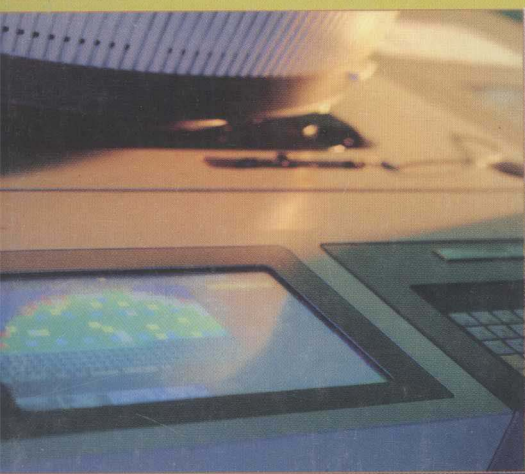


电气测量与仪器

吴 旗 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电气测量与仪器

吴旗 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

高等教育出版社

内容提要

本书是高等职业教育课程改革和教材建设规划教材。编者结合近年来高等职业院校该课程的教改实践及最新科技成果,根据第三次全国高职高专会议关于高等职业教育要注重培养“应用型和技能型”人才的精神,根据“电气测量与仪器”课程教学基本要求,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写而成。

全书共分9章,主要内容包括:电气测量与仪器的基本知识;电流与电压的测量及仪器;电功率的测量及仪器;电能的测量及仪器;频率、相位和功率因数的测量及仪器;电阻的测量及仪器;电感和电容的测量及仪器;磁性测量及仪器;数字仪表。

本书可作为高等职业技术学院和普通高等院校电工电子类、电气控制类及自动化仪表类专业教材,也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气测量与仪器/吴旗主编. —北京:高等教育出版社,2004.7

ISBN 7-04-014929-X

I. 电... II. 吴... III. ①电气测量-高等学校: 技工学校-教材②电工仪表-高等学校: 技工学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 054755 号

策划编辑	李宇峰	责任编辑	李宇峰	封面设计	于涛	责任绘图	尹莉
版式设计	王艳红	责任校对	朱惠芳	责任印制	孔源		

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100011

总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京东光印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 15.25

字 数 370 000

版 次 2004年7月第1版

印 次 2004年7月第1次印刷

定 价 19.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是高等职业教育课程改革和教材建设规划教材。编者结合近年来高等职业院校该课程的教改实践及最新科技成果,根据第三次全国高职高专会议关于高等职业教育要注重培养“应用型和技能型”人才的精神,根据“电气测量与仪器”的课程教学基本要求,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写而成。

本书在编写中力图体现以下特点:

1. 根据电气测量仪器仪表面广量大、种类繁多的特征,教材突出基本性和简洁性。全书注重基本概念、基本方法、基本应用的阐述。

2. 根据高等职业教育的培养目标,教材突出应用性、实践性和技能性。由于本书内容本身对应用性要求很强,所以对所涉及的原理只是粗略介绍,而注重其使用和选择的阐述,书中对电气测量仪器仪表常见应用和易出现的一些问题进行了必要的阐述,并在附录中安排了参考实训项目和部分仪表的常见故障及消除方法的介绍。

3. 根据教育理论和教学规律,教材突出典型性。教材除介绍了常用的仪器仪表结构原理和典型应用,还对典型仪器仪表的使用方法和注意事项进行了阐述,期望读者能达到举一反三、触类旁通的效果。

4. 根据事物发展的规律,教材体现新颖性。教材努力反映新知识、新技术和新方法,尽可能反映国内外电气测量仪器的新成果、新进展,如新型瓦时计、数字存储示波器、虚拟仪器等。

5. 根据使用行业不同、地区不同的现实,教材内容体现可选性。本书可根据课时需要对第8章(磁性测量及仪器)全章和第5、6、7、9章中的部分内容进行筛选,突出了教材内容的可选性和使用的广泛性。

