

## 第 2 章 电气控制电路基础

随着科技的发展和机电设备的普及应用,社会生产生活对机电设备的依赖性越来越强,在生产中大都是通过控制电动机的工作状态来间接实现对生产机械的控制,这种控制方式称为电气控制。继电器-接触器是电气控制的基本形式之一,它是由各种有触头的按钮开关、继电器、接触器、行程开关等电气元件组成的控制系统,可实现对电力拖动系统的启动、矢量运转、制动、调速的控制,可实现对电力拖动系统的保护以及用于自动化生产加工,以满足生产和生活的需要。继电器-接触器控制系统具有价格低廉,线路设计简单,安装、调整、维护方便等优点,目前仍是简单机械设备最基本的电气控制形式,尤其在工矿企业各种生产机械的电气控制领域中有着广泛的应用。

各种生产机械的工艺流程不同,其控制电路也不同。无论简单的电气控制系统还是复杂的电气控制系统,都遵循一定的原则和规律,均是由基本的控制电路(环节)组合而成。熟练掌握电气控制线路的这些基本环节,对生产机械的电气控制系统的设计、分析及维修有着重要的意义。

本章将介绍电气控制电路的一些基本环节,重点介绍三相异步电动机的启动、运行、制动控制电路及电磁阀液压控制回路,为以后的典型机械设备控制电路的阅读分析及 PLC 部分的学习奠定基础。

### 2.1 电气控制系统

用统一的工程语言(工程图)来表达电气控制系统的组成和功能、电气设备的工作原理以及安装、连接和维护等信息,这种工程图就是电气工程图,简称为电气图。常用于机电设备的电气工程图有电气原理图、电气元件布置图和电气接线图三种。

#### 2.1.1 电气原理图

用电气图形符号和文字符号来表示电路及设备控制系统的基本组成和连接关系,而并不考虑元器件实际位置的简图即为电气原理图,又称为电路图。由于电气原理图详细描述了电气控制系统的工作原理,故而可作为测试和维修设备时的重要参考,同时也是编制电气接线图的重要依据。

绘制电气原理图时可以将一个元器件用同一文字符号分成几个部分绘于不同图纸的不同位置,淡化了元器件的实际位置,只注重表示各个元器件间的连接关系,因此绘制电气原理图时必须使用统一的文字和符号。

电气图中的图形符号由国家标准 GB 4728—2008《电气简图用图形符号》给出,绘制时可查阅相关手册。由于国家标准给出的图形符号举例有限,故实际使用中可通过已规定的

图形符号适当进行派生。电路图的绘制规则由国家标准 GB/T 6988.1—2008《电气技术用文件的编制》给出。

如图 2-1 所示为某型号车床的电路图,一般电路图绘制规则可简述为四点。

## 1. 电路图绘制

电路图在布局上应按功能分开画出,即按主电路、控制电路和辅助电路分开绘制,一般按因果关系从左到右或从上到下布置,尽可能按工作顺序排列。主电路包括从电源到电动机的电路,是设备的驱动电路;控制电路包括接触器和继电器的线圈、接触器的辅助触头、继电器和其他控制电器的触头等;辅助电路包括照明电路、保护电路、信号电路等。主电路、控制电路和辅助电路一起构成电气控制系统。工作时,控制电路发出指令,主电路完成由电源向用电器供电,辅助电路保障设备的正常运行。

电路图上的电路在布置时应采用水平和垂直两种方式,即水平布置时垂直给出电源线,水平方向给出其他电路,电路中的耗能元件绘在电路的最右端。垂直布置时水平给出电源线,垂直方向给出其他电路,电路中的耗能元件绘在电路的最下端。

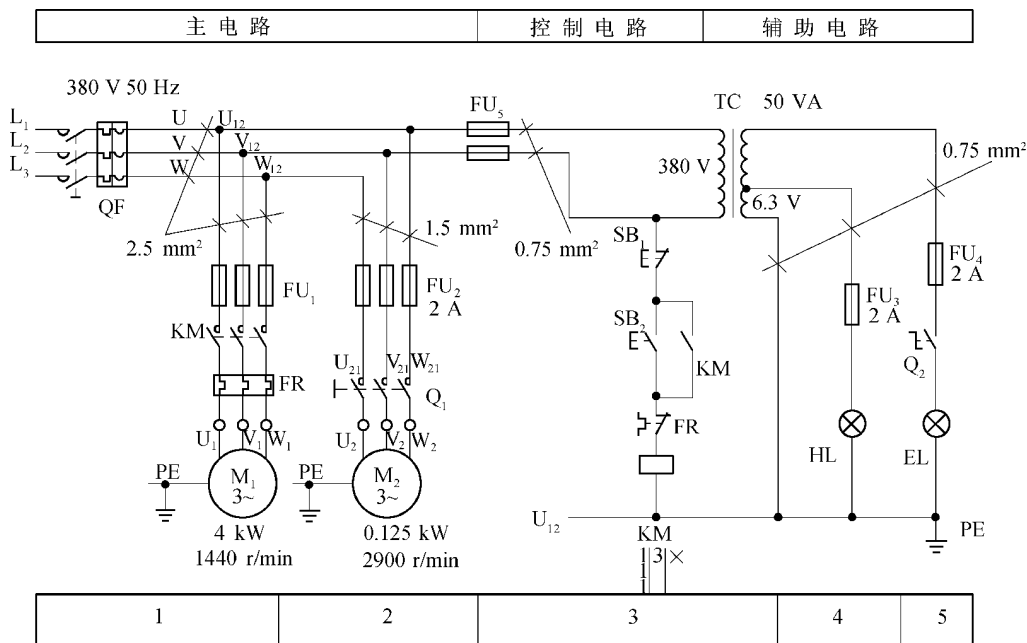


图 2-1 某型号车床的电路图

## 2. 元器件绘制、元器件状态

电路原理图中的所有元器件都不用画出实际外形图,而是采用国家标准规定的图形符号和文字符号表示。同一电器的各个部件可根据需要画在不同的地方,但必须用相同的文字符号标注,称为分散方式绘制;通过连接线段连接的方式,把一个电器的各个部件(如线圈、触头)图的关系表明,称为集中方式绘制。

电路中所有电气元件在绘制时都应遵循四点原则:

(1) 所有元器件应是未通电时的状态。二进制逻辑元件应是置零时的状态;机械开关应是未受压合状态;各类线圈应处在非激励状态;各类保护装置应处于设备正常工作时的状态,特别情况在图样上说明,图形表达不清时可用文字进一步说明。

(2) 某些元器件的特性(如电阻、电容的数值等)应在电路图中标注出来。

(3)一些不常用的元器件(如位置传感器、手动触头等)尽量少用,力求不用。确须使用时,应在适当的位置标出它的操作方式和功能。

(4)一些耗能元件(如线圈、电磁铁、信号灯等)应绘制在直接接地的电源线上,控制触头应连在另一电源线上。

### 3. 图区、触头位置索引

为了方便查阅、故障检测和维修,应将电气原理图分成若干图区,这也是工程图样中常采用的坐标建立方式。电路图通常沿着水平方向在图的上方进行划区,并标明该区电路的用途与作用,同时在图的下方按划区的方式用阿拉伯数字标明图区,如图2-1所示。

电气原理图中继电器、接触器等触头位置绘制时可采用附图的方式,附图可画在电路图中相应线圈的下方,也可画在电路图上的其他地方。绘制在相应线圈的下方时,只须标出触头的位置索引即可。如图2-2(a)所示为某一触头的位置索引,各类元器件的触头位置索引都可用图号、页次及区号的组合表示。绘制在附图上的触头表示方法如图2-2(b)所示,其中触头图形符号可省略不画。

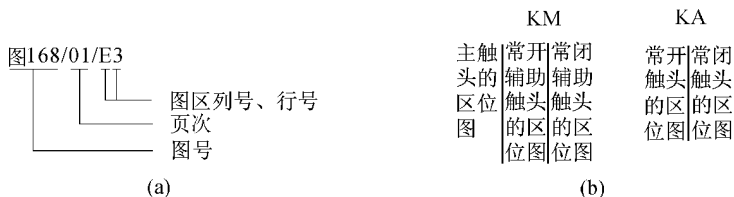


图2-2 区位图号含义及触头位置表示含义

### 4. 电路图中的文字符号、接线端子标记

电路图中的图形符号是表示了一类设备或元器件的共同符号,为了更明确地区分不同设备和元器件,尤其是区分同类设备或元器件中不同功能的设备或元器件,还必须在图形符号旁标注相应的文字符号。

对于电路图中各电器接线端子用的字母数字符号标记,国家标准 GB 4026—2004《设备端子和特定导体终端标识及字母数字系统的应用通则》中也有详细规范,绘制时应按规范操作。

#### 2.1.2 电气元件布置图

在电气元件布置图中详细绘制出了电气设备零件安装位置。图中各电器代号应与有关电路图和电器清单上的元器件代号相同,在图中往往留有相当比例的备用面积及导线管(槽)的位置,以供改进设计时的不足,图中不需标注尺寸。电器设备和元器件的布置应注意以下几个方面:

(1)体积大和较重的电器设备、元器件应安装在电器安装板的下方,而发热元器件应安装在上方。

(2)强电、弱电应分开,弱电要加以屏蔽,防止外界干扰。

(3)需要经常维护、检修、调整的电气元件的安装位置不宜过高或过低。

(4)电气元件的布置应考虑整齐、美观、对称。外形尺寸与结构类似的电器应安装在一起,以利于安装和配线。

(5)布置图根据设备的复杂程度可集中绘制在一张图纸上,控制柜和操作台的电气元件布置图也可以分别绘出。

如图 2-3 所示为某型号车床控制盘电气布置图,图中  $FU_1$  和  $FU_2$  均为熔断器,  $KM$  为接触器,  $QF$  为断路器,  $FR$  为热继电器,  $TC$  为照明变压器, 接线端子板为  $XT$ 。

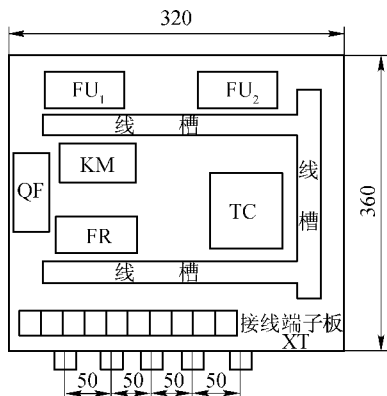


图 2-3 某型号车床控制盘电气布置图

### 2.1.3 电气接线图

电气接线图用来表明电气设备各单元之间的接线关系。它清楚地表明了电气设备外部元件的相对位置及它们之间的接线关系,是实际安装接线的依据,在具体施工和检修中能够起到电气原理图不可替代的作用,在生产现场得到了广泛应用。绘制电气接线图的原则为以下几点:

- (1) 各电气元件均按实际安装位置绘出,元件所占图面以统一比例绘制,尽可能符合电器的实际情况。
- (2) 一个元件中所有的带电部件均画在一起,并用点划线框起来,即集中表示法。
- (3) 各电气元件的图形符号和文字符号应与电气原理图保持一致。
- (4) 各电气元件上凡是需接线的部件端子都应绘出,且应与电气原理图上的导线编号相一致。
- (5) 绘制安装接线图时,走向相同的相邻导线可绘成一股。

如图 2-4 所示是与图 2-1 对应的电控箱外连部分的接线图。

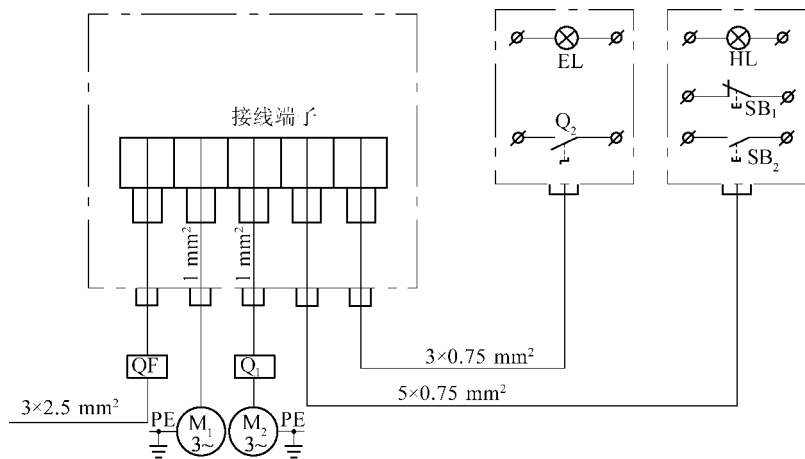


图 2-4 某车床电控箱外连部分的电气接线图

## 2.2 电路的逻辑关系

逻辑代数和通常的函数关系不同,逻辑代数变量的取值只有“0”和“1”两种,“0”和“1”分别代表两种对立的观念或状态,若赋予“0”为“真”,“1”即为“假”;若赋予“0”为“有”,“1”即为“无”;若赋予“0”为“高”,“1”即为“低”,反之亦然。在电气控制系统的线路中开关触头只有“断开”和“闭合”两种截然不同的状态;电路中的执行元件(如继电器、接触器、电磁阀的线圈)也只有“通电”和“断电”两种状态。因此,这种对应关系使得逻辑代数在 20 世纪 50 年代就被用来描述、设计和分析电气控制电路。随着科学技术的发展,现在逻辑代数已成为设计、分析电路的重要工具。

### 2.2.1 电气元件的逻辑表示

电气控制系统由开关量构成控制时,电路状态与逻辑函数之间存在着某种对应关系。为将电路状态用逻辑函数式的方式描述出来,通常对电器做一些规定。

用 $\overline{KA}$ 、 $\overline{SQ}$ 、 $\overline{KM}$ 等分别表示继电器、行程开关、接触器等电器的常闭(动断)触头;用 $KA$ 、 $SQ$ 、 $KM$ 等分别表示继电器、行程开关、接触器等电路的常开(动合)触头。

线圈通电时为“1”状态,断电时为“0”状态;触头闭合时,逻辑状态为“1”,断开时逻辑状态为“0”。

#### 1) 线圈状态

继电器的线圈处于通电状态: $KA=1$ 。

继电器的线圈处于断电状态: $KA=0$ 。

#### 2) 触头处于工作状态

继电器的常开触头处于闭合状态: $KA=1$ 。

继电器的常闭触头处于断开状态: $\overline{KA}=0$ 。

按钮的常开触头处于闭合状态: $SB=1$ 。

按钮的常闭触头处于断开状态: $\overline{SB}=0$ 。

#### 3) 触头处于非工作的原始状态

继电器的常开触头处于断开状态: $KA=0$ 。

继电器的常闭触头处于闭合状态: $\overline{KA}=1$ 。

按钮的常开触头处于断开状态: $SB=0$ 。

按钮的常闭触头处于闭合状态: $\overline{SB}=1$ 。

### 2.2.2 电路状态的逻辑表示

电路中触头的串联关系可以用逻辑乘( $\cdot$ )即逻辑“与”的关系表达;触头的并联关系可用逻辑加( $+$ )即逻辑“或”的关系表达。如图 2-5(a)所示为启动控制电路中接触器线圈  $KM$  的启动控制电路,其逻辑函数式可写为

$$f(KM) = \overline{SB_1} \cdot (SB_2 + KM)$$

### 2.2.3 电路简化的逻辑法

用逻辑函数表达的电路可用逻辑代数的基本定律和运算法则进行化简。如图 2-5(b) 所示的逻辑式为

$$f(KM) = KA_1 \cdot KA_2 + \overline{KA_1} \cdot KA_3 + KA_2 \cdot KA_3$$

对其进行化简为

$$\begin{aligned} f(KM) &= KA_1 \cdot KA_2 + \overline{KA_1} \cdot KA_3 + KA_2 \cdot KA_3 \\ &= KA_1 \cdot KA_2 + \overline{KA_1} \cdot KA_3 + KA_2 \cdot KA_3 \cdot (KA_1 + \overline{KA_1}) \\ &= KA_1 \cdot KA_2 + \overline{KA_1} \cdot KA_3 + KA_2 \cdot KA_3 \cdot KA_1 + KA_2 \cdot KA_3 \cdot \overline{KA_1} \\ &= KA_1 \cdot KA_2 \cdot (1 + KA_3) + \overline{KA_1} \cdot KA_3 \cdot (1 + KA_2) \\ &= KA_1 \cdot KA_2 + \overline{KA_1} \cdot KA_3 \end{aligned}$$

因此,图 2-5(b)经化简后得如图 2-5(c)所示图形,即两图电路在功能上是等效的。

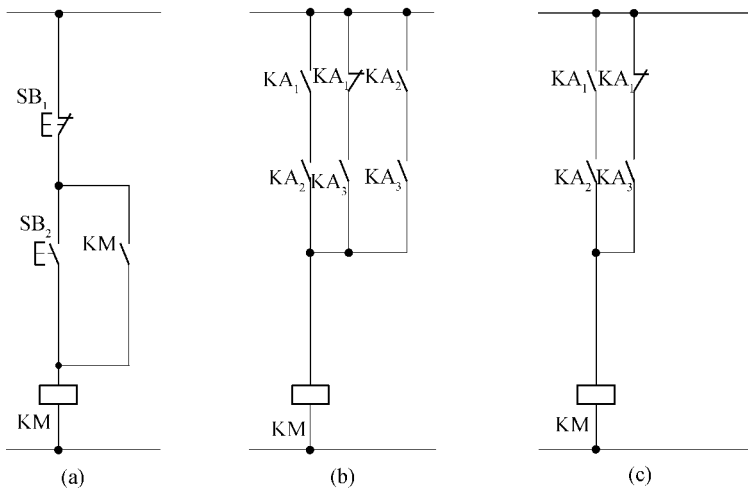


图 2-5 几个简单电路

## 2.3 三相异步电动机的启动控制

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启动。三相异步电动机具有结构简单、价格低廉、坚固耐用、维修方便等优点,获得了广泛的应用。在生产实际中,三相笼型异步电动机在电力拖动设备中占有相当的数量。三相笼型异步电动机的启动控制有全压启动(又称为直接启动)与降压启动两种方式。本节介绍电气控制电路如何满足各种启动的要求。

### 2.3.1 三相异步电动机的长动与点动控制

生产设备在正常的工作过程中,电动机长时间持续工作,这种处于长期工作的状态称为

“长动”,如图 2-6 所示为接触器控制的电动机单向运转电路。合上电源开关 QS,引入三相电源。按下启动按钮  $SB_2$ ,KM 线圈通电,其常开主触头闭合,电动机 M 接通电源启动。同时,与启动按钮并联的 KM 常开辅助触头也闭合。当松开  $SB_2$  时,KM 线圈通过其自身常开辅助触头的自锁功能,继续保持通电状态,从而保证了电动机连续运转。当需要电动机停止运转时,可按下停止按钮  $SB_1$ ,切断 KM 线圈电源回路,KM 常开主触头与常开辅助触头均断开,切断电动机电源和控制电路,电动机停止运转。

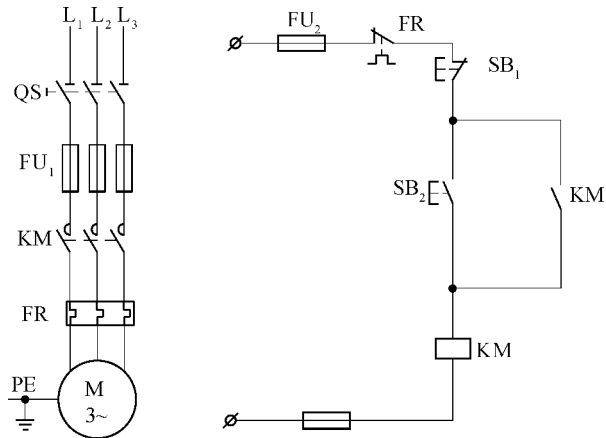


图 2-6 接触器控制的电动机单向运转电路

在电动机启、停过程中,KM 的线圈通电时其常开辅助触头闭合,而常开辅助触头闭合又维持其线圈通电,这种依靠接触器自身辅助触头保持线圈通电的现象称为“自锁”或“自保持”。

在实际工作中,除要求电动机长期运转外,有时还需短时或瞬时工作,这种状态称为点动。例如,机床在作加工准备时的对刀,这一工作状态对电动机的控制要求是一点一点地移动,这种被称为“点车”的动作即为点动。

如图 2-7 所示为电动机点动与连续运转控制的几种典型电路。其中如图 2-7(a)所示为主电路,如图 2-7(b)所示为基本点动控制电路,如图 2-7(c)、(d)所示分别为开关选择运行状态的电路和两个按钮控制的电路。

(1)图 2-7(b)中按下  $SB_0$ ,接触器 KM 线圈通电,其常开主触头闭合,电动机启动运转;松开  $SB_0$ ,接触器 KM 线圈断电,其常开主触头断开,电动机停止运转。

(2)图 2-7(c)为采用开关 SA 选择运行状态的点动控制电路。电动机需点动时,按下按钮  $SB_1$ ,线圈 KM 得电,KM 主触头闭合,此时不能构成自锁,可实现点动功能。电动机需长期工作时,合上开关 SA,按下按钮  $SB_1$ ,线圈 KM 得电,此时其常开辅助触头闭合,即形成自锁,因此可实现电动机的长期工作。

(3)图 2-7(d)为用点动控制按钮常闭触头,断开自锁回路的点动控制电路。控制电路中增加了一个复合按钮  $SB_2$  来实现点动控制。 $SB_0$  为停止按钮, $SB_1$  为连续运转启动按钮, $SB_2$  为点动控制按钮。当需要点动控制,按下  $SB_2$  时,其常闭触头先将自锁回路切断,然后常开触头才接通接触器 KM 线圈使其通电,KM 常开主触头闭合,电动机启动运转;当松开  $SB_2$  时,其常开触头先断开,接触器 KM 线圈断电,KM 常开主触头断开,电动机停转,然后  $SB_2$  常闭触头才闭合,但此时 KM 常开辅助触头已断开,KM 线圈无法保持通电,即可实现点动控制。

点动控制电路没有自锁,主要用于机床刀架、横梁、立柱等的快速移动及对刀调整等。

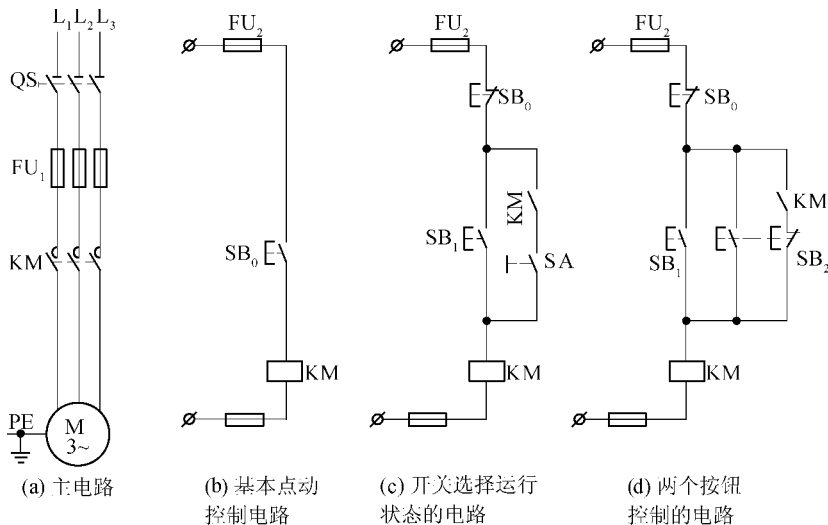


图 2-7 电动机点动与连续运转控制的几种典型电路

### 2.3.2 三相异步电动机的全压启动

全压启动即直接启动,是一种简单、可靠且经济的启动方式,但三相笼型异步电动机的全压启动电流  $I_{st}$  是其额定电流  $I_N$  的 4~7 倍,过大的启动电流  $I_{st}$  会造成电网电压显著下降,直接影响在同一电网工作的其他用电器,而且电动机频繁启动会严重发热,加速线圈老化,缩短电动机的寿命。因此当三相异步电动机的参数满足下式时,可以采用全压启动,否则必须采用降压启动:

$$\frac{I_{st}}{I_N} \leq 0.75 + \frac{S_S}{4P_N}$$

式中,  $I_{st}$  为电动机启动电流,单位为 A;  $I_N$  为电动机额定电流,单位为 A;  $S_S$  为电源容量,单位为 kVA;  $P_N$  为电动机额定功率,单位为 kW。

全压启动的方式有刀开关直接启动和接触器直接启动两种。对小型冷却泵、台钻、砂轮机、风扇等,可用胶壳闸刀开关、铁壳开关、按钮、接触器等电器直接启动或停止;对中小型普通机床的主轴电动机通常采用接触器直接启动或停止。

电机全压启动的控制电路可参考图 2-6 和图 2-7 所示,其电路工作在前边已作详细分析,在此不再赘述,此类控制电路的重点在于自锁控制和各种保护环节的作用。

### 2.3.3 三相异步电动机的降压启动

三相笼型电动机容量较大时,一般应采用降压启动,有时为了减小和限制启动时对机械设备、电网的冲击,即使允许直接启动的电动机,也往往采用降压启动。

降压启动是指启动时在不改变电源电压的情况下,利用启动设备或线路,降低加在电动机定子绕组上的启动电压,以达到降低启动电流的目的,使电动机在较小电流下启动,当电动机启动到接近额定转速时,为使电动机能带动额定负载,再将加在电动机定子绕组上的电压恢复到额定值。虽然降压启动可以减小启动电流,减小电路压降,减小启动时对电路的影响,但由于启动力矩与每相定子绕组上所加电压的平方成正比,故降压启动也减小了电动机





