



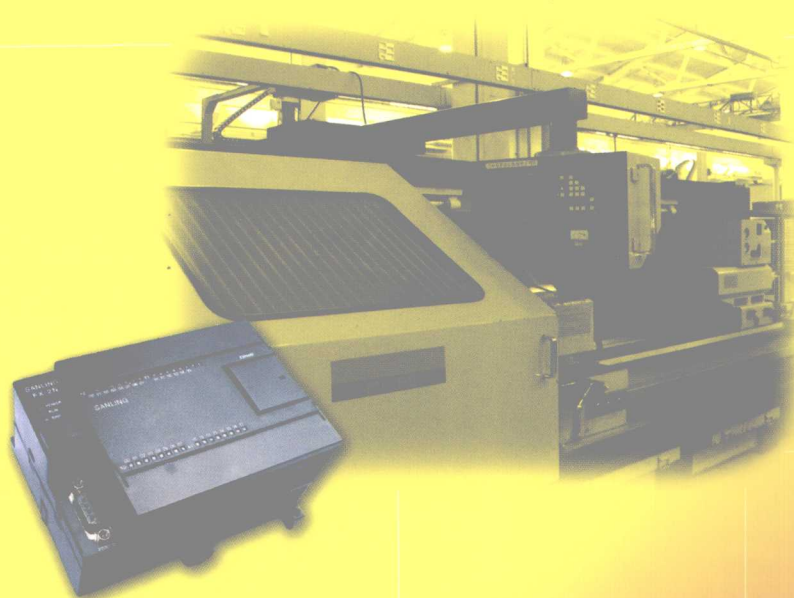
21世纪可编程序控制器应用技术丛书

SANLING FX XILIE PLC YINGYONG XITONG SHEJI ZHINAN

三菱FX系列 PLC应用系统设计指南

主 编 杨青杰

副主编 李国厚 周 强



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪可编程控制器应用技术丛书

三菱 FX 系列 PLC 应用 系统设计指南

主 编 杨青杰
副主编 李国厚 周 强



机械工业出版社

本书较为详细地介绍了三菱公司 FX 系列 PLC 的整体情况和使用细节,系统地介绍了 PLC 的工作原理、资源配置、指令系统、网络通信技术、编程器和 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的使用。

本书从工程应用的角度出发,全面论述了 PLC 控制系统设计、调试的方法和技巧,并给出了许多有价值的典型的应用实例。全书内容循序渐进,符合学习规律,便于读者理解和自学。

本书可供从事 PLC 设计、开发与维护的工程技术人员及工厂第一线的工人自学、参考和培训,也可作为高等院校自动化、电气工程、电子信息和机电等相关专业的通用教材。

图书在版编目(CIP)数据

三菱 FX 系列 PLC 应用系统设计指南/杨青杰主编. —北京:机械工业出版社, 2008. 4

(21 世纪可编程控制器应用技术丛书)

ISBN 978-7-111-23932-1

I. 三… II. 杨… III. 可编程控制器—系统设计—指南
IV. TP332.3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 052449 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: 靳 平 责任编辑: 林 桢 版式设计: 张世琴

责任校对: 李 婷 封面设计: 陈 沛 责任印制: 李 妍

北京富生印刷厂印刷

2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·24 印张·591 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-23932-1

定价: 48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379767

封面无防伪标均为盗版

前 言

进入 21 世纪, 可编程序控制器 (PLC) 仍保持旺盛的发展势头, 三菱公司 FX PLC 作为先进的、应用势头最强的工业控制器风靡全球, 并不断扩大其应用领域, 如为用户配置柔性制造系统 (FMS) 和计算机集成制造系统 (CIMS)。三菱公司 FX PLC 已突破了原有的使用范围, 特别是引入现场总线、工业以太网、无线网络及 Internet 等技术后, 使得工业生产过程中的现场检测仪表、变频器、MCC 控制柜等一切现场设备都可直接与 PLC 相连。传统意义上的人机界面功能也焕然一新, 使 PLC 能实现跨地区的编程、监控、诊断、管理, 实现整个车间及全厂范围的控制。PLC 正朝着工业以太网的方向扩展, 使控制与信息管理融为一体。

