

 附光盘

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

# FX 系列 PLC 编程及应用

廖常初 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等院校电气信息类系列教材

# FX 系列 PLC 编程及应用

廖常初 主编



机械工业出版社

本书介绍了三菱 FX 系列 PLC 的工作原理、硬件结构、编程元件与指令系统,以及梯形图的经验设计法、继电器电路转换法和顺序控制设计法,这些编程方法易学易用,可以节约大量的设计时间。本书详细介绍了 FX 系列 100 多条应用指令,提供了较多的例程;介绍了模拟量模块的使用方法和 PID 指令在闭环控制中的应用;详细介绍了计算机链接通信协议和无协议通信方式;通过实例介绍了 PLC 的通信程序和用 VB 编写的计算机的通信程序的设计方法。用例程介绍了 PLC 之间的并行链接和 N:N 链接通信协议。书中还介绍了编程器和编程软件的使用方法,系统设计和调试的方法,提高系统可靠性和降低硬件费用的方法,以及微型显示模块的使用等内容,提供了适量的习题和实验指导书。配套的光盘附有大量的三菱 PLC 和触摸屏的中英文用户手册、FX 编程软件和本书的例程。

本书可以作为大、专院校电类和机电一体化等专业的教材,也很适合工程技术人员使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

FX 系列 PLC 编程及应用/廖常初主编. —北京:机械工业出版社, 2005.4

(21 世纪高等院校电气信息类系列教材)

ISBN 7-111-16219-6

I. F... II. 廖... III. 可编程序控制器—程序设计—高等学校—教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 015915 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: 李馨馨

责任印制: 杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·16.75 印张·413 千字

0001-5000 册

定价: 29.00 元(含 1CD)

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) 68326294

封面无防伪标均为盗版

## 出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主进教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业材料。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

# 前 言

可编程序控制器 (PLC) 是应用十分广泛的微机控制装置, 是自动控制系统的关键设备。

本书作者以三菱公司最新的 FX<sub>1S</sub>、FX<sub>1N</sub>、FX<sub>2N</sub> 和 FX<sub>2NC</sub> 系列小型 PLC 为主要对象, 该系列 PLC 具有功能强、性能价格比高、应用广等特点。

程序设计是 PLC 应用的关键, 书中介绍了作者在长期的教学、科研和 PLC 工程应用实践中总结的一整套先进完整的梯形图设计方法, 包括经验设计法、继电器电路转换法和顺序控制设计法, 以及具有多种工作方式的系统的梯形图设计方法, 这些方法易学易用, 可以节约大量的设计时间。

本书还有以下特色:

1. 详细介绍了 FX 系列 100 多条应用指令, 提供了较多的例程。
2. 详细介绍了模拟量输入/输出模块的使用方法和 PID 指令在闭环控制中的应用。
3. 详细介绍了 FX 系列的计算机链接通信协议及其通信命令, 通过实例介绍了 PLC 的通信程序和用 VB 编写的计算机通信程序的设计方法。还介绍了无协议通信方式的编程。
4. 详细介绍了 PLC 之间的并行链接、N:N 链接通信协议, 并提供了例程。
5. 介绍了手持式编程器和编程软件的使用方法, 提供了 10 多个实验的实验指导书, 各章有适量的习题。
6. 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, 以及微型显示模块的应用等内容。
7. 配套的光盘附有大量的三菱 PLC 和触摸屏的中英文用户手册、FX 系列的编程软件和本书的例程。

本书的 1~5 章是基础部分, 3~5 章介绍了用于开关量控制的指令和梯形图设计方法。

本书得到三菱电机自动化(上海)有限公司的大力支持, 在此表示感谢。

本书由廖常初主编, 陈晓东、范占华、郑连清、廖亮、张军、余秋霞、关朝旺、孙明渝、万莉、左源洁、唐世友、孙剑、聂世珍参加了编写工作。

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 E-mail: liaosun@cqu.edu.cn。

