

# 测量误差的理论基础

实验结果 --- 实验数据 --- 与其理论期望值不完全相同

## 一、测量误差的分类及产生原因

### 1、测量误差的分类

(1) 按误差本身量纲分类：绝对误差和相对误差

(2) 按误差出现的规律分类：系统误差、随机误差和粗大误差

① 系统误差 (System error) --- 有规律可循

由特定原因引起、具有一定因果关系并按确定规律产生

└─→ 装置、环境、动力源变化、人为因素

再现性 --- 偏差 (Deviation)

理论分析/实验验证 --- 原因和规律 --- 减少/消除

系统误差是有规律性的，因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法计算修正，也可以重新调整测量仪表的有关部件予以消除。

夏天摆钟变慢的原因是什么？



## ② 随机误差 (Random error)

因许多不确定性因素而随机发生

偶然性 (不明确、无规律)

概率和统计性处理 (无法消除/修正)

## ③ 粗大误差 (Abnormal error)

检测系统各组成环节发生异常和故障等引起

异常误差 --- 混为系统误差和偶然误差 --- 测量结果失去意义

分离 --- 防止

# 产生粗大误差的一个例子



# 对测量结果评价的三个概念

(1) 精密度

(2) 正确度

(3) 精确度 (准确度)

# 常用质量名词术语

## 精密度

它说明测量传感器输出值的分散值。

精密度是随机误差大小的标志，精密度高  $\longrightarrow$  随机误差小

## 正确度

它说明传感器输出值与真值的偏离程度。

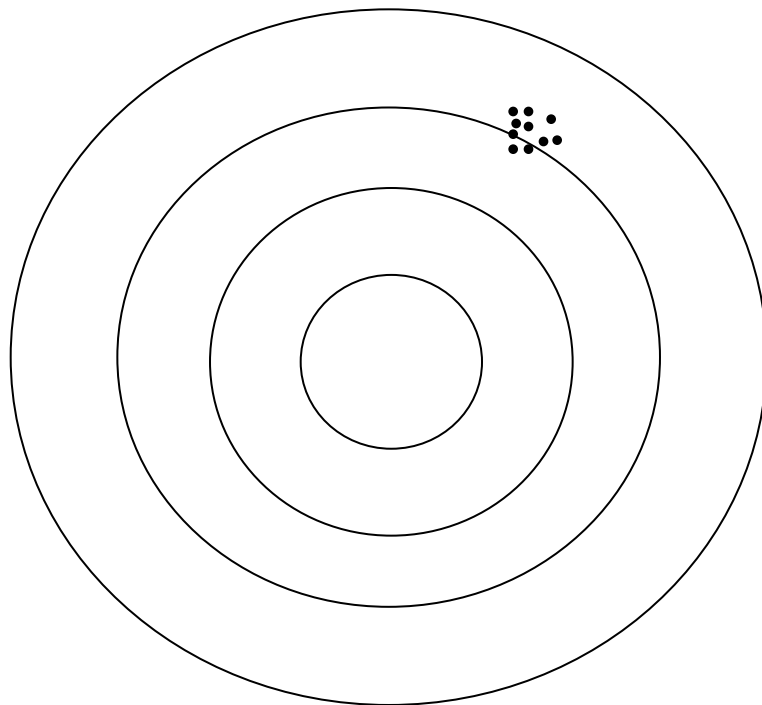
正确度是系统误差大小的标志，正确度高  $\longrightarrow$  系统误差小