为了满足广大工程技术人员全面、系统、深入地掌握 PLC 应用技术的需要, 本书在广泛吸收国内外先进标准、先进设计思想的基础上, 结合作者多年来应用三菱 PLC 的实践经验, 较为详细地介绍了三菱公司 FX 系列 PLC 的整体情况和使用细节, 从工程应用的角度出发, 全面论述了 PLC 控制系统设计、调试的方法和技巧, 并给出了许多有价值的典型应用实例。全书内容循序渐进, 符合学习规律, 便于读者理解和自学。

为了使读者通过本书尽快熟悉并掌握 FX 系列 PLC 的编程技巧和应用技术, 作者对全书的内容和结构进行了精心组织 and 安排: 第 1 章介绍 PLC 的系统组成、工作原理, 并从应用的角度出发介绍了 FX 系列 PLC 的软件和硬件资源配置; 第 2 章介绍了 FX 系列 PLC 的基本指令和一些应用实例; 第 3 章介绍了步进梯形图指令和 SFC 的设计; 第 4 章介绍 FX 的应用指令; 第 5 章介绍编程器和 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的使用; 第 6 章介绍 PLC 应用系统的一般设计方法、系统的可靠性设计及应用实例; 第 7 章介绍 FX 系列 PLC 的特殊功能模块及网络通信技术; 第 8 章简单介绍 3 种常用的 PLC 产品; 附录是 FX 系列 PLC 应用指令的一览表。

本书由杨青杰主编, 李国厚、周强任副主编, 参加本书编写和程序调试的还有陈佩华、向丰、唐晓芬、高扬华、黄河、张书霞、申向丽。其中第 1 章和第 2 章由李国厚编写, 第 3 章及附录由张书霞编写, 第 4 章的 4.1~4.5 节由周强编写, 4.6~4.9 节由唐晓芬编写, 4.11~4.16 由陈佩华编写, 4.10 节及第 7 章的 7.1~7.4 节由申向丽编写, 第 5 章由黄河编写, 第 6 章由杨青杰编写, 第 7 章的 7.5~7.7 节由向丰编写, 第 8 章由高扬华编写, 全书由杨青杰和李国厚统稿。

