

## 第 2 章 PLC 的基本组成和工作原理

PLC 在各个领域里得到了越来越广泛的应用,要正确地应用 PLC 去完成各种不同的控制任务,就必须了解 PLC 的基本组成和工作原理。PLC 实质上是一台用于工业控制的专用计算机,它与一般计算机的结构及组成相似,但又有所区别。

### 2.1 PLC 的基本组成和各部分的作用

#### 2.1.1 PLC 的基本组成

PLC 是一种用于控制的特殊计算机,它的基本组成可分为硬件系统和软件系统两大部分。

##### 1. PLC 的硬件系统

PLC 的硬件系统主要由中央处理器、存储器、输入单元、输出单元、通信接口、扩展接口和电源等部分组成。其中,中央处理器是 PLC 的核心,相当于人的大脑,起到总体协调支配其他部件的作用;输入单元与输出单元相当于人的眼、耳、手、脚,是联系现场设备与中央处理器之间的接口电路;通信接口用于与编程器、上位计算机等外设的连接,实现外部通信。

目前,有两种结构类型的 PLC 应用在控制系统中。一种是整体式 PLC,它将所有部件都装在同一机壳内,其组成框图如图 2-1 所示;另一种就是模块式 PLC,它将每一个部件都独立封装成模块,并通过总线连接,安装在机架或导轨上。无论是哪种结构类型的 PLC,各部分的功能作用都是相同的,都可根据用户的需要进行配置与组合。

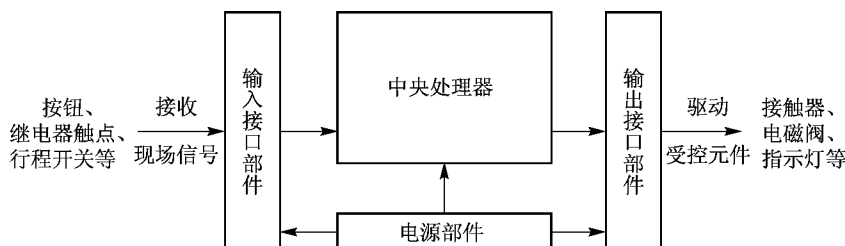


图 2-1 整体式 PLC 组成框图

##### 2. PLC 的软件系统

PLC 的软件系统由系统程序和用户程序组成。系统程序一般由系统诊断程序、输入处理程序、编译程序和监控程序等组成。它是由生产厂家直接存放的、永久存储的程序和指令,用户不能直接读写与更改。PLC 的用户程序是用户利用 PLC 的编程语言,根据控制要求编写的程序。它的好坏直接决定了 PLC 在实际应用中的价值。由于 PLC 的前身是工业

控制中的继电器控制电路,其主要使用者是广大电气技术人员,现今虽已开发出很多高级的编程语言,但为了满足传统习惯,PLC 的主要编程语言应采用相对简单、易懂、形象的专用语言。

## 2.1.2 PLC 各部分的作用

### 1. 中央处理器

中央处理器 CPU 是 PLC 的控制中枢。它是由运算器、控制器和寄存器等组成的,所起的作用与一般计算机中的 CPU 相同。在 PLC 中配置的 CPU 主要有 3 类:通用型微处理器(如 Z80、8086、80286 等)、单片机微处理器(如 8031、8096 等)和位片式微处理器(如 AMD29W 等)。根据系统不同的控制要求,可以选择相应类型的 CPU,有的甚至可以选择多个 CPU,但最多不可超过 8 个。当系统中存在一个以上的 CPU 时,每一个 CPU 都有特定的功能,能独立执行控制。因此,采用多 CPU 系统可提高 PLC 的速度,使 PLC 更好地满足实时控制要求。

在 PLC 中 CPU 根据系统程序赋予的功能,指挥 PLC 有条不紊地工作,归纳起来主要包括以下几个方面:

- (1)接收从编程器输入的用户程序和数据。
- (2)PLC 的自检。
- (3)通过输入接口接收现场的状态或数据,并存入输入映像寄存器或数据寄存器中。
- (4)从存储器逐条读取用户程序,经过解释后执行。
- (5)根据执行的结果,输出控制信号,完成用户指令规定的各种操作。

### 2. 存储器

存储器主要有两种:一种是可读/写操作的随机存储器 RAM,另一种是只读存储器 ROM、PROM、EPROM 和 EEPROM。在 PLC 中存储器主要用于存放系统程序、用户程序及工作数据。

系统程序是由 PLC 的制造厂家编写的,固化在只读存储器 ROM、PROM、EPROM 或 EPROM 中,用户不能访问和修改。它的作用相当于个人计算机的操作系统,既与 PLC 的硬件组成有关,又可使 PLC 具有基本的智能,即能够完成系统诊断、命令解释、功能子程序调用管理、逻辑运算、通信及各种参数设定等工作。

用户程序根据 PLC 的控制对象而定,是用户根据对象生产工艺的控制要求而编写的应用程序。它决定了 PLC 的输入信号与输出信号之间的具体关系。PLC 常用以下几种存储器来存放用户程序:

(1)随机存储器。随机存储器 RAM 的工作速度快,价格低,改写方便。为了保证在断电后保存在 RAM 中的数据不丢失,一般用锂电池作为后备电源。工作数据是 PLC 运行过程中经常变化、经常存取的一些数据。一般存放在 RAM 中,以适应随机存取的要求。

(2)可擦除存储器。可擦除存储器 EPROM 和 EEPROM 是电可擦除存储器。其中的内容只有在特定的条件下可以被改写,一般用来存放不需要经常改变的用户程序。EEPROM 作为用户存储器,兼有 ROM 的非易失性和 RAM 随机存取的优点,但是写入信息所需的时间比 RAM 长得多。

由于系统程序及工作数据与用户无直接联系,所以在 PLC 产品样本或使用手册中所列

出的存储器的形式及容量是指用户程序存储器。当 PLC 提供的用户存储器容量不够用时，许多 PLC 还可提供存储器扩展功能。

### 3. 输入/输出单元

输入/输出 I/O 单元是连接 PLC 的 CPU 与现场输入、输出装置或其他外部设备之间的接口部件。PLC 通过输入接口可接收从被控对象那里传递过来各种数据，并以这些数据作为依据控制被控对象。同时 PLC 又通过输出接口将处理结果送给受控对象，以实现控制目的。在这个过程中，尤其需要注意的一点是：外部 I/O 设备所需的信号电平与 PLC 内部 CPU 的标准电平是不同的，所以对于 I/O 接口还需要实现另外一个重要的功能就是电平信号转换。为了保证 I/O 接口所传递的信息平稳、准确，提高 PLC 的抗干扰能力，I/O 单元一般都具有光电隔离和滤波功能。

PLC 的 I/O 接口有多种类型：数字量（开关量）输入、数字量（开关量）输出、模拟量输入、模拟量输出等。其中，较常用的为数字量接口。其输入接口按使用的电源不同可分为直流输入接口、交流输入接口和交一直流输入接口。其输入电路的原理图如图 2-2 所示。常用的数字量输出接口按输出开关器件不同可分为继电器输出、晶体管输出和双向晶闸管输出。其输出电路的原理图如图 2-3 所示。其中，可驱动直流负载的有晶体管输出接口和继电器输出接口；可驱动交流负载的有双向晶闸管输出接口和继电器输出接口。对于继电器输出接口，虽既可驱动交流负载又可驱动直流负载，但响应时间长，动作频率低；而晶体管输出接口和双向晶闸管输出接口的响应速度快，动作频率高。实际中可根据控制要求具体选择。此外，PLC 还提供一些智能型 I/O 单元。

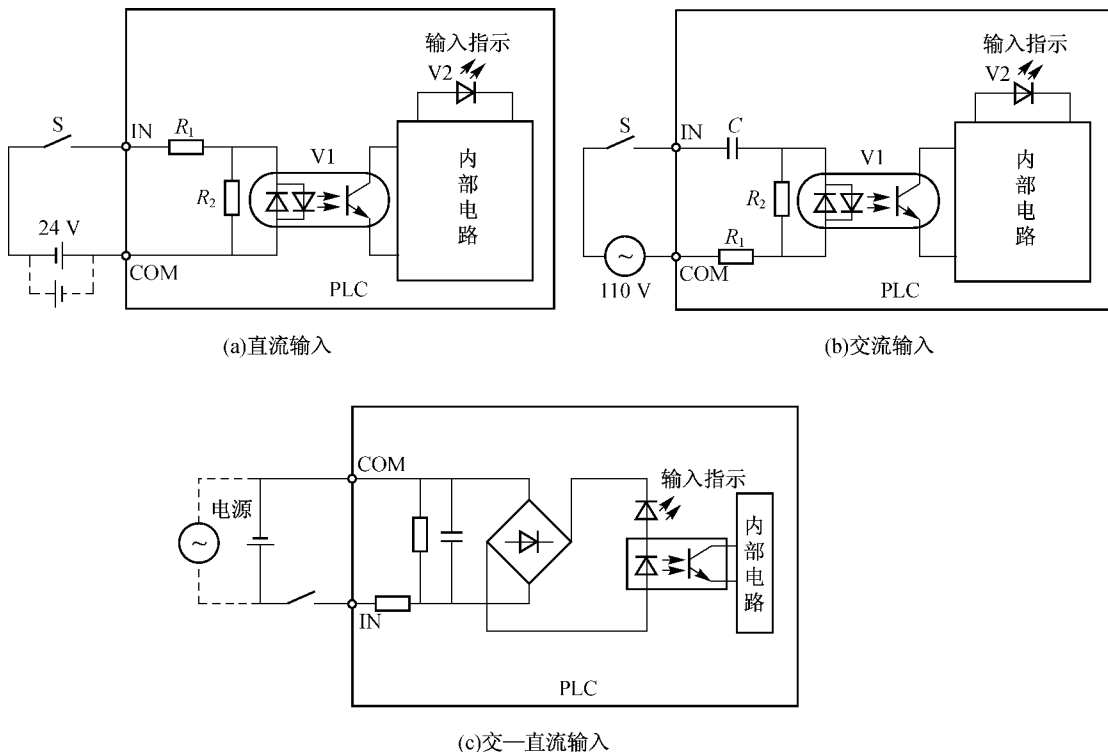


图 2-2 PLC 输入电路的原理图

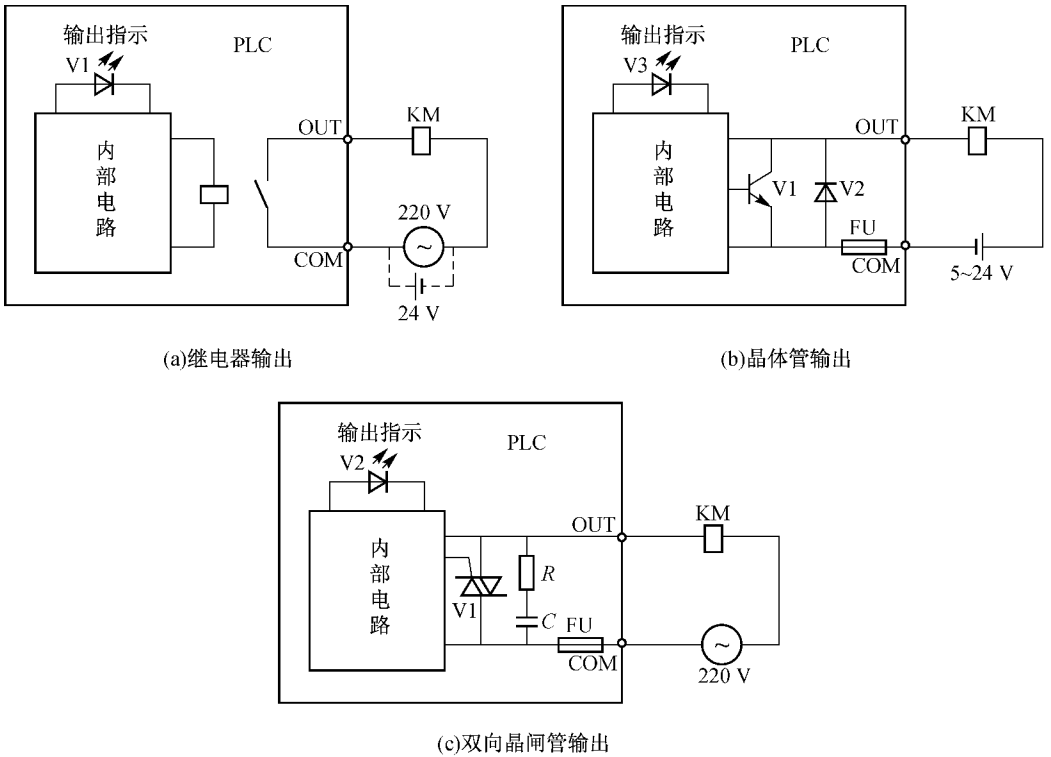


图 2-3 PLC 输出电路的原理图

PLC 的 I/O 接口所能接收的输入信号和输出信号的个数称为 PLC 的 I/O 点数。I/O 点数是选择 PLC 的重要依据之一。当系统的 I/O 点数不够时,可通过 PLC 的 I/O 扩展接口对系统进行扩展。

