

# 第一章 常用低压电器

低压电器是电力拖动自动控制系统的基本组成元件。控制系统的优劣与所用低压电器直接相关。电气技术人员必须熟悉常用低压电器的原理、结构、型号、规格和用途，并能正确选择、使用与维护。

## 第一节 低压电器概述

低压电器通常是指工作在交流电压小于 1200V、直流电压小于 1500V 的电路中起通、断、保护、控制或调节作用的电器设备。

### 一、低压电器的分类

低压电器的种类繁多，结构原理各异，功能多样，用途广泛。

#### 1. 按其用途或所控制对象划分

(1) 低压配电电器 这类电器包括刀开关、转换开关、熔断器和自动开关。主要用于低压配电系统中，要求在系统发生故障的情况下动作准确、工作可靠。

(2) 低压控制电器 包括接触器、控制继电器、主令开关、起动机、电磁铁等。主要用于电力拖动自动控制系统和用电系统中，要求寿命长、体积小、工作可靠。

#### 2. 按动作方式划分

(1) 自动电器 自动电器是按照外来信号或某个物理量的变化而自动动作的电器，如接触器、继电器等。

(2) 非自动电器 是通过人工或外力直接操作而动作的电器。

#### 3. 按电器的执行机能划分

可分为有触点电器和无触点电器。例如有触点的电器包括开关、按钮等，无触点电器有晶闸管、IGBT 管等。

### 二、低压电器的基本结构

各类电器基本结构主要由两部分组成：感受部分和执行部分。前者接受外界输入的信号，并通过转换、放大与判断作出相应的反应，使执行部分动作。对于有触点的电磁式电器，感受部分是电磁机构。执行部分是触点系统、灭弧装置，实现电路的接通或断开。

电磁机构由线圈、铁心（静铁心）、衔铁（动铁心）组成。根据电磁感应原理，将电能转换为机械能并带动触点闭合或断开。

当线圈通入电流后，磁通  $\Phi$  通过铁心、衔铁和工作气隙形成闭合回路，如图 1-1 中的虚线所示，磁路中建立的磁通在铁心、衔铁之间产生吸力，衔铁受到吸力吸向铁心。衔铁的运动

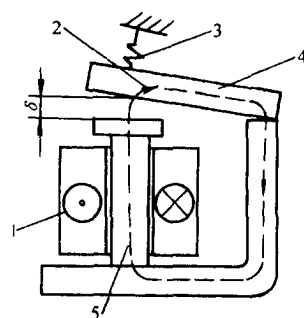


图 1-1 电磁机构示意图  
1—线圈 2—磁通 3—反力  
弹簧 4—衔铁 5—铁心

受到反作用弹簧的拉力，只有吸力大于反作用弹簧的拉力时，衔铁才能牢牢吸合。但吸力又不宜过大，否则衔铁和铁心会产生严重碰撞，这样会产生很大的噪声。

电磁铁有各种不同的结构形式，如 E 型和 U 型等；按动作方式分有直动式和转动式；如图 1-2 所示，它们根据各自不同的结构特点和动作方式适用于不同的工作场合。

电磁铁有直流和交流两大类，两者在结构上不同。直流电磁铁的铁心在恒定状态下通过恒定磁通，铁心中无磁滞和涡流损耗，所以铁心用整块软钢或工程纯铁制成；线圈做成高而薄的细长形，线圈没有骨架，直接套在铁心上，使线圈产生的热量通过铁心散发出去。交流电

磁铁通过交变磁通，铁心中有磁滞损耗和涡流损耗，所以铁心用片间绝缘的硅钢片叠成，以减少铁损生热；线圈制成短粗形，并由线圈骨架把它和铁心隔开，以利于铁心和线圈的散热。

单相交流电磁铁在铁心表面装有分磁环（又称短路环），目的是消除震动和噪声。

触点系统是电器的执行部分，每对触点都由一个动触点和一个静触点组成，用来接通和断开电路。

(1) 触点系统结构形式 触点系统的结构形式有点接触、面接触、指形接触等，如图 1-3 所示。其中点接触和面接触常采用桥式结构，点接触形式用于电流及触点压力小的情况下，而面接触形式则用于电流及触点压力大的情况下。指形接触形式接触面为一曲线，触点动作产生滚滑，有利于接触电阻的减小、氧化膜的消除，适用于电流大、触点动作频繁的情况。

(2) 触点系统的分类 根据所控制的电路不同可分为主触点和辅助触点（如接触器），主触点用于通断电流较大的主电路，辅助触点用于通断电流较小的控制电路。

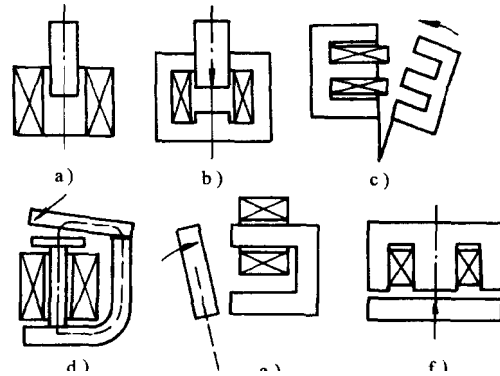


图 1-2 电磁铁心的结构形式

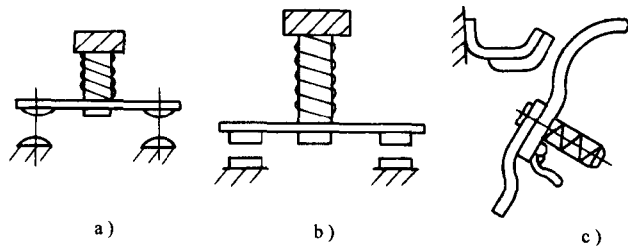


图 1-3 触点的结构型式

a) 点接触 b) 面接触 c) 指形接触

## 第二节 开关与主令电器

这类电器包括刀开关、组合开关、控制按钮和行程开关等。属于非自动切换的开关电器，常用于电源的引入、隔离或在规定条件下接通、断开电路，以实现电路工作状态的转换。

### 一、刀开关

刀开关在继电器-接触器控制系统中，常用于不频繁地接通和断开额定电流以下的负载，如小型电动机、电阻炉等。

刀开关按极数划分有单极、双极和三极，其图形符号和文字符号如图 1-4 所示 其结构由手柄、刀片、触点座和底板组成。常用刀开关的主要类型有 HD 和 HS 系列刀开关、HK 系列开启式负荷开关、HH 系列封闭式负荷开关、HR 系列熔断式刀开关等。

选用刀开关时，闸刀极数应与电源相数相等。刀开关的额定电压须大于所控电路的额定电压。刀开关的额定电流须大于电路的额定电流以及尖峰电流。

刀开关安装时，手柄要向上装，不得倒装或平装，以免手柄松动下落而引起误合闸，造成人身伤亡和意外事故。电源线从上端引入，下端接电器，这样开关断开时，电器元件不带电，防止意外事故产生。刀开关型号的含义：

