

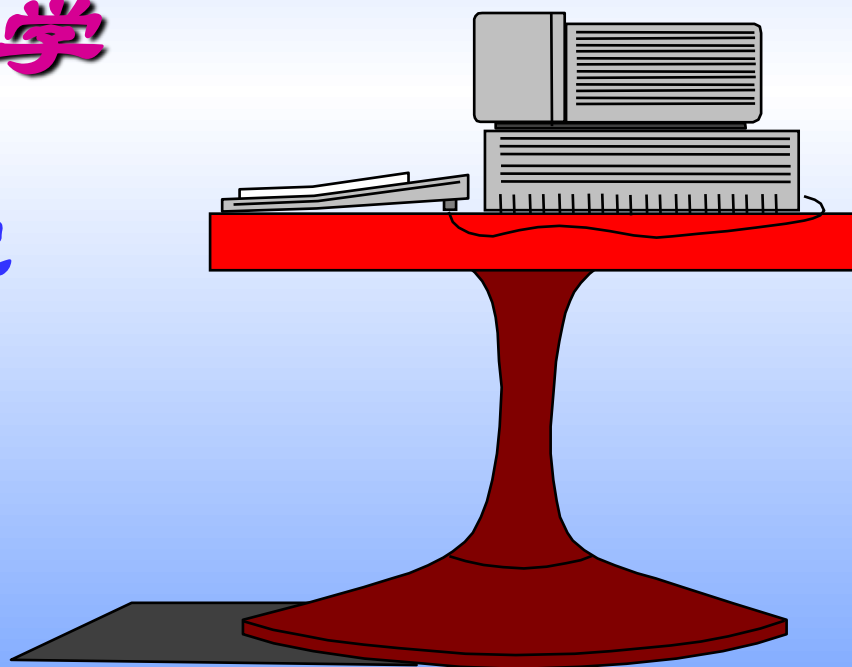
第五章 几何量检测基础

武汉理工大学

机电工程学院

机械设计部

张宏



§ 5-1 测量的四个要素

几何量测量是指为确定被测几何量的量值而进行的实验过程。

本质是将被测几何量与作为计量单位的标准量进行比较，从而确定两者比值的过程。

若被测量为L，标准量为E，确定的比值为q，

则测量可表示为 $L = qE$

一个完整的测量过程应包含四个要素

- 1、被测对象——几何量：长度、形状、表面粗糙度等。
- 2、计量单位——公制(米制)：m、mm、 μm 、nm等。
- 3、测量方法——测量原理、测量器具、测量条件。
- 4、测量精度——测量结果与真值相一致的程度。

由于在测量过程中总是不可避免地出现测量误差，故无测量精度的测量是毫无意义的测量。

检测是作为公差和配合的技术保证。

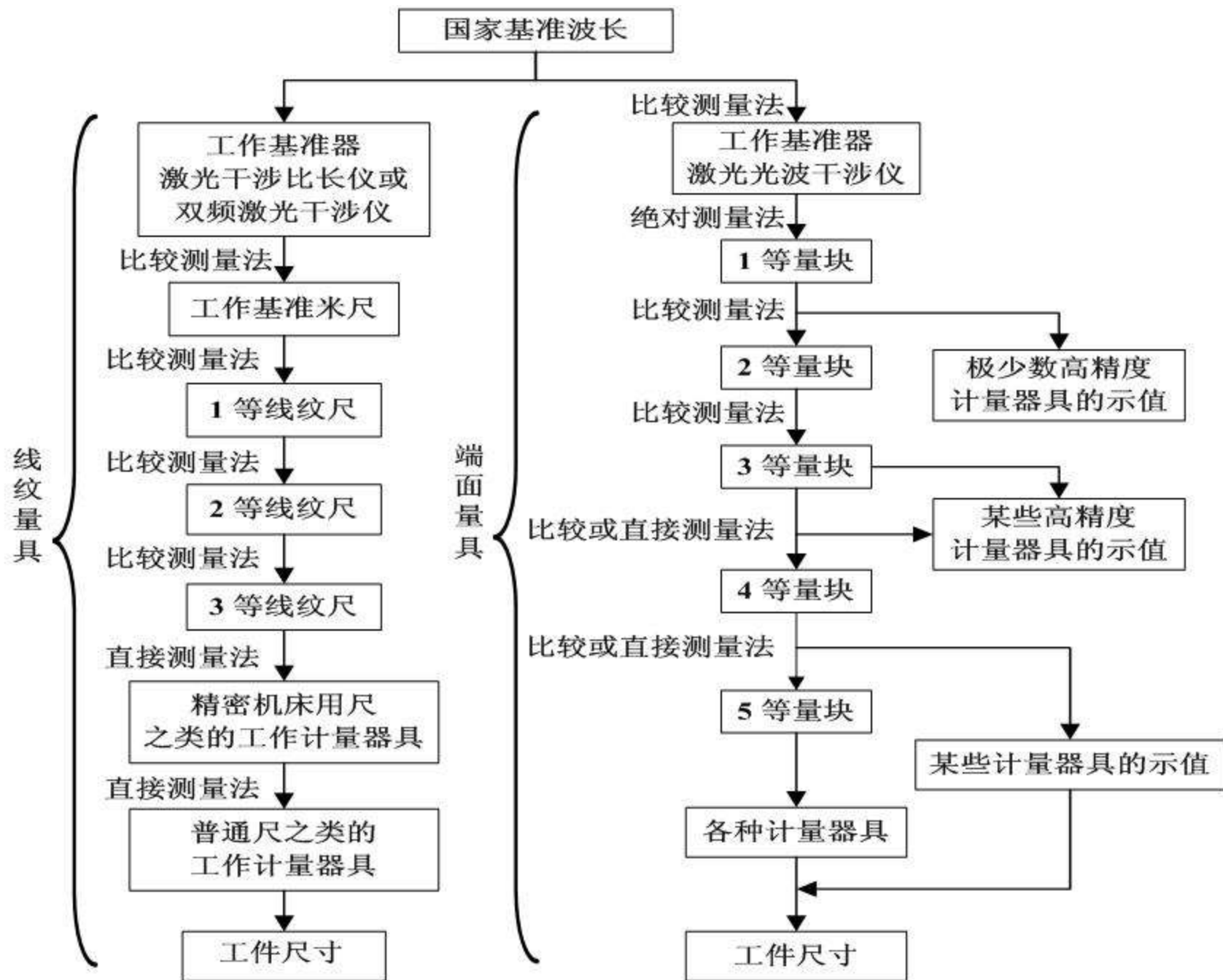


§ 5-2 测量单位 unit of measurement

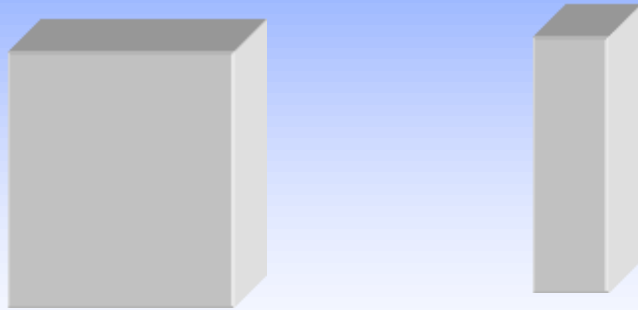
- 在国际单位制及我国法定计量单位中，长度的基本单位名称是“米”，其单位符号为“**m**”。
- **1983**年第**17**届国际计量大会更新了米的定义，规定：
“米”是激光在真空中在 **$1/299792458\text{s}$** 的时间间隔内的行程长度。

