

# 第 3 章 常用电工仪表

## 3.1 常用电工仪表的基本知识

### 3.1.1 电工仪表的分类

电工仪表是用来测量电流、电压、电阻、电能、功率、相位角、频率等电气参数的仪表。其分类见表 3-1。

表 3-1 电工仪表的分类

按工作原理分	磁电系，电磁系，电动系，感应系，铁磁电动系，整流系，静电系，热电系，电子系等
按测量对象分	电流表，电压表，电能表，功率表，缘绝电阻表，高阻表，相位表，频率表，万用表，电桥
按测量电流种类分	直流电表，交流电表，交直流两用电表
按使用方法分	固定（板式）仪表，携带式（实验室用）仪表

常用的电工仪表有电流表、电压表、电能表（也称电度表）、功率表、钳形电表、缘绝电阻表（曾称兆欧表）、万用表等。

### 3.1.2 电工仪表的准确度等级












仪表的准确度等级是指仪表在规定条件下工作时，可能产生的最大基本误差占满刻度的百分数。仪表的准确度等级是用来表示基本误差的大小的。仪表的准确度越高，其基本误差就越小。各级仪表的准确度等级和基本误差见表 3-2。

表 3-2 仪表的准确度等级和基本误差
















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

## 3.1.3 电工仪表的标度盘符号及其意义 (见表 3-3)









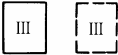






表 3-3 常用电测量指示仪表和附件的符号

符 号	名 称	符 号	名 称
测量单位的符号		电表和附件工作原理的符号	
A	安培		磁电系仪表
mA	毫安		磁电系比率表
$\mu\text{A}$	微安		
kV	千伏		电磁系仪表
V	伏特		
mV	毫伏		电磁系比率表
kW	千瓦		
W	瓦特		电动系仪表
kvar	千乏		
var	乏		电动系比率表
kHz	千赫		
Hz	赫兹		铁磁电动系仪表
M $\Omega$	兆欧		
k $\Omega$	千欧		铁磁电动系比率表
$\Omega$	欧姆		
$\cos\varphi$	功率因数		感应系仪表
$\sin\varphi$	无功功率因数		
mWb	毫韦伯		静电系仪表
$\mu\text{F}$	微法		
pF	皮法		振簧系仪表
mH	毫亨		
$\mu\text{H}$	微亨		
$^{\circ}\text{C}$	摄氏度		

(续)

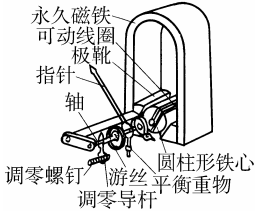
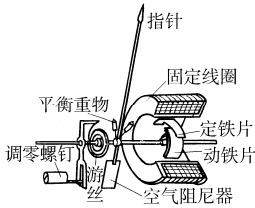
符 号	名 称	符 号	名 称
电表和附件工作原理的符号		$R_d$	定值导线
	热电系仪表(带接触式热变换器和磁电系测量机构)	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{500}{5}$	接电流互感器 500 : 5A
	整流系仪表(带半导体整流器和磁电系测量机构)	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{3000}{100}$	接电压互感器 3000 : 100V
	电子管变换器	准确度等级的符号	
	附加电阻器	1.5	以标度尺量限百分数表示的准确度等级, 例如 1.5 级
	外附定值分流器 75mV		以标度尺长度百分数表示的准确度等级, 例如 1.5 级
	外附定值附加电阻器 7.5mA		以指示值的百分数表示的准确度等级, 例如 1.5 级
电流种类及不同额定值标注的符号		工作位置的符号	
	直流		标度尺位置为垂直的
	交流(单相)		标度尺位置为水平的
	直流和交流		标度尺位置与水平面倾斜成一角度, 例如 60°
3~	三相交流	绝缘强度的符号	
$U_{\max}=1.5U_N$	最大容许电压为额定值的 1.5 倍		不进行绝缘强度试验
$I_{\max}=2I_N$	最大容许电流为额定值的 2 倍		绝缘强度试验电压为 500V

(续)

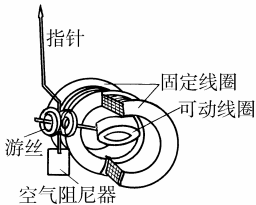
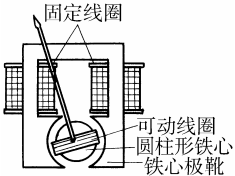
符 号	名 称	符 号	名 称
绝缘强度的符号		电表按外界条件分组的符号	
	绝缘强度试验电压为 2kV		I 级防外磁场（例如磁电系）
端钮、转换开关、调零器和止动器的符号			
	正端钮		I 级防外电场（例如静电系）
	负端钮		
	公共端钮（多量限仪表和复用电表）		II 级防外磁场及电场
	交流端钮		III 级防外磁场及电场
	接地用端钮（螺钉或螺杆）		IV 级防外磁场及电场
	调零器	不标注	A 组仪表（工作环境温度 为 0~+40℃）
止	止动器		B 组仪表（工作环境温度 为 -20 ~ +50℃）
	止动方向		C 组仪表（工作环境温度 为 -40 ~ +60℃）

## 3.1.4 常用仪表的结构及工作原理 (见表 3-4)

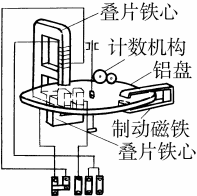
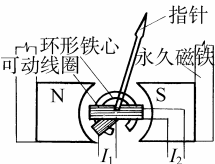
表 3-4 常用仪表的结构及工作原理

结构型式	原理结构图	作用原理	优 点	缺 点	用 途
磁电系 (又叫动圈式)		<p>可动线圈处于永久磁铁的气隙磁场中, 当线圈中有被测电流流过时, 通有电流的线圈在磁场中受力并带动指针而偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时, 便获得读数</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 标度均匀</li> <li>2. 灵敏度和准确度较高</li> <li>3. 读数受外界磁场的影响小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表头本身只能用来测量直流 (当采用整流装置后, 也可用来测量交流)</li> <li>2. 过载能力差</li> </ol>	<p>用途广泛, 可作电流表、电压表、万用表等</p>
电磁系 (又叫动铁式)		<p>在固定线圈内有一块定铁片和一块装在转轴上的动铁片, 当线圈中有被测电流通过时, 定铁片和动铁片同时被磁化, 并呈同一极性。由于同性相斥的缘故, 动铁片便带动转轴一起偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时, 便获得读数</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适用于交、直流测量</li> <li>2. 过载能力强</li> <li>3. 可无需辅助设备而直接测量大电流</li> <li>4. 可用来测量非正弦量的有效值</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 标度不均匀</li> <li>2. 准确度不高</li> <li>3. 读数受外磁场影响</li> </ol>	<p>主要用于安装在配电板上, 用作变化不大的电压、电流的指示</p>

(续)

结构型式	原理结构图	作用原理	优点	缺点	用途
电动系	 <p>指针 固定线圈 可动线圈 游丝 空气阻尼器</p>	<p>仪表由固定线圈和可动线圈所组成。当它们通有电流后,由于载流导体磁场间的相互作用(或者载流导体间的相互作用)因而使可动线圈偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时,便获得读数</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适用于交、直流测量</li> <li>2. 灵敏度和准确度比用于交流的其他型式仪表为高</li> <li>3. 可用来测量非正弦量的有效值</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 标度不均匀</li> <li>2. 过载能力差</li> <li>3. 读数受外磁场影响大</li> </ol>	<p>功率表、频率表、相位表交、直流电压和电流表</p>
铁磁电动系	 <p>固定线圈 可动线圈 圆柱形铁心 铁心极靴</p>	<p>作用原理基本上同电动系,只是通有电流的可动线圈是在励磁线圈(绕在衔铁上的固定线圈)的磁场中受力偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时,便获得读数。它是为消除外界磁场对电动系仪表读数的影响和增加仪表的偏转力矩而由电动系仪表改变而成的</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适用于交、直流测量</li> <li>2. 有较大的转动力矩</li> <li>3. 较其他类型仪表耐振动</li> <li>4. 受外界磁场影响小</li> <li>5. 可做成广角度电表</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 标度不均匀</li> <li>2. 准确度较低</li> </ol>	<p>功率表、功率因数表、频率表</p>

(续)

结构型式	原理结构图	作用原理	优点	缺点	用途
感应系		<p>仪表由一个或数个绕在铁心上的线圈和铝盘组成。当线圈中通有交流电时,在气隙中便产生交变磁通。铝盘在交变磁通的作用下,感应产生涡流,此涡流在交变磁通的磁场中受力,于是使铝盘转动。由于制动磁铁和可动部分的铝盘相互作用产生了制动力矩,它和转速成比例,当转动力矩和制动力矩大小相等、方向相反时,转速达到平衡</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 转矩大,过载能力强</li> <li>2. 受外界磁场影响小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 只能用于一定频率的交流电</li> <li>2. 准确度较低</li> </ol>	电能表
流比计 (又叫比率计)		<p>在同一根转轴上装有两只交叉的线圈,两线圈在磁场(磁电系统流比计磁场由永久磁铁建立,电动系统流比计磁场由另一个线圈建立)中所受的作用力矩相反。其偏转决定于两个线圈中流过的电流之比值 <math>I_1/I_2</math>, 故叫流比计。因为这种仪表没有反作用力弹簧,不用时,指针可停在任意位置</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 具有磁电系和电动系仪表的某些优点</li> <li>2. 能消除外界的影响(如电压,频率的波动等)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 标度不均匀</li> <li>2. 过载能力差</li> </ol>	绝缘电阻表、相位表、频率表

