



21世纪高等教育重点建设教材

可编程序控制器 原理与应用

宋建成 主编



科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪高等教育重点建设教材

可编程序控制器原理与应用

宋建成 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

可编程序控制器(PLC)是20世纪70年代问世的通用自动控制装置,是集顺序逻辑控制、回路调节、图形监视、网络通信于一体的综合自动化系统,被广泛应用于控制各种机械设备的生产过程。

全书共分为9章,分别介绍了PLC的基础知识、PLC编程语言及指令系统、顺序控制的设计和编程、基于PLC控制系统的工程设计、PLC人机接口技术、PLC网络通信、PLC控制系统应用实例、PLC在工业应用的若干问题等内容。

本书可作为本科生学习PLC技术的教材,也可作为相关专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

可编程序控制器原理与应用/宋建成主编.—北京:科学出版社,2004

(21世纪高等教育重点建设教材)

ISBN 7-03-012674-2

I.可... II.宋... 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123539号

策划编辑:吕建忠/责任编辑:丁波
责任印制:吕春珉/封面设计:卢秋红

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年1月第一版	开本:787×1092 1/16
2004年1月第一次印刷	印张:17 1/2
印数:1—5000	字数:397 000

定价:24.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

可编程序控制器（以下简称 PLC）是 20 世纪 70 年代问世的通用自动控制装置。经过 30 余年的发展，它已由原来仅仅代替继电器逻辑控制而变成一个集顺序逻辑控制、回路调节、图形监视、网络通信于一体的综合自动化系统发展成为现代工业自动化的三大支柱（PLC、机器人、CAD/CAM）之一，并被广泛用于控制各种机械设备和生产过程中。因此，推广和普及 PLC 技术对提高我国工业自动化水平及生产效率具有十分重要的意义。

与 PLC 的技术发展相呼应，PLC 技术培训也已经从生产厂家和学术团体举办的技术讲座变为高等教育自动化及其相关专业的一门专业技术课。国内已经出版了多种介绍 PLC 技术的书籍（包括教材），但是这些书在内容上大多是从机电专业出发，局限于介绍 PLC 提供的顺序逻辑功能，滞后于 PLC 技术的发展现状。此外，对于 PLC 控制系统工程设计方法和规范的讨论也较少。为了满足自动化工程技术人员和大专院校相关专业学生的学习要求，我们面向反映 PLC 技术的动态发展和提高工程设计能力两个方面编写了本书。

虽然全世界制造 PLC 及其网络产品的公司有 200 余家，生产着 400 多种系列产品，它们的硬件结构不尽相同，编程语言和支持环境互不兼容，但是它们的系统构成、工作原理、主要功能和基本指令又大同小异。所以，本书在介绍 PLC 硬件结构、开发工具和应用实例时，是从 PLC 发展中形成的典型流派中挑选典型代表，将德国西门子公司 PLC 和日本三菱公司 PLC 作为主要讲授对象，以兼顾 PLC 技术的统一性和典型性。

全书共 9 章，第 1 章~第 4 章是基础部分，介绍 PLC 工作原理、硬件构成、编程语言和指令系统、PLC 顺序逻辑控制的设计方法和编程技术；第 5 章~第 9 章是应用部分，从 PLC 及其网络能够提供一个全集成的自动化解决方案的角度来讨论 PLC 控制系统的工程设计方法、人机接口技术、网络通信，并列举典型的实例——贯穿 PLC 项目的生命周期（包括设计、编程、安装、调试和投运等各个环节）——介绍工程实践中形成的标准、积累的经验 and 应该注意的问题。

本书第 1 章和第 4 章由宋建成编写，第 2 章由周平编写，第 3 章和第 7 章由周亚军编写，第 5 章和第 9 章由徐义亨编写，第 6 章和第 8 章由刘光汉编写，附录 A 和附录 B 由裘君英编写，最后由宋建成统编成书。

在本书的编写和出版过程中，我们得到了浙江省教育厅和浙江科技学院的高等教育重点建设教材的经费资助、科学出版社的悉心指导以及编者所在单位的领导和同仁给予的全力支持与帮助，谨在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 PLC 的产生、演变和发展趋势.....	1
1.1.1 PLC 的产生与演变.....	1
1.1.2 PLC 的发展趋势.....	2
1.1.3 我国 PLC 技术的发展.....	3
1.2 PLC 工作原理.....	4
1.2.1 存储式编程的控制系统.....	5
1.2.2 周期扫描机制.....	5
1.3 PLC 的分类.....	9
1.3.1 按 I/O 点数分类.....	9
1.3.2 按功能范围分类.....	9
1.3.3 按结构形式分类.....	9
1.4 PLC 的基本特点及其在工业自动化中的地位.....	12
1.4.1 PLC 的基本特点.....	12
1.4.2 PLC 在工业自动化中的地位.....	14
1.4.3 PLC 的市场需求.....	14
1.5 标准对 PLC 技术的影响.....	18
1.5.1 PLC 标准: IEC61131.....	18
1.5.2 开放的应用平台.....	19
1.5.3 标准化对 PLC 技术发展的影响.....	20
思考题.....	21
第 2 章 PLC 的硬件组成及结构.....	22
2.1 PLC 的基本组成及其工作原理.....	22
2.1.1 CPU.....	22
2.1.2 存储器.....	23
2.1.3 输入/输出模块.....	25
2.1.4 外部设备.....	33
2.2 典型 PLC 产品介绍.....	34
2.2.1 西门子的 S7-200 小型 PLC.....	34
2.2.2 三菱的 FX 系列 PLC.....	36
思考题.....	39