一、长度的量值(value of a quantity)传递

- 量值传递是“将国家计量基准所复现的计量值，通过检定（或其它方法）传递给下一等级的计量标准（器），并依次逐级传递到工作计量器具上，以保证被测对象的量值准确一致的方式”。
- 我国长度量值传递系统从最高基准谱线向下传递，有两个平等的系统，
 - 即端面量具（量块）和刻线量具（线纹尺）系统。其中尤以量块传递系统应用最广。



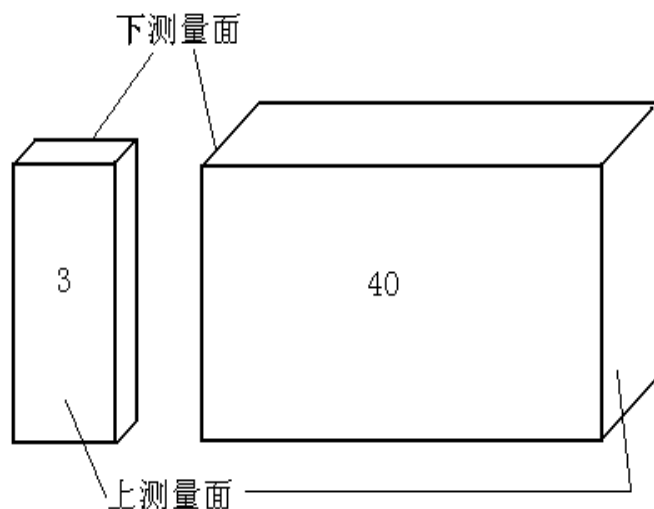
二、量块 gauge block



- 常见的实物计量标准器有量块（块规）和线纹尺。
- 量块用**铬锰钢**等特殊合金钢或线膨胀系数小、性质稳定、耐磨以及不易变形的其它材料制成。其形状有**长方体**和**圆柱体**两种，常用的是长方体。

三、量块(gauge block)的构成

长方体的量块有两个平行的测量面，其余为非测量面。标称长度到**5.5mm**的量块，其公称值刻印在**上测量面**上；标称长度大于**5.5mm**的量块，其公称长度值刻印在**上测量面左侧**较宽的一个非测量面上。



四、量块(gauge block)的精度

工作面：很光滑、平行度很高、具有粘合性

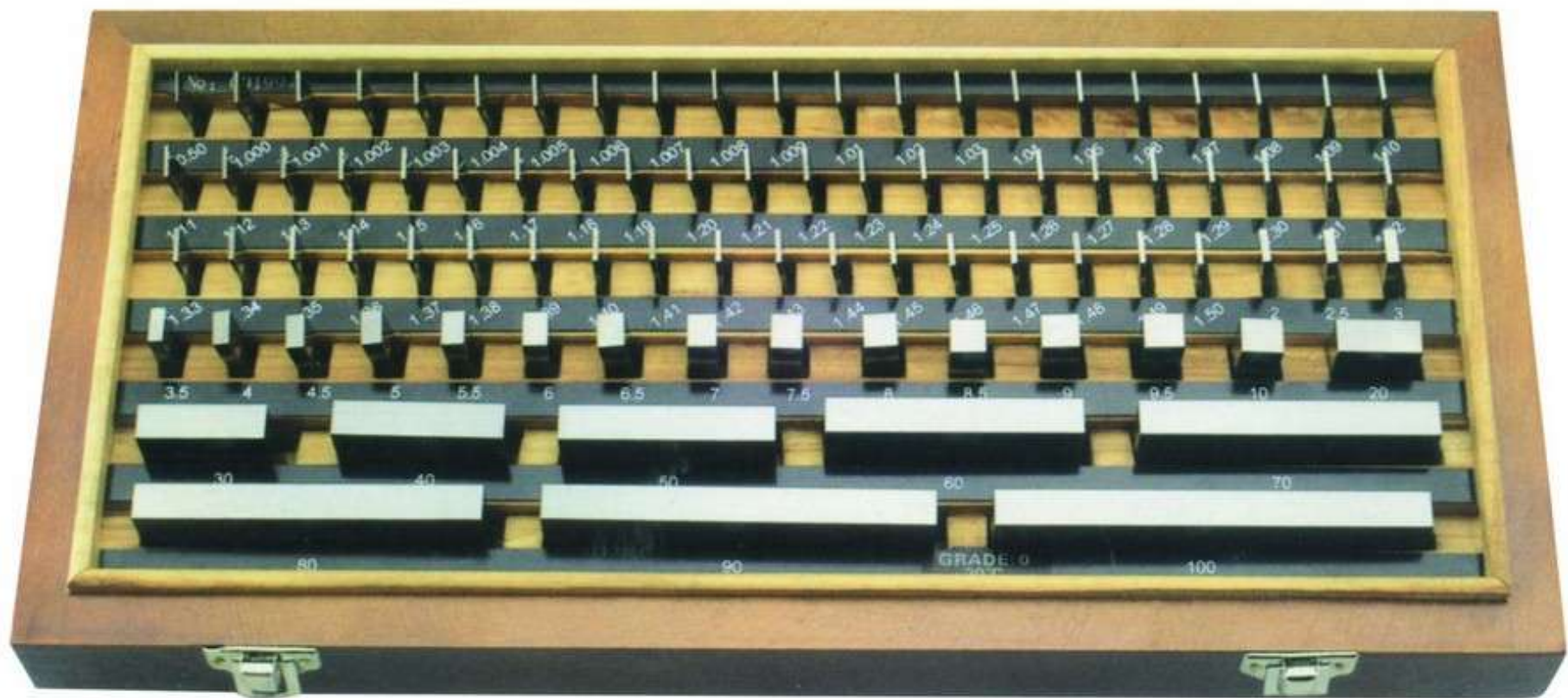
- 分5级：K、0、1、2、3 反映制造误差
- 分5等：1、2、3、4、5 反映测量误差

例如

- 按级使用：以标称尺寸作为工作尺寸。 标称尺寸=10mm
- 按等使用：以检定后所给出的量块中心长度的实际尺寸作为工作尺寸。 $d_a=9.995\text{mm}$



成套生产的量块 87块



成套生产的量块 32块



五、量块(gauge block)的组合

- 根据标准**GB6093—85**规定，我国成套生产的量块共有**17**个套别，每套的块数分别为**91**、**87**、**83**、**46**、**32**、**12**、**10**等。
- **粘合性**：测量层表面有一层极薄的油膜，在切向推合力的作用下，由于分子间吸引力，使两量块研合在一起的特性。

从**83**块一套的量块中选取多个量块，组合尺寸为**36.745mm**的量块组。



83块一套的量块组成表

| 尺寸范围 (mm) | 间隔 (mm) | 小计 (块) |
|-------------|---------|--------|
| 1.01 ~ 1.49 | 0.01 | 49 |
| 1.5 ~ 1.9 | 0.1 | 5 |
| 2.0 ~ 9.5 | 0.5 | 16 |
| 10 ~ 100 | 10 | 10 |
| 1 | — | 1 |
| 0.5 | — | 1 |
| 1.005 | — | 1 |

从**83**块一套的量块中选取多个量块，
组合尺寸为**36.745mm**的量块组。



从**83**块一套的量块中选取多个量块，组合尺寸为
36.745mm的量块组，选取方法为：

36.745所需尺寸

— **1.005**第一块量块尺寸

35.74

— **1.24**第二块量块尺寸

34.5

— **4.5**第三块量块尺寸

30.0第四块量块尺寸

§ 5-3 计量器具和测量方法

一、计量器具的分类

计量器具按其本身的结构特点进行分类，可分为：量具、量规、计量仪器和计量装置等四类。

1. **量具**：以固定形式复现量值的计量器具。
2. **量规**：没有刻度的专用计量器具，如检验孔、轴实际尺寸和形状误差的综合结果所用的光滑极限量规。
3. **计量仪器**：能将被测几何量的量值转换成可直接观测的指示值（示值）或等效信息的计量器具（量仪）。
4. **计量装置**：为确定被测几何量量值所必需的计量器具和辅助设备的总体。

