

# 项目 1 电气控制系统常用器件

## 项目描述

电器就是根据外界施加的信号和要求，能手动或自动地断开或接通电路，断续或连续地改变电路参数，以实现电或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电工器械。

高压电器通常是指工作在交流电压 1200V、直流电压 1500V 以上的电器设备，其在高压线路中用来实现关合、开断、保护、控制、调节、量测的设备。高压电器主要用于电力系统、大型生产设备中。

低压电器通常是指工作在交流电压 1200V、直流电压 1500V 以下的电器，传统的低压电器通常采用电磁原理完成上述功能，又称为电磁式低压电器。电压电器应用非常广泛，在人类的生产、生活中随处可见。

本项目学习电气控制系统的常用器件，包括刀开关、组合开关、按钮开关、行程开关、隔离开关、自动转换开关、低压断路器、接触器、继电器和熔断器等。

## 项目目标

### 【知识目标】

- (1) 了解电气控制系统常用器件的用途；
- (2) 理解电气控制系统常用器件的工作原理；
- (3) 理解电气控制系统常用器件的组成结构；
- (4) 能识别电气控制系统常用器件的电气符号；
- (5) 了解电气控制系统常用器件的型号含义。

### 【技能目标】

- (1) 理解电气控制系统常用器件的选用原则；
- (2) 会使用电气控制系统常用器件。

## 任务1 刀开关

任务描述	<p>刀开关又称闸刀开关，是一种结构简单、价格低廉、应用广泛的手动控制低压电器，一般用于电源隔离，也常用于控制不需经常切断与闭合的交、直流低压电路。</p> <p>本任务学习刀开关的分类、结构和符号、选用原则以及型号含义。</p>
任务目标	<p>(1) 了解刀开关的分类；</p> <p>(2) 理解刀开关的种类和结构；</p> <p>(3) 理解刀开关的选用原则；</p> <p>(4) 了解刀开关的型号含义；</p> <p>(5) 会使用刀开关。</p>

### 刀开关的种类

刀开关是带有动触头——闸刀，并通过它与底座上的静触头——刀夹座相楔合（或分离），以接通（或分断）电路的一种开关。

刀开关的种类很多，按刀的极数可分为单极（单刀）、双极（双刀）和三极（三刀），其中，单刀是指具有1个动触头，用在某一相线上，双刀是指具有2个动触头，用在两相上，三刀是指具有3个动触头，用在三相上；按刀的转换方向可分为单掷和双掷，其中，单掷是指具有1个静触头，双掷是指具有2个静触头；按灭弧情况可分为有灭弧罩和无灭弧罩。

刀开关按照接口数量定义，代号为#P#T。常用的刀开关有单刀单掷刀开关（SPST）（如图1-1-1），单刀双掷刀开关（SPDT）（如图1-1-2），单刀三掷刀开关（SP3T）（如图1-1-3），单刀多掷刀开关（SPMT）（如图1-1-4），双刀双掷刀开关（DPDT）（如图1-1-5），三刀双掷刀开关（3PDT）（如图1-1-6）等。



图 1-1-1 单刀单掷刀开关



图 1-1-2 单刀双掷刀开关



图 1-1-3 单刀三掷刀开关



图 1-1-4 单刀多掷刀开关



图 1-1-5 双刀双掷刀开关



图 1-1-6 三刀双掷刀开关

## 刀开关的结构和符号

刀开关通常由绝缘底板、动触头、静触头、铰链支座和手柄组成，如图 1-1-7 所示。

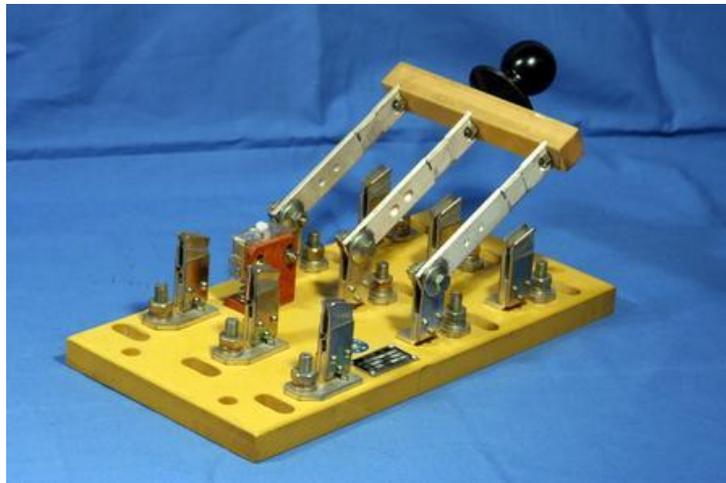


图 1-1-7 刀开关的结构

刀开关的文字符号是 QS，图形符号如图 1-1-8 所示。

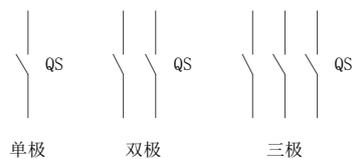


图 1-1-8 刀开关的图形符号

## 刀开关的选用原则

选用刀开关时，可以按照其技术参数进行选择；要求在小于其额定电流和额定电压下工作，其极数和位置等可以按照实际情况选择；在负载较小时需要注意其通断能力。具体选择原则如下：

(1) 首先应根据其在线路中的作用和在成套配电装置中的安装位置，确定其结构形式。如果电路中的负载是由断路器、接触器或其他具有一定分断能力的开关电器来分断的，即刀开关仅用来隔离电源时，则只需选用带灭弧罩的产品；反之，如果刀开关必须分断负荷，就应使用带灭弧罩且通过杠杆来操作的产品。

(2) 刀开关的额定电流一般应等于或大于所分断电路中各个负载额定电流的总和。若刀开关用来控制电动机，就必须考虑电动机的启动电流（启动电流往往可达到电动机额定电流的 6~7 倍，甚至更大）。另外，还应当看一下电路中可能出现的最大短路电流是否在该额定电流等级所对应的电动稳定性电流和热稳定性电流以下，否则就应当使用额定电流更大一级的刀开关。

## 刀开关的型号含义

刀开关的型号含义如图 1-1-9 所示。

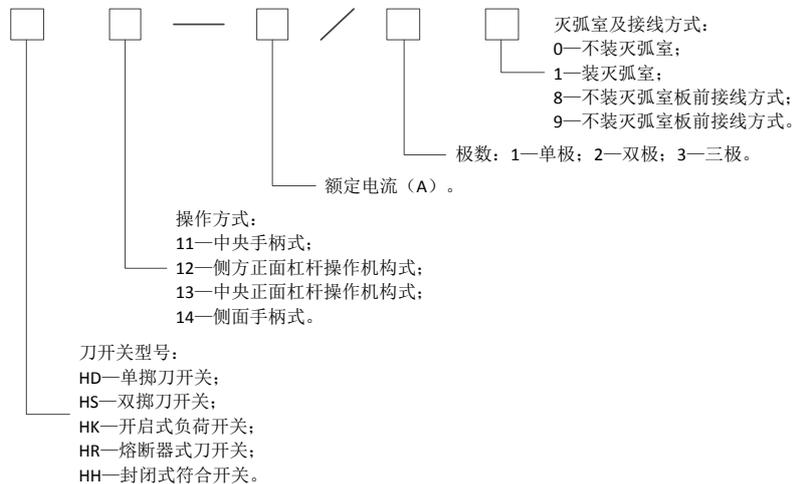


图 1-1-9 刀开关的型号含义

注：负荷开关是由刀开关和熔断器组合而成，常用于电力拖动控制电路中。

## 任务 2 组合开关

<b>任务描述</b>	<p>组合开关又称转换开关，实质上是一种特殊刀开关，只不过一般刀开关的操作手柄是在垂直于安装面的平面内向上或向下转动，而转换开关的操作手柄则是在平行于其安装面的平面内向左或向右转动。它具有多触头、多位置、体积小、性能可靠、操作方便、安装灵活等特点。多用在机床电气控制线路中作为电源的引入开关，也可用作不频繁地接通和断开电路、换接电源和负载以及控制 5KW 及以下的小容量异步电动机的正反转和星三角启动。</p> <p>本任务学习组合开关的种类、结构和符号、选用原则和型号含义。</p>
<b>任务目标</b>	(1) 了解组合开关的分类；
	(2) 理解组合开关的结构和符号；
	(3) 理解组合开关的选用原则；
	(4) 了解组合开关的型号含义；
	(5) 会使用组合开关。

### 组合开关的种类

组合开关有单极、双极、三极、四极几种，如图 1-2-1 所示。



图 1-2-1 组合开关实物图

### 组合开关的结构和符号

组合开关的结构见图 1-2-2 所示。组合开关沿转轴自下而上分别安装了三层开关组件，每层上均有一个动触头、一对静触头及一对接线柱，各层分别控制一条支路的通与断，形成

组合开关的三极。当手柄每转过一定角度，就带动固定在转轴上的三层开关组件中的三个动触头同时转动至一个新位置，在新位置上分别与各层的静触头接通或断开。

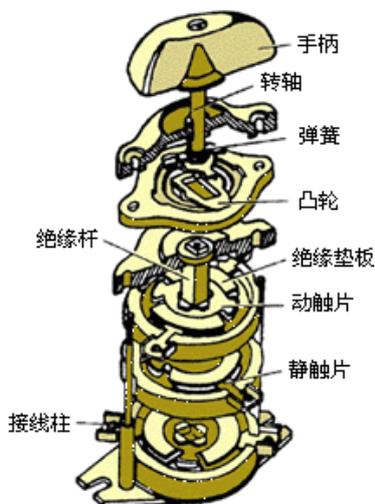


图 1-2-2 组合开关结构图

根据组合开关在电路中的不同作用，组合开关图形与文字符号有两种。当在电路中用作隔离开关时，其图形符号见图 1-2-3 所示，文字符号为 QS，有单极、双极和三极之分，机床电气控制线路中一般采用三极组合开关。

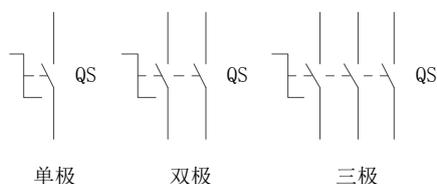


图 1-2-3 组合开关作隔离开关时的图形文字符号

组合开关作转换开关使用时的图形符号见图 1-2-4 所示，图中是一个三极组合开关。图中 I 与 II 分别表示组合开关手柄转动的两个操作位置，I 位置线上的三个空点右方画了三个黑点，表示当手柄转动到 I 位置时，L1、L2 与 L3 支路线分别与 U、V、W 支路线接通；而 II 位置线上三个空点右方没有相应黑点，表示当手柄转动到 II 位置时，L1、L2 与 L3 支路线与 U、V、W 支路线处于断开状态。组合开关的文字符号为 SA。

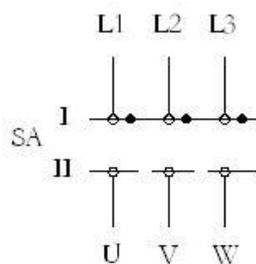


图 1-2-4 组合开关作转换开关时的图形文字符号

## 组合开关的选用原则

组合开关是一种体积小、接线方式多、使用非常方便的开关电器。在选择和使用组合开关时，要注意以下原则和事项。

- (1) 应根据电源种类、电压等级、所需触点数和接线方式等要求合理选用转换开关；
- (2) 当用于电动机电路时，组合开关的额定电流一般取电动机额定电流的 1.5~2.5 倍；
- (3) 组合开关的通断能力较低，当用于控制电动机作可逆运转时，必须在电动机完全停止转动后，才能反向接通；
- (4) 组合开关本身是不带过载保护和短路保护的。如果需要这类保护。就必须另设其他保护电器。
- (5) 当操作频率过高或负载功率因数较低时，组合开关要降低容量使用，否则影响开关寿命。
- (6) 经常检查开关固定螺钉是否松动，以免引起导线压接松动，造成外部连接点放电、打火、烧蚀或断路。
- (7) 在使用时应注意，组合开关每小时的转换次数一般不超过 15~20 次。

## 组合开关的型号含义

电气控制线路中常用的组合开关系列规格有 HZ5、HZ10、HZ15、3LB 等。

### (1) HZ5 系列

HZ5 系列适用于交流 50HZ（或 60HZ）、电压 380V 及以下、电流至 60A 的电气控制线路中，作为电源引入开关或异步电动机控制开关使用。HZ5 系列型号标注型式如图 1-2-5 所示。

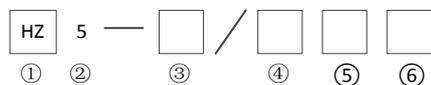


图 1-2-5 HZ5 系列型号标注型式

其中，①HZ 是组合开关类组代号；

②5 是设计代号；

③额定电流值 (A)；

④开关控制电动机功率 (KW)；

⑤定位特征代号 (L—单相顺时针 60°，M—双向 60°)；

⑥开关结构编号 (01—双极开关，02—三极开关，03—四极开关，04—两种电压双极

开关，05—感应电动机逆转换开关，06—两种电压三极开关，07—星三角起动器，08—双速电动机开关）。

### (2) HZ10 系列

HZ10 系列用于不频繁地接通或分断电气控制线路，其型号标注型式如图 1-2-6 所示。

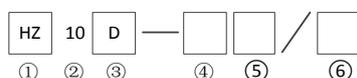


图 1-2-6 HZ10 系列型号标注型式

其中，①HZ 是组合开关类组代号；

②10 是设计代号；

③D 是改型代号；

④额定电流值（有 10A、25A、63A 与 100A）；

⑤开关类型（P—两种电路转换，S—三种电路转换，G—四种电路转换）；

⑥极数。

### (3) HZ15 系列

HZ15 系列是在 HZ10 系列基础上的改型产品，其型号标注型式如图 1-2-7 所示。

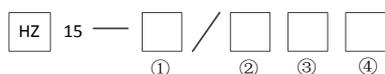


图 1-2-7 HZ15 系列型号标注型式

其中，①额定电流值；

②极数；

③断路与限位的代号（0—有断路，1—有断路限位，2—无断路）；

④转换电路数。

### (4) 3LB 系列

3LB 系列是引进德国 Siemens 公司技术制造的产品，主要用于三相异步电动机负荷启动与变速换向等，其型号标注型式如图 1-2-8 所示。

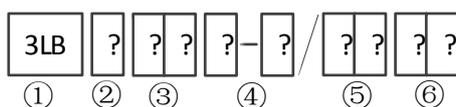


图 1-2-8 3LB 系列型号标注型式

其中，①3LB 是组合开关代号；

②基本规格代号；

③两位数字构成的开关型式代号类型；

④触头元件数量；

⑤两位数字构成的线路符号；

⑥手柄型式代号（00—无手柄，01—普通黑色手柄，02—普通红色手柄，03—长形黑色手柄，04—长形红色手柄，51—圆形黑色手柄，52—圆形红色手柄）。

### 任务3 按钮开关

<b>任务描述</b>	<p>按钮开关又称控制按钮（简称按钮），是一种手动且一般可以自动复位的低压电器。按钮通常用于电路中发出启动或停止指令，以控制电磁起动器、接触器、继电器等电器线圈电流的接通和断开。</p> <p>按钮开关是一种按下即动作，释放即复位的用来接通和分断小电流电路的电器。一般用于交直流电压 440V 以下，电流小于 5A 的控制电路中，一般不直接操纵主电路，也可以用于互联电路中。</p> <p>在实际的使用中，为了防止误操作，通常在按钮上做出不同的标记或涂以不同的颜色加以区分，其颜色有红、黄、蓝、白、黑、绿等。一般红色表示“停止”或“危险”情况下的操作；绿色表示“启动”或“接通”。急停按钮必须用红色蘑菇头按钮。按钮必须有金属的防护挡圈，且挡圈要高于按钮帽，防止意外触动按钮而产生误动作。安装按钮的按钮板和按钮盒的材料必须是金属的并与机械的总接地母线相连。</p> <p>本任务学习按钮开关的种类、用途、工作原理、结构和符号以及选用原则。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 了解按钮开关的分类和用途；</p> <p>(2) 理解按钮开关的工作原理；</p> <p>(3) 理解按钮开关的结构和符号；</p> <p>(4) 理解按钮开关的选用原则；</p> <p>(5) 会使用按钮开关。</p>

#### 按钮的分类和用途

常用按钮一般可分为如下几种：

开启式按钮：一般用于开关柜、控制台、控制柜的面板上；

保护式按钮：带有保护外壳，可防止内部的零件受机械损伤或操作者触及带电部分；

防水式按钮：带有密封外壳，防止雨水浸入，户外使用；

防爆式按钮：适用于煤矿等有爆炸性气体和尘埃的环境使用；

防腐式按钮：适用于有化工腐蚀性气体的环境使用；

紧急式按钮（急停按钮）：有红色大蘑菇头突出于按钮螺帽之外，供需要紧急切断电源

时使用；

钥匙式按钮：只有用钥匙插入按钮才可操作，防止误动作；

旋转式按钮：用手把旋转操作触头，接通或分断电路；

带灯按钮：带有指示灯的按钮，尚可兼做指示灯；

自持按钮：按钮内装有自持装置，一般为面板操作。

按钮的用途很广，例如车床的起动与停机、正转与反转等；塔式吊车的起动，停止，上升，下降，前、后、左、右、慢速或快速运行等，都需要按钮控制。

## 按钮的工作原理

如图 1-3-1 所示，按钮的工作原理很简单，对于常开触头（a），在按钮未被按下前，电路是断开的，按下按钮后，常开触头被连通，电路也被接通。

对于常闭触头（b），在按钮未被按下前，触头是闭合的，按下按钮后，触头被断开，电路也被分断。

由于控制电路工作的需要，一只按钮还可带有多对同时动作的触头，即复合触头（c）。

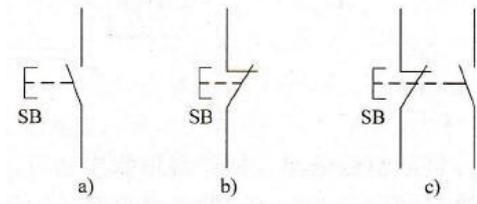


图 1-3-1 按钮工作原理图

## 按钮的结构和符号

按钮由按钮帽、复位弹簧、动触头、动断触头、动合触头组成，结构图如图 1-3-2 所示，具体图形及文字符号如表 1-3-1 所示。

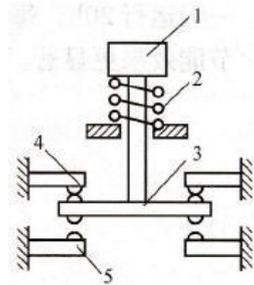


图 1-3-2 按钮结构图

(1-按钮帽，2-复位弹簧，3-动触点，4-动断触点，5-动合触点)

表 1-3-1 按钮图形及文字符号

按钮	常开按钮		SB
	常闭按钮		SB
	复合按钮		SB
	急停按钮		SB
	钥匙操作式按钮		SB

### 按钮的选用原则

(1) 按使用场合的不同和具体的用途：根据使用场合选择按钮的种类，如开启式、防护式、防水式、防腐式等；根据用途选择用合适的形式，如手把旋转式、钥匙式、紧急式、带灯式等。例如控制台柜板面的一般按钮可先用开启式；如需要显示工作状态则用带指示灯式；在非常重要处，为防止无关人员误操作宜选用带钥匙式；在有腐蚀气体处要用防腐式。

(2) 按工作状态、批示和工作情况的要求选择按钮和指示灯的颜色：用于表示“启动”或“通电”的用绿色，表示“停止”的用红色。另外指示灯的电压分为 6.3V、12V、24V 等几种。

(3) 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。例如，需要“正”“反”“停”三种控制时，可用三只按钮，并装于同一按钮盒内；只需作“启动”及“停止”控制时，则用两只按钮组装在同一个按钮盒内。

## 任务4 行程开关

<b>任务描述</b>	<p>行程开关又称限位开关，是一种常用的小电流主令电器，用于控制机械设备的行程及限位保护。在实际生产中，利用生产机械运动部件的碰撞使其触头动作来实现接通或分断控制电路，达到一定的控制目的，主要用于控制生产机械的运动方向、行程大小和位置保护等。通常，这类开关被用来限制机械运动的位置或行程，使运动机械按一定位置或行程自动停止、反向运动、变速运动或自动往返运动等。</p> <p>在电气控制系统中，行程开关的作用是实现顺序控制、定位控制和位置状态的检测。用于控制机械设备的行程及限位保护。</p> <p>本任务学习行程开关的种类、结构、电气符号、主要技术参数、型号含义以及典型应用。</p>
<b>任务目标</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>(1) 了解行程开关的种类和结构；</li><li>(2) 能识别行程开关的电气符号；</li><li>(3) 理解行程开关的技术参数；</li><li>(4) 了解行程开关的型号含义；</li><li>(5) 了解行程开关的典型应用；</li><li>(6) 会使用行程开关。</li></ul>

### 行程开关的种类及其结构

行程开关按其结构可分为直动式、滚轮式、微动式和组合式。

(1) 直动式行程开关：动作原理同按钮类似，所不同的是：一个是手动，另一个则由运动部件的撞块碰撞。当外界运动部件上的撞块碰压按钮使其触头动作，当运动部件离开后，在弹簧作用下，其触头自动复位。

图 1-4-1 是直动式行程开关的结构图。它是靠机械运动部件上的撞块来碰撞行程开关的推杆。它的优点是结构简单，成本较低，缺点是触头的分合速度取决于撞块移动的速度。若撞块移动速度太慢，则触点就不能瞬时切断电路，使电弧在触点上停留时间过长，易于烧蚀触点。因此，这种开关不宜用在撞块移动速度小于 0.4m/min 的场合。

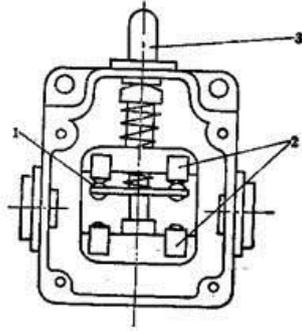


图 1-4-1 直动式行程开关结构图

(1-动触点, 2-静触点, 3-推杆)

(2) 微动式行程开关: 为克服直动式结构的缺点, 采用具有弯片状弹簧的瞬动机构, 如图 1-4-2 所示。

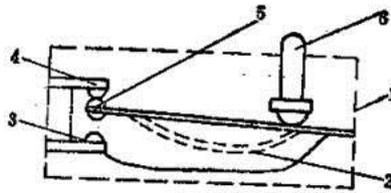


图 1-4-2 微动式行程开关结构图

(1-壳体, 2-弓簧片, 3-常开触点, 4-常闭触点, 5-动触点, 6-推杆)

当推杆被压下时, 弓簧片发生变形, 储存能量并产生位移, 当达到预定的临界点时, 弹簧片连同动触点产生瞬时跳跃, 从而导致电路的接通、分断或转换。同样, 减小操作力时, 弹簧片释放能量并产生反向位移, 当通过另一临界点时, 弹簧片向相反方向跳跃。采用瞬动机构可以使开关触点的接触速度不受推杆压下速度的影响, 这样不仅可以减轻电弧对触点的烧蚀, 而且也能提高触点动作的准确性。

微动开关的体积小、动作灵敏、适合在小型机构中使用, 但由于推杆所允许的极限行程很小, 以及开关的结构强度不高, 因此在使用时必须对推杆的最大行程在机构上加以限制, 以免压坏开关。

(3) 滚轮式行程开关: 为克服直动式行程开关的缺点, 还可采用能瞬时动作的滚轮旋转式结构, 如图 1-4-3 所示。

当运动机械的挡铁(撞块)压到行程开关的滚轮上时, 传动杠连同转轴一同转动, 使凸轮推动撞块, 当撞块碰压到一定位置时, 推动微动开关快速动作。当滚轮上的挡铁移开后, 复位弹簧就使行程开关复位。这种是单轮自动恢复式行程开关。而双轮旋转式行程开关不能自动复原, 它是依靠运动机械反向移动时, 挡铁碰撞另一滚轮将其复原。

当被控机械上的撞块撞击带有滚轮的撞杆时，撞杆转向右边，带动凸轮转动，顶下推杆，使微动开关中的触点迅速动作。当运动机械返回时，在复位弹簧的作用下，各部分动作部件复位。

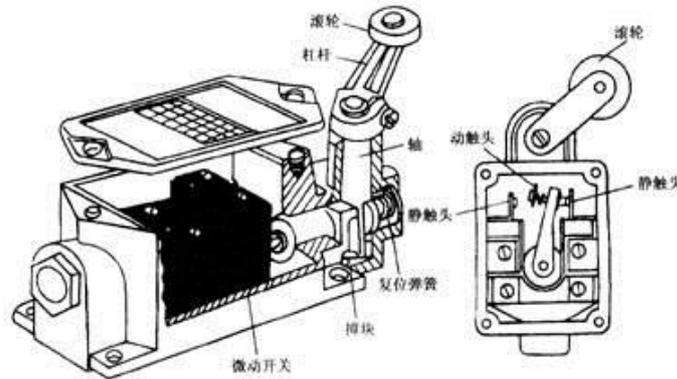


图 1-4-3 滚轮式行程开关结构图（不要字）

行程开关按其用途可分为一般用途行程开关，如 JW2、JW2A、LX19、LX31、LXW5、3SE3 等系列，主要用于机床及其他生产机械、自动生产线的限位和程序控制；起重设备用行程开关，如 LX22、LX33 系列，主要用于限制起重设备及各种冶金辅助机械的行程。

行程开关按触点性质可分为有触点和无触点式（接近开关）。

## 行程开关的电气符号

行程开关的图形及文字符号如图 1-4-4 所示。

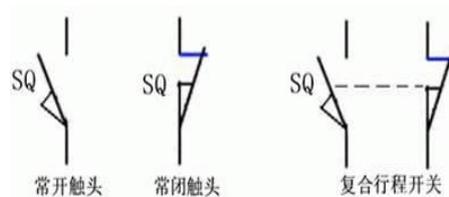


图 1-4-4 行程开关的图形及文字符号

## 行程开关的技术参数

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。结构形式中的复位方式有自动复位和非自动复位两种。自动复位式是依靠本身的恢复弹簧来复原；非自动式在 U 形的结构摆杆上装有两个滚轮，当撞块通过其中的一个滚轮时，摆杆转过一定的角度，使开关动作。撞块离开滚轮后，摆杆并不能自动复位，直到撞块在返回行程中再撞及另一滚轮，摆杆才回到原始位置，使开关复位。这种开关由于具有“记忆”曾被压动过的特性，因此在某些情况下可使控制电

路简化，而且根据不同需要，行程开关的两个滚轮可以布置在同一个平面内或分别布置在两个平行平面内。

## 行程开关的型号含义

一般行程开关由执行元件、操作机构及外壳等部件组成。操作机构可根据不同场合的需要进行变换组合。例如 LX32 系列行程开关采用了 LX31-1/1 型微动开关作为执行元件，配以外壳和操作机构，可组成四种不同的操作方式。当前全国统一设计的行程开关有 LX32、LX33 和 LX31 系列，其他常用的行程开关有 LX19、LXW-11、JLXK1、LX5、LX10 等系列。国外引进生产的有 3SE（德国西门子）、831（法国柯赞公司）。

下面以 LX19 系列为例说明行程开关的型号含义，如图 1-4-5 所示。LX19 系列行程开关适用于交流 50Hz，电压至 380V 及直流电压至 220V 的控制电路，作控制运动机构的行程和变换其运动方向或速度之用。

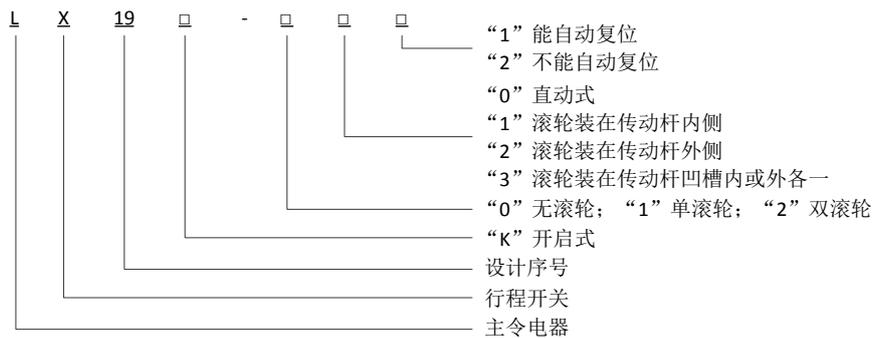


图 1-4-5 LX19 系列行程开关型号含义

## 行程开关的典型应用

行程开关在自动送料等系统中的应用非常典型，当送料用的料车达到终点时，行程开关感知料车的位移并启动翻车机构，将物料从料车中卸出，再控制料车返回起点。起点的行程开关在感知料车返回后，又会启动装车电路，形成循环的送料过程，构成自动的送料生产线。

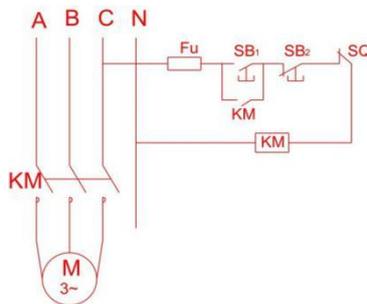


图 1-4-6 送料系统电气线路图

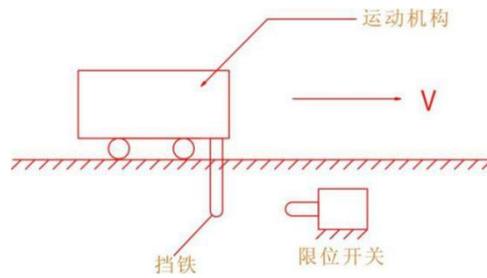


图 1-4-7 运料系统机构运动简图

如上述图所示，图 1-4-6 为对运动机构进行起停控制的电气线路图，图 1-4-7 为机构运动简图。当按下按钮 SB1 时，接触器辅助触头 KM 闭合，线圈通电，KM 主触头闭合，电动机运转，运动机构向右运动，当安装在运动机构上的挡铁碰到限位开关的操动头时，限位开关触头由常闭位置断开，从而使线圈 KM 失电电动机停止转动，致使运动机构在规定的位上停止，从而达到控制的目的。

## 任务5 隔离开关

<b>任务描述</b>	隔离开关是一种主要用于“隔离电源、倒闸操作、用以连通和切断小电流电路”，无灭弧功能的开关器件。隔离开关在分位置时，触头间有符合规定要求的绝缘距离和明显的断开标志；在合位置时，能承载正常回路条件下的电流及在规定时间内异常条件（例如短路）下的电流的开关设备。一般用作高压隔离开关，即额定电压在 1kV 以上的隔离开关，它本身的工作原理及结构比较简单，但是由于使用量大，工作可靠性要求高，对变电所、电厂的设计、建立和安全运行的影响均较大。隔离开关的主要特点是无灭弧能力，只能在没有负荷电流的情况下分、合电路。本任务学习隔离开关的种类、用途、特点、配置、操作顺序以及型号含义。
<b>任务目标</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>(1) 了解隔离开关的种类和用途；</li><li>(2) 理解隔离开关的特点；</li><li>(3) 理解隔离开关的配置；</li><li>(4) 掌握隔离开关的操作顺序，会使用隔离开关；</li><li>(5) 了解隔离开关的型号含义。</li></ul>

### 隔离开关的分类

(1) 按其安装方式的不同，隔离开关可分为户外隔离开关与户内隔离开关。其中户外隔离开关指能承受风、雨、雪、污秽、凝露、冰及浓霜等作用，适于安装在露台使用的隔离开关。

(2) 按其绝缘支柱结构的不同，隔离开关可分为单柱式隔离开关、双柱式隔离开关、三柱式隔离开关。其中，单柱式隔离开关在架空母线下面直接将垂直空间用作断口的电气绝缘，因此，具有的明显优点，就是节约占地面积，减少引接导线，同时分合闸状态特别清晰。在超高压输电情况下，变电所采用单柱式隔离开关后，节约占地面积的效果更为显著。

(3) 按电压等级的不同，隔离开关可分为低压隔离开关、高压隔离开关。其中，高压隔离开关是发电厂和变电站电气系统中重要的开关电器，需与高压断路器配套使用。

### 隔离开关的用途

隔离开关的作用是断开无负荷电流的电路，使所检修的设备与电源有明显的断开点，以

保证检修人员的安全，隔离开关没有专门的灭弧装置不能切断负荷电流和短路电流，所以必须在电路在断路器断开电路的情况下才可以操作隔离开关。

一般在断路器前后二面各安装一组隔离开关，目的均是要将断路器与电源隔离，形成明显断开点；因为原来的断路器采用的是油断路器，油断路器需要经常检修，故二侧就要有明显断开点，以利于检修；一般情况下，出线柜是从上面母线通过开关柜向下供电，在断路器前面需要一组隔离开关是要与电源隔离，但有时，断路器的后面也有来电的可能，如通过其它环路的反送，电容器等装置的反送，故断路器的后面也需要一组隔离开关。

隔离开关主要用来将高压配电装置中需要停电的部分与带电部分可靠地隔离，以保证检修工作的安全。隔离开关的触头全部敞露在空气中，具有明显的断开点，隔离开关没有灭弧装置，因此不能用来切断负荷电流或短路电流，否则在高压作用下，断开点将产生强烈电弧，并很难自行熄灭，甚至可能造成飞弧（相对地或相间短路），烧损设备，危及人身安全，这就是所谓“带负荷拉隔离开关”的严重事故。隔离开关还可以用来进行某些电路的切换操作，以改变系统的运行方式。例如：在双母线电路中，可以用隔离开关将运行中的电路从一条母线切换到另一条母线上。同时，也可以用来操作一些小电流的电路。

## 隔离开关的特点

(1) 在电气设备检修时，提供一个电气间隔，并且是一个明显可见的断开点，用以保障维护人员的人身安全。

(2) 隔离开关不能带负荷操作：不能带额定负荷或大负荷操作，不能分、合负荷电流和短路电流，但是有灭弧室的可以带小负荷及空载线路操作。

(3) 一般送电操作时：先合隔离开关，后合断路器或负荷类开关；断电操作时：先断开断路器或负荷类开关，后断开隔离开关。

(4) 选用时和别的电气设备相同，其额定电压、额定电流、动稳定电流、热稳定电流等都必须符合使用场合的需要。

## 隔离开关的配置

(1) 断路器的两侧均应配置隔离开关，以便在断路器检修时形成明显的断口与电源隔离。

(2) 中性点直接接地的普通变压器，均应通过隔离开关接地。

(3) 在母线上的避雷器和电压互感器，宜合用一组隔离开关，保证电器和母线的检修

安全，每段母线上宜装设 1-2 组接地刀闸。

(4) 接在变压器引出线或中性点的避雷器可不装设隔离开关。

(5) 当馈电线路的用户侧没有电源时，断路器通往用户的那一侧可以不装设隔离开关。但为了防止雷电过电压，也可以装设。

## 隔离开关的操作顺序

隔离开关的正确操作顺序：

(1) 首先在操作隔离开关时，应先检查相应回路的断路器确实在断开位置，以防止带负荷拉、合隔离开关。

(2) 线路停、送电时，必须按顺序拉、合隔离开关。停电操作时，必须先拉断路器，后拉线路侧隔离开关，再拉母线侧隔离开关。送电操作顺序与停电顺序相反。这是因为发生误操作时，按上述顺序可缩小事故范围，避免人为使事故扩大到母线。

(3) 操作中，如发现绝缘子严重破损、隔离开关传动杆严重损坏等严重缺陷时，不得进行操作。

(4) 隔离开关操作时，应有值班人员在现场逐相检查其分、合闸位置、同期情况、触头接触深度等项目，确保隔离开关动作正确、位置正确。

(5) 隔离开关一般应在主控室进行操作。当远控电气操作失灵时，可在现场就地进行手动或电动操作，但必须征得站长或技术负责人的许可，并在有现场监督的情况下才能进行。

(6) 隔离开关、接地刀闸和断路器之间安装有防止误操作的电气、电磁和机构闭锁装置。倒闸操作时，一定要按顺序进行。如果闭锁装置失灵或隔离开关和接地刀闸不能正常操作时，必须严格按闭锁的要求条件检查相应的断路器、刀闸位置状态，只有核对无误后，才能解除闭锁进行操作。

## 隔离开关的型号含义

隔离开关的型号含义如图 1-5-1 所示。

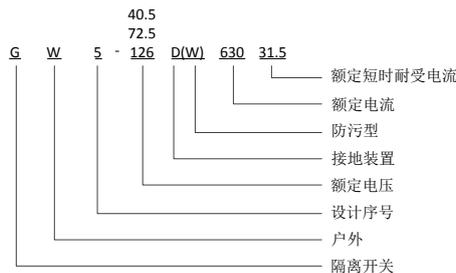


图 1-5-1 隔离开关的型号含义

## 任务6 自动转换开关

<b>任务描述</b>	<p>自动转换开关又称为双电源自动转换开关，简称 <b>ATS</b>，主要用在紧急供电系统，将负载电路从一个电源自动换接至另一个（备用）电源的开关电器，以确保重要负荷连续、可靠运行。因此，<b>ATS</b> 常常应用在重要用电场所，其产品可靠性尤为重要。转换一旦失败将会造成以下二种危害之一，电源间的短路或重要负荷断电（甚至短暂停电），其后果都是严重的，这不仅仅会带来经济损失（使生产停顿、金融瘫痪），也可能造成社会问题（使生命及安全处于危险之中）。因此，工业发达国家都把自动转换开关电器的生产、使用列为重点产品加以限制与规范。</p> <p>本任务学习自动转换开关的种类、组成、操作规范以及接线方法。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 了解自动转换开关的种类；</p> <p>(2) 理解自动转换开关的组成；</p> <p>(3) 掌握自动转换开关的操作规范；</p> <p>(4) 掌握自动转换开关的接线方法；</p> <p>(5) 会使用自动转换开关。</p>

### 自动转换开关的分类

自动转换开关可分为两个级别：**PC 级**和**CB 级**。

**PC 级**：具有结构简单、体积小、自身连锁、转换速度快（**0.2s** 内）、安全、可靠等优点，但只完成双电源自动转换的功能，不具备短路电流分断（仅能接通、承载）的功能，需要配备短路保护电器；

**CB 级**：配备过电流脱扣器，主触头能够接通并用于分断短路电流。既能完成双电源自动转换，又具有短路电流保护（能接通并分断）的功能。

### 自动转换开关的组成

自动转换开关实物图如图 1-6-1 所示。自动转换开关控制柜由以下部分器件组成：

- ①核心部件：自动电源转换开关；
- ②控制模块；
- ③面板信号指示灯及其外围电路。



图 1-6-1 自动转换开关实物图

## 自动转换开关的操作规范

(1) 当因故停电，且在较短时间内无法恢复供电时，必须启用备用电源。步骤：

①切除市电供电各断路器(包括配电室控制柜各断路器，双电源切换箱市供电断路器)，拉开双投防倒送开关至自备电源一侧，保持双电源切换箱内自备电供电断路器处于断开状态。

②启动备用电源(柴油发电机组)，待机组运转正常时，顺序闭合发电机空气开关、自备电源控制柜内各断路器。

③逐个闭合电源切换箱内各备用电源断路器，向各负载送电。

④备用电源运行期间，操作值班人员不得离开发电机组，并根据负荷的变化及时调整电压、厂频率等，发现异常及时处理。

(2) 市电恢复供电时，应及时做好电源转换工作，切断备用电源，恢复市电供电。步骤：

①按顺序逐个断开自备电源各断路器，顺序是：双电源切换箱自备电源断路器→自备电源配电柜各断路器→发电机总开关→将双投开关拨至市电供电一侧。

②按柴油机停机步骤停机。

③按顺序，从市电供电总开关至各分路开关逐个闭合各断路器，将双电源切换箱自市电供电断路器置于闭合位置。

## 自动转换开关的接线方法

自动转换开关的接线原理图如图 1-6-2 所示，其中左侧为四极接线图，右侧为三极接线图。自动转换开关的实物接线图如图 1-6-3 所示。

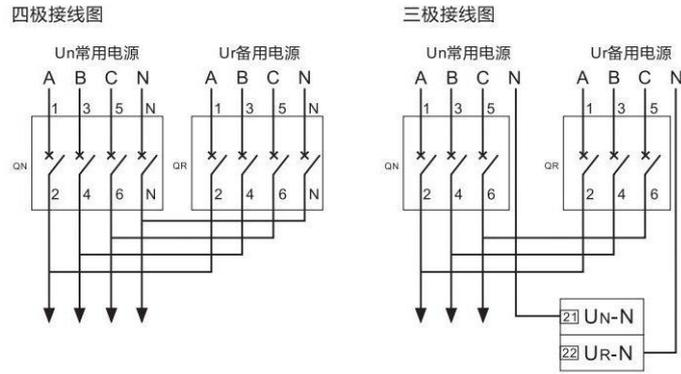


图 1-6-2 自动转换开关接线原理图

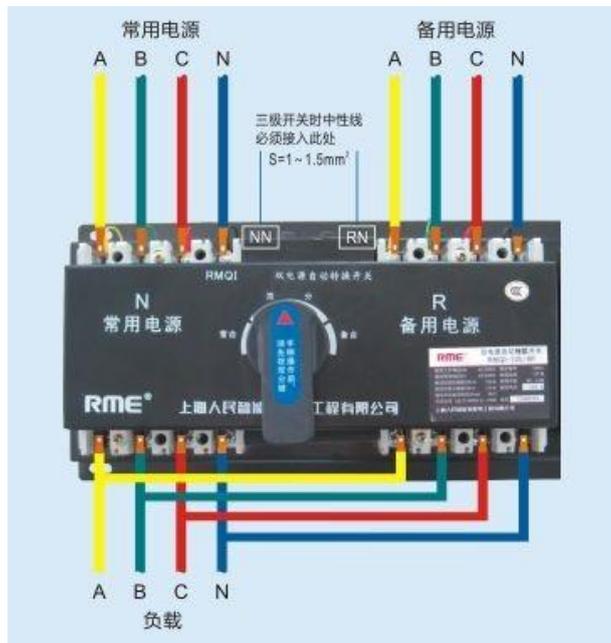


图 1-6-3 自动转换开关实物接线图

## 任务7 低压断路器

<b>任务描述</b>	<p>低压断路器又称自动空气开关或自动空气断路器，简称断路器。它是一种既有手动开关作用，又能自动进行失压、欠压、过载、和短路保护的电器。它可用来分配电能，不频繁地启动异步电动机，对电源线路及电动机等实行保护，当它们发生严重的过载或者短路及欠压等故障时能自动切断电路，其功能相当于熔断器式开关与过欠热继电器等组合。而且在分断故障电流后一般不需要变更零部件，已获得了广泛的应用。</p> <p>本任务学习低压断路器的种类、作用、结构、工作原理、电气符号以及型号含义。</p>
<b>任务目标</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>(1) 了解低压断路器的作用及分类；</li><li>(2) 理解低压断路器的结构；</li><li>(3) 理解低压断路器的工作原理；</li><li>(4) 能识别电压断路器的电气符号；</li><li>(5) 了解低压断路器的型号含义；</li><li>(6) 会使用低压断路器。</li></ul>

