

第3章

测量技术基础

本章结构与主要知识点



准确地对零件进行测量和检验，是评判零件是否合格、是否具有互换性的基础和保证。本章将介绍测量与检验、测量器具、测量方法等基本概念，对测量误差及数据处理做重点阐述，并对测量应遵循的基本原则做简要说明。

3.1 测量的基本概念

3.1.1 测量、检验与检定

1. 测量的定义

测量是指确定量值所进行的一组操作，即将被测量与具有确定计量单位的标准量进行比较，确定被测量量值的操作过程。若被测量为 L ，标准量为 E ，则测量就是确定 L 与 E 的比值关系，即 $q=L/E$ ，因此对被测量 L 的测量结果可表示为

$$L = qE \quad (3-1)$$

上式表明，测量过程必须包含被测量和计量单位。此外，还应包含二者如何比较及比较结果的准确度等内容。

2. 测量四要素

一个完整的测量过程应包括以下4个方面，即测量对象、计量单位、测量方法和测量准确度。

1) 测量对象

本课程涉及的测量对象指机械几何量，包括长度、角度、几何误差、表面粗糙度，以及更复杂的螺纹、齿轮等零件中的几何参数等。

2) 计量单位

1984年2月，国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，明确规定我国的法定计量制度采用国际单位制。其中，长度计量单位为“米”(m)，平面角的计量单位为“弧度”(rad)。工程中，长度计量的常用单位有毫米(mm)和微米(μm)，平面角计量的常用单位有度、分和秒。

“米”的定义最早见于1875年由法、俄、德等17个国家签署的一项国际公约——《米制公约》。随着科学技术的进步，米的定义也在不断演进，由实物基准逐渐走向量子基准（由物理常数定义）。在2018年召开的国际计量大会（CGPM）上对米的定义进行了修订：规定从2019年5月20日起，米的定义更新为：当真空中光速 c 以m/s为单位表示时，选取固定数值299 792 458来定义，即真空中的光速 c 为299 792 458m/s。其中，秒由铯的频率 $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ 来定义，即铯-133原子不受干扰的基态超精细能级跃迁频率以单位Hz表示时，选取固定数值9 192 631 770。

3) 测量方法

测量方法是对测量过程中使用的操作所给出的逻辑性安排的一般性描述，包括所采用的测量原理、测量条件和测量器具等。测量方法可用不同方式描述，如替代测量法、零位测量法、间接测量法等。测量方法的分类详见3.2节。

4) 测量准确度

测量准确度是指测量结果与真值的相符合程度。因它不是一个量，所以不给出具体的数字量值。由于在测量过程中不可避免地存在或大或小的测量误差，误差大可以说测量结果的准确度高，误差小则说测量结果的准确度高。术语“测量准确度”不应与“测量正确度”“测量精密程度”相混淆，详见3.2节的说明。

3. 检验与检定

技术测量与技术监督过程中，检验与检定是两个使用频率非常高的术语。

所谓检验，是指判断被检对象合格与否的过程，包括使用通用计量器具对被测对象进行测量，将测量值与给定公差范围进行比较，并做出合格性结论，也可以使用专用量具直接判断被检对象的合格性。

所谓检定，是指查明或确认测量仪器符合法定要求的活动，包括检查、加标记和/或出具检定证书。合格的测量仪器应按规定的周期和程序，进行首次检定和定期的后续检定。

3.1.2 尺寸传递

1. 长度量值传递系统

前述关于米的定义，实际上是以光速为常数、以极其精确的时间计量为基准，虽然准确可靠，但不能直接用于工程测量。为了保证长度测量量值的统一，必须建立从长度基准到生产中使用的各种测量器具，直至工件的量值传递系统。量值传递是通过对比、校准、检定和测量，将国家计量基准复现的单位量值，经计量标准、工作计量器具逐级传递到被测对象的全部过程。我国的长度量值传递系统如图3-1所示。

