

高等学校规划教材

电气实验技术

上册

滕国仁 主编

煤炭工业出版社

高等学校规划教材

电 气 实 验 技 术

上 册

主编 滕国仁 副主编 赵桂芳
编写 王凤霞 黄 梅

煤炭工业出版社

(京)新登字 042 号

内 容 提 要

本书是煤炭高等学校工业自动化专业的配套改革教材。本书立足工程实际能力的培养,把电路、电子、电机及拖动、微型计算机、供电、自动控制等课与电气测量课程融为一体。把测量仪器和测量方法融在相应的实验中。这样,减少重复,精简了学时,又使实验课更系统。全书共分四篇,主要介绍测量误差分析、实验结果的处理方法、电气测量仪表的组成原理和正确使用,以及各电量的测量方法。书中编写了六十九个基础实验和专业实验,还有四个综合性实验供选做。书后附有常用电工元件和常用电子器件明细表,以及常用集成电路索引。

本书文字叙述详细、通俗易懂,便于自学。是工业自动化专业和相关专业的教材,也可作为大专和函大教材,还可供工程技术人员参考。

高等学校规划教材 电 气 实 验 技 术 上 册

主编 滕国仁 副主编 赵桂芳
编写 王凤霞 黄 梅
责任编辑:胡 玉 雁

*

煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平里北街 21 号)
北京怀柔燕文印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^1/16$ 印张 16
字数 374 千字 印数 1~3,100
1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷
ISBN 7-5020-1223-0/TP2
书号 3991 A0322 定价 13.20 元

前 言

本书是煤炭工业部高等院校工业自动化专业的改革系列教材之一。本教材在编写中力求贯彻“知识归类、科学组合、优化设课、精简学时，加强实践”的改革原则。

本课程的特点是实践性强。为了改变实验单纯为验证理论的状况，立足学生实际工作能力的培养，把电路、电子、电机及拖动、微型计算机、供电、自动控制等实验课和电气测量课融为一体，把测量方法、仪器仪表融在相应的实验中，强化实验基本理论和综合性实验。这样，既可避免重复，精简学时，又有利于提高学生实验技能和动手能力。

全书共分四篇，第一篇为电气测量的基本知识，主要介绍测量误差分析和实验结果的处理方法，及电工仪表的基础知识；第二篇为电气基础实验，介绍电气测量仪表、测量方法以及一定数量的基础实验；第三篇为微机与系统实验；第四篇为综合性实验。书后还附有常用电工元件和常用电子器件明细表，以及常用集成电路索引。为使用方便全书分上下两册。上册包括第一和第二篇；下册包括第三和第四篇及附录。

本教材按150学时编写，根据专业要求可选择有关内容，有的内容可以自学，有的综合性实验可结合课程设计同步进行。

本书由阜新矿业学院、淮南矿业学院和山西矿业学院共同编写。上册编写分工为：滕国仁编写绪论、第一章、第二章、第三章和第五章；王凤霞编写第四章；黄梅编写第六章；赵桂芳编写第七章。全书由滕国仁任主编，赵桂芳任副主编。

本书在编写过程中得到煤炭工业部和有关院校领导的支持，阜新矿业学院电气工程系部分实验教师参加了编写提纲的讨论，并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，错误和不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

1994年11月

出版说明

《中国教育改革和发展纲要》指出,教育改革“要按照现代科学技术文化发展的新成果和社会主义现代化建设的实际需要,更新教学内容,调整课程结构,加强基本知识、基础理论和基本技能的培养和训练,重视培养学生分析问题和解决问题的能力”。“高等学校教材要在积极扩大种类的同时,不断提高质量,加强理论与实际的联系,力求思想性和科学性的统一”,要适应教学改革需要。

由阜新矿业学院、山西矿业学院、黑龙江矿业学院、淮南矿业学院等四所院校进行的工业电气自动化专业教学综合改革,按照“知识归类、科学组合、优化设课、精简学时、加强实践”的改革原则,制定新的教学计划。根据培养目标的要求,新计划对于原有课程,采用删、调、合、增的方法改变原有课程体系,将工业电气自动化专业电类课程归并为四大类:基础理论课、方法论课、应用技术基础课和有针对性的专业课。

