



中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材

常用仪器仪表原理与使用

刘方新 钱昭烨 李宗民 编著

科学出版社

中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材

常用仪器仪表原理与使用

刘方新 钱昭烨 李宗民 编著

科学出版社

1999

内 容 简 介

本书共分三篇九章,全面地介绍了电磁测量的基本知识、测量误差及其计算,以及各种常用电工及电子仪器仪表的基本原理、结构、应用、校准与检修。

本书编选的是最常用的基本仪器 and 仪表,如电工指示仪表和电工测量仪表等常用电工仪器仪表,弱信号检测仪表、数字仪表、显示和记录仪器,信号发生器和参数测试仪器等常用电子测量仪表,以及包括高低压直流稳压电源和交流稳压电源的电源。它着重对各类仪器仪表的原理、使用和维修等知识和技能进行论述。

本书内容丰富,叙述通俗易懂,图文并茂,深入浅出,简明实用,既可作为实验技术人员的岗位培训教材,也可供大专院校有关专业师生参考,还可供从事电工仪器仪表生产、使用、检定和修理的工人、技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

常用仪器仪表原理与使用/刘方新等编著. -北京:科学出版社,1999.2

中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材

ISBN 7-03-004787-7

I. 常… II. 刘… III. ①仪器-基本知识-技术培训-教材②仪表-基本知识-技术培训-教材 IV. TH70

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 32370 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

新 世 纪 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1999 年 2 月第一次印刷 印张:19

印数:1-1 600 字数:450 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(杨中))

《中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材》

编写委员会

主 任 石庭俊

副主任 姜 丹 苏汉武

编 委 王为民 文公龄 石庭俊 李胜利
苏汉武 周长安 张 洁 张利华
林君治 姜 丹 董俊国 屠礼勋
愈卫尔

编写主持单位

中 国 科 学 院 教 育 局

中 国 科 学 技 术 大 学

中国科学院等离子体物理研究所

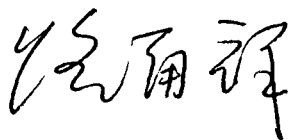
《中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材》序

在人类即将进入 21 世纪之际,全国人大八届四次会议通过了《关于国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要的报告》,报告提出了全面实现第二步战略目标并向第三步战略目标迈进的指导方针和主要任务,为全国人民确定了一个跨世纪的宏伟纲领。党中央提出的科教兴国的战略,是实施这一宏伟目标,强国富民,进行社会主义现代化建设的重大方针。科教兴国揭示了科技、教育与社会发展的内在关系,反映了科技、教育在社会主义现代化建设中的重要地位。科教兴国战略的提出对科技、教育的本身的改革和发展提出了更高、更紧迫的要求。

在科教兴国中,中国科学院作为科技国家队的战略定位,就是应该瞄准国家的目标,成为推动国家跨跃式发展的科学技术的创新源泉,成为为国家经济和社会发展提供基础性、关键性、综合性、战略性先进科技支撑的主要基地。中国科学院,对能够提高我国国际竞争力和经济建设有重大推动作用的科技前沿问题,要集中力量予以突破;在重要的科学前沿和对长远发展有着重要影响的基础性研究领域,要集中力量开拓创新;利用市场机制,联合社会生产要素,促进我国高技术产业的发展;利用长期的科学积累、多学科的综合优势、先进的观测及信息处理手段和科学方法,为社会的持续发展提供科学方法和依据;积极为社会培养和输送高水平的创新人才;在高层次上为国家经济建设、社会发展的科技决策提供咨询、建议。面对 21 世纪的挑战,面对科教兴国的重任,中国科学院始终重视高科技人才的培养。多年来,中国科学院在研究生培养、出国留学派遣和继续教育、在职培训方面做了大量工作,并在促进科研工作、改善科研队伍结构、提高科研队伍素质等方面取得了显著成绩。

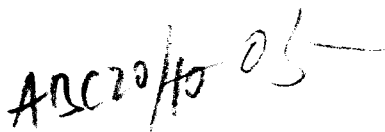
为了使我院广大的实验技术人员适应现代实验技术工作的需要,我院教育部门在多年工作的基础上,组织有关科技人员编写出版了《中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材》。这套教材,经过多年培训试讲和修改日趋完善,它既是实验技术人员培训用书,也是参加编写工作的科技人员辛勤劳动的成果。

