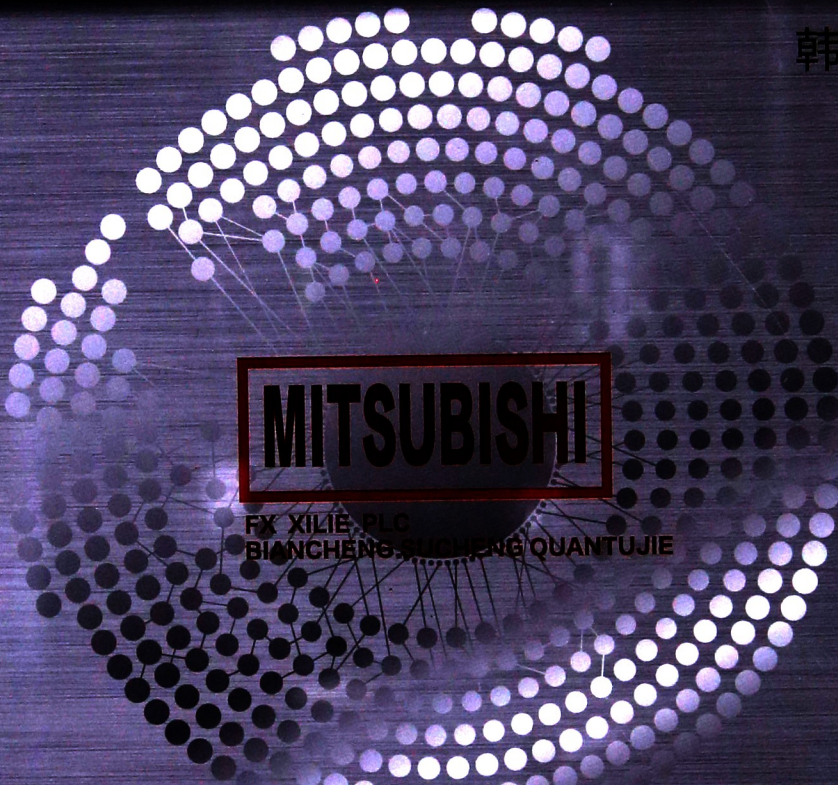


三菱FX系列 PLC

编程速成全图解

韩相争 编著



MITSUBISHI

FX XILIE PLC
BIANCHENG SUICHENG QUANTUJIE

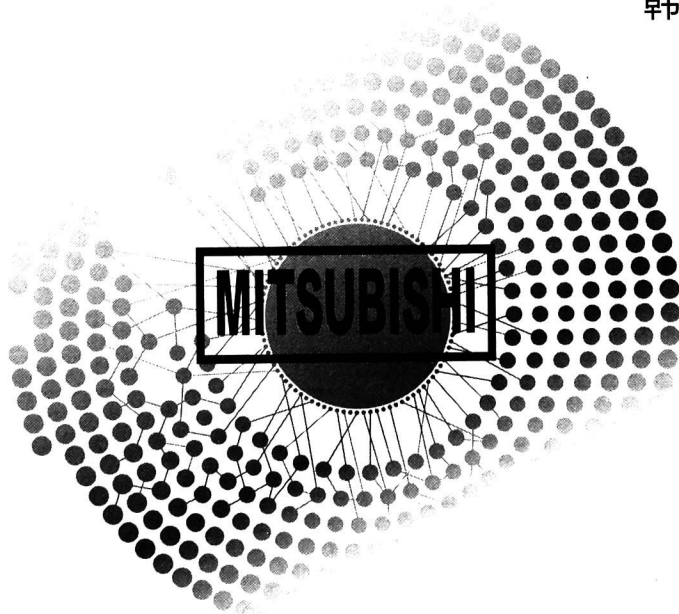


化学工业出版社

三菱FX系列 PLC

编程速成全图解

韩相争 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

三菱 FX 系列 PLC 编程速成全图解/韩相争编著. —北京:化学工业出版社,2015.6
ISBN 978-7-122-23649-4

I. ①三… II. ①韩… III. ①PLC 技术-程序设计-图解 IV. ①TM571.6-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 075168 号

责任编辑:宋 辉
责任校对:吴 静

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 493 千字 2015 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

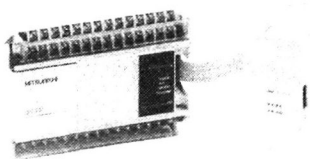
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:56.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD



三菱 FX 系列 PLC 以其结构简单、功能强大、性价比高等优点，在工控等领域应用广泛。因此，熟悉 FX 系列 PLC 的性能，掌握其工作原理、编程方法和系统设计，对于电气工程技术人员来说，显得尤为重要。

本书以 FX 系列 PLC 为讲授对象，从实际应用的角度着眼，结合笔者多年教学和工程实践经验，以 FX 系列 PLC 结构、工作原理、指令系统及应用为基础，以数字量、模拟量和通信的编程方法为重点，以控制系统的设计为最终目的，循序渐进，由浅入深全面展开内容。

全书共分 9 章，包括 PLC 概述、FX 系列 PLC 硬件组成与编程基础、三菱 PLC 编程软件的使用方法、FX 系列 PLC 基本指令、应用指令、数字量控制程序的设计、模拟量控制程序的设计、通信及应用、控制系统的设计及附录。

本书具有以下特色：

1. 从实际的角度出发，重点讲述 FX 系列 PLC 的编程方法和控制系统设计，为读者解决编程无从下手和系统设计缺乏实践经验的难题；
2. 编程方法涵盖数字量控制、模拟量控制和通信领域，方法齐全新颖；
3. 以 FX 系列 PLC 系统说明书、编程说明书及硬件说明书为第一手资料，与实际接轨性强；
4. 系统地介绍三菱通用编程软件 GX Developer；
5. 以图解的形式编写，图文并茂，生动形象，易学易懂；
6. 理实结合，编写过程中列举了大量的应用实例；
7. 设有“重点提示”专栏，时时和读者进行编程经验的交流。

