

OMRON


机器人自动化控制器 原理与应用

JIQI ZIDONGHUA KONGZHIQI
YUANLI YU YINGYONG

SYSTMAC
always in control

徐世许 等编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机器人自动化控制器 原理与应用

徐世许 等编著



机械工业出版社

本书以欧姆龙公司最先进的 NJ 系列机器人自动化控制器为背景机，系统地介绍了 NJ 的工作原理、硬件单元与系统配置、程序组织与编程技术、指令系统、自动化平台软件 Sysmac Studio 的使用，以及 NJ 的 EtherCAT 网络、运动控制功能与运动控制指令，还有 NJ 的 EtherNet/IP 网络。

本书系统性强，内容丰富而新颖，阐述清楚，理论联系实际。本书可作为大专院校自动化、电气技术、机电一体化等专业的本科和研究生教材，也可以作为工程技术人员的培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人自动化控制器原理与应用/徐世许等编著. —北京:
机械工业出版社, 2013. 8

ISBN 978 - 7 - 111 - 44136 - 6

I. ①机… II. ①徐… III. ①自动控制设备 IV. ①TP23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 223516 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: 林春泉 责任编辑: 赵 任

封面设计: 鞠 杨 责任校对: 陈秀丽 李锦莉

责任印制: 张 楠

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 10 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 27 印张 · 668 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 44136 - 6

定价: 69.00 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

前 言

OMRON 公司是世界上生产可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 的著名厂家之一, 其 PLC 产品多次更新换代, 早期为 P、C200H、C1000H, 后又推出 CPM1A、CPM2A、C200H α 、CQM1、CQM1H、CV, 现在主推 CP1、CJ1/CJ2、CS1 等系列机型。OMRON 的大、中、小、微型机各具特色, 各有所长, 在中国市场上的占有率位居前列, 在国内用户中享有较高的声誉。

众所周知, PLC 以高可靠性著称, 其硬件芯片的选用相对保守。基于系统可靠性考虑, PLC 并不像个人计算机那样总是采用最先进的芯片, 如 PLC 的 CPU 与计算机的相比, 处在相当落后的地步, 很多仍停留在单片机的水平, 它的工作速度等各方面的性能偏低, 限制了 PLC 自身的能力。随着机器自动化水平的提高, 对运动控制的要求越来越高, PLC 在面对一些精密、高速、复杂的运动控制时, 往往力不从心以至于无法胜任。

针对目前 PLC 存在的技术“瓶颈”, OMRON 公司从硬件体系和软件体系进行全新的架构设计, 2011 年推出了具有划时代意义的新产品: NJ 系列的机器自动化控制器。NJ 从外观上看, 是一台小巧玲珑的 PLC, 但从内部的硬件结构上看, 其配置相当于一台个人计算机, 例如, CPU 采用时下先进的微处理器, 工作频率达到 1.66GHz, 全新的设计为 NJ 整体性能跃升打下坚实的基础。

NJ 凝聚了机器自动化所需要的各种高端功能, 它的主要特点如下: 继续保持了 PLC 高可靠性的优良传统; 指令系统与国际标准 IEC61131-3 完全接轨; 除具有 PLC 常规的功能外, 还能够实现高速、复杂、精密的运动控制; 具有丰富的通信与网络功能; 提供功能强大的自动化平台软件 Sysmac Studio。特别值得称道的是 NJ 在运动控制方面具有卓越的能力, 鉴于此, NJ 被称为机器自动化控制器。

本书编者长期跟踪 OMRON PLC 技术的发展, 2011 年下半年开始接触 NJ, 便被 NJ 强大的功能所折服, 感到很有必要把这一当今世界上先进的机器自动化控制器介绍给广大读者, 使之能迅速地应用到我国的工业自动化领域。

本书共分 8 章。首先介绍了 NJ 的工作原理、NJ 的硬件单元与系统配置。接着介绍了 NJ 的程序组织与编程技术, 以较大篇幅详尽叙述了 IEC61131-3 标准编程语言, 内容有任务、程序组织单元 (程序、功能块和功能)、数据类型、变量、编程语言 (梯形图、结构文本) 等。介绍了 NJ 的指令系统, 主要讲述了常用指令的功能和使用方法。介绍了自动化平台软件 Sysmac Studio 的使用方法, 如应用 Sysmac Studio 进行系统基本配置、EtherCAT 网络配置等, 进行控制器、运动控制、凸轮数据、任务和数据跟踪等设置; 应用 Sysmac Studio 进行编程和调试。重点介绍了 NJ 的 EtherCAT 通信、运动控制原理、运动控制指令和运动控制功能, 详细地讲述了单轴、轴组运动控制的实现方法, 如单轴速度、定位、齿轮、凸轮等控制, 轴组的直线插补、圆弧插补控制, 同时提供完整的编程实例。最后简要介绍了 NJ 的 EtherNet/IP 网络功能。

OMRON 公司的松井先生、铃木先生、金颖女士对本书的编写给予极大的支持, 提供了

大量的技术资料。崔玉兰女士、周岩先生也提供很大帮助。在此表示诚挚的谢意。

特别感谢 OMRON 公司的张杰先生、王伟先生。在编写过程中参考了张杰先生主编的 NJ 培训教材。编者多次就疑难问题与王伟先生交流，每次都得到了满意的解答。

本书由徐世许任主编，程敏、元志超、刘磊、陈大程、房福胜、徐世伟、吴光强、张德芹、邢迟、徐筱青、季文伟、刘明参加了编写工作。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望得到读者的批评指正。

