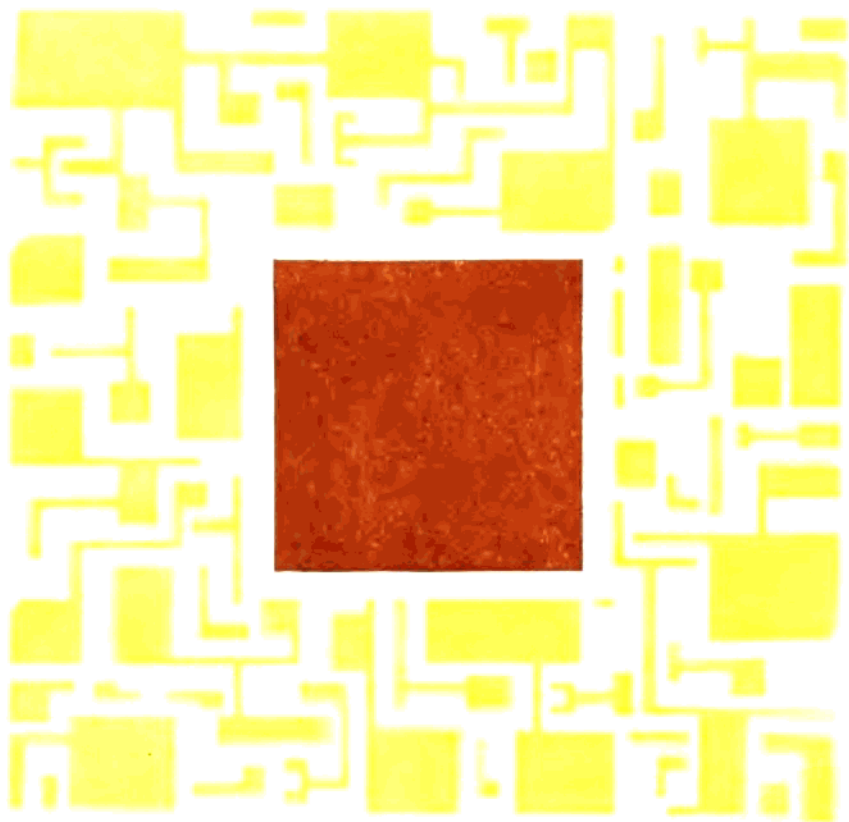




技工学校电工类通用教材

电工仪表与测量



劳动人事出版社

电工仪表与测量

劳动人事部培训就业局组织编写

责任编辑：张建英

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

一二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 10印张 245千字

1988年3月北京第1版 1988年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5045-0096-8/TM·005(课) 统一书号：15238·304

印数：1—100 000册 定价：1.90元

本书是根据劳动人事部培训就业局审定颁发的《电工仪表与测量教学大纲》编写，供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书内容包括：电工仪表与测量的基本知识、电流与电压的测量、万用表、电功率的测量、电能的测量、频率和相位的测量、电阻的测量以及常用电子仪器与测量方法。

本书也可作为职业高中和企业维修电工、内外线电工中级技术工人培训的教材，以及职工的自学用书。

本书由孙希权、王世馄、周永鑫编写；孙希权主编；韩有志、李明主审。

前 言

为了培养合格的中级电气技术工人，我局委托有关省、市劳动人事部门负责组织编写了一套电工类技工学校教材。包括：机械知识、电工基础、电子技术基础、电工材料、电机与变压器、电力拖动与自动控制、电力系统及运行、安全用电、电工仪表与测量、维修电工生产实习以及内外线电工生产实习等11种。这套教材在编写时注意了理论联系实际及其科学性、先进性，反映了电工专业的新技术、新工艺、新材料、新设备，并一律采用了国家统一规定的新标准。它适合于招收初中毕业生、学制为三年的电工类技工学校使用，也可作为职业高中和企业维修电工、内外线电工中级技术工人培训的教材。

技工学校电工专业教学计划中规定开设的政治、语文、数学、物理、制图、企业管理等课程，均采用机械类技工学校的教材。其中数学、物理、制图三门课程另组织编写了教学大纲。

由于编写时间紧促，经验不足，缺点错误在所难免，望各地区、各部门在使用中提出宝贵意见，以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局