### 3.1.5 常用电工仪表的使用注意事项

(1) 搬运和装拆电表时应小心, 轻拿轻放, 不可受到强烈的振动或撞击, 以防损坏电表的零件, 特别是电表的轴承和游丝。

(2) 安装或拆卸电表时, 应先切断电源, 以免发生人身伤害事故或损坏测量机构。

(3) 装设电表的地方应清洁、干燥、无振动, 附近无强烈的磁场源(如电动机、电力变压器等)存在。不可将电表装在高温的地方。

(4) 应根据规定, 安装电表的工作位置(垂直、水平或倾斜)。安装时, 须平正、表面应便于读数、位置不宜过高或过低。

(5) 电表接入电路之前, 应先估计电路上要测量的电压、电流等是否在电表最大的量程以内, 以免电表过载, 超过最大的量程而引起指针打弯或烧毁电表线圈。电表的最大量程以被测量的数据的  $1.5 \sim 2$  倍为宜。

(6) 电表的引线必须适当, 要能负担测量时的负载而不致过热, 并且不致产生很大的电压降而影响电表的读数。如电表带有专用导线时, 在使用时, 应该用将专用导线连接。连接的部分要干净、牢靠, 以免接触不良而影响测量效果。电表接线柱的螺母容易松动, 应多加注意, 谨防脱落。

(7) 电表的指针须经常注意作零位调整。平常指针应指在起始的位置(零点上), 如略有差距, 可旋动电表上的零位校正螺钉, 使指针恢复到零点的位置。

(8) 电表应定期用干布揩拭, 保持清洁。

### 3.1.6 仪表的保管及检定周期

(1) 仪表应放在通风良好的室内货架或柜内保管, 且周围的空气中应不含有腐蚀和有害杂质; 使用及保管时都不能使其受到敲击或剧烈振动。长期不用的仪表应妥善保管, 内部装有电池的应将电池取出, 并在内部放置防潮剂。

(2) 仪表应设专人保管, 并有管理制度, 主要包括《入库检查制度》、《借用制度》、《保养及校验制度》、《检定制度》、《报废制度》等。电工检修仪表不得借给外人使用, 以免损坏, 以致再用时出现错误而



导致事故。携带式仪表一般应装在用牛皮做成的盒子内，以便于携带并保护仪表。

(3) 仪表使用后交还时应由保管人员检查验收，以免损坏不报告而下次再用时出现故障或事故。使用人员应及时报告使用情况及发现的问题，以便及时修理或校验。

(4) 仪表应定期保养及校验，以便及时发现问题及隐患，保证正常使用。保养时，应用柔软的棉布先将浮尘擦掉，然后蘸少许酒精再仔细擦洗，保养时只将电池盒打开检查或擦洗，一般不得将表内打开。校验时，一般是用同类的标准仪表测量同一被测物，其结果应一致，否则说明误差较大的表已失灵或损坏，应进行检定或修理。保养和校验的周期一般为三个月或者集中使用仪表频率很高后均应保养或校验。

(5) 携带式电工仪表应定期送至国家技术监督部门核准的具有检定资格的单位进行检定，检定和前述的校验是不同的概念，校验不等于检定，检定有法律效力，检定周期见表 3-5。

表 3-5 常用携带式电工仪表的检定周期

仪表名称	检定周期/年
绝缘电阻表	0.5
接地电阻测试仪	0.5
钳形表	1
万用表	1
点式温度计	1

## 3.2 电流表和电压表

### 3.2.1 电流表和电压表的用途、分类和工作原理

电流表和电压表是用来测量电流和电压的电工仪表。常用的电流表和电压表有磁电系、电磁系、电动系等类型，其工作原理见表 3-4。

### 3.2.2 电流的测量

1. 直流电流的测量 测量直流电流时，电流表的接法如图 3-1 所示。
2. 交流电流的测量 测量交流电流时，电流表的接法如图 3-2 所示，

图 3-2e、f 为采用专用的电流转换开关接线方式。交流电流表的接线是不分极性的，但在一个系统中有多只电流表时，所有的电流表的接线必须是一致的。交流电流表及电流互感器回路不得配置熔断器，以防电路开路。

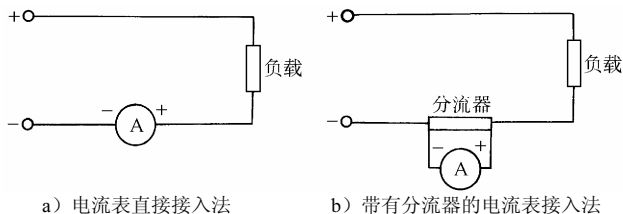


图 3-1 直流电流的测量

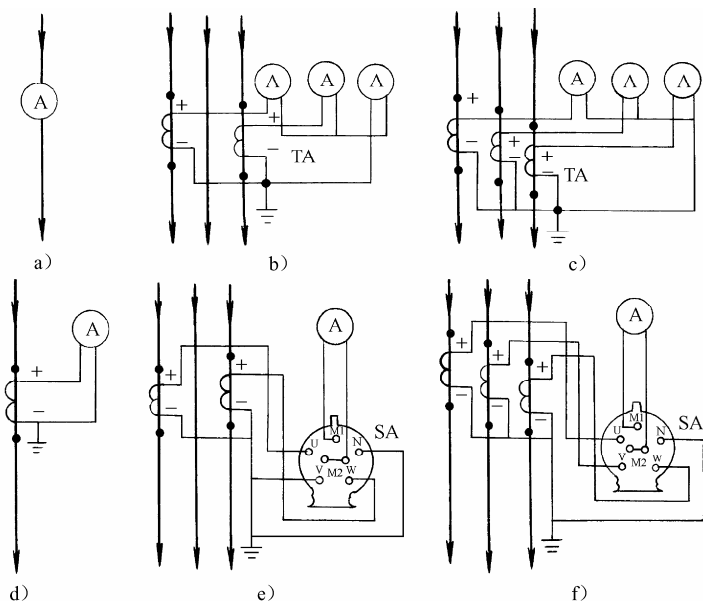


图 3-2 交流电流表的接线

### 3.2.3 电压的测量

1. 直流电压的测量 测量直流电压时, 电压表的接法如图 3-3 所示。

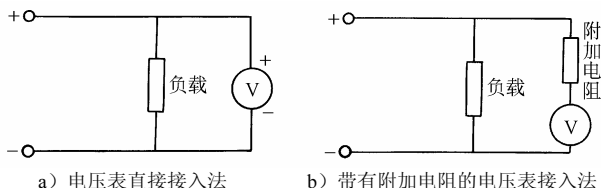


图 3-3 直流电压的测量

2. 交流电压的测量 测量交流电压时, 电压表的接法如图 3-4 所示。交流电压表的接线是不分极性的, 但是在一个系统中有多只电压表时, 所有的电压表的接线应该是一致的, 特别是 220V 或使用电压互感器时, 电压表接线必须遵守这一规则。

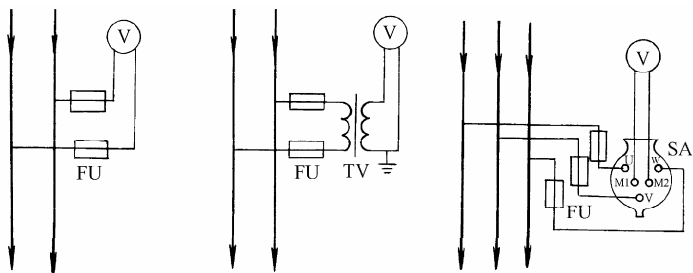


图 3-4 交流电压表的接线图

### 3.2.4 电流表和电压表的使用注意事项

(1) 测量电流时, 电流表应与被测电路串联, 测量电压时, 电压表应与被测电路并联。

(2) 测量直流电流或直流电压时, 应特别注意电表的“+”极接线端钮与电源“+”极相连接, 将电表的“-”极接线端钮与电源“-”极相连接。

## 3.3 功率表

### 3.3.1 功率表的用途、分类和工作原理

功率表是用来测量电功率的电工仪表。功率表可分为单相功率表 and 三相功率表。

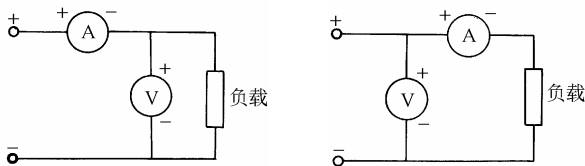
功率表大多采用电动式测量机构（见表 3-4）。

电动式功率表与电动式电流表、电压表的不同之处在于：固定线圈和可动线圈不是串联起来构成一条支路，而是分别将固定线圈与负载串联，将可动线圈与附加电阻串联后再并接至负载。由于仪表指针的偏转角度与负载电流和电压的乘积成正比，故可测量负载的功率。

### 3.3.2 单相电功率的测量

#### 1. 直流电路功率的测量

（1）用电流表、电压表测量：用电流表和电压表分别测出负载电阻上的电流和电压，间接测得直流功率为  $P=UI$ 。测量电路如图 3-5 所示。请注意：图 a 和图 b 两种接法的不同，其测量结果略有误差。



a) 电压表内阻  $\gg$  负载电阻时的接线 b) 电流表内阻  $\ll$  负载电阻时的接线

图 3-5 用电压表和电流表测量功率

（2）用功率表测量：正确的接线见图 3-6。在功率表的电流线圈的一端和电压线圈的一端标有\*、±或↑等标记。接线时必须将标有\*号的电流端钮接至电源的一端，而另一个电流端钮接至负载端，这时电流线圈是串联接在电路中，标有\*号的电压端钮，可以接至电流端钮的任一端，而另一个电压端钮则应该接至负载的另一端，功率表的电压线圈是并联接在电路中的。图 3-6a 适用于负载电阻远比功率表电流线圈电阻大得多的情况，图 3-6b 适用于负载电阻远比功率表电压线圈电

