



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程教材
国家精品资源共享课程教材

计算机控制技术

于海生 等编著

第2版



免费
电子课件

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程教材

国家精品资源共享课程教材

计算机控制技术

第2版

于海生 丁军航 潘松峰
吴贺荣 高军伟 于金鹏 编著

机械工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材、国家精品课程教材、国家精品资源共享课程教材，主要是基于计算机控制技术的发展，利用工业界、学术界和教育界所取得的经验对第1版进行了修订。教材以主流机型 ISA/PCI/PCI-E 总线工业控制机或 PC 系列计算机为控制工具，系统地阐述了计算机控制系统的设计和工程实现方法。全书共分9章，内容包括：计算机控制系统及其组成，计算机控制系统的典型型式、发展概况和趋势；计算机控制系统的硬件设计技术；数字控制技术；常规及复杂控制技术；现代控制技术；先进控制技术；计算机控制系统的软件设计技术；分布式测控网络技术；计算机控制系统设计与实现。全书内容丰富，体系新颖，理论联系实际，系统性和实践性强。

本书可作为高等院校自动化类、电气工程类、电子信息类、计算机类、机械类、仪器类专业高年级本科生的教材，也可供有关技术人员参考和自学。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机控制技术/于海生等编著. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2016. 10

国家精品课程教材 国家精品资源共享课程教材 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-55018-1

I. ①计... II. ①于... III. ①计算机控制—高等学校—教材
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 238128 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: 王雅新 责任编辑: 王雅新 路乙达 刘丽敏

责任校对: 刘怡丹 责任印制: 常天培

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016 年 11 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20.75 印张 · 507 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-55018-1

定价: 45.00 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

服务咨询热线: 010-88379833 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649 机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

工业自动化是计算机的一个重要应用领域，计算机控制正是为了适应这一领域的需要而发展起来的一门专业技术，它主要研究如何将计算机技术、自动控制理论、通信与网络技术、电子技术和传感器技术应用于工业生产过程，并设计出所需要的计算机控制系统。“计算机控制技术”是我国高等学校自动化类、电气工程类、电子信息类、计算机类、机械类、仪器类等专业的主干专业课程或主要选修课程。

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材、国家精品课程教材、国家精品资源共享课程教材，主要是基于计算机控制技术的发展，利用工业界、学术界和教育界所取得的经验对第1版进行了修订。全书共分9章。第1章是绪论，介绍了计算机控制系统及其组成、计算机控制系统的典型型式、计算机控制系统的发展概况和趋势；第2章讨论了计算机控制系统的硬件设计技术；第3章讨论了数字控制技术，重点介绍了逐点比较法插补原理、多轴步进驱动控制技术和多轴伺服驱动控制技术；第4章讨论了常规及复杂控制技术，主要介绍了数字控制器的各种控制算法；第5章讨论了现代控制技术，主要介绍了采用状态空间的输出反馈设计法、极点配置设计法、最优化设计法；第6章讨论了先进控制技术，重点介绍了模糊控制技术、神经网络控制技术、专家控制技术和预测控制技术；第7章讨论了计算机控制系统的软件设计技术；第8章讨论了分布式测控网络技术；第9章讨论了计算机控制系统的设计原则、步骤和工程实现，并给出了设计实例。书中配有习题可供选用。全书内容丰富，体系新颖，理论联系实际，系统性和实践性强。

全书由于海生教授统稿。第1、3~5、7~9章主要内容由于海生编写，部分内容由于丁军航编写。第2章第1、2节由潘松峰和于海生编写。第2章第3~5节主要内容由于海生编写，部分内容由于金鹏、丁军航编写。第2章第6节、第3章第3~5节由于海生和吴贺荣编写。第6章第1、6节由于海生编写，第2、3、4节由高军伟编写，第5节由于军航编写。

由于编著者水平有限，书中难免有不妥与错误之处，诚请读者批评指正。

于海生

目 录

前 言	
第 1 章 绪论	1
1.1 计算机控制系统概述	1
1.1.1 自动控制系统	1
1.1.2 计算机控制系统	2
1.1.3 计算机控制系统的组成	2
1.1.4 常用的计算机控制系统主机	4
1.2 计算机控制系统的典型型式	5
1.2.1 操作指导控制系统	6
1.2.2 直接数字控制系统	6
1.2.3 监督控制系统	6
1.2.4 集散控制系统	7
1.2.5 现场总线控制系统	8
1.2.6 综合自动化系统	8
1.3 计算机控制系统的发展概况和趋势	9
1.3.1 计算机控制系统的发展概况	9
1.3.2 计算机控制系统的发展趋势	11
习题	13
第 2 章 计算机控制系统的硬件设计技术	14
2.1 工控机的总线技术	14
2.1.1 总线的定义、层次结构及种类	14
2.1.2 系统总线简介	14
2.1.3 外部总线简介	21
2.2 总线接口扩展技术	22
2.2.1 系统总线接口扩展技术	22
2.2.2 外部总线接口扩展技术	27
2.3 输入输出接口与过程通道设计原理	30
2.3.1 数字量输入接口与过程通道	30
2.3.2 数字量输出接口与过程通道	32
2.3.3 模拟量输入接口与过程通道	33
2.3.4 模拟量输出接口与过程通道	44
2.4 基于系统总线的计算机控制系统硬件设计	48
2.4.1 基于系统总线的硬件设计方案	48
2.4.2 系统总线板卡	49
2.5 基于外部总线的计算机控制系统硬件设计	54
2.5.1 基于外部总线的硬件设计方案	54
2.5.2 远程 I/O 模块	55
2.5.3 其他测控装置	58
2.6 硬件抗干扰技术	63
2.6.1 过程通道抗干扰技术	64
2.6.2 主机抗干扰技术	69
2.6.3 系统供电与接地技术	71
习题	75
第 3 章 数字控制技术	77
3.1 数字控制基础	77
3.1.1 数控技术发展概况	77
3.1.2 数字控制原理	78
3.1.3 数字控制方式	79
3.1.4 数字控制系统	79
3.1.5 数控系统的分类	81
3.2 运动轨迹插补原理	81
3.2.1 逐点比较法直线插补	81
3.2.2 逐点比较法圆弧插补	85
3.2.3 数字积分法插补	88
3.3 进给速度与加减速控制	92
3.3.1 进给速度控制	92
3.3.2 加减速控制	93
3.4 电动机驱动控制与位置伺服系统	96
3.4.1 电动机驱动控制方式	96
3.4.2 位置伺服系统	102
3.5 多轴运动控制技术	105
3.5.1 PC + 运动控制器/运动控制卡硬件方案	106
3.5.2 软件系统设计	107