国运兴衰,系于科教。我们要认真落实科教兴国的战略方针,为培养跨世纪的各类高科技人才奠定坚实的基础,满怀信心地去迎接 21 世纪,使社会主义中国以现代化的崭新面貌屹立于世界。



1996 年 5 月 7 日

(中国科学院、中国工程院院士、中国科学院院长)



• i •

前 言

近代科学技术的发展越来越多地与精湛的实验装备、仪器技术相关联。当今实验科学与测量技术普遍得到很大进步,随着高科技测量仪器的发展产生了许多相对独立的专业学科,如信息处理系统、智能仪表等。

实验室常用的仪器仪表器件和设备是科学研究和测量最基本的工具。在科学技术教学中学会这些设备的原理使用和维护无疑是十分必要的。

本书是在李宗民所编著《实验测量仪表原理》讲义的基础上,考虑到一般科研和技术人员以及大专学生学习的需要编写而成的。

本书编选的是最常用的基本仪器仪表,着重其原理、使用和维护等知识和技能的介绍。特别是对实际工作中,常常只作一次直接测量而取得结果的误差进行估算,并对电子测量中遇到的各种各样的干扰的来源及抑制进行分析。根据这一目的,本书不包括大型专用仪器和专业化很强的仪器仪表。全书叙述通俗易懂,图文并茂,深入浅出,简明实用。本书在各章(节)选择一种或几种有代表性的仪器仪表为例着重介绍。附录中还收入一些较常用的仪器仪表性能比较表,以及国家对仪器仪表标准的有关规定、常用电学基准,而且还专门介绍了传感器的有关内容以供参考。

本书第二章,第三章第二、三、四节,第四章,第六章,第七章,第九章第一、二、三、四节,及附录一由刘方新编著;第一章,第三章第一节,第五章,第八章,第九章第五、六节,及附录二、三、四由钱昭烨编著;最后由李宗民定稿。

通过教学实践,初识本书选材尚切合实际,不足和谬误之处将继续在教学中进一步修订。

中国科学院等离子体物理研究所研究员任兆吉研究员、中国科学技术大学梁伟圣副教授和鲍远律教授审阅了全部书稿,提出了不少宝贵修改意见,在此一并表示感谢。

编 著 者

1995年5月于合肥

目 录

《中国科学院实验技术人员岗位培训系列教材》序	(i)
前言	(ii)

第一篇 常用电工测量仪器仪表

第一章 电工测量基本知识	(1)
第一节 电工测量方法	(1)
一、几个常用的术语	(1)
二、电子测量方法	(2)
第二节 测量误差	(2)
一、误差的分类	(3)
二、“值”的概念	(3)
三、误差的概念及表达方式	(4)
四、系统误差的削弱或消除	(5)
五、测量数据加工整理	(6)
六、估算一次直接测量的误差	(8)
第三节 实验中干扰及其抑制	(9)
一、干扰(或噪声)形成的三要素	(9)
二、干扰的分类	(10)
三、干扰波的耦合	(10)
四、干扰的抑制	(13)
五、接地问题	(14)
六、输入阻抗的影响	(17)
第二章 电工测量指示仪表	(18)
第一节 指示仪表概述	(18)
一、指示仪表的类型	(18)
二、指示仪表的基本原理	(18)
第二节 磁电系仪表	(23)
一、磁电系仪表的结构原理	(24)
二、磁电系电流表	(27)
三、磁电系电压表	(27)
四、检流计	(34)
第三节 电磁系仪表	(40)
一、电磁系仪表的结构和工作原理	(40)
二、电磁系仪表的技术性能	(43)
三、电磁系电流表和电压表	(45)