#### 4. 通信接口

为了实现 PLC 与其他外设之间的数据通信,在 PLC 中通常都配有各种通信接口。PLC 通过这些通信接口可与监视器、打印机、其他 PLC、计算机等设备进行通信,实现不同的功能,更好地为系统控制服务。

#### 5. 智能接口模块

智能接口模块是一个独立的计算机系统。它有自己的 CPU、系统程序、存储器以及与 PLC 系统总线相连的接口。它作为 PLC 系统的一个模块,通过总线与 PLC 相连,进行数据交换,并在 PLC 的协调管理下独立地进行工作。PLC 的智能接口模块种类很多,如高速计数模块、闭环控制模块、运动控制模块、中断控制模块等。

#### 6. 编程装置

编程装置是 PLC 的重要组成部分,可将用户编写的程序送到 PLC 的用户程序存储区。因此,它的主要任务是编辑、调试、输入用户程序,并可在线监控 PLC 内部状态和参数,与 PLC 进行人机对话。它是开发、应用、维护 PLC 不可缺少的工具。编程装置分为简易编程器和图形编程器两种。

##### 1) 简易编程器

简易编程器只能联机编程,不能直接输入和编辑梯形图程序,需将梯形图程序转化为语

句表程序后才能输入。但是简易编程器体积小、价格便宜,可以直接插在 PLC 的编程插座上,或者用专用电缆与 PLC 相连,方便编程和调试,适合小型 PLC 的编程及现场调试,如三菱的 FX-20P-E 型简易编程器。

## 2) 图形编程器

图形编程器又称为智能编程器,本质上它是一台专用便携式计算机。它功能强大,既可联机编程,又可脱机编程;既可直接输入和编辑梯形图程序,又可用语句表程序编程。使用图形编程器更加直观、方便,但价格较高,操作也比较复杂。大多数智能编程器带有磁盘驱动器,提供录音机接口和打印机接口,如三菱的 GP-80FX-E 型智能编程器。

许多生产厂家在不断提高产品硬件功能的同时,也在不断地追求功能更加强大和完善的软件系统,即计算机辅助编程支持软件。因此,现在的趋势是使用以个人计算机为基础的编程装置,用户只需购买 PLC 厂家提供的编程软件和相应的硬件接口装置即可。由于个人计算机程序开发系统的功能强大,因此,利用它不但可以编制、修改用户程序,进行计算机和 PLC 之间程序的相互传送,监控系统的运行情况,还可以打印文件、系统仿真等,配上相应的软件甚至还可实现数据采集和分析等功能。

## 7. 电源

PLC 的电源模块可将交流电源转换成供 CPU、存储器所需的直流电源,是整个 PLC 的能源供给中心。它的好坏直接影响到 PLC 的功能和可靠性。因此,对 PLC 的电源提出了更高的要求,即要比普通电源具有更高的稳定性和抗干扰能力。同时,对大部分 PLC 而言,还可向外提供 24 V 直流稳压电源,用于对外部传感器供电。

## 8. 其他外部设备

除了以上所述的部件和设备外,PLC 还有许多外部设备,如 EPROM 写入器、外存储器、人/机接口装置等。它们可以辅助 PLC 完成预定的控制任务。其中,EPROM 写入器是用来将用户程序固化到 EPROM 存储器中的一种 PLC 外部设备。当 PLC 内部的半导体存储器满足不了需要时,就可用外部的磁带、磁盘和用半导体存储器作成的存储盒等来存储 PLC 的用户程序。安装在控制台上的按钮、转换开关、拨码开关、指示灯、LED 显示器、声光报警器等元件构成了人/机接口装置。形象地说,它的作用是用来实现操作人员与 PLC 控制系统的对话。除以上几种较为简单、基础的人/机接口装置外,PLC 还可采用半智能型人/机接口装置和智能型终端人/机接口装置。利用它们能够与操作人员快速、准确地交换信息,并通过通信接口与 PLC 相连,还可作为独立的节点接入网络。

## 9. 编程语言

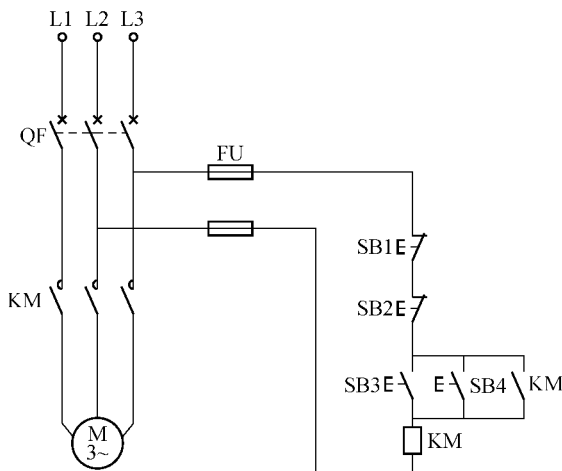
PLC 的编程语言是多种多样的。对于不同生产厂家、不同系列 PLC 产品采用的编程语言的表达方式不同,但基本上可归纳为两种类型:一种是采用图形符号表达方式的编程语言,如梯形图等;另一种是采用字符表达方式的编程语言,如语句表等。以下简要介绍几种常见的 PLC 编程语言。

### 1) 梯形图语言

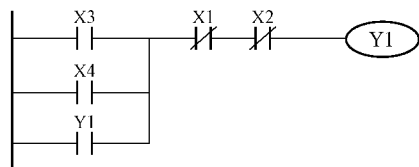
梯形图语言是应用最广泛的 PLC 的编程语言,是 PLC 的第一编程语言。它是在传统电气控制系统中常用的接触器、继电器等图形符号的基础上演变而来的,模拟继电器控制系统的编程方法,仍然按照设计继电器控制电路的形式来编写程序,这就是梯形图编程方法。它与继电器控制电路图是相呼应的,使用起来极为方便,因此,这种编程语言为广大电气技术

人员所熟知。

如图 2-4 所示为电气控制电路的接线图和梯形图。SB1、SB3 为安装在 A 地的停止按钮和启动按钮，SB2、SB4 为安装在 B 地的停止按钮和启动按钮。操作者无论在 A 地按下启动按钮 SB3 还是在 B 地按下启动按钮 SB4 都可使接触器 KM 的线圈通电，其常开主触点闭合接通电源而使电动机启动运转。此时若需停车，操作者无论在 A 地按下 SB1 还是在 B 地按下 SB2 都可使接触器 KM 的线圈断电，电动机停止运转。



(a)接线图



(b)梯形图

图 2-4 电气控制电路的接线图和梯形图

从图 2-4 中可看出，两种图基本表示思想和控制过程是一致的，只是具体表达方式有一定区别。在梯形图中，使用内部的继电器、定时器和计数器等电子元件，由计算机软件替代继电器控制电路，可以灵活编程，是电气控制电路硬接线无法比拟的。

## 2) 语句表语言

语句表语言是一种与汇编语言类似的助记符编程表达方式。虽然梯形图语言较为简单、直观、易懂，但是在 PLC 的实际应用中，却需要一定的辅助支撑条件才能够应用自如。例如，较大的显示屏幕在采用梯形图语言编程时是必不可少的辅助工具，但在实际中配备这样的显示器既不经济也不现实。因此，就用一系列 PLC 操作命令组成的语句表将梯形图描述出来，再通过简易编程器输入到 PLC 中。每个 PLC 生产厂家都有一套与产品相对应的语句表，它们的基本功能相差无几。电气控制电路的语句表见表 2-1。

表 2-1 电气控制电路的语句表

步序号	指令	数据
0	LD	X3
1	OR	X4
2	OR	Y1
3	ANI	X1
4	ANI	X2
5	OUT	Y1

可以看出,语句是语句表程序的基本单元。每条语句都是由地址(步序号)、操作码(指令)和操作数(数据)组成的。

### 3) 逻辑图语言

逻辑图语言是一种类似于数字逻辑电路结构的编程语言。它是由与门、或门、非门、定时器、计数器和触发器等逻辑符号组成的,主要面向对象的是具有一定数字电路基础的电气技术人员。基本逻辑图如图 2-5 所示。

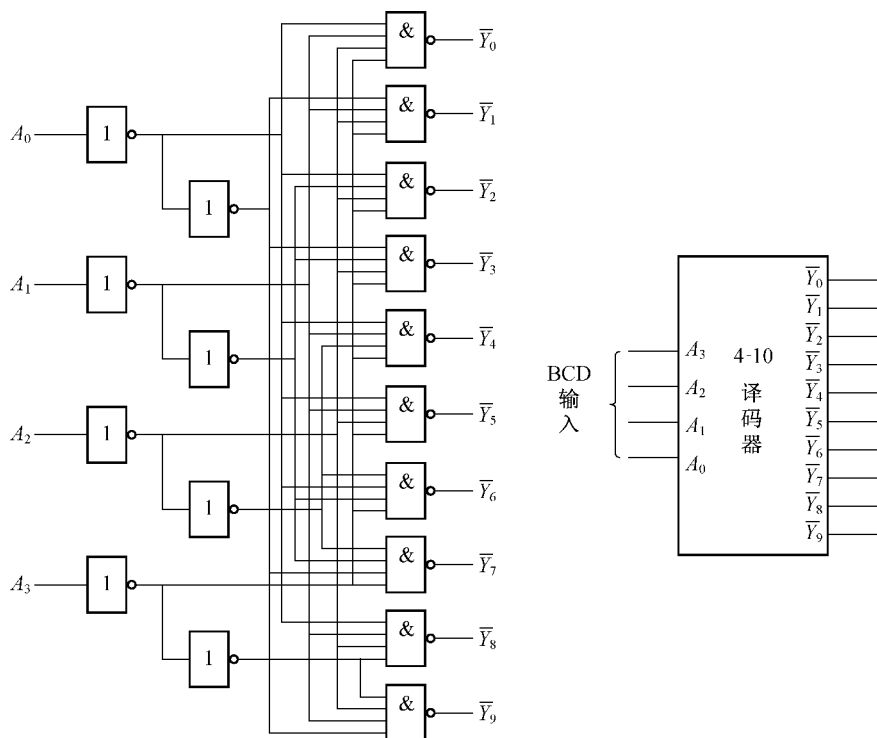


图 2-5 基本逻辑图

### 4) 功能表图语言

功能表图语言又称为状态转移图语言,是一种较新的编程方法,尤其适用于顺序控制系统。如图 2-6 所示,功能表图语言将一个完整的控制过程按顺序分为若干阶段,每个阶段都可看做是一个简单的控制系统,每个阶段间都具有不同的动作,且可进行转换,但需要满足一定的转换条件,当满足转换条件时就实现阶段转移,停止上一阶段动作,启动下一阶段

动作。

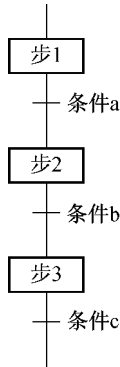


图 2-6 顺序功能图

### 5) 高级语言

计算机技术、电子技术、通信技术等各项技术的发展水平与 PLC 的进步是息息相关的。为了增强 PLC 的运算、数据处理及通信等功能,近年来推出的 PLC 都可用高级语言(如 BASIC 语言、C 语言等)进行编程。用户可以像使用普通微型计算机一样操作 PLC,使 PLC 的各种功能得到更好的发挥。

