



高等学校计算机专业规划教材

计算机控制技术

李敬兆 王卫平 宋欣欣 编著
徐 辉 程 建 李 洁



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校计算机专业规划教材

计算机控制技术

李敬兆 王卫平 宗欣欣

徐 辉 程 建 李 洁

编著

西安电子科技大学出版社

高等学校计算机专业“十一五”规划教材

编审专家委员会

主 任: 马建峰 (西安电子科技大学计算机学院院长, 教授)

副主任: 赵祥模 (长安大学信息工程学院院长, 教授)

余日泰 (杭州电子科技大学计算机学院副院长, 副教授)

委 员: (按姓氏笔画排列)

王忠民 (西安邮电学院计算机系副主任, 教授)

王培东 (哈尔滨理工大学计算机与控制学院院长, 教授)

石美红 (西安工程大学计算机科学与技术系主任, 教授)

纪 震 (深圳大学软件学院院长, 教授)

刘卫光 (中原工学院计算机学院副院长, 教授)

陈 以 (桂林电子科技大学计算机与控制学院副院长, 副教授)

张允赛 (江苏科技大学电子信息学院副院长, 教授)

邵定宏 (南京工业大学信息科学与工程学院副院长, 教授)

张秀虹 (青岛理工大学计算机工程学院副院长, 教授)

张焕君 (沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长, 副教授)

张瑞林 (浙江理工大学信息电子学院副院长, 教授)

李敬兆 (安徽理工大学计算机科学与技术学院院长, 教授)

范 勇 (西南科技大学计算机学院副院长, 副教授)

陈庆奎 (上海理工大学计算机学院副院长, 教授)

周维真 (北京信息科技大学计算机学院副院长, 教授)

徐 苏 (南昌大学计算机系主任, 教授)

姚全珠 (西安理工大学计算机学院副院长, 教授)

徐国伟 (天津工业大学计算机技术与自动化学院副院长, 副教授)

容晓峰 (西安工业大学计算机学院副院长, 副教授)

龚尚福 (西安科技大学计算机系主任, 教授)

策 划: 臧延新 云立实

杨 璠 陈 婷

前 言

计算机控制技术课程是信息学科自动化、电子信息类专业的一门专业必修课。计算机控制技术把计算机技术与自动化控制系统融为一体,是以计算机为核心部件的过程控制工程和运动控制工程的综合性技术。计算机控制技术涉及自动化技术、计算机技术、通信技术等诸多学科,呈现出智能化、信息电子化与网络化的特点,并以日新月异的速度发展。

本书的编写体系新颖,兼顾理论与应用,突出系统和实践,融入了计算机控制领域的一些新方法及作者的一些科研成果。本书首先讲述了计算机控制系统的基础知识;然后通过典型微机总线结构的讲解,阐明了一般输入输出接口技术和将生产现场各种物理量引入计算机中的方法,为实现计算机对生产现场的检测、控制提供了必要的硬件基础;随后介绍了数字控制器的设计方法,并结合控制技术发展的新动向介绍了新型控制策略的设计与实现方法;最后通过典型计算机控制系统设计实例的讲解,培养学生设计计算机控制系统的能力。

全书共 12 章,分两大部分。第一部分为计算机控制系统的基础知识,内容包括:第 1 章绪论,介绍了计算机控制系统的概念、组成、分类及发展趋势;第 2 章输入输出接口技术,介绍了多路开关及采样/保持器、开关量和模拟量输入输出接口以及电动机控制接口等接口技术;第 3 章人机交互接口技术,介绍了键盘、LCD 等各类人机交互接口技术;第 4 章程序控制和数值控制,介绍了顺序控制和开环数值控制技术;第 5 章过程控制数字处理方法,主要介绍了数据处理的查表技术、数字滤波技术以及量程自动转换和标度变换;第 6 章数字 PID 控制算法,介绍了数字 PID 控制算法及其改进、PID 控制器参数选择等。第二部分为计算机控制系统的设计与实践,以 PC 总线工业控制机、嵌入式系统、可编程控制器、单片机为控制工具,系统地阐述了计算机控制系统的设计和工程实现方法,内容包括:第 7 章计算机控制系统设计介绍,讲解了微机控制系统设计的基本要求和特点、设计方法及步骤,以及几种典型的计算机控制系统;第 8 章监控组态软件设计与应用,介绍了目前常用组态软件及其发展、组态软件的图形开发环境、工艺控制流程图的组态、复杂图形对象的组态及应用、程序的运行与调试等;第 9 章 PLC 控制系统设计,对 S7-200 PLC 的基本单元、扩展模块、指令系统和简单应用实例作了介绍,随后给出了一个基于 S7-200 PLC 的控制系统设计实例——高浓度啤酒稀释计算机控制系统;第 10 章单片机控制系统设计,对增强型 51 单片机 CPU 内核、片上资源、指令系统及应用进行了介绍,并给出了一个单片机控制系统设计实例——温度控制系统;第 11 章 IPC 控制系统设计,利用 PC 总

