

三菱FX系列PLC

原理、应用与实训

张 还 李胜多 主 编
姜元志 刘惠敏 张 健 副主编



配电子课件



三菱 FX 系列 PLC 原理、 应用与实训

张 还 李胜多 主 编
姜元志 刘惠敏 张 健 副主编



机械工业出版社

本书主要以三菱公司 FX_{2N} 系列小型 PLC 作为目标机型,结合作者多年的教学与工程实践的经验,引用典型的工程实例详细地介绍了基于 PLC 的新型控制技术,内容涵盖了三菱 PLC 的硬件与工作原理、指令系统、编程设计方法、编程器与编程软件、变频器与人机界面技术、通信网络技术、特殊功能模块、PLC 控制系统开发应用实例及 PLC 控制系统设计开发实训等。

本书深入浅出、内容简明、结构严谨、实例丰富,注重工程背景,密切联系实际,工程性、理论性和实践性较强。力求向读者介绍 PLC 控制系统设计、开发中具有普遍性的知识,使读者在学习后能够收到举一反三的效果,自如地运用 PLC 相关技术方法和理论设计出符合要求的 PLC 自动控制系统。

本书可作为工程技术人员培训和自学 PLC 的教材,也可作为各类大中专院校自动化、电气工程及其自动化、机电一体化、机械制造及其自动化、计算机科学与技术、电子科学与技术和电子信息工程等相关专业的教学用书,对 PLC 用户具有较大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

三菱 FX 系列 PLC 原理、应用与实训/张还,李胜多主编. —2 版.
—北京:机械工业出版社,2016.10
ISBN 978-7-111-55016-7

I. ①三… II. ①张… ②李… III. ①plc 技术 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 238190 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:张俊红 责任编辑:阎洪庆 责任校对:陈 越
封面设计:路恩中 责任印制:常天培
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2017 年 1 月第 2 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 17 印张·440 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-55016-7
定价:50.00 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

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前言

可编程序控制器 (PLC), 是以微处理器为核心的特殊的工业控制计算机, 被誉为现代工业生产自动化的三大支柱之一。PLC 具有控制功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于扩展、兼容性强等一系列优点。它不仅可以取代继电器控制系统, 而且可以应用于复杂的自动控制系统和组成多层次的工业自动化网络。因此, 学习和掌握 PLC 应用技术已成为工程技术人员和工科有关专业学生的基本要求和紧迫任务。

本书是在 2009 年初版的基础上修订而成。书中仍以三菱 FX_{2N} 系列小型 PLC 作为目标机型进行介绍, 对网络通信技术、变频器和人机界面技术在 PLC 控制系统中的应用均有简明的介绍。本版的内容结构与初版相比基本保持不变, 但对章节顺序做了适当的调整, 并对其中部分内容进行了删减、改写和充实, 主要是补充了 PLC 控制系统设计实例及实验与实训题目, 并增加了电子版的各章练习和思考题 (购书后可索取)。全书共分 10 章, 包括: 第 1 章绪论, 第 2 章 PLC 的硬件结构与工作原理, 第 3 章 PLC 编程语言与基本逻辑指令, 第 4 章应用指令和步进梯形指令简介, 第 5 章三菱 PLC 的编程软件, 第 6 章 PLC 梯形图程序设计方法, 第 7 章三菱 FX 系列特殊功能模块, 第 8 章网络通信基础与三菱 PLC 通信, 第 9 章变频器和人机界面技术, 第 10 章 PLC 控制系统设计实例。附录中给出了 PLC 控制系统实验与实训及 FX 系列 PLC 应用指令简表。

本书可作为自动控制、电气、机电等行业技术人员的培训教材和自学用书, 也可作为各类大中专院校自动化、电气工程及其自动化、机电一体化、机械制造及其自动化、计算机科学与技术、电子科学与技术 and 电子信息工程等相关专业的教材和教学参考书。

本书由张还、李胜多任主编, 姜元志、刘惠敏和张健任副主编。其中, 李胜多编写了第 9.2 节及部分习题, 姜元志、刘惠敏和张健编写了附录 A 的部分实验与实训, 其余部分均由张还编写并最后统稿。参加本书部分内容编写和资料收集整理工作的, 还有青岛威尔博自动化有限公司、青岛海尔特种电器有限公司的张年辉、刘学良工程师, 以及刘志平、张后国、唐菊兰、亢志超等多位同志。本书在编写过程中得到了张还主编所在单位领导和许多老师的指导和帮助, 刘立山教授给出了许多中肯和宝贵的意见, 提供了有价值的工程技术资料。同时, 本书的编写也参考了其他相关文献、教材及有关厂家与网上的技术资料, 在此一并表示衷心的感谢! 另外, 为便于各位老师的教学工作, 本书专门配备了电子课件及习题与解答。凡选用本书 30 册及以上作为教材的授课教师, 我们核实后都会免费赠送上述电子文件, 联系的电子信箱是 buptzjh@163.com。

由于编者水平有限及时间仓促, 书中难免有疏漏和不足之处, 恳请读者批评指正。

目 录 >>

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 PLC 的发展历史和定义	1
1.2 PLC 的特点和应用领域	3
1.3 PLC 的市场现状和发展趋势	5
第 2 章 PLC 的硬件结构与工作原理	9
2.1 PLC 的主要技术指标和分类	9
2.2 PLC 的基本结构	11
2.3 PLC 的工作原理	15
2.4 FX _{2N} 系列 PLC 主要性能和硬件规格	18
第 3 章 PLC 编程语言与基本逻辑指令	23
3.1 PLC 编程语言简介	23
3.2 FX _{2N} 系列 PLC 内部软元件	25
3.3 三菱 FX 系列 PLC 基本逻辑指令	36
3.4 梯形图的基本编程规则	43
3.5 梯形图的基本电路	46
第 4 章 应用指令和步进梯形指令简介	51
4.1 应用指令概述	51
4.2 数据传送、比较和变换指令	54
4.3 循环移位与移位类指令	60
4.4 算术运算和逻辑运算类指令	65
4.5 数据处理类指令	70
4.6 程序流向控制类指令	74
4.7 高速处理指令	80
4.8 方便指令和外围 I/O 设备指令	85
4.9 外围设备 SER 指令	92
4.10 浮点数运算、时钟运算和外围设备指令	101
4.11 步进梯形指令	107
第 5 章 三菱 PLC 的编程软件	109

