

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

电工测试基础

刘青松 李巧娟 合编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

教育部规划教材



“十五”

教育部规划教材

教育部审订

教育部审订

教育部审订

教育部审订

电工电子技术基础

主编 李心怡 副主编 李心怡

中国电力出版社
CHINA ELECTRICITY PRESS

普通高等教育



“十五”

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

电工测试基础

刘青松 李巧娟 合编
田 震 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十五”规划教材。

全书共十章：电工仪表及测量的基本知识、磁电系仪表、电磁系仪表、电动系仪表、电能表与互感器、比较式仪表、电工测试技术、电气参数的测试技术、数字类仪表、智能测试技术，以及附录非电量的电测技术。

本书内容丰富，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。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工测试基础/刘青松, 李巧娟编. —北京: 中国电力出版社, 2004

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-2083-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085962 号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 9 月第一版 2004 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 14.75 印张 342 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 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)

序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版的各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多种教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222）

中国电力教育协会

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

序

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	5
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	12
第五节 测量误差及消除方法	13
第六节 试验数据的处理及误差估算	16
思考题	20
第二章 磁电系仪表	22
第一节 磁电系测量机构	22
第二节 磁电系电流表	24
第三节 磁电系电压表	26
第四节 磁电系检流计	28
第五节 整流式仪表	31
第六节 欧姆表与兆欧表	33
第七节 万用表	37
思考题	40
第三章 电磁系仪表	42
第一节 电磁系测量机构	42
第二节 电磁系电流表和电压表	46
第三节 电磁系仪表的误差及其补偿	48
思考题	51
第四章 电动系仪表	52
第一节 电动系测量机构	52
第二节 电动系电流表和电压表	55
第三节 功率表	56
第四节 频率表、相位表	63
思考题	67
第五章 电能表与互感器	69
第一节 单相感应系电能表	69
第二节 三相有功电能表	72
第三节 三相无功电能表	73

第四节	电能表的使用	75
第五节	仪用互感器	77
思考题		84
第六章	比较类仪表	85
第一节	直流电桥	85
第二节	交流电桥	90
第三节	直流电位差计	97
第四节	计量器具	100
思考题		106
第七章	电工测试技术	107
第一节	仪表仪器的选择	107
第二节	试验项目的设计	110
第三节	故障检测	112
第四节	安全用电知识	115
思考题		124
第八章	电量与电参数的测量	125
第一节	电压与电流的测量	125
第二节	功率和电能的测量	128
第三节	频率和相位的测量	134
第四节	电阻的测量	137
第五节	电感的测量	142
第六节	电容的测量	146
思考题		148
第九章	数字类仪表	150
第一节	概述	150
第二节	模/数转换器	151
第三节	数字电压表	159
第四节	数字频率表	168
第五节	数字万用表的测量原理	172
思考题		176
第十章	智能测试技术	178
第一节	智能测试技术概述	178
第二节	A/D、D/A 转换器	181
第三节	智能仪表的常用算法及软件设计	187
第四节	电测量智能仪表	196
思考题		204
附录 A	非电量的电测技术	205
参考文献		228

第一章 电工仪表及测量的基本知识

在电能的生产、传输、分配和使用等各个环节中，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一门学科。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

进行电量或磁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，按其结构、原理和用途大致可分为下面几类。

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测量转换为可动部分的角度移，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量的值，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、整流系、电子系等。

(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、欧姆表、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 5 个组。其中 C 组环境条件最差。

(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 4 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、交直流补偿式测量仪器。比较仪器测量准确度比较高，但操作过程复杂，测量速度较慢。

3. 数字仪表

数字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，有些仪表还具有自动量程切换和编码输出，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。变换器是用来实现不同电量之间的变换, 或将非电量转换为电量的装置。

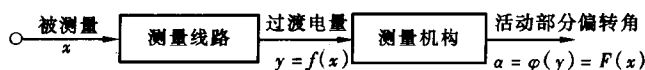


图 1-1 电测量指示仪表的组成

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都是由测量电路和测量机构两部分构成, 其组成方框图如图 1-1 所示。

(1) 测量电路。测量电路的作用是把被测量 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, 其作用是将接受到的过渡量 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, 就可确定被测量的数值。

