

教 育 部 规 划 教 材

中等职业学校电工专业(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

电工仪表与测量



全国中等职业学校电工专业教材编写组 编

文春帆 金受非 主编

高等教育出版社



教育部规划教材
中等职业学校电工专业
(含岗位培训 行业中级技术人员等级考核)

电工仪表与测量

全国中等职业学校电工专业教材编写组 编
文春帆 金受非主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是教育部职业教育与成人教育司组织编写的中等职业学校电工专业教材,是教育部规划教材。全书在高等教育出版社1992年出版的《电工仪表与测量》的基础上重新编写,主要内容有:电工指示仪表与测量的基本知识;磁电系仪表;电磁系仪表;电动系仪表;电度表和互感器;电参数的测量;电工指示仪表的选择与校验;示波器;数字仪表。

本书根据行业部门与劳动部门最新颁发的有关维修电工中级技术工人等级标准及职业技能鉴定规范,结合中等职业学校教学特点编写,可作为中等职业学校电工专业教材,也可作为行业部门技术工人岗位培训教材及自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工仪表与测量/文春帆,金受非主编. —北京:高等教育出版社,1999

ISBN 7-04-007162-2

I. 电… II. ①文… ②金… III. ①电气测量-专业学校-教材 ②电工仪表-专业学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 07877 号

电工仪表与测量

全国中等职业学校电工专业教材编写组 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 化学工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1999 年 6 月第 1 版

印 张 10.25

印 次 1999 年 6 月第 1 次印刷

字 数 230 000

定 价 12.40 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

1989年12月,原国家教委职业技术教育司在江苏常州组织召开了有17个省市及原能源部中国电力企业联合会代表参加的中等职业学校电工专业教材会议,拟定了为编写教材用的中等职业学校电工专业教学计划,审定了该专业11门课程的教材编写提纲,并编写了专业课教材,1992年由高等教育出版社出版发行,至今已印刷10多次,受到师生好评。随着劳动部门与行业部门对该专业中级技术工人等级考核标准的颁发,以及中等职业教育发展的需要,从1997年起,原国家教委职业技术教育司对这套教材重新组织了编写,现已纳入了中等职业学校电工专业教育部规划教材系列。

本套教材以三年制中等职业学校学生为主要读者对象,培养目标为中级技术工人。本系列教材侧重低压电器维修与安装,以部颁最新中级工人技术等级标准(原电力工业部、劳动部关于电力工人技术等级标准,原劳动部、机械工业部关于电工国家职业技能鉴定规范)为依据编排专业课与工艺实习课,坚持学以致用,注意拓宽学生的基础知识,突出职业技能训练,以适应中等职业学校的就业需要。为了适应各地区、各学校不同要求,课程设置采用“积木式”结构,分为文化课、专业基础课和工艺实习课三个层次。本次编写的教材主要有:《电工应用识图》、《电工仪表与测量》、《电机与变压器》、《电动机与变压器维修》、《工厂电气控制设备》、《低压电气设备运行与维修》、《电力内外线施工》、《变配电设备运行与维护》(原名《工厂供电》)、《电工基本操作技能训练》。

本套教材的特点是专业课设置以专业基础课与工艺实习课为两条主线,二者相辅相成。例如:《电机与变压器》与《电动机与变压器维修》,《工厂电气控制设备》与《低压电气设备运行与维修》,既紧密配合,又有一定的系统性与独立性。这样,为突出技能训练与教学改革提供了条件。

参加本系列教材组织与审定工作的有:北京、江苏、南京、天津、河北、辽宁、沈阳、大连、西安、黑龙江、山东、江西、湖南、武汉、河南、重庆、成都等省市教育部门派出的教师、教学研究人员及专家。

本系列教材亦可供行业部门岗位培训及自学人员使用。

高等教育出版社

1998年6月

前 言

本书是根据原国家教委职教司制定的中等专业学校和职业学校电工专业教学计划的要求，参照劳动部中级技术工人等级标准，并在1992年出版的《电工仪表与测量》的基础上重新修订编写的，同时并入中等职业学校电工专业教育部规划教材。

