

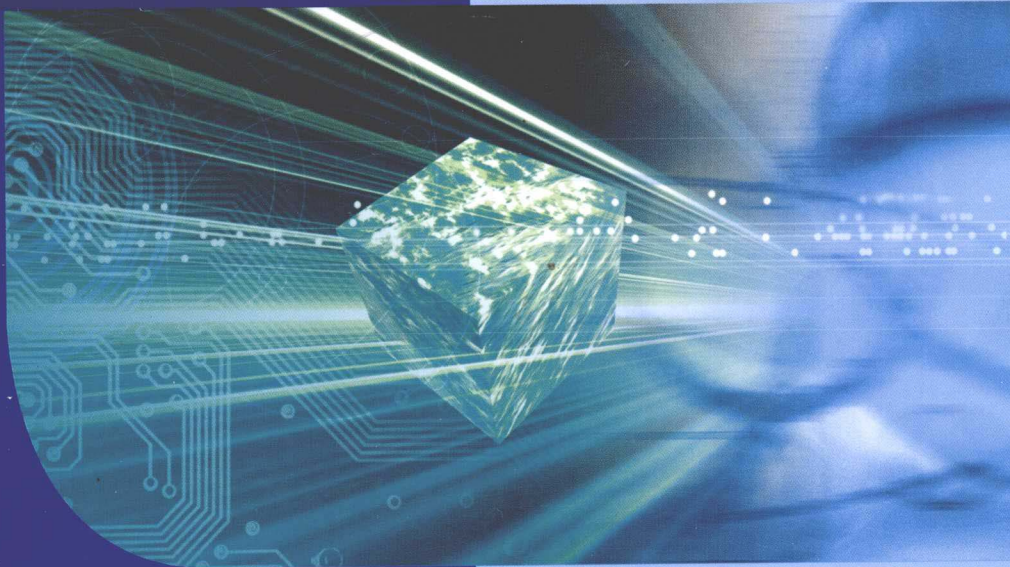


普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

# 可编程序控制器 原理及应用

◎ 汤楠 穆向阳 高炜欣 刘光星 编著

KEBIAN CHENGXU KONGZHIQI  
YUANLI JI YINGYONG



免费电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

# 可编程序控制器原理及应用

汤 楠 穆向阳 高炜欣 刘光星 编著



机械工业出版社

可编程序控制器 (PLC) 是一种以微处理器为基础的通用控制装置, 已被广泛地应用于工业领域的各个行业的生产过程和装置的自动控制中。本书以日本欧姆龙 (OMRON) 公司的最新小型 PLC CP1 系列为主线, 系统介绍 PLC 的基本原理、指令系统、PLC 网络系统及 PLC 应用系统的设计方法, 详细介绍指令系统、CX - ONE 软件工具包开发与应用等的使用方法与技巧。

本书系统性和实用性较强, 注重理论联系实际, 可作为大专院校、电大、职大的电气技术专业或自动化专业及相关专业的教材, 也可作为工程技术人员参考资料。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

可编程序控制器原理及应用/汤楠等编著. —北京: 机械工业出版社, 2012. 2

普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 36143 - 5

I. ①可… II. ①汤… III. ①可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 213001 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: 于苏华 责任编辑: 于苏华 卢若薇

版式设计: 常天培 责任校对: 刘怡丹

封面设计: 张 静 责任印制: 乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20. 75 印张 · 515 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 36143 - 5

定价: 39. 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

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

机器能做的事就让机器去做  
人类应从事富有创造性的活动

欧姆龙自动化(中国)有限公司

总裁 大场 合志

# 前 言

可编程序控制器 (PLC) 是以微处理器为基础, 综合了计算机、自动控制和通信等技术的一种新型通用工业控制装置。它具有结构简单、编程方便、可靠性高等优点, 已广泛应用于工业生产过程和装置的自动控制中, 成为工业控制的主要手段和重要的基础控制设备之一。近年来, 随着电子技术和计算机应用的飞速发展, PLC 及其应用技术也有了許多新发展, 各厂家陆续推出了新的 PLC 产品和部件。为了适应这些情况, 及时满足读者需求, 作者结合相关方面教学、科研的经验, 在原有讲义和教材框架基础上, 重新组织编写了本教材。PLC 型号类型繁多, 但基本原理及应用大同小异。本着通俗易懂、联系实际的原则, 使之不仅适应相关专业学习培训的课堂教学, 同时也适用于现场技术人员作为自学读本和技术参考书, 全书内容坚持了以下主要特点:

1. 突出以 PLC 实际应用为主要目的。本书选取 OMRON 公司典型新产品 CP1 系列小型机为主线讲述 PLC 的原理和应用。

2. 结合现场应用的发展, 增强 PLC 网络的知识内容。本书强调了编程监控设备的内容, 增加了上位机计算机辅助编程、可编程终端 (PT) 及最新 FA 整合工具包 CX-ONE 的开发与使用方法。

3. 通过 PLC 应用示例加深读者对内容的理解和掌握。本书强调了 PLC 应用系统设计方面的内容, 例如总体设计、硬件选型、应用程序设计方法等知识点。

本书第 1、2 章介绍 PLC 的基本概念和基本原理; 第 3、4 章以 OMRON 公司近几年的 PLC 新产品为主, 详细介绍了 CP1、CJ、CS 系列不同层次 PLC 的特点与组成、安装与接线, 以及指令系统与编程方法; 第 5 章详细介绍了最新 FA 整合工具包 CX-ONE 编程与开发, 如 CX-Programmer、CX-Simulator 和 CX-Designer 等软件的应用与开发。第 6 章介绍 PLC 网络组网内容, 如最新 EtherCAT 网络等知识; 第 7 章介绍如何设计一个 PLC 控制系统, 怎样选择 PLC 的类型以及如何编制用户控制程序; 附录给出了 OMRON 公司小型 PLC CP1 系列指令系统的翔实资料, 以便读者在学习或设计 PLC 控制系统时使用。

