

在工业控制中存在着大量的顺序控制,如机床的自动加工、自动生产线的自动运行及机械手的动作等,都是按照固定的顺序进行动作的。采用梯形图及指令表方式编程是可编程控制器最基本的编程方式,它采用的是常规控制电路的设计思路,所以很容易被广大电气工作者接受。用梯形图可以实现各种各样的控制要求。但是对于这种顺序动作的控制用梯形图方式编程往往要考虑各动作之间的互锁、状态的记忆等一系列问题,需要一定的编程技巧,而且很容易遗漏其中的细节。如果控制过程复杂,梯形图往往很长,前后之间的相互关联会给读图带来困难。

如果用步进顺控指令编程就简单了,并且易读易懂,本章介绍一种用于顺序控制的编程方法——状态转移图。

5.1 步进梯形图指令与状态转移图

5.1.1 步进梯形图指令

三菱公司的小型 PLC 在基本逻辑指令之外增加了两条步进梯形图指令 STL(Step Ladder Instruction)和 RET,这是一种符合 IEC1131-3 标准中定义的 SFC 图(Sequential Function Chart,顺序功能图)的通用流程图语言。顺序功能图也称状态转移图,SFC 图特别适合于步进顺序的控制,而且编程十分直观、方便,便于读图,初学者也很容易掌握和理解。

步进梯形图指令如表 5-1 所示。STL 指令的梯形图符号在不同的编程软件中有所不同。

表 5-1 步进梯形图指令

名 称	指 令	梯形图符号	可用软元件	程 序 步
步进指令	STL		S	1
步进结束指令	RET			1

步进梯形图指令 STL 使用的软元件为状态继电器 S,FX_{3U} 型 PLC 元件编号范围为 S0~S899(900 点),S1000~S4095(3096 点),共计 3996 点。S900~S999 为信号报警器。

S0~S499(500 点)为通用型状态继电器,其中 S0~S9(10 点)用于初始状态,S10~S19(共 10 点)用于回零状态。通用型状态继电器在失电时将复位为 0。

S500~S899(400 点)为失电保持型状态继电器,失电保持型状态继电器可在失电时保持原来的状态不变。

S1000~S4095 为失电保持专用型状态继电器,不能通过参数设定来改变其失电保持的范围。

S0~S899 可以通过参数设定来改变其失电保持的范围,如设定起始编号为 200,结束编号为 800,则 S200~S800 变为失电保持型状态继电器。

5.1.2 状态转移图和步进梯形图

状态转移图(SFC 图)主要由状态步、转移条件和驱动负载 3 部分组成,如图 5-1(a)所示。

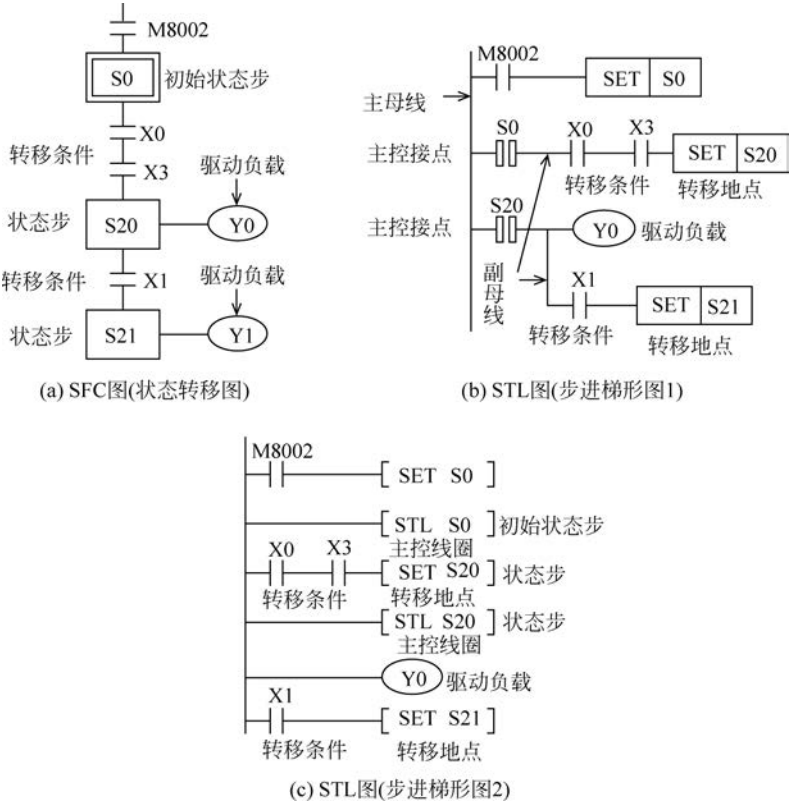


图 5-1 步进顺控指令图的 3 种表达方式

初始状态步一般使用初始状态继电器 S0~S9。SFC 图将一个控制程序分成若干状态步,每个状态步用一个状态继电器 S 表示,由每个状态步驱动对应的负载,完成对应的动作。注意,状态步必须满足对应的转移条件才能处于动作状态(状态继电器得电)。

初始状态步可以由梯形图的接点作为转移条件,也常用 M8002(初始化脉冲)的接点作为转移条件。当一个状态步处于动作状态时,如果与下面相连的转移条件接通后,该状态步将自动复位,则它下面的状态步置位将会处于动作状态,并驱动对应的负载。

如图 5-1(a)所示,当 PLC 初次运行时,M8002 产生一个脉冲,使初始状态继电器 S0 得电,即初始状态步 S0 动作,S0 没有驱动负载,处于等待状态,当转移条件 X0 和 X3 都闭合

时,S0 失电复位,S20 得电置位,S20 所驱动的负载 Y0 也随之得电。

SFC 图既便于阅读,也便于设计,SFC 图也可以用 STL 图表示,如图 5-1(b)所示。状态步的线圈要用 SET 指令,其主控接点用 STL 指令,主控接点右边为副母线。在 SFC 图结束后要用 RET 指令,图 5-1(c)是 SFC 图的另一种表达方式。

以图 5-2(a)所示的运料车为例,使用 SFC 图编程。运料车为单循环控制方式,送料车单循环控制过程可分为 4 个状态步:前进到 A 点→后退到 O 点→前进到 B 点→后退到 O 点。PLC 输入/输出接线图如图 5-2(b)所示。

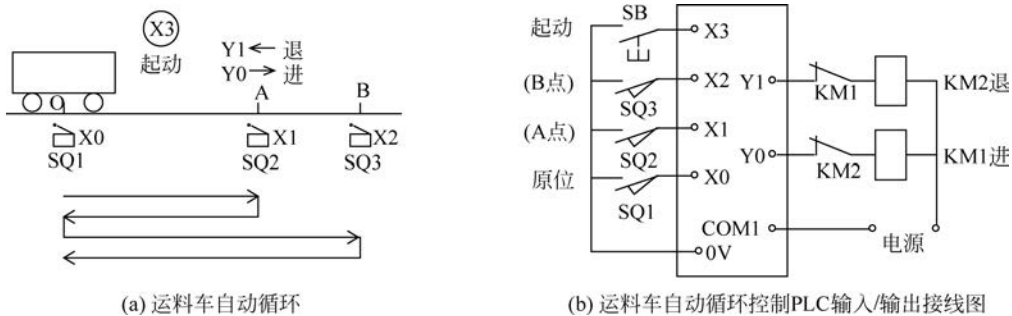


图 5-2 运料车自动循环控制程序

按照图 5-2(a)所示的运料车运行方式画出 SFC 图,对应的 STL 图如图 5-3(b)所示,图 5-3(c)为指令表。如图 5-3(a)所示,每个状态步用一个状态继电器 S 表示。

