

城乡电工技能培训教材

主编 孙成宝

电气仪表

马云华 王敏 编



中国电力出版社

城乡电工技能培训教材

主编 孙成宝

电 气 仪 表

马云华 王敏 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是《城乡电工技能培训教材》(一套七册)之一。

本书共分13章,主要内容包括:测量的基本知识,电气仪表的基本知识,电流表、电压表,测量电表用互感器,功率表,功率因数表,电能表,频率表,整步表,电桥,绝缘电阻表与接地电阻表,万用电表,电子示波器。为了便于培训和考核,每章之后均附有复习题。

本书除作为城乡电工、建筑电工、乡镇电工和村电工培训教材外,还可供供电单位从事电测仪表安装、调试、检修的工人阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电气仪表/孙成宝主编;马云华,王敏编. -北京:中国电力出版社,1998.9

城乡电工技能培训教材

ISBN 7-80125-849-5

I. 电… II. ①孙… ②马… ③王… III. 电工仪表-技术培训-教材 IV. TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第26802号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年1月第一版 1999年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 9.5印张 205千字

印数0001—5300册 定价14.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

国家电力公司农电发展局

关于征订《城乡电工技能 培训教材》的通知

农电[1998]18 号

各网、省电力局农电局(处):

为提高城乡电工技术素质,原电力工业部曾就开展电力工人岗位培训工作进行了部署,先后颁发了《电力工人技术等级标准》和《电力供应与使用条例》等有关标准和规范。为继续作好岗位培训工作,中国电力出版社编写出版了《城乡电工技能培训教材》丛书。本套教材突出电力行业各个岗位的培训特点,可作为全国城乡电工技能培训的教材。

本套教材将于 1998 年 11 月由中国电力出版社出版发行,希望各单位认真做好征订发行工作。

国家电力公司农电发展局

一九九八年八月十二日

序

大力开展电工技能培训,提高城乡电工的工作能力和操作技能,是电力教育培训的内容之一,也是提高劳动生产率和工作效率的重要手段。而技能培训教材的建设,是搞好培训、提高人员素质、直接为生产服务的一项重要基础工作。

随着电力事业的发展,电力系统容量的增加,城乡供用电户不断增多,新型供用电技术和设备不断涌现,对城乡电工提出更高要求。为了适应城乡电力供应安全经济运行的需要,提高城乡电工的技术素质和管理水平,由国家电力公司农电发展局和中国电力出版社共同组织编写出版了《城乡电工技能培训教材》,是城乡电工技能培训工作的一件大事。

《城乡电工技能培训教材》具有很丰富的内容。首先,本套教材的编写依据,是部颁《电力工人技术等级标准》、《电力供应与使用条例》以及有关电力生产岗位规范和国家、电力行业标准。其二,以操作技能为主线,强调实用性,从电力供应与使用实际需要和电工实际水平出发,进行设计、编写的,因此不仅适用于具有初中及以上文化程度、没有经过系统专业培训的城乡电工,而且对现场工程技术人员也有参考价值。其三,在本套教材编写、出版工作中,组织了全国基层

20 多位专家和技术人员,他们有丰富的实际经验,并具有一定的技术水平。另外,作为全国首批认定的 15 家优秀出版社之一的中国电力出版社,领导亲自挂帅,组织了 10 余位编辑班子,精心策划,全面指导,精雕细刻,因此其质量是高的。

本套教材突出电力行业和技能培训特点,针对性、适应性强,是全国城乡电工技能培训的理想教材。它的出版发行,必将对我国城乡电工培训工作的有效开展和素质提高,起推动作用。

国家电力公司农电发展局局长

杨洪义

1998 年 7 月 4 日

前 言

以提高城乡电工技能和业务技术为目的,以部颁《电力工人技术等级标准》为依据,同时结合不同工作岗位的实际情况,国家电力公司农电发展局和中国电力出版社组织有经验的电力专业技术人员编写了《城乡电工技能培训教材》(一套七册),《电气仪表》是本套培训教材之一。

本书主要介绍了测量和电气仪表的基本知识,介绍了电流表、电压表、功率表、频率表、电能表、兆欧表、万用表等电气仪表的原理、构造、使用和维护方法。

为了便于城乡电工阅读和使用,本书力求通俗易懂,考虑到仪表技术的发展,尽量介绍一些新技术和新产品,以适应城乡电工的需要。

本书由马云华、王敏编写,湖北省老河口市供电局领导及许多电工朋友给予了大力支持与帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间短促,书中难免有不妥之处,诚恳希望广大读者批评指正。

