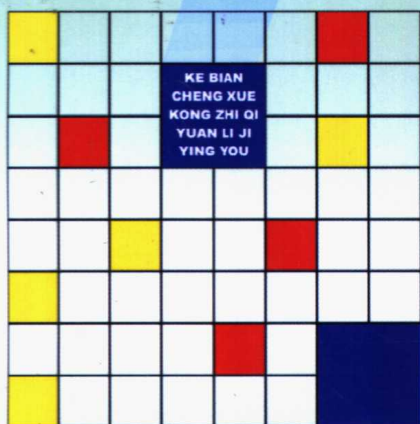


高等院校规划教材

主编 梁为

可编程序控制器 原理及应用



煤炭工业出版社

高等院校规划教材

可编程序控制器原理及应用

梁 为 主编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以国内广泛使用的日本三菱电机公司新推出的 FX_{2N} 系列 PLC 为例, 系统介绍了微型 PLC 的组成、结构、基本原理、编程语言、指令系统以及 PLC 控制系统的设计与应用等内容, 并附有大量的实例和习题。

本书作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、应用电子、机电一体化、供用电技术、计算机应用等本、专科专业学生的教材, 也可作为机电工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

可编程序控制器原理及应用/梁为主编. —北京: 煤炭工业出版社, 2003
高等院校规划教材
ISBN 7-5020-2360-7

I. 可… II. 梁… III. 可编程序控制器—高等学校—教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 084910 号

煤炭工业出版社 出版发行
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京密云春雷印刷厂 印刷

*
开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 19¹/₂
字数 462 千字 印数 1—2,200
2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷
社内编号 5131 定价 19.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

工业自动化控制系统是从传统的以低压电器元件为基础、以继电器—接触器为主的电气自动控制系统,发展为现代的以微处理器为基础,综合计算机技术、自动控制技术及通信技术的工业自动化控制系统,从控制结构到控制理念均发生了根本性的变化。

可编程序控制器就是顺应这一发展而产生的新型控制器,它集逻辑控制、顺序控制与模拟量调节于一身,具有强大的控制能力,并且可靠性高、使用灵活方便;同时它还能够适应新兴的网络化和开放式的趋势,组合成更为适用的、高性价比的综合自动化控制系统。这对现有工矿企业的技术改造、新型工业的发展都具有重大的实际意义。

本书是作者长期从事教学、科研和工程实践的理论和技术的总结,同时收集了大量的最新资料,形成了理论体系完备、内容充实、应用面广、适用性强的特点。本书以日本三菱机电公司最新推出的 FX_{2N} 系列 PLC 为例,详细说明了 PLC 的原理和应用,适合作为高等学校本(专)科生教材,也可作为工程技术人员的参考书。

全书共分 10 章。第 1 章介绍 PLC 的产生、发展、特点及应用;第 2 章介绍 PLC 的分类、组成、编程语言及工作原理;第 3 章以日本三菱电机公司新推出的 FX_{2N} 系列 PLC 为例,说明 FX 系列 PLC 的特点、系统配置、性能指标及编程元件;第 4 章详细介绍 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令及编程方法;第 5 章介绍 FX 系列 PLC 的步进指令及编程方法;第 6 章详细介绍 FX 系列 PLC 的功能指令及编程方法;第 7 章介绍 FX 系列 PLC 的模拟量控制;第 8 章介绍 PLC 的通信与网络;第 9 章介绍 PLC 控制系统的设计与应用;第 10 章介绍 FX-20P-E 型便携式编程器的使用方法。

本书由梁为主编并负责全书统稿,郭海文、秦文艺、张有东为副主编,范国敏为参编,梁育龙、郑笑红共同审稿。其中,梁为编写第 2 章、第 4 章、第 6 章,郭海文编写第 3 章、第 5 章,秦文艺编写第 8 章、第 9 章,张有东编写第 1 章、第 7 章,范国敏编写第 10 章和附录。

因作者学识的局限,书中难免有不当和遗漏之处,恳请有关专家和读者批评指正。

作 者

2003 年 8 月于华北科技学院

目 录

第1章 可编程序控制器概述	1
1.1 可编程序控制器的定义	1
1.2 可编程序控制器的产生与发展	1
1.3 可编程序控制器的特点	5
1.4 可编程序控制器的应用领域	10
1.5 可编程序控制器的发展趋势	11
习题	14
第2章 可编程序控制器的分类、组成及工作原理	15
2.1 可编程序控制器的分类	15
2.2 可编程序控制器的组成与各部分的作用	18
2.3 可编程序控制器的编程语言	26
2.4 可编程序控制器的工作原理	30
习题	37
第3章 FX 系列可编程序控制器	39
3.1 FX 系列可编程序控制器的特点	39
3.2 FX 系列可编程序控制器的系统配置	40
3.3 FX 系列可编程序控制器的性能指标	43
3.4 FX 系列可编程序控制器的编程元件	46
习题	63
第4章 可编程序控制器的基本逻辑指令	64
4.1 基本逻辑指令	64
4.2 编程规则、技巧和举例	75
习题	103
第5章 可编程序控制器的步进指令	113
5.1 顺序控制系统与状态转移图	113
5.2 步进指令和步进梯形图	115
5.3 状态转移图的主要类型	116
5.4 编程举例	120

