



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

可编程控制器教程(基础篇)(第2版)

胡学林 主编



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

可编程控制器教程

（基础篇）

（第2版）

胡学林 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书从工程应用的角度出发,以我国目前广泛应用的德国西门子(SIEMENS)公司的 SIMATIC 系列的 S7-200 系列 PLC 为样机,突出应用性和实践性,重点讲述了小型 PLC 的结构、工作原理和编程规则,详细介绍了系统的指令系统、组态配置、网络通信及性能指标,并通过大量的、有针对性的工程实例,对工程上常用的 PLC 控制系统的设计思想、设计步骤、设计方法,进行了详尽的介绍。每章后附有习题。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化专业的教材,也可作为电气技术、机电一体化、计算机应用等相关专业的教学用书,亦可作为电大、职大相近专业的教材。对于广大的电气工程技术人员,则是一本有价值的参考书和技术手册。

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器教程.基础篇 / 胡学林主编. — 2 版. — 北京:电子工业出版社,2014.7
电气工程、自动化专业规划教材
ISBN 978-7-121-23771-3

I. ①可… II. ①胡… III. ①可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 150058 号

策划编辑:凌 毅 责任编辑:凌 毅

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

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:17.25 字数:442 千字

版 次:2003 年 11 月第 1 版

2014 年 7 月第 2 版

印 次:2014 年 7 月第 1 次印刷

印 数:3000 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。

再 版 前 言

可编程控制器教程（基础篇）自 2003 年出版以来，承蒙读者的厚爱，畅销至今。本次再版，仍然保持原来的编写体系及风格。

从 2003 年到现在，PLC 的应用正以前所未有的速度，在各行各业得到更加广泛的普及和应用。西门子的小型 PLC——SIMATIC S7-200 系列，更是以其可靠性高、功能强、性价比高的优势，在国内市场称雄。

这些年，虽然 SIMATIC S7-200 系列 PLC 在硬件上很少更新，只是推出了 CPU224XP（自带 AI/AO），以及 S7-200 SMART。但是在应用领域却更加深入，尤其是在网络通信上。

本次再版，充分考虑了这些变化，增删了部分内容，特别是在网络通信方面，增加了 S7-200 的 PPI 通信、PROFINET 通信及 MODBUS 通信。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化专业的教材，也可作为电气技术、机电一体化、计算机应用等相关专业的教学用书，亦可作为电大、职大相近专业的教材。对于广大的电气工程技术人員，则是一本有价值的参考书和技术手册。

本书由胡学林主编。书中部分内容的编写参照了有关文献，恕不一一列举，谨对书后所有参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平所限，错误和不妥之处在所难免，敬请专家、同仁、读者批评指正。

编 者

2014 年 5 月

目 录

第 1 章 可编程控制器概述	1
1.1 PLC 的产生、定义、分类及 应用现状	1
1.1.1 PLC 的产生	1
1.1.2 PLC 的定义	2
1.1.3 PLC 的分类	3
1.1.4 可编程控制器的应用现状	6
1.2 可编程控制器的特点及主要 功能	8
1.2.1 可编程控制器的一般 特点	8
1.2.2 可编程控制器与继电器逻辑 控制系统的比较	10
1.2.3 可编程控制器与其他工业 控制器的比较	10
1.2.4 可编程控制器的主要功能	12
1.2.5 可编程控制器的软件及编程 语言	13
1.3 PLC 的编程语言	14
1.3.1 梯形图	14
1.3.2 语句表	15
1.3.3 逻辑功能图	15
1.3.4 顺序功能图	16
1.3.5 高级语言	16
1.4 可编程控制器的性能指标	16
1.5 可编程控制器的发展趋势	17
小结	19
习题 1	19
第 2 章 可编程控制器的结构和工作 原理	20
2.1 可编程控制器的硬件组成	20
2.1.1 PLC 的基本结构	20
2.1.2 可编程控制器的各个组成 部分的功能	21
2.2 PLC 的基本工作原理	33
2.2.1 PLC 控制系统的等效工作 电路	34
2.2.2 可编程控制器的工作过程	35
2.2.3 PLC 对输入 / 输出的处理 规则	37
2.2.4 PLC 的扫描周期及滞后响应	38
小结	40
习题 2	41
第 3 章 可编程控制器 S7-200 概述	42
3.1 S7-200 的系统组成	42
3.1.1 S7-200 的系统基本构成	42
3.1.2 主机单元	42
3.1.3 数字量扩展模板	44
3.1.4 模拟量扩展单元模板	44
3.1.5 智能模板	45
3.1.6 其他设备	45
3.1.7 S7-200 的主要技术性能 指标	46
3.2 S7-200 的基本功能及特点	47
3.2.1 S7-200 的输入 / 输出系统	47
3.2.2 存储系统及功能	50
3.2.3 S7-200 的工作方式及扫描 周期	51
3.3 S7-200 的编程元件的寻址及 CPU 组态	52
3.3.1 S7-200 的基本数据类型	52
3.3.2 编程元件	53
3.3.3 CPU 组态	58
3.3.4 编程元件的直接寻址	59
3.3.5 编程元件的间接寻址	60
3.3.6 编程元件及操作数的寻址 范围	62
3.4 S7-200 编程语言	63
3.4.1 编程语言	63
3.4.2 S7-200 的程序结构	64