本书具有实用性，不仅为初学者提供了一套有效的编程方法，还为工程技术人员提供了大量的实践经验，可作为广大电气工程技术人员自学和参考用书，也可作为高等工科院校、职业技术学院自动化、机电一体化的 PLC 教材。

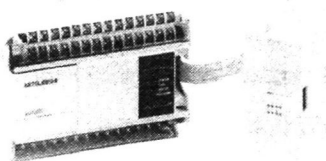
全书由韩相争编著，宁伟超、李艳昭审阅，李志远、杨萍、杜海洋和刘将帅校对，对于他们付出的辛苦和大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

由于笔者水平有限，书中难免有不足之处，敬请广大专家和读者批评指正。

韩相争

目录

CONTENTS



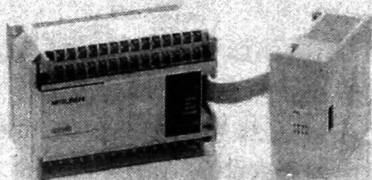
第 1 章	Page		
PLC 概述	1	2.3 FX 系列 PLC 编程元件	25
1.1 PLC 的组成	1	2.3.1 FX2N 系列 PLC 编程元件编号	25
1.1.1 PLC 的硬件组成	1	2.3.2 FX2N 系列 PLC 编程元件	25
1.1.2 PLC 的软件组成	5	2.4 FX 系列 PLC 寻址方式	39
1.2 PLC 编程语言	6	第 3 章	Page
1.2.1 梯形图	7	三菱 PLC 编程软件的使用	40
1.2.2 指令表	9	3.1 GX Developer 编程软件的使用	40
1.2.3 顺序功能图	9	3.1.1 工程项目的相关操作	42
1.3 PLC 工作原理	9	3.1.2 程序编辑	44
1.3.1 循环扫描方式	9	3.1.3 程序描述	48
1.3.2 工作过程	10	3.1.4 程序传送、监控和调试	52
1.3.3 PLC 的信号处理原则	12	3.2 GX Simulator 仿真软件使用	55
1.3.4 PLC 的延时问题	12	3.2.1 GX Simulator 仿真软件简介	55
1.3.5 PLC 控制系统与继电器控制系统工作方式的比较	12	3.2.2 GX Simulator 仿真软件启动与停止	55
1.3.6 PLC 的等效电路	13	3.3 GX Developer 编程软件使用综合举例	55
第 2 章	Page	3.3.1 GX Developer 编程软件使用应用实例	55
FX 系列 PLC 硬件组成与编程基础	15	3.3.2 建立一个完整工程项目的基本步骤	56
2.1 FX 系列 PLC 型号与硬件配置	15	第 4 章	Page
2.1.1 FX 系列 PLC 概述	15	FX 系列 PLC 基本指令	60
2.1.2 FX 系列 PLC 型号	16	4.1 位逻辑指令	60
2.1.3 FX2N 系列 PLC 一般性能指标	17	4.1.1 触点取用指令与线圈输出指令	61
2.1.4 FX2N 系列 PLC 硬件配置	19	4.1.2 触点串联指令	61
2.2 FX2N 系列 PLC 外部结构与接线	20	4.1.3 触点并联指令	62
2.2.1 FX2N 系列 PLC 外部结构	20		
2.2.2 FX2N 系列 PLC 的接线	21		

4.1.4	电路块串联指令	63	5.2.3	中断指令	96
4.1.5	电路块并联指令	64	5.2.4	主程序结束指令	98
4.1.6	脉冲检测指令	65	5.2.5	监控定时器指令	99
4.1.7	置位与复位指令	66	5.2.6	循环指令	99
4.1.8	脉冲输出指令	67	5.2.7	综合举例	100
4.1.9	取反指令	68	5.3	比较类指令	103
4.1.10	空操作指令	69	5.3.1	比较指令	104
4.1.11	程序结束指令	69	5.3.2	区域比较指令	104
4.1.12	堆栈指令	70	5.3.3	触点式比较指令	105
4.1.13	主控指令和主控复位指令	72	5.3.4	综合举例	106
4.2	梯形图的编写规则及优化	73	5.4	数据传送类指令与数据变换指令	108
4.2.1	梯形图程序的编写规则	73	5.4.1	数据传送类指令	108
4.2.2	梯形图程序的编写技巧	74	5.4.2	数据变换指令	111
4.2.3	梯形图程序的优化	75	5.4.3	综合举例	112
4.3	基本编程环节	77	5.5	算术运算指令	115
4.3.1	启保停电路与置位复位电路	77	5.5.1	四则运算指令	115
4.3.2	互锁电路	78	5.5.2	加 1/减 1 指令	116
4.3.3	延时断开电路与延时接通/断开电路	79	5.5.3	综合举例	118
4.3.4	长延时电路	80	5.6	逻辑运算指令	119
4.3.5	脉冲发生电路	82	5.6.1	逻辑与指令	119
4.4	基本指令应用实例	85	5.6.2	逻辑或指令	119
4.4.1	电动机星三角降压启动	85	5.6.3	逻辑异或指令	120
4.4.2	产品数量检测控制	87	5.6.4	求补指令	121
4.4.3	顺序控制电路	89	5.6.5	综合举例	121
			5.7	循环与移位指令	122
			5.7.1	循环指令	122
			5.7.2	位左移与位右移指令	123
			5.7.3	字左移与字右移指令	124
			5.7.4	先进先出写指令与先进先出读指令	125
			5.7.5	移位与位移指令应用举例	126
			5.8	数据处理指令	128
			5.8.1	成批复位指令	128
			5.8.2	译码指令	128
			5.8.3	编码指令	129
			5.8.4	求置 ON 位总数指令	129
			5.8.5	ON 判别指令	130
第 5 章		Page			
FX 系列 PLC 应用指令		91			
5.1	应用指令概述	91			
5.1.1	应用指令的格式	91			
5.1.2	数据长度与执行形式	92			
5.1.3	操作数	93			
5.1.4	数据传送的一般规律	93			
5.2	程序控制类指令	94			
5.2.1	条件跳转指令	94			
5.2.2	子程序调用指令	95			

