

项目一

电路元件及万用表的认识

知识目标

- ▶ 了解电路中常用电路元件的种类、特性以及命名的方法；
- ▶ 了解电路元件参数获取的途径和方法；
- ▶ 了解万用表的工作原理及使用方法；
- ▶ 了解常用电路元件的测试方法。

技能目标

- ▶ 掌握电路元件的识别方法；
- ▶ 掌握万用表的基本使用方法,能使用万用表测试电气元件的性能参数。

项目分析

电路元件是构成电路的基础,熟悉各类电路元件的性能、特点和用途,对设计、安装、调试电气线路十分重要。由于万用表的功能强大、用途广泛,所以电气从业人员必须掌握正确使用万用表的方法。

任务一 电路基本元件的认识

本任务主要学习电路元件的命名方法,电气元件参数获取的途径和方法;识别电阻器、电容器、电位器、二极管和三极管等电气元件的电气参数。

一、电路基本元件

电路元件的种类繁多,常用的有电阻器、电容器、电感器、电位器、二极管和三极管等。

(一)电阻器

1. 电阻器的分类与型号命名方法

电阻器简称电阻,是电路中最常用的元件,电阻器在所有的电工电子设备中是必不可少的,它在电路中常用来进行电压和电流的控制及传送,起分压、分流、限流和阻抗匹配等作用。电阻的单位为欧姆(Ω),常用单位有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$),其换算关系为 $1 M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$ 。国家标准规定的电阻器图形符号如图 1-1 所示。

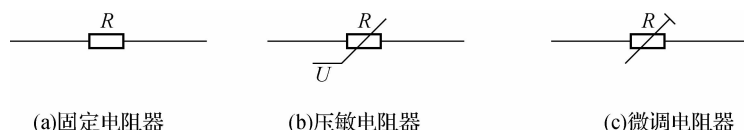


图 1-1 国家标准规定的电阻器图形符号

1) 电阻器的分类

电阻器通常按以下方法进行分类。

(1)按材料分。电阻器按材料分主要有碳质电阻器、碳膜电阻器、金属膜电阻器和线绕电阻器等。

(2)按结构分。电阻器按结构分主要有固定电阻器和可变电阻器等。

(3)按用途分。电阻器按用途分主要有精密电阻器、高频电阻器、高压电阻器、大功率电阻器、热敏电阻器和限流电阻器等。

电阻器的种类较多,其中碳膜电阻器(RT)、金属膜电阻器(RJ)、线绕电阻器(RX)和片状电阻器使用较多。电阻器的常见外形如图 1-2 所示。

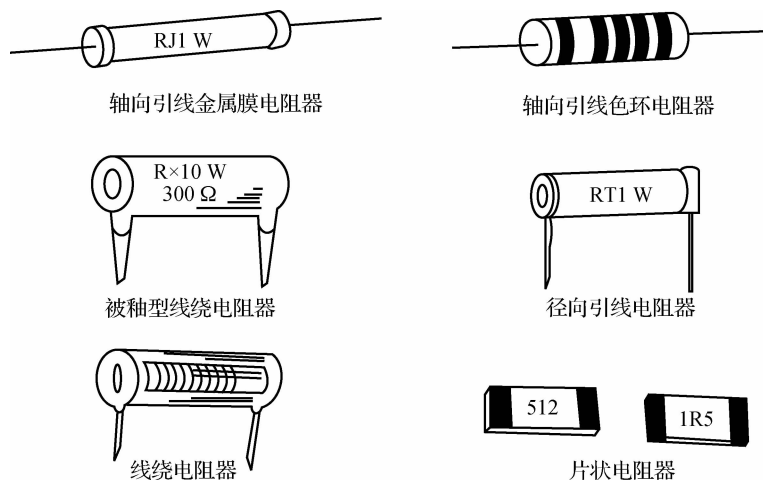


图 1-2 电阻器的常见外形

2) 电阻器的型号命名方法

电阻器的种类很多,根据国家标准规定,电阻器的型号一般由四部分组成,具体如图 1-3 所示。

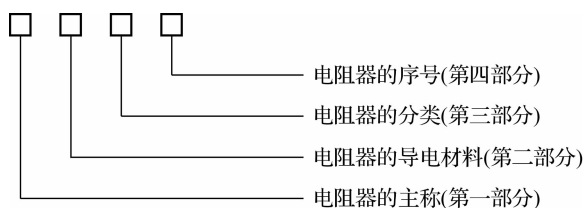


图 1-3 电阻器的型号组成

- (1)第一部分:电阻器的主称,用字母“R”表示。
- (2)第二部分:表示电阻器的导电材料,用字母表示。
- (3)第三部分:表示电阻器的分类,一般用数字表示,个别类型用字母表示。
- (4)第四部分:表示电阻器的序号,用数字表示序号,以区分电阻器的外形尺寸和性能指标。

电阻器的型号命名意义见表 1-1。

表 1-1 电阻器的型号命名意义

第一部分(主称)		第二部分 (电阻体材料)		第三部分(类别)		第四部分(序号)
字母	含义	字母	含义	数字或字母	产品类型	用数字表示
R	固定电 阻 器	T	碳膜	1	普通型	常用个位数或无数字 表示
		P	硼碳膜	2	普通型	
		U	硅碳膜	3	超高频	
		H	合成膜	4	高阻型	
		I	玻璃釉膜	5	高阻型	
		J	金属膜	6	—	
		Y	氧化膜	7	精密型	
		S	有机实芯	8	高压型	
		N	无机实芯	9	特殊型	
		X	线绕	G	高功率	
		C	沉积膜	T	可调	
		—	—	W	微调	
		—	—	D	多圈	

例如,“RJ71”表示精密型金属膜电阻器。

2. 电阻器的主要参数

电阻器的参数主要包括标称阻值、额定功率、精度、最高工作温度、最高工作电压、噪声参数及高频特性等。在挑选电阻器的时候主要考虑其阻值、额定功率及精度。至于其他参

数,如最高工作温度、高频特性等只在特定的电气条件下才予以考虑。

1)电阻器的标称阻值及其允许误差

电阻器的标称阻值通常标注在电阻器上,其基本单位为欧姆(Ω)。允许误差是指实际阻值与标称阻值之间允许的最大偏差范围,一般采用标称阻值的百分数(%)表示,一般可分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 、 $> \pm 20\%$ 四个等级。

电阻器标称阻值系列及其允许误差见表 1-2。

表 1-2 电阻器标称阻值系列及其允许误差

系 列	允许误差/%	电阻器标称阻值(数值)													
E24	± 5	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9
		4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1					
E12	± 10	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2		
E6	± 20	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8								

2)电阻器的额定功率

在环境温度下电阻器长期稳定工作所能承受的最大功率称为电阻器的额定功率。不同类型电阻器的额定功率见表 1-3。

表 1-3 不同类型电阻器的额定功率

线绕电阻器额定功率系列/W	非线性电阻器额定功率系列/W
0.05 0.125 0.25 1 2 4 8 12 16 25 40 75 100 250 500	0.05 0.125 0.5 1 2 5 10 25 50 100

常用电阻器的功率有 1/8 W、1/4 W、1/2 W、1 W、2 W、5 W、10 W 等。2 W 以上的电阻器在标注功率时一般直接印在电阻体上。在电路原理图中,电阻器的功率必须标注出来,如果在电阻器符号上没有额定功率的标志,那就是对功率没有要求,一般用 1/8~1/4 W 的电阻器。在电路图上表示功率时,常采用如图 1-4 所示的符号。

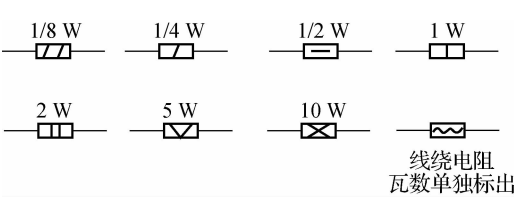


图 1-4 电阻器功率的表示方式

3. 电阻器阻值的标注方法

电阻器阻值的标注方法有直标法、文字符号法和色环标注法三种。

(1)直标法。直标法是用阿拉伯数字及文字符号单位在元件表面上直接标出电阻器的主要参数和技术性能。电阻值的单位文字符号有欧姆(Ω)、千欧姆(k Ω)和兆欧姆(M Ω),允许误差用百分数表示,如“100 $\Omega \pm 10\%$ ”。

(2)文字符号法。文字符号法是将电阻器的主要参数和技术性能用阿拉伯数字及文字符号两者有规律的组合来标记在电阻器上,如图 1-5 所示。遇有小数时,常以 Ω 、k、M 取代小数点,如“5 Ω 1”表示 5.1 Ω ,”4k3”表示 4.3 k Ω ,”9M1”表示 9.1 M Ω 。

电阻器的允许误差用字母表示,如 J 为 $\pm 5\%$ 、k 为 $\pm 10\%$ 、M 为 $\pm 20\%$ 等。



图 1-5 电阻器阻值标注的文字符号法

(3)色环标注法。小功率电阻器较多时候使用色环标注法。色环标注法使用颜色环表示电阻器的阻值和允许误差,用不同的颜色代表不同的数值。色环标注的电阻器颜色醒目、标志清晰、不易褪色,从每个方向都能看清电阻器的阻值和允许误差,给安装、调试和维修带来极大的方便,已被广泛采用。普通电阻器采用四色环标注法,精密电阻器采用五色环标注法,分别如图 1-6 和图 1-7 所示。

颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 倍率	第四色环 误差
黑	0	0	10^0	—
棕	1	1	10^1	—
红	2	2	10^2	—
橙	3	3	10^3	—
黄	4	4	10^4	—
绿	5	5	10^5	—
蓝	6	6	10^6	—
紫	7	7	10^7	—
灰	8	8	10^8	—
白	9	9	10^9	—
金	—	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
银	—	—	10^{-2}	$\pm 10\%$

图 1-6 四色环标注法

颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 倍率	第四色环 误差	第五色环 误差
黑	0	0	0	10^0	—
棕	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	—
黄	4	4	4	10^4	—
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.2\%$
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	—
白	9	9	9	10^9	—
金	—	—	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
银	—	—	—	10^{-2}	$\pm 10\%$

图 1-7 五色环标注法

4. 常用电阻器

(1)碳质电阻器。碳质电阻器由炭粉、填充剂等压制而成,价格便宜但性能较差,现在已不常用。

(2)线绕电阻器。线绕电阻器由电阻率较大、性能稳定的锰铜、康铜等合金线涂上绝缘层,在绝缘棒上绕制而成。线绕电阻器有很多特点,如耐高温(能在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温下稳定工作)、具有很好的线性关系、精度高、稳定性好等。线绕电阻器的额定功率较大($4\sim 300\text{ W}$),常用在电源电路中作限流电阻等;也可制成精密型电阻,如在万用表中作分流电阻用。一般的线绕电阻器由于结构上的原因,其分布电容、电感较大,不宜用在高频电路中。常用线绕电阻器的外形如图 1-8 所示。

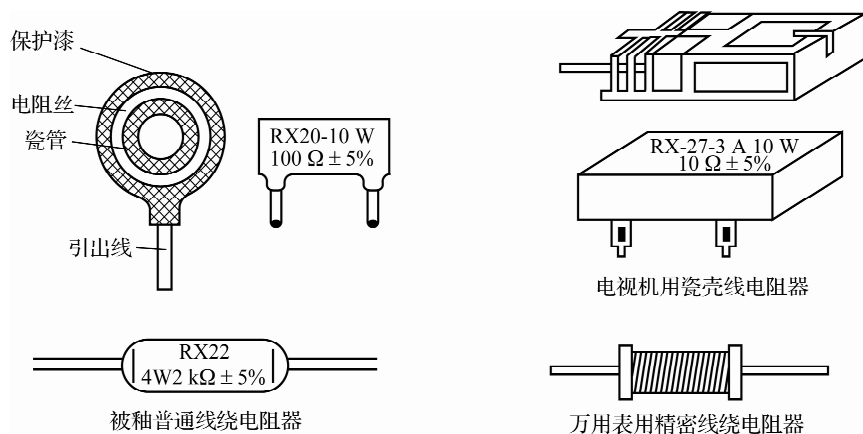


图 1-8 常用线绕电阻器的外形

(3)碳膜电阻器。碳膜电阻器是由结晶炭沉积在磁棒或瓷管骨架上制成的,稳定性好、高频特性较好,并能工作在较高的温度下(70°C),改变碳膜的厚度和用刻槽的方法变更碳膜的长度,可以得到不同的阻值。目前在电子产品中得到广泛的应用,其涂层多为绿色。碳膜电阻器的外形和内部结构如图 1-9 所示。

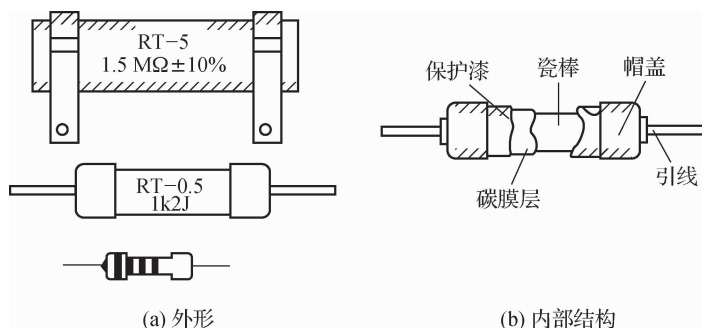


图 1-9 碳膜电阻器的外形和内部结构

(4)金属膜电阻器。与碳膜电阻器相比,金属膜电阻器只是用合金粉替代了结晶炭,除具有碳膜电阻器的特性外,金属膜电阻器的主要特点是耐热性能好,其额定工作温度为 70°C ,最高可达 155°C 。与碳膜电阻器相比,金属膜电阻器的体积小、噪声低、稳定性好。它的工作频率也较宽,但成本稍高。通过调节合金粉成分和更换成膜工艺等方法,还可以制成精密、高阻、高频、高压、高温等各种类型的金属膜电阻器。金属膜电阻器适用于要求较高的通信设备、电子仪器等电路中,在家用电器上也得到了较多的应用。金属膜电阻器涂层多为红色。常用的金属膜电阻器的外形和内部结构如图 1-10 所示。

(5)热敏电阻器。热敏电阻器的电阻值随着温度的变化而变化,一般用作温度补偿和限流保护等。热敏电阻器从特性上可分为正温度系数电阻器和负温度系数电阻器两类。正温度系数电阻器的电阻值随温度升高而增大,负温度系数电阻器则相反。

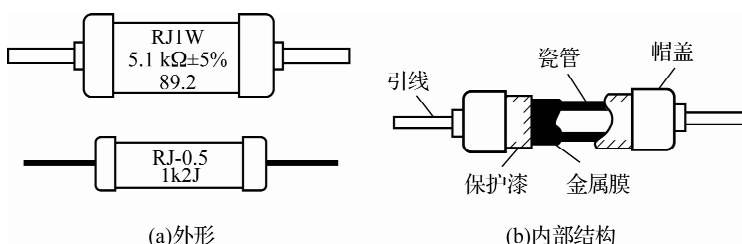


图 1-10 常用金属膜电阻器的外形和内部结构

热敏电阻器在结构上分为直热式热敏电阻器和旁热式热敏电阻器两种。直热式热敏电阻器是利用电阻体本身通过的电流产生热量,使其电阻值发生变化;旁热式热敏电阻器由两个电阻体组成,一个为热源电阻体,另一个为热敏电阻体。

(6)贴片电阻器。贴片电阻器目前常用在高集成度的电路板上,它体积很小,分布电感、分布电容也很小,适合在高频电路中使用。贴片电阻器一般用自动安装机安装,对电路板的设计精度有很高的要求,是现代电路板设计的首选元件。

(二)电容器

电容器简称电容,是用来存储电荷的器件,比较简单的电容器模型是两个金属板中间夹上一层绝缘材料。电容器在电路中通常用作隔直流、级间耦合及滤波等。在调谐电路中,和电感一起构成谐振回路。在电子电路中,电容器是不可缺少的元件。

1. 电容器的分类与型号命名方法

1) 电容器的分类

(1)按结构分。电容器按结构分主要有固定电容器、微调电容器和可变电容器。

(2)按介质材料分。电容器按介质材料分主要有气体介质电容器、液体介质电容器、无机固体介质电容器和电解电容器。

(3)按阳极材料分。电容器按阳极材料分主要有铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器和钛电解电容器等。

(4)按极性分。电容器按极性分主要有极性电容器和无极性电容器。

电容器的形状很多,图 1-11 所示为常用电容器的形状及图形符号。

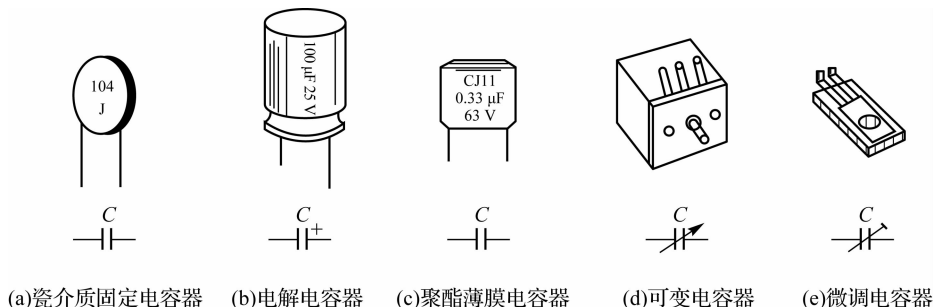


图 1-11 常用电容器的形状及图形符号

2)电容器的型号命名方法

电容器有很多品种,根据国家标准规定,电容器的型号一般由四部分组成,具体如图 1-12 所示。



图 1-12 电容器的型号组成

- (1)第一部分:电容器的主称,用字母“C”表示。
- (2)第二部分:表示电容器的介质材料,用字母表示,具体见表 1-4。

表 1-4 电容器介质材料的字母表示

字母符号	电容器介质材料的含义	字母符号	电容器介质材料的含义
A	钽电解	L	聚酯等极性有机薄膜
B	聚苯乙烯等非极性有机薄膜	N	铌电解
C	高频陶瓷	O	玻璃膜
D	铝电解	Q	漆膜
E	其他材料电解	T	低频陶瓷
G	合金电解	V	云母纸
H	纸膜复合	Y	云母
I	玻璃釉	Z	纸
J	金属化纸	—	—

- (3)第三部分:表示电容器的分类,一般用数字表示,具体见表 1-5,个别类型用字母表示,如“G”表示高功率、“W”表示微调、“J”表示金属化型、“Y”表示高压型等。
- (4)第四部分:用数字表示电容器的序号,以区分电容器的外形尺寸和性能指标。

表 1-5 电容器分类的字母表示

数 字	瓷介电容器	云母电容器	有机电容器	电解电容器
1	圆形	非密封	非密封	箔式
2	管形	非密封	非密封	箔式
3	叠片	密封	密封	烧结粉,非固体
4	独石	密封	密封	烧结粉,固体
5	穿心	—	穿心	—
6	支柱等	—	—	—
7	—	—	—	无极性
8	高压	高压	高压	—
9	—	—	特殊	特殊

例如,“CCG1”表示高功率高频陶瓷瓷介电容器。

2. 电容器的主要参数

电容器的主要参数有电容器的标称容量、允许误差和耐压值等。

1) 电容器的标称容量

电容器的容量是指电容器储存电荷的能力。常用单位有法拉(F)、微法(μF)和皮法(pF),其换算关系为 $1\text{ F}=10^6\ \mu\text{F}=10^{12}\text{ pF}$ 。标注在电容器外壳上的电容量称为标称容量,国家规定了一系列容量值作为产品标称。固定电容器的标称容量见表 1-6。

表 1-6 固定电容器的标称容量

标 称 值	最大误差	偏差等级	标称值(数值)
E24	$\pm 5\%$	I	1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7 3.0 3.3 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
E12	$\pm 10\%$	II	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
E6	$\pm 20\%$	III	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

2) 电容器的额定工作电压

电容器长期连续可靠工作时,两电极间最高承受的电压称为电容器的额定工作电压,简称为电容的耐压。固定电容器的直流额定工作电压等级为 6.3 V、10 V、16 V、25 V、32 V、50 V、63 V、100 V、160 V、250 V、400 V 等。

3. 电容器容量的标注方法

电容器容量的标注方法有直标法、数码表示法和色标法三种。

(1)直标法。小于 10 000 pF 的电容器,一般只标注数值而省去单位,如“330”表示 330 pF。10 000~1 000 000 pF 的电容器,以 μF 为单位,以小数点为标志,也只标注数值而省去单位,如“0.1”表示 0.1 μF ,”0.022”表示 0.022 μF 。电解电容器以 μF 为单位直接标印在电容器上,如“100 $\mu\text{F}/16\text{ V}$ ”表示标称容量为 100 μF ,耐压为 16 V。

(2)数码表示法。用三位数码表示容量大小,前两位数码是容量的有效数字,第三位数码是零的个数。单位为 pF,如“103”表示 $10\times 10^3=10\ 000\text{ pF}$,”224”表示 $22\times 10^4=220\ 000\text{ pF}=0.22\ \mu\text{F}$ 。如果第三位是 9,则乘以 10^{-1} ,如“339”表示 $33\times 10^{-1}=3.3\text{ pF}$ 。

(3)色标法。电容器的色标法与电阻器色标法大致相同,此处不再赘述。

4. 常用电容器

(1)电解电容器。电解电容器是目前用得较多的大容量电容器,它的体积小、耐压高(一般耐压越高,体积也就越大)。其介质为正极金属片表面上形成一层氧化膜,负极为液体、半液体或胶状的电解液。

因其有正负极之分,故只能工作在直流状态下,如果极性用反,将使漏电流剧增,在此情况下电容器将会急剧变热而损坏,甚至会引起爆炸。生产厂家会在电容器的表面上标出正极或负极,新买来的电解电容器,电极引脚长的一端为正极,接在电路中的高电位。

在电解电容中,目前铝电容器用得较多,钽、铌、钛电容器相比之下漏电流小,体积小,但

成本高,通常用在性能要求较高的电路中。

电解电容器常用在电源滤波、耦合、旁路等电路中。

(2)云母电容器。用云母片作为介质的电容器,高频性能稳定,耐压高(几百伏~几千伏),漏电流小,但容量小,体积大。

(3)瓷质电容器。瓷质电容器采用高介电常数、低损耗的陶瓷材料作介质,电容器的体积小、损耗小、绝缘电阻大、漏电流小、性能稳定,可工作在超高频段。但其耐压低,机械强度较差。瓷介质固定电容器常用在振荡、高频等电路中。

(4)玻璃釉电容器。玻璃釉电容器具有瓷质电容器的优点,但比同容量的瓷质电容器体积小,工作频带较宽,可在 $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下工作。

(5)纸介电容器。纸介电容器用特制的电容纸作为介质,铝箔或锡箔作为电极并卷绕成圆柱形,然后接出引线,再经过浸渍处理,用外壳封装或环氧树脂灌封而成。其特点是由于介质厚度小(一般为 $6\sim 20\text{ }\mu\text{m}$),且电容纸具有较高的抗拉强度,故可卷绕成容量大、体积小的电容,容量可以达到 $1\sim 20\text{ }\mu\text{F}$ 。纸介电容器电容量范围宽,工作电压高,成本低廉,但化学稳定性和热稳定性都比较差,容易老化,介质损耗大,工作温度一般在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。纸介电容器吸湿性大,需要密封,不适合在高频电路工作。目前,低值纸介电容器正被薄膜电容器所取代。

(6)聚苯乙烯电容器。聚苯乙烯电容器是一种有机薄膜电容器,以聚苯乙烯为介质,用铝箔或直接在聚苯乙烯薄膜上镀上一层金属膜为电极。聚苯乙烯电容器绝缘电阻大、耐压高、漏电流小、精度高,但耐热性差,焊接时,过热会损坏电容器。

(7)片状电容器。目前,片状电容器广泛用在混合集成电路、电子手表电路和计算机电路中。有片状陶瓷电容器、片状钽电容器和片状陶瓷微调电容器等。其特点是体积小、容量大。

(8)独石电容器。独石电容器是以钛酸钡为主的陶瓷材料烧结而成的一种瓷介质电容器,其体积小、耐高温、绝缘性能好、成本低,多用在小型和超小型电子设备中。

(9)可变电容器。可变电容器种类很多,按结构可分为单连(一组定片、一组动片)、双连(两组动片、两组定片)、三连和四连可变电容器等;按介质可分为空气介质和薄膜介质可变电容器等。其中,空气介质电容器使用寿命长,但体积大;薄膜介质电容器在动片和定片之间以云母或塑料片作介质,其体积小,重量轻。可变电容器常用在经常改变电容量的场合,如收音机的调谐和电子仪器的调频等。

在实际使用中,一般单连可变电容器用于直放式收音机的调谐电路,双连可变电容器用于超外差式收音机。图 1-13 所示为空气单连、双连可变电容器的外形及其符号。

(10)微调电容器。在电路中,微调电容器主要用在电容器需要作微调谐,调好后一般不需再变动的场合,作为补偿和校正,如振荡器等,其调节范围为几十皮法。

常用的微调电容器有有机薄膜介质微调电容器、瓷介质微调电容器、拉线微调电容器和云母微调电容器等。图 1-14 所示为几种微调电容器的外形及其符号。

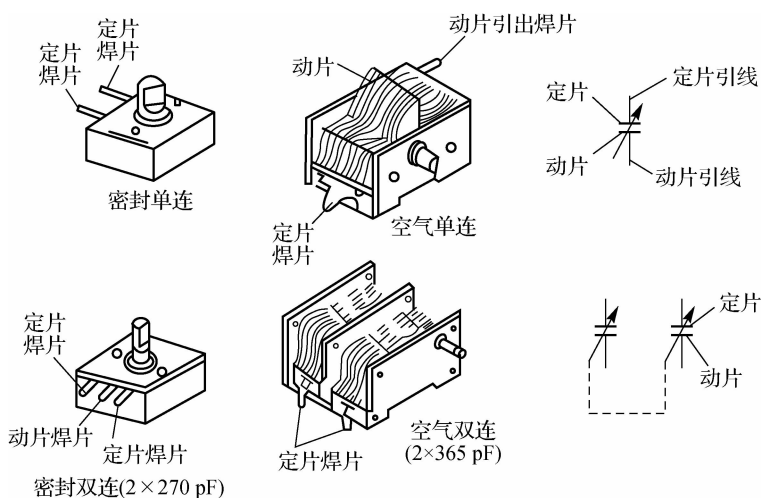


图 1-13 空气单连、双连可变电容器的外形及其符号

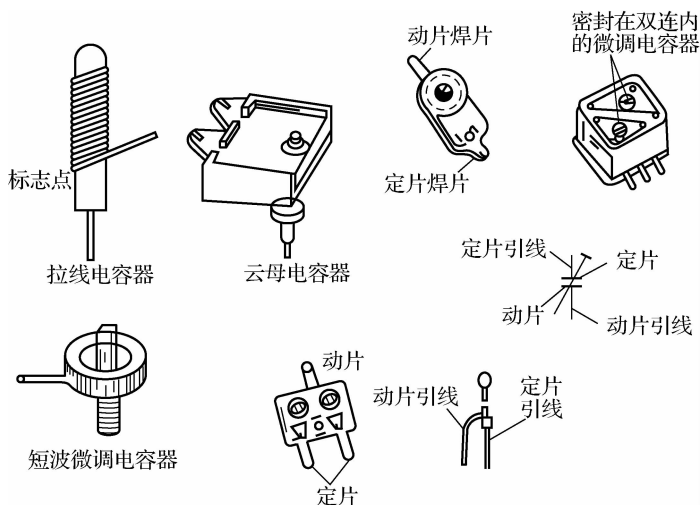


图 1-14 微调电容器的外形及其符号

(三)电感器

电感器即电感线圈,是用导线(漆包线、纱包线、裸铜线和镀金铜线等)绕制在绝缘管或铁心、磁心上的一种常见电子元件。电感器的线圈与线圈之间相互绝缘,利用电磁感应原理工作,电感器在电路中用字母“L”表示。图 1-15 所示为几种电感器的符号。

电感器有存储磁能的作用,在电路中表现为阻碍电流的变化。常用在滤波、振荡、调谐和扼流等电子电路中。

1. 电感器的分类

电感器按形式可分为固定电感器、可变电感器和微调电感器,按磁体的性质可分为空心线圈电感器和磁心线圈电感器,按结构可分为单层线圈电感器和多层线圈电感器。

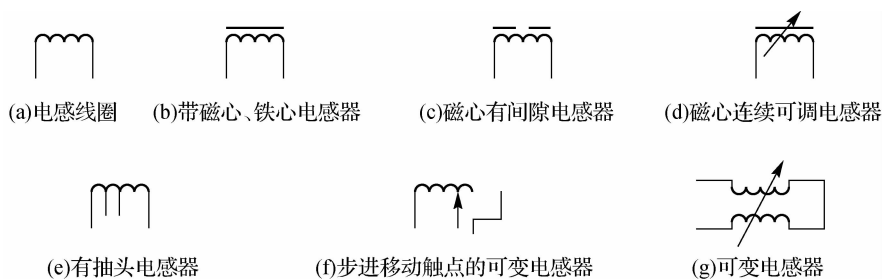


图 1-15 电感器的符号

2. 电感器的主要参数

1) 电感量

电感量的单位有亨利(H)、毫亨(mH)和微亨(μH)。其换算关系为 $1\text{ H}=10^3\text{ mH}=10^6\text{ }\mu\text{H}$ 。

2) 品质因数(Q 值)

品质因数是电感器的主要参数。在高频电路中,电感器的品质因数 Q 是一个重要的物理参数,电感器的损耗小, Q 值就高;反之, Q 值就低。

3) 分布电容

由于绝缘的线圈相当于电容器的两极,因而电感器上就会分布有许多的小电容,称为分布电容。分布电容的存在是导致品质因数下降的主要因素,所以一般要通过各种方法来减小分布电容。

4) 额定电流

额定电流主要是对高频电感器和大功率调谐电感器而言的,要求其正常工作时,通过电感器的电流小于其额定电流。

3. 电感量的标注方法

电感量参数一般都直接标注在电感器上,在中、高频电路中的电感器均是特制的,它们的参数以某种型号所代替,如电视机高频调谐器中的电感器。

电感量的其他标注方法还有色点标注法和色环标注法。

4. 常用电感器

(1)固定电感线圈。固定电感线圈一般是将绝缘铜线绕在磁心上,外层包上环氧树脂或塑料。固定电感线圈体积小、重量轻、结构牢固,广泛应用在电子电路中。有立式和卧式两种,工作频率为 $10\sim 200\text{ MHz}$ 。

(2)可变电感线圈。可变电感线圈是通过改变插入电感线圈的磁心的位置来改变电感量的。磁棒式天线线圈是常用的可变电感线圈,在收音机中与可变电容器组成调谐回路,用于接收无线电波信号。

