

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

PLC教程—— 原理·应用·设计·实验

Programmable Logic Controllers

程立英 野莹莹 彭泽波 编著

- 以西门子SIMATIC S7-300/400为样机
- 从实际应用出发介绍PLC相关知识技巧
- 结合各类实验，培养学生实际动手能力



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等学校计算机规划教材

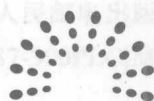
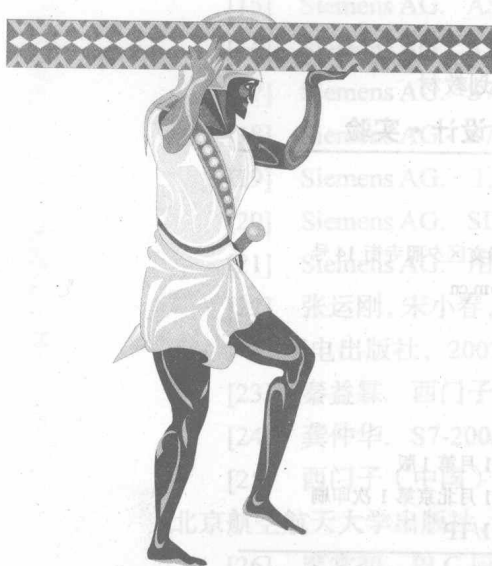
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

PLC教程

原理·应用·设计·实验

Programmable Logic Controllers

程立英 野莹莹 彭泽波 编著



高校系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

PLC教程: 原理·应用·设计·实验 / 程立英, 野莹莹, 彭泽波编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 1
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-18716-1

I. P… II. ①程…②野…③彭… 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 (2008) 第131945号

内 容 简 介

本书以我国目前应用最广和市场占有率最高的 SIMATIC S7-300/400 为样机, 从实际应用的角度出发, 结合工程实践, 全面介绍了可编程控制器的相关知识及应用。本书首先介绍了可编程控制器的概况、S7-300/400 PLC 的硬件配置、指令系统、程序结构以及通信网络等基础知识; 通过实例详细介绍 S7-300/400 PLC 的编程环境 STEP 7 以及仿真软件 S7-PLCSIM 的功能及应用; 然后结合实例介绍 PLC 系统的设计与调试方法、手段, 并以 S7-300/400 在可逆冷轧机控制系统中的应用为例, 介绍 PLC 的工程应用以及工程设计中的经验技巧; 本书最后通过实验指导书的形式, 介绍可编程控制器的基础实验、简单设计性实验和具体应用设计实验等, 以提高学生的实际动手能力。

本书既可用作高等院校计算机科学与技术、工业自动化、电气技术、机电一体化、电子信息等相关专业的教学用书, 也可作为 PLC 初学者和工程技术人员的技术参考书。

21 世纪高等学校计算机规划教材

PLC 教程——原理·应用·设计·实验

- ◆ 编 著 程立英 野莹莹 彭泽波
责任编辑 蒋 亮
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.5
字数: 433 千字 2009 年 1 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2009 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18716-1/TP

定价: 27.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

出版者的话

现今社会对人才的基本要求之一就是应用计算机的能力。在高等学校，培养学生应用计算机的能力，主要是通过计算机课程的体制改革，即计算机教学分层、分类规划与实施；密切联系实际，恰当体现与各专业其他课程配合；教学必须以市场需求为导向，目的是培养高素质创新型人才。

人民邮电出版社经过对教学改革新形势充分的调查研究，依据目前比较成熟的教学大纲，组织国内优秀的有丰富教学经验的教师编写一套体现教学改革最新形势的“高校系列计算机教材”。在本套教材的出版过程中，我社多次召开教材研讨会，广泛听取了一线教师的意见，也邀请众多专家对大纲和书稿做了认真的审读与研讨。本套教材具有以下特点。

1. 覆盖面广，突出教改特色

本套教材主要面向普通高等学校（包括计算机专业和非计算机专业），是在经过大量充分的调研基础上开发的计算机系列教材，涉及计算机教育领域中的所有课程（包括专业核心骨干课程与选修课程），适应了目前经济、社会对计算机教育的新要求、新动向，尤其适合于各专业计算机教学改革的特点特色。

2. 注重整体性、系统性

针对各专业的特点，同一门课程规划了组织结构与内容不同的几本教材，以适应不同教学需求，即分别满足不同层次计算机专业与非计算机专业（如工、理、管、文等）的课程安排。同时本套教材注重整体性的策划，在教材内容的选择上避免重叠与交叉，内容系统完善。学校可根据教学计划从中选择教材的各种组合，使其适合本校的教学特点。

3. 掌握基础知识，侧重培养应用能力

目前社会对人才的需要更侧重于其应用能力。培养应用能力，须具备计算机基础理论、良好的综合素质和实践能力。理论知识作为基础必须掌握，本套教材通过实践教学与实例教学培养解决实际问题的能力和知识综合运用能力。

4. 教学经验丰富的作者队伍

高等学校在计算机教学和教材改革上已经做了大量的工作，很多教师在计算机教育与科研方面积累了相当多的宝贵经验。本套教材均由有丰富教学经验的教师编写，并将这些宝贵经验渗透到教材中，使教材独具特色。

5. 配套资源完善

所有教材均配有 PPT 电子教案，部分教材配有实践教程、题库、教师手册、学习指南、习题解答、程序源代码、演示软件、素材、图书出版后要更新的内容等，以方便教与学。

我社致力于优秀教材的出版，恳请大家在使用的过程中，将发现的问题与提出的意见反馈给我们，以便再版时修改。

人民邮电出版社

前言

可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 简称为可编程控制器, 是以微处理器技术、电子技术、网络通信技术和先进可靠的工业手段为基础, 综合了计算机技术、网络通信技术和自动控制技术的一种新型通用自动控制装置。它具有功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于编程以及适于在工业环境下应用等一系列优点, 在工业自动化、机电一体化、传统产业技术改造等方面的应用越来越广泛, 已成为现代工业控制的四大支柱 (可编程控制器技术、机器人技术、CAD/CAM 技术和数控技术) 之一。