小结	64	5.1.4 跳转指令	119
习题 3	65	5.1.5 子程序指令	119
第 4 章 S7-200 的基本指令系统及编程	67	5.1.6 循环指令	121
4.1 位操作指令	67	5.1.7 顺序控制继电器 SCR 指令	123
4.1.1 位逻辑指令	67	5.1.8 与 ENO 指令 AENO	127
4.1.2 定时器指令	72	5.2 特殊指令	128
4.1.3 计数器指令	75	5.2.1 实时时钟指令	128
4.1.4 定时器及计数器的应用和扩展	77	5.2.2 中断指令	129
4.1.5 比较指令	79	5.2.3 通信指令	133
4.2 运算指令	81	5.2.4 高速计数器指令	134
4.2.1 加法指令	81	5.2.5 高速脉冲输出指令 PLS	144
4.2.2 减法指令	84	5.2.6 PID 回路控制指令	151
4.2.3 乘法指令	84	小结	157
4.2.4 除法指令	87	习题 5	158
4.2.5 数学函数指令	88	第 6 章 可编程控制器控制系统应用设计	161
4.2.6 增减指令	92	6.1 PLC 控制系统的总体设计	161
4.2.7 逻辑运算指令	93	6.1.1 PLC 控制系统的类型	161
4.3 数据处理指令	96	6.1.2 PLC 控制系统设计的基本原则	163
4.3.1 传送类指令	97	6.1.3 PLC 控制系统的设计步骤	163
4.3.2 移位指令	100	6.2 PLC 控制系统的可靠性设计	167
4.3.3 字节交换指令 SWAP	103	6.2.1 供电系统设计	167
4.3.4 填充指令 FILL	103	6.2.2 接地设计	172
4.4 表功能指令	104	6.2.3 冗余设计	174
4.4.1 填表指令 ATT	105	6.2.4 安装及接线	175
4.4.2 表中取数指令	105	6.3 程序设计举例	176
4.4.3 查表指令 FND?	106	6.3.1 机械手控制	176
4.5 转换指令	107	6.3.2 3 工位旋转工作台控制	182
4.5.1 数据类型转换指令	108	6.3.3 高速输出功能及模拟电位器的应用	187
4.5.2 编码和译码指令	110	小结	189
4.5.3 七段显示码指令 SEG	110	习题 6	189
4.5.4 字符串转换指令	111	第 7 章 可编程控制器的网络及通信基础	192
小结	113	7.1 PLC 的通信及网络基本知识	192
习题 4	114	7.1.1 数据通信基础	192
第 5 章 S7-200 的应用指令	117	7.1.2 串行通信接口标准	195
5.1 程序控制类指令	117	7.1.3 工业局域网基础	196
5.1.1 空操作指令 NOP	117		
5.1.2 结束及暂停指令	117		
5.1.3 警戒时钟刷新指令 WDR	118		