阻小得多的情况。

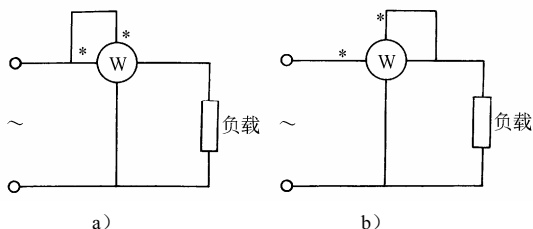


图 3-6 用功率表测量功率

2. 单相交流电路有功功率的测量 单相交流电路有功功率常用单相功率表测量, 接线方法与用功率表测量直流电路的功率(见图 3-6)相同。

如果需要用功率表测量高电压、大电流交流电路的电功率时, 就要用电压互感器和电流互感器, 如图 3-7 所示。此时, 电路实测有功功率  $P$  为

$$P = K_I K_U P'$$

式中  $P'$ ——功率表指示值 (W);

$K_I$ ——电流互感器的电流比;

$K_U$ ——电压互感器的电压比。

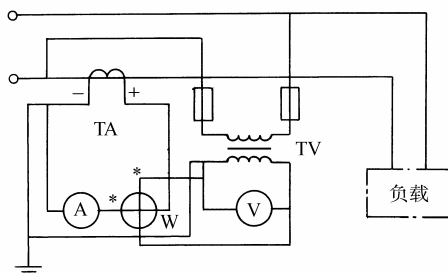


图 3-7 功率表经电流互感器、电压互感器的接线

### 3.3.3 三相交流电路有功功率的测量

(1) 当三相负载对称时,可用一只单相功率表测量三相有功功率,接线如图 3-8 所示。三相交流电功率为功率表指示值  $P'$  的 3 倍,即  $P=3P'$ 。

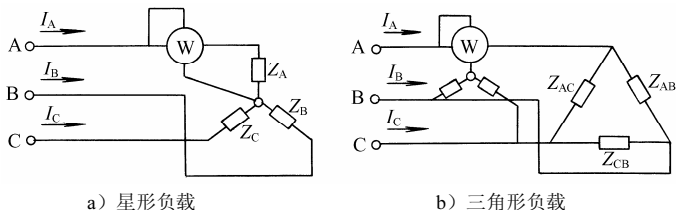


图 3-8 用一只功率表测量对称三相有功功率

(2) 在三相三线制交流电路中,不论负载对称与否,都可用两只单相功率表测量有功功率,如图 3-9 所示。三相有功电功率为两只单相功率表指示值之和。某些情况下(与负载性质有关),如果发现功率表反偏转而无法读数时,可将该表的电流线圈接头反接(见图 3-10),但不可将电压线圈接头反接以免引起静电误差甚至导致仪表损坏。这时所测得的功率应为两个读数之差。

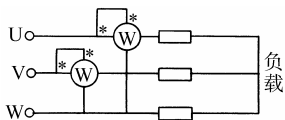


图 3-9 三相三线制电路有功功率的测量接线

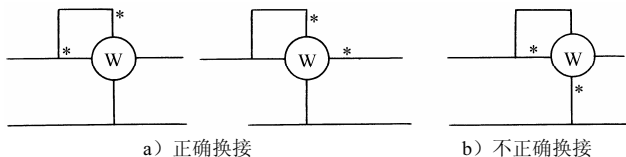


图 3-10 功率表的接线换接图

(3) 三相四线制电路中负载不对称时, 可采用三只单相功率表, 分别测量各相的有功电功率, 测得的各相电功率之和就是三相交流电路实际的有功电功率, 如图 3-11 所示。

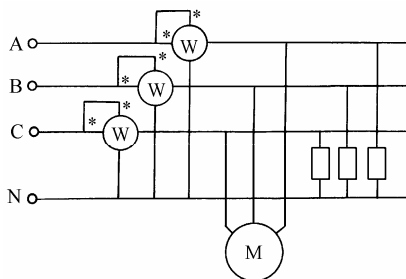


图 3-11 三相四线制电路功率的测量接线

(4) 三相有功功率表只能测量三相三线制或对称三相四线制交流电路的功率。测量电路如图 3-12 所示。当采用电流互感器时（见图 3-12b），电路的实际有功功率为电表读数乘以电流互感器的电流比。

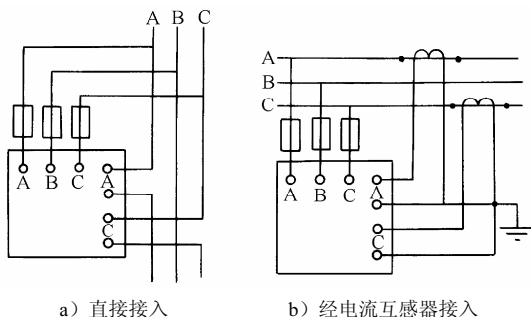


图 3-12 三相有功功率表的接线

### 3.3.4 功率表的使用注意事项

(1) 正确选择电流、电压的量限：选择时，除了要注意测量功率的量限，也要注意电流、电压量限的选择。要保证电压、电流量限都

能承受负载电压、电流。

(2) 正确接线：根据要测电路接线制及负载电阻大小，正确选择接线方法。

(3) 正确计算：功率表只标注有分格数，选用不同量限时，每一分格代表不同的瓦数。因此，测量功率时，要注意被测量的实际值与指针读数之间的计算方法，如果功率表读数为  $W$  格，被测功率值 ( $W$ ) 为

$$P = CW$$
$$C = \frac{U_N I_N}{W_N}$$

式中  $C$ ——每格多少瓦；

$U_N$ ——功率表选用电压线圈额定值；

$I_N$ ——功率表选用电流线圈额定值；

$W_N$ ——功率表标度尺的满刻度格数。

(4) 在交流电路中，测量高电压、大电流时，应配用电压、电流互感器，实际功率应用功率表的读数乘以电流互感器的电流比和电压互感器的电压比值。

## 3.4 万用表

### 3.4.1 万用表的用途、结构和工作原理

万用表是电工经常使用的多用途测量仪表。普通万用表可以测量交流电压、直流电压、直流电流和电阻，有的还可以测量交流电流、电感、电容和音频电平。万用表性能的好坏主要以测量电压时每伏若干欧来衡量。一般为  $1000 \sim 20000 \Omega/V$ ，此值越大，该万用表越灵敏。

1. 万用表测量直流电流的电路 如图 3-13 所示， $\mu A$  为万用表的磁电系微安表头， $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  是为扩大量程而并联的分流电阻， $S$  为转换开关，“+”、“-”为测试棒插孔。当转换开关  $S$  由位置 1 依次置于 2、3、4 时，分流电阻则逐渐减小，而量程范围却不断扩大，从而可以实现不同范围的直流电流的测量。

2. 万用表测量直流电压的电路 如图 3-14 所示， $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  是为扩大量程而串联的附加电阻。当转换开关  $S$  由位置 1 依次置于位



置 2、3、4 时, 附加电阻值不断减小, 于是测量电压的量程也随之减小, 从而可以实现不同范围的直流电压的测量。

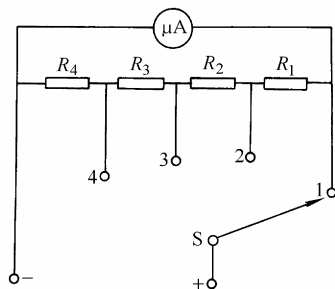


图 3-13 万用表测量直流  
电流的电路

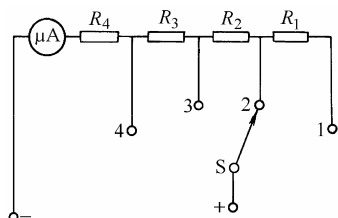


图 3-14 万用表测量直流  
电压的电路

3. 万用表测量交流电压的电路 如图 3-15 所示, 它与测量直流电压的原理和方法相同, 所不同的是增加了一个桥式整流器, 使交流电流经过整流后再通过表头。

4. 万用表测量电阻的电路 如图 3-16 所示,  $E$  为万用表的内部电源 (干电池),  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  为扩大量程而采用的可调电阻,  $R_x$  为被测电阻, 整个测量电阻回路接成一个桥形电路。当转换开关置于  $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$  等不同位置时, 可以实现不同范围的电阻的测量。

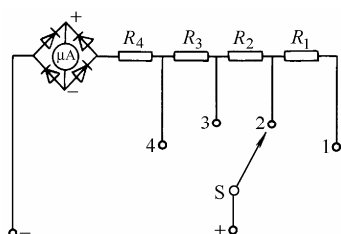


图 3-15 万用表测量  
交流电压的电路

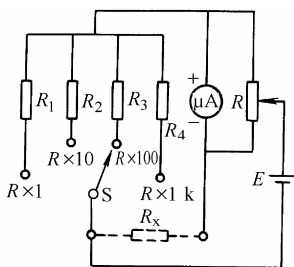


图 3-16 万用表测量  
电阻的电路

### 3.4.2 万用表使用的方法及注意事项

1. 插孔的正确接线 应将红色和黑色测试棒的连接插头分别插入红色插孔（或标有“+”号）和黑色插孔（或标有“-”号）。

2. 用转换开关正确选择测量种类和量程 根据被测对象，首先选择测量种类。严禁当转换开关置于电流档或电阻档去测量电压，否则，将损坏万用表。测量种类选择妥当后，再选择该种类的量程。测量电压、电流时应使指针的偏转在量程的一半或三分之二以上，读数较为正确。若预先不知被测量的大小范围，为避免量程选得过小而损坏万用表，应选择该种类最大量程预测，然后再选择合适的量程。

