

中等专业学校教材

电工测量

武汉电力学校 周南星 编



水利电力出版社

前 言

本书是根据1980年原电力工业部制定的中等专业学校发电厂及电力系统专业《电工基础教学大纲》(试行)电工测量部分和1984年5月在成都召开的水利电力部中等专业学校电力类专业电工基础课程组会议通过的关于《电工测量》的教学安排建议而编写的。

按照教学要求,本书叙述了电力系统中常用的电工测量仪器仪表的原理、特性和使用,以及各种电工量的测量方法,期望学生通过本课程的学习,获得正确选用测量方法和使用仪器仪表的知识。

本书在编写过程中,参考了以下教材:《电工基础》下册(张洪让主编)、《电工仪表和测量》(林正馨编)、《电气测量》(陈立周编)、《常用电工仪表和测量》(华中工学院电工基础教研室编)、《电工学实验》(王耀光主编)和《电路、信号与实验指导书》(吴锡龙编)等。

本书由西安电力学校洪珍乃审阅,初稿经华中工学院黄力元副教授、广西大学吴景峰副教授和南京电力专科学校张洪让副教授审阅,提出不少宝贵意见和建议,编者深表谢意。

由于编者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1986年3月

目 录

前 言

第一章 电工测量的一般知识	1
1-1 测量方法的分类	1
1-2 误差	1
1-3 误差的分类	3
1-4 准确度(精确度)	4
1-5 对仪表的主要技术要求	6
1-6 电工仪表的分类和表面标记	7
1-7 有效数字	7
第二章 直流电流和电压的测量	11
2-1 关于电压和电流的测量	11
2-2 磁电系测量机构	11
2-3 磁电系电流表	13
2-4 磁电系电压表	15
2-5 磁电系仪表的主要技术特性	17
第三章 交流电流和电压的测量	18
3-1 电磁系测量机构	18
3-2 电磁系电流表和电压表	20
3-3 钳形表	21
第四章 功率的测量	23
4-1 电动系测量机构	23
4-2 电动系电流表和电压表	24
4-3 电动系功率表	25
4-4 低功率因数功率表	29
4-5 三相功率的测量	31
4-6 三相功率表	33
4-7 三相电路无功功率的测量	34
4-8 铁磁电动系三相无功功率表	37
第五章 电能的测量	39
5-1 感应系单相电度表	39
5-2 电度表内相角的调节方法	44
5-3 三相有功电度表	45
5-4 三相无功电度表	46
5-5 电度表的校验方法	48

第六章 功率因数和频率的测量	51
6-1 功率因数的间接测量	51
6-2 电动系比率表	52
6-3 铁磁电动系功率因数表	56
6-4 电磁系整步表	57
6-5 MZ-10型组合式同步表简介	61
6-6 电动系频率表	62
6-7 铁磁电动系频率表	64
第七章 电阻、电容及电感的测量	67
7-1 电阻测量概述	67
7-2 伏安法测电阻	67
7-3 欧姆表	68
7-4 万用表	71
7-5 直流单电桥	76
7-6 直流双电桥	78
7-7 兆欧表	81
7-8 交流电桥简介	84

电工测量的任务是测量电流、电压、电功率、频率、电能及电阻等电工量。用来测量这些电工量的仪表称为电工测量仪表。

在电能的生产、传输和使用的过程中，必须对各种电工量进行准确而迅速的测量，以使生产和管理人员及时了解各种电气设备的工作状况，为进行操作、检修、试验、调度和经济核算等提供必要的依据。所有人员都必须依靠准确的数据来说话。所以电工测量是保证电力生产的安全和经济运行所必不可少的手段。

第一章 电工测量的一般知识

1-1 测量方法的分类

所谓测量，就是确定被测量的数值。按测量方式，可分为直接测量和间接测量。

(1) 直接测量。由所用测量仪器仪表直接得到被测量的数值。如用电流表测电流，用电桥测电阻等。

(2) 间接测量。先测出与被测量有关的几个中间量，然后通过计算再求得被测量。如用伏安法测量电阻，就是先测出电阻的电压和电流，然后再根据欧姆定律计算出电阻值。

按测量方法，可分为直读法和比较法。

(1) 直读法。使用电测量指示仪表，在测量时通过仪表指针的偏转直接读取被测量的数值。各种电流表、电压表、功率表和万用表均为电测量指示仪表。这种测量方法简便、快速，但仪表由于刻度不精确会引入误差。