Y-Δ 降压启动适用于在正常工作时三相定子绕组接成三角形(Δ形)的三相笼型异步电动机。

Y-Δ 降压启动控制电路如图 2-9 所示。

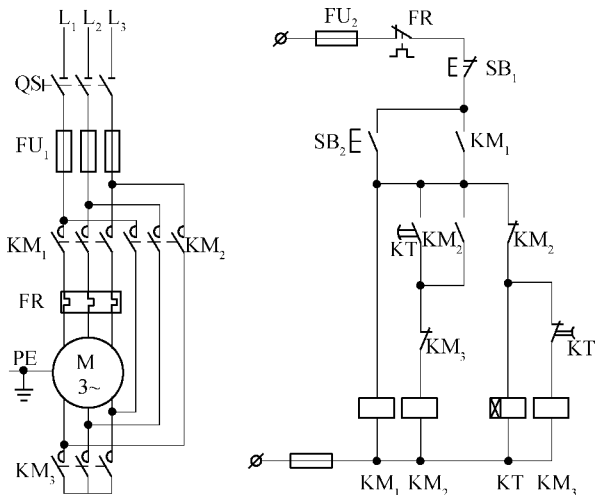
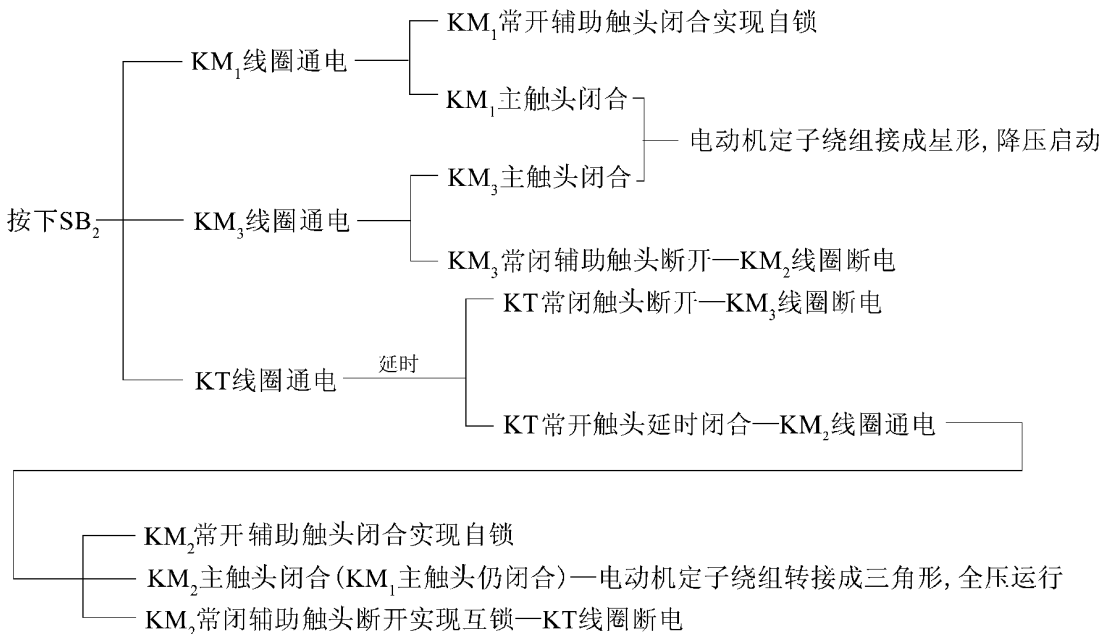


图 2-9 Y-Δ 降压启动控制电路

电路工作过程如下：



Y-Δ 降压启动,除用接触器控制外,还可用专用的 Y-Δ 启动器,其特点是价格便宜、体积小、重量轻、不易损坏、维修方便等。如表 2-1 所示为 QX4 系列自动 Y-Δ 启动器技术数据。

Y-Δ 降压启动虽然是一种应用十分广泛的启动方式,但由于启动转矩小,启动电压不能按实际需要调节,故适用于空载或轻载启动的场合,而且只适用于正常运行时定子绕组接成三角形(Δ)的三相异步电动机。

表 2-1 QX4 系列自动 Y- $\Delta$  启动器技术数据

设备型号	额定电流/A	热继电器额定电流/A	时间继电器整定值/s	控制电动机功率/kW
QX4-17	26	15	11	13
	33	19	13	17
QX4-30	42.5	25	15	22
	58	34	17	38
QX4-55	77	45	20	40
	105	61	24	55
QX4-75	142	85	30	75
QX4-125	260	100~160	14~60	125

### 3. 自耦变压器降压启动

在自耦变压器降压启动的控制电路中,电动机启动电流的限制是依靠自耦变压器的降压作用来实现的。它将自耦变压器的主线圈接在电网上,在启动时将电动机定子绕组接在自耦变压器次级线圈上。因此,在启动时电动机定子绕组得到的电压是自耦变压器的次级侧电压,待电动机转速接近额定转速时,切断自耦变压器电路,把额定电压直接加在电动机的定子绕组上,此时电动机进入全压正常运行状态。

自耦变压器降压启动,适用于电动机正常运转时定子绕组接成 Y 形,而不能采用 Y- $\Delta$  降压启动方式的三相笼型异步电动机。自耦变压器绕组一般情况具有多个抽头,与 Y- $\Delta$  降压启动相比,其启动电压、启动转矩可以通过抽头调节,具有调整灵活的优点。通常自耦变压器降压启动与 Y- $\Delta$  降压启动相比,获得的启动转矩要大得多,因此自耦变压器又称为启动补偿器,是三相笼型异步电动机最常用的一种降压启动装置。但是该启动设备费用高,通常用于启动大型或有特殊用途的电动机。

自耦变压器降压启动分手动控制和自动控制两种形式。一般工厂多采用成品补偿降压启动器,通常手动控制的补偿器有 QJ3、QJ5 等型号,自动控制的补偿器有 XJ01 型等。如表 2-2 所示为 XJ01 系列部分自耦变压器降压启动器技术数据。

表 2-2 XJ01 系列部分自耦变压器降压启动器技术数据

型 号	最大工作电流/A	自耦变压器 功率/kW	热继电器整定 电流/A	电流互感器变比	控制电动机 功率/kW
XJ01-14	28	14	32	—	14
XJ01-20	40	20	40	—	20
XJ01-28	58	28	63	—	28
XJ01-40	77	40	85	—	40
XJ01-55	110	55	120	—	55
XJ01-75	142	75	142	—	75
XJ01-80	152	115	2.8	300/5	80
XJ01-95	180	115	3.2	300/5	95
XJ01-100	190	115	3.5	300/5	100

自耦变压器降压启动控制电路如图 2-10 所示,其中指示灯电路略。

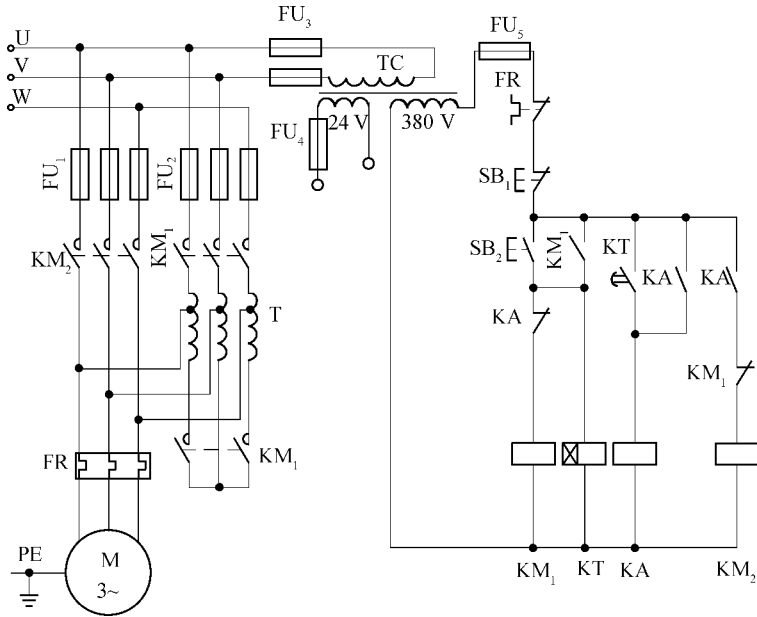
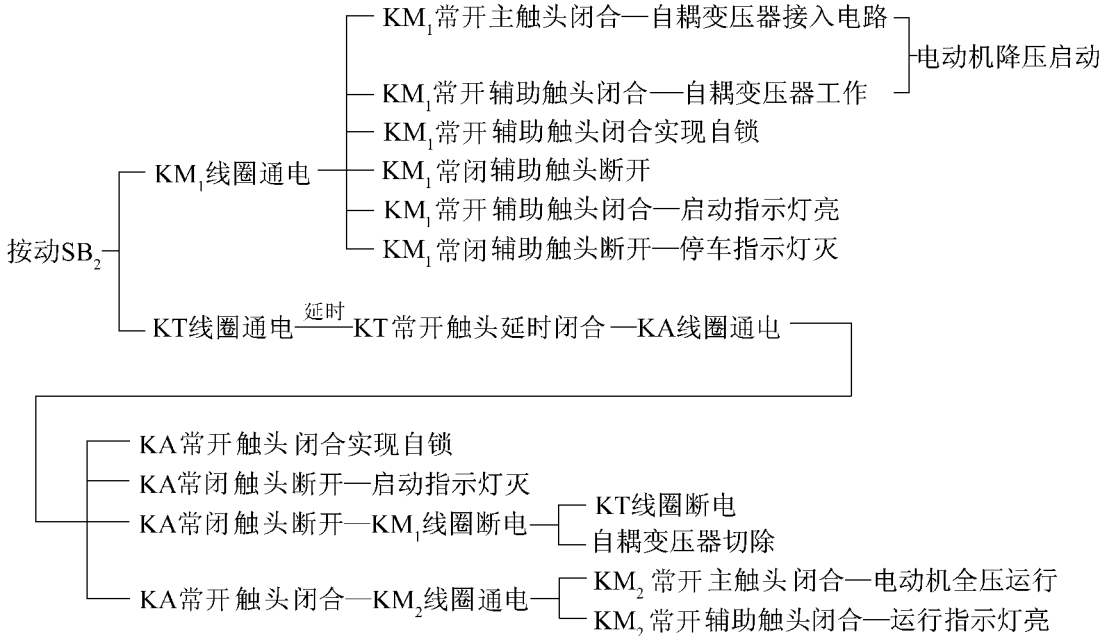


图 2-10 自耦变压器降压启动控制电路

电路工作过程中,电路中的指示灯指示启动过程,电路工作过程如下:



## 2.4 三相异步电动机的运行控制

在实际工程中,电动机的工况千差万别,有时要求能够异地控制,有时涉及多台电动机的启停,有时需要在两个相反方向上都能作业等,这对电动机的控制电路提出了更高的要求。本节介绍几种常见的控制电路。

### 2.4.1 异地控制

对于有些大型机械和生产设备,为了操作方便,常常要求在两个或两个以上的地点都能进行操作。例如,重型龙门刨床有时在固定的操作台上控制,有时需要站在机床的四周利用悬挂按钮进行控制,即异地控制。这种情况只需把启动按钮并联起来,把停止按钮串联起来,分别装在多个地方,即可实现异地操作,如图 2-11 所示。

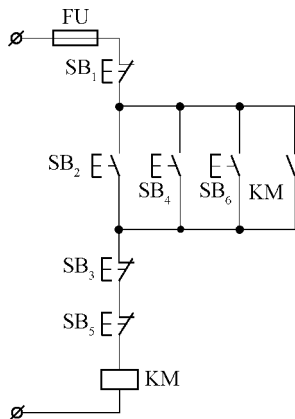


图 2-11 异地控制电路

从电路工作状态中分析可以得出以下结论:若几个电器都能控制某接触器通电,则这几个电器的常开触头应并联,接到该接触器的线圈控制电路中,即形成逻辑“或”关系;若几个电器都能控制某接触器断电,则这几个电器的常闭触头应串联,接到该接触器的线圈控制电路上,形成逻辑“与非”的关系。

### 2.4.2 多台电动机顺序控制

在自动化生产中,根据加工工艺的要求,加工需按一定的程序进行,即工步要依次转换,一个工步完成后,自动转换到下一个工步。例如,一些带有液压系统的机床,通常是先启动液压泵电动机,然后再启动其他电动机。再如,在某些机床上加工工件,通常先要启动主轴的电动机,然后再启动进给电动机。这些在启动时表现出来的顺序关系反映在控制电路上,即为顺序控制,常用继电器顺序控制电路来完成这类任务。

如图 2-12 和图 2-13 所示分别为两台电动机顺序控制电路和时间继电器控制的顺序启动电路。如图 2-12(b)所示为两台电动机顺序启动、同时停止的控制电路。此电路中电动机  $M_2$  的控制电路接在了接触器  $KM_1$  的常开辅助触头之后,只有  $KM_1$  线圈通电后,才能使  $KM_2$  线圈存在通电的可能,这样就保证了只有在电动机  $M_1$  启动后,电动机  $M_2$  才能启动,从而实现顺

序启动。当按下  $SB_1$  或因过载等原因使接触器  $KM_1$  线圈断电,其串接在  $KM_2$  线圈控制电路中的常开辅助触头断开,即  $KM_1$  和  $KM_2$  线圈同时断电,这样就实现了  $M_1$  和  $M_2$  的同时停止。

如图 2-12(c)所示为两台电动机顺序启动、逆序停止的控制电路。此控制电路停止时,必须先按下  $SB_3$  按钮,切断  $KM_2$  线圈的供电,电动机  $M_2$  停止运转;其并联在按钮  $SB_1$  下的常开辅助触头  $KM_2$  断开,此时再按下  $SB_1$ ,才能使  $KM_1$  线圈断电,电动机  $M_1$  停止运转。

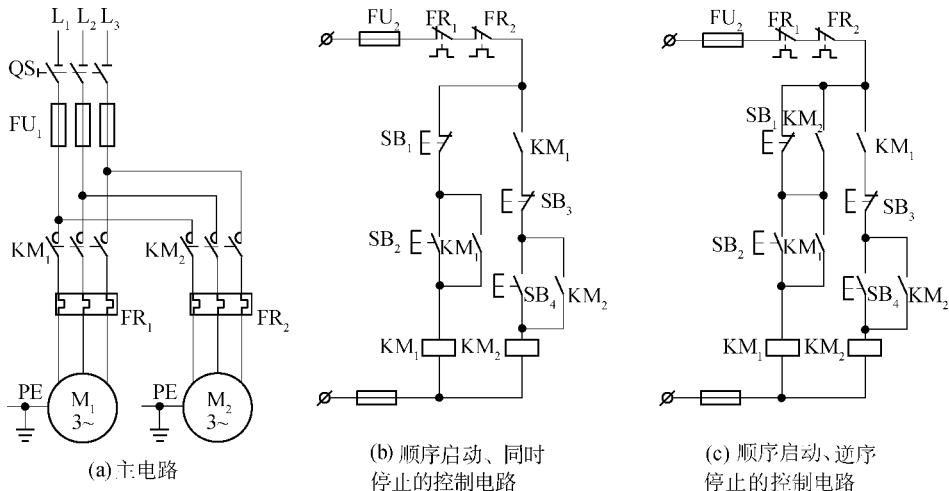


图 2-12 两台电动机顺序控制电路

图 2-13 中的电路是利用时间继电器  $KT$  自动控制  $KM_2$  线圈的通电和断电来实现电动机的顺序启动。当按下  $SB_2$  时,  $KM_1$  线圈通电,电动机  $M_1$  启动,同时  $KT$  线圈通电,延时开始。经过设定的时间后,串接入接触器  $KM_2$  控制电路中的  $KT$  常开触头闭合,  $KM_2$  线圈通电,电动机  $M_2$  启动。

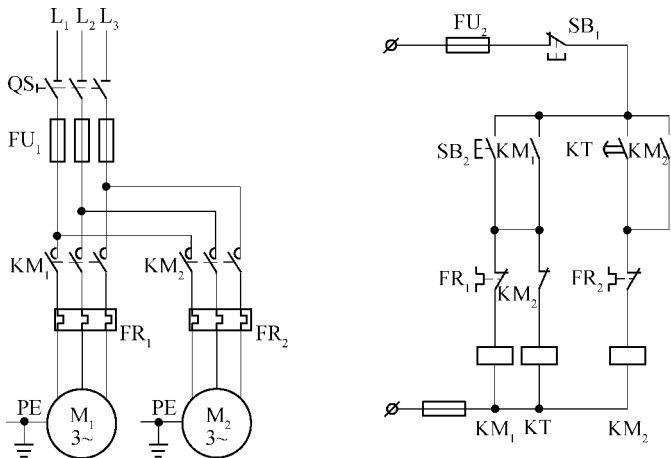


图 2-13 时间继电器控制的顺序启动电路

通过上述分析可知,要实现顺序控制,应将先通电器元件的常开触头串接在后通电器元件的线圈控制电路中,将先断电器元件的常开触头并联到后断电器元件的线圈控制电路中的停止按钮(或其他断电触头)上,具体方法有接触器和继电器触头的电气互锁、复合按钮互锁、行程开关互锁等。

### 2.4.3 电动机的正、反转控制

实际生产中的机械设备,常常要求具有上、下,左、右,前、后等两个相反的运动方向,例如,车床主轴的正向和反向运转;龙门刨床工作台的前进和后退;起重机吊钩的上升和下降等,这些相反方向的运动可通过控制拖动它们的电动机的正、反转来实现。对于三相交流电动机,只要改变电动机电源的相序,其旋转方向即可改变。因此,可借助正、反向接触器改变定子绕组相序的方法来实现对电动机正、反转的控制。

#### 1. 按钮控制的电动机正、反转控制电路

如图 2-14 所示为用按钮控制的电动机正、反转控制电路,主电路中采用正转接触器  $KM_1$  和反转接触器  $KM_2$  构成正、反转相序的接线,当接触器  $KM_1$  的主触头闭合时,电动机 M 正转;当接触器  $KM_2$  的主触头闭合时,电动机 M 反转。

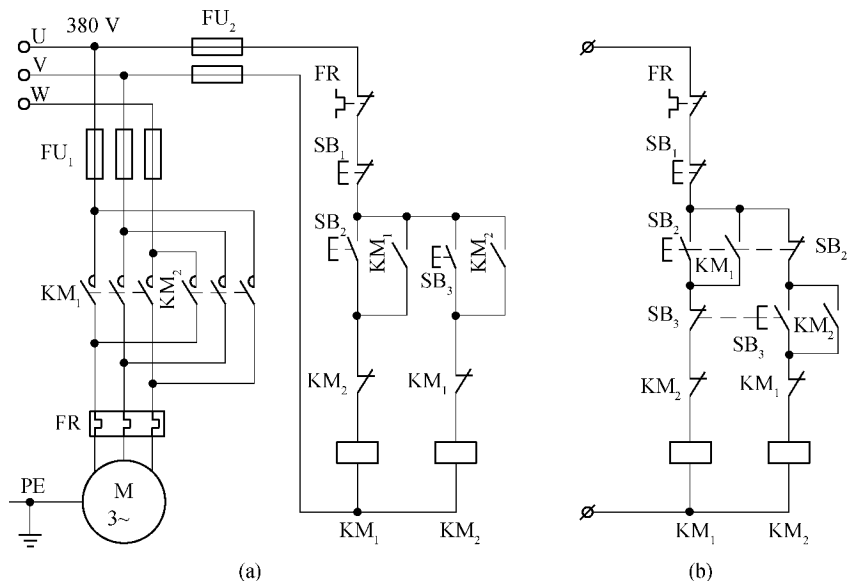


图 2-14 电动机正、反转控制电路

如图 2-14(a)所示的电路中, $SB_1$  为停止按钮, $SB_2$  为正向启动按钮, $SB_3$  为反向启动按钮。当按下  $SB_2$  时, $KM_1$  线圈得电自锁,其主触头闭合  $KM_1$  常闭辅助触头断开,使  $KM_2$  线圈无法通电,电动机 M 正转;当按下  $SB_1$  时,电动机 M 停止转动;若接着按下  $SB_3$ ,反向接触器  $KM_2$  线圈通电自锁,其主触头闭合,此时电动机 M 接入的是和原相序方向相反的电源,因此电动机 M 反转。由工作过程可见,在正转运行时,如果想反转,必须先停车,否则不能反转,因此该电路又称为“正—停—反”控制电路。这种电路的缺点是操作不方便。

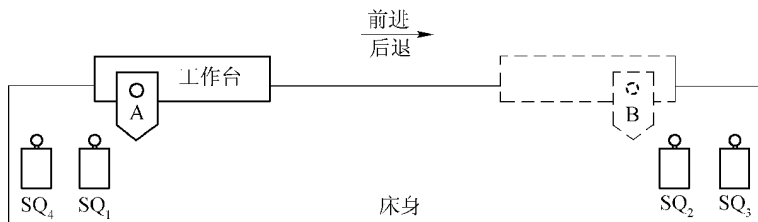
由电路图的分析可知,当  $KM_1$  与  $KM_2$  同时通电动作时,电源将被短路,这种情况是绝不允许发生的,即在任何时候,只能允许一个接触器通电动作。为了实现这一控制要求,可将  $KM_1$  与  $KM_2$  的常闭辅助触头分别串接在对方线圈的工作电路中,这样可以构成互相制约的关系,即当  $KM_1$  通电时,利用其串联在  $KM_2$  线圈电路中的常闭辅助触头的工作状态(断开)来锁定  $KM_2$  线圈电路,反之亦然,以保证电路中只有一个线圈得电工作,从而保证了电路的安全。

对于要求频繁实现可逆运行的情况,可采用图 2-14(b)的控制电路。它采用了复合按钮  $SB_2$  和  $SB_3$  来直接实现电动机正转与反转之间的切换,因为复合按钮的动作特点是先断后合,因此在需要改变电动机运动方向时,就不必再按  $SB_1$  停止按钮,从而解决了操作不便的问题。复合按钮的这种互锁功能也称为“机械互锁”。这种既有“电气互锁”又有“机械互锁”的控制系统更能保证电路可靠地工作,被机床电气控制系统普遍采用。

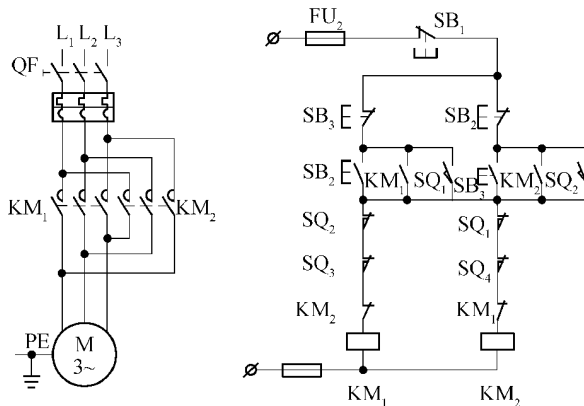
## 2. 自动往复循环控制电路

某些自动化设备如机床的工作台、高炉加料设备等均需要自动往复运行,而自动往复的可逆运行,实质上是利用行程开关来检测往复运动的相对位置,进而控制电动机的正、反转来实现生产机械的往复运动的。

自动往复循环运动示意图及控制电路如图 2-15 所示。



(a) 机床工作台自动往复运动示意图



(b) 自动往复循环控制电路

图 2-15 自动往复循环运动示意图及控制电路

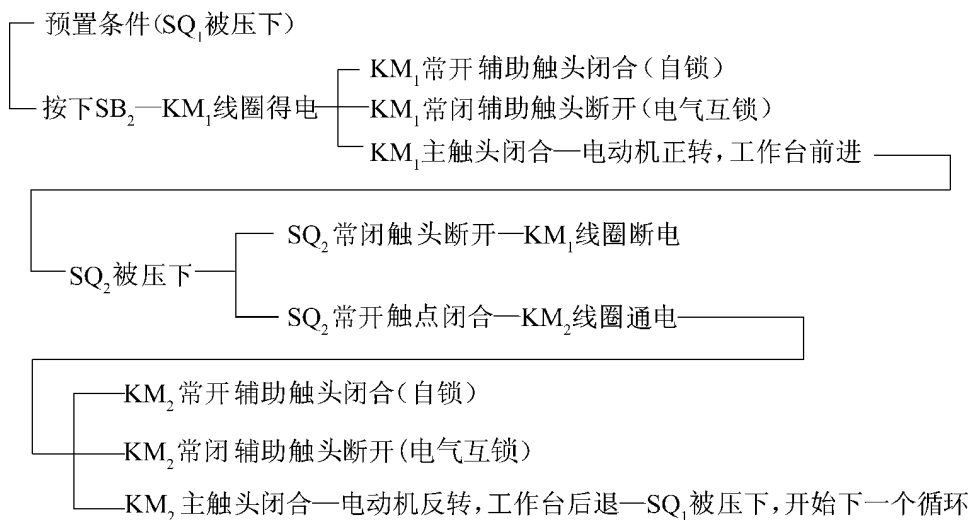
如图 2-15(a)所示,行程开关  $SQ_1$  和  $SQ_2$  分别固定安装在机床床身的合适部位上,撞块 A、B 则分别固定在工作台上,随着运动部件的移动,能分别压动行程开关  $SQ_1$  和  $SQ_2$ ,使其触头动作,改变控制电路的通断状态,使电动机实现可逆运行,完成运动部件的自动往复运动。

如图 2-15(b)所示, $SB_1$  为停止按钮, $SQ_1$  和  $SQ_2$  分别使用复合式触头,用来发出“到位并返回”信号,实现自动往复控制; $SQ_3$  和  $SQ_4$  使用常闭触头,安装在工作台往复运动的极限位置处,起限位保护作用。当工作台超程或行程开关  $SQ_1$  和  $SQ_2$  失灵时,由极限保护行程开关  $SQ_3$  和  $SQ_4$  实现保护,切断接触器线圈控制电路,避免运动部件因超出极限位置而发生事故。

利用行程开关对机械设备的运动部件的行程位置进行控制的方法称为行程控制。它既是机械设备自动化和生产过程自动化中应用最广泛的控制方法之一,又是自动设备必要的保护手段。



自动往复循环控制电路的工作过程如下：



## 2.4.4 双速异步电动机的控制

实际生产中,为满足机械设备生产过程的需要,对机械设备常有多种速度输出要求。比如,金属切削机床在加工零件时,主轴的转速要随着工件和刀具的材料、工件的形状、加工工艺的要求以及走刀量大小等不同参数的变化而发生变化,以保证零件加工质量。近年来,尽管电气控制技术有了高速的发展,使交流电动机的调速得到了广泛应用,但由于其控制电路复杂、造价高且维修困难,在普通中小型设备中的应用仍然较少。为使生产机械获得更大的调速范围,除采用机械变速外,还可采用电气控制方法来实现电动机的多速运行。以电动机作为原动力的生产机械,当设备的结构尺寸受到限制或要求速度连续可调时,常采用电气调速控制。在实际中,应用较多的是双速异步电动机。

### 1. 双速异步电动机的变速原理

由三相异步电动机的转速公式  $n=60f(1-s)/p$  可知,三相异步电动机的电气调速可通过改变磁极对数  $p$ 、改变转差率  $s$  和改变电源频率  $f$  三种方式来实现电动机的转速变化。下面重点介绍适用于双速异步电动机改变磁极对数的调速方法。

