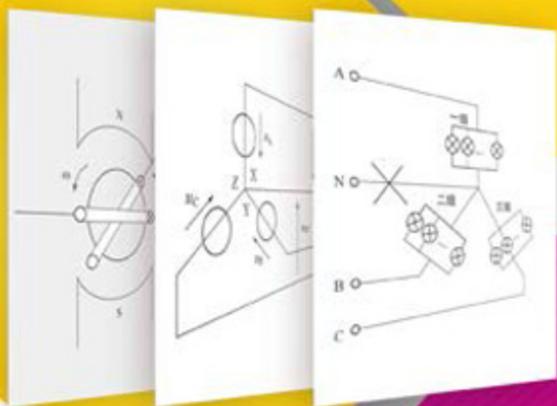




# 一本书 看懂

# 电工电路

刘理云 编著



化学工业出版社

# 一本书看懂电工电路

刘理云 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书针对电工技术人员和初学者识读电路图的需要,采用图解的方法,详细介绍了电气图的基本知识,识图的思路、方法和技巧,主要内容包括:电气图常用符号、电工识图基本方法、低压电器图识读、照明电路识图、电动机控制电气图识读等的方法和技巧。书中图例丰富,读者可以举一反三,触类旁通,轻松胜任电工工作。

本书语言通俗易懂,可供广大电工人员、初学者学习电工技术之用,也可作为职业培训学校的教材及电工技术爱好者的自学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

一本书看懂电工电路/刘理云编著. —北京:化学工业出版社, 2016.5

ISBN 978-7-122-26002-4

I. ①一… II. ①刘… III. ①电路—基本知识  
IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第004704号

---

责任编辑:刘丽宏  
责任校对:战河红

文字编辑:陈喆  
装帧设计:刘丽华

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)  
印 装:三河市延风印装有限公司  
850mm×1168mm 1/32 印张7½ 字数217千字  
2016年4月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899  
网 址:<http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:29.00元

版权所有 违者必究

随着现代工业技术的迅速发展，电工、电子产品的应用领域日益广阔，社会对电工的需求和要求也越来越多。为了实现各电气设备的正常运转，必须保证各相关电路在实际工作中稳步运行。因此，正确识读电路图，是学习电工技术至关重要的一步，对于电工技术人员和初学者来说，看懂电路图是走向电工职场的第一步。为此，笔者结合自己多年的教学经验，广泛收集和整理，编写了本书。

本书先从简单电路开始，图文并茂，由浅入深，全面介绍了电工日常工作常见、常用的各类型基础、实用电路的识读思路、方法和技巧。书中多处用实物图和电路图相结合的表现形式，重点介绍了各种低压电器图识读、照明电路识图、电动机控制电气图识读，帮助读者举一反三，触类旁通，轻松胜任电工工作。书中还总结了电气图常用的各种符号、代码，通用电路基础知识，利于初学者学习基础知识后快速入门，并轻松掌握电路识读的相关方法和技能。

全书语言通俗易懂，图例丰富，可供广大电工人员、初学者学习电工技术之用，也可作为职业培训学校的教材及电工技术爱好者的自学参考书。

本书由刘理云编著，由祖国建审定，全书的编写得到了诸多同志的帮助，同时，书中也借鉴了相关专业资料，在此一并表示感谢！

鉴于时间仓促，书中不足之处难免，敬请读者批评指正。

编著者

**第1章 认识电路**

1

- 1.1 直流电路 ..... 1
  - 1.1.1 电路的组成及电路模型 ..... 1
  - 1.1.2 电路中的物理量 ..... 2
  - 1.1.3 电路的连接 ..... 6
- 1.2 交流电路 ..... 11
  - 1.2.1 正弦交流电的基本概念 ..... 11
  - 1.2.2 电容器 ..... 15
  - 1.2.3 电感器 ..... 20
  - 1.2.4 单相交流电路 ..... 21
  - 1.2.5 三相交流电路及其连接 ..... 25
- 1.3 电气图的组成及电工常用符号 ..... 29
  - 1.3.1 电气图的组成 ..... 29
  - 1.3.2 电工常用文字符号 ..... 30
  - 1.3.3 电工常用图形符号 ..... 41

**第2章 认识电子电路器件**

44

- 2.1 晶体二极管 ..... 44
- 2.2 晶体三极管 ..... 47
- 2.3 晶体二极管整流与滤波电路 ..... 48
  - 2.3.1 单相整流电路 ..... 48
  - 2.3.2 三相整流电路 ..... 52
  - 2.3.3 滤波电路 ..... 52

2.4	晶体三极管基本放大电路	53
2.4.1	共发射极基本放大电路	53
2.4.2	共集电极放大电路	57
2.4.3	共基极放大电路	58
2.4.4	三极管的检测	58
2.5	直流稳压电源	59
2.5.1	稳压管稳压电路	59
2.5.2	串联可调试稳压电路	60
2.5.3	三端集成稳压器	61
2.6	晶闸管	64

## 第3章 认识电气设备及其符号

66

3.1	低压开关设备	66
3.1.1	开关	66
3.1.2	低压断路器	69
3.1.3	接触器	76
3.1.4	主令电器（按钮、行程开关、接近开关）	82
3.2	保护电器	87
3.2.1	熔断器	87
3.2.2	热继电器	91
3.2.3	电流继电器	95
3.2.4	电压继电器	97
3.2.5	中间继电器	98
3.2.6	时间继电器	99
3.2.7	速度继电器	103
3.2.8	固态继电器	104
3.2.9	压力继电器	105

3.2.10 温度继电器 .....	106
--------------------	-----

## 第4章 照明电路与电能表安装电路

108

4.1 照明控制电路 .....	108
4.1.1 白炽灯控制电路 .....	108
4.1.2 荧光灯控制电路 .....	109
4.1.3 照明线路、照明器具及开关和插座的安装 .....	112
4.1.4 照明电路常见故障与检修 .....	119
4.2 电能表安装电路 .....	122
4.2.1 单相电能表直接接入式电路 .....	122
4.2.2 单相电能表电流互感器接入式电路 .....	123
4.2.3 三相三线有功电能表直接接入式电路 .....	125
4.2.4 三相三线有功电能表电流互感器接入式电路 .....	126
4.2.5 三相三线有功电能表电压、电流互感器接入式 电路 .....	127
4.2.6 三相四线有功电能表直接接入式电路 .....	128
4.2.7 三相四线有功电能表电流互感器接入式电路 .....	128
4.2.8 三相四线有功电能表电压、电流互感器接入式 电路 .....	129
4.2.9 三相无功电能表接线电路 .....	129
4.2.10 单相电子式电能表接线电路 .....	130
4.2.11 三相三线电子式电能表接线电路 .....	133
4.2.12 三相四线电子式电能表接线电路 .....	133

## 第5章 单相电动机和直流电动机控制电路

135

5.1 单相异步电动机启动与运行控制电路识图 .....	135
5.2 单相异步电动机反转控制电路与调速控制电路识图 .....	138
5.2.1 单相异步电动机反转控制电路 .....	138

5.2.2	单相异步电动机调速控制电路	138
5.3	单相异步电动机几种常见控制电路	141
5.4	直流电动机的启动与制动控制电路	144
5.4.1	直流电动机基本原理电路	144
5.4.2	直流电动机的启动电路	146
5.4.3	直流电动机调速与反转控制电路	148
5.4.4	直流电动机的制动控制电路	150

## 第6章 三相交流电动机控制电路

154

6.1	电动机点动与连续运行控制电路	154
6.2	电动机正反向连续运行控制电路	157
6.3	电动机启停多地控制电路	159
6.4	电动机顺序启停控制电路	160
6.5	自动往返控制电路	161
6.6	定子绕组串电阻降压启动控制电路	162
6.7	星形-三角形降压启动控制电路	164
6.8	自耦变压器降压启动控制电路	165
6.9	延边三角形降压启动控制电路	167
6.10	机床电气控制电路	169

## 第7章 电路安全技术措施

188

7.1	输配电线路与安全	188
7.1.1	导线的选择	188
7.1.2	室外电气线路的敷设及安全	190
7.1.3	室内电气线路敷设及安全	201
7.1.4	电力电缆的敷设及安全	205
7.1.5	导线的安全连接	210
7.2	防止触电的技术措施	218

7.2.1	绝缘	218
7.2.2	屏护	218
7.2.3	间距	219
7.2.4	接地与接零	219
7.2.5	装设漏电保护装置	223
7.2.6	采用安全电压	223
7.2.7	加强安全用电常识	223
7.3	电气设备的防火与防雷	224
7.3.1	电气设备的防火	224
7.3.2	防雷	225

# 第1章

## 认识电路

### 1.1 直流电路



#### 1.1.1 电路的组成及电路模型

(1) 电路的组成 电路是把电源、负载和中间环节按一定的方式连接起来，完成能量的传输、转换或信息的处理、传递。

电源可将其他形式的能量转换成电能，是向电路提供能量的装置，如发电机、电池等。

负载是指电路中接收电能的装置，可将电能转换成其他形式的能量，如电动机、电灯等各类用电器。

中间环节是将电源和负载连成通路的输电导线、控制电路通断的开关设备和保护电路的设备等。

(2) 理想电路元件 实际的电路是由一些按需要起不同作用的元件或器件所组成的，如发电机、变压器、电动机、电池、电阻器等，它们的电磁性质是很复杂的。为了便于分析与计算实际电路，在一定条件下常忽略实际部件的次要因素而突出其主要电磁性质，把它看成理想电路元件。例如一个白炽灯在有电流通过时，由于其电阻性而消耗电能，由于其电感性而产生磁场储存磁场能量，突出其主要的电阻

性，忽略其次要的电感性，故可把白炽灯等效为一个电阻，如图 1-1 所示。

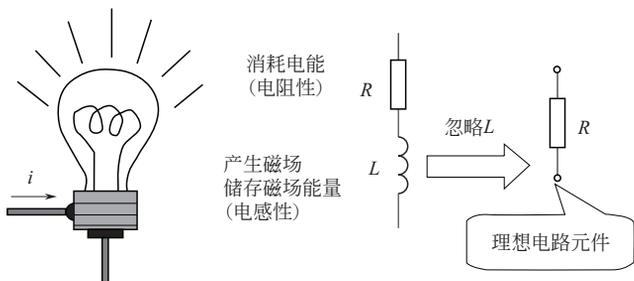


图 1-1 白炽灯抽象为理想电路元件

理想电路元件又分为有源和无源两大类，无源元件如电阻、电感、电容等，有源元件有电压源、电流源。

(3) 电路模型 将实际电路中的元件用理想电路元件表示、连接，称为实际电路的电路模型。图 1-2 为白炽灯照明电路模型，图 1-3 为日光灯照明电路模型。

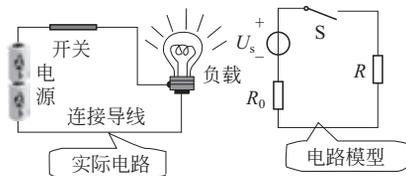


图 1-2 白炽灯照明电路模型

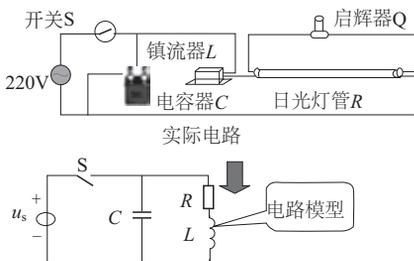


图 1-3 日光灯照明电路模型

## 1.1.2 电路中的物理量

(1) 电流 带电粒子或电荷在电场力作用下的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度表示，简称电流。电流强度等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。即

$$i = \frac{dq}{dt} \text{ 或 } I = \frac{Q}{t}$$

大写  $I$  表示直流电流，小写  $i$  表示电流的一般符号。电流的单位有：A（安培）、kA（千安）、mA（毫安）、 $\mu\text{A}$ （微安）、nA（纳安），它们之间的换算关系是：

$$1\text{kA}=10^3\text{A}, 1\text{mA}=10^{-3}\text{A}, 1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$$

电流的实际方向是规定为正电荷的运动方向或负电荷运动的方向。

(2) 电压 电压是电路中产生电流的根本原因。大写  $U$  表示直流电压，小写  $u$  表示电压的一般符号。电压的单位有 V（伏特）、kV（千伏）、mV（毫伏）、 $\mu\text{V}$ （微伏），它们之间的换算关系是：

$$1\text{kV}=10^3\text{V}, 1\text{mV}=10^{-3}\text{V}, 1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$$

(3) 电源和电动势 电源的作用是把其他形式的能转换成电能。一个电源能够使电流持续不断地沿电路流动，就是因为它有一个电源力能把正电荷从电源负极不断移到正极，使电路两端维持一定的电压。接通负载后，电源外电路中电流从正极流向负极，在电源内部电流则从负极流向正极。

电动势就是电源没接负载，保持开路时两端的电压，一般用  $E$  表示，电动势的单位也是伏特（V）。

#### (4) 电阻和电阻定律

① 电阻和电阻定律 电阻是表示导体对电流起阻碍作用的参数，用  $R$  表示。在一定的温度下，金属导体的电阻由它的长度、截面积及材料决定，即

$$R = \rho l / s$$

式中， $l$  为导体长度， $s$  为截面积， $\rho$  为材料的电阻率， $\rho$  的单位为  $\Omega \cdot \text{m}$ 。

在 SI 中，电阻的单位为欧姆，简称欧（ $\Omega$ ）。常用单位还有千欧（k $\Omega$ ）、兆欧（M $\Omega$ ）等，换算关系如下。

$$1\text{k}\Omega=10^3\Omega \quad 1\text{M}\Omega=10^6\Omega$$

常见电阻器的电路符号如图 1-4 与图 1-5 所示。

#### ② 电阻器的标识方法

a. 文字符号法。文字符号法是将阿拉伯数字和字母符号按一定规律组合起来表示标称阻值及允许偏差的方法。其优点是认读方便、直观，提高了数值标记的可靠性，多用在大功率电阻器上。

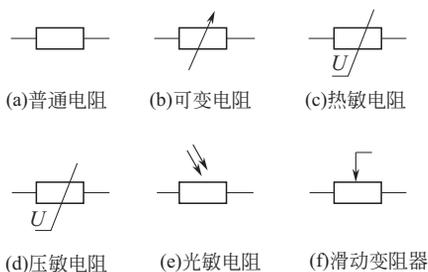


图 1-4 常见电阻器的电路符号

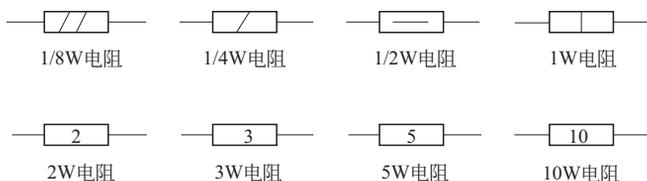


图 1-5 电阻器额定功率在电路图中的表示方法

**例 1-1**  $5R1$  表示  $5.1\Omega$ , R 表示欧姆 ( $\Omega$ ); “ $56K$ ” 表示  $56k\Omega$ , “ $5K6$ ” 表示  $5.6k\Omega$ 。K、M、G、T 表示级数。

误差等级所使用的字母及其含义如表 1-1 所示。

表 1-1 电阻值允许误差与字母对照表

字母	允许误差	字母	允许误差
W	$\pm 0.05\%$	G	$\pm 2\%$
B	$\pm 0.1\%$	J	$\pm 5\%$
C	$\pm 0.25\%$	k	$\pm 10\%$
D	$\pm 0.5\%$	M	$\pm 20\%$
F	$\pm 1\%$	N	$\pm 30\%$

b. 色环标识法。色标法分为四色环色标法和五色环色标法, 如图 1-6 所示。

**例 1-2** 色环电阻识读法, 如图 1-7 所示。

色环电阻的色标符号及意义如表 1-2 所示。

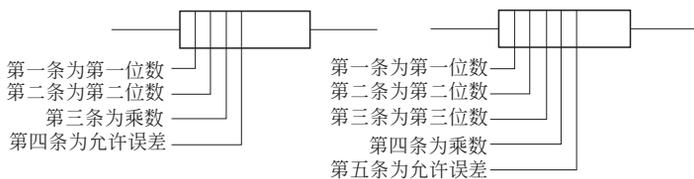


图 1-6 电阻器的四色环和五色环色标表示法

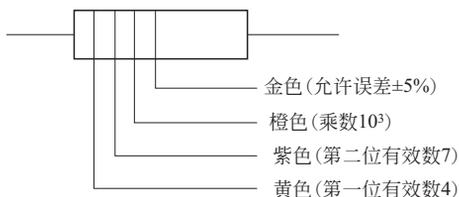


图 1-7 色环电阻识读举例

表 1-2 色环电阻的色标符号及意义

颜色	有效数字	倍率	允许误差	颜色	有效数字	倍率	允许误差
棕色	1	$10^1$	$\pm 1\%$	灰色	8	$10^8$	—
红色	2	$10^2$	$\pm 2\%$	白色	9	$10^9$	$\pm 50\% \sim \pm 20\%$
橙色	3	$10^3$	—	黑色	0	$10^0$	—
黄色	4	$10^4$	—	金色	—	$10^{-1}$	$\pm 5\%$
绿色	5	$10^5$	$\pm 0.5\%$	银色	—	$10^{-2}$	$\pm 10\%$
蓝色	6	$10^6$	$\pm 0.2\%$	无色	—	—	$\pm 20\%$
紫色	7	$10^7$	$\pm 0.1\%$				

### (5) 电能和电功率

① 电能 电能的转换是在电流做功的过程中进行的，因此电能的多少可以用电功来度量，其计算公式为：

$$W = UIt$$

式中， $W$  表示电功， $U$  为电压， $I$  为电流， $t$  为时间。电压的单位为伏特 (V)，电流单位为安培 (A)，时间的单位用秒 (s) 时，电能 (或电功) 的单位是焦耳 (J)。对于纯电阻电路  $W = I^2 Rt$ ，对非纯电阻电路不成立。

日常生产和生活中，电能（或电功）也常用度作为量纲：

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = \text{kV} \cdot \text{A} \cdot \text{h}$$

② 电功率 单位时间内电流所做的功称为电功率，用“ $P$ ”表示，即：

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

功的单位为焦耳，时间单位为秒时，电功率的单位是瓦（W），还有千瓦（kW）。

$$1 \text{ W} = 10^{-3} \text{ kW}$$

$$\text{对于纯电阻性负载：} P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

### 1.1.3 电路的连接

#### 1.1.3.1 电阻的连接

(1) 电阻的串联 若干个电阻顺次连接，中间无分叉的连接方式叫电阻串联，如图 1-8 (a) 所示。

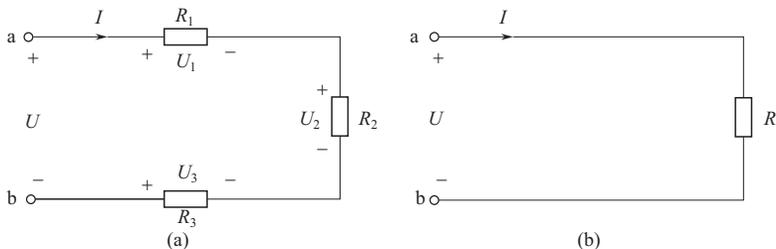


图 1-8 电阻的串联

电阻串联电路的特点：

- ① 通过各电阻的电流相同。
- ② 总电压等于各电阻两端电压之和。

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

- ③ 串联电路的总电阻（等效电阻）等于各电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

等效电路如图 1-8 (b) 所示。

- ④ 串联电阻的分压作用：各电阻上的电压与它们的阻值成正比

比, 即

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

因为

$$U_1 = R_1 I = \frac{R_1}{R} U \quad U_2 = R_2 I = \frac{R_2}{R} U \quad U_3 = R_3 I = \frac{R_3}{R} U$$

所以

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

⑤ 串联电阻的功率分配关系

因为

$$UI = U_1 I + U_2 I + U_3 I$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_1 = I^2 R_1; P_2 = I^2 R_2; P_3 = I^2 R_3$$

所以

$$R_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

**例 1-3** 如图 1-9 所示, 用一个满刻度偏转电流为  $50\mu\text{A}$ , 电阻  $R_g$  为  $2\text{k}\Omega$  的表头制成  $100\text{V}$  量程的直流电压表, 应串联多大的附加电阻  $R_f$ ?

**解:** 满刻度时表头承受的电压为

$$U_g = R_g I = 2\text{k}\Omega \times 50\mu\text{A} = 0.1\text{V}$$

附加电阻需分担电压为

$$U_f = 100 - 0.1 = 99.9\text{V}$$

$$R_f = \frac{U_f}{I} = \frac{99.9}{0.00005} = 1998\text{k}\Omega$$

(2) 电阻的并联 如图 1-10 (a) 所示电阻的连接方法叫电阻的并联。

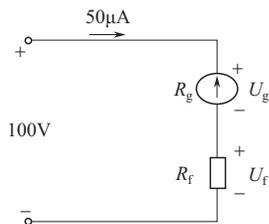


图 1-9 例 1-3 图

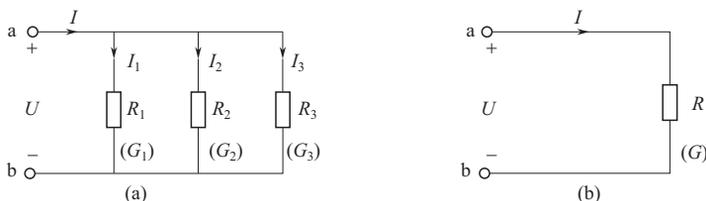


图 1-10 电阻的并联

电阻并联电路的特点：

① 电路中各个电阻两端的电压相同。

②  $G = G_1 + G_2 + G_3$  ( $G$  为电导，是电阻的倒数，即  $G = \frac{1}{R}$ )，即

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

③ 总电流与各分电流的关系

因为  $I = UG$ ； $I_1 = UG_1$ ； $I_2 = UG_2$ ； $I_3 = UG_3$

而

$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

所以

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 : I_2 : I_3 = G_1 : G_2 : G_3$$

④ 并联电阻的功率分配关系

$$UI = UI_1 + UI_2 + UI_3$$

即

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

各电导所消耗的功率可以写成如下形式：

$$P_1 = U^2 G_1 ; P_2 = U^2 G_2 ; P_3 = U^2 G_3$$

所以

$$P_1 : P_2 : P_3 = G_1 : G_2 : G_3$$

上式说明各并联电导所消耗的功率与该电导的大小成正比，即与电阻成反比。

⑤ 两电阻并联时的等效电阻计算及分流公式

$$R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} ; I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I ; I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

**例 1-4** 电路如图 1-11 所示，用一个满刻度偏转电流为  $50\mu\text{A}$ ，电阻  $R_g$  为  $2\text{k}\Omega$  的表头制成量程为  $50\text{mA}$  的直流电流表，应并联多大的分流电阻  $R_2$ ？

**解：**由题意已知， $I_1 = 50\mu\text{A}$ ， $R_1 = R_g = 2\ 000\Omega$ ， $I = 50\text{mA}$

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

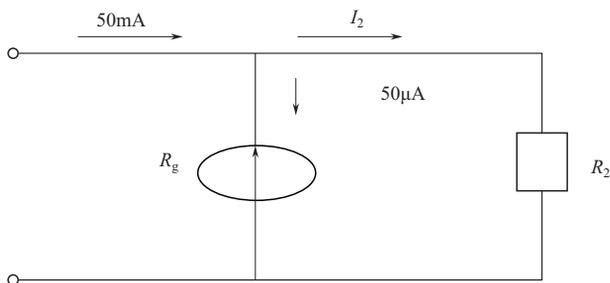


图 1-11 例 1-4 图

$$50 = \frac{R_2}{2000 + R_2} \times 50 \times 10^3$$

得  $R_2 \approx 2.002\Omega$

(3) 电阻的混联 既有电阻串联又有电阻并联的电路称为电阻混联电路，图 1-12 就是一个电阻混联电路。对于电阻混联电路，可以应用等效的概念，逐次求出各串、并联部分的等效电路，从而最终将

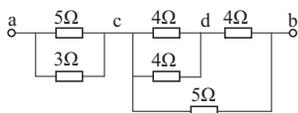


图 1-12 电阻混联示例图

其简化成一个无分支的等效电路，通常称这类电路为简单电路；对于不能用串、并联的方法简化的电路，则称为复杂电路。

(4) 三角形连接与星形连接 三角形连接：三个电阻元件首尾相接构成一个三角形，如图 1-13 (a) 所示。星形连接：三个电阻元件的一端连接在一起，另一端分别连接到电路的三个节点上，如图 1-13 (b) 所示。

当端口电压  $U_{12}$ 、 $U_{23}$ 、 $U_{31}$  和电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  都分别相等时，则三角形连接和星形连接可等效变换。

已知星形连接电阻求三角形连接电阻，公式为：

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$$

$$R_{23} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

$$R_{31} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}$$

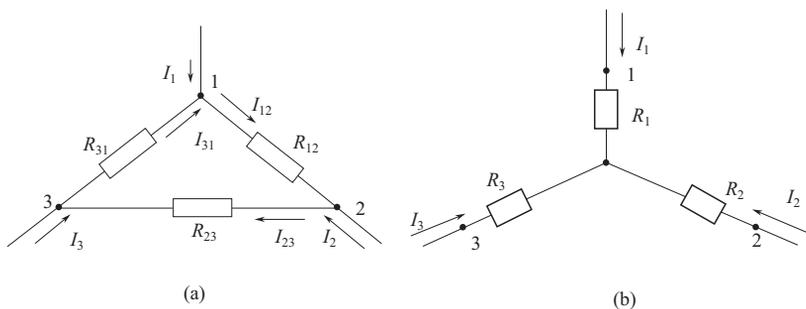


图 1-13 三角形连接与星形连接

已知三角形连接电阻求星形连接电阻，公式为：

$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; R_2 = \frac{R_{23}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; R_3 = \frac{R_{31}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

### 1.1.3.2 电池的连接

单个电池提供的电压是一定的，单个电池提供的电流也是一定的，在实际应用中，常需要较高的电压和较大的电流，这需要将电池按一定的规律连接起来，组成电池组，以便提高供电电压或增大供电电流。

(1) 电池的串联 电池的串联如图 1-14 所示。

① 第一个电池的正极就是电池组的正极，最后一个电池的负极就是电池组的负极；

②  $N$  个电动势为  $E$ ，内阻为  $r$  的相同电池串联后，电动势  $E_{\text{串}} = NE$ ，内阻  $r_{\text{串}} = Nr$ ，当负载电阻为  $R$  时，串联电池组输出的总电流为  $I = E_{\text{串}} / (R + r_{\text{串}}) = NE / (R + Nr)$ ；

③ 因为串联电池组的电动势高于单个电池电动势，所以当用电器的额定电压高于单个电池电动势时，可用串联电池组供电，但用电器的额定电流必须小于电池允许通过的最大电流。

(2) 电池的并联 电池的并联如图 1-15 所示。



图 1-14 电池的串联

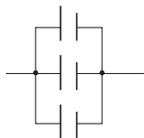


图 1-15 电池的并联

① 正负极不变；

② 若  $N$  个电动势为  $E$ ，内阻为  $r$  的电池并联，电动势  $E_{\text{并}} = E$ ，内阻  $r_{\text{并}} = r/N$ ，并联电池组对负载  $R$  输出的总电流为

$$I = E_{\text{并}} / (R + r_{\text{并}})$$

③ 并联电池组的额定电流为各个单电池的额定电流之和，电池组可提供较大电流。

## 1.2 交流电路



### 1.2.1 正弦交流电的基本概念

#### 1.2.1.1 交流电

凡大小和方向都随时间变化的电压和电流，称为交流电压和交流电流。交流电流、交流电压、交流电动势统称为交流电。用字母“AC”或符号“~”表示。

交流发电机是根据法拉第电磁感应定律制成的，其简单结构如图 1-16 所示，是一个线圈在磁场中旋转做切割磁力线运动而发生电磁感应现象。在中性面没有切割磁力线，输出电压为零， $\alpha$  是旋转角度，也叫相位， $\omega$  是旋转角频率，当  $\alpha = \pi/2$  时，感应电动势取得最大值，记为  $E_m$ ，则任意时刻输出的电动势为

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

它是按正弦规律变化的，叫正弦交流电，其波形图如图 1-17 所示。

#### 1.2.1.2 周期、频率、角频率

(1) 周期 交流电每循环一次所需要的时间叫周期，周期用符号  $T$  来表示，单位是秒 (s)，如图 1-18 所示。

(2) 频率 正弦量每秒钟变化的周数称为频率，用“ $f$ ”表示，单位为赫兹 (Hz)，还有千赫兹 (kHz)、兆赫兹 (MHz)， $1\text{kHz} = 10^3\text{Hz}$ ， $1\text{MHz} = 10^6\text{Hz}$ 。周期和频率互成倒数，即

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

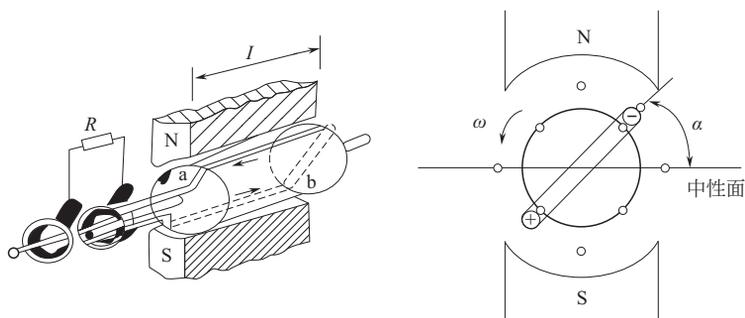


图 1-16 交流发电机的结构

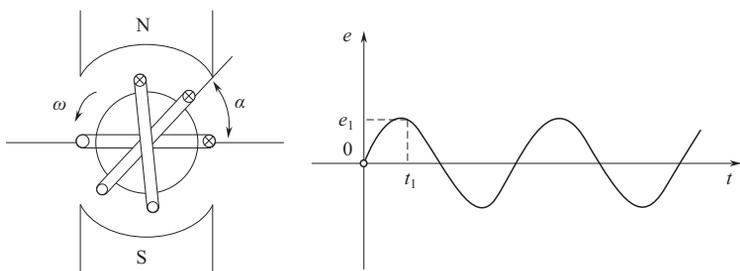


图 1-17 正弦交流电

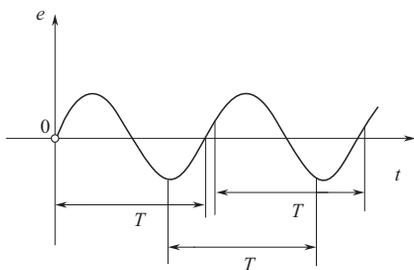


图 1-18 周期

如图 1-19 所示，频率  $f=2\text{Hz}$ ，周期  $T=0.5\text{s}$ 。

(3) 角频率 交流电每秒钟变化的角度叫角频率或角速度，用  $\omega$  表示，单位是弧度/秒，在一个周期  $T$  内，发电机线圈所转过的角度为  $2\pi$  (弧度)。

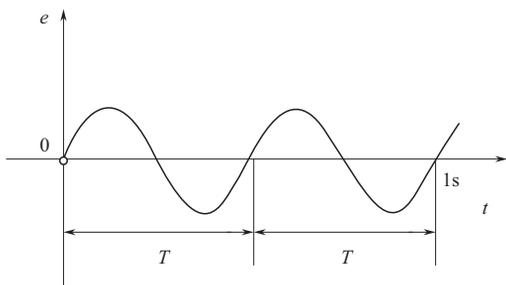


图 1-19 频率

$$\begin{aligned}\alpha &= \omega t \\ \omega &= \alpha / t \\ \omega &= \frac{2\pi}{T} = 2\pi f\end{aligned}$$

### 1.2.1.3 最大值、有效值、平均值

(1) 最大值 交流量任一时刻的值称为瞬时值，瞬时值中的最大值（指绝对值）称为正弦量的振幅值，又称峰值。 $I_m$ 、 $U_m$ 、 $E_m$  分别表示正弦电流、电压、电动势的振幅值。电动势的振幅值如图1-20所示。

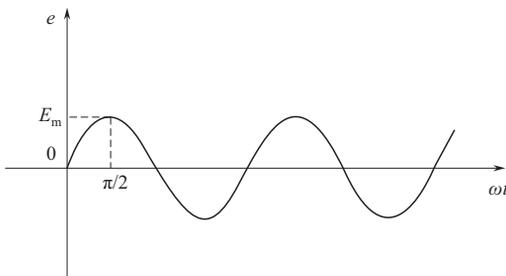


图 1-20 电动势的振幅

(2) 有效值 交流电的有效值就是与其热效应相等的直流电流的量值，用  $E$ 、 $I$ 、 $U$  来表示。

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

(3) 平均值 交流电在半周期内，通过电路中导体横截面的电量

Q 和一直流电在同样时间内通过该电路中导体横截面的电量相等时, 这个直流电的数值就称为该交流电在半周期内的平均值, 用  $E_{av}$ 、 $I_{av}$ 、 $U_{av}$  来表示。

$$E_{av} = \frac{E_m}{\frac{\pi}{2}}$$

#### 1.2.1.4 相位与相位差

(1) 相位 如图 1-21 所示,  $e = E_m \sin(\omega t + \varphi_1)$ ,  $(\omega t + \varphi_1)$  叫做该交流电的相位, 相位  $(\omega t + \varphi_1)$  是随时间  $t$  变化的, 单位是弧度或度。当  $t=0$  时, 角度等于  $\varphi_1$ , 则  $\varphi_1$  称为初相。

(2) 相位差 如图 1-22 所示, 两个同频率交流电的相位之差叫相位差, 用  $\varphi$  表示。

$$\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

可见相位差等于初相之差。

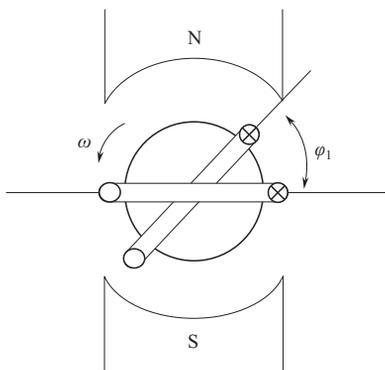


图 1-21 相位

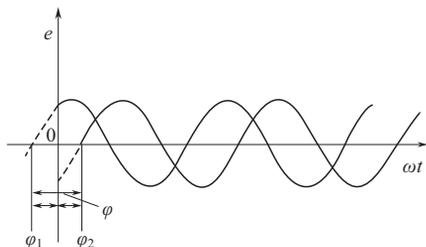


图 1-22 相位差

图 1-23 为相位差的几种情况。

- ① 图 1-23 (a) 中,  $u$  与  $i$  的相位始终相同——同相;
- ② 图 1-23 (b) 中,  $u_1$  的相位超前于  $u_2$ ;
- ③ 图 1-23 (c) 中,  $i_1$  与  $i_2$  的相位始终相反——反相;
- ④ 图 1-23 (d) 中,  $u$  的相位超前  $i$   $90^\circ$ ——正交。

(3) 交流电的三要素 最大值、角频率、初相叫正弦交流电的三要素。

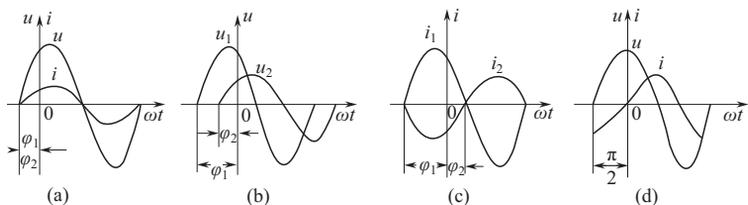


图 1-23 相位差的几种情况

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_1)$$

最大值

角频率

初相

## 1.2.2 电容器

(1) 电容器的构造及符号 电容器的结构如图 1-24 所示。从电容器的构造可以看出，任何彼此绝缘而又互相靠近的导体都可看作一个电容器。电容器用如图 1-25 所示的符号表示。

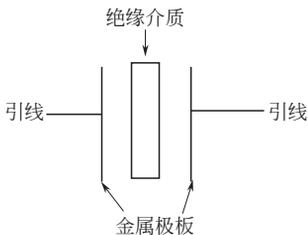


图 1-24 电容器的结构

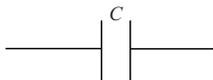


图 1-25 电容器的符号

(2) 电容器的特性及电容 电容器最基本的特性是能够储存电荷。如图 1-26 所示，当开关打向 1 点，把电容器的两个极板分别接到电源  $E$  的正、负极上时，电容器的两极板间便有电压  $U$ ，在电场力的作用下，自由电子定向运动，使得 A 极板带有正电荷，B 极板带有负电荷，电荷移动直到两极板间的电压与电源电动势相等为止。这种使电容器带电的过程叫充电，这时总是使它的一个极板带正电，另一个极板带等量的负电，每个极板所带电量的绝对值叫做电容器所

带的电量。

当开关打向 2 点时，电容器两极板上的电荷互相中和，电容器就不带电了，这个过程叫放电。

电容器极板上所存储的电荷随着外接电压的增高而增加。对某一电容器而言，其中任意一个极板所存储的电荷量与两极板间的电压的比值是一个常量，但不同的电容器，这一比值不同，常用这一比值来表示电容器存储电荷的本领。如果电容器两极板间的电压是  $U$ ，电容器任一极板上所带电量为  $Q$ ，那么  $Q$  与  $U$  的比值叫电容器的电容量。简称电容，用“ $C$ ”表示，即

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

电容的单位是法拉，简称法，用“F”表示。常用单位有微法 ( $\mu\text{F}$ ) 和皮法 ( $\text{pF}$ )。

$$1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$$

$$1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$$

注：① 电容是电容器的固有特性，外界条件变化，电容器是否带电，或带多少电都不会使电容改变，只有当电容器两极板间的正对面积、极板间的距离或极板间的绝缘材料变化时，它的电容才会改变。

$$C = \epsilon \frac{S}{D}$$

式中， $C$  为电容； $S$  为电容器极板面积； $D$  为电容器两极板间的距离； $\epsilon$  为介电常数。

② 电容器是存储电荷的设备，而电容量是衡量电容器在一定外加电压作用下存储电荷的能力。

③ 电容器充放电时，电路中有电流，但电荷没有通过电容器的绝缘介质。

### (3) 电容器的参数

① 额定工作电压 额定工作电压是指电容器能长时间地稳定工

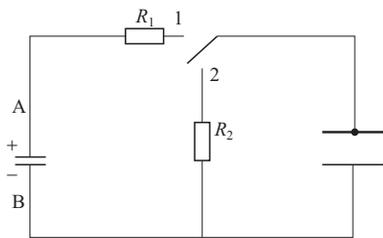


图 1-26 电容器的充、放电

作，并且保证电介质性能良好的直流电压的数值。额定工作电压也称耐压。电容器上所标的电压就是额定工作电压，如果把电容器接到电路中，必须保证电容器的额定工作电压不低于交流电压的最大值，否则电容器会被损坏。

② 标称容量和允许误差 电容器所标明的电容量的值叫做标称容量。电容器批量生产过程中，受制于诸多因素的影响，实际容量与标称容量之间总有一定的误差。

(4) 电容器的分类 电容器是一种储存电能的元件，在电子电路中起到耦合、滤波、隔直流和调谐等作用。电容器一般分为无极性的普通电容器和有极性的电解电容器，电解电容器在使用时一定要注意其极性，正极接高电位，负极接低电位，否则容易损坏。电解电容器的正、负极性在实物上一般都已标出。普通电容器分固定电容器、可变电容器、微调电容器。按介质分类：纸介电容、云母、陶瓷、铝电解电容、空气电容、真空电容等。常见电容器的符号如图 1-27 所示。

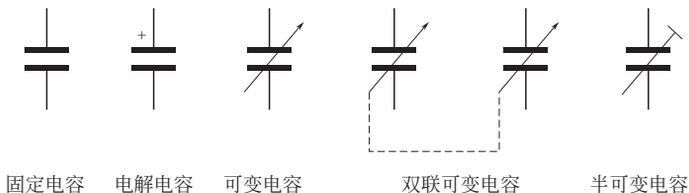


图 1-27 常见电容器的符号

#### (5) 电容器主要参数的标注方法

① 直标法 直标法是指在电容器的表面直接用数字或字母标注标称容量、额定电压及允许偏差等主要技术参数的方法，如图 1-28 所示（也有不标单位的直接表示法，如：0.01、2200 等）。

② 文字符号法 文字符号法是用特定符号和数字表示电容器的容量、耐压、误差的方法。一般数字表示有效数值，字母表示数值的量级。常用的字母有 m、 $\mu$ 、n、p 等，字母 m 表示毫法， $\mu$  表示微法 ( $\mu\text{F}$ )，n 表示纳法 (nF)，p 表示皮法 (pF)。

例如：10 表示标称容量为 10F，10p 表示标称容量为 10pF 等。字母有时也表示小数点，如 p33 表示 0.33pF，2p2 表示 2.2pF，3 $\mu$ 3 表示 3.3 $\mu\text{F}$ 。

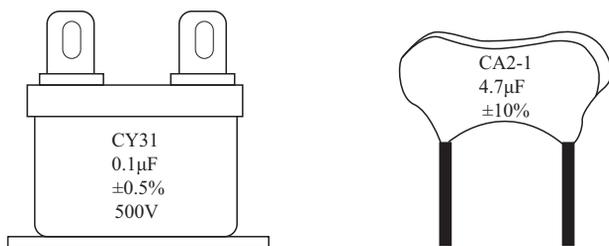


图 1-28 直标法

③ 数码法 用 3 位数字表示时，前两位数字表示标称容量的有效数字，第三位表示有效数字后面零的个数，单位为皮法（pF）。如 101、103 等。

如：224 表示  $0.22\mu\text{F}$ ，102 表示  $1000\text{pF}$ 。有时也在数字前面加字母 R 或 p 表示零点几微法或皮法，如 p33 表示  $0.33\text{pF}$ ，R22 表示  $0.22\mu\text{F}$ 。

#### (6) 电容器的连接

① 电容的并联 电容的并联如图 1-29 所示。对于线性电容元件有：

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

因为

$$q = Cu$$

$$q_1 = C_1 u$$

$$q_2 = C_2 u$$

$$q_3 = C_3 u$$

所以

$$Cu = (C_1 + C_2 + C_3)u$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

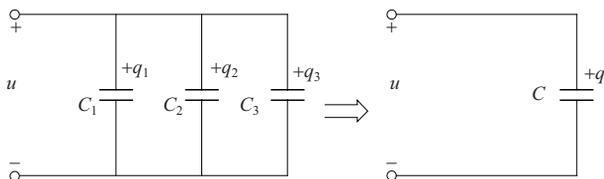


图 1-29 电容的并联

当电容器的耐压值符合要求，但容量不够时，可将几个电容并联。

② 电容的串联 电容的串联如图 1-30 所示。

$$u = u_1 + u_2 + u_3$$

对于线性电容元件电容串联时各电容所带的电荷量都为  $q$ 。所以

$$u = \frac{q}{C}; u_1 = \frac{q}{C_1}; u_2 = \frac{q}{C_2}; u_3 = \frac{q}{C_3}$$

$$\frac{q}{C} = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) q$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

即电容串联的等效电容的倒数等于各电容倒数之和。电容的串联使总电容值减少。各电容分得的电压为：

$$u_1 = \frac{C}{C_1} u; u_2 = \frac{C}{C_2} u; u_3 = \frac{C}{C_3} u$$

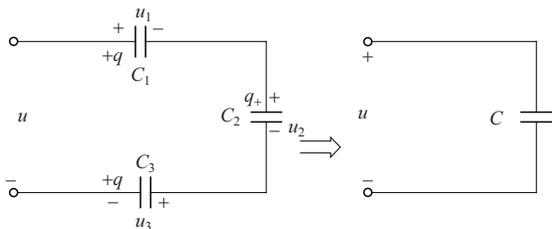


图 1-30 电容的串联

如果是两个电容串联，则其分压值为：

$$u_1 = \frac{C}{C_1} u = \frac{C_2}{C_1 + C_2} u$$

$$u_2 = \frac{C}{C_2} u = \frac{C_1}{C_1 + C_2} u$$

$$u_1 : u_2 = C_2 : C_1$$

**提示：**当电容器的容量足够而耐压值不够时，可将电容器串联使用，但对小电容分得的电压值大这一点应特别注意。

**例 1-5** 电容都为  $0.3\mu\text{F}$ ，耐压值同为  $250\text{V}$  的三个电容器  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  的连接如图 1-31 所示。试求等效电容，端口电压值不能超过

多少?

解:  $C_2$ 、 $C_3$  并联等效电容:  $C_{23} = C_2 + C_3 = 0.6\mu\text{F}$

总的等效电容

$$C = \frac{C_1 C_{23}}{C_1 + C_{23}} = \frac{0.3 \times 0.6}{0.3 + 0.6} = 0.2\mu\text{F}$$

$C_1$  小于  $C_{23}$ , 则  $u_1 > u_{23}$ , 应保证  $u_1$  不超过其耐压值 250V。当  $u_1 = 250\text{V}$  时,

$$u_{23} = \frac{C_1}{C_{23}} u_1 = \frac{0.3}{0.6} \times 250 = 125\text{V}$$

所以端口电压不能超过

$$u_1 = u_1 + u_{23} = 250 + 125 = 375\text{V}$$

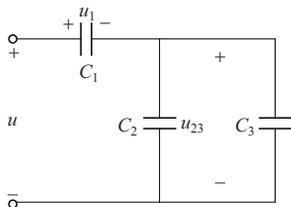


图 1-31 例 1-5 图

### 1.2.3 电感器

(1) 电流的磁效应 1820 年, 丹麦物理学家奥斯特通过实验发现, 不仅磁铁能产生磁场, 电流也能产生磁场。如图 1-32 所示, 导线中通电后, 小磁针会发生偏转, 表明电流也能产生磁场。

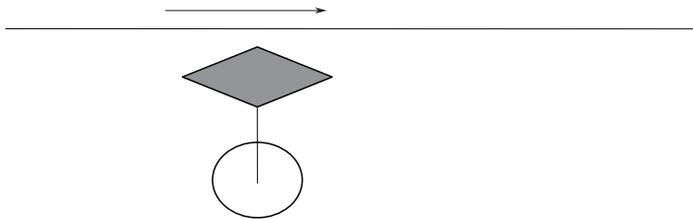


图 1-32 电流的磁效应

通电导体的周围存在着磁场, 这种现象叫电流的磁效应。磁场的强弱和通电导体的电流大小有关, 电流越大, 磁场越强; 它还和其与通电导体的距离有关, 离导体越近, 磁场越强。

(2) 磁场对电流的作用 通电导体周围存在磁场, 通电导体在磁场中将受到磁力的作用。

(3) 电感器 在电子技术和电力工程中, 常常遇到由导线绕制而成的线圈, 叫电感线圈, 也叫电感器, 如图 1-33 所示。

电感线圈可以分为空心电感线圈和铁芯电感线圈两大类,绕在非铁磁性材料做成的骨架上的线圈叫空心电感线圈,在空心电感线圈内放置铁磁材料制成的铁芯,叫做铁芯电感线圈。线圈的参数用电感  $L$  来衡量,电感的单位为亨(利),符号为 H,常用的单位有毫亨(mH)、微亨( $\mu\text{H}$ )。

电感器的符号如图 1-34 所示。线圈通以直流电流后会产生一个磁场,此时相当于一个条形磁铁。

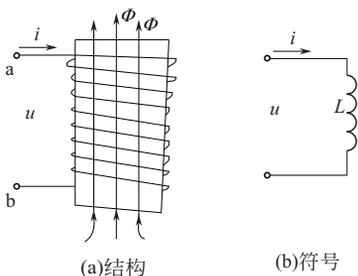


图 1-33 电感器结构及符号



图 1-34 电感器符号

## 1.2.4 单相交流电路

### 1.2.4.1 纯电阻正弦交流电路

纯电阻正弦交流电路如图 1-35 (a) 所示,既无电感又无电容,只包含有线性电阻。日常生活中,白炽灯、电烙铁、电炉子组成的交流电路都可以近似地看成纯电阻电路。纯电阻电路中,电流与电压的相位相同,频率相同,如图 1-35 (b) 所示,其计算关系为:

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad I = \frac{U}{R} \quad i = \frac{u}{R}$$

纯电阻正弦交流电路任一时刻电阻都从电源取用功率,起负载作用,瞬时功率计算关系为:  $p = ui$ ,波形图如图 1-35 (c) 所示,一个周期内平均功率计算关系为:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

### 1.2.4.2 纯电感正弦交流电路

纯电感正弦交流电路如图 1-36 (a) 所示,电压与电流的关系波

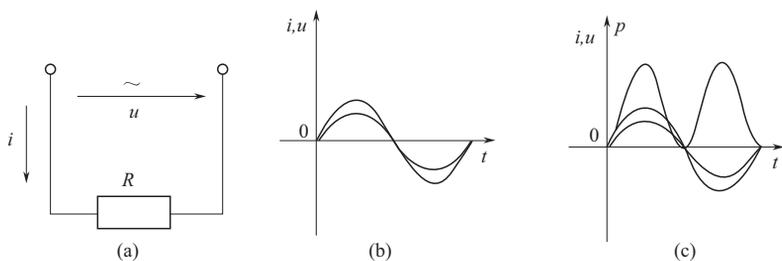


图 1-35 纯电阻正弦交流电路

形图如图 1-36 (b) 所示，频率相同，但电压超前电流相位  $90^\circ$ ，其计算关系为：

$$\begin{aligned}
 i &= I_m \sin \omega t \\
 u &= U_m \sin(\omega t + 90^\circ) \\
 \frac{U}{I} &= \omega L
 \end{aligned}$$

衡量电感线圈对交流电流阻碍作用的物理量为感抗，用  $x_L$  表示，单位为欧姆 ( $\Omega$ )。

$$x_L = \frac{U}{I} = \omega L$$

纯电感正弦交流电路中的电感与电源只进行能量的周期性交换，在一个周期内的平均功率  $P$  为零，用无功功率来衡量能量交换的规模，其波形如图 1-36 (c) 所示，无功功率用  $Q_L$  表示，单位为乏尔 (var)，计算关系为：

$$Q_L = UI = I^2 x_L = \frac{U^2}{x_L}$$

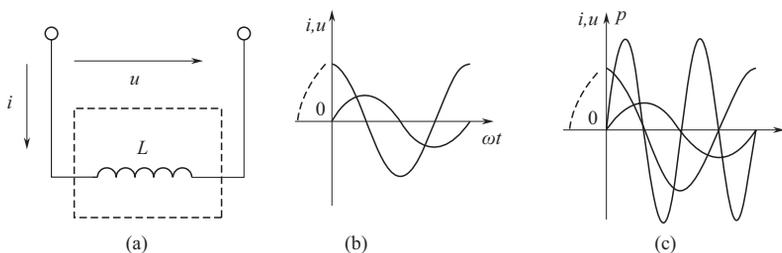


图 1-36 纯电感正弦交流电路

### 1.2.4.3 纯电容正弦交流电路

纯电容正弦交流电路如图 1-37 (a) 所示, 电压与电流的关系波形图如图 1-37 (b) 所示, 频率相同, 但电压滞后电流相位  $90^\circ$ , 其计算关系为:

$$\begin{aligned} u &= U_m \sin \omega t \\ i &= I_m \sin(\omega t + 90^\circ) \\ \frac{U}{I} &= \frac{1}{\omega C} \end{aligned}$$

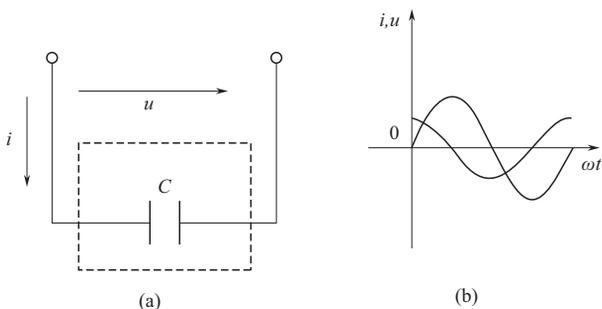


图 1-37 纯电容正弦交流电路

衡量电容器对交流电流阻碍作用的物理量为容抗, 用  $x_C$  表示, 单位为欧姆 ( $\Omega$ )。

$$x_C = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C}$$

纯电容正弦交流电路中的电容与电源只进行能量的周期性交换, 在一个周期内的平均功率  $P$  为零, 用无功功率来衡量能量交换的规模, 无功功率用  $Q_C$  表示。

### 1.2.4.4 RLC 混合正弦交流电路

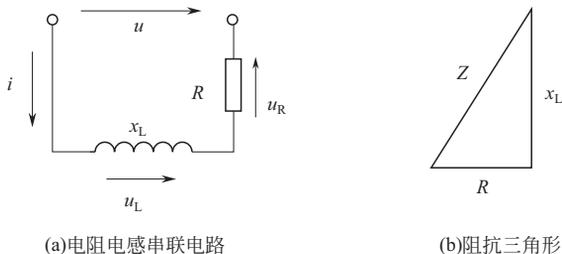
(1) 电阻与电感串联电路 电阻与电感串联电路如图 1-38 (a) 所示, 电路中所有元件对电流的阻碍作用叫阻抗, 阻抗是电路总电压与电流有效值的比值, 用  $Z$  表示, 单位为欧姆 ( $\Omega$ )。图 1-38 (b) 表示阻抗与电阻及感抗之间的关系, 叫阻抗三角形。

$$Z = \sqrt{R^2 + x_L^2}$$

(2) 电阻与电容串联电路 电阻与电容串联电路如图 1-39 (a)

所示，阻抗三角形如图 1-39 (b) 所示， $x_C$  是容抗。

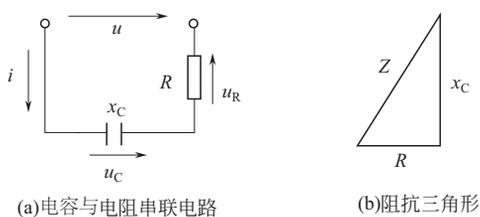
$$Z = \sqrt{R^2 + x_C^2}$$



(a)电阻电感串联电路

(b)阻抗三角形

图 1-38 电阻与电感串联



(a)电容与电阻串联电路

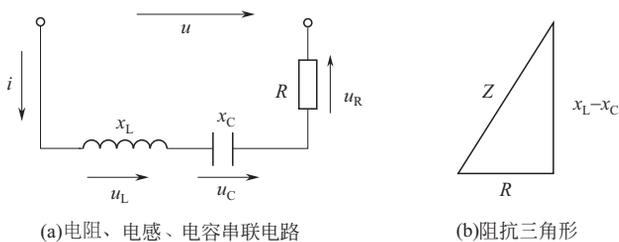
(b)阻抗三角形

图 1-39 电阻与电容串联

(3) 电阻、电感、电容串联电路 电阻、电感、电容串联电路如图 1-40 (a) 所示，阻抗三角形如图 1-40 (b) 所示。

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$x = x_L - x_C$ ， $x$  叫电抗。



(a)电阻、电感、电容串联电路

(b)阻抗三角形

图 1-40 电阻、电感、电容串联

## 1.2.5 三相交流电路及其连接

### 1.2.5.1 三相交流电源

(1) 三相交流电的产生 三相交流发电机的结构示意图如图 1-41 所示, 它有三个绕组:  $A \rightarrow X$ 、 $B \rightarrow Y$ 、 $C \rightarrow Z$  ( $A$ 、 $B$ 、 $C$  分别为三个绕组的首端,  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  分别为三个绕组的尾端), 三个绕组的结构尺寸完全一样, 在空间位置上互差  $120^\circ$ , 转子装有磁极并以  $\omega$  的速度旋转, 由于电磁感应现象三个线圈中便产生三个单相电动势。三个电动势的表达式分别为:

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

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

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

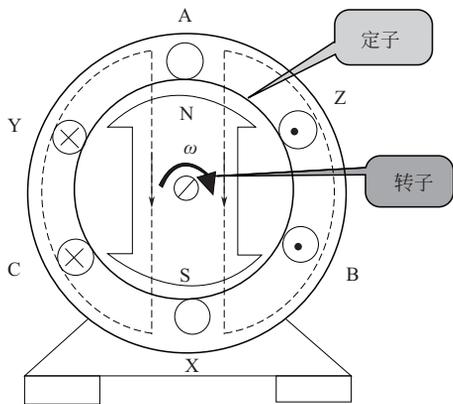


图 1-41 三相交流发电机示意图

由于三个绕组的结构尺寸完全一样, 在空间位置上互差  $120^\circ$ , 所以这三个电动势的大小相等, 相位彼此相差  $120^\circ$ , 这样的三相交流电源叫对称三相交流电源。其波形图如图 1-42 所示。

三相电动势达到最大值的先后次序叫相序,  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  的顺序叫正序,  $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$  的顺序叫逆序。

(2) 三相电源的连接方式 三相电源有星形 (Y) 连接和三角形 ( $\Delta$ ) 连接两种连接方式。星形连接如图 1-43 所示, 它能提供相电压

$U_P$ 与线电压  $U_L$  两种电压。

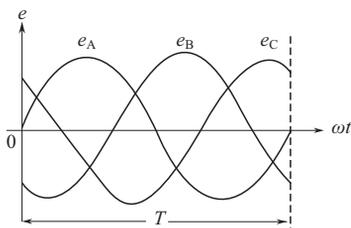


图 1-42 对称三相交流电波形图

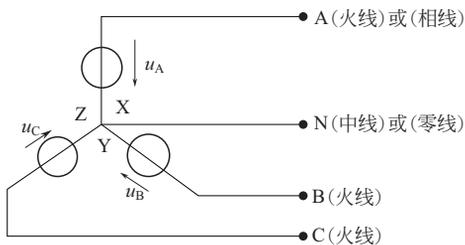


图 1-43 三相四线制供电方式

相电压就是火线与零线之间的电压，如图 1-44 所示。三相相电压的大小相等，但相位彼此相差  $120^\circ$ ，即相电压是对称的。

线电压就是火线与火线之间的电压，如图 1-45 所示，三个线电压也是对称的，且超前与其相对应的相电压  $30^\circ$ 。

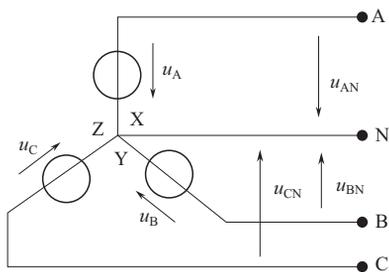


图 1-44 相电压

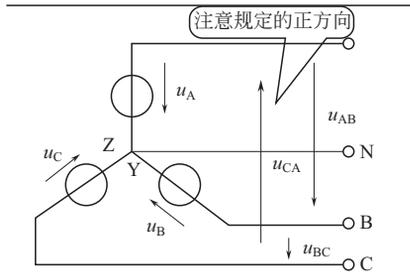


图 1-45 线电压

三相电源绕组还可以连接成三角形，如图 1-46 所示，但电源绕组三角形连接时只能向负载提供一种电压，就是电源线电压  $U_L$ ，等于绕组的感应电压  $U_P$ 。

### 1.2.5.2 三相负载的连接及功率

三相负载有星形 (Y) 和三角形 ( $\Delta$ ) 两种接法。三相负载的一端连在一起与零线相接，另一端分别与火线相接的方式称为星形接法，如图 1-47 所示。三相负载的首尾相连成一个闭环，然后与三根火线相接的方式称为三角形接法，如图 1-48 所示。

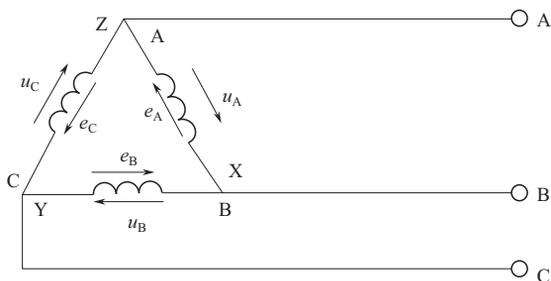
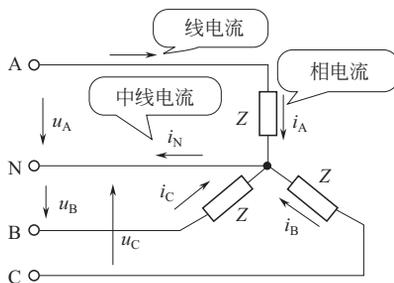