### 低压断路器的作用及分类

当电路发生短路、严重过载以及失压等危险故障时，低压断路器能够自动切断故障电路，有效地保护串接在它后面的电气设备。因此，低压断路器是低压配电网路中非常重要的一种保护电器。在正常条件下，也用低压断路器作不太频繁的接通和断开电路以及控制电动机。低压断路器具有操作安全、动作值可调整、分断能力较好、兼顾各种保护功能等优点而在电气工程中广泛使用。

按照不同的条件，低压断路器可进行如下分类：

- (1) 低压断路器的形式结构可分为万能式（DW 系列）和塑壳式（DZ 系列）两种。
- (2) 按照动作速度可分为一般型和快速型两种。
- (3) 按照用途分类可分为配电用断路器、电动机保护用断路器、灭磁断路器和漏电断路器等。

### 低压断路器的结构

低压断路器的主要部件由触头系统、保护装置、灭弧装置、操作结构等组成，如图 1-7-1

所示为 DZ5-20 型低压断路器的外形及结构图。

触头系统：一般由主触头、弧触头和辅加触头组成。

灭弧装置：采用栅片灭弧方法。即一般由长短不同的钢片交叉组成灭弧栅，放置在绝缘材料的灭弧室内构成灭弧装置。

保护装置：由各类脱扣器完成短路、过载、失压等保护功能。脱扣器类型按保护功能分为：过电流脱扣器、失压脱扣器和热脱扣器等。

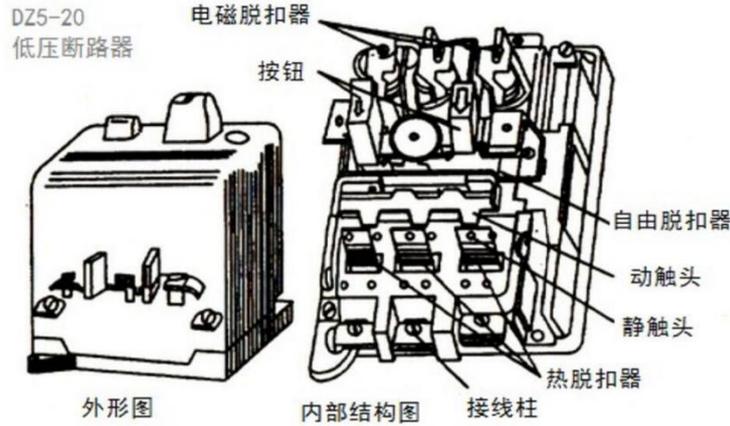


图 1-7-1 低压断路器的外形及结构图

## 低压断路器的工作原理及电气符号

低压熔断器的工作原理如图 1-7-2 所示。图中 2 为低压断路器的三副主触头，串联在被保护的三相主电路中。当按下绿色按钮时，主电路中三副主触头 2，由锁链 3 钩住搭钩 4，克服弹簧 1 的拉力，保持在闭合状态。下右图为断路器符号。

当线路正常工作时，电磁脱扣器 4 中线圈所产生的吸力不能将它的衔铁吸合。如果线路发生短路和产生较大过电流时，电磁脱扣器 4 的吸力增大，将衔铁吸合，并撞击杠杆，把搭钩 3 顶上去，切断主触点 2。如果线路上电压下降或是去电压时，欠电压脱扣器 5 的吸力减小或失去吸力，衔铁被弹簧拉开，撞击杠杆，把搭钩 3 顶开，切断主触头 2。以上便是低压断路器工作的运作原理。

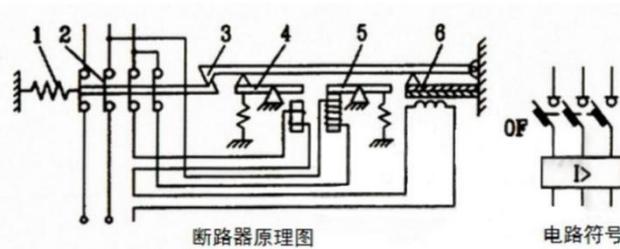


图 1-7-2 低压断路器工作原理及电气符号图

## 低压断路器的型号含义

低压断路器型号的含义如图 1-7-3 所示。

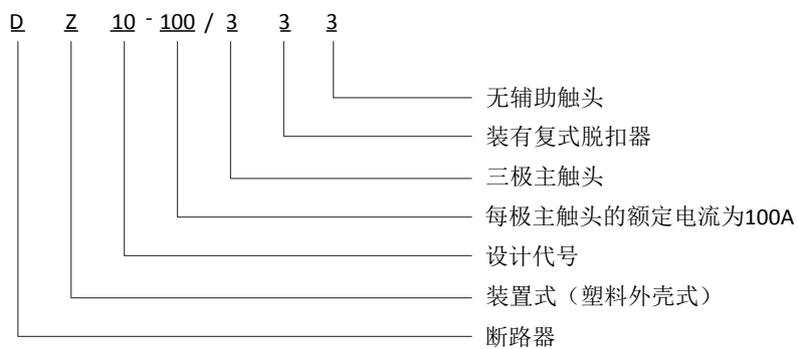


图 1-7-3 低压断路器的型号含义

## 任务8 接触器

<b>任务描述</b>	<p>低压断路器又称自动空气开关或自动空气断路器，简称断路器。它是一种既有手动开关作用，又能自动进行失压、欠压、过载、和短路保护的电器。它用来分配电能，不频繁地启动异步电动机，对电源线路及电动机等实行保护，当它们发生严重的过载或者短路及欠压等故障时能自动切断电路，其功能相当于熔断器式开关与过欠热继电器等组合。而且在分断故障电流后一般不需要变更零部件，已获得了广泛的应用。</p> <p>本任务学习接触器的种类、作用、电气符号、组成结构、工作原理、型号含义以及接触器与继电器的区别。</p>
<b>任务目标</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>(1) 了解接触器的作用及分类；</li><li>(2) 能识别接触器的电气符号；</li><li>(3) 理解接触器的组成结构；</li><li>(4) 理解接触器的工作原理；</li><li>(5) 了解接触器的型号含义；</li><li>(6) 理解接触器与继电器的区别；</li><li>(7) 会使用接触器。</li></ul>

### 接触器的作用及分类

接触器是控制电器，广泛应用于就地、远程控制电动机等设备，可频繁操作，是工业控制中最基本的、最重要的控制电器。

按供电电流分，接触器可分为交流接触器和直流接触器；

按磁特性分，接触器可分为电磁接触器和永磁接触器；

按电压等级分，接触器可分为高压接触器和低压接触器；

按用途分，接触器可分为电动机用的接触器、电容器用的接触器、照明用接触器等。

### 接触器的电气符号

接触器图形与文字符号如图 1-8-1 所示。

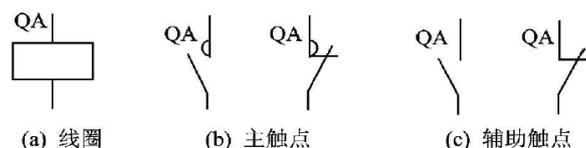


图 1-8-1 接触器图形与文字符号

## 接触器的组成结构

以交流接触器为例，它由电磁机构、触点系统、灭弧系统、反力装置、支架和底座等几部分组成，如图 1-8-2 所示。

### (1) 电磁机构

电磁机构的组成：由电磁线圈、铁心和衔铁组成。

电磁机构的功能：操作触点的闭合和断开。

### (2) 触点系统

触点是接触器的执行元件，用来接通或断开被控制电路。

触点系统包括主触点和辅助触点。

①主触点：用在通断电流较大的主电路中。

②辅助触点：用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。

按其原始状态可分为常开触点和常闭触点。

①常开触点：原始状态时（即线圈未通电）断开，线圈通电后闭合的触点叫常开触点；

②常闭触点：原始状态闭合，线圈通电后断开的触点叫常闭触点（线圈断电后所有触点复原）。

### (3) 灭弧系统

容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置，常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧装置。

### (4) 反力装置

包括弹簧、传动机构、接线柱及外壳等。

### (5) 支架和底座

用于接触器的固定和安装。

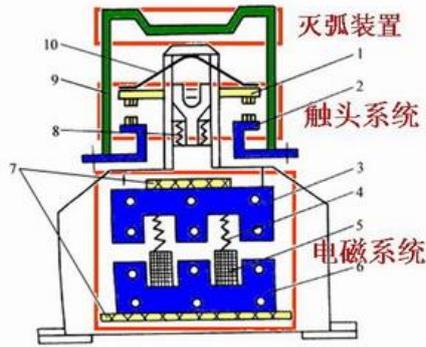


图 1-8-2 交流接触器结构示意图

(1-动触头, 2-静触头, 3-衔铁, 4-弹簧, 5-线圈, 6-铁心,  
7-垫毡, 8-触头弹簧, 9-灭弧罩, 10-触头压力弹簧)

### 接触器的工作原理

交流接触器的工作原理是：当接触器线圈通电后，线圈电流会产生磁场，产生的磁场使静铁芯产生电磁吸力吸引动铁芯，并带动交流接触器点动作，常闭触点断开，常开触点闭合，两者是联动的。当线圈断电时，电磁吸力消失，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触点复原，常开触点断开，常闭触点闭合。如图 1-8-3 所示为交流接触器工作原理示意图。

直流接触器的工作原理跟温度开关的原理有点相似。

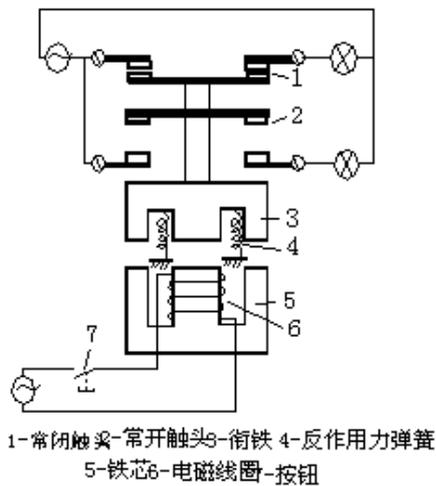


图 1-8-3 交流接触器工作原理示意图

### 接触器与继电器的区别

(1) 继电器和接触器的本质区别就是承受的载荷不同，电流容量大的是接触器，小的是继电器，还有区别使用在主回路用接触器，控制回路用继电器。

(2) 接触器的作用是用来接通和分断较大的电流信号，驱动电机等功率设备；

(3) 继电器的作用是用来进行信号的转换,不同电压等级的设备之间控制信号的接口,其触点承载能力一般较小,用来驱动接触器等电器元件。

## 接触器的型号含义

接触器通常用字母“C”与不同字母和数字的组合来构成其整个型号。图 1-8-4 所示为接触器基本型号所表示的含义。

名称	类型	设计序号	派生代号	额定电流	主触点数
C	J	20	Z	160	3
◇名称: 用字母“C”标识,表示接触器。					
◇类型: 用字母表示					
“J”表示交流接触器,“JX”表示小容量交流接触器,“Z”表示直流接触器,“KJ”表示真空接触器,“P”表示中频接触器。					
◇设计序号: 用数字表示。					
◇派生代号: 用字母表示					
“T”表示改进型,“J”表示节电型,“Z”表示重任务型,“W”表示增容型,“S”表示电磁锁扣型,“F”表示纵缝灭弧型。					
◇主触点额定电流: 额定电流的标识。					
◇主触点数: 常用数字表示。					

(a) 接触器型号所表示的含义(一)

名称	类型	设计序号	第1位数字	第2位数字	第3位数字	第4位数字
C	JX	2	0	9	1	0
◇名称: 用字母“C”标识,表示接触器。						
◇类型: 用字母表示						
“J”表示交流接触器,“JX”表示小容量交流接触器,“Z”表示直流接触器,“KJ”表示真空接触器,“P”表示中频接触器。						
◇设计序号: 用数字表示。						
◇第1、2位数字: 标识在AC-3使用类别下额定工作电压为380V的额定工作电流。						

(b) 接触器型号所表示的含义(二)

图 1-8-4 接触器的型号含义

例如,“CJ20Z-160/3”所表示的含义为:交流接触器,设计序号为 20,重任务型,主触点额定电流为 160A。“CJX2-0910”所表示的含义为:小容量交流接触器,设计序号为 2,额定工作电流为 9A。

## 任务9 继电器

<b>任务描述</b>	<p>继电器是一种电控制器件，是当输入量（激励量）的变化达到规定要求时，在电气输出电路中使被控量发生预定的阶跃变化的一种电器。它具有控制系统（又称输入回路）和被控制系统（又称输出回路）之间的互动关系。通常应用于自动化的控制电路中，它实际上是用小电流去控制大电流运作的一种“自动开关”。故在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。</p> <p>本任务学习继电器的作用、种类、常用类型、组成结构、工作原理、电气符号以及型号含义。</p>
<b>任务目标</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>(1) 了解继电器的作用和种类；</li><li>(2) 掌握继电器的几种常用类型；</li><li>(3) 理解继电器的组成结构；</li><li>(4) 理解继电器的工作原理；</li><li>(5) 能识别继电器的电气符号；</li><li>(6) 了解继电器的型号含义；</li><li>(7) 会使用继电器。</li></ul>

### 继电器的作用

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

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

作为控制元件，概括起来，继电器有如下几种作用：

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

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

(3) 综合信号：例如，当多个控制信号按规定的形式输入多绕组继电器时，经过比较综合，达到预定的控制效果。

(4) 自动、遥控、监测：例如，自动装置上的继电器与其他电器一起，可以组成程序控制线路，从而实现自动化运行。

## 继电器的分类

按输入信号的性质分为：电压继电器、电流继电器、时间继电器、温度继电器、速度继电器、压力继电器等。

按工作原理分为：电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、热继电器和电子式继电器等。

按输出形式分为：有触点和无触点两类。

按用途分为：控制用和保护用继电器等。

## 几种常见类型继电器

### (1) 电流继电器

用作继电保护的测量元件，串接于被测电路中，反应被保护元件的电流变化。

电流继电器线圈匝数少、导线粗、阻抗小。

有过电流、欠电流两种类别：

过电流继电器：输入电流达  $70\sim 300\% I_e$  时吸合（直流）。

输入电流达  $110\sim 400\% I_e$  时吸合（交流）。

欠电流继电器：输入电流为  $30\sim 65\% I_e$  时吸合，低至  $10\sim 20\% I_e$  时释放。

正常情况下，欠电流继电器始终是吸合的，而过电流继电器始终是断开的。

### (2) 电压继电器

并接于被测电路中，是以电压为特征量的测量继电器。

电压继电器线圈匝数多、导线细、阻抗大。

有过电压、低电压两种类别：

过电压继电器：输入电压达  $105\sim 120\% U_e$  时吸合。

低电压继电器：输入电压低至  $30\sim 50\% U_e$  时释放。

正常情况下，低电压继电器始终是吸合的，而过电压继电器始终是断开的。

### (3) 中间继电器

在控制电路中,有时为了增加触点的数量或增大触点的控制容量,需要使用中间继电器。中间继电器触点数量多、容量大,以扩展前级继电器触点或触点负载容量,起到中间放大的作用。

#### (4) 时间继电器

时间继电器作为一种辅助继电器,在接收到动作(释放)信号后不是立即、而是经过固定的时间才改变其输出状态。

延时方式有两种:

通电延时:接收输入信号后延时一定的时间,输出信号才发生变化,当输入信号消失后,输出瞬时复原;

断电延时:接收输入信号时,瞬时产生相应的输出信号,当输入信号消失后,延时一定的时间,输出才复原。

#### (5) 热继电器

热继电器通常应用在电动机保护场合。

热继电器利用电流的热效应原理,当其测量元件被加热到一定程度时动作,在出现电动机不能承受的过载时切断电源,为电动机提供过载保护。

热继电器能够根据过载电流的大小自动调整动作时间,具有反时限保护特性,过载电流越大,动作时间越短。

### 继电器的组成结构

如图 1-9-1 所示是继电器的组成结构。从图中可以看出,继电器一般由铁芯、线圈、衔铁、触点簧片等组成的。接通电源后,会产生电磁效应,电磁力就会吸引衔铁,让它接触到铁芯,带动衔铁的常闭触点与常开触点吸合,在电流切断后,电磁的吸力也就没有了,衔铁就又返回到原来的位置,将电路切断。

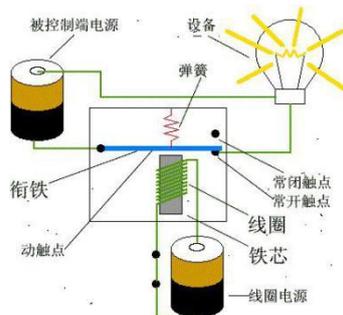


图 1-9-1 继电器的组成结构

## 继电器的工作原理

继电器的工作原理如图 1-9-2 所示，当继电器线圈通电后，线圈中的铁芯产生强大的电磁力，吸动衔铁带动簧片，使触点 1、2 断开，1、3 接通。当线圈断电后，弹簧使簧片复位，使触点 1、2 接通，1、3 断开。我们只要把需要控制的电路接在触点 1、2 间（1、2 称为常闭触点）或触点 1、3 间（称为常开触点），就可以利用继电器达到某种控制的目的。

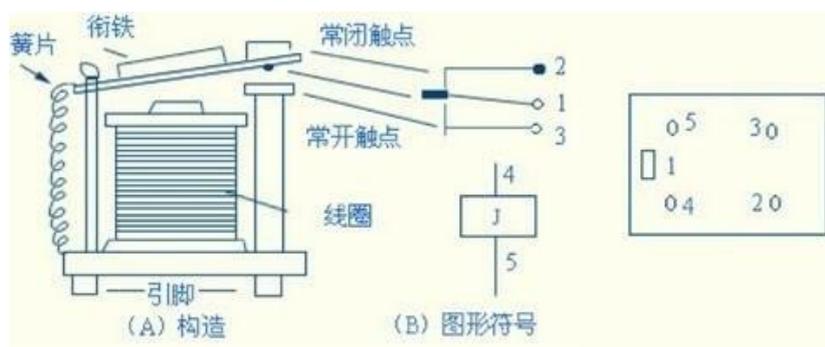


图 1-9-2 继电器的工作原理

## 继电器的电气符号

中间继电器的文字符号用 KA 表示，图形符号如图 1-9-3 所示。

电压继电器的文字符号用 KV 表示，图形符号如图 1-9-4 所示。

电流继电器的文字符号用 KI 表示，图形符号如图 1-9-5 所示。

通电延时继电器的文字符号用 KT 表示，图形符号如图 1-9-6 所示。

断电延时继电器的文字符号用 KT 表示，图形符号如图 1-9-7 所示。

热继电器的文字符号用 FR 表示，图形符号如图 1-9-8 所示。

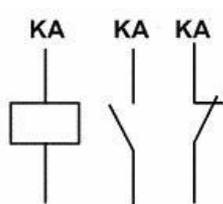


图 1-9-3 中间继电器图形符号

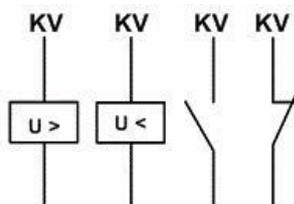


图 1-9-4 电压继电器图形符号

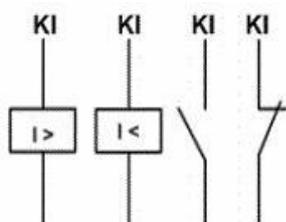


图 1-9-5 电流继电器图形符号

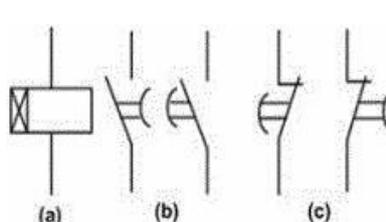


图 1-9-6 通电延时继电器图形符号



## 任务 10 熔断器

<b>任务描述</b>	<p>熔断器是指当电流超过规定值时，以本身产生的热量使熔体熔断，断开电路的一种电器。熔断器是根据电流超过规定值一段时间后，以其自身产生的热量使熔体熔化，从而使电路断开；运用这种原理制成的一种电流保护器。熔断器广泛应用于高低压配电系统和控制系统以及用电设备中，作为短路和过电流的保护器，是应用最普遍的保护器件之一。</p> <p>本任务学习熔断器的结构、用途、工作原理、常见种类、电气符号以及熔断器与断路器的区别。</p>
<b>任务目标</b>	(1) 了解熔断器的结构和用途；
	(2) 理解熔断器的工作原理；
	(3) 了解常见种类的熔断器；
	(4) 能识别熔断器的电气符号；
	(5) 理解熔断器与断路器的区别
	(6) 会使用熔断器。

### 熔断器的结构与用途

熔断器的结构一般分成熔体座和熔体等部分。熔断器是串联连接在被保护电路中的，当电路电流超过一定值时，熔体因发热而熔断，使电路被切断，从而起到保护作用。熔体的热量与通过熔体电流的平方及持续通电时间成正比，当电路短路时，电流很大，熔体急剧升温，立即熔断，当电路中电流值等于熔体额定电流时，熔体不会熔断。所以熔断器可用于短路保护。由于熔体在用电设备过载时所通过的过载电流能积累热量，当用电设备连续过载一定时间后熔体积累的热量也能使其熔断，所以熔断器也可作过载保护。常用的熔断器外形如图 1-10-1 所示。



图 1-10-1 常用的熔断器外形图

### 熔断器的工作原理

利用金属导体作为熔体串联于电路中，当过载或短路电流通过熔体时，因其自身发热而熔断，从而分断电路的一种电器。熔断器结构简单，使用方便，广泛用于电力系统、各种电工设备和家用电器中作为保护器件。

## 熔断器的常见种类

(1) 插入式熔断器：它常用于 380V 及以下电压等级的线路末端，作为配电支线或电气设备的短路保护用。

(2) 螺旋式熔断器：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，它常用于机床电气控制设备中。螺旋式熔断器分断电流较大，可用于电压等级 500V 及其以下、电流等级 200A 以下的电路中，作短路保护。

(3) 封闭式熔断器：封闭式熔断器分有填料熔断器和无填料熔断器两种，如图 3 和图 4 所示。有填料熔断器一般用方形瓷管，内装石英砂及熔体，分断能力强，用于电压等级 500V 以下、电流等级 1KA 以下的电路中。无填料密闭式熔断器将熔体装入密闭式圆筒中，分断能力稍小，用于 500V 以下，600A 以下电力网或配电设备中。

(4) 快速熔断器：快速熔断器主要用于半导体整流元件或整流装置的短路保护。由于半导体元件的过载能力很低。只能在极短时间内承受较大的过载电流，因此要求短路保护具有快速熔断的能力。快速熔断器的结构和有填料封闭式熔断器基本相同，但熔体材料和形状不同，它是以银片冲制的有 V 形深槽的变截面熔体。

(5) 自复熔断器：采用金属钠作熔体，在常温下具有高电导率。当电路发生短路故障时，短路电流产生高温使钠迅速汽化，汽态钠呈现高阻态，从而限制了短路电流。当短路电流消失后，温度下降，金属钠恢复原来的良好导电性能。自复熔断器只能限制短路电流，不能真正分断电路。其优点是不必更换熔体，能重复使用。

## 熔断器的电气符号

熔断器的文字符号为 FU。

熔断器的图形符号与种类无关，如图 1-10-2 所示，在长方形上画短边的二等分线来表示。



图 1-10-2 熔断器的图形符号

## 熔断器与断路器的区别

相同点是都能实现短路保护，熔断器的原理是利用电流流经导体会使导体发热，达到导体的熔点后导体融化所以断开电路保护用电器和线路不被烧坏。它是热量的一个累积，所以也可以实现过载保护。一旦熔体烧毁就要更换熔体。

断路器也可以实现线路的短路和过载保护，不过原理不一样，它是通过电流底磁效应(电磁脱扣器)实现断路保护，通过电流的热效应实现过载保护(不是熔断，多不用更换器件)。具体到实际中，当电路中的用电负荷长时间接近于所用熔断器的负荷时，熔断器会逐渐加热，直至熔断。像上面说的，熔断器的熔断是电流和时间共同作用的结果起到对线路进行保护的作用，它是一次性的。而断路器是电路中的电流突然加大，超过断路器的负荷时，会自动断开，时间作用几乎可以不用考虑，它是对电路一个瞬间电流加大的保护，例如当漏电很大时，或短路时，或瞬间电流很大时的保护，当查明原因，可以合闸继续使用。

# 项目 2 电气控制系统基本控制电路

## 项目描述

电气控制系统一般称为电气设备二次控制回路，不同的设备有不同的控制回路，而且高压电气设备与低压电气设备的控制方式也不相同。具体地说，电气控制系统是指由若干电气原件组合，用于实现对某个或某些对象的控制，从而保证被控设备安全、可靠地运行，其主要功能有：自动控制、保护、监视和测量。

常用的控制线路的基本回路由以下几部分组成。

(1) 电源供电回路。供电回路的供电电源有交流 AC380V、220V 和直流 24V 等多种。

(2) 保护回路。保护（辅助）回路的工作电源有单相 220（交流）、36V（直流）或直流 220（交流）、24V（直流）等多种，对电气设备和线路进行短路、过载和失压等各种保护，由熔断器、热继电器、失压线圈、整流组件和稳压组件等保护组件组成。

(3) 信号回路。能及时反映或显示设备和线路正常与非正常工作状态信息的回路，如不同颜色的信号灯，不同声响的音响设备等。

(4) 自动与手动回路。电气设备为了提高工作效率，一般都设有自动环节，但在安装、调试及紧急事故的处理中，控制线路中还需要设置手动环节，用于调试。通过组合开关或转换开关等实现自动与手动方式的转换。

(5) 制动停车回路。切断电路的供电电源，并采取某些制动措施，使电动机迅速停车的控制环节，如能耗制动、电源反接制动，倒拉反接制动和再生发电制动等。

(6) 自锁及闭锁回路。启动按钮松开后，线路保持通电，电气设备能继续工作的电气环节叫自锁环节，如接触器的动合触点串联在线圈电路中。两台或两台以上的电气装置和组件，为了保证设备运行的安全与可靠，只能一台通电启动，另一台不能通电启动的保护环节，叫闭锁环节。如：两个接触器的动断触点分别串联在对方线圈电路中。

本项目学习电气控制系统的基本控制电路，包括点动控制电路、正反转控制电路、连续转动控制电路、联锁保护电路、电机启动控制电路、两地控制电路等。

## 项目目标

### 【知识目标】

(1) 掌握点动控制电路的几种实现方式和基本原理；

- (2) 掌握正反转控制电路的几种实现方式和基本原理；
- (3) 掌握连续转动控制电路的几种实现方式和基本原理；
- (4) 掌握联锁保护电路的几种实现方式和基本原理；
- (5) 掌握电机启动控制电路的几种实现方式和基本原理；
- (6) 掌握两地控制电路的几种实现方式和基本原理。

### **【技能目标】**

- (1) 能够读懂点动控制电路原理图，熟练点动控制电路的安装接线；
- (2) 能够读懂正反转控制电路原理图，熟练正反转控制电路的安装接线；
- (3) 能够读懂连续转动控制电路原理图，熟练连续转动控制电路的安装接线；
- (4) 能够读懂联锁保护电路原理图，熟练联锁保护电路的安装接线；
- (5) 能够读懂电机启动控制电路原理图，熟练电机启动控制电路的安装接线；
- (6) 能够读懂两地控制电路原理图，熟练两地控制电路的安装接线。

## 任务 11 三相交流异步电动机的点动控制电路连接

<b>任务描述</b>	<p>点动控制电路是指通过按钮进行控制，完成对三相交流异步电动机按下按钮即转，松开按钮即停的控制方式。三相交流异步电动机的点动控制电路主要由电源总开关 QS、接触器 KM、按钮 SB 以及三相交流异步电动机 M 构成。</p> <p>本任务学习三相交流异步电动机的点动控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 通过三相交流异步电动机点动控制线路的安装接线，掌握通过原理图进行安装接线的技能；</p> <p>(2) 通过任务掌握及加深理解三相交流异步电动机点动控制线路。</p>

### 任务电路

按图 2-11-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

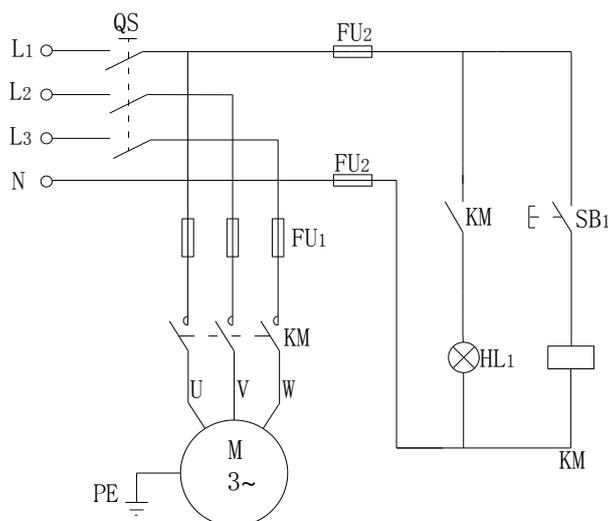


图 2-11-1 三相交流异步电动机点动控制电路

### 任务步骤

(1) 闭合开关 QS，按下启动按钮 SB1（不动），KM 线圈得电，KM 主触点闭合电机得电启动同时 KM 常开触点闭合灯 HL1 亮。

(2) 松开按钮 SB1，KM 线圈失电，接触器各个触点复位，电机停止转动。

## 任务 12 三相交流异步电动机单向连续转动的控制电路连接

<b>任务描述</b>	<p>单向连续转动控制电路是指通过按钮对三相交流异步电动机进行控制，当合上启动按钮，电机正常启动，当合上停止按钮，电机停止转动的控制方式。</p> <p>本任务学习三相交流异步电动机单向连续转动控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 通过三相交流异步电动机单向连续转动控制线路的安装接线，掌握通过原理图安装接线的技能；</p> <p>(2) 通过任务掌握及加深理解三相交流异步电动机单向连续转动控制线路。</p>

### 任务电路

按图 2-12-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

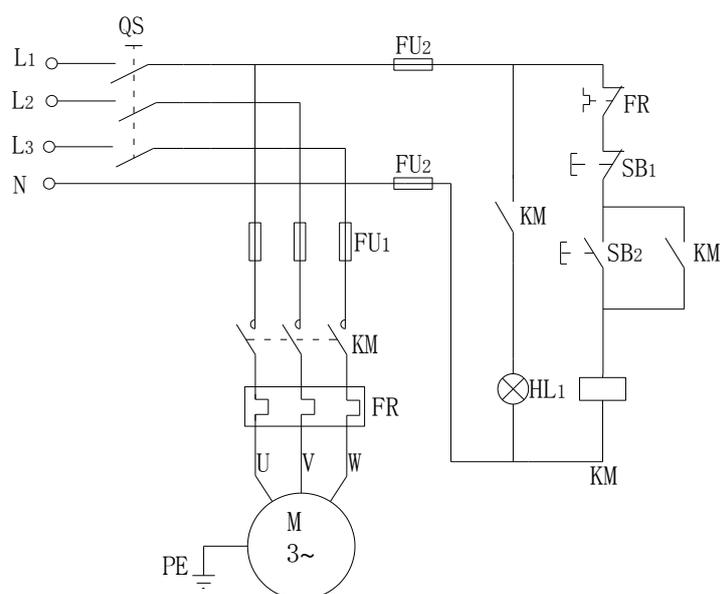


图 2-12-1 三相交流异步电动机单向连续转动控制线路

### 任务步骤

- (1) 闭合开关 QS，按下启动按钮 SB2，KM 线圈得电主触点闭合电机转动，KM 常开触点闭合自锁且灯 HL1 亮。
- (2) 按下停止按钮 SB1，KM 线圈失电，KM 的各个触点复位，电机停止转动。

## 任务 13 接触器联锁的三相交流异步电动机正反转控制电路的连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>接触器联锁的三相交流异步电动机正反转电路主电路采用了两个接触器，其中接触器 KM1 用于正转，接触器 KM2 用于反转。当接触器 KM1 主触点闭合时，接到电动机接线端 U、V、W 的三相电源相序是 L1、L2、L3，而当接触器 KM2 主触点闭合时，接到电动机接线端 U、V、W 的三相电源相序是 L3、L2、L1，其中 L1 和 L3 两相对调了，所以，电动机旋转方向相反。</p> <p>本任务学习接触器联锁的三相交流异步电动机正反转控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 通过接触器正反转联锁控制线路的安装接线，掌握根据原理图安装接线的方法；</p> <p>(2) 掌握接触器联锁的三相异步电机正、反转的工作原理。</p>

### 任务电路

按图 2-13-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

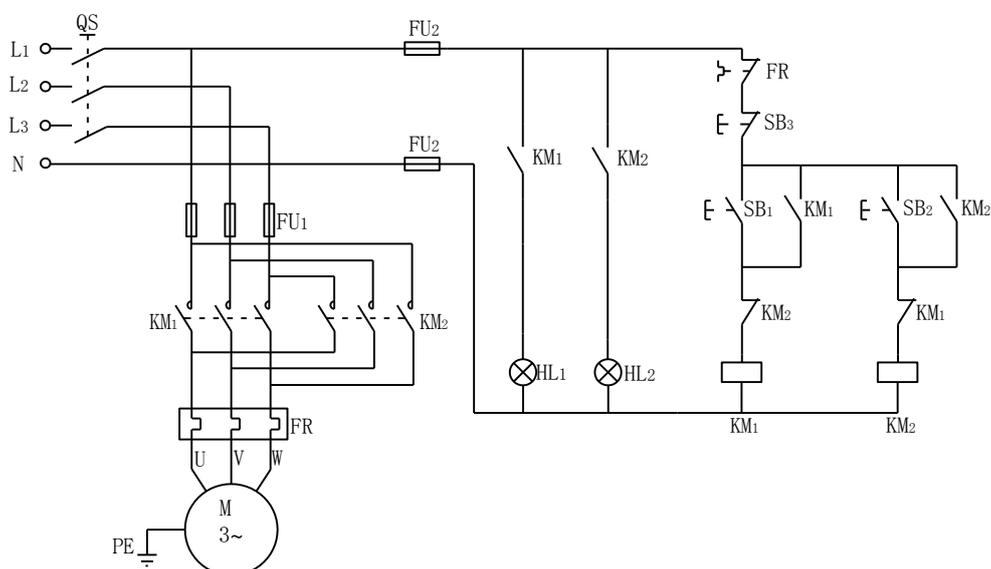


图 2-13-1 接触器联锁电动机正反转控制线路

## 任务步骤

(1) 合上电源开关 QS → 按下 SB1 → KM1 线圈得电

- KM1 常闭触点断开, 对 KM2 互锁
- KM1 主触点闭合 → 电机正转
- KM1 常开自锁触点闭合自锁 → HL1 亮

(2) 按下 SB3 → KM1 线圈失电

- 主触点断开 → 电机失电
- 各个辅助触点复位

→ 按下 SB2 → KM2 线圈得电

- KM2 常闭触点断开对 KM1 互锁
- KM2 主触点闭合 → 电机反转
- KM2 常开自锁触点闭合自锁 → HL2 亮

(3) 按下 SB3 → 系统停车。

## 任务 14 按钮联锁的三相交流异步电动机正反转控制电路的连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>按钮联锁正反转控制线路由按钮开关来实现三相异步电机的正反转控制和联锁保护，电路组成包括电源隔离开关 QS，交流接触器 KM1、KM2，热继电器 FR，熔断器 FU1 和 FU2，启动按钮 SB2、SB3，停机按钮 SB1 及电动机 M 等。</p> <p>本任务学习按钮联锁的三相交流异步电动机正反转控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 通过对按钮联锁正反转控制线路的安装接线，掌握按原理图接线的实际操作技能；</p> <p>(2) 学会分析按钮联锁的三相异步电机正、反转电路的工作原理图。</p>

### 任务电路

按图 2-14-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

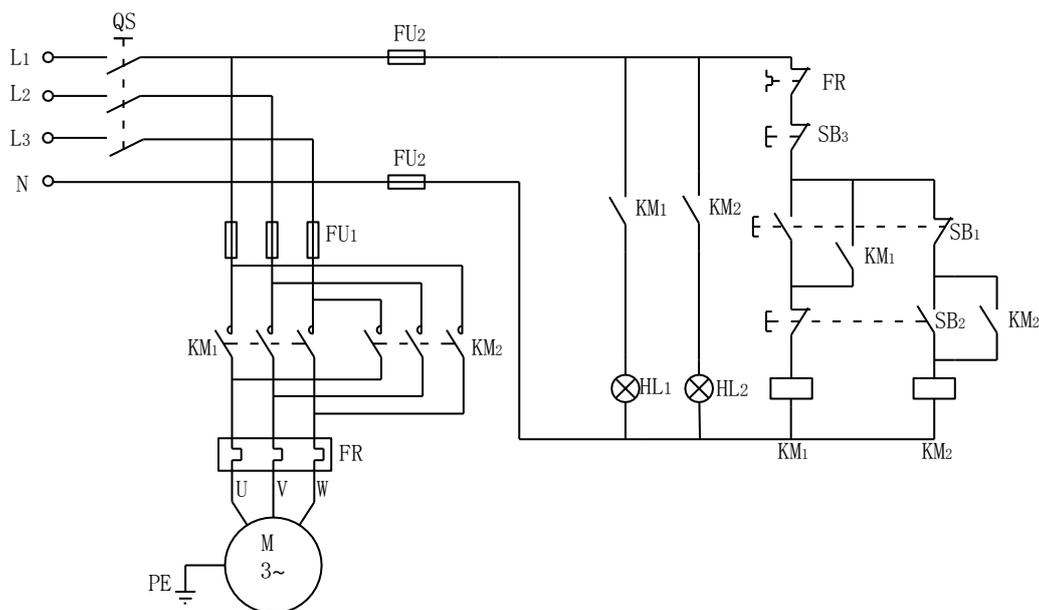


图 2-14-1 按钮联锁电动机正反转控制线路

### 任务步骤

- (1) 合上电源开关 QS → 按下 SB1 → KM1 线圈得电
- KM1 常开自锁触点闭合
  - KM1 常开自锁触点闭合自锁 → HL1 亮

- (2) 按下 SB2 → SB2 常闭触点断开对 KM1 互锁 → KM1 线圈失电
- KM1 各触点断开复位 (电机失电, 电机惯性运转, 指示灯 HL1 灭)
- SB2 常开触点闭合 → KM2 线圈得电
- KM2 主触点闭合 → 电机反转
  - KM2 常开自锁触点闭合自锁 → HL2 亮
- (3) 按下 SB3 → 系统停车。