重庆大学电气工程学院廖常初

2004 年 9 月

# 目 录

出版说明

前言

第1章 概述	1	2.4.1 数据链接与无协议通信	23
1.1 PLC的结构与特点	1	2.4.2 开放式通信网络	24
1.1.1 PLC的基本结构	1	2.4.3 串行通信接口模块	26
1.1.2 PLC的特点	2	2.5 编程设备与人机接口	26
1.1.3 PLC的应用领域	3	2.5.1 专用编程器	26
1.1.4 怎样下载 PLC的资料和软件	4	2.5.2 编程软件	27
1.2 PLC的工作原理	5	2.5.3 显示模块	27
1.2.1 继电器	5	2.5.4 GOT-900 图形操作终端	27
1.2.2 逻辑运算	6	2.6 习题	28
1.2.3 PLC的工作原理	7	第3章 PLC程序设计基础	29
1.3 习题	9	3.1 PLC的编程语言	29
第2章 PLC的硬件	10	3.1.1 PLC编程语言的国际标准	29
2.1 CPU模块与I/O模块	10	3.1.2 梯形图的主要特点	30
2.1.1 PLC的物理结构	10	3.2 FX系列PLC梯形图中的编程元件	30
2.1.2 CPU模块与存储器	11	3.2.1 基本数据结构	30
2.1.3 开关量输入模块	12	3.2.2 FX系列PLC的性能指标与编程元件	31
2.1.4 开关量输出模块	13	3.2.3 输入继电器与输出继电器	33
2.2 FX系列PLC性能简介	13	3.2.4 辅助继电器	34
2.2.1 三菱电机公司小型PLC的发展历史	13	3.2.5 状态继电器	35
2.2.2 FX系列PLC的特点	14	3.2.6 定时器	36
2.2.3 FX系列PLC的型号	15	3.2.7 内部计数器	37
2.2.4 FX系列PLC的一般技术指标	16	3.2.8 高速计数器	38
2.2.5 FX <sub>1S</sub> 系列PLC	16	3.2.9 数据寄存器	40
2.2.6 FX <sub>1N</sub> 系列PLC	17	3.2.10 指针与常数	41
2.2.7 FX <sub>2N</sub> 系列PLC	17	3.3 FX系列PLC的基本逻辑指令	41
2.2.8 FX <sub>2NC</sub> 系列PLC	18	3.3.1 LD、LDI、OUT指令	41
2.3 特殊功能模块	19	3.3.2 触点的串并联指令	42
2.3.1 模拟量输入输出模块	19	3.3.3 检测上升沿和下降沿的触点指令	43
2.3.2 高速计数器模块	21	3.3.4 微分输出指令	44
2.3.3 运动控制模块	22	3.3.5 电路块串并联指令	44
2.4 FX系列PLC的通信功能与通信模块	23	3.3.6 栈存储器与多重输出指令	45
		3.3.7 主控指令与主控复位指令	46
		3.3.8 置位复位指令	47
		3.3.9 取反、空操作与程序结束指令	47
		3.3.10 编程注意事项	48