5.1 FX 系列编程软件 FXGP/WIN-C 使用简介	109
5.2 全系列编程软件 GX Developer 与仿真软件 GX Simulator 的使用	114
第 6 章 PLC 梯形图程序设计方法	132
6.1 逻辑设计法和时序图设计法	132
6.2 经验设计法	136
6.3 顺序控制设计法	139
6.4 顺序功能图中复杂结构的编程及编程方式的比较	155
6.5 具有多种工作方式的系统的编程	167
第 7 章 三菱 FX 系列特殊功能模块	175
7.1 模拟量输入/输出模块	175
7.2 脉冲发生单元	186
7.3 通信扩展板和通信模块	188
7.4 其他特殊功能模块简介	191
第 8 章 网络通信基础与三菱 PLC 通信	193
8.1 数据通信和工业控制网络基础	193
8.2 三菱 PLC 通信简介	197
第 9 章 变频器和人机界面技术	205
9.1 变频器应用简介	205
9.2 工业组态软件简介	213
9.3 触摸屏技术简介	222
第 10 章 PLC 控制系统设计实例	226
10.1 PLC 控制系统设计规划概要	226
10.2 空压站恒压供气自动控制系统	230
10.3 基于 PLC 的机械手模型控制系统	238
附录	250
附录 A PLC 控制系统实验与实训	250
附录 B FX 系列 PLC 应用指令简表	265
参考文献	268

第1章

绪论

本章内容提要 可编程序控制器 (Programmable Controller) 简称 PLC 或 PC, 是以微处理器为核心的工业自动化控制装置, 被誉为现代工业生产自动化的三大支柱之一 (PLC、机器人、CAD/CAM)。PLC 从诞生至今已将近 50 年, 随着计算机技术、电子技术和通信技术的发展, 其应用领域逐步扩大, 发展前景十分广阔, 已经成为实现工厂自动化强有力的工具。本章主要介绍了 PLC 的历史、特点、应用领域和发展趋势等。

1.1 PLC 的发展历史和定义

1. PLC 的诞生

继电器控制系统的产生已有上百年的历史, 它是用弱电信号控制强电系统的控制装置。在复杂的继电器控制系统中, 故障的查找、排除困难, 花费时间长, 严重地影响了工业生产的高效进行。在工艺要求发生变化的情况下, 控制柜内的元件和接线需要做相应的变动, 改造工期长、费用高, 以至于用户宁愿选择另外制作一台新的控制柜。1968 年, 美国最大的汽车制造商通用汽车公司 (GM) 为了适应生产工艺不断更新的需要, 要求寻找一种比继电器控制更可靠、功能更齐全、响应速度更快的新型工业控制器, 并从用户角度提出了新一代控制器应具备的十大条件, 主要内容是: ①编程简单, 可在现场修改程序; ②维护方便, 最好是插件式; ③可靠性高于继电器控制柜; ④体积小于继电器控制柜; ⑤可将数据直接送入管理计算机; ⑥在成本上可与继电器控制柜竞争; ⑦输入可以是交流 115V (即美国的电网电压); ⑧输出为交流 115V、2A 以上, 能直接驱动电磁阀; ⑨在扩展时, 原有系统只需要很小的变更; ⑩用户程序存储器容量至少能扩展到 4KB。

GM 提出上述条件后, 立即引起了开发的热潮。1969 年, 美国数字设备公司 (DEC) 研制出了世界上公认的第一台 PLC, 并应用于通用汽车公司的自动装配线上。控制器当时叫作可编程序逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC), 目的是取代继电器控制系统, 以执行逻辑判断、定时、计数等顺序控制功能。紧接着美国 Modicon 公司也开发出同名的控制器。1971 年, 日本从美国引进了这项新技术, 很快研制成了日本第一台 PLC。1973 年, 西欧国家也研制出他们的第一台 PLC。

我国从 1974 年也开始研制 PLC, 1977 年开始工业应用。最初是在引进设备中大量使用了 PLC, 后来在各类企业生产设备和产品中不断扩大 PLC 的应用范围。我国在 20 世纪 80 年代已经能够设计和制造中小型 PLC。

由于 PLC 当初主要用于逻辑控制、顺序控制，故称为可编程序逻辑控制器，简称 PLC。随着半导体技术，尤其是微处理器和微型计算机技术的发展，到 20 世纪 70 年代中期以后，特别是进入 80 年代以来，PLC 已广泛地使用 16 位甚至 32 位微处理器作为中央处理器，输入/输出模块和外围电路也都采用了中、大规模甚至超大规模的集成电路，使 PLC 在概念、设计、性能价格比以及应用方面都有了新的突破。这时的 PLC 已不仅仅是逻辑判断功能，还同时具有数据处理、PID 调节和数据通信功能，称之为可编程序控制器（Programmable Controller）更为合适，应该简称为 PC，但是为了与个人计算机（Personal Computer）的简称 PC 区别，一般还是习惯将其简称为 PLC。