本书的编写难免存在不妥之处, 恳请广大读者提出宝贵意见, 联系邮箱为 jin ping 27 @ yahoo. cn。

作者

2008 年 6 月于求是园

目 录

前言	68
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
1.1.1 可编程序控制器的产生	1
1.1.2 PLC的发展过程	2
1.1.3 PLC的发展方向	3
1.2 PLC的分类	5
1.2.1 根据I/O点数分类	5
1.2.2 根据结构分类	5
1.2.3 根据生产厂家分类	6
1.3 PLC的特点与应用	6
1.3.1 PLC的特点	7
1.3.2 PLC的应用	8
1.4 PLC的性能指标	9
1.5 PLC的组成	10
1.5.1 中央处理器	11
1.5.2 存储器	12
1.5.3 输入/输出模块	13
1.5.4 智能模块	14
1.5.5 编程设备	14
1.5.6 电源	14
1.6 PLC的系统资源配置与编程语言	14
1.6.1 硬件资源概述	14
1.6.2 FX系列PLC的总体性能	15
1.6.3 FX系列PLC的性能指标	19
1.6.4 FX系列PLC的内部资源	21
1.6.5 PLC的编程语言	31
1.7 PLC的工作原理	33
1.7.1 PLC的工作过程	33
1.7.2 PLC的输入/输出过程	36
思考题	37
第2章 基本指令及其应用	38
2.1 基本指令及其应用	39
2.2 基本指令的应用问题	53
2.3 顺序控制的设计方法	55
2.4 继电器系统的PLC改造	61
思考题	66
第3章 步进指令与顺序功能图	68
3.1 步进指令与顺序功能图的概念	68
3.2 顺序功能图的类型与设计原则	72
3.2.1 SFC的类型	72
3.2.2 顺序功能图的设计原则	74
3.3 基本编程方法	78
3.4 SFC设计的简单实例	82
思考题	86
第4章 应用指令及其应用	89
4.1 应用指令概述	89
4.2 程序流程指令	96
4.3 传送与比较指令	100
4.4 算术与逻辑运算指令	107
4.4.1 算术运算指令	108
4.4.2 加1和减1指令	110
4.4.3 逻辑运算指令	111
4.5 循环与移位指令	114
4.5.1 循环指令	115
4.5.2 移位指令	117
4.6 数据处理指令	121
4.7 高速处理指令	128
4.7.1 输入/输出刷新指令	128
4.7.2 高速计数器指令	130
4.7.3 速度检测与脉冲输出指令	132
4.8 方便指令	136
4.9 外部I/O设备指令	147
4.10 FX系列外部设备指令	157
4.11 F2系列外部操作指令	169
4.12 浮点数运算指令	175
4.12.1 浮点数比较指令	176
4.12.2 浮点数转换指令	177
4.12.3 浮点数的四则运算指令	178
4.12.4 浮点数三角函数运算指令	181
4.13 数据处理指令	182
4.14 定位控制指令	183
4.15 时钟运算指令	188
4.16 外围设备指令	193

4.17 触点比较指令	197	思考题	278
思考题	200	第7章 PLC 控制系统的应用设计	279
第5章 编程器、编程软件及其使用	202	7.1 PLC 设计的基本原则和步骤	279
5.1 概述	202	7.1.1 设计原则及方法	279
5.1.1 编程器的功能及其与 PLC 的连接	202	7.1.2 PLC 的选型	281
5.1.2 编程软件的功能	203	7.1.3 系统设计	285
5.2 PLC 编程器的使用	203	7.2 调试与测试	288
5.2.1 FX-20P-E 型手持编程器的使用	203	7.3 PLC 系统的安装	290
5.2.2 FX-10P-E 型手持编程器的使用	216	7.4 PLC 的故障诊断	291
5.3 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的使用	220	7.4.1 系统故障的概念	292
思考题	233	7.4.2 系统故障分析与处理	292
第6章 FX 系列 PLC 的特殊功能模块与网络通信技术	234	7.4.3 简单的故障诊断方法	293
6.1 FX 系列 PLC 的特殊功能模块	234	7.5 PLC 应用中的可靠性设计	294
6.1.1 模拟量输入/输出模块	234	7.6 PLC 系统的维护	300
6.1.2 运动控制模块	236	7.7 应用系统设计实例	301
6.1.3 FX _{2N} -1HC 型高速计数模块	238	7.7.1 步进电动机环形分配器的设计	301
6.1.4 数据通信模块	239	7.7.2 PLC 在组合机床控制中的应用	306
6.1.5 显示模块	240	7.7.3 PLC 在压滤机控制系统中的应用	310
6.1.6 GOT-900 系列图形操作终端	241	7.7.4 PLC 在卧式车床改造中的应用	313
6.2 FX 系列 PLC 的网络通信基础	241	7.7.5 PLC 在摇臂钻床改造中的应用	315
6.2.1 通信的基本概念	241	7.7.6 PLC 在制药设备中的应用	318
6.2.2 计算机系统的通信标准	246	7.7.7 球磨机润滑站控制的 PLC 设计	320
6.3 PLC 的网络通信技术	255	7.7.8 卧式镗床的 PLC 控制改造	323
6.3.1 三菱公司 PLC 的网络组成	255	思考题	326
6.3.2 计算机与 PLC 的通信	256	第8章 其他常见 PLC 产品介绍	328
6.3.3 工厂自动化网络	263	8.1 西门子公司 S7-200 系列 PLC	328
6.4 现场总线技术介绍	265	8.1.1 S7 系列 PLC 概述	328
6.4.1 现场总线技术的产生与特点	265	8.1.2 S7-200 系列 PLC 的特点和系统配置	330
6.4.2 现场总线控制系统的基本概念	266	8.1.3 S7-200 系列 PLC 的内部资源	331
6.4.3 主要现场总线简介	268	8.1.4 S7-200 系列 PLC 的主要技术性能	336
6.4.4 工业以太网	272	8.1.5 S7-200 系列 PLC 的指令系统	339
6.4.5 FCS 对计算机控制系统的影响	276	8.2 欧姆龙公司 CPM1A 系列 PLC	349
6.4.6 现场总线与局域网的区别	278	8.2.1 CPM1A 系列 PLC 的特点和系统配置	349