 图 1-46 三相电源三角形 ( $\Delta$ ) 连接


图 1-47 三相负载星形连接

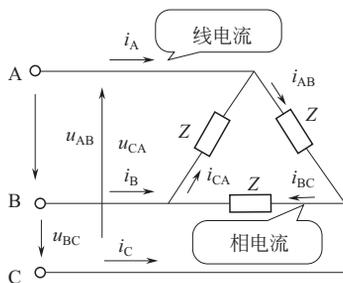


图 1-48 三相负载三角形连接

(1) 三相负载星形 (Y) 连接 Y 接负载的端电压等于电源相电压；负载中通过的电流称为相电流  $I_P$ ；中线上通过的电流称为中线电流  $I_N$ ；火线上通过的电流称为线电流  $I_L$ 。

三相电源对称、三相 Y 接负载也对称的情况下，三相负载电流也是对称的，此时中线电流为零，因此中线可以去掉，变成三相三线制连接方式，如图 1-49 所示。

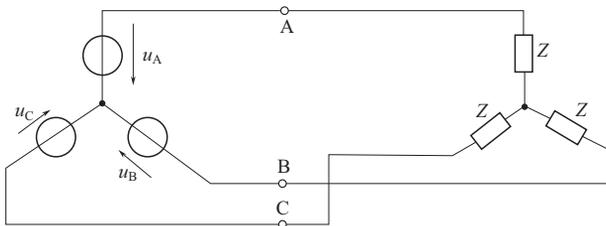


图 1-49 三相三线制连接方式

在图 1-50 所示的三相照明电路中, 当有中线时, 每组灯的数量可以相等也可以不等, 但每盏灯上都得到额定的工作电压 220V。

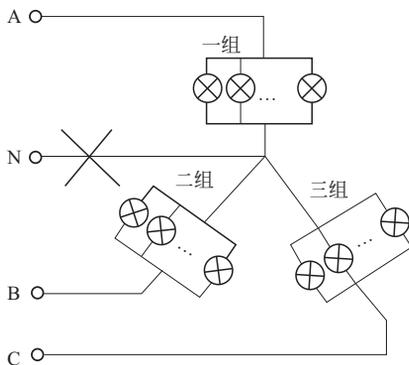


图 1-50 三相照明电路

若三相不对称, 如果中线断开, 设 A 相负载又全部断开, 此时 B、C 两相构成串联, 其端电压为电源线电压 380V。若 B、C 相对称, 各相端电压为 190V, 均低于额定值 220V 而不能正常工作; 若 B、C 相不对称, 则负载多 (电阻小) 的一相分压少而不能正常发光, 负载少 (电阻大) 的一相分压多则易烧损。

由此可得, 中线的作用是使 Y 接不对称三相负载的端电压保持对称, 为了确保零线在运行中不断开, 其上不允许接保险丝也不允许接刀闸。

(2) 三相负载三角形 ( $\Delta$ ) 连接 三相负载三角形 ( $\Delta$ ) 连接如图 1-48 所示,  $\Delta$  接负载的端电压等于电源线电压; 火线上通过的电流称为线电流  $I_L$ ; 负载中通过的电流称为相电流  $I_P$ 。三相电源对称、三相  $\Delta$  连接的负载也对称的情况下, 三相负载中的相电流  $i_{AB}$ 、 $i_{BC}$ 、 $i_{CA}$  也是对称的, 火线上通过的三个线电流  $i_A$ 、 $i_B$ 、 $i_C$  也对称。在三相对称情况下, 线电流滞后其相对应的相电流  $30^\circ$ 。

(3) 三相电路的功率 三相电路的总有功功率等于各相有功功率之和, 即

$$P = P_A + P_B + P_C$$

$$\text{负载对称时, } P = 3U_o I_P \cos\varphi = \sqrt{3} U_L I_L \cos\varphi$$

## 1.3

## 电气图的组成及电工常用符号



### 1.3.1 电气图的组成

电气工程图是阐述电气工程的构成和功能，描述电气装置的工作原理，提供安装接线和维护使用信息的施工图。电气工程图有原理图、方框图、装配以及符号标记图等。

(1) 原理图 电气原理图是用来表明设备的工作原理及各电气元件间的作用的，一般由主电路、控制执行电路、检测与保护电路、配电电路等几大部分组成。由于它直接体现了电子电路与电气结构以及其相互间的逻辑关系，所以一般用在设计、分析电路中。分析电路时，通过识别图纸上所画各种电路元件符号，以及它们之间的连接方式，就可以了解电路的实际工作情况。

电气原理图又可分为整机原理图、单元部分电路原理图，整机原理图是指所有电路集合在一起的全部电路图。

(2) 方框图 方框图是一种用方框和连线来表示电路工作原理和构成概况的电路图。从某种程度上说，它也是一种原理图，不过在这种图纸中，除了方框和连线，几乎就没有别的符号了。它和上面的原理图的主要的区别就在于原理图具体地绘制了电路的全部的元器件和它们的连接方式，而方框图只是简单地将电路按照功能划分为几个部分，将每一个部分描绘成一个方框，在方框中加上简单的文字说明，在方框间用连线（有时用带箭头的连线）说明各个方框之间的关系。所以方框图只能用来体现电路的大致工作原理，而原理图除了具体地表明电路的工作原理之外，还可以用来作为采集元件、制作电路的依据。

(3) 装配以及符号标记图 装配以及符号标记图一般包括屏（台）面布置图、屏背布置图、背面接线图和端子排图。它是制造安装的主要图纸，也是运行、调试、检修的主要参考图纸，图上的符号往往是电路元件的实物的形状图，这种电路图一般是供原理和实物对照时使用的。装配图和原理图大不一样，它主要考虑所有元件的分布

和连接是否合理,要考虑元件体积、散热、抗干扰、抗耦合等诸多因素,从外观看很难和原理图完全一致。

### 1.3.2 电工常用文字符号

(1) 常用电力设备文字符号编号见表 1-3。

表 1-3 常用电力设备文字符号编号

序号	名称	编(符)号	序号	名称	编(符)号
1	高压开关柜	AH	26	电流互感器	TA
2	低压开关柜	AA	27	电压互感器	TV
3	电力变压器	TM	28	中间继电器	KA
4	柴油发电机组	GD	29	时间继电器	KT
5	无功自动补偿柜	ACC	30	红色指示灯	HR
6	电力配电箱	AP	31	绿色指示灯	HG
7	照明配电箱	AL	32	黄色指示灯	HY
8	电源自动切换箱	AT	33	蓝色指示灯	HB
9	控制箱	AC	34	白色指示灯	HW
10	电度表箱	AW	35	电铃	HA
11	直流电源柜	AD	36	水泵	M 或 MP
12	信号箱	AS	37	风机	M 或 MV
13	接线端子箱	AXT	38	电磁阀	YV
14	插座箱	AX	39	电动阀	YM
15	插接箱	ACB	40	排烟阀	YS
16	断路器	QF	41	额定电压	$U_r$
17	隔离开关	QS	42	额定电流	$I_r$
18	真空断路器	QV	43	设备安装功率	$P_N$
19	漏电保护断路器	QR	44	计算有功功率	$P$
20	负荷开关	QL	45	计算无功功率	$Q$
21	接触器	QC	46	计算视在功率	$S$
22	启动器	QST	47	计算电流	$I_C$
23	控制开关	SA	48	启动电流	$I_{st}$
24	选择开关	SA	49	整定电流	$I_s$
25	按钮开关	SB			

(2) 常用电力线路编号、敷设符号见表 1-4。

表 1-4 常用电力线路编号、敷设符号

序号	名称	编(代)号	序号	名称	编(代)号
1	高压线路	G*或WPH*	22	沿或跨梁(屋架)敷设	AB
2	低压线路	D*或WPL*	23	暗敷在梁内	BC
3	动力线路	WP*	24	沿或跨柱敷设	AC
4	照明线路	WL*	25	暗敷设在柱内	CLC
5	应急照明线路	WLE*	26	沿墙面敷设	WS
6	控制线路	WC*	27	暗敷设在墙内	WC
7	封闭母线槽	WB*	28	沿天棚或顶板面敷设	CE
8	线路相别	L1, L2, L3	29	暗敷在屋面或顶板内	CC
9	穿焊接钢管敷设	SC	30	吊顶内敷设	SCE
10	穿电线管敷设	MT	31	地板或地下面下敷设	F
11	穿硬塑料管敷设	PC	32	自在器线吊式	SW
12	穿阻燃半硬聚氯乙烯管敷设	FPC	33	链吊式	CS
13	电缆桥架敷设	CT	34	管吊式	DS
14	金属线槽敷设	MR	35	壁装式	W
15	塑料线槽敷设	PR	36	吸顶式	C
16	用钢索敷设	M	37	嵌入式	R
17	穿聚氯乙烯塑料波纹电线管敷设	KPC	38	顶棚内安装	CR
18	穿金属软管敷设	CP	39	墙壁内安装	SR
19	直接埋设	DB	40	支架上安装	S
20	电缆沟	TC	41	柱上安装	CL
21	混凝土排管敷设	CE	42	座装	HM

(3) 电气设备、装置和元器件常用基本文字符号见表 1-5。

表 1-5 电气设备、装置和元器件常用基本文字符号

设备装置和 元器件种类	中文名称	基本文字符号		IEC	
		单字母	双字母		
组件 部件	分离元件放大器	A		=	
	激光器				
	调节器				
	本表其他地方未提及的组件、部件				
	电桥		AB		
	晶体管放大器		AD		=
	集成电路放大器		AJ		=
	磁放大器		AM		=
	电子管放大器		AV		=
	印制电路板		AP		=
	抽屉柜		AT		=
	支架盘		AR		=
	非电量到电量 变换器或电量到 非电量变换器		热电传感器		B
热电池					
光电池					
测功计					
晶体换能器					
送话器					
拾音器					
扬声器					
耳机					
自整角机					
旋转变压器					
模拟和多级数字变换器或传感器（用作 指示和测量）					
压力变换器		BP	=		
位置变换器		BQ	=		
旋转变换器（测速发电机）		BR	=		
温度变换器		BT	=		
速度变换器	BV	=			

续表

设备装置和 元器件种类	中文名称	基本文字符号		IEC		
		单字母	双字母			
电容器	电容器	C		=		
二进制元件延 迟器件存储器件	数字集成电路和器件	D		=		
	延迟线					
	双稳态元件					
	单稳态元件					
	磁芯存储器					
	寄存器					
	磁带记录机					
	盘式记录机					
其他元器件	本表其他地方未规定的器件	E		=		
	发热器件				EH	=
	照明灯				EL	=
	空气调节器				EV	=
保护器件	过电压放电器件避雷器	F		=		
	具有瞬时动作的限流保护器件				FA	=
	具有延时动作的限流保护器件				FR	=
	具有延时和瞬时动作的限流保护器件				FS	=
	熔断器				FU	=
	限压保护器件				FV	=
发生器发电机 电源	旋转发电机振荡器	G		=		
	发生器				GS	=
	同步发电机					
	异步发电机				GA	=
	蓄电池				GB	=
	旋转式或固定式变频器				GF	=
信号器件	声响指示器	H		=		
	光指示器				HA	=
					HL	=
	指示灯				HL	=

续表

设备装置和 元器件种类	中文名称	基本文字符号		IEC
		单字母	双字母	
继电器 接触器	瞬时接触继电器	K		=
			KA	=
	瞬时有或无继电器		KA	=
	交流继电器		KA	
	闭锁接触继电器（机械闭锁或永磁铁式 有或无继电器）		KL	=
	双稳态继电器		KL	=
	接触器		KM	=
	极化继电器		KP	=
	簧片继电器		KR	=
	延时有或无继电器		KT	=
逆流继电器	KR	=		
电感器 电抗器	感应线圈线路陷波器电抗器（并联和串 联）	L		=
电动机	电动机	M		=
	同步电动机		MS	
	可作发电机或电动机的电机		MG	
	力矩电动机		MT	
模拟元件	运算放大器	N		=
	混合模拟/数字器件			
测量设备 实验设备	指示器件	P		=
	记录器件			
	积算测量器件			
	信号发生器			
	电流表		PA	=
	（脉冲）计数器		PC	=
	电度表		PJ	=
	记录仪表		PS	=
	时钟、操作时间表		PT	=
电压表	PV	=		

续表

设备装置和 元器件种类	中文名称	基本文字符号		IEC
		单字母	双字母	
电力电路的开关 器件	断路器	Q		=
	电动机保护开关		QF	=
	隔离开关		QM	=
			QS	=
电阻器	电阻器	R		=
	变阻器			
	电位器		RP	=
	测量分路表		RS	=
	热敏电阻器		RT	=
	压敏电阻器		RV	=
控制、记忆、 信号电路的开关 器件选择	拨号接触器	S		=
	连接级			
	控制开关		SA	=
	选择开关		SA	=
	按钮开关		SB	=
	机电式有或无传感器（单级数字传感器）			
	液体标高传感器		SL	=
	压力传感器		SP	=
	位置传感器（包括接近传感器）		SQ	=
	转数传感器		SR	=
温度传感器	ST	=		
变压器	电流互感器	T		=
	控制电路电源用变压器		TA	=
	电力变压器		TC	=
	磁稳压器		TM	=
	电压互感器		TS	=
			TV	=
调制器 变换器	鉴频器	U		=
	解调器			
	变频器			
	编码器			
	变流器			

续表

设备装置和 元器件种类	中文名称	基本文字符号		IEC		
		单字母	双字母			
调制器 变换器	逆变器	U		=		
	整流器					
	点板译码器					
电子管 晶体管	气体放电管	V		=		
	二极管					
	晶体管					
	晶闸管		VE	=		
	电子管					
	控制电路电源的整流器				VC	
传输通道 波导天线	导线	W		=		
	电缆					
	母线					
	波导					
	波导定向耦合器					
	偶极天线					
	抛物天线					
端子 插头 插座	连接插头和插座接线柱 电缆封端和接头焊接端子板	X		=		
	连接片				XB	=
	测试插孔				XJ	=
	插头				XP	=
	插座				XS	=
	端子板				XT	=
电气操作的机 械器件	气阀	Y		=		
	电磁铁				YA	=
	电磁制动器				YB	=
	电磁离合器				YC	=
	电磁吸盘				YH	=
	气动阀				YM	=
	电磁阀				YV	=

续表

设备装置和 元器件种类	中文名称	基本文字符号		IEC
		单字母	双字母	
终端设备	电缆平衡网络	Z		=
混合变压器	压缩扩展器			
滤波器	晶体滤波器			
均衡器				
限幅器	网络			

(4) 电气设备常用文字符号——辅助文字符号见表 1-6。

表 1-6 电气设备常用文字符号——辅助文字符号

辅助文字符号	名称	辅助文字符号	名称
A	电流	DC	直流
A	模拟	DEC	减
AC	交流	E	接地
AUT	自动	EM	紧急
ACC	加速	F	快速
ADD	附加	FB	反馈
ADJ	可调	FW	正, 向前
AUX	辅助	GN	绿
ASY	异步	H	高
BRK	制动	IN	输入
BK	黑	INC	增
BL	蓝	IND	感应
BW	向后	L	左
C	控制	L	限制
CW	顺时针	L	低
CCW	逆时针	M	主
D	延时(延迟)	M	中
D	差动	M	中间线
D	数字	MAN	手动
D	降	N	中性线

续表

辅助文字符号	名称	辅助文字符号	名称
OFF	断开	ST	启动
ON	接通(闭合)	SET	置位、定位
OUT	输出	SAT	饱和
P	压力	STE	步进
P	保护	STP	停止
PE	保护接地	SYN	同步
PEN	保护接地与中性线共用	T	温度
PU	不接地保护	T	时间
R	记录	TE	无噪音(防干扰)接地
R	右	V	真空
R	反	V	速度
RD	红色	V	电压
RST	复位	WH	白
RES	备用	YE	黄
RUN	运转	LA	闭锁
S	信号		

(5) 数字电路引出端功能文字符号说明见表 1-7。

表 1-7 数字电路引出端功能文字符号说明

A0、A1……	第 0、1……位运算器数据输入；数据选择器选择输入；译码器地址输入；总线寄存器通道
A/B	总线寄存器 A→B (B→A) 通道选择
AR	寄存器读地址
AW	寄存器写地址
A>B, A=B, A<B	数值比较器 A>B, A=B, A<B
A/S	寄存器异步/同步方式选择
A、B、C……	门电路输入
AST	非稳态控制
B0、B1……	第 0、1……位运算器数据输入；总线寄存器通道
B/D	计数器二/十进制计数选择

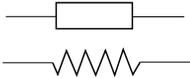
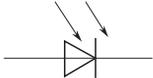
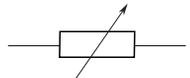
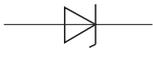
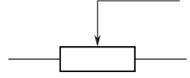
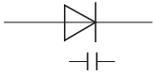
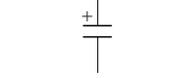
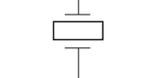
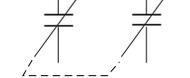
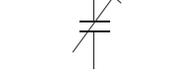
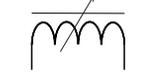
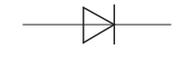
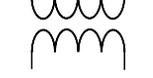
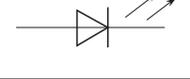
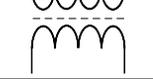
续表

BI	消隐输入
BO	双向开关控制端
C	外接电容
CA	外接电容
CF	计数器级联反馈输入
Ci	进位输入
CO	进位输出
CP	时钟
CPD	减时钟
CPEN	时钟允许
CPINH	时钟禁止
CPU	加时钟
CR	清除
CT	计数控制
D	D 触发器、锁存器、寄存器数据输入
D <sub>0</sub> 、D <sub>1</sub> ……	第 0、1……位数据选择器数据输入；移位寄存器、计数器并行数据输入
DS	移位寄存器串行数据输入
DIR	数据输入准备
DOR	数据输出准备
EN	允许；三态允许
EX	扩展
F <sub>0</sub> 、F <sub>1</sub> ……	第 0、1……位运算器输出
FA>B, FA=B, FA<B	数值比较器 FA>B, FA=B, FA<B
Fdi	液晶显示频率输入
Fdo	液晶显示频率输出
G	进位产生输入
I <sub>0</sub> 、I <sub>1</sub> ……	第 0、1……位编码输入
INH	禁止
I/O	输入/输出通道
J、K	J、K 数据输入
LD	置入控制
LE	锁存控制

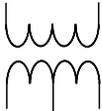
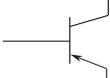
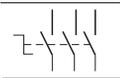
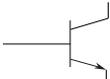
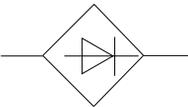
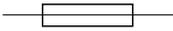
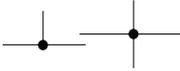
续表

LT	灯测试
M	工作方式控制
O/I	输出/输入通道
P	进位传递输入
P/S	并行/串行控制
Q	触发器输出
Q0、Q1……	第 0、1……位移位寄存器输出；计数器输出
QCF	计数器级联反馈输出
R	复位
RD	直接复位
REXL	外接电阻
RBI	行波消隐输入
RBO	行波消隐输出
RET	单稳态触发器重触发控制
S	置位
SE	选择
SD	直接置位
SI	移位输入控制
SO	移位输出控制
ST	选通
T/C	原码/反码选择
U/D	加/减选择
VDD	电源电压
VCC	正电源电压
VEE	负电源电压
VSS	地或负电源端
WE	写允许
WD	写禁止
W/R	写/读控制
Y	门电路输出；译码器输出；数据选择器输出；编码器输出
Ya、Yb……	显示译码器输出
Z0	“零”控制

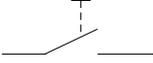
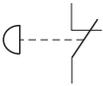
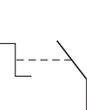
## 1.3.3 电工常用图形符号

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
	电阻器一般符号		光电二极管
	可变电阻器或可调电阻器		稳压二极管
	滑动触点电位器		变容二极管
	极性电容		具有两个电极的压电晶体 注：电极数目可增加
	可变电容器或可调电容器		电感器、线圈、绕组或扼流圈 注：符号中半圆数不得少于3个
	双联同调可变电容器 注：可增加同调联数		带磁芯、铁芯的电感器
	微调电容器		带磁芯连续可调的电感器
	二极管的符号		双绕组变压器 注：可增加绕组数目
	发光二极管		绕组间有屏蔽的双绕组变压器 注：可增加绕组数目

续表

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
	在一个绕组上有抽头的变压器		蜂鸣器
	N 沟道 JFET 结型场效应管		接大地
	P 沟道 JFET 结型场效应管		一般三极电源开关 (QS)
	PNP 型晶体三极管		组合开关 (SA)
	NPN 型晶体三极管		断路器 (QP)
	全波桥式整流器		限位开关常开触点 (SQ)
	接机壳或底板		限位开关常闭触点 (SQ)
	熔断器		限位开关复合触点 (SQ)
	指示灯及信号灯		导线的连接
	扬声器		导线的不连接

续表

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
	动合 (常开) 触点开关		启动按钮 (SB)
	动断 (常闭) 触点开关		停止按钮 (SB)
	手动开关		急停按钮 (SB)
	旋 转 开 关 (SA)		

# 认识电子电路器件

## 2.1 晶体二极管

(1) 晶体二极管的结构及符号 晶体二极管的实物如图 2-1 (a) 所示, 用图 2-1 (b) 所示的符号表示。晶体二极管的核心就是 PN 结, 那么其基本特点就是具有单向导电性, 即阳极接高电位, 阴极接低电位就导通, 反之, 阳极接低电位, 阴极接高电位就截止。



(a)实物图



(b)符号

图 2-1 二极管

常用的二极管还有稳压二极管、发光二极管、光电二极管等, 其符号如图 2-2 所示。



图 2-2 特殊二极管的符号

(2) 晶体二极管的伏安特性 二极管两端的电压  $U$  及其流过二极管的电流  $I$  之间的关系曲线, 称为二极管的伏安特性, 如图 2-3 所示。

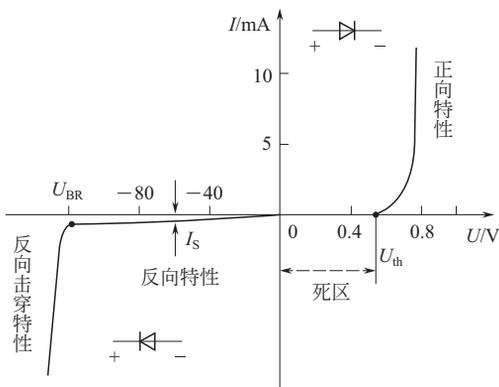


图 2-3 晶体二极管的伏安特性

① 正向特性 二极管外加正向电压时, 电流和电压的关系称为二极管的正向特性。当二极管所加正向电压比较小时 ( $0 < U < U_{th}$ ), 二极管上流经的电流为 0, 管子仍截止, 此区域称为死区,  $U_{th}$  称为死区电压 (门坎电压)。硅二极管的死区电压约为 0.5V, 锗二极管的死区电压约为 0.1V。

② 反向特性 二极管外加反向电压时, 电流和电压的关系称为二极管的反向特性。二极管外加反向电压时, 反向电流很小 ( $I \approx -I_s$ ), 而且在相当宽的反向电压范围内, 反向电流几乎不变, 因此, 称此电流值为二极管的反向饱和电流。

③ 反向击穿特性 由图 2-3 可见, 当反向电压的值增大到  $U_{BR}$  时, 反向电压值稍有增大, 反向电流会急剧增大, 称此现象为反向击

穿,  $U_{BR}$  为反向击穿电压。利用二极管的反向击穿特性, 可以做成稳压二极管, 但一般的二极管不允许工作在反向击穿区。

(3) 二极管极性及好坏的判断 二极管可用万用表判断其极性及好坏。如图 2-4 所示, 将红、黑表笔 (指针式万用表) 分别接二极管的两个电极, 若测得的电阻值很小 (几千欧以下), 则黑表笔所接电极为二极管正极, 红表笔所接电极为二极管的负极; 若测得的阻值很大 (几百千欧以上), 则黑表笔所接电极为二极管负极, 红表笔所接电极为二极管的正极 (如果是数字万用表, 则红、黑表笔要反过来)。

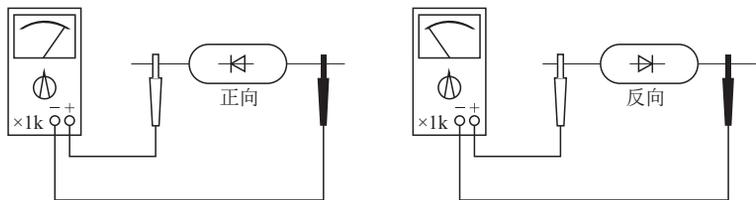


图 2-4 二极管极性的测试

二极管好坏的判定:

- ① 若测得的反向电阻很大 (几百千欧以上), 正向电阻很小 (几千欧以下), 表明二极管性能良好;
- ② 若测得的反向电阻和正向电阻都很小, 表明二极管短路, 已损坏;
- ③ 若测得的反向电阻和正向电阻都很大, 表明二极管断路, 已损坏。

(4) 二极管的主要参数

- ① 最大整流电流  $I_F$  最大整流电流  $I_F$  是指二极管长期连续工作时, 允许通过二极管的最大正向电流的平均值。
- ② 反向击穿电压  $U_{BR}$  反向击穿电压是指二极管击穿时的电压值。
- ③ 反向饱和电流  $I_S$  它是指管子没有击穿时的反向电流值。其值愈小, 说明二极管的单向导电性愈好。

## 2.2 晶体三极管

### (1) 三极管的结构及符号

半导体三极管又称晶体三极管（下称三极管），一般简称晶体管，或双极型晶体管。它是通过一定的制作工艺，将两个PN结结合在一起的器件，两个PN结相互作用，使三极管成为一个具有控制电流作用的半导体器件。三极管可以用来放大微弱的信号和作为无触点开关。

三极管从结构上来讲分为两类：NPN型三极管和PNP型三极管。图2-5所示为三极管的结构示意图和符号。符号中发射极上的箭头方向，表示发射结正偏时电流的流向。三极管制作时，通常它们的基区做得很薄（几微米到几十微米），且掺杂浓度低；发射区的杂质浓度则比较高；集电区的面积则比发射区做得大，这是三极管实现电流放大的内部条件。

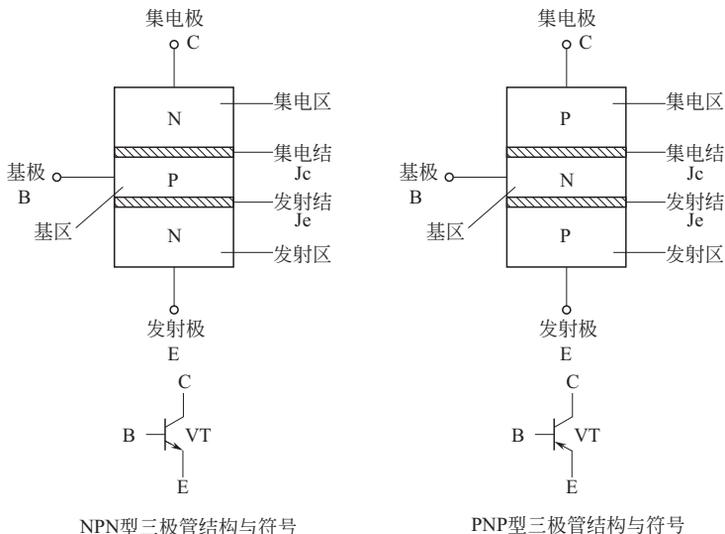


图 2-5 三极管的结构示意图和符号

三极管可以由半导体硅材料制成，称为硅三极管；也可以由锗材

料制成，称为锗三极管。三极管从应用的角度讲，种类很多。根据工作频率分为高频管、低频管和开关管；根据工作功率分为大功率管、中功率管和小功率管。常见的三极管外形如图 2-6 所示。

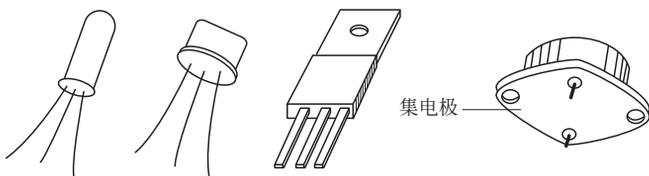


图 2-6 常见的三极管外形

(2) 三极管的电流放大作用 要实现三极管的电流放大作用，首先要给三极管各电极加上正确的电压。三极管实现电流放大的外部条件是：其发射结必须加正向电压（正偏），而集电结必须加反向电压（反偏）。

## 2.3 晶体二极管整流与滤波电路

### 2.3.1 单相整流电路

利用二极管的单向导电作用，可将交流电变为直流电，常用的二极管整流电路有单相半波整流电路、单相全波整流电路和单相桥式整流电路等。

(1) 单相半波整流电路 单相半波整流电路如图 2-7 所示，图中 T 为电源变压器，用来将市电 220V 交流电压变换为整流电路所要求的交流低电压，同时保证直流电源与市电电源有良好的隔离。

$u_2 > 0$  时，二极管导通，忽略二极管正向压降， $u_o = u_2$ ； $u_2 < 0$  时，二极管截止， $u_o = 0$ 。单相半波整流电路的电压波形如图 2-8 所示。

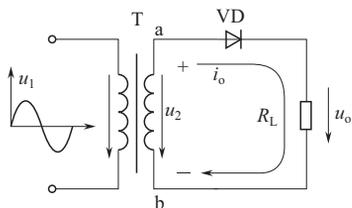


图 2-7 单相半波整流电路

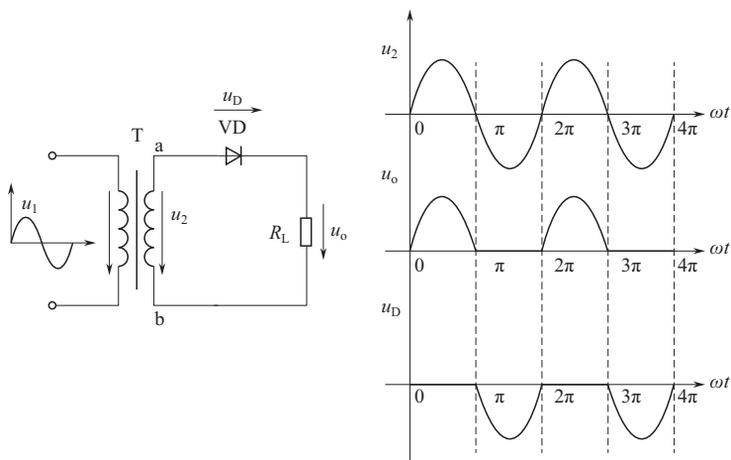


图 2-8 单相半波整流电路电压波形

输出电压平均值 ( $U_o$ )，输出电流平均值 ( $I_o$ )：

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin\omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} = 0.45U_2$$

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

二极管上的平均电流： $I_D = I_o$

二极管承受的最高反向电压： $U_{DRM} = \sqrt{2}U_2$

(2) 单相全波整流电路 单相全波整流电路如图 2-9 所示，变压器副边中心抽头，感应出两个相等的电压  $u_2$ ； $u_2$  正半周时， $VD_1$  导通， $VD_2$  截止；当  $u_2$  负半周时， $VD_2$  导通， $VD_1$  截止。单相全波整流电路的电压波形如图 2-10 所示（忽略二极管的正向压降）。

输出电压平均值 ( $U_o$ )：

$$U_o = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_o d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin\omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi} = 0.9U_2$$

输出电流平均值 ( $I_o$ )：

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L}$$

二极管上的平均电流： $I_D = \frac{1}{2}I_o$

二极管承受的最高反向电压:  $U_{\text{DRM}} = 2\sqrt{2}U_2$

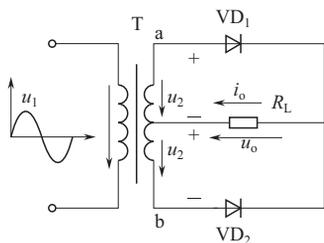


图 2-9 单相全波整流电路

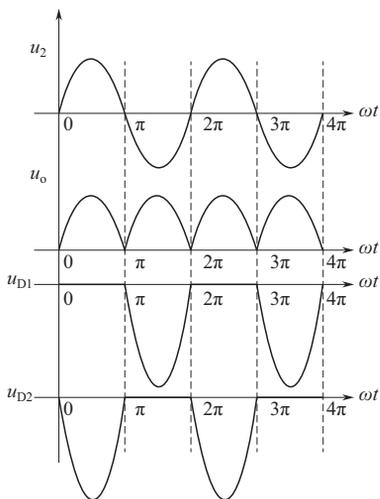


图 2-10 单相全波整流电路电压波形

(3) 单相桥式整流电路 桥式整流电路的几种画法如图 2-11 所示。当变压器副边电压  $u_2$  为正半周时, 二极管  $\text{VD}_1$ 、 $\text{VD}_3$  导通, 而

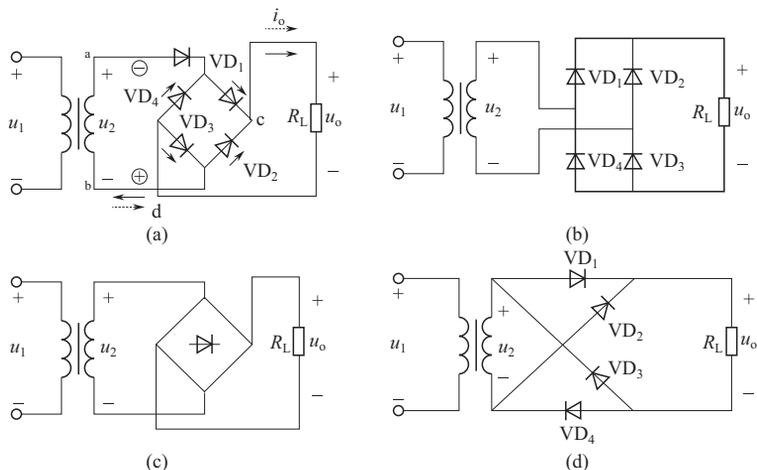


图 2-11 单相桥式整流电路

二极管  $VD_2$ 、 $VD_4$  截止；当副边电压  $u_2$  为负半周时，二极管  $VD_2$ 、 $VD_4$  导通，而二极管  $VD_1$ 、 $VD_3$  截止。单相桥式整流电路的电压波形如图 2-12 所示。

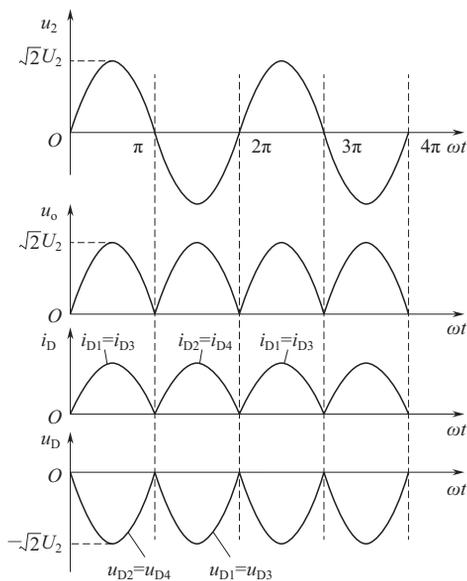


图 2-12 单相桥式整流电路电压波形

单相桥式整流电路的输出电压： $U_o = 0.9U_2$

负载电阻中通过的输出电流： $I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L}$

每个二极管中通过的电流仅为输出电流的一半： $I_D = \frac{1}{2}I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$

每个二极管承受的最高反向电压： $U_{DRM} = \sqrt{2}U_2$

将单相桥式整流电路的四个二极管制作在一起，封成一个器件称为整流桥。常用的整流组合元件有半桥堆和全桥堆。半桥堆的内部有两个二极管，而全桥堆的内部有四个二极管。

### 2.3.2 三相整流电路

三相桥式整流电路如图 2-13 所示。三相桥式整流电路共有六个二极管，其中  $VD_1$ 、 $VD_3$ 、 $VD_5$  三个管子的阴极连接在一起，称为共阴极组； $VD_4$ 、 $VD_6$ 、 $VD_2$  三个管子的阳极连接在一起，称为共阳极组。共阴极组三个二极管  $VD_1$ 、 $VD_3$ 、 $VD_5$  在  $t_1$ 、 $t_3$ 、 $t_5$  时刻换流导通；共阳极组三个二极管  $VD_2$ 、 $VD_4$ 、 $VD_6$  在  $t_2$ 、 $t_4$ 、 $t_6$  时刻换流导通。一个周期内，每个二极管导通  $1/3$  周期，即导通角为  $120^\circ$ 。通过计算可得到负载电阻  $R_L$  上的平均电压为： $U_o = 2.34U_2$ 。三相桥式整流电路的电压波形如图 2-14 所示。

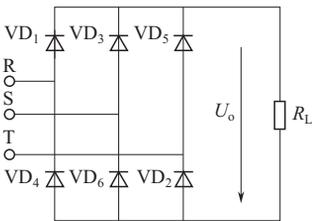


图 2-13 三相桥式整流电路

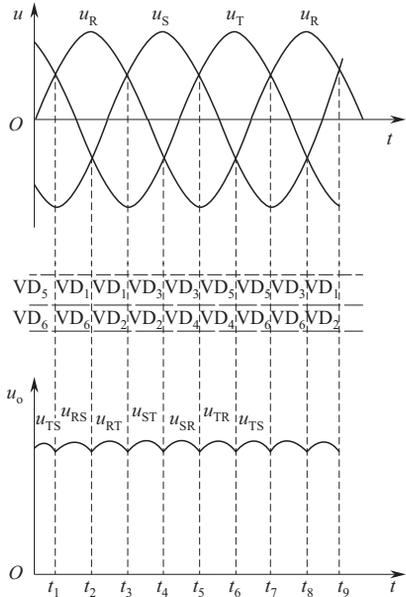


图 2-14 三相桥式整流电路电压波形

### 2.3.3 滤波电路

常用的滤波电路如图 2-15 所示。图 2-15 (a)、(c) 是利用电容的平波作用滤波，当输入电压大于电容两端的电压时，电源给负载供

电的同时也给电容充电，当输入电压小于电容两端的电压时，电容放电，使负载两端得到较平滑的电压；图 2-15 (b) 主要利用电感的平波作用滤波，当输入电压变化时，由于电感的电磁感应作用而阻止负载两端电压的变化，当然也利用了电容的滤波作用。

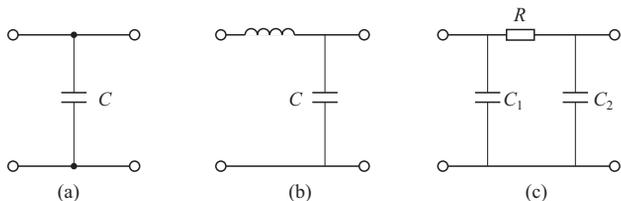


图 2-15 常用的滤波电路

## 2.4 晶体三极管基本放大电路

放大电路的功能是利用三极管的电流控制作用，把微弱的电信号（简称信号，指变化的电压、电流、功率）不失真地放大到所需要的数值（幅度放大，波形不失真），实现将直流电源的能量部分地转化为按输入信号规律变化且有较大能量的输出信号。放大电路的实质是用较小的能量去控制较大能量。

放大电路组成的原则是必须有直流电源，而且电源的设置应保证三极管工作在线性放大状态，元件的安排要保证信号的传输，即保证信号能够从放大电路的输入端输入，经过放大电路放大后从输出端输出；元件参数的选择要保证信号能不失真地放大，并满足放大电路的性能指标要求。

### 2.4.1 共发射极基本放大电路

(1) 电路的组成及各元件作用 共发射极基本放大电路如图 2-16 所示。

- ① 晶体管 V：放大元件，用基极电流  $i_B$  控制集电极电流  $i_C$ 。
- ② 电源  $U_{CC}$  和  $U_{BB}$ ：使晶体管的发射结正偏，集电结反偏，晶

体管处于放大状态，同时也是放大电路的能量来源，提供电流  $i_B$  和  $i_C$ 。 $U_{CC}$ 一般在几伏到十几伏之间。

③ 偏置电阻  $R_B$ ：用来调节基极偏置电流  $I_B$ ，使晶体管有一个合适的工作点，一般为几十千欧到几百千欧。

④ 集电极负载电阻  $R_C$ ：将集电极电流  $i_B$  控制集电极电流  $i_C$  的变化转换为电压的变化，以获得电压放大，一般为几千欧。

⑤ 电容  $C_1$ 、 $C_2$ ：用来传递交流信号，起到耦合的作用，同时，又使放大电路和信号源及负载间直流相隔离，起隔直作用。为了减小传递信号的电压损失， $C_1$ 、 $C_2$  应选得足够大，一般为几微法至几十微法，通常采用电解电容器。 $C_1$ 、 $C_2$  为电解电容，连接时正极接高电位，负极接低电位。

取  $U_{BB}=U_{CC}$ ，省略电源  $U_{CC}$  的符号，只标出  $U_{CC}$  的非接地端的电压数值及极性，得到简化的三极管共发射极基本放大电路，如图 2-17 所示。

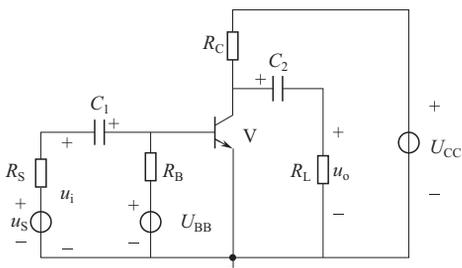


图 2-16 共发射极基本放大电路

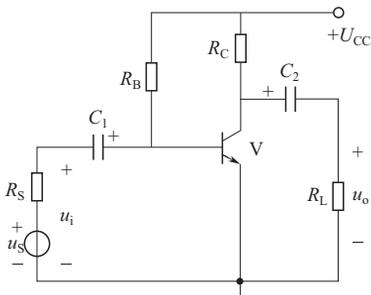


图 2-17 简化的三极管共发射极基本放大电路

(2) 共发射极基本放大电路的静态分析 静态是指无交流信号输入时，电路中的电流、电压都不变的状态，静态时三极管各极电流和电压值称为静态工作点  $Q$ （主要指  $I_{BQ}$ 、 $I_{CQ}$  和  $U_{CEQ}$ ）。静态分析主要是确定放大电路中的静态值  $I_{BQ}$ 、 $I_{CQ}$  和  $U_{CEQ}$ 。

在进行静态分析时要先画出直流通路，所谓直流通路，是指当输入信号  $u_i=0$  时，在直流电源  $U_{CC}$  的作用下，直流电流所流过的路径。在画直流通路时，电路中的电容开路，电感短路。图 2-17 的直流通路如图 2-18 所示。

根据图 2-18 计算静态工作点为：

$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BEQ}}{R_B}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \quad U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ} R_C$$

静态工作点设置过高，将会引起饱和失真，静态工作点设置过低，将会引起截止失真。

(3) 共发射极基本放大电路的动态分析

动态是指有交流信号输入时，电路中的电流、电压随输入信号作相应变化的状态。由于动态时放大电路是在直流电源  $U_{CC}$  和交流输入信号  $u_i$  共同作用下工作的，电路中的电压  $u_{CE}$ 、电流  $i_B$  和  $i_C$  均包含交流和直流两个分量。

在做动态分析时先要画出交流通路，图 2-17 的交流通路如图 2-19 所示，画交流通路时，电容  $C_1$ 、 $C_2$  足够大，容抗近似为零（相当于短路），直流电源  $U_{CC}$  去掉（短接）。

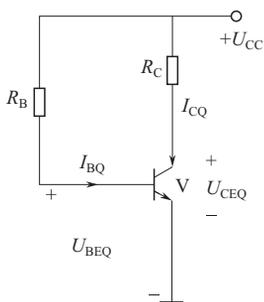


图 2-18 共发射极基本放大电路的直流通路

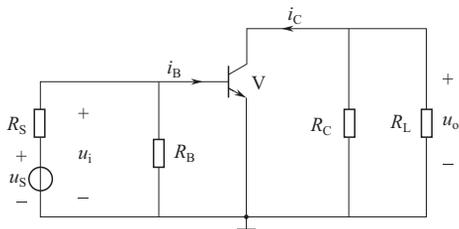


图 2-19 共发射极基本放大电路的交流通路

当  $U_{BE}$  有一微小变化  $\Delta U_{BE}$  时，基极电流变化  $\Delta I_B$ ，两者的比值称为三极管的动态输入电阻，用  $r_{BE}$  表示，即：

$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{u_{BE}}{i_B}$$

一般  $r_{BE}$  为：
$$r_{BE} = 300 + (1 + \beta) \frac{26 \text{ (mV)}}{I_{EQ} \text{ (mA)}}$$

电流放大关系为：
$$i_C = \beta i_B$$

电压放大倍数为：
$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R_C}{r_{BE}}$$

放大电路的输入电阻为： $R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = R_B // r_{BE}$

放大电路的输出电阻为： $R_o \approx R_C$

放大电路的输入电阻  $R_i$  的大小决定了放大电路从信号源吸取电流（输入电流）的大小。为了减轻信号源的负担，总希望  $R_i$  越大越好。另外，较大的输入电阻  $R_i$ ，也可以降低信号源内阻  $R_S$  的影响。对于负载而言，放大器的输出电阻  $R_o$  越小，负载电阻  $R_L$  的变化对输出电压的影响就越小，表明放大器带负载能力越强，因此总希望  $R_o$  越小越好。

(4) 稳定静态工作点的放大电路 温度的变化会使静态工作点变化，如温度升高， $U_{BE}$  减小， $I_{CBO}$  增大， $\beta$  增大，导致  $I_C$  增大。稳定静态工作点的放大电路如图 2-20 所示，其直流通路如图 2-21 所示。

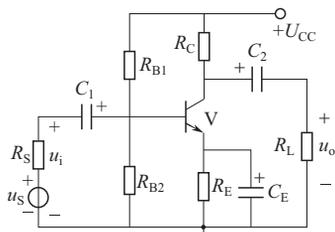


图 2-20 静态工作点的放大电路

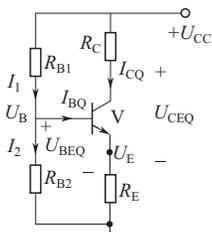


图 2-21 图 2-20 的直流通路

其稳定静态工作点的过程为：当  $I_2 \gg I_{BQ}$  时，则  $U_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$

与温度基本无关，则

$$\text{温度 } t \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \rightarrow U_E (= I_E R_E) \uparrow \rightarrow U_{BE} (= U_B - U_E) \downarrow \rightarrow I_B \downarrow \rightarrow I_C \downarrow$$

图 2-20 的静态分析为：

$$\text{静态分析} \begin{cases} U_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC} \\ I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_B - U_{BEQ}}{R_E} \\ I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} \\ U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) \end{cases}$$

图 2-21 的动态分析为:

$$\text{动态分析} \begin{cases} \dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{BE}} \\ R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{BE} \\ R_o = R_C \end{cases}$$

## 2.4.2 共集电极放大电路

共集电极放大电路如图 2-22 所示。

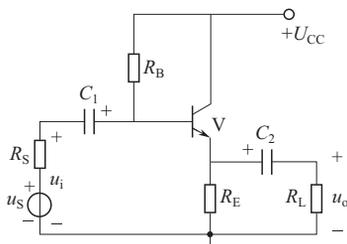


图 2-22 共集电极放大电路

(1) 静态分析

$$U_{CC} = I_{BQ}R_B + U_{BEQ} + I_{EQ}R_E = I_{BQ}R_B + U_{BEQ} + (1+\beta)I_{BQ}R_E$$

$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BEQ}}{R_B + (1+\beta)R_E}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{EQ}R_E \approx U_{CC} - I_{CQ}R_E$$

(2) 动态分析

$$\text{电压放大倍数: } \dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{(1+\beta)R'_L}{r_{BE} + (1+\beta)R'_L}, \text{ 其中 } R'_L = R_L // R_E$$

$$\text{输入电阻: } R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = R_B // [r_{BE} + (1+\beta)R'_L]$$

$$\text{输出电阻: } R_o = R_E // \frac{(R_B // R_S) + r_{BE}}{1+\beta}, \text{ 其中 } R_S \text{ 为输入端信号}$$

源内阻。

射极输出器的特点:

- ① 电压放大倍数小于 1，但约等于 1，即电压跟随。
- ② 输入电阻较高。
- ③ 输出电阻较低。

射极输出器的用途：射极跟随器常用作多级放大器的第一级或最末级，也可用于中间隔离级。用作输入级时，其高的输入电阻可以减轻信号源的负担，提高放大器的输入电压。用作输出级时，其低的输出电阻可以减小负载变化对输出电压的影响，并易于与低阻负载相匹配，向负载传送尽可能大的功率。

### 2.4.3 共基极放大电路

共基极放大电路如图 2-23 所示。其特点是电流放大倍数小于 1 而接近于 1，输出电压与输入电压相位相同，输入电阻小，输出电阻大，高频特性较好，所以常用于高频电子电路中。

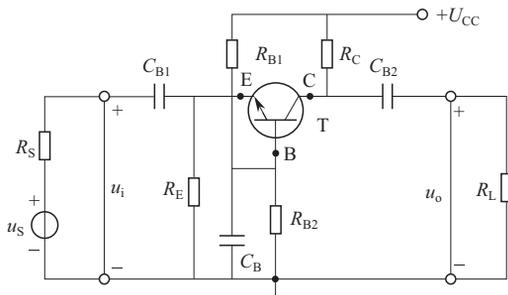


图 2-23 共基极放大电路

### 2.4.4 三极管的检测

(1) 三极管类型和基极 B 的判别 将万用表置于  $R \times 100$  或  $R \times 1k$  挡，用黑表笔碰触某一极，红表笔分别碰触另外两极，若两次测得的电阻都小（或都大），则黑表笔（或红表笔）所接引脚为基极且为 NPN 型（或 PNP 型）。

(2) 发射极 E 和集电极 C 的判别 若已判明三极管的基极和类型，任意设另外两个电极为 E、C 端。如图 2-24 所示对 C、E 极进行判别。以 PNP 型管为例，将万用表红表笔接 C 端，黑表笔接 E 端，

用潮湿的手指捏住基极 B 和假设的集电极 C 端，但两极不能相碰（潮湿的手指代替图中  $100\text{k}\Omega$  的电阻  $R$ ）。再将假设的 C、E 电极互换，重复上面步骤，比较两次测得的电阻大小。测得电阻小的那次，红表笔所接的引脚是集电极 C，另一端是发射极 E。

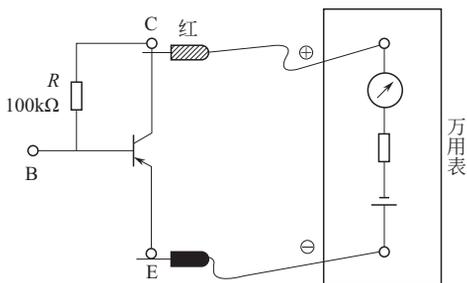


图 2-24 用万用表判别 PNP 型三极管的 C、E 极

## 2.5 直流稳压电源

### 2.5.1 稳压管稳压电路

稳压管是利用二极管的反向击穿特性进行稳压的，其典型电路如图 2-25 所示，采用桥式整流和电容滤波，得到直流电压  $U_i$ ，再经过限流电阻  $R$  和稳压管  $VZ$ ，使负载得到一个比较稳定的直流电压。

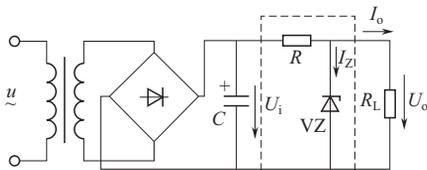


图 2-25 稳压管稳压电路

其稳压原理是：

当电源电压升高时

$u \uparrow \rightarrow U_i \uparrow \rightarrow U_o \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow U_R \uparrow \rightarrow U_o \downarrow$ ，保持负载电压  $U_o$  近似不变。

稳压管的选型：

$$U_Z = U_o \quad I_{Z\max} = (1.5 \sim 3) I_{o\max} \quad U_i = (2 \sim 3) U_o$$

稳压管稳压电路的特点：

- ① 电路结构简单。
- ② 稳压电路的关键是限定稳压管中的电流。工作电流太小，稳压效果差；工作电流太大，将损坏稳压管。
- ③ 输出电压不能调节，负载电流变化范围小，输出电阻较大，适用于输出电压固定和要求不太高的场合。

## 2.5.2 串联可调试稳压电路

串联可调试稳压电路，除了变压、整流、滤波外，稳压部分一般有四个环节：调整环节、基准电压、比较放大器和取样电路，其组成方框图如图 2-26 所示。当电网电压或负载变动引起输出电压  $U_o$  变化时，取样电路将输出电压  $U_o$  的一部分馈送回比较放大器和基准电压进行比较，产生的误差电压经放大后去控制调整管的基极电流，自动地改变调整管集-射极间的电压，补偿  $U_o$  的变化，从而维持输出电压基本不变。

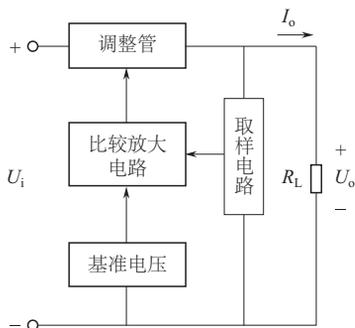


图 2-26 串联可调试稳压电路方框图

图 2-27 为一典型的串联可调试稳压电路原理图， $V_1$  为调整管，它工作在线性放大区，故又

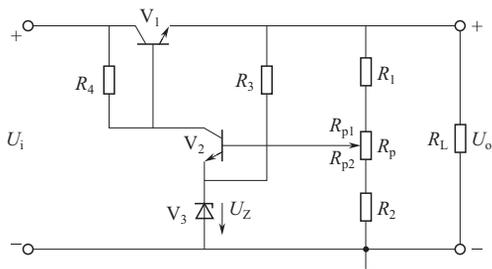


图 2-27 分立元件串联可调试稳压电路

称为线性稳压电路； $R_3$  和稳压管  $V_3$  组成基准电压源，为比较放大管  $V_2$  提供基准电压； $R_1$ 、 $R_2$  和  $R_p$  组成取样电路，它将稳压电路的输出电压分压后送到比较放大管  $V_2$  的基极； $V_2$  为比较放大管，用来对取样电压与基准电压的差值进行放大。

当电网电压波动或负载变化时，可能使输出电压  $U_o$  上升或下降。为了使输出电压  $U_o$  不变，可以利用负反馈原理使其稳定。

其稳压原理是：假设因某种原因使输出电压  $U_o$  上升，其稳压过程为  $U_o \uparrow \rightarrow U_{b2} \uparrow \rightarrow U_{b1} (U_{c2}) \downarrow \rightarrow U_{CE1} \uparrow$  ( $V_1$  集电极与发射极之间的电压)  $\rightarrow U_o \downarrow$ 。

串联型稳压电路的输出电压可由  $R_p$  进行调节。输出电压计算公式为：

$$U_o = U_Z(R_1 + R_{p1} + R_2) / (R_2 + R_{p2})$$

$R_{p1}$ 、 $R_{p2}$  分别是  $R_p$  上下部分阻值。

### 2.5.3 三端集成稳压器

三端集成稳压器只有三个引出端子，具有应用时外接元件少、使用方便、性能稳定、价格低廉等优点，因而得到广泛应用。三端集成稳压器有两种，一种输出电压是固定的，称为固定输出三端稳压器；另一种输出电压是可调的，称为可调输出三端稳压器。它们的基本组成及工作原理都相同，均采用串联型稳压电路。典型三端集成稳压器的外形与符号如图 2-28 所示。

输出电压固定的三端集成稳压器有 CW7800 系列（正电源）、CW7900 系列（负电源）两个系列，输出电压有 5V/6V/9V/12V/15V/18V/24V 多种，输出电流：78L $\times\times$ /79L $\times\times$ ——输出电流为 100mA，78M $\times\times$ /79M $\times\times$ ——输出电流为 500mA，78 $\times\times$ /79 $\times\times$ ——输出电流为 1.5A。例如 CW7805：输出 5V，最大电流 1.5A；CW78M05：输出 5V，最大电流 0.5A；CW78L05：输出 5V，最大电流 0.1A。

输出电压可调的三端集成稳压器有 CW117/CW217/CW317 系列（正电源）、CW137/CW237/CW337 系列（负电源）两个系列。

(1) 输出电压固定的三端集成稳压器基本应用电路如图 2-29 所示。

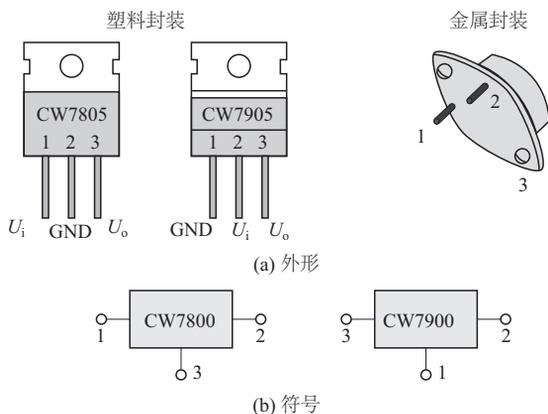


图 2-28 三端集成稳压器的外形与符号

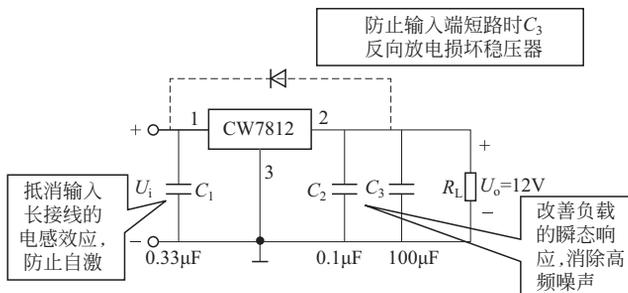


图 2-29 输出电压固定的三端集成稳压器基本应用电路

(2) 输出电压可调的三端集成稳压器基本应用电路如图 2-30 所示。

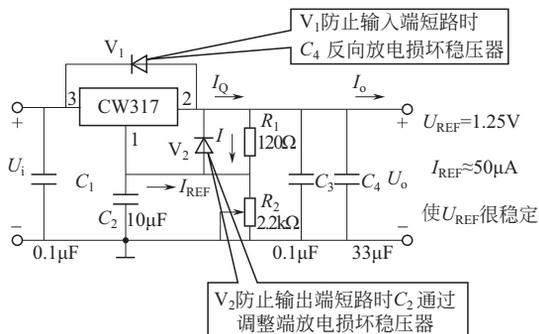


图 2-30 输出电压可调的三端集成稳压器基本应用电路

$$U_o = \frac{U_{REF}}{R_1}(R_1 + R_2) + I_{REF}R_2$$

$$\approx 1.25(1 + R_2/R_1)$$

静态电流  $I_Q$  (约 10mA) 从输出端流出,  $R_L$  开路时流过  $R_1$ , 则  $R_1$  的阻值为

$$R_1 = U_{REF}/I_Q = 125\Omega$$

$$R_2 = 0 \sim 2.2k\Omega \text{ 时, } U_o = 1.25 \sim 24V$$

(3) 固定式提高输出电压的电路 实际需要的直流稳压电源, 如果超过集成稳压器的输出电压数值时, 可外接一些元件提高输出电压, 图 2-31 所示电路能使输出电压高于固定电压, 图中的  $U_{\times\times}$  为 CW78 系列稳压器的固定输出电压数值, 显然有:  $U_o = U_{\times\times} + U_Z$ 。