第3章 PLC 编程语言及指令系统	40
3.1 PLC 编程语言.....	40
3.1.1 梯形图.....	40
3.1.2 指令表语言.....	41
3.1.3 功能块图语言.....	41
3.1.4 高级语言.....	41
3.2 西门子 S7-300PLC 指令系统及编程方法.....	41
3.2.1 S7 系列 PLC 编程基础.....	41
3.2.2 S7 系列 PLC 的基本指令系统.....	46
3.2.3 STEP7 程序设计及编程环境.....	62
3.3 三菱 FX 系列 PLC 指令系统及编程方法.....	69
3.3.1 三菱 FX 系列 PLC 编程元件.....	69
3.3.2 FX 系列 PLC 基本逻辑指令及其应用.....	73
3.3.3 功能指令简介.....	80
3.3.4 编程实例.....	86
思考题.....	88
第4章 顺序控制的设计和编程	91
4.1 顺序控制的基本概念.....	91
4.1.1 什么是顺序控制.....	91
4.1.2 顺序控制器分类.....	92
4.2 顺序控制的描述.....	93
4.2.1 流程图.....	93
4.2.2 状态图.....	95
4.2.3 时序图.....	95
4.2.4 顺序功能图.....	96
4.2.5 佩特利网.....	99
4.3 顺序控制的设计方法和编程技术.....	101
4.3.1 根据继电器电路图设计梯形图的方法.....	102
4.3.2 顺序功能图设计方法及编程技术.....	110
4.3.3 佩特利网设计法.....	121
4.3.4 复杂顺序控制系统的编程示例.....	126
思考题.....	134
第5章 基于 PLC 控制系统的工程设计	137
5.1 PLC 控制系统的设计概论.....	137
5.1.1 设计的基本任务.....	137
5.1.2 设计的基本程序.....	138
5.2 输入/输出 (I/O) 点数和种类的统计.....	139

5.3 PLC 的选型	140
5.3.1 CPU 能力	140
5.3.2 控制器的最大 I/O 点数	141
5.3.3 响应速度	141
5.3.4 指令系统	142
5.3.5 机型选择的其他考虑	142
5.4 系统的冗余设计	143
5.4.1 手动操作设计	143
5.4.2 冷备运行设计	143
5.4.3 双机热备运行设计	143
5.5 供电系统的设计	146
5.5.1 供电系统的保护措施	146
5.5.2 电源模块的选择	147
5.5.3 电源模块供电系统的设计	148
5.5.4 I/O 模块供电电源的设计	149
5.6 接地系统的设计	150
5.6.1 正确的接地方法	152
5.6.2 各种不同的接地概念	153
5.6.3 关于等电位联结的接地系统	153
5.7 电缆设计和敷设	154
5.7.1 电缆的选择	155
5.7.2 电缆的敷设施工	155
5.8 设计文件的编制	156
思考题	164
第 6 章 PLC 人机接口技术	165
6.1 PLC 人机接口概述	165
6.1.1 可编程终端	165
6.1.2 监控计算机系统	167
6.2 人机接口的选型与设计方法	168
6.2.1 人机接口系统的选型	168
6.2.2 系统设计	170
6.2.3 可编程终端设计示例	170
思考题	173
第 7 章 PLC 网络通信	174
7.1 网络通信的基本知识	174
7.1.1 数据通信的基本概念	174
7.1.2 工业控制局域网	183
7.2 PLC 网络通信	189