本书主要介绍常用电工仪表的结构、原理、性能和使用方法以及主要电工量值的测量方法；着重培养学生运用电工仪表进行电工测量的能力。本书在编写中力求适应中等职业学校的特点，突出实际应用，在问题的阐述上，避免过深过难的理论推导，力求简明扼要，通俗易懂。本书在内容的选取上，以常用电工指示仪表为主。考虑到技术的发展和实际应用的需要，对示波器和数字仪表的结构、原理及使用方法也作了简单的介绍。

本教材的教学参考学时数为72学时，其中第一章8学时，第二章12学时，第三章6学时，第四章10学时，第五章8学时，第六章8学时，第七章6学时，第八章6学时，第九章8学时。

本书由成都市教科所职业教育研究室文春帆和成都市铁二局职业高中金受非主编，由高等教育出版社编审楼史进担任主审。

由于编者水平有限，书中存在的错误和不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

1998年12月

目 录

绪论	1	第三节 互感器	78
第一章 电工仪表与测量的基本知识	3	实验五 电度表的校验	87
第一节 电工测量的基本知识	3	习题五	88
第二节 测量误差	5	第六章 电参数的测量	90
第三节 电工仪表的基本知识	8	第一节 概述	90
习题一	15	第二节 电桥	97
第二章 磁电系仪表	17	第三节 兆欧表	105
第一节 磁电系测量机构	17	实验六 直流单臂电桥的使用	109
第二节 磁电系电流表	20	实验七 兆欧表的使用	109
第三节 磁电系检流计	24	习题六	110
第四节 磁电系电压表	27	第七章 电工仪表的选择与校验	111
第五节 万用电表	30	第一节 电工仪表的选择	111
实验一 磁电系电流表、电压表的使用	41	第二节 电工仪表的校验	113
实验二 万用表的使用	42	实验八 电流表的校验	118
习题二	43	实验九 配电板的设计与安装	119
第三章 电磁系仪表	44	习题七	119
第一节 电磁系测量机构	44	第八章 示波器	120
第二节 电磁系电流表和电压表	47	第一节 示波器的结构和工作原理	120
实验三 电磁系电流表和电压表的使用方法	49	第二节 示波器的使用方法	123
习题三	50	实验十 示波器的使用	131
第四章 电动系仪表	51	习题八	132
第一节 电动系测量机构	51	第九章 数字仪表	133
第二节 电动系电流表和电压表	53	第一节 数字仪表测量机构	133
第三节 功率表	54	第二节 数字电流表和数字电压表	138
第四节 频率表、相位表和功率因数表	64	第三节 数字毫欧表和电容表	140
实验四 功率表的使用	68	第四节 DT-830 型数字万用表	144
习题四	70	实验十一 数字万用表的使用	150
第五章 电度表和互感器	71	习题九	151
第一节 单相电度表	71	附录 I 国际单位制	152
第二节 三相电度表	75	附录 II 电工仪表型号	154

绪 论

一、电工测量的意义

人们在日常生产和生活中经常要进行测量，例如：用米尺度量物体的长度，用天平称物体的质量，用计时器测量时间等等。在电工领域中也经常需要测量。电能的生产、传输、变配、使用过程中，必须通过各种电工仪表对电能的质量、负载和运行情况加以监视，达到供电、用电可靠、安全、经济的效果；电器设备在安装、调试、实验、运行、维修过程中也必须通过各种电工仪表的测量，才能保证设备的安全、运行的可靠；同样电气产品的检验、测试、鉴定也离不开测量。