2. PLC 技术发展概况

限于当时的元器件条件及计算机发展水平，早期的 PLC 主要由分立元件和中小规模集成电路组成，可以完成简单的逻辑控制及定时、计数功能。20 世纪 70 年代初出现了微处理器，人们很快将其引入 PLC 中，使 PLC 增加了运算、数据传送及处理等功能，实现了真正具有计算机特征的工业控制装置。为了方便熟悉继电器、接触器系统的工程技术人员使用，PLC 采用和继电器电路图类似的梯形图作为主要编程语言，并将参加运算及处理的计算机存储元件都以继电器命名。此时的 PLC 为微机技术和继电器常规控制概念相结合的产物。

20 世纪 70 年代中末期，PLC 进入实用化发展阶段，计算机技术已全面引入 PLC 中，使其功能发生了飞跃。更高的运算速度、超小型体积、更可靠的工业抗干扰设计、模拟量运算、PID 功能和极高的性价比奠定了它在现代工业中的地位。20 世纪 80 年代初，PLC 在先进工业国家中已获得广泛应用。这个时期 PLC 发展的特点是大规模、高速度、高性能、产品系列化。这个阶段的另一个特点是世界上生产 PLC 的国家日益增多，产量日益上升。这标志着 PLC 已步入成熟阶段。

20 世纪末期，PLC 的发展特点是更加适应于现代工业的需要。从控制规模上来说，这个时期发展了大型机和超小型机；从控制能力上来说，诞生了各种各样的特殊功能单元，用于压力、温度、转速、位移等各式各样的控制场合；从产品的配套能力来说，生产了各种人机界面单元、通信单元，使应用 PLC 的工业控制设备的配套更加容易。目前，PLC 在机械制造、石油化工、冶金钢铁、汽车、轻工业等领域的应用都得到了长足的发展。PLC 还大量地应用于楼宇自动化、家庭自动化、商业、公用事业、测试设备和农业等领域，并涌现出大批应用 PLC 的新型设备。掌握 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。

3. PLC 的定义

国际电工委员会（IEC）于 1982 年 11 月颁发了 PLC 标准草案第一稿，1985 年 1 月发表了第二稿，1987 年 2 月又颁发了第三稿。在草案中对 PLC 定义如下：“PLC 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。它采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储和执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作命令，并通过数字式和模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关外围设备，都按易于与工业系统联成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。”

从 IEC 对 PLC 的定义中，可以从以下几个方面对其进行界定或者加以理解：

1) PLC 的本质是“数字运算操作的电子系统”，目前已经是“微计算机系统”，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。定义还强调了 PLC 可直接应用于工业环境,它需具有很强的抗干扰能力、广泛的适应能力和应用范围。这也是区别于一般微机控制系统的一个重要特征。

2) 这种工业计算机采用“面向用户的指令”,因此编程方便。它能完成逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术操作,它还具有“数字量和模拟量输入/输出控制”的能力,并且非常容易与“工业控制系统联成一体”,易于“扩充”。PLC 用于取代传统的继电器系统,是一种无触点设备,其编程的思想来源于继电器电路图,因此它又属于电气控制的范畴。

3) 从应用领域来看,PLC 用于“控制各种类型的机械或生产过程”,改变程序即可改变生产工艺,因此可在初步设计阶段选用 PLC,可以使得设计和调试变得简单容易。在实施阶段再确定工艺过程,从制造生产 PLC 的厂商角度看,在制造阶段不需要根据用户的订货要求专门设计控制器,适合批量生产。PLC 是一种通用的自动化装置,其初衷是工业自动化控制,现在的应用已经发展到控制领域的各个方面。

应该强调的是,PLC 与以往所讲的顺序控制器在“可编程序”方面有质的区别。PLC 引入了微处理器及半导体存储器等新一代电子器件,并用规定的指令进行编程,能灵活地修改,即用软件方式来实现“可编程序”的目的。

PLC 是微机技术与传统的继电器控制技术相结合的产物,其基本设计思想是把计算机功能完善、灵活、通用等优点和继电器控制系统简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来,控制器的硬件是标准的、通用的。根据实际应用对象将控制内容编成软件写入控制器的用户程序存储器内。PLC 克服了继电器控制系统中接线复杂、可靠性低、功耗高、通用性和灵活性差等缺点,充分利用微处理器的优点,并将控制器和被控对象方便地连接起来。由于这些特点,PLC 问世以后很快受到工业控制界的欢迎,并得到迅速的发展。目前,PLC 已成为工厂自动化的强有力工具,得到了广泛的应用,在工厂里被称为“蓝领计算机”。

1.2 PLC 的特点和应用领域

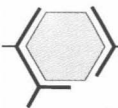
1.2.1 PLC 的特点 ★★★

PLC 具有控制功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于扩展、兼容性强等一系列优点。

1. 可靠性高,抗干扰能力强

高可靠性是电气控制设备的关键性能。PLC 由于采用现代大规模集成电路技术,采用严格的生产工艺制造,内部电路采取了先进的抗干扰技术,具有很高的可靠性。从 PLC 的机外电路来说,使用 PLC 构成控制系统和同等规模的继电接触器系统相比,电气接线及开关触点已减少到数百分之一甚至数千分之一,故障也就大大降低。此外,PLC 带有硬件故障自检测功能,出现故障时可及时发出警报信息。在应用软件中,还可以编写外围器件的故障自诊断程序,使系统中除 PLC 以外的电路及设备也获得故障自诊断保护。这样,整个系统具有极高的可靠性也就不足为怪了。

