

电工基础实验

上海市机电工业学校 曹莉莉 主编

机械工业出版社

目 录

前言

第一章 测量的基本知识	7
§ 1-1 实验要求	7
§ 1-2 仪表的误差和准确度等级	2
§ 1-3 仪表的分类和表面标记	4
§ 1-4 实验一 认识实验	7
第二章 直流电流和电压测量	12
§ 2-1 磁电系测量机构	13
§ 2-2 磁电系电流表、电压表	16
§ 2-3 实验二 直流电压、电流测量练习	24
§ 2-4 实验三 直流电路的电位测量及故障检查	28
§ 2-5 实验四 电阻的伏安特性测定	30
§ 2-6 实验五 电源的伏安特性测定	31
第三章 电阻测量	35
§ 3-1 电流表和电压表法 (伏安法)	35
§ 3-2 欧姆表	36
§ 3-3 MF-30 型万用表电阻档	37
§ 3-4 直流单臂电桥	40
§ 3-5 实验六 电阻测量综合练习一	43
§ 3-6 直流双臂电桥	44
§ 3-7 磁电系比率型仪表、兆欧表	47
§ 3-8 实验七 电阻测量综合练习二	50
第四章 直流网络的测量	52
§ 4-1 实验八 叠加原理及星形、三角形等效互换	52
§ 4-2 实验九 戴维南定理及负载功率曲线的测绘	54
第五章 交流电压、电流的测量	57
§ 5-1 电磁系测量机构	57
§ 5-2 电磁系电流表和电压表	60
§ 5-3 电动系测量机构	61
§ 5-4 电动系电流表和电压表	64
§ 5-5 互感器与钳形表	65
§ 5-6 调压变压器	66
§ 5-7 实验十 简单交流电路	67
第六章 交流电路功率、能量测量	70
§ 6-1 电动系功率表	70
§ 6-2 低功率因数功率表	74
§ 6-3 感应系电度表	75

§ 6-4 实验十一 日光灯电路及功率因数的提高	78
第七章 交流参数的测定	81
§ 7-1 ST16示波器	81
§ 7-2 XD2信号发生器	82
§ 7-3 实验十二 示波器、信号发生器的使用	83
§ 7-4 SR8 双踪示波器	85
§ 7-5 实验十三 用双踪示波器观察相位差	86
§ 7-6 GB-9 B 电子管电压表	89
§ 7-7 实验十四 三表法——交流元件参数的间接测量	89
第八章 交流网络测量	91
§ 8-1 实验十五 RLC 串联谐振	91
§ 8-2 实验十六 互感电路	93
§ 8-3 实验十七 三相负载的星形联接	95
§ 8-4 实验十八 三相负载的三角形联接	97
§ 8-5 三相功率的测定	98
§ 8-6 实验十九 三相功率测量练习	100
§ 8-7 实验二十 非正弦交流电路	102
第九章 线性动态电路的研究	105
§ 9-1 实验二十一 时间常数的测定和过渡现象的观察	105
第十章 磁测量	109
§ 10-1 磁通计的原理和使用	109
§ 10-2 实验二十二 磁压测量, 全电流定律	110
§ 10-3 实验二十三 直流磁路的研究	113
§ 10-4 实验二十四 磁滞回线的测定	117
§ 10-5 实验二十五 用示波器测定交流磁滞回线	119
第十一章 综合实验	122
§ 11-1 实验二十六 直流万用表的装配	122
§ 11-2 实验二十七 电感线圈参数测定综合练习	124
§ 11-3 实验二十八 电流、电压测量综合练习	126
§ 11-4 实验二十九 直流仪表的选用	127
§ 11-5 实验三十 交流元件频率特性和实际模型	128
习题	130
附录	141
附录一 Apple-Ⅰ 计算机在电工基础实验中的应用	141
第一节 计算机应用	141
第二节 Apple-Ⅰ 机绘图功能简介	141
第三节 计算机程序应用实例	147
附录二 每组实验设备与器件一览表	162
附录三 各实验电路参数参考数据	164
参考文献	165

第一章 测量的基本知识

电工基础实验是运用仪器仪表直接对电路进行各种测量。测量的操作过程是一项比较复杂的工作。要顺利地完 成各项实验任务，使测量的结果正确无误，达到预期的实验目的，就必须了解实验的基本要求，掌握测量的基本知识，这是做好各项实验的必要前提。为此，本章从如何做好实验的角度提出一些基本要求，并介绍一些测量的基本知识。

§ 1-1 实 验 要 求

电工基础实验一般可分为三个阶段：实验前准备工作；实验操作；完成实验报告。每一阶段都有具体要求，分述如下：

一、实验前准备工作

为了正确顺利地完 成实验，在实验操作前必须做好以下各项准备工作：

- 1) 明确实验的目的和任务。
- 2) 掌握必要的实验知识和技能，复习与实验有关的理论知识。
- 3) 设计或分析实验的线路图。
- 4) 对实验中第一次运用的仪器、仪表，应了解其工作原理、基本性能和使用方法。
- 5) 预测实验中可能出现的问题，明确有关注意事项。

