



技 能 培 训 书 系

浙 江 科 学 技 术 出 版 社

电工仪表 使用与维护

金国砥 朱红霞
俞 艳 徐宏飞 编著

JiNengPeiXun
ShuXi





技能培训书系

电工仪表使用与维护

金国砥 朱红霞 编 著
俞 艳 徐宏飞

浙江科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工仪表使用与维护/金国砥等编著. —杭州:浙江科学技术出版社,2005

(技能培训书系)

ISBN 7-5341-2627-4

I.电... II.金... III.①电工仪表—使用—技术培训—教材②电工仪表—维修—技术培训—教材
IV.TM930.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 019853 号

技能培训书系

电工仪表使用与维护

金国砥 朱红霞 俞 艳 徐宏飞 编著

出版发行 浙江科学技术出版社

(杭州体育场路347号)

责任编辑 褚天福

经 销 浙江省新华书店

激光照排 杭州兴邦电子印务有限公司

印 刷 浙江万盛达实业有限公司

电子邮件 ccttff@263.net

读者热线 0571-85103059

开 本 880 × 1230 1/32

印 张 7.75

插 页 1

字 数 201 000

版 次 2005年10月第 1 版

2005年10月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5341-2627-4

定 价 18.00 元

如果发现印装质量问题,请与我们联系。



前言

Dian yan

随着新技术、新材料、新工艺的不断发展,新型产品的不断涌现,电工测量仪表的使用与维护显得越来越重要。为了使广大从事或即将从事维修的工作人员尽快熟悉、掌握电工仪表使用与维护的知识和技能,编者根据多年教学实践,以电工测量对象为线索,具体介绍测量电压、电流、电阻、电能等电工仪表的使用方法、日常维护及注意事项,简要介绍常用电工仪表的常见故障及调试维修。本书具有较强的实用性、通用性。

本书以生产实践中普遍使用的通用电工仪表为典型,介绍的测量方法与技术取材于生产实践,注重突出能力本位,理论联系实际;行文力求语句简练,通俗易懂,并插入大量的示意图诠释;在体系上采用模块结构,更具针对性和选择性。

本书图文并茂,浅显易懂,实用性强,是电工最基本的工具书之一,可供具有初中以上文化程度的电工初学者阅读,也可作为中等职业学校相关专业的辅助教材和职业技术培训教材。

本书由省特级教师金国砥统稿,参编人员有朱红霞(第一章~第四章)、徐宏飞(第六章~第八章及第三章毫伏表部分)、俞艳(第五章)。本书在编写过程中得到了杭州市萧山区第一中等职业学校、杭州中策职业学校领导和老师的大力支持,在此表示真挚感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不足或缺陷之处,恳请广大读者予以批评指正。

编者

2005年1月



目 录

第一章 电工仪表使用概述 1

- 第一节 电工仪表的分类、型号和标志 1
- 第二节 电工仪表测量方法及测量误差与消除 6
- 第三节 电工仪表的主要技术要求 15

第二章 电流测量仪表的使用与维护 18

- 第一节 电流表的使用与维护 18
- 第二节 电流互感器 24
- 第三节 钳形电流表的使用与维护 29
- 第四节 检流计的使用与维护 31

第三章 电压测量仪表的使用与维护 34

- 第一节 电压表的使用与维护 34
- 第二节 交流电压表 39
- 第三节 电压互感器 54
- 第四节 毫伏表的使用 57
- 第五节 毫伏表的日常维护 60

第四章 电阻测量仪表的使用与维护 64

- 第一节 兆欧表的使用与维护 66
- 第二节 电桥的使用与维护 72

第五章 万用表的使用与维护 85

- 第一节 指针式万用表的使用与维护 85
- 第二节 数字式万用表的使用与维护 109





第六章 电能表和功率表的使用与维护 120

第一节 感应式电能表 120

第二节 电子式电能表 128

第三节 电能表的检修与维护 137

第四节 功率表 142

第五节 电能表应用举例 149

第七章 示波器的使用与维护 166

第一节 示波管与波形显示 166

第二节 通用示波器的组成 171

第三节 通用示波器的使用 176

第四节 示波器的维护与常见故障处理 188

第五节 其他类型的示波器介绍 206

第八章 其他常用电工仪表的使用与维护 217

第一节 功率因数表的使用与维护 217

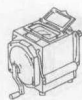
第二节 转速表的使用与维护 219

第三节 频率表的使用与维护 224

第四节 接口总线系统与智能仪表 231

第五节 虚拟仪表 235

附录 测量仪表图形符号 239





第一章 电工仪表使用概述

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。在电工领域中也经常需要测量。电能在生产、传输、变配和使用过程中,必须通过各种电工仪表对电能的质量、负载和运行情况予以监视,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。电工测量的对象主要是指电流、电压、电功率、电能、相位、频率、功率因数、电阻等。电工仪表是实现电磁测量过程所需技术工具的总称。