线的工业控制计算机对 IPC 模板、IPC 软件设计进行分析,并给出了一个应用实例;第 12 章嵌入式控制系统设计,对基于 ARM 核的嵌入式系统的指令系统、嵌入式操作系统($\mu\text{C}/\text{OS2}$)、嵌入式微控制器、 $\mu\text{C}/\text{OS2}$ 的移植以及嵌入式控制系统设计实例进行了介绍和分析。

本书可作为高等院校计算机、自动化、测控技术等专业的本科生或研究生教材,也可供这些领域的工程技术人员用作参考书或培训教材,还可供相关人员参考使用。

由于作者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者
2010 年 10 月

目 录

第一部分 计算机控制系统的基础知识

第 1 章 绪论	3
1.1 计算机控制系统概述	3
1.1.1 计算机控制系统的概念	3
1.1.2 计算机控制系统的组成	3
1.2 计算机控制系统的分类	6
1.3 计算机控制系统的发展趋势	9
习题	10
第 2 章 输入输出接口技术	11
2.1 多路开关及采样/保持器	11
2.2 开关量输入输出接口	13
2.3 模拟量输入通道接口技术	13
2.3.1 A/D 转换原理	14
2.3.2 8 位 A/D 转换器	15
2.3.3 8 位 A/D 转换器接口技术	17
2.3.4 8 位 A/D 转换器的程序设计	19
2.4 模拟量输出通道接口技术	20
2.4.1 D/A 转换器原理	20
2.4.2 8 位 D/A 转换器及其接口技术	22
2.5 电动机控制接口技术	29
习题	33
第 3 章 人机交互接口技术	34
3.1 人机接口概述	34
3.2 键盘与键盘接口	34
3.2.1 按键抖动及其消除方法	34
3.2.2 键开关与键盘类型	35
3.2.3 键识别方法	36
3.2.4 键盘工作方式	38
3.3 其它输入设备及接口	39
3.4 显示设备及接口	40
3.4.1 CRT 显示器及接口	40
3.4.2 LCD 显示器	40
3.4.3 字母数字显示器	40
3.5 打印机及接口	48

习题	53
第 4 章 程序控制与数值控制	55
4.1 顺序控制	55
4.2 开环数值控制	59
4.2.1 数值控制的基本原理	59
4.2.2 逐点比较差补法	61
4.2.3 数字积分差补法	68
习题	73
第 5 章 过程控制数字处理方法	75
5.1 查表技术	76
5.1.1 顺序查找	76
5.1.2 直接查找	76
5.1.3 折半查找	76
5.1.4 分块查找	77
5.2 数字滤波技术	77
5.2.1 中值滤波法	78
5.2.2 算术平均值滤波	78
5.2.3 加权平均值滤波	78
5.2.4 滑动平均值滤波	79
5.2.5 低通滤波	79
5.3 量程自动转换和标度变换	80
5.3.1 量程自动转换	80
5.3.2 线性参数标度变换	81
5.3.3 非线性参数标度变换	81
习题	82
第 6 章 数字 PID 控制算法	83
6.1 连续 PID 控制算法	83
6.1.1 模拟 PID 控制器	83
6.1.2 数字 PID 控制算法	85
6.2 对标准 PID 算法的改进	87
6.2.1 积分饱和作用的抑制	87
6.2.2 干扰的抑制	87
6.2.3 其它改进算法	93
6.3 PID 控制器参数与采样周期的选择	94
习题	96

第二部分 计算机控制系统的设计与实践

第 7 章 计算机控制系统设计介绍	99
7.1 计算机控制系统设计的基本要求	99
7.2 计算机控制系统的设计步骤及方法	99
7.3 几种典型的计算机控制系统	102