6. 根据读者的年龄及知识结构,教材体现可读性。本书内容丰富、层次清晰、重点突出、深入浅出,用了大量的图表很好地说明教学内容,配备了一定量的思考题及习题。

全书由常州轻工职业技术学院吴旗任主编并进行统稿。其中,第1章、第2章、第9章和附录的内容由吴旗编写;第6章、第7章和第8章内容由常州轻工职业技术学院俞亚珍编写;第3章、第4章和第5章由常州轻工职业技术学院庄丽娟编写。全书由湖南铁道职业技术学院赵承荻主审。常州轻工职业技术学院朱世杰老师对本书进行了一些文字处理工作,在此表示感谢。本书除可作为高等职业技术学院和普通高等院校电工电子类、电气控制类及自动化仪表类等专业教材外,还可供有关专业师生及工程技术人员参考。

本书在编写体系和内容取舍方面进行了一些尝试。限于编者水平,加之时间仓促,疏漏和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2004年4月

目 录

第1章 电气测量与仪器的基本知识	1	5.1 频率表、相位表和功率因数表	91
1.1 电气测量的基本概念	1	5.2 频率、相位和功率因数的测量	98
1.2 电气测量方法	2	5.3 示波器	101
1.3 测量误差	4	5.4 示波器的常见应用	108
1.4 电工仪表的分类	7	习题	114
1.5 测量仪表的选择与使用	11		
习题	16	第6章 电阻的测量及仪器	115
第2章 电流与电压的测量及仪器	17	6.1 电桥	115
2.1 仪用互感器	17	6.2 绝缘电阻表	124
2.2 仪用互感器的选择与使用	27	6.3 接地电阻测量仪	128
2.3 电流表和电压表	29	6.4 万用表	132
2.4 直流电位差计	35	6.5 电阻的测量方法	137
2.5 电流的测量	40	6.6 绝缘电阻的常见测量	143
2.6 电压的测量	42	6.7 接地电阻的测量方法	149
2.7 电流表与电压表的选择与使用	48	6.8 电阻测量法在机床电气检修中的应用 ..	150
习题	51	习题	152
第3章 电功率的测量及仪器	52	第7章 电感和电容的测量及仪器	154
3.1 功率表	52	7.1 信号发生器	154
3.2 单相电功率的测量	58	7.2 电路参数测量概述	163
3.3 三相电功率的测量	62	7.3 电感和互感的测量	165
3.4 功率表的选择与使用	67	7.4 电容的测量	168
习题	69	习题	174
第4章 电能的测量及仪器	71	第8章 磁性测量及仪器	175
4.1 瓦时计	71	8.1 测磁仪表	175
4.2 单相有功电能的测量	76	8.2 磁性材料直流磁特性的测量	180
4.3 三相电能的测量	79	8.3 磁性材料交流磁特性的测量	185
4.4 瓦时计的选择与使用	85	习题	189
习题	90	第9章 数字仪表	190
第5章 频率、相位和功率因数的测量及仪器	91	9.1 数字仪表概述	190
		9.2 数字电压表	193
		9.3 数字万用表	199
		9.4 电子计数器	206

第 1 章 电气测量与仪器的基本知识

1.1 电气测量的基本概念

1.1.1 测量的基本概念

测量是人类对客观事物取得数量概念的认识过程,是人们认识和改造自然的一种不可缺少的手段。在自然界中,对于任何被研究的对象,若要定量地进行评价,必须通过测量来实现。在古代测量长度的单位大多利用人身体的某一部分。最原始的长度单位是用足底的长度或手指宽度等作为长度的单位。经过漫长的历史变迁,足底长度逐渐演变成今天西方国家仍然使用的英尺(ft)(约 30 cm),而手指的宽度则以大拇指的宽度作为基准单位,演变成英寸(in)(约 2.54 cm)。在现代社会中,测量与工程、医学、科学实验、工业生产有着非常密切的关系,它在人们对自然界的认识过程中起了重大的作用,有些新的发明和突破都是以实验测试为基础的。在工业生产中,就是靠准确而及时地检测生产过程中的各种有关参数来实现生产过程自动化的。