7.2 S7-200 的通信实现	197	7.6.2 工业以太网协议	221
7.2.1 S7-200 的通信概述	197	7.6.3 PROFINET 实时通信	221
7.2.2 通信实现	202	7.6.4 CP243-1 以太网通信 处理器	221
7.3 S7-200 的网络读/写通信	203	7.6.5 两台 S7-200 CPU 的 PROFINET 通信	223
7.3.1 PPI 主站模式设定	203	7.7 S7-200 的 MODBUS 通信 模式	233
7.3.2 网络通信指令	203	7.7.1 MODBUS 协议简介	233
7.3.3 主站与从站传送数据表的 格式	204	7.7.2 S7-200 PLC 的 MODBUS 协议库	234
7.3.4 应用举例	204	7.7.3 为 MODBUS 分配库 存储区	234
7.4 S7-200 的自由口通信模式	207	7.7.4 S7-200 PLC 之间的 MODBUS 通信	235
7.4.1 设置自由口通信协议	207	小结	240
7.4.2 自由口通信时的中断事件	208	习题 7	240
7.4.3 自由口通信指令	208	附录 A S7-200 的特殊继电器 SM	242
7.4.4 自由口通信的简单应用	210	附录 B S7-200 的编程软件 STEP 7 - Micro/WIN32	250
7.5 S7-200 的 PPI 通信模式	212	附录 C S7-200 的错误代码	266
7.5.1 PPI 通信协议	212	参考文献	268
7.5.2 PPI 网络组态形式	213		
7.5.3 两台 S7-200 CPU 的 PPI 主从通信	214		
7.6 S7-200 的 PROFINET 通信 模式	220		
7.6.1 工业以太网产生背景	221		

第1章 可编程控制器概述

可编程控制器 (Programmable Controller, 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 3C (Computer, Control, Communication) 技术, 即微型计算机技术、控制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。

在本章中, 主要介绍以下内容:

- PLC 的产生、定义、分类及应用现状;
- PLC 的一般特点;
- PLC 与继电器逻辑控制系统的比较;
- PLC 与其他通用控制器 (DCS、PID、工业 PC) 的比较;
- PLC 的主要功能;
- PLC 的编程语言;
- PLC 的性能指标;
- 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图的联系和差别, PLC 与其他通用控制器的异同及适用范围, 理解评价 PLC 性能的主要指标, 了解 PLC 的发展趋势。

1.1 PLC 的产生、定义、分类及应用现状

1.1.1 PLC 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以前, 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, 可能由成百上千个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是非常困难的, 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, 美国最大的汽车制造商——通用汽车公司 (GM) 为满足市场需求, 适应汽车生

产工艺不断更新的需要,将汽车的生产方式由大批量、少品种转变为小批量、多品种。为此要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,要寻求一种比继电器更可靠,响应速度更快、功能更强大的通用工业控制器。GM 公司提出了著名的十条技术指标在社会上招标,要求控制设备制造商为其装配线提供一种新型的通用工业控制器,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,其性能价格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 AC115V。
- ⑦ 输出为 AC115V, 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。

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,简称 PLC)。

可编程控制器这一新技术的出现,受到国内外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。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。1973—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。我国从 1974 年开始研制,1977 年开始工业应用。

早期的 PLC 主要由分立式电子元件和小规模集成电路组成,它采用了一些计算机的技术,指令系统简单,一般只具有逻辑运算的功能,但它简化了计算机的内部结构,使之能够很好地适应恶劣的工业现场环境。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。目前世界上著名的电气设备制造厂商几乎都生产 PLC 系列产品,并且使 PLC 作为一个独立的工业设备成为主导的通用工业控制器。

可编程控制器从产生到现在,尽管只有四十几年的时间,由于其编程简单、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 PLC 的定义

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

关于可编程控制器的定义,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(International Electro-technical Commission,简称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和输出接口,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连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,以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,在本书中,我们仍称可编程控制器为PLC。

1.1.3 PLC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. 根据控制规模分类

PLC的控制规模是以所配置的输入/输出点数来衡量的。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分为小型机、中型机和大型机。一般来说,点数多的PLC,功能也相应较强。

