

Programmable logic controllers



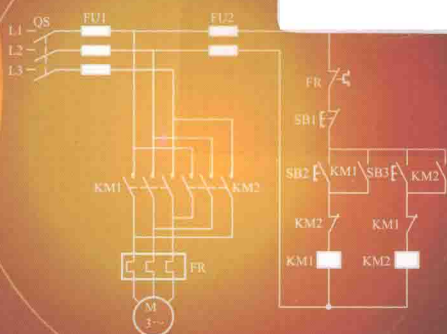
“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

PLC 应用技术

项目化教程

第二版

汤光华 主编
谭云彬 主审



化学工业出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

PLC 应用技术项目化教程

第二版

汤光华 主 编
徐伟杰 黄秋姬 副主编
谭云彬 主 审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从实际应用出发,以三菱 FX_{2N} 机型为背景,采用项目化的课程结构,重点介绍了 PLC 的基本知识、基本指令、应用指令以及程序设计,同时介绍了 PLC 的通信。

全书共分 13 个项目,内容涵盖 PLC 的基本知识、三相异步电动机的 PLC 控制、运料小车往返运行的 PLC 控制、交通信号灯的 PLC 控制、某化学品生产过程的 PLC 控制、机械手的 PLC 控制、大小球自动分类的 PLC 控制、五相步进电动机的 PLC 控制、艺术彩灯造型的 PLC 控制、工作台往返的 PLC 控制、温度 PID 控制、电梯的 PLC 控制以及 FX_{2N} 系列 PLC 通信技术。

本书可作为高、中等职业院校和成人高校电类、机电类专业的教材,也可供从事机电专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

PLC 应用技术项目化教程/汤光华主编. —2 版. —北京:化学工业出版社, 2014. 8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-122-20946-7

I. ①P… II. ①汤… III. ①PLC 技术-教材 IV. TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 127859 号

责任编辑: 张建茹

文字编辑: 云 雷

责任校对: 吴 静

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 362 千字 2014 年 10 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

可编程控制器 (PLC) 是应用最广的计算机控制装置, 它以其功能强大、可靠性高、编程简单、联网方便、体积小和功耗低等优点已成为工业自动化三大支柱之一。为满足广大读者和教学改革的需要, 编者在总结多年 PLC 理论与实践教学的基础上, 和企业专家一起共同开发了这本项目化教材。本书严格按照教育部颁布的相关高职专业教学标准进行编写, 充分体现了职业教育课程改革的新理念、新模式和新做法, 突出了 PLC 应用技术的先进性、针对性和应用性。可作为高职高专院校生产过程自动化技术、电气自动化技术、应用电子技术、机电应用技术和数控技术等相关专业的教材。

目前, PLC 的机型很多, 但其基本结构、工作原理相同, 基本功能、指令系统及编程方法类似。本书从教学需要和实际应用出发, 选择了极具代表性的三菱 FX_{2N} 机型作为背景机型, 采用“项目+任务”的课程结构, 将行动导向、理实一体、讲练结合等教育教学理念贯穿始终, 将基本知识与技能训练融入各个项目之中, 实现知识与技能的有机结合, 适合在教、学、做合一的教学改革中使用。

全书共设 13 个项目, 每个项目又包含若干个具体任务, 其内容涵盖了电动机控制、交通信号灯控制、温度控制、机械手控制、工作台控制、艺术彩灯控制、电梯控制等典型控制系统。项目 1~项目 12, 除了安排有基本训练任务外, 还安排有拓展训练任务, 基本训练任务是学生必须掌握的部分, 拓展训练任务用于巩固前面所学知识, 开拓学生创新思维, 提高学生分析问题和解决问题的能力, 属于知识拓展和技能提高部分。另外, 每个项目的开头都安排有学习目标, 结尾都安排有项目小结、考核内容与配分、思考题与习题等。在组织教学时, 任课教师可根据学生基础、项目难易程度和内容多少, 合理安排项目完成时间, 通常一个项目以 4~8 学时为宜, 书中打“*”号的项目可作为选学内容。

本书由汤光华任主编, 并编写项目 1~项目 4、项目 6、项目 9 和附录; 胡乃清编写项目 5; 仵征编写项目 7、项目 10 和项目 11; 刘夏编写项目 8; 徐伟杰编写项目 12; 黄秋姬编写项目 13。汤光华负责全书的统稿, 株冶集团股份有限公司谭云彬担任主审。

