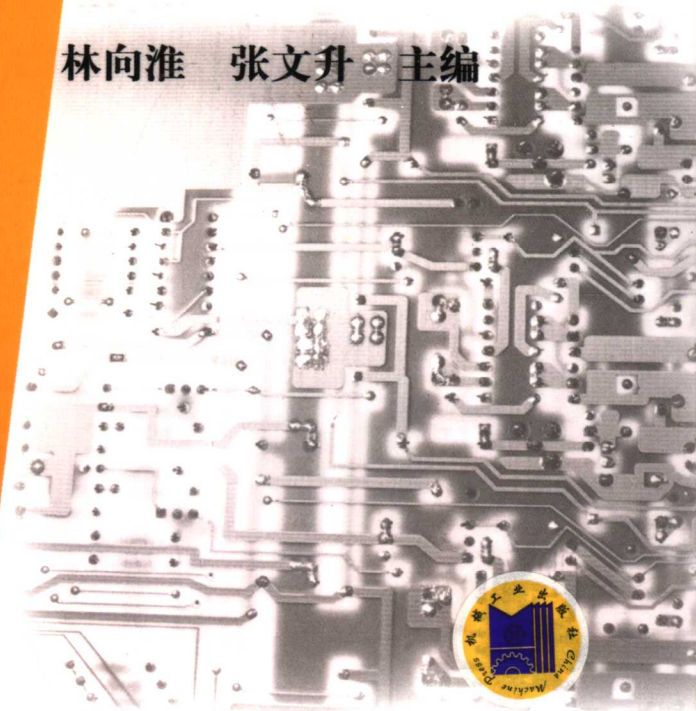


电 / 工 / 实 / 用 / 丛 / 书

电工常用仪器仪表 的原理与使用

林向淮 张文升 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电工实用丛书

电工常用仪器仪表 的原理与使用

林向淮 张文升 主编



机械工业出版社

32
寸刻
量结
表未
郭应
司或
查仪
说明
是示
司隔
测量

本书是一本电气技术科学普及读物,针对电工常用的仪器仪表分门别类地进行分析讲解,并通过实际应用,讲解仪表或仪器的测量使用方法和简单维修。

本书的主要内容有磁电系、电磁系、电动系仪表的测量原理,万用表、电能表、绝缘电阻表、接地电阻测量仪、直流电桥、功率表、相位表、钳形电流表、示波器、信号源、电子计数器的工作原理及使用方法等。书中还结合低压维修电工的实际工作,编写了有关仪表的具体应用实例,这对提高维修电工的实际操作能力会有一定的帮助。

鉴于目前大规模集成电路在仪器仪表中的大量应用,数字式仪器仪表的种类也越来越多,为了帮助读者更好地理解和使用好数字式仪器仪表书中对有些具有相同功能的仪表不仅介绍了指针式的工作原理,而且介绍了数字式的工作原理,这样便于读者在学习和使用中,有所对比,互为借鉴,以便在工作中不断掌握新的科学知识和技能,更好地服务于生产实际。

本书以工矿、农村、企事业单位的初、中级电气技术工人为主要对象,也可作为企事业单位培训电气技术工人的辅助教材,同时也可以供电气技术职业高中学生、广大电气技术爱好者学习电工技术知识时参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工常用仪器仪表的原理与使用/木向准,张文升主编. —北京:机械工业出版社,2005.9

(电工实用丛书)

ISBN 7-111-17434-8

I. 电... II. ①林...②张... III. 电工仪表 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 109224 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:徐明煜 版式设计:张世琴 责任校对:王 欣

