



第3章 测量技术基础

3.1 概述

3.2 长度基准与量值传递

3.3 测量措施与测量器具

3.4 测量误差及其处理


思索题与习题





3.1 概 述



在机械制造业中，判断加工完毕的零件是否符合设计要求，需要经过测量技术来进行。测量技术主要是研究对零件的几何量进行测量和检验的一门技术，其中零件的几何量涉及长度、角度、几何形状、相互位置以及表面粗糙度等。国家原则是实现互换性的基础，测量技术是实现互换性的保证。测量技术就像机械制造业的眼睛一样，处处反映着产品质量的优劣，在生产中占据着举足轻重的地位。 





所谓“测量”，是指拟定被测对象的量值而进行的试验过程。通俗地讲，就是将一种被测量与一种作为测量单位的原则量进行比较的过程。这一过程必将产生一种比值，比值乘以测量单位即为被测量值。测量可用一种基本公式来表达，即

$$L=Q \cdot E \quad (3-1)$$


式中：L——被测量值；

E——测量单位；

Q——比值。





式（3-1）被称为基本测量方程式。它阐明：假如采用的测量单位 E 为 mm ，与一种被测量比较所得的比值 Q 为50，则其被测量值也就是测量成果应为50 mm 。测量单位愈小，比值就越大。测量单位的选择取决于被测几何量所要求的测量精度，精度要求越高，测量单位就应选得越小。 





分析整个测量过程可知，测量涉及下列四个方面的内容：❖

(1) 测量对象：主要指零件的几何量。❖

(2) 测量单位：是指国家的法定计量单位，长度的基本单位是米（m），其他常用单位有毫米（mm）和微米（ μm ）。❖

(3) 测量措施：是指测量时所采用的测量器具、测量原理以及检测条件的综合。



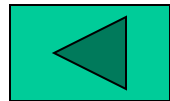


(4) 测量精度：是指测量成果与真值的一致程度。任何测量都防止不了会产生测量误差。所以，精度和误差是两个相互相应的概念。精度高，阐明测量成果更接近真值，测量误差更小；反之，精度低，阐明测量成果远离真值，测量误差大。由此可知，任何测量成果都是一种表达真值的近似值。





“检验”是一种比“测量”含义更广泛的概念。对于金属内部质量的检验、表面裂纹的检验等，就不能用“测量”这一概念。对于零件几何量的检验，一般只是判断被测零件是否在要求的验收极限范围内，拟定其是否合格，而不一定要拟定其详细的量值。





3.2 长度基准与量值传递

3.2.1 基准的建立

为了确保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：

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






伴随科学技术的进步和发展，国际单位基准“米”也经历了三个不同的阶段。早在1791年，法国政府决定以地球子午线经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经过该米尺作为国际米原器，并要求了1米的定义为“在原则大气压和 0°C 时，国际米原器上两条要求刻线间的距离”。国际米原器由铂铱合金制成，存储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，并经过了有关米的新定义：“米的长度等于氪(^{86}Kr)原子的 $2p_{10}$ 与 $5d_5$ 能级之间跃迁所相应的辐射在真空中波长的 $1\,650\,763.73$ 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，但因氪(^{86}Kr)辐射波长作为长度基准，其复现单位量值的精度受到一定限制。 





所以在1983年的第十七届国际计量大会上审议并同意了又一种米的新定义：“米等于光在真空中在 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内的行程长度”。新定义带有根本性变革，它仍属于自然基准范围，但建立在一种主要的基本物理常数（真空中的光速 $c = 299\,792\,458$ 米/秒）的基础上。 c 常数是一种不存在误差的精确值，用它作为米的定义，精度上不受任何条件的限制，其稳定性和复现性是原定义的100倍以上，实现了质的奔腾。



