

第 1 篇 电工实验

1.1 电工测量仪表的使用

1.1.1 实验目的

电工测量仪表的正确使用是完成全部电工实验的基础，本实验的目的如下：

- (1) 熟悉常用机电式电工仪表的工作原理及分类。
- (2) 掌握使用常用电工仪表测量电流、电压、功率及电阻的基本方法。

1.1.2 实验原理

随着现代电子技术的不断发展，为了保证生产过程的顺利进行和用电设备的正常工作，常常需要对各种电磁量进行测量，确定它们的数值，以便更好地对它们进行控制和研究它们之间的内在联系。电工测量就是应用电磁现象的基本规律，对电压、电流、电阻和电功率等电磁量进行的测量，测量所使用的工具就是电工仪表。由于电工测量有很多突出的优点，例如，测量仪表精度高，测量范围广，体积小，容易实现遥测、遥控，容易进行连续测量和自动测量等，因此，电工测量在生产和科学研究等各方面都得到广泛应用。电工测量不仅用于测量电磁量，而且也常被用于测量非电磁量。

电工仪表按测量方式不同可分为两大类：一类是直读式仪表，能直接指示被测量的大小；另一类是比较式仪表，需将被测量与标准量进行比较才能得知其大小。常用电工测量仪表以直读式机电仪表最为普遍。

机电式直读式仪表通常是依据电磁相互作用原理，使仪表指针机械偏转而制成的，主要由电磁相互作用机构、与电磁力矩相平衡的反力矩机构、可形成阻尼力矩的阻尼装置和调零装置等部分组成。

1. 直读式机电仪表的分类和符号

仪表的分类方法有多种，主要从以下几个方面进行分类。

- (1) 按被测量的种类可分为电流表、电压表、功率表、频率表、相位表等（见表 1.1.1）。

表 1.1.1 不同种类的测量仪表







被测量种类	仪表名称	符号
电流	安培表、毫安表、微安表	A mA μV
电压	伏特表、毫安表	V mV
电阻	欧姆表	Ω
电功率	功率表	W
电能量	电度表	Wh
功率因数	功率因数表	$\cos\varphi$

频率	赫兹表	Ⓜ
----	-----	---

(2) 按作用原理可分为磁电式、电磁式、电动、磁电整流式等(见表 1.1.2)。

(3) 按仪表准确度可分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 等级。




表 1.1.2 不同结构的测量仪表

仪表型式	符号	用途
磁电式		直流电压、电流、电阻
电磁式		直流及工频交流电压、电流
电动式		直流及交流电压、电流、功率、功率因数
整流式		工频或较高频正弦电压、电流
铁磁电动式		工频电压、电流、功率
感应式		交流电能

在仪表的刻度盘上,除标有被测量种类符号和仪表原理型式符号外,还标有适用电流是直流还是交流、仪表耐压能力、准确度等级等符号,为正确使用本仪表提供条件。

现将仪表上常用的符号及其含义列于表 1.1.3 中。

表 1.1.3 仪表上的常用符号

表盘上符号	所代表的意义
-	适用直流
~	适用交流
3~	三相交流
(或)	代表垂直放置
	代表水平放置
	代表与水平成 30°放置
	准确度 0.5 级
	代表绝缘经 2 000 V 耐压试验

2. 几种常见的电工仪表的结构及其工作原理

1) 磁电式仪表

磁电式仪表结构如图 1.1.1 所示。它由一个固定的永久磁铁和一个带有指针及带弹簧的活动线圈组成,当被测电流通过可动线圈时,载流线圈与永久磁铁的磁场相互作用产生转动力矩,带动指针偏转,在与其弹簧的反作用力矩达到平衡时,指针停留的位置即为被测量的指示值,指针离开平衡位置的偏转角与通过的电流值成正比。

磁电式仪表准确度、灵敏度高,自身功耗小,表盘刻度均匀,但仪表过载能力差,直接使用只能用来测量直流量。

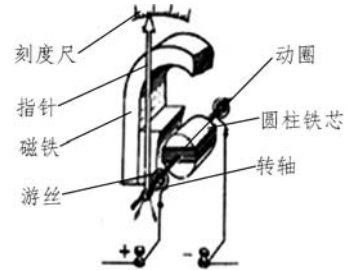


图 1.1.1 磁电式仪表的结构原理

2) 电磁式仪表

电磁式仪表的结构如图 1.1.2 所示。它由一个内部装有定铁片的固定线圈和安在同一轴上可以转动的指针、弹簧反铁片组成。当被测电流通过线圈时产生磁场,使动铁片和定铁片同时磁化,并且相靠近部分是同一极性。由于同极相斥使动片带动指针偏转,在与弹簧反力矩平衡时,指针指示出被测量的值。

