

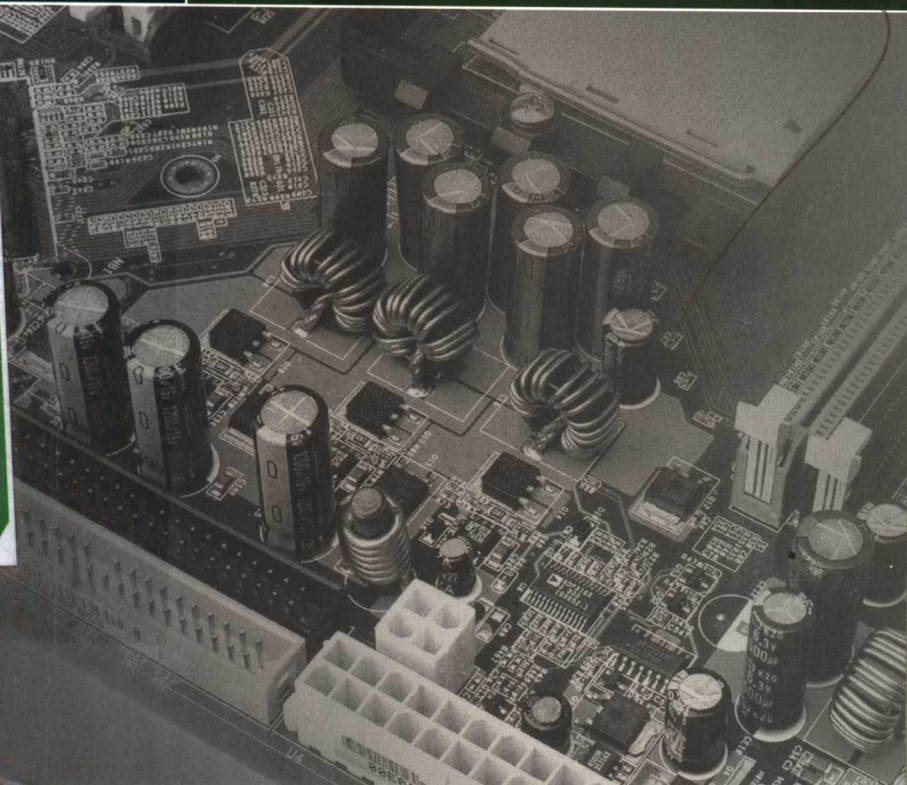
1  
HZ BOOKS  
华章教育

21  
世纪

高等院校电气信息类本科规划教材

# 计算机控制技术

许勇 主编



机械工业出版社  
China Machine Press

21  
世  
纪

高等院校电气信息类本科规划教材

TP273/495

2008

# 计算机控制技术

许 勇 主编

潘 明 樊永显 陈 辉 参编



机械工业出版社  
China Machine Press

本书共分九章,内容包括计算机控制技术和自动化控制系统的介绍、控制系统通信和计算机接口技术的原理与基础、计算机控制系统的性能指标、控制系统的输入输出和抗干扰技术、控制系统的控制算法和常用控制器,以及嵌入式系统的设计。另外,本书还介绍了现场总线和汽车内部的通信。最后介绍了计算机控制系统各种组件的集成和综合应用,包括系统设计方法和工业企业中自动化系统集成技术。

本书可作为自动化、控制工程、计算机应用等专业的大学本科生和研究生的教材,也适合于从事相关技术的工程技术人员阅读。

版权所有,侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术/许勇主编. —北京:机械工业出版社, 2008.3  
(21世纪高等院校电气信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-23087-8

I. 计… II. 许… III. 计算机控制—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第202033号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:王璐

三河市明辉印装有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2008年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21印张

标准书号:ISBN 978-7-111-23087-8

定价:35.00元

凡购本书,如有倒页、脱页、缺页,由本社发行部调换  
本社购书热线:(010)68326294

# 前 言

计算机技术和通信网络的飞速发展使工业控制系统走向分散化、网络化和智能化,为企业的完全自动化奠定了基础。从技术手段上讲,计算机控制技术本身综合了电子技术、仪器仪表、计算机技术和网络技术的发展成果,带来了自动化仪表和系统在体系结构、功能等方面的重大变革和更新换代,也带来了工业生产组织和方式的巨大变化。

计算机控制技术和系统的理论、技术、性能和实现手段,各要素得以具体实现的方法和方式的研究和讨论,就是本书的主要内容。

本书是作者在综合近年来在国内外从事自动化领域的工作、教学与研究的经验和成果的基础上,吸收了国内外的先进理论、方法和技术而编写的。本书的思路是把计算机控制系统和技术作为企业自动化体系中的底层来考虑,除了传统的计算机控制技术内容外,强调自动化组件间的通信和集成,增加了工业网络和嵌入式网络控制技术等章节。作者努力构成一个开放的架构,除给教学和学习者提供基本的内容外,还便于容纳今后更多更新的内容。

本书在阐述基本原理和设计方法时,注意理论的严谨和知识的体系,也更加重视工程实际应用。同时还注意保持理论、技术和方法的先进性、实用性及全书内容的系统性。书中安排了许多例题、仿真实验结果和习题,以帮助理解。

本书共分9章。第1章着重介绍计算机控制技术和自动化控制系统的发展和应用概况。第2章是控制系统通信和计算机接口技术的原理与基础。第3章进一步认识计算机控制系统,比如组成和性能指标等。第4章介绍输入输出和人机接口技术等。第5章是控制系统基本的控制算法。第6章介绍控制系统的抗干扰技术。第7章介绍各种常用的控制器,包括嵌入式系统的设计问题。第8章介绍工业通信系统,特别是工业现场总线和汽车内部通信技术。第9章介绍计算机控制系统各种组件的集成和综合应用,包括系统设计方法和工业企业中自动化系统集成技术。

建议课堂教授时间至少为48学时,所有内容完全讲授需要72学时。根据不同专业和层次要求的不同,章节和学时分配可以不同。实验和课程设计学时可以根据实验室硬件条件另行安排。