7.2.1 三菱 FX2 PLC 的通信	189
7.2.2 西门子的 PLC 网络	195
思考题	210
第 8 章 PLC 控制系统应用实例	211
8.1 PLC 在自动化控制中的应用特点	211
8.2 小型 PLC 和文本显示终端应用于枕式包装机	212
8.2.1 枕式包装机介绍	212
8.2.2 系统要求	212
8.2.3 系统设计	213
8.3 PLC 系统应用于城市生活污水处理工程	224
8.3.1 污水处理工艺监控系统概述	224
8.3.2 工程概况	226
8.3.3 系统方案设计	228
思考题	239
第 9 章 PLC 在工业应用中的若干问题	241
9.1 PLC 系统的抗噪声技术	241
9.1.1 概述	241
9.1.2 噪声抑制	242
9.1.3 噪声隔离	242
9.1.4 信号电缆的选型	243
9.1.5 电源的抗噪声措施	243
9.1.6 模拟信号的数字滤波	243
9.1.7 开关量信号的采样滤波	245
9.1.8 抗噪声的有力措施——Watchdog	246
9.2 PLC 的程序调试	247
9.2.1 程序调试前的准备工作	247
9.2.2 程序调试	248
9.3 系统的故障诊断	249
9.3.1 故障的分类	249
9.3.2 故障的宏观诊断	250
9.3.3 故障的自诊断	251
9.4 PLC 在紧急停车系统 (ESD) 中的应用	251
9.4.1 ESD 系统的作用和构成形式	252
9.4.2 ESD 系统逻辑控制系统的选用	252
9.4.3 ESD 的一个实例	254
9.5 节省 I/O 点的几种方法	255
9.5.1 减少 PLC 输入点的方法	256
9.5.2 减少 PLC 输出点的方法	257

9.6 系统防雷电设计	257
思考题	258
附录 A STEP7 Micro/Win 编程软件部分指令	259
附录 B 佩特利网	261
主要参考文献	268

第 1 章 绪 论

“可编程序控制器是一种进行数字运算的电子系统，是专门为在工业环境下应用而设计的工业控制器。它采用了可编程序的存储器，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设备和生产过程。可编程序控制器及其相关的外部设备都按照易于与工业控制系统集成、易于扩展其功能的原则设计。”这是国际电工委员会（IEC）在 1987 年颁布的可编程序控制器（Programmable Controller, PC）标准草案第三稿中对它的定义。由于 PC 这一缩写在我国早已成为个人计算机（Personal Computer）的代名词。为了避免造成术语混淆，本书将可编程序控制器简称为 PLC。

近年来 PLC 技术发展很快，每年都推出不少 PLC 及其网络新产品，其功能也超出了上述定义范围，从提供直接数字控制发展为实现现场级生产设备控制，车间级生产过程监控和优化，直到工厂、公司一级生产管理和经营决策提供全集成的软件和硬件平台，成为现代工业自动化的主要支柱。

本章简要介绍 PLC 的由来与发展、基本组成和工作原理，并探讨它在工业自动化中的地位及标准化对它的影响，使读者对课程的性质和内容有一个基本的了解。

1.1 PLC 的产生、演变和发展趋势

1.1.1 PLC 的产生与演变

世界上第一台 PLC 型号为 PDP-14，是美国数字设备公司（DEC）研制成功的，而最先提出 PLC 概念的是美国通用汽车（GM）公司。20 世纪 60 年代末，美国的汽车制造业竞争日趋激烈，GM 公司根据市场形势和生产发展需要，提出了“多品种、小批量、不断更新汽车型号”的战略。汽车零部件生产线上使用的继电器控制系统成为实现这个战略决策的障碍。尽管继电器控制系统原理简单、使用方便，而且价格便宜，但是由于它的控制逻辑是由元件和布线方式决定——属硬线连接式编程。要改变程序就要重新接线，缺乏变更程序的灵活性，不能适应汽车换代周期缩短的要求。显然，这就需要寻求一种新型的控制装置来替代继电器控制系统。而 20 世纪 40 年代诞生的电子计算机，在 60 年代已经获得迅速发展，小型计算机开始应用于工业生产的自动控制，但是由于它原理复杂，又需要专门的程序语言，所以一般的电气人员难以掌握。那么，能否把计算机的功能完善、灵活性和通用性等优点与继电器控制系统的简单易懂、操作方便和价格便宜等优点结合起来，做成一种通用的工业控制装置，并把计算机的编程方法和程序输入方式加以简化，采用面向对象、面向问题的“自然语言”编程，使得不甚熟悉计算机的人员也能够方便地应用。GM 公司在 1968 年根据生产的需要提出了上述设想，并将这个设想中的新颖控制装置的功能指标归纳为以下 10 项，公开招标。

- 编程容易，并可在现场修改程序。
- 维修方便，采用插件式结构。
- 可靠性高，能在恶劣的环境下工作。
- 体积小于继电器控制柜。
- 价格便宜，成本可以与继电器系统竞争。
- 可以直接连接 115V 交流输入。
- 输出采用 115V 交流，可以直接驱动继电器、电磁阀。
- 具有数据通信功能，数据可以直接送入管理计算机。
- 通用性好。系统易于扩展。

用户程序存储器的容量至少能扩展到 4KB。

DEC 公司首先响应，于 1969 年研制出第一台可编程序控制器——PDP-14，并且在 GM 公司的自动装配生产线上试用成功。此后，这项新技术就迅速发展起来，而 GM 公司对这种新型控制器提出的 10 点要求，几乎成了当时各个自动化仪表研究单位和生产厂开发 PLC 的基本规范。1971 年日本从美国引进了这项新技术，由日立公司研制出日本第一台 PLC，型号为 DSC-8。1973 年~1974 年德国和法国也相继研制出自己的 PLC。

