

高职高专“十五”规划教材系列

# PLC 基础及应用

廖常初 主编



机械工业出版社

本书以国内广泛使用的三菱公司最新推出的 FX<sub>1S</sub>、FX<sub>1N</sub>、FX<sub>2N</sub> 和 FX<sub>2NC</sub> 系列为例,介绍了 PLC(可编程序控制器)的工作原理、硬件结构、编程元件与指令系统,还介绍了梯形图的经验设计法、时序控制系统梯形图的设计方法、根据继电器电路图设计梯形图的方法、根据顺序功能图设计顺序控制梯形图的 3 种方法,这些设计方法很容易被初学者掌握,用它们可以得心应手地设计出任意复杂的开关量控制系统的梯形图。

本书还介绍了 PLC 控制系统的设计和调试方法,提高系统可靠性和降低硬件费用的方法,以及 PLC 的联网通信等。结合高职高专的教学特点,加强了实训部分的内容,包括编程器与编程软件的使用指南和有大量实验的实验指导书。各章配有适量的习题,并附有部分习题的参考答案。

本书可作为大专院校电气工程及自动化、工业自动化、应用电子、计算机应用、机电一体化及其他有关专业的教材,也可以供工程技术人员自学或作为培训教材使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

PLC 基础及应用/廖常初主编. —北京:机械工业出版社,2003.6

高职高专“十五”规划教材系列

ISBN 7-111-12295-X

I. P... II. 廖... III. 可编程序控制器—高等学校:技术学校—教材  
IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 041871 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划:胡毓坚

责任编辑:车 忱

责任印制:闫 焱

中国农业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/16·13.5 印张·331 千字

0001—5000 册

定价:20.00 元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 出版说明

为了贯彻国务院发[2002]16号文件《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的精神，进一步落实《中华人民共和国职业教育法》和《中华人民共和国劳动法》，实施科教兴国战略，大力推进高等职业教育改革与发展，我们组织力量，对实现高等职业教育培养目标和保证基本教学规格的文件基础课程、专业技术基础课程和重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写。

本套教材的内容涵盖了普通大专院校计算机及非计算机专业的文化基础课、专业基础课、专业课以及选修课程。主要分为文化基础、编程语言、硬件技术、网络信息、数据库应用及多媒体技术等几大类。为配合高职教育关于“培养 21 世纪与我国现代化建设要求相适应的一线科技实用型人才”的最新理念，我们特为本系列教材配备了实践指导丛书，以利于老师的教学和学生的学习。

本套教材将理论教学和实践教学紧密结合，图文并茂、内容实用、层次分明、讲解清晰，其中融入了作者长期的教学经验和丰富的实践经验。可用作各类大专院校、职业技术学校的教材，也可作为各类培训班的教材。

# 前 言

PLC（可编程序控制器）是以计算机技术为核心的通用自动控制装置，在工业生产中得到了广泛的应用。作者长期从事 PLC 的教学、研究和工程应用方面的工作，编著的 3 本 PLC 教材已发行 10 万余册。

本书以三菱电机公司的最新产品 FX<sub>1S</sub>，FX<sub>1N</sub>，FX<sub>2N</sub> 和 FX<sub>2NC</sub> 系列小型 PLC 为主要讲述对象。三菱的 FX 系列 PLC 以其极高的性能价格比在国内占有很大的市场份额，其功能强、应用范围广，可满足大多数用户的需要。

程序设计是 PLC 应用的关键问题。结合高职高专教学的特点，本书程序设计的重点是 PLC 应用中使用面最广的开关量控制部分。书中介绍了作者在长期教学、科研和 PLC 工程应用实践中总结的一整套先进完整的编程方法，包括经验设计法、根据继电器电路图设计梯形图的方法、时序控制程序的设计方法、顺序功能图和 3 种设计顺序控制梯形图的方法，这些设计方法易学易懂，掌握它们后可以得心应手地设计出复杂的开关量控制系统的梯形图，包括具有多种工作方式的系统的梯形图，还可以节约大量的设计时间。

本书加强了实训部分的内容，包括手持式编程器和编程软件的使用指南，以及有大量实验的实验指导书。各章配有适量的习题，并附有部分习题的参考答案。

本书的 1~5 章是基础部分。3~5 章介绍了与代替继电器控制的开关量控制有关的指令和梯形图的设计方法，重点是顺序控制梯形图的设计方法。

第 6 章介绍了 FX 系列的应用指令。FX 系列有 100 多条应用指令，由于课时和篇幅的限制，本书只详细介绍常用的应用指令，对其余的应用指令只作了简要的介绍，详细的使用方法可参阅 FX 系列的编程手册。

第 7 章介绍了 PLC 应用系统的设计调试方法，PLC 应用系统的可靠性措施，PLC 的通信与计算机通信网络，节省 PLC 输入/输出点数的方法，以及微型显示模块的应用等内容。

第 8 章介绍了 FX-20P-E 手持式编程器与 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的使用方法。