二、实验操作

良好的操作习惯和一丝不苟的工作作风是保证实验顺利进行的前提之一。因此，要求在实验操作时，必须做到：

- 1) 接线之前各电表、元件和设备应布局合理，便于操作和读数。
- 2) 熟悉线路，正确连接线路。线路接好后应该仔细检查一遍，再经老师复查无误后，方可合上电源，进行实验。
- 3) 合理选择仪表量程。估计被测值的大小，选择适当的量程，对不能估计的参数，量程应由大到小直至适宜为止。测量前必须对指针调零。
- 4) 正确读取实验数据。读数时视线应该垂直于指针面板，并注意电表的量程和单位，读取多少个数据应视具体情况而定。
- 5) 做好实验记录。记录仪表、元件的规格、编号，实事求是记录实验测量的数据。数据记录包括物理量名称、单位和数值等。
- 6) 重视人身及设备安全。为保证实验操作人员的生命安全和设备的安全使用，要求严格按照安全操作规程，具体要求如下：

- ① 线路经检查无误方可接上电源。
- ② 身体不要触及带电导体。
- ③ 发生意外现象应及时切断电源，查寻分析原因，排除故障。
- ④ 拆线时先拆电源再拆其余线路。

7) 做好整理工作。实验操作完毕后将结果送交指导老师复核审查,在教师许可下方能拆除线路,并将仪器、仪表等按指定位置整理完毕,方可离开实验室。

三、完成实验报告

实验报告是对整个实验操作的总结,是把实验的情况和结果用文字的形式表达出来,因此实验报告应包括下列内容:①实验名称,编写者姓名,班级,组别,实验日期,指导教师姓名等;②目的要求;③设备与器材,包括规格,数量及编号;④实验线路图;⑤记录数据;⑥计算结果及绘出曲线;⑦讨论或问题回答。

拟写实验报告能达到培养综合分析能力的目的,为此,在拟写实验报告时必须做到以下几点:

1) 独立完成实验报告。实验报告是对实验的总结,必须实事求是独立完成,教材所介绍的实验内容、线路图、仪器设备,仅是指导性的,实验报告应根据实际情况进行编写。

2) 数据处理。实验记录数据应重新抄写在实验报告中,实验数据一般要进行计算。在很多情况下,由于实验数据有若干组,所以不必一一列式,但必须有计算公式和计算举例说明,有些实验可根据理论先算出估计值。

3) 描绘曲线时,应遵守以下几点:

① 纵横坐标轴应注意物理量的名称、单位及其数字。

② 曲线图幅大小以能表达数据的末位数字为宜。

③ 曲线线上与实验数据对应的各点应以“·”、“○”或“×”等符号标出,位置要准确,曲线必须画得光滑,对个别点应做适当的修正。

④ 对若干有关系的曲线,如有相同的坐标轴,可绘在同一坐标轴上,以便更好地看出它们之间的关系。

⑤ 每张曲线图都应注明标题,每条曲线应注明条件。

4) 讨论是带有分析、总结性的,因此可以从下列的方面考虑:

① 通过实验获得了哪些理论上尚未学到的知识,有何体会。

② 回答教材中的讨论内容、问题或教师给定的思考题。

③ 使用新的仪器、仪表的心得体会,对实验提出改进的意见。

④ 分析误差的主要原因。

⑤ 对实验中遇到的意外情况或实验结果中出现的特殊情况,应说明其原因,并提出解决的方法。

§ 1-2 仪表的误差和准确度等级

一、仪表误差的分类

无论仪表的制造工艺如何完善,性能质量如何好,仪表指示的数值和被测的实际值之间总有一些差别,这种差别就叫做仪表的误差。

按仪表产生误差原因的不同,可分为基本误差和附加误差两种。

1. 基本误差

仪表在正常工作条件下,由于结构和制造上的不完善,例如由于轴尖与轴承间的摩擦,标度尺分度不准确,装配得不好等等而产生的误差。

2. 附加误差

由于仪表工作在非正常条件下而产生的误差,例如由于环境温度、频率、外界电磁场、电流或电压等的变化,偏离了正常工作条件,使仪表产生了附加的误差,这种误差叫做仪表的附加误差。

除仪表的基本误差和附加误差外,在进行测量时,还会有由于测量方法及读数方法的不正确或读数不精细等原因引起的人为误差。因此,应认真地考虑测量方法,仔细地读数,以获得尽可能准确的测量数据。

