

项目二 测量技术基础

项目导读 >>>

几何量检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。因此,应按照公差标准和检测技术要求对零部件的几何量并行检测。只有几何量合格,才能保证零部件在几何方面的互换性。

检测的目的不仅仅在于判断工件合格与否,还有积极的一面,就是根据检测的结果,分析产生废品的原因,以便设法减少和防止废品。

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,是贯彻质量标准的技术保证。零件几何量合格与否,需要通过测量或检验方能确定。学生通过学习后要达到如下目的和要求:

- (1) 掌握测量的基本概念、量块的基本知识,了解测量精度和检验的概念。
- (2) 熟悉长度基准,了解长度量值传递系统。
- (3) 了解计量器具与测量方法的分类、测量器具与测量方法的主要度量指标。
- (4) 掌握测量误差的概念,熟悉测量误差的分类及其处理方法。
- (5) 掌握常用计量器具的选择方法,会确定验收极限。

任务一 测量技术的基本概念

任务分析 >>>

通过本任务的学习,学生了解了测量技术的基本概念,为现场测量打下理论基础。

2.1.1 测量技术的概念、测量要素和检测

所谓测量,就是把被测量(如长度、角度等)与具有计量单位的标准量进行比较,从而确定被测几何量是计量单位的倍数或分数的过程。用公式表示为

$$L = qE \quad (2-1)$$

式中 L ——被测值;

q ——比值;

E ——计量单位。

机械制造中的测量技术属于度量学的范畴。一个完整的几何量测量过程应包括被测对象、计量单位、测量方法及测量精度等四个要素。

(1) 被测对象:指几何量,即长度(包括角度)、表面粗糙度、形状和位置误差及螺纹、齿轮的各个几何参数等。

(2) 计量单位:在几何量计量中,长度单位有米(m),毫米(mm)、微米(μm)。角度单位为度($^{\circ}$)、分($'$)、秒($''$)。

(3) 测量方法:指在进行测量时所采用的测量原理、测量方法、计量器具和测量条件的综合。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。根据被测对象的特点,如精度、大小、轻重、材质、数量等来确定所用的计量器具,确定合适的测量方法。

(4) 测量精度:指测量结果与零件真值的接近程度。与之相对应的概念即测量误差。由于各种因素的影响,任何测量过程总不可避免地会出现测量误差。测量误差大,说明测量结果与真值的接近程度低,则测量精度低;测量误差小,则测量精度高。

对测量技术的基本要求是:合理地选用计量器具与测量方法,保证一定的测量精度,具有高的测量效率、低的测量成本,通过测量分析零件的加工工艺,积极采取预防措施,避免废品的产生。

检验是指为确定被测几何量是否在规定的极限范围内,从而判断零件是否合格,而不一定得出具体的量值。

检验与测量是相近似的一个概念,它的含义比测量更广一些。例如,表面锈蚀的检验,金属内部缺陷的检查等,在这些情况下,就不能用测量的概念。

2.1.2 长度单位、基准和长度量值传递系统

为了进行长度测量,必须建立统一可靠的长度单位基准。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”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) = 1 000 毫米(mm); 1 毫米(mm) = 1 000 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 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 的时间间隔内所经过的距离。

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,通常经过中间基准将长度基准逐级传递到生产中使用的各种计量器具上,这就是量值的传递系统。我国长度量值传递系统如图 2-1 所示,从最高基准普线开始,通过两个平行的系统向下传递。

2.1.3 量块及其使用

量块又名块规,它是一种没有刻度的平面平行端面量具,在机械制造厂和各级计量部门中应用较广。它除了作为量值传递的媒介以外,还可用于计量器具、机床、夹具的调整以及工件的测量和检验。

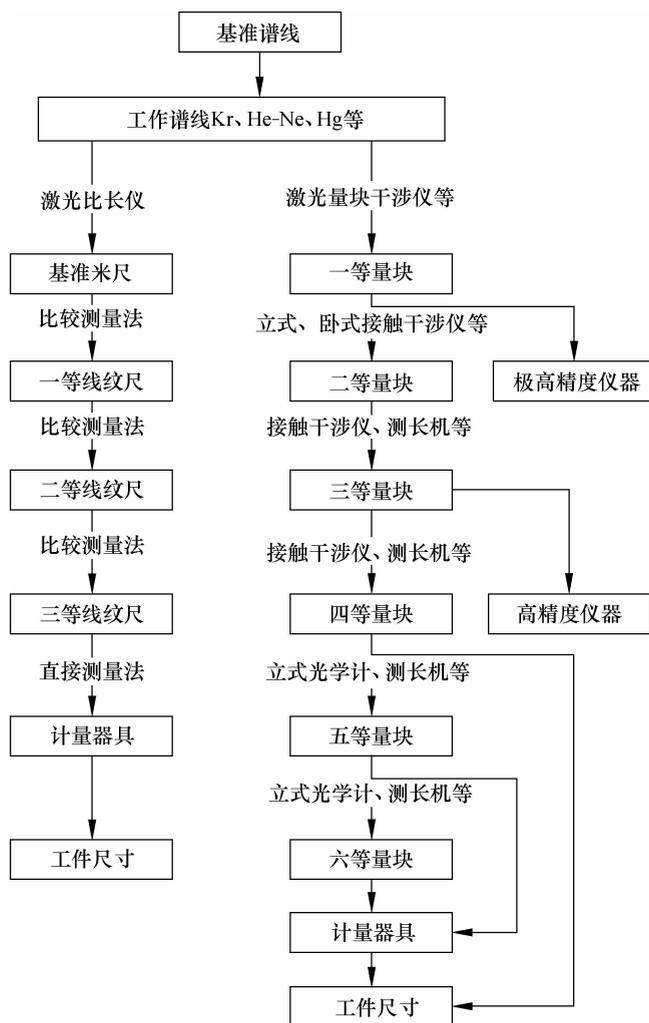


图 2-1 长度量值传递系统

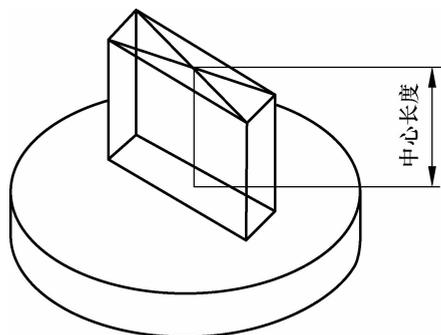


图 2-2 量块及其中心长度

1. 量块的材料、形状和尺寸

量块用特殊合金钢（常用铬锰钢）制成，其线膨胀系数小、性能稳定、不易变形且耐磨性好。量块的形状为长方形六面体，它有两个相互平行的测量面和四个非测量面，如图 2-2 所示。测量面上要求平面度很高而且非常光洁，两测量面之间具有精确的尺寸。量块上测量面的中点和与其另一测量面相吻合的辅助体表面之间的

垂直距离,称为量块的中心长度。量块上标出的尺寸称为量块的标称长度(或名义尺寸)。

2. 量块的精度等级

为了满足各种不同的应用场合,国家标准对量块规定了若干精度等级。GB 6093—2001《量块》对量块的制造精度规定了五级:0,1,2,3 和 K 级。“级”主要是根据量块长度极限偏差、量块长度变动量、量块测量面的平面度、量块测量面的粗糙度以及量块测量面的研合性等指标来划分的。其中 0 级最高,精度依次降低,3 级最低,K 级为校准级。

在各级计量部门中,量块常按检定后的尺寸使用。因此,国家计量局对量块的检定精度规定了 1,2,3,4,5,6 等,其中,1 等精度最高,依次降低。“等”主要依据量块中心长度测量的极限偏差和平面平行性允许偏差来划分的。

量块按“级”使用时,以量块的标称长度为工作尺寸,该尺寸包含了量块的制造误差,并将被引入到测量结果中。由于不需要加修正值,故使用较方便。

按“等”使用时,必须以检定后的实际尺寸作为工作尺寸,该尺寸不包含制造误差,但包含了检定时的测量误差;就同一量块而言,检定时的测量误差要比制造误差小得多。所以,量块按“等”使用时其精度比按“级”使用要高。例如,标称长度为 30 mm 的 0 级量块,其长度的极限偏差为 $\pm 0.000\ 20$ mm,若按“级”使用,不管该量块的实际尺寸如何,均按 30 mm 计,则引起的测量误差为 0.000 20 mm。但是,若该量块经检定后,确定为三等,其实际尺寸为 30.000 12 mm,测量极限误差为 $\pm 0.000\ 15$ mm。显然,按“等”使用,即按尺寸 30.000 12 mm 使用的测量极限误差为 $\pm 0.000\ 15$ mm,比按“级”使用测量精度高。