## 精确度（准确度）

它是精密度与正确度两者的总和。

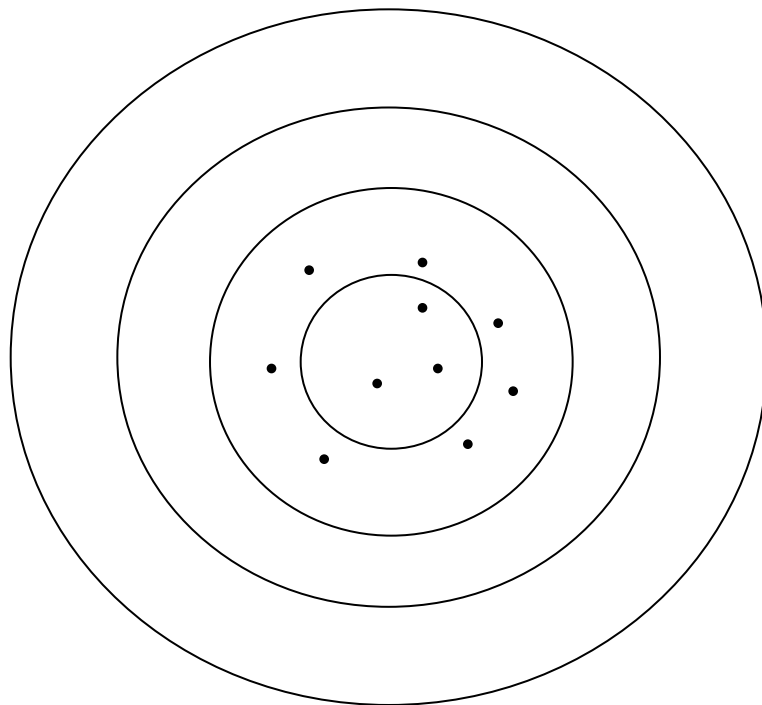
精确度高  $\longrightarrow$  精密度和正确度都高  $\longrightarrow$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{随机误差小} \\ \text{系统误差小} \end{array} \right.$

1



评价：随机误差比较小，系统误差比加大，  
**精密度**比较高。

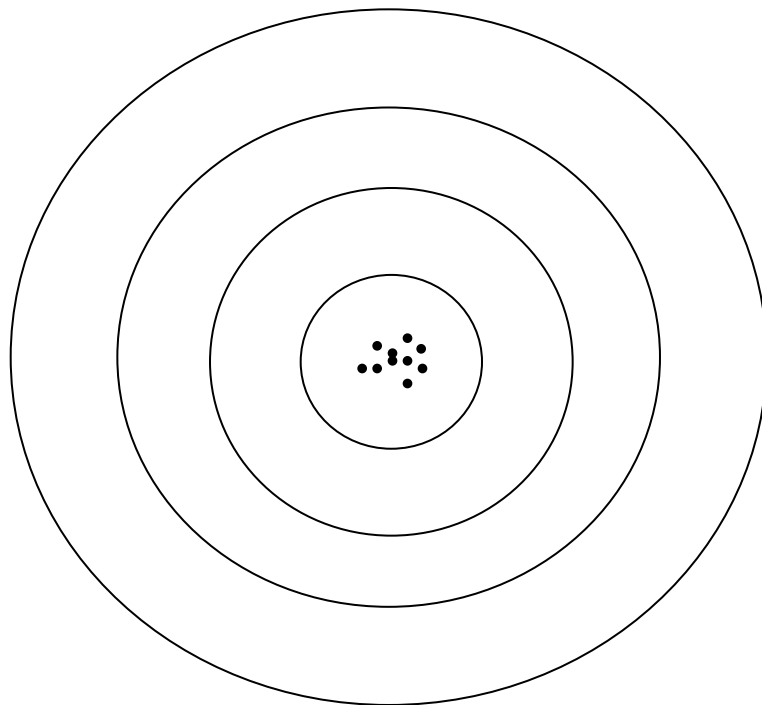
2



评价：系统误差比较小，随机误差比较大，  
正确度比较高。




3



评价：系统误差与随机误差都比较小，  
**精确度**比较高！

- 新华网雅典8月22日专电 在雅典奥运会射击最后一天的比赛中，第一次参加奥运会的中国选手贾占波以1264.5环的成绩战胜夺金热门美国选手埃蒙斯，夺得男子50米步枪3x40比赛冠军。
- 主裁判瓦西里斯·德里奥斯在赛后告诉新华社记者：“他（埃蒙斯）射中了其他选手的靶子”。



