



普通高等教育“十二五”规划教材



电工测试基础

(第二版)

刘青松 李巧娟 主 编
侯 锐 李一峰 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电工测试基础

(第二版)



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书主要介绍了电工测试的基础知识，全书内容共分八章，具体包括电工仪表及测量的基本知识、常用电测量指示仪表、电能表与互感器、常用数字式仪表、电工测试技术、电量与电参数的测量、智能测试技术以及电工实验。

本书内容丰富，系统性和实用性强，可作为高等学校电气类、自动化类、电工电子及相近专业本科教材，也可供相关专业的高职高专院校及工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工测试基础/刘青松, 李巧娟主编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2011. 2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-1398-9

I. ①电… II. ①刘… ②李… III. ①电气测量-高等学校-教材
IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 025323 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 9 月第一版

2011 年 5 月第二版 2011 年 5 月北京第七次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 368 千字

定价 26.00 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

本书是在第一版基础上重新修订而成的。本书在内容体系、广度、深度等方面，以更好地服务于教学的系统性、适应性、前瞻性为原则，注重理论联系实际，强调实际应用。

在对第一版的修订过程中，根据电工测试课程的性质和地位、电类专业的需求和电工测试技术的发展，从打好基础、保持先进、加强应用、培养能力出发，精选和强化了课程内容，注重测试的基本概念、测试的基本方法和常用仪表的阐述，为适应测试技术的发展和生产的需要，增加了数字式仪表的知识介绍。另外，作者总结多年实践教学的经验，并认真吸取各兄弟院校同类课程实验指导书的优点，新编写了部分电工实验，作为第八章的内容。

本书比较详细地介绍了测量的基本知识，测量误差的概念，电工仪表的基本知识，目前电工测试中常用的模拟式仪表的基本结构和基本原理，仪表的选择、测试电路的设计、安全用电知识，以及用仪表测量相关电气参数的原理及方法；介绍了常用数字式仪表的原理、智能电测量仪表的组成及智能测试技术等；在第八章中还介绍了部分电工实验的内容。本次修订更注重理论联系实际，强调实际应用仪表和实际应用电路原理的介绍和举例。

本书共八章，第一～三章由山西大学李巧娟编写；第四～七章由嘉兴学院刘青松编写，第八章由广东海洋大学李一峰和嘉兴学院侯锐共同编写。另外，嘉兴学院的童佳、吴伟雄、孙红贵、程海玉、张建新、朱丽军、许聚武也参与了本书部分内容的选编工作。全书由刘青松统稿，清华大学赵伟教授、嘉兴学院曹泰斌教授主审，提出了许多宝贵意见和修改建议，在此深表谢忱。

在本书的编写过程中，得到了嘉兴学院机电工程学院院长钱苏翔教授、冯小宁教授以及相关领导和教师的大力支持，谨向他们表示诚挚的谢意。

由于水平有限，书中难免有不妥或错误之处，恳请读者批评指正。

编者

2011年1月



第一版前言

本书是普通高等教育“十五”规划教材，是结合当前电类专业“电工测试技术”课程实践教学需求编写的，本书在内容体系、广度、深度等方面以教学的系统性、适应性、前瞻性为原则，并在编写过程中注重理论联系实际，注重实际应用。

本书首先介绍了测量的基本知识，测量误差的分析，电工测试中常用的模拟式仪表如磁电系仪表、电磁系仪表、电动系仪表、电能表及互感器的基本结构和基本原理，然后介绍了仪表的选择、测试电路的设计、安全用电知识以及用这些仪表测量相关电气参数的原理及方法，并介绍了数字式仪表的原理、电测量智能仪表的组成及智能测试技术。此外，在附录中还介绍了非电量的电测试技术。

本书第四、七、九、十章及附录由刘青松编写，第一、二、三、五、六章由李巧娟编写。全书由刘青松统稿，由田震教授主审。

本书以电工测试的原理、方法为主线，内容丰富、系统性和实用性强。可作为高等学校电气工程类、自动化类、电工电子类及相近专业本、专科的教材，也可供相关专业工程技术人员参考。

