

目 录

基 础 篇

第 1 章 原理与基础	2
1.1 PLC 的产生与发展	2
1.2 PLC 的特点与功能	7
1.3 PLC 的结构与产品	10
1.4 PLC 的组成	15
1.5 PLC 的工作原理	21
1.6 PLC 编程语言	25
第 2 章 S7-300 PLC 硬件与性能	30
2.1 S7-300 PLC 概述	30
2.2 CPU 模块	34
2.3 电源模块与扩展接口	41
2.4 DI/DO 模块	44
第 3 章 S7-400 硬件与性能	53
3.1 S7-400 系列 PLC 概述	53
3.2 CPU 模块	56
3.3 电源模块	59
3.4 DI/DO 模块	62
3.5 PLC 扩展	71
第 4 章 程序设计	79
4.1 PLC 程序概述	79
4.2 梯形图编程基础	95
4.3 定时器与计数器	106
4.4 功能指令与编程	113
4.5 变量编程	124
第 5 章 PLC 系统的工程设计	128
5.1 设计原则与步骤	128
5.2 系统规划	130
5.3 电路设计	135
5.4 安装与连接设计	153
5.5 PLC 系统设计实例	156
第 6 章 STEP7 编程软件	180
6.1 STEP7 概述	180
6.2 安装与启动	185
6.3 程序编辑	189
6.4 符号地址编辑	197
6.5 程序的检查	207

6.6 PLC 参数设定	213
6.7 S7-PLCSIM 仿真	223
6.8 在线调试	231
6.9 变量表检查	242
6.10 在线诊断	250
提 高 篇	
第 7 章 CPU 31*C 集成功能	256
7.1 特殊功能概述	256
7.2 高速计数	260
7.3 频率测量	271
7.4 高速脉冲输出	275
第 8 章 高速计数模块	281
8.1 FM350-1 的性能与连接	281
8.2 FM350-1 的计数与测量	283
8.3 FM350-1 的编程	286
8.4 FM350-2 计数模块	289
第 9 章 简易定位模块	297
9.1 FM351 的性能与连接	297
9.2 FM351 的编程与控制	301
9.3 FM351 参数 DB 及说明	309
9.4 FM351 的定位操作	314
9.5 FM352 电子凸轮控制器	322
第 10 章 单轴位置控制模块	327
10.1 FM353 的性能与连接	327
10.2 FM353 的工具软件	331
10.3 FM353 的标准程序块	338
10.4 FM353 的信号描述	343
10.5 FM353 的 PLC 编程	348
10.6 FM353 的运动程序编制	352
10.7 FM353 的机器数据	357
10.8 FM354 伺服驱动模块	360
第 11 章 FM 357-2 多轴位置控制模块	365
11.1 性能与连接	365
11.2 PLC 程序编制	370
11.3 NC 程序编制	374
第 12 章 模拟量输入/输出模块	383
12.1 SM331 模拟量输入模块	383
12.2 SM332 模拟量输出模块	392
12.3 SM334/335 输入/输出混合模块	393
第 13 章 FM355/355-2 闭环控制模块	396
13.1 闭环控制系统概述	396

13.2 性能与连接.....	403
13.3 编程与控制.....	406
第 14 章 PtP 通信与编程	414
14.1 通信基础.....	414
14.2 PLC 通信与协议.....	423
14.3 PtP 通信与编程.....	434
14.4 CP340/341 通信与编程.....	446
第 15 章 PLC 网络与配置	456
15.1 基本概念.....	456
15.2 AS-i 网络系统.....	457
15.3 PROFIBUS 网络与配置.....	472
15.4 MPI 网络与配置.....	490
第 16 章 网络通信与编程	503
16.1 基本概念.....	503
16.2 PROFIBUS-DP 通信.....	508
16.3 S7 通信与编程.....	523
16.4 S5 兼容通信与编程.....	528
16.5 FMS 通信与编程.....	533
16.6 工业以太网简介.....	541
附录 S7-300/400 系列 PLC 的 SIMATIC 指令简表	552

第1章 基础知识

1.1 PLC的产生与发展

1.1.1 PLC的产生

可编程序控制器(PLC, Programmable Logic Controller)是继电控制系统的换代产品。它是在继电控制系统的概念和原理的基础上,结合现代计算机技术,采用大规模集成电路和微处理器,将逻辑控制、顺序控制、定时控制、计数控制、模拟量控制等功能集成于一体,通过编程,实现对工业生产过程的自动控制。

基础篇

PLC的产生和发展,是工业自动化技术进步的必然结果。在20世纪50年代,随着大规模集成电路的发明,人们开始将继电控制系统的逻辑功能用软件来实现。1969年,美国数字设备公司(DEC)研制出了世界上第一台PLC,即PDP-11。此后,PLC技术得到了迅速发展,应用范围不断扩大。目前,PLC已成为工业自动化控制领域中最重要、应用最广泛的设备之一。

PLC的主要特点包括:①可靠性高,使用寿命长;②编程简单,易于操作;③功能强大,应用范围广;④体积小,功耗低;⑤价格低廉,性价比高。PLC广泛应用于机械制造、冶金、化工、轻工、纺织、交通、能源等领域,是实现工业自动化控制的重要手段。

PLC的发展经历了三个阶段:①第一代PLC,采用分立元件,体积大,功耗高;②第二代PLC,采用大规模集成电路,体积小,功耗低;③第三代PLC,采用微处理器,功能强大,应用范围广。随着技术的不断进步,PLC的性能将得到进一步提升,应用范围将进一步扩大。

第1章 原理与基础

1.1 PLC 的产生与发展

1.1.1 PLC 的产生

可编程控制器 (Programmable Logic Controller, 简称 PLC) 是随着科学技术的进步与生产方式的转变, 为适应多品种、小批量生产的需要, 而产生、发展起来的一种新型工业控制装置。

PLC 从 1969 年问世以来, 由于其通用性好、可靠性高、使用简单, 在工业自动化的各个领域得到了广泛的应用。曾经有人将 PLC 技术与计算机数控 (CNC) 技术、CAD/CAM 技术、工业机器人技术并称为现代工业自动化技术的四大支柱。

1. 继电-接触器控制系统存在的问题

众所周知, 制造业中使用的生产设备与生产过程的系统一般由工作机构、传动机构、执行机构及控制装置等部分组成, 其中的电气操作与控制部分称电气控制装置或电气控制系统。

最初的电气控制装置 (包括目前使用的一些简单机械) 只是一些简单的手动电器 (如刀开关、正反转开关等), 只适合于小容量电动机的简单控制。随着生产机械对自动控制要求的日益提高, 电气控制装置演变为各种形式的电气自动控制系统。

作为常用电气自动控制系统的一种, 人们习惯上把以继电器、接触器、按钮、开关等为主要元器件所组成的逻辑控制系统, 称为“继电-接触器控制系统”。

继电-接触器控制系统结构简单、生产成本低、抗干扰能力强、故障检修直观方便、适用范围广, 可以满足大容量、远距离控制的要求, 直到今天仍是工业自动化控制领域基本的控制系统之一。