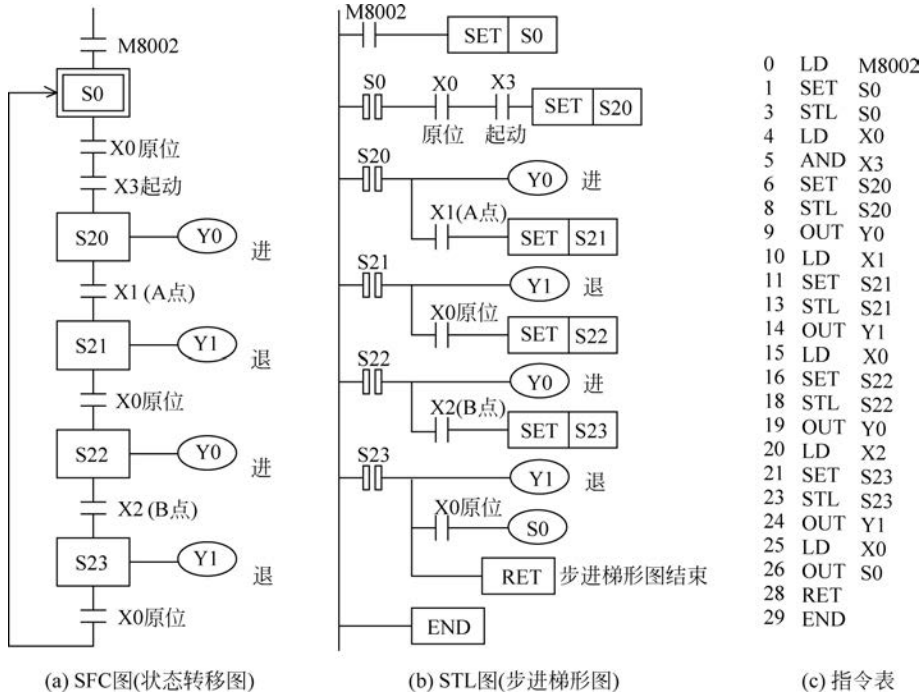


图 5-3 运料车自动循环控制程序

工作原理如下：
当 PLC 运行时,初始化脉冲 M8002 使初始状态步 S0 置位,等待命令。

运料车在原位时, $X0=1$, 当按下起动按钮时, $X3=1$, 满足转移条件, $S0$ 复位, $S20$ 置位, $S20$ 驱动输出继电器 $Y0$, 运料车向前运行。

到 A 点时碰到限位开关 $SQ2$, $X1=1$, $S20$ 复位, $Y0$ 也相应失电。 $S21$ 置位, $S21$ 驱动输出继电器 $Y1$, 运料车向后运行。

回到 O 点时碰到限位开关 $SQ1$, $X0=1$, $S21$ 复位, $S22$ 置位, 运料车再次向前。

到 B 点时碰到限位开关 $SQ3$, $X2=1$, $S22$ 复位, $S23$ 置位, 运料车向后运行到 O 点时碰到限位开关 $SQ1$, $X0=1$, $S23$ 复位, $S0$ 置位, 运料车停止, 完成一个循环过程。

可见 SFC 图简洁明了, 不需要考虑输出量之间的互锁, 也不需要考虑状态的记忆, 编程方法比较简单。

STL 图在不同编程软件中所表达的方式是不一样的, 如图 5-4 所示。图 5-4(a) 为 FXGP/WIN-C 编程软件绘制的梯形图, 图 5-4(b) 为 GX Developer 编程软件绘制的梯形图。

在 FXGP/WIN-C 编程软件中, STL 指令是以主控接点的形式表现。在 GX Developer 编程软件中, STL 指令是以主控线圈的形式表现。

图 5-4(b) 所示的梯形图是由较新版本 GX Developer 编程软件绘制的, 但是这种梯形图不够直观, 因此本书主要采用 FXGP/WIN-C 编程软件绘制的梯形图。

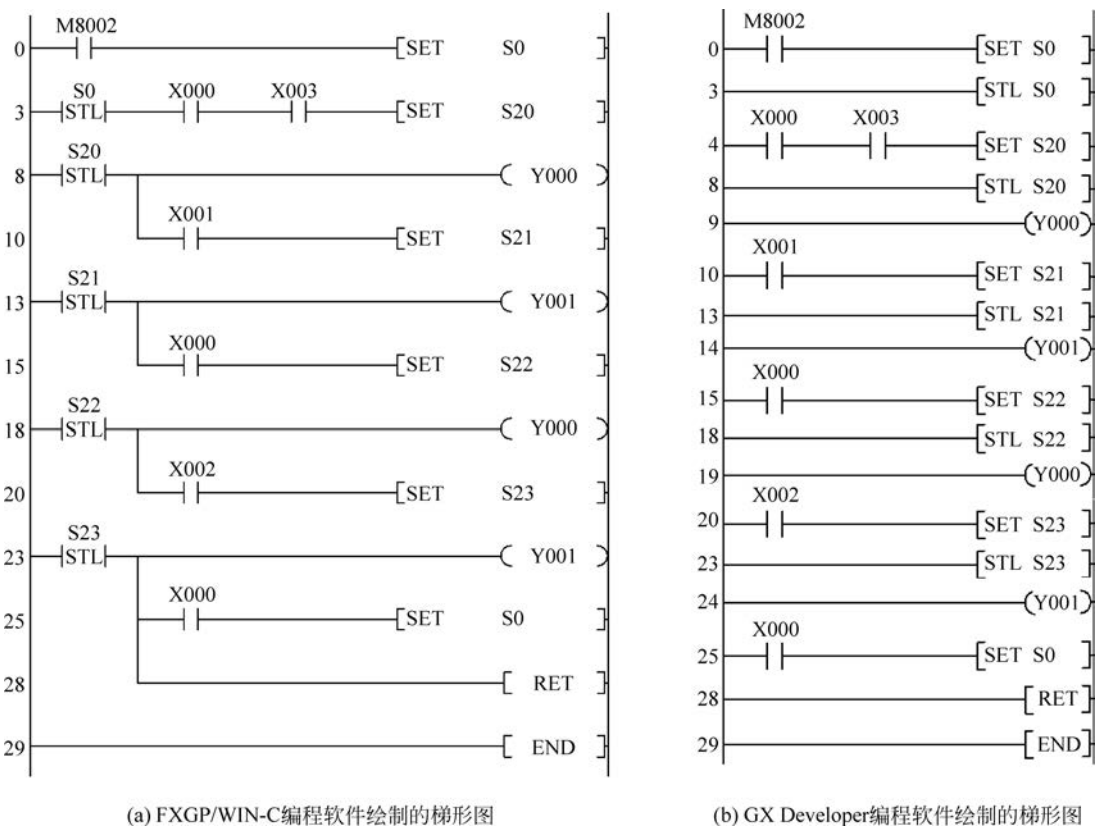


图 5-4 运料车在不同编程软件中的梯形图

SFC 图适用于具有比较固定顺序的控制, 但是某些步进顺序控制过程中要加入一些随机控制信号。例如运料车在运行过程中要求立即退回原位、停止等随机控制信号。用 SFC

图处理随机控制信号是不方便的。对于这类随机控制信号,还需要用梯形图来补充。

例如在图 5-2 所示运料车单循环控制的基础上再增加连续循环、暂停和退回原位控制,其控制梯形图如图 5-5 所示,PLC 控制接线图如图 5-5(a)所示,主接线图如图 5-5(b)所示。运料车的连续循环控制由开关 SA(X6)来控制。