第四节 电动系仪表	(46)
一、电动系仪表的结构与工作原理	(46)
二、技术性能	(48)
三、电动系电流表和电压表	(49)
第五节 指示仪表的校准和检修	(51)
一、指示仪表的校准	(51)
二、指示仪表的常见故障与检修	(55)
第三章 电工测量仪器	(62)
第一节 万用表	(62)
一、万用表的基本知识	(62)
二、500 型万用表	(65)
三、看万用表线路的方法	(69)
四、DT-830 数字万用表	(70)
第二节 电桥	(74)
一、直流单电桥	(75)
二、直流双电桥	(77)
三、直流电桥的检修	(79)
四、交流电桥	(80)
第三节 直流电位差计	(88)
一、直流电位差计的结构原理	(88)
二、UJ-31 型直流位差计	(93)
第四节 磁场测量仪	(97)
一、磁场测量原理	(97)
二、CT5 特斯拉计	(98)
三、核磁共振磁场测量仪	(102)

第二篇 常用电子测量仪器仪表

第四章 弱信号测试仪	(106)
第一节 DA-16 型晶体管毫伏表	(106)
一、DA-16 型晶体管毫伏表的结构原理	(106)
二、DA-16 型晶体管毫伏表的技术性能	(107)
三、DA-16 型晶体管毫伏表的使用	(107)
四、DA-16 型晶体管毫伏表的检修	(109)
第二节 锁相放大器	(111)
第五章 显示和记忆仪器	(115)
第一节 示波器概述	(115)
一、示波器的功用及分类	(115)
二、示波器的主要工作特性	(115)
三、示波器的选用	(119)
第二节 波形显示原理	(119)
一、示波管	(119)

二、记忆示波管	(122)
三、波形显示原理	(123)
第三节 示波器的工作原理	(125)
一、示波器的结构	(125)
二、示波器的垂直系统(Y 通道)	(125)
三、示波器的水平系统(X 通道)	(129)
四、多波形显示原理	(134)
五、双扫描显示的原理	(134)
第四节 示波器的一般使用方法	(137)
一、电压测量	(137)
二、时间测量	(138)
三、频率测量	(139)
四、示波器使用的注意事项	(140)
第五节 SR33 型二踪示波器	(141)
一、主要技术性能	(141)
二、工作原理	(142)
三、使用方法	(143)
第六节 7633 记忆示波器	(145)
一、概述	(145)
二、7633 型记忆示波器面板旋钮作用及主要技术性能	(146)
三、垂直插件及水平插件	(147)
四、使用及注意事项	(149)
第七节 取样示波器简介	(150)
第六章 数字式仪表	(152)
第一节 计数器	(152)
一、计数器的工作原理	(152)
二、MUJ-1 型电脑通用计数器	(154)
第二节 数字电压表	(159)
一、数字电压表的工作原理	(159)
二、PZ-12a 型数字电压表	(164)
第七章 信号发生器	(170)
第一节 XFG-7 型高频信号发生器	(170)
一、XFG-7 型高频信号发生器的结构原理	(170)
二、XFG-7 型高频信号发生器的技术特性	(171)
三、XFG-7 型高频信号发生器的使用	(172)
四、XFG-7 型高频信号发生器的检修	(174)
第二节 XD-2 型低频信号发生器	(175)
一、XD-2 型低频信号发生器的工作原理	(175)
二、XD-2 型低频信号发生器的技术特性	(178)
三、XD-2 型低频信号发生器的使用	(178)
四、XD-2 型低频信号发生器的检修	(179)
第三节 NF-1517 型脉冲信号发生器	(181)
一、NF-1517 型脉冲信号发生器的工作原理	(181)

二、NF-1517 型脉冲信号发生器的技术性能	(182)
三、NF-1517 型脉冲信号发生器的使用	(183)
四、NF-1517 型脉冲信号发生器的检修	(184)
第八章 电路及元件参数特性测试仪	(186)
第一节 频率特性测试仪	(186)
一、扫频测量原理	(186)
二、BT-3 型频率特性测试仪	(187)
三、扫频仪的应用	(190)
第二节 晶体管特性图示仪	(192)
一、图示仪的基本原理	(192)
二、图示仪的基本方框图	(193)
三、JT-1 型晶体管特性图示仪	(194)
四、GH-4821 型半导体管特性图示仪	(212)

