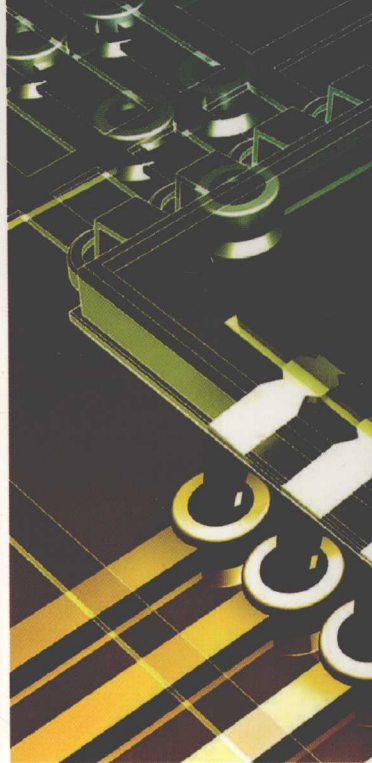


电路



实验教程

DIANLU SHIYAN JIAOCHENG

主 编 王 兵

副主编 郝小江 曹玉东



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

电路实验教程

主 编 王 兵

副主编 郝小江 曹玉东

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是按照国家教育部工科电路实验课程教学指导委员会关于电路课程及电路实验教学的基础要求,并在总结作者多年从事电路实验课程教学经验的基础上编写而成的。

全书共分4章,内容包括:实验误差及数据处理、数字仪表和常用电子仪器的使用、电路基础实验、电路综合设计实验。

本书可作为本科、高职高专和继续教育各类专业电路实验课程的教材,也可供有关实验指导教师、工程技术人员和自学考试人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路实验教程 / 王兵主编. — 成都:西南交通大学出版社,
2009.8

ISBN 978-7-5643-0363-1

I. 电… II. 王… III. 电路—实验—高等学校—教材
IV. TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 143334 号

电路实验教程

主编 王 兵

*

责任编辑 黄淑文

特邀编辑 张 阅

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 6.25

字数: 156 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0363-1

定价: 12.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

电路实验是实践教学中进行基本技能训练的重要环节。该课程所培养的工程实践知识、基本技能及素质,是电路实验类专业学生学习其他实践课程的基础,因此,它在教学计划中属于实践性的技术基础课,是培养电路、电子等工程技术人员基本实验技能的重要环节。为此,我们根据国家教育部工科电路实验课程教学指导委员会关于电路课程及电路实验教学的基础要求及攀枝花学院省级电工电子实验示范中心的要求编写了本书,以满足电路实验课程的教学需要。

全书共分4章。分别介绍了电路实验目的和要求、实验误差及数据处理、数字仪表和常用电子仪器的使用、电路基础实验、电路综合设计实验。全书共设计了23个实验项目供选择,适合于不同层次、不同条件的电路实验教学需要。

全书由王兵任主编,郝小江、曹玉东任副主编,王兵负责全书的统稿,第二、四章由郝小江编写,第一、三章由曹玉东编写。

本书的编写工作得到了攀枝花学院省级电工电子实验示范中心及电气信息工程学院实验教师的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中不足之处难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009年6月

目 录

绪论 电路实验目的和要求	1
第一章 实验误差及数据处理	4
第一节 几个术语	4
第二节 误差的表示方法	5
第三节 误差的分类	9
第四节 减小或消除系统误差的基本方法	11
第二章 数字仪表和常用电子仪器的使用	13
第一节 数字万用表的使用	13
第二节 函数信号发生器的使用	16
第三节 示波器的基本原理及使用	17
第四节 晶体管毫伏表的使用	21
第三章 电路基础实验	24
实验一 电路实验测量仪表的认识与使用	24
实验二 测定电源和电阻元件伏安特性	26
实验三 基尔霍夫定律	31
实验四 戴维南定理	33
实验五 有源二端网络的开路电压和入端等效电阻的测定	35
实验六 RC 电路的充放电过程 (1)	38
实验七 RC 电路的充放电过程 (2)	41
实验八 RLC 串联谐振电路	42
实验九 并联谐振电路实验	44
实验十 测定交流电路中 R 、 L 、 C 元件伏安特性	47
实验十一 电感和电容频率特性的测定	49
实验十二 正弦稳态下的 RL、RC 电路	51
实验十三 日光灯电路和功率因数的提高	53
实验十四 三相交流电路	56
实验十五 电压源与电流源的等效变换	58

