

高职高专机电类专业规划教材

可编程序控制器 技术及应用 (三菱)

陈金艳 王浩◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠电子课件

高职高专机电类专业规划教材

可编程序控制器技术及 应用（三菱）

主 编	陈金艳	王 浩
副主编	高建明	韩 洋
	郑 渊	
参 编	鲁 霞	生兆洲
	赵林林	马玉荣
主 审	王永安	



机械工业出版社

本书本着以工程技术应用为主的宗旨,系统地介绍了三菱 FX2N 系列可编程序控制器的工作原理、编程元件、指令系统及其在工业中的应用等。全书主要内容包括可编程序控制器概述、三菱 FX2N 系列 PLC 的编程语言及编程软元件、三菱 FX2N 系列 PLC 的基本指令系统、顺序功能图与步进梯形图编程、功能指令及应用、PLC 的特殊功能模块、PLC 的通信与网络、PLC 在工业中的应用、GX Developer 编程软件的使用及附录。每个部分均引入了大量工程应用实例,并且实例程序都配有注释,便于读者学习。

本书内容层次清楚,实例丰富,实用性强,具有较高的使用和参考价值,可作为高职高专院校机电一体化技术、电气自动化技术等机电类相关专业的教材,也可供广大电气技术人员作为参考书和培训教材使用。

为方便教师教学,本书备有免费电子课件及模拟试卷等,凡选用本书作为授课用书的学校,均可来电索取。咨询电话:010-88379375; E-mail: wangzongf@163.com。

图书在版编目 (CIP) 数据

可编程序控制器技术及应用:三菱/陈金艳,王浩主编. —北京:机械工业出版社,2010.1

高职高专机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-28321-8

I. 可… II. ①陈…②王… III. 可编程序控制器—高等学校:技术学校—教材 IV. TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 164915 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:王宗锋 版式设计:霍永明

责任校对:陈立辉 封面设计:陈沛 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.5 印张·332 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-28321-8

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821 封面防伪标均为盗版

前 言

可编程序控制器（PLC）是以微处理器为基础，综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术而发展起来的一种通用工业自动控制装置。由于其具有抗干扰能力强、可靠性高、灵活性好、系统安装简单、维修方便等特点，随着工业自动化的发展，可编程序控制器在工业中的应用越来越广泛。三菱 PLC 作为占国内市场份额较高的 PLC 之一，在工业自动化控制中起着重要的作用。

本书本着以工程技术应用为主的宗旨，系统地介绍了三菱 FX2N 系列可编程序控制器的工作原理、编程元件、指令系统及其在工业中的应用等。全书主要内容包括可编程序控制器概述、三菱 FX2N 系列 PLC 的编程语言及编程软元件、三菱 FX2N 系列 PLC 的基本指令系统、顺序功能图与步进梯形图编程、功能指令及应用、PLC 的特殊功能模块、可编程序控制器的通信与网络、PLC 在工业中的应用、GX Developer 编程软件的使用及附录。其中第 1 章讲述了可编程序控制器的组成、工作原理、性能指标等；第 2 章重点讲述 FX2N 系列 PLC 的编程语言、编程软元件等；第 3 章主要讲述 FX2N 系列 PLC 的基本指令、梯形图编程规则、经验法编程等；第 4 章为顺序功能图和步进梯形图编程，主要讲述顺序控制法编程的基本方法；第 5 章为功能指令及应用，对功能指令的结构与用法作了详细介绍；第 6 章和第 7 章分别介绍了特殊功能模块与通信；第 8 章和第 9 章分别介绍了 PLC 在工业中的应用以及 GX Developer 编程软件的使用。本书重在技术应用，引入了大量工程应用实例，这些实例都是作者精选的，具有典型代表意义和较高的借鉴价值。为方便读者学习与参考，本书还对每个实例的程序都配有注释，清楚、明了。

本书由陈金艳、王浩任主编，高建明、韩洋、郑渊任副主编，参加编写的还有鲁霞、生兆洲、赵林林、马玉荣。其中，第 1 章由韩洋编写，第 2 章由郑渊编写，第 3 章由王浩编写，第 4 章由高建明编写，第 5 章和第 9 章由陈金艳编写，第 6 章由陈金艳、鲁霞编写，第 7 章由陈金艳、生兆洲编写，第 8 章和附录由陈金艳、马玉荣、赵林林编写，全书由陈金艳统稿。王永安认真审阅了书稿，提出了许多宝贵建议。另外，本书在编写过程中参考了国内外许多专家的论文和著作、许多 PLC 生产厂家的资料，在此一并致谢！

由于作者水平有限，书中难免存在错误和不足，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 可编程序控制器概述..... 1

1.1 PLC 的产生及发展	1
1.1.1 PLC 的产生	1
1.1.2 PLC 的发展	1
1.2 PLC 的特点及应用	3
1.2.1 PLC 的特点	3
1.2.2 PLC 的应用	5
1.3 PLC 的组成及分类	6
1.3.1 PLC 的组成	6
1.3.2 PLC 的分类	8
1.4 PLC 的编程语言	9
1.4.1 梯形图	9
1.4.2 指令表	10
1.4.3 顺序功能图	10
1.4.4 功能块图	10
1.4.5 结构化文本	10
1.5 PLC 的工作原理	11
1.5.1 PLC 的循环扫描工作方式	11
1.5.2 PLC 的循环扫描工作过程	11
1.5.3 I/O 响应时间	13
1.5.4 PLC 的中断输入处理	15
1.6 PLC 的性能指标	15
本章习题	16

