



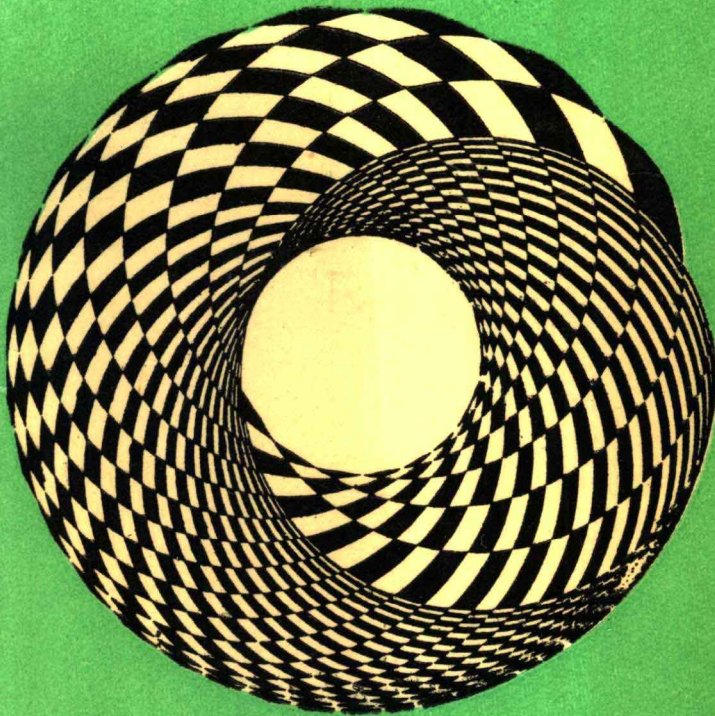
中等职业技术学校

成都市教育科学研究所 编

试用教材

高等教育出版社

电工仪表与测量



中等职业技术学校试用教材

电工仪表与测量

成都市教育科学研究所 编

高等教育出版社

京(112)号

内 容 简 介

本书是国家教委职业技术教育司和高等教育出版社共同组织编写的中等职业技术学校电工专业系列教材之一。全书共分七章,内容包括各种常用电工仪表的结构原理和使用方法,电工测量的基本知识和常见电气量的测量方法。每章末附有习题和实验。

本书内容由浅入深,以定性分析为主来阐述仪表的结构原理和电气量的测量,注重理论联系实际,突出常用电工仪表的实际应用。文字叙述通俗易懂,便于读者自学。

本书可作为职业高中中等职业技术学校教材,还可作为岗位培训教材,也适合广大电气工人阅读。

中等职业技术学校试用教材

电工仪表与测量

成都市教育科学研究所 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

商务印书馆上海印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 8.5 字数 193 000

1992年4月第1版 1992年4月第1次印刷

印数 00,001—27,660

ISBN 7-04-003717-3/TM·194

定价 4.40 元

出版说明

1989年12月,国家教委职业技术教育司和高等教育出版社在江苏常州组织召开了有17个省市及能源部中国电力企业联合会代表参加的中等职业技术学校电工专业教材会议,拟定了为编写教材用的中等职业技术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。本书是根据会议精神组织编写的这套教材中的一种。

教材以三年制中等职业技术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,以适应职业高中的就业需要。为了适应各地区各单位的不同要求,课程设置采用“积木式”结构安排,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》、《工厂供电》。

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,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。

为了保证教材质量,我们在全国内范围内遴选了有丰富教学经验、较高专业水平和文字能力、有一定实际操作能力的教师、高级技师、高级工程师参加编写和审稿工作。

参加本系列教材审定工作的有:能源部中国电力企业联合会及北京、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、成都等省市的代表。江苏省教育委员会对本专业教学计划的制定给予了具体帮助。在此谨向他们表示谢忱。