实验十六 直流电桥的平衡	63
实验十七 RC 选频网络实验	65
实验十八 无源二端网络实验	67
实验十九 受控源特性的研究	70
第四章 电路综合设计实验	79
实验一 日光灯电路及功率因数的提高 (设计实验)	79
实验二 RLC 单口网络的等效阻抗与导纳的测量 (综合实验)	83
实验三 RC 网络频率特性和选频特性的研究 (综合实验)	86
实验四 移相器的设计与测试 (设计实验)	90
参考文献	94

绪论 电路实验目的和要求

一、实验目的

独立设课的电路实验是电类学生进入技术基础课学习的第一门实验课程。该课程以应用理论为基础、以专业技术为指导,并侧重于理论指导下的操作技能的培训及综合能力的提高,旨在将所学理论过渡到应用,为后续技术基础课、专业课及其实验课的学习及今后的工作打下良好的基础。

进入 21 世纪,社会对人才的需求更加注重综合能力和创新能力。电路实验已经由单一的验证原理和掌握实验操作技术拓展为一门综合技能训练的实践课,成为获得实验技能和科学研究方法基本训练的重要环节。通过电路实验,使学生进一步建立实际元器件性能的相关概念,掌握基本电路实验测量仪器仪表的原理及使用,掌握基本电路电量和参量的测量方法,掌握基本实验设计技术以及现代电路计算机仿真技术,能独立完成实验基本操作,具备对实验结果分析、处理的能力,并且能够运用所掌握的知识研究和解决工程实际问题。

二、实验准备

实验课前准备的第一个环节即实验预习。预习是实验能顺利进行的保证,也有利于提高实验质量和效率。

对于验证性实验,实验课前预习应做到:

(1) 仔细阅读实验指导书,了解本次实验的主要目的和内容,复习并掌握与实验有关的理论知识。

(2) 根据给出的实验电路与元件参数,进行必要的理论计算,以便于用理论指导实践。

(3) 了解实验中所用仪器仪表的使用方法(包括数据读取),能熟记操作要点。

(4) 掌握实验内容的工作原理和测量方法,明确实验过程中应注意的事项。

对于设计性实验,还应做到:

(1) 理解实验所提出的任务与要求,阅读有关的技术资料,学习相关理论知识。

(2) 进行电路方案设计,选择电路元器件参数。

(3) 使用仿真软件进行电路性能仿真和优化设计,进一步确定所设计的电路原理图和元器件。

(4) 拟定实验步骤和测量方法,选择合适的测量仪器,给出必要的记录表格备用。

(5) 写出预习报告。

三、实验操作

在完成理论学习、实验课前预习后,就进入实验操作阶段。进行实验操作时要做到:

(1) 教师首先检查学生的预习报告,检查学生是否了解本次实验的目的、内容和方法。

预习(报告)通过了,方允许进行实验操作。

(2) 认真听取指导老师对实验设备、实验过程的讲解,对易出差错的地方加以注意并做出标记(笔记)。

(3) 按要求(设计)的实验电路接线。一般先接主电路,后接控制电路;先串联后并联;导线尽量短、少接头、少交叉,简洁明了,便于测量。所有仪器和仪表,都要严格按照规定的正确接法接入电路(例如:有电流表及功率表的电流线圈一定要串接在电路中,电压表及功率表的电压线圈一定要并接在电路中)。

(4) 完成电路接线后,要进行复查。对照实验电路图,逐项检查各仪表、设备、元器件连接是否正确,确定无误后,方可通电进行实验。如有异常,应立即切断电源,查找故障原因。

