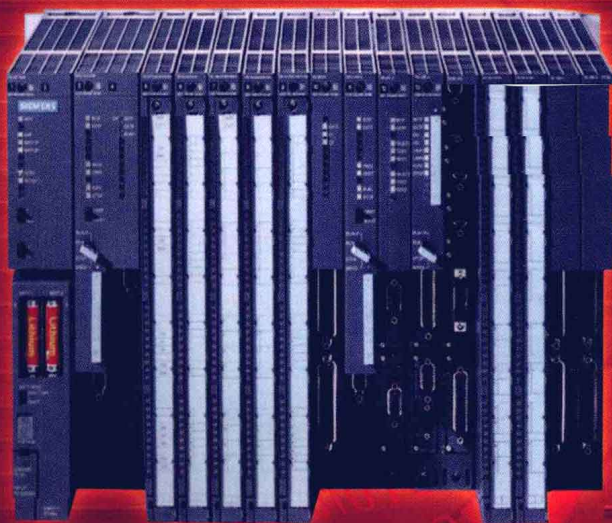


# S7-300/400 PLC

## 应用技术

### 第3版

廖常初 主编



赠送超值 DVD 光盘:

- STEP 7 V5.5 中文版 +PLCSIM V5.4 SP4+ Graph V5.3 SP6+SCL V5.3 SP5
- 多媒体视频教程
- 中英文软件手册、硬件手册、通信手册
- 配套的 40 多个例程



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# S7 - 300/400 PLC 应用技术

## 第3版

廖常初 主编



机械工业出版社

本书介绍了西门子 S7-300/400 的硬件结构和硬件组态、指令系统、程序结构、编程软件和仿真软件的使用方法,介绍了一整套易学易用的开关量控制系统的编程方法。全面介绍了西门子的各种通信网络、通信服务的组态和编程的方法,以及网络控制系统的故障诊断方法,针对学习中的难点提供了大量的例程。可以通过例程和仿真来学习 PID 参数的整定方法。

随书光盘提供了可用于 Windows 7 的 STEP 7 V5.5 中文版、仿真软件 PLCSIM 和编程语言 S7-Graph、S7-SCL 的试用版、大量的最新中文用户手册、与正文配套的 40 多个例程和多媒体视频教程。可以用仿真软件在计算机上模拟运行和监控 PLC 的用户程序。

本书注重实际,强调应用,可供工程技术人员自学和作为培训教材,对 S7-300/400 的用户也有很大的参考价值。《S7-300/400 PLC 应用技术教程》是本书的教材版。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

S7-300/400 PLC 应用技术/廖常初主编. —3 版. —北京:机械工业出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-111-36739-0

I. ①S… II. ①廖… III. ①plc 技术 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 256243 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:时 静

责任印制:李 妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2012 年 1 月第 3 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 27.5 印张 · 677 千字

0001—5000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-36739-0

ISBN 978-7-89433-245-5 (光盘)

定价: 69.00 元 (含 1DVD)

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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是第一本全面深入介绍 S7-300/400 的书籍, 本书在中国科技金书网的年销售 (即总销售) 动态排行榜中居前 10~20 名、PLC 类图书中居第一名, 在华储网电脑书店自动化类图书销售排行榜中居第一名。

作者根据长期的教学实践和读者的反馈意见, 对本书作了较大的修订:

1) 对全书的结构作了较大的调整, 将原指令系统和 STEP 7 应用这两章合并为第 3 章, 将部分指令分散到有关的章节。增加了用复杂数据类型作块的实参的例程。有程序的插图尽可能地用程序状态监控来显示指令或程序的执行情况。全面改写了中断组织块应用程序。

2) 吸收了作者主编的《西门子工业通信网络组态编程与故障诊断》的部分内容, 全面改写了本书的通信部分。重点是应用最广的 PROFIBUS-DP、工业以太网和 MPI 网络各种通信方式的组态与编程的方法, 增加了变频器与 PLC 的 DP 通信的实现方法。

3) 网络故障诊断是现场维修的难点, 这次修订充实了故障诊断部分, 增加了大量的内容。第 7 章详细地介绍了多种 DP 网络故障和模块故障的简单实用的诊断方法, 包括一种功能强大、容易实现的故障自动诊断和自动显示的方法。还介绍了用仿真软件模拟产生故障的方法, 读者可以通过仿真学习故障诊断。

4) 增加了对 PID 控制器的参数最通俗易懂的解释, 以及分别使用模拟量输出、开关量输出的 PID 控制器的闭环控制系统的例程, 可以通过随书光盘中的例程和仿真来学习 PID 参数的整定方法, 实验结果用曲线显示, 形象直观。

5) 删除了一些表格, 其内容可以查阅随书光盘中的有关手册。

学好 S7-300/400 的关键是实践, 安装了随书光盘上的编程软件和 PLCSIM 仿真软件后, 可以在计算机上模拟运行和监控 PLC 的用户程序, 本书详细地介绍了 PLCSIM 的使用方法。通过仿真实验, 读者可以较快地掌握 S7-300/400 的编程、监控和故障诊断的方法。

