

可编程序控制器 原理及应用

中国石化辽阳机电仪研修中心 编



中国石化出版社

可编程序控制器原理及应用

中国石化辽阳机电仪研修中心 编

中国石化出版社

内 容 提 要

可编程序控制器 (PLC) 是本世纪 60 年代发展起来的被国外称为“先进国家三大支柱”之一的工业自动化理想控制装置, 现已广泛应用于自动化的各个领域。本书以日本三菱公司及美国 A-B 公司 PLC 为例, 系统地介绍了 PLC 结构、工作原理、编程语言、系统配置与组网、系统设计与应用及 PLC 的维护和故障诊断。

本书既可作为可编程序控制器系统的培训教材, 也可作为从事 PLC 使用、维护及应用开发的工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

可编程序控制器原理及应用/中国石化辽阳机电
仪研修中心编.-北京: 中国石化出版社, 1999
ISBN 7-80043-837-6

I. 可… II. 中… III. 可编程序控制器 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 68014 号

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

东远先行彩色图文中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 6.25 印张 147 千字 印 1—3000

1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月第 1 次印刷

定价: 14.00 元

前 言

可程序控制器简称(PLC)是近年来发展极为迅速、应用面极广的工业控制装置。它作为工业控制用计算机已经应用到工业生产的各个领域,成为世界自动化三大支柱产业之一,已成为各国自动化水平的标志。

目前,随着 PLC 在石油化工行业应用越来越广泛,在某种程度上,已经可以与 DCS 媲美,二者互相渗透,取长补短。学习和掌握 PLC 技术已成为从事工业自动化的工程技术人员和现场维护人员的一项迫切任务。为满足他们的需要,我们在翻译、整理国内外大量文献资料和总结多年教学、科研工作的基础上,编写了这本书。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编者
1999 年 8 月

目 录

第一章 可编程序控制器引论	1
1.1 PLC 的由来	1
1.2 PLC 的定义	2
1.3 PLC 的特点和应用范围	3
1.4 PLC 的发展阶段	6
1.5 PLC 的发展趋势	8
第二章 PLC 的基本结构和工作原理	10
2.1 PLC 的基本结构	10
2.2 PLC 的工作原理(扫描技术)	18
2.3 PLC 的 I/O 响应时间	22
2.4 PLC 的计时器和计数器	27
第三章 PLC 的 I/O 系统	35
3.1 I/O 寻址方式	35
3.2 开关量 I/O 系统	36
3.3 模拟量 I/O 系统	41
第四章 PLC 的编程语言	45
4.1 PLC 的编程语言及格式	45
4.2 基本逻辑运算指令	50
4.3 常用指令	52
4.4 应用功能指令	58
第五章 编程器及编程基本操作	61

5.1	便携式编程器	61
5.2	带 CRT 的编程器	64
5.3	A-B 公司 APS 软件编程指令系统简介	65
5.4	编程基本操作	81
第六章	SLC500 控制器系统配置及组网	96
6.1	SLC500 控制系统模块介绍	97
6.2	特殊功能模块介绍	103
6.3	通信与联网模块	108
第七章	PLC 控制系统的设计与应用	113
7.1	PLC 控制系统的设计	113
7.2	PLC 的维护与故障诊断	126
第八章	典型可编程序控制器产品介绍	136
8.1	小型可编程序控制器	136
8.2	中型可编程序控制器	144
8.3	大型可编程序控制器	175
附录一	日本三菱 FX2 系列 PLC 基本逻辑 指令及执行时间一览表	188
附录二	SLC5/02 处理器指令与执行时间一览表	189
附录三	SIEMENS S7-200 和 OMRON A 系统配置价格表（仅 供参考）	190
	参考文献	191

第一章 可编程序控制器引论

可编程序控制器 (Programmable Controller) 是计算机家族中的一员, 是为工业控制应用而设计制造的, 简称 PC。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。为了避免与个人计算机 (Personal Computer) 的简称 PC 混淆, 可编程控制器的简称沿用了 PLC。