随着科学技术的发展，电工测量方法的不断进步，电工仪器仪表也在不断向高、新、尖方向发展。

二、电工仪表概况

电工仪表和电工测量是从事电工专业的技术人员必须掌握的一门知识和技能。本书主要介绍常用电工仪表的结构、原理、性能、使用方法以及主要电工量值的测量方法。在电工专业领域中，经常接触的是模拟仪表，这就是能把被测的电量变换成仪表指针的机械角位移的一种电—机转换模拟式仪表。有关它的基本知识及在电工测量中的应用将是本书介绍的重点。另外，随着技术的发展和实际运用的需要，本书还对部分电子仪器作了简单的介绍，如示波器和数字仪表。有关它们的基本知识和在电工测量中的应用，在第八章和第九章作了详细介绍。

模拟仪表历史悠久、结构简单、价格便宜，但它的灵敏度不高，测量速度、允许的频带宽度也不是太快和太宽，显然在各项技术指标要求较高的电工测量中已不能满足时代发展的需要。

数字仪表发展迅速。它具有灵敏度高、输入阻抗大、频率范围宽、测量速度快、显示清晰直观、操作方便、抗干扰能力强等优点。因此，数字仪表的应用越来越广泛。

三、电工仪表与测量研究的对象

电工测量的对象主要是电阻、电流、电压、电功率、电能、功率因数等。电工仪表与测量研究的对象是常用的电工仪表的结构、工作原理、技术特性及使用方法，电工测量方法的选择，测量数据的处理等内容。

四、学习电工仪表与测量的要求及方法

电工仪表与测量是一门重要的学科，通过本课程的学习：要求了解常用的电工仪表与测量的基本知识，常用的电工仪表的结构、原理、应用范围及技术特性；掌握合理选择和使用电工仪表，维护保养和校调电工仪表；掌握正确的电工测量方法，培养熟练的操作技能，学会对测量数据的正确处理方法。

在学习过程中，应紧紧抓住仪表的核心——测量机构和测量线路。用同一指示仪表测量机构配置不同的测量线路，如直流电压测量线路，直流电流测量线路，交流电压、交流电流测量线路，电阻测量线路，就可以实现多种电量、多种量程的电工测量；用同一数字电压基本表测量机械配置不同的转换线路，如交/直流（AC/DC）转换器，电流/电压（ I/U ）转换器，电阻/电压（ R/U ）转换器，频率/电压（ f/U ）转换器等，便能扩展成具有不同功能的电工测量仪表。

在学习过程中，还应该运用对比、积木化的思维方式进行学习。也就是说，通过用磁电系仪表与电磁系、电动系仪表作对比，找出它们的相同点和不同点；通过模拟仪表与数字仪表的测量结构、工作原理、测量线路、性能特点等的比较，尽快熟悉、了解、掌握电工仪表与测量的基本知识。

学习电工仪表与测量这门学科知识是一个循序渐进的过程。我们只有在掌握好电工仪表与测量基础理论知识的基础上，重视实验课，多参加仪器仪表与测量的生产实习，多动手、多动脑，在实践中不断提高自己分析问题和解决问题的能力，熟练掌握操作技能技巧，理论联系实际，才能够学习好这门课程。

第一章 电工仪表与测量的基本知识

本章将介绍电工测量和电工仪表的基本知识。

通过本章学习,要求理解电工测量的概念、常用的电工测量方法和测量单位制;了解测量误差形成的原因和分类;掌握测量误差的消除方法和表示方法;了解电工仪表的分类、组成、基本原理、准确度等级及技术要求;掌握电工仪表误差和准确度的概念以及利用有效数字对数据进行处理的方法。

第一节 电工测量的基本知识

一、电工测量

电工测量就是借助于测量设备,把未知的电量或磁量与作为测量单位的同类标准电量或标准磁量进行比较,从而确定这个未知电量或磁量(包括数值和单位)的过程。

一个完整的测量过程,通常包含如下几个方面:

1. 测量对象

电工测量的对象主要是:反映电和磁特征的物理量,如电流(I)、电压(U)、电功率(P)、电能(W)以及磁感应强度(B)等;反映电路特征的物理量,如电阻(R)、电容(C)、电感(L)等;反映电和磁变化规律的非电量,如频率(f)、相位移(φ)、功率因数(λ)等。

2. 测量方法

根据测量的目的和被测量的性质,可选择不同的测量方法。

3. 测量设备

对被测量与标准量进行比较的测量设备,包括测量仪器和作为测量单位参与测量的度量器。进行电量或磁量测量所需的仪器仪表,统称为电工仪表。电工仪表是根据被测电量或磁量的性质,按照一定原理构成的。电工测量中使用的标准电量或磁量是电量或磁量测量单位的复制体,称为电学度量器。电学度量器是电气测量设备的重要组成部分,它不仅作为标准量参与测量过程,而且是维持电磁学单位统一、保证量值准确传递的器具。电工测量中常用的电学度量器有标准电池、标准电阻、标准电容和标准电感等。

除以上三个主要方面外,测量过程中还必须建立测量设备所必须的工作条件;慎重地进行操作;认真记录测量数据,并考虑测量条件的实际情况,进行数据处理,以确定测量结果和测量误差。

二、测量方法的分类

1. 按被测量的测量方式分类

(1) 直接测量 在测量过程中,能够直接将被测量与同类标准量进行比较,或能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量,从而直接获得被测量数值的测量方式,称为直接测量。例如,用电压表测量电压、用电度表测量电能以及用直流电桥测量电阻等都是直接测量。

直接测量方式常被广泛应用于工程测量中。

(2) 间接测量 当被测量由于某种原因不能直接测量时, 可以通过直接测量与被测量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数值, 这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如, 用伏安法测量电阻, 是利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

$$R = \frac{U}{I}$$

计算出被测电阻 R 的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

2. 按度量器参与测量过程的方式分类

在测量过程中, 作为测量单位的度量器可以直接参与也可以间接参与。根据度量器参与测量过程的方式, 可以把测量方法分为直读法和比较法。

(1) 直读法 用直接指示被测量大小的电工仪表进行测量, 能够直接从仪表刻度盘上读取被测量数值的测量方法, 称为直读法。用直读法测量时, 度量器不直接参与测量过程, 而是间接地参与测量过程。例如, 用欧姆表测量电阻时, 从指针在标度尺上指示的刻度可以直接读出被测电阻的数值。这一读数被认为是可信的, 因为欧姆表标度尺的刻度事先用标准电阻进行了校验, 标准电阻已将它的量值和单位传递给欧姆表, 间接地参与了测量过程。直读法测量的过程简单, 操作容易, 读数迅速, 但其测量的准确度不高。

(2) 比较法 将被测量与度量器在比较仪器中直接比较, 从而获得被测量数值的方法, 称为比较法。例如, 用天平测量物体质量时, 作为质量度量器的砝码始终都直接参与了测量过程。在电工测量中, 采用比较法具有很高的测量准确度, 可以达到 $\pm 0.001\%$, 但测量时操作比较烦琐, 相应的测量设备也比较昂贵。

根据被测量与度量器进行比较时的不同特点, 又可将比较法分为零值法、较差法和替代法三种。

① 零值法又称平衡法, 是利用被测量对仪器的作用与标准量对仪器的作用相互抵消, 由指零仪表作出判断的方法, 即当指零仪表指示为零时, 表示两者的作用相等, 仪器达到平衡状态。此时按一定的关系可计算出被测量的数值。显然, 零值法测量的准确度主要取决于度量器和指零仪表的灵敏度。

② 较差法是通过测量被测量与标准量的差值, 或正比于该差值的量, 根据标准量来确定被测量的数值的方法。采用较差法可以达到较高的测量准确度。

③ 替代法是分别把被测量和标准量接入同一测量仪器, 在标准量替代被测量时, 调节标准量, 使仪器的工作状态在替代前后保持一致, 然后根据标准量来确定被测量的数值。用替代法测量时, 由于替代前后仪器的工作状态是一样的, 仪器本身性能和外界因素对替代前后的影响几乎是相同的, 因此有效地克服了所有外界因素对测量结果的影响。使用替代法测量的准确度主要取决于替代的标准量。