本书的前 4 章是基础篇, 第 5 章介绍了作者总结的一整套先进完整的开关量控制系统的编程方法, 它易学易用, 可以用于不同厂家各种型号的 PLC。用它可以很容易地设计出任意复杂的开关量控制系统的梯形图, 可以节约大量的设计时间。还介绍了使用顺序功能图语言 S7-Graph 的程序设计方法。

本书的附录提供了指令一览表、组织块、系统功能与系统功能块一览表、光盘使用说明和常用缩写词。

经西门子公司授权, 随书光盘提供了 STEP 7 V5.4 SP3.1 和 STEP 7 V5.5 中文版、仿真软件 PLCSIM V5.4 + SP4、编程语言 S7-Graph V5.3 + SP6 和 S7-SCL V5.3 + SP5 (均为试用版)、大量的最新中文用户手册、与正文配套的 40 多个例程和多媒体视频教程。除了第一个软件, 其余的软件可以用于 Windows 7。

如读者为初学者, 建议阅读作者主编的《跟我动手学 S7-300/400 PLC》, 该书有 40 多个实训, 读者一边看书, 一边根据实训的要求在计算机上做仿真实验, 就能较快地掌握 S7-300/400 的使用方法。

本书注重实际, 强调应用, 可供工程技术人员自学和作为培训教材, 对 S7-300/400 的用户也有很大的参考价值。《S7-300/400 PLC 应用教程》是本书的教材版, 附有习题和实

验指导书。

本书由廖常初主编，陈晓东、王云杰、李远树、周林、陈曾汉、侯世英、郑连清、范占华、徐波、孙伟、陈俊明、刘玉孝、张嵩、关朝旺、郑群英、余秋霞、张学锋、申敏、罗盛波、廖亮、孙明渝、唐世友、万莉、左源洁、孙剑、文家学参加了编写工作。

因作者水平有限，书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正。

作者 E-mail 地址为 [liaosun@cqu.edu.cn](mailto:liaosun@cqu.edu.cn)。由中华工控网的博客首页可以进入作者的博客，欢迎读者访问。

重庆大学电气工程学院 廖常初

2011 年 8 月

# 目 录

## 前言

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 第 1 章 概述 .....                          | 1  |
| 1.1 PLC 的基本概念 .....                     | 1  |
| 1.1.1 模块式 PLC 的基本结构 .....               | 1  |
| 1.1.2 PLC 的特点 .....                     | 3  |
| 1.1.3 PLC 的应用领域 .....                   | 4  |
| 1.1.4 怎样下载西门子 PLC 的资料和软件 .....          | 4  |
| 1.2 PLC 的工作原理 .....                     | 5  |
| 1.2.1 逻辑运算 .....                        | 5  |
| 1.2.2 PLC 的循环处理过程 .....                 | 6  |
| 1.2.3 PLC 的工作原理 .....                   | 7  |
| 第 2 章 S7-300/400 的硬件与 STEP 7 使用入门 ..... | 10 |
| 2.1 SIMATIC 自动控制系统简介 .....              | 10 |
| 2.1.1 SIMATIC 自动化控制系统的组成 .....          | 10 |
| 2.1.2 全集成自动化 .....                      | 11 |
| 2.2 S7-300 系列 PLC 简介 .....              | 12 |
| 2.2.1 S7-300 概述 .....                   | 12 |
| 2.2.2 S7-300 的组成部件 .....                | 13 |
| 2.2.3 S7-300 的系统结构 .....                | 14 |
| 2.3 S7-300 的 CPU 模块与电源模块 .....          | 16 |
| 2.3.1 CPU 模块的元件 .....                   | 16 |
| 2.3.2 CPU 的存储器 .....                    | 18 |
| 2.3.3 CPU 模块的技术规范 .....                 | 19 |
| 2.3.4 电源模块 .....                        | 21 |
| 2.4 S7-400 系列 PLC 简介 .....              | 22 |
| 2.4.1 S7-400 的基本结构与特点 .....             | 22 |
| 2.4.2 机架与接口模块 .....                     | 24 |
| 2.4.3 CPU 模块与电源模块 .....                 | 25 |
| 2.4.4 冗余设计的容错自动化系统 S7-400H .....        | 29 |
| 2.4.5 安全型自动化系统 S7-400F/FH .....         | 30 |
| 2.4.6 多 CPU 处理 .....                    | 31 |
| 2.5 编程软件 STEP 7 的安装与使用 .....            | 32 |
| 2.5.1 STEP 7 的版本与许可证密钥 .....            | 32 |