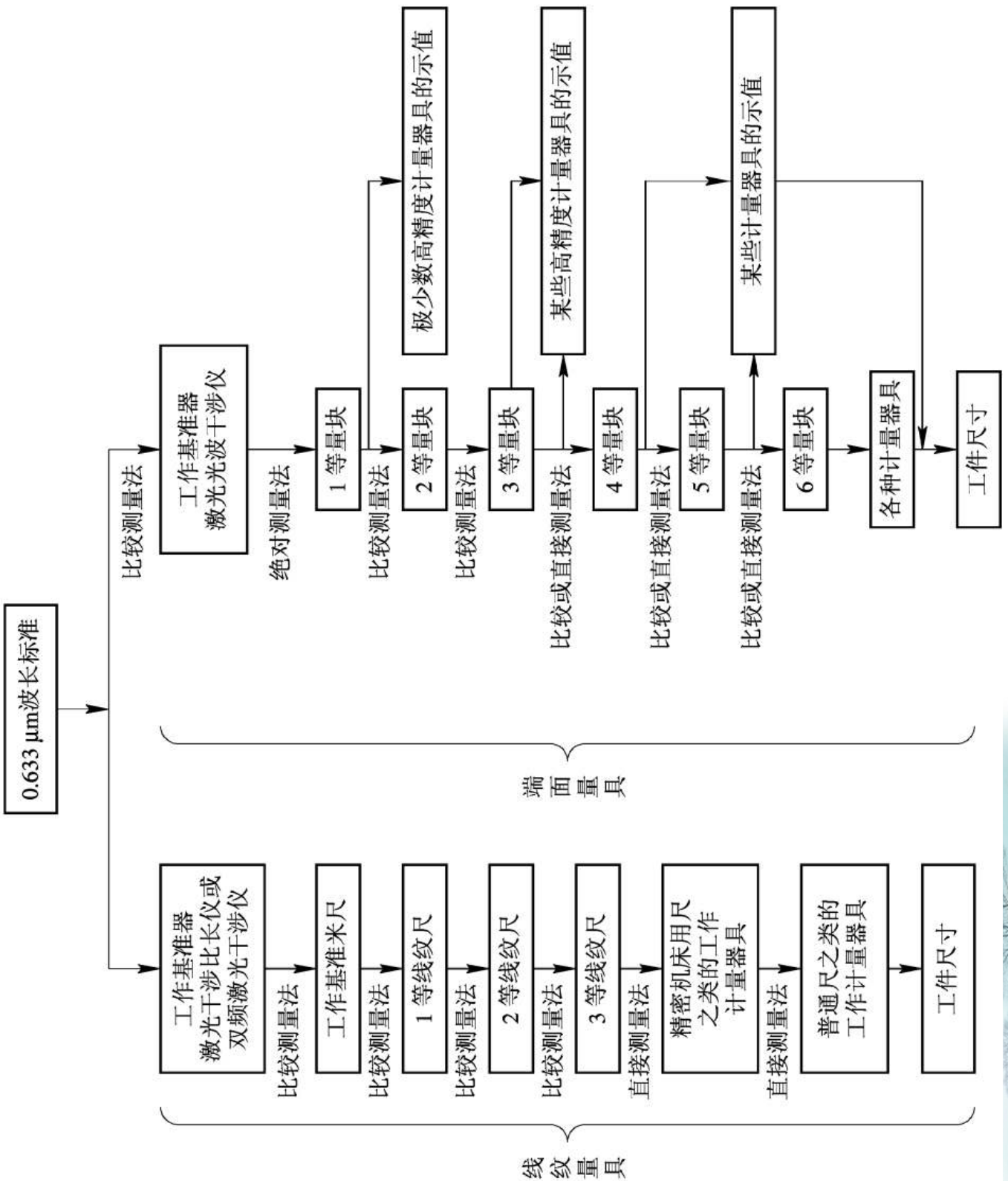


3.2.2 长度量值传递系统 ψ

使用光波长度基准，虽然能够到达足够的精确性，但却不便直接应用于生产中的量值测量。为了确保长度基准的量值能精确地传递到工业生产中去，就必须建立从光波基准到生产中使用的多种测量器具和工件的尺寸传递系统（见图3-1）。目前，量块和线纹尺仍是实际工作中的两种实体基准，是实现光波长度基准到测量实践之间的量值传递媒介。