(1) 小型机

I/O点数(总数)在256点以下的,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(例如立石的C系列,三菱的F1系列,西门子的S5-100U, S7-200系列等),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。

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。

(2) 中型机

I/O点数在256~1024点之间的,称为中型机。它除了具备逻辑运算功能,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(比例、积分、微分)调节,整数/浮点运算等功能模板。

中型机的特点是功能强,配置灵活,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,以及连续生产过程控制场合。

(3) 大型机

I/O点数在1024点以上的,称为大型机。大型PLC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。大型机的内存容量超过640KB,监控系统采用CRT显示,能够表示生产过程的工艺流程,各种记录曲线,PID调节参数选择图等。能进行中断控制、智能控制、远程控制等。

大型机的特点是 I/O 点数特别多, 控制规模宏大, 组网能力强, 可用于大规模的生产过程控制, 构成分布式控制系统, 或者整个工厂的集散控制系统。

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。

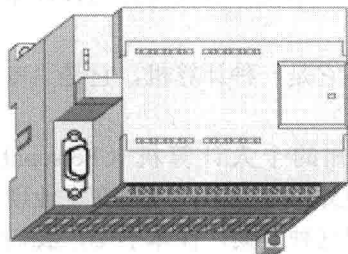


图 1-1 S7-200 外观结构图

(1) 整体式

一般的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 型整体式 PLC 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

图 1-2 所示为 SIEMENS 公司的 S7-300 型模板式 PLC 结构。

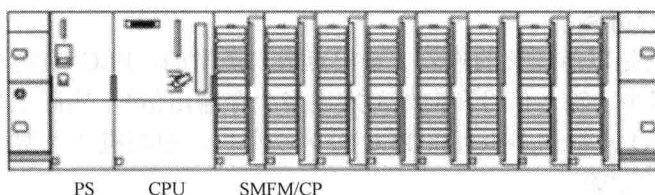


图 1-2 S7-300 的外观结构图

这种形式的 PLC 各部分以单独的模板分开设置, 如电源模板 PS、CPU 模板、输入 / 输出模板 SM、功能模板 FM 及通信模板 CP 等。这种 PLC 一般设有机架底板 (也有的 PLC 为串行联结, 没有底板), 在底板上有若干插座, 使用时, 各种模板直接插入机架底板即可。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。一般大、中型 PLC 均采用这种结构。

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

所谓分散式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、定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的最基本的控制功能, 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, 或者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 回路即可, 因此可选用低档的可编程控制器。

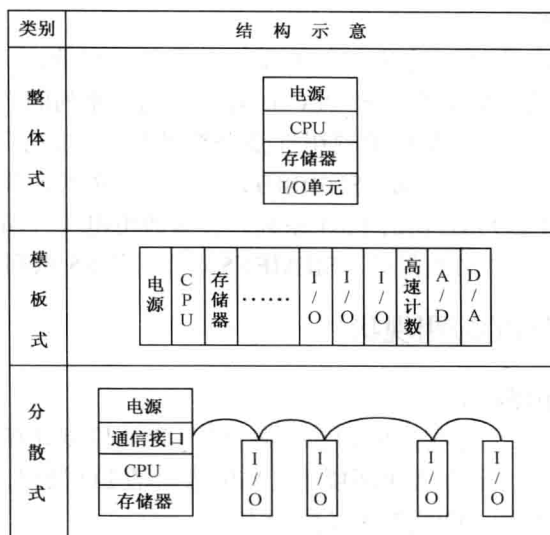


图 1-3 可编程控制器外观结构示意图

（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 点实现顺序逻辑控制外，还要有模拟量的 I/O 回路，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，计算机数值控制）技术有机地结合起来，可以进行数值控制。由于 PLC 的处理速度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。在这类应用中，除了要有足够的开关量 I/O、模拟量 I/O 外，还要有一些特殊功能的模板，如速度控制、运动控制、位置控制、步进电机控制、伺服电机控制、单轴控制、多轴控制等特殊功能模板，以适应特殊工作需要。

