

互换性与测量技术

第 4 章 测量基础与常用量具



第4章 章节内容

- 4.1 测量基础
- 4.2 量块及其应用
- 4.3 光滑极限量规及其使用
- 4.4 坐标测量机简介

4.1 测量基础

4.1.1 测量基础知识

测量就是将被测量与具有计量单位的标准量在数量上进行比较，确定二者比值的实验认知过程，其实质是将被测几何量 x 与作为计量单位的标准量 E 进行比较，获得两者比值 q 的过程。即 $x/E=q$ ，或 $x=Eq$ 。

机械制造业中所说的技术测量主要是指几何参数的测量，包括长度、角度、表面粗糙度和形位误差等的测量。

。

1. 测量过程四要素

- (1) 被测对象—在技术测量中的几何量，包括长度、角度、形状、相对位置、表面粗糙度及螺纹、齿轮等零件的几何参数等。
- (2) 计量单位—采用我国的法定计量单位。长度计量单位为米 (m)，角度单位为弧度 (rad) 和度 ($^{\circ}$)、分 ($'$)、秒 ($''$)。
- (3) 测量方法—指测量时所采用的测量原理、计量器具和测量条件的综合，亦即获得测量结果的方式。
- (4) 测量精度—测量结果与被测量真值的一致程度。

2. 基本测量原则

(1) **阿贝原则**—要求在测量过程中被测长度与基准长度应安置在同一直线上的原则。若被测长度与基准长度并排放置，在测量比较过程中由于制造误差的存在，移动方向的偏移，两长度之间出现夹角而产生较大的误差。误差的大小除与两长度之间夹角大小有关外，还与其之间的距离有关，距离越大，误差也越大。

(2) **基准统一原则**—测量基准与加工基准和使用基准统一。即工序测量应以工艺基准作为测量基准，终检测量应以设计基准作为测量基准。

(3) **最短链原则**—间接测量中，与被测量具有函数关系的其它量与被测量形成测量链。形成测量链的环节越多，被测量的不确定度越大。应尽可能减少测量链的环节数，以保证测量精度，称之为最短链原则。

(4) **最小变形原则**—测量器具与被测零件都会因实际温度偏离标准温度和受力（重力和测量力）而产生变形，形成测量误差。

在测量过程中，控制测量温度及其变动、保证测量器具与被测零件有足够的等温时间、选用与被测零件线胀系数相近的测量器具、选用适当的测量力并保持其稳定、选择适当的支承点等，都是实现最小变形原则的有效措施。

3. 测量方法分类

- (1) 直接测量和间接测量。
- (2) 绝对测量和相对测量。
- (3) 接触测量和非接触测量。
- (4) 单项测量和综合测量。
- (5) 在线测量和离线测量。
- (6) 静态测量和和动态测量。
- (7) 等精度测量和不等精度测量。

4.1.2 计量器具和验收极限

1. 计量器具的分类

测量仪器和测量工具统称为计量器具。按计量器具的原理、结构特点及用途可分为标准量具、极限量规、量仪和检验夹具。

(1) **标准量具**—用来校对或调整计量器具，或作为标准尺寸进行相对测量的量具称为基准量具。

(2) **极限量规**—指没有刻度的专用计量器具，用来检验工件实际尺寸和形位误差的综合结果。

量规只能判断工件是否合格，而不能获得被测几何量的具体数值，如光滑极限量规、螺纹量规、位置量规等。

(3) **量仪**—指能将测量转换成可直接观测的指示值或等效信息的计量器具。其特点是一般都有指示、放大系统。

(4) **检验夹具**—一种专用的检验工具，和相应的计量器具配套使用。

2. 计量器具的度量指标

(1) 刻线间距

(2) 分度值

(3) 示值范围

(4) 测量范围

(5) 示值误差

(6) 示值变动值

(7) 灵敏度

(8) 灵敏限

(9) 回程误差

(10) 测量力

(11) 修正值

(12) 不确定度

3. 测量器具的选择原则

器具的选择主要取决于被测工件的精度要求，在保证精度要求的前提下，也要考虑尺寸大小、结构形状、材料与被测表面的位置，同时也要考虑工件批量、生产方式和生产成本等因素。对批量大的工件，选用专用计量器具，对单件小批则选通用计量器具。