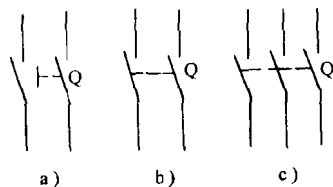
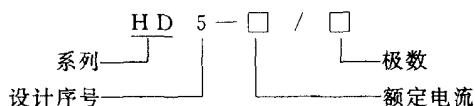


图 1-4 刀开关图形符号和文字符号

a) 单极 b) 双极 c) 三极



## 二、组合开关

组合开关又称转换开关，实际上也是一种刀开关，只是它的刀片为转动式，动触点旋转代替闸刀的断开和闭合。常用于机床电路电源的引入开关，也可用作非频繁起停小功率异步电动机的电源引入开关，以及控制电路的工作状态转换等。

组合开关由动、静触点，方形转轴、手柄、定位机构及外壳组成。动、静触点分别叠装于数层绝缘壳内，转动手柄时每层动触片都随方形转轴一起转动，使其插入或转出相应的静触片，接通或断开被控电路。组合开关的结构如图 1-5a、b、c 所示，图形符号和文字符号如图 1-5d 所示。

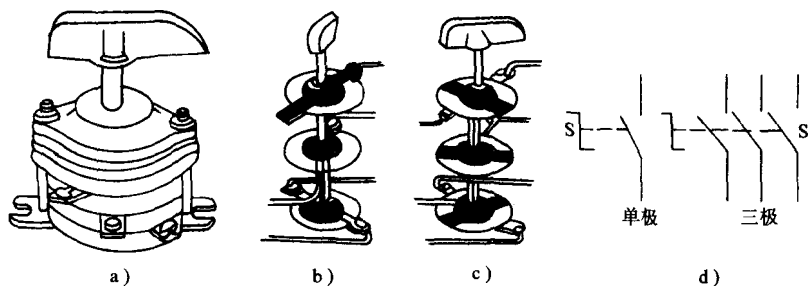
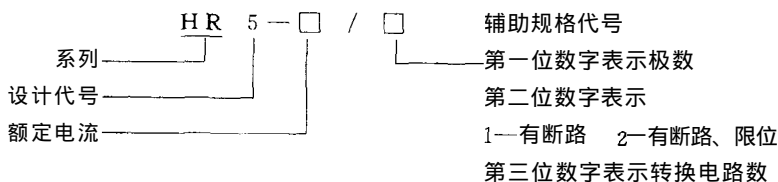


图 1-5 HZ10-25/3组合开关

a) 外形 b) 接通位置 c) 分断位置 d) 图形及文字符号

组合开关可分为单极、双极和多极三类，其主要参数有额定电压、额定电流、允许操作频率、极数、可控电动机最大频率等。全国统一设计使用的有 HZ15 系列及其它 HZ 系列 引进生产的有德国西门子 3ST、3LB 系列等。组合开关型号含义：



### 三、主令电器

主令电器属于控制电器，是用来发出指令的低压操作电器。主令电器的种类很多，除控制按钮、行程开关外，还有十字开关、主令控制器、接近开关、脚踏开关等。

#### 1. 控制按钮

控制按钮简称按钮，手动操作，用于接通或断开控制电路。

(1) 按钮的结构 按钮的结构如图 1-6 所示，由按钮帽、复位弹簧、桥式触点和外壳组成。按钮的图形符号和文字符号见图 1-7。

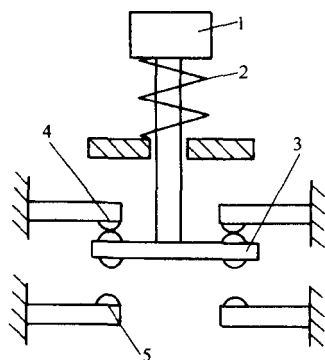


图 1-6 按钮结构示意图

1—按钮帽 2—复位弹簧 3—动触点  
4—常闭静触点 5—常开静触点

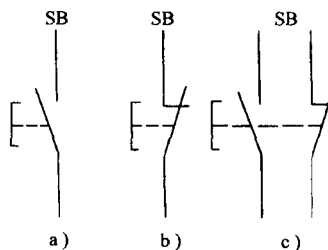


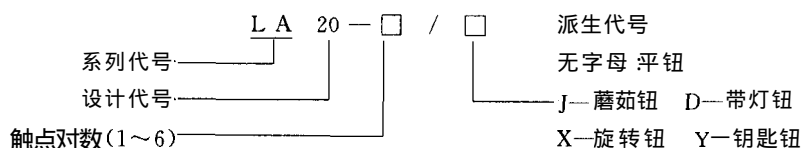
图 1-7 按钮的图形符号和文字符号

a) 动合触点 b) 动断触点  
c) 复式触点

(2) 按钮的动作原理 按下按钮帽 常闭 动断 触点断开 动合触点闭合 松开按钮帽 触点复位。若为复合按钮，按下时常闭触点先断开，常开触点后闭合，松开时则常开触点先复位，常闭触点后复位。

(3) 按钮的主要技术要求 按钮的主要技术要求有规格、结构形式、触点对数和按钮颜色等。通常所选用的规格为交流额定电压 500V、允许持续电流 5A。

(4) 按钮的型号含义 按钮型号有国产型号 LA 系列，统一设计新型号为 LA25 系列，引进德国 BBC 公司的 LAZ 系列。型号含义如下：



#### 2. 行程开关

行程开关又称限位开关，一般由执行元件操作机构及外壳组成，利用生产机械的某运动部件对开关操作机构的碰撞而使触点动作，控制机械运动的方向和行程的大小，或实现极限位置保护。行程开关的种类很多，按结构分有直动式、微动式、滚动式。

(1) 直动式行程开关 如图 1-8 所示，其结构与按钮相似，只是它用运动部件上的挡块来碰撞行程开关的推杆。这种行程开关触点的分合速度取决于挡块的移动速度，在挡块移动速度低于 0.4m/min 时，触点断开太慢，电弧易烧坏触点，此时不应采用这类行程开关。

(2) 微动式行程开关 微动开关具有弯片式弹簧瞬动机构，如图 1-9 所示。当推杆被压下时，弯片变形，储存能量。当达到预定位置时，弯片连同动触点产生瞬时跳跃，实现电路的

切换。当操作力小时，弹簧释放能量，反向跳跃，触点分合速度不受推杆压下速度影响，克服了直动式行程开关的缺点。这种行程开关不仅动作灵敏而且体积小，适用于小型机构。

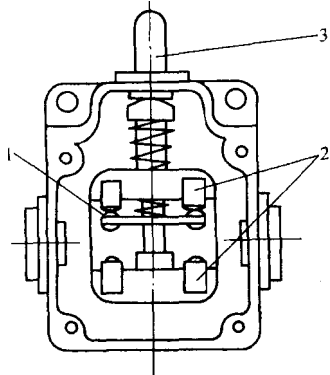


图 1-8 直动式行程开关

1—动触点 2—静触点  
3—推杆

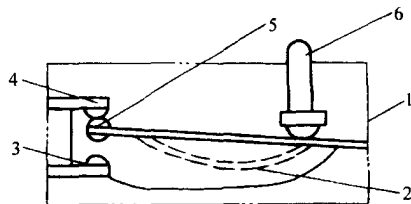


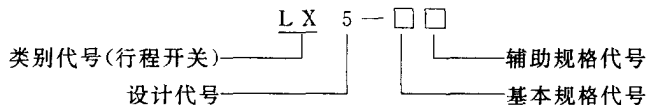
图 1-9 微动式行程开关

1—壳体 2—弓簧片 3—常开触点  
4—常闭触点 5—动触点 6—推杆

(3) 行程开关的技术参数和型号举例 行程开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、触点换接时间、动作力、动作角度或工作行程、触点数量、结构形式和操作频率等。全国统一新设计的行程开关有 LX31、LX32、LX33 系列，其它常用的行程开关有 LX19、LXW-11（微动式）、JIXk1（快速式）、LW2、LX5、LX10 等系列，引入产品有德国西门子公司的 3SE、法国柯赞公司的 831 系列。LX32 系列行程开关的主要技术参数及型号含义见表 1-1。

