

目 录

项目一 新能源汽车电路基础知识

任务 1	电路的基础知识	1
任务 2	新能源汽车电路基础元件识别	11
任务 3	常用仪器仪表的使用	17
任务 4	新能源汽车电路图识图	36

项目二 高压电基础理论

任务 1	高压电基础理论与安全识别	56
任务 2	新能源汽车高压部件认知	65
任务 3	新能源汽车安全设计	82

项目三 高压车间作业安全要求

任务 1	高压防护用具	91
任务 2	高压防护措施	96
任务 3	高压车间安全管理	101
任务 4	高压维修作业标准	104

项目四 高压安全与防护

任务 1	高压电与触电急救操作	108
任务 2	安全防护装备的使用与应急处理	121
任务 3	高压系统中止与检验	133

参考文献

项目一 新能源汽车电路基础知识



项目目的

1. 了解电的基本要素及其概念，能区分高低压电相关知识；
2. 掌握电的故障及其危害；
3. 了解触电机理、原因及对人体造成的危害，掌握触电急救相关知识、方法和技能；
4. 了解发生电气火灾的原因，掌握电气火灾扑灭方法及注意事项等相关知识和技能；
5. 掌握电功率和焦耳定律。

任务 1 电路的基础知识

1.1 电的由来

电，是怎么来的呢？可能不同的人会有不同的说法。工程师说：电是能量转化来的；工人说：电是发电厂发出来的；物理老师说：电是动能转化而来的。但是，电是怎么产生的，又是由谁发现的呢？

1732年，美国的科学家富兰克林（Benjamin Franklin, 1706—1790）认为电是一种没有重量的流体，1752年，他提出了风筝实验（目前没有实际证据证明富兰克林做过此类实验）。电流现象的研究，对于人们深入研究电学和电磁现象有着重要的意义。最早开始进行电流研究的是意大利的解剖学教授伽伐尼（1737—1798）。1821年英国人法拉第完成了一项重大的电发明。1831年，法拉第制出了世界上最早的一台发电机。他发现当一块磁铁穿过一个闭合线路时，线路内就会有电流产生，这个效应叫电磁感应。一般认为法拉第的电磁感应定律是他的一项最伟大的贡献。1866年德国人西门子（Siemens）制成世界上第一台工业用发电机。



图 1.1-1 电的由来

现今，人们的生活已经离不开电的使用。一种方式是通过电池，普通电池把化学能转化为电能，太阳能电池把光能转化为电能。另一种方式是直接使用交流电，电厂将热能、风能、水能等各种能量转化为电能，输送到各个角落，供用户使用。

1.2 电的三要素

(一) 电流

在电源电场力的作用下，带电粒子的定向运动形成电流，电流不但有大小，而且有方向。如图 1.2-1 所示。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。

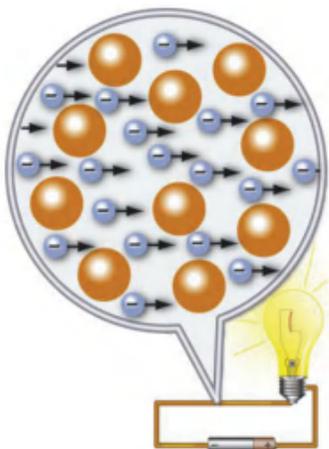


图 1.2-1 电流的形成

电流的强弱用电流来表示，其大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，设时间 dt 内通过导体横截面的电荷为 dq ，则有

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中： i 为电流。在一般情况下，随时间改变的电流，称为交流电流，用小写字母 i 表示；不随时间改变的电流，即 $\frac{dq}{dt} = \text{常量}$ ，称为直流电流，用大写字母 I 表示。在直流电路中，式 (1-1) 可写成：

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中： Q 为在时间 t 内通过导体截面的电荷量。

在国际单位制中，电流的单位是安培，简称安，符号为 A 。根据实际需要，除安培 (A) 外，常用的电流单位还有千安 (kA)、毫安 (mA) 和微安 (μA)。它们之间的换算关为：

$$1kA = 10^3 A \quad 1A = 10^3 mA \quad 1A = 10^6 \mu A$$

对于简单电路来说，电流的实际方向根据电源极性就可以判断出来，并直接标出，但在电路分析中，实际电路往往比较复杂，某一段电路中电流的实际流动方向在分析计算前很难判断出来，因此很难在电路中标明电流的实际方向。为此，引入电流“参考方向”的概念。

电流的参考方向可以任意指定，然后根据参考方向进行电路的相关计算，如果计算求得的电流为正值 ($I > 0$)，则表明电流的参考方向与它的实际方向一致；如果计算求得的电流为负值 ($I < 0$)，则表明电流的参考方向与它的实际方向相反，如图 1.2-2 所示。

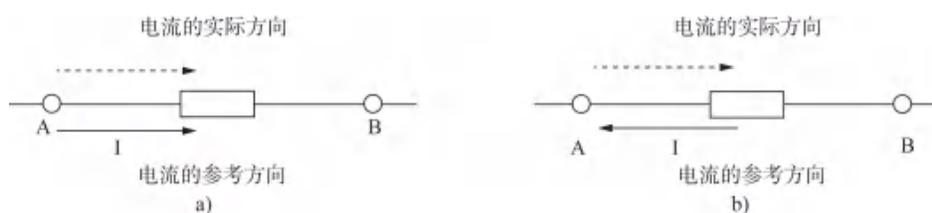


图 1.2-2 电流的参考方向

(a) $I > 0$ (b) $I < 0$

因此，在指定的电流参考方向下，通过电流值的正和负，可以看出电流的实际方向。习惯上规定，电流的实际方向为正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向；而电流的参考方向是任意指定的，在电路中一般用箭头表示，也有用双下标表示的，如 I_{ab} ，其参考方向由 a 指向 b。

(二) 电压

一般用电压来反映电场力做功的能力。电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点（如图 1.1.2-3 所示）所做的功称为 a、b 间的电压，用 U_{ab} 表示。习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向，可用“+”“-”符号表示，也可用字母的双下标表示，如图 1.2-3 所示。

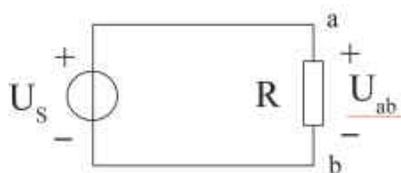


图 1.2-3 电压的表示

设正电荷 dq 从 a 点移至 b 点的过程中电场力所做的功为 dW ，则 a、b 间电压为：

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

当 $U_{ab} > 0$ ，则表示正电荷从 a 点移至 b 点时是电场力做功，即这段电路是吸收电能的。

在国际单位制中，当电场力把 1C 的正电荷从一点移到另一点所做的功为 1J（焦耳）时，则这两点间的电压为 1V（伏特）。

电路中任意一点与参考点（规定电位能为零的点）之间的电压，称为该点的电位，也就是单位正电荷在该点对参考点所具有的电位能。参考点的电位为零，可用符号“ \perp ”表示，也可用符号“ \perp ”表示。前者表示用大地作为参考点，后者表示用若干导线连接的公共点或机壳作为参考点。电位的单位与电压相同，用 V 表示。

电路中两点间的电压也可用两点间的电位差表示为：

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

电路中两点间的电压是不变的，电位随参考点（零电位点）的不同而不同。

(三) 电阻

电荷在导体中运动时，会受到分子和原子等其他粒子的碰撞与摩擦，碰撞和摩擦的结果形成了导体对电流的阻碍，这种阻碍作用最明显的特征是导体消耗电能而发热（或发光）。物体对电流的这种阻碍作用，称为该物体的电阻。

所有电路均存在一定的电阻。所有的导体例如铜、银和金等同样也对电流具有一定的阻力。电阻的基本单位是欧姆，用希腊字母“ Ω ”表示。常用的单位还有 $k\Omega$ 和 $M\Omega$ ，其换算关系为：

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

导体的电阻是客观存在的，即使没有外加电压，导体仍然有电阻。金属导体的电阻大小与其几何尺寸及材料有关，实践证明，导体的电阻还与温度有关，一般金属的电阻随温度的升高而增大。一个 220V、40W 的白炽灯不通电时，灯丝电阻为 100Ω ；正常发光时，灯丝电阻高达 1210Ω 。半导体和电解液的电阻，通常随温度的升高而减少。

敏感电阻是生活中常用的一种电阻器，它的电阻值随温度、电压、湿度、光照程度、气体环境、磁场强度、压力等状态的变化而发生显著变化。热敏电阻器、压敏电阻器、湿敏电阻器和光敏电阻器如图 1.2-4、1.2-5、1.2-6、1.2-7 所示。

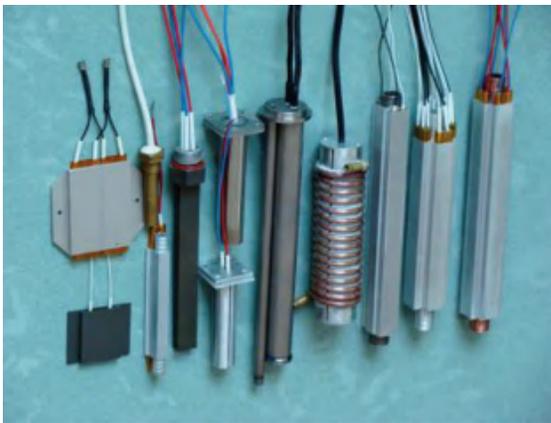


图 1.2-4 热敏电阻

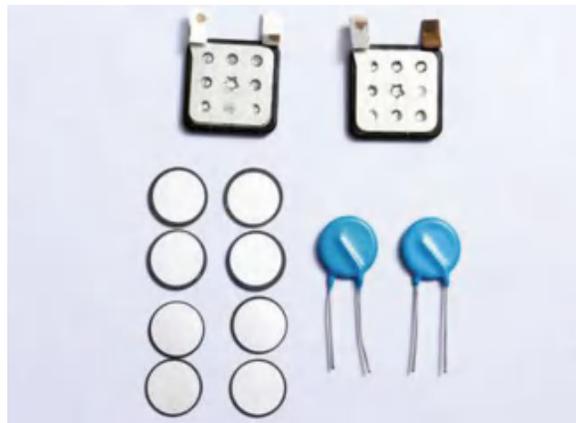


图 1.2-5 压敏电阻

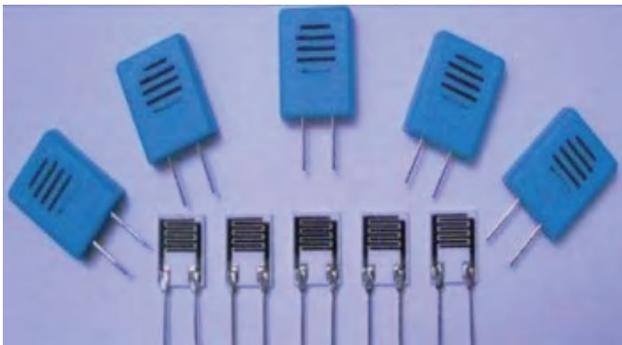


图 1.2-6 湿敏电阻

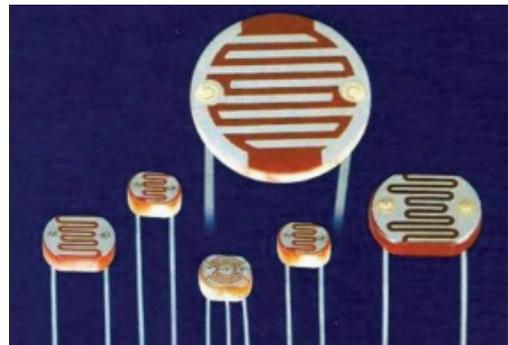


图 1.2-7 光敏电阻

1.3 欧姆定律

在同一电路中，导体中的电流跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻成反比，这就是欧姆定律。使用公式 $I = U/R$ ，可以描述欧姆定律，以说明电压（ U 表示电动势），电流（ I 表示强度）和电阻（ R ）之间的关系。如图 1.3-1 所示。