第 2 章 三菱 FX2N 系列 PLC 的编程

语言及编程软元件

2.1 三菱 FX2N 系列 PLC 概述	17
2.1.1 FX2N 系列 PLC 型号名称的 含义	17
2.1.2 FX2N 系列 PLC 的基本构成	18
2.2 三菱 FX2N 系列 PLC 的编程语言	21
2.2.1 梯形图编程语言	21
2.2.2 指令语句表编程语言	23
2.2.3 顺序功能图编程语言	23
2.3 三菱 FX2N 系列 PLC 的编程软元件	24
2.3.1 输入继电器	25
2.3.2 输出继电器	26

2.3.3 辅助继电器	26
2.3.4 定时器	27
2.3.5 计数器	29
2.3.6 状态继电器	32
2.3.7 数据寄存器	32
2.3.8 变址寄存器	33
2.3.9 指针	33
2.3.10 常数	34

本章习题

第 3 章 三菱 FX2N 系列 PLC 的基本

指令系统

3.1 指令系统概述	35
3.2 基本指令系统的功能与应用	36
3.2.1 LD、LDI、OUT 指令	36
3.2.2 AND、ANI 指令	37
3.2.3 OR、ORI 指令	38
3.2.4 LDP、LDF、ANDP、ANDF、 ORP、ORF 指令	39
3.2.5 ANB、ORB 指令	40
3.2.6 电路多重输出指令 MPS、MRD、 MPP	41
3.2.7 主控触点指令 MC、MCR	42
3.2.8 置位与复位指令 SET、RST	43
3.2.9 微分指令 PLS、PLF	44
3.2.10 INV、NOP、END 指令	44

3.3 梯形图编程规则和简化技巧	45
3.3.1 梯形图编程的基本规则	45
3.3.2 梯形图编程的主要简化技巧	46
3.3.3 外部输入设备常闭触点的处理 方法	48

3.4 典型梯形图电路与编程实例	50
3.4.1 典型梯形图电路	50
3.4.2 编程实例	54

本章习题

第 4 章 顺序功能图与步进梯形图

编程

4.1 顺序功能图与步进指令概述	60
------------------------	----

4.1.1 顺序功能图的结构	60	5.4.2 乘法指令 MUL、除法指令 DIV	107
4.1.2 顺序功能图的分类	62	5.4.3 加 1 指令 INC、减 1 指令 DEC ..	107
4.1.3 顺序功能图绘制及规则	62	5.4.4 逻辑运算指令	107
4.2 步进梯形指令及步进梯形图	64	5.5 循环移位与移位指令 (FNC30 ~ FNC39)	108
4.3 单流程顺序控制	66	5.5.1 循环右移指令 ROR、循环左移 指令 ROL	108
4.3.1 单一序列结构	66	5.5.2 带进位循环右移指令 RCR、带进 位循环左移指令 RCL	110
4.3.2 重复序列结构	67	5.5.3 位右移指令 SFTR、位左移指令 SFTL	111
4.3.3 跳步序列结构	67	5.5.4 字右移指令 WSFR、字左移指令 WSFL	113
4.3.4 循环序列结构	68	5.5.5 先入先出写入指令 SFWR、读出 指令 SFRD	114
4.3.5 自复位序列结构	73	5.6 数据处理指令 (FNC40 ~ FNC49) ..	116
4.4 选择序列顺序控制	75	5.6.1 区间复位指令 ZRST	116
4.5 并行序列顺序控制	81	5.6.2 解码指令 DECO、编码指令 ENCO	116
本章习题	85	5.6.3 ON 状态位数总和指令 SUM	117
第 5 章 功能指令及应用	88	5.6.4 ON 状态位判断指令 BON	118
5.1 功能指令概述	88	5.6.5 平均值指令 MEAN	118
5.1.1 功能指令的结构	88	5.6.6 报警器置位指令 ANS、报警器 复位指令 ANR	119
5.1.2 操作数可用元件形式	89	5.6.7 方均根指令 SQR、浮点数转换 指令 FLT	119
5.1.3 指令处理的数据长度	89	5.7 高速处理指令 (FNC50 ~ FNC59) ..	120
5.1.4 指令执行形式	90	5.7.1 刷新指令 REF	120
5.2 程序流程控制指令及应用	94	5.7.2 滤波时间调整指令 REFF	120
5.2.1 条件跳转指令 CJ	95	5.7.3 矩阵输入指令 MTR	121
5.2.2 子程序调用指令 CALL、子程序 返回指令 SRET 和主程序结束 指令 FEND	95	5.7.4 高速区间比较指令 HSZ	121
5.2.3 中断返回指令 IRET、开中断指令 EI、关中断指令 DI	96	5.7.5 脉冲密度指令 SPD	122
5.2.4 监视定时器指令 WDT	97	5.7.6 脉冲输出指令 PLSY	122
5.2.5 循环开始指令 FOR、循环结束 指令 NEXT	98	5.7.7 脉宽调制指令 PWM	123
5.3 传送与比较指令及应用	98	5.7.8 可调脉冲输出指令 PLSR	123
5.3.1 比较指令 CMP	98	5.8 方便指令 (FNC60 ~ FNC69)	124
5.3.2 区间比较指令 ZCP	99	5.8.1 状态初始化指令 IST	124
5.3.3 传送指令 MOV	99	5.8.2 数据检索指令 SER	128
5.3.4 移位传送指令 SMOV	101	5.8.3 绝对值凸轮控制指令 ABSD、增量 式凸轮控制指令 INCD	129
5.3.5 取反传送指令 CML	102	5.8.4 示教定时器指令 TTMR	129
5.3.6 块传送指令 BMOV	102	5.8.5 特殊定时器指令 STMR	130
5.3.7 多点传送指令 FMOV	103		
5.3.8 数据交换指令 XCH	103		
5.3.9 BCD 变换、BIN 变换指令	104		
5.4 算术与逻辑运算指令 (FNC20 ~ FNC29)	104		
5.4.1 加法指令 ADD、减法指令 SUB	104		