在编写的过程中得到了山西大学工程学院副校长石生教授、李崇贺教授等许多专家、教授和同行的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中难免有不妥或错误之处，恳请读者批评指正。

编者

2004年4月

目 录

前言

第一版前言

第一章 电工仪表及测量的基本知识	1
第一节 电工仪表的基本原理与组成	1
第二节 仪表的误差及准确度	4
第三节 电工仪表的标志及技术要求	8
第四节 电工测量的基本知识	11
第五节 测量误差及消除方法	12
第六节 试验数据的处理及误差估算	15
思考题和练习题	19
第二章 常用电测量指示仪表	21
第一节 磁电系仪表	21
第二节 电磁系仪表	26
第三节 电动系仪表	33
第四节 功率表、频率表、相位表	37
第五节 电阻表	47
第六节 万用表	53
第七节 电桥	57
思考题和练习题	64
第三章 电能表与互感器	66
第一节 单相感应系电能表	66
第二节 三相有功电能表	69
第三节 三相无功电能表	70
第四节 电能表的使用	72
第五节 仪用互感器	74
思考题和练习题	80
第四章 常用数字式仪表	82
第一节 概述	82
第二节 模/数转换器	83
第三节 数字电压表	90
第四节 电子计数器	99
第五节 数字万用表的测量原理	103
第六节 数字功率表	107
第七节 数字式电能表	110

第八节 数字式绝缘电阻表·····	112
思考题和练习题·····	113
第五章 电工测试技术 ·····	115
第一节 仪表仪器的选择·····	115
第二节 实验项目的设计·····	119
第三节 故障检测·····	120
第四节 安全用电知识·····	123
思考题和练习题·····	132
第六章 电量与电参数的测量 ·····	133
第一节 电压与电流的测量·····	133
第二节 功率和电能的测量·····	135
第三节 频率和相位的测量·····	140
第四节 电阻的测量·····	143
第五节 电感的测量·····	146
第六节 电容的测量·····	149
思考题和练习题·····	152
第七章 智能测试技术 ·····	154
第一节 智能测试技术概述·····	154
第二节 A/D、D/A 转换器 ·····	157
第三节 智能仪表的常用算法及软件设计·····	162
第四节 智能电测量仪表·····	171
思考题和练习题·····	179
第八章 电工实验 ·····	180
实验一 基本电工仪表的使用与测量误差的计算·····	182
实验二 基尔霍夫定律的验证·····	185
实验三 线性电路叠加性和齐次性的研究·····	187
实验四 戴维南定律和诺顿定理的验证·····	188
实验五 线性受控电源特性的实验研究·····	192
实验六 RC 一阶电路暂态过程的研究 ·····	196
实验七 二阶电路暂态过程的研究·····	198
实验八 单相正弦交流电路的分析·····	199
实验九 RLC 串联谐振电路 ·····	202
实验十 互感线圈电路的研究·····	205
实验十一 三相交流电路电压、电流的测量·····	207
实验十二 三相电路功率的测量·····	209
实验十三 功率因数表的使用及相序测量·····	212
实验十四 双口网络测试·····	214
实验十五 三相异步电动机的控制实验·····	217
实验十六 三相异步电动机的星形—三角形启动实验·····	219

实验十七 三相异步电动机制动控制·····	220
实验十八 波形变换器的设计（设计型实验）·····	222
实验十九 简单万用表的设计（设计型实验）·····	224
实验二十 运算放大器的使用（综合性实验）·····	226
实验二十一 电路的直流工作点分析和交流频率分析（仿真实验）·····	229
实验二十二 一阶电路过渡过程分析（仿真实验）·····	231
参考文献 ·····	234

第一章 电工仪表及测量的基本知识

在电能的生产、传输、分配和使用等各环节中，都需要通过电工仪表对系统的运行状态（如电能质量、负荷情况等）加以监测，从而保证系统安全而又经济地运行，所以人们常把电工仪表和测量称作电力工业的眼睛和脉搏。电工仪表和测量技术是从事电气工作的技术人员必须掌握的专门知识。本章主要介绍电工仪表及测量的基本知识。

