

DIAN GONG CE LIANG JI SHU

电工测量技术

安庆电力工业学校 刘笃鹏 主编
南方职业技术教育学会 王川波 主审



中国水利水电出版社

167762

Tm93
0287

电工测量技术

安庆电力工业学校 刘笃鹏 主编
南方职业技术教育学会 王川波 主审

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书主要讲述常用电工仪表的原理和使用方法。内容包括：电工测量和电工仪表的基本知识；直流电流和电压的测量；交流电流和电压的测量；万用电表；电阻的测量；功率的测量；电能的测量；功率因数的测量。

本书可供电力工业学校、中专、技校电气类专业作为教材，也可供其他职业技术学校电气类专业选用，还可作为有关技术工人自学与培训用书，并供从事电气类专业的技术人员和教学人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工测量技术/刘笃鹏主编. 王川波主审. —北京：中国水利水电出版社，
1997
ISBN 7-80124-569-5

I. 电… I. ①刘… ②王… I. 电气测量-测量方法 N. TM930.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 22469 号

书 名	电工测量技术
作 者	安庆电力工业学校 刘笃鹏 主编 南方职业技术教育学会 王川波 主审
出版、发行 经 售	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 全国各地新华书店
排 版	北京市密云红光照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 10 印张 225 千字
版 次	1998 年 4 月第一版 1998 年 4 月北京第一次印刷
印 数	0001—7000 册
定 价	16.00 元

出版说明

南方职业技术教育学会与中国水利水电出版社联合,在全国电力职业技术教育界选聘、组织了一批专家,依据最新审定的电力工业学校教学计划和教学大纲,编审了一套职业技术教材,包括:《电工工艺》、《电器检修与试验》、《发变电站一次系统》、《高压电气绝缘及测试》、《电工测量技术》、《电机及其运行与检修》(第一册、基础部分)、《电机及其运行与检修》(第二册、运行部分)、《电机及其运行与检修》(第三册、检修部分)等,并出版发行。

这套教材针对职业技术学校(含电力工业学校、中专、技校)培养操作型、应用型技术人才的要求和电气类专业特点,突破传统职教教材模式,采用模块组合结构,融讲授、实验、实习内容于一体;结合实际,深入浅出,语言简炼、通俗易懂,便于读者自学和操作训练;同时,编审者着意在教材中融入了当今国内、外有关的先进技术,以利于教育面向现代化。

这套教材可供电力工业学校、中专、技校电气类专业使用,也可供其他职业技术学校电气类专业选用,还可作为电气类专业检修、运行、试验岗位在职职工的培训用书,并供从事电气类专业的技术人员和教学人员参考。

在这套教材的编审过程中,得到电力部职业技术教育研究中心教材建设研究室,有关省、市电力局以及编审者所在单位的积极支持,在此表示衷心的感谢!

读者对这套教材有何意见和要求,请与“邮编 661000,云南开远市、南方职业技术教育学会”函件联系。

中国水利水电出版社

南方职业技术教育学会

1997年6月

前 言

本书是根据电力工业学校《电工测量技术》新教学大纲编写的。主要用作电力工业学校电类专业的教材。

全书主要讲述常用电工仪器仪表的基本结构和工作原理、各种电工测量方法。为适应教改和培养目标的需要,在电工仪器仪表的结构、原理方面,以定性讲解为主,删去了过多的定量推导;重点讲授电工仪器仪表的选择和正确使用方法。全书坚持“表为测量用”的原则,介绍仪器仪表的目的是为测量技术服务。

虽然受大纲的约束,本书仍以介绍经典的电磁机械式仪器仪表及其相应的测量方法为主,但在相关的章节中也介绍了一些新型数字式仪表的发展动态及有关知识,以开拓读者视野。

本书在编写过程中,力求阐述条理清楚,通俗易懂。

全书由安庆电力工业学校高级讲师(《电工学》、《电工基础》原作者)刘笃鹏主编,安庆电力工业学校高级讲师陈秀清参编了书中第一章第四节。清华大学讲师刘晓丹、安庆市技术监督局工程师刘浩及安庆电力工业学校高级讲师黎崇山为本书搜集并提供了资料。