5.8.6 交替输出指令 ALT	130	FNC169)	146
5.8.7 斜坡信号输出指令 RAMP	131	5.13.1 时钟数据比较指令 TCMP	146
5.8.8 旋转工作台控制指令 ROTC	131	5.13.2 时钟数据区间比较指令 TZCP	146
5.8.9 数据排序指令 SORT	132	5.13.3 时钟数据加法指令 TADD、时钟 数据减法指令 TSUB	147
5.9 外部设备 I/O 指令 (FNC70 ~ FNC79)	132	5.13.4 时钟数据读入指令 TRD、时钟数据 写出指令 TWR	147
5.9.1 十键输入指令 TKY	132	5.13.5 计时表指令 HOUR	148
5.9.2 十六键输入指令 HKY	133	5.14 外围设备指令 (FNC170 ~ FNC171)	148
5.9.3 数字开关指令 DSW、方向开关 指令 ARWS	133	5.15 触点比较指令 (FNC220 ~ FNC246)	149
5.9.4 七段译码指令 SEGD	134	本章习题	150
5.9.5 带锁存的七段码显示指令 SEGL	135	第 6 章 PLC 的特殊功能模块	152
5.9.6 ASCII 码转换指令 ASC、ASCII 码 打印输出指令 PR	136	6.1 特殊功能模块概述	152
5.9.7 BFM 读出指令 FROM	137	6.1.1 特殊功能模块的类型及用途	152
5.9.8 BFM 写入指令 TO	137	6.1.2 特殊功能模块的安装及应用	152
5.10 外部设备 SER 指令 (FNC80 ~ FNC89)	138	6.2 模拟量输入模块 FX2N—4AD	153
5.10.1 串行通信指令 RS	138	6.2.1 模拟量输入模块概述	153
5.10.2 八进制位传送指令 PRUN	140	6.2.2 模拟量输入模块 FX2N—4AD 的 技术指标及缓冲寄存器	154
5.10.3 HEX 转换为 ASCII 码指令 ASCI、ASCII 码转换为 HEX 指令 HEX、校检码指令 CCD	141	6.3 模拟量输出模块 FX2N—4DA	156
5.10.4 电位器值读出指令 VRRD、电位 器刻度值读出指令 VRSC	141	6.3.1 模拟量输出模块概述	156
5.10.5 PID 运算指令 PID	142	6.3.2 模拟量输出模块 FX2N—4DA 的 技术指标及缓冲寄存器	156
5.11 浮点运算指令 (FNC110 ~ FNC139)	142	6.4 其他特殊功能模块简介	158
5.11.1 二进制浮点数比较指令 ECMP	143	6.4.1 温度控制模块 FX2N—2LC	158
5.11.2 二进制浮点数区间比较指令 EZCP	143	6.4.2 高速计数模块 FX2N—1HC	158
5.11.3 二进制浮点数与十进制浮点数相 互转换指令 EBCD、EBIN	143	6.4.3 脉冲发生与定位控制模块	159
5.11.4 二进制浮点数加法指令 EADD、 减法指令 ESUB、乘法指令 EMUL、除法指令 EDIV	144	本章习题	159
5.11.5 二进制浮点数开方指令 ESQR、转 换为二进制整数指令 INT、三 角函数指令 SIN、COS、TAN	145	第 7 章 PLC 的通信与网络	160
5.12 数据处理指令 (FNC147)	145	7.1 PLC 通信的基本知识	160
5.13 时钟运算指令 (FNC160 ~		7.1.1 通信系统	160

8.1 PLC 控制系统设计的一般步骤	171	9.2.6 将梯形图与 SFC 进行相互变更 ...	183
8.2 PLC 的选型与硬件配置的确定	172	9.2.7 改变 PLC 类型	183
8.3 节省 PLC 输入/输出点数的方法	173	9.3 梯形图输入	184
8.4 PLC 的安全与可靠性问题	174	9.3.1 创建梯形图	184
8.4.1 PLC 控制系统的安装和使用		9.3.2 输入触点、应用指令、线圈	185
环境	174	9.3.3 写入划线、竖线、横线	188
8.4.2 PLC 的电源与接地	175	9.4 指令列表输入	189
8.4.3 输入电路的抗干扰	175	9.5 程序的变换、写入、运行与监视	190
8.4.4 输出端的保护与抗干扰	176	9.5.1 程序的变换	190
8.4.5 外部配线的抗干扰	178	9.5.2 PLC 程序的读取与写入	190
8.4.6 软件抗干扰设计	178	9.5.3 程序的运行	190
本章习题	179	9.5.4 程序的监视与监视中写入	192
第 9 章 GX Developer 编程软件的		9.6 全部清空 PLC 内存	194
用法	180	本章习题	195
9.1 软件安装	180	附录	197
9.2 关于工程文件的处理	180	附录 A FX2N 系列 PLC 的特殊元件	197
9.2.1 创建新工程	180	附录 B FX2N 系列 PLC 出错代码	202
9.2.2 打开工程	182	附录 C FX2N 系列 PLC 出错检查定时	207
9.2.3 关闭工程	182	附录 D 三菱小型 PLC 基本性能一览表	207
9.2.4 保存、另存与删除工程	182	参考文献	208
9.2.5 复制工程	183		