## 任务 15 按钮、接触器联锁的三相交流异步电动机正反转控制电路的连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>接触器联锁正反转控制线路的优点是工作安全可靠，缺点是操作不便。因为电动机从正转变为反转时，必须先按下停止按钮后，才能按反转启动按钮，否则由于接触器的联锁作用，不能实现反转。按钮联锁控制线路的缺点是容易产生电源两相短路故障。例如：当正转接触器 KM1 发生主触头熔焊或被杂物卡住等故障时，即使 KM1 线圈失电，主触头也分断不开，这时若直接按下反转按钮 SB2，KM2 得电动作，触头闭合，必然造成电源两相短路故障。所以采用此线路工作有一定的不安全隐患。因此在实际工作中，经常采用的是按钮、接触器双重联锁的正反转控制线路。</p> <p>本任务学习按钮、接触器联锁的三相交流异步电动机正反转控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 理解和掌握接触器和按钮双重联锁正反转控制线路的原理；</p> <p>(2) 学习接触器和按钮双重联锁正反转线路的连接与调试。</p>

### 任务电路

按图 2-15-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

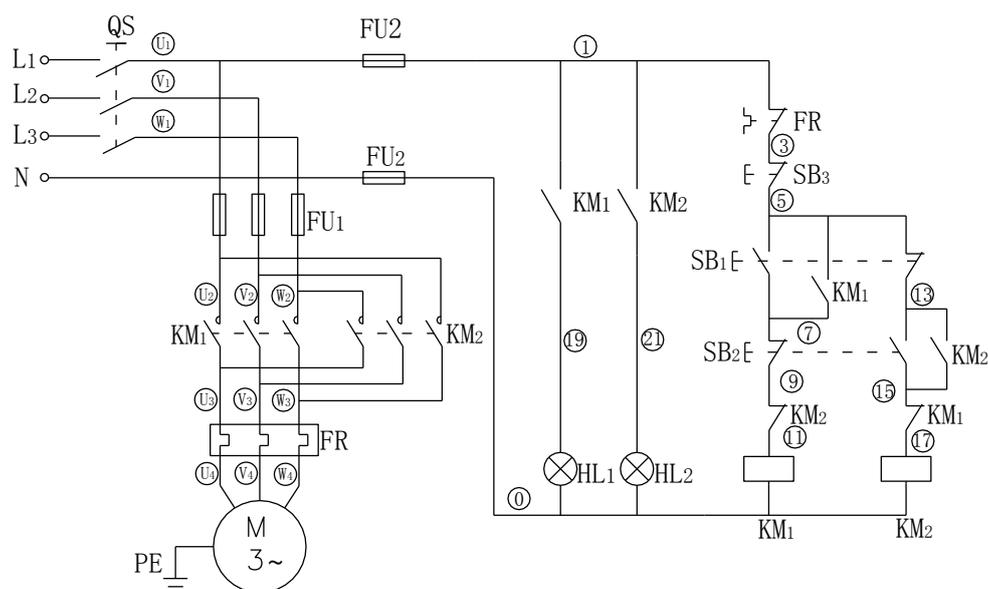


图 2-15-1 接触器和按钮双重联锁正反转控制线路

## 电路原理

为了操作方便，又能有效防止电源的相间短路，可以采用按钮、接触器双重联锁的正反转控制线路。这个线路是把接触器联锁和按钮联锁两个控制线路的优点结合起来，可不按停止按钮而直接按反转按钮改变电动机的转动方向，当接触器发生熔焊等故障时又不会发生电源的相间短路，从而达到了双重保护的目的。

## 任务步骤

合上电源开关 QS，按下按钮 SB1，接触器 KM1 电磁线圈获电，KM1 主触点闭合，电动机正转；KM1 常开辅助触点闭合形成自锁，同时指示灯 HL1 亮，KM1 常闭辅助触点断开反转 KM2 回路实现联锁。若需要反转，则按下按钮 SB2，SB2 的常闭触点断开使 KM1 电磁线圈断电，KM1 主触点断开，电动机电源断开；KM1 常开辅助触点复位解除自锁，指示灯 HL1 灭，KM1 常闭辅助触点恢复闭合解除联锁；同时 SB2 的常开触点闭合，接触器 KM2 电磁线圈获电，KM2 主触点闭合，电动机反转；KM2 常开辅助触点闭合实现自锁，同是指示灯 HL2 亮，KM2 常闭辅助触点断开实现联锁。若需要停止，则按下按钮 SB3，工作的接触器电磁线圈断电，触点复位，电动机停止转动，指示灯灭。

## 任务 16 万能转换开关控制三相交流异步电动机的正反转

<b>任务描述</b>	<p>万能转换开关简称转换开关，主要用于各种控制线路的转换、电压表及电流表的换相、测量、控制、配电设备的远距离控制以及高压断路器操作机构的分闸和合闸控制，也可做为电机伺服变速及换向控制用。</p> <p>本任务使用万能转换开关实现三相交流异步电动机的正反转控制。</p> <p>本任务学习基于万能转换开关的三相交流异步电动机正反转控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<b>任务目标</b>	(1) 通过对倒顺开关控制电机正反转的安装接线，掌握原理图及安装接线的技能；
	(2) 通过任务掌握及加深理解倒顺开关控制电机的线路。

### 任务电路

按图 2-16-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

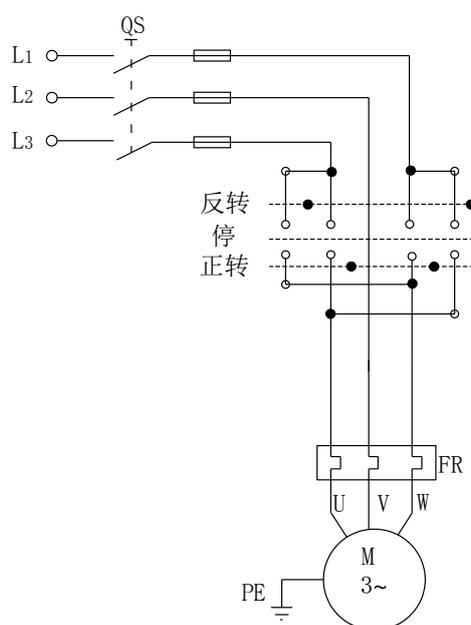


图 2-16-1 倒顺开关的三相异步电动机正反转控制电路

### 任务步骤

- (1) 闭合开关 QS，将倒顺开关打到正转时，电动机正转，将档位打到反转时，电动机反转。
- (2) 将倒顺开关档位打到停止时，电动机停止转。

## 任务 17 三相交流异步电动机 Y-Δ（手动切换）启动控制电路的连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>电动机的降压启动是在电源电压不变的情况下，降低启动时加在电动机定子绕组上的电压，限制启动电流，当电动机转速基本稳定后，再使工作电压恢复到额定值。</p> <p>三相交流异步电动机常用的降压启动方法有：定子绕组串电阻（或电抗器）降压启动、Y-Δ降压启动、自耦变压器降压启动和延边三角形降压启动等。其中，Y-Δ降压启动方法简便、经济可靠，Y 接的启动电流是正常运行Δ接的 1/3，启动转矩也只有正常运行时的 1/3。因此，Y-Δ降压启动方法只适用于正常运转时采用三角形接法的电动机，空载或轻载情况下启动。</p> <p>本任务学习三相交流异步电动机 Y-Δ（手动切换）启动控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 通过对该线路的实际安装接线，掌握由原理图安装接线的方法；</p> <p>(2) 通过任务进一步理解 Y-Δ降压启动的原理。</p>

### 任务电路

按图 2-17-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

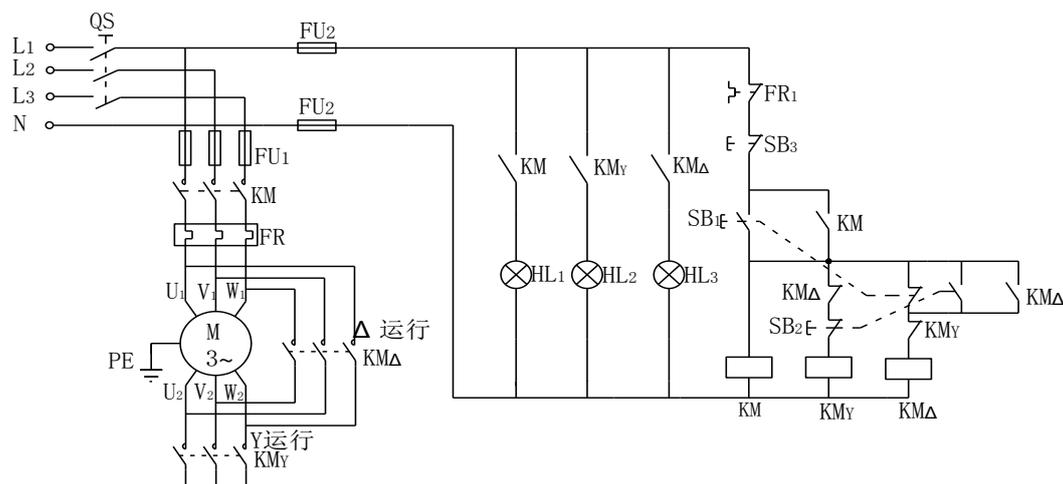
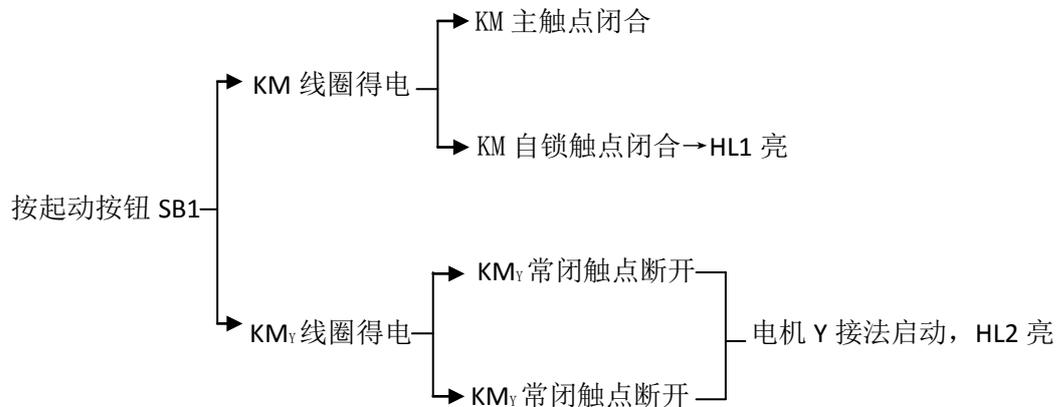


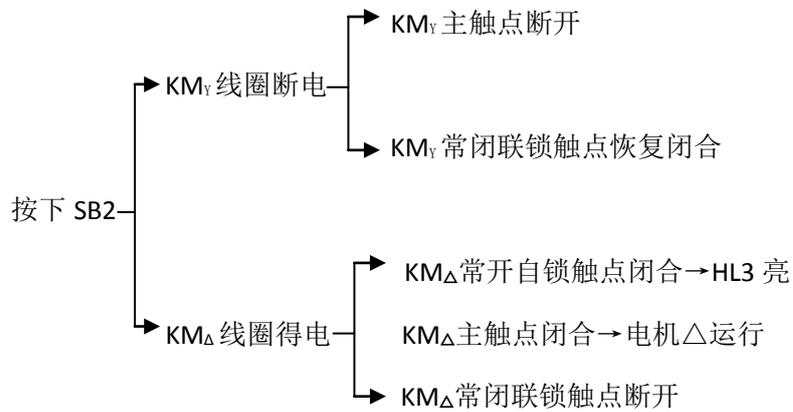
图 2-17-1 按钮切换的 Y-Δ启动控制线路

## 任务步骤

### (1) Y 接法起动



### (2) 当电机转速升高到一定值时, 按 SB2 使电机△接法全压运行



### (3) 按 SB3, 实现停机。

## 任务 18 三相交流异步电动机 Y-Δ（时间继电器切换）启动控制电路的连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>电动机的降压启动是在电源电压不变的情况下，降低启动时加在电动机定子绕组上的电压，限制启动电流，当电动机转速基本稳定后，再使工作电压恢复到额定值。</p> <p>三相交流异步电动机常用的降压启动方法有：定子绕组串电阻（或电抗器）降压启动、Y-Δ降压启动、自耦变压器降压启动和延边三角形降压启动等。其中，Y-Δ降压启动方法简便、经济可靠，Y 接的启动电流是正常运行Δ接的 1/3，启动转矩也只有正常运行时的 1/3。因此，Y-Δ降压启动方法只适用于正常运转时采用三角形接法的电动机，空载或轻载情况下启动。</p> <p>本任务学习三相交流异步电动机 Y-Δ（时间继电器切换）启动控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 加深对时间继电器控制 Y-Δ降压启动线路工作原理的认识；</p> <p>(2) 学习时间继电器控制 Y-Δ降压启动线路的制作。</p>

### 任务电路

按图 2-18-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

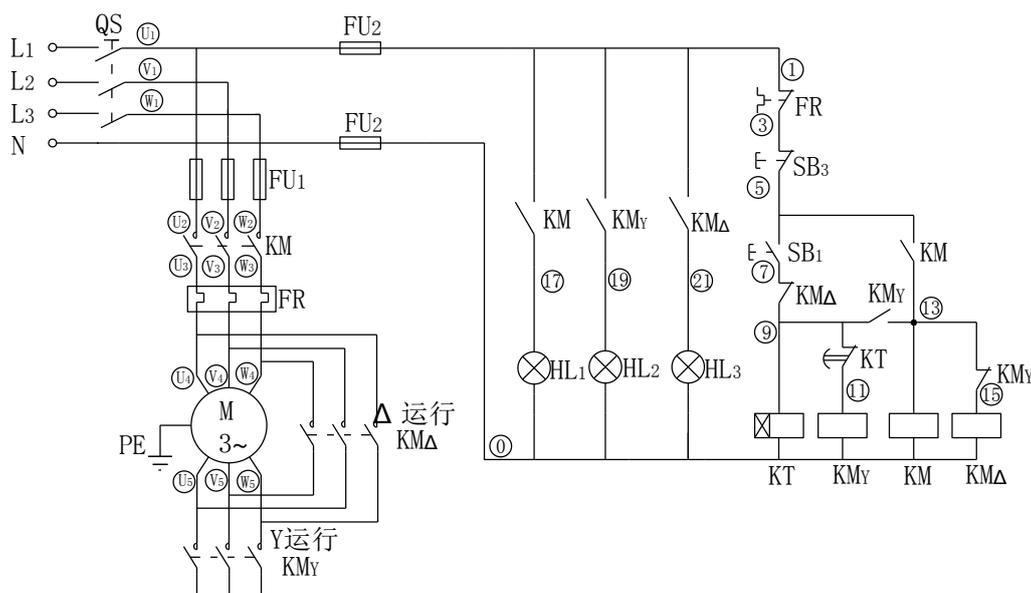


图 2-18-1 时间继电器切换 Y-Δ 降压启动控制线路

## 任务步骤

合上电源开关 QS 后，按下启动按钮 SB1，接触器 KMY 和时间继电器 KT 的电磁线圈同时获电吸合，KMY 的常闭触点断开使 KM $\Delta$ 回路不能通电起到互锁作用，防止 KM、KMY 与 KM $\Delta$ 同时闭合造成三相直接短路；KMY 的常开辅助触点闭合使 KM 线圈得电吸合，KM 常开触点闭合自锁；同时时间继电器则开始计时，KM 和 KMY 主触点闭合，电动机定子绕组为星形连接，进行降压启动；当到达时间继电器整定的动作时间，KT 延时常闭触点断开，KMY 的电磁线圈断电释放，在 KM $\Delta$ 电磁线圈支路上的常闭辅助触点恢复闭合，KM $\Delta$ 的电磁线圈通电，主触点闭合，电动机定子绕组由星形连接转换为三角形连接，电动机在额定电压下运行。串联在 KT 线圈支路上的 KM $\Delta$ 常闭辅助触点断开，防止误操作按下按钮 SB1。

停止，则按下按钮 SB3，工作的接触器 KM、KM $\Delta$ 电磁线圈断电，触点复位，电动机停止转动，指示灯灭。

## 任务 19 两地控制电路的连接

<b>任务描述</b>	在有些生产机械和生产设备中，常需在两地或两地以上的地点进行操作控制。要实现两地进行控制，就应有两组按钮，而这两组按钮的接线原则是：常开按钮并联，常闭按钮串联，这一原则也适用于三地或更多地点的控制。  本任务学习两地控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。
<b>任务目标</b>	(1) 通过两地控制电路的安装接线，掌握通过原理图安装接线的技能； (2) 通过任务掌握及加深理解接触器两地控制线路。

### 任务电路

按图 2-19-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

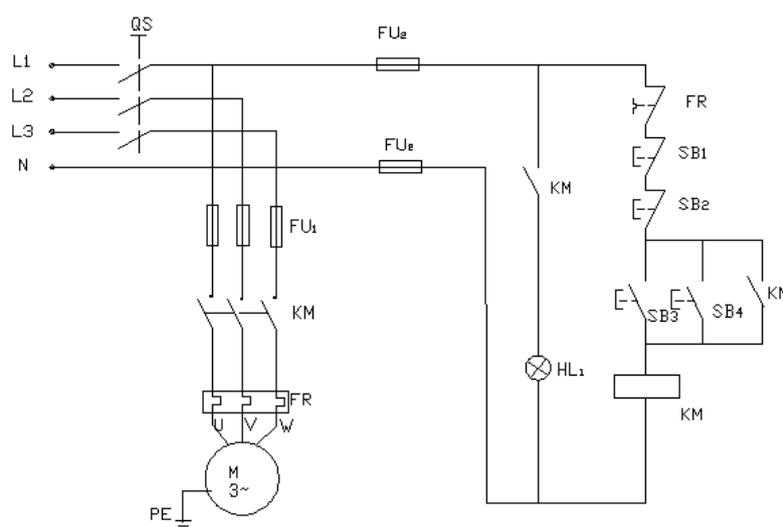


图 2-19-1 电动机两地控制电路

### 任务步骤

(1) 启动时：闭合开关 QS，按下启动按钮 SB3 或 SB4，KM 线圈得电主触点闭合电机转动，KM 常开触点闭合自锁且工作指示灯 HL1 亮。

(2) 停止时：按下停止按钮 SB1 或 SB2，KM 线圈失电，KM 的各个触点复位，电机停止转动，工作指示灯 HL1 熄灭，停止工作完成。

## 任务 20 离心开关配合的反接制动控制电路的连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>反接制动是在电动机停车时，将其所接的电源线中任意两根对调，由于电源相序改变，会产生一个与原来方向相反的电磁转矩，这对由于惯性作用仍沿原方向旋转的电动机起到制动作用，当电动机转速接近零时，断开电源。这种方法制动转矩大，制动迅速，但制动电流很大，一般要在定子电路中串入电阻。</p> <p>本任务学习离心开关配合的反接制动控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 通过离心开关配合的反接制动控制电路的实际安装接线，掌握由原理图实际安装接线的知识；</p> <p>(2) 通过离心开关配合的反接制动控制电路任务，进一步理解反接制动的原理。</p>

### 任务电路

按图 2-20-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

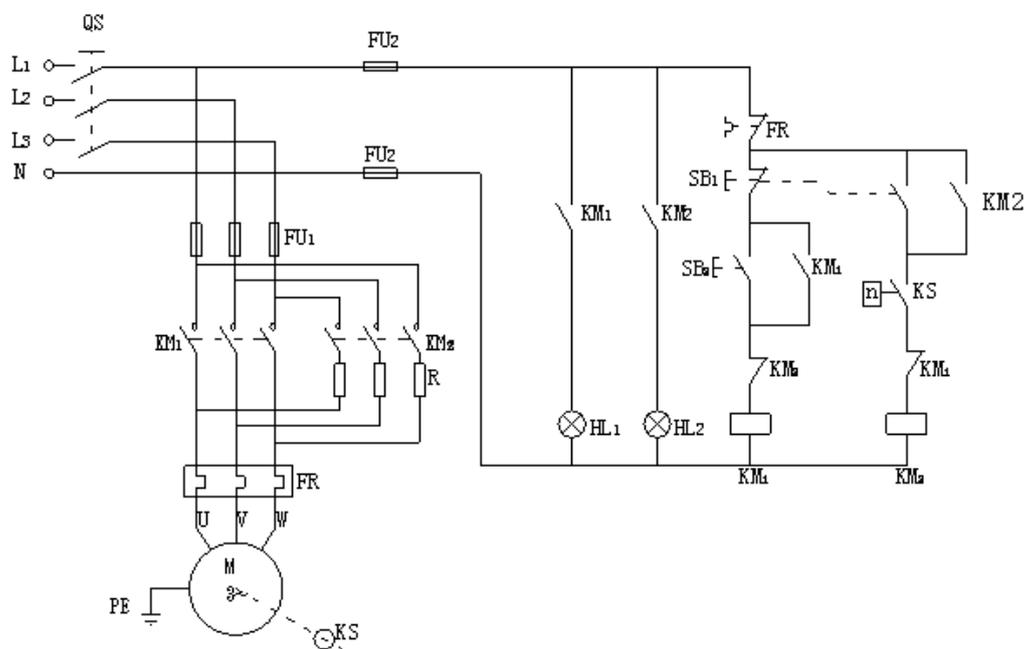
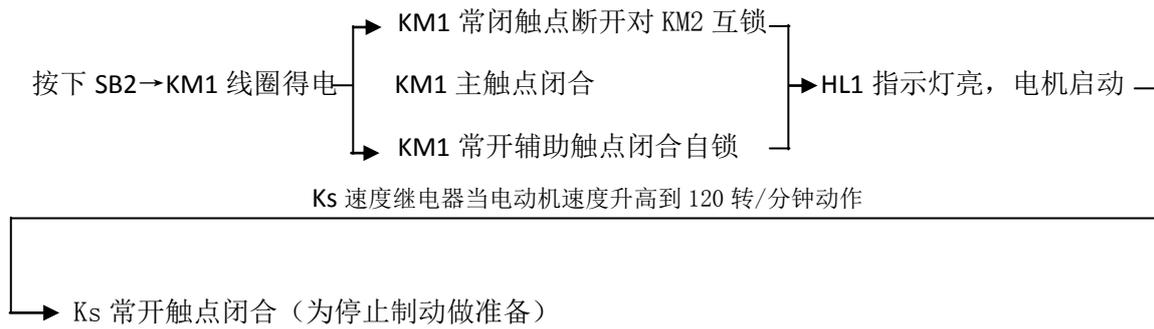


图 2-20-1 离心开关配合的反接制动控制电路

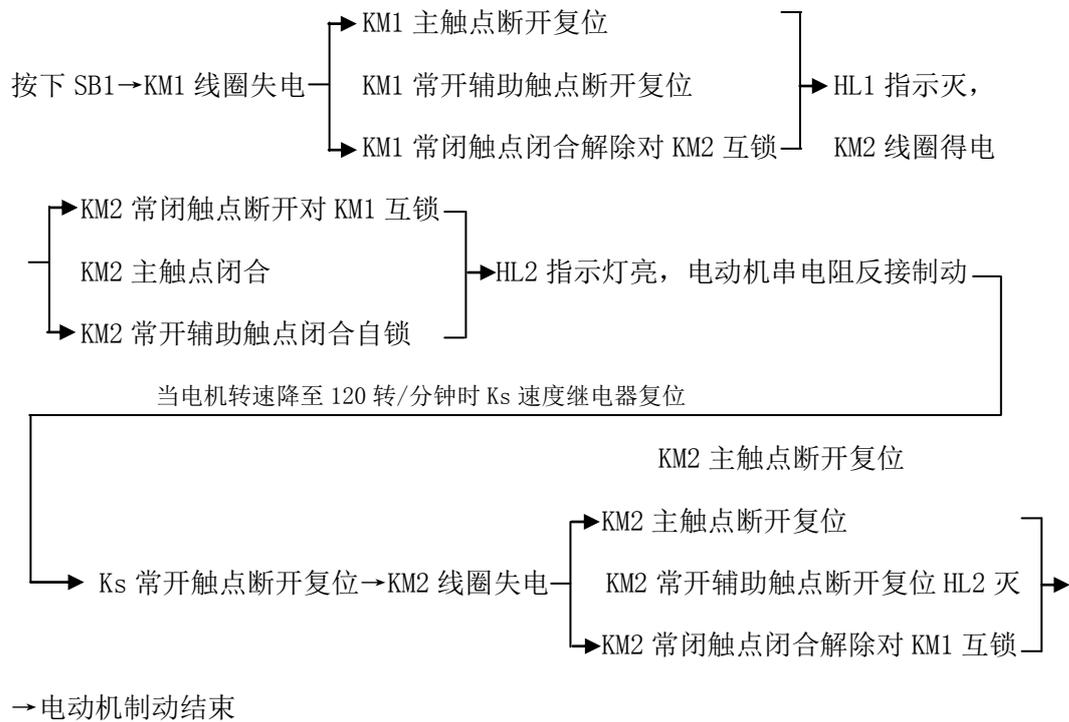
### 任务步骤

- (1) 合上 QS

(2) 启动



(3) 制动



## 任务 21 电动机往返行程控制电路连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>有些生产机械，如万能铣床，要求工作台在一定范围内能自动往返运动，以便实现对工件的连续加工，提高生产效率。这就需要电气控制线路能对电动机实现自动正反转控制。</p> <p>本任务学习电动机往返行程控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 理解和掌握自动往返控制线路的原理；</p> <p>(2) 学习自动往返控制线路的制作。</p>

### 任务电路

按图 2-21-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

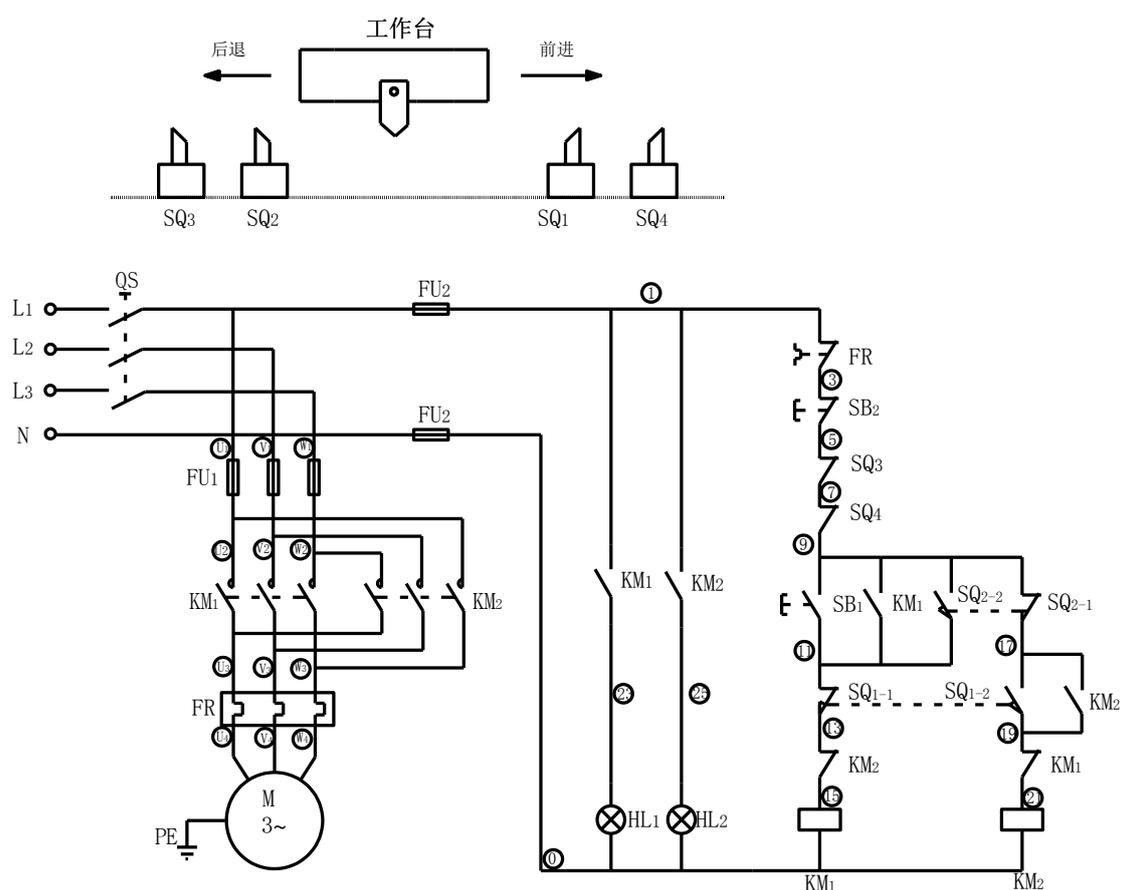


图 2-21-1 电动机自动往返限位控制电路

### 任务步骤

在主电路中，接触器 KM1 闭合时电动机正转，接触器 KM2 闭合，电动机反转。热继

电器的热元件串联在电动机电路中，通过电动机的工作电流。

按下按钮 **SB1**，接触器 **KM1** 电磁线圈通电，主触点闭合，电动机正转带动生产机械运动部件向前运动；**KM1** 常闭辅助触点断开，对 **KM2** 的联锁，常开辅助触点闭合自锁，**HL1** 指示灯亮。当生产机械的运动部件到达向前的预定位置时，压下行程开关 **SQ1**，使 **SQ1-1** 断开，接触器 **KM1** 电磁线圈断电，主触点断开，辅助触点复位，指示灯 **HL1** 灭，电动机停止转动；**SQ1-2** 闭合，接触器 **KM2** 电磁线圈通电，主触点闭合电动机反转带动生产机械运动部件向后运动；**KM2** 常闭辅助触点断开，实现对 **KM1** 的联锁，常开辅助触点闭合自锁，**HL2** 指示灯亮。当生产机械的运动部件向后运动时，松开行程开关 **SQ1**，使 **SQ1-1** 恢复闭合，**SQ1-2** 恢复断开；当生产机械的运动部件向后运动时到达向后的预定位置时，压下行程开关 **SQ2**，使 **SQ2-1** 断开，接触器 **KM2** 电磁线圈断电，主触点断开，电动机停止转动，辅助触点复位，指示灯 **HL2** 灭；**SQ2-2** 闭合，接触器 **KM1** 电磁线圈通电，主触点闭合，电动机正转带动生产机械运动部件向前运动；常开辅助触点闭合自锁，**HL1** 指示灯亮，常闭辅助触点断开，实现对 **KM1** 的联锁。如此往返循环。**SQ3**、**SQ4** 起保护作用，防止工作台因 **SQ1**、**SQ2** 失灵而发生意外。

注：用万用表检查，确认正确后，可在指导教师的监护下通电检查。通电检查时，线路中各电器的正确动作是：合上电源开关 **QS**，按下按钮 **SB1**，接触器 **KM1** 闭合电机正转；压下 **SQ1** 时，接触器 **KM1** 断开，**KM2** 闭合；压下 **SQ2** 时，接触器 **KM2** 断开，**KM1** 闭合，按下 **SB2**、**SQ3**、**SQ4** 线路中的接触器均能断开。说明生产机械的运动部件可以往返运动；当电路检查正确，确保无缺相等错误时再接入电机通电试车。

## 任务 22 普通车床控制电路的连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>普通车床是一种应用极为广泛的金属切削机床，它主要用来车削外圆、内圆、端面、螺纹和定型表面，并可用钻头、铰刀、镗刀进行加工。</p> <p>本任务学习普通车床控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 通过电路的实际安装线路，掌握根据原理图安装线路的知识；</p> <p>(2) 通过任务，加深理解普通车床电气线路工作原理。</p>

### 任务电路

按图 2-22-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

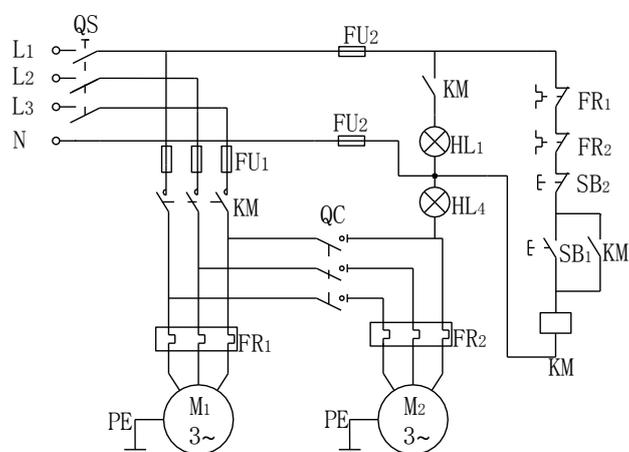
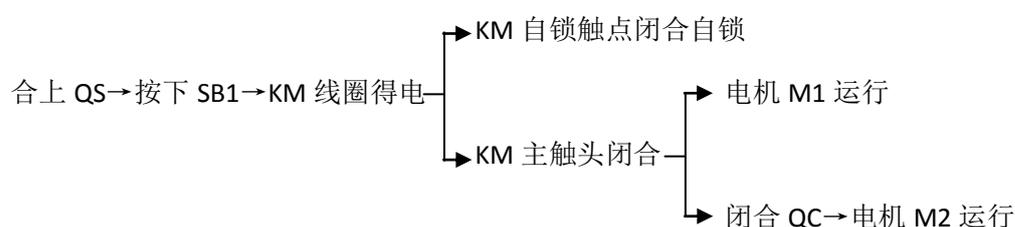


图 2-22-1 普通 (C620) 车床电气线路

### 任务步骤

(1) 电动机运行



(2) 电动机停止



## 任务 23 电动葫芦控制电路的连接

<b>任务描述</b>	起重运输设备种类很多，电动葫芦是将电动机、减速器、卷筒、制动装置和运行小车等紧凑地合为一体的起重设备，主要用于厂矿企业的修理与安装工作。  本任务学习电动葫芦控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。
<b>任务目标</b>	(1) 加深对电动葫芦控制线路工作原理的认识；
	(2) 学习电动葫芦控制线路的制作。

### 任务电路

按图 2-23-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

### 任务步骤

在主电路中，接触器 KM1 的主触点闭合时，电动机定子绕组为正转(升)；接触器 KM2 的主触点闭合为反转(降)；热继电器 FR1 的热元件串联在电动机 M1 上，对其进行过载保护。KM3 的主触点闭合时，电动机定子绕组为正转(进)；接触器 KM4 的主触点闭合为反转(退)。热继电器 FR2 的热元件串联在电动机 M2 上，对其进行过载保护。

辅助电路中，按下按钮开关 SB1 时，接触器 KM1 的电磁线圈通电，主触点闭合使电动机 M1 正转动上升；常闭辅助触点断开联锁，常开辅助触点闭合，HL1 指示灯亮。松开按钮开关 SB1，接触器 KM1 的电磁线圈失电，各触点复位，HL1 指示灯灭，电动机 M1 停止转动。

按下按钮开关 SB2，接触器 KM2 的电磁线圈通电，主触点闭合，电动机 M1 反转动下降；常闭辅助触点断开联锁，常开触点闭合，HL2 指示灯亮。松开按钮开关 SB2，接触器 KM2 的电磁线圈失电，各触点复位，HL2 指示灯灭，电动机 M1 停止转动。

按下按钮开关 SB3，接触器 KM3 的电磁线圈通电，主触点闭合使电动机 M2 正转动左移；常闭辅助触点断开联锁，常开辅助触点闭合，HL3 指示灯亮。松开按钮开关 SB3，接触器 KM3 的电磁线圈失电，各触点复位，HL3 指示灯灭，电动机 M2 停止转动。

按下按钮开关 SB4，接触器 KM4 的电磁线圈通电，主触点闭合，电动机 M2 反转动右移；常闭辅助触点断开联锁，常开辅助触点闭合，HL4 指示灯亮。松开按钮开关 SB4，接触器 KM4 的电磁线圈失电，各触点复位，HL4 指示灯灭，电动机 M2 停止转动。

若两台电动机中有一台或两台电动机过载，热继电器 FR 的常闭触点断开，两台电动机

均会停止转动。行程开关 SQ1、SQ2、SQ3 起保护作用，防止电机转动时超出行程范围。

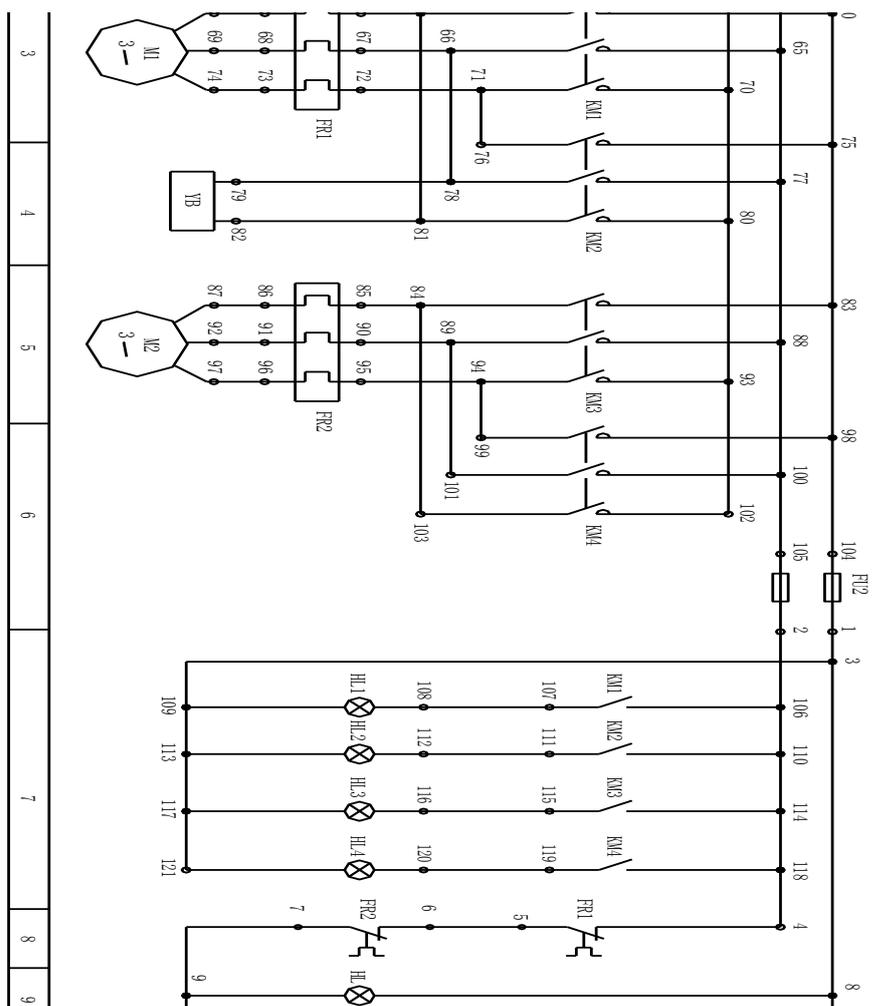


图 2-23-1 电动葫芦原理图

## 任务 24 点动与连续转动电路连接

<p><b>任务描述</b></p>	<p>在生产实践过程中，机床设备正常工作需要电动机连续运行，而试车和调整刀具与工件的相对位置时，又要求点动控制。为此生产加工工艺要求控制电路既能实现点动控制又能实现连续运行工作。</p> <p>本任务学习点动与连续转动电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 通过将点动与连续转动控制线路的安装接线，掌握通过原理图安装接线的技能；</p> <p>(2) 通过任务掌握及加深理解点动与连续转动控制线路。</p>

### 任务电路

按图 2-24-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

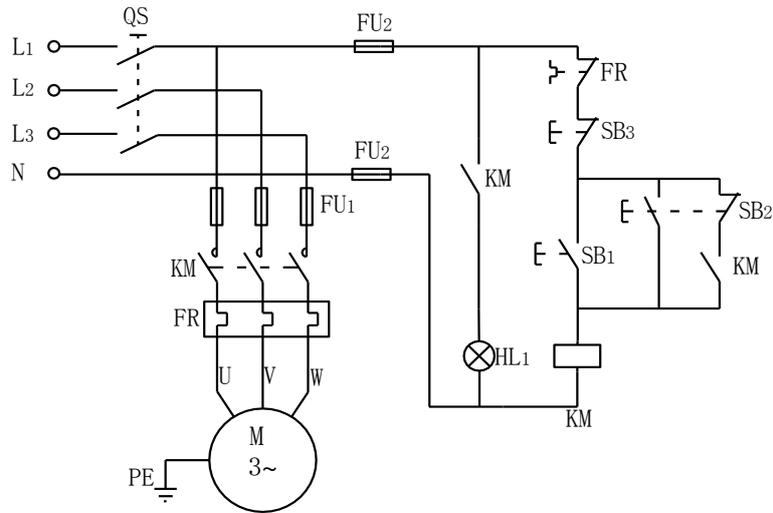
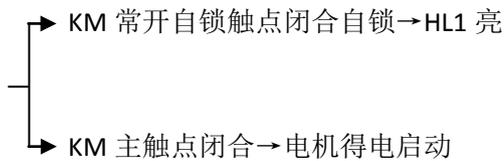