第三篇 电 源

第九章 电源	(215)
第一节 稳压电源综述	(215)
一、输出调压范围	(215)
二、输出满载电流	(216)
三、纹波电压	(216)
四、波形失真度	(216)
五、稳定系数与稳定度	(216)
第二节 低压直流稳压电源	(217)
一、直流稳压电源原理	(217)
二、WYJ 晶体管直流稳压电源	(222)
第三节 高压直流稳压电源	(227)
一、高压直流电源原理	(227)
二、KD-405 型 10kV 高压直流稳压电源	(230)
第四节 直流稳流电源	(233)
一、直流稳流电源工作原理	(233)
二、JWL-30 型晶体管稳流器	(234)
第五节 交流稳压电源	(238)
一、交流稳压电源的种类及其基本原理	(238)
二、614-C 型电子交流稳压器	(239)
三、WYJ-812,813 型全自动交流稳压器	(242)
第六节 UPS 不间断供电电源	(243)
一、基本参数	(243)
二、工作原理	(244)
三、UPS 的选择	(247)
四、生产厂家、蓄电池的选择	(248)
附录	(250)

附录一 传感器	(250)
一、概述	(250)
二、传感器的转换原理	(250)
三、传感器件及其应用简介	(255)
附录二 测量用互感器	(269)
一、测量用互感器的用途	(269)
二、测量用互感器的结构	(269)
三、测量用互感器的正确选择和使用	(272)
附录三 电学度量器	(275)
一、标准电池	(275)
二、标准电阻器	(277)
三、测量用电阻箱	(279)
四、标准电感	(280)
五、标准电容	(281)
附录四 常用电子元、器件命名法及使用基本知识	(283)
一、电子管	(283)
二、半导体器件	(284)
三、集成运算放大器引出线的排列规则	(285)
四、液晶显示器及其驱动电路	(286)
主要参考文献	(289)

第一篇 常用电工测量仪器仪表

第一章 电工测量基本知识

在工农业生产、科学研究及商品贸易、日常生活中都需要测量。所谓测量,就是用实验的方法把被测量与标准量进行比较的过程。因此,测量单位的确定与统一是非常重要的。对同样一个物理量在不同时间、不同地点进行测量时得到相同的结果,必须采取公认的,而且固定不变的单位(除了重力加速度等与地区有关的物理量外),只有这样的测量才有实际意义。

第一节 电工测量方法

一、几个常用的术语

1. 单位制

单位制的种类很多,在我国根据国务院颁发的《中华人民共和国计量管理条例(试行)》规定:“我国的基本计量制度是米制(即公制)”。1986年7月1日起施行的《中华人民共和国计量法》规定,我国的法定计量单位是国际单位。国际单位制用SI表示。它有7个基本单位:①长度单位:米(m);②质量单位:千克(公斤)(kg);③时间单位:秒(s);④电流单位:安培(A);⑤热力学温度单位:开尔文(K);⑥物质的量单位:摩尔(mol);⑦光强度单位:坎德拉(cd)。

在电磁测量技术领域,根据上述7个基本单位中前4个(即米、千克、秒、安培)就可以导出各种电磁物理量的单位。这样制定的单位叫作SI的电磁学单位。这与在电工技术中已经使用的有理化实用单位制(有理化米·千克·秒·安培制)是一致的。

2. 量具

测量单位是理论定义。测量过程应是实物与实物的比较过程。因此,需要根据测量单位的定义复制出体现测量单位大小(单位尺度)的实物,以实现测量。这个实物就叫作量具(也称度量器)。

根据量具在单位量值传递中的地位 and 作用,分为基准器、标准器(标准量具)和工作量具。在一般测量特别是在工程测量中,主要用到工作量具。电学的标准量具在保持电学单位量值的统一上起着非常重要的作用。

主要的电学基准器有电压、电阻和计算电容等基准器,它们构成了电学计量的基础。

电压基准器由饱和标准电池组组成,其中每个电池的稳定性和其他性能均经过严格考核挑选,然后以这组标准电池的电动势平均值来保存电压单位(伏特)的量值。

电阻基准器是由稳定性极好的标准电阻器组组成,并以它们的电阻平均值来保存电阻单位(欧姆)的量值。

计算电容基准器是以“汤姆逊-蓝帕德定律”制定的交叉电容器为原器,其电容单位(法拉)的量值可直接从长度单位量值导出。

3. 量程(量限)、灵敏度、准确度及精确度

量程(量限):是指仪器仪表在规定的准确度下对应于某一测量范围内所能测量的最大值。

灵敏度:是指使量度仪器的指针产生满刻度偏转所需之电流值 I_g^- , I_g^- 愈小,灵敏度愈高,如 $20\mu\text{A}$ 表头比 $50\mu\text{A}$ 表头灵敏度高。