3.4 习题	49	6.1 应用指令的表示方法与数据结构	93
<b>第4章 开关量控制系统梯形图设计方法</b>	<b>51</b>	6.1.1 应用指令的表示方法	93
4.1 梯形图的经验设计法与继电器电路转换法	51	6.1.2 32位指令与脉冲执行指令	94
4.1.1 梯形图中的基本电路	51	6.1.3 数据格式	94
4.1.2 经验设计法	54	6.1.4 变址寄存器	96
4.1.3 根据继电器电路图设计梯形图	55	6.2 程序流控制指令	96
4.2 顺序控制设计法与顺序功能图	58	6.2.1 条件跳转指令	96
4.2.1 顺序控制设计法	58	6.2.2 子程序调用与子程序返回指令	97
4.2.2 步与动作	58	6.2.3 与中断有关的指令	98
4.2.3 有向连线与转换条件	60	6.2.4 主程序结束指令	102
4.2.4 顺序功能图的基本结构	61	6.2.5 监控定时器指令	102
4.2.5 顺序功能图中转换实现的基本规则	62	6.2.6 循环指令	102
4.2.6 顺序控制设计法的本质	64	6.3 比较传送与数据变换指令	103
4.3 习题	64	6.3.1 比较指令	103
<b>第5章 顺序控制梯形图的编程方法</b>	<b>67</b>	6.3.2 传送指令	104
5.1 使用 STL 指令的编程方法	68	6.3.3 数据变换指令	106
5.1.1 STL 指令	68	6.4 算术运算与字逻辑运算指令	107
5.1.2 单序列的编程方法	69	6.4.1 算术运算指令	107
5.1.3 选择序列的编程方法	72	6.4.2 二进制数加1减1指令	109
5.1.4 并行序列的编程方法	73	6.4.3 字逻辑运算指令	109
5.2 使用起保停电路的编程方法	75	6.5 循环移位与移位指令	110
5.2.1 单序列的编程方法	76	6.5.1 循环移位指令	110
5.2.2 选择序列的编程方法	77	6.5.2 移位指令	111
5.2.3 并行序列的编程方法	78	6.6 数据处理指令	113
5.2.4 仅有两步的闭环的处理	79	6.6.1 区间复位指令	113
5.3 以转换为中心的编程方法	80	6.6.2 解码与编码指令	113
5.3.1 单序列的编程方法	80	6.6.3 求置 ON 位总数与 ON 位判别指令	114
5.3.2 选择序列的编程方法	81	6.6.4 报警器置位复位指令	114
5.3.3 并行序列的编程方法	81	6.6.5 其他指令	115
5.4 具有多种工作方式的系统的编程方法	82	6.7 高速处理指令	115
5.4.1 控制系统的多种工作方式	82	6.7.1 与输入输出有关的指令	115
5.4.2 使用起保停电路的编程方法	84	6.7.2 高速计数器指令	117
5.4.3 以转换为中心的编程方法	87	6.7.3 速度检测与脉冲输出指令	117
5.4.4 使用 STL 指令的编程方法	88	6.8 方便指令	119
5.5 习题	91	6.8.1 状态初始化指令	119
<b>第6章 FX 系列 PLC 的应用指令</b>	<b>93</b>	6.8.2 数据搜索指令	120
		6.8.3 凸轮顺控指令	120
		6.8.4 定时器指令	121
		6.8.5 其他方便指令	122
		6.9 外部 I/O 设备指令	124
		6.9.1 数据输入指令	124
		6.9.2 数字译码输出指令	125