(2) 比较法。将被测量与标准量在比较式仪表内进行比较，从而得知被测量的数值。各种直交流电桥均为比较式仪表。这种测量方法的准确度高，但操作比较麻烦。

电工测量的方法是多种多样的，对某一被测量的测量常不限于采用一种方法，例如测量电阻值，有伏安法、电桥法，也可用万用表来测量，每一种方法都有其优点和缺点。我们需要根据具体条件，采用合适的仪器、合适的方法来进行测量。

1-2 误 差

一、误差及其表现形式

我们进行的任何测量都希望能获得被测量的真实数值，真实数值简称为“真值”。不

过, 所有仪表都不能实现绝对理想的测量, 因而我们得到的并不是被测量的真值, 而是近似值。测量所得的数值与真值之间的差异, 称为误差, 误差有三种表示形式:

1. 绝对误差

仪表的指示值 (简称示值) A_s 与被测量的真值 A_0 之间的差值, 称为仪表的绝对误差, 用符号 Δ 表示。即

$$\Delta = A_s - A_0$$

由于被测量的真值 A_0 无法得到, 所以用标准表 (用来检定工作仪表的高准确度仪表) 测得值 A 来代替 A_0 , 这样, 绝对误差便定义为

$$\Delta = A_s - A$$

式中 A —— 实际值。

绝对误差有正负之分, 测量值大于真值时为正, 测量值小于真值时为负。绝对误差的单位与被测量的单位相同。应该注意, 不要把误差的绝对值与绝对误差混为一谈。

绝对误差比较直观, 但只有当几个被测量的数值相等或接近相等时, 它才能正确评定测量的准确程度。

【例 1-1】甲表在测量实际值为 100V 的电压时, 示值为 101V; 乙表在测量实际值为 1000V 的电压时, 示值为 1002V, 求两表的绝对误差。

解: 甲表的绝对误差

$$\Delta_{\text{甲}} = 101 - 100 = 1\text{V}$$

乙表的绝对误差

$$\Delta_{\text{乙}} = 1002 - 1000 = 2\text{V}$$

$\Delta_{\text{甲}} < \Delta_{\text{乙}}$, 但如果认为甲表比乙表准确程度高, 显然是错误的。在这种情况下, 应采用相对误差来进行评定。

2. 相对误差

绝对误差 Δ 与实际值 A 的比值称为相对误差, 用符号 γ 表示。在测量学中, 相对误差常表示为分子为 1 的分数, 如 $\frac{1}{100}$ 、 $\frac{1}{500}$ 等。在电工测量中, 则用百分比来表示, 即

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{实际值}} \times 100\%$$

用符号表示为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A} \times 100\%$$

在 [例 1-1] 中, 甲、乙两表的相对误差分别表示为:

$$\gamma_{\text{甲}} = \frac{1}{100} \times 100\% = 1\%$$

$$\gamma_{\text{乙}} = \frac{2}{1000} \times 100\% = 0.2\%$$

可见相对误差表明了误差对测量结果的相对影响, 反映了实际情况。

3. 引用误差

一只仪表在其测量范围内, 各处示值的绝对误差相差不大, 因而相对误差就随测量值

的减小而增大。例如一只0-250V的电压表,在测量200V时,绝对误差 $\Delta = +2\text{V}$,其相对误差

$$\gamma = \frac{2}{200} \times 100\% = 1\%;$$

在测量10V时,绝对误差 $\Delta = +1.9\text{V}$,其相对误差

$$\gamma = \frac{1.9}{10} \times 100\% = 19\%.$$

因而相对误差在仪表的全量限上变化很大,任取哪一个 γ 值来表示仪表的准确等级都不合适。

如果把相对误差 γ 计算公式中的分母换用仪表的最大刻度值(即上限),则比值就接近于一个常数,解决了一只仪表的相对误差变化太大的问题。绝对误差 Δ 与仪表最大刻度值 A_m 的百分比值称为引用误差或满度相对误差,记为 γ_m 。即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