准确度:指仪表之量度值与实际值之接近程度。通常用仪表的最大引用误差来表示。

精确度(精密度):可由仪表所能测出数值的有效数字表现出来,有效数字愈多,代表精确度愈高;但应用时,有效数字通常皆不超过五位,否则即为不当。精确度有时受仪表之刻划不够细密所限制,因而无法读出更多位有效数字的精确程度。

准确度和精确度二者概念不同,但又是紧密相关的,精确度高,准确度也高,两者是一致的,特别在精密测量中,人们往往就用精确度(也称精度)来描述测量的准确度。

二、电子测量方法

选择什么样的测量方法进行测量,首先取决于被测量的性质,其次也要考虑测量条件以及提出的测量要求。

1. 直接测量

将被测量与作为标准的量直接比较,或用事先刻度好的测量仪表进行测量,从而直接测得被测量的数值。例如,用电压表测量电压、用欧姆表测量电阻等均属直接测量。

2. 间接测量

测量中,通过对被测量有一定函数关系的几个量进行直接测量,然后再按这个函数关系计算出被测量数值,这叫间接测量。如欲测量导线的电阻系数 ρ ,而现在没有测 ρ 的仪表,必须通过直接测量法确定其长度 l 、直径 d 和电阻 R ,然后按下式计算 $\rho \equiv \pi d^2 R / (4l)$ 。

3. 比较测量

以被测量与同种类量的已知值相比较为基础的测量方法,称为比较测量(法),如以电位差计测量电压等方法均属比较测量(法)。

第二节 测量误差

无论我们用什么方法测量,无论我们怎样仔细地进行测量,由于测量仪器不准确,测

量方法不完善,使得测量的结果与被测量的真实值之间总是存在着差别,这种差别叫测量误差。

一、误差的分类

误差产生的原因很多,根据误差的性质可分为系统误差、随机误差、疏失误差三大类。

在测量过程中所产生的一些误差,假如它们的值是固定不变的,或者是遵循着一定的规律变化的,那么就称这种误差为系统误差。

系统误差又可按其误差来源分为:

(1) 基本误差。仪器仪表在正常工作条件下(环境温度 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $65 \pm 15\%$,大气压强 $100 \pm 4\text{kPa}$,交流电源电压 $220\text{V} \pm 2\%$ 等),由于其本身结构上和制作上的局限性所造成的最大误差。由于绝对误差不能说明准确度,所以一般情况下对电压、电流常用仪表均用满刻度相对误差来表示。

(2) 附加误差。仪器仪表在规定使用范围内,由于环境温度,频率,电源电压等因素偏离正常条件所引起指示值相对于正常条件下指示值的最大偏差。一般以百分数给出。

在使用时,除考虑仪表本身的基本误差外,还要加上附加误差。

二、“值”的概念

测量结果是一个数值,即一个“值”,它包括测量单位和纯粹的数字值。几个有关“值”的概念分述如下。

1. 真值、约定真值和比较值

真值:一个物理量是客观存在的,其数值大小也是客观存在的,在理想化的概念下,在研究某量时所处的条件下表征一个精确定义量的值称为真值。但真值在一般条件下是不可知的,随着测量准确度的提高,测量结果的数值在不断接近其真值。

约定真值:无论怎样精密的测量,也不可能得到被测量的真值,只能在一定准确度下测定一个量的约定真值。把约定真值定义为:与一个量的真值相近似的可供使用的值,此值与真值之差可以忽略。在不致引起误解时,也可以将术语“真值”理解为“约定真值”。

