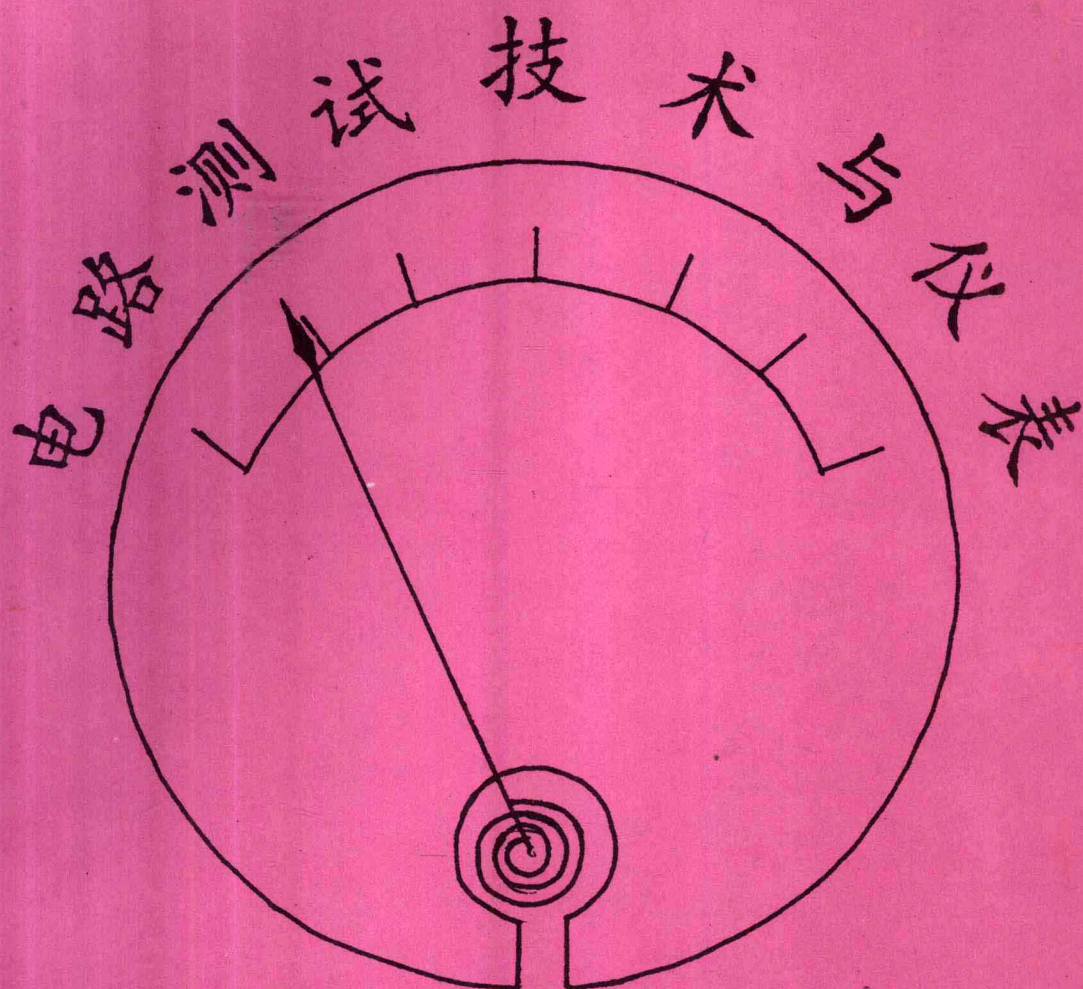




张谦仁 郑均忠编著

焦作工学院电气工程系

前 言

本书是为高等学校工科电类专业《电路测试技术与仪表》课程的单独开设而编写的实验教学用书。

本书参照 1980 年 6 月高等学校工科电工教材编审委员会审定的《电路教学大纲(草案)》和《电磁测量》课的有关要求,并吸取兄弟院校在实验方面的经验,对教材的系统和内容进行了调整、扩充和修改,同时体现了编者在长期实验教学中所形成的“严谨、求实”的风格。

全书分两篇,第一篇常用电工仪表与测量十章,分别介绍了磁电系、万用表、电磁系、电动系、感应系、摇表以及交、直流电桥等常用仪表的结构、原理及其正确测量,每章有复习题与思考题。还介绍了常用电子仪器、如晶体管毫伏表、信号发生器、示波器及数字万用表原理及正确使用。第二篇电路实验研究,共选修了电路实验十七个。除了传统的实验内容外,增加了若干新的内容,以适应新科技发展的需要。本书实验个数较多,可以根据实验学时情况选做,如实验十六、实验十七可不做。在每个实验中,都配有预习思考题,它有助于实验者在实验课前提高预习效果,实验课后巩固实验收获。