3. 正确读数 万用表的标度盘上有多条标度尺，它们代表不同的测量种类。测量时应根据转换开关所选择的种类及量程，在对应的标度尺上读数，并应注意所选择的量程与标度尺上读数的倍率关系。

#### 4. 电阻的测量

(1) 应选择合适的倍率位置，由于电阻档的标度尺是反刻度方向的，即左边是“ $\infty$ ”（无穷大），最右边是“0”，并且刻度不均匀，越往右，刻度越密，读数准确度越差，因此应使指针偏转在刻度较稀处，且以偏转在标度尺的中间附近为好。

(2) 测量以前，应进行“调零”，将红黑两根测试棒短接，同时转动“调零旋钮”，使指针指到电阻标度尺的“0”刻度上。每更换一次倍率档，都应先“调零”，才能进行测量。指针调不到零位，应更换新的电池。

(3) 不能带电测量电阻，防止万用表的损坏。被测电路不能有并联支路，以免影响准确度。

(4) 在使用万用表欧姆档判别仪表的正负端钮或半导体器件的极性时，从万用表的接线图中可以看出，万用表内部电池的负极性是是和“+”插孔直接连接，这时“-”插孔的电位高于“+”插孔的电位。

(5) 测低值电阻时，注意表笔与被测物要接触好。测量高值电阻时，手不要接触表笔和被测物的引线。

(6) 测量完毕后，应将“选择与量程开关”转到“ $\text{V}$ ”部分的最

高量程。

### 5. 测量交流电压

(1) 调指针于机械零位。

(2) 置“选择与量程开关”于“ $\tilde{V}$ ”部分的最高量程。或根据被测电压的概略数值选择适当量程。

(3) 测量交流电压时，把表笔并联于被测的电路上。改变量程，直到指针移到满刻度的  $2/3$  左右为止。不要带电转换量程。

(4) 测量 1000V 以上的高压时，必须采用专测高压的高级绝缘表笔和引线，并分别置于“1500V $\approx$ ”和“-”插孔。不要两只手同时拿两支表笔。必要时，应使用绝缘橡皮手套和绝缘垫。

6. 测量直流电压 与测量交流电压的步骤基本相同。注意应把“选择与量程开关”置于“ $\underline{V}$ ”部分，并注意仪表的极性。

### 7. 测量直流电流

(1) 调指针于机械零位。

(2) 置“选择与量程开关”于“mA”部分的最高量程。或根据被测电流的概略数值，选择“mA”部分的适当量程。

(3) 进行测量时，仪表应串接于被测的电路中，电流应从仪表的“+”极流到“-”极。改变量程，直到指针指向满刻度的  $2/3$  左右为止。最好不要带电转换量程。

(4) 测量完毕，将“选择与量程开关”转到“ $\tilde{V}$ ”部分的最高量程。

(5) 应注意万用表电流的最高量程。使用时不要超过此值。在测量电流时，绝对不能把表笔跨接于被测的电路上。

8. 使用时注意操作安全 不能用手接触测试棒的金属部分，以保证安全。仪表在测试较高电压和较大电流时，不能带电转动开关旋钮。

在使用万用表后，应将转换开关旋至“关”(OFF)的位置。没有这档位置，则应置于交流电压的最高档。这样防止转换开关在欧姆档时测试棒短路，更重要的是在下一次测量时，若不注意转换开关的位置就去测量电压，便有可能将万用表损坏。

## 3.4.3 万用表常见故障及其处理方法 (见表 3-6)

表 3-6 万用表常见故障及处理方法

故障位置	故障现象	可能产生的原因及处理方法
表头	摇动表头时, 指针摆动不正常	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表头动圈被异物卡住, 轴尖与宝石螺钉间有锈迹或相互配合过紧。需去除异物或锈迹, 重新调节配合间隙</li> <li>2. 游丝绞住或脱焊。用细针拨开绞住部位或焊住脱开点</li> <li>3. 机械平衡破坏, 需重新调整</li> <li>4. 表头线圈脱开或分流电阻断开, 更换表头线圈、焊牢断开电阻</li> </ol>
直流 电流档	无指示	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表头被短路</li> <li>2. 表头线圈脱焊或动圈断路</li> <li>3. 表头串联的电阻损坏或脱焊</li> <li>4. 分档开关未接通, 如接触不良可用细砂纸轻轻打磨, 若开关损坏应调换</li> </ol>
	指针来回摆动不易停下	分流电阻断开, 应更换分流电阻或重新焊牢
	各档测量值偏高	由与表头串联电阻或分流电阻的数值变化引起
	各档测量偏低	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由与表头串联电阻值变化引起</li> <li>2. 表头灵敏度降低, 应对表头磁钢重新充磁</li> </ol>
直流 电压档	无指示	电压部分开关公共点脱焊, 或最小量程档的分压电阻开路或损坏
	小量程误差大, 随量程增大误差变小	小量程分流电阻变值或损坏
	某档量程不通或不准确, 该档前各档正常, 该档后随量程增大误差变小	某档量程不通或不准确时, 该档的分压电阻已变值或损坏
交流 电压档	指针轻微摆动或指示值极小	整流器击穿, 需调换
	读数小一半左右	部分整流器损坏, 全波整流变成半波整流
	各档测量值偏低	整流器件反向阻值变小, 需更换整流器或调整交流电压档的灵敏度
	小量程误差大, 随量程增大误差变小	该档分压电阻有误差

(续)

故障位置	故障现象	可能产生的原因及处理方法
电阻档	无指示	1. 转换开关公共接触点引线断开 2. 调零电位器中心点引线脱焊 3. 电池无电压输出, 检查电池有无电压或使电池与引出线弹片保持接触良好
	正、负表棒短路时, 指针调不到零位	1. 电池容量不足 2. 串联电阻值变大 3. 转换开关接触电阻增大
	调节零位时, 指针跳跃不稳	调节调零电位器的滑动臂与线绕电阻接触不良
	某量程不通	1. 转换开关接触点接触不良, 需调整 2. 串联电阻断开
	某量程误差较大	该档分流电阻变值, 需调整或更换

## 3.5 钳形电流表

### 3.5.1 钳形电流表的结构和原理

钳形电流表可以在不断开电路的情况下测量电流。

用电磁系测量机构制成的钳形电流表, 可以交、直流两用, 其外形如图 3-17 所示。

在铁心钳口中的被测电流导线相当于电磁系测量机构中的固定线圈, 它在铁心钳口中产生磁场, 位于铁心缺口中间的可动铁片受此磁场的作用而偏转, 从而带动指针指示被测电流的数值。

由电流互感器和电流表组成的钳形电流表, 只能测量交流电流, 有的可以测量交流电压。

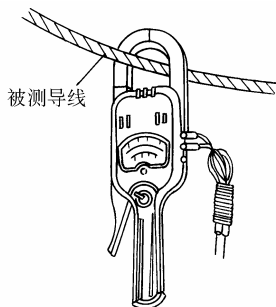


图 3-17 钳形电流表外形

### 3.5.2 钳形电流表的使用方法及注意事项

(1) 根据被测量及其大小的范围选择测量档位, 如果测量电压, 则应将选择开关打在“V”上; 如果测量电流, 则应先估算电路上的电流大小, 然后将选择开关的指示指在相应的档位上。如果不可估算, 则应从最大值开始, 然后再逐渐减小, 直到示值正确。

(2) 用手握住手柄, 并按动手钳, 将电流互感器的钳口张开。

(3) 将被测导线(指绝缘导线, 如果是裸导线则应先在被测段包扎绝缘)放入钳口内, 然后松开手钳, 将钳口闭合, 导线则正好穿入钳口。

(4) 从表盘上读出数值, 一般表盘上有两个刻度: 一条为红色, 即电压刻度标尺; 一条为黑色, 即电流刻度标尺。读数时要结合转换开关所指的范围, 并根据指针的指示读数。假如电流刻度的标尺是  $0 \sim 300\text{A}$ , 而转换开关所指范围是  $30\text{A}$ , 指针指  $250\text{A}$ , 则实际值为  $25\text{A}$ ; 转换开关所指范围是  $300\text{A}$ , 指针指  $250\text{A}$ , 则实际值为  $250\text{A}$ ; 转换开关所指范围是  $3000\text{A}$ , 指针指  $250\text{A}$ , 则实际值为  $2500\text{A}$ 。

(5) 将钳口松开, 把导线撤出。

(6) 如果用来测量电压, 则应先将选择开关打在“V”上, 然后估算被测值, 这时应将表笔插在相应的插孔上, 最后用两只表笔分别同时触及被测点, 表盘指针读数即为所测值。

(7) 有时为了测量  $1\text{A}$  及以下的交流电流, 而没有合适的电流表, 也可用钳形表测量, 先选择钳形表的最小一级电流档, 再把被测导线在钳口的铁心上绕 10 圈(钳口内有 10 根导线线圈穿过), 然后先按原指数读数, 将读数除以 10 即为实际电流值。

(8) 钳形电流表还有一个用途, 就是用来测量零序电流, 用以判断三相电路是否平衡, 或判断有无断相, 以保证系统的正常。一般做法是将三相动力电路或三芯三相电缆同时送入钳口, 并将选择开关打在适当的范围上, 如果指针指向零或接近于零, 说明系统三相平衡或者没有断相; 否则, 有读数且较大, 说明三相不平衡或是有断相现象。这在动力电路运行中有很大的用处。