编者

2013 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 概述 1

1.1 PLC 的产生与发展 1

1.1.1 什么是 PLC 1

1.1.2 PLC 的产生与发展 1

1.1.3 PLC 的发展趋势 2

1.2 PLC 的特点与应用领域 3

1.2.1 PLC 的特点 3

1.2.2 PLC 的应用领域 4

1.3 PLC 的基本组成与各部分的作用 5

1.3.1 PLC 的基本组成 5

1.3.2 PLC 各部分的作用 5

1.4 PLC 的工作原理 10

1.4.1 PLC 的循环扫描工作过程 10

1.4.2 PLC 的 I/O 滞后现象 12

1.5 PLC 的编程语言 13

1.5.1 梯形图 14

1.5.2 语句表 15

1.5.3 功能块 15

1.5.4 结构文本 16

1.6 OMRON PLC 发展概况 17

1.7 OMRON 可编程自动化控制器 19

1.7.1 NJ 的特点 20

1.7.2 使用 NJ 的操作步骤 23

第 2 章 NJ 的硬件与配置 24

2.1 NJ 的硬件 24

2.1.1 NJ 的硬件单元 24

2.1.2 CPU/扩展机架 29

2.2 Sysmac Studio 自动化软件的安装 与使用 31

2.2.1 Sysmac Studio 的规格 31

2.2.2 Sysmac Studio 的安装与卸载 33

2.2.3 创建工程 35

2.2.4 操作视窗 40

2.2.5 命令菜单 44

2.2.6 Sysmac Studio 与控制器的 连接 47

2.3 NJ 的配置和设置 48

2.3.1 EtherCAT 的配置和设置 49

2.3.2 CPU/扩展机架的配置和 设置 51

2.3.3 I/O 映射 58

2.3.4 控制器设置 63

2.3.5 运动控制设置 64

2.3.6 Cam 数据设置 68

2.3.7 任务设置 68

2.3.8 数据跟踪设置 69

第 3 章 NJ 的编程基础 70

3.1 任务 70

3.1.1 任务类型 70

3.1.2 任务的基本操作 71

3.1.3 保证任务间变量取值的一 致性 75

3.1.4 从控制器外部访问变量与 任务执行的同步 77

3.1.5 任务设置 78

3.1.6 与任务相关的指令 81

3.1.7 与任务相关的系统定义变量 81

3.1.8 与任务相关的错误 83

3.1.9 监视任务执行状态和任务 执行时间 84

3.2 程序组织单元 85

3.2.1 程序 85

3.2.2 功能块 86

3.2.3 功能 93

3.3 变量 99

3.3.1 变量的类型 99

3.3.2 应用于 POU 的用户定义 变量的类型 100

3.3.3 变量的属性 100

3.4 数据类型 101

3.4.1 基本数据类型 101

3.4.2 导出数据类型 109

3.4.3 数组 114

| | | | |
|--|------------|--|------------|
| 3.5 编程语言 | 116 | 5.4 离线调试 | 210 |
| 3.5.1 梯形图 | 116 | 5.4.1 程序模拟调试 | 210 |
| 3.5.2 结构文本 | 121 | 5.4.2 离线调试顺序控制和运动 控制程序 | 213 |
| 第4章 NJ 的指令系统 | 133 | 5.4.3 NS 系列 PT 的离线模拟调试 | 213 |
| 4.1 概述 | 133 | 5.5 在线调试 | 213 |
| 4.2 梯形图指令 | 137 | 5.5.1 同步 (自动检验后上载/ 下载) | 214 |
| 4.3 顺序输入指令 | 140 | 5.5.2 同步、传送和检验 EtherCAT 配置 | 216 |
| 4.4 顺序输出指令 | 142 | 5.5.3 同步、传送和 CPU/扩展机架 组件比较 | 216 |
| 4.5 顺序控制指令 | 145 | 5.5.4 测试轴运行 (MC 试 运行) | 216 |
| 4.6 定时器指令 | 150 | 5.5.5 复位控制器 | 216 |
| 4.7 计数器指令 | 154 | 5.6 故障分析 | 216 |
| 4.8 比较指令 | 159 | 第6章 NJ 的 EtherCAT 网络 | 218 |
| 4.9 运算指令 | 163 | 6.1 概述 | 218 |
| 4.10 BCD 转换指令 | 167 | 6.1.1 EtherCAT 特点 | 218 |
| 4.11 数据类型转换指令 | 169 | 6.1.2 NJ 的 EtherCAT 网络配置 | 219 |
| 4.12 位串处理指令 | 171 | 6.1.3 内置 EtherCAT 端口的规范 | 221 |
| 4.13 数据传送指令 | 174 | 6.1.4 EtherCAT 主站、从站的 通信端口 | 222 |
| 4.14 移位指令 | 178 | 6.1.5 EtherCAT 网络拓扑结构 | 223 |
| 第5章 Sysmac Studio 在编程与 调试中的作用 | 182 | 6.1.6 EtherCAT 网络的连接 | 225 |
| 5.1 编程与调试步骤 | 182 | 6.2 EtherCAT 通信机制 | 226 |
| 5.2 编程操作 | 183 | 6.2.1 EtherCAT 通信类型和设置 | 226 |
| 5.2.1 添加梯形图或 ST | 183 | 6.2.2 EtherCAT 通信的实现 | 227 |
| 5.2.2 梯形图编程 | 184 | 6.2.3 EtherCAT 通信的状态转换 | 229 |
| 5.2.3 ST 编程 | 193 | 6.3 EtherCAT 配置与设置 | 230 |
| 5.2.4 查找和替换 | 196 | 6.3.1 EtherCAT 网络操作步骤 | 230 |
| 5.2.5 程序检查 | 196 | 6.3.2 创建 EtherCAT 网络配置 | 232 |
| 5.2.6 编译和重编译 | 197 | 6.3.3 设置 EtherCAT 从站变量 和轴 | 234 |
| 5.3 调试操作 | 198 | 6.3.4 EtherCAT 主站和从站参 数设置 | 239 |
| 5.3.1 模拟器与控制器 | 198 | 6.3.5 EtherCAT 网络配置比较 和合并 | 243 |
| 5.3.2 监视 | 199 | 6.3.6 从 Sysmac Studio 下载网 络配置信息 | 249 |
| 5.3.3 改变当前值、设置/重置、 强制刷新 | 199 | 6.3.7 完成 EtherCAT 配置和设置 后确认通信正常 | 250 |
| 5.3.4 交叉索引窗口 | 201 | 6.4 PDO 通信和 SDO 通信 | 250 |
| 5.3.5 在线编辑 | 202 | | |
| 5.3.6 改变操作模式 | 203 | | |
| 5.3.7 监视控制器状态 | 203 | | |
| 5.3.8 任务执行状态监视 | 204 | | |
| 5.3.9 任务执行时间监视 | 204 | | |
| 5.3.10 轴状态监视 (MC 监 视表) | 206 | | |
| 5.3.11 数据跟踪 | 206 | | |