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 2.5.2 | 安装 STEP 7 与 PLCSIM .....            | 33 |
| 2.5.3 | 项目的创建 .....                         | 35 |
| 2.5.4 | STEP 7 与 PLC 通信连接的组态 .....          | 38 |
| 2.6   | 硬件组态 .....                          | 40 |
| 2.6.1 | 硬件组态概述 .....                        | 40 |
| 2.6.2 | 多机架系统的组态 .....                      | 42 |
| 2.6.3 | I/O 模块的地址分配 .....                   | 45 |
| 2.6.4 | CPU 模块的参数设置 .....                   | 46 |
| 2.6.5 | STEP 7 的帮助功能与防止误操作的措施 .....         | 52 |
| 2.7   | 输入/输出模块 .....                       | 52 |
| 2.7.1 | 数字量输入模块 .....                       | 53 |
| 2.7.2 | 数字量输出模块 .....                       | 55 |
| 2.7.3 | 模拟量输入模块 .....                       | 57 |
| 2.7.4 | 模拟量输入模块的参数设置 .....                  | 59 |
| 2.7.5 | 将模拟量输入模块的输出值转换为实际的物理量 .....         | 61 |
| 2.7.6 | 模拟量输出模块与模拟量输入/输出模块 .....            | 62 |
| 2.7.7 | 其他信号模块与前连接器 .....                   | 64 |
| 2.8   | 功能模块与 ET 200 .....                  | 65 |
| 2.8.1 | 功能模块 .....                          | 65 |
| 2.8.2 | ET 200 .....                        | 67 |
| 2.9   | S7-300/400 的维护 .....                | 68 |
| 第 3 章 | S7-300/400 编程基础与 STEP 7 的使用方法 ..... | 70 |
| 3.1   | 程序的生成与仿真实验 .....                    | 70 |
| 3.1.1 | PLC 编程语言的国际标准 .....                 | 70 |
| 3.1.2 | STEP 7 的编程语言 .....                  | 70 |
| 3.1.3 | 生成用户程序 .....                        | 73 |
| 3.1.4 | 用仿真软件调试程序 .....                     | 76 |
| 3.2   | S7-300/400 CPU 的存储区 .....           | 80 |
| 3.2.1 | 数制 .....                            | 80 |
| 3.2.2 | 基本数据类型 .....                        | 82 |
| 3.2.3 | 系统存储器 .....                         | 84 |
| 3.2.4 | CPU 中的寄存器 .....                     | 87 |
| 3.3   | STEP 7 在编程与调试中的应用 .....             | 90 |
| 3.3.1 | 符号表 .....                           | 90 |
| 3.3.2 | 程序编辑器 .....                         | 92 |
| 3.3.3 | 项目管理 .....                          | 94 |
| 3.3.4 | 用变量表监控程序 .....                      | 94 |
| 3.3.5 | 数据传送指令与程序状态监控 .....                 | 98 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 3.3.6 在线操作 .....                    | 100        |
| 3.4 位逻辑指令 .....                     | 103        |
| 3.5 定时器与计数器指令 .....                 | 109        |
| 3.5.1 定时器指令 .....                   | 109        |
| 3.5.2 计数器指令 .....                   | 116        |
| 3.6 逻辑控制指令与间接寻址 .....               | 119        |
| 3.6.1 逻辑控制指令 .....                  | 119        |
| 3.6.2 寻址方式与间接寻址 .....               | 122        |
| 3.6.3 循环指令 .....                    | 125        |
| 3.7 数据处理指令 .....                    | 125        |
| 3.7.1 比较指令 .....                    | 125        |
| 3.7.2 数据转换指令 .....                  | 127        |
| 3.7.3 移位与循环移位指令 .....               | 130        |
| 3.8 数学运算指令 .....                    | 131        |
| 3.8.1 整数数学运算指令 .....                | 132        |
| 3.8.2 浮点数数学运算指令 .....               | 133        |
| 3.8.3 字逻辑运算指令 .....                 | 135        |
| 3.9 其他指令 .....                      | 136        |
| 3.9.1 主控继电器指令与数据块指令 .....           | 136        |
| 3.9.2 累加器指令 .....                   | 138        |
| 3.9.3 梯形图的编程规则 .....                | 139        |
| <b>第4章 S7-300/400 的用户程序结构 .....</b> | <b>140</b> |
| 4.1 用户程序的基本结构 .....                 | 140        |
| 4.1.1 用户程序中的块 .....                 | 140        |
| 4.1.2 用户程序使用的堆栈 .....               | 143        |
| 4.2 共享数据块与复杂数据类型 .....              | 144        |
| 4.2.1 共享数据块与数据类型 .....              | 144        |
| 4.2.2 复杂数据类型的生成与应用 .....            | 146        |
| 4.3 功能块与功能的生成与调用 .....              | 150        |
| 4.3.1 功能块 .....                     | 150        |
| 4.3.2 功能 .....                      | 153        |
| 4.3.3 块调用与块结束指令 .....               | 154        |
| 4.3.4 功能与功能块的调用 .....               | 156        |
| 4.3.5 复杂数据类型作块的输入参数 .....           | 159        |
| 4.4 寄存器间接寻址与参数类型 .....              | 160        |
| 4.4.1 寄存器间接寻址 .....                 | 160        |
| 4.4.2 参数类型 Pointer 的应用 .....        | 162        |
| 4.4.3 参数类型 ANY 的应用 .....            | 165        |
| 4.4.4 时间标记冲突与一致性检查 .....            | 167        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 4.4.5 单步与断点功能的使用 .....          | 168        |
| 4.5 多重背景 .....                  | 170        |
| 4.6 组织块与中断处理 .....              | 172        |
| 4.6.1 中断的基本概念 .....             | 172        |
| 4.6.2 启动组织块与循环中断组织块 .....       | 175        |
| 4.6.3 时间中断组织块 .....             | 176        |
| 4.6.4 硬件中断组织块 .....             | 179        |
| 4.6.5 延时中断组织块 .....             | 181        |
| 4.6.6 异步错误组织块 .....             | 183        |
| 4.6.7 同步错误组织块 .....             | 185        |
| 4.6.8 其他组织块 .....               | 185        |
| 4.7 显示参考数据 .....                | 186        |
| 4.7.1 参考数据的生成与显示 .....          | 186        |
| 4.7.2 在程序中快速查找地址的位置 .....       | 189        |
| <b>第5章 数字量控制系统梯形图设计方法 .....</b> | <b>192</b> |
| 5.1 梯形图的经验设计法与继电器电路转换法 .....    | 192        |
| 5.1.1 梯形图的经验设计法 .....           | 192        |
| 5.1.2 根据继电器电路图设计梯形图 .....       | 194        |
| 5.2 顺序控制设计法与顺序功能图 .....         | 198        |
| 5.2.1 顺序控制设计法 .....             | 198        |
| 5.2.2 步与动作 .....                | 198        |
| 5.2.3 有向连线与转换 .....             | 200        |
| 5.2.4 顺序功能图的基本结构 .....          | 201        |
| 5.2.5 顺序功能图中转换实现的基本规则 .....     | 203        |
| 5.3 使用置位复位指令的顺序控制梯形图编程方法 .....  | 205        |
| 5.3.1 设计顺序控制梯形图的一些基本问题 .....    | 205        |
| 5.3.2 单序列的编程方法 .....            | 206        |
| 5.3.3 选择序列与并行序列的编程方法 .....      | 208        |
| 5.3.4 应用举例 .....                | 209        |
| 5.4 具有多种工作方式的系统的顺序控制编程方法 .....  | 212        |
| 5.4.1 系统的硬件结构与工作方式 .....        | 212        |
| 5.4.2 公用程序与手动程序 .....           | 214        |
| 5.4.3 自动程序 .....                | 215        |
| 5.5 顺序功能图语言 S7-Graph 的应用 .....  | 219        |
| 5.5.1 S7-Graph 语言概述 .....       | 219        |
| 5.5.2 使用 S7-Graph 编程的例子 .....   | 221        |
| 5.5.3 顺序器的运行模式与监控操作 .....       | 226        |
| 5.5.4 顺序器中的动作 .....             | 228        |
| 5.5.5 顺序器中的条件 .....             | 230        |