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: 日本立石 (OMRON) 公司的 C 系列, 三菱 (MITSUBISHI) 公司的 F 系列, 东芝 (TOSHIBA) 公司的 EX 系列, 美国哥德 (GOULD) 公司的 M84 系列, 美国通用电气 (GE) 公司的 GE 系列, 美国 A-B 公司的 PLC-5 系列, 德国西门子 (SIEMENS) 公司的 S5 系列、S7 系列等。

1.1.4 可编程控制器的应用现状

1. 可编程控制器的市场状况

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, 能在恶劣环境下工作的大量的 I/O 接口, 因此, 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。

(1) 国际市场

目前世界上 PLC 产品可按地域分成三大流派: 一个流派是美国产品, 一个流派是欧洲产品, 一个流派是日本产品。美国和欧洲的 PLC 技术是在相互隔离情况下独立研究开发的, 因此美国和欧洲的 PLC 产品有明显的差异性。而日本的 PLC 技术是从美国引进的, 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, 以小型 PLC 著称。而美国和欧洲以大中型 PLC 而闻名。

① 美国 PLC 产品。美国是 PLC 生产大国, 有 100 多家 PLC 厂商, 著名的有 A-B 公司、通用电气 (GE) 公司、莫迪康 (Modicon) 公司 (现为法国施耐德电气下属子公司)、德州仪器 (TexasInstruments, TI) 公司等。其中 A-B 公司是美国最大的 PLC 制造商, 其产品约占美国 PLC 市场的一半。

② 欧洲 PLC 产品。德国的西门子 (SIEMENS) 公司、AEG 公司、法国的 TE 公司是欧洲著名的 PLC 制造商。德国西门子的电子产品以性能精良而久负盛名。在中、大型 PLC 产品领域与美国的 A-B 公司齐名。

西门子 PLC 主要产品是 S5、S7 系列。在 S5 系列中, S5-90U、S5-95U 属于微型整体式 PLC; S5-100U 是小型模块式 PLC; S5-115U 是中型 PLC; S5-155U 为大型机。而 S7 系列是西门子公司在 S5 系列 PLC 基础上近年推出的新产品, 其性能价格比高, 其中 S7-200 系列属于微型 PLC; S7-300 系列属于中小型 PLC; S7-400 系列属于中高性能的大型 PLC。

③ 日本 PLC 产品。日本的小型 PLC 最具特色, 在小型机领域中颇负盛名, 某些用欧美的中型机或大型机才能实现的控制, 日本的小型机就可以解决。在开发较复杂的控制系统方面明显优于欧美的小型机, 所以格外受用户欢迎。日本有许多 PLC 制造商, 如三菱、欧姆龙、松下、富士、日立、东芝等, 在世界小型 PLC 市场上, 日本产品约占有 70% 的份额。

(2) 国内市场

我国对可编程控制器的研制始于 1974 年, 当时上海、北京、西安等一些科研院校都在研制, 但是始终未能走出实验室, 更未能进入工业化生产。20 世纪 80 年代中期, 又掀起研制热潮, 目前全国有几十个生产厂家, 但生产的产品大多为 128 个开关量 I/O 点以下的小型机, 年产量超过 1000 台的只有几家。

从 20 世纪 90 年代初期开始, 由于可编程序控制器应用的不断深入, 国内又掀起了自主研

制开发可编程序控制器的高潮，虽然多为小型可编程序控制器，批量亦不大，但其功能、质量和可靠性已有明显的提高，代表产品如南京嘉华的 JH200，I/O 为 12 到 120 点，有高速计数器和模拟量功能；杭州新箭公司的 D20P，其 I/O 为 12/8 点，D100 的 I/O 可从 40 点扩展到 120 点；兰州全志的 RD100、RD200，前者 I/O 为 9/4 点，2 点模入，后者 I/O 为 20~40 点，扩展的功能有编码盘测速、热电偶测温和模拟量 I/O、能联网 32 台 RD200 以及与 PC 机进行实时通信。同时，中大规模的可编程序控制器在国内也开始出现，交通部上海船舶运输研究所的 STI2000，I/O 为 256 点，多台联网时 I/O 可达 4096 点；北京和利时公司研制生产的可编程序控制器 Hollias-PLC，其中典型的产品为数字量 I/O 达 1024 点，模拟量 I/O 达 256 点，内置 TCP/IP 通信接口，很容易接入管理网，配有 PROFIBUS-DP 现场总线的主站，从站和远程 I/O，并与合作伙伴一起推出了 InterControl G3 小型可编程序控制器系统。在国外产品强手如林的情况下，这些产品已具有和国外同类产品进行竞争的能力，充分说明国产可编程序控制器发展已进入了一个新的阶段。