3.5.3 数控系统设计举例—基于 PC 的多轴运动控制	109
习题	112
第 4 章 常规及复杂控制技术	113
4.1 数字控制器的连续化设计技术	113
4.1.1 数字控制器的连续化设计步骤	113
4.1.2 数字 PID 控制器的设计	116
4.1.3 数字 PID 控制器的改进	119
4.1.4 数字 PID 控制器的参数整定	123
4.2 数字控制器的离散化设计技术	127
4.2.1 数字控制器的离散化设计步骤	128
4.2.2 最少拍控制器的设计	129
4.2.3 最少拍有纹波控制器的设计	133
4.2.4 最少拍无纹波控制器的设计	136
4.3 纯滞后控制技术	139
4.3.1 施密斯 (Smith) 预估控制	139
4.3.2 达林 (Dahlin) 算法	141
4.4 串级控制技术	145
4.4.1 串级控制的结构和原理	145
4.4.2 数字串级控制算法	146
4.4.3 副回路微分先行串级控制算法	147
4.5 前馈-反馈控制技术	148
4.5.1 前馈控制的结构和原理	148
4.5.2 前馈-反馈控制结构	149
4.5.3 数字前馈-反馈控制算法	150
4.6 解耦控制技术	152
4.6.1 解耦控制原理	153
4.6.2 数字解耦控制算法	154
习题	155
第 5 章 现代控制技术	157
5.1 采用状态空间的输出反馈设计法	157
5.1.1 连续状态方程的离散化	157
5.1.2 最少拍无纹波系统的跟踪条件	158
5.1.3 输出反馈设计法的设计步骤	158
5.2 采用状态空间的极点配置设计法	161
5.2.1 按极点配置设计控制规律	162
5.2.2 按极点配置设计状态观测器	164
5.2.3 按极点配置设计控制器	168
5.2.4 跟踪系统设计	172
5.3 采用状态空间的最优化设计法	174
5.3.1 LQ 最优控制器设计	175
5.3.2 状态最优估计器设计	178
5.3.3 LQG 最优控制器设计	182
5.3.4 跟踪系统设计	183
习题	184
第 6 章 先进控制技术	185
6.1 模糊控制技术	185
6.1.1 模糊控制的数学基础	185
6.1.2 模糊控制原理	190
6.1.3 模糊控制器设计	194
6.2 神经网络控制技术	199
6.2.1 神经网络基础	199
6.2.2 神经网络控制	201
6.3 专家控制技术	204
6.3.1 专家系统	204
6.3.2 专家控制介绍	205
6.3.3 专家控制基本思想	207
6.3.4 专家控制组织结构	210
6.4 预测控制技术	211
6.4.1 内部模型	211
6.4.2 预测模型	212
6.4.3 预测控制算法	214
6.5 网络控制系统	217
6.5.1 网络控制系统的定义	217
6.5.2 网络控制系统的结构和模型	217
6.5.3 网络控制系统的常见问题	219
6.5.4 网络控制系统性能分析	220
6.6 其他先进控制技术	221
习题	222
第 7 章 计算机控制系统的软件设计技术	223
7.1 程序设计技术	223
7.1.1 模块化与结构化程序设计	223
7.1.2 面向过程与面向对象的程序设计	225
7.1.3 高级语言 I/O 控制台编程	226
7.2 人机接口 (HMI/SCADA) 技术	226
7.2.1 HMI/SCADA 的含义	226
7.2.2 基于工业控制组态软件设计人机交互界面	227
7.2.3 基于 VB/VC++ 语言设计人机交互界面	229
7.3 测量数据预处理技术	230
7.3.1 误差自动校准	230
7.3.2 线性化处理和非线性补偿	231