(5) 观察现象,测量数据。接通电源后,观察被测量是否合理。若合理,则读取并记录数据。否则应切断电源,查找原因,直至正常。对于指针式仪表,针、影成一线时读数。数字式、指针式仪表都要注意使用合适的量程(并不是量程越大越好,被测量达到量程的 $\frac{2}{3}$ 以上为好),减小误差。并且还要注意量程、单位、小数点位置及指针格数与量程换算(指针式)。量程变换时要切断电源。

(6) 记录所有按要求读取的数据。数据记录(记入表格)要完整、清晰,一目了然。要尊重原始记录,实验后不得涂改。注意培养自己的工程意识。

(7) 本次实验内容全部完成后,可先断电,但暂不拆线,将实验数据结果交指导老师检查无误后,方可拆线。并整理好导线、仪器、仪表及设备,物归原位。

(8) 注意人身安全,绝不带电操作。另外,各设备、仪器、仪表及电路元器件的开关、旋钮不用时勿乱动,以免损坏。

四、实验报告

实验的最后一个环节是实验总结与报告,即对实验数据进行整理,绘制波形和图表,分析实验现象,撰写实验报告。每次实验,每个参与者都要独立完成一份实验报告。撰写实验报告应持严肃认真、实事求是的科学态度。实验结果与理论有较大出入时,不得随意修改实验数据结果,不得用凑数据的方法来向理论靠拢,而要重新进行一次实验,找出引起较大误差的原因,同时用理论知识来解释这种现象。

实验报告纸采用学校规定的格式,实验报告应包括如下几项:

- (1) 实验目的;
- (2) 实验原理;
- (3) 实验内容;
- (4) 实验电路;
- (5) 实验结果处理;
- (6) 原始记录;
- (7) 问题解答。

五、实验规则

(1) 严禁带电接线、拆线或改接线路。

(2) 接线完毕后,要认真复查,确信无误后,经指导教师检查同意后,方可接通电源进行实验。

(3) 实验过程中如发生事故,应立即关断电源,保护现场,报告指导教师。

(4) 实验完毕后,先检查实验原始数据是否符合要求,然后指导教师检查,经指导教师认可后方可拆线,并将实验仪器设备整理好。

(5) 实验室内仪器设备不准随意搬动调换,非本次实验所用的仪器设备,未经指导教师允许不得使用。要正确合理地使用仪器设备。

(6) 实验要严肃认真,保持安静、整洁的实验环境。

六、实验室安全用电规则

安全用电是实验过程中始终需要注意的重要问题,为了确保人与设备安全,实验室必须严格遵守以下安全用电规则:

(1) 禁止私拉乱接临时电线。安装电气设备和照明灯等用电器具时,应由专业人员进行安装。接线、拆线必须在切断电源的情况下进行,即先接线后通电,先断电再拆线。不能使用不合规范的灯头、灯线、开关、插座等器件。

(2) 移动电气设备时,一定要先拉闸停电,后移动设备,绝不要带电移动。

(3) 不要用手摸灯头、开关、插头以及其他用电器金属外壳。有损坏、老化漏电的,要赶快找供电所修理或更换。万一遇到触电事故,应立即切断电源,进行必要的处理。

(4) 实验中,特别是设备刚投入运行时,要随时注意仪器设备的运行情况,如发现有超量程、过热、异味、冒烟、火花等,应立即断电,并请教师检查。

(5) 实验时应集中精力,同组者必须密切配合,接通电源前必须通知同组者以防触电事故的发生。

(6) 强电实验必须有两人以上在场。

(7) 了解有关电气设备的规格、性能及使用方法,严格按额定值使用。注意仪表的种类、量程和连接使用方法。

(8) 实验室无人时必须切断总电源开关。

第一章 实验误差及数据处理

实验的目的是观察某种现象，找出某种规律或验证某种理论。从这个角度来看，总希望实验的结果越接近真实情况越好。但是人们通过实验的方法来求取被测量的真值时，由于测量工具不准确、测量手段不完善、测量条件不稳定以及测量过程中的疏忽或错误等原因，都会使测量结果与被测量的实际数值存在差别，我们把这种差别，也就是测量结果与被测量真值之差称为测量误差。