与普通电动机相比,双速异步电动机定子线圈由一套绕组组成,通过改变定子绕组的连接可得到两种不同的磁极对数,使电动机具有高、低两种不同的速度。双速异步电动机有两种改变磁极对数的方法:一种是改变定子绕组,设置具有不同磁极对数的两套互相独立的线圈绕组;一种是改变定子绕组的连接方法,即改变定子绕组中电流流动的方向,形成不同的磁极对数。也可两种方法同时采用,这时电动机将有多组磁极对数的速度输出,这便是调速器的原理。

如图 2-16 所示为双速异步电动机三相绕组接线图,如图 2-16(a)所示为三角形(低速、四极)与双星形(高速、二极)接法;如图 2-16(b)所示为单星形(低速、四极)与双星形(高速、二极)接法。这两种接线方式的变换可使磁极对数减少一半,使其定子同步转速增高一倍,从而使转子输出转速增加一倍。

电动机定子绕组接线由三角形(低速、四极)改为双星形(高速、二极)时,属于恒功率调速,由单星形(低速、四极)改为双星形(高速、二极)时,属于恒转矩调速。使用时,应根据具

体情况选用不同的改接方法,如三角形-双星形切换适用于拖动恒功率性质负载,如车床、铣床、镗床等主轴的调速;单星形-双星形切换适用于拖动恒转矩性质负载。

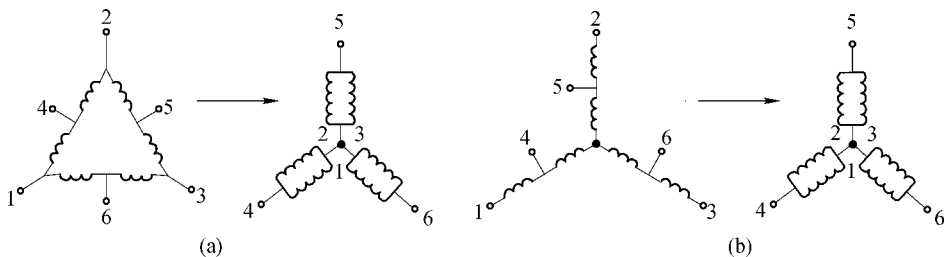


图 2-16 双速异步电动机三相绕组接线图

## 2. 双速异步电动机的控制电路

如图 2-17 所示为三种双速异步电动机三角形-双星形切换控制电路图。主电路中,  $KM_1$  为控制低速的电动机三角形联结的接触器,  $KM_2$ 、 $KM_3$  为控制高速的电动机双星形联结的接触器。

如图 2-17(a)所示是用复合按钮  $SB_2$  和  $SB_3$  来实现高低速控制的。运行中若要变速,直接按复合按钮  $SB_2$  或  $SB_3$  即可实现由高速变低速或由低速变高速的运行。

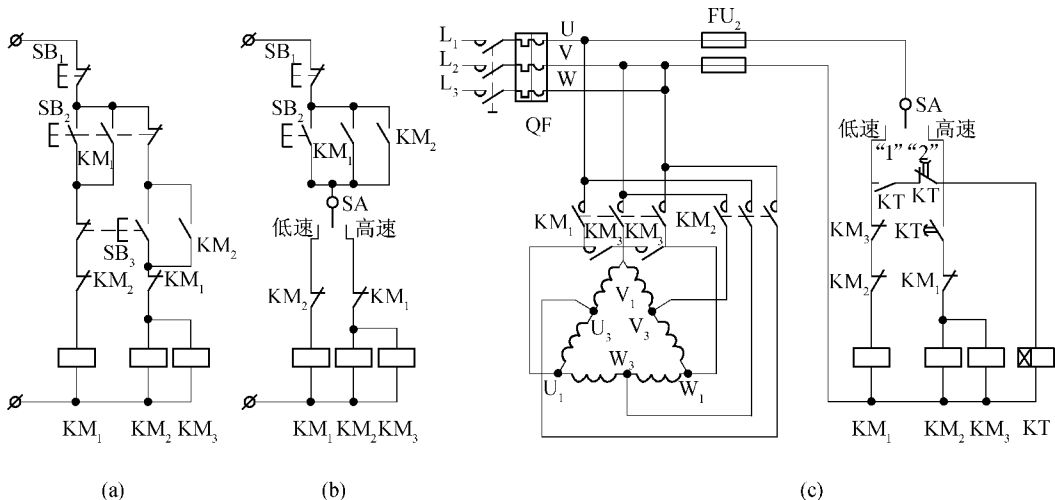


图 2-17 三种双速异步电动机三角形-双星形切换控制电路

电路工作过程如下：

- (1) 按下  $SB_2$ — $KM_1$  线圈通电— $KM_1$  常开辅助触头闭合实现自锁— $KM_1$  主触头闭合—电动机三角形联结, 低速运转— $KM_1$  常闭辅助触头断开实现电气互锁
- (2) 按下  $SB_3$ — $KM_1$  线圈断电— $KM_2$  线圈通电— $KM_2$  主触头闭合— $KM_3$  线圈通电— $KM_3$  主触头闭合—电动机双星形联结, 高速运转

如图 2-17(b)所示是用高、低选择开关  $SA$  来实现电动机的高、低速转换控制,选择接通  $KM_1$  线圈电路或  $KM_2$ 、 $KM_3$  线圈电路,即可选择低速或高速运转。应当注意的是,转换过

程中需要重新按下启动开关  $SB_2$ 。

如图 2-17(c)所示是用高、低选择开关 SA 和时间继电器 KT 共同作用来进行控制的。SA 具有三个接点:当 SA 扳到中间位置时,电动机停转;当 SA 扳到“1”位置时, $KM_1$  线圈通电,其主触头闭合,电动机定子绕组以“ $\Delta$ ”联结方式连接,低速运转;当 SA 扳到“2”位置时, $KM_1$  线圈通电,电动机启动并低速运行,当 KT 延时结束时, $KM_1$  线圈电路切断,同时  $KM_2$ 、 $KM_3$  线圈电路接通,电动机以双星形接入,高速运转,从而实现了对高、低速转换的控制。

图 2-17(a)、(b)中的控制电路只适用于小功率的双速异步电动机,图 2-17(c)中的控制电路可限制启动电流,适用于对较大功率的双速异步电动机进行控制。

## 2.5 三相异步电动机的制动控制

起重运输机械、卧式镗床、万能铣床、组合机床、建筑航吊等各种机械设备为了适应生产工艺、提高生产效率,或是考虑到安全等方面的需求,要求能迅速停车且准确定位。但由于生产设备的转动部分具有机械惯性,故而三相异步电动机从切断电源到完全停止转动,需要经历一段时间,这一点不能适应许多机械设备工艺的要求,就要对电动机进行制动控制,迫使其立即停车。总之,制动器是将机械运动部分的能量释放,从而使运动的机械速度降低或停止的装置,常用的制动方式一般有机械制动和电气制动两大类。

### 2.5.1 机械制动

机械制动采用机械装置产生的机械力来强迫电动机迅速停车。机械制动有螺旋式自动加载制动器、盘式制动器、闸瓦式制动器、电磁制动器等。应用较多的机械制动装置是电磁制动器,它主要由制动电磁铁和制动器两部分组成。制动电磁铁包括铁芯、衔铁和线圈三部分,制动器由闸轮、闸瓦、杠杆、弹簧等部分组成,使用时闸轮与电动机装在同一根转轴上。机械制动的控制电路有断电制动和通电制动两种。下面以常用的电磁抱闸制动器为例介绍机械制动的工作原理。

#### 1. 断电制动控制电路

电磁制动器断电制动控制电路如图 2-18 所示。合上 QF 接通电源,按下启动按钮  $SB_1$ ,接触器 KM 线圈通电动作,电磁制动器 YD 线圈通电,在电磁力作用下 YD 线圈吸住衔铁,闸瓦松开,闸轮处于待运转状态,电动机启动;欲使电动机制动,可按下停止按钮  $SB_2$ ,KM 线圈断电释放,电动机电源切断,此时电磁制动器 YD 线圈断电,电磁力消失,衔铁释放,在弹簧拉力的作用下,闸瓦迅速抱紧闸轮制动。

在吊车、电梯设备、卷扬机等升降机械上,因为其制动闸平时处于“抱紧”状态,所以广泛采用断电制动控制电路制动。当重物吊到一定高度时,按下停止按钮  $SB_2$ ,电动机转轴就会迅速被刹住而停转,重物被准确定位;当重物被提升到一定高度时,若线路发生故障突然停电时,也可使电动机快速制动,防止事故发生。但是电源切断后,电动机被刹车制动而不能转动,对有些需要调整的机械造成不便,因此有时还需要人工转动电动机的转轴,这时应采用通电制动控制电路。

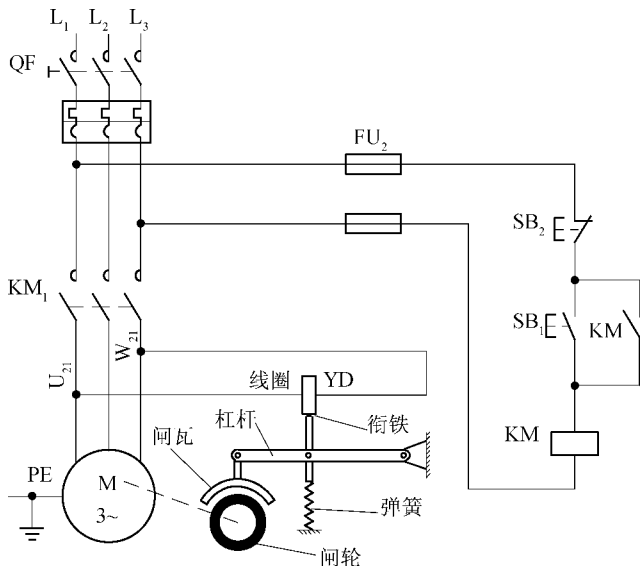


图 2-18 电磁制动器断电制动控制电路

## 2. 通电制动控制电路

电磁制动器通电制动控制电路如图 2-19 所示。合上 QF 接通电源,主电路有电流,此时电磁制动器两端没有电压,在弹簧作用下闸瓦与闸轮松开,电动机启动运转;欲使电动机制动,可按下复合按钮 SB<sub>2</sub>,一方面 SB<sub>2</sub> 的常闭触头断开,主电路断电,另一方面 SB<sub>2</sub> 的常开触头闭合, KM<sub>2</sub> 线圈通电,电磁制动器的线圈 YD 通电,在电磁力的作用下 YD 线圈吸住衔铁,闸瓦与闸轮抱紧而制动。当再次松开 SB<sub>2</sub> 按钮时,电磁制动器线圈 YD 断电,闸瓦松开,电动机又启动运转。

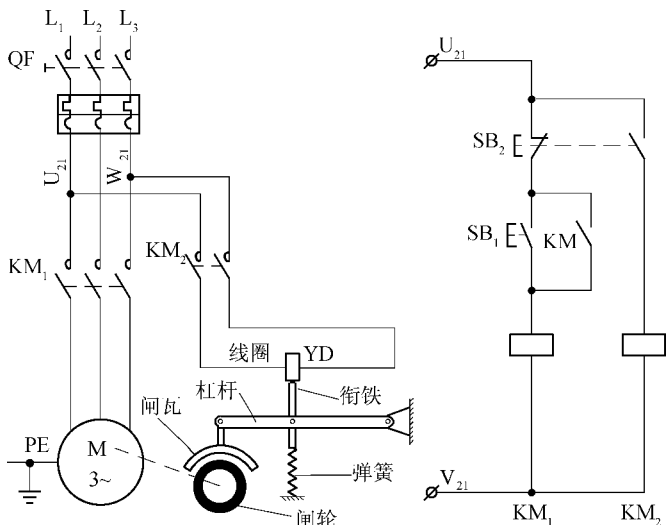


图 2-19 电磁制动器通电制动控制电路

通电制动控制电路的制动闸,平时处于“松开”状态,在机床这类经常需要调整加工工件位置的机械设备上,通电制动控制电路被广泛采用。这种制动方法在电动机的常态下(不转时),电磁制动器的线圈 YD 无电流,闸瓦与闸轮也处于松开状态,因此在电动机未通电时,可以用手扳动主轴以调整和对刀。

## 2.5.2 电气制动

电气制动实际上是利用电气控制方法,使电动机产生一个与原来转子的转动方向相反的制动转矩,来达到制动目的的制动方式。常用的电气制动方法有反接制动、能耗制动、再生制动、派生的电容制动等。对于三相笼型异步电动机,常用的有反接制动和能耗制动两种。

### 1. 反接制动控制电路

反接制动实质上是通过对改变异步电动机定子绕组中的三相电源相序,使定子绕组产生与转动方向相反的旋转磁场,从而产生制动转矩的一种制动方法。

由于电动机反接制动时,转子与旋转磁场的相对速度接近于两倍的同步转速,故而定子绕组流过的反接制动电流,相当于全压启动电流的两倍,因此反接制动的制动转矩大,制动迅速,但是冲击比较大,通常适用于 10 kW 及以下的小容量电动机制动。为防止绕组过热和减小冲击电流,通常在笼型异步电动机定子电路中串入反接制动电阻  $R$ ,如图 2-20 所示。另外若采用反接制动,当电动机的转速降至零时,应及时将反接电源切断,防止电动机再反向启动,造成事故。通常控制电路用速度继电器来检测电动机转速,控制电动机反接电源的断开。速度继电器的转子与电动机是同轴连接的,电动机正常转动时,速度继电器的常开触头闭合,当电动机停车,转速接近零时,速度继电器的常开触头断开,切断反相序电源。

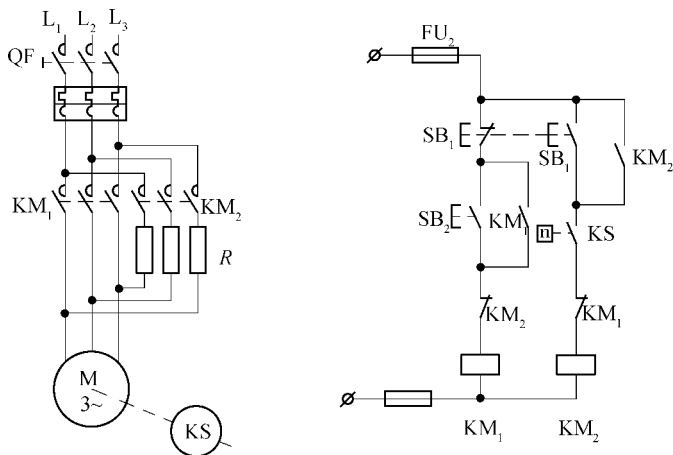


图 2-20 反接制动控制电路

工作过程如下：

(1) 按下  $SB_2$ — $KM_1$  通电自锁—电动机  $M$  正向启动—速度继电器  $KS$  的常开触头闭合

— $SB_1$  常闭触头断开— $KM_1$  断电—电动机  $M$  断电, 继续运转 (惯性)

(2) 按下  $SB_1$ — $SB_1$  常开触头闭合— $KS$  常开触头闭合— $KM_2$  通电自锁, 电动机  $M$  反接电源, 开始制动—

$n < 100 \text{ r/min}$

— $KS$  常开触头复位— $KM_2$  断电, 电动机  $M$  制动结束

反接制动的优点是制动力矩大, 效果显著; 缺点是制动准确性差, 制动过程冲击力大, 不



但是制动力较弱,特别是低速时更为突出,另外控制系统需要附加直流电源装置。一般在重型机床中常与电磁抱闸配合使用,先进行能耗制动,待转速降至一定值时,再令抱闸动作,达到准确快速停车的目的。能耗制动一般用于制动要求平稳准确,电动机容量大和启、制动频繁的场所,如磨床、龙门刨床及组合机床的主轴定位等。

## 2.6 电液控制系统

电液控制系统即电气控制系统与液压系统的组合,是用电气控制电路来控制液压传动系统向外传动能量,从而控制运动部件完成规定动作的系统。

由液压传动的知识可知,液压传动具有传递平稳、可靠、均匀等优点,而且能提供比电动机更大的动力。电气控制电路结构简单、控制方便,因此电液控制系统很容易实现自动化控制,目前被广泛应用在各种自动化设备上,如组合机床、机械加工自动线、数控机床以及汽车等方面。

### 2.6.1 液压传动系统与电磁阀

液压传动系统主要由四部分组成:动力装置(液压泵及驱动电动机)、执行机构(液压缸或液压马达)、控制调节装置(溢流阀、调速阀、压力阀、换向阀)和辅助装置(油箱、油管、液位计)。动力装置为系统提供动力;执行机构通过执行元件运动带动负载运动;控制调节装置通过对液体的压力、流量和流动方向的调节,实现对传输动力的调节,进而满足执行元件运动要求;辅助装置为系统的正常工作提供保障。

液压传动系统工作时,溢流阀和调速阀的工作状态是预先设定好的,只有换向阀能够根据工作循环的要求改变工作状态,实现各工步液压系统的要求,完成不同的运动转换。因此对液压传动系统工作循环的自动控制,就是对换向阀的工作状态进行控制(除特殊情况)。

换向阀因结构的不同可采用机械、液压和电动三种方式改变阀的工作状态,从而实现接通、断开油路或改变液流方向。在电液控制电路中使用较多的是电磁换向阀,即由电磁铁推动顶杆使阀芯移动从而改变工作状态,电磁换向阀图形符号如图 2-22 所示。

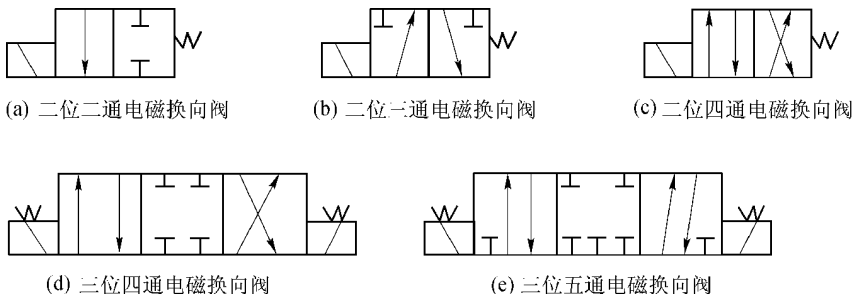


图 2-22 电磁换向阀图形符号

### 2.6.2 电液控制系统实例

液压动力滑台是典型的电液控制装置,它是组合机床上实现进给运动的一种通用部件,配上动力头和不同的主轴箱可以对工件完成铣削、钻、镗、扩、铰、刮端面、倒角以及攻螺纹等加工工序。动力滑台由液压缸驱动,其液压传动系统原理图以及在电气和机械装置配合下

可实现的工作循环图如图 2-23(a)所示。

电液控制系统的分析分三步：工作循环图分析，用来确定工步顺序、每步的工作内容以及各工步转换主令；液压传动系统分析，对照液压传动系统原理图，确定每工步中应通电的电磁阀线圈，结合分析结果和工作循环图中给出的条件列出电磁铁动作顺序表，列出电磁线圈通电状态及转换主令；控制电路分析，对照电磁铁动作顺序表，逐步分析电路如何在转换主令的控制下完成电磁阀线圈通、断电的控制。

液压动力滑台的控制电路如图 2-23(b)所示，因为电磁阀没有触头，对短信号无自锁能力，所以要使用中间继电器，系统有手动和自动两种工作方式。

液压动力滑台的自动工作循环共有四个工步：滑台快进、工进、快退及原位停止。在自动工作方式下，按下 SB<sub>2</sub> 启动按钮，液压动力滑台进行自动循环。

综合以上分析可知，液压动力滑台的工作循环实际上是电液控制系统不断启动和制动的过程。

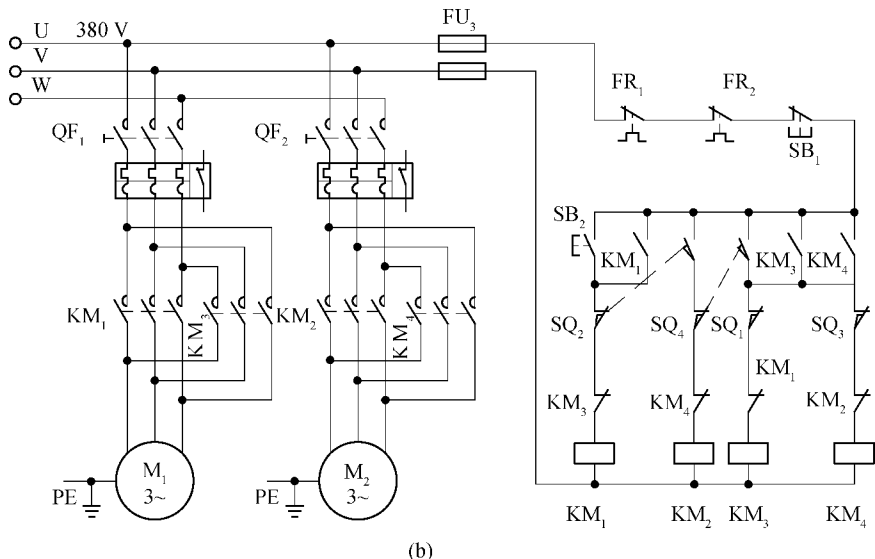
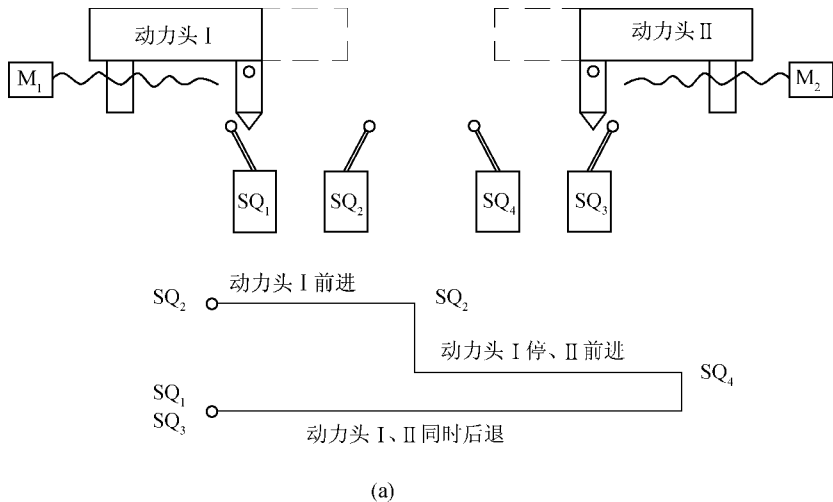


图 2-23 动力滑台自动工作循环图



## 2.7 电气控制系统中的保护环节

电气控制系统除了尽可能满足生产机械加工工艺要求外,还应保证设备长期安全、可靠、无故障地运行,消除不正常的有害影响,避免因误操作而发生事故。因此选择和设置保护环节是所有电气控制系统不可缺少的组成部分。电气控制系统中常见的保护环节有电压保护、电流保护、过载保护、弱磁保护等。

### 2.7.1 电压保护

电动机在额定电压下工作才能发挥更好的效益,电压过高、过低或因故断电,都可能造成设备或人身事故,故应根据要求设置失压保护、过电压保护和欠电压保护环节。

#### 1. 失压保护

电动机正常运转时如因为电源电压突然消失而导致电动机停转,一旦电源电压恢复正常,有可能自行启动,而造成机械设备损坏,甚至造成人身事故。失压保护环节是为防止电压恢复时电动机自行启动或电气元件自行投入工作而设置的。

采用接触器控制的启动、停止控制电路就具有失压保护作用。因为当电源电压突然消失时,接触器线圈就会因断电而自动释放切断电动机电源。当电源电压恢复时,由于接触器自锁触头已断开,不会自行启动,从而达到保护目的。

在采用不能自动复位的手动开关和行程开关控制接触器的电路中,需要设置专门的零电压继电器,一旦断电,零电压继电器释放,其自锁电路断开,电源恢复时,就不会自行启动,从而完成了失压保护。

#### 2. 欠电压保护

当用电器的电源电压降至额定电压的 $60\% \sim 80\%$ 时,将电源切断而使电路停止工作的环节称为欠电压保护环节。除了利用接触器、按钮控制方式本身的欠电压保护作用外,还可以采用欠电压继电器进行欠电压保护。其原理是:将欠电压继电器的吸合电压整定为 $0.8 \sim 0.85 U_N$ ,释放电压整定为 $0.5 \sim 0.7 U_N$ ,欠电压继电器跨接在电源上,其常开触头串接在接触器线圈电路中,当电源电压低于释放值时,欠电压继电器动作使接触器释放,接触器主触头断开用电器电源,实现欠电压保护。

#### 3. 过电压保护

电磁吸盘、电磁铁等大电感负载和直流电磁机构、直流继电器等在通断时会产生较高感应电动势,造成电磁线圈被击穿损坏。过电压保护通常是在电磁线圈两端并联一个电阻、电阻串接电容或二极管串接电阻,以形成一个放电回路,实现过电压保护,也可采用专用的过压保护器。

### 2.7.2 电流保护

电流保护主要指短路保护和过电流保护。

#### 1. 短路保护

短路时产生的瞬时电流是额定电流的十几至几十倍。电气控制电路中的电器或配线的绝缘层遭到损坏、负载短路和接线错误时,都将产生短路故障。电气设备或配电线路可能会

因短路电流造成控制电路损坏,甚至产生电弧,引起火灾。因此短路保护要求在短路故障产生后的极短时间内切断电源,常用方法是在线路中串接熔断器或自动开关。

熔断器价格便宜,断弧能力强,因此一般电路几乎都使用它作为短路保护装置。但是熔体的品质老化、环境温度等因素对其动作影响较大,用它来保护电动机时,可能会因一相熔体熔断而造成电动机缺相运行,在很短时间内使电动机线圈烧毁。因此熔断器适用于动作准确度和自动化程度较差的系统中,如小容量的笼型电动机或普通交流电源等。

自动空气熔断器又称为自动开关,它有短路、过载和欠压保护。这种开关能在电路发生短路故障时,其电流线圈动作自动跳闸,将三相电源同时切断。自动开关结构复杂,价格较贵,不宜频繁操作,广泛应用于要求较高的控制电路中。

