



电工技术入门丛书

电工仪表的使用入门

林向淮 主编

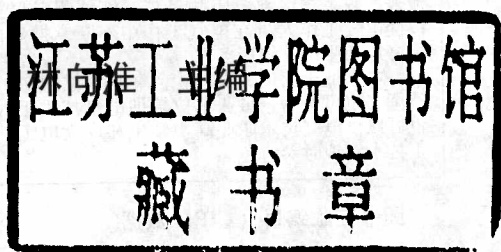


中国电力出版社

www.cepp.com.cn

● 电工技术入门丛书

电工仪表的使用入门



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是一本电气技术普及读物, 针对电工常用的仪表分门别类地进行分析讲解, 并结合实际应用, 重点讲解了仪表的测量使用方法。

本书的主要内容有磁电系、电磁系、电动系仪表的测量原理, 指针式万用表的测量使用方法, 数字式万用表的使用方法, 电能表的原理及接线方法, 绝缘电阻表的原理及测量使用, 接地电阻测量仪的原理及使用, 直流单、双臂电桥、功率表、相位表、钳形电流表的原理及使用等。书中还结合低压维修电工的实际工作, 编写了有关仪表的具体应用实例, 这对提高维修电工的实际操作能力会有一定的帮助。

目前, 电子技术、大规模集成电路的应用发展。使得数字式仪表的种类越来越多, 也越来越普及。为了帮助读者更好地掌握使用好数字式仪表, 本书还介绍了数字式万用表、数字式钳形电流表、数字式接地电阻测量仪、红外测温仪等的测量使用方法, 以使电气工作人员在电气工作中不断掌握新的科学知识和技能, 更好地为生产一线服务。

本书适于工矿、农村、企事业单位的初、中级电气技术工人阅读, 也可作为企事业单位培训电气技术工人的辅助教材, 同时也可以供电气技术职业高中学生和广大电工、电子爱好者学习电工技术知识时参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工仪表的使用入门 / 林向淮主编. —北京: 中国电力出版社, 2008.4

(电工技术入门丛书)

ISBN 978 - 7 - 5083 - 6737 - 8

I. 电… II. 林… III. 电工仪表 - 使用 IV. TM930.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 016256 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 4 月第一版 2008 年 4 月北京第一次印刷
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 8.625 印张 229 千字
印数 0001—3000 册 定价 17.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

随着科学技术的不断进步发展,社会各行各业不仅对高级电气技术人才需求量加大,对初、中级电气技术人才的需求量也越来越大。这就要求初、中级电气技术人员能够跟上科技发展的步伐,不断更新知识,掌握最新的科技成果,成为具有一定基本理论知识,有较强的实际操作能力的技能型、实用型电气技术人才。

目前,我国的初、中级电气工人的素质并不十分高,总量不足,年龄老化,复合型人才匮乏,供需比例严重失调的矛盾已经越来越突出。以北京市为例,到2010年需要技能型人才总量将达到226.3万人,与目前的186.7万人相比,缺少39.6万人。因此,国家将在“十一五”期间,加大对职业教育和职后培训的投入,完善劳动就业准入制度和职业资格证书制度,同时,提高技能型人才的社会地位和经济收入。

有鉴于此,我们编写了本书,目的是给正在或准备从事电气技术工作的人员,提供一些基础理论知识和技能方面的帮助,提高其理论和实操能力,以满足社会需求。

《电工仪表使用入门》一书,主要针对一些电气测量工作中经常接触到的电工仪表的使用方法方面的问题给读者提供一定的理论知识和操作指导,帮助读者解决实际问题,以使读者在实践中更熟练、更安全、更好地完成电气设备调试、检测、维修等工作。

本书可作为企、事业单位培训电气技术工人的辅助教材,也可供初、中级电气技术工人作为提高能力的自学辅助读物使用,同时也可作为电气职业高中、中专、技校的学生和其他喜爱电气技术的电子爱好者学习电工技术知识时的参考。