百分表

千分表

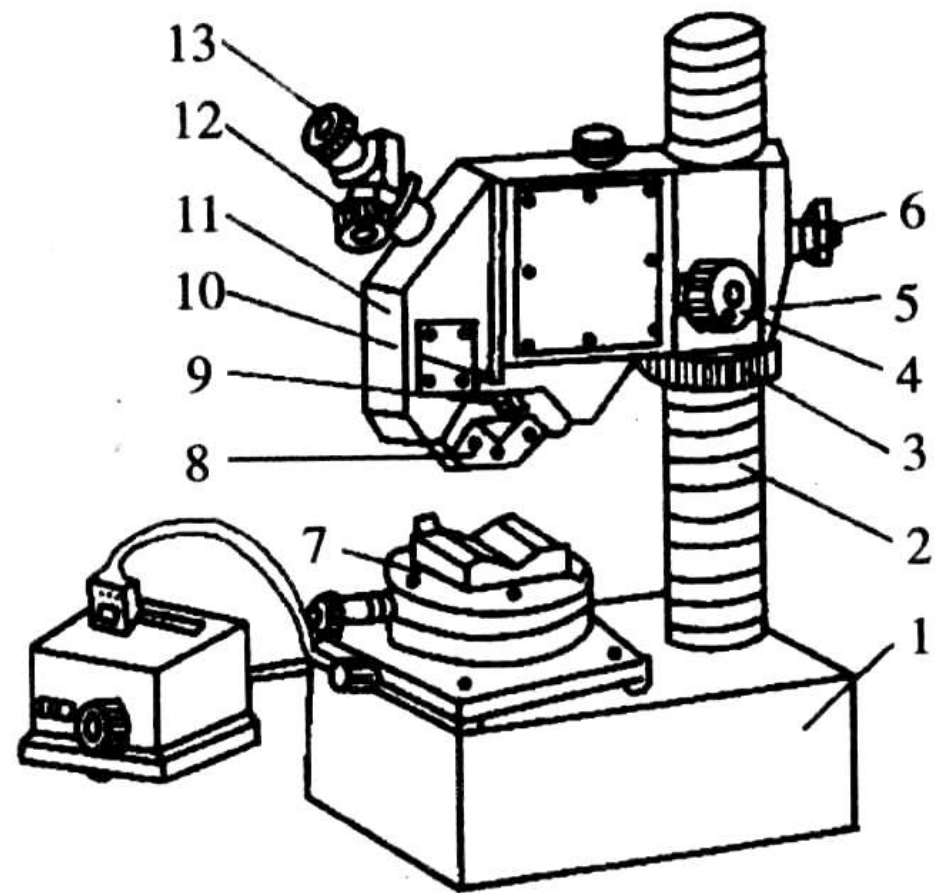


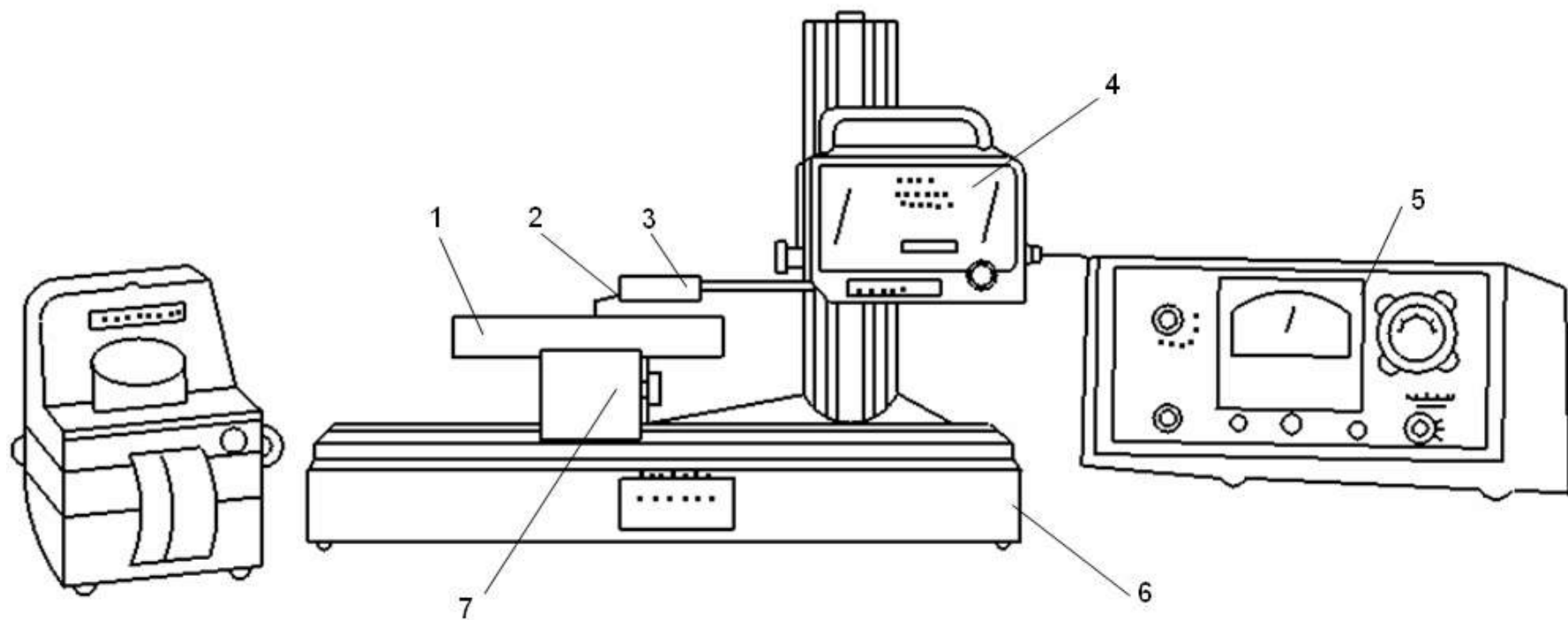
在检测时，需准备平台、V型块、表架、百分表等测量工具。

(1) 百分表

百分表的工作原理是将测杆的直线位移经过齿条和齿轮传动系统，转变为指针的角位移，从而在刻度表盘上指示出测量结果。







1-被测工件

2-触针

3-传感器

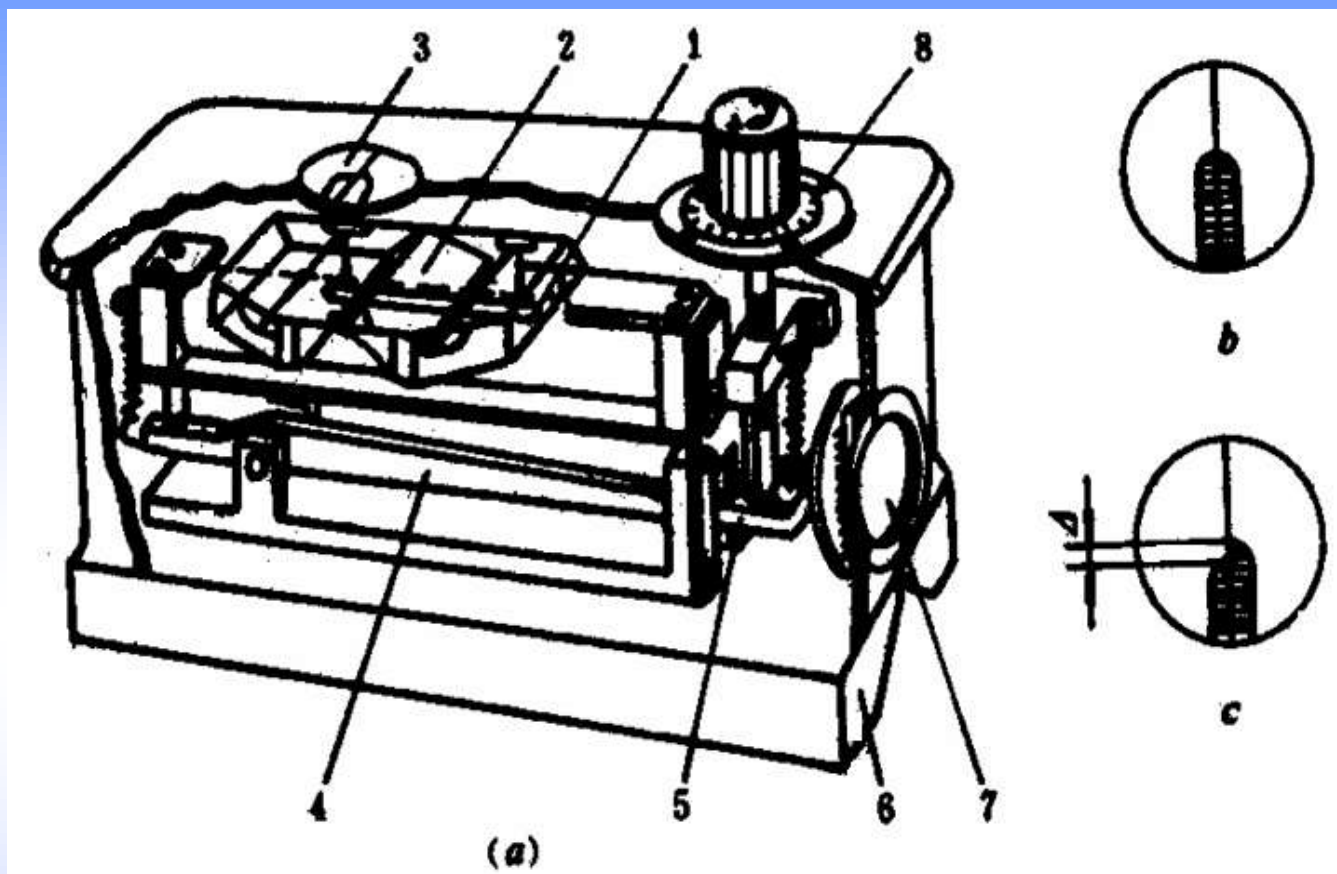
4-驱动箱

5-指示表

6-工作台

7-定位块

BCJ-2电动轮廓仪



光学合像水平仪

二、测量器具的技术性能指标