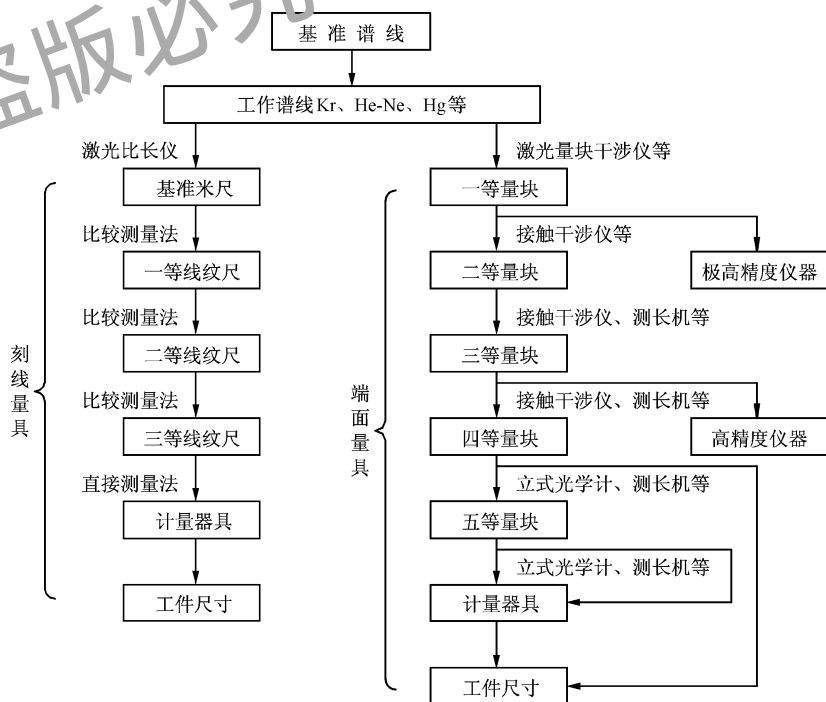


图 3-1 我国的长度量值传递系统

由图 3-1 可知，长度量值传递系统有两种实体基准：线纹尺（刻线量具）和量块（端面量具）。其中，量块应用较广。



文 02 长度标准：量块

2. 量块

量块是指具有一对相互平行的测量面，且两个平行面间具有准确尺寸，其横截面为矩形，如图 3-2 (a) 所示等形式的实物量具。按其材质分为钢制量块、硬质合金量块和陶瓷量块等。量块除可作长度基准外，生产中还可以用来检定和校准测量工具或量仪、调整量具或量仪的零位，有时也可直接用于精密测量、精密画线和精密机床的调整。

1) 量块长度

量块长度是指量块一个测量面上的任意点到与其相对的另一个测量面相研合的辅助体表面之间的垂直距离，辅助体的材料和表面质量应与量块相同，如图 3-2 (b) 所示。这里，“量块任意点”不包括距测量面边缘为 0.8mm 区域内的点。

2) 量块中心长度 l_c

量块中心长度是指对应于量块未研合测量面中心点的量块长度，如图 3-2 (b) 所示。

3) 量块标称长度 l_n

量块标称长度是指标记在量块上，用于表明其与主单位 (mm) 之间关系的量值，也称为量块长度的示值，如图 3-2 (a) 中测量面或侧面上标记的数字 3 与 10。

