



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部高等职业教育示范专业规划教材
(电气工程及自动化类专业)

SIMATIC

可编程序控制器

及应用

第2版

孙海维 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠 电子 课件 等

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部高等职业教育示范专业规划教材
(电气工程及自动化类专业)

SIMATIC 可编程序控制器 及应用 第2版

主 编 孙海维
副主编 程龙泉 杨 健
参 编 史艳霞 乔 佳 张志田 范其明



机械工业出版社

本书以德国西门子公司生产的 S7-300/400 为参考机型,适当兼顾 S7-200 及 S5 系列 PLC,系统阐述了可编程序控制器的指令系统、程序设计、硬件组态及故障诊断的方法和技巧,详细讲解了 MPI 网、PROFIBUS-DP 网、Industrial Ethernet 等常见的 S7 工业网络,并简单介绍了 PLC 冗余技术。

本书着重把握 PLC 及其应用技术的发展趋势,针对当前高职学生的水平和特点,强调编程练习、程序调试和项目实训,突出可编程序控制技术关键能力的培养,使读者能够举一反三,触类旁通。

本书强化工程应用能力,注重实用,针对性强,可作为高等职业教育、应用型本科电气自动化、机电一体化、数控、生产过程自动化等专业学生用书,也可供从事 PLC 系统设计开发及现场维护的工程技术人员参考。

为方便教学,本书备有免费电子课件、章后习题解答、模拟试卷及答案等,凡选用本书作为授课教材的老师,均可来电免费索取。咨询电话:010-88379375;Email:cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

SIMATIC 可编程序控制器及应用/孙海维主编. —2 版. —北京:机械工业出版社,2013. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 教育部高等职业教育示范专业规划教材. 电气工程及自动化类专业

ISBN 978-7-111-40238-1

I. ①S… II. ①孙… III. ①可编程序控制器-高等职业教育-教材
IV. ①TP332. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 257268 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于 宁 责任编辑:于 宁 苑文环

版式设计:霍永明 责任校对:张 媛

封面设计:鞠 杨 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 2 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.25 印张·401 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-40238-1

定价:31.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

第2版前言

可编程序控制器（PLC）是广泛吸收微电子技术、计算机技术以及通信技术的现代工业控制装置，从单机自动化到整条生产线乃至整个工厂的全自动化，从数控机床、工业机器人到分散控制系统，PLC都担当着极其重要的角色。现代企业中应用最广、最实用的自动化设备就是PLC及其网络。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，教育部高等职业教育示范专业规划教材，为高等职业技术教育工科类教学用书，是编者在多年从事可编程序控制技术的教学、培训及科研基础上编著而成的。本书注重实用，技术针对性强，可作为高职高专、高等工科院校电气工程类、机电一体化类、机械自动化类学生用书，也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书的编著以高等技术应用型人才培养目标为依据，以技能培养为根本，强化工程应用能力作为本书的编著原则。结合作者多年的教学培训及工程设计经验，系统地介绍了可编程序控制器的基本原理和指令系统，突出了程序设计及故障诊断中的方法和技巧，并详细讲解了MPI网、PROFIBUS-DP网、Industrial Ethernet等常见的S7工业网络，使读者能够举一反三，掌握可编程序控制技术的关键能力。

本书的突出特色是：针对当前市场上众多的产品型号，选取了当今应用最广泛的世界著名PLC厂商SIEMENS产品为应用机型，在编写时增加了程序设计指导和项目练习单元，使读者不仅能掌握指令，而且还能利用指令完成实际控制任务，并给出程序设计的思路，许多工程实例尽量做到深入浅出。

本次修订充分听取了专家的意见和建议，重新改写了第7章有关S7-200 PLC的内容，调整了第8章项目设计及实训练习，增加了S7-300/400 PLC的冗余技术和部分习题，同时适当减少了PLC基础知识。

全书共8章，总课时为80学时，各院校可依据实际情况决定内容的取舍。

本书由天津中德职业技术学院孙海维担任主编并统稿，四川机电职业技术学院程龙泉和天津中德职业技术学院杨健担任副主编。其中，第1、3、4、6章由天津中德职业技术学院孙海维编写，第2章由天津中德职业技术学院乔佳和湖南工业职业技术学院张志田编写，第5章由四川机电职业技术学院程龙泉和天津中德职业技术学院范其明编写，第7章由天津中德职业技术学院史艳霞编写，第8章由天津中德职业技术学院杨健编写。

天津职业技术师范大学崔世钢教授担任本书主审，对本书进行了细致、详尽的审阅，提出了许多宝贵意见。在此表示感谢。

限于作者水平，书中难免有缺点和不当之处，敬请专家、同仁和广大读者给予批评指正。

编 者

目 录

第2版前言

第1章 可编程序控制器概述 1

- 1.1 PLC的发展过程及基本功能 1
 - 1.1.1 PLC的发展过程 1
 - 1.1.2 PLC的基本功能 2
- 1.2 PLC的特点、性能指标及分类 3
 - 1.2.1 PLC的特点 3
 - 1.2.2 PLC的性能指标 4
 - 1.2.3 PLC的分类 4
- 1.3 PLC的基本结构及工作原理 5
 - 1.3.1 PLC的基本结构 5
 - 1.3.2 PLC的工作原理 6
- 1.4 PLC与其他工业控制装置的比较 7
 - 1.4.1 PLC与继电器-接触器控制系统的比较 7
 - 1.4.2 PLC与集散控制系统的比较 7
 - 1.4.3 PLC与工业控制计算机的比较 8
- 1.5 PLC的发展趋势 8
- 复习思考题 9