测量是通过实验对客观事物取得定量意义的过程,是一种把物理参数变换成具有意义的数字的过程,也是把被测对象与公认的标准单位进行比较的过程。所以测量过程就是一个比较过程。测量结果可用一定的数值表示,也可以用一条曲线或某种图形表示。但是,无论其表现形式如何,测量结果应包括两部分:一部分是数值的大小和符号(正或负);另一部分是相应的单位。表示测量结果时,不注明单位,该测量结果将无意义。

在测量技术的发展过程中,由于技术的进步,被测对象和范畴不断扩大,出现了一些不同性质的测量过程,于是就提出了 4 种不同的称呼:测量、计量、检测和测试。在本书中所涉及的测量技术主要是指在通常意义下的电气测量,而对计量、检测和测试范畴的测量技术不作介绍,如需要了解可参阅有关书籍。

在各种测量过程中,必须有一个体现测量单位的已知量,这些体现测量单位的器具在测量学中被称为量具。在实际测量时,往往只有少数量具能够直接参与比较,如测量长度用的直尺,测量液体体积用的量杯等。而在大多数场合,通常不能直接比较。特别是电测技术中,由于被测量与标准量均为电参数,因此无法直观地看到它们。若要将它们进行比较,必须采用较为复杂的方法和专门的比较设备才能完成。例如,用标准电阻来测量未知电阻时,需要借助于电桥;用标准电池测量未知电压时,需要借助于电位差计等。这些用作比较的设备称为比较仪。

由上可知,测量过程应具有三要素:一是测量单位;二是测量方法,它是将被测量与其单位进行比较的实验方法;三是测量仪器与设备,它是测量过程的具体体现与实施者,是为了求取比值(测量值)而实际使用的一些仪器设备。

1.1.2 电气测量的内容

测量技术主要研究测量原理、方法和仪器等方面的内容。从广义来讲,凡是利用电工电子技术进行的测量都可以说是电气测量;从狭义来讲,电气测量是指在电工电子学中测量有关电的量值。由此可见,电气测量的内容是相当广泛的,主要包括下列内容:

1. 电能量的测量

电能量的测量包括电流、电压、功率、电场强度、电磁干扰和噪声等。

2. 电路元器件参数的测量

电路元器件参数的测量包括电阻、电容、电感、阻抗、品质因数、介质损耗、介电常数和磁导率等。

3. 电信号特性的测量

电信号特性的测量包括频率、周期、时间、相位、波形参数、脉冲参数、调制参数、频谱、失真度、信噪比和数字信号的逻辑状态等。

4. 电路性能的测量

电路性能的测量包括增益、衰减、频率特性、灵敏度、分辨力、噪声系数和反射系数等。

上述各种电参数中,频率、时间、电压、相位和阻抗是基本的电参量,对它们所进行的测量也是其他许多派生参数测量的基础。另外,通过传感器可将温度、压力、流量和位移等非电量转换成电信号后进行测量,但这些内容不属于本书讨论的范围。

1.2 电气测量方法

1.2.1 电气测量方法的分类

一个电气参量的测量,可以通过不同的方法来实现。测量方法的选择正确与否,直接关系到测量结果的可信赖程度,也关系到测量工作的经济性和可行性。测量不当或错误的测量方法,除了得不到正确的测量结果外,甚至会损坏仪器和被测设备。必须根据不同的测量对象、测量要求和测量条件,选择正确的测量方法,合适的测量仪器,构成实际测量系统,进行正确细心的操作,才能得到理想的测量结果。测量方法的分类形式有多种,下面介绍几种常见的分类方式及测量方法。

1. 按仪表产生被测量数值的方法分类

(1) 直读式测量法 即在电测仪表及仪器的指示器上的读数直接指示被测量的大小,如用磁电式、电磁式、电动式等直读式仪表测电流、电压、功率等,采用的就是直读式测量法。其特点是简便快捷,但准确度受仪表误差限制。

(2) 比较式测量法 将被测量与标准量具给出的已知量进行比较,从而获得结果。根据具体比较方式的不同,又可分为以下几类。

① 差值法(微差法)。在测量过程中,通过测量出被测量 A_x 与标准量 A 的差值,而确定被测量。此类方法是从测量仪表直接读出差值(或正比于差值的量): $A_x - A = \Delta$, 其中, A_x 为被测量, A 为已知量, Δ 为差值。

