

SUNWODA  
欣旺达

# 电工基础



深圳市第一职业技术学校

THE FIRST VOCATIONAL TECHNICAL SCHOOL OF SHENZHEN

2021届现代学徒制班

# 电工技术基础

教研组组长 : 尹庆玲、朱建顺、刘会龙

教研组成员 : 许锦发、李维能、田其光、燕海涛、李长春、刘建华

教务组 : 蔡哲豪、刘艳玉、肖国政、胡燕妮、罗雄新

(排名不分先后)

---

校企合作·现代学徒制学徒手册第一版

校企合作项目组 编

出版机构 : 欣旺达大学

出版日期 : 2019-09-12

页数 : 136

开本 : 210mm\*290mm

版次 : 2019年09月第一版

欣旺达电子股份有限公司

Sunwoda Electronic Co.,Ltd.

电话: 86-755-29516888

邮编: 518108

网址: <http://www.sunwoda.com>

地址: 深圳市宝安区石岩街道石龙社区颐 and 路 2 号

公司内部资料, 严禁外传。

Sunwoda confidential



# 目录

第一章 电工基础知识 .....	1
第一节 电的定义 .....	2
第二节 电的产生 .....	3
第三节 交流电 .....	4
第四节 直流电 .....	8
第五节 电的基础物理量 .....	9
第六节 电路的组成 .....	16
第七节 串联电路 .....	16
第八节 并联电路 .....	19
第二章 电工材料 .....	21
第一节 常用导电材料 .....	22
第二节 常用绝缘材料 .....	25
第三节 常用磁性材料 .....	27
第四节 其它材料 .....	30
第三章 常用工具、量具和仪表的使用 .....	33
第一节 常用工具、量具的使用 .....	34
第二节 常用仪表的选择、使用 .....	38
第四章 工业用电常识 .....	45
第一节 单相交流电 .....	46
第二节 三相交流电 .....	62
第五章 电器元件介绍 .....	69
第一节 常用电子元器件 .....	70
第二节 常用低压电器 .....	76
第六章 一般生产设备的电气控制 .....	101
第一节 电力拖动的基本知识 .....	102
第二节 三相异步电动机的基本控制线路 .....	103



---

第七章 简单电气控制设计 .....	111
第一节 电气控制电路设计规范 .....	112
第二节 电气工程制图文字符号和图形符号 .....	112
第三节 电气控制原理图的绘制原则 .....	124
第八章 电气安全技术 .....	126
第一节 触电 .....	127
第二节 接地与接零 .....	129
第三节 电气设备的防火措施和灭火要求 .....	131
第四节 触电的急救方法 .....	133



# 第一章 电工基础知识

## 【学习目标】

- 一、了解交、直流电的定义，应用；
- 二、学习电的基础物理量之间相互的关系及计算方法；
- 三、学习简单电路的组成及它们之间的特性区别；



## 第一节 电的定义

电是物质运动的一种形式。它是物质内所含的电子等载流子运动时的一种能量表现形式。从实质上讲，电是一种能量，也常称作电能。



## 第二节 电的产生

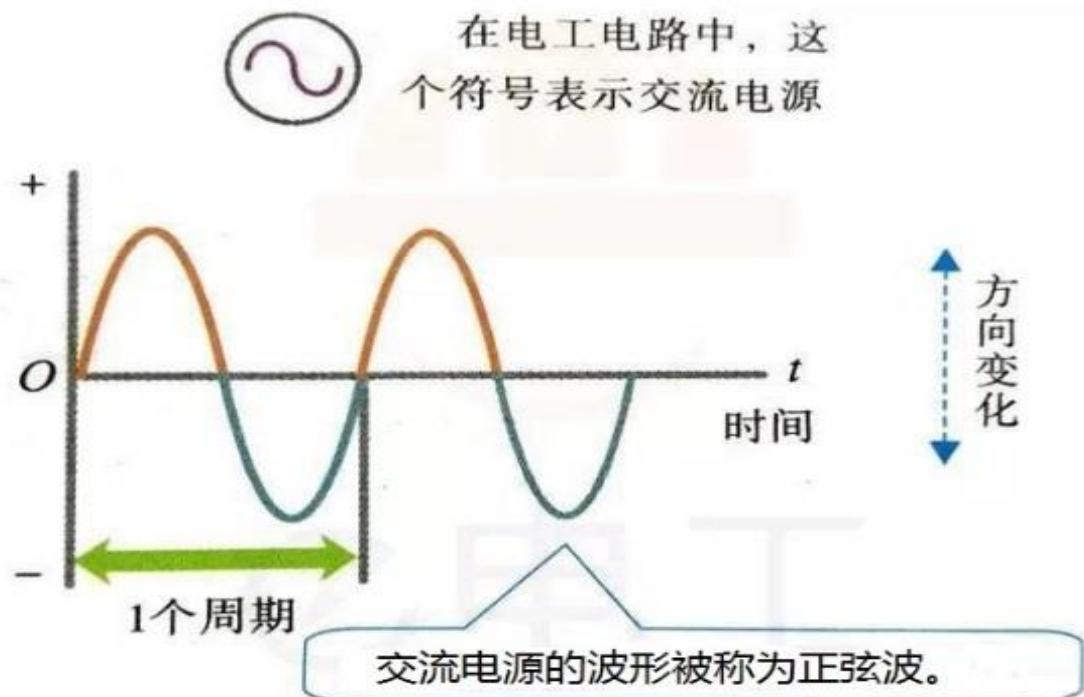
现在用的电，大致可分为利用发电机发的电，以及将化学能变成的电（如电池）。除此之外，还有利用太阳光、风力、水力、火力发的电等。家庭和工厂所用的电，是利用发电机所发的电。要发电，就需要磁铁以及产生电的线圈。磁铁具有吸引铁等金属的磁力，这个力所及的范围，称为磁场。在这个磁场中移动线圈，线圈就会产生电，但是在强大的磁场中，如果不能够移动线圈，就无法产生电。换言之，磁力的变化会使得线圈产生电，这个原理称为电磁感应，而产生的电流称为感应电流。

磁铁接近感应线圈时，电流会依箭头的方向流向线圈。相反，如果磁铁远离线圈，则电流会流向相反的箭头方向。当然如果不移动磁铁的话，则磁场不会产生变化，就不会产生电。这个电磁感应，也可以用在自行车简单的发电机上。

如果在自行车轮胎上安装发电机，则借助轮胎的旋转，发电机内的磁铁就会旋转。这时，线圈附近的磁场的强度产生变化，就能够产生感应电流到线圈。这就是电产生的原理。

### 第三节 交流电

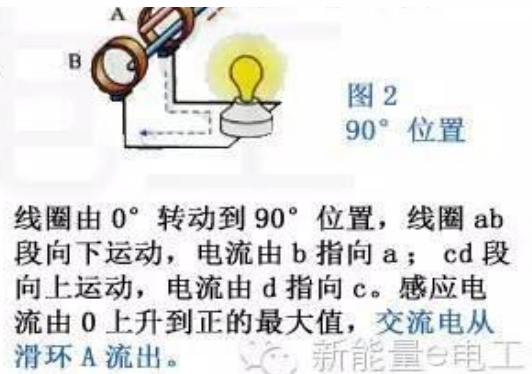
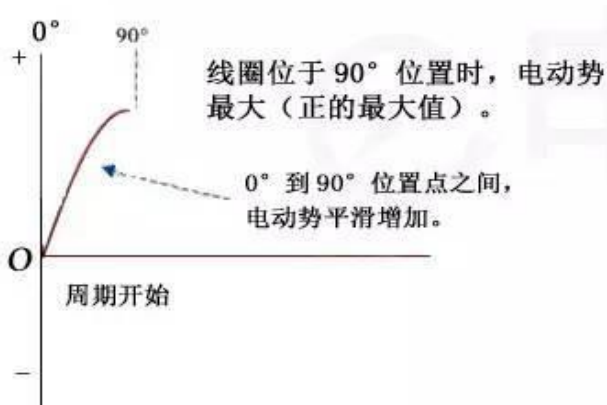
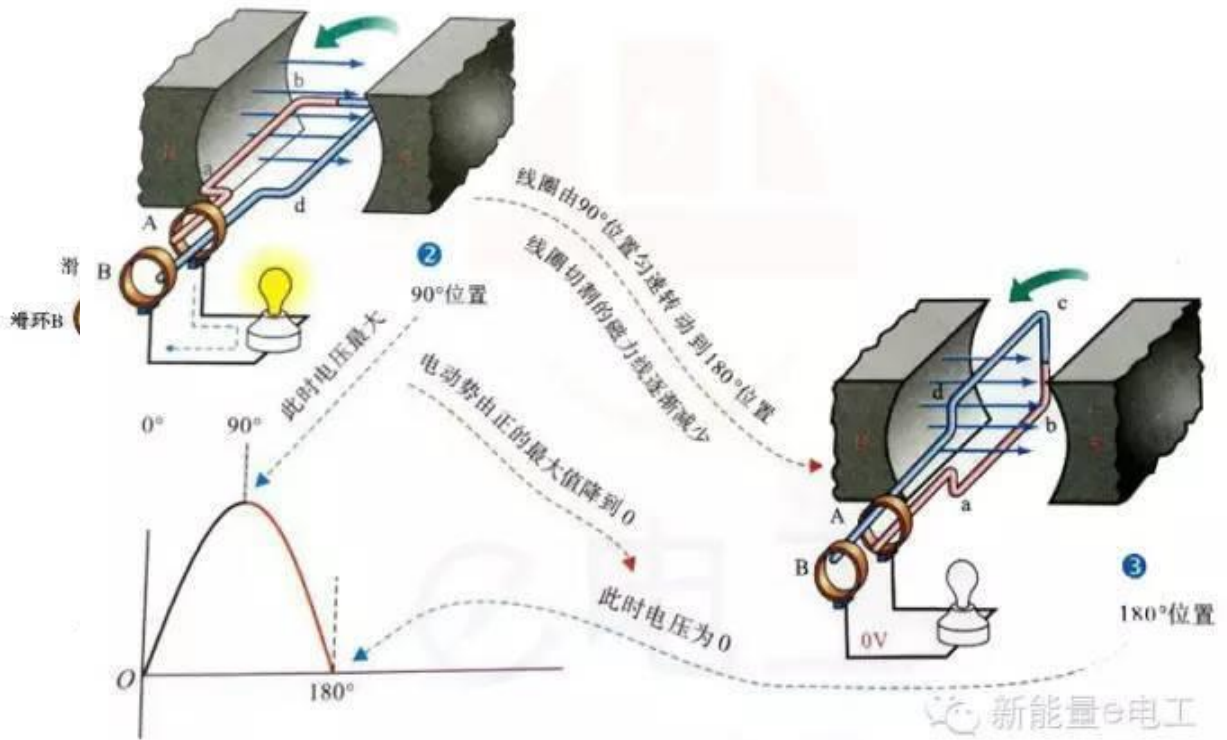
交流电也称“交变电流”，简称“交流”，英文缩写 AC (Alternating Current)，它的最基本的形式是正弦电流，当发现了电磁感应后，产生交流电流的方法则被发现。我国交流电的频率为 50Hz；欧美的多为 60Hz。一个生活常识是，日常所用的 220V 交流电是发电厂生产的。不论是什么发电厂，最终都是以其他形式的能量通过轮机带动发电机的转子旋转，使发电机出现线圈切割磁力线的相对运动，产生感应电动势。实际的发电机结构比较复杂，不同的发电机构造也有所不同，但发电机的基本原理是一样的。



$0^\circ \sim 90^\circ$  转动

右边所示的是最简单的交流发电机模型。静止的磁极 N、S（定子）之间是铁芯转子，转子上绕着线圈（模型图中未画出转子，且只画出一匝线圈）。线圈两端分别连接彼此绝缘的铜环（滑环），外部电路经电刷与滑环接触，形成一个闭合回路。线圈的 ad、bc 段与磁力线平行，不会产生感应电动势。线圈的 ab、cd 段将做切割磁力线的运动，产生感应电动势。利用右手定则很容易判断感应电流的方向。



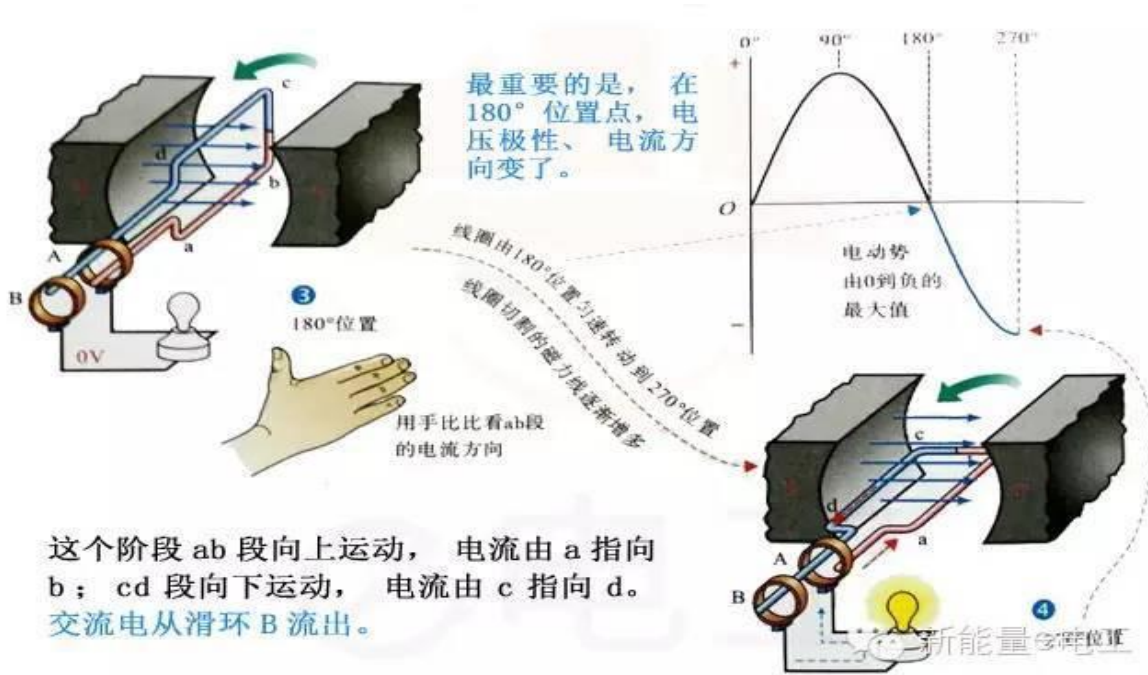


90° ~ 180° 转动

线圈 ab 段, 向下, 电流 b 指向 a;

线圈 cd 段, 向上, 电流 d 指向 c。

这个阶段的电压、电流方向与前一阶段的电压、电流方向一致。



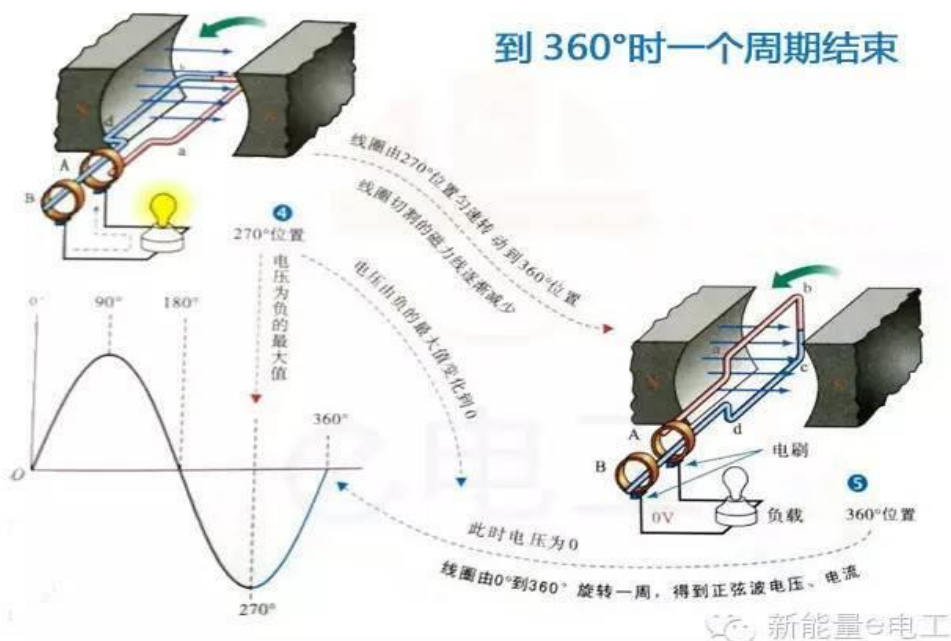
180° ~ 270° 转动

270° ~ 360° 转动

线圈 ab 段，向上，电流 a 指向 b；

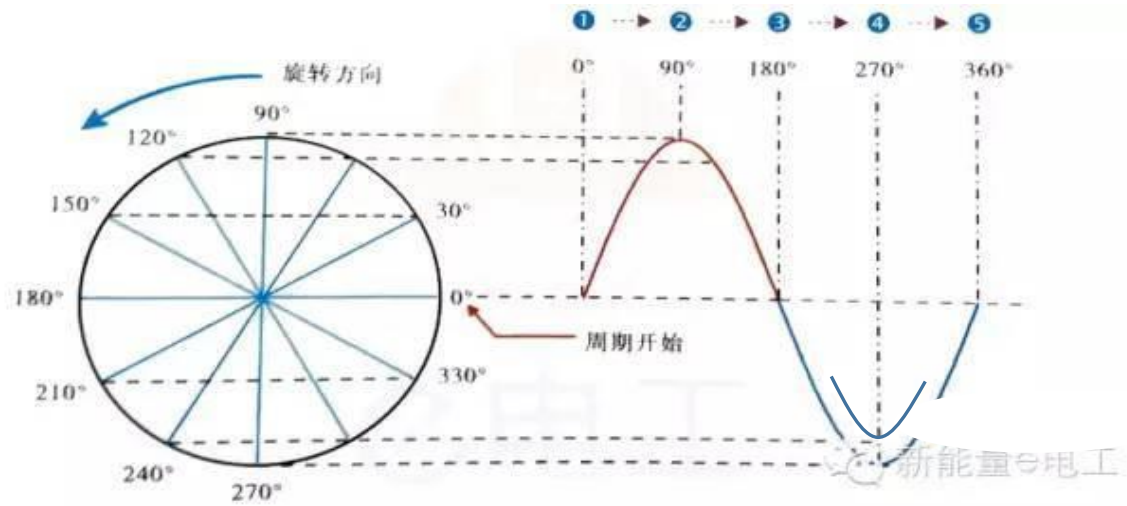
线圈 cd 段，向下，电流 c 指向 d。

这个阶段的电压、电流方向与前一阶段的电压、电流方向一致。



### 重复周期

若从  $360^\circ$  处继续旋转，方向又开始改变，重复上一个周期的变化。假若我们将其旋转角度、波形成结合起来，就得到下面的图形。持续旋转，就得正弦 AC 电源。





## 第四节 直流电

“直流电” (Direct Current, 简称 DC), 又称“恒流电”, 恒定电流是直流电的一种, 是大小和方向都不变的直流电, 它是由爱迪生发现的。1747 年, 美国的富兰克林根据实验提出电荷守恒定律, 并且定义了正电和负电的术语。

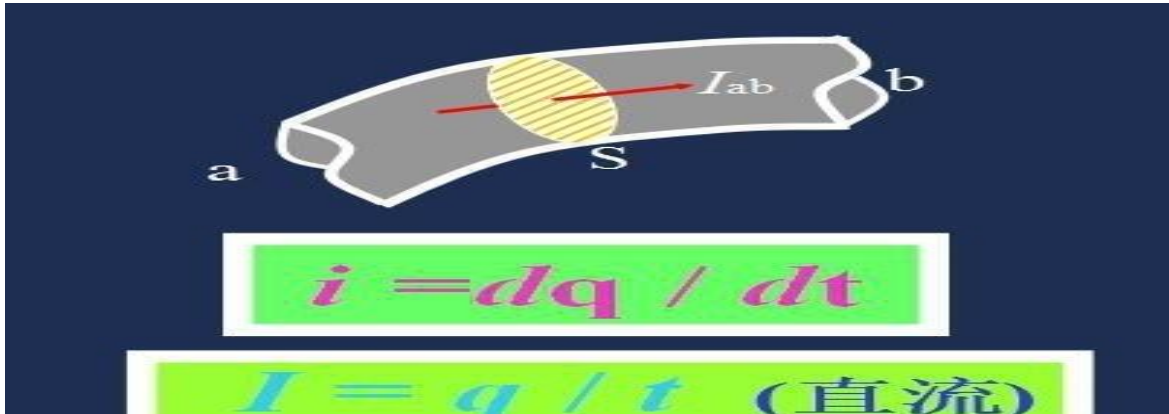
恒定电流是指大小 (电压高低) 和方向 (正负极) 都不随时间 (相对范围内) 而变化, 比如干电池。脉动直流电是指方向 (正负极) 不变, 但大小随时间变化, 比如: 我们把 50Hz 的交流电经过二极管整流后得到的就是典型脉动直流电, 半波整流得到的是 50Hz 的脉动直流电, 如果是全波或桥式整流得到的就是 100Hz 的脉动直流电, 它们只有经过滤波 (用电感或电容) 以后才变成平滑直流电, 当然其中仍存在脉动成分 (称纹波系数), 大小视滤波电路的滤波效果。

直流电应用: 直流电主要应用于各种电子仪器, 电解, 电镀, 直流电力拖动等方面。

## 第五节 电的基础物理量

### 一、电流

科学上把单位时间里通过导体任一横截面的电量叫做电流强度，简称电流。通常用字母  $I$  表示，它的单位是安培（安德烈·玛丽·安培，1775 年—1836 年，法国物理学家、化学家，在电磁作用方面的研究成就卓著，对数学和物理也有贡献。电流的国际单位安培即以其姓氏命名），简称“安”，符号“A”，也是指电荷在导体中的定向移动。



#### 1. 电流方向的确定

物质中带电粒子定向有规则的移动就形成电流。习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。但应当指出的是，在金属导体中导电的是自由电子，它带负电，因此它的移动方向正好与规定的电流方向相反。如图所示：





## 2. 电流计算公式

电流的大小是用单位时间内通过导线横截面的电量（电流强度）来衡量，公式中通常用大写字母  $I$  表示电流。用  $q$  表示单位时间内（字母  $t$  表示）通过导线横截面的电量。电流计算公式如下：

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

公式中， $t$  作为时间单位用秒（s）计，电量  $q$  的单位用库伦（c），而电量  $I$  的单位就是安培（A）。

## 3. 电流单位换算

电流的单位安培包括毫安（mA）、微安（ $\mu$ A）和千安（kA），换算如下：

$$1\text{kA}=1000\text{A}、1\text{A}=1000\text{mA}、1\text{mA}=1000\mu\text{A}$$

## 二、电压

电压也称作电势差或电位差，是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差的物理量。其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 A 点移动到 B 点所做的功，电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。

电压是驱动电荷定向运动形成电流的原因。电流在导体中流动的原因也是因为电流中的高电位和低电位之间存在差异。这种差异称为电位差或电压。让我换个说法。在电路中，任意两点之间的电位差称为两点之间的电压。字母  $V$  通常用来表示电压。

### 1. 电压计算公式

和电流有直流和交流的区别一样，电压也有直流电压和交流电压之分，这个在计算公式中表示的符号是不同的，直流电压用大写字母“U”表示，而交流电压用小写字母“u”表示，电压计算公式是：

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

上面公式中的  $U$  代表电压、 $W$  代表电功率（单位焦耳）、 $q$  代表电量（单位库伦）。

### 2. 电压单位换算

电压的国际单位制为伏特（V，简称伏），常用的单位还有毫伏（mV）、微伏（ $\mu$ V）、千伏（kV）等。此概念与水位高低所造成的“水压”相似。需要指出的是，“电压”一词一般只用于电路当中，“电势差”和“电位差”则普遍应用于一切电现象当中。它们之间的换算如下：

$$1\text{KV}=1000\text{V}、1\text{V}=1000\text{mV}、1\text{mV}=1000\mu\text{V}$$



### 3. 电位差

我们都知道水可以流通是因为有水压，那为什么有水压呢？因为水位的高低不同，而电位也可以类比成这样。一般情况下物体所带正电荷越多，其电位越高。如果把两个有电位差的不同带电体用导线连接起来，电位高的带电体中的正电荷便向低电位的那个带电体流去，于是导体总就产生了电流（物质中带电粒子定向有规则的移动就形成电流）。

就如同水会从高处向低处流一样，与此类似在电源外部（导线、负载）电流可以说是从高位流向低位。从这一点出发，电路中每一点都有一定的点位。电路中某点的点位高低是一个相对值，他与所选取的参考点有关。在电路中任意两点之间的电位差称为这两点之间的电压。

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

公式中 A 和 B 分别表示电位参考点。电位的单位就是电压的单位，用伏特（V）表示。

和电流一样，在电路图上所标的电压和电位的方向都是参考方向。用“→”或“+”、“-”表示。应当指出的是：电压和电位的区别在于，电压是一个绝对值，不随参考点的改变而改变；而电位是一个相对值，随着参考点的改变而改变（因为参考点的改变必然影响电位差的结果）。

## 三、电阻

我们把导体对电流的阻碍作用称为电阻。当自由电子在金属导体里做定向有规则的移动时，要受到阻碍作用，如下图笔者绘制的类比演示。这电阻就好比我们的水渠里面的石头，阻碍了水（类比作电流）的流通。在电路图及计算公式中电阻用大写英文字母“R”或“r”表示（取电阻英文“Resistance”第一个字母）。



电阻是电路的基本参数之一，不仅电阻（常见的电子元件）有电阻外，几乎所有的导体都有电阻，比如金属导线、电灯泡、电烙铁等用电设备都是具有电阻的元件（有的电阻就是直接用金属导线绕成的）。

#### 1. 电阻的作用

电阻在电路中的作用：利用著名的欧姆定律可以利用电阻控制电路中的电压、电流。

电阻的主要物理特征就是可以变电能为热能，因此热水器中的发热元件、电灯泡、电



烫斗就是利用了电阻的作用制成的。另外电阻有怕热的特性，当导体材料温度升高时材料的电阻率会增大（有些材料则表现为减小），因此利用电阻的这种特性可以制作温度测量计

另外一些材料的电阻还会受到光线照射的印象，而利用这样的材料可以制成光敏电阻，利用这点作用可以方便的设计光控电路以及光的测量和光电转换等领域。

## 2. 电阻公式

电阻的大小与导体的尺寸（比如导线的横截面）和导体的材料是密切相关的，计算公式如下：

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

公式中，L 代表的是导电的导线长度，单位是米（m）；S 是导体的面积，单位是平方毫米（mm<sup>2</sup>）； $\rho$ （念作“rou”）称为导体的电阻率或者电阻系数，单位为  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ，这个根据不同材料而有所不同，每种材料在一定温度下是电阻率是相同的；R 是表示导体的电阻，单位是欧姆（ $\Omega$ ）

1  $\Omega$  的物理意义：在导体两端加 1V 电压，产生 1A 电流，则该导体的电阻为 1  $\Omega$

## 3. 电阻单位

电阻的基本单位：欧姆（ $\Omega$ ），也可直接简称为“欧”，为了方便的较大数值电阻的书写，这个单位也和电流、电压一样常常会被简写，有千欧（K $\Omega$ ）和兆欧（M $\Omega$ ），它们之间与欧的转换关系是：1M $\Omega$ =1000K $\Omega$ 、1K $\Omega$ =1000 $\Omega$

# 四、电功率

在单位时间内电流所做的功叫做电功率；其中单位时间为秒（s），所做的功就是指电功。电功率使用符号大写的英文字母“P”表示，电功率是描述电流做功快慢程度的物理量，通常所谓用电设备容量的大小，通常都是指的电功率的大小，它表示该用电设备在单位时间内做功的能力。比如：把电流比作水流，如果您有一次喝了一大碗水，那么喝下去的这个水的重量就是您做的电功；而您总共花了 10 秒喝完，那么每秒喝水的多少也就是电功率。

## 1. 计算公式

通过上面对电功率概念的基本描述以及举例，那么计算公式就显而易见了，将电功除以时间，所得的数值便是用电设备的电功率。

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





上面的计算公式中 P 代表电功率，它的大小取决于电压 U 和电流 I 两个量的乘积，上面公式中各个字母所代表的含义如下：

P——电功率，单位（W）瓦特

U——电压，单位（V）伏特

I——电流，单位（A）安培

q——电荷，单位（C）库伦

对导体电阻来讲，由欧姆定律  $I=U/R$  可得出电阻上消耗的电功率还可以用一下两个计算公式：

$P=UI=U^2/R$ ，或者： $P=I^2R$ （因为  $U=RI$ ，那么  $P=UI=R$  乘  $I$  再乘  $I$ ，所以是  $I^2R$ ）

电功率单位

电功率使用字母 P 表示的，而电功率单位是用 W（瓦特，简称瓦）来表示的。我们结合上面的公式来一起了解下 1 瓦的电功率是如何来的：

1 瓦=1 伏×1 安，或者简写成  $1W=1V\cdot A$

在电工学中，常用的电功率单位还有千瓦（KW）：1 千瓦（KW）=1000 瓦（W）=10<sup>3</sup> 瓦（W），此外在机械工业中常用马力来代表电功率单位哦，马力与电功率单位转换关系为：

1 马力=735.49875 瓦特，或者 1 千瓦=1.35962162 马力

在我们生活用电及生产中，电功常用的单位是大家熟知的“度”，1 度电表示功率为 1 千瓦的电器使用 1 小时（1h）所消耗的电能，即：

1 度=1 千瓦·小时

## 五、电能效率

电能效率即电能利用率，是指电能经过转换设备输出可利用的能量与其对应输入能量的比值。输出可利用的能量可能是机械能或热能等。

提高电能利用率从技术降损和管理降损两个方面共同入手，采取不同措施，做好降损工作。

### 1. 电能利用率现状

目前我国现使用的电气设备，普遍存在设备性能差、工艺落后和缺乏严格的管理制度等问题。

1) 设备性能差。日常生产中使用的的大量机电设备，有许多尚属陈旧落后的产品，其性能很差，与国外同类产品相比，中小型电动机的效率低 1.5%~4%；中小型变压器的损耗高



70%~90%；水泵效率低 5%~10%；风机效率低 10%~15%；电阻炉的热效率低 15%~20%；由于长期使用，又未能得到及时改造和更新，性能更差。

2) 生产工艺落后。相当一部分产品的生产工艺水平较低，致使生产周期长、产品质量差，电能利用率低、用电单位的电能损失大。

3) 缺乏严格的管理制度。很多用电单位都缺少一整套相应的用电效果考评分析制度，有的根本就没有建立起用电合理化的评价标准，甚至很多单位常常是用了再算，而不是算了再用的用电模式。

## 2. 提高电能利用率措施

提高电能利用率应从技术降损和管理降损两个方面共同入手，采取不同措施，做好降损工作。

### (1) 技术降损

1) 确定负荷中心的最佳位置，减少或避免超供电半径供电的现象。

2) 提高负荷功率因数，尽量使无功就地平衡。当功率因数提高以后，负荷向系统吸取的无功功率就要减少，线路的电压损失也相应减少，线损率就会降低。

3) 根据负荷变化，适时调整输配电变压器的台数和容量，以提高变压器的利用率。

4) 淘汰高耗能变压器，提高变压器负载率。

5) 推广使用高精度、节能型电子式电能表，提高电能表计量精度。

6) 加强计量装置安装的规范化，最大限度地降低因安装工艺不标准带来的电能损失。

7) 按经济电流密度选择供电线路的截面面积。

8) 减少输配电层次，提高输电电压的等级。

### 3. 管理降损

(1) 建立线损管理制度，设立专人负责，从事线损统计、分析、考核和其它线损管理工作。

(2) 建立线损分析例会制度，及时发现和纠正问题，并对以后的线损进行预测，制定降损措施。

(3) 建立同步抄表制度，实行高压、低压计量表同步抄表。

(4) 建立定期母线电能表平衡制度，母线电能表不平衡率 $<2\%$ 。

(5) 建立计量表管理制度，提高计量准确度。

(6) 加强营业管理，加强打击窃电及私拉乱接力度。

## 六、电流热效率



实验证明当电流过导体时，由于自由电子的碰撞，导体的温度会升高。这是因为导体吸收的点电能转换为热能的缘故。这种现象叫做电流的热效应。电流通过导体时所产生的热量与电流强度的平方、导体本身的电阻、以及电流通过的时间成正比。这一结论称为焦耳——楞次定律，其数学表达式为： $Q=I^2 Rt$ ，公式中：