本书由林向淮主编并进行统稿、审阅和修改。参加本书的

编写人员有赵进京、张文升、李晓洁、袁梅、杨达等。本书在编写过程中还得到了叶孔伟的帮助指导，在此表示感谢。

因学识、能力之所限，书中一定存在不当或错误之处，恳请读者批评指正，以便及时修改，把这本书的质量做得更好。

编写人员有赵进京、张文升、李晓洁、袁梅、杨达等。本书在编写过程中还得到了叶孔伟的帮助指导，在此表示感谢。

编写人员有赵进京、张文升、李晓洁、袁梅、杨达等。本书在编写过程中还得到了叶孔伟的帮助指导，在此表示感谢。

编写人员有赵进京、张文升、李晓洁、袁梅、杨达等。本书在编写过程中还得到了叶孔伟的帮助指导，在此表示感谢。

编写人员有赵进京、张文升、李晓洁、袁梅、杨达等。本书在编写过程中还得到了叶孔伟的帮助指导，在此表示感谢。

编写人员有赵进京、张文升、李晓洁、袁梅、杨达等。本书在编写过程中还得到了叶孔伟的帮助指导，在此表示感谢。

编写人员有赵进京、张文升、李晓洁、袁梅、杨达等。本书在编写过程中还得到了叶孔伟的帮助指导，在此表示感谢。

目 录

前言

第一章 电气测量基本知识	1
第一节 电气测量概述	1
第二节 测量误差分析	4
第二章 电工指示仪表的分类和结构	9
第一节 电工仪表的分类和技术要求	9
第二节 电工指示仪表的基本结构	17
第三节 磁电系仪表的测量机构与原理	21
第四节 电磁系仪表的测量机构与原理	26
第五节 电动系仪表的测量机构与原理	32
第六节 整流系仪表的测量机构与原理	36
第三章 电压表与电流表的使用	39
第一节 电压表和电流表的选择	39
第二节 直流电流、直流电压的测量	42
第三节 交流电流、交流电压的测量	45
第四节 钳形电流表	50
第四章 万用表的结构和测量使用	61
第一节 指针式万用表的结构和测量使用	61
第二节 数字式万用表的测量使用	72
第三节 万用表测量使用实例	96
第五章 绝缘电阻表的原理及使用	132
第一节 指针式绝缘电阻表的结构及原理	133
第二节 指针式绝缘电阻表的使用	136
第三节 数字式绝缘电阻测量仪	148
第六章 接地电阻测量仪的原理及使用	153
第一节 ZC—8 型接地电阻测量仪的结构和工作原理	

.....	154
第二节 接地电阻测量仪的使用方法	155
第三节 数字式钳形接地电阻测量仪	162
第七章 电能表的使用及接线	168
第一节 电能表概述	168
第二节 单相有功电能表的结构和工作原理	172
第三节 单相有功电能表的接线及安装要求	177
第四节 单相有功电能表配电流互感器的接线	182
第五节 三相有功电能表的结构和工作原理	184
第六节 三相有功电能表配电流互感器的接线	190
第七节 三相无功电能表的接线	195
第八节 电能表常见的错误接线分析	200
第九节 预付费电能表的结构和工作原理	208
第八章 其他电工仪表的使用	225
第一节 功率表的原理及使用	225
第二节 直流单臂电桥	232
第三节 直流双臂电桥	237
第四节 频率表、相位表和功率因数表	241
第五节 红外测温仪	251
第六节 相序检测仪	260
第七节 转速表的使用	263
参考文献	270

第一章 电气测量基本知识

第一节 电气测量概述

在科学实验和工业生产过程中及各种设备运行、维护检修中,为了及时了解工艺过程、生产过程的情况或设备运行是否良好,需要对被控对象特征的某些参数进行测量,其目的是为了准确地获得定性、定量的信息,为生产过程、科学研究及设备运行提供可靠的数据。

现代测量技术无疑要使用仪器仪表,各种各样的仪器仪表是人们用来获得被测设备各种信息的装置,是人类感觉器官的延伸和扩展,是人们认识自然、改造自然的一种重要手段。概括而言,所谓测量是人们对事物获取准确数据及量值的过程。具体地说,测量是把待测量与已经确定的同类标准量进行量度或比较的过程。在这个过程中,必须去伪存真,去粗取精,然后才能得到所需要的且较为满意的真实测量结果。

一、电工测量的主要对象

电工测量的主要对象有电流、电压、电功率、电能和功率因数等电量,电阻、电容及电感等电路参数,波形、频率、相位等电信号特性参数,以及温度、湿度、转速等非电量等。测量原理是根据电磁现象的客观规律,通过对应的基本电路,借助一定的测量仪表仪器或设备,对各种电量、磁量、电路及信号特性参数进行量度;或者通过一定的变换,对某些非电量进行测量,以获取到真实的量值。在现代高科技社会中,无论在国民经济领域里还是在日常生活中,都离不开电工测量。随着电