第一节 电工仪表的分类、型号和标志

在电工专业技术领域中,经常接触的电工仪表一般是指安装式仪表、实验室、可携式仪表以及电度表等。这些仪表都是可以直接读出测量结果的,所以也称为直读式电工仪表。

安装式仪表是安装在发电站、变电所的开关板上,以及小型电气设备上使用的仪表。

实验室和可携式仪表是指在科学研究、教学研究以及工矿企业的实验室、现场测量用的仪表。它是非固定安装的、可以移动和携带使用的仪表。

电度表主要是电力企业、工矿企业及居民用户用以计量电能的仪表。

一、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) 按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) 按电工指示仪表的测量对象,可以将电工仪表分为电流表(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(瓦特表)、电度表、欧姆表、相位表等。

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

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

(5) 按电工仪表的使用条件,可以将电工仪表可分为 A、A₁、B、B₁和 C5 组。有关各组仪表使用条件的规定可查阅有关的国家标准。

(6) 按电工仪表的准确度,可以将电工仪表分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共 7 个准确度等级。

除以上分类外,电工仪表还可以按外壳的防护性能及耐受机械力作用性能分类。

二、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

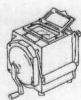
安装式仪表型号的编制规则如图 1-1 所示。

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,表 1-1 为常用仪表系列代号。

表 1-1 常用仪表系列代号

系列	磁电系	电磁系	电动系	感应系	整流系	静电系	电子系
代号	C	T	D	G	L	Q	Z

例如,44L2-V 型电压表,型号中的“44”为形状代号,可以从有



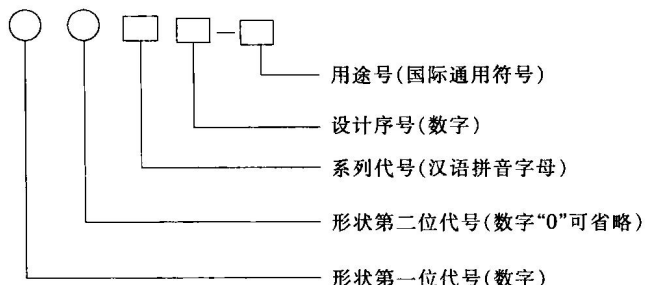


图 1-1 安装式仪表型号的编制规则

关标准中查出其外形和尺寸,“L”表示该表是整流系仪表,“2”表示设计序号,“V”表示该表用于测量电压。

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,T62-V型电压表,“T”表示该表是电磁系仪表,“62”表示设计序号,“V”表示该表是电压表。

三、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单位、准确度等级、工作电流种类、相数、测量机构的类别、使用条件组别、工作位置、绝缘强度试验电压大小、仪表型号和各种额定值等标志符号。

常见电工仪表和附件的表面标志符号见表 1-2。

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		A. 测量单位的符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
千 安	kA	微 安	μA
安 培	A	千 伏	kV
毫 安	mA	伏 特	V





续表

A. 测量单位的符号		B. 仪表工作原理的图形符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
毫 伏	mV	磁电系仪表	
微 伏	μV		
兆 瓦	MW	磁电系比率表	
千 瓦	kW		
瓦 特	W	电磁系仪表	
兆 乏	Mvar		
千 乏	kvar	电磁系比率表	
乏 尔	var		
兆 赫	MHz	电动系仪表	
千 赫	kHz		
赫 兹	Hz	电动系比率表	
太 欧	T Ω		
兆 欧	M Ω	铁磁电动系仪表	
千 欧	k Ω		
欧 姆	Ω	铁磁电动系比率表	
毫 欧	m Ω		
微 欧	$\mu\Omega$	感应系仪表	
库 仑	C		
毫韦伯	mWb	静电系仪表	
毫特斯拉	mT		
微 法	μF	整流系仪表(带半导体整流器和磁电系测量机构)	
皮 法	pF		
亨	H	热电系仪表(带接触式热变换器和磁电系测量机构)	
毫 亨	mH		
微 亨	μH		
摄氏度	$^{\circ}C$		