三、测量单位制

测量单位是确定一个被测量的标准, 因此测量单位的确定和统一是非常重要的。我国国务院于 1984 年 2 月 27 日发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》, 命令规定我国统

一实行以国际单位制为基础的法定计量单位。国际单位制是 1960 年第 11 届国际计量大会通过的，其国际代号为 SI。有关国际单位制的组成和使用方法详见附录 I，这里只简介电工测量中常用的、并具有专门名称的 SI 导出单位（见表 1-1）。

表 1-1 部分具有专门名称的 SI 导出单位

量	SI 导出单位			
	名称	符号	用其它 SI 单位表示的表示式	用 SI 基本单位表示的表示式
频率	赫〔兹〕	Hz		s^{-1}
力	牛〔顿〕	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
能，功，热量	焦〔耳〕	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率，辐（射）通量	瓦〔特〕	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电荷〔量〕	库〔仑〕	C		$s \cdot A$
电位，电压 电势，电动势	伏〔特〕	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电容	法〔拉〕	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
电阻	欧〔姆〕	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电感	亨〔利〕	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
电导	西〔门子〕	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁通（量）	韦〔伯〕	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁感应强度，磁通密度	特〔斯拉〕	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$		K

需要说明的是：工程测量中，电能单位常用的“千瓦小时（kW·h）”（也称“度”）不是 SI 单位。由于它很实用，所以在电能的测量中，习惯上仍然常用 kW·h 作为电能的测量单位。kW·h 与 SI 单位中能量单位“焦耳”（J）的换算关系是：

$$1kW \cdot h = 3\,600J$$

第二节 测量误差

在测量过程中，由于受到测量方法、测量设备、测量条件及观测经验等多方面因素的影响，测量结果不可能是被测量的真实数值，而只是它的近似值。任何测量的结果与被测量的真实值之间总是存在着差异，这种差异称为测量误差。

一、测量误差的分类

根据产生测量误差的原因，可以将测量误差分为系统误差、偶然误差和疏失误差三类。

1. 系统误差

在相同条件下多次测量同一量时，保持恒定不变或按照一定规律变化的测量误差，称为系

统误差。系统误差主要是由于测量设备不准确、测量方法不完善和测量条件不稳定而引起的，有时也与测量人员生理上的特点有关。由于系统误差表示了测量结果偏离其真实值的程度，即反映了测量结果的准确度。系统误差越小，测量结果的准确度就越高。

2. 偶然误差

偶然误差又称为随机误差，是一种大小和符号都不确定的误差，即在同一条件下对同一被测量重复测量时，各次测量结果很不一致，没有确定的变化规律。这种误差的处理依据概率统计方法。产生偶然误差的原因很多，如温度、磁场、电源频率的偶然变化等都可能引起这种误差；此外，观测者本身感官分辨本领的限制，也是偶然误差的一个来源。偶然误差反映了测量的精密度，偶然误差越小，精密度就越高，反之则精密度越低。

系统误差和偶然误差是两类性质完全不同的误差。系统误差反映在一定条件下误差出现的必然性；而偶然误差则反映在一定条件下误差出现的可能性。系统误差和偶然误差两者对测量结果的综合影响反映为测量的准确度，又称精确度。