第2章 可编程序控制器的硬件组成及系统特性 10

- 2.1 S5系列可编程序控制器 10
 - 2.1.1 S5-90U/95U可编程序控制器 10
 - 2.1.2 S5-100U可编程序控制器 12
 - 2.1.3 S5-115U可编程序控制器 14
 - 2.1.4 S5-135U/155U可编程序控制器 17
- 2.2 S7系列可编程序控制器 20
 - 2.2.1 S7-200可编程序控制器 20
 - 2.2.2 S7-300可编程序控制器 22
 - 2.2.3 S7-400可编程序控制器 26
- 复习思考题 28

第3章 STEP 7指令系统及应用 30

- 3.1 PLC编程基础 30
 - 3.1.1 指令及其结构 30
 - 3.1.2 PLC编程的基本原则 33
 - 3.1.3 STEP 7的软件结构及调用执行 35

3.2 位逻辑指令及应用 36

- 3.2.1 基本逻辑指令及应用 36
- 3.2.2 置位/复位指令及应用 45
- 3.2.3 边沿识别指令及应用 49
- 3.2.4 跳步指令及应用 52
- 3.2.5 主控指令及应用 56
- 3.3 数据块及数据传送指令 59
 - 3.3.1 数据块的结构及数据格式 59
 - 3.3.2 数据传送指令 59
- 3.4 定时器指令及应用 60
 - 3.4.1 脉冲定时器 62
 - 3.4.2 扩展脉冲定时器 63
 - 3.4.3 接通延时定时器 63
 - 3.4.4 保持型接通延时定时器 64
 - 3.4.5 关断延时定时器 65
 - 3.4.6 定时器指令的应用 66
 - 3.4.7 程序设计指导 75
- 3.5 计数器及比较指令 79
 - 3.5.1 计数器指令及应用 79
 - 3.5.2 比较指令及应用 80
- 3.6 参数/变量声明及应用 82
- 3.7 移位/循环、转换及数学运算指令 84
 - 3.7.1 移位/循环指令 84
 - 3.7.2 转换指令 86
 - 3.7.3 数学运算指令 89
 - 3.7.4 数字逻辑运算指令 90
 - 3.7.5 高级数学运算指令 91
- 复习思考题 92

第4章 PLC控制系统的设计与故障诊断 95

- 4.1 PLC控制系统的总体设计 95
 - 4.1.1 PLC控制系统设计的基本原则 95
 - 4.1.2 PLC控制系统设计的基本内容 95
 - 4.1.3 PLC控制系统的设计步骤 96
- 4.2 PLC控制系统硬件设计方法 97
 - 4.2.1 应用系统总体方案设计 97

4.2.2 系统硬件设计的依据	99	5.2.3 PLC 的模拟量模板	153
4.2.3 PLC 的机型选择	99	5.2.4 PLC 的电源模板	155
4.2.4 I/O 模板的选择	101	5.2.5 PLC 的接口模板	156
4.2.5 系统硬件设计文件	102	5.3 PLC 系统的硬件组态	159
4.2.6 PLC 供电系统设计	102	5.3.1 S7-300 PLC 的硬件组态	159
4.2.7 系统接地设计	105	5.3.2 S7-400 PLC 的硬件组态	160
4.2.8 电缆设计和敷设	106	5.4 PLC 的 I/O 扩展	161
4.3 程序设计与调试	106	5.4.1 S7-300 PLC 系统的 I/O 扩展	161
4.3.1 程序结构设计	107	5.4.2 S7-400 PLC 系统的 I/O 扩展	163
4.3.2 符号表与符号化编程	108	5.5 SIMATIC S7 冗余系统	164
4.4 PLC 在顺序控制中的应用	109	5.5.1 冗余的概念	164
4.4.1 顺序控制结构与程序结构	109	5.5.2 S7-400H 硬冗余系统	164
4.4.2 顺序控制系统程序设计实例	112	5.5.3 S7-300 软冗余系统	167
4.5 PLC 系统的现场调试	115	复习思考题	171
4.5.1 信号模拟	115	第 6 章 PLC 通信网络	172
4.5.2 寻找/替换与换线	116	6.1 通信的基本概念	172
4.5.3 变量监控与修改	116	6.1.1 OSI 参考模型	172
4.5.4 I/O 强制	117	6.1.2 RS232C 规范与 RS485 标准	174
4.6 组织块 (OB) 及其应用	118	6.2 S7-300/S7-400 通信处理器	176
4.6.1 组织块概述	119	6.2.1 S7-300 通信处理器	177
4.6.2 循环控制组织块	120	6.2.2 S7-400 通信处理器	177
4.6.3 中断组织块及应用	121	6.3 多点接口 (MPI)	178
4.6.4 初始化模块及应用	124	6.3.1 多点接口网络组态	178
4.7 故障特性及故障诊断	126	6.3.2 多点接口全局数据设置	179
4.7.1 故障特性	126	6.3.3 多点接口网络应用	180
4.7.2 故障诊断	127	6.4 工业现场总线 (PROFIBUS)	184
4.8 模拟量处理	129	6.4.1 PROFIBUS-DP 系统及 I/O 从站	187
4.8.1 模拟量 I/O 模板特性及参数 设置	129	6.4.2 PROFIBUS-DP 系统组态	190
4.8.2 模拟量输出信号的量值整定	129	6.4.3 PROFIBUS-DP 网络应用	194
4.8.3 模拟量的规范化	130	6.5 工业以太网 (Industrial Ethernet)	199
复习思考题	131	6.5.1 通信处理器	199
第 5 章 PLC 系统的硬件组态及 I/O 扩展	133	6.5.2 工业以太网组态	200
5.1 S7-300 PLC 系统的模板特性	133	6.6 点到点通信 (PTP)	203
5.1.1 PLC 的 CPU 模板	134	6.6.1 CP340 通信模板介绍	203
5.1.2 PLC 的数字量模板	138	6.6.2 CP340 的工作原理	203
5.1.3 PLC 的模拟量模板	141	6.6.3 CP340 的起动及工作特性	204
5.1.4 PLC 的电源模板	147	6.6.4 CP340 的通信功能块	204
5.1.5 PLC 的接口模板	147	复习思考题	204
5.2 S7-400 PLC 系统的模板特性	149	第 7 章 S7-200 可编程序控制器	205
5.2.1 PLC 的 CPU 模板	149	7.1 S7-200 PLC 的硬件配置及编址	205
5.2.2 PLC 的数字量模板	150	7.1.1 PLC 模板的特点、技术参数及 工作方式	205
		7.1.2 PLC 的编程元件及 I/O 编址	206