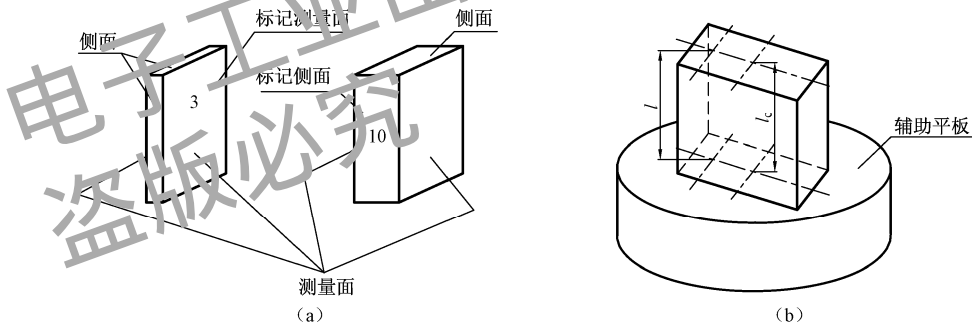


图 3-2 量块

4) 量块长度偏差 e

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 $e = l - l_n$ 。

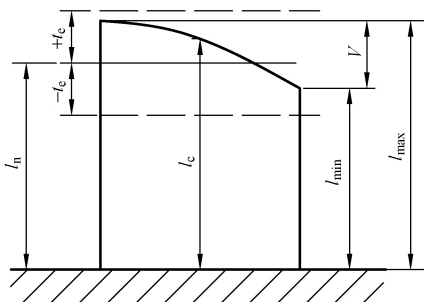


图 3-3 量块长度变动量

图 3-3 中的“ $+t_e$ ”和“ $-t_e$ ”为量块长度的极限偏差，显然，合格的量块应满足 $+t_e \geq e \geq -t_e$ 。

5) 量块长度变动量 V

量块长度变动量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 $V = l_{\max} - l_{\min}$ ，如图 3-3 所示。

6) 研合性

研合性是指量块的一个测量面与另一个量块测量面或另一个经精加工的类似量块测量面的表面，通过分子力

的作用而相互黏合的性能。

量块按准确度级别分为0级、1级、2级和3级，其中，0级的准确度最高，3级的准确度最低。国家标准 GB/T 6093—2001《几何量技术规范（GPS）长度标准 量块》对0~3级与K级（校准级）量块，除规定量块长度相对于标称长度的极限偏差 t_e 和量块长度变动量最大允许值 t_v 外（见表3-1），对量块测量面的平面度、粗糙度及研合性等均给出定量指标。

表3-1 量块长度的极限偏差与量块长度变动量最大允许值（摘自 GB/T 6093—2001）

标称长度 l_n/mm	K级		0级		1级		2级		3级	
	$\pm t_e/\mu\text{m}$	$t_v/\mu\text{m}$	$\pm t_e/\mu\text{m}$	$t_v/\mu\text{m}$	$\pm t_e/\mu\text{m}$	$t_v/\mu\text{m}$	$\pm t_e/\mu\text{m}$	$t_v/\mu\text{m}$	$\pm t_e/\mu\text{m}$	$t_v/\mu\text{m}$
$l_n \leq 10$	0.20	0.05	0.12	0.10	0.20	0.16	0.45	0.30	1.0	0.50
$10 < l_n \leq 25$	0.30	0.05	0.14	0.10	0.30	0.16	0.60	0.30	1.2	0.50
$25 < l_n \leq 50$	0.40	0.06	0.20	0.10	0.40	0.18	0.80	0.30	1.6	0.55
$50 < l_n \leq 75$	0.50	0.06	0.25	0.12	0.50	0.18	1.00	0.35	2.0	0.55
$75 < l_n \leq 100$	0.60	0.07	0.30	0.12	0.60	0.20	1.20	0.35	2.5	0.60

注：距离测量面边缘0.8mm范围内不计。

在使用过程中，由于磨损等原因使量块的实际尺寸发生变化，因此需要定期检定。各级计量部门常按量块检定的实际尺寸来使用，这样可获得比量块制造精度更高的精度。因此，国家计量检定规程《量块》（JJG 146—2011）中，主要以量块长度的测量不确定度、长度变动量允许值，将其分为1~5等，表3-2为具体允许数值。

表3-2 量块长度的测量不确定度与长度变动量最大允许值（摘自 JJG 146—2011） 单位： μm

标称长度 l_n/mm	1等		2等		3等		4等		5等	
	测量不确定度	长度变动量	测量不确定度	长度变动量	测量不确定度	长度变动量	测量不确定度	长度变动量	测量不确定度	长度变动量
$l_n \leq 10$	0.02	0.05	0.06	0.10	0.11	0.16	0.22	0.30	0.6	0.5
$10 < l_n \leq 25$	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.16	0.25	0.30	0.6	0.5
$25 < l_n \leq 50$	0.030	0.06	0.08	0.10	0.15	0.18	0.30	0.30	0.8	0.55
$50 < l_n \leq 75$	0.035	0.06	0.09	0.12	0.18	0.18	0.35	0.35	0.9	0.55
$75 < l_n \leq 100$	0.040	0.07	0.10	0.12	0.20	0.20	0.40	0.35	1.0	0.6