显然, Δ 愈小, 测量结果的准确度越高。

② 零值法(平衡法)。此法实际上是将上述差值法中的差值 Δ 趋为零, 则可认为 A 即为 A_x 。为此, A 必须可变, 以便对不同被测量将差值 Δ 调为零。例如, 用平衡电桥测量电阻等。此类方法的准确度决定于 A 准确度和用以确定差值为零的仪表的灵敏度。

③ 替代法。在测量过程中, 以已知标准量 A 替代被测量 A_x , 而不改变仪表的原有工作状态, 因此 $A_x = A$ 。显然, 此法的测量结果不受仪器本身特性及外界干扰所引起的测量误差影响, 具有很高的准确度(仅决定于替代的已知标准量 A 的准确度)。

比较测量法一般均具有较高的准确度和灵敏度, 测量误差最小可达 0.001%, 但所用设备较复杂, 操作较繁。

2. 按获得被测量结果的过程分类

(1) 直接测量 直接测量是从一次测量的实验数据中得到测量结果的测量。在这种测量中, 可以使用标准量具、电桥、电位差计等仪器, 直接与被测量进行比较而取得被测量的数值; 也可以从直读式仪表(数字仪表或指示仪表)上直接读出被测量的数值。

(2) 间接测量 如果被测量和几个中间量存在一定的关系, 通过几个中间量的直接测量, 再按函数关系计算出被测量, 这种方式称为间接测量。例如, 线性电阻元件的电阻和其端电压及电流的关系为 $R = U/I$, 通过对 U 和 I 的测量, 按此式算出电阻, 就是间接测量。

当被测量不便于直接测量、或当时缺少直接测量的设备而对测量结果的准确度要求较低时, 多采用间接测量。

(3) 组合测量 先直接测量与被测量有一定函数关系的某些量, 在一系列直接测量的基础上, 通过求解方程组而获得测量结果的方法称为组合测量。组合测量多用于精密测量及科学实验中。

此外, 测量方法还有许多分类方法。例如, 按测量的精确程度分为精密测量(实验室测量)和工业测量; 按操作情况分为自动测量和非自动测量; 按被测量点距观测点的位置分为原位测量和远距离测量; 按被测量器具和被测量的接触状态分为接触式测量与非接触式测量等。

1.2.2 电气测量方法的选择原则

选择电气测量方法时应考虑如下要求:

- (1) 足够的灵敏度。
- (2) 适当的准确度。
- (3) 对被测电路状态的影响要尽可能小。
- (4) 测量简便可靠。
- (5) 测量前的准备工作和测量后的数据处理应尽可能简便。
- (6) 对被测对象的性质要了解清楚(参数是否线性、数量级如何、对波形和频率有否要求、对测量过程的稳定性有否要求、有否抗干扰要求等)。

根据以上综合要求, 合理地选择测量方法及有关的仪器设备。

1.3 测量误差

1.3.1 测量误差的基本概念

任何测量都不可能绝对准确,都存在误差,只要误差在允许范围内即可认为符合标准,自动检测技术也不例外。所谓测量误差,即测量的输出值与理论输出值的差值。因此,要求在设计、制造和使用传感器与自动检测系统时,允许有误差,但必须在规定误差的指标之内。为了使其能满足一定的精度要求,必须掌握误差的种类及分析产生误差的原因,克服与减少误差的方法。下面介绍有关测量的部分名词。

(1) 真值 被测量本身所具有的真正值称为真值。量的真值是一个理想的概念,一般是不知道的。但在某些特定情况下,真值又是可知的,如一个整圆的圆周角为 360° 。

(2) 约定真值 由于真值往往是未知的,所以一般用基准器的量值来代替真值,称为约定真值,它与真值之差可以忽略不计。

(3) 实际值 误差理论指出,在排除了系统误差的前提下,对于精确测量,当测量次数为无限多时,测量结果的算术平均值接近于真值,因而可将它视为被测量的真值。但是测量次数是有限的,故按有限测量次数得到的算术平均值只是统计平均值的近似值。而且由于系统误差不可能完全被排除掉,故通常只能把精度更高一级的标准器具所测得的值作为“真值”。为了强调它并非是真的“真值”,故把它称为实际值。