6.9.3 其他指令 .....	129	通信协议 .....	164
6.10 FX 系列外部设备指令 .....	130	7.5.1 与 N:N 网络有关的辅助继电器和 数据寄存器 .....	164
6.10.1 与串行通信有关的指令 .....	130	7.5.2 N:N 网络的设置 .....	165
6.10.2 FX-8AV 模拟量功能扩展板处理 指令 .....	131	7.5.3 N:N 网络编程举例 .....	166
6.10.3 PID 回路运算指令 .....	132	7.5.4 并行链接 .....	167
6.11 浮点数运算指令 .....	132	7.6 无协议通信方式与 RS 通信指令 .....	168
6.11.1 浮点数比较指令 .....	132	7.6.1 RS 串行通信指令 .....	169
6.11.2 浮点数转换指令 .....	133	7.6.2 与 RS 指令有关的特殊辅助 继电器 .....	169
6.11.3 浮点数的四则运算指令 .....	134	7.6.3 硬件握手操作 .....	170
6.11.4 浮点数的开平方指令与三角函数 运算指令 .....	135	7.6.4 RS 指令编程举例 .....	172
6.12 时钟运算指令 .....	135	7.7 PLC 串口通信调试软件及其应用 .....	173
6.13 其他指令 .....	138	7.7.1 串口通信调试软件的功能与 使用方法 .....	174
6.13.1 FX <sub>15</sub> 和 FX <sub>15</sub> 的定位控制指令 .....	138	7.7.2 通信记录与接收参数的设置 .....	175
6.13.2 格雷码变换指令 .....	138	7.7.3 串口通信调试软件应用实例 .....	175
6.13.3 读写 FX <sub>60</sub> -3A 指令 .....	138	7.8 计算机与 PLC 通信的通信程序编程 实例 .....	176
6.14 习题 .....	139	7.8.1 简化的通信规约与 PLC 的通信 程序 .....	176
<b>第 7 章 PLC 的通信与计算机通信网络</b> .....	<b>141</b>	7.8.2 计算机通信程序设计 .....	178
7.1 计算机通信方式与串行通信接口 .....	141	7.9 习题 .....	188
7.1.1 计算机的通信方式与传输速率 .....	141	<b>第 8 章 PLC 在模拟量闭环控制中的 应用</b> .....	<b>190</b>
7.1.2 串行通信接口标准 .....	142	8.1 变送器与模拟量输入模块的选择 与使用 .....	190
7.2 计算机通信的国际标准 .....	144	8.1.1 变送器的选择 .....	190
7.2.1 开放系统互连模型 .....	144	8.1.2 模拟量输入模块的选择 .....	190
7.2.2 IEEE802 通信标准 .....	145	8.1.3 模拟量输入模块与模拟量输出 模块 .....	191
7.2.3 现场总线及其国际标准 .....	146	8.1.4 读取模拟量输入模块的方法 .....	192
7.3 计算机链接通信协议 .....	147	8.1.5 模拟量输入模块的校准 .....	193
7.3.1 串行通信的参数设置 .....	147	8.1.6 将模拟量输入模块的输出值转化 为实际的物理量 .....	194
7.3.2 计算机链接的控制代码 .....	149	8.1.7 模拟量输出模块的应用 .....	195
7.3.3 计算机与 PLC 之间的链接数据流 .....	149	8.2 闭环控制的基本概念 .....	196
7.3.4 计算机链接控制协议的基本格式 .....	150	8.2.1 计算机闭环控制系统的组成与 工作原理 .....	196
7.3.5 控制协议各组成部分的说明 .....	151	8.2.2 闭环控制的主要性能指标 .....	197
7.3.6 通信时间计算 .....	153	8.2.3 闭环控制反馈极性的确定 .....	198
7.3.7 计算机链接通信的错误诊断 .....	154		
7.3.8 计算机链接通信协议应用实例 .....	155		
7.4 计算机链接通信协议中的命令 .....	156		
7.4.1 计算机读写 PLC 编程元件的命令 .....	157		
7.4.2 编程元件测试命令 .....	159		
7.4.3 请求式功能 .....	160		
7.4.4 其他命令 .....	162		
7.5 N:N 链接通信协议与并行链接			