一九八七年六月

目 录

第一章 电工仪表与测量的基本知识	1
§1—1 常用电工仪表的分类与符号	1
§1—2 电工指示仪表的组成与原理	3
§1—3 电工指示仪表的主要技术要求与指标	6
§1—4 常用的电工测量方法	8
§1—5 测量误差及其消除方法	10
习题一	11
第二章 电流与电压的测量	13
§2—1 电流与电压的测量方法	13
§2—2 磁电系仪表的工作原理	16
§2—3 磁电系电流表与电压表	19
§2—4 电磁系仪表的工作原理	25
§2—5 电磁系电流表与电压表	28
§2—6 仪用互感器	29
§2—7 钳形电流表的用途与工作原理	33
§2—8 电流表与电压表的选择	35
习题二	38
第三章 万用表	40
§3—1 万用表的结构和工作原理	40
§3—2 500型万用表介绍	46
§3—3 万用表的正确使用与维护	50
§3—4 用万用表判别晶体管的极性	51
§3—5 用万用表判别电容器的好坏	53
§3—6 用万用表测算电动机的转速	53
习题三	54
第四章 电功率的测量	55
§4—1 电功率的测量方法	55
§4—2 电动系功率表	58
§4—3 三相有功功率的测量方法	62
§4—4 电动系三相有功功率表	65
§4—5 三相无功功率的测量方法	65
§4—6 铁磁电动系三相无功功率表	67
习题四	68

第五章 电能的测量	69
§5-1 感应系电度表及电能的测量	69
§5-2 电度表的使用和主要技术特性	70
§5-3 三相有功电度表	73
§5-4 三相无功电度表	75
习题五	78
第六章 频率、相位和功率因数的测量	79
§6-1 频率、相位和功率因数的测量方法	79
§6-2 电动系频率表	83
§6-3 电动系相位表	85
§6-4 单相功率因数表	89
§6-5 三相功率因数表	91
习题六	93
第七章 电阻的测量	94
§7-1 电阻的测量方法	94
§7-2 标准电阻与电阻箱	98
§7-3 直流单臂电桥	103
§7-4 直流双臂电桥	106
§7-5 兆欧表的工作原理	108
§7-6 兆欧表的选择、使用与维护	110
§7-7 接地电阻的测量方法	112
§7-8 接地电阻测量仪	114
习题七	116
第八章 常用电子仪器与测量方法	117
§8-1 电子电压表	117
§8-2 电子示波器	120
§8-3 数字式仪表	130
习题八	137
实验	139
实验基本知识	139
实验一 电流表、电压表的使用	142
实验二 万用表的使用	143
实验三 用功率表测量电功率	144
实验四 电度表的校验	145
实验五 电桥的使用	147
实验六 电阻的测量方法	148
实验七 电子电压表的使用	149
实验八 示波器的使用	150

第一章 电工仪表与测量的基本知识

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。测量各种电量(包括磁量)的仪器仪表,统称为电工测量仪表。电工测量仪表的种类很多,其中最常用的是测量基本电量的仪表。本章着重介绍常用电工仪表的基本知识,以及测量方法。

所谓电工测量,就是将测量的电量或磁量与同类标准量进行比较的过程。根据比较方法的不同,测量方法也不一样,因此,就带来了不同的测量误差。所以在测量中除了应该正确地选用仪表和使用仪表之外,还必须采用合适的测量方法,掌握测量的操作技术,以便尽可能的减小测量误差。为此,在分别介绍各种电工仪表与测量之前,本章首先概括介绍电工仪表的分类、符号、仪表的构成原理、误差的概念以及电工仪表的技术指标等。

§1-1 常用电工仪表的分类与符号

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、实验室和可携式仪表以及电度表等。这些仪表都是可以直接读数获得测量结果的,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。

电度表主要用于电力企业、工矿企业及居民用户,用以计量电能的仪表(电度表也可以分为安装式和可携式两种)。

在实践中当我们选用或使用电工仪表时,首先会看到在仪表的表盘上及外壳上,有各种符号。这些符号表明了电工仪表的基本结构特点、准确度、工作条件等。为了熟悉电工仪表,在讲述电工仪表分类的同时,对常用电工仪表的符号作一介绍。

一、指示仪表的分类

(一) 按作用原理可分为:

1. 磁电系仪表 根据通电导体在磁场中产生电磁力的原理制成。
2. 电磁系仪表 根据铁磁物质在磁场中被磁化后,产生电磁吸力(或排斥力)的原理制成。
3. 电动系仪表 根据两个通电线圈之间产生电动力的原理制成。
4. 感应系仪表 根据交变磁场中的导体感生涡流,与磁场产生电磁力的原理制成。