量块的“级”和“等”是从成批制造和单个检定两种不同的角度出发,对其精度进行划分的两种形式。量块的精度指标见表 2-1 和表 2-2。

表 2-1 各级量块的精度指标(摘自 GB 6093—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(\pm)。
② 长度变动量允许值。

表 2-2 各等量块的精度指标(摘自 JJG 100—1981)

μm

标称长度 /mm	1 等		2 等		3 等		4 等		5 等		6 等	
	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
>18~30	0.06	0.10	0.09	0.10	0.15	0.20	0.30	0.20	0.6	0.4	1.0	0.4
>30~50	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	0.5

注:① 中心长度测量的极限误差±。
② 平面平行性允许偏差。

3. 量块的特性与使用

量块的基本特性除稳定性和准确性外,还有一个重要特性——研合性(黏合性)。所谓研合性,是指量块的测量面与另一个量块的测量面或经过精密加工的类似的平面,通过分子吸力作用而黏附在一起的性能。每块量块只有一个确定的工作尺寸,为了满足一定尺寸范围内的不同测量尺寸的要求,量块可以组合使用。

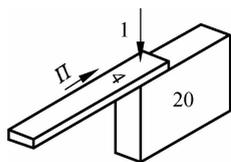


图 2-3 量块研合方法

研合量块组时,首先用优质汽油将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。研合方法如图 2-3 所示。

根据 GB 6093—2001 规定,我国生产的成套量块有 91 块、83 块、46 块、38 块等 17 种规格。表 2-3 列出了其中三套量块的尺寸系列。

表 2-3 成套量块尺寸表(摘自 GB/T 6093—2001)

套 别	总块数	级 别	尺寸系列/mm	间隔/mm	块 数
1	91	0.1	0.5		1
			1	0.001	1
			1.001,1.002,⋯,1.009	0.01	9
			1.01,1.02,⋯,1.49	0.1	49
			1.5,1.6,⋯,1.9	0.5	5
			2.0,2.5,⋯,9.5	10	16
			10,20,⋯,100		10
2	83	0.1,2	0.5		1
			1		1
			1.005		1
			1.01,1.02,⋯,1.49	0.01	49
			1.5,1.6,⋯,1.9	0.1	5
			2.0,2.5,⋯,9.5	0.5	16
			10,20,⋯,100	10	10

续表

套 别	总块数	级 别	尺寸系列/mm	间隔/mm	块 数
4	38	0,1,2	1	0.01	1
			1.005		1
			1.01,1.02,⋯,1.09		9
			1.5,1.6,⋯,1.9		9
			2,3,⋯,9		8
			10,20,⋯,100		10

量块的组合原则:

(1) 从所给尺寸的最后一位数字入手,每选一块,至少使尺寸的位数减少一位。

(2) 应使尽量减少量块组的块数。一般不超过 4 块。

例 2-1 从 83 块一套的量块中组合尺寸为 38.935 mm 的量块组,所组量块的竖式和横式如下:

$$\begin{array}{r}
 38.935 \quad \text{需要组合出的量块尺寸} \\
 \underline{-) 1.005} \quad \text{选用第一块量块尺寸 1.005 mm} \\
 37.93 \quad \text{剩余尺寸} \\
 \underline{-) 1.43} \quad \text{选用第二块量块尺寸 1.43 mm} \\
 36.5 \quad \text{剩余尺寸} \\
 \underline{-) 6.5} \quad \text{选用第三块量块尺寸 6.5 mm} \\
 30 \quad \text{剩余尺寸} \\
 1.005 + 1.43 + 6.5 + 30 = 38.935 \text{ mm}
 \end{array}$$



随堂练习

量块分等、分级的依据是什么? 按级使用和按等使用量块有何不同?

任务二 计量器具与测量方法

任务分析 >>>

计量器具和测量方法是实施测量过程和获得精确测量结果的重要手段。通过本任务的学习使学生具有选择和使用计量器具,并应用正确的测量方法进行测量的技能。

2.2.1 计量器具分类

计量器具是量具、量规、量仪和其他用于测量目的的测量装置的总称。

1. 计量器具的基本分类

计量器具包括量具和量仪两大类。

1) 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,如量块、游标卡尺等。

2) 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,如光学比较仪等。

2. 按计量器具结构特点和用途分类

1) 标准量具:测量中用做标准的量具。它是按基准复制出来的一个代表固定尺寸的量具或量仪,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。用这种工具不能得到被检验工件的具体尺寸,但能确定被检验工件是否合格,如光滑极限量规、螺纹量规等。

3) 通用计量器具:有刻度并能量出具体数值的量具或量仪。一般分为以下几种:

- ① 游标量具,如游标卡尺、游标高度尺以及游标量角器等。
- ② 螺旋测微量具,如外径千分尺、内径千分尺等。
- ③ 机械量仪,如百分表、千分表、杠杆比较仪、扭簧比较仪等。
- ④ 光学量仪,如光学计、测长仪、投影仪、干涉仪等。
- ⑤ 气动量仪,如压力式气动量仪、流量计式气动量仪等。
- ⑥ 电学量仪,如电感比较仪、电容比较仪、电动轮廓仪等。
- ⑦ 激光量仪,如激光准直仪、激光干涉仪等。
- ⑧ 光学电子量仪,如光栅测长机、光纤传感器等。

4) 检测装置:量具、量仪和定位元件等组成的组合体,是一种专用的检验工具。如检验夹具、主动测量装置和坐标测量机等。它使测量工作更为迅速、方便和可靠。

2.2.2 计量器具的基本度量指标

1) 标尺刻度间距 α :指刻度尺或刻度盘上两相邻刻线中心的距离。为了便于目力估计,一般标尺间距为 $1\sim 2.5\text{ mm}$ 。

2) 分度值 i :指刻度尺上两相邻刻线间的距离所代表的被测量的量值。如千分表的分度值为 0.001 mm ,百分表的分度值为 0.01 mm 。对于数显式仪器,其分度值称为分辨率。一般说来,分度值越小,计量器具的精度越高。

3) 测量范围:指计量器具所能测量零件的最小值到最大值的范围。如某一千分尺的测量范围为 $25\sim 50\text{ mm}$ 。某一光学比较仪的测量范围为 $0\sim 180\text{ mm}$ 。选择计量器具时,被测值必须在其测量范围内。

4) 标尺示值范围:指计量器具刻度标尺或刻度盘内全部刻度所代表的范围。如光学比较仪的标尺示值范围为 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

5) 灵敏度 K :指计量器具的指针对被测量的变化的反应能力。对一般长度量仪,灵敏度又称为放大比(放大倍数),它等于刻度间距 α 与分度值 i 之比, $K=\alpha/i$ 。一般地说,分度值越小,灵敏度就越高。

6) 测量力:指测量过程中测量仪器测头与被测工件之间的接触力。测量力将引起测量器具和被测件的弹性变形,影响测量精度。

7) 示值误差:指计量器具上的示值与被测量真值的代数差。可以用修正值进行修正。

8) 修正值:为消除系统误差用代数法加到测量结果上的值,其值与示值误差的大小相等,符号相反。

9) 示值变动:指在相同测量条件下,对同一个被测量进行多次重复测量(一般5~10次)所得示值中的最大差值。

10) 回程误差:指在相同的条件下,对同一被测量进行往返两个方向测量时,计量器具示值的最大变动量。

11) 不确定度:指由于测量误差的存在而对被测量值不能肯定的程度。它是综合指标,包括了示值误差、回程误差等,不能修正,只能用来估计测量误差的范围。例如,分度值为 0.01 mm 的千分尺在车间条件下,测量 $0\sim 50\text{ mm}$ 的尺寸时,其不确定度为 $\pm 0.004\text{ mm}$,说明测量结果与被测真值之间的差值最大不会大于 $+0.004\text{ mm}$,最小不会小于 -0.004 mm ,

2.2.3 测量方法分类

测量方法可以从不同角度进行分类。

1) 按实测量是否为被测量,测量方法可分为直接测量与间接测量。

直接测量,指直接从计量器具上获得被测量的量值的测量方法。如用游标卡、外径千分尺测量零件的直径或长度。

间接测量,指测量与被测量有一定函数关系的量,然后通过函数关系算出被测量的测量方法。如测量大型圆柱零件时,可先测出圆周长度 L ,然后通过 $D=L/\pi$ 计算被测零件的直径 D 。