限于当时的元器件条件和计算机技术的发展水平，早期的 PLC 大多是由分立元件和中小规模集成电路组成，在简化计算机内部电路的同时，为了适应工业现场环境也对接口电路做了改进。人们根据这种新型工业控制装置可以通过编程改变控制方案这一特点，以及用于逻辑控制的现状，把它称为可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller），简称 PLC。

从 1968 年到现在，短短 30 余年间，PLC 经历了 4 次换代。第一代 PLC，大多用 1 位机开发，存储器为磁性存储器，只具有单一的逻辑控制功能。在第二代 PLC 产品中，换成了 8bit 处理器及半导体存储器，PLC 产品初步形成系列，随着高性能微处理器、位片式处理器的出现和 EPROM，EEPROM，CMOSRAM 等大规模集成电路在 PLC 中的大量应用，第三代 PLC 向多功能及联网通信方向发展，形成了多种系列化产品。第四代 PLC 产品不仅全面使用 16bit、32bit 高性能微处理器，高性能位片式微处理器和 RISC（Reduced Instruction Set Computer，精简指令系统）CPU，而且在单台 PLC 中配置多个微处理器，进行多道处理，同时开发了大量内含微处理器的智能模板，使第四代 PLC 产品发展成可以提供逻辑控制功能、过程控制功能、运动控制功能、数据处理功能、联网通信功能的真正名副其实的多功能控制器。同时，PLC 人机接口产品和 PLC 网络产品也得到飞速发展，由 PLC 及其网络构成的多级分布控制系统，提供在企业范围内实现经营决策、计划调度和控制功能集成的软硬件平台，使 PLC 及其网络成为计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System，CIMS）不可或缺的基本组成部分。

经过 30 多年不断发展，PLC 产品生产已经成为一个巨大的产业。据不完全统计，现在世界上生产 PLC 及其网络产品的厂家有 200 多家，生产约 400 多个品种的 PLC 产品。其中，在美国注册的厂商超过 100 家，生产约 200 多个品种；日本有 60~70 家 PLC 厂商，也生产 200 多个品种的 PLC 产品；在欧洲注册的也有几十家，生产几十个品种的 PLC 产品。

1.1.2 PLC 的发展趋势

随着技术发展和市场需求的增加，PLC 的结构和功能不断改进，产品的生命周期缩

短,生产厂家不断推出功能更强的 PLC 新产品,平均 3~5 年就更新换代一次。为了适应大、中、小型企业的不同需求,进一步扩大 PLC 在自动化领域中的应用范围,现代 PLC 技术发展总的趋势是两极分化,同时尽量做到系列化、通用化和高性能化。两极分化是指 PLC 的组成规模(I/O 点数和存储器容量)向大型和微小型两个方向发展。

其一是向体积更小、速度更快、功能更强、价格更低的微小型 PLC 方向发展,使之能更加广泛地替代传统的继电器控制系统。随着应用范围扩大和为适应用户不同的投资规模,小型 PLC 由整体结构向小型模块化结构发展,以增加配置的灵活性。例如,Simatic S7-200 系列小型 PLC 最小配置为 8DI/6DO,可以扩展 2~7 个 I/O 模块,最大 I/O 点数为 64DI/DO,12AI/4AO;OMRON SRMI 微型 PLC 的体积只有一叠扑克牌大小,却能支持 256 点 I/O。微型 PLC 一般采用分散结构,体积很小的控制器完成逻辑控制和运算功能,而 I/O 采集和处理则在现场模块中实现,同时功能却日益增加。许多以前是大、中型 PLC 才有的功能也纷纷被移植到小型 PLC,例如,模拟量调节、数据通信功能等,并开发全系列人机界面(HMI)产品,从简单的按钮面板、文本显示器到操作员控制面板,为用户提供更直观、更简便的人机界面,满足不同领域的控制和显示要求。

其二是向大型(10000 点以上)、高速(0.2~0.4 μ s/指令)、多功能方向发展,使其能取代工业控制微机(IPC)、集散控制系统(DCS)的功能,对大规模、复杂的系统进行综合控制。

大型 PLC 由于采用功能强大的高档微处理器(如 16bit、32bit 微处理器),处理速度快,同时存储容量大大增加,并且完善了输入/输出系统;推出多种智能化 I/O 模块,以满足快速响应、闭环控制、复杂控制等特殊要求;采用了多种编程语言和先进的指令系统,增强了系统的控制能力和数据处理能力,例如,PID 控制、数据文件传递、浮点运算功能等。强化通信能力和网络化是大型 PLC 发展的一个重要方面:向下将多个 PLC、多个 I/O 机架相连;向上与 IPC、以太网、MP 网等相连,构成整个工厂自动化网络。有的 PLC 还支持快速的现场总线通信(常见的有 Profibus, Device Net, Modbus 等)。PLC+网络+IPC+SCADA(监控软件)已成为一种非常流行的 PLC 应用方式。