8.3 PID 指令在闭环控制中的应用 .....	198	9.4.3 与微型显示模块有关的 PLC 编程 元件 .....	219
8.3.1 PID 控制器的优点 .....	198	9.4.4 微型显示模块的使用方法 .....	220
8.3.2 实现 PID 控制的方法 .....	199	9.5 习题 .....	222
8.3.3 PID 控制器的数字化 .....	199		
8.3.4 FX 系列 PLC 的 PID 指令 .....	200	<b>第 10 章 PLC 的编程器与编程软件的使用 方法 .....</b>	<b>223</b>
8.3.5 PID 控制器的改进算法 .....	201	10.1 FX-20P-E 手持式编程器的使用 方法 .....	223
8.3.6 PID 指令的数据堆栈 .....	204	10.1.1 FX-20P-E 型手持式编程器简介 .....	223
8.3.7 PID 指令的程序设计举例 .....	205	10.1.2 编程器工作方式选择与用户程序 存储器初始化 .....	225
8.4 PID 控制器的参数整定方法 .....	205	10.1.3 指令的读出 .....	226
8.4.1 PID 参数与系统动静态性能的 关系 .....	205	10.1.4 指令的写入 .....	226
8.4.2 扩充响应曲线法 .....	206	10.1.5 程序的修改 .....	227
8.4.3 PID 的参数预调整操作 .....	207	10.1.6 元件监视与通断检查 .....	228
8.5 习题 .....	208	10.1.7 对编程元件的测试 .....	229
<b>第 9 章 PLC 应用中的其他问题 .....</b>	<b>209</b>	10.2 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的 使用方法 .....	230
9.1 PLC 应用系统的设计调试方法 .....	209	10.2.1 编程软件的主要功能 .....	230
9.1.1 系统规划 .....	209	10.2.2 梯形图程序的生成与编辑 .....	230
9.1.2 系统设计 .....	209	10.2.3 指令表的生成与编辑 .....	234
9.1.3 PLC 及其组件的选型 .....	211	10.2.4 PLC 的在线操作 .....	234
9.1.4 硬件软件设计与调试 .....	212	10.2.5 监控与测试功能 .....	236
9.2 PLC 应用系统的可靠性措施 .....	214	10.2.6 编程软件与 PLC 的参数设置 .....	237
9.2.1 对电源的处理 .....	214	<b>附录 .....</b>	<b>238</b>
9.2.2 安装与布线的注意事项 .....	215	附录 A 实验指导书 .....	238
9.2.3 PLC 输出的可靠性措施 .....	215	附录 B ASCII 码表 .....	252
9.2.4 控制系统的接地 .....	216	附录 C FX <sub>1C</sub> 、FX <sub>1R</sub> 、FX <sub>2N</sub> 和 FX <sub>2NC</sub> 可以使用的 功能指令 .....	252
9.2.5 强烈干扰环境中的隔离措施 .....	216	附录 D 随书光盘目录 .....	255
9.2.6 故障的检测与诊断 .....	216	<b>参考文献 .....</b>	<b>259</b>
9.3 节省 PLC 输入输出点数的方法 .....	217		
9.3.1 减少所需输入点数的方法 .....	217		
9.3.2 减少所需输出点数的方法 .....	218		
9.4 FX-IN-5DM 微型显示模块的应用 .....	218		
9.4.1 微型显示模块简介 .....	218		
9.4.2 模块的安装与模块的功能 .....	219		

# 第 1 章 概 述

## 1.1 PLC 的结构与特点

随着微处理器、计算机和数字通信技术的飞速发展，计算机控制已经广泛应用在所有的工业领域。现代社会要求制造业对市场需求作出迅速的反映，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。可编程控制器（Programmable Logic Controller）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。

可编程控制器简称为 PLC，它的应用面广、功能强大、使用方便，已经成为当代工业自动化的主要支柱之一。PLC 广泛地应用在各种机械设备和生产过程的自动控制系统中，PLC 在其他领域，例如在民用和家庭自动化中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則设计。”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，除了能完成各种控制功能外，还有与其他计算机通信联网的功能。

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，可以满足大多数用户的需要。

### 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）。PLC 的特殊功能模块用来完成某些特殊的任务。

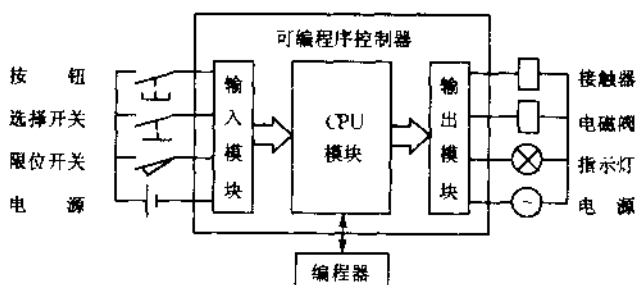


图 1-1 PLC 控制系统示意图

### 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和心脏, 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。

CPU 模块的工作电压一般是 5 V, 而 PLC 的输入/输出信号电压较高, 例如 DC 24 V 和 AC 220 V。从外部引入的尖峰电压和干扰噪声可能会损坏 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、光敏晶闸管、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, 并用它来进行编辑、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或指令表程序, 并可以实现不同编程语言之间的相互转换。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 AC 220V 或 DC 24 V 电源。内部的开关电源为各模块提供 DC 5 V、DC  $\pm 12$  V 和 DC 24 V 等电源。小型 PLC 可以为输入电路和外部的电子传感器 (例如接近开关) 提供 DC 24V 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