过失误差

### (3) 按使用的工作条件分类： 基本误差和附加误差

基本误差指仪表在规定的标准（额定）条件下所产生的误差。

当仪表的使用条件偏离标准（额定）工作条件，就会出现附加误差。

### (4) 按误差的特性分类： 静态误差和动态误差

## 2、测量误差的产生原因

(1) 检测系统误差

(2) 环境误差

(3) 方法误差

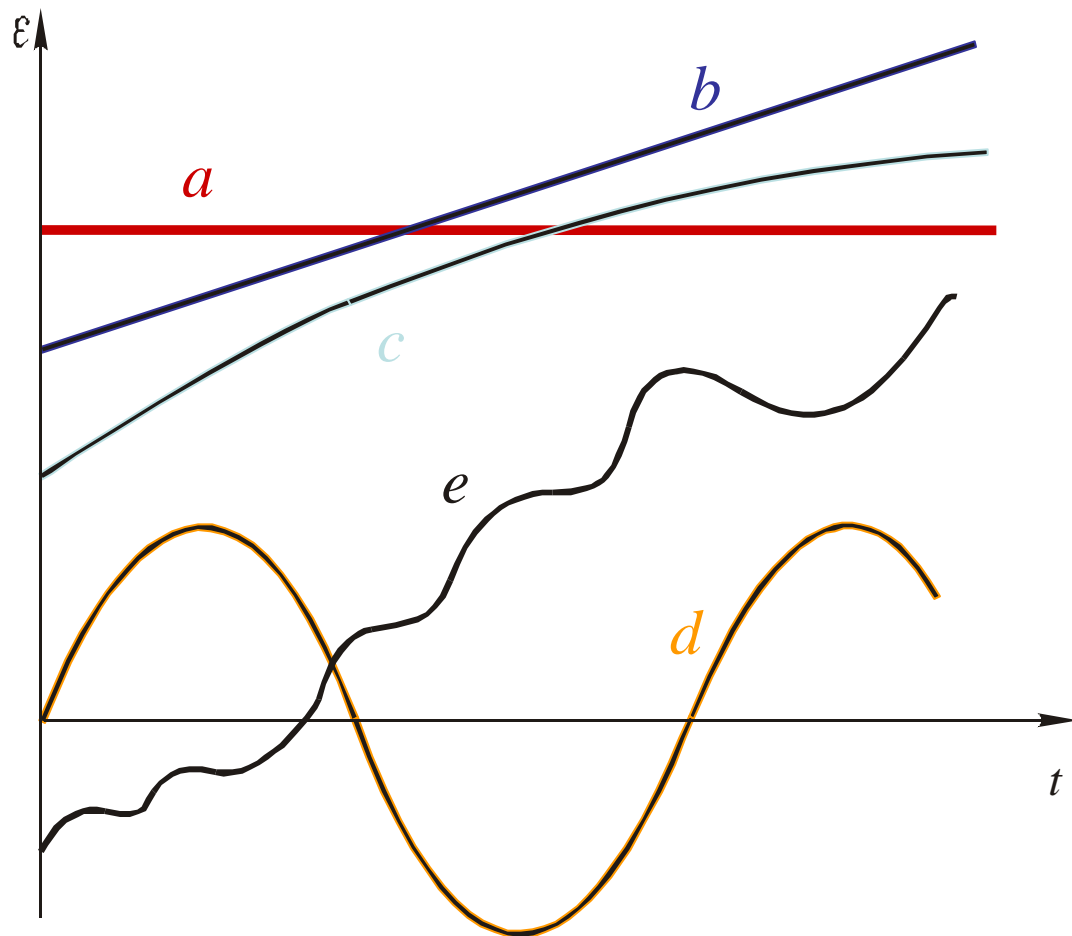
(4) 人员误差

# 系统误差与随机误差的比较

项目	系统误差	随机误差
产生原因	固定因素，有时不存在	不定因素，总是存在
分类	方法误差、仪器与环境误差、主观误差	环境的变化因素、主观的变化因素等
性质	重现性、单向性（或周期性）、可测性	服从概率统计规律、不可测性
影响	正确度	精密度
消除或减小的方法	校正	增加测定的次数