5.8.6	平均值指令	130	6.5.2	选择序列编程	163
5.8.7	求平方根指令	130	6.5.3	并列序列编程	167
5.8.8	报警置位指令	130	6.6	步进指令编程法	168
5.8.9	报警复位指令	131	6.6.1	单序列编程	169
5.9	方便指令	132	6.6.2	选择序列编程	171
5.9.1	初始状态指令	132	6.6.3	并列序列编程	172
5.9.2	数据查找指令	132	6.7	位移指令编程法	175
5.9.3	示教定时器指令	133	6.8	交通信号灯程序设计	177
5.9.4	特殊定时器指令	133	6.8.1	控制要求	177
5.9.5	交替输出指令	133	6.8.2	程序设计	177
5.10	其他指令	134			
5.10.1	10键输入指令	134	第7章		Page
5.10.2	七段译码指令	134	模拟量控制程序设计		189
5.10.3	时钟数据写入指令	135			
5.10.4	时钟数据读出指令	136	7.1	模拟量控制基础知识	189
第6章		Page	7.1.1	模拟量控制简介	189
FX系列PLC数字量程序的设计		137	7.1.2	模块扩展连接	190
			7.1.3	PLC与特殊功能模块间的读写操作	190
6.1	经验设计法	137	7.2	模拟量输入模块	191
6.1.1	经验设计法简述	137	7.2.1	FX2N-2AD模拟量输入模块	191
6.1.2	设计步骤	137	7.2.2	FX2N-4AD模拟量输入模块	193
6.1.3	应用举例	138	7.3	模拟量输出模块	197
6.2	翻译设计法	141	7.3.1	FX2N-2DA模拟量输出模块	197
6.2.1	翻译设计法简述	141	7.3.2	FX2N-4DA模拟量输出模块	199
6.2.2	设计步骤	142	7.4	模拟量模块应用之空气压缩机改造项目	203
6.2.3	使用翻译法的几点注意	142	7.4.1	控制要求	203
6.2.4	应用举例	144	7.4.2	设计过程	204
6.3	顺序控制设计法与顺序功能图	148	7.5	温度模拟量输入模块与PID控制	207
6.3.1	顺序控制设计法	148	7.5.1	温度模拟量输入模块	207
6.3.2	顺序功能图简介	149	7.5.2	PID控制	211
6.4	启保停电路编程法	152	第8章		Page
6.4.1	单序列编程	152	FX系列PLC通信及应用		213
6.4.2	选择序列编程	156			
6.4.3	并列序列编程	159	8.1	通信基础知识	213
6.5	置位复位指令编程法	162	8.1.1	通信方式	213
6.5.1	单序列编程	162	8.1.2	通信传输介质	214

8.1.3 串行通信接口标准	215	9.1.1 PLC 控制系统设计的应用环境	235
8.2 通信接口设备	216	9.1.2 PLC 控制系统设计的基本原则	236
8.2.1 FX2N-232-BD 通信板	216	9.1.3 PLC 控制系统设计的一般步骤	236
8.2.2 FX2N-422-BD 通信板	217	9.2 组合机床 PLC 系统的设计	240
8.2.3 FX2N-485-BD 通信板	218	9.2.1 双面单工位液压组合机床的继电器控制	240
8.3 FX 系列 PLC 并联连接通信	218	9.2.2 双面单工位液压组合机床的 PLC 控制	244
8.3.1 并联连接通信主要技术指标	219	9.3 机械手 PLC 控制系统的设计	256
8.3.2 与并联连接通信相关的软元件	219	9.3.1 机械手的控制要求及功能简介	257
8.3.3 通信模式及功能	219	9.3.2 PLC 及相关元件选型	259
8.3.4 通信布线	220	9.3.3 硬件设计	260
8.3.5 编程方法	220	9.3.4 程序设计	268
8.3.6 应用实例	223	9.3.5 机械手自动控制调试	274
8.4 FX 系列 PLC N : N 网络通信	225	9.3.6 编制控制系统使用说明	274
8.4.1 N : N 网络通信主要技术指标	225	9.4 两种液体混合控制系统的设计	274
8.4.2 与 N : N 网络通信相关的软元件	225	9.4.1 两种液体控制系统的控制要求	275
8.4.3 通信模式及软元件分配	226	9.4.2 PLC 及相关元件选型	275
8.4.4 通信布线	226	9.4.3 硬件设计	275
8.4.5 编程方法	226	9.4.4 程序设计	283
8.5 FX 系列 PLC 通信应用实例	230	9.4.5 两种液体混合自动控制调试	287
8.5.1 控制要求	230	9.4.6 编制控制系统使用说明	287
8.5.2 系统设计	231	附录 A FX 系列 PLC 常用指令	288
		附录 B 基本单元端子排布图	290
		附录 C FX 系列 PLC 特殊元件名称及含义	291
		参考文献	293
第 9 章	Page		
PLC 控制系统的设计	235		
9.1 PLC 控制系统设计基本原则与步骤	235		

第 1 章



PLC 概述

本章要点

- ④ PLC 硬件和软件组成
- ④ PLC 编程语言
- ④ PLC 工作原理
- ④ PLC 分类、特点、应用领域及发展趋势

1.1 PLC 的组成

PLC 与一般的计算机一样，也是由硬件和软件两部分组成。

1.1.1 PLC 的硬件组成

目前 PLC 的生产厂家很多，其产品结构也不一致，但硬件组成大致相同。本书将采用经典的计算机结构对 PLC 硬件组成进行讲解，PLC 的硬件组成如图 1-1 所示。从图中不难发现，PLC 的硬件由 CPU 单元、存储器单元、输入输出接口模块、电源、通信接口及扩展接口等组成。

(1) CPU 单元

CPU 又称中央处理器，是 PLC 的控制核心，相当于人的大脑和心脏。它不断地采集输入电路的信息，执行用户程序，刷新系统输出，以实现现场各个设备的控制。CPU 由运算器和控制器两部分组成。运算器是完成逻辑、算术等运算的部件；控制器是用来统一指挥和控制 PLC 工作的部件。