目前常用的可编程控制器中, 西门子公司的 S7-300/400 PLC 以其编程软件 STEP 7 和通信网络的功能强大获得业界人士的普遍认可。S7-300/400 在大中型 PLC 中实际应用最广, 市场占有率最高。为了满足将要学习使用 PLC 的在校大学生以及已经使用 PLC 的在职电气技术人员的实际需要, 本书从实践教学的角度出发, 结合工程经验, 从以下 4 个方面介绍可编程控制器的知识及应用。

(1) 可编程控制器的概况、S7-300/400 PLC 的硬件配置、指令系统、程序结构以及通信网络等基础知识。

(2) 通过大量实例详细介绍 S7-300/400 PLC 的编程环境 STEP 7 以及仿真软件 S7-PLCSIM 的功能及应用。

(3) 结合实例介绍 PLC 系统的设计与调试方法、手段, 并以 S7-300/400 在可逆冷轧机控制系统中的应用为例介绍 PLC 的工程应用以及工程设计中的经验技巧。

(4) 通过实验指导书的方式, 介绍可编程控制器的基础实验、简单设计性实验和具体应用设计实验等。

本书既可作为高等院校计算机科学与技术、工业自动化、电气技术、机电一体化、电子信息等相关专业的教学用书, 也可作为 PLC 初学者和工程技术人员的技术参考书。

本书由程立英、野莹莹、彭泽波共同编写, 全书由程立英统稿。在本书的编写过程中, 姜雪辉、张春辉、张志美、陈岚峰、王志强、屈久良和陈佰林参与了大量的资料整理和程序调试工作。沈阳师范大学物理科学与技术学院电子教研室和沈阳理工大学信息科学与工程学院自动化教研室的全体老师在本书编写过程中也给予了指导, 我们在此表示感谢。

因作者水平有限, 书中难免有错漏之处, 恳请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1	3.2.2 寻址方式	60
1.1 可编程控制器的产生及发展	1	3.2.3 常用指令	62
1.2 可编程控制器的基本结构及工作原理	3	小结	89
1.2.1 PLC 的基本结构	3	习题	89
1.2.2 PLC 的工作原理	5	第 4 章 S7-300/400 的编程环境	91
1.3 可编程控制器的功能特点及分类	7	4.1 STEP 7 概述	91
1.3.1 PLC 的功能特点	7	4.2 STEP 7 的编程流程	93
1.3.2 PLC 的分类	9	4.2.1 创建与编辑项目	95
1.4 可编程控制器的应用	11	4.2.2 硬件组态	99
小结	12	4.2.3 定义符号	108
习题	13	4.2.4 生成逻辑块	114
第 2 章 PLC 的硬件结构	14	4.2.5 参考数据的显示	117
2.1 PLC 硬件系统的基本结构	14	4.2.6 程序的上传和下载	126
2.1.1 硬件系统的基本组成	15	4.2.7 程序的调试和故障诊断	133
2.1.2 基本结构	19	4.3 STEP 7 的程序结构	147
2.2 PLC 的 CPU 模块	24	4.3.1 CPU 程序	147
2.2.1 S7-300 系列 PLC	24	4.3.2 用户程序	148
2.2.2 S7-400 系列 PLC	29	4.3.3 功能块	152
2.3 PLC 的 I/O 模块	32	4.3.4 数据块	155
2.3.1 S7-300/400 的 I/O 模块	32	4.3.5 组织块	165
2.3.2 I/O 模块的地址确定	44	4.4 模拟软件 S7-PLCSIM 简介	176
2.4 PLC 的分布式 I/O	45	4.4.1 S7-PLCSIM 的主要功能	176
2.5 内部资源模块	47	4.4.2 S7-PLCSIM 仿真软件调试程序的步骤	177
小结	53	小结	178
习题	54	习题	179
第 3 章 指令系统	55	第 5 章 PLC 系统的设计及调试	180
3.1 指令系统基础知识	55	5.1 PLC 系统的设计方法	180
3.1.1 数制	55	5.2 PLC 系统的硬件设计	182
3.1.2 数据类型和参数类型	55	5.2.1 PLC 选型	183
3.1.3 数据的格式标记	57	5.2.2 PLC 容量估算	183
3.2 S7-300/400 PLC 的指令系统	59	5.2.3 I/O 模块的选择	184
3.2.1 指令的构成	59	5.2.4 编程功能的选择	185

5.2.5 分配 I/O 点	185	6.7.3 用于点对点通信的功能块	217
5.2.6 设计安全回路	186	小结	220
5.3 PLC 应用系统的软件设计	186	习题	221
5.3.1 软件设计内容	186	第 7 章 PLC 系统的工程应用	222
5.3.2 软件设计步骤	187	7.1 概述	222
5.4 PLC 系统的调试	188	7.2 PLC 系统的工程应用实例	222
5.5 PLC 系统设计实例	189	7.2.1 可逆冷轧机控制系统的功能	222
小结	193	7.2.2 可逆冷轧机控制系统的硬件设计	229
习题	193	7.2.3 可逆冷轧机控制系统的软件设计	232
第 6 章 PLC 通信网络	194	7.3 PLC 工程应用的经验总结	236
6.1 PLC 控制网络和通信功能	194	7.3.1 PLC 工程应用的系统设计经验总结	236
6.2 S7-300/400 PLC 的通信网络	195	7.3.2 PLC 工程应用的系统调试经验总结	237
6.3 工业以太网	197	小结	238
6.3.1 概述	197	习题	238
6.3.2 工业以太网的构成	197	第 8 章 PLC 实验	239
6.3.3 工业以太网的网络方案	198	8.1 熟悉 PLC 硬件及 STEP 7 软件环境实验	239
6.3.4 工业以太网的交换技术	199	8.2 简单设计性实验	240
6.3.5 自适应与冗余网络	200	8.3 交通信号灯控制实验	241
6.4 MPI 网络	200	8.4 三层楼电梯控制实验	242
6.4.1 概述	200	8.5 水塔水位自动控制实验	242
6.4.2 全局数据通信	201	8.6 两种液体自动混合实验	243
6.4.3 MPI 网络的组态	202	8.7 舞台灯光的模拟实验	243
6.4.4 事件驱动的 GD 通信	204	小结	244
6.4.5 不用 GD 通信组态的 MPI 通信	205	附录	245
6.5 AS-I 网络	206	附录 A 所有语句表指令	245
6.5.1 概述	206	附录 B 组织块、系统功能与系统功能块	248
6.5.2 AS-I 网络部件	207	附录 C 常用缩写词	253
6.5.3 AS-I 的寻址模式	208	附录 D 部分习题提示及参考答案	255
6.5.4 AS-I 的通信方式	208	参考文献	257
6.5.5 AS-I 的工作模式	208		
6.6 PROFIBUS 通信网络	209		
6.6.1 概述	209		
6.6.2 PROFIBUS 的通信协议	209		
6.6.3 PROFIBUS 的网络部件	211		
6.6.4 利用 STEP 7 组态 PROFIBUS-DP 通信网络	211		
6.7 点对点通信	216		
6.7.1 点对点通信的硬件	216		
6.7.2 点对点通信协议	217		

