



# 电子测量与智能仪器

## 第二章 测量误差分析与数据处理

2010年3月

温州大学瓯江学院

授课教师：林志源

# 第2章 测量误差分析与数据处理

## ■ 2.1 测量误差的基本原理

2.1.1 研究误差的目的

2.1.2 测量误差的表示方法

2.1.3 电子测量仪器误差的表示方法

2.1.4 一次直接测量时最大误差的估计

## ■ 2.2 测量误差的分类

2.2.1 误差的来源

2.2.2 测量误差的分类

2.2.3 测量结果的评比

作业布置1





## ■ 2.3 随机误差的统计特性及其估算方法

### 2.3.1 测量值的数学期望与标准差

### 2.3.2 贝塞尔公式及其应用

### 2.3.3 均匀分布情况下的标准差

### 2.3.4 非等精密度测量

## ■ 2.4 系统误差的特征及其减小的方法

### 2.4.1 系统误差的特征

### 2.4.2 判断系统误差的方法

### 2.4.3 减小系统误差的方法



- 2.5 疏失误差及判断准则
  - 2.5.1 测量结果的置信问题
  - 2.5.2 不确定度与坏值的剔除准则
- 2.6 测量数据的处理
  - 2.6.1 数据舍入规则
  - 2.6.2 等精密度测量结果的处理步骤
  - 2.6.3 曲线修匀
  - 2.6.4 最小二乘法原理
  - 2.6.5 测量不确定度



## ■ 2.7 误差的合成与分配

2.7.1 误差传递公式

2.7.2 常用函数的合成误差

2.7.3 系统误差的合成

2.7.4 按系统误差相同的原理分配误差

2.7.5 按对总误差影响相同的原理分配误差

2.7.6 微小误差准则

## ■ 2.8 最佳测量条件的确定与测量方案的设计

2.8.1 最佳测量条件的确定

2.8.2 测量方案设计

## 2.1 测量误差的基本原理

### ■ 2.1.1 研究误差的目的

研究误差的目的，归纳起来可有以下几个方面：

- ① 正确认识误差的性质和来源，以减小测量误差。
- ② 正确处理测量数据，以得到接近真值的结果。
- ③ 合理地制订测量方案，组织科学实验，正确地选择测量方法和测量仪器，以便在条件允许的情况下得到理想的测量结果。
- ④ 设计仪器时，需要用误差理论进行分析并适当控制这些误差因素，使仪器的测量准确程度达到设计要求。



## 2.1.2 测量误差的表示方法

### ■ 1、测量误差的分类

测量误差按表示方法分，有绝对误差和相对误差；当用于表示测量仪器时还有“引用误差”。

按误差的来源分，有器具误差、人身误差、影响误差及方法误差等。

按误差的性质分，有系统误差、随机（偶然）误差和疏失（粗大）误差。





## ■ 2、绝对误差

### (1) 定义

由测量所得到的被测量值 $x$ 与其真值 $A_0$ 的差，称为绝对误差。

$$\Delta x = x - A_0$$

$\Delta x$ 是具有大小、正负和量纲的数值。它的大小和符号分别表示测得值偏离真值的程度和方向。



- 例：一个被测电压，其真值 $U_0$ 为100V，用一只电压表测量，其指示值 $U$ 为101V，则绝对误差

$$\Delta U = U - U_0 = 101 - 100 = 1V$$

为了区别起见，称满足规定标准度的用来代替真值使用的量值为实际值，用 $A$ 表示。这时绝对误差写成

$$\Delta x = x - A$$

这是通常使用的表达式



## (2) 修正值（校正值）

与绝对误差的绝对值大小相等，但符号相反的量值称为修正值，用C表示

$$C = -\Delta x = A - x$$

在测量时，利用测得值与已知的修正值相加，即可算出被测量的实际值。

$$A = x + C$$



- 例2.1.2 一台晶体管毫伏表的10mV挡，当用其进行测量时，示值为8mV，在检定时8mV处的修正值是-0.03mV，则被测电压的实际值为

$$U=8+(-0.03)=7.97(\text{mV})$$

说明有误差的测得值加上修正值后就可以减小误差影响。



注意：利用修正值，应在仪器的检定有效期内，否则要重新检定。

必须指出：修正值本身也有误差，修正后的数据只是比较接近实际值而已。

一般规定：绝对误差和修正值的量纲必须与测得值一致。



绝对误差虽然可以说明测得值  
偏离实际值的程度，但不能说明测  
量的准确程度。

例2.1.3 测量两个电压，其实际值为  
 $U_1=100\text{V}$ ， $U_2=5\text{V}$ ；而测得值分别  
为101V和6V。则绝对误差为

$$\Delta U_1=101-100=1\text{V}$$

$$\Delta U_2=6-5=1\text{V}$$

### ■ 3、相对误差

#### (1) 定义

测量的绝对误差与被测量的真值之比（用百分数表示），称为**相对误差**用  $\gamma_0$  表示。

$$\gamma_0 = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\%$$

一般情况下，可用绝对误差与实际值之比表示相对误差（有必要区分时称为**实际相对误差**），用  $\gamma_A$  表示

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% = \frac{x - A}{A} \times 100\%$$