为了适应深化教学改革的需要,我们首先组织编写、出版以下几种教材:

电工原理
网络与系统分析
电机与传动
控制工程技术
微机原理与接口技术
计算机测控技术
矿山自动控制系统
电工技术 CAA
电气实验技术
电气工程实践教程

煤炭工业部科技教育司
教材编审室

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 电气测量的基本知识

第一章 电气测量的基本知识	1
第一节 测量仪器和测量方法的分类	4
第二节 电气测量指示仪表的误差及准确度	5
第三节 测量误差及其消除方法	7
第四节 工程上最大测量误差的估算	11
第五节 测量结果的处理	13
习题与思考题	24
第二章 常用电工仪表的基本知识	26
第一节 电气测量指示仪表的主要技术性能	26
第二节 电气测量指示仪表的分类	27
第三节 电气测量指示仪表的组成和基本原理	29
第四节 电气测量指示仪表的正确使用	30
习题与思考题	33

第二篇 电气基础实验

第三章 直流电路实验	34
第一节 磁电系仪表的结构与工作原理	34
第二节 磁电系电流表与电流的测量	36
第三节 磁电系电压表与电压的测量	40
第四节 磁电系欧姆表	42
第五节 带整流器的磁电系仪表	43
第六节 万用表	45
第七节 直流电桥	50
第八节 直流电位差计	58
第九节 直流电阻的测量方法	62
习题与思考题	64
第十节 实验	65
实验一 电阻元件的测量	65
实验二 线性有源二端网络的测量	67
第四章 交流电路实验	70
第一节 电磁系仪表	70
第二节 电动系仪表	72
第三节 电动系功率表和低功率因数表	74

第四节 功率的测量	77
第五节 电动系单相相位表	82
第六节 电动系频率表	82
第七节 交流电桥	85
第八节 万用电桥	88
第九节 电子示波器	93
第十节 信号发生器	105
习题与思考题	109
第十一节 实验	110
实验三 电感、电容元件的测量	110
实验四 R 、 L 、 C 串联电路的研究	113
实验五 日光灯及功率因数提高	115
实验六 三相电路的测量	117
实验七 一阶线性电路过渡过程的研究	119
实验八 二阶电路响应与状态轨迹	121
实验九 运算放大器和受控源	123
实验十 均匀传输线模拟研究	125
第五章 磁路实验	128
第一节 感应系电度表及电能的测量	128
第二节 磁电系检流计和冲击检流计	134
第三节 磁场的测量	137
习题与思考题	142
第四节 实验	142
实验十一 基本磁化曲线的测定	142
实验十二 交流磁化曲线的测量	146
第六章 电子技术实验	150
第一节 电子管和晶体管电压表	150
第二节 JT-1 型晶体管特性图示仪	153
第三节 DS26A 型数字电压表	160
第四节 数字万用表	163
习题与思考题	164
第五节 实验	165
实验十三 单级放大器的设计、安装、调试与测量	165
实验十四 阻容耦合放大器	167
实验十五 负反馈放大器	168
实验十六 集成运算放大器线性应用	170
实验十七 集成运算放大器非线性应用	174
实验十八 直流稳压电源	176
实验十九 组合逻辑电路设计与测试	181
实验二十 触发器实验	184
实验二十一 555 定时器的应用	187
实验二十二 计数器	189
实验二十三 单相可控整流电路	192

实验二十四 正弦波同步触发电路	194
实验二十五 三相半波可控整流电路	196
第七章 电机及传动	201
第一节 兆欧表及绝缘电阻的测量	201
第二节 钳式电流表	204
第三节 转速和转差率的测量	205
第四节 转矩的测量	207
习题与思考题	210
第五节 实验	210
实验二十六 直流发电机	210
实验二十七 串励直流电动机	213
实验二十八 他励直流电动机机械特性的测定	216
实验二十九 他励直流电动机的制动特性	218
实验三十 鼠笼式异步电动机的起动	222
实验三十一 三相异步电动机工作特性的测定	224
实验三十二 绕线转子异步电动机机械特性的测定	227
实验三十三 绕线转子异步电动机的制动特性	230
实验三十四 三相同步电动机实验	233
实验三十五 自整角机	235
实验三十六 绕线转子异步电动机以电流时间混合原则控制系统	236
实验三十七 单相变压器	239
实验三十八 三相变压器的联结组别和不对称短路	241
实验三十九 单相变压器的并联运行	244