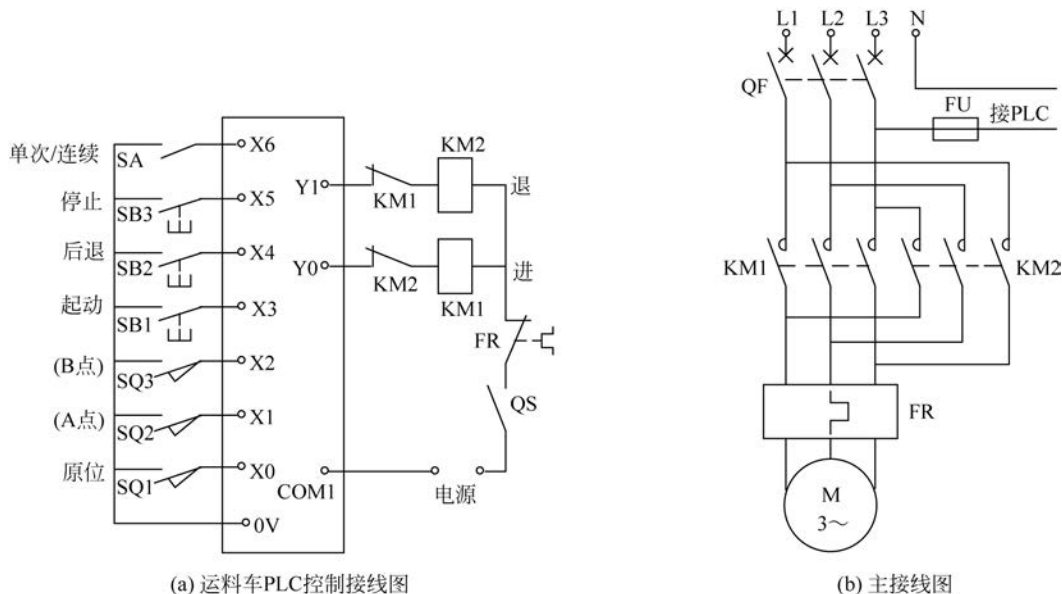


图 5-5 增加控制信号的运料车 PLC 接线图与主接线图

增加控制信号的运料车 PLC 梯形图如图 5-6 所示,当 $X6=0$ 时,运料车运行一个循环过程到原位后 $X0=1$,由 $S23$ 状态步回到 $S0$ 状态步,运料车停止运行。当 $X6=1$ 时,运料车运行一个循环后,由 $S23$ 状态步回到 $S20$ 状态步,运料车连续循环运行。

按下后退按钮 $SB2$ 时, $X4$ 接点闭合,将 $S20 \sim S23$ 复位,回到 $S0$ 状态步, $Y1$ 得电,运料车后退到原位停止。

按下暂停按钮 $SB3$ 时, $X5$ 闭合,特殊辅助继电器 $M8034$ 得电自锁,PLC 的全部输出继电器 Y 不输出,运料车停止。再按下起动按钮 $X3$, $M8034$ 失电,输出继电器恢复输出,运料车继续按停止前的运行方式工作。

5.1.3 SFC 图和 STL 图编程注意事项

在用 SFC 图和 STL 图编程时,应注意有关事项,下面用图 5-7 和图 5-8 说明。

图 5-7 的编程说明如下。

(1) 没有接点的线圈支路应放在上面先编程,如 $S20$ 状态步中的 $Y0$ 线圈。而有接点的线圈支路应放在下面后编程。如果没有接点的线圈(如图 5-7 中的 $Y2$)一定要放在后面,则线圈前面要加一个 $M8000$ 接点。

(2) 同一个线圈可以用于不同的状态步中,如 $S20$ 和 $S21$ 状态步中的 $Y0$ 线圈(但是在同一个状态步中,同一个线圈多次使用时要特别注意)。

(3) 同一个定时器可以在不相邻的状态步中使用,例如在 $S20$ 状态步中使用定时器 $T1$ 后,相邻 $S21$ 状态步中就不能使用,而在 $S22$ 状态步中却可以接着使用。

