



普通高等教育“十二五”规划教材
电气工程、自动化专业规划教材

可编程控制器 原理及应用 (第2版)

胡学林 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电气工程、自动化专业规划教材

可编程控制器原理及应用

(第2版)

胡学林 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以我国目前应用最广和市场占有率最高的 SIMATIC S7-300 系列 PLC 为样机,从工程应用的角度出发,突出应用性和实践性,从以下方面介绍 PLC 的工作原理和 S7-300 系列 PLC 的应用:

- (1) PLC 的组成及工作原理;
- (2) S7-300 系列 PLC 的硬件系统、组态和指令系统,标准 STEP 7 编程软件的使用;
- (3) S7-300 系列 PLC 的数据结构及中断处理,采用结构化编程的工程实例;
- (4) S7-300 系列 PLC 的 PROFIBUS-DP 通信及 MPI 通信;
- (5) SIEMENS 公司的模拟软件 SIMATIC S7 PLCSIM 的功能及应用;
- (6) PLC 的课程设计指导。

本书可作为高等院校自动化、电气技术、机电一体化、计算机应用等相关专业的教材,也可作为广大电气工程技术人员的技术参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器原理及应用 / 胡学林编著. — 2 版. — 北京: 电子工业出版社, 2012. 7
电气工程、自动化专业规划教材
ISBN 978-7-121-17654-8

I. ①可… II. ①胡… III. ①可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TP332.3
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 160034 号

策划编辑: 凌 毅

责任编辑: 凌 毅 特约编辑: 张 莉

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.5 字数: 525 千字

印 次: 2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前 言

本书第1版自出版以来,经过5年多的教学实践,无论是从教材的内容体系上,还是教材的编写风格上,都受到了相关院校的师生及读者的认可,这些都是对作者的鼓励。

随着可编程控制器越来越多的应用,对可编程控制器的理解和认识越来越深入。尤其是近年来,可编程控制器的控制对象已经从单机、单站、单线逐步走向多机、多站、多线,可编程控制器的通信和组网已经日趋走向常态。为了适应这样的情况,很多院校和读者都希望在教材中增加可编程控制器的通信和组网的内容,本次修订就是为了满足这种需要而编写的。

然而,可编程控制器的通信及网络组态并不是一件很容易的事情,要涉及很多计算机数字通信的知识,还要与具体的机器型号相关。在此次修订中,仍然是以SIEMENS的S7系列PLC为基础,介绍了S7的通信网络。由于受到课时和篇幅的限制,此次修订主要介绍S7的PROFIBUS-DP通信及MPI通信。当然,S7的通信及组网还有其他形式,如果读者想进一步了解,可参阅有关的书籍及资料。

为帮助读者理解和掌握有关MPI及PROFIBUS-DP网络组态的具体步骤,本书从工程应用的角度出发,以较多的篇幅详细介绍了网络组态的过程,并列举了几个简单的实例,说明可编程控制器通信网络组态的基本思路。

本书以SIMATIC S7-300系列PLC为样机,从工程应用的角度出发,突出应用性和实践性。本书可作为高等院校自动化、电气技术、机电一体化、计算机应用等相关专业的教材,也可作为电大、职大相近专业的教材,还可作为广大电气工程技术人员的技术参考书。

本书的编写参考了大量资料的文献,在此谨向相关公司和作者表示衷心的感谢。

本书提供配套的电子课件,可登录华信教育资源网:www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。

本次修订改正了第1版中的个别错误,由于作者的水平有限,疏漏和错误在所难免,敬请专家、同仁及读者批评指正,不胜感谢!

作 者

2012年6月

目 录

第 1 章 可编程控制器概述	1	3.1 S7-300 的系统组成简介	38
1.1 可编程控制器的产生、定义和分类	1	3.1.1 S7-300 的结构特点	38
1.1.1 可编程控制器的产生	1	3.1.2 CPU 模板	39
1.1.2 可编程控制器的定义	2	3.1.3 信号模板(SM)	42
1.1.3 可编程控制器的分类	3	3.1.4 功能(FM)模板	51
1.2 可编程控制器的特点及主要功能	5	3.1.5 接口(IM)模板	57
1.2.1 可编程控制器的一般特点	5	3.1.6 电源(PS)模板 PS307	57
1.2.2 可编程控制器与继电器逻辑 控制系统的比较	7	3.1.7 通信处理器(CP)模板	58
1.2.3 可编程控制器与其他工业控制器 的比较	8	3.1.8 Ex 输入/输出模板	59
1.2.4 可编程控制器的主要功能	9	3.1.9 测试模板	60
1.3 可编程控制器的应用及发展趋势	10	3.1.10 编程设备 PG/PC	60
1.3.1 可编程控制器的应用现状	10	3.1.11 人机操作界面 HM1	60
1.3.2 可编程控制器的发展趋势	12	3.2 S7-300 的硬件组态	62
小结	13	3.2.1 S7-300 的编程元件	62
习题 1	13	3.2.2 S7-300 的 I/O 地址组态	64
第 2 章 可编程控制器的组成和 工作原理	14	3.2.3 S7-300 的地址编写方法	66
2.1 可编程控制器的结构和硬件组成	14	3.2.4 S7-300 的机架组态	66
2.1.1 可编程控制器的基本结构	14	3.3 S7-300 的编程软件 STEP 7	69
2.1.2 可编程控制器各个组成部分的 功能	15	3.3.1 STEP 7 的组成及功能	69
2.2 可编程控制器的软件及编程语言	27	3.3.2 STEP 7 的程序类型	71
2.2.1 系统软件	27	3.3.3 STEP 7 的程序结构	71
2.2.2 应用软件	28	小结	73
2.3 可编程控制器的基本工作原理	31	习题 3	73
2.3.1 PLC 控制系统的等效 工作电路	31	第 4 章 S7-300 的指令系统及编程	74
2.3.2 可编程控制器的工作过程	32	4.1 STEP 7 的数据类型和指令结构	74
2.3.3 PLC 对输入/输出的 处理规则	34	4.1.1 STEP 7 的数据类型	74
2.3.4 PLC 的扫描周期及 滞后响应	34	4.1.2 STEP 7 的指令结构	76
小结	37	4.2 S7-300 系列 PLC 的寻址方式	80
习题 2	37	4.3 位逻辑指令	82
第 3 章 S7-300 系列 PLC 的配置及组态	38	4.3.1 位逻辑运算指令	82
		4.3.2 位逻辑运算指令应用举例	88
		4.3.3 定时器指令	88
		4.3.4 定时器编程举例	92
		4.3.5 时钟存储器	93
		4.3.6 计数器指令	93
		4.3.7 计数器编程举例	96
		4.4 数据传送与转换指令	97
		4.4.1 数据装入与传送指令	97