| | | | | | |
|--------------|------------------------------|------------|--------|-------------------------------|-----|
| 6.4.1 | PDO 通信 | 250 | 7.5.8 | 相对定位 | 301 |
| 6.4.2 | SDO 通信 | 254 | 7.6 | 运动控制编程基础 | 301 |
| 6.4.3 | EtherCAT 通信使用的指令 | 257 | 7.6.1 | 运动控制指令 | 302 |
| 6.5 | EtherCAT 故障诊断 | 257 | 7.6.2 | 状态转换 | 302 |
| 6.5.1 | 查找错误的方法 | 257 | 7.6.3 | 运动控制指令的执行时序 | 304 |
| 6.5.2 | 与 EtherCAT 主站功能模块 相关的错误 | 258 | 7.6.4 | 运动控制指令重新执行时 序图 | 307 |
| 6.5.3 | 复位错误 | 261 | 7.6.5 | 运动控制指令多次执行时 序图 | 307 |
| 6.5.4 | 诊断和统计信息 | 261 | 7.6.6 | 运动控制的系统定义变量 | 308 |
| 6.6 | EtherCAT 其他功能 | 262 | 7.6.7 | 凸轮表和凸轮数据变量 | 309 |
| 6.6.1 | 监视包 | 262 | 7.7 | 单轴运动控制指令 | 311 |
| 6.6.2 | 从站的使能与禁用 | 264 | 7.7.1 | 概述 | 311 |
| 6.6.3 | 从站的断开连接与重新 连接 | 265 | 7.7.2 | 伺服上电指令 MC_Power | 314 |
| 第 7 章 | NJ 的运动控制 | 267 | 7.7.3 | 点动指令 MC_MoveJog | 315 |
| 7.1 | 概述 | 267 | 7.7.4 | 原点返回指令 MC_Home | 316 |
| 7.2 | 运动控制配置与原理 | 269 | 7.7.5 | 运动指令 MC_Move | 318 |
| 7.2.1 | CPU 单元的内部配置 | 269 | 7.7.6 | 伺服停止指令 MC_Stop | 318 |
| 7.2.2 | 运动控制配置 | 270 | 7.7.7 | 速度控制指令 MC_MoveVelocity | 319 |
| 7.2.3 | 运动控制原理 | 270 | 7.7.8 | 启动凸轮操作指令 MC_CamIn | 324 |
| 7.2.4 | EtherCAT 通信和运动控制 | 273 | 7.7.9 | 结束凸轮操作指令 MC_CamOut | 341 |
| 7.3 | 轴 | 275 | 7.7.10 | 启动齿轮操作指令 MC_GearIn | 342 |
| 7.3.1 | 轴简介 | 275 | 7.7.11 | 结束齿轮操作指令 MC_GearOut | 346 |
| 7.3.2 | 轴参数 | 276 | 7.8 | 轴组运动控制指令 | 347 |
| 7.3.3 | 轴参数设置举例 | 284 | 7.8.1 | 概述 | 347 |
| 7.3.4 | 轴变量 | 285 | 7.8.2 | 轴组使能指令 MC_GroupEnable | 348 |
| 7.3.5 | 从 Sysmac Studio 进行轴参数 设置 | 287 | 7.8.3 | 轴组禁用指令 MC_GroupDisable | 348 |
| 7.4 | 轴组 | 287 | 7.8.4 | 轴组停止指令 MC_GroupStop | 349 |
| 7.4.1 | 轴组简介 | 287 | 7.8.5 | 轴组直线插补指令 MC_MoveLinear | 351 |
| 7.4.2 | 轴组参数 | 288 | 7.8.6 | 轴组圆弧插补指令 MC_MoveCircular2D | 360 |
| 7.4.3 | 轴组变量 | 290 | 7.9 | 运动控制功能 | 369 |
| 7.4.4 | 从 Sysmac Studio 进行轴组 参数设置 | 292 | 7.9.1 | 单轴定位控制 | 369 |
| 7.5 | MC 试运行 | 296 | 7.9.2 | 单轴同步控制 | 372 |
| 7.5.1 | MC 试运行功能 | 296 | | | |
| 7.5.2 | 启动 MC 试运行 | 297 | | | |
| 7.5.3 | 监视传感器信号 | 299 | | | |
| 7.5.4 | 检查伺服电动机 ON/OFF 操作 | 300 | | | |
| 7.5.5 | 点动 | 300 | | | |
| 7.5.6 | 原点返回 | 300 | | | |
| 7.5.7 | 绝对定位 | 301 | | | |