2) 按示值是否为被测几何量的整个量值,测量方法可分为绝对测量和相对测量(比较测量)。

绝对测量,指计量器具显示或指示的示值是测几何量的整个量值。如用游标卡尺、千分尺测量零件的直径。

相对测量,指从计量器具上仅读出被测量对已知标准量的偏差值,而被测量的量值为计量器具的示值与标准量的代数和。如用比较仪测量时,先用量块调整仪器零位,然后测量轴径,所获得示值就是被测量相对于量块尺寸的偏差。

3) 按零件上同时被测参数的多少,测量方法可分为综合测量与单项测量。

综合测量,指同时测量工件上的几个有关参数,综合地判断工件是否合格。其目的在于保证被测工件在规定的极限轮廓内,以达到互换性的要求,例如,用花键塞规检验花键孔、用齿轮动态整体误差测量仪测量齿轮等。

单项测量,指单个地彼此没有联系地测量工件的单项参数。例如,分别测量螺纹的螺距或半角等。

4) 按被测工件表面与量仪之间是否有机机械作用的测量力,测量方法可分为接触测量与非接触测量。

接触测量,指仪器的测量头与被测零件表面直接接触,并有机机械作用的测量力存在。

非接触测量,指仪器的传感部分与被测零件表面间不接触,没有机械测量力存在。例如,光学投影测量、气动量仪测量等。

5) 按测量在机械加工过程中所处的地位,测量方法可分为在线测量与离线测量。

在线测量,指零件在加工中进行的测量,此时测量结果直接用来控制零件的加工过程,它能及时防止和消灭废品。

离线测量,指零件加工完后在检验站进行的测量。此时测量结果仅限于发现并剔除废品。

6) 按被测量或零件在测量过程中所处的状态,测量方法可分为静态测量与动态测量。

静态测量,指被测表面与测量头相对静止,没有相对运动。例如,千分尺测量零件的直径。

动态测量,指被测表面与测量头之间有相对运动,它能反映被测参数的变化过程。例如,用激光丝杠动态检查仪测量丝杠。

7) 按决定测量结果的全部因素或条件是否改变,分为等精度测量和不等精度测量。

等精度测量,指决定测量精度的全部因素或条件都不变的测量。如同测量者,同一计量器具,同一测量方法,同一被测几何量,所进行的测量。

不等精度测量,指在测量过程中,有一部分或全部因素或条件发生改变。

一般情况下都采用等精度测量。不等精度测量的数据处理比较麻烦,只运用于重要的科研实验中的高精度测量。

以上对测量方法的分类是从不同的角度考虑的,但对一个具体的测量过程,可能同时兼有几种测量方法的特性。例如,用三坐标测量机对工件的轮廓进行测量,则同时使用直接测量、接触测量、在线测量、动态测量等。因此,测量方法的选择应考虑被测对象的结构特点、精度要求、生产批量、技术条件和经济效益等。

测量技术的发展方向是动态测量和在线测量,因为只有将加工和测量紧密结

合起来的测量方式才能提高生产效率和产品质量。

2.2.4 常用测量器具的测量原理、基本结构与使用方法

1. 游标卡尺

游标卡尺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。

1) 普通游标卡尺结构,如图 2-4 所示。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,游标量具的分度值有 0.02 mm、0.1 mm 和 0.05 mm 三种。

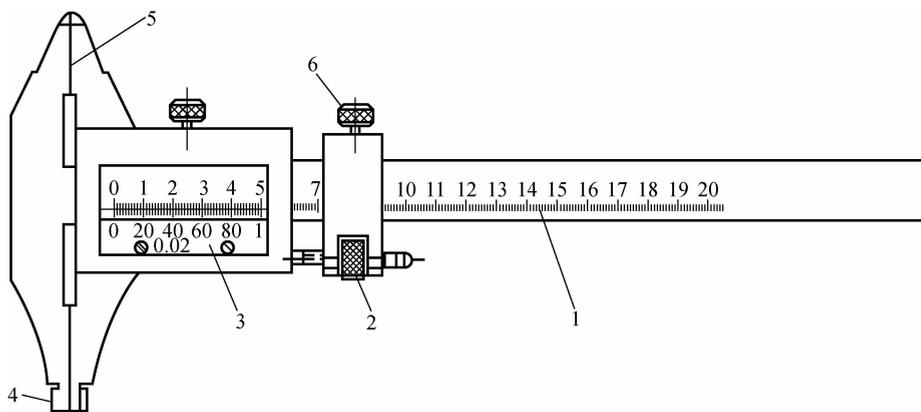


图 2-4 游标卡尺

1—尺身;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

2) 游标的读数原理,是利用尺身刻度间距与游标刻度间距之差进行小数读数。以分度值为 0.02 mm 的游标卡尺为例,尺身刻度间距为 1 mm,游标尺的刻度间距为 0.98 mm。当两量爪合并,即游标零线与尺身零线对准时,除游标的最后一根(第 50 格)刻线与尺身(第 49 格)刻线对准外,游标的其他刻线都不与尺身刻度对准,如图 2-5(a)所示。游标的第一根刻线与尺身刻线相差 0.02 mm,游标的第二根刻线与尺身刻线相差 0.04 mm,依此类推。这样就利用尺身刻度间距与游标刻度间距之差,将 1 mm 分成了 50 份每份 0.02 mm,若将游标向右移动 0.02 mm,则游标的第一根刻线与尺身刻线对准;若向右移动 0.1 mm,则游标的第五根刻线与尺身刻线对准,这时 $0.02 \times 5 = 0.1$,为了读数方便,在游标第五根的下方写有数字 10,在第十根的下方写有数字 20,依此类推。

3) 游标的读数方法。

- (1) 读出游标零刻线左边所指示的尺身上的刻线,为整数部分。
- (2) 观察游标上零刻线右边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,即为小数部分的读数。

(3) 将整数与小数部分相加,即得被测工件的测量尺寸。

读数举例:如图 2-5(b)所示。

整数部分 40 mm;小数部分 $0.02 \times 6 = 0.12$ mm;零件尺寸 $40 + 0.12 = 40.12$ mm。

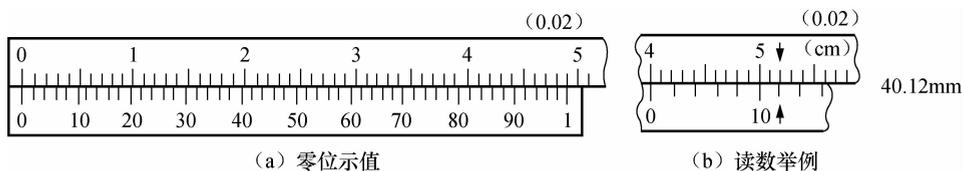


图 2-5 游标卡尺的读数方法

2. 千分尺

千分尺是利用螺旋传动原理制成的量具,分为外径千分尺、内径千分尺与深度千分尺。

1) 外径千分尺的结构,如图 2-6 所示。

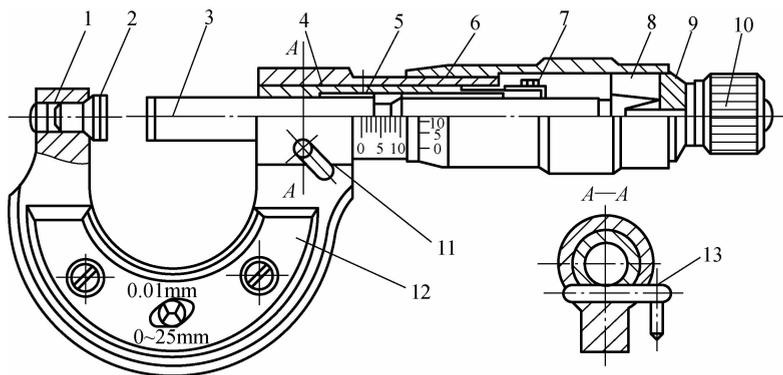


图 2-6 外径千分尺

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

2) 读数原理。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。测微螺杆的螺距为 0.5 mm 时,固定套筒上的标尺间距(一般分在两侧)也是 0.5 mm,微分筒的圆锥面上刻有 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 0.5;当微分筒转过一格时,测微螺杆轴向位移 $0.5 \times 1/50 = 0.01$ 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 0.01 mm。

常用的外径千分尺的测量范围有 0~25 mm、25~50 mm、50~75 mm。以至几米以上,但测微螺杆的测量位移一般均为 25 mm。外径千分尺的读数如图 2-7 所示。