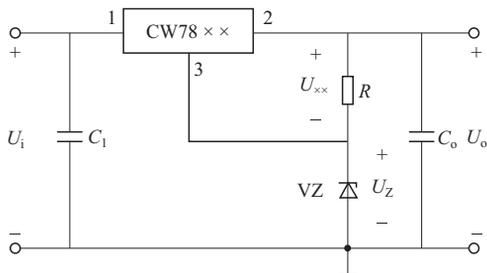


图 2-31 固定式提高输出电压的电路

也可采用图 2-32 所示的电路提高输出电压。图中  $R_1$ 、 $R_2$  为外接电阻,  $R_1$  两端的电压为三端集成稳压器的额定输出电压  $U_{\times\times}$ ,  $R_1$  上流过的电流为  $I_{R1} = U_{\times\times}/R_1$ , 三端集成稳压器的静态电流为  $I_Q$ , 则有:  $I_{R2} = I_{R1} + I_Q$

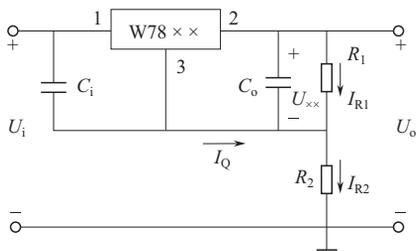


图 2-32 提高输出电压电路

$$U_o = U_{\times\times} + (I_{R1} + I_Q)R_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)U_{\times\times} + I_Q R_2$$

若忽略  $I_Q$  的影响, 则:  $U_o \approx \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)U_{\times\times}$

(4) 输出正、负电压的电路 图 2-33 所示为采用 CW7815 和 CW7915 三端稳压器各一块组成的具有同时输出  $+15\sim-15\text{V}$  电压的稳压电路。

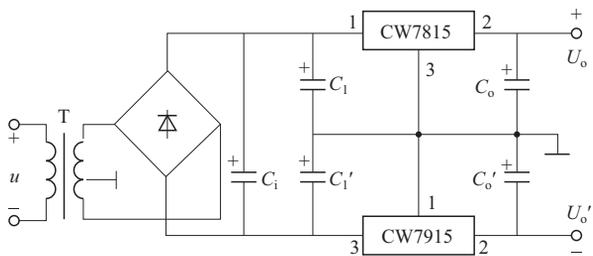


图 2-33 输出正、负电压的电路

(5) 恒流源电路 集成稳压器输出端串入阻值合适的电阻，就可构成输出恒定电流的电源，如图 2-34 所示。 $I_Q$  为稳压器静态工作电流，由于它受  $U_i$  及温度变化的影响，所以只有当  $U_{23}/R \gg I_Q$  时，输出电流  $I_o$  才比较稳定。

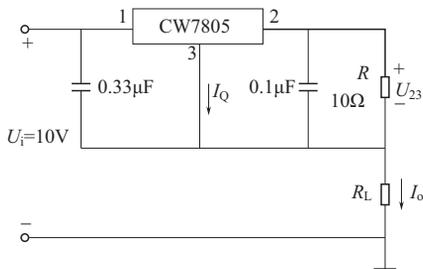


图 2-34 恒流源电路

## 2.6 晶闸管

晶闸管分单向晶闸管和双向晶闸管，其符号如图 2-35 所示，A 为阳极，K 为阴极，G 为控制极。

(1) 单向晶闸管的导通控制 在阳极和阴极间加正向电压，同时在它的控制极和阴极间也加正向电压形成触发电流，即可使单向晶闸

管导通。单向晶闸管导通后，去掉控制极上的触发信号，维持阳极和阴极间的正向电压，单向晶闸管仍然导通，只有在去掉控制极上的触发信号后，阳极和阴极间的正向电压小于一定值或加反向电压时，单向晶闸管才截止。

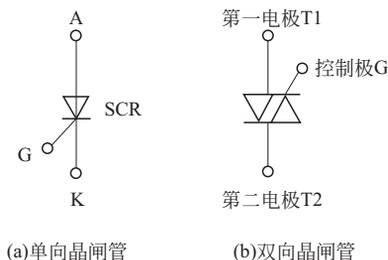


图 2-35 晶闸管符号

(2) 双向晶闸管的导通控制 双向晶闸管没有阳极与阴极之分，只要控制极有触发信号，第一电极与第二电极之间有一定的电压（不分正负），双向晶闸管就可导通；去掉控制极上的触发信号后，两电极之间的电压小于一定值时，双向晶闸管才会截止。

# 认识电气设备及其符号

### 3.1 低压开关设备



凡是自动和手动接通和断开电路，以及能实现对电路或非电对象进行切换、控制、保护、检测、变换和调节目的的电气元件统称为电器。低压电器是指用于交流额定电压 1200V 及以下、直流额定电压 1500V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的各种电器。

#### 3.1.1 开关

开关主要用作隔离、转换以及接通和分断电路用，有时也可用来控制小容量电动机的启动、停止和反转。它有多种分类方法：

- ① 按刀的极数分：单极（单路）、双极（双路）和三极（三路）。
- ② 按灭弧装置分：带灭弧装置和不带灭弧装置。
- ③ 按刀的转换方向分：单掷和双掷。
- ④ 按接线方式分：板前接线和板后接线。
- ⑤ 按操作方式分：手柄操作和远距离联杆操作。
- ⑥ 按有无熔断器分：带熔断器和不带熔断器。

(1) 塑壳刀开关 塑壳刀开关分不带熔断器式刀开关（如图 3-1 所示）和带熔断器式刀开关（如图 3-2 所示）。

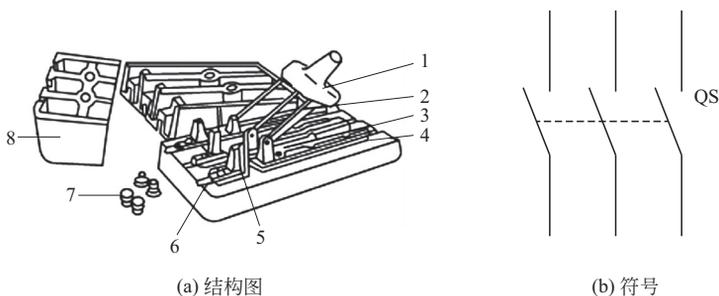


图 3-1 不带熔断器式刀开关

1—瓷柄；2—动触点；3—出线座；4—瓷底座；5—静触点；  
6—进线座；7—胶盖紧固螺钉；8—胶盖

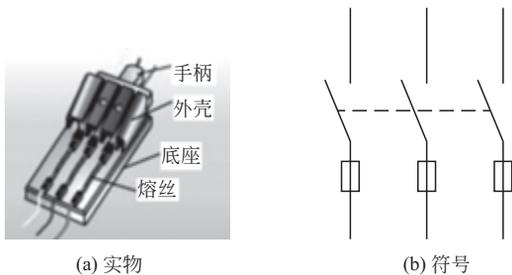


图 3-2 带熔断器式刀开关

在使用时，进线座接电源端的进线，出线座接负载端导线，靠触刀与触点座的分合来接通和分断电路。塑壳使电弧不致飞出灼伤操作人员，防止极间电弧造成电源短路。熔丝起短路保护作用。安装刀开关时，合上开关时手柄在上方，不得倒装或平装，倒装时手柄有可能因自重下滑而引起误合闸，造成安全事故。接线时，将电源线接在熔丝上端，负载线接在熔丝下端，拉闸后刀开关与电源隔离，便于更换熔丝。

刀开关选择的原则：

① 结构形式的选择。应根据刀开关的作用和装置的安装形式来选择是否带灭弧装置。如开关用于分断负载电流，应选择带灭弧装置的刀开关。可根据装置的安装形式来选择正面、背面、侧面操作形式，以及是直接操作还是杠杆操作，是板前接线还是板后接线的结构

形式。

② 额定电流的选择。一般应等于或大于所分断电路中各个负载电流的总和。对于电动机负载，应考虑其启动电流，所以应选额定电流大一级的刀开关。若考虑电路出现的短路电流，还应选择额定电流更大一级的刀开关。

(2) 转换开关 转换开关是一种多挡位、多触点、能够控制多回路的主令电器，主要用于各种控制设备中线路的换接、遥控和电流表、电压表的换相测量等，也可用于控制小容量电动机的启动、换向、调速。

目前常用的转换开关类型主要有两大类，万能转换开关和组合开关。两者的结构和工作原理基本相似，在某些应用场合下两者可以互相替代。

转换开关一般采用组合式结构，由操作机构、定位系统、限位系统、触点系统、面板及手柄等组成，图 3-3 为万能转换开关一层结构原理图。它的操作位置有 2~12 个，触点座有 1~10 层，每层均可装 3 对触点，并由底座中间的凸轮控制，每层凸轮可以做成不同的形状，因此当手柄转到不同的位置时，通过凸轮带动触点运动，可使各对触点按要求接通和分断。

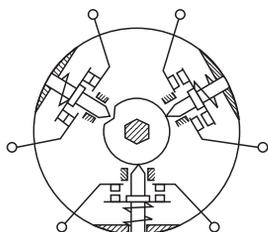


图 3-3 万能转换开关  
结构示意图

万能转换开关的手柄操作位置是以角度表示的，手柄在不同的转换角度，触点的状态是不同的，不同型号的万能转换开关的手柄有不同的操作位置。以 LW5-15D0403/2 型为例，它在电路图中的图形符号如图 3-4 所示，图中 1、2 表示一对触点，竖虚线表示手柄的位置，竖虚线上的黑点表示手柄在该位置时接通的触点对。该图含义为：当万能转换开关打向左 45°时，触点 1—2、3—4、5—6 闭合，触点 7—8 打开；打向 0°时，只有触点 5—6 闭合；向右 45°时，触点 7—8 闭合，其余打开。

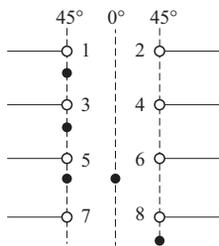


图 3-4 万能转换开关  
的图形符号

转换开关的主要参数有形式、手柄类型、触点通断状态表、工作电压、触点数量及其电流容量，在产品说明书中都有详细说明。常用的转换开关有 LW2、LW5、LW6、LW8、LW9、LW12、LW16、VK、3LB 和 HZ 等系列，其中 LW2 系列用于高压断路器操作回路的控制，LW5、LW6 系列多用于电力拖动系统中对线路或电动机进行控制，用于可逆运行控制时，只有在电动机停车后才允许反向启动。图 3-5 为其外形图。



图 3-5 转换开关外形图

转换开关的选择可以根据以下几个方面进行：①额定电压和工作电流；②手柄形式和定位特征；③触点数量和接线图编号；④面板形式及标志。

### 3.1.2 低压断路器

低压断路器又称自动空气开关，是低压配电网中的主要电气开关之一，应用极为广泛。低压断路器可用来分配电能、不频繁地启动异步电动机、对电动机及电源线路进行保护，当它们发生严重过载、短路或欠电压等故障时能自动切断电源（俗称自动跳闸）。其功能相当于刀开关、熔断器、热继电器和欠压继电器等的组合，而且在分断故障电流后，一般不需要更换零部件。

(1) 断路器的结构和工作原理 断路器主要由 3 个基本部分组成，即触点、灭弧系统和各种脱扣器，包括过电流脱扣器、失压（欠电压）脱扣器、热脱扣器、分励脱扣器和自由脱扣器等。常见断路器

的外形如图 3-6 所示。



图 3-6 断路器外形图

图 3-7 和图 3-8 是断路器工作原理示意图及图形符号。脱扣器是断路器的感测元件，当电路出现故障时，脱扣器通过自由脱扣机构使触点分断。自由脱扣机构和操作机构是断路器的机械传动部件，其作用是脱扣器线圈接收信号后，由操作机构实现断路器的自动跳闸和手动合闸。过电流脱扣器线圈串接于电路中，当线路的电流大于整定的电流值时，过电流脱扣器所产生的电磁力使自由脱扣器的挂钩脱扣，实现短路或过电流保护。失压（欠电压）脱扣器的线圈并接于电路中，正常工作时，处于吸合状态，当停电或电压很低时，失压脱扣器的吸力小于弹簧的反力，弹簧使自由脱扣器的挂钩脱扣，实现失压（欠电压）保护的功能。热脱扣器用于线路的过负荷保护，工作原理和热继电器相同。分励脱扣器用于远方跳闸，当在远方按下按钮时，分励脱扣器得电产生电磁力，使其脱扣跳闸，实现远距离控制分断电路。

低压断路器的主触点 1 靠手动操作或自动合闸。主触点 1 闭合后，自由脱扣机构 2 将主触点锁在合闸位置上。过电流脱扣器 3 的线圈和电源串联，当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器 3 的衔铁吸合，使自由脱扣机构 2 动作，主触点 1 断开主电路。当电路过载时，热脱扣器 5 的热元件发热使双金属片向上弯曲，推动自由脱扣机构 2 动作。当电路欠电压时，欠电压脱扣器 6 的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。分励脱扣器 4 则作为远距离控制用，在正常工作时，其线圈是断电的，在需要远距离控制时，按下启动按钮 7，使线圈得

电，衔铁带动自由脱扣机构动作，使主触点断开。

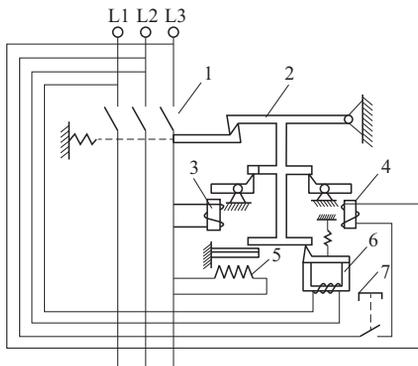


图 3-7 低压断路器工作原理图

- 1—主触点；2—自由脱扣机构；  
3—过电流脱扣器；4—分励脱扣器；  
5—热脱扣器；6—欠电压脱扣器；7—停止按钮

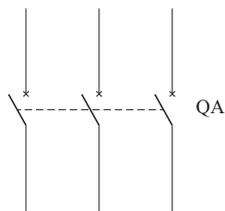


图 3-8 低压断路器的文字图形符号

## (2) 低压断路器的类型

① 万能式低压断路器又称开启式低压断路器。容量较大，具有较高的短路分断能力和较高的动稳定性。适用于交流 50Hz、额定电压 380V 的配电网中作为配电干线的主保护。主要型号有 DW10 和 DW15 两个系列。

② 装置式低压断路器又称塑料外壳式低压断路器。内装触点系统、灭弧室及脱钩器等，有手动和电动合闸。适用于配电网的保护和作为电动机、照明电路及电热器等的控制开关。主要型号有 DZ5、DZ10 和 DZ20 等系列。

③ 快速断路器具有快速电磁铁和强有力的灭弧装置，最快动作时间可在 0.02s 以内，用于半导体整流元件和整流装置的保护。主要型号有 DS 系列。

④ 限流断路器利用短路电流产生的巨大吸力，使触点迅速断开，能在交流短路电流尚未达到峰值之前就把故障电路切断，用于短路电流相当大（高达 70kA）的电路中。主要型号有 DWX15 和 DZX10 两个系列。

⑤ 智能化断路器，目前国产的智能化断路器有框架式和塑料外

壳式两种。前者主要用作智能化自动配电系统中的主断路器，后者主要用于配电网中，分配电能和作为电路及电源设备的控制和保护。智能化断路器的控制核心采用了微处理器或单片机技术，它不仅具有普通断路器的各种保护功能，同时还具有实时显示电路中的电气参数（电流、电压、功率、功率因数等），对电路进行在线监视、自动调节、测量、试验、自诊断和通信等功能。能够对各种保护功能的动作参数进行显示、设定和修改，保护电路动作时的故障参数能够存储以便查询。

（3）低压断路器的选择原则 低压断路器的选择应从以下几方面考虑：

① 断路器类型的选择：应根据使用场合和保护要求来选择。如一般选用塑壳式；短路电流很大时选用限流型；额定电流比较大或有选择性保护要求时选用框架式；控制和保护含有半导体器件的直流电路时应选用直流快速断路器等。

② 断路器额定电压、额定电流应大于或等于线路、设备的正常工作电压、工作电流。

③ 断路器极限通断能力大于或等于电路最大短路电流。

④ 欠电压脱扣器额定电压等于线路额定电压。

⑤ 过电流脱扣器的额定电流大于或等于线路的最大负载电流。

（4）使用低压断路器的注意事项

① 低压断路器投入使用时应先进行整定，按照要求整定热脱扣器的动作电流，以后不应随意旋动有关的螺钉和弹簧。

② 在安装低压断路器时，应注意把来自电源的母线接到开关灭弧罩一侧的端子上，来自电气设备的母线接到另外一侧的端子上。

③ 在正常情况下，每6个月应对开关进行一次检修，清除灰尘。

④ 发生断、短路事故的动作后，应立即对触点进行清理，检查有无熔坏，清除金属熔粒、粉尘，特别要把散落在绝缘体上的金属粉尘清除掉。

使用低压断路器来实现短路保护比熔断器要好，因为三相电路短路时，很可能只有一相熔断器熔断，造成缺相运行。对于低压断路器来说，只要造成短路就会使开关跳闸，将三相同时切断。低压断路器还有其他自动保护作用，性能优越，但其结构复杂，操作频率低，价

格高，因此适合于要求较高的场合，如电源总配电盘。

### (5) 空气开关触点系统常见故障与维修

① 触点压力不足。因长期使用，触点弹簧变形、氧化，张力消失或减退，因触点过热，触点弹簧退火，都是触点压力不足的原因，对此要检查触点初压力和终压力是否符合要求。初压力检测方法：在动触点和支持板之间放入一张纸条，纸条在触点弹簧压力下被压紧，在动触点上装一弹簧秤，右手拉弹簧秤，左手轻轻拉纸条，当纸条刚可以抽出时，弹簧秤上的读数即为初压力。

将开关合上，使触点闭合，纸条夹在动静触点之间，按测初压力的方法，当纸条刚可抽出时，弹簧秤上的读数就是终压力。触点压力也可以用下式估算：初压力（kg）= 0.5 × 触点终压力，终压力（kg）= 2.25 × 触点额定电流（A）/100。

根据触点初、终压力的数值，可以重新配制弹簧，也可以自行绕制。自行绕制时，选择合适的琴钢丝，按同样的直径和匝数进行绕制，但往往由于绕制工艺问题，所得的弹簧力大小有差别，需要将弹簧的直径和匝数进行调节。调节的办法是：钢丝越粗，弹力越大；弹簧外径越大，弹力越小；匝数越多，弹力越小。绕制时用一根圆铁棒夹在老虎钳上，再在圆铁棒上齐密缠绕，所用铁棒直径要比弹簧内径小一些，因绕好后弹簧直径会增大，绕好后的弹簧应热处理，否则无弹性。

绕制弹簧：在台钳上用两块硬木板将钢丝夹紧，圆铁棒变成一个摇手柄，在一端开一个槽，将钢丝头钳入槽内，摇手柄将钢丝卷在铁棒上，匝与匝之间的节距，用厚度与节距相等的铁皮钳入匝与匝之间，用来控制节距。铁棒直径选用经验：直径 0.9mm 以下钢丝应比弹簧直径小 2mm，0.9 ~ 1.63mm 的钢丝比弹簧直径小 3mm，1.63 ~ 2.6mm 的钢丝，圆铁棒直径应比弹簧直径小 4mm。

② 触点表面氧化。金属的氧化层是一种不良导体。触点温度越高，氧化越严重，接触电阻越大，发热就更厉害，造成触点损坏。所以一般将触点设计成在闭合时有一滚动和滑动过程，便能自动消除氧化膜。对氧化严重的触点，最好将触点拆下放入硫酸中用刷子将氧化层刷去，然后放入碱水里中和，再用自来水冲干净。在应急的情况下，可用砂纸将氧化膜除掉。触点上的油垢用四氯化碳或汽油清洗。

③ 触点容量不够大。电流超过了额定值，引起触点发热。触点磨损过多，压力减小，也引起触点过热。

④ 触点烧坏。一种是因开关分断时，电弧在触点之间燃烧，使触点熔化。另一种是开关闭合时烧毛，因在闭合时动触点具有一定动能，当它与静触点相碰时，要发生跳动，而这时正是电动机启动之际，通过触点的电流很大，使触点在跳动的过程中形成电弧，将触点烧毛。跳动的原因是初压力太小，或断开很大的故障电流，这都是烧毛的原因。顺便指出，触点轻微的烧毛是一种正常现象。烧毛的触点表面会出现凸出的小点，造成触点接触不良，应把触点表面锉平，并要保持触点表面的形状和原来一样，切勿锉得太多，否则就不能使用。

⑤ 触点熔焊。严重的电弧会使触点熔化，熔化的金属在触点闭合后，使动静触点焊在一起，分断电路时，触点无法分开，这是严重的故障。其原因一方面是触点弹簧损坏，初压力太小；另一方面可能是开关太小。电动机在频繁启动时也可能造成熔焊的现象，在这种情况下，应选用性能更好的开关。

⑥ 触点磨损。主要由于电弧的高温使金属气化蒸发，触点厚度变得越来越薄，这种磨损是正常现象，所以触点使用时间长了应当更换。但不正常的磨损则是一种故障，必须排除。

故障性磨损的原因，一是触点弹簧损坏，初压力不足；二是电源电压太低，电磁吸力不足，触点闭合后发生跳动；三是电源电压高于吸引线圈的额定电压，开关闭合时触点动能加剧，磨损也增加。

磨损的触点，如果“超程”减少了一半，就需要更换新的。触点是易磨损零件，应有备品，无备件亦可制作，用紫铜（但不能退火），应按同样材料和形状去仿制，不能随意改动，如果新制触点重量与原来的重量相比增加许多，会加剧闭合时的触点跳动。

⑦ 触点状态的调整。修复后的触点一般应进行调整，调整的原则：预接触点应在主触点前接通；灭弧触点应在主触点后断开；动静触点应当对齐；非正常情况下的接触，即宽度在5mm之内的小面积接触，应调整成面接触，即不小于全部接触面积的2/3，且宽度应大于5mm。检查触点接触情况的方法：在触点接触面上垫一层复写纸和一张白纸，由于接触压力使复写纸在白纸上印有痕迹，以此判断接触情况。

⑧ 消除触点的跳动。触点跳动是开关最常见的毛病，也是最难排除的故障。将经常跳动的开关触点拆下，按原样用弹性弱的材料（如紫铜等），比原触点重量增加10%~15%（最好在试验中得出合适值），重新制作。但触桥应平直，不准有拱形。

(6) 空气开关灭弧系统常见故障与维修 开关分断，触点间产生电弧，在正常情况下，电弧很快进入灭弧装置中，迅速熄灭，从电弧开始燃烧到熄灭，只有0.01~0.02s，如果灭弧系统发生故障，灭弧时间就延长了，甚至不熄灭。用下述现象判断灭弧时间。正常情况下电弧喷出灭弧罩的范围很小，常听到一声清脆有力的声音；如果电弧喷射范围很大，听到一种软弱无力的卞卞声，并且伴随触点严重烧毛，灭弧罩烧焦，这是灭弧时间延长了，其后果会把开关烧坏，甚至引起爆炸事故。其故障现象及处理办法如下。

① 灭弧罩受潮。如果灭弧罩是用石棉水泥制成的，它会在空气中吸潮，在使用时被雨水淋潮，故它的绝缘性能就会降低；还会因潮气在电弧的高温作用下，弧罩内水分汽化，罩内上部压力增加，电弧不能进入灭弧罩，所以电弧不能熄灭。对此应当立即烘干排除之。

② 磁吹线圈匝间短路。在磁吹灭弧装置中，静触点附近都装有磁吹线圈，这种线圈靠空气绝缘，在使用中如不小心，受到冲击或碰撞将会造成匝间短路，有效匝数减小，磁场减弱，磁吹能力不足，电弧不能迅速进入灭弧罩，灭弧时间延长。这种故障只要用螺丝刀（螺钉旋具）将短路匝拨正消除即可。

③ 灭弧罩炭化。在长期使用中，灭弧罩的电弧高温作用下，表面被焦化，形成一种碳质导电层，这对灭弧很不利，应及时消除。如果是石棉水泥灭弧罩可用细锉把烧焦的部分锉掉，或用小刀刮掉，但必须保证表面光洁度，因为毛糙的表面，会增大电弧运动的阻力，不利于灭弧。修好的灭弧罩，应吹刷干净，不能留有金属微粒或其他导电杂质。

④ 弧罩打破。没有弧罩的开关绝对不能使用，否则会造成相间飞弧，引起短路，应迅速配制。应急使用时，可用手工雕刻一个石棉水泥罩，但尺寸外形应和原来一样，无石棉水泥板用大理石也行。

⑤ 弧角脱落。有些开关在动静触点上装有弧角，弧角的作用是引导电弧吹进灭弧罩，加速电弧熄灭。如弧角脱落，会使灭弧时间增长，

必须将弧角装上。如已遗失可用紫铜做一个与原样相同的弧角来代替。

⑥ 灭弧栅片脱落。灭弧罩上装有很多栅片，用来加强近极效应，促进电弧熄灭。如果栅片损坏或遗失，应当补上。从外面看，栅片是铜片做的，而实质上是铁片镀了一层铜，故栅片应当用铁片来制作。因为铜片是不能把电弧吸进灭弧室的，这样电弧不能熄灭，换栅片时应当注意。

### 3.1.3 接触器

接触器按其主触点控制的电路中电流种类分类，有直流接触器和交流接触器。按其主触点的极数来分，则直流接触器有单极和双极两种，交流接触器有三极、四极和五极三种。按控制电路操作电压的种类分类，有交流操作、直流操作和交直流两用操作三种。

(1) 接触器通用结构 目前最常用、最普通的是电磁式交流接触器，它是由电磁机构、触点系统、灭弧装置和其他部件组成的。图 3-9 为交流接触器的结构示意图及图形符号。要注意的是，在绘制电路图时同一电器必须使用同一文字符号。

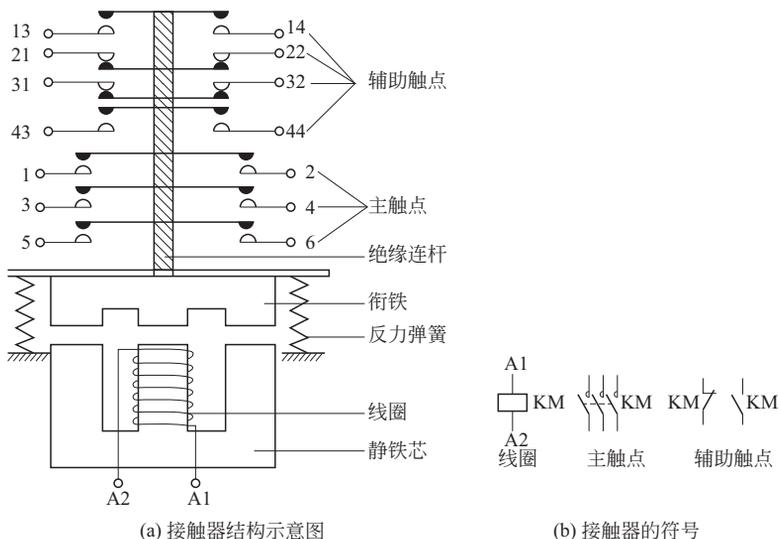


图 3-9 交流接触器的结构示意图及图形符号

① 电磁机构：由线圈、衔铁和静铁芯组成。线圈用较粗一点的漆包线绕在骨架上做成扁而厚的形状，与铁芯隔离，有利于它们的散热；铁芯和衔铁用硅钢片叠成，可减小涡流和磁滞损耗。在铁芯柱端面上一般嵌装短路铜环，目的是消除因交变磁通随交流电流过零而引起衔铁在吸合过程中所产生的振动和噪声。

② 触点系统：交流接触器的触点系统包括主触点和辅助触点。主触点用于通断主电路，有三对、四对或五对常开触点；辅助触点用于控制电路，起电气联锁或控制作用，通常有两对常开和两对常闭触点。

③ 灭弧装置：在自然环境中开断电路时，如果被开断电路的电压（电流）超过某一数值，则触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场作用下产生的放电现象。电弧对电器的影响主要有三方面：触点虽已打开，但由于电弧的存在，使电路的切断时间延长，甚至不能断开；电弧的温度很高，严重时可使触点熔化；电弧向四周喷射，会使电器及周围物质损坏，甚至造成短路，引起火灾。主触点电流在 20A 以上的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用双断口桥形触点，装有陶土灭弧罩，以利于灭弧；对于大容量的接触器，常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧结构。

④ 其他部件：包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构及外壳等。

接触器上标有端子标号，线圈为 A1、A2，主触点 1、3、5 接电源侧，2、4、6 接负荷侧；辅助触点用两位数表示，前一位为辅助触点顺序号，后一位的 3、4 表示常开触点，1、2 表示常闭触点。

直流接触器和交流接触器在结构上基本相同。不同的地方有：直流接触器的铁芯由整块软钢组成，不存在发热问题；直流接触器线圈用细的漆包线绕成匝多且长而薄的圆筒形，与铁芯直接接触，易于散热；直流接触器灭弧较难，一般采用磁吹灭弧装置。

(2) 基本工作原理 当线圈接通额定电压时，在静铁芯中产生电磁场，衔铁受到电磁力的吸引，克服弹簧反力，向下运动，衔铁带动绝缘连杆和动触点也向下运动，使常开触点闭合，常闭触点断开。当线圈失电或电压低于释放电压时，电磁力小于弹簧反力，衔铁返回原位，常开触点断开，常闭触点闭合。

### (3) 接触器的主要技术参数

① 额定电压：接触器铭牌上标注的额定电压是指主触点的额定电压。通常用的是额定电压等级。交流接触器有：110V、220V、380V、500V、660V 和 690V 等，在特殊场合应用的额定电压高达 1140V。直流接触器主要有：110V、220V、440V 和 660V 等。

② 额定电流：接触器铭牌上标注的额定电流是指主触点的额定工作电流。它是在一定的条件（额定电压、使用类别和操作频率等）下规定的，目前常用的是电流等级。交流接触器有：5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A、800A、1000A 等电流等级。直流接触器有：5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A、800A、1000A 等电流等级。

③ 线圈的额定电压：通常用的是额定电压等级。交流有 36V、127V、220V 和 380V，直流有 24V、48V、220V 和 440V。

④ 动作值：动作值是指接触器的吸合电压和释放电压。规定接触器的吸合电压大于线圈额定电压的 85% 时应可靠吸合，释放电压不高于线圈额定电压的 70%。

⑤ 通断能力：可分为最大接通电流和最大分断电流。最大接通电流是指触点闭合时不会造成触点熔焊时的最大电流值；最大分断电流是指触点断开时能可靠灭弧的最大电流。一般通断能力是额定电流的 5~10 倍。当然，这一数值与开断电路的电压等级有关，电压越高，通断能力越小。

⑥ 操作频率：接触器在吸合瞬间，吸引线圈需消耗比额定电流大 5~7 倍的电流，如果操作频率过高，则会使线圈严重发热，直接影响接触器的正常使用。为此，规定了接触器的允许操作频率，一般为每小时允许操作次数的最大值。

⑦ 寿命：包括电寿命和机械寿命。目前接触器的机械寿命已达一千万次以上，电气寿命是机械寿命的 5%~20%。

交流接触器启动时，由于铁芯和衔铁之间的空隙大，电抗小，通过线圈的励磁电流很大，往往大于工作电流的十几倍，如频繁启动，使励磁线圈通过很大的启动电流，会引起线圈产生过热现象，严重时会将线圈烧毁。

(4) 常用接触器的型号 目前常用国产交流接触器的型号有

CJ10、CJ12、CJ20 系列产品。CJ10 为国产老型号产品。CJ20 为 20 世纪 80 年代开发的新产品，可取代 CJ10 系列。CJ12 主要应用于冶金、矿山机械及起重机等设备。型号的含义是：“C”代表接触器，“J”代表交流，数字为产品序列号，短线后的数字则表示主触点的额定电流。例如：CJ20-63 型，表示 CJ20 系列的交流接触器，主触点的额定电流是 63A。此外还有许多引进国外技术生产的新产品，如引进德国西门子制造技术生产的 CJX1 系列，性能、特性及安装尺寸等同于德国西门子公司生产的 3TB、3TF、3TD 系列。这些产品的特点是其结构和材质有所改进，体积小，并采用“积木式”组合结构，触点数量、使用功能可进行组装扩大，使用更加灵活方便。接触器的外形如图 3-10 所示。

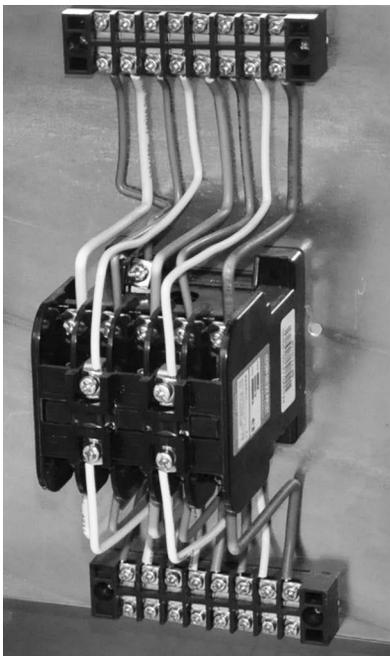


图 3-10 接触器外形图

#### (5) 交流接触器的选择

##### ① 根据负载性质选择接触器的类型。

交流接触器按负荷种类一般分为一类、二类、三类和四类，分别记为 AC1、AC2、AC3 和 AC4。一类交流接触器对应的控制对象是无感或微感负荷，如白炽灯、电阻炉等；二类交流接触器用于绕线式异步电动机的启动和停止；三类交流接触器的典型用途是笼型异步电动机的运转和运行中分断；四类交流接触器用于笼型异步电动机的启动、反接制动、反转和点动。

② 根据被控对象和工作参数如电压、电流、功率、频率及工作制等确定接触器的额定参数。

a. 接触器的线圈电压，一般应低一些为好，这样对接触器的绝缘要求可以降低，使用时也较安全。但为了方便和减少设备，常按实

际电网电压选取。

b. 电动机的操作频率不高，如压缩机、水泵、风机、空调、冲床等，接触器额定电流大于负荷额定电流即可。接触器类型可选用 CJ10、CJ20 等。

c. 对重任务型电机，如机床主电机、升降设备、绞盘、破碎机 etc，其平均操作频率超过 100 次/min，运行于启动、点动、正反向制动、反接制动等状态，可选用 CJ10Z、CJ12 型的接触器。为了保证电气寿命，可使接触器降容使用。选用时，接触器额定电流大于电机额定电流。

d. 对特重任务电机，如印刷机、镗床等，操作频率很高，可达 600~12000 次/h，经常运行于启动、反接制动、反向等状态，接触器大致可按电气寿命及启动电流选用，接触器型号选 CJ10Z、CJ12 等。

e. 交流回路中的电容器投入电网或从电网中切除时，选择接触器时应考虑电容器的合闸冲击电流。一般地，接触器的额定电流可按电容器的额定电流的 1.5 倍选取，型号选 CJ10、CJ20 等。

f. 用接触器对变压器进行控制时，应考虑浪涌电流的大小。例如交流电弧焊机、电阻焊机等，一般可按变压器额定电流的 2 倍选取接触器，型号选 CJ10、CJ20 等。

g. 对于电热设备，如电阻炉、电热器等，负荷的冷态电阻较小，因此启动电流相应要大一些。选用接触器时可不用考虑启动电流，直接按负荷额定电流选取。型号可选用 CJ10、CJ20 等。

h. 由于气体放电灯启动电流大、启动时间长，对于照明设备的控制，可按额定电流的 1.1~1.4 倍选取交流接触器，型号可选 CJ10、CJ20 等。

i. 接触器额定电流是指接触器在长期工作下的最大允许电流，持续时间 $\leq 8\text{h}$ ，且安装于敞开的控制板上，如果冷却条件较差，选用接触器时，接触器的额定电流按负荷额定电流的 110%~120% 选取。对于长时间工作的电机，由于其氧化膜没有机会得到清除，使接触电阻增大，导致触点发热超过允许温升。实际选用时，可将接触器的额定电流减小 30% 使用。

(6) 交流接触器常见故障和处理方法 交流接触器是一种电磁式

自动开关，它主要用于远距离控制功率较大，启动频繁的电动机及其他负载，是电力系统中最常用的控制电器。它故障时易造成设备与人身事故，须设法排除。

① 线圈通电后，接触器不动作或动作不正常。

a. 线圈控制线路断路。看接线端子有没有断线或松脱现象，如有断线更换相应导线。如有松脱紧固相应接线端子。

b. 线圈损坏。用万用表测线圈的电阻，如电阻为 $+\infty$ ，则更换线圈。

c. 热继电器动作后未复位。用万用表电阻挡测热继电器的两个常闭触点之间的阻值，如为 $+\infty$ ，则按下热继电器的复位按钮即可。

d. 线圈额定电压比线路电压高。换上适应控制线路电压的线圈。

e. 触点弹簧压力或释放弹簧压力过大。调整弹簧压力或更换弹簧。

f. 按钮触点或辅助触点接触不良。清理按钮触点或更换相应按钮。

g. 触点超行程过大。调整触点超程。

② 线圈断电后，接触器不释放或延时释放。

a. 磁系统中柱无气隙，剩磁过大。将剩磁间隙处的极面锉去一部分，使间隙为 $0.1\sim 0.3\text{mm}$ ，或在线圈两端并联一个 $0.1\mu\text{F}$ 电容。

b. 启用的接触器铁芯表面有油或使用一段时间后有油。将铁芯表面防锈油脂擦干净，铁芯表面要求平整，但不宜过光，否则易于造成延时释放。

c. 触点抗熔焊性能差，在启动电动机或线路短路时，大电流使触点焊牢而不能释放，其中以纯银触点较易熔焊。交流接触器的主触点应选用抗熔焊能力强的银基合金，如银铁、银镍等。

d. 控制线路接错。按控制线路图更正接错部位。

③ 线圈过热烧损或损坏。

a. 铁芯极面不平或中柱气隙过大。清理极面或调铁芯，更换线圈。

b. 机械损伤，运动部分被卡住。修复机械部分，更换线圈。

c. 环境温度过高，或空气潮湿，或含有腐蚀性气体使线圈绝缘损坏。更换安装位置，更换线圈。

④ 电磁铁噪声过大。

- a. 短路环断裂。更换短路环或铁芯。
- b. 触点弹簧压力过大，或触点超行程过大。调整弹簧触点压力或减小超行程。
- c. 衔铁与机械部分的连接销松动，或夹紧螺钉松动。装好连接销，紧固夹紧螺钉。

⑤ 相间短路。

- a. 接触器上堆积的尘埃太多或粘有水气、油垢使绝缘破坏。接触器要经常清扫，保持清洁、干燥。
- b. 在仅用电气联锁的情况下，可逆转换接触器的切换时间短于燃弧时间。增加机械联锁。
- c. 灭弧罩破裂，或接触器零部件被电弧烧损而严重炭化。更换灭弧罩，或更换损坏的部件。

### 3.1.4 主令电器（按钮、行程开关、接近开关）

主令电器用来闭合和断开控制电路，执行对应的控制任务，例如控制电力拖动系统中电动机的启动、停车、制动以及调速等。在控制电路中，由于它是一种专门发布命令的电器，故称为主令电器。主令电器不允许分合主电路。常用主令电器有按钮、行程开关、接近开关、主令控制器、选择开关、脚踏开关、倒顺开关、紧急开关、钮子开关等。

(1) 按钮 按钮是一种结构简单、使用广泛的手动主令电器，在低压控制电路中，可以与接触器或继电器配合，对电动机实现远距离自动控制，也可以用来转换各种信号及构成电气联锁电路。

① 按钮的结构、种类 按钮由按钮帽、复位弹簧、桥式触点和外壳等组成，其结构示意图及图形文字符号如图 3-11 所示。触点采用桥式触点，额定电流在 5A 以下；触点又分常开触点（动合触点）和常闭触点（动断触点）两种。当按下按钮时，常闭触点先断开，常开触点后接通；按钮释放后，在复位弹簧作用下使触点复位。按钮接线没有进线和出线之分，直接将所需的触点连入电路即可。

按钮从外形和操作方式上可以分为平钮和急停按钮，急停按钮也叫蘑菇头按钮，除此之外还有钥匙钮、旋钮、拉式钮、万向操纵杆式按钮、带灯式按钮等多种。

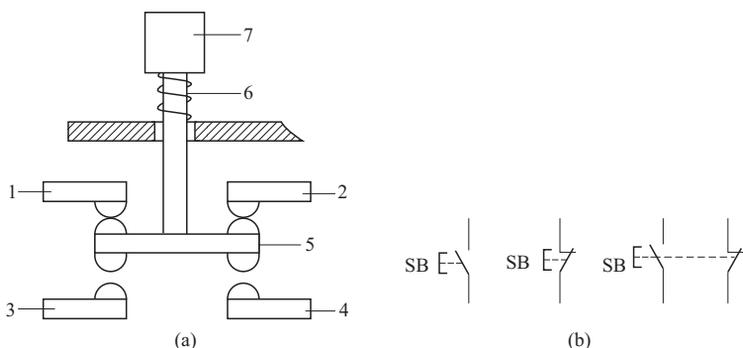


图 3-11 按钮结构示意图及图形符号

1, 2—常闭静触点; 3, 4—常开静触点; 5—动触点; 6—复位弹簧; 7—按钮帽

② 按钮的颜色 为便于区分各按钮不同的作用，将按钮帽做成不同的颜色，以避免操作者发生误操作。表 3-1 给出了按钮颜色的含义。图 3-12 为一些按钮的外形图。

表 3-1 按钮颜色的含义

颜色	含义	举例
红	处理事故	紧急停机、扑灭燃烧
	“停止”或“断电”	正常停机 停止一台或多台电动机 装置的局部停机 切断一个开关 带有“停止”或“断电”功能的复位
绿	“启动”或“通电”	正常启动 启动一台或多台电动机 装置的局部启动 接通一个开关装置（投入运行）
黄	参与	防止意外情况 参与抑制反常的状态 避免不需要的变化（事故）
蓝	上述颜色未包含的任何指定用意	凡红、黄和绿色未包含的用意，皆可用蓝色
黑、灰、白	无特定用意	除单功能的“停止”或“断电”按钮外的任何功能



图 3-12 按钮外形图

### ③ 按钮选择原则

- a. 根据使用场合，选择控制按钮的种类，如开启式、防水式、防腐式等。
- b. 根据用途，选用合适的形式，如钥匙式、紧急式、带灯式等。
- c. 按控制回路的需要，确定不同的按钮数，如单钮、双钮、三钮、多钮等。
- d. 按工作状态指示和工作情况的要求，选择按钮及指示灯的颜色。

(2) 行程开关 行程开关又叫限位开关，行程开关的工作原理和按钮相同，区别在于它不是靠手的按压，而是利用生产机械的运动部件碰压，使触点动作并发出控制指令的。它将机械位移转换为电信号，用于控制生产机械的运动方向、速度、行程大小或位置等。

行程开关的种类很多，行程开关按其结构可分为直动式（如 LX1、JLXK1 系列）、滚轮式（如 LX2、JLXK2 系列）和微动式（LXW-11、JLXK1-11 系列）3 种。

直动式行程开关的外形及结构原理如图 3-13 所示，它的动作原理与按钮相同，但它的触点分合速度取决于生产机械的移动速度，当移动速度低于  $0.4\text{m}/\text{min}$  时，触点断开太慢，易受电弧烧损，为此，应采用有盘形弹簧机构瞬时动作的滚轮式行程开关，如图 3-14 所示。当生产机械的行程比较小且作用力也很小时，可采用具有瞬时动作和

微小动作的微动开关，如图 3-15 所示，它是行程非常小的瞬时动作开关，其特点是操作力小且操作行程短，常用于机械、纺织、轻工、电子仪器等各种机械设备和家用电器中，作限位保护和联锁。微动开关可看成尺寸甚小而又非常灵敏的微动式行程开关。行程开关图形符号如图 3-16 所示，外形图如图 3-17 所示。

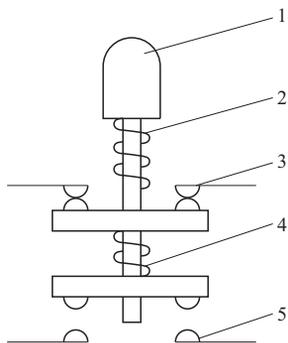


图 3-13 直动式行程开关结构示意图

1—顶杆；2—弹簧；3—动断触点；  
4—触点弹簧；5—动合触点

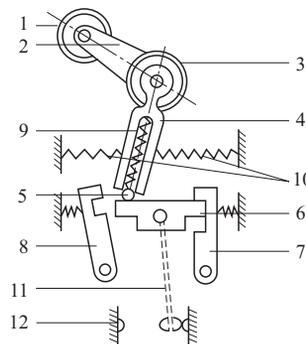


图 3-14 滚轮式行程开关的内部结构

1—滚轮；2—上转臂；3—盘形弹簧；4—推杆；  
5—小滚轮；6—操纵件；7、8—压板；  
9、10—弹簧；11—动触点；12—静触点

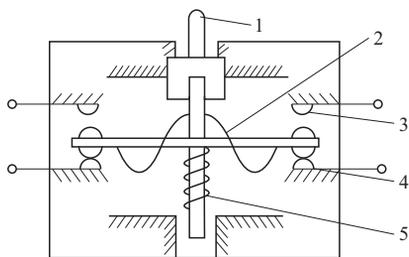


图 3-15 微动式行程开关的内部结构

1—推杆；2—弹簧；3—动合触点；  
4—动断触点；5—压缩弹簧

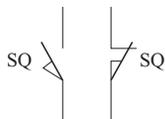


图 3-16 行程开关  
图形符号

有触点行程开关的选择应注意：①应用场合及控制对象；②安装环境选择防护形式，如开启式或保护式；③控制回路的电压和电流；④机械式行程开关的传力与位移关系选择合适的头部形式。



图 3-17 行程开关外形图

(3) 接近开关 无触点行程开关又称为接近开关，其功能是当某物体与之接近到一定距离时就发出动作信号，而不像机械行程开关那样需要施加机械力。接近开关是通过其感应头与被测物体间介质能量的变化来获取信号的。接近开关的应用已超出一般行程控制和限位保护的范畴，可用于高速计数、测速、液面控制、检测金属体的存在、测量零件尺寸以及无触点按钮等场合。即使用作一般行程开关，其定位精度、操作频率、使用寿命及对恶劣环境的适应能力也比机械行程开关高。

接近开关按检测元件的工作原理可分为高频振荡型、超声波型、电容型、电磁感应型、永磁型、霍尔元件型与磁敏元件型等。不同形式的接近开关所检测的被检测体不同。

电容式接近开关可以检测各种固体、液体或粉状物体，其主要由电容式振荡器及电子电路组成，它的电容位于传感界面，当物体接近时，将因改变了电容值而振荡，从而产生输出信号。

霍尔接近开关用于检测磁场，一般用磁钢作为被检测体。其内部的磁敏感器件仅对垂直于传感器端面的磁场敏感，当磁极 S 极正对接近开关时，接近开关的输出产生正跳变，输出为高电平，若磁极 N 极正对接近开关时，输出为低电平。

超声波接近开关适于检测不能或不可触及的目标，其控制功能不受声、电、光等因素干扰，检测物体可以是固体、液体或粉末状态的物体，只要能反射超声波即可。其主要由压电陶瓷传感器、发射超声

波和接收反射波用的电子装置及调节检测范围用的程控桥式开关等几个部分组成。

高频振荡式接近开关用于检测各种金属，主要由高频振荡器、集成电路或晶体管放大器和输出器三部分组成，其基本工作原理是当有金属物体接近振荡器的线圈时，该金属物体内部产生的涡流将吸取振荡器的能量，致使振荡器停振。振荡器的振荡和停振这两个信号，经整形放大后转换成开关信号输出。

接近开关的产品种类十分丰富，常用的国产接近开关有 LJ、3SG 和 LXJ18 等多种系列，国外进口及引进产品亦在国内有大量的应用，外形如图 3-18 所示。



图 3-18 接近开关外形图

接近开关选择的原则：①工作频率、可靠性及精度；②检测距离、安装尺寸；③触点形式（有触点、无触点）、触点数量及输出形式（NPN 型、PNP 型）；④电源类型（直流、交流）、电压等级。

## 3.2 保护电器

### 3.2.1 熔断器

熔断器是一种简单而有效的一次性保护电器，在电路中主要起短路和严重过载保护作用。熔断器的熔体串接于被保护的电路中，当电路发生短路或过载故障时，通过熔体的电流使其发热，当达到熔化温度时，熔体自行熔断，从而分断故障电路实现保护。熔断器具有结构

简单、体积小、重量轻、使用维护方便、价格低廉、分断能力较强、限流能力良好等优点，因此在电路中得到了广泛应用。

(1) 熔断器的结构与分类 熔断器结构一般由熔体、安装熔体的绝缘底座（或称熔管）、填料及导电部件等组成。熔断器种类很多，按结构分为开启式、半封闭式和封闭式；按有无填料分为有填料式、无填料式；按用途分为工业用熔断器、保护半导体器件熔断器及自复式熔断器等。常用的产品系列有 RC 系列插入式熔断器，RL 系列螺旋式熔断器，RB 系列玻璃管式熔断器，RT 系列有填料密封管式熔断器，RM 系列无填料密封管式熔断器，NT 系列高分断能力熔断器，RLS、RST、RS 系列半导体器件保护用快速熔断器，HG 系列熔断器式隔离器和特殊熔断器等，外形如图 3-19 所示。



图 3-19 熔断器外形图

① 插入式熔断器 插入式熔断器如图 3-20 所示。常用的产品有 RC1A 系列，主要用于低压分支电路的短路保护，因其分断能力较小，多用于照明电路和小型动力电路中。

② 螺旋式熔断器 螺旋式熔断器如图 3-21 所示。熔芯内装有熔丝，并填充石英砂，用于熄灭电弧，分断能力强。熔体上的上端盖有一熔断指示器，一旦熔体熔断，指示器马上弹出，可透过瓷帽上的玻璃孔观察到。常用产品有 RL6、RL7 和 RLS2 等系列，其中 RL6 和 RL7 多用于机床配电电路中；RLS2 为快速熔断器，主要用于保护半导体元件。

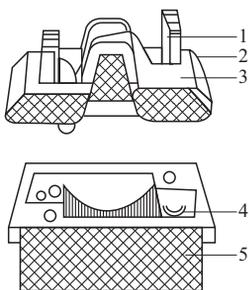


图 3-20 插入式熔断器

1—动触点；2—熔体；3—瓷插件；  
4—静触点；5—瓷座

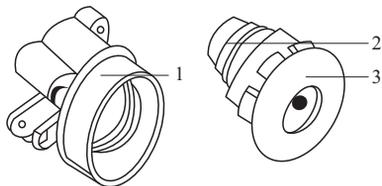


图 3-21 螺旋式熔断器

1—底座；2—熔体；3—瓷帽

③ RM10 型密封管式熔断器 RM10 型密封管式熔断器为无填料密封管式熔断器，如图 3-22 所示。主要用于供配电系统中作为线路的短路保护及过载保护，它采用变截面片状熔体和密封纤维管。由于熔体较窄处的电阻小，在短路电流通过时产生的热量最大，先熔断，因而可产生多个熔断点使电弧分散，以利于灭弧。短路时其电弧燃烧密封纤维管产生高压气体，以便将电弧迅速熄灭。

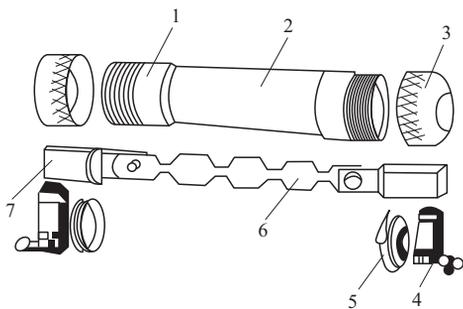


图 3-22 无填料密封管式熔断器

1—铜圈；2—熔断管；3—管帽；4—插座；5—特殊垫圈；6—熔体；7—熔片

④ RT 型有填料密封管式熔断器 RT 型有填料密封管式熔断器如图 3-23 所示。熔断器中装有石英砂，用来冷却和熄灭电弧，熔体为网状，短路时可使电弧分散，由石英砂将电弧冷却熄灭，可将电弧在短路电流达到最大值之前迅速熄灭，以限制短路电流。此为限流式

熔断器，常用于大容量电力网或配电设备中。常用产品有 RT12、RT14、RT15 和 RS3 等系列，RS3 系列为快速熔断器，主要用于保护半导体元件。

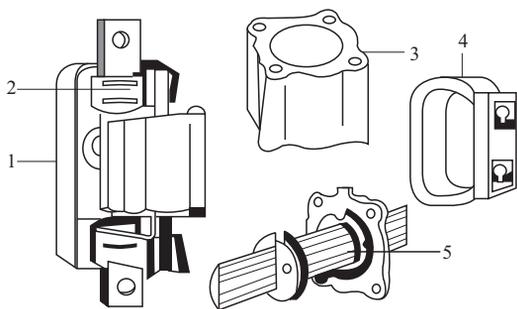


图 3-23 有填料密封管式熔断器

1—瓷底座；2—弹簧片；3—管体；4—绝缘手柄；5—熔体

(2) 熔断器的选择 选择熔断器时主要考虑熔断器的种类、额定电压、额定电流和熔体的额定电流等。

① 熔断器的类型主要依据负载的保护特性和短路电流的大小、使用场合和安装条件、熔断器的适用范围来选择。对于容量小的电动机和照明支线，常采用熔断器作为过载及短路保护，因此熔体的熔化系数可适当小些；对于较大容量的电动机和照明干线，则应着重考虑短路保护和分断能力，通常选用具有较高分断能力的熔断器；当短路电流很大时，宜采用具有限流作用的熔断器。

② 熔断器额定电压的选择值一般应等于或大于电气设备的额定工作电压。

③ 熔体的额定电流的选择。

a. 对于负载平稳无冲击的照明电路、电炉等，熔体额定电流略大于或等于负荷电路中的额定电流，即  $I_r \geq I_N$ 。式中， $I_r$  为熔体的额定电流； $I_N$  为负载的额定电流。

b. 对于单台长期工作的电动机，熔体电流可按最大启动电流选取，也可按下式选取。

$$I_r \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$$

式中， $I_r$  为熔体的额定电流； $I_N$  为电动机的额定电流。如果电

动机频繁启动，式中系数可适当加大至3~3.5，具体应根据实际情况而定。

c. 对于多台长期工作的电动机（供电干线）的熔断器，熔体的额定电流应满足下列关系。

$$I_r \geq (1.5 \sim 2.5)I_{N_{\max}} + \sum I_N$$

式中， $I_{N_{\max}}$ 为多台电动机中容量最大的一台电动机的额定电流； $\sum I_N$ 为其余电动机额定电流之和。

当熔体额定电流确定后，根据熔断器额定电流大于或等于熔体额定电流来确定熔断器额定电流。

d. 熔断器级间的配合。为防止发生越级熔断，上、下级（即供电干、支线）的熔断器之间应有良好的配合。选用时，应使上级（供电干线）熔断器的熔体额定电流比下级（供电支线）的大1~2个级差。

熔断器的图形符号和文字符号如图3-24所示。

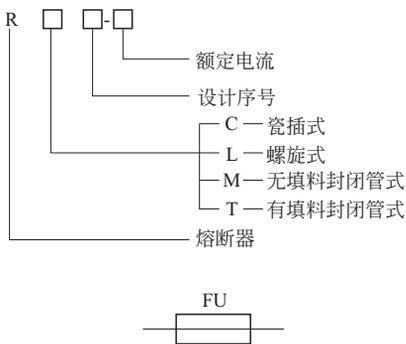


图 3-24 熔断器的文字图形符号

### 3.2.2 热继电器

热继电器主要用于电气设备的过载保护。热继电器是利用电流热效应原理，当热量积聚到一定程度时使触点动作，从而切断电路，实现保护的电器。例如：三相异步电动机在实际运行中，常会遇到因电气或机械故障等引起的过电流（如过载和断相）现象。如果过电流不严重，持续时间短，绕组不超过允许温升，这种过电流是允许的；如果过电流情况严重，持续时间较长，则会加快电动机绝缘老化，甚至烧毁电动机，因此，在电动机回路中应设置电动机过载保护装置。

(1) 分类 热继电器按照动作方式，可分为双金属片式、热敏电阻式、易熔合金式以及电子式等几种，使用最普遍的是双金属片式，它结构简单、成本较低，且具有良好的反时限特性（即电流越大动作时间越短，电流与时间成反比）。

(2) 结构及工作原理 图 3-25 所示是双金属片式热继电器的结构示意图和图形符号。由图可见,热继电器主要由双金属片、热元件、复位按钮、传动杆、拉簧、调节旋钮、复位螺钉、触点和接线端子等组成。

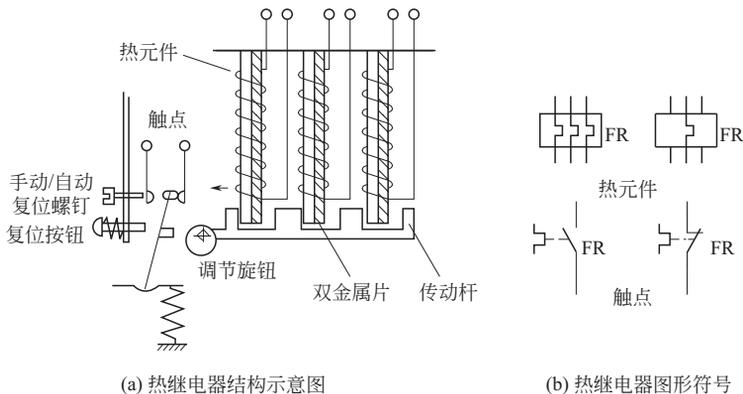


图 3-25 双金属片式热继电器结构示意图及图形符号

双金属片是一种将两种线胀系数不同的金属用机械碾压方法使之形成一体的金属片。由于两种线胀系数不同的金属紧密地贴在一起,当产生热效应时,双金属片会向膨胀系数小的一侧弯曲,由弯曲产生的位移带动触点动作。

热元件串接于电动机的主定子电路中,通过热元件的电流就是电动机的工作电流。当电动机正常运行时,其工作电流通过热元件产生的热量使双金属片变形,但变形小不足以使热继电器动作。当电动机发生过电流且超过整定值时,热元件产生的热量增大,使双金属片弯曲位移增大,在达到一定程度时,通过传动机构使触点系统动作,通过控制电路切断电动机的工作电源,同时,热元件也因失电而逐渐降温,经过一段时间的冷却,双金属片恢复到原来状态。

热继电器整定动作电流的调节是通过调节旋钮来实现的。调节旋钮为一个偏心轮,调节旋钮可以改变传动杆和动触点之间的传动距离,距离越大动作电流就越大,反之动作电流就越小。

热继电器复位方式有自动复位和手动复位两种,将复位螺钉旋

入,使常开的静触点向动触点靠近,这样动触点在闭合时处于不稳定状态,在双金属片冷却后动触点也返回,为自动复位方式。如将复位螺钉旋出,触点不能自动复位,为手动复位方式。在手动复位方式下,需在双金属片恢复原状时按下复位按钮才能使触点复位。

(3) 常用热继电器的类型 国产热继电器的品种很多,常用的有JR0、JR15、JR16、JR20、3UA、T等系列。其中JR15为两相结构,其余多为三相结构,并可带断相保护装置。JR20是我国自行设计的换代新产品,常与CJ20型交流接触器配套使用,3UA系列引进德国西门子公司的生产技术,与3TB、3TF等系列接触器配套使用,T系列引进德国ABB公司的生产技术,与B系列接触器配套使用。一般情况下,每一系列的热继电器只能和相适应系列的接触器配套使用。型号的含义,例如JR16-20/3D型,“J”表示继电器,“R”表示“热”,“16”表示序列号,“20”表示额定电流为20A,“3”表示为三相结构,“D”表示带断相保护装置。图3-26为T系列热继电器的外形。