| | | | |
|--|-----|---|-----|
| 7.9.3 单轴速度控制 | 373 | 8.1.6 NJ 系列 CPU 单元内置 EIP 端口的特性 | 399 |
| 7.9.4 单轴扭矩控制 | 373 | 8.2 标签数据链接 | 400 |
| 7.9.5 单轴控制的通用功能 | 374 | 8.2.1 标签数据链接规格 | 400 |
| 7.9.6 单轴运动控制指令的重新 执行 | 381 | 8.2.2 标签数据链接的设置 | 402 |
| 7.9.7 单轴运动控制指令的多次 执行 | 383 | 8.2.3 启动和停止数据链接 | 404 |
| 7.9.8 多轴协调控制 | 388 | 8.2.4 控制器状态 | 404 |
| 7.9.9 多轴协调控制的通用功能 | 389 | 8.2.5 标签数据链接数据的并发 | 404 |
| 7.9.10 多轴协调控制运动控制 指令的重新执行 | 390 | 8.3 CIP 信息通信 | 406 |
| 7.9.11 多轴协调控制运动控制 指令的多次执行 | 390 | 8.3.1 概述 | 406 |
| 7.9.12 多轴协调控制运动控制 指令的过渡模式 | 391 | 8.3.2 CIP 通信指令 | 407 |
| 第 8 章 NJ 的 EtherNet/IP 网络 | 394 | 8.3.3 CIP 通信指令的使用 | 408 |
| 8.1 概述 | 394 | 8.3.4 路由路径 | 409 |
| 8.1.1 内置 EtherNet/IP 端口的 地址 | 396 | 8.4 其他通信服务 | 412 |
| 8.1.2 内置 EtherNet/IP 端口的 指示灯 | 396 | 8.4.1 Socket 服务 | 412 |
| 8.1.3 EtherNet/IP 网络的连接 | 397 | 8.4.2 FTP 服务 | 413 |
| 8.1.4 与内置 EIP 端口相关的 系统定义变量 | 398 | 8.4.3 自动时钟调整 (NTP 服务) | 415 |
| 8.1.5 内置 EtherNet/IP 端口的 设置 | 399 | 8.4.4 SNMP 服务 | 416 |
| | | 8.4.5 BOOTP 客户端 | 418 |
| | | 8.4.6 IP 路由表 | 418 |
| | | 8.4.7 HOST 名指定 | 419 |
| | | 8.4.8 FINS 通信 | 419 |
| | | 8.4.9 NJ 控制器与 NS 触摸屏通信 | 420 |
| | | 8.4.10 NJ 控制器与 CJ PLC 的 EtherNet/IP 通信 | 421 |
| | | 参考文献 | 422 |

第 1 章 概 述

1.1 PLC 的产生与发展

1.1.1 什么是 PLC

PLC 是一种以计算机 (微处理器) 为核心的通用工业控制装置, 目前已被广泛地应用于工业生产的各个领域。早期的 PLC 只能进行开关量的逻辑控制, 被称为可编程序逻辑控制器。现代 PLC 采用微处理器 (Microprocessor) 作为中央处理单元, 其功能大大增强, 它不仅具有逻辑控制功能, 还具有过程控制、运动控制和通信联网等功能, PLC 这一名称已不能准确地反映它的特性, 于是, 人们将其称为可编程序控制器 Programmable Controller, 简称 PC。但近年来个人计算机 (Personal Computer) 也简称 PC, 为了避免混淆, 可编程序控制器常被称为 PLC。

1987 年, 国际电工委员会 (IEC) 在其颁布的 PLC 标准草案第三稿中, 对 PLC 定义如下: PLC 是一种数字运算操作的电子系统, 专为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, 控制各种机械或生产过程。PLC 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。

现代 PLC 的功能已远远超出上述定义的范围。近年来, PLC 的发展异常迅猛, 产品更新换代的速度明显加快, 功能日益增强, 应用领域愈加广泛。PLC 已成为实现工业自动化的一种强有力工具。

1.1.2 PLC 的产生与发展

在 PLC 出现之前, 机械控制及工业生产控制是用工业继电器实现的。在一个复杂的控制系统中, 可能要使用成百上千个各式各样的继电器, 接线、安装的工作量很大。如果控制工艺及要求发生变化, 控制柜内的元件和接线也需要做相应的改动, 但是这种改动往往费用高、工期长, 以至于有的用户宁愿扔掉旧的控制柜, 去制作一台新的控制柜。在一个复杂的继电器控制系统中, 如果有一个继电器损坏, 甚至某一个继电器的某一对触点接触不良, 都会导致整个系统工作不正常, 由于元件多、线路复杂, 查找和排除故障往往很困难。继电器控制的这些固有缺点, 给日新月异的工业生产带来了不可逾越的障碍。由此, 人们产生了一种寻求新型控制装置的想法。

1968 年, 美国最大的汽车制造厂家通用汽车公司 (GM 公司) 为了适应汽车型号不断翻新的要求, 提出如下设想: 能否把计算机功能完备、灵活、通用等优点和继电器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来, 做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, 用面向过程、面向问题的“自然语言”编程, 使不熟悉

计算机的人也能方便地使用。这样，使用人员不必在编程上花费大量的精力，而是集中力量去考虑如何发挥该装置的功能和作用。这一设想提出后，美国数字设备公司 (DEC 公司) 首先响应，于 1969 年研制出了世界上第一台 PLC，型号为 PDP-14。用它代替传统的继电器控制系统，在美国 GM 公司的汽车自动装配线上试用获得了成功。

此后，这项新技术就迅速发展起来。1971 年日本从美国引进了这项新技术，很快就研制出了日本第一台 PLC (DSC-8)。1973 ~ 1974 年，原西德和法国也研制出自己的 PLC。我国从 1974 年开始研制，1977 年研制成功了以一位微处理器 MC14500 为核心的 PLC，并开始工业应用。