1、标尺刻线间距、标尺分度值和分辨率

$$a = 0.5 \sim 2.5\text{mm} \quad i = 0.001$$

2、标尺的示值范围 nominal range

和计量器具测量范围 measuring range

$$-0.1 \sim +0.1\text{mm} \quad 0 \sim 180\text{mm}$$

3、示值误差和修正值

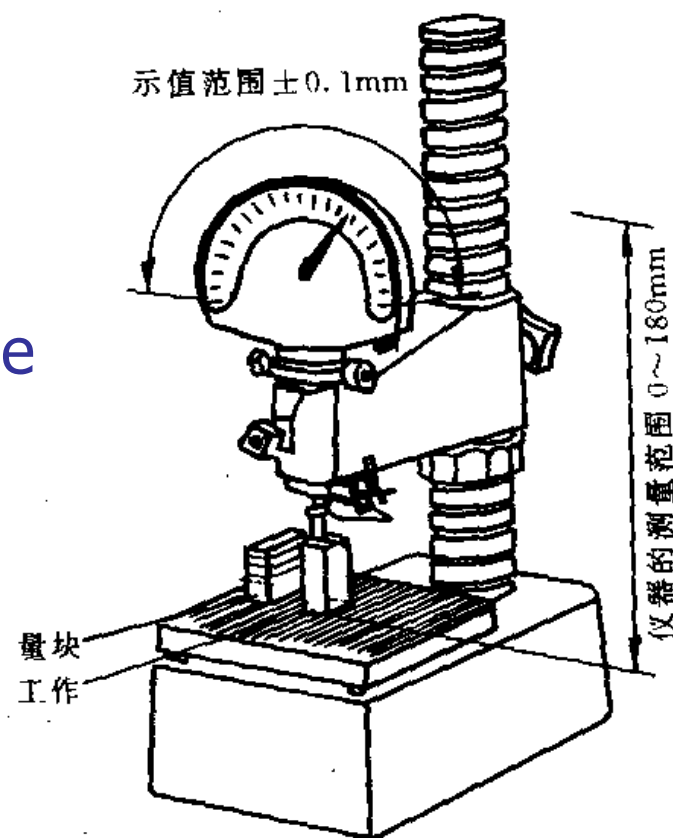
示值误差 = 测量值 - 真值

真值 = 测量值 + 修正值

4、灵敏度sensitivity和放大比

灵敏度指计量器具对被测几何量微小变化的响应变化能力。