测量误差在任何测量中总是存在的。不同的测量对误差大小的要求往往不同。对误差理论的研究，就是要根据误差的规律，在一定测量条件下尽力设法减小误差，并根据误差理论合理地设计和组织实验，正确地选用仪器、仪表和测量方法。

第一节 几个术语

1. 真 值

当某量能被完善地确定并能排除所有测量上的缺陷时，通过测量所得到的量值，是被测量本身所具有的真实大小，这个量值称为被测量的真值。从测量的角度讲，真值往往会随着时间、空间的变化而变化，虽然在一定的时空条件下，真值是客观存在的，但是难以准确测量出来，因此真值是一个理想的概念。

2. 测得值

测得值是从计量器具直接得出或经过必要计算得出的量值。

3. 实际值

实际值是满足规定准确度、用来代替真值使用的量值。

4. 约定真值

约定真值是指足够接近被测量真值的量。从使用它的目的来考虑，它与真值的差可以忽

略不计,可以替代真值。在实际测量中,通常用被测量的实际值、已修正过的算术平均值、计量标准器所复现的量值作为约定真值,有时候也用理论计算值作为约定真值。

5. 示 值

示值是指示仪表标度尺上的读数乘以仪表常数,即

$$\text{示值} = \text{读数(格)} \times C_a \quad (1.1)$$

式中 $C_a = \frac{x_m}{a_m}$ ——仪表常数,电测量仪表的标度尺每分格(或数字仪表的每个字)代表被测量的大小;
 x_m ——指示仪表量程;
 a_m ——指示仪表满刻度格数。

6. 测量误差

测量误差是测量结果和真值之间的差别。

第二节 误差的表示方法

1. 绝对误差 Δx

测得值 x 与被测实际值 x_0 之差称为绝对误差,有

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1.2)$$

绝对误差是一个具有大小、符号和单位的值,反映的是测量结果与真值的偏差程度,但不能反映测量的准确度。如 1 V 的误差值,对一节干电池来说是决不允许的,而对于 220 V 的市电已够准确,若对 220 kV 的高压来讲则是非常准确。

在实际测量中,常定义与绝对误差等值反号的量为修正值 c ,即

$$c = x_0 - x \quad (1.3)$$

知道了测量值 x 和修正值 c ,由上式就可求出被测的实际值 x_0 。因此绝对误差虽然不能清楚地表示测量的优劣,但在修正数据误差或一些误差计算中使用起来则很方便。而测量结果的优劣通常使用相对误差来表示。

2. 相对误差 δ

相对误差 δ 是指绝对误差 Δx 与被测量(约定)真值 x_0 的百分比。

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1.4)$$

当上式中分母采用的量值为真值 A_0 、实际值 x_0 或示值 x 时, 相对误差分别为真值相对误差、实际相对误差和示值相对误差。

相对误差是一个比值, 其数值与被测量所取的单位无关, 能反映误差大小与方向, 能确切地反映出测量准确程度。因此在测量过程中, 欲衡量测量结果的误差或评价测量结果准确程度时, 一般都用相对误差表示。

相对误差虽然可以较准确地反映测量的准确程度, 但用来表示仪表的准确度时, 不甚方便。因为同一仪表的绝对误差在刻度范围内变化不大, 这样就使得在仪表标度尺的各个不同部位的相对误差不是一个常数。下面的引用误差则可解决这一问题。

3. 引用误差

引用误差定义为绝对误差 Δx 与仪表量程 x_m 的百分比。其中, 量程是指测量范围的上限和下限值之间以被测量单位计的代数差。

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1.5)$$

【例】有一个 6 V 的电池, 假设其实际值为 6.20 V。现分别用量程为 0~10 V 和 5~10 V 的电压表测得该电压的数值均为 6.38 V。试分别计算各电压表测量的实际相对误差、示值相对误差和引用相对误差。