本书在编写过程中, 得到了企业专家和兄弟院校老师的大力支持, 在此, 对他们以及帮助本书出版的化学工业出版社的领导和编辑们表示衷心感谢。

由于编者水平有限, 书中不足和疏漏在所难免, 敬请读者予以批评指正。

编者

2014 年 6 月

目 录

| | |
|---|----|
| 项目 1 PLC 的认识及编程软件的使用 | 1 |
| 【学习目标】 | 1 |
| 【任务 1.1】 了解 PLC 的发展、分类及应用领域 | 1 |
| 【任务 1.2】 学习 PLC 的结构和工作原理 | 5 |
| 【任务 1.3】 认识三菱 FX _{2N} 可编程控制器 | 10 |
| 【任务 1.4】 PLC 编程语言操作训练 | 17 |
| 【任务 1.5】 项目小结 | 24 |
| 【考核内容与配分】 | 24 |
| 【思考题与习题】 | 25 |
| 项目 2 三相异步电动机的 PLC 控制 | 26 |
| 【学习目标】 | 26 |
| 【任务 2.1】 学习相关知识 | 26 |
| 【任务 2.2】 三相异步电动机的正反转控制程序设计 | 33 |
| 【任务 2.3】 三相异步电动机降压启动控制程序设计 | 35 |
| 【任务 2.4】 拓展训练 | 37 |
| 【任务 2.5】 项目小结 | 38 |
| 【考核内容与配分】 | 38 |
| 【思考题与习题】 | 39 |
| 项目 3 运料小车往返运行的 PLC 控制 | 42 |
| 【学习目标】 | 42 |
| 【任务 3.1】 学习相关知识 | 42 |
| 【任务 3.2】 运料小车往返运行的控制程序设计 | 47 |
| 【任务 3.3】 拓展训练 | 49 |
| 【任务 3.4】 项目小结 | 50 |
| 【考核内容与配分】 | 50 |
| 【思考题与习题】 | 51 |
| 项目 4 交通信号灯的 PLC 控制 | 53 |
| 【学习目标】 | 53 |
| 【任务 4.1】 学习相关知识 | 53 |
| 【任务 4.2】 交通信号灯控制程序设计 | 61 |
| 【任务 4.3】 拓展训练 | 64 |
| 【任务 4.4】 项目小结 | 66 |
| 【考核内容与配分】 | 66 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 【思考题与习题】 | 67 |
| 项目 5 某化学品生产过程的 PLC 控制 | 68 |
| 【学习目标】 | 68 |
| 【任务 5.1】 学习相关知识 | 68 |
| 【任务 5.2】 某化学品生产过程 PLC 控制程序设计 | 69 |
| 【任务 5.3】 拓展训练 | 72 |
| 【任务 5.4】 项目小结 | 73 |
| 【考核内容与配分】 | 74 |
| 【思考题与习题】 | 74 |
| 项目 6 机械手的 PLC 控制 | 76 |
| 【学习目标】 | 76 |
| 【任务 6.1】 学习相关知识 | 76 |
| 【任务 6.2】 机械手的 PLC 控制程序设计 | 82 |
| 【任务 6.3】 拓展训练 | 88 |
| 【任务 6.4】 项目小结 | 89 |
| 【考核内容与配分】 | 89 |
| 【思考题与习题】 | 90 |
| 项目 7 大小球自动分类的 PLC 控制 | 92 |
| 【学习目标】 | 92 |
| 【任务 7.1】 学习相关知识 | 92 |
| 【任务 7.2】 大小球自动分类 PLC 控制程序设计 | 98 |
| 【任务 7.3】 拓展训练 | 101 |
| 【任务 7.4】 项目小结 | 103 |
| 【考核内容与配分】 | 103 |
| 【思考题与习题】 | 104 |
| 项目 8 五相步进电动机的 PLC 控制 | 106 |
| 【学习目标】 | 106 |
| 【任务 8.1】 学习相关知识 | 106 |
| 【任务 8.2】 五相步进电动机 PLC 控制程序设计 | 111 |
| 【任务 8.3】 拓展训练 | 114 |
| 【任务 8.4】 项目小结 | 115 |
| 【考核内容与配分】 | 116 |
| 【思考题与习题】 | 116 |
| 项目 9 艺术彩灯造型的 PLC 控制 | 118 |
| 【学习目标】 | 118 |
| 【任务 9.1】 学习相关知识 | 118 |
| 【任务 9.2】 艺术彩灯造型的 PLC 控制程序设计 | 123 |
| 【任务 9.3】 广告牌边框装饰灯的 PLC 控制程序设计 | 127 |
| 【任务 9.4】 拓展训练 | 130 |

| | |
|--|-----|
| 【任务 9.5】 项目小结 | 131 |
| 【考核内容与配分】 | 132 |
| 【思考题与习题】 | 132 |
| 项目 10 工作台往返的 PLC 控制 | 135 |
| 【学习目标】 | 135 |
| 【任务 10.1】 学习相关知识 | 135 |
| 【任务 10.2】 工作台往返 PLC 控制程序设计 | 141 |
| 【任务 10.3】 拓展训练 | 145 |
| 【任务 10.4】 项目小结 | 146 |
| 【考核内容与配分】 | 146 |
| 【思考题与习题】 | 147 |
| * 项目 11 温度 PID 控制 | 148 |
| 【学习目标】 | 148 |
| 【任务 11.1】 学习相关知识 | 148 |
| 【任务 11.2】 温度 PID 控制程序设计 | 159 |
| 【任务 11.3】 拓展训练 | 162 |
| 【任务 11.4】 项目小结 | 162 |
| 【考核内容与配分】 | 163 |
| 【思考题与习题】 | 164 |
| 项目 12 电梯 PLC 控制 | 165 |
| 【学习目标】 | 165 |
| 【任务 12.1】 学习相关知识 | 165 |
| 【任务 12.2】 电梯 PLC 控制程序设计 | 169 |
| 【任务 12.3】 拓展训练 | 175 |
| 【任务 12.4】 项目小结 | 176 |
| 【考核内容与配分】 | 176 |
| 【思考题与习题】 | 177 |
| * 项目 13 FX_{2N}系列 PLC 通信技术 | 180 |
| 【学习目标】 | 180 |
| 【任务 13.1】 网络通信的基本知识 | 180 |
| 【任务 13.2】 FX _{2N} 系列 PLC 的通信器件及通信形式 | 185 |
| 【任务 13.3】 FX _{2N} 系列 PLC 间通信举例 | 194 |
| 【思考题与习题】 | 198 |
| 附录 I FX 系列应用指令简表 | 199 |
| 附录 II FX 系列 PLC 的特殊元件 | 203 |
| 参考文献 | 221 |