注：① 距离测量面边缘0.8mm范围内不计。

② 表内测量不确定度置信概率为0.99。

量块是定尺寸量具，为了满足不同的尺寸要求，量块按一定尺寸系列成套生产供应。GB/T 6093—2001规定，一套量块可有91块、83块、46块、38块等17种规格。现以91块一套的量块为例，列出其规格如下：

间隔 0.01mm:	1.01, 1.02, ..., 1.49	共 49 块
间隔 0.1mm:	1.5, 1.6, ..., 1.9	共 5 块
间隔 0.5mm:	2.0, 2.5, ..., 9.5	共 16 块
间隔 10mm:	10, 20, ..., 100	共 10 块
间隔 0.001mm:	1.001, 1.002, ..., 1.009	共 9 块
	1, 0.5	各 1 块

使用量块时，应合理选择若干量块组成所需的尺寸。为减小量块的组合误差，应尽量减少量块组的数目，通常不超过4块。具体的选择方法是：按照所需尺寸的最后一个尾数选取具有相同尾数的第一块，然后以此类推逐块选取。例如，需要组合的尺寸为43.676mm，量块组可选为1.006mm、1.17mm、1.5mm和40mm，共4块。具体过程如下：

量块组合尺寸：	43.676
选第一块：	- 1.006

	42.67
选第二块：	- 1.17

	41.5
选第三块：	- 1.5

选第四块：	40

3. 角度传递系统

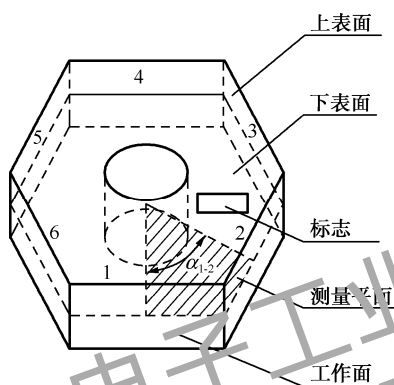


图 3-4 正多面棱体

角度也是机械制造中的重要几何参数之一。由于一个圆周角为 360° ，因此角度测量不需要像长度一样定义自然基准。在计量部门，为了方便起见，一般使用多面棱体作为角度参数的实物基准。机械制造中的角度基准主要有角度量块、测角仪和分度头等。

G3/1 22525—2008《正多面棱体》规定了各相邻平面法线间的夹角为等值测量角，以及具有准确角度值的正多边形的实物量具，如图3-4所示。其中，棱体的工作面面数有20种，见表3-3；棱体的准确度等级有0级、1级、2级、3级，其工作角偏差的允许值见表3-4。

以多面棱体作为角度基准的量值传递系统如图3-5所示。

表 3-3 正多面棱体的工作面面数及标称工作角

序 号	工作面面数/个	标称工作角	序 号	工作面面数/个	标称工作角
1	4	90°	11	19	$18^\circ 56' 50.5''$
2	6	60°	12	20	18°
3	8	45°	13	23	$15^\circ 39' 7.8''$
4	9	40°	14	24	15°
5	10	36°	15	28	$12^\circ 51' 25.7''$
6	12	30°	16	32	$11^\circ 15'$
7	15	24°	17	36	10°
8	16	$22^\circ 30'$	18	40	9°
9	17	$21^\circ 10' 35.3''$	19	45	8°
10	18	20°	20	72	5°