当然,PLC 的未来发展不仅依赖于新产品开发,还在于 PLC 与其他工业控制设备和工厂管理技术的综合。无疑,PLC 将在今后的工业自动化中扮演越来越重要的角色。

1.1.3 我国 PLC 技术的发展

我国 PLC 技术发展的进程大致可以分为 3 个阶段:20 世纪 70 年代初步认识;80 年代引进试用;90 年代后进入推广应用阶段。

1974 年我国开始研制 PLC,当时是仿制美国第一代产品,直到 1977 年 Motorola 公司研制成 1 位微处理器 MC14500 芯片以后,我国以 1 位微处理器 MC14500 为核心的 PLC 才发展起来,并开始工业应用。80 年代初,随着改革开放的进行,冶金、石油、化工、建材、轻工等部门都引进了 PLC 控制的生产线和成套设备,例如,宝钢一、二期工程从德国和日本等国家引进的 PLC 共有 30 余种机型、600 余台 PLC。也正是在成套设备的引进和吸收中,我国许多自动化设备及仪表生产厂和研究单位也开始研制生产各种国产化 PLC,如大连组合机床研究所生产的 S 系列 PLC;杭州机床电器厂生产的 DKK 系列 PLC;杭州通灵控制电脑公司生产 HZK 系列的 PLC 等。并且同时引进 PLC 生产技术,建立生产 PLC 合资企业,例如,天津自动化仪表厂与 Modicon 公司签订散

件组装和技术转让协议；辽宁无线电二厂与西门子公司签订了技术引进协议，建立了 S5-115U 生产线；无锡华光电子工业公司与日本光洋公司合资生产 SR 系列 PLC，并形成了一定的规模。进入 90 年代后，PLC 应用已经渗透到国民经济的各个部门，涌现出大批应用 PLC 改造设备的成果，机械行业生产设备越来越多地采用 PLC 作为控制装置。北京机械工业自动化研究所在 1992 年对 75 家轴承行业的重点骨干企业进行调查：这些厂家已经用 PLC 改造了 4605 台设备（占用微电子技术改造设备总数的 41.8%），改造后经济效益非常明显，故障率一般下降了 90%，单机生产率提高了 10%，平均每台设备每年可以减少几百小时维修时间，一般 3~6 个月便可收回投资。

总体上看，目前国产的 PLC，无论从质量上还是从数量上均远远不能满足国内日益增长的需求，因此不得不大量依靠进口，尤其是大中型 PLC，更是国外产品一统天下。我国自主开发和引进技术生产的 PLC 大多属中小型，虽然已形成一定的批量，但至今还不能成为主流产品，特别在功能上与国外小型 PLC 还相差甚远，运算速度亦比较慢，一般 2~5ms/千条指令。中型 PLC（I/O 在 128 点以上）的开发才刚刚开始。所以国际上各个 PLC 公司都看好我国这个很大的 PLC 市场，据不完全统计，我国每年引进 PLC 产品的价值在 5000 万美元以上，其中美国产品约 2000 万美元，欧洲产品 2500 万美元，日本产品 1000 万美元。欧美产品以大中型 PLC 为主，基本上是德国西门子与美国 A-B 公司平分秋色，小型 PLC 主要是日本产品，其中以 OMRON 公司为主，三菱、松下电工等紧随其后。近年来西门子公司不断推出新的 PLC 系列产品，扩展其市场份额，特别是在 1993 年推出性能价格比较高的 S7-200, S7-300 系列 PLC，在中小型 PLC 市场中颇具竞争力。在 1996 年又推出中高档 S7-400 系列 PLC，自带人机界面 C7 系列，与 AT 计算机兼容的 M7 系列 PLC 新产品。Rockwell Automation 公司下属的 A-B 公司产品自 20 世纪 80 年代进入我国市场以来，年销售量以每年 30% 的速度增长，并在全国建立了 17 个销售办事处，特别是从 1998 年开始，Rockwell Automation 公司在我国开展大学计划，已经完成和正在筹建 10 所大学 Rockwell Automation 实验室，并开展 GDP（全球发展计划）活动，让我国更多的学生和技术人员了解它的产品。OMRON 公司在保持小型 PLC 市场领先的基础上继续发展分销队伍；GE、三菱等外国公司也采取各种积极的营销策略，竞相争夺我国市场。

展望我国 PLC 的发展前景，今后几年我国市场需求将迅速增加，应用领域进一步扩大，国内自主知识产权开发的小型 PLC 将来有可能逐渐占领市场。大型高档的 PLC 仍将以进口和合资生产的产品为主。