气化、自动化程度的不断提高，电工测量的重要地位也越来越凸显出来。比如，现代化生产过程中的合理操作和设备的正常运行，科学研究领域里验证所研究对象的正确性，以及保证和提高人们日常生活的质量等，都离不开真实可靠的电工测量。由于电工测量具有测量范围广、准确度高、使用方便，并能实现遥测、遥控等优点，因此，在科研、生产及日常生活中得到非常广泛的应用。

二、电工仪表的发展概况

利用电磁力使指针偏转来达到测量目的的仪表，通常称为机械式指示仪表。这种传统的指示仪表，一般由测量机构和测量电路组成。同一测量机构配置不同的测量电路，便可以进行不同电量的测量。由此可见，测量机构是指示仪表的核心。指示仪表历史悠久，结构简单，价格便宜，至今仍广泛地应用于电工测量领域。但是，指示仪表指针的偏转需要一个足够大的电磁力，这样，就使得通过仪表的电流相对较大，仪表的灵敏度就不会太高。同时，对于与被测电路并联测量的指示仪表，由于输入阻抗不可能太大，或对于与被测电路串联测量的指示仪表，输入阻抗又不可能太小，因此，其精确度也就不可能太高。此外，指示仪表的测量速度相对较慢，允许的频带宽度也不很宽。所有这些局限性，都满足不了技术指标较高且精度要求又较高的电工测量。随着电子技术的飞速发展，各种数字式电工测量仪表已经研制出来，并且得到了大量使用。由于数字式仪表具有灵敏度高，输入阻抗大，频率范围宽，测量速度快，显示清晰直观，操作方便及抗干扰能力强等诸多优点，因此，数字式仪表不仅正在迅速发展起来，而且已与指示式仪表并驾齐驱。此外，数字式仪表具有积木式结构特点，在数字基本表的基础上，通过与交、直流（AC/DC）转换器，电流、电压（I/V）转换器，电阻、电压（R/V）转换器，频率、电压（f/V）转换器等配套，便可以扩展成为不同电工测量功能的数字式仪表。

而与电子计算机配套的智能化数字式仪表,更能承担和自动完成测量、校正、查询、故障检测等一系列操作。

随着科学技术和生产技术的不断发展,电气测量技术将继续不断进步。电工仪表的微型化、数字化、智能化、网络化是今后的发展趋势,其性能将向高精度、高可靠性、多功能、高环境适应性发展。

三、常用测量方法

一个电气参数的测量可以用不同的方法来实现。测量方法的选择,一般与被测量的特性、测量条件及准确度等要求有关。根据获得测量结果的方法不同,一般将测量方法分为以下几类:

1. 直接测量法

使用有相应单位刻度的仪表对被测量进行测量,能够直接获得被测量大小的测量方法叫直接测量法。例如用电流表测量电流,电压表测量电压,欧姆表测量电阻等都属于直接测量法。直接测量法广泛用于工程测量中。

2. 间接测量法

通过测量几个与被测量具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大小,这种测量方法叫间接测量法。例如用伏安法测量电阻时,先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。一般当被测量不能直接测量或直接测量很复杂时,多采用间接测量法。

3. 比较测量法

将被测量与标准量进行比较,从而获得被测量的大小的测量方法叫比较测量法。其特点是量具直接参与测量过程。

根据被测量与标准量(标准量具之值)的比较方法不同,比较测量法又分以下几种:

1) 差值法。这种方法是从测量仪表直接读出被测量与已知标准量的差值或正比于此差值的量,从而确定被测量的大小。

例如用电桥测量电阻。

2) 零值法。在测量过程中,通过改变标准量使它和被测量相等,即差值为零时,确定出被测量数值的方法叫做零值法。例如用电位差计测量电动势。

3) 替代法。在测量过程中,用已知标准量去替代被测量,使仪表的指示值恢复到原状态,这时被测量等于已知标准量,这种测量方法叫做替代法。

4) 重合法。这种方法是将被测量的一系列记号或信号,与已知的标准记号或信号相比较,并观察其重合情况,在此基础上求出被测量的值。比较测量法的准确度高,但操作麻烦,设备复杂,一般常用于精密测量和仪表校验。

第二节 测量误差分析

人们在生活或生产实践中经常会接触到各种物理量的测量,而测量的目的就是要获得被测量的真实值,简称真值。所谓真值,就是一个物理量在一定的时间和环境条件下,所呈现的客观大小或真实数值。但在实际测量中,由于测量工具不够准确,测量方法不够完善及其他各种因素的影响,例如测量者的经验和识别能力的局限性,测量结果不可能是被测量的真实值,而只是它的近似值,测量值与被测量的真实值之间的差异叫做测量误差。