2006 年中国 PLC 市场规模为 44.3 亿元，到 2010 年中国 PLC 市场规模达到了 68.4 亿元，相比 2009 年 50 亿元的市场规模，同比增长 36.8%。2006 年至 2010 年 PLC 市场规模的复合增长率为 9.08%。随着“十二五”提升装备自动化的提出，业内预计 PLC 市场将处于持续增长状态。根据中国机械研究院机电市场研究所 2010 年的调研报告，2006—2013 年中国 PLC 市场规模及预测如表 1-1 所示。

表 1-1 2006—2013 中国 PLC 市场规模及预测

年份	市场规模（单位：百万）	同比增长率
2006	4420	13.60%
2007	5000	12.96%
2008	5380	7.6%
2009	5000	-7.10%
2010	6840	36.8%
2011F	7536	10.2%
2012F	8260	9.6%
2013F	9025	9.3%

目前的国内市场几乎被国外的 PLC 产品占领，在大、中型 PLC 中，几乎 100%是国外产品。主要以前面所提到的 5 家公司中的前 3 家为主，而小型 PLC 则由日本的三菱(MITSUBISHI)公司和 OMRON 公司占据主要地位。近年来 SIEMENS 公司的小型 PLC 在国内市场的占有率迅速上升，后来居上，企图抢占日本公司的产品市场。

2. 可编程序控制器应用范围

可编程序控制器作为一种通用的工业控制器，它可用于所有的工业领域。当前国内外已广泛地将可编程序控制器成功地应用到机械、汽车、冶金、石油、化工、轻工、纺织、交通、电力、电信、采矿、建材、食品、造纸、军工、家电等各个领域，并且取得了相当可观的技术经济效益。

可编程序控制器的应用领域及范围，可以用 4 个字来描述：无所不在。

PLC 控制技术代表了当今电气控制技术的世界先进水平，它已与数控技术、CAD/CAM 技术、工业机器人技术并列为工业自动化技术的四大支柱。

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，但为了在恶劣的工业环境中使用，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是非常高的，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 MTBF 通常在 10 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，使它能抗振动冲击。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 Π 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，设置了警戒时钟 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，便于自动地作出相应的处理，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。

另外，PLC 特有的循环扫描的工作方式，有效地屏蔽了绝大多数的干扰信号。

这些有效的措施，保证了可编程控制器的高可靠性。

2. 编程方便

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的，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、动合、动断），又考虑到工业企业中的电气技术人员的看图习惯

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,尤其是对于小型 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欢迎和愿意使用 PLC。

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时是很难想象的。PLC 的输入、输出端子可直接与 220VAC, 24VDC 等强电相连,并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 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 的这种完善的诊断和显示能力,当 PLC 主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完成,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,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模拟调试,模拟调试好后再将 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的产品。

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以前,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,如表 1-2 所示。

表 1-2 PLC 与继电器逻辑控制系统的比较

比较项目	继电器逻辑	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、接线少,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,每条指令执行时间在微秒级,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,如前面曾经提到的:可编程控制器(PLC)、PID 控制器(又称 PID 调节器)、集散控制系统(DCS)、工业控制计算机(工业 PC)。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,只需要对可编程控制器与通用的微型计算机、与集散控制系统、与工业控制计算机分别做一下比较。

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,与微机有相似的构造,但又不同于一般的微机,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 与微机各自的特点如表 1-3 所示。

表 1-3 PLC 与微型计算机的比较

比较项目	可编程控制器	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,汇编、FORTRAN, BASIC, C 及 COBOL 等。语句复杂,需专门计算机的硬件和软件知识