引用误差虽然也是一种相对误差,但它是用绝对误差与一个常数之比值来表示的,故实际上它反映了同量限仪表的绝对误差的大小,只有当仪表的读数接近量限时,它才反映测量结果的相对误差。根据国家标准规定,引用误差用来表示电测量仪表的基本误差。

仪表各示值的绝对误差不一定相等,其值有大有小,符号有正有负,若取其中最大的绝对误差 Δ_m 与仪表的最大刻度值 A_m 的百分比值,则称为最大引用误差,记为 γ_{mm} 。即

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

一只合格的仪表,在规定的正常工作条件下,其最大引用误差应小于允许的数值。

二、修正值

在实际测量中,常采用加入修正值的方法来提高测量的准确度。

绝对值与 Δ 相等,而符号相反的值称为修正值,用符号 C 表示。

即

$$C = -\Delta$$

也就是,修正值 $=$ —绝对误差。故

实际值 $=$ 测量值 $-$ 绝对误差 $=$ 测量值 $+$ 修正值。用符号表示为

$$A = A_x + C$$

1-3 误差的分类

根据误差的性质,可将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三种。了解它们的特点和产生的原因,便于设法消除或减小对测量结果的影响。

一、系统误差

凡是按一定规律变化的误差,称为系统误差。若在相同的测量条件下,多次测量同一量时,这种误差的大小和符号均保持固定或按一定的规律变化。系统误差可以通过实验或理论计算来求得。

造成系统误差的原因有:

(1) 测量仪表不准。如仪表设计和制造不完善, 刻度不精密, 零点未调准等。

(2) 环境影响。如温度、湿度、电场、磁场和频率等的变化。

(3) 测量方法不完善。如仪表接入电路时会改变电路的状态, 而引起误差; 或测量方法所依据的是某个近似公式时, 也会造成误差。

(4) 测量人员的感官差异和偏向。如测量者视听器官不完善, 或习惯性的读数偏高或偏低。

由于系统误差的规律可以为人们所掌握, 因而可以通过引入修正值来消除其影响。

二、随机误差

随机误差又称偶然误差, 其特点是在多次测量同一量时, 误差的大小和符号均发生不可预知的变化。

这种误差是由于各种随机因素(温度的微量变化、空气的扰动、地面的微震、电源电压波动、电磁场微变等)对测量产生的综合影响所造成。

由于随机误差没有规律性, 它不为测量者所预知, 也无法加以控制, 所以随机误差不能用实验方法加以修正。对这种误差, 可通过获取大量测定值后求取平均值来使之减少。在消除系统误差之后, 这种平均值比较接近实际值。因而, 常以平均值作为测量结果。

三、粗大误差

由于测量人员的疏忽而造成的误差称为粗大误差或疏失误差。如仪器操作不正确、读错、记错或算错而带来的误差。这种误差的数值可能远大于系统误差或随机误差, 严格地说, 它不属于误差的范畴, 而是不懂测量或粗心大意而造成的错误。

含有粗大误差的测量值称为坏值, 应予废弃。

1-4 准确度(精确度)

一、准确度

准确度的高低是用误差来衡量的, 误差越小, 准确度越高; 误差越大, 准确度越低。

准确度包含精密度和正确度两个成分。其中精密度是指多次重复测量某一值时, 测量数据的一致程度。正确度是指测量值与真值偏离的程度。以射击为例, 靶心相当于测量真值, 而着弹点相当于测量值, 准确的射击好比准确的测量。图1-1(a)虽不命中, 正确度

差, 但精密度高; 图(b)着弹点分散, 精密度差, 但正确度比图(a)高; 可见精密度和正确度是有区别的。正确度和精密度都高是有可能的, 如图(c)所示, 着弹点都集中在靶心。