第 1 章 可编程序控制器概述

1.1 PLC 的产生及发展

可编程序控制器 (Programmable Controller) 是计算机家族中的一员, 是为工业控制而设计制造的。早期的可编程序控制器称为可编程序逻辑控制器 (Programmable Logic Controller), 简称 PLC, 主要用来代替继电器实现逻辑控制。随着技术的发展, 这种装置的功能已经大大超过了逻辑控制的范围, 因此今天这种装置称为可编程序控制器, 简称 PC。但是为了避免与个人计算机 (Personal Computer) 的简称混淆, 所以仍将可编程序控制器简称 PLC。

1.1.1 PLC 的产生

在 20 世纪 60 年代, 汽车生产流水线的自动控制系统基本上都是由继电器控制装置构成的, 汽车的每一次改型都直接导致继电器控制装置的重新设计和安装。随着生产的发展, 汽车型号更新的周期愈来愈短, 继电器控制装置就需要经常地重新设计和安装, 十分费时、费工、费料, 甚至阻碍了更新周期的缩短。为了改变这一状况, 美国通用汽车公司在 1969 年公开招标, 要求用新的控制装置取代继电器控制装置, 并提出了十项招标指标, 即:

- 1) 编程方便, 现场可修改程序。
- 2) 维修方便, 采用模块化结构。
- 3) 可靠性高于继电器控制装置。
- 4) 体积小于继电器控制装置。
- 5) 数据可直接送入管理计算机。
- 6) 成本可与继电器控制装置竞争。
- 7) 输入可以是交流 115V。
- 8) 输出为交流 115V、2A 以上, 能直接驱动电磁阀、接触器等。
- 9) 在扩展时, 原系统只要作很小变动。
- 10) 用户程序存储器容量至少能扩展到 4KB。

1969 年, 美国数字设备公司 (DEC) 研制出第一台 PLC, 在美国通用汽车自动装配线上试用, 获得了成功。这种新型的工业控制装置以其简单易懂、操作方便、可靠性高、通用灵活、体积小、使用寿命长等一系列优点, 很快地在美国其他工业领域得到推广应用。到 1971 年, 已经成功地应用于食品、饮料、冶金及造纸等工业。这一新型工业控制装置的出现, 也受到了世界其他国家的高度重视。1971 年, 日本从美国引进了这项新技术, 很快研制出了日本第一台 PLC。1973 年, 西欧国家也研制出了它们的第一台 PLC。我国从 1974 年开始研制, 于 1977 年开始工业应用。

1.1.2 PLC 的发展

PLC 的发展与计算机技术、半导体集成技术、控制技术、数字技术、通信网络技术等高



新技术的发展息息相关。这些高新技术的发展推动了 PLC 的发展，而 PLC 的发展又对这些高新技术提出了更高、更新的要求，促进了它们的发展。在相互促进发展的过程中，从控制功能的角度来看，自 1969 年美国研制出第一台 PLC 后，PLC 的发展经历了如表 1-1 所示的四个发展阶段。

表 1-1 PLC 的发展阶段

发展阶段	时 间	控 制 功 能
第一阶段（初始阶段）	1969 年至 20 世纪 70 年代中期	逻辑运算，计时、计数运算
第二阶段（扩展阶段）	20 世纪 70 年代中期至 70 年代末期	扩展了其他运算功能
第三阶段（成熟阶段）	20 世纪 70 年代末期至 80 年代中期	实现了 PLC 的通信功能，初步形成分布式通信网络体系；数学运算功能也得到了较大扩展
第四阶段（开放阶段）	20 世纪 80 年代中期开始	通信系统开放，通信协议标准化，采用了标准的软件体系，增加了高级语言，大中型产品多数有 CRT 显示功能等

PLC 在美国、欧洲、日本等工业发达国家已成为重要产业，进入 20 世纪 90 年代以来，全世界 PLC 的年平均销售额在 55 亿美元以上，我国约占 1%。当前，PLC 在国际市场上已成为最受欢迎的工业控制装置，用 PLC 设计自动控制系统已成为世界潮流。随着市场需求的不断提高，PLC 的发展呈现出以下发展趋势。

1. 向微型化和大型化两端发展

现代 PLC 的发展有两个主要趋势：一是向体积更小、速度更快、功能更强、价格更低的微型化方向发展，以适应小型企业技术改造的需求，提供性能价格比更高的小型 PLC 控制系统；二是向大型网络化、高可靠性、良好的兼容性、多功能方面发展，为大中型企业提供高水准的 PLC 控制系统。PLC 产品发展的共同特点是：现代 PLC 的结构和功能不断改进，产品更新换代周期越来越短，并不断向高性能、高速度、高性价比方向发展。

2. 大力开发智能模块，提高 PLC 的适应性、可靠性

智能模块是以微处理器和存储器为基础的功能部件，为了适应各种特殊功能的需要，各个公司陆续推出了多种智能模块，这些模块的 CPU 能与 PLC 的主 CPU 并行工作，占用主 CPU 的时间很少，有利于提高 PLC 的扫描速度和完成特殊的控制要求。有的模块甚至可以自成系统，单独工作，能完成 PLC 主 CPU 难以兼顾的功能，简化了控制系统的设计和编程，提高了 PLC 的适应性和可靠性。智能模块主要有模拟量 I/O、PID 回路控制、通信控制、机械运动控制（如轴定位、步进电动机控制等）、高速计数、中断输入、模糊控制、多路 BCD 码输入/输出、热电偶输入、热电阻输入、条形码阅读器等。

3. 编程语言向高层次、标准化发展

PLC 的编程语言在原有梯形图语言、顺序功能块语言和指令表语言的基础上，不断丰富并向高层次发展，基于个人计算机的编程软件将取代手持式编程器。例如西门子的 STEP7 编程语言可运行在个人计算机 Windows 环境下，界面极为友好。