本书第 1、2 章和附录由穆向阳编写, 第 3、6 章由刘光星编写, 第 5 章由汤楠编写, 第 4、7 章由高炜欣编写, 余志红、张宏建参加了部分章节的编写, 全书由穆向阳、汤楠统稿。

本书在编写过程中得到欧姆龙 (OMRON) 自动化 (中国) 有限公司西安事务所的大力支持, 并提供了许多宝贵技术资料, 在此表示衷心的感谢。

作 者

# 目 录

## 前言

## 第1章 概述..... 1

- 1.1 可程序控制器 (PLC) 的  
    基本概念 ..... 1
  - 1.1.1 PLC 的产生 ..... 1
  - 1.1.2 PLC 中的几个基本概念 ..... 2
- 1.2 PLC 的主要功能和特点 ..... 4
  - 1.2.1 PLC 的主要功能 ..... 4
  - 1.2.2 PLC 的特点 ..... 5
  - 1.2.3 PLC 的主要技术指标 ..... 8
- 1.3 PLC 的应用领域及发展趋势 ..... 9
  - 1.3.1 PLC 的应用领域 ..... 9
  - 1.3.2 PLC 的发展趋势 ..... 9
- 习题 ..... 11

## 第2章 PLC 的基本原理 ..... 12

- 2.1 PLC 的组成及各部分的功能 ..... 12
  - 2.1.1 PLC 的基本组成 ..... 12
  - 2.1.2 PLC 各组成部分的功能 ..... 13
- 2.2 PLC 的结构形式 ..... 15
  - 2.2.1 单元式结构 ..... 16
  - 2.2.2 模块式结构 ..... 16
  - 2.2.3 叠装式结构 ..... 17
- 2.3 PLC 的工作过程 ..... 17
  - 2.3.1 大中型 PLC 的工作过程 ..... 17
  - 2.3.2 小型 PLC 的工作过程 ..... 19
  - 2.3.3 输入/输出响应的滞后现象 ..... 20
- 2.4 PLC 的使用步骤 ..... 21
- 习题 ..... 23

## 第3章 OMRON 公司的 PLC 系统 ..... 24

- 3.1 OMRON 公司 PLC 的发展  
    历程 ..... 24
- 3.2 CP1 系列 PLC 系统 ..... 26
  - 3.2.1 CP1H PLC 系统 ..... 26
  - 3.2.2 CP1L PLC 系统 ..... 61

- 3.2.3 CP1E PLC 系统 ..... 73

## 3.3 CJ 系列 PLC 系统..... 82

- 3.3.1 CJ 系列 PLC 概述 ..... 82
- 3.3.2 CJ 系列 PLC 的硬件系统构成 ..... 84
- 3.3.3 CJ 系列 PLC 的内存分配 ..... 96

## 3.4 CS 系列 PLC 系统 ..... 103

- 3.4.1 CS 系列 PLC 的特点 ..... 104
- 3.4.2 CS1G/H PLC 系统 ..... 104
- 3.4.3 CS1D PLC 系统 ..... 114

## 习题 ..... 119

## 第4章 PLC 的指令系统..... 120

### 4.1 OMRON 指令系统概述..... 120

### 4.2 基本编程指令 ..... 123

- 4.2.1 LD 和 LD NOT 指令 ..... 123
- 4.2.2 OUT 和 OUT NOT 指令 ..... 123
- 4.2.3 AND 和 AND NOT 指令 ..... 124
- 4.2.4 OR 和 OR NOT 指令 ..... 124
- 4.2.5 AND LD 和 OR LD 指令 ..... 125
- 4.2.6 SET 和 RESET 指令 ..... 127
- 4.2.7 KEEP 指令 ..... 127
- 4.2.8 DIFU (013) 和 DIFD (014)  
    指令 ..... 128
- 4.2.9 NOP (000) 指令 ..... 128
- 4.2.10 END (001) 指令 ..... 129

### 4.3 编程规则 ..... 129

### 4.4 顺序控制和暂存指令 ..... 131

- 4.4.1 IL 和 ILC 指令 ..... 131
- 4.4.2 TR 指令 ..... 131
- 4.4.3 JMP 和 JME 指令 ..... 132

### 4.5 定时器和计数器应用指令 ..... 133

- 4.5.1 TIM 指令 ..... 133
- 4.5.2 TIMH 指令 ..... 133
- 4.5.3 CNT 指令 ..... 134
- 4.5.4 CNTR 指令 ..... 134
- 4.5.5 TIML 指令 ..... 135