解 两电压表测量的绝对误差为

$$\Delta V = x - x_0 = 6.38 - 6.20 = 0.18 \text{ V}$$

使用量程为 0~10 V 的电压表测量时, 各相对误差分别为:

$$\text{实际相对误差 } \delta_{sj} = \frac{\Delta V}{x_0} \times 100\% = \frac{0.18}{6.20} \times 100\% = 2.90\%$$

$$\text{示值相对误差 } \delta_{sz} = \frac{\Delta V}{x} \times 100\% = \frac{0.18}{6.38} \times 100\% = 2.87\%$$

$$\text{引用相对误差 } \delta_{yy} = \frac{\Delta V}{x_m} \times 100\% = \frac{0.18}{10-0} \times 100\% = 1.80\%$$

使用量程为 5~10 V 的电压表测量时, 各相对误差分别为:

$$\text{实际相对误差 } \delta_{sj} = \frac{\Delta V}{A_0} \times 100\% = \frac{0.18}{6.20} \times 100\% = 2.90\%$$

$$\text{示值相对误差 } \delta_{sz} = \frac{\Delta V}{x} \times 100\% = \frac{0.18}{6.38} \times 100\% = 2.87\%$$

$$\text{引用相对误差 } \delta_{yy} = \frac{\Delta V}{x_m} \times 100\% = \frac{0.18}{10-5} \times 100\% = 3.60\%$$

比较上面两种表的测量误差可见：

(1) 尽管两种表测量同一被测量得到的绝对误差值相同，但其引用相对误差因其表的量程不同而异。因此引用误差常常用作衡量仪表测量准确度优劣的标志，用仪表的准确度来表示。

(2) 在实际测量中，被测量的实际值是不知道的，因此在实际测量中，常用示值相对误差来作为衡量其测量水准高低的标准。在以后的测量实验中，凡遇到要求估价测量结果的准确度时，都用示值相对误差来表示。

4. 仪表的准确度（最大引用误差）

实际测量中，由于仪表各标度尺位置指示值的绝对误差的大小、符号不完全相等，若取仪表在标度尺工作部分所可能产生的最大绝对误差作为分子，则得到最大引用误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1.6)$$

仪表的准确度与最大引用误差之间满足下面的关系，即

$$\gamma_m \leq \alpha\% \quad (1.7)$$

式中， α 称为仪表的准确度等级指数。国标中将电路实验指示仪表的准确度等级分为7级，相应的准确度等级指数与误差范围见表1.1。此外，随着仪表制造业的不断发展，目前已经出现了0.05级甚至更高准确度级别的指示仪表。

表 1.1 常用电路实验指示仪表的准确度等级分类

准确的等级指数 α	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
误差范围	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

由表1.1可见，准确度等级的数值越小，允许的误差越小，表明仪表的准确度越高。

在应用准确度等级为 α 的指示仪表进行测量时，如果所选量程为 x_m ，则产生的最大绝对误差为

$$\Delta x_m \leq \pm \alpha\% \times x_m \quad (1.8)$$

如果此时测得被测量的示值为 x ，则该测量可能产生的最大示值相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% \leq \pm \alpha\% \times \frac{x_m}{x} \quad (1.9)$$

从上面的表达式可见,被测量值越接近仪表的量程,测量的误差越小。因此测量时,应使被测量值尽可能在仪表量程的 $2/3$ 以上,且不能小于仪表量程的 $1/3$,否则很难满足测量精度的要求。

在实际测量工作中,选用仪表等级要与测量的准确度要求相适应。通常 0.1 级和 0.2 级的仪表作为标准仪表用以校正其他工作测量仪表。实验室多用 0.5~1.5 级的仪表。作为生产过程监视用的仪表以及配电板上的仪表一般为 1.0~2.5 级仪表。

【例】若要测量一个 8 mA 的电流,问应该选用量程为 150 mA 的 1.5 级毫安表,还是 10 mA 的 2.5 级毫安表?