封面设计:陈 沛 责任印制:石 冉

北京中兴印刷有限公司印刷

2005 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·10.5 印张·1 插页·311 千字

0 001—4 000 册

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

21 世纪的今天, 现代科学技术正以“一日千里”的速度发展, 社会各行业对电气技术的初、中级技术人才的需求量越来越大, 急需有一定基本理论知识、有较强的实际操作能力的实用型电气技术人才。不仅要求从业人员持有岗位资格证书, 更需要他们能够跟上科技发展的步伐, 不断更新知识, 掌握最新的科技成果。目前初、中级电气工人的素质还有待进一步提高, 以北京市为例, 各类劳动力市场一直难以满足对技术人才的需求, 总量不足、年龄老化、复合型人才匮乏、供需比例严重失调的矛盾已经越来越突出。其中初、中级电气技术工人有几十万人, 他们现有的技术水平很难满足企业现代化的要求, 那么全国就会有几百万需要进修、提高的电气技术工人, 另外还有许多年轻人准备从事电气技术工作, 需要从理论上和实际操作上进行学习培训, 提高其理论和实际操作能力。为此, 我们在编写了《电工识图入门》一书后, 又组织有实际教学及培训经验的教师编写了《电工常用仪器仪表的原理与使用》一书。本书旨在电工常用仪表和仪器的使用方面给读者提供一定的理论知识和实际操作指导, 帮助他们解决一些工作中经常遇到的问题, 以便使读者在实践中更安全、更好地完成电气设备调试、检测、维修等工作。

本书对电气工作中经常使用的一些仪器仪表在结构、原理、使用方法及简单故障判断和排除等方面都作了较为详细的分析, 并结合实际给出了较多的仪器、仪表测量使用实例, 目的是帮助广大读者在阅读了本书以后, 不仅掌握了一定理论知识, 同时还可以进行实际操作, 以巩固理论知识, 学会仪器和仪表的调节使用方法, 并在实际工作中加以运用。

鉴于目前数字式仪器仪表的大量出现和普及, 本书除了分析讲解传统指针式仪表外, 还特别注意了对数字式仪器仪表的分析与使用介绍, 如书中分别介绍了数字万用表、数字绝缘电阻表、数字接地电阻

IV

测量仪、数字钳形表等的工作原理和使用方法。

本书还对电能表作了重点分析讲解，特别分析讲解了单相、三相电子式电能表和预付费电能表的原理结构。同时，还对几种电能表的错误接线方式进行了分析，以帮助读者提高正确装表接电的实际操作、分析故障的能力。

本书可作为企、事业单位培训电气技术工人的辅助教材，也可作为初、中级电气技术工人自学提高能力的辅助读物，同时也可供电气职业高中、中专、技校的学生和电气技术爱好者学习电工技术知识时参考。

本书由林向淮、张文升主编。参加编写工作的还有叶孔伟、秦志荣、杨达、赵进京、李晓洁、杜好敏、徐扬、袁梅、安志强、金秋生等多位老师。

由于作者学识、能力之所限，书中一定存在不当或错误之处，恳请读者在使用过程中，如若发现错误，一定及时给予批评指正，以便我们能够进一步修改、完善此书，让我们把更好的精神食粮奉献给广大的读者。

编 者

2005年3月

目 录

前言

第一章 电气测量的基本知识	1
第一节 电气测量仪器仪表的发展	1
第二节 电气测量概述	3
第三节 测量误差及减小误差的方法	6
第四节 测量结果的数据处理	9
第二章 常用电工指示仪表的结构和测量原理	13
第一节 电工仪表的分类和技术要求	13
第二节 电工指示仪表的基本结构	19
第三节 磁电系仪表的测量机构与原理	23
第四节 电磁系仪表的测量机构与原理	27
第五节 电动系仪表的测量机构与原理	32
第六节 整流系仪表的工作原理	35
第三章 万用表的原理和使用	38
第一节 指针式万用表的结构和测量原理	38
第二节 MF47 型指针式万用表的特性及使用	45
第三节 指针式万用表常见故障及维修	57
第四节 指针式万用表的应用实例	61
第五节 数字万用表的特点、选用和使用方法	96
第四章 绝缘电阻表的原理及使用	120
第一节 指针式绝缘电阻表的结构及工作原理	121
第二节 指针式绝缘电阻表的使用	123
第三节 绝缘电阻表常见故障及其排除方法	134
第四节 HDT2060 系列数字绝缘电阻测量仪	136
第五章 接地电阻测量仪的原理及使用	140
第一节 ZC—8 型接地电阻测量仪的结构和工作原理	141

第二节	接地电阻测量仪的使用方法	144
第三节	数字钳形接地电阻测量仪	150
第六章	电能表的使用与电能的测量	154
第一节	电能表概述	154
第二节	单相有功电能表的结构和工作原理	157
第三节	单相有功电能表的接线方式和安装要求	161
第四节	单相有功电能表配电流互感器的接线	166
第五节	三相有功电能表的结构和工作原理	168
第六节	三相有功电能表配电流互感器的接线	172
第七节	三相无功电能表	177
第八节	预付费电能表的结构和工作原理	181
第九节	复费率电能表	196
第十节	DTSD106—2P 系列三相四线电子式多功能电能表	203
第十一节	电能表常见的几种错误接线分析	212
第七章	其他电工常用仪表	221
第一节	功率表的原理及使用	221
第二节	直流单臂电桥	227
第三节	直流双臂电桥	233
第四节	钳形电流表	235
第五节	频率表、相位表和功率因数表	240
第六节	红外测温仪	249
第八章	常用电子仪器的原理与使用	257
第一节	信号发生器的原理与使用	257
第二节	电子示波器的原理与使用	273
第三节	信号发生器与示波器的实际应用	313
第四节	电子计数器的原理与使用	317
参考文献		330