(3)微调电感器。微调电感器用于小范围地改变电感量,调整局部电路的参数。

(4)阻流圈。阻流圈也称为扼流圈,其分为高频扼流圈和低频扼流圈两种。高频扼流圈用来阻止高频分量的通过;低频扼流圈又称为滤波线圈,它可与电容器组成滤波电路。

常见电感线圈的外形及其符号如图 1-16 所示。

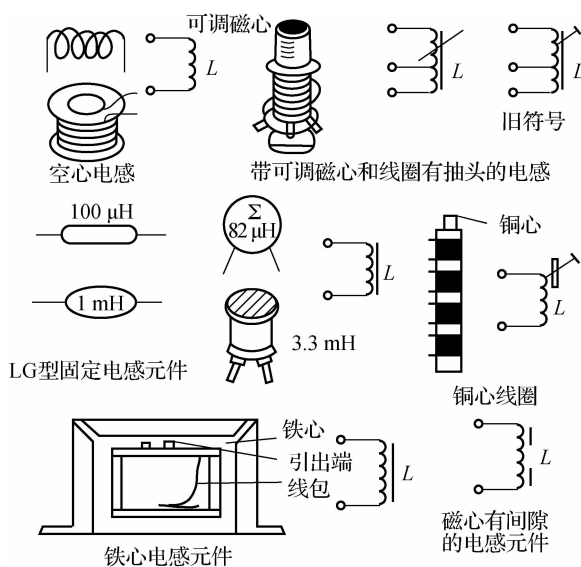


图 1-16 常见电感线圈的外形及其符号

(四) 电位器

电位器实际上是一种可变电阻器,它是一种电阻值连续可调的电子元件。电位器通常由两个固定输出端和一个滑动抽头组成,电位器的电阻值与滑动角度一般不具有线性关系。常用电位器的外形和符号如图 1-17 所示。

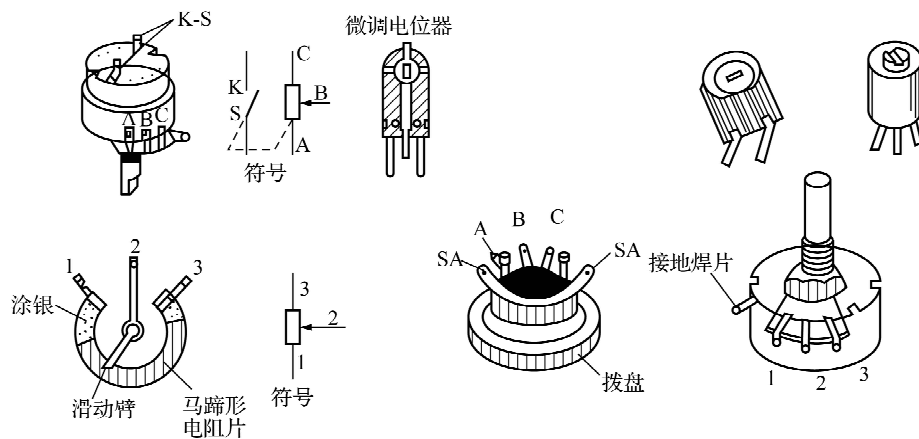


图 1-17 常用电位器的外形和符号

1. 电位器的分类与型号命名方法

1) 电位器的分类

电位器的种类和形式很多,常见的有旋转式、推拉式、直滑式、带开关式和多圈式。按结构分,电位器可分为单圈、多圈,单联、双联,带开关,锁紧和非锁紧电位器。

2) 电位器的型号命名方法

电位器的型号一般由四部分组成,具体如图 1-18 所示。

- (1)第一部分:电位器的主称,用字母“W”表示。
 - (2)第二部分:表示电位器的材料,用字母表示。
 - (3)第三部分:表示电位器的分类,用数字或字母表示。
 - (4)第四部分:表示电位器的序号。
- 电位器型号的命名意义见表 1-7。

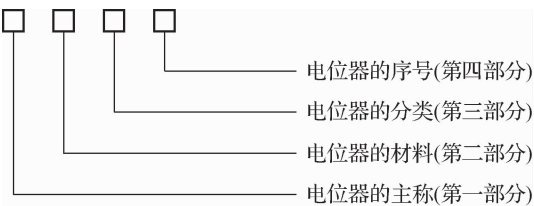


图 1-18 电位器的型号组成

表 1-7 电位器型号的命名意义

材 料		分 类	
符号	材料名称	符号	分类名称
H	合成膜	1	普通
I	玻璃膜	2	普通
J	金属膜	3	—
N	无机实心	4	—
S	有机实心	5	—
T	碳膜	6	—
X	线绕	7	精密
Y	氧化膜	8	—
—	—	9	特殊
—	—	D	多圈
—	—	W	微调

例如,电位器“WX14”表示普通线绕电位器。

2. 电位器的主要参数

由于制作电位器所用的电阻材料与相应的固定电阻相同,所以其主要参数的定义与相应的固定电阻也基本相同。但由于电位器上存在活动触点,因此电位器的阻值是可调的,和固定电阻相比,它还具有以下两项参数。

1)最大电阻值和最小电阻值

每个电位器的外壳上标注的标称阻值指的是电位器的最大电阻值,即两定片之间的电阻值。最小电阻值又称为零位电阻,由于活动触点间存在接触电阻,因此最小电阻值不可能为零,在实际应用中,最小电阻值越小越好。

2)阻值变化特性

为了满足不同的用途,电位器阻值变化规律也不尽相同,常见的电位器阻值变化规律有三种类型,即直线式(X 型)、指数式(Z 型)和对数式(D 型)。

3. 电位器的作用

1)用作变阻器

电位器用作变阻器时,电位器是一个两端器件,此时其相当于一个可调电阻,转动电位

器转柄,改变其活动触点的位置,便可得到一个平滑的连续可调的阻值。

2) 用作可分变压器

电位器用作可分变压器利用的是串联电阻分压的原理,转动电位器转柄,改变了电位器不同触点间的电阻值,从而改变了不同触点间承受的电压值。收音机中的音量调节电位器就是一个可分变压的典型例子。

(五) 二极管

1. 二极管的基本结构及分类

半导体二极管是由一个 PN 结加上相应的电极引线及管壳封装而成的。由 P 区引出的电极称为阳极, N 区引出的电极称为阴极。其电路符号如图 1-19(a)所示。因为 PN 结的单向导电性,所以由其做成的二极管也具有单向导电性。二极管导通时电流方向是由阳极通过管子内部流向阴极。

二极管按材料来分,最常用的有硅管和锗管两种;按用途来分,有普通二极管、整流二极管和稳压二极管等多种;按结构来分,有点接触型、面接触型和硅平面型几种,如图 1-19(b)所示。点接触型二极管(一般为锗管)的特点是结面积小,因此结电容小,允许通过的电流也小,适用于高频电路的检波或小电流的整流,也可用作数字电路里的开关元件;面接触型二极管(一般为硅管)的特点是结面积大,结电容大,允许通过的电流较大,适用于低频整流;硅平面型二极管,结面积大的可用于大功率整流,结面积小的,适用于脉冲数字电路作开关管。二极管在电路中的文字符号为“VD”,常用二极管外形如图 1-19(c)所示。

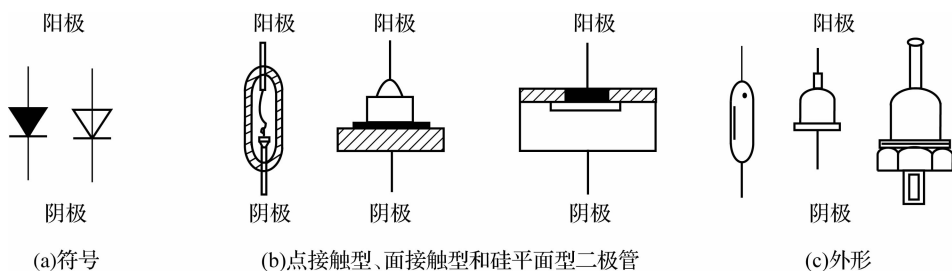


图 1-19 常用二极管的符号、结构和外形

2. 二极管的伏安特性

1) 正向特性

二极管外加正向电压很低时,正向电流几乎为零。当正向电压超过一定数值时,才有明显的正向电流,这个电压值称为死区电压,通常硅管的死区电压约为 0.5 V,锗管的死区电压约为 0.2 V。当正向电压大于死区电压后,正向电流迅速增长,曲线接近上升直线,在伏安特性的这一部分,当电流迅速增加时,二极管的正向压降变化很小,硅管正向压降约为 0.6~0.7 V,锗管的正向压降约为 0.2~0.3 V。

二极管的伏安特性对温度很敏感,温度升高时,正向特性曲线向左移,这说明,对应同样大小的正向电流,正向压降随温升而减小。研究表明,温度每升高 10 ℃,二极管正向压降减小 2 mV。

2) 反向特性

二极管加上反向电压时,形成很小的反向电流,且在一定温度下它的数量基本维持不

变,因此,当反向电压在一定范围内增大时,反向电流的大小基本恒定,而与反向电压大小无关,故称为反向饱和电流。一般小功率锗管的反向电流可达几十微安,而小功率硅管的反向电流要小得多,一般在 $0.1 \mu\text{A}$ 以下。当温度升高时,少数载流子数目增加,使反向电流增大,特性曲线下移。在实际应用中,该电流越小越好。

当二极管的外加反向电压大于一定数值(反向击穿电压)时,反向电流突然急剧增加称为二极管反向击穿。反向击穿电压一般在几十伏以上。二极管的伏安特性如图 1-20 所示。

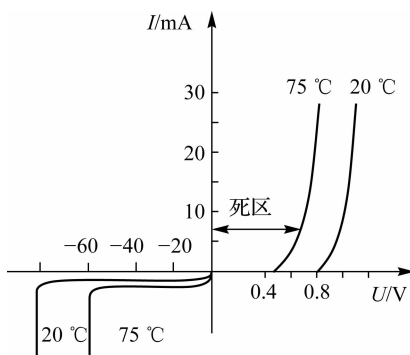


图 1-20 二极管的伏安特性

3. 二极管的主要参数

(1)最大整流电流 I_{DM} 。最大整流电流是指二极管长期工作时,允许通过的最大的正向平均电流。

(2)最大反向电压 V_{RM} 。最大反向电压是指二极管正常工作时,保证二极管不被击穿所允许的最大反向电压,通常是反向击穿电压的一半左右。

(3)反向峰值电流 I_{RM} 。反向峰值电流是指在室温下,二极管加最大反向电压 V_{RM} 时的反向电流值, I_{RM} 越小,二极管的单向导电性越好。硅管的反向电流较小,一般在几微安以下,锗管的反向电流较大,为硅管的几十到几百倍。

(4)最高工作频率 f_{m} 。二极管在外加高频交流电压时,由于 PN 结的电容效应,单向导电作用退化。 f_{m} 是指二极管单向导电作用开始明显退化的交流信号的频率。

(六)三极管

1. 三极管的基本结构和类型

半导体三极管称为晶体三极管,又称为双极型晶体管(Bipolar Junction Transistor, BJT)。BJT 是由两个 PN 结组成的。晶体管的几种常见外形如图 1-21 所示。

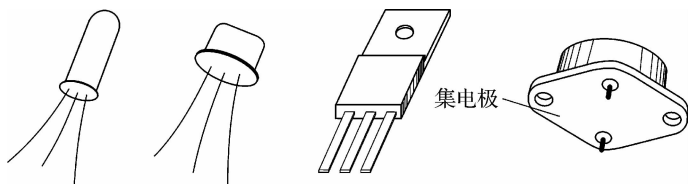


图 1-21 晶体管的几种常见外形

三极管按功率大小可分为大功率管和小功率管,按电路中的工作频率可分为高频管 and 低频管,按半导体材料不同可分为硅管和锗管,按结构不同可分为 NPN 型管和 PNP 型管。

无论是 NPN 型还是 PNP 型三极管都分为三个区,分别称为发射区、基区和集电区,由三个区各引出一个电极,分别称为发射极(E)、基极(B)和集电极(C),发射区和基区之间的 PN 结称为发射结,集电区和基区之间的 PN 结称为集电结。三极管结构图及电路符号如图 1-22 所示。

三极管在制造工艺上有如下三个特点:一是发射区掺杂浓度大于集电区掺杂浓度,集电区掺杂浓度远大于基区掺杂浓度;二是基区很薄,一般只有几微米;三是集电区的截面积大,

使得发射区与集电区不可互换。正是这三个特点使三极管具有电流控制和放大的作用。

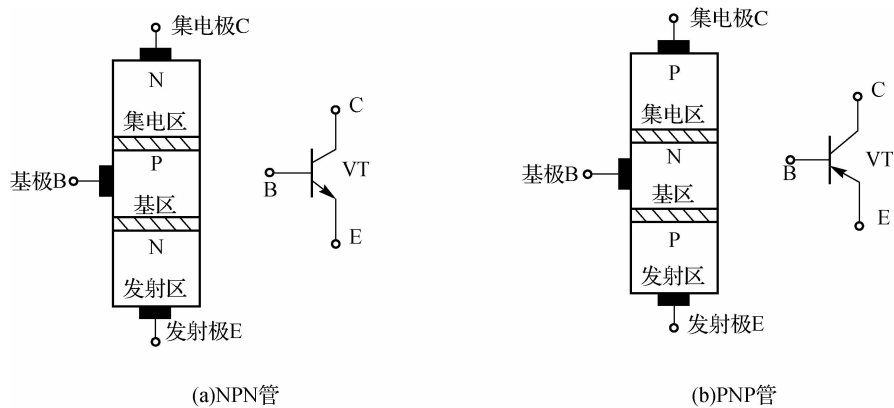


图 1-22 三极管结构图及电路符号

2. 国产二极管、三极管型号的命名方法

国产二极管、三极管型号的命名方法见表 1-8。

表 1-8 国产二极管、三极管型号的命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用阿拉伯数字表示半导体器件的电极数目		用汉语拼音字母表示半导体器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示半导体器件的类别		用阿拉伯数字表示序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	—	—
2	二极管	A	N 型锗材料	P	小信号管(普通管)	—	—
		B	P 型锗材料	V	混频检波管		
		C	N 型硅材料	W	电压调整管和电压基准管		
		D	P 型硅材料	C	变容管		
3	三极管	A	PNP 型锗材料	Z	整流管		
		B	NPN 型锗材料	L	整流堆		
		C	PNP 型硅材料	S	隧道管		
		D	NPN 型硅材料	K	开关管		
		E	化合物材料	U	光电管		
		—	—	X	低频小功率管		
		—	—	G	高频小功率管		
		—	—	D	低频大功率管		
		—	—	A	高频大功率管		
		—	—	T	晶体闸流管		

例如,“2AP9”为 N 型锗材料二极管,“3DG100C”为 NPN 型高频小功率三极管。

二、查找电路元件参数的方法

以往查找电路元件参数的常用查询方式是借助于书籍文献,如《半导体元件手册》《电工手册》等。其优点是资料翔实、清晰,查阅方便,查找常用元件参数简便快捷;缺点是资料更新不够,新元件的数据较少。

由于互联网技术的普及,现在查找电路元件参数的方法更多,可以借助网络的方式,这里又分两种方法:一种方法是可以到生产电路元件的厂商网站查询,特点是资料翔实、准确,不便之处是大多数资料以英文来进行解释;另一种方法是到国内的相关电子网站查询,特点是中文资料说明,网站众多,查询方便,不足之处是有些资料不尽准确,需要多方核对。

以下是国内常用的电路元件查询网站。
中国电子技术论坛:<http://bbs.elecfans.com/>
21IC 中国电子网:<http://www.21ic.com/>
海威数据网:<http://www.highwaydata.com.cn/>

任务实施

一、材料清单

本任务的材料清单见表 1-9。

表 1-9 材料清单

任务器材	电 阻 器	电 容 器	电 位 器	二 极 管	三 极 管
数量	10 个	10 个	5 个	10 个	10 个

二、内容与步骤

1. 电阻器的识别

根据提供的固定电阻器进行型号的识别,并将结果填入表 1-10。

表 1-10 固定电阻器型号的识别

标注方法	型 号	标称值或色环读数阻值	备 注
直标法			
色环法			

2. 电容器的识别

根据提供的电容器进行型号的识别,并将结果填入表 1-11。

表 1-11 电容器型号的识别

电容器的类别与型号	标称容量	耐压值	允许误差

3. 电位器的识别

根据提供的电位器进行型号的识别,并将结果填入表 1-12。

表 1-12 电位器型号的识别

电位器型号	阻值变化范围	额定功率等其他参数
X 型		
Z 型		
D 型		

4. 二极管的识别

根据提供的二极管进行型号的识别,然后查找该二极管的参数,并将结果填入表 1-13。

表 1-13 二极管型号的识别

型 号	最大整流电流	反向工作峰值电压	反向峰值电流	最高工作频率	备 注

5. 三极管的识别

根据提供的三极管进行型号的识别,然后查找该三极管的参数,并将结果填入表 1-14。

表 1-14 三极管型号的识别

三极管型号	NPN/PNP 判断	放大倍数	功 耗	工作频率

三、注意事项

- (1) 电气元件型号识别前,先充分了解该元件的命名方法。
- (2) 学会通过网络查询的方式,查找电气元件的参数。

任务考核

班 级		姓 名		组 号		扣分记录	得 分
项 目	配 分	考核要求		评分细则			
电阻器的识别	20 分	能正确进行电阻的识别		(1)不能掌握直标法,扣 5 分; (2)不能掌握色环法,扣 5 分; (3)识别错误,每次扣 5 分			
电容器的识别	20 分	能正确进行电容器的识别		(1)判断不出标称容量,扣 5 分; (2)判断不出耐压值,扣 5 分; (3)判断不出允许误差,扣 5 分			
电位器的识别	10 分	能正确进行电位器的识别		(1)判断不出阻值变化范围,扣 5 分; (2)判断不出额定功率,扣 5 分			
二极管的识别	20 分	能正确进行二极管的识别		(1)不知道二极管型号的含义,扣 10 分; (2)识别错误,每次扣 5 分			
三极管的识别	20 分	能正确进行三极管的识别		(1)不知道三极管型号的含义,扣 10 分; (2)识别错误,每次扣 5 分			
安全文明操作	10 分	(1)安全用电,无人为损坏仪器、元件和设备的现象; (2)保持环境整洁、秩序井然,操作习惯良好; (3)小组成员协作和谐,态度正确; (4)不迟到、不早退、不旷课		(1)违反操作规程,每次扣 5 分; (2)工作场地不整洁,扣 5 分			
总 分							

思考与练习

一、判断题

1. P 型半导体中的多数载流子是电子。 ()
2. PN 结具有单向导电性,其导通方向为 N 区指向 P 区。 ()
3. 二极管反向击穿就说明管子已经损坏。 ()

4. 小电流硅二极管的死区电压约为 0.5 V , 正向压降约为 0.7 V 。 ()

5. 发光二极管发光时处于正向导通状态, 光敏二极管工作时应加上反向电压。 ()

二、填空题

1. 半导体中的载流子有_____和_____。

2. 晶体三极管内部的 PN 结有_____个。

3. 晶体管型号“2CZ50”表示_____。

4. PN 结的反向漏电流是由_____产生的。

三、简答题

1. 正确说明电阻器和电容器的色环标注法的含义。

2. 举例说明二极管和三极管的型号含义。

3. 说明基本电气元件在电路中的作用。

任务二

万用表及其使用方法

在日常工作中,经常需要对电路中所用的电气元件进行检测,以判断其质量的好坏,或测量其技术参数。万用表是电类从业人员必须掌握使用的重要仪表,因其功能较为齐全,便于携带操作,是电气参数检测的重要工具,经常用来对常用电气元件进行简单的测试。

一、万用表的基本知识

万用表是一种多功能、多量程的测量仪表。一般万用表可以测量直流电压、直流电流、交流电压、电阻和音频电平电气参数。档次稍高的万用表还可测量交流电流、电容量、电感量及晶体管共发射极直流电流放大系数等。随着数字技术的发展,数字万用表已大量应用于电工、电子行业的测量。下面主要讨论在教学实验、实习和生产中应用广泛的 MF47 型指针式万用表的结构原理和使用方法,然后介绍 DT-890B⁺ 型数字万用表的使用方法。

(一)MF47 型指针式万用表

MF47 型万用表体积小、重量轻、便于携带、设计制造精密、测量精确度高、价格偏低且使用寿命长,所以受到使用者的普遍欢迎。

1. 基本结构

MF47 型万用表的基本结构分为面板、表头与表盘、测量线路及转换开关等四个部分。

1) 面板结构

MF47 型万用表面板结构如图 1-23 所示。面板上部是表头指针、表盘。表盘下方正中是机械调零旋钮。表盘下方是转换开关、零欧姆调整旋钮和各种功能的插孔。转换开关大旋钮位于面板下部正中,周围标有该万用表测量功能及其量程。转换开关左上角是测 PNP 和 NPN 型三极管插孔;左下角标有“+”和“-”者分别为红、黑表笔插孔。大旋钮右上角为零欧姆调整旋钮,它的右下角从上到下分别是 $2\ 500\text{ V}$ 交流、直流电压和 5 A 直流电流测量专用红表笔插孔。



动画
指针式万用表

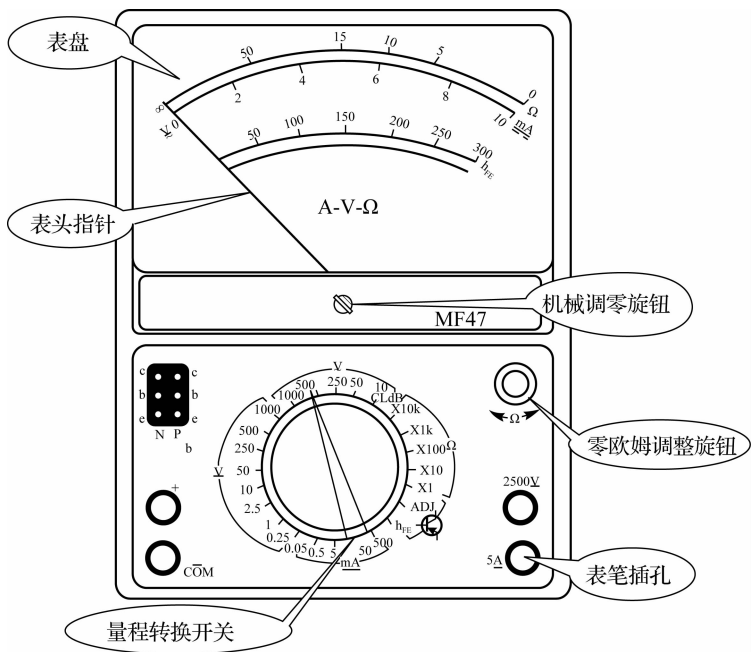


图 1-23 MF47 型万用表面板结构图

2)表头与表盘

(1)表头。表头是一只高灵敏度的磁电式直流电流表,有“万用表心脏”之称。万用表主要性能指标基本上取决于表头性能。表头性能参数较多,这里只介绍最常用的灵敏度和内阻。表头灵敏度指表头指针满刻度偏转时,流过表头线圈的直流电流值。这个值越小,灵敏度越高。大多数万用表表头灵敏度在数十至数百微安之间,高档万用表可达到几微安。表头内阻指表头线圈的直流电阻。这个阻值越高,内阻越大。大多数万用表表头内阻在数百欧至二十千欧之间。表头灵敏度越高,内阻越大,万用表性能就越好。

(2)表盘。表盘除了有与各种测量项目相对应的六条标度尺外,还附有各种符号。正确认识读标度尺和理解表盘符号、字母、数字的含义,是使用和维修万用表的基础。表盘标度尺通常有以下特点:有的标度尺刻度是均匀的,如直流电压、直流电流和交流电压共用标度尺;有的刻度是不均匀的,如电阻、晶体管共发射极直流电流放大系数 h_{FE} 、电感、电容及音频电平标尺等。表盘形状如图 1-24 所示,有关符号说明见表 1-15。

表 1-15 MF47 型万用表表盘上的符号说明

符号、字母、数字	意 义
MF47	M—仪表,F—多用式,47—型号
== 2.5~5.0	测量直流电压、直流电流时精确度是标尺满刻度偏转的 2.5% 测量交流电压时精确度是标尺满刻度偏转的 5%
	水平放置
	磁电系整流式仪表

续表

符号、字母、数字	意 义
	绝缘强度试压 6 kV
苏 01000121-1	江苏省仪表生产批准文号
20 k Ω /—V	测量直流电压时输入电阻为每伏 20 k Ω ,相应灵敏度为 1 V/20 k Ω =50 μ A
4 k Ω /~V	测量交流电压时输入电阻为每伏 4 k Ω ,相应灵敏度为 1 V/4 k Ω =250 μ A

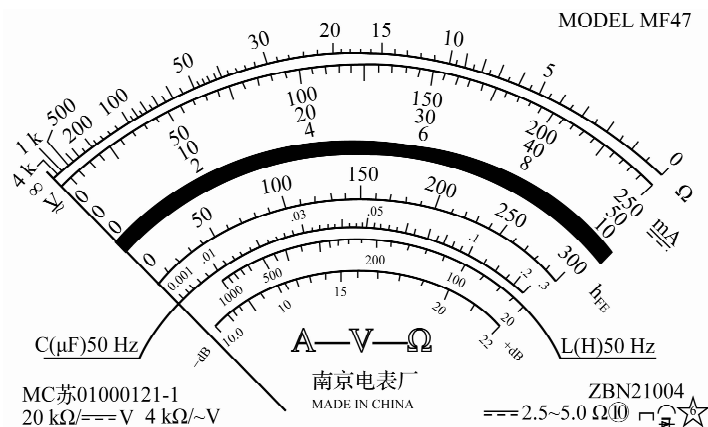


图 1-24 MF47 型万用表的表盘示意图

3) 转换开关

万用表转换开关由多个固定触点和活动触点构成。当活动触点与某一个、两个或三个固定触点接触时,就可接通它们所控制的测量线路,完成一定的测量功能。活动触点称为“刀”,固定触点称为“位”,所以万用表转换开关由多刀和多位组成。

图 1-25 所示是 MF47 型万用表转换开关结构图。该转换开关为单层 3 刀 24 位结构。即外围有 24 个固定触点,图中已标出了它们各自的测量项目和量程。转换开关转轴上装有一块弹性簧片,其上有三个活动触点,就是所谓的“刀”,图中分别用三个字母表示。测量时,活动触点总是紧压在固定触点上以保证接触良好。

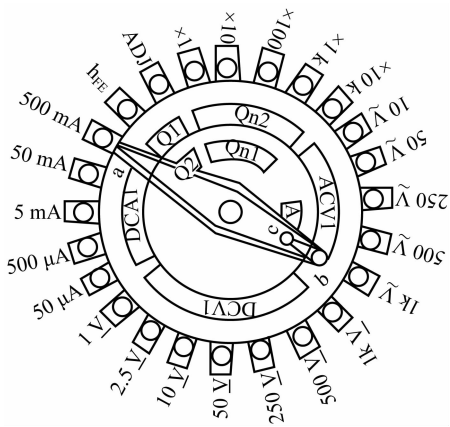


图 1-25 MF47 型万用表转换开关结构图

2. MF47 型万用表标度尺的读法

MF47 型万用表有六条标度尺,它们分别代表了各自的测量项目。其上又用不同的数字及单位标出了相应项目的不同量程。在均匀标度尺上读取数据时,如遇到指针停留在两条刻度线之间的某个位置,应将两刻度线之间的距离等分后再估读一个数据。在欧姆标度尺上只有一组数字,为测量电阻专用。转换开关选择“R×1”挡时,应在标度尺上

直接读取数据。在选择其他挡位时,应乘以相应倍率。例如,选择“ $R \times 1k$ ”挡时,就要对已读取的数据乘以 1 000。这里要指出的是,欧姆标度尺的刻度是不均匀的,当指针停留在两条刻度线之间的某位置时,估读数据要根据左边和右边刻度缩小和扩大的趋势进行,尽量减小读数误差。

3. 万用表的基本使用方法

下面主要介绍用万用表测量交直流电压、直流电流、电阻等的使用方法。

1) 使用前的检查与调整

在使用万用表进行测量前,应进行下列检查和调整。

(1)外观应完好无损,当轻轻摇晃时,指针应摆动自如。

(2)旋动转换开关应切换灵活无卡阻,挡位应准确。

(3)水平放置万用表,转动表盘指针下面的机械调零螺母,使指针对准标度尺左边的 0 位线。

(4)测量电阻前应进行电调零(每换挡一次,都应重新进行电调零),即将转换开关置于欧姆挡的适当位置,两支表笔短接,旋动欧姆调零旋钮,使指针对准欧姆标度尺右边的 0 位线。如指针始终不能指向 0 位线,则应更换电池。

(5)检查表笔插接是否正确。黑表笔应接“—”极或“ $\ast$ ”插孔,红表笔应接“+”极。

(6)检查测量机构是否有效,即用欧姆挡短时碰触两表笔,指针应偏转灵敏。

2) 交流电压的测量方法与注意事项

(1)测量前,必须将转换开关拨到对应的交流电压量程挡。如果误用直流电压挡,表头指针会不动或略微抖动;如果误用直流电流挡或电阻挡,轻则打弯指针,重则烧坏表头。

(2)测量时,将表笔并联在被测电路或被测元器件两侧。

(3)严禁在测量中拨动转换开关选择量程,在测量较高电压时更是如此,这样可以避免电弧烧坏转换开关触点。

(4)测电压时,要养成单手操作习惯,特别是测量较高的电压时,用高压测试棒更应如此,即预先把一支表笔固定在被测电路公共接地端(若表笔带鳄鱼夹则更方便),单手拿另一支表笔进行测量。测量过程中必须精力集中。

(5)表盘上交流电压标度尺是按正弦交流电的有效值来刻度的。如果被测电量不是正弦量(如锯齿波、方波等)时,误差会很大,这时的测量数据只能作参考。

(6)表盘上大多数都标明了使用频率范围,一般为 $45 \sim 1\,000\text{ Hz}$,如果被测交流电压频率超过了这个范围,测量误差仍会增大,这时的数据也只能作参考。

(7)测交流电压时,旋转开关至“V”的位置并选择适当的电压量程。

(8)选择量程从大到小。

(9)将两表笔分别接到被测电路的两端(红黑表笔不分正、负),测量时使指针指示在表盘的 $1/2 \sim 2/3$ 的地方。

(10)读数:交流电压值 $= V / \text{每格} \times \text{格数}$ 。

3) 直流电压的测量方法与注意事项

直流电压的测量方法和注意事项与测量交流电压基本相同,需要注意的是不同之处。

(1)仍然要注意正确地选择测量项目,如果误选了交流电压挡,读数可能会偏高,也可能

为零(与万用表接法有关);如果误选了电流挡或电阻挡,仍然会造成打弯指针或烧毁表头的后果。

(2)测量前,必须注意表笔的正、负极性,将红表笔接被测电路或元器件的高电位端,黑表笔接被测电路或元器件的低电位端。若表笔接反了,表头指针会反方向偏转,容易打弯指针。

(3)读数:电压值= $V(\text{mV})/\text{每格} \times \text{格数}$ 。

电压测量的注意事项如下。

(1)测量电压时,表笔应与被测电路并联。

(2)测量直流电压时,应注意极性。若无法区分正、负极,则先将量程选在较高挡位,用表笔轻触电路,若指针反偏,则调换表笔。

(3)合理选择量程。若被测电压无法估计,应先选择最大量程,视指针偏摆情况再作调整。

(4)测量时应与带电体保持安全间距,手不得触至表笔的金属部分。测量高电压时($500 \sim 2\,500\text{ V}$),应戴绝缘手套且站在绝缘垫上使用高压测试笔进行。