1.2 PLC 工作原理

PLC 实质上是一类工业控制专用的计算机，它的结构原理与微型计算机相似，皆由软件系统和硬件系统两大部分组成，只不过它具有比微型计算机更强的与工业过程之间的接口，使用更适合于控制要求的开发工具包和编程语言。所以它的工作原理也是建立在计算机的工作原理基础上，也就是说 PLC 的控制功能也是通过执行反映控制要求的用户程序来实现的。用户程序是通过编程器预先写入存储器中，由 CPU 采用循环扫描的工作方法来执行。

1.2.1 存储式编程的控制系统

众所周知,开发 PLC 的初衷是采用现代计算机技术,用存储式编程的控制装置来替代继电器和半导体逻辑组件固定式连接编程的控制系统,如图 1.1 所示。

在一个继电器逻辑控制系统中,要完成一项逻辑控制功能,支持控制系统的“程序”是由各分立元件(继电器、接触器、电子元件等)点到点之间布线连接来实现,即连接式编程。如果元件是串联,那就是一个“与”逻辑。如果要将一个“与”逻辑变为“或”逻辑,那么两个触点的串联电路必须重新布线,改为并联电路以适应控制程序的变化。所以,我们称继电器逻辑控制系统为连接编程的控制器,参见图 1.1 (a)。

如果支持系统工作的“程序”是通过编程器预先写好,存放在存储器中,而且控制器以怎样的顺序查询继电器触点,构成“与”或“或”逻辑电路,以及线圈的接通或断开都是在编程器中编程决定,与控制器的结构和布线连接无关,我们称这种控制系统为存储式编程的控制系统。这样,就可以使用标准的控制设备,将生产过程的传感器和执行机构分别与控制设备的端子相连。如果需改变控制功能,只要通过编程器改变存储器中的程序,外部的连线不需做任何改变。PLC 就是这种存储式编程的控制器,参见图 1.1 (b)。它根据用户提出的控制要求,编写好用户程序后用编程器键入 PLC 的用户存储器中,并由中央处理器单元 CPU 来执行。

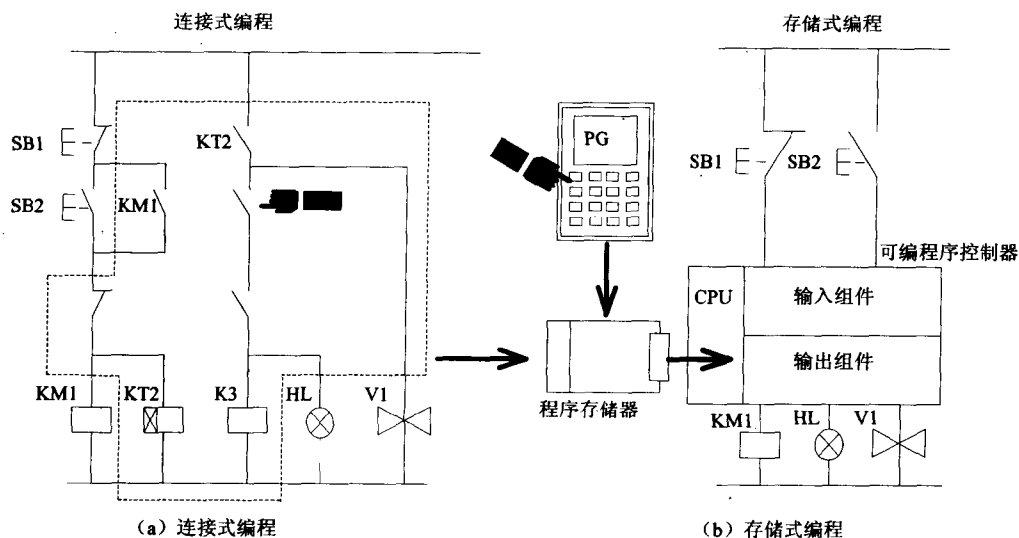


图 1.1 连接式编程和存储式编程的对比

1.2.2 周期扫描机制

CPU 究竟如何执行用户程序?控制功能是怎样实现的?与其他的计算机系统一样,也是采用分时操作原理,一个时刻执行一个操作,随着时间推移,一个操作一个操作地顺序进行。这种分时操作进程称作 CPU 对程序“扫描”。扫描是一个形象性术语,用来描述 CPU 如何完成赋予它的各种任务。也就是说如果用户程序是由若干条指令组成,指令在存储器内是按顺序排列的。CPU 是从第一条指令开始顺序地逐条执行,执行完最后一条指令又返回第一条指令,开始新一轮扫描,并且周而复始地循环。除了执行用

PLC 接通电源后, 在进行循环扫描之前, 首先检查自身完好性, 这是起始操作的主要任务。PLC 进行清零或复位操作, 清除各元件状态的随机性, 检查 I/O 单元连接是否正确, 启动监控定时器 (就是通常说的看门狗 Watch Dog Timer, WDT) T0, 执行一段涉及到各种指令和内存单元的程序, 如果所用的时间不超过 T0, 则可证实自身完好, 否则系统关闭。此后, 将监控定时器 T0 复位, 允许扫描用户程序。

