

可编程序控制器原理及应用系列丛书

# 可编程序控制器 过程控制技术

■ 曹辉 霍罡 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



可编程序控制器原理及应用系列丛书

# 可编程序控制器 过程控制技术

曹 辉 霍 昱 编著



机械工业出版社

本书是“可编程序控制器原理及应用系列丛书”之一。本书以欧姆龙公司的 CS1 系列可编程序控制器 (PLC) 为例, 紧密结合作者多年的教学与工程实践经验, 引用典型实例详细介绍了基于 PLC 的新型过程控制技术, 内容涵盖了过程控制技术的最新趋势、典型模拟量接口单元、数字滤波、量程变换和控制算法, 以及回路控制器 (板) 及其组态软件的应用技术。

本书巧妙地将理论要点贯穿于实例中, 力求理论与实践的统一, 是一部以基于 PLC 的新型过程控制技术为主要内容的、工程性较强的应用类图书, 可作为大专院校电气工程及自动化、计算机控制技术等相关专业的教材, 也可供工程技术人员自学和作为培训教材使用, 对 OMRON PLC 的用户具有很大的参考价值。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

可编程序控制器过程控制技术 / 曹辉, 霍罡编著. —北京: 机械工业出版社, 2005.11

(可编程序控制器原理及应用系列丛书)

ISBN 7-111-17609-X

I. 可... II. ①曹... ②霍... III. 可编程序控制器—过程控制 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 122244 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: 贡克勤

责任编辑: 贡克勤 版式设计: 冉晓华 责任校对: 刘秀芝

封面设计: 王伟光 责任印制: 杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32 • 6.75 印张 • 177 千字

定价: 14.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68326294  
封面无防伪标均为盗版

## 可编程序控制器原理及应用系列丛书

### 编 审 委 员 会

- |          |       |                         |
|----------|-------|-------------------------|
| 总策划：周 琰  | 工程师   | 中国电工技术学会工业自动化高技能人才培养部主任 |
| 主 编：阮于东  | 教授级高工 | 上海电器科学研究所               |
| 副主编：江龙康  | 高工    | 中国自动化学会电气自动化专业委员会副主任委员  |
|          |       | ODVA China 执委会主席        |
|          |       | 上海电器科学研究所               |
|          |       | 欧姆龙自动化(中国)统辖集团          |
| 主 审：欧阳沪群 | 高工    |                         |
| 编审委员会成员： |       |                         |
| 戴一平      |       | 浙江机电职业技术学院              |
| 叶竹范      |       | 上海电器科学研究所               |
| 贡克勤      |       | 机械工业出版社                 |
| 彭 涛、朱妙其  |       |                         |
| 王崇韞、程国平  |       | 欧姆龙自动化(中国)统辖集团          |
| 李春磊、裴军明  |       |                         |
| 董燕霞、陈建瓴  |       |                         |

编审委员会联系方式：csplc@126.com （邮箱）  
021-50372222\*1841 （电话）

# 序

工业化任务尚未完成的中国，又面临信息化时代的即将到来。工业化与信息化的并行，决定了中国只能走新型工业化道路，以信息化提升工业化，以工业化促进信息化。信息化、工业化的共同任务是提高工业化的效率、效益，减少环境污染，降低资源消耗，从而加速工业化的进程；同时，工业化对信息化是一种巨大的需求拉动，促进了经济、社会各方面实现信息化。信息化和工业化的一个交汇点，即信息技术在工业领域，尤其是制造业的广泛应用，以信息技术提高制造业的自动化、智能化，促进制造业产业升级。计算机技术、自动控制技术和网络通信技术则是对制造业的提升具有十分重要作用的信息技术。

近些年来，我国制造业通过信息技术的应用，大力推进制造业信息化，使制造业的快速响应市场能力、研究开发能力、企业管理水平有了较大提高。为了取得制造业信息化的应有效果，从我国制造业企业的实际出发，要突出强调从信息化的底层做起，即把产品智能化、数字化，设计数字化，生产过程自动化、智能化放在重要位置来抓，并做好基础管理工作，在此基础上，进一步做好管理数字化和产业层次的信息化。