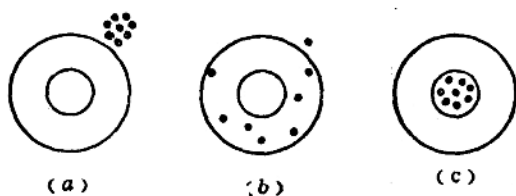


图 1-1 精密度与正确度比较示意图

(a)精密度高; (b)精密度低; (c)精密度和正确度都高

二、仪表的准确度

仪表的准确度是表明仪表质

量的主要标志，用来反映仪表的基本误差。

仪表的准确度等级是按国家规定（《电测量指示仪表通用技术条件》GB776-76）的允许误差大小而划分的。根据国家规定共分七级：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0级。各级仪表在它的标尺工作部分的所有分度线上，其基本误差不允许超过仪表准确度等级的数值，如表1-1所示。

表 1-1

仪表的准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差不大于%	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

若以 α 表示仪表的准确度等级，则 α 与最大引用误差的关系是

$$\alpha \% \geq \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100\%$$

α 值表示仪表在规定工作条件下，所允许具有的最大误差。例如，准确度 $\alpha = 0.5$ 的仪表，在规定工作条件下，其最大引用误差不允许超过 $\pm 0.5\%$ 。仪表的准确度等级的数值越小，允许的最大引用误差就越小，表示仪表的准确度越高。通常0.1、0.2级表用作标准表，0.5、1.0、1.5级表用于实验室，1.5、2.5、5.0级表用于配电盘。

仪表使用在非正常条件下，其附加误差在《电测量指示仪表通用技术条件》中也有相应的规定。

【例 1-2】 校验一只量程为300V的电压表，发现100V处的误差最大，其值为 $\Delta_m = 3$ V，求该表的准确度等级。

解：

$$\alpha \% = \frac{\Delta_m}{A_m} = \frac{3}{300} = 1\%$$

准确度 α 为1.0级。

应该指出，仪表的准确度等级是反映仪表性能的主要指标，但在使用仪表进行测量时，它所产生的测量误差可能会超过仪表的准确度等级，由下例可见。

【例 1-3】 用量限为5A、准确度为0.5级的电流表来测量5A和2.5A的电流，求测量结果可能出现的最大相对误差。

解：可能出现的最大绝对误差为：

$$\Delta_m = \pm \alpha \% \times A_m = \pm 0.5\% \times 5 = \pm 0.025 \text{ A}$$

测量 5 A 时可能出现的最大相对误差为：

$$\gamma \% = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.025}{5} \times 100\% = \pm 0.5\%$$

测量 2.5 A 时可能出现的最大相对误差为：

$$\gamma \% = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.025}{2.5} \times 100\% = \pm 1\%$$

因此，选择仪表时要注意其量限应尽量接近被测值，这样可使测量误差减小。

1-5 对仪表的主要技术要求

为了衡量电工测量仪表的质量,我国制定了国家标准GB 776-76《电测量指示仪表通用技术条件》,其中,对一般电工指示仪表的技术要求,主要有以下几个方面:

1. 有足够的准确度

(1) 仪表的基本误差不应超过表1-1的规定;

(2) 当外界因素(如温度、电磁场等)的变化超过规定条件时,引起的附加误差应在规定范围内。

2. 具有适当的灵敏度

仪表的灵敏度 S 是指仪表可动部分的偏转角的变化量 $\Delta\alpha$ (格数)与被测量的变化量 Δx 之比值,即

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

对于偏转角 α 与被测量 x 成正比的仪表,灵敏度为常数,即

$$S = \frac{\alpha}{x}$$

它等于单位被测量所引起的偏转角。例如一只刻度均匀的微安表,通入 $1\mu\text{A}$ 时,指针偏转2格,则此表的灵敏度 S 等于2格/ μA 。

灵敏度高,表示通入单位被测量时的偏转角大,说明仪表能够发觉被测量的变化越微小。这对精密电气测量是很重要的。但对一般电工仪表来说,灵敏度高,量限就小,仪表就容易过载,因而选用仪表不能片面追求高灵敏度。

灵敏度的倒数叫做仪表常数,记为 C ,即

$$C = \frac{1}{S}$$

标尺刻度均匀时

$$C = \frac{x}{\alpha}$$

例如,灵敏度 $S=2$ 格/ μA ,则仪表常数 $C=0.5\mu\text{A}/\text{格}$ 。

必须注意,上述所定义的灵敏度和习惯上对万用表所说的灵敏度不同。例如万用表表头的灵敏度是用指针偏转到满度所需的电流值来表示,如灵敏度为 $50\mu\text{A}$ 。满度电流值越小,表头的灵敏度越高。