7.3.1 基于 PC 总线的板卡与工控机组成的计算机控制系统	102
7.3.2 基于 PLC 的计算机控制系统	103
7.3.3 基于单片机的计算机控制系统	103
7.3.4 基于嵌入式系统的计算机控制系统	104
习题	104
第 8 章 监控组态软件设计与应用	105
8.1 组态软件及其发展	105
8.2 组态软件的图形开发环境	108
8.2.1 基本概念	108
8.2.2 图形开发环境的工作界面	109
8.3 数据词典、动画连接与命令语言的使用	110
8.3.1 数据词典	110
8.3.2 画面的编辑与动画连接	113
8.3.3 命令语言及控制程序编写	116
8.4 趋势曲线、报表生成以及报警和事件的应用	116
8.4.1 趋势曲线	116
8.4.2 报表生成	118
8.4.3 报警和事件	119
8.5 程序的运行与调试	121
8.5.1 运行系统设置	121
8.5.2 运行系统	121
习题	122
第 9 章 PLC 控制系统设计	123
9.1 PLC 简介	123
9.1.1 可编程序控制器的由来	123
9.1.2 可编程序控制器的特点	124
9.1.3 可编程序控制器的应用领域	125
9.1.4 可编程序控制器的发展趋势	126
9.2 PLC 的硬件结构	128
9.2.1 PLC 的基本结构	128
9.2.2 可编程序控制器的物理结构	129
9.2.3 CPU 模块	130
9.2.4 I/O 模块	131
9.3 可编程序控制器的工作原理	132
9.3.1 用触点和线圈实现逻辑运算	132
9.3.2 可编程序控制器的工作方式	132
9.3.3 可编程序控制器的工作原理	133
9.4 S7200 系列可编程序控制器性能简介	135
9.4.1 CPU 模块	135
9.4.2 数字量扩展模块	136
9.4.3 模拟量输入输出扩展模块	136
9.4.4 STEP7 - Micro/WIN 编程软件简介	137
9.4.5 电源的选择	138

9.5 可编程序控制器程序设计基础	138
9.5.1 可编程序控制器的编程语言与程序结构	138
9.5.2 存储器的数据类型与寻址方式	141
9.5.3 位逻辑指令	143
9.5.4 定时器与计数器指令	144
9.6 S7200PLC 在啤酒稀释中的应用	146
9.6.1 系统功能	146
9.6.2 系统结构	147
9.6.3 系统原理	147
9.6.4 系统主要画面	148
9.6.5 系统操作	149
9.6.6 参数可调整 PID 程序设计	149
习题	152
第 10 章 单片机控制系统设计	153
10.1 单片机简介	153
10.2 增强型 51 单片机的简单应用实例	154
10.3 基于 51 单片机的控制系统设计举例——温度控制系统	157
习题	161
第 11 章 IPC 控制系统设计	162
11.1 IPC 简介	162
11.1.1 IPC 的特点	162
11.1.2 工业控制计算机的组成	162
11.2 IPC 模板介绍	163
11.3 IPC 软件设计	165
11.3.1 工业控制系统软件概述	165
11.3.2 基于组态王软件的工控系统软件设计	166
11.4 IPC 简单应用实例	169
11.5 基于 IPC 的控制系统设计举例——啤酒发酵过程控制系统	170
11.5.1 系统工艺及控制要求	170
11.5.2 系统总体方案的设计	171
11.5.3 系统硬件选型	171
11.5.4 系统软件设计	172
11.5.5 系统的调试运行及控制效果	173
习题	173
第 12 章 嵌入式控制系统设计	174
12.1 嵌入式系统简介	174
12.2 ARM 内核介绍	174
12.3 ARM 核的指令系统	177
12.3.1 ARM 指令的格式与条件码	177
12.3.2 单寄存器存取指令	179
12.3.3 多寄存器存取指令	181
12.3.4 数据交换指令	181

12.3.5	数据处理指令	182
12.3.6	乘法指令与乘加指令	184
12.3.7	ARM 分支指令	185
12.3.8	软件中断指令	186
12.3.9	程序状态寄存器访问指令	186
12.3.10	ARM 伪指令	187
12.4	嵌入式操作系统介绍	188
12.4.1	嵌入式操作系统的发展	188
12.4.2	使用实时操作系统的必要性	188
12.4.3	几种代表性嵌入式操作系统	189
12.5	嵌入式处理器介绍	190
12.6	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 LPC2210 上的移植	192
12.7	嵌入式控制系统设计实例——基于 ARM 的变频空调室内控制系统	197
	习题	203
	参考文献	204