全书由南方职业技术教育学会理事长、云南电力技术学校高级讲师王川波主审,云南工业大学电力工程学院王娴参审。在此一并表示谢意。

本书不当之处在所难免,恳请读者予以指正。

编 者

1997年5月

目 录

出版说明

前 言

绪 论 1

第一章 电工测量和电工仪表的基本知识 3

第一节 测量的概念 3

第二节 测量误差 5

第三节 电工仪表的误差和准确度 8

第四节 测量数据的处理 12

第五节 电工仪表的分类和表面标记及型号 16

习题 30

第二章 直流电流和电压的测量 32

第一节 磁电系测量机构 32

第二节 磁电系电流表 35

第三节 磁电系电压表 39

第四节 直流电流和电压的测量 42

第五节 磁电系仪表的技术特性 45

习题 46

第三章 交流电流和电压的测量 47

第一节 电磁系测量机构 47

第二节 电磁系电流表和电压表 51

第三节 电磁系仪表的主要技术特性 56

第四节 钳形电流表 57

习题 60

第四章 万用表 61

第一节 万用表的结构 61

第二节 用万用表测量直流电流和电压 66

第三节 用万用表测量交流电压 70

第四节 直流电阻的测量 75

第五节 万用表的正确使用 79

第六节 数字万用表 80

习题 86

第五章 电阻的测量 88

第一节 单电桥 88

第二节 双电桥 93

第三节 兆欧表 97

第四节	电阻的测量方法	102
习题		105
第六章	功率的测量	106
第一节	电动系测量机构	106
第二节	电动系功率表	108
第三节	低功率因数功率表	114
第四节	三相有功功率的测量	117
第五节	三相无功功率的测量	121
习题		124
第七章	电能的测量	126
第一节	电能表的基本知识	126
第二节	感应系单相电能表	131
第三节	单相电能表的正确使用	136
第四节	三相有功电能表	139
第五节	三相无功电能表	141
习题		143
第八章	功率因数的测量	145
第一节	功率因数的间接测量	145
第二节	功率因数表	148
习题		151

绪 论

一、电工测量的意义

众所周知，人们对事物的认识靠比较，没有比较就没有鉴别。而比较是以“量”的概念作基础，获得“量”的概念则靠测量。测量技术就是人类认识自然界各种量之间数量关系的主要手段。测量的目的也在于掌握被测对象处于何种状态，从而获得它的量的概念。可以毫不夸张地说，科学实验过程就是测量过程。而测量离不开各种仪器仪表。

在工农业生产中，为保证产品质量和人身、设备的安全，需要使用各种各样的仪器、仪表对生产过程进行在线、定时或定期的检验和监督，以确保生产安全高效地进行。电力工业生产的产品是电能，在电能生产、输送、分配和使用的各个环节中，也必须通过各种电工仪器仪表对电能质量、各种电气设备及电路的运行状态进行监视、控制和管理。这种监视、控制和管理靠的就是电工测量技术，可见，电工测量在整个电力生产过程中占有极其重要的地位。而电工测量仪器仪表则是测量过程中的“千里眼和顺风耳”。

二、发电厂和变电站的电工测量的作用

发电厂和变电站的控制中心装设有各种电工仪器仪表，对电能的各种运行参数进行全面的测量，其主要作用有以下几方面：

- (1) 监视输出的电能的质量（电压和频率）。
- (2) 计量发电厂、站发出的电能、厂用电消耗的电能以及变电站输送给用户的电能。
- (3) 监测各电路的负载情况，以防过载。
- (4) 监测各发电机间和变压器间有功功率和无功功率的分配。
- (5) 记录和存储必要的电参数，以便分析运行过程中的异常现象和故障情况。
- (6) 监视控制回路、继电保护和自动装置的交直流电源，以保证控制回路和保护装置可靠地工作。
- (7) 监视电力网或直流系统的绝缘或接地故障。