3. 仪表本身消耗的功率要小

在测量过程中,仪表本身要消耗一定的功率,如果这个功率较大,就会对被测电路产生影响,使测量结果产生误差。

4. 有良好的读数装置

一般要求标尺刻度均匀,便于读数。

对于刻度不均匀的标尺,应标有黑圆点,自黑圆点起为工作部分,工作部分应占标尺

长度的85%以上。

对于不同准确度的仪表，指针和标尺都有不同的要求，如有的仪表指针呈刀形，且标尺带镜面，以减少视差。

5.有良好的阻尼

由于仪表活动部分有惯性，当被测量变化时，指针会在平衡位置左右摆动，不能很快稳定下来，导致读数困难。故仪表一般均设有阻尼装置，在活动部分运动时产生阻尼作用。指针从一个位置变到另一个位置时，其阻尼时间应尽量少。

6.有足够的过载能力、绝缘强度和机械强度

1-6 电工仪表的分类和表面标记

一、常用电工仪表的分类

常用的电工仪表可分为以下两大类：

1.直读式仪表

将被测量变换成指针的角位移，而直接读取被测量的大小。又可分为以下几种类型：

- (1) 按结构原理，可分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系等。
- (2) 按被测量的名称，可分为电流表、电压表、功率表、电度表、相位表等。
- (3) 按被测电流的种类，可分为直流表、交流表、交直流两用表。
- (4) 按准确度等级，可分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5和5.0七级。
- (5) 按使用方式，可分为开关板式、便携式。
- (6) 按使用条件，可分为A、B、C三组，分别用于较温暖的室内、不温暖的室内、室外。

2.比较式仪表

将被测量与标准量比较后才能确定被测量的大小，如电桥等。

二、表面标记

电工仪表的各种技术特性，都用符号标示在仪表的表面（刻度盘）上，供使用者识别和选择。常见的表面标记列于表1.2中。

1-7 有效数字

一、有效数字

测量值一般都包含有误差，所以测量值是近似值。近似值的数字应取多少位，位数是否取的越多越好，这是每个计量工作者必须知道的。例如用电压表两次测得某电压的数值分别为3.34V和3.35V，若小数点后第二位的数字4和5是估读的（欠准的），则计算两次读数的平均值不要写成3.345V，而只能写成3.34V，过多的位数是没有意义的，只能带来记录和计算的麻烦。但位数过少，则会增加测量误差。

一个数据，从左边第一个非零数字算起至后面含有误差的一位止，其间所有数码均为

表1-2

分类	符号	名称	分类	符 号	名 称
电流种类	—	直 流	外 界 条 件		I级防外磁场 (例如磁电系)
	~	交 流			I级防外电场 (例如静电系)
	~ ~	直流和交流		 	II级防外磁场 及电场
测 量 单 位	A	安		 	III级防外磁场 及电场
	V	伏		 	IV级防外磁场 及电场
	W	瓦			A组仪表
	var	乏			B组仪表
	Hz	赫			C组仪表
工 作 原 理		磁电系仪表	绝 缘 强 度		不进行 绝缘强度试验
		电磁系仪表			绝缘强度试验 电压为2kV
		电动系仪表	端 钮	+	正 端 钮
		磁电系比率表		-	负 端 钮
		铁磁电动系		*	公共端钮
准 确 度 等 级	1.5	以表尺量限的 百分数表示			与屏蔽相连接的 端 钮
		以指示值的 百分数表示			调 零 器
工 作 位 置		标尺位置垂直	调 零 器		
		标尺位置水平			
		标尺位置与 水平面夹60°			

有效数字。有效数字的位数称为有效位数，有效位数越多，误差越小。例如 $\pi = 3.14159 \dots$ ，在计算中可取

$$\pi = 3.142$$

四位有效数

$$\pi = 3.1416$$

五位有效数

可见，有效位数表征着近似值的准确程度。

在数学中，1.1和1.10是相等而没有区别的，但作为测量数据，二者是有区别的。前者表示误差出现在小数点后第一位，而后者表示误差出现在小数点后第二位。因此，后者比前者要精确。