限于编者的水平,书中不妥和错误之处可能不少,衷心欢迎读者批评指正。

编 者

一九八九年十二月于焦作工学院

第一篇 常用电工仪表与测量

电力工业的主要产品是电能，众所周知，这是人们的感觉器官所不能直接感觉和反映的。在电能生产、传输、分配和使用等各环节中，只有通过各种仪表的测量才能对电能质量、负荷情况等加以监视，才能保证生产的安全和经济运行。所以人们常把电工测量仪表叫做电力工业的“眼睛”。

电工测量要解决的主要问题是测量方法的选择，数据的分析和处理以及测量设备的使用等。本章主要围绕上述问题，讨论测量方法、测量误差及电工仪表的基本概念和一般知识。

在科研、实验工作中，都离不开测量。所谓测量，就是通过物理实验的方法，把被测量与同种类的单位量进行比较的过程。当我们进行测量时，对不同的量要使用不同的测量工具和选择合适的测量方法。

进行测量时所用的技术工具称为测量设备。测量设备包括两种基本形式：一是度量器，例如电工测量中的标准电阻等；二是测量仪器。

测量仪器又分为两类，一类是直读仪表，它能够直接指示出被测量的大小和单位，使用这种仪表的测量称为直接测量。另一类仪器是比较仪器，它是一种把被测量与度量器进行比较而确定出被测量大小的仪器，用这种仪器进行的测量叫做比较测量。

用直读的电气测量指示仪表来测量各种电参量（如电压、电流、功率、电阻、电感、相位等相位等），简称电工仪表。由于电气测量指示仪表具有结构简单、稳定性可靠，价格低廉和维修方便等一系列优点，是电工测量中最简单，也是最广泛使用的方法。

本课的任务是介绍常用的电工测量仪器的结构原理，特点和使用方法，还将介绍各种电量的主要测量方法和原理。学习本课后，学生应能根据生产实际中的一般电工测量需要，正确地选用测量仪器和测量方法，初步学会某些仪器的实际操作，也为进一步研究电磁测量问题打下基础。

目 录

第一篇 常用电工仪表与测量

第一章 电气测量指示仪表的一般知识	1
§ 1-1 电气测量指示仪表的组成	1
§ 1-2 测量误差及其消除方法	2
§ 1-3 仪表的误差及准确度	4
§ 1-4 对仪表的主要技术要求	8
§ 1-5 电工仪表的分类、标志和型号	10
§ 1-6 电测量指示仪表的正确使用	14
复习题与思考题	14
第二章 磁电系仪表	16
§ 2-1 磁电系仪表的结构与工作原理	16
§ 2-2 磁电系电流表	19
§ 2-3 磁电系电压表	21
§ 2-4 磁电系仪表的主要技术特性	24
复习题与思考题	24
第三章 万用表	25
§ 3-1 万用表的结构概述	25
§ 3-2 万用表的直流电流测量线路	27
§ 3-3 万用表的直流电压测量线路	28
§ 3-4 整流系仪表及交流电压测量线路	30
§ 3-5 万用表的电阻测量线路	34
§ 3-6 电平及其测量	38
复习题与思考题	44
第四章 电磁系仪表	45
§ 4-1 电磁系仪表的结构和工作原理	45
§ 4-2 电磁系电流表和电压表	49
§ 4-3 电磁系仪表的技术特性	51
复习题与思考题	52
第五章 电动系仪表	53
§ 5-1 电动系仪表的结构及工作原理	53
§ 5-2 电动系电流表和电压表	56

§ 5-3 电动系功率原理表及其使用	57
§ 5-4 低功率因数功率表	62
§ 5-5 电动系相位表	63
思考题与习题	66
第六章 感应系仪表	67
§ 6-1 感应系仪表的结构及工作原理	67
§ 6-2 感应系电度表	71
思考题与习题	74
第七章 兆欧表	75
一、磁电系兆欧表的结构	75
二、兆欧表的工作原理	76
三、兆欧表的使用	78
复习题与思考题	79
第八章 测量用互感器及钳形表	80
§ 8-1 测量用互感器	80
§ 8-2 钳形表	84
思考题与习题	86
第九章 电桥	86
§ 9-1 直流电桥	86
§ 9-2 直流双电桥	90
§ 9-3 直流电桥的技术特性和使用方法	93
§ 9-4 交流电桥	96
一、交流电桥的基本原理	96
二、交流电桥平衡条件的分析	97
三、几种常用的交流电桥	98
(一)、电容电桥	98
(二)、电感电桥	102
(三)、阻抗电桥 (QS18A 型万用电桥)	106
(四)、ZL ₂ 型 LCR 数字测量仪	108
第十章 常用电子仪器简介	113
§ 10-1 DA-16 型晶体管毫伏表的使用	113
§ 10-2 XD-1 型低频信号发生器	115
§ 10-3 ST-16 型电子示波器的原理及使用	117
§ 10-4 SR8 型双踪示波器的原理与使用	125