习题.....	124
第 6 章 可编程序控制器的功能指令.....	127
6.1 功能指令的基本概念	127
6.2 程序流向控制指令	130
6.3 数据比较与数据传送指令	136
6.4 算术运算与字逻辑运算指令	142
6.5 循环移位与移位指令	146
6.6 数据处理指令	150
6.7 高速处理指令	156
6.8 方便指令	164
6.9 外部 I/O 设备指令	173
6.10 外部设备 (SER) 指令	182
6.11 浮点数运算指令.....	188
6.12 时钟运算指令.....	192
6.13 格雷码变换指令.....	194
6.14 触点型比较指令.....	195
习题.....	200
第 7 章 可编程序控制器的模拟量控制.....	203
7.1 模拟量的基本概念	203
7.2 模拟量输入输出模块介绍	204
7.3 模拟量输入输出模块的使用	206
习题.....	211
第 8 章 可编程序控制器的通信与网络.....	212
8.1 通信的基本知识	212
8.2 PLC 与计算机通信	218
8.3 PLC 与 PLC 通信.....	219
8.4 PLC 串行通信功能指令的使用	220
8.5 PLC 网络	222
习题.....	226
第 9 章 可编程序控制器控制系统的设计与应用.....	227
9.1 PLC 控制系统设计的基本原则、内容和步骤	227
9.2 PLC 控制系统的硬件设计	229
9.3 PLC 控制系统的软件设计	231
9.4 PLC 在机床控制中的应用	233
9.5 PLC 在机械手控制中的应用	239

9.6 PLC在电梯控制中的应用	246
9.7 PLC在变频器控制中的应用	250
习题	257
第10章 编程器及其使用	258
10.1 概 述	258
10.2 FX-20P-E型便携式编程器	259
10.3 FX-PCS/WIN-E/-C编程软件简介	277
习题	278
附 录	279
附录A FX系列PLC特殊元件一览表	279
附录B 二进制数、十六进制数与BCD码对照表	282
附录C ASCII(美国标准信息交换码)表	283
附录D 常见FX系列PLC性能指标	284
附录E 常见FX系列PLC基本单元、扩展单元、扩展模块	288
附录F 常见FX系列PLC模拟量输入输出模块	290
附录G 常见FX系列PLC定位控制模块	295
附录H 几种FX系列PLC通信模块	299
参考文献	304

第1章 可编程序控制器概述

可编程序控制器是以微处理器为核心,把计算机技术、自动控制技术、通信技术融为一体的工业自动控制装置。它具有通用性好、功能强、可靠性高、编程简单、使用方便、体积小、重量轻、耗电少等一系列优点,目前已被广泛地应用于工业生产的各个领域。在工业生产中,可编程序控制器与工业机器人、计算机辅助设计和计算机辅助制造、数控机床并称为工业生产自动化的四大支柱。

1.1 可编程序控制器的定义

自从1969年世界上出现第一台可编程序控制器以后,其名称随其功能的发展而变化。早期的可编程序控制器在功能上只能进行开关量的逻辑控制,因此被称为可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller),简称PLC。随着电子技术的发展,可编程序控制器在功能上大大增强,它不仅具有逻辑控制功能,还具有算术运算、模拟量处理和通信联网等功能,所以可编程序逻辑控制器这一名称已不能准确地反映出它的特性,于是,美国电气制造协会(National Electrical Manufacturers Association,简称NEMA)在1980年将它正式命名为可编程序控制器(Programmable Controller),简称PC。但近年来个人计算机(Personal Computer)也简称PC,为了加以区别,现在通常把可编程序控制器简称为PLC。

国际电工委员会(IEC)曾于1982年颁布了可编程序控制器标准草案第一稿,1985年颁布了第二稿,1987年颁布了第三稿。在草案第三稿中对可编程序控制器作了如下定义:“可编程序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、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令,并通过数字式、模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。可编程序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。”

由上述定义可见,可编程序控制器是专为在工业环境下应用而设计制造的一种面向用户的工业控制计算机。

1.2 可编程序控制器的产生与发展

1.2.1 可编程序控制器的产生

可编程序控制器是一种新型的通用工业自动控制装置,它的产生起源于顺序控制。所谓顺序控制就是根据生产工艺要求,按预先规定好的顺序,在各个输入信号的作用下,使控制系统的各个执行机构自动地按顺序动作。