PLC 自产生以来，随着大规模集成电路和微处理器技术的发展，一直在不断地更新换代。现代 PLC 全面使用 16 位、32 位的微处理器芯片，位片式微处理器、精简指令系统微处理器 (RISC) 等高性能、高速度的 CPU，极大地提高了 PLC 的工作性能、速度和可靠性；同时由于大量含有微处理器的智能模块的出现，使现代 PLC 不仅具有逻辑控制，还同时具有过程控制、运动控制、数据处理、通信联网等诸多功能，真正成为名副其实的多功能控制器。

1.1.3 PLC 的发展趋势

随着微处理技术的发展，PLC 也得到了迅速发展，其技术和产品日趋完善。它不仅以其良好的性能满足了工业生产的广泛需要，而且将通信技术和信息处理技术融为一体，使其功能更加完备。目前，为了适应大中小型企业不同需要，进一步扩大 PLC 在工业自动化领域的应用范围，PLC 正朝着以下 3 个方向发展：其一是小型 PLC 向体积缩小、功能增强、速度加快、价格低廉的方向发展，使之能更加广泛地取代继电器控制；其二是大中型 PLC 向大容量、高可靠性、高速度、多功能、网络化的方向发展，使之能对大规模、复杂系统进行综合性的自动控制；其三是各种专业化的 PLC 不断涌现，如安全型 PLC、运动控制 PLC、过程控制 PLC、软 PLC 等。总的趋势是：

1. CPU 处理速度进一步加快

PLC 的 CPU 使用 64bit RISC 芯片，多 CPU 并行处理或分时处理或分任务处理，各种模块智能化，部分系统程序用门阵列电路固化，以加快处理速度。近年来出现采用计算机先进微处理器的新型控制器，其性能和功能较之传统的 PLC 全面跃升，这种新型控制器称为可编程自动化控制器 (Programmable Automation Controller, PAC)。

2. 控制系统将分散化

根据分散控制、集中管理的原则，PLC 控制系统的 I/O 模块将直接安装在控制现场，通过通信电缆或光缆与主 CPU 进行数据通信。这样使控制更有效，系统更可靠。

3. 可靠性进一步提高

随着 PLC 进入过程控制领域，对可靠性的要求进一步提高。硬件冗余的容错技术将进一步应用。不仅会有 CPU 单元冗余、通信单元冗余、电源单元冗余、I/O 单元冗余，甚至会有整个系统冗余。

4. 控制与管理功能一体化

为了满足现代化大生产的控制与管理的需要。PLC 将广泛采用计算机信息处理技术、网络通信技术和图形显示技术，使 PLC 系统的生产控制功能和信息管理功能融为一体。

1.2 PLC 的特点与应用领域

1.2.1 PLC 的特点

PLC 的诞生给工业控制带来了一次革命性的飞跃,与继电器、微机控制相比,PLC 有它独特之处,下面来看一下 PLC 的特点。

1. 可靠性高、抗干扰能力强

对工业控制器件来讲,可靠性是一个非常重要的指标,如何能在各种恶劣的工业环境和条件(如电磁干扰、低温潮湿、灰尘、超高温等)下,平稳、可靠地工作,将故障率降至最低,是研制每一种控制器件必须考虑的问题。

PLC 采用的是微电子技术,大量的开关动作是由无触点的半导体电路来完成的,因此不会出现继电器控制系统中的接线老化、脱焊、触点电弧等现象,提高了可靠性。另外,PLC 还在硬件和软件两方面采取了许多有力措施来提高其可靠性。

PLC 具有很高的可靠性和抗干扰能力,因此被称为“专为适应恶劣工业环境而设计的计算机”。

2. 灵活、通用

在继电器控制系统中,使用的控制器件是大量的继电器,整个系统是根据设计好的电气控制图,由人工通过布线、焊接、固定等手段组装完成的,其过程费时、费力。如果因为工艺上的稍许变化,需要改变电气控制系统的话,那么原先的整个电气控制系统将被全部拆除,而重新进行布线、焊接、固定等工作,耗费了大量的人力、物力和时间。而 PLC 是通过存储在存储器中的程序实现控制功能的,如果控制功能需要改变的话,只需要修改程序以及改动极少量的接线即可。而且,同一台 PLC 还可以用于不同的控制对象,改变软件就可以实现不同的控制要求,因此具有很大的灵活性、通用性。PLC 有多种功能模块,可以根据需要灵活组合成各种不同功能的控制装置,实现各种特殊的控制要求。

3. 编程简单、使用方便

用微机实现控制,使用的是汇编语言,难于掌握,要求使用者具有一定水平的计算机硬件和软件知识。而 PLC 采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”编程,容易掌握。例如目前大多数 PLC 采用的梯形图语言编程方式,既继承了继电器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,很容易被电气技术人员所接受。PLC 易于编程,程序改变时也容易修改,灵活方便。这种面向控制过程、面向问题的编程方式,与目前微机控制常用的汇编语言相比,虽然在 PLC 内部增加了解释程序,增加了程序执行时间,但对大多数的机电控制设备来说,PLC 的控制速度是足够快的。

用微机控制,还要在输入、输出接口上做大量工作,才能与控制现场连接起来,调试也比较繁琐。而 PLC 的输入、输出接口已经做好,可直接与控制现场的用户设备连接。输入接口可以与各种开关和传感器连接,输出接口具有较强的驱动能力,可以直接与继电器、接触器、电磁阀等连接,使用很方便。

4. 接线简单

PLC 的接线只需将输入设备(如按钮、开关等)与 PLC 输入端子连接,将输出设备(如

接触器、电磁阀等) 与 PLC 输出端子连接。接线工具仅为螺钉旋具, 接线工作极其简单、工作量极少。

5. 功能强

现代 PLC 不仅具有条件控制、计时、计数、步进等控制功能, 而且还能完成 A-D、D-A 转换、数字运算和数据处理以及通信联网、生产过程监控等。因此, 它既可对开关量进行控制, 又可对模拟量进行控制; 既可控制一台单机、一条生产线, 又可控制一个机群, 多条生产线; 既可现场控制, 又可远距离控制; 既可控制简单系统, 又可控制复杂系统。