第一节 电工仪表的基本原理与组成

进行电学量或磁学量测量所需的仪器仪表，统称电工仪表。

一、电工仪表的分类

电工仪表仪器种类繁多，但归纳起来，按其结构、原理和用途大致可分为以下几类：

1. 电测量指示仪表

电测量指示仪表又称为直读仪表。这种仪表的特点是先将被测量转换为可动部分的角位移，然后通过可动部分的指示器在标尺上的位置直接读出被测对象的量值。如交直流电压表、电流表、功率表都属于这种仪表。指示仪表又可按不同分类方法分为以下几种类型：

(1) 按仪表工作原理，可分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系、热电系、整流式、电子式等。

(2) 按用途，可分为电流表、电压表、功率表、电能表、功率因数表、频率表、相位表、绝缘电阻表（俗称兆欧表）及万用表等。

(3) 按被测电流的种类，可分为直流表、交流表及交直流两用表等。

(4) 按使用环境条件，可分为 A、A1、B、B1、C 五个组，其中 C 组对应的环境条件最恶劣。

(5) 按使用方式，可分为安装式、便携式等。

(6) 按防御外界电场或磁场的性能，可分为 I、II、III、IV 四个等级。I 级仪表在外磁场或外电场的影响下，允许其指示值改变 $\pm 0.5\%$ ；II 级仪表允许改变 $\pm 1.0\%$ ；III 级仪表允许改变 $\pm 2.5\%$ ；IV 级仪表允许改变 $\pm 5.0\%$ 。

除上述分类法外，还有其他的分类方法。

2. 比较仪器

比较仪器用于比较测量，它包括各类交直流电桥和交直流补偿式测量仪器。比较类仪器测量准确度比较高，但操作过程复杂，测量速度较慢。

3. 数字式仪表

数字式仪表也是一种直读式仪表，它的特点是将被测测量转换成数字量，再以数字方式显示出测量结果。数字仪表的准确度高，读数方便。有些数字式仪表还具有自动量程切换和编码输出功能，便于用计算机进行处理，容易实现自动测量。

4. 记录仪表

用来记录被测量随时间的变化情况,如示波器、X—Y 记录仪。

5. 扩大量程装置和变换器

扩大量程的装置有分流器、附加电阻、电流互感器、电压互感器等。变换器用来实现不同电量之间的变换,或将非电量转换为电量。

二、电测量指示仪表的组成和基本原理

1. 组成

电测量指示仪表通常由测量电路和测量机构两部分构成,其组成框图如图 1-1 所示。

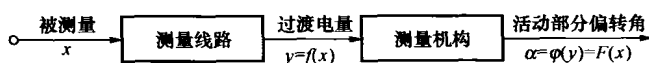


图 1-1 电测量指示仪表的组成

(1) 测量电路。测量电路的作用是将被测量 x 转换为测量机构可以接受的过渡量 y ,如电压表的附加电阻、电流表的分流电阻都是测量电路。

测量电路通常由电阻、电感、电容或电子元件组成,不同仪表的测量电路是不同的。

(2) 测量机构。测量机构(表头)是仪表的核心部件,各种系列仪表的测量机构都是由固定部分及活动部分组成,它的作用是将接收到的过渡量 y 变换为活动部分的角位移即偏转角 α 。由于测量电路中的 x 和 y 与测量机构中的 y 和 α 能够严格保持一定的函数关系,所以根据偏转角的大小,就可确定被测量的量值。

2. 测量机构的工作原理

为使测量机构的活动部分按接收到的被测量的大小偏转到某一相应的稳定位置,电测量指示仪表的测量机构工作时都具有三种力矩,即转动力矩、反作用力矩和阻尼力矩。

(1) 转动力矩。在被测量的作用下,使活动部分产生角位移的力矩称为转动力矩,用 M 表示。该力矩可以由电磁力、电力、电场力或其他力来产生。产生转动力矩的方式原理不同,就构成磁电系、电磁系、电动系、感应系等不同系列的电测量指示仪表。但不论哪种系列的仪表,其转动力矩 M 的大小都与被测量成一定比例关系。