从欧姆定律的表达公式可以得出以下两个基本推论：

1. 如果电压不变，则：电流随电阻的增大而减小；电流随电阻的减小而增大。
2. 如果电阻不变，则：电流随电压的增大而增大；电流随电压的减小而减小。

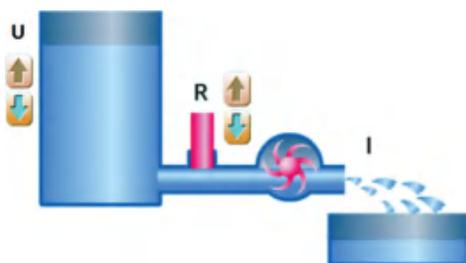


图 1.3-1 欧姆定律

1.4 直流电和交流电

电流的方向不变，电流量也不变的电叫直流电。另一方面，电流方向改变，电流量也改变的电叫交流电。

(一) 直流电 (DC)

所谓直流电是指在电路中，各部分电压或电流的大小和方向均不随时间发生变化。亦可描述为单位时间内通过导体横截面的电量相等，则称之为稳恒电流或恒定电流，简称为直流 (Direct Current)，记为 DC，直流电流要用大写字母 I 表示。如同汽车蓄电池或干电池一样。直流电压与时间的关系在坐标系中为一条与时间轴平行的直线，如图 1.4-1 所示。

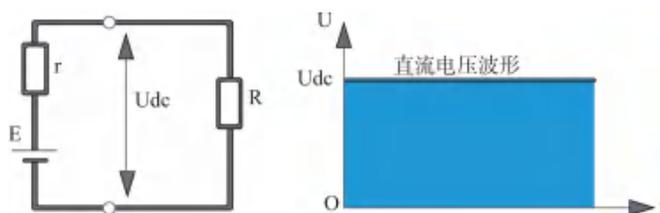


图 1.4-1 直流电压波形图

(二) 交流电 (AC)

所谓交流电是指在电路中，电压或电流的大小和方向均随时间发生周期性变化。简称为交流 (Alternating Current)，记为 AC，不同于直流电，它的方向是会随着时间发生改变的，而直流电没有周期性变化。家庭用的电及工厂工业用三相电源就是交流电的例子。

交流电流总是在不断地改变其流动的方向，先沿正极方向流动，然后沿相反的负极方向流动，这被称为一个循环，由于其符合正弦函数的数学特点，因此通常使用一个正弦波来表示一个循环，如图 1.4-2 所示。一个循环就是形成完整波形的过程。使用赫兹 (Hz) 来计量每秒的循环次数，也被称为交流电流的频率。

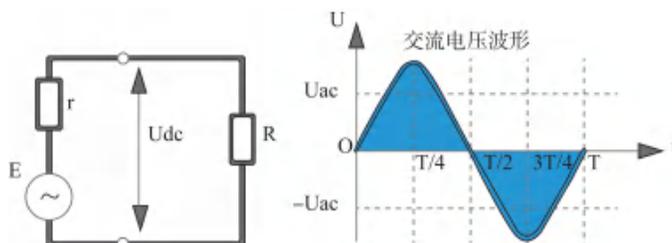


图 1.4-2 交流电压波形图



(三) 电路通常有三种状态

通路：指处处连通的电路。通常也称闭合电路，简称闭路。此时电路有工作电流。

开路：指电路中某处断开不成通路的电路，开路也称断路，此时电路中无电流。

短路：指电路（或电路中的一部分）被短接。

1.5 电路的电压等级

依据国家标准《电动汽车安全要求第 3 部分：人员触电防护》（GB/T18384.3—2015）中人员触电防护要求，根据最大工作电压 U ，对电气元件或电路分为表 1.5-1 中两种电压等级。

表 1.5-1 电路的电压等级

电压等级	最大工作电压/V	
	直流	交流 (rms)
A	$0 < U \leq 60$	$0 < U \leq 30$
B	$60 < U \leq 1500$	$30 < U \leq 1000$

A 级为低压，不要求提供触电防护；B 级为高压，对于任何 B 级电压电路的带电部件，都应提供危险接触的防护。

在新能源汽车中，低压通常指的就是 12V 电源系统的电气线路，而高压主要指的是动力蓄电池、高压部件及相关线路的电压。新能源汽车的高压具有如下特点。

1. 高压的电压一般设计都在 200V 以上。
2. 高压存在的形式既有直流，也有交流。这包括在动力蓄电池的直流，也有充电时的 220V 电网交流电，以及电动机工作时的三相交流电。
3. 高压对绝缘的要求更高，大多数传统汽车上设计的绝缘材料，当电压超过 200V 时可能就变成了导体，因此在新能源汽车上的绝缘材料需要具有更高的绝缘性能。
4. 高压对正负极距离的要求。12V 电压情况下，对正负之间的距离需要很近时才会有击穿空气的可能，但是当电压高到 200V 以上时，正负极之间会有一个很大的距离时就会发生击穿空气而导电，也就是我们常说的电弧。在 300V 电压下，两根导线距离 10cm 时就会发生击穿导电。

1.6 电路的基础知识

一、电路

(一) 电路的基本概念

电路就是各种电路元件和设备按一定方式连接起来的整体，可以实现某种功能，是电流通过的路径。

(二) 电路的组成

电路的主要组成有：电源、负载、中间环节。

(1) 电源就是供能元件。比如车中的蓄电池，可以给全车用电设备供电。新能源汽车中的电源还可以给汽车直接提供动力。

(2) 负载也就是用电设备。如车中的启动机、电动机、车灯、车喇叭等。

(3) 中间环节是将电源和负载连接到一起的元件。如导线、开关等。

(三) 电路的连接方式

电路有串联和并联两种基本连接方式。

1. 串联

串联是电路中各个元件被导线逐次连接起来，元件与元件之间首尾相连。电路中只有一条电流路径，如图 1.6-1 所示。

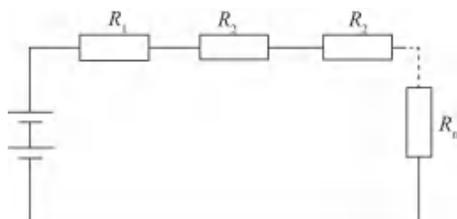


图 1.6-1 串联电路

串联电路中流经各负载元件的电流 I 相同： $I = I_1 = I_2 \cdots = I_n$

电路中电源总电压等于各负载两端电压之和： $U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$

串联电路中的等效电阻为各负载元件电阻之和： $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$

2. 并联

并联是电路中各个元件并列连接起来，元件与元件之间首首相接，尾尾相连。各元件相互独立工作，互不影响。如图 1.6-2 所示。

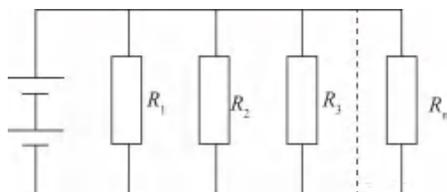


图 1.6-2 串联电路

并联电路中各负载元件电压相等： $U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n$

电路中总电流等于流经各负载元件的电流之和： $I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$

并联电路中的等效电阻的倒数等于各负载元件电阻倒数之和： $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$

二、电阻串联电路

1. 电阻串联的概念

把两个或两个以上的电阻依次连接，组成一条无分支电路，这样的连接方式叫作电阻的串联，如图 1.6-3 所示。

2. 电阻串联电路的特点

(1) 电路中的电流相等，即： $I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n$

(2) 电路两端的总电压等于各部分的电压之和，即： $U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$

(3) 串联电路的总电阻等于各电阻之和，即： $R = R_1 + R_2 +$

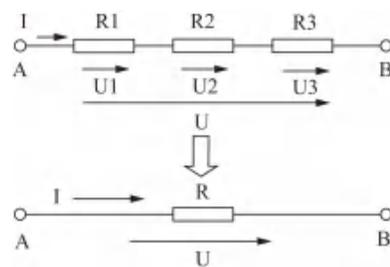


图 1.6-3 电阻的串联



$$R_3 + \dots + R_n$$

(4) 电路中各个电阻两端的电压与它的阻值成正比，即：

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots = \frac{U_n}{R_n} \text{ 或 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}; \frac{U_1}{U_3} = \frac{R_1}{R_3}; \frac{U_2}{U_3} = \frac{R_2}{R_3} \dots\dots$$

3. 电阻串联的应用

- (1) 用几个电阻串联以获得较大的电阻。
- (2) 几个电阻串联构成分压器，使同一电源能供给几种不同的电压。
- (3) 扩大电压表的量程。
- (4) 限制和调节电路中电流的大小。
- (5) 当负载的额定电压低于电源电压时，可用串联电阻的方法将负载接入电源。