此外，还有许多非电量，如温度、压力、速度等通过相应的变换装置转换成电参量也由电工仪表进行测量。

三、电工测量技术的发展趋势

随着生产和科学技术的不断发展，对电工测量的准确度、测量速度以及仪器仪表的灵敏度和可靠性等提出了许多更新更高的要求。许多经典的电磁机械式仪器仪表及其相应的测量技术显然越来越难以适应现代化大生产的需要。于是人们开始探索如何在电工测量领域开辟新的测量天地。我们知道，电工测量技术水平的高低依赖于电工仪器仪表的发展水平，而仪器仪表的发展离不开电子技术。电子技术，特别是微电子技术的飞跃发展，对电工仪器仪表的设计制造、测量过程控制以及对测量结果的处理与评价都产生了深远的影响。

自从1952年世界上第一台比较式数字电压表问世以后，电工测量技术进入了一个崭新的时代。之后，随着模一数（A/D）转换技术的不断完善，加快了仪器仪表向电子化、数字

化方向发展的步伐。到 1968 年数字式仪表不但能准确测量电压、电流和电阻值，而且还能准确地测量功率和电能。近年来，由于大规模、超大规模集成电路的发展和余数再循环式 A/D 转换器的出现，以及微型计算机和微处理器的广泛应用，已经制造出分辨率为 $100\sim 10\text{ nV}$ 、读数达 $7\frac{1}{2}$ 位和 $8\frac{1}{2}$ 位的数字万用表，其准确度可达 10^{-6} ；并且有自动检验、数字存储、自动数据处理等多种功能。这些对于经典的电磁机械式仪器仪表来说都是望尘莫及的。如今，由于数字化技术、现代传感技术和微型计算机技术的综合应用，使电工测量和许多可转换成电量的非电量的测量向自动化、智能化方向迈进了一大步。

尽管数字式仪表目前仍处于不是十分完善的阶段，它还没有在整个测量领域中被广泛应用，但数字式仪表具有准确度高、测量速度快、测量范围广、读数方便以及容易实现测量自动化和智能化等诸多经典仪表所无法比拟的独特优点。可以预言，未来的电工测量领域一定是数字化仪表独领风骚，经典的电磁机械式仪器仪表绝大部分将要被电子式和数字式仪器仪表所替代，一种完全现代化的电工测量技术将会在工农业生产和科学实验中大显神威。

四、学习方法

电工测量技术课是一门理论性和实践性都很强的课程。在这门课程中，不仅要熟悉有关仪器仪表的基本结构，掌握它们的工作原理；更主要的是要学习并掌握各种电量的测量技术，包括仪器仪表的选择和正确使用以及各种测量的操作，并知道如何进行测量数据处理。

实验是本课程重要的实践环节，实验不仅可以巩固和加深理解所学知识，更重要的是通过实验可以训练测量技能，树立工程实际观点和严谨的工作作风，为今后能独立工作打下一个良好的基础。所以要求按大纲规定，认真做好每一个实验。

第一章 电工测量和电工仪表的基本知识

电工测量，首先要选择适当的测量方式和测量方法。在测量过程中，总是将被测量与作为标准量的度量器进行直接或间接的比较，从而得到测量结果。然而由于种种因素的影响，致使测量结果总是不同程度地存在一定的误差。本章主要讨论测量方式、测量方法、测量误差及其消除方法。最后还介绍一些电工仪表和测量数据处理的基本知识。

第一节 测量的概念

一、什么是测量

测量是将被测量与标准量进行比较的过程。在这一过程中，人们借助于专门的设备（如仪器仪表、尺子、温度计等），通过实验的方法，以获得被测量的数值大小和单位。为了得到被测量的数值大小和单位，必须将被测量与作为测量单位的同类标准量进行比较，以确定被测量是标准测量单位的多少倍或几分之一。例如，人们用尺子去量布的长度，在未测量之前，被测量的布的长度是多少米还是一个未知数，只有将布长与作为标准量的尺子的长度（同类标准量）进行比较，即所谓“量布”之后才能知道该布的长度是多少米。这里将被测量布长与作为单位的同类标准量（尺子的长度）进行比较的过程就是所谓的测量过程，而尺子就是一种测量长度的专用设备。