“0”这个数字，当它在数字中间或在数尾时，是有效数字，如101、200、2.30。在小数点后的数尾不能随便增加或减少零。但当“0”在第一个非零数字之前时，就不是有效数字，如0.023中第一个和第二个“0”都不是有效数字，因为0.023m可以写成 $23 \times 10^{-3}\text{m} = 23\text{mm}$ ，也可写成 $23 \times 10^{-6}\text{km}$ ，采用不同乘幂仅改变单位，而不改变准确度，故此数的有效位数为2。

有些数值为准确值，是不带误差的，如公式 $\omega = 2\pi f$ 和 $W = \frac{1}{2}LI^2$ 中的2和 $\frac{1}{2}$ ，它们的有效位数应为无穷多位。

为了保证测量仪器的精确度，其指示机构必须使读数有足够的位数，位数不够会增加仪器的测量误差，位数太多又没有必要，如数字式电压表的误差为万分之几，就应设计五位读数，若仅有四位读数，则误差达千分之几，若设计六位读数，则第六位表示整个读数的十万分之几，比总误差还小，所以这一读数已无意义。

二、数据的舍入规则

若选定有效位数为 n ，则第 $n+1$ 位后的多余数字按下列规则舍入：

(1) 当第 $n+1$ 位数字大于5时则入，如 $e = 2.71828$ 取3位为 $e = 2.72$ 。

(2) 当第 $n+1$ 位数字小于5时则舍，如 $e = 2.71828$ 取4位为 $e = 2.718$ 。

(3) 当第 $n+1$ 位数字恰好等于5时应使用“偶数原则”：若第 n 位为奇数，则进1，如 $\pi = 3.14159$ 取4位为 $\pi = 3.142$ 。若第 n 位为偶数，则舍去，如123.45取4位为123.4。总之，要使末位凑成偶数。这与“四舍五入”的一般规则不同，逢5就入会在大量的数字运算中造成累积误差，而根据末位的奇偶数来决定入或舍，可使入与舍的机会相等，提高了数据的准确度。

三、有效数字的运算规则

1. 加减运算

(1) 小数位数相同时，其和、差的有效数的小数位与原来的相同，如 $12.34 + 56.78 = 69.12$ 。

(2) 小数位数不同时，应对小数位数多的先进行舍入处理，使它仅比小数位数最少的只多一位小数。加减运算后，应保留的小数位数与原来近似值中最少的小数位数相同。

【例 1-4】求近似值0.1234、4.567、78.9之和。

若直接相加

$$\begin{array}{r} 0.1234 \\ 4.567 \\ +) 78.9 \\ \hline \end{array}$$

$$83.5904$$

其和为83.5904，但第三个近似值中的第三位数9是欠准的，故和数的尾数0.0904已无实际意义而应略去，和数应取83.6。可见，此尾数的计算是多余的。实际计算时，为了简便，可对小数位数较多的近似值先进行舍入，使它们只比小数位最少的只多一位，如

$$0.1234 \quad \text{取为} 0.12$$

$$4.567 \quad \text{取为} 4.57$$

再与78.9相加

$$\begin{array}{r} 0.12 \\ 4.57 \\ +) 78.9 \\ \hline 83.59 \end{array}$$

然后,再取舍为83.6,使其小数位数与最少的小数位数相同。

2. 乘、除运算

两个近似值相乘或相除时,要求:

(1) 先对小数位数多的近似值作舍入处理,使它比小数位数少的近似值只多一位小数。

(2) 计算结果应保留的小数位数与原近似值中少的小数位数相同。

3. 平均值

多次重复测量的数据的平均值,其有效位数应同单次测量数据的有效数字的位数一样。

思考题和习题

1. 仪表的准确度等级和仪表的误差有什么关系?

2. 仪表的误差与测量误差有何区别?

3. 用量限10A、0.5级的电流表测量5A和10A的电流,可能出现的最大相对误差为多少?

4. 测量220V的电压,现有两只表:

(1) 量限600V、0.5级。

(2) 量限250V、1级。

为了减小测量误差,应选用哪只表?