本系列教材亦可供岗位培训及自学人员使用。

本系列教材1992年秋出齐,欢迎广大读者选用,并提出宝贵意见。

高等教育出版社

职教部

1991年6月

前 言

为了满足中等职业教育对专业教材的需要,我们在国家教委职业技术教育司和高等教育出版社的组织下,编写了中等职业技术学校电工专业系列教材之一《电工仪表与测量》。

本书在编写中力求适应中等职业技术学校的特点,取材以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为主,突出实际应用。在问题的阐述上着重从物理概念上说明问题,避免过深过繁的理论推导,力求简明扼要、通俗易懂。

由于《电工仪表与测量》是一门实践性很强的专业理论课,所以在教学过程中要特别注重理论与实践相结合。本教材教学内容的安排基本上形成了一个循环,即第一章介绍电工仪表与测量的基本知识,第二章至第六章介绍各种常用电工仪表的结构、原理及使用方法,最后第七章介绍电工仪表的选择与校验又回到第一章的基础之上。

本课程计划教学时数为64学时,其中第一章8学时,第二章14学时,第三章6学时,第四章10学时,第五章8学时,第六章12学时,第七章6学时。

考虑到课时限制以及系列教材中内容的衔接,本书中未介绍电子仪器仪表,另外对万用表的使用方法只作了原则性的交待,这些部分的内容已经在本系列教材《电子线路》和《电工基础》中作了详细的介绍。

本书由成都市教育科学研究所职业技术教育研究室编,成都市教育科学研究所王天径组稿,成都市中华职业中学田小翠执笔。本书主审是成都市无线电机学校刘介才,参加审稿工作的还有成都市电机厂王晋明。他们在审稿过程中提出了不少宝贵意见,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中难免缺点和不妥之处,恳切希望读者批评指正。

编 者

1991年5月

目 录

第一章 电工仪表与测量基本知识	1
第一节 电工测量基本知识	1
第二节 测量误差	3
第三节 电工仪表基本知识	6
复习·小结	13
习题一	13
第二章 磁电系仪表	15
第一节 磁电系测量机构	15
第二节 磁电系电流表	18
第三节 磁电系检流计	22
第四节 磁电系电压表	26
第五节 万用电表	28
复习·小结	40
实验一	40
实验二	41
习题二	42
第三章 电磁系仪表	43
第一节 电磁系测量机构	43
第二节 电磁系电流表、电压表	46
复习·小结	48
实验三	48
习题三	49
第四章 电动系仪表	50
第一节 电动系测量机构	50
第二节 电动系电流表、电压表	52
第三节 功率表	53
第四节 频率表、相位表	64

复习·小结	69
实验四	69
习题四	71
第五章 电度表和互感器	72
第一节 单相电度表	72
第二节 三相电度表	77
第三节 互感器	81
复习·小结	90
实验五	90
习题五	91
第六章 电参数的测量	93
第一节 概述	93
第二节 电桥	100
第三节 兆欧表	111
复习·小结	115
实验六	115
实验七	116
习题六	116
第七章 电工仪表的选择与校验	117
第一节 电工仪表的选择	117
第二节 电工仪表的校验	119
复习·小结	124
实验八	124
习题七	125
综合训练	125
附录 I 国际单位制	127
附录 II 电工仪表型号	129

第一章 电工仪表与测量基本知识

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。本章将介绍电工测量和电工仪表的基本知识。

第一节 电工测量基本知识

一、电工测量的意义

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(φ)、功率因数($\cos \varphi$)等。

2. 测量方式和测量方法

根据测量的目的和被测量的性质,可选择不同的测量方式和不同的测量方法(详见本节二)。

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、测量方式和测量方法的分类

1. 测量方式的分类

测量方式主要有如下两种:

(1) 直接测量 在测量过程中,能够直接将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的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 $R=U/I$ 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. 测量方法的分类

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指示仪表进行测量,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。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,比较法具有很高的测量准确度,可以达到 $\pm 0.001\%$,但测量时操作比较麻烦,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。

零值法又称平衡法,它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的准确度和指零仪表的灵敏度。

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。较差法可以达到较高的测量准确度。

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,因此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,有效地克服了所有外界因素对测量结果的影响。替代法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和仪器的灵敏度。