(9) 使用钳形表时, 如果选档不当, 应先将导线取出钳口再调整转换开关, 不得带负荷调整, 以免将表针打弯。

(10) 从理论上讲钳形表是可以测量高压电流的，但在工程中并不这样做。因为钳口的绝缘或手柄的绝缘对低压可以做到，对高压就难以做到了。另外高压导线均为裸导线，带电包扎绝缘是比较难的，一旦导线碰击钳口铁心，将会造成大事故，即使操作时，带上相应等级的绝缘手套及操作杆进行操作，也是无用的。因此，一般情况下，应禁止使用钳形表测量高压电流。

(11) 使用钳形表时，应在配电室有电流的回路上进行试验，确认其处于良好状态才能使用。在雷雨天时，在室外应禁止使用钳形表进行测量，否则应有防雷雨措施，确保雨滴不落在表上。

(12) 钳形表使用时应先检查指针是否在零位，否则应用调整螺钉进行调整；钳形表应保持钳口处的光洁，不得有污垢油迹；发现全部量程不通时，应检查内部的熔管是否烧断；使用后应把量程开关打到最大位置上。

## 3.6 绝缘电阻表

### 3.6.1 绝缘电阻表的结构和工作原理

绝缘电阻表又称兆欧表（旧称摇表），是用于检查测量电气设备或供电线路绝缘电阻的一种可携式仪表，具有高压电源对绝缘电阻进行测量。绝缘电阻表（兆欧表）的标度尺上的单位是“兆欧”用“ $M\Omega$ ”表示， $1M\Omega=10^3k\Omega=10^6\Omega$ 。

绝缘电阻表（兆欧表）的种类很多，但基本的结构相同，主要由一个磁电系的比率表和高压电源（常用手摇发电机或晶体管电路产生）组成。图 3-18 所示是绝缘电阻表（兆欧表）的外形图。图 3-19 所示是绝缘电阻表（兆欧表）的原理电路图。

从图 3-19 中可以看出，被测的绝缘电阻  $R_x$  接于绝缘电阻表（兆欧表）的“线路”和“地线”端钮之间，此外在“线路”端钮外圈还有一个铜质圆环，叫保护环，又称屏蔽接线端钮，符号为“G”，它与发电机的负极直接相连。

被测得绝缘电阻  $R_x$  与附加电阻  $R_2$  及比率表中的动圈 2 串联，流过线圈 2 的电流  $I_2$  与  $R_x$  的大小有关。 $R_x$  越小、 $I_2$  就越大，磁场与  $I_2$  相

互作用而产生的转动力矩  $M_2$  就越大, 使指针向标度尺“0”的方向偏转。动圈 1 的电流  $I_1$  与  $R_x$  无关, 它与磁场相互作用而产生的力矩  $M_1$  与  $M_2$  相反, 相当于游丝的反作用力矩, 使指针稳定。

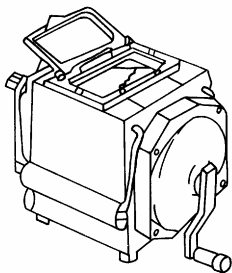


图 3-18 绝缘电阻表(兆欧表)  
的外形图

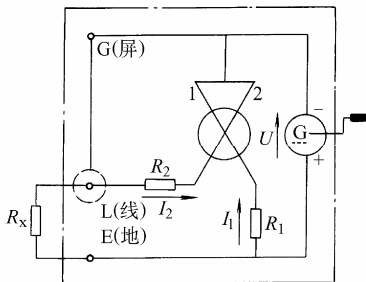


图 3-19 绝缘电阻表(兆欧表)  
的原理电路

### 3.6.2 绝缘电阻表的使用方法及注意事项

1. 用绝缘电阻表(兆欧表)测量电气设备的绝缘电阻 绝缘电阻表(兆欧表)由手摇直流发电机和磁电式流比计组成, 测量时将手摇直流发电机的直流电压加在被测物上, 测得的泄漏电流经流比计换算后将绝缘电阻值显示在表盘上。

使用绝缘电阻表(兆欧表)测量时的接线如图 3-20~图 3-22 所示。

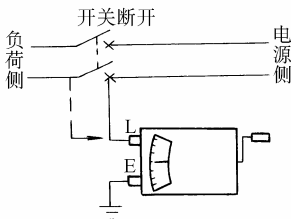


图 3-20 用绝缘电阻表(兆欧表)  
测量线路对地绝缘电阻

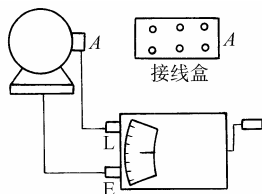


图 3-21 用绝缘电阻表(兆欧表)  
测量电机对地绝缘电阻



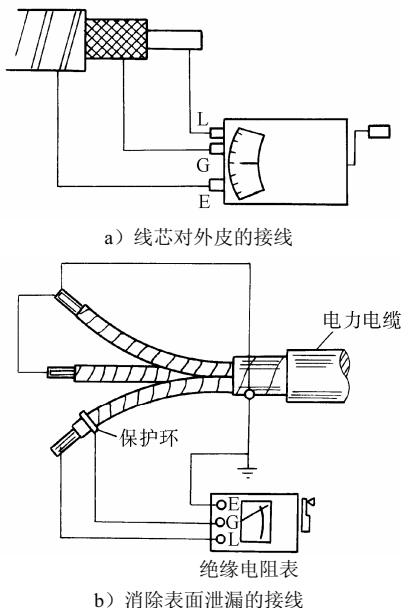


图 3-22 用绝缘电阻表（兆欧表）测量电缆绝缘电阻

使用绝缘电阻表（兆欧表）时应注意以下几点：

（1）绝缘电阻表（兆欧表）的转速应由慢到快，转速不得时快时慢，当达到 120r/min 时则应保持稳定，转速稳定后，表盘上的指针方能稳定，表针的指示即为测得的绝缘电阻的阻值。使用时应水平放置。

（2）根据被测对象的额定电压，选择不同电压的绝缘电阻表（兆欧表），见表 3-7。

（3）测量时使用的绝缘导线应为单根多股软导线，测量线不得扭结或搭接，且应悬空放置，与端钮的连接应紧密可靠，与设备或线路的连接一般应使用鱼嘴夹，以免引起测量误差。

（4）测量前应使设备或线路断开电源，有仪表回路的要将仪表断开，然后进行放电，对于大型变压器、大型电机等大型电感、电容性

设备及线路在其测量完毕后也应放电。放电时间一般为  $2\sim 3\text{min}$ ，对于高压设备及线路放电时间应加长。

表 3-7 绝缘电阻表（兆欧表）的选择 （单位：V）

电气设备或回路的电压等级	绝缘电阻表（兆欧表）的电压等级
$U < 100$	250
$100 \leq U < 500$	500
$500 \leq U < 3000$	1000
$3000 \leq U < 10000$	2500
$10000 \leq U$	2500 或 5000

（5）使用绝缘电阻表（兆欧表）前应对兆欧表进行校验，当接线端为开路时，摇转绝缘电阻表（兆欧表），指针应在“ $\infty$ ”位，将 E 和 L 短接起来，缓慢摇动绝缘电阻表（兆欧表），指针应在“0”位。校验时，当指针指在“ $\infty$ ”或“0”位时，指针不应晃动。

（6）测量过程中，指针指向“0”位时则说明被测设备或线路绝缘已破坏，应停止摇动绝缘电阻表（兆欧表），以免由于短路而烧坏绝缘电阻表（兆欧表）。测量过程中，当指针稳定在某一值时，即可在不大于 30s 的时间内读数，最长不得超过 1min。

（7）正在使用的设备通常应在刚停止运转时进行测量，以便使测量结果符合运行温度时的绝缘电阻。禁止在雷电时或在邻近有带高压导体的设备时进行测量。只有在设备不带电又不可能受其他电源感应而带电时才能进行测量。

（8）绝缘电阻表（兆欧表）量程的选用，一般低压电器设备可选用  $0\sim 200\text{M}\Omega$  量程的表，高压电器设备或电缆、线路可选用  $0\sim 2000\text{M}\Omega$  量程的表。刻度从  $1\text{M}\Omega$  或  $2\text{M}\Omega$  起始的绝缘电阻表（兆欧表）不宜测量低压电气设备的绝缘电阻。

2. 用数字式绝缘电阻测试仪测量电气设备的绝缘电阻 数字式绝缘电阻测试仪由直流电池、晶体管振荡器、倍压整流、测量机构模数转换和数显系统组成。数字式绝缘电阻测试仪使用时的接线同绝缘电阻表（兆欧表），输出直流电压用电键选择，一般有 500V、1000V、2500V、5000V、10000V 等，使用很方便，可根据表 3-7 选择不同的

档位。使用时的注意事项同 1. 中绝缘电阻表（兆欧表）使用时的注意事项中的（3）～（8）。数字式绝缘电阻测试仪的使用应经常更换电池，不用时可将电池取出，安装电池前应测量电池的电压和电流，必须保证电池电压和电流处于完好额定状态。

### 3.6.3 接地电阻测试仪的使用方法及注意事项

接地电阻测试仪俗称接地摇表，其电流极与电压极是随仪表配套的专门装置，俗称探针，其导线也是随仪表配套的，使用时应展开，直线排列时，两探针相距 20m 即可，也可三角形排列，夹角为  $30^\circ$  左右，探针应打入土壤之中。用接地电阻测试仪测量接地电阻的接线如图 3-23 所示。