项目 1 PLC 的认识及编程软件的使用

【学习目标】

了解 PLC 的产生、发展、分类及应用领域；熟悉 PLC 的特点、性能指标及编程语言，熟悉 PLC 的编程元件；掌握 PLC 的基本结构和工作原理。了解实训装置的基本构成；熟悉 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的主要功能；会使用编程软件。

【任务 1.1】 了解 PLC 的发展、分类及应用领域

1.1.1 可编程控制器的产生

可编程控制器 (Programmable Controller) 是计算机家族中的一员，是为工业控制应用而设计的，是一种以 CPU 为核心的计算机工业控制装置。早期的可编程控制器称作可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)，简称 PLC，用它来代替继电器实现逻辑控制。随着微电子技术、计算技术、通信技术等的飞速发展，可编程控制器的功能已大大超过了逻辑控制的范围，所以，目前人们都把这种装置称作可编程控制器，简称 PC。为了避免与目前应用十分广泛的个人计算机 (Personal Computer, PC) 相混淆，本书仍将可编程控制器简称 PLC。

PLC 产生于 20 世纪 60 年代末。1968 年美国通用汽车公司提出取代继电器控制装置的要求，第二年，美国数字设备公司研制出第一台可编程控制器，用于通用汽车公司的生产线，取代生产线上的继电器控制系统，开创了工业控制的新纪元。1971 年，日本开始生产可编程控制器，德、英、法等国相继开发了适于本国的可编程控制器，并推广使用。1974 年，中国也开始研制生产可编程控制器，1977 年应用于工业。经过近 40 年的发展，可编程控制器已经成为工业自动化的三大支柱 (PLC 技术、机器人、计算机辅助设计和制造) 之一。概括起来，PLC 的发展可以归纳为以下四个阶段。

(1) 初创阶段

1969~1977 年，由数字集成电路构成，功能简单，仅具备逻辑运算和计时、计数功能。机器种类单一，没有形成系列。典型产品有美国数字设备公司 (DEC) 的 PDP-14/L，美国 MODICON 公司的 084，日本立石电机公司的 SCY-022 等。

(2) 功能扩展阶段

1977~1982 年，以微处理器为核心，功能不断完善，增加了数据传送、比较和模拟量运算等功能。初步形成系列，可靠性进一步提高，开始具备自诊断功能，存储器采用 EPROM。典型产品有美国 MODICON 公司的 184、284、384 系列，德国 SIEMENS 公司的 SYMATIC S3 系列和 S4 系列。

(3) 联机通信阶段

1982~1990 年，能够与计算机联机通信，出现了分布式控制，增加了多种特殊功能，如浮点数运算、平方、三角函数、脉宽调制等。典型产品有美国 GOULD 公司的 M84、484、584、684、884，德国 SIEMENS 公司的 PM550、TI510、520、530 等。

(4) 网络化阶段

1990 年以后, 通信协议走向标准化, 实现了和计算机网络互联, 出现了工业控制网。编程语言除了传统的梯形图、流程图、语句表等以外, 还有用于算术运算的 BASIC 语言, 用于机床控制的数控语言等。典型产品有德国 SIEMENS 公司的 S7 系列, 日本三菱公司的 A 系列以及美国 GOULD 公司的 900 系列等。

1.1.2 可编程控制器的发展

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、好的兼容性和多功能方面发展。

(1) 小型、廉价、高性能

小型化、微型化、高性能、低成本是可编程控制器的发展方向。作为控制系统的关键设备, 小型、超小型 PLC 的应用日趋增多。据统计, 美国机床行业应用超小型 PLC 几乎占据了市场的 1/4。许多 PLC 厂家都在积极研制开发各种小型、微型 PLC。如日本三菱公司的 FX_{2N}-48MR 能提供 24 个输入点、24 个输出点, 既可单机运行, 也可联网实现复杂的控制。

(2) 大型、多功能、网络化

主要是朝 DCS 方向发展, 使其具有 DCS 系统的一些功能。网络化和通信能力强是 PLC 发展的一个重要方面, 向下可将多个 PLC、I/O 框架相连; 向上与工业计算机、以太网、MAP 网等相连构成一个多级分布式自动化控制系统。这种多级分布式控制系统除了控制功能外, 还可以实现在线优化、生产过程的实时调度、统计管理等功能, 是一种多功能综合系统。

(3) 与智能控制系统相互渗透和结合

PLC 与计算机的结合, 使它不再是一个单独的控制装置, 而成为控制系统中的一个重要组成部分。随着微电子技术和计算机技术的进一步发展, PLC 将更加注重与其他智能控制系统的结合。PLC 与计算机的兼容, 可以充分利用计算机现有的软件资源。通过采用速度更快、功能更强的 CPU, 容量更大的存储器, 可以更充分地利用计算机资源。PLC 与工业控制计算机、DCS 系统、嵌入式计算机等系统的渗透与结合, 必将进一步拓宽 PLC 的应用领域和空间。