§ 10-5 数字万用表简介	140
----------------------	-----

第二篇 电路实验研究

§ 学生实验守则	143
电路实验课的要求	143
实验一 元件伏安特性的测定	145
实验二 受控源特性	152
Ⅱ 实验三 戴维南定理 迭加原理	158
实验四 一阶 RC 电路及二阶 RLC 串联电路接通到 直流电源的响应	163
实验五 交流电路参数的测定	169
实验六 日光灯电路及功率因数的提高	172
实验七 互感实验	175
实验八 交流电桥测参数	179
实验九 RLC 串联电路谐振的研究	181
实验十 三相交流电路的研究	185
实验十一 三相电路功率的测量	191
实验十二 常用指示仪表测量非正弦周期量的研究	194
实验十三 二端口网络参数的测定	199
实验十四 回转器的特性	204
实验十五 并联谐振	209
实验十六 负阻抗变换器及其应用	212
实验十七* 铁心线圈的研究	217

第一章 电气测量指示仪表的一般知识

§ 1-1 电气测量指示仪表的组成

一、仪表的组成

电气测量指示仪表的种类很多，但是它们的主要作用都是将被测电量变换成仪表活动部的偏转角或位移。

通常电气测量指示仪表由两个基本部分组成，即测量机构和测量线路，可以用图 1-1-1 表示。

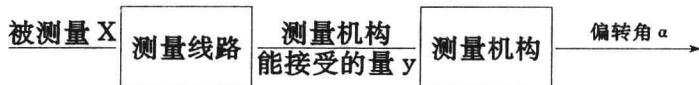


图 1-1-1 电气测量指示仪表的组成方框图

测量线路的作用是把被测量“x”（如电压、电流、功率等）变换成适于测量机构接受的量“y”的线路，如直流仪表的附加电阻，分流器等。

测量机构是仪表的核心部分，仪表的偏转角位移是靠它实现的。

二、仪表测量机构组成原则

测量机构的任务是把所接受的量按一定比例转变为指针的偏转或位移。为使指针能够偏转，测量机构在接受到输入量后应能产生一个转动力矩，去驱动与指针相连的活动部分，使之产生偏转。为了能从指针的偏转角反映出测量机构所接受的量的大小，这个转动力矩还要和机构所接受的量有一定的函数关系，即

$$M=f(y)$$

其中：M——作用于活动部分的转动力矩。

y——测量机构所接受的量，它与被测量有一定关系。

测量机构中产生转动力矩的部分称为驱动装置。

如果只有转动力矩作用在活动部分上，它就会在转动力矩的作用下，一直偏转下去直到受到阻挡为止。这就无法用指针的偏转来反映所接受的量的大小。因此，除了转动力矩之外，还要有一个反作用力矩作用在机构的活动部分上，并且希望反作用力矩的方向与转动力矩的方向相反，其大小则与指针的偏转角成正比，即

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

由式 (1-1-1) 可见, 若机构的活动部分没有偏转, 则反作用力矩为零; 若活动部分在转动动力矩驱动下开始转动, 则随着偏转角度的增加, 反作用力矩也成比例地增大, 直到它等于转动动力矩时, 指针才能平衡在一定的偏转角上, 即当

$$M = M_f$$

时
$$\alpha = \frac{1}{D} f(X) \quad (1-1-2)$$

$$\alpha = \frac{1}{D} f(X)$$

这时从偏转角度的大小就可以反映测量机构所接受的被测量的大小。

在测量机构中产生反作用力矩的部分叫控制装置。

只有上述两个力矩作用于测量机构的活动部分还是不够的, 因为活动部分到达式 (1-1-2) 所示的平衡位置时, 它还具有一定的动能, 必然要在平衡位置左右摆动不已, 直到这部分动能被消耗掉, 才能稳定下来。这需要较长的时间, 因而增加了读数的困难。所以还要有第三种力矩作用在机构的活动部分上, 这个力矩的特点是, 其大小要与活动部分的偏转速度成正比, 其方向要与该速度的方向相反, 即

$$M_d = K' \dot{\alpha} \quad (1-1-3)$$

此式表明, 当活动部分偏转得快时。这个力矩大, 它使活动部分的偏转慢下来; 活动部分不动了, 这个力矩也就消失了。适当选择比例系数 K' , 活动部分就能很快地稳定到平衡位置上。这种力矩叫阻尼力矩, 产生此力矩的部分称为阻尼装置。