4)直流电流的测量方法与注意事项

(1)万用表必须串联到被测电路中,必须先断开电路再串入万用表。如果将置于电流挡的万用表误与负载并联,因它的内阻很小,会造成短路,导致电路和仪表被烧毁。

(2)必须注意表笔的正、负极性,即红表笔接电路断口高电位端,黑表笔接低电位端。

(3)测量前,将转换开关拨到直流电流挡的适当量程,严禁在测量过程中拨动转换开关选择量程,以免损坏转换开关的触点,同时也可避免误拨到小量程挡而撞弯指针或烧毁表头。

(4)使指针指示在表盘的 $1/2 \sim 2/3$ 的地方。

(5)读数:电流值= $\text{mA}/\text{每格} \times \text{格数}$ 。

(6)测量较大电流时,应先断开电源然后再撤表笔。

5)电阻的测量方法与注意事项

(1)测电阻时,直接将表笔跨接在被测电阻或电路的两端。

(2)严禁在被测电路带电的情况下测量电阻(特别严禁用万用表直接测电池内阻)。因为这相当于将被测电阻两端电压引入万用表内部测量线路,导致测量误差,如果引入的电压或电流过大,还会损坏表头,所以在测量前必须切断电源。如果被测电路中有大容量电解电容器,应先将该电容器正、负极短接放电,避免积存在其中的电荷通过万用表泄放,导致表头损坏。

(3)测量前或每次更换倍率挡时,都应重新调整欧姆零点。即将两表笔短路,并同时转动零欧姆调整旋钮,使表头指针准确停留在欧姆标度尺的零点上。如果表头指针不能指到欧姆零点,说明表内电池电压太低,已不符合要求,应该更换。若连续使用“ $R \times 1$ ”挡的时间较长(尤其是使用 1.5 V 五号电池的万用表),也应重新校正欧姆零点。这是因为五号电池容量小,工作时间稍长,输出电压下降,内阻升高,会造成欧姆零点移动。

(4)测量电阻时,应选择适当的倍率挡,使指针尽可能接近标度尺的几何中心,这样可提高测量数据的准确性。由于电阻标度尺的刻度是不均匀的,愈往左端阻值的刻度愈密,读数

误差就愈大,故应尽量避免选择使指针停在标度尺左端的倍率挡。

(5)测量中,不允许用手同时触及被测电阻两端,以避免并联上人体电阻使读数减小,造成测量误差。

(6)电阻读数:电阻值=指针读数 $\times$ 倍率。

4. 指针式万用表的选择和使用注意事项

通常应根据所要求测量的项目和精确度,以及经济许可来选择万用表。在经济许可的条件下,应根据以下原则选择:灵敏度高(灵敏度高的万用表,使用时测量误差小);电压、电流挡的基本误差小;表头的倾斜误差小(倾斜误差的检查是把万用表竖直放置和向左右侧倾斜放置时,表头指针偏离零点位置应不超过标度尺弧长的 $\pm 1\%$,这种偏离越小越好);测量的项目多、量程范围大;表盘大;转换开关质量良好;有过载保护等。

万用表的使用十分频繁,往往因使用不当或疏忽大意造成测量错误或事故。因此,必须学会使用万用表,并养成正确操作的习惯。对万用表的使用,一般应注意以下几点。

(1)使用前,认真阅读说明书,充分了解万用表的性能,正确理解表盘上各种符号和字母的含义及各条标度尺的读法,了解和熟悉转换开关等部件的作用和用法。

(2)使用前,观察表头指针是否处于零位(电压、电流标度尺的零点),若不在零位,则应调整表头下方的机械调零旋钮,使其指零。否则,测量结果将不准确。

(3)测量前,要根据被测电量的项目和大小,把转换开关拨到合适的位置。量程的选择应尽量使表头指针偏转到刻度尺满刻度偏转的左右。如果事先无法估计被测量的大小,可在测量中从最大量程挡逐渐减小到合适的挡位。每当拿起表笔准备测量时,一定要再核对一下测量项目,检查量程是否拨对、拨准。

(4)测量时,要根据选好的测量项目和量程挡,明确应在哪一条标度尺上读数,并应清楚标度尺上一个格代表多大数值,读数时眼睛应位于指针正上方。对有弧形反射镜的表盘,当看到指针与镜中像重合时,读数最准确。一般情况下,除了应读出整数值外,还要根据指针的位置再估读一位小数。测量过程中不得换挡。

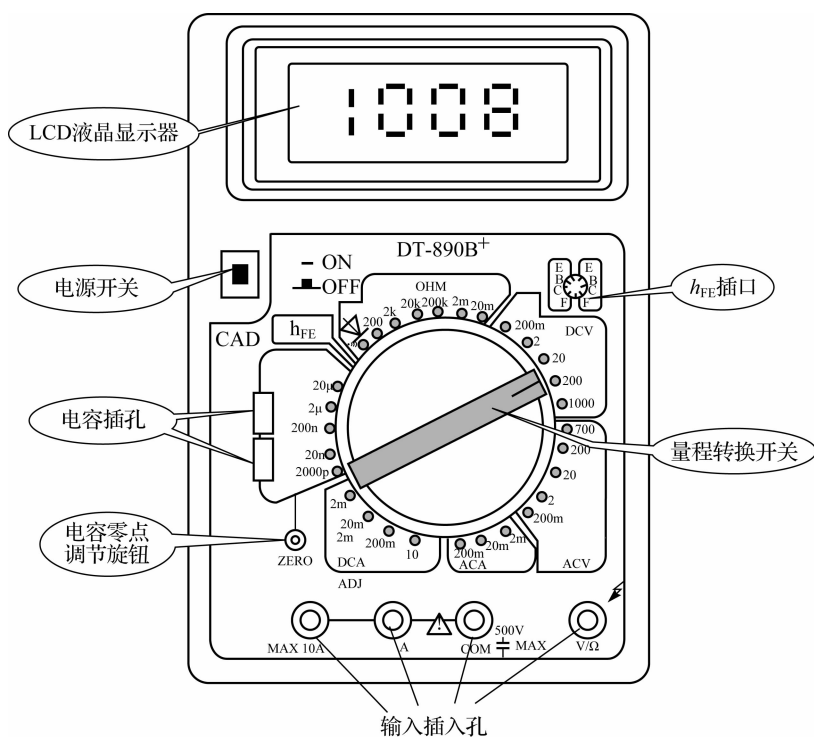
(5)测量完毕应将转换开关置空挡或 OFF 挡或电压最高挡。若长时间不用,应取出内部电池。

(二)DT-890B⁺型数字万用表

DT-890B⁺型数字万用表是性能稳定、可靠性高且具有高度防震的多功能、多量程测量仪表。它可用于测量交直流电压、交直流电流、电阻、电容、二极管、三极管、音频信号频率等,其面板结构如图 1-26 所示,包括 LCD 液晶显示器、电源开关、量程转换开关、表笔插孔等。

液晶显示器最大显示值为 1 999,且具有自动显示极性的功能。若被测电压或电流的极性为负,则显示值前将带“-”号。若输入超量程时,显示屏左端出现“1”或“-1”的提示字样。

电源开关(POWER)可根据需要,分别置于“ON”(开)或“OFF”(关)状态。测量完毕,应将其置于“OFF”位置,以免空耗电池。数字万用表的电池盒位于后盖的下方,采用 9 V 叠层电池。电池盒内还装有熔断管,起过载保护作用。旋转式量程开关位于面板中央,用以选择测试功能和量程。若用表内蜂鸣器作通断检查时,量程开关应停放在标有“•”符号的位置。



动画
数字式万用表

图 1-26 DT-890B⁺ 型数字万用表面板结构图

1. 使用前的检查与注意事项

(1) 将电源开关置于“ON”状态,显示器应有数字或符号显示。若显示器出现低电压符号“”时,应立即更换内置的 9 V 电池。

(2) 表笔插孔旁的“”符号,表示测量时输入电流、电压不得超过量程规定值,否则损坏内部测量线路。

(3) 测量前旋转开关应置于所需量程。测量交、直流电压和交、直流电流时,若不知被测数值的高低,可将转换开关置于最大量程挡,在测量中按需要逐步下降。

(4) 显示器只显示“1”,表示量程选择偏小,转换开关应置于更高量程。

(5) 在高压线路上测量电流、电压时,应注意人身安全。当转换开关置于“ Ω ”、“”范围时,不得引入电压。

2. 基本使用方法

数字万用表的型号很多,但是使用方法基本相同。下面以 DT-890B⁺ 系列数字万用表为例来介绍其操作方法。

1) 测直流电压

(1) 将黑表笔插入“COM”插孔,红表笔插入“V/ Ω ”插孔。

(2) 将量程转换开关置于“DCV”范围的合适量程。

(3) 表笔与被测电路并联,红表笔接被测电路高电位端,黑表笔接被测电路低电位端,由屏幕直接将测量数据读出。

注意:该仪表不得用于测量高于 1 000 V 的直流电压。

2) 测交流电压

(1) 表笔插法同直流电压的测量。

(2) 将量程转换开关置于“ACV”范围的合适量程。

(3) 测量时表笔与被测电路并联,且红、黑表笔不分极性,由屏幕直接将测量数据读出。

注意:该仪表不得用于测量高于 700 V 的交流电压。

3) 测直流电流

(1) 将黑表笔插入“COM”插孔,测量最大值不超过 200 mA 电流时,红表笔插“mA”插孔;测 200 mA~20 A 范围电流时,红表笔应插“A”插孔。

(2) 将量程转换开关置于“DCA”范围的合适量程。

(3) 将该仪表串入被测线路且红表笔接高电位端,黑表笔接低电位端。

注意:如果量程选择不对,过量程电流会烧坏保险丝,应及时更换。

4) 测交流电流

(1) 表笔插法同直流电流的测量。

(2) 将转换开关置于“ACA”范围的合适量程。

(3) 将仪表串入被测量线路,且红、黑表笔不分极性。

5) 测电阻

(1) 将黑表笔插入“COM”插孔,红表笔插入“V/ Ω ”插孔(红表笔极性为“+”)。

(2) 将转换开关置于“OHM”范围的合适量程。

(3) 仪表表笔与被测电阻并联。

(4) 所测电阻的值直接按所选量程及单位读数。

(5) 测量阻值大于 1 M Ω 的电阻时,要几秒钟后方能稳定,这属于正常现象。

(6) 表笔开路状态,显示为“1”。

(7) 测量接在电路中的电阻时,须断开电阻的一端或断开与被测电阻相并联的所有电路,还必须断开电源。

6) 测电容

(1) 将转换开关置于“F”范围的合适量程。

(2) 将待测电容两脚插入电容插孔(不用表笔)即可读数。

(3) 在电容插入前,每次转换量程时需要时间,有漂移数字存在不影响测量精度。

(4) 测量大容量电容时,需要一定的时间方能使读数稳定,这属于正常现象。

(5) 不需考虑电容器的极性。

7) 测二极管电阻

(1) 将黑表笔插入“COM”插孔,红表笔插入“V/ Ω ”插孔(红表笔极性为“+”)。

(2) 将量程转换开关置于“ $\rightarrow$ ”位置。

(3) 红表笔接二极管正极,黑表笔接其负极即可测二极管正向导通时的电阻近似值。

8) 测三极管放大倍数

(1) 将量程转换开关置于“ h_{FE} ”位置。

(2) 将已知 PNP 型或 NPN 型晶体管的三只引出脚分别插入仪表面板右上方的对应插

孔,显示器将显示出 h_{FE} 的近似值。

9) 注意事项

- (1) 当显示屏出现“LOBAT”或“←”时,表明电池电压不足,应更换。
- (2) 若测量电流时,没有读数,应检查熔丝是否熔断。
- (3) 测量完毕,应关上电源;若长期不用,应将电池取出。
- (4) 万用表不宜在日光及高温、高湿环境下使用与存放(工作温度为 $0\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度为 80%),使用时应轻拿轻放。

二、使用万用表测试常用电路元件

(一) 电阻器与电位器的测试

测量电阻器与电位器一般使用万用表的欧姆挡,具体测量方法如下。

(1) 选择欧姆挡的量程。应根据被测电阻器的标称值选择合适的量程挡,应使被测电阻器或电位器的电阻值靠近万用表表盘刻度的中心位置。

(2) 万用表电阻挡调零。

(3) 观察电阻器引线有无折断及外壳烧焦现象。测量时直接将万用表的红、黑两表笔跨接在被测电阻器或电位器的两端,在测量过程中不要用手同时触及被测电阻器与电位器的两端,以避免因与人体电阻并联而造成的测量误差。若任何挡位测量均为无穷大,表明电阻器开路,已损坏。若与标称值相差很大,则表明电阻器变质。

(4) 用万用表的欧姆挡测量电位器的中间滑动端与两固定端间的电阻时,可缓慢转动电位器的转轴,万用表的指针应平稳连续移动,不应出现停顿或跳动现象,即电位器的中间滑动端与两固定端间的电阻应是连续变化的,而不是突跳。

测量带开关的电位器时,用万用表的“ $R\times 1$ ”挡测量“开”时,指针读数应为零;用万用表的“ $R\times 1k$ ”挡测量“关”时,指针应不动,读数应为无穷大“ ∞ ”。

(二) 电容器的测试

电容器是电路中使用数量较多的一种元件,其故障发生率要比电阻器高,而且检测要比电阻器麻烦,在没有专用仪器的情况下,一般用万用表来估计电容器的容量或判断电容器的好坏。下面介绍使用万用表对电容器的简易测试。

1. 极性电容器(如电解电容器)的测试

1) 极性电容器漏电电阻的测试

一般将万用表量程选择在“ $R\times 1k$ ”或“ $R\times 100$ ”挡。用万用表的黑表笔“—”(万用表内电池的负极)接极性电容器的正极“+”,用万用表的红表笔“+”(万用表内电池的负极)接极性电容器的负极“—”。此时,万用表的指针首先迅速向右偏转,然后逐渐向左回转直到稳定位置,这时万用表的指针所指示的读数即为极性电容器漏电电阻的阻值。测试时,如果万用表的指针靠近“0”欧姆,表示被测极性电容器短路;如果万用表的指针毫无反应,始终指向“ ∞ ”处,表示被测极性电容器内部断路或失效。漏电电阻值越大,电容器的绝缘性能越好。

2) 极性电容器极性的测试

使用极性电容器时,正、负极性不能接错。当极性电容器的“+”“—”极性标记无法辨认



动画

用万用表测量
普通色环电阻



动画

用万用表测量
电路中的电阻



动画

用万用表判断
极性电容器的
极性

时,可根据极性电容器正向连接时漏电阻大、反向连接时漏电阻小的特点来判断其极性。测试方法如图 1-27 所示。将万用表的红、黑表笔分别与极性电容器的两端相接,测量此时漏电阻值,然后将万用表的红、黑表笔交换后再次与极性电容器的两端相接,测量这时漏电阻值。两次测量中漏电阻值大的一次,与万用表的黑表笔连接的一端即为极性电容器的正极“+”,另一端即为极性电容器的负极“-”。

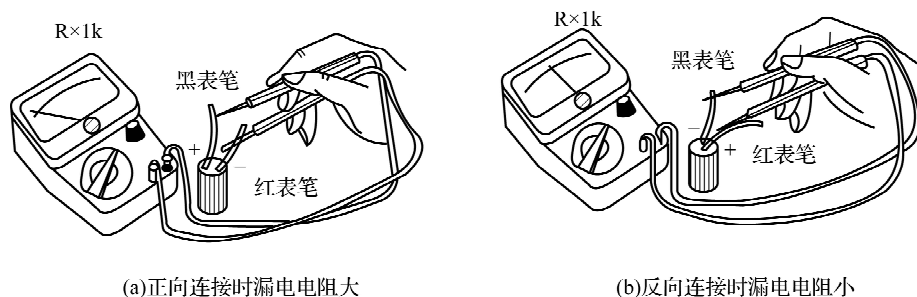


图 1-27 用万用表判断极性电容器极性的测试方法

2. 非极性电容器容量的测试

对 5 000 pF 以上的非极性电容器,可用万用表判断它有无容量,并粗略估计其容量的大小。将万用表量程选择在“ $R \times 10k$ ”挡,将万用表的红、黑表笔接电容器的两端,万用表的指针首先向右偏转跳动一下,然后逐渐向左回转退回“ ∞ ”处;将万用表的红、黑表笔交换后再测,此时万用表的指针会再次向右偏转跳动,且跳动幅度更大,而后又逐渐复原,这表示该电容器有容量。容量越大,指针跳动幅度越大,指针复原速度就越慢。根据指针跳动幅度可粗略估计该电容器容量的大小。

3. 可变电容器漏电、碰片的检测

可变电容器漏电、碰片可用万用表的“ Ω ”挡来检查。将万用表的两支表笔分别与可变电容器的定片和动片引出端相连,同时将电容器来回旋转几下,表针均应在“ ∞ ”位置不动。如果表针指向“0”或某一较小的数值,说明可变电容器已发生碰片或漏电严重。

(三)用万用表检测二极管

使用晶体管图示仪可以对二极管质量进行较准确的观测,但由于晶体管图示仪价格昂贵,体积笨重,挪动不方便,使用前还需要通电预热,因此在一般情况下多采用万用表来检查二极管的质量或判别正、负极。

将万用表量程选择在“ $R \times 10k$ ”挡或“ $R \times 1k$ ”挡,此时万用表的红表笔接的是表内电池的负极,黑表笔接的是表内电池的正极。因此,当黑表笔接至二极管的正极、红表笔接至二极管负极时为正向连接。具体的测量方法是将万用表的红、黑表笔分别接在二极管两端,如图 1-28(a)所示,若测得电阻比较小(几千欧以下),再将红、黑表笔对调后连接在二极管两端,如图 1-28(b)所示,而测得的电阻比较大(几百千欧),说明二极管具有单向导电性,质量良好。

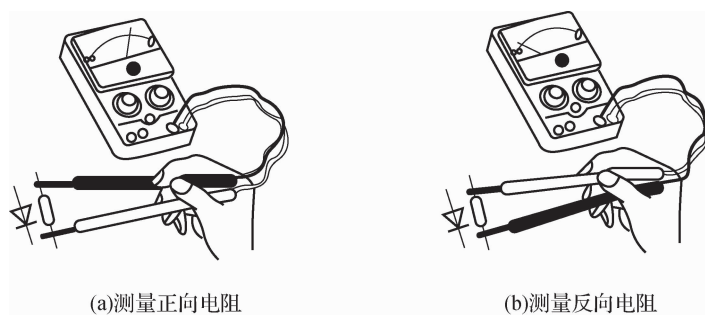


图 1-28 用万用表检测二极管的方法



动画
用万用表检测
二极管

1. 二极管好坏的判定

检测锗二极管时,万用表置“ $R \times 1k$ ”挡。

1) 正常二极管的判定

万用表黑表笔与二极管正极相连,红表笔与二极管负极相连,呈正接,电阻值应在 $3\text{ k}\Omega$ 以下;黑表笔与二极管负极相连,红表笔与正极相连,呈反接,指针应基本不动。

2) 短路二极管的判定

万用表红、黑表笔分别与二极管正、负极相连,指针趋于零点;红、黑表笔互换位置,指针仍指零点,表明二极管已短路。

3) 断路二极管的判定

万用表红、黑表笔分别与二极管负、正极相连,指针若不动或基本不动,表明二极管已断路。

检测硅二极管时,用万用表“ $R \times 10k$ ”挡进行如上操作。正常硅二极管的正向电阻值应小于 $10\text{ k}\Omega$,反向测量指针基本不动。如用“ $R \times 1k$ ”挡测量其反向电阻,指针应不动。

2. 二极管极性的判定

二极管极性标记不清时,可用万用表电阻挡来判定。将万用表置“ $R \times 1k$ ”挡,两只表笔与二极管两端相连测量电阻值;表笔对调再测量一次。其中测得电阻值较小时,为二极管正向电阻,这时黑表笔相连的二极管接线端为二极管正极,红表笔相连一端为负极。测得电阻值较大时,黑表笔所接为负极,红表笔所接为正极。

(四) 三极管的外形识别及简易测试

1. 三极管的外形识别

三极管种类很多,有不同的外形和封装形式。三极管有金属壳封装管、塑料封装管和陶瓷封装管等。三极管的发射极 E、基极 B、集电极 C 的管脚可以根据三极管的外形,以及电极位置进行判别,常用小功率三极管的外形及其电极的位置如图 1-29 所示。

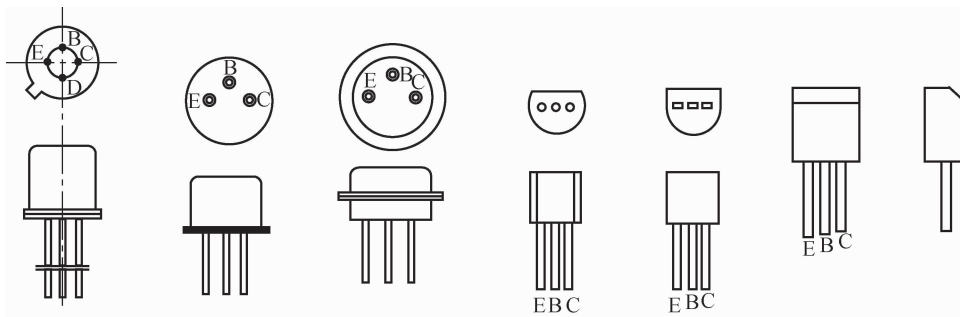


图 1-29 常用小功率三极管的外形及其电极的位置

2. 用万用表对三极管的简易测试

1) 基极和三极管类型的判别

如图 1-30 所示,使用万用表的“ $R \times 100$ ”挡或“ $R \times 1k$ ”挡,用黑表笔接三极管的任一管脚,用红表笔依次去接触另外两个管脚。如果两次测得的电阻都很小或者都很大,则与黑表笔相接三极管的那一管脚是基极。如果两次测得的电阻是一大一小,相差很多,说明黑表笔接三极管的那一管脚不是基极,应更换另一管脚重新进行测试。判断基极可能要反复几次,直到找出基极为止。

当基极确定后,用黑表笔接基极,用红表笔依次去接触另外两个电极,若两次测得的电阻都很小,则该管为 NPN 型管;若两次测得的电阻都很大,则该管为 PNP 型管。

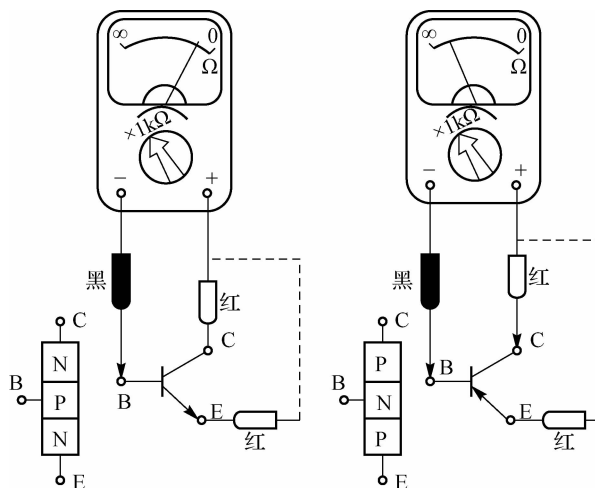


图 1-30 基极和三极管类型的判别

2) 发射极和集电极的判别

对于 NPN 型管,找出基极后,用黑表笔与假设的集电极相接,红表笔与假设的发射极相接,如图 1-31(a)所示,用手指与基极和假设的集电极一起接触但又不能使两电极相碰,利用人体电阻在基极和黑表笔所接电极之间接上一个偏置电阻,相当于如图 1-31(b)所示的等效电路,读出此时万用表上电阻值,然后将红、黑表笔调换,用同样方法再测得一个电阻值。比较两次测量结果,若第一次测量电阻值比第二次测量电阻值小,则假设的集电极正确,即与黑表笔相接的电极为集电极。若第一次测量电阻值比第二次测量电阻值大,则假设的集电极不正确,与黑表笔相接的电极不是集电极。

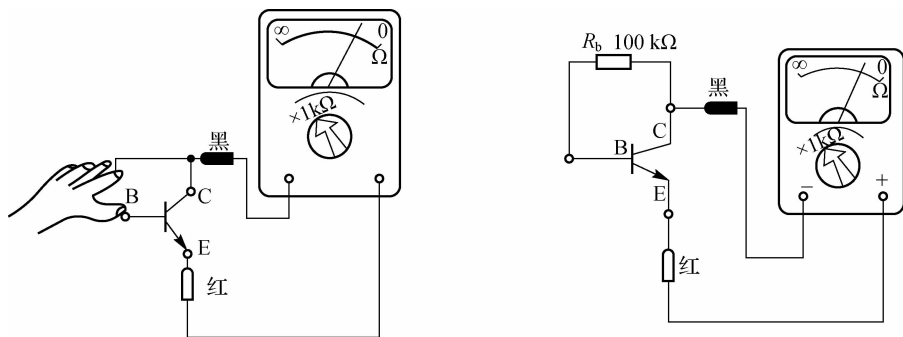


图 1-31 三极管发射极和集电极的判别

用此方法还可简易测试三极管的电流放大系数 β 的大小, β 越大, 电阻阻值就越小。

3) 测量三极管的放大倍数

用具有“ β ”或“ h_{FE} ”挡的万用表测量, 万用表置于“ h_{FE} ”挡, 将三极管管脚插入测量插座(基极插入“b”孔, 另两脚随意插入), 记下 β 读数。再将另两引脚对调后插入, 也记下 β 读数。两次测量中, 读数大的那一次引脚插入是正确的。测量时要注意 NPN 型管和 PNP 型管应插入各自相应的插孔。

4) 硅管和锗管的判别

硅管 PN 结的正向电阻阻值约为 $1 \sim 10 \text{ k}\Omega$, 反向电阻阻值大于 $500 \text{ k}\Omega$; 锗管 PN 结的正向电阻阻值约为 $500 \Omega \sim 2 \text{ k}\Omega$, 反向电阻阻值大于 $100 \text{ k}\Omega$ 。由于所用的万用表及其欧姆挡量程不同, 测量出来的数值可能也不同, 为此可用已知三极管作标准, 同被测的三极管作对比测定。

5) 三极管性能好坏的判断

三极管的管型和管脚确定后, 用万用表“ $R \times 100$ ”挡或“ $R \times 1k$ ”挡测量三极管集电极和发射极之间的电阻阻值来估计三极管的穿透电流 I_{CEO} 的大小。对于 NPN 型管, 黑表笔与集电极相接, 红表笔与发射极相接, 万用表指针越靠近左端, 电阻阻值越大, 说明三极管的穿透电流 I_{CEO} 越小, 管子性能越稳定; 对于 PNP 型管, 黑表笔与红表笔对换测量。如果测量的电阻阻值, 硅管在几百千欧以上, 锗管在几十千欧以上, 则表示被测三极管的穿透电流 I_{CEO} 不大, 可以使用; 如果测量的电阻阻值较小, 则表示被测三极管的穿透电流 I_{CEO} 过大, 管子稳定性差; 如果测量的电阻阻值接近于零, 则表示被测三极管已击穿; 如果测量的电阻阻值为无穷大, 则表示被测三极管的内部开路。以上数据是针对小功率三极管来说, 大功率三极管一般穿透电流 I_{CEO} 都较大, 即使电阻阻值是几十欧姆也不能认为被测三极管已击穿。

任务实施

一、材料清单

本任务的材料清单见表 1-16。

表 1-16 材料清单

任务器材	电阻器	电容器	电位器	二极管	三极管	万用表
数量	10 个	10 个	5 个	10 个	10 个	1 个

二、内容与步骤

1. 电阻器的测试

根据提供的固定电阻器,用万用表欧姆挡进行测量,并将结果填入表 1-17。

表 1-17 电阻器的测试

序 号	标称阻值	万用表挡位选择	测量阻值	误 差	电阻器合格与否判断
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

2. 电容器的测试

根据提供的电容器,用万用表进行测试,并将结果填入表 1-18。

表 1-18 电容器的测试

电容器的类别与型号	万用表挡位	测试分析	电容器合格与否判断

3. 电位器的测试

根据提供的电位器进行型号的识别,然后用万用表欧姆挡测量,并将结果填入表 1-19。

表 1-19 电位器的测试

电位器型号	阻值变化范围	万用表测试结果	电位器合格与否判断
X 型			
Z 型			
D 型			

4. 二极管的测试

根据提供的二极管进行型号的识别,然后用万用表进行测试,并将结果填入表 1-20。

表 1-20 二极管的测试

型 号	万用表挡位	正向特性测试	反向特性测试	测试分析	备 注

5. 三极管的测试

根据提供的三极管进行型号的识别,然后用万用表进行测试,并将结果填入表 1-21。

表 1-21 三极管的测试

型 号	万用表挡位	放大倍数	引脚排列	NPN/PNP 判断	测试分析

三、注意事项

- (1)电气元件测试前,先充分了解万用表的使用方法。
- (2)测试元件时,根据需要,注意万用表挡位的变换。

任务考核

班 级		姓 名		组 号		扣分记录	得 分
项 目	配 分	考核要求		评分细则			
电阻器的 测试	20 分	能正确进行电阻器的 测试		(1)不能掌握万用表的用法,扣 5分; (2)不能正确设置万用表挡位, 扣5分; (3)测量错误,每次扣5分			
电容器的 测试	20 分	能正确进行电容器的 测试		(1)不能掌握万用表的用法,扣 5分; (2)判断不出元件合格与否,每 次扣5分			
电位器的 测试	10 分	能正确进行电位器的 测试		(1)不能掌握万用表的用法,扣 5分; (2)测量错误,每次扣5分			

续表

班 级		姓 名		组 号		扣分记录	得 分
项 目	配 分	考核要求		评分细则			
二极管的测试	20 分	能正确进行二极管的测试		(1)不能掌握万用表的用法,扣 5 分; (2)不能分析错误,每次扣 5 分			
三极管的测试	20 分	能正确进行三极管的测试		(1)不能掌握万用表的用法,扣 5 分; (2)不能分析错误,每次扣 5 分			
安全文明操作	10 分	(1)安全用电,无人为损坏仪器、元件和设备的现象; (2)保持环境整洁、秩序井然,操作习惯良好; (3)小组成员协作和谐,态度正确; (4)不迟到、不早退、不旷课		(1)违反操作规程,每次扣 5 分; (2)工作场地不整洁,扣 5 分			
总 分							

思考与练习

一、判断题

1. 用万用表测量电阻时,读数的有效范围为中心阻值的 0.1~10 倍。 ()
2. 用万用表测量直流电压,250 V 挡的电表内阻是 50 V 挡电表内阻的 5 倍。 ()
3. 万用表电阻挡刻度是不均匀的。 ()
4. 用万用表测量晶体管时,除了“R×1”挡以外,其余各挡都可使用。 ()

二、填空题

1. 万用表欧姆挡的红表笔与_____相连。
2. 使用万用表时要注意,测量电阻时,转换挡位后必须进行_____。
3. 万用表测量完毕应将转换开关置_____或_____。若长时间不用,应取出内部_____。
4. 用万用表测量二极管时,当黑表笔接至二极管的_____,红表笔接至二极管_____时为正向连接。

三、简答题

1. 简述用万用表测量电阻的操作步骤。
2. 如何判别二极管的极性与性能?