表 1-1 LX32 系列行程开关主要技术参数

额定工作电压/V		额定发热 电流/A	额定工作电流/A		额定操作频率 /(次·h <sup>-1</sup> )
直流	交流		直流	交流	
220、110、24	380、220	6	0.046(220V 时)	0.79(380V 时)	1200



### 第三节 保护电器

保护电器属于配电电器，在电路短路、断路、过载、电动机断相时，对电路中所接的电器及电动机起保护作用，主要有断路器、熔断器、热继电器等。

#### 一、断路器

断路器又称自动开关，相当于刀开关、熔断器、热继电器和欠压继电器的组合，既能起开关作用又自动进行短路、过载、欠压、失压、过电流保护等是低压配电系统中一种非常重要的保护电器。

##### 1. 断路器的结构

断路器主要由操作机构、触点、灭弧装置、脱扣器等组成，见图 1-10。

##### 2. 断路器的工作原理

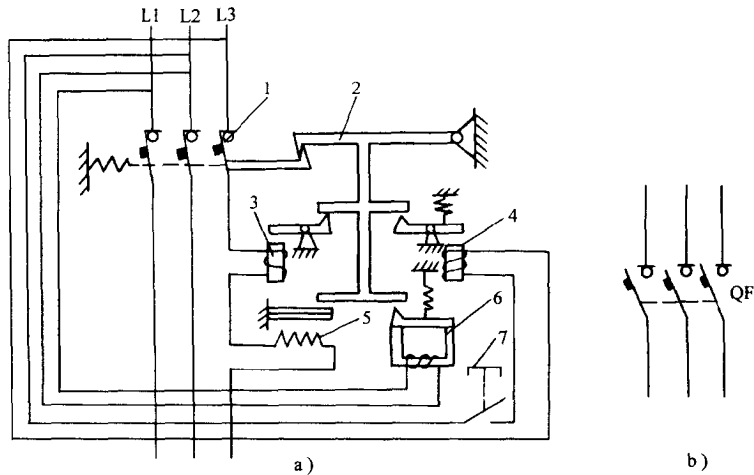


图 1-10 断路器的结构示意图和图形文字符号

a) 结构示意图 b) 图形文字符号

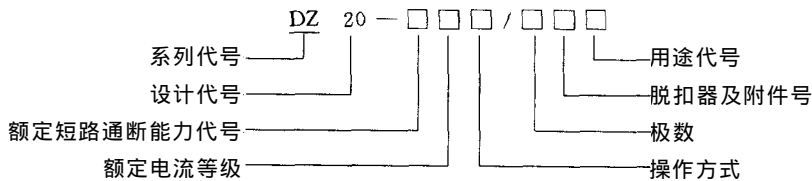
1—主触点 2—自由脱扣器 3—过电流脱扣器 4—分离脱扣器  
5—热脱扣器 6—失压脱扣器 7—操作机构

从结构图上可以看出，断路器有三对触点，串联在主电路中。在电路工作正常时，主触点通过操作机构闭合，自由脱扣机构将主触点锁定在闭合位置，电路正常接通；若要切断电路，操作分离脱扣器，使自由脱扣器自动脱扣，主触点断开，切断电路。

断路器的过电流脱扣器线圈和热脱扣器的发热元件与主电路串联，失压脱扣器线圈与电路并联。当电路短路或过载时，过电流脱扣器的衔铁被吸合，热脱扣器的发热元件受热增加弯曲变形，自由脱扣器的脱扣机构自动脱扣，主触点断开，切断电路，保护电路和电气设备。

### 3. 断路器的型号

常用的断路器有 DZ15、DZ20、DZ5、DZ10、DZX10、DZX19 等系列，引进生产的有德国 BBC 公司生产的 SO60 系列等，其中 DZ5、DZ10 已被 DZ14、DZ20 所取代，DZX 系列为限流型。断路器的型号含义如下：



手柄直接操作代号：P 表示电动机操作

Z 表示转动手柄操作

## 二、熔断器

熔断器是一种简单有效的保护电器，在电路中用于短路保护。

### 1. 熔断器的结构和工作原理

熔断器主要由熔体（熔丝或熔片）和安装熔体的熔管（或熔座）组成。熔体串接在被保护的电路中，电路正常工作时，熔体允许通过其额定电流而不熔断。当电路短路时，电流急剧增大，熔体过热达到熔点而熔断，切断电路。其图形和文字符号如图 1-11 所示。

## 2. 熔断器的技术参数及型号

熔断器的主要技术参数有：工作额定电流、极限分断能力、熔体的额定电流（即熔体长期不熔断的最大电流）、熔断电流等。

常用熔断器系列有 RC1A、RM7、RM10、RL6、RL7、RT12、RT14、RT15、RS0、RS3、RLS2 等。RC1A 系列常用于照明电路，RM 系列常用于小容量电网电路，RL 系列常用于机床控制电路，RT 系列常用于大容量电网电路，RS、RLS 系列为快速熔断器，用于半导体元件的保护。

### 三、热继电器

热继电器是利用热效应原理来工作的，主要用于电动机过载或缺相时的自动保护。在电动机运行过程中，若过载不太严重，绕组温升不超过一定值，是允许的。若过载时间长，绕组温升超过允许值，会加速电动机绝缘老化，烧坏绕组。当电动机断相时，一相绕组松开或熔断，若负载不变，由于电动机转矩减小，使绕组中电流过大，会烧坏电动机。所以必须采用保护措施。

#### 1. 热继电器的结构及工作原理

如图 1-12 所示，热继电器由发热元件、双金属片、导板和常闭触点组成。发热元件一般为电阻丝，绕在双金属片上，串联在主电路中；双金属片由两种膨胀系数不同的金属碾压而成，作为热继电器的感测元件，当电路中的电流增大，发热元件发热增加，温度升高，双金属片向膨胀系数小的一方弯曲的位移增大，经过一段时间，双金属片推动导板，常闭触点断开，切断电路。由于双金属片有热惯性，电路短路时不能立即断开，因此热继电器不能用于短路保护。但在电动机启动或短时轻微过载时，可避免电动机的不必要停车。热继电器的图形和文字符号见图 1-13。