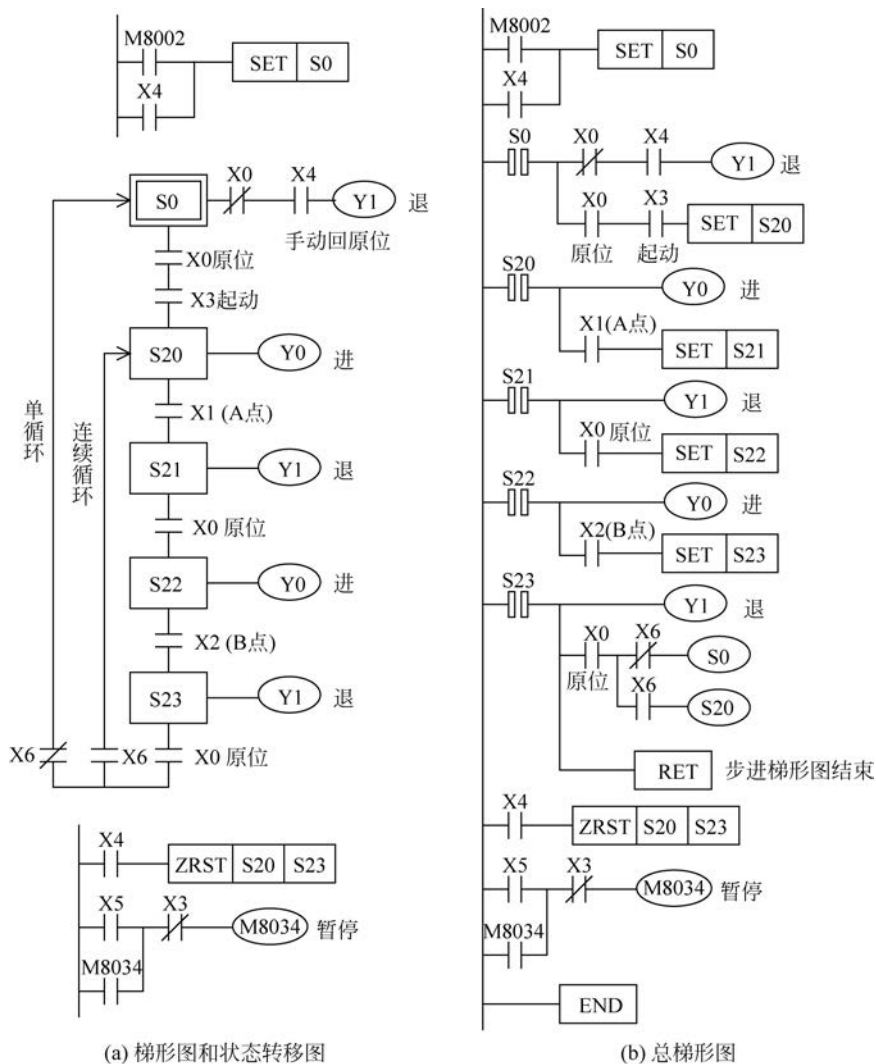


图 5-6 增加控制信号的运料车 PLC 梯形图

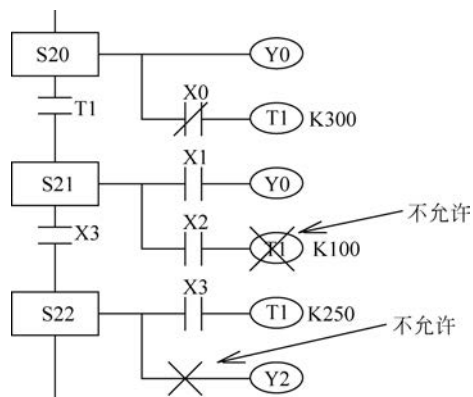


图 5-7 编程说明 1

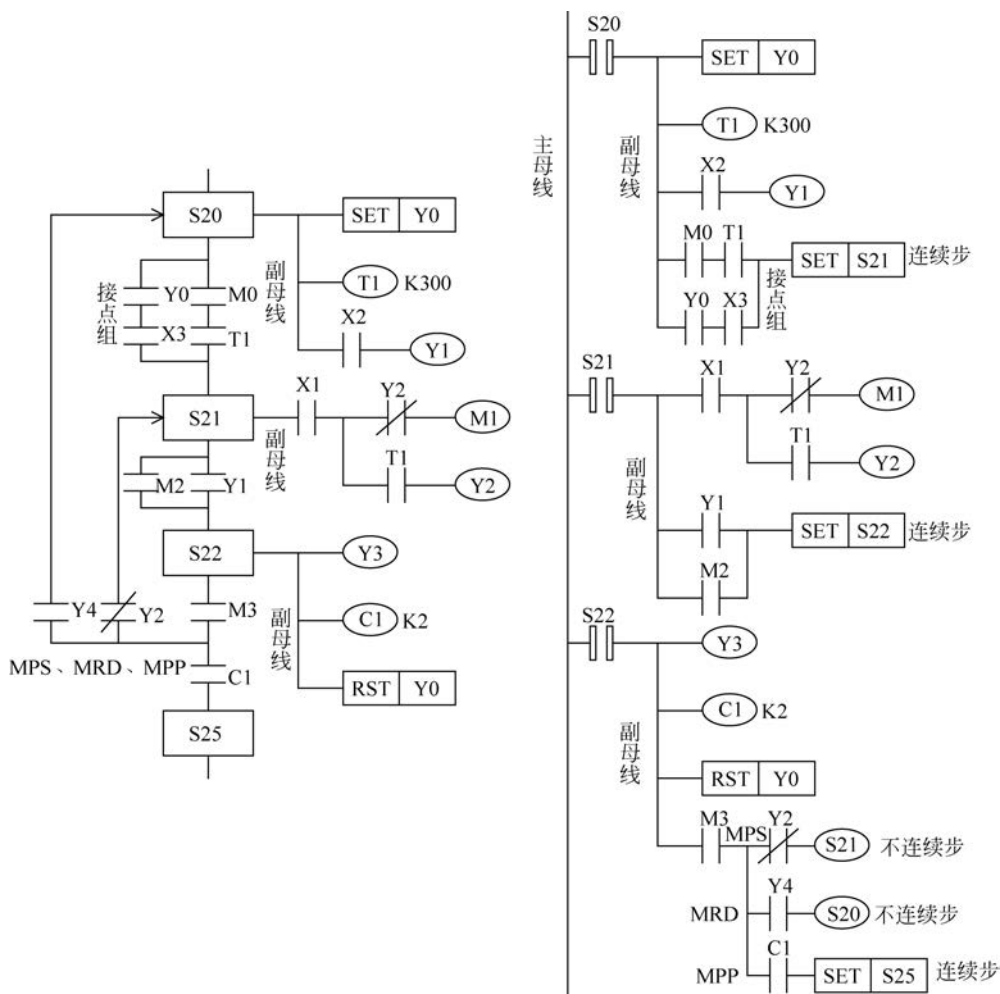


图 5-8 编程说明 2

图 5-8 的编程说明如下。

(1) 在一个状态步中,当驱动负载用 SET 指令时,如 S20 状态步中的 SET Y0,当 Y0 置位后使 S20 复位,S21 状态步置位,Y0 仍置位,到 S22 状态步时由 RST Y0 指令复位 Y0。

(2) 转移条件可以是单接点也可以是接点组,如 S20 到 S22 状态步的接点组。从一个状态步转移到多个状态步时可以用回路分支导线指令 MPS、MRD、MPP (注意:这与原编程手册是不一致的,原编程手册中说明转移条件不能用 ANB、ORB、MPS、MRD、MPP),但最好不要用 MPS、MRD 和 MPP 指令。

(3) STL 主控接点为常开接点,STL 主控接点后的线为副母线,线圈可以直接连接在副母线上,接在副母线上的接点用起始接点指令(LD、LDI、LDP、LDF)。

(4) 从一个状态步转移到相邻状态步(连续步)时用 SET 指令,而从一个状态步跳转到不相邻状态步(不连续步)时既可用 OUT 指令,也可用 SET 指令。

(5) 在 STL 指令中建议不要用 CJ 功能指令。

(6) 在 SFC 图中不要用 MC/MCR 指令。

5.1.4 状态转移条件的有关处理方法

1. 相邻两个状态步的转移条件同时接通时的处理

当相邻两个状态步的转移条件同时接通时,第一个状态步的转移条件接通,将从第一个状态步转移到第二个状态步,由于第二个状态步的转移条件也接通,同时又立即从第二个状态步转移到第三个状态步,这样第二个状态步就被跳过。为了解决这个问题,可以将第二个状态步的转移条件改为 X 或 Y 的边沿接点或用 M2800~M3071 的边沿接点。

例 5.1 用 PLC 控制一个圆盘。

用 PLC 控制一个圆盘,圆盘的旋转由电动机控制。要求按下起动按钮后每转 1 圈停止 3s,转 5 圈后停止。该例题如果用 SFC 图编程比较简单,如图 5-9 所示。

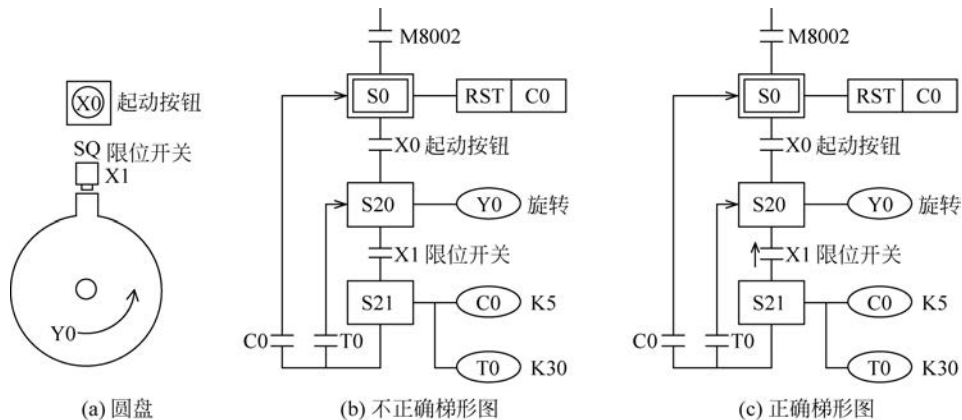


图 5-9 相邻两个状态步的转移条件同时接通时的处理

先看图 5-9(b)所示梯形图,初始状态时 S0 置位,当按下起动按钮 X0 时,S20 置位,由于限位开关 X1 已经处于受压状态,X1 常开接点也闭合,所以又跳到 S21 状态步,S20 复位,Y0 不能得电,圆盘也就不能转动。

解决的方法是将 X1 的常开接点改为上升沿接点,如图 5-9(c)所示。这样 X1 上升沿接点常开接点只是在初始状态时闭合一个扫描周期,正常时是断开的,这样当按下起动按钮 X0 时,S20 置位就不会跳到 S21 状态步了。S20 置位,Y0 得电,圆盘转动,转一圈后碰到限位开关 X1,X1 上升沿接点闭合一个扫描周期跳转到 S21 状态步,计数器 C0 计数一次,定时器 T0 延时 3s,又转移回到 S20。圆盘转动 5 次后,计数器 C0 计数 5 次,转移回到 S0,将计数器复位,圆盘停止工作。

2. 同一信号的状态转移

用 M、S、T、C 的接点做状态步的转移条件时,如果相邻状态步的转移条件相同,则应将其改成 M2800~M3071 的边沿接点,如图 5-10 所示。

例 5.2 用 PLC 控制 4 盏灯。

用 PLC 控制 4 盏灯,要求按下起动按钮时,每次亮一盏灯,每盏灯亮 2s,4 盏灯轮流亮,并周而复始。按下停止按钮时,灯全部熄灭。

PLC 状态转移图如图 5-10 所示。PLC 运行时,初始化脉冲 M8002 使初始状态步 S0 置位。用一个定时器 T0,T0 每 2s 发出一个脉冲作为每个状态步的转移条件。由于每个状态