图 3-1 长度量值传递系统





3.2.3 量块

由图3-1长度量值传递系统可知，量块是机械制造中精密长度计量应用最广泛的一种实体原则，它是没有刻度的平面平行端面量具，是以两相互平行的测量面之间的距离来决定其长度的一种高精度的单值量具。量块的形状一般为矩形截面的长方体和圆形截面的圆柱体（主要应用于千分尺的校对棒）两种，常用的为长方体（见图3-2）。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，非测量面较为粗糙某些。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3-1所示。





表3-1 量块的截面尺寸

量块工作尺寸/mm	截面尺寸/mm ²
<0.5	5×15
$\geq 0.5 \sim 10$	9×30
>10	9×35





量块一般用铬锰钢或其他特殊合金钢制成，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，用以体现测量单位外，还广泛用来检定和校准量块、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，同步还可用于机械行业的精密划线和精密调整等。





1. 量块的中心长度 ψ

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。虽然量块精度很高，但其测量面亦非理想平面，两测量面也不是绝对平行的。可见，量块长度并非到处相等。所以，要求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 来表达，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此量块下测量





面相研合的辅助体（如平晶）表面之间的距离，如图3-3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3-2所示。尺寸不小于6 mm的量块，名义尺寸刻在上测量面上；尺寸不小于等于6 mm的量块，名义尺寸刻在一种非测量面上，而且该表面的左右侧面分别为上测量面和下测量面。