二、误差的表示方法

仪表的误差,一般用绝对误差,相对误差和引用误差来表示。

1. 绝对误差

测量值 A_x 和被测量的实际值 A_0 之间的差值叫做仪表的绝对误差,用 Δ 表示

$$\Delta = A_x - A_0$$

被测量的实际值可由标准表(用来检定工作仪表的高准确度的仪表)指示。

例如,实际值为 100V 的电压,用电压表 1 测量时指示 101V,用电压表 2 测量时指示 99.5V,则它们在测量 100V 时的绝对误差分别为:

$$\Delta_1 = 101\text{V} - 100\text{V} = 1\text{V}$$

$$\Delta_2 = 99.5\text{V} - 100\text{V} = -0.5\text{V}$$

由此可见, Δ 为正时,测量的值偏大; Δ 为负时,测量的值偏小。测量同一个量时, Δ 的绝对值越小,测量的结果越准确。

2. 相对误差

测量不同大小的参数时,用绝对误差难以比较测量结果的准确程度,为此引入相对误差。

相对误差是绝对误差 Δ 与被测量的实际值之间的比值,通常用百分数表示。

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

例如,用同一只电压表测实际值为 100V 电压时指示 101V,测 20V 电压时指示 19.2V,则相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{101\text{V} - 100\text{V}}{100\text{V}} \times 100\% = +1\%$$

$$\gamma_2 = \frac{19.2\text{V} - 20\text{V}}{20\text{V}} \times 100\% = -4\%$$

由此可见,虽然测 20V 电压时的绝对误差小些,但它对测量结果的影响却大些,占测量结果的 4%。因此,在工程上,凡要求计算测量结果的误差时,一般都用相对误差。

3. 引用误差

相对误差虽能说明测量不同数值时的准确程度,但还不能完全说明仪表本身的准确性。因为同一个仪表的基本误差,在刻度范围内变化不大,但由于标度尺不同位置的读数变化很大,相对误差的变化就很大。如用绝对误差作分子,仪表的测量上限是常数,就可以较好地反应仪表的基本误差。按这种方式表达的误差叫做引用误差。引用误差 γ_r 是绝对误差与仪表上限的比值的百分数,即

$$\gamma_a = \frac{A}{A_n} \times 100\%$$

式中的 A_n 是仪表的上限。

例如，以上所用的电压表的上限为 150 V，则这时的引用误差

$$\gamma_{a1} = \frac{101 \text{ V} - 100 \text{ V}}{150 \text{ V}} \times 100\% = +0.67\%$$

如测量 20 V 电压时的指示值为 19.2 V，则这时的引用误差

$$\gamma_{a2} = \frac{19.2 \text{ V} - 20 \text{ V}}{150 \text{ V}} \times 100\% = -0.57\%$$

由于仪表不同刻度点的绝对误差略有不同，如取可能出现的最大绝对误差与仪表上限的比值的百分比，即

$$\gamma_{a.m} = \frac{A_m}{A_n} \times 100\%$$

则称为仪表的最大引用误差。

三、仪表的准确度

仪表的准确度是用来反映仪表的基本误差的。上面已说明，引用误差可以较好地反应仪表的基本误差，所以仪表的准确度用引用误差表达。如果将仪表标尺上各点的引用误差都列出来，以说明仪表的准确度，是不方便的。所以通常用正常工作条件下可能出现的最大引用误差来表示仪表的准确度。准确度越高的仪表，在正常工作条件下可能出现的最大引用误差越小。

我国生产的电工仪表的准确度，按国家标准规定分为七个等级，即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 级。各级仪表用引用误差表示的基本误差不超过下表中的规定。

各级仪表的允许基本误差

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 × 100	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

由表可见，准确度等级的数字越小，允许的基本误差越小，表示仪表的准确度越高。通常 0.1、0.2 级仪表用作标准表，用以检定其它准确度较低的仪表；0.5、1.0、1.5 级仪表常用于实验；1.5、2.5、5.0 级仪表常用于工程。

§ 1-3 仪表的分类和表面标记

一、仪表的分类

电工仪表的种类很多，分类方法也很多，主要有以下几种：

1. 按仪表的工作原理分

主要有：磁电系，电磁系，电动系，感应系，整流系，电子系。

本书只介绍前面四种。另外附带介绍整流系的电压表。

2. 按被测量的名称(或单位)分

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
热电系仪表		热电系仪表(带接触式热变换器和磁电系测量机构)		标准尺位置为垂直的		与仪表可动线圈连接的端钮	
磁电系比率表		磁电系比率表(带半导体整流器和磁电系测量机构)		标准尺位置为水平的		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 500 V		I 级防外电场 (例如静电系)	
电动系仪表		具有单元件的三相 相对称负载交流		绝缘强度试验电压 为 2 k V		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 符号为红色)		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(功率表、无 功率表、相位表)		IV 级防外磁场及电场	
铁磁电动系比率表		以标准尺量限百分数表示的 准确度等级。例如 1.5 级	1.5	接地的端钮(螺口或螺柱)		A 组仪表	不标注
感应系仪表		以标准尺量限百分数表示的 准确度等级。例如 1.5 级	1.5	与外壳相连接的端钮		B 组仪表	
静电系仪表		以指示值的百分数表示的 准确度等级。例如 1.5 级	1.5	与屏蔽相连接的端钮		C 组仪表	