继电-接触器控制系统的控制元器件 (继电器、接触器) 均为独立元器件, 系统的逻辑顺序控制功能只能通过元器件间的不同连接实现, 故存在以下不足。

① 通用性、灵活性差。当生产流程或工艺发生变化、需要更改控制要求时, 必须更改接线, 或增、减控制器件, 有时甚至需要重新设计, 难以适应多品种、小批量生产的要求。

② 体积大, 材料消耗多。继电-接触器控制系统的逻辑控制需要通过电器与电器间的连接实现, 安装电器需要大量的空间, 连接电器需要大量的导线, 控制系统的体积大、材料消耗多。

③ 运行费用高, 噪声大。继电器、接触器均为电磁器件, 系统工作时需要消耗较多的电能, 继电器、接触器的通/断会产生较大的噪声, 影响工作环境。

④ 功能局限性大。继电-接触器控制系统在精确定时、计数等方面的功能不完善, 只能用于定时要求不高、计数简单的场合。

⑤ 可靠性较低。逻辑顺序控制需要通过触点的通/断实现, 工作频率低、工作电流大, 长时间使用易损坏触点或产生接触不良, 影响系统可靠性。

⑥ 不具备现代工业控制所需要的数据通信、网络控制等功能, 难以满足现代生产过程控制的集成化、网络化需要。

2. PLC 的产生

为了解决继电-接触器控制系统存在的问题, 20 世纪 50 年代末, 人们就开始考虑利用计算机功能完善、通用性广、灵活性强的特点来解决以上问题。但由于当时的计算机原理复杂, 生产成本低,

程序编制难度大,加上工业控制需要大量的外围接口设备,可靠性问题突出,这一设想最终未能成为现实。

20 世纪 60 年代末,有人这样设想:能否把计算机通用、灵活、功能完善的特点与继电-接触器控制系统的简单易懂、使用方便、生产成本低的特点结合起来,生产出一种面向生产过程顺序控制,可利用简单语言编程,让完全不熟悉计算机的人也能方便使用的控制器呢?

这一设想由美国最大的汽车制造商——通用汽车公司(GM 公司)于 1968 年提出。当时,该公司为了适应汽车市场多品种、小批量的生产需求,为了解决汽车生产线继电-接触器控制系统中普遍存在的通用性广、灵活性差的问题,提出了对一种新颖控制器的十大技术要求,并面向社会进行招标。这十大技术要求具体如下。

① 编程方便,且可以在现场方便地编辑、修改控制程序。

② 价格便宜,性价比要高于继电器系统。

③ 体积要明显小于继电器控制系统。

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 输入为 AC 115 V。

⑦ 输出驱动能力在 AC 115 V/2 A 以上。

⑧ 硬件维护方便,最好采用插接式结构。

⑨ 只需要对原系统进行很小的改动便能进行扩展。

⑩ 用户存储器容量至少可以扩展到 4 KB。

根据以上要求,美国数字设备公司(DEC 公司)在 1969 年率先研制出了全世界第一台新型控制器,并称之为“可程序逻辑控制器”(Programmable Logic Controller,简称 PLC)。该样机在 GM 公司的应用获得成功后,PLC 开始被广泛用于各种开关量逻辑控制的场合。

早期的 PLC 硬件主要为分立元器件与小规模集成电路,指令系统、软件功能较简单,一般只能进行逻辑处理,但计算机的内部结构得到了简化,可靠性得到了提高,并能与工业环境相适应。

在 PLC 的发展过程中,20 世纪 70 年代初期曾出现过一些由二极管矩阵、集成电路等组成的顺序控制器。20 世纪 70 年代末期曾出现过以 MC14500 工业控制单元(Industrial Control Unit,简称 ICU)为核心,由 8 通道数据选择器(MC14512)、指令计数器(MC14516)、8 位可寻址双向锁存器(MC14599)、存储器(2732)等组成的 ICU 可程序控制器等产品。这些产品与 PLC 相比,虽具有一定的价格优势,但最终因可靠性、功能等多方面的原因,未能得到进一步的发展;而 PLC 则以其优良的性价比,成为了当代工业自动控制技术的支柱技术之一。

1.1.2 PLC 的定义

1. PLC 的定义

PLC 一经出现,立即引起了全世界的广泛关注。美国 GOULD 公司在 1969 年率先将其商品化并推向市场;1971 年,通过引进美国技术,日本研制出了第一台 PLC;1973 年,德国 SIEMENS 公司也研制出了欧洲第一台 PLC;1974 年法国随之也研制出了 PLC。

20 世纪 70 年代中期,PLC 开始采用微处理器,其功能也由最初的逻辑处理拓展到了数据处理。为此,美国电气制造商协会(National Electronic Manufacture Association,简称 NEMA)在 1980 年对 PLC 进行了如下定义:“PLC 是一种带有指令存储器、数字或模拟输入/输出(I/O)接口,以位运算为主,能完成逻辑、顺序、定时、计数和算术运算功能,面向机器或生产过程的自动控制装置”,并将其命名为 Programmable Controller(简称 PC)。

2. PLC 的标准

为了统一 PLC 的产品标准, 国际电工委员会 (International Electro-technical Commission, 简称 IEC) 从 1979 年开始进行 PLC 的标准化工作, 并于 1992~1995 年陆续颁布了 PLC 标准 (IEC61131)。我国 1995 年 11 月颁布的 GB/T 15969-1/2/3/4 标准完全等同于 IEC 61131-1/2/3/4 的对应部分。

IEC61131 标准由以下 5 个部分组成。

第 1 部分 (Part1): 基本信息 (General Information)。明确了 PLC 的功能与特点, 并给 PLC 使用的术语进行了定义。

第 2 部分 (Part2): 设备特性 (Equipment Characteristics)。明确了 PLC 生产厂家的 PLC 产品应该达到的具体要求, 包括 PLC 的使用环境、电气机械特性、试验要求等。

第 3 部分 (Part3): 编程语言 (Programming Languages)。明确了 5 种 PLC 编程语言, 即指令表 (Instruction List)、结构化文本 (Structured Text)、梯形图 (Ladder Diagram)、功能块图 (Function Block Diagram)、顺序功能图 (Sequential Function Chart) 的基本结构与特征, 规定了 PLC 编程的基本要素、文本语言、图形语言等有关 PLC 编程语言的语法、符号等标准。

需要注意的是, IEC61131-3 标准只是推荐了 PLC 用户程序编制的基本方法, 但在具体实现形式与命名上并未作严格的规定, 因此, 即使是同样的编程语言, 不同公司的 PLC 产品中仍然有所不同。例如: 在 SIEMENS 公司 PLC 中, 指令表编程称 “Statement List” (DIN19239), 简称 STL; 梯形图编程简称 LAD; 功能块图编程语言在 S5 系列 PLC (STEP5) 中, 称为 “控制系统流程图 (Control System Flowchart, DIN40700)”, 简称 CSF; 结构化文本编程称 “Structured Control Language”, 简称 SCL; 顺序功能图编程称 “Graphic Programming Language”, 简称 S7-GRAPH 等。