绪 论

一、电气实验技术课的地位

测量是人们借助专门的设备,通过实验的方法,对客观事物的数量进行研究的过程。

在日常生活中,随时可见到测量问题。例如买布用尺测量长度;买粮要用秤称重量;要知道时间须看一看钟表……。其中尺、秤、钟表就是测量仪器或量具。

在科学技术领域里更离不开测量,例如人造地球卫星或宇宙飞船发射后,飞到哪里去了?如何进行控制?也要先通过测量。在发射时,还要依靠大量的测量仪器对发射的全过程进行全面的测量、控制。

在科学发展史上,从大量测量数据总结出一般规律,从而建立了各种定理和定律,这是屡见不鲜的。万有引力定律是牛顿以前多少年来大量天文观测所得结果的一个基本总结。

在现代工业生产中,同样离不开测量与仪器。就飞机生产来说,每一架飞机都是由上万个零件组成的,其中某一零件测量不准确,就会影响装配。即使勉强装合,也会使飞机的性能、质量、寿命等受到影响。

可见,没有测量及测量仪器,人类认识世界和改造世界的能力会受到限制。没有先进的测量技术和精密仪器,现代科学技术和现代工业生产不可能发展。因此,世界各先进国家都非常重视测量方法的研究和测量仪器的开发。

在测量技术中,电气测量的应用占重要地位。随着电子技术和计算机的发展,可进行自动测量、计算、校正和控制。特别是单片计算机的应用,使得“智能”仪表层出不穷。

电气实验技术课是培养学生电气测量基本技能和动手能力的一门课。通过本课程的学习将加深对有关理论课的理解,使理论与实践紧密结合,因此它又是工业自动化和相关专业的一门实践性很强的综合性课程。

二、本课程的任务及安排

本课程的任务是通过实验教学,使学生掌握电气测量仪器的工作原理和正确使用方法;根据仪器特点,学会正确地用仪器测量各种电量(如电压、电流及功率等)和非电量(如温度、压力、气体浓度等);掌握常用电气设备和元件特性,并能正确应用。在实验中掌握合理选用测量仪器(种类、准确度及量限等)和测量方法,能应用理论作指导来分析实验结果,判定实验是否成功。通过编写实验报告,培养综合数据的能力、文字组织能力和处理实验结果的能力(如实验数据的误差分析、曲线拟合等)。对典型系统能正确调试,掌握电气工程有关的测量方法和实验技能,学会排除一些常见故障。最后进行综合性实验。

在教学安排上,仪器的原理和使用,以及测量方法分散在有关实验中,安排一定的自学内容,培养学生自学能力。综合实验可与课程设计结合起来。对学生在实验中的操作能力要进行考核,主要考核学生实际动手能力和实验过程中对实验结果的分析能力等,其次考核实验报告。有条件的可进行考试,但考试不能代替上述考核。实践证明,这样能全面考核学生实验水平,也起到督促学生认真预习教材的目的。为了培养合格的高级工程技术人材,实验室必须开放,让学生把实验室作为学习的重要基地。

三、实验要求

实验前要学习好电气测量理论,在实验中学会正确地使用电气测量仪表及电气设备,能独立完成实验接线、测试、正确选择测量仪器,能准确地读取、整理和分析实验数据,能写出完整的实验报告,在实验中掌握安全用电知识。

1. 实验须知

1) 实验前必须认真地预习实验教材,明确实验目的、内容及实验步骤和方法,并做好实验数据记录表格等一切准备工作。教师要对实验预习情况抽查提问,抽查不合格者不得参加本次实验。