一、测量误差的表示方法

电气测量误差的表示方法有3种:绝对误差、相对误差和引用误差。下面分别介绍:

1. 绝对误差

仪表的指示值(测得值) A_x 与实际值(真值) A_0 之间的差值称为绝对误差,以 ΔA 表示,即

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

计算 ΔA 时, 通常把标准仪表的指示值当做被测量的实际值。由式 (1-1) 可得

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

$$\text{令 } C = -\Delta A \quad (1-3)$$

式中 C ——更正值 (或修正值), 它与绝对误差大小相等, 符号相反。

引入更正值后, 可以对仪表的指示值进行校正, 以消除误差。

2. 相对误差

绝对误差 ΔA 与实际值 A_0 之比称为相对误差。相对误差没有单位, 通常用百分数来表示, 用符号 γ 表示相对误差。则

$$\gamma = \Delta A / A_0 \times 100\% \quad (1-4)$$

由于在一般情况下指示值与实际值比较接近, 因而当实际值 A_0 难以确定时, 可以用指示值 A_x 代替, 这时的相对误差为

$$\gamma = \Delta A / A_x \times 100\% \quad (1-5)$$

例如, 有一电路其电流实际值为 100A, 用甲电流表测量时指示值为 101A, 用乙电流表测量时指示值为 98A, 而用丙电流表测量一个实际值为 10A 的电路电流时, 电流表指示值为 9.5A。试分别求它们的绝对误差和相对误差。

解: $\Delta A_{\text{甲}} = (101 - 100) \text{A} = 1\text{A}$

$$\gamma_{\text{甲}} = \Delta A_{\text{甲}} / A_0 \times 100\% = 1/100 \times 100\% = 1\%$$

$$\Delta A_{\text{乙}} = (98 - 100) \text{A} = -2\text{A}$$

$$\gamma_{\text{乙}} = \Delta A_{\text{乙}} / A_0 = -2/100 \times 100\% = -2\%$$

$$\Delta A_{\text{丙}} = (9.5 - 10) \text{A} = -0.5\text{A}$$

$$\gamma_{\text{丙}} = \Delta A_{\text{丙}} / A_0 \times 100\% = -0.5/10 \times 100\% = -5\%$$

由以上计算可知, 测量同一个量 (例如甲表和乙表), 绝对误差越小结果越准确。如果测量大小不同的量 (例如甲表和丙表), 用绝对误差就不能比较测量结果的准确程度, 这时就要用

相对误差了。相对误差的绝对值越小，表示测量的准确度越高。

3. 引用误差

相对误差可以表示测量结果的准确程度，但却不能反映仪表本身的准确程度。这样便提出了引用误差的概念。绝对误差与仪表量程上限之比称为引用误差，一般用 γ_m 表示（结果用百分数表示），即

$$\gamma_m = \Delta A / A_m \times 100\%$$

式中 A_m ——代表量程的上限值，也就是满刻度值。

由于引用误差的分母 A_m 是固定的，故用它来比较测量不同大小被测量之间的精确程度就更简便了。

二、误差的分类和来源

根据误差性质的不同，测量误差一般可分为 3 类，每一类误差产生的原因各不相同。

1. 系统误差

系统误差是指在同一条件下，多次测量同一量时，误差大小和符号均保持不变，或条件改变时，其误差按某一确定的规律而变化的误差。系统误差主要是由于测量仪器仪表的准确度不高、测量方法的不完善和测量环境不良等引起的。

2. 随机误差

随机误差又称偶然误差，它是指在相同条件下多次重复测量同一量时，误差时大时小，符号时正时负，没有确定的变化规律，无法控制也不能预知其大小和符号的误差。

随机误差的来源和系统误差相同，所不同的是随机误差的产生是由于各种互不相干的独立因素随机起伏变化而引起的。例如，电源电压的波动、磁场的微变、温度的微变、大地的微震、空气流的变化扰动等，都会产生随机误差。