1.1 PLC的由来

在 60 年代, 汽车生产流水线的自动控制系统基本上都是由继电器控制装置构成的。当时, 汽车的每一次改型都直接导致继电器控制装置的重新设计和安装。随着生产的发展, 人们需求的多样化, 汽车型号更新的周期愈来愈短, 这样的继电器控制装置严重阻碍了更新周期的缩短。为此, 美国通用汽车公司在 1968 年公开招标, 要求用新的控制装置取代继电器控制装置, 并提出了 10 项招标指标, 即:

- ① 编程方便, 现场可修改程序;
- ② 维修方便, 采用模块化结构;
- ③ 可靠性高于继电器控制装置;
- ④ 体积小于继电器控制装置;
- ⑤ 数据可直接送入管理计算机;
- ⑥ 成本可与继电器控制装置竞争;
- ⑦ 输入可以是交流 115V;

⑧ 输出交流 115V、2A 以上，能直接驱动电磁阀、接触器等；

⑨ 在扩展时，原有系统只要很小变更；

⑩ 用户程序存储器容量至少能扩展到 4K。

1969 年，美国数字设备公司 (DEC) 研制出第一台 PLC，在美国通用汽车自动装配线上试用，获得了成功。

这种新型的工业控制装置以其简单易懂、操作方便、可靠性高、通用灵活、体积小、使用寿命长等一系列优点，很快地在美国其他工业领域推广应用。

这一新型工业控制装置的出现，也受到了世界其他国家的高度重视。1971 年，日本从美国引进了这项新技术，很快研制出了日本第一台 PLC。1973 年，西欧国家也研制出了它们的第一台 PLC。我国从 1974 年开始研制，于 1977 年开始工业应用。

1.2 PLC 的定义

PLC 问世以来，尽管时间不长，但是它的发展十分迅速。为了使这一新型工业控制装置的生产和发展标准化，美国电气制造商协会 NEMA (National Electrical Manufacture Association) 于 1980 年首先将其正式命名为 PC，并作了如下的定义：

“PC 是一个数字式的电子装置，它使用了可编程序的记忆体以储存指令。用来执行诸如逻辑、顺序、计时、计数与演算等功能，并通过数字或类似的输入/输出模块，以控制各种机器或工作程序。一部数字电子计算机若是用来从事执行 PC 之功能者，亦被视为 PC，但不包括鼓式或类似的机械式顺序控制器。”

以后，国际电工委员会（IEC）又先后颁布了 PLC 标准的草案第一稿、第二稿，并在 1987 年 2 月通过了对它的定义：

“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，它采用一类可编程的存储器，用于其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令，并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关外部设备，都按易于与工业控制系统联成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。”

总之，PLC 是一台计算机，它是专为工业环境应用而设计制造的计算机，它具有丰富的输入/输出接口，并且有较强的驱动能力。但 PLC 产品并不针对某一具体工业应用，在实际应用时，其硬件需根据实际需要进行选用配置，其软件则需根据控制要求进行实际编制。

1.3 PLC 的特点和应用范围

一、PLC 的主要特点

（一）高可靠性

高可靠性是 PLC 的最突出特点之一。由于工业生产过程是昼夜连续的，对用于生产过程控制的装置提出了可靠性尽可能高的要求。而工业现场的各种电磁干扰特别严重，针对这一情况，PLC 采取了一系列措施，其中主要包括：