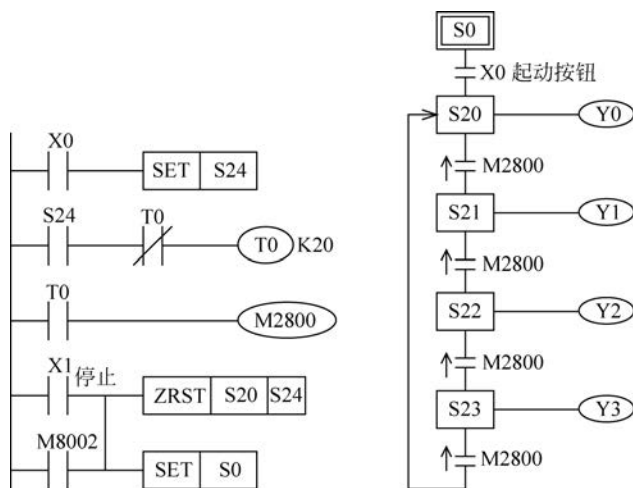


图 5-10 相邻状态步的转移条件相同时的处理

步的转移条件都是 T0,但是不能直接用 T0 的接点作为转换接点,而要用 M2800~M3071 的边沿接点。

起动时,按下起动按钮 X0,S20 置位,Y0 得电,同时 S24 置位(此处 S24 作为辅助继电器使用,而不是作为状态器使用),S24 常开接点闭合,接通定时器 T0,T0 接点每隔 2s 发出一个脉冲。接通 M2800,M2800 上升沿接点每 2s 发出一个脉冲。S20、S21、S22、S23 依次置位,每次亮一盏灯,4 盏灯轮流得电。

按下停止按钮 X1,S20~S24 复位,T0 线圈失电,S0 置位,灯全部熄灭。

5.2 SFC 图的跳转与分支

5.2.1 SFC 图的跳转

SFC 图的跳转有以下形式。

(1) 向下跳:跳过相邻的状态步(也称跳转),到下面的状态步,如图 5-11(a)所示,当转移条件 X1=1 时,从 S0 状态步跳到 S22 状态步。

(2) 向上跳:跳回到上面的状态步(也称重复),如图 5-11(a)所示,当转移条件 X6=1,X3=0 时,从 S22 状态步跳回到 S20 状态步;当转移条件 X6=1,X3=1 时,从 S22 状态步跳回到 S0 状态步。

(3) 跳向另一条分支:如图 5-11(d)所示,当转移条件 X4=1 时,从 S30 状态步跳到另一条分支的 S21 状态步。

(4) 复位:如图 5-11(d)所示,当转移条件 X3=1 时,使本状态步 S32 复位。

在编程软件中,SFC 图的跳转用箭头表示,状态复位用空心箭头。图 5-11(b)和图 5-11(e)为编程软件表示的 SFC 图。图 5-11(c)和图 5-11(f)为指令表。

例 5.3 用 PLC 控制小车。

一辆小车在 A、B 两点之间运行,如图 5-12 所示。在 A、B 两点分别设有后限位开关 SQ2 和前限位开关 SQ1,小车在 A、B 两点之间时可以控制小车前进或后退。小车运行后,

在 A、B 两点之间自动往返运行,在 B 点要求停留 10s。

小车运行的 PLC 输入/输出接线图如图 5-13(a)所示。小车运行的状态转移图如图 5-13(b)所示,当按下前进按钮 X0 时,S20 置位动作,Y0 得电,小车前进。碰到前限位开关 X5 时,S20 复位,S21 置位,小车停止 10s,S22 置位。