Q：电流通过导体所产生的热量，单位：焦耳（J）；

I：通过导体的电流，单位：安（A）；

R：导体的电阻，单位：欧（ $\Omega$ ）

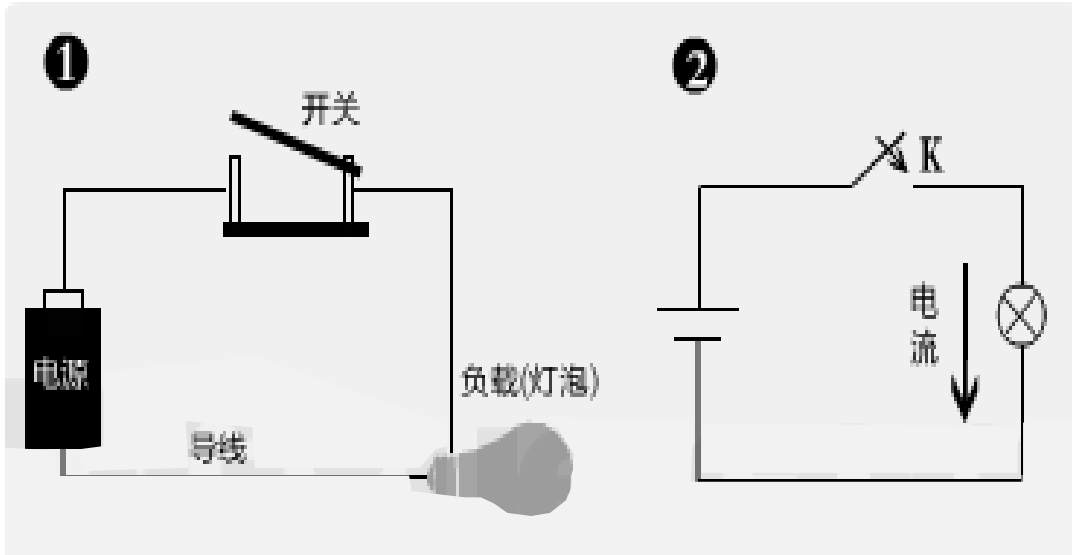
如果热量以卡位单位，则  $Q=I^2 Rt$  公式可写成： $Q=0.24I^2 Rt=0.24Pt$ ，此公式称为焦耳-楞次定律。其中 t 的单位为秒，R 的单位是欧，I 的单位是安，热量的单位是卡。

电流的热效应在生产上有许多应用。电灯是利用电流产生的热使得灯丝达到白炽状态而发光，熔断器是利用电流产生的热使其熔断而切断电源。电流的热效应也是近代工业中的一种重要加热方式，如利用电炉炼钢，电机通电烘干等。电流的热效应也有它不利的一面，由于构成电气设备的导线存在电阻，所有电气设备在工作时要发热，使温度升高。如果电流过大，温度升高多就会加速绝缘体老化，甚至损坏设备。为了保证电气设备能正常工作，各种设备都规定了限额，如额定电流、额定电压、和额定电功率等。

电器设备的额定值通常用下标“e”表示，如  $I_e$ 、 $U_e$ 、 $P_e$  等，各种电器设备的铭牌上都有标注他们的数值。

## 第六节 电路的组成

电路是怎么组成的呢？下图就是一个最简单完整电路图。



1号实物电路图中，档开关闭合后，电路中就有电流流过，电能的来源是由电池将化学能转换而来，灯泡作为负载将电池中通过导线传输过来的电能转换

成热能消耗掉，这个过程实现了电能与热能、光能的转换。当开关断开后电路便切断，电流无法流通，灯泡失去了电能能量就不能发光了。2号图则是为了设计和分析而把电路中实物简化用符号表示，通常称为电路图。从上面的简单电路图中可以看出，电路主要有以下三个部分组成：

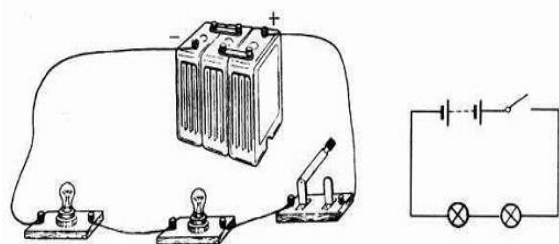
**电源：**它是电路中输出电能的必不可少的装置，没有它电路无法工作。通常由干电池、太阳能电池、发电机等，在工作室它们分别能将化学能、机械能、光能等能量转换成电能。

**负载：**负载也是电路必不可少的基本组成部分，通常称为用电设备。比如电灯、电动机、电水壶、电视机等，它们能将电能转换成光能、热能、机械能等。

**连接导线：**用来传输合分配电能，没有他就无法构成电路，开关也属于归于导线中了。

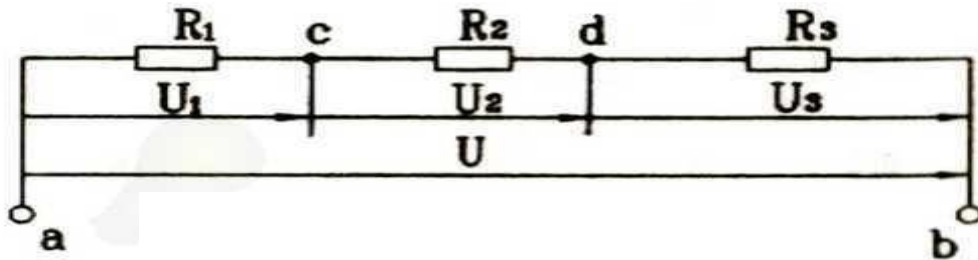
## 第七节 串联电路

串联顾名思义就是一串串的链接在一起；我们看下图中有两个以上的电阻，就是一个接着一个成串的链接在一起，组成一个没有分支的电路，这种链接方式的电路就是串联



电路；当串联的是电阻时，就是串联电阻。这个电阻可以是纯粹的电阻，也可以是任何有阻值的元器件，如负载甚至导线本身。

### 1、串联电阻及电流和电压的大小



2、串联电路电流：由于串联电路没有分支，所以电路中电流是相同的（就好比水流一样，水量都从一个线路流出时流量都是相同的，但有时候水可以堆积，但是电荷在电路中不能堆积，也不能在流动中自行消失。）。即，不论是电阻大的地方，还是电阻小的地方，电流大小是相等的。

3、串联电路电压：因为串联电路各段电流是相同的，这样，根据欧姆定律便可得知：在电阻大的那段电路上承受的电压变大，电阻小的那段电路上承受的电压变小。也就是说，各段电路的电压对应的电阻成正比例分配；我们利用欧姆定律分析前面的串联电路图便可得知：

$$\text{因为： } U_1=IR_1; U_2=IR_2; U_3=IR_3$$

$$\text{所以： } U_1: U_2: U_3=R_1: R_2: R_3$$

3. 串联电路的总电压等于各段电压之和：若总电压是已知数，则分电压由下式可得：

$$U_1=R_1 \div (R_1+R_2+R_3) \times U$$

$$U_2=R_2 \div (R_1+R_2+R_3) \times U$$

$$U_3=R_3 \div (R_1+R_2+R_3) \times U$$

上面的公式称为分压公式。其实也就是算出电阻的比例然后乘总电压就得出分电压了。

4. 串联电路的总电阻等于各段电阻之和：因为，串联电阻越多，电流通过时遇到的阻力也就越大。好像增加了长度似的。下面我们依然使用变换的欧姆定律来验证：

$$\text{因为： } U=U_1+U_2+U_3$$

$$\text{所以： } IR=IR_1+IR_2+IR_3$$

$$\text{同时相乘的 } I \text{ 可以去除，则得： } R=R_1+R_2+R_3$$

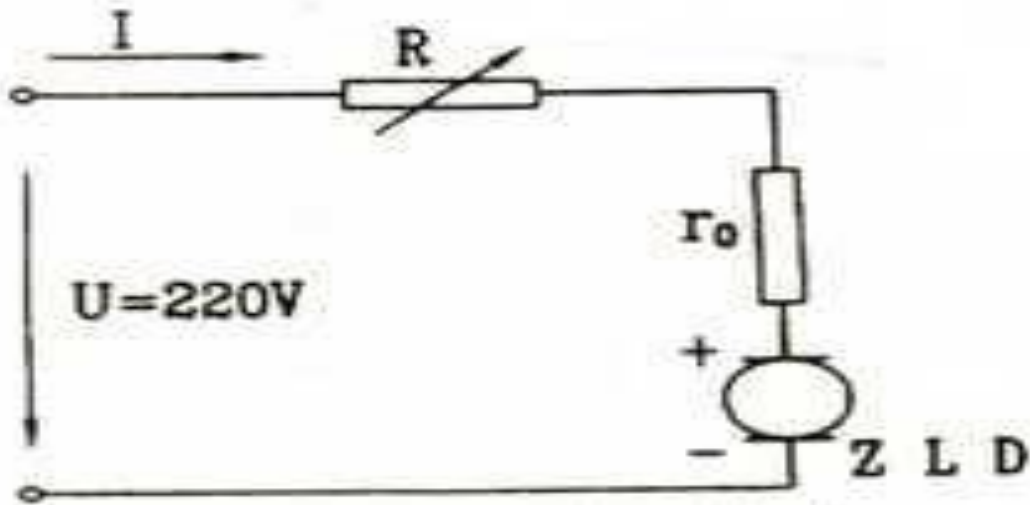
当  $R_1=R_2=R_3=R_0$  时， $R=3R_0$ ，如此类推：n 个相同阻值的电阻串联，其总电阻等于 n 倍



的分电阻，各电阻上的电压为  $1/n$  倍总电压。

利用电阻串联可以起到限流、分压作用。

串联电路计算题：



如上图所示的一台直流电动机串联电路图，绕组的电阻  $r_0$  很小，启动时电流特别大，会损坏电机，为了限制这个启动电流，启动时在定子上先串联上一个限流电阻。如果电源电压  $U=220V$ ，电机的内阻  $r_0=1\Omega$ ，额定电流为  $10A$ 。试计算不加启动电阻（串联电阻  $R$ ）时的启动电流；为了使启动电流不超过额定电流的  $2$  倍，应加多大的串联限流电阻？

解：不串联启动电阻时启动电流直接用电压除以绕组电阻即可；

欧姆定律： $I=U/R$ ；代入本题中： $I=U/r_0=22/1=220A$

使启动电流限制在额定电流的两倍，即  $20A$  的范围内，应该加多大的启动电阻  $R$ （串联限流电阻），此时我们根据“串联电路的总电阻等于各段电阻之和”来计算：

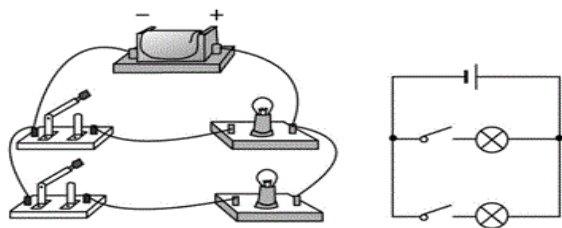
欧姆定律： $I=U/R$ ；代入本题中： $I=U \div (R+r_0)$

计算电阻： $R=(U-Ir_0) \div I=(220-20 \times 1) \div 20=10\Omega$

也可以先算出  $20A$  时所需要的电阻  $220 \div 20=11\Omega$ ，再减去现有的电阻  $r_0=1\Omega$  的阻值即可。

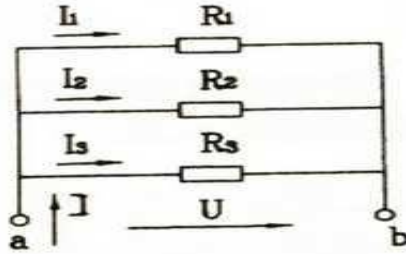
## 第八节 并联电路

并联从字面上理解便是并在一起的连接，有两个以上的电阻，他们的一端接在一起，另一端也连接在一起，两个节点是外加的电压，形成一个又分支的电路，这就叫做并联电路。如上图中的两个灯泡便是并



联关系，当然了控制灯泡的两个开关相互之间也是并联。

并联电阻及电流和电压的大小



1. 并联电路电压：由于各个支路一段连接在一起，另一端也连接在一起，承受同一电源的电压，所以各支路的电压是相同的。

2. 并联电路电流：由于各个支路电压相等，根据欧姆定律便可知电阻小的支路电流大；电阻大的支路电流小。即并联各支路的电流与对应的电阻成反比分配；

因为：  $I_1=U/R_1$ ；  $I_2=U/R_2$ ；  $I_3=U/R_3$

所以：  $I_1: I_2: I_3=1/R_1: 1/R_2: 1/R_3$

3. 并联电路电功率：由于各个并联支路电压相同，各支路电流又与电阻成反比分配，所以各个支路电功率与电阻也成反比例分配；

4. 并联电路总电流：根据基尔霍夫电流定律知，并联电路总电流等于各支路电流之和：

$$I=I_1+I_2+I_3$$

5. 并联电路电阻：并联电路总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和，证明如下：

因为：  $I=I_1+I_2+I_3$

所以：

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad \text{即} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

在实际电路中，常遇到两个电阻并联的电路，这时总电阻可以用下式计算：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \quad \text{即} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

当  $R_1 \geq R_2$  时；两个组织相差很悬殊的电阻并联后，其等值电阻更接近与小电阻值。当  $R_1=R_2$  时， $R=R_1 \div 2$ ，如果有  $n$  个阻值相同的电阻并联，其等值电阻值为： $R=R_1 \div n$ 。这说明并联电阻数越多，等值电阻越小。

若总电流为已知，则分电流可由下式计算：





$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

### 思考题

- 1、什么是电？电是如何产生的？
- 2、简述电流、电压、电功率之间的关系？
- 3、简述串联电路与并联电路之间的区别？

## 第二章 电工材料

### 【学习目标】

- 一、学习导电体的各种材质特性及主要用途，并掌握其选择方法；
- 二、学习绝缘体的各种材质特性及主要用途；

## 第一节 常用导电材料

导电材料大部分是金属，使用最广泛的有银、铜、铝、银合金、铜合金、铝合金等，其特点是导电性好，在常温下有一定的机械强度，便于加工、不易氧化和腐蚀，容易焊接等。

### 一、银

银是优良的导电材料，属于贵金属材料，导电率和导热率比其他所有金属都高，并且具有良好的延展性、可塑性和机械加工性。银及银合金主要用于制造各种接触点、电真空器件中的焊接材料以及在精密的测量仪表中作为连接导线等。

### 二、铜

铜是导电材料中最常用的金属。它具有优良的导电性能，在常温下有足够的机械强度，具有良好的延展性，便于机械加工，化学性能稳定，不易氧化和腐蚀，容易焊接，并且资源丰富。铜及铜合金被广泛用于制造电器连接母线、各种接触点、变压器、电动机和其他各种电器的线圈以及电缆芯线等。

导电用铜一般为含铜量高的纯铜，俗称紫铜，根据材料的软硬程度，分为硬铜和软铜两种。铜材经过冷轧加工后，弹性、抗拉强度、硬度都有所增加，称为硬铜，通常用作机械强度要求较高的导电零部件。经过退火处理后，铜的硬度降低，即为软铜。软铜的电阻率比硬铜小，适宜做电动机、变压器、各类电器的线圈和电缆导线等。在产品型号中，铜线的标志是“T”，“TV”表示硬铜，“TR”表示软铜。

### 三、铝

铝是一种银白色的轻金属，在电工工程中使用非常广泛。其特点是质量轻，电导大（仅次于银、金、铜），不宜焊接，必须采取特殊的焊接工艺，延展性、可塑性好，但抗拉强度差，资源丰富、容易获取，价格便宜，在铜材紧缺时，铝材是最好的替代。电动机和变压器上使用的铝是纯铝。由于加工方法不同，也有硬铝和软铝之分，用作电机、变压器线圈的大部分是软铝。在产品型号中，铝线的标志是“L”，“LV”表示硬铝，“LR”表示软铝。

### 四、电线电缆

电线电缆一般由线芯、绝缘层、保护层 3 部分组成，且品种很多，按照它们的性能、结构、制造工艺及使用特点，分为裸线、电磁线、绝缘电线电缆和通信电缆 4 种。

(1) 裸线就是只有导体部分，没有绝缘和保护层结构的电线。裸电线的分类、型号、主要用途见表 1。

名 称	型 号	主 要 用 途
硬圆铝单线	LV	作电线、电缆的线芯用，供电动机、电器及变压器 作绕组用
软圆铝单线	LR	
硬圆铜单线	TV	
软圆铜单线	TR	
硬铝绞线	LJ	作高、低压架空线用
硬铜绞线	TJ	
硬铝扁线	LBV	供电动机、电器设备、配电设备安装以及其他电工 方面用
软铝扁线	LBR	
硬铜扁线	TBV	
软铜扁线	TBR	
硬铜母线	TMV	适用于电动机、电器、安装配电设备及其他电工制 品，也可作输配电的汇流排
软铜母线	TMR	
硬铝母线	LMV	
软铝母线	LMR	
裸铜电刷线	TS	供电动机、电器线路电刷用
软裸铜电刷线	TS	

裸电线的分类、型号、主要用途

(2)电磁线是以铜或铝为导体和以漆及纤维为绝缘的导线。主要用于制造变压器、电动机、电抗器、仪表绕组及电感线圈等。目前大多数采用铜线，很少采用铝线，常用的电磁线有漆包线和绕包线两类。

## 五、电热材料

电热材料是用来制造各种电阻加热设备中的发热元件，它作为电阻接到电路中，把电能转变为热能，使加热设备的温度升高。对电热材料的基本要求是电阻系数高，加工性能好，特别是能长期处于高温状态下工作，在高温时具有足够的机械强度和良好的抗氧化性能。常用的电热材料是镍铬合金和铁铬铝合金。

## 六、电阻合金

电阻合金是制造电阻元件的主要材料之一，广泛用于电动机、电器、仪器及电子等设备。电阻合金除了必须具备电热材料的基本要求以外，还要求电阻的温度系数低，阻值稳



定。电阻合金按其主要用途可分为调节元件用、电位器用、精密元件用及传感元件用 4 种。

## 七、熔丝

熔丝又称保险丝，是最简单的保护器件，一般由低熔点合金制成。当电流超过熔断丝的额定值时，因温升过高而使熔断丝熔断，切断电路，保护用电设备。常用的是铅锡合金线，其特点是熔点低。熔丝是低压熔断器最主要的组成部分，正确选择熔丝，对保护线路和电气设备的安全可靠运行非常重要。



## 第二节 常用绝缘材料

由电阻系数大于  $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$  的物质所构成的材料在电工技术上称作绝缘材料。它的作用是在电器设备中把电位不同的带电部分隔离开。因此绝缘材料应具有良好的介电性能，即具有较高的绝缘电阻和耐压强度，并能避免发生漏电、爬电或击穿等事故，其次绝缘材料耐热性能要好，具有良好的导热性和较高的机械强度以及工艺加工方便等特点。

电工常用的绝缘材料按其化学性质不同，可分为无机绝缘材料、有机绝缘材料和混合绝缘材料。从形态上可分为气体、液体和固体三大类。

无机绝缘材料有云母、石棉、大理石、瓷器、玻璃等，主要用于电动机、电器绕组绝缘、开关底板和绝缘子等。有机绝缘材料有虫胶、树脂、橡胶、电工绝缘纸板、有机纤维材料等，主要用于制造绝缘漆、电线、电缆的绝缘层、印刷线路板等。混合绝缘材料：由以上两种材料经加工后制成的各种成型绝缘材料，用作电器的底座、外壳等。

常用绝缘材料的性能指标有以下几点：

(1) 绝缘耐压强度。绝缘物质在电场中，当电场强度增加到某一极限值时，就会击穿，这个绝缘击穿的电场强度称为绝缘耐压强度，单位为  $\text{kV/mm}$ 。

(2) 绝缘电阻率。绝缘材料的电阻率虽然很高，但在一定的电压作用下，总有微小电流通过，这种电流称为泄漏电流。绝缘材料的绝缘性能，通常用表面电阻率和体积电阻率两项指标对各种不同的绝缘材料进行比较。对同一种绝缘材料，由于温度不同或表面状态（水分、污物等）不同，绝缘电阻率也会有很大的差异，随着温度的升高，体积电阻率将下降。绝缘材料受潮后，体积电阻率和表面电阻率都会降低。绝缘材料表面积污，其表面电阻率也要下降。

(3) 耐热等级。电工绝缘材料按其在正常运行条件下允许的最高温度分级，称为耐热等级。国内通行标准见表 1。

耐热等级	绝缘材料	极限工作温度/ $^{\circ}\text{C}$
Y	木材、棉花、纸、纤维等天然的纺织品	90
A	漆包线、漆布、漆丝的绝缘及油性漆、沥青漆等	105
E	玻璃布、油性树脂漆、聚乙烯醇缩醛高强度漆包线等	120
B	聚酯薄膜、经合适的树脂黏合式浸渍涂覆的云母、玻璃纤维、石棉等	130



F	玻璃漆布、以玻璃漆布和石棉纤维为基础的层压制品、复合硅有机聚酯漆等	155
H	以无机材料为补强的云母制品、加厚的 F 级材料等	180
G	不采用任何有机黏合剂及浸渍剂的无机物，如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等	>180

绝缘材料的耐热等级与最高允许温度

(4) 机械强度。根据各种绝缘材料的具体要求，相应规定抗张、抗压、抗弯、抗剪、抗撕、抗冲击等各种强度指标。

各种不同的绝缘材料还有各种不同的性能指标，如渗透化、耐油性、伸长率、耐溶剂性和耐电弧等。

(1) 绝缘漆。包括浸渍漆和涂覆漆两大类。浸渍漆主要用来浸渍电机、电器的线圈和绝缘零部件，以填充其间隙和微孔，提高它们的电气性能及力学性能。常用的有醇酸浸渍漆、三聚氰胺醇酸浸渍漆。这两种都是烘干漆，都具有较好的耐油性及耐电弧性，漆膜平滑有光泽。涂覆漆包括覆盖漆、硅钢片漆、漆包线漆、防电晕漆等。

(2) 绝缘油。由于制造工艺不同，可以得到多种型号的绝缘油，分别用于变压器、油开关、电缆以及电容器等设备中，它不但能起到绝缘作用，还能起灭弧和散热作用。

(3) 六氟化硫。它是一种无色无臭的惰性气体，无毒，有很高的化学稳定性，不被水、酸、碱分解，不与铜、银等大多数材料起化学作用，热稳定性很高并有很好的灭弧性能。主要使用在高压开关、电力变压器的高压套管、高频电容器以及电缆等设备中。

(4) 绝缘制品。绝缘制品种类繁多，主要有绝缘纤维制品、浸渍纤维制品、绝缘层压制品、云母和石棉制品、绝缘纸和绝缘纸板、电工橡胶及电工绝缘包扎带等。

### 第三节 常用磁性材料

磁性材料，通常所说的磁性材料是指强磁性物质，是古老而用途十分广泛的功能材料。现代磁性材料已经广泛的用在我们的生活之中，例如将永磁材料用作马达，应用于变压器中的铁心材料，作为存储器使用的磁光盘，计算机用磁记录软盘等。大比特资讯上说，磁性材料与信息化、自动化、机电一体化、国防、国民经济的方方面面紧密相关。而通常认为，磁性材料是指由过渡



元素铁、钴、镍及其合金等能够直接或间接产生磁性的物质。磁性材料按磁化后去磁的难易可分为软磁性材料和硬磁性材料。磁化后容易去掉磁性的物质叫软磁性材料，不容易去磁的物质叫硬磁性材料。一般来讲软磁性材料剩磁较小，硬磁性材料剩磁较大。

我们把顺磁性物质和抗磁性物质称为弱磁性物质，把铁磁性物质称为强磁性物质。

通常所说的磁性材料是指强磁性物质。磁性材料按磁化后去磁的难易可分为软磁性材料和硬磁性材料。磁化后容易去掉磁性的物质叫软磁性材料，不容易去磁的物质叫硬磁性材料。一般来讲软磁性材料剩磁较小，硬磁性材料剩磁较大。

磁性材料具有磁有序的强磁性物质，广义还包括可应用其磁性和磁效应的弱磁性及反铁磁性物质。磁性是物质的一种基本属性。物质按照其内部结构及其在外磁场中的性状可分为抗磁性、顺磁性、铁磁性、反铁磁性和亚铁磁性物质。铁磁性和亚铁磁性物质为强磁性物质，抗磁性和顺磁性物质为弱磁性物质。磁性材料按性质分为金属和非金属两类，前者主要有电工钢、镍基合金和稀土合金等，后者主要是铁氧体材料。



按使用又分为软磁材料、永磁材料和功能磁性材料。功能磁性材料主要有磁致伸缩材料、磁记录材料、磁电阻材料、磁泡材料、磁光材料，旋磁材料以及磁性薄膜材料等，反映磁性材料基本磁性能的有磁化曲线、磁滞回线和磁损耗等。

#### 一、永磁材料

经外磁场磁化以后，即使在相当大的反向磁场作用下，仍能保持一部或大部原磁化方



向的磁性。对这类材料的要求是剩余磁感应强度  $r$  高, 矫顽力  $BC$ (即抗退磁能力)强, 磁能积  $J$ (即给空间提供的磁场能量)大。相对于软磁材料而言, 它亦称为硬磁材料。永磁材料有合金、铁氧体和金属间化合物三类。①合金类: 包括铸造、烧结和可加工合金。铸造合金的主要品种有:  $AlNi(Co)$ 、 $FeCr(Co)$ 、 $FeCrMo$ 、 $FeAlC$ 、 $FeCo(V)(W)$ ; 烧结合金有:  $Re-Co$  ( $Re$  代表稀土元素)、 $Re-Fe$  以及  $AlNi(Co)$ 、 $FeCrCo$  等; 可加工合金有:  $FeCrCo$ 、 $PtCo$ 、 $MnAlC$ 、 $CuNiFe$  和  $AlMnAg$  等, 后两种中  $BC$  较低者亦称半永磁材料。②铁氧体类: 主要成分为  $MO \cdot 6Fe_2O_3$ ,  $M$  代表  $Ba$ 、 $Sr$ 、 $Pb$  或  $SrCa$ 、 $LaCa$  等复合组分。③金属间化合物类: 主要以  $MnBi$  为代表。

永磁材料有多种用途。①基于电磁力作用原理的应用主要有: 扬声器、话筒、电表、按键、电机、继电器、传感器、开关等。②基于磁电作用原理的应用主要有: 磁控管和行波管等微波电子管、显像管、钛泵、微波铁氧体器件、磁阻器件、霍尔器件等。③基于磁力作用原理的应用主要有: 磁轴承、选矿机、磁力分离器、磁性吸盘、磁密封、磁黑板、玩具、标牌、密码锁、复印机、控温计等。其他方面的应用还有: 磁疗、磁化水、磁麻醉等。

## 二、软磁材料

它的功能主要是导磁、电磁能量的转换与传输。因此, 对这类材料要求有较高的磁导率和磁感应强度, 同时磁滞回线的面积或磁损耗要小。与永磁材料相反, 其  $B_r$  和  $B_{Hc}$  越小越好, 但饱和磁感应强度  $B_s$  则越大越好。

软磁材料大体上可分为四类。①合金薄带或薄片:  $FeNi(Mo)$ 、 $FeSi$ 、 $FeAl$  等。②非晶态合金薄带:  $Fe$  基、 $Co$  基、 $FeNi$  基或  $FeNiCo$  基等配以适当的  $Si$ 、 $B$ 、 $P$  和其他掺杂元素, 又称磁性玻璃。③磁介质(铁粉芯):  $FeNi(Mo)$ 、 $FeSiAl$ 、羰基铁和铁氧体等粉料, 经电绝缘介质包覆和粘合后按要求压制成形。④铁氧体: 包括尖晶石型— $MO \cdot Fe_2O_3$  ( $M$  代表  $NiZn$ 、 $MnZn$ 、 $MgZn$ 、 $Li_{1/2}Fe_{1/2}Zn$ 、 $CaZn$  等), 磁铅石型— $Ba_3Me_2Fe_{24}O_{41}$  ( $Me$  代表  $Co$ 、 $Ni$ 、 $Mg$ 、 $Zn$ 、 $Cu$  及其复合组分)。软磁材料的应用甚广, 主要用于磁性天线、电感器、变压器、磁头、耳机、继电器、振动子、电视偏转轭、电缆、延迟线、传感器、微波吸收材料、电磁铁、加速器高频加速腔、磁场探头、磁性基片、磁场屏蔽、高频淬火聚能、电磁吸盘、磁敏元件(如磁热材料作开关)等。

磁性材料是生产、生活、国防科学技术中广泛使用的材料。如制造电力技术中的各种电机、变压器, 电子技术中的各种磁性元件和微波电子管, 通信技术中的滤波器和增感器,





国防技术中的磁性水雷、电磁炮，各种家用电器等。此外，磁性材料在地矿探测、海洋探测以及信息、能源、生物、空间新技术中也获得了广泛的应用。磁性材料的用途广泛。主要是利用其各种磁特性和特殊效应制成元件或器件；用于存储、传输和转换电磁能量与信息，或在特定空间产生一定强度和分布的磁场；有时也以材料的自然形态而直接利用(如磁性液体)。磁性材料在电子技术领域和其他科学技术领域中都有重要的作用

磁电共存这一基本规律导致了磁性材料必然与电子技术相互促进而发展，例如光电子技术促进了光磁材料和磁光材料的研制。磁性半导体材料和磁敏材料和器件可以应用于遥感、遥测技术和机器人。人们正在研究新的非晶态和稀土磁性材料（如 FeNa 合金）。磁性液体已进入实用阶段。某些新的物理和化学效应的发现（如拓扑效应）也给新材料的研制和应用（如磁声和磁热效应的应用）提供了条件。

## 第四节 其它材料

### 一、润滑脂

润滑脂英文名: lubricating grease; grease 稠厚的油脂状半固体。用于机械的摩擦部分,起润滑和密封作用。也用于金属表面,起填充空隙和防锈作用。主要由矿物油(或合成润滑油)和稠化剂调制而成。



根据稠化剂可分为皂基脂和非皂基脂两类。皂基脂的稠化剂常用锂、钠、钙、铝、锌等金属皂,也用钾、钡、铅、锰等金属皂。非皂基脂的稠化剂用石墨、炭黑、石棉还有合成的(如聚脲基、膨润土),根据用途可分为通用润滑脂和专用润滑脂两种,前者用于一般机械零件,后者用于拖拉机、铁道机车、船舶机械、石油钻井机械、阀门等。主要质量指标是滴点、针入度、灰分和水分等。用来评价润滑脂胶体稳定性的指标为分油试验、滚动轴承性能试验等。滚筒试验是测试滚压作用下稠度变化的试验方法。流动性试验是评价在低温下润滑脂可泵送性的试验方法。抗水淋性试验是评价润滑脂对水淋洗出的抵抗能力的试验方法。胶体安定性是润滑脂在贮存和使用中保持胶体稳定,液体矿油不从脂中析出的性能。机械安定性是表示润滑脂在机械工作条件下抵抗稠度变化的性能。滚珠轴承扭矩试验是评价润滑脂低温性能的一种试验方法。润滑脂是将稠化剂分散于液体润滑剂中所组成的一种稳定的固体或半固体产品,其中可以加入旨在改善润滑脂某种特性的添加剂及填料。润滑脂在常温下可附着于垂直表面不流失,并能在敞开或密封不良的摩擦部位工作,具有其它润滑剂所不可替代的特点。一般而言,相同皂基的润滑脂相容性较好。有机粘土基与其他基不相容。因此,在汽车和工程机械上的许多部位都使用润滑脂作为润滑材料,即我们常说的黄油!润滑脂的作用主要是润滑、保护和密封。

绝大多数润滑脂用于润滑,称为减摩润滑脂。减摩润滑脂主要起降低机械摩擦,防止机械磨损的作用。同时还兼起防止金属腐蚀的保护作用,及密封防尘作用。有一些润滑脂主要用来防止金属生锈或腐蚀,称为保护润滑脂。例如工业凡士林等有少数润滑脂专作密封用,称为密封润滑脂,例如螺纹脂。润滑脂大多是半固体状的物质,具有独特的流动性。

润滑脂的工作原理是稠化剂将油保持在需要润滑的位置上,有负载时,稠化剂将油释放出来,从而起到润滑作用。

在常温和静止状态时它象固体,能保持自己的形状



而不流动，能粘附在金属上而不滑落。在高温或受到超过一定限度的外力时，它又象液体能产生流动。润滑脂在机械中受到运动部件的剪切作用时，它能产生流动并进行润滑，减低运动表面间的摩擦和磨损。当剪切作用停止后，它又能恢复一定的稠度，润滑脂的这种特殊的流动性，决定它可以在不适于用润滑油的部位进行润滑。此外，由于它是半固体状物质，其密封作用和保护作用都比润滑油好。

## 二、低压绝缘子

低压绝缘子产品用于低压和超低压交、直流输电线路中绝缘和悬挂导线用。早年间低压绝缘子多用于电线杆，慢慢发展于高型高压电线连接塔的一端挂了很多盘状的绝缘体，它是为了增加爬电距离的，通常由玻璃或陶瓷制成，就叫绝缘子。产品由铁帽、钢化玻璃件（瓷件或硅橡胶）和钢脚组成，并用水泥胶合剂胶合为一体。此产品全部采用国际最先进的圆柱头型结构，其特点是头部尺寸小。重量轻，强度高和爬电距离大。可节约金属材料 and 降低线路造价。为满足带电作业的需要，在帽沿上采用国内传统的结构形状。特点：

### 1) 零值自破、便于检测

玻璃绝缘子具有零值自破的特点。只要在地面或在直升机上观测即可，无需登杆逐片检测，降低了工人的劳动强度。引进生产线的产品，年运行自破率为 0.02—0.04%，可以节约线路的维护费用。

### 2) 耐电弧和耐振动性能好

在运行中玻璃绝缘子遭受雷电烧伤的新表面仍是光滑的玻璃体，并有钢化内应力保护层，因此，它仍保持了足够的绝缘件能和机械强度。在 500kv 线路上多次发生导线覆冰引起舞动的灾害，受导线舞动后的玻璃绝缘子经测试，机电性能没有衰减。

### 3) 自洁性能好和不易老化

据电力部门普遍反映玻璃绝缘子不易积污和易于清扫，南方线路运行的玻璃绝缘子雨后冲洗得较干净。对典型地区线路上的玻璃绝缘子定期取样测定运行后的机电性能，从积累上千个数据表明运行 35 年后的玻璃绝缘子的机电性能与出厂时的基本一致，未出现老化现象。

### 4) 主容量大，成串电压分布均匀。

玻璃的介电常数 7-8，使钢化玻璃绝缘子具有较大的主电容和成串的电压分布均匀，有利于降低导线侧和接地侧附近绝缘子所承受的电压，从而达到减少无线电干扰、降低电晕损耗和延长玻璃绝缘子的寿命的目的，运行实践证明了这一点。