3. 疏失误差

疏失误差是在测量过程中由于操作、读数、记录和计算等方面的错误所引起的误差。显然，凡是含有疏失误差的测量结果是应该摒弃的。

二、测量误差的消除方法

测量误差是不可能绝对消除的，但要尽可能减小误差对测量结果的影响，使其减小到允许的范围內。

消除测量误差，应根据误差的来源和性质，采取相应的措施和方法。必须指出：一个测量结果中既存在系统误差又存在偶然误差时，要截然区分两者是不容易的。所以应根据测量的要求和两者对测量结果的影响程度，选择消除方法。一般情况下，在对精密度要求不高的工程测量中，主要考虑对系统误差的消除；而在科研、计量等对测量准确度和精密度要求较高的测量中，必须同时考虑消除上述两种误差。

1. 系统误差的消除方法

(1) 对度量器、测量仪器仪表进行校正 在准确度要求较高的测量结果中，引入校正值进行修正。

(2) 消除产生误差的根源 即正确选择测量方法和测量仪器，改善仪表安装质量和配线方式，尽量使测量仪表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 如正负误差补偿法、替代法等。例如，用电流表测量电流时，考虑到外磁场对读数的影响，可以把电流表转动 180° ，进行两次测量。在两次测量中，必然出现一次读数偏大而另一次读数偏小的现象，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. 偶然误差的消除方法

偶然误差的消除方法是：在同一条件下，对被测量进行足够多次的重复测量，取其平均值作为测量结果。根据统计学原理可知，在足够多次的重复测量中，正误差和负误差出现的可能性几乎相同，因此偶然误差的平均值几乎为零。所以，在测量仪器仪表选定以后，测量次数是保证测量精密度的前提。

三、测量误差的表示方法

测量误差通常用绝对误差和相对误差表示。

1. 绝对误差

测量结果的数值 A_x (测得值) 与被测量的真实值 A_0 的差值称为绝对误差, 用 ΔA 表示:

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

由于被测量的真实值 A_0 往往是很难确定的, 所以实际测量中, 通常用标准表的指示值或多次测量的平均值作为被测量的真实值。

例 1-1 某电路中的电流为 10A, 用甲电流表测量时的读数为 9.8A, 用乙电流表测量时其读数为 10.4A。试求两次测量的绝对误差。

解: 由式 (1-1) 可求得用甲表测量的绝对误差为

$$\Delta I_1 = I_1 - I_0 = 9.8 - 10A = -0.2A$$

用乙表测量的绝对误差为

$$\Delta I_2 = I_2 - I_0 = 10.4 - 10A = 0.4A$$

由上例可知: 绝对误差有正负之分, 正误差说明测量值比真实值大, 负误差说明测量值比真实值小。对同一个被测量而言, 测量的绝对误差越小, 测量就越准确。

2. 相对误差

当被测量不是同一个值时, 绝对误差的大小不能反映测量的准确度, 这时应该用相对误差的大小来判断测量的准确度。

测量的绝对误差 ΔA 与被测量真实值 A_0 之比, 称为相对误差, 用符号 γ 表示

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

与前述同理, 实际测量中通常用标准表的指示值或多次重复测量的平均值作为被测量的真实值。另外, 工程测量中的相对误差常用其绝对误差与仪表指示值之比 γ_A 表示:

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

例 1-2 用电压表甲测量 20V 电压时, 绝对误差为 0.4V; 用电压表乙测量 100V 电压时, 绝对误差为 1V。试比较哪一只表测量准确度高。

解: 由式 (1-2) 可得用电压表甲测量的相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{0.4V}{20V} \times 100\% = 2\%$$

用电压表乙测量的相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{1V}{100V} \times 100\% = 1\%$$

故用乙电压表比用甲电压表测量更准确些。

由上例可知, 虽然用甲表测量的绝对误差比用乙表的绝对误差要小, 但相对误差却是乙表比甲表小, 说明实际上乙表比甲表的测量准确度高。

利用绝对误差和相对误差的概念, 可以把一个测量结果完整地表示为

$$\text{测量结果} = A \pm \Delta A \quad (1-4)$$

或

$$\text{测量结果} = A(1 \pm \gamma) \quad (1-5)$$

也就是说,测量不仅要确定被测量的大小,还必须确定测量结果的误差,即确定测量结果的可靠程度。

第三节 电工仪表的基本知识

电工仪表是实现电磁测量过程所需技术工具的总称。电工专业领域中,经常接触的是电工指示仪表,这也是本书介绍的重点。

一、电工仪表的基本原理及组成

电工仪表的基本原理是把被测电量或非电量转换成仪表指针的偏转角。因此它也称为机电式仪表,即用仪表指针(可动部分)的机械运动来反映被测电量的大小。电工仪表通常由测量线路和测量机构两部分组成,如图 1-1 所示。