Y1 得电,小车后退,碰到后限位开关 X6 时,上跳回到 S20 状态步,进入自动循环过程。如果将开关 X3 闭合,小车后退,碰到后限位开关 X6 时停止。

如果开始时按后退按钮 X1,则从 S0 状态步下跳到状态步 S22。之后进入自动循环过程(X3=0 时)或小车后退到后限位停止(X3=1 时)。

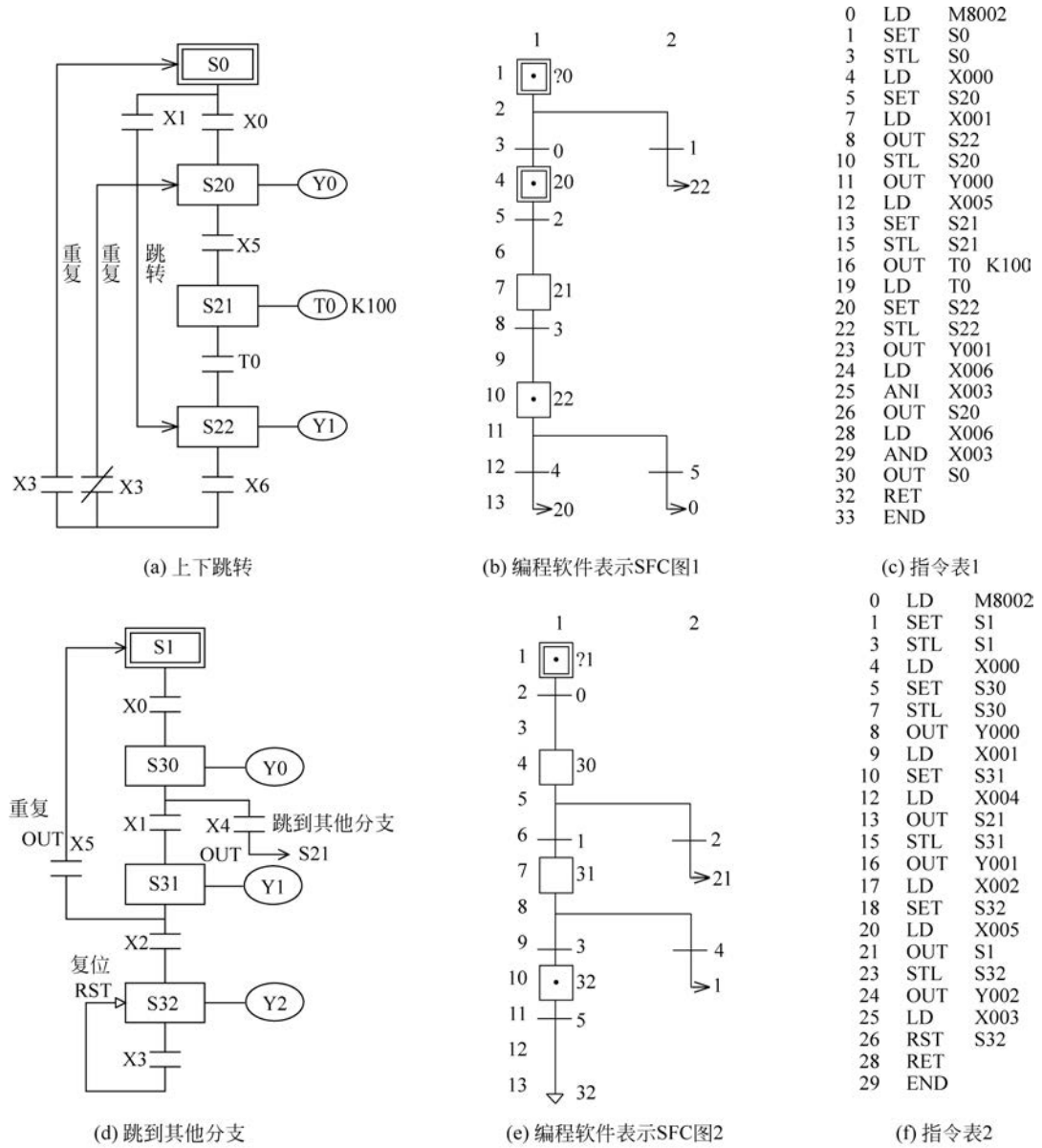


图 5-11 跳转的形式

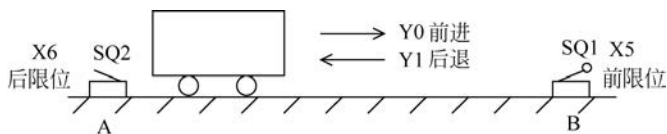


图 5-12 小车运行图

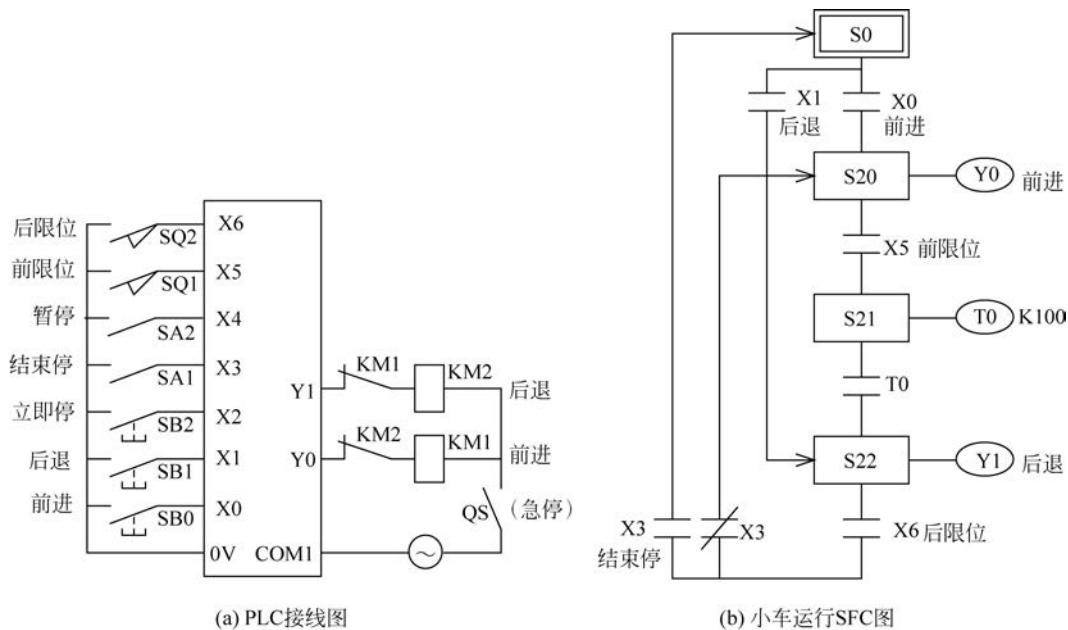


图 5-13 小车运行 PLC 接线图和 SFC 图

如图 5-14 所示为图 5-13(b)SFC 图的步进梯形图。

小车运行 STL 图对应的指令表如表 5-2 所示。

表 5-2 小车运行 STL 图对应的指令表

序号	指 令	序号	指 令	序号	指 令
0	LD M8002	17	OUT S22	32	OUT Y001
1	OR X002	19	STL S20	33	LD X006
2	SET S0	20	OUT Y000	34	ANI X003
4	ZRST S20 S22	21	LD X005	35	OUT S20
9	LD X004	22	SET S21	37	LD X006
10	OUT M8034	24	STL S21	38	AND X003
12	STL S0	25	OUT T0 K100	39	OUT S0
13	LD X000	28	LD T0	41	RET
14	SET S20	29	SET S22	42	END
16	LD X001	31	STL S22		

在此例中设置了以下 4 种停止方式。

(1) 结束停：在小车运行过程中，将开关 X3 闭合，小车后退到后限位时停止。如果开始时将开关 X3 闭合，再按下前进按钮 X0，小车则运行一次单循环过程。

(2) 立即停：在小车运行过程中，按下按钮 X2，在图 5-14 所示的梯形图中，X2 接点闭合，将 S20~S22 全部复位，S0 置位，小车立即停止。

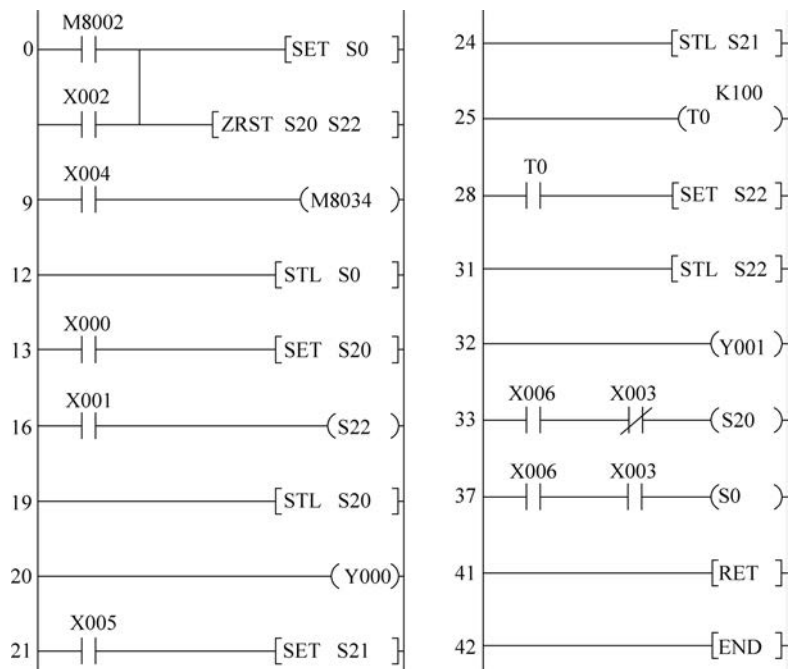


图 5-14 小车运行 STL 图

(3) 暂停：在小车运行过程中，将开关 X4 闭合，特殊辅助继电器 M8034 得电，全部输出继电器失电，小车停止。将开关 X4 断开，特殊辅助继电器 M8034 失电，输出继电器恢复到原来状态，小车继续运行。

(4) 急停：用急停按钮或开关将 PLC 的输出电路的电源切断，直接断开接触器，这种方式比较可靠，将急停按钮或开关再次闭合可继续运行。如果用急停按钮或开关将 PLC 的电源切断，则 PLC 停止运行。再次通电时，需要按下起动按钮才能运行。

5.2.2 SFC 图的分支

状态转移图(SFC)可分为单分支、选择分支、并行分支和混合分支 4 种。

单分支是最常用的一种形式，前面所介绍的实例采用的均为单分支状态转移图。

选择分支状态转移图如图 5-15(a)所示，在选择分支状态转移图中有多个分支，只能选择其中的一条分支。对应的步进梯形图和指令表如图 5-15(b)和图 5-15(c)所示。

并行分支状态转移图如图 5-16(a)所示，对应的步进梯形图和指令表如图 5-16(b)和图 5-16(c)所示。在并行分支状态转移图中也有多个分支，当满足转移条件 X2 时，所有并行分支 S23、S26 同时置位，在并行合并处所有并行分支 S24、S27 同时置位，当转移条件 X5=1 时，转移到 S28 状态步。

混合分支状态转移图如图 5-17 所示，它由选择分支和并行分支状态转移图混合连接而成，动作过程比较复杂，应注意在并行汇合处的状态步有等待的过程。例如在图 5-17(a)中，若 X2=1，S23 置位，随后 S24 置位，最后 S28 置位，S28 在并行汇合处等待 S29 置位，在 S29 置位后，X7=1 时向下转移。图 5-17(b)也是一样。