项目二

直流电路的认识

知识目标

- ▶ 了解电路的组成及各部分的作用；
- ▶ 了解电路中的基本物理量，并掌握其计算方法；
- ▶ 了解电压和电流的方向，并掌握其测量方法；
- ▶ 能用欧姆定律来分析和计算简单电路，掌握电阻串、并联及混联电路的分析方法；
- ▶ 掌握基尔霍夫定律、戴维南定律和叠加原理，并掌握复杂电路的分析方法。

技能目标

- ▶ 掌握测量电路基本参数的方法；
- ▶ 掌握电压表、电流表的使用方法；
- ▶ 能用仿真的方式验证基尔霍夫定律、戴维南定理及叠加原理。

项目分析

直流电路是实际应用电路的基础，通过直流电路知识的学习，掌握电路分析的基本方法、原理，进而能应用到解决实际电路的问题中。电路仿真软件的出现，极大地提高了电路的设计和故障的分析等解决实际电路问题的效率，同时，仿真软件的使用也是一种很有效的学习电路知识的方法。

任务一

电路及电路中的主要物理量

在日常生产生活中，广泛应用着各种电路，它们是将实际器件按一定方式连接起来形成的电流通路。实际电路的种类很多，不同用途的电路，其形式和结构也各不相同。由于实际元件构成的实际电路分析起来不方便，为了更好地分析、研究电路，人们创造了由电路模型

构成的电路图,同时也摸索出了很多分析电路的方法和规律。

一、电路与电路模型



动画
电路的组成

1. 电路及电路组成

电路是为实现和完成人们的某种需求,由电源、导线、开关及负载等电气设备或元器件组合起来,能使电流流通的整体,简单地说,就是电流的通路。电路的主要作用有两方面:一是能实现电能的传输、分配和转换,如图 2-1 所示;二是能实现信号的传递和处理,如图 2-2 所示。

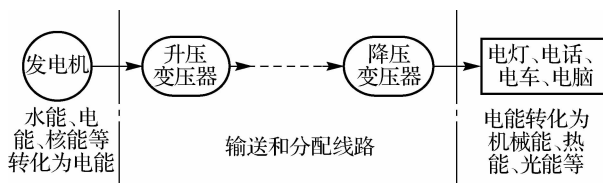


图 2-1 电能的传输、分配和转换

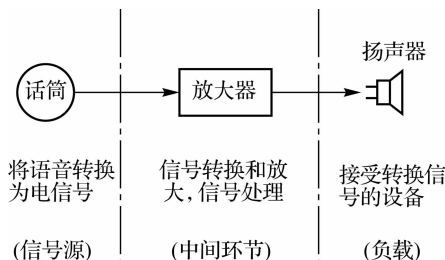


图 2-2 信号的传递和处理

电流经过的路径就是电路,例如,在日常生活中,把一个灯泡通过开关、导线和干电池连接起来,就组成了一个照明电路,如图 2-3 所示,在这个电路中,把开关合上,电路中就有电流通过,灯泡就亮起来了。

任何一个完整的实际电路,不论其结构和作用如何,通常总是由电源、负载和中间环节(导线和开关)等基本部分组成。

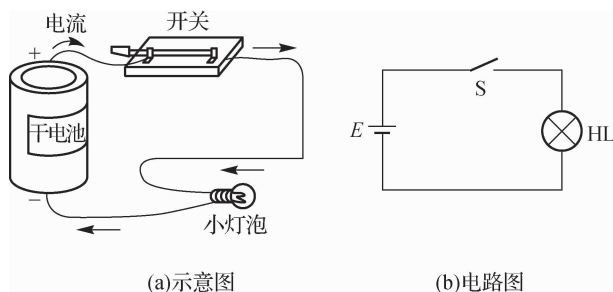


图 2-3 电路的组成

1) 电源

电源是供给电能的设备,它把其他形式的能转换成电能。例如,发电机、蓄电池、光电池等都是电源。发电机是将机械能转换成电能,蓄电池是将化学能转换成电能,光电池是将光能转换成电能。

2) 负载

负载是应用电能的装置,它把电能转换成其他形式的能量。例如,电灯泡、电炉、电动机等都是负载。电灯泡是将电能转变成光能,电炉是将电能转变成热能,电动机是将电能转变成机械能。

3) 导线和开关

导线是用来连接电源和负载的元件,开关是控制电路接通和断开的装置。电路中根据需要还装配有其他辅助设备,例如,测量用仪表(电流表、电压表)、保护用元件(熔丝)等。



动画
不间断电源

2. 电路模型及电路图

图 2-3(a)所示是用电气设备的实物图形表示的实际电路。它的优点是直观,但画起来很复杂,不便于分析和研究。因此,在分析和研究电路时,总是把这些实际设备抽象成一些理想化的模型,用规定的图形符号表示,如图 2-3(b)所示。这种用统一规定的图形符号画出的电路模型图称为电路图。

理想电路元件分为两类:一类是有实际的元件与它对应,如电阻器、电感器、电容器、电压源和电流源等;另一类是没有直接与它相对应的实际电路元件,但是它们的某种组合却能反映出实际电器元件和设备的主要特性和外部功能,如受控源等。图 2-4 所示是电工电子技术中经常使用的几种理想元件的电路符号。



图 2-4 常用的几种理想元件的电路符号

二、电路的工作状态

在日常的照明电路中,当开关开启时,电灯就亮了;当开关关闭时,电灯就灭了;当正极和负极线路(交流电路中是火线和零线)不经过电器而直接接在一起时,就会发生事故。这三种情况,就是电路的三种工作状态:通路状态(有载工作状态)、开路状态(断路状态)和短路状态。

1. 通路

电路的有载工作状态也即电路的通路状态。通路是指电源与负载接成闭合回路时的工作状态,这时电路中有电流通过,如图 2-3 中当开关闭合时,电路就是通路状态。必须注意的是,处于通路状态的各种电气设备的电压、电流和功率等数值不能超过其额定值。

2. 开路

开路也称为断路,是指电源与负载未接成闭合电路时的工作状态,这时电路中没有电流通过,如图 2-3 中当开关断开时,电路就是断路状态。在实际电路中,电气设备与电气设备之间、电气设备与导线之间连接时的接触不良也会使电路处于断路状态。

3. 短路

短路是指电源未经负载而直接由导线(导体)构成通路时的工作状态,如图 2-5 所示。短路时,电路中流过的电流远大于正常工作时的电流,可能烧坏电源和其他设备。所以,应严防电路发生短路。

实际电路中产生短路的原因多是绝缘部分损坏或接线不良,因此应经常检查电气设备和线路的绝缘情况。通常在电路中接入熔断器或自动断路器,起短路保护作用,有时出于某种需要,可以将电路中某一段短路或进行某种短路实验。

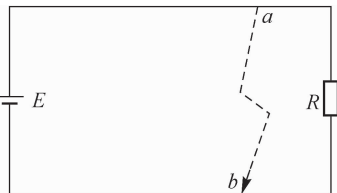


图 2-5 电路短路示意图



动画
电路的工作
状态

三、电流、电压及电动势

1. 电流的形成

电流是由于电荷的定向移动形成的。在金属导体中,电子在外电场作用下有规则地运动就形成了电流。而在某些液体或气体中,电流则是由于正离子或负离子在电场力作用下有规则地运动而形成的。

2. 电流的方向

在不同的导电物质中,形成电流的运动电荷可以是正电荷,也可以是负电荷,甚至两者都有。习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的正方向。

在分析或计算电路时,常常要确定电流的方向。但当电路比较复杂时,某段电路中电流的实际方向往往难以确定,此时可先假定电流的参考方向,然后列方程求解,当解出的电流为正值时,就表示电流方向与参考方向一致,如图 2-6(a)所示;反之,当电流为负值时,就表示电流方向与参考方向相反,如图 2-6(b)所示。

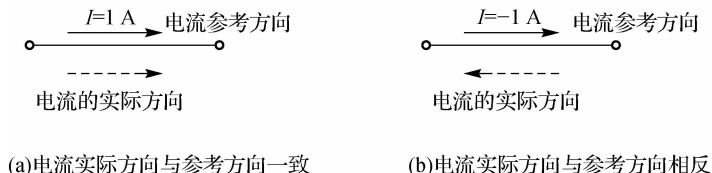


图 2-6 电流的方向

3. 电流的大小

电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电荷量的多少。在相同时间内通过导体横截面的电荷量越多,就表示流过该导体的电流越强,反之越弱。

通常用单位时间内通过导体横截面的电荷量来表示电流的大小,以字母“ I ”表示。若在 t s 内通过导体横截面的电荷量为 q ,则电流可表示为

$$I = \frac{q}{t}$$

电流的单位是安培,简称安,用符号“ A ”表示;电荷量的单位是库仑,简称库,用符号“ C ”表示。若在 1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 C,则导体中的电流就是 1 A。电流的常用单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA),其换算关系为

$$1 \text{ kA} = 1 \times 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ A} = 1 \times 10^3 \text{ mA}$$

$$1 \text{ mA} = 1 \times 10^3 \mu A$$

电流分直流和交流两大类。凡大小和方向都不随时间变化的电流,称为直流(简写作 DC);凡大小和方向都随时间变化的电流,称为交流(简写作 AC)。

交流电流的大小是随时间变化的,可以在一个很短的时间 Δt 内研究它的大小。在时间 Δt 内,若通过导体横截面的电荷量是 Δq ,则瞬时电流强度为

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

例 2-1 某导体在 0.5 min 的时间内均匀通过导体横截面的电荷量为 120 C,求导体中的电流。

解

$$I = \frac{q}{t} = \frac{120 \text{ C}}{60 \times 0.5 \text{ s}} = 4 \text{ A}$$

4. 电压的概念

电压是用来衡量电场力推动电荷运动,对电荷做功能力大小的物理量。电路中 A、B 两点之间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。若电场力移动的电荷量为 q ,所做的功为 W ,那么 A 与 B 点之间的电压为

$$U_{AB} = \frac{W}{q}$$

式中, W 是电场力把正电荷从 A 点移到 B 点所做的功(J); q 为被移动的正电荷的电荷量(C); U_{AB} 为 A、B 两点的电压(V)。

在直流电路中,任意两点的电压一般不随时间变化而变化,其值恒定,称为恒定电压或直流电压,用大写字母“U”表示。在交流电路中,任意两点之间的电压随时间变化而变化,电压有瞬时值、峰值和有效值的概念。例如,照明电路用电为 220 V,指的是交流电压的有效值为 220 V。

在电力系统中,常用电压一般为几百伏,输电电线的电压为几千伏(kV)、几万伏甚至更大,电子设备中电压较小,一般为几伏(V)、几毫伏(mV)或几微伏(μ V)。它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV}$$

$$1 \text{ mV} = 10^3 \mu\text{V}$$

如果正电荷从 A 点移动到 B 点失去能量,则电位降低,即 A 点的电位高于 B 点;反之,若电荷从 A 点移动到 B 点获得能量,则电位升高,即 A 点的电位低于 B 点。所以正电荷在电路中移动时,电能的增加和减少表现为电位的升高或降低。规定电压的实际方向为高电位点指向低电位点。如果电场力推动正电荷沿着电压的实际方向运动,电位逐渐降低,此时,电场力对正电荷所做的功为正功。

5. 电压的方向

电压指电路中两点之间的电位差,由此可知,电压是矢量(即有方向的量),需要指定参考方向。如同需要对电流选定参考方向一样,在分析、计算电路问题时,往往难以预知一段电路两端电压的实际方向,因此可先选定一个方向作为电压的参考方向,如图 2-7 所示的一段电路,规定 A 为高电位点,用“+”表示,B 为低电位点,用“-”表示,即选取该段电路电压的参考方向从 A 指向 B。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压为正值,如图 2-7(a)所示;当电压的实际方向与参考方向不一致时,电压为负值,如图 2-7(b)所示。

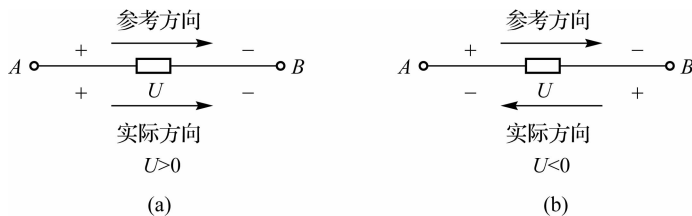


图 2-7 电压参考方向与实际方向的关系

这样,引入电压的参考方向之后,电压是一个代数量。借助电压的正、负值,并结合它的参考方向,就能够确定电压的实际方向。电压的参考方向可以用以下两种方法来表示。

(1)用“+”“-”号分别表示假设的高电位点和低电位点。

(2)用双下标字母表示,如 U_{AB} ,第一个下标字母 A 表示假设的高电位点,第二个下标字母 B 表示假设的低电位点。

在实际应用中,电路两点间电压的实际方向常用一种表示极性的方法来表示,高电位点用“+”表示;反之,低电位点用“-”表示。

在电路分析中,电流和电压的参考方向都是人为指定的,彼此之间互不相关。但是为了分析方便起见,对于同一段电路的电流和电压往往采用彼此关联的参考方向。图 2-8(a)和图 2-8(b)分别表示关联参考方向和非关联参考方向。

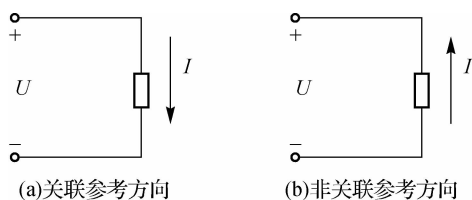


图 2-8 电流、电压的关联参考方向与非关联参考方向

电流、电压的关联参考方向是指电流与电压的参考方向一致,即电流的流向是从电压的高位点流向电压的低位点。

电流、电压参考方向的几点说明如下。

(1)电流、电压的实际方向是客观存在的,有时容易确定,有时难以确定。它们的参考方向是由于计算需要人为确定的,在电路分析和计算过程中,以参考方向为基础。

(2)同一段电路中,电流参考方向选择不同,其数值相等但符号相反,电压的情况也一样,因此电流值、电压值的正负只有在选定参考方向的情况下才有意义。

(3)在电路分析和计算中,必须先标出电流和电压的参考方向,才能进行分析和计算。

(4)为了方便分析电路,电路上的电流和电压一般选择关联的参考方向。

6. 电动势

1) 电动势的概念

电动势是描述电源性质的重要物理量。在电源外部电路中,电场力把正电荷由高电位经过负载移动到低电位,那么,在电源内部电路中,也必定有一种力能够不断地把正电荷从低电位移到高电位,这种力称为电源力。

因此,在电源内部,电源力不断地把正电荷从低电位移到高电位。在这个过程中,电源力要反抗电场力做功,这个做功过程就是电源将其他形式的能转换成电能的过程。对于不同的电源,电源力做功的性质和大小不同,把这种衡量电源力做功能力大小的物理量称为电源电动势。

在电源内部,电源力把正电荷从低电位(负极)移到高电位(正极)反抗电场力所做的功 W 与被移动电荷的电荷量 q 的比值就是电源电动势。用公式表示为

$$E = \frac{W}{q}$$

其中, E 为电源电动势(V); W 为电源力所做的功(J)。

不同的电源由于电源力的来源不同,能量转换的形式也不同。化学电动势(干电池、纽扣电池、蓄电池等)的电源力是一种化学作用,电动势的大小取决于化学作用的种类,与电源大小无关,如干电池无论是 1 号、2 号、5 号,其电动势都是 1.5 V。发电机的电源力是磁场对

运动电荷的作用力。光生电动势(光电池)的电源力来源于光电效应。

2) 电动势的参考方向

电动势的作用是把正电荷从低电位点移动到高电位点,使正电荷的电势能增加,所以规定电动势的实际方向是由低电位指向高电位,即从电源的负极指向电源的正极。在电路中,电源的极性和电动势的数值一般都是已知的,所以一般电动势的参考方向都取与实际方向相同的方向,即由电源的负极指向电源的正极。

3) 电源端电压与电动势的关系

(1) 电源端电压 U 反映的是电场力在外电路将正电荷由高电位点(正极)移向低电位点(负极)做功的能力。电动势 E 反映的是电源力将电源内部的正电荷从低电位点(负极)移向高电位点(正极)做功的能力。

(2) 若不考虑电源内损耗,则电源电动势在数值上与它的端电压相等,但实际方向相反,即 $E = -U$,如图 2-9 所示。

电源对电路的作用效果可以用电动势来表示,也可以用电压来表示,电动势 E 和电压 U_{AB} 反映的是同一件事,所以,在很多情况下,常常不是用电动势 E 而是用电源正负极之间的电压来表示电源的作用效果。

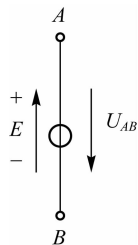


图 2-9 电源端电压与电动势的关系

四、电功与电功率

电功,简单地说就是电流所做的功。电流在经过电器设备时会发生能量的转换,能量转换的大小就是电流所做功的大小,用符号“ W ”表示,单位为焦耳(J)。能量转换的速率就是电功率,即单位时间内电器设备能量转换的大小,简称为功率。

电功率的符号用“ P ”表示,单位为瓦(W)。在电流、电压关联参考方向下,电功率的计算公式为

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

$P > 0$ 时表示元件消耗电功率, $P < 0$ 时表示元件发出电功率,即当 U 与 I 的实际方向相同时,表明该元件消耗电功率;反之,当 U 与 I 的实际方向相反时,表明该元件发出电功率。

通常所说的微波炉 1 000 W、白炽灯 60 W 等指的是这些用电器的电功率,即电器在单位时间内消耗的电能。而日常所说的“一度电”是指电功率为 1 kW 的用电器使用 1 h 所消耗的电能,又称为千瓦时。

$$1 \text{ 度电} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

例 2-2 某直流电路如图 2-10 所示,取参考方向与实际方向相同,已知电路的电流 $I = 0.8 \text{ A}$,元件 1 两端的电压 $U_1 = 3 \text{ V}$,元件 2 两端的电压 $U_2 = -1 \text{ V}$,元件 3 两端的电压 $U_3 = -2 \text{ V}$ 。求各元件的电功率,并指出是消耗电功率还是发出电功率。

解 元件 1: $P_1 = U_1 \times I_1 = 3 \text{ V} \times 0.8 \text{ A} = 2.4 \text{ W}$

$P_1 > 0$, 元件 1 消耗电功率;

元件 2: $P_2 = U_2 \times I_2 = (-1) \text{ V} \times 0.8 \text{ A} = -0.8 \text{ W}$

$P_2 < 0$, 元件 2 发出电功率;

元件 3: $P_3 = U_3 \times I_3 = (-2) \text{ V} \times 0.8 \text{ A} = -1.6 \text{ W}$

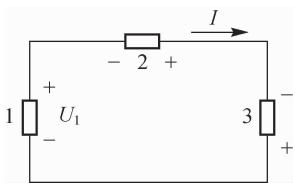


图 2-10 例 2-2 的电路图

$P_3 < 0$, 元件 3 发出电功率。

常用电器(如电灯泡、电烙铁、电炉)上都标明了它的额定电流、额定电压和额定功率,它表示电器设备所允许的最大电流、电压和功率。如一只灯泡上标明“220 V 40 W”,说明这只灯泡接 220 V 电压,消耗功率为 40 W。若所接电压超过 220 V,灯泡消耗功率将大于 40 W,就有可能将灯泡烧坏;若所接电压低于 220 V,灯泡消耗功率小于 40 W(较暗),则使用不正常。所以在实际设计装配电路时,不但应按所需电阻值大小来选择电阻,还应根据电阻所消耗的功率适当选择电阻额定功率,一般其额定功率应比实际消耗的功率大 1.5~2 倍,以保证元器件的可靠、耐用。

五、电阻元件及欧姆定律

(一)电阻元件

当电流通过金属导体时,做定向运动的自由电子会与金属中的带电粒子发生碰撞,使导体对电荷的定向运动有阻碍作用。电阻就是反映导体对电流起阻碍作用大小的一个物理量,用字母“ R ”表示。

在国际单位制中,电阻的单位是欧姆,简称欧,用符号“ Ω ”表示。其常用单位还有千欧(k Ω)和兆欧(M Ω),它们之间的换算关系为

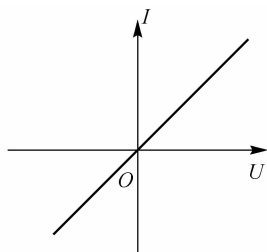
$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

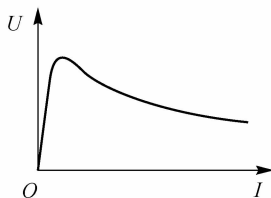
电阻元件是电路中使用最多的元件之一,常称为电阻器。电阻器的主要特征是变电能为热能,它是一个消耗电功率的元器件,在电路中主要起调节电流、电压以及将电能转换成热能的作用。

1. 线性电阻元件和非线性电阻元件

电阻元件的特性一般用伏安特性来表示,伏安特性指的是电阻元件两端的电压 U 与通过其电流 I 的关系。当电阻器两端的电压与通过它的电流成正比,其伏安特性曲线为线性,这类电阻称为线性电阻器,其电阻值为常数;反之,电阻两端的电压与通过它的电流不是线性关系称为非线性电阻器,其电阻值不是常数。一般常温下金属电阻器的电阻是线性电阻,在其额定功率内,其伏安特性曲线为直线,如图 2-11(a)所示。但像热敏电阻、光敏电阻等,在不同的电压、电流情况下,电阻值不同,伏安特性曲线为非线性,如图 2-11(b)所示。



(a)常温下金属电阻器的线性伏安特性



(b)热敏电阻器的非线性伏安特性

图 2-11 电阻器的伏安特性曲线

严格地讲,绝对线性的电阻器是不存在的。绝大多数金属导体的电阻都是随温度的变化而变化的,但这种变化是很小的(除温度特别高以外),可以忽略不计,因此这些电阻器可以看作是线性电阻器。由线性电阻器及其他线性元件组成的电路称为线性电路,含有非线性元件的电路称为非线性电路。

2. 电导

电阻的倒数称为电导,用符号“ G ”表示,即

$$G = \frac{1}{R}$$

导体的电阻越小,电导就越大。电导大就表示导体的导电性能良好。电导的单位是西门子,简称西,用符号“ S ”表示。

各种材料的导电性能有很大差别。在电工技术中,各种材料按照它们的导电能力,一般可分为导体、绝缘体、半导体和超导体。

1) 导体

导电能力强的材料称为导体。导体的电阻率一般都约为 $1 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 。如铜、铝、铁等金属。

2) 绝缘体

导电性能很差的材料称为绝缘体。它的电阻率一般为 $10^6 \sim 10^{18} \Omega \cdot m$ 。如橡胶、塑料、树脂、玻璃、云母、陶瓷、变压器油等。

3) 半导体

半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间。半导体的电阻率一般为 $10^{-6} \sim 10^6 \Omega \cdot m$ 。因为半导体材料具有一些特殊的性质,所以在电子技术中得到了广泛的应用。

4) 超导体

某些物质的电阻随温度的下降而逐渐减少,当温度降低到接近绝对零度(即 $-273.15^\circ C$)时,其电阻突然消失,这种现象称为超导现象。具有这种特性的物质称为超导体或超导材料。

(二) 欧姆定律

欧姆定律是电路分析中的基本定律之一,是用来确定电路各部分的电压与电流关系的。

1. 部分电路欧姆定律

在一段不包括电源的电路中,电路中的电流 I 与加在这段电路两端的电压 U 成正比,与这段电路的电阻 R 成反比,这一结论称为欧姆定律,它揭示了一段电路中电阻、电压和电流三者之间的关系。

如图 2-12 所示为一段电阻电路,标出了电压、电流的参考方向,则 I 、 U 、 R 三者之间满足

$$I = \frac{U}{R}$$

式中, I 为电路中的电流(A); U 为电路两端的电压(V); R 为电路的电阻(Ω)。

在交流电路中,欧姆定律同样成立,但电阻应该改成阻抗 Z ,即

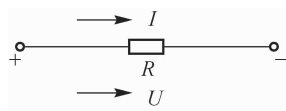


图 2-12 电阻电路

$$I = \frac{U}{Z}$$

如果已知电压 U 和电流 I , 就可以利用 $R = U/I$ 求得电阻值。

例 2-3 如果人体最小的电阻为 $800\ \Omega$, 已知通过人体的电流为 $50\ \text{mA}$ 时, 就会引起呼吸困难, 不能自主摆脱电源, 试求安全工作电压。

解 $U = RI = 800\ \Omega \times 0.05\ \text{A} = 40\ \text{V}$

即人的安全工作电压应不高于 $40\ \text{V}$ 。

通常对于不同的人体、不同的场合, 安全电压的规定是不相同的。我国有关标准规定 $12\ \text{V}$ 、 $24\ \text{V}$ 和 $36\ \text{V}$ 三个电压等级为安全电压级别。人是否安全与人体电阻大小、触电时间长短、工作环境、人与带电体的接触面积和接触压力等都有关系, 所以即使在规定的安全电压下工作, 也不可粗心大意。

2. 全电路欧姆定律

含有电源的闭合电路称为全电路, 图 2-13 所示的电路是最简单的全电路。图中虚线框部分表示电源, 电源内部也有电阻, 一般用符号“ r_0 ”表示。为了看起来方便, 通常可把内电阻 r_0 单独画出。电源内部的电路称为内电路, 电源外部的电路称为外电路。

全电路欧姆定律的内容是: 全电路中的电流 I 与电源的电动势 E 成正比, 与电路的总电阻(外电路的电阻 R 和内电路的电阻 r_0 之和)成反比, 即

$$I = \frac{E}{R + r_0}$$

式中, E 为电源的电动势(V); r_0 为电源内阻(Ω)。

由全电路欧姆定律可得 $E = IR + Ir_0 = U + Ir_0$, 其中 U 是外电路中的电压降, 也是电源两端的电压, 称为路端电压, Ir_0 是电源内部的电压降。

例 2-4 在图 2-13 所示电路中, 已知电源电动势 $E = 24\ \text{V}$, 内阻 $r_0 = 2\ \Omega$, 负载电阻 $R = 10\ \Omega$ 。

试求: (1) 电路中的电流; (2) 电源的路端电压; (3) 负载电阻 R 上的电压; (4) 电源内阻上的电压降。

解 根据全电路欧姆定律, 有如下关系式。

$$(1) \text{ 电路中的电流 } I = \frac{E}{R + r_0} = \frac{24\ \text{V}}{(10 + 2)\ \Omega} = 2\ \text{A}。$$

$$(2) \text{ 电源的端电压 } U = E - Ir_0 = 24\ \text{V} - 2 \times 2\ \text{V} = 20\ \text{V}。$$

$$(3) \text{ 负载 } R \text{ 上的电压 } U = IR = 2 \times 10\ \text{V} = 20\ \text{V}。$$

$$(4) \text{ 电源内阻上的电压降 } U_{r_0} = Ir_0 = 2 \times 2\ \text{V} = 4\ \text{V}。$$

(三) 电源的外特性

由全电路欧姆定律可得 $U = E - Ir_0$ 。当负载电阻 R 为无穷大即外电路开路时, $I = 0$, 路端电压最高且等于 E ; 当负载电阻 R 变小时, 电路中的电流 I 将增加, 内阻压降 Ir_0 随着增加, 路端电压 U 将减小。反过来, R 增大时, I 减小, U 将增加。这种电压随负载电流变化的关系称为电源的外特性, 所绘成的曲线称为电源的外特性曲线, 如图 2-14 所示。由图 2-14 可以看出, 电源路端电压随着电流的大小而变化, 当电路接小电阻时, 电流增大, 路端电压就

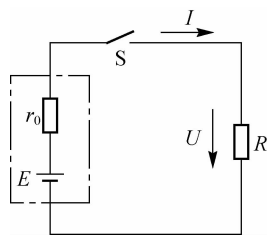


图 2-13 全电路

下降;当电路接大电阻时,电流减小,端电压就上升。

电源路端电压的高低不但和负载电阻有密切关系,而且与电源的内阻大小有关。在负载电流不变的情况下,内阻减小,路端电压就上升;内阻增大,路端电压就下降。当内阻为零时,也就是在理想情况下(这时的电源称为理想电源),路端电压不再随电流变化,路端电压等于电动势,如图 2-14 中的虚线所示。

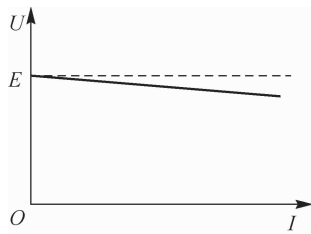


图 2-14 电源的外特性曲线

六、电位的概念及参考点的意义

水之所以能够流动,是因为有水位差;电荷之所以能够流动,是因为有电位差,电位差也称为电压。在电工技术中,通常使用电压的概念,而在电子线路中,通常要用到的是电位的概念。

1. 电位的概念

在电路中任选一个参考点(该点的电位值为零,又称为零电位点),电路中某一点到参考点的电压就称为该点的电位。电位的符号用“V”表示,如电路中某点 a 和参考点 o 间的电压 V_{ao} 为 a 点的电位,记作 V_a ,电位的单位也是伏特(V)。

由电位的定义可知,电压和电位是密切联系的。电位实际就是电压,只不过电压是指任意两点之间,而电位则是指某一点和参考点之间。电路中任意两点之间的电压即为此两点之间的电位差,如 a、b 之间的电压可记为 $U_{ab}=V_a-V_b$ 。

根据 V_a 和 V_b 的大小, U_{ab} 有以下三种不同情况。

- (1) 当 $U_{ab}>0$ 时,说明 a 点的电位 V_a 高于 b 点电位 V_b 。
- (2) 当 $U_{ab}<0$ 时,说明 a 点的电位 V_a 低于 b 点电位 V_b 。
- (3) 当 $U_{ab}=0$ 时,说明 a 和 b 两点等电位,即 $V_a=V_b$ 。

引入电位的概念后,电压的方向可以看作是电位降低的方向,因此电压也称为电位降。

2. 电位参考点的意义

参考点是计算电位的基准点,电路中各点电位都是针对这个基准点而言的。通常规定参考点的电位为零,因此参考点又称为零电位点,用接地符号“ $\perp$ ”表示。零电位点(参考点)的选择是任意的,一般在电子线路中常选择很多元件的汇集处,而且常常是将电源的一个极作为参考点;在工程技术中则选择大地、机壳作为参考点,若把电气设备的外壳“接地”,那么外壳的电位就为零。

1) 电位的多值性

电路中各点的电位值是相对的,它与参考点的选择有关,选择不同的参考点,电路中各点电位值的大小和正负也不同。

2) 电压的单一性

电路中任意两点之间的电压,即电位差是唯一的,与参考点的选择无关。如 $U_{ab}=2\text{ V}$,当选择 a 点为参考点时, $V_a=0, V_b=V_a-U_{ab}=-2\text{ V}$;当选择 b 点为参考点时, $V_b=0, V_a=U_{ab}+V_b=2\text{ V}$ 。

例 2-5 在图 2-15 所示电路中,若以 B 点作参考点,求 A、B、C、D 四点的电位 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 和 C、D 两点间的电压 U_{CD} 。改用 D 点作参考点,再求 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 和 C、D 两点间的电压 U_{CD} 。

解 以 B 点为参考点,有

$$V_A = R_3 I_3 = 15 \times 8 \text{ V} = 120 \text{ V}$$

$$V_B = 0$$

$$V_C = E_1 = 180 \text{ V}$$

$$V_D = E_2 = 80 \text{ V}$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = (180 - 80) \text{ V} = 100 \text{ V}$$

以 D 点为参考点,有

$$V_A = R_2 I_2 = 10 \times 4 \text{ V} = 40 \text{ V}$$

$$V_B = -E_2 = -80 \text{ V}$$

$$V_C = R_2 I_2 + R_1 I_1 = (40 + 60) \text{ V} = 100 \text{ V}$$

$$V_D = 0$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = (100 - 0) \text{ V} = 100 \text{ V}$$