有电流表(安培表、毫安表、微安表),电压表(伏特表、毫伏表),功率表(瓦特表),高阻表(兆欧表),欧姆表,电度表,相位表,功率因数表,频率表及多种用途的万用表等。

3. 按使用方式分

有开关板式和可携式两类。

开关板式仪表固定安装在开关板或某一位置上,准确度一般较低,价格便宜。可携式仪表供实验室用,准确度一般较高,价格较贵。

4. 按防御外界磁场(或电场)的能力分

有 I、II、III、IV 四个等级。各等级在规定的条件下所引起的附加误差应不超过下表中所列的数值。由表中的数字可见, I 级的防御能力最强,以下依次减弱。0.1、0.2、0.5 级仪表的防御外界磁场能力应不低于 II 级。

防御外界场的能力

仪表对外界场的防御等级	允许附加误差 $\times 100$	仪表对外界场的防御等级	允许附加误差 $\times 100$
I	± 0.5	III	± 2.5
II	± 1.0	IV	± 5.0

5. 按使用条件分

根据仪表使用时的周围气温及湿度可分为 A、B、C 三组。A 组仪表在周围气温为 $0 \sim +40^{\circ}\text{C}$,相对湿度不超过 85% 的条件下工作; B 组仪表在周围气温为 $-20 \sim +50^{\circ}\text{C}$,相对湿度不超过 85% 的条件下工作; C 组仪表在周围气温为 $-40 \sim +60^{\circ}\text{C}$,相对湿度不超过 90% 的条件下工作。A、B 组仪表用于室内, C 组仪表可用于室外。我国幅员辽阔,可根据当地情况使用。

6. 按工作位置分

有水平、垂直或规定倾斜角度(如 60°)等位置三类。如不按仪表规定的位置使用,则将引起不应有的附加误差。

仪表的各种分类方法和使用条件等都用各种符号标在仪表的表面(或叫刻度盘)上。使用仪表时,必须首先观察表面的各种标记,以确定该仪表是否符合测量的需要

仪表的符号:

在电工仪表的表面上,有各种各样的标记符号,它们都代表着一定的意义。各种标记符号的意义列入表 1-1 中。

“C”、“D”、“T”分别代表“磁电系”、“电动式”、“电磁式”仪表。

例 某一电表左下角有下列各标志符号:

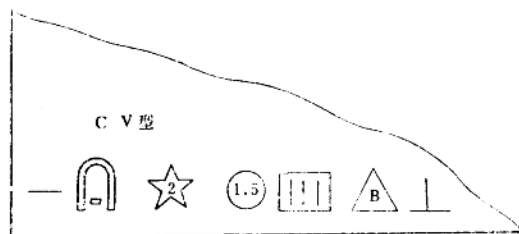


图 1-1

其意义为：C-V型表示磁电式电压表；直流；试验电压2 kV；准确度1.5级；防御能力Ⅲ级；使用条件B组；垂直使用。

练习题

1. 用上限为5 A的电流表测量2 A、3 A、4 A的电流，仪表指示分别为1.98 A、2.98 A、4.01 A，试求测量结果的相对误差及仪表的引用误差。
2. 电工仪表的准确度是怎样表示的？为什么直读仪表最好使用在满刻度的 $\frac{2}{3}$ 以上？
3. 用0.5级、150 V的电压表和2.5级、30 V的电压表分别去测量30 V的电压，试比较它们可能出现的最大相对误差。从这里可以得到什么启示。
4. 用电压表测量实际值为220 V的电压，其测量相对误差为-4%，试求测量的绝对误差和测得的电压为多少？
5. 用量程为10 A的电流表，测量一实际值为8 A的电流。若读数为8.1 A，求测量的绝对误差和相对误差。若求得的绝对误差被视为最大绝对误差，那么仪表准确度等级为哪级？
6. 有一磁电系电压表，量程为100 V，原来的准确度为0.5级。现对它进行校验，测试结果见下表，试判断该表目前准确度等级。

被校表读数/V	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
标准表读数/V	0	9.2	19.2	30.1	40.3	50.6	60.1	69.9	80	90.1	99.8

§ 1-4 实验一 认识实验

一、目的要求

- ① 了解实验室的电源配置，学会使用直流稳压电源。
- ② 学会使用万用表交直流电压档。
- ③ 了解电笔的构造和工作原理，学会使用电笔。
- ④ 初步学会电表的校验。
- ⑤ 认识各种电阻器，了解三端电阻器的使用。