#### (4) 热继电器的选择原则

热继电器主要用于电动机的过载保护,使用中应考虑电动机的工作环境、启动情况、负载性质等因素,具体应按以下几个方面来选择。

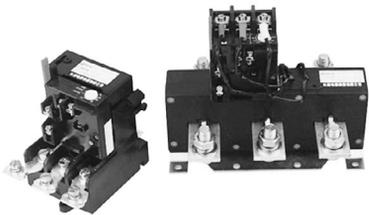


图 3-26 T 系列热继电器外形图

① 热继电器结构形式的选择:星形接法的电动机可选用两相或三相结构热继电器,三角形接法的电动机应选用带断相保护装置的三相结构热继电器。

② 热继电器的整定电流值一般为电动机额定电流的 $1.05\sim 1.1$ 倍。如果电动机的过载能力较差,其配用的热继电器的额定电流应适当小些,通常为电动机额定电流的 $60\%\sim 80\%$ 。

③ 由于热继电器的双金属片从受热到弯曲变形,需要一段时间,其时间长短与通过发热元件的电流大小有关,这可用热继电器的保护特性来说明,如表3-2所示。由于热继电器存在热惯性,所以不能用于电动机短路保护,但很适合于电动机的过载保护。

表 3-2 热继电器保护特性

整定电流倍数	动作时间	整定电流倍数	动作时间
1.0	长期不动作	1.5	小于 2min
1.2	小于 20min	6	小于 5s

④ 对于重复短时工作的电动机（如起重机电动机），要注意确定热继电器的允许操作频率。因为操作频率较高时，热继电器的动作特性会变差，甚至不能正常工作，电动机将得不到可靠的过载保护。因此，对于可逆运行和频繁通断的电动机，应选用过电流继电器或能反映绕组实际温度的温度继电器来进行保护。

(5) 热继电器的安装维护 热继电器因发热、制造不良、周围介质温度的变化、电流波动及热继电器整定误差等在运行中可能出现热继电器的加热间隙、脱扣、行程等误差，这些误差都会影响它的性能。

① 使用时要注意清除污尘，正确选用导线截面积和线材（见表3-3）。

表 3-3 热继电器连接导线截面积选择表

电流等级	应选用的导线截面积
10A	2.5mm <sup>2</sup> 单股塑料铜导线
20A	4mm <sup>2</sup> 单股塑料铜导线
60A	16mm <sup>2</sup> 多股铜芯橡胶软线
150A	35mm <sup>2</sup> 多股铜芯橡胶软线

② 热继电器安装方向必须与产品说明书规定的方向相同，误差一般不应超过 5°。热继电器与其他电器装在一起使用时，要防止受其他电器发热的影响。热继电器的盖子要盖好。

③ 检视热继电器热元件的额定电流值，或电流调整旋钮的刻度值，是否与电动机的额定电流值相当。如果不相当，要更换热元件重新调整，或转动调整旋钮的刻度，使之符合要求。通常，热继电器的额定电流值，较电动机的额定电流值略高。如果热继电器与电动机分别安装在两处，而两处的环境温度又差异较大，这时两者的电流值应

选得不同。例如 JR1 与 JR2 系列热继电器是没有温度补偿的, 当热继电器的环境温度低于电动机的环境温度  $15\sim 20^{\circ}\text{C}$  时, 热继电器热元件的额定电流值比电动机的额定电流值可小 10%, 即可选用小一号的热元件。反之, 热元件的额定电流值, 比电动机的额定电流值大 10%, 即可选用大一号的热元件。

④ 热继电器在使用中, 需要定期用布擦净尘埃和污垢, 双金属片要保持光泽, 如果上面有锈迹, 可用布蘸汽油轻轻擦除, 但不得用砂纸磨光。

⑤ 动作机构应正常可靠, 可用手扳动四五次观察之, 复位按钮应灵活, 调整部件不得松动, 如已松动, 则应加以紧固并重新进行调整。检查调整部件时, 只能用手或螺丝刀轻轻触动, 不得用力拧或推拉。对于可调整的热继电器应检视刻度是否对准需要的刻度值。

⑥ 热继电器接线螺钉要拧紧, 触点必须接触良好, 盖子应盖好。

⑦ 在检视热元件是否良好时只可打开盖子从旁观察, 不得将热元件卸下。若必须卸下时, 装好后要通电试验调整。

⑧ 在使用过程中, 每年应进行一次通电校验。此外, 在设备发生事故, 而引起巨大短路电流后, 应检查热元件和双金属片有无明显变形。若已产生明显变形, 需要通电试验调整, 调整时, 绝对不能弯折双金属片。

### 3.2.3 电流继电器

电流继电器的输入量是电流, 它是根据输入电流大小而动作的继电器。电磁式电流继电器的线圈工作时与被测电路串联, 以被测电路中电流的变化而动作。为降低负载效应和对被测量电路参数的影响, 其线圈匝数少, 导线粗, 阻抗小。电流继电器常用于按电流原则控制的场合, 如电动机的过载及短路保护、直流电动机的磁场控制及失磁保护。电流继电器又分为过电流继电器和欠电流继电器, 电流继电器的外形如图 3-27 所示, 图形符号如图 3-28 所示, 常用的电流继电器的型号有 JL3、JL5、JL12、JL15 等。

① 过电流继电器。过电流继电器用作电路的过电流保护。正常工作时, 线圈电流为额定电流, 此时衔铁为释放状态; 当电路中电流大

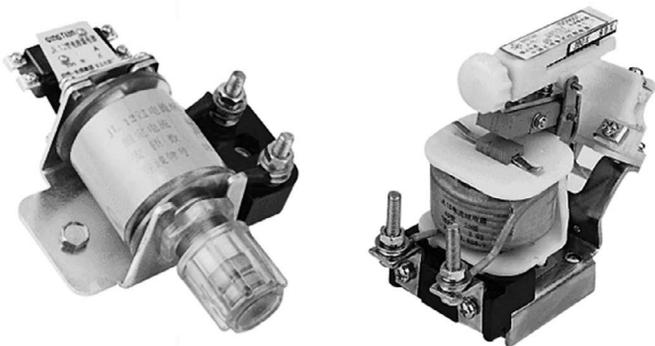


图 3-27 电流继电器外形图

于负载正常工作电流时，衔铁才产生吸合动作，从而带动触点动作，断开负载电路，所以电路中常用过电流继电器的常闭触点。由于在电力拖动系统中，冲击性的过

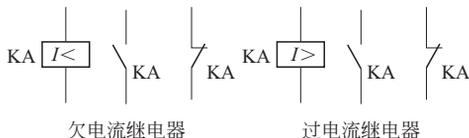


图 3-28 电流继电器的图形符号

电流故障时有发生，因此常采用过电流继电器作电路的过电流保护。通常，交流过电流继电器的吸合电流的调整范围为  $I_x = (1.1 \sim 4) I_N$ ，直流过电流继电器的吸合电流调整范围为  $I_x = (0.7 \sim 3.5) I_N$ 。

② 欠电流继电器。欠电流继电器用于欠电流保护或控制，如直流电动机励磁绕组的弱磁保护、电磁吸盘中的欠电流保护、绕线式异步电动机启动时电阻的切换控制等。欠电流继电器的动作电流的整定范围为线圈额定电流的  $30\% \sim 65\%$ 。需要注意的是欠电流继电器在电路正常工作，电流正常不欠电流时，欠电流继电器处于吸合动作状态，常开接点处于闭合状态，常闭接点处于断开状态；当电路出现不正常现象或故障现象导致电流下降或消失时，继电器因流过的电流小于释放电流而动作，所以欠电流继电器的动作电流为释放电流而不是吸合电流。在直流电路中，由于某种原因而引起负载电流的降低或消失，往往会导致严重的后果，如直流电动机的励磁回路断线，会产生飞车现象。因此，欠电流继电器在有些控制电路中是不可缺少的。当电路中出现低电流或零电流故障时，欠电流继电器的衔铁由吸合状态

转入释放状态，利用其触点的动作而切断电气设备的电源。直流欠电流继电器的吸合电流与释放电流的调整范围分别为  $I_x=(0.3\sim 0.65)I_N$  和  $I_f=(0.1\sim 0.2)I_N$ 。

### 3.2.4 电压继电器

电压继电器的输入量是电路的电压大小，其根据输入电压大小而动作。电磁式电压继电器的线圈并接在电路上，对所接电路上的电压高低作出反应，用于控制系统的电压保护和控制，其线圈的匝数多、线径细、阻抗大。按线圈电流的种类可分为交流型和直流型；按吸合电压相对额定电压的大小又分为过电压继电器和欠电压继电器。电压继电器的外形如图 3-29 所示，图形符号如图 3-30 所示。



图 3-29 电压继电器外形图

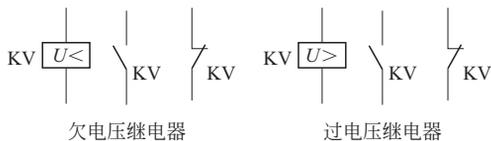


图 3-30 电压继电器的图形符号

① 过电压继电器。过电压继电器用于电路的过电压保护，其吸合整定值为被保护电路额定电压的  $1.05\sim 1.2$  倍。在额定电压工作时，衔铁不动作；当被保护电路的电压高于额定值，达到过电压继电器的整定值时，衔铁吸合，触点机构动作，控制电路失电，控制接触器及时分断被保护电路。由于直流电路中不会产生波动较大的过电压现象，所以在产品中没有直流过电压继电器。

② 欠电压继电器。欠电压继电器用于电路的欠电压保护，其释放整定值为电路额定电压的  $0.1\sim 0.6$  倍。在额定电压工作时，衔铁

可靠吸合；当被保护电路电压降至欠电压继电器的释放整定值时，衔铁释放，触点机构复位，控制接触器及时分断被保护电路。

### 3.2.5 中间继电器

中间继电器是最常用的继电器之一，它的结构、工作原理和接触器基本相同。其主要区别有：中间继电器触点系统中没有主辅之分，且各触点所允许通过的电流大小是相同的，触点额定电流为 5~10A，电流较小不需要灭弧装置；触点较多，一般为 4 对常开触点和 4 对常闭触点。

中间继电器在控制电路中起逻辑变换和状态记忆的作用，以及用于扩展接点的容量和数量；另外，在控制电路中还可以调节各继电器、开关之间的动作时间，防止电路误动作；当电路的负荷电流在 5~10A 以下时，也可代替接触器起控制负荷的作用。

常见的外形如图 3-31 所示，其图形符号如图 3-32 所示。常用的中间继电器型号有 JZ7、JZ14、JZC4 等。



图 3-31 中间继电器外形图

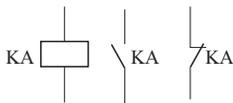


图 3-32 中间继电器图形符号

选用中间继电器时主要考虑被控制电路的电压等级、触点数量、种类和容量。常见中间继电器的动作电压见表 3-4。

表 3-4 中间继电器动作电压

继电器类型	动作电压
普通中间继电器	① $U_{op} \leq 70\% U_e$ 。 ② $I_{op} \leq$ 继电器额定电流
具有保持线圈的继电器	① 保持电流 $\leq 80\%$ 继电器额定电流 ② 保持电压 $\leq 65\%$ 继电器额定电压
出口中间继电器	① $55\% U_e \leq U_{op} \leq 70\% U_e$ 。 ② 整组试验可用 $80\% U_e$ 代替检查
信号继电器	指示、掉牌可靠

### 3.2.6 时间继电器

时间继电器的常用功能有：A—通电延时（On-delay Operation）；F—断电延时（Off-delay Operation）；Y—星三角延时（Star/Delta Operation）；C—带瞬动输出的通电延时（With inst. Contact On-delay Operation）；G—间隔延时（Interval-delay Operation）；R—往复延时（On-off repetitive delay Operation）；K—信号断开延时（Off-signal delay Operation）。

时间继电器按其延时原理有电磁式、机械空气阻尼式、电动式、电子式、可编程式和数字式等，它是一种利用这些原理实现触点延时接通或断开的自动电器，作为辅助电气元件用于各种电气保护及自动装置中。时间继电器的种类很多，按延时方式可分为通电延时型、断电延时型和带有瞬时触点的通电（或断电）延时型。通电延时指接受输入信号后延时一定的时间，触点才接通或断开，当输入信号消失后，触点瞬时复原。断电延时指接受输入信号时，触点瞬时接通或断开，当输入信号消失后，再延时一定的时间，触点才复原。机床电路中应用较多的是空气阻尼式和电子式时间继电器。

(1) 空气阻尼式时间继电器 空气阻尼式时间继电器是利用空气通过小气孔节流的原理获得延时动作的。图 3-33 为空气阻尼式时间继电器示意图及图形符号。它由电磁机构、延时机构和触点系统组成。电磁机构为直动式双 E 形铁芯，线圈可以有交直流两种，触点

系统借用 LX5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器。延时方式有通电延时型和断电延时型，当衔铁位于静铁芯和延时机构之间的位置时是通电延时型，如图 3-33 (a) 所示；当静铁芯位于衔铁和延时机构之间的位置时是断电延时型，如图 3-33 (c) 所示（改变电磁机构位置，将电磁铁翻转 180° 安装）。

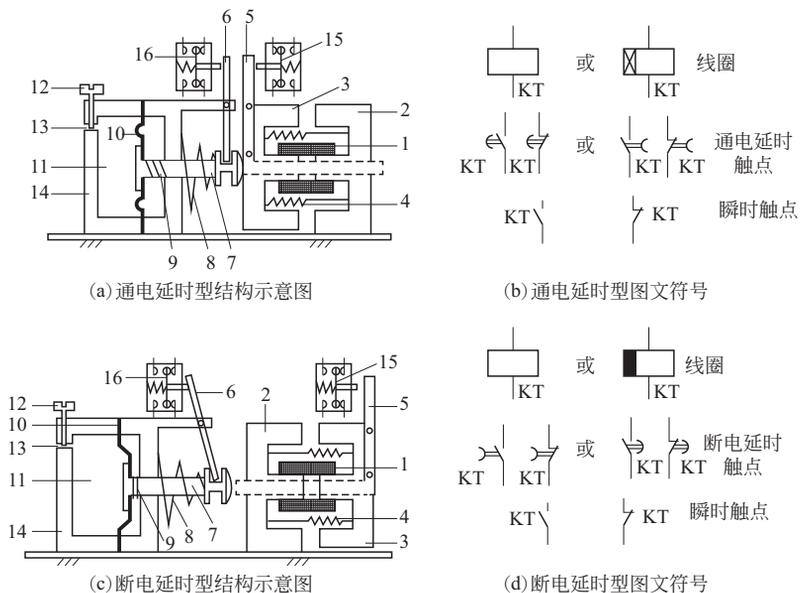


图 3-33 空气阻尼式时间继电器示意图及图形符号

- 1—线圈；2—静铁芯；3—动铁芯；4—复位弹簧；5—传动杆；6—杠杆；7—活塞杆；  
 8—塔形弹簧；9—弱弹簧；10—橡皮膜；11—气室；12—延时调节螺钉；13—进气孔；  
 14—空气室壁；15，16—微动开关

图 3-33 (a) 所示的通电延时型时间继电器的工作过程如下：图示为时间继电器线圈不得电时的情况，当线圈 1 通电后，静铁芯 2 将动铁芯 3 吸合，带动 L 形传动杆 5 向右运动，使微动开关 15 受压，其瞬时触点立即动作，无延时作用。活塞杆 7 在塔形弹簧 8 的作用下，带动橡皮膜 10 向右移动，弱弹簧 9 将橡皮膜压在活塞上，橡皮膜左方的空气形成负压，只能通过进气孔 13 进气，才能使活塞杆 7 向右移动，其移动的速度和进气孔的大小有关（通过延时调节螺钉调节进气孔的大小可改变延时时间）。经过一定的延时后，活塞杆移动到右端，通过

杠杆6压动微动开关16,使其常闭触点断开,常开触点闭合,起到通电延时作用。当线圈1断电时,电磁吸力消失,动铁芯3在反力弹簧4的作用下释放,并通过活塞杆将活塞推向左端,这时气室内的空气通过橡皮膜、弱弹簧和活塞的肩部形成的单向阀,迅速从橡皮膜和活塞杆之间的缝隙排掉,瞬动接点和延时接点都迅速复位。

时间继电器线圈和延时触点的图形符号都有两种画法,线圈中的延时符号可以不画,接点中的延时符号可以画在左边也可以画在右边,但是圆弧的方向不能改变,如图3-33(b)、(d)所示。

空气阻尼式时间继电器具有结构简单、延时范围广、寿命长、价格低廉、带有瞬时触点等优点,且不受电源电压及频率波动的影响,缺点是延时误差大、无调节刻度指示,一般适用于延时精度要求不高的场合。

(2) 电子式时间继电器 电子式时间继电器发展较快,应用广泛,在时间继电器中已成为主流产品。它是由电子元件、集成电路或单片机组成的,具有体积小、精度高、延时范围广、耐冲击和振动、寿命长和控制功率小等优点。

(3) 常用时间继电器的类型及选用 电磁式有JT3系列,机械阻尼式有JS7-A系列,同步电动式有JS11系列、德国引进的7FR系列,电子式有JSJ、JSB、JS20系列等。近年来,随着微电子技术的发展,采用集成电路、功率电路和单片机等电子元件构成的新型时间继电器大量面市,如DHC6多制式单片机控制时间继电器,JS17、JS20、JSZ13等系列大规模集成数字式时间继电器,JS14S等系列电子式数显时间继电器,JSJG1等系列固态时间继电器。图3-34为一些时间继电器的外形图。



图 3-34 时间继电器外形图

时间继电器的形式多样且各有特点,选用时要根据控制要求选择其

延时方式；根据延时精度和延时范围及使用场合与工作环境选择其类型。如对于电源电压波动大的场合，可选用空气阻尼式或电动式时间继电器；对于延时精度要求较高的的设备，可选用电子式时间继电器；对于环境温度变化大的场合，不宜选用空气阻尼式和电子式时间继电器等。

不要用时间继电器去直接控制大容量负载，有的负载看上去不大，但由于负载电流特性而会出现烧熔触点的现象，表 3-5 是负载形式和浪涌电流之间的关系。

表 3-5 负载形式和浪涌电流之间的关系

负载形式	浪涌电流
电阻负载	标准额定电流
电磁铁负载	10~20 倍标准额定电流
电动机负载	5~10 倍标准额定电流
白热灯负载	10~15 倍标准额定电流
水银灯负载	1~3 倍标准额定电流
钠汽灯负载	1~3 倍标准额定电流
电容性负载	20~40 倍标准额定电流
电感性负载	5~15 倍标准额定电流

延时误差主要是重复误差、设定误差、温度误差和电压误差，见延时误差计算表 3-6。

表 3-6 延时误差计算表

误差	公式	测量条件		
		设定值 $T_s$	电源电压	周围温度
重复误差	$\pm 1/2 \times (T_{\max} - T_{\min}) \div T_{M_s} \times 100\%$	最大刻度处	额定值	$20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$
电压误差	$(T_{M_x} - T_M) \div T_{M_s} \times 100\%$		容许的电源电压范围	
温度误差	$(T_{M_x} - T_M) \div T_{M_s} \times 100\%$		最大刻度值的 1/3 以上	额定值
设定误差	$(T_M - T_s) \div T_{M_s} \times 100\%$	$20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$		

注： $T_M$  为测量的延时时间平均值； $T_s$  为设定值； $T_{M_s}$  为最大刻度值； $T_{M_x}$  为在不同的电压、温度下所测得的平均延时值； $T_{\max}$  为测得的最大值； $T_{\min}$  为测得的最小值。

### 3.2.7 速度继电器

感应式速度继电器外形如图 3-35 所示，感应式速度继电器是依靠电磁感应原理实现触点动作的，它的电磁系统与交流电动机相似，主要由转子、定子和触点三部分组成，如图 3-36 所示。转子 2 是一个圆柱形永久磁铁，定子 3 是一个笼型空心圆环，由硅钢片叠成，并装有笼型绕组 4。其转子的轴 1 与被控电动机的轴相连接，当电动机转动时，转子（圆柱形永久磁铁）随之转动产生一个旋转磁场，定子中的笼型绕组 4 切割磁力线而产生感应电流和磁场，两个磁场相互作用，使定子受力而跟随转动，当达到一定转速时，装在定子轴上的摆锤 5 推动弹簧片 6 运动，使常闭触点断开，常开触点闭合。当电动机转速低于某一数值时，定子产生的转矩减小，触点在弹簧片作用下复位。



图 3-35 速度继电器外形图

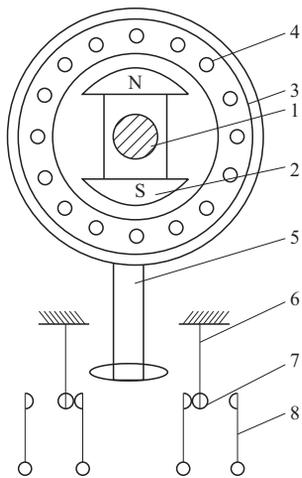


图 3-36 感应式速度继电器原理图

1—转轴；2—转子；3—定子；4—定子绕组；  
5—摆锤；6—弹簧片；7—动触点；8—静触点

速度继电器又称为反接制动继电器，主要作用是与接触器配合实现三相笼型异步电动机的反接制动。常用的速度继电器有 JY1 系列和 JF20 系列。其中 JY1 系列在 700~3600r/min 范围内工作，JF20-1

型适用于 300~1000r/min, JF20-2 型适用于 1000~3000r/min。通常速度继电器动作转速为 120r/min, 复位转速在 100 r/min 以下。

一般速度继电器都具有两对转换触点, 一对用于正转时动作, 另一对用于反转时动作。触点额定电压为 380V, 额定电流为 2A。图形符号如图 3-37 所示。

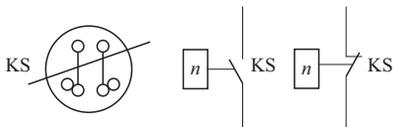


图 3-37 速度继电器图形符号

### 3.2.8 固态继电器

固态继电器 (SSR) 是采用半导体元器件组装而成的无触点开关。它是具有两个输入端和两个输出端的四端器件, 输入端和输出端都采用光耦合器隔离; 它的输出信号能控制强电电路的执行元件, 又为强、弱电之间提供了良好的隔离。

固态继电器的接通和断开没有机械接触, 因此具有动作可靠、开关速度快、能与逻辑电路兼容、工作频率高、重量轻、使用寿命长、抗干扰能力强、噪声低等优点, 它在许多自动化装置中代替了传统的电磁式继电器, 且进一步扩展到了传统继电器无法应用的领域, 如广泛应用于数字程控装置、调温装置、数据处理系统及计算机输入/输出接口等电路, 尤其适用于动作频繁、防爆、耐潮和耐腐蚀等特殊场合。但其也存在过载能力低、易受温度和辐射的影响、通断阻抗小等缺点。

固态继电器有多种产品, 根据负载电源类型可分为直流型和交流型。直流型以功率晶体管作为开关控制器件; 交流型以晶闸管作为开关控制器件。根据输入端、输出端之间的隔离形式, 可分为光耦合型和磁耦合型。根据控制触发的信号, 可分为过零型和非过零型、有源触发型和无源触发型。固态继电器外形如图 3-38 所示。

固态继电器使用时要注意以下事项:

① 选择固态继电器时应根据负载类型 (容性、阻性、感性) 来确定, 并且要采用有效的过压、过流保护措施。对于电容性或阻性负载, 要采用过流保护专门器件限制开通时间及开通瞬间的浪涌电流; 对于感性负载, 输出端要采用 RC 阻尼电路和压敏电路对浪涌和瞬变峰值电压进行有效吸收。

② 固态继电器对环境温度敏感，所以要注意散热，或降低电流等级使用。

识别输入、输出引脚兼测好坏方法：固态继电器的壳体上一般都标有 OUTPUT（输出端）或 INPUT（输入端），标有“+”的表示正极，标有“-”的表示负极。用数字万用表判别输入、输出端时，可使用二极管挡，分别对四个引脚进行正反向测试，其中必定能测出一对引脚间的电压值符合正向导通、反向截止的规律，即正向测量时显示“1.3~1.6V”，反向测试时显示溢出符号“1”。据此便可判定这两个引脚为输入端，而在

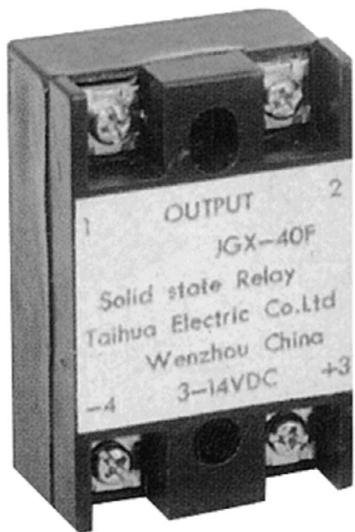


图 3-38 固态继电器外形图

正向测量时，显示“1.3~1.6V”的一次测量，红表笔所接的是正极，黑表笔所接的则为负极。对于直流固态继电器，找到输入端后，一般与其横向两两相对的便是输出端的正极和负极。需要指出的是，有些直流固态继电器的输出端带有保护二极管，保护管的正极接固态继电器的负极，保护管的负极则与固态继电器的正极相接，测试时要注意正确区分。

### 3.2.9 压力继电器

(1) 工作原理 压力继电器是利用液体的压力来启闭电气触点的液压电气转换元件。当系统压力达到压力继电器的调定值时，压力继电器发出电信号，使电气元件（如电磁铁、电动机、时间继电器、电磁离合器等）动作，使油路卸压、换向，执行元件实现顺序动作，或关闭电动机使系统停止工作，起安全保护作用等。

压力继电器有柱塞式、膜片式、弹簧管式和波纹管式四种结构形式。下面对柱塞式压力继电器（见图 3-39）的工作原理作一介绍。

当从继电器下端进油口进入的液体压力达到调定压力值时，柱塞

上移，此位移通过杠杆放大后推动微动开关动作。改变弹簧的压缩量，可以调节继电器的动作压力。

**提示：**压力继电器必须放在压力有明显变化的地方才能输出电信号。若将压力继电器放在回油路上，由于回油路直接接回油箱，压力也没有变化，所以压力继电器也不会工作。

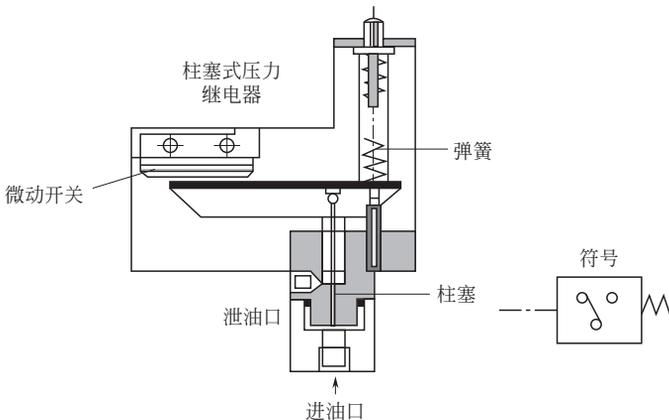


图 3-39 压力继电器

(2) 选用标准 根据所测对象的压力来选用，比如所测压力范围在 8kg 以内，那么就要选用额定 10kg 的压力继电器，还有要符合电路中的额定电压、接口管径的大小。

### 3.2.10 温度继电器

将两种热膨胀系数相差悬殊的金属或合金彼此牢固地复合在一起形成碟形双金属片，当温度升高到一定值，双金属片就会由于下层金属膨胀伸长大，上层金属膨胀伸长小而产生向上弯曲的力，弯曲到一定程度便能带动电触点，实现接通或断开负载电路的功能；温度降低到一定值，双金属片逐渐恢复原状，恢复到一定程度便反向带动电触点，实现断开或接通负载电路的功能。碟形双金属片的工作原理如图 3-40 所示，初始状态为 1（室温下），受热（或冷）后跳到状态 2，产生位移 3。

温度继电器的分类：

- (1) 按型号划分：BW，KW，BR，KSD9700，ST-22，AMT，RS9700，KSD01F，JUC31F，JUC1M。
- (2) 按温度划分：0~300℃不同等级。
- (3) 按动作性质划分：常开型，常闭型。
- (4) 按品牌分：爱默生温度继电器，胜名温度继电器，NEC 温度继电器。
- (5) 按照材质分：电木体，塑胶体，铁壳体，陶瓷体。

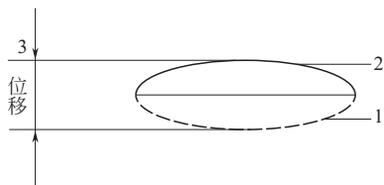


图 3-40 碟形双金属片

1—初始状态；2—受热状态；3—位移

# 照明电路与电能表安装电路

## 4.1 照明控制电路

### 4.1.1 白炽灯控制电路

#### 4.1.1.1 单个开关控制白炽灯电路

在日常生活中，照明电路一般采用单相供电，各照明器具之间都是并联关系，白炽灯照明电路原理图如图 4-1 所示。

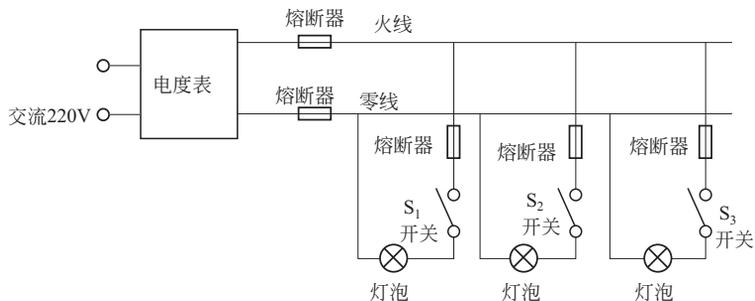


图 4-1 白炽灯照明电路原理图

当开关闭合时，电流从火线经保险→开关→灯泡→零线构成回

路，灯泡发光；当开关断开时，灯泡熄灭；当过载时，保险熔断，不能构成回路，灯泡也将熄灭。

#### 4.1.1.2 两地控制照明灯电路

图 4-2 和图 4-3 都是两地控制一盏灯的控制电路。图 4-2 中，当开关  $SA_1$ 、 $SA_2$  都打向上面或都打向下面时，电流通过开关和灯泡可构成回路，灯泡发光；如果开关  $SA_1$ 、 $SA_2$  一上一下，则构不成回路，灯泡不能发光。图 4-3 中，当开关  $SA_1$ 、 $SA_2$  都打向左或都打向右时，构不成回路，灯泡不能发光；如果开关  $SA_1$ 、 $SA_2$  一左一右，电流通过开关和灯泡可构成回路，灯泡发光。

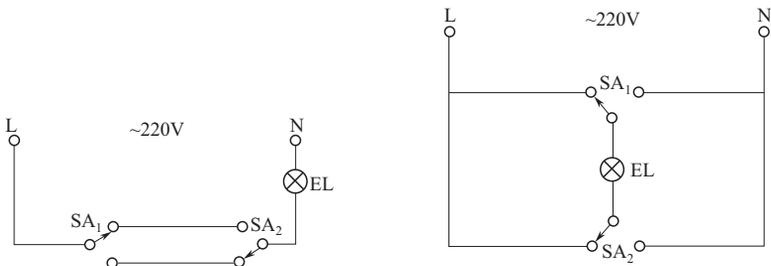


图 4-2 两地控制一盏灯的控制电路（一） 图 4-3 两地控制一盏灯的控制电路（二）

#### 4.1.2 荧光灯控制电路

荧光灯的电路原理图如图 4-4 所示，荧光灯由灯管、镇流器和启辉器三个主要部件组成。

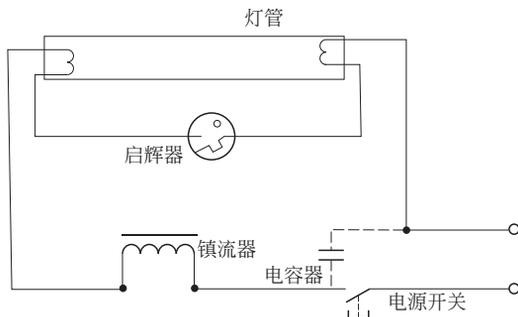


图 4-4 荧光灯电路原理图

(1) 灯管 荧光灯管的结构如图 4-5 所示, 在直径为 15~38mm 的封闭长玻璃管的两端各装有一个由钨丝绕成的灯丝 (阴极), 灯丝上涂以发射电子的物质——电子粉。灯丝两端引至电极上与外电路相接。

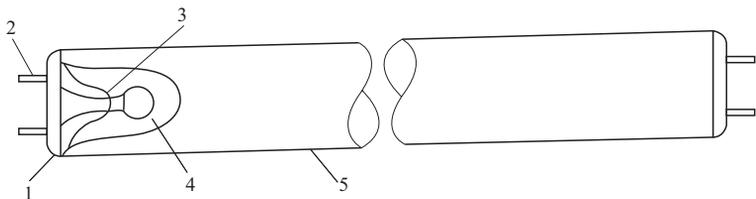


图 4-5 荧光灯管

- 1—灯头；2—电极；3—支架及引线；4—灯丝（涂有发射电子的物质）；  
 5—玻璃管（内壁涂有荧光粉，管内充有水银及氮气）

玻璃灯管的内壁涂有荧光粉（有毒性），管内抽成真空，并充以少量的汞气（水银）和一定量的氮气。氮气有助于灯管点燃，并有保护电极、延长灯管使用寿命的作用。当灯管两端加上电压时，灯丝发射出的电子便不断轰击水银蒸气，使水银分子在碰撞中电离，产生肉眼看不见的紫外线，玻璃管内壁的荧光粉受紫外线照射就发出近似日光色的可见光。

(2) 启辉器 启辉器如图 4-6 所示，由一个充有氖气的封闭玻璃泡和一个纸制电容器组成。玻璃泡内装有一个固定的静触片和一个用双金属片制成的 U 形动触片。与触片并联的电容器的作用有两个，一是与镇流器的线圈形成 LC 振荡回路，延长灯丝预热时间并维持脉冲放电电压；二是能吸收干扰收录机、电视机等电子设备的杂波信号。如果电容被击穿，将其去掉后启辉器仍可使用。启辉器的作用是自动控制阴极预热时间，并与镇流器配合使荧光灯启辉。

(3) 镇流器 普通型的镇流器是具有铁芯的电感线圈，其结构如图 4-7 所示。镇流器有两个作用：一是在启辉器的配合下产生瞬时高电压（600V 以上），促使灯管放电；二是利用串联于电路中的高电阻限制灯管电流，延长灯管的使用寿命，起镇流作用。

目前电子镇流器应用日益广泛。电子镇流器的原理大多基于使电路产生高频自激振荡，通过谐振电路使灯管两端得到高频高压因而点

燃灯管。

镇流器必须按电源电压和荧光灯管功率配用，不能互相混用。

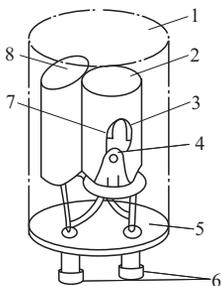


图 4-6 启辉器

1—铝壳；2—玻璃泡；3—动触片；4—发热丝；  
5—胶木底座；6—插头；7—静触片；8—电容器

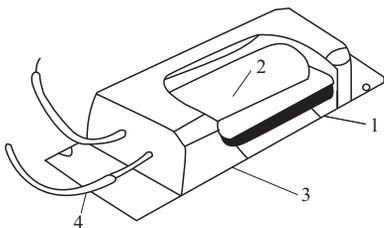


图 4-7 镇流器

1—铁芯；2—线圈；  
3—铁皮外壳；4—引线

(4) 荧光灯的工作过程 当电源开关合上后，经镇流器、灯丝，电压加在启辉器的双金属片和静触点之间，引起辉光放电。放电时产生的热量传到双金属片上，使它弯曲并与静触点相碰，电路接通，灯丝通过电流被预热到很高的温度而发射电子。与此同时，由于双金属片与静触点接触后，辉光放电停止，双金属片不再受热而冷却后离开静触点恢复原状。就在金属片离开静触点的一瞬间，镇流器产生一个很高的脉冲自感电动势，与电源串联后加在灯管两端的灯丝之间，使整个灯管内的水银蒸气在高电场强度的作用下全部游离，辐射出肉眼看不见的紫外线，紫外线又激发管壁所涂的荧光粉，发出像日光似的光线，所以，这种灯又称日光灯。灯管点燃后，一半以上的电压降落在镇流器上，启辉器双金属片与静触点之间的电压（也就是灯管两端的电压）较低，不足以引起氖管的辉光放电。所以，合适的电压总是加在灯管的两端，维持气体处于放电状态，灯管连续发光。

输入荧光灯管的电能中，有 40% 左右变为光能，故其发光效率较白炽灯高。由于荧光灯电路中接入了具有电感性质的镇流器，所以它的功率因数较低，约为 0.45。有时为了改善线路功率因数，在电源两端并联一个电容器，可把功率因数提高到 0.9。除普通型荧光灯外还有紧凑型荧光灯。紧凑型荧光灯是一种新的节能产品，有 H 形和 2D 形等品种，均为内储启动器，单端灯头，既保持了荧光灯高

效、长寿的特点，又具有普通灯泡的体积小、使用方便、显色性好的优点，因此许多装饰灯具的光源可以用荧光灯代替普通白炽灯。

#### (5) 使用荧光灯的注意事项

① 荧光灯的部件多，应检查接线，无误后方可接电使用。若线路接错，可能造成短路，损坏灯管及其部件。

② 镇流器的功率应和灯管的功率相同，不然会造成镇流器或灯管过热损坏。

③ 启辉器安装时需配用启辉器底座。

④ 荧光灯启动时，其灯丝所涂的能发射电子的物质被加热发射，启动次数多，将加速它的消耗。因此应尽量减少开关次数，以延长灯管的寿命。

⑤ 荧光灯最适宜的工作环境温度 $18\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。环境温度过高或过低都会造成启动困难和光效下降。

⑥ 电源电压的变化太大，将影响灯管的光效和寿命，所以电压的波动范围不宜超过 $50\%$ 。

⑦ 破碎的灯管要及时妥善处理，防止汞害。

### 4.1.3 照明线路、照明器具及开关和插座的安装

#### 4.1.3.1 照明线路的安装

照明线路的各种布线方式，均应满足使用、安全、合理、可靠的要求。

##### (1) 一般技术要求

① 室内、室外配线，应采用电压不低于 $500\text{V}$ 的绝缘导线。单相或三相三线供电时，零线与相线截面积应相同；三相四线供电的零线截面积应不小于相线截面积的 $1/2$ 。

② 除花灯及壁灯等线路外，一般照明每一支路的最大负荷电流不应超过 $15\text{A}$ ，插座数一般不超过 $20$ 个；电热线每一支路的最大负荷电流不应超过 $30\text{A}$ ；装接插座数一般不超过 $6$ 个。一般照明应采用不超过 $250\text{V}$ 的对地电压，行灯及机床工作台使用的局部照明灯，其电压不得超过 $42\text{V}$ ，在特别潮湿的地点或在金属容器内工作时，其电压不得大于 $12\text{V}$ 。

③ 布线过程中，应尽量减少导线间的连接，以减少故障点。凡

在管内、木槽板内的导线，一律不准有接头和分支处。导线连接和分支处不应受到机械力的作用。

④ 线路应尽可能避开热源和不在发热的表面敷设。

⑤ 导线与电器端子的连接要紧密压实，力求减少接触电阻和防止脱落。

⑥ 各种明配线的位置，应便于检查和维修。线路水平敷设时，距离地面高度不应低于2.5m，垂直敷设时不应低于1.8m。个别线段水平敷设低于2.5m，垂直敷设低于1.8m时，应穿管或采取其他保护措施。

⑦ 每个分支路导线间及对地的绝缘电阻值应不小于 $0.5\text{M}\Omega$ ，小于 $0.5\text{M}\Omega$ 时，应做交流1000V耐压试验。

⑧ 下列场所应采用金属管配线。a. 重要活动场所。b. 有易燃、易爆危险的场所。c. 重要仓库。

⑨ 腐蚀性场所配线，应采用全塑制品，所有接头处应密封。

⑩ 冷藏库配线，宜采用护套线明配，采用的照明电压不应超过36V，所有控制设备设在库外。

⑪ 下列场所的室内、外配线应采用铜线。a. 重要活动场所。b. 重要控制回路及二次线。c. 移动用的导线。d. 特别潮湿场所和有严重腐蚀性的场所。e. 与剧烈振动的用电设备相连的线路。f. 有特殊规定的其他场所。

(2) 照明线路的敷设方式 常用的线路敷设方式有用瓷夹板、瓷珠、绝缘子、木槽板、钢管、塑料管和铝片卡等布线。选用哪种器件布线，应根据线路的用途、布线场所的环境条件、安装与维修条件以及安全要求等因素而定。做到安全适用，经济美观和便于检修。

① 瓷夹板布线，用于负荷较小的干燥场所，如办公室、住宅等。

a. 导线与建筑物应横平竖直，不得与建筑物接触。线路水平敷设时，导线距地高度一般不低于2.5m；垂直敷设的线路，如距地面高度低于1.8m的线段，应加防护装置。

b. 在线路中接装的开关、灯座和吊线盒等电气器具两侧各50mm以内，应安装夹板，以固定导线。

c. 瓷夹板不能拧在不坚固的底子上，如抹灰层、苇箔等，不得在顶棚内及其他隐蔽处敷设。

d. 直线段瓷夹板的间距与瓷夹板的规格有关：40mm 长两线式和 64mm 长三线式的瓷夹板间距，不得大于 600mm；51mm 长两线式和 76mm 长三线式的瓷夹板间距，不得大于 800mm。

e. 导线穿墙时必须用瓷管（或其他绝缘管）加以保护，在线路分支、交叉和转角处，导线不应受机械力的作用，并且应加装瓷夹板，导线与导线间应套绝缘管隔离。

② 瓷珠布线，用于负荷较大的干燥或较潮湿场所，如公共场所、生产车间、厨房等。

a. 导线要横平竖直，不得与建筑物接触。线路水平敷设时，导线距地高度不得低于 2.5m；垂直敷设的线路，在距地低于 1.8m 的线段，应加防护装置。

b. 根据导线截面积的大小，配用相应的瓷珠和绑线。

c. 导线须用纱包铁芯绑线（不得用裸铅丝）牢固地绑在瓷珠上。受力瓷珠用双绑法；加档瓷珠用单绑法；终端瓷珠把导线绑回头，导线应绑在瓷珠的同侧。

d. 线路的分支、交叉和转角处，导线与导线之间应加装瓷套管或其他绝缘管隔离。

e. 线路中接装的开关、插座和灯具附近约 100mm 处，都应安装瓷珠，以固定导线。

f. 拧瓷珠的位置，若是砖墙或混凝土底子，应预留木砖；若是抹灰吊顶，应加木龙骨。线路在穿墙处需打好过墙眼、穿套管或在砌墙时预留套管。

g. 用瓷珠暗布线时，线路应便于检修和更换。

③ 绝缘子布线，用于负荷较大、线路较长的干燥或潮湿场所，如生产厂房、浴室、洗衣房等。

a. 导线要敷设得整齐，且不得与建筑物接触（内侧导线距墙一般为 10~15mm）。线路一般均为水平敷设，导线距地高度不应低于 3m。

b. 导线与接地物体之间的距离，不得小于 30mm。

c. 绝缘子上敷设的绝缘导线，铜芯线截面积不得小于  $1.5\text{mm}^2$ ，铝芯线不得小于  $2.5\text{mm}^2$ 。

d. 导线必须用纱包铁芯绑线牢固地绑在绝缘子上。导线水平敷

设绑扎在绝缘子靠墙侧颈槽内；导线垂直敷设绑扎在绝缘子上面顶槽内；线路在转角地方导线应绑扎在张力的反侧；终端绝缘子用“回头绑扎法”。

e. 绝缘子应牢固地安装在支架和建筑物上。如固定在木结构上，可将直脚螺钉直接旋入；如固定在金属结构上，可先打孔用铁担直脚绝缘子穿孔固定。

f. 导线由绝缘子线路引下对用电设备供电时，一般均采用塑料管或钢管明配，导线如需连接，应在绝缘子附近进行。

④ 木槽板布线，用于负荷较小、要求美观整洁的干燥场所。此外，还常用木槽板作为瓷夹板线路的沿墙垂直敷设时的保护装置。

a. 木槽板需用干燥木材制成，槽内应涂刷绝缘油，和建筑物接触的底面要涂防腐油，槽板的外表面应刷带色的油漆。

b. 应使用耐压 500V 的绝缘导线，其截面积不得超过  $4\text{mm}^2$ 。

c. 每个线槽内，只能敷设一根导线。槽内所装导线不准有接头，如必须接头时，要用接线盒扣在槽板上。

d. 木槽板要装设得横平竖直、整齐美观、固定牢靠，并按建筑物的形态弯曲和贴近。

e. 木槽板的直线连接处，底与盖的接口不能在一起，要错开 30mm，接头处做成斜口，在“丁”字和转角的连接处成  $45^\circ$  角接合，终端要封口。

f. 木槽板与开关、插座与灯具所用的木台相连接时，要用空心木台，先把木台边挖一豁口，然后扣在木槽板上。

g. 木槽板可用木螺钉或钉子固定在木结构或天花板上，如沿砖或混凝土墙上固定时，可先将木楔固定在墙上，然后把木槽板钉在木楔上。

h. 木槽板的固定要求。底板固定距离：端部 30mm；中间 600mm。盖板固定距离：端部 60mm；中间 450mm。

⑤ 钢管布线，用于容易损伤导线、发生火灾或有爆炸危险的场所。钢管暗配用于要求洁净和美观的场所，地面用电设备的线路也常使用钢管线路埋设在地面下。

a. 钢管及其附件应能防腐，明敷设时刷防腐漆，暗敷设时用混凝土保护。

b. 钢管之间的连接处与接线盒之间均需连接成一个导电整体焊接地线，即用直径 4mm 的镀锌铁线电焊焊接或用两根直径 2mm 的镀锌铁线在每支钢管上缠 5 圈后锡焊焊接。

c. 钢管的内径要圆滑，无堵塞、无漏洞，其接头须紧密。

d. 钢管弯曲处的弯曲半径，不得小于该管直径的 6 倍；埋入混凝土中的暗敷设为 10 倍；每个弯曲处角度不能小于  $90^\circ$ 。当管线经过建筑物伸缩缝时，为防止基础下沉不均，损坏管子和导线，须在伸缩缝处装设补偿盒。

e. 管内所穿导线（包括导线的绝缘层）的总截面积，不应大于线管内径截面积的 40%；管内导线不准有接头和扭拧现象，以便于检查换线。

f. 钢管暗敷设埋入钢筋混凝土板内时，钢管直径不得超过混凝土板厚的  $1/3$ ；埋入焦渣垫层内，应在钢管敷设完毕、地线焊好后，先用水泥砂浆保护好，然后铺焦渣层；埋入地下土层内必须使用厚壁钢管，管外壁及焊接地线处需刷沥青防腐。

g. 导线穿管。同一回路的各相导线，不论根数多少，应穿入一根管内；不同回路和不同电压的线路导线，不允许穿在一根管内；交流和直流线路导线不得穿在同一管里，一根相线导线不准单独穿入钢管。

h. 钢管在墙上的固定。当钢管直径在 20mm 以下时，管卡与管卡之间的距离不应大于 1.5m；钢管直径在 40mm 以下时，管卡的距离不应大于 2.5m；管径超过 40mm 时，可增大到 3.5m。

i. 钢管连成一体后，应接地或接零。

j. 钢管敷设超过下列长度时，其中间应装设分线盒或接线盒：管子全长超过 30m 且无弯曲时；管子全长超过 20m 且有一个弯时；管子全长超过 12m 且有两个弯时；管子全长超过 8m 且有三个弯时。

⑥ 塑料管布线，用于有腐蚀性但没有爆炸及机械损伤的场所，如化工车间等。

a. 塑料管布线基本上和钢管布线相同。所用的附件也应是塑料制品，又因塑料管机械强度较低，埋入墙内时应用水泥砂浆保护，在地面下时，应用混凝土保护。

b. 塑料管的连接可以用承插法，承插法是先將一根塑料管的端头用炉火烘烤加热软化（注意不要离炉火太近，以免烧焦管子），然后把另一根塑料管插入约 30mm 即可。

c. 塑料管弯曲时，可在炉火上烘烤加热，软化后慢慢弯曲，若管径较大时可在管内先填充加热过的砂子，然后加热塑料管进行弯曲，弯曲半径不得小于管径的 6 倍，弯曲处管子不要被弯扁，以免影响穿线。

d. 当塑料管沿墙明敷设时，其固定点之间，管径在 20mm 以下时，管卡间距不应大于 1m；管径在 40mm 以下时，不得大于 1.5m，管径在 50mm 及以上时，可增大到 2m。

⑦ 铝片卡布线，用于负荷较小的干燥无腐蚀性气体的场所，一般常用作弱电线路的布线，当线路电压为 220V 和 380V 时，必须使用带护套的绝缘导线。

a. 导线要横平竖直，并且和建筑物贴平。

b. 供电电压为 220V 或 380V 的线路，水平敷设时距地高度一般不低于 2.5m；垂直敷设时不低于 1.8m，低于 1.8m 的线段，应加防护装置（如塑料管等）。

c. 线路穿墙时，应装设套管保护。

d. 220V 和 380V 线路的接头，应在铝制的接线盒内进行。

e. 铝卡片的间距一般不得大于 300mm。开关、插座、灯具或接线盒等处，都应钉一个铝卡片。同时，开关、插座、灯具和接线盒等处，均应留出线头，以便连接。

#### 4.1.3.2 照明器具的安装

(1) 灯具安装应牢固，灯具重量超过 3kg 者，须固定在预埋的吊钩或螺栓上。

(2) 灯具的吊管应由直径不小于 10mm 的薄壁管或钢管制成。

(3) 灯具固定时，不应该因灯具自重而使导线承受过大的张力，用电灯引线作吊灯线时，灯头和吊灯盒与吊灯线连接，均应打一背扣，以免接头受力而导致接触不良、断路或坠落。

(4) 灯架及管内的导线不应有接头，导线在引入灯具处，不应该受到应力及磨损。

(5) 必须接地或接零的金属外壳应有专门的接地螺钉与接地线

相连。

(6) 开关装在相线上，螺口灯座中心弹片接相线，零线接在螺口上。

(7) 各种开关和插座距地面高度应在 1.3m 以上，采用安全插座时最低高度不小于 15cm。

(8) 照明灯距地面高度不得低于 2.5m，低于此高度时，应加保护或采用 36V 及以下低压安全灯。除 36V 及以下低压安全灯外，不得使用带开关的灯口，并且不准将电线直接焊在灯泡的接点上，使用螺口灯头时，铜口不得外露。

(9) 在易燃、易爆、多尘、潮湿以及产生腐蚀性气体的场所使用的照明装置，应符合其特殊的要求。

(10) 行灯必须带有绝缘手柄及保护网罩，禁止采用一般灯口，手柄处的导线应加绝缘套管保护。

(11) 各种照明灯，根据工作需要应有一定形式的聚光设备，不得用纸片、铁片等代替，更不准用金属丝在灯口处捆绑。

(12) 安装户外照明灯时，如其高度低于 3m，应加保护装置，同时应尽量防止风吹而引起摇动。

#### 4.1.3.3 开关和插座的安装

明装开关和插座时，应在定位处预埋木楔或膨胀螺钉以固定木台，然后在木台上安装开关和插座。暗装开关和插座时，应设有专用接线盒，一般是先行预埋，再用水泥砂浆充填抹平，接线盒口应与墙面粉刷层平齐，待穿线完毕后再装开关和插座，其盖板或面板应端正紧贴墙面。

##### (1) 开关的安装要求

- ① 开关装好后应是往上扳电路接通，往下扳电路切断。
- ② 使用单极照明开关时，应装在电源的相线上。
- ③ 拉线开关距地面一般为 2~3m，距门框 0.15~0.2m。
- ④ 其他各种开关安装时一般高度为 1.3m。
- ⑤ 成排安装的开关高度应一致，高低差不大于 2mm，拉线开关相邻间距一般不小于 20mm，生产厂房禁止用手开关或带开关灯头。
- ⑥ 多尘、潮湿场所和户外应用防水瓷质拉线开关，或加装保护箱。

⑦ 在易燃、易爆和特别潮湿的场所，开关应分别采用防爆型、密闭型或安装在其他处所控制。

#### (2) 插座的安装要求

① 交、直流或不同电压的插座安装在同一场所时，应有明显区别，且不能互相插入。插座线路，要有短路保护。

② 插座安装高度一般距地面为 1.3m，在托儿所、幼儿园及小学等不应低于 1.8m，同一场所安装的插座高度应尽量一致。

③ 车间及试验室的明、暗插座一般距地面高度不低于 0.3m，特别场所暗装插座一般不低于 0.15m，同一室内安装的插座高低差不应大于 5mm。

④ 舞台上的落地插座和生产车间，装配线上的落地插座，应有保护盖板及防水功能。

⑤ 单相两孔插座，面对插座，右孔接相线，左孔接零线。

⑥ 单相设备应用三孔插座，三相设备应用四孔插座，保护地线（零线）接于正上孔，不允许工作零线和保护零线共享一根导线。必须从接地干线上引下专用保护地线（零线）。

⑦ 暗设的插座（开关）应有专用盒，盖板应端正紧贴墙面。

⑧ 插座必须固定在绝缘板上安装，不允许用电线吊装，严禁电源接在插头上使用。

⑨ 用插头直接带负载：电感性不应大于 500W，电阻性不应大于 2kW。

### 4.1.4 照明电路常见故障与检修

照明电路在投入运行前，应进行认真的检查验收，并建立设备技术管理档案，标明规范及负荷名称，在运行维护后及时填写有关检查项目，如负荷情况、绝缘情况、存在缺陷等，以便经常掌握线路的运行情况。对顶棚内的照明线路每年应巡视检查维修一次；线路停电时间超过一个月以上重新送电前，应作巡视检查，并测绝缘电阻。

#### (1) 照明线路巡检的内容

① 检查导线与建筑物等是否有摩擦和相蹭之处，绝缘是否破损，绝缘支持物有无脱落。

② 车间裸导线各相的弛度和线间距离是否相同，裸导线的防护

网(板)与裸导线的距离是否符合要求,必要时调整导线间和导线与地面的距离。

③ 明敷设电线管及木槽板等是否有开裂、砸伤处,钢管的接地是否良好。检查绝缘子、瓷珠、导线横担、金属槽板的支撑状态,必要时予以修理。

④ 钢管和塑料管的防水弯头有无脱落或导线蹭管口的现象。

⑤ 地下面敷设的塑料管线路上方有无重物积压或冲撞。

⑥ 导线是否有长期过负荷现象,导线的各连接点接触是否良好,有无过热现象。

⑦ 应经常检查零线回路各连接点的接触情况是否良好,有无腐蚀或脱开。

⑧ 线路上是否接用不合格的或不允许的其他电气设备,有无私拉乱接的临时线路。

⑨ 测量线路绝缘电阻,在潮湿车间,有腐蚀性蒸气、气体的房屋,每年测两次以上,每伏工作电压的绝缘值不得低于 $500\Omega$ ;干燥车间,每年测一次,每伏工作电压绝缘电阻值不得低于 $1000\Omega$ 。

⑩ 检查各种标示牌和警告牌是否齐全,检查熔断器等是否合适和完整。

## (2) 家庭照明电路常见故障

家庭照明电路在使用时免不了会出故障而导致用户不能用电,这给人们的生活带来了许多的不便。所以,了解一些常见的电路故障以及学会一些必要的判断、检修方法是非常必要的。这也可以培养人们运用所学知识解决实际问题的能力。

① 开路。如灯丝断了;灯座、开关、拉线盒开路;熔丝熔断或进户线开路等。开路会造成用电器无电流通过而无法正常工作。

② 短路。如接在灯座内两个接线柱的火线和零线相碰;插座或插头内两根接线相碰;火线和零线直接连接而造成短路。短路会把熔丝熔断而使整个照明电路断电,严重者会烧毁线路引起火灾。

③ 过载。电路中用电器的总功率过大或单个用电器的功率过大。产生的现象和后果如同短路。

④ 电路接触不良。如灯座、开关、挂线盒接触不良;熔丝接触不良;线路接头处接触不良等。这样会使灯忽明忽暗,用电器不能连

续正常工作。

⑤ 电路本身连接错误而引起故障。如插座的两个接线柱全部接在火线或零线上；开关误接在主线中的火线上；灯泡串联接在电路中等。

### (3) 家庭照明电路常见故障的检修方法

① 检修开路 and 接触不良。先用测电笔检查总闸刀开关处。如有电，再用校火灯头（一盏好的白炽灯，在灯座上引出两根线就可成为校火灯头）并联在闸刀开关下的两个接线柱上，如灯亮，说明进户线正常（如灯不亮，说明进户线开路，只需要修复进户线即可），再用测电笔检查各条支路中的火线，如氖管不发光，表明这条支路中的火线开路，应修复接通火线；如各条支路中用测电笔时氖管都发光，则再用校火灯头分别接到各条支路中检查，发现哪条支路的灯不亮，就表明这条支路的零线开路了，需修复这条支路的零线。

② 检修短路和过载。先取下干路上的熔断器盒盖，将校火灯头串接入一只熔断器的上下两端，如灯亮，表明是短路了。同样，在各条支路开关的接点上用上述方法将校火灯头串接进去，接入该支路时灯亮，就表明这条支路短路了，只要检修这条支路就能解决问题。

③ 检修漏电。漏电时，用电量增多，人触及漏电处会感到发麻。测绝缘电阻时阻值变小。其原因是绝缘导线受潮、污染或电线及电气设备长期使用绝缘已老化。查找漏电方法有第四步。

首先判断是否漏电。用兆欧表摇测其绝缘电阻的大小，或在总闸刀上接一块电流表，接通全部开关，取下所有灯泡，若电流表指针摆动，则表示漏电。

第二步判断是相线与零线间漏电，还是相线与大地间漏电，或两者兼而有之。方法是切断零线，若电流表指示不变，则是相线与大地间漏电；若电流表指示为零，则是相线与零线间漏电；电流表指示变小但不为零，则表示两者兼而有之。

第三步确定漏电范围，取下分路熔断器或拉开刀闸，若电流表指示不变，则是总线漏电；电流表指示为零，则为分路漏电；电流表指示变小但不为零，则表明是总线、分路均有漏电。

第四步是找出漏电点。经上述检查后，再依次拉开该线路灯具的开关，当拉开某一开关时，电流表指示返零，则是该分支线漏电；若

变小则说明除这一分支线漏电外，还有别处漏电；若所有的灯具开关都拉开后，电流表仍指示不变，则说明该段干线漏电。依次把事故范围缩小，便可找到漏电点。

## 4.2 电能表安装电路

### 4.2.1 单相电能表直接接入式电路

电度表是用来计量电气设备所消耗电能的仪表，可分为单相电度表和三相电度表，准确度一般为 2.0 级，也有 1.0 级的高精度电度表。

单相电度表的结构如图 4-8 所示，它由电流线圈、电压线圈、铁芯、铝盘、转轴、轴承和数字盘等组成。电流线圈串联于电路中，电压线圈并联于电路中。在用电设备开始消耗电能时，电压线圈和电流线圈产生主磁通穿过铝盘，在铝盘上感应出涡流并产生转矩，使铝盘转动，带动计数器计算耗电的多少。用电量越大，所产生的转矩就越大，计量出用电量的数字就越大。单相电能表直接接入式电路如图 4-9 所示，实物接线图如图 4-10 所示。1、2 端是短接的，1 端接火线入，3 端接零线入，4 端接火线出，5 端接零线出。用电量可直接从表盘读出。