(4) 标称值 测量器具上所标出来的数值。

(5) 示值 由测量器具读数装置所指示出来的被测量的数值。

(6) 测量误差 用器具进行测量时,所测量出来的数值与被测量的实际值之间的差值。

1.3.2 测量误差的分类

在测量中由不同因素产生的误差是混合在一起同时出现的。为了便于分析研究测量误差的性质、特点和消除方法,下面将对各种误差进行分类讨论。

1. 按表示方法分类

(1) 绝对误差 绝对误差 Δ 是指测量值 A_x 与约定真值 A_0 的差值。即 $\Delta = A_x - A_0$ 。在计量中常使用修正值 α , $\alpha = A_0 - A_x = -\Delta$ 。只要得到修正值 α 、测量值 A_x ,便可得知约定真值 A_0 。

(2) 相对误差 相对误差是针对绝对误差有时不足以反映测量值所偏离约定真值大小程度而设定的,在实际测量中相对误差有下列表示形式:

① 实际相对误差。实际相对误差 γ_A 用绝对误差 Δ 与约定真值 A_0 的百分比表示,即

$$\gamma_A = \pm \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1.1)$$

② 标称相对误差。标称相对误差 γ_x 用绝对误差 Δ 与被测量值 A_x 的百分比表示,即

$$\gamma_x = \pm \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1.2)$$

③ 满度(或引用)相对误差。满度(或引用)相对误差 γ_m 用绝对误差 Δ 与仪器量程 A_m 的百

分比表示,即

$$\gamma_m = \pm \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1.3)$$

在上式中,当 $\Delta = \Delta_m$ 时,满度(或引用)相对误差就被用来确定仪表的准确度等级 S ,即

$$S = \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100 \quad (1.4)$$

当仪表显示值下限不为零时,准确度等级 S 为

$$S = \frac{|\Delta_m|}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100 \quad (1.5)$$

式中, $A_{\max}$ 和 $A_{\min}$ 分别为仪表刻度盘的上限与下限。

我国电工仪表准确度等级分为 7 级,即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 级。

例题 1.1 今有 0.5 级的 $0^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ 和 1.0 级的 $0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 两个温度计,要测 80°C 的温度,试问采用哪一个温度计好?

解: 用 0.5 级仪表测量时,最大标称相对误差为

$$\gamma_{x1} = \frac{\Delta_{m1}}{A_m} \times 100\% = \frac{300 \times (\pm 0.5\%)}{80} \times 100\% = \pm 1.875\%$$

用 1.0 级仪表测量时,最大标称相对误差为

$$\gamma_{x2} = \frac{\Delta_{m2}}{A_m} \times 100\% = \frac{100 \times (\pm 1.0\%)}{80} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

$$\gamma_{x2} < \gamma_{x1}$$

显然本例中用 1.0 级仪表比用 0.5 级仪表更合适。因此,在选用仪表时应兼顾准确度等级和量程。

(3) 容许误差 容许误差是指根据技术条件的要求,规定某一测量仪表误差不应超过的最大范围。

2. 按误差出现的规律分类

(1) 系统误差 系统误差是指误差的数值是一个常数或按一定规律变化的值。它又可分为恒值误差和变值误差。

恒值误差是指在一定条件下,误差的数值及符号都保持不变的系统误差;变值误差是指在一定条件下,误差按某一确切规律变化的系统误差。系统误差主要由以下几个因素引起的:材料、零部件及工艺缺陷;环境温度和湿度;压力变化及其他外界干扰。

系统误差表明了一个测量结果偏离真值和实际值的程度。系统误差愈小,测量愈正确,所以常常用准确度来表征系统误差大小。系统误差是有规律的,它可以通过实验方法或引入修正值方法予以修正。

(2) 随机误差 随机误差是由于偶然因素的影响而引起的,其数值大小和正负号不定,而且难以估计。但是总体仍服从一定统计规律,它不能通过实验方法加以消除,但能运用统计处理方法减小其影响。随机误差表现了测量结果的分散性。在误差理论中常用精密度来表征随机误差的大小。随机误差愈小,精密度愈高。