下面对照图 1.2，看一看 PLC 在系统程序管理下是如何进行循环扫描的。一般包括自诊断操作、I/O 操作、解读用户程序操作和处理外设请求操作等。

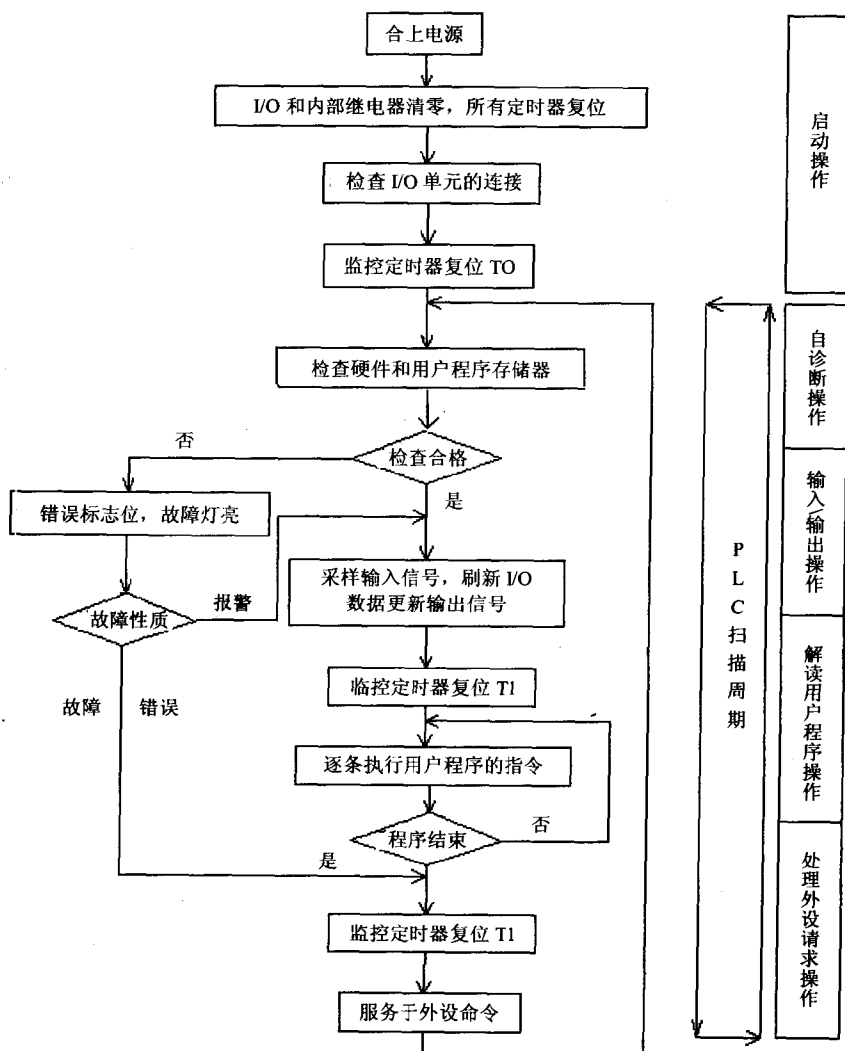


图 1.2 PLC 工作过程示意图

1. 自诊断操作

自诊断操作就是在每次扫描用户程序前进行自检。检查诸如 CPU、后备锂电池的电压、程序存储器、I/O 通信是否异常或出错，若发现故障，CPU 面板上的故障指示亮，并在特殊寄存器中存入出错代码。还可判断故障性质：一般性故障，只报警不停机，等待处理；严重故障，CPU 就会被强制成 STOP 方式，停止运行用户程序。此时，PLC 切断一切输出联系。

2. 输入/输出操作

输入/输出操作，又称 I/O 状态刷新，它包括两项操作，一是采样输入信号，即刷新输入映像存储区的内容；二是送出处理结果，即以输出映像存储区的内容刷新输出电路。为了更清楚地理解 I/O 状态刷新和在 PLC 内存中设置输入映像存储区和输出映像存储区，又称 I/O 状态暂存区的作用，我们再观察一下 PLC 处理 I/O 信号的过程，如图 1.3 所示。

(1) 输入信号采样

我们知道，PLC 的中央处理单元 CPU 是不能直接与外部接线端子打交道的。送入到 PLC 端子上的输入信号、经过调理电路（包括电平转换、光电耦合、滤波处理等）进入缓冲器等待采样。没有 CPU 采样允许，外部输入信号是不能进入内存的。在 PLC 的存储区中，有一个专门存储 I/O 的数据区，其中对应输入端子的数据，称输入映像存储区。当 CPU 执行输入/输出操作时，输入信号由缓冲器进入映像区，这就是输入采样。