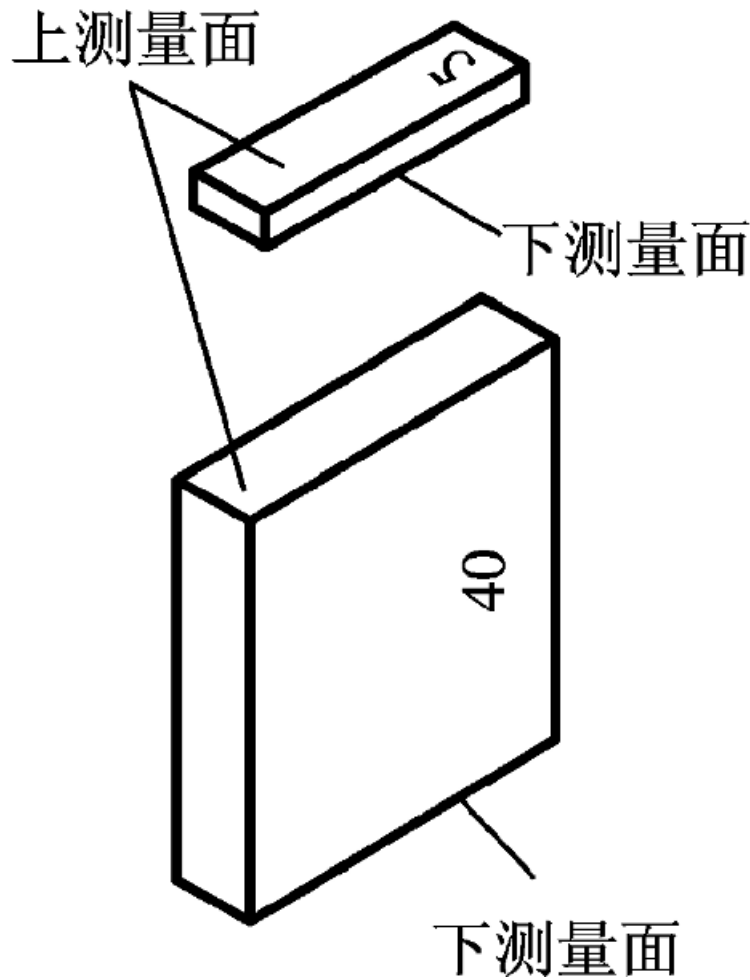


图 3-2 量块



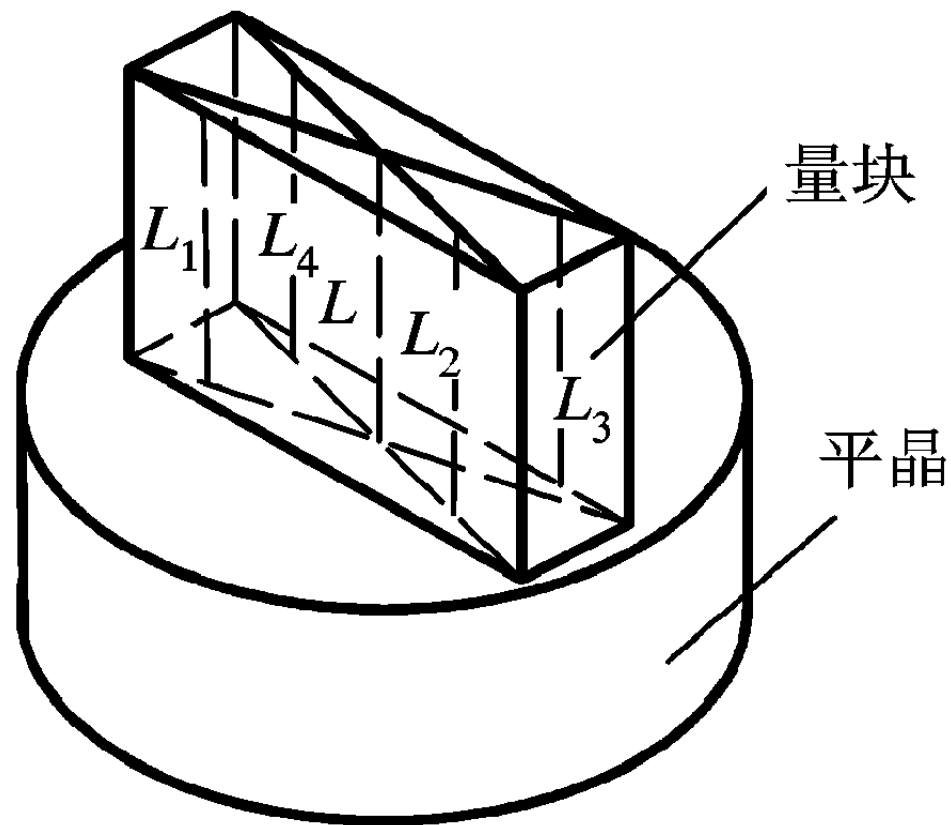


图 3-3 量块的中心长度





2. 量块的研合性 \diamond

每块量块只代表一种尺寸，因为量块的测量平面十分光洁和平整，所以当表面留有一层极薄的油膜时（约 $0.02\ \mu\text{m}$ ），用力推合两块量块使它们的测量平面相互紧密接触，因分子间的亲和力，两块量块便能粘合在一起，量块的这种特征称为研合性，也称为粘合性。利用量块的研合性，就能够把多种尺寸不同的量块组合成量块组，得到所需要的多种尺寸。





3. 量块的组合 ϕ


为了构成多种尺寸，量块是按一定的尺寸系列成套生产的，一套包括一定数量不同尺寸的量块，装在一特制的木盒内。国家量块原则中要求了17种成套的量块系列，从国标GB 6093—85中摘录的几套量块的尺寸系列如附表3-1所示。






4. 量块的精度

1) 量块的分级

按国标的要求，量块按制造精度分为6级，即00、0、1、2、3和K级。其中00级精度最高，依次降低，3级精度最低，K级为校准级。各级量块精度指标见附表3-2。 

量具生产企业根据各级量块的国标要求，在制造时就将量块分了“级”，并将制造尺寸标刻在量块上。使用时，就使用量块上的名义尺寸。这叫做按“级”测量。 



2) 量块的分等

量块按其检定精度，可分为1、2、3、4、5、6六等，其中1等精度最高，依次降低，6等精度最低。各等量块精度指标见附表3-3。

当新买来的量块使用了一个检定周期后（一般为一年），再继续按名义尺寸使用即按“级”使用，组合精度就会降低（因为长时间的组合、使用，量块有所磨损）。所以，就必须对量块重新进行检定，测出每块量块的实际尺寸，并按照各等量块的国家原则将其分成“等”。使用量块检定后的实际尺寸进行测量，叫做按“等”测量。





这么，一套量块就有了两种使用措施。按“级”使用时，所根据的是刻在量块上的名义尺寸，其制造误差忽视不计；按“等”使用时，所根据的是量块的实际尺寸，而忽视的只是检定量块实际尺寸时的测量误差，但可用较低精度的量块进行比较精密的测量。所以，按“等”测量比按“级”测量的精度高。 ❁