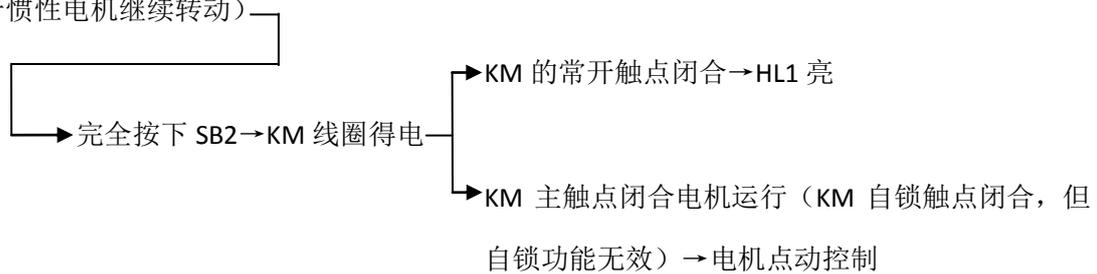
图 2-24-1 点动与连续转动控制电路

## 任务步骤

(1) 合上电源开关 QS → 按下按钮 SB1 → KM 线圈得电



(2) 按下按钮 SB2 的瞬间 → SB2 常闭触点先断开致使 KM 的自锁电路被断开 KM 线圈失电 (由于惯性电机继续转动)



(3) 按下 SB3 → KM 线圈失电 → 各触点复位 → 指示灯 HL1 灭  
→ 电机停止转动

## 任务 25 按钮切换的双速电动机调速控制电路连接

<b>任务描述</b>	<p>双速电动机是变极调速中最常见的一种形式，它是通过改变电动机定子绕组接线来改变极对数，从而改变电动机运行速度，其中定子绕组△形接线对应低速，而 YY 形接线对应高速。</p> <p>本任务学习按钮切换的双速电动机调速控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<b>任务目标</b>	(1) 通过对该线路的实际安装接线，掌握由原理图安装接线的方法；
	(2) 通过任务进一步理解双速电动机的工作原理。

### 任务电路

按图 2-25-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

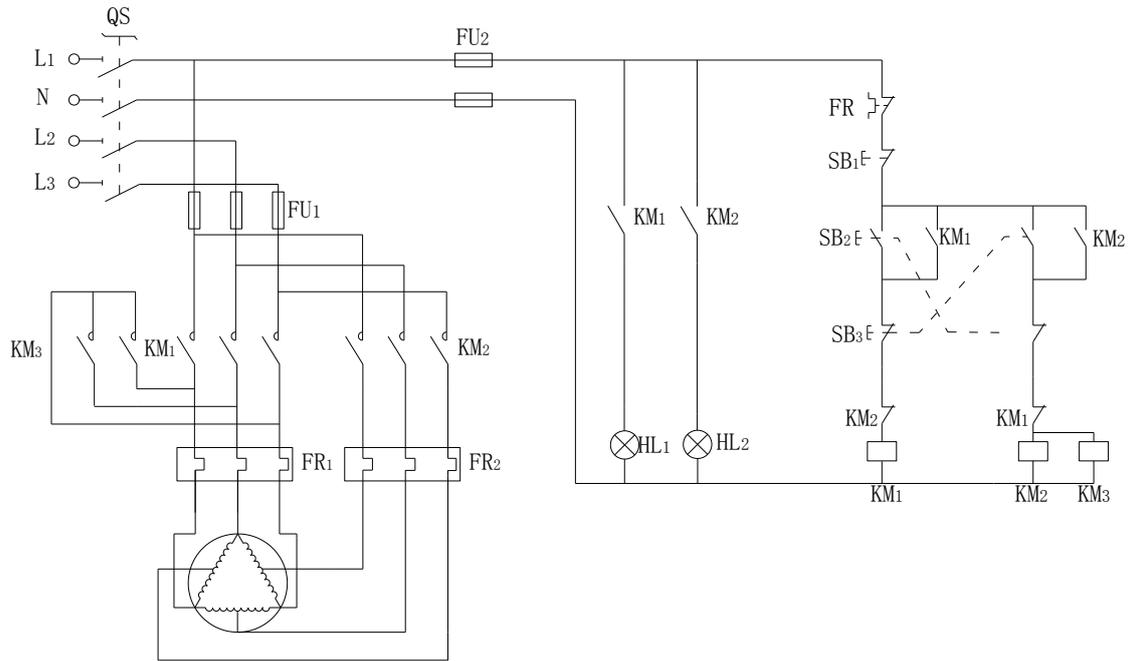
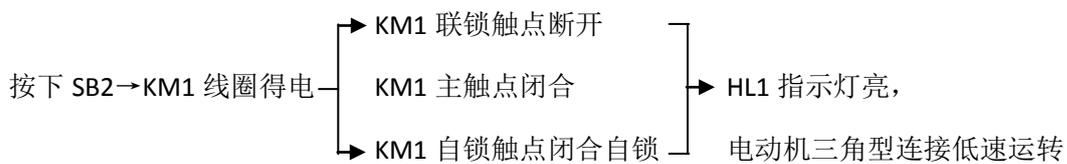


图 2-25-1 按钮切换的双速电动机控制电路

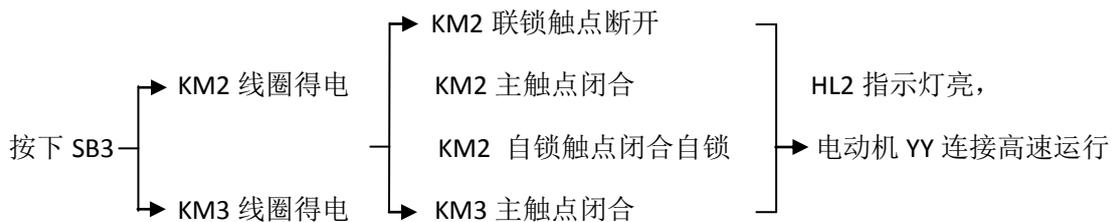
### 任务步骤

(1) 合上 QS

(2) 三角型连接低速运行



(3) YY 型连接高速运转



(4) 按下 SB1 停止

## 任务 26 时间继电器切换的双速电动机调速控制电路的连接

<b>任务描述</b>	<p>双速电动机是变极调速中最常见的一种形式，它是通过改变电动机定子绕组接线来改变极对数，从而改变电动机运行速度，其中定子绕组△形接线对应低速，而 YY 形接线对应高速。</p> <p>本任务学习时间继电器切换的双速电动机调速控制电路的原理图、接线方法以及操作步骤。</p>
<b>任务目标</b>	(1) 通过对该线路的实际安装接线，掌握由原理图安装接线的方法；
	(2) 通过任务进一步理解双速电动机的控制原理。

### 任务电路

按图 2-26-1 接线，经指导老师检查后，方可进行后续任务步骤。

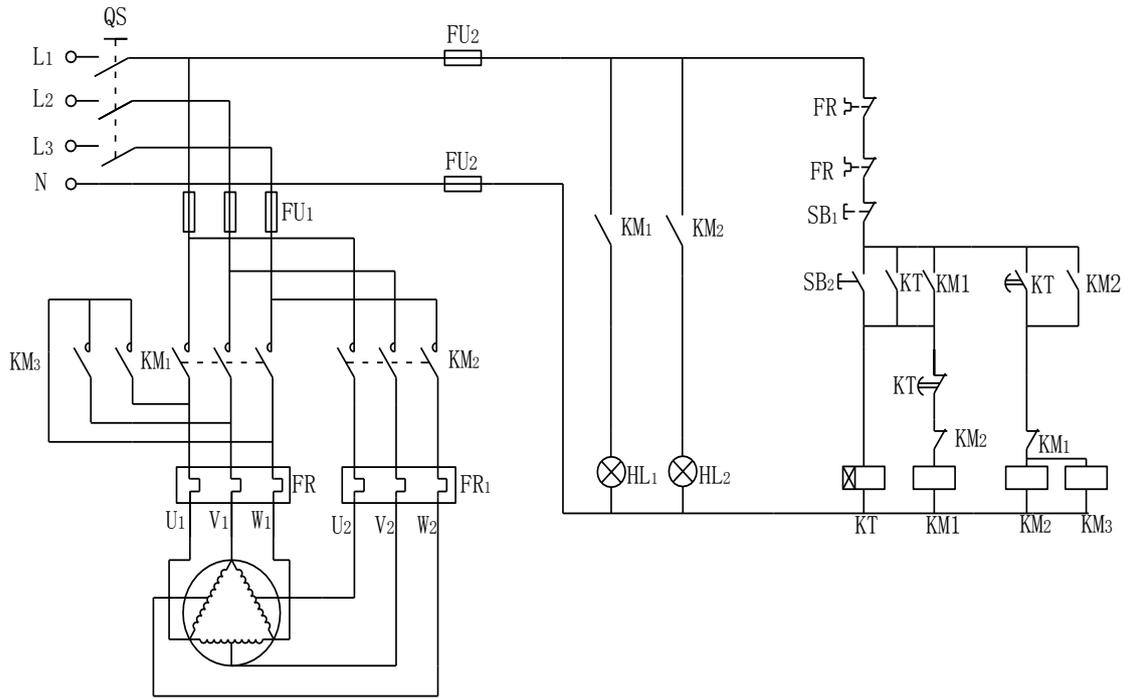


图 2-26-1 时间继电器切换的双速电动机控制线路

### 任务步骤

(1) 合上 QS

(2) 三角型连接低速运行



(3) YY 型连接高速运转



KM1 联锁触点闭合

## 项目 3 PLC 基础

### 项目描述

在工业生产过程中，大量的开关量顺序控制，它按照逻辑条件进行顺序动作，并按照逻辑关系进行连锁保护动作的控制，及大量离散量的数据采集。传统上，这些功能是通过气动或电气控制系统来实现的。1968 年美国 GM（通用汽车）公司提出取代继电气控制装置的要求，第二年，美国数字公司研制出了基于集成电路和电子技术的控制装置，首次采用程序化的手段应用于电气控制，这就是第一代可编程序控制器，称 Programmable Controller

(PC)。

个人计算机(简称 PC)发展起来后,为了方便,也为了反映可编程控制器的功能特点,可编程序控制器定名为 Programmable Logic Controller (PLC)。

上世纪 80 年代至 90 年代中期,是 PLC 发展最快的时期,年增长率一直保持为 30~40%。在这时期,PLC 在处理模拟量能力、数字运算能力、人机接口能力和网络能力得到大幅度提高,PLC 逐渐进入过程控制领域,在某些应用上取代了在过程控制领域处于统治地位的 DCS 系统。

PLC 具有通用性强、使用方便、适应面广、可靠性高、抗干扰能力强、编程简单等特点。PLC 在工业自动化控制特别是顺序控制中的地位,在可预见的将来,是无法取代的。

本项目学习 PLC 的相关基础知识和技能,包括 PLC 的编程语言、外部接线、软元件、数据类型与寻址方式等 PLC 基础,以及位逻辑指令、定时器指令、计数器指令、顺序控制指令、传送指令、比较指令、数学运算指令、逻辑运算指令、移位与循环指令、转换指令、表格指令、字符串指令、时钟指令、程序控制指令、子程序指令、中断指令、高速计数器指令、高速脉冲输出指令、PID 指令等相关指令。

## 项目目标

### 【知识目标】

- (1) 了解 PLC 的各种编程语言;
- (2) 理解 PLC 的外部接线原理;
- (3) 理解并掌握 PLC 的数据类型与寻址方式;
- (4) 理解并掌握掌握 PLC 的基本指令;
- (5) 掌握 PLC 的顺序控制指令;
- (6) 掌握 PLC 的功能指令。

### 【技能目标】

- (1) 会根据不同型号的 PLC 进行外部接线;
- (2) 会使用不同的数据类型和寻址方式;
- (3) 会使用 PLC 的基本指令;
- (4) 会使用 PLC 的顺序控制指令;
- (5) 会使用 PLC 的功能指令。

## 任务 27 PLC 入门

<b>任务描述</b>	<p>IEC（国际电工委员会）于 1987 年对可编程序控制器下的定义是：可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计；它采用一类可编程的存储器，用于其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术操作等面向用户的指令；并通过数字是或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。</p> <p>PLC 的应用范围非常广泛，在国内外大量应用于钢铁、石化、机械制造、汽车装配、电力系统等各行业的自动化控制领域。</p>
-------------	---

	<p>全球 PLC 制造厂家有上百家，比较有名的有德国的西门子（Siemens）公司、美国 Rockwell 自动化公司、法国的施耐德（Schneider）、日本的三菱公司和欧姆龙公司。</p> <p>本任务学习 PLC 的定义、种类、特点、组成结构、工作方式，以及 PLC 控制与继电器控制的异同。</p>
任务目标	(1) 了解 PLC 的定义和种类；
	(2) 了解 PLC 的特点；
	(3) 了解 PLC 的组成结构；
	(4) 理解 PLC 的工作方式；
	(5) 理解 PLC 控制与继电器控制的异同。

## PLC 的定义

PLC 是英文 Programmable Logic Controller 的缩写，意为可编程逻辑控制器。国际电工学会（IEC）对 PLC 最新定义要点如下：

- (1) 是一种专为工业环境下应用而设计的数字电子设备；
- (2) 内部采用了可编程序的存储器，可进行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作；
- (3) 通过数字量或模拟量输入端接收外部信号或操作指令，内部程序运行后从数字量或模拟量输出端输出需要的信号；
- (4) 可以通过扩展接口连接扩展单元，以增强和扩展功能，还可以通过通信接口与其他设备进行通信。

## PLC 的分类

PLC 的种类很多，下面按结构形式、控制规模和实现功能对 PLC 进行分类。

### (1) 按结构形式分类

按硬件的结构形式不同，PLC 可分为整体式和模块式。

整体式 PLC 又称箱式 PLC，图 3-27-1 所示是一种常见的整体式 PLC，其外形像一个方形的箱体，这种 PLC 的 CPU、存储器、I/O 接口等都安装在一个箱体内。整体式 PLC 的结构简单、体积小、价格低。小型 PLC 一般采用整体式结构。

模块式 PLC 又称组合式 PLC，其外形如图 3-27-2 所示，它有一个总线基板，基板上有

很多总线插槽，其中由 CPU、存储器和电源构成的一个模块通常安装在某个插槽中，其他功能模块可随意安装在其他不同的插槽内。模块式 PLC 灵活，可通过增减模块而组成不同规模的系统，安装维修方便，但价格较贵。大、中型 PLC 一般采用模块式结构。



图 3-27-1 整体式 PLC



图 3-27-2 模块式 PLC

### (2) 按控制规模分类

I/O 点数（输入/输出端子的个数）是衡量 PLC 控制规模的重要参数，根据 I/O 点数多少，可将 PLC 分为小型、中型和大型 3 类。

①小型 PLC: 其 I/O 点数小于 256 点，采用 8 位或 16 位单 CPU，用户存储器容量 4KB 以下。

②中型 PLC: 其 I/O 点数在 256 点~2048 点之间，采用双 CPU、用户存储器容量 2~8KB。

③大型 PLC: 其 I/O 点数大于 2048 点，采用 16 位、32 位多 CPU、用户存储器容量 8~16KB。

### (3) 按实现功能分类

根据 PLC 的功能强弱不同，可将 PLC 分为低档、中档、高档三类。

①低档 PLC: 它具有逻辑运算、定时、计数、移位以及自诊断、监控等基本功能，有些还有少量模拟量输入/输出、算术运算、数据传送和比较、通信等功能。低档 PLC 主要用

于逻辑控制、顺序控制或少量模拟量控制的单机控制系统。

②中档 PLC：它具有低档 PLC 的功能外，还具有较强的模拟量输入/输出、算术运算数据传送和比较、数制转换、远程 IO、子程序、通信联网等功能，有些还增设有中断控制、PID 控制等功能。中档 PLC 适用于比较复杂的控制系统。

③高档 PLC：它除了具有中档机的功能外，还增加了带符号算术运算、矩阵运算、位逻辑运算、平方根运算及其他特殊功能函数的运算、制表及表格传送功能等。高档 PLC 机具有很强的通信联网功能，一般用于大规模过程控制或构成分布式网络控制系统，实现工厂控制自动化。

## PLC 的特点

PLC 是一种专为工业应用而设计的控制器，它主要有以下特点：

### （1）可靠性高，抗干扰能力强

为了适应工业应用要求，PLC 从硬件和软件方面采用了大量的技术措施，以便能在恶劣环境下长时间可靠运行，现在大多数 PLC 的平均无故障运行时间已达到几十万小时。

### （2）通用性强，控制程序可变，使用方便

PLC 可利用齐全的各种硬件装置来组成各种控制系统，用户不必自己再设计和制作硬件装置。用户在硬件确定以后，在生产工艺流程改变或生产设备更新的情况下，无需大量改变 PLC 的硬件设备，只需更改程序就可以满足要求。

### （3）功能强，适用范围广

现代 PLC 不仅有逻辑运算、计时、计数、顺序控制等功能，还具有数字和模拟量的输入/输出、功率驱动、通信、人机对话、自检、记录显示等功能，既可控制一台生产机械、条生产线，又可控制一个生产过程。

### （4）编程简单，易用易学

目前，大多数 PLC 采用梯形图编程方式，梯形图语言的编程元件符号和表达方式与继电器控制电路原理图相当接近，这样使大多数工厂企业电气技术人员非常容易接受和掌握。

### （5）系统设计、调试和维修方便

PLC 用软件来取代继电器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件使控制柜的设计安装接线工作量大为减少。另外，PLC 的用户程序可以通过电脑在实验室仿真调试，减少了现场的调试工作量。此外，由于 PLC 结构模块化及很强的自我诊断能力。

## PLC 的组成

PLC 种类很多，但结构大同小异，典型的 PLC 控制系统组成方框图如图 3-27-3 所示。在组建 PLC 控制系统时，需要给 PLC 的输入端子连接有关的输入设备（如按钮、触点和行程开关等），给输出端子接有关的输出设备（如指示灯、电磁线圈和电磁阀等）。如果需要 PLC 与其他设备通信，可在 PLC 的通信接口连接其他设备，如果需要增强 PLC 的功能，可给 PLC 的扩展接口接上扩展单元。

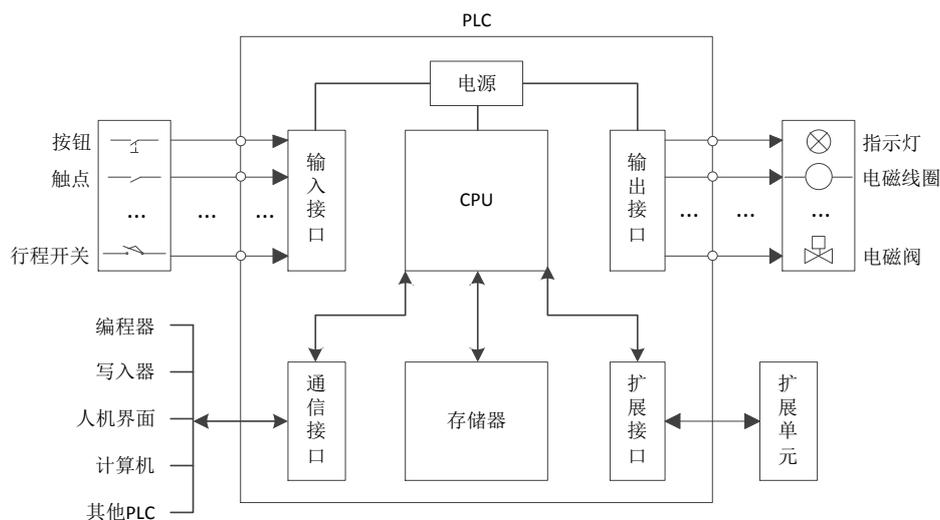


图 3-27-3 典型的 PLC 控制系统组成方框图

## PLC 的工作方式

PLC 是一种由程序控制运行的设备，其工作方式与微型计算机不同。微型计算机运行到结束指令时，程序运行结束；PLC 运行程序时，会按顺序依次逐条执行存储器中的程序指令，当执行完最后的指令后，并不会马上停止，而是又从头开始再次执行存储器中的程序，如此周而复始，PLC 的这种工作方式称为循环扫描方式。

PLC 的一般工作过程如图 3-27-4 所示。

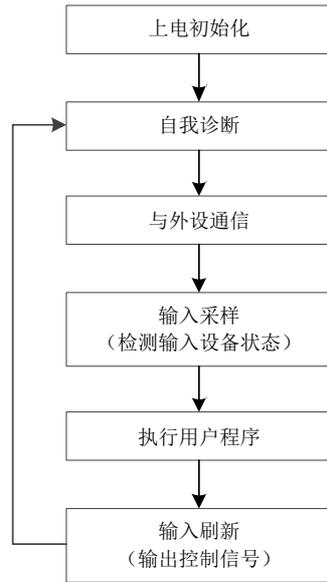


图 3-27-4 PLC 的一般工作过程

PLC 通电后，首先进行系统初始化，将内部电路恢复到初始状态，然后进行自我诊断，检测内部电路是否正常，以确保系统能正常运行，诊断结束后对通信接口进行扫描，若接有外部设备则与之通信。通信接口无外设或通信完成后，系统开始进行输入采样，检测输入端的输入状态（输入端外部开关闭合时输入为 ON，断开时输入为 OFF），并将这些状态值写入输入映像寄存器（也称输入继电器）。然后开始从头到尾执行用户程序，程序执行结束后，将得到的输出值写入输出映像寄存器（该过程称为输出刷新），输出映像寄存器通过输出电路使输出端内部的硬件继电器、晶体管或晶闸管导通或断开，从而产生控制输出。以上过程完成后，系统又返回，重新开始自我诊断，以后不断重复上述过程。

PLC 有两个工作状态：RUN（运行）状态和 STOP（停止）状态。当 PLC 工作在 RUN 状态时，系统会执行用户程序；当 PLC 工作在 STOP 状态时，系统不执行用户程序。PLC 正常工作时应处于 RUN 状态，而在向 PLC 写入程序时，应让 PLC 处于 STOP 状态。PLC 的两种工作状态可通过面板上的开关切换。

PLC 工作在 RUN 状态时，自我诊断输出刷新过程会反复循环执行，执行一次所需要的时间称为扫描周期，一般为 1~100ms。扫描周期与用户程序的长短、指令的种类和 CPU 执行指令的速度有很大的关系。

若系统严重出错或硬件故障，PLC 会处于 SF（系统故障）状态，对应的状态指示灯亮。

### PLC 控制与继电器控制比较

PLC 控制是在继电器控制基础上发展起来的，为了让读者能初步了解 PLC 控制方式，

本部分内容以电机正反转控制为例对两种控制方式进行比较。

### (1) 继电器控制正反转电路

图 3-27-5 所示是一种常见的继电器控制电机正反转电路，可以对电机进行正反转控制。

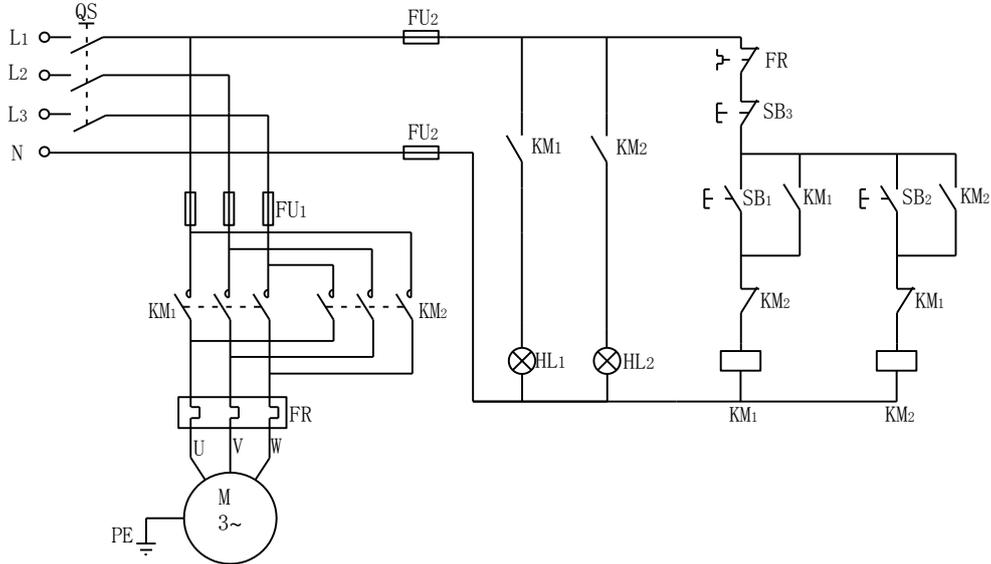


图 3-27-5 继电器控制的电机正反转电路

### (2) PLC 控制正反转电路

图 3-27-6 所示是一种常见的 PLC 控制电机正反转电路，可以对电机进行正反转控制。

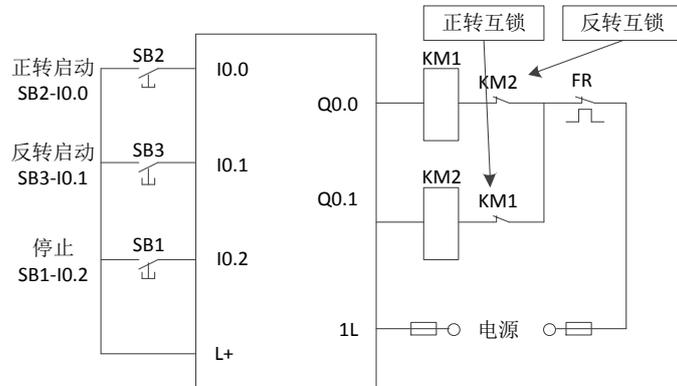


图 3-27-6 PLC 控制的电机正反转电路

### (3) 不同控制方式的比较

#### ① 逻辑控制方式

继电器控制：利用各电气元件机械触点的串、并联组合成逻辑控制；采用硬线连接，连线多而复杂，使以后的逻辑修改、增加功能很困难。

PLC 控制：以程序的方式存储在内存中，改变程序，便可改变逻辑；连线少、体积小、方便可靠。

#### ② 顺序控制方式

继电器控制：利用时间继电器的滞后动作来完成时间上的顺序控制：时间继电器内部的机械结构易受环境温度和湿度变化的影响，造成定时的精度不高。

PLC 控制：由半导体电路组成的定时器以及由晶体振荡器产生的时钟脉冲计时，定时精度高；使用者根据需要，定时值在程序中可设置，灵活性大，定时时间不受环境影响。

### ③控制速度

继电器控制：依靠机械触点的吸合动作来完成控制任务，工作频率低，工作速度慢。

PLC 控制：采用程序指令控制半导体电路来实现控制，稳定、可靠，运行速度大大提高。

### ④灵活性和扩展性

继电器控制：系统安装后，受电气设备触点数目的有限性和连线复杂等原因的影响，系统今后的灵活性、扩展性很差。

PLC 控制：具有专用的输入与输出模块；连线少，灵活性和扩展性好。

### ⑤计数功能

继电器控制：不具备计数的功能。

PLC 控制：PLC 内部有特定的计数器，可实现对生产设备的步进控制。

### ⑥可靠性和可维护性

继电器控制：使用大量机械触点，触点在开闭时会产生电弧，造成损伤并伴有机械磨损，使用寿命短，运行可靠性差，不易维护。

PLC 控制：采用微电子技术，内部的开关动作均由无触点的半导体电路来完成；体积小，寿命长，可靠性高，并且能够随时显示给操作人员，及时监视控制程序的执行状况，为现场调试和维护提供便利。

## 任务 28 PLC 的编程语言

<p><b>任务描述</b></p>	<p>PLC 是一种由软件驱动的控制设备,PLC 软件由系统程序和用户程序组成。系统程序由 PLC 制造厂商设计编制,并写入 PLC 内部的 ROM 中,用户无法修改。用户程序是由用户根据控制需要编写的程序,再写入 PLC 存储器中。</p> <p>写一篇相同内容的文章,既可以采用中文,也可以采用英文,还可以使用法文。同样地,编制 PLC 用户程序也可以使用多种语言。PLC 常用的编程语言主要有梯形图(LAD)、功能块图(FBD)和指令语句表(STL)等,其中梯形图语言最为常用。</p> <p>本任务学习梯形图编程语言、功能块图编程语言和指令语句表编程语言。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 理解梯形图编程语言;</p> <p>(2) 理解功能块图编程语言;</p> <p>(3) 了解指令语句表编程语言。</p>

### 梯形图(LAD)

梯形图采用类似传统继电器控制电路的符号来编程,用梯形图编制的程序具有形象、直观、实用的特点,因此这种编程语言成为电气工程人员应用最广泛的 PLC 编程语言。

下面对相同功能的继电器控制电路与梯形图程序进行比较,具体如图 3-28-1 所示。

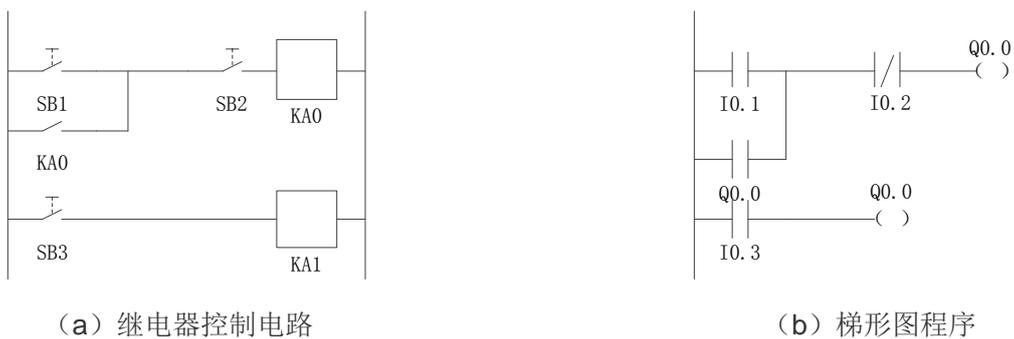


图 3-28-1 继电器控制电路与梯形图程序的比较

图? (a) 所示为继电器控制电路,当 SB1 闭合时,继电器 KA0 线圈得电,KA0 自锁触点闭合,锁定 KA0 线圈得电;当 SB2 断开时,KA0 线圈失电,KA0 自锁触点断开,接触锁定;当 SB3 闭合时,继电器 KA1 线圈得电。

图? (b) 所示为梯形图程序,当常开触点 I0.1 闭合时,左母线产生的能流(可理解为

电流)经 I0.1 和常闭触点 I0.2 流经输出继电器 Q0.0 线圈到达右母线(西门子 PLC 梯形图程序省去右母线), Q0.0 自锁触点闭合, 锁定 Q0.0 线圈得电; 当常闭触点 I0.2 断开时, Q0.0 线圈失电, Q0.0 自锁触点断开, 解除锁定; 当常开触点 I0.3 闭合时, 继电器 Q0.1 线圈得电。

不难看出, 两种图的表达方式很相似, 不过梯形图使用的继电器是由软件来实现的, 使用和修改灵活方便, 而继电器控制电路采用实际元件, 拆换元件更改线路比较麻烦。

## 功能块图 (FBD)

功能图块采用了类似数字逻辑电路的符号来编程, 对于有数字电路基础的人很容易掌握这种语言。图 3-28-2 所示为功能相同的梯形图程序与功能块图程序, 在功能块图中, 左端为输入端, 右端为输出端, 输入、输出端的小圆圈表示“非运算”。

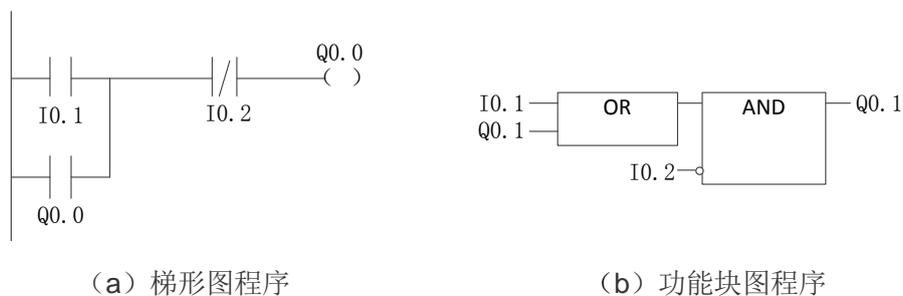


图 3-28-2 梯形图程序与功能块图程序的比较

## 指令语句表 (STL)

语句表语言与微型计算机采用的汇编语言类似, 也采用助记符形式编程。在使用简易编程器对 PLC 进行编程时, 一般采用语句表语言, 这主要是因为简易编程器显示屏很小, 难以采用梯形图语言编程。图 3-28-3 所示为功能相同的梯形图程序与指令语句表程序。不难看出, 指令语句表就像是描述绘制梯形图的文字, 指令语句表主要由指令助记符和操作数组成。

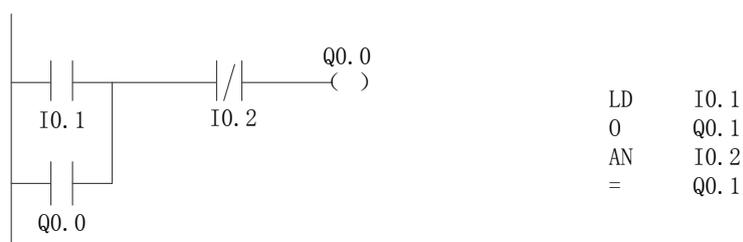


图 3-28-3 梯形图程序与指令语句表程序的比较

## 任务 29 PLC 的外部接线

任务描述	输入/输出接口电路是 PLC 与被控对象间传递输入/输出信号的接口部件。各输入/输出点的通、断状态用发光二极管 (LED) 显示, 外部接线一般在 PLC 的接线端子上。  本任务学习 PLC 的输入接线与输出接线, 并以实例说明。
任务目标	(1) 掌握 PLC 的输入接线方式; (2) 掌握 PLC 的输出接线方式。

### 输入接线

S7-200 SMART PLC 的数字量 (或称开关量) 输入采用 24V 直流电压输入, 由于内部输入电路使用了双向发光管的光电耦合器, 故外部可采用两种接线方式, 如图 3-29-1 所示。接线时可任意选择一种方式, 实际接线时多采用图 3-29-1 (a) 所示的漏型输入接线方式。

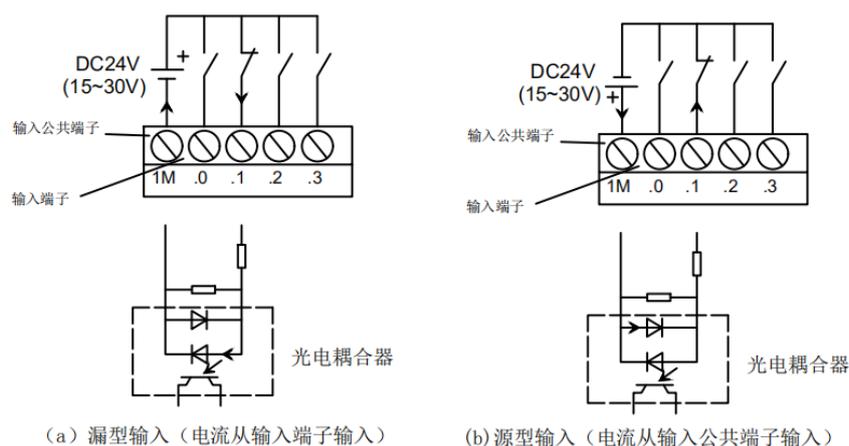


图 3-29-1 PLC 输入端的两种接线方式

### 输出接线

S7-200 SMART PLC 的数字量 (或称开关量) 输出有两种类型: 继电器输出型和晶体管输出型。对于继电器输出型 PLC, 外部负载电源可以是交流电源 (5V~250V), 也可以是直流电源 (5V~30V); 对于晶体管输出型 PLC, 外部负载电源必须是直流电源 (20.4V~28.8V)。由于晶体管有极性, 故电源正极必须接到输出公共端 (1L+端, 内部接到晶体管的漏极)。S7-200 SMART PLC 的两种类型数字量输出端的接线如图 3-29-2 所示。



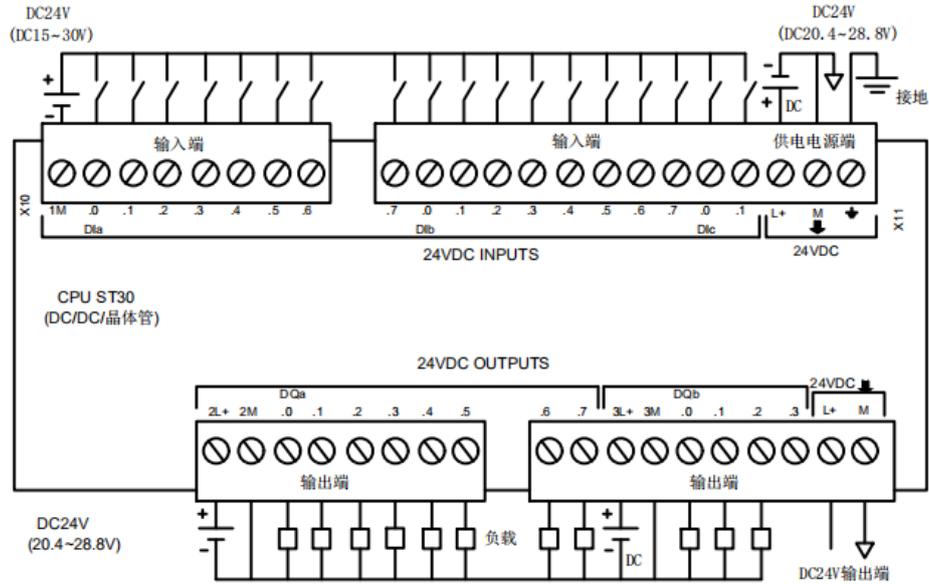


图 3-29-4 晶体管输出型 CPU 模块接线（以 ST30 为例）

注：SR30 CPU 和 ST30 CPU 模块都具有 18 个输入点（I0.0~I0.7, I1.0~I1.7, I2.0~I2.1）和 12 个输出点（Q0.0~Q0.7, Q1.0~Q1.3），1M 为各输入点的公共端。对于 SR30 CPU 模块，输出点 Q0.0~Q0.3 对应的公共端为 1L, Q0.4~Q0.7 对应的公共端为 2L, Q1.0~Q1.3 对应的公共端为 3L；对于 ST30 CPU 模块，输出点 Q0.0~Q0.7 对应的公共端为 2L+, Q1.0~Q1.3 对应的公共端为 3L+。

## 任务 30 PLC 的软元件

<b>任务描述</b>	<p>PLC 是在继电器控制线路基础上发展起来的，继电器控制线路有时间继电器、中间继电器等，而 PLC 也有类似的器件，这些元件是以软件来实现的，故又称为软元件。PLC 软元件主要有输入继电器、输出继电器、辅助继电器、定时器、计数器、模拟量输入寄存器和模拟量输出寄存器等。</p> <p>本任务初步学习 PLC 的常用软元件，包括输入继电器、输出继电器、辅助继电器、特殊辅助继电器、状态继电器、定时器、计数器、高速计数器、累加器、变量存储器、局部变量存储器、模拟量输入寄存器和模拟量输出寄存器，并学习 CPU 存储器的范围与特性。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 理解输入继电器和输出继电器的概念，以及编址方式；</p> <p>(2) 理解辅助继电器、特殊辅助继电器和状态继电器的概念，以及编址方式，掌握常用特殊辅助继电器的功能；</p> <p>(3) 了解定时器、计数器和高速计数器的概念、符号及个数；</p> <p>(4) 理解累加器、变量存储器和局部变量存储器的概念、编制方式和访问方式；</p> <p>(5) 理解模拟量输入寄存器和模拟量输出寄存器的概念、编址方式；</p> <p>(6) 了解各型号 CPU 存储器的范围与特性。</p>

### 输入继电器 (I) 和输出继电器 (Q)

#### (1) 输入继电器 (I)

输入继电器又称输入过程映像寄存器，其状态与 PLC 输入端子的输入状态有关，当输入端子外接开关接通时，该端子内部对应的输入继电器状态为 ON（或称 1 状态），反之为 OFF（或称 0 状态）。一个输入继电器可以有很多常闭触点和常开触点。输入继电器的表示符号为 I，按八进制方式编址（或称编号），如 I0.0~I0.7、I1.0~I1.7……S7-200 SMART PLC 有 256 个输入继电器。

#### (2) 输出继电器 (Q)

输出继电器又称输出过程映像寄存器，它通过输出电路来驱动输出端子的外接负载，一个输出继电器只有一个硬件触点（与输出端子连接的物理常开触点），而内部软常开、常闭

触点可以有很多个。当输出继电器为 ON 时，其硬件触点闭合，软常开触点闭合，软常闭触点断开。输出继电器的表示符号为 Q，按八进制方式编址（或称编号），如 Q0.0~Q0.7、Q1.0~Q1.7……S7-200 SMART PLC 有 256 个输出继电器。

## 辅助继电器（M）、特殊辅助继电器（SM）和状态继电器（S）

### （1）辅助继电器（M）

辅助继电器（M0.0~M31.7）又称标志存储器或位存储器，它类似于继电器控制线路中的中间继电器。与输入/输出继电器不同，辅助继电器不能接收输入端子送来的信号，也不能驱动输出端子。辅助继电器表示符号为 M，按八进制编址（或称编号），如 M0.0~M0.7、M1.0~M1.7……S7-200 SMART PLC 有 256 个辅助继电器，如果不够用，可以用 V 存储器来代替 M 存储器。