|         |                                |     |
|---------|--------------------------------|-----|
| 4.5.6   | TMHH 指令                        | 137 |
| 4.6     | 数据比较类应用指令                      | 137 |
| 4.6.1   | CMP 和 CMPL 指令                  | 137 |
| 4.6.2   | BCMP 指令                        | 138 |
| 4.6.3   | TCMP 指令                        | 139 |
| 4.6.4   | ZCP 和 ZCPL 指令                  | 140 |
| 4.7     | 数据转换类应用指令                      | 140 |
| 4.7.1   | BIN 和 BCD 指令                   | 140 |
| 4.7.2   | MLPX 和 DMPX 指令                 | 141 |
| 4.7.3   | ASC 和 SDEC 指令                  | 142 |
| 4.7.4   | HEX 指令                         | 143 |
| 4.7.5   | SCL、SCL2 和 SCL3 指令             | 143 |
| 4.7.6   | BINL 和 BCDL 指令                 | 145 |
| 4.7.7   | SEC 和 HMS 指令                   | 145 |
| 4.7.8   | NEG 指令                         | 146 |
| 4.8     | 数据移位类应用指令                      | 147 |
| 4.8.1   | SFT 指令                         | 147 |
| 4.8.2   | SFTR 指令                        | 147 |
| 4.8.3   | WSFT 指令                        | 148 |
| 4.8.4   | ASL 和 ASR 指令                   | 149 |
| 4.8.5   | ROL 和 ROR 指令                   | 149 |
| 4.8.6   | SLD 指令                         | 150 |
| 4.8.7   | ASFT 指令                        | 150 |
| 4.9     | 数据传送类应用指令                      | 152 |
| 4.9.1   | MOV 和 MVN 指令                   | 152 |
| 4.9.2   | XFER 指令                        | 152 |
| 4.9.3   | BSET 指令                        | 153 |
| 4.9.4   | XCHG 指令                        | 153 |
| 4.9.5   | DIST 指令                        | 154 |
| 4.9.6   | COLL 指令                        | 154 |
| 4.9.7   | MOVB 和 MOVD 指令                 | 155 |
| 4.10    | 数据运算类应用指令                      | 156 |
| 4.10.1  | STC 和 CLC 指令                   | 156 |
| 4.10.2  | + 和 +L 指令                      | 157 |
| 4.10.3  | +C 和 +CL 指令                    | 157 |
| 4.10.4  | +B (404) 和 +BL (405)<br>指令     | 158 |
| 4.10.5  | +BC (406) 和 +BCL (407)<br>指令   | 159 |
| 4.10.6  | +D 和 -D 指令                     | 159 |
| 4.10.7  | - (410) 和 -L (411)<br>指令       | 160 |
| 4.10.8  | -C (412) 和 -CL (413)<br>指令     | 160 |
| 4.10.9  | -B (414) 和 -BL (415)<br>指令     | 161 |
| 4.10.10 | -BC (416) 和 -BCL (417)<br>指令   | 162 |
| 4.10.11 | *D 和 /D 指令                     | 162 |
| 4.10.12 | + + 和 + +L 指令                  | 163 |
| 4.10.13 | - - 和 - -L 指令                  | 163 |
| 4.10.14 | + +B 和 + +BL 指令                | 164 |
| 4.10.15 | - -B 和 - -BL 指令                | 164 |
| 4.10.16 | COM、ANDW、ORW、XORW<br>和 XNRW 指令 | 165 |
| 4.11    | 子程序和中断控制类应用<br>指令              | 166 |
| 4.11.1  | SBS、SBN 和 RET 指令               | 166 |
| 4.11.2  | MCRO 指令                        | 167 |
| 4.11.3  | MSKS 指令                        | 168 |
| 4.11.4  | CLI 指令                         | 169 |
| 4.11.5  | DI 和 EI 指令                     | 170 |
| 4.12    | 高速计数器应用指令                      | 170 |
| 4.12.1  | CTBL 指令                        | 170 |
| 4.12.2  | INI 指令                         | 171 |
| 4.12.3  | PRV 指令                         | 173 |
| 4.13    | 其他特殊应用指令                       | 175 |
| 4.13.1  | FAL 和 FALS 指令                  | 175 |
| 4.13.2  | IORF 指令                        | 176 |
| 4.13.3  | BCNT 指令                        | 177 |
| 4.13.4  | PULS 指令                        | 177 |
| 4.13.5  | SPED 指令                        | 178 |
| 4.13.6  | STEP 和 SNXT 指令                 | 179 |
| 4.13.7  | PID 指令                         | 180 |
| 4.13.8  | SRCH 指令                        | 181 |
| 4.13.9  | PWM 指令                         | 182 |
| 4.13.10 | ACC 指令                         | 183 |
| 4.13.11 | FCS 指令                         | 184 |
| 4.14    | 特殊运算指令                         | 185 |
| 4.14.1  | MAX 和 MIN 指令                   | 185 |
| 4.14.2  | AVG 指令                         | 186 |
| 4.14.3  | SUM 指令                         | 187 |
| 4.15    | 通信指令                           | 188 |
| 4.15.1  | RXD 和 TXD 指令                   | 188 |