7.1.3 S7-200 的编程语言及程序结构	209	8.1 液压送料机构控制系统	231
7.2 S7-200 的常用指令	210	8.2 机床走刀机构控制	233
7.2.1 位逻辑指令	210	8.3 打印设备控制	234
7.2.2 定时器指令	213	8.4 自动停车场控制	236
7.2.3 计数器指令和比较指令	215	8.5 交通灯控制	238
7.2.4 S7-200 PLC 应用实例	217	8.6 生产线料仓控制	239
7.3 S7-200 其他指令	219	8.7 切料机控制	243
7.3.1 程序控制指令	219	8.8 实训练习	246
7.3.2 算术运算指令	222	8.8.1 生产线传送带控制	246
7.3.3 逻辑运算指令	222	8.8.2 百叶窗控制	247
7.3.4 传送及移位指令	223	8.8.3 升降机控制	248
7.4 S7-200 编程软件的使用	224	8.8.4 自动加工机床控制	248
7.4.1 菜单功能说明	224	8.8.5 自动生产线检测站控制	249
7.4.2 软件编程及调试	226	8.8.6 生产线搬运单元控制	250
复习思考题	230	8.8.7 自动生产线包装单元控制	252
第8章 PLC 的应用	231	参考文献	254

第 1 章 可编程序控制器概述

随着电气控制设备，尤其是电子计算机的迅猛发展，工业生产自动化控制技术也发生了深刻的变化。无论是从国外引进的自动化生产线，还是自行设计的自动控制系统，都已普遍把可编程序控制器作为控制系统的核心器件。可编程序控制器在取代传统电气控制方面有着不可比拟的优点，在自动化领域已形成了一种工业控制趋势。电气设备能否方便可靠地实现自动化，很大程度上取决于对可编程序控制器的应用水平。

可编程序控制器是一种专为在工业环境下应用而设计的计算机控制系统。它采用可编程序的存储器，能够执行逻辑控制、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作功能，并通过开关量、模拟量的输入和输出完成对各种机械或生产过程的控制。可编程序控制器具有丰富的输入、输出接口，并且具有较强的驱动能力，其硬件需根据实际需要选配，软件则需根据控制要求进行设计。

由于早期的可编程序控制器在功能上只能进行逻辑控制，因此被称为可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller），简称 PLC。随着计算机技术的发展，逐渐开始采用微处理器（Microprocessor）作为可编程序控制器的中央处理单元，从而扩大了可编程序控制器的功能。现在的可编程序控制器不仅可以进行逻辑控制，也可以对模拟量进行控制，后来美国电气制造协会将它命名为可编程序控制器（Programmable Controller），简称 PC。但 PC 这个名称已成为个人计算机（Personal Computer）的专称，所以现在仍然把可编程序控制器简称为 PLC。本章将简要介绍 PLC 的发展过程、功能、特点及组成。

1.1 PLC 的发展过程及基本功能

1.1.1 PLC 的发展过程

PLC 是在 20 世纪 60 年代后期和 70 年代初期问世的。起初 PLC 主要用于汽车制造业，当时汽车生产流水线的控制系统基本上都是由继电器主接触器控制装置构成的，汽车的每一次改型都要求对生产流水线的继电器-接触器控制装置重新设计，这样就需要对继电器-接触器控制装置经常地更改设计和安装。为此，美国的数字设备公司（DEC）于 1969 年研制出世界上第一台 PLC。此后，这项新技术迅速发展，并推动了世界各国对 PLC 的研制和应用，日本、德国等先后研制出自己的 PLC。PLC 的发展过程大致分为以下几个阶段。

1) 第一阶段：功能简单。该阶段的 PLC 主要具有逻辑运算、定时和计数功能，还没有形成系列。与继电器控制装置相比，PLC 的可靠性有一定提高。它的 CPU 由中小规模集成电路组成，存储器为磁芯存储器。目前此类产品已无人问津。

2) 第二阶段：增加了数字运算功能，能完成模拟量的控制。该阶段的 PLC 开始具备自诊断功能，存储器采用 EPROM。此类 PLC 也已退出市场。

3) 第三阶段：将微处理器用于 PLC 中，而且向多微处理器发展，使 PLC 的功能和处理

速度大大增强,具有通信功能和远程 I/O 能力。这类 PLC 仍有部分在使用。

4) 第四阶段:能完成对整个车间的监控,可灵活方便地完成各种控制和管理操作,可将多台 PLC 连接起来与大系统连成一体,实现网络资源共享。

目前,为了适应大中小型企业不同需要,扩大 PLC 在工业自动化领域的应用范围,PLC 正朝着以下两个方向发展:

1) 低档 PLC 向小型化、简易廉价的方向发展,使之能更加广泛地取代继电器-接触器控制装置。

2) 中高档 PLC 向大型、高速和多功能的方向发展,使之能取代工业控制机的部分功能,对复杂系统进行综合性自动控制。

1.1.2 PLC 的基本功能

PLC 的控制程序由用户根据生产过程和工艺要求设计,PLC 根据现场输入信号的状态控制现场的执行机构按一定的规律动作。它主要能完成以下几项功能。

1. 逻辑控制 PLC 具有逻辑运算功能,它设置有“与”、“或”、“非”等逻辑指令,能够描述继电器触点的串联、并联、串并联等各种连接,因此它可以代替继电器进行组合逻辑与顺序逻辑控制。

2. 定时与计数控制 PLC 具有定时与计数功能。它为用户提供了若干个定时器和计数器,并设置了定时器和计数器指令。定时值与计数值由用户在编程时设定,并能读出与修改,使用灵活,操作方便。在程序投入运行后,PLC 将根据用户设定的定时值与计数值对某个操作进行定时和计数控制,以满足生产工艺的要求。

3. 步进控制 PLC 能完成步进控制功能。步进控制是指在完成一道工序以后,再进行下一步工序,也就是顺序控制。

4. A-D、D-A 转换 PLC 还具有模-数(A-D)转换和数-模(D-A)转换功能,能完成对模拟量的控制与调节。

5. 数据处理 有的 PLC 还具有数据处理能力及并行运算指令,能进行数据并行传送、比较和逻辑运算,BCD 码的加、减、乘、除等运算,还能进行字“与”、字“或”、字“异或”、求反、逻辑移位、算术移位、数据检索、比较及数制转换等操作。

6. 通信与联网 现代 PLC 采用了通信技术,可以进行远程 I/O 控制,多台 PLC 之间可以进行同位连接,还可以与计算机进行上位连接,接收计算机的命令,并将执行结果通知计算机。由一台计算机和若干台 PLC 可以组成“集中管理、分散控制”的分布式控制网络,以完成较大规模的复杂控制。

7. 控制系统监控 PLC 有较强的监控功能,它能记忆某些异常情况,或当发生异常情况时自动终止运行。在控制系统中,操作人员通过监控命令可以监视系统有关部分的运行状态,还可以调整定时或计数等设定值,因而调试、使用和维护都较方便。可见,随着科学技术的不断发展,PLC 的功能也会不断拓展和增强。

1.2 PLC 的特点、性能指标及分类

1.2.1 PLC 的特点

1. 高可靠性 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的控制器的提出了高可靠性的要求。PLC 之所以具有较高的可靠性是因为它采用了微电子技术, 大量的开关动作由无触点的半导体电路来完成, 另外还采取了屏蔽、滤波及隔离等抗干扰措施。它的平均故障间隔时间为 3~5 万小时以上。

2. 灵活性 在 PLC 出现之前, 电气工程师必须为每套设备配置专用的控制装置。有了 PLC 后, 硬件设备只需采用相同的 PLC, 编写不同的应用软件即可, 而且可以用一台 PLC 控制几台操作方式完全不同的设备。

3. 便于改进和修正 相对传统的电气控制电路, PLC 为改进和修订原设计提供了极其方便的方法。以前也许要花费几周的时间, 而用 PLC 也许只用几分钟就可以完成。

4. 节点利用率提高 传统电路中一个继电器只能提供几个节点用于联锁, 在 PLC 中, 一个输入中的开关量或程序中的一个“线圈”可提供用户所需要的任意个联锁节点, 也就是说, 节点在程序中可不受限制地使用。

5. 丰富的 I/O 接口 由于工业控制机只是整个工业生产过程自动控制系统中的一个控制中枢, 为了实现对工业生产过程的控制, 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、存储器等) 外, 还有丰富的 I/O 接口模块。对不同的工业现场信号 (如交流、直流、电压、电流、开关量、模拟量及脉冲等), 都有相应的 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、变送器、电磁线圈、电动机起动器及控制阀等) 直接连接。另外, 有些 PLC 还有通信模块、特殊功能模块等。

6. 模拟调试 PLC 能对所控功能在实验室内进行模拟调试, 缩短现场的调试时间, 而传统电气控制电路是无法在实验室进行调试的, 只能在现场花费大量时间来调试。

7. 对现场进行微观监视 在 PLC 系统中, 操作人员能通过显示器观测到所控制的每一个节点的运行情况, 随时监视事故发生点。

8. 快速动作 传统继电器节点的响应时间一般需要几百毫秒, 而 PLC 里的节点反应很快, 内部是微秒级的, 外部是毫秒级的。

9. 梯形图及布尔代数并用 PLC 的程序编制可采用电气技术人员熟悉的梯形图方式, 也可以采用程序员熟悉的布尔代数图形方式。

10. 体积小、质量轻、功耗低 由于 PLC 采用半导体集成电路, 与传统控制系统相比较, 它具有体积小、质量轻及功耗低的特点。

11. 编程简单、使用方便 PLC 采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”编程, 使编程变得较容易。例如, 目前大多数 PLC 采用梯形图语言的编程方式, 它继承了传统控制电路的清晰直观感, 并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, 因而很容易被电气技术人员所接受, 在易于编程的同时, 也易于修改程序。