## 二、系统误差的估计与判定

- 系统误差也叫可测误差，它是定量分析误差的主要来源，对测定结果的准确度有较大影响。它是由于分析过程中某些确定的、经常的因素造成的，对分析结果的影响比较固定。系统误差的特点是具有“**重现性**”、“**单一性**”和“**可测性**”。
- 即在同一条件下，重复测定时，它会重复出现；使测定结果系统偏高或系统偏低，其数值大小也有一定的规律；如果能找出产生误差的原因，并设法测出其大小，那么系统误差可以通过校正的方法予以减小或消除。



曲线a是恒定系统误差

曲线b是线性变化系统误差

曲线c是非线性变化系统误差

曲线d是周期性变化系统误差

曲线e是复杂规律变化系统误差

## 1、实验对比法

仅适用于发现**恒值**系统误差

## 2、残余误差观察法

主要用于**有规律变化**的变值系统误差

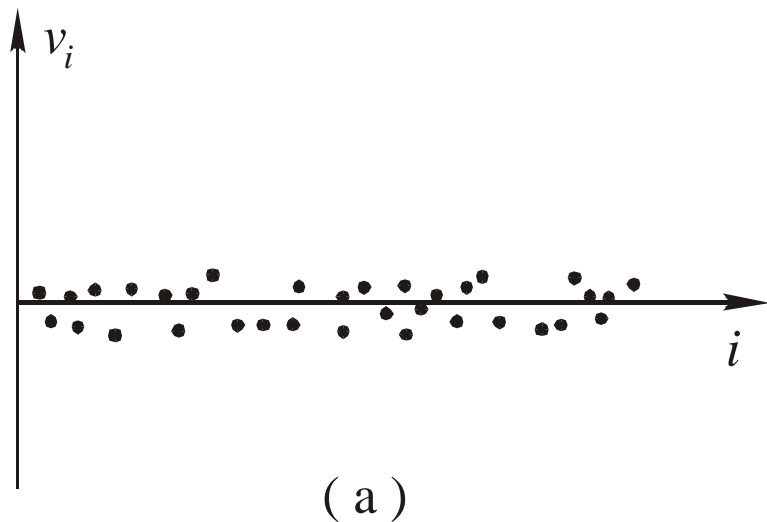


图 (a) 说明各残差大体正负相间，无显著变化规律，故不含有变值系统误差。

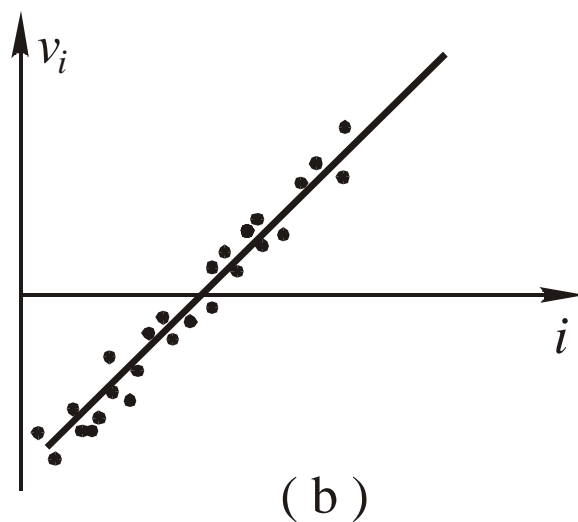
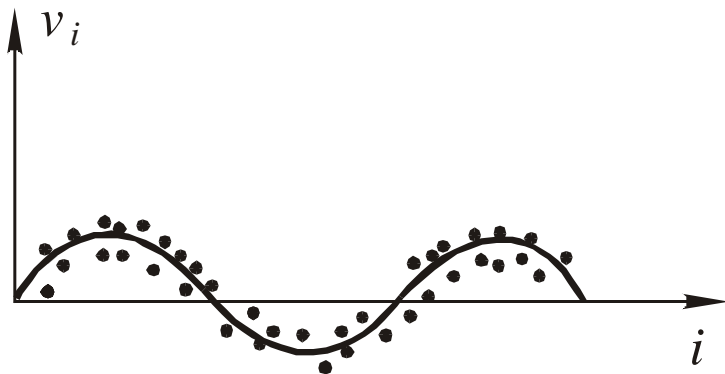