编 者

1998年7月

目 录

序 前言

第一章 测量的基本知识	1
第一节 测量的分类	1
第二节 仪表的误差	4
第三节 测量的误差	6
第四节 测量数据的处理	11
复习题	13
第二章 电气仪表的基本知识	14
第一节 电表的分类	14
第二节 电表的表面标记	17
第三节 电表的型号特征和系列代号	19
第四节 电工仪表测量的单位	28
第五节 电表的机械结构型式	29
第六节 电表的基本元件	35
复习题	50
第三章 电流表、电压表	51
第一节 直流电流、电压表	51
第二节 交流电流、电压表	58
第三节 电流的测量	63
第四节 电压的测量	65

第五节	钳形电流表	67
第六节	模拟电子电压表	69
第七节	数字电压表	72
第八节	电压质量连续监测记录仪	76
复习题		86
第四章	测量电表用互感器	87
第一节	基本概念	87
第二节	电压互感器的构造和接线	89
第三节	电压互感器的正确使用	95
第四节	电流互感器的构造和接线	100
第五节	电流互感器的正确使用	106
复习题		114
第五章	功率表	115
第一节	功率和功率表	115
第二节	功率的测量	117
第三节	1D1-W 型三相有功功率表	120
第四节	1D1-VAR 型三相无功功率表	122
第五节	电动系功率表的正确使用	123
复习题		126
第六章	功率因数表	128
第一节	概述	128
第二节	电动系流比计(比率计)的结构原理	128
第三节	D3- ϕ 型单相功率因数表	130
第四节	1D5-cos ϕ 型铁磁电动系三相功率因数表	132
第五节	变换器式功率因数表	134
第六节	功率因数表使用要点和常见功率因数表的 型号规格	135
复习题		137

第七章 电能表	138
第一节 电能表的分类	138
第二节 单相感应电能表的构造原理	138
第三节 三相有功电能表的结构特点	141
第四节 无功电能表的种类、特点和原理	145
第五节 电能表的选择与接线	148
第六节 特殊用途电能表	155
第七节 电能表的检验与安装	161
第八节 部分电能表的型号规格	166
第九节 电能电量的测量与计算	170
复习题	188
第八章 频率表	189
第一节 电动系频率表	189
第二节 铁磁电动系频率表	190
第三节 整流系频率表	192
第四节 自动记录式整流系频率表	192
第五节 频率表的型号规格	194
复习题	196
第九章 整步表	197
第一节 概述	197
第二节 1T1-S 型电磁系整步表	197
第三节 MZ10 型组合式三相整步表	204
复习题	208
第十章 电桥	209
第一节 直流电桥的分类与技术要求	209
第二节 直流单电桥工作原理	211
第三节 直流双电桥工作原理	213
第四节 直流电桥使用要点及型号规格	216

第五节 交流电桥	218
第六节 交流电桥的使用要点及型号规格	221
复习题	223
第十一章 绝缘电阻表与接地电阻表	224
第一节 概述	224
第二节 绝缘电阻表的结构与工作原理	224
第三节 绝缘电阻表的选择与使用	229
第四节 几种国产绝缘电阻表的主要技术数据	233
第五节 接地电阻表	235
复习题	248
第十二章 万用电表	249
第一节 万用电表的结构与功能	249
第二节 万用电表的使用要点	250
第三节 万用电表的型号、规格及线路	253
第四节 数字万用电表	263
复习题	273
第十三章 电子示波器	274
第一节 电子示波器的特点和类型	274
第二节 通用电子示波器的组成及基本原理	275
第三节 通用电子示波器的选择	277
第四节 通用电子示波器的使用	279
复习题	287
参考文献	288

第一章 测量的基本知识

第一节 测量的分类

人类在生产生活实践和科学实验中都离不开测量和计量，同时也制定了各种量的单位：如质量的单位是千克，长度的单位是米，体积的单位是升等等。人们科学地把计量分成长度计量、力学计量、电磁计量、无线电计量、温度计量、光学计量、声学计量、时间频率计量、放射性计量和物理化学计量十类。其中电磁计量共有八项基准，它们是电流、电动势、电阻、电容、电感、磁强、磁通和磁矩。电磁计量与其他计量的关系是互相关联不可分割的。