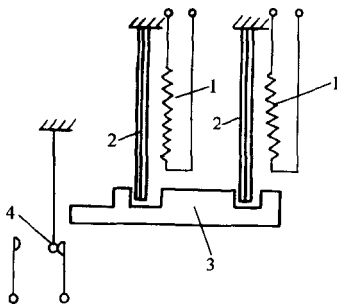


图 1-12 热继电器工作原理示意图

1—发热元件 2—双金属片 3—导板 4—触点

#### 2. 热继电器的型号含义

热继电器的选用主要根据电动机的额定电流来确定型号、发热元件的电流等级和额定电

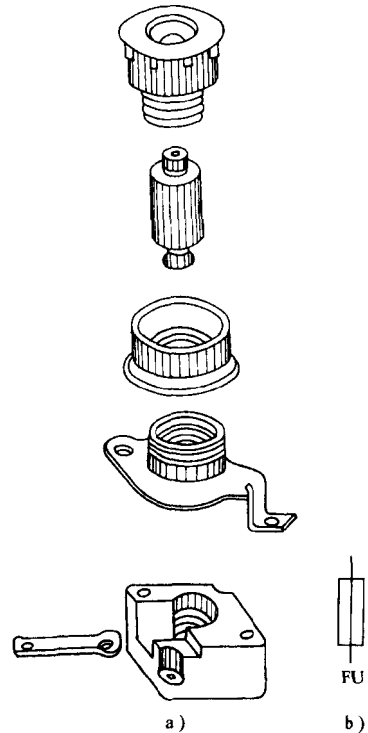


图 1-11 熔断器的结构示意图和图形文字符号

a) 结构示意图 b) 图形和文字符号

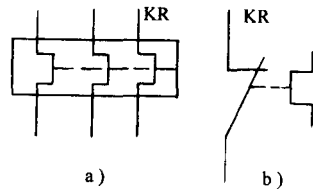
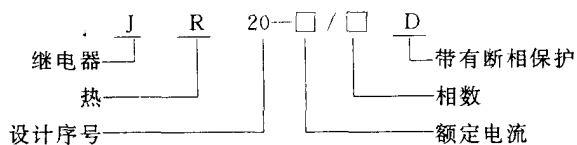


图 1-13 热继电器的图形文字符号

a) 三相发热元件 b) 常闭触点

流。其型号含义如下：



## 第四节 交流接触器

接触器用于频繁操作的大功率，电动机或其它负载电路，利用电磁吸力使触点动作，主要用于主电路控制。

接触器按触点通过的电流种类不同，可分为交流接触器和直流接触器两种。由于交流接触器应用较为广泛，故只介绍交流接触器。

### 一、交流接触器的主要结构和工作原理

交流接触器主要由电磁机构和触点系统、灭弧装置等组成，它的图形符号和文字符号如图 1-14 所示。

### 二、交流接触器常见故障与维修

接触器可能发生的故障很多，应定期检查，及时修理。表 1-2 列出了触点、线圈、铁心等最易发生的故障及维修办法。

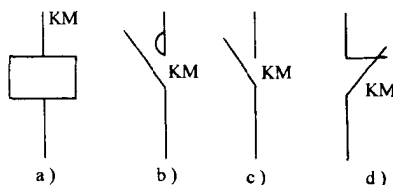


图 1-14 交流接触器的图形符号和文字符号  
a) 线圈 b) 主触点 c) 常开辅助触点 d) 常闭辅助触点

表 1-2 接触器常见故障及处理方法

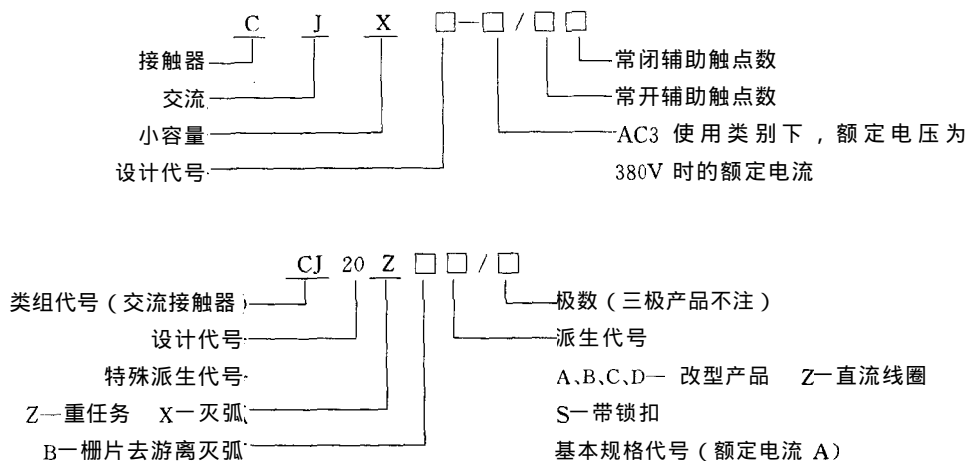
故障现象	产生故障的原因	
吸不上或吸不足	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源电压过低或波动过大</li> <li>2. 操作回路电源容量不足，或发生断线，触点接触不良，以及接线错误</li> <li>3. 线圈技术参数不符合要求</li> <li>4. 接触器线圈断线，可动部分被卡住，转轴生锈、歪斜等</li> <li>5. 触点弹簧压力与超程过大</li> <li>6. 接触器底盖螺钉松脱或其它原因使静、动铁心间距太大</li> <li>7. 接触器安装角度不合规定</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整电源电压</li> <li>2. 增大电源容量，修理线路和触点</li> <li>3. 更换线圈</li> <li>4. 更换线圈，排除可动零件的故障</li> <li>5. 按要求调整触点</li> <li>6. 拧紧螺钉，调整间距</li> <li>7. 电器底板垂直水平面安装</li> </ol>
线圈过热或烧损	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源电压过高或过低</li> <li>2. 线圈技术参数不符合要求</li> <li>3. 操作频率过高</li> <li>4. 线圈已损坏</li> <li>5. 使用环境特殊，如空气潮湿，含有腐蚀性气体或温度太高</li> <li>6. 运动部分卡住</li> <li>7. 铁心截面不平或气隙过大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整电源电压</li> <li>2. 更换线圈或接触器</li> <li>3. 按使用条件选用接触器</li> <li>4. 更换或修理线圈</li> <li>5. 选用特殊设计的接触器</li> <li>6. 针对情况设法排除</li> <li>7. 修理或更换铁心</li> </ol>
噪声过大	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源电压低</li> <li>2. 触点弹簧压力过大</li> <li>3. 铁心截面生锈或沾有油污、灰尘</li> <li>4. 零件歪斜或卡住</li> <li>5. 分磁环断裂</li> <li>6. 铁心截面磨损过度而不平</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提高电压</li> <li>2. 调整触点压力</li> <li>3. 清理铁心截面</li> <li>4. 调整或修理有关零件</li> <li>5. 更换铁心或分磁环</li> <li>6. 更换铁心</li> </ol>

(续)