### （2）特殊辅助继电器（SM）

特殊辅助继电器是一种具有特殊功能的继电器，用来显示某些状态、选择某些功能、进行某些控制或产生一些信号等。特殊辅助继电器表示符号为 SM。一些常用特殊辅助继电器的功能见表 3-30-1 所示。

表 3-30-1 一些常用特殊辅助继电器的功能

特殊辅助继电器	功能
SM0.0	PLC 运行时该位状态始终为 ON，该位对应的触点始终闭合
SM0.1	PLC 首次扫描循环时该位为 ON，用途之一是初始化程序
SM0.2	如果保留性数据丢失，该位为一次扫描循环打开。该位可用作错误内存位或激活特殊启动顺序的机制
SM0.3	从电源开启进入（运行）模式时，该位为一次扫描循环打开。该位可用于在启动操作之前提供机器预热时间
SM0.4	该位提供时钟脉冲，该脉冲在 1min 的周期时间内 OFF（关闭）30s，ON（打开）30s。该位提供便于使用的延迟或 1min 时钟脉冲
SM0.5	该位提供时钟脉冲，该脉冲在 1s 的周期时间内 OFF（关闭）0.5s，ON（打开）0.5s。该位提供便于使用的延迟或 1s 时钟脉冲
SM0.6	该位是扫描循环时钟，本次扫描打开，下一次扫描关闭。该位可用

	作扫描计数器输入
SM0.7	该位表示“模式”开关的当前位置（关闭=“终止”位置，打开=“运行”位置）。开关位于 RUN（运行）位置时，可以使用该位启用自由端口模式，可使用转换至“终止”位置的方法重新启用带 PC/编程设备的正常通信
SM1.0	某些指令执行，使操作结果为零时，该位为 ON
SM1.1	某些指令执行，出现溢出结果或检测到非法数字数值时，该位为 ON
SM1.2	某些指令执行，数学操作产生负结果时，该位为 ON

### （3）状态继电器（S）

状态继电器又称顺序控制继电器，是编制顺序控制程序的重要器件，它通常与顺控指令（又称步进指令）一起使用以实现顺序控制功能。状态继电器的表示符号为 S。

## 定时器（T）、计数器（C）和高速计数器（HC）

### （1）定时器（T）

定时器是一种按时间工作的继电器，相当于继电器控制系统中的时间继电器。一个定时器可以有很多常开触点和常闭触点，其定时单位有 1ms、10ms、100ms 三种。定时器表示符号为 T。S7-200 SMART PLC 有 256 个定时器，其中断电保持型定时器有 64 个。

### （2）计数器（C）

计数器是一种用来计算输入脉冲个数并产生动作的继电器，一个计数器可以有很多常开触点和常闭触点。计数器可分为递加计数器、递减计数器和双向计数器（又称递加/递减计数器）。计数器表示符号为 C。S7-200 SMART PLC 有 256 个计数器。

### （3）高速计数器（HC）

一般计数器的技术速度受 PLC 扫描周期的影响，不能太快。而高速计数器可以对较 PLC 扫描速度更快的事件进行计数。高速计数器的当前值是一个双字（32 位）的整数，且为只读值。高速计数器表示符号为 HC。S7-200 SMART PLC 有 4 个高速计数器。

## 累加器（AC）、变量存储器（V）和局部变量存储器（L）

### （1）累加器（AC）

累加器是用来暂时存储数据的寄存器，可以存储运算数据、中间数据和结果。累加器表

示符号为 AC。S7-200 SMART PLC 有 4 个 32 位累加器（AC0~AC3），可以按字节、字和双字来访问累加器中的数据。按字节、字只能访问累加器的低 8 位或低 16 位，按双字访问全部的 32 位，访问的数据长度由所用的指令决定。例如在指令“MOVW AC2, VW100”中，AC2 按字（W）访问。

### （2）变量存储器（V）

变量存储器主要用于存储变量。它可以存储程序执行过程中的中间运算结果和设置参数。变量存储器表示符号为 V。

### （3）局部变量存储器（L）

局部变量存储器主要用来存储局部变量。局部变量存储器与变量存储器很相似，主要区别在于后者存储的变量全局有效，即全局变量可以被任何程序（主程序、子程序和中断程序）访问，而局部变量只局部有效，局部变量存储器一般用在子程序中。局部变量存储器的表示符号为 L。S7-200 SMART PLC 有 64 个字节（1 个字节由 8 位组成）的局部变量存储器。

## 模拟量输入寄存器（AI）和模拟量输出寄存器（AQ）

模拟量输入端子送入的模拟信号经模/数转换电路转换成 1 个字（1 个字由 16 位组成，可用 W 表示）的数字量，该数字量存入一个模拟量输入寄存器。模拟量输入寄存器的表示符号为 AI，其编号以字（W）为单位，故必须采用偶数形式，如 AIW0、AIW2、AIW4 等。

一个模拟量输出寄存器可以存储 1 个字的数字量，该数字量经数/模转换电路转换成模拟信号从模拟量输出端子输出。模拟量输出寄存器的表示符号为 AQ，其编号以字（W）为单位，采用偶数形式，如 AQW0、AQW2、AQW4 等。

S7-200 SMART PLC 有 56 个字的 AI 和 56 个字的 AQ。

## CPU 存储器的范围与特性

S7-200 SMART PLC 存储器的范围如表 3-30-2 所示。

表 3-30-2 S7-200 SMART PLC 存储器的范围

寻址方式	CPU CR40/CR60	CPU SR20/ST20	CPU SR30/ST30	CPU SR40/ST40	CPU SR60/ST60
位访问 (字节、位)	I0.0~I31.7 Q0.0~Q31.7 M0.0~M31.7 SM0.0~SM1535.7 S0.0~S31.7 T0~T255 C0~C255 L0.0~L63.7				
	V0.0~V8191.7		V0.0~V12287.7	V0.0~V16383.7	V0.0~V20479.7

字节访问	IB0~IB31 QB0~QB31 MB0~MB31 SMB0~SMB1535 SB0~SB31 LB0~LB63 AC0~AC3			
	VB0~VB8191	VB0~VB12287	VB0~VB16383	VB0~VB20479
字访问	IW0~IW30 QW0~QW30 MW0~MW30 SMW0~SMW1534 SW0~SW30 T0~T255 C0~C255 LW0~LW62 AC0~AC3			
	VW0~VW8190	VW0~VW12286	VW0~VW16382	VW0~VW20478
	-	AIW0~AIW110 AQW0~AQW110		
双字访问	ID0~ID28 QD0~QD28 MD0~MD28 SMD0~SMD1532 SD0~SD28 LD0~LD60 AC0~AC3 HC0~HC3			
	VD0~VD8188	VD0~VD12284	VD0~VD16380	VD0~VD20476

## 任务 31 PLC 的数据类型与寻址方式

<b>任务描述</b>	<p>数据类型定义了数据的长度（位数）和表示方式。S7-200 PLC 的指令对操作数的数据类型有严格的要求，可分为布尔型、整数型和实数型（浮点数）。</p> <p>在 S7-200 SMART PLC 中，数据是存于存储器中的，为了存取方便，需要对存储器的每个存储单元进行编址。在访问数据时，只要找到某单元的地址，就能对该单元的数据进行存取。S7-200 PLC 的寻址方式主要有两种：直接寻址和间接寻址。</p> <p>本任务学习 PLC 的数据类型和寻址方式。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 掌握 PLC 字长的概念；</p> <p>(2) 掌握 PLC 数据的类型和范围；</p> <p>(3) 掌握 PLC 的寻址方式，包括直接寻址和间接寻址。</p>

### 数据类型

#### (1) 字长

S7-200 SMART PLC 的存储单元（即编程元件）存储的数据都是二进制数。数据的长度称为字长，字长可分为位（1 位二进制数，用 bit 表示）、字节（8 位二进制数，用 B 表示）、字（16 位二进制数，用 W 表示）和双字（32 位二进制数，用 D 表示）。

#### (2) 数据的类型和范围

S7-200 SMART PLC 的存储单元存储的数据类型可分为布尔型、整数型和实数型（浮点数）。

##### 1) 布尔型

布尔型数据只有 1 位，又称位型，用来表示开关量（或称数字量）的两种不同状态。当某编程元件为 1 时，称该元件为 1 状态，或称该元件处于 ON 状态，该元件对应的线圈“通电”，其常开触点闭合，常闭触点断开；当该元件为 0 时，称该元件为 0 状态，或称该元件处于 OFF 状态，该元件对应的线圈“失电”，其常开触点断开，常闭触点闭合。例如，输出继电器 Q0.0 的数据为布尔型。

##### 2) 整数型

整数型数据不带小数点，它分为无符号整数和有符号整数，有符号整数需要占用 1 个

最高位表示数据的正负，通常规定最高位为 0 表示数据为正数，为 1 表示数据为负数。表 3-31-1 列出了不同字长的整数表示的数值范围。

表 3-31-1 不同字长的整数表示的数值范围

整数长度	无符号整数的表示范围		有符号整数的表示范围	
	十进制表示	十六进制表示	十进制表示	十六进制表示
字节 B (8 位)	0~255	0~FF	-128~127	-80~7F
字 W (16 位)	0~65535	0~FFFF	-32768~32767	-8000~7FFF
双字 D (32 位)	0~4294967295	0~FFFFFFFF	-2147483648~2147483647	-80000000~7FFFFFFF

### 3) 实数型

实数型数据也称为浮点型数据，是一种带小数点的数据，它采用 32 位来表示（即字长为双字），其数据范围很大，正数范围为+1.175495E-38~+3.402823E+38，负数范围为-1.175495E-38~-3.402823E+38。

#### (3) 常数的编程书写格式

常数在编程时经常要用到。常数的长度可为字节、字和双字，常数在 PLC 中也是以二进制数形式存储的，但编程时常数可以十进制、十六进制、二进制、ASCII 码或浮点数（实数）形式编写，然后由编程软件自动编译成二进制数下载到 PLC 中。

常数的编程书写格式见表 3-31-2。

表 3-31-2 常数的编程书写格式

参数	编程书写格式	举例
十进制	十进制值	2105
十六进制	16#十六进制值	16#3F67A
二进制	2#二进制值	2#1010 0001 1101 0011
ASCII 码	‘ASCII 码文本’	‘very good’
浮点数（实数）	按 ANSI/IEEE 754-1985 标准	+1.038267E-36（正数）
		-1.038267E-36（负数）

## 寻址方式

### (1) 直接寻址

#### 1) 编址

要了解存储器的寻址方式，需先掌握其编址方法。S7-200 SMART PLC 的存储单元编

址有一定的规律，它将存储器按功能不同划分成若干个区，如 I 区（输入继电器区）、Q 区（输出继电器区）、M 区、SM 区、V 区、L 区等，由于每个区又有很多存储单元，这些单元需要进行编址。PLC 存储区常采用以下方式编址：

- ①I、Q、M、SM、S 区按位顺序编址，如 I0.0~I31.7，M0.0~31.7。
- ②V、L 区按字节顺序编址，如 VB0~VB2047，LB0~LB63。
- ③AI、AQ 区按字顺序编址，如 AIW0~AIW30，AQW0~AQW30。
- ④T、C、HC、AC 区直接按编号大小编址，如 T0~T255，C0~C255，AC0~AC3。

## 2) 直接寻址方法

直接寻址是通过直接指定要访问存储单元的区域、长度和位置来查找到该单元。S7-200

SMART PLC 直接寻址方法主要有：

### ①位寻址。位寻址格式为：

位单元寻址=存储区名（元件名）+字节地址.位地址

例如，寻址时给出 I2.3，要查找的地址是 I 存储区第 2 字节的第 3 位，如图 3-31-1 所示。

可进行位寻址的存储区有 I、Q、M、SM、L、V、S。

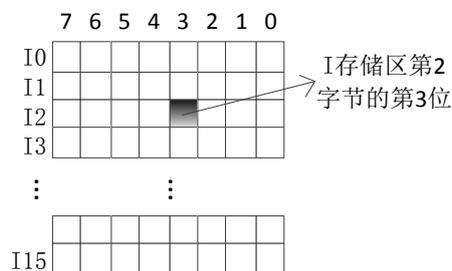


图 3-31-1 位寻址举例

②字节/字/双字寻址。字节/字/双字寻址是以字节、字或双字为单位进行的，寻址格式为：

字节/字/双字寻址=存储区名（元件名）+字长（字节、字或双字）+首字节地址

例如，寻址时给出 VB100，要查找的地址为 V 存储区的第 100 个字节；若给出 VW100，则要查找的地址为 V 存储区的第 100、101 两个字节；若给出 VD100，则要查找的地址为 V 存储区的第 100~103 四个字节。VB100、VW100、VD100 之间的关系如图 3-31-2 所示，VW100 即为 VB100 和 VB101，VD100 即为 VB100~VB103。当 VW100 单元存储 16 位二进制数时，VB100 存高字节（高 8 位），VB101 存低字节（低 8 位）；当 VD100 单元

存储 32 位二进制数时，VB100 存最高字节，VB103 存最低字节。

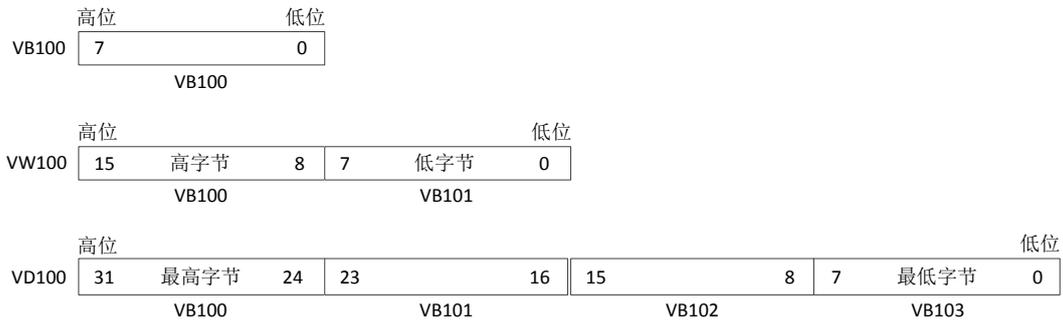


图 3-31-2 VB100、VW100、VD100 之间的关系

可进行字节寻址的存储区有 I、Q、M、SM、L、V、AC（仅低 8 位）、常数；

可进行字寻址的存储区有 I、Q、M、SM、L、V、T、C、AC（仅低 16 位）、常数；

可进行双字寻址的存储区有 I、Q、M、SM、L、V、AC（32 位）、常数。

## (2) 间接寻址

间接寻址是指不直接给出要访问单元的地址，而是将该单元的地址存在某些特殊存储单元中，这个用来存储地址的特殊存储单元称为指针，指针只能由 V、L 或 AC（累加器）来承担。采用间接寻址方式在访问连续地址中的数据时很方便，使编程非常灵活。

间接寻址存取数据一般有三个过程：建立指针、用指针存取数据和修改指针。

### 1) 建立指针

建立指针必须用双字传送指令（MOVD），利用该指令将要访问单元的地址存入指针（用来存储地址的特殊存储单元）中。指针建立举例如下：

```
MOVD &VB200, AC1 //将存储单元 VB200 的地址存入累加器 AC1 中
```

指令中操作数前的“&”为地址符号，“&VB200”表示 VB200 的地址（而不是 VB200 中存储的数据），“//”为注释符号，它后面的文字用来对指令注释说明，软件不会对它后面的内容编译。在建立指针时，指令中的第 2 个操作数的字长必须是双字存储单元，如 AC、VD、LD。

### 2) 用指针存取数据

指针建立后，就可以利用指针来存取数据。举例如下：

```
MOVD &VB200, AC0 //建立指针，将存储单元 VB200 的地址存入累加器 AC0 中
MOVW *AC0, AC1 //以 AC0 中的地址（VB200 的地址）作为首地址，将连续
//两个字节（一个字，即 VB200、VB201）单元中的数据存
//入 AC1 中
```

```

MOVD *AC0, AC1 //以 AC0 中的地址（VB200 的地址）作为首地址，将连续
                //四个字节（双字，即 VB200~VB203）单元中的数据存入
                //AC1 中

```

指令中操作数前的“\*”表示该操作数是一个指针（存有地址的存储单元）。下面通过图 3-31-3 来说明上述指令的执行过程。

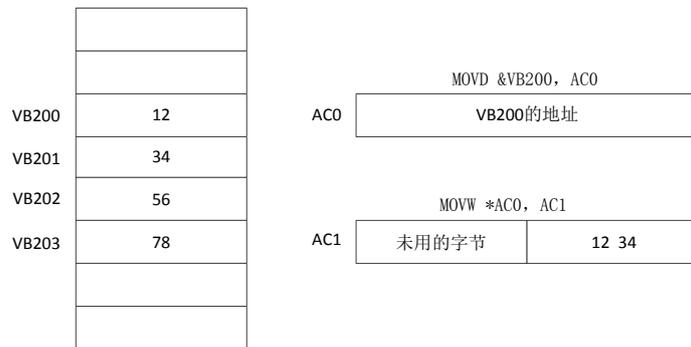


图 3-31-3 间接寻址说明图

“MOVD &VB200, AC0”指令执行的结果是 AC0 中存入存储单元 VB200 的地址；  
“MOVW \*AC0, AC1”指令执行的结果是以 AC0 中的 VB200 地址作为首地址，将连续两个字节单元（VB200、VB201）中的数据存入 AC1 中，如果 VB200、VB201 单元中的数据分别为 12、34，该指令执行后，AC1 的低 18 位就存入了“1234”；  
“MOVD \*AC0, AC1”指令执行的结果是以 AC0 中的 VB200 地址作为首地址，将连续四个字节单元（VB200~VB203）中的数据存入 AC1 中，该指令执行后，AC1 中就存入了“12345678”。

### 3) 修改指针

指针（用来存储地址的特殊存储单元）的字长为双字（32 位），修改指针值需要用双字指令。常用的双字指令有双字加法指令（ADDD）和双字加 1 指令（INCD）。在修改指针值、存取字节时，指针值加 1；存取字时，指针值加 2；存取双字时，指针值加 4。修改指针值举例如下：

```

MOVD &VB200, AC0//建立指针
INCD AC0          //将 AC0 中的值加 1（即地址值增 1）
INCD AC0          //将 AC0 中的地址值再增 1
MOVW *AC0, AC1   //读指针，以 AC0 中的新地址作为首地址，将它所对应
                  //连续两个字节单元中的数据存入 AC1 中

```

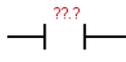
以图 3-31-3 为例，上述程序执行的结果是以 AC0 中的 VB202 单元地址为首地址，将 VB202、VB203 单元中的数据 56、78 存入 AC1 的低 16 位。

## 任务 32 PLC 的位逻辑指令

<b>任务描述</b>	<p>位逻辑指令处理两个数字，“1”和“0”。这两个数字构成二进制数字系统的基础。这两个数字“1”和“0”称为二进制数字或二进制位。在触点与线圈领域，“1”表示动作或通电，“0”表示未动作或未通电。</p> <p>位逻辑指令扫描信号状态 1 和 0，并根据布尔逻辑对它们进行组合。这些组合产生结果 1 或 0，称为“逻辑运算结果（RLO）”。由位逻辑指令触发的逻辑操作可执行各种类型的功能。</p> <p>位逻辑指令有 16 条，可大致分为触点指令、线圈指令、立即指令、RS 触发器指令和空操作指令。</p> <p>本任务学习触点指令、线圈指令、立即指令、RS 触发器指令和空操作指令等相关位逻辑指令的符号和用法。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 掌握触点指令的符号和用法；</p> <p>(2) 掌握线圈指令的符号和用法；</p> <p>(3) 掌握立即指令的符号和用法；</p> <p>(4) 掌握 RS 触发器指令的符号和用法；</p> <p>(5) 掌握空操作指令的符号和用法。</p>

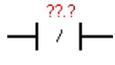
### 触点指令

#### (1) 常开触点

梯形图符号：

说明：当???位为 1 时，???常开触点闭合，为 0 时常开触点断开。

#### (2) 常闭触点

梯形图符号：

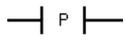
说明：当???位为 0 时，???常闭触点闭合，为 1 时常闭触点断开。

#### (3) 取反

梯形图符号：

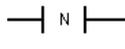
说明：当该触点左方有能流时，经能流取反后右方无能流，左方无能流时右方有能流。

#### (4) 上升沿检测触点

梯形图符号：

说明：当该指令前面的逻辑运算结果有一个上升沿（0→1）时，会产生一个宽度为一个扫描周期的脉冲，驱动后面的输出线圈。

#### （5）下降沿检测触点

梯形图符号：

说明：当该指令前面的逻辑运算结果有一个下降沿（1→0）时，会产生一个宽度为一个扫描周期的脉冲，驱动后面的输出线圈。

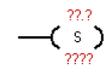
## 线圈指令

### （1）输出线圈

梯形图符号：

说明：当有输入能流时，???线圈得电；能流消失后，???线圈马上失电。

### （2）置位线圈

梯形图符号：

说明：当有输入能流时，将???开始的????个线圈置位（即让这些线圈都得电）；能流消失后，这些线圈仍保持为1（即仍得电）。

### （3）复位线圈

梯形图符号：

说明：当有输入能流时，将???开始的????个线圈复位（即让这些线圈都失电）；能流消失后，这些线圈仍保持为1（即仍失电）。

## 立即指令

PLC的一般工作过程是：当操作输入端设备时（如按下 I0.0 端子外接按钮），该端的状态数据“1”存入输入映像寄存器 I0.0 中，PLC 运行时先扫描读出输入映像寄存器的数据，然后根据读取的数据运行用户编写的程序，程序运行结束后将结果送入输出映像寄存器（如 Q0.0），通过输出电路驱动输出端子外接的输出设备（如接触器线圈），然后 PLC 又重复上述过程。PLC 完整运行一个过程需要的时间称为一个扫描周期，在 PLC 执行用户程序阶段时，即使输入设备状态发生变化（如按钮由闭合改为断开），PLC 也不会理会此时的变化，仍按扫描输入映像寄存器阶段读的数据执行程序，知道下一个扫描周期才读取输入端新

状态。

如果希望 PLC 工作时能即时响应输入或即时产生输出，可使用立即指令。

(1) 立即常开触点

梯形图符号：

说明：当 PLC 的 ??? 端子输入为 ON 时， ??? 立即常开触点即刻闭合； PLC 的 ??? 端子输入为 OFF 时， ??? 立即常开触点即刻断开。

(2) 立即常闭触点

梯形图符号：

说明：当 PLC 的 ??? 端子输入为 ON 时， ??? 立即常闭触点即刻断开； PLC 的 ??? 端子输入为 OFF 时， ??? 立即常闭触点即刻闭合。

(3) 立即线圈

梯形图符号：

说明：当有输入能流时， ??? 线圈得电， PLC 的 ??? 端子立即产生输出；能流消失后， ??? 线圈失电， PLC 的 ??? 端子立即停止输出。

(4) 立即置位线圈

梯形图符号：

说明：当有输入能流时，将 ??? 开始的 ??? 个线圈置位， PLC 从 ??? 开始的 ??? 个端子立即产生输出；能流消失后，这些线圈仍保持为 1，其对应的 PLC 端子保持输出。

(5) 立即复位线圈

梯形图符号：

说明：当有输入能流时，将 ??? 开始的 ??? 个线圈复位， PLC 从 ??? 开始的 ??? 个端子立即停止输出；能流消失后，这些线圈仍保持为 0，其对应的 PLC 端子仍停止输出。

## RS 触发器指令

RS 触发器指令的功能是根据 R、S 端输入状态产生相应的输出，它分为置位优先 SR 触发器和复位优先 RS 触发器指令。

(1) 置位优先触发器

指令标识：SR

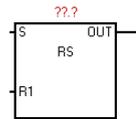


梯形图符号:

说明: 若  $S1=0, R=0$ , 则  $OUT(???)$  保持前一状态; 若  $S1=0, R=1$ , 则  $OUT(???)=0$ ; 若  $S1=1, R=0$ , 则  $OUT(???)=1$ ; 若  $S1=1, R=1$ , 则  $OUT(???)=1$ 。

## (2) 复位优先触发器

指令标识: RS



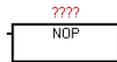
梯形图符号:

说明: 若  $S=0, R1=0$ , 则  $OUT(???)$  保持前一状态; 若  $S=0, R1=1$ , 则  $OUT(???)=0$ ; 若  $S=1, R1=0$ , 则  $OUT(???)=1$ ; 若  $S=1, R1=1$ , 则  $OUT(???)=0$ 。

## 空操作指令

空操作指令的功能是让程序不执行任何操作。由于该指令本身执行时需要一定时间, 故可延缓程序执行周期。

指令标识: NOP



梯形图符号:

说明: 空操作指令的功能是让程序不执行任何操作。 $N(???)=0\sim 255$ , 执行一次 NOP 指令需要的时间约为  $0.22\mu s$ , 执行 N 次 NOP 的时间约为  $0.22\mu s \times N$ 。

## 任务 33 PLC 的定时器

<p><b>任务描述</b></p>	<p>定时器在 S7-200 SMART 系列 PLC 基本指令中占有很重要的地位, 如果能够熟练、正确掌握定时器的使用方法, 可以为以后的编程解决很多麻烦。</p> <p>本任务学习定时器的分类, 通电延时型定时器、断电延时型定时器和记忆型通电延时定时器的符号及使用。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 了解定时器的作用和分类;</p> <p>(2) 掌握通电延时型定时器的符号及使用;</p> <p>(3) 掌握断电延时型定时器的符号及使用;</p> <p>(4) 掌握记忆型通电延时定时器的符号及使用。</p>

### 定时器的分类

定时器是一种按时间动作的继电器, 相当于继电器控制系统中的时间继电器。一个定时器可有很多个常开触点和常闭触点, 其定时单位有 1ms、10ms、100ms 三种。

根据工作方式不同, 定时器可分为三种: 通电延时型定时器 (TON)、断电延时型定时器 (TOF) 和记忆型通电延时定时器 (TONR)。三种定时器如图 3-33-1 所示, 其有关规格见表 3-33-1。TON、TOF 是共享型定时器, 当将某一编号的定时器用作 TON 时就不能再将它用作 TOF, 如将 T32 用作 TON 定时器后, 就不能将 T32 用作 TOF 定时器。

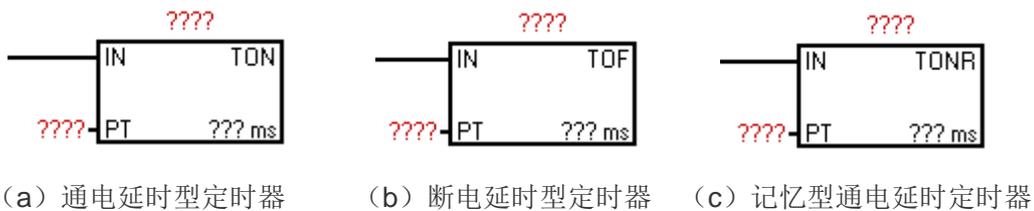


图 3-33-1 三种定时器的梯形图符号

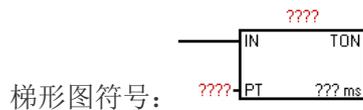
表 3-33-1 三种定时器的有关规格

类型	定时器号	定时单位 (ms)	最大定时值 (s)
TONR	T0、T64	1	32.767
	T1~T4、T65~T68	10	327.67
	T5~T31、T69~T95	100	3276.7
TON、	T32、T96	1	32.767

TOF	T33~T36、T97~T100	10	327.67
	T37~T63、T101~T255	100	3276.7

## 通电延时型定时器（TON）

通电延时型定时器（TON）的特点是：当 TON 的 IN 端输入为 ON 时开始计时，计时达到设定时间值后状态变为 1，驱动同编号的触点产生动作，TON 达到设定时间值后会继续计时直到最大值，但后续的计时并不影响定时器的输出状态；在计时期间，若 TON 的 IN 端输入变为 OFF，定时器马上复位，计时值和输出状态都清 0。



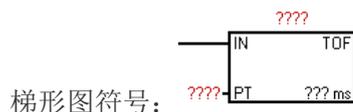
说明：当 IN 端输入为 ON 时，Txxx（上????）通电延时型定时器开始计时，计时时间为计时值（PT 值）x????ms。到达计时值后，Txxx 定时器的状态变为 1 且继续计时，直到最大值 32767。当 IN 端输入为 OFF 时，Txxx 定时器的当前计时值清 0，同时状态也变为 0。

指令上方的????用于输入 TON 定时器编号，PT 旁边的????用于设置定时值，ms 旁边???根据定时器编号自动生成，如定时器编号输入 T37，???ms 自动编程 100ms。

## 断电延时型定时器（TOF）

断电延时型定时器（TOF）的特点是：当 TOF 的 IN 端输入为 ON 时，TOF 的状态变为 1，同时计时值被清 0；当 TOF 的 IN 端输入变为 OFF 时，TOF 的状态仍保持为 1，同时 TOF 开始计时，当计时值达到设定值后 TOF 的状态变为 0，当前计时值保持设定值不变。

也就是说，TOF 定时器的 IN 端输入为 ON 时状态为 1 且计时值清 0，IN 端变为 OFF（即输入断电）后状态仍为 1 但从 0 开始计时，计时值达到设定值时状态变为 0，计时值保持设定值不变。



说明：当 IN 端输入为 ON 时，Txxx（上????）断电延时型定时器的状态变为 1，同时计数值清 0；当 IN 端输入变为 OFF 时，定时器的状态仍为 1，定时器开始计时，到达设定计时值后，定时器的状态变为 0，当前计时值保持不变。

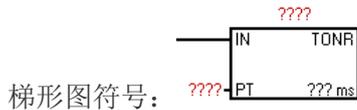
指令上方的????用于输入 TOF 定时器编号，PT 旁边的????用于设置定时值，ms 旁

的???根据定时器编号自动生成。

## 记忆型通电延时定时器（TONR）

记忆型通电延时定时器（TONR）的特点是：当 TONR 输入端（IN）通电即开始计时，计时达到设定时间值后状态置 1，然后 TONR 会继续计时直到最大值，在后续的计时期间定时器的状态仍为 1；在计时期间，如果 TONR 的输入端失电，其计时值不会复位，而是将失电前瞬间的计时值记忆下来，当输入端再次通电时，TONR 会在记忆值上继续计时，直到最大值。

失电不会使 TONR 状态复位计时清 0，要让 TONR 状态复位计时清 0，必须用复位指令（R）。



说明：当 IN 端输入为 ON 时，Txxx（上????）记忆型通电延时定时器开始计时，计时间为计时值（PT 值）x???ms。如果未到达计时值时 IN 输入变为 OFF，定时器将当前计时值保存下来。当 IN 端输入再次变为 ON 时，定时器在记忆的计时值上继续计时，到达设置的计时值后，Txxx 定时器的状态变为 1 且继续计时，直到最大值 32767。

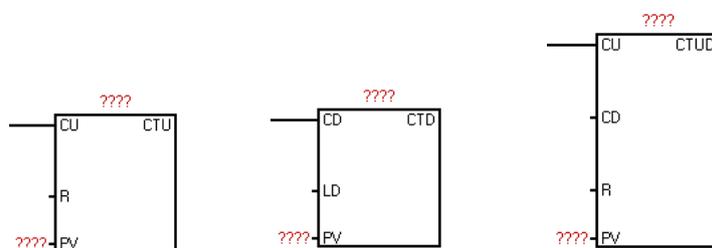
指令上方的????用于输入 TONR 定时器编号,PT 旁的????用于设置定时值,ms 旁的???根据定时器编号自动生成。

## 任务 34 PLC 的计数器

<p><b>任务描述</b></p>	<p>计数是一种最简单基本的运算，计数器就是实现这种运算的逻辑电路，计数器在数字系统中主要是对脉冲的个数进行计数，以实现测量、计数和控制的功能，同时兼有分频功能。</p> <p>本任务学习 PLC 计数器的分类，加计数器、减计数器和加减计数器的符号及使用。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 了解 PLC 计数器的分类；</p> <p>(2) 掌握加计数器的符号及使用；</p> <p>(3) 掌握减计数器的符号及使用；</p> <p>(4) 掌握加减计数器的符号及使用。</p>

### 计数器的分类

计数器的功能是对输入脉冲进行计数。S7-200 SMART 系列 PLC 有三种类型的计数器：加计数器 CTU（递增计数器）、减计数器 CTD（递减计数器）和加减计数器 CTUD。计数器的编号为 C0~C255。三种计数器如图 3-34-1 所示，三种计数器的相关参数如表 3-34-1 所示。



(a) 加计数器 CTU (b) 减计数器 CTD (c) 加减计数器 CTUD

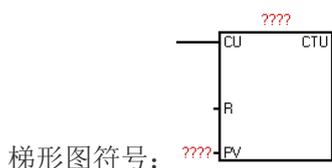
图 3-34-1 三种计数器的梯形图指令符号

表 3-34-1 三种计数器的相关参数

输入/输出	数据类型	操作数
Cxx	WORD	常数 (C0~C255)
CU、CD、LD、R	BOOL	I、Q、V、M、SM、S、T、C、L
PV	INT	IW、QW、VW、MW、SMW、SW、LW、T、C、AC、AIW、*VD、*LD、*AC、常数

### 加计数器 (CTU)

加计数器的特点是：当 CTU 输入端（CU）有脉冲输入时开始计数，每来一个脉冲上升沿计数值加 1；当计数值达到设定值（PV）后状态变为 1 且继续计数，直到最大值 32767。如果 R 端输入为 ON 或其他复位指令对计数器进行复位操作，计数器的状态将变为 0，计数值也清 0。



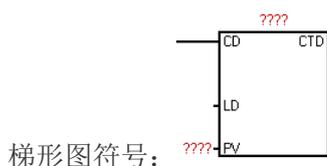
说明：当 R 端输入为 ON 时，对 Cxxx（上???) 加计数器复位，计数器状态变为 0，计数值也清 0。

CU 端每输入一个脉冲上升沿，CTU 计数器的计数值就增 1，当计数值达到 PV 值（计数设定值）时，计数器状态变为 1 且继续计数，直到最大值 32767。

指令上方的????用于输入 CTU 计数器编号，PV 旁的????用于输入计数设定值，R 为计数器复位端。

## 减计数器（CTD）

减计数器的特点是：当 CTD 的 LD（装载）端输入为 ON 时，CTD 状态位变为 0、计数值变为设定值，装载后，计数器的 CD 端每输入一个脉冲上升沿，计数值就减 1，当计数值减到 0 时，CTD 的状态变为 1 并停止计数。



说明：当 LD 端输入为 ON 时，Cxxx（上???) 减计数器状态变为 0，同时计数值变为 PV 的值。

CD 端每输入一个脉冲上升沿，CTD 计数器的计数值就减 1，当计数值减到 0 时，计数器状态变为 1 并停止计数。

指令上方的????用于输入 CTD 计数器编号，PV 旁的????用于输入计数设定值，LD 为计数值装载控制端。

## 加减计数器（CTUD）

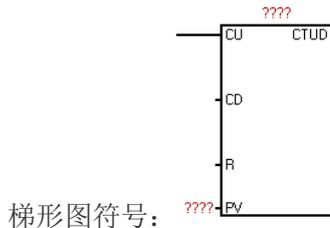
加减计数器的特点是：

①当 CTUD 的 R 端（复位端）输入为 ON 时，CTUD 状态变为 0，同时计数值清 0。

②在加计数时，CU 端（加计数端）每输入一个脉冲上升沿，计数值就增 1，CTUD 加计数的最大值为 32767，在达到最大值时再来一个脉冲上升沿，计数值会变为-32768。

③在减计数时，CD 端（减计数端）每输入一个脉冲上升沿，计数值就减 1，CTUD 减计数的最小值为-32768，在达到最小值时再来一个脉冲上升沿，计数值会变为 32767。

④不管是加计数还是减计数，只要计数值等于或大于设定值，CTUD 的状态就为 1。



说明：当 R 端输入为 ON 时，Cxxx（上????）加减计数器状态变为 0，同时计数值清 0。

CU 端每输入一个脉冲上升沿，CTUD 计数器的计数值就增 1，当计数值增到最大值 32767 时，CU 端再输入一个脉冲上升沿，计数值会变为-32768。

CD 端每输入一个脉冲上升沿，CTUD 计数器的计数值就减 1，当计数值减到最小值 -32768 时，CD 端再输入一个脉冲上升沿，计数值会变为 32767。

不管是加计数还是减计数，只要当前计数值等于或大于 PV 值（设定值），CTUD 的状态就为 1。

指令上方的????用于输入 CTUD 计数器编号，PV 旁的????用于输入计数设定值，CU 为加计数输入端，CD 为减计数输入端，R 为计数器复位端。

## 任务 35 PLC 的顺序控制指令

<p><b>任务描述</b></p>	<p>一个复杂的任务往往可以分成若干个小任务，当按一定的顺序完成这些小任务后，整个大任务也就完成了。在生产实践中，顺序控制是指按照一定的顺序逐步控制来完成各个工序的控制方式。在采用顺序控制时，为了直观表示出控制过程，可以绘制顺序控制图。在 PLC 编程时，绘制的顺序控制图称为状态转移图或功能图，简称 SFC 图。</p> <p>本任务学习状态转移图、顺序控制指令名称及功能，并举例说明顺序控制指令的使用。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 了解状态转移图的概念，会绘制状态转移图；</p> <p>(2) 掌握顺序控制指令名称及功能；</p> <p>(3) 会使用顺序控制指令。</p>

### 状态转移图

图 3-35-1 所示是一个三台电动机的顺序控制图，其中 (a) 为工序图，(b) 为对应的状态转移图。

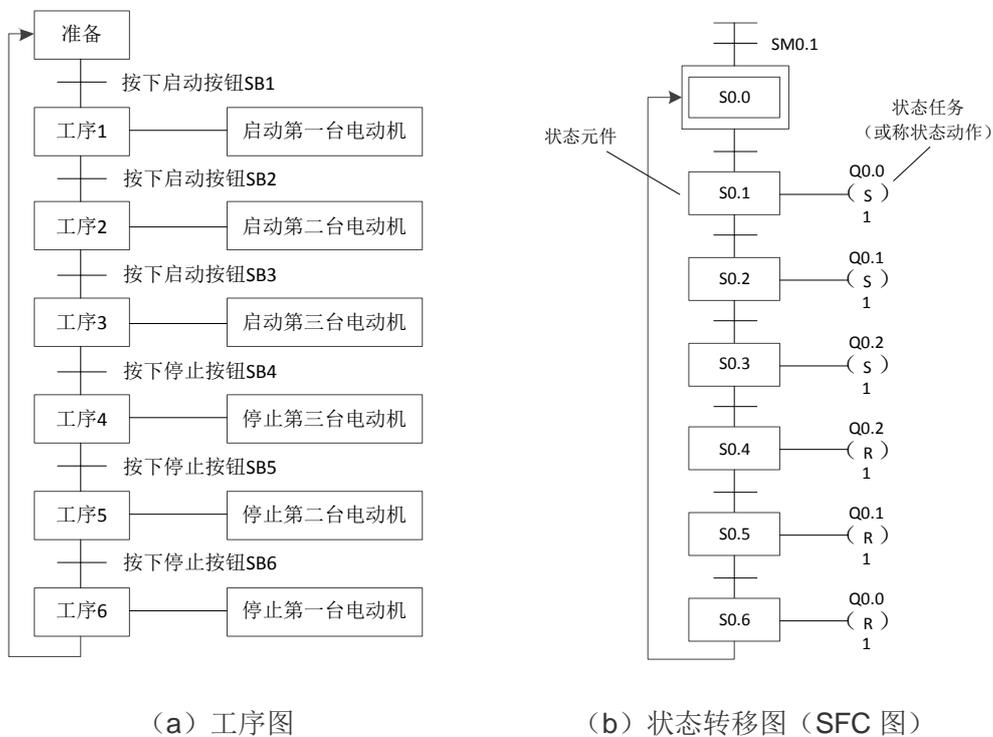


图 3-35-1 一种三台电动机的顺序控制图

顺序控制有三个要素：转移条件、转移目标和工作任务。在图？(a)中，当上一个工

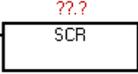
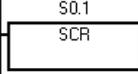
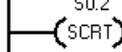
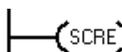
序需要转到下一个工序时必须满足一定的转移条件，如工序 1 要转到下一个工序 2 时，需按下启动按钮 SB2，若不按下 SB2，就无法进行下一个工序 2，按下 SB2 即为转移条件。当转移条件满足后，需要确定转移目标，如工序 1 的转移目标是工序 2。每个工序都有具体的工作任务，如工序 1 的工作任务是“启动第一台电动机”。