为实现高可靠性在硬件方面采取的主要措施是:①隔离——PLC 的输入/输出接口电路一般都采用光耦合器来传递信号,这种光电隔离措施使外部电路与 PLC 内部之间完全避免了电的联系,有效地抑制了外部干扰源对 PLC 的影响,还可防止外部强电窜入 PLC 内部;②滤



波——在 PLC 电源电路和输入/输出 (I/O) 接口电路中设置多种滤波电路,可有效地抑制高频干扰信号;③在 PLC 内部对 CPU 供电电源采取屏蔽、稳压、保护等措施,防止干扰信号通过供电电源进入 PLC 内部,另外各个输入/输出 (I/O) 接口电路的电源彼此独立,以避免电源之间的互相干扰;④内部设置联锁、环境检测与诊断等电路,一旦发生故障,立即报警;⑤外部采用密封、防尘、抗振的外壳封装结构,以适应恶劣的工作环境。

同时,在软件方面采取的主要措施是:①设置故障检测与诊断程序,每次扫描都对系统状态、用户程序、工作环境和故障进行检测与诊断,发现出错后可立即自动做出相应的处理,如报警、保护数据和输出封锁等;②对用户程序及动态数据进行电池后备,以保障停电后有关状态及信息不会因此而丢失。

采用以上抗干扰措施后,一般 PLC 的抗电平干扰强度可达峰值 1000V,脉宽为 $10\mu\text{s}$ 。三菱公司早期生产的 F 系列 PLC 平均无故障时间 (MTBF) 高达 30 万 h 以上,而一些使用冗余 CPU 的 PLC 平均无故障工作时间则更长。

2. 配套齐全,功能完善,适用性强

PLC 发展到今天,已经形成了大、中、小各种规模的系列化产品,可以用于各种规模的工业控制场合。除了逻辑处理功能以外,现代 PLC 大多具有完善的数据运算能力,可用于各种数字控制领域。近年来 PLC 的各种功能单元大量涌现,使 PLC 渗透到了位置控制、温度控制、CNC 等各种工业控制中。加上 PLC 通信能力的增强及人机界面技术的发展,使用 PLC 组成各种控制系统变得非常容易。

3. 易学易用,深受工程技术人员欢迎

PLC 作为通用工业控制计算机,是面向工矿企业的工控设备。它的接口容易,编程语言易于为工程技术人员接受。梯形图编程语言的图形符号、表达方式和继电器电路图相当接近,只用 PLC 少量的开关量逻辑控制指令就可以方便地实现继电器电路的功能。为不熟悉电子电路、不懂计算机原理和汇编语言的人使用计算机从事工业控制打开了方便之门。

4. 系统的设计、建造工作量小,维护方便,容易改造

PLC 用存储逻辑代替接线逻辑,大大减少了控制设备外部的接线,使控制系统设计及建造的周期大为缩短,同时维护也变得容易起来。更重要的是使同一设备通过改变程序就可改变生产过程成为可能。这很适合多品种、小批量的生产场合。

5. 体积小,质量轻,能耗低

以超小型 PLC 为例,新近出产的品种底部尺寸小于 100mm,质量小于 150g,功耗仅有数瓦。由于体积小,很容易装入机械内部,是实现机电一体化的理想控制设备。

1.2.2 PLC 的应用领域 ★★★

目前,PLC 已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等各个行业。现代 PLC 已经不仅仅具有逻辑判断和顺序控制功能,同时还具有数据处理、PID 调节和通信联网等功能。PLC 的应用领域大体上可归纳为如下的几类。

1. 开关量逻辑控制

开关量逻辑控制是 PLC 最基本、最广泛的应用领域。它取代传统的继电器电路,实现逻辑控制、顺序控制,既可用于单台设备的控制,也可用于多机群控及自动化流水线,如注塑机、印刷机、食品机械、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等。

2. 过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量和物位等慢速连续模拟量的闭环控制。为了使 PLC 处理模拟量,必须实现模拟量 (Analog) 和数字量 (Digital) 之间的 A-D 转换及 D-A 转换。PLC 厂商都生产配套的 A-D 和 D-A 转换模块,使 PLC 可用于控制模拟量。作为工业控制计算机,PLC 能编制各种各样的控制算法程序,完成闭环控制。PID 调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法,大中型 PLC 都有 PID 模块,目前许多小型 PLC 也具有了这种功能模块。PID 运算处理一般是 PLC 内部运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有着非常广泛的应用。

3. 运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说,早期直接用于开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构,现在一般使用专用的运动控制模块,如可驱动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 厂商的产品几乎都有运动控制功能,广泛用于各种运动机械、机床、机器人和电梯等控制场合。

4. 数据处理

现代 PLC 具有数学运算 (含矩阵运算、函数运算、逻辑运算)、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能,可以完成数据的采集、分析及处理。这些数据可以与存储在存储器中的参考值比较,完成一定的控制操作,也可以利用通信功能传送到别的智能装置,或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统,如无人控制的柔性制造系统,也可用于过程控制系统,如造纸、冶金和食品工业中的一些大型控制系统。

5. 通信联网

PLC 通信包括 PLC 间的通信及 PLC 与其他智能设备间的通信。随着计算机控制的发展,工厂自动化网络发展迅猛,各 PLC 厂商都十分重视 PLC 的通信功能,纷纷推出各自的网络系统。新生产的 PLC 都具有通信网络接口,通信非常方便。

1.3 PLC 的市场现状和发展趋势

1.3.1 国内外 PLC 市场现状 ★★★

PLC 自问世以来,经数十年的发展,在工业发达国家 (如美国、日本、德国等) 已成为重要的产业之一,生产厂商不断涌现,PLC 的品种多达几百种。

国内的应用始于 20 世纪 80 年代。一些大中型工程项目引进的生产流水线上采用了 PLC 控制系统,使用后取得了明显的经济效益,从而促进了国内 PLC 的发展和应用。目前国内 PLC