PLC 编程语言正向标准化发展，IEC（国际电工委员会）为了解决各厂家的 PLC 互不兼容的问题，制定了 PLC7 标准 IEC 1131，其中 IEC 1131-3 是 PLC 的编程语言标准。标准中共有五种编程语言：顺序功能图（SFC）、梯形图、功能块图、指令表、结构文本。目前已有

越来越多的厂商推出了符合 IEC 1131-3 标准的 PLC 指令系统或在 PC（个人计算机）上运行的软件包（软件 PLC）。例如，西门子公司的 STEP7-Micro/WIN32 编程软件给用户提供了两套指令集，一套符合 IEC 1131-3 标准，另一套指令集（SIMATIC 指令集）中的大多数指令也符合 IEC 1131-3 标准。

4. PLC 与 PC 日益紧密结合

个人计算机（PC）价格便宜，有很强的数学运算、数据处理、通信和人机交互功能，过去 PC 主要用作 PLC 的编程器、操作站和人机接口终端等。目前 PLC 的以太网通信模块价格还很高，而 PC 的以太网卡仅需数十元，在工业控制现场，可以将 PLC 与加固型的工业计算机连接在同一网络，这种网络价格低、用途广，已得到了广泛的使用。

5. PLC 通信与联网能力不断增强

可编程序控制器的通信联网功能是使 PLC 能与 PC 和其他智能控制设备之间交换数字信息，形成一个统一整体，实现分散控制和集中管理。现在，几乎所有的 PLC 产品都有通信联网功能，通过双绞线、同轴电缆或光纤，信息可以传送到几十公里远的地方，通过 Modem 和互联网可以与世界上其他地方的计算机装置通信。

1.2 PLC 的特点及应用

1.2.1 PLC 的特点

作为一种新型的、发展非常迅速的工业自动控制装置，PLC 具有以下与其他可编程序控制装置不同的特点。

1. 高可靠性和强抗干扰能力

PLC 是专为适应恶劣的工业环境而设计的，可以直接用于有强烈干扰的工业生产现场并持续工作，其平均无故障工作时间可达几十万小时。高可靠性和强抗干扰能力是 PLC 最突出的特点，主要表现在以下几方面。

1) 与继电器逻辑控制系统比较，PLC 可靠性提高的主要原因是：PLC 用软件代替传统继电器控制系统中大量的中间继电器和时间继电器，不需要大量的活动部件和电子元器件，大大减少接线，只剩下与输入和输出有关的少量硬件，因触点接触不良造成的故障大为减少；与此同时，系统维修简单、维修时间缩短，因而可靠性得到大大提高。

2) 与通用的计算机控制系统比较，PLC 在硬件设计方面，采用了一系列提高可靠性的措施。例如：对采用的元器件进行严格的筛选，采用可靠性高的元器件；所有的 I/O 接口电路均采用光电隔离，使工业现场的外电路与 PLC 内部电路之间电气上隔离；各输入端均采用 RC 滤波器，并采取屏蔽措施；采用性能优良的开关电源，设有对电源的掉电保护、存储器内容保护，以及采用监视器和其他自诊断措施，一旦电源或其他软、硬件发生异常情况，CPU 立即采用有效措施，以防止故障扩大。

3) 在 PLC 的软件设计方面，也采取了一系列提高系统可靠性的措施。例如：采用软件滤波、软件自诊断、简化编程语言、信息保护和恢复、报警和运行信息的显示等。

4) 冗余设计，大型 PLC 还可以采用由双 CPU 构成的冗余系统或由三个 CPU 构成的表决系统，使可靠性进一步增强。



显然，可靠性高是 PLC 的主要特点。一份用户选用 PLC 原因的调查报告指出，在各种选用 PLC 的原因中，选择第一位原因是由于 PLC 可靠性高的用户达 93%；其次是性能和维修方便等原因。

2. 灵活性好

相对于传统的电气控制电路，PLC 为改进和修改原设备提供了极其方便的手段，只需通过修改或重新编写应用软件，就可以用一台 PLC 实现不同的控制功能。这种编程的灵活性是继电器顺序控制系统所不能比拟的。正是由于编程的柔性特点，使 PLC 能大量地替代继电器顺序控制系统，成为当今工业控制领域的重要控制设备。在柔性制造单元（Flexible Manufacturing Cell, FMC）、柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS）、计算机集成制造系统（Computer Intergrated Manufacturing System, CIMS）和计算机集成过程控制系统（Computer Intergrated Process Control System, CIPS）中，PLC 正成为主要的控制设备，并已得到了日益广泛的应用。

另外，由于 PLC 具有丰富的 I/O 接口模块，其扩展灵活性是它的又一重要特点。它可以根据应用规模的不断扩展，进行容量的扩展、功能的扩展、应用和控制范围的扩展。它不仅可以通过增加输入/输出单元增加点数，通过扩展单元扩大容量和功能，也可以通过多台 PLC 的通信来扩大容量和功能，甚至可通过与集散控制系统（Distributing Control System, DCS）或其他上位机的通信来扩展它的功能，并与外部设备进行数据交换等。这种扩展的灵活性大大方便了用户。

3. 编程简单直观，易学易用

考虑到企业中一般电气技术人员和技术工人的读图习惯和应用微机的实际水平，目前大多数的 PLC 采用梯形图编程方式，其电路符号和表达方式与继电器电路原理图相似，是一种面向生产、面向用户的编程方式。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要花几天时间就可以熟悉梯形图语言，并用来编制用户程序。

一些 PLC 还针对具体问题，设计了诸如步进梯形指令、功能图及功能指令等，进一步简化了编程。

4. 系统安装简单、维修方便

PLC 不需要专门的机房，可以在各种工业环境下直接运行。使用时只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 端口相连接，即可投入运行。