PLC 编程时绘制的状态转移图与顺序控制图相似，图 3-35-1 (b) 中的状态元件（状态继电器）S0.1 相当于工序 1，“S Q0.0 1”相当于工作任务，S0.1 的转移目标是 S0.2，S0.6 的转移目标是 S0.0，SM0.1 和 S0.0 用来完成准备工作，其中 SM0.1 为初始脉冲继电器，PLC 启动时触点会自动接通一个扫描周期，S0.0 为初始状态继电器，每个 SFC 图必须要有一个初始状态，绘制 SFC 图时要加双线矩形框。

### 顺序控制指令名称及功能

顺序控制指令说明如表 3-35-1 所示。

表 3-35-1 顺序控制指令说明

指令格式	功能说明	举例
	???.?段顺控程序开始	
	转移执行???.?段顺控程序	
	顺控程序结束	

### 顺序控制指令注意事项

使用顺序控制指令时，要注意一下事项：

①顺序控制指令仅对状态继电器 S 有效，S 也具有一般继电器的功能，对它还可以使用与其他继电器一样的指令。

②SCR 段程序（SCR 至 SCRE 之间的程序）能否执行，取决于该段程序对应的状态继电器 S 是否被置位。另外，当前程序 SCRE（结束）与下一个程序 SCR（开始）之间的程序不影响下一个 SCR 的执行。

③同一个状态继电器 S 不能用在不同的程序中，如主程序中用了 S0.2，在子程序中就不能再使用它。

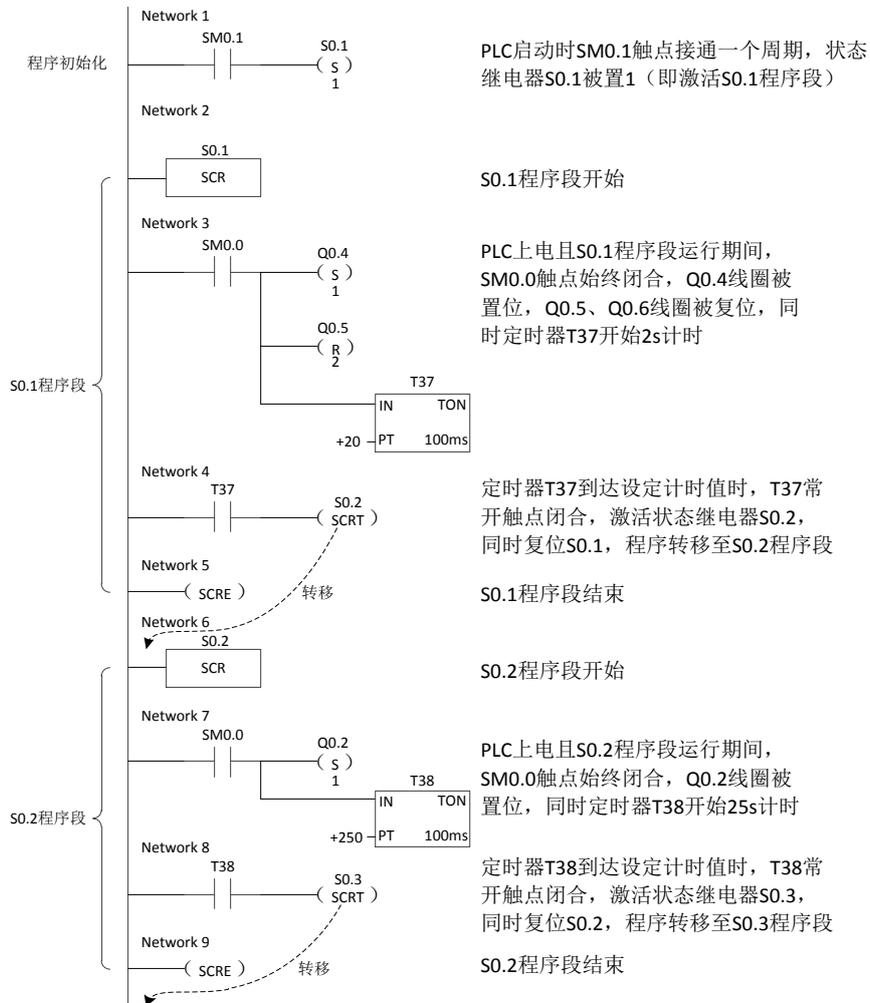
④SCR 段程序中不能使用跳转指令 JMP 和 LBL，即不允许使用跳转指令跳入、跳出 SCR 程序或在 SCR 程序内部跳转。

⑤SCR 段程序中不能使用 FOR、NEXT 和 END 指令。

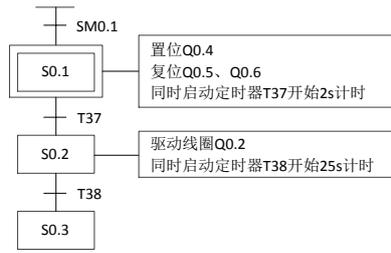
⑥在使用 SCRT 指令实现程序转移后，前 SCR 段程序变为非活动步程序，该程序段的元件会自动复位，如果希望转移后某元件能继续输出，可对该元件使用置位或复位指令。在非活动步程序中，PLC 通电常 ON 触点 SM0.0 也处于断开状态。

### 顺序控制指令使用举例

顺序控制指令使用及说明如图 3-35-2 所示，其中 (a) 为梯形图，(b) 为状态转移图。从图中可以看出，顺序控制程序由多个 SCR 程序段组成，每个 SCR 程序段以 SCR 指令开始，以 SCRE 指令结束，程序段之间的转移使用 SCRT 指令。当执行 SCRT 指令时，会将指定程序段的状态继电器激活（即置 1），使之成为活动步程序，该程序段被执行，同时自动将前程序段的状态继电器和元件复位（即置 0）。



(a) 梯形图



(b) 状态转移图

图 3-35-2 顺序控制指令使用举例

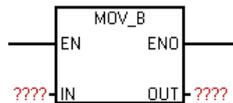
## 任务 36 PLC 的传送指令

任务描述	传送指令的功能是在编程元件之间传送数据。传送指令可分为单一数据传送指令、字节立即传送指令和数据块传送指令。 本任务学习 PLC 传送指令的符号及用法。
任务目标	(1) 掌握单一数据传送指令的符号及用法；
	(2) 掌握字节立即传送指令的符号及用法；
	(3) 掌握数据块传送指令的符号及用法。

### 单一数据传送指令

单一数据传送指令用于传送一个数据，根据传送数据的字长不同，可分为字节、字、双字和实数传送指令。单一数据传送指令的功能是在 EN 端有输入（即 EN=1）时，将 IN 端指定单元中的数据送入 OUT 端指定的单元中。

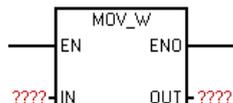
#### (1) 字节传送



梯形图符号：????-IN      OUT-????

说明：将 IN 端指定字节单元中的数据送入 OUT 端指定的字节单元。

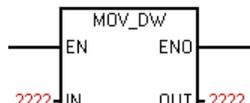
#### (2) 字传送



梯形图符号：????-IN      OUT-????

说明：将 IN 端指定字单元中的数据送入 OUT 端指定的字单元。

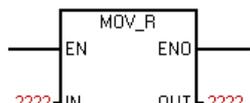
#### (3) 双字传送



梯形图符号：????-IN      OUT-????

说明：将 IN 端指定双字单元中的数据送入 OUT 端指定的双字单元。

#### (4) 实数传送



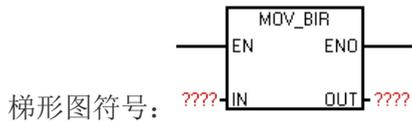
梯形图符号：????-IN      OUT-????

说明：将 IN 端指定双字单元中的实数送入 OUT 端指定的双字单元。

### 字节立即传送指令

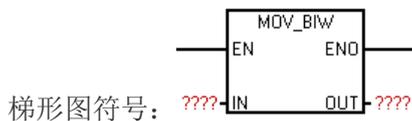
字节立即传送指令的功能是在 EN 端（使能端）有输入时，在物理 I/O 端和存储器之间立即传送一个字节数据。字节立即传送指令可分为字节立即读指令和字节立即写指令，它们不能访问扩展模块。PLC 采用循环扫描方式执行程序，如果程序中一个指令刚执行，那么需要等一个扫描周期后才会再次执行，而立即传送指令当输入为 ON 时不用等待即刻执行。

(1) 字节立即读指令



说明：将 IN 端指定的物理输入端子的数据立即送入 OUT 端指定的字节单元，物理输入端子对应的输入寄存器不会被刷新。

(2) 字节立即写指令

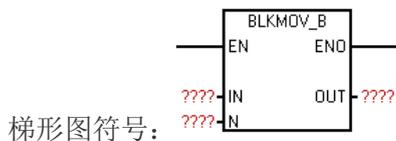


说明：将 IN 端指定的物理输入端子的数据立即送入 OUT 端指定的字节单元，同时刷新输出端子对应的输出寄存器。

## 数据块传送指令

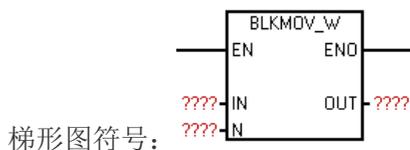
数据块传送指令的功能是在 EN 端（使能端）有输入时，将 IN 端指定首地址的 N 个单元中的数据送入 OUT 端指定首地址的 N 个单元中。数据块传送指令可分为字节块、字块及双字块传送指令。

(1) 字节块传送指令



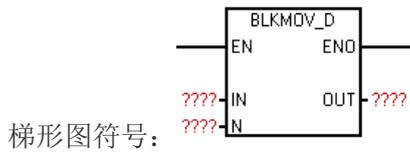
说明：将 IN 端指定首地址的 N 个字节单元中的数据送入 OUT 端指定首地址的 N 个字节单元中。

(2) 字块传送指令



说明：将 IN 端指定首地址的 N 个字单元中的数据送入 OUT 端指定首地址的 N 个字单元中。

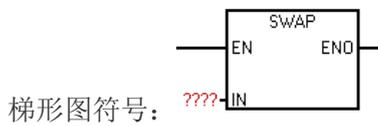
### (3) 双字块传送指令



说明：将 IN 端指定首地址的 N 个双字单元中的数据送入 OUT 端指定首地址的 N 个双字单元中。

### 字节交换指令

字节交换指令的功能是在 EN 端有输入时，将 IN 端指定单元中的数据的高字节与低字节进行交换。



说明：将 IN 端指定单元中的数据的高字节与低字节进行交换。IN 端的操作数类型为字型，具体有 IW、QW、VW、MW、SMW、SW、LW、T、C、AC、\*VD、\*LD、\*AC。

## 任务 37 PLC 的比较指令

<b>任务描述</b>	<p>比较指令又称触点比较指令，其功能是将两个数据按指定条件进行比价，条件成立时触点闭合，否则触点断开。根据比较数据类型的不同，可分为字节比较、整数比较、双字整数比较、实数比较和字符串比较；根据比较运算关系的不同，数值比较可分为=（等于）、&gt;（大于）、&gt;=（大于或等于）、&lt;（小于）、&lt;=（小于或等于）和&lt;&gt;（不等于）共 6 种，而字符串比较只有=（等于）和&lt;&gt;（不等于）共 2 种。比较指令有与（LD）、串联（A）和并联（O）3 种触点。</p> <p>本任务学习 PLC 比较指令的符号及用法。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 掌握字节触点比较指令的符号及用法；</p> <p>(2) 掌握整数触点比较指令的符号及用法；</p> <p>(3) 掌握双字整数触点比较指令的符号及用法；</p> <p>(4) 掌握实数触点比较指令的符号及用法；</p> <p>(5) 掌握字符串触点比较指令的符号及用法。</p>

### 字节触点比较指令

字节触点比较指令用于比较两个字节型整数 IN1 和 IN2 的大小，字节比较的数值是无符号的。

(1) =（等于）

梯形图符号：

说明：当上??=>下??=>时，“==B”触点闭合。

(2) >（大于）

梯形图符号：

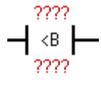
说明：当上??=>下??=>时，“>B”触点闭合。

(3) >=（大于或等于）

梯形图符号：

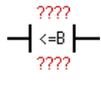
说明：当上??=>下??=>时，“>=B”触点闭合。

(4) <（小于）

梯形图符号：

说明：当上????<下????时，“<B”触点闭合。

(5) <= (小于或等于)

梯形图符号：

说明：当上????≤下????时，“<=B”触点闭合。

(6) <> (不等于)

梯形图符号：

说明：当上????≠下????时，“<>B”触点闭合。

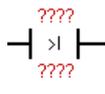
## 整数触点比较指令

(1) = (等于)

梯形图符号：

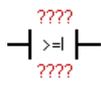
说明：当上????=下????时，“=|”触点闭合。

(2) > (大于)

梯形图符号：

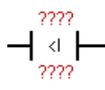
说明：当上????>下????时，“>|”触点闭合。

(3) >= (大于或等于)

梯形图符号：

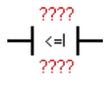
说明：当上????≥下????时，“>=|”触点闭合。

(4) < (小于)

梯形图符号：

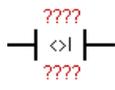
说明：当上????<下????时，“<|”触点闭合。

(5) <= (小于或等于)

梯形图符号：

说明：当上???? $\leq$ 下????时，“ $\leq$ ”触点闭合。

(6)  $\neq$  (不等于)

梯形图符号：

说明：当上???? $\neq$ 下????时，“ $\neq$ ”触点闭合。

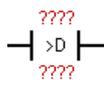
## 双字整数触点比较指令

(1) = (等于)

梯形图符号：

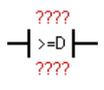
说明：当上????=下????时，“ $=$ ”触点闭合。

(2)  $>$  (大于)

梯形图符号：

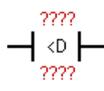
说明：当上???? $>$ 下????时，“ $>$ ”触点闭合。

(3)  $\geq$  (大于或等于)

梯形图符号：

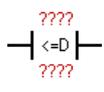
说明：当上???? $\geq$ 下????时，“ $\geq$ ”触点闭合。

(4)  $<$  (小于)

梯形图符号：

说明：当上???? $<$ 下????时，“ $<$ ”触点闭合。

(5)  $\leq$  (小于或等于)

梯形图符号：

说明：当上???? $\leq$ 下????时，“ $\leq$ ”触点闭合。

(6)  $\neq$  (不等于)

梯形图符号：

说明：当上????≠下????时，“<D”触点闭合。

## 实数触点比较指令

(1) = (等于)

梯形图符号：

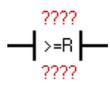
说明：当上????=下????时，“==R”触点闭合。

(2) > (大于)

梯形图符号：

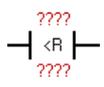
说明：当上????>下????时，“>R”触点闭合。

(3) >= (大于或等于)

梯形图符号：

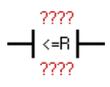
说明：当上????≥下????时，“>=R”触点闭合。

(4) < (小于)

梯形图符号：

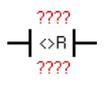
说明：当上????<下????时，“<R”触点闭合。

(5) <= (小于或等于)

梯形图符号：

说明：当上????≤下????时，“<=R”触点闭合。

(6) <> (不等于)

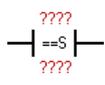
梯形图符号：

说明：当上????≠下????时，“<>R”触点闭合。

## 字符串触点比较指令

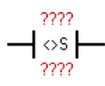
字符串触点比较指令用于比较字符串 IN1 和 IN2 的 ASCII 码，满足条件时触点闭合，否则断开。

(1) = (等于)

梯形图符号：

说明：当上????=下????时，“==S”触点闭合。

(2) <> (不等于)

梯形图符号：

说明：当上????≠下????时，“<>S”触点闭合。

## 任务 38 PLC 的数学运算指令

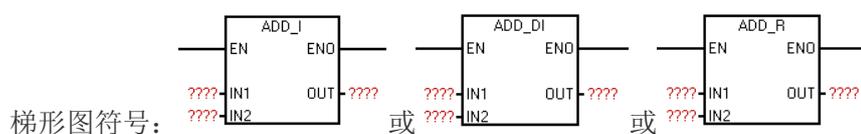
<b>任务描述</b>	数学运算指令可分为加减乘除运算指令和浮点数函数运算指令。加减乘除运算指令包括加法指令、减法指令、乘法指令、除法指令、加 1 指令和减 1 指令；浮点数函数运算指令主要包括正弦指令、余弦指令、正切指令、平方根指令、自然对数指令和自然指数指令。  本任务学习 PLC 数学运算指令的符号及使用。
<b>任务目标</b>	(1) 掌握字节触点比较指令的符号及用法；
	(2) 掌握浮点数函数运算指令的符号及用法。

### 加减乘除运算指令

加减乘除运算指令包括加法、减法、乘法、除法、加 1 和减 1 指令。

#### (1) 加法指令

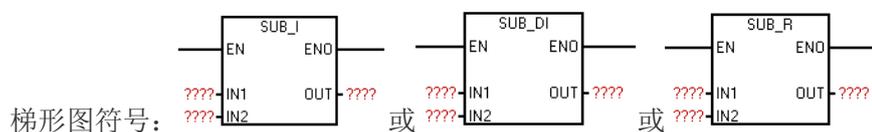
加法指令的功能是将两个有符号的数相加后输出，它可分为整数加法指令、双整数加法指令和实数加法指令。



说明：将 IN1 端指定单元的整数（或双整数或实数）与 IN2 端指定单元的整数（或双整数或实数）相加，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $IN1+IN2=OUT$ 。

#### (2) 减法指令

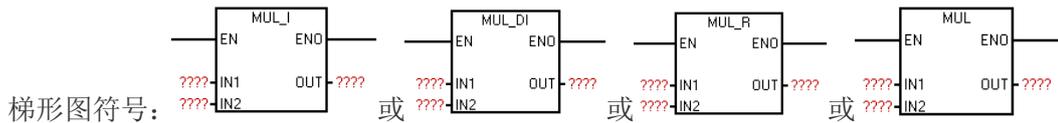
减法指令的功能是将两个有符号的数相减后输出，它可分为整数减法指令、双整数减法指令和实数减法指令。



说明：将 IN1 端指定单元的整数（或双整数或实数）与 IN2 端指定单元的整数（或双整数或实数）相减，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $IN1-IN2=OUT$ 。

#### (3) 乘法指令

乘法指令的功能是将两个有符号的数相乘后输出，它可分为整数乘法指令、双整数乘法指令、实数乘法指令和完全整数乘法指令。

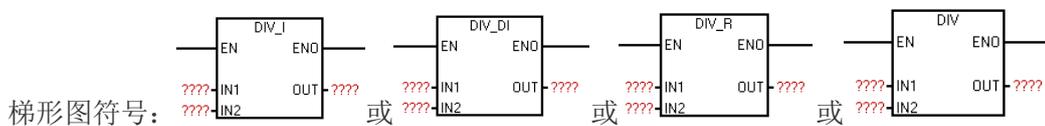


说明：将 IN1 端指定单元的整数（或双整数或实数）与 IN2 端指定单元的整数（或双整数或实数）相乘，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $IN1 * IN2 = OUT$ 。

另外，完全整数乘法指令是将两个有符号整数（16 位）相乘，产生一个 32 位双整数存入 OUT 单元中，因此 IN 端操作数类型为字型，OUT 端的操作数为双字型。

#### （4）除法指令

除法指令的功能是将两个有符号的数相除后输出，它可分为整数除法指令、双整数除法指令、实数除法指令和带余数的整数除法指令。



说明：将 IN1 端指定单元的整数（或双整数或实数）与 IN2 端指定单元的整数（或双整数或实数）相除，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $IN1 / IN2 = OUT$ 。

另外，带余数的整数除法指令是将两个 16 位整数相除，得到一个 32 位结果，其中低 16 位为商，高 16 位为余数。因此 IN 端操作数类型为字型，OUT 端的操作数为双字型。

#### 加 1 指令

加 1 指令的功能是将 IN 端指定单元的数加 1 后存入 OUT 端指定的单元中，它可分为字节加 1 指令、字加 1 指令和双字加 1 指令。



说明：将 IN 端指定字节（或字或双字）单元的数加 1，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $IN + 1 = OUT$ 。另外，如果 IN、OUT 操作数相同，则为 IN 增 1。

#### （6）减 1 指令

减 1 指令的功能是将 IN 端指定单元的数减 1 后存入 OUT 端指定的单元中，它可分为字节减 1 指令、字减 1 指令和双字减 1 指令。

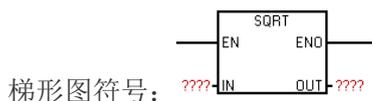


说明：将 IN 端指定字节（或字或双字）单元的数减 1，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $IN - 1 = OUT$ 。另外，如果 IN、OUT 操作数相同，则为 IN 减 1。

## 浮点数函数运算指令

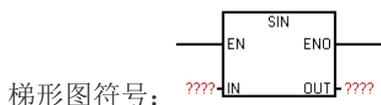
浮点数函数运算指令包括实数加、减、乘、除指令和正弦、余弦、正切、平方根、自然对数、自然指数指令及 PID 指令。实数加、减、乘、除指令在前面的加减乘除指令中已介绍过，PID 指令是一条很重要的指令，将在后面详细说明，下面仅介绍正弦、余弦、正切、平方根、自然对数、自然指数指令。

### (1) 平方根指令



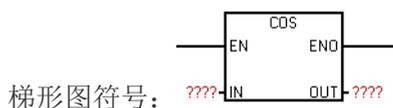
说明：将 IN 端指定单元的实数（即浮点数）取平方根，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $SQRT(IN) = OUT$ 。

### (2) 正弦指令



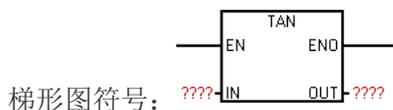
说明：将 IN 端指定单元的实数（即浮点数）取正弦，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $SIN(IN) = OUT$ 。

### (3) 余弦指令



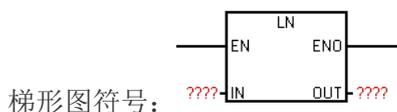
说明：将 IN 端指定单元的实数（即浮点数）取余弦，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $COS(IN) = OUT$ 。

### (4) 正切指令



说明：将 IN 端指定单元的实数（即浮点数）取正切，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $TAN(IN) = OUT$ 。

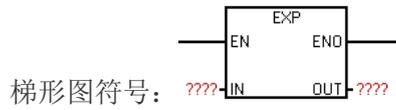
### (5) 自然对数指令



说明：将 IN 端指定单元的实数（即浮点数）取自然对数，结果存入 OUT 端指定的单

元中，即  $\text{LN}(\text{IN}) = \text{OUT}$ 。

(6) 自然指数指令



说明：将 IN 端指定单元的实数（即浮点数）取自然指数值，结果存入 OUT 端指定的单元中，即  $\text{EXP}(\text{IN}) = \text{OUT}$ 。

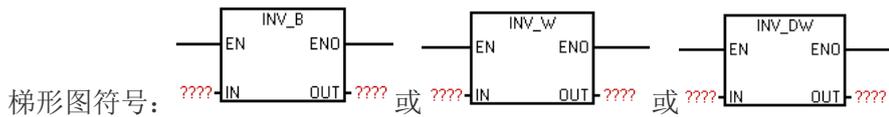
注：正切、正弦和余弦的 IN 值要以弧度为单位，在求角度的三角函数时，要先将角度值乘以  $\pi / 180$ （即 0.01745329），转换成弧度值，再存入 IN，然后用指令求 OUT。

## 任务 39 PLC 的逻辑运算指令

<p><b>任务描述</b></p>	<p>逻辑运算指令包括取反指令、与指令、或指令和异或指令，每种指令又分为字节、字和双字指令。</p> <p>本任务学习 PLC 逻辑运算指令的符号及使用。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 掌握取反指令的符号及用法；</p> <p>(2) 掌握与指令的符号及用法；</p> <p>(3) 掌握或指令的符号及用法；</p> <p>(4) 掌握异或指令的符号及用法。</p>

### 取反指令

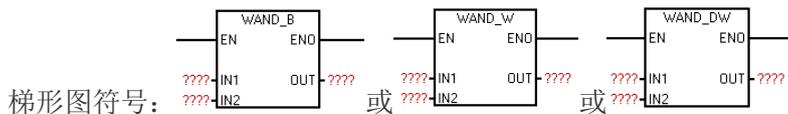
取反指令的功能是将 IN 端指定单元的数据逐位取反，结果存入 OUT 端指定的单元中。取反指令可分为字节取反指令、字取反指令和双字取反指令。



说明：将 IN 端指定字节（或字或双字）单元中的数据逐位取反，结果存入 OUT 端指定的单元中。

### 与指令

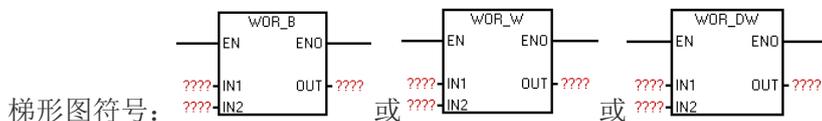
与指令的功能是将 IN1、IN2 端指定单元的数据按位相与，结果存入 OUT 端指定的单元中。与指令可分为字节与指令、字与指令和双字与指令。



说明：将 IN1、IN2 端指定字节（或字或双字）单元中的数据按位相与，结果存入 OUT 端指定的单元中。

### 或指令

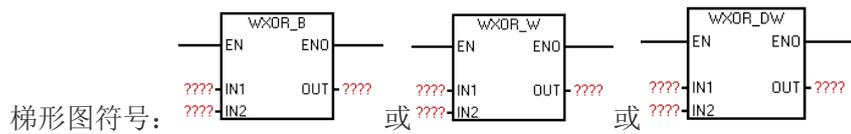
或指令的功能是将 IN1、IN2 端指定单元的数据按位相或，结果存入 OUT 端指定的单元中。或指令可分为字节或指令、字或指令和双字或指令。



说明：将 IN1、IN2 端指定字节（或字或双字）单元中的数据按位相或，结果存入 OUT 端指定的单元中。

## 异或指令

异或指令的功能是将 IN1、IN2 端指定单元的数据按位进行异或运算，结果存入 OUT 端指定的单元中。进行异或运算时，两位数相同，异或结果为 0；两位数相反，异或结果为 1。异或指令可分为字节异或指令、字异或指令和双字异或指令。



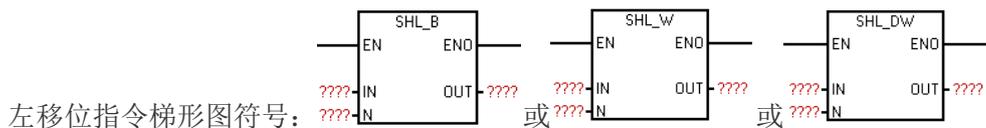
说明：将 IN1、IN2 端指定字节（或字或双字）单元中的数据按位相异或，结果存入 OUT 端指定的单元中。

## 任务 40 PLC 的移位与循环指令

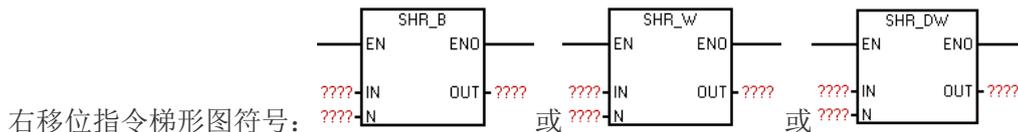
<p><b>任务描述</b></p>	<p>移位与循环指令包括左移位指令、右移位指令、循环左移位指令、循环右移位指令和移位寄存器指令，根据操作数不同，前面四种指令又分为字节、字和双字型指令。</p> <p>本任务学习 PLC 移位与循环指令的符号及使用。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 掌握左移位与右移位指令的符号及用法；</p>
	<p>(2) 掌握循环左移位与右移位指令的符号及用法；</p>
	<p>(3) 掌握移位寄存器指令的符号及用法。</p>

### 左移位与右移位指令

左移位与右移位指令的功能是将 IN 端指定单元的各位数向左或向右移动 N 位，结果保存在 OUT 端指定的单元中。根据操作数不同，左移位与右移位指令又分为字节、字和双字型指令。



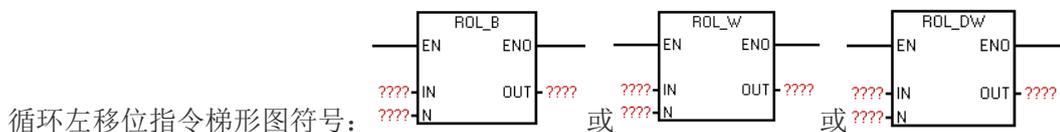
说明：将 IN 端指定字节（或字或双字）单元中的数据向左移动 N 位，结果存入 OUT 端指定的单元中。



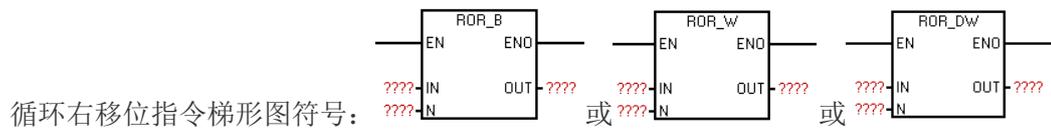
说明：将 IN 端指定字节（或字或双字）单元中的数据向右移动 N 位，结果存入 OUT 端指定的单元中。

### 循环左移位与右移位指令

循环左移位与循环右移位指令的功能是将 IN 端指定单元的各位数向左或向右循环移动 N 位，结果保存在 OUT 端指定的单元中。循环移位是环形的，一端移出的位会从另一端移入。根据操作数不同，循环左移位与右移位指令又分为字节、字和双字型指令。



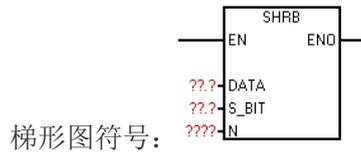
说明：将 IN 端指定字节（或字或双字）单元中的数据向左循环移动 N 位，结果存入 OUT 端指定的单元中。



说明：将 IN 端指定字节（或字或双字）单元中的数据向右循环移动 N 位，结果存入 OUT 端指定的单元中。

## 移位寄存器指令

移位寄存器指令的功能是将一个数值移入移位寄存器中。使用该指令，每个扫描周期整个移位寄存器的数据移动移位。



说明：将 S\_BIT 端为最低地址的 N 个位单元设为移动寄存器，DATA 端指定数据输入的位单元。

N 指定移位寄存器的长度和移位方向。当 N 为正值时正向移动，输入数据从最低位 S\_BIT 移入，最高位移出，移出的数据放在溢出标志位 SM1.1 中；当 N 为负值时反向移动，输入数据从最高位移入，移出的数据放在溢出标志位 SM1.1 中。

移位寄存器的最大长度为 64 位，可正可负。

## 任务 41 PLC 的转换指令

<b>任务描述</b>	<p>PLC 的主要数据类型有字节型、整数型、双整数型和实数型，数据的编码类型主要有二进制、十进制、十六进制、BCD 码和 ASCII 码等。在编程时，指令对操作数类型有一定的要求，如字节型与字型数据不能直接进行相加运算。为了让指令能对不同类型数据进行处理，先要对数据的类型进行转换。</p> <p>转换指令是一种转换不同类型数据的指令。转换指令可分为标准转换指令、ASCII 码转换指令、字符串转换指令和编码与解码指令。</p> <p>本任务学习 PLC 转换指令的符号及使用。</p>
<b>任务目标</b>	(1) 掌握标准转换指令的符号及用法；
	(2) 掌握 ASCII 转换指令的符号及用法；
	(3) 掌握字符串转换指令的符号及用法；
	(4) 掌握编码与解码指令的符号及用法。

### 标准转换指令

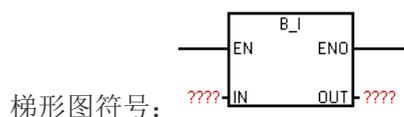
标准转换指令可分为数字转换指令、四舍五入取整指令和段译码指令。

#### (1) 数字转换指令

数字转换指令有字节与整数间的转换指令、整数与双整数间的转换指令、BCD 码与整数间的转换指令和双整数转实数指令。

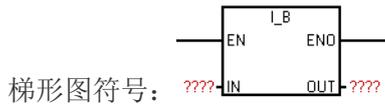
BCD 码是一种用 4 位二进制数组合来表示十进制数的编码。BCD 码的 0000~1001 分别对应十进制数的 0~9。一位十进制数的二进制编码和 BCD 码是相同的，例如 6 的二进制编码为 0110，BCD 码也为 0110；但多位十进制数的两种编码是不同的，例如 64 的 8 位二进制编码为 0100 0000，BCD 码则为 0110 0100。由于 BCD 码采用 4 位二进制数来表示 1 位十进制数，故 16 位 BCD 码能表示十进制数的范围是 0000~9999。

#### 1) 字节转整数指令



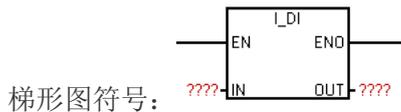
说明：将 IN 端指定字节单元中的数据（8 位）转换成整数（16 位），结果存入 OUT 端指定的单元中。字节是无符号的，因而没有符号位扩展。

## 2) 整数转字节指令



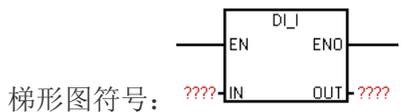
说明：将 IN 端指定单元的整数（16 位）转换成字节数据（8 位），结果存入 OUT 端指定的单元中。IN 中只有 0~255 范围内的数值被转换，其他值不会转换，但会使溢出位 SM1.1 置 1。

## 3) 整数转双整数指令



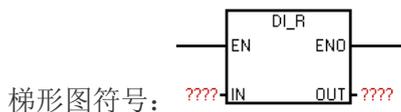
说明：将 IN 端指定单元的整数（16 位）转换成双整数（32 位），结果存入 OUT 端指定的单元中。符号位扩展到高字节中。

## 4) 双整数转整数指令



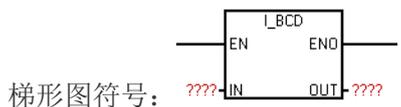
说明：将 IN 端指定单元的双整数（32 位）转换成整数（16 位），结果存入 OUT 端指定的单元中。若需转换的数值太大无法在输出中表示，则不会转换，但会使溢出标志位 SM1.1 置 1。

## 双整数转实数指令



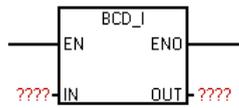
说明：将 IN 端指定单元的双整数（32 位）转换成实数（32 位），结果存入 OUT 端指定的单元中。

## 6) 整数转 BCD 码指令



说明：将 IN 端指定单元的整数（16 位）转换成 BCD 码（16 位），结果存入 OUT 端指定的单元中。IN 时 0~9999 范围的整数，如果超出该范围，会使 SM1.1 置 1。

## 7) BCD 码转整数指令

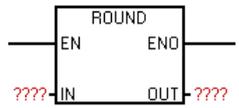


梯形图符号: ???? IN OUT ????

说明: 将 IN 端指定单元的 BCD 码转换成整数, 结果存入 OUT 端指定的单元中。IN 是 0~9999 范围的 BCD 码。

## (2) 四舍五入取整指令

### 1) 四舍五入取整指令



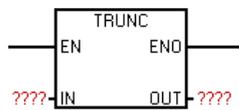
梯形图符号: ???? IN OUT ????

说明: 将 IN 端指定单元的实数转换成双整数, 结果存入 OUT 端指定的单元中。

在转换时, 如果实数的小数部分大于等于 0.5, 则整数部分加 1, 再将加 1 后的整数送入 OUT 单元中; 如果实数的小数部分小于 0.5, 则将小数部分舍去, 只将整数部分送入 OUT 单元。

如果要转换的不是一个有效的或者数值太大的实数, 转换不会进行, 但会使溢出标志位 SM1.1 置 1。

### 2) 舍小数点取整指令



梯形图符号: ???? IN OUT ????

说明: 将 IN 端指定单元的实数转换成双整数, 结果存入 OUT 端指定的单元中。在转换时, 将实数的小数部分舍去, 仅将整数部分送入 OUT 单元中。

## (3) 段译码指令

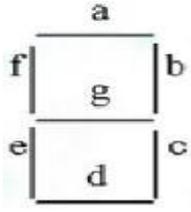
段译码指令的功能是将 IN 端指定单元中的低 4 位数转换成能驱动七段数码显示管显示相应字符的七段码。十进制数、二进制数、七段码及显示字符的对应关系见表?。



梯形图符号: ???? IN OUT ????

