

可编程序 控制器

Ke Bian Cheng Xu Kong Zhi Qi Yuan Li Ji Ying Yong

原理及应用

第3版

主编 王卫兵 宋欣



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



可编程序控制器原理及应用

第 3 版

主 编 王卫兵 宋 欣
副主编 刘宏洋 谢怡宁



机械工业出版社

本书在介绍 PLC 基本概念和组成的基础上,系统地介绍了顺序控制基础和 PLC 的原理。并以 OMRON C200H PLC 为例,详细介绍了其结构配置、工作原理、I/O 单元、指令系统、编程方法、特殊功能单元以及系统扩展、通信和互连。还介绍了 DCS 的基本知识,在此基础上以 SIEMENS 和 MODICON PLC 为例,介绍了大型 PLC 网络系统和 DCS 理念的融合。最后系统地介绍了 PLC 控制系统的设计原则、调试和维护方法,并给出了大量应用实例。

本书的宗旨是使读者通过本书的学习,尽快系统地掌握 PLC 的基本工作原理和应用、扩展技术,并达到举一反三、熟练应用的效果。

本书可作为广大电气技术人员学习、培训等参考用书,也可以作为大专院校的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

可编程序控制器原理及应用/王卫兵,宋欣主编.—3 版.—北京:机械工业出版社,2009.8

ISBN 978-7-111-27774-3

I. 可… II. ①王…②宋… III. 可编程序控制器 IV. TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 119763 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:张沪光 责任编辑:张沪光 责任校对:李秋荣

封面设计:陈 沛 责任印制:邓 博

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009 年 9 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·24.25 印张·601 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-27774-3

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

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) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着可编程序控制器（PLC）系统及技术在我国工业控制领域及自动化工程中的普及和广泛应用，广大应用技术人员迫切需要系统地了解 PLC 的工作原理和应用，并广泛开展了 PLC 技术的学习和培训。在很多大专院校的计算机控制课程中也引入了 PLC 的内容，有的还专门开设了 PLC 原理与应用的课程。本书就是应这种形势的需要而编写的。

本书编写的宗旨是为广大读者提供一本内容完整、文字精炼、通俗易懂、系统介绍 PLC 原理与应用的学习、培训教材和应用参考资料。读者通过本书的学习，可以尽快、全面地掌握 PLC 的工作原理和应用技术，并通过掌握一种典型机型，达到举一反三、熟练应用的效果。

通过本书的学习，读者不仅可以全面掌握 PLC 的理论基础，而且对 PLC 的应用有一个全面、深入的了解，进而能够进行系统设计、开发和应用，通过本书的学习，能够解决广大自动化工程、机电一体化工程技术人员的燃眉之急，同时也能为大专院校的学生提供参考教材，为自动化系统用户的管理、维护人员提供设备选型、系统设计、系统维护的参考资料，必将受到广大读者的欢迎。

全书共分九章。第 1 章概述，简要介绍 PLC 的概念、组成、特点和发展趋势。第 2 章系统介绍顺序控制的理论基础和相关数学工具。第 3 章详细系统地介绍 PLC 的一般组成结构和各部件的工作原理。第 4~6 章以应用广泛的 OMRON C200H PLC 为例，详细介绍其结构、工作原理、指令系统、编程组态方法，特殊功能单元的原理及应用方法，系统通信、扩展技术及网络系统。第 7 章介绍集散控制系统的基本知识及 DCS 理念与 PLC 控制技术的融合。第 8 章介绍 PLC 控制系统的设计原则及应用实例。第 9 章介绍 PLC 的调试和维护。

全书由王卫兵、宋欣主编，刘宏洋、谢怡宁为副主编。本书的第 1 章由王卫兵编写；第 2、3 章由刘宏洋编写；第 4 章由谢怡宁编写；第 5 章由李建新编写；第 6 章由宋欣编写；第 7 章由罗智勇编写；第 8 章及附录由吴云钊编写；第 9 章由刘卫东编写；全书由孙宏主审。徐松源教授和高峻山教授参与和组织了本书的编写工作，并提出了许多指导意见，在此表示感谢。

编 者

目 录

前言	
第1章 概述	1
1.1 PLC的一般组成	1
1.1.1 PLC的基本组成	2
1.1.2 PLC的可选部件	3
1.2 PLC的特点及发展趋势	4
1.2.1 特点	4
1.2.2 发展趋势	5
第2章 顺序控制	7
2.1 顺序控制的系统功能及组成	7
2.1.1 系统功能	7
2.1.2 组成	8
2.2 顺序控制的数学工具	9
2.2.1 布尔代数	9
2.2.2 真值表	11
2.2.3 卡诺图	12
2.3 电气控制系统	14
2.3.1 常用电器元件及符号	14
2.3.2 常用典型的控制电路	17
2.3.3 电气控制系统的设计	19
2.4 顺序控制系统	19
2.4.1 逻辑组合式顺序控制器	20
2.4.2 步进式顺序控制器	22
第3章 可编程序控制器	28
3.1 PLC的工作原理	28
3.1.1 基本原理	28
3.1.2 扫描原理	28
3.1.3 建立I/O映像区	29
3.1.4 智能模块的开发	30
3.1.5 输入/输出操作	30
3.1.6 中断输入处理	30
3.2 PLC的硬件配置	31
3.2.1 中央处理单元	31
3.2.2 存储器	32
3.2.3 输入/输出模块	33
3.2.4 编程器	39
3.2.5 智能接口模块	40
3.3 PLC的软件编制	40
3.3.1 梯形图编程	40
3.3.2 命令语句表达式编程	41
3.4 PLC的基本技术指标	42
3.4.1 存储器容量	42
3.4.2 扫描周期	43
3.4.3 编程语言	45
3.4.4 I/O总点数	45
3.5 OMRON系列PLC	46
第4章 OMRON C200H PLC	50
4.1 C200H PLC的系统组成及特点	50
4.1.1 系统组成	50
4.1.2 系统特点	51
4.2 C200H PLC各组成部分的功能	52
4.2.1 安装机架	52
4.2.2 CPU单元	52
4.2.3 存储器单元	52
4.2.4 I/O接口单元及特殊功能单元	53
4.3 基本I/O单元的原理与功能	54
4.3.1 输入单元	54
4.3.2 输出单元	56
4.4 C200H PLC存储区分配及CPU工作流程	57
4.4.1 存储区分配	57
4.4.2 CPU的工作流程及扫描时间、I/O响应时间	66
4.5 OMRON C200H PLC指令系统	75
4.5.1 基本指令	75
4.5.2 连锁IL(02)与连锁清除ILC(03)	76
4.5.3 暂存继电器TR	77
4.5.4 跳转JMP(04)和跳转结束	