### 思考题

- 1、简述常用导线的种类及相关用途？
- 2、绝缘材料的主要特性是什么？它在电机电器中的作用是什么？
- 3、绝缘漆的主要性能指标是什么？
- 4、什么叫磁性材料？按其特性分为哪两类？各有什么特点？



## 第三章 常用工具、量具和仪表的使用

### 【学习目标】

- 一、学习电工常用工具的种类，工具的使用场合及使用方法；
- 二、学习电工测量仪表的种类，仪表的使用方法及注意事项；

## 第一节 常用工具、量具的使用

电工作为化工行业不可缺少的工种之一，肩负着维护整个工厂正常运转的重要使命。在维护和检修电路时，电工常用的工具分为通用工具，线路安装工具和设备装修工具三大类。

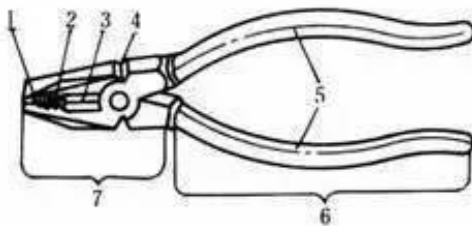
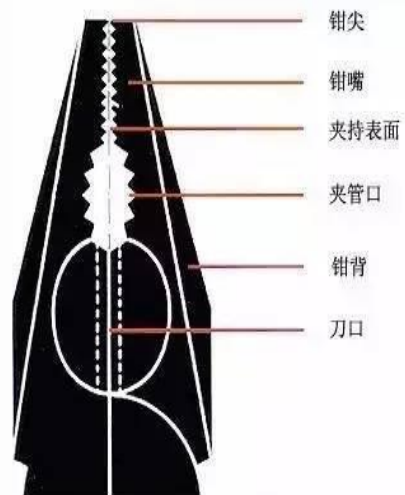
### 一、通用工具

通用工具是指电工在工作中经常都会用到的工具。

#### 1、钢丝钳

各部分的作用如下：

- a. 钳口：用来弯绞或钳夹导线线头。
- b. 齿口：用来固紧或起松螺母。
- c. 刀口：用来剪切导线或剖切软导线的绝缘层。
- d. 铡口：用来铡切钢丝和铅丝等较硬金属线材。
- e. 钳柄上必须套有绝缘管。使用时的握法如上图 b 所示。
- f. 钳头的轴销上应经常加机油润滑。



(a) 构造



(b) 握法

1—钳口 2—齿口 3—刀口 4—铡口 5—绝缘管 6—钳柄 7—钳头

#### 2、螺钉旋具

螺钉旋具俗称起子、螺丝刀，用来拧紧或旋下





螺钉。电工不能使用金属杆直通柄顶的螺钉旋具（俗称通芯螺丝刀）。应在金属杆上加套绝缘管。

### 3、电工刀

电工刀是用来切割或剖削的常用电工工具。

电工刀的使用方法如下：

(1) 使用时刀口应朝外进行操作。用完后应随即把刀身折入刀柄内。

(2) 电工刀的刀柄结构是没有绝缘的，不能在带电体上使用电工刀进行操作避免触电。

(3) 电工刀的刀口应在单面上磨出呈圆弧状的刃口。在剖削绝缘导线的绝缘层时，必须使圆弧状刀面贴在导线上进行切割，这样刀口就不易损伤线芯。



### 4、电工工具夹

电工工具夹是电工用来盛装随身携带最常用工具的器具。使用时用皮带系结在腰间



## 二、线路安装工具

线路安装工具是用来进行线路安装的工具。

### 1、冲击钻

它是一种电动工具，可以做“电钻”也可作“电锤”使用。使用时只需要调至相应的档位即可。

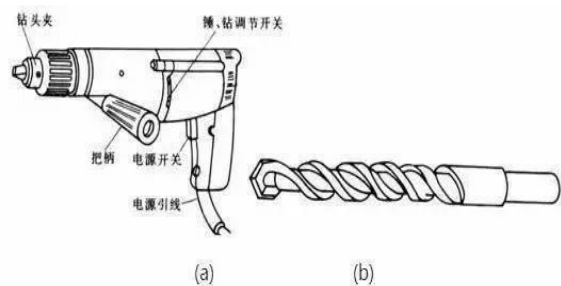
冲击钻使用注意事项如下：

(1) 应在停转的情况下进行调速和调档（“冲”和“锤”）时。钻打墙孔时，应按孔径选配专用的冲击钻头，冲击钻头如下图 b。

(2) 钻打过程中，为了及时将土屑排除，应经常把钻头拔出；在钢筋建筑物上冲孔时，遇到坚硬物不应施加过大压力，避免钻头退火。



### 2、剥线钳

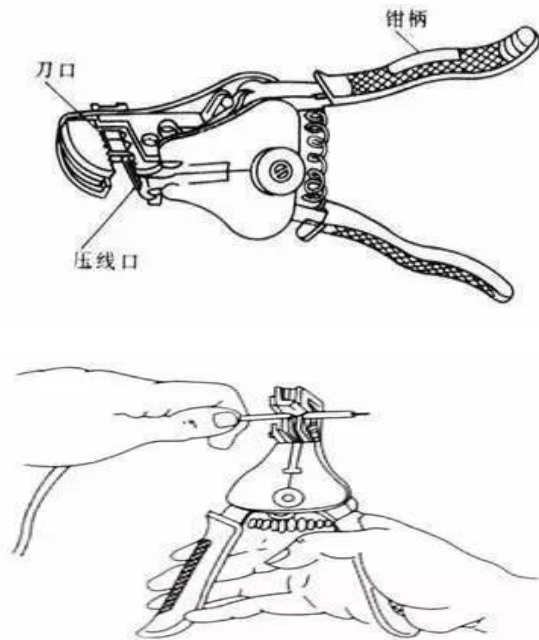


(a) 冲击钻形状 (b) 冲击钻头

它的作用是用来剥离 6 平方毫米以下的塑料或橡皮电线的绝缘层。钳头上有多个大小不同的切口，以适用于不同规格的导线，如下图所示。使用时导线必须放在稍大于线芯直径的切口上切剥，以免损伤线芯。

剥线钳使用方法如下：

将电线置于刀刃和钳头之间，然后将电线夹紧在前面的刀刃中，参考厘米刻度调节定位去皮的长度。（可随意调节），对于厚的绝缘皮顺时针旋转控制刀刃力度的旋钮，薄的逆时针旋转，将其调节到最佳位置，压紧手柄，绝缘皮被剪断而不损坏电线，同时刀片滑动移开绝缘皮。

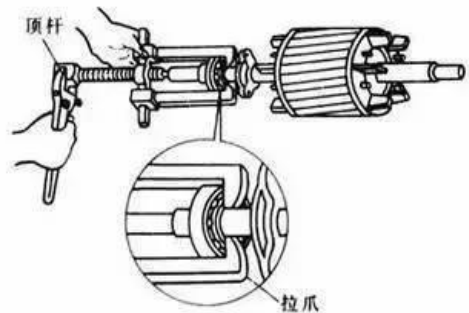


### 三、设备维修工具

设备装修工具是进行电气设备检修或安装的工具。

#### 1、顶拔器

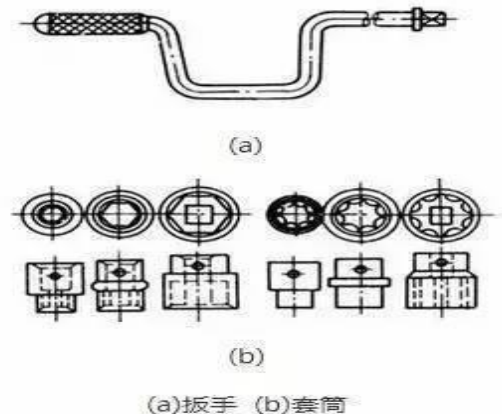
顶拔器俗称拉具，分为双爪和三爪两种，是拆卸皮带轮和轴承等的专用工具。顶拔器形状和使用方法如下图。使用时各爪与中心丝杆应保持等距离。



#### 2、套筒扳手

用来拧紧或拧松沉孔螺母，或在无法使用活动扳手的地方使用。由套筒和手柄两部分组成，由多个带六角孔或十二角孔的套筒并配有手柄、接杆等多种附件组成，套筒的选用应适合螺母的大小。

它特别适用于拧转地位十分狭小或凹陷很深处的螺栓或螺母。用于螺母端或螺栓端完全低于被连接面，且凹孔的直径不能用于开口扳手或活动扳手及梅





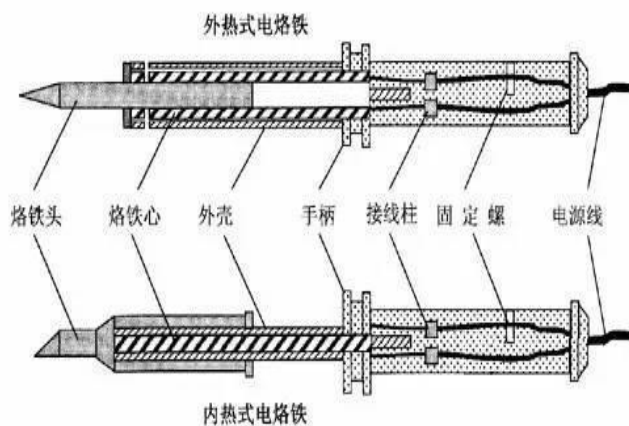
花扳手，就用套筒扳手，另外就是螺栓件空间限制，也只能用套筒扳手。

### 3、电烙铁

电烙铁是烙铁钎焊的热源，有内热式和外热式两种。

使用时应注意事项：

- (1) 根据焊接面积大小选择合适的电烙铁。
- (2) 电烙铁用完要随时拔去电源插头。
- (3) 在导电地面上使用时，电烙铁的金属外壳必须妥善接地，防止漏电时触电。





## 第二节 常用仪表的选择、使用

在电工技术领域里，电工测量仪表起着十分重要的作用。电工仪表的作用是测量各种电参数，如电流、电压、周期、频率、电功率、功率因数、电阻、电感、电容等。电工通过测量这些电参数数值，便可以了解电路的电气设备的技术性能和工作情况，以便进行适当的处理和必要的调整，保证电路正常工作和设备安全运行。因此，电工必须掌握常用电工仪表的原理和使用方法。

电工仪表分类主要根据作用原理和用途来划分。

1) 按用途不同：可分为电压表、电流表、功率表、电度表等；还可根据电流种类，分为直流表、交流表和交直流两用表等三种，还有能聚测量电流、电压、电阻等功能的万用表。

2) 按作用原理：常用的有磁电式、电磁式、电动式和感应式四种，其它还有振动式、热电式、热线式、静电式、整流式、光电式和电解式等。

3) 按测量方法：可分为直读式和比较式两种。直接指示被测量数值的仪表，称为直读式仪表，例如电压表、电流表、功率表等；被测量数值用“标准量”比较出来的仪表，称为比较式仪表，如平衡电桥、补偿器等。此处的电工仪表章节主要介绍直读式仪表。

4) 按准确度：可分为0.1级、0.2级、0.5级、1.0级、1.5级、2.5级、和5.0级七种。0.2级仪表的允许误差为0.2%，0.5级仪表误差为0.5%，以此类推。0.5级以上的仪表准确度较高，多用在实验室作为校验仪表。1.5级、2.5级等准确度较低，一般装在配电盘和操作台上，用来监视电器设备允许情况。

万用表是一种多功能、多量程的测量仪表，一般的万用表可以测量直流电压、直流电流、交流电压、电阻和音频电平等电学量。有些万用表还可以测量交流电流、电容量和电感量以及半导体（二极管等）的一些参数，随着数字显示万用表的出现，测量更为方便。指针式万用表因为结构简单、性价比高、量值表现直观，目前依然被广泛使用。

### 1. 指针式万用表

#### 1) 结构

表头：及用于显示数值的部分，是一只高灵敏度的磁电式直流电流表，有万用表的“心脏”之称，是用以指示被测量的数值，万用表的主要性能指标基本上取决于表头的性能。表头的灵敏度是指表头指针满刻度偏转时流过表头的直流值，这个值越小，表头的灵敏度越高，测量电压时的内阻也就越大，万用表性能就越好。MF系列指针万用表的灵敏度均在

10~1000 微安左右。

**测量电路：**测量电路是用来把各种被测的量转换到适合表头测量的直流微小电流，它由电阻、半导体元件及电池组成，它将各种不同的被测电量，不同的量程，经过一系列的处理，如整流、分流等，而统一变成一定量限的直流电流后送入表头进行测量。

**转换开关：**转换开关的作用是用来选择各种不同测量的电路，以满足不同种类和不同量程的测量要求。当转换开关处于不同位置时，它相应的固定触点就闭合，万用表可变为各种量程不同的电工测量仪表。

如右图指针式万用表的外形图，可以看到万用表的面板上装有刻度尺，转换开关旋钮、调零旋钮及测量表笔的插孔等。

## 2) 使用方法

在使用万用表时，应先熟悉仪表板上各种符号的含义及各个旋钮和选择开关的主要作用，应检查指针是否指在零位上，如不在零位，可以调节表盖上的机械零位调整器，使指针恢复零位。然后根据被测量种类和大小，将选择开关旋转到相应的档位上，并找出指针表盘上对应的标尺。



## 3) 电压和电流的测量

与用电压表和电流表测电压电流一样，测电压时，应将指针万用表并联在线路中，测电流时，应将万用表串联在线路中。另外，测量直流电压和电流时，还应注意表笔的极性（通用准则是黑色为负极，红色为正极）。最大数值可能在什么范围，或选用仪表量程最大的一档，然后逐步减小量程，以便得出准确读数。量程应大于被测值，否则可能会损坏仪表。

被测线路的实际值由此式确定：实际值=指针读数×量程/满偏刻度

式中：满偏刻度指所选的标尺度上最大刻度值。例如：用指针万用表测一直流电压，量程选为100V，满偏刻度为50，指针指在20处，则实际值=20×100/50=40V。

## 4) 电阻的测量

a. 选择合适的倍率档位：测量电阻时，倍率档的选择以使指针停留在刻度线较稀的部分为宜。指针越接近标度尺的中间，读数越准确；越往左，刻度线越挤，读数准确度越差。倍率挡应小于被测值。

b. 调零：测量电阻之前，应当将测试表笔碰在一起，同时旋转“调零旋钮”（如上右图所示万用表右边缘的那个较大的旋钮），使指针刚好指在欧姆标尺的零位上，这一步骤称

为欧姆档“调零”。每换一次倍率挡测量电阻之前，都要重复这一步骤，这是保证测量准确必不可少的步骤。如果指针不能调到位，说明电池电压不足或仪表电路有问题。

c. 不能带电测量电阻：测量电阻时，万用表由电池供电的，被测电阻决不能带电，因为带电测量相当于接入一个额外的电源，不仅得不到正确的测量数据，还可能损坏表头。被测电阻的实际值这一得来：被测实际值=倍率×指针读数。如在 1000 倍率挡上测量电阻读数为 25，那么被测电阻阻值为  $25 \times 1000 = 25000$  欧。

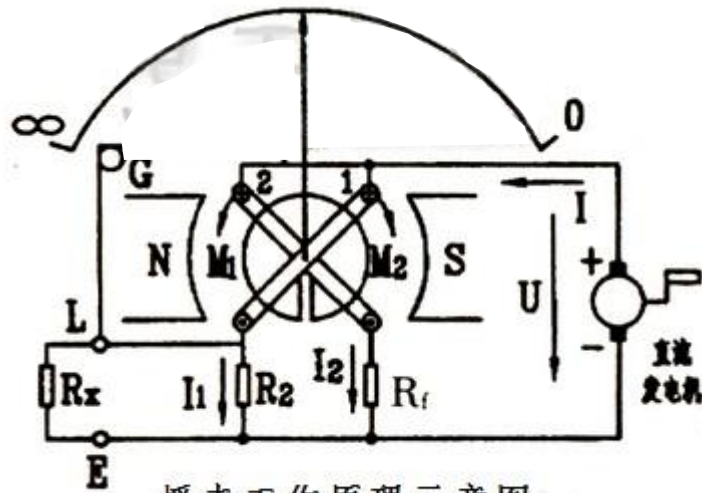
## 2. 兆欧表

用于测量高值电阻和绝缘电阻的仪表叫做兆欧表，现在新型产品通常称为绝缘电阻测试仪或者绝缘电阻表，有时也称为摇表。其中老款兆欧表的外形如上图所示：兆欧表（摇表）主要结构是由手摇发电机、电磁式无机机械反作用的表头组成，对外有接线柱（L：线路段、E：接地端、G：屏蔽端）。新型的绝缘电阻测试仪通常和数字万用表差不多的外形。



兆欧表的工作原理如下图所示，它的电磁式表头有两个互成一定角度的可动线圈，装在一个有缺口的圆柱铁芯外面，并与指针一起固定在一转轴上，构成表头的可动部分，被置于永久磁铁中，磁铁的磁极与铁芯之间的气隙是不均匀的。由于指针没有阻尼弹簧，在仪表不用时，指针可以停留在任何位置。

摇动手柄，直流发电机可输出电流，其中，一路电流  $I_1$  流入线圈 1 和被测电阻  $R_x$  的回路，另一路的电流  $I_2$  流入线圈 2 与附加电阻  $R_f$  回路，设线圈 1 的电阻为  $R_1$ ，线圈 2 的电阻为  $R_2$ ，根据欧姆定律有： $I_1 = U \div (R_c + R_1 + R_x)$ 、 $I_2 = U \div (R_f + R_2)$



处在磁场中

摇表工作原理示意图

线圈 2 产生转



动力矩  $M_2$ ，由于两线圈绕向相反，从而  $M_1$  与  $M_2$  方向相反，两个力矩作用的合力矩使指针发生偏转。在  $M_1=M_2$  时，指针静止不动，这时指针所指出的就是被测设备的绝缘电阻值。

当  $R_x$  断开时（即  $X=\infty$ （无穷大））， $I_1=0$ ， $M_1=0$ ，指针在  $M_2$  的作用下向左偏转，最后指向标尺度  $R_x=\infty$  处，若将  $R_x$  短接（即  $R_x=0$ ），此时  $I_1$  最大， $M_1$  最大，使指针顺时针方向偏转，指针指到标尺度的  $R_x=0$  处。根据此原理可以检验兆欧表的好坏。

对于额定电压 500 伏以下的设备，选用 500 伏或 1000 伏的兆欧表，额定电压在 500 伏以上的选用 1000 伏~2500 伏的兆欧表。

### 1) 兆欧表的使用方法

兆欧表有三个测量端钮，一个线路端钮（L），另一个是接地端钮（E），还有一个为屏蔽端钮（G）。一般测量照片或电力线路对地的绝缘电阻时，只用 L 和 E 端，接线如下左图所示。“L”端接到被测设备的“火”或“相端”，“E”端接到被测设备的“地”端。在测量电缆对地绝缘电阻时或被测设备的漏电流严重时，使用“G”端钮。如下右图所示为测量电缆绝缘电阻接线图。

线路接好后，可按顺时针方向转动兆欧表的发电机摇把，使发电机转子发出的电压供



测量使用。摇把的转速应由慢而快，当转速达到一定值时，要保持转速均匀稳定。（一般普通兆欧表转速为 120 转左右），当兆欧表的发电机转速稳定后，表盘上的指针也稳定下来，这时表针指示的数值就是所测得的绝缘电阻值。

### 2) 注意事项

a. 测量前应先将兆欧表进行一次开路和短路试验，检查兆欧表是否良好。若将两连接线开路，轻轻摇动手柄，指针应指在“∞”处，这时如再把两连接线短接一下，指针应在“0”处，说明兆欧表是良好的，否兆欧表有误差。

b. 被测设备应断开电源，对于电容设备还应充分放电，以保证人身安全和测量准确。

c. 遥测过程中，被测设备上不能有人工作。

d. 测量电容较大的电机、变压器、电缆、电容器时，应有一定的充电时间，且容量越大，充电时间越长，一般以兆欧表转动一分钟后的读数作为标准。测量完成要立即进行放电，以保安全。放电的方法是将测量时使用的地线，由兆欧表上取下来，在被测量物上短接一下即可。

e. 禁止在雷电时或附近有高压导体的设备上测量绝缘。只有在设备不带电又不可能受其它电源感应而带电的情况下才可测量。

f. 兆欧表未停止转动之前，切勿用手触及设备的测量部分或兆欧表接线柱。拆线时，也不可直接接触及引线的裸露部分。

g. 兆欧表应定期校验：校验方法是直接测量有确定值的标准电阻，测量它是否测量误



差，是否在允许范围以后。

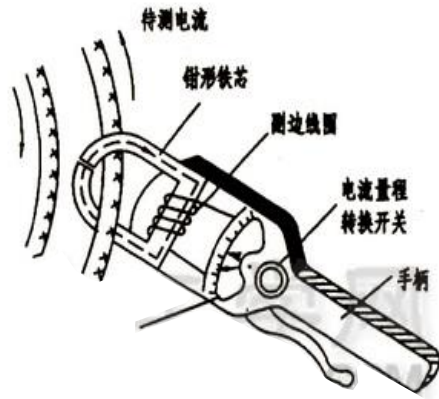
### 3. 钳形电流表

当我们电工需要在不断开电路的情况下测量电流的场合，便需要使用到钳形电流表（有时简称钳形表、钳表）。钳形电流表就是一种用于测量正在运行的电气线路中电流大小的仪表，是电工们很常用的测量工具。钳形电流表分为钳形交流电流表和钳形交直流表两大类，有的还可以测量交流电压。



#### 1) 结构

钳形交流电流表实质上是由一只电流互感器和一只整流系仪表所组成，被测量的载流导线相当于电流互感器的原绕组，在铁芯上的是电流互感器的副边绕组，副边绕组与整流系仪表接通。根据电流互感器原、副边绕组间一定的变化比例关系，整流系仪表的便可以显示出被测量线路的电流值。



钳形交直流表是一个电磁系仪表，放置钳口中的被测量载流导线作为励磁线圈，磁通在铁芯中形成回路，电磁式测量机构位于铁芯的缺口中间，受磁场的作用而偏转，获得读数。因其偏转不受测量电流的影响，所以可测量交直流电流。

#### 2) 使用方法

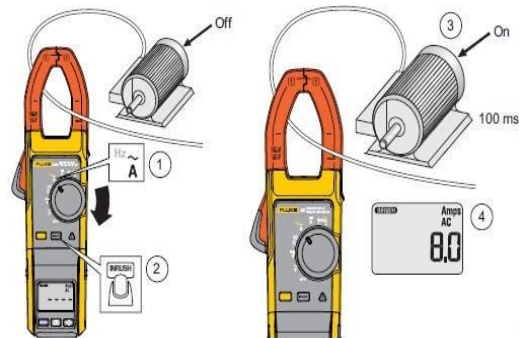
钳形电流表的使用方法简单，如上右图所示，测量电流时只需要将正在运行的待测导线夹入钳形电流表的钳形铁芯内，然后读取数显屏或指示盘上的读数即可。使用很简单吧，夹住测量导线就行了。不过现在数字钳形电流表的广泛使用，给钳形表增加了很多万用表的功能，比如电压、温度、电阻等（有时称这类多功能钳形表为钳形万用表，如右图所示，仪表上有两个表笔插孔），可通过旋钮选择不同功能，使用方法与一般数字万用表相差无几。对于一些特有功



能按钮的含义，则应参考对应的说明书。

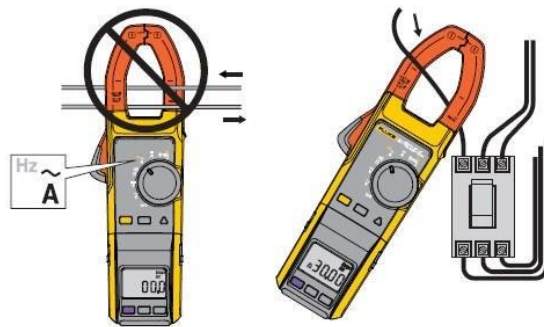
使用钳形电流表时应注意以下几个问题：

a、选择合适的量程挡，不可以用小量程挡测量大电流，如果被测电流较小，可将载流导线多绕几个圈放入钳口进行测量，但是应将读数除以绕线圈数后才是实际的电流值。测量完毕后将调解开关放在最大量程挡位置（或关闭位置），以便下次安全使用。



b、不要在测量过程中切换量程挡。

c、注意电路上的电压要低于钳形表额定值，不可用钳形电流表去测量高压电路的电流，否则，容易造成事故或引起触电危险。



### 思考题

- 1、 如何正确使用电铬铁？
- 2、 如何正确使用手电钻和冲击钻？
- 3、 如何正确使用万用表？万用表的欧姆中心值的意义是什么？
- 4、 如何正确使用钳形表？需注意哪些事项？





## 第四章 工业用电常识

### 【学习目标】

- 一、学习电的相序区别与使用场合；
- 二、学习电的不同相序之间使用的能量功率计算；

## 第一节 单相交流电

### 一、什么是交流电？

家庭、商用、工业上被广泛应用的大多都是交流电。之所以叫做交流电是因为其大小和方向都是随时间不断交替变换的电流，简称交流。在交变电动势作用下，电路中的电流、电压都是交变的，这样的电路叫做交流电路。

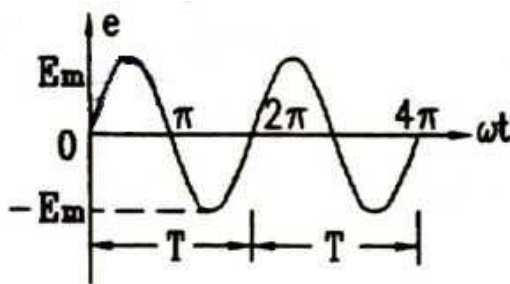
在交流电路中，由于电流（电压、电势等）的大小和方向都随着时间不断的变化，因此，交流电路参数除电阻外还要考虑电感和电容的作用。

工业用电大都是正弦交流电，各发电厂所发的电也是正弦交流电，即随时间按正弦规律变化的交变电流。我们所说的交流电，一般都是指正弦交流电。

交流电具有很多优越性，主要是交流电变压方便；交流发电机和电动机的结构简单、价格低廉、运行可靠。因此交流电得到了广泛应用。

### 二、正弦交流电的频率和周期及角频率

我们知道，所谓交流电就是大小和方向都随着时间不断交变的电流。如下右图所示为一正弦交流电动势的波形图，由图可以得知：交流电跟别的周期性过程一样，是用周期或频率来表示其变化的快慢。正弦交流电由零值增加到正最大值，然后又逐渐减少至零，然后改变方向又由零值逐渐增加到反方向（波形先是向上，然后是向下，所以是反方向）的最大值，最后减少到零。



正弦交流电这样循环变化一周所需的时间叫做**周期**，用字母“T”表示。单位是秒（字母“S”表示），常用的还有毫秒（ms）、微妙（ $\mu$ s）、纳秒（ns）。

由周期定义可知，周期越大，表面变化一周所需时间越长，即变化越慢，反之周期越小，表面交变电变化一周所需时间越短，即变化越快。

交流电在1秒钟内完成周期性变化的次数，叫做交流电的频率，用“f”表示，单位是

赫兹，简称赫，用“Hz”表示。频率的常用单位还有千赫（KHz）、兆赫（MHz）

周期和频率都是描述交流电变化快慢的物理量，两者的关系为：

$$T = \frac{1}{f}$$

除了周期和频率描述交流电的变化快慢外，还可以用电角度（角频率）来描述。角频率用“ $\omega$ ”表示，单位为弧度/秒

因为电动势交变一周期，电角度就改变  $2\pi$  弧度，而所需时间为  $T$ ，所以电角速度（角频率）与频率的关系为：

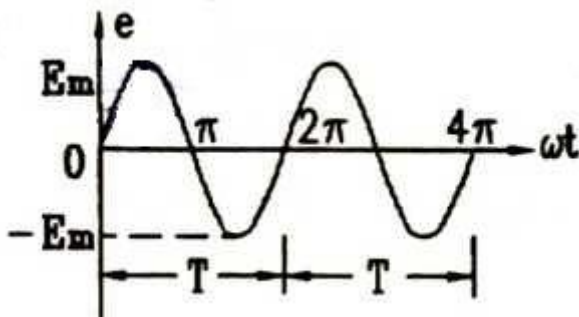
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

由上式可知，周期、频率和角频率三者之间是相互联系的，如果知道其中一个，便可求得另外两个。例如我国电流系统中，交流电的频率是 50Hz，则周期  $T=1/f=0.02s$ ，角频率  $\omega=2\pi f=314$  弧度/秒。美国、日本、西欧国家频率是 60Hz。

### 三、正弦交流电的瞬时值、最大值、有效值

在了解正弦交流电的瞬时值、最大值和有效值之前我们先来看看上一节课中的正弦交流电电动势波形图，如下右图所示。这个波形图还可以用数学表达式表示为：

公式中： $E_m$  表示为最大值、 $e = E_m \sin \omega t$   $\omega$  为电角度、 $e$  为瞬时值、 $t$  表示时间。



由上述公式可

见，交流电的大小

是随着时间变化而变化的，瞬时值（某一瞬间）的大小在零和正负峰值之间变化，最大值也仅是一瞬间数值，不能反映交流电的做工能力。于是便引入有效值的概念，其定义为：

如果交流电和直流电分别通过同一电阻，两者在相同的时间内所消耗的电能相等（或所产生的焦耳热相同），则此直流电的数值就叫做交流电有效值的数值。

正弦交流电的电动势、电压、电流的有效值分别以  $E$ 、 $U$ 、 $I$  表示。通常所说的交流电的电动势、电压、电流的大小均指它的有效值。交流电电气设备上标的 额定值以及交流电仪表所指示的数值也均为有效值。

理论和实验均已表明、正弦交流电的有效值与最大值之间的关系为：

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 E_m$$

其他正弦量（电压、电流等）也可以写出文中开头第一个表达式的形式：

$$u = U_m \sin \omega t$$

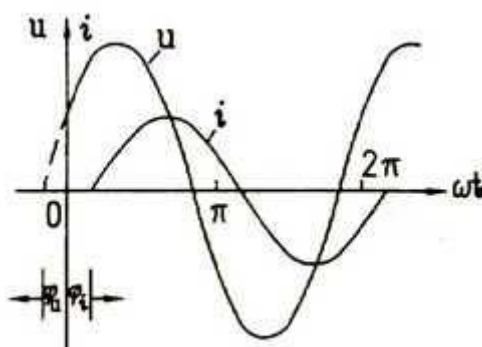
$$i = I_m \sin \omega t$$

电压、电流也都有瞬时值、最大值、有效值。一般瞬时值用小写字母（如  $u$ 、 $i$  等）表示，最大值用大写字母附有下列  $m$  字母表示（如  $U_m$ 、 $I_m$ ）。有效值用大写字母（ $U$ 、 $I$ ）表示。最大值与有效值的关系为：

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 U_m \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 I_m$$

#### 四、正弦交流电的相位、初相(角)和相位差

前面两节课中所讲到的如上图所示的波形图是一种特定波形：即  $t=0$  时， $e=0$ 。





而实际中， $t=0$  时， $e$  不一定为零，如右图所示：因此，一般正弦交流量的瞬时表达式为：

$$e = E_m \sin(\omega t + \Phi_e)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \Phi_u)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \Phi_i)$$

上述公式中  $(\omega t + \Phi)$  称为正弦量的相位，它是表示正弦量变化进程的物理量。例如：当相位  $\omega t + \Phi = 90^\circ$ ， $e = E_m$ ，当  $(\omega t + \Phi) = 180^\circ$  时， $e = 0$ ，如此等

等。可见，相位随时间不断变化，电动势  $e$  也就不断变化。由于相位是用电角度表示的，所以也称相位角。

公式中  $\Phi$  称为正弦量的初相角。它是  $t=0$  时的相位角，简称初相。

在交流电路中经常要进行同频率正弦量之间相位的比较（比如电压和电流之间）。同频率正弦量的相位之差称为相位差，用  $\Delta\Phi$  表示。在上右图中，电压  $u$  与电流  $i$  的相位差为：

$$\Delta\Phi = (\omega t + \Phi_u) - (\omega t + \Phi_i) = \Phi_u - \Phi_i$$

即为两正弦量初相之差。虽然相位是时间的函数，但相位差则是不随时间而变化的常数。

如果两同频率正弦量的初相相等，相位差为零，我们称它们同相，即它们同时达到正或负的最大值，同时到达零值；如果它们的相位差等于  $\pm\pi$  ( $180^\circ$ )，则称它们是反相，即它们在任意瞬时方向总是相反的；如果它们的相位不同，相位差不等于零，则称在本格周期内谁先达到最大值的正弦量比后到达同方向最大值的正弦量是超前的，或称后者滞后于前者，也就是初相大的超前初相小的。在上右图中  $u$  超前于  $i$ ，即  $u$  比  $i$  先到达最大值。

## 五、正弦交流电三要素表示方法

### 1. 解析法

解析法是用数学公式表述正弦交流电与实践变化关系的方法。公式如下：

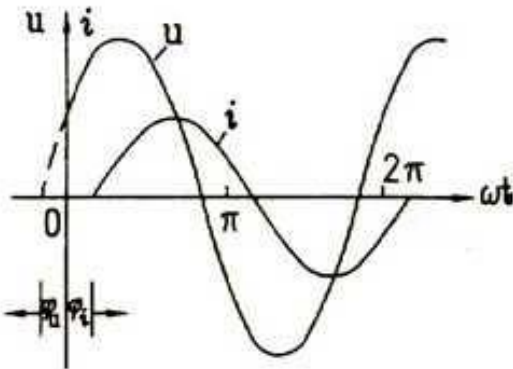
$$e = E_m \sin(\omega t + \Phi_e)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \Phi_u)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \Phi_i)$$