故障现象	产生故障的原因	处理方法
触点融焊	1. 操作频率过高或超负荷使用 2. 负载侧短路 3. 触点压力过小 4. 触点表面有凸起的颗粒或异物 5. 操作回路电压过低或机械性卡住触点停顿在刚接触的位置上	1. 按使用条件选用接触器 2. 排除短路故障 3. 调整弹簧压力 4. 修整触点 5. 提高操作电压,排除机械性卡阻故障
触点过热或灼伤	1. 触点弹簧压力过小 2. 触点表面有油污或不平,铜触点氧化 3. 环境温度过高,或使用于密闭箱中 4. 操作频率过高或工作电流过大 5. 触点的超程太小	1. 调整触点压力 2. 清理触点 3. 接触器降容使用 4. 调换合适的接触器 5. 调整或更换触点
触点过度磨损	1. 接触器选用欠妥,在某些场合容量不足,如反接制动、密集操作等 2. 三相触点不同步 3. 负载侧短路	1. 接触器降容或改用合适的 2. 调整使之同步 3. 排除短路故障
其它	1. 可逆接触器互锁不可靠 2. 灰尘、水汽、污垢等使绝缘材料导电 3. 某些零部件损坏(如灭弧室)	1. 检修互锁装置 2. 经常清理,保持清洁 3. 更换损坏的零件

### 三、接触器的常用系列及型号含义

目前常用类型有 CJ0-A、CJ0-B、CJ10、CJ12、CJ10X、CJ20 等系列,其型号含义如下:



## 第五节 继电器

继电器的作用是根据输入信号的变化, 接通或断开控制电路, 对电路或电器实现自动控制和保护。继电器的种类很多, 习惯上按输入信号分有电流继电器、电压继电器、时间继电器、速度继电器等。图 1-15 为电流继电器的图形符号和文字符号。

继电器也是由电磁机构和触点系统组成, 和接触器相类似。两者的区别是: 继电器的输入

信号可以是电压、电流、时间、速度、温度、压力等多种参量，而接触器只受电压控制；继电器只用于控制电路，而接触器的主触点常用于主电路，辅助触点常用于控制电路。

### 一、电流继电器

电流继电器的线圈串接于控制电路中，反映电路中电流的变化。其匝数少，导线粗，以减小对被测电流的影响。

电流继电器有过电流和欠电流继电器两种。当线圈上的电流超过或低于被测值时，触点动作；当电流正常时，触点复位。电流继电器在电路正常工作时，触点不动作，是一种保护电器。

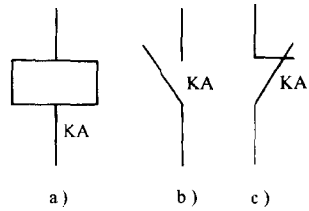


图 1-15 电流继电器的图形符号和文字符号

a) 线圈 b) 常开触点 c) 常闭触点

### 二、电压继电器

电压继电器的线圈与所控电路并联，反映电路中电压的变化。与电流继电器相反，其匝数多，导线细。

电压继电器有过电压、欠电压和零压继电器三种。当线圈电压超过、低于规定值或降至 5%~25% 的额定电压时，触点动作；当电压正常时触点复位。电压继电器也是一种保护电器。

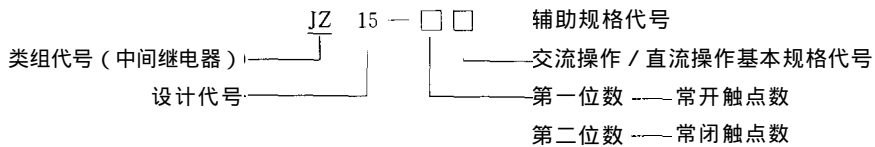
### 三、中间继电器

#### 1. 中间继电器的结构

中间继电器属于一种电压继电器，在结构上与电压继电器基本类似，原理相同。但其触点对数多，容量大。用来传递中间信息。

#### 2. 中间继电器的型号含义

中间继电器的常用系列有 JZ14、JZ15、JZ17(交、直流)及 JZ7(交流)等。其型号含义为：



### 四、时间继电器

这是一种输入或去除外部信号后，要经过一段时间触点才能动作或复位的继电器。因此按触点的动作情况来划分，时间继电器有通电延时型和断电延时型两种。按结构原理来划分有空气阻尼式、直流电磁式、晶体管式等。

#### 1. 空气阻尼式时间继电器

该继电器利用空气阻尼作用使触点延时，由电磁机构、触点系统和延时机构组成，延时机构采用气囊式阻尼器，有通电延时型和断电延时型两种。图 1-16 所示为断电延时型结构原理图，通过调整气孔大小调整延时时间。

#### 2. 直流电磁式时间继电器

直流电磁式时间继电器是在直流电磁式电压继电器的铁心上加一个阻尼铜套，在线圈断电时，磁通变化，产生电磁

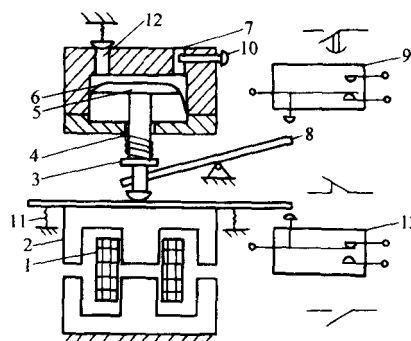


图 1-16 断电延时型空气阻尼式时间继电器  
1—线圈 2—动铁心 3—活塞杆 4—释放弹簧 5—伞形活塞  
6—橡胶膜 7—进气孔 8—杠杆 9—延时触点 10—调节螺钉 11—复位弹簧 12—排气孔 13—瞬动触点

感应，感应磁场阻碍原有磁场的变化，产生阻尼实现延时。这类时间继电器只有断电延时型，通过调整释放弹簧的松紧或改变静铁心间的气隙大小来调整延时时间。

3. 晶体管式时间继电器  
晶体管式时间继电器又称半导体式时间继电器，是利用 RC 电路中电容器充电，端电压逐渐上升原理，通过调整电路的时间常数来调整延时时间。该时间继电器延时范围宽、精度高、调整方便、体积小、寿命长，应用日益广泛。

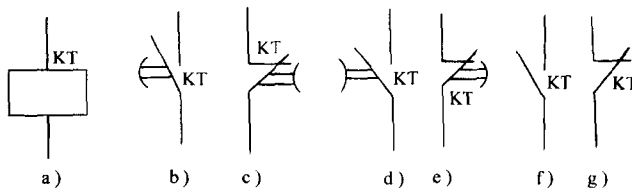


图 1-17 时间继电器的图形符号和文字符号

时间继电器的图形符号和文字符号见图 1-17。

### 五、速度继电器

速度继电器主要用于笼形异步电动机的反接制动、能耗制动控制，又称反接制动继电器。主要由转子、定子、触点三部分组成，其原理如图 1-17 所示。其中转子是一个圆柱形永久磁铁，定子是一个笼形空心圆环，装有笼形绕组。其转子的轴与被控电动机的轴相联，定子空套在转子上。电动机转动，速度继电器的转子也随之转动，定子导体切割磁力线产生感应电流，从而产生电磁转矩，定子也随之转动。转过一定角度时，定子上的摆锤拨动触点动作。电动机转速低于某一值时，转矩下降，触头复位。常用的系列有 JY1 系列、ZF20-1 系列、ZF20-2 系列等，一般的速度继电器触点动作转速为 120r/min，复位转速为 100r/min 以下。速度继电器的图形符号和文字符号，如图 1-18a、b、c 所示。