通常 PLC 采用的 CPU 有三种形式，分别为通用微处理器、单片机芯片和位片式微处理器。一般说来，小型 PLC 多采用 8 位通用微处理器或单片机芯片作为 CPU，它具有价格低、普及通用性好等优点。中型 PLC 多数采用 16 位微处理器或单片机作为 CPU，它具有集成度高、运算速度快、可靠性高等优点。大型 PLC 多采用位片微处理器作为 CPU，它具有灵活性强、速度快、效率高等优点。

目前一些生产厂家（如德国西门子公司）在生产 PLC 时，采用冗余技术即采用双 CPU 或三 CPU 工作，使 PLC 平均无故障工作时间达几十万小时以上。

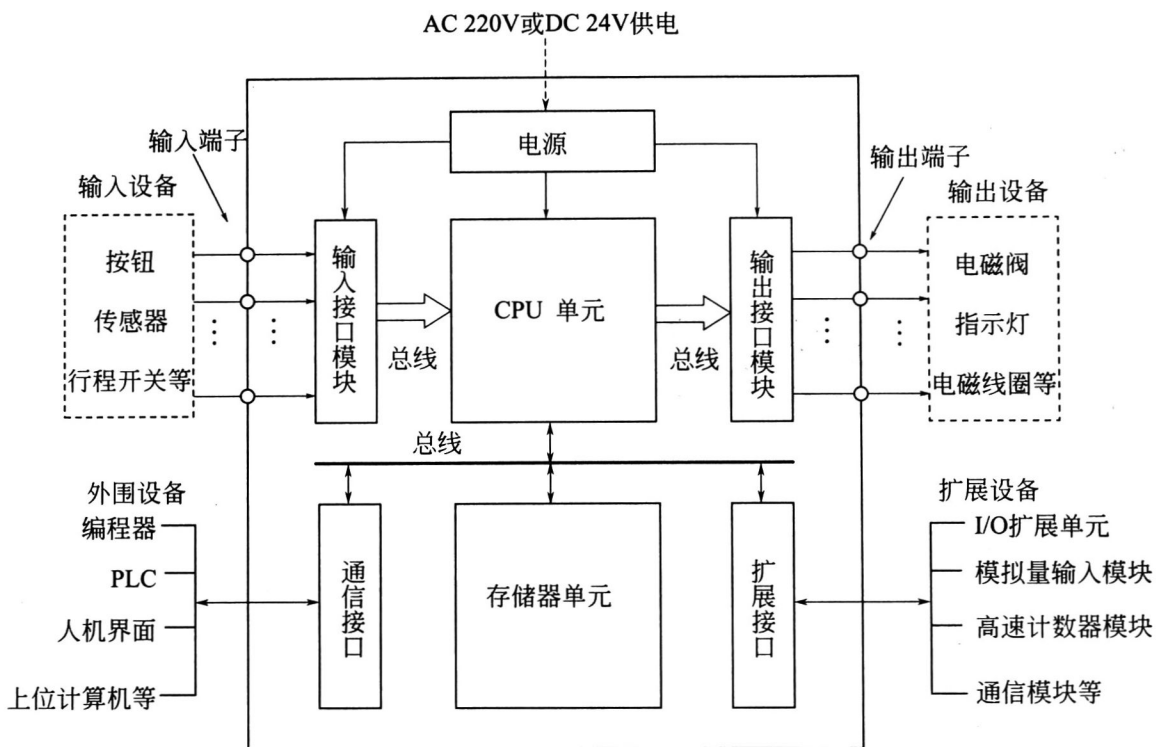


图 1-1 PLC 硬件组成框图

(2) 存储器单元

PLC 的存储器由只读存储器 (ROM)、随机存储器 (RAM) 和可电擦写存储器 (EEPROM) 三部分组成。其功能是存储系统程序、用户程序及中间工作数据。

只读存储器 (ROM) 用来存储系统程序，是一种非易失性存储器。在 PLC 出厂时，厂家已将系统程序固化在 ROM 中，通常用户不能改变。

随机存储器 (RAM) 用来存储用户程序和中间运算数据，它是一种高密度、低功耗、价格廉的半导体存储器。其不足在于数据存储具有易失性，往往配有锂电池作为备用电源。当关断 PLC 的外接电源时，由锂电池为随机存储器 (RAM) 供电，这样可以防止数据丢失。锂电池的使用寿命与环境温度有关，通常可以用 5~10 年，在经常带负载的情况下，能用 2~5 年。当锂电池电压过低时，PLC 指示灯会放出欠电压信号，提醒用户更换锂电池。

可电擦写存储器 (EEPROM) 兼有 ROM 非易失性和 RAM 随机存取的优点，用来存取用户程序和需要长期保存的重要数据。



重点提示

- ① 多数 PLC 中的存储器直接集成在 CPU 内。
- ② 现在部分 PLC 仍用 RAM 存储用户程序。

(3) 输入输出接口模块

输入输出接口模块：输入输出接口模块 (Input Out Unit, 简称 I/O 模块)，相当于人的眼睛、耳朵和四肢，是联系外部设备 (输入输出电路) 和 CPU 单元的桥梁，本质上就是 PLC 传递输入输出信号的接口部件。它具有传递信号、电平转换与隔离作用。

- ① 输入接口模块。用来接收和采集现场输入信号，经滤波、光电隔离、电平转换后，

以能识别的低压信号形式送交给 CPU 进行处理。

图 1-2 为输入接口模块的电路原理图。当传感器中 NPN 型晶体管饱和导通时，DC 电源、光电耦合器、电阻 R_2 、端子 X1、NPN 型晶体管、COM 端形成通路，光电耦合器中的反向并联二极管有一个发光，光敏三极管饱和导通，这样将外部传感器的 1 状态写入了 CPU 的内部；当传感器中 NPN 型晶体管截止时，以上各者不能构成通路，光电耦合器中的反向并联二极管不发光，光敏三极管截止，这样将外部传感器的 0 状态写入了 CPU 的内部。