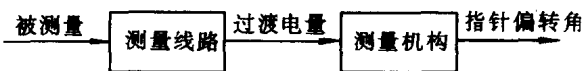


图 1-1 电工指示仪表的组成

测量机构是实现电量转换为指针偏转角,并使两者保持一定关系的机构。它是

电工仪表的核心部分。测量线路将被测电量或非电量转换为测量机构能直接测量的电量,测量线路必须根据测量机构能够直接测量的电量与被测量的关系来确定,一般由电阻、电容、电感或其他电子元件构成。

各种测量机构都包含固定部分和可动部分。从基本原理上看,测量机构都有产生转动力矩、反作用力矩和阻尼力矩的部件,这三种力矩共同作用在测量机构的可动部分上,使可动部分发生偏转并稳定在某一位置上保持平衡。因此,尽管电工指示仪表的种类很多,但只要弄清楚产生这三个力矩的原理和它们之间的关系,也就懂得了仪表的基本工作原理。

二、电工仪表的分类、标志和型号

1. 电工仪表的分类

电工仪表可以根据原理、结构、测量对象、使用条件等进行分类。

(1) 根据测量机构的工作原理,可以把电工仪表分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系、整流系等。

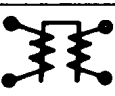
(2) 根据电工指示仪表的测量对象,可以分为电流表(安培表、毫安表、微安表)、电压表(伏特表、毫伏表、微伏表以及千伏表)、功率表(又称瓦特表)、电度表、欧姆表、相位表等。

(3) 根据电工仪表工作电流的性质,可以分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表。

(4) 按电工仪表的使用方式,可以分为安装式仪表(或称为板式仪表)和可携式仪表等。

(5) 按电工仪表使用条件,可分为 A、A₁、B、B₁ 和 C 五组。有关各组仪表使用条件的规定可查阅有关的国家标准。

表 1-2 常见电工仪表和附件的表面标志符号

A. 测量单位的符号		名 称	符 号
名 称	符 号	摄 氏 度	℃
千 安	kA	B. 仪表工作原理的图形符号	
安 培	A	名 称	符 号
毫 安	mA	磁电系仪表	
微 安	μA		
千 伏	kV		
伏 特	V		
毫 伏	mV	磁电系比率表	
微 伏	μV		
兆 瓦	MW	电磁系仪表	
千 瓦	kW		
瓦 特	W	电磁系比率表	
兆 乏	Mvar		
千 乏	kvar	电动系仪表	
乏 尔	var		
兆 赫	MHz	电动系比率表	
千 赫	kHz		
赫 兹	Hz	铁磁电动系仪表	
太 欧	TΩ		
兆 欧	MΩ	铁磁电动系比率表	
千 欧	kΩ		
欧 姆	Ω	感应系仪表	
毫 欧	mΩ		
微 欧	μΩ	静电系仪表	
库 仑	C		
毫 韦 伯	mWb	整流系仪表 (带半导体整流器和磁电系测量机构)	
毫韦伯/米 ²	mT		
微 法	μF	热电系仪表 (带接触式热变换器和磁电系测量机构)	
皮 法	pF		
亨	H		
毫 亨	mH		
微 亨	μH		