在本书的编写过程中,陈辉主要编写第3章;潘明主要编写第4章和第6章;樊永显编写第5章;其余章节和全书的统稿由许勇完成。此外,李瑞、康业娜和冯静帮助校对了部分章节和图表。

计算机控制技术是一个内容广泛而且发展迅速的领域。我们在编写本书的过程中尽量在提供基本技术知识的基础上,介绍比较新的内容。力有不逮之处,欢迎大家提出批评建议。

编 者

2007年7月

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 概论 ..... 1

### 1.1 计算机控制技术和企业自动化

#### 概论 ..... 1

#### 1.1.1 企业和企业自动化 ..... 1

#### 1.1.2 企业自动化的重要性 ..... 2

#### 1.1.3 计算机控制技术和企业自动化 ..... 3

### 1.2 计算机控制技术和系统介绍 ..... 3

#### 1.2.1 基本概念 ..... 3

#### 1.2.2 工业控制系统应该满足的要求 ..... 4

#### 1.2.3 计算机控制系统的基本形式 和特点 ..... 5

### 1.3 计算机控制系统的应用和发展 ..... 7

#### 1.3.1 计算机控制技术的主要内容 ..... 7

#### 1.3.2 常用的计算机控制器 ..... 8

#### 1.3.3 计算机控制技术在我国的 发展和应用 ..... 12

### 1.4 计算机控制技术的发展趋势 ..... 13

#### 1.4.1 计算机控制系统的多样性 和统一性 ..... 13

#### 1.4.2 研究和发​​展智能控制系统 ..... 14

#### 1.4.3 工业自动化软件技术及其发展 ..... 15

#### 1.4.4 嵌入式系统的发展 ..... 17

#### 1.4.5 网络时代的计算机控制技术 ..... 17

### 思考题与习题 ..... 20

## 第 2 章 工业通信基础和计算机接口 总线 ..... 21

### 2.1 数据通信基础 ..... 21

#### 2.1.1 通信系统的基本组成 ..... 21

#### 2.1.2 信号与数据表示 ..... 22

#### 2.1.3 信道与信道的主要技术指标 ..... 24

#### 2.1.4 信号的传输方式 ..... 25

### 2.2 计算机总线接口技术和内部总线 ..... 28

#### 2.2.1 总线概述 ..... 28

#### 2.2.2 内部总线 ..... 31

### 2.3 PC 系列系统总线 ..... 35

#### 2.3.1 早期的 PC 系列总线 ..... 35

#### 2.3.2 PCI 和 AGP 总线 ..... 38

#### 2.3.3 新一代 PC 总线 ..... 40

### 2.4 工控机与测控仪器接口总线 ..... 45

#### 2.4.1 工控机总线技术 ..... 46

#### 2.4.2 测量仪器总线 ..... 50

### 思考题与习题 ..... 57

## 第 3 章 计算机控制系统 ..... 59

### 3.1 计算机控制的概念 ..... 59

### 3.2 计算机控制系统的组成 ..... 61

#### 3.2.1 计算机控制系统的硬件组成 ..... 61

#### 3.2.2 计算机控制系统的软件 ..... 63

### 3.3 控制系统的性能指标描述 ..... 65

#### 3.3.1 计算机控制系统的性能及其 指标 ..... 65

#### 3.3.2 计算机控制系统的能控性和 能观测性 ..... 66

#### 3.3.3 性能指标 ..... 68

### 3.4 线性离散系统分析 ..... 71

#### 3.4.1 线性离散系统的稳定性分析 ..... 71

#### 3.4.2 离散系统的稳态误差 ..... 78

#### 3.4.3 离散系统的动态性能 ..... 81

### 3.5 线性离散时间系统的能控性与能观 测性 ..... 87

#### 3.5.1 线性定常离散时间系统的 能控性定义及判据 ..... 87

#### 3.5.2 线性定常离散时间系统的 能观测性定义及判据 ..... 89

3.6 应用 MATLAB 进行离散系统分析 .....	91	5.1.4 数字 PID 控制算法的参数 整定 .....	137
思考题与习题 .....	94	5.2 数字控制器的离散化设计技术 .....	141
<b>第 4 章 控制系统的接口：输入输出 通道</b> .....	95	5.2.1 数字控制器的离散化设计 步骤 .....	141
4.1 数字量过程通道 .....	95	5.2.2 最少拍无差数字控制器的 设计 .....	143
4.1.1 数字量输入通道 .....	96	5.2.3 最少拍无纹波系统的设计 .....	150
4.1.2 数字量输出通道 .....	97	5.3 纯滞后控制技术 .....	153
4.2 模拟量输入通道 .....	98	5.3.1 施密斯预估控制算法 .....	153
4.2.1 模拟量输入通道的结构 .....	98	5.3.2 达林算法 .....	156
4.2.2 8 位 A/D 转换器 ADC0809 .....	100	5.4 串级控制技术 .....	160
4.2.3 LMx31 系列芯片与 V/F 转换 电路 .....	101	5.4.1 串级控制的特点及设计原则 .....	161
4.3 模拟量输出通道 .....	102	5.4.2 数字串级控制算法 .....	162
4.3.1 一个通路设置一个数/模 转换器 .....	103	5.5 前馈-反馈控制技术 .....	163
4.3.2 多个通路共用一个数/模 转换器 .....	103	5.5.1 前馈控制的结构和原理 .....	163
4.3.3 模拟量输出电路 .....	103	5.5.2 前馈-反馈控制结构 .....	164
4.3.4 模拟量输出通道的设计 .....	104	5.5.3 数字前馈-反馈控制算法 .....	165
4.4 传感器和传感系统 .....	106	5.6 状态空间设计法 .....	166
4.4.1 传感器的一般特性 .....	106	5.6.1 状态空间的输出反馈设计法 .....	166
4.4.2 传感器的类型与发展 .....	107	5.6.2 状态空间的极点配置设计法 .....	171
4.5 执行器和驱动系统 .....	108	思考题与习题 .....	183
4.5.1 继电器 .....	108	<b>第 6 章 计算机控制系统的抗干扰 技术</b> .....	185
4.5.2 固态继电器的工作原理和 特性 .....	112	6.1 工业现场的干扰及对系统的影响 .....	185
4.5.3 电动机 .....	114	6.1.1 干扰源 .....	186
4.6 人机接口 .....	119	6.1.2 干扰的传播途径 .....	187
4.6.1 键盘接口技术 .....	119	6.1.3 干扰的作用形式 .....	188
4.6.2 显示器接口技术 .....	121	6.2 硬件抗干扰技术 .....	189
4.6.3 LCD 显示器结构原理 .....	124	6.2.1 串模干扰的抑制 .....	189
思考题与习题 .....	127	6.2.2 共模干扰的抑制 .....	191
<b>第 5 章 控制器设计技术</b> .....	128	6.2.3 长线传输干扰的抑制 .....	194
5.1 数字控制器的连续化设计技术 .....	128	6.3 软件抗干扰技术 .....	195
5.1.1 采样频率与连续化设计的 关系 .....	128	6.3.1 软件出错对系统的危害 .....	195
5.1.2 数字 PID 控制器的设计 .....	130	6.3.2 数字滤波方法 .....	196
5.1.3 数字 PID 控制器的改进 .....	132	6.3.3 输入/输出软件抗干扰措施 .....	199
		6.3.4 软件冗余技术 .....	199
		6.3.5 程序运行失常的软件抗干扰 .....	199
		6.4 接地技术 .....	202