所谓电工测量，是指对各种电量和磁量的测量。它所用的专用设备是各种电工测量仪器仪表，而作为单位的标准量是电学度量器。

电学度量器（以下简称度量器）是电工测量设备的一个重要组成部分。它不仅在进行精密测量时或使用比较仪器时要用到，更重要的，它是维持电学单位的统一，保证量值准确传递的器具。电学度量器根据其准确度的高低分为基准器、标准器和工作量具三大类。基准器是现代科学技术成就所能达到的具有最高准确度的度量器，它由国际及各国最高计量部门保存；标准器的准确度低于基准器的准确度，如标准电池、标准电阻、标准电感和标准电容等就属于标准器；工作量具由标准器校验审定，它广泛用于生产、科研及工程测量。在测量过程中，一定要有度量器直接参与或间接参与。例如用电桥测量电阻时，就必须有标准电阻直接参与；而用万用表的欧姆档测电阻时，虽然没有作为度量器的标准电阻直接参与，但万用表的欧姆刻度是用标准电阻校验而得到的，这种情况下，作为度量器的标准电阻是间接参与了测量。

测量过程一般包括以下三个阶段：

1. 准备阶段

首先要明确“被测量”的性质及测量所要达到的目的，然后选择合适的测量方式、测量方法及相应的测量仪器仪表。

2. 测量阶段

建立测量仪器仪表所必须的测量条件(如接好有关测量线路),细心操作并认真记录每一个测量数据。

3. 数据处理阶段

根据记录的数据,进行数据分析和处理,以求得测量结果,并对出现的误差进行分析。

二、测量方式的分类

按获得被测量结果的方式不同,分为:

1. 直接测量

这种测量方式是将被测量与度量器的标准量直接比较,或用事先经过校验并刻度好的仪表进行测量,从而测出被测量的数值大小和单位。例如,用直流电桥测量电阻或用电流表测量电流,用电压表测量电压等均属于直接测量。直接测量被广泛用于工程技术测量中。

2. 间接测量

这种测量方式,先是通过直接测量几个与被测量有函数关系的量,然后再通过计算,求出被测量的数值(包括单位)。例如用伏安法测量电阻(详见本书第五章),可先测出电阻两端的电压与流过该电阻的电流,然后用欧姆定律间接计算出该电阻的阻值。当某些被测量由于某些原因而不便于直接测量时,就可以采用间接测量。

3. 组合测量

如果被测量有多个,它们彼此间又具有一定的函数关系,并能以某些可测量的不同组合形式表示,那么可先通过直接或间接方式测量这些组合量的数值,再通过联立方程组求得未知的被测量的数值。这种测量方式称为组合测量。

例如,导体的电阻 R_t 随温度 t 而变,两者之间的函数表达式为

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2] \quad (1-1)$$

如果要确定某种导体的电阻 R_t 与温度之间的关系,则须测定式(1-1)中的温度系数 α 、 β 以及在 20°C 时该导体的电阻 R_{20} ,为此,可分别测出该导体在 20°C 和 t_1 、 t_2 时的电阻值 R_{20} 、 R_1 和 R_2 ,并代入式(1-1)中,得到由两个方程组成的方程组,然后求解方程组,便可求出 α 和 β 。

在组合测量中,所能列出的方程式的数目应等于未知被测量的数目。

三、测量方法的分类

按获得被测量的数值方法的不同,可分为:

1. 直读法

用直接指示被测量数值的仪表进行测量,并直接从仪表上读取读数的测量方法称为直读法。例如,用电流表测量电流、用电压表测量电压等都属于直读法。直读法的优点是测量过程简单、操作容易,缺点是准确度不太高。

2. 比较法

将被测量与标准器在比较仪器中进行比较,从而测出被测量数值的方法称为比较法。用直流电桥测量电阻是一种典型的比较测量法。比较测量法的优点是测量准确度较高;缺点是操作较麻烦,且相应的测量仪器比较昂贵。

根据被测量与标准器进行比较时的特点不同,又可将比较法分为以下三种:

(1) 平衡法。在测量过程中,连续改变标准器的量值,使它产生的效应与被测量产生的

效应在仪器中互相抵消, 这种测量方法称为平衡法。由于测量出结果时, 仪器的指示器显示零值, 故又称此法为零值法。上面提到的用直流电桥测量电阻就是一种平衡测量法。

(2) 差值法。利用被测量与标准量的差值, 作用于测量仪器, 从而求得被测量数值的测量方法, 称为差值法。由于这种测量方法的准确度很高, 故又称为微差法。例如用不平衡电桥测量电阻、温度等均属于差值测量法。