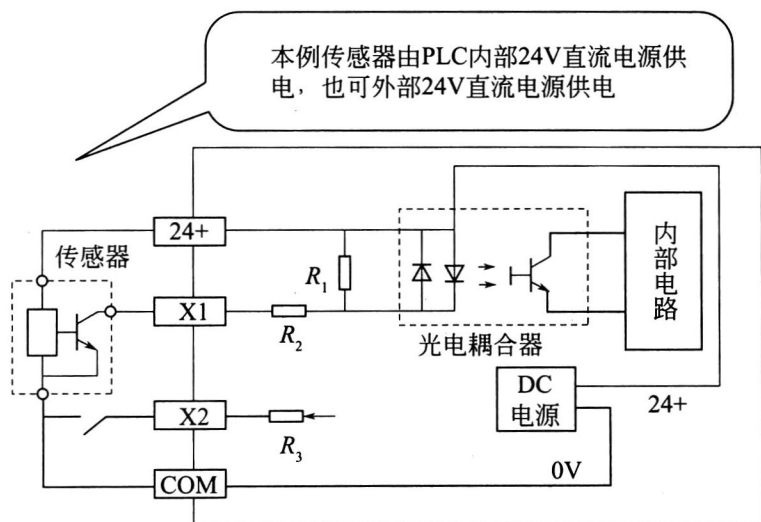


图 1-2 输入接口模块的电路原理图

② 输出接口模块。根据驱动负载元件的不同，可以将输出接口模块分为继电器输出接口模块、晶体管输出接口模块、双向晶闸管输出接口电路。

a. 继电器输出接口模块，如图 1-3 所示。该输出接口模块通过驱动继电器线圈来控制常开触点的通断，从而实现对负载的控制。通常继电器输出型既能驱动交流负载，又能驱动直流负载，驱动能力一般每一个输出点在 2A 左右。它具有使用电压范围广，导通压降小，承受瞬时过电压和过电流能力强的优点，但动作速度较慢，寿命相对无触点器件来说要短，工作频率较低。一般适用于输出量变化不频繁和频率较低场合。

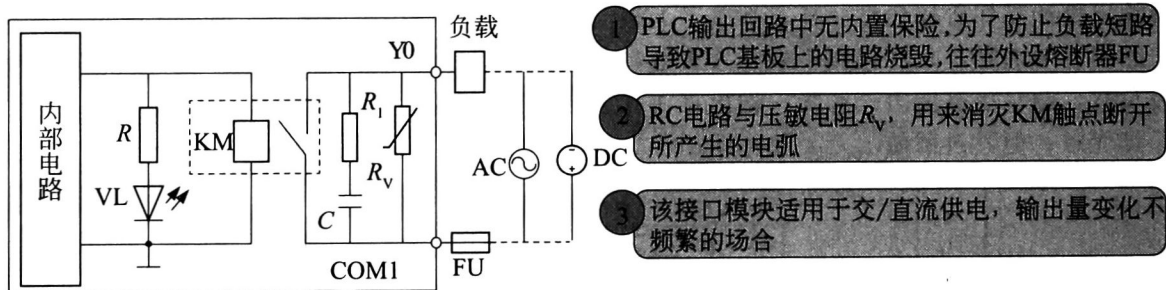


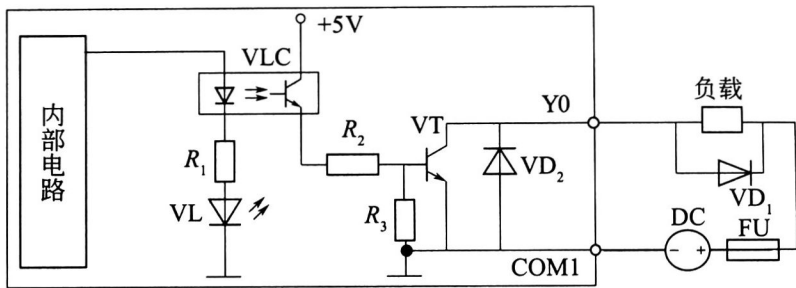
图 1-3 继电器输出接口电路

- 1 PLC 输出回路中无内置保险，为了防止负载短路导致 PLC 基板上的电路烧毁，往往外设熔断器 FU
- 2 RC 电路与压敏电阻 R_v ，用来消灭 KM 触点断开所产生的电弧
- 3 该接口模块适用于交/直流供电，输出量变化不频繁场合

继电器输出接口模块的工作原理：当内部电路的状态为 1 时，继电器 KM 的线圈得电，常开触点闭合，负载得电。同时输出指示灯 VL 点亮，表示该路有输出；当内部电路的状态为 0 时，继电器 KM 的线圈失电，常开触点断开，负载断电。同时输出指示灯 VL 熄灭，表示该路无输出。其中与触点并联的 RC 电路和压敏电阻 R_v 用来消除触点断开产生的电弧。

b. 晶体管输出接口模块，如图 1-4 所示。晶体管输出型也称直流输出型，属于无触点

输出型模块，因输出接口模块的输出电路采用晶体管而得名，其输出方式一般为集电极输出型。该输出接口模块通过控制晶体管的通断，从而控制负载与外接电源通断。一般说来，晶体管输出接口模块只能驱动直流负载，驱动负载能力每一输出点在 0.5A 左右。它具有可靠性强，执行速度快，寿命长等优点，但其过载能力差。往往适用于直流供电和输出量变化较快的场合。



当负载为感性时，会产生较大的反向电动势，为了防止VT过电压损坏，在负载两端并联了续流二极管 VD_1 为放电提供了回路

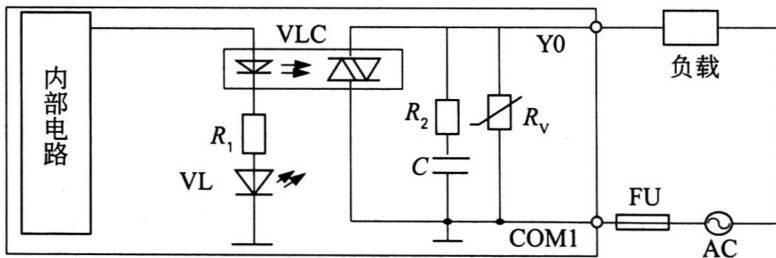
VD_2 为保护二极管，为了防止外部电源极性接反、电压过高或误接交流电源使晶体管损坏