## 2. 过电流保护

过电流是指电动机或电气元件在超过其额定电流的状态下运行的情况。一般情况下这种过电流比短路电流要小得多,是电动机额定电流的 1~6 倍。过电流的危害虽没有短路那么严重,但同样会造成电动机的损坏,因此也要及时切断电源。

短路保护所用元件原则上可以用作过电流保护,不过对断弧能力的要求可以适当降低,可以利用控制电动机的接触器来断开过电流,因此常用瞬时动作的过电流继电器与接触器配合起来作为过电流保护装置。往往用过电流继电器作为测量元件,接触器作为执行元件断开电路。

一般情况下,过电流保护和短路保护的動作值整定为启动电流的 1.2 倍,过电流保护只用在直流电动机和绕线式异步电动机上。

### 2.7.3 其他保护

在电气控制系统中,除采用电流保护和电压保护外,有时还应设置有过载保护、弱磁保护以及超速保护。

#### 1. 过载保护

过载是指用电器(电动机)运行电流超过其额定电流但小于 1.5 倍额定电流的运行状态,此运行状态在过电流运行状态范围内。若电动机长期过载运行,其绕组将由于升温超过允许值而使绝缘层老化或损坏。过载保护要求电动机不受短时过载电流或短路电流的影响而瞬时动作,通常采用热继电器作为过载保护元件。

当有 6 倍以上额定电流通过热继电器时,经过 5 s 后热继电器才会动作(触头动作),可能在热继电器动作前,热继电器的加热元件已烧坏,因此在使用热继电器作过载保护时,必须同时装有熔断器或低压断路器等短路保护装置。

电动机缺相保护经常选用带断相保护的热继电器实现过载与缺相双重保护。如图 2-24 所示为电气控制电路中常用的保护电路。

#### 2. 弱磁保护

直流电动机在具有一定强度的磁场下才能启动,如果磁场过弱,电动机启动电流就会增大。在直流电动机运行过程中,如果磁场突然减弱或消失,其转速就会迅速升高,甚至发生“飞车”现象,因此需采用弱磁保护。

弱磁保护是在电动机励磁回路中串接欠电流继电器,一旦励磁电流消失或降低过多,欠电流继电器释放,其触头切断接触器线圈,使主电路中的电源切断,电机停转。

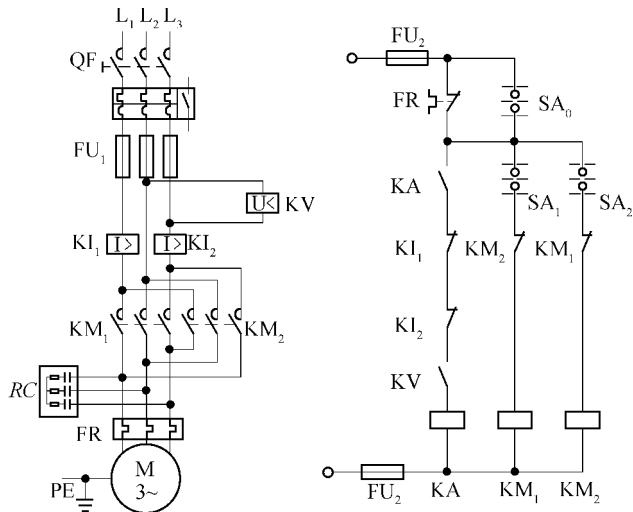


图 2-24 电气控制电路中常用的保护电路

### 3. 超速保护

机电设备运行速度超过规定允许范围时,将造成设备损坏或人身事故,因此应设置超速保护装置来控制电动机转速或者及时切断电动机电源。

图 2-24 的电气控制线路中集中体现了常用的保护环节。其中起保护作用的各元件分别为:复合保护——复合(电流、电压、过载)开关;短路保护——熔断器  $FU_1$ 、 $FU_2$ ;过载保护——热继电器 FR;零电压保护——中间继电器 KA;过电流保护——过电流继电器  $KI_1$ 、 $KI_2$ ;欠电压保护——欠电压继电器 KV;联锁保护—— $KM_1$ 、 $KM_2$  互锁;RC——杂波消除,消噪。

实际应用时一般不会采用全部保护环节,但短路保护、过载保护和欠压保护一般是不可缺少的环节。

## 本章小结

1. 本章介绍了电气原理图的绘制原则和阅读方法。掌握电气原理图的基本环节是学习机床电气自动控制的基础。

2. 电路的逻辑关系和一般函数不同,它的变量只有两种截然不同的状态,逻辑代数是分析电路的重要工具。

3. 三相异步电动机的启动方式有全压和降压两种,一般容量在 10 kW 以上时,因启动电流过大,通常都采用降压启动。

4. 制动以及运行过程中涉及到的异地控制、顺序控制、正反转控制、双速控制等基本控制环节是本章的重点,学习时应注意对各个环节工作过程的理解。

5. 实际应用中的电路都设有保护环节,常见的保护环节有电压保护、电流保护、过载保护、弱磁保护等。

## 习 题 2

- 2-1 电路图中 KT、QS、FU、KM、SQ、SB 分别代表什么电气元件？
- 2-2 长动与点动的区别是什么？
- 2-3 笼型异步电动机在什么条件下可采用全压启动？
- 2-4 笼型异步电动机的降压启动方法有哪几种？
- 2-5 笼型异步电动机是如何实现顺序启动的？
- 2-6 什么是互锁？什么是自锁？
- 2-7 什么是能耗制动？什么是反接制动？各有何特点？分别使用于何种场合？
- 2-8 电液控制电路常用在什么场合？由哪些部件组成？其控制线路有什么特点？
- 2-9 电气控制系统中常用的保护环节有哪些？通常采用的保护元件有哪些？

## 第3章 常用设备电气控制系统分析

各种生产所用的设备都是建立在常用低压电器的基本控制线路基础之上的。在这一章里将通过典型生产机械的电气控制系统进行分析来掌握电气控制电路的组成以及各种基本控制电路在具体电气控制系统中的应用,以加深读者对机械设备中机械、液压与电气控制紧密配合的理解,为实际工作打下基础。

金属切削机床是进行机械加工的主要设备,它用切削的方法将金属毛坯加工成有一定形状、尺寸和表面质量的机械零件。常见的金属切削机床有车床、铣床、磨床、钻床、组合机床等。金属切削机床的机械运动可分为三类:对金属工件进行切削的运动称为主运动(一般为机床主轴的旋转运动);持续地把金属工件的被切削层投入切削的运动称为进给运动(即加工工具与加工工件之间的相对运动);而其他的运动(如机床部件的位置调整运动)统称为辅助运动。本章以三种金属切削机床为例,进一步阐述电气控制系统的分析方法。

### 3.1 设备控制系统分析概述

在进行设备电气控制系统分析时,首先需要了解设备整体系统,在此基础上,才能针对设备系统控制要求,有效地分析电气控制系统的组成与功能。设备整体系统分析一般有以下三个方面:

#### 1. 设备概况调查

通过阅读生产机械设备的有关技术资料,了解设备的基本结构及工作原理、设备的传动系统类型及驱动方式、主要技术性能及规格、运动要求等。

#### 2. 电气设备及电气元件选用

明确电动机的作用、型号、规格以及控制要求,了解各种电器的工作原理、控制作用及功能。如按钮、选择开关、行程开关等主令信号发出元件和开关元件;接触器、时间继电器等各种继电器类控制元件;电磁换向阀、电磁离合器等各种电气执行元件;变压器、熔断器等保证线路正常工作的其他电气元件。

#### 3. 设备和电气元件的连接关系分析

除了了解被控设备与所采用的电气设备及电气元件的基本状态外,还应该确定两者之间的连接关系,即信息采集传递与运动输出的形式和方法。因为信息传递过程是通过设备上的各种操作手柄、挡铁、撞块以及各种现场信息检测机构作用到主令元件发出的信号上,并将信号采集传递到电气控制系统中的过程,所以其对应关系必须明确;运动输出关系是电气控制系统中的执行元件将驱动力送到机械设备的相应部位,并实现设备要求

的各种动作。

在掌握了设备及电气控制系统的基本条件后,即可对设备控制系统进行具体的分析。通常在分析电气控制系统时,首先将控制电路进行分割,整体控制电路经分割后形成简单明了、控制功能单一或由少数简单控制功能组合的局部电路,这样给分析电路带来了很大的方便。进行电路分割时,可依据驱动形式,将电路初步分割为电机控制电路部分和液压传动控制电路部分;根据被控电机的台数,将电机控制电路部分再加以分割,使每台电机的控制电路成为一个局部电路;对控制要求复杂的电路,也可以进一步细分,使每一个基本控制电路或若干个基本控制电路成为一个局部分析电路单元。

综上所述,机械设备电气控制系统的分析步骤有三点:

#### 1) 设备运动分析

设备运动分析是对设备的运动状态、结构特点及工作要求的分析。

#### 2) 主电路分析

主电路分析是确定动力电路中用电设备的控制要求、接线状况及数目,控制执行元件的设置及动作要求,如交流接触器主触头的位置,各组主触头分、合的动作要求,限流电阻的接入和短接等。

#### 3) 控制电路分析

控制电路分析是分析各种控制功能如何实现。利用“化整为零”的方法,逐步分析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”的方法来统观整个电路的保护环节以及电气原理图中其他辅助电路(如检测、信号指示、照明等电路)。检查整个控制线路,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。

## 3.2 卧式车床电气控制系统分析

在金属切削机床中,卧式车床是机械加工中应用最广泛的一种机床,它的工艺范围很广,能完成多种多样的加工工序:加工各种轴类、套筒类和盘类零件上的回转表面,如车削内外圆柱面、圆锥面、环槽及成型回转面;车削端面及各种常用螺纹;配合钻头、铰刀等还可进行孔的加工。不同型号的卧式车床电动机的工作要求不同,因而控制电路亦不尽相同。总体上看,由于卧式车床运动形式简单,采用机械调速的方法,故相应的控制电路也不算复杂。本节以 C650 卧式车床电气控制系统为例,对普通车床的电气控制系统进行分析。

### 3.2.1 车床的主要结构及工作要求分析

卧式车床结构原理图如图 3-1 所示,它主要由床身、主轴、主轴变速箱、尾座、进给箱、丝杠、光杠、刀架、溜板箱等组成。C650 卧式车床属于中型车床,可加工的最大工件回转直径为 500 mm,最大工件长度为 1020 mm。

车削加工的主运动是主轴通过卡盘带动工件的旋转运动,它的运动速度较高,消耗的功率较大;进给运动是由溜板箱带动溜板和刀架作纵、横两个方向的运动,它的速度较低,所消耗的功率也较少。由于在车削螺纹时,要求主轴的旋转速度与刀具的进给速度保持严格的比例,故 C650 卧式车床的进给运动也由主轴电动机来拖动,主轴电动机的动力由主轴变速

箱等传到进给箱,再由光杠或丝杠传到溜板箱。由于加工的工件尺寸较大,加工时其转动惯量也比较大,为提高工作效率,须采用停车制动。在加工时,为防止刀具和工件温度过高,需要配备冷却泵及冷却泵电动机。为减少辅助工时,减轻工人的劳动强度,则要求溜板箱能够快速移动。

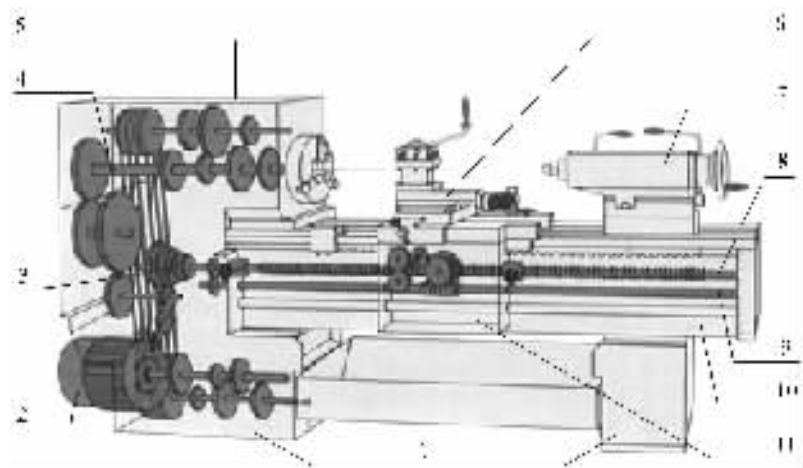


图 3-1 卧式车床结构原理图

1—底座 2—主轴电动机 3—进给箱 4—主轴 5—主轴变速箱 6—溜板与刀架  
7—尾座 8—丝杠 9—光杠 10—床身 11—溜板箱

### 3.2.2 电力拖动和控制要求分析

C650 卧式车床的电气控制系统原理图如图 3-2 所示,图中部分电气元件符号与功能说明如表 3-1 所示。

#### 1. 主轴电动机控制要求

主轴电动机  $M_1$  为三相笼型异步电动机,可以带动主轴运动并拖动进给系统。主轴电动机直接启动,能够正、反两个方向旋转,并可对正、反两个旋转方向进行电气停车制动。为加工、调整方便,还要具有点动功能。

#### 2. 冷却泵电动机控制要求

冷却泵电动机  $M_2$  在加工时带动冷却泵工作提供冷却液,对加工过程起到冷却和冲洗的作用。它采用直接启动,且为连续工作状态。

#### 3. 快移电动机控制要求

快移电动机  $M_3$  可根据需要随时手动控制启停。

### 3.2.3 卧式车床电气控制系统分析

现根据“化整为零”的原则对 C650 卧式车床的主电路以及控制电路进行具体分析。





## 1. 主电路分析

C650 卧式车床的电源采用三相交流电源电压为 380 V,由隔离开关 QS 引入,主电路中包含三台电动机的驱动电路。主轴电动机  $M_1$  电路分为三部分:交流接触器  $KM_3$  的主触头用于控制限流电阻  $R$  的接入与断开,在主轴点动调整时,限流电阻  $R$  的串入可限制主轴电动机  $M_1$  启动电流;电流表 PA 用来监视主轴电动机  $M_1$  的绕组电流,由于  $M_1$  功率很大,故电流表 PA 处接入电流互感器 TA 回路;交流接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$  的主触头分别控制主轴电动机  $M_1$  的正转和反转。在机床工作时,调整切削用量,使电流表 PA 的电流指示接近主轴电动机  $M_1$  额定电流的对应值(经 TA 后减小了的电流值),最大限度地提高生产率和充分利用电动机的潜力。在线路中设置了时间继电器 KT,目的是防止在主轴电动机  $M_1$  启动时对电流表造成冲击损坏,当主轴电动机  $M_1$  正向或反向启动时,KT 线圈通电,延时时间未到,电流表 PA 就被 KT 延时常闭触头短路,延时结束后才会有电流通过。速度继电器 SR 的速度检测部分与主轴电动机的输出轴相连,在反接制动时依靠它及时切断反相序电源。

表 3-1 C650 卧式车床电气元件符号及功能表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
$M_1$	主轴电动机	SB <sub>2</sub>	急停按钮
$M_2$	冷却泵电动机	SB <sub>3</sub>	主轴电动机 $M_1$ 正向点动按钮
$M_3$	快移电动机	SB <sub>4</sub>	主轴电动机 $M_1$ 正转按钮
$KM_1$	主轴电动机 $M_1$ 正转接触器	SB <sub>5</sub>	主轴电动机 $M_1$ 反转按钮
$KM_2$	主轴电动机 $M_1$ 反转接触器	SB <sub>6</sub>	冷却泵电动机 $M_2$ 停止按钮
$KM_3$	短接限流电阻接触器	SB <sub>7</sub>	冷却泵电动机 $M_2$ 启动按钮
$KM_4$	冷却泵电动机 $M_2$ 启动接触器	TC	控制变压器
$KM_5$	快移电动机 $M_3$ 启动接触器	FU <sub>1~6</sub>	熔断器
KA	中间继电器	FR <sub>1</sub>	主轴电动机 $M_1$ 过载保护热继电器
KT	通电延时时间继电器	FR <sub>2</sub>	冷却泵电动机 $M_2$ 过载保护热继电器
SQ	快移电动机 $M_3$ 点动行程开关	FR <sub>3</sub>	快移电动机 $M_3$ 过载保护热继电器
SA	选择开关	R	限流电阻
SR	速度继电器	EL	照明灯
PA	电流表	TA	电流互感器
SB <sub>1</sub>	钥匙开关	QS	隔离开关

冷却泵电动机  $M_2$  的启动与停止由接触器  $KM_4$  控制,快移电动机  $M_3$  由接触器  $KM_5$  控制。

主电路的保护措施:由熔断器  $FU_1$ 、 $FU_2$ 、 $FU_3$  分别对电动机  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  实现短路保护,由热继电器  $FR_1$ 、 $FR_2$  对  $M_1$  和  $M_2$  进行过载保护,虽然快移电动机  $M_3$  是短时工作制,但仍由热继电器  $FR_3$  对其实施过载保护。

## 2. 控制电路分析

控制电路由于电气元件很多,故通过控制变压器 TC 同三相电网进行电隔离,从而提高了操作和维修时的安全性,其所需的 110 V 交流电源也由控制变压器 TC 提供,由  $FU_3$  作短路保护。“化整为零”后控制电路可划分为主轴电动机  $M_1$ 、冷却泵电动机  $M_2$  以及快移电动机  $M_3$  三部分控制电路。主轴电动机  $M_1$  控制电路较复杂,因而还可进一步对其控制电路进



当主轴电动机正向转动时,由速度继电器 SR 工作原理可知,此时 SR 的常开触头 SR-2 闭合。当按下急停按钮 SB<sub>2</sub> 后,原来通电的 KM<sub>1</sub>、KM<sub>3</sub>、KT 和 KA 线圈全部断电,它们的所有触头均被释放而恢复到原位。当松开 SB<sub>2</sub> 后,由于主轴电动机 M<sub>1</sub> 的惯性,其转速仍很大,SR 的常开触头 SR-2 继续保持闭合状态,使反转接触器 KM<sub>2</sub> 线圈立即通电,其电流通路是:SB<sub>2</sub>→FR<sub>1</sub>→KA 常闭触头→SR-2→KM<sub>1</sub> 常闭触头→KM<sub>2</sub> 线圈。这样使得主轴电动机 M<sub>1</sub> 开始反接制动,反向电磁转矩将平衡正向惯性转动转矩,电动机 M<sub>1</sub> 正向转速很快降下来,当转速接近零时,SR-2 常开触头因复位而断开,切断了 KM<sub>2</sub> 线圈通路,至此正向反接制动结束。反转时的反接制动过程与上述正转反接制动过程类似,只是在此过程中起作用的为速度继电器的 SR-1 常开触头。

由于反接制动过程中 KM<sub>3</sub> 线圈未得电,故限流电阻 R 被接入主轴电动机 M<sub>1</sub> 主电路,用以限制反接制动电流。

通过对主轴电动机 M<sub>1</sub> 控制电路的分析,可知中间继电器 KA 在电路中起着扩展接触器 KM<sub>3</sub> 触头的作用。

#### 4) 刀架的快速移动

转动刀架手柄,行程开关 SQ 被压,其常开触头闭合,使得接触器 KM<sub>5</sub> 线圈通电,KM<sub>5</sub> 主触头闭合,则快移电动机 M<sub>3</sub> 启动运转,其输出动力经传动系统最终驱动溜板箱带动刀架做快速移动。当刀架手柄复位时,接触器 KM<sub>5</sub> 线圈断电,快移电动机 M<sub>3</sub> 立即停转。

#### 5) 冷却泵电动机的控制

冷却泵电动机 M<sub>2</sub> 的启停按钮分别为 SB<sub>7</sub> 和 SB<sub>8</sub>,它们通过控制接触器 KM<sub>4</sub> 线圈的通电与断电,从而实现对冷却泵电动机 M<sub>2</sub> 的长动控制。

由图 3-2 所示的车床电气控制电路图可知,控制变压器 TC 的二次绕组侧还有一路 36 V 的安全电压,主要提供给车床的照明电路。当选择开关 SA 闭合时,照明灯 EL 点亮;当选择开关 SA 断开时,照明灯 EL 熄灭。

## 3.3 铣床电气控制系统分析

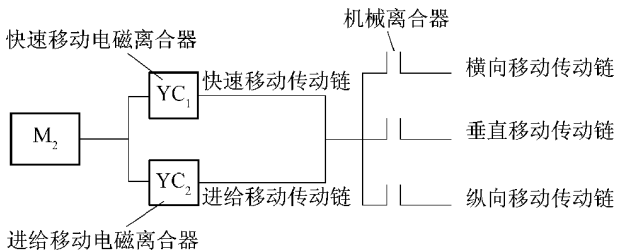
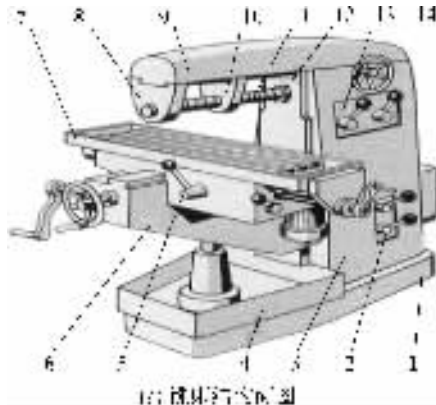
在机械加工工艺中,铣削因其高效的加工方式而得到广泛应用。铣床的种类很多,有立铣、卧铣、龙门铣、仿形铣以及各种专用铣床等,现以应用广泛的卧式万能升降台铣床为例分析中小型铣床的控制电路。

### 3.3.1 卧式铣床的主要结构和运动形式分析

卧式万能升降台铣床可用来加工平面、斜面、沟槽等,加装了分度头后还可以铣切直齿齿轮和螺旋面,如果装上圆工作台还可以铣切凸轮和弧形槽等,它是一种常用的通用机床。它具有主轴转速高、调速范围宽、加工范围广、操作方便等特点,其结构简图如图 3-4(a)所示,主要由立柱、主轴、悬梁、铣刀心轴、水平工作台、升降台、底座等部分组成。

铣床床身内装有变速操纵机构和主轴的传动机构,刀杆支架包括前支撑和中间支撑,它用来支撑铣刀心轴的一端,心轴的另一端则固定在主轴上,由主轴带动铣刀旋转,该运动称为主运动。一般中小型铣床都采用三相笼型异步电动机拖动,有顺铣和逆铣两种加工方式,并且同工作台的进给运动之间无速度比例协调的要求,因此主轴的拖动常常由一台主轴

电动机承担;床身的前侧面装有垂直导轨,升降台可沿导轨上下移动。在升降台上的水平导轨上,装有可在平行于主轴轴线方向移动(横向移动,即前后移动)的溜板。工作台装在回转台的导轨上,可作垂直于轴线方向的移动(纵向移动,即左右移动)。因此水平工作台可在上下、左右及前后三个方向上进行进给运动或调整位置,各运动部件在三个方向上的运动由同一台进给电动机拖动;工作台上还可以安装圆工作台,使用圆工作台可铣削圆弧和凸轮。进给电动机经机械传动链传动,通过机械离合器在选定的进给方向上驱动工作台移动进给,进给运动的传递示意图如图 3-4(b)所示。



(b) 进给运动的传递示意图

图 3-4 铣床结构及运动简图

- 1—底座 2—进给传动 3—立柱 4—底槽 5—操作手柄 6—升降台 7—水平工作台 8—前支撑  
9—悬梁 10—中间支撑 11—铣刀心轴 12—主轴 13—主传动 14—主轴电动机

### 3.3.2 电力拖动及控制要求分析

主轴旋转主运动与工作台进给运动分别由单独的电动机拖动,控制要求也不相同。如图 3-5 所示为卧式万能升降台铣床电气控制系统的原理图,图中部分电气元件及功能说明如表 3-2 所示。

#### 1. 主轴电动机控制

主轴电动机空载时直接启动;需要带动铣刀主轴的正转和反转,以分别完成顺铣和逆铣;为提高工作效率,要求有停车制动控制;从安全和操作方便考虑,换刀时主轴必须处于制动状态;主轴电动机  $M_1$  可在多地点进行启停控制(两地控制);为保证变速时齿轮易于啮合,要求变速时主轴电动机  $M_1$  有瞬时的点动控制。

#### 2. 进给电动机控制

工作台进给电动机  $M_2$  直接启动;进给电动机  $M_2$  能进行正转和反转控制,主要为满足

横向、纵向、垂直方向的往返运动；空行程时应快速移动，以便提高生产效率；进给变速时，也需要瞬时点动调整控制；各进给运动之间必须联锁控制，并由手柄操作机械离合器选择进给运动的方向，保证设备使用安全。

### 3. 主轴电动机与进给电动机启、停顺序要求

加工零件时，为保证设备安全，要求主轴电动机启动以后，进给电动机才可以启动、工作。

### 4. 冷却泵电动机控制

电动机  $M_3$  带动冷却泵，在铣削加工时提供切削液。

## 3.3.3 铣床电气控制系统分析

由图 3-5 可知，该铣床控制线路可分为主电路、控制电路和照明电路三部分，下面利用“化整为零”的方法进行具体分析。

### 1. 主电路分析

图 3-5 主电路中共有三台电动机， $M_1$  为主轴电动机，其正反转通过组合开关  $SA_5$  手动切换，交流接触器  $KM_1$  的主触头只是用来控制电源的接入与切断的。因为大多数情况下一批或多批工件只用一种铣削方式，并不需要经常改变电动机  $M_1$  的转向，即铣床开始工作前已选定是以顺铣方式加工还是逆铣方式加工，在工件加工过程中是不改变的，所以可用电源相序转换开关实现主轴电动机的正反转控制，使控制电路得到了简化。

表 3-2 卧式万能升降台铣床电气元件符号及功能说明表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
$M_1$	主轴电动机	$SA_4$	照明灯开关
$M_2$	进给电动机	$SA_5$	主轴换向开关
$M_3$	冷却泵电动机	QS	电源隔离开关
$KM_1$	主轴电动机 $M_1$ 启动接触器	$SB_1$ 、 $SB_2$	主轴停止按钮
$KM_2$	进给电动机 $M_2$ 正转接触器	$SB_3$ 、 $SB_4$	主轴启动按钮
$KM_3$	进给电动机 $M_2$ 反转接触器	$SB_5$ 、 $SB_6$	工作台快速移动按钮
$KM_4$	快速移动接触器	$FR_1$	主轴电动机 $M_1$ 热继电器
$SQ_1$	工作台向右进给行程开关	$FR_2$	进给电动机 $M_2$ 热继电器
$SQ_2$	工作台向左进给行程开关	$FR_3$	冷却泵电动机 $M_3$ 热继电器
$SQ_3$	工作台向前、向下进给行程开关	$FU_{1-8}$	熔断器
$SQ_4$	工作台向后、向上进给行程开关	TC	控制变压器
$SQ_5$	进给变速瞬时点动行程开关	VC	整流器
$SQ_6$	主轴变速瞬时点动行程开关	YB	主轴制动电磁制动器
$SA_1$	工作台转换开关	$YC_1$	电磁离合器(快速移动传动链)
$SA_2$	主轴换刀制动开关	$YC_2$	电磁离合器(进给移动传动链)
$SA_3$	冷却泵开关		