(3) 替代法。这种测量方法是先将被测量接入一相应的仪器, 并使仪器处于某一适当的工作状态, 然后用标准量替代被测量接入同一仪器, 并调节标准量, 使仪器的工作状态与接被测量时一样, 这时被测量的数值等于最终调节的标准量的数值。这种测量方法的准确度与仪器本身无关, 只取决于替代的标准量的准确度。

在测量中, 到底选用哪种测量方法, 取决于所要求的测量准确度。当然还要考虑实验条件是否许可等。

第二节 测 量 误 差

在实际测量中, 由于测量仪器仪表不够准确, 测量方法不很完善, 测量人员的技术水平不很高等种种因素的影响, 都会使测量结果与被测量真值之间存在一定的差别, 这种差别称为测量误差。所谓真值就是被测量在规定条件下客观存在的量值。真值是无法被准确知道的, 即不能从测量中获得, 而只能从国家计量标准中导出。

一、测量误差的类别

根据误差的性质和产生的原因, 误差可以分为以下三大类:

1. 系统误差

在多次测量同一个量时, 如果误差的数值大小和符号(正或负)保持恒定, 或遵循一定的规律变化, 那么这类误差就称为系统误差。

(1) 系统误差的种类。系统误差按其成因的不同以及表现出来的特点不同, 又可分为两种:

1) 恒值误差。多次重复测量同一个量时, 数值的大小和符号保持恒定不变的误差称为恒定误差。

2) 变值误差。在多次测量同一个量时, 误差总是遵循一定的规律变化, 这种误差称为变值误差。

变值误差又有累进误差、周期性误差以及按复杂规律变化的误差三种。累进误差在整个测量过程中是逐渐增加或逐渐减小的; 周期性误差按照某种规律周期性改变误差的数值大小和符号; 按复杂规律变化的误差, 其变化规律虽然复杂, 但还是有一定的规律。

由于系统误差的数值大小和符号能准确确定, 所以经常被用来修正测量数据。

(2) 产生系统误差的原因。造成系统误差的原因主要有以下几个方面:

1) 测量仪器仪表和环境造成的误差。测量仪器仪表本身结构和制作工艺的不够完善, 例如仪表指示刻度不够准, 会造成系统误差; 使用仪器仪表时未满足所规定的使用环境条件, 例如安装位置不够正确、环境温度不符合要求等, 也会造成系统误差。

2) 测量方法和理论造成的误差。测量方法不够完善或者测量所依据的理论不完善, 例

如采用近似公式、忽略了电源内阻等，都会造成系统误差。

3) 人员误差。人员误差也称个人误差。它是由测量人员的最小分辨力、感官器官的生理变化、反映速度或固有习惯等因素而带来的误差。这种误差因人而异，并与个人实验时的心理或生理状态有关。

从以上分析可知，系统误差的主要特点是：系统误差产生在测量之前，具有确定性，多次测量不能减小和消除它，即不具有抵偿性。

2. 随机误差

随机误差又称偶然误差。这种误差的现象是在相同条件下多次重复测量同一被测量时，误差的数值均发生变化，且没有固定的变化规律。随机误差是由众多的微小因素造成的。例如周围环境的各种随机量，如磁场、温度的微小变化、空气扰动、大地震动等偶然因素均可造成随机误差。随机误差是难以估计到的。

通过大量的测量实验发现，随机误差具有以下四个特点：

(1) 有界性。即在有限次测量中，随机误差总是有界限的，不可能出现无穷大的随机误差。

(2) 对称性。即在一定测量条件下的有限次测量中，绝对值相等的正误差与负误差出现的次数大致相同。

(3) 抵偿性。由于随机误差具有对称性，所以取这些误差的算术平均值时，绝对值相等的正负误差便相互抵消了。

(4) 单峰性。随机误差不会等于零，它总是在零的附近随机地波动，波动时大时小，且绝对值小的误差出现的次数多于绝对值大的误差出现的次数。

3. 疏忽误差

明显与实验测量结果不相符的误差称为疏忽误差。疏忽误差又称过失误差或粗大误差。它主要由测量过程中某些意外发生的不正常因素造成的。这其中包括测量人员的主观原因和外界条件的客观原因两个方面。测量人员粗心大意（如不正确操作、读错、记错以及计算出错等）是引起疏忽误差的主要原因。测量条件发生意外的突变引起测量仪器仪表指示值突然跳动也会造成疏忽误差。由于疏忽误差是一种严重偏离测量结果的误差，所以凡是含有疏忽误差的测量数据都是不可靠的，应当舍去。