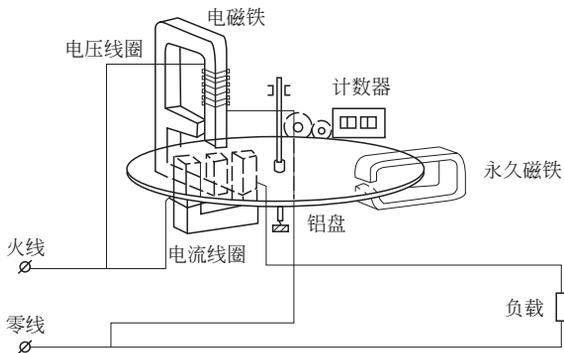


图 4-8 单相电度表的结构

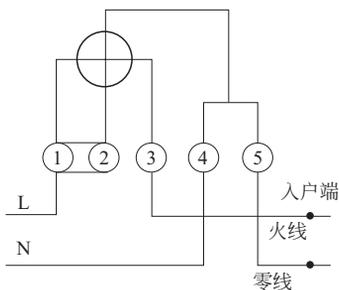


图 4-9 单相电能表直接接入式  
电路原理图

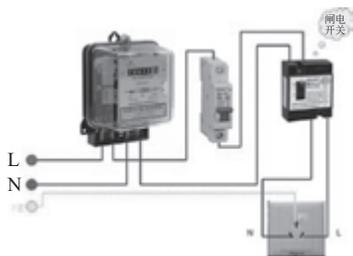


图 4-10 单相电能表直接接入式  
电路实物图

#### 4.2.2 单相电能表电流互感器接入式电路

单相电能表的电流和电压是有一定限度的，电流最高可达到几十安培，电压最高在几百伏特。当被计量的用电线路电流或电压超过电能表的最高量限时，则要通过电流互感器（字母符号为 TA，早期曾用过 CT）和电压互感器（字母符号为 TV，早期曾用过 PT）扩大量程。对于低压供电线路，一般只用电流互感器。单相电能表电流互感器接线图如图 4-11 所示。

电流互感器一次侧接被测电路，其  $L_1$  端接电源火线的来线， $L_2$  端接负载。流过它的电流即为电路电流的实际值。因此，在选择电流互感器时，其一次电流标定值应为被测量线路最大电流的 1.1 倍左右。

常用的电流互感器二次侧额定电流为 5A，所以要求配用电能表的电流量程也应为 5A。二次的  $K_1$ （或  $S_1$ ，下同）端接电能表的 1 号端子（端子序号的排列方法为由左到右）， $K_2$ （或  $S_2$ ，下同）端接电能表的 2 号端子。电能表的 3 号端子接电源的火线（电流互感器的  $L_1$  端），4 号端子接电源的零线，如图 4-11（a）所示，这一点与不用电流互感器的直接接入法不同，所以需要采用适合这种接线方式的专用单相电能表。

若使用不用电流互感器的直入式电能表，第一要求其标定电流为 5A，另外，需要将表打开，拆开 3 号端子和 4 号端子之间的连接，

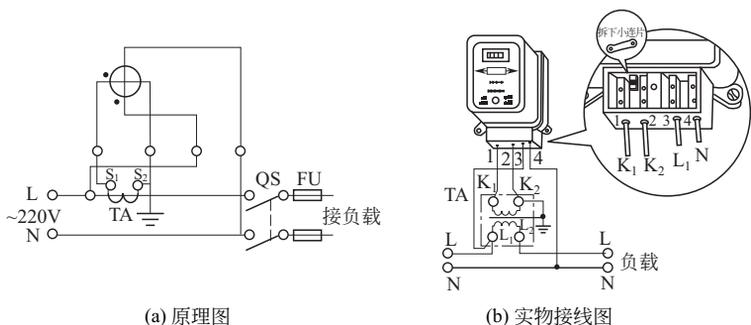


图 4-11 单相电能表电流互感器接线图

并将 1 号端子旁的“小连片”拆下，将和这个小端子连接的电压线接到 3 号端子上。也可用电钻在 1 号孔的右侧钻一个孔，用于穿入接电源端子的导线（用一段  $2.5\text{mm}^2$  的独芯绝缘铜线与电流互感器的  $L_1$  端相连）与 1 号端子旁拆下“小连片”的电压小端子连接，这样就可不改变仪表的内部接线，3 号端子和 4 号端子仍连接电源的零线（考虑到电源零线的截面积可能较大，为了接线方便，一般是用一段与电源零线相连的  $2.5\text{mm}^2$  独芯绝缘铜线与其中一个端子连接），如图 4-11 (b) 所示。

电能表显示数值乘以电流互感器的比数为用电总数。例如电能表标定电流为 5A，显示数值为  $50\text{kW}\cdot\text{h}$ ，所用电流互感器为  $100\text{A}/5\text{A}$ ，则实际用电量为  $50\text{kW}\cdot\text{h}\times(100/5)=1000\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

单相有功电能表配电流互感器测量电能的接线要求

① 电流互感器要选用 LQC 型的，其准确度等级应比电能表的准确度高两个等级，且准确度不低于 0.5 级。

② 配用的电流互感器，一次额定电流应等于或略大于负载电流。

③ 电能表的额定电压应与电源电压一致，电能表的额定电流应与电流互感器二次额定电流相适应，一般为 5A。

④ 电流互感器的极性要接对，且电流互感器的二次绕组的  $S_2$  端要接地（或接零）。

⑤ 电能表配电流互感器使用时，电能表的电流回路应选用截面积不小于  $2.5\text{mm}^2$  的单股绝缘铜芯导线，电能表的电压回路应选用截面积不小于  $1.5\text{mm}^2$  的单股绝缘铜芯导线。二次连接导线中间不

得有接头，且不能装设开关与熔断器。

⑥ 电能表配电流互感器使用时，电能表所有接线端子与导线连接的压接螺钉要拧紧，导线端头要有清楚明显的编号。

### 4.2.3 三相三线有功电能表直接接入式电路

三相有功电能表用来测量三相交流电路中电源输出（或负载消耗）的电能。由于测量电路接线方式不同，三相有功电能表又分为三相三线制和三相四线制两种。

(1) 三相三线有功电能表适用于对三相三线对称或不对称负载作有功电能的计量，可将这种电能表看成是两块单相电能表的组合，其原理结构如图 4-12 所示。它具有两组电流、电压线圈（即两组驱动元件），两个同轴转动的铝盘，两个制动磁铁，一套计度器。铁芯采用分离形式，电压元件为半封闭插片结构，性能较稳定，减小了摩擦力矩，有利于提高电能表的灵敏度，三相三线直入式电能表的读数直接反映了三相负载所消耗的电能。

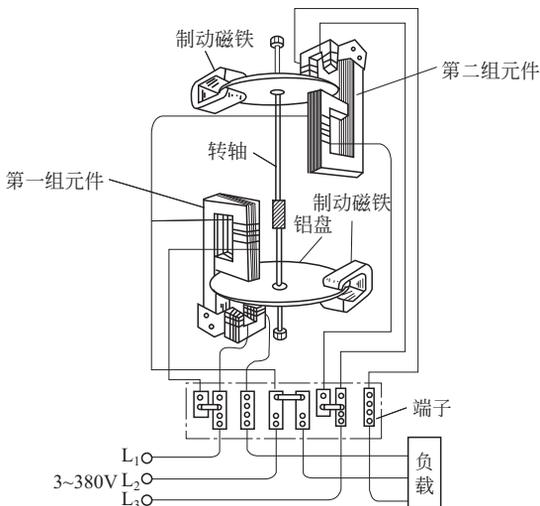


图 4-12 三相三线有功电能表结构图

有的三相三线有功电能表（如 DT2 型三相有功电能表），将两组元件共同作用在一个铝盘上，其特点是减小了电能表的体积，但两组

元件间的涡流和磁通相互干扰，比两个铝盘的电能表产生的误差大。

三相三线有功电能表的工作原理与单相有功电能表的工作原理基本上相同，三相有功电能表由电流、电压元件产生一移动磁场，同时与制动力矩相互作用，使铝盘在磁场中获得的转速正比于负载的有功功率，从而达到计量电能的目的。

(2) 三相四线有功电能表的工作原理与单相有功电能表的工作原理也基本上相同，适用于对三相四线对称或不对称负载作有功电能的计量。三相四线有功电能表可以看作是三块单相电能表的组合，它具有三组电压、电流元件，两个同轴转动的铝盘上、下排列，上面一个铝盘装有一套驱动元件（即电压、电流线圈），下面一个铝盘装有两组驱动元件，一套计度器。铁芯采用分离形式，电压元件为半封闭插片结构，三相四线有功电能表工作时，由三组电流、电压元件产生一移动磁场，作用在铝盘上的总转矩为三组元件产生的转矩之和，使铝盘在磁场中获得的转速正比于负载的有功功率，从而达到计量电能的目的。

三相三线有功电能表直接接入式电路如图 4-13 所示，直接从表盘读出用电量。

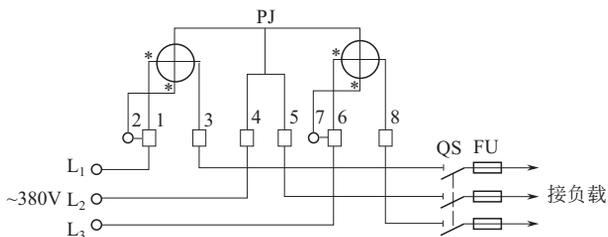


图 4-13 三相三线有功电能表直接接入式电路

#### 4.2.4 三相三线有功电能表电流互感器接入式电路

当要计量的三相三线制供电线路电流较大时，就必须通过电流互感器扩大电能表的电流量程。实际应用中的电能表有 7 个接线孔和 8 个接线孔两种（后者与前者相比多出的一个孔是第 5 孔，实际上第 4 孔和第 5 孔两孔在仪表内是连接在一起的，所以相当于一个孔的作

用。在使用后者时，也是只接其中的一个孔)。需要注意的是：一定要按规定的接线顺序连接电流互感器的一次和二次线，一旦有误，则会造成计量失准的后果；如电压线和电流线相互接错，还可能造成短路事故。

电流互感器的  $K_2$  端和铁芯接地，电压线中串联熔断器，是保证电能表及用电线路安全的措施。用电流互感器比数乘以电能表的读数，即为实际用电量。例如电流互感器比数为  $50\text{A}/5\text{A}$ ，电能表的读数为  $5\text{kW}\cdot\text{h}$ ，则实际用电量为：

$$(50\text{A}/5\text{A}) \times 5\text{kW}\cdot\text{h} = 10 \times 5\text{kW}\cdot\text{h} = 50\text{kW}\cdot\text{h}$$

8孔仪表的接线方法如图4-14所示。

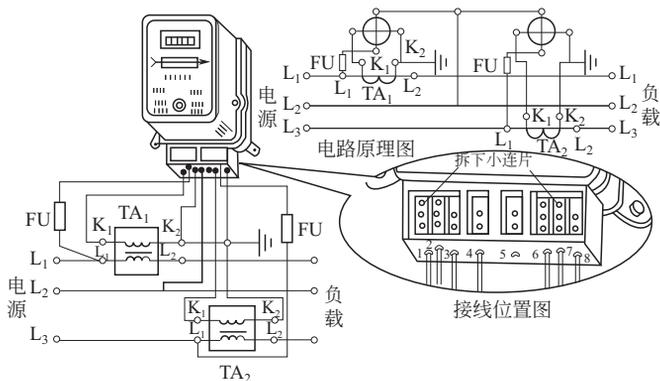


图 4-14 三相三线有功电能表电流互感器接线图

#### 4.2.5 三相三线有功电能表电压、电流互感器接入式电路

在高压供电系统中，高压侧的电能计量装置均通过电压和电流互感器使二次侧的电压降为  $100\text{V}$ 、二次侧的电流降为  $5\text{A}$ ，再由一块额定电压为  $100\text{V}$ 、标定电流为  $5\text{A}$  的三相三线有功电能表来计量。三相三线有功电能表电压、电流互感器接线图如图4-15所示。

读数方法：当电能表的铭牌上没有注明电流、电压互感器的变比，而实际使用的电流、电压互感器的变比为  $K_T$ 、 $K_P$  时，所用电量 ( $\text{kW}\cdot\text{h}$ ) 数：

$$W = \text{两次抄见读数之差} \times K \text{ (表本身倍率)} \times K_T \times K_P$$

有的电能表铭牌上已注明配用的电流、电压互感器的变比，那么如果所采用的电流、电压互感器的变比与铭牌上注明的相符，则所用电能（kW·h）数：

$$W = \text{两次抄见读数之差} \times K$$

如果实际安装使用的是其他变比的电流、电压互感器，那么所用电能（kW·h）数：

$$W = \text{两次抄见读数之差} \times K \times \frac{K_T (\text{实际}) \times K_P (\text{实际})}{K_T (\text{铭牌}) \times K_P (\text{铭牌})}$$

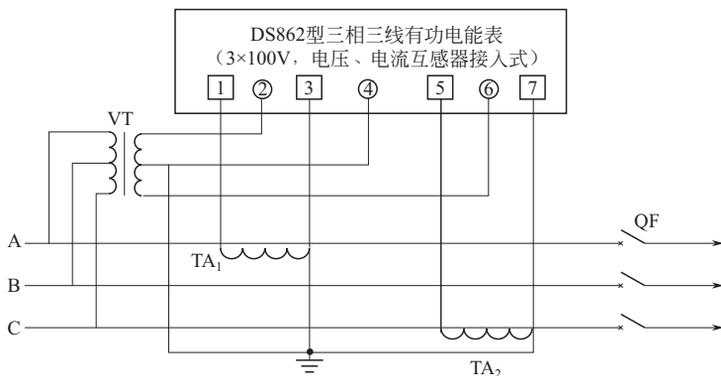


图 4-15 三相三线有功电能表电压、电流互感器接线图

#### 4.2.6 三相四线有功电能表直接接入式电路

三相四线有功电能表相当于三个单相电能表驱动元件和制动元件的组合，即三相三元件电能表，主要适用于三相四线制供电系统的电能计量（三相对称、不对称负载均可计量）。三相四线有功电能表直接接入式电路如图 4-16 所示。

#### 4.2.7 三相四线有功电能表电流互感器接入式电路

当每相电流较大时，必须接入电流互感器，三相四线有功电能表电流互感器接入式电路如图 4-17 所示。

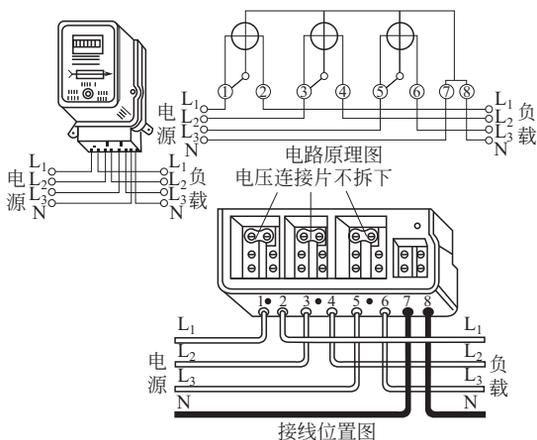


图 4-16 三相四线有功电能表直接接入式电路

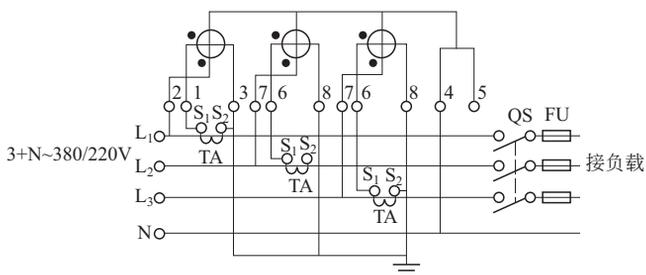


图 4-17 三相四线有功电能表电流互感器接入式电路

#### 4.2.8 三相四线有功电能表电压、电流互感器接入式电路

三相四线有功电能表电压、电流互感器接入式电路如图 4-18 所示。

#### 4.2.9 三相无功电能表接线电路

国家对电力用户实行了依据功率因数的高低调整电费的办法，以鼓励用户采取措施，提高功率因数。如果负载功率因数低，意味着无功功率增加，则将产生下列后果：

- (1) 发、供电设备的容量不能充分利用。

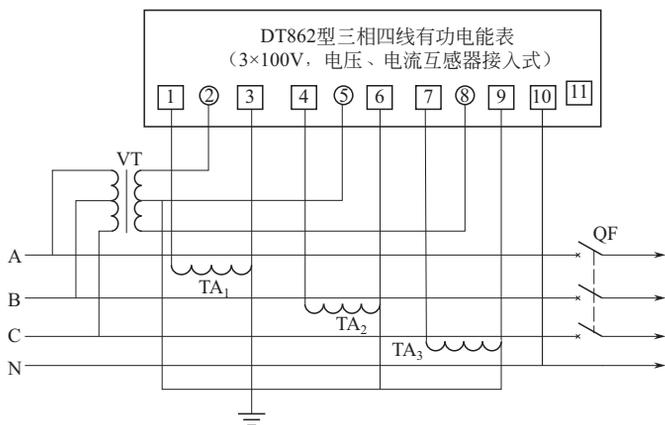


图 4-18 三相四线有功电能表电压、电流互感器接入式电路

(2) 增加输电线路损耗和电压降。

无功电能表用于线路中无功电能的计量，与有功电能表配合使用。有功电能表测量有功电能  $W_P$ ，无功电能表测量无功电能  $W_Q$ ，从而计算出用户在某一段时间内电路的平均功率因数 ( $\cos\varphi$ )。

$$\cos\varphi = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}}$$

式中， $\cos\varphi$  为功率因数； $W_P$  为有功电量； $W_Q$  为无功电量。

测量无功电能一般使用三相无功电能表 (DX 型)，接线方法如图 4-19、图 4-20、图 4-21、图 4-22、图 4-23 所示。其基本结构与三相三线有功电能表相似，接线方法与三相三线有功电能表相同。无功电能表无论正转、反转都累计无功电能，即计数器都累计数值。

#### 4.2.10 单相电子式电能表接线电路

电子式电能表是利用电子电路、芯片来测量电能的，用分压电阻或电压互感器将电压信号变成可用于电子测量的小信号，用分流器或电流互感器将电流信号变成可用于电子测量的小信号，利用专用的电能测量芯片将变换好的电压、电流信号进行模拟或数字乘法，并对电能进行累计，然后输出频率与电能成正比的脉冲信号。脉冲信号驱动步进电动机带动机械计度器显示，或送微机处理后进行数码显示。单

相电子式电能表的接线与机械单相电能表的接线相似，如图 4-24 所示。

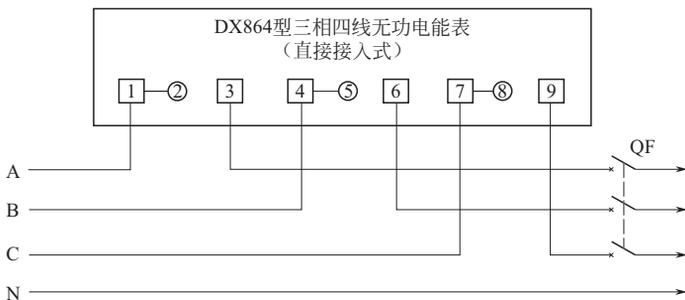


图 4-19 DX864 型三相四线无功电能表直接接入式电路

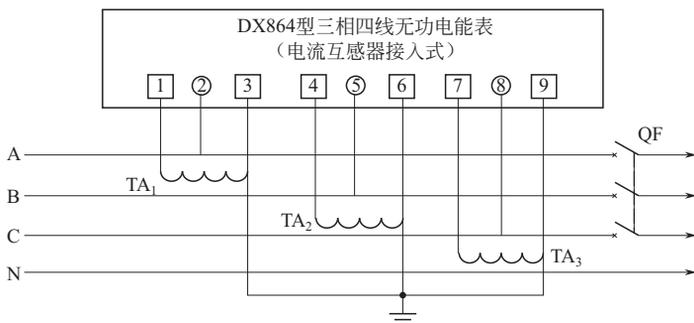


图 4-20 DX864 型三相四线无功电能表电流互感器接入式电路

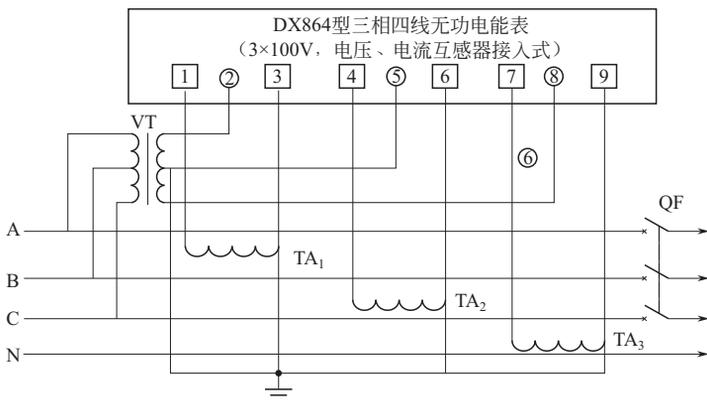


图 4-21 DX864 型三相四线无功电能表电压、电流互感器接入式电路

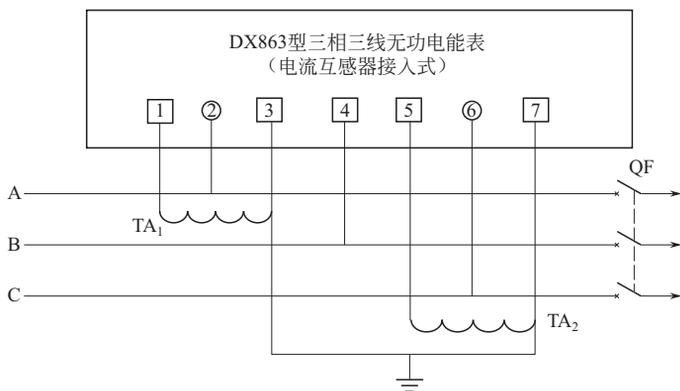


图 4-22 DX863 型三相三线无功电能表电流互感器接入式电路

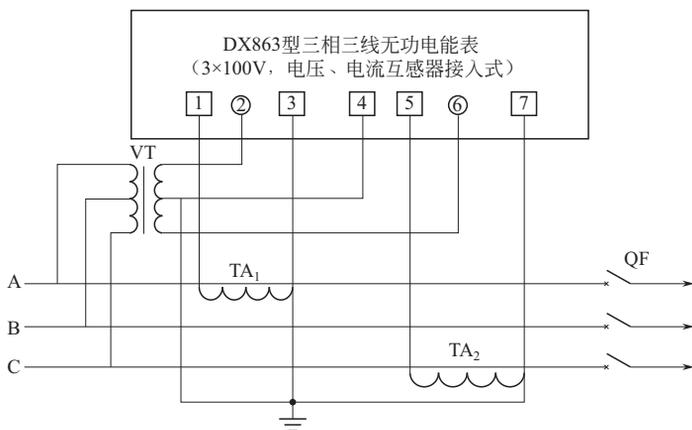


图 4-23 DX863 型三相三线无功电能表电压、电流互感器接入式电路

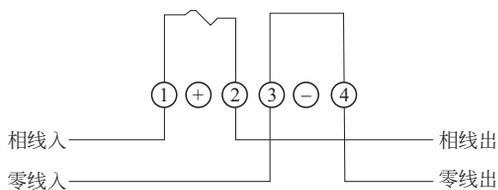


图 4-24 单相电子式电能表接线图

注：脉冲接口方式为+接正、-接负，接口电压小于 3.6V。

#### 4.2.11 三相三线电子式电能表接线电路

以 DSSD127-B 型三相三线电子式多功能电能表为例说明，工作原理框图如图 4-25 所示。电能表工作时，电压、电流经取样电路分别取样后，送入专用电能芯片进行处理，并转化为数字信号送到 CPU 进行计算。由于采用了专用的电能处理芯片，使得电压电流采样分辨率大为提高，且有足够的时间来更加精确地测量电能数据，从而使电能表的计量准确度有了显著改善。图中 CPU 用于分时计费和处理各种输入输出数据，通过串行接口将专用电能芯片的数据读出，并根据预先设定的时段完成分时有功电能计量和最大需量计量功能，根据需要显示各项数据、通过红外或 485 接口进行通信传输，并完成运行参数的监测，记录存储各种数据。接线方法与机械式的相同，图 4-26 为配电流、电压互感器的接线图。

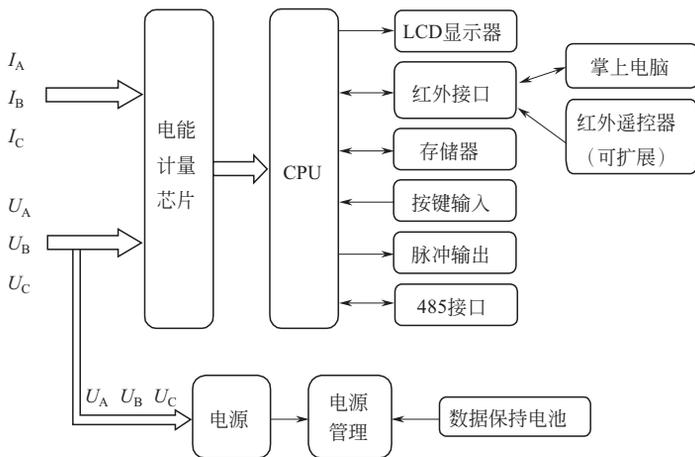


图 4-25 DSSD1277-B 型三相三线电子式多功能电能表工作原理图

#### 4.2.12 三相四线电子式电能表接线电路

三相四线电子式电能表的接线与机械式的也相同，如图 4-27 所示为三相四线电子式电能表直接接入式接线图。

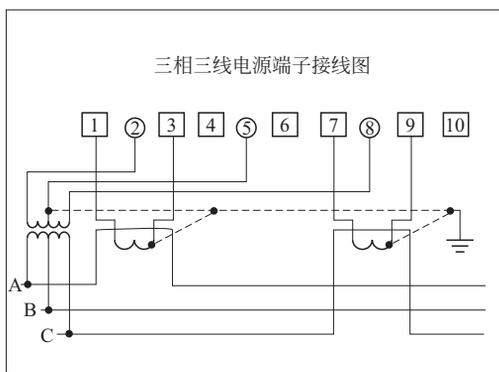


图4-26 三相三线电子式多功能电能表配电流、电压互感器接线图

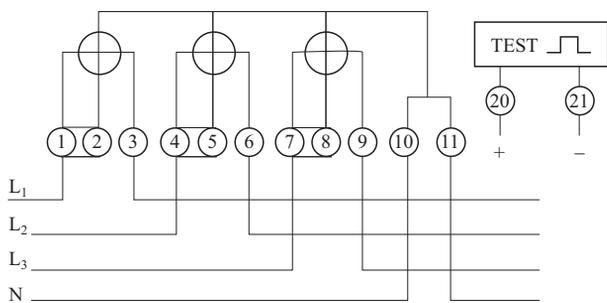


图 4-27 三相四线电子式电能表直接接入式接线电路

# 单相电动机和直流电动机控制电路

## 5.1 单相异步电动机启动与运行控制电路识图 <<<

(1) 电容启动与运行单相异步电动机控制电路 电容参与单相异步电动机启动与运行的控制电路如图 5-1 所示。电动机有两个绕组：主绕组  $U_1U_2$ （又称工作绕组）和副绕组  $Z_1Z_2$ （又称启动绕组），它们的结构相同（或基本相同），但在空间位置上互差  $90^\circ$  电角度。在启动绕组  $Z_1Z_2$  中串入电容器  $C$  以后再与工作绕组并联接在单相交流电源上，适当地选择电容器  $C$  的容量，可以使流过工作绕组中的电流  $I_U$  和流过启动绕组中的电流  $I_Z$  相差约  $90^\circ$  电角度，从而满足单相异步电动机启动与运转的条件。

这种单相异步电动机的启动与运行方式常用于电风扇、电冰箱、洗衣机、空调器、吸尘器等上面。

(2) 电容分相启动式单相异步电动机控制电路 电容启动式单相异步电动机控制电路如图 5-2 所示，在单相异步电动机的启动绕组中串联一个离心开关  $S$  和一个电容  $C$ 。当电动机转子静止或转速较低时，离心开关的两组触点在弹簧的压力下处于接触位置，即图 5-2 中的  $S$  闭合，启动绕组与工作绕组一起接在单相电源上，电动机开始转动，当电动机转速达到一定数值后，离心开关中的重球产生的惯性力

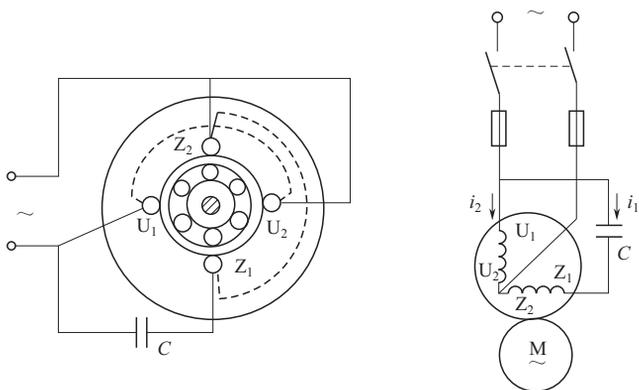


图 5-1 电容启动与运行单相异步电动机控制原理图

大于弹簧的弹力，则重球带动触点向右移动，使两组触点断开，即图 5-2 中的 S 断开，将启动绕组从电源上切除。此后，电动机在工作绕组产生的脉动磁场作用下继续运转下去。

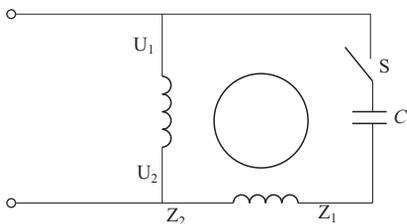


图 5-2 电容分相启动式单相异步电动机控制线路图

(3) 单相异步电动机双电容启动与运行控制电路 单相异步电动机双电容启动与运行控制电路如图 5-3 所示。 $C_1$  为启动电容，容量较大； $C_2$  为工作电容，容量较小，启动时离心开关 S 是闭合的，两个电容并联后与启动绕组串联，两个电容都工作，电动机有较大启动转矩，转速上升到额定转速的 80% 左右后，启动开关 S 将启动电容  $C_1$  断开，启动绕组上只串联工作电容  $C_2$ ，电容量减少。这种单相异步电动机启动与运行控制电路使电动机既有较大的启动转矩（约为额定转矩的 2~2.5 倍），又有较高的效率和功率因数，广泛地应用于小型机床设备中。

(4) 电阻分相启动式单相异步电动机控制电路 电阻启动式单相异步电动机控制电路如图 5-4 所示。这种控制电路适合的单相异步电动机要求工作绕组匝数较多, 导线较粗, 因此感抗远大于绕组的直流电阻, 可近似地看作流过绕组中的电流滞后电压约  $90^\circ$  电角度, 而启动绕组的匝数较少, 导线直径较细, 又与启动电阻  $R$  串联, 则该支路的总电阻远大于感抗, 可近似认为电流与电源电压同相位, 因此就可以看成工作绕组中的电流与启动绕组中的电流两者相位相差约  $90^\circ$  电角度, 从而在定子与转子及空气隙中产生旋转磁场, 使转子产生转矩而转动。当转速到达额定值的  $80\%$  左右时, 离心开关  $S$  动作, 把启动绕组从电源上切除。此后, 电动机在工作绕组产生的脉动磁场作用下继续运转下去。

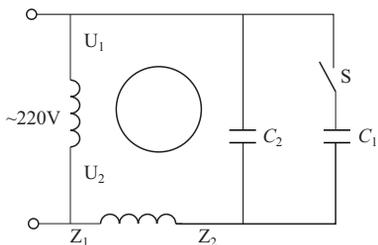


图 5-3 单相异步电动机双电容启动与运行控制电路

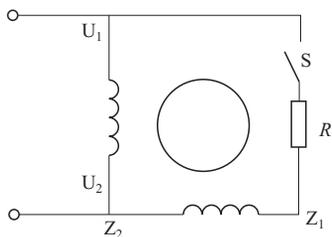


图 5-4 电阻分相启动式单相异步电动机控制电路

在一些专用电动机上, 如冰箱压缩机电动机等, 电阻启动异步电动机获得了广泛的采用。此外, 电冰箱电动机中的启动开关  $S$  常应用电磁启动继电器和 PTC 元件等。

(5) 单相罩极式异步电动机 单相凸极式罩极电动机定子铁芯的极面中间开有一个小槽, 用短路铜环罩住部分极面积, 起着启动绕组的作用。单相隐极式罩极电动机不用短路铜环, 而用较粗的绝缘导线做成匝数很少的罩极绕组跨在定子槽中, 作为启动绕组用。单相罩极电动机的电路如图 5-5 所示。

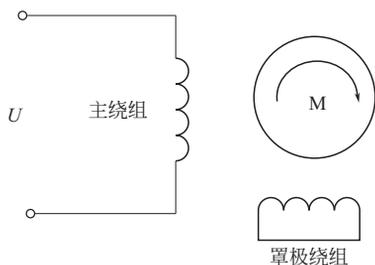


图 5-5 单相罩极电动机的电路

## 5.2 单相异步电动机反转控制电路与调速控制电路识图 <<<

### 5.2.1 单相异步电动机反转控制电路

(1) 改变绕组的接法使单相异步电动机反转 只要任意改变工作绕组或启动绕组的首端、末端与电源的接线,即可使电动机反转。因为异步电动机的转向是从电流相位超前的绕组向电流相位落后的绕组旋转的,如果把其中的一个绕组反接,等于把这个绕组的电流相位改变了 $180^\circ$ ,假如原来这个绕组是超前 $90^\circ$ ,则改接后就变成了滞后 $90^\circ$ ,结果旋转磁场的方向随之改变。

(2) 改变电容器的接法来改变电动机转向 通过改变电容器的接法可改变电动机转向。如洗衣机需经常正、反转,如图5-6所示。当定时器开关处于图中所处位置时,电容器串联在 $U_1U_2$ 绕组上, $U_1U_2$ 绕组上的电流 $I_U$ 超前于 $Z_1Z_2$ 绕组上的电流 $I_Z$ 相位约 $90^\circ$ ,经过一定时间后,定时器开关将电容从 $U_1U_2$ 绕组中切断,串联到 $Z_1Z_2$ 绕组上,则电流 $I_Z$ 超前于 $I_U$ 相位约 $90^\circ$ ,从而实现了电动机的

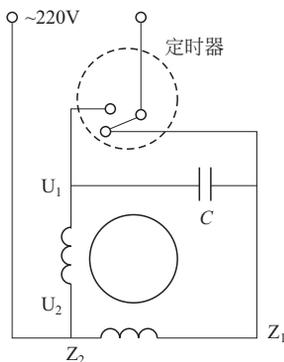


图5-6 洗衣机电动机的正、反向控制

反转。这种单相交流异步电动机的工作绕组与启动绕组可以互换,所以工作绕组、启动绕组的线圈匝数、粗细、占槽数都应相同。

外部接线无法改变罩极式电动机的转向,因为它的转向是由内部结构决定的,所以它一般用于不需改变转向的场合。

### 5.2.2 单相异步电动机调速控制电路

单相交流异步电动机的调速一般有以下几种方法。

(1) 串电抗器调速 这种调速方法将电抗器与电动机定子绕组串联, 通电时, 利用在电抗器上产生的电压降, 使加到电动机定子绕组上的电压低于电源电压, 从而达到降压调速的目的。因此用串电抗器调速时, 电动机的转速只能由额定转速向低速调速。其调速电路如图 5-7 所示。

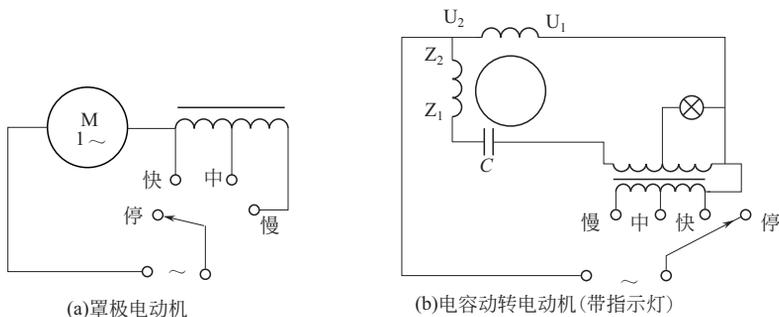


图 5-7 单相交流异步电动机串电抗器调速电路

串电抗器调速方法线路简单、操作方便, 但只能有级调速, 且电抗器上消耗电能, 另外电压降低后, 电动机的输出转矩和功率明显降低, 因此只适用于转矩及功率都允许随转速降低而降低的场合, 目前只用于吊扇上。

(2) 绕组抽头调速 电容运转电动机在调速范围不大时, 普遍采用定子绕组抽头调速。绕组抽头调速电路如图 5-8 所示, 这种调速方法是在定子铁芯上再放一个调速绕组  $D_1D_2$  (又称中间绕组), 它与工作绕组  $U_1U_2$  及启动绕组  $Z_1Z_2$  连接后引出几个抽头 (一般为三个), 通过改变调速绕组与工作绕组、启动绕组的连接方式, 调节气隙磁场大小来实现调速的目的。这种调速方法通常有 L 形接法和 T 形接法两种。

与串电抗器相比, 绕组抽头调速省去了调速电抗器铁芯, 降低了产品成本, 节约了电抗器的能耗。其缺点是绕组嵌线和接线比较复杂, 电动机与调速开关的接线较多。

(3) 串电容调速 将不同容量的电容器串入单相交流异步电动机电路中, 也可调节电动机的转速。电容器容抗与电容量成反比, 故电容量越小, 容抗就越大, 相应的电压降也就越大, 电动机转速就越

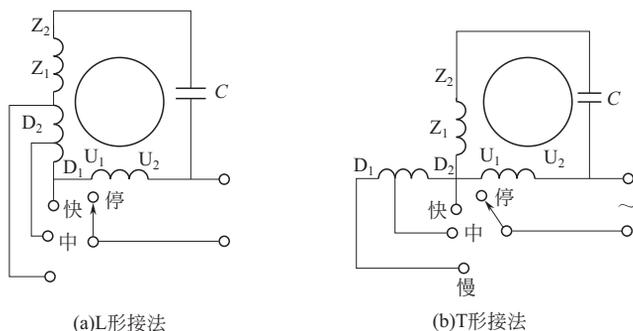


图 5-8 单相交流电动机绕组抽头调速接线图

低；反之电容量越大，容抗就越小，相应的电压降也就越小，电动机转速就越高。

(4) 自耦变压器调速 可以通过调节自耦变压器来调节加在单相交流异步电动机上的电压，从而实现电动机的调速。

(5) 晶闸管调压调速 前面介绍的各种调速电路都是有级调速，目前采用晶闸管调压的无级调速已越来越多。如图 5-9 所示，利用改变晶闸管  $V_2$  的导通角，来实现调节加在单相交流异步电动机上的交流电压的大小，从而达到调节电动机转速的目的。本调速方法可以实现无级调速，缺点是有一些电磁干扰。目前常用于吊风扇的调速上。

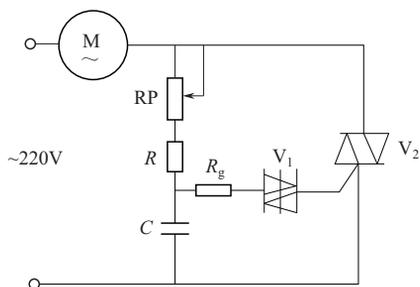


图 5-9 晶闸管调速原理图

(6) 变频调速 变频调速适合各种类型的负载，随着交流变频调速技术的发展，单相变频调速已在家用电器上应用，如变频空调器等，它是交流调速控制的发展方向。

## 5.3 单相异步电动机几种常见控制电路 <<<

(1) 台风扇电抗器调速控制电路 台风扇电抗器调速控制电路如图 5-10 所示。电机外壳与电源中线相连；主绕组与副绕组的公共端和电源的一根线相连；电源的另一根线通过定时器、调速开关至调速电抗器；主绕组的另一端直接接调速电抗器的末端；副绕组的另一端通过启动电容器、指示灯供电线圈，与调速电抗器的末端相连。

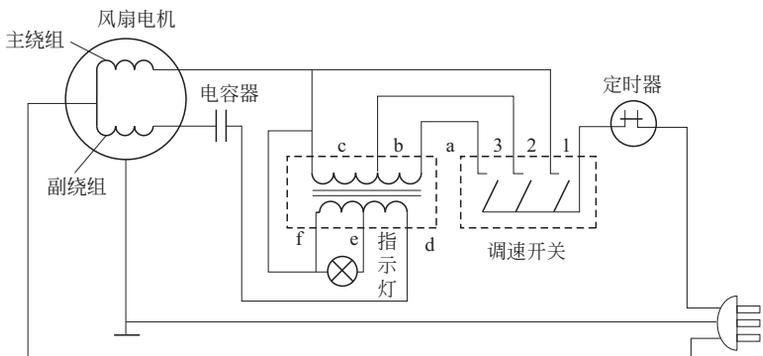


图 5-10 台风扇电抗器调速控制电路

定时器定时电风扇的工作时间，定时时间没到，定时开关是闭合的，定时时间一到，定时开关断开，切断风扇电源，风扇停止工作。电风扇调速是由电抗器和转换开关共同完成的，电抗器线圈有多个抽头与转换开关相连，变换开关挡位，可改变电抗器的电感量，从而改变加在电动机上的电压，以此来实现电动机的调速。电抗器与指示灯线圈构成一小型变压器为指示灯供电。

(2) 吊扇电抗器调速控制电路 如图 5-11 所示。

(3) 单桶洗衣机控制电路 单桶洗衣机控制电路如图 5-12 所示，开关 S 是控制正反转的，打向 A 时正转，打向 B 时反转。

(4) 双桶洗衣机控制电路 双桶洗衣机控制电路如图 5-13 所示。甩干桶盖一打开，桶盖开关就断开，甩干电动机就停止工作，甩干定时器是用来定时甩干电动机工作时间的，甩干电动机只能单向运转。

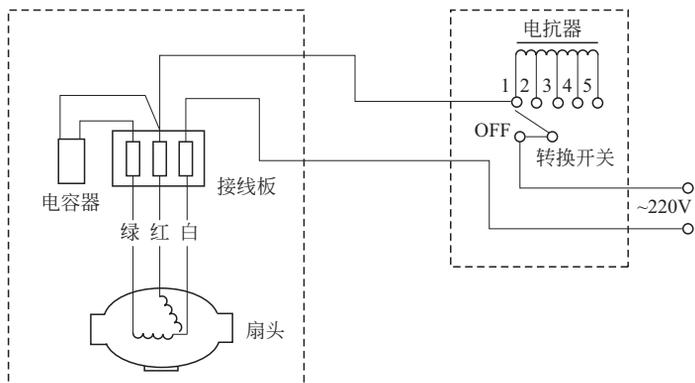


图 5-11 吊扇电抗器调速控制电路

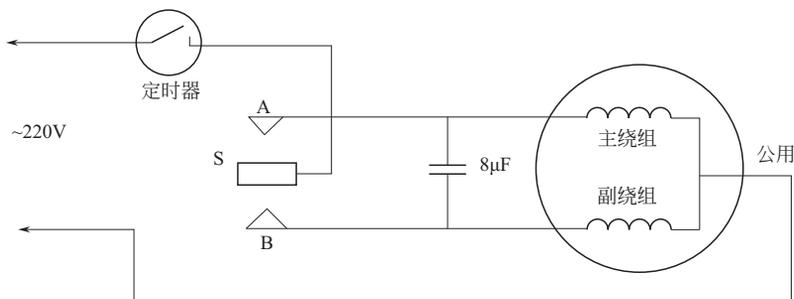


图 5-12 单桶洗衣机控制电路

洗涤定时器是洗衣电动机的时间控制器件，它的作用：一是控制洗衣电动机的工作时间，二是控制洗衣电动机的正、反转，间歇时间，强洗、中洗、弱洗方式。

(5) 直冷式电冰箱控制电路 直冷式电冰箱控制电路如图 5-14 所示，启动继电器是一种控制继电器，其作用是控制电动机副绕组回路与启动电容的接通和断开。目前使用的启动控制器主要有三种：重力式启动控制器、弹力式启动控制器和热敏式（PTC）启动控制器。

过载过热保护器的作用是由于某种因素使电动机电流过大或压缩机温度过高时，及时切断电源，保护电动机不受损坏。过载保护器可分为过电流型和过热型，前者以电动机的工作电流为控制信号，后者以电动机的运行温度为控制信号。过载保护器按结构可分为碟式热保

护器、内埋式热保护器和热敏式（PTC）热保护器。

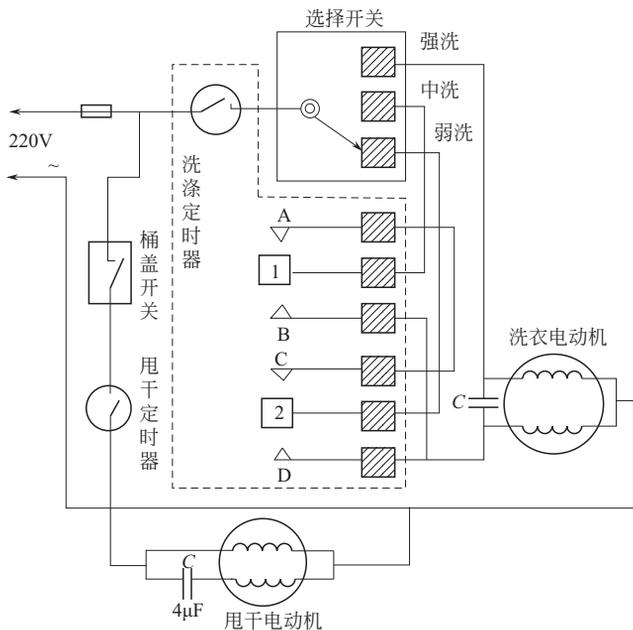


图 5-13 双桶洗衣机控制电路

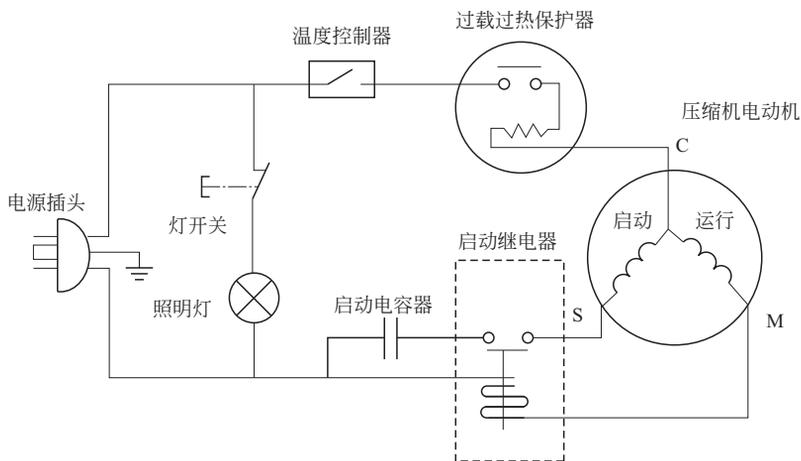


图 5-14 直冷式电冰箱控制电路

温度控制器的作用是用来控制电冰箱内的温度，即控制压缩机的工作时间或制冷量。温度控制器按结构可分为膨胀式温度控制器和电子式温度控制器。

(6) 单冷空调器控制电路 如图 5-15 所示。

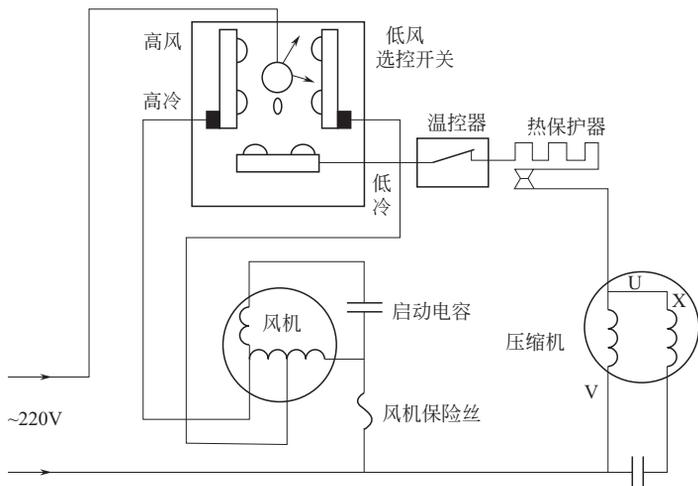


图 5-15 单冷空调器控制电路图

## 5.4 直流电动机的启动与制动控制电路 <<<

### 5.4.1 直流电动机基本原理电路

(1) 他励电动机 他励是指主磁极磁场绕组的励磁电流由另外的直流电源供电，与电枢电路没有电的联系，如图 5-16 所示。

(2) 自励电动机 自励是指发电机运行时，主磁极励磁绕组的励磁电流由该发电机本身电枢供给；作为电动机运行时，主磁极励磁绕组的励磁电流与电枢电流由同一直流电源供给。自励电动机按励磁绕组与电枢连接方式的不同又分为并励、串励和复励三种。

① 并励电动机 并励电动机的电枢绕组和励磁绕组并联，如图

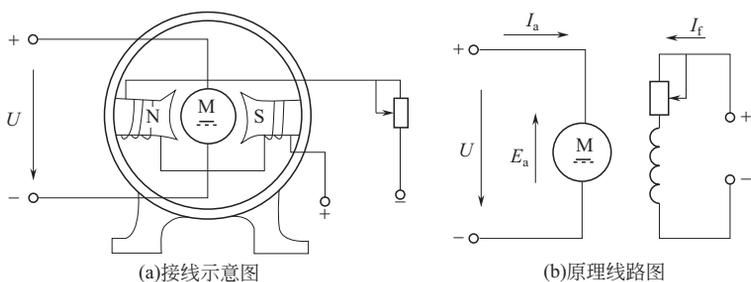


图 5-16 他励电动机

5-17所示。励磁绕组匝数较多，导线截面较小，电阻较大，励磁电流只有电枢电流的百分之几。

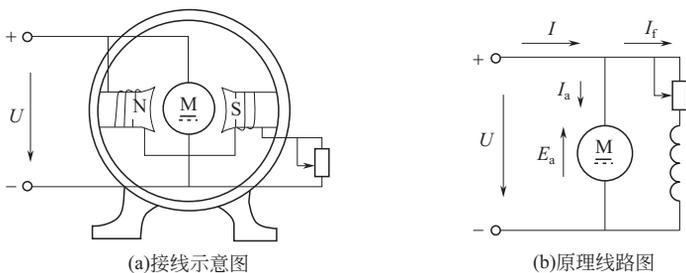


图 5-17 并励电动机

② 串励电动机 串励电动机的电枢绕组和励磁绕组串联，如图 5-18 所示。励磁绕组匝数较少，导线截面较大，电阻较小，励磁电流和电枢电流相等。

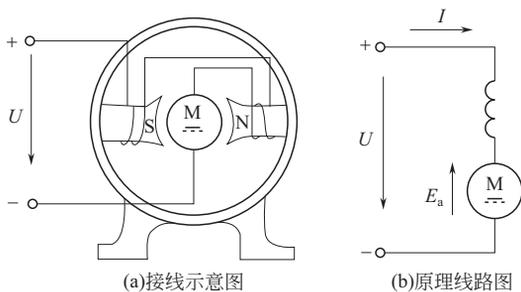


图 5-18 串励电动机

③ 复励电动机 复励电动机的主磁极上有两部分励磁绕组，其中一部分与电枢绕组并联，另一部分与电枢绕组串联，如图 5-19 所示。

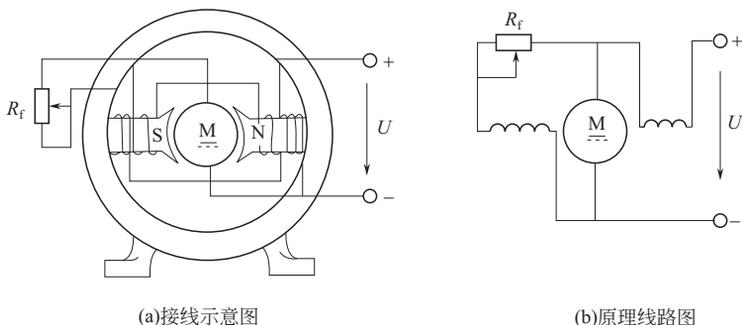


图 5-19 复励电动机

#### 5.4.2 直流电动机的启动电路

直流电动机有直接启动、电枢回路串接电阻启动和降低电枢电压启动三种启动方式。

(1) 直接启动 直流电动机直接接在额定电压下启动的方式称为直接启动。由于直接启动易使电动机和机械设备受到冲击以致损坏，故直流电动机通常是不允许直接启动的。

(2) 电枢回路串电阻启动 启动时，在电枢电路中串接几级电阻或变阻器  $R_Q$ ，随着转速的升高， $R_Q$  的值应逐渐减小（分段切除），启动完毕时完全切除  $R_Q$ （短接）。

(3) 降低电枢电压启动 当直流电源电压可调时，可以采用降低电枢电压启动，但只适用于他励电动机。启动时，以较低的电源电压启动电动机，通过降低启动时的电枢电压来限制启动电流，启动电流随电压的降低而正比减小，因而启动转矩减少。随着电动机转速的上升，反电动势逐渐增大，再逐渐提高到电源电压，使启动电流和启动转矩保持在一定的数值上，从而保证电动机按需要的加速度升速，待电压达到额定值时，电动机稳定运行，启动过程结束。

并励直流电动机电枢回路串联电阻启动电路如图 5-20 所示，RS

为直流电动机启动变阻器，它主要由电阻元件、调节转换装置和外壳三大部分组成，其共有四个接线端  $E_1$ 、 $L_+$ 、 $A_1$  和  $L_-$ ，分别与电源、电枢绕组和励磁绕组相连。手轮 8 附有衔铁 9 和恢复弹簧 10，弧形铜条 7 的一端直接与励磁电路接通，同时经过全部启动电阻与电枢绕组接通。在启动之前，启动变阻器的手轮置于 0 位，然后合上电源开关 QF，慢慢转动手轮 8，使手轮从 0 位转到静触点 1，接通励磁绕组电路，同时将启动变阻器 RS 的全部启动电阻接入电枢电路，电动机开始启动旋转。随着转速的升高，手轮依次转到静触点 2、3、4 等位置，使启动电阻逐级切除，当手轮转到最后一个静触点 5 时，电磁铁 6 吸住衔铁 9，此时启动电阻器全部切除，直流电动机启动完毕，进入正常运转。

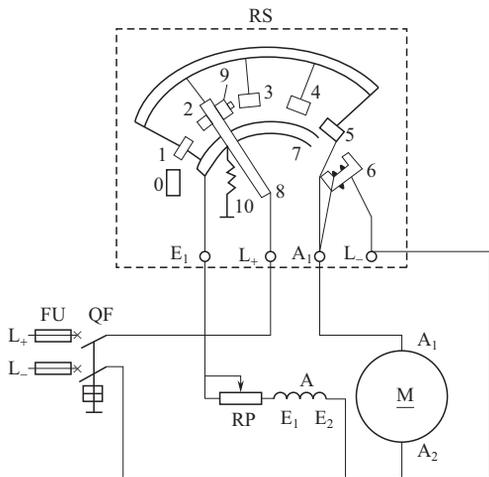


图 5-20 并励直流电动机手动启动控制电路图

0~5—分段静触点；6—电磁铁；7—弧形铜条；8—手轮；9—衔铁；10—恢复弹簧

当电动机停止工作切断电源时，电磁铁 6 由于线圈断电吸力消失，在恢复弹簧 10 的作用下，手轮自动返回 0 位，以备下次启动。电磁铁 6 还具有失压和欠压保护作用。

由于并励电动机的励磁绕组具有很大的电感，所以当手轮回复到 0 位时，励磁绕组会因突然断电而产生很大的自感电动势，可能会击穿绕组的绝缘，在手轮和铜条间还会产生火花，将动触点烧坏。因

此，为了防止发生这些现象，应将弧形铜条 7 与静触点 1 相连，在手轮回到 0 位时励磁绕组、电枢绕组和启动电阻能组成一闭合回路，作为励磁绕组断电时的放电回路。

启动时，为了获得较大的启动转矩，应使励磁电路的外接电阻 RP 短接，此时励磁电流最大，才能产生较大的启动转矩。

### 5.4.3 直流电动机调速与反转控制电路

(1) 电枢回路串电阻调速 电枢回路串电阻调速是指在电枢回路中串接一变阻器，通过改变串入电阻值的大小而改变直流电动机的转速，串入的电阻值越大，稳态转速就越低。其原理电路如图 5-21 所示。

电枢回路串电阻调速的方法具有以下特点：

① 串电阻调速方法只能从额定值向下调速，转速的稳定性变差，调速范围较小。

② 调速电阻  $R_c$  中有较大电流  $I_a$  流过，损耗的电能多，效率较低，而且转速越低，所串电阻越大，则损耗越大，效率越低，经济性差。

③ 调速电阻  $R_c$  不易实现连续调节，只能分段有级调节，调速平滑性差。

④ 调速时电动机允许通过的电流即额定电流是一定的，在各种转速下，电动机能输出相同的转矩，故为恒转矩调速。

⑤ 调速设备投资少，方法简单。

(2) 降低电源电压调速 直流电动机降低电源电压调速原理电路如图 5-22 所示。由于电动机的工作电压不允许超过额定电压，因此电枢电压只能在额定电压以下进行调节。

降低电源电压调速的方法具

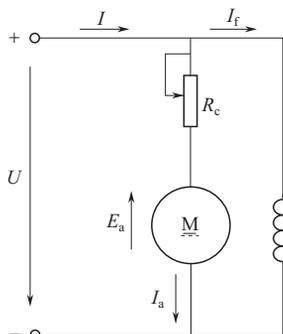


图 5-21 电枢串电阻调速

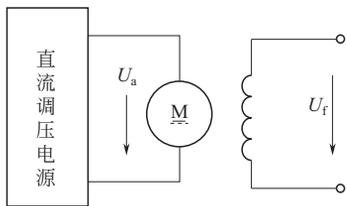


图 5-22 降低电源电压调速原理电路

有以下特点：

- ① 无论轻载还是负载，调速范围相同，调速性能稳定。
  - ② 由于电枢电压不能超过额定值，故转速只能向下调速。
  - ③ 调速范围较大，可达 $(6\sim 8):1$ 。
  - ④ 调速的平滑性好，可实现无级调速。
  - ⑤ 功率损耗小，效率高。
  - ⑥ 调速时磁通未变，而额定电流是一定的，故电动机能输出的转矩是一定的，为恒转矩调速。
  - ⑦ 需要一套电压可连续调节的直流调压电源，设备多、投资大。
- 调压调速多用在对调速性能要求较高的生产机械上，如机床、轧钢机、造纸机等。

(3) 改变励磁磁通的调速 改变励磁磁通的调速电路如图 5-23 所示，保持电源电压  $U$  为额定值，在励磁电路中接入调速变阻器  $R_c$ ，改变励磁电流  $I_f$ ，以改变磁通  $\Phi$  进行调速，故又称调磁调速。

改变励磁磁通调速的特点：

① 由于  $I_f$  不能超过额定值，故只能将  $I_f$  减小（又称弱磁调速），转速向上调。只要均匀地改变  $R_c$ ，即可得到平滑的无级调速。

- ② 稳定性较好。
- ③ 比较经济，操作方便。
- ④ 调速范围通常为  $2:1$ 。
- ⑤ 如保持电动机额定电流一定，允许输出的转矩将减小，但由于转速增加，输出功率基本上没有变化，故为恒功率调速。

(4) 晶闸管-直流电动机调速系统 图 5-24 所示为带有速度负反馈的晶闸管-直流电动机调速系统，由于这种系统具有效率高、功率增益大、快速性和控制好、噪声小等优点，因此正逐渐地取代其他的直流电动机调速系统。