可编程序控制器（PLC）是 20 世纪 60 年代以来发展极为迅速的一种新型工业控制装置。现代 PLC 综合了计算机技术、自动控制技术和网络通信技术，其功能已十分强大，超出了原先概念的 PLC，应用越来越广泛、深入，已进入到系统的过程控制、运动控制、通信网络、人机交互等领域。系统了解 PLC 的技术原理、软件编程、应用示例、发展趋势，已是广大工程技术人员、院校师生、技术管理人员的迫切愿望。在 OMRON 公司的大力支持下，由多所高等学校教师和长期从事 PLC 应用研究人员共同编写的

“可编程序控制器原理及应用系列丛书”将能满足这一愿望和要求。

相信这套系统原理完善、涵盖知识全面、应用内容丰富的丛书，将为关心、了解、应用 PLC 的人们所喜爱，也将为推广应用 PLC，推进制造业信息化做出应有的贡献。

中国机械工业联合会执行副会长

中国机械工程学会副理事长 朱森第

中国机电一体化技术协会理事长

2005 年 5 月 11 日于北京

# 前 言

本书系“可编程序控制器原理及应用系列丛书”之一，全套丛书共五分册，读者可按实际需要选择不同分册进行阅读。

《可编程序控制器原理及逻辑控制》

《可编程序控制器过程控制技术》

《可编程序控制器运动控制技术》

《可编程序控制器通信与网络》

《触摸式可编程终端》

可编程序控制器（PLC）是综合了计算机技术、自动化控制技术和通信技术的一种新型的、通用的自动控制装置。它具有功能强、可靠性高、操作灵活、编程简便以及适合于工业环境等一系列优点，在工业自动化、过程控制、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三大支柱之一。

近年来，随着 PLC 功能的日益强大，对模拟量控制的手段日渐丰富和成熟，欧姆龙（OMRON）公司推出了基于 PLC 的、功能更加灵活的过程控制系统。该系统的结构特点是在 PLC 硬件系统上增加了过程模拟量 I/O 单元和回路控制器（或回路控制板），前者是将生产现场的各种标准模拟量信号直接接入相应单元进行 A/D、D/A 转换，并与 CPU 之间实现数据交换；后者独立于 CPU，按照用户编写的流程图式的组态程序与模拟量单元配合实现 PID 回路控制功能。这种基于 PLC 的过程控制系统集顺序控制和过程控制于一身，成本低、体积小、编程简便、功能模块丰富、操控性强，是一种新型的通用过程控制系统。为了将该系统的技术亮点及时地呈献给广大专业读者，本着深入浅出、易学易用的原则，以欧姆龙 CS 系列 PLC 为参照机型，引用了大量的编程实例编写

了本书。

在编写过程中,编者摒弃了传统上“理论在先,举例在后”的模式,独树一帜地将理论要点贯穿于各章节的实例中,实现了理论与实践的紧密结合,并力求做到语言精练、阐述清晰、方案可行、数据可考,精选的实例随各章内容从简至繁,循序渐进;从单元的硬件配置到系统的编程组态,由点及面,逐层深入。编者充分顾及了自学者的学习方式,采用的综合实例对工程实践具有较好的参考价值。

全书共分6章。第1章主要介绍了过程控制技术的发展现状及PLC在过程控制领域的应用;第2章介绍了PLC的模拟量接口单元的工作原理及应用实例;第3章介绍基于PLC的数字滤波、量程变换及PID等过程控制算法;第4章介绍了基于CS1 PLC的回路控制技术及组态软件的应用;第5、6章分别结合综合性实例讲解利用梯形图中的PID算法指令和基于CS1系统的回路控制板解决实际过程控制问题的方法及技巧。

本书由曹辉、霍昱编写。书中第1、2、4、6章由霍昱执笔;第3、5章由曹辉执笔;全书由曹辉统稿和定稿;霍昱负责校稿。

中国机械工业联合会执行副会长、中国机械工程学会副理事长、机电一体化协会理事长朱森第教授精心为丛书撰写了序,在此谨致以衷心感谢和诚挚敬意!