当然, PLC 也并非十全十美, 其缺点是价格还比较高。一般来说, 价格比继电器-接触器控制系统高, 比一般单片机系统也高。

1.2.2 PLC 的性能指标

PLC 的性能指标是 PLC 控制系统应用设计时选择 PLC 产品的重要依据。衡量 PLC 的性能指标可分为硬件指标和软件指标两大类。硬件指标包括环境温度与湿度、抗干扰能力、使用环境、输入特性和输出特性等。软件指标包括扫描速度、存储容量、指令功能及编程语言等。

1. 编程语言 PLC 常用的编程语言有梯形图、指令表、流程图及高级语言等。目前使用最多的是梯形图和指令表。不同的 PLC 可能采用不同的编程语言。

2. I/O 总点数 PLC 的输入和输出量有开关量和模拟量两种。开关量 I/O 用最大 I/O 点数表示, 模拟量 I/O 点数则用最大 I/O 通道数表示。

3. 内部继电器的种类和数目 包括普通继电器、保持继电器和特殊继电器等。

4. 用户程序存储量 用户程序存储器用于存储通过编程器输入的用户程序, 其存储量通常以字或字节为单位来计算。16 位二进制数为一个字, 8 位为一个字节, 每 1024 个字为 1K 字。中小型 PLC 的存储容量一般在 8K 字以下, 大型 PLC 的存储容量有的已达 96K 字以上。通常, 一般的逻辑操作指令每条占一个字, 数字操作指令占两个字。

5. 扫描速度 以 ms/(K 字) 为单位表示。例如, 20ms/(K 字) 表示扫描 1K 字的用户程序需要的时间为 20ms。

6. 工作环境 PLC 一般能在下列条件下工作: 温度 0~55℃, 湿度小于 80%。

7. 特种功能 有的 PLC 还具有某些特种功能。如自诊断功能、通信联网功能、监控功能、特殊功能模块及远程 I/O 能力等。

1.2.3 PLC 的分类

目前 PLC 的品种很多, 规格性能不一, 且没有一个权威的统一分类标准。目前一般按下面几种情况来大致分类。

1. 按结构形式分类 PLC 可分为整体式和模块式两种。

整体式 PLC 是将其电源, 中央处理器, 输入、输出部件等集中配置在一起, 有的甚至全部安装在一块印刷电路板上。整体式 PLC 结构紧凑、体积小、质量小、价格低、I/O 点数固定, 但使用不灵活。小型 PLC 常采用这种结构。

模块式 PLC 是把 PLC 的各部分 (如电源模板、CPU 模板、输入模板及输出模板等) 以模块的形式分开, 然后把这些模板插入机架底板上, 组装在一个机架内。这种结构配置灵活, 装配方便, 便于扩展。一般中型和大型 PLC 常采用这种结构。

2. 按输入、输出点数和存储容量分类 PLC 可分为大、中、小型三种。

小型 PLC 的输入、输出点数在 256 点以下, 用户程序存储容量在 2K 字以下。中型 PLC 的输入、输出点数在 256~2048 点之间, 用户程序存储容量一般为 2~10K 字。大型 PLC 的输入、输出点数在 2048 点以上, 用户程序存储容量达 10K 字以上。

3. 按功能分类 按 PLC 功能强弱, 可分为低档机、中档机和高档机三种。

低档 PLC 具有逻辑运算、定时和计数等功能, 有的还增设模拟量处理、算术运算和数

据传送等功能。

中档 PLC 除具有低档机的功能外，还具有较强的模拟量输入、输出，算术运算及数据传送等功能，可完成既有开关量又有模拟量控制的任务。

高档 PLC 增设有带符号算术运算及矩阵运算等功能，使运算能力更强。它们还具有模拟调节、联网通信、监视、记录和打印等功能，使 PLC 的功能更强大，能进行远程控制，构成分布式控制系统，成为整个工厂的自动化网络。

1.3 PLC 的基本结构及工作原理

在传统的继电器-接触器控制系统中，支配控制系统工作的“程序”是由导线将电气元器件连接起来实现的，把这样的控制系统称之为“硬接线”程序控制系统。在这种接线控制系统中，控制功能的改变必须通过修改控制器件和接线来实现。而 PLC 控制系统是通过修改 PLC 的程序来完成，PLC 控制系统也称为“软接线”程序控制系统。PLC 控制系统与微型计算机控制系统基本相似，它由硬件和软件两大部分组成。PLC 实质上是一种用于工业控制的专用计算机，但对硬件各部分的定义及工作过程则与 PC 有很大差异。

1.3.1 PLC 的基本结构

以模块式 PLC 系统为例，S7-300PLC 的外形如图 1-1 所示。它包括导轨（RACK），电源模板（PS），CPU 模板，接口模板（IM）和输入、输出模板（SM）。各模板的功能分别介绍如下。