选择计量器具检测工件时，为了防止对工件的“误收”和“误废”，标准规定了两种验收极限。

“误收”，就是把不合格的产品，误判为合格予以接收；

“误废”，就是把本来合格的产品，误判为不合格予以拒收。

4. 验收极限

验收极限指检验工件时判断其尺寸合格与否的界限。GB/T3177—2009 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误收。

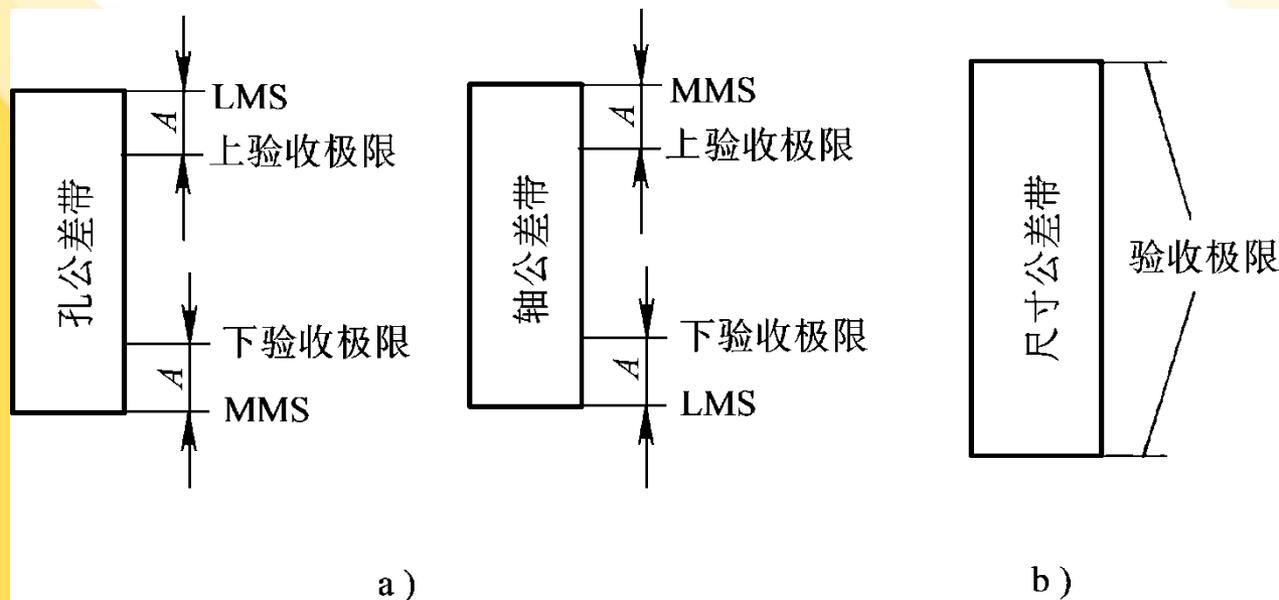


图 4-3 验收极限

(1) 内缩式验收极限

指从规定的最大实体尺寸 (MMS) 和最小实体尺寸 (LMS) 分别向工件公差带内移动一个安全裕度 A ，如图 4-3a 所示。

国标规定： A 值按照工件公差值的 $1/10$ 确定，其数值见表 4-1。

根据安全裕度 A 和计量器具不确定度允许值 u_1 ，然后选定计量器具，使计量器具的不确定值 $U_1 \leq u_1$ ，（计量器具的不确定值 U_1 在其说明书中会查找得到）最后计算验收极限。

孔的验收极限：上验收极限 = 最小实体尺寸 (LMS) - A

下验收极限 = 最大实体尺寸 (MMS) + A

轴的验收极限：上验收极限 = 最大实体尺寸 (MMS) - A

下验收极限 = 最小实体尺寸 (LMS) + A

验收极限向工件的公差带内移，为了保证验收合格，在生产时不能按原来的尺寸极限加工，应由验收极限所确定的范围生产，这个范围称为“生产公差”。

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（见第3章）的尺寸、公差等级小的尺寸，其验收极限按内缩式确定。
- ② 当工艺能力指数 $C_p \geq 1$ 时，其验收极限按不内缩式确定。但对遵循包容要求的尺寸，其最大实体极限一边的验收极限仍按内缩式确定。