7.3.3 标度变换方法	233	8.4.1 工业以太网测控系统概述	282
7.3.4 越限报警处理	234	8.4.2 工业以太网测控系统	283
7.4 数字控制器的工程实现	234	8.5 系统集成与集成自动化系统	285
7.4.1 给定值和被控量处理	235	8.5.1 系统集成的含义与框架	285
7.4.2 偏差处理	236	8.5.2 集成自动化系统的体系结构	288
7.4.3 控制算法的实现	237	8.6 综合自动化系统	291
7.4.4 控制量处理	237	8.6.1 五层 Purdue 模型	291
7.4.5 自动/手动切换技术	238	8.6.2 ERP-MES-PCS 三层结构	293
7.5 系统的有限字长数值问题	239	8.6.3 综合自动化系统的实现	296
7.5.1 量化误差来源	239	习题	299
7.5.2 A-D、D-A 及运算字长的选择	241	第9章 计算机控制系统设计与实现	300
7.6 软件抗干扰技术	244	9.1 系统设计的原则与步骤	300
7.6.1 数字滤波技术	244	9.1.1 系统设计的原则	300
7.6.2 开关量的软件抗干扰技术	246	9.1.2 系统设计的步骤	301
7.6.3 指令冗余技术	247	9.2 系统的工程设计与实现	304
7.6.4 软件陷阱技术	247	9.2.1 系统总体方案设计	304
习题	248	9.2.2 硬件的工程设计与实现	305
第8章 分布式测控网络技术	249	9.2.3 软件的工程设计与实现	307
8.1 工业网络技术	249	9.2.4 系统的调试与运行	309
8.1.1 工业网络概述	249	9.3 设计举例——啤酒发酵过程计算机控制 系统	313
8.1.2 数据通信编码技术	256	9.3.1 啤酒发酵工艺及控制要求	313
8.1.3 网络协议及其层次结构	257	9.3.2 系统总体方案的设计	313
8.1.4 IEEE 802 标准	259	9.3.3 系统硬件和软件的设计	315
8.1.5 工业网络的性能评价和选型	259	9.3.4 系统的安装调试运行及控制 效果	318
8.2 分布式控制系统	261	9.4 设计举例——机器人计算机控制 系统	318
8.2.1 DCS 概述	261	9.4.1 PUMA560 机器人的结构原理	318
8.2.2 DCS 的分散控制级	265	9.4.2 机器人运动学方程	319
8.2.3 DCS 的集中监控级	268	9.4.3 机器人动力学方程	319
8.2.4 DCS 的综合管理级	270	9.4.4 机器人手臂的独立关节位置 伺服控制	320
8.3 现场总线控制系统	272	参考文献	322
8.3.1 现场总线概述	272		
8.3.2 五种典型的现场总线	277		
8.3.3 FF 现场总线技术	279		
8.4 工业以太网	282		

第1章

绪 论

目前，工业控制主要采用计算机控制方式而非模拟控制方式，其主要原因是低成本计算机和工业控制机的涌现，以及它们采用的数字信号具有连续信号无法比拟的优点。可以把计算机控制系统看作是模拟控制系统的一种近似，但这种看法是相当狭隘的，因为它没有充分发挥计算机控制的潜力，最多只能获得与采用模拟控制时一样的控制效果。近年来，自动控制技术、计算机技术、大数据技术、物联网技术、网络与通信技术、检测与传感器技术、显示技术、电子技术等的高速发展，给计算机控制技术带来了巨大的变革。利用这些技术可以完成模拟控制技术无法完成的任务，达到模拟控制技术无法达到的性能指标。

本章主要内容包括计算机控制系统概述、计算机控制系统的分类以及计算机控制系统的发展概况和趋势。

1.1 计算机控制系统概述

1.1.1 自动控制系统

在工程和科学技术领域，自动控制担负着重要任务。自动控制理论和技术的不断发展，为人们提供了获得动态系统最佳性能的方法，提高了生产率，并使人们从繁重的体力劳动和大量重复性的手工操作中解放出来。所谓自动控制，就是在没有人直接参与的情况下，通过控制器使生产过程自动地按照预定的规律运行。图 1-1 为自动控制系统原理框图。



图 1-1 自动控制系统原理框图

典型的工业生产过程可分为三种：连续过程（Continuous process）、离散过程（Discrete process）和批量过程（Batch process）。连续过程也称为流程工业，其产品一般都是流体，如液体、气体等。离散过程也称为制造业，其产品是“固态”、按件计量的，过程的输入输出变量为时间离散和幅度离散的量，如产品的数量、开关的状态等。批量过程是指间歇性多品种生产过程，其特点是连续过程和离散过程交替进行，配方的切换和生产工艺的改变是离散过程，而在确定了配方和生产工艺后的生产过程又是一个连续过程。

1.1.2 计算机控制系统

计算机控制系统就是利用计算机（通常称为工业控制计算机，简称工业控制机）来实现生产过程自动控制的系统。近年来，计算机已成为自动控制技术不可分割的重要组成部分，并为自动控制技术的发展和應用开辟了广阔的新天地。

(1) 计算机控制系统的工作原理

为了简单和形象地说明计算机控制系统的工作原理，图 1-2 给出了典型的计算机控制系统原理框图。在计算机控制系统中，由于工业控制机的输入和输出是数字信号，因此需要有 A-D 和 D-A 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 实时数据采集：对来自传感器（变送器）的被控量瞬时值进行检测和采集输入。
- ② 实时控制决策：对采集到的被控量进行分析和处理，并按已定的控制规律，决定将要采取的控制行为。
- ③ 实时控制输出：根据控制决策，适时地对执行器发出控制信号，完成控制任务。