|                                            |     |                                          |     |
|--------------------------------------------|-----|------------------------------------------|-----|
| 4.15.2 STUP 指令 .....                       | 189 | CX - Designer .....                      | 225 |
| 4.16 显示功能指令 .....                          | 190 | 习题 .....                                 | 227 |
| 4.16.1 MSG 指令 .....                        | 190 |                                          |     |
| 4.16.2 SCH (047) 指令 .....                  | 190 | <b>第 6 章 PLC 网络系统</b> .....              | 228 |
| 4.16.3 SCTRL (048) 指令 .....                | 191 | 6.1 OMRON PLC 网络系统概述 ...                 | 228 |
| 4.17 字符串处理指令 .....                         | 191 | 6.2 Ethernet 网络 .....                    | 230 |
| 4.17.1 MOV \$ 指令 .....                     | 191 | 6.2.1 Ethernet 的组成及特点 .....              | 230 |
| 4.17.2 + \$ 指令 .....                       | 192 | 6.2.2 Ethernet 系统的初始化设置 .....            | 232 |
| 4.17.3 LEFT \$ 及 RIGHT \$ 指令 .....         | 193 | 6.2.3 FINS 通信 .....                      | 238 |
| 4.17.4 MID \$ 指令 .....                     | 193 | 6.2.4 Socket 服务 .....                    | 244 |
| 4.18 数据运算指令 .....                          | 194 | 6.2.5 FTP 服务器 .....                      | 248 |
| 4.18.1 PID 指令 .....                        | 194 | 6.2.6 邮件服务 .....                         | 249 |
| 4.18.2 LMT 指令 .....                        | 195 | 6.3 Ether CAT 网络 .....                   | 250 |
| 4.18.3 BAND 指令 .....                       | 196 | 6.4 Controller Link 网络 .....             | 252 |
| 4.18.4 ZONE 指令 .....                       | 197 | 6.4.1 Controller Link 网络的组成及<br>特点 ..... | 252 |
| 4.18.5 SCL 指令 .....                        | 197 | 6.4.2 网络单元的设置 .....                      | 254 |
| 4.18.6 AVG 指令 .....                        | 198 | 6.4.3 数据链接 .....                         | 255 |
| 习题 .....                                   | 199 | 6.4.4 信息通信 .....                         | 259 |
| <b>第 5 章 编程监控设备及其应用</b> .....              | 202 | 6.5 DeviceNet 网络 .....                   | 261 |
| 5.1 编程监控设备概述 .....                         | 202 | 6.5.1 DeviceNet 的组成及性能 .....             | 261 |
| 5.1.1 简易编程器 .....                          | 202 | 6.5.2 通信单元的初始化设置 .....                   | 266 |
| 5.1.2 OMRON 的开发软件<br>CX - ONE .....        | 203 | 6.5.3 远程 I/O 通信 .....                    | 267 |
| 5.2 CX - Programmer 的开发与<br>应用 .....       | 206 | 6.5.4 信息通信 .....                         | 268 |
| 5.2.1 CX - Programmer 的用户主界面 ...           | 206 | 6.6 CompoBus/S 网络 .....                  | 269 |
| 5.2.2 CX - Programmer 的编程 .....            | 209 | 6.6.1 CompoBus/S 网络的系统配置及<br>特点 .....    | 269 |
| 5.2.3 CX - Programmer 的在线调试<br>和模拟调试 ..... | 213 | 6.6.2 I/O 通道分配 .....                     | 272 |
| 5.3 CX - Simulator 的开发与应用 .....            | 214 | 6.6.3 SRM1 主站控制单元 .....                  | 273 |
| 5.3.1 CX - Simulator 的启动 .....             | 215 | 6.7 CompoNet 网络 .....                    | 276 |
| 5.3.2 CX - Simulator 的基本操作 .....           | 216 | 习题 .....                                 | 279 |
| 5.3.3 CX - Simulator 的主要调试工具<br>及应用 .....  | 217 |                                          |     |
| 5.4 可编程终端 .....                            | 220 | <b>第 7 章 PLC 应用系统的设计</b> .....           | 280 |
| 5.4.1 可编程终端的硬件系统配置 .....                   | 221 | 7.1 PLC 应用系统的总体设计 .....                  | 280 |
| 5.4.2 可编程终端的主要功能 .....                     | 221 | 7.2 PLC 应用系统的硬件设计与<br>选型 .....           | 282 |
| 5.4.3 可编程终端的内存 .....                       | 224 | 7.3 PLC 应用系统的程序设计 .....                  | 285 |
| 5.4.4 可编程终端的运行模式和系统<br>菜单 .....            | 224 | 7.3.1 PLC 应用程序的设计语言 .....                | 285 |
| 5.4.5 可编程终端的支持工具软件 .....                   | 224 | 7.3.2 PLC 应用程序的设计方法 .....                | 288 |
|                                            |     | 7.4 应用系统设计举例 .....                       | 292 |
|                                            |     | 7.4.1 典型应用系统举例 .....                     | 292 |

|                            |     |                            |     |
|----------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 7.4.2 扩展应用系统举例 .....       | 293 | 附录 B: OMRON 小型 PLC CP1 系列编 |     |
| 习题 .....                   | 299 | 程指令按字母顺序分类                 |     |
| 附录 .....                   | 302 | 一览 .....                   | 316 |
| 附录 A: OMRON 小型 PLC CP1 系列编 |     | 参考文献 .....                 | 324 |
| 程指令按功能分类一览 .....           | 302 |                            |     |

# 第 1 章 概 述

## 1.1 可编程序控制器 (PLC) 的基本概念

### 1.1.1 PLC 的产生

以往的顺序控制器主要由继电器组成,由此构成的控制系统都是按预先规定好的时间或条件顺序地工作,若要改变控制的顺序就必须改变控制器的硬件接线。1968 年,美国最大的汽车制造商通用汽车公司(GM 公司)为了适应生产工艺不断更新的需要,期望找到一种新的方向,尽可能减少重新设计继电控制系统和重新接线的工作,以降低成本、缩短生产周期。他们设想把计算机的通用、灵活、功能完备等优点和继电控制系统的简单易懂、价格便宜等优点结合起来,制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”进行编程,使得不熟悉计算机的人也能方便地使用。为此,该公司提出十项设计标准进行招标,1969 年,由中标的美国数字设备公司(DEC 公司)研制出了第一台可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC),其型号为 PDP-14。这种装置在 GM 公司的自动装配线上试用即大获成功。

自 20 世纪 70 年代以来,由于大规模集成电路和微处理器在 PLC 中的应用,使 PLC 的功能不断增强,不仅能进行顺序逻辑控制,而且还能进行数值运算、数据处理,具有分支、中断、通信及故障自诊断等功能,因此,将其称为可编程序控制器(Programmable Controller, PC)。由于它与个人计算机(如 IBM-PC)、袖珍计算机(如 PC-1500)及计算机中的程序计数器(也称 PC)是完全不同的概念。因此,通常把可编程序控制器仍然称为 PLC。