$M_2$  为进给电动机，由于它在工作过程中需要频繁变换转动方向，故而采用正反转接触器  $KM_2$ 、 $KM_3$  主触头构成正转与反转控制。

$M_3$  为冷却泵电动机，铣削加工时，根据加工零件材料不同，为了延长刀具的寿命和提高

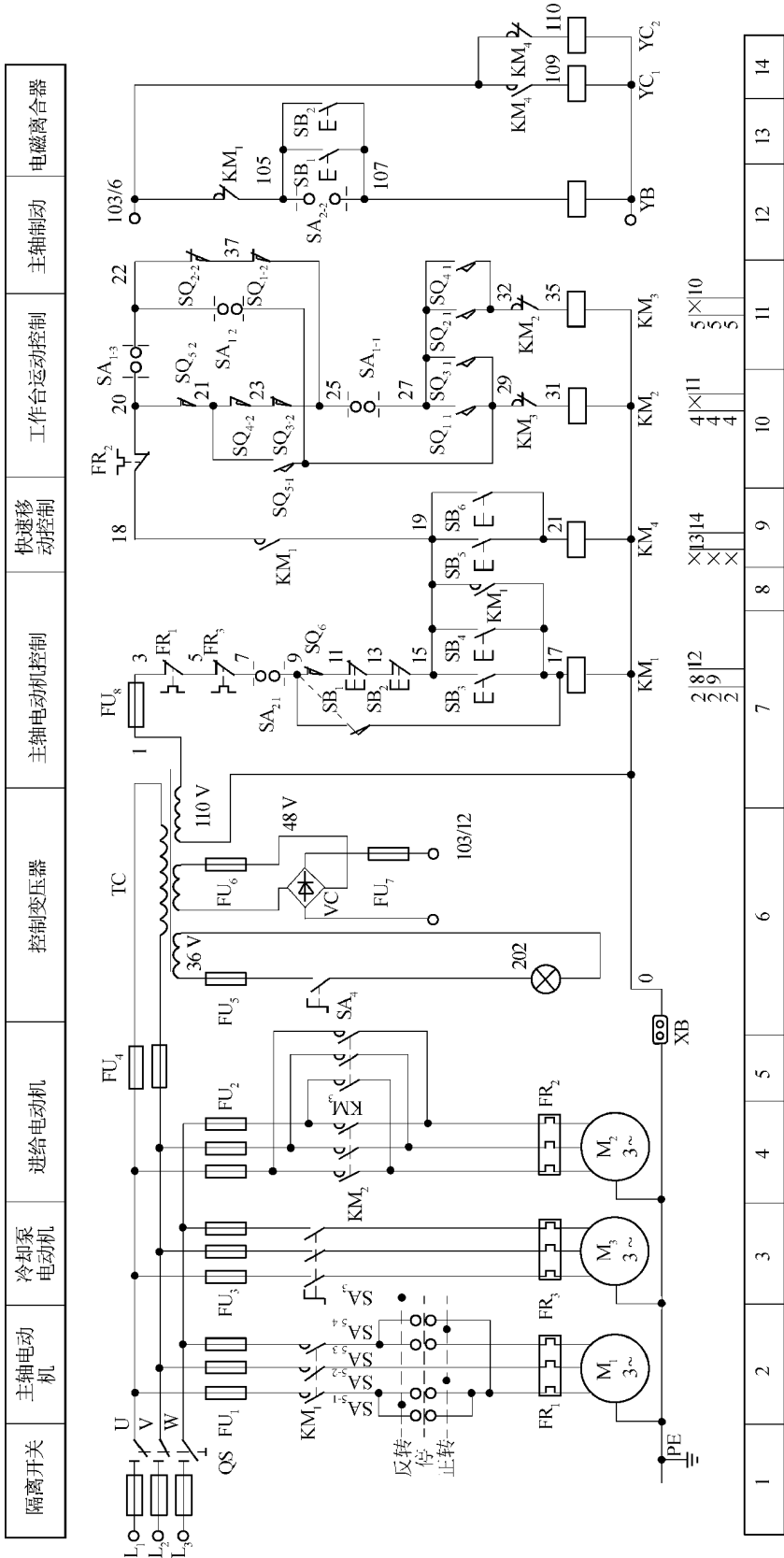


图 3-5 卧式万能升降台铣床电气控制系统的原理图

加工质量,需要用切削液对刀具和工件进行冷却和润滑。在主电路中采用冷却泵开关 SA<sub>3</sub> 直接控制冷却泵电动机的启动和停止。

同样,为保证主电路的正常运行,分别由热继电器 FR<sub>1</sub>、FR<sub>2</sub>、FR<sub>3</sub> 对 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub> 进行过载保护,由熔断器 FU<sub>1</sub>、FU<sub>2</sub>、FU<sub>3</sub> 对电动机 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub> 实现短路保护。

## 2. 控制电路分析

控制电路由控制变压器 TC 二次绕组提供所需交、直流电源,短路保护分别由 FU<sub>6</sub>、FU<sub>7</sub> 和 FU<sub>8</sub> 来实现。控制电路主要包括主轴电动机 M<sub>1</sub> 和进给电动机 M<sub>2</sub> 两部分控制电路,由于电动机 M<sub>1</sub> 和进给电动机 M<sub>2</sub> 的控制电路较复杂,因此还需进一步划分,下面对各局部控制电路逐一进行分析。

### 1) 主轴电动机的控制

(1) 主轴电动机 M<sub>1</sub> 启动控制。启动前,根据所用铣削方式由主轴换向开关 SA<sub>5</sub> 确定电动机的转向,在控制电路中主轴换刀制动开关 SA<sub>2</sub> 扳到使主轴电动机 M<sub>1</sub> 正常工作的位置,此时 SA<sub>2-1</sub> 触头闭合,SA<sub>2-2</sub> 触头断开。为方便操作,本机床采用了两地启停控制。当按下启动按钮 SB<sub>3</sub> 或按钮 SB<sub>4</sub> 时,接通主轴电动机启动控制接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈电路,其主触头闭合,主轴电动机 M<sub>1</sub> 按给定方向启动旋转。按下复合按钮 SB<sub>1</sub> 或 SB<sub>2</sub> 时,主轴电动机 M<sub>1</sub> 停转。

(2) 主轴电动机 M<sub>1</sub> 停车制动及换刀制动。加工中为减小负载波动对铣刀转速的影响,主轴上装有飞轮使得转动惯量很大。为了提高工作效率,要求主轴电动机 M<sub>1</sub> 停车时必须要有制动控制,该控制电路采用电磁制动器 YB 对主轴进行停车制动。停车时,按下复合按钮 SB<sub>1</sub> 或 SB<sub>2</sub>,其常闭触头断开使接触器 KM<sub>1</sub> 线圈断电,KM<sub>1</sub> 主触头断开,使主轴电动机 M<sub>1</sub> 电动机定子绕组与电源断开;同时 SB<sub>1</sub> 或 SB<sub>2</sub> 常开触头闭合,接通电磁制动器 YB 的线圈电路,使得制动器中的闸瓦迅速抱紧闸轮,主轴电动机 M<sub>1</sub> 立即停止运转。当主轴停车后,方可松开按钮 SB<sub>1</sub> 或 SB<sub>2</sub>。

换刀和上刀操作时,为了防止主轴转动造成意外,也为了上刀方便,主轴须处在断电停车或制动的状态。此时可将主轴换刀制动开关 SA<sub>2</sub> 的工作状态扳到上刀制动状态的位置,即 SA<sub>2-1</sub> 触头断开,切断交流接触器 KM<sub>1</sub> 的线圈电路,使主轴电动机不能启动;SA<sub>2-2</sub> 触头闭合,同时接通电磁制动器 YB 的线圈电路,使主轴处于制动、不转动的状态,保证换刀、上刀工作的顺利进行以及人身安全。

### 2) 主轴变速时的瞬时点动

主轴的变速功能由机械系统完成,在变速过程中,当选定啮合的齿轮没能进入正常啮合状态时,需要使电动机点动至合适的位置,以保证齿轮正常啮合。

铣床主轴变速时首先把变速手柄拉出,使啮合好的齿轮脱离,然后转动变速手轮选择转速,转速选定后将变速手柄推回原位,让改变传动比的齿轮重新啮合。由于齿与齿之间的位置不能正好对上,故而造成齿轮啮合困难。当齿轮没有进入正常啮合状态时,需要主轴有瞬时点动的功能,以调整齿轮的相对位置,使齿轮能进行正常啮合。瞬时点动功能的实现是由复位手柄与行程开关 SQ<sub>6</sub> 共同控制的。当变速手柄在推进复位的过程中会压动瞬时点动行程开关 SQ<sub>6</sub>,SQ<sub>6</sub> 的常闭触头先断开,解除交流接触器 KM<sub>1</sub> 线圈电路的自锁,使电路被切断;SQ<sub>6</sub> 的常开触头闭合,使交流接触器 KM<sub>1</sub> 线圈通电,主轴电动机 M<sub>1</sub> 转动。变速手柄复位后,行程开关 SQ<sub>6</sub> 被释放,因此主轴电动机 M<sub>1</sub> 断电。此时并未采取制动措施,主轴电动

机  $M_1$  产生的力使齿轮系统有一个微小的运动,保证了齿轮的顺利啮合。

在变速操作时应注意,手柄复位要求迅速、连续,一次不到位应立即拉出,以免行程开关  $SQ_6$  没能及时松开,使主轴电动机转速上升,在齿轮未啮合好的情况下打坏齿轮的轮齿。一次瞬时点动若不能实现齿轮良好的啮合时,则应立即拉出复位手柄,重新进行复位瞬时点动的操作,直至完全复位,使得齿轮正常啮合工作。

### 3) 进给电动机的控制

(1) 顺序控制。为防止刀具和机床的损坏,此时机床状态要求只有主轴旋转后,才允许有进给运动。由图 3-5 可知,控制主轴电动机启动的接触器  $KM_1$  的常开辅助触头被串联接入工作台运动控制电路中,这样就保证只有主轴旋转后工作台才能进给的联锁要求。

(2) 水平工作台运动控制。水平工作台运动方向由各自的操作手柄来控制,如图 3-6 所示。一般卧式万能升降台铣床的工作台有两个操作手柄:一个为纵向进给手柄(让工作台左右运动),有右、中、左三个位置;另一个为横向(让工作台前后运动)和垂直(让工作台上下运动)十字复合手柄,该手柄有五个位置,即上、下、前、后和中间位置。图 3-5 中的  $SA_1$  为工作台转换开关,它是一种二位式选择开关。当使用水平工作台时,触头  $SA_{1-1}$  与  $SA_{1-3}$  闭合;当使用圆工作台时,触头  $SA_{1-2}$  闭合。

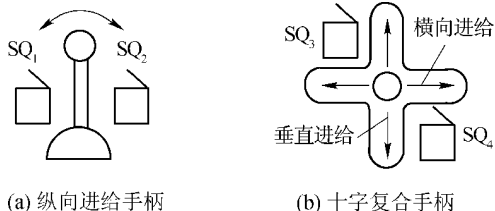


图 3-6 水平工作台的操作手柄

① 水平工作台纵向进给运动的控制。水平工作台局部控制电路如图 3-7(a) 所示。由于此时工作台转换开关  $SA_1$  置于水平工作台位置,故而  $SA_{1-1}$  与  $SA_{1-3}$  触头闭合。

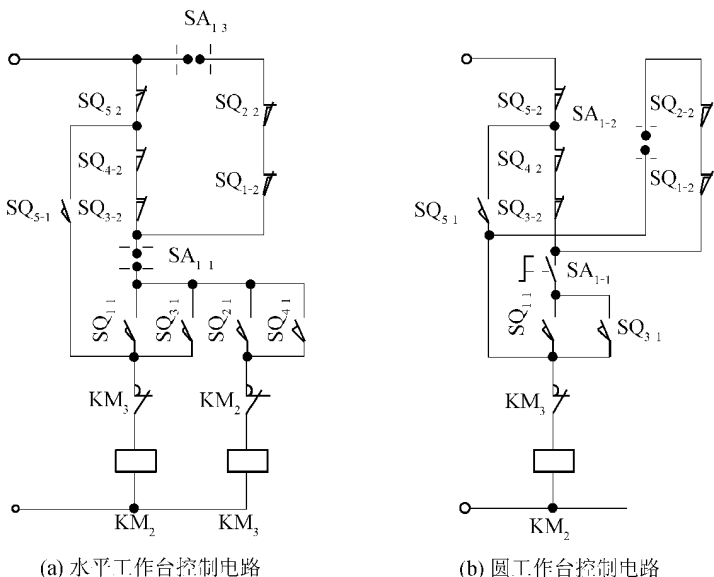


图 3-7 工作台控制电路

结合图 3-5,水平工作台纵向进给运动由纵向操作手柄与行程开关  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  联合控制。



主轴电动机启动后,若要工作台向右进给,需将纵向手柄扳向右边,通过联动机构将纵向进给离合器挂上,接通纵向进给运动的机械传动链,同时压动行程开关  $SQ_1$ ,使  $SQ_1$  常开触头  $SQ_{1-1}$  闭合,常闭触头  $SQ_{1-2}$  断开。于是接通进给电动机  $M_2$  正转交流接触器  $KM_2$  线圈电路,其主触头闭合, $M_2$  正转,驱动工作台向右进给运动。 $KM_2$  线圈通电的电流通路从  $KM_1$  常开辅助触头开始,电流经  $SQ_{5-2} \rightarrow SQ_{4-2} \rightarrow SQ_{3-2} \rightarrow SA_{1-1} \rightarrow SQ_{1-1} \rightarrow KM_3$  常闭辅助触头到  $KM_2$  线圈。从此电流通路中可知,若操作者误将十字复合手柄扳向其他工作位置时,则  $SQ_{4-2}$  和  $SQ_{3-2}$  中必有一个断开,使  $KM_2$  线圈回路断开,无法通电。这样就可使工作台左、右同前、后及上、下移动之间实现联锁控制。水平工作台向左移动时电路的工作原理与向右时相似,不再赘述。

当纵向手柄扳到中间位置时,纵向离合器脱开,行程开关  $SQ_1$  与  $SQ_2$  不受压,因此进给电动机  $M_2$  不转动,工作台停止移动。工作台的左右终端安装有限位挡块,当工作台运行到达终点位时,左右操作手柄就会被挡块撞到中间停车位置,用机械方法使  $SQ_1$  或  $SQ_2$  复位,从而将  $KM_2$  或  $KM_3$  断电,实现了限位保护功能。

②水平工作台横向和垂直进给运动控制。水平工作台横向和垂直进给运动的选择和联锁是通过十字复合手柄和行程开关  $SQ_3$ 、 $SQ_4$  联合控制的,该十字复合手柄有上、下、前、后、中五位置,其中中间位置是不工作的位置。当操作手柄向下或向前扳动时,通过联动机构将控制垂直或横向运动方向的机械离合器挂上,即接通该运动方向的机械传动链。行程开关  $SQ_3$  动作,使  $SQ_3$  常开触头  $SQ_{3-1}$  闭合,常闭触头  $SQ_{3-2}$  断开,接通进给电动机  $M_2$  正转接触器  $KM_2$  线圈电路,其主触头闭合,进给电动机  $M_2$  正转,驱动工作台向下或向前进给运动。 $KM_2$  线圈通电的电流通路仍从  $KM_1$  辅助常开触头开始,电流经  $SA_{1-3} \rightarrow SQ_{2-2} \rightarrow SQ_{1-2} \rightarrow SA_{1-1} \rightarrow SQ_{3-1} \rightarrow KM_3$  辅助常闭触头到  $KM_2$  线圈。上述电流通路中的常闭触头  $SQ_{2-2}$  和  $SQ_{1-2}$  用于工作台左、右及上、下移动同前、后移动之间的联锁控制。

当十字复合手柄向上或向后扳动时,行程开关  $SQ_4$  动作,使得进给电动机  $M_2$  反转的接触器  $KM_3$  线圈得电,电动机  $M_2$  反转,驱动工作台向上或向后进给运动。其联锁控制原理与向下或向前移动控制类似。

当十字复合手柄扳在中间位置时,横向或垂直方向的机械离合器脱开,行程开关  $SQ_3$  与  $SQ_4$  均不受压,进给电动机  $M_2$  停转,工作台停止移动。在机床的床身上同样也设置了上、下和前、后限位保护用的终端挡块,当工作台移动到极限位置时,挡块撞击十字手柄,使其回到中间位置,切断电路,使工作台停车于进给终点。

③水平工作台进给运动的联锁控制。铣床工作时在同一时间内,工作台只允许向一个方向运动,为防止机床运动干涉造成设备事故,各运动方向之间必须进行联锁。操作手柄在工作时,只有一种运动选择存在,因此铣床进给运动之间的联锁是由两操作手柄之间的联锁来实现的。

两操作手柄之间的联锁控制电路由两条电路并联组成,纵向操作手柄控制的行程开关  $SQ_1$ 、 $SQ_2$  的常闭触头串联在一条支路上,十字复合手柄控制的行程开关  $SQ_3$ 、 $SQ_4$  的常闭触头串联在另一条支路上。进行某一方向的进给运动时,需扳动一个操作手柄,这样只能切断其中一条支路,另一条支路仍能正常通电,使交流接触器  $KM_2$  或  $KM_3$  的线圈通电,若进给运动时由于误操作扳动另一个操作手柄,则两条支路均被切断,交流接触器  $KM_2$  或  $KM_3$  立即断电,使工作台停止移动,从而对设备进行了保护。

④水平工作台的快速移动。在进行对刀时,机床没有进行铣削加工,为了缩短对刀时间,要求水平工作台应能快速移动。由图 3-4(b)所示的运动传递简图可知,电磁离合器

YC<sub>1</sub>、YC<sub>2</sub> 线圈的通电与断电决定了水平工作台的进给方向选定是快速移动还是进给运动。快速移动为手动控制,在主轴电动机启动以后,按下启动按钮 SB<sub>5</sub> 或 SB<sub>6</sub>,交流接触器 KM<sub>4</sub> 便以“点动方式”通电。其常闭辅助触头断开,进给电磁离合器 YC<sub>2</sub> 线圈断电,断开工作进给传动链;KM<sub>4</sub> 常开辅助触头闭合,使快速移动电磁离合器 YC<sub>1</sub> 线圈通电,接通快速移动传动链,水平工作台沿给定的进给方向快速移动。当进入铣削加工区时,松开按钮 SB<sub>5</sub> 或 SB<sub>6</sub>,线圈 KM<sub>4</sub> 断电,其常闭辅助触头复位,接通进给移动传动链,水平工作台就以原方向继续工作,实现进给移动状态。

⑤水平工作台变速时的瞬时点动。水平工作台变速与主轴变速类似,水平工作台变速同样由机械系统完成,为了使变速时齿轮易于啮合,进给电动机 M<sub>2</sub> 控制电路中同样设置了瞬时点动控制环节。变速应在工作台停止移动时进行。在主轴电动机 M<sub>1</sub> 启动以后,拉出变速手柄,同时转至所需要的进给速度,再将手柄推回原位。变速手柄在复位的过程中压动瞬时点动行程开关 SQ<sub>5</sub>,使得 SQ<sub>5-1</sub> 闭合,SQ<sub>5-2</sub> 断开,短时接通 KM<sub>2</sub> 的线圈电路,使进给电动机 M<sub>2</sub> 实现瞬时转动。KM<sub>2</sub> 线圈通电的电流通路为从 KM<sub>1</sub> 常开辅助触头开始,电流经 SA<sub>1-3</sub>→SQ<sub>2-2</sub>→SQ<sub>1-2</sub>→SQ<sub>3-2</sub>→SQ<sub>4-2</sub>→SQ<sub>5-1</sub>→KM<sub>3</sub> 常闭辅助触头到 KM<sub>2</sub> 线圈。由以上分析可知,若纵向进给手柄和十字复合手柄中有一个不在中间停止位置,此电流通路就会被切断。变速手柄复位后,行程开关 SQ<sub>5</sub> 松开。与主轴瞬时点动操作相同,同样要求手柄复位动作迅速连续,若一次不到位,应重复瞬时点动的操作,直到齿轮良好啮合,保证进入正常工作状态。

(3)圆工作台控制。为了扩大铣床的加工能力和范围,还可在水平工作台上加装圆工作台,以实现圆弧、凸轮的铣削加工。圆工作台工作时,要求所有进给系统停止工作,即水平工作台的两个操作手柄均扳在中间停止位置,只允许圆工作台绕轴心转动。

当圆工作台上安装好工件以后,用快速移动方法将工件和铣刀之间的位置调整好,扳动工作台转换开关 SA<sub>1</sub>,使其置于圆工作台“接通”位置。此时触头 SA<sub>1-2</sub> 闭合,触头 SA<sub>1-1</sub> 与 SA<sub>1-3</sub> 断开。圆工作台局部控制电路如图 3-7(b)所示。在主轴电动机 M<sub>1</sub> 启动以后,工作台转换开关 SA<sub>1</sub> 的触头 SA<sub>1-2</sub> 闭合,接通交流接触器 KM<sub>2</sub> 的线圈电路,其主触头闭合,进给电动机 M<sub>2</sub> 正转,拖动圆工作台转动,该铣床中圆工作台只能单方向旋转。控制电路由主轴电动机控制接触器 KM<sub>1</sub> 的常开辅助触头开始,工作电流经 SQ<sub>5-2</sub>→SQ<sub>4-2</sub>→SQ<sub>3-2</sub>→SQ<sub>1-2</sub>→SQ<sub>2-2</sub>→SA<sub>1-2</sub>→KM<sub>3</sub> 常开辅助触头→KM<sub>2</sub> 线圈。由上述电路可知,圆工作台的控制电路中串联了水平工作台的四个工作行程开关 SQ<sub>1</sub>~SQ<sub>4</sub> 的常开触头,因此水平工作台任一操作手柄只要扳到工作位置,都会切断圆工作台的控制电路,使其立即停止转动,以此实现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。

该卧式铣床的局部照明由控制变压器 TC 供给 36 V 安全电压,照明灯开关为 SA<sub>4</sub>,照明电路的短路保护由 FU<sub>5</sub> 实现。

### 3.4 组合机床电气控制系统

组合机床是根据特定工件规定的加工工艺要求而设计制造的一种高效率自动化专用加工设备。常采用多刀(多轴)、多面、多工位同时进行铣、钻、扩、铰、镗等加工工作,并且具有自动循环工作的功能,在机械制造业中得到了广泛的应用。

组合机床通常由具有一定功能的通用部件(如动力部件、输送部件、支撑部件、控制部件等)和加工专用部件(如多轴箱、夹具等)组成,其中动力部件是组合机床通用部件中最主要的一类部件。常见的动力部件有动力头和动力滑台,在动力头上可安装多轴箱,而滑台上还可安装由各种切削头组成的动力头,因此动力滑台比动力头通用性更强。动力部件常采用电动机驱动或液压驱动系统,由电气控制系统实现工作自动循环的控制是典型的机电、机电液一体化的高自动化加工设备。

各通用动力部件的控制电路是独立完整的,当一台组合机床由多个动力部件组合构成时,该机床的控制电路即由各动力部件各自的控制电路通过一定的连接电路组合而成。对于由多动力部件构成的组合机床,其控制通常有以下三方面的工作要求:

- (1)动力部件的点动功能及复位控制。
- (2)动力部件的单机自动工作循环控制(也称为半自动控制)。
- (3)整机全自动工作循环控制。

下面以双面粗铣组合机床为例,分析这类机床的控制电路。

### 3.4.1 机床的结构及运动

双面粗铣组合机床是在工件两相对表面上进行铣削的一种高效自动化专用加工设备,用于对铸件、钢件及有色金属件的大平面铣削,一般用于柴油机、拖拉机、工程机械等行业箱体类零件的生产线上,其结构示意图如图3-8所示。两个动力滑台对称布置并安装在底座上,左、右铣削头安装在滑台上,中间的铣削工作滑台是用以完成铣削的通用进给动力部件,与铣削头配套,再配以各种夹具,选择合理的刀具和切削参数即可进行大走刀、强力铣削等高效率的铣削加工。

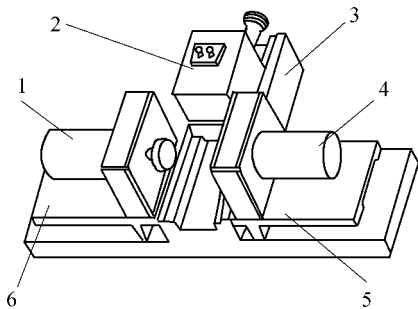


图 3-8 双面粗铣组合床结构示意图

- 1—左铣削头 2—待加工工件 3—铣削工作滑台 4—右铣削头  
5—机床右动力滑台 6—机床左动力滑台

双面粗铣组合机床的控制过程是典型的顺序控制,铣削工作滑台及机床左、右动力滑台的液压系统示意图如图3-9所示。工作时先将工件装入夹具定位、夹紧后,按下启动按钮,机床工作的自动循环过程开始。首先左、右铣削头同时进行快进,此时刀具电动机启动工作,行至终端停下;接着铣削工作台快进、工进;铣削完毕后,左、右铣削头快速退回原位,同时刀具电动机也停止运转;最后铣削工作台快速退回原位,夹具松开并取出工件,一次加工循环结束。整机自动循环的工作循环图如图3-10所示。