4.4.2 转换指令	101	6.1.4 PLC控制系统的系统设计	153
4.5 运算指令	105	6.1.5 PLC控制系统的可靠性设计	154
4.5.1 算术运算指令	105	6.1.6 系统调试	155
4.5.2 字逻辑运算指令	108	6.1.7 程序存储及归档	157
4.5.3 比较指令	109	6.2 STEP 7 的结构化程序设计	157
4.6 移位指令	112	6.2.1 功能块及其组成	158
4.7 累加器操作和地址寄存器操作指令	114	6.2.2 功能块局部变量声明表	158
4.8 控制指令	116	6.2.3 形式参数与实际参数	159
4.8.1 逻辑控制指令	116	6.2.4 局部变量的数据类型	159
4.8.2 程序控制指令	118	6.2.5 功能块的调用过程及	160
4.9 S7-300 的系统功能模块简介	121	内存分配	160
小结	126	6.2.6 功能块(或功能)的编程及	161
习题 4	127	调用举例	161
第 5 章 S7-300 的组织块及中断处理	129	6.2.7 STEP 7 的数据块编程	163
5.1 组织块概述	129	6.2.8 数据块的数据结构	164
5.1.1 组织块的组成	131	6.3 程序设计应用举例	167
5.1.2 组织块的分类	131	6.3.1 十字路口交通信号灯的控制	167
5.2 循环执行的组织块	131	167
5.3 定期执行的组织块和中断处理	132	6.3.2 机械手的步进控制	172
5.3.1 日期时间中断组织块(OB10~OB17)	132	6.4 模拟量的检测和控制	180
和中断处理	132	6.4.1 模拟量的检测	180
5.3.2 循环中断组织块	133	6.4.2 模拟量的控制——连续 PID 控	182
(OB30~OB38)	133	制器 SFB41	182
5.4 事件驱动的组织块和中断处理	134	6.5 314C-2DP CPU 的高速计数器的编程	186
5.4.1 延迟中断组织块(OB20~OB23)	134	186
和中断处理	134	6.5.1 高速计数器的参数组态	186
5.4.2 异步故障中断组织块	135	6.5.2 高速计数器的接线	186
(OB80~OB87)	135	6.5.3 计数操作模式	188
5.4.3 同步故障中断	143	6.5.4 频率测量操作模式	191
(OB121 和 OB122)	143	6.5.5 脉冲宽度调制(PWM)操作模式	193
5.5 启动组织块和中断处理	145	193
5.6 背景组织块	147	小结	198
小结	147	习题 6	199
习题 5	147	第 7 章 SIEMENS PLC 工业通信网络简介	200
第 6 章 可编程控制器应用系统的设计	148	7.1 通信的基本概念	200
6.1 可编程控制器控制系统	148	7.1.1 通信的分类	200
总体设计	148	7.1.2 通信方式	201
6.1.1 可编程控制器控制系统设计	149	7.1.3 通信网络及其拓扑结构	201
的基本原则	149	7.1.4 介质访问控制方式	202
6.1.2 可编程控制器控制系统设计	149	7.1.5 串行通信及标准	204
的主要内容	149	7.2 SIEMENS S7 的工业通信网络及	205
6.1.3 可编程控制器控制系统设计	150	分类	205
的一般步骤	150		

7.2.1 S7 的通信网络	205	9.1 课程设计的目的、要求和主要内容	262
7.2.2 S7 的通信分类	207	9.1.1 课程设计的目的	262
7.3 PROFIBUS-DP 通信举例	208	9.1.2 课程设计的基本要求	262
7.4 MPI 通信举例	231	9.1.3 课程设计任务书	263
小结	237	9.1.4 课程设计报告的主要内容	263
习题 7	237	9.2 课程设计举例	266
第 8 章 STEP 7 的应用指导及调试方法	239	9.2.1 课程设计任务书	266
8.1 启动 SIMATIC 管理器并创建一个项目	239	9.2.2 系统配置及输入/输出继电器地址分配	267
8.2 组态中央机架和网络	240	9.2.3 系统的 I/O 接线图	268
8.2.1 组态中央机架	240	9.2.4 系统的流程图	269
8.2.2 组成分布式 I/O	241	9.2.5 用 STEP 7 编程语言进行软件设计	270
8.3 创建 OB1 程序及编辑符号表	243	9.3 课程设计选题	284
8.3.1 创建 OB1 程序	243	9.3.1 智力抢答器的 PLC 控制	284
8.3.2 编辑符号表	244	9.3.2 自动售货机的 PLC 控制	285
8.4 对功能块及功能的编程	244	9.3.3 注塑机的 PLC 控制	286
8.4.1 对功能块 FB 的编程	244	9.3.4 污水净化处理系统的 PLC 控制	286
8.4.2 对功能 FC 的编程	248	9.3.5 花样喷泉的 PLC 控制	290
8.5 对数据块的编程	250	9.3.6 脉冲除尘器的 PLC 控制	291
8.5.1 对共享数据块的编程	250	9.3.7 病床呼叫器的 PLC 控制	292
8.5.2 使用多重背景编程	251	9.3.8 水塔水位的 PLC 控制	293
8.6 下装和调试程序	254	9.3.9 包装生产线的 PLC 控制	295
8.6.1 建立在线连接	254	9.3.10 装/卸料小车多方式运行的 PLC 控制	296
8.6.2 下装程序到 CPU	254	9.3.11 5 层电梯的 PLC 控制	297
8.6.3 用程序状态测试程序	255	9.3.12 铣床的 PLC 控制	298
8.6.4 用变量表测试程序	255	9.3.13 显像管搬运机械手的 PLC 控制	299
8.6.5 评估诊断缓存区	256	9.3.14 变频调速恒压供水系统中的 PLC 控制	301
8.7 S7-PLC 模拟软件 S7-PLCSIM 简介	256	参考文献	304
8.7.1 S7-PLCSIM 的特性简介	256		
8.7.2 S7-PLCSIM 与真实 PLC 的差别	258		
8.7.3 S7-PLCSIM 的使用方法	259		
第 9 章 PLC 控制技术课程设计指导	262		