由上述的计算可以看出,电路中各点的电位与参考点有关,参考点改变,电位数值也改变,但电路中任意两点间的电压与参考点无关。

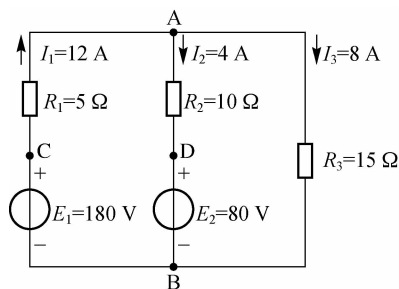


图 2-15 例 2-5 的电路图

七、电阻的连接

在电路中,电阻的连接形式是多种多样的,其中最常见的是电阻的串联连接、并联连接和混联连接。

1. 电阻串联电路

在电路中,若干个电阻依次连接,中间没有分岔支路的连接方式,称为电阻的串联。图 2-16 所示为 3 个电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 组成的电阻串联电路。

电阻串联电路具有以下特点。

(1) 在电阻串联电路中,不论各电阻的数值是否相等,通过各电阻的电流为同一电流,这是判断电阻是否串联的一个重要依据。

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

(2) 根据全电路欧姆定律,电阻串联电路两端的总电压等于各电阻两端分电压之和,电阻串联电路的总电压大于任何一个分电压。

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

(3) 串联电路的总电阻(等效电阻)等于各电阻串联之和,电阻串联电路的总电阻大于任何一个分电阻。

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

(4) 电阻串联电路中,各电阻上的电压与它们的阻值成正比。

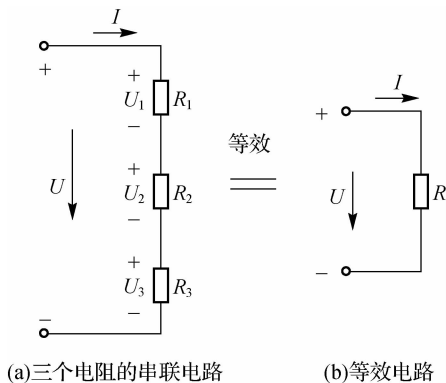


图 2-16 电阻串联电路

$$U_n = R_n \frac{U}{R} = R_n \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}$$

上式表明,电阻串联时,电阻越大分配到的电压越大,电阻越小,分配到的电压越小,这就是电阻串联电路的分压原理。通常把上式又称为电阻串联的分压公式。

(5)电阻串联电路的总功率 P 等于消耗在各串联电阻上的功率之和,且电阻值大者消耗的功率大。

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

例 2-6 如图 2-16 (a)所示电阻串联电路,已知 $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $U_1 = 6 \text{ V}$, $U = 21 \text{ V}$ 。

求:(1)通过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ; (2) R_2 和 R_3 两端的电压; (3)电阻 R_3 ; (4)等效电阻 R 。

解 (1)根据欧姆定律有 $I_1 = \frac{U_1}{R} = \frac{6}{2} \text{ A} = 3 \text{ A}$; 由于是电阻串联电路,所以 $I_1 = I_2 = I_3 = 3 \text{ A}$ 。

(2) R_2 两端的电压 $U_2 = I_2 R_2 = 3 \times 4 \text{ V} = 12 \text{ V}$; 由于 $U = U_1 + U_2 + U_3$, 所以 R_3 两端的电压 $U_3 = U - U_1 - U_2 = 3 \text{ V}$ 。

(3)电阻 $R_3 = \frac{U_3}{I_3} = 1 \Omega$ 。

(4)等效电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3 = 7 \Omega$ 。

2. 电阻并联电路

在电路中,将若干个电阻的一端共同连在电路的一点上,把它们的另一端共同连在另一点上,这种连接方式称为电阻的并联。图 2-17(a)所示为三个电阻的并联电路,图 2-17 (b)所示为其等效电路。电阻并联的实例也很多,一般家庭中电灯泡的连接方式即为并联,即使取下一个灯泡,其他灯泡仍连通着。

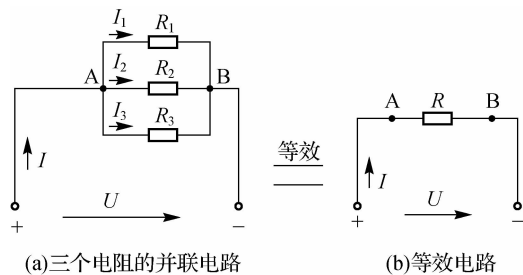


图 2-17 电阻并联电路

电阻并联电路具有以下特点。

(1)加在各并联电阻两端的电压为同一电压,电阻两端电压相等。

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

(2)电路的总电流等于各并联电阻分电流之和,并联电路的总电流大于任何一个分电流。

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

(3)电路的总电阻(等效电阻) R 的倒数等于各电阻的倒数之和,并联电路的总电阻比任何一个并联电阻的阻值都小。

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

(4)流过各并联电阻上的电流与其阻值成反比。

$$I_n = R \frac{I}{R_n}$$

上式表明电阻并联时,阻值越大的电阻分配得到的电流越小,阻值越小的电阻分配得到的电流越大,这就是并联电阻电路的分流原理。

(5) 并联电阻电路的总功率 P 等于消耗在各并联电阻上的功率之和, 且电阻值大者消耗的功率小。

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

例 2-7 某微安表头的满刻度电流 $I_g = 50 \mu\text{A}$, 内阻 $r_g = 1 \text{ k}\Omega$, 若把它改装成量程为 10 mA 的电流表, 问应并联多大的电阻?

解 表头的满刻度电流只有 $50 \mu\text{A}$, 用它直接测量 10 mA 的电流显然是不行的, 必须并联一个电阻进行分流以扩大量程, 如图 2-18 所示。通过分流电阻 R_b 的电流为

$$I_b = I - I_g = 9.950 \text{ mA}$$

电阻 R_b 两端的电压 U_b 与表头两端的电压 U_g 是相等的, 因此有

$$U_b = U_g = I_g r_g = 0.05 \text{ V}$$

所以
$$R_b = \frac{U_b}{I_b} \approx 5 \Omega$$

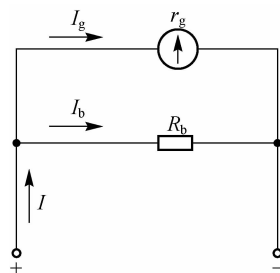


图 2-18 扩大电流表的量程

3. 电阻混联电路

在实际应用中, 电路里所包含的电阻常常不是单纯的串联或并联, 而是既有串联又有并联, 电阻的这种连接方式称为电阻的混联。图 2-19 所示为电阻的混联电路, R_1 和 R_2 先串联, 然后与 R_3 并联, 最后与 R_4 串联。

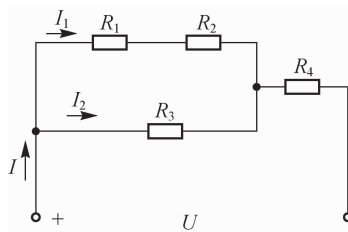


图 2-19 电阻混联电路

求电阻混联电路的等效电路的步骤如下。

- (1) 先把电阻的混联分解成若干个串联和并联, 按照串、并联电路的特点进行计算, 分别求出它们的等效电阻。
- (2) 用已求出的等效电阻去取代电路中的串、并联电阻, 得到电阻混联电路的等效电路。
- (3) 如果所求得的等效电路中仍然包含着电阻的串联或并联, 可继续用上面的方法来化简, 以求得最简单的等效电路。
- (4) 利用已化简的等效电路, 根据欧姆定律算出通过电路的总电流, 再算出各支路上的电流及各电阻两端的电压、功率等。

例 2-8 如图 2-20(a) 所示电路, $U = 24 \text{ V}$, 求等效电阻 R_{ab} 及电路的总电流 I 。

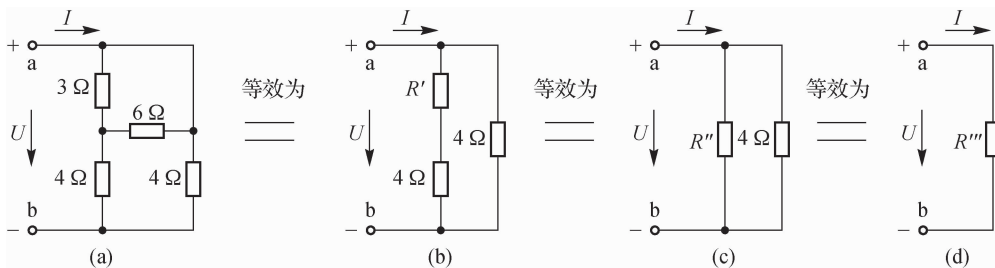


图 2-20 电阻混联电路的等效变换

解 (1)由图 2-20(a)知 $3\ \Omega$ 与 $6\ \Omega$ 这两个电阻是并联的,其等效电阻为

$$R' = \frac{3 \times 6}{3 + 6} \Omega = 2\ \Omega$$

(2)由图 2-20(b)知 R' 与 $4\ \Omega$ 这两个电阻是串联的,其等效电阻为

$$R'' = (2 + 4)\Omega = 6\ \Omega$$

(3)由图 2-20(c)所示电路知 R'' 与 $4\ \Omega$ 这两个电阻是并联的,其等效电阻为

$$R''_{ab} = \frac{6 \times 4}{6 + 4} \Omega = 2.4\ \Omega$$

(4)根据欧姆定律,电路的总电流为

$$I = \frac{U}{R_{ab}} = \frac{24}{2.4} \text{ A} = 10\ \text{A}$$

对于较为复杂的电阻混联电路,一般不容易判断出各电阻的串、并联关系,就无法求得等效电阻。遇到这种情况,较为有效的办法就是画出等效电路图,即把原电路图整理为较为直观的串、并联关系的电路图,然后再计算其等效电阻。

任务实施

一、材料清单

本任务的材料清单见表 2-1。

表 2-1 材料清单

任务器材	直流电源	电 阻	开 关	直流电流表	直流电压表
数量	1 个	若干	1 个	1 个	1 个

二、内容与步骤

1. 任务内容

(1)电压、电流和功率是表征电信号能量大小的三个基本参数,它们都可以直接用直读仪表(指针式或数字式)来测量。测量直流量通常采用磁电系仪表,测量交流量主要采用电磁系仪表,比较精密的测量可以使用电动系仪表。

(2)测量电流时电流表应与负载串联,仪表内阻 r_A 应远小于负载电阻,否则仪表的串入将改变被测支路的电流值;测量电压时电压表应与负载并联,要求仪表内阻 r_V 应远大于负载电阻。用这种方法测量电压、电流的误差主要取决于仪表的准确度及仪表内阻。其误差范围通常为 $0.1\% \sim 2.5\%$ 。

(3)直流功率 $P=UI$,即 P 为电压 U 和电流 I 的乘积,所以可采用电压表与电流表间接测量,接线如图 2-21(a)、图 2-21(b)所示,接法不同,电路基本参数的测量和计算结果也有所差别。由于电流表内阻上的压降很小,所以一般情况下采用如图 2-21(a)所示的接法。在低压大电流的特殊场合,如果电流表上的压降比较显著,可以采用如图 2-21(b)所示的接法。

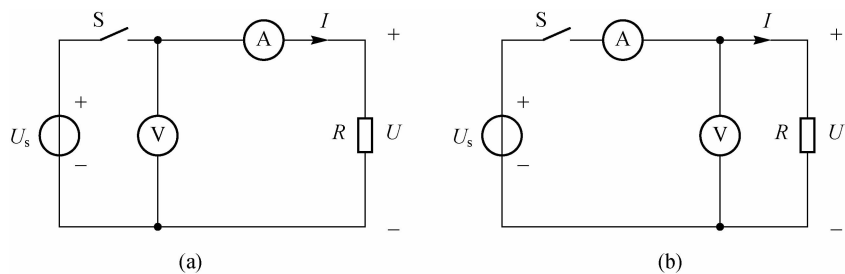


图 2-21 电路基本参数测量接线图

2. 步骤

1)电源电压不变时

分别取不同的电阻值,按图 2-21 所示电路接好线,确保线路接线正确后接通电源,电源电压保持不变,读取电流表和电压表的读数并填入表 2-2。

表 2-2 电源电压不变时的测量数据

电源电压数值	电阻数值/ Ω	电压表读数/V	电流表读数/A	分析 R 、 I 、 U 的关系
	$R_1 =$			
	$R_2 =$			
	$R_3 =$			
	$R_4 =$			

2)电阻数值不变时

分别取不同的电源电压数值,按图 2-21 所示电路接好线,确保线路接线正确后接通电源,电阻数值保持不变时,读取电流表和电压表的读数并填入表 2-3。

表 2-3 电阻不变时的测量数据

电阻数值/ Ω	电源电压/V	电压表读数/V	电流表读数/A	功率 P /W
	$U_{s1} =$			
	$U_{s2} =$			
	$U_{s3} =$			
	$U_{s4} =$			

三、注意事项

- (1)连接电路须注意直流电的极性。
- (2)电压表、电流表的挡位选择要由高到低。

任务考核

班 级		姓 名		组 号		扣分记录	得 分
项 目	配 分	考核要求		评分细则			
正确连接电路	10 分	能看懂电路图,并能正确连接电路		(1)未能看懂电路图,扣 5 分; (2)未能正确连接电路,扣 5 分			
电流表的使用	30 分	能正确使用电流表		(1)连接方法不正确,每处扣 5 分; (2)量程选择不适当,扣 5 分; (3)读数不准确,每次扣 5 分			
电压表的使用	30 分	能正确使用电压表		(1)连接方法不正确,每处扣 5 分; (2)量程选择不适当,扣 5 分; (3)读数不准确,每次扣 5 分			
能正确记录实训数据	20 分	能正确记录相关数据		(1)不能进行相关计算,扣 10 分; (2)不能正确记录相关数据,每次扣 5 分			
安全文明操作	10 分	(1)安全用电,无人为损坏仪器、元件和设备的现象; (2)保持环境整洁、秩序井然,操作习惯良好; (3)小组成员协作和谐,态度正确; (4)不迟到、不早退、不旷课		(1)违反操作规程,每次扣 5 分; (2)工作场地不整洁,扣 5 分			
总 分							

思考与练习

一、判断题

1. 当 1 A 的电流通过一段导体时,测得其电阻为 $10\ \Omega$,因此,当 2 A 电流通过该导体时,其电阻的大小为 $5\ \Omega$ 。()
2. 电场力将单位正电荷从电源负极转移到正极所做的功称为电动势。()
3. 正电荷或负电荷的定向移动都能形成电流。()
4. 在一个闭合电路中,当电源内阻一定时,电源的端电压随电流的增大而减小。()
5. 在串联电路中,各处的电流强度不一定相等。()

二、填空题

1. 若将一段电阻为 R 的导线均匀拉长至原来的两倍,则其电阻值为_____。

2. 4 只 $16\ \Omega$ 的电阻并联后, 等效电阻为 _____ Ω 。

3. 一只标有“100 W 220 V”灯泡连接在 220 V 电源上, 流过灯泡的电流是 _____ A。

三、简答题

1. 额定值为“220 V 100 W”的灯泡和“220 V 25 W”的灯泡, 哪只灯泡中的灯丝电阻较大? 哪只灯泡中的灯丝较粗?

2. 一个额定值为“0.5 W 200 Ω ”的碳膜电阻, 在它两端能否加 9 V 的电压, 加 15 V 电压行吗? 为什么?

四、计算题

1. 有一个表头, 量程为 $100\ \mu\text{A}$, 内阻 r_g 为 $1\ \text{k}\Omega$ 。如果把它改装成一个量程分别为 3 V、30 V、300 V 的多量程电压表, 如图 2-22 所示, 试计算 R_1 、 R_2 、 R_3 的阻值。

2. 在图 2-23 所示电路中, 已知 $U=36\ \text{V}$, $R_1=100\ \Omega$, $R_3=10\ \Omega$, R_2 为 $0\sim 50\ \Omega$ 。试求: 当电位器 R_2 动触点滑到最上端和最下端时, 总电流 I 各是多少?

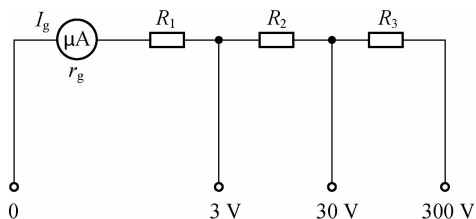


图 2-22 计算题 1 的电路图

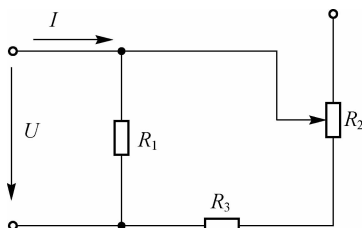


图 2-23 计算题 2 的电路图

3. 有一个表头, 量程为 $500\ \mu\text{A}$, 内阻为 $4\ \text{k}\Omega$, 如果将表头改为量程为 10 A 的电流表, 问应并联多大的分流电阻?

4. 在图 2-24 所示电路中, 已知 $R_1=16\ \Omega$, $R_2=6\ \Omega$, $R_3=12\ \Omega$, $R_4=20\ \Omega$, $E=12\ \text{V}$, $r=2\ \Omega$, 求总电流 I 及 R_4 消耗的功率 P_4 。

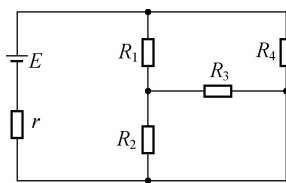


图 2-24 计算题 4 的电路图

任务二 验证基尔霍夫定律

实际电路中, 除了简单电路外, 还有复杂电路。对复杂电路的分析, 欧姆定律就使用不上了, 这时就需要用到基尔霍夫定律。由此可见基尔霍夫定律在电路中的重要作用。

一、基尔霍夫定律

直流电阻电路的结构形式很多,有些电路只要运用欧姆定律和电阻串、并联电路的特点及其计算公式,就能对它们进行分析和计算,称之为简单直流电路。然而有的电路,如含有一个或多个直流电源则不能单纯地用欧姆定律或电阻串、并联的方法化简,如图 2-25 所示,称之为复杂直流电路。基尔霍夫定律是分析复杂直流电路最基本的定律之一,它分为基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

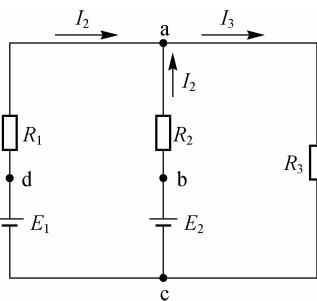


图 2-25 复杂直流电路图

1. 电路结构中的几个名词

1) 支路

电路中每个流过同一个电流的分支称为支路,图 2-25 中 adc 、 abc 、 aR_3c 分别组成了三条支路。支路 adc 、 abc 中有电源,称为有源支路;支路 aR_3c 中没有电源,称为无源支路。

2) 节点

三条或三条以上支路的公共连接点称为节点,图 2-25 中 a 和 c 都是节点,而 b 和 d 则不是节点。

3) 回路

电路中任一闭合的路径称为回路,如图 2-25 中 R_3cbaR_3 、 $abcda$ 、 aR_3cda 都是回路。只有一个回路的电路称为单回路。

4) 网孔

内部不含有支路的回路称为网孔,图 2-25 中 aR_3cba 和 $abcda$ 两个回路中均不含支路,是网孔。而回路 aR_3cda 中含有支路 abc ,因而不是网孔。网孔一定是回路,但回路不一定是网孔。

2. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律简称 KCL,又称节点电流定律,是反映电路中与同一节点相连的支路中电流之间关系的定律。其基本内容是:在任意瞬间,流进任一节点的电流之和恒等于流出这个节点的电流之和,即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

在图 2-26 所示的电路中,对于节点 A,应用基尔霍夫电流定律可写出 $I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$,如果规定流入节点的电流为正值,流出节点的电流为负值,上式可改写为 $I_1 + I_4 - I_2 - I_3 - I_5 = 0$,写成一般形式为

$$\sum I = 0$$

即在任意瞬间通过电路中任一节点的电流代数和恒等于零。这是 KCL 的另一种表达形式。

在应用基尔霍夫电流定律时,需要说明以下几点。

(1) KCL 具有普遍意义,它通常用于电路中的节点,也可以将节点推广到电路中的一个闭合的假定封闭面,那么流入封闭面的电流等于流出封闭面的电流,即 $I_A + I_B = I_C$,如图 2-27 所示。该假定封闭面又称为广义节点。



动画
验证基尔霍夫
定律

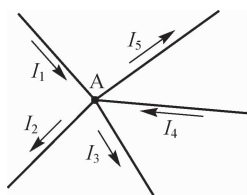


图 2-26 基尔霍夫电流定律示意图

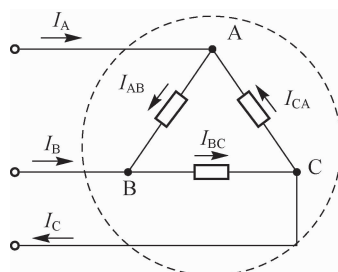


图 2-27 电路的广义节点

(2)应用 KCL 列写节点或闭合面电流方程时,首先要设定每一条支路电流的参考方向,然后依据参考方向是流入或流出列写出 KCL 方程,当某支路电流的参考方向与实际方向相同时电流为正值,否则为负值。

(3)节点电流定律对于电路中每个节点都适用。如果电路中有 n 个节点,即可得到 n 个方程。

例 2-9 在图 2-28 所示的电路中,电流的参考方向如图所示,已知 $I_1=4\text{ A}$, $I_2=7\text{ A}$, $I_4=10\text{ A}$, $I_5=25\text{ A}$,求 I_3 和 I_6 。

解 对于节点 a: $I_1 + I_2 = I_3$, $I_3 = (4+7)\text{ A} = 11\text{ A}$ 。

对于节点 b: $I_3 + I_4 = I_5 + I_6$, $I_6 = I_3 + I_4 - I_5 = (11+10-25)\text{ A} = -4\text{ A}$ 。

电流 I_6 为负值,表示 I_6 的实际方向与假设方向相反,所以电流 I_6 的大小为 4 A ,方向应是流入节点 b。

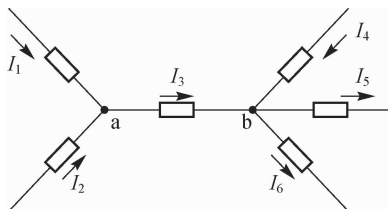


图 2-28 例 2-9 的电路图

3. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律简称 KVL,又称回路电压定律,它反映了回路中各电压间的相互关系。其基本内容是:在任意瞬间沿电路中任一回路绕行一周,各段电压的代数和恒等于零,即

$$\sum U = 0$$

KVL 规定了电路中任一回路内电压必须服从的约束关系,至于回路内是些什么元件与定律无关。因此,无论是线性电路还是非线性电路,无论是直流电路还是交流电路,定律都是适用的。在应用 KVL 列电压方程时,首先要选取回路绕行方向,可按顺时针方向,也可按逆时针方向;其次确定各段电压的参考方向。这里规定,凡电压的参考方向和回路绕行方向一致时该电压取正值,反之则取负值。

如图 2-29 所示电路,选取绕向为顺时针方向,则利用 KVL 可表示为 $U_1 + U_2 + U_3 - U_4 - U_5 = 0$,由于 $U_1 = I_1 R_1$, $U_2 = I_2 R_2$, $U_3 = I_3 R_3$, $U_4 = E_1$, $U_5 = E_2$,分别代入上述公式,可得

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_1 + E_2$$

写成一般形式为

$$\sum E = \sum IR$$

即在任一回路中,电动势的代数和恒等于各电阻上电压降的代数和,这是 KVL 的另一种表达形式。

关于 KVL 的应用,也应注意以下几点。

(1)应用 KVL 列回路电压方程时,会涉及两套符号的确定:一套是依据各部分电压相对绕行方向确定的;另一套是依据参考方向对实际方向确定的。

当起点电位高于终点电位时,所取电压为正值;而当起点电位低于终点电位时,所取电压为负值。电阻上两端点电位的高低由通过电阻的电流方向确定,电阻上的电流是由高电位流向低电位的;而电源上两端点的电位高低则可直接由电源的正、负极确定,正极是高电位,负极是低电位。

(2)KVL 不仅可以应用于任一闭合回路,而且还可以应用于任一不闭合的电路,如图 2-30 所示电路,其中 a、b 两处没有闭合。此时不妨把原电路看作一闭合回路,假设其间有一个电压 U_{ab} ,此电压与该回路的其他电压仍满足基尔霍夫电压定律。沿 abcd 方向绕行,可得 $U_{ab} + I_2 R_2 + I_3 R_3 - E_1 + E_2 + I_1 R_1 = 0$,则 $U_{ab} = E_1 - E_2 - I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3$,由此得出基尔霍夫电压定律的推广定律:电路中某两点 a 和 b 之间的电压等于从 a 点到 b 点所经路径上全部电压的代数和。

例 2-10 如图 2-31 所示,已知 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \Omega$, $E_1 = 12 \text{ V}$, $E_2 = 9 \text{ V}$, $E_3 = 18 \text{ V}$, $E_4 = 3 \text{ V}$,用基尔霍夫定律求回路中的电流及 E、A 两端的电压。

解 (1)电路为单回路,电路中各元件通过同一电流 I (参考方向如图 2-31 所示),按顺时针绕行方向,列出 KVL 方程为 $-E_1 + IR_1 + IR_2 + E_2 + IR_3 + E_3 + IR_4 - E_4 = 0$,即

$$I = \frac{E_1 - E_2 - E_3 + E_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = -0.3 \text{ A}$$

因为 I 计算结果为负值,所以回路中电流实际方向与参考方向相反,数值为 0.3 A 。

(2)可以通过两条路径计算 U_{EA} 。

通过回路 EFGHA: $U_{EA} = IR_3 + E_3 + IR_4 - E_4 = (-0.3 \times 10 + 18 - 0.3 \times 10 - 3) \text{ V} = 9 \text{ V}$ 。

通过回路 EDCBA: $U_{EA} = -E_2 - IR_2 - IR_1 + E_1 = (-9 + 0.3 \times 10 + 0.3 \times 10 + 12) \text{ V} = 9 \text{ V}$ 。

由以上计算看出,沿两条不同路径计算时,其结果是一样的,但在实际计算时,一般尽量选取较短的路径,以简化计算。

二、电压源与电流源及其等效变换

任何一种实际电路必须有电源持续不断地向电路提供能量。电源有多种,如干电池、蓄电池、光电池、发电机及电子线路中的信号源等。在电路理论中任何一个实际电源都可以用电压源或电流源这两种模型来表示。

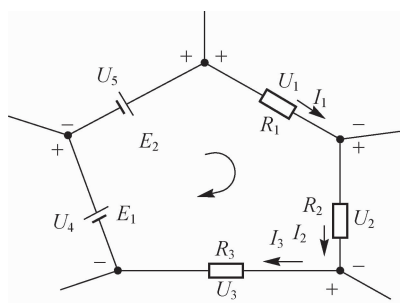


图 2-29 基尔霍夫电压定律示意图

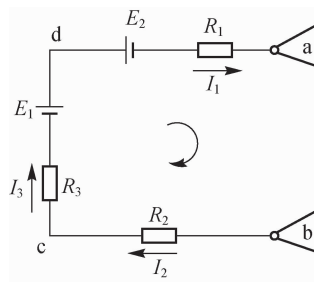


图 2-30 不闭合的电路

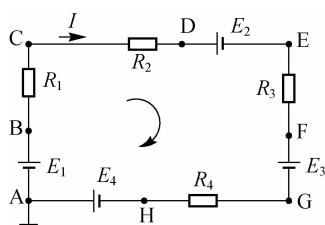


图 2-31 例 2-10 的电路图

1. 电压源

任何一个实际电源,都可以用恒定电动势 E 和内阻 r_0 串联的电路来表示,称之为电压源,如图 2-32 虚线框内所示。电压源是以输出电压的形式向负载供电的,输出电压的大小为 $U = E - Ir_0$ 。如果电源内阻 $r_0 = 0$,电源始终输出恒定电压 $U = E$,把内阻 $r_0 = 0$ 的电压源称为理想电压源,电路符号如图 2-33(a)所示。直流理想电压源也常用图 2-33(b)表示。

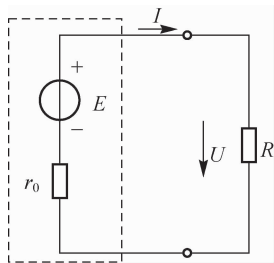


图 2-32 实际电压源电路符号

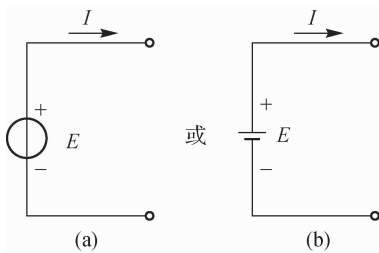
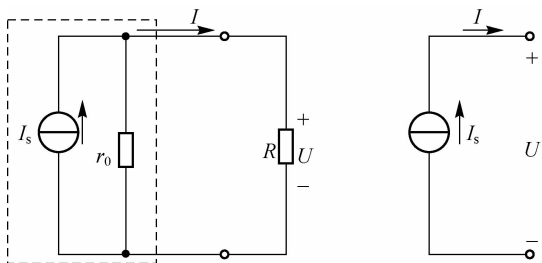


图 2-33 理想电压源电路符号

定义理想电压源是有重要理论价值和实际意义的,但理想的电压源在实际中是不存在的。因为任何电源总是存在内阻,实际电压源的内阻越小,就越接近理想电压源。通常情况下,性能良好的干电池、蓄电池、直流发电机都可以看作是理想电压源。

2. 电流源

电流源是一种不断向外电路输出电流的装置。如光电池,在具有一定照度的光线照射下,光电池将被激发产生一定值的电流,电流大小与照度成正比。实际电流源如图 2-34(a)虚线框内电路所示, I_s 为电流源的定值电流, r_0 为电流源的内阻。根据 KCL 可得 $I = I_s - \frac{U}{r_0}$,式中, $\frac{U}{r_0}$ 为内阻上的电流, I 为



(a)实际电流源

(b)理想电流源

图 2-34 实际电流源与理想电流源

电流源的输出电流。实际电流源内阻越大,内部分流越小。当 $r_0 = \infty$ 时,输出电流 I 接近于定值电流 I_s ,即与输出电压无关,这种情况下的电流源称为理想电流源,电路符号如图 2-34 (b)所示。

当然,理想电流源也是不存在的。但是,一些实际电流源在一定条件下,可近似用理想电流源代替。当实际电流源被短路时,端电压 $U = 0$,输出电流 I 最大,就等于理想电流源的电流,即 $I = I_s$;当实际电流源开路时,输出电流 $I = 0$, I_s 全部通过内阻,在这种情况下,内部损耗较大,因此,实际电流源不能工作在开路状态。

3. 电压源与电流源的等效变换

电压源以输出电压的形式向负载供电,电流源以输出电流的形式向负载供电。实际上,同一个电源既可以用电压源来表示,也可以用电流源来表示,而且两者之间可以等效互换,如图 2-35 所示。