本书部分章节的编写参考了有关资料(见参考文献),在此对这些同志和参考文献的作者一并致以衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中错漏之处难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2005年5月

E-mail:bjcao\_hui@163.com



# 目 录

## 序

## 前言

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 过程控制系统概述              | 1  |
| 1.1 过程控制的发展概况及特点            | 1  |
| 1.2 典型过程控制系统的概况及特点          | 4  |
| 1.3 可编程序控制器在过程控制系统中的应用      | 12 |
| 思考题                         | 14 |
| 第 2 章 可编程序控制器模拟量接口技术        | 15 |
| 2.1 模拟量输入                   | 15 |
| 2.1.1 CS1W-AD081-V1 单元的工作原理 | 16 |
| 2.1.2 CS1W-AD081-V1 单元应用实例  | 17 |
| 2.2 模拟量输出                   | 36 |
| 2.2.1 CS1W-DA08C 单元的工作原理    | 36 |
| 2.2.2 CS1W-DA08C 单元应用实例     | 38 |
| 2.3 温度信号采集技术                | 44 |
| 2.3.1 CS1W-PTS02 单元的工作原理    | 45 |
| 2.3.2 CS1W-PTS02 单元应用实例     | 52 |
| 2.4 模拟量接口设备的选型              | 66 |
| 2.4.1 模拟量接口设备总览             | 66 |
| 2.4.2 模拟量接口设备选型示例           | 68 |
| 思考题                         | 70 |
| 第 3 章 可编程序控制器控制算法           | 72 |
| 3.1 数字滤波                    | 72 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 3.1.1 限幅滤波                      | 72         |
| 3.1.2 中值滤波                      | 75         |
| 3.1.3 算术平均值滤波                   | 79         |
| 3.1.4 加权平均值滤波                   | 83         |
| 3.1.5 滑动平均值滤波                   | 85         |
| 3.1.6 复合滤波                      | 88         |
| 3.2 量程变换                        | 91         |
| 3.3 PID 控制算法                    | 96         |
| 3.3.1 二自由度 PID 控制算法             | 96         |
| 3.3.2 变积分 PID 控制算法              | 110        |
| 3.3.3 带死区的 PID 控制算法             | 113        |
| 3.3.4 自整定 PID 控制算法              | 115        |
| 思考题                             | 118        |
| <b>第 4 章 可编程序控制器多回路控制技术</b>     | <b>119</b> |
| 4.1 PLC 回路控制方案概述                | 119        |
| 4.2 基于 CS1 PLC 的过程控制系统          | 122        |
| 4.2.1 工作原理及功能概述                 | 122        |
| 4.2.2 硬件结构及安装                   | 125        |
| 4.3 组态软件 CX-Process Tool 的应用    | 129        |
| 4.3.1 软件功能概述                    | 130        |
| 4.3.2 CX-Process Tool 编程实例      | 131        |
| 思考题                             | 156        |
| <b>第 5 章 基于 PLC 的聚合反应工艺控制技术</b> | <b>157</b> |
| 5.1 聚合反应工艺简述                    | 157        |
| 5.1.1 工艺说明                      | 157        |
| 5.1.2 工艺控制流程                    | 157        |
| 5.1.3 参数表                       | 159        |
| 5.2 控制系统硬件配置及 I/O 分配            | 160        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 5.2.1 硬件配置                      | 160        |
| 5.2.2 开关量 I/O 表                 | 161        |
| 5.2.3 模拟量参数表                    | 163        |
| 5.3 控制系统软件流程及工作原理               | 166        |
| 5.3.1 控制系统软件流程                  | 166        |
| 5.3.2 温度串级调节回路工作原理              | 168        |
| 5.4 梯形图程序及 PID 参数设置             | 170        |
| <b>第 6 章 基于 PLC 的乙醇精馏工艺控制系统</b> | <b>178</b> |
| 6.1 乙醇精馏工艺简述                    | 178        |
| 6.1.1 工艺控制流程及说明                 | 178        |
| 6.1.2 参数表                       | 180        |
| 6.2 控制系统硬件配置及 I/O 分配            | 181        |
| 6.2.1 硬件配置                      | 181        |
| 6.2.2 开关量 I/O 表                 | 181        |
| 6.2.3 模拟量 I/O 表                 | 183        |
| 6.3 控制系统软件流程及工作原理               | 188        |
| 6.3.1 控制系统软件流程                  | 188        |
| 6.3.2 精馏塔多回路控制工作原理              | 190        |
| 6.4 LCB 控制组态程序及 PID 参数设置        | 192        |
| <b>参考文献</b>                     | <b>203</b> |