(3) 粗大误差 粗大误差是指在一定的条件下测量结果显著地偏离其实际值时所对应的误

差。从性质上看,粗大误差并不是单独的类别,它本身既具有系统误差的性质,也可能具有随机误差的性质,只不过在一定测量条件下其绝对值特别大而已。粗大误差是由于测量方法不妥、各种随机因素的影响或测量人员粗心所造成的。

3. 按被测量随时间变化的速度分类

(1) 静态误差 静态误差是指在测量过程中,被测量随时间变化很缓慢或基本不变时的测量误差。

(2) 动态误差 动态误差是在被测量随时间变化时所测得的误差。例如,用笔式记录仪测得的结果,由于记录笔有惯性量,输出量在时间上不能与被测量的变化一致,而造成的误差就属于动态误差。动态误差是在动态测量时产生的,动态测量的优点是检测效率高和环境影响小。

4. 按使用条件分类

(1) 基本误差 基本误差是指检测系统在规定的标准条件下使用时所产生的误差。所谓标准条件指仪器仪表在实验室、制造厂或计量部门标定刻度时所保持的工作条件,如电源电压 $220(1 \pm 5\%) \text{ V}$; 温度 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$; 湿度小于 80%; 电源频率 $(50 \pm 1) \text{ Hz}$ 等。基本误差是测量仪表在额定条件下工作所具有的误差,测量仪表的精确度就是由基本误差决定的。

(2) 附加误差 当使用条件偏离规定标准条件时,除基本误差外还会产生附加误差,例如,由于温度超过标准引起的温度附加误差、电源附加误差以及频率附加误差等。这些附加误差在使用时应叠加到基本误差上去。

1.3.3 测量误差的来源

为了减少测量误差,提高测量结果的准确度,必须明确测量误差的主要来源,以便估算测量误差并采取相应措施减少测量误差。测量误差是多种误差因素共同作用的结果。

1. 仪器误差

仪器误差是由于仪器、仪表本身及其附件的设计、制造、装配、检定的不完善以及仪器使用过程中元器件老化、机械部件磨损、疲劳等因素而产生的误差。例如,电桥中的标准电阻、示波器的探极线等都含有误差。仪器、仪表的零位偏移、刻度不准确以及非线性等引起的误差均属仪器误差。减小仪器误差的主要途径是根据具体测量任务,正确地选择测量办法和使用测量仪器。

2. 使用误差

使用误差又称操作误差,是由于对测量设备操作使用不当而造成的误差。例如,把按规定应垂直安放的仪器水平放置,仪表接地不良,测试引线太长而造成损耗或未考虑阻抗匹配,未按操作规程进行预热、调节、校准后再测量等,都会产生使用误差。减小使用误差的最有效途径是提高测量操作技能,严格按照仪器使用说明书规定的方法步骤进行操作。

3. 人身误差

人身误差是由于测量者的分辨能力、视觉疲劳、固有习惯或缺乏责任心等因素引起的误差。例如,读错刻度、念错读数等。对于某些需借助人的眼、耳来判断结果的测量以及需要进行人工调节的测量工作,均会引入人身误差。减小人身误差的主要途径有:提高操作者的操作技能和责任心;采用更合适的测量方法和采用数字式显示的客观读数等。

4. 影响误差

由于各种环境因素与要求条件不一致而造成的误差称为影响误差。对电子测量来说,最主

要的影响因素是环境温度、电源电压和电磁干扰。当环境条件符合要求时,影响误差通常可以不予考虑。

5. 方法误差 由于测量方法不合理所造成的误差称为方法误差。例如,用普通万用表测量电路中高阻值电阻器两端的电压,由于万用表电压挡内阻不高而形成分流作用引起的误差即为方法误差。采用合理的测量方法是减少方法误差的必然途径。

1.3.4 减少测量误差的方法

在测量中误差是不可避免的,测量时除了根据误差的来源采用以上方法减少测量误差外,还可采取某些措施将误差控制在最小范围内以至于基本消除。

1. 系统误差的消除

(1) 替代法 将被测量与标准量在测量仪表的正常工作状态下,先后以替代法接入同一装置,在读数不变的情况,以标准量来确定被测量。例如,用电桥测电阻时用标准电阻替代被测电阻。