(4) 高可靠性

由于控制系统的可靠性日益受到人们的重视, 一些公司将自诊断技术、冗余技术、容错技术广泛应用到现有产品中, 推出了高可靠性的冗余系统, 并采用热备用或并行工作、多数表决的工作方式。

1.1.3 可编程控制器的特点

(1) 使用灵活、通用性强

PLC 用程序代替了布线逻辑, 生产工艺流程改变时, 只需修改用户程序, 不必重新安装布线, 十分方便。结构上采用模块组合式, 可像搭积木那样扩充控制系统规模, 增减其功能, 容易满足系统要求。

(2) 编程简单、易于掌握

PLC 采用专门的编程语言, 指令少, 简单易学。通用的梯形图语言, 直观清晰, 对于熟悉继电器线路的工程技术人员和现场操作人员来讲很容易掌握。对熟悉计算机的人还有语句表编程语言, 该语言类似于计算机的汇编语言, 使用非常方便。

(3) 可靠性高、能适应各种工业环境

PLC 面向工业生产现场, 采取了屏蔽、隔离、滤波、连锁等安全防护措施, 可有效地

抑制外部干扰，能适应各种恶劣的工业环境，具有极高的可靠性；其内部处理过程不依赖于机械触点，所用元器件都经过严格筛选，其寿命几乎不用考虑；在软件上有故障诊断与处理功能。以三菱 F1、F2 系列 PLC 为例，其平均无故障时间可达 30 万小时，A 系列的可靠性又比之高几个数量级。多机冗余系统和表决系统的开发，更进一步提高了 PLC 的可靠性。这是继电器控制系统无法比拟的。

(4) 接口简单、维护方便

PLC 的输入、输出接口设计成可直接与现场强电相接，有 24V、48V、110V、220V 交流、直流等电压等级产品，组成系统时可直接选用。接口电路一般为模块式，便于维修更换。有的 PLC 的输入、输出模块可带电插拔，实现不停机维修，大大缩短了故障修复时间。

(5) 体积小、重量轻、功耗低

由于 PLC 采用半导体大规模集成电路，因此整个产品结构紧凑，体积小、重量轻、功耗低，以三菱公司生产的 FX2N-24M 为例，其外形尺寸仅为 130mm×90mm×87mm，重量只有 600g，功耗小于 50W。所以 PLC 很容易装入机械设备内部，是实现机电一体化理想的控制设备。

1.1.4 可编程控制器的分类

(1) 按容量分

大致可分为“小”、“中”、“大”三种类型。

① 小型 PLC。

I/O 点总数一般小于或等于 256 点。其特点是体积小、结构紧凑，整个硬件融为一体，除了开关量 I/O 以外，还可以连接模拟量 I/O 以及其他各种特殊功能模块。它能执行包括逻辑运算、计时、计数、算术运算、数据处理和传送、通讯联网以及各种应用指令。如 OMRON 的 C××P/H、CPM1A 系列、CPM2A 系列、CQM 系列，SIMENS 的 S7-200 系列。

② 中型 PLC。

I/O 点总数通常从 256 点至 2048 点，内存在 8K 以下，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，直接读输入、刷新输出。它能连接各种特殊功能模块，通讯联网功能更强，指令系统更丰富，内存容量更大，扫描速度更快。如 OMRON 的 C200P/H，SIMENS 的 S7-300 系列。

③ 大型 PLC。

一般 I/O 点数在 2048 点以上的称为大型 PLC。大型 PLC 的软、硬件功能极强。具有极强的自诊断功能。通信联网功能强，有各种通讯联网的模块，可以构成三级通讯网，实现工厂生产管理自动化。如 OMRON 的 C500P/H、C1000P/H，SIMENS 的 S7-400 系列。

(2) 按硬件结构分

按结构分可将 PLC 分为整体式 PLC、模块式 PLC、叠装式 PLC 三类。

① 整体式 PLC。

它是将 PLC 各组成部分集装在一个机壳内，输入、输出接线端子及电源进线分别在机箱的上、下两侧，并有相应的发光二极管显示输入/输出状态。面板上留有编程器的插座、EPROM 存储器插座、扩展单元的接口插座等。编程器和主机是分离的，程序编写完毕后即可拔下编程器。

具有这种结构的可编程控制器结构紧凑、体积小、价格低。小型 PLC 一般采用整体式结构。如图 1-1 所示的三菱 FX_{2N} 系列 PLC 外形图。

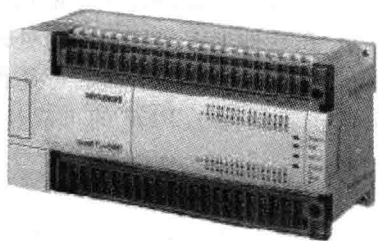
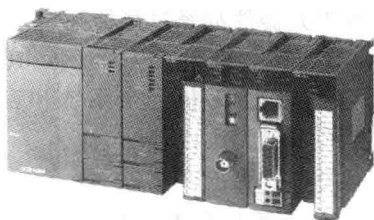
图 1-1 FX_{2N}系列 PLC 外形图

