘自 GB/T6093-2001) (μm)

标称长度 /mm	00 级		0 级		1 级		2 级		3 级		标准级 K	
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
≤10	0.06	0.05	0.12	0.10	0.20	0.16	0.45	0.30	1.0	0.50	0.20	0.05
>10~25	0.07	0.05	0.14	0.10	0.30	0.16	0.60	0.30	1.2	0.50	0.30	0.05
>25~50	0.10	0.06	0.20	0.10	0.40	0.18	0.80	0.30	1.6	0.55	0.40	0.06
>50~75	0.12	0.06	0.25	0.12	0.50	0.18	1.00	0.35	2.0	0.55	0.50	0.06
>75~100	0.14	0.07	0.30	0.12	0.60	0.20	1.20	0.35	2.5	0.60	0.60	0.07
>100~150	0.20	0.08	0.40	0.14	0.80	0.20	1.60	0.40	3.0	0.65	0.80	0.08

注: ①量块长度的极限偏差(±); ②量块长度变动量允许值。

表 1-3 各等量块的精度指标(摘自 JJG2056-1999) (μm)

标称长度 /mm	1		2		3		4		5		6	
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
≤10	0.05	0.10	0.07	0.10	0.10	0.20	0.20	0.20	0.5	0.4	1.0	0.4
>10~18	0.06	0.10	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.20	0.6	0.4	1.0	0.4
>18~35	0.06	0.10	0.09	0.10	0.15	0.20	0.30	0.20	0.6	0.4	1.0	0.4
>35~50	0.07	0.12	0.10	0.12	0.20	0.25	0.35	0.25	0.7	0.5	1.5	0.5
>50~80	0.08	0.12	0.12	0.12	0.25	0.25	0.45	0.25	0.8	0.6	1.5	0.6

注: ①量块中心长度的极限误差(±); ②量块平面平行性允许偏差。

3. 量块的研合性

量块的测量面非常光滑和平整,因此当表面留有一层极薄油膜时,经较轻的推压作用使它们的测量平面互相紧密接触,因分子间的亲和力,两块量块便能粘合在一起,量块的这种特性称为研合性,也称为粘合性。利用量块的研合性,就可以把尺寸不同的量块组合成量块组,得到所需要的各种尺寸。

4. 量块的组合

每块量块只有一个确定的工作尺寸,为了满足一定范围内不同尺寸的需要,量块是按一定的尺寸系列成套生产的,一套包含一定数量不同尺寸的量块,装在一个特制的木盒内。GB6093-85《量块》共规定了 17 套量块,常用的几套量块的尺寸系列见表 1-4。

量块的组合方法及原则:

(1) 选择量块时,无论是按“级”测量还是按“等”测量,都应按照量块的名义尺寸进行选择。若为按“级”测量,则测量结果即为按“级”测量的测得值。若为按“等”测量,则可将测出的结果加上量块检定表中所列各量块的实际偏差,即为按“等”测量的测得值。

(2) 选取量块时,应从所给尺寸的最后一位小数开始考虑,每选一块量块应使尺寸至少消去一位小数。

(3) 使量块块数尽可能少,以减小积累误差,一般不超过 3~5 块。

表 1-4 成套量块尺寸表(摘自 GB/T6093-2001) (μm)

套别	总块数	级别	尺寸系列/mm	间隔/mm	块数
1	91	00,0,1	0.5	0.001	1
			1		1
			1.001,1.002,⋯,1.009		9
			1.01,1.02,⋯,1.49		49
			1.5,1.6,⋯,1.9		5
			2.0,2.5,⋯,9.5		16
			10,20,⋯,100		10
2	83	00,0,1,2, (3)	0.5	0.01	1
			1		1
			1.005		1
			1.01,1.02,⋯,1.49		49
			1.5,1.6,⋯,1.9		5
			2.0,2.5,⋯,9.5		16
			10,20,⋯,100		10
3	46	0,1,2	1	0.001	1
			1.001,1.002,⋯,1.009		9
			1.01,1.02,⋯,1.09		9
			1.1,1.2,⋯,1.9		9
			2,3,⋯,9		8
			10,20,⋯,100		10
4	38	0,1,2, (3)	1	0.01	1
			1.005		1
			1.01,1.02,⋯,1.09		9
			1.1,1.2,⋯,1.9		9
			2,3,⋯,9		8
			10,20,⋯,100		10

注:带()的等级,根据订货供应。

(4) 必须从同一套量块中选取,决不能在两套或两套以上的量块中混选。

(5) 量块组合时,不能将测量面与非测量面相研合。

例如:要组成尺寸 36.375mm,若采用 83 块一套的量块,参照表 1-4,其选取方法如下:

36.375

- 1.005⋯⋯第一块量块尺寸为 1.005mm

35.37

$$\begin{array}{r}
 - 1.37 \cdots \cdots \text{第二块量块尺寸为 } 1.37 \text{ mm} \\
 34 \\
 - 4 \cdots \cdots \text{第三块量块尺寸为 } 4 \text{ mm} \\
 30 \\
 - 30 \cdots \cdots \text{第四块量块尺寸为 } 30 \text{ mm} \\
 0
 \end{array}$$

以上四块量块研合后的整体尺寸为 36.375mm。

1.3 测量方法与测量器具

1.3.1 测量方法的分类

在测量中,测量方法是根据测量对象的特点来选择和确定的,其特点主要指测量对象的尺寸大小、精度要求、形状特点、材料性质以及数量等。机械产品几何量的测量方法主要有以下几种:

1. 直接测量与间接测量

直接测量: 测量时,可直接从测量器具上读出被测几何量数值的方法。例如:用千分尺、游标卡尺测量轴径,从千分尺、游标卡尺上就能直接读出轴的直径尺寸数值。

间接测量: 当被测几何量无法直接测量时,可先测出与被测几何量有函数关系的其它几何量,然后,通过一定的函数关系式进行计算求得被测几何量的数值。

例如图 1-4 所示,对两孔的中心距 y 的

测量,先用游标卡尺测出 x_1 和 x_2 的数值,然后按下式计算出孔心距 y 的数值。

$$y = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad (1-1)$$

通常为了减小测量误差,都采用直接测量,但是当被测几何量不易直接测量或直接测量达不到精度要求时,就不得不采用间接测量了。

2. 绝对测量与相对测量

绝对测量(全值测量): 测量器具的读数值是被测量的全值。例如:用千分尺测量零件的尺寸时,从千分尺上读出的数值就是被测量的全值。

相对测量(微差或比较测量): 测量器具的读数值是被测几何量相对于某一标准量的相对差值。该测量方法有两个特点:一是在测量之前必须首先用量块或其它标准量具将测量器具调零;二是测得值是被测几何量相对于标准量的相对差值。例如,用立式光学计测量

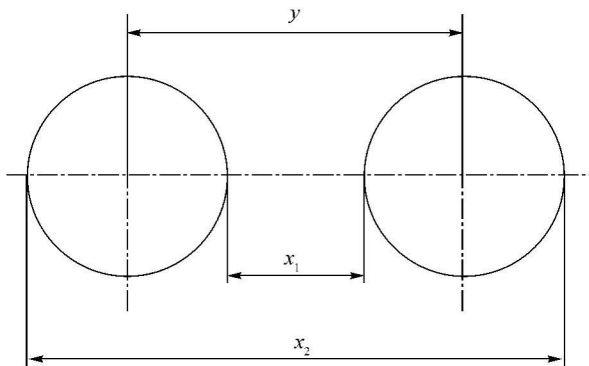


图 1-4 间接测量孔中心距

轴径。

一般地,相对测量的测量精度比绝对测量的测量精度高,但测量过程较为麻烦。

3. 接触测量与非接触测量

接触测量:测量器具的测头与工件被测表面以机械测量力直接接触。例如,游标卡尺测量轴径、百分表测量轴的圆跳动等。

非接触测量:测量器具的测量头与工件被测表面不直接接触,不存在机械测量力。例如,用投影法(如万能工具显微镜、大型工具显微镜)测量零件尺寸。

接触测量由于存在测量力,会使零件被测表面产生变形,引起测量误差,使测量头磨损、划伤被测表面,但是对被测表面的油污不敏感;非接触测量由于不存在测量力,被测表面不产生变形误差,因此特别适合薄壁结构易变形零件的测量。

4. 单项测量与综合测量

单项测量:单独测量零件的各个几何参数。例如,用工具显微镜可分别单独测量螺纹的中径、螺距、牙型半角等参数。

综合测量:检测零件两个或两个以上相关几何参数的综合效应或综合指标。

一般综合测量效率高,对保证零件互换性更为可靠,适用于只要求判断零件合格性的场合。单项测量能分别确定每个参数的误差,一般用于工艺分析(例如,分析加工过程中产生废品的原因等)。

5. 静态测量与动态测量

静态测量:测量时,测量器具的感受装置与被测件表面保持相对静止的状态。

动态测量:测量时,测量器具的感受装置与被测件表面处于相对运动的状态。

1.3.2 测量器具的分类

1. 量具

以固定的形式复现量值,带有简单刻度的测量器具。它们大多没有量值的放大传递机构,结构简单,使用方便。例如,量块、卷尺、游标卡尺、千分尺等。

2. 量规

一种没有刻度的专用量具。它只能用来检验零件是否合格,而不能获得被测几何量的具体数值。例如,塞规、卡规、环规、螺纹塞规、螺纹环规等。

3. 量仪

将被测量转换成可直接观察的示值或信息的测量器具。量仪一般由被测量感受装置、放大传递装置、显示读数装置三大部分组成。它们结构复杂,操作要求严格,但用途广泛,测量精度高。例如,百分表、千分表、立式光学计、工具显微镜等。