8.2.2 CPM1A 系列 PLC 内部资源	351	8.3.3 FPO 系列 PLC 的指令系统	365
8.2.3 CPM1A 系列 PLC 的 指令系统	355	思考题	368
8.3 松下公司 FPO 系列 PLC	356	附录 三菱公司 FX 系列 PLC 功能指令 一览表	370
8.3.1 FPO 系列 PLC 性能简介	357	参考文献	375
8.3.2 内部继电器介绍	359		

第1章 可编程序控制器概述

可编程序控制器 (Programmable Controller) 是计算机家族中的一员, 是专为工业控制应用而设计制造的。这是一种在传统的继电器控制系统的基础上, 与 3C 技术 (Computer、Control 与 Communication) 相结合而不断发展完善起来的新型工业控制装置, 具有编程简单、可靠性高、使用灵活方便、易于维护、体积小、使用寿命长等优点, 在自动控制的各个领域应用得十分广泛。目前已从小规模的单机顺序控制发展到过程控制、运动控制等诸多领域。本章主要介绍了可编程序控制器的产生与发展过程、特点与应用、分类、性能指标、组成与工作原理及系统的硬件和软件资源配置等相关内容。其中系统的软件和硬件资源配置是学习本课程的重要基础。

1.1 可编程序控制器的产生与发展

可编程序控制器的产生是为了适应工业控制的需要, 在传统控制手段的基础上, 借助于数字技术开发出来的。

1.1.1 可编程序控制器的产生

早期的工业控制中采用的继电器控制系统属于固定接线的逻辑控制系统, 控制系统的结构随功能的不同而不同。系统中采用的机械电气式器件本身的不足影响了控制系统的各种性能, 无法适应现代工业发展的需要。20 世纪 60 年代, 晶体管等无触点器件的应用促进了控制装置的小型化和可靠性的提高。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, 编程很不方便, 输入/输出信号与工业现场不兼容, 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, 美国通用汽车公司 (General Motors Corporation, GM) 为了在激烈的市场竞争中战胜对手, 制定出多品种、小批量、不断推出新车型来吸引顾客的战略。但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, 要求采用新型的控制装置取代传统的继电器控制装置, 提出了以下 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, 采用模块化结构;
- (3) 可靠性要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) 输入可以是交流 115V;
- (8) 输出为交流 115V, 2A 以上, 能直接驱动电磁阀和接触器等;

(9) 在进行扩展时, 原有的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。

1969 年, 美国的数字设备公司 (Digital Equipment Corporation, DEC) 开发出世界上第一台能满足上述要求的样机, 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应用到食品、饮料、冶金、造纸等其他工业领域。随后德国、日本等国相继引进这一技术, 迅速在工业控制中得到了广泛的应用。我国从 1974 年开始研制, 1977 年开始应用于工业领域。