三、电阻并联电路

1. 电阻并联的概念

把两个或两个以上的电阻接在电路中相同的两点之间，承受同一电压，这样的连接方式叫做电阻的并联。如图 1.6-4 所示。

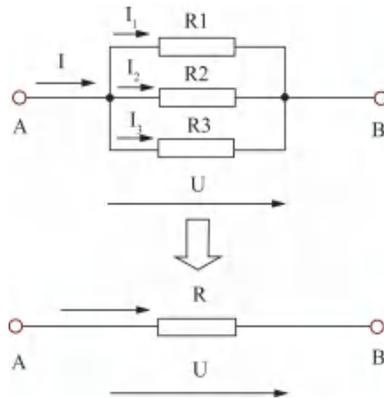


图 1.6-4 电阻的串联

2. 电阻并联电路的特点

- (1) 电路中的各电阻两端的电压相等，即 $U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$
- (2) 电路中的总电流等于流过各电阻的电流之和，即： $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$
- (3) 并联电路的总电阻的倒数等于各电阻倒数之和，即： $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$

当两个电阻并联的时，因

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} \quad U_1 = U_2 = IR \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{可得 } I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

以上是两个电阻并联时的分流公式。

3. 电阻并联的应用

- (1) 凡是额定工作电压相同的负载都采用并联的工作方式。

- (2) 获得较小的电阻。
- (3) 扩大电流表的量程。

四、电阻的混联

电路中既有电阻串联又有电阻并联的电路称为电阻混联电路。

混联电路的形式有很多，如果经过串联和并联简化后，可以用一个等效电阻来代替时，称简单电路；若不能简化成一个等效电阻，则称为复杂电路。

1. 分析简单电路的方法

- (1) 先将混联电路分解为若干个串联和并联电阻电路，然后分别计算出串联和并联电路的等效电阻；
- (2) 求出的各分电路的等效电阻替代原电阻电路，重新得到一个等效的混联电路；
- (3) 重复 (1)、(2) 步骤，得出最简单的无分支等效电路；
- (4) 根据欧姆定律求出等效电路的电压、电流等。

分析电阻串并联电路的关键是先判断哪些电阻是串联，哪些电阻是并联。串联的各电阻中间必须没有其他分支，并联的各电阻必须连接到两个公共节点上。当电阻串并联的关系不易看出时，可以在不改变电阻元件间连接关系的条件下将无阻导线缩成一点，且尽量避免相互交叉。

2. 电阻的混联

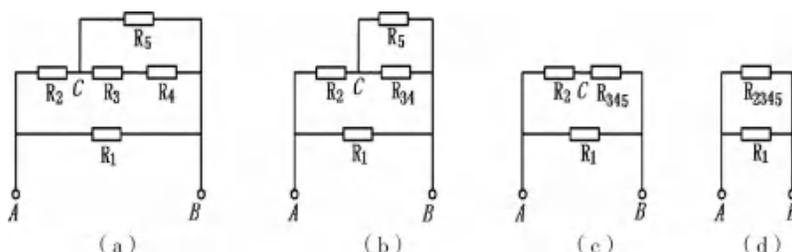


图 1.6-5 等效电路

五、电池组的连接

1. 电池的串联

把电动势相同的电池正极与另一个电池负极相连，就构成了串联电池组（如图 1.6-6 所示）。第一个电池的正极就是电池组的正极，最后一个电池的负极就是电池组的负极。



图 1.6-6 三个电池的串联

设每个电池的电动势为 E ，内阻为 r 。当串联电池组由 n 个电池组成时，整个电池组的电动势，串联电池组的电池内阻

$$E_{\text{串总}} = nE$$

$$r_{\text{串总}} = nr$$

串联电池组的电动势大于组成电池组的每个独立的电动势，所以当用电器的额定电压高于单个电池



的电动势时，可用串联电池组供电。但串联电池组的电流要通过每一个电池，所以用电器的额定电流应小于单个电池允许通过的最大电流。

2. 电池的并联

把电动势相同的电池的正极和正极相连，负极和负极相连，就构成了并联电池组（如图 1.6-7）。并联电池组的正极是电池组的正极，并联在一起的负极是电池组的负极。

设每个电池的电动势为 E ，内阻为 R 。当并联电池组由 n 个电池组成时，整个电池组的电动势：

$$E_{\text{并总}} = E$$

并联电池组的电池内阻 $r_{\text{并总}} = \frac{r}{n}$

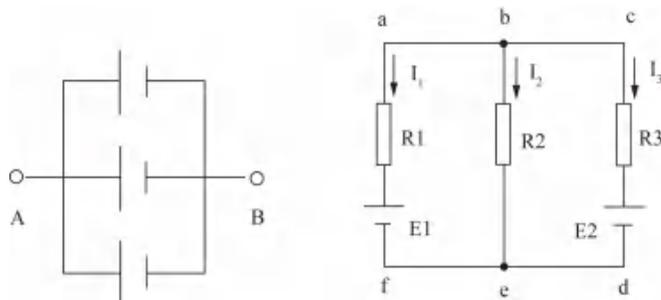


图 1.6-7 电池的并联

并联电池组的电动势虽然与组成电池组的每个独立电池的电动势相同，但由于每个电池中通过的电流只是全部电流的一部分，所以整个电池组允许通过较大的电流。当用电器的额定电流比单个电池允许通过的最大电流大时，可用并联电池组供电。但这时用电器的额定电压必须小于单个电池的电动势。



习题

一、填空题

1. 电流不但有大小，而且有_____。
2. 习惯上规定，电流的实际方向为_____运动的方向或_____运动的反方向。
3. 一般用_____来反映电场力做功的能力。
4. 电流的方向不变，电流量也不变的电叫_____。另一方面，电流方向改变，电流量也改变的电叫_____。
5. 电压对绝缘的要求更高，大多数传统汽车上设计的绝缘材料，当电压超过_____时可能就变成了导体。

二、判断题

1. 所有电路均存在一定的电阻。（ ）
2. 半导体和电解液的电阻，通常随温度的升高而升高。（ ）
3. 如果电压不变，则：电流随电阻的增大而减小；电流随电阻的减小而增大。（ ）
4. 交流电流总是在不断地改变其流动的方向，先沿正极方向流动，然后沿相反的负极方向流动。（ ）

5. 高压的电压一般设计都在 1000V 以上。()
6. 高压存在的形式既有直流，也有交流。()

三、名词解释

1. 串联电路
2. 混联电路

任务 2 新能源汽车电路基础元件识别

新能源汽车电子电路中，最常用的电子元件有电容、二极管、三极管、熔断器、继电器等元件的好坏与质量的优劣，可以借助数字万用表来检测。

2.1 二极管

二极管是最常用的半导体器件之一，通过 P 半导体和 N 半导体结合形成的元件称为半导体二极管简称二极管。它具有单向导电性。

(一) 二极管的结构、符号及类型

二极管是由 N 型和 P 型半导体合成的，二极管根据用途可以分为以下几种：发光二极管、整流管、稳压管、开关管、硅高频检波管等。如图 2.1-1 所示。

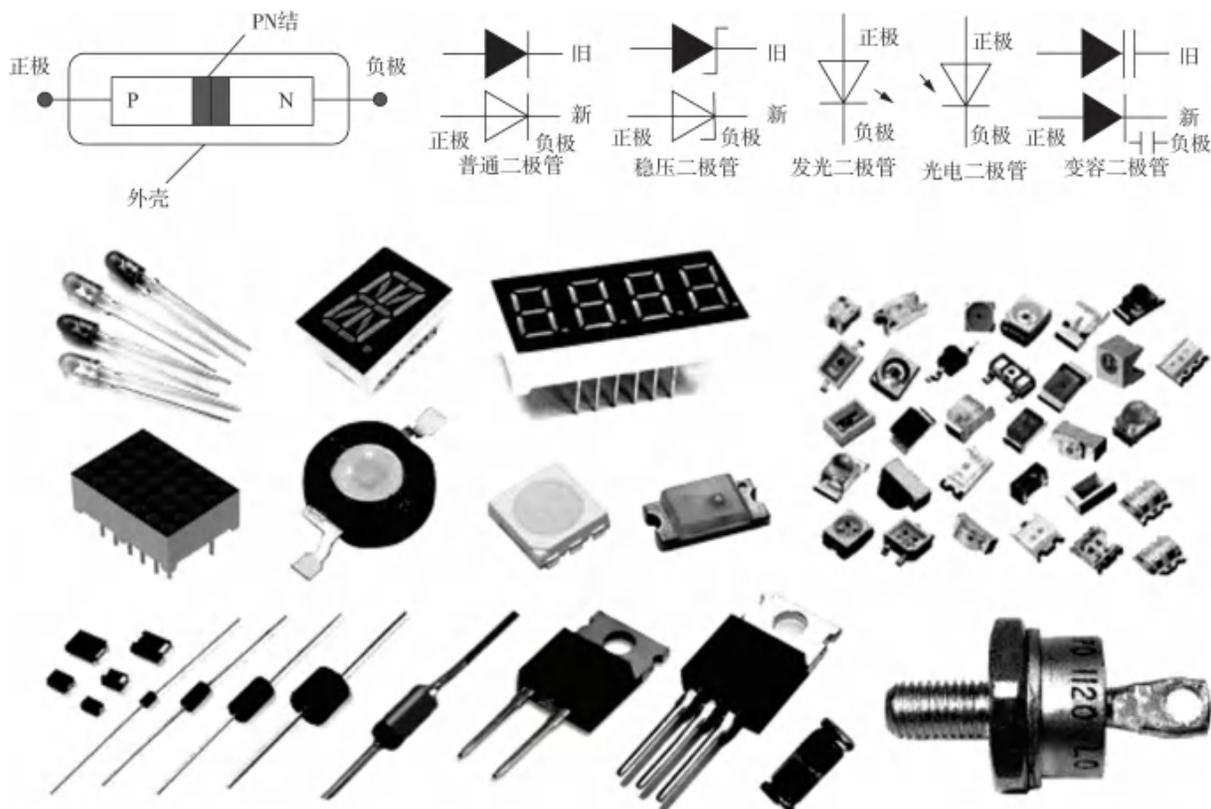


图 2.1-1 二极管的结构、符号及类型



(二) 二极管的特点

1. 正向特性

在外加正向电压较小时，正向电流很小，几乎为零，二极管呈现出很大的电阻。电流几乎为零的范围称为死区电压或阈值电压，用 U_T 来表示。

2. 反向特性

二极管加反向电压时，由少数载流子漂移而形成的反向电流很小。且在一定电压范围内基本不随反向电压而变化，所以这个电流称反向电流。反向电流只随着温度升高而增加。

3. 反向击穿特性

当外加反向电压达到一定值时，反向电流将突然增大，二极管失去单向导电性，这种现象称为二极管击穿。二极管被击穿后一般不能恢复原来的特性，所施加的电压称为反向击穿电压，用 U_{BR} 来表示。