其表达式为

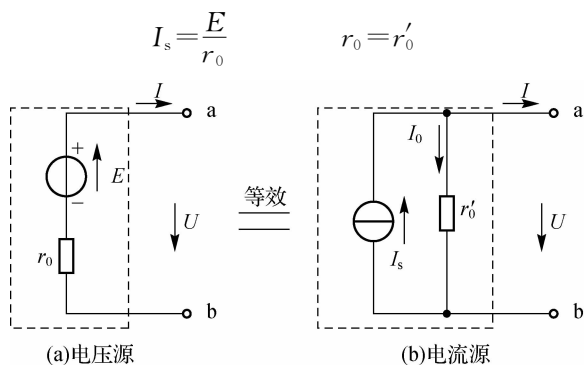


图 2-35 电压源与电流源的等效变换

不难看出,当电压源与电流源进行等效变换时,只需把电压源的短路电流 $\frac{E}{r_0}$ 作为电流源的恒定电流 I_s ,内阻数值不变,由串联改为并联,即可把电压源模型转化为电流源模型;反之,将电流源的开路电压 $I_s r_0$ 作为恒定电压 E ,内阻数值不变,由并联改为串联,即可把电流源模型转换为电压源模型。

在进行电源的等效变换时必须注意以下几点。

(1)电压源与电流源的等效变换只是对外电路,即对图中虚线框的外部而言,两种电源内部并不等效。

(2)由于理想电压源的内阻定义为零,理想电流源的内阻定义为无穷大,因此两者之间不能进行等效变换。

(3)电压源中的电动势 E 和电流源中的恒定电流 I_s 在电路中应保持方向一致,即 I_s 的方向从 E 的“-”端指向“+”端。

例 2-11 求图 2-36(a)所示电压源的等效电流源。

解 将电压源等效变换为电流源时,先求出电压源的短路电流(ab 两端短路),得 $I_s = \frac{E}{r_0} = \frac{12}{3} \text{ A} = 4 \text{ A}$ 。将 $I_s = 4 \text{ A}$ 与 $r_0 = 3 \Omega$ 并联,即为所求等效电流源,如图 2-36(b)所示。

图 2-36(a)中电压源电压的“+”极位于 a 端,等效电流源的输出电流也应从 a 端流出。

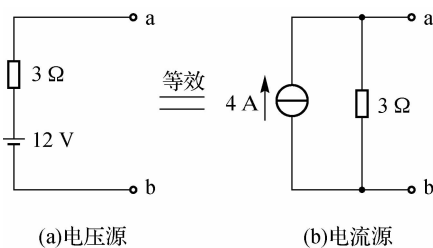


图 2-36 例 2-11 的电路图

任务实施

一、材料清单

本任务的材料清单见表 2-4。

表 2-4 材料清单

任务器材	计算机	Multisim 10 仿真软件
数量	1 台	1 套

二、内容与步骤

1. 综合电路测试

- (1)按电路原理图 2-37 所示进行接线。
- (2)检查无误后,分别按表 2-3 要求的电源电压数值通入直流电。
- (3)分别读取电流表数值并填入表格中。
- (4)用电压表分别测量 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AC} 电压,将结果填入表 2-5 中。
- (5)总结各支路电流、电压遵循的规律。
- (6)仿真实训电路如图 2-38 所示。

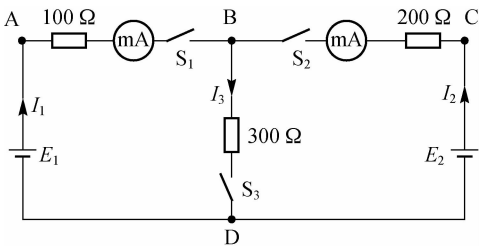


图 2-37 基尔霍夫定律验证电路原理图

表 2-5 综合电路测试数据

E_1/V	E_2/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	U_{AB}/V	U_{BC}/V	U_{CA}/V
12	12						
9	12						
12	10						
总结规律							

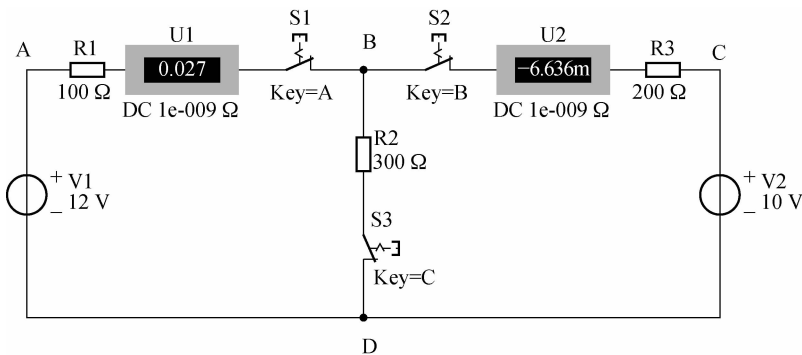


图 2-38 基尔霍夫定律验证仿真电路

2. 验证基尔霍夫电流定律

- (1)打开 Multisim 10 仿真软件,建立如图 2-39 所示的实验电路。

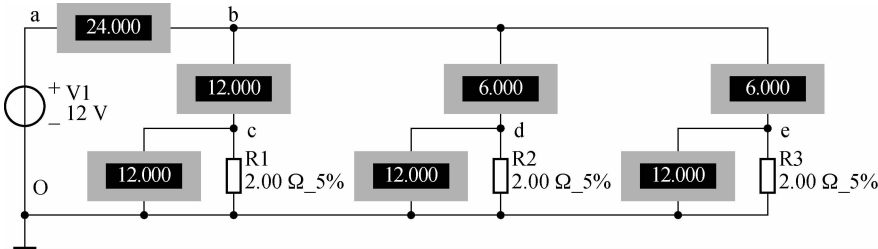


图 2-39 验证基尔霍夫电流定律仿真电路

- (2) 单击仿真开关,进行仿真分析,记录电流 I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{cd} 、 I_{be} , 计算电流 I_{bc} 、 I_{bd} 、 I_{be} 之和。
- (3) 改变电阻元件参数或改变电源电压值,再分别测量并记录有关数据,填入表 2-6 中。

表 2-6 验证基尔霍夫电流定律的测量结果

序 号	I_{ab}	I_{bc}	I_{bd}	I_{be}	$I_{bc} + I_{bd} + I_{be}$	结 论
1						
2						
3						
4						
5						

3. 验证基尔霍夫电压定律

- (1) 打开 Multisim 10 仿真软件,建立如图 2-40 所示的实验电路。

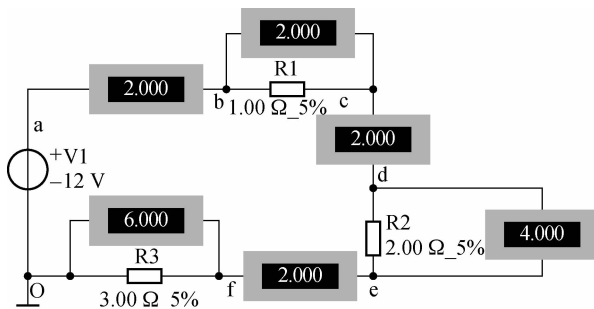


图 2-40 验证基尔霍夫电压定律仿真电路

- (2) 单击仿真开关,进行仿真分析,记录 I_{ab} 、 I_{cd} 、 I_{ef} 及 U_{bc} 、 U_{de} 、 U_{fo} , 计算电压 U_{bc} 、 U_{de} 、 U_{fo} 之和。
- (3) 改变电阻元件参数或改变电源电压值,再分别测量并记录有关数据,填入表 2-7 中。

表 2-7 验证基尔霍夫电压定律的实验数据

序 号	I_{ab}	I_{cd}	I_{ef}	结 论	序 号	U_1	U_{bc}	U_{de}	U_{fo}	$U_{bc} + U_{de} + U_{fo}$	结 论
1					1						
2					2						
3					3						
4					4						
5					5						

三、注意事项

- (1) 首先要熟悉 Multisim 10 仿真软件的基本操作。
- (2) Multisim 10 仿真软件的使用重在测试,就相当于在计算机上进行电路的实验,所以学会测量相关参数很重要。

任务考核

班 级		姓 名		组 号		扣分记录	得 分
项 目	配 分	考核要求		评分细则			
正确连接电路	20 分	能使用仿真软件,并能正确连接电路		(1)不会使用仿真软件,扣 10 分; (2)未能正确连接电路,每处扣 5 分			
验证基尔霍夫电流定律	30 分	能正确进行仿真,并准确读出实验数据		(1)连接方法不正确,每处扣 5 分; (2)不能正确进行仿真,扣 5 分; (3)读数不准确,每次扣 5 分			
验证基尔霍夫电压定律	30 分	能正确进行仿真,并准确读出实验数据		(1)连接方法不正确,每处扣 5 分; (2)不能正确进行仿真,扣 5 分; (3)读数不准确,每次扣 5 分			
能正确记录实训数据	10 分	能正确记录相关数据并分析		(1)不能进行相关数据的分析,扣 10 分; (2)不能正确记录相关数据,每次扣 5 分			
安全文明操作	10 分	(1)安全用电,无人为损坏仪器、元件和设备的现象; (2)保持环境整洁、秩序井然,操作习惯良好; (3)小组成员协作和谐,态度正确; (4)不迟到、不早退、不旷课		(1)违反操作规程,每次扣 5 分; (2)工作场地不整洁,扣 5 分			
总 分							

思考与练习

一、判断题

1. 在任何闭合回路中,各段电压的代数和为零。 ()
2. 电路中某点的电位就是由该点到参考点的电压。 ()
3. 在几个电动势串联的无分支电路中,某点的电位就等于该点到参考点路径上所有电动势的代数和。 ()

二、填空题

1. 基尔霍夫电流定律简称_____,又称_____,是反映电路中与同一节点

相连的支路中电流之间关系的定律。

2. 基尔霍夫电压定律简称_____, 又称_____, 它反映了回路中各电压间的相互关系。

3. 实际上, 同一个电源既可以用_____来表示, 也可以用_____来表示, 而且两者之间可以等效互换。

三、计算题

1. 电路图如图 2-41 所示, 求 I_1 、 I_2 的大小。

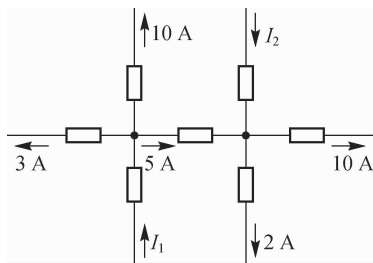


图 2-41 计算题 1 的电路图

2. 将图 2-42 所示电路化简成等效电流源。

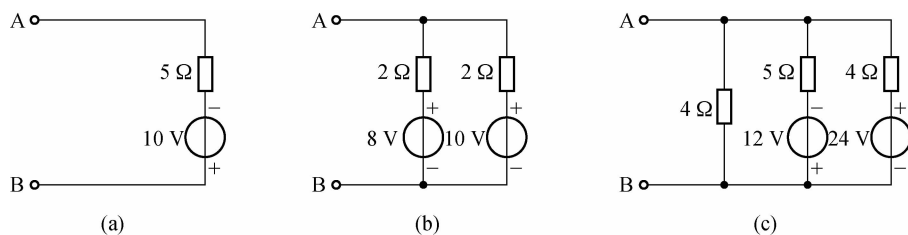


图 2-42 计算题 2 的电路图

3. 将图 2-43 所示电路化简成等效电压源。

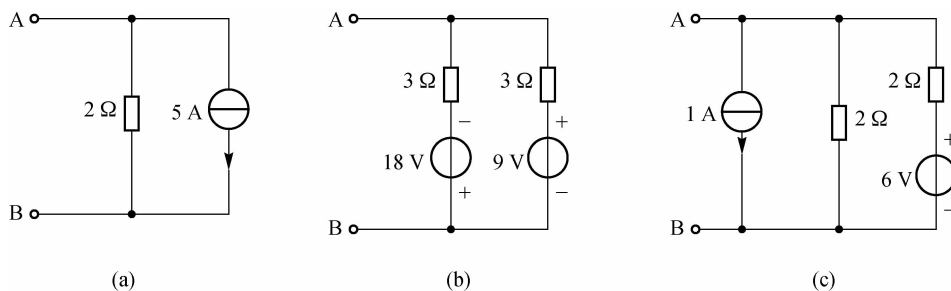


图 2-43 计算题 3 的电路图

4. 用电源等效变换方法, 求图 2-44 所示电路中的 U 和 I 。

5. 图 2-45 所示电路中, 已知 $E_1=45\text{ V}$, $E_2=48\text{ V}$, $R_1=5\text{ }\Omega$, $R_2=3\text{ }\Omega$, $R_3=20\text{ }\Omega$, $R_4=6\text{ }\Omega$, $R=2\text{ }\Omega$, 求流过 R 的电流 I 。

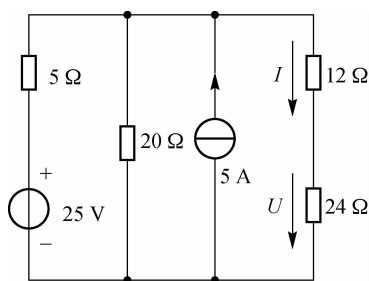


图 2-44 计算题 4 的电路图

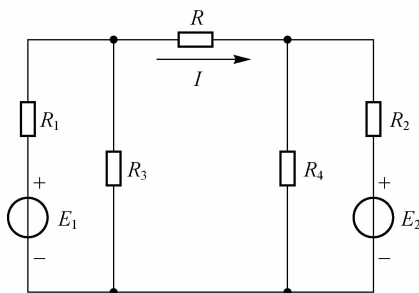


图 2-45 计算题 5 的电路图

任务三 验证叠加原理及戴维南定理

复杂电路的分析不能简单地用欧姆定律来解决,需要借助于基尔霍夫定律来分析讨论,常用的解决复杂电路的方法有支路电流法、叠加原理和戴维南定理等。

一、支路电流法

支路电流法是分析复杂电路的基本方法,对于一个复杂电路,在已知电路中各电阻和电动势的前提下,以各条支路电流为未知量,根据基尔霍夫第一定律和基尔霍夫第二定律分别列出电路中的节点电流方程及回路电压方程,然后联立求解,计算出各支路电流,这种分析电路的方法称为支路电流法。

图 2-46 所示是两个电源并联供电的电路。已知两个电源的电动势 E_1 、 E_2 , 内阻 r_1 、 r_2 , 以及负载电阻 R_3 , 求各支路电流。

这个电路有三条支路,有三个未知量,要解出三个未知量,需要三个独立方程式联立求解。利用基尔霍夫定律可列出所需要的方程组。

首先假设各支路电流方向与绕行方向如图 2-46 所示,根据 KCL 可得

$$\text{对于节点 A} \quad I_1 + I_2 = I_3$$

$$\text{对于节点 B} \quad I_3 = I_1 + I_2$$

很明显,两个方程实际上是一个方程。所以对两个节点的电路,只能列出一个独立的节点电流方程。

根据 KVL 可得

$$\text{对回路 I} \quad I_1 r_1 - I_2 r_2 = E_1 - E_2$$

$$\text{对回路 II} \quad I_2 r_2 + I_3 r_3 = E_2$$

$$\text{对回路 III} \quad I_1 r_1 + I_3 R_3 = E_1$$

上述三个方程式中的任何一个方程式,都可以从其他两个方程式中推导出,所以只有两

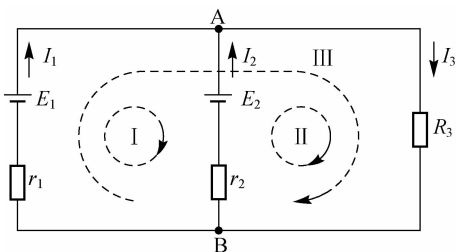


图 2-46 支路电流法的应用

个回路电压方程是独立的。在复杂电路中,运用 KVL 所列的独立方程数等于电路的网孔数。这样,即可列出三个独立方程

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ I_1 r_1 - I_2 r_2 = E_1 - E_2 \\ I_1 r_1 + I_3 R_3 = E_1 \end{cases}$$

只要解出上述三个联立方程,就可求得三条支路电流。

支路电流法的解题步骤可概括如下。

(1)分析电路的结构,看有几条支路、几个网孔,选取并标出各支路电流的参考方向、网孔或回路电压的绕行方向。

(2)根据 KCL 列出 $n-1$ 个独立节点的电流方程(n 为节点的数目)。

(3)根据 KVL 列出 m 个网孔的电压方程(m 为网孔的数目)。

(4)代入已知的电阻和电动势的数值,联立求解以上方程得出各支路电流值。

(5)由各支路电流可求出相应的电压和功率。

例 2-12 在图 2-46 所示电路中,已知电源电动势 $E_1 = 7 \text{ V}$,内阻 $r_1 = 0.2 \Omega$, $E_2 = 6.2 \text{ V}$, $r_2 = 0.2 \Omega$,负载电阻 $R_3 = 3.2 \Omega$ 。求各支路电流和负载的端电压。

解 根据图中标出的各电流方向,将已知数代入联立方程可得方程组

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 0.2I_1 - 0.2I_2 = 0.8 \\ 0.2I_1 + 3.2I_3 = 7 \end{cases}$$

解方程后得: $I_1 = 3 \text{ A}$, $I_2 = -1 \text{ A}$, $I_3 = 2 \text{ A}$ 。

电流 I_2 为负值,说明 I_2 的实际方向与参考方向相反,即实际方向应从 A 指向 B。这时电源 E_2 是处于负载状态。

负载两端的电压 $U_3 = I_3 \times R_3 = 2 \times 3.2 \text{ V} = 6.4 \text{ V}$ 。

二、叠加原理

叠加原理是线性电路分析的基本方法,它的内容是:在线性电路中,任一支路中的电流(或电压)等于各个电源单独作用时,在此支路中所产生的电流(或电压)的代数和。

应用叠加原理求复杂电路,可将电路等效变换成几个简单电路,然后将计算结果叠加,求得原来电路的电流、电压。在等效变换过程中,要保持电路中所有电阻不变(包括电源内阻),假定电路中只有一个电源起作用,而将其他电源作多余电源处理,多余电压源作短路处理,多余电流源作开路处理。

下面通过例题来介绍利用叠加原理解题的步骤。

例 2-13 用叠加原理求例 2-12 电路中各支路电流和负载两端的电压,如图 2-47 所示。

解 (1)假定待求各支路的电流的参考方向如图 2-47(a)所示。图中 I_1 、 I_2 、 I_3 为待求支路电流, U_{AB} 为待求负载电压。

(2)求 E_1 单独作用时的各支路电流 I'_1 、 I'_2 、 I'_3 和负载电压 U'_{AB} ,如图 2-47(b)所示。

由于这时只有一个电动势作用,各电流的实际方向是容易判定的,可以利用简单电路的计算方法来计算。

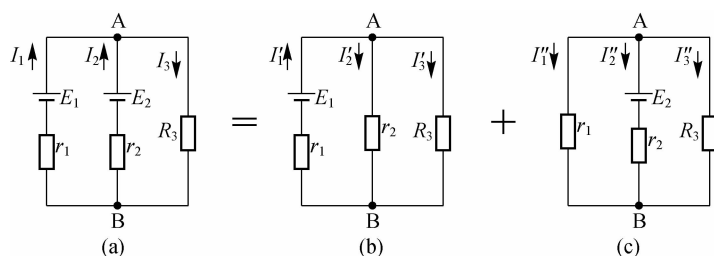


图 2-47 例 2-13 的电路图

$$R' = r_1 + \frac{r_2 R_3}{r_2 + R_3} = 0.3882 \Omega$$

$$I_1' = \frac{E_1}{R'} = 18.03 \text{ A}$$

$$U_{AB}' = I_1' \frac{r_2 R_3}{r_2 + R_3} = 3.393 \text{ V}$$

$$I_2' = \frac{U_{AB}'}{r_2} = 16.97 \text{ A}$$

$$I_3' = \frac{U_{AB}'}{R_3} = 1.0603 \text{ A}$$

(3) 求 E_2 单独作用时的各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 和负载电压 U_{AB} , 这时电路如图 2-47(c) 所示, 计算方法与上面相同, 有

$$R'' = 0.3882 \Omega$$

$$I_2'' = 15.97 \text{ A}$$

$$U_{AB}'' = 3.006 \text{ V}$$

$$I_1'' = 15.03 \text{ A}$$

$$I_3'' = 0.9394 \text{ A}$$

(4) 将每一支路的电流或电压分别进行叠加。凡是与原电路中假定的电流(或电压)方向相同的为正, 反之为负。这样, 待求的各支路电流和负载电压分别为

$$I_1 = I_1' - I_1'' = (18.03 - 15.03) \text{ A} = 3 \text{ A}$$

$$I_2 = -I_2' + I_2'' = (-16.97 + 15.97) \text{ A} = -1 \text{ A}$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = (1.0603 + 0.9394) \text{ A} = 2 \text{ A}$$

$$U_{AB} = U_{AB}' + U_{AB}'' = (3.393 + 3.006) \text{ V} = 6.4 \text{ V}$$

计算结果与前面采用支路电流法完全一致。同时也可看出, 这一方法虽然可行, 但过程比较繁琐, 因而在计算复杂电路时不常采用。还应该指出, 运用叠加原理只能计算电路中的电压或电流, 而不能用于计算功率。因为功率与电流(或电压)之间的关系不是线性关系。

三、二端网络与戴维南定理

戴维南定理又称为二端网络定理或等效发电机定理。

1. 二端网络

在电路分析中, 任何具有两个引出端的部分电路都可称为二端网络。二端网络中, 如果含

有电源就称为有源二端网络,如图 2-48(a)所示;如果没有电源则称为无源二端网络,如图 2-48(b)所示。电阻的串联、并联、混联电路都属于无源二端网络,它总可以用一个等效电阻来替代,而一个有源二端网络则可以用一个等效电压源来代替。

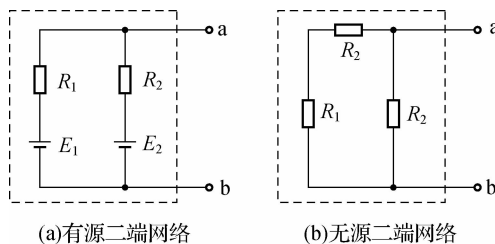


图 2-48 二端网络

2. 戴维南定理

戴维南定理是说明如何将一个线性有源二端电路等效成一个电压源的重要定理。戴维南定理可以表述如下:对外电路来说,线性有源二端网络可以用一个理想电压源和一个电阻的串联组合来代替。理想电压源的电压等于该有源二端网络两端点间的开路电压,用 U_0 表示;电阻则等于该网络中所有电源都不起作用时(电压源短接,电流源切断)两端点间的等效电阻,用 R_0 表示。

应用戴维南定理求某一支路电流和电压的步骤如下。

- (1) 把复杂电路分成待求支路和有源二端网络两部分。
- (2) 把待求支路移开,求出有源二端网络两端点间的开路电压 U_0 。
- (3) 把网络内各电压源短路,切断电流源,求出无源二端网络两端点间的等效电阻 R_0 。
- (4) 画出等效电压源图,该电压源的电动势 $E=U_0$,内阻 $r_0=R_0$,并将其与待求支路接通,形成与原电路等效的简化电路,用欧姆定律或基尔霍夫定律求支路的电流或电压。

例 2-14 用戴维南定理计算图 2-49(a)所示电路中 $3\ \Omega$ 电阻中的电流 I 及 U_{ab} 。

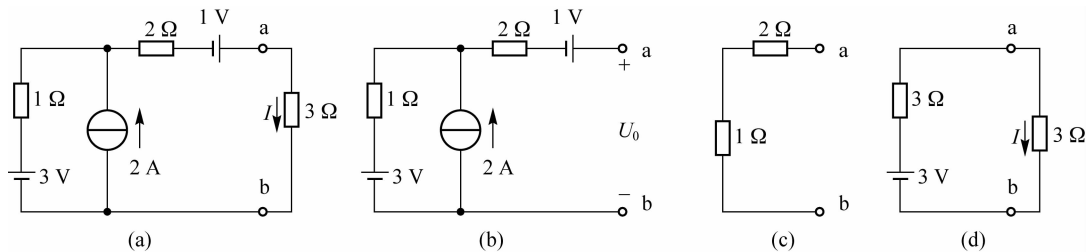


图 2-49 例 2-14 的电路图

解 (1) 把电路分为待求支路和有源二端网络两部分。移走待求支路,得到有源二端网络,如图 2-49(b)所示。

(2) 图 2-49(b)所示为一简单电路,其中 $2\ \Omega$ 电阻支路中电流为零,左边回路中的电流由理想电流源决定为 $2\ \text{A}$,由此得 $U_0 = (1 + 2 \times 0 + 1 \times 2 + 3)\ \text{V} = 6\ \text{V}$ 。

(3) 再求该二端网络除去电源后的等效电阻 R_0 ,如图 2-49(c)所示, $R_0 = (2 + 1)\ \Omega = 3\ \Omega$ 。

(4) 画出等效电压源模型,接上待求支路,如图 2-49(d)所示,由于已将原电路化简为了简单电路,则电流 I 及 U_{ab} 都很容易计算出来。

任务实施

一、材料清单

本任务的材料清单见表 2-8。

表 2-8 材料清单

任务器材	计算机	Multisim 10 仿真软件
数量	1 台	1 套

二、内容与步骤

1. 验证叠加原理

1) 原电路测试

- (1) 打开 Multisim 10 仿真实验软件, 建立如图 2-50 所示的实验电路。
- (2) 记录 R_1 两端的电压 U_1 、 R_2 两端的电压 U_2 , 并填写在表 2-6 中。

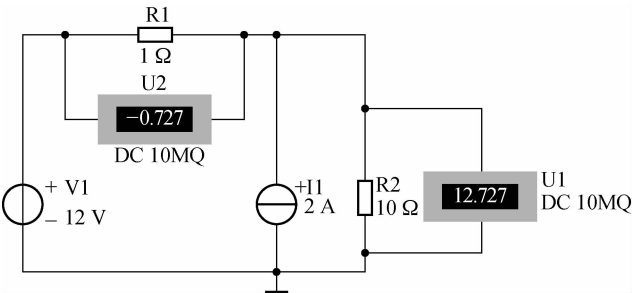


图 2-50 叠加原理原电路测试

2) 电压源单独作用时的电路测试

- (1) 打开 Multisim 10 仿真实验软件, 建立如图 2-51 所示的实验电路。
- (2) 记录 R_1 两端的电压 U_{11} 、 R_2 两端的电压 U_{21} , 并填写在表 2-6 中。

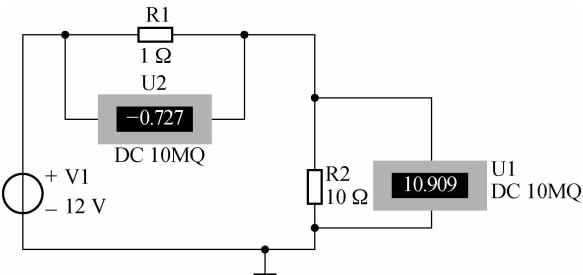


图 2-51 电压源单独作用时的电路测试

3) 电流源单独作用时的电路测试

- (1) 打开 Multisim 仿真实验软件, 建立如图 2-52 所示的实验电路。
- (2) 记录 R_1 两端的电压 U_{12} 、 R_2 两端的电压 U_{22} , 并填写在表 2-9 中。

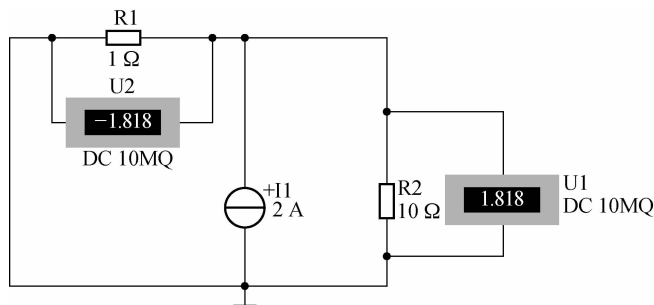


图 2-52 电流源单独作用时的电路测试

4) 整理测试数据并得出结论

表 2-9 验证叠加原理实验数据

原电路测试		电压源单独作用时		电流源单独作用时		电压叠加	
U_1	U_2	U_{11}	U_{21}	U_{12}	U_{22}	$U_{11} + U_{12}$	$U_{21} + U_{22}$

2. 验证戴维南定理

1) 原电路测试

(1) 打开 Multisim 10 仿真实验软件, 建立如图 2-53 所示的实验电路。

(2) 记录 a、b 两端的电压 U_{ab} 和负载电阻 R_L 上流过的电流值 I_{RL} , 并填写在表 2-10 中。

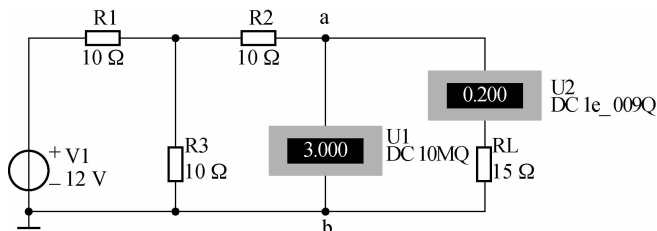


图 2-53 戴维南定理原电路测试

2) 测量二端网络的开路电压

(1) 打开 Multisim 10 仿真实验软件, 建立如图 2-54 所示的实验电路。

(2) 打开仿真开关, 进行仿真分析, 测量 a、b 两端的开路电压 U_0 并填写在表 2-10 中。

3) 测量二端网络的等效电阻

(1) 建立如图 2-55 所示的实验电路。

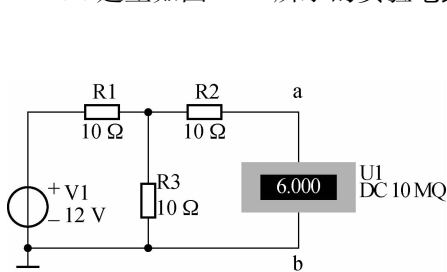


图 2-54 测量二端网络开路电压

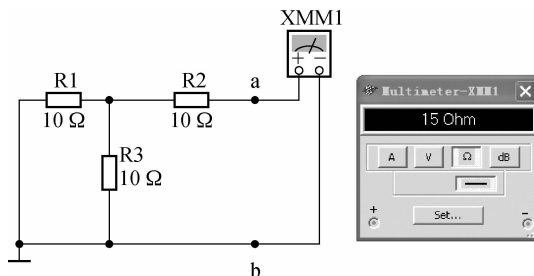


图 2-55 测量二端网络等效电阻

- (2)打开仿真开关,进行仿真分析,测量 a、b 两端的等效电阻 R_0 并填写在表 2-7 中。
- (3)根据 U_0 和 R_0 的测量值,画出戴维南等效电路。
- 4)验证戴维南等效电路
- (1)建立如图 2-56 所示的负载电阻 R_L ,连接在网络两端的实验电路。
- (2)单击仿真开关,测量电压 U_{ab} 以及电流 I_{RL} 填写在表 2-10 中,并和图 2-53 所示电路的测试结果进行比较。

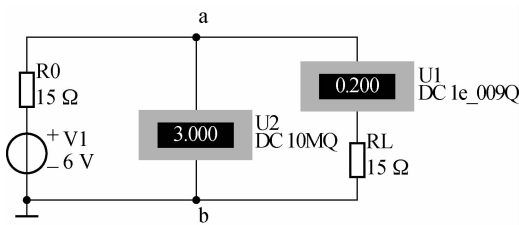


图 2-56 验证等效电路

表 2-10 测量数据

原电路测试		戴维南定理应用		等效电路测试	
U_{ab}	I_{RL}	开路电压 U_0	等效电阻 R_0	U_{ab}	I_{RL}

- 5)整理测试数据并得出结论
- 自己设定电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 的阻值,重复上述步骤,将仿真实验数据填写在表 2-11 中,并总结结论。

表 2-11 验证戴维南等效电路实验数据

R_1 的阻值		R_2 的阻值		R_3 的阻值	
原电路测试		戴维南定理应用		等效电路测试	
U_{ab}	I_{RL}	开路电压 U_0	等效电阻 R_0	U_{ab}	I_{RL}

三、注意事项

- (1)首先要熟悉 Multisim 10 仿真软件的基本操作。
- (2)验证叠加原理时,注意电压数值的正、负问题。

任务考核

班 级		姓 名		组 号		扣分记录	得 分
项 目	配 分	考核要求		评分细则			
正确连接电路	20 分	能使用仿真软件,并能正确连接电路		(1)不会使用仿真软件,扣 10 分; (2)未能正确连接电路,扣 5 分			

续表

班 级		姓 名		组 号		扣分记录	得 分
项 目	配 分	考核要求		评分细则			
验证戴维南定理	30 分	能正确进行仿真,并准确读出实验数据		(1)不能正确进行仿真,扣 5 分; (2)不会测量二端网络的开路电压,扣 5 分; (3)不会测量二端网络的等效电阻,扣 5 分; (4)不会建立戴维南等效电路并进行测试,扣 15 分			
验证叠加原理	30 分	能正确进行仿真,并准确读出实验数据		(1)不会进行电压源单独作用时的电路测试,扣 15 分; (2)不会进行电流源单独作用时的电路测试,扣 15 分			
能正确记录实训数据	10 分	能正确记录相关数据并分析		(1)不能进行相关数据的分析,扣 5 分; (2)不能正确记录相关数据,每次扣 5 分			
安全文明操作	10 分	(1)安全用电,无人为损坏仪器、元件和设备的现象; (2)保持环境整洁、秩序井然,操作习惯良好; (3)小组成员协作和谐,态度正确; (4)不迟到、不早退、不旷课		(1)违反操作规程,每次扣 5 分; (2)工作场地不整洁,扣 5 分			
总 分							

思考与练习

一、填空题

1. 测量直流电流时,电流表应该_____在被测电路中,电流应从_____端流入。
2. 使用直流电压表时,除了使电压表与被测电路并联外,还应使电压表的“+”端与被测电路的_____相连。
3. 叠加原理是电路分析的基本方法,它的内容是:在_____电路中,任一支路中的电流(或电压)等于各个_____单独作用时,在此支路中所产生的电流(或电压)的_____。

二、简答题

1. 支路电流法的解题步骤有哪些?