第 1 章

绪论

本章介绍可编程控制器的基础知识，主要包括可编程控制器的组成、工作原理、功能特点及其分类和应用。通过本章的学习，读者应了解什么是可编程控制器、可编程控制器的构成和工作方式、可编程控制器在工业应用中的主要优势等。

1.1 可编程控制器的产生及发展

可编程控制器是基于微型计算机技术的通用工业自动控制设备，在其早期主要应用于开关量的逻辑控制。1987 年国际电工技术委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）颁布的 PLC 标准草案对 PLC 做了如下定义：“PLC 是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外围设备都应该按易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩展其功能的原则而设计。”

在可编程控制器问世以前，工业控制领域中是以继电器控制占主导地位的。这种由继电器构成的控制系统存在明显的缺点，尤其是对生产工艺多变的系统适应性较差。1968 年，美国通用汽车公司（GM）根据市场形势与生产发展的需要，为了完成“多品种、小批量、不断翻新汽车品牌型号”的战略，提出了研制新型逻辑顺序控制装置来取代继电器控制装置。第 2 年，美国数字设备公司（DEC）就研制出了第一台 PLC，将其应用于美国通用汽车自动装配生产线上，并取得了极大的成功。此后随着计算机技术、半导体集成技术、控制技术、数字技术、通信网络技术等高新技术的不断进步，PLC 也迅速发展起来。

PLC 初创阶段的代表产品有 MODICON 公司的 084、AB 公司的 PDQII、DEC 的 PDP-14 和日立公司的 SCY-022 等。该时期 PLC 产品的主要功能是执行原先由继电器完成的顺序控制、逻辑运算、定时和计数等。它的 CPU 由中小规模的数字集成电路组成，在 I/O 接口电路上做了改进以适应工业控制现场的要求，它的控制功能比较简单。在软件编程上，采用广大电气工程技术人员所熟悉的继电器控制线路的方式——梯形图。

PLC 的实用化发展阶段，即 20 世纪 70 年代中期到末期，PLC 的代表产品有 MODICON 公司的 184、284、384，西门子公司 SIMATIC S3 系列，富士电机公司的 SC 系列等。该时期 PLC 产品的主要控制功能得到了较大的发展。随着多种 8 位微处理器的相继问世，PLC 技术实现了飞跃。在逻辑运算功能的基础上，增加了数值运算、闭环调节功能，提高了运算速度，扩大了输入/

输出规模。

PLC 通信功能的实现阶段,即 20 世纪 70 年代末期到 80 年代中期,PLC 的代表产品有富士电机公司的 MI-CREX 和德州仪器公司的 TI530 等。在此期间,PLC 通信方面的能力有了很大的提高,初步形成了分布式的通信网络体系。但是,由于生产厂家各自为政,各厂家之间的产品互相通信是较困难的。在该阶段,由于生产过程控制的需要,PLC 的需求大大增加,其产品的功能也得到了增强,数学运算的能力得到了较大的提高,产品的可靠性也得到了进一步提高。

PLC 开放阶段,即 20 世纪 80 年代中期至今,PLC 的代表产品有西门子公司的 SIMATIC S5、S7 系列和 AB 公司的 PLC-5 等。在这一阶段,由于开放系统的提出,PLC 的功能又得到了较大的发展,主要表现为通信系统的开放,使各生产厂家的产品可以互相通信。通信协议的标准化使用户得到了好处。PLC 产品的规模增大,功能不断完善,大中型产品多数有 CRT 屏幕,产品的扩展也因通信功能的改善而变得方便,此外,还采用了标准的软件系统,增加了高级编程语言等。

今后,PLC 的发展可归纳于以下几个方面。

1. 人机界面更加友好

PLC 制造商纷纷通过收购、联合软件企业或发展软件产业,大大提高了其软件水平,使多数 PLC 品牌拥有与之相应的开发平台和组态软件。软件和硬件的结合,提高了系统的性能,同时,为用户的开发和维护降低了成本,更易形成人机友好的控制系统。

2. 网络通信能力不断提高

近年来,由于数据通信技术发展很快,用户对开放性要求很强烈,现场总线及以太网技术也得到了同步发展。原先 PLC 仅在 CPU 模板上提供物理层 RS 232/422/485 接口,已无法满足用户对于其通信能力的需求。因此,PLC 厂家在其产品上逐步添加了其他的通信接口,使得计算机与 PLC 之间,以及各个 PLC 之间的联网和通信能力不断增强。这一进步使工业网络可以有效地节省资源、降低成本、提高系统可靠性和灵活性,从而使网络的应用有普遍化的趋势。工业中普遍采用金字塔结构的多级工业网络,与可编程控制器硬件技术的发展相适应。工业软件的迅速发展使 PLC 系统应用更加简单易行,大大方便了开发人员和操作使用人员。