(2) 反作用力矩。在转动力矩的作用下,测量机构的活动部分发生偏转,如果没有反作用力矩与之平衡,则不论被测量有多大,活动部分都要偏转到极限位置,就像一杆不挂秤砣的秤,不论被测量多大,秤杆总是向上翘起,这样只能反映出有无被测量,而不能测出被测量的大小。为了使仪表能测出被测量的量值,活动部分偏转角的大小应与被测量大小有确定的关系。为此,需要一个方向总是和转动力矩相反、大小随活动部分的偏转角大小变化的力矩,这个力矩称为反作用力矩,用 M_a 表示。

在一般仪表中,反作用力矩通常由游丝(即螺旋弹簧)产生;在灵敏度较高的仪表中,反作用力矩由张丝或吊丝产生。此时,反作用力矩 M_a 与活动部分的偏转角成正比,即

$$M_a = D\alpha \quad (1-1)$$

式中 α ——偏转角;

D ——常数,取决于游丝、吊丝或张丝的材料与尺寸。

在转动力矩的作用下,活动部分开始偏转,使游丝扭紧,因而反作用力矩随之增加,当转动力矩和反作用力矩相等时,活动部分将处于平衡状态,偏转角达到一稳定量值,这时

$$M = M_a$$

则

$$\alpha = \frac{M}{D} \quad (1-2)$$

可见, 由于转动力矩 M 与被测量值成一定的比例关系, 因而偏转角 α 与被测量值也成一定比例, 所以偏转角的大小可表示被测量值的大小。

除了用游丝、张丝及吊丝产生反作用力矩外, 也可用电磁力产生反作用力矩, 例如比率型仪表。

(3) 阻尼力矩。从理论上讲, 当转动力矩与反作用力矩相等时, 仪表指针应静止在某一平衡位置, 但由于活动部分具有惯性, 它不能立刻停止下来, 而是要围绕这个平衡位置左右摆动, 需要经过较长时间才能稳定在平衡位置, 因此不能尽快读数。为了缩短摆动时间, 电测量指示仪表的测量机构通常都装有产生阻尼力矩的装置, 用以吸收摆动能量, 使活动部分能迅速地在平衡位置稳定下来。

阻尼力矩由阻尼器产生, 常用的阻尼器有空气式和电磁感应式两种, 如图 1-2 所示。空气阻尼器是利用一个与转轴相连的薄片在封闭的扇形阻尼盒内运动时, 薄片因受到空气的阻力而产生阻尼力矩, 如图 1-2 (a) 所示。电磁感应阻尼器是利用一个与转轴相连的铝片在永久磁铁气隙中运动时, 铝片中产生的涡流与磁场作用而产生阻尼力矩, 如图 1-2 (b) 所示。图 1-2 (c) 也是电磁感应式阻尼器, 它是利用铝框架在强磁场中运动以产生阻尼力矩。

应当注意, 阻尼力矩是一种动态力矩, 它只在活动部分运动时才产生, 方向总是和活动部分的运动方向相反, 大小与活动部分的运动速度成正比, 当活动部分静止时, 阻尼力矩为零, 因而阻尼力矩的存在对仪表的指示值没有任何影响。