第一章 电气测量的基本知识

第一节 电气测量仪器仪表的发展

一、发展简史

从 1752 年世界上第一台测量电荷的电工仪表问世以来,到现在已有 250 多年的历史。在 21 世纪的今天,电工测量和电子测量仪器仪表已发展到相当高的水平。

在 20 世纪 20 年代前使用的一些电工仪表,只能进行电压、电流、电阻等电参数的简单测量,20 世纪 20 年代以后,随着电子管的广泛应用,仪表的测试灵敏度、内阻、频率范围均有较大提高。但用电子管制作的仪器仪表体积大、笨重、携带不方便。

20 世纪 50 年代以后,半导体技术得到迅速发展,从而使得晶体管仪器仪表的体积和重量大为减少,但由于晶体管仪器仪表多采用指针式,所以测量速度慢,误差较大。因此晶体管仪器仪表不能满足高速和精密测量的要求。

20 世纪 70 年代以后,随着大规模集成电路的发展,出现了许多数字式仪表,使测量速度更快,准确度也有很大提高,仪器、仪表的体积更小,重量更轻,使用携带更方便了。

二、发展趋势

电气测量技术的发展是与科学技术、生产技术的发展相辅相成、相互促进的。一方面科学技术和生产的发展,对电气测量仪器仪表的要求愈来愈高,也为其提供了新原理、新材料、新工艺,加速了新型现代化仪器仪表的研制、生产和使用。另一方面,每一种新型、先进的电气测量仪器仪表或测量方法的出现,又反过来大大促进了科学技术和生产的迅速发展。

可以预言,今后随着科学技术和生产技术的进步,电气测量技术

将继续不断发展,日趋完善,走向现代化。电气测量仪器仪表的发展趋势是实现产品的微型化、数字化、智能化和网络化,在性能上向高精度、高可靠性、高环境适应性方向发展。

1. 微型化 电气测量仪器仪表要实现微型化,就要采用大规模集成电路,20世纪70年代已经在仪器仪表中使用了集成电路,到了20世纪90年代,大规模集成电路更是在各种测量仪器仪表中大显身手,使电气测量仪器仪表的小型化、轻量化有了很大进步,如功能相近的示波器从原来电子管式到使用集成电路,体积减小了 $2/3$,重量也由原来的几十千克下降到几千克,因而集成化仍然是仪器仪表的发展方向之一。

2. 数字化 电子测量仪器仪表向数字化发展,其优点是读数准确、直观、分辨力高、响应速度快,从而提高了测量效率。另外,由于数字式仪器仪表便于程序控制和数据处理,这就为与计算机结合实现自动测量提供了很好的条件。所以,电气测量仪器仪表的数字化,不仅将逐步代替指针式仪表和游标式读盘,更重要的是为仪器仪表的程序化、自动化、网络化提供了先决条件。

3. 智能化 仪器仪表就其发展过程来说,经历了三个阶段。第一阶段是模拟式阶段;第二阶段是数字式阶段;第三阶段是智能化阶段。智能化仪器仪表是随外界条件变化而具有正确响应能力的仪器仪表,包括理解、推理、判断、分析等一系列功能,是数字、逻辑知识的综合分析的结果。如智能化示波器、智能化电压表及智能化电能表等多种智能仪器,把微处理器与传统的仪器仪表结合起来,能适应被测量的变化,自动补偿、自动选择量程、自动校准、自动寻找故障、自动进行指标判断、自动进行逻辑操作、定量控制及程序控制等,打破了仪器仪表的传统观念,成为仪器仪表发展的一个新趋势。

4. 网络化 智能化仪器仪表的进一步发展就是要实现网络化。通过智能模块和计算机连接,通过专用软件的支持,实现数据采集、记录分析、数据处理和存储,也可以通过计算机联网实现远程监控、抄表等工作,可以大大提高工作效率,减轻人们的工作量,将人们从繁杂的数据记录、分析等工作中解放出来。