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， $C_p=T/6\sigma$ 。

- 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内缩式确定。
- ④ 对非配合和一般公差的尺寸，其验收极限按不内缩式确定

4.1.3 测量误差和数据处理

1. 测量误差及其表示方法

- (1) 绝对误差—即测量结果与被测量真值之差。
- (2) 相对误差—绝对误差的绝对值与被测量真值之比。

2. 测量误差的来源

测量误差产生的原因主要有以下几个方面：

- (1) 计量器具误差
- (2) 测量方法误差
- (3) 测量环境误差
- (4) 被测件的安装定位误差
- (5) 人员误差。

3. 测量误差的分类

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** 在相同条件下多次重复测量同一量时，误差的大小和符号保持不变或按一定规律变化的误差。
2. **随机误差** 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。
3. **粗大误差** 即过失误差。超出规定条件下预期的误差，由于某种不正常的原因造成的。

4. 测量精度

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。用测量误差的大小来表示精度的高低。测量精度越高，则测量误差就越小，反之，测量误差就越大。

(1) 正确度 指在规定的条件下，被测量中所有系统误差的综合，它表示测量结果中系统误差影响的程度。系统误差小，则正确度高。

(2) 精密度 指在规定的测量条件下连续多次测量时，所得测量结果彼此之间符合的程度，它表示测量结果中随机误差的大小。随机误差小，则精密度高。

(3) 精确度 指连续多次测量所得的测得值与真值的接近程度，它表示测量结果中系统误差与随机误差综合影响的程度。系统误差和随机误差都小，则精确度高。

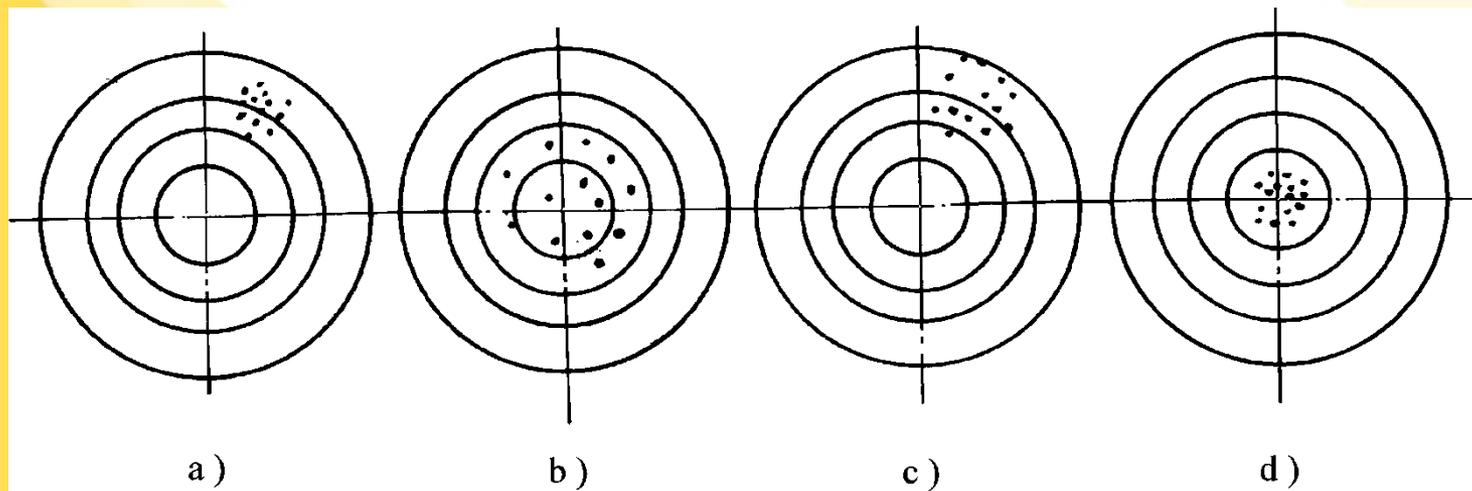


图 4-5 正确度 精密度 精确度示意图

4.2 量块及其应用

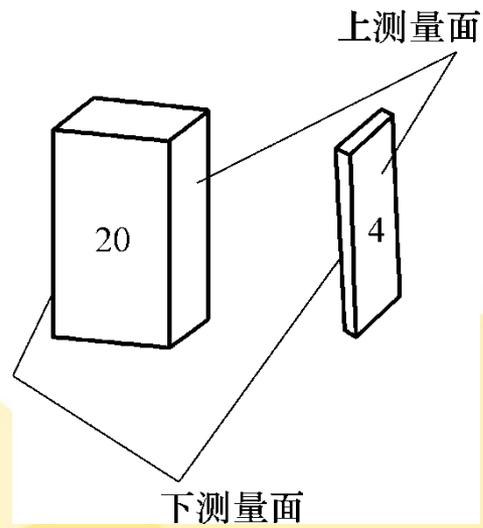