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| 5.5.6 用 S7-Graph 编写具有多种工作方式的控制程序 .....        | 231        |
| <b>第 6 章 网络通信基础与 PROFIBUS – DP 网络通信 .....</b> | <b>236</b> |
| 6.1 串行通信接口 .....                              | 236        |
| 6.1.1 串行通信基础知识 .....                          | 236        |
| 6.1.2 串行通信接口标准 .....                          | 237        |
| 6.2 计算机通信的国际标准 .....                          | 238        |
| 6.2.1 开放系统互连模型 .....                          | 238        |
| 6.2.2 IEEE 802 通信标准 .....                     | 239        |
| 6.2.3 现场总线及其国际标准 .....                        | 241        |
| 6.3 SIMATIC 通信网络与通信服务 .....                   | 242        |
| 6.4 PROFIBUS 网络 .....                         | 245        |
| 6.4.1 PROFIBUS 的物理层 .....                     | 245        |
| 6.4.2 PROFIBUS 的通信服务 .....                    | 248        |
| 6.4.3 PROFIBUS 的协议结构 .....                    | 250        |
| 6.4.4 PROFIBUS – DP 的功能 .....                 | 251        |
| 6.4.5 PROFIBUS – DP 设备 .....                  | 252        |
| 6.5 主站与标准 DP 从站通信的组态 .....                    | 254        |
| 6.5.1 组态 PROFIBUS – DP 网络 .....               | 254        |
| 6.5.2 主站与 ET 200 通信的组态 .....                  | 258        |
| 6.5.3 主站通过 EM 277 与 S7 – 200 通信的组态 .....      | 260        |
| 6.6 DP 主站与智能从站通信的组态与编程 .....                  | 263        |
| 6.6.1 DP 主站与智能从站主从通信的组态 .....                 | 263        |
| 6.6.2 设计验证通信的程序 .....                         | 267        |
| 6.6.3 用 SFC 14 和 SFC 15 传输一致性数据 .....         | 269        |
| 6.7 PLC 与变频器 DP 通信的组态与编程 .....                | 272        |
| 6.7.1 S7 – 300 与变频器 DP 通信的组态 .....            | 272        |
| 6.7.2 变频器 DP 通信的数据区结构 .....                   | 275        |
| 6.7.3 S7 – 300 与变频器的 DP 通信实验 .....            | 276        |
| 6.8 DP 网络其他通信方式的组态与编程 .....                   | 280        |
| 6.8.1 S7 通信的组态与编程 .....                       | 280        |
| 6.8.2 PROFIBUS – DP 通信的其他应用 .....             | 285        |
| <b>第 7 章 PROFIBUS 网络控制系统的故障诊断 .....</b>       | <b>289</b> |
| 7.1 使用 STEP 7 和中断组织块诊断故障 .....                | 289        |
| 7.1.1 与 DP 通信有关的中断组织块 .....                   | 289        |
| 7.1.2 DP 从站的故障诊断 .....                        | 290        |
| 7.1.3 DP 从站中的信号模块的故障诊断 .....                  | 296        |
| 7.2 用报告系统错误功能诊断故障 .....                       | 302        |
| 7.2.1 故障诊断与故障显示的自动化 .....                     | 302        |
| 7.2.2 项目的组态 .....                             | 302        |