总起来说, 每种测量机构通常都应该包括上述三部分, 它们所产生的三种力矩作用在活动部分上, 使指针的偏转角能够反映测量机构所接受的被测量的大小, 并且指针能较快地稳定在平衡位置上。不同型式的测量机构, 实现这三部分的结构不完全一样, 产生这三种力矩的原理也不相同。我们将在后面几章结合不同型式的仪表进行具体讨论。

§ 1-2 测量误差及其消除方法

任何测量都要力求准确。但是, 在实际的测量中, 由于测量方法、仪表仪器、试验条件和观察经验等方面因素的影响, 使得测量结果不可能是被测量的实际值, 而只是它的近似值。我们把测量值和被测量的实际值之间的差别, 叫做误差。

一、误差的分类和来源

根据性质不同, 测量误差一般分为系统误差, 偶然误差和疏失误差三类。

1、系统误差

这是一种在测量过程中或者遵循一定的规律变化，或者保持不变的误差。(例如，有规律地逐渐增大或周期性地增大或减少)。造成系统误差的原因主要有以下几个方面。

(1) 测量设备的误差 由于标准度量、仪器仪表本身具有误差，例如刻度不准，结果在测量中就会造成系统误差。

(2) 测量方法的误差 由于测量方法的不能完善而引起。例如引用近似公式，以及未估计漏电、热电势、接触电阻、仪表内阻等影响，都会造成系统误差。

此外，由于测量装置的安装或配线不当，周围环境条件的变化以及测量人员经验不足、反映不准等等因素，都会在测量中造成系统误差。

2、偶然误差

这是一种大小和符号都不固定的具有偶然性的误差。产生偶然误差的原因很多，例如，温度、湿度、磁场、电场、电源频率等的偶然变化，都会引起偶然误差。所以，在完全相同的条件下，以同样的仔细程度重复进行同一个量的测量时，测量结果往往不完全相同。

3、疏失误差

疏失误差由测量中的疏失所引起，是种明显地歪曲测量结果的误差。例如对测量仪表的不正确读数，对观察结果的不正确记录等等。

二、测量误差的消除方法

1、系统误差的消除

对于系统误差的消除，一般有以下几种方法。

(1) 对度量器及测量仪器进行校正 在测量中，度量器和测量仪器的误差直接影响测量结果的准确度，所以常引入其更正值，以消除误差。

(2) 消除误差的根源 例如，选择合理的测量方法，配置适当的测量仪器，改善仪表安装质量和配线方式，测量前检查调整仪表零位以及采取屏蔽措施来消除外部磁场及电场的影响等等。

(3) 采用特殊的测量方法

1) 替代法 在保持仪表读数状态不变的条件下，用等值的已知量去替代被测量。这样的测量结果就和测量仪表的误差及外界条件的影响无关，从而消除了系统误差。例如用电桥测电阻时，用标准电阻替代被测电阻，并调整标准电阻使电桥达到原来的平衡状态，则被测电阻值就等于这个标准电阻值，这就排除了电桥本身和外界因素的影响，消除了由它们所引起的系统误差。

2) 正负消去法。如果第一次测量时误差为正，第二次测量时误差为负，则可对同一量反复测量两次，然后取两次测量的平均值，便可消除这种系统误差。例如指针式仪表，由于活动部分的摩擦作用，结果对同一大小的被测量，在其数值上升或下降情况下进行测量时，就会有不同的读数。为了消除这种系统误差，可使被测量由小增大到某一

点,再从大减小到同一点,然后再取两次测量的平均值,就可消除摩擦所引起的系统误差。

3) 换位法。当系统误差恒定不变时,在两次测量中使它从相反的方向影响测量结果,然后取其平均值,从而使这种系统误差得到消除。例如,用等比率臂电桥进行测量时,为了消除比率臂电阻值不准造成的误差,可以采取换臂措施,即将两个比率臂电阻的位置调换一下,再进行一次测量,然后取两次测量的平均值即可。

2、偶然误差的消除

与系统误差不同,对于偶然误差,不能用试验的方法加以检查和消除,只能根据多次测量中各种偶然误差出现的或然率用统计学的方法加以处理。理论和实践证明,在足够多次的测量中,绝对值相等的正误差和负误差出现的机会(次数)是相同的,而且,小误差比大误差出现的机会总是更多。这样,在足够多次的测量中,偶然误差的算术平均值必然趋近于零。这是因为在一系列测量的偶然误差总和中,正、负误差互相抵消的结果。由此可知,为了消除偶然误差对测量结果的影响,可以采用增加重复测量次数的方法来达到。测量次数愈多,测量结果的算术平均值则愈趋近于实际值。