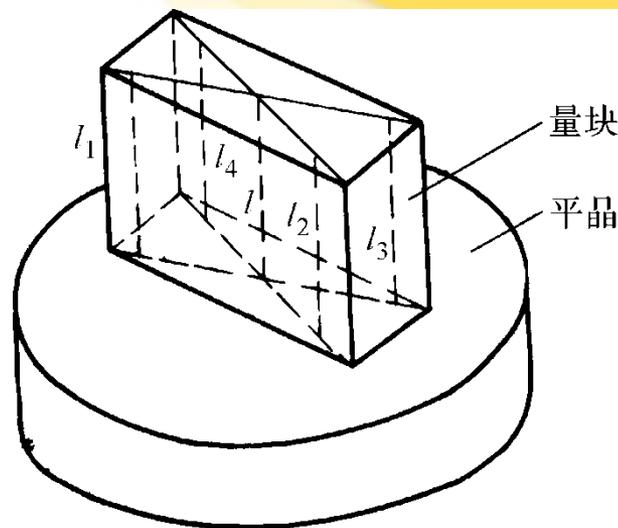
4.2.1 量块特征与尺寸

量块是没有刻度的截面为矩形的平面平行端面量具。用特殊合金钢制成，具有线膨胀系数小，不易变形，硬度高，耐磨性好，工作面粗糙度值小以及研合性好等特点。

量块用于计量器具的校准和鉴定、精密设备的调整、精密划线和精密工件的测量等。

量块通常制成六面体，有2个相互平行的测量面，4个非测量面，如图4-7所示。

从量块一个测量面上任意一点（距边缘 0.5mm 区域除外）到与此量块另一个测量面相研合的面的垂直距离称为量块长度 L_i ；从量块一个测量面上的中心点到与此量块另一个测量面相研合的面的垂直距离称为量块的中心长度 L ；量块上标出的尺寸称为量块的标称长度。



4.2.2 量块的精度

1. 量块的精度按“级”划分

GB6093—2001 规定量块的制造精度分为 K，0，1，2，3 五级，其中 0 级最高，精度依此降低，3 级最低。K 级为校准级。

量块的“级”是根据量块长度极限偏差和量块长度变动量的允许值来划分的。表 4-5 为各级量块的精度指标。

2. 量块的精度按“等”划分

按照鉴定方法不同，量块又分为 1 ~ 5 等，其中 1 等最高，精度依次降低。表 4-6 为各等量块的精度指标。

4.2.3 量块的使用

量块有很好的研合性，将量块顺其测量面加压推合，就能研合在一起。利用此特性在一定范围内，根据需要可将多个尺寸不同的量块研合成量块组，扩大量块的应用。

量块成套制成，每套包括一定数量不同尺寸的量块。

表 4-4 列出了 83 块、46 块套别量块的标称尺寸。

量块的使用方法可分为按“级”使用和按“等”使用。

按“级”使用时，以量块的标称长度为工作尺寸，即不计量块的制造误差和磨损误差，它将被引入测量结果中去，测量精度不高，但使用方便。

按“等”使用时，用量块经检定后所给出的实际中心长度尺寸作为工作尺寸。

例如，某一标称长度为 10mm 的量块，经检定其实际中心长度与标称长度之差为 $-0.005\ \mu\text{m}$ ，则其中心长度为 9.995mm。这样就消除了量块的制造误差的影响，提高了测量精度。但在检定量块时，不可避免地存在一定的测量方法误差，它将作为测量误差而引入测量结果中。