第 1 章 可编程控制器概述

可编程控制器(简称 PLC 或 PC),是随着现代社会生产的发展和技术进步,现代工业生产自动化水平的日益提高及微电子技术的飞速发展,在继电器控制的基础上产生的一种新型的工业控制装置,是将微型计算机技术、自动化技术及通信技术融为一体,应用到工业控制领域的一种高可靠性控制器,是当代工业生产自动化的重要支柱。

本章主要介绍以下内容:

- PLC 的产生、定义、分类;
- PLC 的特点和主要功能;
- PLC 与继电器控制系统的比较;
- PLC 与其他通用控制器(DCS、PID、IPC)的比较;
- PLC 的应用现状;
- PLC 的发展趋势。

本章的重点是掌握 PLC 的特点和主要功能,梯形图与继电器控制线路的联系和差别,PLC 与其他通用控制器的异同及适用范围,了解 PLC 的发展趋势。

1.1 可编程控制器的产生、定义和分类

1.1.1 可编程控制器的产生

一种新型的控制装置,一项先进的应用技术,总是根据工业生产的实际需要而产生的。

在可编程控制器产生之前,以各种继电器为主要元件的电气控制线路承担着生产过程自动控制的艰巨任务,可能由成百上千只各种继电器构成复杂的控制系统,需要用成千上万根导线连接起来,安装这些继电器需要大量的继电器控制柜,且占据大量的空间。当这些继电器运行时,又产生大量的噪声,消耗大量的电能。为保证控制系统的正常运行,需安排大量的电气技术人员进行维护,有时某个继电器的损坏,甚至某个继电器的触点接触不良,都会影响整个系统的正常运行。如果系统出现故障,要进行检查和排除故障又非常困难,全靠现场电气技术人员长期积累的经验。尤其是在生产工艺发生变化时,可能需要增加很多的继电器或继电器控制柜,重新接线或改线的工作量极大,甚至可能需要重新设计控制系统。尽管如此,这种控制系统的功能也仅仅局限在能实现具有粗略定时、计数功能的顺序逻辑控制。因此,人们迫切需要一种新的工业控制装置来取代传统的继电器控制系统,使电气控制系统工作更可靠、更容易维修、更能适应经常变化的生产工艺要求。

1968年,美国通用汽车公司(GM)为改造汽车生产设备的传统控制方式,解决因汽车不断改型而重新设计汽车装配线上各种继电器的控制线路问题,提出了著名的 10 条技术指标面向社会公开招标,要求制造商为其装配线提供一种新型的通用控制器,它应具有以下特点:

- ① 编程简单,可在现场方便地编辑及修改程序;
- ② 价格便宜,其性价比要高于继电器控制系统;
- ③ 体积要明显小于继电器控制柜;

- ④ 可靠性要明显高于继电器控制系统;
- ⑤ 具有数据通信功能;
- ⑥ 输入可以是 AC 115V;
- ⑦ 输出为 AC 115V, 2A 以上;
- ⑧ 硬件维护方便, 最好是插件式结构;
- ⑨ 扩展时, 原有系统只需做很小改动;
- ⑩ 用户程序存储器容量至少可以扩展到 4KB。

于是可编程控制器应运而生。1969年, 美国数字设备公司(DEC)根据上述要求研制出世界上第一台可编程控制器, 型号为 PDP-14, 并在 GM 公司的汽车生产线上首次应用成功, 取得了显著的经济效益。当时人们把它称为可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)。

随着微电子技术的发展, 20 世纪 70 年代中期以来, 由于大规模集成电路(LSI)和微处理器在 PLC 中的应用, 使 PLC 的功能不断增强, 它不仅能执行逻辑控制、顺序控制、计时及计数控制, 还增加了算术运算、数据处理、通信等功能, 具有处理分支、中断、自诊断的能力, 使 PLC 更多地具有了计算机的功能。

可编程控制器这一新技术的出现, 受到世界范围内工程技术界的极大关注, 纷纷投入力量研制。第一个把 PLC 商品化的是美国的哥德公司(GOULD), 时间也是 1969 年, 型号为 084。1971 年, 日本从美国引进了这项新技术, 研制出日本第一台可编程控制器 DSC-8。1973 年至 1974 年, 德国和法国也都相继研制出自己的可编程控制器, 德国西门子公司(SIEMENS)于 1973 年研制出欧洲第一台 PLC, 型号为 SIMATIC S4。我国从 1974 年开始研制, 1977 年开始工业应用。

可编程控制器从产生到现在, 尽管时间很短, 但由于其具有编程简单、可靠性高、使用方便、维护容易、价格适中等优点, 使其得到了迅猛的发展, 在冶金、机械、石油、化工、纺织、轻工、建筑、运输、电力等部门得到了广泛的应用。

1.1.2 可编程控制器的定义

1980 年, 美国电气制造商协会(NEMA)将可编程控制器正式命名为 Programmable Controller, 简称为 PC。

关于可编程控制器的定义, 因其仍在不断地发展, 所以国际上至今还未能对其下最后的定义。1980 年, NEMA 将可编程控制器定义为: “可编程控制器是一种带有指令存储器, 数字的或模拟的输入/输出接口, 以位运算为主, 能完成逻辑、顺序、定时、计数和算术运算等功能, 用于控制机器或生产过程的自动控制装置。”