人们在电能的生产、传输和使用中只有通过不同电气测量仪表的检测计量，才能对电能的质量、负荷进行监视、调控，保证电能生产的安全和最佳运行状态。电磁测量技术的发展，虽然没有长度和质量测量的历史悠久，但是，人们一百多年来从发明简单的电测仪表逐渐完善、发展到较完整的电磁测量技术系统。

一、电气测量仪表的分类

电气测量仪表较常见的有以下三类。

(1) 度量器。它是复制和保存计量单位用的，是测量单位的实物复制体。如标准电池是电动势单位“伏特”的度量器；标准电阻是电阻单位“欧姆”的度量器；此外诸如标准电容、标准电感等等都是度量器。

(2) 较量器。它是将被测量与度量器进行比较后才能确定量值大小的仪器。如果不与度量器共同使用,就无法达到测量的目的。如电桥、电位差计等等都是较量器。

(3) 直读仪表。它是直接读取被测量大小的仪表。为了指示数值的准确,它要与度量器作比较进行分度,在测量过程不必再与度量器一起使用就能直接获得测量结果。像电流表、功率表、频率表等都是直读仪表。

二、测量的分类

测量就是通过物理实验的方法,将未知量与同种的单位量进行比较,比较的结果就是测量的结果,它应包括两部分:一部分是数值,另一部分是单位名称。如电工测量就是将被测的电量或磁量与同类标准电量或磁量进行比较的过程。

被测量的对象是多种多样的。因此,测量的单位也是多种多样的,测量的方法也各有不同。从获得测量结果的方法分类,所有测量均可分为如下三类。

(1) 直接测量。直接测量就是被测量的量通过仪器测量直接读出数值来,或者通过与它同种的单位量比较直接得到测量数值,都属于直接测量。

直接测量时,测量目的和测量对象是统一的。如用秤去称重量,用尺去量长度,用电流表测量电流,用功率表测量功率等等都是直接测量。在一般工程测量中,使用最多的是直接测量。

(2) 间接测量。间接测量就是被测量的量不是直接测得的,而是先测得与未知量有关的几个量,再根据它们之间的一定关系,计算出未知量。如欲求导体的电阻系数 ρ 时,由于已知导体的电阻 R 和它的长度 l 及截面积 s 之间有以下函数关系:

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1-1)$$

因此,可以通过直接测量电阻 R 、长度 l 及截面积 s 之后,即可按下面函数式计算出电阻系数:

$$\rho = R \frac{s}{l} \quad (1-2)$$

由于在许多情况下,用直接测量不能求得未知量时才采用间接测量,因此,间接测量也应用的较多。

(3) 组合测量。组合测量又叫总和测量。它是在直接测量或间接测量数值的基础上通过求解联立方程式组合后获得的。如测量标准电阻线圈的温度系数 α 和 β ,即属于组合测量。

众所周知,标准电阻线圈的电阻与温度间的关系可用下述多项式表示:

$$\begin{aligned} R_t &= R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2] \\ &\approx R_{20} + [R](t - 20)\alpha + [R](t - 20)^2\beta \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中 R_t —— $t^\circ\text{C}$ 时的电阻值, Ω ;

R_{20} —— 20°C 的电阻值, Ω ;

$[R]$ ——标准电阻线圈名义值, Ω 。

从上式可以看出,为了确定 α 和 β ,在实际工作中,按规定在给出的 t_1 、 t_2 和 t_3 三个温度区间内分别测出 R_{t_1} 、 R_{t_2} 、 R_{t_3} 的大小,可得到下列三个联立方程式:

$$R_{t_1} = R_{20} + [R](t_1 - 20)\alpha + [R](t_1 - 20)^2\beta$$

$$R_{t_2} = R_{20} + [R](t_2 - 20)\alpha + [R](t_2 - 20)^2\beta$$

$$R_{t_3} = R_{20} + [R](t_3 - 20)\alpha + [R](t_3 - 20)^2\beta$$

求解上述方程组可得:

$$\alpha = \frac{(R_{t_2} - R_{t_1})(t_3 - t_2)(t_3 + t_2 - 40) + (R_{t_3} - R_{t_2})(t_2 - t_1)(40 - t_2 - t_1)}{[R](t_3 - t_1)(t_3 - t_2)(t_2 - t_1)} \quad (1-4)$$

$$\beta = \frac{(R_{t_3} - R_{t_2})(t_2 - t_1) - (R_{t_2} - R_{t_1})(t_3 - t_2)}{[R](t_3 - t_1)(t_3 - t_2)(t_2 - t_1)} \quad (1-5)$$