二、减小误差的方法

在测量中，出现误差是必然的，不可避免的，要想完全消除它是很困难的。但是只要采用合理的测量方法、测量人员有严谨的工作作风，就可以将误差控制在最小范围内，以至基本消除。

1. 减小系统误差的方法

减小系统误差没有千篇一律的方法，必须根据实际情况进行分析。下面介绍几种常用的方法：

(1) 预先研究可能产生误差的来源并加以适当校正。其中包括测量前校正所有有关的仪器仪表；审核有关的测量方案和理论；确定有关的校正公式、曲线和数据等。

(2) 消除产生误差的根源。如测量前认真检查有关仪器仪表是否调整好，仪表指针是否调在零位。还要检查仪器仪表是否安放在合适的位置上，各种接线是否正确；同时还要选

好利于观察仪表的位置，以免出现因视觉而产生的误差。

(3) 采取特殊的测量方法。针对出现系统误差的不同情况，可分别采取以下的特殊测量方法，以减小系统误差。

1) 正负误差补偿法。当系统误差为恒值时，可对被测量在不同的测量条件下进行两次测量，并使一次误差为正，另一次误差为负（两次误差绝对值相等），然后求出这两次测量数据的平均值，作为测量结果。

例如，为了消除恒定的外磁场对磁电式仪表所造成的系统误差，假设在测量初始位置时，外磁场与仪表内磁场叠加，使测量出现正误差，在这时外磁场的影响下，仪表指针的偏转角 α_1 为

$$\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$$

式中 α ——仪表指针在无外磁场影响下的正确偏转角；

$\Delta\alpha$ ——仪表指针在外磁场作用下产生的附加偏转角。

然后，将仪表从初始位置转动 180° ，如图 1-1 所示，使外磁场对仪表产生相反的影响，这时仪表指针的偏转角 α_2 为

$$\alpha_2 = \alpha - \Delta\alpha$$

取两次读数的平均值，即

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{\alpha + \Delta\alpha + \alpha - \Delta\alpha}{2} = \alpha$$

由于测量结果是取两次读数之和的一半，所以系统误差正负值抵消了。

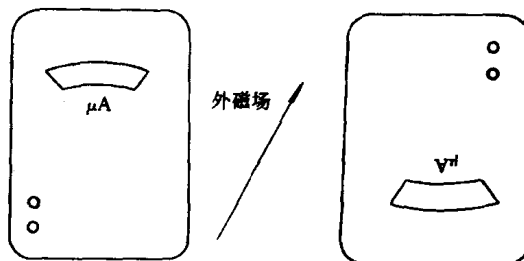


图 1-1 仪表转动 180°

2) 换位法。当系统误差为恒值时，通过适当安排，对被测量进行两次测量，并使产生误差的因素从相反的方向影响测量结果，然后取两次测量结果的平均值，以达到减小或消除系统误差的目的。例如，用双臂电桥测量电阻时，为了减小因比率臂电阻不准确造成的误差，可以采取换臂的办法，即将两个比率臂的电阻的位置调换一下，再进行一次测量，然后取两次测量结果的平均值。

3) 替代法。前面已介绍过，采用替代法测量时，被测量的误差与仪器仪表本身及外界因素无关，而只与标准量的准确度有关。一般情况下，标准量的误差很小，可以忽略，因此，替代法可以大大减小或消除系统误差。

2. 减小随机误差的方法

与系统误差不同，随机误差不能利用实验的方法减小或消除，唯一的办法是尽可能进行多次测量，并取各次测量结果的算术平均值，以减小随机误差的影响。测量次数越多，其随机误差的影响越小，测量结果的算术平均值越接近真值。