3. 开放性和互操作性逐渐发展

PLC 在发展过程中,各 PLC 制造商为了垄断和扩大各自市场,各自发展自己的标准。这使得 PLC 产品的兼容性很差,给用户使用带来不便,并增加了维护成本。开放是发展的趋势,这已被各厂商所认识。这一趋势的实现需要长时期妥协与竞争的过程,并且这一过程还在继续。为了推动技术标准化的进程,一些国际性组织如国际电工技术委员会(IEC),不断为 PLC 的发展制定一些新的标准,对各种类型的产品作一定的归纳或定义,对 PLC 未来的发展制定方向(或框架)。

一般的 PLC 由主模块、扩展模块、I/O 模块以及各种高性能模块构成。各个模块的功能明确、专用化的复杂功能由专门模块来完成。每种模块的体积都较小,相互连接方便,使用更简单,通用性更强。这种模块式结构使系统的构成更加灵活、方便。主机仅仅通过通信设备向模块发布命令和测试状态,这使得 PLC 的系统功能增强,控制系统设计更加简化,从而进一步增强了软硬件的互操作性。

4. PLC 的应用范围越来越广泛

大型 PLC 多采用微处理器系统,如有的采用了 32 位微处理器,可同时进行多任务操作。这

使得 PLC 的处理速度提高, 存储容量大大增加, 网络能力、模拟量处理能力、复杂运算能力均大大增强。PLC 不再局限于逻辑控制的应用, 而越来越多地应用于过程控制和数据处理方面。另外, PLC 可以代替计算机进行管理、监控。智能 I/O 组件也将进一步发展, 用来完成各种专门的任务 (如位置控制、PID 调节、远程通信等)。

5. 以太网的发展对 PLC 有重要影响

以太网应用非常广泛, 与工业网络相比, 其成本非常低。因此, 人们致力于将以太网引进控制领域。但是目前的挑战在于以下两个方面。

第一, 硬件上如何适应工业的恶劣环境?

第二, 如何提高其通信机制的可靠性?

以太网能否顺利进入工控领域, 还存在争议, 但以太网在工控系统的应用却日益增多。为适应这一过程, 各 PLC 厂商纷纷推出适用于以太网的产品或中间产品。

1.2 可编程控制器的基本结构及工作原理

PLC 控制系统是从继电器控制系统发展而来的, 在介绍 PLC 的基本结构及工作原理之前, 首先了解一下传统继电器控制系统和 PLC 控制系统的大致组成。

传统的继电器控制系统通常由输入设备、继电器控制盘和输出设备 3 大部分组成, 如图 1-1 所示。输入设备通常由被控对象的各种开关、按钮、传感器等构成。继电器控制盘通常由中间继电器、时间继电器和将这些器件连接起来的导线等组成。复杂的继电器控制系统, 一般由一个或几个控制柜构成, 系统构成比较庞大。输出设备由被控对象执行元件组成, 如电磁阀、接触器等。

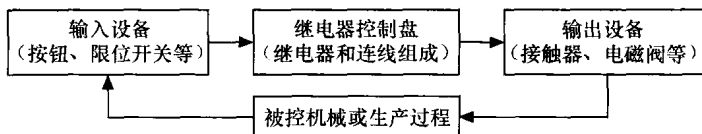


图 1-1 继电器控制系统

PLC 控制系统是从继电器控制系统发展而来的, 其构成如图 1-2 所示。可以看出, 这两种控制系统有很多相同之处, 其中输入设备和输出设备基本相同, 只是用 PLC 控制器取代了继电器控制盘。传统的继电器控制线路的控制作用是通过许多导线与继电器硬件连接实现的, 而 PLC 控制系统的控制作用是通过软件编程实现的。后者可以通过修改程序来改变其控制作用, 而前者则需要改变控制线路的硬件连接才能做到。

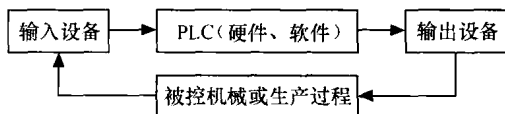


图 1-2 PLC 控制系统

1.2.1 PLC 的基本结构

PLC 控制系统的硬件简化框图如图 1-3 所示。其中虚线框部分为 PLC 的基本结构, 可以将其分为 4 部分: 中央处理器 (CPU)、存储器、输入/输出 (I/O) 模块和电源模块。

1. 中央处理器 (CPU)

CPU 是 PLC 的核心,起神经中枢的作用。每套 PLC 至少有一个 CPU,它按 PLC 的系统程序赋予的功能接收并存储用户程序和数据,用扫描的方式采集由现场输入装置送来的状态或数据并存入规定的寄存器中,同时诊断电源和 PLC 内部电路的工作状态以及编程过程中的语法错误等。进入运行后,CPU 从用户程序存储器中逐条读取指令,经分析后,再按指令规定的任务产生相应的控制信号,去指挥有关的控制电路。

CPU 由控制器、运算器和寄存器组成,这些电路集成在一个芯片上,是 PLC 不可缺少的组成单元。CPU 的控制器控制 CPU 工作,它负责读取指令、解释指令及执行指令,但工作节奏由振荡信号控制。运算器用于进行数字或逻辑运算,在控制器指挥下工作。寄存器参与运算,并存储运算的中间结果,它也是在控制器指挥下工作。CPU 通过地址总线、数据总线与 I/O 接口电路相连接。

CPU 速度和内存容量是 PLC 的重要参数,它们决定着 PLC 的工作速度、I/O 数量及软件容量等,进而限制着控制规模。

2. 存储器

存储器是具有记忆功能的半导体电路,是 PLC 存放系统程序、用户程序和运行数据的单元。它包括随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)和只读存储器(Read-Only Memory, ROM)。随机存取存储器在使用过程中随时可以读取和存储;而只读存储器在使用过程中只能读取,不能存储。随机存取存储器有静态 RAM(SRAM)和动态 RAM(DRAM)两种;只读存储器按其编程方式不同,可分为掩膜只读存储器(MROM)、可编程只读存储器(PROM)、可擦除可编程只读存储器(EPROM)和电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)等。