此外,还有整流系、热电系、电子系、铁磁电动系等仪表。对于磁电系、电磁系、电动系等仪表又有比率型仪表,这种仪表的工作原理是基于指针的偏转角,决定于两线圈电流的比率,如兆欧表、频率表和相位表等。常用的电工指示仪表符号如表1-1所示。

电工指示仪表的符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系仪表		热电系仪表 (带接触式热变阻器和热电系测量机构)		标度尺位置为垂直的		与仪表可动线圈连接的端钮	
磁电系比率表		整流系仪表 (带半导体整流器和磁电系测量机构)		标度尺位置为水平的		调零器	
电磁系仪表		直 流		不进行绝缘强度试验		I 级防外磁场 (例如磁电系)	
电磁系比率表		交流 (单相)		绝缘强度试验电压为 500V		I 级防外电场 (例如静电系)	
电动系仪表		具有单元件的三相对称负载交流		绝缘强度试验电压为 2kV		II 级防外磁场及电场	
电动系比率表		具有二元件的三相不对称负载交流		危险 (测量线路与外壳间的绝缘强度不符合标准规定者号为红色)		III 级防外磁场及电场	
铁磁电动系仪表		具有三元件的三相四线不对称负载交流		电源端钮 (对零表、无功功率表、相位表)		IV 级防外磁场及电场	
铁磁电动系比率表		以标度尺满量程百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级		接地用的端钮 (螺钉或焊杆)		A 组仪表	不标注
整流系仪表		以标度尺满量程百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级		与外壳相连接的端钮		B 组仪表	
静电系仪表		以标度尺满量程百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级		与外壳相连接的端钮		C 组仪表	

(二) 按使用条件可分为: A、A₁、B、B₁、C共五组。电工仪表的表示符号如表1—1中所示。

(三) 按准确度等级可分为: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0等共七级。准确度的标志符号如表1—1所示。

(四) 按外壳的防护性能可分为: 普通、防尘、防溅、防水、水密、隔爆等共七种类型。

(五) 按被测量可分为: 电流表、电压表、功率表、电度表、兆欧表等。

电工仪表的分类方法很多, 除上述分类外, 还有其它方法如: 按防外磁场和防外电场的能力分类; 按标度尺上零位的位置分类; 按可动部分的支承方式分类等。

二、电工仪表的型号

电工仪表的产品型号可以反映出仪表的用途、作用原理。电工仪表的产品型号, 是按主管部门制定的电工仪表型号编制法, 经生产单位申请, 并由主管部门登记颁发的。对安装式和可携式指示仪表的型号, 规定有不同的编号规则。

安装式指示仪表型号的组成, 如图1—1所示。形状第一位代号按仪表的面板形状最大尺寸编制; 形状第二位代号按仪表的外壳尺寸编制; 系列代号按仪表工作原理的系列编制, 如磁电系代号为“C”、电磁系代号为“T”、电动系代号为“D”、感应系代号为“G”、整流系代号为“L”、静电系代号为“Q”、电子系代号为“Z”等。

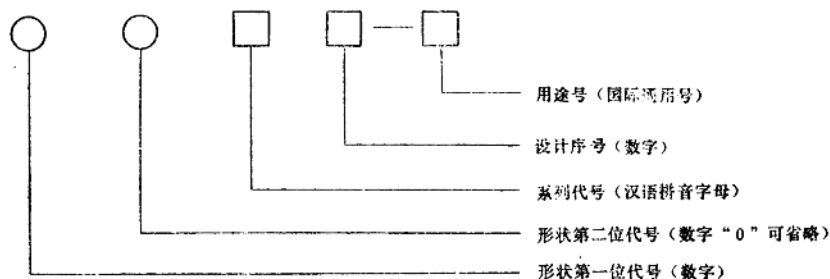


图1—1 安装式仪表型号的编制规则

例如, 44C2-A型电流表, 其中“44”为形状代号, “C”表示磁电系仪表, “2”为设计序号, “A”表示用于电流测量。对于可携式指示仪表不用形状代号, 其它部分则与安装式指示仪表完全相同。例如, T62-V型电压表, 其中“T”表示是电磁系仪表, “62”为设计序号, “V”则表示用于电压测量。