1985 年 1 月, 国际电工委员会(IEC)在颁布可编程控制器标准草案第二稿时, 又对 PLC 作了明确定义: “可编程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和顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令, 并通过数字的或模拟的输入/输出接口, 控制各种类型的机器设备或生产过程。可编程控制器及其有关设备的设计原则是它应按易于与工业控制系统联成一个整体和具有扩充功能。”

该定义强调了可编程控制器是“数字运算操作的电子系统”, 它是一种计算机, 它是“专为工业环境下应用而设计”的工业控制计算机。

虽然可编程控制器的简称为 PC, 但它与近年来人们熟知的个人计算机(Personal Computer, 也简称为 PC)是完全不同的概念。为加以区别, 国内外很多杂志及在工业现场的工程技术人员, 仍然把可编程控制器称为 PLC。为了照顾到这种习惯, 在后续章节的介绍中, 仍称可编程控制器为 PLC。

1.1.3 可编程控制器的分类

可编程控制器具有多种分类方式,了解这些分类方式有助于 PLC 的选型及应用。

1. 根据 I/O 点数分类

PLC 的输入/输出点数表明了 PLC 可从外部接收多少个输入信号和向外部发出多少个输出信号,实际上也就是 PLC 的输入/输出端子数。根据 I/O 点数的多少可将 PLC 分为微型机、小型机、中型机、大型机和巨型机。一般来说,点数多的 PLC,功能也相应较强。

(1) 微型机

I/O 点数(总数)在 64 点以下,内存容量为 256B~1KB,称为微型机。微型机的结构为整体式,主要用于小规模开关量控制。

(2) 小型机

I/O 点数(总数)为 65~128 点,内存容量为 1~3.6KB,称为小型机。一般只具有逻辑运算、定时、计数和移位等功能,适用于中小规模开关量的控制,可用它实现条件控制、顺序控制等。有些小型 PLC,也增加了一些算术运算和模拟量处理等功能,能适应更广泛的需要。目前的小型 PLC 一般也具有数据通信等功能。

微型机和小型机的特点是价格低,体积小,适用于控制自动化单机设备,开发机电一体化产品。

(3) 中型机

I/O 点数为 129~512 点,内存容量为 3.6~13KB,称为中型机。它除了具备逻辑运算功能之外,还增加了模拟量输入/输出、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。中型机的软件比小型机丰富,在已固化的程序内,一般还有 PID 调节、整数/浮点运算等功能模块。

中型机的特点是功能强,配置灵活,适用于小规模的综合控制系统。

(4) 大型机

I/O 点数为 513~896 点,内存容量为 13KB,称为大型机。大型机的功能更加完善,具有数据运算、模拟调节、联网通信、监视记录、打印等功能。监控系统采用 CRT 显示,能够表示生产过程的工艺流程、各种曲线、PID 调节参数选择图等。大型机适用于具有诸如温度、压力、流量、速度、角度、位置等模拟量控制和大量开关量控制的复杂机械及连续生产过程控制的场合。

(5) 巨型机

I/O 点数大于 896 点,内存容量大于 13KB,称为巨型机。巨型机的特点是 I/O 点数特别多,控制规模宏大,组网能力强,可用于大规模的过程控制,构成分布式控制系统或整个工厂的集散控制系统。

上述划分方式并不十分严格,也不是一成不变的。随着 PLC 的发展,划分标准已经有过多次修改。

2. 根据结构形式分类

从结构上看,PLC 可分为整体式、模板式及分散式 3 种形式。

(1) 整体式 PLC

一般的微型机和小型机多为整体式结构。这种结构 PLC 的电源、CPU、I/O 部件都集中配置在一个箱体中,有的甚至全部装在一块印制电路板上。图 1-1 所示为 SIEMENS 公司的 S7-200 PLC,即为整体式结构。

整体式 PLC 结构紧凑,体积小,重量轻,价格低,容易装配在工业控制设备的内部,比较适合

于生产机械的单机控制。

整体式 PLC 的缺点是主机的 I/O 点数固定,使用不够灵活,维修也较麻烦。

(2) 模板式 PLC

模板式结构的 PLC 如图 1-2 所示。这种形式的 PLC 各部分以单独的模板分开设置,如电源模板、CPU 模板、输入模板、输出模板及其他智能模板等。这种 PLC(如 S7-400)一般设有机架底板,在底板上有若干插槽,使用时,各种模板直接插入机架底板即可。也有的 PLC(如 S7-300)为串行连接,没有底板,各个模板安装在机架导轨上,而各个模板之间是通过背板总线连接的。这种结构的 PLC 配置灵活,装备方便,维修简单,易于扩展,可根据控制要求灵活配置所需模板,构成功能不同的各种控制系统。一般中型机、大型机和巨型机均采用这种结构。

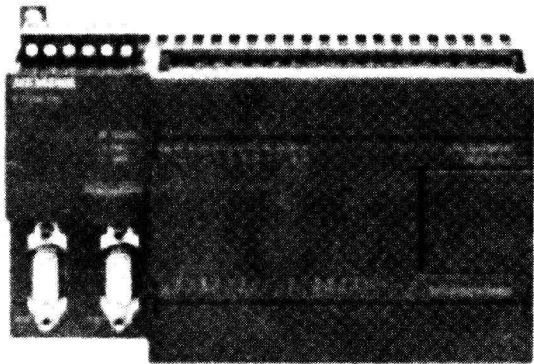


图 1-1 整体式 PLC(S7-200)的外观结构图

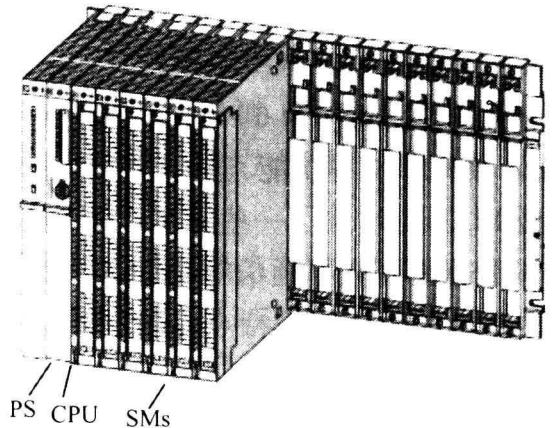


图 1-2 模板式 PLC(S7-400)外观结构图

模板式 PLC 的缺点是结构较复杂,各种插件多,因而增加了造价。

(3) 分散式 PLC

所谓分散式 PLC 的结构就是将可编程控制器的 CPU、电源、存储器集中放置在控制室,而将各 I/O 模板分散放置在各个工作站,由通信接口进行通信连接,由 CPU 集中指挥。