6.4.1 计算机控制系统接地的种类及作用 .....	202	8.3.1 概述 .....	268
6.4.2 常用的接地方法 .....	203	8.3.2 基金会总线 FF .....	270
6.5 电源系统的抗干扰技术 .....	205	8.3.3 PROFIBUS 技术 .....	274
6.5.1 交流电源系统的抗干扰 .....	205	8.3.4 LonWorks .....	278
6.5.2 直流电源系统的抗干扰 .....	208	8.3.5 CAN Bus 和汽车内部网络 .....	280
6.5.3 抗干扰稳压电源的设计 .....	208	8.3.6 其他常用现场总线 .....	284
思考题与习题 .....	210	8.4 工业以太网 .....	288
第7章 主要的工业控制器 .....	212	8.4.1 以太网基础 .....	288
7.1 PLC 及其应用 .....	212	8.4.2 以太网作为现场总线的特点 .....	289
7.1.1 PLC 的基础知识 .....	213	8.4.3 工业以太网提高性能的措施 .....	290
7.1.2 PLC 软件系统及编程语言 .....	219	8.4.4 工业以太网的应用和发展 .....	292
7.1.3 PLC 的应用 .....	223	8.5 现场总线控制系统 .....	293
7.1.4 PLC 系统的选型和应用设计 .....	225	8.5.1 现场总线控制系统介绍 .....	293
7.1.5 PLC 的发展趋势 .....	230	8.5.2 现场总线控制系统中的功能模块 .....	294
7.2 工业控制计算机技术及发展 .....	231	8.5.3 发展趋势 .....	295
7.2.1 工控机概述 .....	231	思考题与习题 .....	296
7.2.2 工控机的发展 .....	231	第9章 计算机控制系统的设计与集成 .....	297
7.2.3 软 PLC 的概念和应用 .....	234	9.1 计算机控制系统的设计 .....	297
7.3 嵌入式控制系统 .....	235	9.1.1 控制系统设计的原则 .....	297
7.3.1 嵌入式系统介绍 .....	235	9.1.2 系统的总体方案设计 .....	298
7.3.2 嵌入式操作系统 .....	237	9.1.3 硬件的工程设计和实现 .....	299
7.3.3 嵌入式 Linux 及应用 .....	240	9.1.4 软件的工程设计和实现 .....	301
7.3.4 嵌入式系统开发知识 .....	244	9.2 企业自动化系统的集成 .....	303
7.3.5 嵌入式微处理器的选择 .....	246	9.2.1 自动化系统的主要内容 .....	303
7.3.6 嵌入式系统的发展趋势 .....	250	9.2.2 自动化系统的层次 .....	304
思考题与习题 .....	251	9.3 生产控制系统体系 .....	305
第8章 工业通信技术和工业网络 .....	252	9.3.1 计算机集成制造系统 .....	305
8.1 工业控制系统的接口和通信网络 .....	252	9.3.2 流程工业中的综合自动化系统 .....	309
8.1.1 工业数据通信的发展 .....	252	9.3.3 工厂生产过程监控和 SCADA .....	311
8.1.2 工业通信网的要求和特点 .....	256	9.3.4 工厂自动化的上层系统: MES 和 ERP .....	314
8.2 常用通信总线 .....	258	思考题与习题 .....	323
8.2.1 串行通信技术和发展 .....	258	参考文献 .....	324
8.2.2 FireWire 和 USB 总线 .....	261		
8.2.3 工业无线技术 .....	264		
8.3 常用的现场总线 .....	268		

# 第1章 概 论

## 📖 知识要点

- 1) What: 什么是计算机控制技术: 人的代理系统, 可以读、写、算和通信;
- 2) Why: 为什么我们要有计算机控制系统, 代替人工作; 为什么要学习计算机控制技术, 让它工作, 让它更好地工作;
- 3) How: 计算机控制系统如何组成, 如何工作, 我们如何更好地利用计算机控制系统。

## 📖 教学建议

如果把全书作为一个建筑, 则第1章是整体介绍: 是在大门外看概貌图, 纵观全局。引导学生理解计算机控制系统的概况, 初步认识以后的学习内容和计划。引导学生建立兴趣, 随后深入探索细节, 到书末再重新审视全局以得到新的整体印象。

计算机控制技术是计算机技术和自动化控制技术相互渗透和发展的结晶, 是在用户需求刺激下发展起来的技术。随着历史的发展, 自动化技术作为一种手段, 进入人类社会生活和生产活动的各个方面, 执行人们设计的指令, 完成人们设定的工作, 实现人们活动的目标。

随着计算机控制技术的进步, 人们越来越多地用计算机技术来实现控制系统。近几年来, 计算机技术、自动控制技术、检测与传感技术、CRT显示技术、通信与网络技术、微电子技术的高速发展, 促进了计算机控制技术水平的提高。整个国家的工业自动化设备加上国防自动化和信息产业基础设施, 包括铁路、发电厂和电网系统、智能交通系统以及纺织工业、制造业、食品加工、石油化工行业、车载信息系统、国防、航空航天器、核电站监控及环境水文地质在线监测系统等, 都需要采用新一代计算机控制技术。