图 1-2 MELSEC-Q 系列 PLC 的外形图

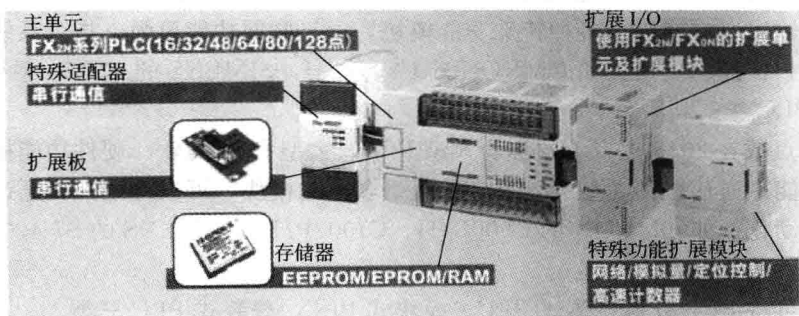
② 模块式 PLC。

输入/输出点数较多的大、中型和部分小型 PLC 采用模块式结构。

模块式 PLC 采用积木搭接的方式组成系统，便于扩展，其 CPU、输入、输出、电源等都是独立的模块，有的 PLC 的电源包含在 CPU 模块之中。PLC 由框架和各模块组成，各模块插在相应插槽上，通过总线连接。PLC 厂家备有不同槽数的框架供用户选用。用户可以选用不同档次的 CPU 模块、品种繁多的 I/O 模块和其他特殊模块，硬件配置灵活，维修时更换模块也很方便。采用这种结构形式的有 SIEMENS 的 S5 系列、S7-300、400 系列，OMRON 的 C500、C1000H 及 C2000H 等以及小型 CQM 系列。图 1-2 所示为三菱 MELSEC-Q 系列 PLC 的外形图。

③ 叠装式 PLC。

上述两种结构各有特色，整体式 PLC 结构紧凑、安装方便、体积小，易于与被控设备组成一体，但有时系统所配置的输入输出点不能被充分利用，且不同 PLC 的尺寸大小不一致，不易安装整齐；模块式 PLC 点数配置灵活，但是尺寸较大，很难与小型设备连成一体。为此开发了叠装式 PLC，它吸收了整体式和模块式 PLC 的优点，其基本单元、扩展单元等高等宽，它们不用基板，仅用扁平电缆连接，紧密拼装后组成一个整齐的体积小巧的长方体，而且输入、输出点数的配置也相当灵活。带扩展功能的 PLC，扩展后的结构即为叠装式 PLC，如图 1-3 所示的三菱公司 FX_{2N} 系列 PLC 外形图。

图 1-3 带扩展单元的 FX_{2N} 系列 PLC 的外形图

1.1.5 可编程控制器的应用

PLC 作为自动化领域重要的控制设备，应用非常广泛。其用途大致可以归纳为以下几个方面。

(1) 开关量的逻辑控制

这是 PLC 最基本、最广泛的应用领域。PLC 具有“与”、“或”、“非”等逻辑指令，可

以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，可用于单机控制、多机群控、自动化生产线的控制等。例如注塑机、印刷机、电梯的控制、饮料灌装生产流水线、汽车、化工、造纸、轧钢自动生产线的控制等。

(2) 模拟量控制

在工业控制过程中，有许多连续变化的量，如温度、压力、流量、液位和速度等都是模拟量。为了使 PLC 处理模拟量，必须实现模拟量和数字量之间的 A/D 转换及 D/A 转换。PLC 制造厂商都有配套的 A/D 和 D/A 模块，使 PLC 可以很方便地用于模拟量控制。

(3) 运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。早期直接用开关量 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，如可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能，广泛地应用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

(4) 过程控制

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。PID 控制功能是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法。目前的大中型 PLC 都有 PID 模块，许多小型 PLC 也具有 PID 功能。PID 控制功能一般是运行专用的 PID 子程序。过程控制在钢铁冶金、精细化工、锅炉控制、热处理等场合有非常广泛的应用。

(5) 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、字逻辑运算以及求反、循环、移位、浮点数运算）、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、分析及处理。这些数据可以与储存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。数据处理通常用于大、中型控制系统，如柔性制造系统、机器人的控制系统。

(6) 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 和其他智能控制设备（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，以满足工厂自动化系统发展的需要。各 PLC 或远程 I/O 按功能各自放置在生产现场分散控制，然后采用网络连接构成集中管理信息的分布式网络系统。

【任务 1.2】 学习 PLC 的结构和工作原理

1.2.1 可编程控制器的结构

PLC 实质上是一种专门用于工业控制的通用计算机，虽然各国生产的 PLC 外形各异，但其控制系统硬件结构基本相同。PLC 主要由 CPU 与存储器模块、输入模块、输出模块和编程器组成，如图 1-4。PLC 的特殊功能模块用来完成某些特殊的任务。