2.2 三极管

三极管又称晶体管，是最重要的电子器件，它具有放大作用和开关作用。三极管作为一种可变开关，基于输入的电压，控制流出的电流，因此三极管可作为电流的开关，和一般机械开关不同处在于三极管是利用电讯号来控制，而且开关速度可以非常之快，最高的切换速度可达 100GHz 以上。

(一) 三极管的基本结构、符号及类型

三极管有 NPN 型和 PNP 型，虽然它们的外形各异，品种繁多，但它们的共同特征相同：都有三个分区、两个 PN 结和三个向外引出的电极。由于不同的组合方式，形成了一种是 NPN 型的三极管，另一种是 PNP 型的三极管。

目前国内生产的双极型硅三极管多为 NPN 型（3D 系列），锗三极管多为 PNP 型（3A 系列），按频率高低有高频管、低频管之别；根据功率大小可分为大、中、小功率管。

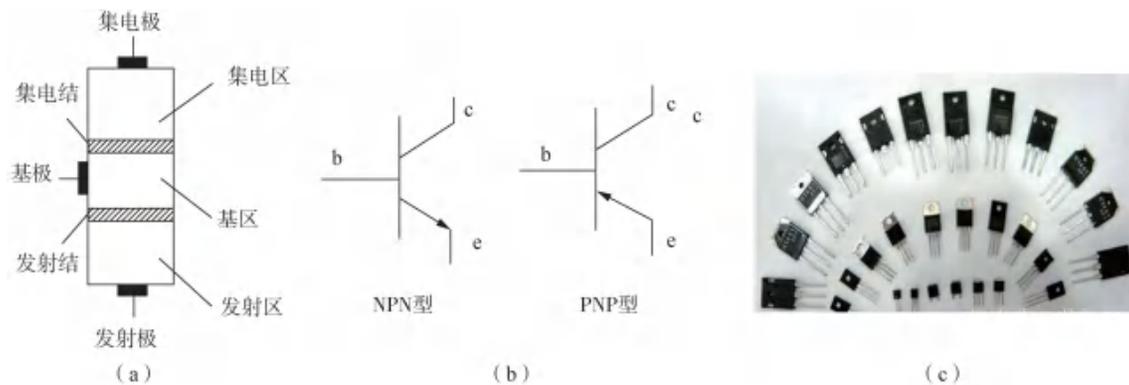


图 2.2-1 三极管的结构、符号及类型
(a) 结构 (b) 符号 (c) 类型

(二) 三极管的三种工作状态

1. 截止状态

当三极管基极电流 $I_b = 0$ ，发射结处于反向偏置或零偏置时，基极相当于开路， I_c 约为零。这时三极

管 c、e 极之间相当于开关的“断开”状态。通常把这种 $I_b = 0$ 、 $I_c = 0$ 的工作状态称为三极管的截止状态。

2. 放大状态

三极管基极电位升高，使发射结处于正向偏置，集电结反向偏置时，各电极的电流分配关系是：发射极电流 I_e 等于基极电流 I_b 与集电极电流 I_c 之和，即 $I_e = I_b + I_c$ 。

由于三极管基极电流的微小变化能够引起集电极电流的显著变化，且比值基本恒定，因此，可以通过基极电流来控制集电极电流，这就是三极管的电流放大作用。所以三极管是一种以小控大、以弱控强的元件。

3. 饱和状态

当三极管基极电位升高使发射结和集电结都处于正偏时，三极管集电极电流 I_c 受集电结回路最大供电能力的限制，不再与基极电流成正比增长。三极管这种工作状态称为三极管的饱和状态。

2.3 熔断器

1. 保险丝的识别

保险丝是惯常的口语叫法，官方名称是“熔断器”，而它们的用途与家里保险丝的作用大同小异，当电路中用电器负载过大或电路中有短路的情况导致电路中电流异常并超过其额定电流时熔断，起到保护（线路）及用电设备的作用，是保护构成汽车电路的导线、用电设备、装置等免遭火灾等事故损害的重要部件。

汽车最常用的电路保护元件是熔断器。汽车熔断器也叫保险丝，是电流保险丝的一种，常见的可快速更换的熔断器有熔管式熔断器、绝缘式陶瓷熔断器、缠丝式熔断器和插片式熔断器，如图 2.3-1 所示。



图 2.3-1 熔断器

熔管式熔断器、绝缘式陶瓷熔断器应用于旧式车辆上，目前新能源汽车上使用的大多是插片式熔断器。插片式熔断器拥有工程塑料外壳，包裹着锌或铜制成的熔体结构，金属熔体和插脚连接。插片式熔断器可分为：超小号插片保险丝、小号汽车保险丝、中号汽车保险丝、大号汽车保险丝。

插片式熔断器的额定电流值标示在其塑料封套上端，如图 2.3-2 所示，还常用不同的塑料封套颜色来区别熔断器的额定电流值，见图 2.3-3 所示。

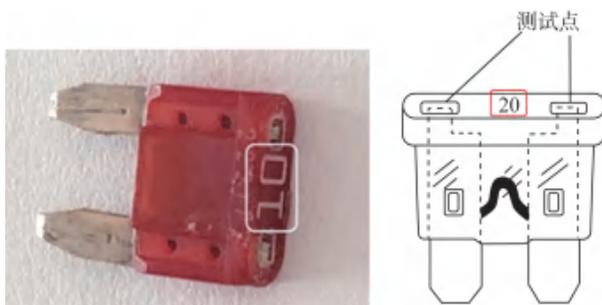


图 2.3-2 熔断器标注



中号平角	小号长脚	小号短脚
中号适用德系车	小号适用美系车	小号短脚适用日系车

图 2.3-3 插片式熔断器的区分

自动熔断器是目前汽车上最广泛地用于保护元件和配线免受损坏的熔断器，大电流熔断器是比自动熔断器外形大而熔断慢的熔断器，这种熔断器一般安装在蓄电池和主熔断器盒之间。小电流熔断器在设计和工作情况上与自动熔断器相似，但它外形更细小，使用这种熔断器主要是考虑到很多汽车电子系统中在同样大小的空间中还要安放单独的熔断器，熔断器一般安装在蓄电池附近，如图 2.3-4 所示。



图 2.3-4 安装在蓄电池附近的熔断器

2.4 继电器

继电器是一种电子控制器件，它具有控制系统和被控制系统，通常应用于自动控制电路中，它实际是用较小的电流去控制大电流的一种自动开关，起到自动调节、安全保护、转换电路等作用，它一般由

铁心、线圈、铁触点簧片控制电路等组成，如图 2.4-1 所示

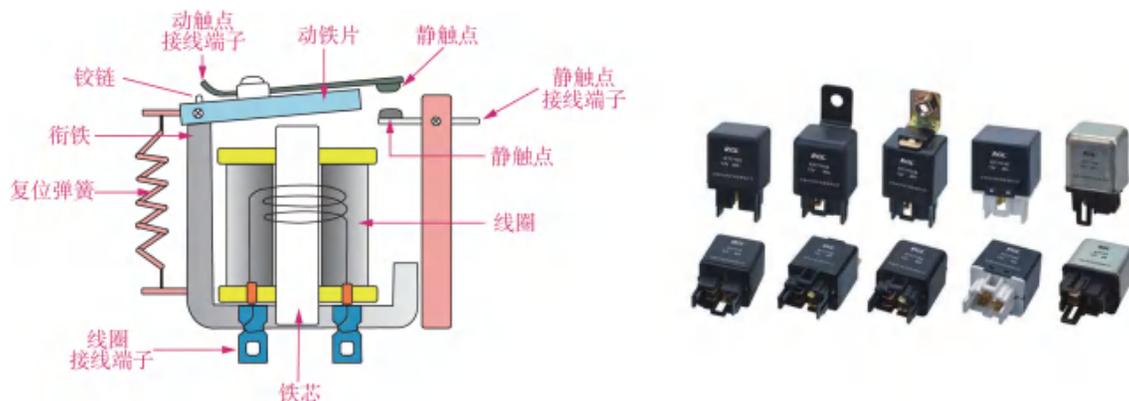


图 2.4-1 继电器

汽车中应用继电器的很多，例如：闪光继电器、空调继电器、继电器、起动继电器、风扇继电器等。

1. 工作原理

在继电器线两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在力的作用下（吸引）克服返回弹簧的拉力吸向铁心，从而带动铁的动触点与静触点（常开触点）吸合。当线圈失电后，电磁吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧反作用力的作用下返回原来的位置，使动键点与原来的静触点（常闭触点）吸合。这样反复吸合与释放，达到了接通与切断电路的目的。

继电器的触点有 3 种基本形式：

(1) 动合型（常开，H 型）线圈不通电时两触点是断开的，通电后两个触点闭合。以“合”字的拼音字头“H”表示。

(2) 动断型（常闭，D 型）线圈不通电时两触点是闭合的，通电后两个触点断开。用“断”字的拼音字头“D”表示。

(3) 转换型（Z 型）是触点组型。这种触点组共有 3 个触点，即中间是动触点，上下各一个静触点。线圈不通电时，动触点和其中一个静触点断开，和另一个闭合；线圈通电后，动触点就移动，使原来断开的呈闭合状态，原来闭合的呈断开状态，达到转换的目的。这样的触点组称为转换触点。用“转”字的拼音字头“Z”表示。

2. 分类

(1) 电磁式继电器

在控制电路中用的继电器大多数是电磁式继电器，如图 2.4-2 所示。电磁式继电器具有结构简单，价格低廉，使用维护方便，触点容量小（一般在 5A 以下），触点数量多且无主辅之分，无灭弧装置，体积小，动作迅速、准确，控制灵敏、可靠等特点，广泛地应用于低压控制系统中。常用的电磁式继电器有电流继电器、电压继电器、中间继电器以及各种小型通用继电器等。

电磁式继电器的结构和工作原理与接触器的相似，主要由电磁机构和触点组成。电磁式继电器有直流和交流两种。在线圈两端加上电压或通入电流，产生电磁力，当电磁力大于弹簧反力时，吸动衔铁使常开常闭接点动作；当线圈的电压或电流下降或消失时衔铁释放，接点复位。