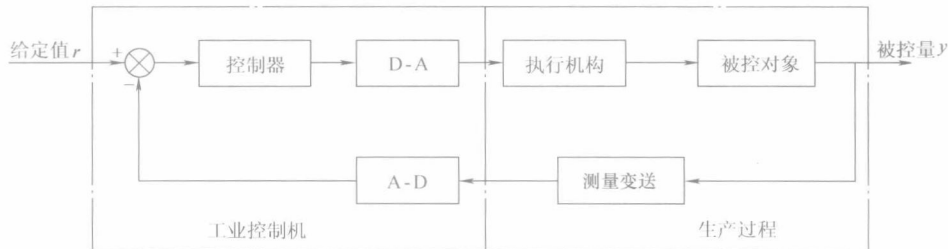


图 1-2 计算机控制系统原理框图

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。

(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，而是靠人进行联系并做相应操作的方式称为离线方式或脱机方式。

(3) 实时的含义

所谓实时，是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成，亦即计算机对输入信息，以足够快的速度进行控制，超出了这个时间，就失去了控制的时机，控制也就失去了意义。实时的概念不能脱离具体过程，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。

1.1.3 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由计算机（工业控制机）和生产过程两大部分组成。图 1-3 给出了计算机控制系统的组成框图。

1. 工业控制机的组成

工业控制机是指按生产过程控制的特点和要求而设计的计算机，它包括硬件和软件两个

组成部分。

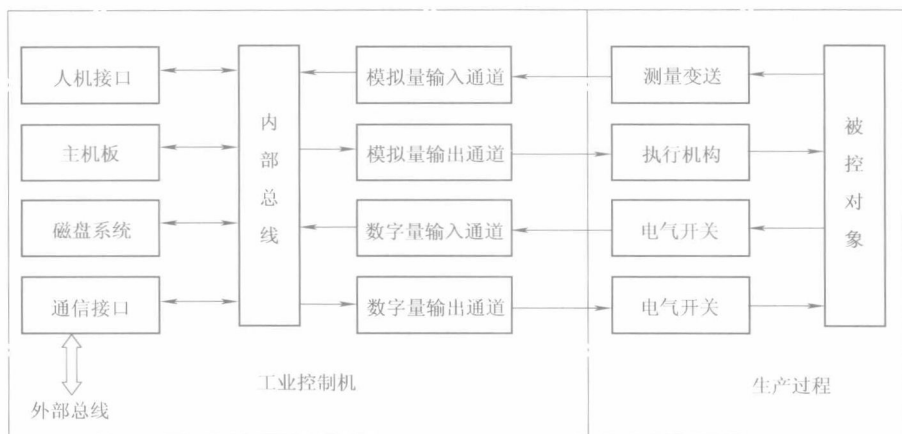


图 1-3 计算机控制系统的组成框图

(1) 硬件组成

工业控制机的硬件包括主机板、内部总线和外部总线、人机接口、磁盘系统、通信接口、输入输出通道。

① 主机板

主机板由中央处理器（CPU）、内存储器（RAM、ROM）、监控定时器、电源掉电检测、保护重要数据的后备存储器体、实时日历时钟等部件组成，是工业控制机的核心。在控制系统中，主机主要进行必要的数值计算、逻辑判断、数据处理等工作。

② 内部总线和外部总线

内部总线是工业控制机内部各组成部分进行信息传送的公共通道，它是一组信号线的集合。常用的内部总线有 PC 总线、ISA 总线、PCI 总线和 PCI-E 总线。

外部总线是工业控制机与其他计算机和智能设备进行信息传送的公共通道，常用外部总线有 RS-232C 和 USB。

③ 人机接口

人机接口由操作台、标准的 PC 键盘、显示器和打印机组成。操作台是计算机控制系统中人机对话的联系纽带，操作台一般由 LED 显示、操作按钮/开关、状态指示灯等组成。

④ 磁盘系统

磁盘系统可以用半导体虚拟磁盘，也可以配通用的软磁盘和硬磁盘。

⑤ 通信接口

通信接口是工业控制机和其他计算机或智能外设通信的接口，常用 RS-232C 和 USB。

⑥ 输入输出通道

输入输出通道是工业控制机和生产过程之间设置的信号传递和变换的连接通道。它包括模拟量输入通道、模拟量输出通道、数字量（或开关量）输入通道、数字量（或开关量）输出通道，它的作用有两个，其一是将生产过程的信号变换成主机能够接受和识别的代码；其二是将主机输出的控制命令和数据经变换后作为执行机构或电气开关的控制信号。

(2) 软件组成

计算机控制系统的硬件只能构成裸机，它只为计算机控制系统提供了物质基础。裸机只是系

统的躯干，既无思维，又无知识和智能，因此必须为裸机提供或研制软件，才能把人的知识和思维用于对生产过程的控制。软件是计算机控制系统的程序系统，它可分为系统软件和应用软件。

系统软件包括实时多任务操作系统、引导程序、调度执行程序，如美国 Intel 公司推出的 iRMX86 实时多任务操作系统，美国 Ready System 公司推出的嵌入式实时多任务操作系统 VRTX/OS，还有 Linux、WinCE 等实时多任务操作系统。除了实时多任务操作系统以外，也常使用 Windows 等系统软件。