JME (05)	78	5.2.1 性能特点	148
4.5.5 锁存继电器 KEEP (11)	79	5.2.2 开关设置	148
4.5.6 微分指令 DIFU (13) 和 DIFD (14)	79	5.2.3 内部结构和工作原理	148
4.5.7 定时器和计数器指令	80	5.2.4 单元功能	152
4.5.8 数据移位指令	82	5.3 C200H-TS001/TS101 温度 传感器单元	154
4.5.9 数据传送指令	87	5.3.1 性能特点	154
4.5.10 数据比较指令	92	5.3.2 开关设置	154
4.5.11 数制转换指令	93	5.3.3 工作原理	155
4.5.12 BCD 运算指令	100	5.4 C200H-PID01/02/03 PID 单元	158
4.5.13 二进制数运算指令	106	5.4.1 性能和特点	159
4.5.14 逻辑运算指令	107	5.4.2 开关设置	160
4.5.15 子程序	110	5.4.3 PID 单元的功能	161
4.5.16 步进指令	112	5.4.4 PID 单元的数据区分配	162
4.5.17 专用指令	113	5.5 C200H-CT001/CT002 高速 计数单元	168
4.6 C200H PLC 的编程及编 程器	117	5.5.1 性能特点	169
4.6.1 编程步骤	117	5.5.2 开关设置	169
4.6.2 编程原则及编程技巧	119	5.5.3 计数单元的工作模式	170
4.6.3 编程器	124	5.5.4 计数器的输入和复位条件	172
4.7 OMRON C200HS PLC	125	5.6 C200H-NC111/NC211 位置 控制单元	174
4.7.1 C200HS 的技术指标	125	5.6.1 性能特点	174
4.7.2 C200HS 的改进	126	5.6.2 位置控制系统的结构	175
4.7.3 C200HS 与 C200H 的比较	128	5.6.3 位置控制单元的主要功能	175
4.7.4 C200HS 与 C200H 的兼容	131	5.7 C200H PLC 的其他特殊功能 单元	176
4.8 OMRON SYSMAC α 系列 PLC	132	5.7.1 高密度多点 I/O 单元	176
4.8.1 α 系列 PLC 的特点	132	5.7.2 温度控制单元	177
4.8.2 α 系列 PLC 的型号和主要技术 指标	133	5.7.3 模拟定时器单元	177
4.8.3 SYSMAC α 与 C200H/HS 的 比较	135	5.7.4 凸轮位置控制器单元	179
第 5 章 C200H PLC 特殊功能 I/O 单元	137	5.7.5 模糊逻辑控制单元	179
5.1 C200H-AD001/DA001 模拟量 I/O 单元	139	5.7.6 ID 传感器单元	180
5.1.1 C200H-AD001 模拟量输入 单元	139	5.7.7 语音单元	180
5.1.2 C200H-DA001 模拟量输出 单元	144	5.7.8 ASCII 单元	181
5.2 C200H-AD002 模拟量输入 单元	148	5.7.9 通信用特殊功能单元	181
		第 6 章 OMRON PLC 的通信与 扩展	182
		6.1 远程 I/O 系统	186
		6.1.1 远程 I/O 系统的特点和基本	