二、原理与说明

1. 实验室电源配置

了解本实验室的电源配置情况，画出实验桌上的配电板图。

2. 试电笔的原理及使用

电笔原理如图1-2所示，当被测电压达到60~65 V时，氖管起燃形成辉光放电，电流通过人体构成回路。氖管辉光放电（即发亮），说明被测点与地有电位差，即物体带电。试电笔试电范围为100~550 V，亮度越大，说明电压越高。

用试电笔接触地线则氖管不亮，故可区分电源的火线与地线。试电笔中的串联电阻很大（671型 $R = 2 \times 10^5 \Omega$ ），在电压不高于550 V的情况下流过人体电流为几微安，可保证人身安全（当流过人体电流为0.05~0.1 A时，会发生生命危险）。

使用应注意：

- ① 试电笔不得随意拆卸，以免损坏。

- ② 先将试电笔放在有电处，检查试电笔是否良好，然后使用。
- ③ 禁止将试电笔尖同时搭在两根导线上。
- ④ 当试电笔已接触线路，切不可再用手接触笔尖，以免发生触电危险。
- ⑤ 试电笔测量电压不得高于 550 V。

3. 稳压电源的使用

(1) 简介 直流稳压源有各种型号，这里以 WY 30-1 A/3 A 型为例来说明如何使用稳压电源。

WY 30-1 A/3 A 型直流稳压电源有两组独立的 0~30 V 可连续调节的电压输出，并有一组 200 V 小电流高电压输出。

(2) 面板图 (图 1-3)

(3) 使用说明

① 本机电源采用 220 V 交流供电，插上电源插头，开启电源开关，指示灯亮，即有电压输出。

② WY 30-1 A/3 A 型直流稳压电源有 30 V，3 A；30 V，1 A；200 V，10 mA 三档输出。其中 200 V，10 mA 为固定输出（面板最左两个端子），其余两档采用波段开关档级粗调（右：0~30 V 连续可调，共分 10 个档级。左：0~30 V 连续可调，共分 5 个档级），然后由微调旋钮细调。

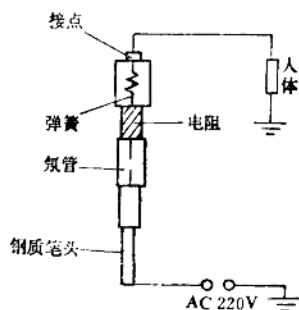


图 1-2

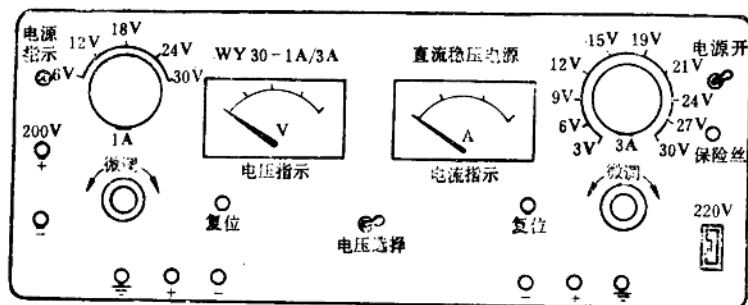


图 1-3

③ 由于电源共用一个电压表，一个电流表，所以，电压选择开关拨向右面，电压表读数为右面电源的电压。开关拨向左面，电压表读数为左面电源的电压，而电流表的读数仅指示 30 V，3 A 这组电源的输出电流。

④ 本电源有过载保护，若输出端发生过载，保护电路起作用，电压指示为零。故障排除后，按动面板上复位按钮，即可恢复使用。

⑤ 接地端介绍：在做某些有参考点的或在以后的电子实验中，如果有接地符号则接上接地端，此端电位为 0 V。

4. 以 MF-30 型万用表为例介绍万用表如何使用

(1) 量程开关拨交流电压或直流电压档 直流有 1 V，5 V，25 V，100 V，500 V 各档，交流有 10 V，100 V，500 V 各档，这里指满度值。在测量未知电压时应放在最高档，

然后逐渐减少至适当位置（力求使指针偏转大于 $2/3$ 满量程，指针偏转越大越准确），以免烧坏万用表。

（2）将表并联接于被测点 若为直流电压时，红接正，黑接负。注意极性，若正负极性接反，会打坏表针。

（3）读相应的刻度线 交流 10V 档有一条专用刻度线，交直流 25V 、 500V 档也各有一条专用刻度线，其余各档先用 500V 档读出数字（以下称面板读数），再乘以相应的比例数，得电压测量值。

（4）用毕将量程开关拨到交流 500V 档，其它类型的万用表有空档的，也可放在空档。

5. 各种电阻器介绍

（1）铸铁电阻 2×1 系列铸铁电阻由铸铁浇铸成曲折蜿蜒的栅形元件串联叠成，如图 1-4 a 所示。主要用于电动机起动、制动及其它电流很大的场合，它允许通过的最大电流可达 215A 。