5. 高性能 近年来各种电气测量仪器仪表的主要性能和技术指

标,如测量范围、精确度、灵敏度、稳定性、频带宽度、分辨力等都有很大提高,例如最高频率可测到 $15 \times 10^{10} \text{ Hz}$,最大电阻可测到 $10^{18} \Omega$,已相当精确和精密了。但是随着无线电电子学和计算机技术的发展,尤其是空间技术、遥感技术、激光技术和微电子技术的发展,势必要求电气测量仪器仪表继续提高其技术性能,朝着高准确度、高灵敏度、高稳定性的方向发展。

6. 多功能 电气测量的一机多用的设想是在 20 世纪 50 年代提出来的,1953 年就出现了插件式示波器。20 世纪 70 年代,插件式结构被多种仪器仪表所采用,且有了很大改进和创新。例如,通用计数器通过更换插件后,可以用来测量频率、周期、频率比、电压、电流、相位等多种参数。随着集成电路技术的发展,为满足日益增长需要的多样性测试功能的装置相继出现,从而为电气测量仪器仪表的多功能化开辟了更为广阔的前景。

7. 高可靠性 仪器仪表的自动化程度越高,对其工作的可靠性,即环境适应性,电磁兼容性,过电压、过电流保护性,误操作、误接线的保护性和多级用户安全密码体系等也就要求越高。仪器仪表同时还应具有在线故障诊断、故障定位、故障恢复、故障隔离、故障汇报能力和设备管理功能。

第二节 电气测量概述

电力工业的主要产品是电能。在电能的生产,传输、分配和使用各环节中,只有通过各种电气测量仪器仪表对电气参数进行测量,才能对电能质量、负载情况、电气设备的运行情况等加以监视,保证电力系统和生产设备安全、可靠的运行。

测量就是人们借助专门设备,对客观事物取得数量概念的认识过程,是人们定量地认识客观事物的十分重要的手段。电气测量是指借助测量设备(依据电磁理论制作的电工仪表和依据电子技术制作的电子测量仪表)对电气参数的测量。用于电气参数测量的仪器仪表称为电气仪器仪表。

“仪器”和“仪表”这两个词并没有严格的区分,就一般概念而

言, 仪器是在科学技术工作中用于检查、测量、计算或产生信号的器具(工具或设备), 按工作原理可分为机械的、电的、光学的和化学的等。仪表是仪器的一种, 在科学技术中用于测量各种自然量(例如压力、温度、速度、电压、电流等), 一般特点是体积较小, 结构比较简单, 精度较低。但是, 随着电子技术的发展, 数字电路被大量应用于各种仪表中, 使得仪表的功能和测量精度有了极大的提高。因此, “仪器”和“仪表”的概念很难有明显的区分。如数字电压表由于与指针式电压表作用相同, 仍称之为“表”, 实际上它是电子仪器。由此可见, 一种新的测量器具的出现, 称为仪器还是仪表, 并没有严格的规定, 而是随历史情况和制造者的观念而异的, 有时将“仪器”和“仪表”名词混用, 或者统称为“仪器仪表”。

电工仪表和电子仪器尽管难于在“表”和“器”上划分, 但在测量工作的领域上是有分工的。电工仪表进行的是电磁测量, 电磁测量的频率范围是直流及工业频率(50Hz)。其所测参数的量值可能很大, 可测高电压、大电流, 即工作于大功率的状态。电工仪表主要应用于强电领域。电子仪器所进行的是电子测量, 其工作频率范围极宽, 而且覆盖了电磁测量频率, 但电子测量工作于低电压、小电流的情况下。电子仪器主要应用于弱电领域。

随着科学技术的不断发展, 电气测量技术和方法也在不断改进和发展, 电子测量与电磁测量也不再是截然分开的, 现在人们可以把它们巧妙地结合起来, 进行电气参数的测量。电子测量起源于电磁测量, 而且是以电磁测量为基础的。不仅因为电子测量的单位都是由电学和磁学导出, 而且为了提高测量精度, 许多高频电子测量都把高频电磁量转换成直流量, 再用电磁测量的手段进行测量。例如常用的晶体管电压表就是将被测高频交流流量放大、整流为直流量, 再通过表头指示出被测量数值大小的。另一方面, 随着数字式电子仪器仪表的发展, 很多传统的电磁测量项目, 如直流电压、直流电流、工频电压、工频电流、电功率等已成为电子测量的项目。