4. 测量装置

指为确定被测几何量量值所必须的测量器具和辅助设备的总体。它能够测量较多的几何量和较复杂的零件,提高测量或检验效率,提高测量精度。例如,连杆、曲轴、滚动轴承等零部件可用专用的测量装置进行测量。

1.3.3 测量器具的主要技术指标

测量器具的主要技术指标是表征测量器具技术性能和功用的指标,也是选择和使用测量器具的依据。

1. 分度值

也称刻度值,是指测量器具标尺上一个刻度间隔所代表的测量数值,一般来说,测量器具的分度值越小,则该量具的测量精度就越高。

2. 示值范围

测量器具标尺上全部刻度范围所代表的被测量值,如图 1-5 所示,机械比较仪的示值范围为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

3. 测量范围

测量器具所能测出的最大和最小的尺寸范围,如图 1-5 所示,机械比较仪的测量范围为 $0\sim 180\text{mm}$ 。

4. 灵敏度

能引起量仪指示数值变化的被测尺寸变化的最小变动量。

5. 示值误差

量具或量仪上的示值与被测尺寸实际值之差。

6. 修正值

为消除系统误差,用代数法加到示值上以得到正确结果的数值,其大小与示值误差绝对值相等,而符号相反。

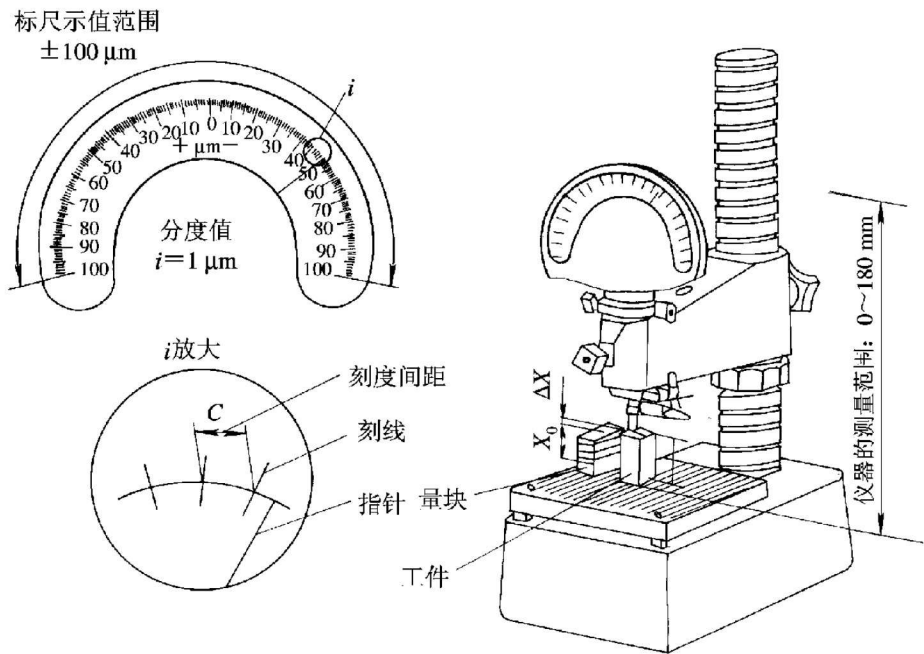


图 1-5 机械比较仪的部分计量参数

1.4 测量误差

1.4.1 测量误差及其产生的原因

任何测量过程,无论采用如何精密的测量方法,其测得值都不可能为被测几何量的真值,这种由于测量器具本身的误差和测量条件的限制,而使测量结果与被测量真值之差称为测量误差。

测量误差常用以下两种指标来评定:

1. 绝对误差 δ

绝对误差 δ 是指测量结果(X) 与被测量(约定) 真值(X_0) 之差,即

$$\delta = X - X_0 \quad (1-2)$$

因测量结果可能大于或小于真值,故 δ 可能为正值也可能为负值,将上式移项可得下式:

$$X_0 = X \pm \delta \quad (1-3)$$

当被测几何量相同时,绝对误差 δ 的大小决定了测量的精度, δ 越小,测量精度越高; δ 越大,测量精度越低。

2. 相对误差 f

相对误差 f 是指当被测几何量不同时,不能再用绝对误差 δ 来评定测量精度,这时应采用相对误差来评定。所谓相对误差: 是指测量的绝对误差 δ 与被测量(约定) 真值(X_0) 之比。