电度表的型号编制规则, 基本上与可携式指示仪表相同, 只是在组别号前再加一个“D”字表示电度表, 如“DD”表示单相、“DS”表示三相有功、“DT”表示三相四线、“DX”表示无功等。例如DD28型电度表, 其中“DD”表示单相, “28”则表示设计序号。

§1—2 电工指示仪表的组成与原理

电工指示仪表, 就是能把被测的电量变换成仪表指针的机械角位移的一种电-机转换模拟式仪表。根据指针的指示可以直接获取测量结果, 因此, 又叫做直读式仪表。

电工指示仪表的种类很多,而且随着生产和科学技术的发展,新型仪表在不断的出现。但由于电工指示仪表具有成本较低、使用方便、经久耐用等优点,因此,在实用工程中应用最为广泛。

一、指示仪表的组成

指示仪表主要是由测量机构和测量线路两部分组成。测量线路的作用是把被测量 x (如电流、电压、电功率等)转换为测量机构可接受的过渡量 y (如转换为电流),然后通过测量机构把过渡量 y ,转换成为指针的角位移 α 。由于测量机构中的 x 和 y 、测量机构中的 y 和 α ,能严格保持一定的函数关系,所以可根据角位移 α 的值,直接读出被测量 x 的值。测量机构是指示仪表的核心。图1-2所示为电工指示仪表的方框图。

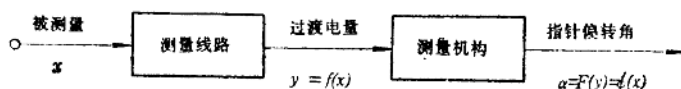


图1-2 电工指示仪表方框图

二、测量机构的主要组成部分与基本原理

指示仪表的测量机构是由固定部分和可动部分组成的。固定部分包括磁路系统、固定线圈等。可动部分包括可动线圈、可动铁心、游丝、指针等。如果按测量机构各元件的功能,也可分成下列几个部分:

(一)产生转动力矩 M 的装置

要使指示仪表的指针偏转,测量机构必须产生一个转动力矩。不同系别的仪表,产生转动力矩的原理也不同。例如:磁电系仪表的转动力矩,是由载流线圈在永久磁铁的磁场中产生电磁力,驱动可动部分偏转。电磁系仪表的转动力矩,是将可动铁心置于交变磁场中,铁心被磁化后产生的电磁吸力(或排斥力)驱动可动部分偏转。转动力矩 M 与被测量 x (或过渡量 y)、偏转角 α 之间成函数关系。

(二)产生反作用力矩 M_{α} 的装置

如果指示仪表的测量机构只有转动力矩,则不论被测量有多大,仪表的可动部分都将在转动力矩的作用下,偏转到尽头。就好像不挂秤砣的秤一样,无论被称物品有多重,都会使秤杆翘起。为了使一定大小的被测量所产生的对应转矩,使可动部分偏转相应的角度,测量机构必须有产生反作用力矩的装置。反作用力矩一般是由游丝产生的。当可动部分偏转时,由于游丝被扭紧,因此,游丝的反作用力矩相应增大,在游丝的弹性范围内,反作用力矩与偏转角 α 成线性关系,即

$$M_{\alpha} = D\alpha \quad (1-1)$$

式中 D ——反作用力矩系数,由游丝的弹性、几何形状和尺寸所决定。

当游丝制成固定尺寸的情况下, D 为常数。可动部分的转动力矩 M 与反作用力矩 M_{α} 相等时,即 $M = M_{\alpha}$ 时可动部分平衡,则被测量对应于一定的偏转角。即

$$\begin{aligned} M &= M_{\alpha} = D\alpha \\ \alpha &= \frac{M}{D} \end{aligned} \quad (1-2)$$

式(1-2)表明:仪表可动部分偏转角 α ,与被测量的大小相对应。图1-3所示,为用游

丝产生反作用力矩的装置。

在指示仪表中，产生反作用力矩除用游丝外，也可用张丝、吊丝。

(三) 产生阻尼力矩的装置

由于可动部分具有一定的转动惯量，因此，当 $M = M_c$ 时可动部分不可能立即停止，而是在平衡位置的左右来回摆动。阻尼装置是用来吸收这种振荡能量的装置，使可动部分尽快地静止，达到尽快读数的目的。仪表中的阻尼力矩装置有两种：空气阻尼器和磁感应阻尼器。如图1—4所示。