在这高速发展的现代社会里, 电气测量技术越来越多地被广泛应用于科学研究、工业生产和其他领域中。这是因为电气测量技术与其他测量技术相比, 有以下明显的特点:

(1) 测量对象的广泛性。电气测量既可以测量各种电量（如电流、电压、功率等）和电参量（如电阻、电容、电感等），也可以测量各种非电量（如温度、压力、流量等）。这是因为其他形式的能量都可以转换为电能，所以各种非电量可以转换为电量，然后进行测量。

(2) 测量过程的连续性。采用电气测量技术可以对被测量连续进行测量，利用记录仪器仪表还可以把被测量随时间的变化记录下来，这样就便于对生产过程的各种状态进行监控。

(3) 测量方法的多样性。对于同一电气参数的测量，可采用多种不同的方法，如可以借助于各种类型的传感器，对远距离的、人体难以接近的地方（如工业电炉内的高温部位的温度）或不能达到的地方（如星球表层的电阻率）进行测量，即实现所谓遥测。

一个电气参数的测量可以用不同的方法来实现。测量方法的选择，一般与被测量的特性、测量条件以及准确度要求有关。根据获得测量结果的方法不同，一般将测量方法分为以下几类：

1. 直接测量法 使用有相应单位刻度的仪表对被测量进行测量，能够直接获得被测量大小的测量方法叫直接测量法。例如，用电流表测量电流，电压表测量电压，欧姆表测量电阻等都属于直接测量法。直接测量法广泛用于工程测量中。

2. 间接测量法 通过测量几个与被测量具有一定函数关系的物理量，然后按函数关系计算出被测量的大小，这种测量方法叫间接测量法。例如，用伏安法测量电阻时，先用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流，然后根据欧姆定律 $R = U/I$ 计算出被测电阻 R 的大小。一般当被测量不能直接测量或直接测量很复杂时，多采用间接测量法。

3. 比较测量法 将被测量与标准量进行比较，从而获得的被测量大小的测量方法叫比较测量法，其特点是量具直接参与测量过程。

根据被测量与标准量（标准量具之值）的比较方法不同，比较测量法又分以下几种：

(1) 差值法。这种方法是从测量仪表直接读出被测量与已知标准量的差值或正比于此差值的量，从而确定被测量的大小。例如用电桥

测量电阻。

(2) 零值法。在测量过程中，通过改变标准量使它和被测量相等，即差值为零时，确定出被测量数值的方法叫做零值法。例如用电位差计测量电动势。

(3) 替代法。在测量过程中，用已知标准量去替代被测量，使仪表的指示值恢复到原状态，这时被测量等于已知标准量，这种测量方法叫做替代法。

(4) 重合法。这种方法是将被测量的一系列记号或信号，与已知的标准记号或信号相比较，并观察其重合情况，在此基础上求出被测量的值。

比较测量法的准确度高，但操作麻烦，设备复杂，一般常用于精密测量和仪表校验。

第三节 测量误差及减小误差的方法

在实际测量中，由于测量工具不够准确、测量方法不够完善以及各种其他因素诸如测量者的经验和识别能力局限性的影响，测量结果不可能是被测量的真实值，而只是它的近似值，测量值与被测量的真实值之间的差异叫做测量误差。

一、测量误差的表示方法

电气测量误差的表示方法有三种，即绝对误差、相对误差和引用误差，下面分别介绍。

1. 绝对误差 仪表的指示值（测得值） A_X 与实际值（真值） A_0 之间的差值称为绝对误差，以 ΔA 表示，即

$$\Delta A = A_X - A_0 \quad (1-1)$$

计算 ΔA 时，通常把标准仪表的指示值当作被测量的实际值。由式 (1-1) 可得

$$A_0 = A_X + (-\Delta A) \quad (1-2)$$

令
则

$$C = -\Delta A$$

$$A_0 = A_X + C \quad (1-3)$$

式中, C 为更正值 (或修正值), 它与绝对误差大小相等, 符号相反。引入更正值后, 可以对仪表的指示值进行校正, 以消除误差。

2. 相对误差 绝对误差 ΔA 与实际值 A_0 之比称为相对误差。相对误差没有单位, 通常用百分数来表示, 用符号 γ 表示相对误差。则

$$\gamma = \Delta A / A_0 \times 100\% \quad (1-4)$$

由于在一般情况下指示值与实际值比较接近, 因而当实际值 A_0 难以确定时, 可以用指示值 A_X 代替, 这时的相对误差为

$$\gamma = \Delta A / A_X \times 100\% \quad (1-5)$$

例: 有一电源电压实际值为 200V, 用甲电压表测量时指示值为 202V, 用乙电压表测量时指示值为 201V, 而用丙电压表测量一个实际值为 20V 的电源电压时, 电压表指示值为 19.5V。试分别求它们的绝对误差和相对误差。