在工业生产中最早使用的电气自动控制系统是继电器—接触器控制系统，简称为继电器控制系统，它出现于 1836 年电磁继电器发明以后。所谓继电器控制系统，就是用导线把继电器（如中间继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器、电流继电器、电压继电器等）、接触器的线圈以及继电器、接触器、开关的触点按一定的逻辑关系连接起来构成的顺序控制系统。这种顺序控制系统具有电路直观形象、结构简单、价格低廉、操作容易、对维修技术要求不高等优点，其缺点是控制系统的布线固定、控制功能不能随意更改、通用性和灵活性差、不能适应通用的大批量系列化生产，对于比较复杂的控制系统，元件多、机械触点多、可靠性差、线路复杂、查找和排除故障困难，并且体积大、耗电多。因此，它只适用于生产工艺过程固定、控制要求比较简单的场合。目前，继电器控制系统还在使用，并且应用比较广泛。

随着电子技术的发展，出现了半导体逻辑元件。利用半导体逻辑元件（如二极管、晶体管、集成电路等）可以构成顺序控制系统，这种顺序控制系统称为逻辑式顺序控制系统。它与继电器控制系统相比，具有体积小、无触点、动作快、可靠性高等优点，但缺点是控制规模较小，输入输出点数不超过 64 点。

随着自动化程度的不断提高，对控制装置的要求也更为多样化和复杂化。在以后的生产实践中又出现了一种二极管矩阵式顺序控制系统，它是从继电器控制系统和半导体顺序控制系统演变而来的，其核心部分是 1 块利用二极管“门”构成的矩阵板。程序的设定是借助于将二极管插入适当位置的矩阵插孔来实现的，更换二极管插头的位置，就能直接进行程序的更改。这种顺序控制系统的输入输出点数往往受到矩阵板本身结构的限制，因此，它只适用于规模较小的顺序控制。

上述三种控制系统，其控制要求通常采用固定接线方式加以实现，其逻辑功能取决于元件的排列和布线方式。所以它们实质上是一种专用控制系统，只能适合某一固定的生产工艺过程，一旦生产工艺过程有所变动，就得重新连线安装，不利于大批量、系列化生产。对于使用者来说，如果系统出现故障，查找困难。这给日新月异的工业生产带来了不可逾越的障碍，由此，人们产生了一种寻求新型控制系统的想法。

20 世纪 60 年代末，计算机技术和集成电路技术得到了迅猛的发展。在这一时期，市场需求也发生了变化，工业生产开始从大批量、少品种的生产方式转变为小批量、多品种的生产方式。这种生产方式在汽车生产过程中显得尤为重要，而当时汽车组装生产线的控制都是采用继电器控制系统。由于汽车组装生产线上的控制对象多，控制要求复杂，要想改变生产工艺过程是非常困难的，需要重新设计、重新安装，改造周期长，使产品更新换代的周期无法缩短，成本无法降低。为了改变这种状况，1968 年美国通用汽车公司（GM）根据生产的需要提出如下设想：能否把计算机的功能完善、灵活性、通用性等优点与继电器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合进来，做成一种通用控制装置，并把计算机的编程方法和程序输入方式加以简化，用面向控制过程、面向问题的“自然语言”编程，使得不熟悉计算机的人也能方便地使用。这样，使用人员不必在编程上花费大量的精力，而是集中精力去考虑如何发挥该装置的功能和作用。根据这一设想，该公司对外进行公开招标，要求用新的电气控制系统取代继电器控制系统，以便适应迅速改变生产工艺过程的要求，并为新的电气控制系统提出了下列 10 项指标：

- (1) 编程简单，可在现场修改程序；

- (2) 维修方便, 采用模块式结构;
- (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) 成本可与继电器控制装置竞争;
- (6) 数据可直接送入管理计算机;
- (7) 输入为交流 115V;
- (8) 输出为交流 115V, 容量在 2A 以上, 能直接驱动电磁阀、接触器等;
- (9) 通用性强, 能扩展;
- (10) 能存储用户程序, 存储器容量可扩展到 4kB。

这一设想提出后, 美国数字设备公司 (DEC) 首先响应, 于 1969 年首先研制出世界上第一台可编程序控制器 PDP-14。用它代替传统的继电器控制系统, 在通用汽车公司的汽车组装生产线上试用获得成功。

可编程序控制器的诞生, 开创了工业自动化控制的新时代。

1.2.2 可编程序控制器的发展

自从美国在 1969 年研制出世界上第一台可编程序控制器以后, 日本、德国、法国、英国等国家也相继引进并开发出了各类 PLC。近几年来, PLC 控制技术的发展相当迅速, 应用领域迅速扩大, 几乎覆盖了所有的工业部门。据统计, 在发达的工业化国家, 80% 以上的工业设备都采用 PLC 控制。PLC 在发达的工业化国家已成为工业控制的标准设备。

日本自 1971 年从美国引进这项技术后很快研制出日本第一台可编程序控制器。这些年来日本主要发展中、小型 PLC。日本的小型 PLC 产品性能先进、结构紧凑、价格便宜, 因而在国际市场上占有重要地位, 使得美国不得不转向发展大型 PLC。日本三菱电机公司是日本目前 PLC 销售量最大的厂家, 其代表产品是 A 系列中型 PLC 和 FX 系列小型 PLC。