# 第 1 章

## 过程控制系统概述



### 1.1 过程控制的发展概况及特点

自动控制技术在工业、农业、国防和科学技术现代化中起着十分重要的作用，自动控制水平的高低也是衡量一个国家科学技术先进与否的重要标志之一。随着国民经济和国防建设的发展，自动控制技术的应用日益广泛，其重要作用也越来越显著。

生产过程自动控制（简称过程控制）是自动控制技术在石油、化工、电力、冶金、机械、轻工、纺织、制药等生产过程的具体应用，是自动化技术的重要组成部分。进入 21 世纪，随着自动化技术、计算机技术、通信技术的迅猛发展，过程控制发生了深刻的变革，正在向着数字化、网络化和综合自动化方向发展，在实现各种最优控制和经济指标、保证生产的质量和产量、提高经济效益和劳动生产率、节约能源、改善劳动条件、保证生产安全、保护环境等方面发挥着越来越巨大的作用。

在过程控制发展的历程中，生产过程的需求、控制理论的开拓以及控制技术工具和手段的进展三者相互影响、相互促进，推动了过程控制不断地向前发展。纵观过程控制的发展历史，大致经历了以下几个阶段：

20 世纪 40 年代，大多数工业生产过程均处于手工操作状态，只有少量的检测仪表用于生产过程，操作人员主要根据观测到的反映生产过程的关键参数，用人工来改变操作条件，凭经验来控制生产过程。因此，劳动生产率很低，且产品质量差，劳动强度大。

20 世纪 40 年代末至 50 年代, 生产过程的控制有了长足的发展, 部分生产过程实现了仪表化和局部自动化。在这期间, 过程控制系统的结构多为单输入、单输出系统, 即以温度、压力、流量、液位等参数为被控制变量的简单控制系统; 过程检测、控制的技术工具普遍采用的是基地式仪表和部分单元组合仪表 (气动 I 型和电动 I 型); 以反馈控制为代表的经典控制理论被广泛应用于系统的分析、设计中, 控制的目的是保证生产的稳定和安全。

进入 20 世纪 60 年代, 随着工业生产过程向着大型化、连续化方向发展, 生产过程的复杂程度进一步提高, 非线性、耦合性、时变等特点十分突出。为提高控制质量和实现一些特殊的工艺要求, 相继出现了串级、比值、均匀、前馈和选择性等多种复杂控制系统。以状态空间方法为基础, 以极小值原理和动态规划等最优控制理论为基本特征的现代控制理论, 将传统的单输入、单输出系统发展到多输入、多输出系统领域, 为实现高水平的过程控制奠定了理论基础, 对自动控制技术的发展起到了积极的推动作用。由于过程机理复杂及建模困难, 因此, 现代控制理论在过程控制领域实际应用一时还难以实现。随着电子技术的迅速发展, 控制技术工具不断完善, 气动 II、III 型和电动 II、III 型仪表已成为过程控制应用的主流产品; 组装仪表的开发, 将各个单元划分为更小的功能块, 以适应比较复杂的模拟和逻辑规律相结合的控制系统的需要。20 世纪 60 年代后期, 出现了专门用于过程控制的小型计算机, 直接数字控制系统和监督计算机控制系统开始应用于过程控制领域。