4.3 光滑极限量规及其使用

4.3.1 光滑极限量规

光滑极限量规（简称量规），指被检验工件为光滑孔或光滑轴所用的极限量规的总称，它是一种没有刻度的定值专用检验工具。

当图样上被测要素的尺寸公差和形位公差按独立原则给出时，一般使用通用计量器具分别测量。当单一要素的孔和轴采用包容要求给出时，则应使用量规来检验。

检验孔所使用的量规称为塞规，图 4-9a 所示；检验轴所使用的量规称卡规（环规），图 4-9b 所示。

塞规和卡规（或环规）统称量规。量规有通规和止规之分，通常成对使用

。

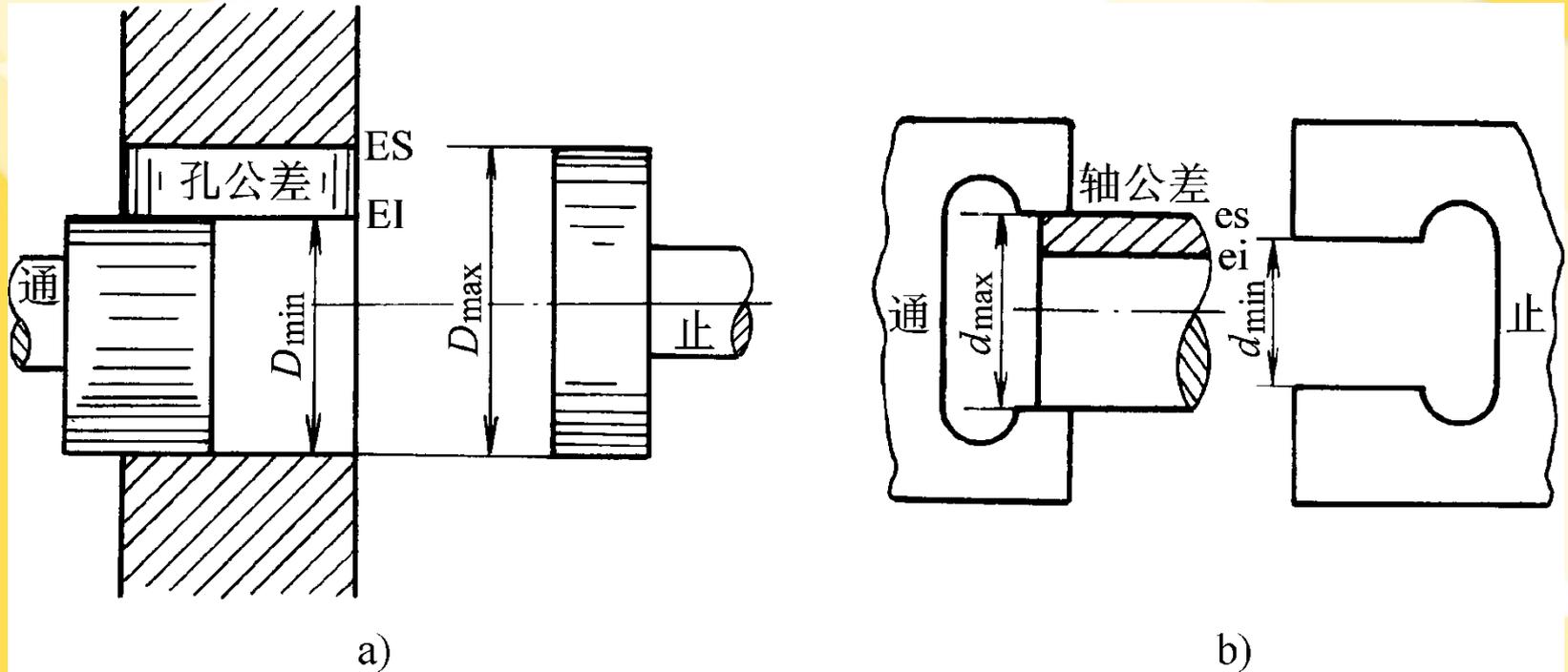


图 4-9

a) 塞规 b) 卡规

塞规的通规按被测孔的下极限尺寸 D_{min} 制造，止规按被测孔的上极限尺寸 D_{max} 制造。检验孔时，塞规的通规应通过被检验的孔，表示被测孔径大于最小极限尺寸。塞规的止规应不能通过被检验的孔，表示被测孔径小于最大极限尺寸，即说明孔的实际尺寸在规定的极限尺寸范围内，被检验的孔是合格的。