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可编程序控制器的设计中, 使其功能增强, 速度加快, 体积减少, 成本下降, 可靠性提高, 更多地具有了计算机的功能。除了常规的逻辑控制功能外, 可编程序控制器还具有模拟量处理、数据运算、位置控制、比例积分微分 (Proportional-Integral-Differential, PID) 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。

在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, 但只是用来代替继电器实现逻辑 (开关量) 控制, 主要用于顺序控制, 所以被称为可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller), 简称 PLC。随着技术的发展, 这种装置的功能早已大大超过了逻辑控制的范围。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。有些教材和相关资料将 PLC 称为可编程序控制器, 虽然只有一字之差, 但总嫌有点啰嗦, 不如简捷点好, 而且更切合 PLC 的英文原意。

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设计。

总之, 可编程序控制器是专为工业环境应用而设计制造的计算机。它具有丰富的输入/输出接口, 并且具有较强的驱动能力。但可编程序控制器并不针对某一具体的工业应用。在实际应用时, 其硬件应根据具体需要进行选配, 软件则由技术人员根据实际的控制要求或生产工艺流程进行设计。

1.1.2 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 的发展也极为迅速。其发展过程大致分为三个阶段。

(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先由继电器完成的顺序控制和定时控制等任务。PLC 中的元器件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的熟悉的继电器控制电路的特点,形成了特有的、简便易懂的图形化编程语言-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 制造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),使 PLC 的功能大大增强。在软件方面,除了原有的功能外,还在指令系统中增加了算术运算、数据传送和处理、通信、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,还增加了模拟量输入/输出模块、远程 I/O 模块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,进一步增强了 PLC 的综合性能。

(3) 第三代 PLC (20 世纪 80 年代后期至今)

20 世纪 80 年代后期,随着大规模和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,PLC 的软、硬件功能发生了巨大变化,体积更小,成本更低,I/O 模块更丰富,系统的软件和硬件资源更多,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 的功能。

1.1.3 PLC 的发展方向

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,功能进一步增强,逐步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,以满足工业控制的实际需要。编程语言除了梯形图外,还可采用指令表、顺序功能图 (Sequential Function Chart, SFC) 以及高级语言,如 BASIC 和 C 语言等。另外,还普遍采用了表面贴装技术,不仅成本降低,体积减小,而且还进一步提高了系统的综合性能。

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 制造商相继推出了小型、特别是微型的高速、高性能的 PLC。三菱公司的 FX_{0S}-14 (8 个 DC24V 输入,6 个继电器输出),其尺寸仅为 58mm × 89mm,大小相当于一个信用卡,而功能却显著增强,使 PLC 的应用领域扩大到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领域。

(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,并增强了通信和网络能力,尤其是以 PC 为基础的控制产品增长迅速。PLC 与 PC 集成,即将计算机、PLC 及操作人员的人

机接口结合在一起,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 为基础的控制容易编程和维护用户的利益,开放的体系结构提供了很好的灵活性,最终降低成本和提高生产率。

大中型 PLC 主要是向 DCS (Distributed Control System, 分布式控制系统) 和 FCS (Fieldbus Control System, 现场总线控制系统) 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 发展的一个重要方向,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 的应用领域更加广泛。

例如,西门子公司的 S7-200、S7-300 和 S7-400 系列 PLC 都支持过程现场总线 (Process Fieldbus, PROFIBUS) 标准,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 存在的严重缺点主要是 PLC 的软、硬件体系结构是封闭的而不是开放的,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、语法结构都不一致,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》IEC 1131-3,为各 PLC 厂家编程的标准化铺平了道路。现在的开发是以 PC 为基础、在 Windows 操作系统下,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。

总之,PLC 的发展主要趋向于大型化和小型化的两极,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 长期以来走的是专门化的道路,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的互不兼容,从而妨碍了自身的发展。因此,实现 PLC 硬件和软件的标准化则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:

1131-1: General Information (一般信息);

1131-2: Equipment Characteristics and Test Requirement (设备特性与测试要求);