解 若使用 150 mA 的 1.5 级毫安表,则测量此电流可能出现的最大绝对和相对误差分别为

$$\Delta x_m \leq \pm \alpha\% \times x_m = \pm 1.5\% \times 150 = \pm 2.25 \text{ mA}$$

$$\gamma = \pm \alpha\% \times \frac{x_m}{x} = \pm 1.5\% \times \frac{150}{8} = \pm 28.125\%$$

若使用 10 mA 的 2.5 级毫安表,则

$$\Delta x_m \leq \pm \alpha\% \times x_m = \pm 2.5\% \times 10 = \pm 0.25 \text{ mA}$$

$$\gamma = \pm \alpha\% \times \frac{x_m}{x} = \pm 2.5\% \times \frac{10}{8} = \pm 3.125\%$$

通过上述分析可见,应该选用 10 mA 的 2.5 级毫安表。所以,在选择仪表时不能片面追求仪表的准确度,而应该根据被测量的大小,兼顾仪表的量程和准确度。

直读式仪表的准确度除了用上述最大引用相对误差表示外,有时也会遇到同时使用最大引用相对误差值加绝对误差值来表示。例如,用数字显示的直读式仪表,其误差常用下列三种方式表示:

$$\Delta x = \pm \alpha\% \pm \text{几个字}$$

$$\Delta x = \pm \alpha\% \pm b\% x_m$$

$$\Delta x = \pm \alpha\% x \pm b\% x_m \pm \text{几个字}$$

式中 x ——被测量的指示值;

x_m ——仪表满量限值;

α ——误差相对项系数;

b ——误差固定项系数。

从上述三种表达式可知, 数字仪表的误差主要由与被测值大小有关的相对量和与被测量大小无关的固定量两部分组成。其中, 前者是由于仪表基准源、量程放大器、衰减器的衰减量不稳定及校准不完善非线性等因素引起的误差; 后者包括仪表零点漂移、热电势、量化误差和噪声引起的误差。例如一个准确度等级为 0.02 的 5 位数字电压表, 2 V 量程测量时引起的误差为:

$$\Delta x = \pm 0.02\% \pm 2 \text{ 个字}$$

± 2 个字的误差相当于 $\pm 0.01\% x_m$, 所以

$$\Delta x = 0.02\% x \pm 0.01\% x_m$$

当被测电压为 2 V 时, 测量的相对误差为

$$\gamma_x = \pm 0.02\% \pm 0.02\% \frac{x_m}{x} = \pm 0.03\%$$

当被测电压为 0.2 V 时, 测量的相对误差为

$$\gamma_x = \pm 0.02\% \pm 0.01\% \frac{2}{0.2} = \pm 0.12\%$$

可见, 用 2 V 量程的电压表测量 0.2 V 电压时, 误差为满度 2 V 时误差的 4 倍, 其中主要是由第二部分产生的。

第三节 误差的分类

实验中的误差有多种分类法, 随研究的角度不同而异。根据误差的特征规律进行分类, 可分为系统误差、随机误差和粗大误差。其中粗大误差是指实验结果中显著偏离实际值所对应的误差, 造成这种误差的原因有粗心、测量方法不正确、大的随机误差以及实验条件的意外改变、测量仪器缺陷、读错数等, 其中人为误差是主要的。粗大误差可以通过提高责任心、加强培训来尽量避免, 也可以从物理或技术角度加以分析找出原因, 从而加以修正或剔除。因此, 以下将着重介绍随机误差和系统误差的性质和表征方法。

1. 随机误差

随机误差是指在相同条件下对同一量进行多次测量时出现的误差, 其绝对值的大小及符号变化均无确定规律, 也不可预计, 但具有抵偿性。究其原因, 随机误差是在确定的实

验条件下由许多实际上存在但暂时未被掌握或一时不便控制的、相互独立的、微小因素的影响所造成的。如实验中的温度、湿度、气压、电源电压等在实验条件所规定的值附近波动,因而对实验结果产生影响。随机误差的值一般不大,在不甚精密的工程实验中有时不予考虑。

2. 系统误差

在相同的条件下,多次测量同一量,绝对值和符号保持恒定或遵循一定规律变化的误差称为系统误差。含系统误差的实验测量值可以表现得很一致、非常有规律,因此容易被人疏忽。它们大多不能通过多次重复测量取平均值的方法来减小,一般需要根据分析,事先做出估计或改变测量方法、测量条件以及某些统计方法来发现和确定。导致系统误差的主要原因有仪器误差、使用误差、影响误差、方法和理论误差。减小系统误差主要从消除导致产生误差的因素着手,多用零示法、替代法等,使用修正值是减小系统误差的一种好方法。