不同类型的 PLC 其存储容量各不相同,但根据其工作原理,其存储空间一般包括以下 3 个区域。

(1) 系统程序存储区

在系统程序存储区中,存放着相当于计算机操作系统的系统程序,包括监视程序、管理程序以及对用户程序做编译处理的解释编译程序、功能子程序、系统诊断程序等。由制造商将其固化在 ROM 中,用户不能直接存取,断电不消失。

(2) 系统 RAM 存储区

系统 RAM 存储区包括 I/O 映像区以及各类软设备(如各种逻辑线圈、数据存储器、计时器、计数器、累加器、变址寄存器等)存储区。

(3) 用户程序存储区

用户程序存储区存放用户编制的应用控制程序,由随机存取存储器组成。不同类型的 PLC,其用户程序存储区的存储容量各不相同。有些 PLC 用户程序存储区的存储容量可以根据用户的需要加以改变,如三菱公司的 FX2 系列,其用户程序存储器除了主机单元已有 2KB 的 RAM 以外,用户还可以根据需要选用 4KB 或 8KB 的 RAM、EPROM 加以扩展。

3. 输入/输出 (I/O) 模块

I/O 模块是 CPU 与现场 I/O 设备或其他外部设备通信的桥梁。I/O 模块集成了 PLC 的 I/O 电路,其输入暂存器反映输入信号状态,输出点反映输出锁存器状态。输入模块将电信号变换成数

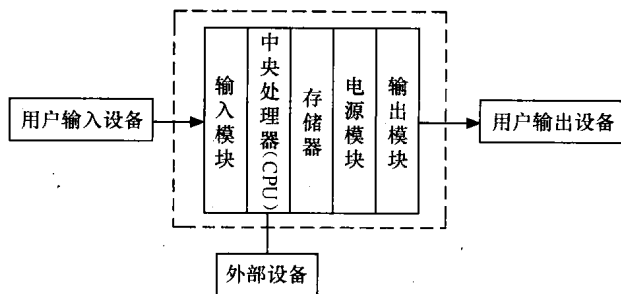


图 1-3 PLC 控制系统结构简化框图

字信号进入 PLC 系统, 输出模块相反。目前市场上主流的 PLC 都提供了具有各种操作电平与输出驱动能力的 I/O 模块和各种用途的功能模块供用户选用。

I/O 模块分为开关量输入 (DI)、开关量输出 (DO)、模拟量输入 (AI)、模拟量输出 (AO) 等模块。常用的 I/O 分类如下。

对于开关量 I/O 来说, 按电压水平分, 有交流 220V、交流 110V、直流 24V 等; 按隔离方式分, 有继电器隔离和晶体管隔离。对于模拟量 I/O 来说, 按信号类型分, 有电流型 (4 ~ 20mA, 0 ~ 20mA)、电压型 (0 ~ 10V, 0 ~ 5V, -10 ~ 10V) 等; 按精度分, 有 12bit、14bit、16bit 等。除了上述通用 I/O 外, 还有特殊 I/O 模块, 如热电阻、热电偶、脉冲等。

一般 PLC 均配置 I/O 电平转换及电气隔离功能。输入电平转换是用来将输入端的不同电压或电流信号转换成微处理器所能接收的低电平信号; 输出电平转换是用来将微处理器的低电平控制信号转换为控制设备所需的电压或电流信号。电气隔离是在微处理器与 I/O 回路之间采用的防干扰措施。常用的电气隔离是由两个发光二极管和光电三极管组成的光电耦合器。

I/O 模块既可以与 CPU 放置在一起, 也可以远程放置。一般 I/O 模块具有 I/O 状态显示和接线端子排。另外, 有些 PLC 还具有一些其他功能的 I/O 模块, 如串/并行变换、数据传送、A/D 或 D/A 转换及其他功能控制等。

4. 电源

一般的 PLC 都配有开关式稳压电源模块, 用来给 PLC 各模块的集成电路提供工作电源。同时, 有的还为输入电路提供 24V 的工作电源。常见的电源输入类型有: 交流电源 (220V 或 110V), 直流电源 (常用的为 24V)。

1.2.2 PLC 的工作原理

PLC 虽然同微机有许多相同的地方, 但它的工作方式却与微机有很大不同。微机一般采用等待命令的工作方式, 如常见的键盘扫描方式或 I/O 扫描方式。当用户按下键盘键或进行某一 I/O 动作后, 计算机则转入相应的子程序和运行程序, 无键按下或无 I/O 动作则继续扫描。PLC 则采用循环扫描的工作方式。PLC 的扫描过程分为输入采样、内部处理、用户程序执行、输出刷新 4 个阶段, PLC 的工作过程就是在这 4 个阶段中周而复始地循环。只有程序扫描到该线圈时, 线圈通电或断开, 该线圈的触点才会动作。

PLC 每完成一次全部 4 个阶段工作所用的时间称为一个扫描周期 (或称循环周期、工作周期)。其中, 在内部处理阶段 PLC 主要是运行系统内部的管理程序。该程序由厂家在 PLC 出厂前固化好, 与用户的控制程序无关。它一般比较固定, 运行时间与用户程序运行时间相比, 要短得多。因此, 通常忽略内部处理阶段, 认为 PLC 的工作过程为 3 个阶段: 输入采样阶段、用户程序执行阶段、输出刷新阶段, 并近似地认为每重复一次这 3 个阶段所用的时间为一个扫描周期。其工作过程如图 1-4 所示。