部件	186	7.5.2 过程管理级	260
6.1.2 远程 I/O 的系统构成	188	7.5.3 生产管理级	260
6.1.3 不同 CPU 型号间 I/O 模块的连接方法	191	7.5.4 工厂经营管理级	260
6.1.4 链接适配器的使用	192	7.6 DCS 的硬件结构	261
6.1.5 C200H 远程 I/O 的设定方法	192	7.6.1 DCS 的过程控制级	261
6.1.6 远程 I/O 系统总输入输出点数	194	7.6.2 现场控制站的结构	262
6.1.7 远程 I/O 系统的配线	194	7.6.3 过程控制级中的智能调节器与 PLC	270
6.2 PLC 链接系统	196	7.6.4 DCS 的操作员站和工程师站	274
6.2.1 系统特点	196	7.7 DCS 理念与 PLC 控制技术的融合	282
6.2.2 运行分级和轮流查询	196	7.7.1 SIEMENS PLC 的全集成自动化	283
6.2.3 系统构成	197	7.7.2 SIEMENS PLC 集成通信网络	284
6.2.4 链接适配器的使用	200	7.7.3 SIMATIC NET 工业网络与现 代 IT 技术的融合	287
6.2.5 链接适配器的连接	200	7.7.4 MODICON PLC 的透明工厂 概念	292
6.2.6 数据交换和编程	201	第 8 章 PLC 控制系统设计与应用	
6.3 串行通信系统	207	实例	296
6.3.1 上位机链接通信	207	8.1 系统设计原则	296
6.3.2 RS-232C 通信	213	8.1.1 了解并列出的被控系统的工 艺要求和基本工作流程	296
6.3.3 一对一 PLC 链接	217	8.1.2 控制方案的确定	296
6.3.4 NT 链接	218	8.1.3 系统设计	296
6.3.5 通信协议宏功能	219	8.2 系统设计举例	300
6.3.6 串行通信指令	225	8.2.1 系统工作原理	300
6.4 网络系统	231	8.2.2 系统硬件设计	301
6.4.1 以太网系统	232	8.2.3 系统软件设计	301
6.4.2 CompoBus/D 设备网络	233	8.3 其他应用实例	307
6.4.3 CompoBus/S I/O 网络	239	8.3.1 OMRON 系列 PLC 在液体搅 拌器中的应用	307
6.4.4 Controller Link PLC 网络	243	8.3.2 PLC 在三层楼电梯控制中的 应用	308
6.4.5 SYSMAC NET 与 SYSMAC Link 系统	244	8.3.3 PLC 在多工步机床控制中的 应用	309
6.4.6 网络指令	246	8.3.4 PLC 在交通信号灯控制中的 应用	313
第 7 章 集散控制系统与 PLC	253	8.4 PLC 网络系统的设计及应用 实例	315
7.1 DCS 的概念	253	8.4.1 PLC 网络系统设计的一般 原则	315
7.2 DCS 的设计思想及特点	254		
7.3 DCS 的发展概况	256		
7.4 DCS 的体系结构	256		
7.4.1 中央计算机集中控制系统的 形成	256		
7.4.2 DCS 层次化体系结构的形成	256		
7.4.3 DCS 功能分层体系	258		
7.5 DCS 体系结构中各层的功能	259		
7.5.1 直接控制级	259		

8.4.2 PLC 网络系统的设计	316	9.3.2 控制系统接地	342
8.4.3 PLC 在大型市政供排水综合系统 中的应用	319	9.3.3 防 I/O 信号干扰	342
第 9 章 PLC 系统的调试及维护与 检修	331	9.3.4 防外部配线干扰	344
9.1 系统调试	331	9.4 PLC 的维护与检修	344
9.1.1 程序调试的正确定义	331	9.4.1 系统的试运行	345
9.1.2 程序调试的方法	332	9.4.2 PLC 的自检	345
9.1.3 程序纠错	337	9.4.3 故障检查流程	346
9.2 系统的可靠性	338	9.4.4 维护和检修	353
9.2.1 运行环境的改善	338	附录	357
9.2.2 控制系统的冗余	340	附录 A C200H PLC 指令系统— 览表	357
9.2.3 控制系统的供电	340	附录 B C200H PLC 指令执行 时间	373
9.3 系统的抗干扰	341	参考文献	378
9.3.1 抗电源干扰	341		

第 1 章 概 述

近年来，随着大规模集成电路的发展，使得以微处理机为核心组成的可编程序控制器（PLC）得到了迅速发展，并广泛应用于各种领域中，以满足现代化大生产中高效和大量的自动化要求。如电动机的起停，电磁阀的开闭，产品的计数，温度、压力、流量的设定与控制等。

日本电气控制学会曾对 PLC 作了一个定义：“PLC 是将逻辑运算、顺序控制、时序、计数以及算术运算等控制程序，用一串指令形式存放到存储器中，然后根据存储的控制内容，经过模拟、数字等输入输出部件，对生产设备与生产过程进行控制的装置。”

可见 PLC 是基于计算机技术和自动控制理论而发展起来的，它既不同于普通的计算机，又不同于一般的计算机控制系统，作为一种特殊形式的计算机控制装置，它在系统结构、硬件组成、软件结构以及 I/O 通道、用户界面等诸多方面都有其特殊性。

早期的 PLC 主要用于顺序控制（例如代替以继电器控制板为主的各种顺序控制装置），今天 PLC 的应用已经不仅限于顺序控制，它已开始用于闭环过程控制（如 DDC），随着其扩展能力和通信能力的发展，它也越来越多地应用于复杂的分布式计算机控制系统中。PLC 自 1969 年问世以来，它按照成熟而有效的继电器控制概念和设计思想，利用不断发展的新技术、新器件，逐步形成一门较为独立的新型技术和具有特色的各种系列产品。

目前世界上各先进工业国都竞相开发、生产各类 PLC 产品，我国在引进国外产品的同时，也引进了该项技术，并组织 PLC 产品的开发和生产，并初步形成自己的 PLC 产业。在应用领域，PLC 也已成为解决自动控制问题的最便捷、最有效的工具。

1.1 PLC 的一般组成

虽然各种 PLC 产品的组成形式和功能特点各不相同，但它们在结构和组成上基本是相同的，一般由 CPU、存储器、输入/输出系统及其他可选部件四大部分组成，如图 1-1 所示。

PLC 在运行过程中，一般由 CPU、存储器和输入/输出系统三个部分即可完成预定的各种控制任务，因此可将这三部分称为 PLC 的基本组成部分。其他可选部件包括编程器、外存储器、模拟 I/O 盘、通信接口、扩展接口以及测试设备等，