解: $\Delta A_{\text{甲}} = 202\text{V} - 200\text{V} = 2\text{V}$

$$\gamma_{\text{甲}} = \Delta A_{\text{甲}} / A_0 \times 100\% = 2\text{V} / 200\text{V} \times 100\% = 1\%$$

$$\Delta A_{\text{乙}} = 201\text{V} - 200\text{V} = 1\text{V}$$

$$\gamma_{\text{乙}} = \Delta A_{\text{乙}} / A_0 = 1\text{V} / 200\text{V} \times 100\% = 0.5\%$$

$$\Delta A_{\text{丙}} = 19.5\text{V} - 20\text{V} = -0.5\text{V}$$

$$\gamma_{\text{丙}} = \Delta A_{\text{丙}} / A_0 \times 100\% = -0.5\text{V} / 20\text{V} \times 100\% = -0.25\%$$

由以上计算可知, 测量同一个量 (例如甲电压表和乙电压表), 绝对误差愈小结果愈准确。如果测量大小不同的量 (例如甲电压表和丙电压表), 用绝对误差就不能比较测量结果的准确程度, 这时就要用相对误差了。相对误差的绝对值愈小, 表示测量的准确度愈高。

3. 引用误差 相对误差可以表示测量结果的准确程度, 但却不能反映仪表本身的准确度, 这样便提出了引用误差的概念。绝对误差与仪表测量上限之比称为引用误差, 一般用 γ_m 表示 (结果用百分数表示), 即

$$\gamma_m = \Delta A / A_m \times 100\%$$

式中, A_m 为代表量程的上限值, 也就是满刻度值。由于引用误差的分母 A_m 是固定的, 故用它来比较测量不同大小被测量之间的精确程

度就比较简便了。

二、误差的分类和来源

根据误差性质的不同,测量误差一般可分为三类,每一类误差产生的原因各不相同。

1. 系统误差 系统误差是指在同一条件下,多次测量同一量时,误差大小和符号均保持不变,或条件改变时,其误差按某一确定的规律而变化的误差。系统误差主要是由于测量仪器仪表的准确度、测量方法和测量环境等引起的。

2. 随机误差 随机误差又称偶然误差,它是指在相同条件下多次重复测量同一量时,误差时大时小,符号时正时负,没有确定的变化规律,无法控制也不能预知其大小和符号的误差。

随机误差的来源和系统误差相同,所不同的是随机误差的产生是由于各种互不相干的独立因素随机起伏变化而引起的。例如,磁场的微变、温度的微变、大地的微震、空气流的变化扰动等,都会产生随机误差。

3. 疏失误差 疏失误差是一种严重歪曲了测量结果的异常误差。疏失误差主要是由于测量者的粗心、疏忽造成的。例如,不正确的操作方法、读数错误、记错或算错数据等。

三、减小或消除误差的方法

测量误差是不可能绝对消除的,但要尽可能使误差减小到测量允许的范围內。减小测量误差,应根据误差的来源和性质采取相应的措施和方法。

1. 减小系统误差的方法 有如下三种方法。

(1) 对测量仪器仪表进行校正,在准确度要求高的测量中,引用修正值进行修正。

(2) 消除产生误差的根源。正确选择测量方法和测量仪器,尽量使测量仪器在规定的使用条件下工作,消除各种外界因素造成的影响。

(3) 采用特殊的测量方法。实际测量中可根据测量仪器仪表不同、被测量不同,采用不同的测量方法来达到减小误差的目的,如采用正负误差补偿法、等值替代法、换位消除法、对称观测法等。例如

用电流表测电流时,考虑到外磁场对读数的影响,可以把电流表放置的位置转动 180° ,分别进行两次测量。两次测量中,必然出现一次读数偏大而另一次读数偏小的情况,取两次读数的平均值,作为测量结果,其正、负误差抵消,可以有效地消除外磁场对测量的影响。