图 5-24 中，输入电压  $U_g$  由电位器  $RP_1$  调节， $G$  为测速发电机，

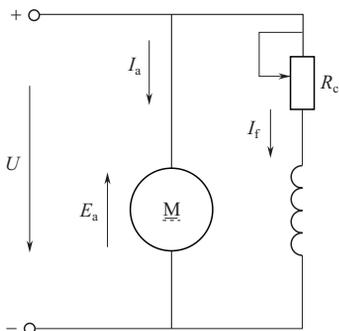


图 5-23 调磁调速

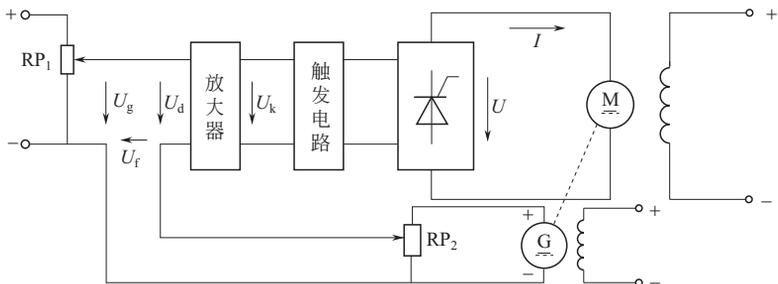


图 5-24 带有速度反馈的晶闸管-直流电动机调速系统

作为转速检测元件。工作中测速发电机的电枢电压与转速成正比，电枢电压的一部分反馈到系统的输入端，与  $U_g$  比较后，产生电压  $\Delta U = U_g - U_f$  送入放大器。经放大器放大后，送入触发器产生移相脉冲，触发晶闸管，从而改变晶闸管整流电路的输出，使电动机  $M$  的电枢电压改变，实现电动机转速的变化。

(5) 反转控制电路 使用直流电动机的许多设备，常常要求电动机既能正转，又能反转，如龙门刨床工作台的往复运动、电车的前进和后退等。使直流电动机反转的方法有两种：

① 保持电枢两端电压极性不变，把励磁绕组反接，使通过的励磁电流方向改变。

② 保持励磁绕组电流方向不变，把电枢绕组反接，使通过它的电流反向。

由于励磁绕组匝数多，电感较大，切换励磁绕组时会产生较大的自感电压而危及励磁绕组的绝缘。实际上，改变直流电动机的转向，通常采用改变电枢电流方向的方法。通过改变电枢电流方向使直流电动机反转的原理电路如图 5-25 所示，若  $KM_1$  闭合、 $KM_2$  断开时正转，则  $KM_1$  断开， $KM_2$  闭合时反转。

#### 5.4.4 直流电动机的制动控制电路

制动就是使电力拖动系统迅速停车或降低转速的运行状态。制动的方法有机械制动和电气制动两类。机械制动是指靠摩擦获得制动转矩的制动方法，常见的机械制动装置是抱闸；电气制动是在电动机内

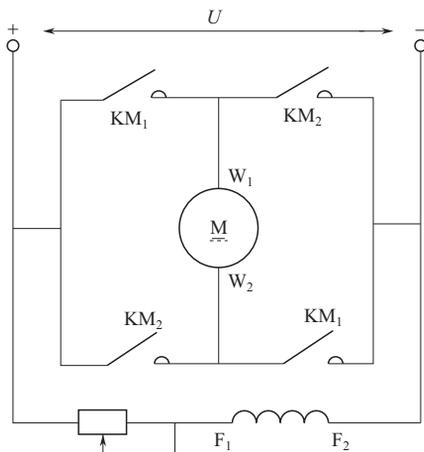


图 5-25 改变电枢电流方向使直流电动机反转的原理电路

产生一个与旋转方向相反的电磁转矩，用以加速系统的停车，降低转速或限制系统的重力加速度。电气制动具有许多优点，如没有机械磨损，便于控制，有时还能将输入的机械能转换成电能送回电网，经济节能等，因此得到了广泛应用。

他励（并励）直流电动机的电气制动方法有能耗制动、反接制动和回馈制动三种方式。

(1) 能耗制动 图 5-26 所示为并励电动机的能耗制动原理接线图。把开关 S 从位置 1 转到位置 2 上，并励电动机切断电源，电动机两端接到电阻  $R_z$  上，电动机就会迅速停车。

制动原理是：欲使电动机迅速制动时，保持励磁绕组的电源接通，断开正在运行的直流电动机的电枢电源。同时在电枢两端接入电阻  $R_z$ ，由于电动机转子的惯性作用，电枢仍在旋转，电枢绕组此时作发电机运行，绕组中产生感应电动势，电阻  $R_z$  闭合，并产生感应电流  $I_z$ ，其方向与原电流方向相反，在磁场中受到的电磁力方向也随之改变，成为制动转矩，将系统所储存的动能变为电能，消耗在制动电阻  $R_z$  上，故称为能耗制动。

(2) 反接制动 反接制动就是将电源电压反接到电枢绕组或励磁绕组上，让正在转动的电动机产生反转制动力矩，从而加速电枢停

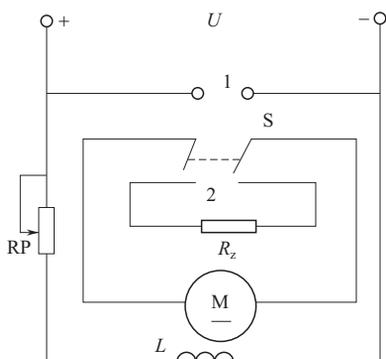


图 5-26 能耗制动原理线路图

转。其原理接线图如图 5-27 所示。反接制动时应注意的是：

① 电枢绕组反接时，一定要给电枢串联外加电阻，以降低电枢内的电流。因为在切断电枢电源的短时间内，电枢中的感应电动势很大，方向与反接后的电压相同，几乎等于 2 倍的端电压。若不外接电阻，将有很大的电流通过电枢，换向器和电刷间产生强烈火花，造成损坏。

② 当电动机转速降低近于零时，要迅速切断电源，以免电动机反转。

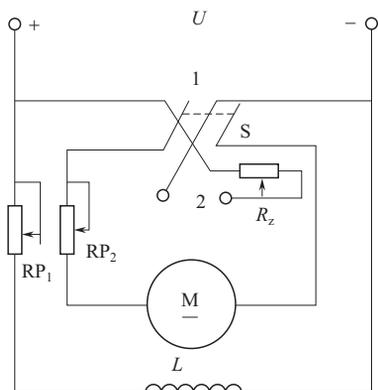


图 5-27 反接制动接线图

(3) 回馈制动 图 5-28 表示起重机的并励电动机运行在电动状态，电动机的转速  $n < n_0$  ( $n_0$  为理想空载转速)。在重物的作用下，电动机的转速越来越高，当电动机的实际转速  $n > n_0$  时，电枢中的反电动势大于电源电压  $U$ ，这时候，电动机变成了发电机，电枢中电流方向发生改变，由原来的与电压相同变为与电压相反，电流流向电网，向电网回馈电能，电磁转矩变为制动转矩，因此叫做回馈制动或反馈制动。回馈制动的实质是将直流电动机从电动状态转变为发电机状态运行，以限制转速不致过高。

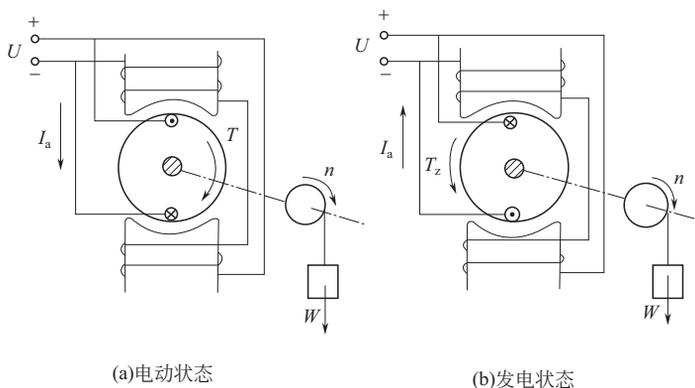


图 5-28 回馈制动的电枢电流

## 三相交流电动机控制电路

## 6.1 电动机点动与连续运行控制电路 &lt;&lt;&lt;

(1) 点动正转控制电路 电气设备工作时常常需要进行点动调整，如车刀与工件位置的调整，因此需要用点动控制电路来完成。点动控制是指按下按钮时，电动机通电启动、运行，松开按钮电动机断电、停止。

点动正转控制电路是用按钮、接触器来控制电动机运转的最简单的正转控制电路，如图 6-1 所示。启动：按下启动按钮 SB→接触器 KM 线圈得电→KM 主触点闭合→电动机 M 启动运行。停止：松开按钮 SB→接触器 KM 线圈失电→KM 主触点断开→电动机 M 失电停转。停止使用时：断开电源开关 QS。FU<sub>1</sub> 为主电路熔断器，FU<sub>2</sub> 为控制电路熔断器，分别对主电路和控制电路起保护作用。

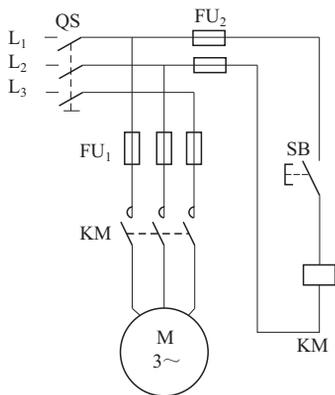


图 6-1 点动正转控制电路

(2) 电动机正转连续运行控制电路

在要求电动机启动后能连续运行时,采用上述点动控制电路就不行了。因为要使电动机M连续运行,启动按钮SB就不能断开,这是不符合生产实际要求的。为实现电动机的连续运行,可采用图6-2所示的接触器自锁电动机连续正转控制电路。图6-2中左边的为主电路,右边的为控制线路,控制线路接在三相电源的任意两根火线上,或一端接火线,另一端接零线,但接点必须在开关QS之后,接触器主触点之前。

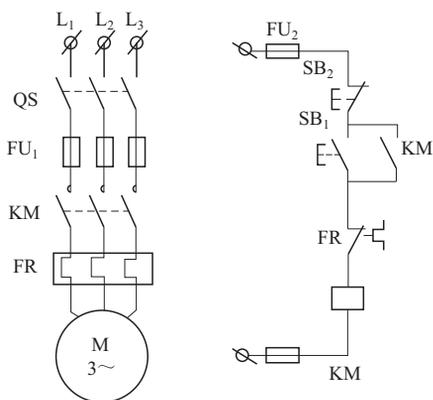


图 6-2 电动机连续正转控制电路

① 线路的工作原理。先合上电源开关 QS。

启动:



松开  $SB_1$  后,  $SB_1$  常开触点断开, 因为接触器 KM 的常开辅助触点闭合时已将  $SB_1$  短接, 控制电路仍保持接通, 所以接触器 KM 继续得电, 电动机 M 实现连续运转。像这种当松开启动按钮  $SB_1$  后, 接触器 KM 通过自身常开触点而使线圈保持得电的作用叫做自锁(或自保)。与启动按钮  $SB_1$  并联起自锁作用的常开触点叫自锁触点(也称自保触点)。

停止:



松开  $SB_2$  后, 其常闭触点恢复闭合, 因接触器 KM 的自锁触点已分断, 解除了自锁,  $SB_1$  也是分断的, 所以接触器 KM 不能得电, 电动机 M 也不会转动。

② 电路的保护环节。短路保护，过载保护，失压和欠压保护统称低压保护。

**失压保护：**当电网电压消失（如停电）后又恢复供电时，电动机及其拖动的机构不能自行启动，因为自锁触点和主触点在停电时已一起断开，控制电路和主电路都不会自行接通，所以在恢复供电时，若没有按下启动按钮，电动机就不会自行启动。

**欠压保护：**电动机运行时，若电源电压下降，电动机的电流就会上升，电压下降越严重电流上升也越严重，严重时烧坏电动机。在具有自锁的控制电路中，电源电压降低到很低（一般在工作电压 85% 以下）时，接触器线圈的磁场很弱，电磁吸力不足，自锁触点断开，失去自锁，同时主触点也断开，电动机停转，得到了保护。

**短路保护：**主电路和控制电路中都设有熔断器，当出现短路现象时，熔断器快速熔断，合理选择熔断器的规格可对电动机和线路起到短路保护作用。

**过载保护：**常用的过载保护元件是热继电器。由于热惯性的原因，热继电器不会受电动机短时过载冲击电流或短路电流的影响而瞬时动作，所以在使用热继电器作过载保护的同时，还必须设有短路保护，选作短路保护的熔断器熔体的额定电流不应超过 4 倍热继电器发热元件的额定电流。

必须强调指出，短路、过电流、过载保护虽然都是电流保护，但由于故障电流的动作值、保护特性和保护要求以及使用元件的不同，它们之间是不能相互取代的。

(3) 连续与点动混合控制正转控制电路 连续与点动混合控制正转控制电路如图 6-3 所示，图 6-3 (a) 为主电路，图 6-3 (b)、图 6-3 (c) 为两种不同的控制电路。

图 (b) 中自锁支路串接转换开关 SA。SA 打开时，按下启动按钮 SB<sub>2</sub> 后，接触器线圈 KM 得电，主触点闭合，电动机转动，辅助常开触点也能闭合，但由于 SA 是断开的，不能形成自锁，故此时为点动控制。SA 合上时，工作原理与图 6-2 是一样的，为连续控制。该电路简单，但若疏忽 SA 的操作就会引起混淆。

图 (c) 中 SB<sub>3</sub> 的常开触点与接触器辅助常开触点是并联的，SB<sub>3</sub> 的常闭触点与接触器辅助常开触点是串联的。如果 SB<sub>3</sub> 不动，其

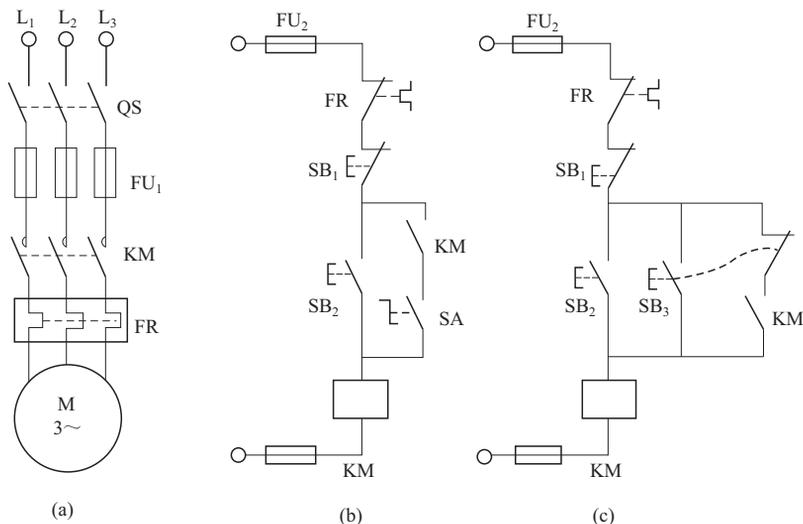


图 6-3 连续与点动混合控制正转控制电路

常开触点断开，常闭触点闭合，这时按下  $SB_2$  为连续运行控制。如果  $SB_2$  不动，按下  $SB_3$ ，其常开触点闭合，但其常闭触点断开，不能形成自锁，则为点动启动控制，按下  $SB_3$  电动机运转，松开则停止。

## 6.2 电动机正反向连续运行控制电路 <<<

电动机正反向连续运行控制原理是：任意调换电源的两根进线，改变电动机三相电源的相序，即可改变电动机的旋转方向，实现运动部件正反两个方向的运动。

最简单的电动机正反向连续运行控制电路如图 6-4 所示，按下  $SB_2$  时，接触器线圈  $KM_1$  得电，主触点  $KM_1$ 、辅助常开触点  $KM_1$  闭合并形成自锁，电动机正转。如果按下  $SB_3$ ，则接触器线圈  $KM_2$  得电，主触点  $KM_2$ 、辅助常开触点  $KM_2$  闭合并形成自锁，这时的  $L_1$  与  $L_3$  和主触点  $KM_1$  闭合时对换了，故改变了相序，电动机反转。但通过分析电路可知，如果由于故障或误操作使  $SB_2$  与  $SB_3$  同时接通，则接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$  将同时得电，造成主回路相间短路。因

此，该电路由于可靠性很差，实际中一般不采用。

针对图 6-4 所示电路存在的问题，对电路做了改进，改进后的电路如图 6-5 所示，图 6-5 (a) 为主电路，图 6-5 (b)、(c) 为两种不同的控制电路。

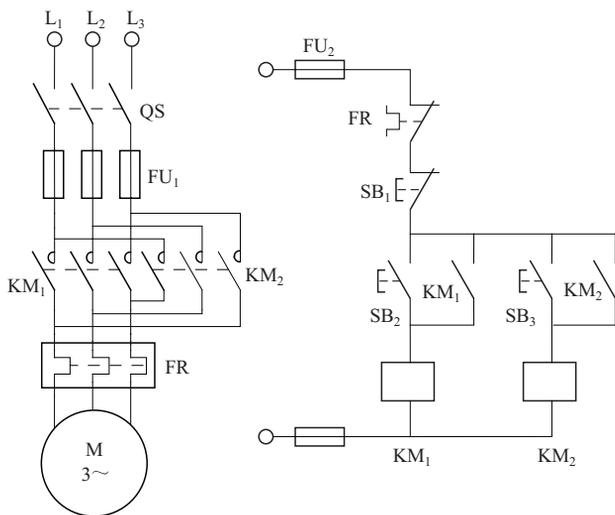


图 6-4 电动机正反向连续运行控制电路 (一)

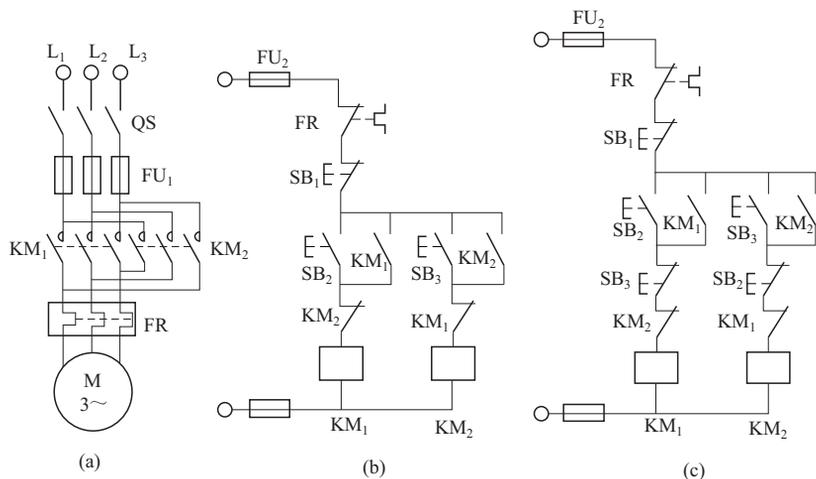


图 6-5 电动机正反向连续运行控制电路 (二)

图(b)中,由于两个接触器的辅助常闭触点 $KM_1$ 和 $KM_2$ 相互制约,即当一个接触器线圈通电时,利用其串联在对方接触器线圈电路中的常闭触点的断开来锁住对方线圈电路,那么启动时,如果只按下 $SB_2$ ,辅助常闭触点 $KM_2$ 是闭合的,线圈 $KM_1$ 得电,主触点 $KM_1$ 、辅助常开触点 $KM_1$ 闭合,电动机正转,但辅助常闭触点 $KM_1$ 断开,这时无论是否再去把 $SB_3$ 按下,线圈 $KM_2$ 都不会得电,主触点 $KM_2$ 不会闭合,不会导致短路发生。反过来,启动时如果只按下 $SB_3$ ,辅助常闭触点 $KM_1$ 是闭合的,线圈 $KM_2$ 得电,主触点 $KM_2$ 、辅助常开触点 $KM_2$ 闭合,电动机反转,但辅助常闭触点 $KM_2$ 断开,这时无论是否再去把 $SB_2$ 按下,线圈 $KM_1$ 都不会得电,主触点 $KM_1$ 不会闭合,不会导致短路发生。如果由于故障或误操作导致启动时 $SB_2$ 与 $SB_3$ 同时闭合,则接触器线圈 $KM_1$ 、 $KM_2$ 同时得电后,马上会使辅助常闭触点 $KM_1$ 、 $KM_2$ 迅速断开,起到保护作用。这种利用两个接触器的常闭辅助触点互相控制的方法称为互锁,起互锁作用的两对触点称为互锁触点。这种只有接触器互锁的可逆控制电路在正转运行时,要想反转必先停车,否则不能反转,因此叫做“正—停—反”控制电路,也叫接触器联锁正反转控制电路。

图(c)与图(b)相比, $SB_2$ 与 $SB_3$ 换成了复合按钮,不仅利用接触器的辅助常闭触点串联在对方线圈电路中形成互锁,而且 $SB_2$ 与 $SB_3$ 的常闭触点也互串在对方线圈电路中形成互锁,从而形成了双重互锁。这样在需要改变电动机运动方向时,就不必按 $SB_1$ 停止按钮了,可直接操作正反转按钮即能实现电动机可逆运转。但正、反转切换时,中间经过停止为最好,如果中间不经过停止,正、反转直接切换,由于电动机惯性,容易损坏设备。

### 6.3 电动机启停多地控制电路

图6-6为一两地控制电动机启停控制电路,位置A装有启动按钮 $SB_2$ 、停止按钮 $SB_1$ ,位置B装有启动按钮 $SB_4$ 、停止按钮 $SB_3$ ,启动按钮 $SB_2$ 与 $SB_4$ 是并联的,停止按钮 $SB_1$ 与 $SB_3$ 是串联的,这样就可以分别在A、B两地控制同一台电动机的启停,达到操作方便的

目的。对于三地或多地控制，只要将各地的启动按钮并联、停止按钮串联即可实现。

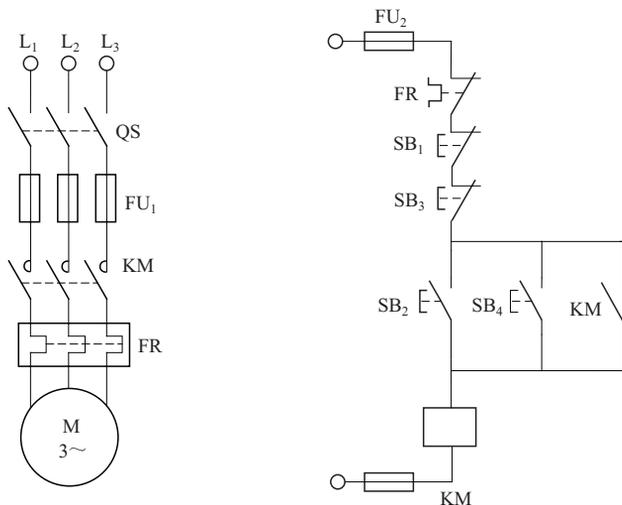


图 6-6 电动机启停两地控制电路

## 6.4 电动机顺序启停控制电路

在机床的控制电路中，常常要求电动机的启停有一定的顺序，例如磨床要求先启动润滑油泵，然后启动主轴电动机；龙门刨床在工作台移动前，导轨润滑油泵要先启动；铣床的主轴旋转后，工作台方可移动等。

顺序工作控制电路有顺序启动、同时停止控制电路，有顺序启动、顺序停止控制电路，还有顺序启动、逆序停止控制电路。图 6-7 (a) 为主电路，图 6-7 (b) 为正序启动，同时停止或单独停止  $M_2$  的控制电路，图 6-7 (c) 为正序启动、逆序停止的控制电路。

分析图 6-7 (b) 可知，在这个控制电路中，只有  $KM_1$  线圈通电后，其串入  $KM_2$  线圈电路中的常开触点  $KM_1$  闭合， $KM_2$  线圈才有通电的可能。那么启动时必须先按下  $SB_2$ ，启动  $M_1$  以后，再去按下  $SB_4$  才能启动  $M_2$ ，在  $M_1$  没启动的情况下，想直接去按  $SB_4$  启动  $M_2$

是不可能的,即必须先启动  $M_1$  才能启动  $M_2$ ,这叫正序启动。停止时,按下  $SB_3$  单独停止  $M_2$ ,或按下  $SB_1$ ,  $M_1$ 、 $M_2$  同时停止。

图 6-7 (c) 启动时与图 6-7 (b) 一样,只有  $KM_1$  线圈通电后,其串入  $KM_2$  线圈电路中的常开触点  $KM_1$  闭合,才使  $KM_2$  线圈有通电的可能,即必须先启动  $M_1$  才能启动  $M_2$ 。图 6-7 (c) 中,由于  $KM_2$  的辅助常开触点与  $SB_1$  并联,  $M_2$  启动后,  $SB_1$  被闭合的  $KM_2$  辅助常开触点短接,这时按  $SB_1$  不起作用,但按下  $SB_3$  把  $M_2$  停止后,由于线圈  $KM_2$  失电,  $KM_2$  的辅助常开触点断开,这时再去按  $SB_1$  就可把  $M_1$  停止,即必须先停止  $M_2$  才能停止  $M_1$ ,这叫逆序停止。

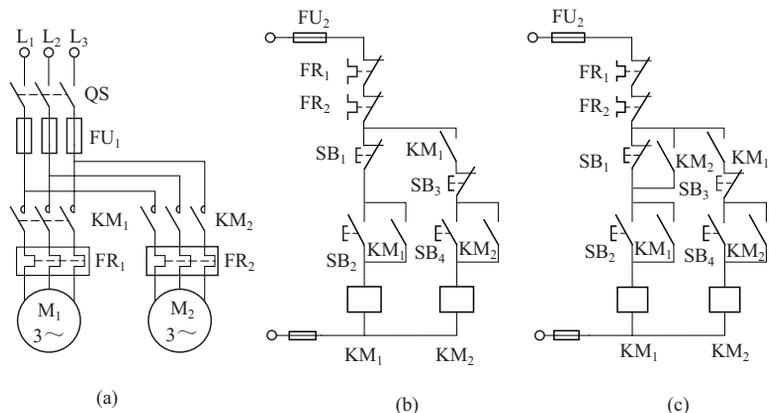


图 6-7 电动机顺序启停控制电路

## 6.5 自动往返控制电路

自动往返控制示意图如图 6-8 所示,控制电路如图 6-9 所示,其基本原理是控制电动机正、反转,按下启动按钮  $SB_2$ ,  $KM_1$  得电并自锁,电动机正转,工作台向左移动,当到达左移预定位置后,挡铁 B 压下  $SQ_2$ ,  $SQ_2$  常闭触点断开使  $KM_1$  断电,  $SQ_2$  常开触点闭合使  $KM_2$  得电,电动机由正转变为反转,工作台向右移动。当到达右移预定位置后,挡铁 A 压下  $SQ_1$ ,使  $KM_2$  断电,  $KM_1$  得电,电动机由反转变为正转,工作台向左移动。如此周而复始地自动往返工作。

当按下停止按钮  $SB_1$  时，电动机停转，工作台停止移动。若因行程开关  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  失灵，则由极限保护行程开关  $SQ_3$ 、 $SQ_4$  实现保护，避免运动部件因超出极限位置而发生事故。

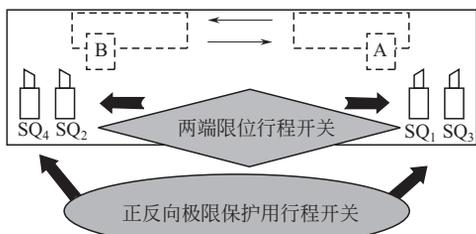


图 6-8 自动往返控制示意图

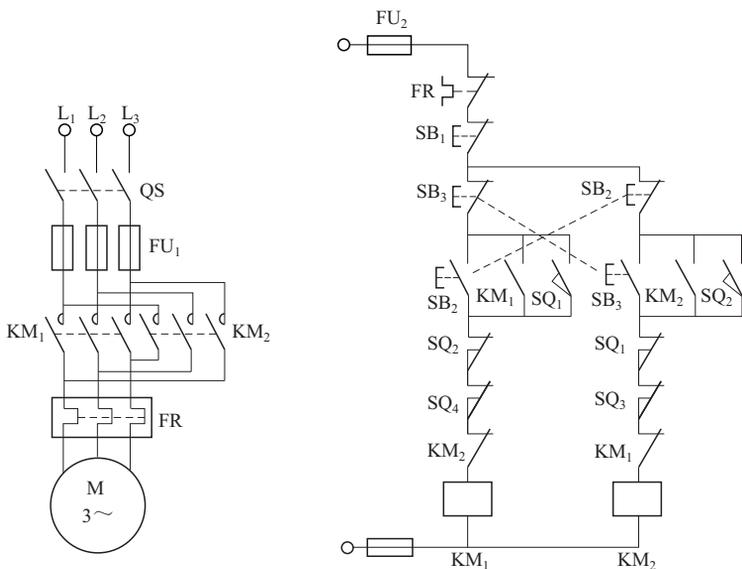


图 6-9 自动往返控制电路

## 6.6 定子绕组串电阻降压启动控制电路 <<<

由于大功率电动机的启动电流很大，会增加输电线路的电压损

失，启动电流还会引起电动机绕组异常发热和温升，为此常采用降压启动控制的方式。降压启动的方式分为：定子绕组串电阻降压启动、星/三角减压启动器、自耦减压启动器、晶闸管降压启动等方式。

图 6-10 为定子绕组串电阻降压启动控制电路，合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB<sub>2</sub>，KM<sub>1</sub> 得电并自锁，电动机定子绕组串入电阻 R 降压启动，达到一定速度时，按下切换按钮 SB<sub>3</sub>，KM<sub>2</sub> 得电，主触点将启动电阻 R 短接，电动机进入全压正常运行。但图 6-10 所示电路需要手动操作进行切换，于是改进为图 6-11 所示的自动切换定子绕组串电阻降压启动控制电路。

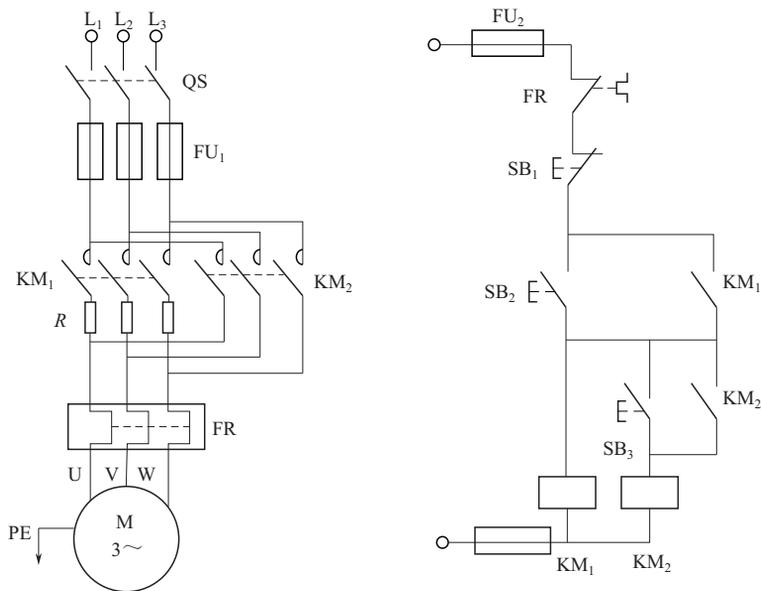


图 6-10 手动操作定子绕组串电阻降压启动控制电路

图 6-11 中，合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB<sub>2</sub>，KM<sub>1</sub> 得电并自锁，电动机定子绕组串入电阻 R 降压启动，同时 KT 得电，经延时后 KT 常开触点闭合，KM<sub>2</sub> 得电，主触点将启动电阻 R 短接，电动机进入全压正常运行。

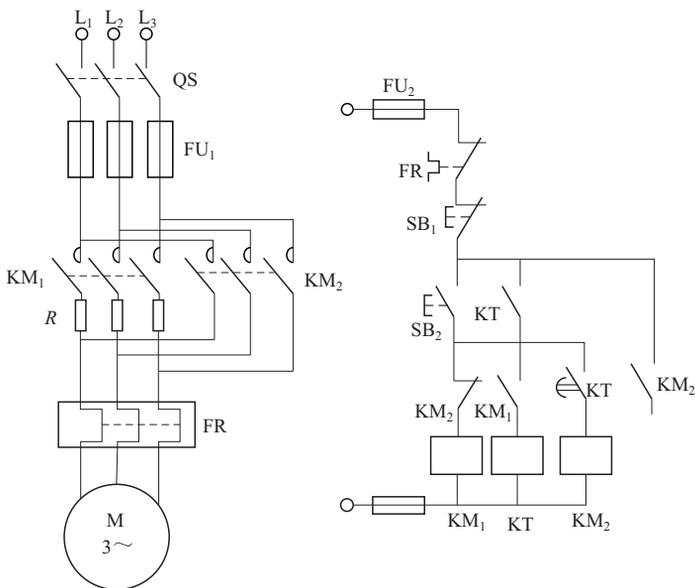


图 6-11 自动切换定子绕组串电阻降压启动控制电路

## 6.7 星形-三角形降压启动控制电路 <<<

星形-三角形 (Y- $\Delta$ ) 降压启动是指电动机启动时, 把定子绕组接成星形, 以降低启动电压, 减小启动电流; 待电动机启动后, 再把定子绕组改接成三角形, 使电动机全压运行。Y- $\Delta$ 启动只能用于正常运行时为 $\Delta$ 形接法的电动机, 其控制电路如图 6-12 所示, 图 6-12 (a) 为主电路, 图 6-12 (b) 为按钮-接触器控制 Y- $\Delta$ 降压启动控制电路, 图 6-12 (c) 为时间继电器 (Time Relay) 控制 Y- $\Delta$ 降压启动控制电路。

图 6-12 (b) 线路的工作原理为: 按下启动按钮  $SB_2$ ,  $KM_1$ 、 $KM_2$  得电吸合,  $KM_1$  自锁, 电动机星形启动, 待电动机转速接近额定转速时, 按下  $SB_3$ ,  $KM_2$  断电、 $KM_3$  得电并自锁, 电动机转换成三角形全压运行。

图 6-12 (c) 的工作原理为: 按下启动按钮  $SB_2$ ,  $KM_1$ 、 $KM_2$  得

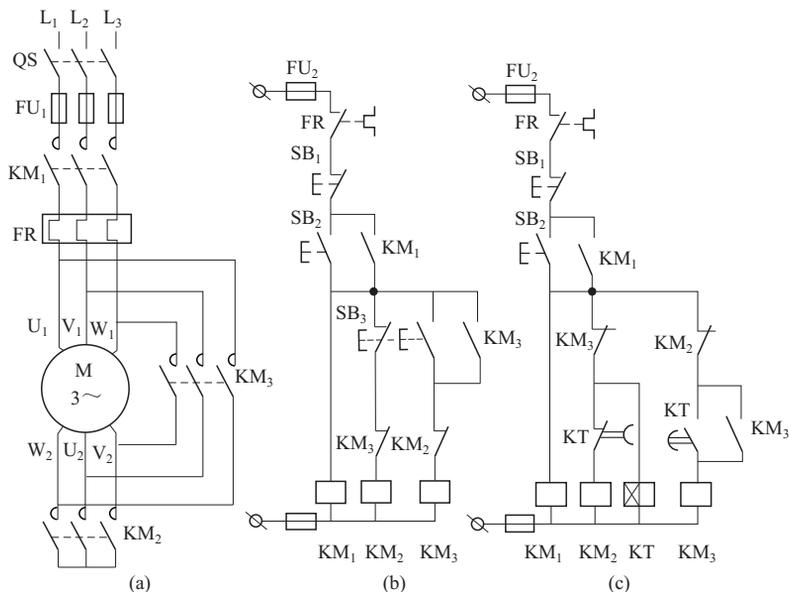


图 6-12 星形-三角形降压启动控制电路

电吸合，电动机星形启动，同时 KT 也得电，经延时后时间继电器 KT 常闭触点打开，使得 KM<sub>2</sub> 断电，KT 常开触点闭合，使得 KM<sub>3</sub> 得电闭合并自锁，电动机由星形切换到三角形正常运行。

## 6.8 自耦变压器降压启动控制电路

自耦变压器降压启动控制电路如图 6-13 所示，如果主电路中接触器 KM<sub>2</sub> 主触点、KM<sub>1</sub> 常开触点闭合，接触器 KM<sub>3</sub> 主触点断开，是降压启动状态；启动后，主电路中接触器 KM<sub>2</sub> 主触点、KM<sub>1</sub> 常开触点断开，接触器 KM<sub>3</sub> 主触点闭合，是正常运行状态。启动时，先只按下 SB<sub>1</sub>，接触器线圈 KM<sub>1</sub> 得电，辅助常开触点 KM<sub>1</sub> 闭合，辅助常闭触点 KM<sub>1</sub> 断开，进而接触器线圈 KM<sub>2</sub> 得电，并形成自锁，此时属于降压启动状态；待电动机全速运行后，按下 SB<sub>2</sub>，电流继电器 KA 得电，KA 的常开触点闭合，KA 的常闭触点断开，导致接触器

线圈  $KM_1$  失电，从而使  $KM_1$  常开触点断开，常闭触点闭合，接触器线圈  $KM_2$  失电，导致  $KM_2$  主触点断开，但由于线圈  $KM_2$  的自感效应会使  $KM_2$  辅助常开触点保持短暂的闭合时间，保证  $KA$  线圈有电， $KA$  常开触点闭合，于是接触器线圈  $KM_3$  得电并形成自锁， $KM_3$  主触点闭合，电动机从启动状态转入正常运行状态。但要注意  $KA$  得电与  $KM_1$  失电的时间差，及线圈  $KM_2$  的自感效应，是先  $KA$  得电， $KA$  的常开触点闭合， $KA$  的常闭触点断开，然后  $KM_1$  失电，再  $KM_2$  失电。该控制电路的优点是：若启动时误按  $SB_2$ ， $KM_3$  不会通电，避免了电动机直接启动；启动完毕后， $KM_1$ 、 $KM_2$  均断电，即使  $KM_3$  出现故障无法闭合时，也不会使电动机在低压下运行。该控制线路的缺点是：每次启动需按两次按钮，操作不便，且间隔时间也不能准确掌握。

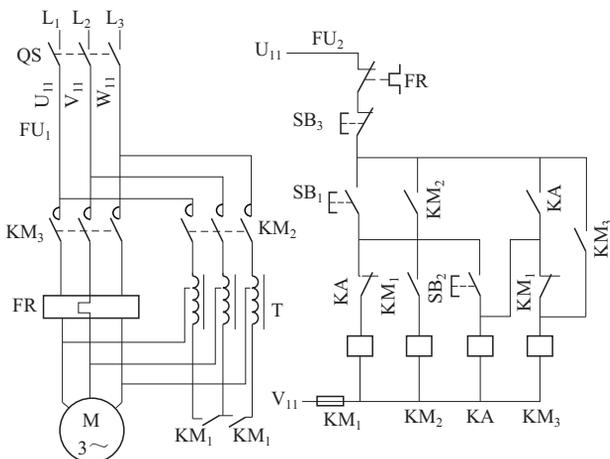


图 6-13 手动操作自耦变压器降压启动控制电路

图 6-14 为自动控制自耦变压器降压启动控制电路，其中， $SB_1$ 、 $SB_2$  为两个异地停止按钮， $SB_3$ 、 $SB_4$  为两个异地启动按钮。主触点  $KM_1$  闭合、 $KM_2$  断开属于降压启动，反之，主触点  $KM_1$  断开、 $KM_2$  闭合属于正常运行。启动时，按下  $SB_3$  或  $SB_4$ ， $KM_1$  得电并形成自锁， $KT$  得电启动延时，延时时间到， $KT$  常开触点闭合， $KA$  得电并形成自锁， $KA$  常闭触点断开  $KM_1$  失电， $KA$  常开触点闭合

$KM_2$  得电，电动机进入正常运行。

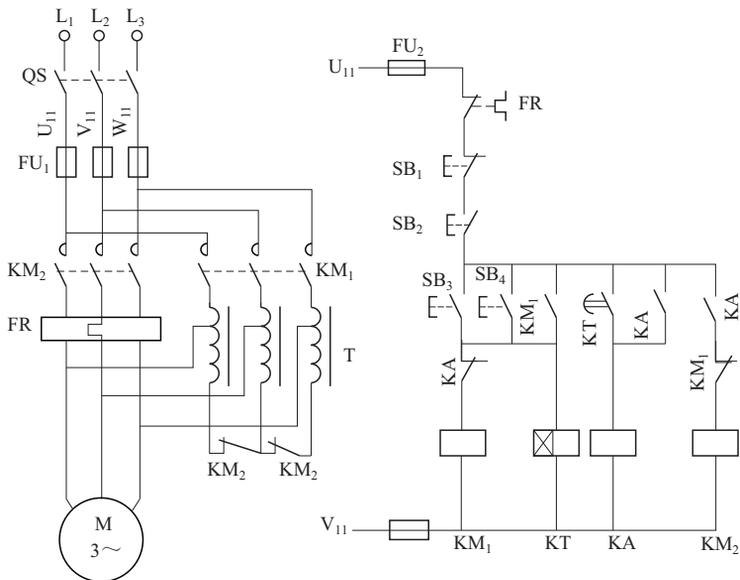


图 6-14 自动控制自耦变压器降压启动控制电路

自耦变压器降压启动比 Y- $\Delta$  降压启动的启动转矩大，且可用抽头调节自耦变压器的变比以改变启动电流和启动转矩的大小。

## 6.9 延边三角形降压启动控制电路

电动机定子绕组延边三角形的连接方法如图 6-15 所示。启动时，三相定子绕组的一部分接成  $\Delta$ ，另一部分接成 Y 形，使整个绕组接成图 6-15 (a) 所示的电路。待电动机启动完进入正常运行后再将绕组接成  $\Delta$ ，见图 6-15 (b)。

延边三角形降压启动控制电路如图 6-16 所示，按下  $SB_1$ ，接触器线圈  $KM_1$ 、时间继电器线圈  $KT$  得电并形成自锁，由于时间继电器定时时间没到， $KT$  常闭触点闭合，故接触器线圈  $KM_1$ 、 $KM_3$  得电，是降压启动状态，当时间继电器定时时间到， $KT$  常开触点闭

合,  $KM_2$  得电,  $KT$  常闭触点断开,  $KM_3$  失电, 进入正常运行状态。

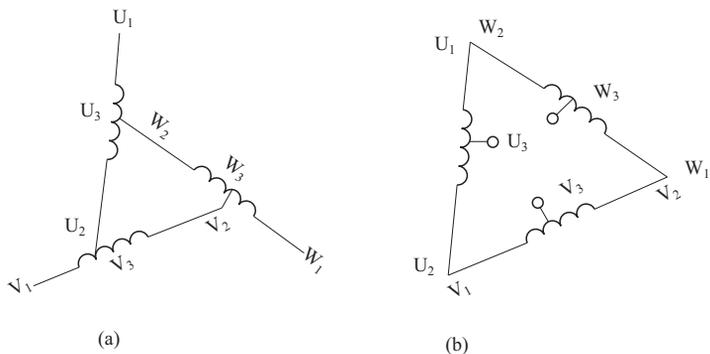


图 6-15 电动机定子绕组延边三角形的连接方法

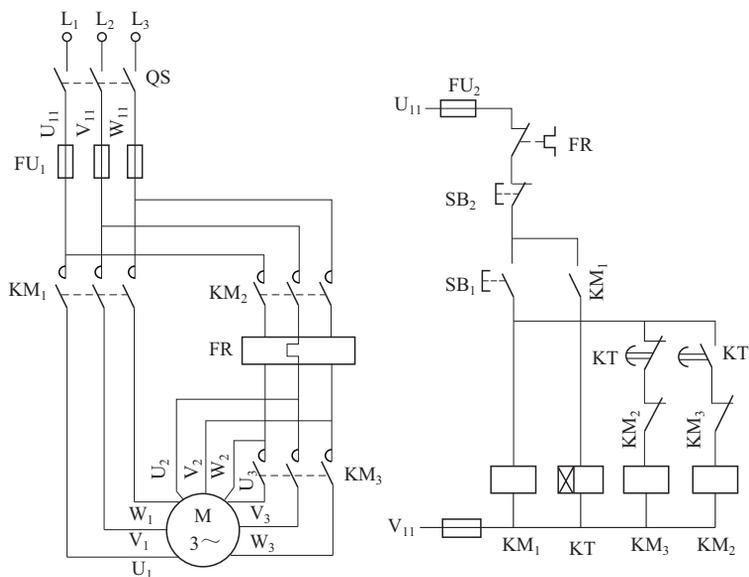


图 6-16 延边三角形降压启动控制电路

延边三角形降压启动的启动转矩比  $Y-\Delta$  降压启动大, 结构比自耦变压器简单, 并克服了自耦变压器不允许频繁启动的缺点, 且维修方便。但该法要求电动机正常工作时为  $\Delta$  接法, 且有九个引出端子。

## 6.10 机床电气控制电路

(1) 机床电气控制电路分析的内容 电气控制电路是电气控制系统各种技术资料的核心文件。分析的具体内容和要求主要包括以下几个方面。

① 设备说明书。设备说明书由机械（包括液压部分）与电气两部分组成。在分析时首先要阅读这两部分说明书，了解以下内容：

a. 设备的构造，主要技术指标，机械、液压和气动部分的工作原理。

b. 电气传动方式，电动机和执行电器的数目、型号规格、安装位置、用途及控制要求。

c. 设备的使用方法，各操作手柄、开关、旋钮和指示装置的布置及作用。

d. 同机械和液压部分直接关联的电器（行程开关、电磁阀、电磁离合器和压力继电器等）的位置、工作状态以及作用。

② 电气控制原理图。这是控制电路分析的中心内容。原理图主要由主电路、控制电路和辅助电路等部分组成。在分析电气原理图时，必须与阅读其他技术资料结合起来。例如，各种电动机和电磁阀等的控制方式、位置及作用，各种与机械有关的位置开关和主令电器的状态等，只有通过阅读说明书才能了解。

③ 电气设备总装接线图。阅读分析总装接线图，可以了解系统的组成分布状况，各部分的连接方式，主要电气部件的布置和安装要求，导线和穿线管的型号规格。这是安装设备不可缺少的资料。

④ 电气元件布置图与接线图。这是制造、安装、调试和维护电气设备必须具备的技术资料。在调试和检修中可通过布置图和接线图方便地找到各种电气元件和测试点，进行必要的调试、检测和维修保养。

(2) 电气原理图阅读分析的方法与步骤

① 分析主电路。从主电路入手，主电路的作用是保证机床拖动要求的实现。根据每台电动机和电磁阀等执行电器的控制要求去分析

它们的控制内容，控制内容包括启动、方向控制、调速和制动等。

② 分析控制电路。主电路各控制要求是由控制电路来实现的，根据主电路中各电动机和电磁阀等执行电器的控制要求，运用“化整为零”的原则，逐一找出控制电路中的控制环节，利用前面学过的基本环节的知识，按功能不同划分成若干个局部控制电路来进行分析。分析控制电路的最基本方法是查线读图法。

③ 分析辅助电路。辅助电路包括电源显示、工作状态显示、照明和故障报警等部分，这部分电路具有相对独立性，起辅助作用但又不影响主要功能。它们大多由控制电路中的元件来控制，所以在分析时，还要回过头来对照控制电路进行分析。

④ 分析连锁与保护环节。机床对于安全性和可靠性有很高的要求，实现这些要求，除了合理地选择拖动和控制方案以外，在控制电路中还设置了一系列电气保护和必要的电气连锁。在电气控制原理图的分析过程中，电气连锁与电气保护环节是一个重要内容，不能遗漏。

⑤ 总体检查。经过“化整为零”，逐步分析了每一个局部电路的工作原理以及各部分之间的控制关系之后，还必须用“集零为整”的方法，检查整个控制电路，看是否有遗漏。特别要从整体角度去进一步检查和理解各控制环节之间的联系，理解电路中每个元件所起的作用。

(3) C650 型卧式车床电气控制电路分析 C650 型卧式车床电气控制电路如图 6-17 所示，由主电路、控制电路和辅助电路三部分组成。

① 主电路分析。主电路包括三台电动机的驱动电路。电动机  $M_1$  的电路接线分为三部分：第一部分由正转控制交流接触器  $KM_1$  和反转控制交流接触器  $KM_2$  的两组主触点构成电动机的正反转接线；第二部分为一电流表 A 经电流互感器 TA 接在主轴电动机  $M_1$  的动力回路上，以监视电动机绕组工作时的电流变化，为防止电流表被启动电流冲击损坏，利用一时间继电器的延时动断触点，在启动的短时间内将电流表暂时短接；第三部分为一串联电阻限流控制部分，交流接触器  $KM_3$  的主触点控制限流电阻  $R$  的接入和切除，在进行点动调整时，为防止连续的启动电流造成电动机过载，串入限流电阻  $R$ ，保证电路设备正常工作。速度继电器 KS 的速度检测部分与电动机的主轴同轴相连，在停车制动过程中，当主轴电动机转速接近零时，其动合触点可将控制电路中反接制动相应电路切断，完成停车制动。电动机

$M_2$  由交流接触器  $KM_4$  的主触点控制其动力电路的接通与断开, 电动机  $M_3$  由交流接触器  $KM_5$  控制。为保证主电路的正常运行, 主电路中还设置了采用熔断器的短路保护环节和采用热继电器的电动机过载保护环节。

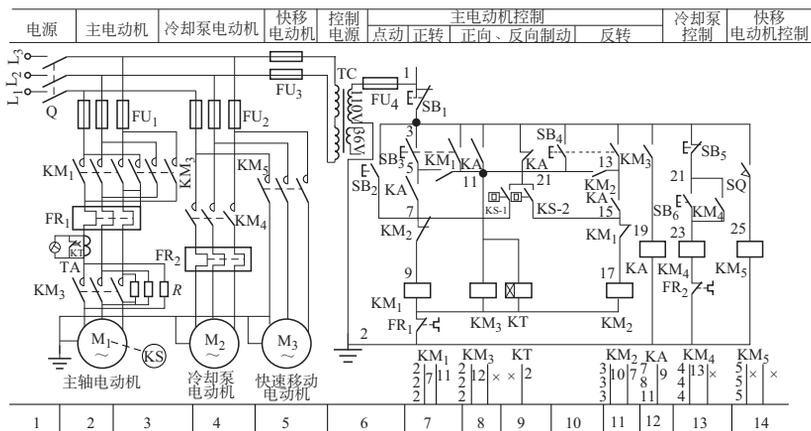


图 6-17 C650 型卧式车床电气控制电路

## ② 控制电路分析

a. 主电动机  $M_1$  的控制电路。主电动机  $M_1$  的控制电路部分较复杂, 它的局部控制电路如图 6-18 所示。

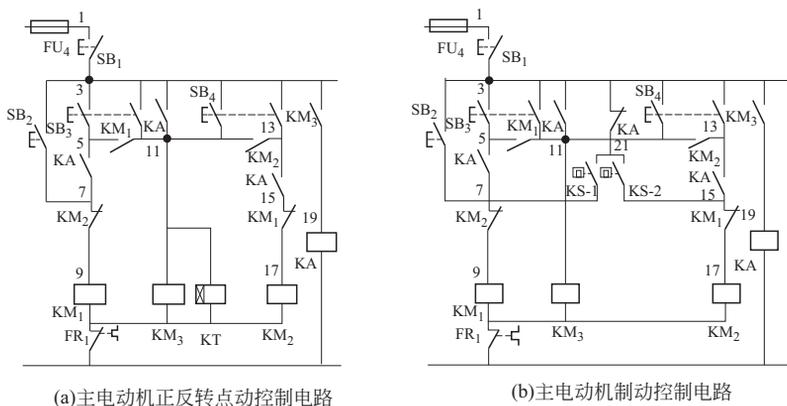


图 6-18 主电动机控制电路

按下正转启动按钮  $SB_3$ ，接通交流接触器  $KM_3$  和时间继电器  $KT$  的线圈电路， $KM_3$  的主触点将主电路中限流电阻短接， $KM_3$  的动合辅助触点闭合使中间继电器  $KA$  的线圈通电， $KA$  动合辅助触点（5—7）闭合使控制主电动机的交流接触器  $KM_1$  的线圈得电工作， $KM_1$  主触点闭合，电动机  $M_1$  正向直接启动，同时  $KM_1$  辅助动合触点（5—11）闭合、 $KA$  的动合触点（3—11、5—7）闭合使  $KM_1$  自锁。反转启动按钮为  $SB_4$ ，控制过程与正转相似。 $KM_1$ 、 $KM_2$  的辅助动断触点（7—9、15—17）为互锁关系。

$SB_2$  为主电动机  $M_1$  的点动控制按钮，按下  $SB_2$ ， $KM_1$  线圈通电， $KM_1$  的主触点闭合， $KM_3$  的主触点未闭合，电动机  $M_1$  经限流电阻  $R$  接通电源而启动；松开  $SB_2$ ， $KM_1$  线圈断电，电动机  $M_1$  停转，实现了主电动机  $M_1$  串联电阻限流的点动控制。

以  $M_1$  正转时进行停车制动为例，分析电路的工作过程。当  $M_1$  正转时，速度继电器  $KS$  的动合触点  $KS-2$  为闭合状态，按下停止按钮  $SB_1$  开始制动过程，切断电源， $KM_1$ 、 $KM_3$ 、 $KA$  线圈均失电， $KM_3$  主触点断开，限流电阻  $R$  串入主回路。 $KA$  动断触点（3—21）闭合，又因  $KS-2$  触点为闭合状态，故  $KM_2$  线圈通电，实现对电动机的电源反接制动。当电动机  $M_1$  转速接近零时，速度继电器  $KS$  的动合触点  $KS-2$  复位断开，切断  $KM_2$  的线圈电路，完成正转的反接制动。 $M_1$  反转时的反接制动工作过程与正转相似。

b. 刀架的快速移动与冷却泵电动机的控制。转动刀架快速移动手柄→压动限位开关  $SQ$ →接触器  $KM_5$  线圈通电→ $KM_5$  主触点闭合，快速移动电动机  $M_3$  启动，经传动系统驱动溜板箱带动刀架快速移动。当主轴电动机  $M_1$  启动后，按下启动按钮  $SB_6$ ，冷却泵电动机  $M_2$  即可启动运转，提供冷却液；按下停止按钮  $SB_5$ ， $M_2$  也随之停车。

c. 控制变压器  $TC$  的二次侧输出  $36V$  作为机床照明灯电源。

(4) C6140T 型车床电气控制系统分析（见图 6-19）

① 主电路分析 主电路包括三台电动机的驱动电路，合上自动空气开关  $QF_1$  将三相电源引入，若交流接触器  $KM_1$  主触点闭合，主电动机  $M_1$  直接启动运行；在交流接触器  $KM_1$  主触点闭合时，交流接触器  $KM_2$  主触点也闭合，再合上自动空气开关  $QF_2$ ，冷却泵电动机

机  $M_2$  直接启动运行；快速移动电动机  $M_3$  由交流接触器  $KM_3$  控制， $KM_3$  主触点闭合， $M_3$  直接启动运行。

② 控制电路分析 由电源变压器 TC 供给控制电路交流电压 127V，供给照明电路交流电压 36V，供给指示电路交流电压 3.6V。即采用变压器 380V/127V，36V，3.6V。

a. 电动机  $M_1$ 、 $M_2$  直接启动：合上自动空气开关  $QF_1$  → 按下主轴电动机启动按钮  $SB_2$  → 交流接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$  线圈得电自锁 →  $KM_1$  主触点闭合，主轴电动机  $M_1$  直接启动； $KM_2$  主触点闭合 → 合上自动空气开关  $QF_2$  → 冷却泵电动机  $M_2$  直接启动。

b. 快速移动电动机  $M_3$  直接启动：合上自动空气开关  $QF_1$  → 按下  $M_3$  的启动按钮  $SB_3$  → 交流接触器  $KM_3$  线圈得电 →  $KM_3$  主触点闭合 →  $M_3$  直接启动（点动控制）。

c. 主电动机  $M_1$  的能耗制动。合上行程开关  $SQ_1$  → 断电延时型时间继电器  $KT$  线圈得电 →  $KT$  常闭触点断开 →  $KM_1$ 、 $KM_2$  线圈断电 →  $KT$  常开触点闭合， $KM_4$  线圈得电 → 其主触点闭合， $M_1$  能耗制

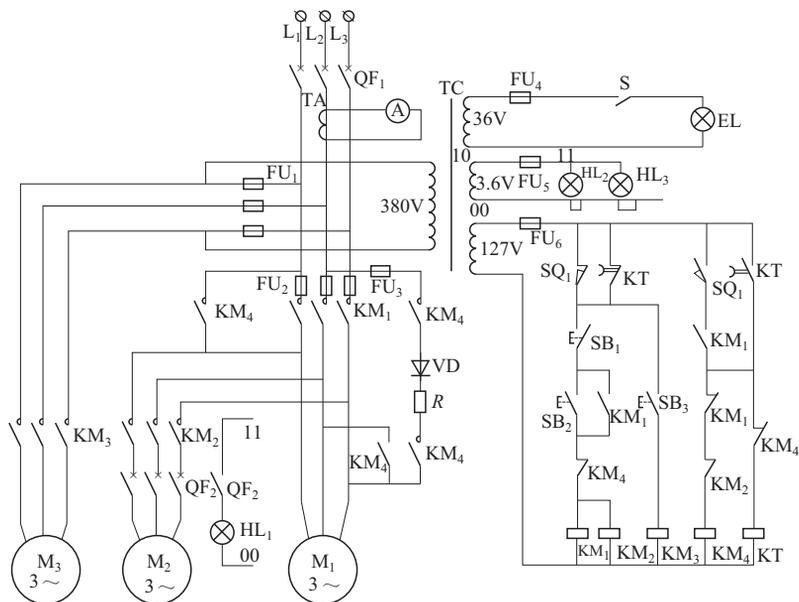


图 6-19 C6140T 型车床电气控制系统图

动； $KM_4$  的辅助常闭触点断开→ $KT$  线圈断电→延时  $t$  秒后， $KT$  延时触点复位→ $KM_4$  线圈断电→其主触点断开，制动结束。

③ 照明电路 电源变压器  $TC$  将  $380V$  的交流电压降到  $36V$  的安全电压，供照明用。照明电路由开关  $S$  控制照明灯  $EL$ 。熔断器  $FU_4$  用作照明电路的短路保护。冷却泵电动机  $M_2$  运行指示灯  $HL_1$ ， $3.6V$  电压供电源指示  $HL_2$ ，刻度照明  $HL_3$ 。

(5)  $X62W$  型卧式万能铣床电气线路分析 (见图 6-20)  $X62W$  型卧式万能铣床控制电路所用电气元件说明如表 6-1 所示。

表 6-1 电气元件说明表

符号	名称及用途	符号	名称及用途	符号	名称及用途
$M_1$	主轴电动机	$SQ_3$	工作台向前，向上进给行程开关	$SA_4$	照明灯开关
$M_2$	进给电动机	$SQ_4$	工作台向后，向下进给行程开关	$SA_5$	主轴换向开关
$M_3$	冷却泵电动机	$FR_{1-3}$	热继电器	$QS$	电源隔离开关
$KM_1$	主电动机启动接触器	$FU_{1-8}$	熔断器	$SB_1$ 、 $SB_2$	主轴停止按钮
$KM_2$	进给电动机正转接触器	$SQ_6$	进给变速瞬时点动开关	$SB_3$ 、 $SB_4$	主轴启动按钮
$KM_3$	进给电动机反转接触器	$SQ_7$	主轴变速瞬时点动开关	$SB_5$ 、 $SB_6$	工作台快速移动按钮
$KM_4$	快速接触器	$SA_1$	工作台转换开关	$YB$	主轴制动电磁制动器
$SQ_1$	工作台向右进给行程开关	$SA_2$	主轴上刀制动开关	$YC_1$	电磁离合器 (快速传动链)
$SQ_2$	工作台向左进给行程开关	$SA_3$	冷却泵开关	$YC_2$	电磁离合器 (工作传动链)