6. 体积小、重量轻、易于实现机电一体化

由于 PLC 采用半导体集成电路, 因此具有体积小、重量轻、功耗低的特点。且由于 PLC 是专为工业控制而设计的专用计算机, 其结构紧凑、坚固耐用、体积小巧, 并由于具备很强的可靠性和抗干扰能力, 使之易于装入机械设备内部, 因而成为实现机电一体化十分理想的控制设备。

1.2.2 PLC 的应用领域

1. 开关量的逻辑控制

开关量的逻辑控制是 PLC 最基本的控制功能。所控制的逻辑可以是各种各样的: 时序的、组合的、延时的、计数的、不计数的等。控制的输入、输出点数可以不受限制。少则十点、几十点, 多则成千上万点, 并可通过联网来实现控制。

用 PLC 进行开关量控制的实例很多, 冶金、机械、纺织、轻工、化工等, 几乎所有工业行业都需用到它。目前, PLC 首用的目标, 就是用于开关量的控制。

2. 模拟量的闭环控制

PLC 具有 A-D、D-A 转换及算术运算等功能, 因此可以实现模拟量控制。有的 PLC 还具有 PID 控制或模糊控制的功能, 可用于闭环的位置控制、速度控制和过程控制。目前, 除大型机、中型机具有此功能外, 小型机也普遍具有这种功能。

3. 数字量的智能控制

利用 PLC 能接收和输出高速脉冲的功能, 再配备相应的传感器 (如旋转编码器) 或脉冲伺服装置 (如环型分配器、功放、步进电动机) 就能实现数字量的智能控制。较高级的还专门开发了位控单元模块、运动单元模块等, 实现曲线插补。新开发的运动单元, 还认识数控技术的编程语言, 为 PLC 进行数字量控制提供了方便。

4. 数据采集与监控

PLC 在控制现场实行控制, 把现场的数据实时显示出来或采集保存下来, 供进一步分析研究是很重要的。较普遍使用的是 PLC 加上触摸屏, 可随时观察采集下来的数据及统计分析结果。有的 PLC 本身就具有数据记录单元, 可使用一般的便携式计算机的存储卡, 插入该单元中即可保存采集到的数据。

利用 PLC 自检信号多的特点实现自诊断式的监控, 减少系统的故障, 提高累计平均无故障运行时间, 同时可减少故障修复时间, 提高系统的可靠性。

5. 通信、联网及集散控制

PLC 的通信联网能力很强。除了 PLC 与 PLC 之间通信和联网以外, PLC 还可以与计算机进行通信和联网, 由计算机来实现对其编程和管理。PLC 也能与智能仪表、智能执行装置

(如变频器)进行通信和联网,互相交换数据并实施对其的控制。

利用 PLC 强大的通信联网功能,把 PLC 分布到控制现场,并实现各站间的通信,上、下层间的通信,达到分散控制、集中管理,即构成了现在的 PCS 系统。

1.3 PLC 的基本组成与各部分的作用

1.3.1 PLC 的基本组成

PLC 是一种通用的工业控制装置,其组成与一般的微机系统基本相同。按结构形式的不同,PLC 可分为整体式和组合式两类。

整体式 PLC 是将中央处理单元 (CPU)、存储器、输入单元、输出单元、电源、通信接口等组装成一体,构成主机。另外,还有独立的 I/O 扩展单元与主机配合使用。在主机中,CPU 是 PLC 的核心,I/O 单元是连接 CPU 与现场设备之间的接口电路,通信接口用于 PLC 与编程器和上位机等外部设备的连接。整体式 PLC 的特点是结构紧凑、体积小、重量轻、价格低、输入/输出点数固定、实现的功能和控制规模固定,灵活性较低。小型 PLC 常采用这种结构,适用于工业生产中的单机控制。

组合式(模块式) PLC 为总线结构,其总线做成总线板,上面有若干个总线槽,每个总线槽上可安装一个 PLC 模块,不同的模块实现不同的功能。PLC 的 CPU、存储器做成一个模块(有的把电源也做在上面),该模块在总线上的安装位置一般来说是固定的。其它的模块可根据 PLC 的控制规模、实现的功能选用,安装在总线板的其它任一总线槽上。组合式 PLC 安装完成后,需进行登记,使 PLC 对安装在总线上的各模块进行地址确认。组合式 PLC 的总线板又称底板。装有 CPU 单元的底板称为 CPU 底板,其它称为扩展底板。CPU 底板与扩展底板之间通过电缆连接,距离一般不超过 10m。组合式 PLC 的特点是:系统配置灵活,可构成具有不同控制规模和功能的 PLC,但它的价格较高。一般大、中型 PLC 采用这种结构。

无论哪种结构类型的 PLC,都可根据需要进行配置与组合。例如 OMRON CPM1A 型 PLC 为整体式结构,通过主机连接 I/O 扩展单元,I/O 点数可在 10~160 点的范围内进行配置。组合式 PLC 则在 I/O 配置上更方便、更灵活。

图 1-1 所示为整体式 PLC 的组成示意图,图 1-2 所示为组合式 PLC 的组成示意图。

1.3.2 PLC 各部分的作用

1. 中央处理单元 (CPU)

CPU 在 PLC 中的作用类似于人体的神经中枢,它是 PLC 的运算、控制中心。它按照系统程序所赋予的功能,完成以下任务:

- 1) 接收并存储从编程器输入的用户程序和数据。
- 2) 诊断电源、PLC 内部电路的工作状态和编程的语法错误。
- 3) 用扫描的方式接收输入信号,送入 PLC 的数据寄存器保存起来。