例:

$$\gamma_{A1} = \frac{\Delta U_1}{U_1} \times 100\% = \frac{1}{100} \times 100\% = 1\%$$

$$\gamma_{A2} = \frac{\Delta U_2}{U_2} \times 100\% = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$$

用相对误差可以恰当地表征测量的准确程度。

相对误差是一个只有大小和符号，而没有量纲的数值。



在误差较小或要求不太严格的场合，也可以用仪器的测得值代替实际值。这时的相对误差称为示值相对误差，用  $\gamma_x$  表示。

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

式中， $\Delta x$  由所用仪器的准确度等级定出。由于  $x$  中含有误差，所以  $\gamma_x$  只适用于近似测量。

## (2) 分贝误差

用对数形式表示的误差称为分贝误差，常用于表示增益或声强等传输函数的值。

例：电压增益的分贝值：

$$G_x = 20 \lg \frac{U_o}{U_i} = 20 \lg A_u \text{ (dB)}$$

又因为

$$A_u = A + \Delta A$$

则  $G_x = 20 \lg(A + \Delta A) = 20 \lg[A(1 + \frac{\Delta A}{A})] = 20 \lg A + 20 \lg(1 + \gamma_A)$

所以

$$G_x = G + 20 \lg(1 + \gamma_A)$$

令

$$\gamma_{dB} \approx 20 \lg(1 + \gamma_A) \approx 20 \lg(1 + \gamma_x)$$





例2.1.4 测量一个放大器，已知  
 $U_i=1.2\text{mV}$ ， $U_o=6000\text{mV}$ 。设 $U_i$ 的  
误差忽略不计，而 $U_o$ 的测量误差  $\gamma_u$   
为 $\pm 3\%$ 时，求放大倍数的绝对误差  
 $\Delta A$ 、相对误差  $\gamma_x$ 及分贝误差  $\gamma_{\text{dB}}$

测得值的相对误差愈小，表示它的  
准确度愈高。所以评价测量水平时  
应当用相对误差来比较，它是误差计  
算中最常用的一种表达形式。

当表示增益时  $\gamma_{\text{dB}}=10\lg(1+\gamma_p)\text{dB}$

## 2.1.3 电子测量仪器误差的表示方法

### ■ 工作误差

是在额定条件下测定的仪器误差极限。即来自仪器外部的各种影响量（例如温度、湿度、大气压力、供电电源等）和影响特性（仪器的一个工作特性的变化对另一个工作特性的影响，如低频信号发生器的频率变化对输出电压的影响）为任意可能的组合时，仪器的工作误差可能达到的最大极限值。

优点：对使用者非常方便，可以利用工作误差直接估计测量结果误差的最大范围。

缺点：是在最不利的条件下给出的，而实际使用中构成最不利组合的可能性很小。因此用仪器的工作误差来估计测量结果的误差会偏大。





## ■ 固有误差

是当仪器的各种影响量与影响特性处于基准条件时，仪器所具有的误差。

这种误差指标能够更准确地反映仪器所固有的性能，便于在相同条件下对同类仪器进行比较的校准。

### ■ 3、影响误差

是当一个影响量在其额定使用范围内（**或一个影响特性在其有效范围内**）取任一值，而其他影响量和影响特性均处于基准条件下所得的误差。

只有当某一影响量在工作误差中起重要作用时才给出，它是一种误差极限。



## ■ 4、稳定误差

稳定误差是仪器的标称值在其他影响量及影响特性保持恒定的情况下，于规定时间内所产生的误差极限。

习惯上以相对误差形式或者注明最长连续工作时间。





- 例：DS-33型交流数字电压表就是用这四种误差标注的。**工作误差**：50Hz~1MHz，10mV~1V量程为（ $\pm 1.5\%$ 读数 $\pm$ 满量程的0.5%）；**固有误差**：1kHz，1V时为读数的 $\pm 0.4\%$  $\pm 1$ 个字；**温度影响误差**：1kHz，1V时温度系数为 $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ；**频率影响误差**：50Hz~1MHz为（ $\pm 0.5\%$ 读数 $\pm$ 满量程的0.1%）；**稳定误差**：在温度-10~+40 $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度80%以下，大气压力86~106kPa的环境内，连续工作7小时。