PLC 所具有的自诊断功能降低了对维修人员维修技能的要求。当系统发生故障时，通过硬件和软件的自诊断，维修人员可根据有关故障信号灯的提示和故障代码的显示，或通过编程器和阴极射线管（Cathode Ray Tube, CRT）屏幕的显示，很快找到故障所在的部位，为迅速排除故障和修复节省了时间。由于大多采用模块化结构，因此一旦某模块发生故障，用户可以通过更换模块的方法，使系统迅速恢复运行。

另外，为便于维修工作的开展，有些 PLC 的制造企业提供了维修用的专用仪表或设备，提供了故障树等维修用的资料。有些厂商还提供维修用的智能卡件或插件板，使维修工作变得十分方便。

PLC 的面板和结构的设计也考虑了维修的方便性，例如，对需维修的部件设置在便于维修的位置，信号灯设置在易于观察的部位，接线端子采用便于接线与更换的类型等，这些设计使维修工作能方便地进行，从而大大节省了维修时间。

采用标准化元器件和标准化工艺生产流水线作业,使维修用的备品、备件简化,也使维修变得方便。

5. 体积小、能耗低、易于实现机电一体化

由于 PLC 内部电路主要采用半导体集成电路,具有结构紧凑、体积小、重量轻、功耗低的特点,对于复杂的控制系统,使用可编程序控制器后,可将开关柜的体积缩小到原来的 $1/2 \sim 1/10$ 。

由于体积小,PLC 很容易装入机械设备内部,而且它具有很强的抗干扰能力,能适应各种恶劣的环境,是实现机电一体化十分理想的控制设备。

1.2.2 PLC 的应用

目前,PLC 已广泛应用于各工业部门,随着其性能价格比的不断提高,应用范围也在不断扩大,主要有以下几个方面的应用。

1. 数字量逻辑控制

数字量逻辑控制是 PLC 最基本、最广泛的应用领域,它取代继电器控制系统,实现逻辑控制、顺序控制,可用于单台设备控制、多机群控、自动化生产线的控制等,其应用领域遍及各行各业,甚至深入到家庭。

2. 运动控制

运动控制是指通过控制电动机的转速或转角实现运动体运动速度及位置的控制。目前大多数的 PLC 制造商,都提供专用的运动控制模块,对直线运动或圆周运动的位置、速度、加速度进行控制,可实现单轴、双轴、三轴和多轴位置控制,使运动控制与顺序控制功能有机地结合在一起。这种运动控制功能广泛应用于各种机械,如金属切削机床、金属成形机床、装配机械、机器人和电梯等。

3. 模拟量闭环过程控制

模拟量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、D/A 转换,并对模拟量进行闭环 PID 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。

4. 数据处理

现代 PLC 具有大量的功能指令来支持数学运算 (包括四则运算、矩阵运算、函数运算、字逻辑运算以及求反、循环、移位、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。这些数据可以与存储器中的参考值比较,也可以用通信功能传送到其他智能装置,或者将它们打印制表。上述能力使 PLC 在需要数据运算的应用领域大显身手。

5. 通信联网

PLC 通信包括 PLC 主机与远程 I/O 之间的通信、多台 PLC 相互之间的通信、PLC 与上位计算机和 PLC 与其他智能控制设备 (如变频器、数控装置等) 之间的通信。PLC 系统与通用计算机可以直接或通过通信处理单元、通信转接器相连构成网络,以实现信息的交换,并可构成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统,满足工厂自动化 (Factory Automation, FA) 系统发展的需要。

6. 在计算机集成制造系统 (CIMS) 中的应用

一般的 CIMS 系统可划分为六级子系统：第一级为现场级；第二级为设备控制级；第三级为过程控制级；第四、五、六级分别为在线作业管理、计划和业务管理及长期经营规划管理。前三级属于生产控制级，也称为 EIC 综合控制系统，是一种先进的工业过程自动化系统，PLC 就是实现 EIC 综合控制系统的整机设备。

注意，并不是所有的 PLC 都具有上述全部功能，有些小型 PLC 只具有上述的部分功能，但是价格较低，在满足控制要求的前提下，可以降低系统成本。

1.3 PLC 的组成及分类

1.3.1 PLC 的组成

PLC 是微机技术与继电器常规控制概念相结合的产物，是一种工业控制用的专用计算机。作为一种以微处理器为核心的用作数字控制的特殊计算机，它的硬件配置与一般微机装置类似，主要由中央处理单元（CPU 模块）、存储器（RAM/ROM）、输入/输出模块（I/O 单元）、电源和编程器几大部分组成，如图 1-1 所示。

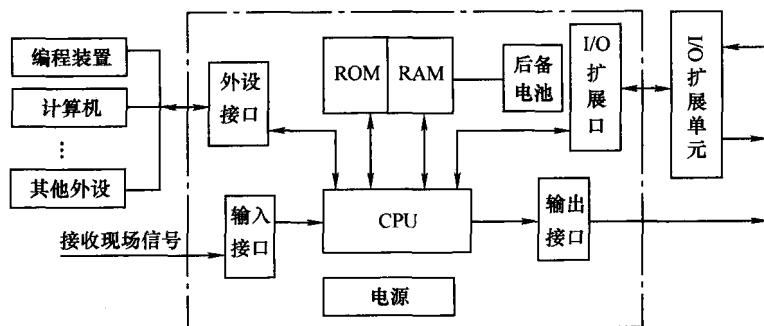


图 1-1 PLC 系统的基本结构

1. 中央处理器

中央处理器（CPU）是 PLC 的控制核心，包括微处理器和控制接口电路。微处理器是 PLC 的运算控制中心，由它实现逻辑运算，协调控制系统内部各部分的工作。它以循环扫描的方式采集现场各输入装置的状态信号，执行用户控制程序，并将运算结果传送到相应的输出装置，驱动外部负载工作。CPU 芯片性能关系到 PLC 处理控制信号的能力与速度，CPU 位数越高，运算速度越快，系统处理的信息量就越大，系统的性能就越好。