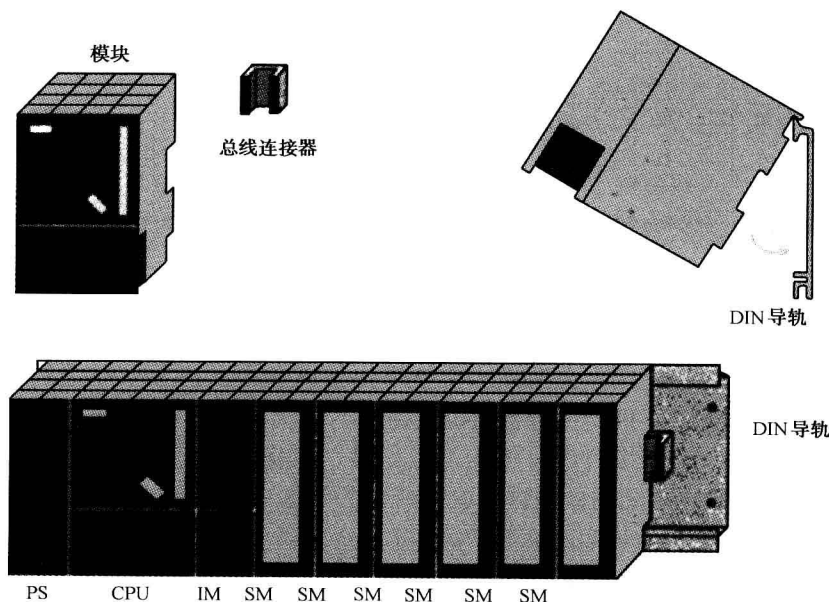


图 1-1 PLC 的外形

1. 导轨 导轨是安装 PLC 各类模板的机架，可根据实际需要选择。
2. 电源模板 电源模板用于对 PLC 内部电路供电。

3. CPU 模板 CPU 模板有多种型号，它是 PLC 的神经中枢，是系统的运算控制核心。CPU 模板根据系统程序的要求完成以下任务：接收并存储用户程序和数据；接收现场输入设备的状态和数据；诊断 PLC 内部电路的工作状态和编程过程中的语法错误；完成用户程序规定的运算任务；更新有关标志位的状态和输出状态寄存器的内容；实现输出控制或数据通信等功能。

4. 输入、输出模板 输入、输出模板是 CPU 模板与现场输入、输出元器件或设备连接的桥梁，用户可根据现场输入、输出元器件选择各种用途的输入、输出模板。一般 PLC 均配置输入、输出电平转换及电气隔离。输入电平转换是用来将输入端不同的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控制的低电平信号转换成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输入、输出回路之间采用的防干扰措施，输入、输出模板既可以与 CPU 模板放置在一起，又可远程安装。一般输入、输出模板都有输入、输出状态显示和接线端子排。有些 PLC 还具有一些其他功能的输入、输出模板。

1.3.2 PLC 的工作原理

PLC 具有比计算机更强的工业过程接口，更适应于控制要求的编程语言，因此，可将 PLC 视为一种特殊的工业控制计算机。但 PLC 的编程语言和工作原理与计算机有一定的差别，与继电器-接触器控制逻辑的工作过程也有很大差别。

PLC 的工作过程一般可分为三个主要阶段：输入采样阶段、程序执行阶段和输出刷新阶段，如图 1-2 所示。

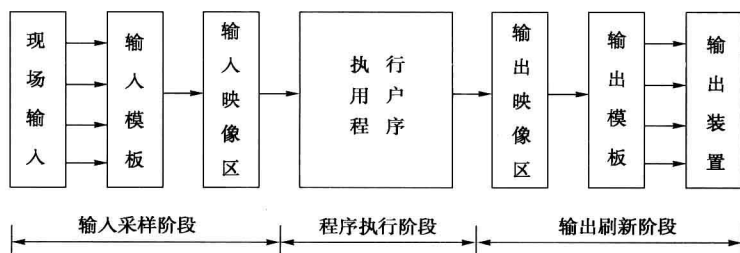


图 1-2 PLC 的工作过程

1. 输入采样阶段 PLC 以扫描的工作方式，按顺序将所有信号读入到寄存输入状态的输入映像区中存储，这一过程称为采样。在整个扫描周期内，这个采样结果的内容不会改变，而且这个采样结果将在 PLC 执行程序时被使用。

2. 程序执行阶段 PLC 按顺序对程序进行扫描，即从上到下、从左到右地扫描每条指令，并分别从输入映像区和输出映像区中获得所需的数据进行运算、处理，然后再将程序执行的结果写入寄存执行结果的输出映像区中保存。这个结果在程序执行期间可能发生变化，但在整个程序未执行完毕之前不会送到输出端口。

3. 输出刷新阶段 在执行完所有用户程序后，PLC 将输出映像区中的内容送到寄存输出状态的输出锁存器中，再去驱动用户设备。

PLC 重复执行上述三个阶段，每重复一次的时间称为一个扫描周期。PLC 在一个扫描周期中，输入采样和输出刷新的时间一般为毫秒级，而程序的执行时间因程序的长度不同而不

同。PLC 一个扫描周期因 CPU 模板的运算速度差别很大。

PLC 的一个工作周期主要有上述三个阶段,但严格来说还应包括系统自监测、编程器交换信息与网络通信等时间。

当 PLC 投入运行后,重复完成以上三个阶段的工作,即采用循环扫描的工作方式。PLC 工作的主要特点是输入、输出采样,程序执行和输出刷新采用“串行”的工作方式,这样既可避免继电器-接触器控制系统中的触点竞争和时序失配,又可提高 PLC 的运算速度,这是 PLC 系统可靠性高、响应快的原因之一。这种工作方式的不足之处是导致输出对输入在时间上的滞后。

PLC 在执行程序时所用到的状态值不是直接从实际输入口所获得的,而是来源于输入映像区和输出映像区。输入映像区的状态取决于本扫描周期从输入端中采样取得的数据,并在程序执行阶段保持不变。输出映像区的状态取决于执行程序输出指令的结果。输出锁存器中的状态值是上一个扫描周期的输出刷新结果。