它可以表达正弦量的最大值、初相角和周期。由上述公式可知，只要知道一个正弦量的最大值，初相角和频率，一个正弦量即完整的被确定，因此，通常把最大值、初相角、角频率叫做正弦交流电的三要素。

### 2. 正弦曲线法



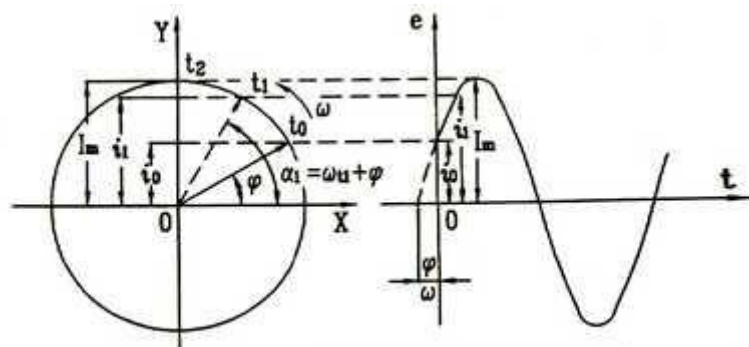
正弦曲线图示法即利用平面直角坐

标系中的横坐标表示时间  $t$ ，纵坐标表示

正弦量的瞬时值，并根据解析式的计算，用绘制出的正弦曲线图来表达正弦量的方法，如上图所示。

### 3. 旋转矢量法

正弦交流电还可以用旋转矢量法表示。什么是旋转矢量呢？



正弦交流电的旋转矢量图

如上图所示，从原点出发作一有向线段，令它的长度等于正弦量的最大值  $I_m$ ，与水平轴的夹角等于正弦量的初相位  $\Phi$ ，并以等于正弦量角频率的角速度  $\omega$  逆时针旋转，则在任一瞬间，该有向线段在纵轴上的投影就等于该正弦量的瞬时值  $I_m \sin(\omega t + \Phi)$ 。这样的有向线段就叫做旋转矢量。

正弦交流电的电压、电流和电动势都可以用旋转矢量表示，要进行同频率正弦量的加

减运算时，可以先做出各个正弦量对于的旋转矢量，然后按照平行四边形法则求出合成旋转矢量，这合成旋转矢量的长度就是总的正弦量的最大值，合成旋转矢量与轴 OX（横轴）的夹角就是总正弦量的初相位。

从上图中可以看到，用旋转矢量来表示正弦量通常是很繁琐的，一般情况下，我们只用有向线段的初始位置（ $t=0$  的位置）来表示正弦量，即把有向线段的长度表示为正弦量的大小，把有向线段与横轴正向的夹角表示正弦量的初相位，这种表示正弦量的方法叫做相量法。

如果使有向线段的长度等于正弦量的最大值，这种相量称为正弦量的最大值相量，以符号  $E_m$ 、 $U_m$ 、 $I_m$  表示。在实际问题中，我们遇到的往往是正弦量的有效值，如果使用有向线段的长度等于正弦量的有效值，这种相量叫做有效值相量，用符号  $U$ 、 $E$ 、 $I$  表示。几个同频率的相量画在同一个相量图中，可以按矢量合成的方法对相量进行加减运算。

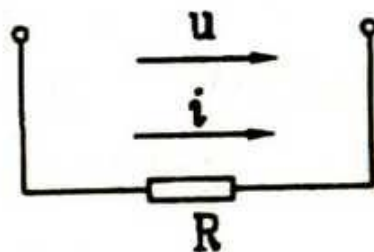
## 六、单一元件正弦交流电路，及交流电流电压的方向设定

### 1. 单一元件正弦交流电路

在交流供电系统中，各种电器设备的作用虽然各不相同，但是从分析电路中的电压、电流和能量转换角度来看，除发电机是电源以外，其余设备可归纳为三类元件：电阻元件、电感元件和电容元件。有些设备可以看作是单一元件结构，如白炽灯、电炉是电阻元件；电抗器和电感线圈是电感元件；电容器是电容元件等这些具有单一功能特性的元件。

实际上大部分设备则是由两种、三种元件组合而成。如输电线、电压器和电动机等，可以看成是电阻与电感元件组合而成。

### 2. 交流电流和电压的方向



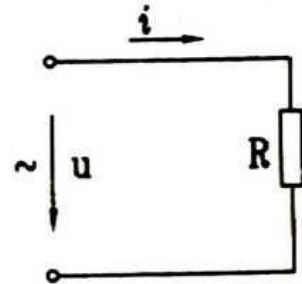
如同直流电路一样，正对交流电路中电流和电压的方向不断交变的特点，有必要给他们规定一个“正方向”，并用箭头表示，如上图所示，在同一电路中，电压与电力的正方向应当规定一致。当电路中电流的实际方向与规定方向一致时，电流为正值；当电流的实际方向和规定的正方向相反时，电流则为负值。这样就

可以根据所规定的正方向与电流值的正负，来判断出交流电流在某一瞬间的实际方向。

## 七、交流电纯电阻电路公式（电压与电流的关系及电功率）

### 1. 电压与电流公式

将一个电阻接到交流电源上，如下图所示。电压和电流的关系可以根据欧姆定律来确定。即： $u_R = iR$



上述公式表面，交流纯电阻电路的基本性质是电流瞬时值与电阻两端电压的瞬时值成正比。

电阻两端电压有效值  $U$  和电阻中流过的电流有效值  $I$  的关系可由欧姆定律得出：

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

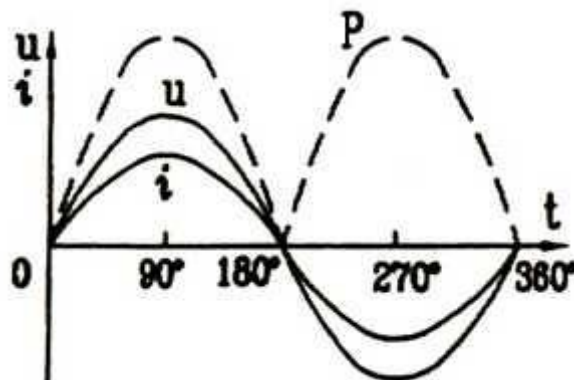
在电阻大小一定时，电压增大，电流也增大。电压为零，电流也为零。即电流的正弦曲线与电压的正弦曲线波形起伏一致。所以在电阻负载电路中电压与电流是同相位的。

### 2. 交流电功率公式

由于交流电路的电压和电流都随时间而变化，在任意瞬间，电压瞬时值  $u$  与电流瞬时值  $i$  的乘积为瞬时功率，用“ $p$ ”表示：即：

$$p = u_R i_R = U_{Rm} \sin \omega t I_{Rm} \sin \omega t = U_R I_R (1 - \cos 2\omega t)$$

由上述公式可以得知：电阻元件上瞬时功率由两部分组成，第一部分是常熟  $U_R I_R$ ，第二部分是幅值为  $U_R I_R$ ，并以  $2\omega$  的角频率随时间按余弦规律变化的变量  $U_R I_R \cos 2\omega t$ 。






上图波形图中虚线所示， $p$  为功率随时间变化的波形。它在一个周期内总是大于零，表面电阻元件总是吸收电能，即消耗功率。

瞬时功率虽然能表面功率在一周期内的变化情况，但是其数值不便于测量和计算，其实际意义不大。人们通常所说的电路的功率都是指瞬时功率在一周期内的平均值，称为平均功率或有功功率，以大写字母“ $P$ ”表示，经数学推算可得：

$$P = U_R I_R = I^2 R$$

其单位为瓦塔，由上式可见，当电压和电流以有效值表示时，纯电阻电路中的平均功率的表示式具有和直流电路相同的形式。

## 八、从交流电纯电感电路中感抗/电压/电流/电功率的关系了解电感的作用

一个具有电感磁效应作用，其直流电阻值小到可以忽略的线圈，就可以看作是一个纯电感负载。如日光灯电路的整流器，整流滤波电路的扼流圈，感应熔炼炉的感应圈，电力系统中限制短路电流的电抗器等，都可以看作是电感元件。电感元件用符“”表示。

### 1. 感抗与电流和电压的关系

当交流电通过线圈时，在线圈中产生自感电动势。根据电磁感应定律(楞次定律)，自感电动势总是阻碍电路内电流的变化，形成对电流的“阻力”作用，这种“阻力”作用称为电感电抗，简称感抗。用符号  $X_L$  表示，单位也是欧姆。

实验证明，线圈的电感  $L$  越大，交流电的频率  $f$  越高，则其感抗  $X_L$  就越大，它们之间的关系为：

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

上述公式中：

$f$ ：表示交流电的频率，单位 Hz；

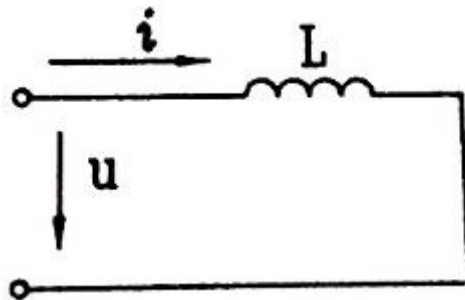
$L$ ：表示自感系数；单位为亨利 (H)

$X_L$ ：线圈的感抗，单位为欧姆 ( $\Omega$ )

上面的公式表明，当电感系数一定时，感抗与频率成正比，即电感元件具有通低频率阻高频率特性。

当  $f=0$  时， $X_L=0$ 。这说明感抗对直流电不起阻碍作用。所有在直流电路中，可将线圈

看成是短路。



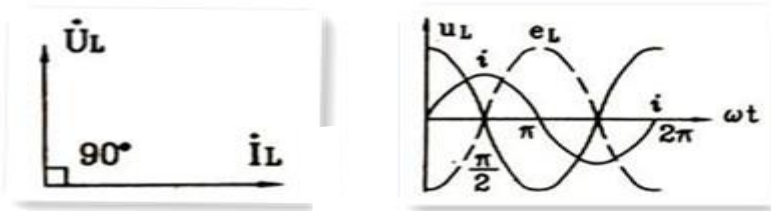
如上图所示的纯电杆电路中,如果线圈两端加上正弦交流电压  $u$ , 理论证明, 在纯电感电路中线圈两端电压有效值  $U$  与线圈中电流有效值  $I$  之间的关系为:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi fL}$$

$$U = IX_L$$

上述公式表明, 电感器元件上电压有效值与电流有效值也满足欧姆定律。但是应当注意, 瞬时值之间不满足这种关系。

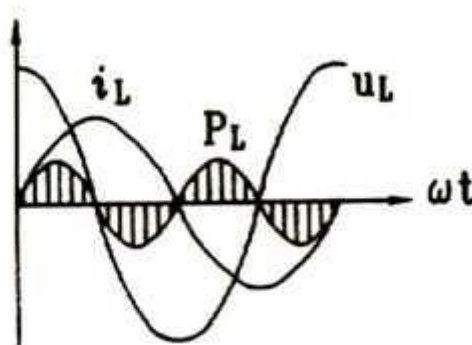
根据电磁感应定律分析,  $u$  与  $i$  的变化关系如下图(左)所示, 从图中可以知道, 电感上电压  $u$  总是超前  $i$   $90^\circ$ 。用相量图表示图:



按逆时针方向,  $I_L$ 相量在  $U_L$ 相量之后  $90^\circ$ , 即  $I_L$ 滞后  $U_L$   $90^\circ$ 。

## 2. 纯电感电路中的电功率

瞬时功率: 纯电感电路的瞬时功率等于电压  $u_L$ 和电流  $i_L$ 瞬时值乘积。





设  $i_L = I_L \sin \omega t$  则  $U_L = U_L \sin(\omega t + 90^\circ)$ 、 $P = U_L I_L \sin \omega t$ ，做出瞬时功率曲线图，如下图所示。

**有功功率：**由上图瞬时功率波形图可见，瞬时功率在第一个和第三个  $1/4$  周期内为正值，它表示电感线圈从电源中获得电能，转换为磁能贮藏于线圈内；在第二个和第四个  $1/4$  周期内为负值，表示电感将贮藏的磁能转换为电能，随电流送回电源。由曲线图还可以看出，在一个周期内，正方向和负方向曲线所包围的面积相等。它表示瞬时功率在一个周期内的平均值等于零，也就是说，在纯电感电路中，不消耗电能，而只与电源进行能量的交换。所以在一个周期内的有功功率为零。

**无功功率：**纯电感电路中瞬时功率的最大值叫做无功功率，它表示线圈与电源之间能量交换规模的大小，用字母  $Q_L$  表示。

$$Q_L = I_L U_L = I_L^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L}$$

上述公式中：

$Q_L$ ：表示电路的无功功率，单位为乏（Var）或 Kvar；

$U_L$ ：表示线圈两端电压的有效值（单位，伏特、V）

$I_L$ ：表示流过线圈电流的有效值（单位，安、A）

$X_L$ ：表示线圈的感抗（单位欧姆、 $\Omega$ ）

## 九、电容器原理和计算公式及电容单位换算

### 1. 电容器原理

在生产及生活实践中，科学家们发现，凡是被绝缘隔开的两个导体之间加以电压时，则接在高电位的导体就能容纳正电荷，接在低电位的导体能容纳负电荷。由此可见，上述导体和绝缘所构成的整体有容纳电荷的能力，这种能力叫做电容。而这个整体就叫做电容器。

### 2. 电容计算公式

实践证明：任一电容器容纳电荷的情况和一个篮球容纳气体的情况类似。篮球大气的气压越大，则容纳的气体越多；电容器所加电压越大，则容纳的电荷也越多。这样一来，

要衡量它容纳电荷的本领，就必须在同一电压下来衡量，单位电压下所能容纳电荷的多少叫电容，用  $C$  表示，单位法拉：

$$C = \frac{q}{U}$$

上公式中  $q$  是电容器在外加电压  $U$  时所容纳的电荷量。

实际使用中常见的电容器的容量在其被制造出来时都有表明，电容器元件表面的数字或者色环就包含了容量信息。1 法拉等于 1 库仑每伏特，即电容为 1 法拉的电容器，在正常操作范围内，每增加 1 伏特的电势差可以多储存 1 库仑的电荷。

### 3. 电容单位换算

电容的容量单位是法拉（用字母  $F$  表示），但是在实际应用上，法拉这一单位太大了。往往使用最多的是微法（ $\mu F$ ）或皮法（ $PF$ ）。

$$1F=1000,000 \text{ 微法}=10^6 \text{ 微法} (\mu F)$$

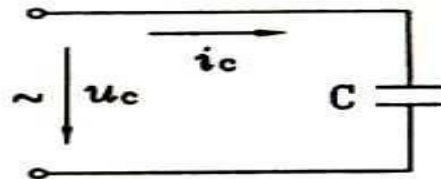
$$1\mu F=1000,000 \text{ 皮法}=10^6 \text{ 皮法} (PF)$$

电容的大小与电容器的几何尺寸和介质的性质有关。除了电容器有电容外，在实际中，电气设备、线路与部件都具有自然形成的电容。如较长的输电线之间，较长的电缆都具有电容。

## 十、交流纯电容电路中电容的容抗、容量和频率以及电压与电流的关系

### 1. 电容容抗

如果不考虑电容器本身存在的泄露电阻影响，可以认为电容器是一个纯电容负载。当电容器两端接在交流电压上，在电压由零增至最大时，对电容器充电，有一充电电流。在电压由最大值降低至零时，电容器放电，有一放电电流。



如上右图所示。由于充电和放电在电路中形成了电流。但是电容器存储电荷的能力并不是无限制的，积有了电荷或积满了电荷时，就对电流表现有样一种抗拒作用，这种抗拒作用称为电容电抗，简称容抗。用符号  $X_c$  表示，单位是欧姆。

从实验得知：电容器的电容  $C$  越大，频率  $f$  越高，则其容抗  $X_c$  就越小。他们之间的关系为：

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$$

上述公式中：  $\pi=3.14$

f: 表示频率，单位赫兹 (Hz)

C: 表示电容容量，单位法 (F)

由上式可见：当电容 C 一定时，容抗  $X_c$  与频率成正比，即电容元件具有通高频阻低频特性。当  $f=0$  时， $X_c=\infty$  (无限大)。即直流电通不过电容器，可视为开路。

## 2. 电容两级电压与电流的关系

理论证明，在纯电容电路中，电容器两级间电压的有效值  $U_c$  与电路中电流的有效值  $I_c$  之间的关系为

$$I_c = \frac{U_c}{\frac{1}{2\pi fC}} = 2\pi fCU_c$$

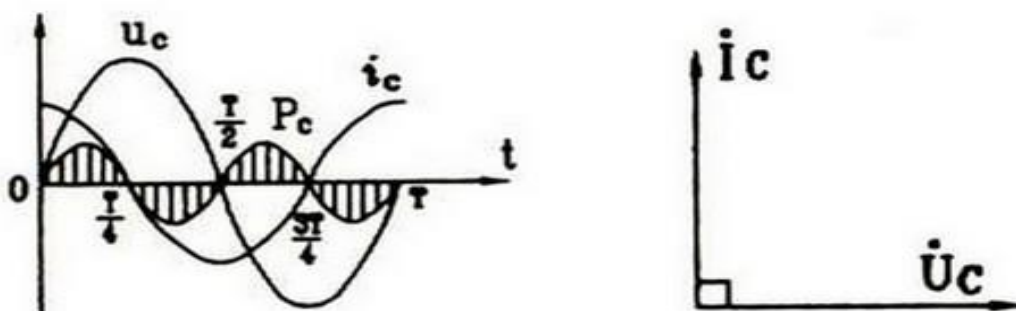
电容器开始充电时 (即电压从零开始增大)，电容器的极板上没有电荷，此时存储电容容易，一个很小的电压便能产生很大的电流，此状态充电电流最大，后来极板上电荷积多了，同性电荷相互排斥，并随着电容器所带电荷的增加，要想电容器充电就受到了越来越大的阻力，电压必须继续升高，才能继续存储一些电荷进去，因此电流逐渐减小，到电压升到最大值时，极板上电荷已储满，此时电流减小到零。即  $i_c$  不是与  $u_c$  成正比变化的，而是与  $u_c$  的变化率成正比变化的。

$u_c$  与  $i_c$  变化的关系如下左图所示，由图知， $u_c$  与  $i_c$  的相位差为  $90^\circ$ ，且电流  $i_c$  超前  $u_c$   $90^\circ$ ，用相量图表示如下图所示。

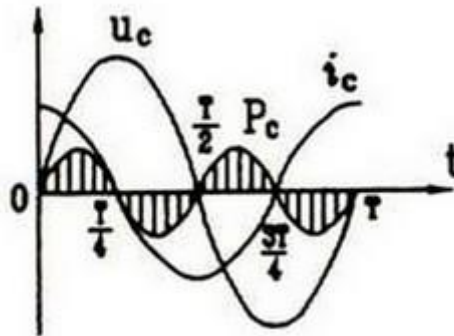
## 十一、交流电纯电容电路中的电功率 (瞬时、有功、无功)

在交流电路中纯电容电路的功率主要有三种状态，分别是瞬时功率、有功功率、无功功率。

### 1. 纯电容电路中的功率



瞬时功率：瞬时功率等于电压  $u_c$  与电路  $i_c$  的乘积（也就是任何时候的电容两端的电压乘以流通的电流，电功率计算公式： $U \cdot I = P$ ），其变化规律如下图所示：



有功功率：从上图可知，瞬时功率在一个周期内交替变化两次，两次为正，两次为负。则表明瞬时功率在一个周期内的平均功率值为零。它表明：在纯电容电路中，只有电容与电源进行能量交换，而无能量消耗，所以有功功率为零。它和电感元件相似是个储能元件。

无功功率：纯电容电路中瞬时功率的最大值叫做无功功率，它表示电容器与电源之间能量交换的规模，以  $Q_c$  表示。

$$Q_c = I_c U_c = I_c^2 X_c$$

上述公式中：

$Q_c$ ：表示电容器的无功功率 Var 或 Kvar（无功功率的单位千伏安）

$U_c$ ：表示电容器两极间电压的有效值（V）

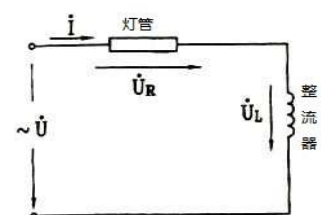
$I_c$ ：表示纯电容电路中电流有效值（A）

$X_c$ ：表示电容器的容抗（ $\Omega$ ）

## 十二、电阻和电感串联的正弦交流电路中电压与电流的关系

在实际使用的设备中，简单的单一元件电路其实并不多见。电炉不仅具备电阻还有一定的电感。日光灯的整流器和电动机的线圈不仅具有电感还具有一定的电阻。

在日光灯电路中，用万用表交流档测得灯管和整流器两端的电压各为  $U_R$  和  $U_L$ ，如下图所示。 $U_R$  和  $U_L$  电压数值相加等于电源电压  $U$  的数值，这是什么原因呢？

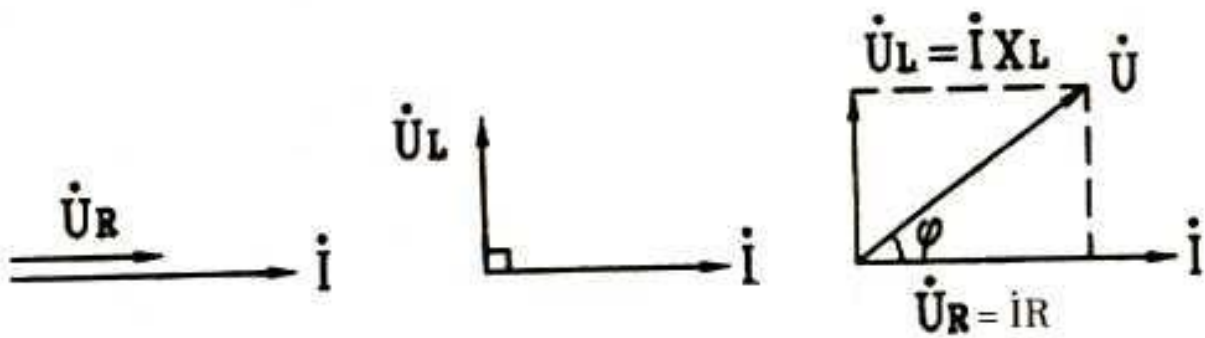


由于灯管和整流器是不同的负载，虽然同一个电流  $i$  流过电阻和电感，但是他们各自产生的电压降  $u_R$  和  $u_L$  的相位是不同的。 $i$  与  $u_R$  是相位相同， $i$  滞后  $u_L$   $90^\circ$ ，如下图中所示。在电阻和电感串联电路中，以电流  $I$  为标准按比例大小和相位关系作相量图（见《正弦交流电的三要素及表示方法：解析法、正弦曲线法、旋转矢量法》）较为方便。 $U_R$  与  $U_L$  不能直接相加，可按平行四边形法求得电源电压  $U$ 。并且  $U_R$ 、 $U_L$  和  $U$  构成一直角三角形，称为“电压三角形”，可用三角形的勾股弦定律进行计算。

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2}$$

上面的公式中： $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$  称为阻抗，单位是欧姆。

由此， $I = U/Z$ ，即为交流电路的欧姆定律。



日光灯电路的相量图

将电压三角形的各边除以  $I$ ，就得到了“阻抗三角形”。如果电压三角形的每边乘以  $I$ ，就可得到“功率三角形”。这三个三角形相似的，如下图所示：

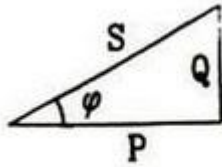


上图中中间的“阻抗三角形”，由于  $R$ 、 $X_L$ 、 $Z$  都不是正弦量，因而阻抗三角形的三边不能画成矢量。可以证明，在同一电阻、电感串联交流电路中，电压三角形和阻抗三角形是相似三角形， $Z$  与  $R$  之间的夹角称为阻抗角。它在数值上等于电压超前电流的相位角，但实质上取决于电路中的电阻、电感和电源的频率。



### 十三、电阻和电感串联的交流电路中的电功率公式及关系

#### 1. 功率关系



将电压三角形的 **功率三角形** 每边乘以  $I$  就得到了如上图所示的功率三角形，它表明了交流电路中有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$  和视在功率  $S$  之间的数量关系，也满足勾股定律。

在  $R$ 、 $L$  串联（即电阻和电感）交流电路中，只有  $R$  是耗能元件，故而电路的有功功率为：

$$P = IU_R = I^2 R$$

由电压三角形可知， $U_c = U \cos \Phi$ ，所有，有功功率一般表示为：

$$P = UI \cos \Phi$$

上述公式中  $\cos \Phi$  称为电路的功率因素，它是表征交流电路工作状态的重要技术数据之一。

电感  $L$  只与电源交换能量，其无功功率为：

$$Q_L = IU_L = IU \sin \Phi$$

在上述两个公式中，乘积  $IU$  是电源供给电路的总功率，虽然  $IU$  具有功率的形式，但并不是电路中真正消耗的功率，它包含着有功功率和无功功率两部分。只有有功功率才是电路实际消耗的功率。所以乘积  $IU$  称为视在功率，用字母“ $S$ ”表示，视在功率的单位为伏安（VA），或千伏安（KVA）：定义式为：

$$S = IU$$

由上右图所示功率三角形为一直角三角形，根据勾股定律：

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$$



由于纯电感只消耗无功功率，而电阻性负载消耗有功功率，所以在电感性负载交流电路中，衡量电能被利用来作有功功率的程度用功率因素  $\cos\Phi$  来表示。

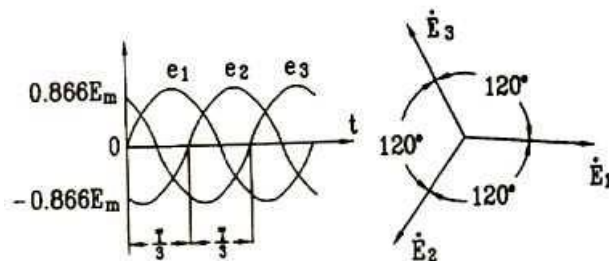
从有功功率  $P=UI\cos\Phi$  的公式中，可以看出，在同样的视在功率  $UI$  情况下， $\Phi$  越小， $\cos\Phi$  越大， $P$  越大，电源所做的有功功率越多，电能利用程度就越高。

电灯是电阻性负载，功率因素最高， $\Phi$  为零， $\cos\Phi=1$ . 电动机的功率因素在满载时为  $0.7\sim 0.8$ ，轻载时更低，为了充分利用发电和变电设备的能力，提高功率因素是有重大意义的。

## 第二节 三相交流电

在前面的课程中我们学习都是单向交流电，但是在实际生产中，普遍使用的是三相交流电，它由三相发电机发出，并且由三相输电系统输送给用户。用输电线把三相交流电源和负载正确地连接起来就构成了三相交流电路。

三相交流电具有电能输送方便、经济，三项功率比单相功率的波动性小等优点。因而得到广泛的应用。三相交流电路一般是指电路中同时存在着三个最大值相等，频率相同，相位彼此相差  $120^\circ$  的正弦交流电动势。每个电动势组成的那部分电路叫做一“相”。



三相交流电动势的解析式表示如下：

$$e_u = E_m \sin \omega t$$

$$e_v = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

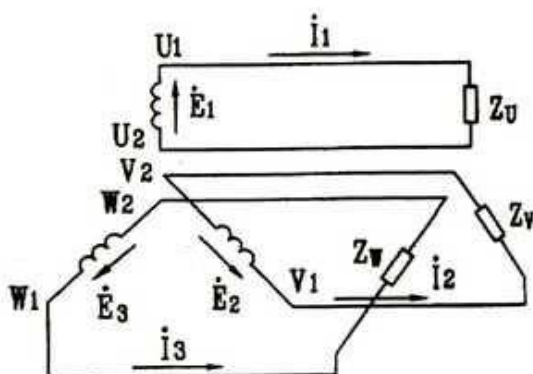
$$e_w = E_m \sin (\omega t + 120^\circ)$$

其波形图和相量图如上图所示。

我们把幅值相等，频率相同，相位彼此互差  $120^\circ$  的三相正弦交流电动势称为**对称电动势**。对称电动势的特点是三相电动势瞬时值之和恒为零。下面所说的三相电动势如无特殊说明，均指对称电动势。

在实际应用中，常用 U-V-W 的次序表示三相电动势的相序，所谓相序是指三相电动势通过最大值和零值的先后顺序，即 U 相比 V 相电动势超前  $120^\circ$ ；V 相比 W 相电动势超前  $120^\circ$ ；W 相比 U 相电动势超前  $120^\circ$ 。

在三项绕组中，将哪一项定位 U 相是无关紧要的，但 U 相一旦设定，则 V、W 便按顺序一同被设定。即比 U 相滞后  $120^\circ$  的是 V，相比 V 滞后  $120^\circ$  的是 W 相，这个次序不能混淆。因此把 U-V-W 的相序称为顺相序。

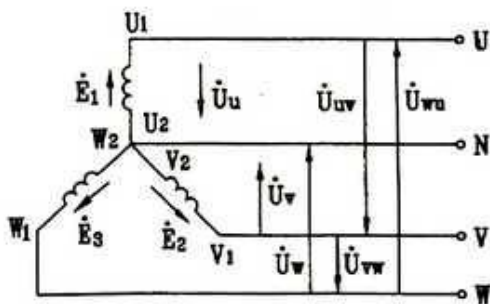


### 一、三相星形电源的连接、零线

## /地线/相线/火线的区别及相电压/线电压

如果将三相交流电源的每一相用两根导线和负载连接起来，组成了三个互不相关的电路，如下图所示。这种连接需要用六根导线来输电，是很不经济的。因此，实际上都是采用“星形(Y)”或者“三角形”(△)的连接方式。

### 1. 零线/地线、相线/火线



把三相电源的三个线圈的末端 (U2、V2、W2) 连接在一起，从三个始端 (U1、V1、W1) 分别引出导线。这种连接方式叫做星形连接，如右图所示。三个末端的连接点称为中性点。

由中性点引出的导线叫“中性线” (即图中的 N 线)，当中性点接地时，由中性点引出的线叫“零线” (俗称“底线”)。由线圈始端 (U1、V1、W1) 分别引出的三条导线称为“相线” (俗称“火线”)。

### 2. 相电压、线电压

这样的连接方式，在导线间存在着两种电压：相电压和线电压。每根相线和中性线的电压叫做相电压，它们的有效值分别用  $U_U$ 、 $U_V$ 、 $U_W$  表示；各相线间的电压叫线电压，它们的有效值分别用  $U_{UV}$ 、 $U_{VW}$ 、 $U_{WU}$  表示。

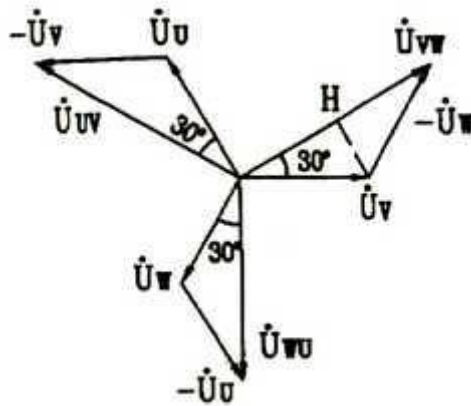
### 3. 相电压与线电压的关系

三相电源星形 (Y) 连接时，电压的相量图如下图所示。从相量图可以看出：线电压和

相电压间的数值关系可由等腰三角形中求得。U、V 间线电压：

$$U_{UV} = 2 \times U_U \times \cos 30^\circ = 2 \times U_U \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}U_U$$

同理，V、W 间线电压： $U_{VW} = \sqrt{3}U_V$ ；W、U 间线电压： $U_{WU} = \sqrt{3}U_W$



即： $U_L = \sqrt{3}U_\phi$

上面的公式中：

$U_L$ ：表示线电压，单位伏特（简称伏，V）

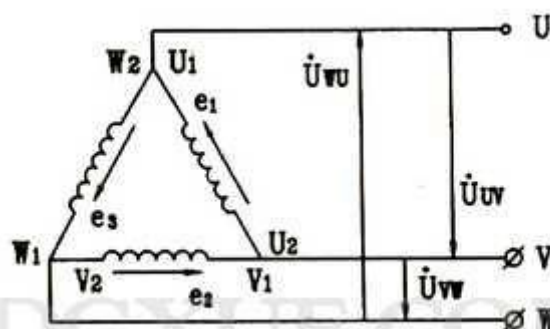
$U_\phi$ ：表示相电压，单位伏特（简称伏，V）

因此，三相电源星形连接时，线电压  $U_L$  为相电压  $U_\phi$  的  $\sqrt{3}$ ，或 1.73 倍（根号 3 等于 1.73）。

所以大家有时候会听说 380V 的电压，它是怎么来的呢？我们都知道普通家用电压是 220V，这个电压是相电压（就是火线与零线的电压），当我们把火线与另一条火线（而不是零线）连接是，就可以输出 380 伏的电压了。

## 二、三相电源的三角形连接（ $\Delta$ 连接）及线电压与相电压的关系

将三相电源的三个线圈，以一个线圈的末端和相邻一相线圈的始端按顺序连接起来，形成一个三角形回路，再从三个连接点引出三根导线与负载相连，如下图所示。



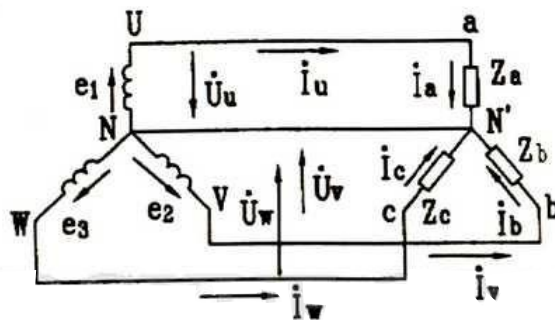
从图中可以得知，电源连接成三角形时线电压与相电压的关系为：线电压  $U_L$  等于相电压  $U_\phi$ ，即  $U_L=U_\phi$ 。