以上 3 种形式的可编程控制器的外观结构示意图如图 1-3 所示。

3. 根据用途分类

(1) 用于顺序逻辑控制

早期的可编程控制器主要用于取代继电器控制电路,完成如顺序、联锁、计时和计数等开关量的控制,因此,顺序逻辑控制是可编程控制器最基本的控制功能,也是可编程控制器应用最多的场合。比较典型的应用如自动电梯的控制、自动化仓库的自动存取、各种管道上的电磁阀的自动开启和关闭、皮带运输机的顺序启动,或自动化生产线的多机控制等,这些都是顺序逻辑控制。要完成这类控制,不要求可编程控制器有太多的功能,只要有足够数量的 I/O 点即可,因此可选用低档的可编程控制器。

(2) 用于闭环过程控制

对于闭环控制系统,除了要用开关量 I/O

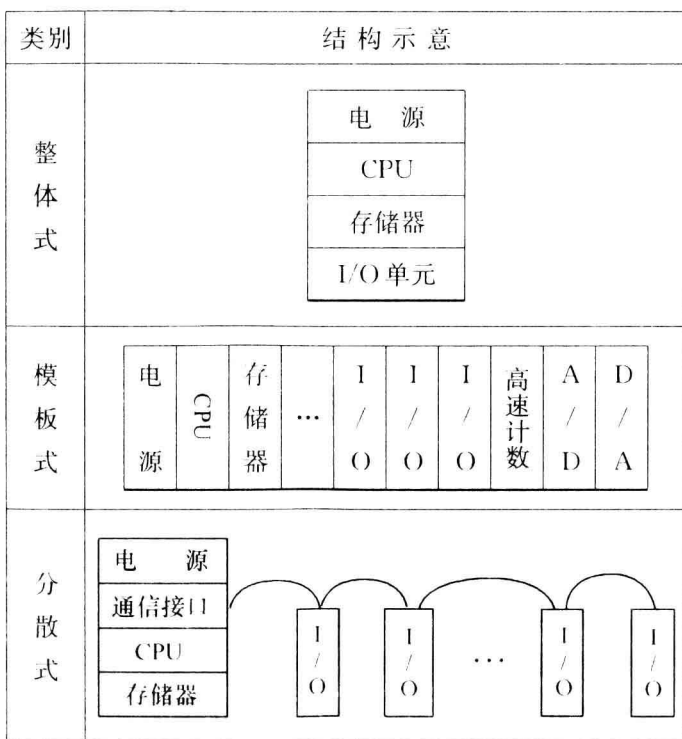


图 1-3 可编程控制器外观结构示意图

点实现顺序逻辑控制外,还要有模拟量的 I/O 点,以供采样输入和调节输出,实现过程控制中的 PID 调节,形成闭环过程控制系统。而中期的可编程控制器由于具有数值运算和处理模拟量信号的功能,可以设计出各种 PID 控制器。现在随着可编程控制器控制规模的增大,PLC 可控制的回路数已从几个增加到几十个甚至几百个,因此可实现比较复杂的闭环控制系统,实现对温度、压力、流量、位置、速度等物理量的连续调节。比较典型的应用如连轧机的速度和位置控制、锅炉的自动给水、加热炉的温度控制等。要完成这类控制,不仅要求可编程控制器有足够数量的 I/O 点,还要有模拟量的处理能力,因此对 PLC 的功能要求高,根据能处理的模拟量的多少,至少应选用中档的可编程控制器。

(3) 用于多级分布式和集散控制系统

在多级分布式和集散控制系统中,除了要求所选用的可编程控制器具有上述功能外,还要求具有较强的通信功能,以实现各工作站之间的通信、上位机与下位机的通信,最终实现全厂自动化,形成通信网络。由于近期的 PLC 都具有很强的通信和联网功能,建立一个自动化工厂已成为可能。显然,能胜任这种工作的可编程控制器为高档 PLC。

(4) 用于机械加工的数控控制和机器人控制

机械加工行业也是 PLC 广泛应用的领域,可编程控制器与 CNC(Computer Number Control)技术有机地结合起来,可以进行数字控制。由于 PLC 处理速度的不断提高和存储器容量的不断扩大,使 CNC 的软件不断丰富,用户对机械加工程序编制越来越方便。随着人工视觉等高科技技术的不断完善,各种性能的机器人相继问世,很多机器人制造公司也选用 PLC 作为机器人的控制器,因此 PLC 在这个领域的应用也将越来越多。

4. 根据生产厂家分类

PLC 的生产厂家很多,每个厂家生产的 PLC,其点数、容量、功能各有差异,但都自成系列,指令及外设向上兼容,因此在选择 PLC 时,若选择同一系列的产品,则可以使系统构成容易、操作人员使用方便,备品配件的通用性及兼容性好。比较有代表性的有:德国西门子(SIEMENS)公司的 S5 系列、S7 系列,日本欧姆龙(OMRON)公司的 C 系列,三菱(MITSUBISHI)公司的 FX 系列,日本松下(PANASONIC)公司的 FP 系列,法国施耐德(SCHNEIDER)公司的 TWIDO 系列,美国通用电气(GE)公司的 GE 系列,美国 AB 公司的 PLC-5 系列等。