本章主要介绍计算机控制技术对企业自动化的影响, 并概要地描述系统及其组成、工业控制机的组成结构及特点、计算机控制系统的发展概况和趋势。

## 1.1 计算机控制技术和企业自动化概论

### 1.1.1 企业和企业自动化

按照一般的定义, 我们所说的企业就是一个组织, 是一个通过向社会提供产品或服务而得到经济利益和利润而形成的组织。企业基本有两类: 第一种是提供产品的制造业企业(Manufacturer), 第二种是提供服务的服务型企业(Service Provider), 如交通运输、邮电、医院和学校等。



制造业企业的这个定义，在国际上，不仅包括我们以前概念中的机械工业，还包括所有提供各种产品的企业。制造业企业基本有两个大类：离散制造业和流程工业（也称连续制造业），虽然根据下面的分类，有些企业的划分并不严格。

离散制造业主要是通过对原材料物理形状的改变、组装，成为产品使其增值。主要包括机械加工、组装性行业，典型产品有汽车、计算机、日用器具等。离散型生产又叫车间任务型生产，其特点是批次多，批量小，并且每个批次作为一项生产任务具有不同的工艺流程。因此生产设备不是按产品而是按照工艺进行布置的。离散加工业中以单台设备为主，故障和检修不会直接影响整个系统。生产每个产品的工艺过程可能不一样，可以进行同一种加工工艺的机床有多台。因此需要对所加工的物料进行调度，并且中间产品需要进行转运。

离散制造业企业种类繁多，自动化水平差异比较大。国内有最先进的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)，但大部分中小离散制造业企业还是人员密集型行业，自动化水平相对较低，自动化主要在设备单元级，例如数控机床、加工中心等。当然有些生产大批量电子元件和电路板的企业，其组装和焊接自动化程度很高，可以算是流程工业企业。

流程工业则主要通过对原材料进行混合、分离、粉碎、加热等物理或化学方法，使原材料增值。它主要包括啤酒、化工、炼油、制药等，最终产品类型有固体、液体、能量和气体，通常以批量或连续的方式进行生产。流程工业企业的特点是品种固定，批量大，生产周期长，生产设备投资高，工艺流程固定，通常设备是专用的，很难改做其他用途。生产线上的设备维护特别重要，不能发生故障。只要一发生故障，就损失严重。另外流程工业企业的原材料和产品通常是液体、气体、粉状等，多数存储的数量可以用能转变为电信号的传感器进行计量。

流程工业企业多采用大规模生产方式，生产工艺技术成熟，控制生产的工艺条件的自动化设备比较成熟，例如有集散控制系统(Distributed Control System, DCS)和现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)等。因此，生产过程多数是自动化，生产车间的人员主要是管理、监视和设备检修。但是流程工业控制涉及的变量与参数多，过程的模型难于描述，控制算法和控制过程复杂。

服务型企业则直接和人民生活相关，如交通运输、邮电、医院、银行和学校等。在这样的企业中，自动化技术是降低服务成本和提高服务质量的主要手段，计算机控制系统需要考虑地域分布的问题。计算机监控和数据采集系统(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)则体现了分布系统和公共工程中比较典型的自动化系统思想。我国服务型企业的自动化水平差异极大，其中发展空间最大的应该是在交通运输和医疗保健行业。

### 1.1.2 企业自动化的重要性

信息技术的迅速发展和全球经济一体化进程的不断加快，特别是全球制造业的重组和分工，对我国的制造业企业提供了前所未有的机遇和挑战。我国企业面临的挑战主要来自三个方面：市场挑战，技术挑战和信息挑战。其中的技术挑战是企业需要更多新技术、新设备和新工具，必须采用先进的设计技术、控制技术、制造技术和管理手段来进行生产和管理。这是由于现在生产的产品生命周期越来越短，产品交货期也在缩短，而产品的质量和复杂性却

在增加。这些都要求生产企业对市场的响应要及时而且迅速。

信息时代的企业自动化，就是企业面对这些机遇和挑战的出路。完全的企业自动化是将信息技术、现代管理技术和制造技术相结合，并应用于企业产品的全生命周期的各个阶段。通过系统集成、信息集成、过程优化和资源优化，实现物流、信息流、价值流的集成和优化运行。把企业的所有活动用分布的模块组织起来，比如市场、生产计划、制造过程、企业管理、售后服务等，并采用计算机、自动控制、网络通信等技术来实现整个过程的综合自动化，以改善生产加工、管理决策等。必须要将企业内现场控制、过程监控、经营管理、市场管理等各层次智能设备互联成综合自动化网络，实现各层次的住处汇通和数据共享，即实现工业企业的“管控一体化”。提高企业的生产能力、市场应变能力、创新能力和竞争能力。

我国的大部分企业，特别是中小型企业，在企业的自动化方面空白多，起步低。在信息技术发达的今天，完全可以考虑跨过国外企业的百年自动化过程，从构思上直接考虑先进而且经济的技术，采用合理的、有效的路线，实现我国企业自己的自动化。

### 1.1.3 计算机控制技术和企业自动化

作为企业自动化的基础，企业的自动化系统是一个由分布式组件构成的基础系统，其组件的核心，就是计算机控制单元。分布的计算机控制系统(组件)通过工业网络组成现代化企业的自动控制系统。

工业控制自动化技术是一种运用控制理论、仪器仪表、计算机和其他信息技术，对工业生产过程实现检测、控制、优化、调度、管理和决策，达到增加产量、提高质量、降低消耗、确保安全等目的的综合技术，主要包括工业自动化软件、硬件和系统三大部分。工业控制自动化技术作为 20 世纪现代制造领域中最重要技术之一，主要解决生产效率与一致性问题。虽然自动化系统本身并不直接创造效益，但它对企业生产过程有明显的提升作用。