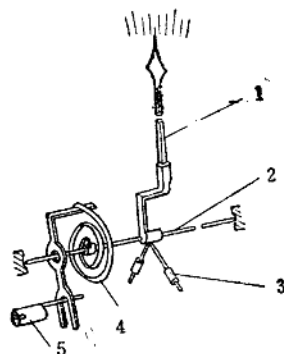


图1—3 用游丝产生反作用力矩的装置

1—指针 2—轴 3—平衡锤
4—游丝 5—调零器

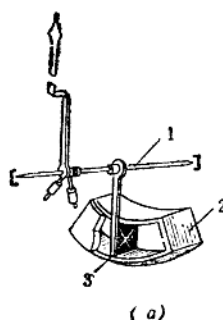
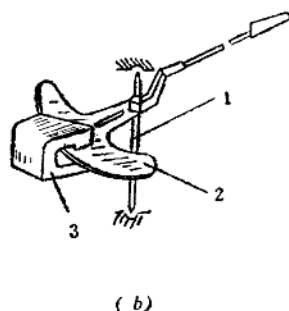


图1—4 阻尼器



(a) 空气式阻尼器 1—轴 2—阻尼箱 3—阻尼翼片
(b) 磁感应阻尼器 1—轴 2—金属片 3—永久磁铁

图1—4a所示，为空气阻尼器，当可动部分转动时带动了翼片，使其在阻尼箱中的运动受空气的阻力，产生阻尼力矩。图1—4b所示，为磁感应阻尼器。当可动部分转动时带动了阻尼金属片，由于切割磁力线感生涡流与永久磁铁的磁场间产生制动力，制动力始终与运动方向保持相反，因此，使可动部分尽快地静止下来。

(四) 读数装置

读数装置通常是由指针、刻度尺组成。指针的形状有矛形和刀形的两种，如图1—5所示。



图1—5 指针

(a) 刀形指针 (b) 矛形指针

矛形指针的特点是醒目，便于远距离观测，但视差较大，它适用于准确度较低的安装式仪表。刀形指针适用于近距离读数，视差比较小，多用于准确度比较高的实验室仪表及便携式仪表。读数装置还有光点指示式，它是由光源、光路系统和刻度尺等组成。由于光点是反射在标度尺上，因此，可以完全消除视差，主要用于准确度较高的仪表中。

§1—3 电工指示仪表的主要技术要求与指标

一、仪表的误差与准确度

仪表的误差是指仪表指示值与被测量的实际值之间的差异，而准确度是指仪表指示值与实际值的接近程度。可见仪表的准确度越高，则误差越小。仪表误差可分为两类：

(一)基本误差 仪表在正常的工作条件下(在规定温度、规定的放置方式、没有外电场和外磁场干扰等)，由于仪表制造工艺限制，仪表本身所固有的误差。如摩擦误差、标尺刻度不准确、轴承与轴尖间隙造成的倾斜误差等，都属于基本误差范围；

(二)附加误差 仪表离开规定的工作条件(如环境温度的改变、外电场或外磁场的影响、波形非正弦等)而引起的误差。仪表在非正常的工作条件下，形成的总误差中，除具有基本误差外，还包括附加误差。

二、误差的表示方法

仪表的误差一般有三种表示方法：

(一)绝对误差

仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之差称为绝对误差 Δ 。即

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

绝对误差的单位与被测量的单位相同，绝对误差的符号有正、负之分。

例：实际值 $U_0 = 220$ 伏，电压表甲的读数为 $U_1 = 220.5$ 伏，电压表乙的读数 $U_2 = 219.2$ 伏，测量的绝对误差分别为：

$$\Delta_1 = U_1 - U_0 = 220.5 - 220 = 0.5 \text{ 伏 (示数比实际值大 } 0.5 \text{ 伏)}$$

$$\Delta_2 = U_2 - U_0 = 219.2 - 220 = -0.8 \text{ 伏 (示数比实际值小 } 0.8 \text{ 伏)}$$

显然，用电压表甲测量值要比电压表乙测量值准确。因此，对于同一个实际值来说，测量的绝对误差(绝对值)越小越好，即准确度越高。由式(1-3)得：

$$A_0 = A_x - \Delta = A_x + (-\Delta) \quad (1-4)$$

由上式可见，为了获得被测量的实际值，仪表的指示值必须与某一个数进行代数相加，这个数值称为仪表的校正值或更正值，用符号“ C ”表示。它等于绝对误差的负数。即

$$C = -\Delta \quad (1-5)$$

对准确度较高的仪表一般都给出校正值，以便在测量时校正被测量的示数，从而提高测量的准确度。

(二)相对误差

相对误差 γ ，对指绝对误差 Δ 与被测量实际值 A_0 之比，用百分数表示。即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