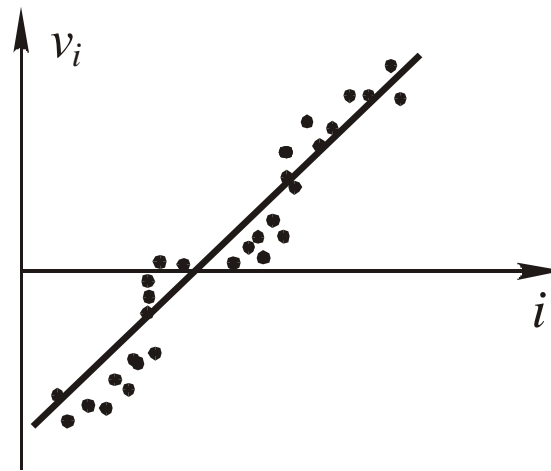


图 (b) 的残差数值有规律地递增或递减，则说明存在线性递增的系统误差。



(c)

图(c)的残差符号由正变负，再由负变正，循环交替地变化，则说明存在周期性系统误差



(d)

图(d)的残差值变化既有线性递增又有周期性变化，则说明存在复杂规律的系统误差。

### 3、标准差判据

该判据使用时必须满足其有效性条件，即

**测量次数 $n > 19$**



# 消除和减少系统误差的一般方法

① 找出规律 --- 修正值

② 测量方法 --- 避免出现系统误差

1) 分析系统误差产生的原因

--- 防止系统误差出现的最基本办法

测量前 --- 对可能产生的误差因素进行分析，采取相应措施

2) 引入修正值进行校正

--- 已出现的系统误差

理论分析/专门的实验研究 --- 系统误差的具体数值和变化规律

--- 确定修正值（温度、湿度、频率修正等）

--- 修正表格、修正曲线、修正公式 --- 按规律校正

### 3) 检测方法上消除或减小

- 实际测量中, 采取有效的测量方法

- 现有仪器设备取得更好的效果 (提高测量准确度)