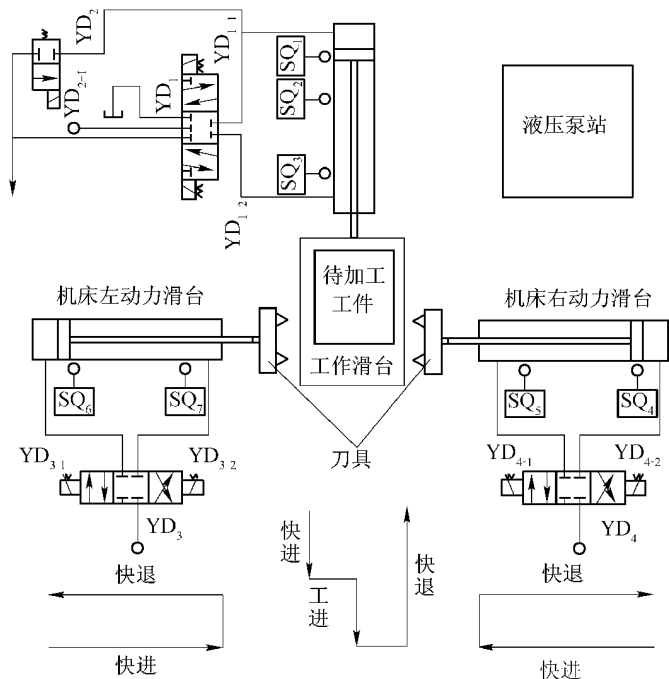


图 3-9 组合机床液压系统和工作循环示意图

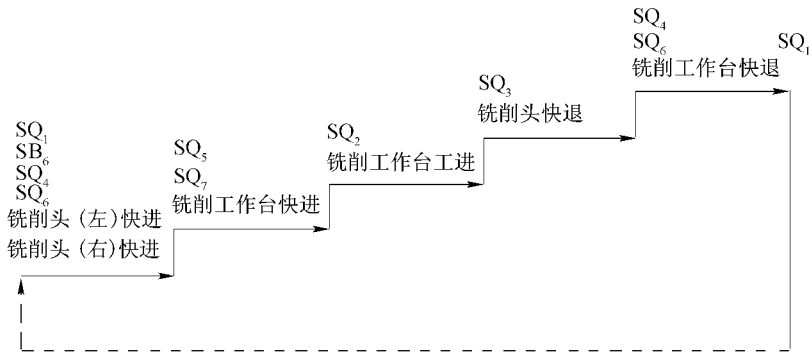


图 3-10 机床工作循环图

### 3.4.2 机床的拖动及控制要求

双面粗铣组合机床采用电动机和液压系统相结合的驱动方式。

#### 1. 液压驱动系统分析

双面粗铣组合机床的左、右动力滑台和铣削工作滑台均由液压系统驱动。由图 3-9 可知,左、右动力滑台的快进、快退动作分别由两个液压缸来完成,并由两个三位四通电磁换向阀 YD<sub>3</sub>、YD<sub>4</sub> 分别对其两个方向的运动进行切换,其中电磁阀线圈 YD<sub>3-1</sub> 与 YD<sub>3-2</sub> 控制左缸换向,电磁阀线圈 YD<sub>4-1</sub> 与 YD<sub>4-2</sub> 控制右缸换向,以完成滑台快进和快退;铣削工作滑台快进、工进和快退的控制原理在前面已分析过,该液压缸由电磁阀线圈 YD<sub>1-1</sub> 与 YD<sub>2-1</sub> 控制快进和工进,电磁阀线圈 YD<sub>1-2</sub> 控制快退。双面粗铣组合机床的控制流程图如图 3-11 所示,各工步电磁阀线圈通电状态如表 3-3 所示。

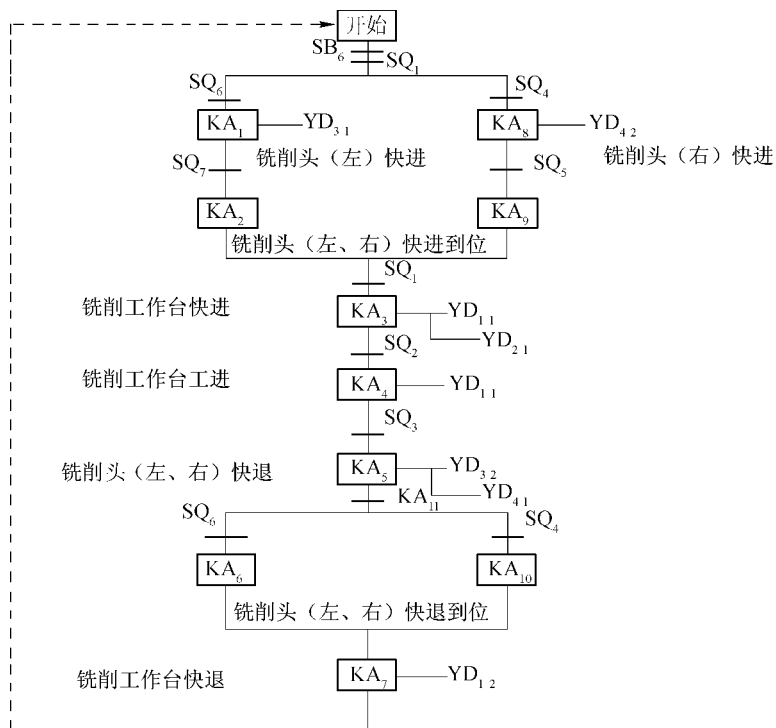


图 3-11 双面粗铣组合机床的控制流程图

表 3-3 各工步电磁阀线圈通电状态

工 步	电磁换向阀线圈通电状态						电动机运行		转换主令	
	YD <sub>1-1</sub>	YD <sub>1-2</sub>	YD <sub>2-1</sub>	YD <sub>3-1</sub>	YD <sub>3-2</sub>	YD <sub>4-1</sub>	YD <sub>4-2</sub>	M <sub>2</sub>		M <sub>3</sub>
铣削头快进				+			+	+	+	SB <sub>6</sub>
铣削工作台快进	+		+					+	+	SQ <sub>5</sub> 、SQ <sub>7</sub>
铣削工作台工进	+							+	+	SQ <sub>2</sub>
铣削头快退					+	+		+	+	SQ <sub>3</sub>
铣削工作台快退		+								SQ <sub>1</sub> 、SQ <sub>6</sub>
停止										SQ <sub>1</sub>
备注				左动力滑台		右动力滑台		刀具电动机		

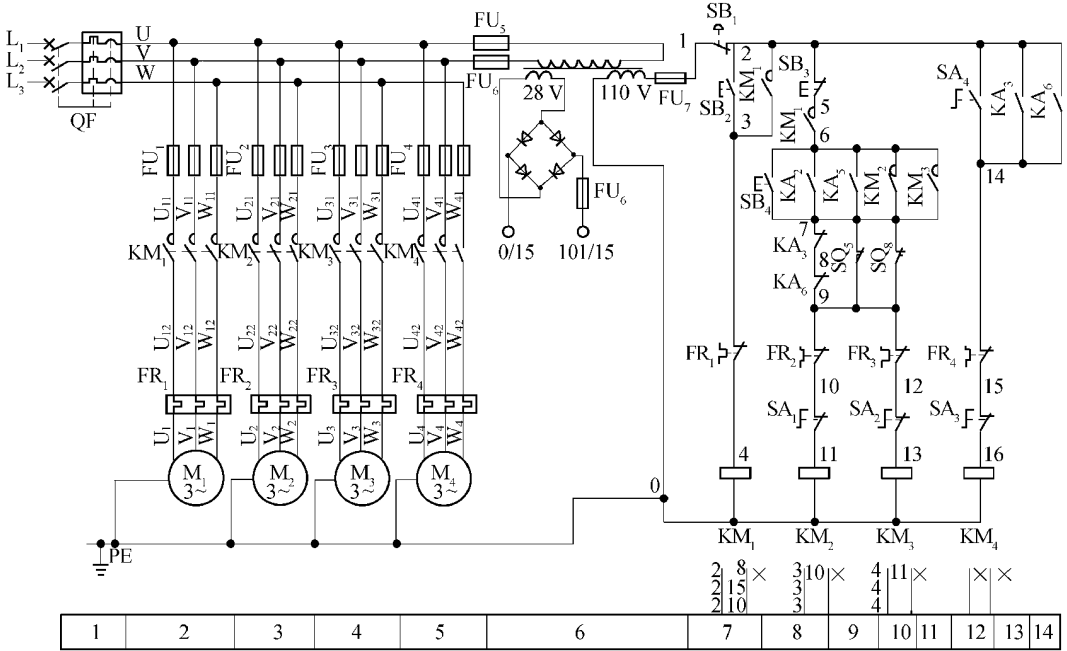
## 2. 电动机驱动电路分析

双面粗铣组合机床共有三台驱动电动机,其中  $M_1$  为液压泵电动机,要求首先直接启动,当液压系统正常工作后,其他控制电路才能通电工作; $M_2$ 、 $M_3$  分别为机床左动力滑台和右动力滑台的刀具电动机,刀具电动机在滑台进给循环开始时启动,滑台退回到原位时停机。

### 3.4.3 机床控制电路分析

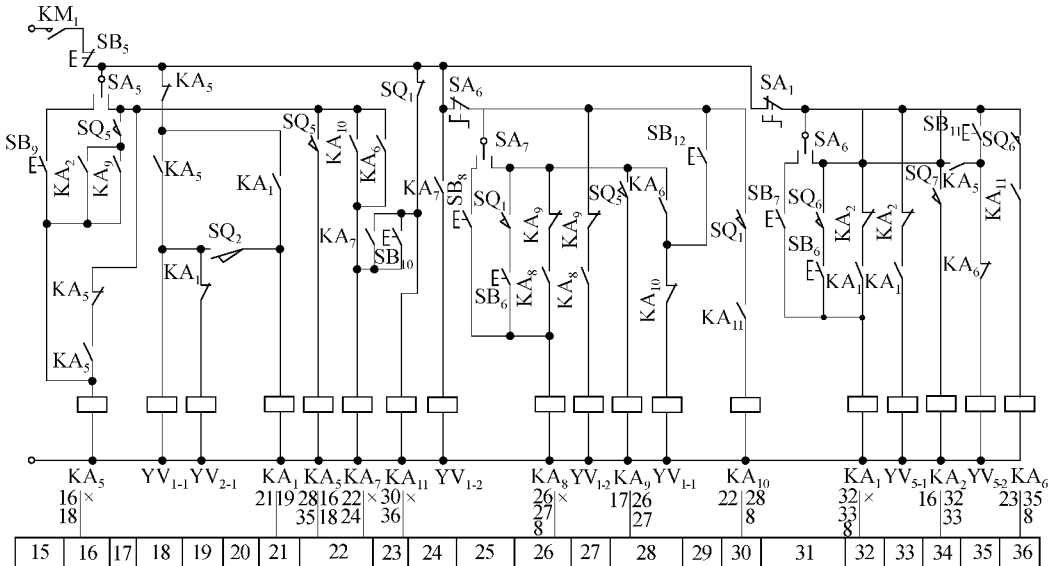
根据双面粗铣组合机床自动循环工作过程的要求,绘制出如图 3-11 所示的该机床的控制流程图。由此可得双面粗铣组合机床的电气控制原理图如图 3-12 所示。

电源开关	液压泵电动机	刀具(左)电动机	刀具(右)电动机	冷却泵电动机	控制变压器	液压电动机控制	刀具(左)电动机控制	刀具(右)电动机控制	冷却泵电动机控制
------	--------	----------	----------	--------	-------	---------	------------	------------	----------



(a)

工作台控制	右机滑台进给控制	左机滑台进给控制
-------	----------	----------



(b)

图 3-12 双面粗铣组合机床控制电路

图 3-12 所示的主电路中  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  和  $M_4$  四台电机均为直接启动、单向旋转,分别由交流接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$ 、 $KM_3$ 、 $KM_4$  的主触头控制它们的定子绕组通、断电。 $FR_1$ 、 $FR_2$ 、 $FR_3$ 、 $FR_4$  分别对四台电动机进行过载保护, $FU_1$ 、 $FU_2$ 、 $FU_3$ 、 $FU_4$  分别对四台电动机进行短路保护。

控制电路由控制变压器 TC 二级绕组提供所需交、直流电源,短路保护分别由  $FU_5$  和  $FU_6$  来实现。控制电路由交流电路部分和直流电路部分组成,交流电路部分用于对四台电动机进行控制,直流电路部分用于对液压系统进行控制。

### 1. 交流电路控制

交流控制局部电路如图 3-12 所示,其中  $SB_1$  为总停按钮, $SB_2$  为液压泵电动机启动按钮。当按下  $SB_2$  时,液压泵电动机的控制接触器  $KM_1$  通电,其主触头闭合,电动机  $M_1$  启动;其常开辅助触头闭合,接通刀具电动机和液压系统的控制电路,满足机床进入工作循环的条件。左机刀具电动机  $M_2$  和右机刀具电动机  $M_3$  在加工自动循环过程中,由中间继电器及行程开关控制启、停;在调整时,由按钮  $SB_4$ 、 $SB_3$  手动控制启、停;由选择开关  $SA_1$ 、 $SA_2$  将刀具电动机  $M_2$ 、 $M_3$  从工作循环中摘除,这样便于运动部件分别调整。

### 2. 直流电路控制

直流控制局部电路如图 3-12(b)所示,主要用于液压系统的控制,使机床实现自动循环的功能。它包括铣削工作台控制、左动力滑台控制及右动力滑台控制三部分,可实现整机点动调整、单机半自动循环、自动循环和复位控制。

自动工作循环开始时,要求接触器  $KM_1$  的常开辅助触头应闭合;左、右动力滑台在原位并压下行程开关  $SQ_6$  和  $SQ_4$ ;铣削工作台在原位并压下行程开关  $SQ_1$ 。以上条件满足时,按下启动循环的按钮  $SB_6$ ,自动加工工作循环过程即可开始,按钮  $SB_5$  可终止循环。选择开关  $SA_4$  与  $SA_5$  可以将左动力滑台或右动力滑台从整机循环中摘除,从而实现单机半自动循环。当  $SA_5$  触头断开时, $SA_4$  触头闭合,右动力滑台从整机循环中摘除。此时按下启动循环按钮  $SB_6$ ,左动力滑台单独循环工作;当  $SA_5$  触头闭合, $SA_4$  触头断开时,左动力滑台从整机循环中摘除。此时按下启动循环按钮  $SB_6$ ,右动力滑台单独循环工作。

选择开关  $SA_3$ 、 $SA_6$  与  $SA_7$  分别用来选择铣削工作台、左动力滑台与右动力滑台的工作方式,扳到手动位置时,可通过点动按钮  $SB_9$ 、 $SB_7$ 、 $SB_8$  分别控制铣削工作台、左动力滑台与右动力滑台向前点动;扳到自动位置时,可通过复位按钮  $SB_{10}$ 、 $SB_{11}$ 、 $SB_{12}$  分别使它们快速退回原位。

由上述分析可知,双面粗铣组合机床的控制过程是典型的顺序控制,输入输出均为开关量。实际生产应用中可将原来的继电器控制系统改造为 PLC 控制,使其快速地适应不同的控制要求,既方便、高效又可靠。

## 本章小结

1. 本章在常用低压电器和继电-接触器基本控制电路基础之上,对常用设备的控制电路进行了详细的分析。

2. 讲述了设备整体系统分析的三个方面:常用机械设备状况调查;电气设备及电气元件

选用;设备和电气元件的连接关系分析。

3. 从车床的结构和工作要求,电力拖动和控制要求到车床电器控制系统都进行了简要分析,对电器控制系统的各个部分进行了解析,使读者对基础电路有进一步的了解。

4. 结合常用的万能卧式铣床的结构、电力拖动、电气控制系统,对铣床各部分的电控进行了详细的分析,使读者对基础电路以及较复杂的控制电路有更深的了解。

5. 利用组合机床的工作循环图及工作控制流程图,对组合机床的控制电路进行了分析,总结了其控制过程为顺序控制,引导读者了解实际生产中的情况,即可以用 PLC 控制取代继电器控制系统,培养学生对 PLC 的兴趣。

## 习 题 3

**3-1** 试述车床主轴正反转控制与铣床主轴正反转控制有何不同。

**3-2** 在 C650 车床电气控制线路中,可以用  $KM_3$  的辅助触头替代 KA 的触头吗?为什么?

**3-3** 试述 C650 车床主轴电动机的制动过程。

**3-4** 卧式万能铣床电气控制线路中设置主轴及进给瞬时点动控制环节的作用是什么?试述主轴变速时瞬时点动控制的工作原理。

**3-5** 试述卧式万能铣床控制电路中圆工作台的工作过程及联锁保护原理。

**3-6** 卧式万能铣床是如何实现水平工作台各方向进给联锁控制的?

**3-7** 组合机床常用在什么场合?通常由哪些部件组成?其控制线路有什么特点?



# 第 6 章 电气控制系统设计

现代机电设备种类繁多,机-电、液-电和气-电的配合也越来越多,但它们的电气控制系统设计原则和方法却基本相同。机电设备设计的工作包括机械设计和电气设计两个主要部分。电气设计通常是和机械设计同时开始和进行的。一台机械设备的工作效率与其电气自动化的程度有着十分密切的关系。因此,对于机械设备设计人员来说必须对电气设计和安装方面的知识有一定掌握,才能设计出高效、安全、合理的电气控制系统。

设备电气设计的内容比较广泛,本章将概括地介绍电气控制系统设计的基本内容和方法,最后以电气控制的应用为例来加深和巩固前面的内容。

## 6.1 电气控制系统设计的基本原则和内容

机械设备的电气控制系统是整机设计的重要组成部分,在设计过程中,只有遵循电气控制系统设计的基本原则和内容,才能合理选择电气控制方案,简便、可靠、经济地实现机械设备控制要求。本节将基于电气控制装置设计中涉及的相关知识,讨论设计时所应遵循的基本原则和主要内容。

### 6.1.1 电气控制系统设计的基本原则

电气控制系统设计的基本原则主要是从系统的功能性、安全性、合理性和经济性几个方面来实现对控制系统规划,使设计出的电气系统能够满足设备安全、可靠地运行的要求,并能满足设备的控制要求,这些设计原则主要有五个方面:

#### 1. 满足机械设备对电气控制系统的要求

机械设备是在电气控制系统的控制下运转的,因此必须保证电气系统能最大限度地满足机械设备运转的要求。

#### 2. 使机和电合理配合

在现代工业发展中,设备工作运行可单独由机械方式实现,也可单独由电气方式实现,只有合理考虑两者之间的关系和正确选用合适的组合方式,才能使设备达到要求的技术指标和经济指标。

#### 3. 力求使控制系统简单、经济

在满足设备生产要求的前提下,电气控制系统设计应力求简单、制造和维修方便、经济性高。产品的可靠性是指在规定的条件和时间内完成规定功能的能力,设备系统通常以其性能价格比和运行的可靠性来衡量。提高系统工作的可靠性和设备的性能价格比是电气控制系统设计中遵循的原则。

#### 4. 合理选用电气元件

正确合理地选择电气元件可保证设备运行经济可靠。电气元件及设备选用的原则是在可以保证设备运行可靠有效的基础上,尽量减少元器件的规格种类,以提高它们的重复使用次数,为设备在采购、管理和使用时带来方便。

#### 5. 尽量便于操作和维修

制造设备是为了使设备满足生产和生活的需求,便于使用和维护也是设计系统时应考虑的问题。设计简单、安全、高效的操作系统可以提高设备的使用效率和安全性。

针对电气系统的设计和制造,我国颁布了一系列相关的国家标准,标准涉及系统设计参数选用、电气设备安全性设计、设备通用要求等。对电气传动系统设计的具体方面,也做了相应的规定,因此在电气系统设计的过程中,设计的系统还需要符合这些标准及要求。

### 6.1.2 电气控制系统设计的内容

电气控制系统的设计主要涉及两大步骤:分析阶段和设计阶段。在电气控制系统设计过程中,由于机械部分是电气系统的控制对象,故而两者是既独立,又相互关联的两大部分。在分析阶段需要对设备的机械结构、功能要求进行分析,并在分析的基础上确定电气系统的控制目标。在设计阶段则依据机械设备对控制的要求,设计和完成电气控制装置在制造、使用和维护过程中所需的技术文件。机械设备完成工作任务的好坏,由电气系统的控制决定。对电气系统设计而言,不仅需要对电气系统设计方法以及所涉及机械设备、电气元件性能有很好的掌握,同时也需要对机械与电气交互相连部分有所了解。电气控制系统设计的主要工作内容如下:

#### 1. 拟定电气设计任务书

对机械设备的分析包括两个方面的内容:设备的主要技术性能分析和设备电气控制系统技术要求分析。根据设备的结构组成、动力驱动方式、运动控制要求、调速要求等分析电气系统的控制方式,拟定合理的电气设计任务书。

#### 2. 选择电气传动形式与控制方案

正确合理地选择电气传动形式和控制方式是电气系统设计的关键,它不仅关系到设备的使用性能,而且也影响设备的机械结构和控制的总体方案。电气控制方式需要根据设备总体控制要求和各种电气控制方式的特点拟定,当系统控制方式选定后,后续设计将在此基础上展开。

#### 3. 选择电动机的类型

电动机是整个控制系统的中枢,它的类型及技术参数的选择,在整个控制系统中至关重要。在选择电动机时,首先要选择合适的功率,而电动机的转速、电压、结构形式等也要考虑。

#### 4. 确定技术条件与实施条件

在前面各项分析的基础上,根据设备总体设计任务书以及拟定的电气设计技术条件,即可进行所有的电气设计图纸部分和技术资料部分的工作。具体的电气设计工作应包括以下内容:

(1) 设计电气控制原理图,确定各部分之间的关系,拟订各部分技术指标与要求;

- (2) 选择电气元件,制定电气元件明细表;
- (3) 画出电气图,执行电气控制部件以及检测元件的总布置图;
- (4) 设计电气柜、操作台、电气安装板以及非标准电器和专用安装零件;
- (5) 绘制装配图和接线图;
- (6) 编写设计计算说明书和使用说明书。

根据机械设备的总体技术要求和电气系统的复杂程度不同,以上图纸和技术文件也可适当合并或增减。

## 6.2 电气控制系统设计的方法

电气控制线路的设计方法有两种,即经验设计法和逻辑设计法。前者是根据经验,后者则依据逻辑代数进行。目前常用的方法是根据经验设计,然后用逻辑代数进行控制设计的简化。

### 6.2.1 经验设计法

所谓经验设计法就是根据生产工艺的要求选择适当的基本控制环节(单元电路),把它们组合在一起的方法。这就像为了实现一定的工作目的,用一些标准零件和部件组合一台组合机床一样。当控制系统比较简单时,可采用经验设计法。经验设计法比较简单,要求设计人员必须熟练掌握各种典型的基本控制电路,才能在具体设计时靠自己的经验设计出正确的控制系统。由于依据的是经验,故而设计灵活性较大,对于设计出的控制电路是否是最佳方案要加以分析,并要反复修改简化,甚至要通过实验加以验证。经验设计法的特点是没有固定的设计程序,设计方法也不复杂,容易被初学者所掌握,对于具有一定工作经验的电气系统设计人员来说,能较快地完成设计任务,因此在电气设计中应用比较广泛。

### 6.2.2 逻辑设计法

所谓逻辑设计法就是根据生产工艺的要求,利用数学逻辑来分析、设计控制系统的方法。用这种方法设计的电路比较合理,特别适用于设计较复杂的生产工艺所要求的控制电路。但是对于设计者而言,逻辑设计法难度较大,不易掌握。

这种设计方法可用于实现数量不多的开关量自动控制线路,并能确定满足其逻辑功能所必需的、最少的中间继电器的数目,设计的电路结构较为合理、利用的元件数量较少,可得到最佳的设计方案。但当系统复杂时,此方法工作量大且易出错。目前,对于较复杂的开关量控制系统均采用可编程控制器控制。

## 6.3 继电器控制线路设计方法

进入 20 世纪以来,流水线生产和社会化大生产的蓬勃发展使继电器控制系统被广泛地应用于工业生产的各个领域,一般的继电器控制系统可以看成由输入电路、控制电路、输出电路和控制对象四个部分组成。继电器控制部分是整个控制系统的核心部分,不同的逻辑

控制功能都是由它来完成的。

继电器控制线路的设计是在满足生产要求的前提下,力求使线路简单、经济、可靠且维修方便。下面从几个不同的角度来说明继电器-接触器控制电路设计的一般规律:

- (1)用典型控制线路或经过实际检验的线路为基础单元来组成控制电路。
- (2)当确认控制原理正确时,缩短导线长度和减少导线的数量是非常有必要的。

如图 6-1(a)所示,在设计时,将启动按钮和停止按钮直接连接,电器装配时减少一根引出线,而如图 6-1(b)所示的图形由于设计不够合理,安装连接时则多用了导线。

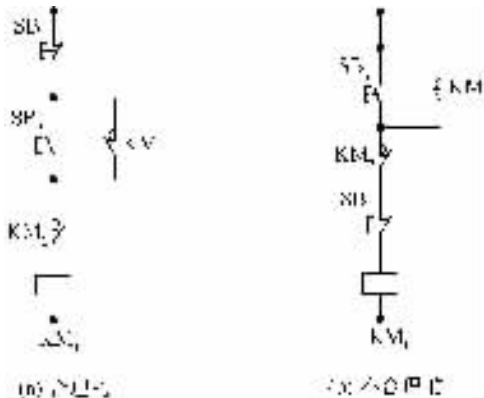


图 6-1 电气元件的连接

(3)减少触头和通电时间。一般采用卡诺图或用公式化简控制电路的控制逻辑计算来减少不必要触头,这样可以使电路达到最简。减少电气元件不必要的通电时间,不仅可以节约电能,最主要的目的是延长电气元件的使用寿命。例如,能耗制动过程结束后,应立即将控制制动过程的各种电器线圈断电或复位。

(4)尽量减少线圈通电电流经过的触头数量,以提高线路的可靠性。一个触头能完成的动作,就不用两个触头来完成。同时要注意触头的额定电流是否对其他回路产生影响。如图 6-2 所示为两个简化触头的例子。