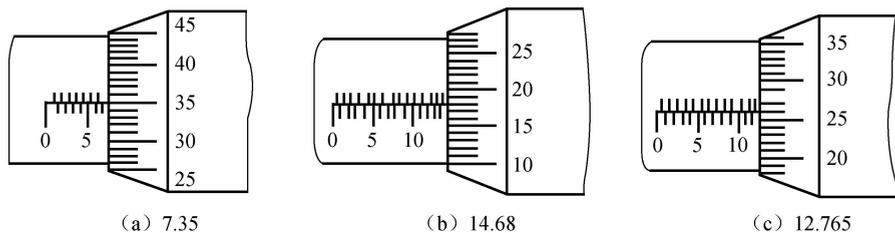


图 2-7 千分尺读数举例

在使用千分尺时,应先对准“0”位,即千分尺两测量面接触时。微分筒棱边对准固定套管零刻线,固定套管上的纵刻线对准微分筒上的零刻线。如果微分筒的零线与固定套筒的中线没有对准,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) 读数方法。

(1) 由固定套管上露出的刻线读出被测工件的整数(下边格)和半毫米(上边格)出来,加 0.5 mm)数。

(2) 在微分筒上由固定套管纵刻线所对准的刻线读出被测工件的小数部分;不足一格的数,由估读法确定。

(3) 将整数和小数部分相加,即为被测工件尺寸,如图 2-7 所示。

3. 百分表

百分表是一种应用最广的机械量仪,其外形及传动如图 2-8 所示。

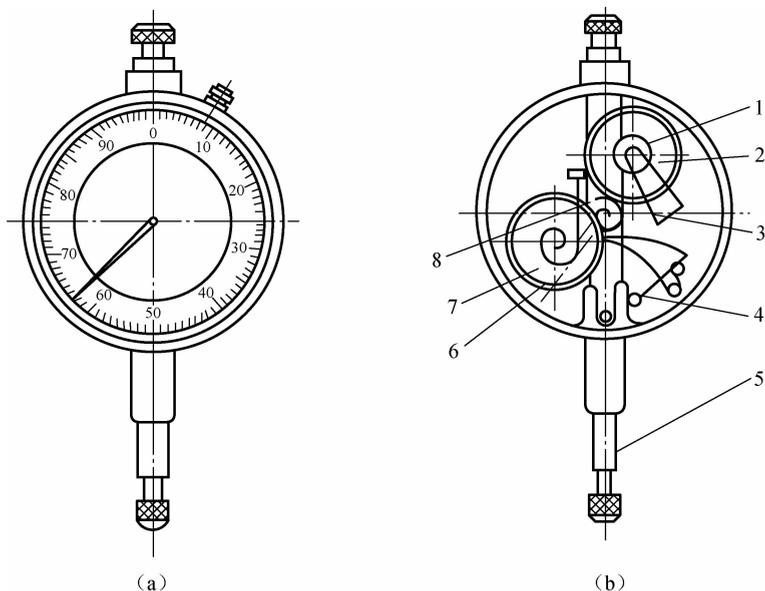


图 2-8 百分表

1—小齿轮;2,7—大齿轮;3—中间齿轮;4—弹簧;5—测量杆;6—指针;8—游丝

量头的长度来达到的。

5. 杠杆齿轮比较仪

它是将测量杆的直线位移,通过杠杆齿轮传动系统转变为指针在表盘上的角位移。表盘上有不满一周的均匀刻度,如图 2-10 所示。

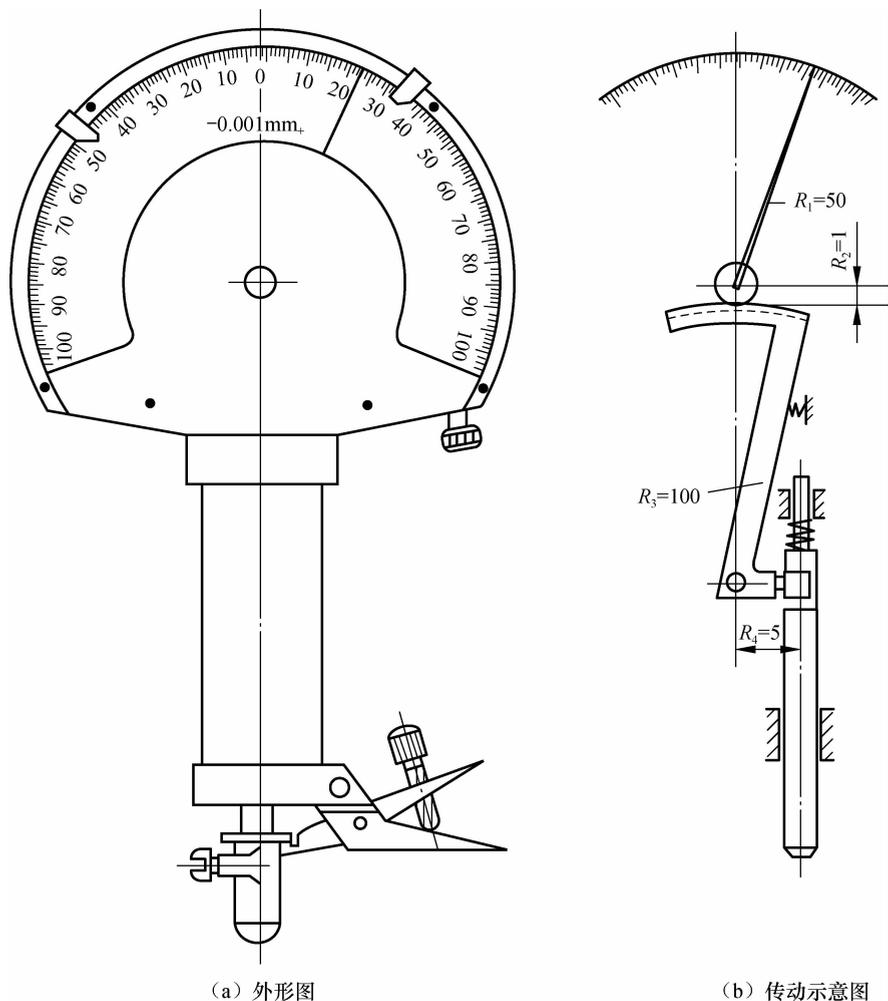


图 2-10 杠杆齿轮比较仪

当测量杆移动时,使杠杆绕轴转动,并通过杠杆短臂 R_4 和长臂 R_3 将位移放大,同时,扇形齿轮带动与其啮合的小齿轮转动,这时小齿轮分度圆半径 R_2 与指针长度 R_1 又起放大作用,使指针在标尺上指示出相应的测量杆的位移值。

K 为杠杆齿轮比较仪的灵敏度,其计算公式为

$$K = \frac{R_1}{R_2} \frac{R_3}{R_4} = \frac{50}{1} \times \frac{100}{1} = 5000$$

杠杆齿轮比较仪的分度值为 0.001 mm, 标尺示值范围为 ±0.1 mm。

6. 新技术的应用

随着科学技术的发展, 测量技术已从应用机械原理, 几何光学原理发展到应用更多的, 新的物理原理, 引用最新的技术成就。如光栅、激光、感应同步器、磁栅及射线技术等。



随堂练习

- 常用的计量器具的使用方法?
- 若用标称尺寸为 20 mm 的量块将百分表调零后, 测量某零件的尺寸, 百分表读数为 +30 μm, 经检定量块实际尺寸为 20.006 mm。试计算:
 - 百分表的零位误差和修正值。
 - 被测零件的实际尺寸(不计百分表的示值误差)。

任务三 测量误差及数据处理

任务分析 >>>

误差分析和测量数据处理是减少和避免误差的理论基础, 通过本任务的学习, 使学生具有分析误差和数据处理的能力。

2.3.1 测量误差的概念与产生原因

在测量过程中, 总存在着测量误差。任何测量结果都不可能绝对精确, 只是近似地接近真值。测量误差就是测量结果与被测量的真值之差。即

$$\delta = l - u \quad (2-2)$$

式中 δ ——测量误差;

l ——测得值;

u ——被测量的真值。

- 1) 绝对误差 δ : 是指测得值 χ 与其真值 x_0 之差的绝对值, 即

$$\delta = |\chi - x_0| \quad (2-3)$$

由于测得值 χ 可能大于或小于真值 x_0 , 所以测量误差 δ 可能是正值也可能是负值。因此, 真值可用下式表示:

$$x_0 = \chi \pm \delta \quad (2-4)$$

上式说明, 可用测得值 χ 和测量误差 δ 来估算真值 x_0 所在的范围。测量误差的绝对值越小, 说明测得值越接近真值, 因此测量精度就高。反之, 测量精度就低。