图 2.4-2 电磁式继电器



(2) 热继电器

热继电器主要是用于电气设备（主要是电动机）的过负荷保护，如图 2.4-3 所示。热继电器是一种利用电流热效应原理工作的电器，它具有与电动机容许过载特性相近的反时限动作特性，主要与接触器配合使用，用于对三相异步电动机的过负荷和断相保护三相异步电动机在实际运行中，常会遇到因电气或机械原因等引起的过电流（过载和断相）现象。如果过电流不严重，持续时间短，绕组不超过允许温升，这种过电流是允许的；如果过电流情况严重，持续时间较长，则会加快电动机绝缘老化，甚至烧毁电动机，因此，在电动机回路中应设置电动机保护装置。常用的电动机保护装置种类很多，使用最多、最普遍的是双金属片式热继电器。双金属片式热继电器均为三相式，有带断相保护的和不带断相保护的两种。



图 2.4-3 热继电器

(3) 时间继电器

时间继电器在控制电路中用于时间的控制，如图 2.4-4 所示。其种类很多，按其动作原理可分为电磁式、空气阻尼式、电动式和电子式等，按延时方式可分为通电延时型和断电延时型。空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼原理获得延时的，它由电磁机构、延时机构和触头系统三部分组成。电磁机构为直动式双 E 型铁心，触头系统借用 I-X5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器。



图 2.4-4 时间继电器



一、填空题

1. 极管是由_____和_____半导体合成的。
2. 汽车最常用的电路保护元件是_____。
3. 继电器通常应用于自动控制电路中，它实际是用_____去控制_____的一种自动开关。
4. 电磁式继电器有_____和_____两种。
5. 时间继电器在控制电路中用于_____的控制。

二、判断题

1. 在外加正向电压较小时，正向电流很小，几乎为零，二极管呈现出很大的电阻。()
2. 二极管被击穿后一般可以恢复原来的特性。()
3. 三极管可作为电流的开关，开关速度可以非常之快，最高的切换速度可达 100GHz 以上。()
4. 三极管基极电流的微小变化能够引起集电极电流的显著变化。()

5. 目前新能源汽车上使用的大多是插片式熔断器。()

三、名词解释

1. 二极管击穿
2. 三极管
3. 时间继电器

任务3 常用仪器仪表的使用

新能源汽车电子系统是由许多错综复杂的子系统电路组成的，当电路中出现故障时，需要借助电工仪表排除故障，本任务主要介绍新能源汽车常用仪器仪表的使用。

3.1 数字万用表的使用

万用表也称多用表 (Digital Multimeter, 简称 DMM), 是万用电表的简称, 它具有多种测量功能, 操作简单, 且携带方便, 已成为应用最广泛的电工、电子测量仪表之一, 如图 3-1-1。对于广大电工、家电维修、办公设备、通信设备、汽车维修等从业人员, 尤其是电工、电子初学者和无线电爱好者来说, 能够掌握万用表的使用方法和技巧, 是快速判断元器件好坏、检测电气设备线路 (或电路) 是否正常的基础。当今, 数字式测量仪表已成为主流, 有取代模拟式仪表的趋势。与模拟式仪表相比, 数字式仪表灵敏度高, 准确度高, 显示清晰, 过载能力强, 便于携带使用更简单。因此, 学习本章内容, 不仅可以了解如何选购数字万用表, 而且会掌握数字万用表的基本原理、使用方法和注意事项等方面的知识。



图 3.1-1 万用表

(一) 数字式万用表的分类

数字式万用表是根据模拟量与数字量之间的转换来完成测量的, 它用数字把测量结果显示出来。数字式万用表测量电阻的误差比模拟式万用表的误差小, 但用它测量阻值较小的电阻时, 相对误差仍然比较大。数字式万用电表的种类也很多, 其面板设置大致相同, 都有显示屏、电源开关、功能量程选择开关和孔 (型号不同, 插孔的作用有可能不同)。

数字万用表种类较多, 下面根据它的实物外形、功能量程选择方式和测量功能来进行分类。

1. 按实物外形分类

数字万用表按实物外形主要可以分为台式、手持式、钳式、笔式等多种, 如图 3.1-2、3.1-3、3.1-4、3.1-5 所示。

台式万用表属于高准确度万用表, 多应用在科研、工厂、通信等专业性比较高的领域。手持式万用表是目前最常用的万用表, 广泛应用在电子电工、汽车电器维修的相关领域。钳式万用表也叫叉型万用表或卡式万用表。多应用在电工领域和汽车电器维修领域。笔式万用表也叫针万用表。它也多应用在电工领域和汽车电器维修领域。



图 3.1-2 台式数字万用表



图 3.1-3 手持式数字万用表



图 3.1-4 钳形数字万用表



图 3.1-5 笔式数字万用表

2. 按功能量程选择方式分类

数字万用表按功能量程选择方式又可以分为旋钮操作方式（手动、自动）和按键操作方式两类，如图 3.1-6 所示。



图 3.1-6 按功能量程选择方式分类

(a) 手动转换旋钮式 (b) 自动转换旋钮式 (c) 按钮式

3. 按测量功能分类

数字万用表按测量功能可分为普通型数字万用表和多功能型数字万用表两类。

(1) 普通型数字万用表

普通型数字万用表只能测量电阻、电压、电流，所以也叫三用表，并且电流档测量的电流容量较小。

(2) 多功能型数字万用表

早期的多功能型数字万用表仅增加了大电流测量、晶体管放大倍数测量等功能。后期的多功能型数字万用表还增加了通路/断路测量功能、电容测量、电源欠电压（电池电量不足）提示功能、自动延迟关机功能。部分新型多功能型数字万用表还设置了行电压、音频电平、温度、电感量、频率测量和红外信号检测（遥控器检测）等功能，并且多功能型数字万用表的保护功能也越来越完善。

(二) 数字式万用表的工作原理

数字万用表的基本电路是一个表头电路，测量电压、电流和电阻的功能是通过转换电路实现的，其中电流、电阻的测量都是基于电压的测量，也就是说数字万用表是在基本量程数字电压表的基础上扩展而成的。

数字万用表的结构框图如图 3.1-7 所示，它的核心电路是基本量程数字电压表。电流、电阻等参数的测量，是通过 IV 转换电路、RV 转换电路等转换电路实现的，被测参数需要转换成直流电压再进行测量。

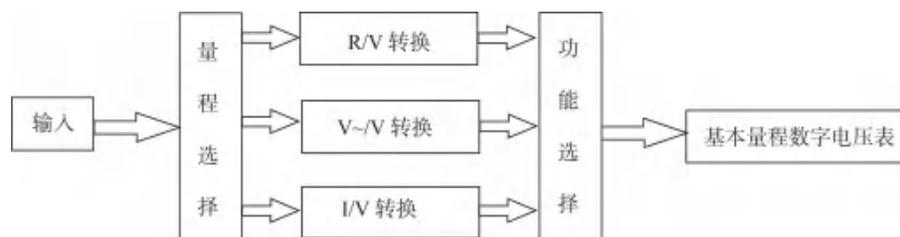


图 3.1-7 数字万用表的结构框图

(三) 数字万用表的功能及使用

1. 万用表的功能

以手持式数字万用表为例，如图所示。



图 3.1-8 手持式数字万用表



1) 开关介绍



图 3.1-9 手持式数字万用表开关介绍

2) 功能介绍



图 3.1-10 手持式数字万用表开关介绍

3) 插孔介绍

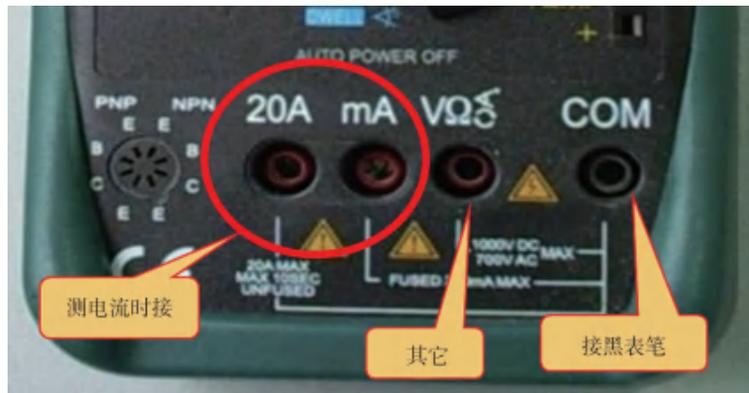


图 3.1-11 手持式数字万用表插孔介绍

4) 万用表的使用

(1) 电阻的测量 (Ω)

档位置于电阻测量档，红黑表笔接在被测设备（电阻）两端。

方法：

指针表测量电阻前必须调零，确保测量数据准确。

①表笔插到相应的孔内。

②估算电阻大小，选择相应的档位。（无法确定时随便选一档位进行初测）

③测量时与被测量设备并联，设备断电测量，测量受其他设备影响时设备要脱离电路测量。

④指针表档位乘刻度读数，数字表显示相应的值，为‘0’时，档位打得太大，为‘1’时档位打得过小。

注：

用电阻档测线圈时：量程尽量小

用电阻档测传感器时：量程尽量大

曲轴位置传感器分为三种：磁电式、光电式、霍尔式。磁电式的电阻大概是 600~750 欧。

火花塞分为有电阻和无电阻两种，哪种好？有电阻的火花塞电阻大概是 5~10 千欧。

(2) 电压的测量 ($\sim V$ — V)

档位置于电压测量档，红黑表笔接在被测设备两端。

方法：

①表笔插到相应的孔内。

②估算电压大小，选择相应的档位（无法确定时从大档打到小档）

③测量时与被测量设备并联。

指针表看档位取刻度读数，数字表显示相应的值，为 0 时，档位打得太大，为 1 时档位打得过小。前面有“—”说明电压实际方向与测量表笔方向相反。

(3) 转速测量

现在汽车的转速信号是哪里来？以前的汽车转速信号是从哪里来？

万用表转速档只适合用分电器式的发动机。

①判断转速表是不是坏了，可以用车速表上的转速信号线不停地搭，人为制造脉冲信号，看车速表动不动。

②拿两根线从曲轴位置传感器接到仪表，再看转速表是否转。

(4) 闭合角 (DEWLL) 测量

闭合角测量范围：有分电器点火系统，点火线圈内没有 IC（集成芯片）靠通电时间来控制点火电压的系统。

如果一辆车不点火检测什么？

①不点火、不喷油看曲位、曲位好看防盗，最后看电脑。

②不点火、有喷油看线圈，看点火信号。

(5) 电流的测量 ($\sim A$ — A)