实际值一般难以确定，而仪表的读数 A_x 与实际值又比较接近，因此，在工程中 A_0 可以用 A_x 代替。故

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-7)$$

例：测量实际值 $I_{01} = 100$ 安的电，绝对误差为 $+0.2$ 安，其相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{I_{01}} \times 100\% = \frac{0.2}{100} \times 100\% = +0.2\%$$

测量实际值 $I_{02} = 10$ 安的电，绝对误差为 $+0.1$ 安，则其相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{I_{02}} \times 100\% = \frac{0.1}{100} \times 100\% = +0.1\%$$

从绝对误差看，后者比前者要小；但从测量的准确程度来看，后者却比前者的误差大10倍。因此，相对误差不仅可以表示测量结果的准确程度，而且便于在不同实际值的情况下，对测量的准确程度进行比较。

(三) 引用误差

由于相对误差在整个仪表刻度尺的全长上不是恒定的，即各个标度上的相对误差是不相等的，因此，在国家标准中，对指示仪表的误差规定用引用误差表示。所谓引用误差是仪表的绝对误差 Δ ，与仪表的最大读数(量限) A_m 的百分比。即

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

式中 γ_m ——表示引用误差。

引用误差，实际上也是一种相对误差。只是表达式中的分母，为仪表的测量上限值。因为仪表的绝对误差基本不变，所以若已知仪表的引用误差，便可以根据量限的绝对误差，计算不同量程上的相对误差。

三、对指示仪表的一般要求

为了保证测量结果的准确可靠，对电工指示仪表的技术要求，在国标(GB776—76《电气测量指示仪表通用技术条件》)中都作了具体的规定。主要有以下几个方面：

(一) 足够的准确度

仪表的准确度用仪表的最大引用误差表示。考虑到仪表各刻度上的绝对误差总存在差异，而且为了使引用误差能包括整个仪表的基本误差，对仪表的准确度是这样定义的：仪表的最大绝对误差 Δ_m 与测量上限值 A_m 的百分比，称仪表的准确度 $\pm K\%$ ，用下式表示为

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 K ——为仪表的准确度等级，它的百分数表示仪表在规定条件下，最大的引用误差。

最大引用误差越小，则仪表的准确度越高。根据国家标准(GB776—76)的规定，电工指示仪表的准确度等级分七级，它们所表示的基本误差见表1—2。

表1-2 仪 表 的 基 本 误 差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

(二) 合适的灵敏度

灵敏度 S 是指仪表可动部分偏转角的变化量 $\Delta\alpha$ 与被测量的变化量 Δx 的比值。即

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \quad (1-10)$$

对于均匀标度尺则灵敏度为常数。

$$S = \frac{a}{x} \quad (1-11)$$

可见：灵敏度即是单位被测量所引起的，仪表指针偏转角的大小。对仪表的灵敏度要求要适当。灵敏度会提高仪表制造的成本，而且读数困难(阻尼时间长)。仪表的灵敏度决定于仪表的线路和结构，通常将灵敏度的倒数称为仪表常数 C ，均匀标尺的仪表常数为

$$C = \frac{x}{a} \quad (1-12)$$

(三)仪表的阻尼良好

要求仪表的阻尼良好即是要求阻尼时间短。所谓阻尼时间，是指仪表从接通电路开始，到指针在读数位置上左右摆动不超过标尺全长的 $\pm 1\%$ 时止，所需要的时间。一般要求不超过4~6秒之间。

(四)变差小

仪表在重复测量某一被测量时，由于摩擦等原因，造成两次示数不相同，它们的差值称为变差。要求仪表的变差不超过基本误差的绝对值。

(五)受外界的影响小

即仪表受温度、外磁(电)场等影响所引起的附加误差要尽量小。

(六)仪表本身消耗的功率尽量小

仪表在测量时，本身必然要消耗一定的功率。仪表接入测量线路后，为了不改变原电路的工作状态，要求仪表本身所消耗的功率应该尽可能的小。常用仪表的消耗功率值列于表1-3中。

表1-3 常用仪表的功率消耗

仪 表 类 型	表 耗 功 率 (伏安)	
	电流表或串联线圈(5安)	电压表或并联线圈(100伏)
磁电系仪表	0.2~0.5	0.1~1
整流系仪表	0.2~0.5	0.1~1
电磁系仪表	1~2.5	4~8
电动系仪表	3.5~10	6~12
感应系瓦时计	1~2.5	1~4