使用接地电阻测试仪的操作方法及注意事项：

（1）按不同的布置将仪表连接以后，检查无误，即将仪表水平放置，检查指针是否在零位中心线上，否则用调零钮调整使其位于中心线上。

（2）将“倍率标度”置于最大倍数，慢慢转动手柄，同时旋动“测量标度盘”，使指针趋向于中心线。否则应逐级减小倍率，直至位于中心线。

（3）当指针接近于平衡时，加快速手柄转速至 120r/min 以上，并调整测量标度盘，使指针指示中心线。

（4）如“测量标度盘”的读数小于 1，应将“倍率标度”置于较小的倍数，再重新调整“测量标度盘”，以得到正确读数。

（5）用测量标度盘的读数乘以“倍率标度”的倍数，即得到所测量的值。

测量接地电阻时，必须将接地体与被保护设备的连接引线拆开，将测量端接在接地体端，因此安装时要求接地引线与接地体间应有可拆卸的连接点，一般用螺栓连接，连接点应用镀锌扁钢做成，分别与

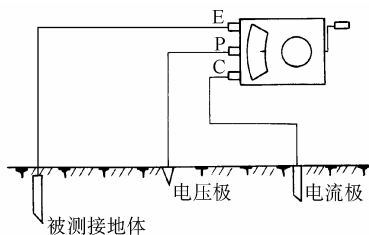


图 3-23 用接地电阻测试仪测量接地电阻的接线

接地引线和接地体焊接，连接螺栓不少于两条，并有防松装置，如图 3-24 所示。另外，测量接地电阻应仔细，接线要正确，测得结果与以往测量值相差较大时，应仔细分析，并请有经验的人进行检查或复测。任何时候、任何情况下，接地电阻值以实测值为准，所有计算公式的计算值只能作为参考值。

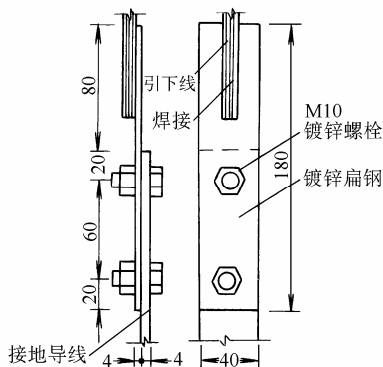


图 3-24 接地引线与接地体之间的可拆卸的连接点

## 3.7 电能表

### 3.7.1 电能表的用途、分类及工作原理

电能表（旧称电度表）是用来测量某一段时间内发电机发出电能或负载消耗电能的电工仪表，电能表分为单相电能表，三相有功电能表和三相无功电能表。

目前广泛使用的交流电能表采用感应式测量机构，其原理结构见表 3-4。

### 3.7.2 交流电能的测量

1. 单相电能的测量 单相交流电路的有功电能可用单相电能表（单相瓦时表）测量，单相电能表直接接线如图 3-25 所示，单相电能表经电流互感器接线如图 3-26 所示。

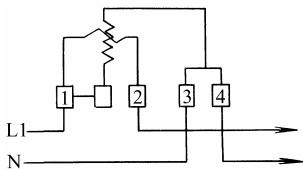


图 3-25 单相电能表直接接线

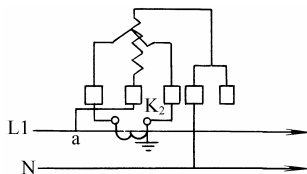


图 3-26 单相电能表经电流互感器接线

2. 三相三线制交流电路有功电能的测量 三相三线有功电能表接线如图 3-27 所示, 三相三线有功电能表经电流互感器接线如图 3-28 所示。

3. 三相四线制交流电路有功电能的测量 三相四线制有功电能表直接接线如图 3-29 所示; 三相四线制有功电能表经三只电流互感器接线如图 3-30 所示; 三相四线制有功电能表经二只电流互感器接线如图 3-31 所示; 三只单相电能表经三只电流互感器测量三相四线制有功电能的接线如图 3-32 所示。

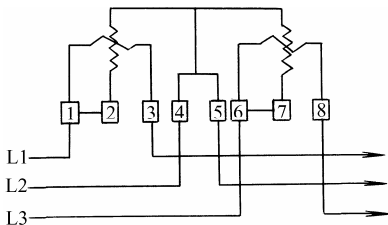


图 3-27 三相三线有功电能表直接接线

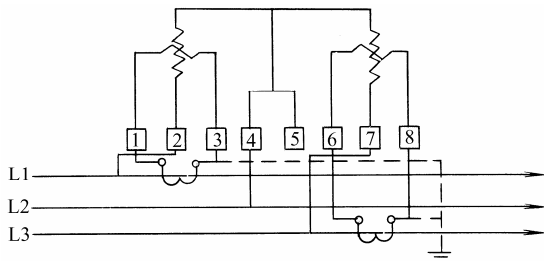


图 3-28 三相三线有功电能表经电流互感器接线

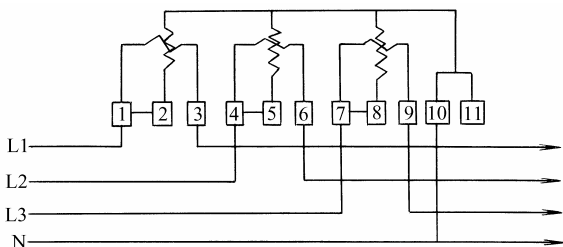


图 3-29 三相四线制有功电能表直接接线

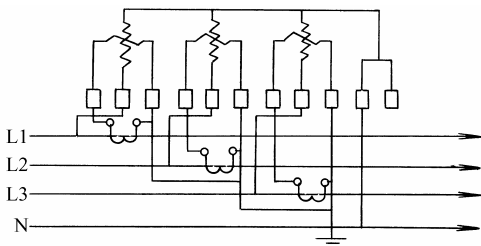


图 3-30 三相四线制有功电能表经电流互感器接线

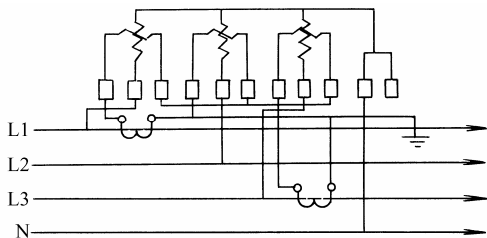


图 3-31 三相四线制有功电能表经二只电流互感器接线

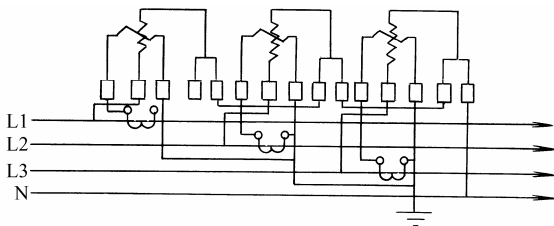


图 3-32 三只单相电能表经三只电流互感器接线

### 3.7.3 电能表的选择及使用注意事项

(1) 不同电价的用电线路应分别装表，单相用电时，通常装一只单相电能表，三相用电时，应装一只三相四线电能表或三只单相电

能表。

(2) 选择电能表的量限时, 应注意使电能表的额定电压、额定电流满足下列要求:

经电流互感器馈电的电能表, 其额定电流选用 5A; 经电压互感器馈电的电能表, 其额定电压选用 100V; 直接接入电路的电能表, 额定电压与电路额定电压相同; 一般不允许电能表在低于额定电流的 10% 长期使用, 也不允许长期超过额定电流的 125%。

(3) 当没有负载时, 电能表的铝转盘应该静止不转。否则, 必须检查线路, 找出原因。

(4) 如果使用电流互感器和电压互感器时, 实际消耗的电能应为电能表的读数乘以电流互感器的电流比和电压互感器的电压比值。

## 3.8 其他电工常用仪表

### 3.8.1 高压验电器

高压验电器的结构示意图如图 3-33 所示, 其中指示装置是用绝缘材料制成的空心管, 管的一端为金属制成的触头, 管内装有氖灯和一组电容器, 末端是一金属接头, 以便和支持装置连接。支持装置用绝缘材料制成, 并分为绝缘部分和手握部分, 中间有隔离环。

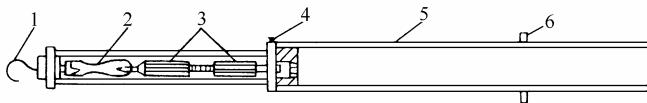


图 3-33 高压验电器结构示意图

1—工作触头 2—氖灯 3—电容器  
4—接地螺钉 5—支持器 6—隔离环

使用时, 应使触头逐渐靠近带电体, 直至灯亮或发出声响信号为止, 任何时候、任何情况不得使工作触头与带电体接触, 以免触电。使用时, 接地螺钉一般不接地, 如必须接地时, 应注意防止由接地引

线引起的短路故障。使用时要用绝缘杆。

目前有一新型的高压验电器，它是由传感器、屏蔽导线、数显装置组成。使用时，用高压拉杆将传感器挂好去接近高压带电体，如果有电，数显装置将显示高压的数值，否则无电。

高压验电器在使用前，应在配电间的高压母线上进行试验，以保证其可靠性。高压验电器有 10kV 和 35kV 之分。

### 3.8.2 低压验电器

低压验电器即试电笔，由触头、碳精电阻、氖泡、弹簧、握柄及绝缘笔形外套组成，如图 3-34 所示。低压验电器使用时必须使触头与带电体接触，同时手握住握柄并触及其金属部分，这样即形成对地的回路，如果有电氖泡发红光，否则不发光。试电笔只能用在低压范围，并且使用前应在配电间低压母线间上进行试验，以免错误。试电笔严禁在高压上使用。