电磁式仪表结构简单、过载能力强,交直流量均可测量,但灵敏度和准确度较低,刻度不均匀,本身功耗大。

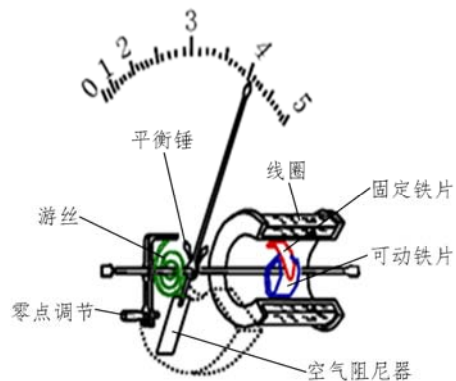


图 1.1.2 电磁式仪表的结构原理

3) 电动式仪表

电动式仪表的结构如图 1.1.3 所示。它由固定线圈和装在同一轴上可转动的指针、弹簧及活动线圈组成。测量时固定线圈和可动线圈均有电流通过,根据两载流线圈相互作用原理,使可动线圈偏转并带动指针偏转,在与弹簧反作用力矩相平衡时,指针指示出被测量的数值。

电动式仪表准确度高,交、直流量均可测量,可制成电流表、电压表,也常制成功率表;其缺点是结构较复杂,造价高,功耗大,过载能力差。

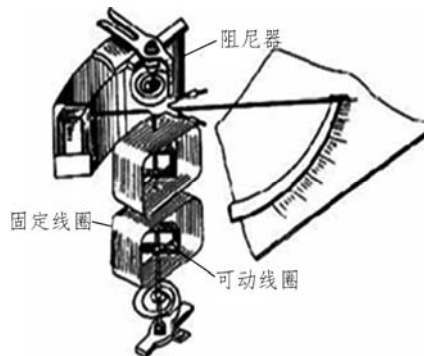


图 1.1.3 电动式仪表的结构原理

3. 电工仪表的准确度等级

准确度等级反映了电工仪表的准确程度。目前我国电工仪表准确度分为七级。等级的划分是由仪表的相对额定误差的大小决定。即

$$\beta_H = \frac{\Delta A_m}{\beta A_m} \times 100\%$$

式中： β_H 为仪表的相对额定误差， βA_m 为仪表的最大绝对误差， A_m 为仪表的最大量程。

一般 0.1 和 0.2 级仪表常作为标准仪表使用。0.5 ~ 1.5 级仪表为实验室仪表。1.5 ~ 5 级仪表为生产过程的指示仪表。

一般说等级高的仪表（0.1、0.2 级）比等级低的仪表（2.5、5 级）测量结果更准确，但量程的选择对测量结果的准确程度也有很大影响。使用仪表时，选择其量程要使测量愈接近满刻度愈好。一般应使指针偏转超过满刻度值的一半。

【例】有两只均为 0.1 级的电流表，量程分别为 100 A 和 50 A，现用来测量 40 A 的电流，分别求测量结果的最大相对误差。

解：（1）用 100 A 电流表测量时：

$$\Delta A_{m1} = \beta_H \times A_{m1} = \pm 1\% \times 100A = \pm 1A$$

故用此仪表测量 40 A 电流时，最大相对误差为

$$\beta_1 = \frac{\Delta A_{m1}}{A} \times 100\% = \pm \frac{1}{40} \times 100\% = \pm 2.5\%$$

（2）用 50 A 电流表测量时，有

$$\Delta A_{m2} = \beta_H \times A_{m2} = \pm 1\% \times 50A = \pm 0.5A$$

故用此仪表测量 40 A 电流时，最大相对误差为

$$\beta_2 = \frac{\Delta A_{m2}}{A} \times 100\% = \pm \frac{0.5}{40} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

$\beta_1 > \beta_2$ ，显然，此种情况用 50 A 电流表测量 40 A 电流是合适的。

4. 电学量的测量

1) 电流的测量

测量电路中的电流值时，要按被测电流的种类及量值的大小选择合适量程的交流电流表或直流电流表。要将电流表串联在被测电流的电路中，使被测电流通过电流表，如图 1.1.4 所示。

由于电流表本身内阻很小，切不可将电流表误接在某一有电压的元件两端，以免烧坏电流表。测量直流电流时还应注意电流表的正、负极，应使被测电流由电流表的正极流向电流表的负极。

为测量电流方便，实验台一般配有电流测量插口和插头。使用时将各插口分别串入各被测电路，将插头两端引线接到电流表两端，需要测量某电路电流时，只要将插头分别插入各电路插口，即可测出各电路中的电流。