菱电自动化（上海）有限公司的徐勇先生为本书的编写提供了 FX 系列 PLC 的有关资料，在此表示感谢。

本书由廖常初主编并编写了大部分章节，周林、李远树、侯世英、郑连清参加了编写工作，郑群英、范占华、余秋霞、关朝旺、张学锋、申敏、廖亮、罗盛波参加了翻译资料、编程、绘制插图和校对等方面的工作。

因作者水平有限，书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正。

作者通讯地址：廖常初，重庆大学电气工程学院，邮编 400044，电话 023-65104154(H)，  
E-mail: liaosun@cqu.edu.cn。

2003 年 4 月

# 目 录

出版说明

前言

第 1 章 概述 .....	1
1.1 PLC 的结构、特点与应用领域 .....	1
1.1.1 PLC 的基本结构 .....	1
1.1.2 PLC 的特点 .....	2
1.1.3 PLC 的应用领域 .....	3
1.1.4 PLC 的主要生产厂家 .....	4
1.2 PLC 的工作原理 .....	5
1.2.1 继电器 .....	5
1.2.2 逻辑运算 .....	6
1.2.3 工作原理 .....	7
1.3 习题 .....	9
第 2 章 PLC 的硬件 .....	11
2.1 PLC 的硬件简介 .....	11
2.1.1 PLC 的物理结构 .....	11
2.1.2 CPU 模块 .....	12
2.1.3 输入模块 .....	13
2.1.4 输出模块 .....	14
2.2 FX 系列 PLC 性能简介 .....	15
2.2.1 三菱电机公司小型 PLC 的发展历史 .....	15
2.2.2 FX 系列 PLC 的特点 .....	15
2.2.3 FX 系列型号名称的含义 .....	17
2.2.4 FX 系列 PLC 的一般技术指标 .....	17
2.2.5 FX <sub>1S</sub> 系列 PLC .....	18
2.2.6 FX <sub>1N</sub> 系列 PLC .....	18
2.2.7 FX <sub>2N</sub> 系列 PLC .....	18
2.2.8 FX <sub>2NC</sub> 系列 PLC .....	19
2.3 特殊功能模块 .....	20
2.3.1 模拟量输入输出模块 .....	20
2.3.2 高速计数器模块 FX <sub>2N</sub> -IHC .....	23
2.3.3 运动控制模块 .....	23
2.3.4 通信模块 .....	24
2.4 编程设备与人机接口 .....	24
2.4.1 专用编程器 .....	24
2.4.2 编程软件 .....	24

2.4.3	显示模块	25
2.4.4	GOT-900 图形操作终端	26
2.5	习题	26
<b>第 3 章</b>	<b>PLC 程序设计基础</b>	<b>27</b>
3.1	PLC 的编程语言	27
3.1.1	PLC 编程语言的国际标准	27
3.1.2	梯形图的主要特点	28
3.2	FX 系列 PLC 梯形图中的编程元件	29
3.2.1	基本数据结构	29
3.2.2	FX 系列 PLC 的性能指标与编程元件	29
3.2.3	输入继电器与输出继电器	31
3.2.4	辅助继电器 (M)	32
3.2.5	状态继电器 (S)	34
3.2.6	定时器 (T)	34
3.2.7	内部计数器 (C)	36
3.2.8	高速计数器 (HSC)	37
3.2.9	数据寄存器	38
3.2.10	指针 P/I	40
3.2.11	常数	40
3.3	FX 系列 PLC 的基本逻辑指令	40
3.3.1	LD, LDI, OUT 指令	40
3.3.2	触点的串并联指令	40
3.3.3	LDP, LDF, ANDP, ANDF, ORP 和 ORF 指令	41
3.3.4	PLS 与 PLF 指令	42
3.3.5	电路块的串并联指令	42
3.3.6	栈存储器与多重输出指令	42
3.3.7	主控与主控复位指令 MC, MCR	44
3.3.8	SET 与 RST 指令	44
3.3.9	取反、空操作与 END 指令	45
3.3.10	编程注意事项	46
3.4	习题	47
<b>第 4 章</b>	<b>开关量控制系统梯形图设计方法</b>	<b>49</b>
4.1	梯形图的经验设计法	49
4.1.1	起动、保持和停止电路	49
4.1.2	三相异步电动机正反转控制电路	49
4.1.3	钻床刀架运动控制系统的设计	51
4.1.4	常闭触点输入信号的处理	52
4.2	时序控制系统梯形图设计方法	52
4.2.1	定时范围的扩展	52