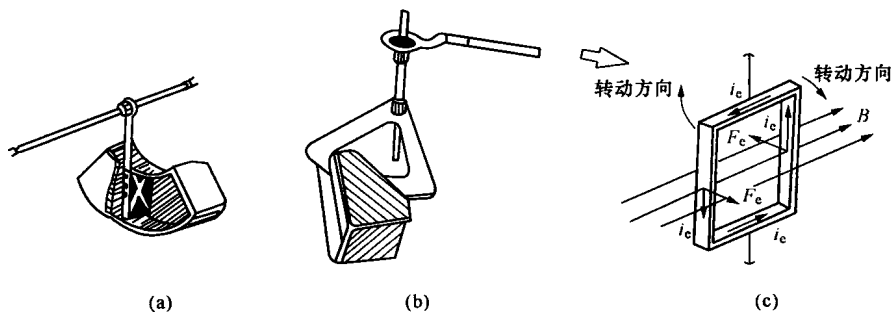


图 1-2 阻尼器

(a) 空气式; (b)、(c) 电磁感应式

除以上三种力矩外, 用轴承支持活动部分的仪表, 不可避免地会存在因摩擦而产生的摩擦力矩, 它会在不同程度上阻碍活动部分的运动, 使活动部分停在偏离真实平衡位置的地方, 致使仪表指示产生误差。

三、电测量指示仪表的一般机构

电测量指示仪表种类繁多, 结构各不相同, 除具有产生转动力矩、反作用力矩、阻尼力矩的装置外, 大部分仪表还有下面一些主要部件:

1. 外壳

外壳通常由铁、木、塑料等材料制成, 用来保护仪表内部的结构。

2. 指示装置

仪表指示装置如图 1-3 所示, 由以下部件组成:

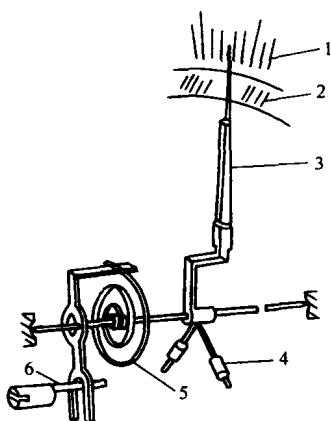


图 1-3 仪表指示装置

1—分度；2—镜面；3—指针；4—平衡锤；
5—游丝；6—调零装置

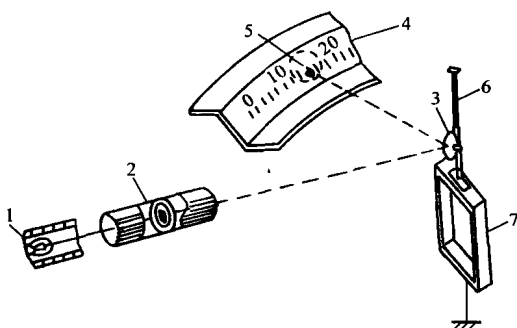


图 1-4 光标指示装置

1—灯；2—光学系统；3—小镜；4—半透明标度尺；
5—光标影像指针；6—张丝；7—线圈

(1) 标度尺。标度尺是表盘上一系列数字和分度线的总称。通常情况下，准确度等级较高（1.0 级以上）的仪表采用镜子标尺，即在标度尺下有一条弧形镜面，读数时应使指针与镜面反映出的指针像重合，以保证读数的准确。

(2) 指针。有刀形、矛形等指针。灵敏度高的仪表有的采用光标影像指针，如图 1-4 所示。

(3) 限动器。限制指针的最大活动范围。

(4) 平衡锤。防止在指针偏转时，由于重心不正而带来误差。

3. 轴和轴承

用来支持活动部分转动，为减小摩擦，轴尖用钢制成。轴承材料有多种，如青铜、玻璃、蓝宝石等。

4. 调零装置

用来微调游丝或张丝的固定端，以改变初始力矩，从而使仪表的机械零位与适当的分度线（零位）相重合。

第二节 仪表的误差及准确度

一、仪表误差的分类

用任何仪表进行测量，仪表的指示值与被测量的真实值之间总有差异，这个差异称为仪表的误差。根据误差产生的原因，仪表误差可分为两大类。

1. 基本误差

基本误差是指仪表在规定的工作条件下，即在规定的温度、湿度、放置方式、没有外电场和磁场干扰等条件下，由于仪表本身结构和工艺等方面不够完善而产生的误差。如由于仪表活动部分存在摩擦、零件装配不当、标尺刻度不准等所引起的误差都属于基本误差，这种误差是仪表本身所固有的。