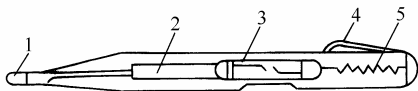


图 3-34 低压验电器结构示意图

1—工作触头 2—碳精电阻 3—氖泡 4—握柄 5—弹簧



# 简明实用电工手册

第4版

乔东明 檀立慧 编



机械工业出版社

本手册从电工的实际需要出发,按多数读者对资料使用、查找频率的高低,精选了最常用、最关键、最经典的实用资料。内容包括电工基础资料、电子技术及应用、常用电工仪表、常用电工材料、常用低压电器、变压器、低压供配电线路、常用电动机及变频器、照明及电器维修、电气安全等。

本手册是广大城乡电工、工矿企业电工从事电气安装、维护和修理的常备工具书,也可供其他有关电气技术人员使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

简明实用电工手册 / 乔东明, 檀立慧编. —4 版. —北京: 机械工业出版社, 2013.8

ISBN 978-7-111-43644-7

I. ①简… II. ①乔… ②檀… III. ①电工—技术手册 IV. ①TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 185279 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 牛新国 责任编辑: 牛新国 顾 谦

责任校对: 陈延翔 封面设计: 姚 毅

责任印制:

印刷厂印刷

2013 年 8 月第 4 版第 1 次印刷

130mm×184mm·23 印张·660 千字

0001— 册

标准书号: ISBN 978-7-111-43644-7

定价: 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
电话服务 网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

## 第 4 版前言

电工技术发展迅猛，电工新技术、新产品、新工艺、新方法、新技能层出不穷，各行各业的在岗电工希望找到最适合自己的电工手册。因此，我们在简明、实用方面不断创新的基础上组织编写的《简明实用电工手册》受到了广大电工的欢迎。这次应广大读者的要求，按照 GB 50054—2011 等最新标准、规范对《简明实用电工手册》进行了第 3 次修订。

本手册共 10 章，内容包括电工基础资料、电子技术及应用、常用电工仪表、常用电工材料、常用低压电器、变压器、低压供配电线路、常用电动机及变频器、照明及电器维修、电气安全。

本手册具有如下特点：

1. 内容取材新，精选了最常用、最关键、最经典的实用资料。手册较全面地介绍了电工电子基础知识和电工电子产品、元器件、设备的技术性能、工作特性、适用范围、注意事项、常见故障及排除方法等。

2. 编写体例新，内容全面、覆盖面广，强电技术、弱电技术融合。内容包括变电、供电、配电到用电的强电技术，又包括电子技术、电工仪表、电力电子技术等弱电技术。

3. 标准规范新。从量和单位、名词术语、图形符号、文字符号等基础标准到专业标准以及产品标准都采用截至 2013 年 1 月的最新国家标准、行业标准。对重要内容还给出

新旧对照。

4. 概念、数据准确，编排合理，信息量大，简明实用，分类规范，图文并茂，便于查阅，便于理解。

5. 这次修订，我们对原手册的内容进行了全面订正，更新了相关标准，精简了部分不实用的内容。

本手册是广大城乡电工、工矿企业电工从事电气安装、维护和修理时使用的常备工具书，也可供其他有关电气技术人员使用。

本手册的修订工作由乔东明、檀立慧完成，参加前 3 版编写工作的有乔志良、刘玉敏、黄海平、乔志才、李刚、郭玉兰、赵刚、周红志、赵永强、杨佳才、刘云辉、张洲、张丽艳、李广华、王桂春、杨静、史晓君、邹郢、刘爱京、杨玉萍、张秀珍、谢志军、刘俊杰、张德芳、刘丽萍、刘立伟、于波等。

本手册在编写过程中，参阅了大量的资料文献，这里一并感谢，恕不一一列举。由于作者水平有限，手册中的不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正，以便在今后修订再版时进一步完善提高。

编者

2013 年 6 月

# 目 录

## 第4版前言

第1章 电工基础资料	1
1.1 电工基础知识	1
1.1.1 电的基本知识	1
1.1.2 直流电路	3
1.1.3 电与磁	5
1.1.4 交流电路	8
1.2 电工常用计算公式	17
1.2.1 直流电路常用计算公式	17
1.2.2 交流电路常用计算公式	22
1.3 电气识图	28
1.3.1 电气图用图形符号	28
1.3.2 文字符号	77
1.3.3 电气设备及线路的标注方法及其使用	90
1.3.4 一次接线图识图方法	99
1.3.5 二次接线图识图方法	101
1.3.6 线路平面布置图识图方法	109
1.4 法定计量单位及单位换算	110
1.4.1 法定计量单位	110
1.4.2 常用计量单位换算	113
1.5 常用工具的正确使用	117
第2章 电子技术及应用	127
2.1 国产半导体器件型号命名方法	127
2.2 晶体二极管	129
2.2.1 晶体二极管的结构、种类和用途	129

2.2.2	晶体二极管的特性和简易测试 .....	132
2.2.3	晶体二极管主要参数说明 .....	134
2.2.4	晶体二极管的选用及使用注意事项 .....	135
2.2.5	稳压二极管 .....	135
2.3	晶体二极管整流电路 .....	137
2.3.1	整流电路的分类和整流器 .....	137
2.3.2	单相整流电路 .....	138
2.3.3	三相整流电路 .....	141
2.3.4	滤波电路 .....	144
2.3.5	稳压二极管直流稳压电路 .....	145
2.4	晶体三极管 .....	146
2.4.1	晶体三极管的结构和原理 .....	146
2.4.2	晶体三极管的特性和工作状态 .....	147
2.4.3	晶体三极管的放大作用和开关作用 .....	150
2.4.4	晶体三极管的简易测试 .....	151
2.4.5	晶体三极管的主要技术参数说明 .....	152
2.4.6	晶体三极管的选用及使用注意事项 .....	153
2.5	晶体三极管放大器 .....	154
2.5.1	晶体三极管的三种基本放大电路接线方式 .....	154
2.5.2	晶体三极管放大器的工作点和基本偏置电路 .....	155
2.5.3	低频小信号放大器 .....	157
2.5.4	低频功率放大器 .....	158
2.6	常用电阻器、电位器和电容器及其选用 .....	161
2.6.1	电阻器、电位器和电容器的型号 .....	161
2.6.2	电阻器 .....	163
2.6.3	电位器 .....	165
2.6.4	电容器 .....	166
2.7	晶闸管及应用 .....	169
2.7.1	晶闸管概述 .....	169
2.7.2	晶闸管静态伏安特性 .....	170

2.7.3 晶闸管开关特性 .....	172
2.7.4 晶闸管的检测 .....	173
2.7.5 晶闸管可控整流电路 .....	175
<b>第3章 常用电工仪表</b> .....	<b>176</b>
3.1 常用电工仪表的基本知识 .....	176
3.1.1 电工仪表的分类 .....	176
3.1.2 电工仪表的准确度等级 .....	176
3.1.3 电工仪表的标度盘符号及其意义 .....	177
3.1.4 常用仪表的结构及工作原理 .....	179
3.1.5 常用电工仪表的使用注意事项 .....	183
3.1.6 仪表的保管及检定周期 .....	183
3.2 电流表和电压表 .....	184
3.2.1 电流表和电压表的用途、分类和工作原理 .....	184
3.2.2 电流的测量 .....	184
3.2.3 电压的测量 .....	186
3.2.4 电流表和电压表的使用注意事项 .....	186
3.3 功率表 .....	187
3.3.1 功率表的用途、分类和工作原理 .....	187
3.3.2 单相电功率的测量 .....	187
3.3.3 三相交流电路有功功率的测量 .....	189
3.3.4 功率表的使用注意事项 .....	190
3.4 万用表 .....	191
3.4.1 万用表的用途、结构和工作原理 .....	191
3.4.2 万用表使用的方法及注意事项 .....	193
3.4.3 万用表常见故障及其处理方法 .....	195
3.5 钳形电流表 .....	196
3.5.1 钳形电流表的结构和原理 .....	196
3.5.2 钳形电流表的使用方法及注意事项 .....	197
3.6 绝缘电阻表 .....	198
3.6.1 绝缘电阻表的结构和工作原理 .....	198

3.6.2	绝缘电阻表的使用方法及其注意事项	199
3.6.3	接地电阻测试仪的使用方法及其注意事项	202
3.7	电能表	203
3.7.1	电能表的用途、分类及工作原理	203
3.7.2	交流电能的测量	203
3.7.3	电能表的选择及使用注意事项	205
3.8	其他电工常用仪表	206
3.8.1	高压验电器	206
3.8.2	低压验电器	207
第4章	常用电工材料	208
4.1	绝缘材料	208
4.1.1	概述	208
4.1.2	绝缘漆	211
4.1.3	浸渍绝缘漆布	214
4.1.4	绝缘纸和纸板	215
4.1.5	层压板	215
4.1.6	云母制品	216
4.1.7	薄膜、复合制品	217
4.2	电线、电缆	217
4.2.1	裸电线与裸导体制品	217
4.2.2	电磁线	219
4.2.3	绝缘电线、电缆	224
4.3	其他常用材料	230
4.3.1	润滑脂	230
4.3.2	胶粘剂	230
第5章	常用低压电器	232
5.1	低压电器的分类、用途和型号	232
5.1.1	低压电器的分类及用途	232
5.1.2	低压电器的型号表示方法	233
5.2	刀开关和转换开关	238



