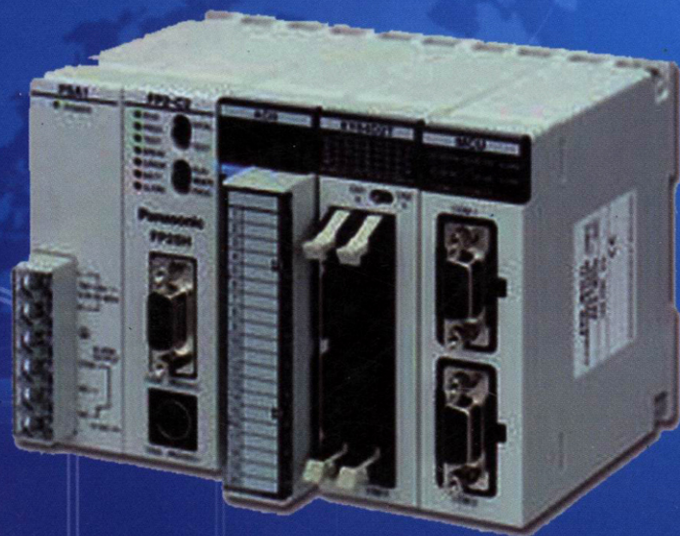


松下PLC

编程与应用

第2版



主 编 高伟增 徐君鹏
副主编 张学铭 李国厚

松下 PLC 编程与应用

第 2 版

主 编	高伟增	徐君鹏
副主编	张学铭	李国厚
编 委	李琳芳	王亚君
	李 艳	张 凯
	高扬华	黄 河



机械工业出版社

本书以松下电工的 FP 系列 PLC 为例,系统地介绍 PLC 的产生与发展过程、组成、工作原理、系统的资源配置、指令系统和网络通信等内容,并联系应用实际,从工程应用的角度出发,详细阐述了采用 PLC 进行控制系统设计的方法与技巧,还给出了许多应用实例,内容系统而详尽。

本书可作为电气控制与机电一体化等领域从事 PLC 设计、开发与维护的工程技术人员自学参考书和设计参考书,或作为高等院校自动化、电气工程、机电及机械工程等相关专业的教材,也可作为应用技术培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

松下 PLC 编程与应用/高伟增,徐君鹏主编.—2 版.—北京:机械工业出版社,2015.1

ISBN 978-7-111-48540-7

I. ①松… II. ①高… ②徐… III. ①plc 技术 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 266085 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:任鑫 责任编辑:任鑫

版式设计:霍永明 责任校对:赵蕊

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2015 年 2 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·456 千字

0 001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-48540-7

定价:49.80 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

服务咨询热线:(010) 88361066 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010) 68326294 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

(010) 88379649 教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第2版前言

《松下 PLC 编程与应用》自 2009 年 8 月初版以来，在市场上得到读者的肯定和厚爱。该书以松下 FP1 系列 PLC 为例进行组织编写。随着松下 FP1 系列 PLC 的升级产品 FP-X 的推出，在功能和性能上都有显著的提升，因此有必要对第 1 版进行修订。

在本书第 1 版编写过程中，我们主要是着眼于工业控制领域广大工程技术人员以及大专院校电气和机电等相关专业学生的实际学习需求，在参阅、整理大量文献资料和总结多年教学与工程设计经验的基础上组织编写内容，力求使具有电气控制基础的工程技术人员和学生全面学习和掌握 PLC 设计的方法和一般技巧，突出其实用性和资料性的特点，促进 PLC 在国内的推广与应用。

本书继续保持第 1 版的风格和结构特点，以 FP-X 系列 PLC 代替 FP1 进行修订，参照 FP-X 系列 PLC 产品的中文和英文手册，详细介绍了 FP-X 系列 PLC 的软件和硬件资源、指令系统、编程器和编程软件的使用、PLC 控制网络及应用系统设计，力求具体而全面，使本书成为真正的应用设计指南和用户参考手册。

本书详细介绍了 FP-X 系列 PLC 的基本原理、指令系统和应用系统设计。全书共分 6 章，第 1 章介绍 PLC 的产生、特点、分类、应用和发展、系统组成、工作原理，并从应用的角度出发介绍了 FP-X 系列 PLC 的软件和硬件资源配置；第 2 章介绍了 FP-X 系列 PLC 的基本指令和一些应用实例；第 3 章介绍 FP-X 的应用指令和应用实例；第 4 章介绍编程器和编程软件的使用方法；第 5 章介绍 PLC 应用系统的一般设计方法、系统的可靠性设计及一些应用实例；第 6 章介绍了 FP-X 系列 PLC 的网络通信技术。

本书由高伟增、徐君鹏任主编，张学铭、李国厚任副主编，参加本书编写和程序调试工作的还有李琳芳、李艳、王亚君、张凯、高扬华和黄河。其中第 1、5 章由李国厚、张凯编写，第 2 章由高伟增编写，第 3 章的 3.1~3.6 节由徐君鹏编写，3.7~3.11 节由李艳、高扬华和黄河编写，3.12~3.14 节由张学铭编写，第 4 章由李琳芳编写，第 6 章由王亚君编写。

由于时间比较仓促，加之水平所限，书中或有疏漏之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

第 1 版前言

可编程序控制器简称 PLC，是专门为工业控制应用而设计的一种通用控制器。这是一种以微处理器为基础，综合了传统的继电器控制技术、自动控制技术、计算机技术和通信技术而发展起来的自动控制装置，具有结构简单、编程容易、体积小、重量轻、使用灵活方便、抗干扰能力强、可靠性高及开发周期短等一系列优点，且易于实现柔性制造系统。因而与计算机辅助设计、制造及机器人一起并称为现代控制的三大支柱。