2. 应用戴维南定理求某一支路电流和电压的步骤有哪些?

三、计算题

1. 在图 2-57 所示电路中, 已知 $E_1=40\text{ V}$, $E_2=5\text{ V}$, $E_3=25\text{ V}$, $R_1=5\text{ }\Omega$, $R_2=R_3=10\text{ }\Omega$, 试用支路电流法求各支路的电流。

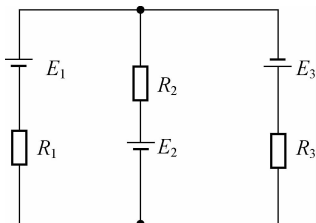


图 2-57 计算题 1 的电路图

2. 电路如图 2-58 所示, 运用叠加原理求各支路的电流。

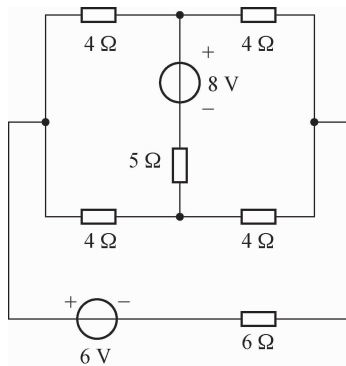


图 2-58 计算题 2 的电路图

3. 已知某电路如图 2-59 所示, 它为有源网络。求: (1) 该有源网络的等效电压; (2) 该有源网络的等效内阻。

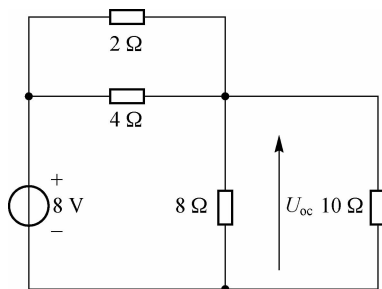


图 2-59 计算题 3 的电路图

项目三

电工工具及电工仪表的使用

知识目标

- 熟悉常用电工工具及其使用方法；
- 了解测量绝缘电阻的方法；
- 了解测量接地电阻的方法。

技能目标

- 掌握低压线路中导线连接的方法；
- 掌握用兆欧表测量绝缘电阻的方法；
- 掌握用接地电阻测量仪测量接地电阻的方法。

项目分析

电气操作中离不开电工工具的使用,正确、合理地使用电工工具是电气从业人员一项重要的技能。绝缘电阻及接地电阻的测量,是保障设备及人身安全的重要措施,电气从业人员必须掌握它们的测量方法。

任务一

电工工具及导线的连接

电气工程中,导线的连接是电工基本工艺之一,导线连接的质量关系着线路和设备运行的可靠性和安全程度。本任务要求学生完成单股塑料铜芯导线的直线和 T 形连接、多股塑料铜芯导线的直线和 T 形连接并进行连接头处的绝缘处理。

一、常用电工工具

电工常用工具是指一般专业电工都要使用的工具。电工工具是电气操作的基本用具,

工具不合格、质量不好或使用不当都会影响工作质量,降低工作效率,甚至造成事故及人身伤害,因此电气操作人员必须掌握常用的电工工具的结构、性能和电工工具正确使用方法。

(一)螺丝刀

1. 螺丝刀的分类及选择

螺丝刀又称改锥、螺丝起子,是最常用的电工工具之一。它是一种用于紧固或拆卸螺钉的工具,通过握柄的旋转达到目的,操作方法简便。按握柄材料的不同,可分为木柄和塑料柄两大类;按照头部形状的不同,又可分为一字形和十字形两大类,如图 3-1 所示;还有一种称为组合型螺丝刀,该螺丝刀头部和握柄分开,可根据螺钉型号的不同更换刀头。

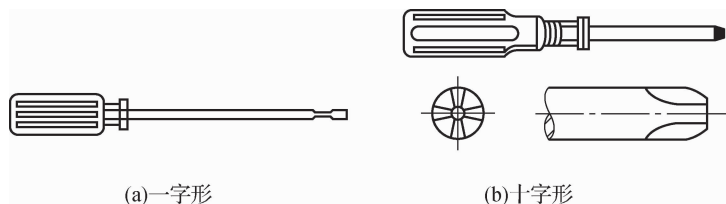


图 3-1 螺丝刀

一字形螺丝刀用来紧固或拆卸带有一字槽的螺钉,其规格用握柄部分以外的刀体长度表示,常用的有 100 mm、150 mm、200 mm 和 300 mm 等;十字形螺丝刀用于操作带十字槽的螺钉,按十字头的不同可大致分为 4 种。

使用螺丝刀时,应按照螺钉的规格选择合适的刀口,不匹配的操作不仅效率低,而且容易损坏螺钉和螺丝刀本身。

2. 螺丝刀的使用

1) 大螺丝刀的用法

大螺丝刀也称为改锥,一般用来紧固较大的螺钉。使用时,除大拇指、食指和中指要夹住握柄外,手掌还要用力顶住螺丝刀柄的末端,以防止旋转时滑脱,如图 3-2(a)所示。

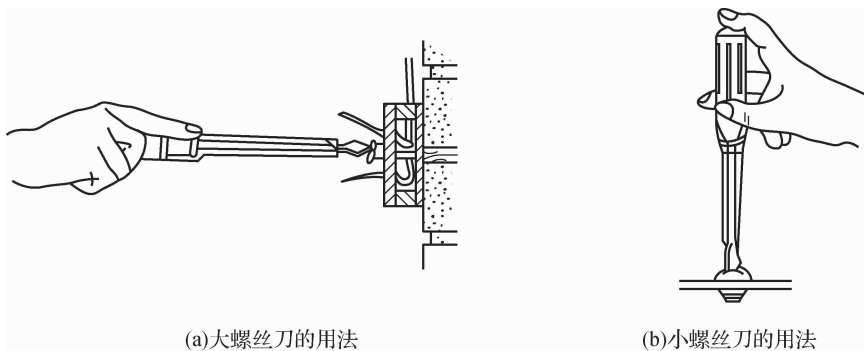


图 3-2 螺丝刀的使用

2) 小螺丝刀的用法

小螺丝刀一般用来紧固电气设备接线柱上的小螺钉,使用时,除用大拇指和中指夹着螺

丝刀握柄外,还需用食指顶住柄的末端旋拧,如图 3-2(b)所示。

3) 中型螺丝刀的用法

中型螺丝刀的长度介于大螺丝刀与小螺丝刀之间,可用右手压紧并转动手柄,左手握住螺丝刀的中间部分,起扶持作用,以使螺丝刀不致滑脱,此时左手不要距离螺钉太近,以免螺丝刀旋拧螺钉时滑出将手划破。

3. 使用螺丝刀时的注意事项

使用螺丝刀时应注意以下几点,避免出现触电事故。

- (1) 不得使用金属杆直通柄顶的螺丝刀(与人体构成回路)。
- (2) 使用螺丝刀紧固或拧松带电的螺钉时,手不可触及螺丝刀的金属杆。
- (3) 通常应在螺丝刀的金属杆上穿套绝缘杆。

(二) 钳子

钳子根据用途可分为钢丝钳、尖嘴钳、斜口钳、卡线钳、剥线钳和网线压线钳等。下面介绍其中几种。

1. 钢丝钳

钢丝钳又称平口钳、老虎钳,是电工用于剪切或夹持导线、金属丝、工件,剪切或夹持金属薄板的常用钳类工具。钢丝钳有铁柄和绝缘柄两种,绝缘柄为电工用钢丝钳,常用的规格有 150 mm、175 mm、200 mm 三种。

1) 电工钢丝钳的构造和用途

电工钢丝钳由钳头和钳柄两部分组成,钳头由钳口、齿口、刀口和侧口四部分组成。钢丝钳的不同部位有不同的用途:钳口用来弯绞或钳夹导线线头或其他金属、非金属物体;齿口用来紧固或松动螺母;刀口用来剪切导线、起拔铁钉或剖削软导线绝缘层;侧口用来侧切电线线芯、钢丝或铅丝等软硬金属。电工钢丝钳的构造及用法如图 3-3 所示。

电工所用的钢丝钳,在钳柄上应套有耐压为 500 V 以上的绝缘管。

2) 使用电工钢丝钳时的注意事项

- (1) 使用电工钢丝钳以前,必须检查绝缘柄的绝缘是否完好。绝缘如果损坏,进行带电作业时会发生触电事故。
- (2) 用电工钢丝钳剪切带电导线时,不得用刀口同时剪切相线和零线,或同时剪切两根相线,以免发生短路事故。

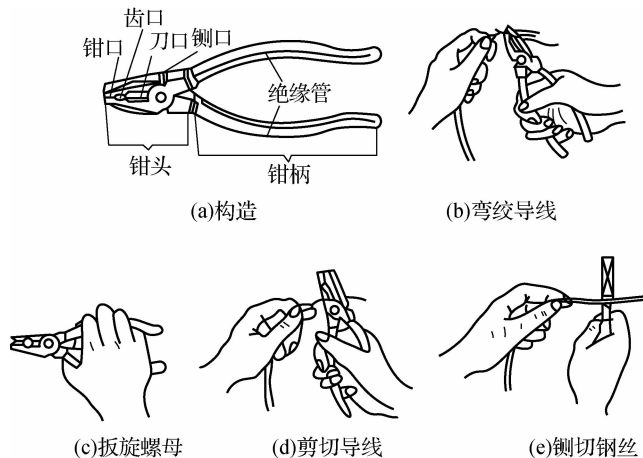


图 3-3 电工钢丝钳的构造及用法

2. 尖嘴钳及斜口钳

(1)尖嘴钳。尖嘴钳的头部尖细,适用于狭小的工作空间操作。尖嘴钳有铁柄和绝缘柄两种,绝缘柄为电工用尖嘴钳,绝缘柄的耐压为 500 V,其外形及握法如图 3-4 所示。尖嘴钳的规格以其全长的毫米数表示,有 130 mm、160 mm、180 mm 等几种。

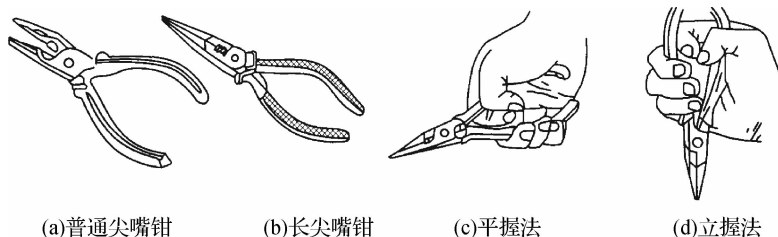


图 3-4 尖嘴钳的外形及握法

尖嘴钳的用途:带有刃口的尖嘴钳能剪断细小金属丝;尖嘴钳夹持较小螺钉、垫圈导线等元件;在装接控制线路板时,尖嘴钳能将单股导线弯成一定圆弧的接线鼻子;还可剪断导线、剥削绝缘层。

(2)斜口钳。斜口钳又称断线钳,其头部扁斜,钳柄有铁柄、管柄和绝缘柄三种形式,其中电工用的绝缘柄斜口钳的外形如图 3-5 所示,其耐压为 1 000 V。斜口钳专供剪断较粗的金属丝、线材及电线电缆等用。

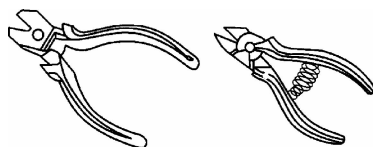


图 3-5 斜口钳的外形

3. 剥线钳

剥线钳有多种规格,下面介绍的是常用的一种。其他剥线钳的使用方法大同小异。剥线钳用来剥削直径 3 mm 及以下绝缘导线的塑料或橡胶绝缘层,它由钳口和手柄两部分组成。剥线钳钳口有 0.5~3 mm 的多个直径切口,用于不同规格线芯的剥削。其手柄套有绝缘材料,耐压值为 500 V。剥线钳的外形及用法如图 3-6 所示。

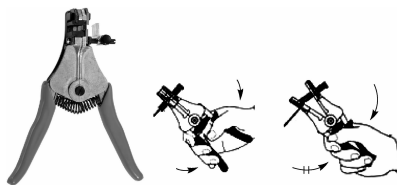


图 3-6 剥线钳的外形及用法

使用剥线钳时,把待剥落的绝缘长度用标尺定好以后,即可把导线放入相应的刃口中(比导线直径稍大),用手将钳柄一握,导线的绝缘层即被剥落并自动弹出。使用剥线钳时,不允许用小咬口剥大直径导线,以免咬伤导线芯;不允许当钢丝钳使用。

4. 网线压线钳

网线压线钳用来完成双绞网线的制作,具有剪线、剥线和压线三种用途。其外形及用法如图 3-7 所示。

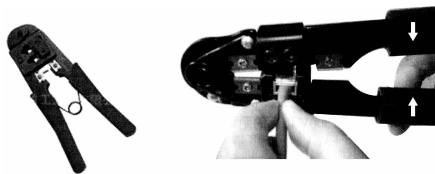


图 3-7 网线压线钳的外形及用法

(三)电工刀及电工工具包

1. 电工刀

电工刀是用来剖削和切割电工器材的常用工具,如剖削电线的绝缘皮等,它由刀片、刀刃、刀把、刀挂等构成。不用时,把刀片收缩到刀把内。在剖削电线绝缘层时,可把刀略微向内倾斜,用刀刃抵住线芯,刀口向外推出。这样既不易削伤线芯,又防止操作者受伤,剖削导线绝缘层时,应使刀面与导线呈 45°角切入,以免割伤导线。电工刀的外形及用法如图 3-8

所示。

使用电工刀时注意以下几点。

- (1)使用电工刀时应注意避免伤手。
- (2)电工刀用毕,随即将刀身折进刀柄。
- (3)电工刀刀柄是无绝缘保护的,不能在带电导线或器材上剖削,以免触电。

2. 电工工具包

电工工具包是用来放置电工随身携带的常用工具或零星电工器材的,一般包括验电笔、螺丝刀、电工刀、各种钳子等,便于安装和维修用电线路和电气设备。其外形和携带方法如图 3-9 所示。

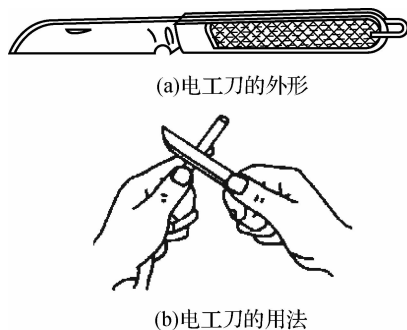


图 3-8 电工刀的外形及用法

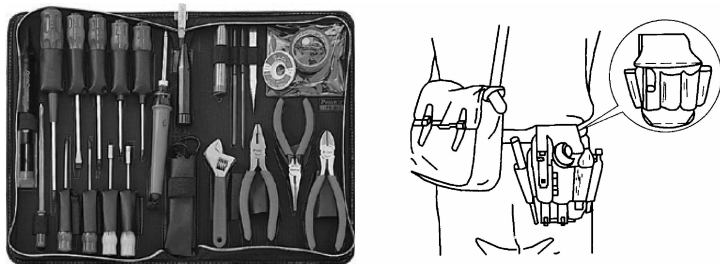


图 3-9 电工工具包外形和携带方法

(四)活络扳手和其他常用扳手

1. 活络扳手

活络扳手又称活络扳头、活扳,是用来紧固和松动螺母的一种专用工具。活络扳手的结构如图 3-10(a)所示,旋动蜗轮可调节扳口的大小。规格以“长度×最大开口宽度”(单位为 mm)来表示,电工常用的活络扳手有 150×19(6 in)、200×24(8 in)、250×30(10 in)和 300×36(12 in)等四种。扳较大螺母及较小螺母的握法分别如图 3-10(b)和图 3-10(c)所示。

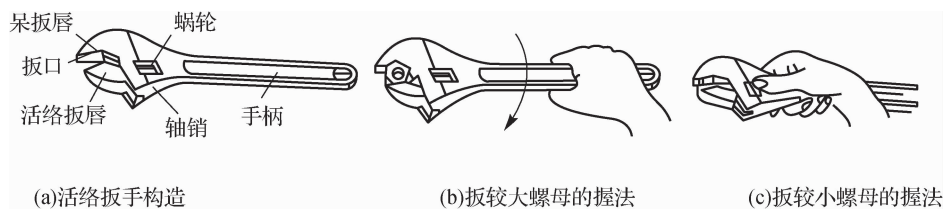


图 3-10 活络扳手结构及握法

活络扳手的使用方法如下。

- (1)扳动较小螺母时,需用力矩不大,但螺母过小,易打滑,因此操作手应握在接近扳手柄尾部的地方,以便随时调节蜗轮,收紧活络唇,防止打滑,见图 3-10(c)所示。
- (2)扳动大螺母时,需用较大力矩,手应握在接近扳手柄尾处。
- (3)活络扳手不可反方向用力,以免损坏活络扳唇,也不可用套接钢管接长手柄的方法

来施加较大的扳拧力矩。

(4)活络扳手不得当做撬棒或手锤使用,不能用于撬、砸等工作场所。

2. 其他常用扳手

扳手是用于螺纹连接的一种手动工具,除了活络扳手之外,种类和规格很多,如图 3-11 所示。下面介绍用于紧固、拆卸六角螺钉和螺母的几种扳手。

(1)呆扳手。呆扳手又称死扳手、固定扳手,其开口宽度不能调节,有单端开口和两端开口两种形式,分别称为单头扳手和双头扳手。单头扳手的规格以开口宽度表示,双头扳手的规格以两端开口宽度(单位为 mm)表示,如 8×10 、 32×36 等。

(2)梅花扳手。梅花扳手规格是双头形式,它的端口工作部分为封闭圆,封闭圆内分布了 12 个可与六角头螺钉或螺母相配的齿型。适用于工作空间狭小、不便使用活络扳手和呆扳手的场合,其规格表示方法与双头扳手相同。

(3)套筒扳手。套筒扳手由一套尺寸不同的梅花套筒头和一些附件组成,可用在一般扳手难以接近螺钉或螺母的场合,用来紧固或拆卸粗细尺寸不一的螺母。

(4)两用扳手。两用扳手的一端与单头扳手相同,另一端与梅花扳手相同,两端适用同一规格的六角螺钉或螺母。

(5)内六方扳手。内六方扳手又称为内六角扳手,用于旋动内六角螺钉,其规格以六角形对边的尺寸来表示,最小的规格为 3 mm,最大的为 27 mm。

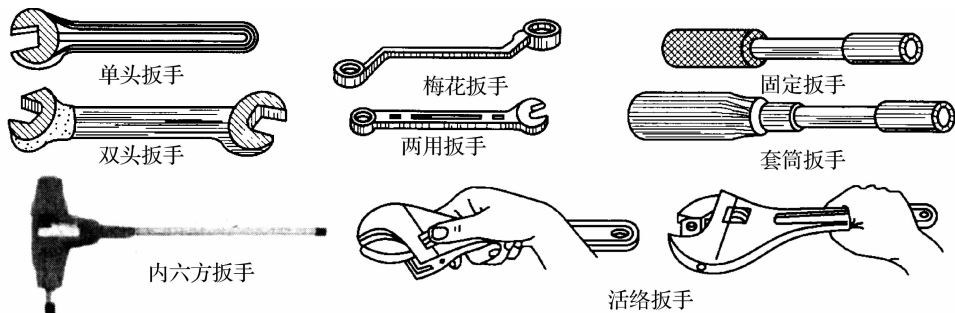


图 3-11 其他常用扳手

(五)加热工具

1. 电烙铁

1) 电烙铁的种类及结构

常用的电烙铁有外热式和内热式两大类,随着焊接技术的发展,又研制出恒温电烙铁和吸锡电烙铁。无论哪一种电烙铁,它们的工作原理基本上是相似的,都是在接通电源后,电流使电阻发热,并通过传热筒加热烙铁头,达到焊接温度后进行工作。

(1)外热式电烙铁。外热式电烙铁通常有 25 W、45 W、75 W、100 W、150 W、200 W 和 300 W 等多种规格,其外形及结构如图 3-12 所示,由烙铁头、传热筒、烙铁芯和支架等组成。

(2)内热式电烙铁。内热式电烙铁常见的有 20 W、30 W、35 W 和 50 W 等几种规格,其外形及结构如图 3-13 所示。内热式电烙铁具有发热快、耗电省、效率高、体积小、便于操作等优点。一把 20 W 的内热式电烙铁相当于 25~45 W 外热式电烙铁产生的温度。

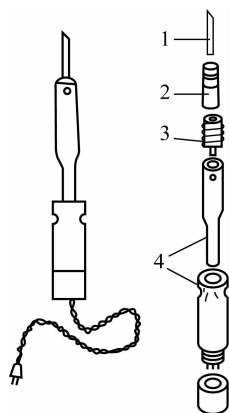


图 3-12 外热式电烙铁的外形及结构

1—烙铁头；2—传热筒；3—烙铁芯；4—支架

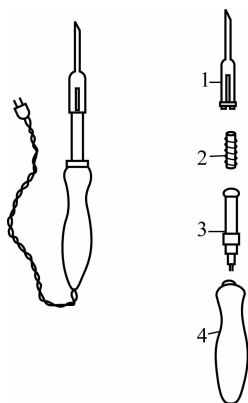


图 3-13 内热式电烙铁的外形及结构

1—烙铁头；2—发热元件；3—连接杆；4—胶木手柄

(3) 恒温电烙铁。恒温电烙铁的外形及结构如图 3-14 所示。它是借助于电烙铁内部的磁控开关自动控制通电时间而达到控温的目的,这种磁控开关是利用软金属被加热到一定温度而失去磁性作为切断电源的控制信号。电烙铁通电时,软金属块具有磁性,发热器通电升温。当烙铁头温度升到一定值时,软金属去磁,发热器断电,电烙铁温度下降。当温度降到一定值时,软金属恢复磁性,发热器电路又被接通。如此断续通电,可以把烙铁温度控制在一定范围之内。

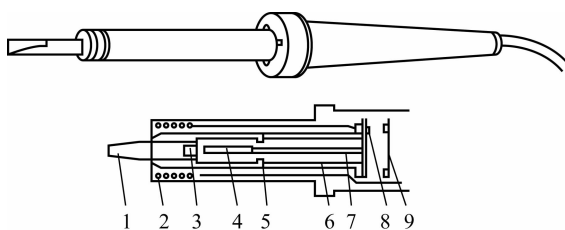


图 3-14 恒温电烙铁的外形及结构

1—烙铁头；2—发热器；3—软磁金属块；4—永久磁铁；5—支架；
6—磁性开关；7—小轴；8—接点；9—接触开关

(4) 吸锡电烙铁。吸锡电烙铁的结构如图 3-15 所示,它主要用于电工和电子技术安装维修中拆换元件。操作时先用吸锡式电烙头加热焊点,待焊锡熔化后,按动吸锡装置,即可把锡液从焊点上吸走,便于拆焊。

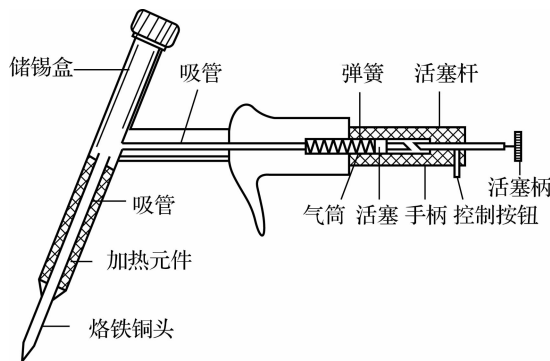


图 3-15 吸锡电烙铁的结构

1—烙铁头；2—发热器；3—软磁金属块；4—永久磁铁；5—支架；
6—磁性开关；7—小轴；8—接点；9—接触开关

2) 电烙铁的使用

(1) 电烙铁的使用方法和焊锡丝的拿法如图 3-16 所示。

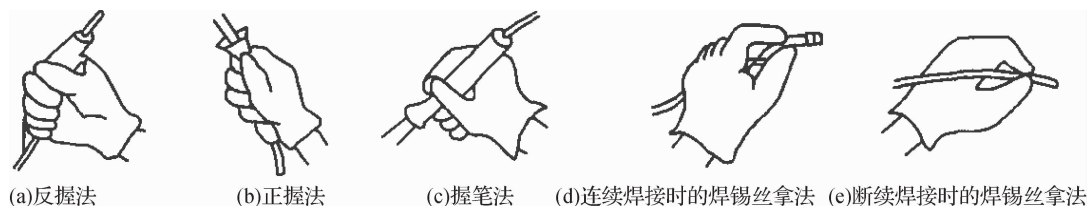


图 3-16 电烙铁的使用方法和焊锡丝的拿法

(2) 使用电烙铁的工作步骤。在手工使用电烙铁焊接时,特别是对初学者来说,一般可采用五步工序法来进行。五步工序分别为:准备施焊—加热焊件—送入焊丝—移开焊丝—移开烙铁,如图 3-17 所示。

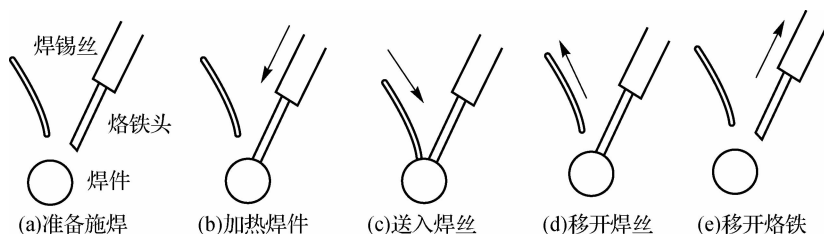


图 3-17 焊接工序示意图

3) 焊接的要求

焊接的基本要求是:焊点必须牢固,焊锡必须充分渗透,焊点表面光滑有泽,应防止出现“虚焊”“夹生焊”等现象。产生“虚焊”的原因是焊件表面未清理干净或焊剂太少,使得焊锡不能充分流动,造成焊件表面挂锡太少,焊件之间未能充分固定;造成“夹生焊”的原因是烙铁温度太低或焊接时烙铁停留时间过短,以致焊锡未能充分熔化所致。

(1) 焊接前的处理。一般要把焊头的氧化层用砂纸等用品除去,并用焊剂进行上锡处理,使得焊头的前端经常保持一层薄锡,以防止氧化,从而减少能耗、使导热良好。

(2) 焊接时的处理。用电烙铁焊接导线时,必须使用焊料和焊剂。焊料一般为丝状焊锡或纯锡,常见的焊剂有松香、焊膏等。

2. 热风枪

热风枪又称贴片电子元件拆焊台,它专门用于表面贴片安装电子元件(特别是多管脚的集成电路)的焊接和拆除,如图 3-18 所示。



图 3-18 热风枪

3. 吸锡器

吸锡器是拆卸电子元件时的必备工具,用于吸出焊点上的存锡,其外形如图 3-19 所示。



图 3-19 吸锡器的外形

4. 喷灯

喷灯是一种利用喷射火焰对工件进行加热的工具,常用来焊接铅包电缆的铅包层、大截面铜导线连接处的搪锡、电连接表面的防氧化镀锡、锡焊时加热烙铁或工件、水箱加热解冻、小型金属制件的热处理等。按使用燃油的不同,喷灯分煤油喷灯和汽油喷灯两种。喷灯燃烧时火焰温度可达 900°C 以上,其外形如图 3-20 所示。



图 3-20 喷灯外形

(六) 电动工具

1. 手电钻

手电钻是利用钻头加工小孔的常用电动工具,分手枪式和手提式两种。一般手枪式电钻加工孔径为 $0.3\sim 6.3\text{ mm}$;手提式电钻加工范围较大,加工孔径为 $6\sim 13\text{ mm}$ 。手电钻的外形如图 3-21 所示。手电钻在使用时应注意以下几点。

- (1) 使用前首先要检查电线绝缘是否良好,如果电线有破损,可用绝缘胶布包好。
- (2) 手电钻接入电源后,要用验电笔测试外壳是否带电,不带电才能使用。操作中需接触手电钻的金属外壳时,应佩戴绝缘手套、穿电工绝缘鞋并站在绝缘板上。
- (3) 在使用手电钻过程中,钻头应垂直于被钻物体,用力要均匀,当钻头卡在被钻物体上时,应停止钻孔,检查钻头是否卡得过松,重新紧固钻头后再使用。
- (4) 钻头在钻金属孔过程中,若温度过高,很可能引起钻头退火,因此钻孔时要适量加些润滑油。