(1) CPU

在 PLC 控制系统中，CPU 相当于一个人的大脑和心脏，它不断地采集输入信号，执行用户程序，刷新系统的输出，负责 PLC 系统协调一致的工作。

(2) 存储器模块

PLC 的存储器分为系统程序存储器和用户程序存储器。系统程序相当于个人计算机的

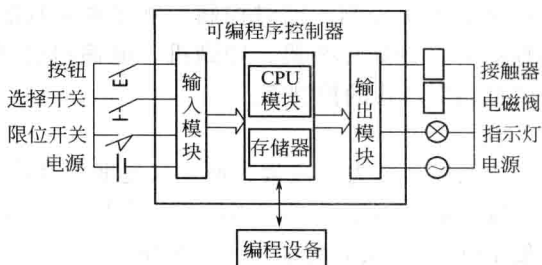


图 1-4 PLC 控制系统结构框图

操作系统，它使 PLC 具有基本的智能，能够完成 PLC 设计者规定的各种工作。系统程序由 PLC 生产厂家设计并固化在 ROM，用户不能直接读取。用户程序由用户设计，它决定了 PLC 的输入信号与输出信号之间的具体关系。

PLC 常用存储器有以下几种。

① 随机存取存储器 (RAM) 用户可以用编程器读出 RAM 中的内容，也可以

将用户程序写入 RAM，因此 RAM 又叫读/写存储器。它是一种易失性存储器，电源断开后，储存的信息会丢失。RAM 的工作速度快，价格低，改写方便。为了在关断 PLC 外部电源后，保存 RAM 中的用户程序和某些数据，为 RAM 配备了一个锂电池。目前部分 PLC 仍用 RAM 来储存用户程序。锂电池可用 2~5 年，使用寿命与环境温度有关。需要更换锂电池时，PLC 面板上的“电池电压过低”发光二极管亮，同时有一个内部标志位 M8005 变为 1 状态，可以用它的常开触点来接通控制面板上的指示灯或声光报警器，通知用户及时更换锂电池。

② 只读存储器 (ROM) ROM 中的内容只能读出，不能写入。它是一种非易失性存储器，电源消失后，仍能保存储存的内容。ROM 一般用来存放 PLC 的系统程序。

③ 可电擦除的 EEPROM (EEPROM 或 E²PROM) 它和 ROM 一样也是非易失性的，但可以用编程器对它编程，兼有 ROM 的非易失性和 RAM 的随机存取优点。在对它写入信息时，所需的时间比 RAM 长得多，EEPROM 用来存放用户程序。

(3) 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，起着 PLC 和外围设备之间传递信息的作用。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、压力继电器等送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 5V，而 PLC 的输入/输出信号电压较高，例如 DC24V 和 AC220V。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。

(4) 编程设备

编程设备可以是专用的手持编程器，或者是安装了编程软件的计算机，它们用来生成、编辑、检查和修改用户程序，还可以用来监视用户程序的执行情况。手持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。

现在的趋势是用计算机和编程软件来取代手持编程器。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和指令表程序，可以实现不同编程语言的相互转换。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。

(5) 电源

PLC 一般使用 AC220V 或 DC24V 电源。内部的开关电源为各模块提供 DC5V、DC±12V 和 DC24 等电源。小型 PLC 可以为输入电路和外部的电子传感器提供 DC24V 电源，驱动 PLC 负载的直流电源一般由用户提供。此外，PLC 还为掉电保护电路提供了后备电池。

除了上面介绍的几个主要部分外，PLC 上还常常配有连接各种外围设备的接口，并均留有插座，可通过电缆方便地配接诸如串行通信模块、EPROM 写入器、打印机、录音机等。

1.2.2 可编程控制器的工作原理

PLC 有两种基本的工作模式，即运行 (RUN) 模式与停止 (STOP) 模式。在运行模式时，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。PLC 重复执行用户程序都是以循环扫描方式完成的。

(1) 扫描的概念

所谓扫描，就是 CPU 依次对各种规定的操作项目进行访问和处理。PLC 运行时，用户程序中有许多操作需要执行，但 CPU 每一时刻只能执行一个操作而不能同时执行多个操作。因此，CPU 只能按程序规定的顺序依次执行各个操作，这种需要处理多个作业时依次按顺序处理的工作方式称为扫描工作方式。

扫描是周而复始、不断循环的，每扫描一个循环所用的时间称为扫描周期。

循环扫描工作方式是 PLC 的基本工作方式。具有简单直观、方便用户程序设计，先扫描的指令执行结果马上可被后面扫描的指令利用，可通过 CPU 设置定时器监视每次扫描时间是否超过规定，避免进入死循环等优点，为 PLC 的可靠运行提供了保证。

(2) 可编程控制器的工作过程

PLC 的工作过程基本上就是用户程序的执行过程，它是在系统软件的控制下，依次扫描各输入点状态 (输入采样)，按用户程序解算控制逻辑 (程序执行)，然后顺序向各输出点发出相应的控制信号 (输出刷新)。除此之外，为提高工作可靠性和及时接收外部控制命令，每个扫描周期还要进行故障自诊断 (自诊断)，处理与编程器、计算机的通信请求 (与外设通信)。PLC 的扫描工作过程如图 1-5 所示。

① 自诊断 PLC 每次扫描用户程序前，对 CPU、存储器、I/O 模块等进行故障诊断，发现故障或异常情况则转入处理程序，保留现行工作状态，关闭全部输出，停机并显示出错误信息。

② 与外设通信 在自诊断正常后，PLC 对编程器、上位机等通信接口进行扫描，如有请求便响应处理。以与上位机通信为例，PLC 将接收上位机发来的指令并进行相应操作，如把现场的 I/O 状态、PLC 的内部工作状态、各种数据参数发送给上位机，以及执行启动、停机、修改参数等命令。