## 1.2 计算机控制技术和系统介绍

### 1.2.1 基本概念

计算机控制技术是利用计算机来实现人们对外在对象过程自动控制的技术。完成这个功能，需要几个要素：①认识需要控制的对象(过程)，②对对象施加作用，③决定施加作用的方式、时间和内容。对于计算机控制系统来说，可以简单归纳为：“读”、“写”、“算”。

另外，随着控制系统的网络化和分布化，控制单元之间的数据传输技术也成为现代计算机控制技术的基本内容。对于计算机控制系统来说，这些要素可以简单归纳为四个基本功能：“读”、“写”、“算”和通信。

事实上，由于计算机控制系统是为人服务的，有默认的人的存在，因此还有外在的要素：人与计算机控制系统的接口。另外计算机控制系统对象的存在也是默认的。因此，完整的计算机控制系统可以被认为是一个人们设计和实现的、在人和控制对象间完成“读”、“算”、“写”和通信任务的代理系统(Agent)。

这个系统实现的技术、成本和完成性能，各要素的具体实现的方法和方式的研究和讨

论，就是本书的主要内容。

在工业控制中，常常遇到各种术语，其中有几个术语需要特别加以解释：

### (1) 实时

所谓“实时”，是指信号的输入、计算和输出都是在一定时间范围内完成的，即计算机对输入信息以足够快的速度进行处理，并在一定的时间内做出反应且进行控制，超出了这个时间就会失去控制时机，控制也就失去了意义。实时系统对逻辑和时序的要求非常严格，如果逻辑和时序出现偏差将会引起严重后果。

在文献中我们可能会看到“硬实时”(Hard Real-time)和“软实时”(Soft Real-time)这两个名词。不同的人会给它们不同的意义，但大致来说它们是一组相对的概念。在硬实时系统中，不仅要求任务响应要实时，而且要求在规定的时间内完成事件的处理。软实时系统仅要求事件响应是实时的，并不要求限定某一任务必须在多长时间内完成。

通常，大多数实时系统是两者的结合。它们之间的界限是十分模糊的。这与选择什么样的中央处理器(Central Processing Unit, CPU)以及它的主频、内存等参数有一定的关系。另外，因为应用的场合对系统实时性能要求的不同而有不同的定义。

工业控制系统对数据传输的实时性要求不同，实时在很大程度上依赖于特定的应用。比如：

- 1) 化工热化控制必须有秒级的响应时间；
- 2) 过程控制和监控系统需要 100ms 的响应时间；
- 3) 基于可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC)的机械控制系统需要 10ms 的响应时间；
- 4) 多轴协同动态高速运动控制系统的实时性要求在 1ms 以内。

工业控制信号有周期性实时数据、非周期性实时数据和软实时数据等。周期性实时数据包括从传感器定期地发往控制器和数据中心的信息，从控制中心定期传给执行机构的信息等。周期性实时数据和非周期性实时数据必须严格地在规定时间内响应，否则将导致设备误操作，甚至整个控制系统崩溃。软实时数据为传输延时，虽然不会造成灾难性的损失，但同样威胁系统的正常运行，必须避免。

### (2) “在线”方式和“离线”方式

在计算机控制系统中，生产过程和计算机直接连接，并受计算机控制的方式称为在线方式或联机方式；生产过程不和计算机相连，且不受计算机控制，而是通过中间记录介质，靠人进行联系并作相应操作的方式称为离线方式或脱机方式。

一个在线的系统不一定是实时系统，但一个实时控制系统必定是在线系统。

## 1.2.2 工业控制系统应该满足的要求

工业控制系统主要用于工业过程测量、控制、数据采集等工作，应满足如下基本要求：

- 1) 可靠性高：工控系统通常用于控制不间断的生产过程，在运行期间不允许停机检修，一旦发生故障将会导致质量事故，甚至生产事故。因此要求工控系统具有很高的可靠性，也就是说要有许多提高安全可靠性的措施，以确保平均无故障工作时间(Mean Time Between Failure, MTBF)达到几万小时，同时尽量缩短故障修复时间(Mean Time To Repair, MTTR)，以达到很高的运行效率。

2)实时性好：工控系统对生产过程进行实时控制与监测，因此要求它必须实时地响应控制对象各种参数的变化。当过程的状态参数出现偏差或故障时，工控系统要能及时响应，并能实时地进行报警和处理。为此工控系统需配有实时多任务操作系统(Real Time Operating System, RTOS)。

3)环境适应性强：工业现场环境恶劣，电磁干扰严重，供电系统也常受大负荷设备起停的干扰，其接“地”系统复杂，共模及串模干扰大。因此要求工控系统具有很强的环境适应能力，如对温度/湿度变化范围要求高；要具有防尘、防腐蚀、防振动冲击的能力；要具有较好的电磁兼容性和高抗干扰能力以及高共模抑制的能力。

4)过程输入和输出配套较好：工控系统要具有丰富的多种功能的过程输入和输出配套模板，如模拟量、开关量、脉冲量、频率量等输入输出模板；具有多种类型的信号调理功能，如隔离型和非隔离型信号调理；各类热电偶、热电阻信号输入调理；电压/电流信号输入和输出信号的调理等。

5)系统扩充性好：随着工厂自动化水平的提高，控制规模也在不断扩大，因此要求工控系统具有灵活的扩充性。

6)系统开放性：要求工控系统具有开放性体系结构，也就是说在主系统接口、网络通信、软件兼容及升级等方面遵守开放性原则，以便于系统扩充、异机种连接、软件的可移植和互换。

7)控制软件包功能强：工控软件包要具备人机交互方便、画面丰富、实时性好等性能；具有系统组态和系统生成功能；具有实时及历史的趋势记录与显示功能；具有实时报警及事故追忆等功能。此外尚需具有丰富的控制算法，除了常规比例、积分、微分(Proportion—Integral—Derivative, PID)控制算法外，还应具有一些高级控制算法，如模糊控制、神经网络、优化、自适应、自整定等算法，并具有在线自诊断功能。目前一个优秀的控制软件包往往将连续控制功能与断续控制功能相结合。

8)系统通信功能强：具有串行通信、网络通信功能。由于实时性要求高，因此要求工控系统通信网络速度高，并且符合国际标准通信协议，如IEEE 802.4, IEEE 802.3协议等；可构成更大的控制系统，如DCS分散型控制系统、CIMS计算机集成制造系统等。