续表

C. 工作电流种类的符号		名 称	符 号
名 称	符 号		
直 流		公共端钮(多量限仪表和复用仪表)	
交流(单相)		接地用的端钮(螺钉或螺杆)	
直流和交流		与外壳相连的端钮	
具有单元件的三相平衡负载交流		与屏蔽相连的端钮	
D. 准确度等级的符号		H. 按外界条件分组的符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
以标度尺量限百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级	1.5	A 组仪表	
以标度尺长度百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级		B 组仪表	
以指示值的百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级		C 组仪表	
E. 工作位置的符号		I 级防外磁场(例如磁电系)	
名 称	符 号	I 级防外电场(例如静电系)	
标度尺位置为垂直的		II 级防外磁场及电场	
标度尺位置为水平的		III 级防外磁场及电场	
标度尺位置与水平面倾斜成一角度。例如 60°		IV 级防外磁场及电场	
F. 绝缘强度的符号			
名 称	符 号		
不进行绝缘强度试验			
绝缘强度试验电压为 500V			
绝缘强度试验电压为 2kV			
G. 端钮、调零器符号			
名 称	符 号		
正端钮	+		
负端钮	-		

(6) 按电工仪表的准确度,可分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七个准确度等级。

除以上分类而外,还可以按外壳的防护性能及耐受机械力作用的性能分类。

2. 电工仪表的标志

电工仪表的表盘上有许多表示其基本技术特性的标志符号。根据国家标准的规定,每一个仪表必须有表示测量对象的单位,准确度等级,工作电流的种类、相数,测量机构的类别,使用条件组别,工作位置,绝缘强度试验电压的大小、仪表型号和各种额定值等标志符号。

电工仪表表面常见标志符号所表示的基本技术特性,见表 1-2 所示。

3. 电工仪表的型号

仪表的产品型号可以反映出仪表的用途和工作原理。产品型号是按规定的标准编制的。对安装式和可便携式仪表的型号,规定了不同的编制规则。

(1) 安装式仪表型号的组成 安装式仪表型号的编制规则如图 1-2 所示。其中形状第一位代号按仪表面板形状最大尺寸编制;形状第二位代号按外壳形状尺寸特征编制;系列代号按测量机构的系列编制,如磁电系代号为“C”,电磁系代号为“T”,电动系代号为“D”,感应系代号为“G”,整流系代号为“L”等。例如 44C2—A 型电流表,型号中“44”为形状代号,可以从有关标准中查出其外形和尺寸,“C”表示该表是磁电系仪表,“2”是设计序号,“A”表示该表用于测量电流。

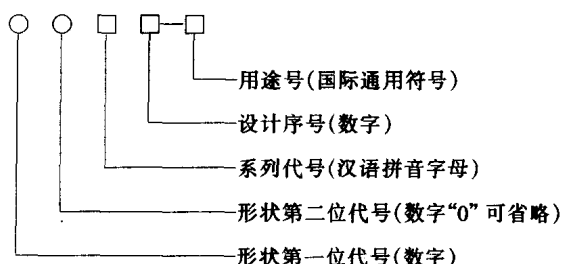


图 1-2 安装式仪表型号的编制规则

(2) 可便携式仪表型号的组成 由于可便携式仪表不存在安装问题,所以将安装式仪表型号中的形状代号省略后,即是它的产品型号。例如 T62—V 型电压表,“T”表示是电磁系仪表,“62”是设计序号,“V”表示是电压表(伏特表)。

其他电工仪表型号的组成见附录 II。

三、电工仪表的误差、准确度和测量数据的处理

1. 误差

电工仪表的误差分为基本误差和附加误差。基本误差是指仪表在规定的使用条件下测量时,由于结构上和制作上不完善引起的误差。例如,仪表的可动部分的摩擦。标度尺刻度不均匀等原因引起的误差均属基本误差。

当仪表不能在规定的使用条件下工作时,除了基本误差外,由于温度、湿度、外磁场或电场等因素的影响,还将产生附加误差。附加误差实际上是因工作条件改变而造成的额外误差。