被测参数的变化量为 ΔL ，引起测量器具示值变化量为 Δx ，
则灵敏度 $S = \Delta x / \Delta L$



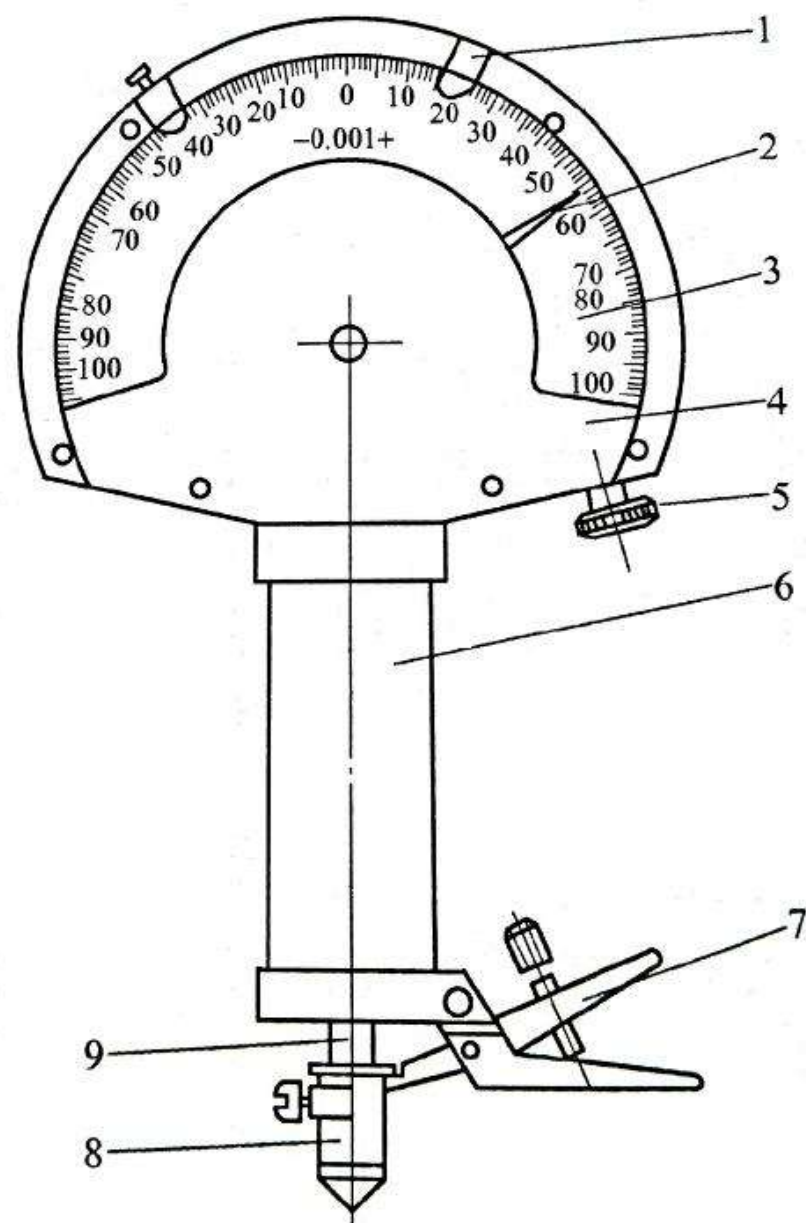
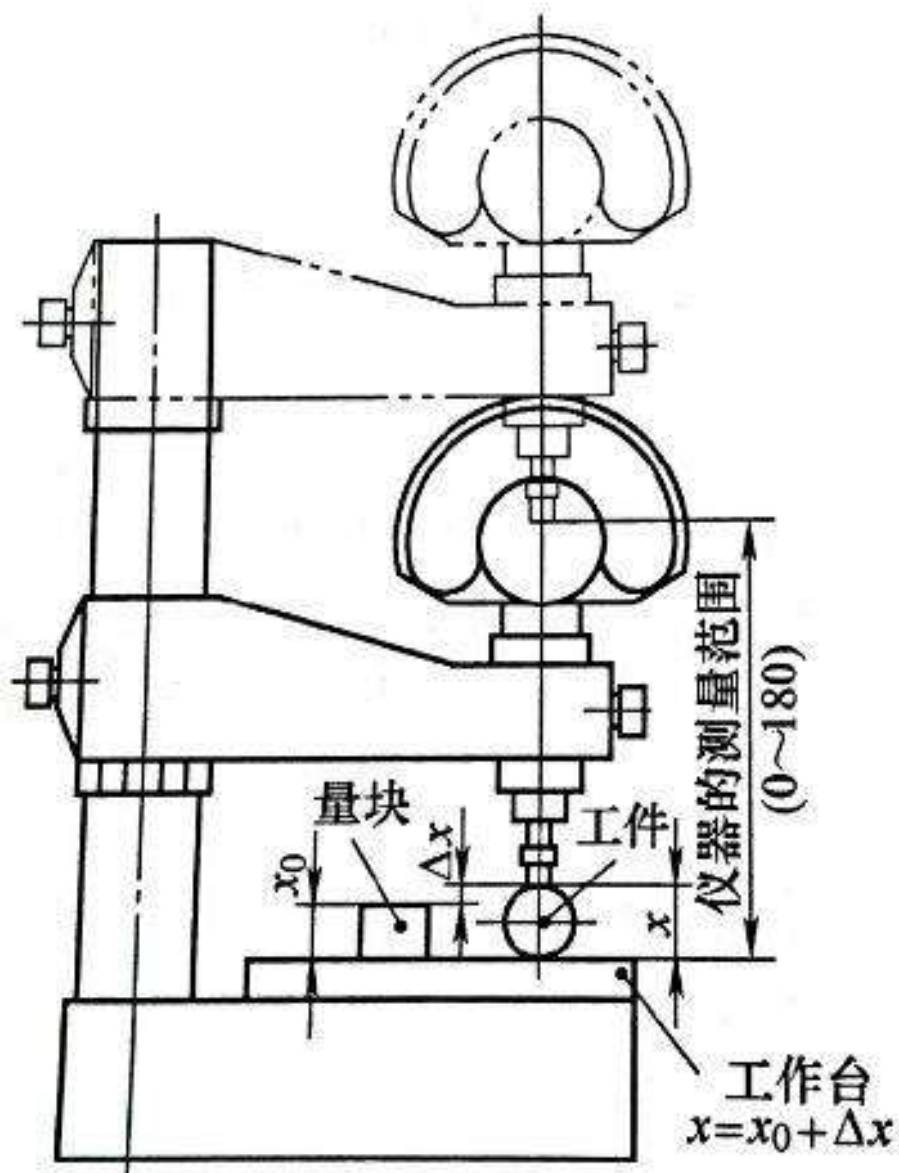
数显游标卡尺



百分表

千分表





示值范围与测量范围

三、测量方法分类

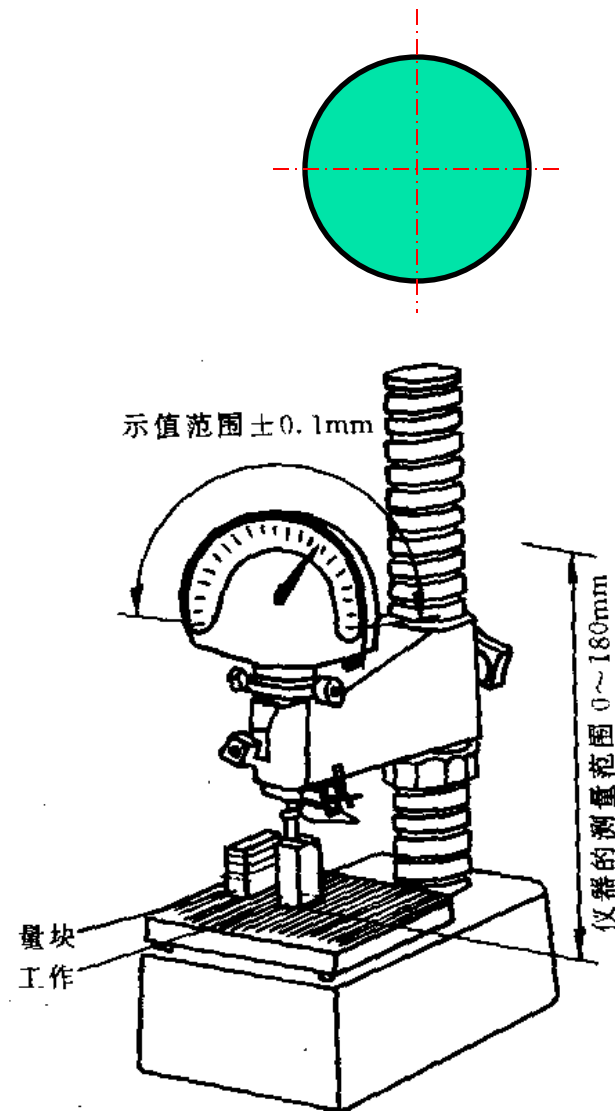
测量方法可以从不同角度进行分类。

- 1、按获得测量结果的方法
 - 直接测量
 - 间接测量
- 2、按示值是否为被测量的整个量值
 - 绝对测量
 - 相对测量 (比较测量)