1.4 PLC 与其他工业控制装置的比较

1.4.1 PLC 与继电器-接触器控制系统的比较

继电器-接触器控制系统是针对一定的生产机械、固定的生产工艺设计的,采用硬接线方式装配而成,只能完成既定的逻辑控制、定时及计数等功能,一旦生产工艺过程改变,则控制柜必须重新设计,重新配线。因而传统的继电器-接触器控制系统被 PLC 所取代已是必然趋势。由于 PLC 应用了微电子技术和计算机技术,各种控制功能都是通过软件来实现的,因此只要适当改变程序并改动少量的接线端子,就可适应生产工艺的改变。从适应性、可靠性及安装维护等方面比较,PLC 都有显著的优势,因此,PLC 控制系统将取代大多数传统的继电器-接触器控制系统。

1.4.2 PLC 与集散控制系统的比较

PLC 与集散控制系统在发展过程中始终是互相渗透、互为补充的,它们分别由两个不同的古典控制设备发展而来。PLC 由继电器-接触器逻辑控制系统发展而来,所以它在数字处理、顺序控制方面具有一定的优势,主要侧重于开关量顺序控制方面。集散控制系统(DCS)由单回路仪表控制系统发展而来,所以它在模拟量处理、回路调节方面具有一定的优势,主要侧重于回路调节功能。随着微电子技术、大规模集成电路技术、计算机技术及通信技术等的不断发展,这两种设备都同时向对方扩展自己的技术功能。PLC 在 20 世纪 80 年代初进入了实用化阶段,8 位、16 位、32 位微处理器和各种位片式处理器的应用,使它在技术和功能上发生了飞跃性的发展。在初期的逻辑运算功能的基础上,增加了数值运算、闭环调节等功能,其运算速度大大提高,输入、输出范围与规模迅速扩大。PLC 与上位计算机之间相互连成网络,构成以 PLC 为主要部件的初级控制系统。

现代 PLC 的模拟量控制功能很强,多数都配备了各种智能模块,以适应生产现场的多种特殊要求,已具有 PID 调节功能、构成网络系统组成分级控制的功能以及集散控制系统所完成的功能。集散控制系统既有单回路控制系统,又有多回路控制系统,同时也具有顺序控

制功能。到目前为止, PLC 与集散控制系统的发展越来越接近, 很多工业生产过程既可以用 PLC, 也可以用集散控制系统实现其控制功能。把 PLC 系统和 DCS 系统各自的优势有机地结合起来, 可形成一种新型的分布式计算机控制系统。

1.4.3 PLC 与工业控制计算机的比较

工业控制计算机是通用微型计算机为适应工业生产控制要求发展起来的一种控制设备。它在硬件结构方面总线标准化程度高、兼容性强, 且软件资源丰富, 特别是具有实时操作系统的支持, 故对要求快速性、实时性、模型复杂及计算工作量大的工业对象的控制占有较强优势。但是, 使用工业控制计算机控制生产工艺过程, 要求开发人员具有较高的计算机专业知识和微机软件编程的能力。PLC 最初是针对工业顺序控制应用而发展起来的, 硬件结构专用性强、通用性差, 很多优秀的微机软件不能直接使用, 必须经过二次开发。但是, PLC 使用技术人员熟悉的梯形图语言编程, 易学易懂, 便于推广应用。

从可靠性方面看, PLC 是专为工业现场应用而设计的, 采用整体密封或插件组合型, 并采取了一系列抗干扰措施, 具有很高的可靠性。而工业控制计算机(工控机)虽然也能在恶劣的工业环境下可靠运行, 但毕竟是由通用机发展而来的, 在整体结构上要完全适应现场生产环境, 还要做一定的工作。另一方面, PLC 用户程序是在 PLC 监控程序的基础上运行的, 软件方面的抗干扰措施在监控程序里已经考虑得很周全, 而工业控制计算机(工控机)用户程序则必须考虑抗干扰问题, 这也是工控机应用系统比 PLC 应用系统可靠性差的原因。

尽管现代 PLC 在模拟量信号处理、数值运算及实时控制等方面有了很大提高, 但在模型复杂、计算量大和实时性要求较高的环境中, 工业控制计算机则更能体现出它的优势。

1.5 PLC 的发展趋势

随着科学技术的不断发展和市场需求的不断增加, PLC 的结构和功能也在不断改进。PLC 生产厂家不断推出功能更强的新产品, 如德国西门子公司在 S5 系列 PLC 的基础上推出的 S7 系列 PLC, 性能价格比有了很大提高。S7-300 属于中型 PLC, 有很强的模拟量处理能力和数字运算功能, 用户程序容量达 96KB, 具有许多过去大型 PLC 才有的功能, 它的扫描速度为 1000 条指令 0.3 ms, 已超过了许多大型 PLC。PLC 的发展趋势主要体现在以下几个方面。

1. 网络化 PLC 的网络化主要是朝 DCS 方向发展, 使其具有 DCS 系统的一些功能。网络化和通信能力强是 PLC 发展的一个重要方面, 向下可将多个 PLC、多个 I/O 框架相连, 向上可与工业控制计算机、以太网等相连构成整个工厂的自动化控制系统。现场总线技术 (PROFIBUS) 在工业控制中将会得到越来越广泛的应用。S7-300 PLC 可以通过多点接口 MPI (Multi-Point Interface) 直接与多个计算机、编程器、操作员面板及其他厂家的 PLC 相连。