① 所有的输入/输出（以下简称 I/O）接口电路均采用光电隔离，使工业现场的外电路与 PLC 内部电路之间在电气上隔离。

② 各输入端采用 R-C 滤波器，其滤波时间常数一般为

10~20ms, 对一些高速输入端则采用数字滤波, 其滤波时间常数可由指令设定。

③ 各模块均采用屏蔽措施, 以防止辐射干扰。

④ 采用性能优良的开关电源。

⑤ 对采用的器件进行严格的筛选。

⑥ 良好的自诊断功能, 一旦电源或其他软硬件发生异常情况, CPU 立即采取有效措施, 以防止故障扩大。

⑦ 大型 PLC 还可以采用双 CPU 构成冗余系统或由三 CPU 构成表决式系统, 使可靠性进一步提高。

由于采用了上述一系列措施, 使中期的 PLC 的平均无故障运行时间, 又称平均故障间隔时间 MTBF (Mean Time Between Failures) 已经高达几十万小时。工业界将几十万小时不出故障的设备称作无故障设备, 所以现在的 PLC 技术性能指标中一般不再列出 MTBF 这一指标了。

(二) 丰富的 I/O 接口模块

由于 PLC 只是整个工业生产过程中的一个控制中枢, 为了对生产过程进行自动控制, 它还必须与各种工业现场的设备相连接, 才能完成控制任务。因此, PLC 除了具有计算机的基本部分如 CPU、存储器以外, 还有丰富的 I/O 接口模块。如针对不同工业现场信号有开关量 I/O 模块, 模拟量 I/O 模块; 为了提高操作性能, 它还有多种人一机对话的接口模块; 为了组成工业局部网络, 它还有多种通信联网的接口模块, 等等。

(三) 采用模块化结构

为了适应各种工业控制需要, 除了单元式的小型 PLC 之外, 绝大多数 PLC 均采用模块化结构。PLC 的各个部件, 包括 CPU、直流电源、I/O 等均采用模块化结构, 由机架及

电缆将各模块连接起来，系统的规模和功能可根据用户需要自行组合。

（四）编程简单易学

PLC 的编程大多采用类似于继电器控制线路的梯形图进行。在最初的梯形图中，主要由人们熟悉的常开触点、常闭触点和线圈、计时、计数等符号组成，对使用者来说，无需具备计算机的专门知识，很容易理解和掌握。

现在，尽管 PLC 的软、硬件功能大大增强，除顺序控制之外，PLC 还能进行算术运算、数据处理和传递、通信等，但梯形图仍被普遍使用，只是在原来的基础上增加了许多特殊功能指令。

（五）安装简单、维修方便

PLC 不需要专门的机房，可以在各种工业环境下直接运行。使用时只要将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 接口连接，系统即可以投入运行。

各模块上均设有运行和故障指示装置，便于用户了解运行情况和查找故障。

由于采用了模块化结构，因此一旦某模块发生故障，用户可以通过更换模块的方法，使系统迅速恢复运行。有些 PLC 还允许带电插卸 I/O 模块。

（六）系统设计、调试周期短

由于系统硬件的设计任务仅仅是依据对象的要求配置适当的模块，因此大大简化了硬件设计工作，缩短了整个系统的设计调试周期。

二、PLC 的应用范围

经过 20 多年的工业运行，PLC 的上述特点越来越为广大工业界人士所认识和接受，使 PLC 迅速渗透到工业控制

的各个领域，从单机自动化到工厂自动化；从机器人、柔性制造系统到工业局部网络。

从其功能来看，应用范围大致包括以下几方面：

- (一) 逻辑控制
- (二) 定时控制
- (三) 计数控制
- (四) 步进（顺序）控制

在新一代 PLC 中，除可用梯形图编程实现顺序控制外，还可以采用 IEC 规定的用于顺序控制的标准化语言——顺序功能图（Sequential Function Chart，简称 SFC）编程，更简便些。

- (五) PID 控制
- (六) 数据处理
- (七) 通信和网络

新一代的 PLC 都具有通信功能。它既可对远程 I/O 进行控制，又能实现 PLC 和 PLC 之间、PLC 和计算机之间的通信。因此使用 PLC 可以很方便地构成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统，是实现工厂自动化的理想控制设备。

- (八) 其他

PLC 还有许多特殊功能模块，适合于各种特殊控制的要求，例如：定位控制模块、CRT 模块等。

1.4 PLC的发展阶段

虽然 PLC 问世时间不长，但随着微处理器的出现，大规模、超大规模集成电路技术的迅速发展和数据通信技术的不断进步，PLC 也迅速发展，其发展过程大致可分为三个

阶段。

一、早期的 PLC (60 年代末 ~ 70 年代中期)