4.2.2	闪烁电路	53
4.2.3	延时接通延时断开电路	53
4.2.4	使用定时器和区间比较指令设计时序控制电路	53
4.2.5	使用多个定时器接力定时的时序控制电路	54
4.3	根据继电器电路图设计梯形图的方法	55
4.3.1	概述	55
4.3.2	基本方法	55
4.3.3	设计注意事项	56
4.4	顺序控制设计法与顺序功能图	58
4.4.1	顺序控制设计法	58
4.4.2	步与动作	59
4.4.3	有向连线与转换条件	61
4.4.4	顺序功能图的基本结构	61
4.4.5	顺序功能图中转换实现的基本规则	63
4.4.6	绘制顺序功能图时的注意事项	64
4.4.7	顺序控制设计法的本质	65
4.5	习题	65
<b>第5章</b>	<b>顺序控制梯形图的编程方法</b>	<b>68</b>
5.1	使用 STL 指令的编程方法	69
5.1.1	STL 指令	69
5.1.2	单序列的编程方法	69
5.1.3	选择序列的编程方法	72
5.1.4	并行序列的编程方法	73
5.2	使用起保停电路的编程方法	75
5.2.1	单序列的编程方法	75
5.2.2	选择序列的编程方法	76
5.2.3	并行序列的编程方法	78
5.2.4	仅有两步的闭环的处理	78
5.3	以转换为编程方法	79
5.3.1	以转换为编程方法的单序列的编程方法	79
5.3.2	选择序列的编程方法	80
5.3.3	并行序列的编程方法	81
5.4	具有多种工作方式的系统的编程方法	83
5.4.1	工作方式	83
5.4.2	使用起保停电路的编程方法	85
5.4.3	以转换为编程方法的编程方法	89
5.4.4	使用步进梯形指令的编程方法	89
5.5	习题	93
<b>第6章</b>	<b>PLC 的应用指令</b>	<b>95</b>

6.1	FX 系列 PLC 应用指令的表示方法与数据结构	95
6.1.1	应用指令的表示方法	95
6.1.2	32 位指令与脉冲执行指令	96
6.1.3	数据格式	96
6.1.4	变址寄存器 V, Z	98
6.2	程序流控制指令	98
6.2.1	条件跳转指令 (FNC00)	98
6.2.2	子程序调用与子程序返回指令	99
6.2.3	与中断有关的指令	99
6.2.4	主程序结束指令 (FNC06)	101
6.2.5	监控定时器指令 (FNC07)	101
6.2.6	循环指令	101
6.3	比较与传送指令	102
6.3.1	比较指令	102
6.3.2	传送指令 (FNC12~FNC16)	103
6.3.3	数据变换指令	104
6.4	算术运算与字逻辑运算指令	105
6.4.1	算术运算	105
6.4.2	加 1 (FNC24) 和减 1 指令 (FNC25)	106
6.4.3	字逻辑运算指令 (FNC26~FNC29)	106
6.5	循环移位与移位指令	107
6.5.1	循环移位指令	107
6.5.2	移位指令	107
6.6	数据处理指令	108
6.6.1	区间复位指令 (FNC40)	108
6.6.2	解码与编码指令	108
6.6.3	求置 ON 位总数与 ON 位判别指令	108
6.6.4	报警器置位复位指令	108
6.6.5	其他指令	109
6.7	高速处理指令	109
6.7.1	与输入输出有关的指令	109
6.7.2	高速计数器指令	110
6.7.3	速度检测与脉冲输出指令	111
6.8	方便指令	112
6.8.1	状态初始化指令 (FNC60)	112
6.8.2	数据搜索指令 (FNC61)	112
6.8.3	凸轮顺控指令	112
6.8.4	定时器指令	113
6.8.5	其他方便指令	113

6.9	外部 I/O 设备指令	114
6.9.1	数据输入指令	114
6.9.2	数字译码输出指令	115
6.9.3	其他指令	115
6.10	FX 系列外部设备指令	116
6.10.1	与串行通信有关的指令	116
6.10.2	FX-8AV 模拟量功能扩展板处理指令	117
6.10.3	PID 回路运算指令 (FNC88)	118
6.11	浮点数运算指令	118
6.11.1	浮点数比较指令	118
6.11.2	浮点数转换指令	118
6.11.3	浮点数的四则运算指令	119
6.11.4	浮点数的开平方指令与三角函数运算指令	120
6.12	时钟运算指令	120
6.13	其他指令	121
6.13.1	FX <sub>IS</sub> 和 FX <sub>IN</sub> 的定位控制指令	121
6.13.2	格雷码变换指令 (FNC170)	122
6.13.3	读写 FX <sub>ON</sub> -3A 指令 (FUN176, FUN177)	122
6.14	习题	122
<b>第 7 章</b>	<b>PLC 应用中的一些问题</b>	<b>124</b>
7.1	PLC 应用系统的设计调试方法	124
7.1.1	系统规划	124
7.1.2	系统设计	124
7.1.3	PLC 及其组件的选型	125
7.1.4	硬件软件设计与调试	127
7.2	PLC 应用系统的可靠性措施	129
7.2.1	对电源的处理	129
7.2.2	安装与布线的注意事项	130
7.2.3	感性负载的处理	130
7.2.4	PLC 的接地	131
7.2.5	强烈干扰环境中的隔离措施	131
7.2.6	PLC 输出的可靠性措施	131
7.2.7	故障的检测与诊断	132
7.3	PLC 的通信与计算机通信网络	132
7.3.1	计算机通信的基本知识	132
7.3.2	串行通信接口标准	134
7.3.3	计算机通信的国际标准	135
7.3.4	FX 系列的串行通信接口	138
7.3.5	PLC 的专用通信协议与通信指令	139