第
一
部
分

计算机控制系统的基础知识

第1章 绪 论

1.1 计算机控制系统概述

计算机控制技术以自动控制理论和计算机技术为基础。自动控制理论的发展给计算机控制系统奠定了理论基础,而计算机技术的发展为实现新型控制规律、构造高性能的计算机控制系统提供了物质基础,两者的结合极大地推动了计算机控制技术的发展。目前,计算机控制已广泛应用于各类工业生产过程的控制。人们在计算机控制技术推广应用的实践中不断总结、创新,促进了计算机控制系统设计理论和分析方法的发展,而且随着工程实践技术的不断发展和完善,计算机控制技术逐渐成为一门以控制理论和计算机技术为基础的新的工程科学技术,并成为从事自动化技术工作的科技人员必须掌握的一门专业知识。

1.1.1 计算机控制系统的概念

计算机控制系统就是利用计算机(单片机、ARM、PLC、PC机、工控机等)来实现生产过程自动控制的系统。顾名思义,计算机控制系统强调计算机是构成整个控制系统的核心。将自动控制系统中的模拟调节器由计算机来实现,就组成了一个典型的计算机控制系统,如图1-1所示。

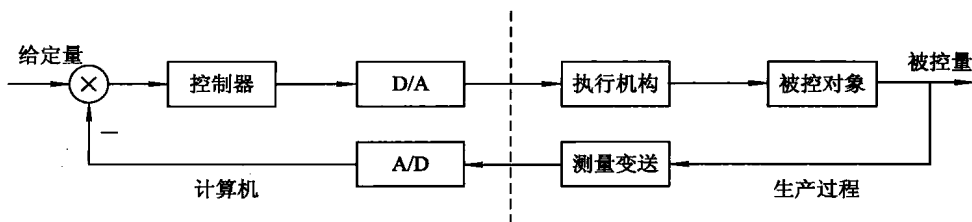


图 1-1 典型的计算机控制系统框图

1.1.2 计算机控制系统的组成

不同计算机控制系统所采用的计算机型号不同,系统组成也不尽相同,但各类计算机控制系统的组成基本是相同的,其硬件都是由主机、外设、输入输出通道、检测元件和执行机构组成的,而软件则由系统软件和应用软件两部分组成。