① 主电路分析  $M_1$  为主电动机，铣床是逆铣还是顺铣方式加工，开始工作前即已选定，在加工过程中是不可改变的。主轴电动机  $M_1$  正转或反转接线是通过转换开关  $SA_5$  手动预先选择的，控制接触器  $KM_1$  的主触点只控制电源的接入与切断。 $M_2$  为工作台电动机，由正反转接触器  $KM_2$ 、 $KM_3$  主触点控制。 $M_3$  为冷却泵电动机，在铣削加工时提供切削液，由转换开关  $SA_3$  控制。

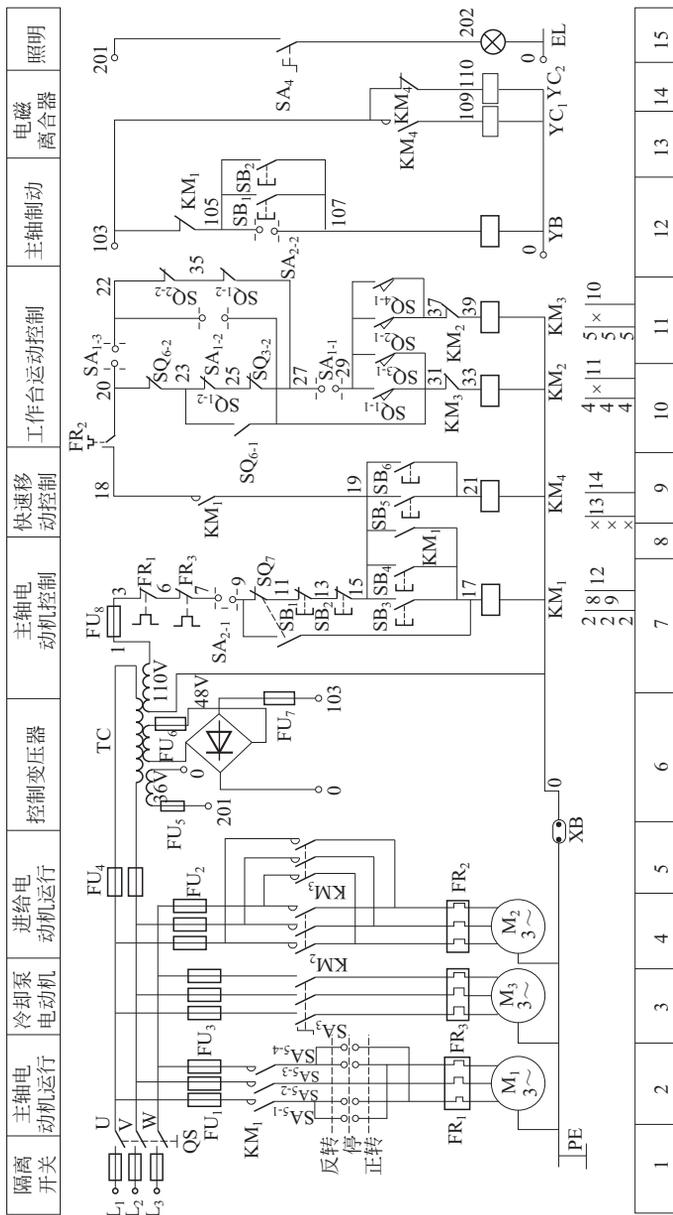


图 6-20 X62W 型卧式万能铣床电气线路

## ② 主轴电动机的启停控制

a. 主轴电动机启动控制。主轴电动机空载直接启动，启动前，由组合开关 SA<sub>5</sub> 选定电动机的转向，控制电路中选择开关 SA<sub>2</sub> 选定主轴电动机为正常工作方式，即 SA<sub>2-1</sub> 触点闭合，SA<sub>2-2</sub> 触点断开，然后通过压动启动按钮 SB<sub>3</sub> 或 SB<sub>4</sub>，接通主轴电动机启动控制接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈电路，其主触点闭合，主轴电动机按给定方向启动旋转，压动停止按钮 SB<sub>1</sub> 或 SB<sub>2</sub>，主轴电动机停转。SB<sub>3</sub>、SB<sub>4</sub>、SB<sub>1</sub> 与 SB<sub>2</sub> 分别位于两个操作板上，从而实现主轴电动机的两地操作控制。

b. 主轴电动机制动及换刀制动。为使主轴能迅速停车，控制电路采用电磁制动器进行主轴的停车制动。按下停车按钮 SB<sub>1</sub> 或 SB<sub>2</sub>，其动断触点使接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈失电，电动机定子绕组脱离电源，同时其动合触点闭合接通电磁制动器 YB 的线圈电路，对主轴进行停车制动。当进行换刀和上刀操作时，为了防止主轴意外转动造成事故以及为上刀方便，主轴也需处在断电停车和制动的状态。此时工作状态选择开关 SA<sub>2</sub> 由正常工作状态位置扳到上刀状态位置，即 SA<sub>2-1</sub> 触点断开，切断接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈电路，使主轴电动机不能启动；SA<sub>2-2</sub> 触点闭合，接通电磁制动器 YB 的线圈电路，使主轴处于制动状态不能转动，保证上刀、换刀工作的顺利进行。

c. 主轴变速时的瞬时点动。变速时，变速手柄被拉出，然后转动变速手轮选择转速，转速选定后将变速手柄复位，因为变速是通过机械变速机构实现的，变速手轮选定进入啮合的齿轮后，齿轮啮合到位即可输出选定转速，但是当齿轮没有进入正常啮合状态时，则需要主轴有瞬时点动的功能，以调整齿轮位置，使齿轮进入正常啮合。瞬时点动是由复位手柄与行程开关 SQ<sub>7</sub> 构成的点动控制电路实现的。变速手柄在复位的过程中压动瞬时点动行程开关 SQ<sub>7</sub>，SQ<sub>7</sub> 的动合触点闭合，使接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈得电，主轴电动机 M<sub>1</sub> 转动，SQ<sub>7</sub> 的动断触点切断 KM<sub>1</sub> 线圈电路的自锁，使电路随时可被切断。变速手柄复位后，松开行程开关 SQ<sub>7</sub>，电动机 M<sub>1</sub> 停转，完成一次瞬时点动。

手柄复位时要求迅速、连续，一次不到位应立即拉出，以免行程开关 SQ<sub>7</sub> 没能及时松开，电动机转速上升，在齿轮未啮合好的情况

下打坏齿轮。一次瞬时点动不能实现齿轮良好的啮合时，应立即拉出复位手柄，重新进行复位瞬时点动的操作，直到完全复位，齿轮正常啮合工作。

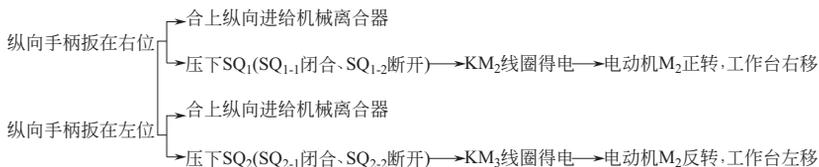
③ 进给电动机  $M_2$  的控制电路 主轴电动机  $M_1$  启动后，其控制启动接触器  $KM_1$  辅助动合触点闭合，进给电动机控制接触器  $KM_2$  与  $KM_3$  的线圈电路方能通电工作。

a. 水平工作台纵向进给运动的控制。水平工作台纵向进给运动由操作手柄与行程开关  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  组合控制。纵向操作手柄有左右两个工作位和一个中间不工作位。手柄扳到工作位时，带动机械离合器，接通纵向进给运动的机械传动链，同时压动行程开关，行程开关的动合触点闭合，使接触器  $KM_2$  或  $KM_3$  线圈得电，其主触点闭合，进给电动机正转或反转，驱动工作台向左或向右移动进给，行程开关的动断触点在运动联锁控制电路部分形成联锁控制。选择开关  $SA_1$  选择水平工作台工作或是圆工作台工作（见表 6-2）。水平工作台控制电路与圆工作台控制电路分别见图 6-21（a）和图 6-21（b）。工作台纵向进给控制电路由  $KM_1$  辅助动合触点开始，工作电流经  $SQ_{6-2} \rightarrow SQ_{4-2} \rightarrow SQ_{3-2} \rightarrow SA_{1-1} \rightarrow SQ_{1-1} \rightarrow KM_3$  辅助常闭触点到  $KM_2$  线圈，或者由  $SA_{1-1} \rightarrow SQ_{2-1} \rightarrow KM_2$  辅助常闭触点到  $KM_3$  线圈。

表 6-2 工作台状态选择开关  $SA_1$  触点工作状态

触 点	接线端标号	所在图区	操作手柄位置	
			圆工作台	水平工作台
$SA_{1-1}$	27—29	10	—	+
$SA_{1-2}$	22—31	11	+	—
$SA_{1-3}$	20—22	11	—	+

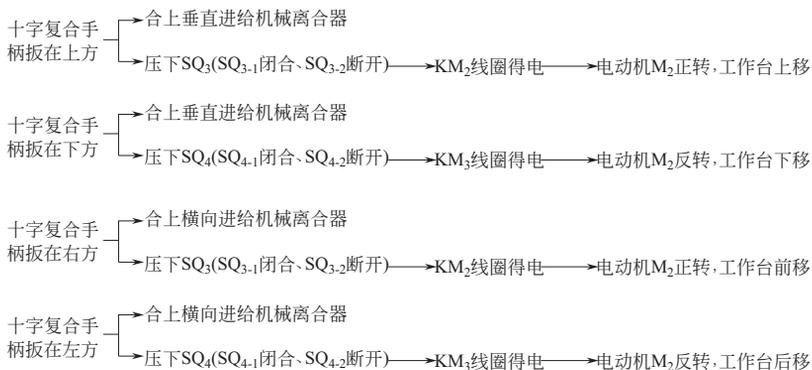
工作台纵向进给控制过程如下：





台停止移动。固定在床身上的挡块在工作台移动到极限位置时撞击十字手柄，使其回到中间位置，切断电路，使工作台在进给终点停车。

工作台横向与垂直方向进给控制过程如下：



c. 水平工作台进给运动的联锁控制。由于操作手柄在工作时，只存在一种运动选择，因此铣床直线进给运动之间的联锁满足两操作手柄之间的联锁即可实现。联锁控制由两条电路并联组成，纵向手柄控制的行程开关SQ<sub>1</sub>、SQ<sub>2</sub>的动断触点串联在一条支路上，十字复式手柄控制的行程开关SQ<sub>3</sub>、SQ<sub>4</sub>动断触点串联在另一条支路上，扳动任一操作手柄，只能切断其中一条支路，另一条支路仍能正常通电，使接触器KM<sub>2</sub>或KM<sub>3</sub>的线圈不失电，若同时扳动两个操作手柄，则两条支路均被切断，接触器KM<sub>2</sub>或KM<sub>3</sub>断电，工作台立即停止移动，从而防止机床运动干涉造成设备事故。

d. 水平工作台的快速移动。铣床工作台除能实现进给运动外，还可通过电磁离合器接通快速机械传动链，实现纵向、横向与垂直方向的快速移动。快速移动为手动控制，按下启动按钮SB<sub>5</sub>或SB<sub>6</sub>，接触器KM<sub>4</sub>的线圈得电，其动断触点断开，使正常进给电磁离合器YC<sub>2</sub>线圈失电，断开工作进给传动链，KM<sub>4</sub>的动合触点闭合，使快速电磁离合器YC<sub>1</sub>线圈得电，接通快速移动传动链，水平工作台沿原来给定的进给方向做快速移动，松开按钮SB<sub>5</sub>或SB<sub>6</sub>，KM<sub>4</sub>线圈失电，恢复水平工作台的工作进给。

e. 圆工作台运动控制。圆工作台工作时，工作台选择开关SA<sub>1</sub>的SA<sub>1-1</sub>和SA<sub>1-3</sub>两触点断开，SA<sub>1-2</sub>触点闭合，构成如图6-21(b)所

示的圆工作台控制电路，此时水平工作台的操作手柄均扳在中间不工作位。控制电路由主轴电动机控制接触器  $KM_1$  的辅助动合触点开始，工作电流经  $SQ_{6-2} \rightarrow SQ_{4-2} \rightarrow SQ_{3-2} \rightarrow SQ_{1-2} \rightarrow SQ_{2-2} \rightarrow SA_{1-2} \rightarrow KM_3$  辅助常闭触点到  $KM_2$  线圈， $KM_2$  主触点闭合，进给电动机  $M_2$  正转，并经传动机构拖动圆工作台做单向回转运动。圆工作台的控制电路串联了水平工作台工作行程开关  $SQ_1 \sim SQ_4$  的动断触点，因此水平工作台任一操作手柄扳到工作位置，都会压动行程开关，切断圆工作台的控制电路，使其立即停止转动，从而起着水平工作台进给运动和圆工作台转动之间的联锁保护控制。

f. 水平工作台变速时的瞬时点动。水平工作台变速瞬时点动控制原理与主轴变速瞬时点动一样，都是为了便于变速时齿轮的啮合。进给变速冲动是由进给变速手柄配合行程开关  $SQ_6$  来实现的。但进给变速时不允许工作台做任何方向的运动（即 4 个行程开关  $QS_1 \sim QS_4$  不动作）。进给变速手柄在复位的过程中压动行程开关  $SQ_6$ ， $SQ_6$  的动合触点闭合接通接触器  $KM_2$  的线圈电路，使进给电动机  $M_2$  转动， $SQ_6$  的动断触点切断  $KM_2$  线圈电路的自锁。变速手柄复位后，松开行程开关  $SQ_6$ 。与主轴瞬时点动操作相同，也要求手柄复位时迅速、连续，一次不到位，要立即拉出变速手柄，再重复瞬时点动的操作，直到实现齿轮处于良好啮合状态，进入正常工作。

④ 冷却泵电动机的控制与照明电路 冷却泵电动机  $M_3$  的启停由转换开关  $SA_3$  直接控制。冷却泵电动机  $M_3$  的短路保护与过载保护分别由  $FU_3$  与  $FR_3$  来实现。机床的局部照明由变压器  $TC$  供给 36V 安全电压，照明灯  $EL$  由开关  $SA_4$  控制。 $FU_5$  实现照明电路的短路保护。

(6) T68 型卧式镗床的电气线路 T68 型卧式镗床的电气线路如图 6-22 所示，T68 型卧式镗床由两台电动机拖动，分别是主轴电动机  $M_1$  和快速移动电动机  $M_2$ 。主轴电动机用来驱动镗轴和花盘的旋转，并通过变速箱的传动，产生镗轴、花盘、工作台及镗头架的进给运动。为调整尾座或工作台的相对位置，各个方向的快速移动由快速移动电动机  $M_2$  来拖动。

主轴电动机  $M_1$  拖动机床的主运动和进给运动，快速移动电动机  $M_2$  实现主轴箱与工作台的快速移动。主轴电动机  $M_1$  为双速电动机，

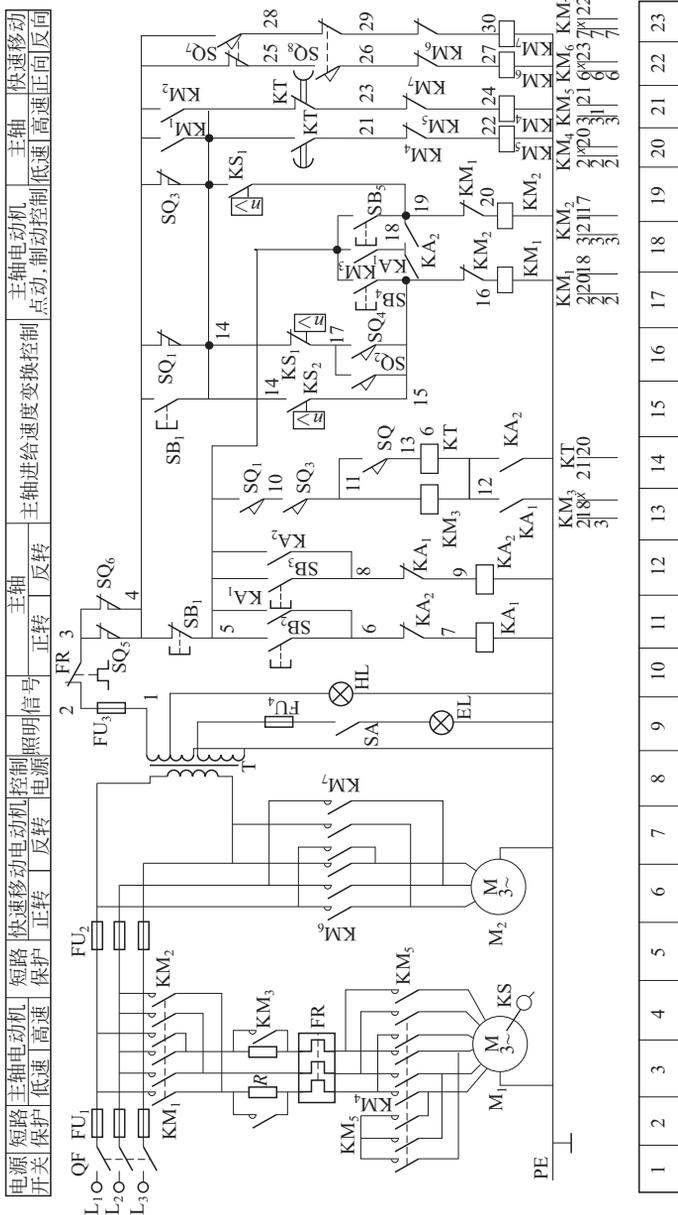


图 6-22 T68 型卧式镗床的电气线路

由 5 只接触器控制, 其中  $KM_1$  和  $KM_2$  控制  $M_1$  的正反转;  $KM_3$  在主轴电动机  $M_1$  正常运行时短接电阻  $R$ ;  $KM_4$ 、 $KM_5$  (双线圈接触器) 控制  $M_1$  的高、低速运行。 $R$  为反接制动电阻, 熔断器  $FU_1$  和热继电器  $FR$  分别作  $M_1$  的短路和长期过载保护。与主轴电动机  $M_1$  主轴相连接的速度继电器  $KS$  用于  $M_1$  的反接制动控制。

快速移动电动机  $M_2$  由  $KM_6$ 、 $KM_7$  控制其正反转, 用熔断器  $FU_2$  作其短路保护。由于  $M_2$  是短时工作, 因此未设过载保护。

行程开关  $SQ$  为主轴电动机  $M_1$  的高速、低速选择开关,  $SQ_1$  为主轴变速时自动停车与启动开关,  $SQ_4$  为进给变速齿轮啮合冲动开关,  $SQ_5$ 、 $SQ_6$  为主轴自动进刀与工作台自动进给间的互锁开关。这些行程开关由各相应操纵手柄联动压合与松开。

T68 型卧式镗床主运动与进给运动的速度变换, 是通过“变速操纵盘”改变传动比来实现的。它可在电动机  $M_1$  启动运行前进行变速; 也可在运行过程中进行变速。其变速操作过程是, 主轴 (或进给) 变速时, 首先将主轴 (或进给) 变速操纵手柄向外拉出, 然后转动主轴 (或进给) 变速盘, 选择所需要的速度, 最后将变速操作手柄推回原位。在拉出或推回变速手柄的同时, 与其联动的行程开关  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  (或  $SQ_3$ 、 $SQ_4$ ) 相应动作, 行程开关  $SQ_1 \sim SQ_4$  的触点工作状态见表 6-3。

① 主轴电动机  $M_1$  的正反转控制 当主运动和进给运动都处于非变速状态时, 各自的变速手柄通过联动机构使  $SQ_1$ 、 $SQ_3$  受压, 而行程开关  $SQ_2$ 、 $SQ_4$  不受压 (见表 6-3)。

表 6-3 行程开关  $SQ_1 \sim SQ_4$  的触点工作状态表

操纵手柄	行程开关及其触点		非变速状态		主轴变速 (压动 $SQ_1$ 、 $SQ_2$ )			进给变动 (压动 $SQ_3$ 、 $SQ_4$ )		
					手柄拉出	手柄推回	手柄拉出	手柄推回		
主轴变速 操纵手柄	$SQ_1$	$SQ_1$ (5—10)	受压	+	不受压	—	受压	+	受压	+
		$SQ_1$ (4—14)	—	—	+	—	—	—	—	
	$SQ_2$	$SQ_2$ (15—17)	不受压	—	受压	+	不受压	—	不受压	—

续表

操纵手柄	行程开关及其触点		非变速状态		主轴变速 (压动 SQ <sub>1</sub> 、SQ <sub>2</sub> )				进给变动 (压动 SQ <sub>3</sub> 、SQ <sub>4</sub> )			
					手柄拉出		手柄推回		手柄拉出		手柄推回	
进给变速 操纵手柄	SQ <sub>3</sub>	SQ <sub>3</sub> (10—11)	受压	+	受压	+	受压	+	不受压	-	受压	+
		SQ <sub>3</sub> (4—14)		-		-		-		+		-
	SQ <sub>4</sub>	SQ <sub>4</sub> (15—17)	不受压	-	不受压	-	不受压	-	受压	+	不受压	-

② 主轴电动机 M<sub>1</sub> 的正反转点动控制。主轴电动机正反转点动控制电路，由正反转接触器 KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 与正反转点动按钮 SB<sub>4</sub>、SB<sub>5</sub> 组成。按下正向点动按钮 SB<sub>4</sub> → 接触器 KM<sub>1</sub> 线圈得电 → KM<sub>1</sub> (4—14) 辅助常开触点闭合 → 接触器 KM<sub>4</sub> 线圈得电。这样，KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>4</sub> 的主触点闭合，使电动机 M<sub>1</sub> 的三相定子绕组接成△并串接电阻 R，M<sub>1</sub> 在低速下正向运行。松开按钮 SB<sub>4</sub>，接触器 KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>4</sub> 失电释放，电动机 M<sub>1</sub> 失电停转。同理按下反向点动按钮 SB<sub>5</sub> 控制 M<sub>1</sub> 的反转点动运行。

③ 主轴电动机 M<sub>1</sub> 正反转低速旋转控制。其控制电路如图 6-23 所示，由正反转启动按钮 SB<sub>2</sub>、SB<sub>3</sub> 与正反转中间继电器 KA<sub>1</sub>、KA<sub>2</sub> 及正反转接触器 KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 构成电动机正反转启动电路。当选择主轴电动机低速运转时，高低速行程开关 SQ 释放，其常开触点 (11—13) 断开。主轴变速行程开关 SQ<sub>1</sub>、进给变速行程开关 SQ<sub>3</sub> 均被压下，触点 SQ<sub>1</sub> (5—10)、SQ<sub>3</sub> (10—11) 闭合。启动过程为：按下启动按钮 SB<sub>2</sub> → KA<sub>1</sub> 线圈得电吸合并自锁 → 其辅助常开触点 KA<sub>1</sub> 闭合 → KM<sub>3</sub> 线圈得电 → KM<sub>3</sub> 的主触点闭合 → 将制动电阻 R 短接，另外辅助常开触点 KM<sub>3</sub> (5—18) 与常开触点 KA<sub>1</sub> (15—18) 均闭合 → 使 KM<sub>1</sub> 线圈得电 → 其辅助常开触点 KM<sub>1</sub> (4—14) 闭合 → KM<sub>4</sub> 线圈得电 → KM<sub>4</sub> 主触点闭合 → 接通主轴电动机 M<sub>1</sub> 的正相序电源，其辅助常闭触点 KM<sub>4</sub> (21—22) 断开，确保高速转动接触器 KM<sub>5</sub> 不能得电，实现互锁。主轴电动机定子绕组接成△，在全压下直接正向启动获取低速旋转。同理分析按下反转启动按钮 SB<sub>3</sub>，M<sub>1</sub> 进行反转低速旋转。

④ 主轴电动机  $M_1$  高速正反转的控制。其控制电路如图 6-23 所示，若需主轴电动机高速启动旋转时，将主轴速度选择手柄置于高速挡位，此时速度选择手柄经联动机构将行程开关  $SQ$  压下，常开触点  $SQ$  (11—13) 闭合。这样，按下正转启动按钮  $SB_2$  (或反转启动按钮  $SB_3$ )， $KA_1$  (或  $KA_2$ ) 得电吸合并自锁，其辅助常开触点  $KA_1$  (或  $KA_2$ ) 闭合，使接触器  $KM_3$  和通电延时时间继电器  $KT$  同时得电吸合。 $KA_1$  (或  $KA_2$ ) 与  $KM_3$  得电吸合，又使  $KM_1$  (或  $KM_2$ ) 得电动作。由于  $KT$  的两对触点  $KT$  (14—21)、 $KT$  (14—23) 延时动作，因此低速转动接触器  $KM_4$  先得电吸合，电动机  $M_1$  接成  $\Delta$  低速启动。 $KT$  经过 3s 延时，延时常闭触点  $KT$  (14—23) 断开，使  $KM_4$  失电释放，延时常开触点  $KT$  (14—21) 闭合，使高速转动接触器  $KM_5$  得电吸合， $KM_5$  主触点闭合，将主轴电动机  $M_1$  定子绕组接成  $YY$  形并重新接通三相电源，从而使主轴电动机由低速旋转转为高速旋转，实现电动机由低速挡启动再自动换接成高速挡运行的自动控制。

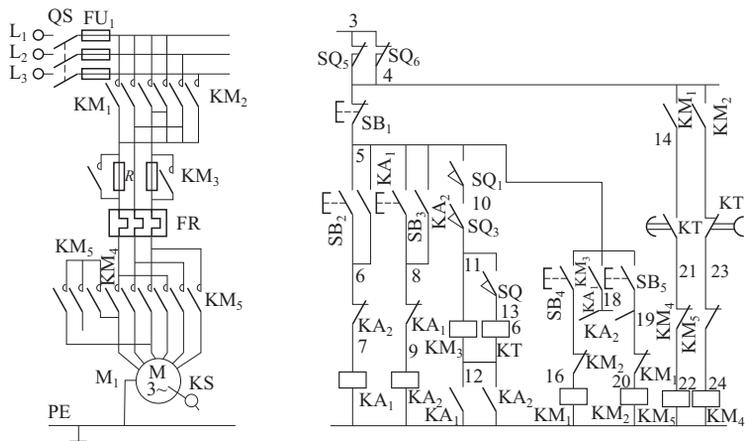


图 6-23 主轴电动机  $M_1$  的高低速正反转控制电路

⑤ 主轴电动机  $M_1$  停车与制动的控制 主轴电动机  $M_1$  运行中可按下停止按钮  $SB_1$  实现主轴电动机的停车与制动。由  $SB_1$ ，速度继电器  $KS$ ，接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$  和  $KM_3$  构成主轴电动机正反转反接制动控制电路。以主轴电动机正向运行时的停车制动为例，正转时速度继电器  $KS$  的正向常开触点  $KS_1$  (14—19) 闭合。停车时，按下复合停

止按钮 SB<sub>1</sub>，其常闭触点（4—5）断开。若原来处于低速正转状态，这时 KA<sub>1</sub>、KM<sub>3</sub>、KM<sub>1</sub>、KM<sub>4</sub> 相继失电释放；若原来为高速正转，则 KA<sub>1</sub>、KM<sub>3</sub>、KT、KM<sub>1</sub>、KM<sub>5</sub> 相继失电释放，限流电阻 R 串入主轴电动机定子电路，虽然此时电动机已与电源断开，但由于惯性作用，M<sub>1</sub> 仍以较高速度正向旋转。而停止按钮的常开触点 SB<sub>1</sub>（4—14）闭合，接通以下电路：SB<sub>1</sub>（4—14）→KS<sub>1</sub>（14—19）→KM<sub>1</sub>（19—20）→KM<sub>2</sub> 线圈和 SB<sub>1</sub>（4—14）→KT（14—23）→KM<sub>5</sub>（23—24）→KM<sub>4</sub> 线圈，使 KM<sub>2</sub>、KM<sub>4</sub> 得电吸合，KM<sub>2</sub> 的辅助常开触点 KM<sub>2</sub>（4—14）闭合，对停止按钮起自锁作用。KM<sub>2</sub>、KM<sub>4</sub> 的主触点闭合，经限流电阻 R 接通主轴电动机三相电源，主电动机进行反接制动，电动机转速迅速下降。当主轴电动机转速下降到速度继电器 KS 复位转速 120r/min 以下时，触点 KS<sub>1</sub>（14—19）断开，KM<sub>2</sub>、KM<sub>4</sub> 先后失电释放，其主触点断开，切断主轴电动机三相电源，反接制动结束，电动机停车。若电动机 M<sub>1</sub> 反转，当速度达 120r/min 以上时，速度继电器 KS 的常开触点 KS<sub>2</sub>（14—15）闭合，为反转停车制动作准备。M<sub>1</sub> 反转停车制动过程与正转制动相似。

⑥ 主轴电动机在主轴变速与进给变速时的连续低速冲动控制 T68 型卧式镗床的主轴变速与进给变速既可在主轴电动机停车时进行，也可在电动机运行中进行。变速时为便于齿轮的啮合，主轴电动机在连续低速状态下运行。

a. 主轴电动机在主轴变速时的连续低速冲动控制。主轴变速时，首先将变速操纵盘上的操纵手柄拉出，然后转动主轴变速盘，选好速度后，再将变速手柄推回。在拉出或推回变速手柄的同时，与其联动的行程开关 SQ<sub>1</sub>、SQ<sub>2</sub> 相应动作，见表 6-3 中的行程开关 SQ<sub>1</sub>~SQ<sub>4</sub> 的触点工作状态。

启动条件：SQ<sub>1</sub>、SQ<sub>4</sub> 不受压，SQ<sub>2</sub>、SQ<sub>3</sub> 受压。

主轴运行中的变速控制过程：以 M<sub>1</sub> 正转为例，主轴在运行中变速，拉出变速操作手柄，则 SQ<sub>1</sub> 不受压，SQ<sub>2</sub> 受压。于是 SQ<sub>1</sub>（5—10）断开→KM<sub>3</sub> 线圈失电→KM<sub>3</sub>（5—18）断开→KM<sub>1</sub> 线圈失电→KM<sub>1</sub> 主触点断开→切断 M<sub>1</sub> 电源→M<sub>1</sub> 主电路串入电阻 R→M<sub>1</sub> 由于惯性继续运转→KS<sub>1</sub>（14—19）闭合、KS<sub>1</sub>（14—17）断开；SQ<sub>1</sub>（4—14）闭合→KM<sub>2</sub> 线圈得电，KM<sub>4</sub> 线圈得电→M<sub>1</sub> 串电阻 R 反接

制动→此时电动机转速急速下降，以利于齿轮啮合。

若主轴电动机  $M_1$  原来运行在低速挡，则此时  $KM_4$  仍保持得电，主轴电动机接成  $\Delta$ ，串入电阻  $R$  进行反接制动；若主轴电动机原来运行在高速挡，则此刻时间继电器  $KT$  线圈失电， $KT$  的断电延时触点使  $KM_5$  失电而  $KM_4$  得电，将  $M_1$  定子绕组由  $YY$  自动切成  $\Delta$  连接低速串入电阻  $R$  进行反接制动。随后转动变速盘，选择所需要的速度，最后将操纵手柄推回原位，则  $SQ_1$  受压，即  $SQ_1$  (5—10) 闭合， $SQ_1$  (4—14) 断开。 $SQ_2$  不受压，即  $SQ_2$  (15—17) 断开，切断了变速冲动电路。由于  $KA_1$  仍保持吸合，同时由于  $SQ_3$  (10—11) 的闭合，使  $KM_3$ 、 $KM_1$  相继得电重新吸合，电动机  $M_1$  自行启动，拖动主轴在新的转速下运转。

如果变速齿轮不能啮合而造成变速手柄推不回去，则此时行程开关  $SQ_1$  仍不受压， $SQ_2$  受压， $M_1$  处于反复启动、制动的循环中，使主轴电动机处于连续低速运转状态，有利于变速齿轮的啮合。一旦齿轮啮合，便可将变速手柄推回原位，使  $SQ_1$  受压， $SQ_2$  不受压，变速过程结束。

停车状态的变速，操作方法及控制过程与运行状态变速完全一样，但变速结束后主轴恢复停止状态。

由以上分析可知，如果变速前主轴电动机处于停转状态，那么变速后主轴电动机也处于停转状态。若变速前主轴电动机在正向低速 ( $\Delta$  连接) 状态下运转，由于中间继电器  $KA_1$  仍保持得电状态，变速后主轴电动机仍在  $\Delta$  连接状态下运转。同样，如果变速前电动机处于高速 ( $YY$  连接) 正转状态，那么变速后，主轴电动机仍先接成  $\Delta$  连接，再经过 3s 左右的延时，才进入  $YY$  连接的高速正转状态。

#### b. 主轴电动机 $M_1$ 在进给变速时的连续低速冲动控制

启动条件： $SQ_1$ 、 $SQ_4$  受压， $SQ_2$ 、 $SQ_3$  不受压。

进给变速控制与主轴变速控制相同，其变速过程相似，即首先将进给变速手柄向外拉出，然后转动进给变速盘，选择所需要的速度，最后将变速手柄推回原位。在操纵手柄的同时，与其联动的行程开关  $SQ_3$ 、 $SQ_4$  相应动作，即在手柄向外拉出时， $SQ_3$  不受压而  $SQ_4$  受压；手柄推回时， $SQ_3$  受压而  $SQ_4$  不受压。如果变速齿轮不能啮合而造成变速手柄推不动，则主轴电动机  $M_1$  处于间歇启动和制动状

态,获得变速时的低速控制,有利于齿轮的啮合,直到变速手柄推回原位为止。当手柄推回原位后,压下 $SQ_3$ ,而 $SQ_4$ 不再受压。上述变速冲动结束,整个进给变速控制过程完成。

⑦ 镗头架和工作台快速移动的控制 机床各部件的快速移动,由快速移动操作手柄控制,快速移动电动机 $M_2$ 拖动。运动部件及其运动方向的选择由装设在工作台前方的手柄操纵。快速操作手柄有“正向”“反向”“停止”3个位置。在“正向”与“反向”位置时,将压下行程开关 $SQ_8$ 或 $SQ_7$ 使接触器 $KM_6$ 或 $KM_7$ 得电吸合,实现 $M_2$ 电动机的正反转,并通过相应的传动机构使预选的运动部件按选定方向做快速移动。当快速移动控制手柄置于“停止”位置时,行程开关 $SQ_7$ 、 $SQ_8$ 均不受压,接触器 $KM_6$ 或 $KM_7$ 处于失电状态, $M_2$ 快速移动电动机失电,快速移动结束。

#### ⑧ 联锁保护环节

a. 镗头架和工作台与主轴(或花盘)自动进给的联锁:由于T68型卧式镗床部件较多,为防止机床或刀具损坏,保证主轴进给和工作台进给不能同时进行,系统设置了两个联锁保护开关 $SQ_5$ 与 $SQ_6$ 。其中 $SQ_5$ 是与工作台和镗头架自动进给手柄联动的行程开关, $SQ_6$ 是与主轴和平旋盘刀架自动进给手柄联动的行程开关。将这两个行程开关的常闭触点并联后串接在控制电路中。当以上两个操作手柄中的任何一个动作时,行程开关 $SQ_5$ 和 $SQ_6$ 中只有一个常闭触点断开,主轴电动机 $M_1$ 和快速移动电动机 $M_2$ 仍可以启动。同时扳动这两个自动进给手柄,使 $SQ_5$ 、 $SQ_6$ 都被压下,其常闭触点断开,将控制电路切断,于是两种进给都不能进行,从而实现了联锁保护。

b. 其他联锁控制:主轴电动机 $M_1$ 的正反转控制电路,高、低速控制电路以及快速移动电动机 $M_2$ 的正反转控制电路都设有联锁环节,以防止误操作而造成事故。

c. 保护环节。线路中设置了基本保护,如短路保护、过载保护和失压及欠压保护等。

⑨ 辅助电路分析。因为控制电路使用电器较多,不少电器,如限位开关装在机床上,所以有必要进行电气隔离。T68型卧式镗床采用了一台控制变压器T供电,EL为照明灯,SA为灯开关,HL为电源指示灯。

# 电路安全技术措施

### 7.1 输配电线路与安全

电力电路是电力系统的重要组成部分，是电源和负载之间的电流通道。电力线路的作用就是连接各个供电和用电环节，并且保证供电系统安全、可靠、合理、经济地运行。它分为高压（1kV 以上）及低压（1kV 以下）线路，根据敷设方式又分为架空线路、管线线路和电缆线路等。

#### 7.1.1 导线的选择

(1) 按安全工作电流选择导线 电流通过导线时，由于导线存在电阻而消耗能量，这种电能损耗使导线发热。裸导线的温度过高时，会使其接头处的氧化加剧，增大接触电阻，使之进一步氧化，造成恶性循环；而绝缘导线和电缆的温度过高时，可使绝缘老化受损，甚至引起火灾。导线的正常发热温度不能超过允许值。因此规定了导线的安全工作电流值，即在一定环境温度下（通常在空气中为 40℃、在土壤中为 25℃）允许通过的最大电流为  $I_{\max}$ 。使用时，如果环境温度不同，安全电流值应进行温度修正，即乘以温度修正系数  $K$ 。环境温度是指当地最高月平均温度。导线流过的工作电流，应小于乘以

温度修正系数  $K$  的安全电流, 即  $I \leq KI_{\max}$ 。导线的安全电流即允许的持续载流量与导线(电缆)敷设方法、环境温度等因素有关。

(2) 按线路电压损失选择导线 由于线路存在着阻抗, 当负荷电流流过时, 要产生电压损失。在通过最大负荷时产生的电压损失  $\Delta U$ , 与线路额定电压  $U_n$  的比值称为电压损失率, 即  $\Delta u \% = \Delta U / U_n \times 100\%$ 。电压损失率可以通过计算求得, 也可以用查表方法求得。查表法是根据线路电压、导线线型、截面积和负荷功率因数查表, 得出每兆瓦公里数的电压损失率, 然后简单计算出所求兆瓦公里数的电压损失率。线路允许电压损失率, 按用户性质有不同规定。对高压动力系统为 5%; 城镇低压电网为 4%~5%; 农村低压电网为 7%; 对视觉要求较高的照明线路, 则为 2%~3%。

(3) 按经济电流密度选择导线 导线在输送电能的过程中, 有电能损耗, 此损耗的大小随导线截面积而变化。国家根据国情及有色金属(铜、铝)资源情况制定了经济电流密度  $J_{ec}$  ( $A/mm^2$ ), 见表 7-1。查表时用到的“年最大负荷利用小时数”是指电力负荷按年最大负荷持续运行消耗全年同样电能所需时间, 是一个假想时间, 由有关资料给出。根据经济电流密度选择的导线截面积叫经济截面积, 适用于长期稳定且负荷较大的线路。经济截面积  $A_{ec} = I_{30} / J_{ec}$ 。式中  $I_{30}$  称为计算电流, 是指全年最大负荷(按典型负荷曲线中消耗电能最大的半小时平均负荷求得)。选用的导线截面积应为接近此经济截面积  $A_{ec}$  的标准导线截面积。

表 7-1 架空线路的经济电流密度  $A/mm^2$

导线材料	年最大负荷利用小时/h							
	50~1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000
10kV 及以下 LJ 导线	2.0	1.46	1.30	1.18	1.08	1.00	0.87	0.76
10kV 及以下 LGJ 导线		1.69	1.52	1.38	1.26	1.16	1.00	0.82
铜线	3.00	2.25		1.75				

(4) 按机械强度条件选择导线 导线架设及运行中要受到重力和其他原因如风力、覆冰等造成的拉力作用, 为防止出现断线, 导线要

有足够的机械强度。因此，导线截面积不得小于表 7-2 中的规定值，以满足机械强度的要求。

表 7-2 架空线路导线的最小允许截面积

名称	35kV 线路	3~10kV 线路		380V 线路	接户线
		居民区	非居民区		
铝绞线和铝合金线/mm <sup>2</sup>	35	35	25	16	绝缘线 $\phi$ 4.0mm
钢芯铝绞线/mm <sup>2</sup>	35	25	16	16	
钢线/mm <sup>2</sup>	35	16	16	$\phi$ 3.22mm	绝缘铜线 $\phi$ 2.5mm

(5) 按发热条件选择导线 短路故障使导体温度急剧上升，导体温度不能超过相应的极限。选择导线应同时考虑上述五个方面，取最大值。根据经验，常按以下方法选取：对于高压输电线路（10kV 及以上），因其负荷曲线较平坦，且全年运行事故少，一般按经济电流密度选择导线和电缆截面积，然后用发热条件校验，并校验电压损失，对架空线路还要用机械强度条件校验；但较短的高压线路和母线，可不按经济电流密度来选择，而按发热条件来选择，再校验机械强度条件，可不校验电压损失。对要求较高的照明线路，除按发热条件选择导线截面积并校验机械强度外，还应进行电压损失校验，超过容许电压损失的线路应加大截面积，直至电压损失不超过容许值。对低压线路一般按发热条件选择导线截面积，校验机械强度，并校验电压损失，不考虑经济电流密度。

对三相四线制的低压动力线路中的中线，当相线截面积小于 16mm<sup>2</sup> 时，中线与相线截面积相等；大于 16mm<sup>2</sup> 时，中线等于或大于相线截面积的一半。从 10kV 高压线路到配电变压器高压绝缘套管的高压引下线应用绝缘导线，不能用裸导线。由电力变压器低压配电柜引到低压架空线路的低压引上线采用绝缘导线。对低压接户线和进户线也必须采用绝缘导线。

## 7.1.2 室外电气线路的敷设及安全

(1) 架空线路的图示说明 如图 7-1~图 7-3 所示。

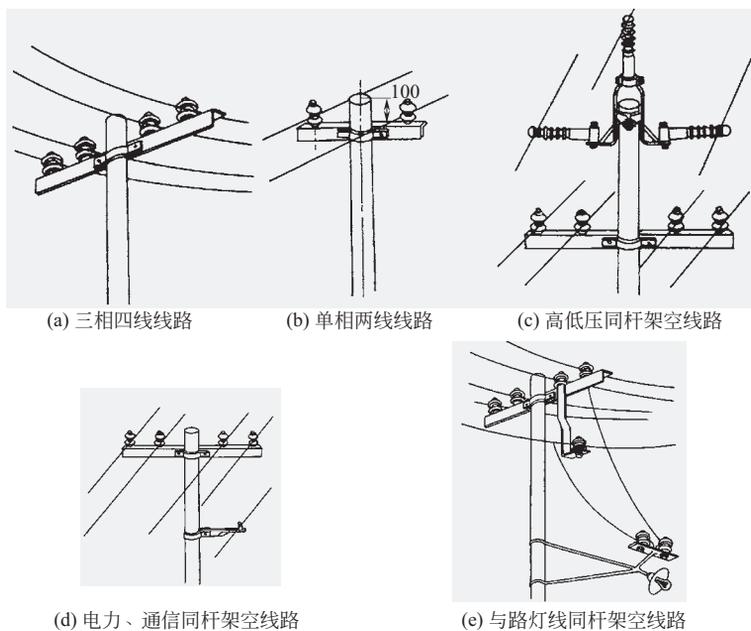


图 7-1 低压架空线路结构形式

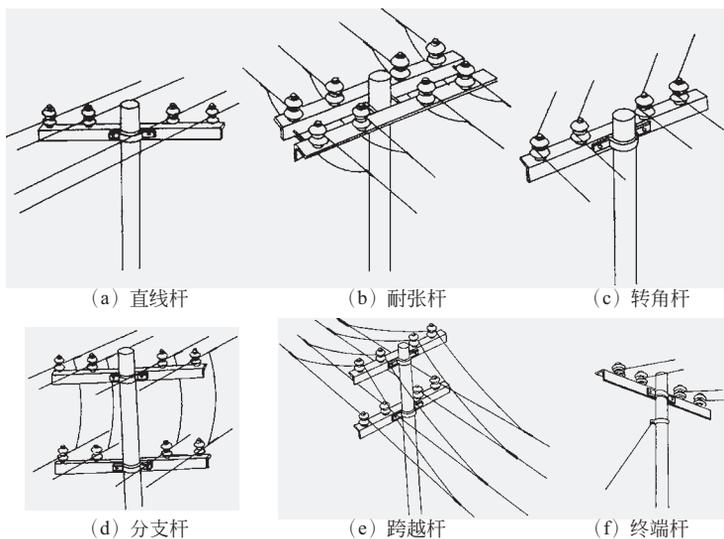


图 7-2 低压架空线路常用杆型

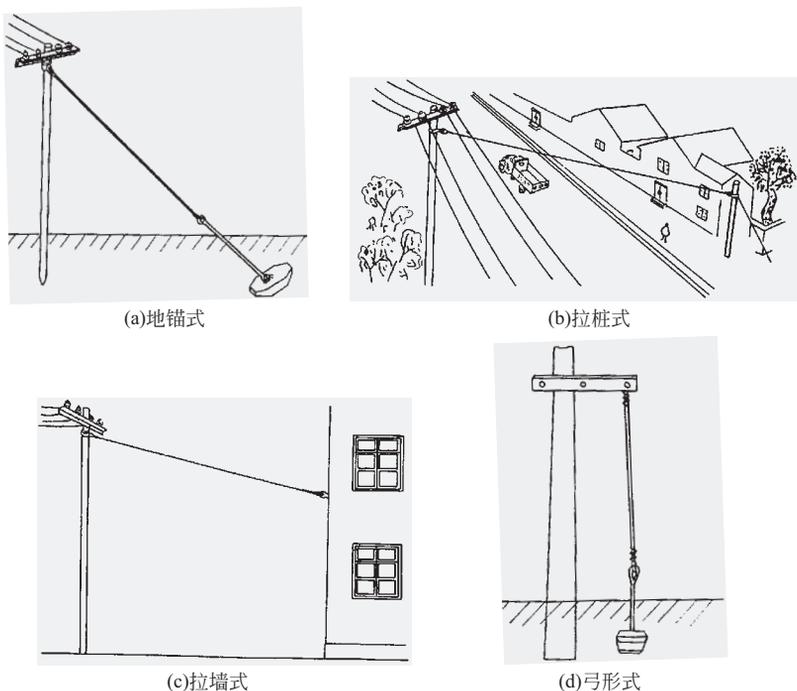


图 7-3 拉线的结构形式

## (2) 架空线路架设的基本方法和技术要求

① 要熟悉国家和当地有关安全技术规定及标准，核对设计施工图中电杆、拉线方位和地下设施方位及现状，尤其注意在交叉路口和弯道处的电杆拉线方位。

② 现场勘察时要注意所施工的架空线路区域内是否有高、低压线路，路灯线路，电话线等线路设施；若有障碍应考虑调整杆位及线路，尽量避开或减少矛盾。如仍不能解决，再考虑从确定该线路高度和加防护措施等方面来解决，以满足规程要求。并在立杆和放线前办好停电等手续。其次，勘察杆位和拉线地锚坑附近的地下设施情况。如个别杆位有冲突，可调整杆距；与杆位冲突较多，又影响较大，应改变线路方位和走向，然后根据现场引下线、路灯、行人和行车通过的要求，对电杆进行定位，确定立杆的方向和挖坑时走道的方向等。

③ 先从线路起点、转角点和终点的电杆位置开始确定，然后确定中间杆的位置。

④ 根据线路要求，选用电杆材质：铁塔一般用于 35kV 以上架空线路，35kV 以下线路目前应用最广的是圆形（中空）钢筋混凝土杆，圆形杆又分为锥形和等径杆两种。

⑤ 根据线路输送电流的大小来选用导线，同时还要考虑风、雪、冰、雨和空气温度等的作用和周围环境所含化学杂质的侵蚀等因素。厂区低压架空线路，一般多采用绝缘导线。

⑥ 电杆档距和导线架空高度要符合有关规定要求，详细见表 7-3 和表 7-4。

表 7-3 低压架空线对地和对跨越物的最小距离

线路经过地区或跨越项目		最小距离/m	
地面	市区、厂区、城镇	6.0	
	村、组集镇	5.0	
	自然村、田野、交通困难地区	4.0	
道路	公路	6.0	
	铁路	公用	7.5
		非公用	6.0
	电车道	至路面	9.0
至承力索或接触线		3.0	
通航河流	常年洪水位	6.0	
	航船桅顶	1.0	
管、索道	在管道上面通过	1.5	
	在管道下面通过	1.5	
	在索道上、下通过	1.5	
房屋建筑	垂直	2.5	
	水平、最凸出部分	1.0	
街道绿化树木	垂直	1.0	
	水平	1.0	

续表

线路经过地区或跨越项目		最小距离/m	
通信广播线	交叉跨越（电力线必须在上方）	1.0	
	水平接近一、二级通信线	倒杆距离	
电力线	垂直交叉	0.5kV 以下	1.0
		6~10kV	2.0
		35~110kV	3.0
		154~220kV	4.0
	水平接近	0.5kV 以下	2.5
		6~10kV	2.5
		35~110kV	5.0
		154~220kV	7.0

表 7-4 低压架空线的各种线间距离

装置方式	条件	线间最小距离/mm
导线的水平排列	档距 40m 及以下	300
	档距 40m 以上至 60m	400
	接近电杆的相邻导线	600
线路多层排列	各层线间的垂直距离	600
合杆架设	导线与上层的 6~10kV 高压线的垂直距离	1200
	导线与下层的通信、广播线的垂直距离	1500

### （3）架空线路架设的施工方法

① 挖坑：有电杆坑和拉线地锚坑两种。杆坑有圆形坑和梯形坑。对不带卡盘和底盘的电杆，通常挖圆形坑；对杆身较高、较重和带卡盘的电杆挖梯形坑。坑深在 1.6m 以下者，采用二阶坑；坑深在 1.8m 以上者，采用三阶坑。拉线坑的深度，根据具体情况确定，一般为 1~1.2m。

② 立杆：立杆方法很多，常用的有汽车起重机立杆、三脚架立杆、倒落式立杆和架腿立杆等。架腿立杆只能立木杆和 9m 以下的钢

筋混凝土电杆。在稻地田园等松软土地上起立 8~12m 钢筋混凝土电杆时，用汽车起重机进入施工场地立杆比较困难，可根据电杆的长短和重量，分别选用三脚架立杆或倒落式立杆法。

③ 横担组装：一般都在地面上将电杆顶部的横担、绝缘子、金具全部组装完毕，然后整体立杆。如果电杆竖起后再组装，则应从电杆的最上端开始组装，在杆上将横担紧固好后，再安装绝缘子。

④ 拉线制作：拉线材料有镀锌铁线（8号钢丝）和钢绞线（GJ-25、GJ-35），尽量采用镀锌钢绞线作为拉线。制作拉线时，在埋设拉线盘（地锚）前应把下把线组装好，然后进行整体埋设，接着做拉线上把（图 7-4），最后做拉线中把（图 7-5），使上部拉线与下部拉线连接起来成为一个整体。凡拉线的上把装于双层横担之间的，拉线穿越带电导线时，必须在拉线上安装中把。中把应安装在垂直离地 2.5m 以上、穿越导线以下的位置上。安装中把的作用是避免导线与拉线碰触而使拉线带电。低压架空线的拉线所用中把绝缘子（也称绝缘球）有 J-4.5 和 J-9 型等。图 7-6 为拉线下把的结构形式。

⑤ 架设导线：在检查导线规格符合要求后，可以进行放线，即把导线从线盘上放出来，架设在电杆的横担上。放线有拖放法和展放法两种。拖放法是将线盘放在线架上拖放导线；展放法是将线盘架设在汽车上，在汽车行驶中展放导线。导线放完后，如果接头在跳线处

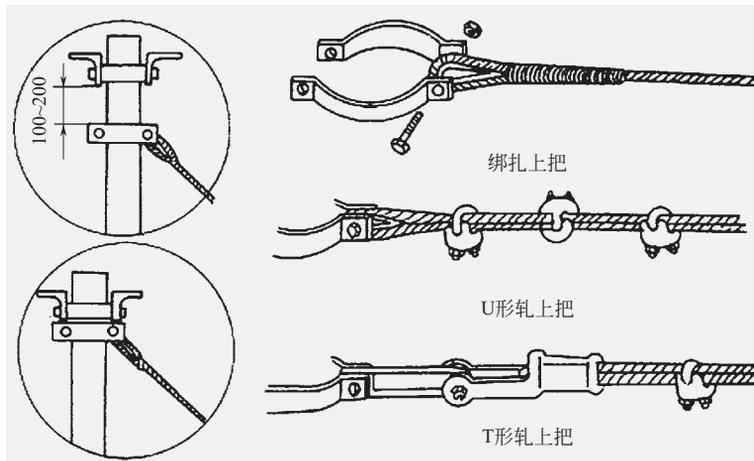


图 7-4 拉线上把的结构形式

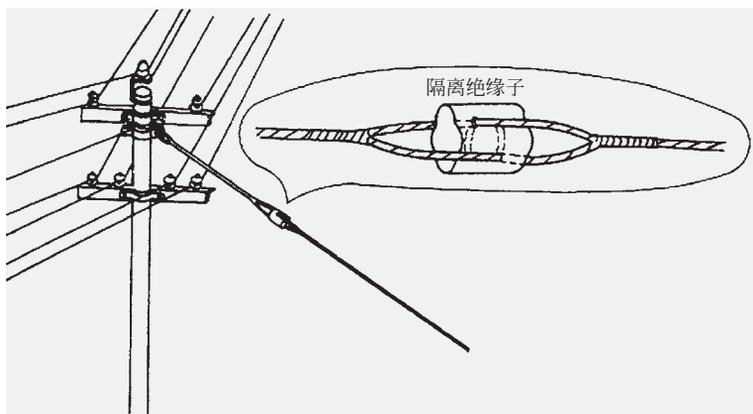
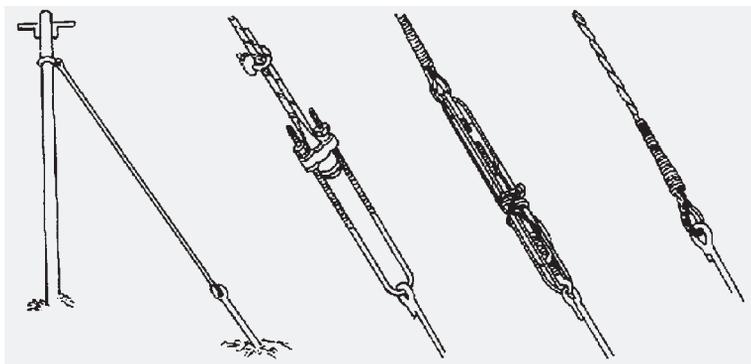


图 7-5 拉线中把的结构



(a)下把与地锚柄的连接 (b)T形轧下把 (c)花篮轧下把 (d)绑轧下把

图 7-6 拉线下把的结构形式

(耐张杆两侧导线间的连接), 可用线夹连接。若接头处在其他位置, 则采用压接法连接。放在杆顶横担上的导线, 需经紧线后绑扎或紧固在瓷瓶上。

(4) 架空线路的运行巡视检查 做好架空线路的巡查和维修工作, 是保证线路安全运行的一项重要工作, 通过巡查维护, 能及时发现隐患, 消除故障, 杜绝事故发生。

#### ① 巡视的分类

a. 定期巡视, 由专职巡线员进行巡线检查, 掌握线路的运行状况, 沿线环境变化情况, 并做好护线的宣传工作。对 1~10kV 线路,

一般每月一次，1kV以下线路，一般每季至少一次。

b. 特殊巡视，一般在气候恶劣，如暴雨、台风、覆冰等，河水泛滥、火灾和其他特殊情况下，对全部或部分线路进行巡查，巡视周期按需要决定。

c. 夜间巡视，在线路高峰负荷或阴雾天气时进行，主要检查导线接头有无过热打火现象，绝缘子表面有无闪络，木横担有无燃烧现象等。对1~10kV线路或重负荷和污秽地区，每半年至少一次。

d. 故障巡视，检查发生故障的地点和原因。

e. 监察巡视，一般由主管部门领导和线路专责技术人员进行，主要是了解线路和设备的状况，检查和指导巡线员的工作。对重要线路和事故多的线路，每年至少一次。

## ② 巡视的主要内容

a. 杆塔是否倾斜；偏离线路中心线不应大于100mm；直线杆的混凝土杆与木杆，不应大于150mm；转角杆不应向内角倾斜，终端杆不应向导线侧倾斜，向拉线侧倾斜应小于200mm；铁塔构件有无弯曲、变形、锈蚀；螺栓有无松动；混凝土杆有无裂纹、疏松、钢筋外露，焊接处有无开裂、锈蚀；混凝土杆不宜有纵向裂纹，横向裂纹不宜超过1/3周长，且裂纹宽度不宜大于0.5mm；木杆有无腐朽、烧焦、开裂，绑桩有无松动，木楔是否变形或脱出；基础有无损坏、下沉或上拔；周围土壤有无挖掘或沉陷，寒冷地区电杆有无冻鼓现象；杆塔位置是否合适，有无被车撞的可能，保护设施是否完好，标志是否清晰；杆塔有无被水淹、水冲的可能；杆塔的杆号、警告牌是否齐全、明显；杆塔周围有无杂草和藤蔓植物附生，有无危及安全的鸟巢、风筝和杂物。

b. 横担和金具。铁横担有无锈蚀、歪斜、变形，金具有无锈蚀、变形。铁横担、金具锈蚀不应起皮和出现严重麻点，锈蚀表面积不宜超过1/2。横担上下倾斜、左右偏歪不应大于横担长度的2%。木横担有无腐朽、烧损、开裂和变形。木横担腐朽深度不应超过横担宽度的1/3。螺栓是否紧固，有无缺帽，开口销有无锈蚀、断裂、脱落。

c. 绝缘子有无脏污、损伤、裂纹和闪络痕迹；铁脚、铁帽有无锈蚀、松动、弯曲。绝缘子、陶瓷横担釉面剥落面积不应大于100mm<sup>2</sup>。陶瓷横担线槽外端头釉面剥落面积不应大于200mm<sup>2</sup>。

d. 导线（包括架空地线）有不断股、损伤痕迹，在化工、沿海等地区的导线有无腐蚀现象；7股导（地）线中的任一导线损伤深度不得超过该股导线直径的 $1/2$ ；19股及以上导（地）线，某一处的损伤不得超过3股。三相导线弛度是否平衡，有无过紧、过松现象。三相导线力求一致，弛度误差不得超过设计值的 $-5\%$ 或 $+10\%$ ；一般档距导线弛度相差不应超过50mm。导线接头有无过热现象，连接线夹弹簧垫是否齐全，螺母是否紧固。过（跳）引线有无损伤、断股、歪扭，与杆塔、构件和其他引线间距离是否符合规定。导线过引线、引下线对电杆构件、拉线、电杆间的净距离，对 $1\sim 10\text{kV}$ 不应小于 $0.3\text{m}$ ； $1\text{kV}$ 以下不应小于 $0.15\text{m}$ ；高压 $1\sim 10\text{kV}$ 引下线与低压 $1\text{kV}$ 以下线间的距离不应小于 $0.2\text{m}$ 。导线上有无抛扔物，固定导线的绝缘子上绑线有无松弛或开断现象。

e. 防雷装置。避雷器的固定是否牢靠，引线连接是否良好，与邻相和杆塔构件的距离是否符合规定。避雷器的瓷套有无裂纹、损伤、闪络痕迹，表面是否脏污。各部附件是否锈蚀，接地端焊接处有无开裂、脱落。雷电记录装置是否完好。

f. 接地引下线有无断股、损伤和丢失；接头接触是否良好，线夹螺栓有无松动、锈蚀；接地引下线的保护管有无破损、丢失，固定是否牢靠；接地体有无外露、严重腐蚀，埋设是否符合要求。

g. 拉线有无锈蚀、松弛、断股和张力分配不均等现象；水平拉线对通车路面中心的垂直距离不应小于 $6\text{m}$ ；拉线绝缘子是否损坏；拉线是否妨碍交通或有被车碰撞的可能；拉线下把、抱箍等金具有无变形、锈蚀；拉线固定是否牢固，基础周围土壤有无沉陷、缺土或突起等现象；顶（撑）杆、拉线柱、保护桩等有无损坏、开裂、腐朽等现象。

h. 接户线线间距离和对地、对建筑物等交叉跨越距离是否符合规定；绝缘层是否老化、损坏；接头接触是否良好，是否有电化学腐蚀现象；绝缘子有无破损、脱落；支持物是否牢固，有无腐朽、锈蚀、损坏等情况；弛度是否适宜；有无混线、烧损现象。

i. 检查沿线有无易燃、易爆物品和腐蚀性液体或气体；导线对地、道路、公路、铁路、管道、河道、建筑物等的距离是否符合规定；有无可能触及导线的铁芯、天线等；周围有无被风刮起危及线路