早期的 PLC 一般称为可编程逻辑控制器,这时的 PLC 多少有点继电器控制装置的替代物的含义,主要完成顺序控制、定时等。装置中的器件主要采用分立元件和中小规模集成电路,磁芯存储器。这个时期形成的 PLC 特有的编程语言——梯形图却一直沿用至今。

二、中期的 PLC (70 年代中期 ~ 80 年代中、后期)

在 70 年代,微处理器的出现使 PLC 发生了巨大的变化。各类型的 PLC 已经普遍采用微处理器为其 CPU,使 PLC 的功能越来越强,应用范围越来越广。

在软件方面,除了保持其原有的逻辑运算、计时、计数等功能外,还增强了算术运算、数据处理和传递、通讯、自诊断等功能。在硬件方面除了保持原有的开关量 I/O 之外,还增加了模拟量 I/O、远程 I/O 及各种特殊功能模块,如高速计数器模块、PID 模块、定位控制模块、通信模块等。并扩大了存储器的容量,使各种逻辑线圈的数量增加,包括计时器、计数器、内部逻辑线圈等,还提供了一定数量的数据寄存器。因此使 PLC 的应用范围得以扩大。

为了适应不同的控制要求,在发展过程中,PLC 逐步形成了大、中、小型的系列产品,它们的区别不仅表现在其 I/O 的点数上,而且还表现在 PLC 的软、硬件功能及扫描速度等方面。

三、近期的 PLC (80 年代中、后期至今)

进入 80 年代中、后期,由于超大规模集成电路技术的迅速发展,微处理器的价格大幅度下跌,使得各种类型的 PLC 所采用的微处理器的档次普遍提高。而且为了进一步提高

PLC 的处理速度，各制造厂家还纷纷开发了专用逻辑处理芯片，也更加注重了通信联网的功能。这样，使得 PLC 软硬件功能均发生了巨大变化，即使是小型 PLC，其功能也大大增强，在有些方面甚至赶上和超过了中期大型 PLC 的功能。

另外，为了适应某些特殊场合的需要，还有体积更小的微小型 PLC，其体积仅为几个肥皂盒一般大小。这种 PLC 除了 I/O 点数较少外，其他功能类似于小型 PLC，是实现家庭自动化、小型机械自动化的理想控制器。例如：日本三菱公司的 F₀ 系列就属于这一代的微小型 PLC，该公司的 FX₂ 系列属于这一代的小型 PLC，本书的第二、四章中主要就是以 FX₂ 系列 PLC 为背景机进行介绍。

1.5 PLC的发展趋势

20 多年来，随着大规模、超大规模集成电路技术和数字通信的进步和发展，PLC 的发展十分迅速，而且这种发展还在继续。

一、缩小与工业控制计算机之间的差距

随着超大规模集成电路技术的发展，产生了一系列高性能器件，其中包括专用的集成电路 ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 芯片作为 PLC 的 CPU，从而使各类 PLC 的功能越来越强，逐步缩小与工业控制计算机之间的差距。

二、采用表面安装技术

由于超大规模集成电路技术的发展，双列直插式封装结构已不再适应最新型的超大规模集成电路芯片。采用表面安装的扁平封装电路和表面安装技术直接安装在印刷电路板

表面，而不需要插入印刷板插孔，不仅降低了成本，减小了体积，而且使系统性能得到改进。

三、丰富的 I/O 模块

为了适应更多的工业控制要求，在增强 PLC 的 CPU 功能的同时，还将进一步丰富 I/O 模块，例如数控模块、计算模块、语言处理模块等，使 PLC 在实时性、精度、分辨率、人-机对话等性能方面进一步得到改善和提高。