1.2 可编程控制器的特点及主要功能

1.2.1 可编程控制器的一般特点

可编程控制器的种类虽然千差万别,但为了在工业环境中使用,它们都有许多共同的特点。

1. 抗干扰能力强,可靠性极高

工业生产对电气控制设备的可靠性的要求非常高,它应具有很强的抗干扰能力,能在很恶劣的环境下(如温度高、湿度大、金属粉尘多、距离高压设备近、有较强的高频电磁干扰等)长期连续可靠地工作,平均无故障时间(MTBF)长,故障修复时间短。而 PLC 是专为工业控制设计的,能适应工业现场的恶劣环境。可以说,没有任何一种工业控制设备能够达到可编程控制器的可靠性。在 PLC 的设计和制造过程中,采取了精选元器件及多层次抗干扰等措施,使 PLC 的平均无故障时间通常在 5 万小时以上,有些 PLC 的平均无故障时间可以达到几十万小时以上,如三菱公司的 F1、F2 系列的 MTBF 可达到 30 万小时,有些高档机的 MTBF 还要高得多,这是其他电气设备根本做不到的。

绝大多数的用户都将可靠性作为选取控制装置的首要条件,因此,PLC 在硬件和软件方面均采取了一系列的抗干扰措施。

在硬件方面,首先是选用优质器件,采用合理的系统结构,加固简化安装,使它能抗震动冲击。对印制电路板的设计、加工及焊接都采取了极为严格的工艺措施。对于工业生产过程中最常见的瞬间强干扰,采取的措施主要是采用隔离和滤波技术。PLC 的输入和输出电路一般都用光电耦合器传递信号,做到电浮空,使 CPU 与外部电路完全切断了电的联系,有效地抑制了外部干扰对 PLC 的影响。在 PLC 的电源电路和 I/O 接口中,还设置多种滤波电路,除了采用常规的模拟滤波器(如 LC 滤波和 II 型滤波)外,还加上了数字滤波,以消除和抑制高频干扰信号,同时也削弱了各种模板之间的相互干扰。用集成电压调整器对微处理器的 +5V 电源进行调整,以适应交流电网的波动和过电压、欠电压的影响。在 PLC 内部还采用了电磁屏蔽措施,对电源变压器、CPU、存储器、编程器等主要部件采用导电、导磁良好的材料进行屏蔽,以防外界干扰。

在软件方面,PLC 也采取了很多特殊措施,设置了“看门狗”WDT(Watching Dog Timer),系统运行时对 WDT 定时刷新,一旦程序出现死循环,使之能立即跳出,重新启动并发出报警信号。还设置了故障检测及诊断程序,用以检测系统硬件是否正常、用户程序是否正确,便于自动地做出相应的处理,如报警、封锁输出、保护数据等。当 PLC 检测到故障时,立即将现场信息存入存储器,由系统软件配合对存储器进行封闭,禁止对存储器的任何操作,以防存储信息被破坏。这样,一旦检测到外界环境正常后,便可恢复到故障发生前的状态,继续原来的程序工作。

这些有效的措施,保证了可编程控制器的高可靠性。

2. 编程简单方便

可编程控制器的设计是面向工业企业中一般电气工程技术人员,它采用易于理解和掌握的梯形图语言,以及面向工业控制的简单指令。这种梯形图语言既继承了传统继电器控制线路的表达形式(如线圈、触点、常开、常闭),又考虑到工业企业中的电气工程人员的读图习惯和微机应用水平。因此,梯形图语言对于企业中熟悉继电器控制线路图的电气工程技术人员是非常亲切的,它形象、直观,简单、易学,尤其对于小型 PLC 而言,几乎不需要专门的计算机知识,只要进行短暂几天甚至几小时的培训,就能基本掌握编程方法。因此,无论是在生产线的设计中,还是在传统设备的改造中,电气工程技术人员都特别愿意使用 PLC。

除了梯形图语言以外,PLC 还可以采用其他形式的编程语言,如 STL(语句表)语言、功能块图(FBD)、顺序功能图(SFC)及高级语言。

3. 使用方便

虽然 PLC 种类繁多,由于其产品的系列化和模板化,并且配有品种齐全的各种软件,用户可灵活组合成各种规模和要求不同的控制系统,用户在硬件设计方面,只是确定 PLC 的硬件配置和 I/O 通道的外部接线。在 PLC 构成的控制系统中,只需在 PLC 的端子上接入相应的输入/输出信号即可,不需要诸如继电器之类的固体电子器件和大量繁杂的硬接线电路。在生产工艺流程改变,或生产线设备更新,或系统控制要求改变、需要变更控制系统的功能时,一般不必改变或很少改变 I/O 通道的外部接线,只要改变存储器中的控制程序即可,这在传统的继电器控制中是难以想像的。PLC 的输入/输出端子可直接与交流 220V、直流 24V 等强电相连,并具有较强的带负载能力。

在 PLC 运行过程中,在 PLC 的面板上(或显示器上)可以显示生产过程中用户感兴趣的各种状态和数据,使操作人员做到心中有数,即使在出现故障甚至发生事故时,也能及时处理。

4. 维护方便

PLC 的控制程序可通过编程器输入到 PLC 的用户程序存储器中。编程器不仅能对 PLC 控制程序进行写入、读出、检测、修改,还能对 PLC 的工作进行监控,使得 PLC 的操作及维护都很方便。PLC 还具有很强的自诊断能力,能随时检查出自身的故障,并显示给操作人员,如 I/O 通道的状态、RAM 的后备电池的状态、数据通信的异常、PLC 内部电路的异常等信息。正是通过 PLC 这种完善的诊断和显示能力,当 PLC 本机或外部的输入装置及执行机构发生故障时,使操作人员能迅速检查、判断故障原因,确定故障位置,以便采取迅速有效的措施。如果是 PLC 本身故障,在维修时只需要更换插入式模板或其他易损件即可,既方便又减少了影响生产的时间。