(2) 正负消去法 实验者有意对一个量重复测量两次,使第一次测量误差为正,第二次测量误差为负,然后取两次测量平均值,则测量结果与系统误差无关。例如,为了消除恒定外磁场对仪表造成的系统误差,第一次测量和第二次测量时,仪表位置相差 180° ,这样取两次平均值就消除了外磁场对仪表内磁场的影响。

(3) 引入修正值 常用仪表经过检定,测出标度尺每一刻度点的绝对误差,列成表格或作出曲线,则在使用该仪表时,可根据示值和该示值的修正值求出被测量的实际值,这样就可消除由于测量工具引起的系统误差。

除此以外,在测量之前,要仔细检查全部量具和仪表的安装及调整情况;合理选择配线方式,防止测量工具互相干扰;选好观测位置,消除视差;避免外界条件所产生急剧变化,以消除产生系统误差的来源。

2. 随机误差的消除

随机误差不能用试验的方法加以检查和消除。根据随机误差的来源,应该尽可能多次测量,并取各项测量的算术平均值作为测量结果,测量结果越多,其随机误差的影响就越小,测量结果越接近实际值。

3. 粗大误差的消除

一般采用剔除坏值的方法来消除粗大误差,即发现测量过程中因读错、记错而出现读数突然跳变时,及时剔除、重测,直到完全合乎要求为止。这样不但防止了粗大误差,而且也保证了测量的质量和速度。为此在测量时应养成细心和耐心的习惯。此外,对同一量进行多次测量时,用统计方法可发现和剔除坏值。

1.4 电工仪表的分类

1.4.1 电工仪表的分类

电工测量的主要对象有电流、电压、电功率、电能、相位、频率、功率因数、电阻和电容等电工

量。用来测量各种电量或磁量的仪器仪表,统称为电工仪表。

1. 指示式仪表

在电工测量领域中,指示式仪表规格品种繁多,应用极为广泛。各种交直流电压表,电流表和万用表等大多数为指示仪表。其特点是:将被测的电量转换为驱动仪表可动部分偏转的转动转矩,以指针偏转角的大小反映被测量的大小,操作者可以从标度尺直接读数。因此,指示仪表是一种直读式仪表,也称电气机械式仪表。

电工指示仪表可以根据工作原理、结构、测量对象和使用条件等进行分类。

(1) 按工作原理分类 有磁电系、电磁系、电动系、铁磁电动系、感应系、静电系和整流系仪表等类型。

(2) 按被测电工量分类 有电流表、电压表、功率表、瓦时计、功率因数表、频率表和绝缘电阻表等类型。

(3) 按工作电流性质分类 有直流仪表、交流仪表和交、直流两用仪表。

(4) 按使用方法分类 有安装式和便携式仪表。安装式仪表是固定安装在开关板或电气设备的面板上的仪表,又可称为面板式仪表,广泛用于供电系统的运行监视和测量中。便携式仪表是可以携带和移动的仪表,其精度较高,广泛用于电气试验、精密测量及仪表检定中。

(5) 按准确度等级分类 有0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0等7个准确度等级类型的仪表。

(6) 按使用条件分类 有A、B、C三组类型的仪表。在湿度为85%条件下使用:A组仪表适用于环境温度 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$;B组为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$;C组则为 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

2. 比较式仪表

比较式仪表用于比较法测量中。直流比较式仪表有直流电桥、电位差计等。交流比较式仪表有交流电桥等。

3. 数字式仪表和巡回检测装置

数字式仪表是采用数字测量技术,并以数码形式直接显示被测量值的仪表。数字式仪表通过模拟/数字(A/D)转换器可以测量随时间连续变化的模拟量(如电压、温度、压力等),也可以测量随时间断续跃变的数字量。其结果可以由数码形式直接显示,也可以用编码形式送往计算机进行数据处理,为实现智能化控制提供了条件。数字式仪表具有灵敏度和准确度高、显示清晰直观、功能齐全、性能稳定、过载能力强等特点。常用的数字式仪表有数字电压表、数字万用表、数字频率表和数字电容表等。