1. 计算机控制系统的硬件

计算机控制系统的组成框图如图1-2所示。

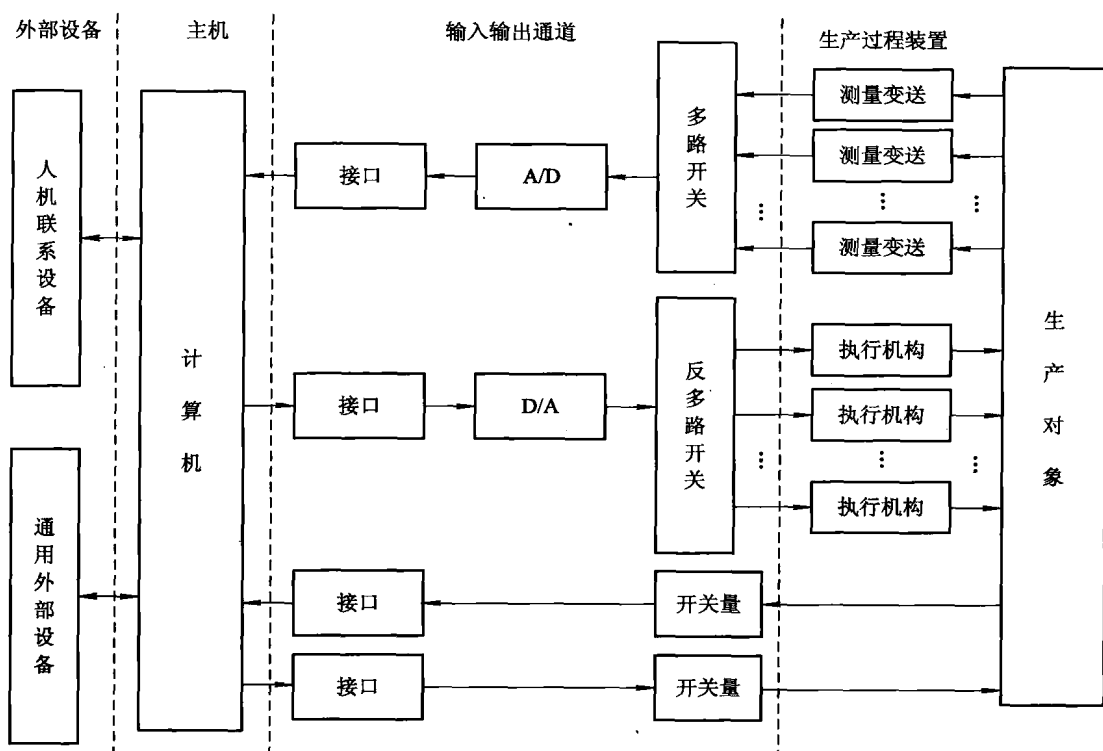


图 1-2 计算机控制系统组成框图

1) 主机

主机由中央处理器(CPU)和内存存储器(RAM 和 ROM)通过系统总线连接而成,是整个控制系统的核心。它按照预先存放在内存中的程序指令,不断由过程输入通道获取反映被控对象运行工况的信息,并按程序中规定的控制算法,或操作人员通过键盘输入的操作命令自动地进行运算和判断,及时地产生并通过过程输出通道向被控对象发出相应控制命令,以实现对被控对象的自动控制。

2) 外部设备

通用计算机常用的外部设备有四类:输入设备、输出设备、外存储器和通信设备。

(1) 输入设备:最常用的是键盘,用来输入(或修改)程序、数据和操作命令,鼠标也是一种常见的输入装置。

(2) 输出设备:通常有 CRT 显示器、LCD 或 LED 显示器、打印机等,它们以字符、图形、表格等形式反映被控对象的运行工况和有关的控制信息。

(3) 外存储器:最常用的是磁盘(包括硬盘和软盘),它们具有输入和输出两种功能,用来存放程序和数据,作为内存存储器的后备存储器。

(4) 通信设备:用来与其他相关计算机控制系统或计算机管理系统进行联网通信,形成规模更大、功能更强的网络分布式计算机控制系统。

以上的常规外部设备通过接口与主机连接便构成通用计算机,但是这样的计算机不能直接用于自动控制。如果要用于控制,还需要配备过程输入输出通道构成工业控制计算机。

3) 输入输出通道

输入输出通道是计算机与生产过程之间进行信息联系的桥梁和纽带。计算机与生产过程之间的信息传递都是通过输入输出通道进行的。作为一台控制计算机，输入输出通道是必不可少的。输入输出通道分为模拟量和数字量两大类型。

(1) 模拟量通道：包括模拟量输入通道(简称 AI 通道)和模拟量输出通道(简称 AO 通道)。AI 通道用来将测量仪表测得的被控对象各种参数的模拟信号转换成数字量输入计算机；AO 通道将计算机产生的数字控制信号转换为模拟信号，然后输出到驱动执行装置对被控对象实施控制。

(2) 数字量通道：包括数字量输入通道(简称 DI 通道)和数字量输出通道(简称 DO 通道)。DI 通道用来接收和反映被控对象状态的开关量或数字信号；DO 通道将计算机产生的开关量控制命令输出并驱动相应的电器开关或信号灯等。

4) 测量元件和执行机构

测量元件将被控对象需要监视和控制的各种参数(如温度、流量、压力、液位、位移、速度等)转换为电的模拟信号(或数字信号)，而执行机构将计算机经 AO 通道输出的模拟控制信号转换为相应的控制动作，去改变被控对象的被控量。

2. 计算机控制系统的软件

计算机控制系统必须配备相应的软件系统才能实现预期的各种自动化功能。计算机控制系统的软件程序不仅决定其硬件功能的发挥，而且也决定了控制系统的控制品质和管理水平。软件通常由系统软件和应用软件组成。

1) 系统软件

系统软件是计算机的通用性、支撑性软件，是为用户使用、管理、维护计算机提供方便的程序的总称。它主要包括操作系统、数据库管理系统、各种计算机语言编译和调试系统、诊断程序以及网络通信等软件。系统软件通常由计算机厂商和专门软件公司研制，可以从市场上购置。计算机控制系统的设计人员需要了解和学会使用系统软件，才能更好地开发应用软件。

2) 应用软件

应用软件是计算机在系统软件支持下实现各种应用功能的专用程序。计算机控制系统的应用软件是设计人员根据要解决的某一具体生产过程而开发的各种控制和管理程序，其性能优劣直接影响控制系统的控制品质和管理水平。计算机控制系统的应用软件一般包括过程输入和输出接口程序、控制程序、人机接口程序、显示程序、打印程序、报警和故障连锁程序、通信和网络程序等。一般情况下，应用软件应由计算机控制系统设计人员根据所确定的硬件系统和软件环境来开发编写。