1131-3: Programming Language (编程语言);

1131-4: User Guidelines (用户指南);

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

遗憾的是,直到今天,PLC 在兼容性方面上基本还是原地踏步,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,则必将大大促进其自身的应用和发展。

1.2 PLC 的分类

PLC 的分类方法有多种,如按规模(即 I/O 点数)可分为大、中、小型,按结构可分为整体式和组合式。在实际应用中通常都按 I/O 点数来分类。

1.2.1 根据 I/O 点数分类

输入/输出点数表明 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。

(1) 小型 PLC

I/O 点数在 256 点以下的 PLC 称为小型机。其特点是体积小,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,也是一种在实际控制中应用得最为广泛的机型。除了开关量 I/O 以外,小型 PLC 一般具有逻辑运算、定时、计数、移位等功能,适用于开关量的控制,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、浮点数运算、函数运算和模拟量处理的功能,可满足更为广泛的需要。

(2) 中型 PLC

中型 PLC 采用模块化结构,其 I/O 点数一般在 256 ~ 1024 点之间。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。I/O 的处理方式除了采用一般 PLC 通用的扫描处理方式外,还能采用直接处理方式,即在扫描用户程序的过程中能够直接读取输入信号或刷新输出。中型 PLC 的编程器有便携式和带有 CRT/LCD 的智能图形编程器供用户选择。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,方便用户程序的编写和调试,提供了良好的监控环境。

(3) 大型 PLC

I/O 点数在 1024 点以上的 PLC 为大型机。大型 PLC 的软、硬件功能极强,功能更加完善,具有数据处理、模拟调节、联网通信、监视、存储、打印和自诊断等功能,可以进行中断控制、智能控制、远程控制等。大型 PLC 的通信联网功能强,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,能实现大规模的过程控制,构成分布式控制系统或整个工厂的集散控制系统,实现企业生产管理的自动化。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、三角函数运算等指令, 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,以便于用户事后查询。此外还能采用高级语言(如 BASIC 语言等)编写用户程序,能扩展成冗余系统,并可采用三 CPU 构成表决式系统,进一步提高了系统的可靠性。

1.2.2 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。在小型 PLC 中,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 的缺点是很多主机的 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配置, 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都是各自独立的模块。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, 底板上若有若干插座。也有的 PLC 为串行连接, 没有底板。在实际使用时, 可根据具体的需要将配置的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 的缺点是结构相对复杂, 价格较高。

1.2.3 根据生产厂家分类

当前国际上的 PLC 产品可按地域分成美国产品、欧洲产品和日本产品三大流派。美国和欧洲的 PLC 技术是在相互隔离的情况下独立研究开发的, 因此美国和欧洲的 PLC 产品具有明显的差异性。而日本的 PLC 技术是由美国引进的, 对美国的 PLC 产品有一定的继承性, 但日本的主推产品定位在小型 PLC 上。美国和欧洲以大中型 PLC 而闻名, 而日本则以小型 PLC 著称。

在全球的 PLC 制造商中, 根据美国 ARC (Automation Research Corp.) 的调查, 世界 PLC 的主要制造商分别为 Siemens (西门子) 公司、A-B (Allen-Bradley) 公司、Schneider (施耐德) 公司、Mitsubishi (三菱) 公司、Omron (欧姆龙) 公司等, 他们的销售额约占全球总销售额的三分之二, 具有很强的市场导向力。

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, 指令及外设向上兼容。因此, 在选择 PLC 时, 如果选择同一系列的产品, 则可以使系统的设计比较容易, 使用比较方便。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、欧姆龙 (Omron) 公司的 C 系列、松下 (Matsushita) 公司的 FP 系列等。