#### ① 换位法/替代法

引起系统误差的条件 (如被测量的位置) 相互交换 --- 其他条件不变 --- 产生系统误差的因素对测量结果起相反的作用

- 抵消

已知量替换被测量

例：等臂天平称重 --- 左右两臂长的微小差别 --- 恒值系统误差

被测物 --- X；平衡物 --- T；砝码 --- P

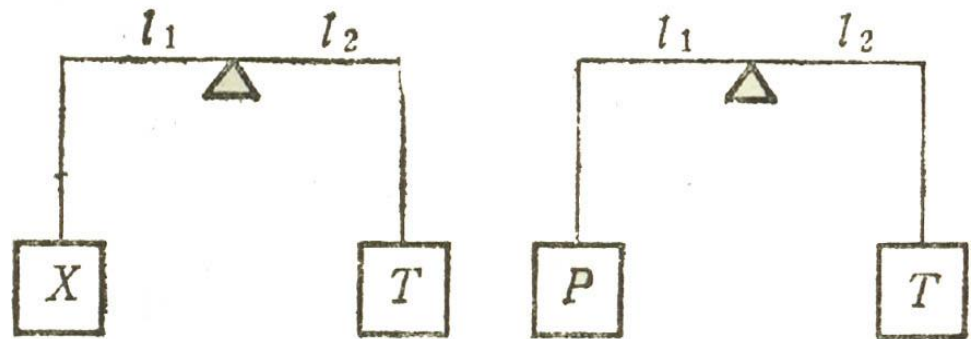
a) X与P左右交换 --- 两次测量的平均值 --- 消除系统误差

b) T与X 平衡      P与T平衡

$$X = \frac{L_2}{L_1} T$$

$$P = \frac{L_2}{L_1} T$$

测量结果



换位/替代法

## ② 抵消法 --- 异号相消法

改变测量条件（如方向）--- 两次测量结果的误差符号相反  
--- 平均值消除带有间隙特性的定值系统误差

例：千分尺 --- 空行程（刻度变化，量杆不动）--- 系统误差

正反两个方向对准标志线——不含系统误差— $a$ ,

空程引起误差— $\varepsilon$

顺时针 ---  $d = a + \varepsilon$

逆时针 ---  $d' = a - \varepsilon$

→ 正确值 ---  $a = (d + d') / 2$

### ③ 差动法

被测量对传感器起差动作用 干扰因素起相同作用

--- 被测量的作用相加

--- 干扰的作用相减

作用： 抑制干扰  
提高灵敏度和线性度

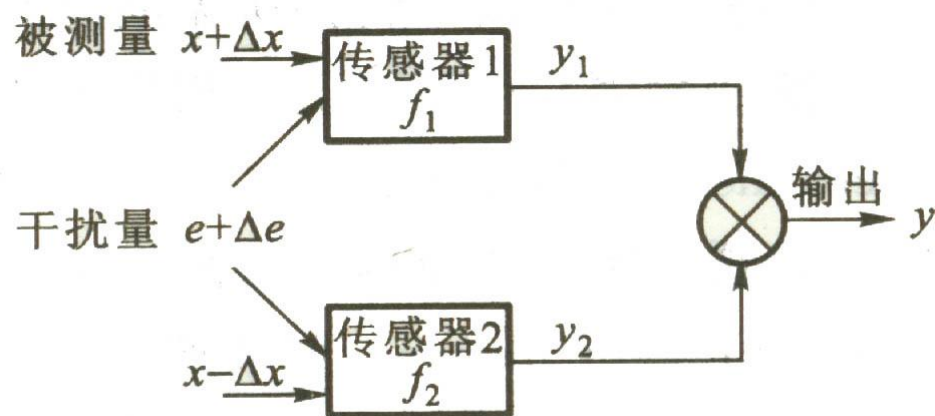


图 1-11 差分结构

### ④ 比值补偿法

利用比值补偿原理 --- 影响因素在输出计算式的分子、分母上同时出现 --- 约消

例：比色高温计 --- 消除辐射率变化的影响

⑤ 半周期偶数观测法 --- 系统误差随某因素成周期性变化

测量 ---  $\frac{1}{2}$ 变化周期

两次测量所得的周期系统误差 --- 数值相等、正负相反 --- 取平均值

自动检测 --- 检测的时间间隔为 $\frac{1}{2}$ 周期（克服随时间周期变化因素的影响）

综合：

传感器信号转换 --- 选频放大器、滤波器、滤色片 --- 截断/删除无用频带（只让有用信号频带通过） --- 减轻校正、补偿难度

有影响的因素 --- 定值/较窄范围 --- 系差稳定 --- 修正值措施 --- 恒温、稳压或稳频

### 三、减小随机误差的方法

随机误差是不可以消除的，但随机误差服从统计规律，具有的抵偿性

#### (1) 提高检测系统准确度

尽量避免使用存在摩擦的可动部分，减小可动部分器件的重量

采用负反馈结构的平衡式测量，应用无间隙传动链

#### (2) 抑制噪声干扰

屏蔽、接地、滤波、选频、去耦。隔离传输等等

#### (3) 对测量结果的统计处理

通过对测量数据的统计平均，可精确地给出测量结果地范围。

## 按误差出现的规律，将下列误差进行分类

- 1、用一只电流表测量某电流，在相同条件下每隔一定时间重复测量 $n$ 次，测量数值间有一定的偏差。
- 2、用万用表测量电阻时，由于零点没有调整，测得的阻值始终偏大。