该接口模块适用于直流供电和输出量变化较快的场合

图 1-4 晶体管输出接口模块电路

晶体管输出接口模块的工作原理：当内部电路的状态为 1 时，光电耦合器 VLC 导通，使得大功率晶体管 VT 饱和导通，负载得电。同时输出指示灯 VL 点亮，表示该路有输出。当内部电路为 0 时，光电耦合器 VLC 不导通，使得大功率晶体管 VT 截止，负载断电。同时输出指示灯 VL 熄灭，表示该路无输出。当负载为感性时，会产生较大的反向电动势，为了防止 VT 过电压损坏，在负载两端并联了续流二极管 VD_1 为放电提供了回路。 VD_2 为保护二极管，为了防止外部电源极性接反、电压过高或误接交流电源使晶体管损坏。

c. 双向晶闸管输出型，如图 1-5 所示。双向晶闸管输出型也称交流型输出型，双向晶闸管输出型和晶体管输出型一样，都属于无触点输出型接口模块。该输出接口模块通过控制双向晶闸管的通断，从而控制负载与外接电源通断。通常双向晶闸管输出接口模块只能驱动交流负载，驱动负载能力一般每一输出点在 0.3A 左右，它具有可靠性强、反应速度快，寿命长等优点，但其过载能力差。往往适用于交流供电和输出量变化快的场合。



该接口模块适用于交流供电和输出量变化快的场合

图 1-5 双向晶闸管输出接口电路

双向晶闸管输出接口模块的工作原理：当内部电路的状态为 1 时，光电耦合器 VLC 中的发光二极管导通发光，相当于给双向晶闸管一个触发信号，双向晶闸管导通，负载得电，同时输出指示灯 VL 点亮，表示该路有输出。当内部电路的状态为 0 时，光电耦合器 VLC 中的发光二极管不发光，双向晶闸管无触发信号，双向晶闸管不导通，负载失电，输出指示灯 VL 不亮，表示该路无输出。当感性负载断电，阻容电路 RC 和压敏电阻 R_V 会吸收电感释放的磁场能，从而保护了双向晶闸管。

(4) 电源

PLC 的供电电源有交流和直流两种形式。交流多为 AC 220V，直流多为 DC 24V。PLC 内部一般都有开关电源，一方面为机内电路供电，另一方面还可为外部输入元件及扩展模块提供 DC 24V 电源。



重点提示

PLC 除本机需要供电外，输入/输出设备也需要供电。输入设备可以由 PLC 内部电源供电，也可外接 DC24V 电源；输出设备用户需视其负载的性质，选择合适的交流或直流电源。

(5) 通信接口及扩展接口

通信接口的作用主要实现 PLC 与外围设备的数据交换。通过通信接口，PLC 可连接编程器、上位机、人机界面和其他 PLC 等，以构成局域网及分布式控制系统。PLC 的通信接口一般为 RS-232、RS-422、RS-485 等标准串行接口。

为了提升 PLC 的控制能力，可以通过扩展接口为 PLC 增设一些专用模块，如 I/O 扩展模块、模拟量输入/输出模块、高速计数器模块和通信模块等。

1.1.2 PLC 的软件组成

PLC 控制系统除需要硬件外，还需软件的支持，二者之间缺一不可，共同构成了 PLC 的控制系统。PLC 的软件通常由系统程序和用户程序两部分组成，如图 1-6 所示。

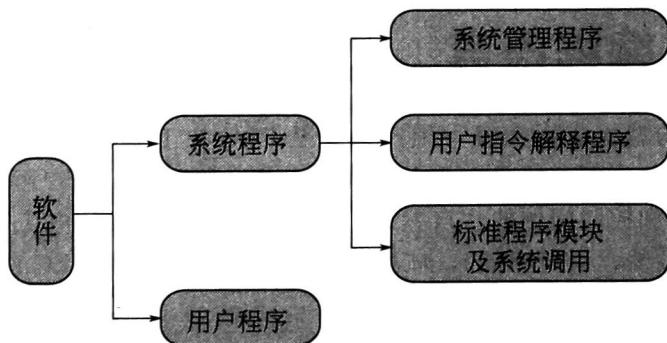


图 1-6 PLC 的软件组成图

(1) 系统程序

系统软件在产品出厂时，由厂家固化在只读存储器 (ROM) 中，通常用户不能改变。系统软件其功能是控制 PLC 的运行，通常由系统管理程序、用户指令解释程序、标准程序模块及系统调用三部分构成。

① 系统管理程序。系统管理程序是系统软件中最重要、最核心的部分，它主管控制 PLC 的运行，使整个 PLC 有条不紊地工作。其作用可以概括为三个方面。

a. 运行管理：时间分配的运行管理即控制 PLC 输入、输出、运行、自检及通信的时序。

b. 存储空间的分配管理：主要进行存储空间的管理即生成用户环境，由它规定各种参数、程序的存放地址，将用户使用的数据参数存储地址转化为实际的数据格式及物理存放地址等，它将有限的资源变为用户可直接使用的很方便的元件。例如，它们可将有限个 CTC 扩展为上百个用户时钟和计数器，通过这部分程序，用户看到的就不是实际机器存储地址和 CTC 的地址了，而是按照用户数据结构排列的元件空间和程序存储空间。

c. 系统自检程序：它包括各种系统出错检验、用户程序语法检验、句法检验、警戒时钟运行等。

② 用户指令解释程序。用户指令解释程序的主要任务是将用户编程使用的 PLC 语言（如梯形图语言）变为机器能懂的机械语言程序，用户指令解释程序是联系高级程序语言和机器码的桥梁。众所周知，任何计算机最终执行的都是机器语言指令，但用机器语言编程却是非常复杂的事情。PLC 可用梯形图语言编程，把使用者直观易懂的梯形图变成机器语言，这就是解释程序的任务。解释程序将梯形图逐条翻译成相应的机器语言指令，在由 CPU 执行这些指令。