在工程测量中,由于偶然误差较小,通常可以不予考虑。

至于疏失误差,由于它是显然的错误,并且常常严重地歪曲了测量的结果,因此,含有疏失误差的观察结果是不可信的,应予抛弃。

§ 1—3 仪表的误差和准确度

所有用于电工测量的仪器仪表,统称为电工仪表,对于各种仪表,不论其质量如何,它的指示值和被测量的实际值之间总是存在着某种程度的差别,这种差别就叫做仪表的误差。误差愈小,仪表就愈准确。因此,仪表的准确度也是用误差的大小来表明,但它说明的却是仪表指示值和实际值之间的接近程度。

在科研和生产部门,保证测量仪表应有的准确度是十分重要的。例如,一只装在10万千瓦发电机上的功率表,如果度数偏大1%,那么在24小时内,就会少发24000度电,结果电气设备的生产潜力不能得到充分的发挥。相反,如果仪表的指示值偏小,就会造成电气设备的过负荷运行,使设备寿命缩短甚至造成烧毁事故。所以,准确度是测量仪表最重要的一个技术指标。

一、仪表误差的分类

根据产生误差的原因,仪表误差分为两类:

1、基本误差

仪表在正常工作条件下,由于结构、工艺等方面不够完善而产生的误差,称为仪表的基本误差。所谓正常工作条件,是指仪表在规定的正常温度、放置方式、大气压力、频率和波形下工作,且不存在外界电场或磁场的影响时的条件。在此条件下,由于活动

部分的摩擦,标尺刻度不准,零件装配不当等原因造成的误差,都是仪表的基本误差。这是仪表本身所固有的一种误差。

2、附加误差

当仪表的工作偏离了规定的正常工作条件,例如温度、频率、波形的变化超出了规定的条件,工作位置不正或存在外电场或磁场的影响时,都会造成额外的误差。这种由工作条件的改变而造成的额外误差,叫做仪表的附加误差。

二、误差的表达方式

仪表的误差,通常用绝对误差、相对误差和引用误差来表示。

1、绝对误差

仪表的指示值 A_x 和被测量的实际值 A_0 之间的差值,叫做绝对误差,以 Δ 表示。

即

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

在计算时可用标准表(用来检定工作仪表的高准确度仪表)的指示值作为被测量的实际值。

例 1-3-1 用一只标准电压表检定甲、乙两只电压表时,读得标准表的指示值为 100 伏。甲、乙两表的读数各为 101 伏和 99.5 伏,求它们的绝对误差。

解:由式 (1-3-1) 得

甲表的绝对误差 $\Delta_1 = A_x - A_0 = 101 - 100 = +1$ 伏

乙表的绝对误差 $\Delta_2 = 99.5 - 100 = -0.5$ 伏

上例说明,绝对误差还有正负之分。正的误差表明指示值比实际值偏大,而负的误差则说明仪表的指示值偏小。另外,甲表指示值偏离实际值较大(1 伏),乙表的偏离则较小(0.5 伏),显然,乙表的指示比甲表更为准确。因此,在测量同一个量时,我们可以用绝对误差 Δ 的绝对值说明不同仪表的准确程度, $|\Delta|$ 愈小的仪表,测量结果就愈准确。

由式 (1-3-1) 可得

$$A_0 = A_x + (-\Delta) = A_x + C \quad (1-3-2)$$

式 (1-3-2) 中 $C = -\Delta$ 称为更正值。更正值和绝对误差大小相等而符号相反。引进更正值后,就可以对仪表指示值进行校正,以消除其误差。

2、相对误差

在测量不同大小的被测量时,不能简单地用绝对误差来判断其准确程度。例如,甲表在测 100 伏电压时,绝对误差为 $\Delta_1 = +1$ 伏,乙表在测 10 伏电压时,绝对误差为 $\Delta_2 = +0.5$ 伏。从这里的绝对误差来看,甲表大于乙表,但是从仪表误差对测量结果的相对影响来看,却正好相反。因为甲表的误差只占被测量的 1%,而乙表的误差却占被测量的 5%,即乙表误差对测量结果的相对影响更大。所以,在工程上通常采用

相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差就是用绝对误差 Δ 与测量的实际值 A_0 的比值，通常用百分数来表示。以 γ 表示相对误差，则