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、电动力、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, 就像一杆不挂称砣的称, 不论被测量多大, 称杆总是向上翘起, 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数值, 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, 偏转角达到一稳定数值。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, 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。

阻尼力矩由阻尼器来产生, 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的, 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的, 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产生阻尼力矩的。

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, 其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。

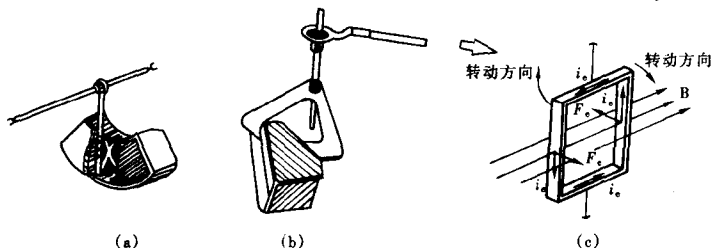


图 1-2 阻尼器

(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,由以下零件组成。

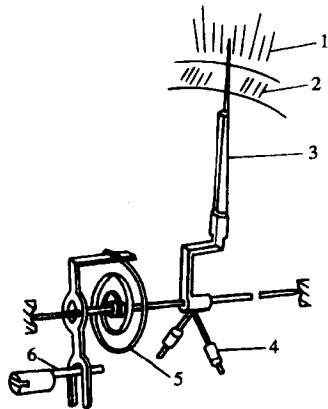


图 1-3 仪表指示装置

1—分度；2—镜面；3—指针；4—平衡锤；5—游丝；6—机械零位调节装置

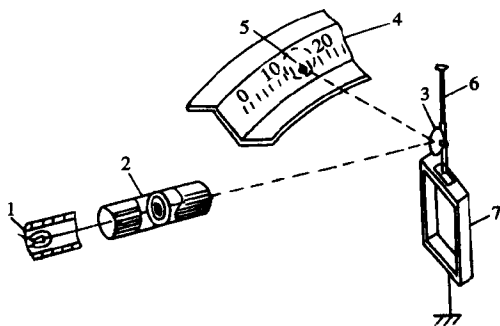


图 1-4 光标指示装置

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。新型电能表为了减少磨损,延长使用寿命,采用磁推轴承,它是利用两块圆柱形磁钢同极性相斥的原理,把两块磁钢装在下轴套内,利用排斥力支撑电能表转动部分的重量,使之悬浮起来,其上下两端均用不锈钢销钉与石墨尼龙衬套作为导向,以制止水平方向的运动。

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,如图 1-3 所示。

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

附加误差是指因偏离规定的工作条件而使用所造成的误差。如温度过高、波形非正弦、外界电磁场的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。所以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:

$$\text{甲表的相对误差为 } \gamma_1 = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\%$$

$$\text{乙表的相对误差为 } \gamma_2 = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{+0.5}{10} \times 100\% = +5\%$$

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

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程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 (如万用表欧姆档) 的仪表, 基准值为标度尺尺长, 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

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

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

我国对不同的电表,规定了不同的准确度等级,如电流表和电压表准确度等级分为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1、1.5、2、2.5、3、5 等 11 级;功率表和无功率表分为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1、1.5、2、2.5、3.5 等 10 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;电阻表(阻抗表)分为 0.05、0.1、0.2、0.5、1、1.5、2、2.5、3、5、10、20 等 12 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 +0.83A,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 级而小于 1.0 级,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,其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,其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;而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:

第一种表示方法

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

式中 rdg ——仪表指示值(读数),为英文 reading 的缩写;

$\pm \alpha$ ——相对误差,为构成数字表的转换器、分压器等产生的综合误差;

$\pm n$ 个字——指最末一位显示数码有 $\pm n$ 个字的误差,为绝对误差, n 是因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,直流电压各档的准确度(即允许的绝对误差)为 $\pm 0.1\% \text{rdg} \pm 1$ 个字。

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

$$\pm \alpha\% \text{rdg} \pm b\% \text{f.s}$$

式中 $b\%$ ——满度误差系数;

f.s ——仪表满度(量程)值,为英文 full span 的缩写。

第三节 电工仪表的标志及技术要求

一、电工仪表的表面标记

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。