控制接口电路是微处理器与主机内部其他单元进行联系的部件，主要有数据缓冲、单元选择、信号匹配及中断管理等功能。微处理器通过它来实现与各个单元之间的可靠的信息交换和最佳的时序配合。

2. 存储器

存储器是存放程序及数据的地方，通常存储器插装在 CPU 模块中。PLC 的存储器有两部分：系统程序存储器（ROM）和用户程序存储器（RAM）。系统程序存储器（ROM）中的程序及系统参数是由生产 PLC 的厂家事先编写并固化好的，它关系到 PLC 的性能，不能

由用户直接存取和修改，主要为监控程序、模块化应用功能子程序，能进行命令解释和功能子程序的调用，管理程序和各种系统参数等。

用户程序存储器（RAM）包括用户程序存储区和数据存储器两部分。用户程序存储区存放用户针对具体控制任务，用规定的 PLC 编程语言编写的控制程序，可由用户任意修改或增删。用户数据存储器主要用来存放用户程序中使用的 ON/OFF 状态、计数计时值等数据，以及系统运行必要的初始值。它们是 PLC 的编程“软”元件（或内部寄存器/继电器）。

因此，从上面的分析来看，CPU 的具体作用为：

- 1) 接受并存储用户程序。
- 2) 按扫描方式接受来自输入单元的数据和各状态信息，并存入相应的数据存储器。
- 3) 执行监控程序和用户程序，完成数据和信息的逻辑处理，产生相应的内部控制信号，完成用户指令规定的各种操作。
- 4) 响应外部设备的请求。

3. 输入/输出模块

输入/输出模块是 PLC 的 CPU 模块与外部控制现场相联系的桥梁，通过输入模块单元，PLC 能够得到生产过程的各种参数；通过输出模块单元，PLC 能够把运算处理的结果送至工业过程现场的执行机构实现控制。实际生产中的信号电平多种多样，外部执行机构所需电流也是多种多样，而 PLC 的 CPU 所处理的只能是标准电平，由于输入/输出模块单元与工业过程现场的各种信号直接相连，这就要求它有很好的信号适应能力和抗干扰性能。因此，在输入/输出模块单元中，一般均配有电平变换、光耦合器和阻容滤波等电路，以实现外部现场的各种信号与系统内部统一信号的匹配和信号的正确传递，PLC 正是通过这种接口实现了信号电平的转换。

为适应工业过程现场不同输入/输出信号的匹配要求，PLC 配置了各种类型的输入/输出模块单元，常用的有：开关量输入单元、开关量输出单元、模拟量输入单元、模拟量输出单元和高速脉冲计数智能单元、PID 控制智能单元、温度传感器输入智能单元、中断控制智能单元等智能输入/输出模块。

4. 电源

PLC 通常使用交流 220V 或直流 24V 工作电源。它的电源模块为其他各功能模块提供 5V、12V、24V 等各种内部直流工作电源。

一般情况下，许多 PLC 可以为输入电路和外部的传感器提供直流 24V 的工作电源，但是驱动 PLC 负载的直流电源或交流电源一般由用户提供。

5. 编程器及其他可选外部设备

编程器是编制、编辑、调试、监控 PLC 的用户程序的必备设备，主要由键盘、显示器、工作方式选择开关和外存储器安插器等部件组成。它通过通信接口与 PLC 的 CPU 模块相联系，完成人机对话。

编程器分简易型和智能型两类。简易型编程器，键盘采用命令语句助记符键，只能连接在 PLC 上使用；而智能型编程器一般由微型计算机加上相应的应用软件构成，既可以联机编程，也可以脱机编程，不仅可用于编制调试用户程序，还可完成彩色图形显示、通信联网、打印输出控制和事务管理等多项功能。



小型 PLC 的程序编制可直接使用简易的手持式编程器来完成，较为复杂的编程一般使用安装在普通计算机上的专门的编程软件，程序编制好后通过通信电缆下载到 PLC 中。因此，小型 PLC 常用简易型编程器，大中型 PLC 多用智能型编程器。

编程器的作用是编制用户程序，并将程序送入存储器，用于检查、修改用户程序和在线监视 PLC 的工作状况。很多 PLC 生产厂家在个人计算机上添加适当的硬件接口和软件包，即可使这些微型计算机作为编程器使用。利用微型计算机作为编程器，可以直接绘制梯形图，监控功能也比较强，并且对已经拥有微型计算机的用户，可省去一台编程器，节省开支。编程器的功能也随着 PLC 功能的不断增强而完善。

PLC 还可以选配其他外部设备，例如彩色图形显示器、打印机、盒式磁带机、EPROM 写入器等，这些外部设备均可根据实际需要进行配置。彩色图形显示器可以用来显示模拟生产过程的流程图、实时过程参数、趋势参数及报警参数等过程信息，使现场控制情况一目了然，大中型 PLC 通常配接彩色图形显示器。PLC 可以配接打印机，用于打印过程参数、系统参数以及报警事故记录表等；还可以配置盒式磁带机，用于存储用户的应用程序和数据，配置 EPROM 写入器，将程序写入到 EPROM 中。