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	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电量,电荷	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,电能的单位常用“千瓦小时”(kW·h),也称“度”,它不是 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“千瓦小时”作为电能的测量单位。“千瓦小时”与 SI 单位中能量单位“焦耳”的换算关系是:1 kW·h = 3600 J。

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,试验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,即任何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,可以将其分为系统误差、偶然误差和疏失误差三大类。

1. 系统误差

能够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、测量方法的不完善和测量条件的不稳定而引起的。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,所以在误差理论中,经常用准确度来表示系统误差的大小。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,各次测量结果服从某种统计分布;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、电源频率等的偶然变化等都可能引起这种误差;另一方面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;而偶然则反映在一定条件下误差出现的可能性。

3. 疏失误差

疏失误差是测量过程中操作、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内。

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,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) 对测量仪表进行校正 在准确度要求较高的测量结果中,引入校正值进行修正(见第七章)。

(2) 消除产生误差的根源 即正确选择测量方法和测量仪器,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,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

消除偶然误差可采用在同一条件下,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的方法。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 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 10 A, 用甲电流表测量时的读数为 9.8 A, 用乙电流表测量时其读数为 10.4 A。试求两次测量的绝对误差。

解: 由式(1-1)可求得

甲表测量的绝对误差为

$$\Delta I_1 = I_1 - I_0 = 9.8 - 10 = -0.2 \text{ A}$$

乙表测量的绝对误差为

$$\Delta I_2 = I_2 - I_0 = 10.4 - 10 = 0.4 \text{ A}$$

由上例可知, 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。

测量的绝对误差与被测量真实值之比, 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 电压表甲测量 20 V 电压时, 绝对误差为 0.4 V, 电压表乙测量 100 V 电压时, 绝对误差为 1 V。试比较哪一只表测量准确度高。

解: 由式(1-2)可得:

电压表甲测量的相对误差为

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

电压表乙测量的相对误差为

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

故乙电压表比甲电压表的测量更准确些。

由上例可知, 虽然甲表测量的绝对误差比乙表的小, 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的表示为

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

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和较量仪器,本书前四章将主要介绍电工指示仪表。

一、电工指示仪表的基本原理及组成

电工指示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

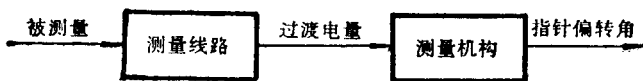


图 1-1 电工指示仪表的组成

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。电工指示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。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。它是电工指示仪表的核心部分。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,测量线路的构成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。它一般由电阻、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、电工指示仪表的分类、标志和型号

1. 电工指示仪表的分类

电工指示仪表可以根据原理、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分类,可以把仪表分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系、整流系等。

(2) 根据测量对象分类,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) 根据仪表工作电流的性质分类,可以分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表。

(4) 按仪表的使用方式分类,可以分为安装式仪表(或称为板式仪表)和可便携式仪表等。

(5) 按仪表使用条件分类, A、A₁、B、B₁ 和 O 五组。有关各组仪表使用条件的规定可查阅国家标准 GB776-76《电测量指示仪表通用技术条件》。

(6) 按仪表的准确度分类,有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共七个准确度等级。

表 1-2 常见电工指示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	°C
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	磁电系比率表	
千 伏	kV	电磁系仪表	
伏 特	V	电磁系比率表	
毫 伏	mV	电动系仪表	
微 伏	μV	电动系比率表	
兆 瓦	MW	铁磁电动系仪表	
千 瓦	kW	铁磁电动系比率表	
瓦 特	W	感应系仪表	
兆 乏	Mvar	静电系仪表	
千 乏	kvar	整流系仪表	
乏 尔	var	(带半导体整流器和磁电系测量机构)	
兆 赫	MHz	热电系仪表	
千 赫	kHz	(带接触式热变换器和磁电系测量机构)	
赫 兹	Hz		
兆 兆 欧	TΩ		
兆 欧	MΩ		
千 欧	kΩ		
欧 姆	Ω		
毫 欧	mΩ		
微 欧	μΩ		
库 仑	C		
毫 韦 伯	mWb		
毫 韦 伯 / 米²	mT		
微 法	μF		
微 微 法	pF		
亨	H		
毫 亨	mH		
微 亨	μH		