第 4 部分 (Part4): 用户准则 (User Guidelines)。它包括了 PLC 的功能说明、选型基准、安装环境要求、维护、安全保护等针对 PLC 用户的基本使用指南。

第 5 部分 (Part5): 信息服务指南 (Messaging Service Specification)。对 PLC 用语、符号、功能、名词的解释, 并明确了 PLC 之间的通信协议等规范。

IEC61131 对 PLC 作了如下定义: “PLC 是一种数字运算操作的电子系统, 专为工业环境下的应用而设计; 它采用可程序的存储器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, 并通过数字或模拟的 I/O 接口, 控制各种类型的机器设备或生产过程。” 标准强调, PLC 及其相关设备的设计原则是应 “易于与工业控制系统连成一个整体且具有扩充功能”。

由此可见, IEC61131 已经对 PLC 的使用环境 (工业环境) 与功能 (具有通信与可扩展功能) 作了更为明确的要求。简言之, IEC 标准所定义的 PLC 是一种具有通信功能与可扩展 I/O 接口、主要用于逻辑顺序控制的工业计算机控制装置。

需要说明的是, NEMA、IEC 标准均将可程序控制器 (PLC) 命名为 Programmable Controller, 因此在随后的较长时间里, 可程序控制器一直都被简称为 PLC。随着个人计算机 (Personal Computer, 简称 PC) 的大范围普及, 为了区别两者, 后来将可程序控制器又回到 PLC 的习惯简称, 而 PC 则通常用来指个人计算机。在本书中, 一律把可程序控制器称为 “PLC”, 将个人计算机称为 “PC”。

1.1.3 PLC 的发展

1. 发展历程

PLC 的发展大致可分为如下 4 个阶段。

1970~1980 年: 结构定型阶段。在这一阶段, 各种类型的顺序控制器不断出现 (如逻辑电路型、1 位机型、通用计算机型、单板机型等), 但被迅速淘汰, 最终以微处理器为核心的现有 PLC 结构形式取得了市场的认可, 并得以迅速发展与推广; PLC 的原理、结构、软件、

硬件趋向统一与成熟；其应用领域也开始由最初的小范围、有选择应用向机床、生产线领域拓展。

1980~1990 年：普及与系列化阶段。在这一阶段，PLC 的生产规模日益扩大，价格不断下降，PLC 迅速普及。各 PLC 生产厂家的产品开始形成系列，相继出现了固定 I/O 点型、基本单元加扩展型、模块化型这 3 种延续至今的基本结构；PLC 的应用范围开始遍及顺序控制的全部领域。在本阶段，SIEMENS 公司以最早的 S3 系列 PLC 产品为主。1978 年后的产品逐步被 S5 系列所替代，S5 系列 PLC 包括了小、中、大型各种规格的产品。

1990~2000 年：高性能与小型化阶段。在这一阶段，随着微电子技术的进步，CPU 的运算速度大幅度上升、位数不断增加、用于各种特殊控制的功能模块被不断开发，PLC 的功能日益增强，应用范围由单一的顺序控制向现场控制领域延伸；同时，PLC 的体积大幅度缩小，出现了各种小型化、微型化 PLC。在本阶段，SIEMENS 公司的 PLC 产品开始从 S5 系列向 S7 系列过渡，1995 年后陆续推出了 S7-200/300/400 等小、中、大型 PLC 系列产品。

2000 年至今：高性能与网络化阶段。在本阶段，为了适应信息技术的发展与工厂自动化的需要，PLC 的功能被不断开发与完善。PLC 在继续提高 CPU 运算速度、位数的同时，开发了适用于过程控制、运动控制的特殊功能与模块，应用范围开始拓展到工厂自动化的全部领域；与此同时，为了适应 IT 技术的发展，PLC 的网络与通信功能得到迅速完善，PLC 不仅可以连接传统的编程与 I/O 设备，还可以通过各种现场总线构成网络系统，为工厂自动化奠定了基础。在本阶段，SIEMENS 公司的 PLC 产品仍以 S7-200/300/400 系列 PLC 为主要产品，只是其性能在不断完善与进一步提高，并陆续有新的 CPU 模块型号推出。

2. 发展趋势

从产品技术性能上看，当前 PLC 的发展趋势可概括为小型化、高性能化与网络化 3 个方面。

(1) 小型化

体积的小型化是微电子技术发展的必然结果。现代 PLC 无论从内部组成元器件还是硬件、软件结构都已经与早期的 PLC 有了很大不同，PLC 体积被大幅度缩小。

以 SIEMENS 公司 S5-115 系列（CPU942）与 S7-300 系列（CPU315）PLC 为例，CPU 模块与 I/O 模块的外形尺寸比较见表 1.1.1。从表可见，与 S5-115 相比，同规格的 S7-300 系列 PLC 产品，其体积只有 S5-115 系列的 1/4 左右。

表 1.1.1 S5-115 系列与 S7-300 系列 PLC 外形比较表

主 要 参 数	S5-115 系列			S7-300 系列（CPU315）		
	CPU	32 点输入	32 点输出（0.5 A）	CPU	32 点输入	32 点输出（0.5 A）
宽度（mm）	43	43	43	40	40	40
高度（mm）	302.6	302.6	302.6	125	125	125
厚度（mm）	187	187	187	130	120	120

(2) 高性能化

PLC 的性能主要包括 CPU 性能与 I/O 性能两方面，而 CPU 性能又可分基本性能、逻辑运算能力与数据处理能力 3 个部分；I/O 性能分过程 I/O、功能模块与系统接口 3 个部分，每部分还包括相应的项目，如图 1.1.1 所示。