D 和 **$R=D/2$**

例如**比较仪**用量块调零后，测量轴的直径，比较仪的示值就是轴的直径量值与量块之差。

例如用**游标卡尺**测量零件轴的直径值。



游标卡尺



三、测量方法分类-2

3、按测量时被测表面与计
量器具的测头是否接触

接触测量

非接触测量

4、按工件上同时测量
被测量的多少

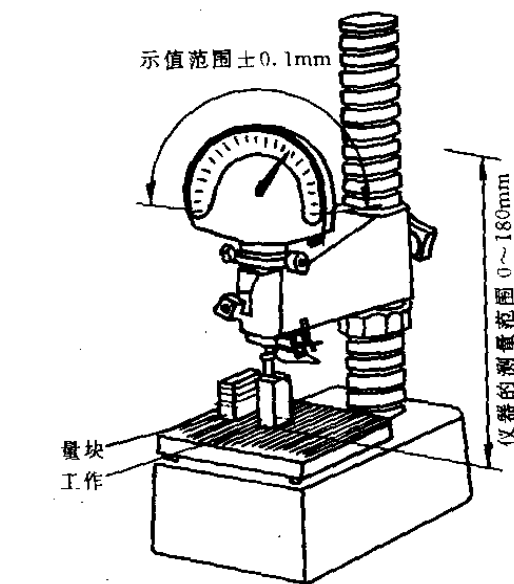
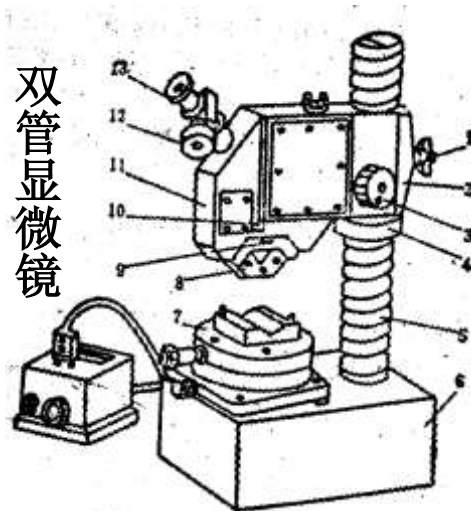
单项测量

综合测量

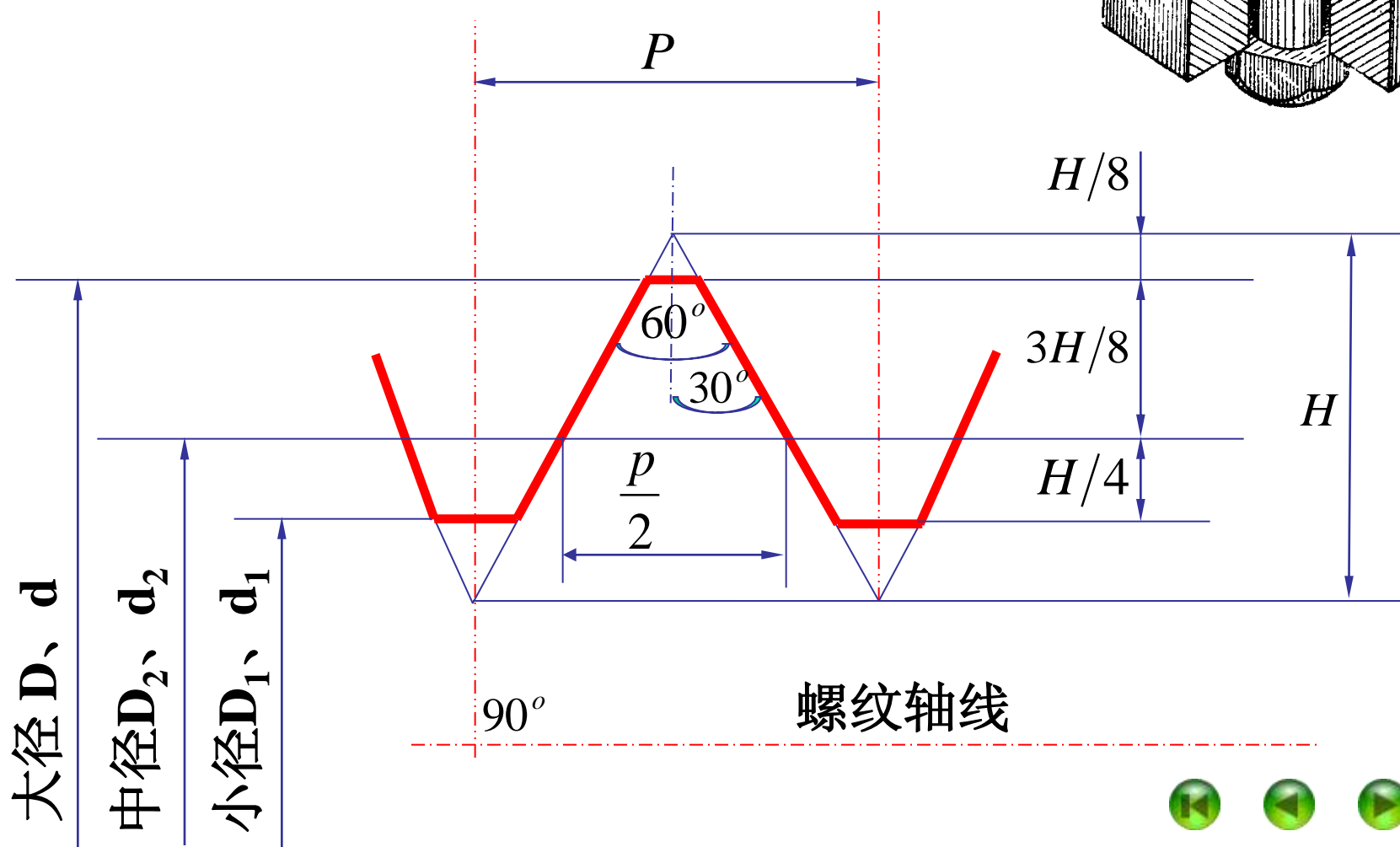
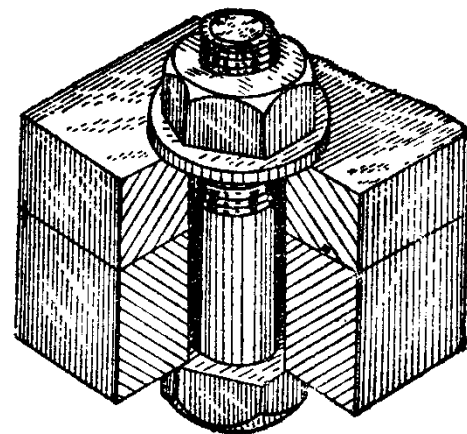
■ 螺纹量规检验合格与否 (①螺距