5. 量块组合措施及原则 ψ

(1) 选择量块时，不论是按“级”测量还是按“等”测量，都应按照量块的名义尺寸进行选用。若为按“级”测量，则测量成果即为按“级”测量的测得值；若为按“等”测量，则可将测出的成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。 ψ

(2) 组合量块成一定尺寸时，应从所给尺寸的最终一位小数开始考虑，每选一块应使尺寸至少去掉一位小数。 ψ





(3) 使量块块数尽量少，以降低积累误差，一般不超出3~5块。 ❖


(4) 必须从同一套量块中选用，决不能在两套或两套以上的量块中混选。 ❖

(5) 组合时，不能将测量面与非测量面相研合。

(6) 组合时，下测量面一律朝下。





例如：要构成28.935的尺寸，若采用83块一套的量块，参照附表3-1，其选用措施如下： 

28.935

-1.005 第一块量块尺寸为1.005

27.93

-1.43 第二块量块尺寸为1.43


26.5

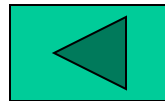
-6.5 第三块量块尺寸为6.5

20

-20 第四块量块尺寸为20

0

以上四块量块研合后的整体尺寸为28.935。 





3.3 测量措施与测量器具

3.3.1 测量措施的分类

在测量中，测量措施是根据测量对象的特点来选择和拟定的，其特点主要是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。主要可分为下列几种：

(1) 据取得被测成果的措施不同，测量措施可分为直接测量和间接测量。





直接测量：测量时，可直接从测量器具上读出被测几何量的大小值。例如：用千分尺、卡尺测量轴径，就能直接从千分尺、卡尺上读出轴的直径尺寸。🔥

间接测量：被测几何量无法直接测量时，首先测出与被测几何量有关的其他几何量，然后，经过一定的数学关系式进行计算来求得被测几何量的尺寸值。例如：如图3-4所示，在测量一种截面为圆的劣弧的几何量所在圆的直径 D （或测量一种较大的柱体直径 D ）时，因为无法直接测量，能够先测出该劣弧的弦长 b 以及相应的弦高 h ，然后经过公式 $D=h+b^2/4h$ 计算出其直径 D 。