主要用于系统的编程组态、程序存储、通信联网、系统扩展和系统测试、维护等，是 PLC 的辅助组成部分，在 PLC 正常运行期间这些部件并不起作用，它们主要用于系统的开发、安装、调试和维护。

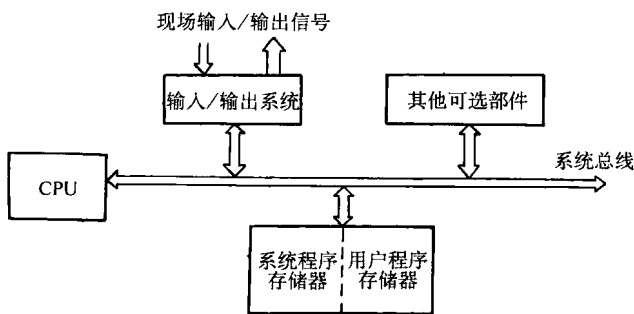


图 1-1 PLC 的一般组成

1.1.1 PLC 的基本组成

PLC 的基本组成部分包括 CPU、存储器和 I/O 系统三个部分。PLC 的系统程序和用户程序都存放在存储器中，现场输入信号经过 I/O 系统传送至 CPU，CPU 按照用户程序存储器里安放的指令，执行逻辑或算术运算，并发出相应的控制指令，该指令通过 I/O 系统传送到现场，驱动相应的执行机构动作，从而完成相应的控制任务。

1. CPU CPU 是 PLC 的核心，其作用类似于人的大脑。它能够识别用户按照特定的格式输入的各种指令，并按照指令的规定，根据当前的现场 I/O 信号的状态，发出相应的控制指令，完成预定的控制任务。另外，它还能识别用户所输入的指令序列的格式和语法错误，还具有系统电源、I/O 系统、存储器及其他接口的测试与诊断功能。CPU 与其他部件之间的连接是通过总线进行的。

目前各厂家生产的 PLC 已普遍采用了高性能的 8 ~ 32 位微处理器作为其 CPU。32 位的微处理器，时钟频率已达 25 ~ 33MHz，很多系统还配有浮点运算协处理器，因此数据处理能力大大提高，工作周期可缩短到 0.1 ~ 0.2s，并且可执行更为复杂的先进控制算法，如自整定、预测控制和模糊控制等。

2. 存储器 PLC 的存储器由系统程序存储器和用户程序存储器两部分组成。系统程序是由生产厂家预先编制的监控程序、模块化应用功能子程序、命令解释和功能子程序的调用管理程序及各种系统参数等组成的。用户程序是由用户编制的梯形图、输入/输出状态、计数/定时值以及系统运行必要的初始值、其他参数等。系统程序存储器容量的大小，决定了系统程序的大小和复杂程度，也决定了 PLC 的功能和性能。用户程序存储器容量的大小，决定了用户程序的大小和复杂程度，从而决定了用户程序所能完成的功能和任务的大小。

从存储器的性质来分，又可分为 ROM 和 RAM 两个部分。为了工作的安全可靠，大多数 PLC 采用了程序固化的运行方法，不仅将系统启动、自检及基本的 I/O 驱动程序写入 ROM 中，而且将各种控制、检测功能模块及所有固定参数也全部固化，用户组态的应用程序也固化在 ROM 中，亦即所有的系统程序和绝大部分的用户程序都存储在 ROM 中，因此在 PLC 的存储器中，ROM 占有较大的比例。只要一接通电源，PLC 就可正常运行，使用更加方便、可靠，但修改组态时要复杂一些。

RAM 为程序运行提供了存储实时数据与计算中间变量的空间，用户在线操作时需修改的参数（如设定值、手动操作值、PID 参数等）也须存入 RAM 中。另外，一些较先进的 PLC 提供了在线修改用户程序的功能，显然，这一部分用户程序也应存入 RAM 中。由于 PLC 一般不设磁盘机、磁带机，为防止突然断电时 RAM 中的内容丢失，一般采用具有备用电池的 SRAM 或 E²PROM 来代替 RAM。

3. 输入/输出系统 PLC 的输入/输出系统是过程状态与参数输入到 PLC 以及 PLC 实现控制时控制信号输出的通道。它提供了各种操作电平和驱动能力的输入/输出接口模块，以实现被控过程与 PLC I/O 接口之间的电平转换、电气隔离、串/并转换、A/D 与 D/A 转换等功能。根据它们所实现的功能不同，可将 I/O 通道分为以下几种：

1) 模拟量输入通道 (AI) 被控过程中各种连续的物理量，如温度、压力、压差、应力、位移、速度、加速度以及电流、电压等，只要有在线检测仪表将其转换为相应的电信号，均可送入模拟量输入通道进行处理。一般输入的电信号有毫伏级电压信号，4 ~ 20mA 或 0 ~ 10mA 电流信号，以及 0 ~ 5V、0 ~ 10V、1 ~ 5V 电压信号等。

2) 模拟量输出通道 (AO) 在控制被控对象的某些参数时, 往往需要输出连续变化的模拟信号来驱动执行机构进行调节。如控制各种直行程或角行程电动执行机构的行程, 通过调速装置控制各种电动机的转速, 或者通过电—气转换器或电—液转换器来控制各种气动或液动执行机构等, 均可通过模拟量输出通道来实现。模拟量输出通道一般是输出 4 ~ 20mA 电流信号, 但根据执行机构的需要也可输出 0 ~ 10mA 的电流信号或 1 ~ 5V、0 ~ 5V 的电压信号。