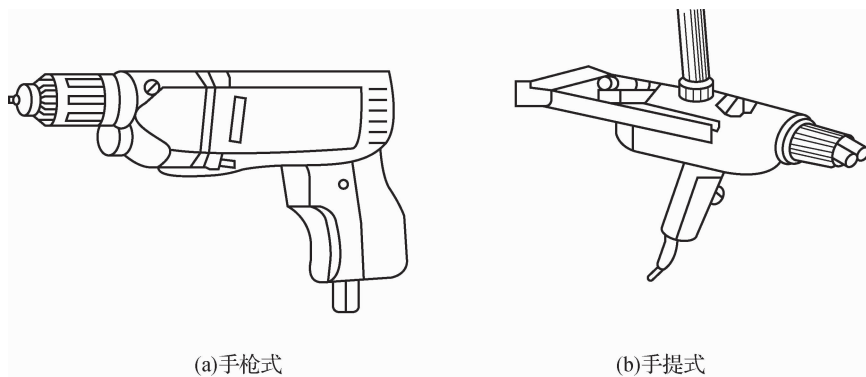


图 3-21 手电钻的外形

2. 冲击钻

冲击钻常用于在建筑物上打孔,把调节开关置于“钻”的位置,可作为普通电钻使用;置于“锤”的位置,钻头边旋转,边前后冲击,便于钻混凝土或砖结构建筑物上的孔,通常可冲打 $6\sim 16\text{ mm}$ 的圆孔。冲击钻的外形及其结构如图 3-22 所示。冲击钻在使用中应注意以下几点。

- (1) 长期搁置不用的冲击钻,使用前必须用 500 V 兆欧表测定其相对绝缘电阻,其值应不小于 $0.5\text{ M}\Omega$ 。

(2)在使用金属外壳冲击钻时,必须佩戴绝缘手套、穿绝缘鞋并站在绝缘板上,以确保维修人员的人身安全。

(3)在调速或调挡时,应该停转后再进行,避免打坏内部齿轮。

(4)在钢筋建筑物上冲孔时,遇到硬物时不应施加过大的压力,以免钻头退火或冲击钻因过载而损坏。冲击钻因故突然停转时应立即切断电源。

(5)在钻孔时应经常把钻头从钻孔中拔出以便排除钻屑。

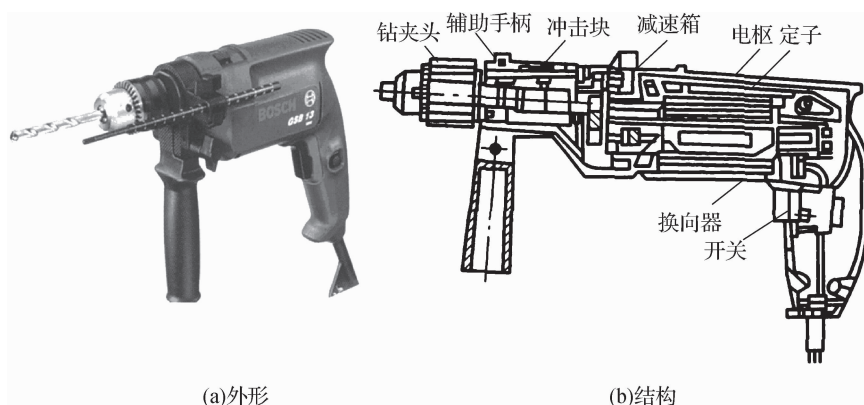


图 3-22 冲击钻的外形及结构

3. 电锤

电锤是装修工程常使用的一种工具,适用于混凝土、砖石等硬质建筑材料的钻孔,可替代手工进行凿孔操作,其外形及结构如图 3-23 所示。

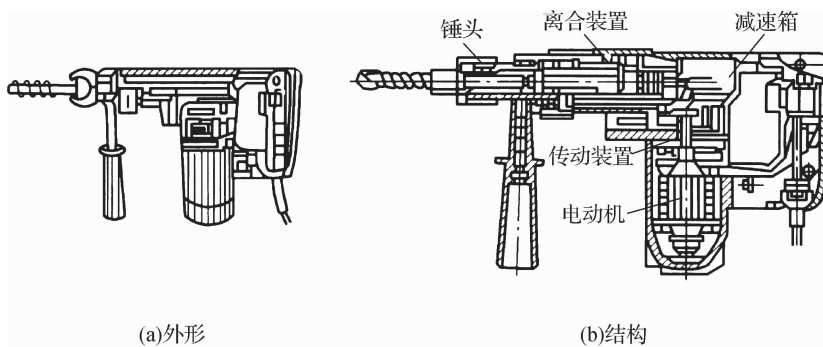


图 3-23 电锤的外形及结构

电锤在使用中应注意以下几点。

(1)使用前先检查电源线有无损伤,用 500 V 兆欧表对电锤电源线进行检测,电锤绝缘电阻应不小于 $0.5 \text{ M}\Omega$ 才能通电运转。

(2)电锤使用前应先通电空转一下,检查转动部分是否灵活,待检查电锤无故障时方能使用。

(3)工作时先将钻头顶在工作面上,然后再启动开关,尽可能避免空打孔。在钻孔中若发现电锤不转,应立即松开电源开关,检查出原因后方能再次启动。

(4)使用电锤时,若发现声音异常,要立即停止钻孔。如果因连续工作时间过长,电锤

发烫,也要让电锤停止工作,使其自然冷却,切勿用水淋浇。

4. 电动螺丝刀

在现代工厂生产中,多采用电动螺丝刀。它主要利用电力作为动力,使用时只要按动开关,螺丝刀即可按预先选定的顺时针或逆时针方向旋转,完成旋紧或松脱螺钉的工作。其外形如图 3-24 所示。

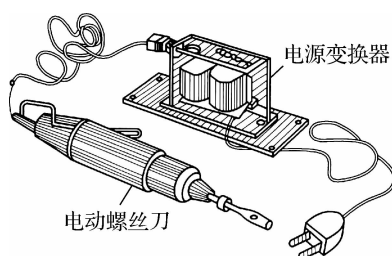


图 3-24 电动螺丝刀的外形

(七)其他电工常用工具

1. 钢锯

钢锯常用于锯割各种金属板和电路板、槽板等,其使用方法如图 3-25 所示。

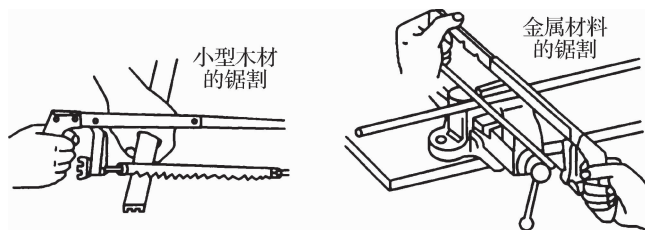


图 3-25 钢锯的用法

2. 手锤和电工用凿

手锤又称榔头,是电工在拆装电气设备时常用的工具,例如,可用手锤敲击来校直、凿削和装卸零件等。手锤由锤头和木柄两部分组成,其外形及用法如图 3-26 所示。

电工用凿主要用来在建筑物上打孔,以便下输线管或安装架线木桩,常用的电工用凿有麻线凿、小扁凿等。电工用凿的外形和用法如图 3-27 所示。

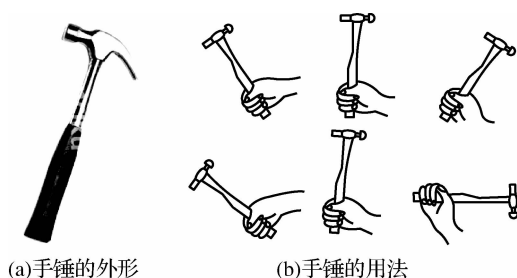


图 3-26 手锤的外形及用法

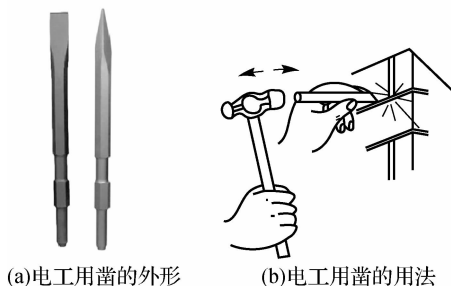


图 3-27 电工用凿的外形及用法

3. 手摇绕线机

手摇绕线机主要用来绕制小型电动机的绕组、低压电器线圈和小型变压器线圈。手摇绕线机体积小、重量轻、操作简便、能记忆绕制的匝数,其结构如图 3-28 所示。使用手摇绕线机时应注意以下几个问题。

- (1)使用时要把绕线机牢固固定在操作台上。
- (2)绕制线圈时注意记下起头指针所指示的匝数,并在线圈绕制后减去。
- (3)绕线操作者需用手把导线拉紧拉直,但要注意

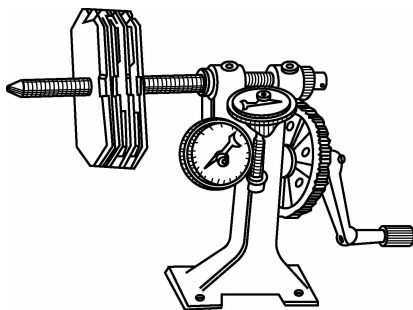


图 3-28 手摇绕线机的结构

较细的漆包线切勿用力过度,以免将线拉断,或损伤漆包线绝缘层。

二、导线的种类和连接

(一)导线的种类

导线的种类很多。按导线外表是否有绝缘层分为裸导线和绝缘导线两大类;按制造工艺及使用范围又可把绝缘导线分为四类,即电磁线、电器装备用电线电缆、电力电缆及通信电线电缆。

1. 裸导线

只有导体部分,没有绝缘和保护层结构的导线称为裸导线。根据裸导线的形态和结构可分为以下几种。

(1)圆单线。圆单线有单股裸铝(LY型和LR型)、单股裸钢(TY型和TR型)、单股镀锌铁线(GY型),主要用在各种电线电缆作为导电芯线使用,或用作电机、电器及变压器绕组用。

(2)型线。型线是非圆线截面的裸导线,分为电车架空线、裸铜排 TMY、裸铝排 LMY和扁钢等。电车架空线主要用于电机车运输接触线,裸铜排和裸铝排应用于输配电的汇流排和车间低压架空母线,扁钢多作为接地母线使用。常用的裸铜排、裸铝排的规格有 15×3、20×3、25×3、30×4、40×4、40×5、50×5、50×6、60×6、80×6、100×6、60×8、80×8、100×8 等(单位为 mm×mm)。

(3)软接线。凡是柔软的铜绞线和各种编织线都称为软接线,主要有铜电刷线、钢编织线等,主要用于电机、电器的电刷连接线、接地线和整流器引出线。

(4)裸绞线。主要用于架空线路中的输电导线。

裸绞线的规格和用途见表 3-1,型号中“L”表示铝线,“T”表示铜线,“G”表示钢线,“Y”表示硬,“R”表示软,“J”表示绞制。型号后面的数字表示截面积。例如,“LGJ—16”表示截面积为 16 mm² 的钢芯铝绞线。

表 3-1 常用裸绞线规格及用途

品 种	型 号	截 面 积	用 途
硬铝绞线	LJ	16~400	用于跨距较小的一般架空配电线路
硬铜绞线	TJ	10~400	用于高低压架空输电线
铝合金绞线	HLJ	10~600	用于一般输配电线路
钢芯铝绞线	LGJ	10~600	用于重水区或大跨越导线、通信避雷线
镀锌铜绞线	—	2~260	用于农用架空线或避雷线

2. 绝缘导线

绝缘导线一般是由导电的线芯、绝缘层和保护层组成的。绝缘导线一般有如下要求。

(1)导线的金属线芯要求导电率高,机械抗拉强度大,耐腐蚀,质地均匀,表面光滑无氧化、裂纹等。

(2)导线的绝缘包皮要求绝缘电阻值高,质地柔韧有相当机械强度,耐酸、油、臭氧等的侵蚀。

常用的绝缘导线有橡皮绝缘导线和聚氯乙烯绝缘导线(塑料绝缘导线)。绝缘导线主要用于照明用线、电气设备的各种安装连接用线以及大型设备的电控系统布线等。芯线材料有铜芯和铝芯,有单股和多股之分。常用的绝缘导线种类及应用范围见表 3-2。

表 3-2 常用绝缘导线种类及应用范围

名 称	型 号	截面积/mm ²	使用范围
铜芯橡皮线	BX	0.5~500	有防潮性能,适用于户内敷设,可以穿管
铝芯橡皮线	BLX	2.5~400	
铜芯塑料线	BV	0.8~95	有防潮性能,耐油,敷设简单,适用于户内敷设,可以穿管
铝芯塑料线	BLV	0.8~95	
铜芯塑料绝缘及护套线	BVV	1~10	有防潮性能,耐油,敷设简单,适用于户内敷设,可以穿管
铝芯塑料绝缘及护套线	BLVV	1~10	
铜芯塑料绝缘软线	RVS(绞型) RVB(平型)	2×0.2~2×2.5	供干燥场合敷设在绝缘子上或作移动式受电装置的接线用
丁腈聚氯乙烯 复合绝缘软线	RFB RFS	2×0.2~2×1.5	耐寒、耐热、耐腐蚀、不易燃,工艺简单,适用于家用电器接线

3. 电缆

电缆是一种多芯电线,即在一个绝缘软管内有很多互相绝缘的线芯。所以要求线芯间绝缘电阻高,不易发生短路等故障。

电缆线芯按使用要求可分为四种结构:硬型、软型、特软型和移动式电线电缆。电缆按线芯数又可分为四类:单芯、双芯、三芯、四芯。

绝缘层是包在导电的线芯外的一层橡皮、塑料或油纸等绝缘物。绝缘层有两个作用:防止通信电缆漏电、防止电力电缆放电。

保护层的作用是保护绝缘层。可分为两种:固定敷设的电缆多采用金属护层;移动电缆多采用非金属护层。金属护层大多采用铅套、铝套和金属编织套等,在它的外面还有外护层,以保护金属护层不受外界机械和腐蚀等损伤。非金属护层大多采用橡皮、塑料。

电缆有电力电缆和通信电缆两类。电力电缆主要用作动力线。通信电缆包括电信系统的各种通信电缆、电话线和广播线。工厂中常用的是电力电缆。常用电缆的型号、种类及用途见表 3-3。

表 3-3 常用电缆的型号、种类及用途

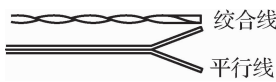
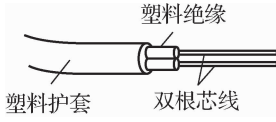
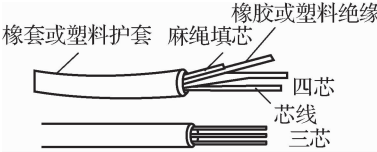
型 号	名 称	主要用途
YHZ	中型橡套电缆	500 V 电缆,能承受一定机械外力
YHC	重型橡套电缆	500 V 电缆,能承受较大机械外力
YHH	电焊机用橡套软电缆	供连接电源用
YHHR	电焊机用橡套特软电缆	主要供连接卡头用
KVV 系列	聚氯乙烯绝缘及护套控制电缆	用于固定敷设,供交流 500 V 及以下或者直流 1 000 V 及以下配电装置,作为仪表电器连接用
VV 系列	聚氯乙烯绝缘及护套控制电缆	用于固定敷设,供交流 500 V 及以下或者直流 1 000 V 及以下电力电路
VLV 系列		用于 1~6 kV 电力电路

4. 电磁线

电磁线主要用来制作各种电感线圈,如电动机、变压器等所用的绕组。按绝缘材料分有漆包线、丝漆包线、玻璃纤维包线和纱包线等多种;按截面的几何形状分有圆形和矩形两种。导线材料有铜芯和铝芯,按其芯线分有单股和多股。

电工上常用的各种绝缘导线结构和应用见表 3-4。

表 3-4 常用绝缘导线的结构与应用

结 构	型 号	名 称	用 途
	BV BLV	聚氯乙烯绝缘 铜芯线 聚氯乙烯绝缘 铝芯线	用来作为交、直流额定电压为 500 V 及以下的户内照明和动力线路的敷设导线,以及户外沿墙支架线路的架设导线
	BX BLX	铜芯橡胶线 铝芯橡胶线	
	BVR BLVR	聚氯乙烯绝缘 铜芯软线 聚氯乙烯绝缘 铝芯软线	适用于不作频繁活动场合的电源连接线
	RVS RVB	聚氯乙烯绝缘 绞合软线 聚氯乙烯绝缘 平行软线	用来作为交、直流额定电压为 250 V 及以下的移动电具、吊灯的电源连接导线
	BVV BLVV	聚氯乙烯绝缘 护套铜芯线 聚氯乙烯绝缘 护套铝芯线	用来作为交、直流额定电压为 500 V 及以下的户内外照明和小容量动力线路的敷设导线
	RXF RX	氯丁橡胶软线 橡胶软线	用于移动电器的电源连接导线,或用于插座板电源连接导线,或短时期临时送电的电源馈线
	BXS	棉纱纺织橡胶 绝缘绞合软线	用来作为交、直流额定电压为 250 V 及以下的电热移动电具(如电熨斗、电烙铁)的电源连接导线

(二)导线的连接

无论是在电气设备的安装,还是在电气工程的施工中,导线的连接都是电工操作中很重要的一个环节。导线连接质量的好坏关系着线路和设备运行的可靠性和安全程度。对导线连接的基本要求有如下几点。

- (1)连接可靠,接触紧密,不得增加接触电阻,使连接处电阻要最小。
- (2)强度足够,接头处的机械强度应与非连接处相同。
- (3)接头美观、整体规范,连接处的绝缘强度应与非连接处相同。
- (4)对于金属接头的直接连接处,还要求耐腐蚀。对于连接的接头要防止电化腐蚀,对于铜与铝导线的连接,应采用铜铝过渡(如用铜铝接头)。

1. 导线绝缘层的剥削

1) 塑料硬线绝缘层的剥削

一般情况下,塑料硬线绝缘层的去除用剥线钳较为方便。下面主要介绍用钢丝钳和电工刀剥削。

线芯截面在 2.5 mm^2 及以下的塑料硬线,可用钢丝钳剥削。方法是:先估计线头所需长度,然后在线头长度所确定的位置用钢丝钳口轻轻切破绝缘层表皮,接着左手拉紧导线,右手适当用力捏住钢丝钳头部,向外用力勒去绝缘层,在勒去绝缘层时,不可在钳口处加力剪切口,以防伤及线芯,甚至将导线切断。其方法如图 3-29 所示。

对于规格大于 4 mm^2 的塑料硬线的绝缘层,由于导线较粗,用钢丝钳剥削较为困难,则可用电工刀剥削。方法是:先根据线头所需长度,用电工刀刀口对导线呈 45° 角切入塑料绝缘层,注意掌握刀口切入的力度刚好切透绝缘层而不伤及线芯,如图 3-30(a)所示;然后调整刀口与导线间的角度以小角度用力向前推进,将绝缘层削出一个缺口,如图 3-30(b)所示;接着将已剥开的绝缘层向外扳折,再用电工刀切掉,如图 3-30(c)所示。

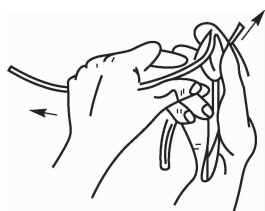


图 3-29 钢丝钳剥削导线

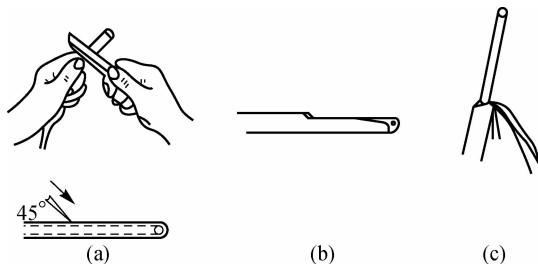


图 3-30 电工刀剥削导线

2) 塑料软线绝缘层的剥削

塑料软线绝缘层的剥削除用剥线钳外,也可用钢丝钳根据剥削 2.5 mm^2 及以下的塑料硬线的方法进行,但不能用电工刀剥削。这是因塑料软线太软,线芯又是由多股铜线组成,且每股铜线较细,用电工刀剥削很容易伤及线芯。

3) 塑料护套线绝缘层的剥削

塑料护套线绝缘层由两部分组成,分为外层的公共护套层和内部每根芯线的绝缘层。剥削时先从公共护套层入手,由于公共护套层较厚,所以公共护套层一般用电工刀剥削,先按线头所需长度,将刀尖对准两股芯线的中缝用力划开护套层,如图 3-31(a)所示,并将护套

层向后弯折,然后用电工刀齐根切去,如图 3-31(b)所示。切去护套层后,露出带有绝缘层内芯导线,可用钢丝钳或电工刀剥削塑料硬线绝缘层的方法分别除去内导线的绝缘层。钢丝钳或电工刀在切入时应离护套层 5~10 mm。

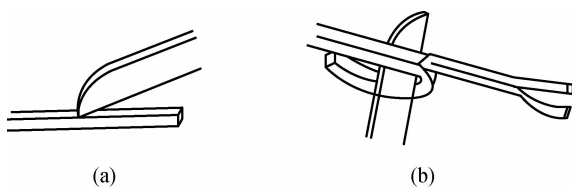


图 3-31 塑料护套线绝缘层的剥削

4) 橡皮线绝缘层的剥削

橡皮线绝缘层外面由于有一层柔韧的纤维编织保护层,所以剥削导线时要先将该纤维编织保护层去掉。方法是:用电工刀尖划开纤维编织层,然后将其扳折后齐根切去,再用剥削塑料硬线绝缘层的方法,除去橡皮绝缘层。若是橡皮绝缘层内的芯线上还包缠着棉纱层,可将该棉纱层松开,齐根切去。

5) 花线绝缘层的剥削

花线绝缘层分外层和内层,外层是一层柔韧的棉纱编织层,剥削时先用电工刀根据导线所需长度在花线外层处切割一圈拉去,然后在距离棉纱编织层 10 mm 左右处用钢丝钳按照剥削塑料软线的方法将内层的橡皮绝缘层勒去,有的花线在紧贴线芯处还包缠有棉纱层,在剥去橡皮绝缘层后,再将棉纱层松开向后弯折,然后齐根切去。如图 3-32 所示。

6) 橡套软线(橡套电缆)绝缘层的剥削

橡套软线外包护套层,内部每根线芯上又有各自的橡皮绝缘层,外护套层较厚,可用电工刀按切除塑料护套层的方法切除,露出的多股芯线绝缘层,可用剥线钳或钢丝钳剥去。

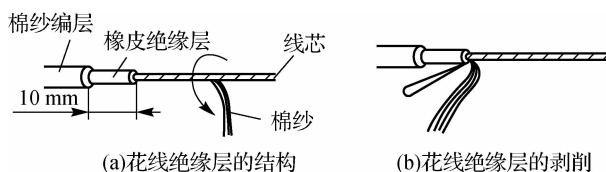


图 3-32 花线绝缘层的剥削

7) 铅包线绝缘层的剥削

铅包线绝缘层分为外部铅包层和内部芯线绝缘层。剥削时先剥外层,用电工刀在铅包层上切下一个刀痕,然后上下左右扳动折弯这个刀痕,使铅包层从切口处折断,并将它从线头上拉掉。内部芯线绝缘层的剥削方法与塑料硬线绝缘层的剥削方法相同。铅包线绝缘层的剥削方法如图 3-33 所示。

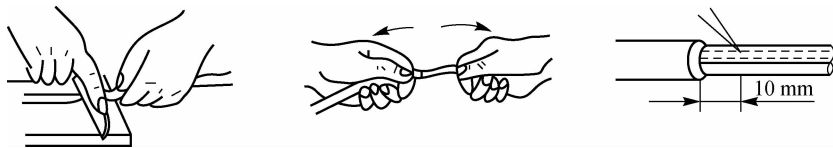


图 3-33 铅包线绝缘层的剥削

8) 漆包线绝缘层的去除

漆包线绝缘层是喷涂在芯线上的绝缘漆层,该层较薄,同时由于线径的不同,去除绝缘层的方法也不尽一样。直径在 1 mm 以上的,可用细砂纸或细砂布直接擦除绝缘漆层;直径在 0.6 mm 以上的,可用薄刀片轻轻刮去;直径在 0.1 mm 及以下的,也可以用细砂纸或细砂布擦除,但易于折断,故需要小心操作,有时为了保留漆包线的芯线直径准确以便测量,也可

用微火烤焦其线头绝缘层,再用小刀轻轻刮去或用软布擦除。

2. 导线的连接方法

导线的连接方式有很多种,常用的连接方式有单股导线之间的直线连接、单股导线之间的 T 形连接(又称分支连接)、单股导线与多股导线的 T 形连接、多股导线之间的直线连接、多股导线的 T 字分支连接等。这里所称的多股线有 7 股和 19 股等多种规格。

1) 单股导线的连接法

单股导线的截面较小(6 mm^2 以下),一般多用绞接法连接。而截面较大的单股导线(6 mm^2 及以上),常用绑线法连接。

(1) 绞接法。图 3-34(a)所示为单股导线的直线连接,绞接时,先将导线互绞 3 圈,然后将线端分别在另一线上紧密缠绕 5 圈或 5 圈以上,以紧密牢固缠绕为准,余线剪去。图 3-34(b)所示为分支连接,绞接时,先用工具将支线在干线上粗绞 1~2 圈,再用钳子紧密缠绕 5 圈,余线剪去。图中的尺寸单位为毫米。

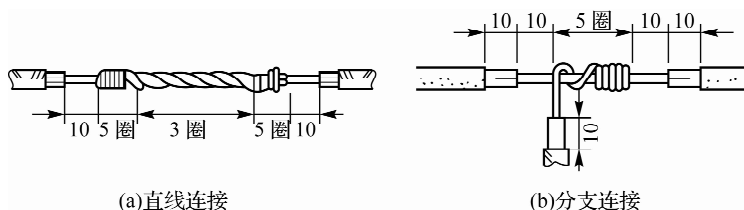


图 3-34 单股导线的绞接法

(2) 绑线法。图 3-35(a)所示为单股导线的直线连接,先将两线端头用钳子弯起一些,然后并在一起,填一根 1.5 mm^2 铜线作为辅助线,然后再用一根 1.5 mm^2 铜线作为绑线,从中央开始缠绕,缠绕长度为导线直径的 10 倍,两头再以钢线钳缠绕 5 圈,余下线头与辅助线绞合,剪去多余部分,较细导线可不用辅助线。如图 3-35(b)所示作分支连接时,先将分支线用直角弯曲,并在其端部稍作弯曲,并合两线,再以同样方法缠绕。

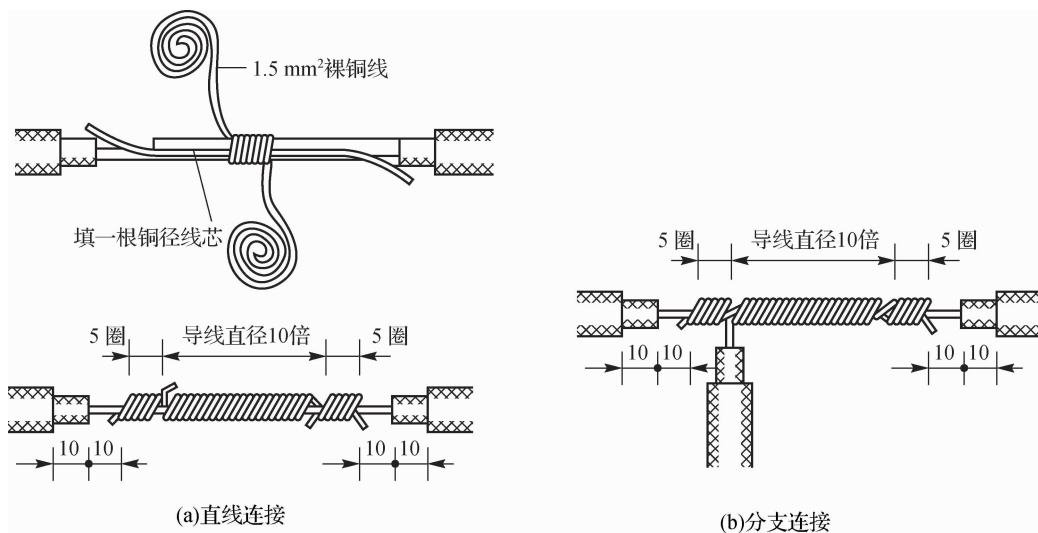


图 3-35 单股导线的绑线法

(3)粗细不等单股导线的连接法。先把细导线在粗导线上缠绕 5~6 圈后,弯折粗导线端部,使其紧紧压在细导线的缠绕层上,再把细导线在粗线前端处缠绕 3~4 圈,然后剪去多余线头,如图 3-36 所示。



图 3-36 粗细不等单股导线的连接

(4)软导线的连接法。软导线在连接时,先把软导线的线芯拧紧使其呈单股导线的样子,再按照单股导线的绞接法进行连接。

2)多股导线的连接法

(1)多股导线的直线绞接连接法。先将线芯分开钳直,顺次解成 30° 伞状,如图 3-37(a)所示。用砂布将表面擦净,剪去中心股,把两个伞状线芯一根隔一根交叉在一起,并将线捏平。在某侧取二股自中部起缠绕 5~6 圈后,另取两股缠绕,原有两股压住或割弃,再缠 5~6 圈后,又取两股缠绕,如此继续,直至缠至导线解开点,剪去余下线芯并钳平线头。另一侧亦同样制作,如图 3-37(b)所示。

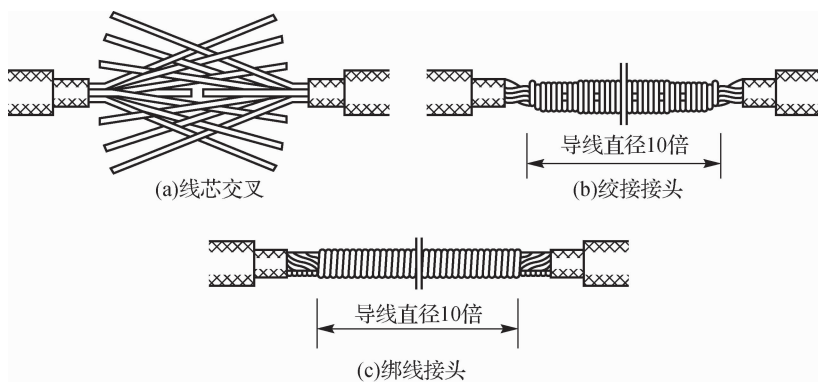


图 3-37 多股导线的连接法

(2)多股导线的直线绑线连接法。以同样方法将导线分芯、交叉、合拢成一根,加辅助线一根,再用绑线从中央开始用钢丝钳绑扎,至导线端部把线头折过来,压在缠绕层上面,再用绑线缠绕 5~6 圈后,绑线头与辅助线绞合剪去余线头即可,如图 3-37(a)、图 3-37(c)所示。

(3)多股导线的 T 形连接法。下面以常见的 7 股导线为例进行介绍,连接方法是:把除去绝缘层和氧化层的支路 7 股线芯分散拉直,在距其根部附近处将其进一步绞紧,将支路线芯按 3 和 4 的根数分成两组并整齐排列。然后用一字形螺丝刀把干路线也分成尽可能对等的两组,并在分出的中缝处撬开一定缝隙,将支路芯线的一组穿过干路线的中缝,另一组排于干路芯线的外面,如图 3-38(a)所示。先将处于外面的一组支路线芯在干路上按顺时针方向缠绕 3~4 圈,剪除多余线头,修整好毛刺,如图 3-38(b)所示。接着将支路芯线穿越干路线的一组在干线上按逆时针方向缠绕 3~4 圈,剪去多余线头,剪平毛刺即可,如图 3-38(c)所示。