四、编程语言

随着 PLC 功能不断增强，目前由梯形图一统天下的局面将被打破，多种语言并存、互补不足将是今后 PLC 编程语言发展的趋势。新一代的 PLC 除了采用梯形图外，还可以采用用于顺序控制的标准化语言 SFC，有些 PLC 还采用与计算机兼容的 BASIC、C 及汇编语言等编制用户程序。

五、网络功能

由于现代工业生产过程对控制系统的要求已经不再局限于某些生产过程的自动化，还要求工业生产过程能长期处于最佳状态下运行。这就要求将工业生产过程自动化与信息管理自动化结合起来。

PLC 作为实现生产过程自动化的控制器必须能与实现工厂信息管理自动化的上位计算机进行联网通信，同时也要要求 PLC 相互之间联网通信。尽管近期各公司推出的新一代 PLC 都具有上述功能，但是不同公司的 PLC 之间还无法通信联网。因此，今后一方面会进一步增强 PLC 之间的通信联网功能，另一方面也将为实现不同公司 PLC 之间的通信联网作出努力。

第二章 PLC 的基本结构和工作原理

2.1 PLC的基本结构

PLC 实质上是一种专用于工业控制的计算机，其硬件结构基本上与微型计算机相同，如图 2-1 所示。

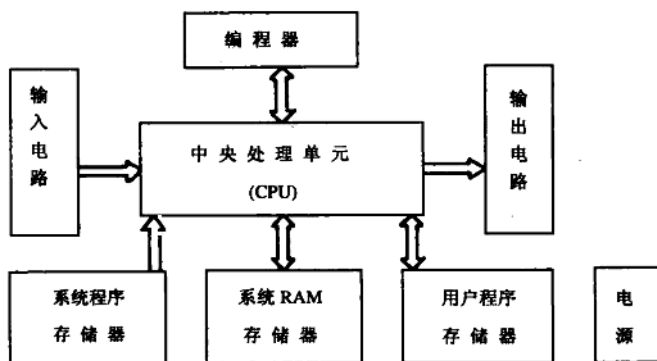


图 2-1 PLC 简化框图

一、中央处理单元 (CPU)

中央处理单元 (CPU) 是 PLC 的控制中枢，它按照 PLC 系统程序赋予的功能，接收并存储从编程器输入的用户程序和数据；检查电源、存储器、I/O 及警戒定时器的状态，并能诊断用户程序中的语法错误。当 PLC 投入运行时，首先它以扫描的方式接收现场各输入装置的状态或数据，并分别存入 I/O 映象区，然后从用户程序存储器中逐条读取用户程序，经过命令解释后按指令的规定执行逻辑或算术运算等任

务，并将运算的结果送入 I/O 映象区或数据寄存器内。所有的用户程序执行完毕之后，最后将 I/O 映象区的各输出状态或输出寄存器内的数据传送到相应的输出装置，如此循环运行。

二、存储器

（一）PLC 常用的存储器类型

1、RAM (Random Access Memory)

这是一种读/写存储器或称为随机存储器，它读写方便，与 EPROM 和 EEPROM 相比，其存取速度最快。由锂电池支持的 RAM 可以满足各种应用的需要。

2、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)

这是一种可擦除的只读存储器。用紫外线连续照射 20min 左右进行擦除，加高电平（12.5V 或 4V 等）可以写入程序。在断电情况下，存储器内容保持不变。因此，系统程序及需要永久保持的用户程序都存储在 EPROM 中。

3、EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory)

这是一种电可擦除的只读存储器。使用编程器就可很容易地对其所有存储的内容进行修改。它兼有 RAM 和 EPROM 的优点。但它也有不足之处，主要有两点：

① 必须先擦除某存储单元的内容后才能写入，写入速度较慢（约 10~15ms）。

② 擦写的次数有限，约 10 000~100 000 次。

（二）PLC 存储空间的分配

虽然大、中、小型 PLC 的 CPU 的最大可寻址空间各不相同，但根据 PLC 的工作原理，其存储空间一般包括三个区域，即系统程序存储区、系统 RAM 存储区和用户程序存