2. 附加误差

附加误差是指仪表因偏离规定的工作条件使用所造成的误差,如温度过高、波形非正弦、外界电磁场影响等所引起的误差都属于附加误差。因此,仪表离开规定的工作条件所形成的总误差中,除了基本误差之外,还包含有附加误差。

二、误差的表示方法

1. 绝对误差 Δ

仪表的指示值 A_x 与被测量的真值 A_0 之间的差值,称为绝对误差 Δ ,即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-3)$$

由式(1-3)可以看出, Δ 是有大小、正负、单位的数值,其大小和符号表示了测量值偏离真值的程度和方向。

由于被测量的真值 A_0 很难确定,所以在实际测量中,通常把准确度等级高的标准表所测得的数值或通过理论计算得出的数值作为真值。

【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,用乙电流表测量时的读数为 10.4A。试求两次测量的绝对误差。

解 由式(1-3)可知:

· 甲表测量的绝对误差为

$$\Delta_1 = I_x - I_0 = 9.8 - 10 = -0.2(\text{A})$$

乙表测量的绝对误差为

$$\Delta_2 = I_x - I_0 = 10.4 - 10 = 0.4(\text{A})$$

由上述结果可知,甲表的读数比乙表更为准确。因此,在测量同一个量时,绝对误差 Δ 的绝对值越小,测量结果就越准确。

2. 相对误差

当测量不同量时,用绝对误差有时很难准确判断测量结果的准确程度。例如用一个电压表测量 200V 电压,绝对误差为 +1V,而用另一个电压表测量 20V 电压,绝对误差为 +0.5V。前者的绝对误差大于后者,但前者的误差只占被测量的 0.5%,而后者的误差却占被测量的 2.5%,因而,后者误差对测量结果的影响大于前者。因此,在工程上常采用相对误差来表示测量结果的准确程度。

绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 的比值,称为相对误差 γ ,用百分数表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

与前述同理,实际测量中通常用标准表所测得的数值或通过理论计算得出的数值作为被测量的真值。另外,在要求不太高的工程测量中,相对误差也常用绝对误差与仪表指示值之比的百分数来表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-5)$$

【例 1-2】 已知用甲表测 100V 电压时,绝对误差为 +1V,用乙表测 10V 电压时,绝对误差为 +0.5V,试比较两只表测量结果的准确程度。

解 由式(1-4)可知:

甲表的相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\%$$

乙表的相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{+0.5}{10} \times 100\% = +5\%$$

由计算结果可知,虽然甲表的绝对误差比乙表大,但相对误差却比乙表小,故甲表比乙表的测量准确度程度高。

3. 引用误差

相对误差虽可以表示测量结果的准确程度,但不能全面表征仪表本身的准确度。同一只仪表,在测量不同的被测量 A_x 时,其绝对误差 Δ 变化不大,但由式(1-5)可看出,随被测量 A_x 不同,相对误差变化较大,也就是说仪表在全量限范围内各点的相对误差是不相同的,因此相对误差不能反映仪表的准确程度,为此工程上采用引用误差来确定仪表的准确程度。

绝对误差与规定的基准值比值的百分数,称为引用误差,用 γ_m 表示。不同类型标度尺的电测量指示仪表,其基准值不同,引用误差分别为:

(1) 对于大量使用的单向标度尺仪表,基准值为量程,引用误差为绝对误差 Δ 与仪表上量限 A_m 比值的百分数,即

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

(2) 对于双向标度尺仪表,其基准值仍是量程,引用误差为绝对误差与正负两个量限绝对值之和的比值的百分数,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{|+A_m| + |-A_m|} \times 100\% \quad (1-7)$$

(3) 对于无零位标度尺仪表,引用误差为绝对值误差与上、下量限 A_{1m} 、 A_{2m} 之差的比值的百分数,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_{1m} - A_{2m}} \times 100\% \quad (1-8)$$