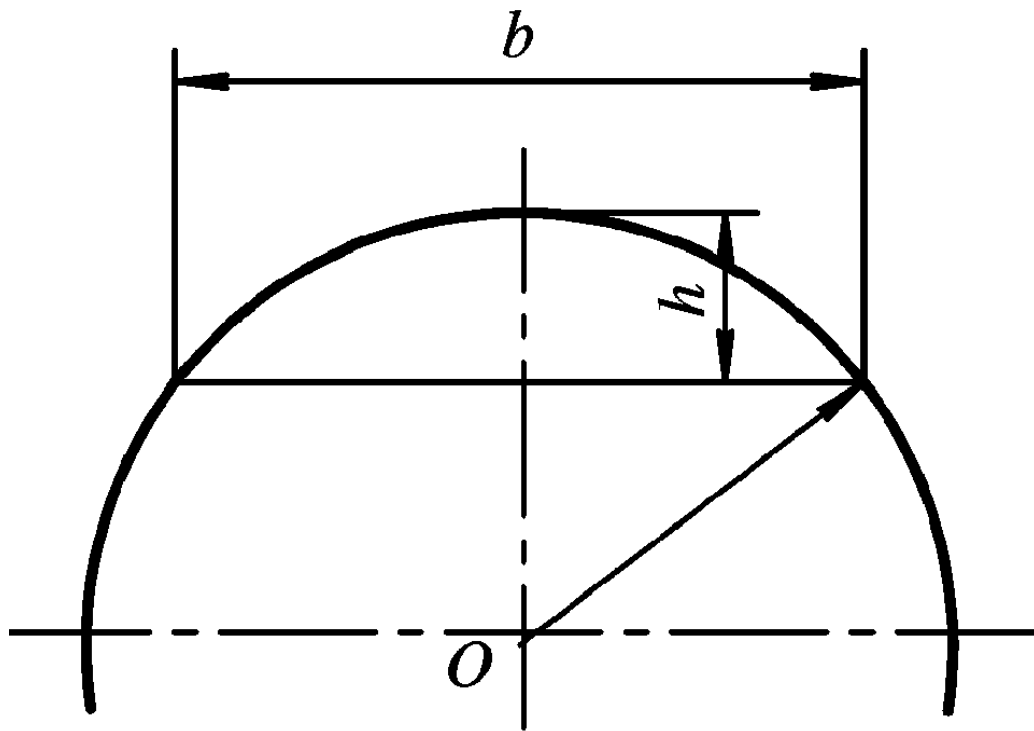


图 3-4 间接测量圆的直径





一般为了减小测量误差，都采用直接测量，而且，也比较简朴直观。但是，间接测量虽然比较繁琐，当被测几何量不易测量或用直接测量达不到精度要求时，就不得不采用间接测量了。 ❖





(2) 据被测成果读数值的不同，即读数值是否直接表达被测尺寸，测量措施可分为绝对测量和相对测量。🔥

绝对测量（全值测量）：测量器具的读数值直接表达被测尺寸。例如：用千分尺测量零件尺寸时可直接读出被测尺寸的数值。





相对测量（微差或比较测量）：测量器具的读数
值表达被测尺寸相对于原则量的微差值或偏差。该测
量措施有一种特点，即在测量之前必须首先用量块或
其他原则量具将测量器具对零。例如：用杠杆齿轮比
较仪或立式光学比较仪测量零件的长度，必须先用量
块调整好仪器的零位，然后进行测量，测得值是被测
零件的长度与量块尺寸的微差值。 ❖

一般地，相对测量的测量精度比绝对测量的高，
但测量较为麻烦。 ❖





(3) 根据零件的被测表面是否与测量器具的测量头有机械接触，测量措施可分为接触测量和非接触测量。❖

接触测量：测量器具的测量头与零件被测表面以机械测量力接触。例如：千分尺测量零件、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被测表面不接触，不存在机械测量力。例如：用投影法（如：万能工具显微镜、大型工具显微镜等）测量零件尺寸、用气动量仪测量孔径等。 ❁

接触测量因为存在测量力，会使零件被测表面产生变形，引起测量误差，使测量头磨损以及划伤被测表面等，但是对被测表面的油污等不敏感；非接触测量因为不存在测量力，被测表面也不会引起变形误差，所以，尤其适合薄构造易变形零件的测量。 ❁






(4) 根据同步测量参数的多少，测量措施可分为单项测量和综合测量。 ❁

单项测量：单独测量零件的每一种参数。例如：用工具显微镜测量螺纹时可分别单独测量出螺纹的中径、螺距、牙型半角等。 ❁

综合测量：测量零件两个或两个以上有关参数的综合效应或综合指标。例如：用螺纹塞规或环规检验螺纹的作用中径。 ❁





综合测量一般效率较高，对确保零件的互换性更为可靠，合用于只要求判断工件是否合格的场合。单项测量能分别拟定每个参数的误差，一般用于工艺分析(即分析加工)过程中产生废品的原因等。 





(5) 根据测量对机械制造工艺过程所起的作用不同，测量措施可分为被动测量和主动测量。❖


被动测量：在零件加工后进行的测量。这种测量只能判断零件是否合格，其测量成果主要用来发觉并剔除废品。❖

主动测量：在零件加工过程中进行的测量。这种测量可直接控制零件的加工过程，及时预防废品的产生。❖





(6) 根据被测量或敏感元件（测量头）在测量中相对状态的不同，测量措施可分为静态测量和动态测量。

静态测量：测量时，被测表面与敏感元件处于相对静止状态。 

动态测量：测量时，被测表面与敏感元件处于（或模拟）工作过程中的相对运动状态。





动态测量生产效率高，并能测出工件上某些参数连续变化的情况，常用于目前大量使用的数控机床(如数控车床、数控铣床、数控加工中心等设备)的测量装置。由此可见，动态测量是测量技术的发展方向之一。