通常，发电机都连接成星形（Y）。三相变压器对于用户来说也相当于电源，它有连接成星形的，也有连接成三角形的。

### 三、三相电路负载的星形连接及中性线的作用、相/线电压电流关系

星形连接（Y）的三相电路，可分为三相四线制（有中性线的，如下图所示，U、V、W 点是相线，N 电是中性线）和三相三线制（没有中性线的）。

#### 1. 相/线电压电流关系

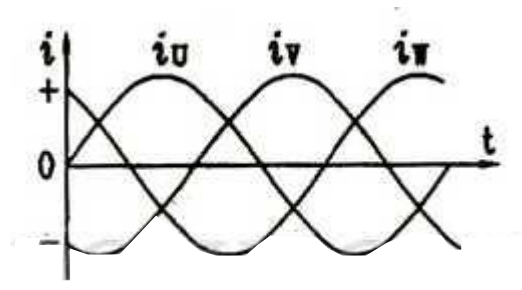


电路中每根相线中的电流（相电流） $I_\phi$  也就是线电流  $I_L$ 。负载上的线电压  $U_L$  为相电压  $U$  的  $\sqrt{3}$  倍（根号  $3 \approx 1.73$ ）。

$$I_L = I_\phi$$

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi$$

#### 2. 中性线的作用



当三相负载对称时（即各相负载大小相等，阻抗角相等），由上图可见，在任何瞬间三个线电流的综合为零，也就是通过中线的电流为零。既然中性线上没有电流，此时中性线毫无作用，是多余的可以省去。例如向三相电动机或三相电炉供电时，可以采用三相三线制供电。。

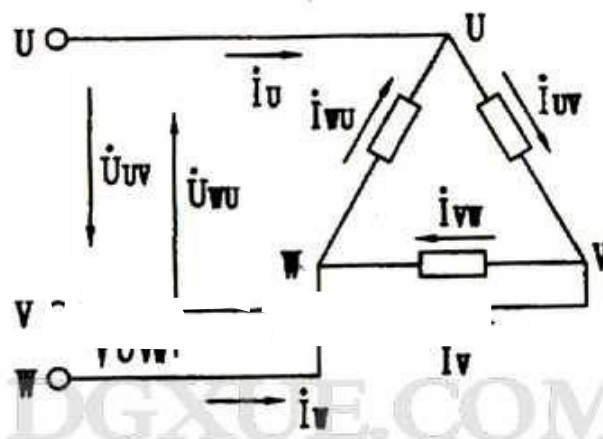
但是我们常见的是用到中性线的三相四线制供电方式，这是因为除了对称的三相负载外，还有单相负载（如单相电动机、单相电炉和照明等）。使用时如各相的负载不对称，各相电流大小就不一样，这就需要用中性线作为各相负载的公共回路，所以中性线上就有电流。

中性线的作用是在负载变动时能使各负载两端的电压很小变动，且各相负载的相电压基本保持对称。

在不对称的三相供电系统中，中性线是非常重要的。不允许中性线断开，在中性线上不允许接入熔断器或开关。假如中性线断开了，各相负载会造成三相相电压不对称，有的相电压显著升高，有的相电压降低，容易损坏电气设备。

中性线上有了电流，则其对地就有一定电压，所以为了安全起见，常采用中性线接地。并在用户负载处将中性线再接地，称为重复接地。

#### 四、三相电路负载的三角形连接及相/线电压电流关系



负载作三角形  
电路，如上图所示。

( $\Delta$ )连接的三相  
一般用于三相负

载对称的情况下，如绕组为三角形接法的电动机，三角形接法的三相电路和变压器原边或副边绕组的三角形连接。

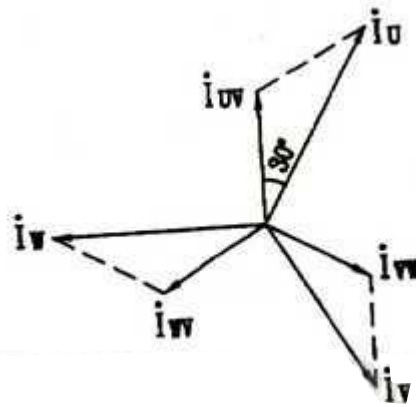


在三角形连接的三相电路中，负载的相电压  $U_{\Phi}$  等于线路上的线电压  $U_L$ 。

$$U_L = U_{\Phi}$$

在三角形连接的负载对称时，三相负载中的相电流  $I_{\Phi}$  和线路中线电流  $I_L$  的相量图如下图所示。从图中可以看出：线电流  $I_L$  和相电流  $I_{\Phi}$  之间的大小关系。

$$I_U = 2 \times I_{UV} \cos 30^{\circ} = 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} I_{UV} = \sqrt{3} I_{UV}$$



同理：  $I_V = \sqrt{3} I_{vW}$ 、  $I_W = \sqrt{3} I_{wU}$

即：  $I_L = \sqrt{3} I_{\Phi}$

因此，在三角形连接对称负载的三相电路中，线电流 ( $I_L$ ) 等于相电流 ( $I_{\Phi}$ ) 的  $\sqrt{3}$  倍 (根号 3  $\approx 1.73$ )。线电压 ( $U_L$ ) 就等于相电压 ( $U_{\Phi}$ )。

## 五、星形、三角形连接时三相交流电路的电功率

在三相交流电路中，总负载消耗的功率等于各相负载消耗的有功功率之和，即  $P = P_u + P_v + P_w$

当三相负载对称时，不论是星形连接 (Y) 还是三角形连接 ( $\Delta$ )，三相中  $U_{\Phi}$ 、 $I_{\Phi}$  和  $\cos \Phi$  (功率因素) 都是一样的，所以每一相中的功率大小相等，因此三相功率为单相功率的三倍，即三相功率  $P = 3P_{\Phi}$ ，表达式为：

$$P = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \Phi$$

因为在线路中测量线电压和线电流较为方便，因而常用线电压、线电流值来计算三项功率

当负载为星形连接时，且各相负载平衡时，  $I_L = I_{\Phi}$

$$U_L = \sqrt{3} U_{\Phi}$$



当负载为三角形连接时，且各相负载平衡时， $U_L=U_\phi$

$$I_L = \sqrt{3}I_\phi$$

因此不论负载是星形还是三角形，将以上关系式代入  $P=3U_\phi I_\phi \cos\Phi$  中得：

$$P = \sqrt{3}U_L I_L \cos\Phi$$

同理，三相对称负载的无功功率为：

$$Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin\Phi$$

由视在功率  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$  得出：

$$S = \sqrt{3}U_L I_L$$

注意：上述公式中  $U_L$ 、 $I_L$  是线电压和线电流。

### 思考题

- 1、 交流电和直流电的区别？分别应用在哪些场合？
- 2、 什么是单相交流电？什么是三相交流电？它们的区别及应用有哪些？



## 第五章 电器元件介绍

### 【学习目标】

- 一、学习常用电子元器件种类；
- 二、学习常用电子元器件的工作原理及使用场合；



## 第一节 常用电子元器件

### 1、电阻

电阻，英文名 resistance，通常缩写为 R，它是导体的一种基本性质，与导体的尺寸、材料、温度有关。欧姆定律说， $I=U/R$ ，那么  $R=U/I$ ，电阻的基本单位是欧姆，用希腊字母“ $\Omega$ ”表示，有这样的定义：导体上加上一伏特电压时，产生一安培电流所对应的阻值。电阻的主要职能就是阻碍电流流过。事实上，“电阻”说的是一种性质，而通常在电子产品中所指的电阻，是指电阻器这样一种元件。

### 2、电阻种类

电阻器的种类有很多，通常分为三大类：固定电阻，可变电阻，特种电阻。在电子产品中，以固定电阻应用最多。而固定电阻以其制造材料又可分为好多类，但常用、常见的有 RT 型碳膜电阻、RJ 型金属膜电阻、RX 型线绕电阻，还有近年来开始广泛应用的片状电阻。型号命名很有规律，R 代表电阻，T—碳膜，J—金属，X—线绕，是拼音的第一个字母。在国产老式的电子产品中，常可以看到外表涂覆绿漆的电阻，那就是 RT 型的。而红颜色的电阻，是 RJ 型的。一般老式电子产品中，以绿色的电阻居多。为什么呢？这涉及到产品成本的问题，因为金属膜电阻虽然精度高、温度特性好，但制造成本也高，而碳膜电阻特别价廉，而且能满足民用产品要求。

电阻器当然也有功率之分。常见的是 1/8 瓦的“色环碳膜电阻”，它是电子产品和电子制作中用的最多的。当然在一些微型产品中，会用到 1/16 瓦的电阻，它的个头小多了。再者就是微型片状电阻，它是贴片元件家族的一员，以前多见于进口微型产品中，现在电子爱好者也可以买到了（做无线窃听器？）

### 3、电阻器的标识

国际上惯用“色环标注法”。事实上，“色环电阻”占据着电阻器元件的主流地位。“色环电阻”顾名思义，就是在电阻器上用不同颜色的环来表示电阻的规格。有的是用 4 个色环表示，有的用 5 个。有区别么？是的。4 环电阻，一般是碳膜电阻，用 3 个色环来表示阻值，用 1 个色环表示误差。5 环电阻一般是金属膜电阻，为更好地表示精度，用 4 个色环表示阻值，另一个色环也是表示误差。

色环电阻的规则是最后一圈代表误差，对于四环电阻，前二环代表有效值，第三环代表乘上的次方数。例如：面对一个色环电阻，找出金色或银色的一端，并将它朝下，从头开始读色环。例如第一环是棕色的，第二环是黑色的，第三环是红色的，第四环是金色的，



那么它的电阻值是 1、0，第三环是添零的个数，这个电阻添 2 个零，所以它的实际阻值是 1000  $\Omega$ ，即黑 0 棕 1 红 2 橙 3 黄 4 绿 5 蓝 6 紫 7 灰 8 白 9，金银代表误差。

#### 4、可变电阻

可变电阻又称为电位器，电子设备上的音量电位器就是个可变电阻。但是一般认为电位器都是可以手动调节的，而可变电阻一般都较小，装在电路板上不经常调节。可变电阻有三个引脚，其中两个引脚之间的电阻值固定，并将该电阻值称为这个可变电阻的阻值。第三个引脚与任两个引脚间的电阻值可以随着轴臂的旋转而改变。这样，可以调节电路中的电压或电流，达到调节的效果。

#### 5、特种电阻

光敏电阻是一种电阻值随外界光照强弱（明暗）变化而变化的元件，光越强阻值越小，光越弱阻值越大。如果把光敏电阻的两个引脚接在万用表的表笔上，用万用表的  $R \times 1k$  挡测量在不同的光照下光敏电阻的阻值：将光敏电阻从较暗的抽屉里移到阳光下或灯光上，万用表读数将会发生变化。在完全黑暗处，光敏电阻的阻值可达几兆欧以上（万用表指示电阻为无穷大，即指针不动），而在较强光线下，阻值可降到几千欧甚至 1 千欧以下。

利用这一特性，可以制作各种光控的小电路来。事实上街边的路灯大多是用光控开关自动控制的，其中一个重要的元器件就是光敏电阻（或者是光敏三极管，一种功能相似的带放大作用的半导体元件）。光敏电阻是在陶瓷基座上沉积一层硫化镉（CdS）膜后制成的，实际上也是一种半导体元件。

热敏电阻是一个特殊的半导体器件，它的电阻值随着其表面温度的高低的变化而变化。它原本是为了使电子设备在不同的环境温度下正常工作而使用的，叫做温度补偿。新型的电脑主板都有 CPU 测温、超温报警功能，就是利用了热敏电阻。

#### 6、电容

电子制作中需要用到各种各样的电容器，它们在电路中分别起着不同的作用。与电阻器相似，通常简称其为电容，用字母 C 表示。顾名思义，电容器就是“储存电荷的容器”。尽管电容器品种繁多，但它们的基本结构和原理是相同的。两片相距很近的金属中间被某物质（固体、气体或液体）所隔开，就构成了电容器。两片金属称为的极板，中间的物质叫做介质。电容器也分为容量固定的与容量可变的。但常见的是固定容量的电容，最多见的是电解电容和瓷片电容。

不同的电容器储存电荷的能力也不相同。规定把电容器外加 1 伏特直流电压时所储存的电荷量称为该电容器的电容量。电容的基本单位为法拉（F）。但实际上，法拉是一个很



不常用的单位，因为电容器的容量往往比1法拉小得多，常用微法（ $\mu\text{F}$ ）、纳法（ $\text{nF}$ ）、皮法（ $\text{pF}$ ）（皮法又称微微法）等，它们的关系是：1法拉（ $\text{F}$ ）= 1000000微法（ $\mu\text{F}$ ） 1微法（ $\mu\text{F}$ ）= 1000纳法（ $\text{nF}$ ）= 1000000皮法（ $\text{pF}$ ）

在电子线路中，电容用来通过交流而阻隔直流，也用来存储和释放电荷以充当滤波器，平滑输出脉动信号。小容量的电容，通常在高频电路中使用，如收音机、发射机和振荡器中。大容量的电容往往是作滤波和存储电荷用。而且还有一个特点，一般 $1\mu\text{F}$ 以上的电容均为电解电容，而 $1\mu\text{F}$ 以下的电容多为瓷片电容，当然也有其他的，比如独石电容、涤纶电容、小容量的云母电容等。电解电容有个铝壳，里面充满了电解质，并引出两个电极，作为正（+）、负（-）极，与其它电容器不同，它们在电路中的极性不能接错，而其他电容则没有极性。把电容器的两个电极分别接在电源的正、负极上，过一会儿即使把电源断开，两个引脚间仍然会有残留电压（学了以后的教程，可以用万用表观察），我们说电容器储存了电荷。电容器极板间建立起电压，积蓄起电能，这个过程称为电容器的充电。充好电的电容器两端有一定的电压。电容器储存的电荷向电路释放的过程，称为电容器的放电。例如，我们看到市售的整流电源在拔下插头后，上面的发光二极管还会继续亮一会儿，然后逐渐熄灭，就是因为里面的电容事先存储了电能，然后释放。

电子电路中，只有在电容器充电过程中，才有电流流过，充电过程结束后，电容器是不能通过直流电的，在电路中起着“隔直流”的作用。电路中，电容器常被用作耦合、旁路、滤波等，都是利用它“通交流，隔直流”的特性。电容器的选用涉及到很多问题。首先是耐压的问题。加在一个电容器的两端的电压超过了它的额定电压，电容器就会被击穿损坏。一般电解电容的耐压分档为6.3V，10V，16V，25V，50V等。

## 7、电感

电感器在电子制作中虽然使用得不是很多，但它们在电路中同样重要。我们认为电感器和电容器一样，也是一种储能元件，它能把电能转变为磁场能，并在磁场中储存能量。电感器用符号L表示，它的基本单位是亨利（H），常用毫亨（mH）为单位。它经常和电容器一起工作，构成LC滤波器、LC振荡器等。另外，人们还利用电感的特性，制造了阻流圈、变压器、继电器等。

电感器的特性恰恰与电容的特性相反，它具有阻止交流电通过而让直流电通过的特性。小小的收音机上就有不少电感线圈，几乎都是用漆包线绕成的空心线圈或在骨架磁芯、铁芯上绕制而成的。有天线线圈（它是用漆包线在磁棒上绕制而成的）、中频变压器（俗称中周）、输入输出变压器等等。

变压器是由铁芯和绕在绝缘骨架上的铜线圈构成的。绝缘铜线绕在塑料骨架上，每个骨架需绕制输入和输出两组线圈。线圈中间用绝缘纸隔离。绕好后将许多铁芯薄片插在塑料骨架的中间。这样就能够使线圈的电感量显著增大。变压器利用电磁感应原理从它的一个绕组向另一个绕组传输电能量。变压器在电路中具有重要的功能：耦合交流信号而阻隔直流信号，并可以改变输入输出的电压比；利用变压器使电路两端的阻抗得到良好匹配，以获得最大限度的传送信号功率。

## 8、二极管

半导体是一种具有特殊性质的物质，它不像导体一样能够完全导电，又不像绝缘体那样不能导电，它介于两者之间，所以称为半导体。半导体最重要的两种元素是硅（读“gui”）和锗（读“zhe”）。

二极管最明显的性质就是它的单向导电特性，就是说电流只能从一边过去，却不能从另一边过来（从正极流向负极）。我们用万用表来对常见的 1N4001 型硅整流二极管进行测量，红表笔接二极管的负极，黑表笔接二极管的正极时，表针会动，说明它能够导电；然后将黑表笔接二极管负极，红表笔接二极管正极，这时万用表的表针根本不动或者只偏转一点点，说明导电不良。（万用表里面，黑表笔接的是内部电池的正极）

常见的几种二极管如图所示。其中有玻璃封装的、塑料封装的和金属封装的等几种。图 2 是二极管的电路符号，像它的名字，二极管有两个电极，并且分为正负极，一般把极性标示在二极管的外壳上。大多数用一个不同颜色的环来表示负极，有的直接标上“-”号。大功率二极管多采用金属封装，并且有个螺帽以便固定在散热器上。

利用二极管单向导电的特性，常用二极管作整流器，把交流电变为直流电，即只让交流电的正半周（或负半周）通过，再用电容器滤波形成平滑的直流。事实上好多电器的电源部分都是这样的。二极管也用来做检波器，把高频信号中的有用信号“检出来”

二极管的类型有用于稳压的稳压二极管，用于数字电路的开关二极管，用于调谐的变容二极管，以及光电二极管等，最常看见的是发光二极管。

## 9、三极管

半导体三极管也称为晶体三极管，可以说它是电子电路中最重要器件。它最主要的功能是电流放大和开关作用。三极管顾名思义具有三个电极。二极管是由一个 PN 结构成的，而三极管由两个 PN 结构成，共用的一个电极成为三极管的基极（用字母 b 表示）。其他的两个电极成为集电极（用字母 c 表示）和发射极（用字母 e 表示）。由于不同的组合方式，形成了一种是 NPN 型的三极管，另一种是 PNP 型的三极管。



三极管的种类很多，并且不同型号各有不同的用途。三极管大都是塑料封装或金属封装，常见三极管的外观如图，大的很大，小的很小。三极管的电路符号有两种：有一个箭头的电极是发射极，箭头朝外的是 NPN 型三极管，而箭头朝内的是 PNP 型。实际上箭头所指的方向是电流的方向。

三极管有一个重要参数就是电流放大系数  $\beta$ 。当三极管的基极上加一个微小的电流时，在集电极上可以得到一个注入电流  $\beta$  倍的电流，即集电极电流。集电极电流随基极电流的变化而变化，并且基极电流很小的变化可以引起集电极电流很大的变化，这就是三极管的放大作用。三极管还可以作电子开关，配合其它元件还可以构成振荡器。

#### 10、晶闸管

可控硅也称作晶闸管，它是由 PNP 四层半导体构成的元件，有三个电极，阳极 A，阴极 K 和控制极 G。

可控硅在电路中能够实现交流电的无触点控制，以小电流控制大电流，并且不象继电器那样控制时有火花产生，而且动作快、寿命长、可靠性好。在调速、调光、调压、调温以及其他各种控制电路中都有它的身影。可控硅分为单向的和双向的，符号也不同。单向可控硅有三个 PN 结，由最外层的 P 极和 N 极引出两个电极，分别称为阳极和阴极，由中间的 P 极引出一个控制极。

单向可控硅有其独特的特性：当阳极接反向电压，或者阳极接正向电压但控制极不加电压时，它都不导通，而阳极和控制极同时接正向电压时，它就会变成导通状态。一旦导通，控制电压便失去了对它的控制作用，不论有没有控制电压，也不论控制电压的极性如何，将一直处于导通状态。要想关断，只有把阳极电压降低到某一临界值或者反向。

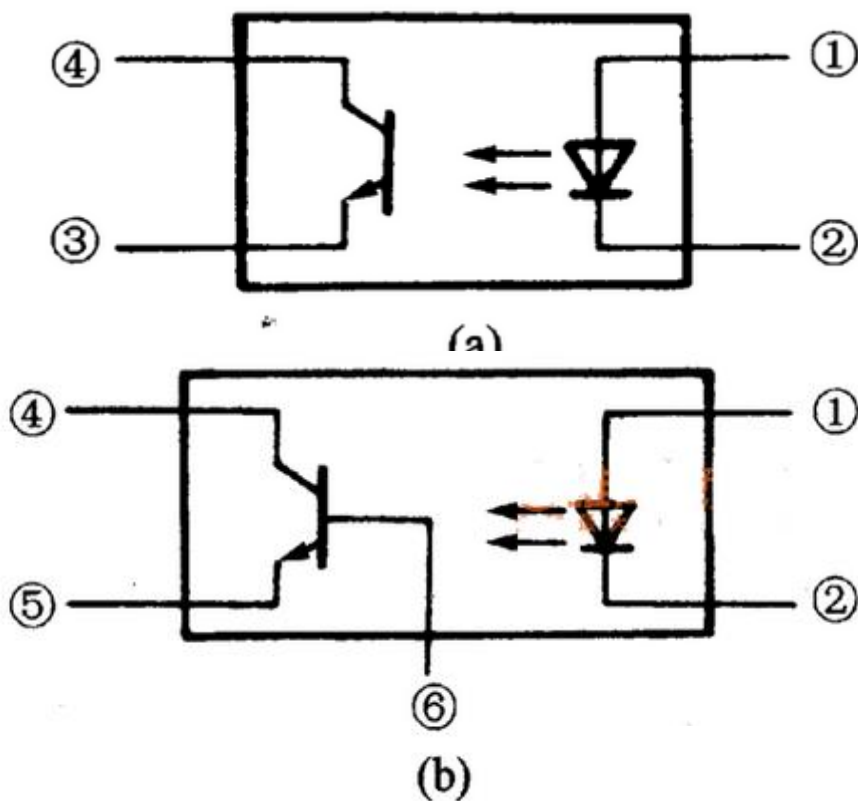
双向可控硅的引脚多数是按 T1、T2、G 的顺序从左至右排列（电极引脚向下，面对有字符的一面时）。加在控制极 G 上的触发脉冲的大小或时间改变时，就能改变其导通电流的大小。与单向可控硅的区别是，双向可控硅 G 极上触发脉冲的极性改变时，其导通方向就随着极性的变化而改变，从而能够控制交流电负载。而单向可控硅经触发后只能从阳极向阴极单方向导通，所以可控硅有单双向之分。

#### 11、光电耦合器

光电耦合器亦称光电隔离器，简称光耦。光电耦合器以光为媒介传输电信号。它对输入、输出电信号有良好的隔离作用，所以，它在各种电路中得到广泛的应用。目前它已成为种类最多、用途最广的光电器件之一。光耦合器一般由三部分组成：光的发射、光的接收及信号放大。输入的电信号驱动发光二极管（LED），使之发出一定波长的光，被光探测

器接收而产生光电流，再经过进一步放大后输出。这就完成了电—光—电的转换，从而起到输入、输出、隔离的作用。由于光耦合器输入输出间互相隔离，电信号传输具有单向性等特点，因而具有良好的电绝缘能力和抗干扰能力。

常用光电耦合器内电路如下图所示。分为四引脚和六引脚两种。



## 第二节 常用低压电器

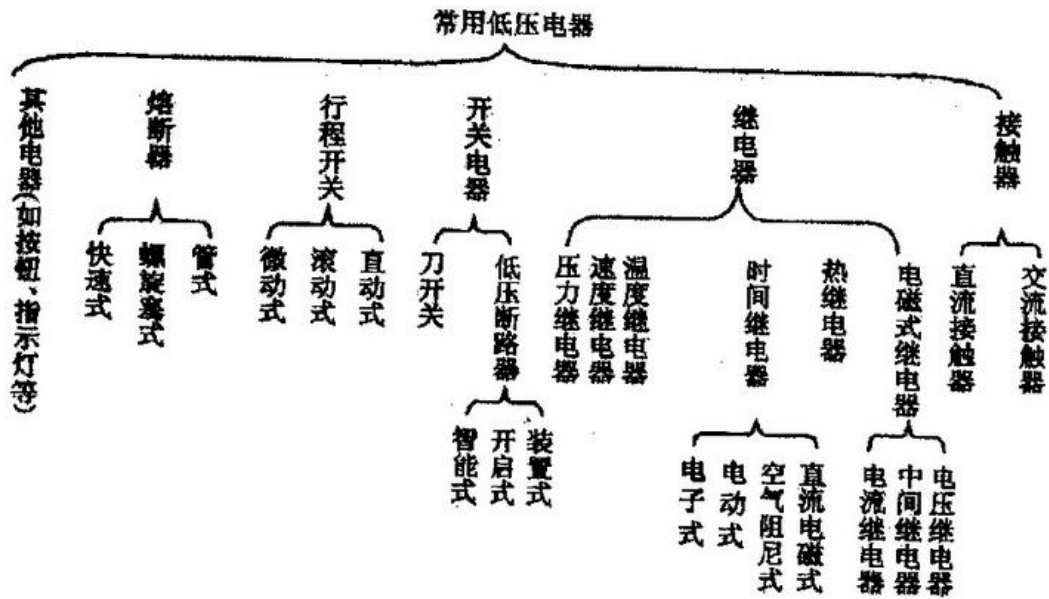
### 一、低压电器定义及分类

定义：低压电器是指工作在 50Hz 或者 60Hz，额定交流电压电压小于 1200V、直流电压小于 1500V 的电路中，起通断、保护、控制或调节作用的电气设备，以及利用电能来控制、保护和调节非电过程和非电装置的电气设备。电力系统的负荷绝大部分是通过低压电器供给的。电力用户的各种生产机械设备，大部分是采用低压供电。在庞大的低压配电系统和低压用电系统中，需要大量的控制、保护用低压电器。

低压电器是一种能根据外界的信号和要求，手动或自动地接通、断开电路，以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件或设备。控制电器按其工作电压的高低，以交流 1200V、直流 1500V 为界，可划分为高压控制电器和低压控制电器两大类。总的来说，低压电器可以分为配电电器和控制电器两大类，是成套电气设备的基本组成元件。在工业、农业、交通、国防以及人们用电部门中，大多数采用低压供电，因此电器元件的质量将直接影响到低压供电系统的可靠性。



常用低压电器分类如下图所示：



## 二、开关

开关是电气线路中使用最广泛的一种低压电器，其作用是接通和切断电气线路。常见的开关有照明开关、按钮开关、闸刀开关、铁壳开关和组合开关等。

照明开关用来接通和切断照明线路，允许流过的电流不能太大。常见的照明开关如下图所示。



按钮开关用来在短时间内接通或切断小电流电路，主要用在电气控制电路中。按钮开关允许流过的电流较小，一般不能超过 5A。

### 1、种类、结构与外形

按钮开关用符号“SB”表示，它可分为三种类型：常闭按钮、常开按钮和复合按钮。这三种按钮的内部结构示意图和电路图形符号如下图所示。

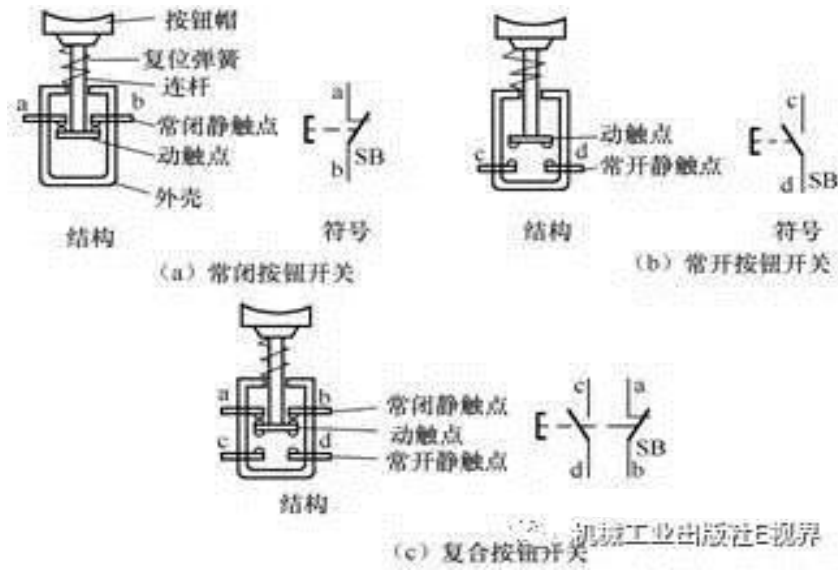


图 a 所示为常闭按钮。在未按下按钮时，依靠复位弹簧的作用力使内部的金属动触点将常闭静触点 a、b 接通；当按下按钮时，动触点与常闭静触点脱离，a、b 断开；当松开按钮后，触点自动复位（闭合状态）。

图 b 所示为常开按钮。在未按下按钮时，金属动触点与常开静触点 c、d 断开；当按下按钮时，动触点与常开静触点接通；当松开按钮后，触点自动复位（断开状态）。

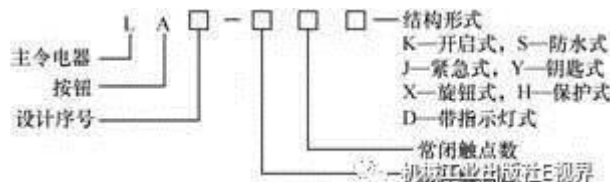
图 c 所示为复合按钮。在未按下按钮时，金属动触点与常闭静触点 a、b 接通，而与常开静触点 c、d 断开；当按下按钮时，动触点与常闭静触点断开，而与常开静触点接通；当松开按钮后，触点自动复位（常开断开，常闭闭合）。

有些按钮开关内部有多对常开、常闭触点，它可以在接通多个电路的同时切断多个电路。常开触点也称为 A 触点，常闭触点又称 B 触点。常见的按钮实物外形如下图所示。



## 2、型号与参数

为了表示按钮的结构和类型等内容，一般会在按钮上标上型号。按钮的型号含义说明如下：

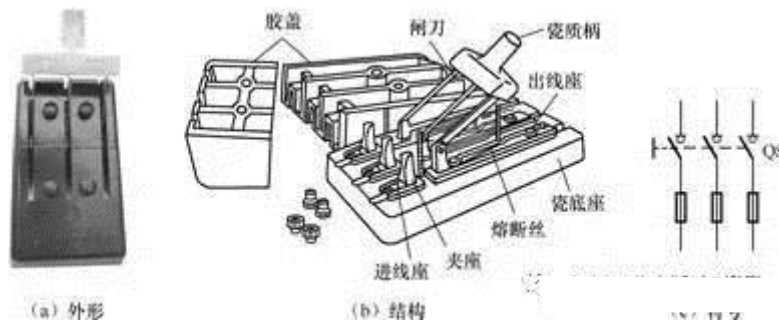




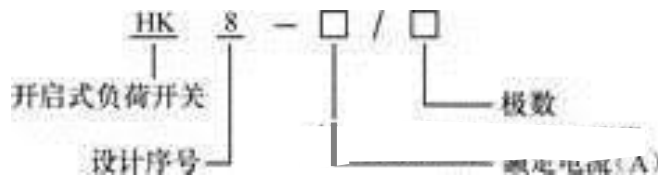
### 3、开启式负荷开关

开启式负荷开关又称为闸刀开关、瓷底胶盖闸刀开关。它可分为单相开启式负荷开关和三相开启式负荷开关，它的外形、结构与符号如下图所示。开启式负荷开关除了能接通、断开电源外，其内部一般会安装熔丝，因此还能起过流保护作用。

开启式负荷开关需要垂直安装，进线装在上方，出线装在下方，进出线不能接反，以免触电。由于开启式负荷开关没有灭电弧装置（闸刀接通或断开时产生的电火花称为电弧），因此不能用作大容量负载的通断控制。开启式负荷开关一般用在照明电路中，也可以用作非频繁起动/停止的小容量电动机控制。

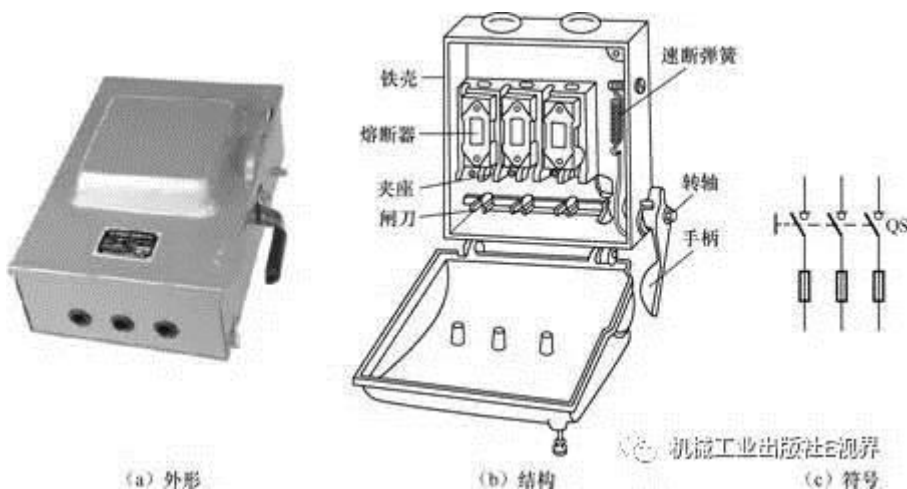


开启式负荷开关的型号含义说明如下：



### 4、封闭式负荷开关

封闭式负荷开关又称为铁壳开关，它的外形、结构与符号如下图所示。

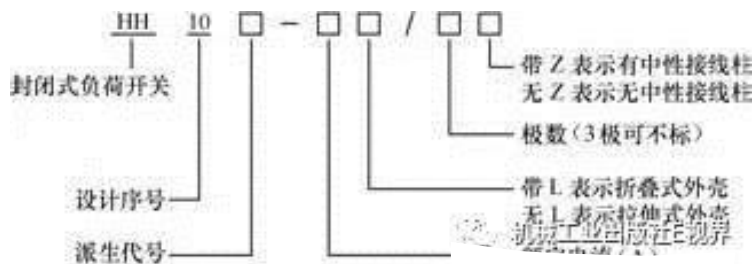


封闭式负荷开关是在开启式负荷开关的基础上进行改进的主要优点如下：

- 1)在封闭式负荷开关内部有一个速断弹簧，在操作手柄打开或关闭开关外盖时，依靠速断弹簧的作用力，可以使开关内部的闸刀迅速断开或合上，这样能有效地减少电弧。
- 2)封闭式负荷开关内部具有联锁机构，当开关外盖打开时，手柄无法合闸，当手柄合闸后，外盖无法打开，这就使得操作更加安全。