9)后备措施齐全：包括供电后备、存储器信息保护、手动/自动操作切换和紧急事故处理装置等。

10)具有冗余性：在可靠性要求更高的场合，要求有双机工作及冗余系统，包括双控制站、双操作站、双网通信、双供电系统、双电源等，具有双机切换功能和双机监视软件等，以确保系统长期不间断地运行。

### 1.2.3 计算机控制系统的基本形式和特点

将自动控制系统中的控制器的功能用计算机来实现，就组成了典型的计算机控制系统。计算机控制系统是随着现代大型工业生产自动化的不断兴起而应运产生的综合控制系统，它紧密依赖于最新发展的计算机技术、网络通信技术和控制技术，在计算机参与工业系统控制的历史长河中扮演了重要的角色。

自动控制系统一般可归纳为两大类，即闭环控制系统和开环控制系统。它们的主要区别是闭环控制系统中“读”是在线的，而开环控制系统中没有在线“读”的组件。闭环控制系统

的典型结构如图 1-1 所示。

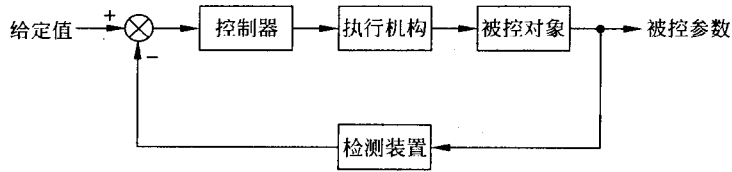


图 1-1 闭环控制系统的典型结构图

典型的计算机控制系统结构如图 1-2 所示。

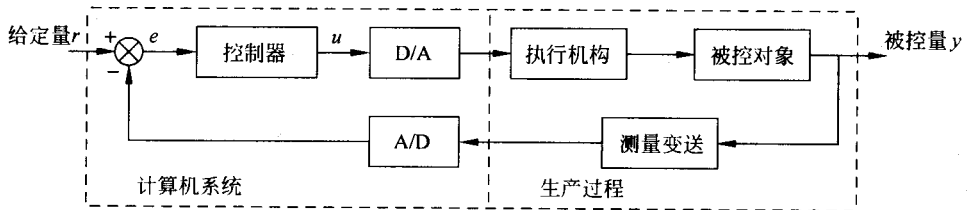


图 1-2 计算机控制系统结构图

计算机控制系统与常规的自动控制系统相比，具有如下特点：

1) 在计算机控制系统中，一台计算机可同时控制多个被控量或被控对象，即可为多个控制回路服务。每个控制回路的控制方式由软件来形成。同一台计算机可以采用串行或分时并行方式实现控制。

2) 由于计算机控制系统的控制规律是由软件程序实现的，而计算机的运算速度快、精度高、具有极丰富的逻辑判断功能和大容量的存储能力，因此，能实现复杂的控制规律，如最优控制、自适应控制及自学习等，从而可达到较高的控制质量。

3) 计算机控制系统容易实现工作状态的转换，实现不同的控制功能。控制规律灵活多样，改动方便，抑制扰动能力强。另外计算机易于修改系统功能和特性。

4) 计算机控制系统有丰富的人机界面，能够实现实时的数据统计和工况显示，控制效率高，控制与管理一体化，可以进一步提高自动化程度。

5) 对于传统的连续控制系统，模拟硬件的成本几乎与控制规律复杂程度、控制回路的数量成正比。而一台计算机尽管最初投资较大，但由于计算机可以实现复杂控制规律并同时控制多个回路，因此增加一个控制回路的费用很少。

当然，推广计算机控制技术的最大问题是最初投资较大，系统中有数字部件，信号复杂，设计、实现和调试需要的资源多，对于复杂的控制对象需要的时间较长。但随着微电子技术的发展，大规模集成电路的出现和计算机成本下降，随着控制系统的分布化和组件模块化，开放配置周期在显著缩短，需要的成本和其他资源也显著下降。

计算机控制系统需要从外在的对象读入信息，也需要把控制动作信息写到外在对象的接口。由于外在控制对象的参数以模拟量为主，而工业控制机的输入和输出是数字信号，因此需要有 A/D (Analogue/Digital, 即模拟信号变为数字信号) 转换器和 D/A (Digital/Analogue 数字信号变为模拟信号) 转换器。从本质上看，计算机控制系统的工作原理可归纳为以下三个步骤：

1) 读，即实时数据采集：对被控量的瞬时值进行检测，并输入计算机；

2)算,即实时决策:对采集到的表征被控参数的状态量进行分析,并按已定的控制规律,决定下一步的控制过程;

3)写,即实时控制:根据决策,适时地对执行机构发出控制信号,完成控制任务。

上述过程不断重复,使整个系统按照一定的品质指标进行工作,并对被控量和设备本身的异常现象及时做出处理。

## 1.3 计算机控制系统的应用和发展

### 1.3.1 计算机控制技术的主要内容

在计算机开始应用于控制之前,工业控制的主要技术还是流体控制技术,即采用各种气动和液压元件来完成过程控制。工业控制系统由具备简单测量控制功能的就地式气动仪表来监控,用气动和液压执行元件,比如气缸、气泵、液压缸、液压泵、液压马达等驱动设备。实际上一直到现在,这些元件仍然是控制系统中重要的组件,在很多轻工业和中小企业里,还是基本的控制组件。

随着电气化和电子化,后来在工业领域采用气动、电动单元组合式仪表和集中控制室。主要是基于4~20mA电流信号的仪表和控制系统。

随着计算机和通信技术的发展,计算机控制技术和系统逐渐进入工业控制领域,并且迅速成为主流技术。现在计算机控制技术和系统成为整个企业自动化的核心基础,它不仅直接用于生产的自动化监控,而且也是企业上层管理信息系统的数据源和基础核心模块。