由于 PLC 的应用日益广泛，学习和掌握其原理与应用设计对于工业领域的广大工程技术人员以及大专院校电气和机电等相关专业的学生而言很有必要。为了满足这种需要，我们在参阅、整理大量文献资料和总结多年教学与工程应用经验的基础上，编写了本书。

本书在编写过程中力求由浅入深，通俗易懂，理论联系实际，既有基本的理论知识，又有实际的应用设计。目前，虽然 PLC 的生产厂家繁多，各厂家各系列的产品一般互不兼容，但其在结构组成、基本工作原理、应用设计思想、编程方法和技巧等方面大同小异。读者可从特殊到一般，只要熟练掌握一种机型，就可以达到融会贯通、举一反三的效果。

本书在编写过程中参考了同仁的 PLC 著作、教材、论文、相关制造商的中英文手册和一些网站的资料，在此一并表示诚挚的谢意。全书以松下电工的 FP1 系列 PLC 为例，详细介绍了 FP1 系列 PLC 的软件和硬件资源及指令系统，力求具体而全面，使本书成为真正的应用设计指南和用户参考手册。但由于时间所限，有些内容仍不够具体和全面。

本书共分 7 章，第 1 章介绍 PLC 的产生、特点、分类、应用和发展、系统组成、工作原理，并从应用的角度出发介绍 FP1 系列 PLC 的软件和硬件资源配置；第 2 章介绍 FP1 系列 PLC 的基本指令和一些应用实例；第 3 章介绍 FP1 的应用指令；第 4 章介绍编程器和编程软件的使用方法；第 5 章介绍 PLC 应用系统的一般设计方法、系统的可靠性设计及一些应用实例；第 6 章介绍 FP1 系列 PLC 的网络通信技术；第 7 章简单介绍 3 种常用的其他厂家的 PLC 产品；附录是 FP1 系列 PLC 高级指令一览表。为了便于学习和巩固，每章后都附有思考与练习。

本书由张学铭、邸书玉主编，李国厚、王泳为副主编，其中第 1 章由李国厚编写，第 2 章的 2.1~2.5 节由孔晓红编写，第 3 章的 3.1~3.4 由张凯编写，3.5~3.8 节由邸书玉编写，3.9~3.12 节由李智强编写，第 4 章和第 2 章的 2.6~2.7 节由王泳编写，第 5 章及附录由杨卓编写，第 6 章由张学铭编写，第 7 章由周鹏编写，参加本书编写和程序调试的还有黄河、高杨华、张书霞和熊建国。全书由张学铭和李国厚统稿。

由于时间仓促，加之水平所限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

作 者

目 录

第 2 版前言	
第 1 版前言	
第 1 章 可编程序控制器概述	1
1.1 可编程序控制器的产生与发展	1
1.2 PLC 的分类	4
1.3 PLC 的性能指标	5
1.4 PLC 的特点与应用	6
1.4.1 PLC 的主要特点	6
1.4.2 PLC 的主要应用	8
1.5 PLC 的组成	9
1.6 PLC 的工作原理	14
1.6.1 概述	14
1.6.2 PLC 的工作过程	15
1.7 FP-X 系统的软件和硬件资源	18
1.7.1 FP-X 系列 PLC 性能简介	18
1.7.2 内部继电器介绍	23
1.8 PLC 的编程语言	35
思考与练习	37
第 2 章 基本指令及其应用	38
2.1 基本顺序指令	38
2.2 基本功能指令	45
2.3 基本控制指令	52
2.4 比较指令	59
2.5 程序设计的基本方法	68
2.5.1 编程内容	68
2.5.2 编程方法概述	68
2.5.3 编程原则	69
2.5.4 编程技巧	69
2.5.5 编程应用举例	70
2.6 时序结构设计方法	74
2.6.1 起动和复位控制结构	74
2.6.2 优先控制结构	75
2.6.3 比较控制结构	75
2.6.4 分频结构	76
2.6.5 延时结构	76
2.6.6 顺序控制	79
2.7 用 PLC 代替继电器控制系统的设计方法	82
2.7.1 电动机正反转控制的设计	82
2.7.2 电动机减压起动的控制设计	84
2.7.3 电动机制动控制的设计	84
思考与练习	88
第 3 章 高级指令及其应用	91
3.1 数据传送指令	92
3.2 BIN 算术运算指令	99
3.3 BCD 码算术运算指令	108
3.4 数据比较指令	117
3.5 逻辑运算指令	121
3.6 数据转换指令	124
3.7 数据移位指令	146
3.8 可逆计数与左/右移位指令	151
3.9 数据循环指令	153
3.10 位操作指令	155
3.11 特殊指令	160
3.12 高速计数器与脉冲输出控制指令	168
3.12.1 高速计数器的功能	168
3.12.2 高速计数器功能的使用	171
3.12.3 脉冲输出功能	175
3.12.4 脉冲输出功能相关指令	179
3.13 浮点型实数运算指令	193
3.14 PID 控制指令	208
思考与练习	210
第 4 章 编程器与编程软件的使用	212
4.1 概述	212
4.1.1 编程器的功能以及与 PLC 的连接设置	212
4.1.2 编程软件的特点	212
4.1.3 计算机与 PLC 的连接配置及	