③ 输入采样 完成前两步工作后，PLC 扫描各输入点，将各点状态和数据 (开关的通/断、A/D 转

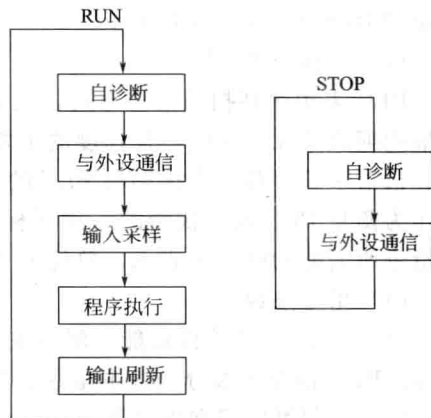


图 1-5 PLC 的扫描工作过程

换值、BCD 码数据等) 读入到寄存输入状态的输入映像寄存器中存储, 这个过程称为采样。在一个扫描周期内, 即使外部输入状态已发生改变, 输入映像寄存器中的内容也不改变。

④ 程序执行 PLC 从用户程序存储器的最低地址 (0000H) 开始顺序扫描 (无跳转情况), 并分别从输入映像寄存器和输出映像寄存器中获得所需的数据进行运算、处理, 再将程序执行的结果写入输出映像寄存器中保存, 但这个结果在全部程序执行完毕之前不会送到输出端口上。

⑤ 输出刷新 在执行完用户所有程序后, PLC 将输出映像寄存器中的内容送到寄存输出状态的输出锁存器中, 再去驱动用户设备, 称为输出刷新。

PLC 重复执行上述五个步骤, 按循环扫描方式工作, 实现对生产过程和设备的连续控制。直至接收到停止命令、停电、出现故障等才停止工作。

设上述五步操作所需时间分别为 T_1 、 T_2 、 \dots 、 T_5 , 则 PLC 的扫描周期为五步操作时间之和, 用 T 表示

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$$

不同型号的 PLC, 各步工作时间不同, 根据使用说明书提供的数据和具体的应用程序可计算出扫描时间。

总之, 采用循环扫描的工作方式, 是 PLC 区别于微机和其他控制设备的最大特点, 使用者对此应给予足够的重视。

1.2.3 可编程控制器的主要技术性能指标

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

如前所述, 输入/输出点数指的是外部输入、输出端子数量的总和, 又称为主机的开关量输入/输出点数, 它是描述可编程控制器大小的一个重要参数。

(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三部分组成。PLC 存储容量通常指用户程序存储器和数据存储器容量之和, 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。通常用 K 字 (KW)、K 字节 (KB) 或 K 位来表示, 其中 $1K=1024$, 也有的 PLC 直接用所能存放的程序量表示。在一些文献中称 PLC 存放程序的地址单位为“步”, 每一步占用两个字, 一条基本指令一般为一步。功能复杂的基本指令, 特别是功能指令, 往往有若干步。

(3) 扫描速度

PLC 采用循环扫描工作方式, 完成一次扫描所需要的时间叫做扫描周期, 扫描速度与扫描周期成反比。影响扫描速度的主要因素有用户程序长度和 PLC 的类型, 其中 PLC 的类型、机器字长等都会直接影响 PLC 的运算精度和运行速度。通常用执行 1000 步指令所需时间作为衡量 PLC 速度快慢的一项指标, 称为扫描速度, 单位为“ms/k”。有时也用执行一步指令所需要的时间来表示, 单位为“ $\mu\text{s}/\text{步}$ ”。

(4) 指令条数

这是衡量 PLC 软件功能强弱的主要指标。PLC 具有的指令种类越多, 说明其软件功能越强。PLC 指令一般分为基本指令和高级指令两部分。

(5) 内部继电器和寄存器

PLC 内部有许多继电器和寄存器, 用以存放变量状态、中间结果、数据等, 还有许多

具有特殊功能的辅助继电器和寄存器，如定时器、计数器、系统寄存器、索引寄存器等。用户通过使用它们，可简化整个系统的设计。因此内部继电器、寄存器的配置情况是衡量 PLC 硬件功能的一个指标。

(6) 编程语言及编程手段

编程语言一般分为梯形图、助记符语句表、控制系统流程图等几类，不同厂家的 PLC 编程语言类型有所不同，语句也各异。编程手段主要是指用何种编程设备，编程设备一般分为手持编程器和带有相应编程软件的计算机两种。

(7) 可扩展性

小型 PLC 的基本单元（主机）多为开关量 I/O 接口，各厂家在 PLC 基本单元的基础上大力发展模拟量处理、高速处理、温度控制、通信等智能扩展模块。智能扩展模块的多少及性能也已成为衡量 PLC 产品水平的标志。

另外，PLC 的可靠性、易操作性、外形尺寸、保护等级、适用温度、相对湿度、大气压等性能指标也较受用户的关注。

1.2.4 可编程控制器的编程语言

PLC 是一种工业控制计算机，不光有硬件，软件也必不可少。PLC 的编程语言目前主要有以下几种：梯形图编程语言、助记符语言、顺序功能图编程语言、功能块图编程语言和某些高级语言等。