应用软件是系统设计人员针对某个生产过程而编制的控制和管理程序。它包括过程输入程序、过程控制程序、过程输出程序、人机接口程序、打印显示程序和公共子程序等。

计算机控制系统随着硬件技术高速发展，对软件也提出了更高的要求。只有软件和硬件相互配合，才能发挥计算机的优势，研制出具有更高性能价格比的计算机控制系统。

2. 生产过程

生产过程包括被控对象和测量变送、执行机构、电气开关等装置，这些装置都有各种类型的标准产品，在设计计算机控制系统时，根据需要合理地选型即可。

1.1.4 常用的计算机控制系统主机

在计算机控制系统中，可编程序控制器、工控机、单片机、DSP、嵌入式系统、智能调节器等，都是常用的控制器，适应不同的应用要求。在工程实际中，选择何种控制器，应根据控制规模、工艺要求、控制特点和所完成的工作来确定。

1. 可编程序控制器（PLC）

IEC（国际电工委员会）于1982年（第一版）和1985年（修订版）对PC（也称PLC）作了定义，其中修订版的定义为：PC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。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指令，并通过数字式或模拟式的输入与输出，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外部设备，都按易于与工业控制系统联成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。

由于PLC是一种专为工业环境下设计的计算机控制器，具有可靠性高、编程容易、功能完善、扩展灵活、安装调试简单方便的特点。国内外生产PLC的厂家有很多，如德国西门子的S系列，日本的OMRON的C系列，日本三菱的F、F1、F3、FX系列。

2. 工控机（IPC）

工业控制机（简称工控机），是一种面向工业控制、采用标准总线技术和开放式体系结构的计算机，配有丰富的外围接口产品，如：模拟量输入/输出模版、数字量输入/输出模版等。广为流行的工控机有：PC总线、ISA总线、PCI总线、PCI-E总线等工控机；嵌入式工控机；平板工控机。工控机具有可靠性高、可维修性好、环境适应性强、控制实时性强、输入输出通道完善、软件丰富等特点。

3. 嵌入式系统

根据IEEE（国际电气与电子工程师协会）的定义，嵌入式系统是“控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的设备”（原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants）。嵌入式系统是软件和硬件的综合体，其中嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器。嵌入式处理器可以分成下面几类：

(1) 嵌入式微处理器 (Micro Processor Unit, MPU)

嵌入式微处理器是具有 32 位以上的处理器,具有较高的性能。与计算机处理器不同的是,在实际嵌入式应用中,只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件,去除其他的冗余功能部分,这样就以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。与工业控制计算机相比,嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。目前主要的嵌入式处理器类型有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM/ Strong ARM 系列等。

(2) 嵌入式微控制器 (Microcontroller Unit, MCU)

嵌入式微控制器的典型代表是单片机。微控制器的最大特点是单片化,体积大大减小,从而使功耗和成本下降、可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富,适合于控制。比较有代表性的包括 MCS-8051、MCS-251、MCS-96、P51XA、C166/167、68K 系列以及 MCU 8XC930/931、C540、C541,并且有支持 I²C、CAN-Bus、LCD 及众多专用 MCU 和兼容系列。

(3) 嵌入式 DSP 处理器 (Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

DSP 处理器是专门用于信号处理方面的处理器,其在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计,具有很高的编译效率和指令的执行速度。在数字滤波、FFT、谱分析等各种仪器上 DSP 获得了大规模的应用。

目前最为广泛应用的是美国 TI 公司的 TMS320C2000/C5000 系列,另外如 Intel 的 MCS-296 和 Siemens 的 TriCore 也有各自的应用范围。

(4) 嵌入式片上系统 (System on Chip, SoC)

SoC 最大的特点是成功实现了软硬件无缝结合,直接在处理器片内嵌入操作系统的代码模块。而且 SoC 具有极高的综合性,在一个硅片内部运用 VHDL 等硬件描述语言,实现一个复杂的系统。

由于 SoC 往往是专用的,所以大部分都不为用户所知,比较典型的 SoC 产品是 Philips 的 Smart XA。少数通用系列如 Siemens 的 TriCore, Motorola 的 M-Core,某些 ARM 系列器件, Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。

4. 智能调节器

智能调节器是一种数字化的过程控制仪表,以微处理器或单片微型计算机为核心,具有数据通信功能,能完成生产过程 1~4 个回路直接数字控制任务,在 DCS 的分散过程控制级中得到了广泛的应用。智能调节器不仅可接受 DC 4~20mA 电流信号输入的设定值,还具有异步通信接口 RS-422/485、RS-232 等,可与上位机连成主从式通信网络,发送接收各种过程参数和控制参数。

智能调节器在我国工业控制领域得到了广泛的应用,市场中常用的智能调节器国外的品牌有: SHIMADEN (日本岛电)、YAKOGAWA (日本横河)、HONEWELL (美国霍尼韦尔)、OMRON (日本欧姆龙) 以及 RKC (日本理化) 等;国内的品牌有: 厦门宇电自动化科技有限公司 (厦门宇光) 的 AI 系列。

1.2 计算机控制系统的典型型式

计算机控制系统所采用的型式与生产过程的复杂程度密切相关,不同的被控对象和不同

的要求应有不同的控制方案。计算机控制系统大致可分为以下几种典型的型式。

1.2.1 操作指导控制系统

操作指导控制系统如图 1-4 所示。该系统不仅具有数据采集和处理的功能,而且能够为操作人员提供反映生产过程工况的各种数据,并相应地给出操作指导信息,供操作人员参考。