(4) 对于标度尺为对数、双曲线或指数为 3 及 3 以上的仪表,或标度尺上量限为无穷大(如万用表欧姆挡)的仪表,基准值为标度尺长,引用误差为用长度表示的绝对误差 Δ_l 与标度尺工作部分长度 l_m 比值的百分数,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta_l}{l_m} \times 100\% \quad (1-9)$$

三、仪表的准确度

仪表的准确度是表征其指示值对真值接近程度的量。

1. 电测量指示仪表的准确度

对于电测量指示仪表,工程上规定用最大引用误差来表示仪表的准确度,即当仪表在规定的条件下工作时,在整个刻度范围内出现的最大绝对误差 Δ_m 与仪表的上量限 A_m 比值的百分数,称为仪表的准确度,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% = \pm K\% \quad (1-10)$$

式中 K ——仪表的准确度等级(指数)。

显然,仪表的准确度表明了基本误差的最大允许范围。例如准确度为 0.1 级的仪表,基

本误差极限（即允许的最大引用误差）为 $\pm 0.1\%$ 。仪表的准确度等级越高，则基本误差越小。

我国对不同的电工仪表，规定了不同的准确度等级，如电流表和电压表的准确度等级分为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1、1.5、2、2.5、3、5 等 11 级；有功功率表分为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1、1.5、2、2.5、3、5 等 11 级；相位表和功率因数表分为 0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、5.0 等 10 级。通常 0.05、0.1、0.2 级仪表作为标准表使用，用以鉴定准确度较低的仪表；0.5、1、1.5 级仪表主要用于实验室；准确度更低的仪表主要用于现场。

仪表的准确度等级标志符号通常都标注在仪表的盘面上。

【例 1-3】 已知某电流表量程为 100A，且该表在全量程范围内的最大绝对误差为 $+0.83\text{A}$ ，则该表的准确度为多少？

解 由式 (1-10) 可知

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% = \frac{+0.83}{100} \times 100\% = 0.83\%$$

因准确度等级是以最大引用误差来表示，且电流表等级按国标分为 11 级，而该表的最大引用误差大于 0.5 而小于 1.0，故该表的准确度等级应为 1.0 级。

由仪表的准确度等级，可以算出测量结果可能出现的最大绝对误差与相对误差。例如该仪表的准确度等级为 K ，则由式 (1-10) 可知，仪表在规定工作条件下测量时，测量结果中可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm K\% \cdot A_m \quad (1-11)$$

最大相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \pm K\% \frac{A_m}{A_x} \quad (1-12)$$

【例 1-4】 若被测电压实际值为 12V，现有 150V、0.5 级和 15V、2.5 级两种电压表各一只，试问两只表可能出现的最大误差分别为多大？应选择哪一只电压表？

解 用 150V、0.5 级电压表测量时，可能出现的最大绝对误差与相对误差分别为

$$\Delta_{m1} = \pm K\% \cdot A_{m1} = \pm 0.5\% \times 150 = \pm 0.75(\text{V})$$

$$\gamma_{m1} = \frac{\Delta_{m1}}{A_x} \times 100\% = \pm K\% \frac{A_{m1}}{A_x} = \pm 0.5\% \times \frac{150}{12} = \pm 6.25\%$$

用 15V、2.5 级电压表测量时，可能出现的最大绝对误差与相对误差分别为

$$\Delta_{m2} = \pm K\% \cdot A_{m2} = \pm 2.5\% \times 15 = \pm 0.375(\text{V})$$

$$\gamma_{m2} = \frac{\Delta_{m2}}{A_x} \times 100\% = \pm K\% \frac{A_{m2}}{A_x} = \pm 2.5\% \times \frac{15}{12} = \pm 3.125\%$$

故应选择 15V、2.5 级电压表。

从上述例子可以看出：仪表的准确度并不等于测量的准确度；测量结果的绝对误差与所选择的仪表的准确度等级 K 及量程 A_m 均有关；相对误差除与仪表的准确度等级 K 有关外，还与量程 A_m 和被测量 A_x 的比值有关， A_m/A_x 的比值越大，误差越大。因此，选择仪表时不能单纯追求准确度级别高的仪表，还应根据测量的要求，合理选择仪表的量程，尽可能使仪表指示值在标度尺分度的 $2/3$ 以上范围。