卡规的通规按被测轴的上极限尺寸 d_{max} 制造，卡规的止规按被测轴的下极限尺寸 d_{min} 制造。检验轴时，卡规的通规应通过被检验的轴，表示被测轴径小于最大极限尺寸，卡规的止规应不能通过被检验的轴，表示被测轴径大于最小极限尺寸，即说明轴的实际尺寸在规定的极限尺寸范围内，被检验的轴是合格的。

用量规检验工件时，通规能通过，止规不能通过，则工件合格。反之，即为不合格品。

4.3.2 量规的分类与形状要求

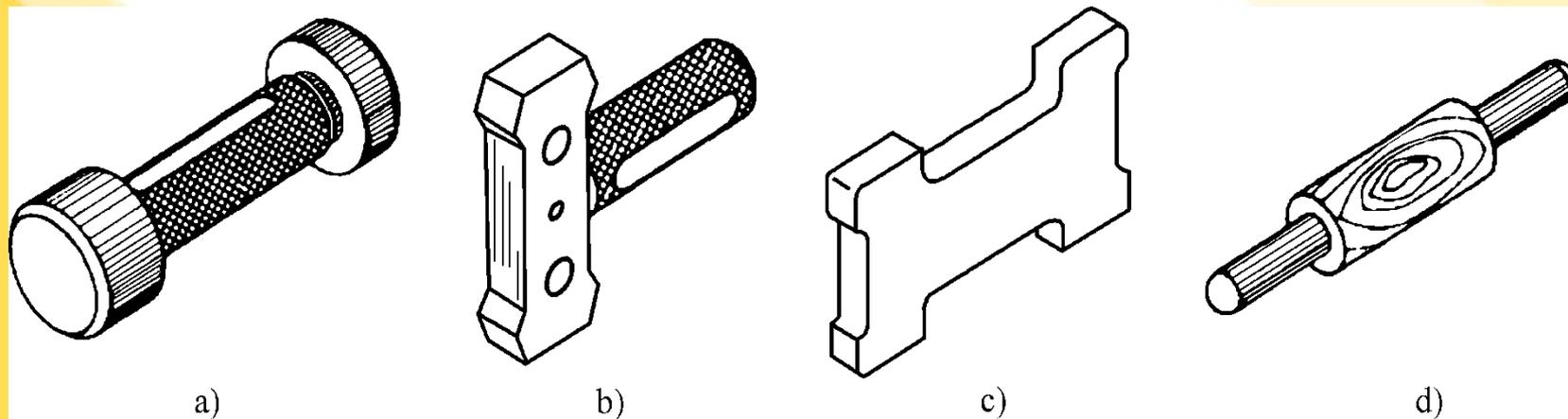


图 4-11 常见塞规的外形图

a) 全形塞规 b) 不全形塞规 c) 片状塞规 d) 球端杆规

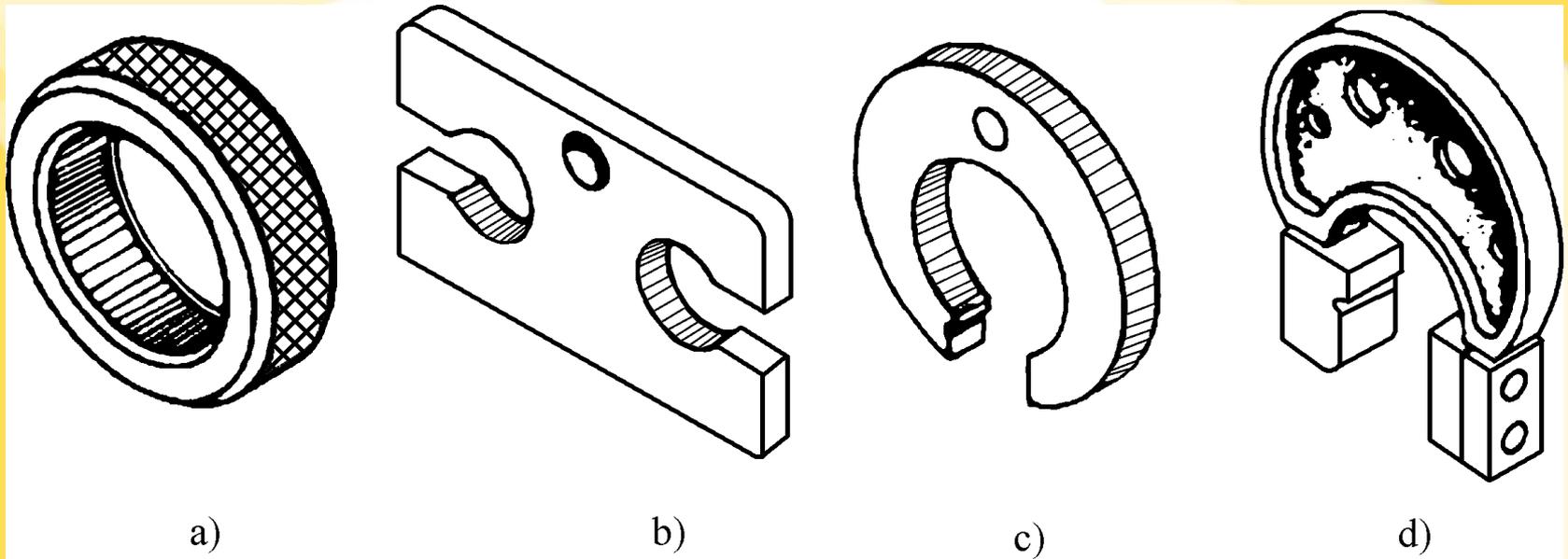


图 4-12 常见环规与卡规的外形图

a) 环规 b) 片形卡规 c) 锻造卡规 d) 铸造卡规