的应用已取得了许多成功的经验和成果,证明了 PLC 是大有发展前途的工业控制装置,它与 DCS、SCADA、计算机网络系统相互集成、互相补充而形成的综合系统将得到更加广泛的应用。

我国 PLC 的生产厂商主要是从 20 世纪 80 年代涌现出来的,当时靠技术引进、转让、合资等方式进行生产。目前国内 PLC 生产厂商有影响的大概十家左右,品种也只有几十种,主要集中在小型 PLC 品种上,中型 PLC 的生产较少,大型的则更少,生产和销售规模比较有限。生产厂商主要有我国大陆地区的无锡信捷、上海正航、杭州和利时、厦门海为、深圳合信和我国台湾地区的台达、永宏、丰炜等。国产 PLC 的质量和技术性能与发达国家相比还有较大的差距,不能满足国内日益增长的市场需要,故需依赖进口,尤其是大中型 PLC,更基本上是国外产品。但是,可以预期随着我国现代化进程的深入,PLC 在我国将有更加广阔的天地。

国内流行的 PLC 多是国外产品,主要是日本的欧姆龙 (OMRON)、三菱、日立、松下、东芝、富士、安川、横河、光洋 (Koyo) 等公司,美国的 AB (Allen Bradley)、GE Fanuc (通用电气发那科)、Rockwell、GOULD、Square D、西屋 (Westing House)、德州仪器 (Texas Instruments) 等公司,德国的西门子 (Siemens)、AEG 等公司,法国的 Schneider、TE (Telemechanique) 和瑞士的 ABB 等公司。其中,美国的 AB 和 GE Fanuc、德国的西门子、法国的 TE、日本的三菱和欧姆龙等公司,在所有 PLC 制造商中占有主导地位。这几家公司占有了全世界 PLC 市场半数以上的份额,它们的系列产品有其技术广度和深度,从售价为 100 美元左右的微型 PLC 到有数千个 I/O 点的大型 PLC 应有尽有。日本各厂商生产的小型 PLC 市场份额最大,其结构形式的优点也较为突出,故其他国家小型 PLC 的结构形式也都向日本看齐。当今,大、中型 PLC 市场份额的绝大部分被美国、日本、欧洲占领,呈现出三足鼎立之势。

1.3.2 PLC 的发展趋势 ★★★

21 世纪 PLC 将会有更大的发展。从技术上看,计算机技术的新成果会更多地应用于 PLC 的设计和制造上,会有运算速度更快、存储容量更大、功能更强的品种出现;从产品规模上看,会进一步向超小型及超大型方向发展;从产品的配套性上看,产品的品种会更丰富、规格更齐全,完美的人机界面、完备的通信设备会更好地适应各种工业控制场合的需求;从市场上看,各国各自生产多品种产品的情况会随着国际竞争的加剧而打破,会出现少数几个品牌垄断国际市场的局面,会出现国际通用的编程语言;从网络的发展情况来看,PLC 和其他工业控制计算机组网构成大型的控制系統,是 PLC 技术的一个发展方向。现代 PLC 的发展趋势主要表现在以下几个方面。

1. 向小型化发展

在提高系统可靠性的基础上,PLC 产品的体积越来越小、速度加快、功能越来越强而价格降低。从整体结构向小型模块化方向发展,增加了配置的灵活性,更加广泛地取代常规的继电器控制。

2. 向大型化方向发展

目前大中型 PLC 的 CPU 已经从早期的 1 位、8 位、16 位朝 32 位、64 位发展,时钟频率已经达到几百 MHz,运算速度大大提高,部分 PLC 从单 CPU 处理向多 CPU 的并行处理发展,速度可以达到 0.2ms/千步,存储器容量也成倍地增加,同时具有高可靠性、网络化和智能化的

特点。

3. 编程语言和编程工具的多样化、高级化和标准化

PLC 系统结构不断向前发展的同时,编程工具和编程语言也随着硬件和软件的发展而不断发展。目前 PLC 编程语言占主导地位的有标准的梯形图逻辑、指令表、顺序功能图和功能块图等。另外新的编程语言不断出现,现在有部分 PLC 已经采用高级语言(如 BASIC 和 C 等)。为了统一 PLC 的编程,国际电工委员会(IEC)1993 年发布了 IEC 61131 标准,其中 IEC 61131-3 是 PLC 标准编程语言,它总共规定了 5 种编程语言。IEC 并不要求每个产品都运行上述的全部 5 种语言,可以只运行其中一种或者几种,但是必须符合标准。以往各个 PLC 生产厂商的产品互相不开放,而且各个厂商的硬件各异,其编程方法也是各不相同,用户每使用一种 PLC 时,不但要重新了解其硬件结构,同时必须重新学习编程方法及其规定。国际标准 IEC 61131 的推出和实施,打破了以前的各个 PLC 生产厂商的产品相互不兼容的局限性。近期生产的 PLC 大都兼容 IEC 61131-3 标准,加速了 PLC 的应用和开发。

4. 发展智能模块

智能输入/输出模块具有自己的 CPU 与 RAM 等,可以和 PLC 的 CPU 并行工作,提高了 PLC 的速度和效率。各种智能模块不断地推出,如高速计数模块、PID 回路控制模块、远程 I/O 模块、通信和人机接口模块、专用数控模块等,使 PLC 的高速计数、过程控制、通信等功能大大加强,在可靠性、适应性、扫描速度和控制精度等方面使 PLC 有了很大的提升。