3. 疏失误差

疏失误差是一种严重歪曲了测量结果的异常误差。疏失误差的来源主要是测量者的粗心、疏忽。例如不正确的操作方法，

读数错误，记错、算错数据等。

三、减小或消除误差的方法

测量误差是不可能绝对消除的，但要尽可能使误差减小到测量允许的范围内。

减小测量误差，应根据误差的来源和性质采取相应的措施和方法。

1. 减小系统误差的方法

1) 对测量仪器仪表进行校正。在准确度要求高的测量中，引用修正值进行修正。

2) 消除产生误差的根源。正确选择测量方法和测量仪器，尽量使测量仪器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。实际测量中可根据测量仪器仪表不同和被测量不同，采用不同的测量方法来达到减小误差的目的，如正负误差补偿法、等值替代法、换位消除法、对称观测法等。例如，用电流表测电流时，考虑到外磁场对读数的影响，可以把电流表放置的位置转动 180° ，分别进行两次测量。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. 减小随机误差的方法

随机误差都服从统计规律。统计规律的性质之一是，随着测量次数的增多，绝对值相等、符号相反的随机误差出现的次数趋于相等，特别是当测量次数趋于无穷时，其总体平均值趋近于零。这一性质称为随机误差的抵消性，根据这一特性，可以借助增加重复测量的次数，来减小随机误差（一般测量次数 $10 \sim 20$ 次即可）。

3. 疏失误差的防止

防止产生疏失误差，首先要求测量者应以高度的工作责任

心和严格的科学态度从事测量工作；其次应严格按照测量操作程序和操作规程进行测量工作；测量完毕，应对测量结果进行校对。若测量中出现了疏失误差，则该测量结果应该抛弃。必要时应重新测量。

第二章 电工指示仪表的分类和结构

电工仪表是实现电气测量过程所需仪表的总称。电工专业领域中,人们经常使用的是电工指示仪表和数字式仪表,本章主要介绍几种常用的电工指示仪表的结构和测量原理。有关数字式仪表的使用将在后面有关章节中进行介绍。

第一节 电工仪表的分类和技术要求

一、常用电工仪表的分类、标志、型号

1. 电工仪表的分类

电工仪表的种类繁多,分类方法也各有所异。按照电工仪表的结构和用途等方面的特性,大体上可以分为4类:

(1) 指示仪表(又称模拟式仪表) 指示仪表是应用最为广泛的一类电工仪表。各种交直流电压表、电流表和万用表等大多数为指示仪表。指示仪表的特点是,将被测电量转换为驱动仪表可动部分偏转的转动力矩,以指针偏转角的大小反映被测电量的大小,使操作人员可以从标度尺直接读数。所以,指示仪表是一种直读式仪表。

(2) 数字式仪表 数字式仪表是最近十几年发展起来的一种新型电工仪表,它的种类繁多,已经包含了指示仪表所能测量的各种电气参数,如各种数字式交直流电压表、电流表和数字式万用表,以及数字式绝缘电阻表等。数字式仪表的特点是,电路采用了大规模集成电路,将被测模拟信号转换成数字信号,通过液晶显示屏直接读数,省掉了永久磁铁和偏转机构。数字

式仪表比相同功能的指示仪表重量轻、体积小、精度高、使用方便。

(3) 比较仪表 比较仪表是将被测量与已知量进行比较而得到测量结果的仪表，如各种电桥、电位差计等。

(4) 其他电工仪表 除了指示仪表和数字式仪表及比较仪表3大类外，常见的电工仪表还有积算式仪表，记录式仪表，以及一些用于扩大仪表量程的装置，如分流器、测量用的互感器等。

2. 电工指示仪表的分类

1) 按仪表工作原理分类，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) 按仪表测量对象分类，可以分为电流表、电压表、功率表、电能表、电阻表等。

3) 按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) 按仪表使用方式分类，可以分为安装式仪表和便携式仪表。

5) 按仪表使用条件分类，可以分为 A、A₁、B、B₁、C 五组，五个组别的仪表的使用条件分类表见表 2-1。

6) 按仪表准确度等级分类，可以分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共 7 个等级。

表 2-1 仪表的使用条件分类表

分类组别		A 组	A ₁ 组	B 组	B ₁ 组	C 组
环境条件		0 ~ +40		-20 ~ +50		-40 ~ +60
工作条件	温度/℃	0 ~ +40		-20 ~ +50		-40 ~ +60
	相对湿度 (%)	95	85	95	85	95
	(当时温度/℃)	(+25)	(+25)	(+25)	(+25)	(+25)
	霉菌、昆虫	有	没有	有	没有	有
	盐雾	没有	没有	*	没有	*
工作条件	凝露	有	没有	有	没有	有
	尘砂	有 (轻微)	有 (轻微)	有 (轻微)	有 (轻微)	有