封闭式负荷开关常用在农村和工矿的电力照明、电力排灌等配电设备中，与开启式负荷开关一样，封闭式负荷开关也不能用作频繁的通断控制。

封闭式负荷开关的型号含义说明如下：

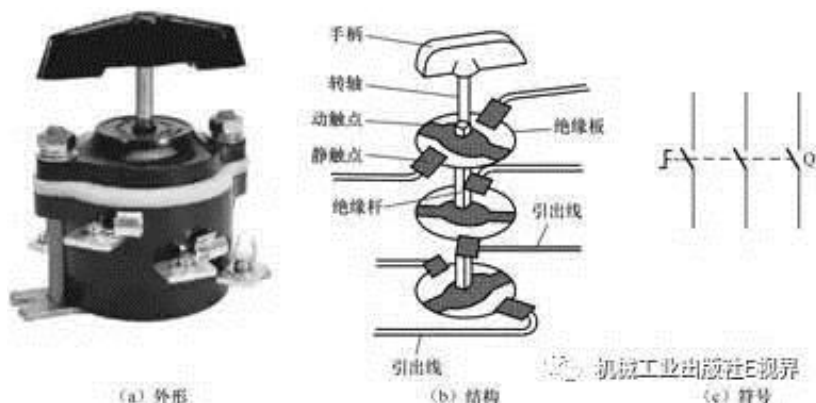


### 5、组合开关

组合开关又称为转换开关，它是一种由多层触点组成的开关。

#### (1)外形、结构与符号

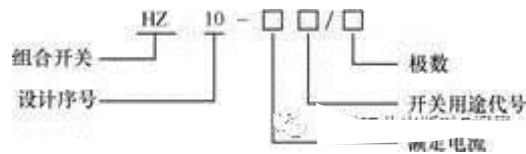
组合开关外形、结构和符号如下图所示。图中的组合开关由三层动、静触点组成，当旋转手柄时，可以同时调节三组动触点与三组静触点之间的通断。为了有效地灭弧，在转轴上装有弹簧，在操作手柄时，依靠弹簧的作用可以迅速接通或断开触点。组合开关不宜进行频繁的转换操作，常用于控制 4kW 以下的小容量电动机。





## (2) 型号与参数

组合开关的型号含义说明如下：



## 6、倒顺开关

倒顺开关又称可逆转开关，属于较特殊的组合开关，专门用来控制小容量三相异步电动机的正转和反转。倒顺开关的外形与符号，如下图所示。



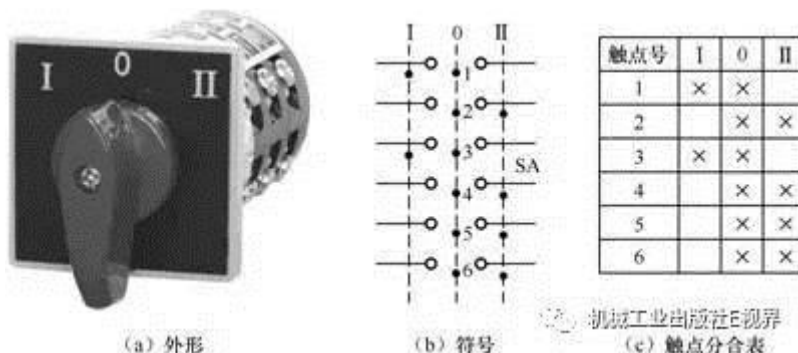
倒顺开关有“倒”、“停”、“顺”3个位置。当开关处于“停”位置时，动触点与静触点均处于断开状态，如图 7b 所示；当开关由“停”旋转至“顺”位置时，动触点 U、V、W 分别与静触点 L1、L2、L3 接触；当开关由“停”旋转至“倒”位置时，动触点 U、V、W 分别与静触点 L3、L2、L1 接触。

## 7、万能转换开关

万能转换开关由多层触点中间叠装绝缘层而构成，它主要用来转换控制线路，也可用作小容量电动机的起动、换向和变速等。

### (1) 外形、结构与符号

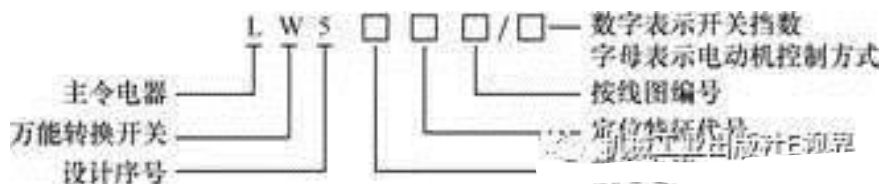
万能转换开关的外形、符号和触点分合表如下图所示。



万能转换开关有 6 路触点，它们的通断受手柄的控制。手柄有 I、0、II 3 个挡位，手柄处于不同挡位时，6 路触点通断情况不同，从图 8b 所示的万能转换开关符号可以看出不同挡位触点的通断情况。在万能转换开关符号中，“—o o—”表示一路触点，竖虚线表示手柄位置，触点下方虚线上的“·”表示手柄处于虚线所示的档位时该路触点接通。例如手柄处于“0”档位时，6 路触点在该档位虚线上都标有“·”，表示在“0”档位时 6 路触点都是接通的；手柄处于“I”挡时，第 1、3 路触点相通；手柄处于“II”挡时，第 2、4、5、6 路触点是相通的。万能转换开关触点在不同档位的通断情况也可以用图 8c 所示的触点分合表说明，“×”表示相通。

(2) 型号含义

万能转换开关的型号含义说明如下：



8、行程开关

行程开关是一种利用机械运动部件的碰压使触点接通或断开的开关。

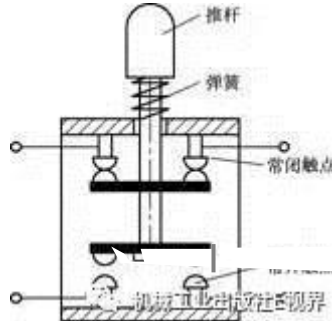
(1) 外形、结构与符号

行程开关的外形与符号如下图所示。



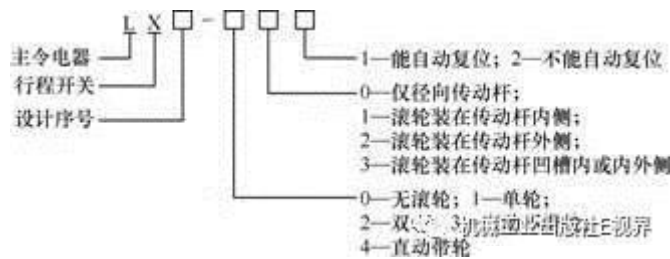
行程开关的种类很多，根据结构可分为直动式（或称按钮式）、旋转式、微动式和组合式等。下图是直动式行程开关的结构示意图。从图中可以看出，行程开关的结构与按钮的

基本相同，但将按钮改成推杆。在使用时将行程开关安装在机械部件运动路径上，当机械部件运动到行程开关位置时，会撞击推杆而让常闭触点断开、常开触点接通。



(2) 型号含义

行程开关的型号含义说明如下：



9、接近开关

接近开关又称无触点位置开关，当运动的物体靠近接近开关时，接近开关能感知物体的存在而输出信号。接近开关既可以用在运动机械设备中进行行程控制和限位保护，又可以用于高速计数、测速、检测物体大小等。

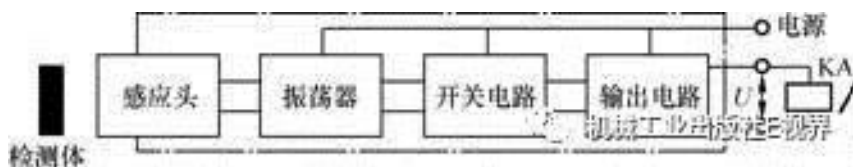
(1) 外形与符号

接近开关的外形和符号如下图所示。



(2) 种类与工作原

接近开关种类很多，常见的有高频振荡型、电容型、光电型、霍尔型、电磁感应型和超声波型等，其中高频振荡型接近开关最为常见。高频振荡型接近开关的组成如下图所示。

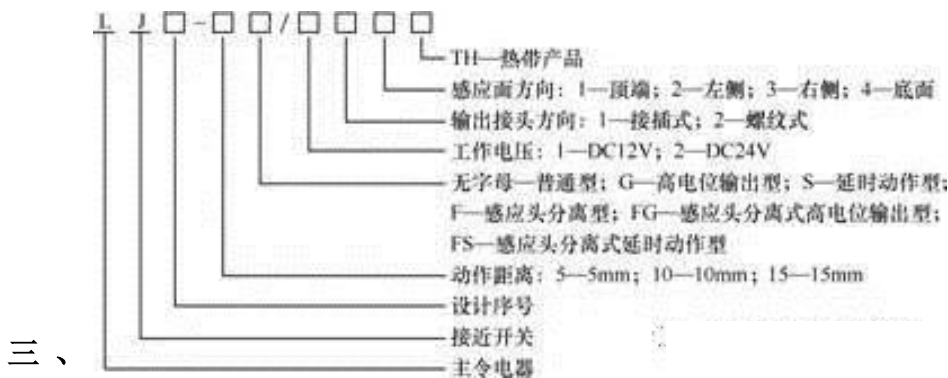




当金属检测体接近感应头时，作为振荡器一部分的感应头损耗增大，迫使振荡器停止工作，随后开关电路因振荡器停振而产生一个控制信号送给输出电路，让输出电路输出控制电压，若该电压送给继电器，继电器就会产生吸合动作来接通或断开电路。

### 型号含义

接近开关的型号含义说明如下：

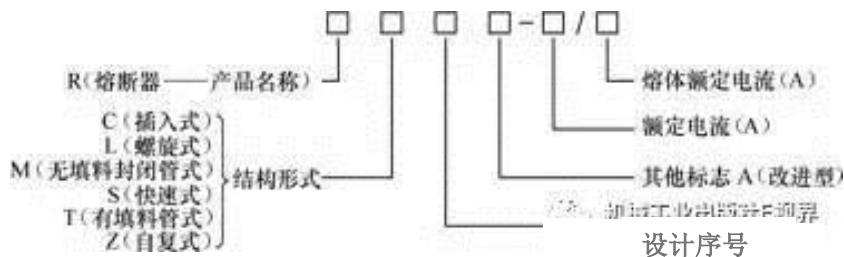


三、

### 熔断器

熔断器是对电路、用电设备短路和过载进行保护的电器。熔断器一般串接在电路中，当电路正常工作时，熔断器就相当于一根导线；当电路出现短路或过载时，流过熔断器的电流很大，熔断器就会开路，从而保护电路和用电设备。

熔断器的种类很多，常见的有 RC 插入式熔断器、RL 螺旋式熔断器、RM 无填料封闭管式熔断器、RS 快速熔断器、RT 有填料管式熔断器和 RZ 自复式熔断器等。熔断器的型号含义说明如下：



#### (1) RC 插入式熔断器

RC 插入式熔断器主要用于电压在 380V 及以下、电流在 5~200A 之间的电路中，如照明电路和小容量的电动机电路中。下图所示是一种常见的 RC 插入式熔断器。这种熔断器用在额定电流在 30A 以下的电路



中时，熔丝一般采用铅锡丝；当用在电流为 30~100A 的电路时，熔丝一般采用铜丝；当用在电流达 100A 以上的电路时，一般用变截面的铜片作熔丝。

### (2) RL 螺旋式熔断器

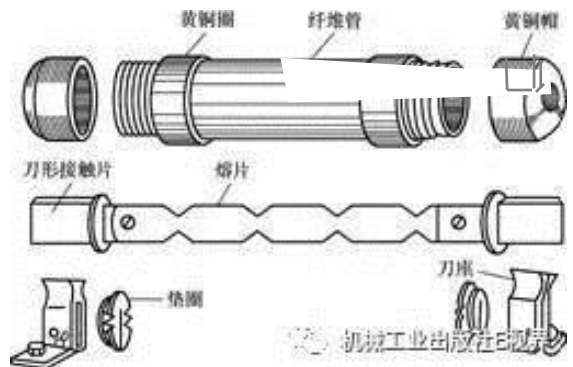
右图所示是一种常见的 RL 螺旋式熔断器，这种熔断器在使用时，要在内部安装一个螺旋状的熔管，在安装熔管时，先将熔断器的瓷帽旋下，再将熔管放入内部，然后旋好瓷帽。熔管上、下方为金属盖，熔管内部装有石英砂和熔丝，有的熔管上方的金属盖中央有一个红色的熔断指示器，当熔丝熔断时，指示器颜色会发生变化，以指示内部熔丝已断。指示器的颜色变化可以通过熔断器瓷帽上的玻璃窗口观察到。RL 螺旋式熔断器具有体积小、分断能力较强、工作安全可靠、安装方便等优点，通常用在工厂 200A 以下的配电箱、控制箱和机床电动机的控制电路中。



### (3) RM 无填料封闭式熔断器

右图所示是一种典型的 RM 无填料封闭管式熔断器，它可以拆卸。这种熔断器的熔体是一种变截面的锌片，它被安装在纤维管中，锌片两端的刀形接触片穿过黄铜帽，再通过垫圈安插在刀座中。这种熔断器通过大电流时，锌片上窄的部分首先熔断，使中间大段的锌片脱断，形成很大的间隔，从而有利于灭弧。

RM 无填料封闭式熔断器具有保护好、分断能力强、熔体更换方便和安全可靠等优点，主要用在交流 380V 以下、直流 440V 以下，电流 600A 以下的电力电路中。



### (4) RS 有填料快速熔断器

RS 有填料快速熔断器主要用于硅整流器件、晶闸管器件等半导体器件及其配套设备的短路和过载保护，它的熔体一般采用银制成，具有熔断迅速、能灭弧等优点。图 16 所示是两种常见的 RS 有填料快速熔断器。





(5) RT 有填料封闭管式熔断器

RT 有填料封闭管式熔断器又称为石英熔断器，它常用作变压器和电动机等电气设备的过载和短路保护。图 17a 所示是几种常见的 RT 有填料封闭管式熔断器，这种熔断器可以用螺钉、卡座等与电路连接起来；图 17b 所示是将一种熔断器插在卡座内的情形。

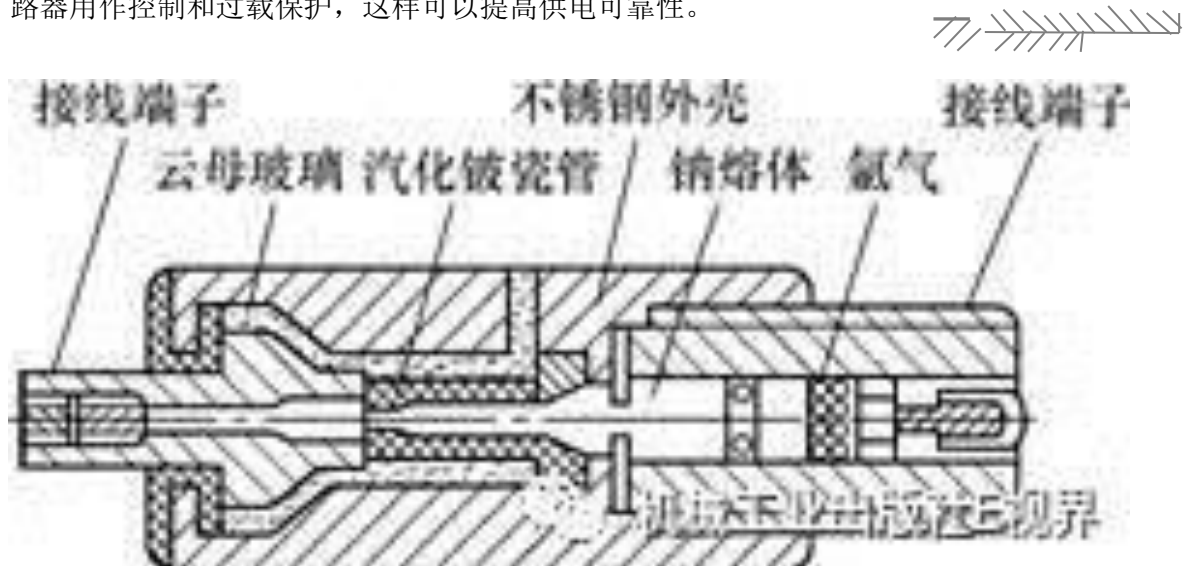
RT 有填料封闭管式熔断器具有保护性好、分断能力强、灭弧性能好和使用安全等优点，主要用在短路电流大的电力电网和配电设备中。



(6) RZ 自复式熔断器

RZ 自复式熔断器的结构示意图如图 18 所示。其内部采用金属钠作为熔体，在常温下，钠的电阻很小，整个熔丝的电阻也很小，可以通过正常的电流，若电路出现短路，则会导致流过钠熔体的电流很大，钠被加热汽化，电阻变大，熔断器相当于开路，当短路消除后，流过的电流减小，钠又恢复成固态，电阻又变小，熔断器自动恢复正常。

RZ 自复式熔断器通常与低压断路器配套使用，其中 RZ 自复式熔断器用作短路保护，断路器用作控制和过载保护，这样可以提高供电可靠性。

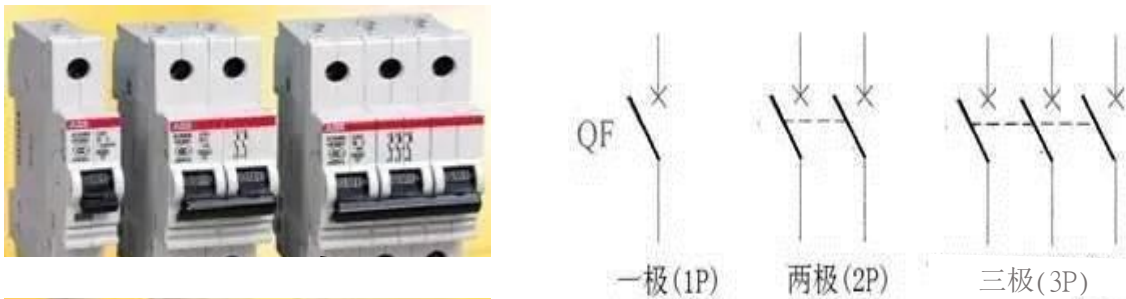


## 四、断路器

断路器又称为自动空气开关，它既能对电路进行不频繁的通断控制，又能在电路出现过载、短路和欠电压（电压过低）时自动掉闸（即自动切断电路），因此它既是一个开关电器，又是一个保护电器。

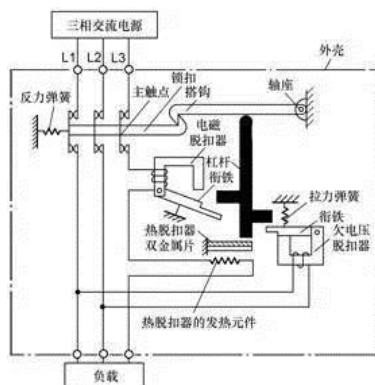
### (1) 外形与符号

断路器种类较多，图 19a 是一些常用的塑料外壳式断路器，断路器的电路符号如下图所示，从左至右依次为单极（1P）、两极（2P）和三极（3P）断路器。在断路器上标有额定电压、额定电流和工作频率等内容。



### (2) 结构与工作原理

断路器的典型结构如下图所示。该断路器是一个三相断路器，内部主要由主触点、反力弹簧、搭钩、杠杆、电磁脱扣器、热脱扣器和欠电压脱扣器等组成。该断路器可以实现过电流、过热和欠电压保护功能。



### (3) 过电流保护

三相交流电源经断路器的三个主触点和三条线路为负载提供三相交流电，其中一条线路中串接了电磁脱扣器线圈和发热元件。当负载有严重短路时，流过线路的电流很大，流过电磁脱扣器线圈的电流也很大，线圈产生很强的磁场并通过铁芯吸引衔铁，衔铁动作，



带动杠杆上移，两个搭钩脱离，依靠反力弹簧的作用，三个主触点的动、静触点断开，从而切断电源以保护短路的负载。

#### (4) 过热保护

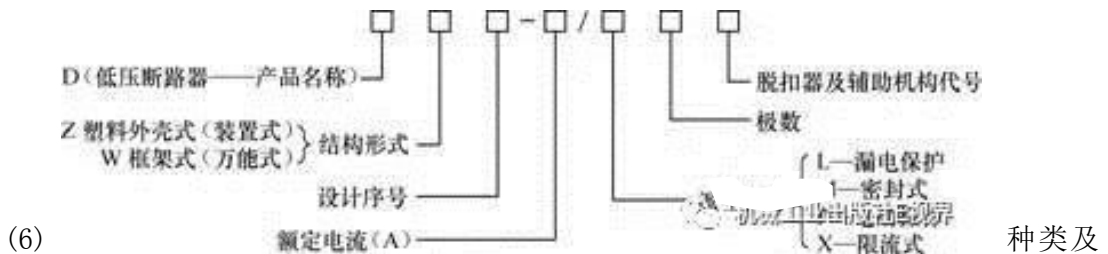
如果负载没有短路，但若长时间超负荷运行，负载比较容易损坏。虽然在这种情况下电流也较正常时大，但还不足以使电磁脱扣器动作，断路器的热保护装置可以解决这个问题。若负载长时间超负荷运行，则流过发热元件的电流长时间偏大，发热元件温度升高，它加热附近的双金属片（热脱扣器），其中上面的金属片热膨胀小，双金属片受热后向上弯曲，推动杠杆上移，使两个搭钩脱离，三个主触点的动、静触点断开，从而切断电源。

#### 欠电压保护

如果电源电压过低，则断路器也能切断电源与负载的连接，进行保护。断路器的欠电压脱扣器线圈与两条电源线连接，当三相交流电源的电压很低时，两条电源线之间的电压也很低，流过欠电压脱扣器线圈的电流小，线圈产生的磁场弱，不足以吸引住衔铁，在拉力弹簧的拉力作用下，衔铁上移，并推动杠杆上移，两个搭钩脱离，三个主触点的动、静触点断开，从而断开电源与负载的连接。

#### (5) 型号含义

断路器种类很多，其型号含义说明如下：



根据结构形式来分，断路器主要有塑料外壳式和框架式（万能式）。下图所示是几种常见的断路器。



#### (7) 塑料外壳式断路器

塑料外壳式断路器又称为装置式断路器，它采用封闭式结构，除按钮或手柄外，其余的部件均安装在塑料外壳内。这种断路器的电流容量较小，分断能力弱，但分断速度快。它主要用在照明配电和电动机控制电路中，起保护作用。

常见的塑料外壳式断路器型号有DZ5系列和DZ10系列。其中DZ5系列为小电流断路器，额定电流范围一般为10~50A；DZ10系列为大电流断路器，额定电流等级有100A、250A、600A三种。

#### (8) 框架式断路器

框架式断路器又称为万能式熔断器，它一般都有一个钢制的框架，所有的部件都安装在这个框架内。这种断路器电流容量大，分断能力强，热稳定性好。它主要用在380V的低压配电系统中作过电流、欠电压和过热保护。常见的框架式

断路器有DW10系列和DW15系列，其额定电流等级有200A、400A、600A、1000A、1500A、2500A和4000A七种。

此外，还有一种限流式断路器，当电路出现短路故障时，能在短路电流还未达到预期的电流峰值前，迅速将电路断开。这种断路器由于具有分断速度快的特点，因此常用在分断能力要求高的场合，常见的限流式断路器有DWX系列和DZX系列等。

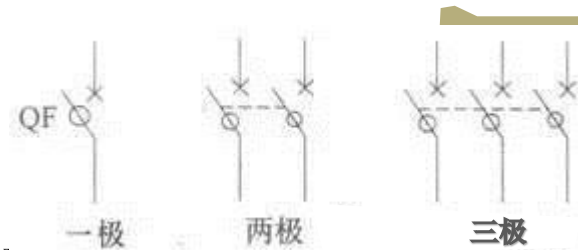
### 四、漏电保护器

断路器具有过流、过热和欠压保护功能，但当用电设备绝缘性能下降而出现漏电时无保护功能，这是因为漏电电流一般较短路电流小得多，不足以使断路器跳闸。漏电保护器是一种具有断路器功能和漏电保护功能的电器，在线路出现过流、过热、欠压和漏电时，均会脱扣跳闸保护。

#### (1) 外形与符号

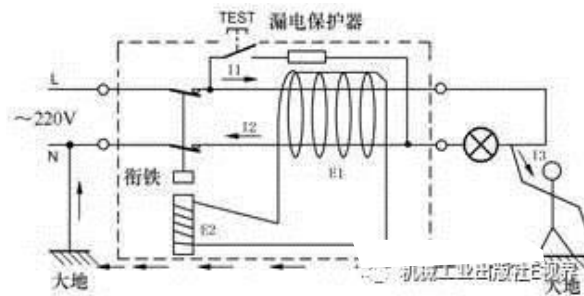
漏电保护器又称为漏电保护开关，英文缩写为RCD，其外形和符号如下图所示。在下图a中，左边的为单极漏电保护器，当后级电路出现漏电时，只切断一条L线路（N线路始终是接通的），中间的两极漏电保护器，漏电时切断两条线路，右边的为三相漏电保护器，漏电时切断三条线路。对于下图a后面两种漏电保护器，其下方有两组接线端子，如果接左边的端子（需要拆下保护盖），则只能用到断路器功能，无漏电保护功能。





## (2) 结构与工作原理

下图是漏电保护器的结构示意图。



工作原理说明：

220V 的交流电压经漏电保护器内部的触点在输出端接负载（灯泡），在漏电保护器内部两根导线上缠有线圈 E1，该线圈与铁芯上的线圈 E2 连接，当人体没有接触导线时，流过两根导线的电流  $I_1$ 、 $I_2$  大小相等，方向相反，它们产生大小相等方向相反的磁场，这两个磁场相互抵消，穿过线圈 E1 的磁场为 0，线圈 E1 不会产生电动势，衔铁不动作。一旦人体接触导线，如图所示，一部分电流  $I_3$ （漏电电流）会经人体直接到地，再通过大地回到电源的另一端，这样流过漏电保护器内部两根导线的电流  $I_1$ 、 $I_2$  就不相等，它们产生的磁场也就不相等，不能完全抵消，即两根导线上的线圈 E1 有磁场通过，线圈会产生电流，电流流入铁芯上的线圈 E2，线圈 E2 产生磁场吸引衔铁而脱扣跳闸，将触点断开，切断供电，触电的人就得到了保护。

为了在不漏电的情况下检验漏电保护器的漏电保护功能是否正常，漏电保护器一般设有“TEST（测试）”按钮，当按下该按钮时，L 线上的一部分电流通过按钮、电阻流到 N 线上，这样流过线圈 E1 内部的两根导线的电流不相等（ $I_2 > I_1$ ），线圈 E1 产生电动势，有电流过线圈 E2，衔铁动作而脱扣跳闸，将内部触点断开。如果测试按钮无法闭合或电阻开

路，测试时漏电保护器不会动作，但使用时发生漏电会动作。

## 五、接触器

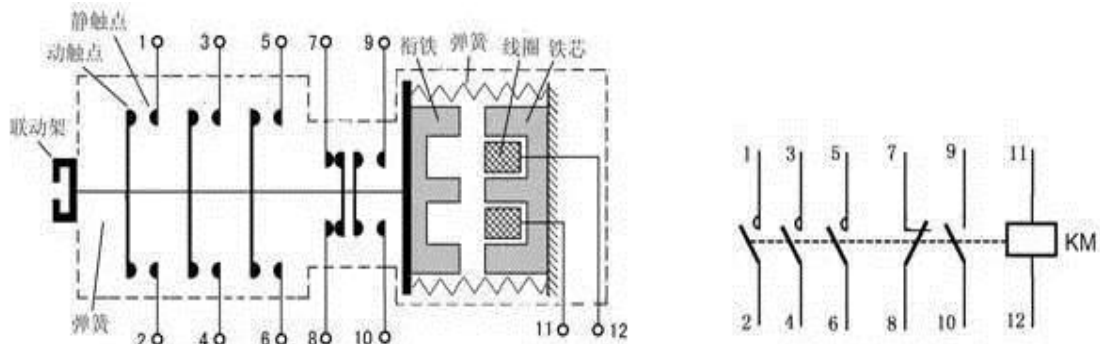
接触器是一种利用电磁、气动或液压操作原理，来控制内部触点频繁通断的电器，它主要用作频繁接通和切断交、直流电路。

接触器的种类很多，按通过的电流来分，接触器可分为交流接触器和直流接触器；按操作方式来分，接触器可分为电磁式接触器、气动式接触器和液压式接触器，本书主要介绍最为常用的电磁式接触器。

### 1. 交流接触器

#### (1) 结构、符号与工作原理

交流接触器的结构及符号如下图所示，它主要由三组主触点、一组常闭辅助触点、一组常开辅助触点和控制线圈组成，当给控制线圈通电时，线圈产生磁场，磁场通过铁芯吸引衔铁，而衔铁则通过连杆带动所有的动触点动作，与各自的静触点接触或断开。交流接触器的主触点允许流过的电流较辅助触点大，故主触点通常接在大电流的主电路中，辅助触点接在小电流的控制电路中。



1-2、3-4、5-6端子内部为三组常开主触点；7-8端子内部为常闭辅助触点；  
9-10端子内部为常开辅助触点；11-12端子内部为控制线圈

有些交流接触器带有联动架，按下联动架可以使内部触点动作，使常开触点闭合、常闭触点断开，在线圈通电时衔铁会动作，联动架也会随之运动，因此如果接触器内部的触点不够用时，可以在联动架上安装辅助触点组，接触器线圈通时联动架会带动辅助触点组内部的触点同时动作。

#### (2) 外形与接线端

下图是一种常用的交流接触器，它内部有三个主触点和一个常开触点，没有常闭触点，控制线圈的接线端位于接触器的顶部，从标注可知，该接触器的线圈电压为220~230V（电

压频率为 50Hz 时) 或 220~240V (电压频率为 60Hz 时)。



a) 前视图



b) 俯视图

### (3) 安装辅助触点组

左下图左边的交流接触器只有一个常开辅助触点，如果希望给它再增加一个常开触点和一个常闭触点，可以在该接触器上安装一个辅助触点组（左下图的右边），安装时只要将辅助触点组底部的卡扣套到交流接触器的联动架上即可，安装了辅助触点的交流接触器如右下图所示。当交流接触器的控制线圈通电时，除了自身各个触点会动作外，还通过联动架带动辅助触点组内部的触点动作。



a) 侧视图



b) 俯视图



a

### (4) 直流接触器

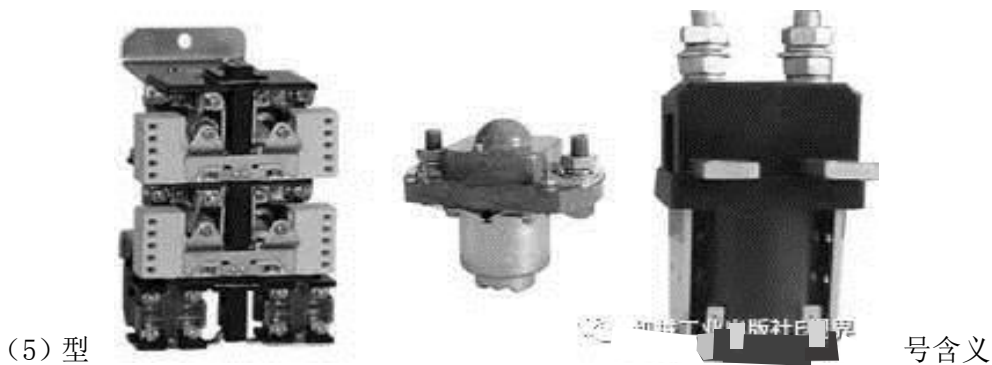
直流接触器的结构与交流接触器基本相同，都是给内部的绕组通入电流，让它产生磁



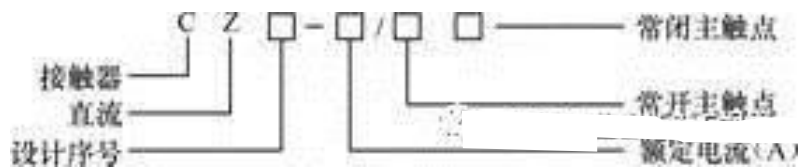
场，通过吸合动作来控制一对或多对触点接通和断开，两者的不同之处主要在于直流接触器流入内部绕组的电流为直流，而交流接触器绕组流入的为交流。