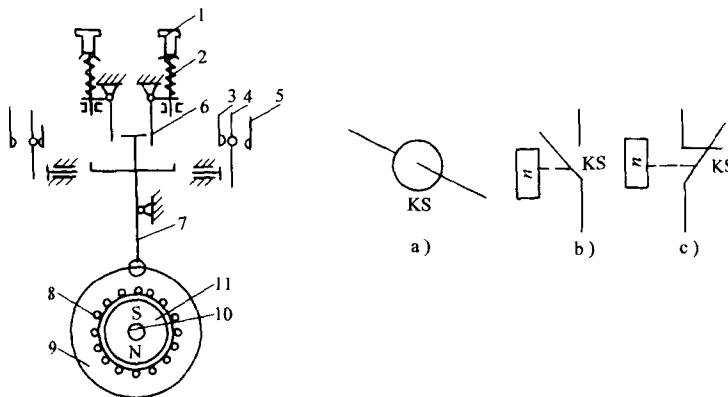


图 1-18 速度继电器的结构原理图及图形、文字符号

- 1—调节螺钉 2—反力弹簧 3—常闭触点 4—动触点 5—常开触点  
6—推杆 7—摆杆 8—笼型导条 9—定子 10—转轴 11—转子

## 小 结

1) 本章主要对常用低压电器的分类、结构、工作原理、型号、规格及应用，以低压电器为主线、控制电器为重点进行了较为详细的介绍，并介绍了相应的图形符号和文字符号，为正确选择和使用低压电器打下基础。

2) 低压电器的种类很多,原理各异,每种电器都有相应的技术参数,表明了它们的使用范围和技术要求,应根据被控电路或被保护电器的具体工作条件,以技术参数为依据,参照产品说明书和电工手册合理选用。

3) 为不断优化和改进控制电路,应及时了解电器的发展动向,采用先进产品。

## 习 题

- 1-1 刀开关和组合开关主要由哪几部分组成?安装使用时应注意什么?
- 1-2 接触器如何分类?主要结构由哪几部分组成?在电路中起什么作用?
- 1-3 接触器主触点在电路中产生过热的主要原因是什么?应如何排除?
- 1-4 交流接触器线圈断电后,衔铁不能立即释放,因此电动机不能立即停止,试分析这种故障的原因,应如何处理?
- 1-5 从结构特点上如何区分电压继电器和电流继电器?
- 1-6 中间继电器在结构上与电压继电器有什么不同?在电路中起什么作用?
- 1-7 说明空气阻尼式、直流电磁式、晶体管式时间继电器的工作原理以及如何调整延时时间?
- 1-8 分析熔断器和热继电器的工作原理及其在电路中的应用,判断它们能否互相替代?为什么?
- 1-9 熔断器的额定电流、熔体的额定电流、熔断器的极限分断电流有何不同?
- 1-10 断路器主要有哪几种脱扣机构?试述其功能。
- 1-11 三相交流接触器铁心上有无短路环?为什么?
- 1-12 画出时间继电器的线圈及触点的图形符号和文字符号,并说明其含义。
- 1-13 热继电器由哪几部分组成?各组成部分在电路中如何使用?

## 第二章 继电器—接触器基本控制电路

继电器-接触器式控制是应用最早的控制系統，它是由接触器、继电器、按钮、行程开关等组成的控制电路，来实现对电力拖动系统的启动、制动、反向和调速等控制，实现对电力拖动系统的保护和生产过程自动化。它因具有结构简单、工作可靠、维护方便、价格低廉等优点，所以获得广泛应用。由于各种生产机械的工藝过程不同，其控制电路也千差万别，但都遵循一定的原则和规律，都是由多个简单的基本环节组成。因此，掌握电气控制电路的基本环节，将对生产机械整个电气控制电路的原理分析及维修打下良好的基础。本章将介绍电气控制电路的一些主要基本环节。

### 第一节 电气控制系统图

电气控制系统中各电气元件及其连接关系的图称为电气控制系统图。常用的电气控制系统图包括电气原理图、电气安装图、电气接线图三类。

#### 一、电气控制系统图中的图形符号、文字符号

电气控制系统图由电动机、电气元件和控制电路等组成。为了便于分析控制系统的工作原理、安装、调试和检修，必须采用统一的图形符号和文字符号来表示。

##### 1. 图形符号

所有图形符号应符合 GB/T 4728.1~13—1996~2000《电气制图用图形符号》的规定。

##### 2. 文字符号

电气图中的文字符号应符合 GB/T 7159—1987《电气技术中的文字符号制订通则》。该标准规定的文字符号适用于电气技术领域技术文件的编制，也可在电气设备、装置和元器件上或其近旁，用以标明电气设备、装置和元器件的名称、功能、状态和特征。

#### 二、电气原理图

电气原理图是表示电路工作原理以及电气元件相互作用和关系的一种图，绘制电气原理图时一般应遵循以下原则：

1) 从电源到电动机（或大负载）间的电路称为主电路，主电路外的其它电路称为控制电路。一般主电路画在左侧，控制电路画在右侧。

2) 电路中，同一电器的各导电元件如线圈和触点通常分开画，但必须用同一文字标示。

3) 电路中的全部触点都按“常态”绘制。对接触器、继电器的触点按线圈未通电状态绘制；对按钮、行程开关的触点按不受外力作用时的状态绘制。

4) 主电路与电源电路垂直绘制。控制电路与信号电路垂直画在两条水平电源线之间。耗能元件（如电器线圈、电磁铁、信号灯等）直接与下方水平线连接，控制触点连接在上方水平线与耗能元件之间。

5) 电路图中各电器元件触点图形符号垂直放置时，以“左开右闭”绘制；当图形为水平放置时以“下开上闭”绘制。

6) 电路各接点标记：交流系统三相电源导线和中性线用 L1、L2、L3、N 标记。直流系统电源正、负极导线和中间线用 L<sub>+</sub>、L<sub>-</sub>、M 标记。保护接地线用 PE 标记。接地线用 E 标记。

6 个接线端子的三相电路，首端分别用 U<sub>1</sub>、V<sub>1</sub>、W<sub>1</sub> 标记；尾端分别用 U<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>、W<sub>2</sub> 标记；中间抽头用 U<sub>3</sub>、V<sub>3</sub>、W<sub>3</sub> 标记。