③ 标准程序模块及系统调用。标准程序模块和系统程序调用由许多独立的程序组成，各程序块具有不同的功能，有些完成输入、输出处理，有些完成特殊运算等。

（2）用户程序

用户程序也称用户软件，所谓的用户程序是指用户利用 PLC 厂家的编程语言根据工业现场的控制要求编写出来的程序。它通常存储在用户存储器（即可电擦写存储器 EEPROM）中，用户可根据控制的实际需要，对原有的用户程序进行相应的修改、增加或删除。用户程序包括开关量逻辑控制程序、模拟量控制程序、PID 闭环控制程序和操作站系统应用程序等。

在 PLC 的应用中，最重要的是利用 PLC 的编程语言来编写用户程序，以实现工业现场的控制。PLC 的编程语言种类繁多，常用的有梯形图语言、指令表语言、顺序功能图语言等。对于这些编程语言，我们将在下一节详细介绍。

1.2 PLC 编程语言

利用 PLC 厂家的编程语言来编写用户程序是 PLC 在工业现场控制中最重要的一环之一，用户程序的设计主要面向的是企业电气技术人员，因此对于用户程序的编写语言来说，应采用面对控制过程和控制问题的“自然语言”，1994 年 5 月国际电工委员会（IEC）公布了 IEC61131-3《PLC 编程语言标准》，该标准具体阐述、说明了 PLC 的句法、语义和 5 种编程语言，具体情况如下。

- ① 梯形图语言（Ladder Diagram, LD）
- ② 指令表（Instruction List, IL）
- ③ 顺序功能图（Sequential Function Chart, SFC）
- ④ 功能块图（Function Block Diagram, FBD）
- ⑤ 结构文本（Structured Text, ST）

在该标准中，梯形图（LD）和功能块图（FBD）为图形语言；指令表（IL）和结构文本（ST）为文字语言；顺序功能图（SFC）是一种结构块控制程序流程图。

本书应实际编写的需要，对功能块图和结构文本这两种语言不做讨论。

1.2.1 梯形图

梯形图是 PLC 编程中使用最多的编程语言之一，它是在继电器控制电路的基础中演绎出来的，因此分析梯形图的方法和分析继电器控制电路的方法非常相似。对于熟悉继电器控制系统的电气技术人员来说，学习梯形图不用花费太多的时间。

(1) 梯形图的基本编程要素

梯形图通常由触点、线圈、功能框三个基本编程要素构成。为了进一步了解梯形图，需要弄清以下几个基本概念：

① 能流：在梯形图中，为了分析各个元器件输入输出关系，而引入的一种假象的电流，我们称之为能流。通常认为能流是按从左到右的方向流动，能流不能倒流，这一流向与执行用户程序的逻辑运算关系一致，见图 1-7。在图 1-7 中，在 X0 闭合的前提下，能流有 4 条路径，现以其中的两条为例给予说明：一条为触点 X0、X1 和线圈 Y0 构成的电路；另一条为触点 Y0、X1 和线圈 Y0 构成的电路。

② 母线：梯形图中两侧垂直的公共线，称之为母线。母线可分为左母线和右母线。通常左母线不可省，右母线可省，能流可以看成由左母线流向右母线，如图 1-7 所示。

③ 触点：触点表示逻辑输入条件。触点闭合表示有“能流”流过，触点断开表示无“能流”流过。常用的有常开触点和常闭触点 2 种，如图 1-7 所示。

④ 线圈：线圈表示逻辑输出结果。若有“能流”流过线圈，线圈吸合，否则断开。

⑤ 功能框：代表某种特定的功能。“能流”通过功能框时，则执行功能框的功能，功能框代表的功能有多种如：数据传递、移位、数据运算等，如图 1-7 所示。

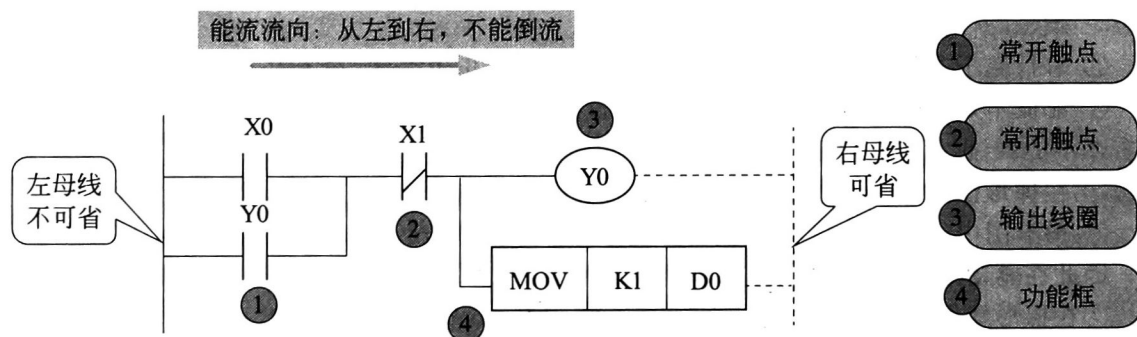


图 1-7 PLC 的梯形图

(2) 举例：三相异步电动机的启保停电路

三相异步电动机的启保停电路，如图 1-8 所示。通过对图 1-8 的分析不难看出，梯形图电路和继电器控制电路一一呼应，电路结构大致相同，控制功能相同，因此对于梯形图的理解完全可以仿照分析继电器控制电路的方法。

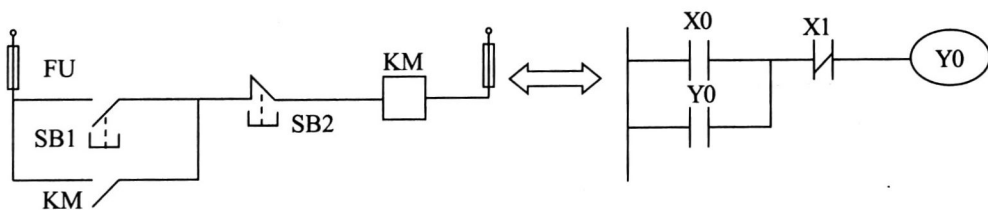







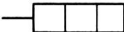



图 1-8 三相异步电动机的启保停电路

梯形图电路与继电器控制电路的符号对照，如表 1-1 所示。

表 1-1 梯形图电路与继电器控制电路的符号对照

符号名称	继电器电路符号	梯形图符号	备注
常开触点			无
常闭触点			无
输出线圈			书面上的线圈
			编程软件上的线圈
功能框	无		书面上的功能框
			编程软件上的功能框