档位置于电流测量档，被测电流从红、黑表笔两端接入。

方法：

①表笔插到相应的孔内。

②估算电流大小，选择相应的档位。（无法确定时从大档打到小档）



③测量时与被测量设备串联。

指针表看档位取刻度读数，数字表显示相应的值，为0时，档位打得太大，为1时档位打得过小。前面有“—”说明电流实际方向与测量表笔方向相反。

(6) 温度的检测 (°C)

置于温度档，按下功能按钮 (oC/oF)，将黑线搭铁，探针线插头端插入汽车万用表温度测量孔，探针端接触被测物体，显示屏即显示被测温度。

(7) 占空比的检测

占空比的作用：可以调整灯的亮度、调整流量、调整风扇转速等。比如：可变排空调泵、油泵计量阀、自动变速器计量阀、碳罐电磁阀等。

①将红表笔插入“HzVm”插孔，黑表笔插入“COM”插孔。

②将功能量程开关置于频率测量档，并将表笔并联到待测信号源上。

③在进行频率测量时按一次 Hz 键，可选择进入占空比测量功能，再按一次 Hz 键则返回频率测量功能。

④在进行电压或电流测量时，按一下 Hz 键即进入频率测量功能，再按一次 Hz 键即进入占空比测量，第三次按 Hz 键则返回原测量功能。

⑤从 LCD 显示屏上读取测量结果。

(8) 二极管的检测

a. 二极管引脚的识别与测量

①直观识别二极管引脚的极性。电路中，二极管的正负极不能接错，否则将导致电路无法正常工作，甚至损坏电路，烧毁二极管。为了区分二极管的引脚，制造二极管时，一般在它的外壳上用图形符号或标志环等标注出极性。

通过二极管的外形判别，螺栓端为正极，如图 3.1-12 (a) 所示。

通过二极管的引脚特征判别，长引脚为正极、短引脚为负极，如图 3.1-12 (b) 所示。

通过标志环判别，有标志环的一端为负极，如图 3.1-12 (c) 所示。



图 3.1-12 二极管引脚的极性

②用数字式万用表判断二极管引脚极性。用数字式万用表判断二极管的引脚极性时，万用表拨到二极管档上。二极管档为数字式万用表测量二极管、电路通断的专用档，该档的正向直流电流约为 1mA，正向直流电压约为 2.8V，当外接电阻小于 70Ω 时，表内蜂鸣器鸣响。

用数字式万用表表笔正、反两次测量二极管、万用表上有一次显示为数字 1（表示电阻无穷大，开路）；另一次常显示一个几百的数字。万用表红表笔接的是二极管的正极，黑表笔接的是二极管的负极的万用表显示的数字为所测得二极管的正向压降（电流 1mA）。

b. 普通二极管的检测



用万用表判断普通二极管的好坏时，数字式万用表用二极管档。分别测量二极管的正、反向电阻，假设两次测量的电阻阻值分别为 R 和 R_2 。

- ①如果 R 较小， R_2 为无穷大，则二极管的性能良好，其中 R ，为正向电阻， R_2 为反向电阻。
- ②如果 R 和 R_2 都为无穷大，则表示二极管开路。
- ③如果 R ，和 R_2 都很小，则表示二极管短路。
- ④若 R 与 R_2 阻值相差不大，则二极管功能欠佳，不能使用。

c. 稳压二极管的检测

测量稳压二极管时，使用的档和测量普通二极管时相同，性能良好的稳压二极管的测量结果和普通整流二极管相同。

d. 发光二极管的检测

使用数字式万用表测量发光二极管，使用万用表的二极管档。对于性能良好的发光二极管，当红表笔接正极，黑表笔接负极时，发光二极管将点亮，万用表显示屏将显示其正向压降。从显示值可以看出，发光二极管的正向压降明显大于普通二极管

(9) 三极管的检测

a. 三极管引脚的识别

在实际工作中，经常遇到判别三极管管型、管脚极性，以及检测判断三极管是否损坏的题。判定的方法主要有目测和万用表检测两种，实际工作中经常采用目测法，在目测法不能做出准确判断时，再利用万用表进行检测。

①目测法

一般情况下，管型是 PNP 还是 NPN 可以从管壳上的标注来判别。依照国家标准，三极管型号的第二位（字母），A、C 表示 PNP 管；B、D 表示 NPN 管。例如：3AX、3CG、3AD、3CD 等均表示 PNP 型三极管。3BX、3DG、3DD、3DA 等均表示 NPN 型三极管。

常用的小功率三极管有金属壳封装（半圆柱型）等，大功率三极管的外形有金属壳封装（扁柱型）以及塑料封装（扁平、管脚直列）等形式。对于小功率管，管脚排列方式总结如下：

金属圆壳封装：头向下，腿向上，大开朝自己，左发右集电；

塑料半圆柱封装：头向上，平面向自己，左起 E、B、C。

对于大功率管，金壳柱型封装：塑料扁平封装。管脚排列没有统一形式，要经过万用表检测判别。

②数字式万用表检测三极管

将万用表置于蜂鸣档，测量 PN 结的正向管电压降，根据电压数值进行判别。

基极的判别：用红表笔（正极）接三极管某一电极、用黑表笔去接其余两电极，如果两次显示值均小于 1V 或都显示溢出“1”，则红表笔所接触的电极就是基极。如果在两次测试中，一次显示小于 1V，另一次显示溢出“1”，表明红表笔接触的不是基极，此时应该换其他引脚重新测量，直到找出基极为止。

管材和管型的判别：将红表笔接已知的基极，黑表笔接其余的两电极，若显示器显示的值均为 0.7V 左右，则三极管为 NPN 型硅管，若值为 0.3V 左右，则为 NPN 型管；若显示器最高位均显示“1”，则三极管为 PNP 型管子。

集电极和发射极的判断：确定三极管的管型和基极后，分别假设另外两极。再直接插入对应的三极管放大倍数测量孔，读 h 值。若 h 值在几十至几百，则 E、C 假设正确，放大能力较强；若值较小，只有几至十几，则 E、C 假设错误。

b. 极管好坏的检测

测量硅管（或管）集电极和发射极之间的正向压降，测得的值为“0.7”或“0.3”V 左右，反测时

为“1”，则管子仍可以使用；若正、反测得的值均为“1”，则管子内部可能已断路；若正、反测时蜂鸣器档都响，则内部已经短路。

(10) 熔断器的检测

熔断器通常串接在电路中所有负载的前面，也可以位于每个负载的支路中。当通过熔断器的电流达到其额定值时，金属丝熔断使电路断开，如图 3.1-13 所示。当然在某些情况下，存在视觉检查不易发现的熔断器故障，如图 3.1-14 所示。

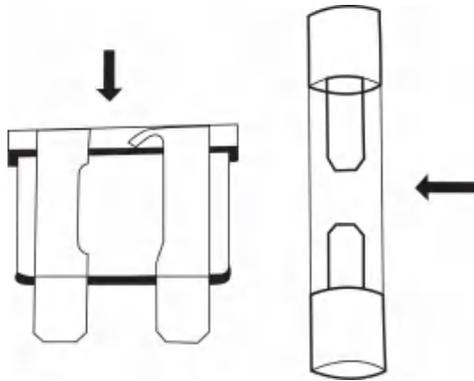


图 3.1-13 明显熔断的熔断器

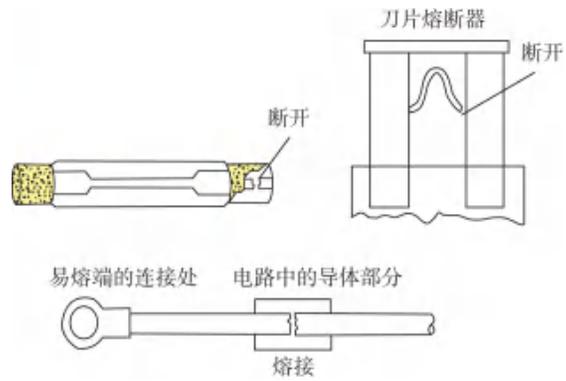


图 3.1-14 不易发现的熔断器故障

为了避免视觉误差，技术人员应尽可能使用电阻表、电压表或试灯等正确地检查熔断器和熔线。当用电阻表测试熔断器时，如图 3.1-15 所示，应先取出熔断器，将电源两端断开。如果正常，电阻表的读数为 0~12；如果熔断器已熔断，电阻表的读数为无穷大。

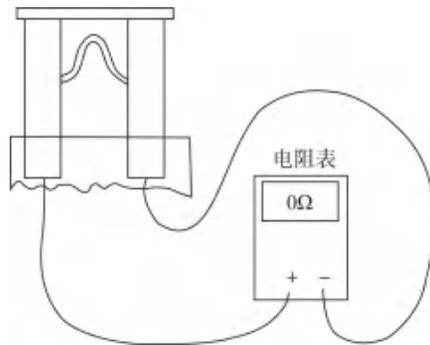


图 3.1-15 用万用表测试熔断器

3.2 钳式数字万用表

钳形万用表如图 3.2-1 所示，比普通万用表多一个表头，表头是根据电流互感器的原理制成的，专门用于测量交直流电流。其余按键功能和手持式数字万用表一样，在此不再赘述。

钳形万用表的测量电流部分是由电流互感器和万用表的电流测量部分组成。互感器的铁芯有一个活动部分，并与手柄相连，使用时按动手柄使活动铁芯张开。将被测电流的导线放入钳口中，松开手柄后，使铁芯闭合。此时通过电流的导线相当于互感器的一次绕组，二次绕组将出现感应电流，其大小由导线的工作电流和绕组圈数比来确定。电流表是接在二次绕组的两端，因而它所指示的电流是二次绕组中的电流，此电流与工作电流成正比。所以将归算好的刻度作为反映一侧的电流量，当导线中有电流通过时，与二次绕组相连的电流表指针便按比例发生偏转，从而指出被测电流的数值。



图 3.2-1 钳式数字万用表

3.3 兆欧表

兆欧表是测量兆欧 ($M\Omega$) 数量级电阻值的仪表, 专供用来检测电气设备、供电线路的绝缘电阻的一种便携式仪表, 它的刻度是以兆欧 ($M\Omega$) 为单位的。兆欧表又称摇表, 是由高压手摇发电机及磁电式双动圈流比计组成, 具有输出电压稳定, 读数正确, 噪音小, 摇动轻, 且装有防止测量电路泄漏电流的屏蔽装置和独立的接线柱。

(一) 兆欧表的结构 (见图 3.3-1、3.3-2)