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| 7.2.3 实验结果 .....                          | 304        |
| 7.3 故障诊断的其他问题 .....                       | 306        |
| 7.3.1 用模块上的 LED 诊断故障 .....                | 306        |
| 7.3.2 编程错误的诊断 .....                       | 307        |
| 7.3.3 项目的上载 .....                         | 309        |
| <b>第 8 章 工业以太网的组态与编程 .....</b>            | <b>311</b> |
| 8.1 工业以太网 .....                           | 311        |
| 8.1.1 工业以太网概述 .....                       | 311        |
| 8.1.2 工业以太网的交换技术与交换机 .....                | 313        |
| 8.1.3 工业以太网的通信处理器与带 PN 接口的 CPU .....      | 314        |
| 8.1.4 以太网的地址与 IT 通信服务 .....               | 316        |
| 8.2 用普通网卡实现计算机与 S7-300 的通信 .....          | 317        |
| 8.2.1 使用 ISO 协议进行通信 .....                 | 317        |
| 8.2.2 使用 TCP/IP 协议进行通信 .....              | 319        |
| 8.3 基于以太网的 S5 兼容通信 .....                  | 321        |
| 8.3.1 S5 兼容的通信服务 .....                    | 321        |
| 8.3.2 TCP 连接通信的组态与编程 .....                | 322        |
| 8.3.3 其他 S5 兼容连接通信的组态与编程 .....            | 327        |
| 8.3.4 基于以太网的 S7 连接通信的组态与编程 .....          | 328        |
| 8.4 PROFINET 通信的组态与编程 .....               | 332        |
| 8.4.1 PROFINET 概述 .....                   | 332        |
| 8.4.2 基于 CPU 集成的 PN 接口的 PROFINET 通信 ..... | 335        |
| 8.4.3 基于 CP 的 PROFINET 通信 .....           | 342        |
| <b>第 9 章 S7-300/400 的其他通信方式 .....</b>     | <b>344</b> |
| 9.1 MPI 网络通信 .....                        | 344        |
| 9.1.1 MPI 网络概述 .....                      | 344        |
| 9.1.2 全局数据通信的组态 .....                     | 345        |
| 9.1.3 事件驱动的全局数据通信 .....                   | 349        |
| 9.1.4 S7 基本通信 .....                       | 351        |
| 9.1.5 其他 MPI 网络通信 .....                   | 356        |
| 9.2 AS-i 网络 .....                         | 357        |
| 9.2.1 AS-i 网络概述 .....                     | 357        |
| 9.2.2 AS-i 主站模块与 AS-i 从站模块 .....          | 359        |
| 9.3 点对点通信 .....                           | 361        |
| 9.3.1 点对点通信概述 .....                       | 361        |
| 9.3.2 使用 ASCII 协议发送和接收数据 .....            | 362        |
| 9.4 其他通信网络与通信服务 .....                     | 365        |
| 9.4.1 S7 路由功能 .....                       | 365        |
| 9.4.2 OPC 通信服务 .....                      | 369        |

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| 9.4.3 工业无线局域网 .....                         | 371        |
| 9.4.4 广域网 .....                             | 372        |
| 9.4.5 KNX/EIB .....                         | 373        |
| <b>第 10 章 S7-300/400 在模拟量闭环控制中的应用 .....</b> | <b>376</b> |
| 10.1 模拟量闭环控制与 PID 控制器 .....                 | 376        |
| 10.1.1 模拟量闭环控制系统的组成 .....                   | 376        |
| 10.1.2 闭环控制的主要性能指标 .....                    | 377        |
| 10.1.3 PID 控制器的数字化 .....                    | 379        |
| 10.1.4 S7-300/400 实现闭环控制的方法 .....           | 384        |
| 10.2 连续 PID 控制器 FB 41 .....                 | 385        |
| 10.2.1 设定值与过程变量的处理 .....                    | 385        |
| 10.2.2 PID 控制算法 .....                       | 387        |
| 10.2.3 控制器输出值的处理 .....                      | 387        |
| 10.3 PID 控制器的示例程序 .....                     | 388        |
| 10.3.1 系统简介 .....                           | 388        |
| 10.3.2 程序设计 .....                           | 389        |
| 10.4 PID 控制器的参数整定方法 .....                   | 394        |
| 10.4.1 PID 控制器的参数整定方法 .....                 | 394        |
| 10.4.2 PID 控制器参数整定的仿真实验 .....               | 395        |
| 10.5 脉冲发生器 FB 43 .....                      | 398        |
| 10.5.1 脉冲发生器的功能与结构 .....                    | 398        |
| 10.5.2 三级控制器与二级控制器 .....                    | 400        |
| 10.6 步进 PI 控制器 FB 42 .....                  | 405        |
| 10.6.1 步进控制器的结构 .....                       | 405        |
| 10.6.2 步进控制器的功能分析 .....                     | 406        |
| <b>附录 .....</b>                             | <b>408</b> |
| 附录 A S7-300/400 的指令一览表 .....                | 408        |
| 附录 B 组织块、系统功能与系统功能块一览表 .....                | 412        |
| 附录 C 光盘说明 .....                             | 418        |
| C.1 软件 .....                                | 419        |
| C.2 多媒体视频教程 .....                           | 419        |
| C.3 软件手册 .....                              | 419        |
| C.4 硬件手册 .....                              | 419        |
| C.5 通信手册 .....                              | 420        |
| C.6 例程 .....                                | 420        |
| 附录 D 常用缩写词 .....                            | 421        |
| <b>参考文献 .....</b>                           | <b>425</b> |