续表

C. 工作电流种类的符号		E. 工作位置的符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
直 流	—	标度尺位置与水平面倾斜成一角度。例如，60°	
交流(单相)		F. 绝缘强度的符号	
直流和交流		名 称	符 号
具有单元件的三相平衡负载交流		不进行绝缘强度试验	
D. 准确度等级的符号		绝缘强度试验电压为 500V	
名 称	符 号	绝缘强度试验电压为 2kV	
以标度尺量程百分数表示的准确度等级。例如,1.5 级	1.5	G. 端钮、调零器符号	
以标度尺长度百分数表示的准确度等级。例如,1.5 级		名 称	符 号
以指示值的百分数表示的准确度等级。例如,1.5 级		正端钮	+
E. 工作位置的符号		负端钮	—
名 称	符 号	公共端钮(多量程仪表和复用仪表)	
标度尺位置为垂直的		接地用的端钮(螺钉或螺杆)	
标度尺位置为水平的		与外壳相连的端钮	
		与屏蔽相连的端钮	
		调零器	





续表

H. 按外界条件分组的符号		H. 按外界条件分组的符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
A 组仪表		I 级防外电场(静电系)	
B 组仪表		II 级防外磁场及电场	
C 组仪表		III 级防外磁场及电场	
I 级防外磁场(磁电系)		IV 级防外磁场及电场	

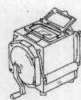
第二节 电工仪表测量方法及测量误差与消除

一、电工仪表的测量方法

在测量过程中,由于采用测量仪器仪表的不同,也就是说度量器是否直接参与,以及测量结果如何取得等,因而形成了不同的测量方法。常用的测量方法主要有以下几种:

1. 直接测量法

直接测量法:指测量结果可从一次测量的实验数据中得到。它可以使用度量器直接参与比较以测得被测量数值的大小;也可以使用具有相应单位刻度的仪表,直接测得被测量的数值。如电流表直接测量电流,电压表直接测量电压,万用表直接测量电阻的阻值等,都属于直接测量方法。直接测量法具有简便、读数迅速等优点,但是它的准确度除受到仪表基本误差的限制外,还由于仪表接入测量电路后,仪表的内阻被引入测量电路中,使电路的工作状态发生了改变,因此,直接测量法的准确度比较低。





2. 比较测量法

比较测量法:指将被测量的量与度量器在比较仪器中进行比较,从而测得被测量数值的一种方法。比较测量法又可分为以下3种:

(1) 零值法(又称指零法)。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。即当指零仪表指零时,表明被测量与标准量两者的作用相等,仪器达到平衡状态。就好像用天平称物体的重量一样,当指针指零时表明被称的重物与砝码的重量相等,根据砝码的重量便可得知被测重物的重量。可见,用零值法测量的准确度取决于度量器的准确度和指零仪表的灵敏度。

(2) 较差法。它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。它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。

比较法的优点是准确度和灵敏度都比较高,测量准确度(即测量误差)最小可达 $\pm 0.001\%$ 。比较法的缺点是操作麻烦,设备复杂。比较法适用于精密测量。

3. 间接测量法

间接测量法:指测量时,只能测出与被测量有关的电量,然后经过计算求得被测量。例如,用伏—安法测量电阻,先测得电阻两端的电压及流过电阻的电流,然后根据欧姆定律,算出被测电阻的阻值。间接测量法的误差比直接测量法大。但在工程中的某些场合,如对准确度要求不高,进行估算时还是一种可取的测量方法。





二、电工仪表的测量误差

在测量过程中,由于受到测量方法、测量设备、测量条件及测试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。

1. 测量误差的表示方法

测量误差的表示方法有 3 种:绝对误差、相对误差和允许误差。

(1) 绝对误差。

①定义。测量所得的测量值 X 与真值 A_0 之差称为绝对误差,用 ΔX 表示,即:

$$\Delta X = X - A_0$$

式中, X 称为被测量的给出值、示值或测量值,习惯上统称为示值; A_0 称为被测量的真值。

注意示值和仪器的读数是有区别的,读数是从仪器刻度盘、显示器等读数装置上直接读到的数字,而示值则是由仪器刻度盘、显示器上的读数经换算而成的。

真值 A_0 是一个理想的概念,实际上是不可能得到的,通常用高一标准仪器或计量器具所测得的测量值 A 来代替, A 称为被测量的实际值。绝对误差的计算式为:

$$\Delta X = X - A$$

绝对误差的正负号表示测量值偏离实际值的方向,即偏大或偏小。绝对误差的大小则反映出测量值偏离实际值的程度。

②修正值。与绝对误差大小相等、符号相反的值称为修正值,用 C 表示,即:

$$C = -\Delta X = A - X$$

修正值通常是由高一标准仪器对测量仪表校准时给出的。当得到测量值 X 后,要对测量值 X 进行修正得出被测量的实际值,即:

$$A = C + X$$





修正值有时给出的方式不一定是具体数值,也可能是一条曲线或一张表格,和绝对误差一样都有大小、符号及量纲。

(2) 相对误差。虽然绝对误差可以说明测量结果偏离实际值的情况,但不能确切反映测量结果偏离真实值的程度,为了克服绝对误差的这一不足,通常采用相对误差的形式表示。

相对误差包括实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

①实际相对误差。绝对误差 ΔX 与实际值 A 之比,称为实际相对误差,用 γ_A 表示为:

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

②示值相对误差。绝对误差 ΔX 与测量值 X 之比,称为示值相对误差,用 γ_X 表示为:

$$\gamma_X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

③满度相对误差。绝对误差 ΔX 与仪器满刻度 X_m 之比,称为满度相对误差或引用相对误差,用 γ_m 表示。满度相对误差是为了计算和划分电工仪表的准确度等级而引入的相对误差,其计算式为:

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

指针式电工仪表的准确度等级通常分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0共7级,分别表示仪表满度相对误差所不超过的百分比。如某万用表面板上标志为“~5.0”,表示该万用表测量交流量时的满度相对误差为 $\pm 5.0\%$,在无标准仪表对比的情况下,是不可能确定测量值的偏离方向的,所以应带有“ $\pm$ ”号。

由式 $\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$ 计算出的绝对误差是该仪表测量时可能产生的最大误差,实际测量绝对误差 ΔX 应满足:

$$\Delta X \leq X_m \gamma_m$$

$$\gamma_x \leq \frac{X_m \gamma_m}{X}$$





可见,对于同一仪表,所选量程不同,可能产生的最大绝对误差也不同。而当仪表准确度等级选定后,测量值越接近满度值时,测量相对误差越小,测量越准确。因此,一般情况下应尽量使指针处在仪表满度值的 $2/3$ 以上区域。但该结论只适用于正向线性刻度的电工仪表。对于万用表电阻挡等这样的非线性刻度电工仪表,应尽量使指针处于满度值的 $1/2$ 左右区域。

相对误差只有大小和符号,没有单位。

(3) 允许误差。一般情况下,线性刻度电工仪表的指示装置对它的测量结果影响比较大,但因其指示装置构造的特殊性,使得无论测量值是多大,产生的误差总是比较均匀的,所以线性刻度电工仪表的准确度通常用满度相对误差来表示。而对于结构较复杂的测量仪器来说,由某一部分产生极小的误差,就有可能因累积或放大等原因而产生很大的误差,因此不能用满度相对误差来表示它的准确度而用允许误差来表示它的准确度。

允许误差又称极限误差,是人为规定的某类仪器测量时不能超过的测量误差极限值,可以用绝对误差、相对误差或两者的结合来表示。例如,某一数字电压表基本量程的误差为 $\pm 0.006\% U_x \pm 0.0003\text{V}$, U_x 为读数值,它是用绝对误差和相对误差的结合来表示的。

2. 测量误差的来源

测量误差产生的原因是多方面的,主要来源包括以下几方面:

(1) 仪器误差。仪器误差是由于仪器本身及附件的电气和机械性能的不完善而引起的误差,如仪器零点漂移、刻度非线性原因引起的误差等。

(2) 使用误差。使用误差又称为操作误差,是由于安装、调节、使用不当等引起的误差,如测量时阻抗不匹配原因引起的误差等。

(3) 人身误差。人身误差是由于人为原因而引起的误差,如读错数据等。

(4) 环境误差。环境误差又称为影响误差,是由于仪器受到外界的温度、湿度、气压、振动等影响所产生的误差。





(5) 方法误差。方法误差又称为理论误差,是由于测量时使用的方法不完善,所依据的理论不严格等引起的误差。如伏—安法测量电阻(电压表后接)时,由于电流表测得的电流还包括流过电压表内阻的电流,所以电阻测量值要比电阻实际值小,由此产生的误差属于方法误差。

测量工作中,应对误差来源进行认真分析,采取相应的措施来减小误差源对测量结果的影响,提高测量准确度。

3. 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 3 类。

(1) 系统误差。相同条件下多次测量同一量时,保持恒定不变或按照一定的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。

(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剔除的。

三、电工仪表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