3.3.2 测量器具的分类

测量器具可按其测量原理、构造特点及用途分为下列五类：

(1) 基准量具和量仪：在测量中体现原则量的量具和量仪。例如：量块、角度量块、激光比长仪、基准米尺等。

(2) 通用量具和量仪：能够用来测量一定范围内的任意尺寸的零件，它有刻度，可测出详细尺寸值。按构造特点可分为下列几种：

① 固定刻线量具：如米尺、钢板尺、卷尺等。





② 游标量具：如三用游标卡尺（含带表游标卡尺、数显游标卡尺等）、游标深度尺、游标高度尺、齿厚游标卡尺、游标量角器等。 ❁


③ 螺旋测微量具：如外径千分尺、内径千分尺、螺纹中径千分尺、公法线千分尺等。 ❁


④ 机械式量仪：如百分表、内径百分表、千分表、杠杆齿轮比较仪、扭簧仪等。 ❁

⑤ 光学量仪：如工具显微镜、光学比较仪等。





⑥ 气动量仪：是将零件尺寸的变化量经过一种装置转变成气体流量（或压力等）的变化，然后将此变化测量出来即可得到零件的被测尺寸。如浮标式、压力式、流量计式气动量具等。 

⑦ 电动量仪：是将零件尺寸的变化量经过一种装置转变成电流（或电感、电容等）的变化，然后将此变化测量出来即可得到零件的被测尺寸。如电接触式、电感式、电容式电动量仪等。 





(3) 极限规：为无刻度的专用量具。它只能用来检验零件是否合格，而不能测得被测零件的详细尺寸。如：塞规、卡规、环规、螺纹塞规、螺纹环规等。 ❁

(4) 检验夹具：是量具量仪和其他定位元件等的组合体，用来提升测量或检验效率，提升测量精度，便于实现测量自动化，在大批量生产中应用较多。 ❁





(5) 主动测量装置：是工件在加工过程中实时测量的一种装置。它一般由传感器、数据处理单元以及数据显示装置等构成。目前，它被广泛用于数控加工中心以及其他数控机床，如数控车床、数控铣床、数控磨床等。