(续表 1)

C. 工作电流种类的符号		名 称	符 号
名 称	符 号	公共端钮(多量限仪表和复用仪表)	
直 流		接地用的端钮(螺钉或螺杆)	
交流(单相)		与外壳相连的端钮	
直流和交流		与屏蔽相连的端钮	
具有单元件的三相平衡负载交流		调零器	
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	15	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	1.5	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 2kV			
G. 端钮、调零器符号			
名 称	符 号		
正端钮	+		
负端钮	-		

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，读者可查阅 GB776-76 中的有关规定。

2. 电工指示仪表的标志

电工指示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。

电工指示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. 电工指示仪表的型号

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。对安装式和可携式指示仪表的型号，规定了不同的编制规则。

(1) 安装式仪表型号的组成 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“O”，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 44C02-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，“O”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。

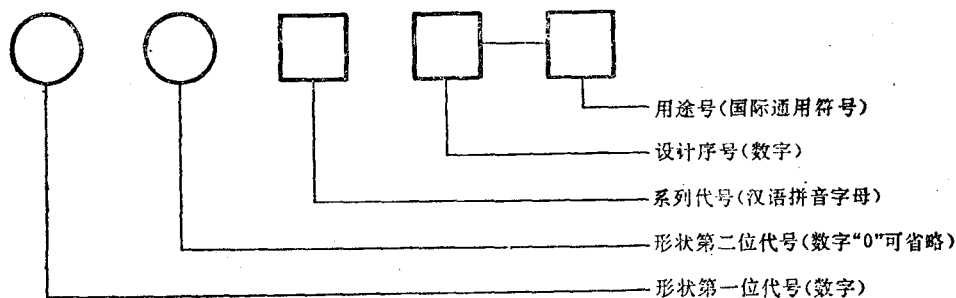


图 1-2 安装式仪表型号的编制规则

(2) 可携式仪表型号的组成 由于可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，即是它的产品型号。例如 T 62-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)。

其它电工仪表型号的组成见附录 II。

三、电工指示仪表的误差和准确度

1. 误差

电工指示仪表的误差有基本误差和附加误差。仪表的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、外磁场等因素的影响，还将产生附加误差。有关附加误差与各影响量的关系，在国家标准 GB776-76 中有明确的规定，读者可自行查阅。

2. 准确度

仪表的基本误差通常用准确度来表示, 准确度越高, 仪表的基本误差就越小。

对于同一只仪表, 测量不同大小的被测量, 其绝对误差 ΔA 变化不大, 但相对误差 $\Delta A/A$ 却有很大变化, 被测量 A 越小, 相对误差就越大, 显然, 通常的相对误差概念不能反映出仪表的准确性能。所以, 一般用引用误差来表示仪表的准确性能。

(1) 引用误差 仪表测量的绝对误差与该仪表量限(满刻度值) A_m 的百分比, 称为仪表的引用误差

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

(2) 仪表的准确度 就是仪表的最大引用误差, 即仪表量限范围内的最大绝对误差 $\Delta A_{\max}$ 与仪表量限 A_m 的百分比, 用 K 表示

$$\pm K\% = \frac{\Delta A_{\max}}{A_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

显然, 准确度表明了仪表基本误差最大允许的范围。国家标准 GB 776-76 中规定, 各个准确度等级的仪表在规定的使用条件下测量时, 其基本误差不应超出表 1-3 中规定的值。

表 1-3 各级仪表的基本误差

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

例 1-3 用 1.5 级、量限为 15 A 的电流表测量某电流时, 其读数为 10 A, 试求测量可能出现的最大相对误差为多少?