表 3-4 正多面棱体工作角偏差的允许值

准确度等级	工作面面数	
	≤24	>24
	工作角偏差的允许值/°	
0	±1	±2
1	±2	±3
2	±5	
3	±10	

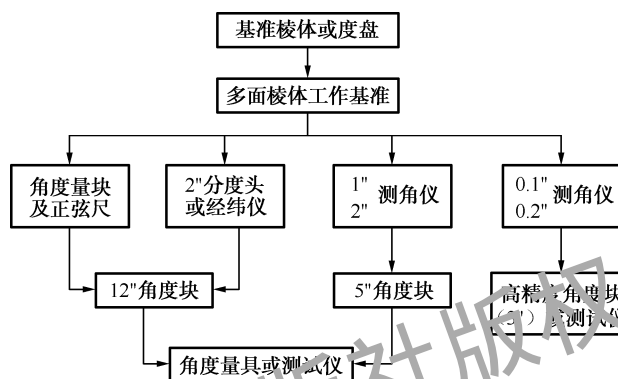


图 3-5 以多面棱体作为角度基准的量值传递系统

3.2 测量器具与测量方法的分类及常用术语

3.2.1 测量器具的分类

测量器具有多种不同的分类方法。通常按工作原理、结构特点及用途等，将其分为标准测量器具、通用测量器具、专用测量器具和检验夹具。

1. 标准测量器具

标准测量器具是指测量时体现标准量的测量器具。这种测量器具通常只有某一个固定尺寸，常用来校对和调整其他测量器具，或作为标准量与被测工件进行比较，如量块、直角尺、各种曲线样板和标准量规等。

2. 通用测量器具

通用测量器具是指通用性强，可测量某一范围内任一尺寸（或其他几何量），并能获得具体读数值测量器具。按其结构，又可分为以下几种：

- (1) 固定刻线量具，如钢直尺、卷尺等；
- (2) 游标量具，如游标卡尺、深度游标卡尺、高度游标卡尺及游标量角器等；
- (3) 微动螺旋副式量仪，如外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺等；

- (4) 机械式量仪，如百分表、千分表、杠杆百分表、杠杆千分表、扭簧比较仪等；
- (5) 光学式量仪，如光学计、测长仪、投影仪、干涉仪等；
- (6) 气动式量仪，如水柱式气动量仪、浮标式气动量仪等；
- (7) 电动式量仪，如电感式量仪、电容式量仪、电接触式量仪、电动轮廓仪等；
- (8) 光电式量仪，如光电显微镜、激光干涉仪等。

3. 专用测量器具

专用测量器具是指专门用来测量某种特定参数的器具，如圆度仪、渐开线检查仪、丝杠检查仪、极限量规等。

4. 检验夹具

检验夹具是指与量具、量仪和定位元件等组合的一种专用检验工具。当与各种比较仪配合使用时，能用来检验更多、更复杂的参数。



文 03 卡尺的起源和变迁

文 04 卡尺你真的了解吗

文 05 这些“奇怪”的千分

文 06 术语集：常见量具

尺，你见过吗？

的各部位名称知多少？

3.2.2 测量方法的分类

广义的测量方法，是指所采用的测量原理、测量器具和测量条件的总和。实际工作中，往往单纯从获得测量结果的方式来理解测量方法，并按其不同特征进行分类。

1. 直接测量法与间接测量法

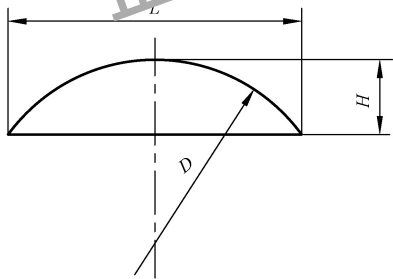


图 3-6 劣弧直径的测量

直接测量法是指不必测量与被测量有函数关系的其他量，就能直接得到被测量值的测量方法。例如，用游标卡尺测量轴类零件的直径和长度。

间接测量法是指通过测量与被测量有函数关系的其他量，再通过函数关系的计算，求得被测量值的测量方法。如图 3-6 所示，采用弦高法求某圆弧样板的劣弧（通常把小于半圆的圆弧称为劣弧）直径 D ，首先测量其弦高 H 和弦长 L ，再按下式求出直径 D ，这就是间接测量法。

$$D = \frac{L^2}{4H} + H$$

2. 绝对测量法与相对测量法

绝对测量法是指从测量器具上直接得到被测参数的整个量值。

相对测量法是指从测量器具上直接得到的数值是被测量相对于标准量的偏差值。

绝对测量法、相对测量法都属于直接测量法。前述例子如游标卡尺测量轴类零件的直径、长度为绝对测量，而立式或卧式光学比较仪的测量（见图 3-7）为相对测量。