- 目前还有一些电子测量仪器仍根据1965年制订的《无线电测量仪器总技术条件（草案）》按使用条件基本误差及附加误差。

### (1) 基本误差

指仪器在规定的正常工作条件下所具有的误差。与前述固有误差的意义基本相同，但这里所限定的测试条件较宽。

满度相对误差是绝对误差与测量范围上限或量程满度值 $x_m$ 的比值（用百分号表示），即

$$\gamma_m = \frac{|\Delta x_m|}{x_m} \times 100\%$$

式中， $\Delta x_m$ 是仪器仪表整个刻度线上出现的最大误差。



$\gamma_m$ 是仪器在正常工作条件下不应超过的最大相对误差。对测量者来说，在没有修正值的情况下，应当认为指针在不同偏转角时的示值误差处处相等，即在一个量程内各处示值的最大绝对误差 $\Delta x_m$ 是个常数。一般称此为误差的整量化。

这种误差表示方法比较多地用在电工仪表中，其准确度等级分为0.1，0.2，0.5，1.0，1.5，2.5，5.0共7级，分别表示它们满度相对误差百分数的分子可能出现的最大数值（指绝对值）。对于电子测量仪器，引用误差的优先数列为1，2，3，5，7。上述等级值通常用S表示。例如，S=1说明仪器的满度相对误差不超过 $\pm 1\%$ 。

## (2) 附加误差

它是指由于仪器超出规定的正常工作条件时所增加的误差

在使用时，除考虑仪器本身的基本误差外，还要加上附加误差。

采用基本误差和附加误差的形式，对使用者来说，掌握各项误差的大小是有利的，但在估计仪器的总误差时要进行误差合成计算。



## 2.1.4 一次直接测量时最大误差的估计

设在只有基本误差的情况下，仪器仪表的**最大绝对误差**为

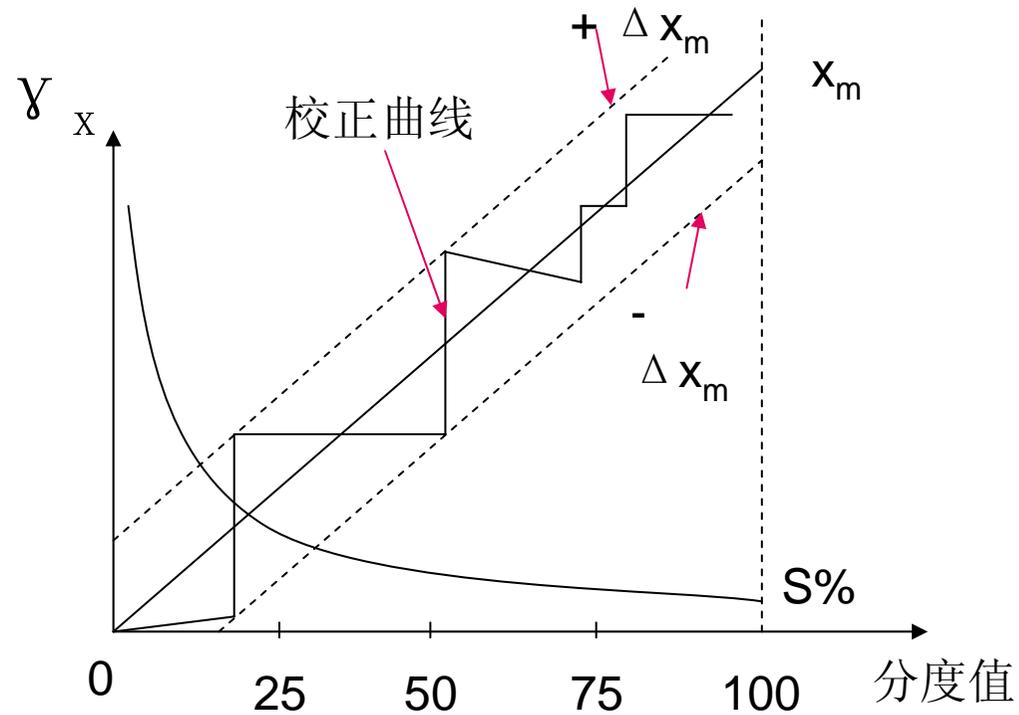
$$\Delta x_m = \pm S\% \cdot x_m$$

$\Delta x_m$ 与示值 $x$ 的比值，即**最大的示值相对误差**

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% = S\% \cdot \frac{x_m}{x}$$

这个关系可以用下图说明





相对误差与刻度线分度值的关系曲线图

所以，当仪器仪表的准确度给定时，示值愈接近满度值，示值的准确度愈高。

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/038065120003006052>