7.3.6	工厂自动化通信网络	140
7.4	节省 PLC 输入输出点数的方法	142
7.4.1	减少所需输入点数的方法	142
7.4.2	减少所需输出点数的方法	143
7.5	FX-1N-5DM 微型显示模块的应用	143
7.5.1	概述	143
7.5.2	安装与功能简介	144
7.5.3	用于 5DM 的 PLC 编程元件	144
7.5.4	使用方法	145
7.6	习题	146
<b>第 8 章</b>	<b>PLC 的编程器与编程软件的使用方法</b>	<b>148</b>
8.1	FX-20P-E 手持式编程器的使用方法	148
8.1.1	FX-20P-E 型手持式编程器的组成与面板布置	148
8.1.2	编程器工作方式选择与用户程序存储器初始化	150
8.1.3	指令的读出	151
8.1.4	指令的写入	153
8.1.5	程序的修改	154
8.1.6	对 PLC 编程元件与基本逻辑运算指令通/断状态的监视	155
8.1.7	对编程元件的测试	157
8.1.8	脱机 (OFFLINE) 编程方式	158
8.2	SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的使用方法	161
8.2.1	主要功能与系统配置	161
8.2.2	梯形图程序的生成与编辑	161
8.2.3	指令表的生成与编辑	165
8.2.4	PLC 的操作	165
8.2.5	PLC 的监控与测试	167
8.2.6	编程软件与 PLC 的参数设置	169
<b>附录</b>		<b>170</b>
附录 A	实验指导书	170
附录 B	部分习题参考答案	192
附录 C	FX <sub>1S</sub> 、FX <sub>1N</sub> 、FX <sub>2N</sub> 和 FX <sub>2NC</sub> 的应用指令	199
<b>参考文献</b>		<b>202</b>

# 第1章 概述

## 1.1 PLC 的结构、特点与应用领域

随着微处理器、计算机和数字通信技术的飞速发展，计算机控制已扩展到了几乎所有的工业领域。现代社会要求制造业对市场需求作出迅速的反应，生产出小批量、多品种、多规格、低成本和高质量的产品，为了满足这一要求，生产设备和自动生产线的控制系统必须具有极高的可靠性和灵活性，PLC（Programmable Logic Controller，可编程序控制器）正是顺应这一要求出现的，它是以微处理器为基础的通用工业控制装置。

PLC 的应用面广、功能强大、使用方便，已经成为当代工业自动化的主要装置之一，在工业生产的所有领域得到了广泛的使用，在其他领域（例如民用和家庭自动化）的应用也得到了迅速的发展。

国际电工委员会（IEC）在 1985 年的 PLC 标准草案第 3 稿中，对 PLC 作了如下定义：“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。它采用可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式、模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关设备，都应按易于使工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。”从上述定义可以看出，PLC 是一种用程序来改变控制功能的工业控制计算机，除了能完成各种各样的控制功能外，还有与其他计算机通信联网的功能。

PLC 的推广应用在我国得到了迅猛的发展，它已经大量地应用在各种机械设备和生产过程的电气控制装置中，各行各业也涌现出了大批应用 PLC 改造设备的成果。了解 PLC 的工作原理，具备设计、调试和维护 PLC 控制系统的能力，已经成为现代工业对电气技术人员和工科学生的基本要求。

### 1.1.1 PLC 的基本结构

PLC 主要由 CPU 模块、输入模块、输出模块和编程器组成（见图 1-1）。有的 PLC 还可以配备特殊功能模块，用来完成某些特殊的任务。

#### 1. CPU 模块

CPU 模块主要由微处理器（CPU 芯片）和存储器组成。在 PLC 控制系统中，CPU 模块相当于人的大脑，它不断地采集输入信号，执行用户程序，刷新系统的输出；存储器用来储存程序和数据。

#### 2. I/O 模块

输入（Input）模块和输出（Output）模块简称为 I/O 模块，它们是系统的眼、耳、手、脚，是联系外部现场设备和 CPU 模块的桥梁。

输入模块用来接收和采集输入信号，开关量输入模块用来接收从按钮、选择开关、数字

拨码开关、限位开关、接近开关、光电开关、压力继电器等过来的开关量输入信号；模拟量输入模块用来接收电位器、测速发电机和各种变送器提供的连续变化的模拟量电流、电压信号。