直流接触器主要用于远距离切断和接通直流电力线路，频繁控制直流电动机启动、停止和正反转等。

实物外形：下图所示为几种常见的直流接触器。



直流接触器的型号含义说明如下：



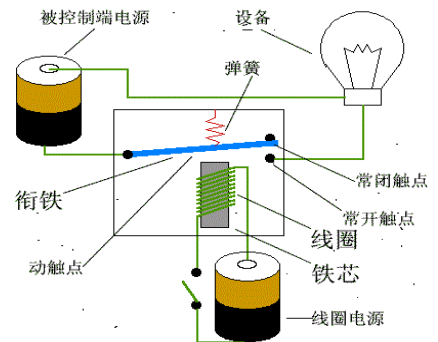
## 六、继电器

继电器是一种电子控制器件，它具有控制系统(又称输入回路)和被控系统(又称输出回路)，通常应用于自动控制电路中，它实际上是用较小的电流去控制较大电流的一种“断路器”，故在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。

### (1) 元件符号

因为继电器是由线圈和触点组两部分组成的，所以继电器在电路图中的图形符号也包括两部分：一个长方框表示线圈；一组触点符号表示触点组合。当触点不多电路比较简单时，往往把触点组直接画在线圈框的一侧，这种画法叫集中表示法。

电符号和触点形式：



L 两个并列的长方框。同时在长方框内或长方框旁标上继电器的文字符号“J”。继电器的触点有两种表示方法：一种是把它们直接画在长方框一侧，这种表示法较为直观。另一种是按照电路连接的需要，把各个触点分别画到各自的控制电路中，通常在同一继电器的触点与线圈旁分别标注上相同的文字符号，并将触点组编上号码，以示区别。

### (2) 触点形式

继电器的触点有三种基本形式：

动合型（常开）（H 型）线圈不通电时两触点是断开的，通电后，两个触点就闭合。以合字的拼音字头“H”表示。

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

转换型（Z 型）这是触点组型。这种触点组共有三个触点，即中间是动触点，上下各一个静触点。线圈不通电时，动触点和其中一个静触点断开和另一个闭合，线圈通电后，动触点就移动，使原来断开的成闭合，原来闭合的成断开状态，达到转换的目的。这样的触点组称为转换触点。用“转”字的拼音字头“z”表示。

### (3) 主要作用

继电器是具有隔离功能的自动开关元件，广泛应用于遥控、遥测、通讯、自动控制、机电一体化及电力电子设备中，是最重要的控制元件之一。

继电器一般都有能反映一定输入变量（如电流、电压、功率、阻抗、频率、温度、压力、速度、光等）的感应机构（输入部分）；有能对被控电路实现“通”、“断”控制的执行机构（输出部分）；在继电器的输入部分和输出部分之间，还有对输入量进行耦合隔离，功能处理和对输出部分进行驱动的中间机构（驱动部分）。

作为控制元件，概括起来，继电器有如下几种作用：

1) 扩大控制范围：例如，多触点继电器控制信号达到某一定值时，可以按触点组的不同形式，同时换接、开断、接通多路电路。

2) 放大：例如，灵敏型继电器、中间继电器等，用一个很微小的控制量，可以控制很大功率的电路。

3) 综合信号：例如，当多个控制信号按规定的形式输入多绕组继电器时，经过

4) 自动、遥控、监测：例如，自动装置上的继电器与其他电器一起，可以组成程序控





制线路，从而实现自动化运行。

#### (4) 主要分类

按继电器的工作原理或结构特征分类：

1) 电磁继电器：利用输入电路内电路在电磁铁铁芯与衔铁间产生的吸力作用而工作的一种电气继电器。

2) 固体继电器：指电子元件履行其功能而无机械运动构件的，输入和输出隔离的一种继电器。

3) 温度继电器：当外界温度达到给定值时而动作的继电器。

4) 舌簧继电器：利用密封在管内，具有触电簧片和衔铁磁路双重作用的舌簧动作来开、闭或转换线路的继电器。

5) 时间继电器：当加上或除去输入信号时，输出部分需延时或限时到规定时间才闭合或断开其被控线路继电器。

6) 高频继电器：用于切换高频，射频线路而具有最小损耗的继电器。

7) 极化继电器：有极化磁场与控制电流通过控制线圈所产生的磁场综合作用而动作的继电器。继电器的动作方向取决于控制线圈中流过的的电流方向。

8) 其他类型的继电器：如光继电器，声继电器，热继电器，仪表式继电器，霍尔效应继电器，差动继电器等。

按继电器的外形尺寸分类：

- 1) 微型继电器
- 2) 超小型微型继电器
- 3) 小型微型继电器

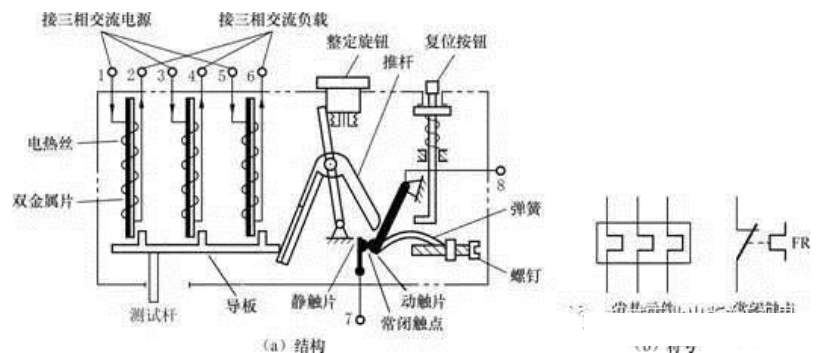
注：对于密封或封闭式继电器，外形尺寸为继电器本体三个相互垂直方向的最大尺寸，不包括安装件，引出端，压筋，压边，翻边和密封焊点的尺寸。

按继电器的负载分类：

- 1) 微功率继电器
- 2) 弱功率继电器
- 3) 中功率继电器
- 4) 大功率继电器

按照反应的物理量可分类：

- 1) 电流继电器



- 2) 电压继电器
- 3) 功率方向继电器
- 4) 阻抗继电器
- 5) 频率继电器
- 6) 气体（瓦斯）继电器

按照继电器在保护回路中所起的作用可分类：

- 1) 启动继电器
- 2) 量度继电器
- 3) 时间继电器
- 4) 中间继电器
- 5) 信号继电器
- 6) 出口继电器

#### (4)常用继电器介绍

##### 1)热继电器

热继电器是利用电流通过发热元件时产生热量而使内部触点动作的。热继电器主要用于电气设备发热保护，如电动机过载保护。

##### a. 结构与工作原理

热继电器的典型结构及符号如下图所示，从图中可以看出，热继电器由电热丝、双金属片、导板、测试杆、推杆、动触片、静触片、弹簧、螺钉、复位按钮和整定旋钮等组成。

该热继电器有 1-2、3-4、5-6、7-8 四组接线端，1-2、3-4、5-6 三组串接在主电路的三相交流电源和负载之间，7-8 一组串接在控制电路中，1-2、3-4、5-6 三组接线端内接电热丝，电热丝绕在双金属片上，当负载过载时，流过电热丝的电流大，电热丝加热双金属片，使之往右弯曲，推动导板往右移动，导板推动推杆转动而使动触片运动，动触点与静触点断开，从而向控制电路发出信号，控制电路通过电器（一般为接触器）切断主电路的交流电源，防止负载长时间过载而损坏。

在切断交流电源后，电热丝温度下降，双金属片恢复到原状，导板左移，动触点和静触点又重新接触，该过程称为自动复位，出厂时热继电器一般被调至自动复位状态。如需手动复位，可将螺钉（图中右下解）往外旋出数圈，这样即使切断交流电源让双金属片恢复到原状，动触点和静触点也不会自动接触，需要手动方式按下复位按钮才可使动触点和静触点接触，该过程称为手动复位。

只有流过发热元件的电流超过一定值（发热元件额定电流值）时，内部机构才会动作，使常闭触点断开（或常开触点闭合），电流越大，动作时间越短，例如流过某热继电器的电流为 1.2 倍额定电流时，2h 内动作，为 1.5 倍额定电流时 2min 内动作。热继电器的发热元件额定电流可以通过整定旋钮来调整，例如对于图 30a 所示的热继电器，将整定旋钮往内旋时，推杆位置下移，导板需要移动较长的距离才能让推杆运动而使触点动作，而只有流过电热丝电流大，才能使双金属片弯曲程度更大，即将整定旋钮往内旋可将发热元件额定电流调大一些。

### b. 外形与接线端

下图所示为一种常用的热继电器，它内部有三组发热元件和一个常开触点、一个常闭触点，发热元件的一端接交流电源，另一端接负载，当流过发热元件的电流长时间超过整定电流时，发热元件弯曲最终使常开触点闭合、常闭触点断开。在热继电器上还有整定电流旋钮、复位按钮、测试杆和手动/自动复位切换螺钉，其功能说明如图中标注所示。

a) 前视图

b) 后视图

c) 侧视图



### c. 型号与参数

热继电器的型号含义说明如下：



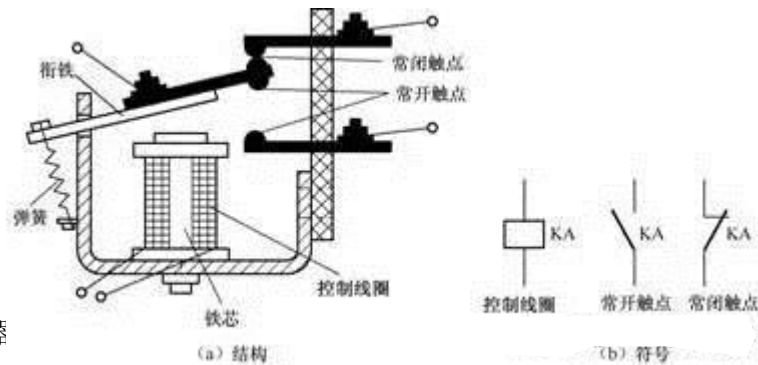
## 2. 电磁继电器

电磁继电器是利用线圈通过电流产生磁场，来吸合衔铁而使触点断开或接通的。电磁继电器在电路中可以作为保护和控制。

### a. 电磁继电器的基本结构和原理

电磁继电器的结构与符号如下图所示，它主要由常开触点、常闭触点、控制线圈、铁心和衔铁等组成。在控制线圈未通电时，依靠弹簧的拉力使常闭触点接通、常开触点断开，当给控制线圈通电时，线圈产生磁场并克服弹簧的拉力而吸引衔铁，从而使常闭触点断开、常开触点接通。

电流继电器、电压继电器和中间继电器都属于电磁继电器。



## 3. 中间继电器

中间继电器实际上也是电压继电器，与普通电压继电器的不同之处在于，中间继电器有很多触点，并且触点允许流过的电流较大，可以断开和接通较大电流的电路。

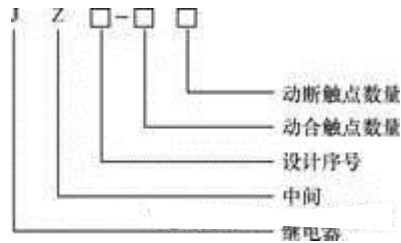
### a. 符号及外形

中间继电器的外形与符号如下图所示。



b. 型号:

中间继电器的型号含义说明如下:



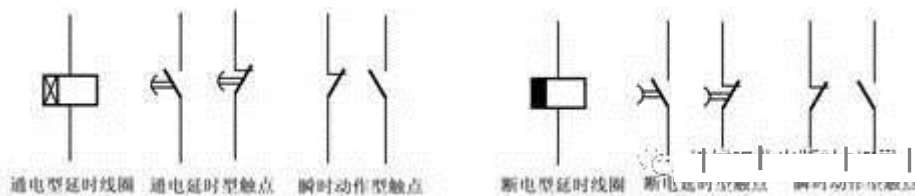
#### 4. 时间继电器

时间继电器是一种延时控制继电器，它在得到动作信号后并不是立即让触点动作，而是延迟一段时间才让触点动作。时间继电器主要用在各种自动控制系统和电动机的起动控制线路中。

a. 外形符号：下图是一些常见的行时间继电器



时间继电器分为通电延时型和断电延时型两种，其符号如下图所示。对于通电延时型时间继电器，当线圈通电时，通电延时型触点经延时时间后动作（常闭触点断开、常开触点闭合），线圈断电后，该触点马上恢复常态；对于断电延时型时间继电器，当线圈通电时，断电延时型触点马上动作（常闭触点断开、常开触点闭合），线圈断电后，该触点需要经延时时间后才会恢复到常态。



b.

种类及

特点

时间继电器的种类很多，主要有空气阻尼式、电磁式、电动式和电子式。这些时间继电器有各自的特点，具体说明如下：



1) 空气阻尼式时间继电器又称为气囊式时间继电器，它是根据空气压缩产生的阻力来进行延时的，其结构简单，价格便宜，延时范围大（0.4~180s），但延时精确度低。

2) 电磁式时间继电器延时时间短（0.3~1.6s），但它结构比较简单，通常用在断电延时场合和直流电路中。

3) 电动式时间继电器的原理与钟表类似，它是由内部电动机带动减速齿轮转动而获得延时的。这种继电器延时精度高，延时范围宽（0.4~72h），但结构比较复杂，价格很贵。

4) 电子式时间继电器又称为半导体时间继电器，它是利用延时电路来进行延时的。这种继电器精度高，体积小。

### 思考题

- 1、 简述熔断器的作用？
- 2、 例举 5 种以上常用电子元器件的种类、使用场合及工作原理？



## 第六章 一般生产设备的电气控制

### 【学习目标】

- 一、学习电力拖动的基本知识及工作原理；
- 二、学习基本控制线路的原理，熟悉其应用，并能够排除常用机床的电气故障。



## 第一节 电力拖动的基本知识

用电动机来带动生产机械使之运转的一种方法称为电力拖动。电力拖动是由电动机、控制设备、保护设备、生产机械传动装置三个基本部分组成。

(1) 电动机。电动机时电力拖动的原动机，电动机是将电能转换成机械能的部件，通过对电能控制以产生所需的转矩与转速。

电动机分交流电动机和直流电动机两大类，它们的最大不同处，主要在于交流电动机直接使用交流电源，而直流电动机需要专门电源供电。交流电动机具有结构简单、制造方便、维修容易、价格便宜等优点，所以只用较为广泛。如工厂中大量使用的各种机床、风机、机械泵、压缩机等。直流电动机具有良好的启动、制动、调速和控制性能。可以方便地在很宽的范围内平滑地调速，所以常被用于自动控制要求较高的各场所，例如大型机床的进给运动等。由于直流电动机具有易磨损的电刷和易损坏的整流子，因而必须经常对他们进行维护与检修。

随着电子技术的发展，60年代出现了半导体晶闸管交流调速系统，尤其是70年代以后，大规模集成电路和电子计算机的发展，以及现代控制的应用，为开发交流调速创造了有利条件。例如：交流电动机的串级调速、变频调速、无换向器电动机调速等，都使交流电力拖动的调速范围加宽了、精度和稳定性也提高了。

(2) 控制设备和保护设备。控制设备是控制电动机运转的设备，控制设备是由各种控制电器（如开关、熔断器、接触器、继电器、按钮等）按照一定要求和规律组成的控制线路和设备，用以控制电动机的运行，即控制电动机的启动、反转、调速和制动。保护设备是保护控制线路的电动机过流、短路作用（如低压断路器、热继电器等）

(3) 生产机械及传动装置。生产机械是直接进行生产的机械设备，生产机械是电动机的负载。转动装置式电动机与生产机械之间的传动机构，用于传递动力（如减速箱、皮带、连轴节等）不同的生产机械对传动装置要求也不同。因此，选用合理的传动装置，可以使生产机械达到理想的工作状态。

## 第二节 三相异步电动机的基本控制线路

根据生产机械的工作性质和加工工艺的要求，利用各种控制电器的职能，实现对电动机的控制线路是多种多样的，控制线路有的比较简单，也有的是相当复杂，然而实践告诫人们：任何复杂的控制线路是由一些比较简单的、基本的控制线路或基本环节组成，所以，熟悉和掌握这些基本控制线路是学习和分析实际电气线路的有力工具。

三相异步电动机常见的基本控制线路是指：点动控制、正转控制、正反转控制、减压启动控制、调速控制、制动控制以及位置控制，顺序控制和时间控制等基本控制线路。

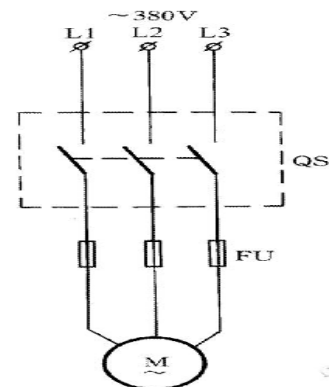
### 一、三相笼型异步电动机的启动控制

异步电动机在工厂中是最常见的电动机，其中以笼型异步电动机为主，电动机的启动方法可分为全压启动和减压启动。小容量的电动机只要将电动机接到三相电源即可启动，但对于容量较大的电动机往往就不行，因为电动机直接启动时，其启动电流通常为额定电流的 6-8 倍，所以较大容量电动机直接启动时，启动电流极大，过大的电流会引起线路上很大的电压降，势必影响其它设备的正常运行，如使电灯变暗，日光灯闪烁以至熄灭，电动机运转不稳，甚至停车，因此有些电动机尤其是较大容量的电动机必须设法限制启动电流，需采取减压启动。这样电动机的启动方法就可分为全压启动和减压启动。

(1)全压启动控制线路 该方法是直接启动容量较小的电动机。启动时，通过开关（铁壳开关、组合开关、断路器）或接触器，将额定电压直接加在电动机的定子绕组上。这种启动方法的优点是所需电气设备少，线路简单。缺点是启动电流大。采用这种方法除与电动机容量有关以外，还与电源容量有关。

一般来讲，电动机的容量不超过电源变压器容量的 15%-20%时，可采用直接启动。

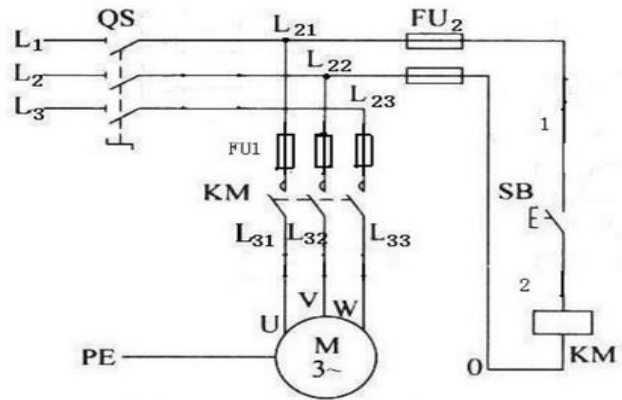
a、铁壳开关启动控制线路：如右图所示，该线路简单、元件少，铁壳开关内装有熔断器，可作电动机的短路保护，对于容量较小、启动不频繁的电动机来说，是经济方便的启动控制方法。但在启动频繁的场所，该方法是不可取的。



b、接触器点动控制线路：如下图所示，该电路可分成主电路和控制电路两部分。主电路从电源 L1、L2、L3、开关 QS、熔

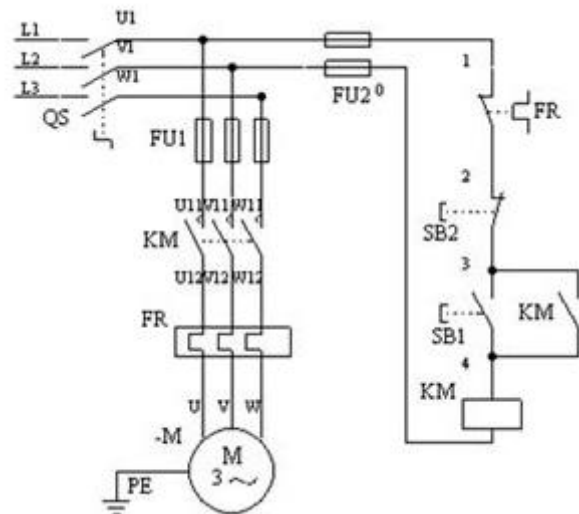
断器 FU、接触器触头 KM 到电动机 M。控制电路由按钮 SB 和接触器线圈 KM 组成。

图中可见，当合上电源开关 QS 时，电动机是不会启动运转的，因为这是接触器 KM 的线圈未通电，它的主触头处在断开状态，电动机 M 的定子绕组上没有电压。若要使电动机 M 转动，只要按下按钮 SB，使线圈 KM 通电，主电路中的主触头 KM 闭合，电动机 M 即可启动。但当松开按钮 SB 时，线圈 KM 即失电，



而使主触头分开，切断电动机 M 的电源，电动机即停转。这种只有当按下按钮电动机才会运转，松开按钮即停转的线路，称为点动控制线路。利用接触器来控制电动机与前述用开关来控制电动机线路相比，其优点是：减轻劳动强度；操纵小电流的控制电路就可以控制大电流的主电路；能实现远距离控制与自动化控制。

c、接触器自锁控制线路：如果要使点动控制线路中的电动机长期运行，启动按钮 SB 必须始终用手按住，显然这是不合生产实际要求的，为实现电动机连续运行，需要采用具有接触器自锁的控制线路。如右图，为具有接触器自锁控制线路，该线路与点动控制线路的不同之处在于，控制电路中增加了停止按钮 SB2，在启动按钮 SB1 的两端并联一对接触器 KM 的常开触头。线路的动作过程是这样的；当按下启动按钮 SB1，线圈 KM 通电，主触头闭合，电动机 M 启动旋转。当松开按钮时，电动机 M 不会停转，因为这时，接触器线圈 KM 可以通过并联在 SB1 两端已闭合的辅助触头 KM 继续维持通电，保证主触头 KM 仍处在接通状态，电动机 M 就不会失电，也就不会停转。这种松开按钮而仍能自行保持线圈通电的控制线路叫做具有自锁的接触器控制线路，简称自锁控制线路。与 SB1 并联的这一对常开辅助触头 KM 叫做自锁触头。



该线路的另一个重要特点是它具有欠电压与失压（或零压）保护作用。



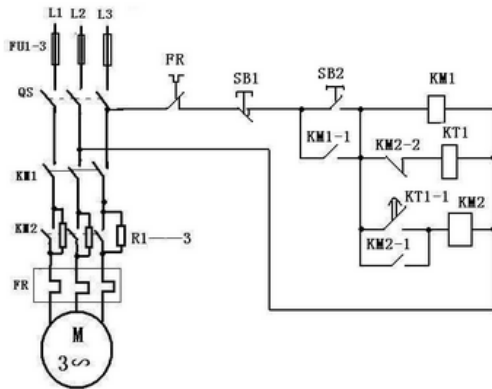
欠电压保护：“欠电压”是指线路电压低于电动机应加的额定电压。这样的后果是电动机转矩要降低，转速随之下降，会影响电动机正常运行，欠电压严重时还会损坏电动机，发生事故。在具有接触器自锁的控制线路中，当电动机运转时，电源电压降低到一定值（一般降低到85%额定电压以下）时，由于接触器线圈磁通减弱，电磁吸力克服不了反作用弹簧的压力，动铁芯因而释放，从而使主触头断开，自动切断电路，电动机停转，达到了欠压保护的作用。

失压保护（或零压）：当生产设备在运转时，由于其它设备发生故障引起瞬时断电，而使生产机械停转。当故障排除后，恢复供电时，由于电动机的重新启动，很可能引起设备与人身事故。采用接触器自锁控制线路时，即使电源恢复供电，由于自保触头仍断开，接触器线圈不会通电，所以电动机不会自行启动，从而避免了可能出现的事故。这种保护称为失压（或零压）保护。

d、具有过载保护的 control 线路：具有自锁的控制线路虽有短路保护、欠压保护、失压保护作用，但实际使用中还不够完善。因为电动机在运行过程中，如长期负载过大或操作频繁，或三相电路断掉一相运行等原因，都可能使电动机的电流超过它的额定值，有时熔断器在这种情况下尚不会熔断，这将引起电动机绕组过热，损坏电机绝缘，因此，应对电动机设置过载保护，通常由三相热继电器来完成过载保护，其线路如上图所示，线路中将热继电器的发热元件串在电动机的定子回路，当电动机过载时，发热元件过热，使双金属片弯曲到能推动脱扣机构动作，从而使串联在控制回路中的常闭触头FR断开，切断控制电路，使线圈KM断电释放，接触器主触头KM断开，电动机失电停转，起到了过载保护的作用。要使电动机再次启动，必须等热元件（双金属片）冷却并恢复原状后，再按复位按钮，使热继电器的常闭触头闭合，才能重新启动电动机。

(2)减压启动控制线路：所谓减压启动就是使电压适当降低后再加到电动机定子绕组上，目的是为了限制启动电流，等电动机启动以后，再使电动机的定子绕组上的电压恢复到额定值。由于电动机转矩与电压平方成正比，所以减压启动的启动转矩大为降低，因此减压启动方法仅适用于空载或轻载下启动的场合。

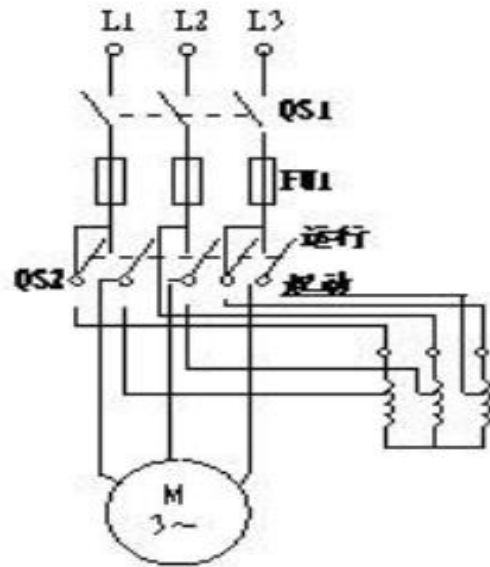
## 二、减压启动一般有下列几种方法。



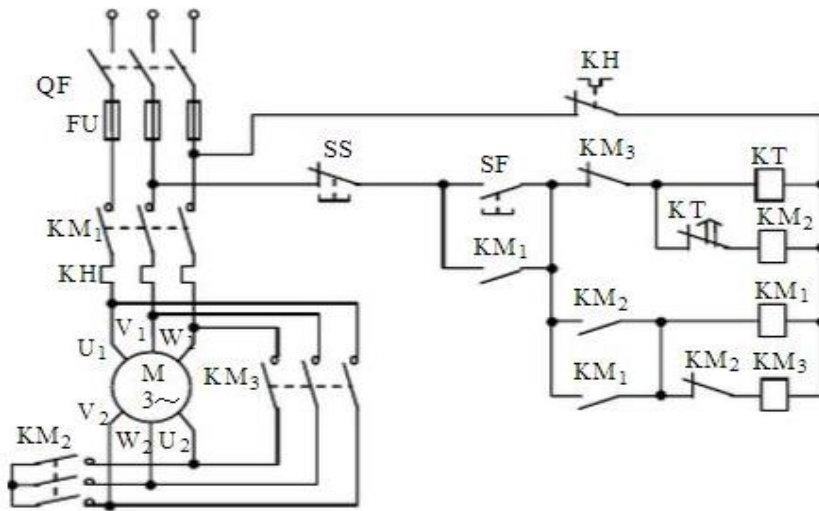
a、定子绕组串电阻（或电抗器）的减压启动控制线路。其线路如下图所示，合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 与时间继电器 KT1 线圈同时通电，KM1 主触头闭合，由于 KM2 线圈的回路中，串有时间继电器 KT1 延时闭合的动合触头而不能吸合，这时点动机定子绕组中串有电阻 R，进行减压启动，电动机的转速逐步升高，当时间继电器 KT1 达到预先整定的时间后，其延时闭合的动合触头闭合，KM2 吸合，主触头闭合，将启动电阻短接，电动机便处在额定电压下运转。通常 KT1 的延时时间为 4-8s。

b、自耦变压器（补偿器）减压启动。 这种方法是利用自耦变压器来降低启动电压，达到限制启动电流的目的。

自耦变压器减压启动的手动控制原理图如右图所示。启动时将开关置于“启动位置”，此时电动机的定子绕组与变压器的低压侧联结，电动机进行减压启动，待电动机转速上升至一定值时，再将开关迅速扳到运行位置，这时自耦变压器脱离电动机，电动机直接与电源相接，在额定电压下正常运行。自耦变压器减压启动的手动控制常依靠一种叫做启动补偿的控制电器来实现。







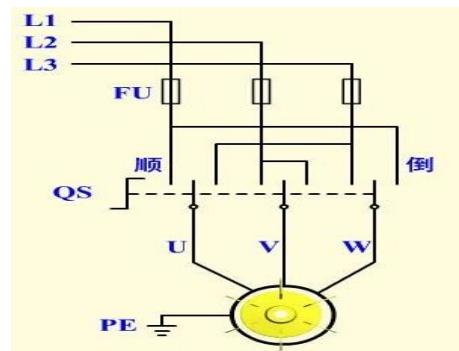
c、星形—三角形启动。凡额定运行为三角形联结的电动机，如目前 4KW 以上的笼型异步电动机，都可以采用这种启动方法。其原理是：电动机启动时，将定子绕组接成星形，以降低各相绕组上的电压。随着电动机转速的升高，待启动完毕后，再将定子绕组接成三角形，使电动机在额定电压下正常运行。这种启动方法可采用星形—三角形启动器直接操纵，自动控制器常由按钮、接触器、时间继电器组成。控制电路原理如右图所示。

### 三、三相异步电动机正反转控制

许多生产机械往往要求运动部件可以向正反两个方向运动，如机床工作台的前进与后退，主轴的正转与反转，起重机的上升与下降等等，这就要求电动机能正、反双向旋转来实现。我们知道，若是采用改变电动机电源的相序就会实现改变电动机旋转方向的目的。现介绍以下几种常用的正反转控制线路。

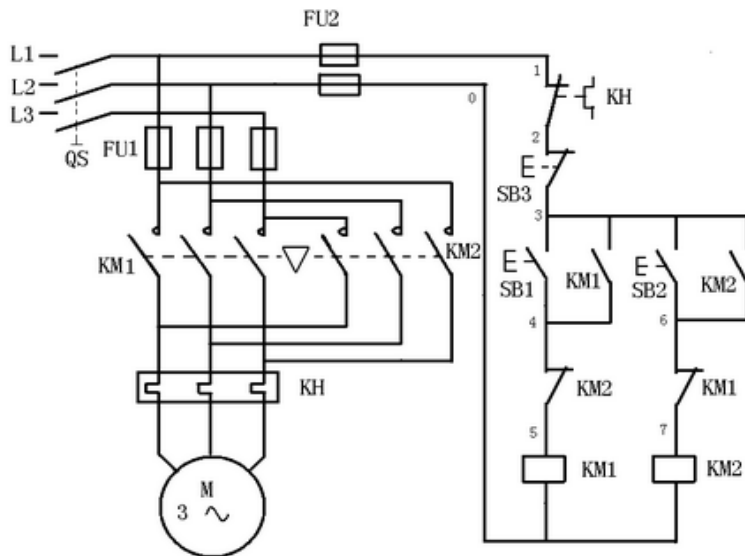
#### (1) 倒顺开关正反转控制电路

该控制线路只能用于功率较小的三相笼型异步电动机的控制，否则触头易被电弧烧坏。倒顺开关属组合开关类型，但它结构上不同于一般作为电源引入的组合开关。它有三个操作位置：顺转、停转、倒转。其原理图如右图所示。



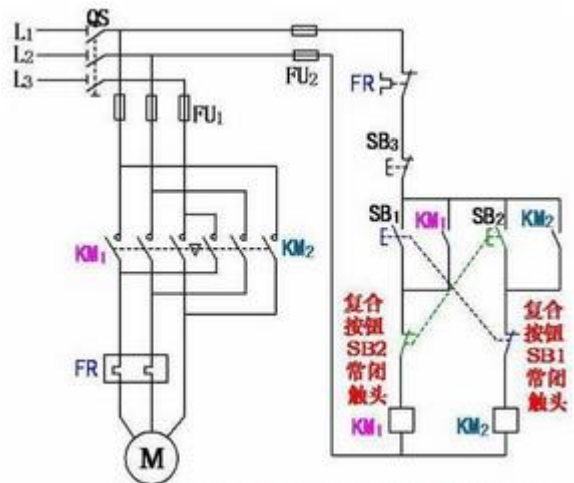
(2) 接触器连锁的正反转控制线路

该控制线路利用按钮、接触器等电器来自动控制电动机的正反转，如右图所示。图中采用了两个接触器，即正转用的接触器 KM1 和反转用的接触器 KM2，它们分别由正转按钮 SB1 和反转按钮 SB2 控制，这两个接触器的主触头相序不同，KM1 接 U1—V1—W1 相序接线，KM2 则调了两相相序，所以当两个接触器分别工作时，电动机的旋转方向不一样。



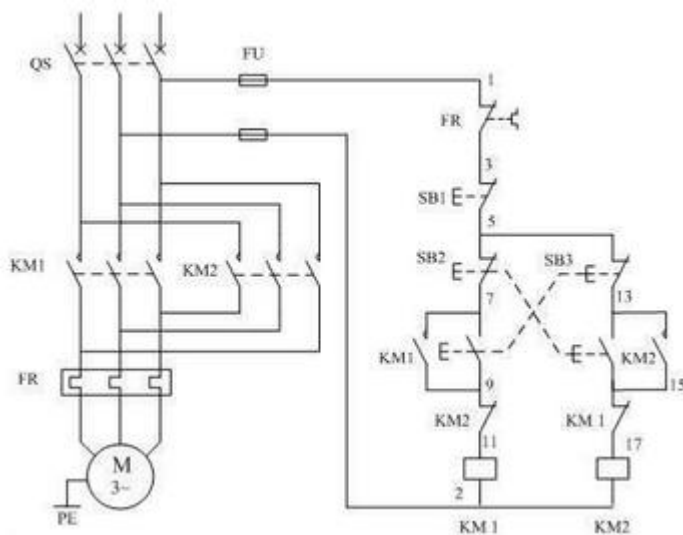
a、按钮连锁的正反转控制线路

把上图中接触器 KM1 和 KM2 的常闭触头去掉。换上 SB1 与 SB2 的常闭触头，可同样起到防止线圈 KM1 和 KM2 同时通电的作用，其线路图如右图所示。



b、按钮、接触器双重连锁的正反转控制线路

制线路：如下图所示为双重连锁的正反转控制线路。这种线路集中了按钮连锁和接触器连锁的优点，故具有操作方便，安全可口等优点，为电力拖动设备中所常用。其动作原理与按钮连锁正反转控制线路相似，只是增加了一种电气连锁（即接触器连锁）。