安全的杂物等；有无威胁线路安全的设施（如脚手架或机械等）；导线与树间的距离是否符合规定；线路附近有无抛扔外物或飘洒金属，有无违反“电力设备保护条例”的建筑等。

#### (5) 架空线路的检查维护周期

① 对1~10kV架空线路的登杆检查每五年至少一次；对木杆、木横担线路，每年一次。

② 对盐、碱、低洼地区混凝土杆的根部检查一般每五年一次。发现问题后每年一次。对木杆根部检查和刷防腐油，每年一次。

③ 对导线连接的线夹检查，每年至少一次。

④ 对镀锌铁线拉线的根部检查，每三年一次，锈后每年一次。对镀锌拉线棒的根部检查，每五年一次，锈后每年一次。

⑤ 混凝土钢圈刷油漆根据油漆脱落情况进行。

⑥ 导线弧垂和交叉跨越距离测量根据巡视结果进行。

(6) 架空线路的常见故障 常见架空线路故障有机械性破坏和电气性故障。

#### ① 按设备机械性破坏分

a. 倒杆：由于杆基失土、洪水冲刷、外力撞击等外界原因，使杆塔失去平衡造成倒杆，供电中断。这是一种恶性事故，应尽量避免杜绝其发生。某些电杆严重歪斜，虽然还在继续运行，但由于各种电气距离发生了很大变化，继续供电将会危及设备和人身安全，应予停电修复。

b. 断线：因外界原因造成导线的断裂，致使供电中断。

#### ② 按设备电气故障分

a. 单相接地（图7-7）：它是电气故障中出现概率最大的故障。它是由线路中的一相的一点对地绝缘性能丧失，该相电流经这点流入

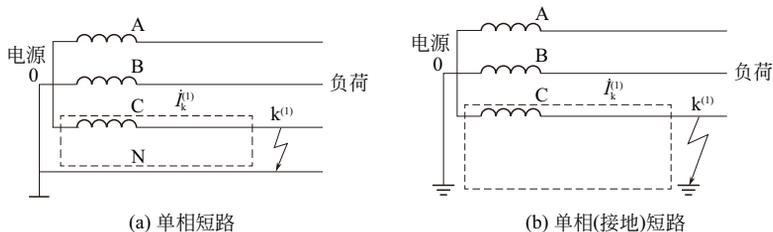


图 7-7 单相接地故障

大地造成的。造成单相接地的因素很多，如一相导线的断线落地、树枝碰触导线、引（跳）线因风对杆塔放电等。它的危害是三相平衡系统受到破坏，造成非故障相的电压升高到原来的 $\sqrt{3}$ 倍，可能会引起非故障相绝缘的破坏。

b. 两相短路：它是架空线路中的任意两相之间直接放电造成的，使通过导线的电流比正常时增大许多倍，并在放电点处形成强烈的电弧，烧坏导线，造成供电中断。两相短路包括两相短路接地（图 7-8），它比单相接地的情况要严重得多。形成两相短路的原因有：混线、雷击和外力破坏等。

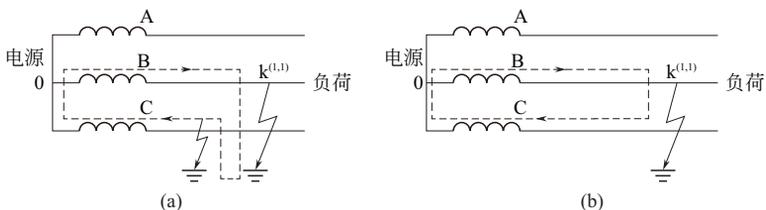


图 7-8 两相接地短路

c. 三相短路（图 7-9）：它是架空线路中在同一地点三相间直接放电造成的。它包括三相短路接地，是架空线路中最严重的电气故障，危害也最大，不过它出现的概率极小。造成三相短路的原因有：线路带接地线合闸、线路倒杆造成三相接地等。

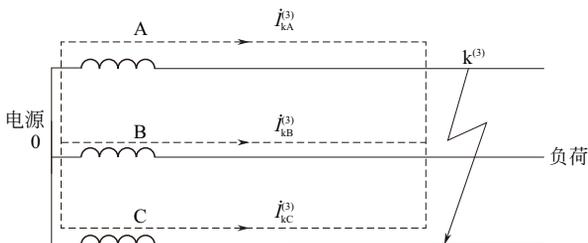


图 7-9 三相短路

d. 缺相：线路中断线不接地，通常又称为缺相运行。它在送电端三相有电压，受电端一相无电流，使三相电动机无法正常运转。常见造成缺相运行的原因是：熔断器一相熔丝烧断，耐张杆塔的一相引

(跳)线的接头接触不良或烧断等。

### 7.1.3 室内电气线路敷设及安全

(1) 室内布线的种类和安装敷设 室内线路是由导线、导线支持物、连接件及用电器具等组成的,分照明线路和动力线路。室内线路的安装有明线安装和暗线安装两种。导线沿墙壁、天花板、梁及桁架等明线敷设称为明线安装;导线穿管埋设在墙内、柱内、屋顶棚里和地坪内,称为暗线安装。按线缆划分,有电线布线和电缆布线两种。具体布线方式有:瓷(塑料)夹板布线、瓷瓶布线、槽板布线、护套线布线、钢管(塑料管)布线、钢索布线以及插接式母线布线、电缆桥架布线和缆沟布线等方式。

(2) 对室内线路装置的技术要求

① 室内布线要布置合理,安装牢固,整齐美观,并且要符合有关规程规定,送电安全可靠。

② 所用导线的额定电压应大于线路工作电压。不同电压和不同电价的用电设备应有明显区别:线路应分开安装,如照明线路与动力线路分开安装。安装在同一块配电盘上的开关设备,应用文字注明以便维修。使用相同电价的用电设备,允许安装在同一线路上,如小型单相电机、电炉,并允许与照明共用。

③ 一般应采用绝缘导线,其绝缘应符合线路安装方式要求和敷设的环境条件。截面积应满足供电和机械强度等条件要求。

④ 低压电网中的线路,严禁利用与大地连接的地线作为中性线,即禁止采用三线一地、二线一地和一线一地制线路。

⑤ 照明线路的每一分路,安装电灯数一般不超过25盏,每一分路最大电流不超过15A。电热线路最大负载电流不应超过30A。

⑥ 线路上的熔断器的部位。一般在线路导线截面减小的地方或线路分支处,均应安装一组熔断器。

⑦ 导线连接和分支处,不应受到机械力的作用。

(3) 明线敷设的技术要求

① 室内水平敷设导线距地面不得低于2.5m,垂直敷设导线距地面不低于1.8m。室外水平和垂直敷设距地面均不得低于2.7m。否则应将导线穿在钢管内加以保护。

② 导线过楼板时应穿钢管保护，钢管长度应从高于楼板 2m 处引至楼板下出口处为止。

③ 导线穿墙或过墙要用瓷管（或塑料管）保护。瓷管（塑料管）两端出线口伸出墙面不小于 10mm，以防导线和墙壁接触，导线穿出墙外时，穿线管应向墙外地面倾斜或用有瓷弯头的套管。弯头管口向下，以防雨水流入管内。

④ 导线沿墙壁或天花板敷设时，导线与建筑物之间的距离一般不小于 10mm，导线敷设在有伸缩缝的地方应稍松弛。

⑤ 导线相互交叉时，为避免碰线，在每根导线上套上塑料管或其他绝缘管，并将套管固定，不得移动。

⑥ 绝缘导线之间的最小距离，固定点间最大允许距离以及与建筑物最小距离应符合有关规定。

#### （4）穿管明敷设的技术要求

① 穿管敷设绝缘导线的电压等级不应小于交流 500V；绝缘导线穿管应符合有关规定。导线芯线的最小截面积规定：铜芯为  $1\text{mm}^2$ （控制及信号回路的导线截面积不在此限）；铝芯线为  $2.5\text{mm}^2$ 。

② 同一单元、同一回路的导线应穿入同一管路，对不同电压、不同回路、不同电流种类的供电线或非同一控制对象的电线，不得穿入同一管子内。互为备用的线路亦不得共管。电压为 65V 及以下的回路，同一设备或同一流水作业设备的电力线路和无防干扰要求的控制回路、照明花灯的所有回路以及同类照明的几个回路等，可以共用一根管，但照明线不得多于 8 根。

**提示：**所有穿管线路，管内不得有接头。采用一管多线时，管内导线的总面积（包括绝缘层）不应超过管内截面积的 40%。在钢管内不准穿单根导线，以免因形成交变磁通带来过大损耗。

③ 穿管明敷线路应采用镀锌或经涂漆的焊接管（水管、煤气管）、电线管或硬塑料管。钢管壁厚不小于 1mm，明设用的硬塑料管壁厚不应小于 2mm。

④ 穿管线路长度太长时，应加装接线盒，为便于导线的安装与维修，对接线盒的位置有以下规定：a. 无弯曲转角时，不超过 45m 处安装一个接线盒。b. 有一个弯曲转角时，不超过 30m。c. 有两个弯曲转角时，不超过 20m。d. 有三个弯曲转角时，不超过 12m。

弯曲转角一般指  $90^{\circ}\sim 105^{\circ}$  角。两个  $120^{\circ}\sim 150^{\circ}$  的转角相当于一个  $90^{\circ}\sim 105^{\circ}$  的转角。长度超过上述要求时，应增加接线盒或加大一级管径。

#### (5) 裸导线敷设的技术要求

在负荷较大的工矿企业的高大厂房内，可将裸导线敷设在人员及机械不易触及的地方。裸导线散热好，因而载流量大，节省有色金属，价格便宜。

① 裸导线敷设高度为离地面 3.5m 以上，如不能满足时须用网孔遮栏围护，但栏高不得小于 2.5m。

② 采用矩形铝（或铜）排或大截面铝绞线送电时，两端应拉紧。所有裸母线（U、V、W）应涂以黄、绿、红三色漆以示区别。有可能被起重机的驾驶人员攀登或检修时触及的地方都应局部加装保护网。

③ 裸导线的线间及其与建筑物表面的净距离，不应小于有关规定。硬导体固定点间距应满足最大短路时的动稳定的要求。必要时在无支架固定的区段，应加装绝缘夹板加以改善。

#### (6) 导线敷设的其他技术要求

① 插接式母线敷设的技术要求 插接式母线应用薄金属板封闭，水平敷设时，离地面高度不得小于 2.2m。

② 电缆桥架敷设的技术要求 电缆在桥架上敷设，应保持一定间距，多层敷设时，层间应加格栅分隔，以便通风，增加载流量。

③ 钢索布线的技术要求 当厂房建筑物较高、跨距较大、又需在较低处安装照明灯具时，或在距离较大的两楼房间需有动力或照明线路跨过时或需安装照明灯具时，可用钢索布线。钢索布线可采用吊鼓形绝缘子架设绝缘导线、吊塑料护套线或橡胶绝缘导线安装，也可为吊管线（钢管或塑料管）安装。

a. 室内场所钢索的材料宜采用镀锌绞线。露天敷设或有酸、碱、盐腐蚀的场所，应采用塑料护套钢索。

b. 安装钢索长度在 50m 及以下时，可在一端装花篮螺栓；超过 50m 时，应在两端装花篮螺栓；每超过 50m 还应加装一个中间花篮螺栓。在终端固定处的钢索卡不应少于两个，终端固定的拉环应牢固，并能承受在全部负载下的拉力。

c. 钢索布线敷设后的弛度不应大于 100mm，如不能达到，应增加中间吊钩。

#### ④ 明线敷设的施工步骤

a. 按施工图确定灯具、插座、开关、配电箱等设备的位置（水平位置及高度）。

b. 确定导线敷设的路径包括电源进出线、穿过墙壁或楼板等的位置。

c. 配合土建打好布线固定点的孔眼，预埋线管、接线盒和木榫木砖及铁预埋件等。

d. 装设绝缘支持物、线夹或管子；明管线路在管内穿入带线。

e. 敷设导线。

f. 做好导线的连接、分支、封端和与设备的连接。

(7) 导线的暗敷设 暗管线路一般敷设在地坪内、砖墙内、灰泥层下面及楼板、柱子、过梁等表层下或预制楼板孔中。具有防火、防潮、抗腐蚀和机械损伤等优点，但造价较高，维修不便。

#### ① 导线暗管敷设的技术要求

a. 应采用镀锌钢管或经防腐处理，暗敷设钢管壁厚不小于 2mm，硬塑料管不小于 3mm。

b. 钢管埋设于现场浇制的混凝土的木模板内时，应抬高 15mm 以上，以防止浇灌混凝土后管子露出混凝土面破坏混凝土强度或管子脱出。预埋中在管子与管子出现交叉的地方，应适当加厚找平层，厚度应大于两管外径之和。

c. 绝缘导线穿管数量及总截面积要求与明管敷设要求相同。

d. 导线或电缆进出建筑物、穿越设备基础、进出池沟及穿越楼板时，必须通过预埋的钢管。

#### ② 导线暗敷设的施工步骤

a. 位置、路径的确定与明敷设相同。在位置、路径确定之后，要做以下工作。

b. 进行弯管、焊接或锯短管路，配合土建进行预埋管路。

c. 预埋管子内穿入直径大于 1.2mm 的钢丝引线（俗称带线），并用纱布堵好管口防止沙土杂物进入管口。

d. 清扫管子后穿线。

#### 7.1.4 电力电缆的敷设及安全

(1) 电缆的主要组成部分 电缆主要由导体(导电线芯)、绝缘层和保护层三大部分组成。导体是用来传输电流的,是电缆的核心,必须具有良好的导电性能,以减少电能在传输中的损耗;绝缘层是用来将不同相的导电线芯及导电线芯与保护层之间在电气上彼此隔离,因此绝缘层必须有良好的绝缘性能和耐热性能,以保证电流沿导电线芯流动;保护层是保证绝缘层能长期正常工作,保护绝缘层不受外界媒质的作用(主要是防止水分浸入)和外力损伤,因此它具有良好的密封性能、防腐性能和相应的机械强度。

① 导体:导体一般均用铜或铝制造,这是因为铜和铝具有良好的导电性能和机加工性能,铜电缆线芯的电阻系数为0.0184,铝电缆线芯的电阻系数为0.031,这是除银以外其他金属无法相比的;由于同等截面铜芯电缆的电阻只有铝芯电缆的60%,因此用铜作缆芯又优于铝;但由于铝的相对密度只有铜的30%(铜的相对密度为8.9、铝的相对密度为2.7),且价格又低于铜,从经济上来考虑,用铝作导电线芯也得到了广泛应用。导电线芯的大小是按导体的横断面积(即截面积)的大小来衡量的,以 $\text{mm}^2$ 作单位。我国规定电缆的截面积有2.5mm、4mm、6mm、10mm、16mm、25mm、35mm、50mm、70mm、95mm、120mm、150mm、185mm、240mm、300mm、400mm、500mm、630mm、800mm、1000mm等20种规格;电缆线芯一般有单芯、两芯、三芯、四芯、五芯五种,一般均采用压紧线芯,并根据电缆线芯的数量,将导线压成圆形、半圆形、扇形等形状,以缩小电缆的外形尺寸,节省原材料;导电线芯一般由多股导线绞合而成,这样可以增加电缆的柔软性,以免在制造、敷设、安装过程中遭受损伤。

② 绝缘层:电缆的绝缘层应有良好的绝缘性能且与工作电压相匹配,以保证电缆在工作电压下正常运行。

绝缘层应具备以下条件:

a. 耐压强度高:电缆线芯的相间和对地距离均很小,绝缘的工作电场强度很高,绝缘材料必须具有与工作电压相适应的电气强度。

b. 介质损耗小:介质损耗大时除消耗电能外,还将引起电缆发

热，降低了电缆的安全载流量。

c. 耐热性能好：应能在较高温度下正常运行，允许工作温度高则载流量大，输送容量也大。

d. 化学性能稳定、使用寿命长。

e. 机加工性能好，便于制造与安装。

③ 保护层 电缆的保护层是电缆的一个重要组成部分，保护层的好坏直接影响电缆的绝缘性能和使用寿命，它的结构必须与绝缘种类、运行电压、使用环境和运行条件相适应，因此保护层的种类很多，也很复杂。

(2) 电缆敷设的基本要求

① 直埋电缆：将电缆直接埋设在地下，是目前应用最广泛最经济的方法。同一条路径上的电缆根数一般不宜超过 6 根并应符合下列规定：

a. 电缆埋设深度应不小于 0.7m，电缆周围应铺以 100mm 厚的细土或细砂，电缆正上方 100mm 处应盖水泥保护板，板宽应超出电缆直径两侧各 50mm。

b. 电缆穿过马路或街道时，电缆应穿于保护管内，管的内径应不小于电缆外径的 1.5 倍，且最小不小于 100mm；单芯电缆不应穿于铁管内，以免因铁管发热影响输送容量。

c. 电缆与电缆或电缆与其他管道、构筑物相互接近或交叉时，其间的距离应符合表 7-5 的规定。

表 7-5 电缆与电缆或管道、道路、构筑物等相互间容许的最小距离 m

电缆直埋敷设时的配置情况		平行	交叉
控制电缆之间			0.5
电力电缆之间或与 控制电缆之间	10kV 及以下电力电缆	0.1	0.5
	10kV 以上电力电缆	0.25	0.5
不同部门使用的电缆		0.5	0.5
电缆与地下管沟	热力管沟	2	0.5
	油管或易燃气管道	1	0.5
	其他管道	0.5	0.5

续表

电缆直埋敷设时的配置情况		平行	交叉
电缆与铁路	非直流电气化铁路路轨	3	1.0
	直流电气化铁路路轨	10	1.0
电缆与建筑物基础		0.6	
电缆与公路		1.0	
直流电气化铁路路轨与排水沟		1.0	
直流电气化铁路路轨与树木的主干		0.7	

② 电缆敷设于电缆沟或隧道内在电缆根数较多时（一般在6根以上），通常将电缆敷设在专用的电缆沟内；当电缆根数在20根以上时则可建隧道，将电缆敷设在隧道内。电缆沟和隧道有用砖砌和混凝土浇筑两种，其一次性投资较高，但建成后的电缆检修、更换和新安装电缆的费用较少，无需重复开挖路面，且在运行中不易发生外力损伤故障，有利于安全运行。电缆在沟和隧道内，一般均敷设于固定的构架上。

③ 架设电缆轴的地面必须平实。支架必须采用有底平面的专用支架，不得用千斤顶等代替。敷设电缆必须按安全技术措施交底内容执行，并设专人指挥。

④ 人工放电缆时，力量应均匀，速度应平稳，不得猛拉快跑。看电缆轴的人员不得站在电缆轴前方。敷设电缆时，处于拐角处的人员，必须站在电缆弯曲半径的外侧。过套管处的人员必须做到：送电缆时手不得靠近管口；迎电缆时，眼睛及身体严禁直对管口。

⑤ 竖直敷设电缆，必须有预防电缆失控下溜的安全措施。电缆放完后，应立即固定、把牢。

⑥ 人工滚动电缆盘时，作业人员不得站在电缆盘前方，两侧人员站位不得超过电缆盘中心。电缆盘上、下坡时，应采用在电缆盘中心穿钢管，在钢管上拴绳的方法，平稳、缓慢进行。电缆盘停顿，应将绳拉紧，及时“打掩”制动。人力滚动电缆盘路面坡度不宜超过 $15^{\circ}$ 。

⑦ 电缆在装卸车时应采用三脚架或吊车。严禁由车上直接猛力

推落地面，以免电缆轴摔坏和损坏电缆。电缆装好车后，必须用结实的绳子将电缆固定牢固，双向垫上斜木以免行车中途急刹车或上下坡时滚动伤人。汽车运输电缆时，电缆应尽量放在车的前方（跟车人员必须站在电缆后面），并用钢丝绳固定。

⑧ 在已送电运行的配电室内进行电缆敷设时，电缆所进入的开关柜必须停电，并应采用绝缘隔板等措施。在开关柜附近操作时，安全距离不得小于1m（10kV以下开关柜）。电缆敷设完剩余较长，必须绑扎固定或采取措施，严禁电缆与带电体接触。

⑨ 挖电缆沟时，边坡坡度应根据土质和深度情况确定。在交通道路附近或较繁华地区挖电缆沟时，应设置栏杆和标志牌，夜间设红色标志灯。电缆沟在未挖前，必须清楚地了解所经过路线的地面或地下的设施（各种工业管道、下水道、电缆交叉及废墙基、化粪池等），排除障碍，清理杂物，进行测量放线，然后方可开挖土方。在挖沟深度超过1.5m及土壤松散处，必须加固支撑，避免塌方砸人。

⑩ 在隧道内敷设电缆时，临时照明的电压不得大于36V。施工前应将地面进行清理，积水排净。

⑪ 熔化绝缘胶时必须设专人看守。工作人员应戴亚麻帆布手套及鞋盖。熔化的绝缘胶应避免手对手传递。放在地上时要注意放平。熔化时不准采用猛烈急火。熔化绝缘胶之容器不准用锡焊制成的容器，而应用气焊或咬口容器。容器须有盖、有嘴，以免绝缘胶溢出烫伤。搅拌电缆胶不要使用木棒。

⑫ 灌电缆头在高空进行时，下面不要站人。不准行人进入操作区。操作场地应设围栏，并有专人监护。盛装熔化的绝缘胶的容器必须用牢固的绳子拴住，由上面工作人员慢慢地往上拉，不能东碰西撞，下面工作人员应离开足够远，以免烫伤。浇入绝缘胶时，应站在上风处。

⑬ 在环氧树脂电缆头的制备过程中，要烘干石英粉时，必须戴好口罩。配制环氧树脂胶，应戴防护眼镜和医用手套，施工现场必须通风良好，操作者应站在上风处工作。当皮肤接触胺类固化剂时，应立即用水冲洗或用酒精擦净，再用水洗。如发现头晕或疲劳，应立即离开操作地方，到室外呼吸新鲜空气。

⑭ 挖掘电缆工作应由有经验人员交代清楚后才能进行。挖到接

近电缆保护板时，应停用铁镐和铁钎。挖到保护板后，应由有经验的人员在场指导方可继续下挖。挖掘出电缆或接头盒后，如下面需要挖空时，必须将电缆或接头盒悬吊保护。悬吊电缆时应每隔 1.0～1.5m 吊一道。悬吊接头盒时应平放并将两端电缆固定，不得使接头受到拉力。

⑮ 移动电缆接头盒必须停电进行，由有经验人员在专人指挥下水平移动。两端电缆要和接头盒固定在一起，严防受拉力。

⑯ 锯断旧电缆时，必须停电、放电、验电，然后将电缆芯接地，并办理工作许可手续。四芯电缆的零线芯要拆开。锯断以前必须与电缆图纸对照；检查是否确实相符，有条件时应使用探测器验证，然后用接地带木柄的铁钎或者使用带接地线的钢锯钉入电缆芯后方可工作。使用铁锯和铁钎的工作人员应戴绝缘手套并站在绝缘垫上。接地线用截面积为  $10\text{mm}^2$  以上的铜线，接地极可用圆钢打入地面 0.6m 以下。

(3) 电缆线路的运行与维护 电缆线路在正常情况下，其运行寿命都在 30 年以上，在实际运用中，高压电缆运行寿命有 70～80 年的记录。因此在电缆的制造与安装无问题的前提下，其使用寿命的关键在于运行维护。电缆的运行维护主要有以下内容：电缆线路的巡视、外力损伤的防止、电缆负荷与温度的监视、预防性试验等。

① 电缆线路的巡视 正常情况下电缆线路应每三个月巡视一次；特殊情况下如发生洪水、暴雨、大风、大雾等特殊情况，应进行有目的的特殊巡视；电缆路径上有建设工程时应根据其特点增加巡视次数。

对于直埋电缆，主要应查看路面是否正常，有无塌陷和被挖掘的痕迹；对于电缆的外露部分或沟道、隧道内的电缆，则应检查电缆的护层是否完好，有无损伤。

检查电缆终端头和接头有无漏胶、漏油现象，终端头和接头有无破损，瓷套管表面是否清洁，有无污闪可能；引出线有无发热现象；防雷设施是否完善，接地线连接是否良好；在条件具备时，可定期用红外成像仪检查各导体连接点的温度，防止烧坏接触部位；对橡塑电缆头还可用红外成像仪检查各电场集中部位，有无场强过高局部发热现象，防止发生热击穿。

检查电缆隧道、电缆沟、沟盖、电缆支架及电缆线路的各种保护

设施是否完好，螺栓有无松动、缺损，电缆支架是否牢固，有无松动和锈烂现象，隧道内有无积水、渗漏水现象等。

② 电缆外力损伤的防止，外力损伤事故一般占电缆故障次数的40%以上，因此防止外力损伤是运行工作的重点。为防止发生外力损伤事故，一般应做以下2项工作。

- a. 沿电缆路径设警告标志，标明地下有电缆，防止施工误伤电缆。
- b. 及时了解电缆路径上的各项动土工程，与有关单位保持联系，及时派人到现场进行指导，保护好电缆。

③ 电缆负荷的监视与温度的测量 工作温度超过表中数值时，将加速绝缘老化，缩短电缆的使用寿命。因此在运行中除监视电缆的负荷外还要监测电缆的温度，这是因为计算电缆允许载流量所采用的计算条件可能与实际不符；电缆制造质量不好，介质损耗过大，多根电缆并用时负荷分配不均等，都有可能引起电缆运行温度过高，缩短了电缆的使用寿命或发生运行故障。

④ 电缆的预防性试验 电缆在运行中的绝缘性能无法考察，而预防性试验则可通过在电缆上施加试验电压观察其绝缘性能，并通过与历史记录比较，了解绝缘性能的变化情况，以确定该电缆能否继续运行。定期做预防性试验，及时发现存在的问题。

a. 对发电厂、变电所以及大型联合企业等重要回路的铝芯电缆，短路最高允许温度为200℃。

b. 含有锡焊中间接头的电缆，短路最高允许温度为160℃。

由于电缆的电容大，在现场不可能做交流耐压试验，预防性试验均做直流耐压，加压时间为5min。橡塑电缆是挤出型固体绝缘电缆，直流耐压试验会使电缆绝缘产生累积效应，加速绝缘老化，缩短电缆的使用寿命，因此1996年实施的《电力设备预防性试验规程》对橡塑电缆的试验作了新的规定：正常运行期间每1~3年测一次电缆主绝缘、电缆外护套和电缆内护套的绝缘电阻，只有在新作接头或终端头后才做直流耐压试验，应尽量少做直流耐压试验。

### 7.1.5 导线的安全连接

导线线头加工是电工的一种最基本而又最关键的操作工艺，许多电气事故往往是由导线线头加工不良引起的，因此必须正确掌握其加

工工艺。电工所用的导线分电磁线和电力线，其加工工艺不同。

### 7.1.5.1 导线绝缘层的去除

线头要进行连接，就要去除线头的绝缘层。导线线头的连接处，要有良好的导电性能，不能产生较大的接触电阻，否则通电流后连接处要发热。因此，线头绝缘层要清除得彻底干净，使线头与线头之间有良好的电接触。

#### (1) 电磁线绝缘层的去除

① 漆包线线头绝缘层的去除。直径在 0.1mm 以上的线头，宜用细砂纸（布）擦去漆层，直径在 0.6mm 以上的线头，可用薄刀刮削漆层，直径在 0.1mm 以下的，也可用细砂纸（布）擦除，但线芯易于折断，要细心留意。也可将线头浸蘸熔化的松香液，待松香凝固后剥去松香时，将漆层一并剥落，但这种方法对高强度漆层往往不能剥落干净。

② 丝包线线头绝缘层的去除。对线径较小的，只要把丝包层向后推缩即可露出线芯，对线径较大的，要松散一些丝包层，然后向后推缩露出线芯，但对过大线径的线头，松散后的线头要打结扎住，不可松散过多。去除了丝包层的线芯需用细砂纸（布）擦去氧化层。

③ 丝漆包线绝缘层的去除是结合上述两种方法。

④ 纸包线线头绝缘层的去除。松散纸包层到所需线芯长度，然后用绝缘清漆将纸粘牢，以防继续松散，再用细砂纸（布）擦去线芯表面的氧化层。

⑤ 玻璃丝包线线头绝缘层的去除方法同丝包线。

⑥ 纱包线线头绝缘层的去除，松散纱层到所需线芯长度，然后打结扎住，防止纱层继续散开，再用细砂纸（布）擦去线芯表面氧化层。

#### (2) 电力线绝缘层的去除

塑料线绝缘层的剖削，用剥线钳剥离塑料层固然方便，但电工必须学会用电工刀或钢丝钳来剥离绝缘层。用钢丝钳剥离的方法如图 7-10 所示，根据线头所需长度，用钳头刀口轻切塑料层，不可切着线芯，然后右手握住钳子头部用

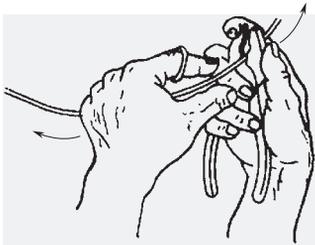


图 7-10 用钢丝钳剥离塑料层的方法

方向外拉去塑料层。与此同时，左手需用力配合动作。

用电工刀来剖削绝缘层的方法如图 7-11 所示，根据所需的线端长，用刀口以  $45^\circ$  倾斜角切入塑料绝缘层，不可切着线芯，接着刀面与线芯保持  $15^\circ$  左右的角度，用力向外削出一条缺口，然后将绝缘层剥离线芯，反方向扳转，用电工刀切齐。

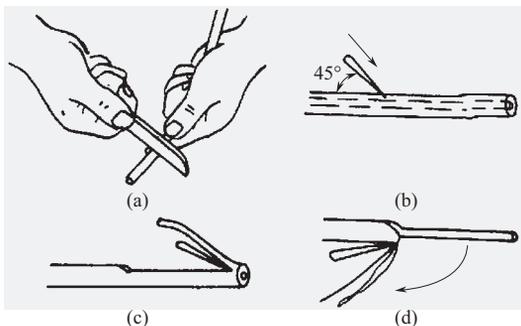


图 7-11 电工刀剖削绝缘层的方法

### 7.1.5.2 线头的连接方法

(1) 电磁线的连接 电磁线如果作线圈，其内部一般不允许有连接，如果允许连接，应采用先绞接后焊接的方法，绞接必须均匀，至少互绕 10 圈，并且要封端口，不留毛刺，如图 7-12 (a)、(b) 所示，较粗的线可采用如图 7-12 (c) 所示的套管先套接后焊接。线圈外部的连接也可采用先绞接后焊接的方法，也可用如图 7-13 所示的接线耳先与线端用压钳压接，然后由接线耳再与接线端子进行螺钉压接。



图 7-12 线圈内部端头连接方法



图 7-13 接线耳与接线端子螺钉

(2) 电力线的连接 电力线的连接方法中,铜芯线与铝芯线的连接方法有所不同。

① 铜芯线的连接方法 单股线芯的直线连接方法如图 7-14 所示,先把两线端 X 形相交,互相绞合 2~3 圈,然后扳直两线端,将每线端在线芯上紧密并绕到线芯直径的 6~8 倍长,多余的线端剪去,并钳平切口毛刺。

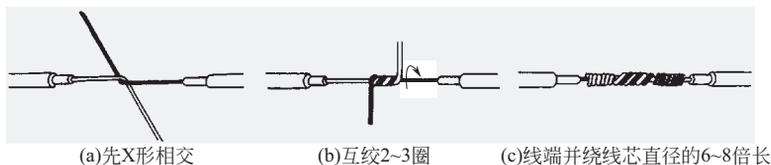


图 7-14 单股线芯直线连接方法

单股线芯的 T 字分支连接方法如图 7-15 所示。

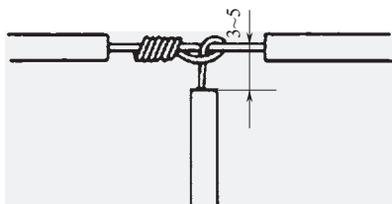


图 7-15 单股线芯的 T 字分支连接方法

多股线芯的直接连接方法如图 7-16 所示。

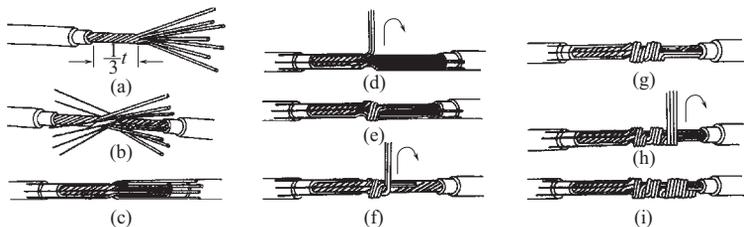


图 7-16 多股线芯的直接连接方法

多股线芯的 T 字分支连接方法如图 7-17 所示,把分支线芯头的八分之一处根部进一步绞紧,再把上部分线芯分成两组,如图 7-17 (a) 所示,接着把干线芯用螺钉旋具撬分两组,把支线的一半插入干

线的两组线芯中间，如图 7-17 (b) 所示，然后如图 7-17 (c) 所示缠绕 3~4 圈，剪去余端并钳平切口，最后如图 7-17 (d) 所示。

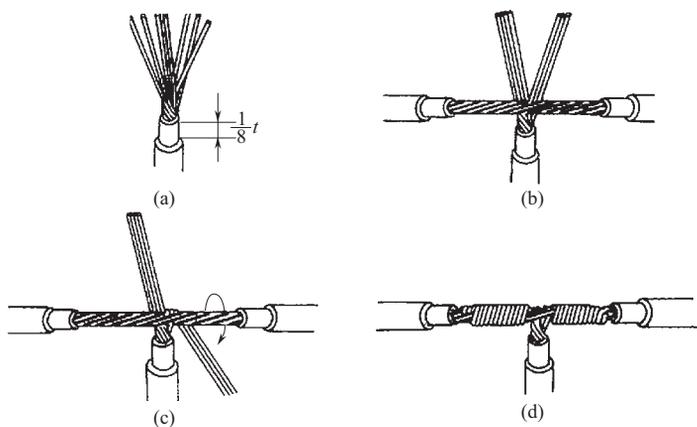


图 7-17 多股线芯的 T 字分支连接方法

用 U 形轧的连接方法如图 7-18 所示。

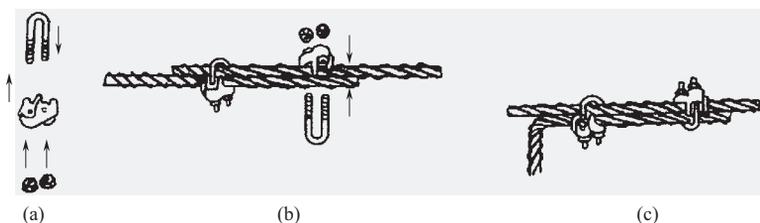
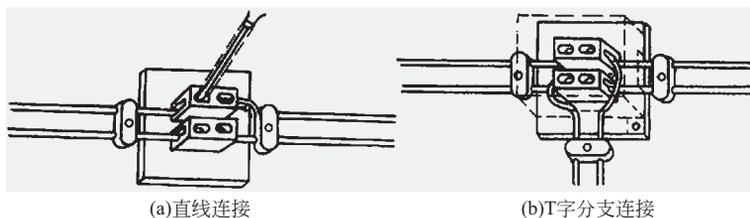


图 7-18 U 形轧的连接方法

瓷接头的直线与 T 字分支连接的方法如图 7-19 所示。



(a) 直线连接

(b) T 字分支连接

图 7-19 瓷接头的直线与 T 字分支连接方法

② 铝芯线的连接方法 铝极易氧化，而氧化铝膜的电阻率又很高，所以铝芯线线头的连接不能采用铜芯电线的连接方法，否则容易发生事故。

铝芯线螺钉压接法，适用于负载较小的单股线芯的连接，在线路上可通过开关、灯头和瓷接头上的接线端子螺钉进行连接。连接前，必须涂上凡士林锌膏粉或中性凡士林，并应用钢丝刷把线芯表面的氧化铝膜刷除，然后方可进行螺钉压接。若是两个或两个以上线头同接在一个接线端子上，则应先把几个线头拧成一体，然后压接。

铝芯线钳接管直线机械压接法适用于户内外较大负载的多股线芯的直线连接，其方法是选用适合导线规格的钳接管（又称压接管），清除掉钳接管内孔和线头表面的氧化层。按图 7-20 所示方法和要求，把两线头插入钳接管内，用压接钳进行压接。若是钢芯铝绞线，两线之间则应衬垫一条铝质垫片。

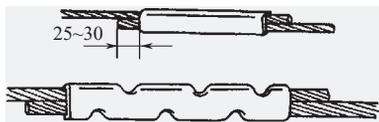


图 7-20 铝芯线钳接管的直线机械压接法

沟线夹螺钉压接的分支连接法适用于架空线路的分支连接。对导线截面积在  $75\text{mm}^2$  及以下的，用一副小型沟线夹把分支线头末端与干线进行绑扎，如图 7-21 所示。对导线截面积在  $75\text{mm}^2$  以上的，需用两副大型沟线夹。

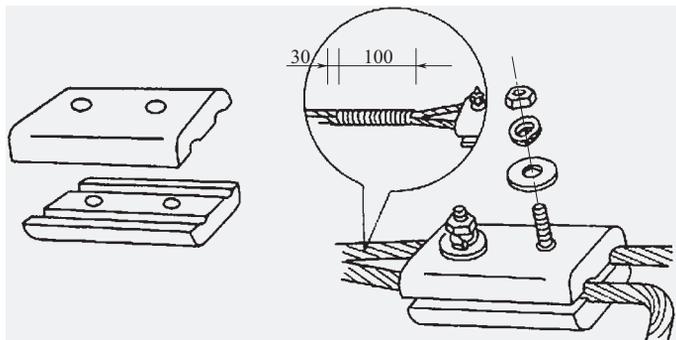


图 7-21 沟线夹

在安装沟线夹前，应在夹线部位表面和导线面先涂上一层凡士林锌膏粉或中性凡士林，并应用钢丝刷把线芯表面的氧化铝膜刷除，然

后方可进行螺钉压接。

③ 线头与接线端子的连接方法 各种电气设备、电气装置和电气用具均设有供连接导线用的接线端子，常用接线端子有柱形端子和螺钉端子两种，如图 7-22 所示。

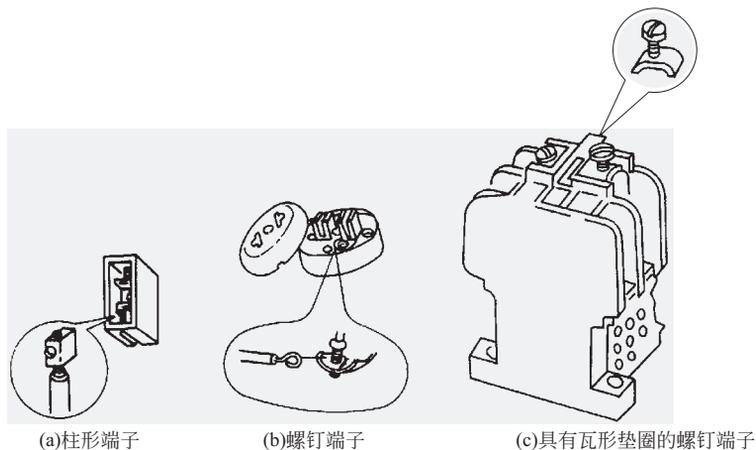


图 7-22 接线端子

线头与柱形端子的连接方法是依靠置于孔顶部的压紧螺钉压住线头（线芯端）来完成连接的。单股线芯一般都须把线头的线芯折成双股并列后插入孔内，如果线芯直径较大，无法插入双股线芯，则应单股线芯插入孔前把线芯端头略折一下，如图 7-23 所示。多股线芯的处理方法如图 7-24 所示，如果孔比线芯大，则把绝缘层多去掉一些，线芯分三级剪去多余部分，然后把最长的中间部分对折后绞紧；如果孔小于线芯，则把线芯中间的部分适当剪去一些，然后绞紧。

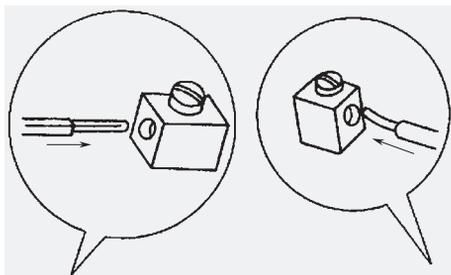


图 7-23 单股线与柱形端子连接时的线端处理方法

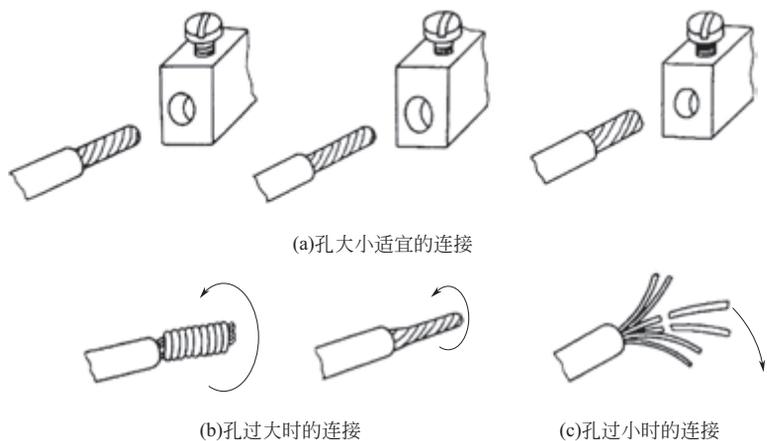


图 7-24 多股线芯与柱形端子的连接方法

线头与螺钉端子的连接是依靠开槽盘头螺钉的平面并通过垫圈紧压导线线芯来完成的，在连接前，应把线芯变成压接圈或安装接线耳，压接圈的弯法如图 7-25~图 7-27 所示。

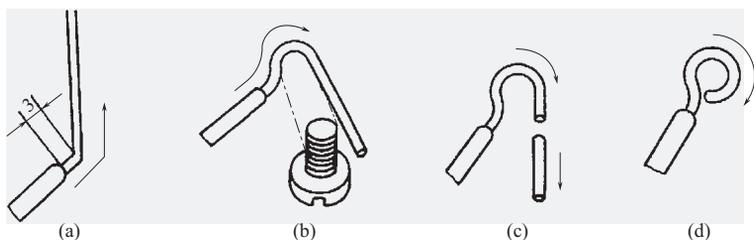


图 7-25 单股线芯压接圈的弯法

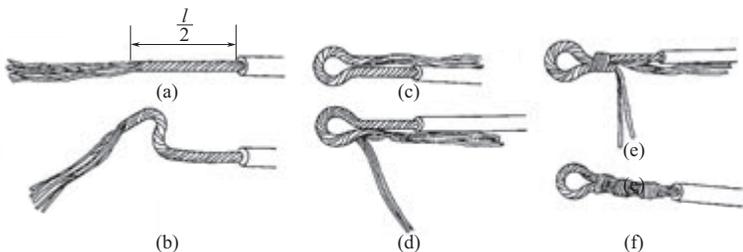


图 7-26 多股导线压接圈的弯法

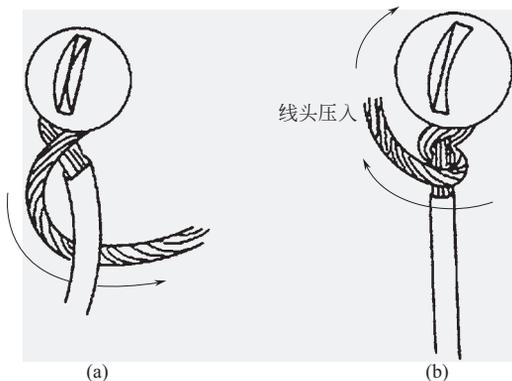


图 7-27 软线线头的连接方法

注意：

- a. 去除绝缘层要干净，以保证连接的可靠性，做到不损伤线芯；
- b. 连接方法正规，保证机械强度，获得漂亮的外观；
- c. 恢复绝缘方法正确，保证绝缘强度；
- d. 铜铝导线连接时，由于铜、铝两种金属的化学性质不同，在接触处容易发生电化学腐蚀，日久会引起接触不良，导电率差或接头处断裂。因此，铜铝导线的连接应采用将铜线镀锡的方法与铝线连接，以使接触良好；也可用铜（铝）压接管，作为铜（铝）芯电线或电缆线芯之间的连接。

## 7.2 防止触电的技术措施

### 7.2.1 绝缘

它是防止人体触及，用绝缘物把带电体封闭起来。瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、胶木、塑料、布、纸和矿物油等都是常用的绝缘材料。

### 7.2.2 屏护

即采用遮栏、护照、护盖等把带电体同外界隔绝开来。高压设备

不论是否有绝缘，均应采取屏护。

### 7.2.3 间距

就是保证必要的安全距离。在低压工作中，最小检修距离不应小于0.1m。

### 7.2.4 接地与接零

#### 7.2.4.1 接地

电气设备的任何金属部分（包括正常时带电或不带电的金属部分）、杆塔或过电压保护装置，用接地线与土壤之间作良好的电气连接的措施就称为接地。按接地目的可分为工作接地、保护接地、过电压保护接地和防雷接地、防静电接地、重复接地。埋入土壤里或混凝土基础中主要起散流作用的金属导体或金属组体叫接地体；连接于接地体与电气设备接地螺栓之间的金属导线叫接地线。接地体与接地线总称为接地装置。

选择接地装置注意事项：

- ① 交流电气设备的接地，应充分利用自然接地体。
- ② 交流电气设备的接地线，一般可以利用工厂建筑物的金属结构，以及配线的钢管和电缆金属构架。
- ③ 在爆炸危险场所，不得用金属管、建筑物和构筑物金属结构作为接地线；在 Q-1 级和 G-1 级场所的电气设备、仪表、灯具的电气线路应有专用的接地线；在 Q-2 级场所的照明线和 Q-3 级场所的电气设备、仪表、照明的线路，使用钢管配线并可利用钢管作接地线。
- ④ 直流电力网中，能与地构成闭合回路且经常流过电流的接地线，应沿绝缘板敷设，不得与金属管道、建筑物和设备的构件有金属连接；土壤中含有腐蚀性物质的地方，不宜敷设接地装置，必要时可采取外引式接地装置或改良土壤。
- ⑤ 在腐蚀性强的场所，应采用镀锌的钢接地体或加大导体的截面。
- ⑥ 不得在地下利用裸铝导体作接地装置。

⑦ 不得利用蛇皮管、保温管的金属外皮或金属网，以及电缆金属护层作接地线。

接地体或自然接地体的流散电阻与接地线的电阻之和，称为接地装置的接地电阻。按通过接地体流入地中的冲击电流求得的接地电阻，又称为冲击接地电阻；按通过接地体流入地中的工频电流求得的电阻，又称为工频接地电阻。但接地电阻主要是指接地体的流散电阻。

下面重点分析保护接地。在变压器中性点不直接接地的低压供电系统中，与一相碰壳时，接地电流  $I_d$  会通过人体和电网的对地绝缘阻抗形成回路，如图 7-28 所示。为解决上述可能出现的危险性，可采取图 7-29 所示的保护接地措施，就是变压器中性点（或一相）不直接接地的电网内，一切电气设备正常情况下不带电的金属外壳以及和它连接的金属部分与大地作可靠电气连接，这就是保护接地。保护接地适用于中性点不直接接地电网中，如电机、变压器、照明灯具、携带式或移动式用电器具的金属外壳和底座，配电屏、箱、柜、盘，控制屏、箱、柜、盘的金属构架，穿电线的金属管，电缆的金属外皮，电缆终端盒，接线盒的金属部分，互感器的铁芯及二次线圈的一端，装有避雷线的电力线杆、塔、高频设备的屏护。

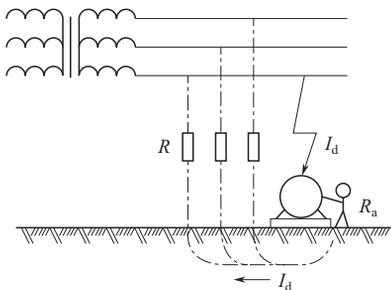


图 7-28 没有保护接地

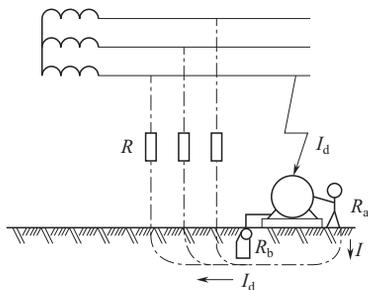


图 7-29 保护接地原理图

在三相四线制供电系统中变压器低压侧中性点的接地称为工作接地。接地后的中性点称为零点，中性线称为零线。工作接地提高了变压器工作的可靠性，同时也可以降低高压窜入低压的危险性。对高压侧中性点不接地系统，单相接地电流通常不超过 30A，事故时低压中

性点电压不超过 120V，则工作接地电阻不超过  $4\Omega$  就能满足接地要求。

重复接地降低了漏电设备对地电压，减轻了零干线断线的危险，由于工作接地和重复接地构成零线并联分支，当发生短路时能增加短路电流，加速保护装置的动作速度，缩短事故持续时间，改善了架空线路的防雷性能。

#### 7.2.4.2 保护接零

保护接零就是把电气设备在正常情况下不带电的金属外壳与电网的零线紧密地连接起来，如图 7-30 所示。当某相出现事故碰壳时，形成相线和零线的单相短路，短路电流能迅速使保护装置（如熔断器）动作，切断电源，从而把事故点与电源断开，防止触电危险。

接零装置由接地体、接地线和零线网组成。零线网在三相四线供电中是指零干线，在三相五线供电中是指保护零线。应该注意，零线回路中不允许装设熔断器和开关，在三相四线制供电系统中，零干线兼作工作零线和保护零线时，其截面积按相线的要求选取。

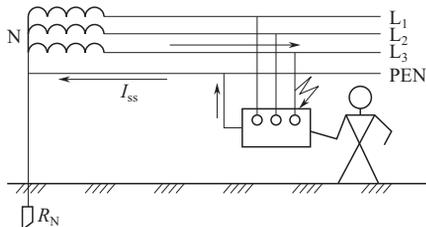


图 7-30 保护接零

保护接零可分为 TN-S 系统、TN-C 系统、TN-C-S 系统。TN-S 系统：整个系统的中性线与保护线是分开的，如图 7-31 所示。TN-C 系统：整个系统的中性线与保护线是合一的，如图 7-32 所示。TN-C-S 系统：系统中有一部分线路的中性线与保护线是合一的，如图 7-33 所示。

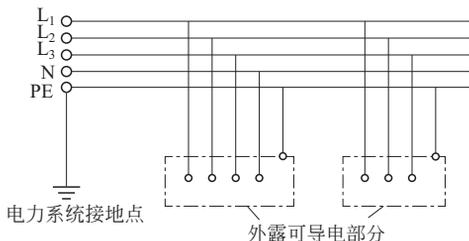


图 7-31 TN-S 系统

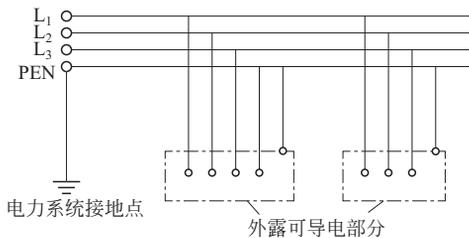


图 7-32 TN-C 系统

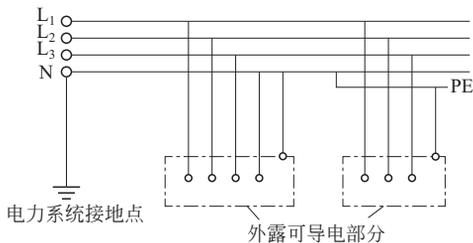


图 7-33 TN-C-S 系统

### 7.2.4.3 保护接地与保护接零的比较

保护接地与保护接零的相同之处：

① 低压电力系统中，两者在防止因设备碰壳或漏电造成的触电事故方面具有等效观念。

② 在各种用电设备中，要求采取保护接地与采取保护接零的措施的项目大致相同。

③ 接地和接零系统都要求有成套的接地装置。

④ 严禁同一台变压器供电的系统中，一部分设备采用保护接零，另一部分设备采用保护接地。

保护接地与接零的不同之处：

① 保护原理不同。

② 适用范围有别。接地保护规定用于中性点不接地的三相供电系统中，将电气设备的金属外壳及构架与接地装置良好连接，当电气设备的绝缘损坏使设备的金属外壳带电时，由于人体与接地装置并联，且人体电阻（最小  $800\Omega$ ）远大于接地电阻（ $4\Omega$ ），因此人接触到带电的外壳并不会触电。接零保护规定用于  $380/220\text{V}$  三相中性点

接地的供电系统中。在三相四线制中性点接地的系统中，低压电气设备按Y连接时，从负载中点引出导线，连接某些测量、保护信号电路；或者让电源中点（零线）与设备外壳连接，这种保护称为接零保护。

③ 线路结构不同。

#### 7.2.4.4 保护接地和保护接零的选择原则

目前，我国国内普遍遵循的原则是：

① 工厂、企事业单位由一台独立变压器供电时，在它的低压电网中，可采用接零保护（高压系统仍是保护接地），即TN方式。

② 由城市电力部门统一供电。380/220V 低压电网供电的用户（多半是小用户）以及农村低压电网，多采用接地保护，相当于TT方式。

③ 医疗单位在手术过程中和矿山井下的排水、通风系统以及其他对持续不间断供电要求很高的场所，不允许因某一电气设备碰壳故障而切断整个系统的电源（保护接零容易产生此种后果），一般采用低压中性点对地绝缘，将电气设备外壳实行保护接地方式，即IT方式。

#### 7.2.5 装设漏电保护装置

为了保证在故障情况下人身和设备的安全，应尽量装设漏电流动作保护器。它可以在设备及线路漏电时自动切断电源，起到保护作用。

#### 7.2.6 采用安全电压

凡手提照明灯、高度不足2.5m的一般照明灯，如果没有特殊安全结构或安全措施，应采用36V安全电压。安全电压的工频有效值应不超过50V，直流不超过120V。我国规定工频有效值的等级为42V，36V，24V，12V和6V。

#### 7.2.7 加强安全用电常识

不要接触低压带电体，不要靠近高压带电体，雷雨天要避开空旷

地带的大树。

## 7.3

## 电气设备的防火与防雷



### 7.3.1 电气设备的防火

(1) 电气火灾与爆炸的原因 电气火灾发生的原因是多种多样的，例如过载、短路、接触不良、电弧火花、漏电、雷电或静电等都能引起火灾。有的火灾是人为的，比如思想麻痹、疏忽大意、不遵守有关防火法规、违犯操作规程等。从电气防火角度看，电气设备短路、安装使用不当、保养不良、雷击等是造成电气火灾的几个重要原因。

#### (2) 电气火灾的防护措施

- ① 电气火灾的防护措施主要致力于消除隐患、提高用电安全。
- ② 正确选用保护装置，防止电气火灾发生。
- ③ 正确安装电气设备，防止电气火灾发生。
- ④ 保持电气设备的正常运行，防止电气火灾发生。
- ⑤ 实行防火安全责任制，站内设定专职消防安全责任人。
- ⑥ 定期进行消防培训，对站内灭火器、空气呼吸器的原理及使用注意事项进行讲解。
- ⑦ 建立防火档案，确定消防安全重点部位，设置防火标志，实行严格管理。
- ⑧ 定期对消防设施进行防火检查维护，及时消除火灾隐患。
- ⑨ 电力线路和电气设备发生火灾时，值班人员应立即报警，不得延误。
- ⑩ 在消防队未到达之前，现场前班人员根据着火性质和地点采取灭火措施。遇有电气设备，应立即将有关设备的电源切断，然后进行灭火。

#### (3) 几种常见的轻便灭火器

- ① 泡沫灭火器：通用急救，水溶液组成，有一定的导电性。
- ② “1211”灭火装置：高效、低毒、不导电的液化气体。

③ 雾状水灭火装置：用于变压器等充油电气设备火灾。

④ 蒸汽灭火装置：用于能封闭的生产车间、油泵房和地下管沟等。

#### (4) 带电灭火

① 发生电气火灾后必须进行带电灭火时，应该使用二氧化碳灭火器、1211 灭火器、干粉灭火机等进行灭火；对充油设备应采用二氧化碳、四氧化碳、1212、1202、干粉等灭火；对旋转电机的火灾扑救可用二氧化碳、四氧化碳、1212、1202，但不能用干粉、砂子、泥土等硬性物质。

② 必要情况下采用水带电灭火时，在金属水枪的喷嘴上应安装接地线，穿戴均压服，采用适于带电灭火的双级离心式喷雾水枪灭火。

### 7.3.2 防雷

一次雷击或者一次闪电所释放出的能量大约在 300kW 以上，如果把这些能量全部利用起来，可供一个普通家庭使用两个月以上。由于雷电释放的能量相当大，它所产生的强大电流、灼热的高温、猛烈的冲击波、剧变的静电场和强烈的电磁辐射等物理效应给人们带来了多种危害。雷电的破坏主要有直击雷破坏和感应雷破坏。

雷电保护原理很简单，就是提供和造就一种手段使雷闪放电能进入或离开大地，而不致破坏被保护的财产。雷电保护系统要能起到两个作用，一是把雷闪放电在它尚未击中受保护对象时截住；二是把雷闪电流无害地释放至大地。这就要求建筑物安装避雷器，把电流引至大地。建筑的金属构件也必须连接作为避雷系统的组成部分。

雷电是常见的自然现象，它实质上是天空中雷暴云中的火花放电，放电时产生的光是闪电，闪电使空气受热迅速膨胀而发出的巨大声响是雷声，雷雨天气容易遭受雷击，致人受伤甚至死亡。避免雷击应当做到：

① 在外出时遇到雷雨天气，要及时躲避，不要在空旷的野外停留。

② 雷电交加时，如果在空旷的野外无处躲避，应该尽量寻找如土坑式的低凹地藏身，或者立即下蹲、双脚并拢、双臂抱膝、头部下

俯，尽量降低身体的高度。如果手中有导电的铁锹、金属杆雨伞等物体，要迅速抛到远处，千万不能拿着这些物品在旷野中奔跑，否则会成为雷击的目标。

③ 特别要小心的是，遇到雷电时一定不能到高耸的物体，如旗杆、大树、烟囱、电杆下站立，这些地方最容易遭遇雷击危险。

④ 当有雷电时应避免进入和接近不加保护的小型建筑、仓库、棚舍，未采取防雷保护的帐篷及临时掩蔽所，非金属车顶或敞篷的汽车，游泳池、湖泊和海滨，铁丝网、晾衣绳、架空线路、孤立的树木等，应避免使用或接触电气设备、电话以及管道装置。尽快躲入采取防雷保护措施的住宅和其他建筑物，地下掩蔽所、地铁、隧道和洞穴，大型金属或金属框架结构建筑物，具有金属车顶的封闭汽车及其他车辆。应寻找低洼地区避开山顶和高地，寻找茂密树林，如果处于暴露区域，孤立无援，当雷电来临时，感到头发竖起，预示着将遭雷击，则应立即蹲下，身子向前弯曲，并将手放在膝盖上。切勿在地下躺平，也不得把手放在地上。

## 参 考 文 献

- [1] 张秀艳, 黄海平, 朱艳. 实用电工电路一本通. 北京: 科学出版社, 2012.
- [2] 杨清德. 轻轻松松学电工——电路篇. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [3] 君兰工作室. 熟知电工电路的 12 堂课. 北京: 科学出版社, 2012.
- [4] 魏素珍. 看图巧学常用电工电路. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [5] 王兰君. 简简单单学——电工电路. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [6] 刘志平. 电工技术基础. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [7] 祖国建. 最新维修电工手册. 北京: 化学工业出版社, 2013.