梯形图是使用得最广的 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。通过修改用户程序，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，接线可以减少到继电器控制系统的十分之一到百分之一，大大减少了因触点接触不良造成的故障。

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，如果掌握了本书介绍的设计方法，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，输入信号可用小开关来模拟，通过 PLC 上的发光二极管观察输出信号的状态。在现场调试过程中发现的大多数问题可以通过修改程序来解决，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

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，因此开关柜的体积比原来的小得多。PLC 控制系统的配线比继电器控制系统少得多。

## 1.1.3 PLC 的应用领域

在发达的工业国家，PLC 已经广泛应用于所有的工业部门，随着其性能价格比的不断提高，应用范围也不断扩大。PLC 主要用于以下方面。

### 1. 开关量逻辑控制

PLC 用“与”、“或”、“非”等逻辑指令来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，甚至深入到家庭中。

## 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，使运动控制与顺序控制功能有机结合在一起，有的可以实现单轴、双轴、3 轴和多轴位置控制。PLC 的运动控制功能广泛用于各种机械，例如金属切削机床、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

闭环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 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、逻辑运算、求反、循环、移位和浮点数运算等) 和数据传送、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 (例如计算机、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。

### 1.1.4 怎样下载 PLC 的资料和软件

我国有不少厂家研制和生产过 PLC，但是还没有出现有较大影响力和较大市场占有率的品牌，目前我国使用的 PLC 主要是国外品牌的产品。

在全世界上百个 PLC 制造厂中，有几家举足轻重的公司。它们是德国的西门子 (Siemens) 公司，美国 Rockwell 自动化公司所属的 A-B (Allen &Bradly) 公司，GE-Fanuc 公司，法国的施耐德 (Schneider) 公司，日本的三菱公司和欧姆龙 (OMRON) 公司。

西门子自动化与驱动集团的中文网站为 [www.ad.siemens.com.cn](http://www.ad.siemens.com.cn)，可以从该网站上下载西门子公司生产的各种工控产品的中英文资料和软件。该集团在德国的网站为 [www.ad.siemens.de](http://www.ad.siemens.de)。

在三菱电机自动化 (上海) 有限公司的网站 [www.mitsubishielectric-automation.cn/](http://www.mitsubishielectric-automation.cn/) 可以下载三菱 PLC 的资料。

在网站 [www.mitsubishi-automation.de/produkt/handbuch/suche/e\\_controller.htm](http://www.mitsubishi-automation.de/produkt/handbuch/suche/e_controller.htm)、[www.powercon.com.cn](http://www.powercon.com.cn) 和 [www.syslink.com.cn](http://www.syslink.com.cn) 上也可以下载三菱 PLC 的资料和软件。

进入上海欧姆龙自动化系统有限公司的网站 ([www.omronservice.com](http://www.omronservice.com)) 的“技术论坛 > 资料下载”，可以下载 PLC 的资料。在网站 [www.knowledge.omron.com](http://www.knowledge.omron.com) 上可以找到更多的欧姆龙软件和使用说明书。

美国 Rockwell 自动化公司的网址是 [www.automation.rockwell.com](http://www.automation.rockwell.com)。

施耐德公司旗下有三家 PLC 制造商：Modicon、Square D 与 Telemecanique。该公司的网站为 public.modicon.com，在“PLC & I/O”栏目中可以选择 PLC 的类型。