以 SIEMENS 公司 S5-115 系列与 S7-300 系列（CPU315）PLC 为例，其主要性能的比较见表 1.1.2。

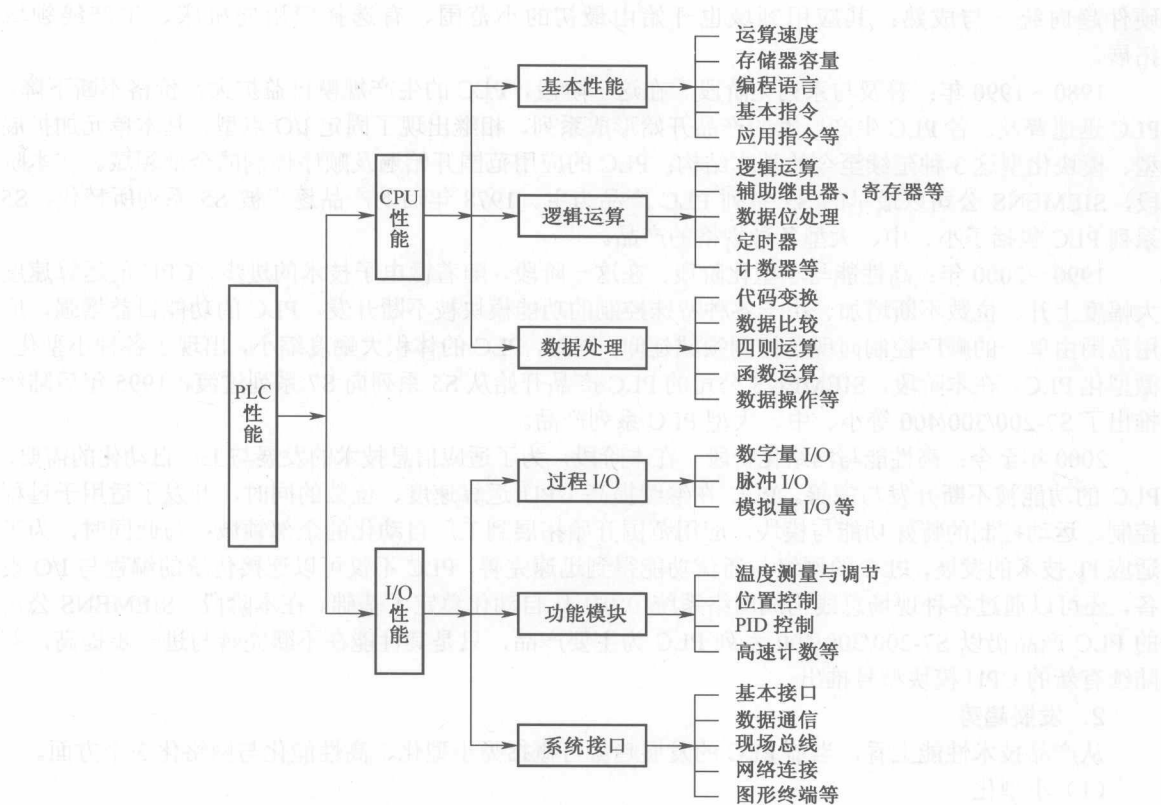


图 1.1.1 PLC 性能分解图

表 1.1.2 S5-115 系列与 S7-300 系列 PLC 性能比较表

主要参数		S5-115 系列 (CPU942)	S7-300 系列 (CPU315)
CPU 性能	基本指令执行时间 (μs)	1.6	0.1
	数据运算指令执行时间 (μs)	约 200	约 6
	基本存储器容量	10 KB	128 KB
	最大存储器容量	42 KB	8 MB
	DB 块数量	254	1 024
	FB 块数量	256	2 048
	PB/FC 块数量	256	2 048
	OB 块数量	256	16 KB
	编程语言	SCF/STL/LAD	LAD/FBD/STL/SCL/GRAPH/HiGraph
	辅助继电器 (标志 M)	2 048 点	16 384 点
	定时器	128	256
	计数器	128	256
	指令数	约 170 条	约 350 条
I/O 性能	可以直接控制的最大 I/O 点数	1 024 点	1 024 点
	最大可扩展机架数	4	4
	每机架最大可安装模块数	8	8
	开关量 I/O 扩展模块	约 22 种	约 40 种
	特殊功能模块	约 21 种	约 47 种

从表 1.1.2 可见,与 S5 系列相比,在 CPU 基本性能方面,S7-300 系列 PLC 的运算速度提高了 16 倍,基本存储器容量提高了 12 倍,最大存储器容量更是提高了近 200 倍,并且可以使用多种编程方式;在逻辑运算功能上,运算速度、辅助继电器/特殊继电器、数据寄存器、定时器/计数器的数量均大幅度增加,而且还具备了函数运算的功能。

在 I/O 性能上,除开关量 I/O 性能外,最主要体现在可通过 PLC 控制与连接的特殊 PLC 模块(功能模块)与系统通信接口上。前者体现了 PLC 的功能扩展能力,后者反映了 PLC 的集中控制与网络连接能力。

不断开发适应各种不同控制要求的特殊 PLC 控制模块,是 PLC 发展的重要方向之一。S7 系列 PLC 可以使用包括温度测量、温度调节、高速计数、位置控制等在内的多种特殊功能模块,控制功能比 S5-115 系列有了很大提高。

(3) 网络化

网络控制是信息技术发展对自动化设备提出的新要求,通过现场总线等形式进行设备间的通信与连接,以实现集中、统一控制与管理,是实现工厂自动化与现代化管理的基础。

PLC 的网络控制主要有 I/O 网、设备内部网与系统网 3 类。

I/O 网是 PLC 与远程 I/O 模块间的互联网,其实质是通过通信的手段,对 PLC 的 I/O 连接范围进行延伸与扩展,它可以省略大量的连接电缆与导线,故又称“省配线网”。

设备内部网是指 PLC 与设备内部其他控制装置之间的互连或互连网络,如 PLC 与变频器、伺服驱动器、温度自动控制与调节装置、现场控制设备的连接均属于设备内部网的范畴。

系统网是指生产现场多台设备、多种控制装置之间的互连或互连网络,它可以通过通信的手段对生产现场众多独立的设备与控制装置(包括 PLC)进行集中与统一的管理,构成 FMC、FMS、CIMS 等工厂自动化控制系统。

1.2 PLC 的特点与功能

1.2.1 PLC 的特点

PLC 虽然生产厂家众多,功能相差较大,但与其他类型的工业控制装置相比,它们都具有如下共同的特点。

1. 可靠性高

作为一种通用的工业控制器,PLC 必须能够在各种不同的工业环境中正常工作。对工作环境的要求低、抗干扰能力强、平均无故障工作时间(MTBF)长是 PLC 在各行业得到广泛应用的重要原因之一。

PLC 的可靠性与生产制造过程的质量控制及硬件、软件设计密切相关。

一般来说,作为国外 PLC 的主要生产厂家通常都是大型、知名企业,其技术力量雄厚、生产设备先进、工艺要求严格、质量控制与保证体系健全,从而在根本上保证了产品的生产制造质量。

在硬件设计上,为了提高抗干扰性能,PLC 开关量 I/O 线路一般均采用光耦器件,PLC 内部与外部电路之间做到了电隔离,较好地消除了外部干扰对 PLC 产生的影响。PLC 的电源与 I/O 回路还设计有多重滤波电路,如 LC 滤波器、RC 滤波器、数字滤波器等;PLC 的主要部件(如 CPU、存储器等)与干扰源(如电源变压器等)均采取了严格的电磁屏蔽措施,可以有效抑制电磁干扰。

PLC 一般采用开关电源,它对电网的要求较低,可在电网大范围波动时可靠地工作。PLC 的主要元器件一般都采用高可靠性的产品,如 ROM、EPROM、EEPROM、Flash EPROM 等,为系统的