工业控制自动化主要包含三个层次,从下往上依次是基础自动化、过程自动化和管理自动化,其核心是基础自动化和过程自动化。工业过程综合自动化系统将生产过程的生产工艺技术、设备运行技术和生产过程管理技术集成起来,实现生产过程的优化控制、优化运行和优化管理,从而保证与产品质量、成本、质量相关的综合生产指标优化。

根据企业的不同,计算机控制系统在企业自动化中的作用也有差异。在流程工业中,过程控制技术是将与产品的质量、产量、成本相关的经济技术指标自动转化为流程工业生产过程各工序自动控制的系统参数,从而保证达到产品的微观组织和最终性能的高技术。流程工业一体化过程控制系统是实现流程工业信息化的关键,是提高流程工业生产效率和产品质量、减少资源消耗的有效途径。

流程工业一体化过程控制技术已经成为国际上工业领域的高技术发展潮流和方向,其中的难点是存在于很多过程中的动态非线性特性,这使得控制动作的计算和确定比较困难。这也是许多现代控制理论和智能控制的热点。

离散工业自动化的主要特征是计算机集成制造系统,即CIMS。CIMS将信息技术、现代管理技术和先进设计制造技术结合,应用于企业产品全生命周期(从市场需求到最终报废处理)的各个阶段。离散工业设计、制造、管理一体化技术是全世界制造工业领域的高技术发展潮流和方向。与流程工业中PLC和工业计算机为主的控制系统不同,在离散工业企业的生产现场底层的核心控制器通常是专用的,比如数控机床(加工中心)控制器等。本书包括的通用的计算机控制模块设计的内容也是离散工业自动化的基础,但没有特别介绍专用控制器。

不管使用哪种控制器,这里最基本的技术手段依然是计算机控制技术中的读、写、算,

而实现控制的系统和具体技术也是本书的主要内容。

### 1.3.2 常用的计算机控制器

从结构形式上,现在常见的生产控制系统中的计算机控制系统内的核心控制器分别是:

- 通用工业控制计算机——工业 PC 或 IPC (Industrial Personal Computer);
- DCS 工控机——“现场工作站”;
- PLC;
- 嵌入式工控机,包括 PC/104 总线工控机,嵌入式单片机,ARM 等。

但是在后来的发展过程中,这些技术同时存在而且互相影响,因此在文中会有同时提及的场合。传统的自动化系统,基础自动化部分基本被 PLC 和 DCS 所垄断,过程自动化和管理自动化部分主要是由各种进口的过程计算机或小型机组组成。

工业自动化部分基本被 PLC 和 DCS 和工业 PC 所垄断,这些都是我们所说的计算机控制系统,但有时候,计算机控制也被用来专指基于 PC 的控制系统,有时候被称为微机控制系统。

#### 1. 基于 PC 的控制器

计算机在 20 世纪 60 年代就开始应用于控制领域。采用的是集中控制方式,即计算机通过扩展的工业数据接口板,再通过传感器和执行器,完成读和写的功能。控制软件的控制算法模块则担任计算控制量的任务。这样一台计算机就用来直接控制一个对象系统。但是,相比随后出现的 PLC,通用计算机作为控制器在系统可靠性和经济性方面缺乏竞争性,由于 PC 工控机的结构限制,使其难以从根本上解决散热和抗振动等恶劣环境适应性问题,因此 IPC 开始逐渐从高可靠性应用的工业过程控制、电力自动化系统以及电信等领域退出,向管理信息化领域转移,在 20 世纪 80 年代以前,PLC 成为主要的控制器。

到 IBM PC 出现并得到大规模应用后,基于 PC 的控制系统也得到了发展。借助于规模化的硬件资源、丰富的商业化软件资源和普及化的人才资源,于 20 世纪 80 年代末期开始进军工业控制机市场。PC 控制的优点可以概括为:价格较低;系统资源相对充裕(如内存,外设接口等),特别是软件可移植性优良控制、人机界面及编程功能易于集成;易于将过程控制、逻辑控制、批量控制及运动控制等合为一体;不依赖于各种专有的控制系统。从长远角度看,PC 控制系统维护成本低,分布式智能控制带来了很大灵活性。与 PLC 相比,PC 软件很便宜。

随着技术发展,专用的、使用于工业环境的工业 PC 得到了异常迅速的发展。由于 PC-based 的工业计算机(简称工业 PC)的发展,以工业 PC、I/O 装置、监控装置、控制网络组成的 PC-based 的自动化系统得到了迅速普及,成为实现低成本工业自动化的重要途径。由于基于 PC 的控制器被证明可以像 PLC 一样可靠,并且被操作和维护人员接受,所以,一个接一个的制造商至少在部分生产中正在采用 PC 控制方案。基于 PC 的控制系统易于安装和使用,有高级的诊断功能,为系统集成商提供了更灵活的选择。由于 PLC 受 PC 控制的威胁最大,所以 PLC 供应商对 PC 的应用感到很不安。事实上,他们现在也加入到了 PC 控制“浪潮”中。

从世界范围来看,工业 PC 主要包含两种类型:IPC 工控机和 Compact PCI (Peripheral Component Interconnect)工控机以及它们的变形机,如 AT96 总线工控机等。由于基础自动化和过程自动化对工业 PC 的运行稳定性、热插拔和冗余配置要求很高,现有的 IPC 已经不能完全满足要求,将逐渐退出该领域,取而代之的将是 Compact PCI-based 工控机,而 IPC 将占据管理自动化层。有时候人们用一个新词:“基于 PC 的控制系统”(PC-Based Control

System, PCBCS), 它是指将经过加固的 PC 机硬件与控制软件相结合, 实施通常由专用 PLC 执行的控制功能, 或者说将 PLC 的控制功能“封装”在软件内, 运行在 PC 的环境中。

PCBCS 具有非常好的开放性, 下层对 I/O 系统是开放的, 可以支持多种 I/O 硬件, 包括很多 PLC 的远程 I/O 及 I/O 分站, 上层对多种管理及通信软件是开放的。