## 2.2 PLC 对继电器控制系统的仿真

### 2.2.1 模拟继电器控制系统的编程方法

在图 2-4(a)的电气控制电路的接线图中,根据流过电流的大小,可分为主电路和控制电路。用 PLC 替代继电器控制系统就是替代电气控制电路中的控制电路部分,而主电路部分基本保持不变。对于控制电路又可分为以下 3 个部分:

(1)输入部分。输入部分由电路中全部输入信号组成,这些输入信号来自被控对象上的各种开关信息,如控制按钮、操作开关、限位开关、光敏管信号等。

(2)输出部分。输出部分由电路中全部输出元件组成,如接触器线圈、电磁阀线圈等执行电器及信号灯。

(3)逻辑部分。逻辑部分由各种主令电器、继电器、接触器等电器的触点和导线组成,各电器触点之间以固定的方式接线,其控制逻辑就编制在硬接线中,这种固化的程序不能灵活变更。

PLC 的基本组成框图也可大致分为输入部分、逻辑部分、输出部分。这与继电器控制系统很相似。其输入部分、输出部分与继电器控制系统所用的电器大致相同,所不同的是 PLC 中输入、输出部分多了 I/O 单元,增加了光耦合、电平转换、功率放大等功能。PLC 的逻辑部分是由微处理器和存储器组成的,且由计算机软件替代继电器控制电路,以实现“软接线”。尽管 PLC 与继电器控制系统的逻辑部分组成元件不同,但在控制系统中所起的逻辑控制功能是相同的。因而可以把 PLC 内部看做有许多“软继电器”,如“输入继电器”、“输出继电器”、“中间继电器”、“时间继电器”等,这样就可以模拟继电器控制系统的编程方法,仍然按



照设计继电器控制电路的形式来编写程序,这就是梯形图的编程方法。使用梯形图编程时,完全可以不考虑微处理器内部的复杂结构,也不必使用计算机语言。由于 PLC 的输入、输出部分与继电器控制系统大致相同,因此,在安装、使用时也完全可按常规的继电器控制设备那样进行。

## 2.2.2 梯形图仿真继电器控制电路

如图 2-7 所示为一个电动机启停控制的梯形图。它与如图 2-8 所示的继电器控制电路图不但控制功能相同,而且电路结构形式大致相同。

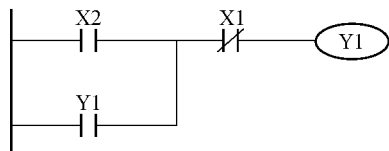


图 2-7 电动机启停控制的梯形图

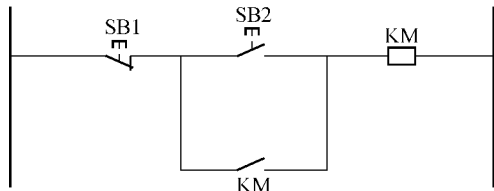


图 2-8 继电器控制电路图

梯形图是 PLC 模拟继电器控制系统的编程方法。它由触点、线圈或功能方框等构成,梯形图左、右的垂直线称为左右母线(梯形图中的右母线通常省略)。画梯形图时,从左母线开始,经过触点和线圈或功能方框,终止于右母线。在梯形图中可以把左母线看做是提供能量的母线。触点闭合可以使能量流流过,直到下一个元件;触点断开将阻止能量流流过,这种能量流又称为能流。实际上梯形图是 CPU 仿真继电器控制的电路图,使来自“电源”的“电流”通过一系列的逻辑控制条件,根据所需运算结果决定逻辑输出的模拟过程。

梯形图中的触点代表逻辑控制条件,触点闭合时表示能量可以流过,触点可分为常开触点和常闭触点。梯形图中的线圈代表逻辑输出的结果,当能流流到某一线圈时,该线圈被激励。梯形图中的功能方框代表某种特定功能的指令,能流通过功能方框执行它所代表的功能。

梯形图中的每个输出线圈和功能方框均可构成一个梯级。每个梯形图网络是由一个或多个梯级组成的。

由于 PLC 控制系统的结构、工作原理与继电器控制系统截然不同,因而梯形图与继电器控制电路图两者之间又存在着许多差异,具体如下:

(1) PLC 的梯形图编程方法与继电器控制系统编程方法相似,也应用了很多的“继电器”元件进行编程,但此时的“继电器”并不是真正物理意义上的继电器,它只是计算机中存储器的一个逻辑位。当逻辑取值为“1”时,表示该继电器线圈“通电”;相反地,当逻辑取值为“0”时,表示该继电器线圈“断电”。在梯形图中各种“软继电器”沿用了继电器的名称,用“软继电器”就可以按继电器控制系统的形式来设计梯形图了。

(2) 为了分析问题更加方便,在梯形图中能流的流通顺序规定只能自左向右、自上而下,不允许倒流。如此规定正顺应了 PLC 的扫描顺序。当能流流经线圈时,线圈接通;反之线圈断开。

(3) 与“软继电器”的比喻方法相类似,梯形图中的常开、常闭触点和输出线圈都不是真实开关的触点和真实的线圈。常开、常闭触点对应于输入、输出映像寄存器或数据寄存器中的相应位的状态,而不是现场物理开关的触点状态;输出线圈的状态对应输出映像寄存器相

应位的状态,而不是现场电磁开关的实际状态,不能用它直接驱动现场执行机构。PLC 认为常开触点是取位状态操作,所以常闭触点应理解为位取反操作。因此,在梯形图中同一元件的一对常开、常闭触点的切换没有时间的延迟,常开、常闭触点只是互为相反状态。而继电器控制系统大多数的电器是属于先断后合型的电器。

(4)编写程序时 PLC 内部继电器的触点原则上可无限次反复使用,因为存储单元中的位状态可取用任意次,而继电器控制系统中的触点数是有限的。但是 PLC 内部的线圈通常只引用一次,所以,应慎重对待重复使用同一地址编号的线圈。

## 2.3 PLC 的工作原理

### 2.3.1 PLC 的扫描工作方式及执行程序的过程

当 PLC 接通投入运行后,在系统程序的控制下,PLC 对用户程序逐条解读并加以执行,直到用户程序结束,然后返回程序的起始,又开始新一轮的执行。这种周而复始地按一定的顺序对系统内部的各种任务进行查询、判断和执行的的过程,实质上是按顺序循环扫描的过程。PLC 的扫描工作过程除了执行用户程序外,在每次扫描工作过程中还要完成内部处理、通信服务等工作。PLC 的整个扫描工作过程如图 2-9 所示。

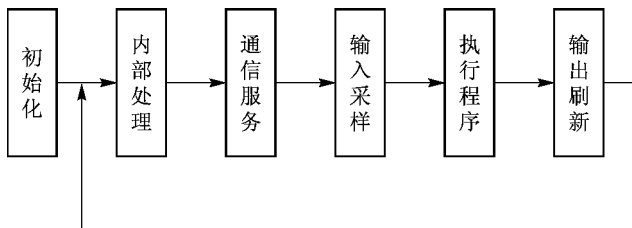


图 2-9 PLC 的整个扫描工作过程

执行一次扫描操作所需的时间称为扫描周期,典型值为 1~100 ms。扫描周期与 CPU 运行速度、PLC 硬件配置、用户程序长短及指令的种类有很大关系,当用户程序较长时,指令执行时间在扫描周期中占相当大的比例。有的编程软件或编程器可以提供扫描周期的当前值,有的还可以提供扫描周期的最大值和最小值。

在内部处理阶段,PLC 以故障诊断为主。它的职责包括检查内部的 CPU、存储器等硬件是否正常,以及其他一些辅助诊断装置是否处于常态。例如,复位监视定时器是否置位等。当因工作的实际需要,PLC 要与其他智能装置实现通信时,就要在通信服务阶段处理相关的操作。例如,响应命令、更新显示内容等。

PLC 有两种基本的工作模式,即运行模式 RUN 与停止模式 STOP。当 PLC 处于 RUN 工作模式时,PLC 可通过反复执行用户程序来实现控制功能。为了使 PLC 的输出及时地响应随时变化的输入信号,用户程序不是只执行一次,而是不断地重复执行,直至 PLC 停机或切换到 STOP 工作模式。

在两种不同的工作模式下,PLC 所执行的具体工作是有所差别的。当 PLC 处于 STOP 工作模式时,只完成内部处理和通信服务工作;但当 PLC 处于 RUN 工作模式时,除完成内

部处理和通信服务工作外,还要完成输入采样、执行程序、输出刷新工作。

PLC 的扫描工作方式简单直观,前一指令被执行后,其结果马上就被后面将要扫描到的指令所利用。为了提高系统执行程序的准确性与可靠性,CPU 内部还设置监视定时器来监视每次扫描是否超过规定时间,用以避免由于 CPU 内部故障使程序执行进入死循环。此种扫描的工作方式,为程序设计带来了极大的方便,并为可靠运行提供了保障。

### 2.3.2 PLC 的工作流程

简单地说,PLC 实现控制的过程一般是输入采样→执行程序→输出刷新,再输入采样→再执行程序→再输出刷新……,永不停止循环反复地进行着。如图 2-10 所示的 PLC 工作流程图反映的就是上述过程。

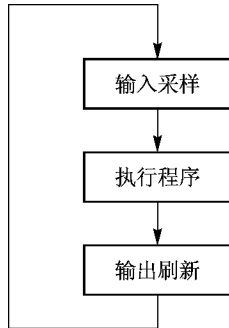


图 2-10 PLC 工作流程图

#### 1. 输入采样阶段

在输入采样阶段,PLC 以扫描工作方式按顺序对所有输入端的输入状态进行采样,并存入输入映像寄存器中,此时输入映像寄存器被刷新,接着进入程序处理阶段。在同一扫描周期内,某一个输入映像寄存器的状态只能被扫描一次,即在同一扫描周期的其他阶段,即使输入状态发生变化,输入映像寄存器的内容也不会改变,变化后的状态信息只有在下一个扫描周期的输入状态才能被采样到。

#### 2. 执行程序阶段

用户程序是放在用户程序存储器中的,扫描时从零步开始,按自左向右、自上而下的顺序逐条进行解读和执行,直到执行程序结束指令时才结束对用户程序的扫描。当遇到程序跳转指令时,则根据是否满足跳转条件来决定程序是否跳转。

#### 3. 输出刷新阶段

当所有程序执行完毕后,进入输出刷新阶段。在这一阶段里,PLC 将输出映像寄存器中与输出有关的状态(输出继电器状态)转存到输出锁存器中,并通过一定方式输出,驱动外部负载。

通过以上分析可以看出,PLC 在一个扫描周期内,在输入采样阶段进行的是对输入状态的采样。这种采样是一种集中采样的方式,即在一个扫描周期内,集中一段时间对输入状态进行采样。PLC 在进入其他阶段执行相关命令时,输入端将被封锁,直到下一个扫描周期的输入采样阶段才对输入状态进行重新采样。与集中采样相同的是 PLC 的输出也是采用集中输出的方式,即只在输出刷新阶段才将输出状态从输出映像寄存器中输出,对输出接口进

行刷新,在其他阶段里输出状态一直保存在输出映像寄存器中。如果用户程序对输出结果多次赋值,则最后一次有效。

由此可知,用 PLC 实现控制显然是可能的。因为有了输入采样,可把输入电路监视得到的输入信息存入 PLC 的输入映射区,经运行用户程序,输出映射区将得到变换后的信息,再经输出刷新,输出锁存器将反映输出映射区的状态,并通过输出电路产生相应的输出。又由于这个过程是永不停止循环反复地进行着,所以输出总是反映输入的变化。但从 PLC 的输入端输入信号发生变化到 PLC 输出端对该输入变化作出反应需要一段时间,这种现象称为 PLC 的 I/O 响应滞后。这种响应滞后不仅与 PLC 扫描工作和电路惯性有关,同时还与程序设计安排有关。PLC 总的响应延迟时间为 10 ms 左右,对于一般的工业控制系统是无要紧要的,但对于要求输入、输出信号之间的滞后时间尽量短的系统,应选用扫描速度快的 PLC 或采取其他措施。值得注意的是,这种原理上的滞后时间是设计 PLC 应用系统时应注意把握的一个参数。