操作指导控制系统属于开环控制结构。计算机根据一定的控制算法(数学模型),依赖测量元件测得的信号数据,计算出供操作人员选择的最优操作条件及操作方案。操作人员根据计算机的输出信息,如 CRT 显示图形或数据、打印机输出等去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

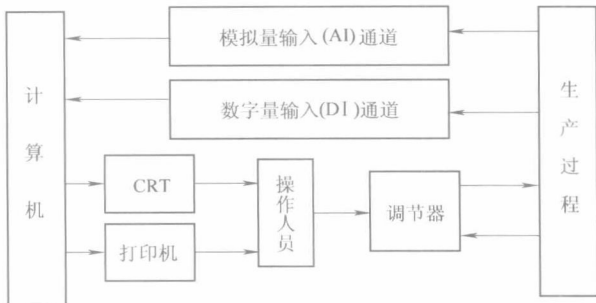


图 1-4 操作指导控制系统

操作指导控制系统的优点是结构简单,控制灵活和安全。缺点是要由人工操作,速度受到限制,不能控制多个对象。

1.2.2 直接数字控制系统

直接数字控制(Direct Digital Control, DDC)系统如图 1-5 所示。计算机首先通过模拟量输入通道(AI)和开关量输入通道(DI)实时采集数据,然后按照一定的控制规律进行计算,最后发出控制信息,并通过模拟量输出通道(AO)和开关量输出通道(DO)直接控制生产过程。DDC 系统属于计算机闭环控制系统,是计算机在工业生产中最普遍的一种应用方式。

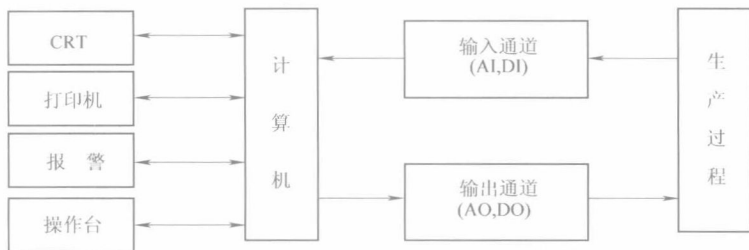


图 1-5 直接数字控制系统

由于 DDC 系统中的计算机直接承担控制任务,所以要求其实时性好、可靠性高和适应性强。为了充分发挥计算机的利用率,一台计算机通常要控制几个或几十个回路,那就要合理地设计应用软件,使之不失时机地完成所有功能。

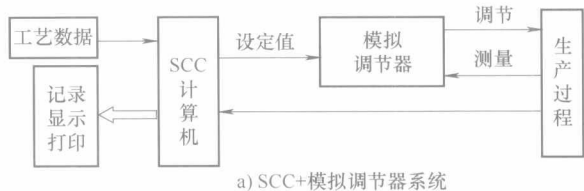
1.2.3 监督控制系统

监督控制(Supervisory Computer Control, SCC)中,计算机根据原始工艺信息和其他参

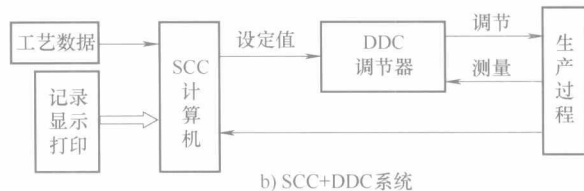
数，按照描述生产过程的数学模型或其他方法，自动地改变模拟调节器或以直接数字控制方式工作的微型机中的给定值，从而使生产过程始终处于最优工况（如保持高质量、高效率、低消耗、低成本等）。从这个角度上说，它的作用是改变给定值，所以又称设定值控制（Set Point Control, SPC）。监督控制系统有两种不同的结构型式，如图 1-6 所示。

1. SCC + 模拟调节器的控制系统

该系统是由微型机系统对各物理量进行巡回检测，并按一定的数学模型对生产工况进行分析、计算后得出控制对象各参数最优给定值送给调节器，使工况保持在最优状态。当 SCC 微型机出现故障时，可由模拟调节器独立完成操作。



a) SCC+模拟调节器系统



b) SCC+DDC 系统

图 1-6 监督控制系统的两种结构型式

2. SCC + DDC 的分级控制系统

这实际上是一个二级控制系统，SCC 可采用高档微型机，它与 DDC 之间通过接口进行信息联系。SCC 微型机可完成工段、车间高一级的最优化分析和计算，并给出最优给定值，送给 DDC 级执行过程控制。当 DDC 级微型机出现故障时，可由 SCC 微型机完成 DDC 的控制功能，这种系统提高了可靠性。

1.2.4 集散控制系统

集散控制系统（Distributed Control System, DCS），也叫分布式控制系统，采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调的方法，把系统从上到下分为现场设备级、分散控制级、集中监控级、综合管理级，形成分级分布式控制，其结构如图 1-7 所示。