3) 开关量输入通道 (DI) 用来输入各种限位开关、继电器或电磁阀门的启闭状态、各种开关及手动操作按钮的开关状态等。输入信号一般为 0 ~ 24V 或 0 ~ 5V 直流电压信号, 但有时也可输入交流电压信号或干触点。

4) 开关量输出通道 (DO) 用于控制电磁阀门、继电器、指示灯、声/光报警器等, 一般只具有开、关两种状态的设备。根据所用器件的不同, 一般有继电器输出、晶体管输出和晶闸管输出等多种形式, 一般输出 0 ~ 24V 或 0 ~ 5V 直流电压信号, 有时根据需要也可输出交流电压信号。

5) 脉冲量输入通道 (PI) 现场仪表中的转速计、频率计、涡轮流量计、涡街流量计、罗茨式流量计等输出的测量信号均为脉冲信号, 脉冲量输入通道就是为输入这一类测量信号而设置的。

1.1.2 PLC 的可选部件

PLC 的可选部件是与 PLC 的运行没有依赖关系的一些部件, 它是 PLC 系统编程、调试、测试与维护等必备的设备, PLC 可以独立于这些可选部件而独立运行。可选部件包括编程器、小型盒式磁带机、I/O 信号模拟盘、I/O 扩展器和数据通信接口等。其功能如下。

1. 编程器 它是编辑、调试和装载用户程序的必备设备, 是 PLC 系统开发阶段所必需的开发工具。它一般通过标准通信接口或专用编程接口与 PLC 相连接, 完成用户程序的编辑录入、代码转换、调试排错及下装或固化等多种功能, 有的编程器还具有系统运行状况实时监视和在线编程的功能。

编程器有专用型和通用型两种: 专用型编程器一般是 PLC 所配的专用小型编程器, 功能简单, 携带和安装方便, 一般采用指令代码直接编程, 采用数码管显示指令内容和运行结果, 适合于系统调试阶段程序的修改和排错; 通用型编程器一般采用通用的台式个人计算机或便携计算机, 配以专用编程软件对 PLC 进行编程组态、程序调试和运行监视及设备测试等。它一般通过标准通信接口与 PLC 相连, 编程语言一般采用梯形图逻辑, 可以实现离线与在线编程, 适合作为大型系统的编程器, 以满足较复杂的用户程序的编程需要。

2. I/O 信号模拟盘 它是 PLC 系统开发与调试期间的辅助设备, 它能够输出 PLC 所需要输入的各种类型的开关量和模拟量信号, 且开关量信号的状态及模拟量信号的大小均可通过按钮或电位器方便地改变或调节, 同时它还能接收 PLC 所输出的各种类型的开关量和模拟量, 其状态和大小均可方便地通过指示灯指示而直观地显示出来。

I/O 信号模拟盘一般通过专用接口或标准通信接口、扩展接口与 PLC 相连, 它为 PLC 提供了一个模拟现场环境, 为 PLC 系统的开发调试带来了极大的方便。另外, 它还具备辅助的诊断、测试功能。

3. I/O 扩展器 它用于 PLC I/O 系统的扩展, 以增加 I/O 系统的点数, 以满足大型控制系统的需要。它一般通过专用 I/O 扩展接口或专用 I/O 扩展模块与 PLC 相连接。I/O 扩展

器本身还可具有扩展接口，可具备再扩展能力。

4. 数据通信接口 PLC 系统可实现各种标准的数据通信接口或网络接口，以实现 PLC 与 PLC 之间的链接或互连，或者实现 PLC 与其他具有标准通信接口的设备之间的连接，如编程器、磁带机、打印机、图形显示终端、工程师操作站、I/O 信号模拟盘、系统测试设备等。

1.2 PLC 的特点及发展趋势

1.2.1 特点

PLC 之所以得到迅速的发展和越来越广泛的应用，是因为它具有如下一些独特的良好特点：

1) 功能完善 PLC 的输入/输出系统功能完善，性能可靠，能够适应于各种形式和性质的开关量和模拟量信号的输入和输出。在 PLC 内部具备许多控制功能，诸如时序、计数器、主控继电器以及移位寄存器、中间继电器等。由于采用了微处理器，它能够很方便地实现延时、锁存、比较、跳转和强制 I/O 等诸多功能，它不仅具有逻辑运算、算术运算、数制转换以及顺序控制功能，而且还具备模拟运算、显示、监控、打印及报表生成等功能。此外，它还可以和其他微型计算机系统、控制设备共同组成分布式或分散控制系统，还能够实现成组数据传送、矩阵运算、闭环控制、排序与查表、函数运算及快速中断等功能。因此 PLC 具有极强的适应性，能够很好地满足过程控制的需要。

2) 模块化结构，硬、软件开发方便 PLC 的硬件结构全部采用模块化结构，可以适应大小规模不同、功能复杂程度及现场环境各异的各种控制要求。硬件系统安装方便，接线简单，连接可靠，为控制系统的硬件设计提供了方便、快捷的途径，可以大大缩短硬件系统的开发周期。

软件编程支持梯形图逻辑语言，直观、方便，只要有了通常的继电器梯形图、逻辑图或逻辑方程，就等于有了 PLC 系统用户程序，大大减轻了系统软件开发的工作量。另外，这一特点对于 PLC 系统取代原继电器控制系统，进行老设备改造是十分有利的。

总之，使用 PLC 可以大大缩短整个系统设计、生产、调试周期，节约系统投资。

3) 操作方便，维护、改造容易 PLC 的输入/输出系统能够直观地反映现场信号的变化状态，PLC 还能够通过各种方式直观地反映控制系统的运行状态，如内部工作状态、通信状态、I/O 点状态、异常状态、电源状态等均有醒目的指示，非常有利于运行、维护人员监视系统的工作状态。