开关量输出模块用来控制接触器、电磁阀、电磁铁、指示灯、数字显示装置和报警装置等输出设备，模拟量输出模块用来控制调节阀、变频器等执行装置。

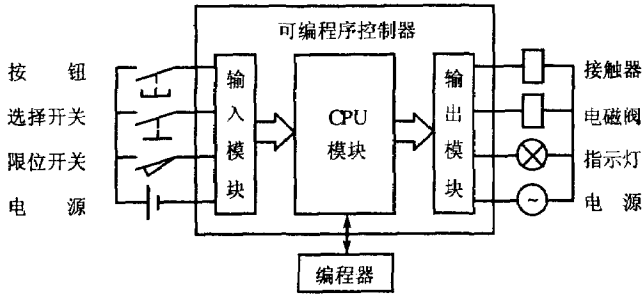


图 1-1 PLC 控制系统示意图

CPU 模块的工作电压一般是 5V，而 PLC 的输入/输出信号电压一般较高，如直流 24V 和交流 220V。从外部引入的尖峰电压和干扰噪声可能损坏 CPU 模块中的元器件，或使 PLC 不能正常工作。在 I/O 模块中，用光耦合器、光电晶闸管、小型继电器等器件来隔离 PLC 的内部电路和外部的 I/O 电路，I/O 模块除了传递信号外，还有电平转换与隔离的作用。

### 3. 编程器

编程器用来生成用户程序，并用它进行编辑、检查、修改和监视用户程序的执行情况。手持式编程器不能直接输入和编辑梯形图，只能输入和编辑指令表程序，因此又叫做指令编程器。它的体积小，价格便宜，一般用来给小型 PLC 编程，或者用于现场调试和维护。

使用编程软件可以在计算机的屏幕上直接生成和编辑梯形图、指令表、功能块图和顺序功能图程序，并可以实现不同编程语言的相互转换。程序被编译后下载到 PLC，也可以将 PLC 中的程序上传到计算机。程序可以存盘或打印，通过网络，还可以实现远程编程和传送。

### 4. 电源

PLC 一般使用 220V 交流电源或 24V 直流电源。内部的开关电源为各模块提供 DC 5V，±12V，24V 等直流电源。小型 PLC 一般都可以为输入电路和外部的电子传感器（如接近开关）提供 24V 直流电源，驱动 PLC 负载的直流电源一般由用户提供。

## 1.1.2 PLC 的特点

### 1. 编程方法简单易学

梯形图是使用得最多的 PLC 的编程语言，其电路符号和表达方式与继电器电路原理图相似，梯形图语言形象直观，易学易懂，熟悉继电器电路图的电气技术人员只需花几天时间就可以熟悉梯形图语言，并用来编制用户程序。

梯形图语言实际上是一种面向用户的高级语言，PLC 在执行梯形图程序时，将它“翻译”成汇编语言后再去执行。

### 2. 功能强，性能价格比高

一台小型 PLC 内有成百上千个可供用户使用的编程元件，有很强的功能，可以实现非

常复杂的控制功能。与相同功能的继电器系统相比，具有很高的性能价格比。PLC 可以通过通信联网，实现分散控制，集中管理。

### 3. 硬件配套齐全，用户使用方便，适应性强

PLC 产品已经标准化、系列化、模块化，配备有品种齐全的各种硬件装置供用户选用，用户能灵活方便地进行系统配置，组成不同功能、不同规模的系统。PLC 的安装接线也很方便，一般用接线端子连接外部接线。PLC 有较强的带负载能力，可以直接驱动一般的电磁阀和中小型交流接触器。

硬件配置确定后，通过修改用户程序，就可以方便快速地适应工艺条件的变化。

### 4. 可靠性高，抗干扰能力强

传统的继电器控制系统中使用了大量的中间继电器、时间继电器。由于触点接触不良，容易出现故障。PLC 用软件代替大量的中间继电器和时间继电器，仅剩下与输入和输出有关的少量硬件元件，接线可减少到继电器控制系统的十分之一到百分之一，因触点接触不良造成的故障大为减少。

PLC 使用了一系列硬件和软件抗干扰措施，具有很强的抗干扰能力，平均无故障时间达到数万小时以上，可以直接用于有强烈干扰的工业生产现场，PLC 已被广大用户公认为最可靠的工业控制设备之一。

### 5. 系统的设计、安装、调试工作量少

PLC 用软件功能取代了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、接线工作量大大减少。

PLC 的梯形图程序可以用顺序控制设计法来设计。这种编程方法很有规律，很容易掌握。对于复杂的控制系统，如果掌握了正确的设计方法，设计梯形图的时间比设计继电器系统电路图的时间要少得多。

可以在实验室模拟调试 PLC 的用户程序，输入信号用小开关来模拟，可通过 PLC 上的发光二极管观察输出信号的状态。完成了系统的安装和接线后，在现场的统调过程中发现的问题一般通过修改程序就可以解决，系统的调试时间比继电器系统少得多。