软件安装	213	6.1.4 通信接口	251
4.1.4 编程软件的基本使用方式	213	6.1.5 通信插件	252
4.2 编程操作	214	6.1.6 串行通信的校验	253
4.2.1 FP II 型编程器介绍	215	6.1.7 基带传输与频带传输	253
4.2.2 FP II 型编程器的操作	216	6.1.8 计算机系统的通信标准	254
4.2.3 FPWIN GR 的编程操作	218	6.2 FP 系列 PLC 的通信功能	261
4.3 监控操作	229	6.2.1 PLC 与计算机之间的通信	262
4.3.1 监控的启动和停止	229	6.2.2 PLC 与外围设备的通信	262
4.3.2 监控触点	229	6.2.3 FP 系列 PLC 与上位机 PLC	
4.3.3 监控数据	230	的通信	262
4.3.4 时序图监控	232	6.3 FP 系列 PLC 的通信协议	262
思考与练习	233	6.3.1 MEWTOCOL-COM	263
第 5 章 PLC 的应用设计	234	6.3.2 MEWTOCOL-DATA	268
5.1 编程的一般原则	234	6.3.3 MODBUS RTU 通信	269
5.2 PLC 设计的基本原则和步骤	235	6.4 PLC 网络结构与设计	272
5.2.1 设计原则及方法	235	6.4.1 C-NET 网络	273
5.2.2 PLC 的选型	237	6.4.2 MEWNET-Link 网络	273
5.2.3 系统设计	239	6.4.3 F-Link 网络	276
5.3 调试与测试	239	6.4.4 ET-LAN 网络	280
5.4 应用设计举例	240	6.5 现场总线技术介绍	284
5.5 PLC 应用中的抗干扰设计	242	6.5.1 现场总线技术的产生与特点	285
思考与练习	248	6.5.2 现场总线控制系统的基本概念	286
第 6 章 PLC 的通信及网络功能	249	6.5.3 主要现场总线简介	287
6.1 通信的基本概念	249	6.5.4 FCS 对计算机控制系统的影响	289
6.1.1 串行通信模式	249	6.5.5 现场总线与局域网的区别	291
6.1.2 异步通信和同步通信	250	思考与练习	291
6.1.3 波特率	250	参考文献	292

第 1 章 可编程序控制器概述

可编程序控制器一般简称为 PC (Programmable Controller) 或 PLC (Programmable Logic Controller), 是一种在传统的电气控制技术和计算机技术的基础上融合了自动化技术、计算机技术和通信技术而不断发展完善起来的新型工业控制装置, 具有使用方便、编程简单、可靠性高、易于维护等优点, 在工业控制领域应用十分广泛。目前 PLC 已发展到过程控制、运动控制等诸多领域, 无论是老设备的技术改造还是新系统的开发, 设计人员都倾向于采用 PLC 来进行设计, 同时 PLC 也被公认为现代工业自动化的三大支柱 (PLC、CAD/CAM 和机器人) 之一。本章主要介绍可编程序控制器的产生与发展过程、分类、特点、应用、组成、工作原理、性能指标及软硬件资源等内容。

1.1 可编程序控制器的产生与发展

1. 可编程序控制器的产生

在工业控制中, 传统的采用继电器实现的控制系统属于固定接线的逻辑控制系统, 其结构随着具体功能的不同而各不相同, 而且控制功能相对比较简单。如果实际的工艺过程或控制要求发生变化, 整个系统就全部要重新设计、安装和调试, 对于复杂的应用系统十分不便。此外, 传统的机械电气式器件本身的不足也影响了控制系统的功能、可靠性和稳定性等各种性能, 无法适应现代工业迅速发展的应用要求。

20 世纪 60 年代, 现代电子技术的蓬勃发展推动了控制电路的电子化, 晶体管等无触点器件的应用促进了自动控制设备的小型化和可靠性的提高。20 世纪 60 年代中期, 小型计算机被应用到过程控制领域, 大大提高了控制系统的性能, 但当时计算机价格昂贵, 编程也不方便, 对技术开发、使用及维护人员的要求都比较高, 而且输入/输出信号与实际的工业现场不兼容, 因而没能在工业控制中得到推广与应用。

20 世纪 60 年代末期, 美国通用汽车 (GM) 公司为了在激烈的市场竞争中战胜竞争对手, 走出当时因经济萧条而造成的困境, 制定出了多品种、小批量、不断推出新车型来吸引用户的策略。但是原有的控制系统由继电器和接触器等组成, 灵活性差, 不能满足生产工艺不断更新的需要。1968 年, GM 公司为了改造汽车生产设备的传统控制方式, 向全世界公布了如下 10 条招标的技术指标:

- 1) 编程简单方便, 可在现场修改程序;
- 2) 硬件维护方便, 采用插件式结构;
- 3) 可靠性高于继电器控制系统;
- 4) 体积小于继电器控制系统;
- 5) 可将数据直接送入管理计算机;
- 6) 成本可与继电器控制系统竞争;
- 7) 输入可以是 AC115V;

- 8) 输出在 AC115V、2A 以上，能直接驱动电磁阀和接触器等；
- 9) 扩展时，原有系统只需要很小的改动；
- 10) 用户程序存储器的容量至少可扩展到 4KB。

其核心思想是用程序代替硬接线、输入/输出可与外部装置直接连接、结构易于扩展。1969 年，美国的数字设备公司（Digital Equipment Corporation, DEC）开发出了世界上第一台能满足上述要求的 PLC 样机 PDP-14，并在 GM 公司的汽车装配线上获得成功。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、使用灵活、体积小、寿命长等一系列优点很快就推广到其他工业领域。随后德国、日本等国相继引进这一技术，PLC 迅速在工业控制中得到了广泛应用。可编程序控制器的早期设计中虽然采用了计算机的设计思想，但只能进行逻辑（开关量）控制，主要用于顺序控制，所以又被称为可编程逻辑控制器，简称 PLC。