联邦德国和法国等西欧国家在 1973~1974 年也研制出它们的第一台可编程序控制器。

我国从 1974 年开始研制可编程序控制器, 当时是仿制美国的第一台产品, 直到 1977 年研制成功了以一位微处理器 MC14500 为核心的 PLC, 并开始在工业生产中应用。

据不完全统计, 目前世界上已有上百家 PLC 制造厂, 产品多达数百种。世界上几十家著名的电气公司都在生产自己的 PLC, 如美国的通用电气公司 (General Electric, 简称 GE 公司)、数字设备公司 (DEC)、ROCKWELL 公司^①、施耐德公司 (Schneider)^②、德州仪器公司 (Texas Instruments, 简称 TI 公司)、西屋公司 (Westinghouse)、歌德公司 (Gould)、霍尼韦尔公司 (HONEYWELL), 日本的三菱机电公司 (MITSUBISHI)、立石 (欧姆龙) 电机公司 (OMRON)、日立公司 (HITACHI)、东芝公司 (TOSHIBA)、富士电机公司 (FUJII)、松下电工公司 (National), 德国的西门子公司 (Siemens)、通用电气公司 (AEG), 法国的 IE 公司 (TElemechanique), 荷兰的飞利浦公司 (PHILIPS), GE -

① 美国 ROCKWELL 公司已把美国的莫迪康公司 (MODICON) 兼并。

② 美国施耐德公司 (Schneider) 已把美国的艾伦-布拉德利公司 (Allen-Bradley, 简称 A-B 公司) 兼并。

FANAC 公司^① 等。

可编程序控制器从问世以来经过了 30 多年, 现已发展到第五代。其发展过程大致如下:

第一代: 从第一台可编程序控制器诞生到 20 世纪 70 年代初期。其特点是:

- (1) CPU 由中小规模集成电路组成, 存储器为磁芯存储器, 元件数量多、体积大;
- (2) 在功能上只能完成逻辑运算、定时、计数功能;
- (3) 1 台 PLC 只能取代 200~300 个继电器, 可靠性略高于继电器控制系统;
- (4) 机型单一, 没有形成系列;
- (5) 编程复杂, 没有形成面向控制过程、面向问题的编程语言。

典型产品有: 美国 DEC 公司的 PDP-14、PDP-14/L, MODICON 公司的 084, A-B 公司的 PDQ-II; 日本富士公司的 USC-4000, 立石公司的 SCY-022 等。

第二代: 从 20 世纪 70 年代初期到 70 年代末期。随着微电子技术和计算机技术的快速发展, 出现了微处理器, 其特点是体积小、功能强、价格低, 人们很快将它应用到 PLC 中, 使 PLC 在功能上得到大大增强。其特点是:

- (1) CPU 采用微处理器, 存储器采用 EPROM, 使 PLC 的技术得到了较大的发展;
- (2) 在功能上增加了算术运算、数据处理、计算机接口和模拟量控制等功能;
- (3) 软件上开发出自诊断程序, 可靠性进一步提高;
- (4) 系统开始向标准化、系列化发展;
- (5) 结构上开始有整体式和模块式的区分, 整机功能从专用向通用过渡。

典型产品有: 美国 MODICON 公司的 184、284、384, GE 公司的 LOGISTROT; 德国 Siemens 公司的 SIMATIC S4 系列; 日本富士公司的 SC 系列等。

第三代: 从 20 世纪 70 年代末期到 80 年代中期。随着大规模集成电路和超大规模集成电路等微电子技术的迅猛发展, 使单片计算机、半导体存储器、大规模集成电路进入了工业化生产, 从而推进了 PLC 的进一步发展, 使其演变成专用的工业计算机。其特点是:

- (1) CPU 采用 8 位或 16 位微处理器, 有些还采用多微处理器结构; 存储器采用 EPROM、EAROM、CMOSRAM 等, 使 PLC 的功能和处理速度大大增强, 体积进一步缩小, 成本大幅度下降;
- (2) 在功能上增加了浮点数运算、平方、三角函数、相关数、查表、列表、脉宽调制变换等多种特殊功能, 不仅如此, PLC 还具有通信功能和远程 I/O 能力;
- (3) 自诊断功能及容错技术发展迅速, 可靠性大大提高;
- (4) 软件方面开发了面向过程的梯形图语言以及与之相对应的指令表。

在这一时期, PLC 朝着以下两个方向上发展: 其一为低档 PLC, 向小型化、整体式、低成本方向发展, 使之能更加广泛地取代继电器控制; 其二为中、高档 PLC, 向大型化、模块式、高速、多功能方向发展, 使之能取代工业控制计算机的部分功能, 对大规模、复杂系统进行综合性的自动控制。

典型产品有: 美国 GOULD 公司的 M84、484、584、684、884, TI 公司的 PM550、TI510、520、530; 德国 Siemens 公司的 SIMATIC S5 系列; 日本三菱公司的 MELPAC-