用绝对误差表示测量精度, 适用于评定或比较大小相同的被测量的测量精度。

对于大小不同的被测量,则需要用相对误差来评定或比较它们的测量精度。

2) 相对误差 f :测量的绝对误差与被测量的真值之比的绝对值。由于真值不知道,实践中常用测量结果代替;相对误差是一个无量纲的数据,常用百分数表示,即

$$f = \frac{|\chi - \chi_0|}{\chi_0} \times \% = \frac{|\delta|}{\chi_0} \times \% \approx \frac{|\delta|}{\chi} \times 100\% \quad (2-5)$$

例如,测量某两个轴颈尺寸分别为 20 mm 和 200 mm,它们的相对误差分别为 $f_1 = 0.02/20 = 0.1\%$, $f_2 = 0.02/200 = 0.01\%$,故后者的测量精度高。

3) 极限误差 δ_{lim} :绝对误差的变化范围。即在一定置信概率下,所求真值 χ_0 位于测得值 χ 附近的最小范围。

$$\chi - \delta_{\text{lim}} \leq \chi_0 \leq \chi + \delta_{\text{lim}}$$

或

$$\chi_0 = \chi \pm \delta_{\text{lim}}$$

2.3.2 测量误差的来源

产生测量误差的因素很多,主要有以下几个方面:

1. 计量器具的误差

计量器具的误差是指计量器具本身所具有的误差,包括计量器具的设计、制造和使用过程中的各项误差,这些误差的综合反映可用计量器具的示值精度或确定度来表示。

此外,相对测量时使用的标准量,如量块、线纹尺等误差,也将直接反映到测量结果中。

2. 测量方法误差

测量方法误差是指测量方法不完善所引起的误差。包括计算公式不准确、测量方法选择不当、测量基准不统一、工件安装不合理以及测量力等引起的误差。例如测量大圆柱的直径 D ,先测量周长 L ,再按 $D=L/\pi$ 计算直径,若取 $\pi=3.14$,则计算结果会带入 π 取近似值的误差。

3. 测量环境误差

测量环境误差是指测量时的环境条件不符合标准条件所引起的误差。环境条件是指湿度、温度、振动、气压和灰尘等。其中,温度对测量结果的影响最大。例如,测量时,由于被测零件与标准件的温度偏离标准温度(20℃)而引起的测量误差可按下式进行计算:

$$\Delta L = L[a_2(t_2 - 20) - a_1(t_1 - 20)] \quad (2-6)$$

式中 ΔL ——测量误差;

L ——被测尺寸；

t_1, t_2 ——计量器具和被测工件的温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

α_1, α_2 ——计量器具和被测工件的线膨胀系数。

为了减少温度引起的测量误差,一般高准确度测量均在恒温条件下进行,并要求被测工件与计量器具温度一致。

4. 人员误差

人员误差是指测量人员的主观因素所引起的误差。例如,测量人员技术不熟练、视觉偏差、估读判断错误等引起的误差。

总之,造成测量误差的因素很多,测量时应采取相应的措施,设法减小或消除它们对测量结果的影响,以保证测量的精度。

2.3.3 测量误差的分类及处理方法

1. 测量误差的分类及特性

测量误差按其性质可分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1) 系统误差:指在相同条件下,多次重复测量同一量时,其误差的大小和符号保持不变或按一定规律变化的误差。前者称为定值系统误差,后者称为变值系统误差。例如,用千分尺测量零件时,千分尺零位调整不正确对各次测量结果的影响是相同的。因此引起的测量误差为定值系统误差。又如指示表的刻度盘与指针回转轴偏心所引起的按正弦规律周期变化的测量误差,属于变值系统误差。

2) 随机误差:指在相同条件下,多次测量同一量值时,其误差的大小和符号以不可预见的方式变化的误差。随机误差是测量过程中许多独立的、微小的、随机的因素引起的综合结果。如计量器具中机构的间隙、运动件间的摩擦力变化、测量力的不恒定和测量温度、湿度的波动等引起的测量误差都属于随机误差。在同一测量条件下,重复进行的多次测量中,不可避免会产生随机误差,随机误差既不能用实验方法消除,也不能修正。就某一次具体测量而言,随机误差的大小和符号是没有规律的,但对同一被测量进行连续多次重复测量而得到一系列测得值(简称测量列)时,它们的随机误差的总体存在着一定的规律性。大量实验表明,随机误差通常服从正态分布规律。因此,可以利用概率论和数理统计的一些方法来掌握随机误差的分布特性,估算误差范围,对测量结果进行处理。

(1) 随机误差的分布规律及特性。

设用立式光学计对同一零件的某一部位用同一方法进行 150 次重复测量,然后将 150 个测得值按尺寸大小分组列入表 2-4 中。从 7.131~7.141 mm 每隔 0.001 mm 为一组,共分 11 组。每组尺寸范围如表中第二列所示。每组出现次数 n_i (频数)列于表第四列。若零件总的测量次数用 N 表示,则可算出各组的相对出

现次数 n_i/N (频率), 见表第五列。将这些数据画成图表, 横坐标表示测得值 X_i , 纵坐标表示出现的频率 n_i/N , 得到图 2-11(a) 所示的图形, 称频率直方图。连接每个小方图的上部中点得到一折线, 称为实际分布曲线, 如果测量次数足够多且分组足够细, 则会得到一条光滑曲线, 即正态分布曲线, 如图 2-11(b) 所示。从大量实际分布曲线中, 可看出多数随机误差的统计规律。

表 2-4 测得值的分布

组别	测量值范围/mm	测量中值 X_i /mm	出现次数 n_i	相对出现次数 $n_i/N/\%$
1	7.130 5~7.131 5	$X_1=7.131$	$n_1=1$	0.007
2	7.131 5~7.132 5	$X_2=7.132$	$n_2=3$	0.020
3	7.132 5~7.133 5	$X_3=7.133$	$n_3=8$	0.054
4	7.133 5~7.134 5	$X_4=7.134$	$n_4=18$	0.120
5	7.134 5~7.135 5	$X_5=7.135$	$n_5=28$	0.187
6	7.135 5~7.136 5	$X_6=7.136$	$n_6=34$	0.227
7	7.136 5~7.137 5	$X_7=7.137$	$n_7=29$	0.193
8	7.137 5~7.138 5	$X_8=7.138$	$n_8=17$	0.113
9	7.138 5~7.139 5	$X_9=7.139$	$n_9=9$	0.060
10	7.139 5~7.140 5	$X_{10}=7.140$	$n_{10}=2$	0.013
11	7.140 5~7.141 5	$X_{11}=7.141$	$n_{11}=1$	0.007

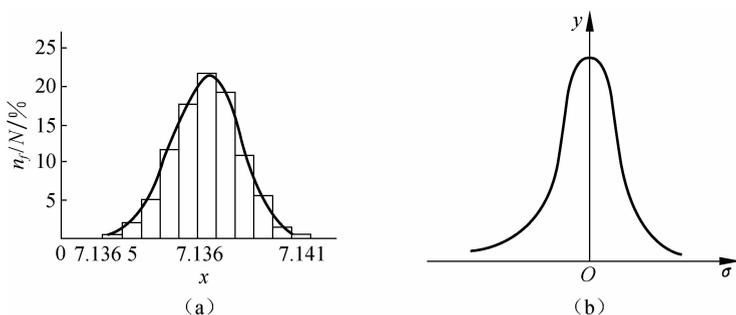


图 2-11 频率直方图和正态分布曲线

随机误差通常服从正态分布规律, 具有如下四个基本特性:

- ① 单峰性绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的次数多。
- ② 对称性绝对值相等, 符号相反的误差出现的次数大致相等。
- ③ 有界性在一定测量条件下, 随机误差绝对值不会超过一定的界限。
- ④ 抵偿性对同一量在同一条件下进行重复测量, 其随机误差的算术平均值随测量次数的增加而趋于零。

(2) 随机误差的评定指标。

由概率论可知, 正态分布曲线可用其分布密度进行描述, 即

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (2-7)$$

式中 y ——随机误差的概率分布密度；

x ——随机变量；

x_0 ——数学期望(作为真值)；

δ ——随机误差；

σ ——标准偏差；

e ——自然对数的底($e=2.71828$)。

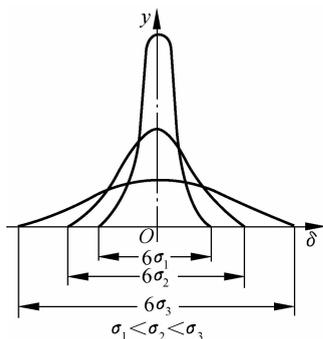


图 2-12 标准偏差对随机误差

根据误差理论,随机误差的标准偏差 σ 的数学表达式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \cdots + \delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}} \quad (2-8)$$