GE-Fanuc 公司的网站为 www.gefanuc.com。在网站 www.dz98.com/cb.htm 和 www.blueprint.com.cn/html/bp\_down.htm 上可以下载 GE-Fanuc 公司的资料和编程软件。

www.plcs.net 是一个 PLC 专业网站，在其“learn PLCs”栏目中双击“Link”，可以链接全世界主要的 PLC 厂家的网站，和致力于 PLC 标准化的组织 The PLCopen 的网站。

工控资料的文件后缀一般为 PDF，需要用 Adobe 阅读器阅读。

## 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，例如输入继电器、输出继电器等。

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（例如图 1-2b 中的触点 3、4），处于闭合状态的触点称为常闭触点（例如图 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，用同一个由字母、数字组成的名称（例如 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几百安的异步电动机。按下起动按钮

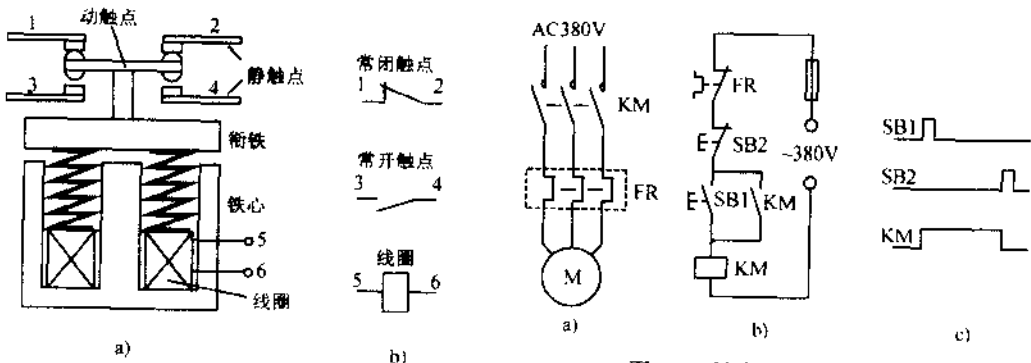


图 1-2 继电器示意图

图 1-3 异步电动机控制电路  
a) 主电路 b) 控制电路 c) 波形图

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。放开起动按钮后, 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。

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 (见表 1-1)。图 1-4 的上面是 PLC 的梯形图, 梯形图中某些编程元件 (例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。

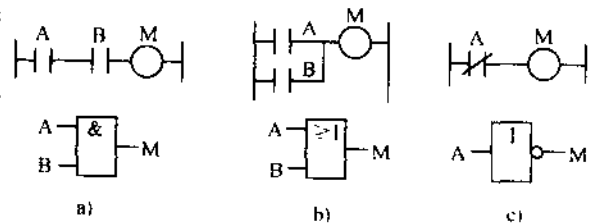


图 1-4 基本逻辑运算  
a) 与 b) 或 c) 非

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, 触点的串联对应“与”运算, 触点的并联对应“或”运算, 用常闭触点控制线圈对应“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以用逻辑代数表达式表示为

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

式中的加号表示逻辑或, 乘号表示逻辑与, 上划线表示“非”运算。

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		

### 1.2.3 PLC 的工作原理

#### 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 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，一次循环可以分为 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，以及完成一些其他内部工作。

在通信服务阶段，PLC 与其他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。

PLC 处于 STOP 模式时，只执行以上的操作。PLC 处于 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其他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率放大后，继电器型输出模块中对应的硬件继电器的线圈通电，其常开触点闭合，使外部负载通电工作。若梯形图中输出继电器的线圈“断电”，对应的输出映像寄存器为 0 状态，在输出处理阶段之后，继电器型输出模块中对应的硬件继电器的线圈断电，其常开触点断