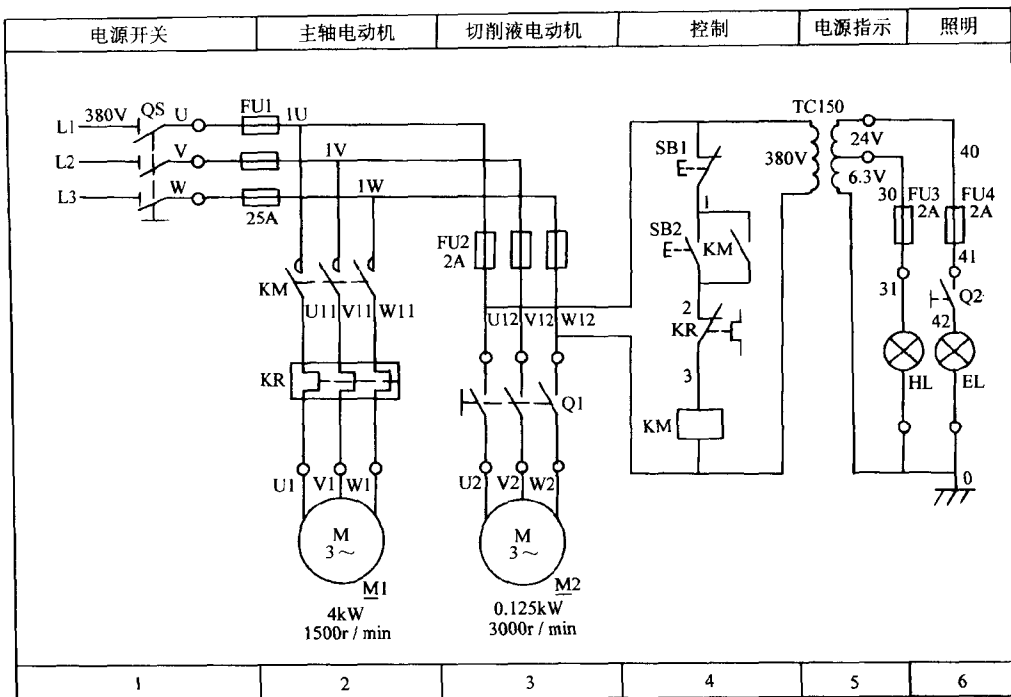


图 2-1 CW6132 型车床电路图

控制电路接线端采用阿拉伯数字编号，一般由三位或三位以下的数字组成。标记方法按“等电位”原则进行，在垂直绘制的电路中，标号顺序一般由上而下编号，凡是被线圈、绕组、触点或电阻、电容等元件所间隔的线段，都应标以不同的电路标号。图 2-1 为 CW6132 型车床控制电路图。

### 三、气安装图和接线图

电气安装图表示电气设备或元件在机械设备和电气控制柜中的安装位置。各电气元件的安装位置是由电气元件功能和机械设备工作要求所决定的。如电动机与被拖动的机械部件连在一起，行程开关应放在能取得信号的位置。图 2-2 为 CW6132 型车床电气安装位置图。

电气接线图表示各电气设备间实际接线关系。绘制接线图时应把各电气元件的各部分（如触点和线圈）画在一起；文字符号、元件连接关系、线路编号都必须与电气原理图一致。

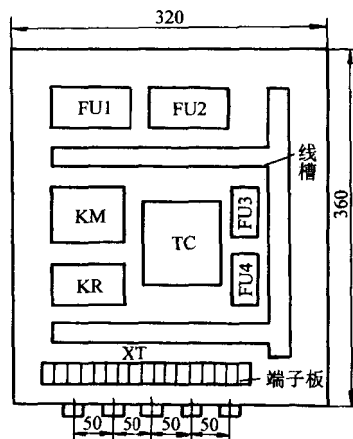


图 2-2 CW6132 型车床控制盘电气位置图

图 2-3 为 CW6132 车床电气接线图。

电气安装图和电气接线图是电气安装接线、检修和施工用图。

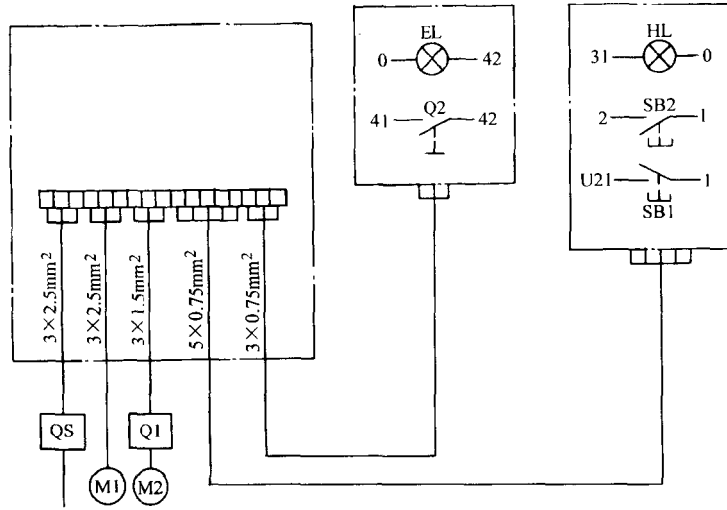


图 2-3 CW6132 型车床电气接线图

## 第二节 三相笼型异步电动机直接起动控制电路

电动机接通电源后，由静止状态逐渐加速到稳定运行状态的过程称为电动机的起动。电动机直接起动又称为全压起动。它是将额定电压直接加在电动机定子绕组上，使电动机旋转。这种起动方法的优点是所用电气设备少，线路简单；缺点是起动电流大，可达电动机额定电流的 4~7 倍。过大的起动电流会造成电网电压显著下降，直接影响在同一电网工作的其它电动机，甚至使它们停转或无法起动，故直接起动电动机的功率受到一定限制。

小功率电动机 (10kW 及其以下) 可以直接起动。

### 一、单向旋转控制电路

三相异步电动机单方向旋转可用开关或接触器控制，相应的有开关控制和接触器控制电路。

#### 1. 开关控制电路

图 2-4 为电动机单向旋转控制电路。采用开关控制的电路仅适用于不频繁起动的小功率电动机，它不能实现远距离控制和自动控制，也不能实现零压、欠压和过载保护。

#### 2. 接触器控制电路

图 2-5 为接触器控制电动机单向旋转的电路。图中 Q 为三相刀开关，FU1、FU2 为熔断器，KM 为接触器，KR 为热继电器，M 为笼型异步电动机，SB1 为停止按钮，SB2 为起动按钮。

其电路工作过程是：合上电源开关 Q，按下起动按钮 SB2，KM 线圈通电，常开主触点闭合，电动机起动运转；同时，与起动按钮并联的接触器常开触点也闭合，当松开 SB2 时 KM 线圈通过其本身常开辅助触点继续保持通电，从而保证了电动机连续运转。这种依靠接触器自身辅助触点保持线圈通电的电路，称为自锁或自保电路。辅助常开触点称为自锁触点。

当需电动机停止时，可按下停止按钮 SB1，KM 线圈断电，电动机停止运转。

图 2-5 中的 FU1、FU2 为分别实现主电路和控制电路的短路保护。KR 为电动机的长期过载保护，KM 自锁触点作为欠压或失压保护。欠压或失压保护是指当电源电压由于某种原因严重欠压或失压时，KM 电磁吸力急剧下降或消失，衔铁释放，其常开主触点和自锁触点断开，电动机 M 停转。而当电源电压恢复正常时，电动机 M 不会自行起动运转，避免人身或设备事故发生。