组合测量方程式的数目值少等于被测量的数目，也可以更多些以提高测量精度。

我们还可以从得到测量结果的方法分为直读测量法和比较测量法。

直读测量法是从测量仪表的显示器上直接读出测量结果的方法。如在电压表上直接读出被测量电压值。直读测量法所用设备简单，读数方便，但测量精度往往受到限制。

比较测量法是被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果的方法。如用电桥测量电阻就是比较测量法。这种方法测量准确，灵敏度高，适用于精密测量。但操作过程比直读法复杂，测量仪表价格较贵。

第二节 仪表的误差

根据误差产生的原因，仪表误差可分两大类。

(一) 仪表基本误差

仪表在正常温度、设置方式、大气压力、频率和波形下工作，且有存在外界电场或磁场的影响（含地磁影响）。在此条件下，由于可动部分的摩擦、标度尺刻度不准、零件装配不当等原因造成的误差都是基本误差。这些基本误差可以说是仪表固有的一种误差。

影响基本误差的主要因素有：

(1) 摩擦误差。它是轴尖轴承支承式仪表的主要误差之一。摩擦误差的数值是很不稳定的，最大的摩擦误差可近似认为等于变差的一半。产生变差的原因除摩擦外也可能有磁

滞、游丝弹性变化等。

(2) 倾斜误差。由于轴尖支承的仪表存在轴尖与轴承间隙，导致转轴倾斜偏转而造成的误差。

(3) 不完全平衡误差。由于可动部分的重心和转轴不完全重合而使仪表产生的附加力矩。

(4) 标度的分度和装配不正确造成的误差。

(5) 反作用力矩零件由于受热或其它原因产生残余变形而造成的误差。

(6) 内部电磁场影响造成的误差。

(7) 在有铁芯磁材料的仪表中，由于磁滞影响所造成的误差。

(8) 读数的误差。

(二) 附加误差

当仪表的工作偏离了额定的正常条件，如温度、频率、波形等的变化超出了规定的条件，工作位置不正、存在外电场或外磁场的影响时，都会造成额外误差。这种由于工作条件改变而造成的额外误差，叫做仪表的附加误差。

造成附加误差的主要因素有：

(1) 温度附加误差。因周围环境温度偏离了规定条件而产生的误差。如：

1) 测量机构线圈的电阻和附加电阻随温度变化。

2) 游丝（或张丝）的弹性、阻值、长度的变化。

3) 永久磁铁磁通的变化。

4) 涡流损耗、磁滞损耗的变化。

5) 测量机构的零件尺寸和相对位置的变化。

(2) 频率附加误差。频率的变化导致回路中的电抗发生变化，因而使测量机构和测量线路的电流产生磁通变化而产

生的附加误差。

(3) 外界电场引起的附加误差。外界电场造成的附加转矩，主要对静电系仪表影响尤为显著，一般可采用金属的外屏蔽来消除。

(4) 外界磁场引起的附加误差。外界磁场使仪表产生附加转矩，而产生的附加误差。

第三节 测量的误差

人们在进行任何测量的时候，由于设备、方法、环境等因素的不同或多或少的会影响测量，使结果失真产生误差，所以说一切测量均不可能百分之百的精确。如我们对某一物理量或某一被检测的量具进行多次测量时，各次测量的结果都不相同，这个差值就是测量误差。一切测量都带有误差，误差存在于测量的全过程之中。这就是误差公理。因此，我们在得出一项测量结果的时候，测量结果与真值之间总是存在一定的偏差（即误差）。测量误差有各种不同的分类方法。

一、根据误差的表示方法分类

（一）绝对误差

绝对误差是测得的值与真值的差，即

$$\text{测量误差} = \text{测得值} - \text{真值}$$

这是普通最常见的误差。它可能是正值，也可能是负值，其符号取决于测得值的大小。测量误差的大小决定了测量的精确程度。误差愈小，说明测量愈准确。列关系式如下：

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1-6)$$