随着微电子技术和计算机技术的迅速发展，微处理器被广泛应用于 PLC 的设计中，使得 PLC 的处理速度加快，体积减小，成本下降，可靠性提高，功能增强，从而更多地具有了计算机的功能。除了常规的逻辑控制功能外，PLC 还具有模拟量处理、数据运算、位置控制、PID（Proportional-Integral-Differential）控制和网络通信等功能，易于实现柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS），因而与机器人及计算机辅助设计/制造（Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, CAD/CAM）一起并称为现代控制的三大支柱。此外，可编程序控制器在设计中还借鉴了计算机的高级语言，给实际应用带来了方便。美国电气制造商协会（National Electrical Manufacturers Association, NEMA）经过调查，将其正式命名为 Programmable Controller，简称 PC。由于 PC 容易与个人计算机（Personal Computer）的缩写相混淆，因而人们仍沿用 PLC 作为可编程序控制器的简称。

国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）颁布的 PLC 的定义为：可编程序控制器是一种可进行数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下的应用而设计。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，并通过数字的、模拟的输入和输出来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，都应按易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则进行设计。

2. PLC 的发展过程

虽然 PLC 的应用时间不长，但是随着微处理器的出现，大规模和超大规模集成电路技术的迅速发展和数据通信技术的不断进步，PLC 也得到了迅速发展，其发展过程大致可分三个阶段。

(1) 第一代 PLC（20 世纪 60 年代末 ~ 70 年代中期）

早期的 PLC 作为继电器控制系统的替代物，其主要功能只是执行原来由继电器完成的顺序控制和定时控制等任务。PLC 主要采用分立元件和中小规模集成电路，在软件上吸取了广大电气工程技术人员所熟悉的继电器控制电路的特点，形成了特有的编程语言——梯形图（Ladder Diagram），并一直沿用至今。

(2) 第二代 PLC（20 世纪 70 年代中期 ~ 80 年代后期）

20 世纪 70 年代，微处理器的出现使 PLC 发生了巨大的变化。各个 PLC 厂商先后开始采用微处理器作为 PLC 的中央处理单元（Central Processing Unit, CPU），这使 PLC 的功能大大增强。在软件方面，除了原有功能外，还增加了算术运算、数据传送和处理、通信和自诊

断等功能。在硬件方面，除了原有的开关量 I/O (Input/Output) 以外，还增加了模拟量 I/O、远程 I/O 和各种特殊功能模块，如高速计数模块、PID 模块、定位控制模块和通信模块等，同时扩大了存储器容量和各类继电器的数量，并提供一定数量的数据寄存器。

(3) 第三代 PLC (20 世纪 80 年代后期至今)

20 世纪 80 年代后期，随着超大规模集成电路技术的迅速发展，微处理器的价格大幅度下降，各种 PLC 采用的微处理器的性能普遍提高。为了进一步提高 PLC 的处理速度，各制造厂家还开发了专用芯片，这使得 PLC 的软、硬件功能发生了巨大变化，比如体积更小，成本更低，I/O 模块更丰富，处理速度更快，指令功能更强。即使是小型 PLC，其功能也大大增强，在有些方面甚至超过了早期的大型 PLC。

3. PLC 的发展趋势

随着相关技术特别是超大规模集成电路技术的迅速发展及其在 PLC 中的广泛应用，PLC 中采用更高性能的微处理器作为 CPU，功能得到了进一步增强，缩小了与工业控制计算机之间的差距。同时 I/O 模块更丰富，网络功能进一步增强，满足了工业控制的实际需要。编程语言除了梯形图外，还可采用顺序功能图 (Sequential Function Charter, SFC) 以及与计算机兼容的 BASIC 语言、C 语言以及汇编语言等，并普遍采用表面安装技术，不仅降低了成本，减小了体积，而且进一步提高了系统的总体性能。总之，PLC 的发展趋势主要体现在标准化、模块化、小型化、网络化、低价格、高性能等方面。

现代 PLC 的发展有两个主要趋势：其一是向体积更小、速度更快、功能更强和价格更低的微小型方面发展；其二是向大型网络化、高可靠性、良好的兼容性和多功能方面发展，趋向于当前工业控制计算机 (Industrial Personal Computer, IPC, 即工控机) 的性能。

(1) 微型、小型 PLC 功能明显增强

很多知名的 PLC 制造商相继推出小型、特别是微型的高速、高性能的 PLC。三菱公司的 FX_{0S}-14 (8 个 DC 24V 输入, 6 个继电器输出), 其尺寸仅为 58mm × 89mm, 相当于一个信用卡大小, 而功能却非常强大; 松下公司的 FP-X 系列 PLC 尺寸也仅仅有 60mm × 90mm。由于结构小巧, 使 PLC 的应用领域扩展到了工业控制以外的许多其他行业, 如餐厅、医院手术室、旋转门和车辆等, 甚至引入家庭住宅、娱乐场所和商业部门等。

(2) 集成化发展趋势增强

由于控制对象的复杂化和高难度化, 使 PLC 向集成化方向发展。PLC 与 PC 集成、PLC 与 DCS 集成、PLC 与 PID 集成、PLC 与现场总线集成等, 这些不仅增强了通信和网络能力, 而且加快了以 PC 为基础的控制产品增长速度。PLC 与 PC 集成, 即将计算机、PLC 及操作人员结合在一起, 使 PLC 能利用计算机丰富的软件资源, 而计算机能和 PLC 交互存取数据。以 PC 为基础的控制可以更容易地进行编程和维护用户的利益, 而开放的体系结构也为 PLC 设计提供了很好的灵活性, 并最终达到了降低成本和提高生产率的目的。

大中型 PLC 主要是向分布式控制系统 (Distributed Control System, DCS) 和现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS) 的方向发展, 使其具有 DCS 和 FCS 的一些功能。网络化和通信能力强是 PLC 发展的一个重要特点, 对特定标准的现场总线 (Fieldbus) 的支持则是必然的趋势。向下可将多个 PLC、I/O 框架相连, 向上与工控机、工业以太网、MAP 网等相连构成整个工厂的自动化控制系统, 真正实现管控一体化。随着步进电动机控制、位置控制、伺服控制等模块的出现, PLC 的应用领域得到了进一步的扩展。例如, 西门子 (SIE-