式中 n ——测量次数；

δ_i ——随机误差,即各次测得值与其真值之差。

(3) 随机误差的极限值。

由随机误差的有界性可知,随机误差不会超出某一范围。随机误差的极限值是指测量极限误差,也就是测量误差可能出现的极限值。

若把整个误差曲线下包围的面积看做是所有随机误差出现的概率之和 P ,便可得到下式:

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} y d\delta = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} d\delta = 1$$

研究随机误差出现在正、负无穷大区间的概率是没有实际意义的。在计量工作实践中,要研究的是随机误差出现在 $\pm\delta$ 范围内的概率 P ,于是便有

$$P = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} d\delta$$

将上式进行变量置换,设 $t = \delta/\sigma$,则有

$$dt = \frac{d\delta}{\sigma}$$

将其代入上式可得

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\omega}} \int_{-t}^{+t} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

又写成如下形式

$$P = 2\Phi(t)$$

$\Phi(t)$ 称为拉普拉斯函数,也称概率积分。只要给出 t 值便可算出概率。不同的 t 值对应的概率可从有关手册中查得,为了使用方便,表 2-5 列出了四个不同 t 值对应的概率。

表 2-5 四个不同 t 值对应的概率

t	$\delta=t\sigma$	不超出 $ \delta $ 的概率 $P=2\phi(T)$	超出 $ \delta $ 的概率 $P'=1-P$
1	1σ	0.682 6	0.317 4
2	2σ	0.954 4	0.045 6
3	3σ	0.997 3	0.002 7
4	σ	0.999 36	0.000 64

从表 2-5 中 t 与概率的数值关系上可以发现,随着 t 的增大,概率并没有明显的增大。当 $t=3$ 时,随机误差 δ 在 $\pm 3\sigma$ 范围内的概率为 99.73%,超出 $\pm 3\sigma$ 的概率只有 0.27%。可以近似地认为超出 $\pm 3\sigma$ 的可能性为零。

因此,在估计测量结果的随机误差时,往往把 $\pm 3\sigma$ 作为随机误差的极限值,即测量极限误差为

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma \quad (2-9)$$

称 t 为误差估计的置信系数,把 t 对应的概率称为置信概率。按 $\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma$ 式估计随机误差的意义是:测量结果中包含的随机误差不超出 $\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma$ 的可信赖程度达到 99.73%。

简单地讲就是,标准偏差 σ 确定后,在 δ/σ 一定时,利用正态分布曲线,求随机误差的概率。

$$\delta = \pm \sigma \quad P = 68.26\%$$

$$\delta = \pm 2\sigma \quad P = 95.44\%$$

$$\delta = \pm 3\sigma \quad P = 99.73\%$$

3) 粗大误差:指明显超出规定条件下预期的误差。它明显地歪曲了测量结果。粗大误差是由主观和客观原因造成的,主观原因如测量人员疏忽造成读数误差和记录误差。客观原因如外界突然振动引起的误差等。

对系统误差应设法消除或减小其对测量结果的影响;对随机误差需经计算确定其对测量结果的影响;对粗大误差应剔除。

2. 测量结果的数据处理

对测量结果进行处理是为了找出被测量最可信的数值以及评定这一数值所包

含的误差。在相同的测量条件下,对同一被测量进行连续测量,得到一测量列。测量列中可能同时存在系统误差、随机误差和粗大误差,因此必须对这些误差进行处理。

1) 系统误差的发现和消除。

系统误差一般通过标定的方法获得。从数据处理的角度出发,发现系统误差的方法有多种,直观的方法是“残差观察法”,即根据测量值的残余误差,列表或作图进行观察。若残差大体正负相同,无显著变化规律,则可认为不存在系统误差;若残差有规律地递增或递减,则存在线性系统误差;若残差有规律地逐渐由负变正或由正变负,则存在周期性系统误差。当然这种方法不能发现定值系统误差。

发现系统误差后需采取措施加以消除。若已知测量结果(即未修正的结果)中包含的系统误差大小和符号,则可用测量结果减去已知的系统误差值,从而获得不含(或少含)系统误差的测量结果(已修正结果)。也可将已知系统误差取相反的符号,变为修正值,并用代数法将此修正值与未修正测量结果相加,从而计算出已修正的结果。

用简式表示为测量结果=读数-修正值(初始值)

还可以用两次读数方法消除系统误差等。例如,测量螺纹参数时,可以分别测出左右牙面螺距,然后取平均值,则可减小安装不正确引起的系统误差。

2) 测量列随机误差的处理。

为了正确地评定随机误差,在测量次数有限的情况下,必须对测量列进行统计处理。

(1) 测量列的算术平均值 \bar{x} :在评定有限测量次数测量列的随机误差时,必须获得真值,但真值是不知道的,因此,只能从测量列中找到一个接近真值的数加以代替,这就是测量列的算术平均值。

在同一条件下,对同一个量进行多次(n)重复测量,由于测量误差的影响,将得到一系列不同的测得值 x_1, x_2, \dots, x_n ,这些量的算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2-10)$$

如果在消除了系统误差的前提下,对某一量进行无数次等精度测量,所有测得值的算术平均值就等于真值。

证明如下:由 $\delta = \chi - \chi_0$ 得 $\delta_1 = \chi_1 - x_0$

$$\delta_2 = \chi_2 - x_0$$

...

$$\delta_n = \chi_n - x_0$$

各式相加得

$$\sum_{i=1}^n \delta_i = \sum_{i=1}^n \chi_i - n\chi_0$$

由随机误差特性(抵偿性)可知,当 $n \rightarrow \infty$ 时, $\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} \rightarrow 0$, 所以

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = x_0$$

事实上,做无数次测量是不可能的,在进行有限次测量,仍可证明各次测得值的算术平均值 \bar{x} 最接近真值 x_0 。所以,当测量列中没有系统误差和粗大误差时,一般取全部测得值的算术平均值 \bar{x} 作为测量结果。

(2) 残差及其应用。

残差是指测量列中的一个测得值 x_i 和该测量列的算术平均值 \bar{x} 之差,记作 ν_i 。

$$\nu_i = x_i - \bar{x} \quad (2-11)$$

由符合正态分布规律的随机误差的分布特性可知残差具有两个特性:

- ① 残差的代数和等于零,即 $\sum_{i=1}^n \nu_i = 0$ 。
- ② 残差的平方和为最小,即 $\sum_{i=1}^n \nu_i^2 = \min$ 。

实际应用中,常用 $\sum_{i=1}^n \nu_i = 0$ 来验证数据处理中求得的 \bar{x} 与 ν_i 是否正确。

对于有限测量次数的测量列,由于真值未知,所以其随机误差 δ_i 也是未知的,为了方便评定随机误差,在实际应用中,常用残差 ν_i 代替 δ_i 计算总体标准偏差,此时所得之值称为总体标准 σ 的估计值。用下式表示为

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i^2}{n-1}} \quad (2-12)$$

总体标准偏差 σ 的估计值 S 称为实验标准偏差,简称标准差。当将一系列 n 次测量作为总体取样时,可用 S 代替评定总体标准偏差。

由式(2-7)估算出 S 后,便可取 $\pm 3S$ 代替作为单次测量的极限误差。即

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3S \quad (2-13)$$

③ 测量列算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 。

如前所述,当重复测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时,测得值的算术平均值 \bar{x} 比任何一个测得值 x_i 都接近真值 x_0 。但实际测量的次数总是有限的,算术平均值本身也是一个随机变量,且都围绕着真值变动,但重复测量的算术平均值的变动范围比单次测得值的变动范围小,有理由认为重复测量的算术平均值精度比单次测量的精度高。因此,其精度指标也要用相应的算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 来表示。

σ 表示测量列中单次测得值 x_i 对真值 x_0 的分散程度。 $\sigma_{\bar{x}}$ 表示平均值 \bar{x} 对真

值 x_0 的分散程度。根据误差理论,算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 与测量列中单次测量的标准偏差 σ 有如下关系(公式推导略):

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2-14)$$

式中 n ——每组的测量次数。

由式(2-11)可知,增加测量次数,算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 将减小,即测量精度可提高。但当 S 一定时, $n > 10$ 以后, $\sigma_{\bar{x}}$ 减小缓慢,故在实际生产中,一般情况下取 $n \leq 10$ 。

测量列算术平均值的测量极限误差可表示为

$$\delta_{\text{lim}(\bar{x})} = \pm 3\sigma_{\bar{x}} \quad (2-15)$$

测量列的测量结果可表示为

$$x_0 = \bar{x} \pm \delta_{\text{lim}(\bar{x})} = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} = \bar{x} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2-16)$$