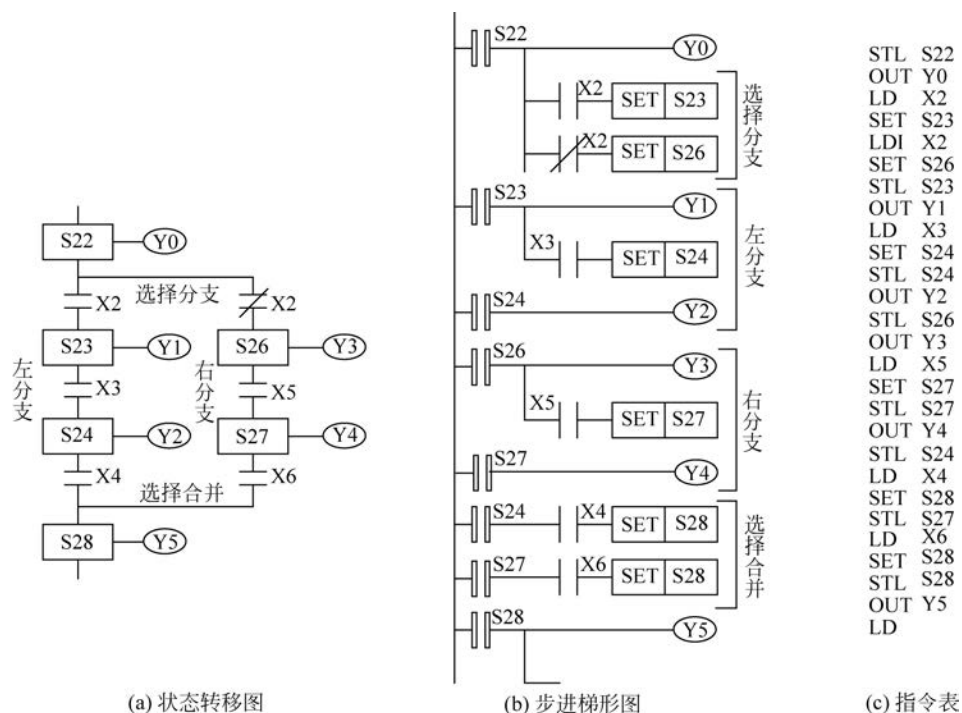


图 5-15 选择分支

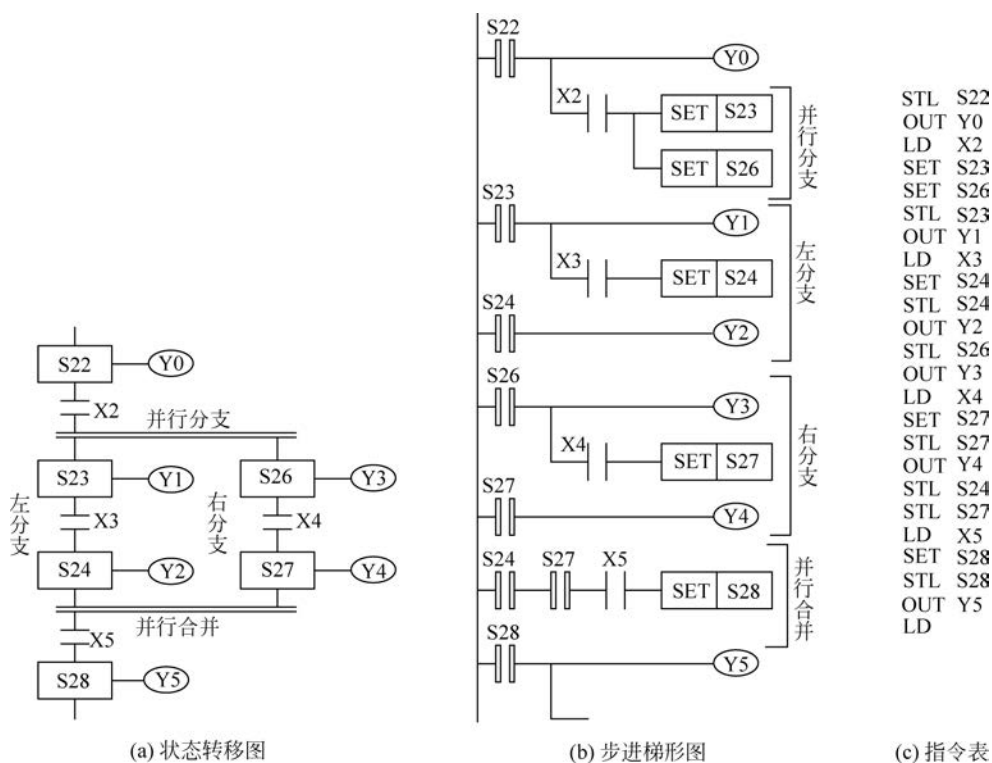


图 5-16 并行分支

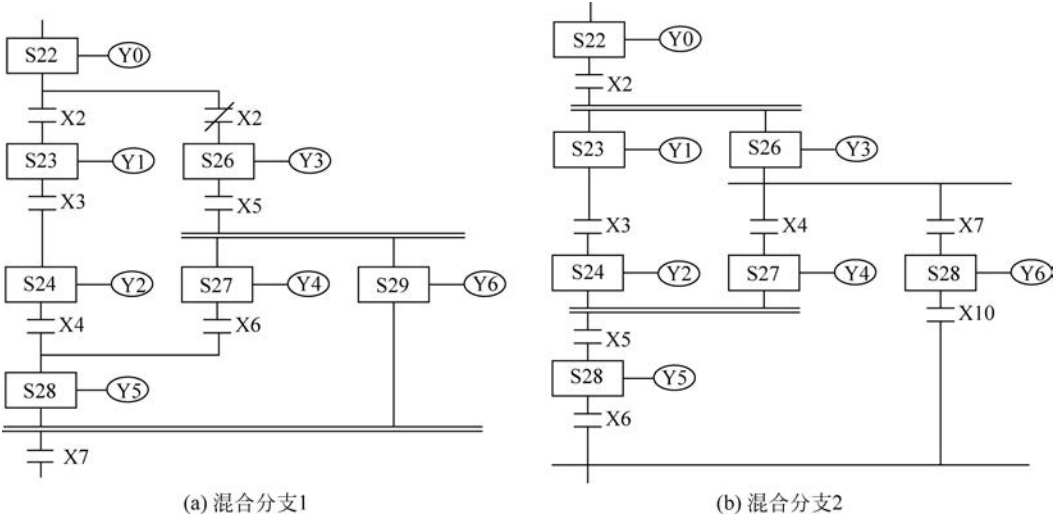
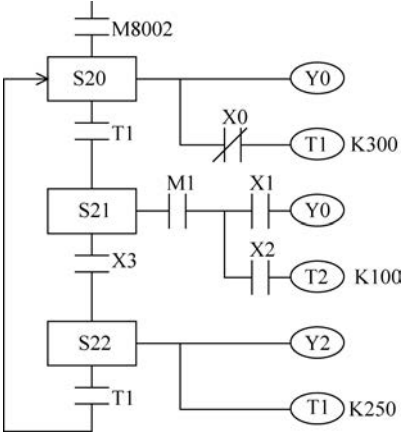


图 5-17 混合分支

选择分支编程实例可参照配套教学资源《工程案例手册》中的案例 12.1 大小球分拣传送机械手和案例 12.2 电镀自动生产线 PLC 控制。并行分支编程实例可参照配套教学资源《工程案例手册》中的案例 10.10 组合钻床。混合分支编程实例可参照配套教学资源《工程案例手册》中的案例 10.12 可逆星三角降压启动、点动、连动、反接制动控制。