2. 多功能 为了满足各种特殊功能的需要, 各公司陆续推出了多种智能模板。智能模板是以微处理器为基础的功能部件, 它们的 CPU 与 PLC 的 CPU 并行工作, 占用主机 CPU 的时间很少, 有利于提高 PLC 的扫描速度和完成特殊的控制要求。智能模板主要有模拟量 I/O、PID 回路控制、通信控制、机械运动控制 (如轴定位、步进电动机控制) 及高速计数

等。由于智能 I/O 的应用,使过程控制的功能和实时性大为增强。

3. 高可靠性 由于控制系统的可靠性日益受到人们的重视,一些公司已将自诊断技术、冗余技术及容错技术广泛应用到现有产品中,推出了高可靠性的冗余系统,并采用热备用或并行工作。例如, S7-400 PLC 即使在恶劣的工业环境下依然可以正常工作,在操作运行过程中模板还可热插拔。

4. 兼容性 现代 PLC 已不再是单个的、独立的控制装置,而是整个控制系统中的一部分或一个环节。好的兼容性是 PLC 深层次应用的重要保证,如 SIMATIC M7-300 PLC 采用与 SIMATIC S7-300 相同的结构,能应用 SIMATIC S7 模块,其显著特点是与通用微型计算机兼容,可运行 MS-DOS/Windows 程序,适合于处理数据量大、实时性强的工程任务。

5. 小型化及简单易用 随着 PLC 应用范围的扩大和用户投资规模的不同,小型化、低成本及简单易用的 PLC 将广泛应用于各行各业。小型 PLC 由整体结构向小型模块化发展,增加了配置的灵活性。

6. 编程语言向高层次发展 PLC 的编程语言在原有梯形图语言、顺序功能块语言和指令表语言的基础上,正在不断丰富并向高层次发展。

复习思考题

1. 简述 PLC 的基本组成及其功能。
2. PLC 的分类方法有几种? 如何分类?
3. 简述 PLC 的工作原理(循环扫描过程)。
4. 简述 PLC 的性能指标。
5. PLC 与其他工业控制装置相比有什么优点?
6. PLC 的发展趋势主要体现在几个方面?

第2章 可编程序控制器的硬件组成及系统特性

德国西门子公司于20世纪80年代初开发生产了U系列S5 PLC, 1995年又推出了S7系列PLC。S7系列PLC以其国际化、高性能、安装空间小及良好的Windows用户界面等优势, 使西门子的SIMATIC S5逐渐过渡到SIMATIC S7。在过程控制领域, 西门子公司又提出PCS7(过程控制系统7)的概念, 将其优势的WIN CC(Windows Control Center)、PROFIBUS(工业现场总线) COROS(监控系统)、SINEC(西门子工业网络)及控制调节技术融为一体。现在, 西门子公司又提出TIA的概念, 将PLC技术溶于全部自动化领域。

SIMATIC S5 PLC的U系列和H系列至今仍在广泛使用。其中较常用的机种型号为S5-90U/S5-95U、S5-100U、S5-115U、S5-135U和S5-155U。最新的SIMATIC产品为SIMATIC S7、M7和C7等几大系列。S7系列PLC分为S7-200、S7-300及S7-400等几个子系列, 分别为S7系列的小、中、大型系统。S5系列PLC的编程使用的是STEP5编程语言, S7系列PLC的编程使用的是STEP7编程语言。西门子公司的大、中型PLC始终在自动化领域中占有重要地位, S7系列中的小型和微型PLC的功能很强, 已发展到了世界领先水平。

本章将全面系统地介绍西门子公司生产的S5/S7系列PLC的硬件组成及系统特性, 通过具体型号的PLC来熟悉PLC的结构、特点和模板功能。

2.1 S5系列可编程序控制器

2.1.1 S5-90U/95U 可编程序控制器

S5-90U超小型PLC是最小配置为10点输入、6点输出的经济型PLC, 在简单的应用中可替代继电器-接触器控制。S5-90U PLC的显示、操作元器件和接口如图2-1所示。

图中, ①为输入DC24V/0.1A电源电压端子; ②为输入AC115V/230V的电源电压端子; ③为数字输入接线端子(I32.0~I32.7); ④为用户程序存储模板EPROM/EEPROM接口; ⑤为工作方式显示; ⑥为数字输出接线端子(Q32.0~Q32.5); ⑦为中断输入接线端子(I33.0); ⑧为计数输入接线端子(I33.1, IW36); ⑨为备份电池; ⑩为PG/PC/OP/SINEC总线接口; ⑪为扩展S5-100U模板的IM90接口; ⑫为工作方式开关。

S5-90U PLC的外部接线非常简单, 它可直接使用220V交流电源供电, 输入元器件的供电电压为直流24V, 由PLC提供, 输出执行元器件的驱动电压可根据器件参数灵活选用。

S5-95U小型PLC适用于要求更高的场合, 因其具有数字量和模拟量I/O模板, 所以能完成较为复杂的控制任务。如开环控制、模拟量信号处理、闭环控制、中断处理、通信及分步顺序控制等各种控制任务。S5-95U PLC的显示、操作元器件和接口如图2-2所示。

图2-2所示的显示、操作元器件和接口分别是: ①为备份电池; ②为数字量输入接线端子(I32.0~I33.7)和数字输出接线端子(Q32.0~Q33.7); ③为电池掉电显示; ④为通电/断电开关; ⑤为数字量输入和数字量输出的LED显示; ⑥为输入DC24V/0.1A电源电压端