正常工作提供了基本保证。

在软件设计上, PLC 采用了特殊的循环扫描工作方式, 对输入信号进行的是一次性采样, 在 PLC 程序循环周期内, 即使实际输入信号的状态发生变化, 也不会影响到 PLC 程序的正确执行 (有关 PLC 的工作原理与“循环扫描”的概念详见后述), 从而大大提高了程序执行的可靠性。

PLC 程序采用的是面向用户的专用编程语言, 如梯形图、语句表等, 其程序编制简单、直观、方便, PLC 在用户程序的编译过程中, 还可以对语法、重复线圈等错误进行自动检查, 保证了用户程序的正确性。

PLC 的用户程序与系统程序相对独立, 用户程序通常很难影响系统程序的运行, 因此, PLC 一般不会出现计算机中常见的死机类故障。以上这些都是保证 PLC 软件可靠运行的有效措施。

2. 通用性好

通用性好, 使用方便、灵活是 PLC 之所以能够得到普及的重要原因之一, 它主要体现在硬件使用与软件使用两个方面。

在硬件方面, PLC 主要有以下特点。

① 大多数 PLC 都采用了基本单元加扩展, 或是模块化的结构形式, I/O 信号的数量、形式、驱动能力等都可根据实际控制要求选择与确定, 需要时还可随时更换或增减 I/O 模块。

② 可以满足不同控制要求的特殊功能模块越来越多, 使得 PLC 的使用更加灵活与多变, 应用范围日益扩大。

③ PLC 的动作控制完全由内部程序决定, I/O 连接简单, 连线的工作量与接线错误的可能性小, 在生产设备或者控制系统需要变更动作的场合, 一般不需要改变原系统的外部连接 (或仅需要作少量调整)。

④ 通过编程器或 PC, 可以在生产现场随时对 PLC 程序进行调整与修改, 对系统的工作状态进行动态监控, 调试、维修非常方便。

在软件方面, PLC 采用了独特的、面向广大工程设计人员的指令表、梯形图、逻辑功能图、顺序功能图等编程语言, 程序简捷、明了, 适合各类技术人员的传统习惯。特别是梯形图与逻辑功能图, 程序形象、直观, 动态检测效果逼真, 即使是没有计算机知识的人也非常容易掌握, 在企业推广与普及方面比其他工业计算机控制装置容易。

3. PLC 与 DCS、工业 PC

在工业控制上, 除 PLC 外, 工业控制计算机 (简称为工业 PC) 与集散控制系统 (简称 DCS) 也是代表性产品, 三者区别简述如下。

(1) PLC 与工业 PC

工业 PC 是以通用微型计算机为基础的工业现场控制设备, 它具有标准化的总线结构, 各机型间的兼容性好, 与计算机间的通信容易。而 PLC 的接口标准目前还没有完全统一, 标准化程度较差, 其兼容性与通信性能与工业 PC 相比还有一定的差距。

在硬件方面, 工业 PC 与通用计算机的本质无太大的区别, 它需要通过各种接口板与现场检测信号、执行部件相连接, 不像 PLC 那样有较多的、适应各种控制要求的功能模块可供选择, 因此其工业现场工作可靠性与通用性与 PLC 相比存在一定的差距。

在软件方面, 工业 PC 可以像通用计算机那样使用形式多样、功能丰富的应用软件, 适应算法复杂、实时性强的控制需求, 但对编程人员的要求较高; PLC 的软件特点是通俗易懂、编程方便、便于掌握, 并且由于内部采用了循环扫描的工作方式, 程序的可靠性更高。

(2) PLC 与 DCS

DCS 产生于 20 世纪 70 年代, 它同样是以微型计算机为基础的工业控制装置, 但 DCS 发展的

基础与方向与 PLC 有所不同。DCS 是在生产过程仪表控制基础上发展起来的计算机控制装置,功能侧重于模拟量处理、回路调节、状态显示等方面;PLC 是在继电-接触器控制系统的基础上发展起来的计算机控制装置,功能侧重于开关量处理、顺序控制、逻辑运算方面。

为了扩大产品的应用领域,功能化、网络化是 PLC 的重要发展方向。通过各种特殊功能模块(如温度测量与调节模块、模拟量 I/O 模块、PID 调节模块等),当代 PLC 可以很容易地通过各种现场总线(如 CC-link、PROFIBUS 等)、工业以太网,构成完整的 PLC 网络控制系统,其应用范围正在向传统的 DCS 控制领域拓展。同样,DCS 也在传统的模拟量处理、回路调节、状态显示功能的基础上,不断开发增加顺序逻辑处理功能,以满足不同的控制要求,两者在功能上已日趋接近。但如前所述,与 DCS 相比,PLC 由于采用了特殊的软硬件设计,在可靠性、灵活性上仍具有独特的优势。

1.2.2 PLC 的功能

PLC 的主要功能如图 1.2.1 所示。

1. 基本功能

逻辑控制功能是 PLC 的基本功能。本质上说,这是一种以计算机二进制“位”运算为基础,按照程序的要求,通过对开关量信号(如按钮、行程开关、接触器触点等)的逻辑运算处理,控制执行元器件(如指示灯、电磁阀、接触器线圈等)通/断的功能。在早期的 PLC 上,顺序控制所需的定时、计数功能需要通过定时模块与计数模块实现,目前已成为 PLC 的基本功能之一;此外,逻辑控制中常用的代码转换、数据比较与处理等,也是 PLC 常用的基本功能。

2. 特殊控制功能

特殊控制功能是指除基本逻辑处理以外的其他功能,包括模/数(A/D)转换、数/模(D/A)转换、温度/流量/压力的调节与控制、速度/位置的控制等。这些特殊控制功能一般需要通过 PLC 的特殊功能模块实现。

A/D 转换与 D/A 转换多用于过程控制与闭环调节系统。通过特殊功能模块与功能指令,PLC 可以对过程控制中的温度、压力、流量、速度、位移、电压、电流等连续变化的物理量进行数字化处理,并通过相应的运算(如 PID)实现闭环自动调节。

PLC 的速度/位置控制一般是通过应用指令与位置控制模块实现。位置控制模块一般以脉冲的形式输出,并通过变频器、伺服驱动器、步进驱动器,驱动异步电动机、伺服电动机、步进电动机实现闭环速度与位置的控制。

3. 网络与通信功能

随着信息技术的发展,网络与通信在工业控制中已经显得越来越重要。PLC 早期的通信,一般局限于 PLC 与外设(编程器或编程计算机等)之间的简单通信。现代 PLC 不仅可以进行 PLC 与外设之间的通信,而且可以在 PLC 与 PLC 之间、PLC 与其他工业控制设备之间、PLC 与上位机之间、PLC 与工业网络之间通信。通过现场总线、网络总线组成系统,PLC 可以方便地进入工厂自动化系统。

