

# 系统误差及其消除\*

左长贵 居从莽

(淮安信息职业技术学院 江苏 淮安 223001)

**摘要** :阐述了在电子测量过程中产生系统误差的原因、减小系统误差需要考虑的问题,利用马利科夫和阿贝特两种判据讨论了变值系差及其对测量结果的 $\pm$ 影响,利用修正的方法讨论了恒定系差的检查和处理,阐述了在电子测量中利用零示法、交换法、微差法、替代法等测量方法从测量技术上消除或减弱系统误差的影响。

**关键词** :系统误差;原因;消除方法

中图分类号 :TM7

文献标识码 :A

文章编号 :1671-532X(2002)02-0036-04

系统误差通常是由于测量设备有缺陷、不准确或安放位置不当、环境条件变化、个人习惯以及近似计算等原因所造成的。对于掌握了方向和大小的系统误差,可以通过修正值与测量结果的代数和将其从测量结果中消除。总的来说,系统误差的出现是有规律可寻的,在实际工作中,可以通过技术途径来消除或削弱其影响,但是造成系统误差的原因很多,且不能准确地掌握,虽进行了修正,在已修正结果中仍会存在系统误差,残余系统误差(不可预期的部分)将导致测量的不确定性。

## 1 减小系统误差必须考虑的问题

测量时为减小系统误差及其影响应考虑以下几点<sup>[1]</sup>:采取合理的测量方案或方法,如校准仪器的刻度,选择正确的测量方案等;在测量过程中,采取某些技术措施尽量消除和减弱系统误差的影响;测量结束后,首先要检验测量数据中是否存在变值系差。存在变值系差的测量数据原则上应舍弃不用,并根据变值系差的变化特性,找出产生变值系差的因素,重新进行测量。当残差的最大值明显小于测量允许的误差范围时,也可考虑使用所得的测量数据;对评定可用的测量数据所得的结果进行修正,设法估算出未能消除而残留下来的系统误差对最终测量结果的影响,即设法估计出残余的系统误差的数值极限范围,计算出

测量结果的不确定度。

## 2 系统误差的检查和判别

在实际测量中,系统误差和随机误差一般都是存在的。如果在一列测量数据中存在着未被发现的系统误差,那么对测量数据按随机误差进行的一切数据处理将毫无意义。所以在对测量数据进行统计处理前必须要检查是否有系统误差存在。

### 2.1 恒定系统误差的检查和处理

常用校准的方法来检查恒定系统误差是否存在,通常用标准仪器或标准装置来发现并确定恒定系统误差的数值,或依据仪器说明书上的修正值,对测量结果进行修正<sup>[2-3]</sup>。下面分析恒定系统误差对测量结果的影响。

设一系列重复测量值为 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ,测量值中含有随机误差 $\delta_i$ 和恒定系统误差 $\theta$ ,设被测量的真值为 $x_0$ ,则有

$$x_i = x_0 + \delta_i + \theta$$

当 $n$ 足够多时, $\sum_{i=1}^n \delta_i \approx 0$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \approx \frac{1}{n} (nx_0 + \sum_{i=1}^n \delta_i + n\theta) = x_0 + \theta \quad (1)$$

式(1)表明,当测量次数 $n$ 足够大时,随机误差对

\* 收稿日期:2002-03-17

作者简介:左长贵(1964-)男,江苏涟水县人,淮安信息技术学院工程师。

$\bar{x}$  的影响可忽略,而系统误差  $\theta$  会反映在  $\bar{x}$  中。利用修正值  $C = -\theta$  可以在进行平均前的每个测量值中扣除,也可以在得到算术平均值后扣除。即对于因测量方法或原理引入的恒定系差,可通过理论计算修正。

设单次测量值为  $x_i$ , 残差为  $v_i$ , 在这种情况下,

$$v_i = x_i - \bar{x} = (x_0 + \theta + \delta_i) - (x_0 + \theta) \approx \delta_i$$

即  $\theta$  不影响  $v_i$  的计算,也不影响实验标准偏差  $s$  的计算。也就是说,恒定系统误差并不引起随机误差分布密度曲线的形状及其分布范围的变化,也就无从通过统计方法来检查是否存在恒定系统误差的存在,在数据处理中要特别注意恒定系统误差的检查和判别。

## 2.2 变值系差的判定

变值系差是指随测量条件而变化的系统误差。总的来说,当测量条件变化时,系统误差客观上是有确定规律的误差。例如,温度对电阻率的影响造成了电阻值的变化属于变值系差,理论上能找出温度与电阻值之间的解析关系式以确定系统误差的大小。但在大部分情况下,很难掌握系统误差的变化规律。要对测量数据进行分析 and 判别,若测量数据中变值系差的值明显大于随机误差时,数据就应舍弃不用。检查后重新取得测量数据。

如果存在着非正态分布的变值系统误差  $\xi_i$ , 那么一系列重复测量值的分布将会偏离正态。可以通过检验测量结果分布的正态性,来检查测量中是否存在变值系差。这种方法比较麻烦,在实际测量中,可以利用一些较为简捷的判断来检查。常用的有以下两种判据:

### 2.2.1 累进性系差的判别(马利科夫判据)

马利科夫判据是常用的判别有无累进性系差的方法。把  $n$  个等精度测量值所对应的残差按测量顺序排列,把残差分成两部分求和,再求其差值  $D$ 。测量次数有可能是偶数,也有可能是奇数。当  $n$  为偶数时,

$$D = \sum_{i=1}^{n/2} v_i - \sum_{i=n/2+1}^n v_i$$

当  $n$  为奇数时,

$$D = \sum_{i=1}^{(n+1)/2} v_i - \sum_{i=(n+1)/2}^n v_i$$

若测量中含有累进性系差,则前后两部分残差和明显不同,其值应明显地异于零。所以马利

科夫判据即为:若  $D$  近似等于零,则上述测量数据中不含累进性系差,若  $D$  明显地不等于零(与  $v_i$  值相当或更大),则说明上述测量数据中存在累进性系差。

### 2.2.2 周期性系差的判别(阿贝-赫梅特判据)

呈规律性交替变换的系统误差称为周期性系统误差。通常用阿贝-赫梅特判据来检验周期性系差的存在。把测量数据按测量顺序排列,将对应的残差两两相乘,然后求其和的绝对值,再与实验标准方差相比较,若

$$\left| \sum_{i=1}^{n-1} v_i v_{i+1} \right| > \sqrt{n-1} s^2$$

则可认为测量中存在周期性系统误差。

当我们按照随机误差的正态分布规律检查测量数据时,如果发现应该剔除的粗大误差占的比例较大时,就应该怀疑测量中含有非正态分布的系统误差。

存在变值系差的测量数据原则上应舍弃不用。但是,若虽然存在变值系差,但残差的最大值明显地小于测量允许的误差范围或仪器规定的系差范围,则测量数据可以考虑使用,在继续测量时需密切注意变值系差的情况。

## 3 消除或减弱系统误差的测量技术

测量仪器本身存在误差、对仪器安装使用不当、测量方法或原理存在缺点、测量环境变化以及测量人员的主观原因都可能造成系统误差。在开始测量以前应尽量发现并消除这些误差来源或设法防止测量受这些误差来源的影响,这是消除或减弱系统误差最好的方法。

虽然在测量之前注意分析和避免产生系统误差的来源,但仍然很难消除产生系统误差的全部因素。因此在测量过程中,可以采用一些专门的测量技术和测量方法,借以消除或减弱系统误差。这些技术和方法往往要根据测量的具体条件和内容来决定,并且种类也很多,其中比较典型的有下面几种:

### 3.1 零示法

零示法是在测量中将被测量与标准量进行比较,使两者的效应相互抵消,达到平衡。它可以消除指示器不准所造成的系统误差,测量的准确度就取决于标准已知量。

图 1 就是用零示法测量未知电压  $V_x$  的电路。图中  $E$  是标准直流电压,  $R_1$  与  $R_2$  构成标准

可调分压器  $G$  是检流计, 测量时调节分压比, 使  $V = ER_2 / (R_1 + R_2)$  恰好等于被测电压  $V_x$ , 则检流计  $G$  将示零。这样就可以测得被测电压的数值。

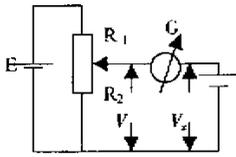


图 1 零示法测电压

Fig.1 Measure voltage using zero-show method

$$V_x = V = E \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

在测量过程中, 只需判断检流计中是否有电流。

因此只要标准直流电压准确度高、检流计灵敏度高, 测量的正确度就高。检流计支路不对  $R_2$  起负载作用, 不影响分压比, 检流计本身的读数正确与否并不影响被测  $V_x$  的测量准确度。

在电子测量中广泛使用阻挠抗电桥、外差式频率计都采用的是零示法。

### 3.2 替代法

替代法(置换法)是在测量条件不变的情况下, 用一个标准已知量去替代被测量, 并调整标准量使仪器的示值不变, 于是被测量就等于标准量的示值。由于在替代过程中, 测量电路及仪器的工作状态和示值均保持不变, 故测量中的恒定系数对测量结果不产生影响, 测量的准确度主要取决于标准已知量的准确度及指示器的灵敏度。

图 2 是用替代法测量未知电阻的电路。测量时首先将被测电阻  $R_x$  接入桥路, 调节电桥臂使电桥平衡。然后用一个可变标准电阻去置换被测电阻, 调整这个可变标准电阻的阻值, 使电桥仍然达到平衡。这时被测阻值  $R_x$  就等于可变标准电阻的阻值  $R_s$ 。只要电桥中检流计  $G$  的灵敏度足够高, 测量的准确度就主要取决于标准电阻  $R_s$  的准确度, 而与桥臂  $R_1, R_2, R_3$  的阻值及检流计的准确度无影响。

### 3.3 交换法(对照法)

当估计由于某些因素可能使测量结果产生单一方向的系统误差时, 我们可以进行两次测量。利用交换被测量在测量系统中的位置或测量方向等办法, 设法使两次测量中误差源对被测量的作用相反。对照两次测量值, 可以检查出系统误差的存在, 对两次测量值取平均值, 将大大削弱系统误差的影响。例如用旋转变度盘读数时, 分别将度