有人曾预言,将来自动化工厂的电气工人,将一手拿着螺丝刀,一手拿着编程器。这也是可编程控制器得以迅速发展和广泛应用的重要因素之一。

5. 设计、施工、调试周期短

用可编程控制器完成一项控制工程时,由于其硬、软件齐全,所以设计和施工可同时进行。由于用软件编程取代了继电器硬接线实现的控制功能,使得控制柜的设计及安装接线工作量大为减少,缩短了施工周期。同时,由于用户程序大都可以在实验室里模拟调试,模拟调试后再将 PLC 控制系统在生产现场进行联机统调,使得调试方便、快速、安全,因此,大大缩短了设计和投运周期。

6. 易于实现机电一体化

因为可编程控制器的结构紧凑,体积小,重量轻,可靠性高,抗震防潮和耐热能力强,使之易于安装在机器设备内部,制造出机电一体化产品。随着集成电路制造水平的不断提高,可编程控制器体积将进一步缩小,而功能却进一步增强,与机械设备有机地结合起来,在 CNC 和机器人的应用中必将更加普遍,以 PLC 作为控制器的 CNC 设备和机器人装置将成为典型的机电一体化产品。

1.2.2 可编程控制器与继电器逻辑控制系统的比较

在可编程控制器出现之前,继电器硬接线电路是逻辑控制、顺序控制的唯一执行者,它结构简单,价格低廉,一直被广泛应用。但它与 PLC 控制相比有许多缺点,见表 1-1。

表 1-1 可编程控制器与继电器逻辑控制系统的比较

比较项目	继电器逻辑控制系统	可编程控制器
控制逻辑	接线逻辑,体积大,接线复杂,修改困难	存储逻辑,体积小、连线少,控制灵活,易于扩展
控制速度	通过触点的开闭实现控制作用,动作速度为几十毫秒,易出现触点抖动	由半导体电路实现控制作用,每条指令执行时间为微秒级,不会出现触点抖动
限时控制	由时间继电器实现,精度差,易受环境、温度影响	用半导体集成电路实现,精度高,时间设置方便,不受环境、温度影响
触点数量	4~8 对,易磨损	任意多个,永不磨损
工作方式	并行工作	串行循环扫描
设计与施工	设计、施工、调试必须顺序进行,周期长,修改困难	在系统设计后,现场施工与程序设计可同时进行,周期短,调试、修改方便
可靠性与可维护性	寿命短,可靠性与可维护性差	寿命长,可靠性高,有自诊断功能,易于维护
价格	使用机械开关、继电器及接触器等,价格便宜	使用大规模集成电路,初期投资较高

1.2.3 可编程控制器与其他工业控制器的比较

自从微型计算机诞生以后,工程技术人员就一直努力将微型计算机技术应用到工业控制领域,这样,在工业控制领域就产生了几种有代表性的工业控制器:可编程控制器(PLC)、PID 控制器(又称 PID 调节器)、集散控制系统(DCS)、微型计算机(PC)和工业控制计算机(IPC)。由于 PID 控制器一般只适用于过程控制中的模拟量控制,并且目前的 PLC 或 DCS 中均具有 PID 的功能。所以,只对可编程控制器与通用的微型计算机、集散控制系统、工业控制计算机分别进行比较。

1. 可编程控制器与通用的微型计算机的比较

采用微电子技术制作的作为工业控制器的可编程控制器,它也是由 CPU、RAM、ROM、I/O 接口等构成的,与微型计算机有相似的构造,但又不同于一般的微型计算机,特别是它采用了特殊的抗干扰技术,有着很强的接口能力,使它更能适用于工业控制。

PLC 与微型计算机各自的特点见表 1-2。

表 1-2 PLC 与微型计算机的比较

比较项目	PLC	微型计算机
应用范围	工业控制	科学计算、数据处理、通信等
使用环境	工业现场	具有一定温度、湿度的机房
输入/输出	控制强电设备,有光电隔离,有大量的 I/O 口	与主机采用微电联系,没有光电隔离,没有专用的 I/O 口
程序设计	一般为梯形图语言,易于学习和掌握	程序语言丰富,如汇编、FORTRAN、BASIC 及 COBOL 等。语句复杂,需专门计算机的硬件和软件知识
系统功能	自诊断、监控等	配有较强的操作系统
工作方式	循环扫描方式及中断方式	中断方式
可靠性	极高,抗干扰能力强,长期运行	抗干扰能力差,不能长期运行
体积与结构	结构紧凑,体积小,外壳坚固,密封	结构松散,体积大,密封性差;键盘大,显示器大

2. 可编程控制器与集散控制系统的比较

可编程控制器与集散控制系统都是用于工业现场的自动控制设备,都是以微型计算机为基础的,都可以完成工业生产中大量的控制任务。但是,它们之间又有一些不同。

(1) 发展基础不同

可编程控制器是由继电器逻辑控制系统发展而来的,所以它在开关量处理、顺序控制方面具有自己的绝对优势,发展初期主要侧重于顺序逻辑控制方面。集散控制系统是由仪表过程控制系统发展而来的,所以它在模拟量处理、回路调节方面具有一定的优势,发展初期主要侧重于回路调节功能。

(2) 扩展方向不同

随着微型计算机的发展,可编程控制器在初期逻辑运算功能的基础上,增加了数值运算及闭环调节功能。运算速度不断提高,控制规模越来越大,并开始与网络或上位机相连,构成了以 PLC 为核心部件的分布式控制系统。集散控制系统自 20 世纪 70 年代问世后,也逐渐地把顺序控制装置、数据采集装置、回路控制仪表、过程监控装置有机地结合在一起,构成了能满足各种不同控制要求的集散控制系统。

(3) 由小型计算机构成的中小型 DCS 将被 PLC 构成的 DCS 所替代

PLC 与 DCS 从各自的基础出发,在发展过程中互相渗透,互为补偿,两者的功能越来越接近。目前,很多工业生产过程既可以用 PLC 实现控制,也可以用 DCS 实现控制。但是,由于 PLC 是专为工业环境下应用而设计的,其可靠性要比一般的小型计算机高得多,所以,以 PLC 为控制器的 DCS 必将逐步占领以小型计算机为控制器的中小型 DCS 市场。