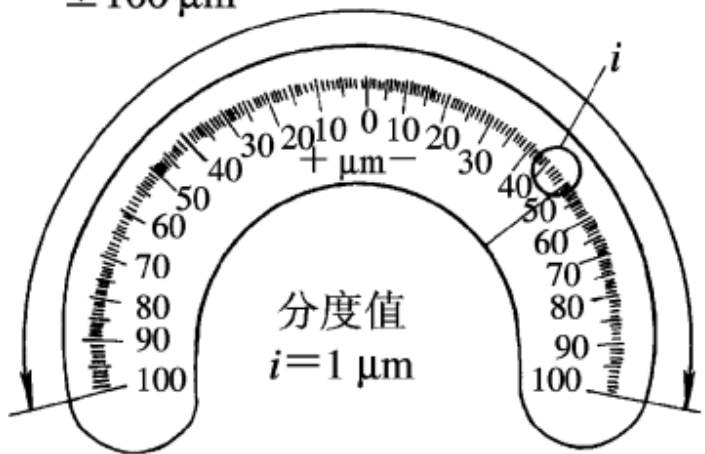
3.3.3 测量器具的度量指标

度量指标是指测量中应考虑的主要性能，它是选择和使用测量工具的根据。计量器具的基本度量指标如图3-5所示。



第3章 测量技术基础

标尺示值范围
 $\pm 100 \mu\text{m}$



i 放大

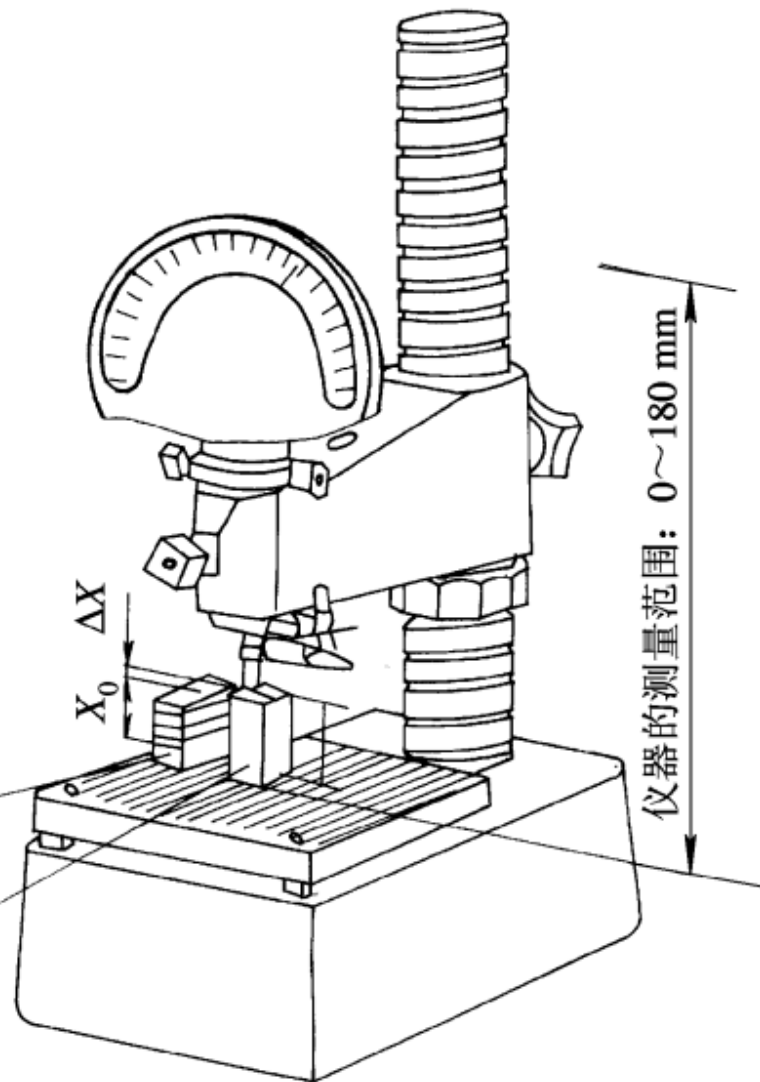
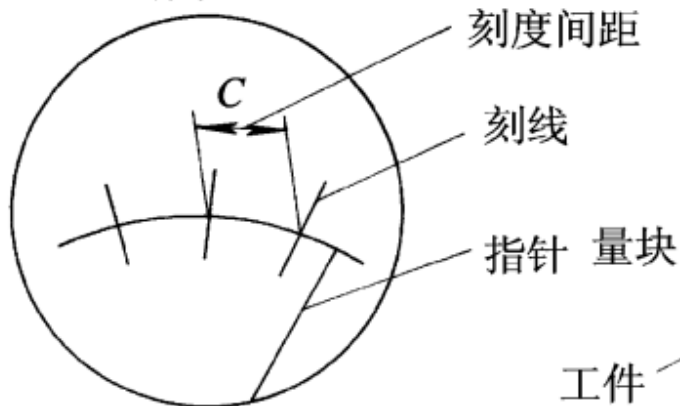


图 3-5 计量器具的基本度量指标



(1) 刻度间隔 C : 也叫刻度间距, 简称刻度, 它是标尺上相邻两刻线中心线之间的实际距离 (或圆周弧长)。为了便于目测估读, 一般刻线间距在 $1\sim 2.5\text{ mm}$ 范围内。🔥

(2) 分度值 i : 也叫刻度值、精度值, 简称精度, 它是指测量器具标尺上一种刻度间隔所代表的测量数值。

(3) 示值范围: 是指测量器具标尺上全部刻度间隔所代表的测量数值。🔥

(4) 量程: 计量器具示值范围的上限值与下限值之差。





(5) 测量范围：测量器具所能测量出的最大和最小的尺寸范围。一般地，将测量器具安装在表座上，它涉及标尺的示值范围、表座上安装仪表的悬臂能够上下移动的最大和最小的尺寸范围。🔥

(6) 敏捷度：能引起量仪指示数值变化的被测尺寸的最小变动量。敏捷度阐明了量仪对被测数值微小变动引起反应的敏感程度。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/658017011131006132>