下面举例说明 PLC 的工作原理。如图 2-11 所示为 PLC 的等效工作电路,当按下外接按钮 SB1 或 SB2 时,输入继电器 X1 或 X3 的线圈接通,其常开触点闭合,使输出继电器 Y0 接通并自锁,其常开触点闭合,外部接触器 KM1 吸合。在输出继电器 Y0 的线圈接通的同时,定时器 T0 的线圈也接通,经 5 s 延时后,定时时间到,其常开触点闭合。此时,输出继电器 Y2 的线圈接通,其常开触点闭合,外部接触器 KM2 吸合。按下外接按钮 SB3,输入继电器 X5 的线圈接通,其常闭触点断开,使输出继电器 Y0 和定时器 T0 都断开,外部接触器 KM1 和 KM2 都断电。

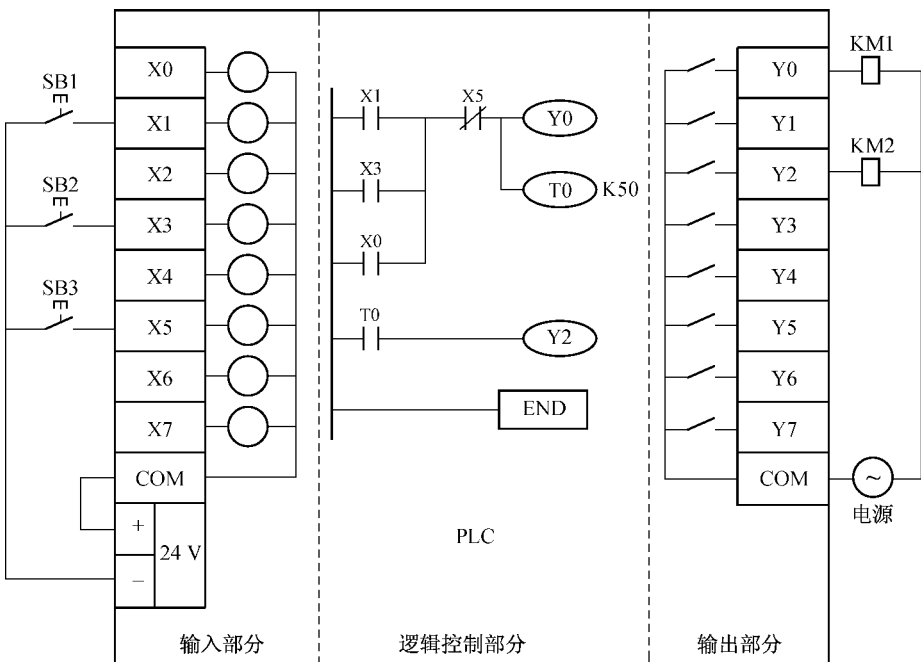


图 2-11 PLC 的等效工作电路

用户程序执行的结果提供了一系列输出信号。要将逻辑部分输出的低电平信号转换成外部执行电器所需的电压或电流,输出部分也需要加入变换器(即 PLC 输出模块)。因此,PLC 的工作流程是依照事先由编程器编制输入的控制程序,扫描各输入端的状态,逐条扫描

用户程序,最后输出并驱动外部负载电器,从而达到控制的目的。

## 本章小结

本章从应用的角度介绍了 PLC 的基本组成和工作原理。在学习的过程中,应注意 PLC 与一般计算机的联系与区别,并能够理解 PLC 循环扫描的工作过程,掌握 PLC 常用的编程语言,并能结合后续章节具体型号的 PLC 完成实际的编程工作。

## 习 题 2

- 2-1 PLC 有哪些基本组成部分? 简述各部分的主要作用。
- 2-2 PLC 的 I/O 接口可分为几种类型?
- 2-3 数字量输出接口有哪几种类型? 它们各有什么特点?
- 2-4 PLC 有哪几种编程器? 各有什么特点?
- 2-5 PLC 常用的编程语言有哪些?
- 2-6 PLC 的工作原理是什么?
- 2-7 简述 PLC 的扫描工作过程。
- 2-8 什么是扫描周期? 它主要受什么因素的影响?
- 2-9 PLC 的 I/O 响应滞后产生的原因有哪些?
- 2-10 在选购 PLC 时,需要主要注意哪些技术问题?

# 第 3 章 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 的基本指令系统

三菱公司是日本生产 PLC 的主要厂家之一,其 PLC 产品也较早进入我国市场。FX 系列 PLC 是由三菱公司推出的高性能小型 PLC,已逐步替代三菱公司原 F、F1、F2 系列 PLC。其中 FX<sub>2</sub> 系列 PLC 是 1991 年推出的,FX<sub>0</sub> 系列 PLC 是在 FX<sub>2</sub> 系列 PLC 之后推出的超小型 PLC。近几年来,三菱公司又连续推出了将众多功能集合在超小型机壳内的 FX<sub>0S</sub>、FX<sub>1S</sub>、FX<sub>0N</sub>、FX<sub>1N</sub>、FX<sub>2N</sub>、FX<sub>2NC</sub> 等系列 PLC,这些 PLC 具有较高的性价比,且应用广泛。本章以三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 为例,介绍三菱 PLC 及其基本指令系统。

## 3.1 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 的概述

### 3.1.1 三菱系列 PLC 的分类

#### 1. 超小型 PLC

超小型 PLC 均为整体式结构,体积小、价格便宜。这种类型的 PLC 有 24 点、40 点、60 点三种基本单元,40 点扩展单元以及 8 点、16 点扩展模块,I/O 点数最大可达 128 点。

#### 2. 小型 PLC

小型 PLC 主要有 FX<sub>2</sub> 系列,该系列为整体式结构,由基本单元、扩展单元、扩展模块、通信适配器和特殊模块组成。在基本单元上连接扩展单元或扩展模块可增加 I/O 点数,从而灵活地改变系统的 I/O 点数比例。FX<sub>2N</sub> 系列是 FX 系列中功能最强、速度最高的微型 PLC。它的基本指令执行时间为 0.08  $\mu$ s,内置的用户存储器为 8 K 步,可扩展到 16 K 步,I/O 点数最大可扩展到 256 点,此外,它还具有多种特殊功能模块或功能扩展板,可实现多轴定位控制。机内有实时钟、PID 指令,可实现模拟量的闭环控制,还有功能很强的数学指令集,如浮点数运算、开平方和三角函数等。每个 FX<sub>2N</sub> 基本单元可扩展 8 个特殊单元。三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 的型号、规格见表 3-1。

表 3-1 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 的型号、规格

型 号		输入点数	输出点数
继电器输出型	晶体管输出型		
FX <sub>2N</sub> -16MR-001	FX <sub>2N</sub> -16MT-001	8	8
FX <sub>2N</sub> -32MR-001	FX <sub>2N</sub> -32MT-001	16	16
FX <sub>2N</sub> -32MR-D	FX <sub>2N</sub> -32MT-D		

续表

型 号		输入点数	输出点数
继电器输出型	晶体管输出型		
FX <sub>2N</sub> -48MR-001	FX <sub>2N</sub> -48MT-001	24	24
FX <sub>2N</sub> -48MR-D	FX <sub>2N</sub> -48MT-D		
FX <sub>2N</sub> -64MR-001	FX <sub>2N</sub> -64MT-001	32	32
FX <sub>2N</sub> -64MR-D	FX <sub>2N</sub> -64MT-D		
FX <sub>2N</sub> -80MR-001	FX <sub>2N</sub> -80MT-001	40	40
FX <sub>2N</sub> -80MR-D	FX <sub>2N</sub> -80MT-D		
FX <sub>2N</sub> -128MR-001	FX <sub>2N</sub> -128MT-001	64	64
FX <sub>2N</sub> -32ER	FX <sub>2N</sub> -32ET	16	16
FX <sub>2N</sub> -48ER	FX <sub>2N</sub> -48ET	24	24
FX <sub>2N</sub> -48ER-D	FX <sub>2N</sub> -48ET-D		
FX <sub>2N</sub> -16EYR	FX <sub>2N</sub> -16EYT	—	16

### 3. 中型 PLC

中型 PLC 常用的是 AnS/QnAS 系列。该系列为模块式结构,有 10 种型号的 CPU 模块、配置齐全的 I/O 模块和多达 50 种的特殊功能模块。其 I/O 点数一般在 256~1 024 点。该系列 PLC 的指令系统丰富,可提供 PID、浮点运算、三角函数等高级应用指令,具有较强的网络功能。新近推出的中型 PLC 是 Q 系列 PLC。该系列 PLC 功能较齐全,运算速度快,可根据控制系统的需要灵活地组合成最佳的配置,可分为 A 模式和 Q 模式,共 8 种型号的 CPU 模块,并可兼容 AnS 系列的 I/O 模块。此外,它还可加 7 个扩展基板,总模块数可达 64 个,I/O 点数最大可达 4 096 点。由此可知,Q 系列 PLC 虽只具有中型机的规模,但却拥有了大型机的功能。

### 4. 大型 PLC

大型 PLC 主要有 AnA/QnA 系列。该系列为模块式结构,有 12 种型号的 CPU 模块、配置齐全的 I/O 模块和大量的特殊功能模块。其 I/O 点数最大可达 4 096 点。该系列 PLC 功能齐全、容量大、速度快,可提供结构化编程环境,能满足多个设计者同时编程或调试,以减少软件开发成本。此外,该系列 PLC 还具有强大的通信功能,可实现高速通信。

#### 3.1.2 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 的硬件系统配置

##### 1. 系统配置与扩展

三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 由基本单元、扩展单元、扩展模块和特殊功能模块组成。基本单元由 CPU、存储器、I/O 电路和电源等组成,它们是 PLC 的核心部分。该系列 PLC 的基本单元可独立使用,也可将基本单元与扩展单元、扩展模块组合使用,以增加 I/O 点数。每个基本单元最多可连接两个扩展单元,而每个基本单元或扩展单元最多可连接两个扩展模块(包括特殊功能模块)。用户可根据控制系统所需的 I/O 点数及输出类型(继电器输出或晶体管输出)来配置硬件系统。当需要增加系统控制功能时,可利用特殊功能模块。

三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC在将基本单元与扩展单元、扩展模块组合使用时,基本上在同一排水平方向进行配置。如果空间不够,只有扩展单元能用加长电缆分成上下两排配置。

## 2. 输入电路与输出电路的连接

三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC输入电路的连接如图3-1所示。输入电路的连接是将公共端COM通过具体的输入设备(如按钮、转换开关、行程开关、传感器等)连接到对应的输入端子上,并通过输入端子将信号送到PLC内部。当某个输入设备状态发生变化时,对应输入端子的状态也就随之变化,这样PLC就可以随时检测这些信号的变化了。

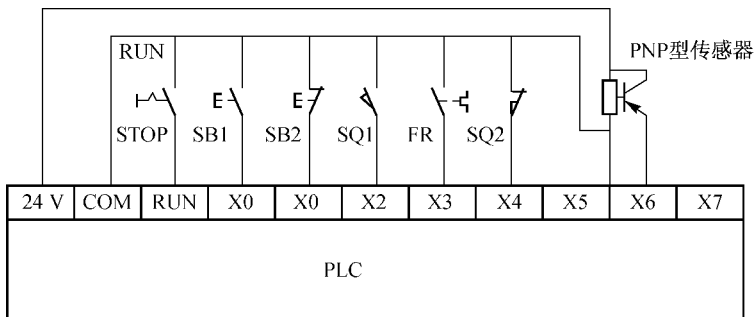


图 3-1 三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC输入电路的连接

输出电路就是PLC的负载电路,三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC输出电路的连接如图3-2所示。PLC仅提供输出端子,通过输出端子将负载和负载电源连接成一个电路,这样负载的状态就由PLC的输出端子进行控制,输出端子动作,则负载通电。负载电源的规格应根据负载的需要和输出端子的技术要求进行选择。一般情况下,每个输出端子应该有两个端子,所以在设计输出电路的连接时,应注意输出端子共用端的问题。为了减少输出端子的个数,可在PLC内部将其中的一个输出端子采用公共端连接,即将几个输出端子的一端连接到一起,形成公共端COM。三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC的输出端子一般采用每4个点共COM连接,在使用时要特别注意这一点,否则可能导致负载不能正常工作。