数字式仪表加上遥测控制系统就构成了巡回检测装置,可以实现对多种被测量的远距离测量,这类仪表在近年来得到了迅速的发展和应用。

4. 记录仪表和示波器

记录被测量随时间变化情况的仪表,称为记录仪表。发电厂中常用的自动记录电压表、频率表以及自动记录功率表都属于这类仪表。

当被测量变化很快、来不及笔录时,常用示波器来观察,电工仪表中的电磁示波器和电子示波器不同,它是将振动子在电量作用下的振动,经过特殊的光学系统来显示成波形。

5. 扩大量程装置和变换器

用以实现同一电量的变换,并能扩大仪表量程的装置,称为扩大量程装置(如分流器、附加

电阻、电流互感器、电压互感器等)。用来实现不同电量之间的变换,或将非电量转换为电量的装置,称为变换器。在各种非电量的电测量和变换器式仪表中,变换器都是必不可少的。

1.4.2 电工仪表的图形符号

不同类型的电工仪表,具有不同的技术特性。为了便于选择和使用仪表,通常把这些技术特性用不同的符号标示在仪表的刻度盘或面板上。根据国家标准的规定,每只仪表应有测量对象单位、准确度等级、工作原理系列、使用条件组别、工作位置、绝缘强度试验电压和各类仪表的标志。使用时,必须首先看清各种标记,以确定该仪表是否符合测量要求。有关仪表的各种符号见表 1.1,各类电源、端钮、元器件等电工仪表设备附件的符号见表 1.2。

表 1.1 电工仪表各类符号

名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系仪表		静电系仪表	
磁电系比率表		整流系仪表	
电磁系仪表		热电系仪表	
电磁系比率表		以标度尺量限百分数表示的准确度等级(如 1.5 级)	1.5
电动系仪表		以标度尺长度百分数表示的准确度等级(如 1.5 级)	1.5
电动系比率表		以指示值百分数表示的准确度等级(如 1.5 级)	1.5
铁磁电动系仪表		标度尺位置为垂直位置	┴
铁磁电动系比率表		标度尺位置为水平位置	└
感应系仪表		标度尺位置与水平面倾斜成一角度(如 60°)	60°

由量由式并量由非并短, 变站同三量由同不短来用。(等器器卫丑中, 器器卫并续表

名 称	符 号	名 称	符 号
不进行绝缘强度试验		Ⅲ级防外磁场及电场	
绝缘强度试验电压为 2 kV		Ⅳ级防外磁场及电场	
I 级防外磁场 (如磁电系)		A 组仪表	
I 级防外电场 (如静电系)		B 组仪表	
Ⅱ级防外磁场及电场		C 组仪表	

表 1.2 电源、端钮元器件等设备符号

名 称	符 号	名 称	符 号
直流		公共端钮	
交流(单相)		与屏蔽相连接的端钮	
直流和交流		调零器	
具有单元件三相平衡负载的交流		一般接地	
正端钮		保护接地	
抗干扰接地		可变电容器	

名 称	符 号	名 称	符 号
接机壳或接底板		二极管	
电阻器		变容二极管	
可变电阻器		电流互感器、脉冲变压器	
熔断电阻器		电压互感器	
滑线式变阻器		电感器	
电容器		自耦变压器	
穿心电容器		熔断器	
极性电容器		电源	

1.5 测量仪表的选择与使用

1.5.1 测量仪表的基本性能

评价仪表的性能指标是多方面的,衡量测量仪表基本性能的主要指标有准确度、稳定性和输入输出特性等。

1. 准确度

测量准确度又称为测量精度,它描述的是由于测量结果在测量过程中受各种因素的影响而产生的与被测量真实值间的差异程度,及测量误差。测量准确度通常以不确定度或容许误差的形式给出。不确定度是指在对测量数据进行处理的过程中,为了避免丢失真实数据而人为扩大的测量误差。由于不确定度在一定程度上能反映出测量数据的可信程度而得名,不确定度的数