# 第1章 概述

## 1.1 PLC 的基本概念

随着微处理器、计算机和数字通信技术的飞速发展，计算机控制已经广泛地应用在几乎所有的工业领域。现代社会要求制造业对市场需求作出迅速的反应，生产出小批量、多品种、多规格、低成本和高质量的产品。为了满足这一要求，生产设备和自动生产线的控制系统必须具有极高的可靠性和灵活性。可编程序控制器正是顺应这一要求出现的，它是以微处理器为基础的通用工业控制装置。

可编程序控制器（Programmable Logic Controller）简称为 PLC，它的应用面广、功能强大、使用方便，已经成为当代工业自动化的主要支柱之一，在工业生产的所有领域得到了广泛的使用。国际电工委员会（IEC）对 PLC 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设备，都应按易于使工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。”

PLC 已经广泛地应用在各种机械设备和生产过程的自动控制系统中，PLC 在其他领域，例如在民用和家庭自动化中的应用也得到了迅速的发展。

### 1.1.1 模块式 PLC 的基本结构

本书以西门子公司的 S7-300/400 系列大中型 PLC 为主要讲授对象。西门子的 PLC 以其极高的性能价格比，在国际国内市场占有很大的份额，在我国的各行各业得到了广泛的应用。S7-300/400 属于模块式 PLC，主要由机架、CPU 模块、信号模块、功能模块、接口模块、通信处理器、电源模块和编程计算机组成（见图 1-1），各种模块安装在机架上。通过 CPU 模块或通信模块上的通信接口，PLC 被连接到通信网络，可以与计算机、其他 PLC 或其他设备通信。

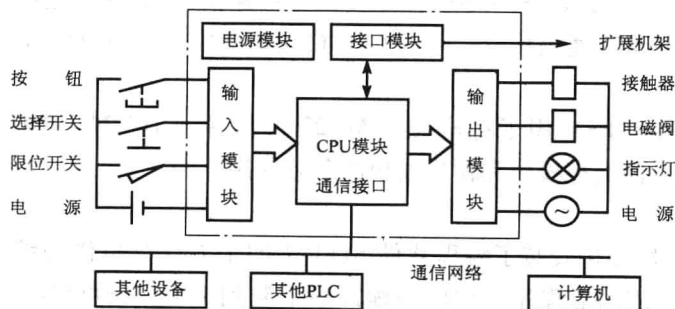


图 1-1 PLC 控制系统示意图

## 1. CPU 模块

CPU 模块主要由微处理器（CPU 芯片）和存储器组成。在 PLC 控制系统中，CPU 模块相当于人的大脑和心脏，它不断地采集输入信号，执行用户程序，刷新系统的输出；存储器用来储存程序和数据。S7-300/400 将 CPU 模块简称为 CPU。

## 2. 信号模块

输入（Input）模块和输出（Output）模块简称为 I/O 模块，开关量输入、开关量输出模块简称为 DI 模块和 DO 模块，模拟量输入、模拟量输出模块简称为 AI 模块和 AO 模块，它们统称为信号模块。信号模块是系统的眼、耳、手、脚，是联系外部现场设备和 CPU 模块的桥梁。

输入模块用来接收和采集输入信号，开关量输入模块用来接收从按钮、选择开关、数字拨码开关、限位开关、接近开关、光电开关、压力继电器等来的开关量输入信号。模拟量输入模块用来接收电位器、测速发电机和各种变送器提供的连续变化的模拟量电流、电压信号，或者直接接收热电阻、热电偶提供的温度信号。

开关量输出模块用来控制接触器、电磁阀、电磁铁、指示灯、数字显示装置和报警装置等输出设备，模拟量输出模块用来控制电动调节阀、变频器等执行器。

CPU 模块内部的工作电压一般是 DC 5V，而 PLC 的外部输入/输出信号电压一般较高，例如 DC 24V 或 AC 220V。从外部引入的尖峰电压和干扰噪声可能损坏 CPU 模块中的元器件，或使 PLC 不能正常工作。在信号模块中，用光耦合器和小型继电器等器件来隔离 PLC 的内部电路和外部的输入、输出电路。信号模块除了传递信号外，还有电平转换与隔离的作用。

## 3. 功能模块

为了增强 PLC 的功能，扩大其应用领域，减轻 CPU 的负担，PLC 厂家开发了各种各样的功能模块。它们主要用于完成某些对实时性和存储容量要求很高的控制任务，例如高速计数、位置控制和闭环控制等。