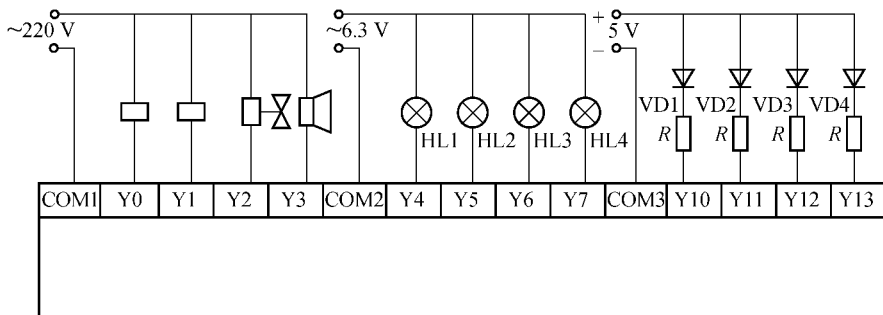


图 3-2 三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC输出电路的连接

## 3.2 三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC内部编程元件及其功能

三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC内部的编程元件是指支持该系列PLC编程语言的软元件,分别称



为继电器、定时器、计数器等。如编程用的继电器元件,它的工作线圈没有工作电压等级、功耗大小和电磁惯性等问题;触点没有数量限制、机械磨损和电蚀等问题;在不同的指令操作下,它的工作状态可以无记忆也可以有记忆,甚至还可以作脉冲数字元件使用。

### 3.2.1 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 内部各编程元件

三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 内部所有编程元件及其地址编号见表 3-2。

表 3-2 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 内部所有编程元件及其地址编号

项 目	型 号						
输入继电器 X	FX <sub>2N</sub> -16M X0~X7 8 点	FX <sub>2N</sub> -32M X0~X17 16 点	FX <sub>2N</sub> -48M X0~X27 24 点	FX <sub>2N</sub> -64M X0~X37 32 点	FX <sub>2N</sub> -80M X0~X47 40 点	FX <sub>2N</sub> -128M X0~X77 64 点	带扩展 X0~X267 184 点
输出继电器 Y	FX <sub>2N</sub> -16M Y0~Y7 8 点	FX <sub>2N</sub> -32M Y0~Y17 16 点	FX <sub>2N</sub> -48M Y0~Y27 24 点	FX <sub>2N</sub> -64M Y0~Y37 32 点	FX <sub>2N</sub> -80M Y0~Y47 40 点	FX <sub>2N</sub> -128M Y0~Y77 64 点	带扩展 Y0~Y267 184 点
辅助继电器 M	通用 M0~M499 500 点		保持 M500~M3071 2 572 点		特殊 M8000~M8255 256 点		
状态继电器 S	初始化 S0~S9 10 点		回零 S10~S19 10 点	通用 S20~S499 480 点	断电保持 S500~S899 400 点	信号报警 S900~S999 100 点	
定时器 T	T0~T199 时基 100 ms 200 点		T200~T245 时基 10 ms 46 点	T246~T249 时基 1 ms 积算 4 点	T250~T255 时基 100 ms 积算 6 点		
计数器 C	16 位通用 C0~C99 100 点		16 位断电保持 C100~C199 100 点	32 位通用 C200~C219 20 点	32 位断电保持 C220~C234 15 点	高速 C235~C255 21 点	
数据寄存器 D	通用 D0~D199 200 点		断电保持 D200~D7999 7 800 点	特殊 D8000~D8255 只能 256 点	文件 D1000~D7999 7 000 点		
变址寄存器 V/Z	V0~V7 8 点				Z0~Z7 8 点		
指针 P/I	分支用 P0~P127 128 点				中断用 I00×~I50×(输入中断)、I6××~I8×× (定时器中断)、I010~I060(计数器中断) 15 点		
常数 K/H	十进制 K 16 位: -32 768~+32 767 32 位: -2 147 483 648~+2 147 483 647				十六进制 H 16 位: 0~FFFF 32 位: 0~FFFFFFFF		

表 3-2 中部分编程元件具有断电保持功能,已在相应位置标出。各编程元件的主要差异在于它们的编号号码不同,而不同内部编程元件的编号规则也有所不同,字母代号 X、T、

C等仅供用户阅读程序时提示而用。

### 3.2.2 三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC内部各编程元件的功能

#### 1. 输入继电器

输入继电器X直接接收输入给PLC的物理信号,其编号与接线端子的编号一致。输入继电器X的状态由PLC输入端子所连接的外部设备的状态(由外部信号来驱动)决定,其程序无法改变。当PLC扫描到数据I/O阶段时,输入端子的状态就锁存到输入继电器。为保证PLC内外逻辑状态一致,外部通常只接常开触点,内部有常开、常闭两种触点供编程时使用。输入继电器X是一种“位元件”,只有两种不同的状态,即闭合或断开,可以分别用二进制数“1”和“0”来表示这两种状态。在梯形图中,可以多次使用输入继电器X的常开、常闭触点。

三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC输入继电器X的各基本单元都有固定的编号,即输入继电器的编号。它们均按八进制编号,八进制数只有0~7这8个数字符号,遵循“逢8进1”的运算规则,如X0~X7、X10~X17等,而其中X7和X10是两个相邻的整数。扩展单元与扩展模块的输入端子编号与基本单元的输入端子编号接连。输入继电器X的输入点数最多可达184点,对应的编号为X0~X267。

#### 2. 输出继电器

输出继电器Y直接传送PLC输出的物理信号,其编号与输出端子的编号一致。PLC通过输出继电器Y的各个端子与外部的输出设备建立联系。当PLC扫描到数据I/O阶段时,输出继电器Y的状态就送到输出锁存器,经输出电路送到输出端子上。同样,输出继电器Y也是一种“位元件”。

输出继电器Y的线圈是由程序控制的,其只有一个主触点接到输出端子上供外部负载使用,其余常开、常闭触点均供内部程序使用。

输出继电器Y的各基本单元都有固定的编号,即输出继电器的编号,它们也是按八进制编号的,如Y0~Y7、Y10~Y17等。扩展单元与扩展模块的输出端子编号与基本单元的输出端子编号接连。输出继电器Y的输出点数最多可达184点,对应的编号为Y0~Y267。

如图3-3所示为一个PLC控制系统的示意图,当输入继电器X0的端子外接的输入电路接通时,它对应的输入继电器为“1”状态;当输入继电器X0的端子外接的输入电路断开时,它对应的输入继电器为“0”状态。输入继电器的状态唯一地取决于外部输入信号的状态,不可能受用户程序的控制,因此,在梯形图中绝对不能出现输入继电器的线圈。图3-3中如果输出继电器Y4的线圈通电,继电器型输出模块中对应的硬件继电器的常开触点闭合,使外部负载工作。输出模块中的每一个硬件继电器仅有一对常开触点,但是在梯形图中,每一个输出继电器的常开、常闭触点都可使用多次。

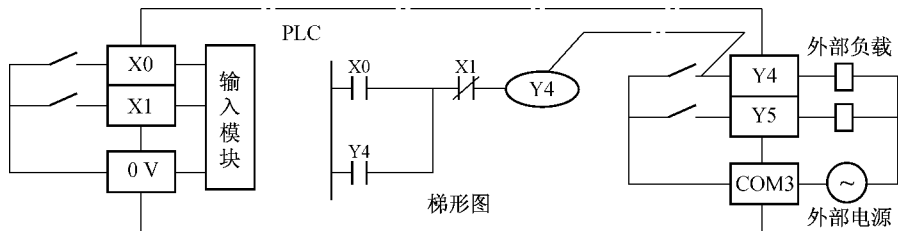


图 3-3 PLC 控制系统的示意图

### 3. 辅助继电器

辅助继电器 M 可以分成通用辅助继电器、断电保持辅助继电器和特殊辅助继电器。无论是哪一种辅助继电器,都是一种“位元件”。

#### 1) 通用辅助继电器

通用辅助继电器和 PLC 的外部无任何联系,其线圈受内部程序控制,常开、常闭触点只供内部编程使用,不能直接输出给外部设备。它是一种内部的状态标志,相当于继电器控制系统中的中间继电器。通用辅助继电器按十进制地址编号为 M0~M499,共 500 点。

#### 2) 断电保持辅助继电器

断电保持辅助继电器可记忆控制系统电源中断的瞬时状态。它的功能与通用辅助继电器相同,也按十进制地址编号为 M500~M3071,共 2 572 点。它们的区别在于当 PLC 在运行过程中,不管什么原因使电源断电,断电保持辅助继电器仍能保持原来的状态。断电保持辅助继电器是由 PLC 内的锂电池支持的。

#### 3) 特殊辅助继电器

特殊辅助继电器也是内部编程使用的继电器,与通用辅助继电器的本质区别在于特殊辅助继电器是用于监测 PLC 工作状态,提供时钟脉冲,给出错误标志,或者用于步进顺控、禁止中断以及设定计数器是加计数还是减计数等。特殊辅助继电器地址编号为 M8000~M8255,共 256 点。它可分为两类:一类用户只能使用其触点;另一类用户可驱动其线圈,当用户接通其线圈时,PLC 完成特定的动作。常用特殊辅助继电器的功能如下:

M8000——在 PLC 运行期间始终保持接通。

M8001——在 PLC 运行期间始终保持断开。

M8002——PLC 开始运行的第一个扫描周期接通,此后就一直断开。

M8011——周期为 10 ms 的时钟脉冲(5 ms 通、5 ms 断)。

M8012——周期为 100 ms 的时钟脉冲(50 ms 通、50 ms 断)。

M8013——周期为 1 s 的时钟脉冲(0.5 s 通、0.5 s 断)。

M8014——周期为 1 min 的时钟脉冲(0.5 min 通、0.5 min 断)。

M8020——指令执行结果为 0 时接通。

M8021——指令执行结果有借位时接通。

M8022——指令执行结果有进位时接通。

M8028——接通时,定时器 T32~T62 的时基改为 0.01 s。

M8030——锂电池欠电压指示,当锂电池电压跌落时接通。

M8034——禁止输出,接通时全部输出被切断。

M8067——指令执行错误标志。

### 4. 状态继电器

状态继电器 S 是用于编写顺序控制程序的一种编程元件,与步进顺控指令组合使用。当状态继电器 S 不与步进顺控指令组合使用时,可作为辅助继电器使用,且具有断电保持功能。状态继电器 S 的编号为 S0~S999,其中 S0~S9 为初始化状态继电器;S10~S19 为回零状态继电器;S20~S499 为通用状态继电器;S500~S899 为断电保持状态继电器;S900~S999 为信号报警状态继电器。

下面举例说明状态继电器的使用方法。某机械手经历下面一系列动作:下降→夹紧→

上升→松开。其顺序功能图如图3-4所示。如果输入继电器X0接通,则状态继电器S20被置位,控制下降的电磁阀Y0动作。如果输入继电器X1接通,则状态继电器S21被置位,控制夹紧的电磁阀Y1动作。随着动作的转移,前一状态继电器自动变为断开状态。依据这种控制方式,可依次实现一系列动作的顺序控制。

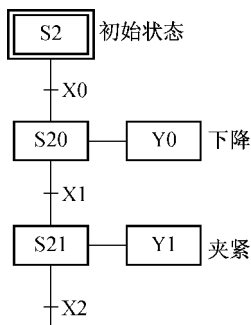


图 3-4 机械手控制电路的顺序功能图

## 5. 定时器

定时器 T 相当于继电器控制系统中的时间继电器。它有一个设定值寄存器、一个当前值寄存器和一个用来储存输出触点状态的映像寄存器,这三个存储单元使用同一个元件号。

定时器 T 既可用常数 K 来设定,又可用数据寄存器 D 的内容来设定。例如,外部数字开关输入的数据可以存入数据寄存器,作为定时器的设定值。通常使用有电池后备的数据寄存器,这样在断电时不会丢失数据。

定时器 T 可分为通用定时器和积算定时器,它们的计时范围和地址编号见表 3-2。该系列每个定时器只有一个输入(没有复位输入),与常规定时器一样,当驱动输入接通时,其开始计时;当驱动输入断开时,其自动复位,不保存中间数值。定时器对时基脉冲进行累积计时。编号为 T0~T199 的定时器时基为 100 ms,它的定时范围为 0.1~3 276.7 s;编号为 T200~T245 的定时器时基为 10 ms,它的定时范围为 0.01~327.67 s;编号为 T246~T249 的积算定时器时基为 1 ms,它的定时范围为 0.001~32.767 s;编号为 T250~T255 的积算定时器时基为 100 ms,它的定时范围为 0.1~3 276.7 s。