1985 年 1 月,国际电工委员会(IEC)颁布了 PLC 标准草案的第二稿,对 PLC 作了如下定义:“PLC 是一种数字式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。PLC 及其有关设备,都应按易于与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 一经出现,就受到国内外工程技术界的极大关注,生产厂家云起,销售量与日俱增,应用范围也不断扩大,成为工业控制领域中最常用的控制设备之一。从全球控制市场的销售情况看,PLC 的销售额也在逐步增长。据美国著名商情公司 Frost & Sulliran 提出的报告,PLC 将在控制市场中获得更多的销售份额。例如,从 1993 年的 46% 上升到 2000 年的 50%,销售额已从 39 亿美元上升到 76 亿美元;2000 年,中国在能源、冶金、化工、轻纺等部门需要 10 万套工业控制系统,市场规模为 170 亿~207 亿元人民币,其中,工业 PC 及 OEM 产品为 35 亿~40 亿元,PLC 为 25 亿~30 亿元,DCS 系统为 30 亿~35 亿元,现场总线控制系统为 1 亿~2 亿元;2001 年,中国的 PLC 市场总值为 2.16 亿美元;到 2006 年底,中国国内 PLC 市场规模超过了 3.86 亿美元,2009 年达到了 4.25 亿美元。据 IMS Research

报告, 2010 年全球 PLC 市场份额已达到 63 亿美元, 其中欧洲和亚洲的中国以及印度增长非常明显, 最大的最终用户主要体现在冶金工业和汽车制造业的强大发展需求。

### 1.1.2 PLC 中的几个基本概念

由于 PLC 是从继电器控制逻辑发展而来, 因此它的最基本的控制功能是顺序控制或逻辑控制。同时, PLC 还能模拟继电器控制中的继电器、定时器、时序器等的功能, 另外, 它还引入了更多的其他功能, 如计数功能和加、减、乘、除运算功能, 甚至 PID 功能。为了方便电气控制工程技术人员, PLC 中许多术语、名称、编程方法等都沿用了继电器控制的概念。下面就几个重要概念加以说明。

#### 1. 继电器

在 PLC 中, 继电器也称编程元件, 它包括线圈、常开触点和常闭触点。

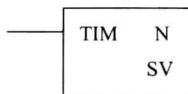
常开触点: 常用符号为  $\text{—}| \text{—}$ , 受 PLC 输入开关量或 PLC 内部相应线圈的控制, 当 PLC 输入接通或相应的线圈通过电流时, 此触点闭合。

常闭触点: 常用符号为  $\text{—}| \text{—}$ , 受控方式与常开触点相同, 只是当 PLC 输入接通或相应线圈通电时, 此触点断开。

线圈: 也称逻辑线圈, 常用符号为  $\text{—} \bigcirc \text{—}$ , 在 PLC 中用作为输出元件, 以控制外部设备 (如电磁阀、接触器, 指示灯等), 也可以用来控制 PLC 内部的其他触点, 以构成复杂的控制逻辑。

#### 2. 定时器

定时器的作用与继电器控制中的延时继电器或时间继电器相同, 常见的定时单位有 0.1s、0.1s、1s 等几种。定时器的符号因型号不同各异。日本 OMRON 公司 CP 系列 PLC 的定时器符号为

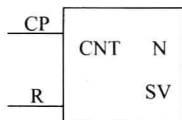


其中, 方框内 N 表示定时器 TIM 的编号, 下面的 SV 表示定时预置值, 定时时间 = 定时单位  $\times$  定时预置值。例如, 若 PLC 内部规定的定时单位为 0.1s, 定时预置值为 142, 定时时间 =  $142 \times 0.1\text{s} = 14.2\text{s}$ 。

当定时器的输入接通 (ON) 时, 开始定时; 定时时间到, 则定时器导通, 定时器相应的触点动作, 可用来控制其他元件。

#### 3. 计数器

计数器的作用是每当其计数输入端由断开 (OFF) 到接通 (ON) 时, 计一个数, 即计数器记录的是其输入由断到通的次数。当计数值与预置值相等时, 计数器导通。有的 PLC 计数端由断到通时, 自动减一个数, 当计数值由预置值减到零时, 计数器导通, 其相应的触点接通或断开, 可用来控制其他元件。日本 OMRON 公司 CP 系列 PLC 的计数器符号为



有的 PLC 还有高速定时器、可逆计数器、高速计数器等。

4. 其他元件

其他元件有时序器、加法器、编码器、减法器、译码器等。

上述元件在 PLC 内部都是由软件实现的，并不存在它们的物理实体，因此常称为“虚拟元件”或“软元件”。将它们相互连接构成复杂控制逻辑的过程称为“软连接”，放入 PLC 后则是一段程序。

5. 梯形图（Ladder Diagram）

为了了解梯形图的概念，下面举一个简单的 PLC 控制的例子。

例 1.1.1：交流电动机单向运转的起停控制。

利用继电器控制的电路如图 1.1.1 所示。

利用 PLC 控制可以实现同样的控制功能时，系统的接线图如图 1.1.2 所示。

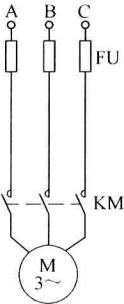


图 1.1.1 继电器控制电路

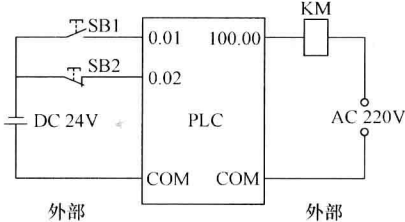
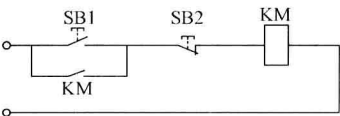