说明: 将 IN 端指定单元的低 4 位数转换成七段码, 结果存入 OUT 端指定的单元中。

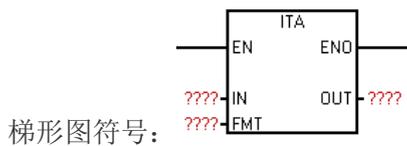
表? 十进制数、二进制数、七段码及显示字符的对应关系

十进制数	二进制数 (IN 低 4 位)	七段码 (OUT) - g f e d c b a	显示字符	七段码显示器
0	0000	0011 1111	0	
1	0001	0000 0110	1	
2	0010	0101 1011	2	
3	0011	0100 1111	3	
4	0100	0110 0110	4	
5	0101	0110 1101	5	
6	0110	0111 1101	6	
7	0111	0000 0111	7	
8	1000	0111 1111	8	
9	1001	0110 0111	9	
A	1010	0111 0111	A	
B	1011	0111 1001	B	
C	1100	0011 1001	C	
D	1101	0101 1110	D	
E	1110	0111 1001	E	
F	1111	0111 0001	F	

### ASCII 码转换指令

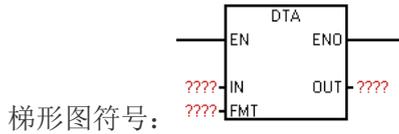
ASCII 码意为美国标准信息交换码，是一种使用 7 位或 8 位二进制数编码的方案，最多可以对 256 个字符（包括字母、数字、标点符号、控制字符及其他符号）进行编码，计算机等很多数字设备的字符采用 ASCII 编码方式。ASCII 编码表见表? 所示。

#### (1) 整数转 ASCII 码指令



说明：将 IN 端指定单元中的整数转换成 ASCII 码字符串，存入 OUT 端指定首地址的 8 个连续字节单元中。

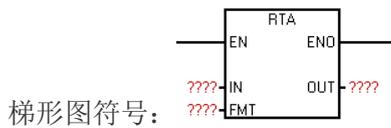




说明：将 IN 端指定单元中的双整数转换成 ASCII 码字符串，存入 OUT 端指定首地址的 12 个连续字节单元中。

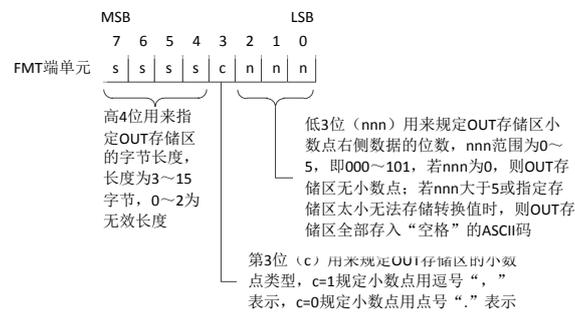
FMT 端指定单元中的数据用来定义 ASCII 码字符串在 OUT 存储区的存放形式。FMT 端单元中的数据定义与整数转 ASCII 码指令相同。

### (3) 实数转 ASCII 码指令

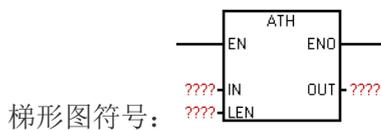


说明：将 IN 端指定单元中的实数转换成 ASCII 码字符串，存入 OUT 端指定首地址的 3~15 个连续字节单元中。

FMT 端指定单元中的数据用来定义 OUT 存储区的长度和 ASCII 码字符串在 OUT 存储区的存放形式。FMT 端单元中的数据定义如下：



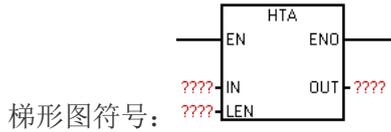
### (4) ASCII 码转十六进制数指令



说明：将 IN 端指定首地址、LEN 端指定长度的连续字节单元中的 ASCII 码字符串转换成十六进制数，存入 OUT 端指定首地址的连续字节单元中。

IN 端用来指定待转换字节单元的首地址，LEN 用来指定待转换连续字节单元的个数，OUT 端用来指定转换后数据存放单元的首地址。

### (5) 十六进制数转 ASCII 码指令



说明：将 IN 端指定首地址、LEN 端指定长度的连续字节单元中的十六进制数转换成 ASCII 码字符串，存入 OUT 端指定首地址的连续字节单元中。

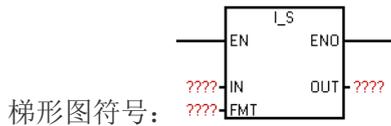
IN 端用来指定待转换字节单元的首地址，LEN 用来指定待转换连续字节单元的个数，OUT 端用来指定转换后数据存放单元的首地址。

## 字符串转换指令

字符串转换指令包括整数、双整数、实数转字符串指令和字符串转整数、双整数、实数指令。

### (1) 整数、双整数、实数转字符串指令

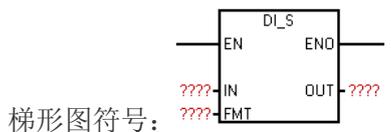
#### 1) 整数转字符串指令



说明：将 IN 端指定单元中的整数转换成 ASCII 码字符串，存入 OUT 端指定首地址的 9 个连续字节单元中。

FMT 端指定单元中的数据用来定义 ASCII 码字符串在 OUT 存储区的存放形式。

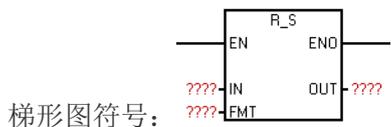
#### 2) 双整数转字符串指令



说明：将 IN 端指定单元中的双整数转换成 ASCII 码字符串，存入 OUT 端指定首地址的 13 个连续字节单元中。

FMT 端指定单元中的数据用来定义 ASCII 码字符串在 OUT 存储区的存放形式。

#### 3) 实数转字符串指令



说明：将 IN 端指定单元中的双整数转换成 ASCII 码字符串，存入 OUT 端指定首地址

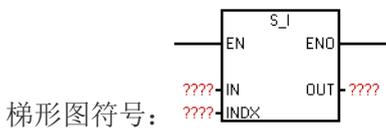
的 3~15 个连续字节单元中。

FMT 端指定单元中的数据用来定义 OUT 存储区的长度和 ASCII 码字符串在 OUT 存储区的存放形式。

注：整数、双整数、实数转字符串指令中 FMT 的定义与整数、双整数、实数转 ASCII 码指令基本相同，两者的区别在于：字符串转换指令中 OUT 端指定的首地址单元用来存放字符串的长度，其后单元才存入转换后的字符串。对于整数、双整数、实数转字符串指令，OUT 首地址单元的字符串长度值分别固定为 8、12；对于实数转字符串指令，OUT 首地址单元的字符串长度值由 FMT 的高 4 位来决定。

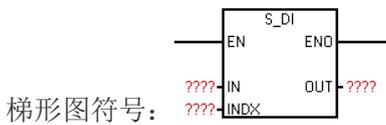
## (2) 字符串转整数、双整数、实数指令

### 1) 字符串转整数指令



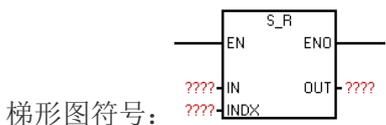
说明：将 IN 端指定首地址的第 INDX 个及后续单元中的字符串转换成整数，存入 OUT 端指定的单元中。

### 2) 字符串转双整数指令



说明：将 IN 端指定首地址的第 INDX 个及后续单元中的字符串转换成双整数，存入 OUT 端指定的单元中。

### 3) 字符串转实数指令

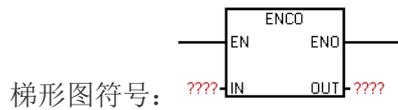


说明：将 IN 端指定首地址的第 INDX 个及后续单元中的字符串转换成实数，存入 OUT 端指定的单元中。

注：在字符串转整数、双整数、实数指令中，INDX 端用于设置开始转换单元相对首地址的偏移量，通常设置为 1，即从首地址单元中的字符串开始转换。INDX 也可以被设置为其他值，可以用于避开转换非法字符（非 0~9 的字符）。例如，IN 端指定首地址为 VB10，VB10~VB17 单元存储的字符串为“Key: 1236”，如果将 INDX 设为 5，则转换从 VB14 单元开始，VB10~VB13 单元中的字符串“Key: ”不会被转换。

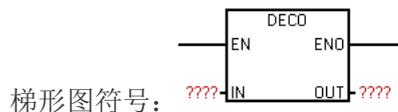
## 编码与解码指令

### (1) 编码指令



说明: 将 IN 字单元中最低有效位 (即最低位中的 1) 的位号写入 OUT 字节单元的低半字节中。

### (2) 解码指令

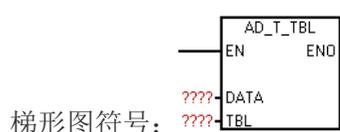


说明: 根据 IN 字节单元中低半字节表示的位号, 将 OUT 字单元相应的位值置 1, 字单元其他的位值全部清 0。

## 任务 42 PLC 的表格指令

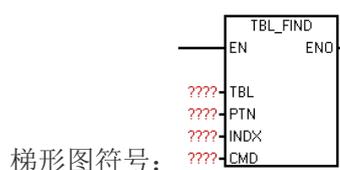
任务描述	表格指令包括填表指令、查表指令、先进先出指令、后进先出指令和存储区填充指令。  本任务学习 PLC 表格指令的符号及使用。
任务目标	(1) 掌握填表指令的使用及用法;
	(2) 掌握查表指令的使用及用法;
	(3) 掌握先进先出指令的使用及用法;
	(4) 掌握后进先出指令的使用及用法;
	(5) 掌握存储区填充指令的使用及用法。

### 填表指令



说明：将 DATA 端指定单元中的整数填入 TBL 端指定首地址的表中。TBL 端用于指定表的首单元地址，表的第 1 个单元存放的数用于定义表的最大格数值（不能超过 100）；第 2 单元存放的数为表实际使用的格数值，当表实际使用的个数变化时该值会自动变化；表的其他单元存放 DATA 单元填入的数据。

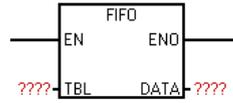
### 查表指令



说明：从 TBL 端指定首地址的表中查找满足 CMD、PTN 端设定条件的数据，并将该数据所在单元的编号存入 INDX 端指定的单元中。

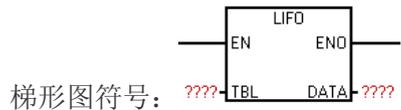
TBL 端指定表的首地址单元，该单元用于存放表的实际使用格数值；PTN、CMD 端用于共同设定查表条件，其中 CMD=1~4，1 代表“=（等于）”，2 代表“<>（不等于）”，3 代表“<（小于）”，4 代表“>（大于）”；INDX 端指定的单元用于存放满足条件的单元编号。

## 先进先出指令



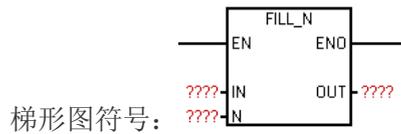
说明：将 TBL 端指定首地址的表中第一个数据移到 DATA 端指定的单元中，表中后续数据依次上移一个单元，同时表的实际填表数减 1。

## 后进先出指令



说明：将 TBL 端指定首地址的表中最后一个数据移到 DATA 端指定的单元中，同时表的实际填表数减 1。

## 存储区填充指令

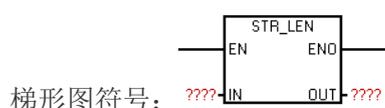


说明：将 IN 端指定的数据填充到 OUT 端指定首地址的 N 个字单元中。N 的范围为 1~255。

## 任务 43 PLC 的字符串指令

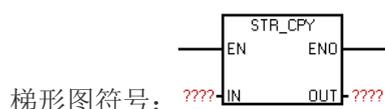
<b>任务描述</b>	<p>字符串是指由很多字符（数字、字母、符号）组成的集合，其中的每个字符都以一个 ASCII 码的形式占用一个字节的存储空间。字符串指令共有 6 条，包括字符串长度指令、字符串复制指令、字符串连接指令、复制子字符串指令、字符串搜索指令和字符搜索指令。</p> <p>本任务学习 PLC 字符串指令的符号及使用。</p>
<b>任务目标</b>	(1) 掌握字符串长度指令的符号及用法；
	(2) 掌握字符串复制指令的符号及用法；
	(3) 掌握字符串连接指令的符号及用法；
	(4) 掌握复制子字符串指令的符号及用法；
	(5) 掌握字符串搜索指令的符号及用法；
	(6) 掌握字符搜索指令的符号及用法。

### 字符串长度指令



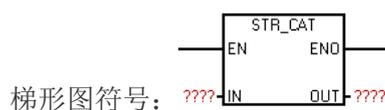
说明：将 IN 端指定字符串（或指定单元中的字符串）的长度值送入 OUT 端指定的单元中。

### 字符串复制指令



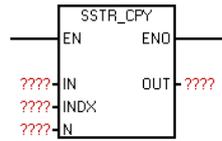
说明：将 IN 端指定字符串（或指定单元中的字符串）复制到 OUT 端指定首地址的连续单元中。

### 字符串连接指令



说明：将 IN 端指定字符串（或指定单元中的字符串）放到 OUT 端指定单元中的字符串后面。

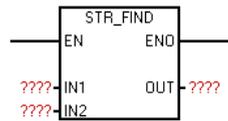
### 复制子字符串指令



梯形图符号：

说明：将 IN 端字符串的第 INDX 位起连续 N 个字符复制到 OUT 端指定的单元中。

## 字符串搜索指令

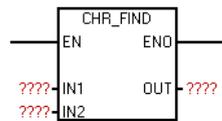


梯形图符号：

说明：在 IN1 指定首地址的字符串存储区中，从 OUT 指定的起始位置查找与 IN2 相同的一段字符。如果找到了相同字符段，就将该段字符的第一个字符位置号存入 OUT 单元中；如果找不到相同的字符段，则 OUT 单元清 0。

OUT 单元中的值必须在 1~字符串长度值范围内。

## 字符搜索指令



梯形图符号：

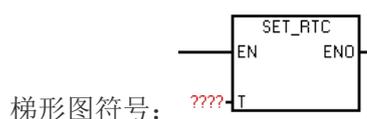
说明：在 IN1 指定首地址的字符串存储区中，从 OUT 指定的起始位置查找与 IN2 相同的任意字符。找到后，就将这些字符的首字符位置号存入 OUT 单元中；如果找不到，则 OUT 单元清 0。

OUT 单元中的值必须在 1~字符串长度值范围内。

## 任务 44 PLC 的时钟指令

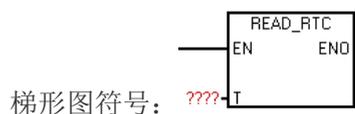
<p><b>任务描述</b></p>	<p>时钟指令的功能是调取系统的实时时钟和设置系统的实时时钟，它包括读取实时时钟指令和设置实时时钟指令（又称写实时时钟指令）。这里的系统实时时钟是指 PLC 内部时钟，其时间值会随实际时间变化而变化，在 PLC 切断外接电源时依靠内部电容或电池供电。</p> <p>本任务学习 PLC 时钟指令的符号及使用。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 掌握设置实时时钟指令的符号及用法；</p> <p>(2) 掌握读取实时时钟指令的符号及用法；</p> <p>(3) 理解 PLC 的日期时间值格式；</p> <p>(4) 理解使用时钟指令时的注意事项。</p>

### 设置实时时钟指令



说明：将 T 端指定首地址的 8 个连续字节单元中的日期和时间值写入系统的硬件时钟。

### 读取实时时钟指令



说明：将系统的硬件时钟的日期和时间值读入 T 端指定首地址的 8 个连续字节单元中。

### 日期时间值格式

时钟指令 T 端指定首地址的 8 个连续字节单元 (T~T+7) 存放不同的日期时间值，其格式为：

T	T+1	T+2	T+3	T+4	T+5	T+6	T+7
年 00~99	月 01~12	日 01~31	小时 00~23	分钟 00~59	秒 00~59	0	星期几 (0~7) 1=星期日 7=星期六 0 禁止星期

### 注意事项

在使用时钟指令时应注意以下要点：

①日期和时间的值都要用 BCD 码表示。例如，对于年，16#10（即 00010000）表示 2010 年；对于小时，16#22 表示晚上 10 点；对于星期，16#07 表示星期六。

②在设置实时时钟时，系统不会检查时钟值是否正确。例如，2 月 31 日虽是无效日期，但系统仍可接受，因此要保证设置时输入正确的时钟数据。

③在编程时，不能在主程序和中断程序中同时使用读、写时钟指令，否则会产生错误，中断程序中的实时时钟指令不能执行。

④只有 CPU224 型以上的 PLC 才有硬件时钟，低端型号的 PLC 要使用实时时钟，须外插带电池的实时时钟卡。

⑤对于没有使用过时钟指令的 PLC，在使用指令前需要设置实时时钟，既可使用 TODW 指令来设置，也可以在编程软件中执行菜单命令“PLC→实时时钟”来设置和启动实时时钟。

## 任务 45 PLC 的程序控制指令

<b>任务描述</b>	程序控制指令主要用于较复杂程序设计，使用该类指令可以优化程序结构，增强程序功能。它包括循环、跳转、停止、子程序调用、看门狗及顺序控制等指令。  本任务学习 PLC 程序控制指令的符号及使用。
<b>任务目标</b>	(1) 掌握跳转与标签指令的符号及用法；
	(2) 掌握循环指令的符号及用法；
	(3) 掌握条件结束、停止指令的符号及用法；
	(4) 掌握监视定时器复位指令的符号及用法。

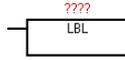
### 跳转与标签指令

#### (1) 跳转指令

梯形图符号：

说明：让程序跳转并执行标签为????的程序段。

#### (2) 标签指令

梯形图符号：

说明：用来对某程序段进行标号，为跳转指令设定跳转目标。

跳转与标签指令可用在主程序、子程序或者中断程序中，但跳转和与之相对应的标签指令必须位于同性质程序段中，既不能从主程序跳到子程序或者中断程序，也不能从子程序或中断程序跳出。在顺序控制 SCR 程序段中也可使用跳转指令，但相应的标签指令必须也在同一个 SCR 段中。

### 循环指令

循环指令包括循环开始指令（FOR）、循环结束指令（NEXT）两条指令，这两条指令必须成对使用，当需要某个程序段反复执行多次时，可以使用循环指令。

#### (1) 循环开始指令

梯形图符号：

说明：循环程序段开始，INDX 端指定单元用作对循环次数进行计数，INIT 端为循环起

始值，FINAL 端为循环结束值。

(2) 循环结束指令

梯形图符号：—(NEXT)

说明：循环程序段结束。

(3) 循环指令注意事项

使用循环指令时应注意以下要点：

- ①FOR、NEXT 指令必须成对使用。
- ②循环允许嵌套，但不能超过 8 层。
- ③每次使循环指令重新有效时，指令会自动将 INIT 值传送给 INDX。
- ④当 INDX 值大于 FINAL 值时，循环不被执行。
- ⑤在循环程序执行过程中，可以改变循环参数。

## 条件结束、停止和监视定时器复位指令

(1) 条件结束指令

梯形图符号：—(END)

说明：该指令的功能是根据前面的逻辑条件终止当前扫描周期。它可以用在主程序中，不能用作子程序或中断程序中。

(2) 停止指令

梯形图符号：—(STOP)

说明：该指令的功能是让 PLC 从 RUN（运行）模式到 STOP（停止）模式，从而可以立即终止程序的执行。

如果在中断程序中使用 STOP 指令，可使该中断立即终止，并且忽略所有等待的中断，继续扫描执行主程序的剩余部分，然后在主程序的结束处完成从 RUN 到 STOP 模式的转变。

(3) 监视定时器复位指令

梯形图符号：—(WDR)

说明：监视定时器又称看门狗，其定时时间为 500ms，每次扫描会自动复位，然后开始对扫描时间进行计时，若程序执行时间超过 500ms，监视定时器会使程序停止执行，一般情况下程序执行周期小于 500ms，监视定时器不起作用。

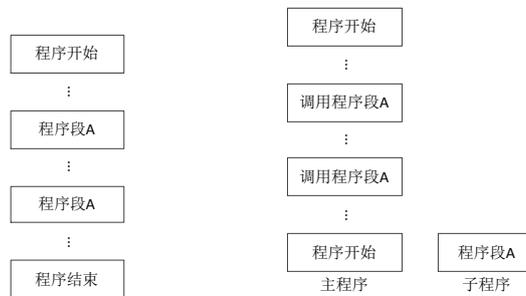
在程序适当位置插入 WDR 指令对监视定时器进行复位，可以延长程序执行时间。

## 任务 46 PLC 的子程序与子程序指令

<p><b>任务描述</b></p>	<p>子程序将大量的控制任务分离成许多小块的控制任务，并可以重复执行一组指令，当主程序调用一个子程序时，控制就转到子程序，执行子程序的指令。当子程序执行完后，再返回主程序继续执行。</p> <p>本任务学习 PLC 子程序和子程序指令的符号及使用。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 理解 PLC 子程序的概念及结构；</p> <p>(2) 掌握子程序指令的符号及用法；</p> <p>(3) 理解子程序指令的使用要点；</p> <p>(4) 会建立子程序；</p> <p>(5) 会使用带参数的子程序调用指令。</p>

### 子程序

在编程时经常会遇到相同的程序段需要多次执行的情况，如图 3-46-1 所示，程序段 A 要执行两次，编程时要写两段相同的程序段，这样比较麻烦。解决问题的方法是将需要多次执行的程序段从主程序中分离出来，单独写成一个程序，这个程序称为子程序，然后在主程序相应的位置进行子程序调用即可。



(a) 单主程序结构 (b) 主、子程序结构

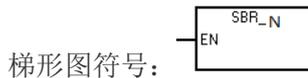
图 3-46-1 两种程序结构

在编写复杂的 PLC 程序时，可以将全部的控制功能划分为几个功能块，每个功能块的控制功能可用子程序来实现，这样会使整个程序结构清晰简单，易于调试、查找错误和维护。

### 子程序指令

子程序指令有两条：子程序调用指令（CALL）和子程序条件返回指令（CRET）。

(1) 子程序调用指令



说明：用于调用并执行名称为 **SBR\_N** 的子程序。用掉子程序时可以带参数也可以不带参数。子程序执行完成后，返回到调用程序的子程序调用指令的下一条指令。

**N** 为常数，**N=0~127**。

该指令位于项目指令树区域的“调用子例程”指令包内。

## (2) 子程序条件返回指令

梯形图符号：

说明：根据该指令前面的条件决定是否终止当前子程序而返回调用程序。

该指令位于项目指令树区域的“程序控制”指令包内。

## 子程序指令使用要点：

① **CRET** 指令多用于子程序内部，该指令是否执行取决于它前面的条件，该指令执行的结果是结束当前的子程序返回调用程序。

② 子程序允许嵌套使用，即在一个子程序内部可以调用另一个子程序，但子程序的嵌套深度最多为 **9** 级。

③ 当子程序在一个扫描周期内被多次调用时，在子程序中不能使用上升沿、下降沿、定时器和计数器指令。

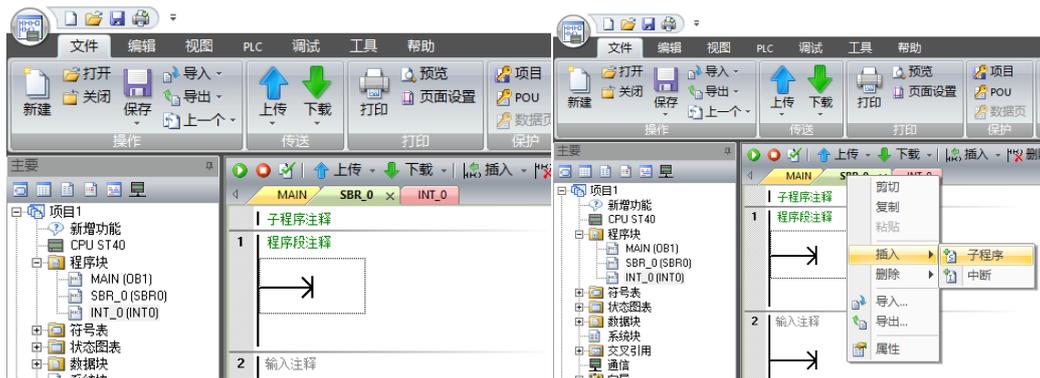
④ 在子程序中不能使用 **END**（结束）指令。

## 子程序的建立

编写子程序要在编程软件中进行，打开 **STEP 7-Micro/WIN SMART** 编程软件，在程序编辑器上方有“**MAIN**（主程序）”、“**SBR\_0**（子程序）”、“**INT\_0**（中断程序）”三个标签，默认打开主程序编辑器。单击“**SBR\_0**”标签即可切换到子程序编辑器，如图 3-46-2

(a) 所示，在下面的编辑器中可以编写名称为“**SBR\_0**”的子程序。另外，在项目指令树区域双击“程序块”内的“**SBR\_0**”，也可以在右边切换到子程序编辑器。

如果需要编写两个或更多的子程序，可在“**SBR\_0**”标签上右击，在弹出的快捷菜单中选择“插入”→“子程序”，就会新建一个名称为“**SBR\_1**”的子程序（在程序编辑器上方多出一个“**SBR\_1**”标签），如图 3-46-2 (b) 所示。在项目指令树区域的“程序块”内也新建了一个“**SBR\_1**”程序块，选中“程序块”内的“**SBR\_1**”，再按键盘上的“Delete”键可将“**SBR\_1**”程序块删除。



(a) 切换到子程序编辑器

(b) 建立子程序

图 3-46-2 切换与建立子程序

## 带参数的子程序调用指令

子程序调用指令可以带参数，使用带参数的子程序调用指令可以扩大子程序的使用范围。在子程序调用时，如果存在数据传递，通常要求子程序调用指令带有相应的参数。

### (1) 参数的输入

子程序调用指令默认是不带参数的，也无法在指令梯形图符号上直接输入参数，使用子程序编辑器下方的变量表可给子程序调用指令设置参数。

子程序调用指令参数的设置方法时：打开 STEP 7-Micro/WIN SMART 编程软件，单击程序编辑器上方的“SBR\_0”标签，切换到 SBR\_0 子程序编辑器，在编辑器下方有一个空变量表，如图 3-46-3 (a) 所示；如果变量表被关闭，可执行菜单命令“视图”→“组件”→“变量表”打开变量表，再按图 3-46-3 (b) 所示在变量表内填写输入、输出参数的符号并选择数据类型。输入型参数要填写在变量类型为 IN 的行内，输入/输出型参数要填写在变量类型为 IN\_OUT 类型的行内，输出型参数要填写在变量类型为 OUT 的行内，表中参数的地址 LB0、LB1.....是自动生成的。在变量表的左上角有“插入行”和“删除行”两个工具，可以对变量表进行插入行和删除行操作。变量表填写后，切换到主程序编辑器，在主程序中输入子程序调用指令，该子程序调用指令自动按变量表生成输入/输出参数，如图 3-46-3 (c) 所示。

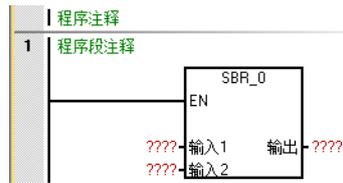
变量表				
地址	符号	变量类型	数据类型	注释
1	EN	IN	BOOL	
2		IN		
3		IN_OUT		
4		OUT		
5		TEMP		

变量表				
地址	符号	变量类型	数据类型	注释
1	EN	IN	BOOL	
2	LB0 输入1	IN	BYTE	
3	LB1 输入2	IN	BYTE	
4		IN_OUT		
5	LB2 输出	OUT	BYTE	
6		OUT		
7		TEMP		

(a) 空变量表

(b) 已填入输入/输出变量的变量表



(c) 在子程序中插入自动按变量表生成输入/输出参数的子程序调用指令

图 3-46-3 子程序调用指令参数的设置

## (2) 指令参数的说明

子程序调用指令最多可以设置 16 个参数，每个参数包括变量名（又称符号）、变量类型、数据类型和注释四部分，注释部分不是必需的。

## 1) 变量名

变量名在局部变量表中称作符号，它需要直接输入，变量名最多可用 23 个字符表示，并且第一个字符不能为数字。

## 2) 变量类型

变量类型是根据参数传递方向来划分的，它可分为四种类型：**IN**（传入子程序）、**IN\_OUT**（传入和传出子程序）、**OUT**（传出子程序）和 **TEMP**（暂变量）。参数的四种变量类型详细说明如表 3-46-1 所示。

表 3-46-1 参数的四种变量类型详细说明

变量类型	说明
IN	将参数传入子程序。该参数可以是直接寻址（如 VB10）、间接寻址（如*AC1）、常数（如 16#1234），也可以是一个地址（如&VB100）
IN_OUT	调用子程序时，该参数指定位置的值被传入子程序，子程序返回的结果值被传到同样位置。该参数可采用直接或间接寻址，常数（如 16#1234）和地址（如&VB100）不允许作为输入/输出参数
OUT	子程序执行得到的结果值被返回到该参数位置。该参数可采用直接或间接寻址，常数和地址不允许作为输出参数
TEMP	在子程序内部用来暂存数据，任何不用于传递数据的局部存储器都可以在子程序中作为临时存储器使用

## 3) 数据类型

参数的数据类型有布尔型(**BOOL**)、字节型(**BYTE**)、字型(**WORD**)、双字型(**DWORD**)、

整数型 (INT)、双整数型 (DINT)、实数型 (REAL) 和字符型 (STRING)。

### (3) 指令使用注意事项

在使用带参数子程序调用指令时，要注意以下事项：

①常数参数必须指明数据类型。例如，输入一个无符号双字常数 12345 时，该常数必须指定为 DW#12345，如果遗漏常数的数据类型，该常数可能会当作不同的类型使用。

②输入或输出参数没有自动数据类型转换功能。例如，局部变量表面一个参数为实数型，而在调用时使用一个双字，子程序中的值就是双字。

③在带参数调用的子程序指令中，参数必须按照一定顺序排列，参数排列顺序依次是：输入、输入/输出、输出和暂变量。如果用语句表编程，CALL 指令的格式是：

CALL 子程序号，参数 1，参数 2，…，参数 n

## 任务 47 PLC 的中断指令

<b>任务描述</b>	<p>在生活中，人们经常遇到这样的情况：当你正在书房看书时，突然客厅的电话响了，你会停止看书，转而去接电话，接完电话后有继续去看书。这种停止当前工作，转而去其他工作，做完后又返回来做先前工作的现象称为中断。</p> <p>PLC 也有类似的中断现象，当系统正在执行某程序时，如果突然出现意外事情，它就需要停止当前正在执行的程序，转而去处理意外事情，处理完后又接着执行原来的程序。</p> <p>本任务学习 PLC 中断事件、中断优先级、中断指令的符号及使用和中断程序的建立。</p>
<b>任务目标</b>	<p>(1) 理解三类中断事件的概念；</p> <p>(2) 掌握中断事件编号及中断优先级；</p> <p>(3) 掌握中断指令的符号及用法；</p> <p>(4) 会建立中断程序。</p>

### 中断事件

中断就是中止当前正在运行的程序，去执行为立刻响应的信号而编写的中断服务程序，执行完毕后再返回原来中止的程序并继续执行。S7-200 SMART PLC 最多支持 38 个中断事件，其中 8 个为预留。为了便于识别，系统给每一个中断事件都分配了一个编号，又称中断事件号。所有中断事件可以分为三大类：通信中断、I/O 中断、定时中断。

#### (1) 通信中断

PLC 的串口通信可以由用户程序控制，通信口的这种控制模式称为自由端口通信模式。在该模式下，接收完成、发送完成均可产生一个中断事件，利用接收、发送中断可以简化程序对通信的控制。

#### (2) I/O 中断

I/O 中断包括外部输入上升沿或下降沿中断、高速计数器（HSC）中断和高速脉冲输出（PTO）中断。外部输入中断是利用 i0.0~i0.3 端口的上升沿或下降沿产生中断请求，这些输入端口可用作连接某些一旦发生就必须及时处理的外部事件；高速计数器中断可以响应当前值等于预设值、计数方向改变、计数器外部复位等事件引起的中断；高速脉冲输出中断可

以用来响应给定数量的脉冲输出完成后产生的中断，常用于步进电动机控制。

### (3) 定时中断

定时中断包括定时中断和定时器中断。

定时中断可以用来支持一个周期性的活动，以 **1ms** 为计量单位，周期时间可以是 **1~255ms**。对于定时中断 **0**，必须把周期时间值写入 **SMB34**；对于定时中断 **1**，必须把周期时间值写入 **SMB35**。每当到达定时值时，相关定时器溢出，执行中断程序。定时中断可以用固定的时间间隔去控制模拟量输入的采样或者执行一个 **PID** 回路。如果某个中断程序已连接到一个定时中断事件上，为改变定时中断的时间间隔，首先必须修改 **SM3.4** 或 **SM3.5** 的值，然后重新把中断程序连接到定时中断事件上。当重新连接时，定时中断功能清除前一次连接时的定时值，并用新值重新开始计时。

定时中断一旦允许，中断就连续地运行，每当定时时间到时就会执行被连接的中断程序。如果退出 **RUN** 模式或分离定时中断，则定时中断被禁止。如果执行了全局中断禁止指令，定时中断事件仍会继续出现，每个出现的定时中断事件将进入中断队列，直到中断允许或队列满。

定时器中断可以利用定时器来对一个指定的时间段产生中断，这类中断只能使用分辨率为 **1ms** 的定时器 **T32** 和 **T96** 来实现。当所用定时器的当前值等于预设值时，在 **CPU** 的 **1ms** 定时刷新中，执行被连接的中断程序。

## 中断优先级

优先级是指多个中断事件同时发出中断请求时，**CPU** 对中断事件响应的优先次序。**S7-200 SMART PLC** 规定的中断优先由高到低依次是：通信中断、**I/O** 中断和定时中断。每类中断中不同的中断事件又有不同的优先权，如表 **3-47-1** 所示。

一个程序中总共可有 **128** 个中断。**S7-200 SMART PLC** 在任何时刻，只能执行一个中断程序。一旦一个中断程序开始执行，则一直执行至完成。不能被另一个中断程序打断，即使是更高优先级的中断程序。中断程序执行中，新的中断请求按优先级排队等候。中断队列能保存的中断个数有限，若超出，则会产生溢出。中断队列的最多中断个数和溢出标志位如表 **3-47-2** 所示。

表 3-47-1 中断事件及优先级

中断优先级组	组内优先级	中断事件编号	中断事件说明	中断事件类别
通信终端 (最高优先级)	0	8	端口 0 接收字符	端口 0
	0	9	端口 0 发送完成	
	0	23	端口 0 接收信息完成	
	1	24	端口 1 接收信息完成	端口 1
	1	25	端口 1 接收支付	
	1	26	端口 1 发送完成	
I/O 中断 (中等优先级)	0	19	PLS0 脉冲计数完成	脉冲输出
	1	20	PLS1 脉冲计数完成	
	2	34	PLS2 脉冲计数完成	外部输入
	3	0	I0.0 上升沿	
	4	2	I0.1 上升沿	
	5	4	I0.2 上升沿	
	6	6	I0.3 上升沿	
	7	35	I7.0 上升沿 (信号板)	
	8	37	I7.1 上升沿 (信号板)	
	9	1	I0.0 下降沿	
	10	3	I0.1 下降沿	
	11	5	I0.2 下降沿	
	12	7	I0.3 下降沿	
	13	36	I7.0 下降沿 (信号板)	
	14	38	I7.1 下降沿 (信号板)	
	15	12	HSC0 CV=PV (当前值=预设值)	
	16	27	HSC0 方向改变	
	17	28	HSC0 外部复位	
18	13	HSC1 CV=PV (当前值=预设值)		

	19	16	HSC2 CV=PV (当前值=预设值)	
	20	17	HSC2 方向改变	
	21	18	HSC2 外部复位	
	22	32	HSC3 CV=PV (当前值=预设值)	
定时中断 (最低优先级)	0	10	定时中断 0 SMB34	定时
	1	11	定时中断 1 SMB35	
	2	21	定时中断 T32 CT=PT 中断	定时器
	3	22	定时中断 T96 CT=PT 中断	

注：CR40/CR60（经济型 CPU 模块）不支持 19、20、24、25、26 和 34~38 号中断。

表 3-47-2 S7-200 SMART PLC 中断队列的最多中断个数和溢出标志位

中断队列	容量(所有 S7-200 SMART PLC)	溢出置位继电器 (0: 无溢出, 1: 溢出)
通信中断队列	4	SM4.0
I/O 中断队列	16	SM4.1
定时中断队列	8	SM4.2

## 中断指令

中断指令有 6 条：中断允许指令、中断禁止指令、中断连接指令、中断分离指令、清除中断事件指令和中断条件返回指令。

### (1) 中断允许指令

梯形图符号：

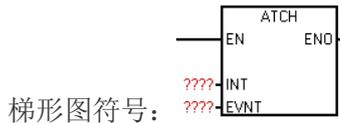
说明：允许所有中断事件发出的请求。

### (2) 中断禁止指令

梯形图符号：

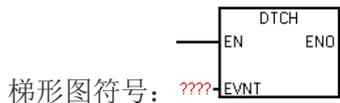
说明：禁止所有中断事件发出的请求。

### (3) 中断连接指令



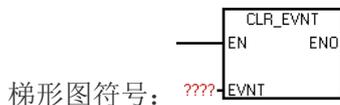
说明：将 **EVENT** 端指定的中断事件与 **INT** 端指定的中断程序关联起来，并允许该中断事件。

#### (4) 中断分离指令



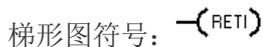
说明：将 **EVENT** 端指定的中断事件断开，并禁止该中断事件。

#### (5) 清除中断事件指令



说明：清除 **EVENT** 端指定的中断事件。

#### (6) 中断条件返回指令



说明：若前面的条件使该指令执行，可让中断程序中中断返回。

## 中断程序的建立

中断程序是为处理中断事件而事先写好的程序，它不像子程序要用指令调用，而是当中断事件发生后系统会自动执行中断程序。如果中断事件未发生，中断程序就不会执行。在编写中断程序时，要求程序越短越好，并且在中断程序中不能使用 **DISI**、**ENI**、**HDEF**、**LSCR** 和 **END** 指令。

编写中断程序要在编程软件中进行，打开 **STEP 7-Micro/WIN SMART** 编程软件，单击程序编辑器上方的“**INT\_0**”标签即可切换到中断程序编辑器，在此即可编写名称为“**INT\_0**”的中断程序。

如果需要编写两个或更多的中断程序，可在“**INT\_0**”标签上右击，在弹出的快捷菜单中选择“插入”→“中断”，就会新建一个名称为 **INT\_1** 的中断程序（在程序编辑器上方多出一个“**INT\_1**”标签），如图 3-47-1 所示。在项目指令树区域的“程序块”内也新增了一个“**INT\_1**”程序块，选中该程序块，按键盘上的“**Delete**”键可将“**INT\_1**”程序块删除。

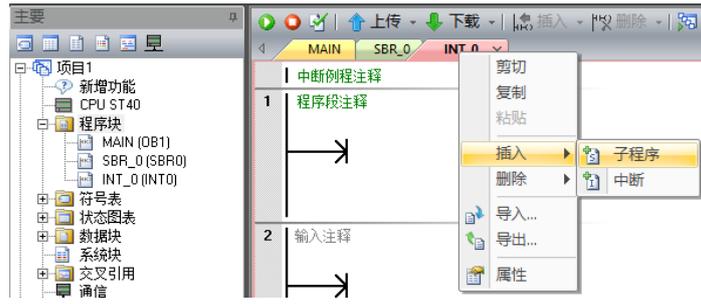


图 3-47-1 新建中断程序操作

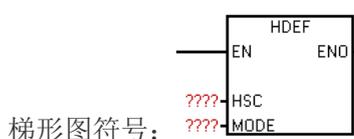
## 任务 48 PLC 的高速计数器指令

<p><b>任务描述</b></p>	<p>普通计数器的计数速度与 PLC 的扫描周期有关，扫描周期越长，计数速度越慢，即计数频率越低，一般仅为几十赫兹，普通计数器适用于计数速度要求不高的场合。为了满足高速计数要求，S7-200 SMART PLC 专门设计了高速计数器，其计数速度很快，C 型 CPU(CR40、CR60) 的计数频率最高为 100kHz，S 型 CPU(SR20、ST20……SR60、ST60) 最高计数频率达 200kHz，均不受 PLC 扫描周期的影响。</p> <p>S7-200 SMART PLC 支持 HSC0~HSC3 四个高速计数器，高速计数器有 0、1、3、4、6、7、9、10 共八种计数模式，HSC0 和 HSC2 支持八种计数模式（模式 0、1、3、4、6、7、9 和 10），HSC1 和 HSC3 只支持一种计数模式（模式 0）。</p> <p>本任务学习 PLC 高速计数器指令的符号及使用，高速计数器的计数模式，高速计数器的外部输入信号，高速计数器的控制字节，高速计数器计数值的读取与预设，高速计数器的状态字节，以及高速计数器的编程步骤。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 掌握高速计数器指令的符号及用法；</p> <p>(2) 理解高速计数器的计数模式；</p> <p>(3) 理解高速计数器的外部输入信号；</p> <p>(4) 理解高速计数器的控制字节；</p> <p>(5) 理解高速计数器计数值的读取与预设；</p> <p>(6) 理解高速计数器的状态字节；</p> <p>(7) 掌握高速计数器的编程步骤。</p>

### 高速计数器指令

高速计数器指令包括高速计数器定义指令（HDEF）和高速计数器指令（HSC）。

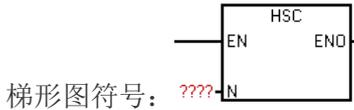
#### (1) 高速计数器定义指令



说明：让 HSC 端指定的高速计数器工作在 MODE 端指定的模式下。HSC 端用来指定

高速计数器的编号，MODE 端用来指定高速计数器的工作模式。

## (2) 高速计数器指令



说明：让编号为 N 的高速计数器按 HDEF 指令设定的模式，并按有关特殊存储器某些位的设置和控制工作。

HSC: 0~3, MODE: 0~10 (不含 2、5、8), N: 0~5 (字型)。

## 高速计数器的计数模式

S7-200 SMART PLC 高速计数器有八种计数模式：

(1) 模式 0 和 1 (内部控制方向的单相加/减计数器)，用高速计数器控制字节的第 3 位来控制加计数或减计数，该位值为 1 时为加计数，该位值为 0 时为减计数。另外，模式 1 具有外部复位功能。

(2) 模式 3 和 4 (外部控制方向的单相加/减计数器)，只有一路脉冲输入，计数器的计数方向由 PLC 特定输入端子的输入值来决定，该输入值为 1 时为加计数，该输入值为 0 时为减计数。另外，模式 4 具有外部复位功能。

(3) 模式 6 和 7 (双相脉冲输入的加/减计数器)，有两路脉冲输入端，一路为加计数输入端，另一路为减计数输入端。若加计数脉冲和减计数脉冲的上升沿出现的时间间隔不到  $0.3\mu s$ ，高速计数器认为这两个事件是同时发生的，当前值不变，也不会有计数方向变化的指示。反之，高速计数器能捕捉到每一个独立事件。另外，模式 7 具有外部复位功能。

(4) 模式 9 和 10 (双相脉冲输入的正交加/减计数器)，有两路脉冲输入端，一路为 A 脉冲输入端，另一路为 B 脉冲输入端，A、B 脉冲相位相差  $90^\circ$  (即正交，A、B 两脉冲相差  $1/4$  周期)。若 A 脉冲超前 B 脉冲  $90^\circ$ ，为加计数；若 A 脉冲滞后 B 脉冲  $90^\circ$ ，为减计数。另外，模式 10 具有外部复位功能。

双相脉冲输入的正交加/减计数器可以选择 1 倍速模式 (如图 3-48-1) 和 4 倍速模式 (如图 3-48-2)，1 倍速模式在输入脉冲的每一个周期计 1 次数，4 倍速模式在两个输入脉冲的上升沿和下降沿都要计数，因此输入脉冲的每一个周期要计 4 次数。

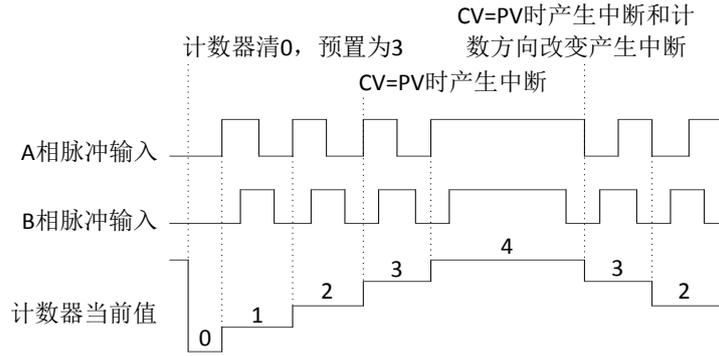


图 3-48-1 模式 9 和 10（双相脉冲输入的正交加/减计数器）1 倍速模式说明

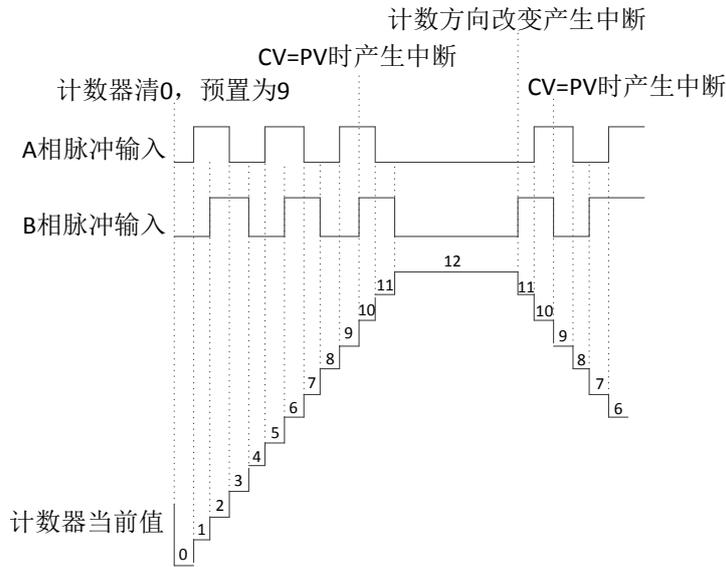


图 3-48-2 模式 9 和 10（双相脉冲输入的正交加/减计数器）4 倍速模式说明

## 高速计数器的外部输入信号

S7-200 SMART PLC 支持 HSC0~HSC3 四个高速计数器，高速计数器有 0、1、3、4、6、7、9、10 共八种计数模式，HSC0 和 HSC2 支持八种计数模式（模式 0、1、3、4、6、7、9 和 10），HSC1 和 HSC3 只支持一种计数模式（模式 0）。