4) PLC 进入运行状态后,根据存放的先后顺序逐条读取用户程序,进行解释和执行,完成用户程序中规定的各种操作。

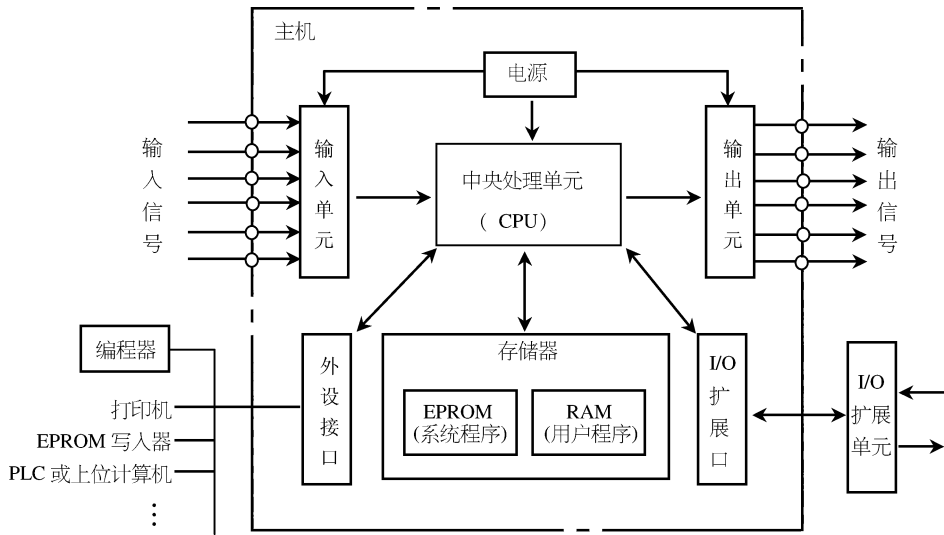


图 1-1 整体式 PLC 的组成示意图

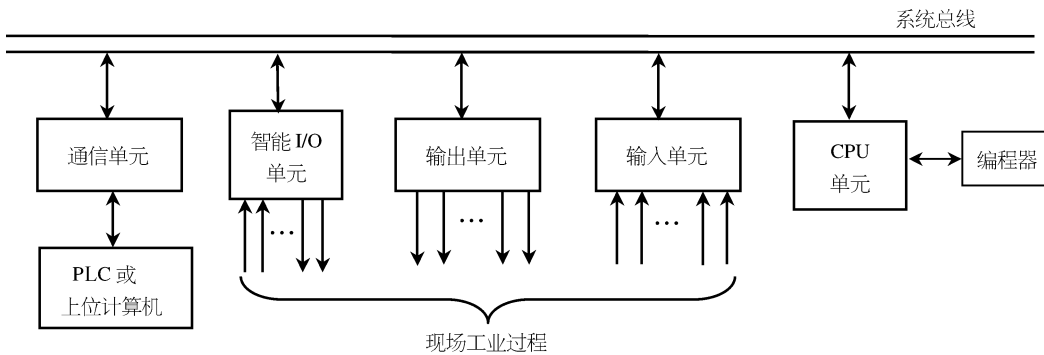


图 1-2 组合式 PLC 的组成示意图

5) 将用户程序的执行结果送至输出端。

现代 PLC 使用的 CPU 主要有以下几种：

1) 通用微处理器，如 8080、6800、Z80A、8086 等。通用微处理器的价格便宜，通用性强，还可以借用微机成熟的实时操作系统、丰富的软硬件资源。

2) 单片机，如 8051 等。由于单片机集成度高、体积小、价格低和可扩充性好，很适合在小型 PLC 上使用，也广泛用于 PLC 的智能 I/O 模块。

3) 位片式微处理器，如 AMD2900 系列等。位片式微处理器是独立于微型机的另一分支。它主要追求运算速度快，它以 4 位为一片，用几个位片级联，可以组成任意字长的微处理器。改变微程序存储器的内容，可以改变计算机的指令系统。位片式结构可以使用多个微处理器，将控制任务划分为若干个可以并行处理的部分，几个微处理器同时进行处理。这种高运算速度与可以适应用户需要的指令系统相结合，很适用于以顺序扫描方式工作的 PLC 使用。

2. 存储器

根据存储器在系统中的作用，可以把它分为以下三种：

1) 系统程序存储器：和各种计算机一样，PLC 也有其固定的监控程序、解释程序，它们决定了 PLC 的功能，称为系统程序，系统程序存储器就是用来存放这部分程序的。系统程序是不能由用户更改的，故所使用的存储器为只读存储器 ROM 或 EPROM。

2) 用户程序存储器：用户根据控制功能要求而编制的应用程序称为用户程序，用户程序存放在用户程序存储器中。由于用户程序需要经常改动、调试，故用户程序存储器多为可随时读写的 RAM。由于 RAM 掉电会丢失数据，因此使用 RAM 作用户程序存储器的 PLC，都有后备电池（锂电池）保护 RAM，以免电源掉电时，丢失用户程序。当用户程序调试修改完毕，不希望被随意改动时，可将用户程序写入 EPROM。目前较先进的 PLC（如欧姆龙公司的 CPM1A 型 PLC）采用快闪存储器作用户程序存储器，快闪存储器可随时读写，掉电时数据不会丢失，不需用后备电池保护。

3) 工作数据存储器：工作数据是经常变化、经常存取的一些数据。这部分数据存储在 RAM 中，以适应随机存取的要求。在 PLC 的工作数据存储器区，开辟有元件映像寄存器和数据表。