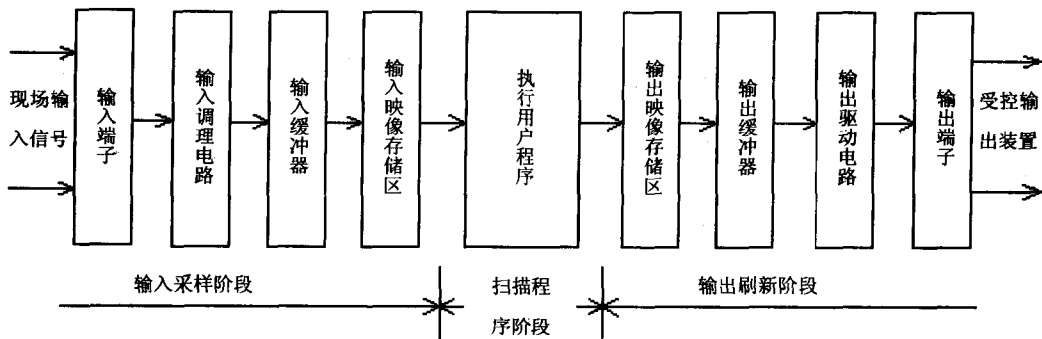


图 1.3 PLC 扫描过程示意图

只有在采样时刻，输入映像存储区暂存的输入信号状态才与输入信号一致，其他时间输入信号变化不会影响输入映像存储区的内容。由于 PLC 扫描周期一般只有几毫秒，所以二次采样间隔很短，对于一般开关量来说，可以认为间断采样不会引起误差，即认为输入信号一旦变化就立即进入输入映像存储区，但对实时性很强的应用，由于循环扫描而造成的输入延迟就必须考虑。

(2) 输出刷新

同样道理，CPU 不能直接驱动负载。CPU 的运算结果也不是直接送到实际输出点，而是存放在输出映像存储区内。在用户程序扫描结束后（或下次扫描用户程序前），才将输出映像区的内容经锁存器输出到端子上，这步操作称作输出状态刷新。刷新后的状

态要保持到下次刷新。同样,对于变化较慢的控制过程来说,因为二次刷新的时间间隔和输出电路惯性时间常数一般才几十毫秒,可以认为输出信号是即时的,但在某些场合,应考虑输出的滞后现象。

3. 解读用户程序操作

在用户程序执行前,先复位 WDT T1,当 CPU 对用户程序扫描时就开始计时。CPU 对用户程序的执行是严格按照用户程序实际结构的逻辑关系,从前向后逐条扫描处理的,使用的输入值是输入映像存储区的值,运算结果存放在输出映像存储区中。在一个周期内,CPU 对整个用户程序只执行一次,控制系统的全部功能都在这一步实现。

WDT T1 用来监视程序执行是否正常,正常时,执行完用户程序所用的时间不会超过 T1 的设定值。当程序执行过程中存在某种干扰,致使扫描失控或进入死循环时,T1 会发出超时报警信号,并重新执行程序。如果是偶然因素造成的超时,重新扫描用户程序就不会再遇上“偶然干扰”,系统便转入正常运行;如果是不可恢复的确定性故障时,系统会自动停止执行用户程序,切断外部负载,发出故障信号,等待处理。

4. 处理外设请求操作

每次执行完用户程序后,就进入服务外设请求的操作,包括操作人员介入和设备中断,与编程器进行信号交换,与网络进行通信等。如果没有外设请求,系统会自动循环扫描。

CPU 重复地执行上述 4 项操作,每重复一次的时间称为一个工作周期,工作周期长短与每个周期内完成的操作、用户程序长短及扫描速度有关。典型值为 1~100ms,我们把 CPU 这种周而复始的循环扫描执行系统软件规定的操作称为 PLC 周期扫描机制。对这一机制的理解非常重要,因为它给 PLC 的程序设计带来很大方便,并为 PLC 可靠运行提供了非常有利的保障,同时也可能造成了不可克服的弱点。总结起来可以归纳为以下 6 个方面。

① CPU 对外围设备的管理由系统自身完成。应用人员一般不必再行处理,只需关心用户程序。

② 对信号输入输出统一操作,确定了各个信号在一个周期内的惟一状态,避免了由同一信号不同状态而引起的逻辑混乱。

③ 在同一扫描周期内,输出值保留在输出映像存储区内,因此,输出值在用户程序中也可当作逻辑运算的条件使用。而且在用户程序中只应对输出赋值一次,如果多次赋值,则最后一次有效。

④ 由于 CPU 在每个扫描周期内都固定进行某些窗口服务,占用一定机器时间,使周期时间不可能无限制地缩短。

⑤ 计时器的时间设定值不能小于周期扫描时间。

⑥ 可以通过 CPU 的设置 WDT 来监视每次扫描时间,从而避免了由于 CPU 内部故障使程序执行进入死循环而造成故障的影响。

所以,对周期扫描机制的理解和应用是能否充分发挥 PLC 控制功能的关键所在。