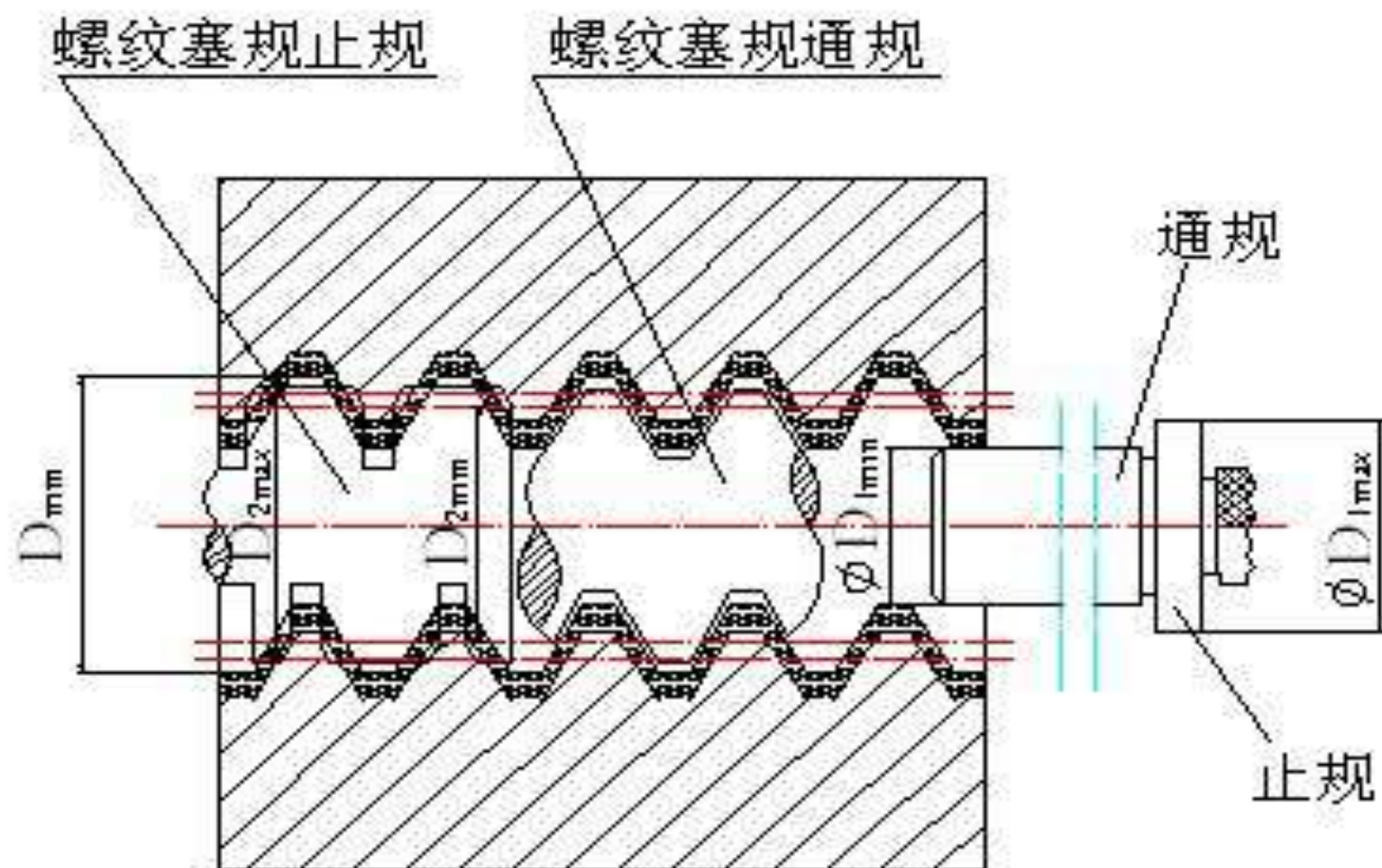
②牙型半角 ③ 螺纹 ④ 单一中径……)

■ 单项测量：工具显微镜，用于工艺分析



螺纹的几何参数





用螺纹塞规和光滑极限塞规检验内螺纹

三、测量方法分类-3

5、按测量在加工过程中所起作用 { **被动**测量：在零件加工**完毕后**进行的测量
主动测量：在零件加工**过程中**进行的测量

6、按被测工件在测量时所处的状态 { **等精度**测量
不等精度测量

等精度测量：在测量过程中，影响测量精度的全部因素或条件不变。

不等精度测量：在测量过程中，影响测量精度的全部因素或条件部分变。

等精度测量指在相同的测量条件下，由同一测试者用同一计量器具，以同样的测量方法，对同一被测几何量进行测量。

§ 5-4 测量误差 error of measurement

一、测量误差的基本概念

测得值－真值 = 测量误差

测量误差 $\left\{ \begin{array}{l} \text{绝对误差 } \delta = X - X_0 \quad X_0 = X \pm |\delta| \\ \text{相对误差 } f = |\delta| / X_0 \approx |\delta| / X \end{array} \right.$

| | | |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| $d_1 = \Phi 30\text{mm}$ | $\delta_1 = 0.005\text{mm}$ | $f_1 = 0.005/30 = 0.017\%$ |
| $d_2 = \Phi 30\text{mm}$ | $\delta_2 = 0.003\text{mm}$ | $f_2 = 0.003/30 = 0.01\%$ |
| $d_3 = \Phi 50\text{mm}$ | $\delta_3 = 0.005\text{mm}$ | $f_3 = 0.005/50 = 0.01\%$ |

二、测量误差的分类（性质）

- 1、系统误差 systematic error
 - 定值系统误差
 - 变值系统误差
- 2、随机误差 random error
- 3、粗大误差 parasitic error
 - 由于主观疏忽大意或客观条件发生突然变化而产生的误差。

在相同的测量条件下，
多次测量同一量值，
误差的绝对值和符号

- 不变——定值系统误差。
- 以一定规律变化——变值系统误差。
- 以不可预定方式变化——随机误差。

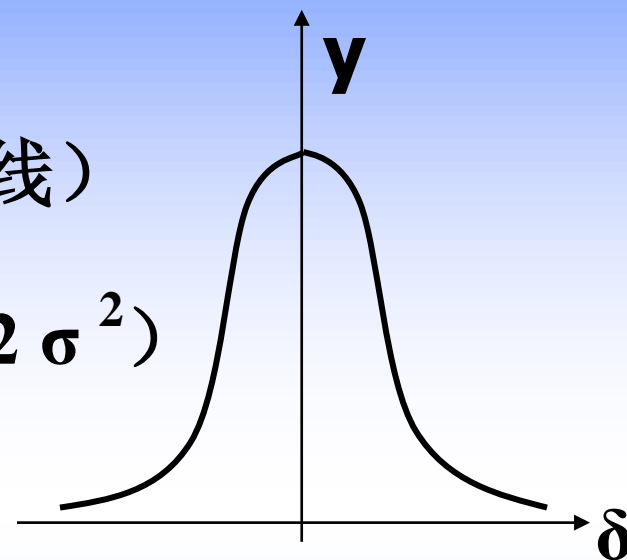


统计规律——概率统计

三、随机误差 random error

1、随机误差的特征（正态分布曲线）

$$y = (1/\sigma\sqrt{2\pi}) \times e^{- (\delta^2 / 2 \sigma^2)}$$



y ——概率密度函数
 δ ——随机误差
 σ ——标准偏差
 e ——自然对数 2.71828.....

- (1) 单峰性
- (2) 对称性
- (3) 相消性
- (4) 有界性

2、标准偏差的意义及实验估算

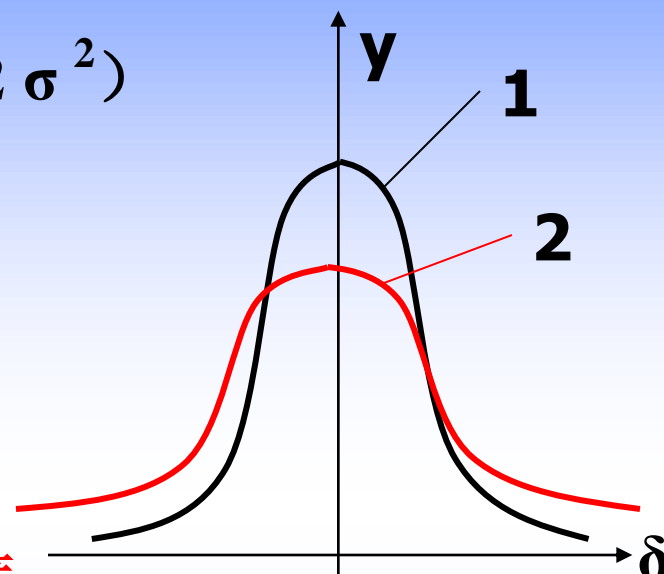
$$y = (1/\sigma\sqrt{2\pi}) \times e^{- (\delta^2 / 2 \sigma^2)}$$