## 4. 接口模块

CPU 模块所在的机架称为中央机架，如果一个机架不能容纳全部模块，可以增设一个或多个扩展机架。接口模块（简称为 IM）用来实现中央机架与扩展机架之间的通信。

## 5. 通信处理器

通信处理器（简称为 CP）用于 PLC 之间、PLC 与远程 I/O 之间、PLC 与计算机和其他智能设备之间的通信，可以将 S7-300/400 接入各种通信网络，CP 也用于实现点对点通信等。CPU 模块集成有 MPI 通信接口，有的 CPU 模块还集成了其他通信接口。

## 6. 电源模块

电源模块（简称为 PS）用于将输入的 AC 220V 电源或 DC 24V 电压转换为稳定的 DC 24V 和 DC 5V 电压，供其他模块和输出模块的负载使用。

## 7. 编程设备

S7-300/400 一般使用安装了编程软件 STEP 7 的个人计算机作为编程设备，可以生成和编辑各种文本程序或图形程序。程序被编译后下载到 PLC，也可以将 PLC 中的程序上传到计算机。编程软件还有对网络和硬件组态、参数设置、监控和故障诊断等功能。

## 1.1.2 PLC 的特点

### 1. 编程方法简单易学

梯形图是使用得最多的 PLC 的编程语言，其电路符号和表达方式与继电器电路原理图相似，梯形图语言形象直观，易学易懂，熟悉继电器电路图的电气技术人员只需花几天时间就可以熟悉梯形图语言，并用来编制数字量控制系统的用户程序。

### 2. 功能强，性能价格比高

一台小型 PLC 内有成百上千个可供用户使用的编程元件，可以实现非常复杂的控制功能。与相同功能的继电器系统相比，具有很高的性能价格比。PLC 可以通过通信联网，实现分散控制、集中管理。

### 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 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，可以直接驱动大多数电磁阀和中小型交流接触器。

硬件配置确定后，通过修改用户程序，就可以方便快速地适应工艺条件的变化。

### 4. 可靠性高，抗干扰能力强

传统的继电器控制系统使用了大量的中间继电器、时间继电器。由于触点接触不良，容易出现故障。PLC 用软件代替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外部硬件元件，接线可减少到继电器控制系统的十分之一以下，大大减少了因触点接触不良造成的故障。PLC 使用了一系列硬件和软件抗干扰措施，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，PLC 被广大用户公认为最可靠的工业控制设备之一。

### 5. 系统的设计、安装、调试工作量少

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、计数器等器件，使控制柜的设计、安装、接线工作量大大减少。

PLC 的梯形图程序可以用顺序控制设计法来设计。这种设计方法很有规律，很容易掌握。对于复杂的控制系统，用这种方法设计程序的时间比设计继电器系统电路图的时间要少得多。

在现场调试过程中，一般通过修改程序就可以解决发现的问题，系统的调试时间比继电器系统少得多。

可以用仿真软件 PLCSIM 来模拟 S7 - 300/400 的 CPU 模块的功能，用它来调试用户程序。

### 6. 维修工作量小，维修方便

PLC 的故障率很低，并且有完善的故障诊断功能。S7 - 300/400 提供了多种多样的故障诊断和显示的方法，使用户能方便快速地查明故障的原因，迅速地排除故障。

### 7. 体积小，能耗低

复杂的控制系统使用 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。PLC 控制系统与继电器控制系统相比，配线用量和安装接

线所需工时减少，加上开关柜体积的缩小，可以节省大量的费用。

### 1.1.3 PLC 的应用领域

在发达的工业国家，PLC 已经广泛地应用在不同的工业部门，随着其性能价格比的不断提高，应用范围不断扩大，主要有以下几个方面：

#### 1. 开关量逻辑控制

PLC 具有“与”、“或”、“非”等逻辑指令，可以实现梯形图中触点和电路的串、并联，代替继电器进行组合逻辑控制、定时控制与顺序逻辑控制。开关量逻辑控制可以用于单台设备，也可以用于自动生产线，其应用领域已遍及各行各业，甚至深入到民用和家庭。

#### 2. 运动控制

PLC 使用专用的指令或运动控制模块，对直线运动或圆周运动的位置、速度和加速度进行控制，可以实现单轴或多轴联动的位置控制，使运动控制与顺序控制功能有机地结合在一起。PLC 的运动控制功能广泛地用于各种机械，例如金属切削机床、金属成形机械、装配机械、机器人、电梯等场合。

#### 3. 闭环过程控制

闭环过程控制是指对温度、压力、流量等连续变化的模拟量的闭环控制。PLC 通过模拟量 I/O 模块，实现模拟量（Analog）和数字量（Digital）之间的 A/D 转换与 D/A 转换，并对模拟量实行闭环 PID（比例 - 积分 - 微分）控制。S7 - 300/400 有闭环控制模块、用于闭环控制的功能块和闭环控制软件包供用户选用。其闭环控制功能广泛地应用于塑料挤压成型机、加热炉、热处理炉、锅炉等设备，以及轻工、化工、机械、冶金、电力、建材等行业。

#### 4. 数据处理

现代的 PLC 具有整数四则运算、浮点数运算、函数运算、字逻辑运算、求反码和补码、循环、移位等运算功能，以及数据传送、转换、排序、查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析和处理。这些数据可以与存储器中的参考值比较，也可以用通信功能传送到别的智能装置，或者将它们打印制表。