需要说明的是, PLC 的分类目前并没有严格的国家或国际标准。有些文献将 128 点或 64 点以下的 PLC 划分为微型 PLC, 将 PLC 按 I/O 点数分为微型、小型、中型和大型 4 种。实际上这种划分没有多大的意义, 因为 128 或 64 点的 PLC 在控制功能上与一般所说的小型 PLC 并没有什么显著的差别, 仅仅是控制规模小一点而已。如果要分出微型 PLC 的话, 那么西门子公司的 LOGO 产品可以划作此类。因为 LOGO 产品不但控制规模小, 而且在控制功能上与小型 PLC 存在着显著的差别。当然, 不管怎么分类, 对实际的应用设计影响不大, 只要有一般的概念就行。

1.3 PLC 的特点与应用

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、专为在工业环境中应用而设计的电子控制装置。它采用存储器来存储用户程序, 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, 控制各种类型的机电一体化设备和生产过程。

1.3.1 PLC 的特点

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的简单易懂、维修方便等特点,主要体现在以下几个方面。

1. 编程简单易学

PLC 的程序设计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,只要具有电气控制方面的相关基础知识,而不需要具备计算机方面的专业知识,因此很容易为一般的工程技术人员甚至技术工人所理解和掌握。尽管后来的 PLC 在软件和硬件功能上不断增强,除了顺序控制以外,PLC 还能进行算术与逻辑运算、数据传送与处理以及通信等,但是梯形图仍被广泛地使用。只是又增加了许多高级指令,以满足除了顺序控制以外的其他各种复杂控制功能。多数高级指令都比较容易掌握,而有些高级指令就相对比较复杂,需要具备计算机、自动控制和通信等相关专业的基础知识和基本概念才能真正地理解和掌握。

2. 可靠性高

工业现场的环境一般都比较恶劣,如高温、潮湿、振动、冲击、粉尘和强电磁干扰等,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,能够适应工业现场的恶劣环境。PLC 的设计和制造过程中采取了一系列的抗干扰措施,使 PLC 的平均无故障工作时间 (Mean Time Between Failures, MTBF) 通常在 200000h 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,滤波的时间常数可以用指令设定。
- (3) 各个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) 对器件进行严格的筛选和老化处理。
- (6) 具有系统自诊断的功能,一旦电源或其他软件和硬件出现异常情况,CPU 立即采取有效的措施进行处理,防止故障扩大。
- (7) 大型 PLC 采用双 CPU 结构,构成冗余系统,进一步提高了可靠性。

3. 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。

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,使用时只需根据控制要求编写程序,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,并且有完善的自诊断和显示功能。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,在维修时只需要更换插入式模块及其他易损件即可,不但方便,还减少了影响生产的时间。有些 PLC 还允许带电拔插 I/O 模块,支持即插即用,更方便了实际应用。

5. 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 均采用模块化结构。PLC 中的 CPU、直流电源、I/O 模块(包括特殊功能模块)等各种功能单元均采用模块化设计,由机架、电缆或连接器将各个模块连接起来。实际应用系统的规模和功能可以根据具体的控制要求方便地进行组合,以达到最高的性价比。

6. 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。对于工业现场的不同信号(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、位置控制模块、模拟量模块等,进一步提高了 PLC 的性能。

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的工作量大为减少。设计和施工可以同时进行,显著地缩短了施工周期。同时,由于用户程序大都可以在实验室中进行模拟调试,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。

1.3.2 PLC 的应用

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,已经广泛地应用到石油、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(开关量)控制

逻辑控制是 PLC 最基本的功能,也是最为广泛的应用。PLC 具有与、或、非、异或和触发器等各种各样的逻辑运算功能。采用 PLC 可以很方便地实现各种开关量控制,用以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。根据操作按钮、各种开关及现场其他输入信号或检测信号的作用,PLC 可以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一机对话装置实时地设定,实现具体的定时控制。

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,以实现不同用

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,则需要借助于 PLC 中的高速计数器或选用高速计数器模块,最高的计数频率可达 50kHz,甚至更高,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,甚至更高的内部高速计数器。计数器的实际计数值也可以通过人一机对话装置实时地读出或修改,便于实际应用。