随机误差一般较小，工程上常忽略。

3. 减小疏忽误差的方法

由于疏忽误差绝大多数情况下是由测量人员粗心大意造成的，所以提高测量人员的技术水平、培养严谨的科学态度和工作作风，加强责任心，在测量过程中做到精力集中，一丝不苟是避免疏忽误差的关键。保证测量条件在整个测量过程中稳定不变，避免在外界条

件剧烈变化时进行测量，也可使疏忽误差产生的机会大为减少。

第三节 电工仪表的误差和准确度

用于测量各种电量和磁量的仪器仪表统称为电工仪表。对于任何仪表，不论其质量如何，在进行测量时，仪表指示的数值和被测量的真值之间总是有一定的差别，这个差别称为仪表的误差。而仪表指示值与被测量的真值相接近的程度称为仪表的准确度，准确度又称为精确度。准确度是用误差的大小来衡量的，误差越小，准确度越高。

一、仪表误差的分类

仪表误差分为基本误差和附加误差。

1. 基本误差

基本误差是指仪表在规定的温度、湿度、放置方式以及无外电场和外磁场干扰等工作条件下，由于制造工艺不完善，仪表本身所固有的误差。例如仪表活动部分存在机械摩擦、标度尺分度不准确或仪器部件装配不好，都会使仪表在测量时产生误差。

2. 附加误差

附加误差是由于仪表工作在非正常工作条件下而产生的一种额外误差。例如由于环境温度、湿度、频率、外界电磁场、电流或电压波形等变化而造成的测量误差，均属附加误差。

二、仪表误差的表示方法

仪表误差的大小可以用绝对误差、相对误差和引用误差三种表示法表示。

1. 绝对误差

测量时，仪表指示的数值 A_x 与被测量的真值 A_0 之间的差值称为仪表的绝对误差。若绝对误差用 Δ 表示，则

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-2)$$

绝对误差的单位与被测量的单位相同。

例 1-1 真值为 10 A 的电流，用电流表甲测量时指示为 10.1 A；用电流表乙测量时指示为 9.8 A，分别求甲、乙电流表测量时的绝对误差。

解 设甲电流表的绝对误差为 Δ_1 ，乙电流表的绝对误差为 Δ_2 ，则由式 (1-2) 得

$$\Delta_1 = A_{x_1} - A_0 = 10.1 - 10 = 0.1 (\text{A})$$

$$\Delta_2 = A_{x_2} - A_0 = 9.8 - 10 = -0.2 (\text{A})$$

由此可见，绝对误差有正负之分。 Δ 为正时，测得的值偏大； Δ 为负时，测得的值偏小。测量同一个量时， Δ 的绝对值越小，测量的结果越准确。

为了得到被测量的真值，由 (1-2) 式得

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

式中 C ——修正值， $C = -\Delta$ ，修正值和绝对误差大小相等，符号相反。

2. 相对误差

相对误差等于绝对误差 Δ 与被测量的真值之比，并用百分数表示。若相对误差用 γ 表

示, 则

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

相对误差 γ 也有正负之分。

例 1-2 用两只电流表测量两个大小不同的电流, 设甲电流表在测量真值为 400 A 的电流时, 指示值为 404 A, 乙电流表在测量真值为 100 A 电流时, 指示值为 102 A, 分别求出甲、乙两电流表在上述测量中的绝对误差和相对误差。

解 绝对误差分别为

$$\text{甲电流表: } \Delta_1 = A_{x_1} - A_{01} = 404 - 400 = 4(\text{A})$$

$$\text{乙电流表: } \Delta_2 = A_{x_2} - A_{02} = 102 - 100 = 2(\text{A})$$

相对误差分别为

$$\text{甲电流表: } \gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{4}{400} \times 100\% = 1\%$$

$$\text{乙电流表: } \gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} \times 100\% = \frac{2}{100} \times 100\% = 2\%$$