兆欧表有 3 个接线端钮, 分别标有 L (线路)、E (接地) 和 G (屏蔽)。



图 3.3-1 数字式兆欧表



图 3.3-2 指针式兆欧表



(二) 兆欧表的使用

①兆欧表的选择：要根据不同的电气设备选择兆欧表的电压及其测量范围。对于额定电压在 500V 以下的电气设备，应选用电压等级为 500V 或 1000V 的兆欧表；额定电压在 500V 以上的电气设备，应选用 1000~2500V 的兆欧表。

②测试前的准备：测量前将被测设备切断电源，并短路接地放电 3~5min，特别是电容量大的，更应充分放电以消除残余静电荷引起的误差，保证正确的测量结果以及人身和设备的安全；被测物表面应擦干净，绝缘物表面的污染、潮湿，对绝缘的影响较大，而测量的目的是为了了解电气设备内部的绝缘性能，一般都要求测量前用干净的布或棉纱擦净被测物，否则达不到检查的目的。兆欧表在使用前应平稳放置在远离大电流导体和有外磁场的地方。测量前对兆欧表本身进行检查，开路检查，在兆欧表未接通被测电阻之前，将发电机摇动到额定转速，指针应指在“∞”位置；短路检查，将端钮 L 和 E 短接，缓慢转动发电机手柄，看指针是否到“0”位置。若零位或无穷大达不到，说明兆欧表有毛病，必须进行检修。

③接线：一般情况下将“L”和“E”分别接到被测物导体部分和被测物的外壳或其他导体部分，例如测量电动机的绝缘电阻时，E 端接电动机的外壳，L 端接电动机的绕组；当测量电力设备对地的绝缘电阻时，应将 L 接到被测设备上，E 可靠接地。在特殊情况下，如被测物表面受到污染不能擦干净、空气太潮湿、或者有外电磁场干扰等，就必须将“G”接线柱接到被测物的金属屏蔽保护环上；以消除表面漏流或干扰对测量结果的影响。

④测量：摇动发电机使转速达到额定转速（120r/min）并保持稳定。一般采用一分钟以后的读数为准，当被测物电容量较大时，应延长时间，以指针稳定不变时为准。

注意事项：

①观测被测设备和线路是否在停电的状态下进行测量。并且兆欧表与被测设备间的连接导线不能用双股绝缘线或绞线，应用单股线分开单独连接。

②将被测设备与兆欧表正确接线，摇动手柄时应由慢渐快至额定转速 120r/min。

③正确读取被测绝缘电阻值大小，同时，还应记录测量时的温度、湿度、被测设备的状况等，以便于分析测量结果。

④摇表未停止转动之前或被测设备未放电之前严禁用手触及，防止人身触电。

3.4 接地电阻测试仪

很多大型电器使用的电源线都是三芯的，而实际上一般的电器只要有零线和火线两根就可以正常工作了，多出来的这根线是地线，也就是说这些电器必须要接地。接地不仅可以防止电力或电子等设备遭受雷击，同时，接地也是保护人身安全的一种有效手段，当某种原因引起的相线（如电线绝缘不良，线路老化等）和设备外壳碰触时，设备的外壳就会有危险电压产生，由此生成的电流就会经保护地线到大地，从而起到人身安全保护作用。因此，接地电阻就是用来衡量接地状态是否良好的一个重要参数，工作中，我们需要用仪器测量其好坏。通过本任务的学习，掌握接地电阻测量仪的使用方法。

一、接地

1. 接地的定义

接地就是将电气设备的某些部位、电力系统的某点与大地相连，提供故障电流及雷电电流的泄流通道，稳定电位，提供零电位参考点，以确保电力系统、电气设备的安全运行，同时确保电力系统运行人员及其他人员的人身安全。生产实际中，为了保证电气设备的安全和正常工作，电气设备的某些导电部



分应与接地体用接地线进行连接。

接地线和接地体都采用金属导体制成，其功能是用来泄放故障电流、雷电或其他冲击电流，稳定电位。

2. 接地分类

(1) 工作接地

交流电力系统根据中性点是否接地而分为中性点有效接地系统和中性点非有效接地系统（包括中性点绝缘系统、中性点通过电阻或电感接地的系统）。我国在 110kV 及以上的电力系统中，均采用中性点有效接地的运行方式，其目的是为了降低电气设备的绝缘水平，这种接地方式称为工作接地。采用中性点有效接地方式后，正常情况下作用在电气设备（如电力变压器）绝缘上的电压为相电压。如果采用中性点绝缘的工作方式，则在发生单相接地故障，且又不跳闸时，作用在设备绝缘上的电压为线电压，两者相差 1.732 倍。

采用中性点有效接地方式后，作用在设备绝缘上的电压明显降低，因此，设备的绝缘水平也可以降低，即达到缩小设备绝缘尺寸、降低设备造价的目的。对于有效接地系统，在正常情况下，流过接地装置的电流为系统的不平衡电流，而在系统发生短路故障时将有数十千安的短路电流流过接地装置，一般短路电流持续时间为 0.5s 左右。

(2) 保护接地

在电气设备发生故障时，电气设备的外壳将带电，如果这时人接触设备外壳，将产生危险。因此为了保证人身安全，所有电气设备的外壳必须接地，这种接地称为保护接地。当电气设备的绝缘损坏而使外壳带电时，流过保护接地装置的故障电流应使相应的继电保护装置动作，切除故障设备，另外也可以通过降低接地电阻保证外壳的电位在人体安全电压值之下，从而避免因电气设备外壳带电而造成的触电事故。

(3) 防雷接地

为了防止雷电对电力系统及人身安全的危害，一般采用避雷针避雷线及避雷器等雷电防护设备。这些雷电防护设备都必须与合适的接地装置相连，以将雷电流导入大地，这种接地称为防雷接地。流过防雷接地装置的雷电流幅值很大，可以达到数百千安，但持续的时间很短，一般只有数十微秒。

(4) 信号参考接地

现代电力系统大量采用以固体电子设备为基础的仪器和控制设备，这些设备工作时需要确定信号的参考地。信号参考地对于保证电子设备及计算机控制系统等的正常工作起着十分重要的作用。而现代电力系统，很难提供纯净的无干扰的信号参考地，因此提高高压安全及防护参考地的抗干扰能力是接地设计时需要考虑的重要问题之一。从功能上看，信号参考是一种特殊的工作接地。

二、接地电阻测试仪

接地电阻测试仪又叫接地电阻表，主要用于测量电气设备接地装置以及避雷装置的接地电阻，是一种专门的仪表。

1. 分类

接地电阻表是用来测量保护接地、工作接地、防过电压接地、防静电接地及防雷接地等接地装置的接地电阻，即接地装置流过工频电流时所呈现的电阻，包括接地线电阻、接地体电阻、接地体与大地之间的接触电阻和大地流散电阻。目前有指针式、数字式和钳式等三种，如图 3.4-1 所示。



图 3.4-1 接地电阻测试仪的种类
(a) 机械式 (b) 数字式 (c) 钳式

2. 结构原理

1) 指针式接地电阻测试仪

指针式接地电阻仪由手摇发电机、电流互感器、滑线电阻及检流计等组成。下面以 ZC29B-2 接地电阻测试仪为例进行介绍，操作面板上有表头、量程选择旋钮、倍率开关、摇柄，E 端（接 5 米导线）、P 端（接 20 米导线）、C 端（接 40 米导线），如图 3.4-2 所示。



图 3.4-2 接地电阻测试仪

当用 150r/min 的速度摇动摇把时，表内能发出 110~115Hz、100V 左右的交流电压。测试仪的两个 E 端经过 5 米导线接到被测物，P 端钮和 C 端钮接到相应的两根辅助探棒上。电流 I 由发电机出发经过电流探棒 C 至大地，被测物和电流互感器 CT 的一次绕组回到发电机，由电流互感器二次绕组感应产生 I_2 通过电位器 R_s ，借助调节电位器 R_s 可使检流计到达零位。因此，被测接地电阻值 $R_x = KR_s$ 。

2) 数字式接地电阻测试仪

数字式接地电阻表采用智能微控制器芯片控制，利用先进的中大规模集成电路，应用 DC/AC 变换技术将三端钮、四端钮测量方式合并为一种机型的新型高精度和高可靠性接地电阻测量仪，可用于各种装置接地电阻值的测量，同时，还可测量土壤电阻率及地电压。下面以优利德 UT521 接地电阻测试仪为例进行介绍，操作面板上有 LED 显示屏、功能选择开关、测试端口、TEST 键、LIGHT/LOAD 键、HOLD/SAVE 键等，如图 3.4-3 所示，具体含义如下：



图 3.4-3 优利德数字式接地电阻测试仪

(1) 在开机状态下按键和功能选择开关无动作，约 10min 后本仪器会自动关机以节省电源（接地电阻档测试状态除外）。

(2) 开启背光灯：当在某些光线较暗的环境下进行测试时，需开启背光灯；此时轻按一下“Light/Load”键，背光功能被打开且 LCD 显示相应的灯符号，再轻按一下“Light/Load”键将取消背光功能。

(3) 数据保持功能：测试时轻按一下“Hold/Save”键，数据保持功能被打开，相应的测值被保持住且 LCD 显示相应的保持符号，再轻按一下“Hold/Save”键将取消保持功能。

(4) 存储功能

① 存储数据

长按“Hold/Save”键约 2s，存储功能被打开且存储了相应数据，再轻按一下“Hold/Save”键将存储第二数据，再轻按一下“Hold/Save”键将存储第三数据，想取消存储功能则再次长按“Hold/Save”键约 2s 即可。

② 查看保存数据

长按“Light/Load”键约 2s，将调出地址号码为 01 保存的数据，再轻按一下“Light/Load”键调出地址号码为 02 保存的数据…直到第 20 组数据，若想返回到前一地址查看所存的数据则按一下“Hold/Save”键即可。

在此状态下“Hold/Save”键和“Light/Load”键（轻按）实际上可当上下键用，退出此功能请再长按“Light/Load”键约 2s 即可。

③ 清除保存的数据

先同时按住“Hold/Save”键和“Light/Load”键再开机，LCD 显示“CL.”，此时存储器里面的数据将被清除（20 组数据存满或未存满都可清除）。数字式接地电阻测试仪由机内 DC/AC 变换器将直流变换为交流低频恒流，经过辅助接地极 C 和被试物 E 组成回路，被试物上产生交流压降，经辅助接地极 P 送入交流放大器放大，再经过检波送入表头显示，借助功能选择开关，可得到三个不同的量限：0~2Ω，0~20Ω，0~200Ω。当测试线连接好被测物时，按下 TEST 键，表头 LCD 显示的数值即为被测电阻值。