- 3、由于仪表放置的位置问题，使观测人员只能从一个非正常角度对指针式仪表读数，由此产生的读数误差。
- 4、由于仪表刻度（数值）不清楚，使用人员读错数据造成的误差。
- 5、用热电偶测量温度，由于导线电阻引起的测量误差。
- 6、要求垂直安装的仪表，没有按照规定安装造成的测量误差。



# 补充：有效数字

## 一、有效数字的概念

1.定义：测量结果中**可靠**的几位**数字**加**可疑**的一位**数字**统称为有效数字。

例如：用**毫米分度**的钢尺测量某物体的长度，除了确切地读出钢尺上有刻度线的位数之外，还应**估读一位**，即读到十分之一毫米。比如读数为：20.5MM，表明20是可靠数字，不会有读数误差，最后一位5是估读位，存在读数误差，是可疑数字。

## 2. 注意事项

### (1) 注意有效数字中的“0”

数字前的“0”不是有效数字，数字中间或末尾的“0”是有效数字。

**0.0135m 是三位有效数字**

**1.0350m 是五位有效数字**

**1.0350m  $\neq$  1.035m**

## (2) 有效数字的科学记数法

对于大数或小数，常用  $*.*.* \times 10^{\pm n}$  形式书写(其中  $*.*.*$  反映测量结果的有效数字)，  
例如：  $4.60 \text{ t}$ ，用 **g** 为单位时，一定写成：  
**g**而不能写为 **4600000 g**； 又如：  
**0.010323 纳米**，用米为单位时，应该写  
成： **$1.0323 \times 10^{-11}$  米**。

## 二、有效数字的性质

- 1.有效数字位数的多少与被测对象的大小有关。
- 2.有效数字位数的多少与测量仪器的精确度有关。
- 3.有效数字位数的多少与测量方法有关。

# 三、有效数字的运算

## 1.有效数字的运算原则

### (1) 一般原则

- ①可靠数字之间相运算，其结果为可靠数字。  
可靠数字与可疑数字或可疑数字之间相运算，其结果均为可疑数字。
- ②结果一般只保留一位可疑数字。
- ③运算中常数、无理数及常系数等的位数不受限制。

## (2) 加减法

加减运算结果的有效数字,以参与运算各数的末位数中数量级最大的那一位为运算结果的末位.例如: **$55.234+3.23-1.5246-1=56$** (参与运算的四个数中,末位数量级最大的数是1,在个位上,故运算结果的有效位数末位在个位上)

### (3) 乘除法

积商运算结果的有效数字与参与运算各量中有效数字位数最少 的相同。

例如： **$1.21 \times 56.231 = 68.0$**  (三位数乘以五位数结果有效数字应该是三位)

(4) 函数运算结果的有效位数与自变量的有效位数相同.如  $\ln 3.45 = 1.38$

(5) 有多个数值参与运算时，在运算中途应该多保留一位，以免引入计算误差，运算最后应按规定保留有效数字位数。



## (6) 尾数舍入法则

尾数小于五则舍，大于五则入，等于五则把前一位凑成偶数。

四舍六入五成双

**1.532**

**4.036**

**2.465**

**2.435**

**1.53**

**4.04**

**2.46**

**2.44**