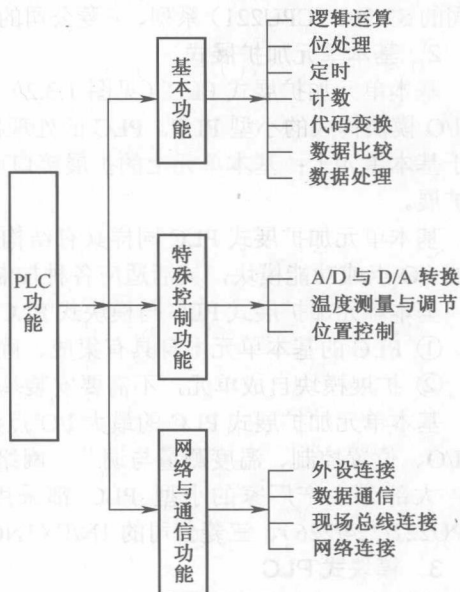


图 1.2.1 PLC 功能组成图

1.3 PLC 的结构与产品

1.3.1 PLC 基本结构

PLC 的硬件结构可分为整体固定 I/O 式、基本单元加扩展式、模块式、集成式与分布式 5 种。

1. 整体固定 I/O 式

整体固定 I/O 式 PLC (见图 1.3.1) 是一种整体结构、I/O 点数固定的小型 PLC (亦称微型 PLC)。PLC 的处理器、存储器、电源、I/O 接口、通信接口等都安装于基本单元上, I/O 点数不能改变, 无扩展模块接口。

整体固定 I/O 式 PLC 结构紧凑、体积小、安装简单, 适用于 I/O 点数较少 (10~30 点) 的机电一体化设备或仪器的控制。

作为功能的扩展, 此类 PLC 一般可以安装少量的通信接口、显示单元、模拟量输入等内置功能选件, 以增加必要的功能。

整体固定 I/O 式 PLC 品种、规格较少, 比较常用的有 SIEMENS 公司的 S7-200 (CPU221) 系列、三菱公司的 FX1S-10/14/20/30 等。

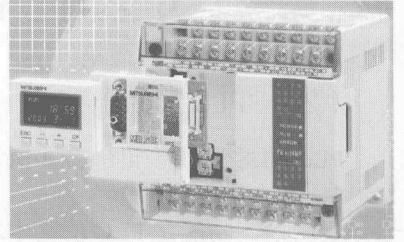


图 1.3.1 整体固定 I/O 式 PLC

2. 基本单元加扩展式

基本单元加扩展式 PLC (见图 1.3.2) 是一种由整体结构、I/O 点数固定的基本单元与可选的扩展 I/O 模块构成的小型 PLC。PLC 的处理器、存储器、电源、固定数量的 I/O 接口、通信接口等安装于基本单元上; 基本单元上的扩展接口可以连接扩展 I/O 模块与功能模块, 进行 I/O 点数与功能的扩展。

基本单元加扩展式 PLC 同样具有结构紧凑、体积小、安装简单的特点, 且可根据设备控制要求增加 I/O 点或功能模块, 灵活适应各种控制要求。

基本单元加扩展式 PLC 与模块式 PLC 的主要区别在于:

- ① PLC 的基本单元本身具有集成、固定点数的 I/O 点, 基本单元可以独立使用;
- ② 扩展模块自成单元, 不需要安装基板 (或基架), PLC 配置容易。

基本单元加扩展式 PLC 的最大 I/O 点数可达 256 点以上; 功能模块的规格与品种较多, 有模拟量 I/O、位置控制、温度测量与调节、网络与通信等。这类 PLC 在机电一体化产品中的实际用量较大, 大部分生产厂家的小型 PLC 都采用了这种结构形式, 如 SIEMENS 公司的 S7-200 系列 (CPU222/224/226)、三菱公司的 1N/FX1NC/2N/2NC/3UC 系列等。

3. 模块式 PLC

模块式 PLC (见图 1.3.3) 是大中型 PLC 的常用结构, 它使用统一的安装基板 (基架), PLC 的部分或全部单元以模块的形式安装于基板上。安装基板除用于安装、固定各 PLC 组成模块外, 通常还带有内部连接总线, 各组成模块通过内部总线连接构成整体。

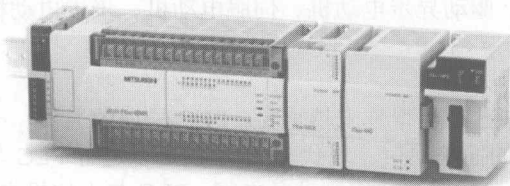


图 1.3.2 基本单元加扩展式 PLC



图 1.3.3 模块式 PLC 示意图

模块式 PLC 的电源、中央处理器、I/O、通信等一般为独立的模块。在部分 PLC 上, 也有将电

源与中央处理器（包括存储器）、基板集成一体的结构，但其他模块（I/O 模块与功能模块）均为独立安装。

与整体固定 I/O 式及基本单元加扩展式 PLC 相比，模块式 PLC 具有如下特点。

① 全部 PLC 的组成模块均可以由用户自由选择，不受基本单元的限制，PLC 配置更灵活。

② PLC 可连接的 I/O 点数、功能模块数量众多，容易构成大中型 PLC。

③ 模块式 PLC 一般采用可拆卸的连接端，更换 I/O 模块通常不需要进行重新接线，安装调试与维修方便。

模块式 PLC 的 I/O 点可达 1 024 点以上，可连接各种开关量 I/O、模拟量 I/O、位置控制、温度测量与调节、网络通信等功能扩展模块。此类 PLC 通常用于复杂机电一体化产品与自动线的控制，绝大部分生产厂家的大中型 PLC 都采用了这种结构形式，如 SIEMENS 公司的 S7-300/400 系列、三菱公司的 Q 系列等。

4. 集成式 PLC

集成式 PLC（亦称内置式 PLC，见图 1.3.4）一般作为数控系统（CNC）的功能补充，用来实现数控机床或其他数控设备的辅助机能控制，如：刀具自动交换控制、工作台自动交换控制、冷却的开/关控制、主轴的启动/正反转/停止控制、夹具的自动松/夹、自动上/下料控制等。