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(SFC)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 A/D 和 D/A 转换模块,转换的位数和精度可以根据用户的实际需要进行选择,因此能够进行模拟量处理与 PID 控制。PLC 可以接模拟量输入和输出模拟量信号。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,一般可选用专用的 PID 控制模块实现 PID 控制。此外还具有温度测量模块,可以直接连接各种热电阻和热电偶等温度传感器模块。

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 还能进行三角函数运算和浮点运算等运算处理,数据处理的能力很强,便于实现复杂的控制。

7. 通信和联网功能

现在的 PLC 都具有 RS-232、RS-422、RS-485 或现场总线等通信接口,可进行远程 I/O 控制,两台或多台 PLC 可实现联网和通信。外部设备与一台或多台 PLC 之间可以实现数据传输。通信口按标准的硬件接口和相应的通信协议完成通信任务的处理。例如,西门子公司的 S7-200 系列 PLC 配置有 PROFIBUS 接口,其通信速率可以达到 12Mbit/s。三菱公司 CC-Link 网络的最高传输速率为 10Mbit/s,最长距离为 1200m(实际距离与传输速率有关),模块采用光电隔离。在系统设计中,可由一台计算机与多台 PLC 构成“集中管理、分散控制”的分布式控制网络,以便完成较大规模的复杂控制。

1.4 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,主要包括输入/输出点数、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、指令的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(开关量即输入/输出信号的总和)表示,即输入继电器与输出继电器的数量之和。I/O 点数通常是实际应用中最关心的一个技术指标。根据输入/输出的点数一般可分为小型、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来扩展 I/O 点数。

2. 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。三菱公司 FX_{2N} 系列 PLC 的存储容量为 8k 步, 选配相应的随机存取存储器 (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/E²PROM) 则可以扩展到几十 k 步。

3. 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, 一般取决于所采用的 CPU 的性能。早期的 PLC 一般为 1 μ s 左右, 现在的速度则快得多, 如西门子公司的 S7-200 系列 PLC 的执行速度为 0.8 μ s, 欧姆龙公司的 CPM2A 系列 PLC 达到 0.64 μ s, 三菱公司的 FX_{2N} 系列 PLC 则达到 0.08 μ s, 1000 步基本指令的运算只需要 80 μ s, 大型 PLC 的工作速度则更高。因此, PLC 的处理速度可以满足绝大多数的工业控制要求。

4. 软元件的种类和数量 定时/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 3276s。为了满足高精度的控制要求, PLC 的时钟精度在不断提高, 如三菱公司的 FX_{2N} 系列 PLC 和西门子公司的 S7-200 系列 PLC 的定时器有 1ms、10ms 和 100ms 三种, 而松下公司的 FP 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

PLC 处理的数值为 16 位二进制数, 对应的十进制数范围是 0~9999 或 -32768~32767。在高精度的控制系统中, 可以处理 32 位的二进制数, 对应的十进制数范围是 -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。现在新型的 PLC 都支持浮点数的处理, 可以满足更高的控制要求。

6. 指令种类及条数

指令系统是衡量 PLC 软件功能高低的主要指标。PLC 的指令系统一般分为基本指令和高级指令 (也叫功能指令或应用指令) 两大类。不同的 PLC 其基本指令都大同小异, 相对比较稳定。高级指令则随 PLC 的发展而越来越多, 功能也越强。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, 各种智能模块的多少、功能的强弱也是说明 PLC 总体性能高低的一个重要标志。智能模块越多, 功能就越强, 系统的配置和软件的开发也就越灵活, 越方便。

1.5 PLC 的组成

PLC 的产品型号很多, 发展非常迅速, 应用日益广泛, 不同的产品在硬件结构、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, 只要真正掌握一种 PLC 的组成和指令系统, 在涉及其他