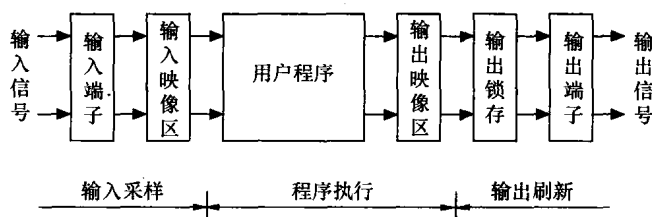


图 1-4 PLC 的工作过程图

1. 输入采样阶段

在输入采样阶段, PLC 以扫描方式依次读入所有输入状态和数据, 并将它们存入 I/O 映像区中的相应单元内, 这一过程称为采样。输入采样结束后, PLC 转入用户程序执行和输出刷新阶段。在这两个阶段中, 即使输入状态和数据发生变化, I/O 映像区中相应单元的状态和数据也不会改变, 而且这个采样结果将在 PLC 执行程序时被使用。因此, 如果输入是脉冲信号, 则该脉冲信号的宽度必须大于一个扫描周期, 才能保证在任何情况下, 该输入均能被读取。

2. 程序执行阶段

在用户程序执行阶段, PLC 总是按顺序对程序进行扫描, 即从上到下、从左到右地依次扫描用户程序(梯形图), 并分别从输入映像寄存器、内部元件寄存器(内部继电器、定时器、计数器等)和输出映像寄存器中获得所需的数据进行运算、处理, 再将程序执行的结果写入寄存执行结果的输出映像寄存器中保存, 但这个结果在整个程序未执行完毕之前不会送到输出端口上。这就是说, 反映各输出元件状态的输出元件映像存储器中所储存的内容, 会随着程序执行的进程而变化, 当所有程序全都执行完毕后, 输出元件映像存储器的内容最后就固定下来。

这里要充分注意, 当执行控制程序时, 如果程序要求某个输出继电器动作, 此时这个动作要求并没有直接实时地传送到该继电器, 而 PLC 只是将输出映像存储器中代表该继电器的对应位置“1”, 等所有程序段都执行完毕后, 才将产生的输出结果(输出映像存储器的内容)一次送到输出锁存器。PLC 的这种工作方式同一般单纯用硬件组成的控制电路或由控制计算机组成的控制电路是不同的。

3. 输出刷新阶段

在执行完所有用户程序后, PLC 就进入输出刷新阶段。在此期间, CPU 按照 I/O 映像区内对应的状态和数据刷新所有的输出锁存电路, 再经输出电路驱动相应的用户设备。这时, PLC 才进行真正的输出工作。

PLC 重复进行上述 3 个阶段的工作, 每重复一次的时间即为一个扫描周期, 用符号 T 表示。PLC 的一个扫描周期一般在 40 ~ 100ms 之间。

PLC 的扫描工作是重复进行的, 因此, 其输入和输出存储器不断被刷新(I/O 刷新)。一个扫描周期内输入刷新之前, 若外部输入信号状态没有变化, 则此次的输入刷新就没有变化, 经运算处理后, 相应的输出刷新也无变化, 输出的控制信号也没有变化, 只是重新被刷新一次。若在一个扫描周期内, 输入刷新之前, 输入的外部输入信号状态发生了变化, 则此次输入刷新就有了变化, 经运算处理后, 其输出刷新也可能有变化, 输出的控制信号亦可能有变化。不管输出控制信号有无变化, 一个扫描周期内对所有输出只刷新一次。即 PLC 前一次和后一次输出状态的变化, 至少要经历一个扫描周期的时间。

PLC 工作的主要特点是输入信号、执行过程和输出控制的集中批处理。PLC 的这种“串行”工作方式, 可以避免继电器、接触器控制系统中触点竞争和时序失配的问题, 并增强系统抗干扰能力。由于干扰常常是脉冲式的、短时的, 只要 PLC 不是正好工作在输入刷新阶段, 就不会受到干扰的影响。因此, 瞬间干扰所引起的误动作将会大大减少, 从而增加了系统的抗干扰能力。这是 PLC 可靠性高的原因之一, 但是这种工作方式又导致输出对输入在时间上的滞后, 这也是 PLC 的缺点之一。

还需要指出一点, 在 PLC 中常采用一种称之为“看门狗”(Watchdog)的监视定时器来监视 PLC 的实际工作周期是否超出预定的时间, 以避免 PLC 在执行程序过程中进入死循环或“跑飞”(PLC 执行非预定的程序)而造成系统瘫痪。

1.3 可编程控制器的功能特点及分类

1.3.1 PLC 的功能特点

1. PLC 的功能

随着计算机技术、工业控制技术、电子技术和通信技术的发展, PLC 已从小规模的单机顺序控制, 发展到过程控制、位置控制等所有控制领域, 可组成工厂自动化的 PLC 综合控制系统。如今的 PLC 具有丰富的功能, 一般都有如下功能。

(1) 信号采集功能

PLC 可采集开关信号、模拟信号及脉冲信号。

(2) 开关量逻辑控制功能

这是 PLC 的最基本功能之一。逻辑控制功能实际上就是位处理功能, 它用 PLC 的与、或、非指令取代继电器触点串联、并联和其他逻辑连接, 实现开关控制、逻辑控制和顺序控制。它既可用于单机控制或多机控制, 又可用于自动化生产线的控制。PLC 可根据操作按钮、限位开关及其他现场给出的指令信号或检测信号, 控制机械运动部件进行相应的动作。

(3) 定时/计数控制功能

定时/计数 (TIM/CNT) 控制功能是指利用 PLC 提供的定时器、计数器指令实现对某种操作的定时或计数控制, 以取代时间继电器和计数继电器。定时器和计数器使用方便灵活, 其设定值可以在编程时设定, 也可以在运行过程中根据需要进行修改。

(4) 数据处理功能

数据处理功能是指 PLC 能进行数据传送、数据比较、数据移位、数制转换、算术运算与逻辑运算以及编码译码等操作。中、大型 PLC 数据处理功能更加齐全, 可完成开方、PID 运算、浮点运算等操作, 还可以和 CRT、打印机相连, 实现程序、数据的显示和打印。