$$f = \frac{\delta}{X_0} \approx \frac{\delta}{X} \quad (1-4)$$

由上式可以看出,相对误差 f 是一个没有单位的数值,一般用百分数(%) 来表示。

例如,有两个被测量的实际测得值 $X_1 = 100\text{mm}$, $X_2 = 10\text{mm}$, $\delta_1 = \delta_2 = 0.01\text{mm}$, 则两次测量的相对误差为:

$$f_1 = \frac{\delta_1}{X_1} = \frac{0.01}{100} = 0.01\%$$

$$f_2 = \frac{\delta_2}{X_2} = \frac{0.01}{10} = 0.1\%$$

由上式可以看出,两个大小不同的被测量,虽然绝对误差相同,但其相对误差是不同的,由于 $f_1 < f_2$, 故前者的测量精度高于后者。

3. 测量误差产生的原因

测量误差是不可避免的,但是由于各种测量误差的产生都有其原因和影响测量结果的规律,因此测量误差是可以控制的。要提高测量精确度,就必须减小测量误差,而要减小和控制测量误差,就必须对测量误差产生的原因进行了解和研究。产生测量误差的原因很多,主要有以下几个方面:

(1) 测量器具误差: 任何测量器具在设计制造、装配、调整时都不可避免地产生误差, 这些误差一般表现在测量器具的示值误差和重复精度上。

例如, 光学比较仪的设计中, 采用了当 α 为无穷小时 $\sin\alpha \approx \alpha$, 使测杆的直线位移与指针杠杆的角位移不成正比, 而其标尺却采用等分刻度, 这就使测量时会产生测量误差。

又如, 游标卡尺的结构就不符合阿贝原则, 标准量未安放在被测长度的延长线上或顺次排成一条直线。如图 1-6 所示, 被测长度与标准量平行相距 S 放置, 这样在测量过程中, 由于卡尺活动量爪与卡尺主尺之间的配合间隙的影响, 当倾斜角度 φ 时, 则其产生的测量误差 δ 可按下式计算:

$$\delta = x - x' = S \tan\varphi \approx S\varphi$$

设 $S = 30\text{mm}$, $\varphi = 1' \approx 0.0003\text{rad}$, 则卡尺产生的测量误差将为:

$$\delta = 30 \times 0.0003\text{mm} = 0.009\text{mm} = 9\mu\text{m}$$

显然, 由于计量器具各个零件的制造误差和装配误差的影响, 也会给测量带来误差。

(2) 基准误差: 量块或标准件存在误差, 相对测量时影响测量结果。

(3) 温度误差: 标准温度为 20°C , 实际测量时的温度偏离所引起的误差。

(4) 测量力误差: 测量力的存在会造成接触变形, 引入测量误差。

(5) 读数误差: 由不正确的读数姿势, 习惯性的操作等引起的误差。

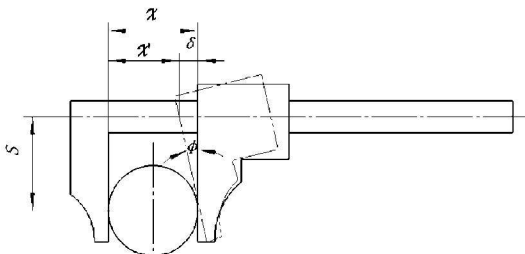


图 1-6 用游标卡尺测量轴径

1.4.2 测量误差

根据测量误差的性质和特点, 测量误差可分为: 随机误差、系统误差、粗大误差。

1. 随机误差

在相同条件下多次测量同一量值时, 以不可预知的方式变化的测量误差, 称为随机误差。

随机误差的出现具有偶然性或随机性, 它的存在以及大小和方向不受人的支配与控制, 即单次测量之间误差的变化无确定的规律。随机误差是由测量过程中的一些大小和方向各不相同、又都不很显著的误差因素综合作用造成的。例如, 仪器运动部件间的间隙改变、磨擦力变化、受力变形、测量条件的波动等。由于此类误差的影响因素极为复杂, 对每次测得值的影响无规律可循, 因此无法消除或修正。但在一定测量条件下对同一值进行大量重复测量时, 总体随机误差的产生满足统计规律(如图 1-7 所示), 即具有对称性、单峰性、有界性、抵偿性。

(1) 对称性: 绝对值相等的正负误差出现的概率相等。

(2) 单峰性: 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的次数多。

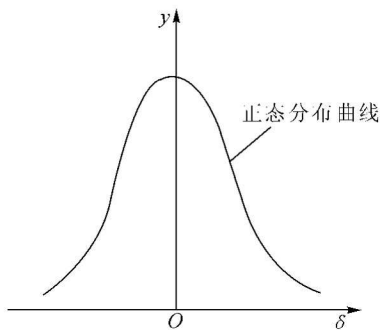


图 1-7 随机误差的分布规律