20 世纪 90 年代末期, PCI 总线技术开始在 IPC 中占主导地位, 使 IPC 工控机得以继续发展。取而代之的是以 Compact PCI 总线工控机为核心的第三代工控机技术。值得一提的是, IPC 工控机开创了一个崭新的 PC-based 时代, 对工业自动化和信息化技术的发展产生了深远的影响。Compact PCI 具有开放性、良好的散热性、高稳定性、高可靠性及可热插拔等特点, 非常适合于工业现场和信息产业基础设施的应用, 被众多业内人士认为是继 STD 和 IPC 之后的第三代工控机的技术标准。采用模块化的 Compact PCI 总线工控机技术开发产品, 可以缩短开发时间, 降低设计费用, 降低维护费用, 提升系统的整体性能。

基于 PC 的自动化控制解决方案的 7 种趋势是:

- 1) 在自动化控制技术中越来越多地使用 PC;
- 2) PC 专用软件越来越多, 人们可以在 PC 机上编程和操作, 如同在可编程序控制器上一样;
- 3) 可以在 PC 机上完成实时控制任务的系统软件的应用越来越广泛;
- 4) 传统的 PC 编程通过使用新的编程技术, 极大地推进了生产的进步, 使得基于 PC 的自动化控制技术得到飞跃发展;
- 5) 基于 PC 的自动化标准越来越多;
- 6) Internet 技术在自动化控制技术中越来越重要;
- 7) 分布式系统将改变自动化控制方式。

## 2. 基于 PLC 的控制系统

可编程序控制器的英文原来为 Programmable Controller, 在 20 世纪七八十年代一直简称为 PC。由于到 20 世纪 90 年代, 个人计算机发展起来, 也简称为 PC, 加上可编程序的概念所涵盖的范围太大, 所以美国 AB 公司首次将可编程序控制器重新命名为可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)。不过为了方便, 仍简称 PLC 为可编程序控制器或可编控制器。最早的 PLC 于 1969 年问世, 是美国数字公司为了满足美国 GM (General Motors) 公司装配线的要求而研制的。

PLC 是一种专为工业环境应用而设计的微机系统, 也可以认为是以微处理器为基础, 综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术而发展起来的一种新型、通用的自动控制装置。它的组成部分与一般的微机装置类似: 主要由中央处理单元、输入/输出接口、通信接口等部分组成, 其中 CPU 是 PLC 的核心, I/O 部件是连接现场设备与 CPU 之间的接口电路, 通信接口用于与编程器和上位机连接。对于整体式 PLC, 所有部件都装在同一机壳内; 对于模块式 PLC, 各功能部件独立封装, 称为模块或模板, 各模块通过总线连接, 安装在机架或导轨上。

它用可编程序的存储器来存储用户的指令, 通过数字或模拟的输入输出完成确定的逻辑、顺序、定时、计数和运算等功能。某些 PLC 还可进行 I/O 控制, 多台 PLC 之间进行通信与联网, 因此 PLC 在工业控制中得到了广泛的应用。在工业过程中, 除了以连续量为主的反馈控制外, 存在有大量的开关量为主的开环的顺序控制, 它按照逻辑条件按照时序进行



顺序动作，另外还有与顺序、时序无关的按照逻辑关系进行连锁保护动作的控制，以及大量的开关量、脉冲量、计时、计数器、模拟量的越限报警等状态量为主的离散量的数据采集监视。由于这些控制和监视的要求，所以 PLC 发展成了取代继电器线路和以进行顺序控制为主的产品。

### (1) PLC 的优点

- 通用性强，使用方便；
- 功能强，适应面广；
- 可靠性高，抗干扰能力强；
- 编程方法简单，容易掌握，特别是具有智能的 I/O 模块的开发成功，使 PLC 除了具有逻辑运算、逻辑判断等功能外，还具有数据处理、故障自诊断、PID 运算及网络等功能；
- PLC 控制系统的设计、安装、调试和维修工作量少，极为方便；控制程序变化方便，具有很好的柔性；
- 体积小、重量轻、功耗低。

这些特点大大地扩大了 PLC 的应用范围。目前从单机自动化到工厂自动化，从柔性制造系统、机器人到工业局部网络都可寻觅到 PLC 的踪影。主要应用有：开关量逻辑控制，运动控制，闭环过程控制，数据处理和通信联网。

### (2) PLC 的硬件

PLC 控制器本身的硬件采用积木式结构，各厂家产品结构大同小异。以日本欧姆龙 C200HE 为例，为总线模板框式结构，基本框架(CPU 母板)上装有 CPU 模板，其他槽位装有 I/O 模板；如果 I/O 模板较多，可由 CPU 母板经 I/O 扩展电缆连接 I/O 扩展母板，在其上装 I/O 模板；另一种方法是配备远程 I/O 从站等。这些都说明了 PLC 厂家将硬件各部件均向用户开发，便于用户选用，配置成规模不等的 PLC，而且这种硬件配置的开放性，为制造商、分销商(代理商)、系统集成商和最终用户带来很多方便。

PLC 内的 I/O 模板，除一般的 DI/DO 和 AI/AO 模板外，还发展了一系列特殊功能的 I/O 模板，这为 PLC 用于各行各业打开了出路，如用于条形码识别的 ASCII/BASIC 模板，用于反馈控制的 PID 模板，用于运行控制和机械加工的高速计数模板、单轴位置控制模板、双轴位置控制模板、凸轮定位器模板及射频识别接口模板等，这在以后还会有很大发展。另外在输入、输出的相关元件，强干扰场合的输入、输出电隔离、地隔离等方面也会更加完善。

PLC 中的 CPU 与存储器配合，完成控制功能。它与 DCS 系统处理温度、压力和流量等参数的系统不同，采用快速的巡回扫描周期，一般为 0.1 ~ 0.2s，更快的则选用 50ms 或更小的扫描周期。它是一个数字采样控制系统。

### (3) PLC 的软件

为了完成控制策略以及替代继电器，使用户等完成类似继电器线路的控制系统梯形图，而编制了一套控制算法功能块(或子程序)，称为指令系统，固化在存储器 ROM 中，用户在编制应用程序时可以调用。指令系统大致可以分为两类，即基本指令和扩展指令。细分一般 PLC 的指令系统有：基本指令、定时器/计数器指令、移位指令、传送指令、比较指令、转换指令、BCD 运算指令、二进制运算指令、增量/减量指令、逻辑运算指令和特殊运算指令