5. 有一只电压表,量限为100V,原来的准确度为0.5级,现对它进行校验,试验结果如下,试判断该表目前的准确度等级。

被校表读数[V]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
标准表读数[V], (升)	0	10.4	20.4	30.4	40.5	50.6	60.1	69.9	80	90.1	100.2
标准表读数[V], (降)	0	9.6	19.6	29.6	39.3	49.5	59.5	69.9	79.9	89.9	100.2

第二章 直流电流和电压的测量

2-1 关于电压和电流的测量

在电工测量中，电流和电压是两个基本的被测量，这不仅是因为测量它们本身很重要，而且许多非电量（如温度）也都是转换成电流或电压后才进行测量的。

测量电流和电压大多采用直读式指示仪表，这种仪表的各项技术性能均能满足一般工程和实验的需要。

测量时，电流表应与被测电路串联，电压表应与被测电路并联。由于电流表的内阻不等于零，电压表的内阻不等于无限大，所以当它们接入电路时，会对电路的工作状态产生影响，从而造成测量误差。电流表的内阻越小，或电压表的内阻越大，对被测电路的影响就越小，测量误差也就越小。

磁电系、电磁系和电动系测量机构都能用作电流表和电压表。直流电流表和直流电压表主要采用磁电系测量机构，交流电流表和交流电压表多采用电磁系测量机构，直、交流标准表则采用电动系测量机构的居多。

开关板式电流表的量限不超过100A，电压表则不超过600V。经互感器连接的电表的量限是有规定的，电流表的量限为5A，电压表的量限为100V，但仪表的标尺则以互感器原方的电流或电压来刻度。

测量电流也可以用间接测量法，如通过测量电阻两端的电压再经计算而求得电流。

2-2 磁电系测量机构

一、结构

磁电系测量机构是利用永久磁铁的磁场对载流线圈产生的作用力而制成的，图2-1是这种机构的一般结构。

测量机构由两部分组成：一是固定部分，另一是可动部分。

固定部分是磁路系统，它包括永久磁铁1、圆柱形铁心2。圆柱形铁心是固定不动的，它与极掌之间有均匀的气隙，气隙中形成均匀的幅射形的磁场。

可动部分由绕在铝框上的可动线圈3、两个游丝4和指针5等组成。铝框和指针都固定在转轴上，转轴由上下两个半轴构成。两个游丝的螺旋方向相反，它们的一端也固定在转轴上，并分别与线圈的两个端头相连。下游丝的另一端固定在支架上，上游丝的另一端与调零器相连。所以游丝不但用来产生反作用力矩，并且用来作为将电流导入动圈的引线。在转轴上还装有平衡锤，用以平衡指针的重量。整个可动部分通过轴尖支承于宝石轴承中。

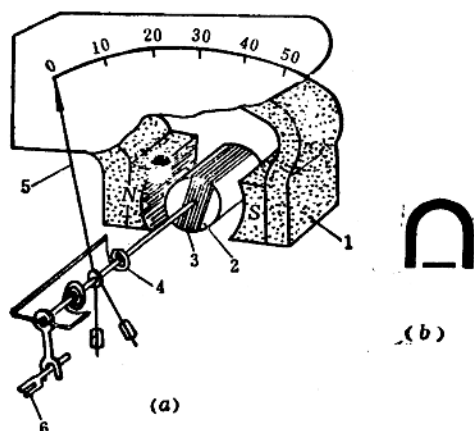


图 2-1 电磁系测量机构
(a)结构示意图; (b)符号
1—永久磁铁; 2—圆柱形铁心; 3—可动线圈;
4—游丝; 5—指针; 6—调零螺丝

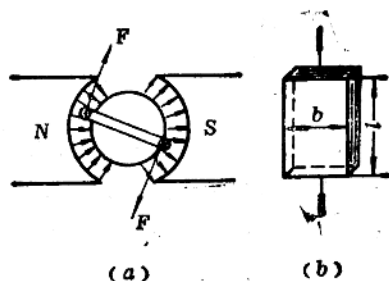


图 2-2 磁电系测量机构的作用力矩

二、作用原理

当电流 I 通过动圈时, 动圈就会受到磁场 B 的作用力而发生偏转。动圈每边导线所受的电磁力为 $F = NBIL$, 其中 N 为匝数, l 为一边的长度。动圈所受的转动力矩为

$$M = 2F \cdot \frac{b}{2} = NBILb = NBAI$$

式中 b —— 动圈宽度;