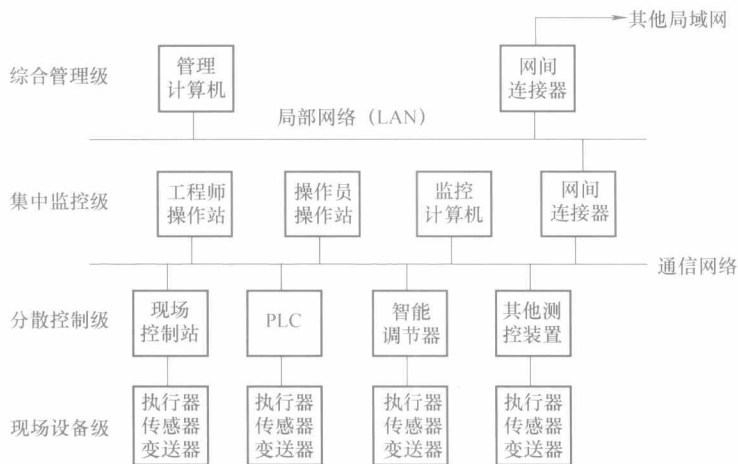


图 1-7 DCS 结构示意图

1.2.5 现场总线控制系统

现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS) 是新一代分布式控制系统, 其结构如图 1-8 所示。DCS 的结构模式为: “操作站—控制站—现场仪表” 三层结构, 系统成本较高, 而且各厂商的 DCS 有各自的标准, 不能互联。FCS 与 DCS 不同, 它的结构模式为: “工作站—现场总线智能仪表” 两层结构, FCS 用二层结构完成了 DCS 中的三层结构功能, 降低了成本, 提高了可靠性, 可实现真正的开放式互连系统结构。

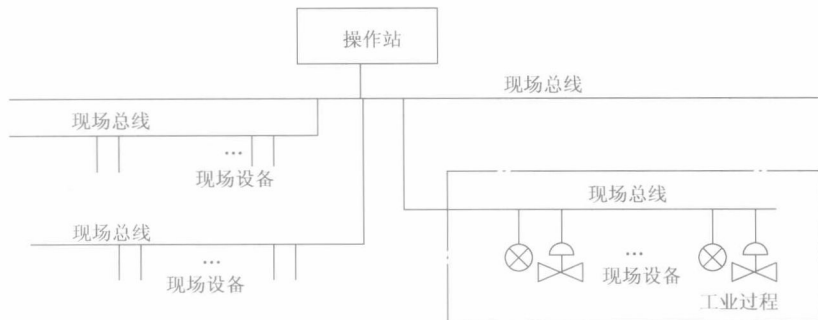


图 1-8 FCS 结构示意图

1.2.6 综合自动化系统

在现代工业生产中, 综合自动化系统不仅包括各种简单和复杂的自动调节系统、顺序逻辑控制系统、自动批处理控制系统、连锁保护系统等, 也包括各生产装置先进控制、企业实时生产数据集成、生产过程流程模拟与优化、生产设备故障诊断和维护、根据市场和生产设备状态进行生产计划和排产调度系统、以产品质量和成本为中心的生产管理系统、营销管理系统和财务管理系统等, 涉及产品物流增值链和产品生命周期的所有过程, 为企业提供全面的解决方案。

目前, 由企业资源信息管理系统 (Enterprise Resources Planning, ERP)、生产执行系统 (Manufacturing Execution System, MES) 和生产过程控制系统 (Process Control System, PCS) 构成的三层结构, 已成为综合自动化系统的整体解决方案, 如图 1-9 所示。综合自动化系统主要包括制造业的计算机集成制造系统、流程工业的计算机集成过程系统和信息物理系统。

1. CIMS

计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacture System, CIMS), 借助于计算机的硬件、软件技术, 综合运用现代管理技术、制造技术、信息技术、自动化技术、系统工程技术, 将企业生产全部过程中有关人、技术、经营管理三要素及其信息流、物流有机地集成并优化运行, 以使产品上市快、质量好、成本低、服务优, 达到提高企业市场竞争能力的目的。

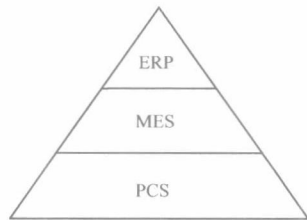


图 1-9 综合自动化系统三层结构

2. CIPS

CIMS 应用到流程工业又称计算机集成过程系统 (Computer Integrated Process System, CIPS), 也叫流程工业综合自动化系统, 在石油、化工、能源、食品、制药、炼钢和造纸等行业得到了广泛的实施和应用。CIPS 充分利用企业内、外部的各种信息量, 将经营管理与生产控制有机地结合起来, 可以为流程工业带来更大的经济效益。

3. CPS

无论是中国制造 2025 的两化深度融合战略, 还是德国工业 4.0、美国工业互联网战略, 其共同点和核心均是信息物理系统 (Cyber—Physical Systems, CPS)。信息物理系统是计算机技术、通信技术、控制技术有机融合的产物, 能对任何工程系统与信息交互系统进行实时感知与动态控制, 并提供相应的信息服务。CPS 的意义在于, 把不同的物理设备接入一个互联网体系当中。经过信息通信技术改造的物理设备, 获得了数据计算、实时通信、精确控制、远程协调与自我管理 5 个功能。从根本上说, CPS 就是一种具备控制系统功能的互联网体系, 比普通的控制系统多了开放、共享、信息交换功能。