PLC 采用梯形图逻辑编程，有利于电气操作人员对 PLC 的编程，使得操作人员可以方便地调整系统的编程和组态。

另外，PLC 的模块化结构，可以允许维护人员很方便地更换故障模块或在生产工艺流程改变时更改系统的结构和配置。

4) 性能稳定，可靠性高 PLC 产品都有其严格的技术标准，这些标准保证了 PLC 在恶劣的工业环境下的正常运行。它在电子线路、机械结构以及软件结构上都吸取了生产厂家长期积累的生产控制经验，主要模块均采用大规模与超大规模集成电路，I/O 系统设计有完善的通道保护与信号调理电路，在机械结构上对耐热、防潮、防尘、抗振等都有精心考虑，所有这些使得 PLC 具有较好的性能和较高的可靠性。一般平均无故障时间可达几万小时以上。

另外, PLC 还具有较完善的自诊断、自测试功能。并具有较高的性能/价格比。

1.2.2 发展趋势

随着微处理器技术的发展, PLC 也得到了迅速发展, 其技术和产品日趋完善。它不仅以其良好的性能特点满足了工业生产控制的广泛需要, 而且将通信技术和信息处理技术融为一体, 使得其功能日趋完善化。目前的高档 PLC 产品的功能已经可以和集散控制系统 (DCS) 相媲美, 在很多应用场合下, 大有取而代之之势。事实上, PLC 和 DCS 的发展相互渗透、相互融合, 最终将合二为一。一是 PLC 和 DCS 发展的总趋势。就目前来看, PLC 在 DCS 中所占比例越来越大, 甚至在很多过去由 DCS 控制的系统中, 现在 PLC 系统控制完全可以胜任。

当今, PLC 技术和产品的发展非常活跃, 各厂家不同类型的 PLC 品种繁多, 各具特色、各有千秋。综合起来看, PLC 的发展趋势有以下几个方面:

1) 系统功能完善化 现今的 PLC 在功能上已有很大发展, 它不再是仅仅能够取代继电器控制的简单逻辑控制器, 而是采用了功能强大的高档微处理器加上完善的输入/输出系统, 使得系统的处理能力和控制功能得到大大增强。同时它还采用了现代数据通信和网络技术, 配以交互图形显示及信息存储、输出设备, 使得 PLC 系统的功能日趋完美, 足以满足绝大多数的生产控制需要。

2) 体系结构开放化及通信功能标准化 大多数 PLC 系统都采用了开放性体系结构, 通过制定系统总线接口标准、扩展和通信接口标准, 使得其 PLC 系统能够根据应用需求的大小任意扩展。绝大多数公司推出的硬件产品均采用模块化、单元化结构, 根据应用需求确定模块的数量, 这样既减少了系统投资, 又保证了今后系统升级、扩展的需要。

目前各公司的总线、扩展接口及通信功能均是各自独立制定的, 还没有一个适合所有公司产品的统一标准, 但为满足用户多卖主环境下的广泛需求, 制定一个统一的、标准化的总线和扩展接口标准是势在必行的。在通信接口上, 虽然大多数产品采用了标准化接口, 但在通信功能上, 大多是非标准化的。为适应应用环境要求, 制定统一的、规范化的 PLC 产品标准是今后发展的必然趋势。

3) I/O 模块智能化及安装现场化 为了提高系统的处理能力和可靠性, 大多数 PLC 产品均采用了智能化 I/O 模块, 以减轻主 CPU 的负担, 同时也为 I/O 系统的冗余带来了方便。另一方面, 为了减少系统配线, 减少 I/O 信号在长线传输时引入的干扰, 很多 PLC 系统将其 I/O 模块直接安装在控制现场, 使得现场仪表、传感器、执行器和智能 I/O 模块一体化。现场安装的 I/O 模块通过通信电缆或光纤与主 CPU 进行数据通信, 完成信息的交换。

4) 功能模块专用化 为满足控制系统的特殊要求, 提高系统的响应速度, 很多 PLC 公司推出了专用化功能模块, 以满足系统诸如快速响应、闭环控制、复杂控制模式等特殊要求, 从而解决了 PLC 周期扫描时间过长的矛盾。如 OMRON 公司的位置控制单元、高速计数单元、模糊控制单元和 ID 传感器单元等均属专用化模块单元。

5) 编程组态软件图形化 为了给用户提供一个友好、方便、高效的编程组态界面, 大多数 PLC 公司均开发了图形化编程组态软件。该软件提供了简捷、直观的图形符号以及注释信息, 使得用户控制逻辑的表达更加直观、明了, 操作和使用也更加方便。

6) 硬件结构集成化、冗余化 随着专用集成电路 (ASIC) 和表面安装技术 (SMT) 在 PLC 硬件设计上的应用, 使得 PLC 产品硬件数量更少, 集成度更高, 体积更小, 其可靠性更高。同时, 为了进一步提高系统的可靠性, PLC 产品还采用了硬件冗余和容错技术。用户

可以选择 CPU 单元、通信单元、电源单元或 I/O 单元甚至整个系统的冗余配置，使得整个 PLC 系统的可靠性得以进一步加强。

7) 控制与管理功能一体化 为了更进一步满足控制需要，提高工厂自动化水平，PLC 产品广泛采用了计算机信息处理技术、网络通信技术和图形显示技术，使得 PLC 系统的生产控制功能和信息管理功能融为一体，进一步提高了 PLC 产品的功能，更好地满足了现代化大生产的控制与管理需要。