这时的置信概率 $P=99.73\%$ 。

3) 粗大误差的处理。

粗大误差的特点是数值比较大,对测量结果产生明显的歪曲,对它的处理原则是:按一定规则从测量数据中将其剔除。判断粗大误差常用拉依达准则,又称 3σ 准则。

当测量列服从正态分布时,在 $\pm 3\sigma$ 外的残差的概率仅有 0.27% ,即在连续 370 测量中只有一次测量的残差超出 $\pm 3\sigma$ ($370 \times 0.0027 \approx 1$),而实际上连续测量的次数绝不会超过 370 次,测量列中就不应该有超过 $\pm 3\sigma$ 的残差。因此,在有限次测量时,凡残余误差超过 $3S$ 时,即

$$|\nu_i| > 3S$$

则认为该残差对应的测得值含粗大误差,应予以剔除。

当测量次数小于或等于 10 次时,不能使用拉依达准则。

例 2-2 用立式光学计对一个直径为 $\phi 25_{-0.006}^0$ 的轴,在某一截面上做等精度测量,重复测量 10 次,测得值 χ_i 列于下表中;假设系统误差已消除,粗大误差已剔除,试确定测量结果。

解:(1) 计算测量列的算术平均值 \bar{x} 。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \chi_i}{n} = \frac{249.997}{10} = 24.9997 \text{ mm}$$

所以轴的直径可靠值为 $\phi 24.9997 \text{ mm}$ 。

(2) 列表计算残差 ν 。

序号	系列测得值 χ_i/mm	残余误差 $v_i/\mu\text{m}$ $v_i = \chi_i - \bar{x}$	残余误差的平方 $v_i^2/\mu\text{m}^2$
1	24.999 4	-0.3	0.09
2	24.999 9	+0.2	0.04
3	24.999 9	+0.2	0.04
4	24.999 4	-0.3	0.09
5	24.999 9	+0.2	0.04
6	24.999 8	+0.1	0.01
7	24.999 6	-0.1	0.01
8	24.999 8	+0.1	0.01
9	24.999 8	+0.1	0.01
10	24.999 5	-0.2	0.04
	算术平均值 $\bar{x}=24.999 7 \text{ mm}$	$\sum_{i=1}^n v_i = 0$ (无系统误差)	$\sum_{i=1}^n v_i^2 = 0.38 \mu\text{m}^2$

(3) 计算测量列单次测量的标准偏差 σ 。

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.38}{9}} \mu\text{m} = 0.21 \mu\text{m}$$

(4) 计算算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 。

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.21}{\sqrt{10}} \mu\text{m} = 0.066 4 \mu\text{m}$$

(5) 测量列单次测量的极限误差 δ_{lim} 。

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma = \pm 3S = \pm 3 \times 0.21 = \pm 0.63 \mu\text{m} \approx \pm 0.000 6 \text{ mm}$$

(6) 测量列算术平均值的极限误差 $\delta_{\text{lim}(\bar{x})}$ 。

$$\delta_{\text{lim}(\bar{x})} = \pm 3\sigma_{\bar{x}} = \pm 3 \times 0.066 4 = \pm 0.199 \mu\text{m} \approx \pm 0.002 \text{ mm}$$

(7) 测量结果。

① 用平均值表示： $\chi = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} = 24.999 7 \pm 0.002 \text{ mm}$

② 还可用单次测得值表示(如第 7 次测得值)： $\chi'_7 = 24.999 6 \pm 0.000 6 \text{ mm}$

24.999 7(24.999 6)是测量结果, ± 0.002 ($\pm 0.000 6$)是随机误差可能存在的范围。比较两式可以看出, 单次测量结果的误差大, 测量可靠性差; 因此, 精密测量中常用重复测量的测得值的算术平均值作为测量结果, 用算术平均值的标准偏差或算术平均值的极限误差评定算术平均值的精密度。

2.3.4 关于测量精度的几个概念

测量精度是指测得值与其真值的接近程度。测量精度和测量误差从两个不同的角度说明了同一个概念。测量精度越高, 则测量误差就小, 反之, 测量误差就越大。

由于在测量过程中存在系统误差和随机误差,从而有以下概念:

1) 正确度:在规定的条件下测量结果与真值的符合程度。它表示测量结果中系统误差对测量结果的影响程度。若系统误差小,则正确度高。

2) 精密度:在一定条件下进行多次测量时,各测得值彼此之间的一致性程度。它表示随机误差对测量结果的影响程度。若随机误差小,则精密度高。

3) 准确度(精确度):表示测量结果与真值的一致程度。它是系统误差和随机误差综合影响的程度。若系统误差和随机误差都小,则准确度高。

一般说来,精密度高而正确度不一定高,但精确度高时,精密度和正确度必定都高。

以射击打靶为例加以说明,如图 2-13(a)所示,表示打靶精密度高而正确度低,即随机误差小而系统误差大;图 2-13(b)中,表示打靶正确度高而精密度低,即系统误差小而随机误差大;图 2-13(c)中,表示打靶准确度高,即系统误差和随机误差都小;图 2-13(d)中,表示打靶准确度低,即系统误差和随机误差都大。

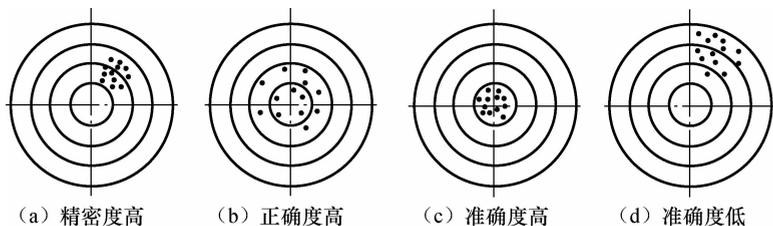


图 2-13 精密度、正确度和准确度



随堂练习

举例说明随机误差、系统误差和粗大误差的特性和不同。如何进行处理?

任务四 光滑工件尺寸的检测

任务分析 >>>

通过对一些光滑工件尺寸的检测,使学生具有利用测量尺寸来判断工件尺寸是否合格和正确选择计量器具的能力。

2.4.1 概述

工件尺寸的检测是使用普通计量器具来测量尺寸,并按规定的验收极限判断工件尺寸是否合格,是兼有测量和检验两种特性的一个综合鉴别过程。

由于存在测量误差,测量孔和轴所得的实际尺寸并非真实尺寸,即

$$\text{真实尺寸} = \text{测得的实际尺寸} \pm \text{测量误差}$$

在生产中,特别是在批量生产时,一般不可能采用多次测量取平均值的办法来减小随机误差以提高测量精度,也不会对温度、湿度等环境因素引起的测量误差进行修正,通常只进行一次测量来判断工件尺寸是否合格。因此,若根据实际尺寸是否超出极限尺寸来判断其合格性,即以孔、轴的极限尺寸作为孔、轴尺寸的验收极限,则当测得值在工件上、下极限尺寸附近时,就有可能将真实尺寸处于公差带之内的合格品判为废品,称为误废,或将真实尺寸处于公差带之外的废品判为合格品,称为误收,误收会影响产品质量,误废会造成经济损失。因此,在测量工件尺寸时,必须正确确定验收极限。

为了保证产品质量,国家标准 GB/T 3177—1997《光滑工件尺寸的检验》对验收原则、验收极限、检验尺寸用的计量器具的选择以及仲裁等作出了规定,以保证验收合格的尺寸位于根据零件功能要求而确定的尺寸极限内。该标准适用于车间使用的普通计量器具(如各种千分尺、游标卡尺、比较仪、指示计等)、公差等级 IT6~IT18以及一般公差(未注公差)尺寸的检验。

2.4.2 验收极限和安全裕度 A

GB/T 3177—1997 规定的验收原则是:所有验收方法应只接收位于规定的尺寸极限之内的工件。即允许有误废而不允许有误收。为了保证零件既满足互换性要求,又将误废减至最少,国家标准规定了验收极限。