若 $\delta=0$ 则 $y_{\max} = 1/\sigma\sqrt{2\pi}$

σ 大 $\longrightarrow y_{\max}$ 小 分散

σ 小 $\longrightarrow y_{\max}$ 大 集中

σ 反映随机误差的集中与分散程度



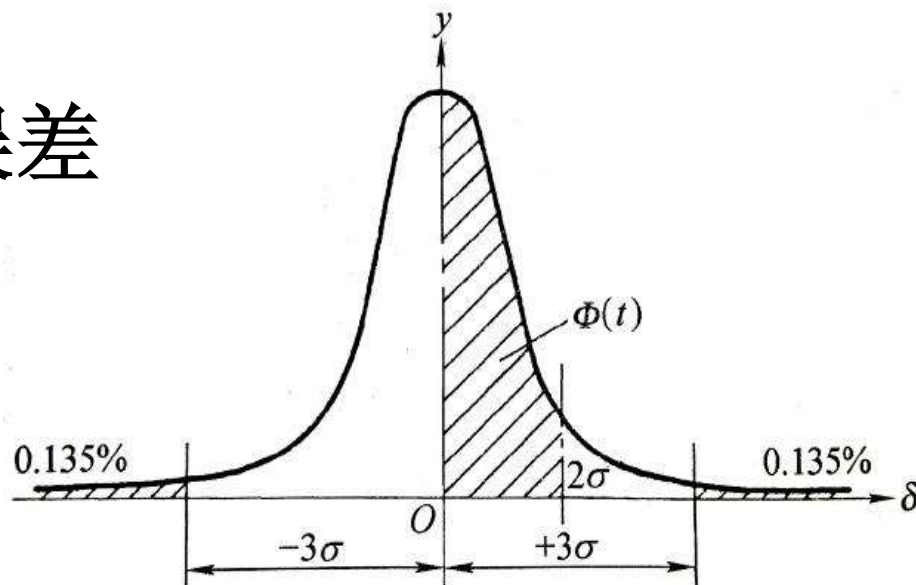
1) 算术平均值 $\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) / n$

2) 残余误差 $V_i = X_i - \bar{X}$

3) σ 的实验估算 $\sigma = \sqrt{(V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2) / (n-1)}$

3、随机误差的极限误差

δ_{lim} 的确定



四个特殊 t 值对应的概率

| t | $\delta = \pm t\sigma$ | 不超出 $ \delta $ 的概率 $P = 2\phi(t)$ | 超出 $ \delta $ 的概率 $P = 1 - 2\phi(t)$ |
|-----|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 1σ | 0.6826 | 0.3174 |
| 2 | 2σ | 0.9544 | 0.0456 |
| 3 | 3σ | 0.9973 | 0.0027 |
| 4 | 4σ | 0.99936 | 0.00064 |

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3 \sigma \quad (P = 99.73\%)$$



§ 5-5 各类测量误差的外理

一、随机误差(random error)的处理

1、单次测量结果的表达

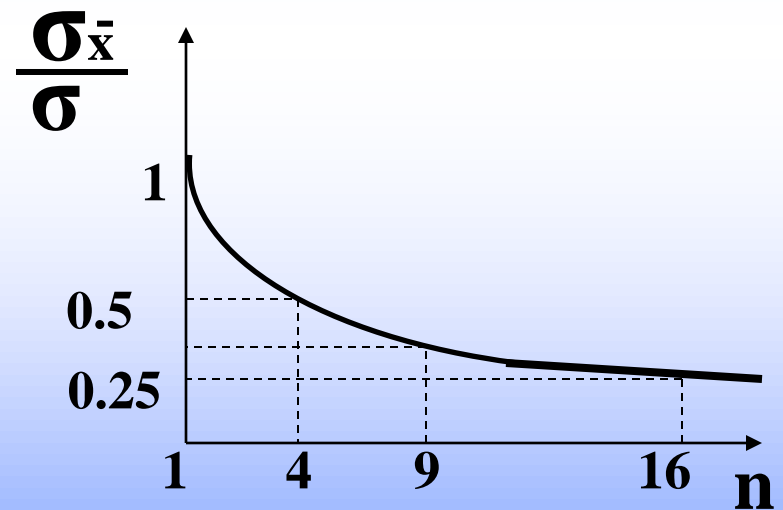
$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3 \sigma$$

$$X_e = X \pm 3\sigma$$

2、多次测量结果的表达

$$X_e = \bar{X} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$$

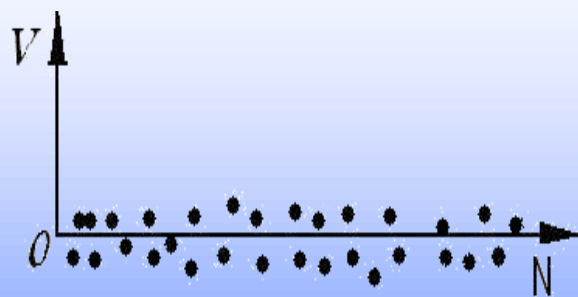


二、测量列中系统误差的处理

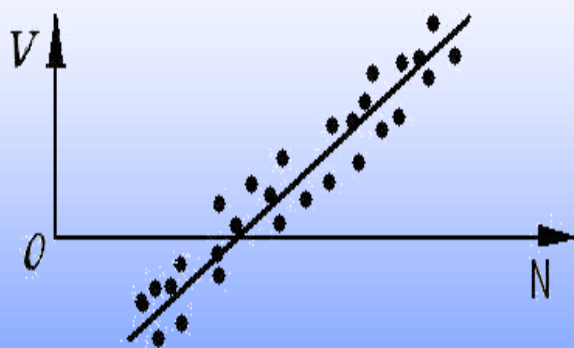
1. 发现系统误差的方法

➤ **实验对比法** 改变测量条件进行测量，以发现系统误差，适用于发现**定值**系统误差。

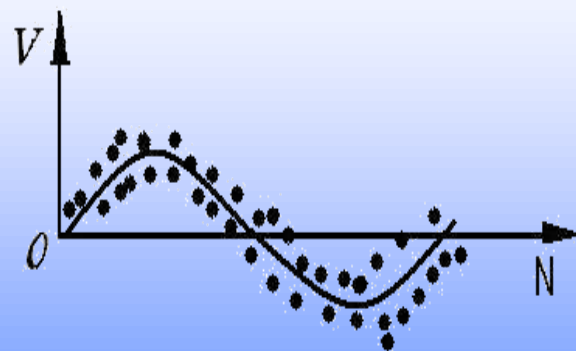
➤ **残差观察法** 根据残差大小和符号变化规律，由残差数据或残差曲线来判断有无系统误差，适用于发现大小和符号按一定规律变化的**变值**系统误差。



(a) 不存在变值系统误差



(b) 存在线性系统误差



(c) 存在周期性系统误差

二、系统误差(systematic error)的处理

- 1、定值系统误差——实验对比法（修正值）
- 2、变值系统误差——残差观察法

三、粗大误差(parasitic error)的处理

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma$$

(3σ 法) 拉依达准则

$$|V_i| > 3\sigma$$

粗大误差 (剔除)

§ 5-6 等精度测量列的数据处理

一、直接测量列的数据处理

- 1、判断有无系统误差；
- 2、计算 \bar{X} , V_i , σ ;
- 3、判断有无粗大误差 $|V_i| > 3\sigma$;
- 4、剔除粗大误差以后, 组成新数列, 重复2、3直至不存在粗大误差;
- 5、计算 $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$
- 6、写出测量结果 $X_e = \bar{X} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$

二、间接测量列的数据处理 (见课本)



【复习思考题】

- 1、一个完整的几何量测量过程包括那四要素？
- 2、量块的“级”和“等”是如何化分的？按“级”使用和按“等”使用有何不同？
- 3、测量误差按性质可分为几类？