^① GE-FANAC 公司是美国 GE 公司与日本 FANAC 合资的公司。

50、550, 富士公司的 MICREX, 立石公司的 C 系列等。

第四代: 从 20 世纪 80 年代中期到 90 年代中期。随着计算机技术的飞速发展及超大规模集成电路、门阵列电路的使用, 促使 PLC 完全计算机化。其特点是:

- (1) PLC 全面采用 8 位或 16 位微处理芯片的位片式芯片, 处理速度达到 $1\mu\text{s}/\text{步}$;
- (2) 在功能上具有高速计数、中断响应、A/D (模/数)、D/A (数/模) 转换、PID (比例-积分-微分) 控制等, 已能满足过程控制的要求, 同时加强了通信联网的能力;
- (3) 在梯形图语言和指令表基本标准化的基础上, 创立了顺序功能图语言, 并开发了基于个人计算机的编程软件。

典型产品有: 美国 GOULD 公司的 A5900, MODULAR SYSTEMS RESEARCH 公司的 IAC 系列; 德国 Siemens 公司的 SIMATIC S7 系列; 日本立石公司的 C200H α 、CV 系列。

第五代: 从 20 世纪 90 年代中期至今。RISC (精简指令系统 CPU) 芯片在计算机行业大量使用, 表面贴装技术和工艺已成熟, 使 PLC 整机的体积大大缩小。其特点是:

- (1) CPU 采用 16 位或 32 位的微处理器芯片, 有的已使用 RISC 芯片;
- (2) 系统程序中的逻辑运算等标准化功能用超大规模门阵列电路固化, PLC 都可以与计算机进行通信联网;
- (3) PLC 的 I/O 点数最少只有 8 个, 最多有 32K 以上;
- (4) 已开发出各种智能化模块;
- (5) 以 LCD 为显示的人机智能接口普遍使用, 高级的已发展到触摸式屏幕;
- (6) 编程语言除了传统的梯形图、指令表、顺序功能图以外, 还有用于算术运算的 BASIC、FORTRAN、C 语言, 用于机床控制的数控语言等。

典型产品有: 美国 ROCKWELL 公司的 CONTROL LOGIC 550; 日本立石公司的 CS1 系列。

综上所述, 可编程序控制器是在继电器控制和计算机控制的基础上开发的产品, 逐渐发展成以微处理器为中央处理单元 (Central Processing Unit, 简称 CPU), 并综合计算机技术、自动控制技术以及通信技术而发展起来的新一代通用工业自动控制装置。

1.3 可编程序控制器的特点

可编程序控制器之所以得到迅速发展, 并在工业生产中得到广泛的应用, 是由于它与继电器控制系统、微机控制系统相比具有如下一些显著特点。

1.3.1 可靠性高, 抗干扰能力强

对工业控制器件来讲, 可靠性是一个非常重要的指标。如何能在各种恶劣的工业环境和条件 (如电磁干扰、电源电压波动、过电压、欠电压、振动、冲击、温度变化、低温、高温、潮湿、粉尘、有害气体等) 下, 长期稳定、可靠地工作, 将故障率降至最低, 是研制每一种控制器件必须考虑的首要问题。PLC 的研制者在这一方面采取了许多有力的措施, 使 PLC 具有很高的可靠性和抗干扰能力, 因此被称为“专为适应恶劣的工业环境而设计的计算机”。

PLC 采用的是半导体大规模和超大规模集成电路, 用软件(程序)来代替那些由继电器、触点和连线组成的布线逻辑, 大量的开关动作由无触点的半导体电路来完成, 因此不会出现继电器控制系统中由于某个继电器动作不灵、某个触点损坏或接触不良或抖动、某个连接点松动或脱焊、某条导线老化短路等情况影响整个控制系统的正常运行, 提高了控制系统的可靠性。另外, 在 PLC 的设计和制造过程中, 除了对 PLC 的组成元器件进行严格的筛选测试、老化试验和采用先进的装配工艺外, 在硬件和软件设计上采取了一系列措施, 以提高 PLC 的可靠性和抗干扰能力。

在硬件方面采取的主要措施有:

(1) 滤波——在 I/O 接口电路中设置多种形式的滤波电路, 不仅可以有效地消除或抑制来自外界的高频干扰信号, 而且也可以削弱各模块之间不必要的信号耦合。

(2) 隔离——在 CPU 与 I/O 接口电路之间(主要指数字接口)几乎无一例外都采用光电耦合器(或采用继电器输出)来传递信号, 这种光电隔离(或继电器隔离)措施使外部电路与 PLC 内部之间完全避免了电的联系, 有效地抑制了外部干扰信号对 PLC 的影响, 还可防止外部强电窜入内部 CPU, 从而减少 PLC 的故障和误动作。