(七)良好的读数装置

仪表的标尺分度要力求均匀，以便于读数。对于刻度不均匀的标尺，应标明读数的起点，并用符号“·”表示。

§1-4 常用的电工测量方法

电工测量就是通过物理实验的方法，将被测的量与其同类的通常称为单位的量，进行比较的过程。比较的结果一般是用两个部分来表示，即一部分是数字；另一部分是单位。

测量单位的确定和统一是非常重要的。为了对同一个量，在不同的时间和地点进行测量时，都能够得到相同的测量结果，就必须采用一种公认的而且是固定不变的单位。只有这样的测量才有实际意义。为此，每个国家乃至国际上，都有专门的计量机关，对各种单位实行“立法”。这是因为单位的确认和统一，不仅是人类生存的需要，而且是生产和科学的发展以

及技术交流的需要。

测量单位的复制体称为度量器。如标准电池、标准电阻和标准电感等，分别是电动势、电阻和电感的复制实体。度量器根据它的精度和用途的不同，分为基准度量器、标准度量器和工作度量器。表1—4列出了常用的电工单位及符号。

表1-4 测量单位的符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
千安	kA	瓦特	W	毫欧	mΩ
安培	A	兆乏	Mvar	微欧	μΩ
毫安	mA	千乏	kvar	相位角	°
微安	μA	乏尔	var	功率因数	cos φ
千伏	kV	兆赫	MHz	无功功率因数	sin φ
伏特	V	千赫	kHz	微法	μF
毫伏	mV	赫兹	Hz	微微法	pF
微伏	μV	兆欧	MΩ	亨	H
兆瓦	MW	千欧	kΩ	毫亨	mH
千瓦	kW	欧姆	Ω	微亨	μH

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。

一、直接测量法

直接测量，是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，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，用电流表直接测量电流、用电压表直接测量电压、用万用表直接测量电阻器的电阻值等，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的基本误差的限制外，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。

二、比较测量法

比较法是将被测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。比较测量法又可分三种：

(一)零值法 又称指零法。它是利用被测量对仪器的作用，与已知量对仪器的作用二者相抵消的办法，由指零仪表作出判断。即当指零仪表指零时，表明被测量与已知量相等。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，与法码的重量相等，根据法码的标示重量便可得知被测重物的重量数值。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。

(二)较差法 是利用被测量与已知量的差值，作用于测量仪器而实现测量目的的一种测量方法。

(三)代替法 利用已知量代替被测量，如不改变测量仪器原来的读数状态，这时被测量与已知量相等，从而获取测量结果。

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±0.001%，比较法的缺点是操作麻烦，设备复杂。适用于精密测量。

三、间接测量法

间接测量法是指测量时,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、安表测量电阻,先测得电阻两端的电压及电阻中的电流,然后根据欧姆定律,算出被测的电阻值。间接测量法的误差比直接法大。但在工程中的某些场合,如对准确度的要求不高,进行估算还是一种可取的测量方法。

§1—5 测量误差及其消除方法

一、电工指示仪表的选择

电工仪表是进行各种基本电量(或磁量)的测量必不可少的工具。所以,在电工测量中,对电工仪表的选择和使用是否得当,直接关系到测量结果的可靠性。为此,在选择和使用仪表时,必须注意以下几点:

(一)要考虑工作条件

在选择仪表时,一定要避免片面地追求“准确度越高越好”的错误倾向。因为仪表的准确度越高,对工作条件的要求也越苛刻,因而测试的实际工作环境一旦不符合要求,仪表将在非正常的条件下工作,这时引起的附加误差将会超出仪表的准确度等级,测量结果反而不准确。

(二)要正确选择仪表的量限

例如,选择准确度为0.5级,量限为300伏的电压表来测量0到300伏的电压,可能出现的最大绝对误差 $\Delta U = \pm 1.5$ 伏。

如果电压表的读数为300伏时,最大相对误差为:

$$\gamma_{m1} = \frac{\Delta U}{U_1} \times 100\% = \frac{\pm 1.5}{300} \times 100\% = \pm 0.5\%$$

如果电压表的读数为50伏时,其最大相对误差为:

$$\gamma_{m2} = \frac{\Delta U}{U_2} \times 100\% = \frac{\pm 1.5}{50} \times 100\% = \pm 3\%$$