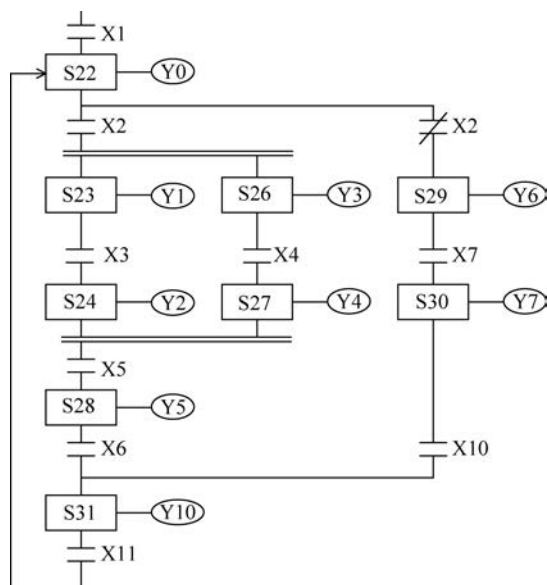
习题

1. 画出题图 1 所示的单分支状态转移图的步进梯形图，并写出指令表。

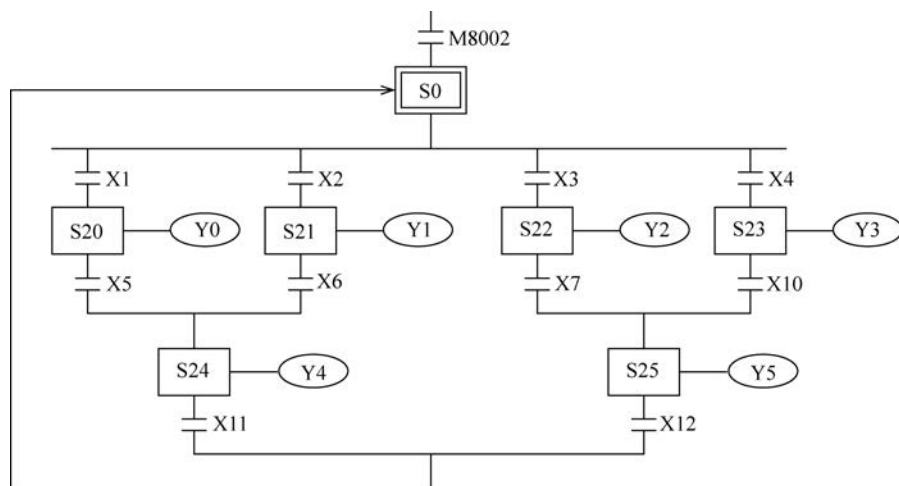


题图 1 单分支状态转移图的步进梯形图

- 2. 画出题图 2 所示的混合分支状态转移图的步进梯形图，并写出指令表。
- 3. 根据题图 3 所示的 SFC 图画出对应的 STL 图，并写出指令表。
- 4. 用 PLC 控制一个圆盘，圆盘的旋转由电动机控制。要求按下启动按钮后正转 2 圈、反转 1 圈后停止。试画出状态转移图、步进梯形图，并写出指令表。



题图 2 混合分支状态转移图的步进梯形图

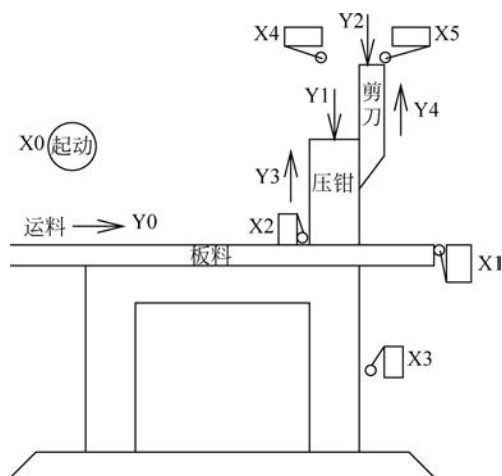


题图 3 SFC 图

5. 如题图 4 所示为一台剪板机装置图,其控制要求如下:按起动按钮 X0,开始送料,当板料碰到限位开关 X1 时停止,压钳下行将板料压紧时限位开关 X2 动作,剪刀下行将板料剪断后触及限位开关 X3,压钳和剪刀同时上行,分别碰到上限位开关时停止。试画出 PLC 接线图和状态转移图。

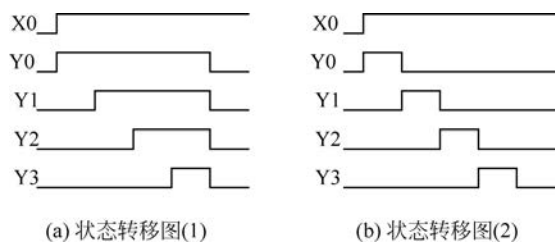
6. 某泵站有 4 台水泵,分别由 4 台三相异步电动机驱动。为了防止备用水泵长时间不用而造成锈蚀等问题,要求 2 台运行 2 台备用,并每隔 8h 切换 1 台,4 台水泵轮流运行。初次起动时,为了减小起动电流,要求第 1 台起动 10s 后第 2 台起动。根据控制要求画出 PLC 输入/输出控制接线图和状态转移图。

7. 控制 1 台电动机,按下起动按钮,电动机正转 10s 停 3s,再反转 10s 停 3s。循环 10 次后信号灯闪 3s 结束。按下停止按钮,电动机立即停止。



题图 4 剪板机装置图

8. 用 PLC 控制 4 盏彩灯按题图 5 所示的时序图动作,每隔 1s 变化 1 次,全部熄灭 1s 后又重复上述过程,分别画出题图 5(a)和题图 5(b)的状态转移图。
9. 如题图 6 所示为 1 个圆盘,圆盘的旋转由电动机控制。要求按下起动按钮后正转 1 圈、反转 1 圈再正转 1 圈后停止。

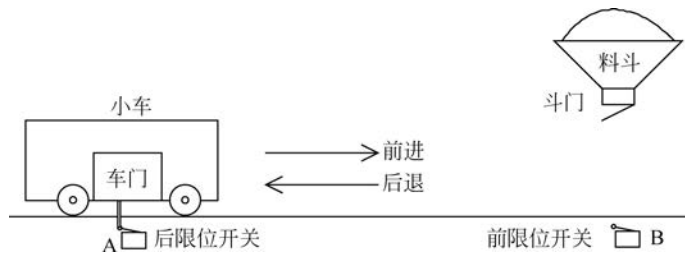


题图 5 时序图



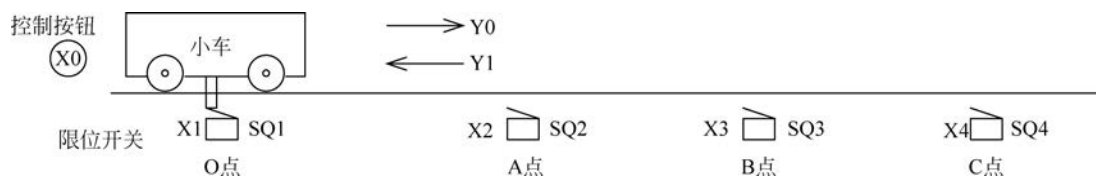
题图 6 圆盘

10. 一辆小车在 A、B 两点之间运行,在 A、B 两点各设一个限位开关,如题图 7 所示,小车在 A 点时(后限位开关受压动作),在车门关好的情况下,按一下向前运行按钮,小车就从 A 点运行到 B 点停下来,然后料斗门打开,装料 10s,之后小车自动向后行到 A 点停止,车门打开,卸料 4s 后车门关闭。试画出 PLC 接线图和状态转移图。



题图 7 小车运行示意图

11. 某生产线有一辆小车用电动机拖动。电动机正转小车前进,电动机反转小车后退,在 O、A、B、C 点各设置一个限位开关,如题图 8 所示。小车停在原位 O 点,用一个控制按钮控制小车。第 1 次按按钮,小车前进到 A 点后退回到原位 O 停止;第 2 次按按钮,小车前进到 B 点后退到原位 O 停止;第 3 次按按钮,小车前进到 C 点后退到原位 O 停止。再次按按钮,又重复上述过程。试画出 PLC 接线图和状态转移图。



题图 8 小车运行示意图