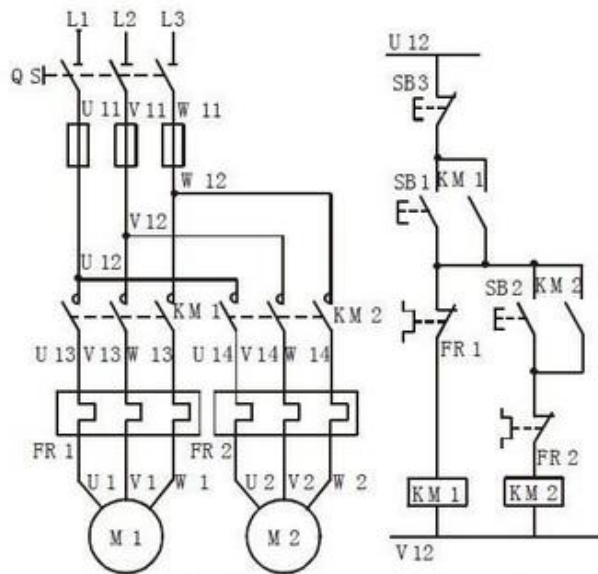




### (3) 三相异步电动机的顺序控制

有些生产机械，经常要求几台电动机配合工作，才能完成生产工艺的要求。例如：在机床工作中，常常需要先启动油泵电动机，然后才能启动主轴电动机。又如，对一台机床的进刀、退刀、工件夹具松开以及自动停车等工序要求，按一定顺序来完成，这些要求反映了几台电动机或几个动作之间的顺序关系。按照上述要求实现的控制，称作顺序控制。

如下图所示是 X62W 型万能铣床的主轴与进给电动机的联动控制线路。



图中 KM1 是主  
轴电动机，M2 是进  
给电动机。该线路的特点是，进给电动机 M2 的控制电路使与接触器 KM1 的常开辅助触头串联。这就保证了只有当 M1 启动后，M2 才能启动。而且，如果某种原因（如过载或失压等）使 KM1 失电，M1 停转，M2 也立即停转，这就实现了两台点动机的顺序和连锁控制。

### 思考题

- 1、 电力拖动主要有哪些部分组成？
- 2、 点动控制线路与自锁控制线路的区别有哪些？



- 3、 画出既能点动，又能联动的电动机控制线路图，并要求有过载保护装置？
- 4、 画出双重联锁控制电动机正反转的电路图，并设有热继电器过载保护装置？



## 第七章 简单电气控制设计

### 【学习目标】

- 一、学习电气控制电路的设计规范；
- 二、学习并理解电气工程制图的图形及文字符号；
- 三、学习简单电气控制原理图的绘制；



## 第一节 电气控制电路设计规范

电气控制系统是由若干电器元件按照一定要求连接而成，从而实现设备或装置的某种控制目的。为了便于对控制系统进行设计、分析研究、安装调试、使用维护以及技术交流，就需要将控制系统中的各电器元件及其相互连接关系用一个统一的标准来表达，这个统一的标准就是国家标准和国际标准，我国相关的国家标准已经与国际标准统一。用标准符号按照标准规定的方法表示的电气控制系统的控制关系的就称为电气控制系统图。

电气控制系统图包括电气系统图和框图、电气原理图、电气接线图和接线表三种形式。各种图都有其不同的用途和规定的表达方式，电气系统图主要用于表达系统的层次关系，系统内各子系统或功能部件的相互关系，以及系统与外界的联系；电气原理图主要用于表达系统控制原理、参数、功能及逻辑关系，是最详细表达控制规律和参数的工程图；电气接线图主要用于表达各电器元件在设备中的具体位置分布情况，以及连接导线的走向。对于一般的机电装备而言，电气原理图是必须的，而其余两种图则根据需要绘制。绘制电气接线图则需要首先绘制电器位置图，在实际应用中电气接线图一般与电气原理图和电器位置图一起使用。

国家标准局参照国际电工委员会（IEC）颁布的标准，制定了我国电气设备有关国家标准。有关的国家标准有 GB4728—1984《电气图用图形符号》、GB6988—1986《电气制图》、GB5094—1985《电气技术中的项目代号》和 GB7159—1987《电气技术中的文字符号制定通则》。

## 第二节 电气工程制图文字符号和图形符号

### 一、基本文字符号

序号	描述	号	描述	号	描述	号	描述	号	描述
	电容器		发热器件		照明电		空气调节		带瞬时动作的限流保护器



		H		L		V	器	A	件
U	熔断器	V	限压保护器件	S	同步发电机	A	异步发电机	R	带延时动作的限流保护器件
B	蓄电池	A	报警器	L	指示灯	A	过流继电器	S	带瞬时、延时动作的限流保护器件
M	接触器	R	热继电器	T	延时继电器		电感器		电动机
S	同步电动机	T	力矩电动机	A	电流表	J	电度表	S	记录仪表
V	电压表	F	断路器	A	电流互感器	S	隔离开关	M	电动机保护开关
C	电源互感器	V	电压互感器	B	连接片	J	测试插孔	P	插头
S	插座	T	端子排	A	电磁铁	M	电动阀	V	电磁阀

## 二、辅助文字符号

号	描述	号	描述	号	描述	号	描述	号	描述
	电流、模拟	C	交流	UT	自动	CC	加速	DD	附加
DJ	可调	UX	辅助	SY	异步	RK	制动	K	黑
L	蓝	W	向后		控制	W	顺时针	CW	逆时针
	延时、数字	C	直流	EC	减		接地	M	紧急

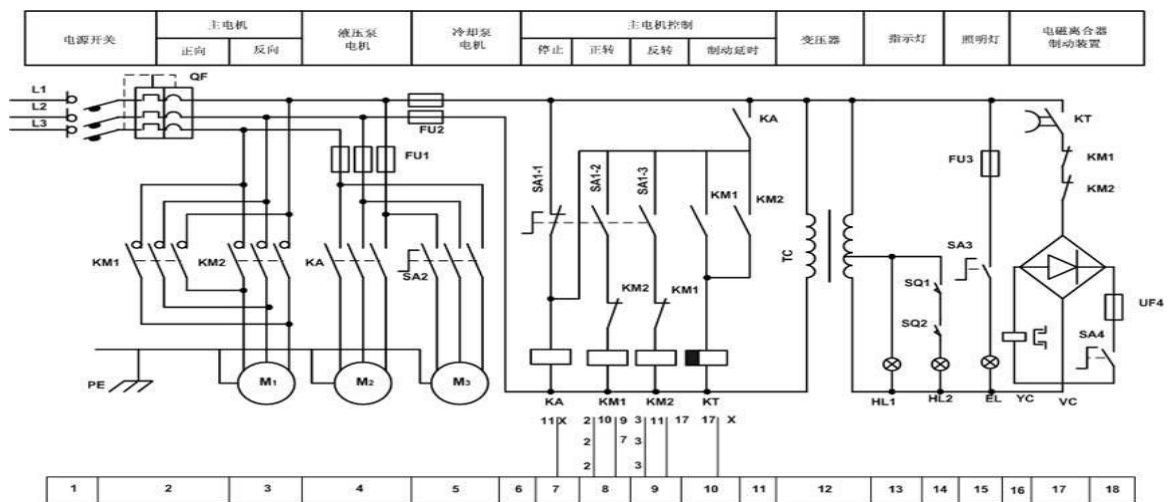
	快速	B	反馈	W	向前	N	绿		高
N	输入	NC	增	ND	感应		低、限制	A	闭锁
	主、 中间线	AN	手动		中性 线	FF	断开	N	闭合
UT	输出		压 力、保护	E	保护 接地	EN	保护接地与 中性共用	U	不接地保 护
	记 录、反	D	红	ST	复位	ES	备用	UN	运行
	信号	T	启动	ET	置 位、定位	AT	饱和	TE	步进
TP	停止	YN	同步		温 度、时间	E	无干扰接地		速度、电 压、真空
H	白	E	黄						

### 三、图形符号大全




接地	接地保护	信号接地	电极	电池	电源	理想电源	电阻器	交替电阻器	可变电阻器	预设电阻器
预设电位计	电位计电...	衰减器	开关	电容器	电容器 2	电容器 3	电容器 4	各种连接点	蓄电池	天线
天线 2	二极管	二极管LED	环形天线	回路天线 2	同轴阀	晶体	断路器	保险丝	保险丝 2	保险丝 3
保险丝 (IEC)	保险丝 (IE...	保险丝 (o...	普通组件	传感器	传感器 2	电感器	半电感器	加热器	电流变换器	潜在转换
电源变压器	拾音头	脉冲	交替脉冲	锯齿波	阶跃函数	爆炸导火管	感应链接...	导火管点...	电泳保护...	指示器
转换开关	安培表转...	伏特表转...	电动机	电流表	电压表	发电机	无功计	赫兹	温度计	计时器
材料	元件	延迟元件	电泳保护器	永磁体	磁芯	铁芯	配电板	仪表板	点火器	电铃

#### 四、电机控制图




#### 五、电压、电流、电池的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	直流供电，电压可标在右边，系统类型可标在左边，例如，2/M —— 220/110V，表示三线制、带中间线的直流 220V，两根线与中间线的电压为 110V，M 表示中间线		交流供电，频率及电压值标在符号的右边，系统类型标在左边，例如，3/N ~ 50Hz 380/220V，表示三相四线制、带中性线 N、380V、50Hz、相线与中性线间的电压为 220V
	中频（音频）		相对高频（超音频，载频或射频）
	交直流		具有交流分量的整流电流，需要与稳定直流相区别时使用
N	中性（中性线）	M	中间线
+	正极性	-	负极性
	蓄电池，允许在上面标出电压值		蓄电池组

## 六、信号灯、信号器件、按钮、旋钮开关和测量仪表的图形符号





图形符号	名称	图形符号	名称
	信号灯		闪光型信号灯
	蜂鸣器		电铃
	电喇叭		报警器
图形符号	名称	图形符号	名称
	手动开关的一般符号		按钮（不闭锁），常开
	按钮（不闭锁），常闭		按钮（不闭锁），一常开一常闭
	拉拔开关（不闭锁）		旋钮开关和旋转开关（闭锁）
	电压表		电流表
	无功电流表		无功功率表
	功率因数表		频率表
	记录式功率表		组合式记录有功功率和无功功率表
	电度表		检流计
	示波器		转速表

图形符号	名称	图形符号	名称
	负荷开关，可以带载分断，有一定的灭弧能力，没有短路保护，如，需配熔断器使用		隔离开关，没有灭弧能力，主要是检修时，用来隔离电压，需配熔断器或断路器等使用
	断路器，可以带载分断，有灭弧能力，有短路保护功能		开关的一般符号
	三极开关多线表示		三极开关单线表示

### 七、负载开关的图形符号

### 八、熔断器的图形符号

### 九、继电器、接触器、接触器触点和操作器件的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	熔断器的一般符号		熔断器式负荷开关
	熔断器式隔离开关		熔断器式开关

图形符号	名称	图形符号	名称
	操作器件的一般符号		双绕组操作器件的分离表示方法
	双绕组操作器件的组合表示方法		缓慢吸合继电器线圈
	缓慢释放继电器线圈		缓吸缓放继电器线圈
	欠电压继电器		过电流继电器
	快速继电器(快吸快放)线圈		接触器主动合触点
	接触器主动断触点		

## 十、开关触点的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	动合触点		动断触点
	中间断开的双向转换触点		先断后合的转换触点
	先合后断的转换触点		延时闭合的动合触点, 注意: 触点朝圆弧中心的运动是延时的
	延时断开的动断触点		延时断开的动合触点
	延时闭合的动断触点		吸合时延时闭合, 释放时延时断开的动合触点

### 十一、敏感开关和传感器的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	位置开关, 限制开关的动合触点		位置开关, 限制开关的动断触点
	位置开关或限制开关的一开一闭连锁触点		液位开关
	热敏开关		惯性开关(突然减速则动作)
	接近传感器		接近开关动合触点
	接触传感器		接触敏感开关动合触点
	热继电器的驱动元件(热元器件)		热继电器动断触点(常闭)

### 十二、电磁离合器、电磁制动器、电磁吸盘的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	电磁吸盘		电磁离合器
	磁粉离合器或电磁转差离合器		电磁制动器

### 十三、避雷器、导线、连接器件和接地的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	避雷器		导线、电缆和母线的一般符号
	三根导线的单线表示		屏蔽导线
	同轴电缆		导线的连接
	端子		插头插座
	接通的连接片		断开的连接片
	接地一般符号 (E)		屏蔽接地 (JE)
	保护接地 (PE)		接机壳、机架 (MM)
	等电位 (CC)	PEN	保护性接地和中性线公用
L1、L2、L3、N 或 A、B、C、N	交流系统的电源	U、V、W、N	交流系统设备接线端子
L+、L-、M	正极、负极和中间线		



## 十四、电动机和变压器的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	电动机操作		三相笼型异步电动机
	三相绕线转子异步电动机		三相永磁同步电动机
图形符号	名称	图形符号	名称
	单相笼型异步电动机		单相永磁同步电动机
	直流力矩电动机		复励直流发电机
	串励直流电动机		并励直流电动机
	他励直流电动机		永磁直流电动机
	步进电动机		三相自耦变压器，星形联结
	可调压的单相自耦变压器		单相自耦变压器
	电抗器、扼流圈		电流互感器

## 十五、电子元器件的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	光敏电阻		光敏二极管
	光敏晶体管 (NPN 型)		光电池
	光控晶闸管		光耦合器
	电阻器的一般符号		可调电阻器
	带滑动触点的电阻器		带滑动触点的电位器
	压敏电阻		热敏电阻

图形符号	名称	图形符号	名称
	电容器的一般符号		极性电容器
	可调电容器		预调电容器
	电感器、线圈、绕组、扼流圈		带磁心（铁心）的电感器
	带磁心（铁心）的可调电位器		带两个固定抽头的电感器
	半导体二极管一般符号		发光二极管
	变容二极管		双向二极管
	单向击穿二极管（稳压二极管）		双向击穿二极管
	PNP 晶体管		NPN 晶体管
	P 型双基极单结晶体管		N 型双基极单结晶体管
	反向阻断三极晶闸管（阴极受控）		门极关断三极晶闸管
	三端双向晶闸管		无指定形式的三极晶闸管
	N 型沟道结型场效应晶体管		P 型沟道结型场效应晶体管
	增强型、单栅、P 型沟道和衬底有引出线的绝缘栅场效应晶体管		增强型、单栅、N 型沟道和衬底有引出线的绝缘栅场效应晶体管
	耗尽型、单栅、N 型沟道绝缘栅场效应晶体管		耗尽型、单栅、P 型沟道绝缘栅场效应晶体管

## 第三节 电气控制原理图的绘制原则

### 一、目的和用途

电路原理图就是详细表示电路、设备或装置的全部基本组成部分和连接关系的工程图。主要用于详细理解电路、设备或装置及其组成部分的作用原理；为测试和故障诊断提供信息；为编制接线图提供依据。

### 二、绘图基本原则

根据简单清晰的原则，电气原理（电路）图采用电器元件展开的形式绘制。它包括所有电器元件的导电部件和接线端点，但并不按照电器元件的实际位置来绘制，也不反映电器元件的大小。因此，绘制电路图时一般要遵循以下基本规则：

(1) 电路图一般包含主电路和控制、信号电路两部分。为了区别主电路与控制电路，在绘制电路图时主电路（电机、电器及连接线等），用粗线表示，而控制、信号电路（电器及连接线等）用细线表示。通常习惯将主电路放在电路图的左边（或上部），而将控制电路放在右边（或下部）。

(2) 主电路（动力电路）中电源电路绘水平线；受电的动力设备（如电动机等）及其它保护电器支路，应垂直于电源电路绘制。

(3) 控制和信号电路应垂直地绘于两条水平电源线之间，耗能元件（如接触器线圈、电磁铁线圈，信号灯等）应直接连接在接地或下方的水平电源线上，各种控制触头连接在上方水平线与耗能元件之间。

(4) 在电路图中各个电器并不按照它实际的布置情况绘制，而是采用同一电器的各部件分别绘在它们完成作用的地方。

(5) 无论主电路还是控制电路，各元件一般按照动作顺序自上而下、从左到右依次排列。

(6) 为区别控制线路中各电器的类型和作用，每个电器及它们的部件用规定的图形符号表示，且每个电器有一个文字符号，属于同一个电器的各个部件（如接触器的线圈和触头）都用同一个文字符号表示。而作用相同的电器用规定的文字符号加数字序号表示。

(7) 因为各个电器在不同的工作阶段分别作不同的动作，触点时闭时开，而在电路图内只能表示一种情况。因此，规定所有电器的触点均表示成在（线圈）没有通电或机械外力作用时的位置。对于接触器和电磁式继电器为电磁铁未吸合的位置，对于行程开关、按钮



等则为未压合的位置。

(8) 在电路图中两条以上导线的电气连接处要打一圆点，且每个接点要标一个编号，编号的原则是：靠近左边电源线的用单数标注，靠近右边电源线的用双数标注，通常都是以电器的线圈或电阻作为单、双数的分界线，故电器的线圈或电阻应尽量放在各行的一边（左边或右边）。

(9) 对具有循环运动的机构，应给出工作循环图，万能转换开关和行程开关应绘出动作程序和动作位置。

(10) 电路图应标出下列数据或说明：

- a、各电源电路的电压值，极性或频率及相数。
- b、某些元器件的特性（如电阻，电容器的参数值等）；
- c、不常用的电器（如位置传感器、电磁阀门、定时器等）的操作方法和功能。

### 三、图面区域的划分

为了便于检索电路，方便阅读，可以在各种幅面的图纸上进行分区。按照规定，分区数应该是偶数，每一分区的长度一般不小于 25 mm，不大于 75mm。每个分区内竖边方向用大写拉丁字母，横边方向用阿拉伯数字分别编号。编号的顺序应从标题栏相对的左上角开始。编号写在图纸的边框内。在编号下方和图面的上方设有功能、用途栏，用于注明该区域电路的功能和作用。

### 四、符号位置索引

由于像接触器、继电器这样的电器其线圈和触点在电路中根据需要绘制在不同的地方，为了便于读图，在接触器、继电器线圈的下方绘出其触点的索引表，如图 6.39 所示。对于接触器，其中左边一列为主触点所在的区域，中间为辅助常开触点所在的区域，右边一列为辅助常闭触点所在的区域。对于继电器，其中左边一列为常开触点所在的区域，右边一列为常闭触点所在的区域。

### 思考题

- 1、 电气控制电路设计的规范有哪些？
- 2、 电气控制电路的绘制原则有什么要求？



3、 画出 5 个以上常用于电路设计元件的文字及图形符号？

## 第八章 电气安全技术

### 【学习目标】

- 一、学习触电的危险性及预防措施；
- 二、学习电气火灾的预防措施及灭火方法；
- 三、学习触电后的急救方法及电火警的处理；



## 第一节 触电

### 一、触电

#### 1、触电的概念

当电流通过人体造成对人体伤害的现象称为触电。触电可能是人体接触带电体时发生；也可能是人体接近带电体时（通常是高压电）发生；当人体的任何两部分处于不同电位时也会发生“接触电压”和“跨步电压”触电。触电可分为下列两类情况：

（1）电伤：电伤通常是指人体外部受伤，如电弧灼伤、大电流下金属融化而飞溅出的金属所灼伤以及人体局部与带电体接触造成肢体受伤等情况。这种伤害的后果也可能是严重的。它与下面所述的点击所不同的仅仅在于电流不通过人体而已。

（2）电击：点击通常是指人体接触带电体后，人的内部器官受到电流的伤害。这种伤害是造成触电死亡的主要原因，后果极其严重，所以是最严重的触电事故。点击是由于电流流过人体内部造成的。其对人体伤害的程度由流过人体电流的频率、大小、时间长短、触电部位以及触电者的生理素质等情况而定。时间证明，低频电流对人体的伤害胜于高频电流，而电流流过心脏和中枢神经系统则最为危险。

通常，1mA 的工频电流通过人体时，就会使人有不舒服的感觉，而在 50mA 的电流通过人体时，就有生命危险。当流过人体的电流达到 100mA 时，就足以使人死亡。在同样的电流情况下，受电击的时间越长，后果越严重。统计数字表明，人体的电阻通常在 1-100 千欧左右，甚至更低。这时，以危险电流 50mA 计，人体所能接触的电压则不高于 40V。为了安全起见，因而规定安全电压为 24V。

#### （2）常见的触电原因

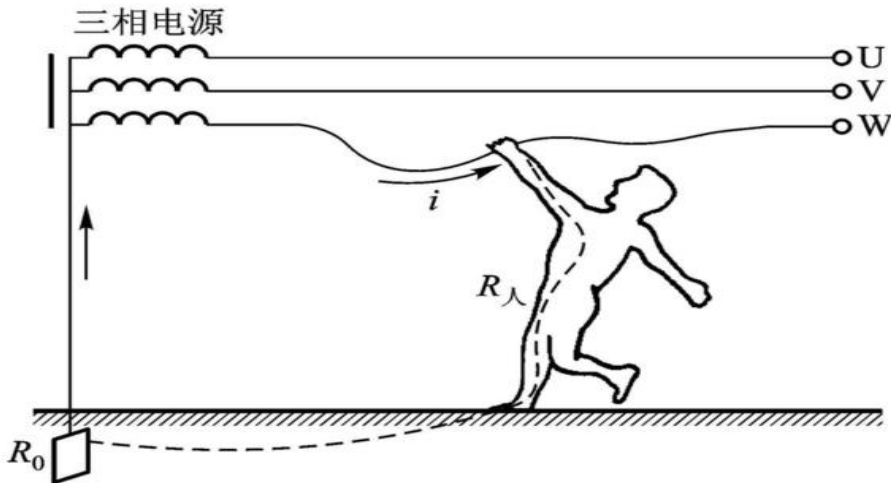
触电的原因极多，但归纳起来大致为：

- 1) 违章作业，不遵守有关安全操作规程和电气设备安装及检修规程等规章制度；
- 2) 电气线路和设备存在缺陷，绝缘体破损；
- 3) 电气设备的接地(零)线断裂损坏；
- 4) 偶然的意外事故，如电线段落解除人体等。

#### （3）常见的触电形式

触电的形式多种多样的，但除了因电弧灼伤及熔融的金属飞溅灼伤外，可大致归纳为单相触电、两相触电以及因“接触电压”、“跨步电压”所致的触电形式。

1) 单相触电：如果人体站立地面，而其他部位如手臂或头部接触带电体时就形成单相触电，对三相四线制中性点接地的电网，单相触电的形式，如下图所示。

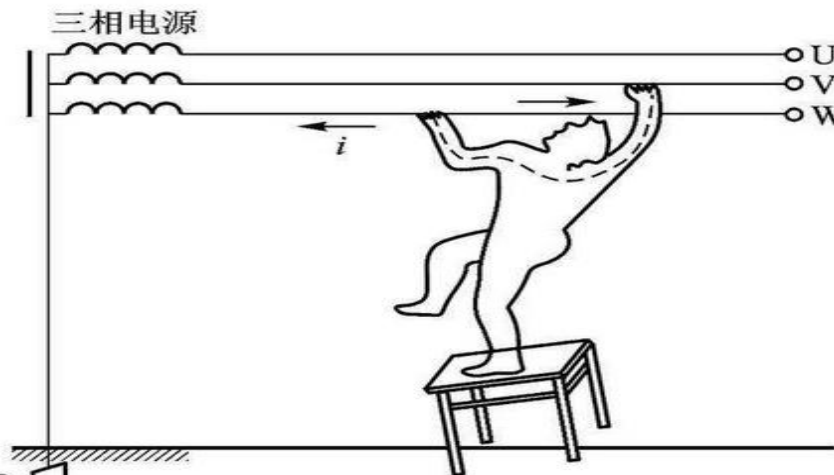


对

而  
三相三

线制中性点不接地的电网，因为输电线很长，线路对地有较大的电容，触电时电流经人体到达大地，再由线路电容而成回路。这两种单线触电所造成的后果都是很严重的。

2) 两相线触电：如果人的身体同时接触二根带电的导线，如下图所示。这时人体受到相电压的作用，通过人体的电流更大，这时最危险的触电形式。



3)

“接触

电压”与“跨步电压”触电 由于某种原因设备外壳带电时，而设备外壳与接地体联结。这时电流经大地流回供电设备的中性点。随着接地体距离的增加，接地电流的密度就越越来越小。当距离接地体 15-20m 远时，可以认为电流极小，因而电位为零。



## 第二节 接地与接零

保护接地和保护接零时防止设备意外带电造成触电事故重要的和主要的措施，也是电气安全技术措施的重点。

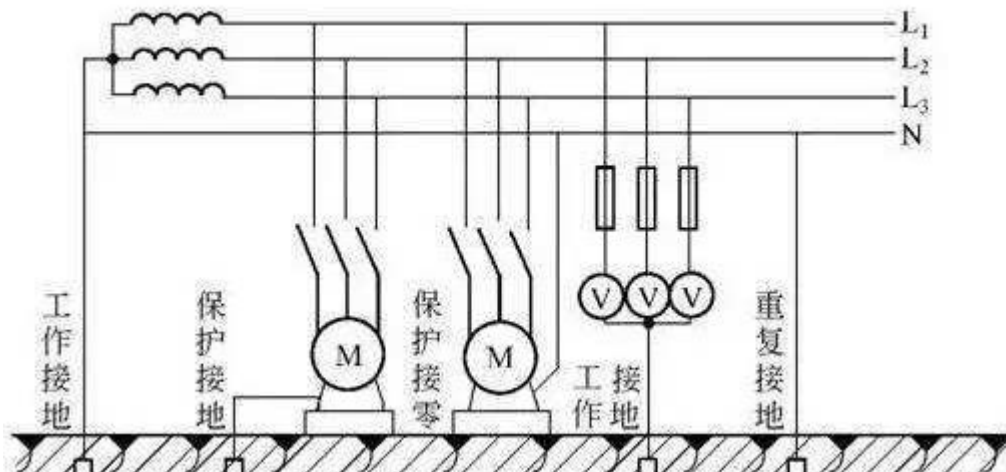
### 一、保护接地

保护接地适用于 1000V 以上的电气设备以及电源中线不直接接地的 1000V 以下的电气设备。保护接地时将电气设备的金属外盒及金属支撑物件用良导体与大地之间（即接地装置）作良好的联结而成。

采用了保护接地措施后，及时偶然触及漏电的电气设备也能避免触电，因为这是金属外壳已于大地可靠联结，且对地电阻很小，相对人人体电阻要小得多。当人触及电气设备时，人体电阻是与接地电阻并联的，则漏电电流几乎全部经接地体流入大地，从而保证了人身安全。

### 二、保护接零

保护接零使用于三相四线制，中线直接接地的供电系统。保护接零是将电气设备和金属外壳及金属支撑物件，用导体同电网的中性线（零线）相连接而成。采用保护接零后若电气设备的某相绝缘损坏时，电流经接零线成回路而形成短路电流。短路电流立即将该相的熔体熔断或使其它保护元件动作而切断电源，从而消除了触电的危险。保护接零又称保护接地与中性线公用。如下图所示，为单相电器保护接零。







### 第三节 电气设备的防火措施和灭火要求

因为输电线路漏电、过载、接头松动或短路等因素导致过热而引起火灾；或因用电设备存在缺陷、过载或短路等因素也可造成火灾。另外，在电火灾的情况下，也往往带来触电事故。

#### 一、常用电气设备的防火措施

##### 1. 引起电气设备发生火灾的原因

电气装置引起火灾的原因很多，如绝缘强度降低、导线严重过负荷、安装质量不良、设备造型不符合防火要求、设备过热、短路、机械损伤以及使用不当等都可能酿成火灾。

##### 2. 防火的措施

(1) 选用的电气装置应具有合格的绝缘强度。

(2) 经常监视实际用电负荷大小，不使设备过热，限制导线载流量，不的长期超载使用。

(3) 按照安装标准，装设各类电气装置，严格质量要求。

(4) 合理使用电气装置，防止由于机械损伤、绝缘破坏等造成短路。

(5) 电线或其它导体的解除点必须牢固，接触要良好，以防止过热氧化。铜、铝导线连接时，还应防止电化腐蚀。

(6) 生产工艺工程中产生有害静电时，要采取相应措施予以消除。

##### 电气火灾的扑救方法

电气火灾的危险性很大，除了要做好预防工作外，还必须做好灭火的准备，万一发生火灾时，就能采取有效措施，选用适当灭火剂，及时扑灭火灾。

##### 电气火灾的扑救方法：

(1) 断电灭火。电气设备发生火灾或引燃附近可燃物时，首先要切断电源，然后救火和立即报警。

(2) 带电灭火。电气设备发生火灾时，一般都在切断电源后才能进行扑救，因断电后，扑救危险性小，但是有时在危急的情况下，如等待切断电源后再进行扑救，就会失去机会。扩大危险性。带电灭火要使用不到点的灭火剂进行灭火，如二氧化碳，1211，干粉灭火等。因这些灭火剂绝缘性能好。

(3) 救火时不要随便与电线或电气设备接触。特别要留心地上的电线，应将其用绝缘



物品妥善处理。



## 第四节 触电的急救方法

### 一、解脱电源

当触电事故发生以后，电流便不断地在人体中通过。为了使触电者能及时得到妥善的救护，减少电流通过人体的时间，迅速解脱电源是一件十分重要和紧急的工作。我们可以根据不同的现场情况和条件，迅速切断电源。这可用断开电源开关或用不导电的绝缘物品使触电者脱离电源等各种有效的方式进行。例如：

(1) 断开电源开关、拔去电源插头或熔断器的插芯等。

(2) 用干燥的木棒、竹竿、扁担塑料竿等或干燥清洁的棉织品、皮带、化纤制品甚至绳索等不导电的物品去拨开电源。

(3) 拉触电者的干衣服使其脱离电源。

以上通常只适用于额定电压为500V以下的场所，高压触电时，除使电源开关掉闸外，通常要用高压绝缘棒来使触电者脱离电源。

### 二、紧急救护

当触电者脱离电源后，应立即进行现场紧急救护。在触电者还未失去知觉时，应将其抬到空气流通、温度适宜的地方休息，情况严重时，可能会出现心脏停止跳动、呼吸停止等假死现象。一旦出现假死现象，应立即对症处理，否则时间一长，伤员的大脑将因严重缺氧造成难以挽救的局面。这时应真分夺秒地在现场进行人工呼吸或胸外挤压，以恢复伤员的呼吸及心跳技能。

#### (1) 人工呼吸抢救

人工呼吸法适用于有心跳，但无呼吸的触电者。这是利用人力的方法促使伤员肺部膨胀和收缩来达到肺脏器官交换氧气的功能，同时又给以有节奏的刺激，以激发伤员自行恢复呼吸的能力。人工呼吸有很多种，通常采用口对口（鼻）人工呼吸法。其大致的作法如下：

- 1) 将触电者朝天仰卧，把头侧向一边，张开嘴巴，清除口腔中的血块，异物等。
- 2) 抢救者处在伤员一侧，邻近伤员头部的一只手紧握捏其鼻孔，并将手掌的外缘压住其额部，扶正头部使鼻孔朝天，另一只手托着伤员的颈后，将其颈部略向上抬。
- 3) 救护者作深呼吸，然后紧凑伤员的嘴巴，向其大口吹气。同时观察伤员胸部是

否有膨隆，以判断吹气是否有效和适度。

4) 吹气完毕，立即离开触电者的嘴巴，待其胸部自行回缩，即可达到呼气的目的。

这种口对口人工呼吸方法，每 5s 一次。其中吹 2s，停 3s。其动作过程如下图 1 所示，除此外还常采用牵手人工呼吸法，其动作过程如下图 2 所示。



## (2) 胸外心脏挤压法

对有呼吸但没有心跳的触电者要用人工方法挤压心脏，代替心脏的泵功能，以达到血液循环的目的。具体操作方法如下图所示。



- 1) 触电者朝天仰卧，姿势与人工呼吸方式相同，但后背着地需结实。
- 2) 救护者位于触电者一侧，最好能在触电者的腰部。
- 3) 抢救者两手相叠，用掌根按置于触电者胸骨的 1/3 部位，即手掌中指置于其颈窝凹陷处。如上如 a 与 b, 掌根所在的地带即是正确的压区。然后用掌根用力向下按压，按下约 3-4cm 左右，如上图 c, 将血液挤压出心脏。压力轻重要得当，过分用力会使得伤员受伤。
- 4) 突然放松挤压，但手掌不要离开胸膛。依靠胸部的弹性，自动回复原状，使心脏扩张，血液流回心脏，如上图 d。这种救护动作连续不停地进行，每分钟约 60 次左右为宜。

## 思考题

1. 什么叫保护接地？什么叫保护接零？保护接地如何起到保护人身安全的作用？
2. 对接地装置中的接地线有何要求？
3. 发生电气火灾应如何扑救？
4. 对触电者应如何进行急救？





欣旺达电子股份有限公司  
Sunwoda Electronic Co., Ltd.

地址:深圳市宝安区石岩街道石龙社区颐和路2号欣旺达新能源产业园

电话:86-755-2951 6888 传真:86-755-2951 6999

网址:[www.sunwoda.com](http://www.sunwoda.com)