3. 可编程控制器与工业控制计算机(IPC)的比较

可编程控制器与工业控制计算机(简称工控机,IPC)都是用来进行工业控制的,但是工控机与 PLC 相比,仍有一些不同。

(1) 硬件方面

工控机是由通用微型计算机推广应用发展起来的,通常由微型计算机生产厂家开发生产,在硬件方面具有标准化总线结构,各种机型间兼容性强。而 PLC 则是针对工业顺序控制、由电气控制厂家研制发展起来的,其硬件结构专用,各个厂家产品不通用,标准化程度较差。但是 PLC 的信号采集和控制输出的功率强,可不必再加信号变换和功率驱动环节,而直接和现场的测量信号及执行机构对接;在结构上,PLC 采取整体密封模板组合形式;在工艺上,对印制电路板、插座、机架都有严密的处理;在电路上,又有一系列的抗干扰措施。因此,PLC 的可靠性更能满足工业现场环境下的要求。

(2) 软件方面

工控机可借用通用微型计算机丰富的软件资源,对算法复杂、实时性强的控制任务能较好地适应。PLC 在顺序控制的基础上,增加了 PID 等控制算法,编程采用梯形图语言,易于被熟悉电气控制线路而不太熟悉微型计算机软件的电气技术人员所掌握。但是,一些微型计算机的通用软件还不能直接在 PLC 上应用,还要经过二次开发。

任何一种控制设备都有自己最适合的应用领域。熟悉、了解 PLC 与通用微型计算机、集散控制系统、工业控制计算机的异同,将有助于根据控制任务和应用环境来恰当地选用最合适的控制设备,最好地发挥其效用。

1.2.4 可编程控制器的主要功能

可编程控制器是采用微电子技术来完成各种控制功能的自动化设备,可以在现场的输入信号作用下,按照预先输入的程序,控制现场的执行机构,按照一定规律进行动作。其主要功能体现在以下几个方面。

1. 顺序逻辑控制

这是 PLC 最基本、最广泛的应用领域,用来取代继电器控制系统,实现逻辑控制和顺序控制。它既可用于单机控制或多机控制,又可用于自动化生产线的控制。PLC 根据操作按钮、限位开关及其他现场给出的指令信号和传感器信号,控制机械运动部件进行相应的操作。

2. 运动控制

在机械加工行业,可编程控制器与计算机数控(CNC)集成在一起,用以完成机床的运动控制。很多 PLC 制造厂家已提供了拖动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模板。在多数情况下,PLC 把描述目标位置的数据送给模板,模板移动一轴或数轴到目标位置。当每个轴移动时,位置控制模板保持适当的速度和加速度,确保运动平滑。目前已用于控制无心磨削、冲压、复杂零件分段冲裁、滚削、磨削等应用中。

3. 定时控制

PLC 为用户提供了一定数量的定时器,并设置了定时器指令,一般每个定时器可实现 0.1~

999.9s 或 0.01~99.99s 的定时控制,也可按一定方式进行定时时间的扩展。定时精度高,定时设定方便、灵活。同时 PLC 还提供了高精度的时钟脉冲,用于准确的实时控制。

4. 计数控制

PLC 为用户提供的计数器分为普通计数器、可逆计数器、高速计数器等,用来完成不同用途的计数控制。当计数器的当前计数值等于计数器的设定值,或在某一数值范围时,发出控制命令。计数器的计数值可以在运行中被读出,也可以在运行中进行修改。

5. 步进控制

PLC 为用户提供了一定数量的移位寄存器,用移位寄存器可方便地完成步进控制功能。在一道工序完成之后,自动进行下一道工序;一个工作周期结束后,自动进入下一个工作周期。有些 PLC 还专门设有步进控制指令,使得步进控制更为方便。

6. 数据处理

大部分 PLC 都具有不同程度的数据处理功能,如 F2 系列、C 系列、S5 系列 PLC 等,能完成数据运算如加、减、乘、除、乘方、开方等,逻辑运算如字与、字或、字异或、求反等,移位、数据比较和传送及数值的转换等操作。

7. 模数和数模转换

在过程控制或闭环控制系统中,存在温度、压力、流量、速度、位移、电流、电压等连续变化的物理量(或称模拟量)。过去,由于 PLC 擅长于逻辑运算控制,对于这些模拟量的控制主要靠仪表控制(如果回路数较少)或分布式控制系统 DCS(如果回路数较多)。目前,不但大、中型 PLC 具有模拟量处理功能,甚至很多小型 PLC(如 C 系列 P 型机)也具有模拟量处理功能,而且编程和使用都很方便。

8. 通信及连网

目前绝大多数 PLC 都具备了通信能力,能够在 PLC 与计算机之间进行同位链接及上位链接。通过这些通信技术,使 PLC 更容易构成工厂自动化(FA)系统。也可与打印机、监视器等外部设备相连,记录和监视有关数据。

1.3 可编程控制器的应用及发展趋势

1.3.1 可编程控制器的应用现状

1. 可编程控制器的市场状况

(1) 国际市场

可编程控制器是“专为工业环境下应用而设计”的工业控制计算机,由于其具有很强的抗干扰能力,很高的可靠性,大量的能在恶劣环境下工作的 I/O 接口,伴随着新产品、新技术的不断涌现,始终保持着旺盛的市场生命力。

在全世界约 200 家可编程控制器生产厂商中,控制整个市场 60% 以上份额的公司只有 6 家,即美国的 AB 公司、GE-FANUC 公司、德国的 SIEMENS 公司、法国的 SCHNEIDER MODICON 公司、日本的 MITSUBISHI 公司和 OMRON 公司。

从市场份额指标来看,第一位是 SIEMENS 公司,约占有 30% 的市场份额;第二位是 AB 公司,约占有 18% 的市场份额;第三位是 SCHNEIDER 公司,约占有 12% 的市场份额。剩下的被包括 OMRON 公司在内的近 200 家 PLC 厂商占领!

按市场占有率排序,一流厂商主要有 4 大厂商:SIEMENS, AB, SCHNEIDER MODICON, GE-