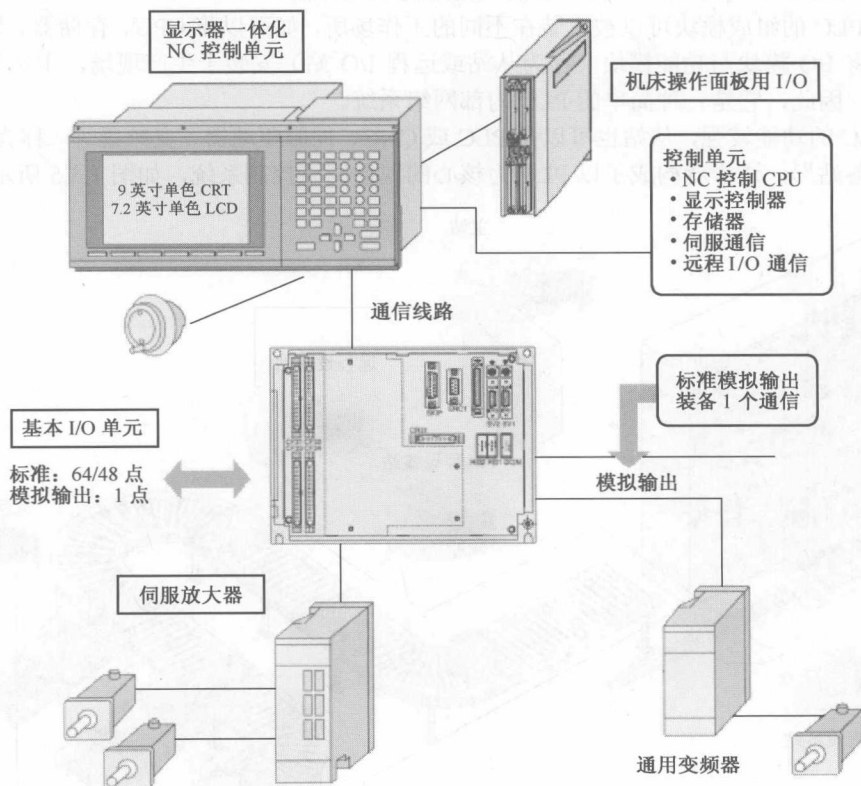


图 1.3.4 带集成式 PLC 的数控系统组成示意图

集成式 PLC 是一种 PLC 与 CNC 集成一体的专用 PLC，通常无独立的电源，大多数 CNC 的 PLC 与 CNC 共用 CPU，故不可以单独使用。

集成式 PLC 的 I/O 通常以 I/O 接口模块的形式安装在 CNC 或者机床上，I/O 模块与 CPU 间通过总线连接，接口模块一般为用途单一的开关量 I/O 模块，单个模块的 I/O 点数较多，模块品种较少，I/O

规格固定，一般无特殊功能模块可选择。

在功能强大的 CNC 中，也有 PLC 使用独立 CPU 的情况。此类 PLC 具有独立的电源模块、CPU 模块、I/O 模块等，其结构与模块式 PLC 相同，有时也可作独立 PLC 使用（不常见）。在部分 CNC 上，也有直接使用通用 PLC 的情况，如 SIEMENS 公司早期的 SINUMERIK 6/3/8 系列 CNC、SINUMERIK 850/880 系列 CNC 及当前的 SINUMERIK 810D/840D 系列 CNC 等。使用独立 CPU 的集成式 PLC 需要通过专用接口模块与总线进行 CNC 与 PLC 的网络连接，其他部分均与模块式 PLC 一样，使用方法与通用 PLC 基本相同。但是，此类 PLC 有大量地址固定的 CNC 与 PLC 内部传送的 I/O 信号与辅助继电器，并专门设计有适合于 CNC 控制的特殊功能指令，如辅助功能的一次性译码、刀具自动交换控制用的回转器计数、回转器的捷径选择、“随机换刀”控制等。

集成式 PLC 的优点是可以随时借助 CNC 的操作面板与显示器，进行程序编辑、调试与状态监控，部分系统还可以直接进行梯形图的动态显示。集成式 PLC 编程必须了解系统内部 PLC 与 CNC 之间的信号关系，才能正确使用，限于篇幅，本书不再予以介绍。

5. 分布式 PLC

分布式 PLC 是一种用于大型生产设备远程控制的 PLC，它可通过 PLC 的远程控制主站模块实现远程 I/O 点（站）的控制。中央控制 PLC 的结构形式可以是基本单元加扩展型 PLC 或模块式 PLC，但由于功能、I/O 点数等方面的限制，以模块化结构 PLC 居多。

分布式 PLC 的组成模块可以被安装在不同的工作场所，如可以将 CPU、存储器、显示器等安装于控制室，将 I/O 模块与功能模块（称为从站或远程 I/O 站）安装于生产现场，主站与从站之间通过总线连接。因此，它是一种简单的 PLC 内部网络系统。

如果 PLC 的功能较强，从站也可以是 PLC 或 CNC、伺服驱动器、变频器等（称为“智能从站”或“远程设备站”），这样就构成了以 PLC 为核心的现场网络控制系统，如图 1.3.5 所示。

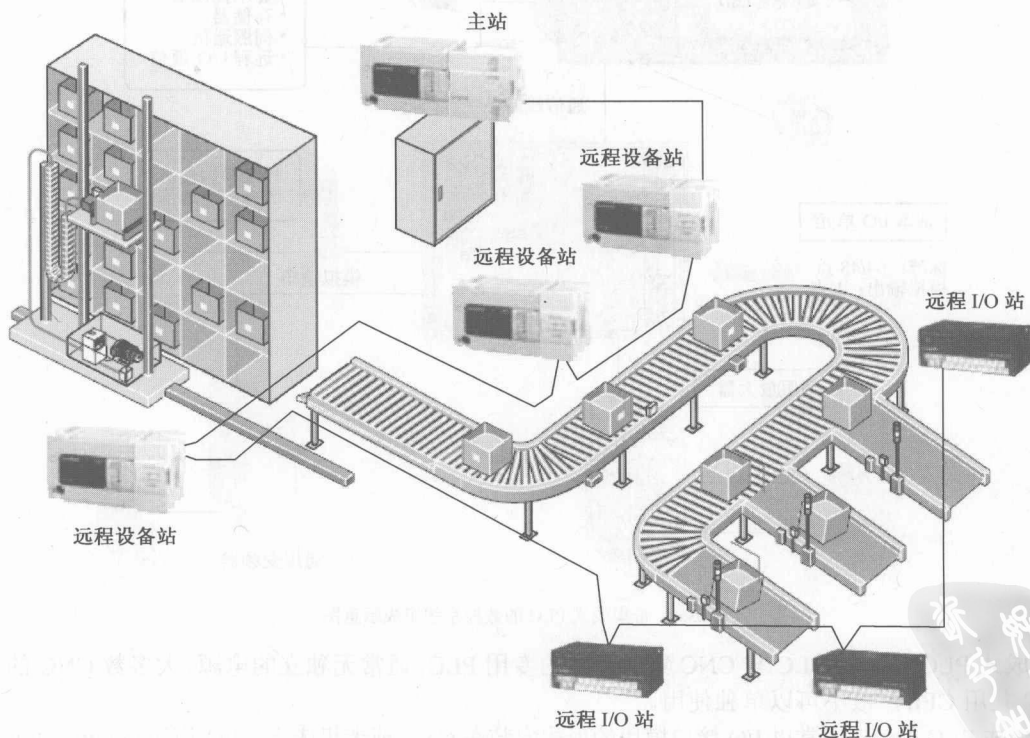


图 1.3.5 分布式 PLC 的组成示意图

1.3.2 PLC 分类

由于 PLC 产品性能不一、规格众多,其分类方法也较多,部分书籍以生产厂家与用途进行分类,但这些分类方法很难反映出 PLC 的具体性能,本书不再予以介绍。

按照 PLC 的硬件结构,PLC 可以分为上述的整体固定 I/O 式 PLC、基本单元加扩展式 PLC、模块式 PLC、集成式 PLC、分布式 PLC 5 种类型。此外,还有一种按照 PLC 的规模进行分类的常用分类法,现介绍如下。