下面举例说明定时器的使用方法。如图 3-5 所示,当输入继电器 X0 的常开触点闭合时,定时器 T200 的当前值从 0 开始,对 10 ms 时钟脉冲进行累加。当当前值等于设定值 414 时,定时器 T200 的常开触点闭合,即定时器 T200 的输出触点在被驱动  $10\text{ ms} \times 414 = 4.14\text{ s}$  后动作。当输入继电器 X0 的常开触点断开后,定时器 T200 被复位,它的常开触点断开,当前值恢复为 0。

## 6. 计数器

计数器 C 是用来对 PLC 的内部映像寄存器 X、Y、M、S 提供信号计数,计数脉冲接通或断开的持续时间,应大于 PLC 的扫描周期,其响应速度通常小于数十赫兹。

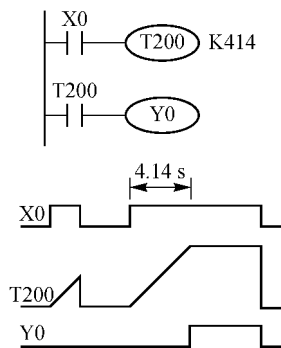


图 3-5 定时器的工作过程

### 1) 内部计数器

编号为 C0~C99 的为 16 位通用型递加计数器;编号为 C100~C199 的为 16 位断电保持型递加计数器,即使在计数过程中断电,计数值也能保持;编号为 C200~C219 的为 32 位通用型双向计数器;编号为 C220~C234 的为 32 位断电保持型双向计数器。

16 位通用型递加计数器的设定值为 1~32 767。其工作过程如图 3-6 所示。

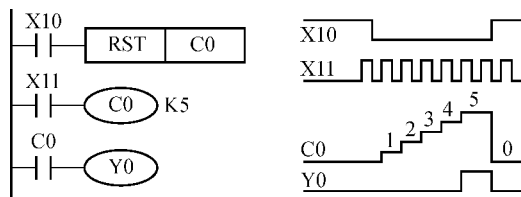


图 3-6 16 位通用型递加计数器的工作过程

图 3-6 中输入继电器 X10 的常开触点闭合后,计数器 C0 被复位,它所对应的位存储单元被置 0,它的常开触点断开,同时其计数当前值被置为 0。输入继电器 X11 是用来提供计数输入信号的,当计数器 C0 的复位输入电路断开,计数输入电路由断开变为接通(即计数脉冲的上升沿)时,计数器 C0 的当前值加 1。在 5 个计数脉冲之后,计数器 C0 的当前值等于设定值 5,它对应的位存储单元的内容被置 1,其常开触点闭合。再来计数脉冲时当前值不变,直到复位输入电路接通,计数器的当前值被置为 0。

断电保持型计数器在电源断电时仍可保持其状态信息,重新通电后能立即按断电时的状态恢复工作。

### 2) 高速计数器

编号为 C235~C255 的为高速计数器,其共用 PLC 的 8 个高速计数器输入端 X0~X7,且一个输入端只能同时供一个高速计数器使用。三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 高速计数器的类型见表 3-3。不同类型的高速计数器可以同时使用,但是输入不能冲突。

表 3-3 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 高速计数器的类型

类 型	编号及性质
1 相无启动/复位端子高速计数器	C235~C240,6 点
1 相带启动/复位端子高速计数器	C241~C245,5 点
1 相 2 输入高速计数器	C246~C250,5 点
A-B 相高速计数器	C251~C255,5 点

高速计数器的运行是建立在中断的基础上的,只要有中断,它就开始工作,而与扫描时间无关。在对外部的高速脉冲进行计数时,梯形图中高速计数器的线圈应一直通电,以表示与它有关的输入端子已被使用,其他高速计数器的处理不能与它冲突。各个高速计数器对应的输入端子的元件号见表 3-4,表中的 U、D 分别为加、减计数输入,A、B 分别为 A-B 相输入,R 为复位输入,S 为置位输入。

表 3-4 各个高速计数器对应的输入端子的元件号

中断输入		X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1相无启动/复位 端子高速计数器	C235	U/D							
	C236		U/D						
	C237			U/D					
	C238				U/D				
	C239					U/D			
	C240						U/D		
1相带启动/复位 端子高速计数器	C241	U/D	R						
	C242			U/D	R				
	C243					U/D	R		
	C244	U/D	R					S	
	C245			U/D	R				S
1相2输入高速 计数器	C246	U	D						
	C247	U	D	R					
	C248				U	D	R		
	C249	U	D	R				S	
	C250				U	D	R		S
A-B相高速计 数器	C251	A	B						
	C252	A	B	R					
	C253				A	B	R		
	C254	A	B	R				S	
	C255				A	B	R		S

可用特殊辅助继电器 M8235~M8245 来设置高速计数器 C235~C240 和 C241~C245 的计数方向。当特殊辅助继电器 M 接通时为递减计数；当特殊辅助继电器 M 断开时为递增计数。高速计数器 C235~C240 只能用复位指令来复位。

如图 3-7 所示，高速计数器 C244 是 1 相带启动/复位端子高速计数器，由表 3-4 可知，X1 和 X6 分别为高速计数器 C244 的复位和启动输入端，它们的复位和启动与扫描工作方式无关，其作用是立即和直接的。如果输入继电器 X12 的常开触点闭合，一旦高速计数器 C244 的置位输入端 X6 接通时，其立即开始计数；当高速计数器 C244 的置位输入端 X6 断开时，其立即停止计数。高速计数器 C244 的设定值由数据寄存器 D0 和 D1 指定。高速计数器 C244 除了用复位输入端 X1 来立即复位外，也可以在梯形图中用复位指令复位。

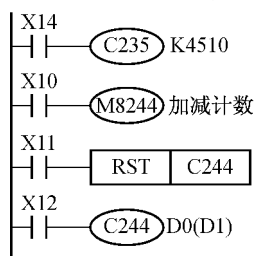


图 3-7 1相带启动/复位端子高速计数器

另外,还需要特殊说明的是,图 3-7 中当输入继电器 X14 的常开触点闭合时,选择了高速计数器 C235。由表 3-4 可知,高速计数器 C235 的计数输入端是 X0,但是它并不在程序中出现,计数信号不是由输入继电器 X14 提供的。

高速计数器 C246~C250 有一个递加计数输入端和一个递减计数输入端。由表 3-4 可知,高速计数器 C246 的递加、递减计数输入端分别是 X0 和 X1,在高速计数器 C246 的线圈通电时,在输入端 X0 的上升沿,高速计数器 C246 的当前值加 1;在输入端 X1 的上升沿,高速计数器 C246 的当前值减 1。

高速计数器 C251~C255 有 A、B 两个计数输入端,某些计数器还有启动和复位输入端。

下面举例说明 A-B 相高速计数器的工作过程。如图 3-8 所示,当输入继电器 X11 的常开触点闭合时,高速计数器 C251 被复位。当输入继电器 X12 的常开触点闭合时,高速计数器 C251 对 X0 输入的 A 相信号和 X1 输入的 B 相信号的开始动作计数,当计数值大于等于设定值时,输出继电器 Y2 的线圈通电。

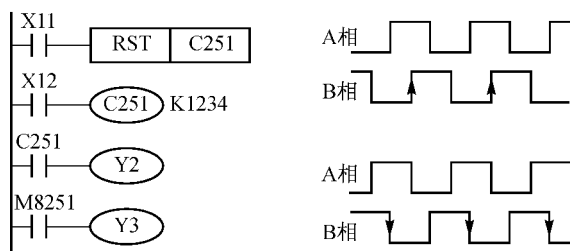


图 3-8 A-B 相高速计数器的工作过程

A-B 相输入不仅提供计数信号,根据它们的相对相位关系,还提供了计数的方向。在旋转轴上安装 A-B 相编码器,可使轴在正转时自动进行递加计数;在反转时自动进行递减计数。图 3-8 中,当 A 相输入为 ON 时,若 B 相输入由 OFF 变为 ON,为递加计数;若 B 相输入由 ON 变为 OFF,为递减计数。通过特殊辅助继电器 M8251 可设定高速计数器 C251 的加减计数状态,当其接通时,为递减计数;当其断开时,为递加计数。

单相和双向高速计数器的最高计数频率为 10 kHz, A-B 相高速计数器的最高计数频率为 5 kHz。

## 7. 数据寄存器

数据寄存器 D 在模拟量的检测、控制以及位置控制等场合用来存储数据和参数,是 PLC 必不可少的元件。

### 1) 通用数据寄存器

通用数据寄存器 D0~D199 为 16 位,用于存放 16 位二进制数或一个字等各种数据。两个数据寄存器合并起来可以存放 32 位数据(双字),在通用数据寄存器 D0 和 D1 组成的双字中,D0 存放低 16 位,D1 存放高 16 位。字或双字的最高位为符号位,该位为 0 时数据为正,为 1 时数据为负。

将数据写入通用寄存器之后,其值将保持不变,直到下一次被改写。PLC 从 RUN 状态进入 STOP 状态时,所有的通用寄存器的值都被改写为 0。但是也有特殊的时候,即如果特殊辅助继电器 M8033 接通,PLC 从 RUN 状态进入 STOP 状态时,通用寄存器的值保持不变。

## 2) 断电保持数据寄存器

断电保持数据寄存器 D200~D7999 具有断电保持的功能,即当 PLC 从接通状态进入断开状态时,以上编号的数据寄存器的值保持不变。利用参数设定,可改变电池保持的数据寄存器的范围。

## 3) 特殊数据寄存器

特殊数据寄存器 D8000~D8255 可用来控制和监视 PLC 内部的各种工作方式和元件,如电池电压和扫描时间等。PLC 通电时,特殊数据寄存器均被写入默认的值。

## 4) 文件数据寄存器

文件数据寄存器 D1000~D7999 以 500 点为单位,可被外部设备存取。它实际上被设置为 PLC 的参数区,与断电保持数据寄存器是重叠的,可保证数据不会丢失,并且可通过块传送指令改写。

## 8. 变址寄存器

三菱 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 有 16 个变址寄存器 V/Z。它们均为 16 位的寄存器,里面存放的是偏移量,用于改变编程元件的地址编号,实现变址寻址,即以变址的方式求得数据单元的地址。例如,当变址寄存器 V=12 时,数据寄存器 D6V 相当于 D18(6+12=18)。通过修改变址寄存器 V 的值,可以改变实际的操作数。变址寄存器 V 也可以用来修改常数的值,例如,当变址寄存器 Z=21 时,K48Z 相当于 K69(21+48=69)。另外,变址寄存器 V/Z 也可合并使用,且 Z 为低 16 位,V 为高 16 位。

## 9. 指针

在梯形图中指针 P/I 放在左侧母线的左边,如图 3-9 所示。

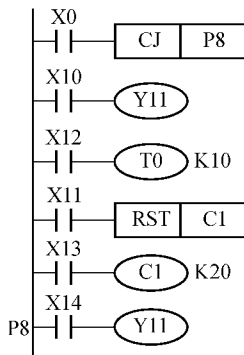


图 3-9 条件跳转指令与指针 P 的结合使用

### 1) 分支用指针

分支用指针 P0~P127 在使用时,要与相应的条件跳转指令相结合。例如,条件跳转指令用于跳过顺序程序中的某一部分,以控制程序的流程。下面举例说明条件跳转指令与分支用指针 P0~P63 结合使用实现控制的过程。图 3-9 中,若输入继电器 X0 的常开触点闭合,则程序跳转到指针 P8 处,此时,不执行被跳过的那部分指令;若输入继电器 X0 的常开触点断开,则程序不执行跳转,而按原顺序进行。多条跳转指令可以使用相同的指针。

分支用指针可以出现在相应跳转指令之前,但是如果反复跳转的时间超过监控定时器



的设定时间,会引起监控定时器出错。一个指针只能出现一次,如出现两次或两次以上,则会出错。如果用特殊辅助继电器 M8000 的常开触点驱动条件跳转指令,相当于无条件跳转指令,因为运行时特殊辅助继电器 M8000 总是为接通状态。

## 2) 中断用指针

中断用指针  $I \times \times \times$  是指明某一中断源的中断程序入口指针,执行到中断返回指令时返回主程序。中断指针应在主程序结束指令之后使用。