#### 5. 通信联网

PLC 的通信包括 PLC 与远程 I/O 之间的通信、多台 PLC 之间的通信、PLC 与其他智能控制设备（例如计算机、变频器、数控设备）之间的通信。PLC 与其他智能控制设备一起，可以组成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统。

### 1.1.4 怎样下载西门子 PLC 的资料和软件

我国有不少的厂家研制和生产 PLC，但是还没有出现具有较大影响力和有较大市场占有率的产品，目前我国使用的 PLC 主要是国外品牌的产品。

在全世界上百个 PLC 制造厂中，有几家举足轻重的公司。它们是德国的西门子（Siemens）公司，美国 Rockwell 自动化公司所属的 A - B（Allen & Bradley）公司，GE - Fanuc 公司，法国的施耐德（Schneider）公司，日本的三菱公司和欧姆龙（OMRON）公司。

与个人计算机相比，PLC 的标准化较差，其软件、硬件的体系结构基本上是封闭的而不是开放的，各厂家的 PLC 的编程语言、寻址方式、程序结构和通信网络的差异很大，各种 PLC 互不兼容。国际电工委员会（IEC）的 IEC 61131 - 3（PLC 的编程语言标准）为 PLC 编

程的标准化打下了基础。

可以在西门子自动化与驱动集团的中文网站（[www.ad.siemens.com.cn](http://www.ad.siemens.com.cn)）下载西门子的 PLC 资料。点击该网站主页的“支持中心”的“下载中心”，可以下载各种工控产品的中英文说明书、用户手册、产品介绍和一些软件。点击下载中心的“英文资料下载”，将会打开西门子自动化的支持中心网站。在该中心的主页可以将语言设置为中文，在左边的导航窗口选择感兴趣的产品，在右边的窗口可以下载软件和手册，查看常见问题的解答和技术参数等。

为了便于阅读 PDF 格式的手册，需要在计算机上安装 Adobe 阅读器或其他兼容的阅读器。

## 1.2 PLC 的工作原理

### 1.2.1 逻辑运算

在数字量（或称开关量）控制系统中，变量仅有两种相反的工作状态，例如高电平和低电平、继电器线圈的通电和断电，可以分别用逻辑代数中的 1 和 0 来表示这些状态，在波形图中，用高电平表示 1 状态，用低电平表示 0 状态。

使用继电器电路、数字电路或 PLC 的梯形图都可以实现数字量的逻辑运算。图 1-2 的上面是 PLC 的梯形图，下面是对应的数字门电路。

图 1-2 中的 IO.0 ~ IO.4 为数字输入变量，Q4.0 ~ Q4.2 为数字输出变量，它们之间的“与”、“或”、“非”逻辑运算关系如表 1-1 所示。“与”运算仅在输入均为 1 时输出才为 1，“或”运算仅在输入均为 0 时输出才为 0。“非”运算的输出与输入的状态总是相反，非运算又称为“取反”。

表 1-1 逻辑运算关系表

| 与                  |      |      | 或                  |      |      | 非                        |      |
|--------------------|------|------|--------------------|------|------|--------------------------|------|
| Q4.0 = IO.0 · IO.1 |      |      | Q4.1 = IO.2 + IO.3 |      |      | Q4.2 = $\overline{IO.4}$ |      |
| IO.0               | IO.1 | Q4.0 | IO.2               | IO.3 | Q4.1 | IO.4                     | Q4.2 |
| 0                  | 0    | 0    | 0                  | 0    | 0    | 0                        | 1    |
| 0                  | 1    | 0    | 0                  | 1    | 1    | 1                        | 0    |
| 1                  | 0    | 0    | 1                  | 0    | 1    |                          |      |
| 1                  | 1    | 1    | 1                  | 1    | 1    |                          |      |

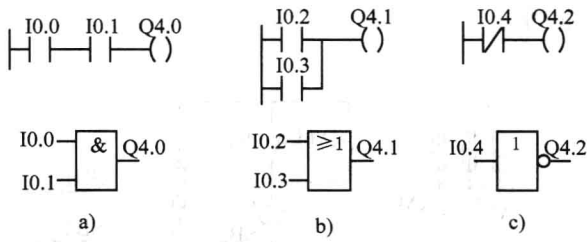


图 1-2 基本逻辑运算

a) 与 b) 或 c) 非

用继电器电路或梯形图可以实现基本的逻辑运算，触点的串联可以实现“与”运算，触点的并联可以实现“或”运算，用常闭触点控制线圈可以实现“非”运算。

多个触点的串、并联电路可以实现复杂的逻辑运算，例如图 1-3 中的继电器电路实现的逻辑运算可以用逻辑代数表达式表示为

$$KM = (SB1 + KM) \cdot \overline{SB2} \cdot \overline{FR}$$

式中的加号表示逻辑或，乘号（·）或星号（\*）表示逻辑与，变量上面的横线表示“非”运算。与普通算术运算“先乘除后加减”类似，逻辑运算的规则为先“与”后“或”。为了先作“或”运算（触点的并联），用括号将“或”运算式括起来，括号中的运