所谓 PLC 规模通常指的是 PLC 可以控制的最大 I/O 点数与用户程序存储器的容量。一般而言,PLC 可控制的 I/O 点数越多,控制对象就可以越复杂、组成的系统规模也就越大。同样,随着 I/O 点的增加,为了保证其使用性能,CPU 的处理速度应相应提高,用户程序存储器的容量也必然增加,其他功能也将相应加强。即使是对于不同厂家生产的 PLC,由于市场竞争的需要,I/O 点数相同的 PLC 主要性能指标通常相差不大。因此,它可以反映不同型号 PLC 之间的性能差别。

需要注意的是,这里所说的“可以控制的最大 I/O 点数”指的是 PLC 所具备的能力,它与实际设备中所使用(实际连接)的 I/O 点数无关,实际使用的 I/O 点数不仅少于 PLC 可以控制的最大 I/O 点数,在有些场合甚至相差很大。

根据规模,PLC 可以分为小型、中型与大型 3 种。

1. 小型 PLC

根据通常习惯,可以控制的最大 I/O 点总数在 256 点以下的 PLC 称为“小型 PLC”。

小型 PLC 一般采用前述的整体固定 I/O 式或基本单元加扩展式的结构,用户程序存储器容量通常在 8 000 步以内,PLC 的辅助继电器、定时器、计数器、数据寄存器数量相对较少,应用指令、功能模块的数量也有一定的限制。

小型 PLC 的主要特点是体积小、价格低,适用于机电一体化设备或者自动化仪器仪表的单机控制,它是 PLC 中用量最大的品种。

2. 中型 PLC

可以控制的最大 I/O 点总数在 256~1 024 点之间的 PLC 称为“中型 PLC”。

中型 PLC 一般采用模块式的结构,性能差距较大;存储器的容量通常在 16 000 步以上;辅助继电器、定时器、计数器、数据寄存器等数量较多;应用指令、功能模块的数量大大增加,通信能力大为增强。

中型 PLC 的配置灵活、功能强、特殊模块多、通信能力强,它既可以满足中等复杂程度的机械顺序逻辑控制需要,还可以进行压力、流量、温度、速度、位置等控制,或用于小型生产线与过程控制。

3. 大型 PLC

可以控制的最大 I/O 点总数在 1 024 点以上的 PLC 称为“大型 PLC”。

大型 PLC 均采用模块式结构;存储器的容量通常在 32 000 步以上;PLC 的辅助继电器、定时器、计数器、数据寄存器的数量众多;应用指令、功能模块丰富;网络功能强大,可构建大型 PLC 网络控制系统与车间自动化控制系统。

大型 PLC 还具有构成多 CPU 系统、冗余系统的功能,可以适应高速、高可靠性要求的控制场合。

1.3.3 常用的 PLC 产品

1. 国内研究与生产情况

如前所述,1969 年首先将 PLC 商品化,并推向市场的是美国 GOULD 公司。随后,日本、德

国、法国也相继进行开发、研制，这些厂家大部分已成了国际上主要的 PLC 生产厂家。如 SIEMENS 公司（德国）、A-B 公司（Allen&Bradly，美国 Rockwell 自动化公司所属）、Schneider（施耐德公司，法国）及日本的 MITSUBISHI（三菱）公司、OMRON（立石）公司 5 家公司的产品占有了全球 PLC 市场的 2/3 左右。

在我国，从 1974 年起部分高校与研究所开始研制 PLC，但由于可靠性等原因，最终均未能形成真正产品进入市场。20 世纪 80 年代中后期，国内一度出现了技术引进的热潮，当时几乎引进了国外所有著名公司的 PLC 生产技术并进行合作生产与销售，典型的产品如下。

- ① 大连组合机床研究所、辽宁无线电二厂引进 SIEMENS 公司 S5 系列 PLC 技术生产、销售的 S5 系列 PLC。
- ② 无锡机床电器厂引进美国 GE、日本光洋公司的 SR 系列 PLC 技术生产、销售的 SR20/21 系列 PLC。
- ③ 天津中环自动化仪表公司引进美国 GOULD 公司 PLC 技术生产、销售的 PLC。
- ④ 上海起重电器厂、四川仪表十五厂引进三菱公司 PLC 技术生产、销售的 PLC。
- ⑤ 苏州机床电器厂、成都机床电器研究所、石家庄电子开发中心引进东芝公司 PLC 技术生产、销售的 PLC。
- ⑥ 厦门引进 A-B 公司 PLC 技术生产、销售的 PLC 等。

随着以上产品在国内的生产、销售，PLC 开始在国内工业自动控制的各领域得到大范围应用，但令人遗憾的是，直至今日国内还没有真正形成具有市场竞争能力的 PLC 生产企业与产品，我国的 PLC 市场为进口产品一统天下。

2. 国内的使用情况

目前，就国内工业自动控制领域常用的 PLC 而言，大中型设备配套的 PLC 主要以 SIEMENS、Schneider、A-B 等公司的产品使用较多，而小型 PLC 则以日本产品占主导地位。MITSUBISHI 公司的 FX 系列、OMRON 公司的 C 系列、KOYO（光洋）、TOSHIBA（东芝）、FUJI（富士）等日本公司的产品在国内使用较普遍。

当前在我国市场使用的主要 PLC 产品情况可参见表 1.3.1。

表 1.3.1 PLC 生产厂家与主要产品一览表

生产企业	型 号	结 构	规 模
MITSUBISHI (日本)	FX1S-10/14/20/30	整体固定 I/O 式	小型
	FX1N-14/40/60 FX2N-16/32/48/65/80/128 FX2NC-16/32/64/96 FX3UC/3G (最新产品)	基本单元+扩展	
	Q00/01	模块式	
	Q02/06/12/25	模块式	
SIEMENS (德国)	S7-200	整体固定 I/O 式/基本单元+扩展	小型
	S7-300	模块式	中型
	S7-400	模块式	大型
OMRON (日本)	CPM1A-10/20 CPM2A-20/30/40/60 CPM2C-10/20 CPM2E/CPM2AH/CPM2AH-S/CP1H	基本单元+扩展	小型
	C200Ha/CS1/CJ1M/CJ1/ CQM1H	模块式	中型
	CV500/CV1000/CV2000/CVM1	模块式	大型