4.3.3 量规的正确使用

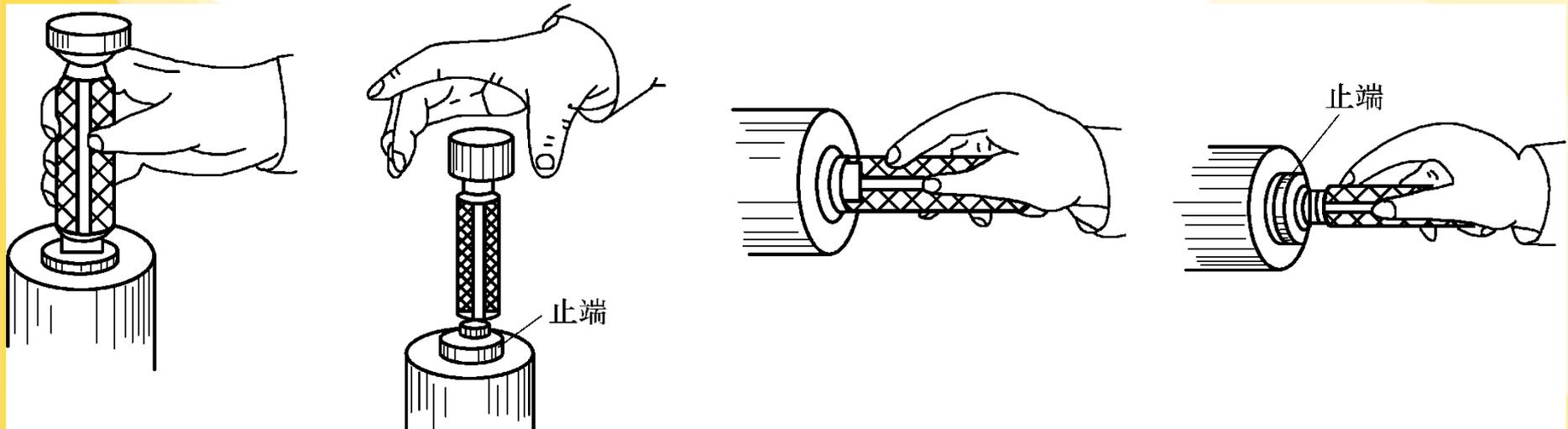


图 4-13 全形塞规的使用示例

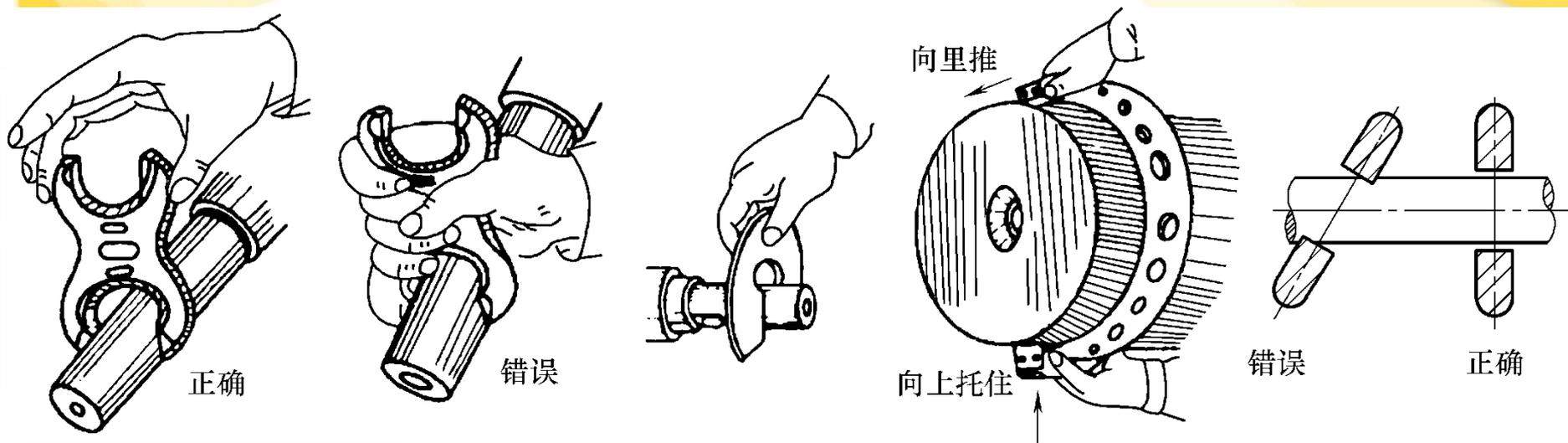


图 4-14 卡规的使用示例

4.4 坐标测量机简介

4.4.1 三坐标测量机

三坐标测量机是一种能够在 X、Y 和 Z 轴三个坐标方向上进行测量的通用长度测量仪器。

一般由主机（包括光栅尺）、控制系统、软件系统和测头等组成，每个坐标有各自独立的测量系统。它的基本原理是将被测零件放入其容许的测量空间，精密地测出被测零件在三个坐标方向的数值，并将所测量的数值经过计算机数据处理、拟合，形成测量元素，如圆、球、圆柱、圆锥、曲面等，经过数学运算得出形状、位置误差及其他几何量数据。

1. 三坐标测量机的分类

- (1) 桥式坐标测量机
- (2) 龙门式坐标测量机
- (3) 水平悬臂式坐标测量机

2. 三坐标测量机的测头系统

按照触发方式分，测头可分为触发测头（也称开关测头）和扫描测头（也称比例测头或模拟测头）。按照是否与被测工件接触，测头可分为接触式测头和非接触式测头。

3. 三坐标测量机的应用

在新产品开发、测绘、复杂型面检测、工具与夹具的测量、研制过程的中间测量、柔性制造生产线在线检测、自动化生产线的产品质量管理方面，坐标测量机使用越来越广。

4.4.2 关节式坐标测量机

如图 4-17 所示，关节式坐标测量机属于非正交系坐标测量系统，是一种便携式坐标测量机，对空间不同位置待测点的接触模拟人手臂的运动方式。主要由测量臂、码盘、测头等部件组成。各关节之间测量臂的长度是固定的，测量臂之间的转动角可通过光栅编码度盘实时得到，转角读数的分辨率可达 $\pm 1.0''$ 。



谢谢！



互换性与测量技术