5. 通信联网的简单易用

加强 PLC 的联网能力成为 PLC 的主要发展趋势。PLC 的联网包括 PLC 之间、PLC 和计算机与其他智能设备之间的联网。PLC 的生产厂商都在使自己的产品与制造自动化通信协议标准(MAP)兼容,从而使不同的 PLC 之间可以相互通信,PLC 与计算机之间的联网能进一步实现计算机辅助制造(CAM)和计算机辅助设计(CAD)。现代大型 PLC 都具有强大的通信联网功能,通过专用的或者开放的通信协议(如已经得到广泛应用的三菱公司的 CC-Link、西门子公司的 PROFIBUS、AB 公司的 DeviceNet 现场总线等),可以将 PLC 系统的控制功能和信息管理功能融为一体,使之能对大规模、复杂系统进行综合性的自动控制。同时 PLC 开始向过程控制和计算机数控(CNC)渗透和发展,使得 PLC 和 DCS、CNC 之间已经没有明确的界限。PLC 的通信联网功能使它能与个人计算机和其他智能控制设备交换数字信息,使系统形成一个统一的整体,便于实现分散控制和集中管理。

6. 组态软件在上位机与 PLC 通信中的应用

相当多的大中型控制系统都采用 PC(上位计算机)加 PLC 的方案,通过串行通信接口或网络通信模块交换数据信息,以实现分散控制和集中管理。上位计算机主要完成数据通信、网络管理、人机界面(HMI)和数据处理的功能。数据的采集和设备的控制一般由 PLC 等现场设备完成。

使用 DOS 操作系统时,设计一个美观漂亮、使用方便的人机界面是非常困难和费时的。在 Windows 操作系统下,使用 VC、VB、Delphi 等可视化编程软件,可以用较少的时间设计出较理想的人机界面。但是与种类繁多的现场设备的通信仍然比较麻烦,另外实现人机界面与现场设备互动的程序设计也比较复杂。为了解决上述问题,用于工业控制的组态软件应运而生。

国际上比较著名的组态软件有 InTouch 和 iFIX 等,国内也涌现出了组态王、MCGS 和力控等一批组态软件。有的 PLC 厂商也推出了自己的组态软件,如西门子的 WinCC 和 GE Fanuc 公司的 CIMPLICITY 等。组态软件预装了计算机与各主要厂商 PLC 通信的程序,用户只需做少量的设置就可以实现 PLC 与计算机的通信。用户可以快速地生成与 PLC 交换信息的、美观漂亮的人机界面(包括复杂的画面、动画、表格和曲线等),画面上可以设置各种按钮、指示灯显示或输入数字、字符的元件。还可以用按钮、开关、选择仪表、棒图等形象的元件来设置或显示 PLC 中的数据。通过设置,这些显示和输入元件可以很容易地与 PLC 中的编程元件联系起来。使用组态软件可以大量地减少设计上位计算机程序的工作量,缩短开发周期,提高系统的可靠性。

7. 新型和专用 PLC 产品的出现

近年来随着计算机软件和硬件技术的迅速发展,推动了自动控制技术一系列新的发展,产生了基于 PC 的 PLC、嵌入式 PLC 和 PAC 等。有许多工业控制产品、机电一体化产品,开始转向以 PC 为平台的控制方式,有的公司推出的 PLC 产品已采用 Windows 作为编程和操作的平台,PLC 结构从整机和模块式发展到直接使用高性能工业控制机实现软逻辑 PLC。嵌入式 PLC 也已经面世并应用于工业控制领域,它在 PLC 系统中使用实时嵌入式操作系统(Real-time Embedded Operation System),如 Window CE、RTLinux 等。为了突破 PLC 在操作平台、互操作性、灵活性上的一些限制,提出了 PAC(Programmable Automation Controller,可编程自动化控制器)的概念并已有产品面世,如罗克韦尔自动化公司的 ControlLogix 和 GE Fanuc 公司的 PACSystems RX3i 等。

此外,一些专门用途的 PLC 也大量出现,如专用于数控机床、加工中心外围电气控制的 PMC(Programmable Machine Controller,可编程机床控制器)等。

8. PLC 与 DCS 和现场总线

目前,在工业控制中按控制系统的体系结构来划分主要有三大控制系统,即 PLC 控制系统、集散控制系统(Distributed Control System,DCS)和现场总线控制系统(Fieldbus Control System,FCS)。这三种控制系统可以互相融合,PLC 能够实现 DCS 和 FCS,而在 DCS 和 FCS 中也常常会有 PLC 的应用。

第2章

PLC的硬件结构与工作原理

本章内容提要 本章主要介绍了 PLC 硬件的技术指标、分类、基本结构和工作原理等内容。对三菱 FX 系列小型 PLC 的主要性能、基本单元、硬件规格以及编程器与编程软件等进行了简单的介绍。

2.1 PLC 的主要技术指标和分类

2.1.1 PLC 的主要技术指标 ★★★

PLC 的种类很多,用户可以根据控制系统的具体要求选择不同技术性能指标的 PLC。PLC 的技术性能指标主要有以下几个方面。

1. 输入/输出点数 (I/O 点数)

PLC 的 I/O 点数是指外部输入和输出端子数量的总和,它是描述 PLC 控制规模大小的一个重要的技术指标。通常小型 PLC 的 I/O 点有几十点,中型 PLC 的 I/O 点有几百点,大型 PLC 的 I/O 点会超过千点。

2. 存储容量

PLC 的存储器由系统程序存储器、用户程序存储器和数据存储器组成。PLC 存储容量通常指用户程序存储器,它表征系统提供给用户的可用资源,是系统性能的一项重要技术指标。在日本三菱公司生产的 PLC 中,程序指令是按“步”存储的。一步占用一个地址单元,一条指令有的往往不止一“步”,一个地址单元一般占用 2 个字节(16 位二进制数为一个字,即 2 个字节)。如果一个内存容量为 4K (1K=1024) 步的 PLC,其内存为 8KB。