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-3-3)$$

例 1-3-2 已知甲表测 100 伏电压时， $\Delta_1 = +1$ 伏，乙表测 10 伏电压时 $\Delta_2 = +0.5$ 伏，试求它们的相对误差。

解：甲表的相对误差

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_0} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\%$$

乙表的相对误差

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

求解表明乙表的相对误差大。

由于被测量的实际值和仪表的指示值通常相差不大，所以在工程上当不能确定实际值 A_0 时，常用仪表的指示值 A_x 近似地代替 A_0 进行计算，即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-3-4)$$

3、引用误差

相对误差可以表示测量结果的准确程度，但却不足以说明仪表本身的准确性能。同一只仪表，在测量不同的被测量时，由于摩擦等原因造成的绝对误差 Δ 变化不大，但随着被测量的变化， A_x 却可在仪表的整个刻度范围内变化。因此，在根据式(1-3-4)计算相对误差时，对应不同大小的被测量，就有不同的相对误差。这样，我们就难以用相对误差去全面衡量一只仪表的准确性能。例如，一只测量范围为 0~250 伏的电压表，在测量 200 伏电压时，绝对误差为 1 伏，则其相对误差为 $\gamma_1 = \frac{1}{200} = 0.5\%$ ；同一只电压表用来测量 10 伏电压时，绝对误差为 0.9 伏，其相对误差则为 $\gamma_1 = \frac{0.9}{10} = 9\%$ ，可见在被测量变化时，相对误差也随着改变了。

引用误差则可以更好地反映仪表的基本误差。所谓引用误差，是指绝对误差 Δ 与仪

表测量上限 A_m (即仪表的满刻度值) 比值的百分数, 用 γ_m 来表示, 则

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-3-5)$$

由于仪表的测量上限是一个常数, 而仪表的绝对误差又大体保持不变, 所以可用引用误差来表示仪表的准确度。

式 (1-3-5) 表明, 引用误差实际上就是测量上限的相对误差。因此, 知道了仪表的引用误差, 就可根据其测量上限 A_m , 将测量上限的绝对误差 Δ 计算出来。又由于 Δ 值基本不变, 所以也就可以把不同量值下的相对误差估算出来。

上述引用误差的计算适用于单向标度尺仪表, 这种仪表在实际应用得最多。具有其他标度尺仪表, 如双向标度尺仪表、无零位标度尺仪表等, 其引用误差的计算可参照有关标准的规定进行。

三、仪表的准确度

引用误差可以较好地表明仪表的基本误差, 但还不够确切地表示仪表的准确度。这是因为在测量值不同时, 绝对误差多少有些变化, 因而引用误差也就有所不同的缘故。因此, 规定以最大的引用误差来表示仪表的准确度。也就是说, 仪表的准确度等级 K 的百分数, 就是由最大绝对误差 Δ_m 所决定的最大引用误差;

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-3-6)$$

最大引用误差愈小, 仪表的基本误差就愈小, 准确度就愈高。我国生产的电工仪表的准确等级, 根据国家标准 GB776-76 的规定, 共分七个等级, 即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 级。各级仪表在正常工作条件下使用时, 其基本误差应不超过表 1-3-1 的规定。

不同等级仪表所容许的最大绝对误差, 在知道其测量上限后, 均可根据式 (1-3-6) 算出。

例 1-3-3 计算 0.5 级、单向标度尺电压表的容许绝对误差, 仪表上限为 250 伏。

解:
$$\Delta_m = \frac{\pm K \times A_m}{100} = \pm \frac{0.5 \times 250}{100} = \pm 1.25 \text{ 伏}$$

表 1-3-1 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

例 1-3-4 用准确度为 1.0 级, 上量为 10 安的电流表测量 4 安电流时, 其最大的相对误差是多少?

解: 该表的最大绝对误差为

$$\Delta m = \frac{\pm K \times A_m}{100} = \pm \frac{1 \times 10}{100} = \pm 0.1 \text{ 安}$$

测 4 安电流时, 可能出现的最大相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.1}{4} \times 100\% = \pm 2.5\%$$

由此可见在一般情况下, 测量结果的准确度 (即其最大相对误差), 并不等于仪表的准确度, 决不可把二者混淆起来。因此, 在选用仪表时, 不仅要考虑仪表的准确度, 还要根据被测量的大小, 选择合适的仪表量程, 才能保证测量结果的准确性。

例 1-3-5 将例 1-3-4 中仪表改用准确度为 0.5 级、上量为 100 安的电流表, 仍然测量 4 安电流时, 试求其最大相对误差。

解: 该表的最大绝对误差

$$\Delta m = \frac{\pm k A_m}{100} = \frac{\pm 0.5 \times 100}{100} = \pm 0.5 \text{ 安}$$