(5) 监控、故障诊断功能

PLC 设置了较强的监控、故障诊断功能。利用编程器或监视器, 操作人员可监视 PLC 各部分的运行状态和进程; 也可以在线调整和修改控制程序中定时器、计数器的设定值或强制改变 I/O 的状态。PLC 可以对系统构成、某些硬件状态、指令的合法性等进行自诊断。PLC 发现异常情况, 会发出报警并显示错误类型, 如遇严重错误则自动中止运行。PLC 的故障自诊断功能, 大大提高了 PLC 控制系统的安全性和可维护性。

(6) 步进控制功能

步进控制功能是用步进指令来实现有多道工序的控制, 只有前一道工序完成后, 才能进行下一道工序操作的控制, 以取代由硬件构成的步进控制器。PLC 为用户提供了多个移位寄存器, 可以实现由时间、计数或其他指定逻辑信号为转移条件的步进控制。PLC 能通过移位寄存器方便地完成步进控制功能。有些 PLC 专门设有步进控制指令, 使得编程更为方便。此功能在进行顺序控制时非常有效。

(7) A/D、D/A 转换功能

有些 PLC 具有 A/D、D/A 转换功能, 可以方便地完成对模拟量和数字量之间的控制和调节。一般情况下, 模拟量为 4~20mA 的电流, 或 1~5V、0~10V 的电压; 数字量为 8 位或 12 位的二

进制数。通过 A/D、D/A 转换功能, PLC 可对温度、压力、速度、流量等连续变化的模拟量进行控制。大、中型的 PLC 还具有 PID 闭环控制功能, 运用 PID 子程序或使用专用的智能 PID 模块, 可以实现对模拟量的闭环过程控制。

(8) 停电记忆功能

PLC 内部的部分存储器所使用的 RAM 设置了停电保持器件(如备用电池等), 以保证断电后这部分存储器中的信息能够长期保存。利用某些记忆指令, PLC 可以对工作状态进行记忆, 以保持断电后其数据内容不变。PLC 电源恢复后, 可以在原工作状态基础上继续工作。

(9) 远程 I/O 功能

远程 I/O 功能是指通过远程 I/O 单元将分散在远距离的各种输入、输出设备与 PLC 主机相连接, 进行远程控制, 接收输入信号并传出输出信号。

(10) 通信联网功能

新一代的 PLC 具有通信功能。PLC 的通信包括 PLC 相互之间、PLC 与上位计算机间以及 PLC 与其他智能设备间的通信。PLC 系统与计算机可以直接或通过通信处理单元、通信转接器相连构成网络, 从而实现信息的交换, 也可构成“集中管理, 分散控制”的分布式控制系统, 满足工厂自动化系统的发展要求。

(11) 扩展功能

扩展功能是指通过连接 I/O 扩展单元模块来增加 I/O 点数, 也可通过附加各种智能单元及特殊功能单元来提高 PLC 的控制能力。

PLC 的丰富功能为其广泛应用提供了可能, 同时, 也为工业系统的自动化、远程化、信息化及智能化创造了条件。

2. PLC 的特点

PLC 能如此迅速发展的原因, 除了工业自动化的客观需要外, 还有许多独特的优点。它较好地解决了工业控制领域中普遍关心的可靠、安全、灵活、方便、经济等问题。它具有以下主要特点。

(1) 可靠性高, 抗干扰能力强

高可靠性是 PLC 最突出的特点之一。由于工业生产过程是昼夜连续的, 一般的生产装置要几个月, 甚至几年才大修一次, 这就对用于工业生产过程中的控制器提出了高可靠性的要求。传统的继电器控制系统中使用了大量的中间继电器、时间继电器。由于经常发生触点接触不良的问题, 这种继电器很容易出现故障。PLC 采用微电子技术, 大量的开关动作由无触点的半导体电路来完成, 用软件代替大量的中间继电器和时间继电器, 仅剩下与输入和输出有关的少量硬件, 接线可减少到继电器控制系统的 $1/10 \sim 1/100$, 因触点接触不良造成的故障大为减少。此外, PLC 还采取了屏蔽、滤波、隔离、故障检测与诊断等抗干扰措施, 具有很强的抗干扰能力, 平均无故障时间达到数万小时以上, 可以直接用于有强烈干扰的工业生产现场。大型的 PLC 还可以采用由双 CPU 构成的冗余系统或由三 CPU 构成的表决系统, 使可靠性更进一步提高。就目前而言, PLC 已被广大用户公认为是最可靠的工业控制设备之一。

(2) 编程、操作简易方便, 程序修改灵活

PLC 采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”编程, 容易掌握。目前 PLC 的编程大多采用类似于继电器控制线路的梯形图形式, 既继承了传统控制线路的清晰直观感, 又考虑到大多数电气技术人员的读图习惯及应用微机的水平, 易于编程和修改。对使用者来说, PLC 的编程不需要具备计算机的专门知识, 因此很容易被一般工程技术人员所理解和掌握。

(3) 硬件配套齐全, 用户使用方便, 适应性强

PLC 产品已经标准化、系列化、模块化, 配备有品种齐全的各种硬件装置供用户选用。用户能灵活方便地进行系统配置, 组成不同功能、不同规模的系统。PLC 具有丰富的 I/O 接口, 针对不同的工业现场信号 (如交流或直流、电压或电流、开关量或模拟量、脉冲或电位等), 有相应的 I/O 模块与工业现场的器件或设备 (如按钮、行程开关、接近开关、传感器及变送器、电磁线圈、电机启动器、控制阀等) 直接连接。另外, 为了提高操作性能, PLC 还有多种人机对话的接口模块。为了组成工业局部网络, PLC 还有多种通信联网的接口模块。PLC 的安装接线也很方便, 一般用接线端子连接外部接线。PLC 有较强的带负载能力, 可以直接驱动一般的电磁阀和交流接触器。硬件配置确定后, 可以通过修改用户程序, 方便快速地适应工艺条件的变化。