1.3.2 PLC 的分类

PLC 可以按照不同的标准进行分类。

1. 按硬件组成分类

按照硬件组成方式不同，可以将 PLC 分为整体式、模块式和叠装式三种。

(1) 整体式 PLC 将 CPU 模块、I/O 模块和电源装在一个箱体机壳内的称为整体式，通常又叫做单元式或箱体式。这种类型的 PLC 结构紧凑、体积小、价格低。整体式 PLC 有不同 I/O 点数的基本单元和扩展单元。其中，基本单元包括 CPU 模块、I/O 模块和电源；扩展单元只有 I/O 模块和电源，基本单元和扩展单元之间用扁平电缆连接。有的 PLC 有全输入型和全输出型的扩展单元。整体式 PLC 一般配有许多专用的特殊功能单元，如输入/输出单元、模拟量 I/O 单元、位置控制单元等。整体式 PLC 一般用于规模较小，输入/输出点数固定，以后也少有扩展的场合。

比较常见的整体式 PLC 有三菱公司的 F1 系列，OMRON 公司的 C20P、C40P、C60P 系列等。

(2) 模块式 PLC 将各模块组合在一起构成的 PLC 整体的形式，称为模块式。大、中型 PLC 和部分小型 PLC 采用模块式结构。常见的模块式 PLC 有西门子公司 S7—300、S7—400 型机，OMRON 公司的 C200H、C1000H、C200H，AB 公司的 PLC5 系列机等。

(3) 叠装式 PLC 整体式 PLC 的灵活性和可扩展性较差，模块式 PLC 的灵活性强，但是较繁杂。将两种形式相结合，取长补短，就构成了叠装式 PLC。叠装式 PLC 不使用模块式 PLC 中的母板，而是采用电缆连接各个单元，电源也可做成独立的。例如三菱公司的 FX 系列 PLC、西门子公司 S7—200 型 PLC 均是叠装式 PLC。由于叠装式 PLC 兼具了整体式 PLC 和模块式 PLC 的优点，因此从近年来市场情况看，整体式 PLC 及模块式 PLC 有结合为叠装式 PLC 的趋势。

2. 按输入/输出总点数分类

按照输入/输出（I/O）总点数不同，可以将 PLC 分为小型机、中型机和大型机三种。

1) I/O 总点数在 256 点以下的为小型机。MITSUBISHI 公司的 FX 系列机, OMRON 公司的 P 型机均为小型机。

2) I/O 总点数介于 256 点与 2048 点之间的为中型机。SIMENS 公司的 S7-300 型机, OMRON 公司的 C200H 型机都属于中型机。

3) I/O 总点数在 2048 点以上的为大型机, 例如 SIMENS 公司的 S7-400 型机为大型机。

1.4 PLC 的编程语言

PLC 的编程语言是面向用户的, 使用者不需要具备高深的知识、也不需要长时间的专门训练。前面讲到, PLC 是一种专门为工业控制而设计的计算机, 具体控制功能的实现也是通过开发人员设计的程序来完成的。所以, 采用 PLC 进行控制就涉及到用相应的程序设计语言来完成编程的任务。PLC 的主要缺点在于 PLC 的软件和硬件体系结构是封闭的。绝大多数的 PLC 有专用总线、专用通信网络及协议。不同公司的 PLC 的编程虽然都可采用梯形图, 但在寻址、语法结构等方面是不一样的, 使得各种 PLC 互不兼容。国际电工委员会 (IEC) 在 1992 年颁布了可编程控制器的编程软件标准 IEC 1131-3, 为各 PLC 厂家编程的标准化铺平了道路。以 PC 为基础、在 Windows 平台下开发符合 IEC 1131-3 国际标准的新一代开放体系结构的 PLC 正在规划中。

PLC 的编程语言与一般计算机语言相比, 具有明显的特点, 它既不同于高级语言, 也不同于一般的汇编语言, 它既要易于编写, 又要易于调试。各厂家的编程语言都不相同, 目前, 还没有一种对各厂家产品都能很好兼容的编程语言。国际电工委员会制订了 5 种标准编程语言, 这些编程语言并不是每一个厂家的 PLC 都有, 许多 PLC 只包含其中的几种。

1.4.1 梯形图

梯形图 (Ladder Diagram, LD 或 LAD) 适合于逻辑控制的程序设计。梯形图语言是 PLC 应用程序设计的一种标准语言, 也是在实际设计中最常用的一种语言。它与继电器电路很相似, 具有直观易懂的特点, 因此很容易被熟悉继电器控制的电气人员所掌握, 特别适合于数字逻辑控制, 但不适于编写控制功能复杂的大型程序。梯形图是一种图形化的编程语言, 沿用了传统的电气控制原理图中的继电器触点、线圈、串联和并联等术语以及一些图形符号, 左、右的竖线称为左、右母线。在程序中, 最左边是主信号流, 信号流总是从左向右流动的。梯形图由触点、线圈和指令框等构成。触点代表逻辑输入条件, 线圈代表逻辑运算结果, 指令框表示定时器、计数器或数学运算等功能指令。梯形图中的触点只有常开和常闭两种, 触点可以是 PLC 外部开关连接的输入继电器的触点, 也可以是 PLC 内部继电器的触点或内部定时器、计数器等触点。梯形图中的触点可以任意串、并联, 但线圈只能并联, 不能串联。内部继电器、定时器、计数器、寄存器等均不能直接控制外部负载, 只能作为中间结果供 CPU 内部使用。PLC 按循环扫描的方式处理控制任务, 沿梯形图先后顺序执行。同一扫描周期的结果存储在输出状态暂存器中, 所以输出点的值在用户程序中可以当作条件使用。图 1-2a 所示为三菱 FX2N 系列 PLC 的梯形图语言。