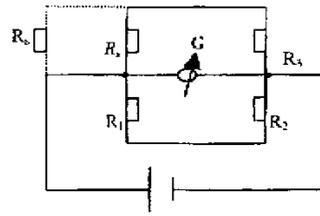


图 2 替代法测电阻

Fig.2 Measure resistance using exchanging method

盘向右旋转和向左旋转进行两次读数, 用对读数取平均值的办法就可以在一定程度上消除由传动系统的回差造成的误差。又如用电桥测电阻时, 将被测电阻放在不同的两个桥臂上进行测量, 也有助于削弱系统误差的影响。

### 3.4 微差法

前面提到的零示法要求被测量与标准量对指示仪表的作用完全相同, 以使指示仪表示零, 这就要求标准量与被测量完全相等。但在实际测量中标准量不一定是连续可变的, 这时只要标准量与被测量的差别较小, 那么它们的作用相互抵消的结果也会使指示仪表的误差对测量的影响大大减弱。

设被测量为  $x$ , 与它相近的标准量为  $B$ , 被测量与标准量之微差为  $A$ ,  $A$  的数值可由指示仪表读出, 则

$$x = B + A$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta B}{x} + \frac{\Delta A}{x} = \frac{\Delta B}{A+B} + \frac{A}{B} \times \frac{\Delta A}{A}$$

由于  $x$  与  $B$  的微差  $A$  远小于  $B$ , 所以  $A + B \approx B$ , 可得测量误差

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta B}{B} + \frac{A}{B} \times \frac{\Delta A}{A} \quad (2)$$

式中  $B$ —标准量;  $A$ —被测量与标准量之微差。

由式 2 可见, 在采用微差法进行测量时, 测量误差由两部分组成, 其中第一部分  $\Delta B/B$  为标准量的相对误差, 它一般是很小的。第二部分是指示仪表的相对误差  $\Delta A/A$  与系数  $A/x$  的积, 其中系数  $A/x$  是微差与被测量的比, 叫相对微差。由于相对微差远小于 1, 因此指示仪表误差对测量的影响被大大地削弱了。

## 4 系统误差的修正和系差范围的估计

前面介绍的在测量前消除系统误差的来源, 在测量中通过一些技术措施消除或减弱系统误差的方法, 大都是从根源上消除系统误差的方法, 也

可以说是一种“治本”的方法。但是有时系统误差的变化规律过于复杂,采取了一定的技术措施后仍难完全解决,或者虽然可以采取一些措施来消除误差源,但在具体测量条件下采取这些措施在经济上价格昂贵或技术上过于复杂,这时作为一种“治本”的办法,应尽量找出系统误差的方向和数值,采用修正值(包括修正曲线或公式)的方法加以修正。例如,可在不同温度时进行多次测量,找出温度对测量值影响的关系来,然后在实际测量时,根据当时的实际温度对测量结果进行修正。

参考文献:

- [1] 杨吉祥,詹宏英,梅杓春.电子测量技术基础[M].南京:东南大学出版社,1999.
- [2] 肖晓萍,左长贵,朱文华.电子测量与仪器[M].南京:东南大学出版社,2000.
- [3] 刘方新,钱昭焯,李宗民.常用仪器仪表原理与应用[M].北京:科学出版社,1999.

最后,当感到认识能力不足,一时找不到系统误差的变化规律时,也应尽力找出系统误差的大体范围,即找到系统误差的上限 $\epsilon_a$ 及下限 $\epsilon_b$ ,然后可以把它分解为恒定的和变化的两个部分。其中恒定部分的数值为 $1/2(\epsilon_a + \epsilon_b)$ ,变化部分的变化幅度为 $1/2(\epsilon_a - \epsilon_b)$ 。

系统误差的恒定部分通常可以进行修正,系统误差的变化部分常用来与随机误差的变化范围进行合成,共同决定测量数据的可信程度,减小系统误差的影响。

## System error and Its Eliminated

ZUO Chang-gui JU Cong-mang

(Huaian Information Vocational Technology Institute Jiangsu Huaian 222001 China)

**Abstract** This article states the cause of system error produced in electric measurement process and considers the essential problems which will decrease the system error. It discusses the variable value system and its effect to measurement results by using the ways of the Malcolm and Albert Criterion. Furthermore provides ways and means of adjusting to remark on the check-up and disposal of the invariable system's error and states the ways of zero show, exchanging, tiny difference, substitute etc to reduce or lower the effect of the system error in measurement process.

**Keywords** system error; cause; eliminated method

# 中国工程院院士姚穆教授受聘为 我院兼职教授

中国工程院院士姚穆教授受聘为我院兼职教授。聘任仪式于2002年4月23日下午在学院东区学术报告厅举行,院党委书记黄文林为姚穆院士颁发了聘书。姚穆院士是我国纺织行业德高望重的科学家、教育家,现为西安工程科技学院教授。