(4) 安装简单, 调试和维修方便

PLC 用软件功能取代了继电器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数继电器等器件, 使控制柜的设计、安装、接线工作量大大减少。对于复杂的控制系统, 梯形图的设计时间比继电器系统电路图的设计时间要少得多。

PLC 可以在实验室模拟调试, 输入信号用小开关来模拟, 通过 PLC 上的发光二极管可观察输出信号的状态。用户程序不需要专门的机房, 可以在各种工业环境下直接运行。使用时只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 端相连接, 即可投入运行。完成了系统的安装和接线后, 在现场的统调过程中发现的问题一般通过修改程序就可以解决, 系统的调试时间比继电器系统要少得多。

PLC 的故障率很低, 且由于采用模块化结构, PLC 有完善的自诊断和显示功能。可编程控制器或外部的输入装置和执行机构发生故障时, 用户可以根据 PLC 上的发光二极管或编程器提供的信息迅速地查明产生故障的原因。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。

(5) 体积小、质量轻、功耗低、响应快

由于 PLC 是将微电子技术应用于工业控制设备的新型产品, 其体积小、质量轻、功耗低、响应快。对于复杂的控制系统, 在使用 PLC 后, 可以减少大量的中间继电器和时间继电器, 小型 PLC 的体积仅相当于几个继电器的大小, 因此可将开关柜的体积缩小到原来的 $1/2 \sim 1/10$ 。PLC 的配线比继电器控制系统的配线少得多, 故可以省下大量的配线和附件, 减少大量的安装接线工时, 加上开关柜体积的缩小, 可以节省大量的费用。传统继电器节点的响应时间一般需要几百毫秒, 而 PLC 的节点反应很快, 内部是微秒级的, 外部是毫秒级的。

1.3.2 PLC 的分类

PLC 的种类很多, 其功能、内存容量、控制规模、外形等方面均存在较大差异, 且还没有一个权威的统一分类标准。通常根据其结构形式的不同、功能的差异和 I/O 点数的多少等进行大致分类如下。

1. 按结构形式分类

根据 PLC 的结构形式, 可将 PLC 分为整体式和模块式两类。

(1) 整体式 PLC

整体式 PLC 是将电源、CPU、I/O 接口等部件都集中装在一个机箱内, 具有结构紧凑、体积小、价格低的特点。小型 PLC 一般采用这种整体式结构。整体式 PLC 由不同 I/O 点数的基本单元 (又称主机) 和扩展单元组成。基本单元内有 CPU、I/O 接口、与 I/O 扩展单元相连的扩展口以及与编程器或 EPROM 写入器相连的接口等。扩展单元内只有 I/O 和电源等, 没有 CPU。基本单元

和扩展单元之间一般用扁平电缆连接。整体式 PLC 一般还可配备特殊功能单元,如模拟量单元、位置控制单元等,使其功能得以扩展。

(2) 模块式 PLC

模块式 PLC 是将 PLC 各组成部分,分别做成若干个单独的模块,如 CPU 模块、I/O 模块、电源模块(有的含在 CPU 模块中)以及各种功能模块。模块式 PLC 由框架或基板和各种模块组成,模块装在框架或基板的插座上。这种模块式 PLC 的特点是配置灵活,可根据需要选配不同规模的系统,而且装配方便,便于扩展和维修。大、中型 PLC 一般采用模块式结构。

还有一些 PLC 将整体式和模块式的特点结合起来,构成所谓的叠装式 PLC。叠装式 PLC 的 CPU、电源、I/O 接口等也是各自独立的模块,但它们之间是靠电缆进行连接,并且各模块可以一层层地叠装。这样,系统不但可以灵活配置,还可做得体积小。

2. 按功能分类

按 PLC 功能强弱来分,可分为低档机、中档机和高档机三类。

(1) 低档机

低档 PLC 具有逻辑运算、定时、计数、移位以及自诊断、监控等基本功能,还可有少量模拟量输入/输出、算术运算、数据传送和比较、通信等功能。主要用于逻辑控制、顺序控制或少量模拟量控制的单机控制系统。

(2) 中档机

中档 PLC 除具有低档 PLC 的功能外,还具有较强的模拟量输入/输出、算术运算、数据传送和比较、数制转换、远程 I/O、子程序、通信联网等功能,有些还可增设中断控制、PID 控制等功能。中档 PLC 适用于复杂控制系统。

(3) 高档机

高档机 PLC 除具有中档机的功能外,还具有模拟调节、联网通信、监视、记录和打印等功能,可进行函数运算、矩阵运算,完成数据管理工作,有更强的通信能力。这些功能使 PLC 可以进行智能控制、远程控制、大规模控制,进而可以构成分布式生产过程综合控制管理系统,形成完整的自动化控制网络。

3. 按 I/O 点数分类

为了适应不同工业生产应用的要求,PLC 能够处理的输入/输出信号数是不一样的。一般将一路信号称为一个点,将输入点数和输出点数的总和称为机器的点数。PLC 按控制规模分类主要以开关量计数,模拟量的路数可折算成开关量的点数,一般一路相当于 8 点或 16 点。根据 I/O 点数的多少,可将 PLC 分为微(超小)型机、小型机、中型机、大型机和超大型机。

(1) 微型机

I/O 点数小于 100 点,内存容量为 256B~1KB。如欧姆龙公司的 SP 系列、松下电工的 FPO 系列、三菱公司 F 系列等。微型机特点是体积小,功能简单,是实现小型机械自动化的理想控制器。

(2) 小型机

I/O 点数在 100~500 点左右,内存容量为 1~3.61KB。如欧姆龙公司的 CPM1A、CPM2A、CQM1I、CQM1H 系列,松下电工的 FP 系列,三菱公司的 F1 系列等。小型机主要用于中等容量的开关量控制,具有逻辑运算、定时、计数、顺序控制、通信等功能,是代替继电器控制的理想控制器,应用非常广泛。

(3) 中型机

I/O 点数在 500~1 000 点左右,内存容量为 3.6~13KB。例如,欧姆龙公司的 C200H,其普