用该表测 4 安电流时, 可能出现的最大相对误差则为

$$\gamma = \frac{\Delta m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.5}{4} \times 100\% = \pm 12.5\%$$

可见仪表的准确度级虽然提高了, 但测量结果的相对误差却反而大多了。所以, 片面地追求仪表的准确度级而忽视对仪表量程的合理选择是完全错误的。为了保证测量结果的准确性, 通常应使被测量的大小为仪表测量上限的一半以上。

还应指出, 各种准确度等级的仪表, 不在规定的正常工作条件下使用的时, 还要考虑附加误差。附加误差的允许值可查看 GB776-76 中的有关规定。

§ 1-4 对仪表的主要技术要求

为了保证测量结果准确、可靠, 对电工指示仪表的技术要求主要有以下几个方面:

一、有足够的准确度

选用仪表的等级要与进行测量所要求的准确度相适用。通常 0.1 级和 0.2 级仪表用作标准仪表以校准其他工作仪表; 一般实验室用 0.5 级 ~ 2.5 级仪表, 配电盘

的仪表等级可更低一些。

- 1) 各级仪表的基本误差, 不应超过表 1-3-1 的规定。
- 2) 外界因素变化时, 在非正常条件下仪表的附加误差, 应符合国家标准的要求。
- 3) 指示仪表由于摩擦造成的升降变差(被测量平稳上升及下降时, 对应于同一个分度线上两次读数的实际值之差), 一般不应超过仪表基本误差的绝对值。

二、有合适的灵敏度

仪表指针偏转角的变化量与被测量的变化量之比称为仪表的灵敏度, 用下式表示:

$$S = \frac{d\alpha}{dx} \quad (1-4-1)$$

对于刻度均匀的仪表, 则 $S = \frac{\alpha}{x}$ 。这里, x 为任一被测量, 而 α 是对应于 x 的仪表偏转角。可见, 对于标尺刻度均匀的仪表, 其灵敏度是一个常数, 它的数值等于单位被测量所引起的偏转角。

灵敏度表示仪表对被测量的反应能力, 它反映了仪表所能测量的最小被测量。所以, 灵敏度是电工仪表的一个重要技术指标。选择仪表的灵敏度时, 要考虑被测量的要求。灵敏度过高, 仪表的量限可能过小, 灵敏度过低, 则仪表不能反映被测量的较小变化。因此, 要恰当选用灵敏度合适的仪表, 而不应单纯地追求高灵敏度。

灵敏度的倒数叫做仪表常数, 用 C 表示, 即 $C = 1/S$ 。

对某些仪器仪表(如数字仪表)还用分辨率来表示对被测量的反应能力。例如分辨率 4 微伏, 即仪表对 4 微伏的电压变化有明显的反映。

三、仪表本身消耗的功率小

仪表接入电路时, 本身也要消耗一定的能量。如果仪表消耗的功率较大, 必将改变电路原有的工作状态, 从而造成不能允许的测量误差。因此, 仪表本身的功率应尽量小。

四、有良好的读数装置

仪表的标度尺刻度应尽量均匀, 以便于读数, 并扩大仪表在测量时的工作范围。刻度不均匀的仪表, 在分度线较密的部分, 灵敏度低而读数误差大。在这部分标度尺上进行测量时必然不能保证应有的准确度。因此, 对标尺不均匀的仪表, 要求在刻度盘上标明其工作部分。一般规定其工作部分的长度不应小于标尺全长的 85%。

五、有良好的阻尼

由于仪表可动部分的惯性, 当接入被测量或被测量突然变化时, 指示器不能迅速稳定在指示量上, 而在稳定位置左右移动, 以致不能迅速地取得测量读数。为减小摆动时间, 迅速读数, 仪表设有阻尼装置。

仪表阻尼是否良好, 通常用阻尼时间来衡量。所谓阻尼时间, 是指仪表从接入被测

量开始,到指针在稳定位置左右的摆动不大于标尺全长的1%为止的时间。按规定,普通仪表的阻尼时间应不超过4秒。质量较好的仪表,阻尼时间只有1.5秒左右。

六、有足够的绝缘强度和过载能力

仪表的电气线路和外壳之间应有良好的绝缘,以保证仪表的正常工作和使用时的安全。仪表应有一定的耐受长时间和短时间过载的能力,以防止在延时过载下由于元件的过热,短时过载下的机械力冲击而造成仪表的损坏。