元件映像寄存器用来存储 PLC 的开关量输入/输出和定时器、计数器、辅助继电器等内部继电器的 ON/OFF 状态。

数据表用来存放各种数据，它的标准格式是每一个数据占一个字。它存储用户程序执行时的某些可变参数值，如定时器和计数器的当前值和设定值。它还用来存放 A-D 转换得到的数字和数学运算的结果等。

根据需要，部分数据在停电时用后备电池维持其当前值，在停电时可以保持数据的存储器区域称为数据保持区。

3. I/O 单元

I/O 单元也称为 I/O 模块。PLC 通过 I/O 单元与工业生产过程现场相联系。输入单元接收操作指令和现场的状态信息，如控制按钮、操作开关和限位开关、光电管、继电器触点、行程开关、接近开关等信号，并通过输入电路的滤波、光电隔离和电平转换等将这些信号转换成 CPU 能够接收和处理的信号。输出单元将 CPU 送出的弱电控制信号通过输出电路的光电隔离和功率放大等转换成现场需要的强电信号输出，以驱动接触器、电磁阀、电磁铁等执行元件。

I/O 单元有多种类型，但各种 I/O 单元的原理基本相同。下面介绍几种常用的 I/O 单元，并说明其工作原理。

(1) 开关量输入单元

PLC 的开关量输入单元按照输入端电源类型的不同，分为直流输入单元和交流输入单元。

图 1-3 所示为直流输入单元。直流输入单元外接直流电源，电路如图 1-3 所示，虚线框内为 PLC 内部输入电路，框外左侧为外部用户接线，图中只画出对应于一个输入点的输入电路，各个输入点所对应的输入电路均相同。图中，T 为光耦合器，它是将发光二极管与光电晶体管封装在一个管壳中，当二极管中有电流流过时，二极管发光，使光电晶体管导通；当二极管中无电流流过时，晶体管不导通。发光二极管 LED 指示该点输入状态。 R_1 为限流电阻， R_2 和 C 构成滤波电路，可滤除输入信号中的高频抖动。输入单元的外接直流电源的极性任意。当 S 闭合时，光耦合器导通，A 点为高电平，经滤波器、输入选择器后，送到 I/O 总线，CPU 访问该路信号时，将该点对应的输入映像寄存器状态置 1；发光二极管 LED 点

亮，指示输入开关处于接通状态。当 S 断开时，光耦合器不导通，A 点为低电平，该电平经滤波电路、输入选择器后，送到 I/O 总线，CPU 访问该路信号时，将该点对应的输入映像寄存器状态置 0；发光二极管 LED 不亮，指示输入开关处于断开状态。

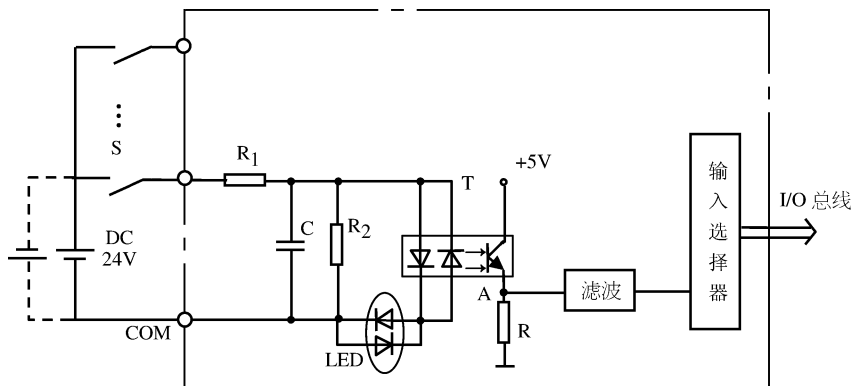


图 1-3 直流输入单元

有的直流输入单元不需要外接电源，称为无源式输入单元。无源式输入单元的内部提供 24V 直流电源，用户只需将开关接在输入端子和公共端子之间即可，不用再外接电源，简化了输入端的接线。

在图 1-3 所示的输入电路中，输入端子有一个公共端子 COM，即有一个公共汇集点，因此称为汇点式输入方式。除此之外，输入单元还有分组式和分隔式。分组式输入单元的输入端子分为若干组，每组共用一个公共端子和一个电源。分隔式输入单元的输入端子互相隔离，互不影响，各自使用独立的电源。

(2) 开关量输出单元

PLC 的开关量输出单元按输出电路所用开关器件的不同可分为晶体管输出单元、晶闸管输出单元、继电器输出单元。

图 1-4 所示为晶体管输出单元。在晶体管输出单元中，输出电路采用晶体管作为开关器件，虚线框内为 PLC 内部输出电路，框外右侧为外部用户接线。图中只画出对应于一个输出点的输出电路，各个输出点所对应的输出电路均相同。图中，LED 为输出指示灯，VT 为输出晶体管，VD₂ 为负载续流二极管，VD₁ 为保护二极管，FU 为熔断器。工作原理如下：当对应于 VT 的内部继电器的状态为 1 时，CPU 通过 I/O 总线使输出锁存器对应的位为高电平，LED 点亮，指示该输出点开关量为 1 状态；光耦合器导通，晶体管 VT 饱和导通，负载得电。反之，当对应于 VT 的内部继电器的状态为 0 时，CPU 通过 I/O 总线使输出锁存器对应的位为低电平，LED 不亮，指示该输出点开关量为 0 状态；光耦合器截止，晶体管 VT 截止，负载失电，并通过续流二极管 VD₂ 释放能量。

晶体管开关量输出单元为无触点输出，使用寿命长，响应速度快。

4. 智能单元

PLC 除开关量 I/O 基本单元外，还有多种智能单元。智能单元本身是一个独立的计算机系统，它有自己的 CPU、系统程序、存储器，以及与外界过程相连的接口。另外，根据单元的功能还有一些特殊组成部分。智能单元是 PLC 系统的一个模块，和 CPU 单元通过系统