(1) 梯形图编程语言

该语言习惯上叫梯形图。梯形图在形式上沿袭了传统的继电器控制电路形式，或者说，梯形图编程语言是在电气控制系统中常用的继电器、接触器逻辑控制基础上简化了符号演变而来的，它形象、直观、实用，电气技术人员容易接受，是目前用得最多的一种 PLC 编程语言。梯形图的画法如图 1-6 所示。

梯形图中的输入触点只有两种：常开触点（ —|— ）和常闭触点（ —|/— ），这些触点可以是 PLC 的外接开关对应的内部映像触点，也可以是 PLC 内部继电器触点，或内部定时、计数器的触点。每一个触点都有自己特殊的编号，以示区别。同一编号的触点可以有常开和常闭两种状态，使用次数不限。因为梯形图中使用的“继电器”对应 PLC 内的存储区某字节或某位，所用的触点对应于该位的状态，可以反复读取。PLC 有无数个常开和常闭触点，梯形图中的触点可以任意的串联、并联。

梯形图的格式要求如下。

① 梯形图按行从上至下编写，每一行从左往右顺序编写。PLC 程序执行顺序与梯形图的编写顺序一致。

② 图左、右两边垂直线称为起始母线、终止母线。每一逻辑行必须从起始母线开始画起，终止于继电器线圈或终止母线，PLC 终止母线也可以省略。

③ 梯形图的起始母线与线圈之间一定要有触点，而线圈与终止母线之间则不能有任何触点。

(2) 助记符语言

助记符语言又称指令语句表达式语言，它常用一些助记符来表示 PLC 的某种操作。它类似微机中的汇编语言，但比汇编语言更直观易懂。用助记符语言编写的程序较难阅读，其中逻辑关系很难一眼看出，所以在设计时一般使用梯形图语言。如果使用手持编程

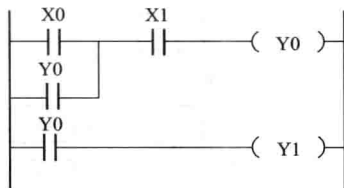


图 1-6 梯形图

器, 必须将梯形图转换成助记符语言后再写入 PLC。下面以三菱公司 FX 系列的指令语句来说明。

```
LD    X0    逻辑行开始, 输入 X0 常开接点
OR    Y0    并联 Y0 的自保接点
AND   X1    串联 X1 的常开接点
OUT   Y0    输出 Y0 逻辑行结束
LD    Y0    输入 Y0 常开接点逻辑行开始
OUT   Y1    输出 Y1 逻辑行结束
```

指令语句表是由若干条语句组成的程序。语句是程序的最小独立单元。每个操作系统由一条或几条语句执行。PLC 的语句表达形式与一般微机编程语言的语句表达式相类似, 也是由操作码和操作数两部分组成。操作码用助记符表示 (如 LD 表示取、AND 表示与等), 用来说明要执行的功能。操作数一般由标识符和参数组成。标识符表示操作数的类型, 例如表明是输入继电器、输出继电器、定时器、计数器、数据寄存器等。参数表明操作数的地址或一个预先设定值。

(3) 顺序功能图编程语言

顺序功能图 (SFC) 常用来编制顺序控制程序, 它主要由步、有向连线、转换、转换条件和动作 (或命令) 组成。顺序功能图法可以将一个复杂的控制过程分解为一些小的工作状态。对于这些小状态的功能依次处理后再把这些小状态依一定顺序控制要求连接成组合整体的控制程序。图 1-7 所示为采用顺序功能图编制的程序段。

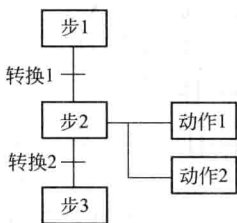


图 1-7 顺序功能图

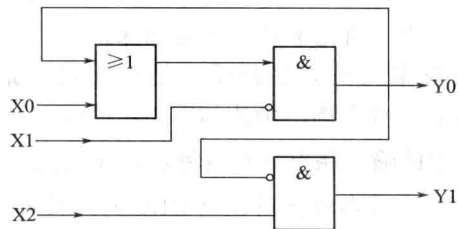


图 1-8 功能块图

(4) 功能块图编程语言

功能块图是一种类似于数字逻辑电路的编程语言, 用类似与门、或门的方框来表示逻辑运算关系, 方块左侧为逻辑运算的输入变量, 右侧为输出变量, 输入端、输出端的小圆点表示“非”运算, 信号自左向右流动。类似于电路一样, 方框被“导线”连接在一起。国内很少有人使用功能块图编程语言。图 1-8 所示为功能块图示例。

【任务 1.3】认识三菱 FX_{2N} 可编程控制器

1.3.1 三菱 PLC 系列

三菱公司是日本生产 PLC 的主要厂家之一。先后生产的产品有 F、F₁、F₂、FX_{2C}、FX_{2N}、FX_{2NC} 等系列, 其中 F 系列已经停产, 而 FX_{2N} 型 PLC 是三菱公司的典型产品, 属于高性能小型机, 系统最大 I/O 点数为 128 点, 配置扩展单元后可以达到 256 点。FX₂ 系列 PLC 在中国应用比较广泛。另外, 三菱公司还生产 A 系列 PLC, 它属于中大型 PLC。本书主要介绍的是日本三菱公司的 FX_{2N} 系列 PLC。