（2）板形电阻 JZBY 型（ZB2 型）板形电阻片如图 1-4 b 所示。主要用于感应电动机的起动电阻及笼式感应电动机的反接制动线路，其允许通过的电流比铸铁电阻小。

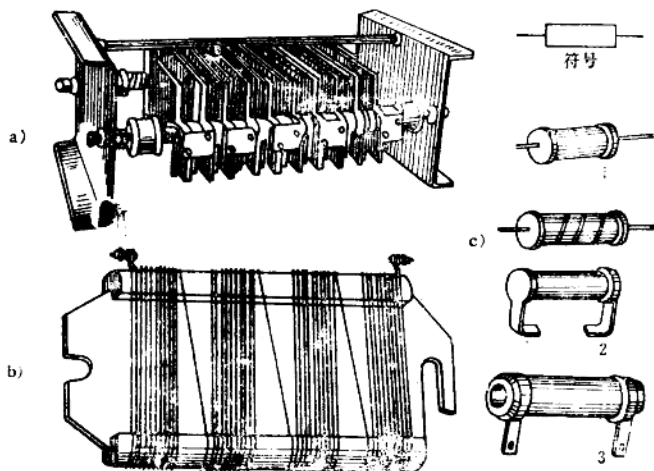


图 1-4

（3）小功率电阻 用途很广泛，主要用于晶体管、电子管线路中。碳膜电阻（图 1-4 c 中 1）稳压性差，金属膜电阻（图 1-4 c 中 2）比碳膜电阻稳定，用于要求较高的电子线路中，线绕电阻（图 1-4 c 中 3）适用于功率较大的场合。

（4）滑线变阻器与电位器 用于电阻值要求经常变动的场合，常作分压、调节和控制使用，如图 1-5 所示。

三、设备与器件

- ① 试电笔一支
- ② 稳压电源一台
- ③ 万用表一只
- ④ 三端电阻器一只
- ⑤ 0.5 级直流电压表一只

四、任务与步骤

① 用试电笔测实验桌上配电板上各接线柱和插座，判别火线和零线，记录结果填入表中。（在实

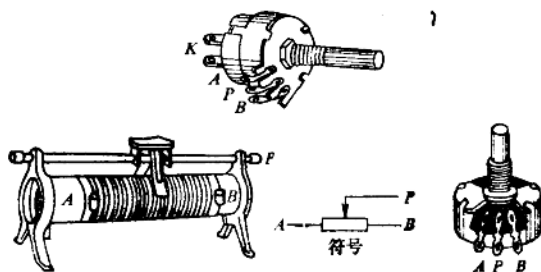


图 1-5

验桌配电板图上编好号码,亮“√”,不亮“×”。

桌上配电板(表 1-2 中,如插座数量脚数不对,自行增删)。

表 1-2

插 座	1			2			3			4		
孔	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
√ ×												

表 1-3

接 线 柱	1 红		2 红		3 红		4 黑	
√ ×								

② 用交流电压表或万用表交流电压档,测配电板上插座及接线柱间的电压:

表 1-4

插 座	量 程 开 关	U_1	U_2	U_3	U_4

表 1-5

接 线 柱	量 程 开 关	U_{12}	U_{23}	U_{13}	U_{14}	U_{24}	U_{34}

③ 用直流电压表或万用表直流电压档,测直流稳压电源的输出电压。

将直流稳压电源接交流 220V 插孔,打开电源开关,指示灯亮,调输出电压(粗调和微调),用直流电压表(万用表直流电压档)测输出电压。应正确选择量程,和注意正负极性。

表 1-6

U/V	min	0.7	4	10	20	max
量 程 选 择						
面 板 读 数						
电 压 值						

④ 用直流电压表(万用表直流电压档)测电池组的开路电压。

量程选择____,面板读数____,电压值____。

⑤ 用直流电压表(万用表直流电压档)测分压器输出开路电压。

分压器由稳压电源和三端电阻器(变阻器)串联而成,如图 1-6 所示。调节可动脚 c 点的位置,测 c、b 的开路电压。

⑥ 校验 MF 30 型 25V 直流电压档

用 0.5 级直流电压表或 0.5 级数字式万用表,作标准表测下表中各电压,同时用 MF 30 型万用表的 25V 直流电压档测对应各电压,校验 MF 30 型万用表的 25V 电压档是否还是 2.5 级。

表 1-7

c 位置 U/V	a	$\frac{1}{3}ab$	$\frac{1}{2}ab$	$\frac{2}{3}ab$	b
量程选择					
面板读数					
电压表					