MENS) 公司的 S7-200、S7-300 和 S7-400 系列 PLC 都支持现场总线标准过程现场总线 (Process Fieldbus, Profibus), 并具有全面的故障诊断功能。三菱公司的 PLC 支持 CC-Link 总线, 增强了控制网络的功能。模块式结构可用于各种功能的扩展, 快速的指令处理大大缩短了 PLC 的扫描周期, 并采用了高速计数器。高速中断处理可以分别响应过程事件, 大幅度地降低了成本。

由于控制系统的可靠性日益受到人们的重视, 一些公司已将自诊断技术、冗余技术、容错技术广泛应用到新产品中, 推出了高可靠性的冗余系统, 并可采用双机热备、并行工作或多数表决的工作方式。

(3) 向开放性转变

PLC 应用中存在的主要问题是 PLC 的软、硬件体系结构是封闭的, 绝大多数的 PLC 采用专用总线、专用通信网络及协议。编程虽多为梯形图, 但各公司的组态、寻址、语法结构各不相同, 这使各种 PLC 互不兼容。国际电工委员会 (IEC) 在 1992 年颁布了《可编程序控制器的编程软件标准》IEC6 1131-3, 为各 PLC 厂家编程的标准化铺平了道路。现在开发以 PC 为基础、在 Windows 平台下, 符合 IEC6 1131-3 国际标准的新一代开放体系结构的 PLC 正在规划中。

总之, PLC 的发展主要趋向于大型化和小型化两个极端, 具体体现在标准化、模块化、网络化、低价格、高性能等方面。但 PLC 长期以来走的是专业化的道路, 使其在获得成功的同时也带来了一些不便, 主要表现在软件和硬件各厂商的 PLC 互不兼容, 妨碍了自身的发展。因此, 实现 PLC 硬件和软件的标准化是以后发展的必然趋势。从 1978 年起, IEC 在其下设 TC65 的 SC65B 中专设 WGT 工作组着手制定 PLC 的国际标准。我国也于 1992 年成立了 PLC 委员会, 着手制定 PLC 的国家标准。目前 IEC 已经制定和公布的标准有以下 5 种:

IEC6 1131-1: General Information (一般说明);

IEC6 1131-2: Equipment Characteristics and Test Requirement (设备要求和试验);

IEC6 1131-3: Programming Language (程序设计语言);

IEC6 1131-4: User Guidelines (用户指南);

IEC6 1131-5: MMS Companion Standard (制造信息规范伴随标准)。

遗憾的是, 直到今天, PLC 在兼容性方面基本上还是原地踏步, 硬件资源配置和指令系统仍然是各自为政, 除了网络通信方面以外几乎没有什么进展。如果 PLC 能够真正实现标准化, 那么将大大促进其自身的发展和應用。

1.2 PLC 的分类

PLC 分类方法有多种, 如按 I/O 点数可分为大、中、小型, 按结构可分为整体式和组合式。通常都按 I/O 点数来分类。

1. 根据 I/O 点数分类

I/O 点数表明 PLC 可以从外部接收多少输入量和向外部输出多少个输出量, 即 PLC 的输入/输出端子数。一般来说, 点数多的 PLC 功能较强。

I/O 点数在 256 点以下的 PLC 称为小型机。小型 PLC 体积小, 结构紧凑, 整个硬件融为一体, 是实现机电一体化的理想控制器。小型 PLC 一般有逻辑运算、定时、计数、移位等

功能，可用来实现条件控制、定时/计数控制、顺序控制等。新一代的小型 PLC 都具有算术运算和模拟量处理的功能，可适应更为广泛的需要。

I/O 点数在 256 ~ 1024 点之间的 PLC 为中型机。中型 PLC 在逻辑运算功能的基础上增加了模拟量处理、算术运算、数据传送、数据通信等功能，可完成既有开关量又有模拟量的复杂控制。中型 PLC 的编程器有便携式和带有 CRT/LCD 的编程器供用户选择。后者为用户提供了更直观的编程工具，梯形图能直接显示在屏幕上，用户可以在屏幕上直观地了解用户程序运行中的各种状态信息，方便了用户程序的编写和修改，提供了良好的监控环境。

I/O 点数在 1024 点以上的 PLC 为大型机。大型 PLC 功能更加完善，具有数据处理、模拟调节、联网通信、监视、存储、打印等功能，可以进行中断控制、智能控制、远程控制等。通信联网功能，可以构成三级通信网络，并作为分布式控制系统中的上位机，实现大规模的过程控制，同时构成分布式控制系统或整个工厂的集散控制系统，实现工厂管理的自动化。大型 PLC 的用户程序存储器容量更大，扫描速度更快，可靠性更高，指令更丰富，如功能指令包括浮点运算、三角函数等运算指令，PID 可处理多达 32 个回路的控制。而且大型 PLC 自诊断功能极强，不仅能指示故障的原因，还能将故障发生的时间存储起来，以便用户事后查询。此外，大型 PLC 还可以采用高级语言（如 BASIC 语言等）编写用户程序，也可以扩展成冗余系统，从而进一步提高了系统的可靠性。

2. 根据结构分类

从结构形式上，PLC 可分为整体式和模块式两类。一般小型 PLC 多为整体式结构。小型 PLC 的 CPU、电源、I/O 单元等都集中配置在一起，有些产品则全部装在一块电路板上，结构紧凑，体积小，重量轻，容易装配在设备的内部，适合于设备的单机控制。整体式 PLC 的缺点是主机的 I/O 点数固定，使用不够灵活，维修也不够方便。