图 1.1.2 PLC 控制的接线图

PLC 梯形图如图 1.1.3 所示。

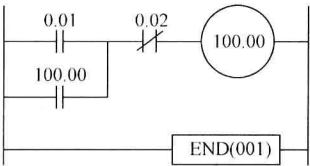


图 1.1.3 PLC 梯形图

PLC 梯形图用助记符表示见表 1.1.1（以 CP 系列为例）。

表 1.1.1 PLC 控制的助记符程序

| 地址   | 指令      | 数据     |
|------|---------|--------|
| 0000 | LD      | 0.01   |
| 0001 | OR      | 100.00 |
| 0002 | AND NOT | 0.02   |
| 0003 | OUT     | 100.00 |
| 0004 | END     |        |

将上述程序通过 PLC 的编程器送入 PLC，让 PLC 处于运行状态，就可以控制电动机的起停。  
上述例子很简单，但从中可以看出：

1) PLC 控制梯形图程序与继电器控制的梯形图十分相似。

2) 有的 PLC 可直接通过图形编程器 (GPC) 或上位机将梯形图输入到 PLC 内部的存储器中。还有的 PLC 利用自己特定的助记符语言将梯形图转化为助记符程序, 再通过编程器送入 PLC。也就是说 PLC 是用软件实现控制逻辑, 若要更改控制逻辑, 只需改变梯形图程序, 而不必更改硬接线。

## 1.2 PLC 的主要功能和特点

PLC 是在继电器控制逻辑基础上, 与 3C 技术 (Computer, Control, Communication) 相结合, 不断发展和完善的。目前 PLC 已从小规模的单机顺序控制, 发展到包括过程控制、位置控制等场合的所有控制领域, 能适应工厂自动化 (FA) 的 PLC 综合控制系统已经得到了广泛的应用。

每个生产厂家几乎都有自己的系列化产品, 同一系列的产品, 指令系统向上兼容, 输入/输出 (I/O) 模块也可以通用, 有的 PLC 还可以相互通信。厂家一般按 PLC 输入/输出点数和程序存储器容量, 将 PLC 分为小型、中型和大型。一般来说, PLC 输入/输出点数在 256 点以下的称为小型, 在 256 到 1024 点之间的称为中型, 1024 点以上的称为大型。

### 1.2.1 PLC 的主要功能

目前生产的 PLC 或多或少地具备下列几项功能:

#### 1. 步进顺序控制

步进顺序控制具有按次序进行控制的功能, 也就是能使生产过程中的设备按确定的次序进行开和关的功能。例如电动机控制、机床电气控制、供电系统保护、高炉上料控制、锅炉安全保护、货物存放与提取控制等。

#### 2. 定时控制

定时控制能使生产过程中的设备在进行了一个动作之后, 经过规定的时间再进行下一个动作, 就像继电控制系统中的时间继电器。例如, 电动机空载起动, 运行数秒后, 再加入额定负载; 注塑机合模后, 经数分钟再开模等。

#### 3. 条件控制

条件控制是设备正在进行一个动作时, 别的动作不能进行, 也就是通常说的“连锁”功能。例如, 直流电动机不加励磁时, 不能加电枢电压; 散热风扇不起动时, 大功率器件加不上电源; 电动机正转时不能反转等。

#### 4. 计数控制

计数控制, 即当某个动作达到规定的动作次数时, 才允许进行另一个动作。例如, 当产品个数恰好装满一箱时, 才允许箱体离开, 转去包装。

#### 5. 模 - 数和数 - 模转换

有些 PLC 具有模 - 数转换 (A - D) 和数 - 模转换 (D - A) 功能, 能完成对模拟量的检测、控制和调节。模 - 数和数 - 模转换的精度有 8bit、12bit、14bit 等。一般模拟电压范围为 1 ~ 5V、0 ~ 5V、0 ~ 10V、-5 ~ 5V、-10 ~ 10V; 模拟电流范围为 4 ~ 20mA。

## 6. 数据处理

有的 PLC 具有数据处理能力。例如, 并行运算; BCD 码的加、减、乘、除、开方; 16 位数的并行传送; 字与、字或、字异或、求反、逻辑移位、算术移位、数据检索、比较、数制转换、16—4 和 4—16 编码、7 段译码等。

## 7. 通信和联网

有的 PLC 具有通信功能, 体现在:

1) 遥控, 即进行远程的 I/O 控制 (Remote I/O)。采用串行数据传输的手段将主站的一台较大的 PLC (主机) 与远处从站的 I/O 终端、光传送 I/O 单元或 PLC (从机) 连接起来, 主机端应安装一个远程 I/O 主单元, 若从站用的是 PLC 从机, 则应在从站安装一个远程 I/O 从单元或 I/O 链接单元, 若用 I/O 链接单元与主机的远程 I/O 主单元实现通信, 则从站称为 I/O Link。

2) 多台同类或不同类 PLC 进行同位链接, 称为 PLC Link。它是通过内存 Link 数据互相交换信息。例如, C500 中设置了 32 个 Link 通道, 每个通道 16bit, 允许 8 台 C500 进行 PLC Link, 构成 4096 点 I/O 控制系统。

3) PLC 与上位计算机链接, 称为 Host Link。一台计算机可以连接多台 PLC (例如 32 台)。PLC 可以接收上位机的命令, 并将执行结果传送给上位机。这就构成了“集中监督管理, 分散控制”的分布式控制系统, 也称集散系统。