### 6. 维修工作量小，维修方便

PLC 的故障率很低，且有完善的自诊断和显示功能。PLC 或外部的输入装置和执行机构发生故障时，可以根据 PLC 上的发光二极管或编程器提供的信息方便地查明故障的原因，用更换模块的方法可以迅速地排除故障。

### 7. 体积小，能耗低

对于复杂的控制系统，使用 PLC 后，可以减少大量的中间继电器和时间继电器，小型 PLC 的体积仅相当于几个继电器的大小，因此可将开关柜的体积缩小到原来的  $1/2 \sim 1/10$ 。

PLC 控制系统的配线比继电器控制系统的少得多，故可以省下大量的配线和附件，减少很多安装接线工时，加上开关柜体积的缩小，可以节省大量的费用。

## 1.1.3 PLC 的应用领域

在发达的工业国家，PLC 已经广泛地应用在所有的工业部门，随着其性能价格比的不断提高，应用范围不断扩大，主要有以下几个方面：

## 1. 开关量逻辑控制

PLC 具有“与”、“或”、“非”等逻辑指令，可以实现触点和电路的串、并联，代替继电器进行组合逻辑控制、定时控制与顺序逻辑控制。开关量逻辑控制可以用于单台设备，也可以用于自动生产线，其应用领域已遍及各行各业，甚至深入到家庭。

## 2. 运动控制

PLC 使用专用的指令或运动控制模块，对直线运动或圆周运动的位置、速度和加速度进行控制，可实现单轴、双轴、3 轴和多轴位置控制，使运动控制与顺序控制功能有机地结合在一起。PLC 的运动控制功能广泛地用于各种机械，如金属切削机床、金属成形机械、装配机械、机器人、电梯等场合。

## 3. 闭环过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等连续变化的模拟量的闭环控制。PLC 通过模拟量 I/O 模块，实现模拟量 (Analog) 和数字量 (Digital) 之间的 A/D 转换与 D/A 转换，并对模拟量实行闭环 PID (比例-积分-微分) 控制。现代的大中型 PLC 一般都有 PID 闭环控制功能，这一功能可以用 PID 子程序或专用的 PID 模块来实现。其 PID 闭环控制功能已经广泛地应用于塑料挤压成形机、加热炉、热处理炉、锅炉等设备，以及轻工、化工、机械、冶金、电力、建材等行业。

## 4. 数据处理

现代的 PLC 具有数学运算 (包括四则运算、矩阵运算、函数运算、字逻辑运算、求反、循环、移位和浮点数运算等)、数据传送、转换、排序和查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析和处理。这些数据可以与储存在存储器中的参考值比较，也可以用通信功能传送到别的智能装置，或者将它们打印制表。

## 5. 通信联网

PLC 的通信包括主机与远程 I/O 之间的通信、多台 PLC 之间的通信、PLC 与其他智能控制设备 (如计算机、变频器、数控装置) 之间的通信。PLC 与其他智能控制设备一起，可以组成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统。

必须指出，并不是所有的 PLC 都有上述全部功能，有些小型 PLC 只有上述的部分功能，但是价格较低。

### 1.1.4 PLC 的主要生产厂家

我国有不少的厂家研制和生产过 PLC，但是还没有出现有影响力和较大市场占有率的产品，目前我国使用的 PLC 几乎都是国外品牌的产品。

在全世界上百个 PLC 制造厂中，有几家举足轻重的公司。它们是美国 Rockwell 自动化公司所属的 A-B (Allen & Bradley) 公司、GE-Fanuc 公司，德国的西门子 (Siemens) 公司和法国的施耐德 (Schneider) 自动化公司，日本的三菱公司和欧姆龙 (OMRON) 公司。这几家公司控制着全世界 80% 以上的 PLC 市场，它们的系列产品有其技术广度和深度，从微型 PLC 到有上万个 I/O (输入/输出) 点的大型 PLC 应有尽有。

与个人计算机相比，PLC 在标准化方面作得较差：PLC 的软、硬件体系结构是封闭的而不是开放的；绝大多数 PLC 使用专用的总线、专用通信网络及协议；各种 PLC 产品的编程语言在表示方式、寻址方式和语法结构上都不一致，使得它们互不兼容。国际电工委员会

的 IEC61131-3《可编程序控制器的编程软件标准》为 PLC 编程的标准化铺平了道路。不少厂家正在开发以 PC（个人计算机）为硬件平台、在 Windows 操作系统下、符合 IEC61131-3 国际标准的新一代开放体系结构的 PLC。

目前有的厂家已推出了符合或接近 IEC61131-3 标准的编程软件，但是仍然有相当多的 PLC 产品的编程语言与 IEC61131-3 有较大的差异。尽管如此，各种 PLC 产品在软件上还是比较接近的，学好了一种 PLC 的编程语言，再学别的 PLC 就比较容易了。