显然,测量值越接近仪表的量限,其相对误差越小。因此,在选用仪表时,应当根据测量值来选择仪表的量限。尽量使测量的示值在仪表量限的2/3以上的一段。

(三)仪表经长期工作后,其准确度会发生变化,因此,要根据电气计量部门的规定,定期进行校验和维修。

二、测量误差及其消除方法

测量误差是指测量的结果与被测量的真实值(实际值)之间存在的差异。测量误差产生的原因,除了由于仪表的基本误差和附加误差存在以外,还由于测量方法的不完善、测试人员的操作技能和经验的不足,以及人的感觉器官的差异等因素所造成的。测量误差可分为以下三类:

(一)系统误差

这种误差是遵循一定的规律,在测量过程中保持不变的误差。造成系统误差的原因,主要是以上所说的仪表本身的误差(即仪表的基本误差和附加误差);其次是,由于测量方法的不完善,或者使用了近似计算公式造成的。如用伏、安表法测量电阻时,忽略了仪表内阻的影响而造成方法误差,就会带来系统误差。如果能设法消除产生这些误差的原因,则系统误差也会随之减小或消除。譬如,是由于仪表放置的不当造成误差,若能正确安装或放置仪

表, 误差即可消除。但是多数情况下, 产生这种误差的原因是无法消除的, 只能采取一些特殊的测量方法减小这种误差。下面就介绍几种消除系统误差的一般方法。

1. 正、负误差补偿法

这种方法就是对同一量, 反复测量两次, 如果其中一次误差为正, 另一次误差为负则取它们的平均值, 就可以消除这种系统误差。例如, 为了消除一定的外磁场对电流表读数的影响, 可以把电流表放置的位置调转 180° 再测量一次, 因为两种放置测得的结果中产生误差的符号正巧相反, 所以, 取两次测量结果的平均值, 即可消除外磁场引起的系统误差。

2. 利用校正值求出被测量的实际值

若系统误差已知, 则可在测量结果中, 计算仪表的读数与仪表的校正值的代数和, 求得被测量的实际值。这种方法在精密测量, 和仪表的校验中, 是一种常用的方法。

3. 代替法

这种方法是将被测量用已知量代替, 替代时使仪表的工作状态保持不变。这样, 由于仪表本身的不完善和外界因素的影响对测量结果不发生作用, 从而消除了系统误差。代替法将在第七章直流电桥部分详述。

(二) 偶然误差

偶然误差又称随机误差, 这是一种大小和符号都不确定的误差。这种误差主要是由于周围环境的偶发原因引起的。因此, 不能采取上述的方法进行消除。但是偶然误差具有以下几个特征:

1. 在一定测量条件下, 偶然误差的绝对值不会超过一定的界限, 即所谓有界性;

2. 绝对值小的误差出现的机会多于绝对值大的误差, 即所谓单峰性;

3. 当测量的次数足够多时, 正误差和负误差出现的机会相等, 即所谓对称性。如果用 δ 表示误差, 用 f 表示误差出现的次数则 δ 与 f 的关系如图1-6所示。该曲线称为偶然误差正态分布曲线。

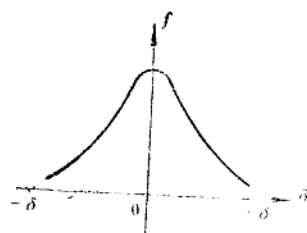


图1-6 偶然误差正态分布曲线

根据上述特点, 偶然误差是不可能在一次测量中加以消除的, 必须多次测量从偶然误差的总和中, 用概率论来指出偶然误差的可能必然性较大的界限, 衡量测量的准确度以及确定测量结果与被测量实际值的接近程度。

(三) 疏失误差

这是一种严重歪曲测量结果的误差, 它是由于测量者在测量过程中的粗心和疏忽造成的。如读数错误或记录错误等。对于这样的测量结果是不可取的, 消除疏失误差的根本方法, 是加强测试人员的责任感, 倡导认真负责和一丝不苟的工作精神。对由于疏失获取的测量结果, 必须一律剔除。

习 题 一

1. 电工仪表由哪几个部分组成? 电工仪表有几种转矩? 它们的特点和作用是什么?
2. 电工仪表的误差有哪几类? 为什么仪表的准确度要用最大引用误差表示?
3. 测量误差有哪几类? 试述其产生的原因和消除的方法?