8) 发展方向 目前 PLC 正朝着两个方向发展：一是朝着小型、简易、价格低廉的方向发展，如日本 OMRON 公司的 CQM1、德国 SIEMENS 公司的 S7-200 等 PLC，这类 PLC 可以广泛地取代继电器控制（接线程序控制）系统，可用于单机控制和规模比较小的自动化生产线控制；二是朝着大型、高速、多功能和多层分布式全自动网络化方向发展，如日本 OMRON 公司的 CV2000、德国 SIEMENS 公司的 S7-400 等 PLC，这类 PLC 一般为多处理器系统，有较大的存储能力和功能很强的输入输出接口，这样的系统不仅具有逻辑运算、定时、计数等功能，还具备数值运算、模拟调节、实时监控、记录显示、计算机接口、数据传送等功能，而且还能进行中断控制、智能控制、过程控制、远程控制等，还可通过网络与上位机通信，配备数据采集系统、数据分析系统、彩色图像系统的操纵台，来管理、控制生产线、生产流程、生产车间或整个工厂，从而实现工厂自动化。

第2章 顺序控制

2.1 顺序控制的系统功能及组成

计算机开环数字程序控制的方式有多种，顺序控制是最常见的应用方式之一。

所谓顺序控制，就是根据生产工艺，按预先规定的顺序，在各个输入信号的作用下，使生产过程的各个执行机构自动地按顺序动作。顺序控制不仅广泛应用于多数中小企业的加工、装配、检验、包装等工作的自动化，而且在大型计算机控制的高度自动化工矿企业中，也是不可缺少的控制方式。

2.1.1 系统功能

顺序控制系统广泛应用于各个生产领域。下面举几个简单例子，说明其特点及对控制器的要求。

例 2-1 图 2-1 所示为送料小车控制系统。小车送料的顺序是从甲地出发，送料到乙地，然后空车返回甲地，再送料到丙地，最后空车返回甲地。之后重复循环上述过程。

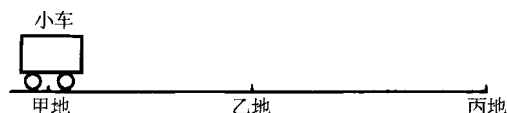


图 2-1 送料小车工作示意图

这个送料小车的控制系统，首先要顺序发出控制信号，其次要记忆上次送往何地，最后决定下次应该送往何地。

例 2-2 自动咖啡出售机，其控制框图如图 2-2 所示。若咖啡为 6 元一杯，则收满 6 元就送出咖啡一杯。若顾客送入的钱超过 6 元时，机器还要退回多余的钱。所以系统要记住收了多少钱，根据所收的钱数决定是否送出咖啡，以及是否退钱，退多少。

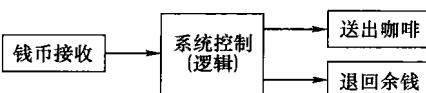


图 2-2 咖啡出售机控制框图

显然，该系统不仅需要做输入输出工作，而且要进行比较大小和加减法工作。由于数值简单，完全可以用逻辑判断来完成比较和加减工作。系统必须具备计数、记忆功能。

例 2-3 图 2-3 是原料混合和加热的控制系统，是重复进行的。装置的任务如下：

- 装入原料 A，使液面达到贮槽容积的一半；
- 装入原料 B，使液面进一步升到贮槽容积的 75%；
- 开始搅拌并加热到 95℃，在此恒定温度下维持 20min；
- 停止搅拌和加热，开动出料泵抽出混合液，一直到液位低于贮槽容

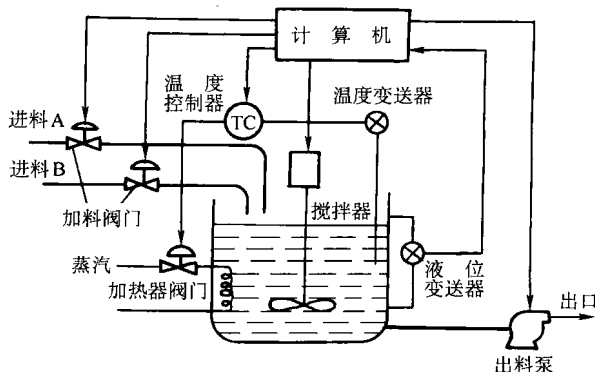


图 2-3 原料混合和加热控制系统

积的 5% 为止。

这个例子要求控制器有明确的顺序功能，互相之间的约束和禁止也很紧密。

有关顺序控制系统的应用实例可以举出很多，可见顺序控制系统是一种应用很广的控制系统。

对以上各例进行分析和综合，可以看出它们对控制器提出的基本功能要求如下：

- 1) 约束功能 即要求动作次序是一定的互相制约，不得随意变动。
- 2) 记忆功能 要求记住过去的动作，后面的动作由前面的动作情况来确定。

具有上述两种功能的控制就是顺序控制。

在顺序控制中，需要处理和控制的信号主要是离散信号。对于个别模拟信号，要用模数转换将其转换为二值化离散信号。此外，它对信号只是进行定性的处理和控制在。

在顺序控制中，必须处理好以下两个问题：

- a) 状态设计问题，用不同状态决定不同动作；
- b) 必须严格保证相互的约束关系或者定时关系。

2.1.2 组成

顺序控制器的种类很多，若按应用场合、复杂程度和使用条件等来区分，常见的有如下几种：接触式电气机械元件（继电器、接触器触点等）、非接触元件（半导体元器件、无触点开关、集成电路等）、存储式顺序控制装置、专用微型计算机顺序控制器和可编程微机顺序控制器（简称可编程序控制器）。