本书以三菱公司最新推出的 FX<sub>1S</sub>、FX<sub>1N</sub>、FX<sub>2N</sub> 和 FX<sub>2NC</sub> 系列小型 PLC 为主要讲授对象。三菱的 FX 系列 PLC 以其极高的性能价格比，在国内占有很大的市场份额，FX 系列的功能强、应用范围广，可满足大多数用户的需要。

三菱电机公司 PLC 的资料可以在其工控网站 [www.meau.com](http://www.meau.com) 下载。

## 1.2 PLC 的工作原理

PLC 是从继电器控制系统发展而来的，它的梯形图程序与继电器系统电路图相似，梯形图中的某些编程元件也沿用了继电器这一名称，如输入继电器、输出继电器等等。

这种用计算机程序实现的“软继电器”，与继电器系统中的物理继电器在功能上有某些相似之处。由于以上原因，在介绍 PLC 的工作原理之前，首先简要介绍物理继电器的结构和工作原理。

### 1.2.1 继电器

图 1-2a 是继电器结构示意图，它主要由电磁线圈、铁心、触点和复位弹簧组成。继电器有两种不同的触点，在线圈断电时处于断开状态的触点称为常开触点（如图 1-2 中的触点 3、4），处于闭合状态的触点称为常闭触点（如图 1-2 中的触点 1、2）。

当线圈通电时，电磁铁产生磁力，吸引衔铁，使常闭触点断开，常开触点闭合。线圈电流消失后，复位弹簧使衔铁返回原来的位置，常开触点断开，常闭触点闭合。图 1-2b 是继电器的线圈、常开触点和常闭触点在电路图中的符号。一只继电器可能有若干对常开触点和常闭触点。在继电器电路图中，一般用相同的由字母、数字组成的文字符号（如 KA2）来标注同一个继电器的线圈和触点。

图 1-3 是用交流接触器控制异步电动机的主电路、控制电路和有关的波形图。接触器的结构和工作原理与继电器的基本相同，区别仅在于继电器触点的额定电流较小，而接触器是用来控制大电流负载的，例如它可以控制额定电流为几十安至几千安的异步电动机。按下起动按钮 SB1，它的常开触点接通，电流经过 SB1 的常开触点和停止按钮 SB2、作过载保护用的热继电器 FR 的常闭触点，流过交流接触器 KM 的线圈，接触器的衔铁被吸合，使主电

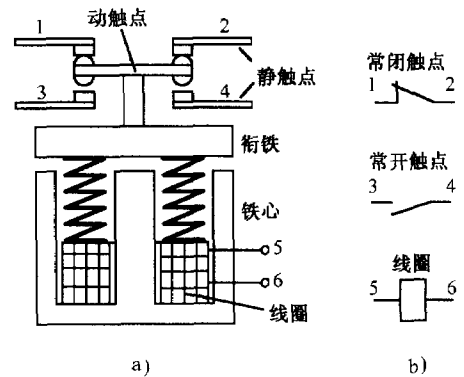


图 1-2 继电器示意图

a) 继电器结构示意图 b) 继电器组成的电路符号

路中的 3 对常开触点闭合，异步电动机 M 的三相电源被接通，电动机开始运行，控制电路中接触器 KM 的辅助常开触点同时接通。放开启动按钮后，SB1 的常开触点断开，电流经 KM 的辅助常开触点和 SB2、FR 的常闭触点流过 KM 的线圈，电动机继续运行。KM 的辅助常开触点实现的这种功能称为“自锁”或“自保持”，它使继电器电路具有类似于 R-S 触发器的记忆功能。

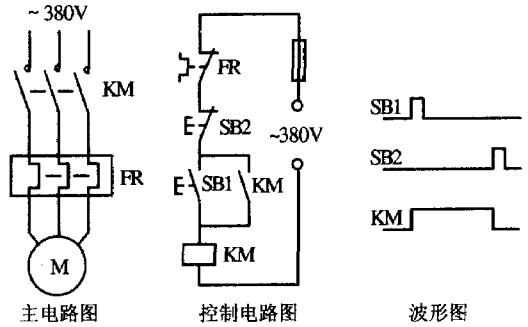


图 1-3 异步电动机控制电路

在电动机运行时按停止按钮 SB2，它的常闭触点断开，使 KM 的线圈失电，KM 的主触点断开，异步电动机的三相电源被切断，电动机停止运行，同时控制电路中 KM 的辅助常开触点断开。当停止按钮 SB2 被放开，其常闭触点闭合后，KM 的线圈仍然失电，电动机继续保持停止运行状态。图 1-3 给出了有关信号的波形图，图中用高电平表示 1 状态（线圈通电、按钮被按下），用低电平表示 0 状态（线圈断电、按钮被放开）。

图 1-3 中的控制电路在继电器系统和 PLC 的梯形图中被大量使用，它被称为“起动-保持-停止”电路，或简称为“起保停”电路。

### 1.2.2 逻辑运算

使用继电器电路或 PLC 的梯形图可以实现开关量的逻辑运算。图 1-4 的上面是 PLC 的梯形图，梯形图中某些编程元件（如输出继电器和辅助继电器）的线圈“通电”时，其常开触点闭合，常闭触点断开，称该编程元件为 1 状态。当它们的线圈“断电”时，其常开触点断开，常闭触点闭合，称该编程元件为 0 状态。