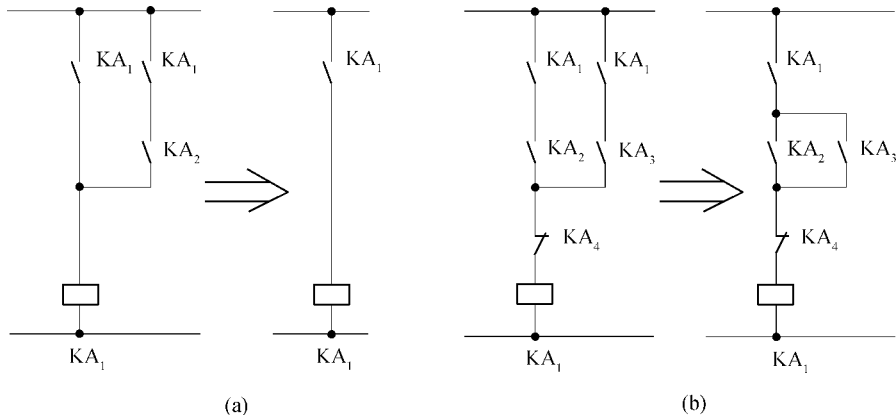


图 6-2 电路的简化

(5)合理安排电气元件触头位置,正确连接电磁线圈。为了保证电磁机构能可靠工作,同时动作的电器,其电压线圈只能并联,电流线圈只能串联。如图 6-3(a)所示,  $KM_1$  与

$KM_2$  两个线圈串联使用是错误的,这样会使继电器线圈达不到所需的动作电压,应将  $KM_1$  与  $KM_2$  两个线圈并联使用,如图 6-3(b)所示。

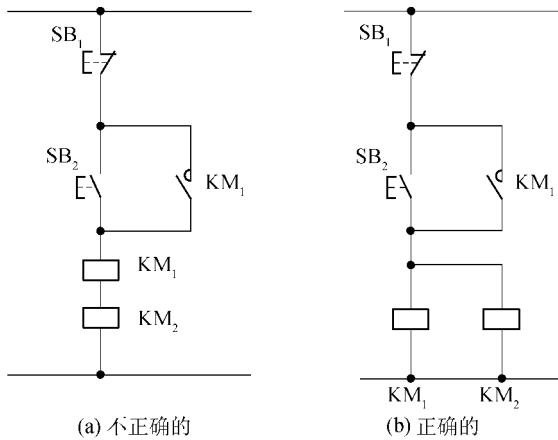


图 6-3 线圈的连接

(6)防止出现竞争现象。如图 6-4(a)所示为用时间继电器组成的自关断电路图。电路的设计思想是:当到达  $KT$  延时时间后,其延时常闭触头断开, $KT$  线圈回路断路,时间继电器得以复位。用继电器自身的常闭触头来切断其线圈的回路时,往往会产生不可靠的竞争现象,使本来需要关断的电路没有断开,电路设计时必须避免。在图 6-4(a)中,当时间继电器的常闭触头延时断开后, $KT$  的线圈失电,由于继电器本身的特点,经过  $X$  秒后,断开的常闭触头恢复闭合,由于某种原因如触头的黏合,使闭合的瞬时常开触头断开需要  $X_1$  秒。若  $X_1 > X$  时,则  $KT$  的继电器线圈再次吸合,此现象就叫触头竞争。因此,在设计控制电路时,往往在电路中增加起控制作用的中间继电器  $KA$ ,避免竞争现象的发生,如图 6-4(b)所示。

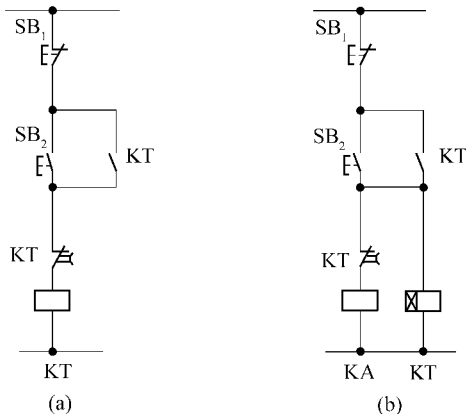


图 6-4 竞争电路

(7)合理选择控制系统中电气元件的控制电压。控制电路中所使用的电气元件种类繁多,如各种照明灯、指示灯、传感器、接触器线圈以及电磁阀等执行元件,由于它们的供电电压各不相同,故而控制电路设计的另一项重要内容就是电气元件控制电源的选择。控制电源有交流和直流两大类。对于简单的控制系统,可直接用交流电网供电。当电路比较复杂,使用的电器较多,对工作可靠性要求较高时,控制电路的电源需要用控制变压器降压提供。

## 6.4 PLC 控制系统设计的内容和方法

PLC 是一种以微处理器为核心,综合了计算机技术、自动控制技术和现代通信技术发展起来的通用的工业自动控制装置,它具有使用可靠性高、体积小、功能齐全、程序设计简单、使用方便、维护简单、功耗低、抗干扰能力强等一系列优点,因而在冶金、能源、化工、交通、电力等领域中有着广泛的应用,成为现代工业控制的三大支柱之一。

PLC 的内部结构尽管与计算机类似,但其接口电路不相同,编程语言也不一样。因此,在设计 PLC 控制系统时,需要根据 PLC 自身的特点和性能进行系统设计。本章就 PLC 控制系统设计的基本原则、基本内容和方法进行阐述,以便初学者掌握。当然,要设计一个经济、实用、可靠、先进的 PLC 控制系统,还需要设计者有丰富的专业知识和实际工作经验。

### 6.4.1 PLC 控制系统设计的原则

任何一种电气控制系统都是为了实现被控对象的工艺要求,提高生产效率及产品质量。因此,在设计 PLC 控制系统时,应遵循以下的基本原则。

#### 1. 最大限度地满足被控制对象的控制要求

设计 PLC 控制系统前,除需了解被控对象的控制要求外,还应深入现场进行调查分析,搜集相关资料,并与有关技术人员和实际操作人员密切配合,更深入地了解被控对象额外的实时要求,共同拟定正确、详细的电气控制方案。

#### 2. 系统力求简单

在满足控制要求的前提下,控制系统应简单、经济、实用、维修方便,这不仅是设计人员所追求的,也是用户要求的。

#### 3. 保证控制系统安全、可靠

控制系统的安全(包括人身安全)、可靠是提高生产效率和保证产品质量的必要条件,是衡量控制系统性能好坏的重要因素之一。

#### 4. 控制系统能方便地进行功能扩展、升级

考虑到以后的发展以及生产和工艺的改进,在选择 PLC 容量时,应适当留有裕量。

### 6.4.2 PLC 控制系统设计的内容

PLC 控制系统是由 PLC 与用户输入、输出设备连接而成的。PLC 控制系统的设计主要分为硬件电路设计和 PLC 软件编程两个方面。因此,PLC 控制系统的基本内容包括六点:

#### 1. 选择合适的 I/O 设备

依据项目要求,选择合适的用户输入设备(按钮开关、操作开关、限位开关、传感器等)、输出设备(继电器、接触器、信号灯、驱动器等执行元件)以及由输出设备驱动的控制对象(电动机、电磁阀等)。

#### 2. 选择合适的 PLC

PLC 是 PLC 控制系统的核心部件,正确选择 PLC 对于保证整个控制系统的技术经济

性能指标和质量起着极其重要的作用。PLC 的选择包括机型、容量、I/O、扩展模块、电源等的选择。

### 3. 合理分配 I/O 点

依据 PLC 各个 I/O 点的功能绘制 I/O 端子接线图,是合理分配 I/O 点的必要保证,同时也要充分考虑必要的安全保护措施。

### 4. 设计电控柜

设计合理的电控柜是一个优质控制系统的保障,电控柜内适度的空间和气流的通道都将影响系统的长时间工作性能,所以现在的设计软件中都增加了这方面的模拟分析功能。

### 5. 设计控制程序

设计控制程序包括设计梯形图、程序清单和控制系统流程图。控制程序是控制整个系统工作的软件,是保证整个系统工作正常、安全、可靠的关键。控制系统的设计必须经过反复调试、修改,直到满足要求为止。

### 6. 编制控制系统的技术文件

系统技术文件包括说明书、电气原理图、电气布置图、电气元件明细表、PLC 梯形图等。

## 6.4.3 PLC 控制系统的设计方法

设计一个满足要求的 PLC 控制系统是比较复杂的系统工程。在 PLC 控制系统的设计中,首先要对控制对象进行详细调查分析,然后确定控制方案,最后按系统动作控制要求进行硬件和软件的设计和调试,直到满足控制系统设计要求为止。设计若按照一定的方法进行,不仅可以使整个设计工作顺利开展,还可以有效地减少设计过程中的失误,提高设计的效率。

### 1. 明确被控制对象和技术要求

全面详细地了解被控制对象的机械结构、生产工艺过程、运动要求和运动方式是设计合理的控制系统的前提。

### 2. 制定系统的控制方案

根据生产工艺和机械运动的控制要求,首先确定控制系统的工作方式,如全自动、半自动、手动、单机运行、多机联机运行等;然后确定系统的其他功能,如故障检测与诊断、显示报警、紧急情况的处理、管理功能、通信功能等。从而可以基本确定系统的控制方案。

### 3. PLC 的选型与硬件配置

根据以上各步骤所得到的结果,选择合适的 PLC 型号并确定各种硬件配置。

### 4. 程序设计

设备是否按要求进行运行由 PLC 程序控制,因此程序设计是 PLC 系统应用中最关键的问题,也是整个控制系统设计的核心。程序设计的主要任务是根据控制要求,把工艺流程图转换成梯形图。程序设计可根据需要选用熟悉的方法,如经验法、状态流程图法、逻辑法等,也可以综合使用各种方法。

### 5. 模拟运行与调试程序

将设计好的程序通过编程器送至 PLC 内部之后,首先要逐条进行检查和验证,改正程

序设计中的逻辑、语法、数据错误或输入过程中的按键及传输错误,然后进行模拟运行与调试程序,发现问题并及时修改,将改正的程序再传送到 PLC 中,直到完全满足工作循环图或状态流程图的要求为止。

## 6. 联机调试程序

在工作场地进行联机调试可以发现程序存在的实际问题和不足,通过调试和修改后使程序完全符合实际工作条件下的控制要求。

## 7. 编写技术文件

编写技术文件包括整理程序清单并保存程序,编写元件明细表、主电路图,整理相关的技术参数,编写控制系统说明等。

# 6.5 应用举例

## 6.5.1 继电器控制系统设计实例

现以 CW6163 型卧式车床为例来说明电气原理图设计的一般过程。CW6163 型卧式车床是应用较为广泛的普通小型车床,其车削工件的最大直径为 630 mm,最大长度为 1500 mm。

### 1. 机床电气传动的特点及控制要求

- (1) 由一台主电动机来驱动主轴和进给运动。
- (2) 主轴正反转的切换依靠两组机械式摩擦片离合器完成。
- (3) 采用液压制动器来满足主轴的制动要求。
- (4) 为了操作方便,主轴的启、停要求两地控制。
- (5) 由于加工工件的最大长度较长,为了减少辅助工时,要求配备一台刀架快速移动电动机。
- (6) 车削时,由于车刀和工件的摩擦会产生高温,因此要求配备一台冷却泵电动机。
- (7) 由一个操作手柄控制进给运动的纵向(左右)运动、横向(前后)运动以及快速移动。
- (8) 需要一套局部照明装置以及一定数量的工作状态指示灯。

### 2. 机床电动的配置

根据前面所述的电气控制要求,该机床需配备三台电动机:主轴电动机  $M_1$ 、冷却泵电动机  $M_2$  和快速移动电动机  $M_3$ 。电动机选择在机械设计时选定。

### 3. 电气控制线路图的设计

#### 1) 主电路的设计

根据机床所配置的电动机需要,设计电动机的驱动电路。

(1) 主轴电动机  $M_1$ 。电动机  $M_1$  用来控制主轴的旋转运动和进给运动,功率较大,但车削在启动以后进行,且主轴的正反转是通过机械式摩擦片离合器方式实现的,因此可采用直接启动控制方式,由接触器  $KM_1$  进行控制;主电路中应串联热继电器  $FR_1$  的热元件,目的是过载保护。为了及时了解机床的工作电流,主电路中还应串联电流表 PA。由此可设计出主



轴电动机  $M_1$  的主电路,如图 6-5 所示。电动机  $M_1$  在图中未设置短路保护,它的短路保护由机床前一级配电箱中的熔断器来实现。

(2)冷却泵电动机  $M_2$  和快速移动电动机  $M_3$ 。电动机  $M_2$  和  $M_3$  功率较小,可由接触器  $KM_2$  和  $KM_3$  分别进行控制;冷却泵电动机  $M_2$  的过载保护由热继电器  $FR_2$  实现,由于控制快移的电动机  $M_3$  工作时间短,故它不需设置过载保护。

## 2) 控制电路设计

在控制电路设计过程中,可以分两步进行,首先针对各控制对象设计局部控制电路,然后依据局部电路之间的相互关系,将局部电路连接为完整电路。根据设备控制要求分析可知,控制电路可分为主轴电动机控制、冷却泵电动机控制、快速移动电动机控制和信号照明四个局部电路。

控制电路的电源由控制变压器 TC 提供,以保证控制电路安全可靠和满足电路中照明及指示灯的要求,它所转换的二次侧电压分别为 127 V (提供给控制电路)、36 V (提供给照明电路)和 6.3 V(提供给指示灯电路)。

(1)主轴电动机  $M_1$  控制电路。由于机床较大,为了操作方便,故主轴电动机  $M_1$  可在主轴箱操作板上和刀架拖板上分别设置停止按钮  $SB_1$ 、 $SB_2$ ,而按钮  $SB_3$ 、 $SB_4$  对接触器  $KM_1$  线圈的通断电进行两地启动控制,如图 6-6 所示。

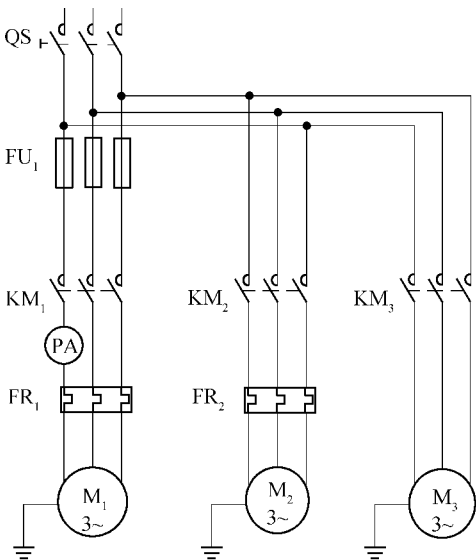


图 6-5 主电路

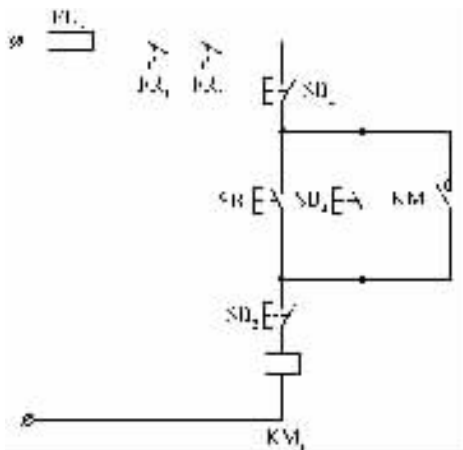


图 6-6 主轴电动机控制电路

(2)冷却泵电动机  $M_2$  和快速移动电动机  $M_3$  控制。冷却泵电动机  $M_2$  采用接触器控制的直接启动控制方式,由装在主轴箱板上的按钮  $SB_6$ 、 $SB_5$  进行启、停操作;快速移动电动机  $M_3$  采用点动控制方式,由按钮  $SB_7$  和接触器  $KM_3$  来控制。冷却泵电动机  $M_2$  和快移电动机  $M_3$  的控制电路分别如图 6-7、6-8 所示。

(3)信号指示与照明电路的设计。该机床可设置两个指示灯:主轴电动机是否运行的指示灯  $HL_1$  (红色)和三相电源接通指示灯  $HL_2$  (绿色)。在电源开关 QS 接通以后,三相电源接通指示灯  $HL_2$  立即发光显示,说明机床电气线路已处于供电状态。两个指示灯  $HL_1$  和  $HL_2$  可分别由接触器  $KM_1$  的辅助常开和常闭辅助触头进行切换通电显示,如图 6-9 所示。

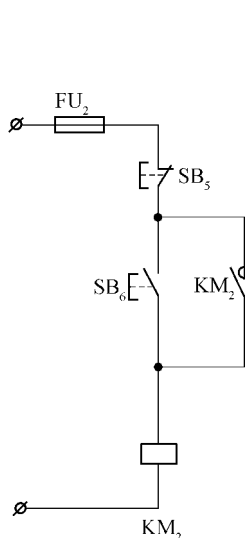


图 6-7 冷却泵电动机控制电路

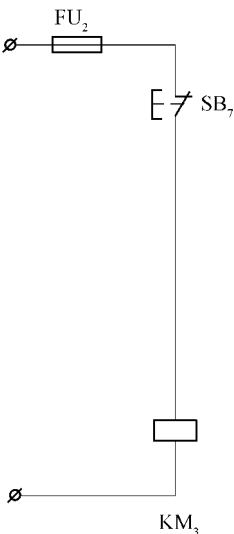


图 6-8 快速移动电动机控制电路

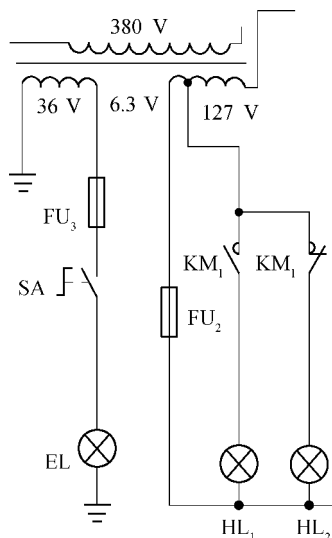


图 6-9 照明与指示灯电路

操作板上还设有交流电流表 PA, 它被串联在主轴电动机  $M_1$  的主电路中, 以显示机床的工作电流。这样在车削加工时, 可根据电动机工作情况及时调整切削量使  $M_1$  尽量满载运行, 以提高生产效率和电动机的功率因数。另外还设置了照明电路, 由照明灯 EL、灯开关 SA 和熔断器  $FU_3$  组成。

最后, 根据各局部线路之间的相互关系以及相应的电气保护线路绘制出的 CW6163 型卧式车床的电气控制原理图如图 6-10 所示。

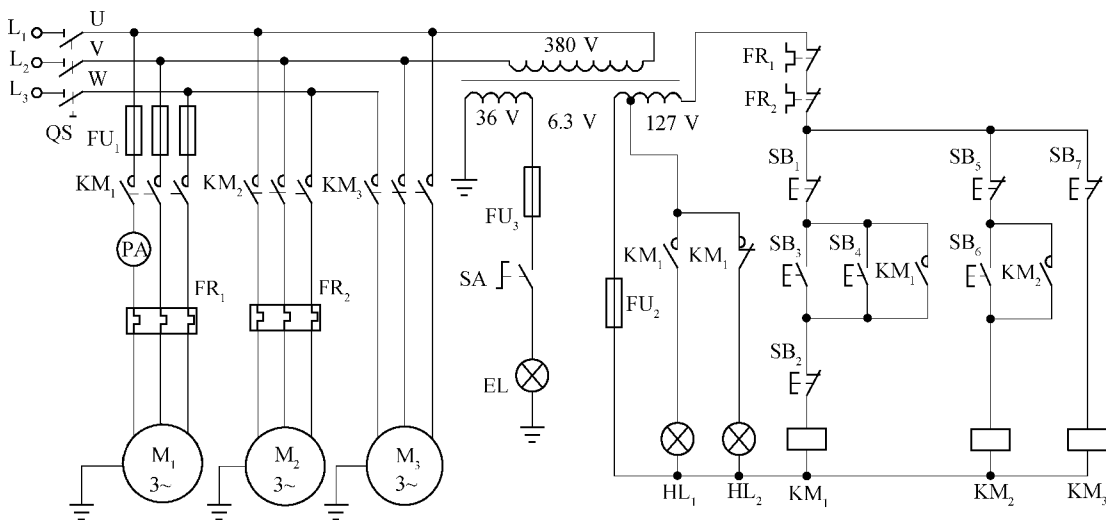


图 6-10 CW6163 型卧式车床的电气控制原理图

### 6.5.2 PLC 控制系统设计实例

学习 PLC 的目的是要把它应用到实际的控制系统中。对于一个初学者来说, 往往不知道该如何入手设计一个电气控制系统。若遇到实际的工业控制项目时, 需采用 PLC 电气控

制,往往不知所措。本节结合有关 PLC 控制系统设计方法、内容、原则讲解和分析 PLC 控制系统的设计步骤、运动控制要求、I/O 接口、电路及应用程序等,加深初学者对前面知识的理解,为设计一个实际工程项目打下扎实的基础。

### 1. 基于 PLC 对 Y- $\Delta$ 降压启动控制系统

电动机线圈接成三角形时,每相绕组所承受的电压是电源的线电压;而接成星形时,每相绕组所承受的电压是电源的相电压。因此,对于正常运行时定子绕组接成三角形的笼型异步电动机,控制线路也是按时间原则实现控制的。为了使启动时电流较小,提高电动机的使用寿命,可以在启动时将电动机定子绕组接成星形,使加在电动机每相绕组上的电压变为电源的相电压,从而减小启动电流。待电动机启动后按预先设定的时间把电动机换成三角形联结,使电动机在额定电压下运行。Y- $\Delta$  降压启动控制电路如图 6-11 所示。

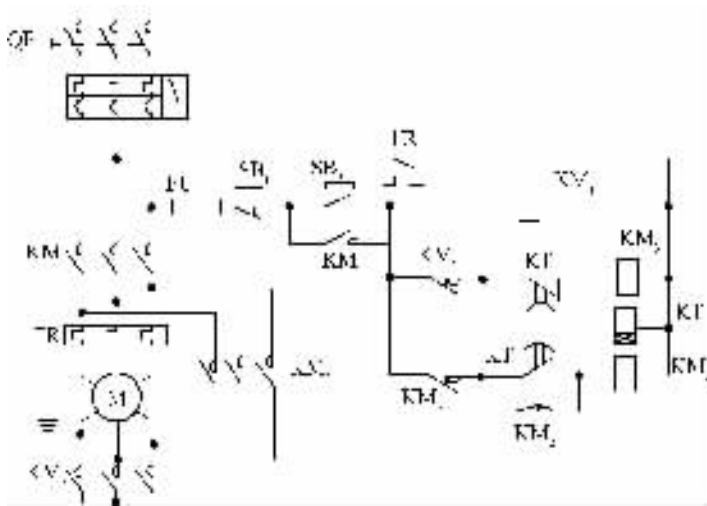


图 6-11 Y- $\Delta$  降压启动控制电路

#### 1) 启动过程

Y- $\Delta$  降压启动过程如图 6-12 所示。

#### 2) 选择 PLC 型号

根据控制要求,PLC 控制系统选用 SIEMENS 公司 S7-200 系列的 CPU222 进行电动机 Y- $\Delta$  降压启动系统控制。

#### 3) 系统的硬件设计

(1) Y- $\Delta$  降压启动控制电路 I/O 分配表如表 6-1 所示。

(2) Y- $\Delta$  降压启动控制电路 I/O 接线图,如图 6-13 所示。

表 6-1 Y- $\Delta$  降压启动控制电路 I/O 分配表

输入信号	SB <sub>1</sub> 为停止按钮	I0.0
	SB <sub>2</sub> 为启动按钮	I0.1
输出信号	KM <sub>1</sub> 为交流接触器	Q0.1
	KM <sub>2</sub> 为交流接触器	Q0.2
	KM <sub>3</sub> 为交流接触器	Q0.3

启动过程如下：

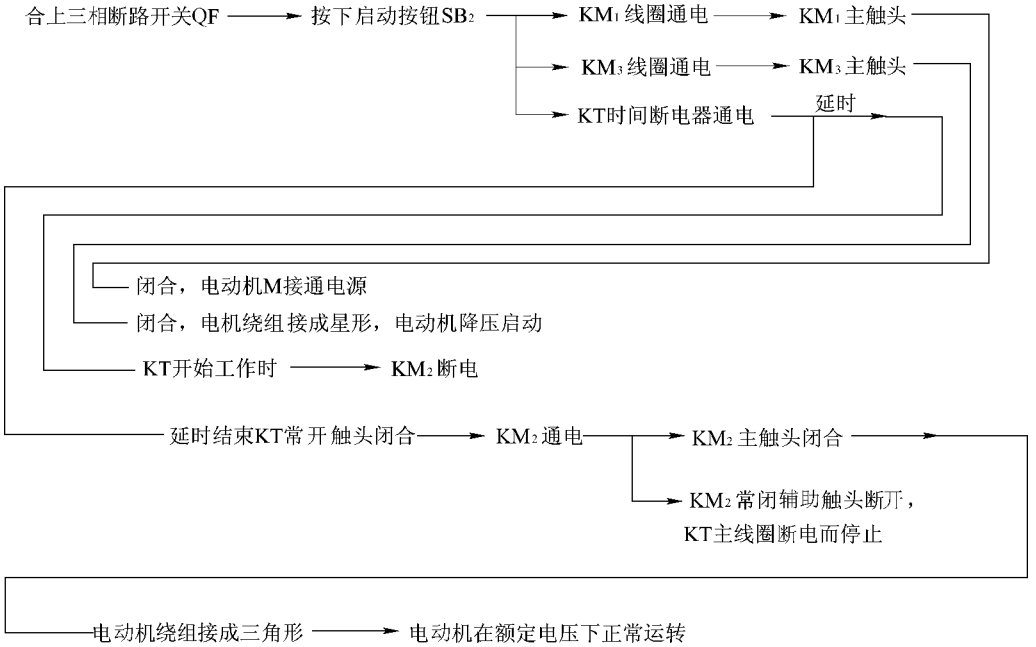


图 6-12 Y-Δ 降压启动过程图

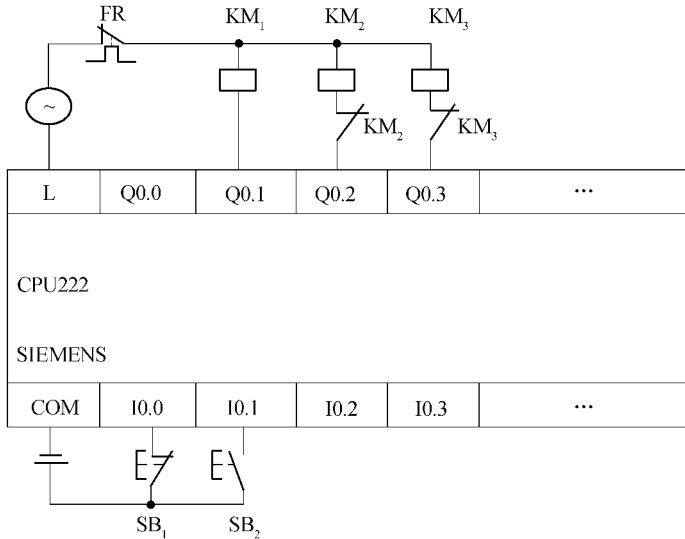
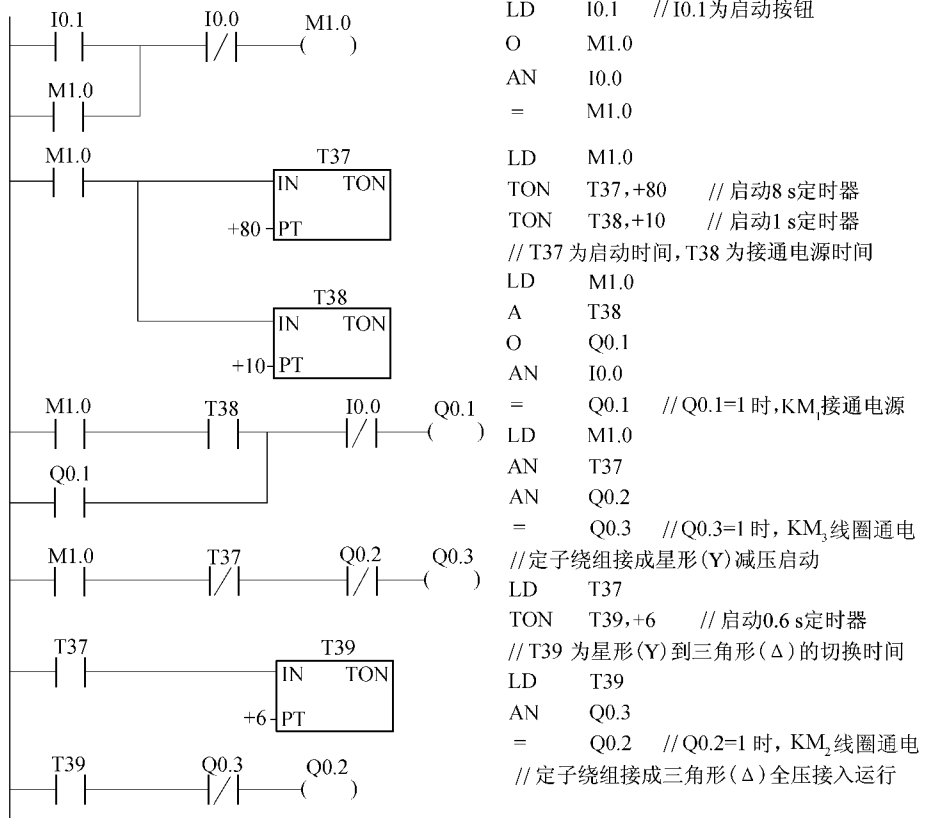