2) 从准备接线到送电前要做好下列工作:

(1) 注意设备容量、参数是否合适,工作电源电压不能超过额定值。

(2) 合理布线。布线原则是:安全、方便、整齐、防止相互影响。

(3) 正确接线应遵守的原则:

①根据实验电路的特点,选择合理的接线步骤,一般是“先串后并”,“先分后合”或“先主后辅”。

②接线前先搞清楚电路图上的节点与实验电路中各元件的接头的对应关系。

③养成良好的接线习惯,导线的长短粗细要合适,防止接线短路,接线点不宜过于集中于某一点,电表接头上非不得已不接两根导线,接线松紧要适中。

(4) 接线完毕后,必须认真检查,经指导教师检查同意后,方可接通电源进行实验。在改接线路之前,必须切断电源,不得带电操作。遵守“先接线后合电源,先断电源后拆线”的操作程序。

3) 每做完一个实验,都要分析检查实验结果是否符合要求,有的要简单勾画曲线形状或趋势检查实验结果的合理性。然后再请教师审查,教师同意后方可拆线;将所有仪器放回原处,才能离开实验室。

4) 必须严格遵守实验室的一切规章制度。

5) 分压器和调压器等可调设备的起始位置放在最安全处。

6) 处理故障的一般步骤 实验所用电源一般是可调的,实验时电压应从零缓慢上升,同时注意仪表指示是否正常,有无声响、冒烟、焦臭味及设备发烫等异常现象。一旦发生上述之一异常现象,应立即切断电源,报告指导教师,共同分析故障发生的原因。查找和处理故障的一般步骤:

(1) 若电路出现短路或其它可能损坏设备的故障时,应立即切断电源查找故障。不属于上述情况可用电压表带电检查,一般首先检查接线是否正确。

(2) 根据出现故障的现象和电路的结构判断故障发生的原因,确定可能发生故障的范围。

(3) 逐步缩小故障范围,常用两种方法检查故障点:

①电压法 带电(或降低电源电压)用万用表的电压档测量可能产生故障的各部分电压。根据电压的大小和有无,判断电路的故障点。

②欧姆法 断开电源,用万用表的欧姆档检查各支路是否连通,元件是否良好。

7) 操作时要做到手合电源,眼观全局,先看现象,再读数据。

2. 使用仪表

1) 正确地选择仪表的种类、量程、准确度等级, 尽量减小测量仪表对被测电路工作状态的影响。

2) 注意仪表刻度盘上的符号, 弄清楚被测物理量是什么, 如何正确连接, 以免损坏仪表。

3) 读数前要弄清仪表量程和刻度盘, 读数时姿势要正确, 要求“眼、针、影成一线”, 合理取舍有效数字 (最后一位为估算数字)。

3. 实验报告

实验报告是实验工作的总结, 它是在整理、分析和计算实验结果的基础上, 将实验结果完整和真实地表达出来。实验报告要简明扼要, 文理通顺, 字迹端正, 图表清晰, 结论正确, 分析合理, 讨论深入。实验报告一般应包括:

- 1) 实验目的;
- 2) 实验电路图, 在图中标明各电量的正方向;
- 3) 实验数据及计算结果;
- 4) 曲线与相量图;
- 5) 实验结果的分析处理 (包括结论、体会与意见);
- 6) 回答问题。

第一篇 电气测量的基本知识

正确使用电气测量仪器是正确测量的前提。首先必须了解仪器的分类、工作原理和使用方法,在此基础上,根据实验内容,恰当地选择实验仪器(包括仪器的种类、量限、准确度等级等)。测量方法直接关系到测量结果的正确与误差问题。掌握测量方法,了解仪表误差和测量误差,才能正确处理实验结果。