既不是粗大误差,又不是随机误差的实验误差均属于系统误差。在工程测量中系统误差往往是误差的主要部分。系统误差的分类方法有多种,下面介绍两种分类方法。

1) 根据系统误差的来源分类

(1) 设备误差。

设备误差又可分为:由标准电阻、电感、电容、电池等标准器具的误差所引起的标准器误差;由电流表、电桥等仪器本身的不准确所引起的仪表误差;由接线的电阻、接线柱和导线之间的接触电阻,转换开关的接点电阻及其变差以及其他实验附件所引起的附件误差。

(2) 环境误差。

环境误差是由于环境因素不符合条件所引起的。引起环境误差的因素很多,如温度、压力、重力、声、光、电磁场、电流场、振动、气流、尘埃、湿度等。其中温度是实验或测试装置时一个重要的环境因素,几乎所有标准器、仪器、仪表甚至附件都规定有一定的使用温度范围,超出了这个范围就会引入更大的误差。能引起温度变化以及受温度影响的因素很多,因此考虑系统误差因素时温度是首要因素之一。另外,电磁因素引起的误差比较隐蔽,误差源和被作用物之间往往存在一定的空间,所以容易被忽视,不易发现和确定。

引起环境误差的因素可以说是包罗万象,而且相互交叉影响,是一个极复杂又容易疏忽的因素,在分析时要注意分清主次。

(3) 人员误差。

人员误差是由于实验人员的素质、生理极限的限制(如速度、视力、辨别力、听力及其他的感觉器官的灵敏程度)、生理状态的变化(如疲劳)、固有的某些习惯或人员之间的差别造成的读数偏离。

(4) 方法误差。

方法误差是由于实验方法、计算公式的近似,不合理的简化,实验结果的运算中疏忽了实验中实际连续存在的起作用的因素,不正确的实验操作等原因造成的误差。

以上所列是按系统误差的来源进行分类,有利于寻找误差的原始因素,便于从根本上消除或减少误差。

2) 按照系统误差的规律分类

(1) 定值系统误差。

这类误差在测量过程中是不变的,不能采用平均的方法将它分离出来,只能通过分析,改变实验方法来发现和消除。如标准器具的标准值与实际值之差,测电流时安培表的内阻引起的误差,都属于定值系统误差。

(2) 变值系统误差。

重复测量时,变值系统误差对每次测量值均产生不同的影响,它会改变误差分布曲线的形状和范围。变值系统误差通常也不能用取平均值来消除,而应从消除误差根源入手,或找出误差变化规律,对结果进行修正。

以上分类按系统误差的规律进行,有助于设计消除误差的方法。

第四节 减小或消除系统误差的基本方法

目前,尚无通用的方法消除系统误差,需要对具体问题采取不同的处理措施和方法,因此系统误差的大小在很大程度上取决于测量人员的经验、学识和技巧。要减小或消除系统误差,原则上可以从以下三方面着手:

1. 消除或削弱误差源

消除或削弱误差源是消除系统误差的根本方法,它要求测量人员对测量过程中可能导致系统误差的各种因素进行仔细分析,并在测量之前从根源上加以消除。例如,仪表指针调零、检流计调好水平;合理布置仪器仪表和接线,防止外磁场对仪器仪表的干扰;选择外界条件比较稳定时进行实验等。

2. 采用特殊测量法

为了消除由仪器所引起的恒定系统误差,可以采用等值替代法,在测量条件不变的情况下,用一个数值已知且可调的标准量来替代被测量。如用伏安法测电阻时,用可调标准电阻替代被测电阻,并使仪表保持原来的读数,则此标准电阻的数值就是待测电阻的阻值。

为了消除测量过程中的恒定测量误差,可以采用正负误差补偿法。这种方法通过适当安排实验,使恒定系统误差在测量结果中一次为正、一次为负,则两次测量的平均值不含系统误差。例如,用磁电系仪表进行测量时,为了消除由恒定的直流外磁场所引起的系统误差,