重点提示

我们做这样的约定，对于输出线圈和功能框在指令讲解上采用书面的书写模式，在实际举例中将采用编程软件上的书写模式。

(3) 梯形图的特点

- ① 梯形图与继电器原理图相呼应，形象直观，易学易懂。
- ② 梯形图可以有多个网络，每个网络只写一条语言，在一个网络中可以有一个或多个梯级，如图 1-9 所示。
- ③ 每行起于左母线，然后为触点的连接，最后终止于线圈/功能框或右母线。
- ④ 能流不是实际的电流，是为了方便对梯形图的理解假想出来的电流，能流方向从左向右，不能倒流。
- ⑤ 在梯形图中每个编程元素应按一定的规律加标字母和数字，例：X0、M100 等。
- ⑥ 梯形图中的触点、线圈仅为软件上的触点和线圈，不是硬件上（实际）的触点和线圈，因此在驱动控制设备时需要接入实际的触点和线圈。
- ⑦ 在梯形图中，同一编号的触点可用多次，同一编号的线圈不能用多次，否则会出现双线圈（同一编号的线圈出现的次数大于或等于 2）问题。

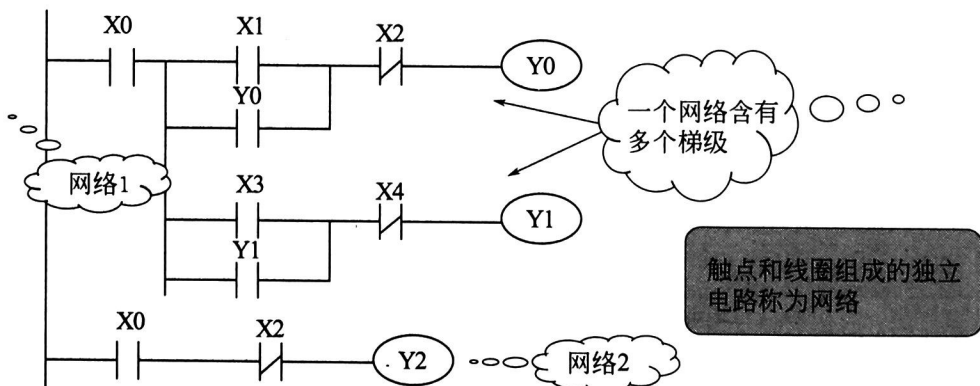


图 1-9 梯形图特点验证

1.2.2 指令表

指令表是一种类似于微机汇编语言的一种文本语言，由操作码和操作数构成。其中操作码表示操作功能；操作数表示指定的存储器的地址，操作数可能有一个或多个，有时也可能没有操作数，如图 1-10 所示。

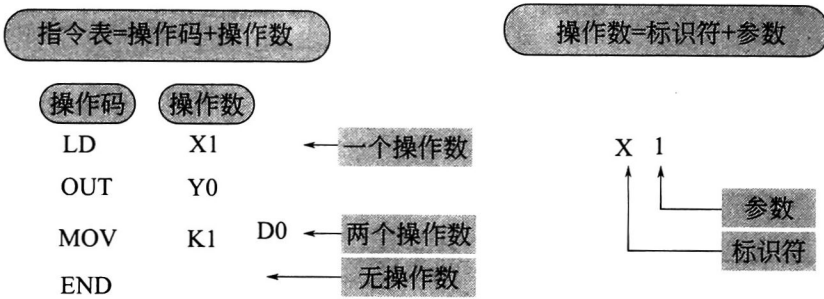


图 1-10 指令表的构成图

指令表可供经验丰富的程序员使用，有时可以实现梯形图所不能实现的功能。

1.2.3 顺序功能图

顺序功能图是一种图形语言，它具有条理清晰、思路明确、直观易懂等优点，适用于开关量顺序控制程序的编写。

顺序功能图主要由步、有向连线、转换条件和动作等要素组成，如图 1-11 所示。在顺序程序的编写时，往往根据输出量的状态将一个完整的控制过程划分为若干个阶段，每个阶段就称为步，步与步之间有转换条件，且步与步之间有不同的动作。当上一步被执行时，满足转换条件立即跳到下一步，同时上一步停止。在编写顺序控制程序时，往往先画出顺序功能图，然后再根据顺序功能图写出梯形图，经过这一过程后使程序的编写大大简化。

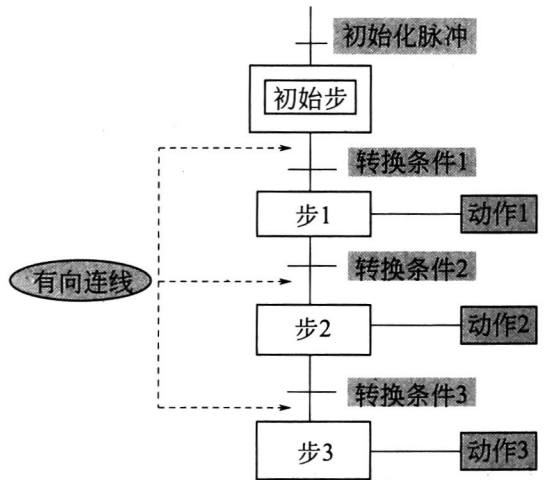


图 1-11 顺序功能图

1.3 PLC 工作原理

PLC 的工作原理可以简单地描述为在系统程序的管理下，通过运行应用程序对控制要求进行处理判断，并通过执行用户程序来实现控制任务。其特点可以概括为：“循环扫描，集中处理”。循环扫描指的是 PLC 的工作方式，集中处理指的是在用户程序扫描阶段，对输入采样、用户程序的执行、输出刷新三个阶段进行集中处理。PLC 的工作原理具体如下。

1.3.1 循环扫描方式

◆循环扫描方式：PLC 作为工业控制计算机，它采用的是循环扫描的工作方式。循环