1. 验收极限

验收极限是指检验工件尺寸时判断其尺寸合格与否的尺寸界限。国家标准规定了两种验收极限方式,并明确了相应的计算公式。

方式一:内缩的验收极限

内缩的验收极限是从规定的上极限尺寸和下极限尺寸分别向工件公差带内移动一个安全裕度(A)来确定,如图 2-14 所示。

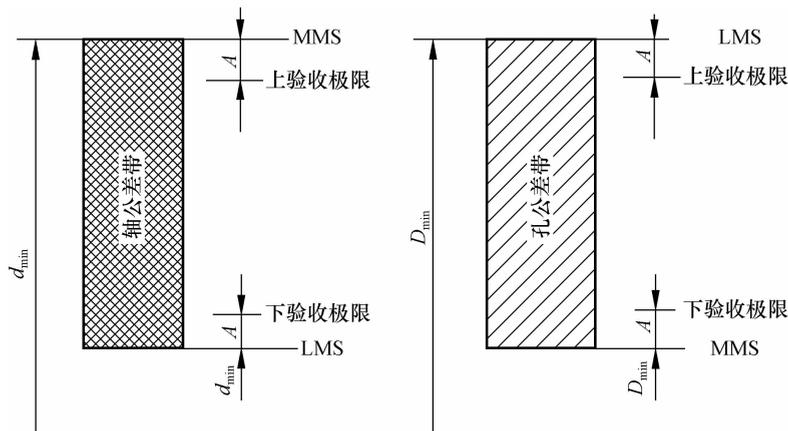


图 2-14 验收极限的配置

安全裕度 A , 即测量不确定度(由于测量误差的存在而使被测量值不能肯定的程度)的允许值。测量不确定度, 由测量器具的不确定度 u_1 ($u_1 = 0.9A$) 和温度、工件形位误差与压陷效应及测量方法误差等因素所引起的不确定度 u_2 ($u_2 = 0.45A$) 两部分组成, 其误差合成为 $\sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{(0.9A)^2 + (0.45A)^2} \approx 1A$ 。 A 值选择得大, 易于保证产品质量, 但生产公差减小过多, 废品率相应增大, 加工的经济性差。 A 值选择得小, 加工经济性好, 但为了保证较小的误收率, 就要提高对计量器具精度的要求, 带来计量器具选择的困难。因此国家标准规定 A 值按工件公差的 $1/10$ 确定, 其数值见表 2-6。

表 2-6 安全裕度 A 及测量器具不确定度允许值 u_1 mm

工件公差		安全裕度 A	测量器具不确定度允许值 U_1	工件公差		安全裕度 A	测量器具不确定度允许值 U_1
大于	小于			大于	小于		
0.009	0.018	0.001	0.000 9	0.180	0.320	0.018	0.016
0.018	0.032	0.002	0.001 8	0.320	0.580	0.032	0.029
0.032	0.058	0.003	0.002 7	0.580	1.000	0.060	0.054
0.058	0.100	0.006	0.005 4	1.000	1.800	0.100	0.090
0.100	0.180	0.0101	0.009	1.800	3.200	0.180	0.160

工件上验收极限 = 上极限尺寸 - A

工件下验收极限 = 下极限尺寸 + A

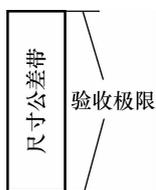


图 2-15 不内缩的验收极限

由于验收极限向工件的公差带内移动, 为了保证验收时合格, 在生产时工件不能按原来的极限尺寸加工, 应按由验收极限所确定的范围生产, 这个范围称为“生产公差”。

生产公差 = 上验收极限 - 下验收极限

方式二: 不内缩的验收极限

不内缩的验收极限等于规定的上极限尺寸和下极限尺寸, 即 A 值等于零, 如图 2-15 所示。

2. 验收极限方式的选择

验收极限方式的选择要结合尺寸功能要求及其重要程度、尺寸公差等级、测量不确定度和工艺能力等因素综合考虑。具体考虑如下:

- 1) 对遵守包容要求的尺寸、公差等级小的尺寸, 其验收极限按方式一确定。
- 2) 当工艺能力指数 ≥ 1 时, 其验收极限可以按方式二确定。但对遵守包容要求的尺寸, 最大实体极限的验收极限仍应按方式一确定。

工艺能力指数 C_p 是工件公差值 T 与加工设备工艺能力 $c\sigma$ 之比。 c 是常

数,工件尺寸遵循正态分布时 $c=6$; σ 是加工设备的标准偏差, $Cp=T/6\sigma$ 。

- 3) 对偏态分布的尺寸,其验收极限可以仅对尺寸偏向的一边按方式一确定。
- 4) 对非配合和一般公差的尺寸,其验收极限按方式二确定。

2.4.3 计量器具的选择

1. 检验条件的要求

- 1) 工件尺寸是否合格一般只按一次测量结果来判断。
- 2) 考虑到普通计量器具的特点(即两点法测量),一般只用来测量尺寸,不用来测量工件上可能存在的形位误差。
- 3) 对偏离测量的标准条件(温度 20°C ,测量力为零)所引起的误差以及测量器具和标准器具不显著的系统误差等一般不进行修正。

2. 测量器具的选择原则

- 1) 选择计量器具应与被测工件的外形、位置、尺寸的大小及被测参数特性相适应,使所选计量器具的测量范围能满足工件的要求。
- 2) 选择计量器具应考虑工件的尺寸公差,使所选计量器具的测量不确定度值既能保证测量精度要求,又能符合经济性要求。

检验国家标准规定:按照计量器具的测量不确定度允许值 u_1 选择计量器具。应使所选用的计量器具的测量不确定度 u'_i 小于或等于标准规定的 u_1 , 即 $u'_i \leq u_1$ 。

表 2-7、表 2-8 给出了车间常用的千分尺、游标卡尺、比较仪的测量不确定度。

表 2-7 千分尺和游标卡尺的不确定度 u'_i

mm

尺寸范围		计量器具类型			
		分度值 0.01 外径千分尺	分度值 0.01 内径千分尺	分度值 0.02 游标千分尺	分度值 0.01 游标千分尺
大于	至	测量不确定			
0	50	0.004	0.008	0.20	0.050
50	100	0.005			
100	150	0.006			
150	200	0.007	0.013		0.100
200	250	0.008			
250	300	0.009			
300	350	0.010			
350	400	0.010	0.020		
400	450	0.012			
450	500	0.013		0.025	

表 2-8 比较仪的不确定度 u_i'

mm

工件尺寸范围		所使用的测量器具			
		分度值 0.000 5 (相当于放大 倍数 2 000 倍) 的比较仪	分度值 0.001 (相当于放大 倍数 1 000 倍) 的比较仪	分度值 0.002 (相当于放大 倍数 400 倍) 的比较仪	分度值 0.005 (相当于放 大倍数 250 倍) 的比较仪
大于	至	测量不确定			
	25	0.000 6	0.001 0	0.001 7	0.003 0
25	40	0.000 7		0.001 8	
40	65	0.000 8	0.001 9		
65	90	0.000 8		0.001 3	
90	115	0.000 9	0.002 0		
115	165	0.001 0		0.002 1	
165	215	0.001 2	0.002 2		0.003 5
215	265	0.001 4			
265	315	0.001 6			

2.4.4 计量器具选择示例

例 2-3 被测工件尺寸为 $\phi 40h8(-0.039)$, 试选择测量器具并确定验收极限。

解: (1) 确定安全裕度 A 和测量器具不确定度允许值 u_1 。已知工件公差 $IT = 0.039$, 由表 2-6 中查得 安全裕度 $A = 0.003$

测量器具不确定度允许值 $u_1 = 0.002 7$

(2) 选择测量器具 工件尺寸为 $\phi 40$ mm, 由表 3-8 中查得分度值 $i = 0.002$ mm, 放大倍数为 400 倍的比较仪的不确定度 $u_i' = 0.001 8$ mm $< u_1 = 0.002 7$ mm, 满足使用要求, 并且经济合理。

(3) 确定验收极限。

$$\begin{aligned} \text{上验收极限} &= MMS - A = d_{\max} - A = [(d + es) - A] \\ &= [(40 + 0) - 0.003] \text{ mm} = 39.997 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{下验收极限} &= LMS + A = d_{\min} + A = [(d + ei) + A] \\ &= [(40 - 0.039) + 0.003] \text{ mm} = 39.964 \text{ mm} \end{aligned}$$



随堂练习

某轴的尺寸为 $\phi 20f10$, 试选择测量器具并确定验收极限。

习 题

2-1 测量的实质是什么? 机械制造中测量技术有哪几个问题?

2-2 根据 GB 6093—2001 规定的 46 块成套量块,选择组成 $\phi 42n6$ 的两个极限尺寸的量块组。

2-3 对某一尺寸进行 15 次等精度测量,各次的测得值按顺序记录如下(单位:mm):

10.013 10.011 10.010 10.012 10.014 10.011 10.010
10.011 10.015 10.012 10.013 10.010 10.013 10.012 10.014

- (1) 判断有无粗大误差。
- (2) 确定测量列有无系统误差。
- (3) 求出测量列任一测得值的标准偏差。
- (4) 求出测量列总体算术平均值的标准偏差。
- (5) 分别求出算术平均值表示的测量结果和第 8 次测得值表示的测量结果。

2-4 某主轴箱锁紧块(相当于轴)的尺寸为 $\phi 35_{-0.089}^{+0.050}$ mm,试选择测量器具,并确定验收极限。