模块式 PLC 的各个部分以单独的模块分开设置，如 CPU 模块、电源模块、输入模块、输出模块及其他高性能模块等。一般大、中型 PLC 多为模块式结构。模块式 PLC 通常由机架底板连接各模块（也有的 PLC 为串行连接，没有底板），底板上有若干插座，使用时，各种模块直接插入机架底板即可。这种结构的 PLC 配置灵活，装配方便，易于扩展，可根据控制要求灵活配置各种模块，构成各种功能不同的控制系统。模块式 PLC 的缺点是结构比较复杂，各种插件比较多，价格较高。

3. 根据生产厂家分类

PLC 的生产厂家很多，各个厂家生产的 PLC 在 I/O 点数、容量、功能等方面各有差异，但都自成系列，且指令及外围设备向上兼容，因此在选择 PLC 时若选择同一系列的产品，则可以使系统构成更加容易，使用更加方便。比较有代表性的 PLC 有三菱（MITSUBISHI）公司的 FX 系列、西门子（SIEMENS）公司的 S7 系列、立石（OMRON）公司的 C 系列、松下（MATSUSHITA）公司的 FP 系列等。

1.3 PLC 的性能指标

PLC 的性能指标是指反映 PLC 性能高低的一些相关的技术指标，主要包括 I/O 点数、处理速度（扫描时间）、存储器容量、定时器/计数器及其他辅助继电器的种类和数量、各种运算处理能力等。下面予以简要介绍。

1. I/O 点数

PLC 的规模一般以 I/O 点数（输入/输出点数）表示，即输入/输出继电器的数量。按 I/O 点数一般分为小型、中型和大型三种。通常一体式的主机都带有一定数量的输入和输出继电器，如果不能满足需求，还可以用相应的扩展模块进行扩展，增加 I/O 点数。

2. 处理速度

PLC 的处理速度一般用基本指令的执行时间来衡量。早期的 PLC 一般为 $1\mu\text{s}$ 左右，现在的速度则快得多，如 FP-X 系列 PLC 已经达到 $0.32\mu\text{s}$ ，1000 步的运算只需要 0.32ms ，大型机速度更高。因此，PLC 的处理速度可以满足绝大多数的工业控制要求。

3. 存储器容量

在 PLC 的应用系统中，存储器容量是指保存用户程序的存储器大小，一般以“步”为单位。1 步为 1 条基本指令占用的存储空间，即 2B。小型 PLC 一般只有几 K 步到几十 K 步，大型 PLC 则能达到几百 K 步的存储容量。松下 FP1 系列的 PLC 有 0.9K 步、2.7K 步、5K 步等几种容量。三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的存储容量为 8K 步，选配相应的随机存储器（Random Access Memory, RAM）、可擦除的可编程只读存储器（Erasable Programmable Read Only Memory, EPROM）、电擦除的可编程只读存储器（Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, EEPROM 或 E²PROM）存储卡则可以扩展到几十 K 步。

4. 软元件的种类和数量（定时器和计数器的点数和精度）

软元件的种类和数量从一个方面反映了 PLC 的性能。一般的 PLC 都有一定数量的辅助继电器、数据寄存器、定时器和计数器等软元件。各种软元件的种类和数量，特别是定时器和计数器的点数和精度对于实际应用有一定的影响。早期定时器的单位时钟一般为 100ms，最大时限（最长的定时时间）大约为 3276.7s。为了满足高精度的控制要求，PLC 的时钟精度不断提高，如三菱 FX_{2N} 系列 PLC 和西门子 S7-200 系列 PLC 的定时器有 1ms、10ms 和 100ms 三种，而松下 FP0 系列 PLC 的定时器则有 1ms、10ms、100ms 和 1s 四种，可以满足各种不同精度的定时控制要求，极大地方便了实际应用。

5. 处理数据的范围

以前用 PLC 处理的数值为 16 位数的 0 ~ 9999 或 0 ~ 32768。但在高精度控制要求中，处理的数值为 32 位数，范围是 -2147483648 ~ +2147483647。在过程控制等应用中，为了实现高精度运算，必须采用浮点运算。

6. 指令种类及条数

指令系统是衡量 PLC 软件功能强弱的重要指标。PLC 具有的指令种类及条数越多，则其软件功能越强，编程就越灵活、越方便。

另外，智能模块的多少、功能的强弱也是说明 PLC 技术水平高低的一个重要标志。智能模块越多，功能就越强，系统配置和软件开发也就越灵活、越方便。

1.4 PLC 的特点与应用

1.4.1 PLC 的主要特点

PLC 是在微处理器的基础上发展起来的一种新型的控制器，是一种基于计算机技术专为

在工业环境下应用而设计的电子控制装置。它采用存储器存储用户指令，通过数字或模拟的输入/输出完成一系列逻辑、顺序、定时、计数、运算等功能，从而控制各种类型的机电一体化设备和生产过程。PLC把微型计算机技术和继电器控制技术融合在一起，兼具计算机的功能完备、灵活性强、通用性好以及继电器-接触器控制系统简单易懂、维修方便等特点，主要体现在以下几个方面。

1. 可靠性高

工业现场的各种电磁干扰非常严重，因此工业生产对控制系统的可靠性要求很高。PLC是专为工业控制设计的，能适应工业现场的恶劣环境。在PLC的设计和制造过程中采取了一系列的抗干扰措施，使PLC的平均无故障时间（Mean Time Between Failures, MTBF）通常在20万h以上。具体措施一般包括以下几个方面：

- 1) 所有的输入/输出接口电路均采用光耦合器进行隔离，使工业现场的外部电路与PLC内部电路之间在电气上隔离；
- 2) 输入端采用RC滤波器，滤波时间常数一般为10~20ms，高速输入端则采用数字滤波，滤波时间常数可以用指令设定；
- 3) 各模块均采用屏蔽措施，以防止辐射干扰；
- 4) 采用性能优良的开关电源；
- 5) 对元器件进行严格的筛选；
- 6) 具有软件自诊断功能，一旦电源或其他软、硬件发生异常情况，CPU立即采取有效措施进行处理，防止故障扩大；
- 7) 大型PLC采用双CPU构成冗余系统，进一步提高了可靠性。