解: 由式(1-7)可得出该表最大的绝对误差

$$\begin{aligned}\Delta I_m &= \pm K\% \cdot I_m \\ &= \pm 1.5\% \times 15\text{A} = 0.225\text{A}\end{aligned}$$

由式(1-3)可得该表测量的最大相对误差

$$\begin{aligned}\gamma_{\max} &= \frac{\Delta I_m}{I} \times 100\% \\ &= \frac{\pm 0.225\text{A}}{10\text{A}} \times 100\% = \pm 2.25\%\end{aligned}$$

由此可知, 测量结果的准确度(最大相对误差)与仪表的准确度是不同的二个概念, 实际应用中, 不可把两者混淆起来。

例 1-4 在上例中, 若改用 0.5 级、100 A 的电流表, 如果其读数仍然为 10 A, 则此时的最大相对误差又为多少?

解: 该表的最大绝对误差

$$\begin{aligned}\Delta I_m &= \pm K\% \cdot I_m \\ &= \pm 0.5\% \times 100\text{A} = \pm 0.5\text{A}\end{aligned}$$

测得 10 A 时, 其最大相对误差

$$\gamma_{\max} = \frac{\Delta I_m}{I} \times 100\%$$

$$= \frac{\pm 0.5 \text{ A}}{10 \text{ A}} \times 100\% = \pm 5\%$$

由此可知,仪表的准确度虽然提高了,但测量结果的误差反而增大了。这是因为仪表准确度一定时,量限越大的仪表其最大绝对误差越大。所以,不能只片面追求仪表的准确度等级,还应根据对测量的要求,合理选择仪表量限,特别注意使仪表的指示值在量限值的 2/3 以上的范围。

3. 测量结果准确度的评定

测量不仅要确定被测量的数值,还必须评定测量结果的准确程度,即确定测量结果的误差。在大多数工程测量中,通常只要求测量结果的误差不超过给定的范围,而不要求确定实际误差的大小。所以,通过选择合适的测量方法和仪表,并使仪表在规定的使用条件下工作,可以只进行一次测量。在这种情况下,可以根据仪表的准确度来确定测量结果中可能出现的最大误差。

(1) 仪表的基本误差对测量结果的影响。可以用例 1-3 和例 1-4 的方法计算出由仪表基本误差使测量结果可能产生的最大相对误差 $\gamma_{\max}$ 。

(2) 当仪表不能在规定的使用条件下测量时,将有附加误差产生。此时测量结果的最大相对误差应该是仪表基本误差产生的相对误差与附加误差之和。当有多种附加误差产生时,总的附加误差是各项附加误差的总和。

4. 数据的处理

在测量过程中,读数、记录和运算等对数据的处理,都应按照国家标准 GB8170-87《数值修约规则》进行。

(1) 有效数字是那些能够正确反映测量准确度的数字,是指从一个数据的左起第一个非零数字开始,直到最右边的正确数字。有效数字的最末一位是近似数字,它可以是测量中估计读出的,也可以是按规定修约后的近似数字,而有效数字的其它数字都是准确数字。

所有的测量数据都必须用有效数字表示。此时要注意以下两点:

(a) 读数记录时,每一个数据只能有一位数字(最末一位)是估计读数,而其它数字都必须准确读出的。

(b) 数字“0”在数据中可以是有效数字,也可以不是,这主要根据它是否表示准确程度来判断。一般地讲,数据左起第一位非零数字左边的“0”不是有效数字,而右边的“0”都是有效数字。这是因为第一位非零数字左边的“0”可以通过单位变换去掉,它不表示数据的准确度,只反映所使用单位的大小;而第一位非零数字右边的“0”,特别是最末一位“0”表示了数据的大小和准确度,不能随意去掉。例如 0.3070 A,它有四位有效数字,若把单位变换为 mA,则数据变为 307.0 mA,左边第一位“0”被去掉,仍然有四位有效数字,但不能把最末一位“0”去掉,因为它表示该数据准确到万分之一安培(或十分之一毫安)。为了明显地表示有效数字的位数,通常把数据用有效数字乘以 10 的幂次的形式表示,如 $8.40 \times 10^4 \text{ V}$,表示它只有三位有效数字,而如果写成 84000 V,则无法确定最后两个“0”是否是有效数字。

(2) 数据的运算应按有效数字的运算规则进行。