A —— 动圈的面积, $A = lb$ 。

在转矩的作用下, 可动部分发生偏转 (图 2-2 中动圈朝顺时针方向旋转), 引起游丝扭转而产生反作用力矩 M_a , 此力矩与扭紧的程度成正比 (好比上紧钟表发条), 也即与动圈的偏转角成正比。故有

$$M_a = D\alpha$$

式中 α —— 动圈的偏转角;

D —— 游丝的弹性系数。

当转矩与反作用力矩平衡时, 指针将停留在某一个位置, 此时有

$$M = M_a$$

即

$$NBAI = D\alpha$$

所以

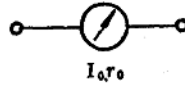
$$\alpha = \frac{NBA}{D} I = SI$$

式中, $S = \frac{NBA}{D}$ 是磁电系测量机构的灵敏度, 它是一个常数。所以磁电系测量机构的指针偏转角 α 与通过动圈的电流 I 成正比。因此, 标尺的刻度是均匀的 (即线性标尺), 这是很有用的特性。

磁电系测量机构利用铝框产生阻尼力矩。当可动部分在平衡位置左右摆动时, 铝框因

切割磁力线而产生感应电流，此电流受磁场的作用而产生作用力，其方向总是与铝框摆动的方向相反，从而阻止可动部分来回摆动，使之很快地静止下来。

磁电系测量机构（俗称表头）的电路符号用



来表示， r_0 为内阻，

I_0 为额定电流。因动圈的导线很细，且电流又要经过游丝导入，所以磁电系测量机构的额定电流（即满偏电流） I_0 很小，一般只有几十到几百微安，所以不能直接用来测量较大的电流，而只能用作检流计、微安表和毫安表。

磁电系测量机构只能用于直流电，电流必须从“+”极端进入，否则指针要反转。误接交流时，指针虽无指示，但动圈内仍有电流通过，电流过大时，会损坏动圈。如果配上整流器，则可用于交流电，指示出交流量的绝对值的平均值。

2-3 磁电系电流表

一、磁电系电流表的构成

为了扩大磁电系测量机构的量限，以测量较大的电流，可用一个电阻与动圈并联，使大部分电流从并联电阻中分走，而动圈只流过其允许的电流。这个并联电阻叫做分流电阻，用 R_s 表示，如图2-3所示，图中 r_0 为测量机构的内阻。

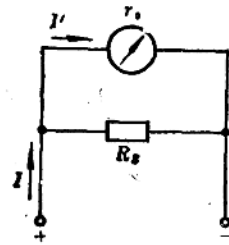


图 2-3 分流器扩大电流表的量限

并联分流电阻后，通过测量机构的电流 I' 可由分流公式求得，即

$$I' = \frac{R_s}{r_0 + R_s} I$$

可见，通过测量机构的电流与被测电流成正比。因而仪表的标尺可以直接用被测电流来刻度。

被测电流 I 与通过测量机构的电流 I' 之比称为量限扩大倍数，用 n 表示，即

$$n = \frac{I}{I'} = \frac{R_s + r_0}{R_s} = 1 + \frac{r_0}{R_s}$$

如果量限扩大倍数 n 为已知，则分流电阻可由下式来求取

$$R_s = \frac{r_0}{n-1}$$

【例 2-1】一磁电系测量机构，其满偏电流 I_0 为 $200\mu\text{A}$ ，内阻 r_0 为 300Ω ，若将量限扩大为 1A ，求分流电阻。

解：先求电流扩大倍数

$$n = \frac{I}{I_0} = \frac{1}{200 \times 10^{-6}} = 5000$$

则分流电阻

$$R_s = \frac{r_0}{n-1} = \frac{300}{5000-1} = 0.06\Omega$$

二、量限的扩大和外附分流器

磁电系电流表可以制成多量限的，图 2-4 所示为具有两个量限的电流表电路。图中量