2. 编程简单易学

PLC的编程大多采用类似于继电器控制电路的梯形图语言。梯形图主要由人们熟悉的常开/闭触点、线圈、定时器、计数器等符号组成，对于使用者来说，不需要具备计算机的专业知识，因此很容易为一般工程技术人员甚至技术工人所理解和掌握。尽管后来的PLC软、硬件功能不断增强，但是梯形图仍被普遍使用，不过又增加了许多特殊功能指令，以完成除了顺序控制以外的其他各种控制功能。

3. 采用模块化结构

为了适应各种工业控制的需要，除了单元式的小型PLC以外，绝大多数PLC采用模块化结构。PLC中的CPU、直流电源、I/O模块（包括特殊功能模块）等各个部件均采用模块化设计，由机架、电缆或连接器将各模块连接起来，系统的规模和功能可以根据实际控制要求方便地进行组合。

4. 安装简单，维修方便

PLC可以在各种工业环境下直接安装运行，使用时只需将现场的各种输入/输出设备与PLC相应的I/O端相连接，系统便可以投入运行。由于PLC的故障率很低，并且有完善的诊断和显示功能，当PLC或外部的输入装置及执行机构发生故障时，如果是PLC本身的原因，只需要更换插入式模块及其他损坏的元器件即可。有些PLC还允许带电拔插I/O模块，进一步方便了实际应用。

5. 接口模块丰富

PLC除了具有CPU和存储器以外，还有丰富的I/O接口模块。对于不同的工业现场信

号（如交流或直流、开关量或模拟量、电压或电流、脉冲或电位、强电或弱电等），PLC 都有相应的 I/O 模块与工业现场的元器件或设备（如按钮、行程开关、接近开关、传感器及变送器、电磁线圈、电动机起动器、控制阀等）直接连接。例如开关量输入模块就有交流和直流两类，每类又按电压等级分成多种。此外，为了适应新的工业控制要求，I/O 模块也越来越丰富，如通信模块、数控模块、位置控制模块、模拟量模块等，这也进一步提高了 PLC 的性能。

6. 功能强

PLC 综合应用了微电子技术、通信技术、自动控制技术和计算机技术，除了具有逻辑、定时、计数等顺序控制功能外，还能进行各种算术运算、模拟量处理、PID 调节、运动控制、过程监视、网络通信、远程 I/O、内部和外部中断以及高速数据处理能力，因此可以满足工业控制中的各种复杂要求。

7. 系统设计与调试周期短

用 PLC 进行系统设计时，用程序代替继电器硬接线，控制柜的设计及安装接线使工作量大为减少，设计和施工可同时进行，缩短了施工周期。同时，由于用户程序大都可以在实验室模拟调试，调好后再将 PLC 控制系统在生产现场进行联机调试，调试方便、快速、安全，因此大大缩短了设计、施工、调试和投运周期。

1.4.2 PLC 的主要应用

经过长期的工程实践，PLC 的上述特点越来越为广大技术人员所认识和接受，现在已经广泛应用到石油、化工、机械、钢铁、交通、电力、轻工、采矿、水利、环保等各个领域，包括从单机自动化到工厂自动化，从机器人、柔性制造系统到工业控制网络。从功能来看，PLC 的应用范围大致包括以下几个方面：

1. 逻辑（开关）控制

这是 PLC 最基本的功能。采用 PLC 可以很方便地实现各种开关量控制，用来取代继电器控制系统，实现逻辑控制和顺序控制。PLC 既可用于单机或多机控制，又可用于自动化生产线的控制。PLC 可根据操作按钮、各种开关及现场其他输入信号或检测信号控制执行机构完成相应的控制功能。

2. 定时控制

PLC 具有定时控制功能，可为用户提供几十个甚至上千个定时器，时间设定值既可以由用户在编程时设定，也可以由操作人员在工业现场通过人机对话装置实时设定。

3. 计数控制

PLC 具有计数控制功能，可为用户提供几十个甚至上千个计数器，计数设定值的设定方式同定时器一样。计数器分为普通计数器、可逆计数器、高速计数器等类型，以完成不同用途的计数控制。一般计数器的计数频率较低，如需对频率较高的信号进行计数，则需要选用高速计数器模块，其最高计数频率可达 50kHz。也可选用具有内部高速计数器的 PLC，目前的 PLC 一般可以提供计数频率达 10kHz 的内部高速计数器。计数器的实际计数值也可以通过人机对话装置实时地读出或修改。

4. 步进控制

PLC 具有步进（顺序）控制功能。在新一代的 PLC 中，可以采用 IEC 规定的用于顺序

控制的标准化语言——顺序功能图编写用户程序，使 PLC 在实现按照事件或输入状态的顺序控制相应输出的场合更简便。

5. 模拟量处理与 PID 控制

PLC 具有模拟量处理与 PID 控制功能。PLC 可以接模拟量的输入和输出信号，模拟量一般为 4~20mA 的电流、1~5V 或 0~10V 的电压。为了既能完成对模拟量的 PID 控制，又不加重 PLC 的 CPU 负担，一般选用专用的 PID 控制模块实现 PID 控制。

6. 数据处理

PLC 具有数据处理能力，可进行算术运算、逻辑运算、数据比较、数据传送、数制转换、数据移位、数据显示和打印、数据通信等功能，如加、减、乘、除、乘方、开方、与、或、异或、求反等操作。新一代的 PLC 还能进行函数运算和浮点运算等。