图 6-13 Y-Δ 降压启动控制电路 I/O 接线图

#### 4) 系统的软件设计

图 6-11 中,电动机由接触器  $KM_1$ 、 $KM_2$  和  $KM_3$  控制,其中接触器  $KM_3$  可将电动机定子绕组接成星形,接触器  $KM_2$  可将电动机定子绕组接成三角形。为了防止电源短路, $KM_2$  与  $KM_3$  不能同时吸合。在控制程序设计过程中,应充分考虑由星形向三角形切换的时间,即由  $KM_3$  完全断开(包括灭弧时间)到  $KM_2$  接通这段时间,两者必须完全错开,以防止电源短路。Y-Δ 降压启动控制电路的梯形图和语句表程序如图 6-14 所示。

图 6-14 Y- $\Delta$ 降压启动控制电路的梯形图和语句表程序

## 2. 三工位旋转工作台控制系统

设计一个三工位旋转工作台，其工位示意图如图 6-15 所示。在三个工位上分别完成上料、车削和卸料。

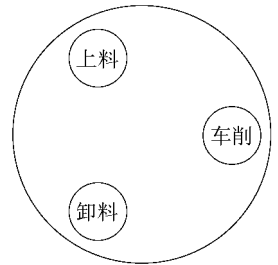


图 6-15 工位示意图

### 1) 生产工艺对运动的要求

工位 1: 上料器推进工件，待工件报送到位后退回等待。

工位 2: 将工件夹紧后，车刀开始向前进给运动，进行车削加工，当车到位后车刀退回，退回到位后，开始松开工件，松开完成后进入等待。

工位 3: 卸料器向前将加工完成的工件推出，推出到位后卸料器退回，退回到位后进入等待。

### 2) 控制要求

为提高加工的效率，三个工位应同时进行工作，当所有工位全部动作都完成后，工作台旋转  $120^\circ$ ，完成一个工作循环。通过选择可调开关可实现自动、半自动操作和手动操作转换。若系统通电运行时，开关处于自动或半自动位置，且可动部分都在原位，则进入自动或半自动运行的初始状态，若此时按下启动按钮，则系统开始自动或半自动运行。当选择开关处于自动位置时，则自动重复进行下一个工作循环，即三个工位同时工作：完成在工位 1 的上料，工位 2 的夹紧、车削、放松，工位 3 的卸料，三个工位的工作都完成后工作台转  $120^\circ$ ，一个工作循环结束。进行控制时应考虑到三个工位使用的时间并不相等，因此应设置等待工

步,使结束早的工位进入等待,只有当三个工位都进入等待工步后,工作台才能旋转 120°进入下一工作循环,以保证各工位的协调工作。

用选择开关来决定控制系统以自动运行、半自动运行或手动方式进行工作。系统运动不太复杂,采用四台电机:主轴电机驱动工作台主轴的旋转;工作台回转电机为工作台回转提供动力;冷却泵电机负责加工时对工件进行冷却;液压泵电机为液压系统提供动力,用来实现上料、夹紧、放松、卸料等动作。

### 3) 选择 I/O 设备

PLC 的输入点连接的选择开关、点动开关、启动按钮、压力继电器的开关等,共计 22 个输入点;输出点连接工作台回转电机的交流接触器、液压控制的电磁阀等,共 9 个输出点。

### 4) 选择 PLC 型号

根据控制要求,PLC 控制系统选用 SIEMENS 公司 S7-200 系列的 CPU226。

### 5) 系统的硬件设计

#### (1) 分配 PLC 输入输出 I/O 地址。

PLC 输入/输出信号表如表 6-2 所示。

表 6-2 PLC 输入/输出信号表

输入元件	作用	PLC 输入地址	输出元件	作用	PLC 输出地址
SA <sub>1-1</sub>	手动选择	I0.0	KM <sub>1</sub>	旋转电机接触器	Q1.0
SA <sub>1-2</sub>	半自动选择	I0.1	YD <sub>1</sub>	送料推进线圈	Q0.0
SA <sub>1-3</sub>	全自动选择	I0.2	YD <sub>2</sub>	送料回退线圈	Q0.1
SB <sub>11</sub>	半自动运行	I0.3	YD <sub>3</sub>	工件夹紧线圈	Q0.2
SB <sub>2</sub>	上料器前进	I0.4	YD <sub>4</sub>	工件放松线圈	Q0.3
SB <sub>3</sub>	上料器回退	I0.5	YD <sub>5</sub>	车刀工进线圈	Q0.4
SB <sub>4</sub>	工件夹紧	I0.6	YD <sub>6</sub>	车刀回位线圈	Q0.5
SB <sub>5</sub>	工件松开	I0.7	YD <sub>7</sub>	卸料推出线圈	Q0.6
SB <sub>6</sub>	车刀工进	I1.0	YD <sub>8</sub>	卸料回退线圈	Q0.7
SB <sub>7</sub>	车刀返回	I1.1			
SB <sub>8</sub>	卸料器工作	I1.2			
SB <sub>9</sub>	卸料器回位	I1.3			
SB <sub>10</sub>	工作台旋转按钮	I1.4			
SQ <sub>1</sub>	送料器到位行程开关	I1.5			
SQ <sub>2</sub>	送料器回位行程开关	I1.6			
SQ <sub>3</sub>	车刀前进到位	I1.7			
SQ <sub>4</sub>	车刀后退到位	I2.0			
SQ <sub>5</sub>	卸料器推出到位	I2.1			
SQ <sub>6</sub>	卸料器退回到位	I2.2			
SQ <sub>7</sub>	工作台旋转到位	I2.3			
SP <sub>1</sub>	工件夹紧压力继电器	I2.4			
SP <sub>2</sub>	工件松开压力继电器	I2.5			

(2) 根据表 6-2 的要求,绘制出 PLC 输入/输出接线端子图,如图 6-16 所示。

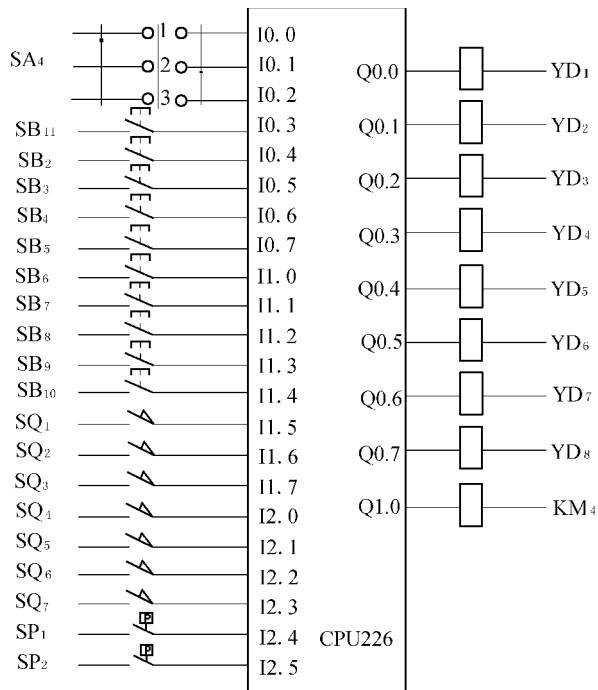


图 6-16 PLC 输入/输出接线端子图

### 6) 系统的软件设计

(1)设计控制系统流程图。根据生产工艺对控制系统的要求,系统通电时,若选择开关置于手动方式,则手动调整结束后,系统回到初始位置;若选择开关置于自动或半自动方式,且各自运动部分均到达原位,则可以完成从手动状态向自动或半自动状态的切换。当系统在自动或半自动状态时,只要将开关调节手柄置于手动位置,在循环的开始和结束时就可进入手动调节状态。若系统通电时选择开关在自动或半自动位置,但手动部分未全部到达原位时,则应禁止系统进入自动或半自动状态。为了编程方便,可以直接用内部存储器位(M)来代表各步的编号。如图 6-17 所示为手动部分的流程图,如图 6-18 所示为自动或半自动部分的流程图。

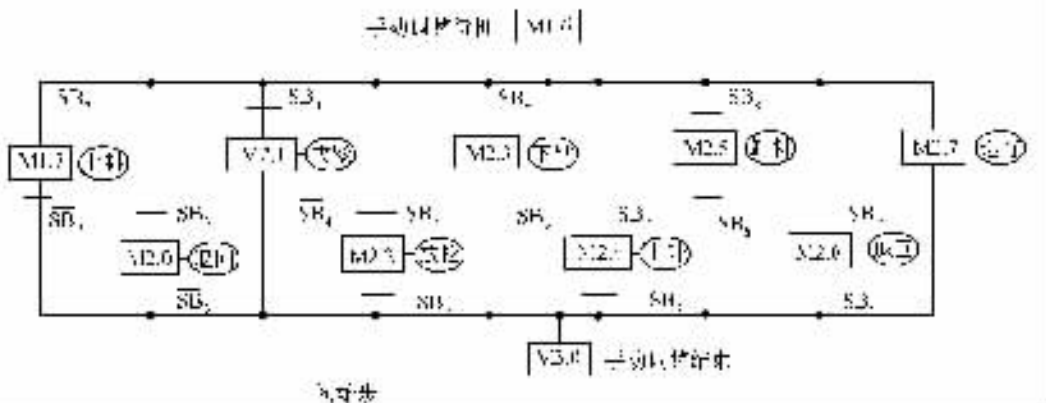


图 6-17 回转工作台手动流程图

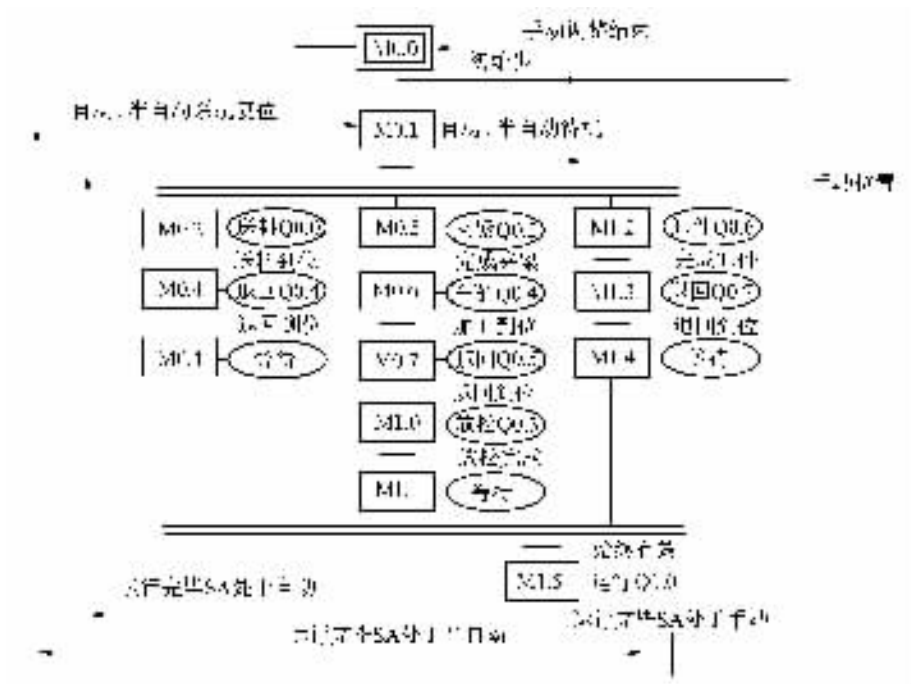
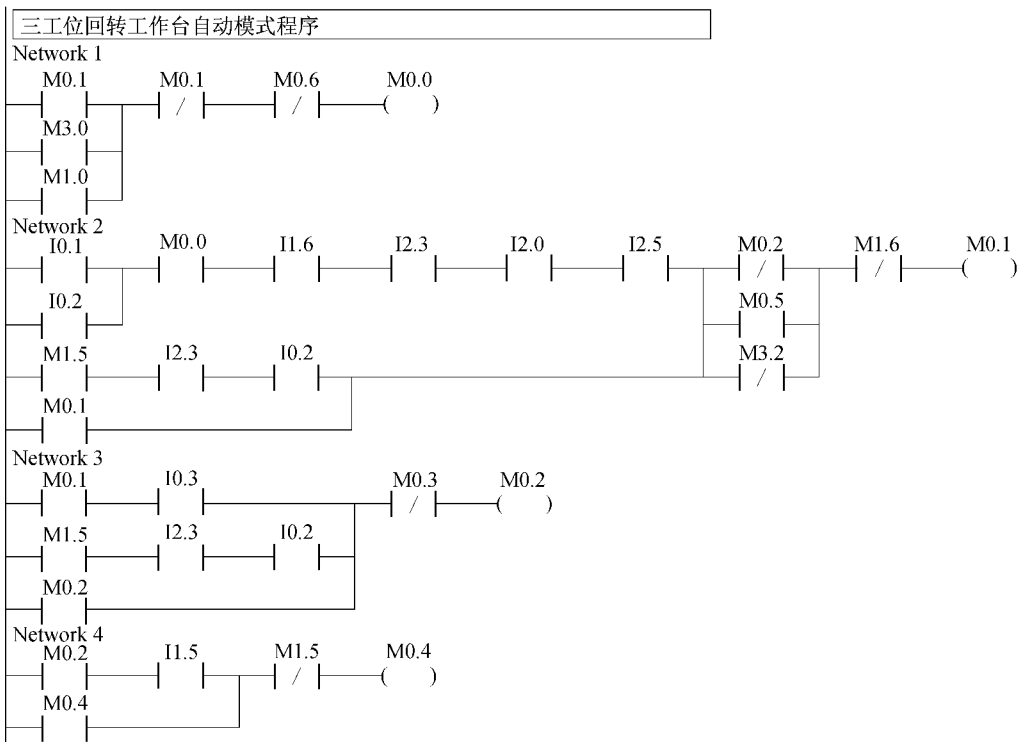


图 6-18 回转工作台自动或半自动流程图

(2) PLC 控制系统程序设计。根据前面所画功能流程图就可以很方便地写出与流程图各步对应的逻辑函数式,将所有逻辑函数式写出后,就可以很容易用编程软件做出梯形图。三工位旋转工作台控制系统自动模式和手动模式的梯形图分别如图 6-19 和图 6-20 所示。





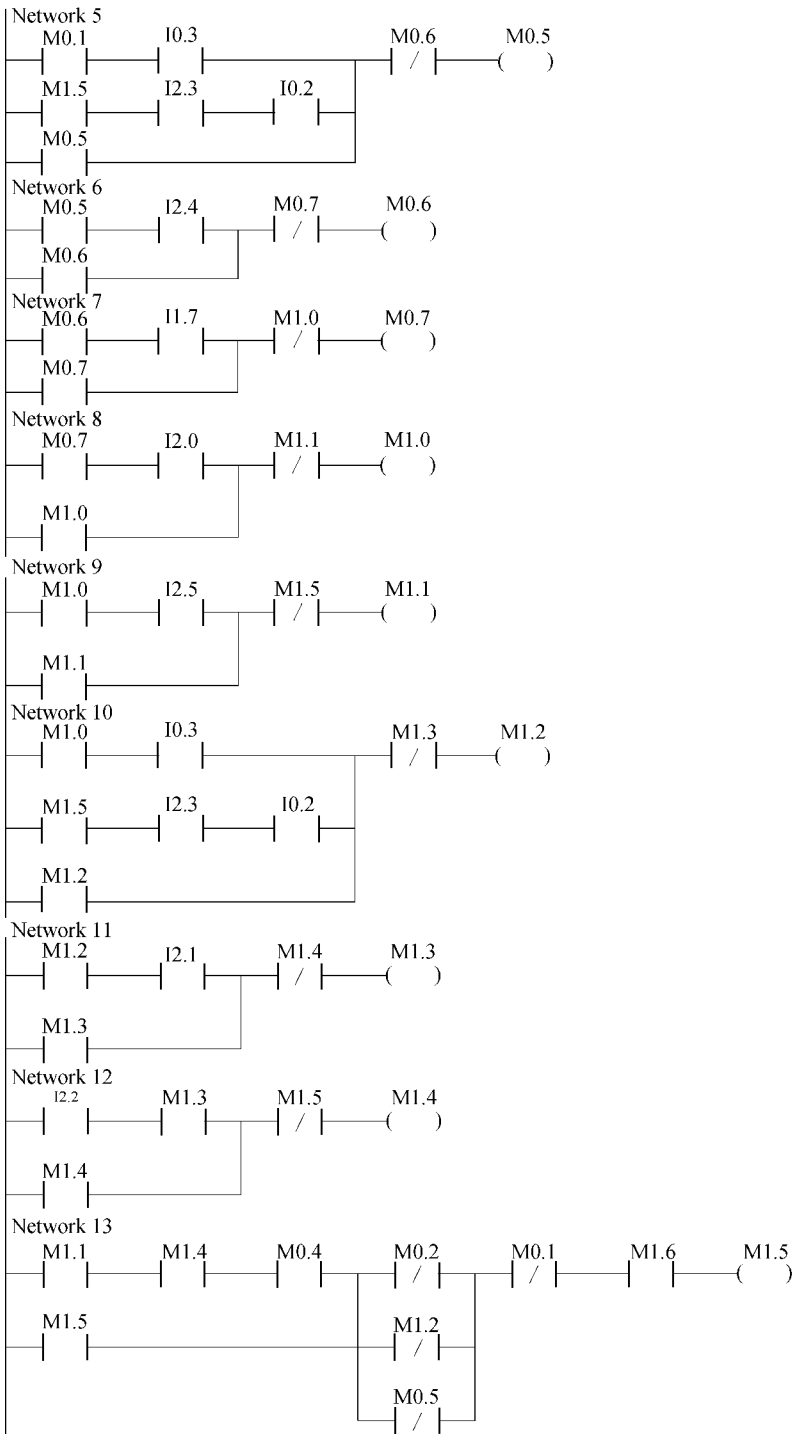


图 6-19 回转工作台自动模式的梯形图



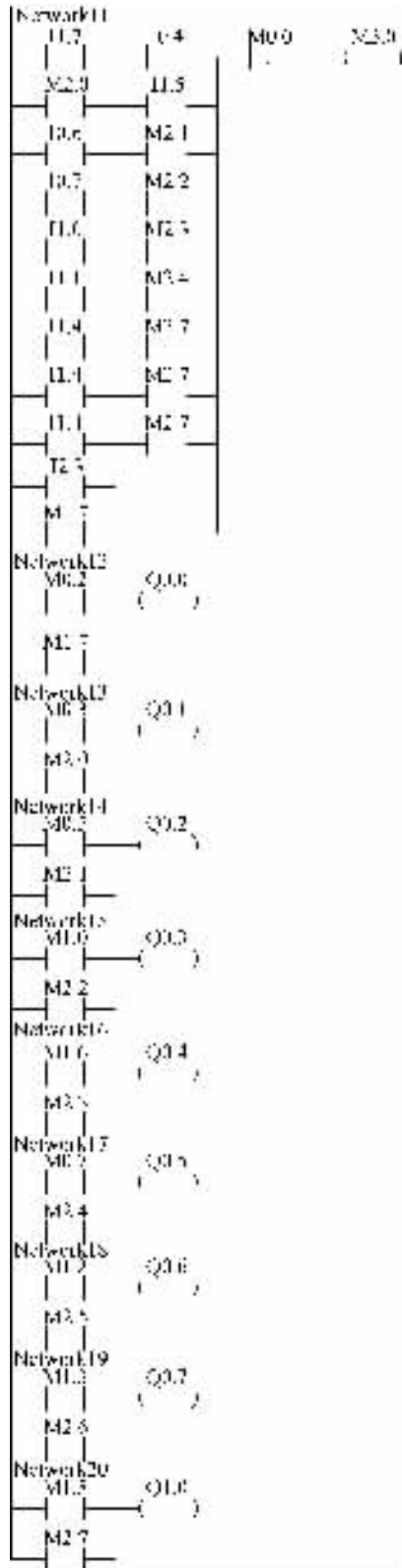


图 6-20 回转工作台手动模式的梯形图

### 7) 联机调试

梯形图完成后,将可编程控制器与计算机连接起来,把程序及组态数据下载到 PLC 进行调试,程序无误后即可结合施工设计将系统用于实际。

## 6.5.3 PLC 控制系统的维护

虽然 PLC 控制系统各元件的设计与制造工艺已使其运行故障降到最低,但为了保证 PLC 控制系统能够长期稳定、可靠地工作,还是应该定期对 PLC 系统进行维护检查。

### 1. PLC 的维护

PLC 是整个 PLC 控制系统的核心部件,维护的内容有检查电源电压,周围环境的温度和湿度,I/O 端子的工作电压是否正常、备份电池是否需要更换等。

#### 1) 供电电源

检查 PLC 端子处的电压来检查电源情况,交流型工作电压为 85~265 V,直流工作电压为 20.4~26.4 V。

#### 2) 环境条件

要求环境温度为 0~55 ℃,相对湿度为 33%~85%RH(不结露),无灰尘、无异物,应避免温度突变和太阳直接照射。PLC 工作时,要求没有直接的振动和冲击。

#### 3) I/O 端接口

测量输入/输出端子的电压,均应在工作要求的电压范围内。

#### 4) 安装条件

所有单元必须固定好,安装螺钉不能松动,紧固连接线及接线端子必须牢固,无短路现象,外部连线不能有破损、短接等不正常现象。

### 2. 电池的更换

锂电池的放电寿命为 3~5 年。不管其工作条件如何(用没用 EPROM),建议每 5 年换一次锂电池。当电池电压逐渐降低到规定值时,CPU 面板上的电池电压指示灯就会变亮,提醒要及时更换电池,换电池必须在短时间内完成,只有这样,PLC 内部的内存数据才不会丢失。

## 本章小结

本章首先介绍了电气控制系统设计的内容和原则,然后重点介绍了 PLC 控制系统的设计原则、设计内容和方法,继电器控制系统的设计方法及 PLC 控制系统的维护。为了加深读者对前面知识的理解,还以继电器控制系统和 PLC 控制系统在机械工程中的应用为例,进行举例分析。

1. 电气控制系统设计的原则:满足机械设备对电气控制系统的要求;选用合适的电气元件;尽量便于操作和维修;合理处理机和电的关系;在满足生产要求的前提下,应力求使控制系统简单、经济。设计电器控制系统一般的方法为经验设计法和逻辑设计法。

2. 电气控制系统设计内容:根据对机械设备功能的分析,拟定电气设计的技术任务书;选择电气传动形式与控制方案;选择电动机的类型;确定技术条件与实施条件;设计电气控

制原理图,确定各部分之间的关系,拟订各部分技术指标与要求;选择电气元件,制定电气元件明细表;画出电路图,电气控制部件以及检测元件的总布置图;设计电气柜、操作台、电气安装板以及非标准电器和专用安装零件;绘制装配图和接线图;编写设计计算说明书和使用说明书。

3. 进行继电器控制系统设计时,尽可能选用典型环节或经过实际检验的控制线路。在控制原理正确的前提下,减少实际导线的条数和长度,减少不必要的触头和通电时间。尽量减少线圈通电电流经过触头的数量,以提高线路的可靠性,要合理安排电气元件触头位置,正确连接电磁线圈。合理选择控制系统中电气元件的控制电压,防止出现竞争现象。

4. PLC 控制系统的设计步骤:明确设计任务和技术条件;确定 PLC 控制系统的类型;制定控制方案;PLC 的选型与硬件配量;设计用户程序;联机调试程序;编写技术文件。

## 习 题 6

- 6-1 试述电气控制系统设计的基本原则。
- 6-2 试述 PLC 设计过程。
- 6-3 试用 FBD 语言编写 Y- $\Delta$  电动机启动 PLC 控制程序。