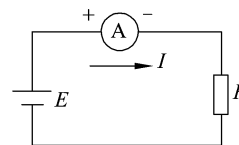


图 1.1.4 电流的测量

2) 电压的测量

测量电路中的电压值时，可按被测电压的种类和大小来选择合适量程的直流电压表或交流电压表。测量电压时，要按图 1.1.5 所示将电压表接至 a 、 b 两点。

电压表本身内阻很大，不可将电压表串接入某一支路，以免影响整个电路的正常工作。测量直流电压时还应注意电压表的正、负极，应将电压表的正极接到被测电压的高电位端。

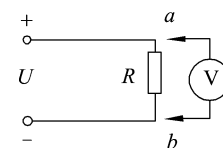


图 1.1.5 电压的测量

3) 功率的测量

测量电路功率的功率表一般是电动式仪表。

电动式功率表既可测量直流功率，也可用来测量交流功率（有功功率）。直流电路中的功率可以用测量的直流电流和直流电压的乘积求得，而交流电路中的功率一般要用功率表进行测量。

使用功率表应根据功率表上所注明的电压、电流量限，将电流线圈（固定线圈）串联在被测电路中、电压线圈（可动线圈）并联在被测电路的两端。为了减少测量误差，对于高阻抗负载，应按图 1.1.6 所示接线，功率表的电压线圈所反映的电压值包括了负载的电压和功率表电流线圈的电压。功率表的读数中除了负载功率之外，还包含有仪表本身电流线圈上的功率损耗。对于低阻抗负载，应按图 1.1.7 所示接线，功率表电流线圈中的电流，包括了负载电流和功率表电压线圈中的电流。功率表的读数中除了负载功率之外，还包括仪表本身电压线圈的功率损耗。

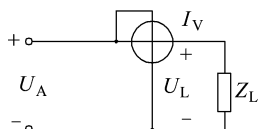


图 1.1.6 高阻抗负载功率测量

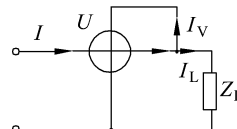


图 1.1.7 低阻抗负载功率测量

一般由功率表本身损耗引起的测量误差是很小的，但在测量小功率和要求精确的测量数值时，选择合适的接线方式是很重要的。

功率表一般有两个电流量限、两个或多个电压量限，以适应测量不同负载功率的需要。表内有两个完全相同的电流线圈（定圈），其接线端分别引出到表面上，可通过金属片将两个电流线圈串联或并联（见图 1.1.8），并联时允许通过的电流值是串联时的 2 倍。电压线圈通过串联不同的附加电阻以扩大电压量限（见图 1.1.9），其中有“*”号的为公共端。

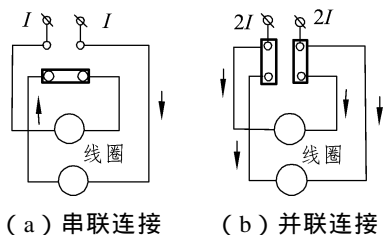


图 1.1.8 电流线圈的串联和并联

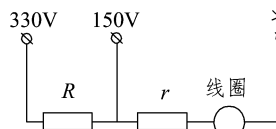


图 1.1.9 电压量限扩展连接

由于功能表是多量程的，所以它的标度尺上只标有分格数，在选用不同电流量限和电压

量限时，每一分格代表不同的瓦数。在读数时要注意实际值与指针示数的关系，功率表每格表示的功率数为

$$\text{瓦/格} = \frac{U_m I_m}{N_m}$$

式中： U_m 为电压线圈的量限值， I_m 为电流线圈的量限值， N_m 为功率表满刻度格数。

被测功率的数值为

$$P = \frac{U_m I_m}{N_m} \times N$$

式中， N 为功率表指示格数。

当被测电路功率因数 $\cos \varphi$ 很低时，应选用低功率因数功率表。低功率因数功率表的使用方法与功率表相同，其每格瓦特数为

$$\text{瓦/格} = \frac{U_m I_m \cos \varphi_m}{N_m}$$

式中 $\cos \varphi_m$ 表示仪表在满刻度时的额定功率因数，此值标注在表盘面上。

4) 万用表的使用（电阻的测量）

万用表是一种可以测量直流电压、交流电压、直流电流和电阻等电量的多功能电表。一般万用表有一个转换开关，以选择测量项目和量程；有两个测量端钮，接上表笔以输入被测电量；有一个欧姆零位调节旋钮，用以测量电阻时校准欧姆零位；表头上有表盘，用以指示被测电量的数值。

用万用电表测量交流电压、直流电压、直流电流的方法，与电压表、电流表的使用方法相同，只需要使用时注意测量项目和量程的选择即可。此处仅重点介绍用万用表测量电阻的方法。