比较值:在实际中经常应用的是比较值。它根据适当情况,可以是真值,约定真值,或同国家标准器,或有关团体间协商的标准器进行合法比对得到的值。目前常称为实际值。

2. 基准值和指示值

基准值:为了确定基准误差而作为参比基准的明确规定值称为基准值,这是为了便于比较而设定的。基准值可以是测量范围上限,标度尺长或其他明确规定值。如一只 $0-5\text{V}$ 的电压表, 5V 是测量范围上限,即为基准值。此值用于确定该表的基准误差乃至表的准确度等级。注意,此基准值不是测量单位基准器的数值。

指示值:指示值对测量仪表、标准量具、标准信号源有不同含义,分别定义为:对于测量仪器、仪表是指示值或记录值;对于实体量具是标称值或状态值;对于电源装置(含标准

信号源等)是测定值或标称值。一般都把指示值作为“结果”。

三、误差的概念及表达方式

使用测量仪器、仪表,通过一定的测定方法,在一定条件下对某被测量进行测量,其结果与真值之间总是存在一定的偏差,这就是误差。误差的表示方法有以下几种:

1. 绝对误差

指示值与比较值的代数差称为绝对误差。如用 X 表示指示值, A_0 表示比较值,则绝对误差 ΔX 可表示为:

$$\Delta X \equiv X - A_0 \quad (1-1)$$

绝对误差有大小、符号和单位。

2. 相对误差

绝对误差与比较值的比率称为相对误差,通常用百分数表示。如以 γ_X 表示相对误差,则有:

$$\gamma_X = \Delta X / A_0 \times 100\% \approx \Delta X / A \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, A 为实际值——标准仪器给出值。

相对误差只有大小、符号,而无单位。式(1-2)中使用了近似符号是由于在通常情况下误差是小的, A 与 A_0 很接近,也只有在这种前提下才能做这样的近似。

在测量实践中,凡欲衡量测量结果的误差或评价测量结果准确度时,都用相对误差,因为使用相对误差便于比较。如两个测量结果的绝对误差都是 1V,而被测量一个是 100V,另一个是 1000V,则它们的相对误差不同,测量准确度也不同的。

3. 基准误差(引用误差)

相对误差可以说明测量的准确度,但不能评价指示仪表的准确度。对一个指示仪表的某一量限来说,标尺上各点的绝对误差是相近的,指针指在不同刻度上读数不同,所以各指示值的相对误差差异很大,无法用这样的相对误差评价该仪表。为划分指示仪表的准确度级别,选取仪表的测量上限(即满刻度值)作为基准值,由此引出基准误差(亦称引用误差)的概念。

基准误差是指示仪表指示值的绝对误差 ΔX_m 与其上限 X_m 之比,用百分数表示。若用 γ_M 表示引用误差,则有

$$\gamma_M = \Delta X_m / X_m \times 100\%$$

式中, X_m 是仪表量程的上限值(满刻度值), ΔX_m 是绝对误差最大值。实际上,由于仪表标尺上各点指示值的绝对误差并不相等,为了评价仪表的准确度,这个公式的分子取整个刻度线上出现的绝对误差(ΔX)的最大值。

γ_M 值是在正常使用条件下不应该超过的最大相对误差。

对于仪表使用者来说,在没有修正值的情况下,应当认为指针在刻度线上各处都可能出现 ΔX_M 值,即从误差限出发,指针在不同偏转角时的绝对误差处处相等。

指示仪表的准确度等级与允许的基本误差的关系列于表 1-1 中。

表 1-1 指示仪表的准确度等级与允许的基本误差的关系

仪表的准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

这种误差的表示方法比较多的用在电工仪表中,其准确度等级分为七级,这些数字分别表示它们的满度相对误差百分数分子的数值(指绝对值),通常用 S 表示,例如 $S=1.5$ 表示仪表的满度相对误差不超过 $\pm 1.5\%$ 。

在电工仪表度盘上常见的标志有两种:一种是“1.5”以刻度线上量限百分数表示的准确度等级,例如 1.5 级(即上述的满度相对误差);另一种是“1.5”以刻度线长度百分数表示的准确度等级,这种标注方法多用于欧姆表或万用表的电阻挡,因为它的满量程是无穷大(∞),不便计算。