1.3 计算机控制系统的发展概况和趋势

1946 年 2 月 15 日, 世界上第一台计算机 ENICA 在美国的宾尼法尼亚大学诞生, 从此, 计算机在世界各国得到了极大的重视和迅速的发展。计算机控制技术是自动控制理论与计算机技术相结合的产物, 它的发展同样也离不开自动控制理论和计算机技术的发展, 本节将回顾计算机控制系统的发展概况, 并讨论计算机控制系统的发展趋势。

1.3.1 计算机控制系统的发展概况

1. 计算机技术的发展过程

在生产过程控制中采用数字计算机的思想出现在 20 世纪 50 年代中期。最重要的工作开始于 1956 年 3 月, 当时美国德克萨斯州的一个炼油厂与美国的 TRW 航空工业公司合作进行计算机控制研究, 经过三年的努力, 设计出了一个采用 RW-300 计算机控制的聚合装置的系统, 该系统控制 26 个流量, 72 个温度, 3 个压力, 3 个成分, 控制的目的是使反应器的压力最小, 确定对 5 个反应器供料的最佳分配, 根据催化剂活性测量结果来控制热水的流量以及确定最优循环。TRW 公司的这项开创性工作, 为计算机控制技术的发展奠定了基础, 从此, 计算机控制技术获得了迅速的发展。

为了讨论这种急剧的发展, 可按以下四个阶段来描述其发展过程:

(1) 开创时期 (1955 ~ 1962 年)

早期的计算机使用电子管, 体积庞大, 价格昂贵, 可靠性差, 所以它只能从事一些操作指导和设定值控制。过程控制向计算机提出了许多特殊的要求, 需要它对各种过程命令做出迅速响应, 从而导致中断技术的发明, 使计算机能够对更紧迫的过程任务及时作出反应。

(2) 直接数字控制时期 (1962 ~ 1967 年)

早期的计算机控制按照监督方式运行, 属于操作指导或设定值控制, 仍需要常规的模拟控制装置。1962 年, 英国的帝国化学工业公司利用计算机完全代替了原来的模拟控制。该计算机控制 224 个变量和 129 个阀门。由于计算机直接控制过程变量, 完全取代了原来的模

拟控制，因而称这样的控制为直接数字控制（DDC）。

采用 DDC 系统一次投资较大，而增加一个控制回路并不需要增加很多费用。灵活性是 DDC 系统的又一个优点，改变模拟控制系统需要改变线路，而改变计算机控制系统只需要改变程序即可。DDC 是计算机控制技术发展方向上的重大变革，为以后的发展奠定了基础。

(3) 小型计算机时期（1967 ~ 1972 年）

20 世纪 60 年代计算机技术有了很大的发展，主要特点是它的体积更小，速度更快，工作可靠，价格更便宜。到了 20 世纪 60 年代后半期，出现了各种类型的适合工业控制的小型计算机，从而使得计算机控制系统不再是大型企业的工程项目，对于较小的工程问题也能利用计算机来控制。由于小型机的出现，过程控制计算机的台数迅速增长。

(4) 微型计算机时期（1972 年 ~ 至今）

在 1972 年之后，由于微型计算机的出现和发展，计算机控制技术进入了崭新的阶段。在 20 世纪 80 年代，微电子学出现了超大规模集成电路技术而获得急剧发展，出现了各种类型的计算机和计算机控制系统。目前多媒体计算机的出现也必将推动计算机控制技术的发展。

采用微型计算机，已经制造出大量的分级递阶控制系统、分散型控制系统、专用控制器等，对工业的发展起到了巨大促进作用。

与计算机的硬件相比，计算机的软件的发展则要慢得多，在 20 世纪 50 年代至 70 年代，软件生产的改进很有限。到 20 世纪 70 年代末，许多计算机控制系统仍采用汇编语言编程。现在已采用了高级语言进行实时控制，如 Forth、BASIC、Fortran、C、Pascal、C++、VB、VC++ 等语言，这是今后的发展方向。

2. 计算机控制理论的发展过程

虽然采样系统理论目前主要用在计算机控制方面，并已取得重要成果，但仍然在发展之中，为了获得这个领域的全面知识，有必要回顾一下其发展过程。

(1) 采样定理

既然所有的计算机控制系统，都只根据离散的过程变量值来工作，那么就要弄清楚信号在什么条件下，才能只根据它在离散点上的值重现出来。此关键性的问题是由奈奎斯特解决的，他证明，要把正弦信号从它的采样值中复现出来，每周期至少必须采样两次。香农 (Shannon) 于 1949 年在他的重要论文中完全解决了这个问题。

(2) 差分方程

采样系统理论的最初起源与某些特殊控制系统的分析有关。奥尔登伯格 (Oldenburg) 和萨托里厄斯 (Sartorius) 于 1948 年对落弓式检流计的特性做了研究，这项研究对采样系统理论做出了最早的贡献。业已证明，许多特征都可以通过分析一个线性时不变的差分方程来理解，即用差分方程代替了微分方程。例如，稳定性研究可以采用舒尔-科恩 (Schur-Cohn) 法，它相当于连续时间系统的劳斯-霍尔维兹判据 (Routh-Hurwitz criterion)。

(3) Z 变换法

由于拉普拉斯变换理论已经成功地应用于连续时间系统中，人们自然想到为采样系统建立一种类似的变换理论。霍尔维兹于 1947 年对序列 $\{f(kT)\}$ 引进了一个变换为

$$Z[f(kT)] = \sum_{k=0}^{\infty} z^{-k} f(kT)$$