上面的计算结果表明: 如果从绝对误差来看, 甲电流表的误差比乙电流表大, 但如果从绝对误差对测量结果的影响 (即相对误差) 来看, 甲电流表的绝对误差只约占测量结果的 1%, 而乙电流表的绝对误差却约占测量结果的 2%, 显然前者测量结果的相对误差小些。由于相对误差便于对不同测量结果的测量误差进行比较, 所以在工程上凡要求计算测量结果的误差或是评价测量结果的准确度时, 一般都用相对误差。

在相对误差的实际计算中, 有时难以确定被测量的真值, 这时可用仪表指示值 A_x 代替真值 A_0 , 从而求出相对误差的近似值。即

$$\gamma \approx \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-5)$$

需要指出的是, 相对误差虽然能表明测量结果与被测量的真值之间的差异程度, 也能说明测量不同数值时的准确度, 但它不能完全说明仪表性能的好坏, 即仪表的准确度。同一只仪表在测量同一被测量的不同数值时, 其绝对误差 Δ 通常变化不大, 但随着被测量数值的变化, A_x 却可以在一定范围内有很大的变化, 因此用式 (1-5) 计算相对误差时, 对应于被测量的不同数值 A_x , 就有不同的相对误差。显然, 用相对误差难以衡量仪表本身性能的好坏。这是相对误差的不足之处。

3. 引用误差

引用误差是用来衡量仪表本身性能好坏的量, 它是反映仪表基本误差的数值。一般所说的仪表误差, 指的就是此基本误差。引用误差规定为绝对误差 Δ 与仪表量程 A_m 的比值, 并以百分数表示。引用误差若用 γ_m 表示, 则

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

可见引用误差是相对误差的特例。

上式中, 仪表的量程 A_m 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。量程又叫量限、上限或满刻度。

例 1-3 某量程为 150 V 的电压表, 假设测量 100 V 电压时的指示值为 97 V, 求该电压表的引用误差 γ_m 。

解 由题意知

$$A_x = 97 \text{ V}; A_0 = 100 \text{ V}; A_m = 150 \text{ V}; \Delta = 97 - 100 = -3 \text{ (V)}$$

根据式 (1-6), 得

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% = \frac{-3}{150} \times 100\% = -2\%$$

必须注意: 式 (1-6) 仅适用于单向标度尺的仪表 (即零位在一侧的仪表), 对于双向标度尺 (零位在中间) 的仪表, 引用误差 γ_m 的用绝对误差与两个上限的绝对值之和的百分比来表示。即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{|-A_m| + |A_m|} \times 100\% \quad (1-7)$$

对于无零位标度尺的仪表, 引用误差用绝对误差与上下量限差值的百分比表示, 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_{m1} - A_{m2}} \quad (1-8)$$

式中 A_{m1} ——上量限值;

A_{m2} ——下量限值。

顺便指出, 引用误差虽然能较好地反映仪表的基本误差, 但由于在测量值不同时, 产生的绝对误差或多或少总有些不同, 即 Δ 不能认为是常数。因此, 同一仪表, 其引用误差不是一个常数。

三、仪表的准确度等级

1. 仪表的准确度

为了确切地表示仪表的准确度, 规定采用最大引用误差来表示仪表的准确度。所谓最大引用误差是指绝对误差最大时的引用误差。对于大量使用的单向标度尺仪表, 其准确度是指仪表在规定的正常工作条件下进行测量时, 可能产生的最大绝对误差 Δ_m 与所用的量程 A_m 之比的百分数。若仪表的准确度用 δ 表示, 则

$$\delta = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-9)$$

最大引用误差越小, 仪表的基本误差就越小, 其准确度就越高。

2. 仪表的级别

仪表的级别是表示仪表准确度的等级。根据新国标 GB7676—87 规定, 对于指示式仪表, 仪表在有效量程范围内和规定使用条件下测量时, 其基本误差不得超过相应的准确度级别。新国标规定: 电流表、电压表的准确度有 11 个等级, 每个等级所对应的基本误差, 如表 1-1 所示。

表 1-1 电压、电流表的准确度等级及其对应的基本误差

准确度等级	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0
基本误差(%)	±0.05	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0	±2.5	±3.0	±5.0

功率表和无功功率表分 10 个等级, 它们分别是 0.05 级, 0.1 级, 0.2 级, 0.3 级, 0.5