从 20 世纪 70 年代开始, 出现了微处理器和以微处理器为主要构成单元的控制装置。集散控制系统 (以下简称 DCS)、可编程程序控制器 (以下简称 PLC)、工业 PC (以下简称 IPC) 和数字控制器等, 已成为控制装置的主流。DCS 的应用实现了控制分散、危险分散, 操作监测和管理集中, 克服了常规仪表系统控制功能单一和计算机控制系统危险集中的局限性, 结合早期的工业局域网实现数据采集处理、连续控制、间歇控制、顺序控制, 将操作、

管理与生产过程紧密地结合起来,使生产过程控制进入管控一体化的新模式。

同时,控制理论也进入智能控制理论这一重要发展阶段。所谓智能控制理论是指以模糊控制、神经网络控制、遗传算法为代表的、具有人工智能特征的新型控制算法。在处理复杂系统控制问题时,传统控制方法对于复杂性、不确定性、突变性所带来的问题总有些力不从心。为了适应不同技术领域和社会发展对控制科学提出的新要求,必须发展新的控制模式。国内外控制科学界都在探索新的控制理论,以解决各类复杂系统的控制问题。越来越多的学者已意识到在传统控制中加入逻辑、推理和启发式知识的重要性,把传统控制理论与模糊逻辑、神经网络、遗传算法等人工智能技术相结合,充分利用人的控制知识对复杂系统进行智能化控制,逐渐形成了智能控制理论的较完整的体系。在工程上,模糊控制、专家控制、人工神经网络控制、模式识别技术的应用,大大促进了过程控制的发展。

20 世纪末,信息技术飞速发展。现场总线控制系统(以下简称 FCS)的出现,引起过程控制系统体系结构和功能结构上的重大变革。现场仪表的数字化和智能化,形成了真正意义上的全数字过程控制系统。综合自动化是当今生产过程控制的发展方向。在自动化技术、信息技术、计算机技术和各种生产加工技术基础上,从生产过程的全局出发,利用网络技术将各种信息集成,把控制、优化、调度、决策、经营管理融为一体,形成一个能适应各种生产环境和市场需求、多变性的、总体最优的高质量、高效益、高柔性的生产管理系统,使生产过程进入了管控一体化的新模式。

过程控制系统与其他自动控制系统相比,有如下几个特点:

### 1. 生产过程的连续性

在过程控制系统中,大多数被控过程都是以长期的或间歇的形式运行。在密闭的设备中被控变量不断地受到各种扰动的影响。过程控制的主要目的是消除或减少扰动对被控变量的影响,使被

控变量稳定在工艺要求的数值上,从而实现生产过程的优质、高产和低耗。

## 2. 被控过程的复杂性

过程控制涉及范围广,既有石化过程的精馏塔、反应器、热工过程的换热器、锅炉,冶金过程的转炉、平炉,又有机械行业的加热炉等。被控对象相对较大,比较复杂。其动态特性多为大惯性、大滞后形式,且具有非线性、分布参数和时变特性,甚至有些过程特性至今尚未被人们所认识。

## 3. 控制方案的多样性

由于被控过程对象特性各异,工艺条件及要求也各不相同,因此,过程控制系统的控制方案非常丰富,既有常规 PID 控制、改进 PID 控制、串级控制、前馈—反馈控制、解耦控制,又有为满足特定要求而开发的比值控制、均匀控制、选择性控制、推断控制,还有许多新型控制系统,如模糊控制、预测控制、最优控制等。



## 1.2 典型过程控制系统的概况及特点

目前,在连续型流程生产自动控制(PA)或习惯称之为工业过程控制中,有三大控制系统,即 PLC、DCS 和 FCS。

### 1. PLC 系统综述

PLC 是计算机技术与继电器逻辑控制概念相结合的一种新型控制器,它是以微处理机为核心,用作数字控制的专用计算机。随着微电子技术、计算机技术的发展和数据通信技术的推进,PLC 已经逐渐取代了传统的逻辑控制装置,是当前先进工业自动化的三大支柱之一。PLC 于 20 世纪 60 年代末期在美国首先产生,目的是用来取代继电器,执行逻辑、计时、计数等顺序控制功能,建立柔性程序控制系统。