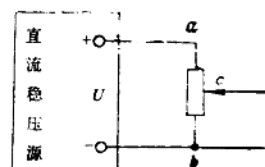


图 1-6

表 1-8

标准表	U_0/V	0	12	14	16	20	24
MF-30 型万用表	U_x/V						
绝对误差 $\Delta = U_x - U_0$							

五、分析与讨论

- ① 用试电笔时如果不握在试电笔上端的金属上时，电笔是否会亮？为什么？
- ② 是否能将直流稳压电源输出端的“+”、“-”极用金属导线联接起来？如联接起来，将会产生什么后果。
- ③ 如在步骤 3、4、5 的稳压电源电池组、分压器输出端接上负载电阻，表中对应各点的电压值是否都会改变？为什么？

第二章 直流电流和电压测量

测量直流电流的仪表称为直流电流表。根据测量范围的不同，可分为直流微安表、毫安表、安培表。

为了达到测量电流的目的，必须使被测电流通过测量用的电流表，所以电流表必须串联在被测电路中，如图2-1 a所示。这样，被测电流通过电流表的测量机构，电表指针偏转后就可从刻度盘上读出所串联的支路的电流。在直流电路中，串接电流表时应注意电表的极性，电流从(+)端流入，(-)端流出，否则指针反转会被打坏。

电流表本身总是有电阻和电感的，串联进电路以后，必将使原来电路的电阻和电感增大，为了尽量减少对原电路的影响，所以要求电流表的电阻和电感远远小于被测支路的电阻和电感。可携式电流表的电阻和电感数值一般都标在刻度盘或铭牌上。

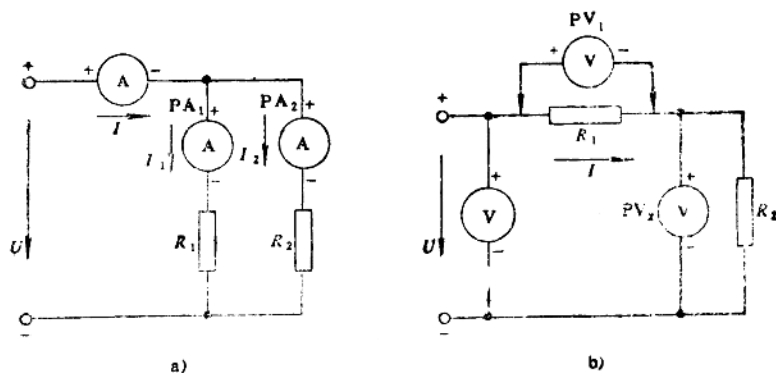


图2-1 电表的接法

a) 电流表的接法 b) 电压表的接法

测量直流电压的仪表称为直流电压表，有直流毫伏表、直流伏特表。

测量电压时，必须把电压表并联在被测电路的两端（见图2-1 b），这时通过仪表的电流为：

$$I_v = \frac{\text{被测电压}}{\text{电压表内阻}} = \frac{U_x}{R_v}$$

当电表内阻为定值时，流过电表的电流正比于被测电压，因此电表指针的偏转就代表了被测电压的大小。直流电压表在联接时亦应注意(+)、(-)极性，以防指针反转。

电压表本身是有内阻的，它并联在被测电路上，必将使原来电路的电阻减小，为了不影响到原电路的工作状态，所以要求电压表的内阻远远大于被测电路的电阻。可携式电压表的内阻都标在刻度盘或铭牌上。

§ 2-1 磁电系测量机构

磁电系仪表广泛用于直流电流和电压的测量，如与整流器配合，又可测量交流电流和电压，与变换线路配合，也可测量交流功率、频率、相位等电量。磁电系仪表是问世最早的一种仪表，使用中具有一系列优点，近年来，由于磁性材料的性能不断改善，使这种仪表的发展有了更广阔的前途。本节主要介绍磁电系测量机构的结构、原理及主要技术特性。

一、结构

磁电系测量机构的结构如图2-2所示，整个结构分为两大部分，即固定部分和活动部分。

固定部分是由永久磁铁1、极掌2以及固定在支架上的圆柱型铁心3所构成。磁铁是用强磁性材料例如铝镍钴合金制成，极掌和铁心一般用导磁良好的软铁制成，圆柱形铁心放在极掌之中，铁心与极掌可形成一个磁场辐射均匀的环形气隙。

仪表的活动部分由绕在铝框架上的活动线圈4，线圈两端装的两个半轴5，与转轴相连的指针7，平衡锤6，弹簧游丝8以及调零器9所组成。整个活动部分支承在轴承上，线圈位于环形气隙之中。

磁电系测量机构按其磁路形式，除上述介绍的外磁式外，还有内磁式和内外磁式，如图2-3所示。外磁式结构（见图2-3 a），永久磁铁在可动线圈的外部。内磁式结构（见图2-3 b），永久磁铁则在可动线圈的内部。为使气隙磁场均匀，在内磁式仪表的磁铁外面，要加装一个闭合的导磁环，以减小漏磁。内磁式结构紧凑、受外磁场的影响小，所以近年来得到广泛的应用。内外磁式结构（见图2-3 c）则在可动线圈内外都用永久磁铁，因此磁场更强，仪表的结构尺寸可以做得更加紧凑。