(3) 屏蔽——对电源变压器采取磁场和电场的双重屏蔽, 对 CPU 和编程器等模块采用电场屏蔽, 以防辐射干扰。

(4) 电源——PLC 中的电源, 尤其是为 CPU 模块供电的 +5V 电源, 采取电磁屏蔽(辐射干扰)、多级滤波(高频干扰)、稳压(电网电压波动)、保护(欠电压、过电压、过电流)等措施, 以防止 PLC 的损坏可能导致的系统混乱。另外, 各 I/O 接口电路的电源可以设计成彼此独立, 避免电源之间的互相干扰。

(5) 环境检测与诊断电路——这部分电路负责对 PLC 的工作环境(如电网电压、工作温度、环境湿度等)做检测, 同时也完成对 PLC 中各模块工作状况的监测。这部分电路与软件(故障检测与诊断程序)配合工作, 实现自动监测、诊断和预报, 一旦发生异常情况, 立即自动做出相应的处理。

(6) 联锁功能——PLC 中的输出模块都设有“使能”控制端, 用以实现各输出通道之间的联锁和互锁, 防止各被控对象之间的误动作可能造成的事故。

(7) 结构——PLC 采用密封、防尘、抗振的外壳封装结构, 以适应恶劣的工作环境。

在软件方面采取的主要措施有:

(1) 设置故障检测与诊断程序——PLC 在每个扫描周期内, 对系统状态、用户程序、工作环境和各模块的工作状况进行检测与诊断, 发现出错后, 立即自动做出相应的处理, 如报警、保护数据和封锁输出等。

当故障检测与诊断程序检测到工作环境(如掉电、欠电压、过电压、后备电池电压过低、强干扰等)导致 PLC 不能正常工作时, 立即将 PLC 当前的工作状态和有关的信息存入具有后备电池供电的存储器中, 并对存储器进行封闭, 禁止对存储器的任何操作, 以防存储信息被冲掉。这样, 一旦检测到工作环境正常后, PLC 自动从这种存储器中取出有关信息, 恢复到故障发生前的状态, 继续完成因故障中断的工作。

(2) 设置监控定时器 WDT——如果用户程序某次循环执行时间超过了 WDT 规定时间, 表明程序进入死循环, PLC 将立即停止执行用户程序, 同时切断全部输出, 并立即报警显示。

(3) 具有断电保护功能——利用后备电池对用户程序及动态数据进行断电保护，以保障停电后有关状态及信息不会因此而丢失。

(4) PLC 是以扫描方式进行工作的，即它对信号的输入、数据的处理和控制信号的输出分别在一个扫描周期的不同时间间隔里以批处理方式进行，因此不仅使用户编程简单、不易出错，而且使 PLC 的工作不易受到外界干扰的影响；PLC 所处理的数据比较稳定，以减少处理上的错误；同时输入输出的控制比较简单，不容易产生因时序不合适而造成的问题。

PLC 采用以上措施后，其可靠性和抗干扰能力大大提高，尤其是对工业生产过程中最多见的瞬间强干扰具有很强的抑制和处理能力。目前，各厂家生产的 PLC 控制模块的平均无故障时间 (Mean Time Between Failure, 简称 MTBF) 都大大超过国际电工委员会 (IEC) 规定的 10 万小时，达到 30~100 万小时，PLC 的平均无故障时间达到 4~5 万小时以上。PLC 能够承受峰-峰值为 1000V、上升时间为 1ns、脉宽为 1 μ s 的矩形脉冲串的线路尖峰干扰。有人做过实验，在日本三菱公司生产的 F1 系列 PLC 的电源回路中加入峰-峰值为 4000V 的脉冲串干扰或电源瞬时停电 30ms，对 PLC 都不会产生任何影响。可以说，到目前为止没有任何一种工业控制设备可以达到 PLC 的可靠性。

1.3.2 功能完善，适应性强，通用性好

目前 PLC 不仅具有逻辑控制、定时控制、计数控制和顺序控制等功能，还具有 A/D、D/A 转换、PID 控制、数字运算、数据处理、通信联网、生产过程监控等功能，并且 PLC 产品现已形成多样化、系列化、模块化，同一系列又有低档、中档、高档之分。针对不同的工业现场信号，如开关量、模拟量、电流、电压、脉冲、电位、弱电、温度、压力、流量等，PLC 都有相应的 I/O 接口模块与工业现场控制器件和设备直接连接，因此，用户可以根据实际需要，灵活方便地组装成大小各异、功能不一的控制系统。另外，PLC 的适应能力非常强，既可对开关量进行控制，又可以对模拟量进行控制；既可以控制一台单机、一条生产线，又可以控制一个机群、多条生产线；既可以现场控制，又可以远程控制；既可以控制简单系统，又可以控制复杂系统。

1 台微型 PLC 的十几条基本逻辑指令组成的程序就可以实现一般继电器控制系统的所有功能。同一编号的继电器常开和常闭触点使用次数不受限制。PLC 可向用户提供几十个，甚至几百个继电器、定时器和计数器，如日本三菱公司的 FX_{1S} 系列微型 PLC 设置有 768 个辅助继电器、32 个计数器和 64 个定时器，计数范围为 1~32767 数，定时范围为 0~3276.7s，定时误差最小为 1ms。通过编程器可方便地调整定时值和计数值，一经调定就不会因环境条件变化而变更。而继电器控制系统中的时间继电器定时精度不高，易受环境温度和湿度的影响。