中断用指针包括输入中断用指针、定时器中断用指针和计数器中断用指针。

(1) 输入中断用指针。输入中断用指针  $I00 \times \sim I50 \times$  可用来接收特定的输入地址号的输入信号,输入中断用指针的编号如图 3-10 所示。输入中断用指针为  $I \square 0 \square$ , 最高位与  $X0 \sim X3$  的元件号相对应。最低位为 0 时表示下降沿中断,反之为上升沿中断。例如,  $I001$  之后的中断程序在输入信号  $X0$  的上升沿执行。

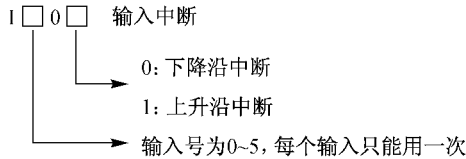


图 3-10 输入中断用指针的编号

同一个输入中断源只能使用上升沿中断或下降沿中断。例如,不能同时使用中断指针  $I000$  和  $I001$ 。用于中断的输入点不能与已经用于高速计数器的输入点冲突。

(2) 定时器中断用指针。定时器中断用指针  $I6 \times \times \sim I8 \times \times$  的低两位是以“ms”为单位的定时时间。定时中断用指针使 PLC 以指定的周期定时执行中断子程序,循环处理某些任务,处理时间不受 PLC 扫描周期的影响。

(3) 计数器中断用指针。计数器中断用指针  $I010 \sim I060$  与高速计数器比较置位指令配合使用,根据高速计数器的计数当前值与计数设定值的关系来确定是否执行相应的中断服务程序。

## 10. 常数

常数 K 用来表示十进制常数,16 位常数的范围为  $-32\ 768 \sim +32\ 767$ 。32 位常数的范围为  $-2\ 147\ 483\ 648 \sim +2\ 147\ 483\ 647$ 。

常数 H 用来表示十六进制常数,十六进制包括  $0 \sim 9$  和  $A \sim F$  这 16 个数字,16 位常数的范围为  $0 \sim FFFF$ ,32 位常数的范围为  $0 \sim FFFFFFFF$ 。

## 3.3 三菱 $FX_{2N}$ 系列 PLC 的基本逻辑指令

三菱  $FX_{2N}$  系列 PLC 的指令大体上可分为基本逻辑指令和功能指令。本节只对基本逻辑指令进行介绍。

基本逻辑指令是 PLC 中最基础的编程语言,用于为输出指令、功能指令等建立逻辑条件,掌握了它也就初步掌握了 PLC 的使用方法。各种型号的 PLC 的基本逻辑指令大同小异,掌握三菱  $FX_{2N}$  系列 PLC 指令可为其他系列指令的学习奠定基础。

### 3.3.1 取、取反和输出指令

取指令 LD 和取反指令 LDI 均为起始指令,用在每一个梯级的开始。如果梯级开始是常开触点,就使用 LD 指令;如果梯级开始是常闭触点,就使用 LDI 指令。LD 和 LDI 指令均可用于输入继电器 X、输出继电器 Y、辅助继电器 M、状态继电器 S、定时器 T 和计数器 C。输出指令 OUT 为驱动线圈的输出指令,可用于输出继电器 Y、辅助继电器 M、状态继电器 S、定时器 T 和计数器 C。LD、LDI 和 OUT 指令的梯形图和语句表如图 3-11 所示。

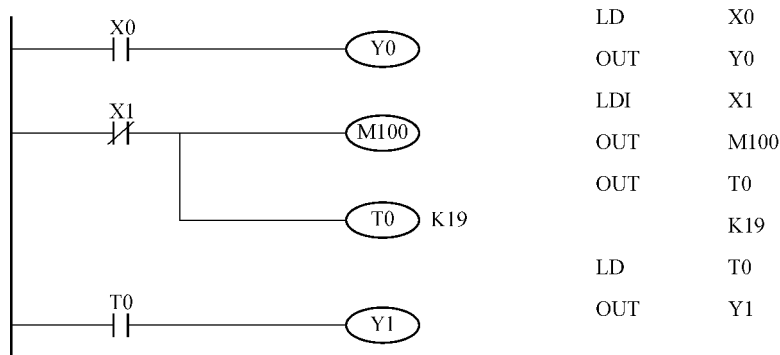


图 3-11 LD、LDI 和 OUT 指令的梯形图和语句表

LD 和 LDI 指令对应的触点一般与左侧母线相连。线圈和输出类指令应放在梯形图的最右边。OUT 指令可以连续使用若干次,相当于线圈的并联。定时器 T 和计数器 C 的 OUT 指令之后应设置以字母 K 开始的十进制常数,常数占一个步序。定时器 T 实际的定时时间与定时器的种类有关。图 3-11 中定时器 T0 是时基为 100 ms 的定时器,K19 对应的定时时间为 1.9 s。

### 3.3.2 逻辑与和逻辑或指令

逻辑与指令 AND、ANI 和逻辑或指令 OR、ORI 分别用于处理对应触点的串联与并联。AND、ANI 和 OR、ORI 指令均可以用于输入继电器 X、输出继电器 Y、辅助继电器 M、状态继电器 S、定时器 T 和计数器 C。

#### 1. 逻辑与指令

单个触点与左边的电路串联时,使用 AND 或 ANI 指令,串联一个常开触点用 AND 指令,串联一个常闭触点用 ANI 指令,串联触点的个数没有限制,可连续使用。AND 和 ANI 指令的梯形图和语句表如图 3-12 所示。

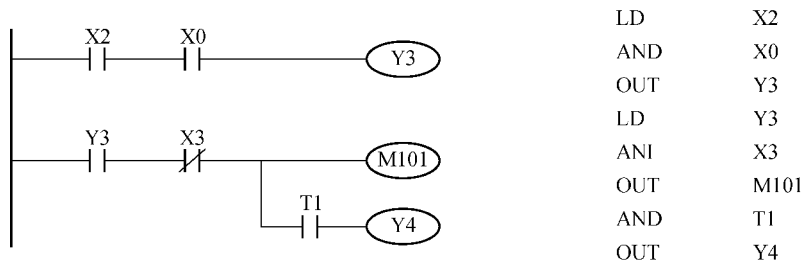


图 3-12 AND 和 ANI 指令的梯形图和语句表

## 2. 逻辑或指令

OR 和 ORI 指令用于单个触点与前面电路的并联, 并联一个常开触点用 OR 指令, 并联一个常闭触点用 ORI 指令。并联触点的左端接到该指令所在的电路块的起始点上, 右端与前一条指令对应的触点的右端相连。OR 和 ORI 指令的梯形图和语句表如图 3-13 所示。

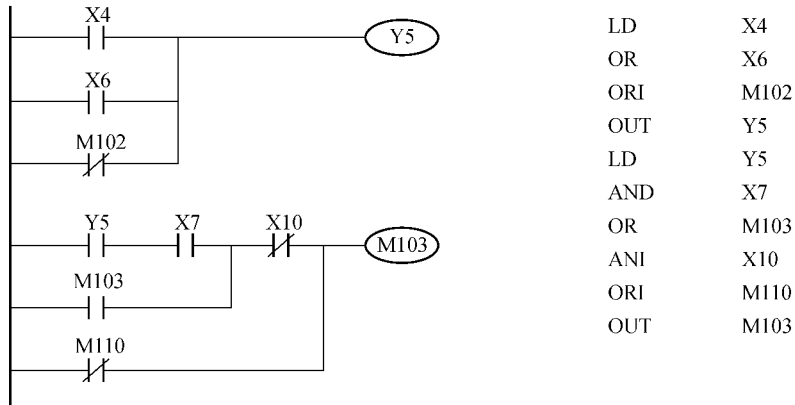


图 3-13 OR 和 ORI 指令的梯形图和语句表

### 3.3.3 块或和块与指令

#### 1. 块或指令

块或指令 ORB 用来处理两个触点组的并联。触点组就是若干个触点的组合, 也称为程序块。当两个程序块并联时, 每个触点都以起始指令开始单独编程, 然后用 ORB 指令将两个程序块并联起来。ORB 指令的梯形图和语句表如图 3-14 所示。

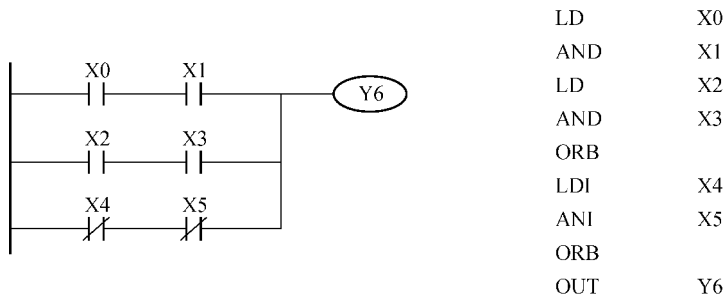


图 3-14 ORB 指令的梯形图和语句表

#### 2. 块与指令

块与指令 ANB 用来处理两个触点组的串联。ANB 指令相当于两个程序块之间的串联连线, 该连线上所对应的触点可视为它右边的程序块的 LD 点。要串联的程序块的起始触点使用 LD 或 LDI 指令, 完成了两个程序块的内部连接后, 用 ANB 指令将它与前面的程序串联。ANB 指令的梯形图和语句表如图 3-15 所示。

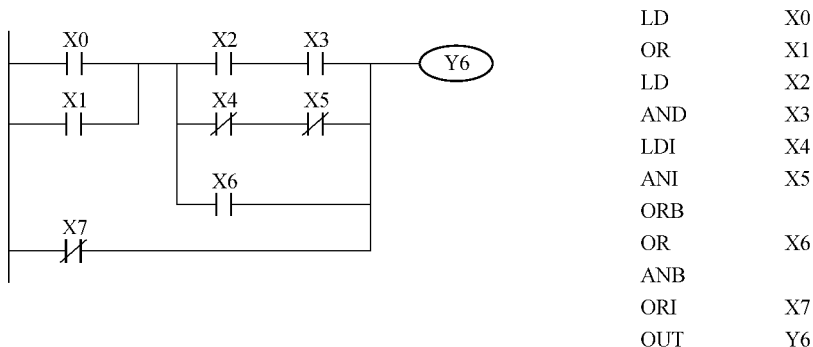


图 3-15 ANB 指令的梯形图和语句表

### 3.3.4 置位和复位指令

置位指令 SET 是使操作保持接通的指令；复位指令 RST 是使操作保持断开的指令。它们的功能类似于电子电路的 R-S 触发器。当 SET 指令的输入逻辑接通后，继电器接通。若将 SET 指令的输入逻辑断开，该继电器仍然保持接通，直到 RST 指令执行时，继电器才断开。SET 指令可以用于输出继电器 Y、辅助继电器 M 和状态继电器 S。RST 指令可以用于输出继电器 Y、辅助继电器 M、状态继电器 S、定时器 T、计数器 C 和数据寄存器 D。SET 和 RST 指令的梯形图和语句表如图 3-16 所示。

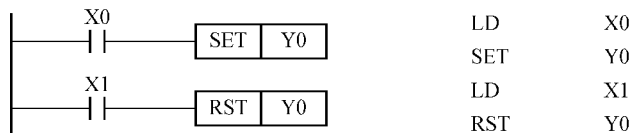


图 3-16 SET 和 RST 指令的梯形图和语句表

每条指令的操作都会对应相应的脉冲信号，而这些脉冲信号在时间上是有严格的先后次序的，这些次序就是计算机的时序。将一组相关指令的时序图组合在一起，就能比较清楚地展示出这些相关指令的工作规律。SET 和 RST 指令的时序图如图 3-17 所示。