虽然顺序控制系统的种类较多，但典型的系统可归结为由 5 个部分组成。其框图如图 2-4 所示。

1) 控制器 这是系统的核心部分，它决定了控制系统的性能和应用范围。它接受输入控制信号，并对输入信号进行处理，产生具有各种控制作用的输出控制信号。

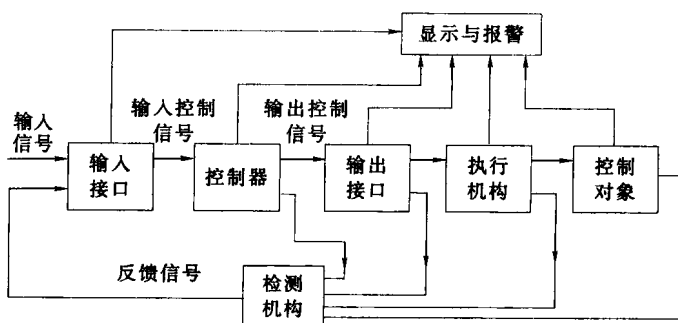


图 2-4 典型顺序控制系统的结构框图

设 X_i 是系统的现时输入， Y_i 是系统的现时输出状态， Z_i 是现时输出，它是现时输入和系统现在状态的函数。其输出输入的关系可表达为

$$Z_i = f(X_i, Y_i)$$

上述函数由输出编码器来实现。系统下一个状态为

$$Y_{i+1} = g(X_i, Y_i)$$

也就是说 Y_{i+1} 也是 X_i 和 Y_i 的函数。它可以用下一状态编码器实现。

由于系统在工作过程中，后一个动作要以前一个动作为参考，所以系统的状态 Y_i 靠记忆单元存储。有了记忆状态的记忆单元，使整个控制器发生质的变化，成为时序网络。

2) 输入接口电路 工业现场信号常常是非电量的，不能直接加到控制器中，需经传感器（称为一次仪表）变换为等效的电信号。具有上述功能的电路就是输入接口电路。

3) 输出接口电路 当控制器的输出控制信号电压（或电流）太小时，一般不能直接驱

动执行机构，所以要加输出接口电路，将信号进行相应的变换。

在前面例 2-1 中，小车的电动机是顺序控制对象。电动机是执行机构。因为控制器的输出信号是非常弱小的高低电平信号，所以必须要有一个接口电路把弱小电平“放大”为接触器能够随之动作的电压，再用接触器触点来控制电动机的主电路进行工作，以达到控制电动机的起动或停止的作用。

4) 检测部分 在实际的控制系统中，为了使系统工作得更加可靠准确，控制器应及时知道输出接口、执行机构和实际被控对象的工作情况，这就需要对这些部分的参数进行检测，然后将检测到的信号回送到控制器进行处理，最后输出可靠准确的控制信号。例如在例 2-1 中，甲、乙、丙三地必须装有行程开关，以便检测小车的准确位置。控制器根据检测到的小车的现在位置，发出准确的控制命令。

5) 显示与报警 因为系统在运行过程中可能发生故障，所以系统中应有故障显示和报警装置，及时通知工作人员故障在哪里及什么种类的故障。这部分也是不可缺少的。

2.2 顺序控制的数学工具

因为顺序控制中基本的量是离散的数字量，所以所用的数学工具是布尔代数、真值表、卡诺图等。下面简要地介绍一下这三方面的内容。

2.2.1 布尔代数

布尔代数也称为开关代数或逻辑代数，实际上它是一种因果关系代数。布尔代数也和一般代数一样，可以写成如下的函数表达式

$$Y = f(A, B, C, D, \dots)$$

它有两个特点：首先，其中的函数 Y 和变量 A 、 B 、 C 、 D 等均只有两种可能的数值，即 0 或 1。如用于开关电路中，则开关是变量（原因），0 代表打开（断路）或低电位；1 代表合上（通路）或高电位；灯亮与否是函数（结果），0 表示不亮，1 表示亮。如果用在逻辑电路中，对于某几个工作的方式和完成任务的关系，则工作方式是原因，0 代表错误，1 代表正确；完成任务与否是结果，0 表示没完成，1 表示完成。其次，函数 f 只有三种基本运算方式：“或”运算、“与”运算以及“反”（或称“非”）运算。

下面分别讲述这三种运算及其运算规律。

1. “或”运算

$$Y = A + B$$

或的逻辑运算，为说明这种关系，可用两个开关 A 和 B 并联控制灯 Y 的电路来说明。两个开关有一个合上（为 1）灯就亮（为 1）。式子 $Y = A + B$ 中的符号“+”不是算术运算中的加，而是代表“或”的逻辑关系。

由于 A 和 B 只有两种取值“0 或 1”，所以可将各种可能的结果归结为

$$Y = 0 + 0 = 0 \quad \text{灯灭}$$

$$Y = 0 + 1 = 1 \quad \text{灯亮}$$

$$Y = 1 + 0 = 1 \quad \text{灯亮}$$

$$Y = 1 + 1 = 1 \quad \text{灯亮}$$

前三个式子与一般的算术加法类同，只有最后一个式子不符合加法规律。这是因为 Y 只有两种取值可能，即 0（不亮）或 1（灯亮）。上述四式可归纳成一句话“有一个 1 即为