5.2.1	HD11~14 和 HS11~13 系列刀开关	238
5.2.2	开启式负荷开关	239
5.2.3	封闭式负荷开关	240
5.2.4	熔断器式刀开关	241
5.2.5	石板刀开关熔断器组	242
5.2.6	组合开关	242
5.2.7	刀开关的安装和维护	243
5.3	低压熔断器	244
5.3.1	RT14、RT18、RT19 系列熔断器	244
5.3.2	RL 型螺旋式熔断器	244
5.3.3	RT0 系列有填料封闭管式熔断器	245
5.3.4	RM 系列无填料密闭管式熔断器	246
5.3.5	家庭照明用瓷闸盒	246
5.3.6	熔断器的安装和维护	248
5.4	断路器	249
5.4.1	万能式低压断路器	249
5.4.2	塑料外壳式低压断路器	251
5.4.3	低压断路器的选用	251
5.4.4	低压断路器的安装、使用和维护	252
5.5	接触器、继电器及按钮	254
5.5.1	接触器	255
5.5.2	中间继电器	259
5.5.3	时间继电器	259
5.5.4	热继电器	259
5.5.5	按钮	263
5.6	起动器	263
5.6.1	电磁起动器	263
5.6.2	星—三角起动器	264
5.6.3	自耦减压起动器	265

第 6 章 变压器	267
6.1 电力变压器	267
6.1.1 变压器的工作原理	267
6.1.2 变压器的结构、类型和型号	269
6.1.3 变压器的额定值和性能参数	272
6.1.4 电力变压器的选择	277
6.1.5 变压器的检查和测试	279
6.1.6 变压器的安装接线	279
6.1.7 电力变压器的运行和维护	298
6.1.8 变压器常见故障及处理方法	305
6.2 干式配电变压器	308
6.2.1 干式变压器的特点及型号	308
6.2.2 干式变压器铭牌数据	309
6.2.3 干式配电变压器的施工	315
6.2.4 干式变压器试验	320
6.2.5 干式配电变压器的运行	323
6.3 功率因数补偿	328
6.3.1 概述	328
6.3.2 电力电容器补偿容量计算	329
第 7 章 低压供配电线路	331
7.1 导线的连接	331
7.1.1 导线绝缘层的剥离方法	331
7.1.2 导线的连接方法及工艺	335
7.1.3 线头与接线柱的连接	351
7.1.4 导线的封端	359
7.1.5 导线绝缘层的恢复方法	362
7.1.6 导线连接的总体要求及标准规范	367
7.2 配合土建工程埋设管路及铁件	370
7.2.1 准备工作及注意事项	370
7.2.2 线管加工技术	373

7.2.3 单层变配电间的配合土建 .....	378
7.3 室内布线 .....	408
7.3.1 室内外布线概述 .....	408
7.3.2 绝缘导线布线要求（按照 GB 50054—2011） .....	412
7.3.3 管内穿线 .....	415
7.3.4 钢管明设 .....	422
7.3.5 硬塑料管明设 .....	430
7.3.6 护套线线路的安装 .....	431
7.3.7 瓷件配线 .....	435
7.4 低压架空线路 .....	441
7.4.1 低压架空线路的结构 .....	441
7.4.2 架空线路的运行 .....	446
7.5 电缆线路 .....	453
7.5.1 准备工作 .....	453
7.5.2 电缆安装敷设的技术要求 .....	463
7.5.3 地下直埋电缆敷设法 .....	467
7.5.4 电缆沟内敷设法 .....	475
7.5.5 钢索悬吊架空敷设法 .....	479
7.5.6 管内敷设法 .....	482
7.5.7 电缆槽架内敷设法 .....	483
7.5.8 电气竖井内敷设法 .....	486
7.5.9 沿建筑物明设法 .....	488
7.5.10 冬季电缆敷设的技术措施 .....	489
7.5.11 敷设电缆时的安全注意事项 .....	491
7.6 电气线路故障的处理 .....	492
7.6.1 明装电气线路故障的处理方法 .....	492
7.6.2 暗装电气线路故障的处理方法 .....	495
7.7 低压配电装置 .....	497
7.7.1 量电及配电箱（盘） .....	497
7.7.2 低压配电系统异常运行和缺陷的处理方法 .....	502

第 8 章 常用电动机及变频器	504
8.1 三相笼型异步电动机的结构和工作原理	504
8.1.1 三相笼型异步电动机的典型结构	504
8.1.2 三相笼型异步电动机的工作原理	507
8.2 三相异步电动机及控制电器的选择	508
8.2.1 三相异步电动机的型号组成及含义	508
8.2.2 电动机的选择要求	509
8.2.3 电动机型号的选择	511
8.2.4 电动机电压的选择	514
8.2.5 电动机功率的选择	514
8.2.6 电动机转速的选择	515
8.3 三相笼型异步电动机的起动	515
8.3.1 三相笼型异步电动机起动方式	515
8.3.2 笼型电动机的直接起动	516
8.3.3 笼型电动机的星—三角起动	518
8.3.4 自耦减压起动器减压起动控制电路	520
8.4 三相异步电动机的控制和保护	520
8.4.1 电动机的常用控制电路	520
8.4.2 电动机的保护电路	523
8.4.3 电动机的控制设备及导线的选择	525
8.5 异步电动机的运行、维护	525
8.5.1 电动机的检查和测试	525
8.5.2 电动机运行时一般故障的处理	540
8.5.3 电动机的运行	543
8.6 直流电动机	551
8.6.1 直流电动机的型号	551
8.6.2 直流电动机的主要结构	552
8.6.3 直流电动机的励磁方式	552
8.7 单相异步电动机	554
8.7.1 单相异步电动机的型号	554

8.7.2 单相异步电动机的结构特点和用途 .....	555
8.8 变频器及其应用 .....	558
8.8.1 变频器概述 .....	558
8.8.2 变频器的安装 .....	560
8.8.3 变频器维护保养 .....	569
<b>第9章 照明及电器维修</b> .....	<b>572</b>
9.1 常用电光源 .....	572
9.1.1 白炽灯 .....	572
9.1.2 荧光灯 .....	573
9.1.3 节能型荧光灯与 LED 荧光灯 .....	574
9.1.4 荧光高压汞灯 .....	578
9.1.5 高压钠灯 .....	580
9.1.6 卤钨灯 .....	580
9.2 电气装置件 .....	581
9.2.1 开关 .....	581
9.2.2 灯座 .....	582
9.2.3 插头与插座 .....	582
9.2.4 线盒及其他器件 .....	583
9.3 普通电灯的安装 .....	584
9.3.1 普通电灯的悬持高度 .....	584
9.3.2 白炽灯的安装 .....	584
9.3.3 荧光灯的安装 .....	588
9.4 照明装置故障的处理方法 .....	590
9.4.1 照明装置故障处理要点 .....	590
9.4.2 照明电路的检查和测试 .....	591
9.4.3 送电及试灯 .....	592
9.4.4 照明线路故障的处理 .....	593
9.4.5 照明灯具故障处理方法 .....	596
9.5 电器维修基本常识 .....	601
9.5.1 电器维修应具备的条件 .....	601

9.5.2	电器检修的一般程序 .....	602
9.5.3	电器检修的基本原则 .....	603
9.5.4	电器故障的诊断方法 .....	604
9.6	电器检修经验与技巧 .....	605
9.6.1	电器的检修经验 .....	605
9.6.2	电器检修的技巧 .....	607
第 10 章	电气安全 .....	609
10.1	概述 .....	609
10.1.1	触电形式 .....	609
10.1.2	触电危害 .....	610
10.2	电工安全技术 .....	611
10.2.1	电工素质要求 .....	611
10.2.2	电工安全操作规程 .....	612
10.2.3	低压操作票 .....	615
10.3	常用电工安全用具及器械的使用 .....	618
10.3.1	绝缘拉杆的结构及使用方法 .....	618
10.3.2	绝缘钳的结构及使用方法 .....	619
10.3.3	辅助安全用具的使用及注意事项 .....	620
10.3.4	临时接地线及其使用方法 .....	621
10.3.5	临时遮栏及其使用方法 .....	623
10.3.6	绝缘隔板及其使用方法 .....	624
10.3.7	围栏绳的设置及注意事项 .....	624
10.3.8	标志牌及其使用 .....	625
10.3.9	防止烧伤器具的正确使用 .....	626
10.3.10	梯子、高凳及升降车的使用方法 .....	626
10.3.11	脚扣及安全带的使用方法 .....	627
10.3.12	电工安全用具的保管 .....	628
10.4	电工安全注意事项 .....	631
10.5	安全距离 .....	646

10.5.1	架空线路对地距离和交叉跨越 (按照 GB 50061—2010) .....	646
10.5.2	配电装置内安全净距 (按照 GB 50060—2008) .....	654
10.5.3	其他安全距离 .....	659
10.6	漏电保护器 .....	666
10.6.1	工作原理 .....	666
10.6.2	漏电保护器的类型、结构和典型产品 .....	666
10.6.3	漏电保护方式 .....	670
10.6.4	漏电保护器的设置场所 .....	670
10.6.5	漏电保护器的选用 .....	671
10.6.6	漏电保护器的典型参数设置 .....	675
10.6.7	漏电保护器的故障分析和处理 .....	676
10.7	接地接零 .....	679
10.7.1	接地系统 .....	679
10.7.2	接地技术 .....	682
10.7.3	保护接零及其要求 .....	697
10.7.4	三相五线制及其设置 .....	699
10.8	防雷保护 .....	702
10.8.1	雷电的种类和危害 .....	702
10.8.2	防雷措施和防雷装置组成 .....	703
10.8.3	人身防护 .....	705
10.9	触电急救 .....	705
10.9.1	迅速脱离电源 .....	705
10.9.2	就地急救 .....	706
10.9.3	急送医院 .....	709
附录	中华人民共和国维修电工技术等级标准 .....	710
参考文献	.....	718