图 1-4 中的 A, B 为输入逻辑变量，M 为输出逻辑变量，它们之间的“与”、“或”、“非”逻辑运算关系如表 1-1 所示。用继电器电路或梯形图可以实现基本逻辑运算，触点的串联可实现“与”运算，触点的并联可实现“或”运算，用常闭触点控制线圈可实现“非”运算（见图 1-4）。多个触点的串、并联电路可以实现复杂的逻辑运算，例如图 1-3 中的继电器电路实现的逻辑运算可用逻辑代数表达式表示为

$$KM = (SB1 + KM) \cdot \overline{SB2} \cdot \overline{FR}$$

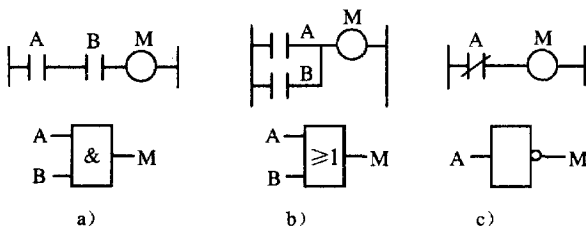


图 1-4 基本逻辑运算

a) 与 b) 或 c) 非

表 1-1 逻辑运算关系表

与			或			非	
$M = A \cdot B$			$M = A + B$			$M = \overline{A}$	
A	B	M	A	B	M	A	M
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		

式中的加号表示逻辑或，乘号表示逻辑与，上画线表示“非”运算。

### 1.2.3 工作原理

#### 1. 扫描工作方式

PLC 有两种基本的工作模式，即运行（RUN）模式与停止（STOP）模式。在运行模式，PLC 通过反复执行反映控制要求的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可能变化的输入信号，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。

除了执行用户程序之外，在每次循环过程中，PLC 还要完成内部处理、通信处理等工作，一次循环可分为 5 个阶段（见图 1-5）。PLC 的这种周而复始的循环工作方式称为扫描工作方式。由于计算机执行指令的速度极高，从外部输入-输出关系来看，处理过程似乎是同时完成的。

在内部处理阶段，PLC 检查 CPU 模块内部的硬件是否正常，将监控定时器复位，以及完成一些其它内部工作。

在通信服务阶段，PLC 与其它的带微处理器的智能装置通信，响应编程器键入的命令，更新编程器的显示内容。

当 PLC 处于停止（STOP）模式时，只执行以上的操作。PLC 处于运行（RUN）模式时，还要完成另外三个阶段的操作。

在 PLC 的存储器中，设置了一片区域用来存放输入信号和输出信号的状态，它们分别称为输入映像寄存器和输出映像寄存器。PLC 梯形图中的其他编程元件也有对应的映像存储区，它们统称为元件映像寄存器。

在输入处理阶段，PLC 把所有外部输入电路的接通/断开状态读入输入映像寄存器。

外部输入电路接通时，对应的输入映像寄存器为 1 状态，梯形图中对应的输入继电器的常开触点接通，常闭触点断开。外部输入触点电路断开时，对应的输入映像寄存器为 0 状态，梯形图中对应的输入继电器的常开触点断开，常闭触点接通。

某一编程元件对应的映像寄存器为 1 状态时，称该编程元件为 ON，映像寄存器为 0 状态时，称该编程元件为 OFF。

在程序执行阶段，即使外部输入信号的状态发生了变化，输入映像寄存器的状态也不会随之而变，输入信号变化了的状态只能在下一个扫描周期的输入处理阶段被读入。

PLC 的用户程序由若干条指令组成，指令在存储器中按步序号顺序排列。在没有跳转指令时，CPU 从第一条指令开始，逐条顺序地执行用户程序，直到用户程序结束之处。在执行指令时，从输入映像寄存器或别的元件映像寄存器中将有关编程元件的 0/1 状态读出来，并根据指令的要求执行相应的逻辑运算，运算的结果写入到对应的元件映像寄存器中，因此，各编程元件的映像寄存器（输入映像寄存器除外）的内容随着程序的执行而变化。

在输出处理阶段，CPU 将输出映像寄存器的 0/1 状态传送到输出锁存器。梯形图中某一输出继电器的线圈“通电”时，对应的输出映像寄存器为 1 状态。信号经输出模块隔离和功

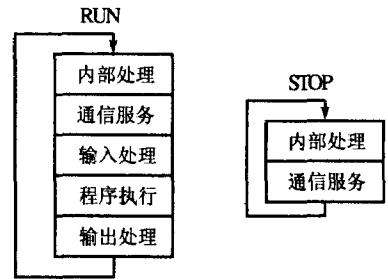


图 1-5 扫描过程