用万用表测量电阻时，应将转换开关旋至欧姆档的某一档位（如 $\times 10$ 档 $\times 1 \text{ k}$ 档）。在测量电阻之前，应进行调零，即将两支表笔短接（外测电阻为零），调节“ Ω 零位调节”旋钮，使表头指针对准电阻为零的刻度处。然后把表笔分别接到被测电阻的两端，从“ Ω ”刻度尺上读取数值，将读数乘以电阻倍率，即可得到被测电阻的值。

测量线路电阻时还应注意如下几点：

（1）测量电阻的每一档位测量电阻的范围都是 $0 \sim \infty$ ，但各档位有不同的欧姆中心值，即指针指在表盘中央位置时所测量的电阻值（亦即此档万用电表的内阻值）。测量电阻时要选择合适的倍率，应尽量使所选档位的欧姆中心值接近被测电阻的值。也就是说，要尽量使指针指在表头中央位置附近，以提高测量精度。

（2）被测电阻不能带电，否则容易损坏电表。

（3）测量电路中的电阻时，一定要将其一端从电路断开，以防电路中还有电阻。

（4）测量电阻时，不要用手同时触及电阻两端，以防将人体电阻并在被测电阻上。

1.1.3 实验内容及步骤

(1) 用交流电压表测量三相交流电源输出端的各线电压和相电压，填入表 1.1.4 中。

表 1.1.4 三相交流电源输出端的线电压和相电压

项目	UV	VW	WU	UN	VN	WN
电压/V						

(2) 按图 1.1.10 所示接线，用交流电压表监视从实验台调压器输出 20 V 和 25 V 交流电压，并接到整流器上，选用直流电压表，测量输出的直流电压，填入表 1.1.5 中。

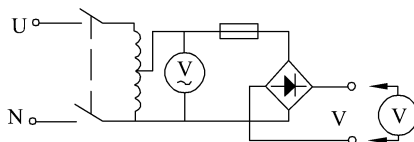


图 1.1.10 直流电压的测试

表 1.1.5 测量输出的直流电压

交流输入电压/V	直流输出电压/V
20	
25	

(3) 按图 1.1.11 所示接线，选三相灯泡负载，利用调压器输出 220 V 交流电压，改变每组灯泡数，测量灯泡两端电压，并用交流电流表测量电流 I_1 和 I_2 ，填入表 1.1.6 中。

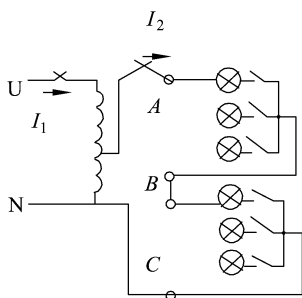


图 1.1.11 交流电压电流测量

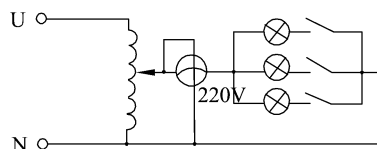


图 1.1.12 功率的测量

表 1.1.6 灯泡两端的电压和

第一组 3 盏 第二组 1 盏				第一组 2 盏 第二组 2 盏			
U_{AB}	U_{BC}	I_1	I_2	U_{AB}	U_{BC}	I_1	I_2

(4) 按图 1.1.12 接线，测量每个灯泡实际消耗的电功率，填入表 1.1.7 中。

表 1.1.7 灯泡实际消耗的电功率

标示功率/W	60	120	180

实际功率/W			
--------	--	--	--

(5) 选择欧姆档中的合适倍率，测量动态电路单元板上各电阻的阻值，填入表 1.1.8 中。

表 1.1.8 动态电路单元板各电阻的阻值

电阻	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
阻值/ Ω					

1.1.4 实验设备

(1) 本实验台电源箱（调压器、整流器）。

(2) 直流电压表（TS-B-06）一只，（TS-B-07）一只；交流电压表（TS-B-08）一只；交流电流表（TS-B-05）一只，（TS-U-31）一只；功率表；万用表。

(3) 三相负载单元板（TS-B-23）一块。

(4) 电流测量插口单元板（TS-B-22）一块。

(5) 动态电路单元板（TS-B-27）一块。

1.1.5 注意事项

注意仪表使用的正确接线和量程的合理选择。

1.1.6 总结报告

(1) 写明实验目的、步骤和测量数据。

(2) 功率表指针出现反向偏转，原因是什么？

(3) 万用表： $\times 1$ 档，欧姆中心为 12Ω ； $\times 100$ 档，欧姆中心为 1200Ω ； $\times 1 \text{ k}$ 档，欧姆中心为 12000Ω ； $\times 10 \text{ k}$ 档，欧姆中心为 120000Ω 。

测量 $1.5 \text{ k}\Omega$ 电阻时应选用哪一档？测量 $15 \text{ k}\Omega$ 电阻时，应选用哪一档？为什么？