高速计数器工作时需要使用一些输入端子，HSC0~HSC3 高速计数器分配的输入端子及在不同工作模式下端子的功能见表 3-48-1。同一个输入端子不能用于两种不同的功能，但是任何一个没有被高速计数器当前模式使用的输入端子，均可以用作其他用途。例如，HSC0 计数器工作在模式 1 时，会分配占用 I0.0 端子用于脉冲输入，I0.4 端子用于复位信号输入，I0.1 端子在模式 1 时未使用，可以用作 HSC1 计数器工作在模式 0 时的脉冲输入端子。

表 3-48-1 HSC0~HSC3 高速计数器分配的输入端子及在不同工作模式下端子的功能

高速计数器及工作模式		说明	计数器分配的输入端子及在各工作模式下的功能		
高速计数器	HSC0		I0.0	I0.1	I0.4
	HSC1		I0.1		
	HSC2		I0.2	I0.3	I0.5
	HSC3		I0.3		
工作模式	0	内部控制方向（加/减）的单相加/减计数模式。SM37.3=0，减计数；SM37.3=1，加计数。	脉冲输入		
	1		脉冲输入		复位输入
	3	外部控制方向（加/减）的单相加/减计数模式。方向控制端=0，减计数；方向控制端=1，加计数。	脉冲输入	加/减控制	
	4		脉冲输入	加/减控制	复位输入
	6	双相脉冲（加脉冲和减脉冲）输入的加/减计数模式。加脉冲输入时，加计数；减脉冲输入时，减计数。	加脉冲输入	减脉冲输入	
	7		加脉冲输入	减脉冲输入	复位输入
	9	双相脉冲（A 脉冲和 B 脉冲）输入的正交加/减计数模式。A 脉冲超前 B 脉冲 90°，为加计数；A 脉冲滞后 B 脉冲 90°，为减计数。	A 脉冲输入	B 脉冲输入	
	10		A 脉冲输入	B 脉冲输入	复位输入

### 高速计数器的控制字节

高速计数器定义 HDEF 指令只能让某编号的高速计数器工作在某种模式，无法设置计数器的方向、复位等内容。为此，每个高速计数器都配备了一个专用的控制字节来对计数器进行各种控制设置。

高速计数器 HSC0~HSC3 的控制字节各位功能说明见表 3-48-2。例如，高速计数器 HSC0 的控制字节为 SMB37，其中 SM37.0 位用来设置复位有效电平，当该位为 0 时高电平复位有效，该位为 1 时低电平复位有效。

表 3-48-2 高速计数器 HSC0~HSC3 的控制字节各位功能说明

HSC0 (SMB37)	HSC1 (SMB47)	HSC2 (SMB57)	HSC3 (SMB137)	说明
SM37.0		SM57.0		复位有效电平控制 (0: 复位信号高电平有效; 1: 低电平有效)
SM37.1				未用
SM37.2		SM57.2		正交计数器计数速率选择 (0: 4×计数速率; 1: 1×计数速率)
SM37.3	SM47.3	SM57.3	SM137.3	计数方向控制位 (0: 减计数; 1: 加计数)
SM37.4	SM47.4	SM57.4	SM137.4	将计数方向写入 HSC (0: 无更新; 1: 更新计数方向)
SM37.5	SM47.5	SM57.5	SM137.5	将新的预设值写入 HSC (0: 无更新; 1: 更新预设值)
SM37.6	SM47.6	SM57.6	SM137.6	将新的当前值写入 HSC (0: 无更新; 1: 更新初始值)
SM37.7	SM47.7	SM57.7	SM137.7	HSC 指令执行允许控制 (0: 禁用 HSC; 1: 启用 HSC)

## 高速计数器计数值的读取与预设

### (1) 计数值的读取

高速计数器的当前计数值保存在 HC 存储单元中，高速计数器 HSC0~HSC3 的当前值分别保存在 HC0~HC3 单元中，这些单元中的数据为只读类型，即不能向这些单元写入数据。

高速计数器计数值的读取如图 3-48-3 所示。当 I0.0 触点由断开转为闭合时，上升沿 P 触点接通一个扫描周期，MOV\_DW 指令执行，将高速计数器 HSC0 的当前计数值（保存在 HC0 单元）读入并保存在 VD200 单元。

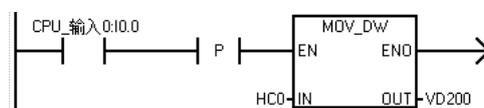


图 3-48-3 高速计数器计数值的读取

## (2) 计数值的设置

每个高速计数器都用两个专用存储单元分别存放当前计数值(CV)和预设计数值(PV)，这两个值都是 32 位(双字)。在高速计数器工作时，当 CV=PV 时会触发 HSC 中断。当前计数值可从 HC 单元中读取，预设值则无法直接读取。要将新的 CV 值或 PV 值载入高速计数器，必须先设置相应的控制字节和专用双字存储单元，再执行 HSC 指令以将新值传送到高速计数器。

HSC0~HSC3 高速计数器存放 CV 值和 PV 值得专用存储单元见表 3-48-3。例如，高速计数器 HSC0 采用 SMD38 双字单元存放新 CV 值，采用 SMD42 双字单元存放新 PV 值。

表 3-48-3 HSC0~HSC3 高速计数器存放 CV 值和 PV 值得专用存储单元

两种类型计数值	计数值的专用存储单元			
	HSC0	HSC1	HSC2	HSC3
新当前计数值(新 CV 值)	SMD38	SMD48	SMD58	SMD138
新预设计数值(新 PV 值)	SMD42	SMD52	SMD62	SMD142

高速计数器计数值的设置如图 3-48-4 所示。当 I0.2 触点由断开转为闭合时，上升沿 P 触点接通一个扫描周期，首先第 1 个 MOV\_DW 指令执行，将新 CV 值(当前计数值)“100”送入 SMD38 单元；然后第 2 个 MOV\_DW 指令执行，将新 PV 值(预设计数值)“200”送入 SMD42 单元；接着高速计数器 HSC0 的控制字节中的 SM37.5、SM37.6 两位均得电为 1，允许 HSC0 更新 CV 值和 PV 值；最后 HSC 指令执行，将新 CV 值和 PV 值载入高速计数器 HSC0。

在执行 HSC 指令前，设置控制字节和修改 SMD 单元中的新 CV 值、PV 值不会影响高速计数器的运行；只有执行 HSC 指令后，高速计数器才按新设置值开始工作。

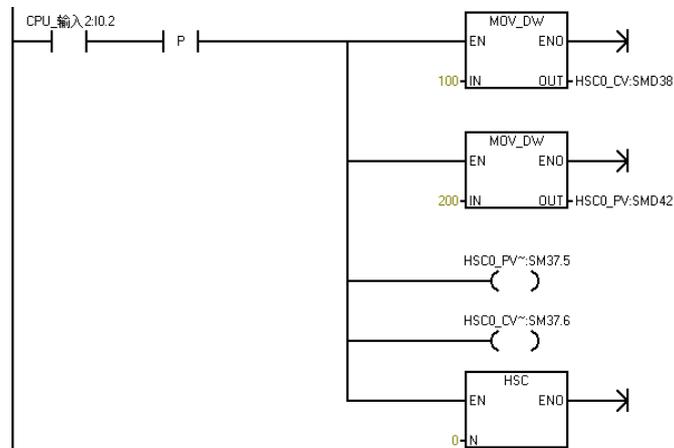


图 3-48-4 高速计数器计数值的设置

## 高速计数器的状态字节

每个高速计数器都有一个控制字节和一个状态字节，控制字节用来设置控制计数器的工作，状态字节则用来反映计数器的一些工作状态。HSC0~HSC3 高速计数器的状态字节见表 3-48-5，其中每个状态字节的 0~4 位不用。监视高速计数器状态字节的状态位值，除了可以了解计数器当前的工作状态外，还可以用状态位值来触发其他的操作，例如，当 SM36.6=1 时表示 HSC0 的当前计数值正好等于预设值，可以用 SM36.6=1 触发执行一段程序。

表 3-48-5 HSC0~HSC3 高速计数器的状态字节

HSC0	HSC1	HSC2	HSC3	说明
SM36.5	SM46.5	SM56.5	SM136.5	当前计数方向状态位：0=减计数，1=加计数
SM36.6	SM46.6	SM56.6	SM136.6	当前值等于预设值状态位：0=不等，1=相等
SM36.7	SM46.7	SM56.7	SM136.7	当前值大于预设值状态位：0=小于等于，1=大于

## 高速计数器的编程步骤

高速计数器的编程较为复杂，一般步骤如下：

①根据计数要求设置高速计数器的控制字节。例如，让 HSC1 的控制字节 SMB47=16#F8，则将 HSC1 设为允许计数、允许写入计数初始值、允许写入计数预设值、更新计数方向为加计数、正交计数为 4×模式、高电平复位。

②执行 HDEF 指令，将某编号的高速计数器设为某种工作模式。

③将计数初始值写入当前值存储器。当前值存储器是指 SMD38、SMD48、SMD58 和 SMD138。

④将计数预设值写入预设值存储器。预设值存储器是指 SMD42、SMD52、SMD62 和 SMD142。如果往预设值存储器写入 16#00，则高速计数器不工作。

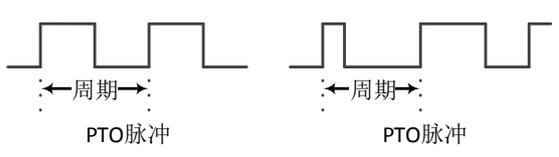
⑤为了捕捉当前值 (CV) 等于预设值 (PV)，可用中断连接 ATCH 指令将条件 CV=PV 中断事件 (HSC0 的 CV=PV 对应中断事件 12) 与某中断程序连接起来。

⑥为了捕捉计数方向改变，可用中断连接 ATCH 指令将方向改变中断事件 (HSC0 的方向改变对应中断事件 27) 与某中断程序连接起来。

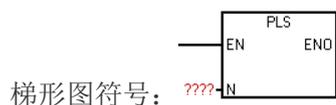
⑦为了捕捉计数器外部复位，可用中断连接 ATCH 指令将外部复位中断事件 (HSC0 的外部复位对应中断事件 28) 与某中断程序连接起来。

- ⑧执行中断允许 ENI 指令，允许系统接受高速计数器（HSC）产生的中断请求。
- ⑨执行 HSC 指令，启动某高速计数器按前面的设置工作。
- ⑩编写相关的中断程序。

## 任务 49 PLC 的高速脉冲输出指令

<p><b>任务描述</b></p>	<p>利用高速脉冲输出指令可让 CPU 模块内部的高速脉冲发生器输出占空比为 50%、周期可调的方波脉冲（即 PTO 脉冲），或者输出占空比及周期均可调节的脉宽调制脉冲（即 PWM 脉冲）。占空比是指高电平时间与周期时间的比值。PTO 脉冲和 PWM 脉冲如下图所示。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>在使用脉冲发生器功能时，其产生的脉冲从 Q0.0、Q0.1 和 Q0.3 端子输出，若不适用脉冲输出功能，这三个端子恢复普通端子功能。要使用高速脉冲发生器功能，PLC 应选择晶体管输出型，以满足高速输出要求。</p> <p>本任务学习 PLC 高速脉冲输出指令的符号及使用，高速脉冲输出的控制字节，高速脉冲输出的参数设置，高速脉冲输出的状态位，PTO 脉冲的产生，以及 PWM 脉冲的产生和使用。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 掌握高速脉冲输出指令的符号及用法；</li> <li>(2) 理解高速脉冲输出的控制字节；</li> <li>(3) 理解高速脉冲输出的参数设置；</li> <li>(4) 理解高速脉冲输出的状态位；</li> <li>(5) 会使用指令产生 PTO 脉冲；</li> <li>(6) 掌握 PWM 脉冲的产生和使用。</li> </ol>

### 高速脉冲输出指令



说明：根据相关特殊存储器（SM）的控制和参数设置要求，启动高速脉冲发生器从 Q0.X 指定的端子输出相应的 PTO 或 PWM 脉冲。

常数 N（字型）：0—Q0.0，1—Q0.1，3—Q0.3。

S7-200 SMART 经济型 CPU 模块（CR40/CR60）无高速脉冲输出功能，标准型 CPU 模块有 2 个或 3 个脉冲输出端子，可使用高速脉冲输出（PLS）指令，具体如下：

①SR20/ST20 有两个高速脉冲输出端子（Q0.0、Q0.1）；

②SR30/ST30、SR40/ST40、SR60/ST60 有 3 个高速脉冲输出端子（Q0.0、Q0.1 和 Q0.3）。

### 高速脉冲输出的控制字节

高速脉冲发生器的控制采用一个 SM 控制字节（8 位），用来设置脉冲输出类型（PTO 或 PWM）、脉冲时间单位等内容。高速脉冲发生器的控制字节说明见表 3-49-1，例如，当 SM67.6=0 时，让 Q0.0 端子输出 PTO 脉冲；当 SM77.3=1 时，让 Q0.1 端子输出时间单位为 ms 的脉冲。

表 3-49-1 高速脉冲发生器的控制字节说明

Q0.0	Q0.1	Q0.3	说明
SM67.0	SM77.0	SM567.0	PTO/PWM 更新频率/周期时间：0=不更新，1=更新频率/周期时间
SM67.1	SM77.1	SM567.1	PWM 更新脉冲宽度时间：0=不更新，1=更新脉冲宽度
SM67.2	SM77.2	SM567.2	PTO 更新脉冲计数值：0=不更新，1=更新脉冲计数
SM67.3	SM77.3	SM567.3	PWM 时基：0=1 $\mu$ s/周期，1=1ms/周期
SM67.4	SM77.4	SM567.4	保留
SM67.5	SM77.5	SM567.5	PTO 单/多段操作：0=单段，1=多段
SM67.6	SM77.6	SM567.6	PTO/PWM 模式选择：0=PWM，1=PTO
SM67.7	SM77.7	SM567.7	PTO/PWM 使能：0=禁用，1=启用

### 高速脉冲输出的参数设置

高速脉冲发送器的参数设置寄存器用来设置脉冲参数等内容，具体见表 3-49-2。例如，SM67.3=1，SMW68=25，则将脉冲周期设为 25ms。

表 3-49-2 高速脉冲发送器的参数设置寄存器

Q0.0	Q0.1	Q0.3	说明
SMW68	SMW78	SMW568	PTO 频率或 PWM 周期时间值：1~65535Hz（PTO），2~65535（PWM）
SMW70	SMW80	SMW570	PWM 脉冲宽度值：0~65535
SMW72	SMW82	SMW572	PTO 脉冲计数值：1~2147483647
SMW166	SMW176	SMW576	进行中段的编号：仅限多段 PTO 操作

SMW168	SMW178	SMW578	包络表的起始单元（相对 V0 的字节偏移）：仅限多段 PTO 操作
--------	--------	--------	-----------------------------------

## 高速脉冲输出的状态位

高速脉冲发生器的状态位用于显示工作状态等信息，通过读取状态位值可触发需要的操作。高速脉冲发生器的状态位功能说明见表 3-49-3，例如，SM66.7=1 表示 Q0.0 端子的 PTO 脉冲输出完成。

表 3-49-3 高速脉冲发生器的状态位功能说明

Q0.0	Q0.1	Q0.3	说明
SM66.4	SM76.4	SM566.4	PTO 增量计算错误（因添加错误导致）：0=无错误，1=因错误而中止
SM66.5	SM76.5	SM566.5	PTO 包络被禁用（因用户指令导致）：0=非手动禁用的包络，1=用户禁用的包络
SM66.6	SM76.6	SM566.6	PTO/PWM 管道溢出/下溢：0=无溢出/下溢，1=溢出/下溢
SM66.7	SM76.7	SM566.7	PTO 空闲：0=进行中，1=PTO 空闲

## PTO 脉冲的产生

PTO 脉冲是一种占空比为 50%、周期可调节的方波脉冲。PTO 脉冲的频率范围为 1~65535Hz（单段）或 1~100000Hz（多段），PTO 脉冲数范围为 1~2147483647。

在设置脉冲个数时，若将脉冲个数设为 0，系统会默认个数为 1；在设置脉冲周期时，如果周期小于两个时间单位，系统会默认周期值为两个时间单位，比如时间单位为 ms，周期设为 1.3ms，系统会默认周期为 2ms。另外，如果将周期值设为奇数值（如 75ms），产生的脉冲波形会失真。

PTO 脉冲可分为单段脉冲串和多段脉冲串，多段脉冲串由多个单段脉冲串组成。

### （1）单段脉冲串的产生

要让高速脉冲输出端子输出单段脉冲串，须先对相关的控制字节和参数进行设置，再执行高速脉冲输出 PLS 指令。

图 3-49-1 所示是一段用来产生单段脉冲串的程序。在 PLC 首次扫描时，SM0.1 触点闭合一个扫描周期，复位指令将 Q0.0 输出映像寄存器（即 Q0.0 线圈）置 0，以便将 Q0.0 端子用作高速脉冲输出；当 I0.1 触点闭合时，上升沿 P 触点接通一个扫描周期，MOV\_B、MOV\_W 和 MOV\_DW 依次执行，对高速脉冲发生器的控制字节和参数进行设置，然后执行高速脉冲输出 PLS 指令，让高速脉冲发生器按设置产生单段 PTO 脉冲串并从 Q0.0 端子输

出。在 PTO 脉冲串输出期间，如果 I0.2 触点闭合，MOV\_B、MOV\_DW 依次执行，将控制字节设为禁止脉冲输出，脉冲个数设为 0，然后执行 PLS 指令，高速脉冲发生器马上接新的设置工作，即停止从 Q0.0 端子输出脉冲。单段 PTO 脉冲串输出完成后，状态位 SM66.7 会置 1，表示 PTO 脉冲输出结束。

若网络 2 中不使用边沿 P 触点，那么在单段 PTO 脉冲串输出完成后如果 I0.1 触点仍处于闭合状态，则会在前一段脉冲串后面继续输出相同的下一段脉冲串。

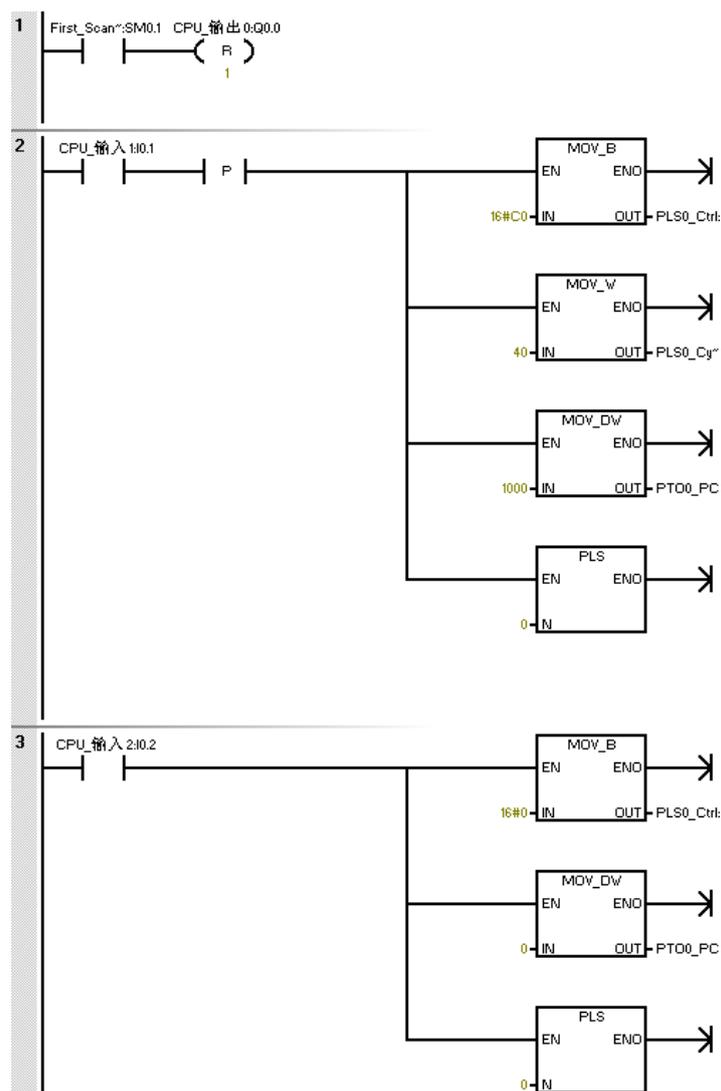


图 3-49-1 让 Q0.0 端子输出单段脉冲串的程序

## (2) 多段脉冲串的产生

多段脉冲串由多个单段脉冲串组成，每个单段脉冲串的参数可以不同，单段脉冲串中的每个脉冲参数也可以不同。

### 1) 参数设置包络表

由于多段脉冲串的各个脉冲串允许有较复杂的变化，无法用产生单段脉冲串的方法来设

置多段脉冲串，S7-200 SMART PLC 在变量存储区（V 区）建立一个包络表，由该表来设置多段脉冲串中的各个脉冲串的参数。

表 3-49-4 所示为多段脉冲串参数设置包络表。包络表的第 1 个字节单元 VBn 存放脉冲串的总段数，此后用 3 个连续地双字单元（每 4 个字节单元组成一个双字）分别存放一段脉冲串的起始频率、结束频率和脉冲数。在多段模式下，系统仍使用特殊存储器区的相应控制字节和状态位，每个脉冲串的参数则从包络表的变量存储器区读出。在多段编程时，必须将包络表的变量存储器起始地址（即包络表中的 n 值）装入 SMW168（使用 Q0.0 端子输出脉冲时）、SMW178（使用 Q0.1 端子输出脉冲时）或 SMW578（使用 Q0.3 端子输出脉冲时）。在运行时不能改变包络表中的内容，执行 PLS 指令来启动多段操作。

表 3-49-4 多段脉冲串参数设置包络表

包络表占用的连续 V 存储单元	存储内容及说明	
VBn	总段数（1~255）	段数值不能为 0
VD (n+1)	起始频率（1~100000Hz）	第 1 段 脉冲串的参数
VD (n+5)	结束频率（1~100000Hz）	
VD (n+9)	脉冲数（1~2147483647）	
VD (n+13)	起始频率（1~100000Hz）	第 2 段 脉冲串的参数
VD (n+17)	结束频率（1~100000Hz）	
VD (n+21)	脉冲数（1~2147483647）	
VD (n+25)	起始频率（1~100000Hz）	第 3 段 脉冲串的参数
VD (n+29)	结束频率（1~100000Hz）	
VD (n+33)	脉冲数（1~2147483647）	
依次类推		

## 2) 输出多段脉冲串的应用举例

多段脉冲串常用于步进电动机的控制。图 3-49-2 所示是一个步进电动机的控制包络线，包络线分 3 段：第 1 段（AB 段）为加速运行，电动机的起始频率为 2kHz，终止频率为 10kHz，要求运行脉冲数目为 200 个；第 2 段（BC 段）为恒速运行，电动机的起始和终止频率均为 10kHz，要求运行脉冲数目为 3400 个；第 3 段（CD 段）为减速运行，电动机的起始频率为 10kHz，终止频率为 2kHz，要求运行脉冲数目为 400 个。

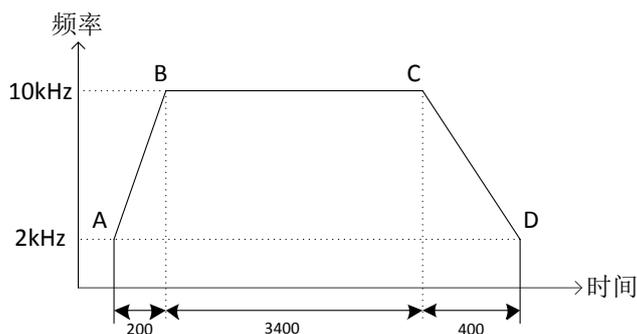


图 3-49-2 一个步进电动机的控制包络线

根据步进电动机的控制包络线可列出相应的包络表，如表 3-49-5 所示。

表 3-49-5 步进电动机控制包络线对应的包络表

包络表占用的连续 V 存储单元	值	说明	
VB500	3	总段数	
VD501	2000	起始频率 (Hz)	第 1 段 脉冲串的参数
VD505	10000	结束频率 (Hz)	
VD509	200	脉冲数	
VD513	10000	起始频率 (Hz)	第 2 段 脉冲串的参数
VD517	10000	结束频率 (Hz)	
VD521	3400	脉冲数	
VD525	10000	起始频率 (Hz)	第 3 段 脉冲串的参数
VD529	2000	结束频率 (Hz)	
VD533	400	脉冲数	

根据包络表可编写出步进电动机的控制程序，该程序由主程序、SBR\_0 子程序和 INT\_0 中断程序组成，分别如图 3-49-3、3-49-4、3-49-5 所示。

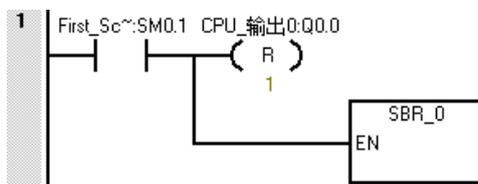


图 3-49-3 步进电动机控制程序的主程序

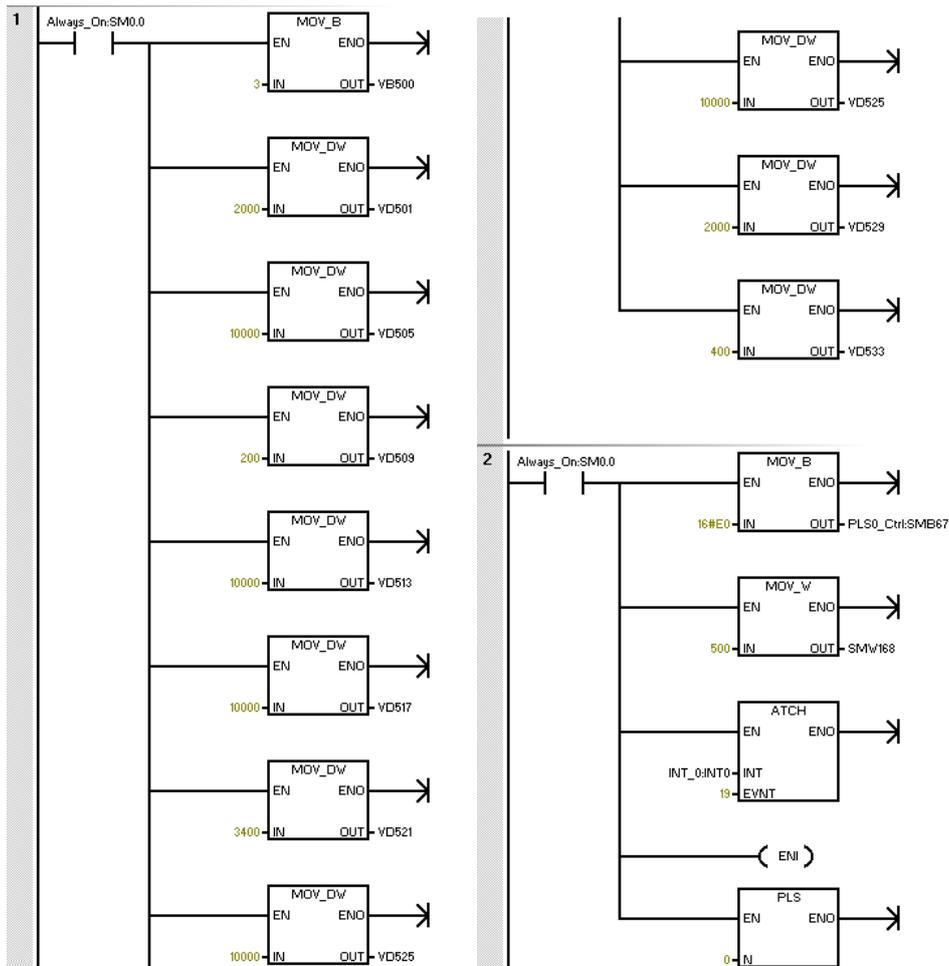


图 3-49-4 步进电动机控制程序的子程序

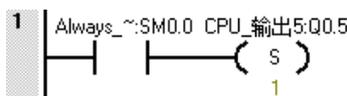


图 3-49-5 步进电动机控制程序的中断程序

## PWM 脉冲的产生和使用

PWM 脉冲是一种占空比和周期都可调节的脉冲。PWM 脉冲的周期范围为 10~65535  $\mu$ s 或 2~65535ms，在设置脉冲周期时，如果周期小于两个时间单位，系统会默认周期值为两个时间单位；PWM 脉宽时间为 0~65535 $\mu$ s 或 0~65535ms，若设定的脉宽等于周期（即占空比为 100%），输出一直接通，设定脉宽等于 0（即占空比为 0%），输出断开。

### （1）波形改变方式

PWM 脉冲的波形改变方式有两种：同步更新和异步更新。

①同步更新。如果不需改变时间基准，则可以使用同步更新方式。利用同步更新，信号波形特性的变化发生在周期边沿，使波形能平滑转换。

②异步更新。如果需要改变 PWM 发生器的时间基准，就要使用异步更新。异步更新会



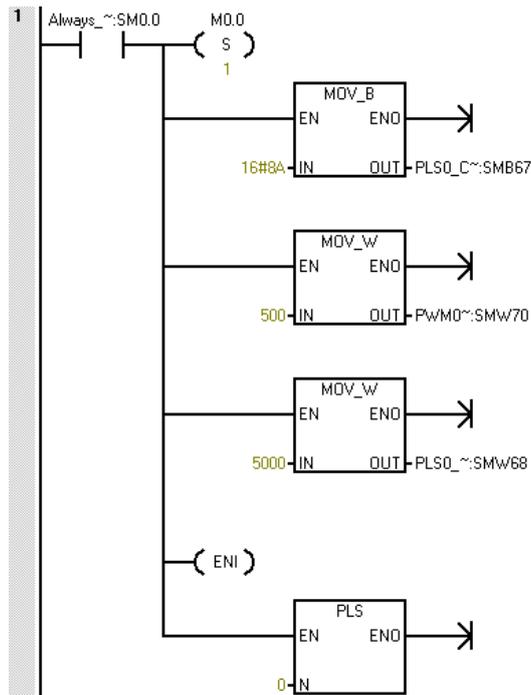


图 3-49-7 产生 PWM 脉冲的子程序

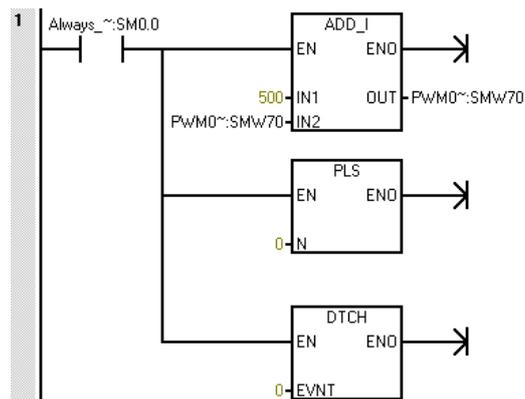


图 3-49-8 产生 PWM 脉冲（实现脉宽递增）

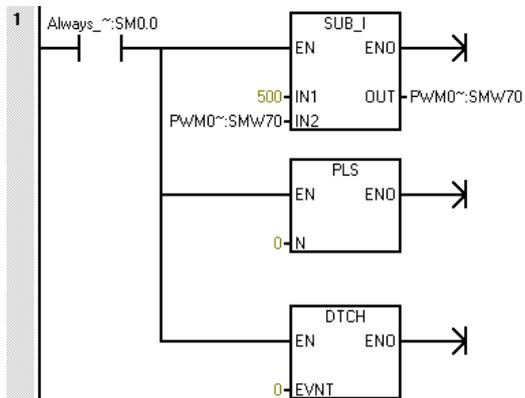
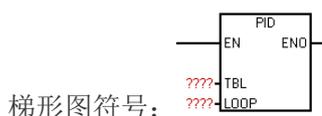


图 3-49-9 产生 PWM 脉冲（实现脉宽递减）

## 任务 50 PLC 的 PID 指令

<p><b>任务描述</b></p>	<p>PID 英文全称为 Proportion Integration Differentiation, PID 控制又称为比例积分微分控制, 是一种闭环控制。</p> <p>采用了 PID 运算可以有效减少控制环路滞后和过调问题(无法彻底消除)。PID 运算包括 P 运算、I 运算和 D 运算。P(比例)运算是将偏差信号<math>\Delta X</math>按比例放大, 提高控制的灵敏度; I(积分)运算是将偏差信号进行积分运算, 消除 P 运算比例引起的误差和提高控制精度, 但积分运算使控制具有滞后性; D(微分)运算是将偏差信号进行微分运算, 使控制具有超前性和预测性。</p> <p>本任务学习 PID 指令的符号及使用, PID 控制回路参数表, PID 运算项的选择, PID 输入量的转换与标准化, 以及 PID 输出量的转换。</p>
<p><b>任务目标</b></p>	<p>(1) 掌握 PID 指令的符号及用法;</p> <p>(2) 理解 PID 控制回路参数表;</p> <p>(3) 理解 PID 运算项的选择;</p> <p>(4) 理解 PID 输入量的转换与标准化;</p> <p>(5) 理解 PID 输出量的转换。</p>

### PID 指令



说明: 从 TBL 指定首地址的参数表中取出有关值对 LOOP 回路进行 PID 运算。

TBL: PID 参数表的起始地址, VB(字节型);

LOOP: PID 回路号, 常数 0~7(字节型)。

### PID 控制回路参数表

PID 运算由 P(比例)、I(积分)和 D(微分)三项组成, 要进行 PID 运算, 须先在 PID 控制回路参数表中设置变量值。PID 控制回路参数表见表 3-50-1。在表中, 过程变量 ( $PV_n$ ) 相当于反馈信号, 设定值 ( $SP_n$ ) 相当于给定信号, 输出值 ( $M_n$ ) 为 PID 运算结果值, 相当于控制信号。如果将过程变量 ( $PV_n$ ) 值存放在 VD200 双字单元, 那么设定值

( $SP_n$ )、输出值 ( $M_n$ ) 则要分别存放在 VD204、VD208 单元中。

表 3-50-1 PID 控制回路参数表

地址偏移量	变量名	格式	类型	说明
0	过程变量 ( $PV_n$ )	实型	输入	过程变量, 必须在 0.0~1.0 之间
4	设定值 ( $SP_n$ )	实型	输入	设定值必须标定在 0.0~1.0 之间
8	输出值 ( $M_n$ )	实型	输入/输出	输出值必须在 0.0~1.0 之间
12	增益 ( $K_C$ )	实型	输入	增益时比例常数, 可正可负
16	采样时间 ( $T_S$ )	实型	输入	采样时间单位为秒, 必须是正数
20	积分时间 ( $T_I$ )	实型	输入	积分时间单位为分钟, 必须是正数
24	微分时间 ( $T_D$ )	实型	输入	微分时间单位为分钟, 必须是正数
28	上一次的积分值 ( $M_x$ )	实型	输入/输出	积分项前项, 必须在 0.0~1.0 之间
32	上一次过程变量值 ( $PV_{n-1}$ )	实型	输入/输出	最近一次运算的过程变量值

### PID 运算项的选择

PID 运算由 P (比例)、I (积分) 和 D (微分) 三项运算组成, 可以根据需要选择其中的一项、两项或三项运算。

① 如果不需要积分运算, 应在参数表中将积分时间 ( $T_I$ ) 设为无限大。

② 如果不需要微分运算, 应将微分时间 ( $T_D$ ) 设为 0.0。

③ 如果不需要比例运算, 但需要积分或微分回路, 可以把增益 ( $K_C$ ) 设为 0.0, 系统会在计算积分项或微分项时, 把增益 ( $K_C$ ) 当做 1.0 看待。

### PID 输入量的转换与标准化

PID 控制电路有两个输入量: 设定值和过程变量。设定值通常是认为设定的参照值, 如设置的水压值; 过程变量值来自受控对象, 如压力传感器检测到的水压值。由于现实中的设定值和过程变量值的大小、范围和工程单位可能不一样, 在执行 PID 指令进行 PID 运算前,

必须先把输入量转换成标准的浮点型数值。

PID 输入量的转换与标准化过程如下：

①将输入量从 16 位整数值转换成 32 位实数（浮点数）。该转换程序如图 3-50-1 所示。

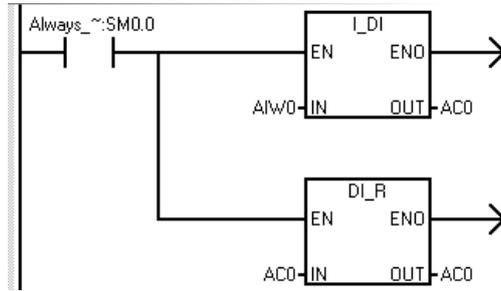


图 3-50-1 16 位整数值转换成 32 位实数

②将实数转换成 0.0~1.0 之间的标准化数值。转换表达式为

$$\text{输入量的标准化值} = \text{输入量的实数值} / \text{跨度} + \text{偏移量}$$

跨度值通常取 32000（针对 0~32000 单极性数值）或 64000（针对 -32000~+32000 双极性数值）；偏移量取 0.0（单极性数值）或 0.5（双极性数值）。该转换程序如图 3-50-2 所示。

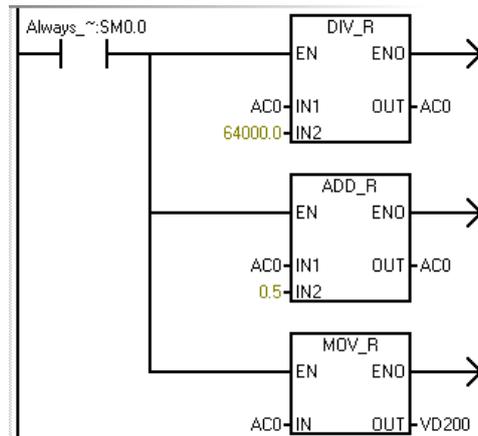


图 3-50-2 实数转换成 0.0~1.0 之间的标准化数值

## PID 输出量的转换

在 PID 运算前，需要将实际输入量转换成 0.0~1.0 之间的标准值，然后进行 PID 运算，PID 运算后得到的输出量也是 0.0~1.0 之间的标准值，这样的数值无法直接驱动 PID 的控制对象，因此需要将 PID 运算输出的 0.0~1.0 标准值按比例转换成 16 位整数，再送到模拟量输出单元，通过模拟量输出端子输出。

PID 输出量的转换表达式为

$$\text{PID 输出量整数值} = (\text{PID 运算输出量标准值} - \text{偏移量}) * \text{跨度}$$

PID 输出量的转换程序如图 3-50-3 所示。

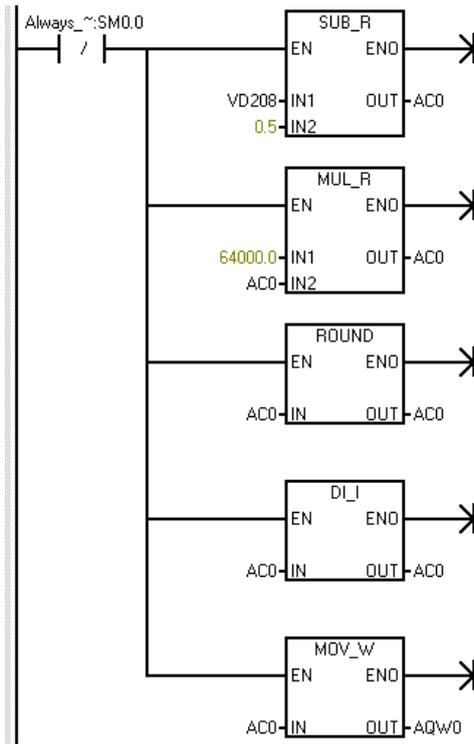


图 3-50-3 PID 输出量的转换程序