2. 数字仪表的准确度

数字类仪表的准确度用绝对误差表示,通常有下列两种表示方法:

(1) 第一种表示方法为

$$\Delta = \pm \alpha \% \text{rdg} \pm n \text{个字}$$

式中 rdg ——仪表指示值(读数),为英文 reading 的缩写;

α ——误差相对项系数;

n 个字——由于数字化处理引起的误差反映在末位数字上的变化量。

如 DSX—1 型数字四用表,直流电压各挡的准确度(即允许的绝对误差)为 $\pm 0.1 \% \text{rdg} \pm 1$ 个字。

(2) 第二种表示方法是将 n 个字的误差折合成满量程的百分数来表示,即

$$\Delta = \pm a \% (\text{rdg}) \pm b \% (\text{f. s})$$

式中 b ——误差固定项系数;

f. s ——仪表满度(量程)值,为英文 full span 的缩写。

如 SK—6221 型数字万用表直流 2V 挡的准确度为 $[\pm 0.8 \% (\text{rdg}) \pm 0.2 \% (\text{f. s})]$,则测量 0.1V 电压时的绝对误差为 $(\pm 0.8 \% \times 0.1 \pm 0.2 \% \times 2\text{V})$,即绝对误差为 $\pm 0.0048\text{V}$ 。

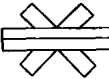
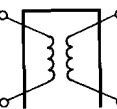
第三节 电工仪表的标志及技术要求

一、电工仪表的标记

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。根据国家标准规定,每一只仪表必须有表示测量对象的单位、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、绝缘强度实验电压的大小、仪表型号及额定值等标志符号。电工仪表表面常见标志符号见表 1-1。

表 1-1

电工仪表常见表面标记符号

分类	名 称	符 号	分类	名 称	符 号
工作 原理	磁电系仪表		工作 原理	电动系比率表	
	磁电系比率表			铁磁电动系仪表	
	电磁系仪表			铁磁电动系比率表	
	电磁系比率表			感应系仪表	
	电动系仪表			感应系比率表	

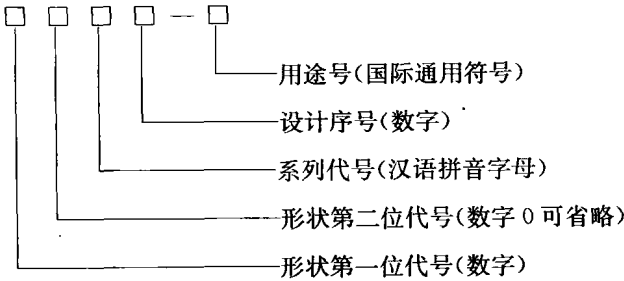
续表

分类	名 称	符 号	分类	名 称	符 号
电 流 种 类	直流	—	外 界 条 件	Ⅲ级防外磁场及电场	
	交流	~		Ⅳ级防外磁场及电场	
	直流和/或交流	⎯	等 级 指 数	等级指数（例如 1.5）基准值为量程	1.5
	三相交流	3~		等级指数（例如 1.5）基准值为标度尺长	
工 作 位 置	标度盘垂直使用			等级指数（例如 1.5）基准值为指示值	
	标度盘水平使用		端 钮	正端钮	+
	标度盘相对水平面倾斜（例 60°）使用			负端钮	-
外 界 条 件	不进行绝缘强度实验			公共端钮	*
	绝缘强度实验电压为 2kV			电屏蔽	
	I 级防外磁场（例如磁电系）			零位（量程）调节器	
	I 级防外电场（例如静电系）			一般接地	
	Ⅱ级防外磁场及电场			保护接地	

二、电工仪表的型号

电工仪表的型号可以反映出仪表的用途及原理。我国对安装式仪表与便携式仪表分别做了不同的编制规定。

1. 安装式仪表的型号组成



形状第一位代号：按仪表面板形状最大尺寸编制。