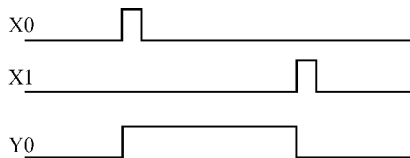


图 3-17 SET 和 RST 指令的时序图

### 3.3.5 微分指令

上升沿微分指令和下降沿微分指令统称为微分指令。它们只能用于输出继电器 Y 和辅助继电器 M(不包括特殊辅助继电器)。

### 1. 上升沿微分指令

上升沿微分指令 PLS 的功能是逻辑条件从断开到接通时,产生一个扫描周期的脉冲。PLS 指令的梯形图及语句表如图 3-18 所示。

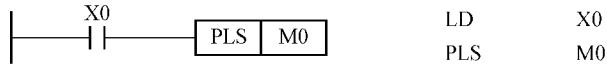


图 3-18 PLS 指令的梯形图和语句表

辅助继电器 M0 仅在输入继电器 X0 的常开触点由断开变为闭合(即 X0 的上升沿)后的一个扫描周期内接通。PLS 指令的时序图如图 3-19 所示。

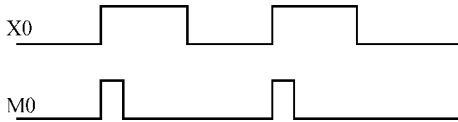


图 3-19 PLS 指令的时序图

### 2. 下降沿微分指令

下降沿微分指令 PLF 的功能是逻辑条件从接通到断开时,产生一个扫描周期的脉冲。PLF 指令的梯形图及语句表如图 3-20 所示。

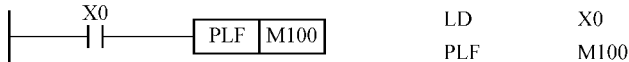


图 3-20 PLF 指令的梯形图和语句表

辅助继电器 M100 仅在输入继电器 X0 的常开触点由闭合变为断开(即 X0 的下降沿)后的一个扫描周期内接通。PLF 指令的时序图如图 3-21 所示。

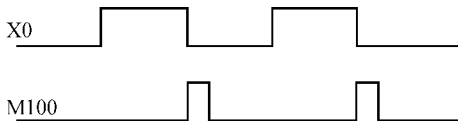


图 3-21 PLF 指令的时序图

### 3.3.6 进栈、读栈和出栈指令

进栈指令 MPS、读栈指令 MRD 和出栈指令 MPP 用于多重输出电路。其中 MPS 指令用于存储电路中分支点处的逻辑运算结果,以便后面处理有线圈的支路时可以调用该运算结果。使用一次 MPS 指令,当时的逻辑运算结果压入堆栈的第一层,堆栈中原来的数据依次向下一层推移。MRD 指令用于读取存储在堆栈最上层的电路中分支点处的运算结果,将下一触点强制性地连接在该点,读数后堆栈内的数据不会上移或下移。MPP 指令用于将存储在电路中分支点的运算结果弹出(调用并去掉),将下一触点连接在该点后,从堆栈中去掉该点的运算结果。使用 MPP 指令时,堆栈中各层的数据向上移动一层,最上层的数据在读出后从栈内消失。如图 3-22 所示为栈存储器。

如图 3-23 所示为使用一层栈的梯形图和语句表。每一条 MPS 指令必须有一条对应的

MPP指令,处理最后一条支路时必须使用MPP指令。在一块独立电路中,用MPS指令同时保存在堆栈中的运算结果不能超过11个。下面举例说明一层栈的执行过程。对于一个多重输出电路,首先MPS指令会将分支点处的逻辑运算结果(即X0触点的状态)存储起来,送入堆栈中。第一路输出后面的语句表正常书写;第二路输出首先使用MRD指令读取已经存储下来的支路运算结果,再用AND指令与后面并联的输入继电器X2的常开触点并联,控制输出继电器Y4的输出;第三路的输出使用MPP指令将已经存储下来的支路运算结果弹出并去掉,所以输入继电器X3的常开触点要使用LD指令。

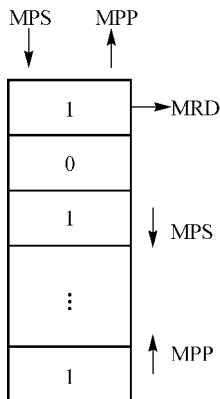


图 3-22 栈存储器

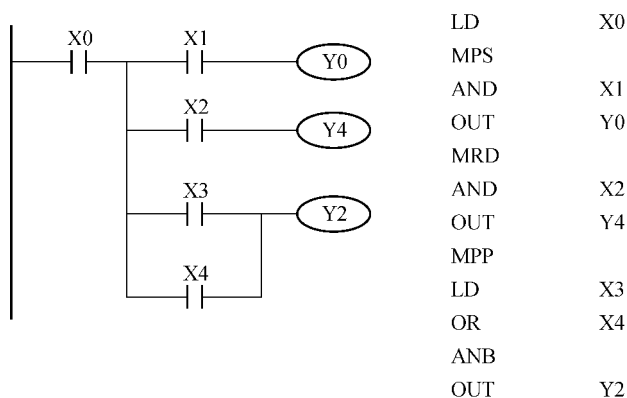


图 3-23 使用一层栈的梯形图和语句表

### 3.3.7 主控和主控复位指令

主控指令MC用于表示主控区的开始。MC指令只能用于输出继电器Y和辅助继电器M(不包括特殊辅助继电器)。主控复位指令MCR用来表示主控区的结束。

在编程时,经常会遇到许多线圈同时受一个或一组触点控制的情况,如果在每个线圈的控制电路中都串入同样的触点,将占用很多存储单元,MC指令可以解决这一问题。使用MC指令的触点称为主控触点,它在梯形图中与一般的触点垂直。主控触点是控制一组电路的总开关。

与主控触点相连的触点必须使用LD或LDI指令,换句话说,执行MC指令后,母线移到主控触点的后面。MCR指令可使母线回到原来的位置。

MC和MCR指令的执行流程如图3-24所示。当输入继电器X2的常开触点闭合时,从MC指令到MCR指令之间的梯形图程序段能执行;当输入继电器X2的常开触点断开时,程序跳转到MCR指令之后执行,即从MC指令到MCR指令之间的梯形图程序段不执行。

MC和MCR指令的梯形图和语句表如图3-25所示。当输入继电器X2的常开触点闭合时,左母线上串联的辅助继电器M10接通,MC指令到MCR指令之间的三个梯级都能得到执行。此时,若输入继电器X3与X4的常开触点同时闭合,则输出继电器Y4接通;若输入继电器X5的常开触点闭合,则输出继电器Y5接通;若输入继电器X6的常闭触点保持闭合,则定时器T6开始延时。当输入继电器X2的常开触点断开时,MC指令到MCR指令之间的三个梯级均不执行,程序跳转到MCR指令之后执行。此时,输出继电器Y4和Y5均断开,定时器T6复位。

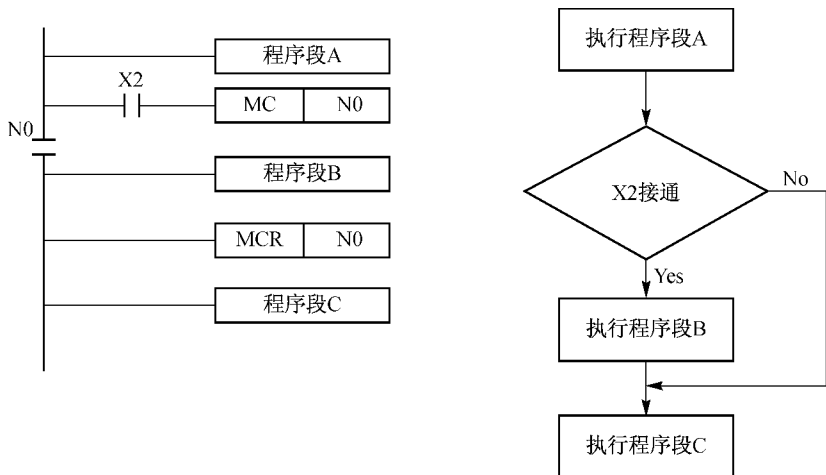


图 3-24 MC 和 MCR 指令的执行流程

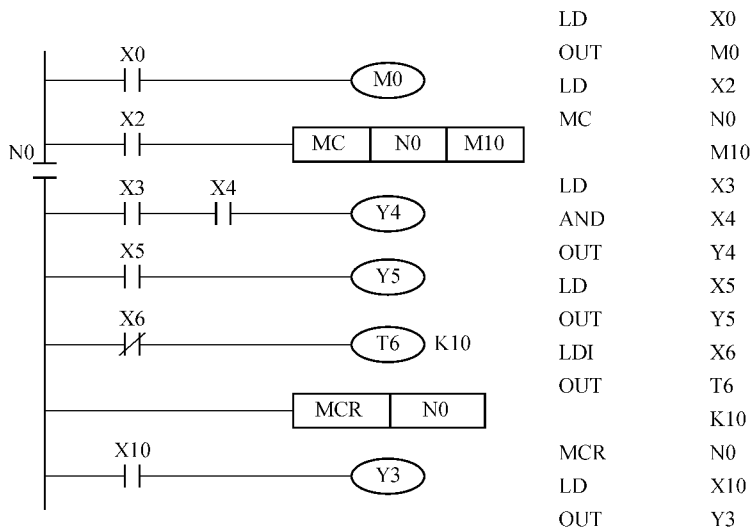


图 3-25 MC 和 MCR 指令的梯形图和语句表

### 3.3.8 取反与空操作指令

#### 1. 取反指令

取反指令 INV 在梯形图中用一条 45° 的短斜线来表示, 它对该指令之前的运算结果取反, 运算结果为“0”它变为“1”, 运算结果为“1”它变为“0”。如图 3-26 所示, 如果输入继电器 X0 和 X1 的常开触点同时闭合, 则输出继电器 Y0 断开; 反之, 则输出继电器 Y0 接通。



图 3-26 INV 指令的梯形图和语句表

## 2. 空操作指令

空操作指令NOP可使该步作空操作。执行完清除用户存储器的操作后,用户存储器的内容将全部变为NOP指令。

### 3.3.9 程序结束指令

程序结束指令END可强制结束当前的扫描执行过程。若不写END指令,将从用户程序存储器的第一步执行到最后一步。若写入END指令,只执行第一步至END指令这一步之间的程序。使用END指令可以缩短扫描周期。

在调试程序时可将END指令插在各段程序之后,从第一段开始分段调试,调试好以后必须删去程序中间的END指令,这种方法对程序的查错很有用处。

## 本章小结

本章以三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC为例,首先介绍了该系列PLC的分类,然后介绍了该系列PLC内部各编程元件及其功能,最后较为详细地介绍了该系列PLC的基本指令系统的使用范围和使用方法。

## 习 题 3

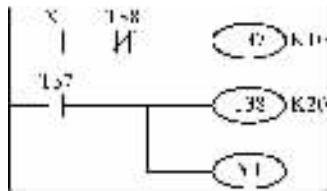
- 3-1 为什么PLC中的触点可以使用无穷多次?  
 3-2 三菱FX<sub>2N</sub>系列PLC中的内部辅助继电器共有多少个?各有什么用途?  
 3-3 绘制如图题3-3所示语句表的梯形图。

LD	X0	OR	Y4
OR	X100	D	K4
AND	X5	LD	X13
LD	X	D	X13
LD	X100	LD	X0
LD	X5	D	K5
LD	X	OR	X0
	X15		X10
LD	X	LD	X
LD	X5	OR	X1
LD	X5		

图题 3-3

- 3-4 绘制如图题3-4所示的当输入继电器X1接通时输出继电器Y1的时序图(包括三个周期)。

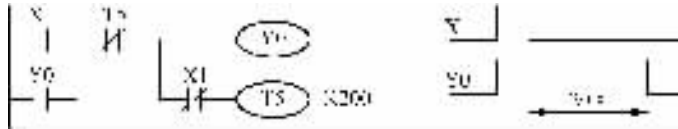




图题 3-4

3-5 什么是特殊辅助继电器？它有几类？具体的功用是什么？

3-6 试写出如图题 3-6 所示梯形图的语句表，并简要分析其控制过程。



图题 3-6

3-7 设计用两个定时器延长定时时间。

3-8 绘制如图题 3-8 所示语句表所对应的梯形图。

3-9 绘制如图题 3-9 所示语句表所对应的梯形图。

LD	X0
LD	Y0
AND	Y1
LD	X1
AND	Y2
LD	Y0
LD	Y1
AND	X2
LD	Y1
AND	X3
LD	Y1
AND	X4
LD	Y2

图题 3-8

LD	X0
OR	X1
LD	X2
AND	X3
LD	X4
OR	X5
AND	X6
OR	X7
LD	X8

图题 3-9

3-10 用 SET 和 RST 指令设计一台电动机的启动控制程序。