第一章 电气测量的基本知识

第一节 测量仪器和测量方法的分类

电气测量仪器主要指电工测量仪器和电子测量仪器,以及非电量电测仪器。电工测量仪器分为直读指示仪器和比较仪器两种。直读仪器如交直流电流表、电压表、功率表、万用表,多系电测量指示仪表,这种仪器的特点是可动部分的指针在标尺上的位置直接读出被测量的值。比较仪器用于比较测量,包括各类交直流电桥,交直流补偿式的测量仪器。电子测量仪器主要有示波器、电子管或晶体管电压表、晶体管参数测试仪、晶体管特性曲线测试仪、信号发生器、直流稳压电源,频率计和Q表等。

对于同一电量,可以用不同的方法测量。选择测量方法的依据是被测量的特性、测量条件以及对准确度的要求等。测量方法可以根据获得测量结果的过程或所用测量设备进行分类。

一、按获得测量结果的过程分类

1. 直接测量法

被测量可直接从仪器的度盘上读出,称为直接测量法。属于直接测量法的有:电流表测电流、电桥测电阻等。

2. 间接测量法

间接测量法是通过直接测量得到几个数据(这些数据并不是最终所求的结果),利用所测数据,按一定的关系式求出最终结果。

例如,伏安法测电阻,是根据测量的电流和电压值,利用欧姆定律确定出电阻值。

间接测量法常用于被测量不能直接测量、直接测量较复杂或直接测量的结果不如间接测量的结果准确等情况。

3. 比较测量法

比较测量法是将作用于任何系统的被测量,同作用于同一系统的其它已知量相比较。如用示波器根据李沙育图形测量频率等。

二、按测量仪器设备分类

1. 直接测量

这种方式是根据仪表的读数确定被测量的值。这时所用的测量仪表已按被测量的单位

预先刻好分度，能直接读出被测量的大小。如用电流表测电流，用伏安法测电阻等。

这种测量方式具有设备简单、操作方便、节省时间等优点，因而应用广泛。其缺点是测量准确度常受仪表准确度的限制而不够高。

2. 比较测量

这种方式是把被测量和度量器（如标准电池、标准电阻、标准电容等）相比较来决定其大小的。如用直流电位差计测量电压及测量电阻等。

这种测量方式的准确度高，灵敏度高，但测量费时，操作麻烦，对设备的要求高。

第二节 电气测量指示仪表的误差及准确度

用任何仪器仪表对某一被测量进行有限次的测量都不能求得测量的真值，仪器仪表的读数与真值之间总存在着一定的差值，这个差值称为误差。

仪表准确度表示仪表的读数与被测量的真值相符合的程度，误差越小，准确度越高。

一、仪表误差的分类

根据引起误差的原因，可将误差分为基本误差和附加误差两种。

1. 基本误差

仪表在规定的条件下（即在规定的温度、湿度，规定的放置方式，仪表指针调整到机械零位，除地磁外，没有外来电磁场干扰等条件），由于内部结构和制造工艺的限制，仪表本身所固有的误差。例如摩擦误差，标尺刻度不准，轴承与轴尖间隙造成的倾斜误差等都能产生基本误差。

2. 附加误差

仪表偏离其规定的正常工作条件产生的除上述基本误差外的误差称为附加误差。如温度过高，波形非正弦，频率过高或过低，外电场或外磁场的影响所引起的误差都属于附加误差。为此，仪表离开规定的工作条件形成的总误差中，除了基本误差之外，还包含有附加误差。

二、误差的表示方法

常用的误差表达形式如下：

1. 绝对误差

测量值 A_x 与被测量真值 A_0 之差称为绝对误差 Δ ，即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

例 1-1 用一电压表测量电压，其读数为 97V，而标准表的读数（视为真值）为 100V，求绝对误差。

解 由式（1-1）得

$$\Delta = A_x - A_0 = 97 - 100 = -3V$$

可见，绝对误差的单位与被测量的单位相同，绝对误差的符号有正负之分，用绝对误差表示仪表误差的大小比较直观。

2. 相对误差

相对误差是绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 之比，通常用百分数表示，即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

因为 A_0 难以测得, 且 A_x 与 A_0 相差不大, 有时用 A_x 代替 A_0 , 则

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-3)$$

例 1-2 用两块电压表测量两个电压, 一个电压的测量值为 100V, 绝对误差为 +1V; 另一个的测量值为 10V, 绝对误差为 0.5V。求两次测量结果的相对误差。