3. 钳形接地电阻测试仪

钳形接地电阻测试仪是一种手持式的接地测量仪，在测量有回路的接地系统时，不需断开接地引下线，不需辅助电极，安全快速、使用简便。因为该仪表测量的是接地体电阻和接地引线电阻的综合值，所以钳形接地电阻测试仪能测量出用传统方法无法测量的接地故障；可在水泥地面、楼房内、地下室、

2. 测前准备

1) 电池电压检查

将功能选择开关置于接地电压档或接地电阻档，若 LCD 上显示的电池符号为：表示电池处于低电状态，需更换电池，否则本仪器不可正常使用。电池状态见表 3.4-2 所示。

表 3.4-2 电池状态

电池符号	电池电压
	$\geq 8.2\text{V}$
	$7.8\text{V} \sim 8.2\text{V}$
	$7.4\text{V} \sim 7.8\text{V}$
	$7.0\text{V} \sim 7.4\text{V}$
	$\leq 7\text{V}$

2) 测试线连接

请于测量前确认测试线插头已完全插入测试端，连接不紧将会影响测试值的精度。

3. 测量方法

1) 精确测量

精确测量时用标准测试线测试，接线如图 3.4-5 所示。

(1) 将 P 和 C 接地钉打到地深处，它们和待测地设备排列成一行（直线），且彼此间隔 5 米~10 米远，连接方法如图所示。

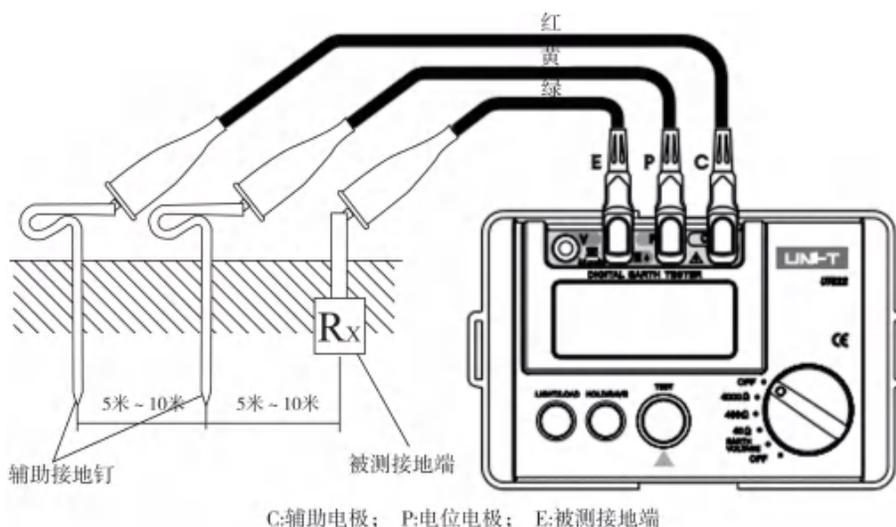


图 3.4-5 精确测量

注意：确定接地钉插入在潮湿的土壤中，若土壤干燥，则要加足水。石质或沙地也要变潮湿后才能测试。如果在城市地区周围都是水泥地难于打辅助地桩，可用 25cm×25cm 二钢板（或用现有的辅助接地钉）平放在水泥地上缚上湿毛巾，浇上足够水，代替测量电极，一般情况下可以进行测量。



(2) 接地电压测试

将功能选择开关旋到接地电压档，LCD 显示接地电压测试状态；将测试线插入 V 端和 E 端（其他测试端不要插测试线）再接上待测点，LCD 将显示地电压的测量值。

注意：

①测接地电压不需要按 TEST 键，若量测值 $>10V$ 时，则要将相关电气设备关闭，待接地电压降低后再进行接地电阻测试，否则会影响接地电阻的测试精度。

②接地电压测试仅在 V 和 E 端进行，C 端和 P 端的连接线一定要断开，否则可能会导致危险或本仪器损坏。

(3) 接地电阻测试

功能选择开关旋到接地电阻 2000Ω 档（最大档），按“TEST”键测试，LCD 显示接地电阻值，若所测电阻值 $<200\Omega$ ，则将功能选择开关旋到接地电阻 200Ω 档，LCD 显示接地电阻值，若所测电阻值 $<20\Omega$ ，则将功能选择开关旋到接地电阻 20Ω 档，LCD 显示接地电阻值；当然可以按照其他的选档顺序进行测量，总之一定要选择最佳的测量档位去测量才能使所测的值最准。按“TEST”键时，按键上的状态指示灯会点亮，表示该仪器正处在测试状态中。

注意：

①当 C 端或 E 端测试线接触不良，辅助接地电阻或接地电阻过大（如 20Ω 档大于约 $14k\Omega$ 时），或是测试端开路状态，LCD 都将显示“— — — Ω ”，此时要重新检查测试线连接是否良好，土壤是否太干燥，辅助接地钉是否可靠接地。当被测接地电阻大于该档位的测试范围，与此同时 20Ω 档小于约 $14k\Omega$ 时或 200Ω 档小于约 $26k\Omega$ 时或 2000Ω 档小于约 $78k\Omega$ 时，LCD 都将显示“OL”（超量程）。

②若本仪器所用辅助接地钉弯曲或接触其他东西，会影响到读数，当连接测试线时，一定要先清洁辅助接地钉，若辅助接地钉阻值太大也会造成读数误差。

2) 简易测量

简易测量用所配简易测试线测量，接线如图 3.4-6 所示（当采用此方法时，实际上 P 和 C 端子已经短接起来）。这种方法是当辅助接地钉不方便使用时，可将一个外露的低接地电阻物体做一个电极，如金属水槽、水管、供电线路公共地、建筑物接地端，都可以用两线式方法（E 和 P&C 端）。

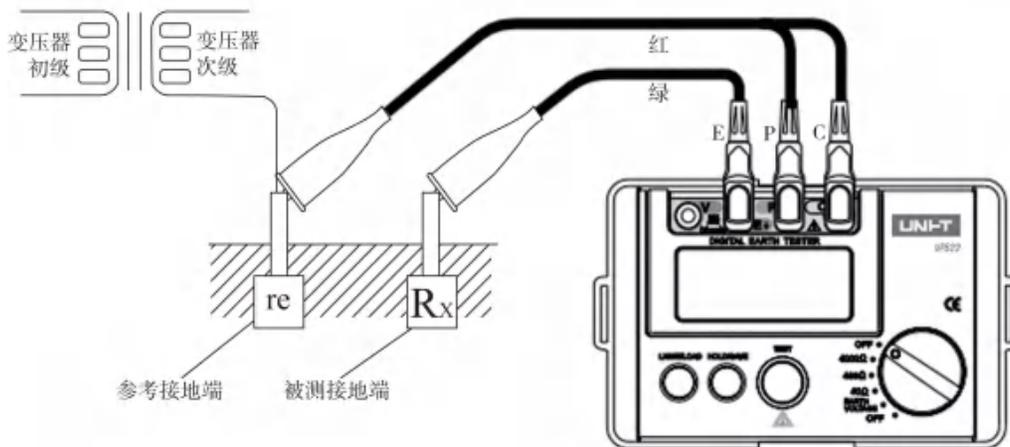


图 3.4-6 简易测量

新能源汽车检测与维修赛中高压部件接地保护检测就用的简易测量法，具体测量方法如下：

(1) 在测试端口处连接测量导线；

(2) 校表, 测量前对接地电阻测试仪进行开路与短路测试, 如图 3.4-7 所示。检验接地电阻测试仪是否良好, 将两连接线开路, 按下 TEST 键, 显示屏应显示 “— — — — —” 表示 “ ∞ ”, 再把两连接线短接一下, 应显示在 “0”。符合上述条件者即良好, 否则不能使用;

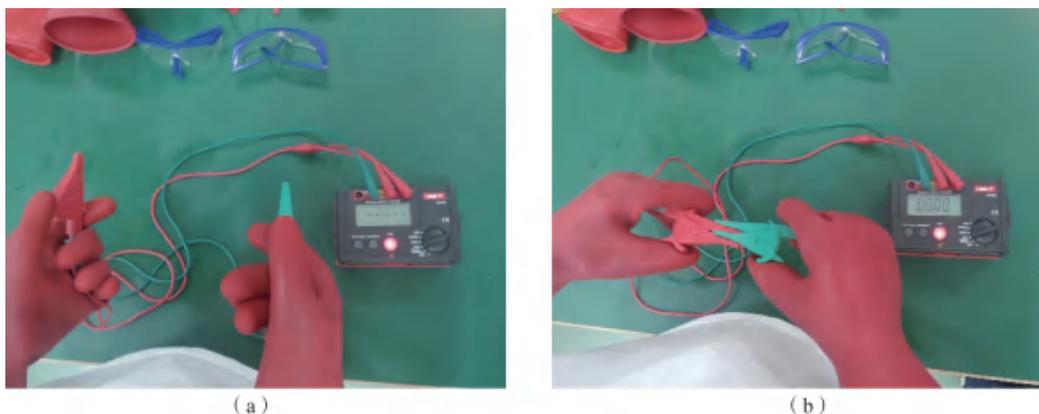


图 3.4-7 开路与短路测试

(a) 开路测试 (b) 短路测试

注意:

- ① 接地线路要与被保护设备断开, 以保证测量结果的准确性。
- ② 连接线应使用绝缘良好的导线, 以免有漏电现象。



一、填空题

1. 数字式万用表是根据_____与_____之间的转换来完成测量的。
2. 数字万用表按测量功能可分为_____数字万用表和_____数字万用表两类。
3. 钳形万用表的测量电流部分是由_____和万用表的电流测量部分组成。
4. 兆欧表有 3 个接线端钮, 分别标有_____、_____和_____。
5. 钳形接地电阻测试仪是一种_____式的接地测量仪。

二、判断题

1. 与模拟式仪表相比, 数字式仪表灵敏度高, 准确度高, 显示清楚, 过载能力强, 便于携带使用更简单。()
2. 数字万用表的基本电路是一个表头电路, 测量电压、电流和电阻的功能是通过转换电路实现的。()
3. 熔断器通常串接在电路中所有负载的前面, 也可以位于每个负载的支路中。()
4. 兆欧表是专供用来检测电气设备、供电线路的绝缘电阻的一种便携式仪表。()
5. 接地线和接地体都采用金属导体制成, 其功能是用来泄放故障电流、雷电或其他冲击电流, 稳定电位。()

三、简答题

1. 请简述万用表测电压的过程。
2. 请简述熔断丝的检测方法。