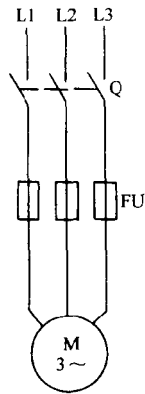


图 2-4 电动机单向旋转控制电路

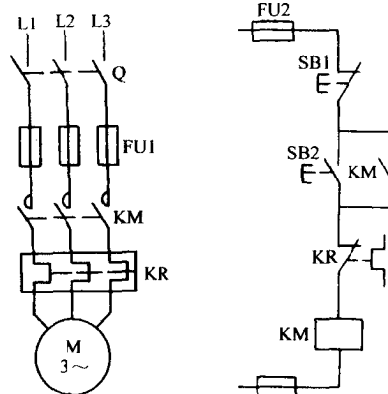


图 2-5 接触器控制单向旋转控制电路

## 二、点动控制

生产机械除需正常连续运转外，还需要作调整运动，这时就需要有“点动”控制。如把图 2-5 控制电路的自锁回路断开，即不接自锁触点，便成为单纯的点动控制电路，见图 2-6a。当电动机需点动时，先合上电源开关 Q，按下按钮 SB，KM 线圈通电，常开主触点闭合，电动机起动旋转；松开按钮 SB，KM 线圈断电，主触点断开，电动机停止运转。所以，点动控制电路的最大特点是取消了自锁触点。

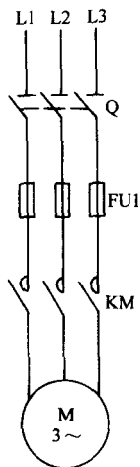


图 2-6b 为采用开关 SA 断开自锁回路的点动控制电路。该电路可实现连续运转和点动控制，由开关 SA 选择，当 SA 合上时为连续控制；SA 断开时为点动控制。

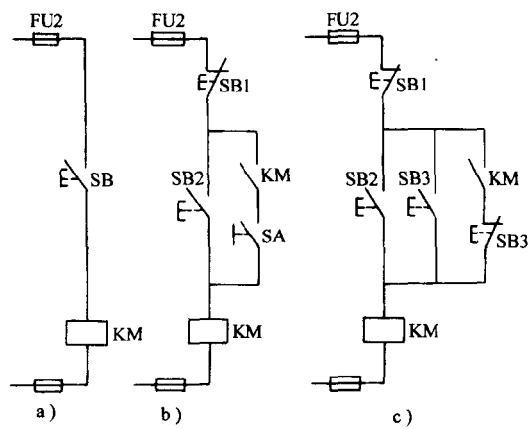


图 2-6 电动机的点动控制电路

图 2-6c 为用点动按钮常闭触点断开自锁回路的点动控制电路。SB2 为连续运转起动按钮，SB1 为连续运转停止按钮，SB3 为点动按钮。当按下 SB3 时，常闭触点先将自锁回路切断，随后常开触点才闭合，使 KM 线圈通电，常开主触点闭合，电动机起动旋转；当松开 SB3 时，常开触点先断开，KM 线圈断电，常开主触点断开，电动机停转，而后 SB3 常闭触点才闭合，但 KM 常开辅助触点已断开，KM 线圈无法通电，实现点动控制。

### 三、两地起停控制

在大型设备或机床中，为了操作方便，要求能在两地或多地点进行起停控制。如图 2-7 所示，把起动按钮并联起来，停止按钮串联起来，分别装在一个地方（SB11 和 SB12 组合，SB21 和 SB22 组合），就可实现两地起停控制。

### 四、顺序起停控制

对于多台电动机驱动的设备，由于电动机的功用不同，需要分先后起动顺序，如 Y3150E 型滚齿机床，液压泵电动机先起动，其次是主轴电动机起动，最后是冷却泵电动机起动。图 2-8 为液压泵电动机 M2 和主轴电动机 M1 的顺序起动控制电路。控制要求是 M1、M2 的顺序起动，M1、M2 的顺序停止。其工作过程：当电动机组起动时，合上电源开关 Q 先按下 SB2，KM2 线圈通电并自锁，M2 起动运行；再按下 SB4，KM1 线圈通电并自锁，M1 起动运行，且将 SB1 锁住。当电动机组停止时，先按下 SB3，KM1 线圈断电，M1 停转，由于与 SB1 并联的 KM1 自锁触点已复位，再按下 SB1 时，KM2 线圈断电，M2 停转。

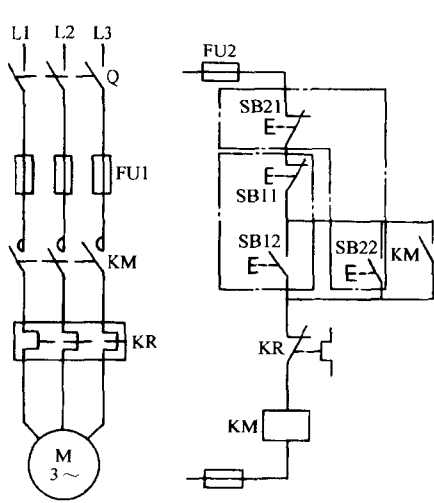


图 2-7 两地起停控制电路

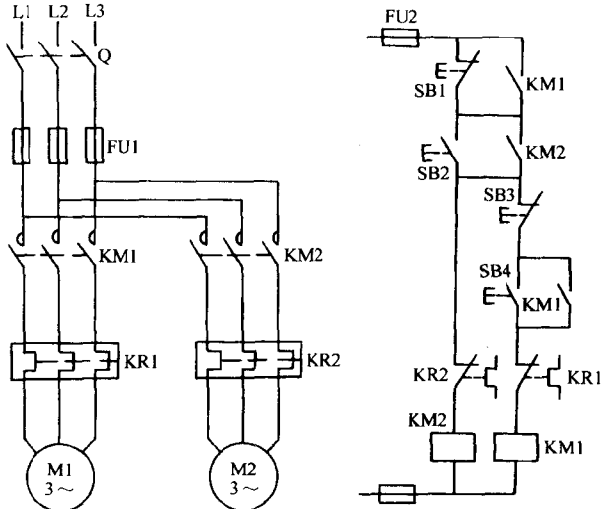


图 2-8 两台电动机顺序起动控制电路

### 五、可逆旋转控制电路

有的生产机械往往要求能实现正反两个方向的运动，如机床工作台的前进与后退，主轴旋转的正向与反向，这就要求电动机必须可以正反转。由电机原理可知，改变电动机三相电源的相序，就能改变电动机的转向。

#### 1. 手动按钮控制

图 2-9 为按钮控制电动机正反转控制电路。其中图 2-9a 为两组单相旋转控制电路组合而成，主电路由正反转接触器 KM1、KM2 的主触点来改变电源的相序，实现电动机的可逆旋转。但图 2-9a 若发生电动机已进行正转旋转后，又按下反转按钮 SB3 的误操作时，由于正反转接触器 KM1、KM2 线圈同时通电，其主触点闭合，将造成电源两相短路，电动机无法工作。为此，将 KM1、KM2 正反转接触器的常闭触点串接在对方线圈电路中，形成相互制约的控制，如图 2-9b 所示，从而避免发生电源短路的故障。这种利用接触器常闭辅助触点的制约控制，称为电气互锁。在这一电路中，欲使电动机由正转变反转或由反转变正转，都必须先按下 SB1 然后再进行正反转的起动控制。