仪表的绝缘强度和过载能力的要求,可查看有关标准中的规定。

§ 1—5 电工仪表的分类、标志和型号

一、电工仪表的分类

电工仪表的种类很多,按其所用测量方法的不同,以及结构、用途等方面的特性,通常分为以下几类。

1、指示仪表

这类仪表的特点是把被测量转换为仪表可动部分的机械偏转角,然后通过指示器直接示出被测量的大小。因此,又称电气机械式或直读式仪表。

指示仪表应用极为广泛,规格品种繁多,通常还采用下列方法加以分类。

(1) 按仪表的工作原理分 有磁电系仪表、电磁式仪表、电动系仪表、铁磁电动系仪表、感应系仪表以及整流系仪表、静电系仪表等。

(2) 按测量对象的名称分 有电流表、电压表、功率表、电度表、功率因数表、频率表以及多种测量用途的万用表等。

(3) 按被测电流的种类分 有直流仪表、变流仪表及交直流两用仪表等。

(4) 按使用方法分 有安装式和可携式两种。安装式仪表是因定安装在开关板或电气设备的面板上使用的仪表,广泛用于发电厂、变电所的运行监视和测量。可携式仪表是可以携带和移动的仪表,广泛用于电气试验、精密测量及仪表检定中。

(5) 按使用条件分 有A、B、C三组。A组仪表宜在较温暖的室内使用,B组可在不温暖的室内使用,C组则可在不固定地区的室内和室外使用。其具体工作条件在国家标准GB776—76中均有详细规定。

2、比较仪器

这类仪器用于比较法测量中,包括直流比较仪器和交流比较仪器两种。属于直流仪器的有直流电桥、电位差计以及标准电阻和标准电池等;属于交流仪器的有交流电桥、标准电感和标准电容等。

3、数字仪表和巡回检测装置

数字仪表是一种以逻辑控制实现自动测量、并以数码形式直接显示测量结果的仪表,如数字频率表、数字电压、数字万用表等。数字仪表加上选测控制系统就构成了巡回检

测装置,可以实现对多种对象的远距离测量。这类仪表在近年来得到了迅速的发展和应用。

4、记录仪表和示波器

记录被测量随时间的变化的情况的仪表,称为记录仪表。发电厂中常用的自动记录电压表和频率表以及自动记录功率表都属于这类仪表。

当被测量变化很快,来不及笔录时,常用示波器来观测,电工仪表中的电磁示波器和电子示波器不同,它是通过振子在电量作用下的振动,经过特殊的光学系统来显示波形的。

5、扩大量程装置和变换器

用以实现同一电量大小的变换,并能扩大仪表量程的装置,称为扩大量程装置。如分流器、附加电阻、电流互感器、电压互感器等等。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,称为变换器。在各种非电量的电测量中,以及近年来发展的变换器或仪表中,变换器是必不可少的。

二、电工仪表的标志

不同种类的电工仪表具有不同的技术特性。为了便于选择和使用仪表,通常把这些技术特性用不同的符号标示在仪表的刻度盘或面板上,叫做仪表的表面标志。根据国家标准,每个仪表应有测量对象的单位、准确度等级、电流种类和相数、工作原理的系列,使用条件组别、工作位置、绝缘强度试验电压的大小、仪表型号以及各种额定值的标志。有关标志的各种符号见表 1-5-1。

三、电工仪表的型号

电工仪表的产品型号是按规定的标准编制的。对于安装式和可携式指示仪表的型号各有不同的编制规则。

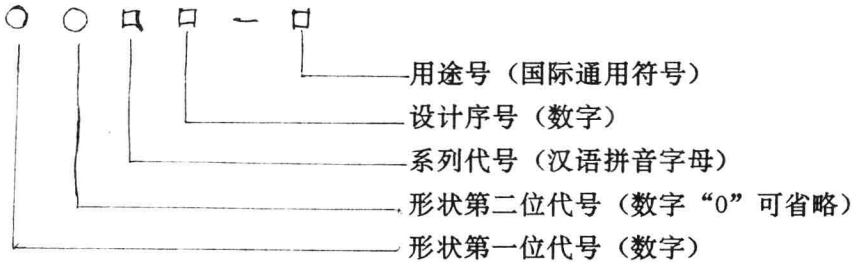


图 1-5-1 安装式仪表型号的编制规则

安装式仪表型号的基本组成形式如图 1-5-1 所示。

形状第一位代号按仪表面板形状最大尺寸编,形状第二位代号按外壳形状尺寸特征编;系列代号表示仪表的不同系列,如磁电系用C,电磁系用T,电动系用D,感应系用G,整流系用L;静电系用Q来表示等等。例如42C3-A型直流电流表,“42”