对于继电器控制系统，一旦各类继电器选定和布线就绪，再想改变或增加功能将十分困难。此外，继电器触点数目有限，其灵活性和扩展性很差，因此当被控对象、控制方案或生产工艺过程改变时，必须为之设计并制作新的控制装置。如果运用 PLC 控制，由于 PLC 是用程序取代继电器硬接线的连接形式，所以，无需改变 PLC 硬件，只需改变用户程序就可以完成各种各样的任务。同一台 PLC 采用不同的程序，可实现对不同设备的控制。

1.3.3 速度快

继电器控制系统是靠继电器的机械动作,通过其触点的通断实现控制的,其动作频率受到机械结构的限制,所以动作速度慢,而且系统越大速度越慢。如1台JZ15系列中间继电器额定动作频率为1200次/h,其动作时间长达50ms。PLC采用软件进行控制,其控制速度取决于CPU速度和扫描周期,一条基本指令的执行时间仅为 μs 级甚至ns级,这比继电器的动作快得多。

1.3.4 编程简单易学

用微机实现控制,使用的是汇编语言,难于掌握,要求使用者具有一定水平的计算机硬件和软件知识。而PLC采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”编程,容易掌握。例如目前PLC广泛采用的梯形图编程语言就是一种面向控制过程的编程语言,它与继电器控制电路原理图极为相似,形象直观,易学易懂,因此深受现场电气技术人员的欢迎。近年来又发展了面向对象的顺序功能图语言,使编程更加简单方便。对使用者来说,几乎不需要专门的计算机知识就能对PLC进行编程。

PLC的编程语言与微机的汇编语言相比,虽然在PLC内部增加了解释程序(将PLC的编程语言“翻译”成汇编语言),增加了程序执行时间,但对大多数的机电控制设备来说,PLC的执行速度完全能满足要求。

1.3.5 设计简单、安装方便、调试工作量少

由于PLC具有逻辑运算、定时、计数等功能,所以PLC可以用软件功能取代继电器控制系统中的中间继电器、时间继电器、计数器等控制器件的作用,这就大大地减少了控制系统所需要的控制器件的品种和数量,从而使控制柜的设计、安装、接线工作量大大减少。而且软件的设计和调试工作可与硬件的设计、制造、安装等工作同时进行,这样既快速又安全方便,因此节省了大量的人力和物力资源,缩短了工程周期。

PLC产品已经形成多样化、系列化、模块化,并有各种类型的I/O模块,可直接与用户设备连接,因此,用户可以灵活方便地组装成所需的控制系统。而微机控制系统需要设计和制作专门的输入输出接口,工作量大,调试也比较烦琐。

PLC控制系统的程序设计大多采用梯形图编程语言,它比汇编语言编程简单。人们在设计梯形图程序时,一般采用顺序控制设计法。这种编程方法很有规律,很容易掌握。对于复杂的控制系统,设计PLC控制系统梯形图所用时间比设计继电器控制系统电路图所用时间要少得多。

PLC的接线极其简单方便,只需将产生输入信号的装置(如按钮、开关、传感器等)与PLC的输入端子连接,将接收输出信号的执行装置(如接触器、电磁阀、控制阀、变换器、电机启动装置等)与PLC的输出端子连接,仅用螺丝刀即可完成全部接线工作。

PLC的用户程序可在实验室进行模拟调试,输入信号用小开关来模拟,输出信号的状态可以从PLC上有关的发光二极管上观察;调试好后再将PLC安装到现场进行联机调试。调试过程中发现的问题一般通过修改程序就可以解决,调试工作量要比继电器控制系统少得多。

1.3.6 维修方便, 工作量小

由于 PLC 的可靠性高、抗干扰能力强, 平均无故障时间达到 4~5 万小时, 因此, PLC 的故障率极低, 维修工作量很小; 并且 PLC 有比较完善的自诊断功能和运行故障指示装置, 一旦 PLC 发生故障, 可以根据 PLC 上有关的发光二极管的亮灭状态或编程器的液晶显示屏 (LCD) 指出的错误信息, 迅速找到故障部位和故障原因。由于许多 PLC 采用模块式结构, 因此一旦某模块发生故障, 用户只需更换新的模块, 就能迅速排除故障, 恢复系统正常工作。有些 PLC 如贝加莱的产品还允许带电插拔 I/O 模块。

根据分析, 在 PLC 控制系统的故障中, CPU 模块占 5%, I/O 模块占 15%, 输入装置占 45%, 执行装置占 30%, 接线占 5%。除了前两项共 20% 的故障可由 PLC 本身的硬件和软件检测以外, 其它的 80% 都不能通过 PLC 的自诊断功能查出。由此可知, PLC 控制系统的故障主要出现在外部的输入装置和执行装置上。