解

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{x1}} \times 100\% = \frac{1}{100} \times 100\% = +1\%$$

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{x2}} \times 100\% = \frac{0.5}{10} \times 100\% = +5\%$$

可见, 前者的绝对误差 Δ_1 比后者的绝对误差 Δ_2 大, 但其相对误差 γ_1 却比 γ_2 小, 说明前者的测量准确度要高些。显然, 相对误差便于对不同的测量结果的测量误差进行比较, 所以一般都用它来表示误差。

3. 引用误差

相对误差虽然可以用来表示某测量结果的准确度, 但若用来表示指示仪表的准确度则不太合适, 因为指示仪表是用来测量某一规定范围 (通常称为量限) 内的被测量, 而不是只测量某一固定大小的被测量。当用仪表测量不同大小的被测量时, 由于式 (1-2) 中的分母不同, 相对误差便随着变化。所以用相对误差衡量仪表的性能是不方便的。

引用误差是一种简化和实用方便的相对误差, 它常用仪表的基本误差 Δ 与其量限 A_m 之比的百分数表示, 即

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 γ_n ——仪表的引用误差;

Δ ——仪表在某一刻度上的基本误差。

三、仪表的准确度

由于仪表在不同刻度上基本误差不完全相等, 其值有大、小, 其符号有正、负, 所以用最大引用误差衡量仪表的准确度更为合适。最大引用误差是仪表在不同刻度上可能出现的最大基本误差 Δ_m 与仪表的量限 A_m 之比的百分数, 即

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 γ_{nm} ——仪表的最大引用误差;

Δ_m ——仪表在不同刻度上的最大基本误差。

最大引用误差愈小, 则基本误差愈小, 表示仪表的准确度愈高。因此, 仪表的准确度决定于仪表本身在规定使用条件下本身的性能。

根据我国国家标准 GB776-65《电气测量指示仪表通用技术条例》规定, 按最大引用误差的不同, 其准确度 α 分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5 等七个等级。现已生产出准确度为 0.05 级的仪表。准确度为 0.1 级的仪表, 其最大引用误差 γ_{nm} 小于或等于 0.1%; 1.0 级的仪表的 γ_{nm} 在 0.5% 到 1% 之间, 但不超过 1%。依次类推。

例 1-3 用量限为 10A, 准确度为 0.5 级的电流表去测量 10A 和 5A 两个电流, 求测量相对误差。

解 测量 10A 电流时所产生的最大基本误差为

$$\Delta_m = \pm a\% A_m = \pm 0.5\% \times 10 = \pm 0.05A$$

其最大相对误差

$$\gamma_{1.5} = \pm \frac{0.05}{10} = \pm 0.5\%$$

测量 5A 电流时

$$\Delta_m = \pm 0.5\% \times 10 = \pm 0.05A$$

$$\gamma_1 = \pm \frac{0.05}{5} = \pm 1\%$$

由此可见：

(1) 仪表的准确度，直接影响测量结果的准确程度。一般来说，仪表的准确度并不就是测量结果的准确度，后者还与被测量的大小有关，二者不能混为一谈。

(2) 在选择仪表时，只有考虑仪表的准确度等级，同时又选择合理的量限，才能保证获得较高的测量结果的准确度。当仪表的准确度等级确定后，所选仪表的量限越接近被测量的值，测量结果的误差越小。若量限选择不合理，其测量结果的误差可能会超过仪表的准确度等级（测 5A 时）。

第三节 测量误差及其消除方法

不论是采用什么样的测量方式和方法，也不论采用什么样的仪器仪表，由于仪表本身不够准确，测量方法不够完善以及实验者本人经验不足，人的感觉器官不完善等等原因，都会使测量结果与被测量的真值之间存在差异，这种差异称为测量误差。测量误差可分为三类。

一、系统误差

在相同的测量条件下，多次测量同一个量时，大小和符号保持恒定或按一定规律变化的误差称为系统误差。如用重量不准的天平砝码称物质，产生恒定误差；用不准的米尺量布，布越长，误差积累得越多，这些都是系统误差。