而在欧美生产的 PLC 中,通常用千字 (KW) 或千字节 (KB) 来表示,也有的 PLC 直接用所能存放的程序量表示。

3. 扫描速度

PLC 采用循环扫描方式工作,完成一次扫描所需的时间叫作扫描周期。这里指扫描一步指令的时间,如 $\mu\text{s}/\text{步}$ 。有时也可用扫描 1K 步用户程序所需要的时间,如以 $\text{ms}/\text{千步}$ 为单位。影响扫描速度的主要因素有用户程序的长度和 PLC 产品的类型。PLC 中 CPU 的类型、机器字长等直接影响 PLC 运算精度和运行速度。

4. 指令系统

指令系统是指 PLC 所有指令的总和,在三菱 FX 系列 PLC 指令系统中包括基本指令和应用指令。PLC 的编程指令条数和种类越多,其软件功能就越强,但掌握其应用也相对较复杂。用户应根据实际控制要求选择合适指令功能的 PLC。

5. 软元件（编程软件）的种类和数量

软元件一般指输入继电器、输出继电器、辅助继电器、定时器、计数器、通用寄存器、数据寄存器和特殊功能继电器等,其种类和数量的多少直接关系到编程是否方便灵活,也是衡量 PLC 功能强弱的一个重要技术指标。

6. 通信功能

通信包括 PLC 之间的通信和 PLC 与其他设备之间的通信。通信主要涉及通信模块、通信接口、通信协议和通信指令等内容。PLC 的联网和通信能力也已成为 PLC 产品水平的重要衡量指标之一。

7. 特殊功能模块

特殊功能模块（单元）种类的多少与功能的强弱也是衡量 PLC 产品的一个重要指标。近年来各 PLC 厂商非常重视特殊功能模块（单元）的开发,特殊功能（单元）种类日益增多,功能越来越强,使 PLC 的控制功能日益扩大。

此外,厂商的产品手册上还提供 PLC 的负载能力、外形尺寸、质量、保护等级、适用的安装和使用环境,如温度、湿度等性能指标参数,以供用户参考。

2.1.2 PLC 的分类 ★★★

PLC 的产品种类繁多,其功能、产地、结构、规模也各不相同。一般按照下面的几种标准进行分类。

1. 根据 I/O 点数分类

根据 PLC 的 I/O 点数的不同,可将 PLC 分为小型、中型和大型三类。

(1) 小型 PLC

I/O 点数小于 256 点的 PLC 称为小型 PLC。小型 PLC 以开关量控制为主,具有体积小、价格低的优点。可用于开关量的逻辑控制、定时与计数控制、顺序控制及少量模拟量的控制场合,可代替继电器接触器控制在单机或小规模生产过程中使用。

(2) 中型 PLC

I/O 点数大于 256 点、小于 2048 点的 PLC 称为中型 PLC。中型 PLC 功能比较丰富,兼有开关量和模拟量的控制能力,适用于较复杂系统的逻辑控制和闭环模拟量的过程控制。

(3) 大型 PLC

I/O 点数大于 2048 点的 PLC 称为大型 PLC。大型 PLC 用于大规模过程控制、集散式控制和工厂自动化网络中。

2. 根据硬件结构形式分类

根据硬件结构形式的不同,主要分为整体式和模块式等。

(1) 整体式 PLC

整体式 PLC 又称为单元式 PLC 或箱体式 PLC。它是把电源、CPU、I/O 接口等部件都集中装在一个箱体内,它具有结构紧凑、体积小、质量轻、价格低的优点。整体式 PLC 又分为基本单元(又称主机)和扩展单元。二者的区别是前者内部有 CPU 模块而后者没有 CPU 模块。当需要进行扩展时,只需用扁平电缆将基本单元和一定数量的扩展单元连接起来即可。这种类型 PLC 的典型产品有三菱公司早期的 F₁、F₂ 系列与欧姆龙公司的 CPM、CQM 系列等。

(2) 模块式 PLC

模块式 PLC 是由机架(或导轨)和模块组成,可根据需要选配不同的模块,如电源模块、CPU 模块、I/O 模块以及各种功能模块,只需将模块插入模块插座上即可。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。这种结构配置非常灵活方便,通常大型、中型 PLC 多采用此种结构。模块式 PLC 的产品典型的有三菱公司的 Q 系列、A-B 公司的 PLC-5 系列与西门子的 S7-300、S7-400 系列等。三菱 Q 系列 PLC 的外形如图 2-1 所示。

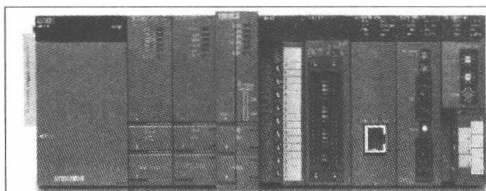


图 2-1 三菱模块式 PLC

三菱公司的 FX_{2N}、FX_{3G} 和 FX_{3U} 系列等小型 PLC 采用了所谓的叠装式结构。叠装式结构是整体式和模块式有机结合的产物。电源也可做成独立的,不使用模块式 PLC 中的母板,采用电缆连接各个单元,在控制设备中安装时可以一层层地叠装。三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的外形如图 2-2 所示。