Host Link 对计算机之间的通信, 目前还没有国际标准, 正处在研究开发的阶段。在形成统一标准之前, 各 PLC 生产厂家一般有自己的标准。例如, C 系列 PLC 采用 OMRON 标准, 它规定了命令种类、数据格式及应答方式, 而且 PLC 方面的通信软件已经做好, 用户只要在计算机方面配置相应的通信软件, 就能够按规定向 PLC 发出命令并识别 PLC 的应答。通信和网络作为 PLC 极有前景的一个发展方向, 各大公司都推出了不同性能的产品, 用户可根据自己的需要进行选择。有关内容可参阅本书的第 6 章。

## 8. 冗余控制

有的大型 PLC 具有双机功能, 若前台处理系统发生故障, 后台系统能立即接管控制权, 从而减少故障时间, 提高控制系统的可靠性。

## 9. 监控功能

监控功能可对系统异常情况进行识别、记忆, 或者在发生异常情况时自动终止运行。操作人员也可以通过监控命令监视有关部分的运行状态, 可以调整定时、计数等设定值。

## 10. 其他功能

PLC 还具有显示、打印、报警、对数据和程序进行复制到存储器卡等功能。

用 PLC 构成的实际控制装置, 很少单独具有一种功能, 总是将若干功能组合起来, 达到控制目的。上述功能中 1、2、3、4、10 是任何一种 PLC 都具有的基本功能。

### 1.2.2 PLC 的特点

由 PLC 的产生和发展过程可知, PLC 的设计是站在用户立场, 以用户的需要为出发点, 以直接应用于各种工业环境为目标, 但又不断采用先进技术求发展。因此, PLC 具有以下几个特点。

### 1. 与继电控制相比较

1) 控制逻辑。继电控制采用硬接线逻辑,利用继电器机械触点的串联或并联及延时继电器的滞后动作等组合成控制逻辑,其连线多而复杂、体积大、功耗大,一旦系统构成后,想再改变或增加功能都很困难。另外,继电器触点数目有限,每只继电器一般只有4~8对触点,因此灵活性和扩展性很差。PLC采用存储逻辑,其控制逻辑以程序方式存储在内存中,要改变控制逻辑,只需改变程序,故称为“软接线”,其连线少、体积小,加之PLC中每只软继电器的触点数理论上无限制,因此灵活性和扩展性很好。PLC由中大规模集成电路组成,功耗小。

2) 工作方式。当电流接通时,继电控制中的各个继电器都处于受约状态,即该吸合的都应吸合,不该吸合的都因受某种条件限制不能吸合。PLC的控制中的各个继电器都处于周期性循环扫描接通之中,从宏观上看,每个继电器受制约接通的时间是短暂的。

3) 控制速度。继电控制依靠触点的机械动作实现控制,工作频率低,触点的开闭动作一般在几十毫秒数量级。另外,机械触点还会出现抖动问题。PLC是由程序指令控制半导体电路来实现控制,速度极快,一般一条用户指令的执行时间在微秒数量级。PLC内部还有严格的同步,不会出现抖动问题。

4) 限时控制。继电控制利用时间继电器的滞后动作进行限时控制。时间继电器一般分为空气阻尼式、电磁式、半导体式等,其定时精度不高,且有定时时间易受环境湿度和温度变化的影响、调整时间困难等问题。有些特殊的时间继电器结构复杂,不便维护。PLC使用半导体集成电路作定时器,时基脉冲由晶体振荡器产生,精度相当高,定时范围可从0.1s到若干分钟甚至更长,用户可根据需要在程序中设定定时值,然后由软件和硬件计数器来控制定时时间,定时精度小于10ms,且定时时间不受环境的影响。

5) 计数控制。PLC能实现计数功能,而继电控制一般不具备计数功能。

6) 设计与施工。使用继电控制完成一项控制工程,其设计、施工、调试必须依次进行,周期长,而且修改困难。工程越大,这一点就越突出。用PLC完成一项控制工程,在系统设计完成以后,现场施工和控制逻辑的设计(包括梯形图和程序设计)可以同时进行,周期短,且调试和修改都很方便。

7) 可靠性和可维护性。继电控制使用大量的机械触点,连线也多。触点开闭时会受到电弧的损坏,并有机机械磨损,寿命短,因此可靠性和可维护性差。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,它体积小、寿命长、可靠性高。PLC配备有自检和监视功能,能检查出自身的故障,并随时显示给操作人员,还能动态地监视控制程序的执行情况,为现场调试和维护提供了方便。

8) 价格。继电控制使用机械开关、继电器和接触器,价格比较便宜。PLC使用中大规模集成电路,价格比较昂贵。

从以上几个方面的比较可知:PLC在性能上比继电控制优异,特别是可靠性高、设计施工周期短、调试修改方便,而且体积小、功耗低、使用维护方便,但价格高于继电控制。

### 2. 与微机相比较

1) 应用范围。微机除了用在控制领域外,还大量用于科学计算、数据处理、计算机通信等方面。PLC主要用于工业控制。

2) 使用环境。微机对环境要求较高,一般要在干扰小、具有一定的温度和湿度要求的

机房内使用。PLC 适应于工程现场的环境。

3) 输入/输出。微机的 I/O 设备与主机之间采用微电联系, 一般不需要电气隔离。PLC 一般控制强电设备, 需要电气隔离, 输入/输出均用“光-电”耦合, 输出采用继电器、晶闸管或大功率晶体管进行功率放大。

4) 程序设计。微机具有丰富的程序设计语言, 例如汇编语言、FORTRAN 语言、COBOL 语言、PASCAL 语言、C 语言等, 其语句多, 语法关系复杂, 要求使用者必须具有一定水平的计算机硬件和软件知识。PLC 提供给用户的编程语句数量少, 逻辑简单, 易于学习和掌握。