1.3.7 体积小、重量轻、功耗低

由于 PLC 采用半导体大规模和超大规模集成电路, 因此它的功能强、结构紧凑、体积小、重量轻、功耗低、性能/价格比高。以日本三菱公司的 FX_{0S}-20M 型 PLC 为例, 它具有 12 点输入, 8 点输出, 56 个定时器, 21 个计数器和 563 个辅助继电器, 其外形尺寸仅为 90mm×75mm×75mm, 重量只有 0.4kg, 耗电 33VA。它相当于 5 台高度为 1.8m 的大型继电器控制柜的功能, 这是继电器控制系统无法与之相比的; 同样, 其性能/价格比和耗电量也是无法相比的。由于 PLC 不仅功能多、可靠性高、抗干扰能力强, 而且体积小, 很容易装入机械设备内部, 所以, 它是实现机电一体化较为理想的控制器。

当然, PLC 也并非十全十美, 其缺点是工作速度比计算机慢, 输出对输入的响应有滞后现象, 简单继电器控制系统用 PLC 控制系统代替的价格还比较高。

综上所述, 继电器控制系统和微机控制系统无法与 PLC 控制系统相比。因此, PLC 在工业生产中得到了广泛的应用和迅速的发展。

PLC 控制系统与继电器控制系统、微机控制系统性能比较见表 1-1。

表 1-1 PLC 控制系统与继电器控制系统、微机控制系统性能比较表

项 目	PLC 控制系统	继电器控制系统	微机控制系统
功 能	用程序实现各种复杂控制	用继电器布线逻辑实现顺序控制	用程序实现各种复杂控制
工作环境	适应一般工业生产现场环境	环境差会降低可靠性和寿命	要求有较好的工作环境
抗干扰性	一般不考虑抗干扰问题	能抗一般电磁干扰	要专门设计抗干扰措施
可 靠 性	平均无故障工作时间长	受机械触点寿命限制	一般比 PLC 差
系统开发	系统设计简单, 编程容易, 安装方便, 调试周期短	设计图样多, 安装接线工作量大, 调试周期长	系统设计较复杂, 调试技术难度大, 要有一定的计算机硬件和软件知识

续表

项 目	PLC 控制系统	继电器控制系统	微机控制系统
接 口	直接与生产设备连接	直接与生产设备连接	要设计专门的接口
维 护	现场检查, 维修方便	定期更换继电器, 维修费时	技术难度较高
改变控制	修改程序简单	改变硬件接线逻辑, 工作量大	修改程序难度大
通 用 性	较好, 适用面广	一般是专用	要进行软、硬件改造
工作方式	顺序扫描	顺序控制	中断处理, 响应快
成 本	比微机控制系统高	简单继电器控制系统低	一般比 PLC 低

1.4 可编程序控制器的应用领域

由于 PLC 具有前面所述的一系列特点, 因此, 它已被广泛应用于矿山、冶金、机械、石油、化工、电力、造纸、印刷、轻工、纺织、交通、通讯、邮政、建筑、建材、环保、娱乐、食品加工等各行各业。PLC 作为通用的自动控制装置, 可对单台设备、多台设备、自动生产线进行逻辑控制、顺序控制、运动控制、过程控制以及集散控制等。按照 PLC 的控制类型不同, 它主要应用在以下几个方面。

1.4.1 开关量控制

这是 PLC 应用最广泛的领域, 它可以取代传统的继电器控制系统, 实现开关量的逻辑控制和顺序控制, 如注塑机、印刷机、矿井提升机、带式输送机、电梯、机床、自动生产线、自动装配线的控制等。

1.4.2 模拟量控制

目前, 很多 PLC 都具有模拟量处理功能, 通过模拟量 I/O 模块可对温度、压力、流量、速度等连续变化的模拟量进行控制。有的 PLC 还具有 PID 控制功能, 运用 PID 子程序或使用专用的智能 PID 模块, 可实现对模拟量的闭环运动控制 (位置控制、速度控制、加速度控制) 和过程控制, 如直流或交流伺服电动机、比例阀阀芯的位置控制, 矿井提升机中主电机的速度控制, 自动焊机、连轧机、塑料挤压成型机、热处理炉、锅炉的过程控制等。目前除大、中型 PLC 具有 PID 控制功能外, 一些公司的小型 PLC 也具有这种功能, 如日本三菱公司的 FX_{2N} 系列, 立石公司的 CQM1, 松下公司的 FP1 等。

在运动控制中, PLC 使用专用的运动控制模块, 对直线运动或圆周运动的位置、速度和加速度进行控制。PLC 的位置控制模块可实现单轴/多轴的位置控制, 当每个轴移动时, 位置控制模块保持适当的速度和加速度, 以确保运动平稳。

1.4.3 数字量控制

利用 PLC 能接收和发送高速脉冲, 配备相应的传感器 (如旋转编码器) 和脉冲伺服