1. 产生系统误差的原因

1) 工具误差 测量时所用的装置或仪器、仪表本身的缺点引起的误差。例如用量限为 100V 的 0.5 级电压表测 50V 的电压时，测量误差可达到 $\pm 1\%$ ，这就是工具误差。

2) 外界因素影响误差 由于没有按照技术要求的规定使用测量工具，周围环境（温度、湿度、电场、磁场等）不合乎要求引起的误差。如万用表未调零，仪器设备放置不当互相干扰，仪表放在强磁场附近等，都会产生这种误差。

3) 方法误差或理论误差 由于测量方法不完善或测量所用的理论根据不充分引起的误差。例如，当用伏安法测电阻时，如果不考虑所用仪表的内阻对电路工作状态的影响，所测的电阻值中便含有方法误差。

4) 人员误差 由于测量人员的感官、技术水平、习惯等个人因素不同引起的误差。例如，有人听觉不够灵敏，当他用耳机作平衡指示器，调整交流电桥平衡时，就可能产生误判断，使测量不准。

消除或尽量减小系统误差是进行准确测量的条件之一，所以在测量之前，必须预先估计一切产生系统误差的根源，采取措施减小或消除系统误差。

2. 消除系统误差的常用方法

1) 对误差加以修正 在测量之前,将测量所用量具、仪器、仪表进行检定,确定它们的修正值(实际值=修正值+测量值),把用这些仪表测得的数值加上修正值,就可以求得被测量物理量的实际值(真值),消除工具误差。另外,考虑温度、湿度等环境因素对仪器仪表读数的影响,并对测量结果进行修正。也可以控制环境条件稳定,减小环境条件改变带来的误差。

2) 消除误差来源 测量之前检查所用仪器设备的调整 and 安装情况。例如仪表指针是否指零,仪器设备的安放是否合乎要求,是否便于操作和读数,是否互相干扰等;测量过程中,严格按规定的技术条件使用仪器,如果外界条件突然改变,则应停止测量;测量人员要保持情绪安定和精神饱满。这些都可以防止系统误差。此外让不同的测量人员对同一个量进行测量,或用不同的方法对同一个量进行测量,也有助于发现系统误差。

3) 采用特殊测量方法

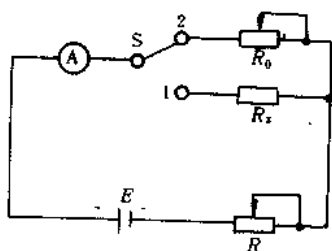


图 1-1 替代法测电阻

(1) 替代法 这种方法能消除由于测量工具不准和装置不妥善引起的系统误差。图 1-1 为替代法测量电阻 R_x 阻值的电路。第一步,将 S 合到 1 位置,调节可变电阻 R ,使电流表指针有一较大的偏转,记下读数。第二步,电源 E 和可变电阻 R 保持不变,将 S 合到 2 位置,用标准电阻 R_0 替代被测电阻 R_x 并调节 R_0 使电流表的读数与第一步的读数值相同,这时被测电阻值就等于标准电阻值。测量 R_x 的误差就仅取决于所用标准电阻是否准确以及电源电压是否稳定,与仪表等因素无关,消除了仪表引起的误差。

(2) 正负误差补偿法 消除系统误差,还可以采用正负误差补偿法,即对同一被测量反复测量两次,并使其中一次误差为正,另一次误差为负,取其平均值,便可消除系统误差。例如为了消除外磁场对电流表读数的影响,可在一次测量之后,将电流表位置调转 180° ,重新测量一次,取两次测量结果的平均值,可以消除外磁场带来的系统误差。再如用电桥测量时,也可以采用这个方法消除热电势引起的系统误差。这里,可把电桥电源极性对调测量两次,取其平均值。