2. 减小随机误差的方法 随机误差都服从统计规律。统计规律的性质之一是,随着测量次数的增多,绝对值相等、符号相反的随机误差,出现的次数趋于相等。特别是当测量次数趋于无穷时,其总体平均值趋近于零。这一性质称为随机误差的抵消性,根据这一特性,可以借助增加重复测量的次数,来减小随机误差(一般测量次数为10~20次即可)。

3. 疏失误差的防止 防止产生疏失误差,首先要求测量者应以高度的工作责任心和严格的科学态度从事测量工作;其次应严格按照测量操作程序和操作规程进行测量工作;测量完毕,应对测量结果进行校对。若测量中出现了疏失误差,该测量结果应该抛弃。必要时应重新测量。

第四节 测量结果的数据处理

一、有效数字的概念

在测量、记录和计算数据时,必须掌握对测量数字正确的取舍方法。不能认为一个数据中小数点后面的位数越多,这个数据就越准确;也不能认为计算测量结果中保留的位数越多,准确度就越高。因为测量结果都是近似值,这些近似值通常都是用有效数字的形式来表示的。

所谓有效数字,是指从数字左边第一个非“0”的数字开始,直到右边最后一个数字为止所包含的数字(包括0)。例如,测得某信号源的频率为 0.01204MHz ,其中有1、2、0、4四位有效数字。数据最左边的两个“0”不是有效数字,因为它可以通过单位变换写成 12.04kHz ,数字中间的“0”是有效数字。

数字末尾有“0”也是有效数字。如测得一电阻值为 4700Ω ,有四位有效数字,但如果写成 $4.7 \times 10^3\Omega$,就只有两位有效数字了,这是不

许可的。要变换单位,应该保持有效数字的位数不变。因而应将 4700Ω 写为 $4.700 \times 10^3\Omega$ 或 $4.700\text{k}\Omega$ 。数字末位的“0”不可随意增减。

二、有效数字的正确表示

测量时记录的有效数字一般由两部分组成,前几位数字是准确可靠的,称为可靠数字(也称为准确数字),最后一位数字一般是在测量读数时估计出来的,称为欠准数字(也叫可疑数字)。有效数字的正确表示应注意以下三点:

(1) 在有效数字中,只应保留一个欠准数字。在测量时,测量者总是根据仪表的刻度和指针的位置来读取数据的。因此,在记取测量数据中,只有最后一位有效数字是“欠准数字”,这样记取的数据,表明被测时可能在最后一位数字上变化 ± 1 个单位。例如,用一只量程为 50V 、分为 50 个刻度的电压表去测量某一电压,指针停在刻度 45 与 46 之间,读取的电压值为 45.6V ,则该电压是用三位有效数字来表示的,“4”和“5”两个数字是可靠的,而“6”是欠准数字,因为它是根据最小刻度估计出来的,它可能被估计为“5”,也可能被估计为“7”,所以测量结果也可表示为 $(45.6 \pm 0.1)\text{V}$ 。在记录测量数据时,只需记录可靠数字和一位根据仪表最小刻度而估计得来的欠准数字。

(2) 欠准数字中,要特别注意“0”的处理,不能随意增减。例如,测量某电阻的阻值为 5120Ω ,表明前面三个位数“5”、“1”、“2”是可靠数字,最后一位数字“0”是欠准数字。如果改写成 $5.12\text{k}\Omega$ 则表明前两个数字“5”、“1”是可靠数字,最后一个数字“2”是欠准数字。这两种写法,尽管表示同一数值,但却反映了不同的测量准确度。

(3) 如果用 10 的方幂来表示一个数据,10 的方幂前面的数字都是有效数字。例如,电阻 $9.10 \times 10^3\Omega$,表明它有三位有效数字。

三、有效数字的处理

对于测量或计算取得的数据,必须进行处理。如果只取 n 位有效数字,那么第 $n+1$ 位及其以后的各位数字则采用“四舍六入五配偶”的法则进行处理。具体方法是,4 及 4 以下的数字舍去;6 及 6 以上的数字进入,当被舍的数字等于 5,而 5 后有数字时,则可舍 5 进 1;若 5 后无数字或为 0,而 5 之前为奇数时,则舍 5 进 1;若 5 之后无数字或为 0,而 5 之前为偶数时(包括 0),则舍去 5 不进位。这里之所以采