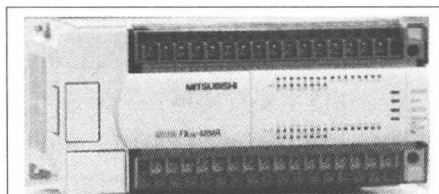


图 2-2 三菱叠装式 PLC

无论哪种结构类型的 PLC,都可根据用户需要进行配置与组合。尽管整体式(或叠装式)与模块式 PLC 的结构不太一样,但各部分的功能作用是基本相同的。整体式 PLC 一般用于规模较小、输入/输出点数固定且以后也少有扩展的场合;模块式 PLC 一般用于规模较大、输入/输出点数较多且比例比较灵活的场合。

根据 PLC 具有控制功能不同,还可将 PLC 分为低档、中档和高档三类。

2.2 PLC 的基本结构

PLC 硬件的基本结构主要由中央处理器(CPU)、存储器、输入/输出(I/O)接口电路(或称为输入/输出模块)、通信接口、扩展接口和电源等部分组成。其中,CPU 是 PLC 的核心,输入/输出接口电路是连接现场输入/输出设备与 CPU 之间的桥梁,通信接口用于与编程器、上位计算机等外设连接。PLC 的基本结构如图 2-3 所示。

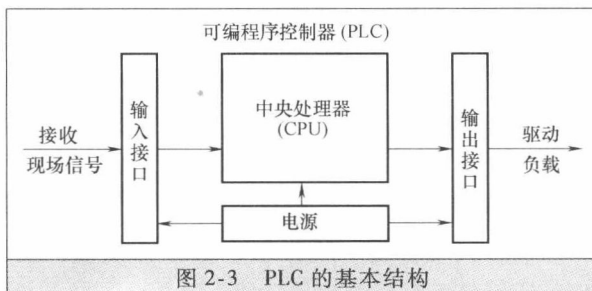


图 2-3 PLC 的基本结构

下面对 PLC 各主要组成部分逐一进行简单介绍。

1. 中央处理器 (CPU)

同一般的微机一样,CPU 是 PLC 的核心。PLC 中所配置的 CPU 随机型不同而不同,常用的

有三类：通用微处理器（如 Z80、8086、80286 等）、单片微处理器（如 8031、8096 等）和位片式微处理器（如 AMD29W 等）。小型 PLC 大多采用 8 位通用微处理器和单片微处理器，中型 PLC 大多采用 16 位通用微处理器或单片微处理器，大型 PLC 大多采用高速位片式微处理器。

目前，小型 PLC 为单 CPU 系统，而中、大型 PLC 则大多为双 CPU 系统，甚至有些 PLC 中多达 8 个 CPU。对于双 CPU 系统，一般一个为字处理器，多采用 8 位或 16 位处理器；另一个为位处理器，采用由各厂商设计制造的专用芯片。字处理器为主处理器，用于执行编程器接口功能，监视内部定时器，监视扫描时间，处理字节指令以及对系统总线和位处理器进行控制等。位处理器为从处理器，主要用于处理位操作指令和实现 PLC 编程语言向机器语言的转换。位处理器的采用提高了 PLC 的速度，使 PLC 更好地满足实时控制要求。

在 PLC 中 CPU 按系统程序赋予的功能，指挥 PLC 有条不紊地进行工作，归纳起来主要有以下几个方面：①接收从编程器输入的用户程序和数据；②诊断电源、PLC 内部电路的工作故障和编程中的语法错误等；③通过输入接口接收现场的状态或数据，并存入输入映像寄存器或数据寄存器中；④从存储器逐条读取用户程序，经过解释后执行；⑤根据执行的结果，更新有关标志位的状态和输出映像寄存器的内容，通过输出单元实现输出控制。有些 PLC 还具有制表打印或数据通信等功能。

2. 存储器

存储器主要有两种，一种是可读/写操作的随机存储器 RAM，另一种是只读存储器 ROM、PROM、EPROM 和 EEPROM。在 PLC 中存储器主要用于存放系统程序、用户程序及工作数据等。

系统程序是由 PLC 的制造厂商编写的、与 PLC 的硬件组成有关，完成系统诊断、命令解释、功能子程序调用管理、逻辑运算、通信及各种参数设定等功能，提供 PLC 运行的平台。系统程序关系到 PLC 的性能，而且在 PLC 使用过程中不会变动，所以是由制造厂商直接固化在只读存储器 ROM、PROM 或 EPROM 中，用户不能访问和修改。

用户程序是随 PLC 的控制对象而定的，由用户根据对象生产工艺的控制要求而编制的应用程序。为了便于读出、检查和修改，用户程序一般存于 CMOS 静态 RAM 中，用锂电池作为后备电源，以保证掉电时不会丢失信息。为了防止干扰对 RAM 中程序的破坏，当用户程序经过运行正常不需要改变时，可将其固化在只读存储器 EPROM 中。现在有许多 PLC 直接采用 EEPROM 或 Flash ROM 作为用户存储器。

工作数据是 PLC 运行过程中经常变化、经常存取的一些数据，它存放在 RAM 中以适应随机存取的要求。在 PLC 的工作数据存储区中，设有存放输入/输出继电器、辅助继电器、定时器、计数器等逻辑器件的存储区，这些器件的状态都是由用户程序的初始设置和运行情况而确定的。根据需要，部分数据在掉电时用后备电池维持其现有的状态，这部分在掉电时可保存数据的存储区域称为保持数据区。

由于系统程序及工作数据与用户无直接联系，所以在 PLC 产品样本或使用手册中所列存储器的形式及容量一般指用户程序存储器。当 PLC 提供的用户存储器容量不够用时，许多 PLC 还提供有存储器扩展功能。

3. 输入/输出接口电路

输入/输出接口电路通常也称为 I/O 单元或输入/输出模块，是 PLC 与工业生产现场之间的连接部件。PLC 通过输入接口可以检测被控对象的各种数据，以这些数据作为 PLC 对被控制对象