(3) 等时距对称观测法 图 1-2a 是用电位差计测量电阻的线路。图中 R_x 为被测电阻, R_n 为已知的标准电阻。开关 S 先合到左边测出 U_n ,

$$U_n = IR_n$$

再将开关 S 合到右边测出 U_x ,

$$U_x = IR_x$$

则

$$R_x = \frac{U_x}{U_n} R_n \quad (1-6)$$

如果在测量 U_n 和 U_x 的过程中,电路中的电流 I 不稳定,那么用式 (1-6) 计算的 R_x 就有误差。若电流 I 随时间按直线规律变化,用等时距观测法可以消除上述的误差。其测量步骤如下:

第一步,在 $t=t_1$ 时,用电位差计测出 $U_n=U_{n1}$;

第二步,在 $t_2=t_1+\Delta t$ 时,用电位差计测出 U_x ,这时电流 I 降为 I_2 :-

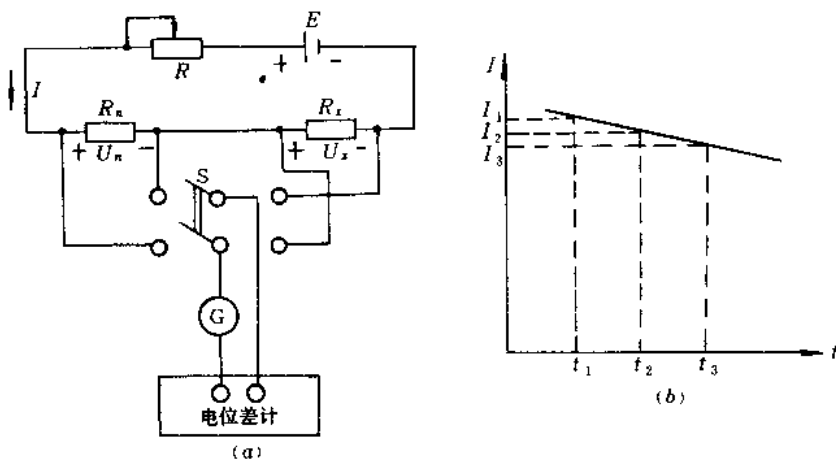


图 1-2 等时距对称观测法
a—电位差计测量电阻的电路；b—等时距观测法的图示

第三步，在 $t_3 = t_2 + \Delta t$ 时，再用电位差计测出 $U_n = U_{n3}$ 。因为

$$\frac{U_{n1} + U_{n3}}{2} = \frac{I_1 R_n + I_3 R_n}{2} = I_2 R_n$$

所以

$$R_x = \frac{U_x}{\frac{1}{2} (U_{n1} + U_{n3})} R_n$$

这样算出的 R_x 消除了因电流随时间直线变化产生的系统误差。

二、偶然误差

偶然误差也叫随机误差，这是一种大小、符号都不确定的误差。这种误差是由周围环境的偶发原因引起的，因此无法消除。若只含有随机误差，进行多次重复测定，可发现随机误差符合统计学的规律性。若用 δ 表示随机误差，用 f 表示误差出现的原因，由实验可得 f 与 δ 的关系曲线如图 1-3 所示，该曲线称为随机误差的正则分布曲线。

从误差的正则分布曲线，可得出四个特性：

- 1) 有界性 在一定测量条件下，随机误差的绝对值不会超过一定界限，称有界性。
- 2) 单峰性 绝对值小的误差出现的机会比绝对值大的误差出现的机会多，称单峰性。
- 3) 对称性 误差可正、可负或为零。绝对值相等的正误差与负误差出现的机会大致相等，称对称性。
- 4) 抵偿性 以等精度多次测量某一量时，随机误差的算术平均值随着测量次数 n 的无限增加趋于零，称抵偿性。

由于随机误差具有上述特性，所以工程上可以对被测量进行多次重复测量，然后用它们的算术平均值表示被测量的真值，即

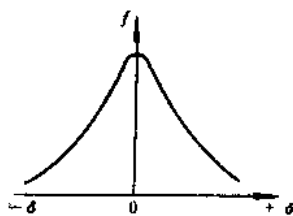


图 1-3 随机误差
正则分布曲线