7. 通信和联网

新一代的各类 PLC 都具有通信功能，既可以对远程 I/O 进行控制，又能实现 PLC 与 PLC、PLC 与计算机之间的通信，使用 PLC 可以很方便地构成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统，以满足当今计算机集成制造系统（Computer-Integrated Manufacturing System, CIMS）及智能化工厂发展的需要。

1.5 PLC 的组成

PLC 的产品种类繁多，发展非常迅速，应用日益广泛，不同的 PLC 产品在硬件结构、资源配置和指令系统等方面各不相同。但从总体来看，不同厂商的 PLC 在硬件结构和指令系统等方面大同小异。对于初学者而言，只要熟悉一种 PLC 的组成和指令系统，在涉及其他 PLC 时就可以做到举一反三，触类旁通。下面以松下 FP 系列 PLC 为例介绍其硬件组成、工作原理和系统资源配置等内容。

PLC 从组成形式上一般分为整体式和模块式两种，但在总体结构上基本相同。整体式 PLC 一般由 CPU 板、I/O 板、显示面板、内存和电源等组成。一般按 PLC 性能又分为若干型号，按 I/O 点数又有若干规格。模块式 PLC 一般由 CPU 模块、I/O 模块、内存模块、电源模块、底板或机架等组成。无论哪种结构类型的 PLC，都属于总线式的开放结构，其 I/O 能力可根据用户需要进行扩展。PLC 的组成如图 1-1 所示。在硬件上，CPU 是 PLC 的核心，输入单元与输出单元是连接现场输入和输出设备与 CPU 之间的接口电路，通信接口用于与编程器、上位计算机等外设连接。

对于整体式 PLC，所有部件都装在同一机壳内，如图 1-1a 所示；对于模块式 PLC，各部件独立封装成模块，各模块通过总线连接，安装在机架或导轨上，如图 1-1b 所示。无论是哪种结构类型的 PLC，都可根据用户需要进行配置与组合。

尽管整体式与模块式 PLC 的结构不太一样，但各部分的功能作用是相同的，下面对 PLC 主要组成各部分进行简单介绍。

1. 中央处理单元（CPU）

与计算机中的 CPU 一样，PLC 中 CPU 也是整个系统的核心部件，主要由运算器、控制器、寄存器及实现它们之间联系的地址总线、数据总线和控制总线构成，此外还有外围芯片、总线接口及有关电路。CPU 在很大程度上决定了 PLC 的整体性能，如整个系统的控制

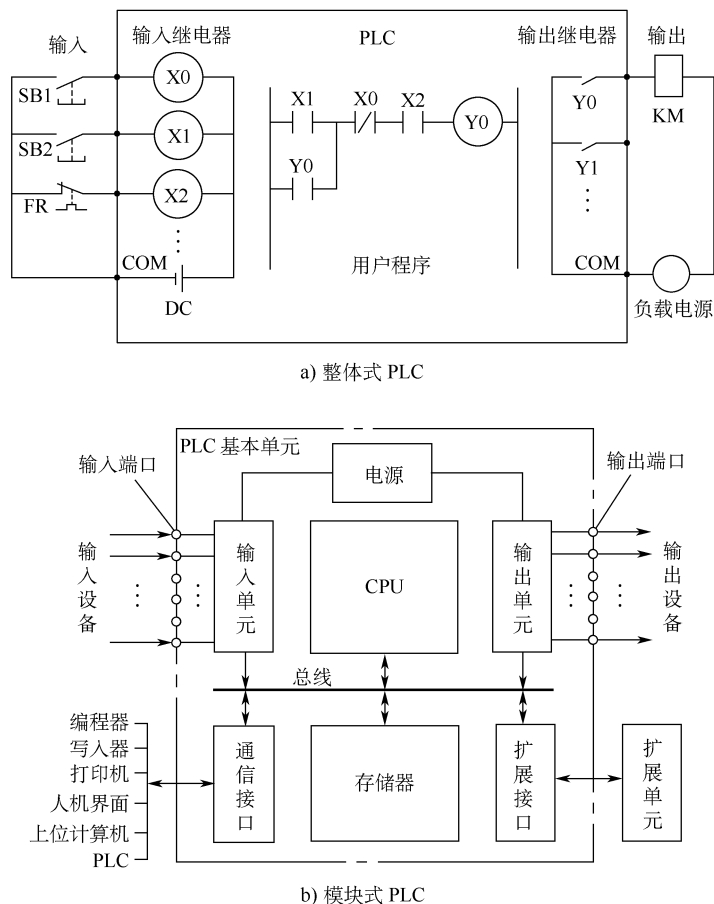


图 1-1 PLC 的组成

规模、工作速度和内存容量等。

CPU 中的控制器控制 PLC 工作，由它读取指令，解释并执行指令，工作的时序（节奏）则由振荡信号控制。

CPU 中的运算器用于完成算术或逻辑运算，在控制器的指挥下工作。

CPU 中的寄存器参与运算，并存储运算的中间结果，它也是在控制器的指挥下工作。作为 PLC 的核心，CPU 的功能主要包括以下几个方面：

- 1) CPU 接收从编程器或计算机输入的程序和数据并送入用户程序存储器中存储；
- 2) 监视电源、PLC 内部电路的工作状态；
- 3) 诊断编程过程中的语法错误，对用户程序进行编译；
- 4) PLC 进入运行状态后，从用户程序存储器中逐条读取指令，并分析、执行该指令；
- 5) 采集由现场输入装置送来的数据，并存入指定的寄存器中；
- 6) 按程序进行处理，根据运算结果，更新有关标志位的状态和输出状态或数据寄存器的内容；
- 7) 根据输出状态或数据寄存器的有关内容，将结果送到输出接口；
- 8) 响应各种外部设备（如编程器、打印机等）的任务处理请求。

CPU 模块的外部表现就是具有工作状态的显示、各种接口及设定和控制开关。CPU 模