二、工作原理

1. 转动力矩

要使仪表的指针偏转，必须有一个驱使仪表的可动部分转动的力矩，这个力矩叫转动力矩，用 T 表示。

磁电系测量机构产生转动力矩的原理见图2-4。当可动线圈通电时，线圈电流和永久磁铁的磁场相互作用的结果，产生电磁力，从而形成转动力矩，使可动部分发生偏转。根据安培力定律和左手定则，可以定出电磁力的大小和方向。设气隙的磁感应强度 B 分布均匀，磁场方向呈辐射形，磁力线指向转轴中心，线圈匝数为 N ，每个有效边（即能够产生电磁力的两个与磁场方向垂直的边）有效长度为 l ，那么当线圈通入电流 I 时，每个有效边所受到

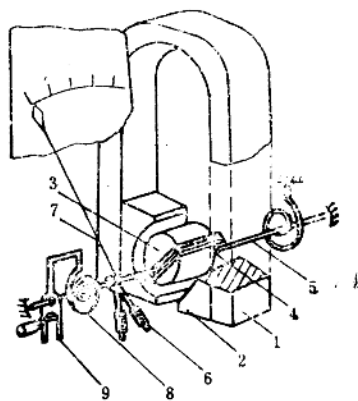


图2-2 磁电系测量机构的结构示意图

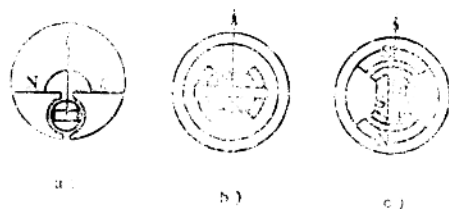


图2-3 磁电系测量机构的磁路系统
a) 外磁式 b) 内磁式 c) 内外磁式

的电磁力 F 的大小为

$$F = NBI$$

在图示电流和磁场的方向下, 此电磁力的方向和线圈平面垂直, 并使线圈顺时针方向旋转。对应的转动力矩

$$T = 2Fr = 2NBIr$$

式中 r ——转轴中心到有效边的距离。

由于线圈所包围的有效面积为

$$S = 2rl$$

由此可得

$$T = NBSI$$

考虑到均匀辐射形气隙磁场的特点, 不管线圈转到什么位置, 磁感应强度 B 值均不变。而对于已经做好的线圈, 其匝数 N 和有效面积 S 也是不变的。因此, 就转矩 T 的大小来说, 它只随被测电流 I 的改变而成正比地变化。而转矩的方向则决定于流进线圈的电流的方向。

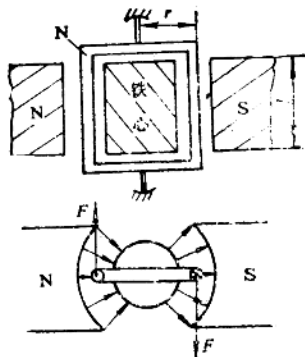


图2-4 产生转动力矩的原理

2. 反作用力矩

如果只有上述转动力矩作用在仪表的可动部分上, 可动部分就会不管转动力矩多大, 都偏转到不能再偏转的地方, 而不能指示出被测量的大小。为了使每一个被测量只引起相应的偏转, 就需要有一个力矩来平衡转动力矩。这个力矩和转动力矩的方向相反, 大小则和可动部分的偏转角有关。这个力矩叫反作用力矩, 用 T_R 表示。

测量被测量时, 转动力矩作用于仪表的可动部分上, 使它偏转; 同时, 反作用力矩也作用于可动部分上, 且随着偏转角的增大而增大。当反作用力矩和转动力矩的大小相等时, 可动部分就停止在某一个偏转角处, 固定在可动部分上的指针就指出了被测量的大小。转动力矩的大小不同, 与之平衡的反作用力矩的大小也不同, 可动部分的偏转角也不同, 这就指示出了不同大小的被测量。

反作用力矩通常用游丝的弹力产生, 它与可动部分的偏转角成正比。即

$$T_R = D \cdot \alpha$$

式中 α ——仪表可动部分的偏转角;

D ——游丝的弹性系数, 它决定于游丝的材料及几何尺寸、一般为常数, 但受温度变化的影响而稍有变化 (第一章已规定了 A、B、C 各组仪表使用时的温度)。

在转动力矩 T 的作用下, 可动部分开始偏转, 扭紧 (或放松) 游丝, 使反作用力矩增加 (或减弱), 一直到反作用力矩和转动力矩相等时, 作用在可动部分上的总力矩为零, 可动部分就静止下来, 见图2-5 a。这时

$$T = T_R$$

而

$$T_R = D \cdot \alpha$$

即

$$D \cdot \alpha = NBSI$$

所以

$$\alpha = \frac{NBS}{D} I \quad (2-1)$$