有些仪器也用相对误差和绝对误差共同表示准确度。

例如,一种数字电压表的基本误差标注为 $(\pm 0.1\% \pm 1 \text{ 个字})$,其中 $\pm 0.1\%$ 是相对误差,而 ± 1 个字是绝对误差。仅就绝对误差而言,例如当用最末尾一位数码管显示个位电压值(V)时,就会有 $\pm 1V$ 的误差,显然在测 5V 电压时,可能显示 4V 或 6V,绝对误差起主要作用。而转换为 mV 作单位时,可能显示 999mV 或 1001mV,这时绝对误差的影响很小,而相对误差起主要作用。可见,应使显示的有效位数尽量多,以减小测量误差。

四、系统误差的削弱或消除

通常,系统误差是由于测量仪器设备有缺陷,不准确或安放位置不当,环境条件变化(包括温度、交流电源电压波动等);个人习惯(偏视)以及近似计算等原因所造成的。它是测量中的主要误差。减小系统误差主要依靠采取必要的技术措施。例如,仪器在使用前进行校准或利用修正值;选用数字式仪器提高准确度,减小视差;改善环境条件;提高测量人员的技术水平。必要时采用零示法、替代法、正负误差补偿法等。

1. 零示法

零示法是一种广泛使用的方法。这种方法是将被测量与标准已知量进行比较,使二者的效应相互抵消,达到平衡。只要表示总效应的指示器具有足够的灵敏度,则测量的准确度就取决于标准已知量。

零示法原理如图 1-1 所示,图中 E_s 为标准电池, V_x 为被测电动势, G 为平衡指示器。

调节电位器 W 中心抽头位置,使输出电压 $E_s = V_x$,则指示器 G 指示为零。

电子测量中的阻抗电桥,外差式频率计都采用零示法。

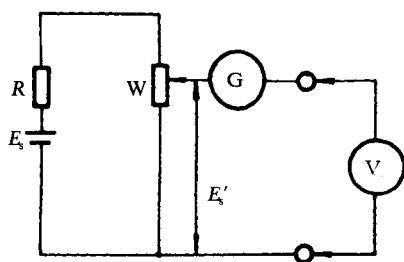


图 1-1 零示法原理

2. 替代法

利用替代法,只要灵敏度足够以及测量过程中仪器稳定,就可消除由测量仪器引入的恒定系统误差。

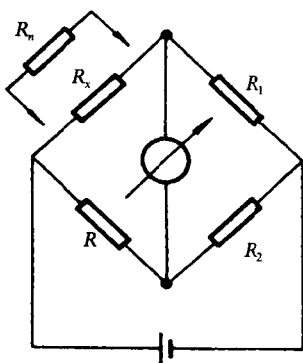


图 1-2 替代法测量电阻

例如,在电桥上以替代法测量电阻(见图 1-2)。先把被测电阻 R_x 接上,并调电桥到平衡,得

$$R_x = R_1/R_2 \times R$$

R_x 的大小由桥臂参数决定,桥臂参数的误差带入测量结果。若以标准电阻箱代 R_x ,电桥参数不变,调电阻箱 R_n 的值再次使电桥平衡得

$$R_n = R_1/R_2 \times R$$

因此, $R_x = R_n$, 被测量 R_x 的误差仅取决于 R_n 。

3. 正负误差补偿法

当系统误差为恒值误差时,可以对被测量在不同的试验条件下进行两次测量,使其中一次所包含的误差为正,而另一次所包含的误差为负,取这两次测量数据的平均值作为测量结果,就可以消除这种恒值误差。

例如用安培表测量电流时,考虑到外磁场对仪表读数的影响,可以将安培表转动 180° 再测量一次,取这两次测量数据的平均值作为测量结果。如果外磁场是恒定不变的,那么其中一次的读数偏大,而另一次读数偏小,这样在求平均值时,其正负误差就相互抵消,从而消除了外磁场对测量结果的影响。

五、测量数据加工整理

1. 数据舍入规则

由于测量数据都是近似数,因此,在处理数据时会遇到近似数的计算问题,每个数据位数不等,需进行舍入处理以使计算简化。数据处理时,所用的舍入规则(亦称修约规则)是小于 5 就舍,大于 5 就入,而恰好等于 5 时则应用偶数法则。即以保留数据的末位为单位。它后面的数大于 0.5 者末位进 1;小于 0.5 者末位不变;恰好为 0.5 者则使末位凑成