1987 年国际电工委员会(IEC)对 PLC 作出如下定义:“可编程程序控制器是一类专门为在工业环境下应用而设计的数字式电子

系统。它采用了可编程的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等功能的面向用户的指令，并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。可编程序控制器及其相关外部设备，都应按照易于与工业控制系统联成一个整体，易于扩展其功能的原则而设计。”

进入 21 世纪，由于控制对象的日益多样性和复杂性，采用单一的可编程序控制器已不能满足控制要求，因此出现了配备 A/D、D/A 单元、触摸屏、高速计数单元、温控单元、位控单元、通信单元、回路控制单元等不同功能的特殊单元构成了功能强大的 PLC 系统，而且不同系统间可以实现网际联控，并与上位管理机进行数据交换。

凭借其在开关量控制、顺序控制方面的优势，PLC 进一步扩充到了模拟量过程控制及工控网络通信等方面，其特点大致概括如下：

(1) 应用灵活、安装简便 标准的积木式硬件结构与模块化的软件设计，使 PLC 不仅适应大小不同、功能繁复的控制要求，而且适应工艺流程变更较多的场合。它的安装和现场接线简便，可按积木方式扩充和删减其系统规模，组合成灵活的控制系统。由于其控制功能是通过软件实现的，因此，允许设计人员在未购买硬件设备前就能进行“软布线”工作，从而缩短了整个设计、生产、调试周期，研制经费相对减少了。

从硬件连接方面来看，PLC 对现场环境要求不高，无论是接线、配置都极其方便，只用螺钉旋具（俗称螺丝刀）即可进行全部接线工作，而不要自行设计和制造很多专用接口电路，一般在编程且进行模拟调试后，在现场很快就能安装调试成功并投入使用。

(2) 编程简化 PLC 采用电气操作人员习惯的梯形图形式编程，直观易懂。因此，不仅程序开发速度快，而且程序的可读性强，软件维护方便。为了简化编程工作，PLC 将编程工作主要集中在到了设计思想的本身而不是如何实现设计思想，新型 PLC 还针



对具体问题设计了包括步进顺控指令、流程图指令的指令系统，可以加快系统开发速度。

(3) 操作方便，维修容易 工程师编好的程序十分清晰直观，只要写好操作说明书，操作人员经短期培训，就可以使用。另外，PLC 具有完善的监视和诊断功能，对其内部工作状态、通信状态、I/O 点状态和异常状态等均有醒目的显示。因此，操作、维修人员可以及时、准确地了解机器的故障点，迅速替换故障单元或插件，恢复生产。

(4) 可靠性高 PLC 的可靠性高，主要是因为它在硬件及软件两方面都采取了严格的措施。

在硬件设计方面，首先是选用优质器件，再者是合理的系统结构，加固简化安装，使它易于抗振动冲击。对印制电路板的设计、加工及焊接都采取了极为严格的工艺措施，而且在电路、结构及工艺上采取了一些独特的方式。例如，在输入输出电路中都采用了光电隔离措施，做到电浮空，既方便接地，又提高了抗干扰性能，各个 I/O 端口除采用常规模拟器滤波以外，还加上数字滤波；内部采用了电磁屏蔽措施，防止辐射干扰；采用了较先进的电源电路，以防止由电源回路串入的干扰信号；采用了较合理的电路程式，一旦某单元出现故障，可以在线插拔，调试时不会影响 PLC 的正常运行。

在软件设计方面也采取了很多特殊措施，设置了警戒时钟 WDT。系统运行时对 WDT 定时刷新，一旦程序出现了死循环，使之能立即跳出，重新启动并发出报警信号。为了避免由于程序出错而导致的错误运行，每次扫描都对程序进行检查和校验，一旦程序出错立即发出报警信号并停止运行。对程序及动态数据进行掉电保护，随时对 CPU 等内部电路进行检测，一旦出错，立即报警。程序中还设置了对用户程序电路查错报错的程序，错误的程序和参数不能运行。上述有效措施，保证了 PLC 的高可靠性。所以它的平均无故障时间 (MTBF) 超过 4~5 万 h，某些优秀品牌的产品更高达十几万 h 以上。