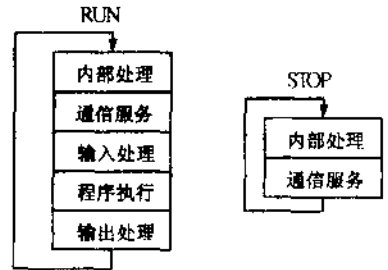


图 1-5 扫描过程



开，外部负载断电，停止工作。

## 2. 扫描周期

PLC 在 RUN 工作模式时，执行一次图 1-5 所示的扫描操作所需的时间称为扫描周期，其典型值约为 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。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。

## 3. PLC 的工作原理

下面用一个简单的例子来进一步说明 PLC 的扫描工作过程。图 1-6 给出了 PLC 的外部接线图和梯形图，起动按钮 SB1、停止按钮 SB2 和热继电器 FR 的常开触点分别接在编号为 X0~X2 的 PLC 的输入端，交流接触器 KM 的线圈接在编号为 Y0 的 PLC 的输出端。图 1-6b 是这 4 个输入/输出变量对应的 I/O 映像寄存器，图 1-6c 是 PLC 的梯形图，它与图 1-3 所示的继电器电路的功能相同。但是应注意，梯形图是一种软件，是 PLC 图形化的程序。图中的 X0 等是梯形图中的编程元件，X0~X2 是输入继电器，Y0 是输出继电器。梯形图中的编程元件 X0 与接在输入端子 X0 的 SB1 的常开触点和输入映像寄存器 X0 相对应，编程元件 Y0 与输出映像寄存器 Y0 和接在输出端子 Y0 的 PLC 内部的输出电路相对应。

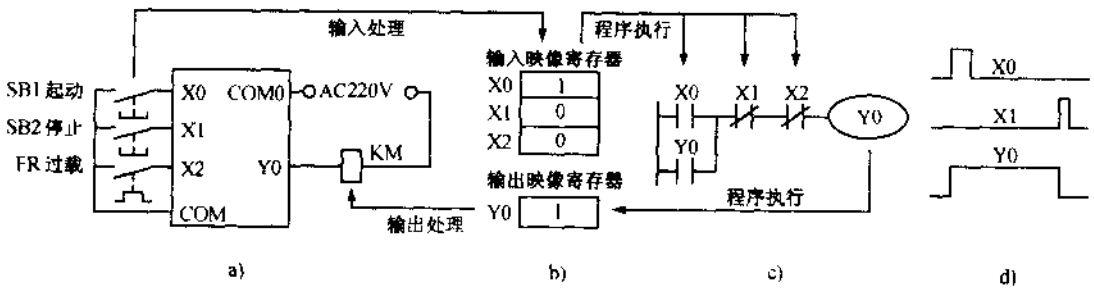


图 1-6 PLC 外部接线图与梯形图

梯形图以指令的形式储存在 PLC 的用户程序存储器中，图 1-6 中的梯形图与下面的 5 条指令相对应（“//”之后是该指令的注释）。

```
LD    X0    //接在左侧母线上的 X0 的常开触点
OR    Y0    //与 X0 的常开触点并联的 Y0 的常开触点
ANI   X1    //与并联电路串联的 X1 的常闭触点
ANI   X2    //串联的 X2 的常闭触点
OUT   Y0    //Y0 的线圈
```

图 1-6 中的梯形图完成的逻辑运算为

$$Y0 = (X0 + Y0) \cdot \overline{X1} \cdot \overline{X2}$$

在输入处理阶段，CPU 将 SB1、SB2 和 FR 的常开触点的状态读入相应的输入映像寄存器，外部触点接通时存入寄存器的是二进制数 1，反之存入 0。

执行第 1 条指令时，从 X0 对应的输入映像寄存器中取出二进制数并保存起来。执行第 2 条指令时，取出 Y0 对应的输出映像寄存器中的二进制数，与 X0 对应的二进制数相“或”（电路的并联对应“或”运算）。运算结束后只保留运算结果，不保留取出来的参与运算的数据。

执行第 3 条或第 4 条指令时，分别取出 X1 或 X2 对应的输入映像寄存器中的二进制数，