5) 系统功能。微机一般配有较强的系统软件, 例如操作系统, 能进行设备管理、文件管理、存储器管理等。它还配有许多应用软件, 以方便用户。PLC 一般只有简单的监控程序, 能完成故障检查、用户程序的输入和修改、用户程序的执行与监视等功能。

6) 运算速度和存储容量。微机运算速度快, 一般为微秒级。因有大量的系统软件和应用软件, 故存储容量大。PLC 因接口的响应速度慢而影响数据处理速度, 一般接口响应速度为 2ms。PLC 巡回检测速度约为每千字 8ms。PLC 的指令少, 编程也简短, 故内存容量小。

7) 价格。微机是通用机, 功能完善, 故价格较高。PLC 是专用机, 功能较少, 其价格是微机的 1/10 左右。

从以上几个方面的比较可知: PLC 是一种用于工业自动化控制的专用微机控制系统, 结构简单, 抗干扰能力强, 易于学习和掌握; 价格也比一般的微机系统便宜。

### 3. 与单板机比较

单板机具有结构简单、使用方便、价格比较便宜等优点, 一般用于数字采集和工业控制。但由于单板机不是专门针对工业现场设备的自动化控制而设计的, 因此与 PLC 相比有以下缺点:

1) 不如 PLC 容易掌握。单板机一般要用机器指令或其助记符编程, 这就要求设计人员具有一定的计算机硬件和软件知识, 对于只熟悉机电控制的技术人员来说, 需要相当一段时间的学习才能掌握。

PLC 本身是微机系统, 提供给用户使用的是电控人员所熟悉的梯形图语言, 使用的术语仍然是“继电器”一类的术语, 大部分指令与继电器触点的串联、并联、串并联、并串联等相对应, 这就使得熟悉机电控制的工程技术人员一目了然。对于使用者来说, 不必去关心微机的一些技术问题, 而只要用较短的时间去熟悉 PLC 的指令系统及操作方法, 就能应用到工程现场。

2) 不如 PLC 使用简单。用单板机来实现自动控制, 一般要在输入/输出接口上做大量的工作, 例如要考虑现场与单板机的连接、接口的扩展、输入/输出信号的处理、接口工作方式等问题, 除了要设计控制程序, 还要在单板机的外围做很多软件和硬件方面的工作, 调试也比较麻烦。PLC 的 I/O 口已经做好, 输入接口可以与输入信号直接连线, 非常方便; 输出接口具有一定的驱动能力, 例如继电器输出, 其输出触点容量可达 220V、2A; I/O 口均有光电耦合环节, 抗干扰能力强。

3) 不如 PLC 可靠。用单板机做工业控制, 突出问题就是抗干扰性能差。PLC 是专门应用于工程现场的自动控制装置, 在系统硬件和软件上都采取了抗干扰措施, 例如光电耦合、自诊断、多个 CPU 并行操作、冗余控制技术等。

当然, PLC 在数据采集、数据处理等方面不如单板机。

总之, PLC 用于控制, 稳定可靠、抗干扰能力强、使用方便; 单板机的通用性和适应性较强。

从以上 PLC 和微机及单板机比较可以看出:

从适应范围来说: PLC 是专用机, 微机是通用机。

从工业控制角度来说: PLC 是控制通用机, 而微机是可以做成某一控制设备的专用机。

从长远来看, 由于 PLC 的功能不断增强, 将更多地采用微机技术, 而为了适应用户需要, 更耐用、更易维护的微机也将投放市场, 两者相互渗透, PLC 和微机的界限会变得越来越模糊, 并将长期共存, 各用所长, 共同发展。

#### 4. 与集散控制系统比较

1) PLC 是由继电控制逻辑发展而来的, 而集散控制系统 (TDCS) 是由回路仪表控制发展而来, 但两者的发展均与计算机控制技术有关。

2) 早期 PLC 在开关量控制、顺序控制方面有一定优势, 而 TDCS 在回路调节、模拟量控制方面有一定优势。

今天, 二者相互渗透、互为补充。PLC 与 TDCS 的差别已不明显, 它们都能构成复杂的分级控制。从发展趋势来看, 二者的归宿和统一将是全分布式计算机控制系统。

通过以上比较可知, PLC 系统的基本特点是: 可靠性高、编程及使用方便、通用性强、性能价格比高且维护简单。

### 1.2.3 PLC 的主要技术指标

#### 1. 用户存储器容量

PLC 中用户存储器一般由用户程序存储器和数据存储器组成, 小型 PLC 的用户存储器容量多为几千字节, 而大型 PLC 可达到几兆字节。建议用户程序存放在可擦写的存储器中。

#### 2. 输入/输出点数

输入/输出的点数决定了 PLC 可控制的输入开关信号和输出开关信号的总体数量。

#### 3. 扫描速度

扫描速度通常指 PLC 扫描 1K 字节用户程序所需的时间, 一般以 ms/K 为单位。

#### 4. 编程指令的种类和功能

某种程度上用户程序所完成的控制功能受限于 PLC 指令的种类和功能。PLC 指令的种类和功能越多, 则用户编程越方便、简单。

#### 5. 内部寄存器的配置和容量

用户编制 PLC 程序时, 需要大量使用 PLC 的内部寄存器存放变量、中间结果、定时计数及各种标志位等数据信息, 因此内部寄存器的数量直接关系到用户程序的编制。

#### 6. PLC 的扩展能力

在进行 PLC 选型时其可扩展性是一个非常重要的因素。一般来说, 可扩展性包括存储容量的扩展、输入/输出点数的扩展、模块的扩展、通信联网功能的扩展等。

另外, PLC 的电源、编程语言和编程器、通信接口类型也是不容忽视的技术指标。