计算机控制系统中的控制计算机与通常用作信息处理的通用计算机相比，它要对被控对象进行实时控制和监视，其工作环境一般都较恶劣且需要不间断长期可靠地工作，这就要求计算机系统必须具有实时响应能力和很强的抗干扰能力以及很高的可靠性。除了选用高可靠性的硬件系统外，在选用系统软件和设计编写应用软件时，还应该考虑到软件的实时性要求和应用程序的可靠性。

1.2 计算机控制系统的分类

计算机控制系统的分类方法很多,可以按照系统的功能、控制规律或控制方式等进行分类。按照系统的功能,计算机控制系统可以分为以下几种。

1. 操作指导控制系统

如图 1-3 所示,计算机根据一定的算法,依据检测元件测得的信号数据,数据处理系统对生产过程的大量参数进行巡回检测、处理、分析、记录以及参数的超限报警等。通过对大量参数的积累和实时分析,可以对生产过程进行各种趋势分析,为操作人员提供参考,或者计算出可供操作人员选择的最优操作条件及操作方案,操作人员则根据计算机输出的信息去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

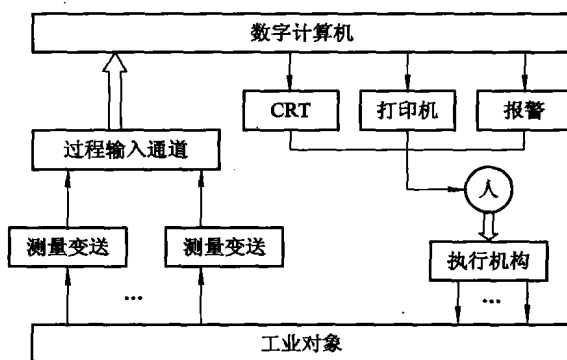


图 1-3 操作指导控制系统组成框图

2. 直接数字控制系统 (Direct Digital Control, DDC)

如图 1-4 所示,计算机通过测量元件对一个或多个物理量进行循环检测,经采样、A/D 转换将被测参量转换为数字量,并根据规定的规律进行运算,然后发出控制信号直接控制执行机构,使各个被控量达到预定的要求。

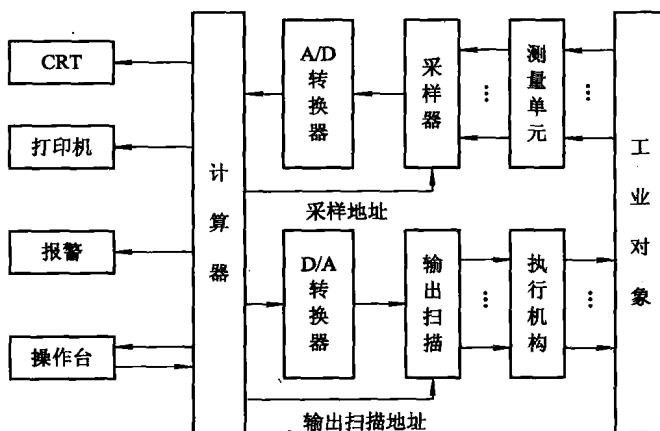


图 1-4 直接数字控制系统示意图

DDC 系统中的计算机参加闭环控制过程,它不仅能完全取代模拟调节器,实现多回路的 PID(比例、积分、微分)调节,而且不需改变硬件,只通过改变程序就能有效地实现较复杂的控制,如前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制等。

DDC 系统是计算机用于工业生产过程控制的最典型的一种系统,在热工、化工、机械、冶金等部门已获得广泛应用。

3. 监督控制系统(Supervisory Computer Control, SCC)

在 SCC 系统中,由计算机按照描述生产过程的数学模型计算出最佳给定值,送给模拟调节器或 DDC 计算机,最后由模拟调节器或 DDC 计算机控制生产过程,使得生产过程始终处于最优工作状态。SCC 系统较 DDC 系统更接近生产变化实际情况,它不仅可以进行给定值控制,同时还可以进行顺序控制、最优控制等。

监督控制类系统有两种结构形式:一种是 SCC+模拟调节器;另一种是 SCC+DDC 控制系统。

1) SCC+模拟调节器控制系统

该系统原理图如图 1-5 所示。在此系统中,由计算机系统对各物理量进行巡回检测,按一定的数学模型计算出最佳给定值并送给模拟调节器,此给定值在模拟调节器中与检测值进行比较,其偏差值经模拟调节器计算,然后输出到执行机构,以达到调节生产过程的目的。当 SCC 计算机出现故障时,可由模拟调节器独立完成控制操作。

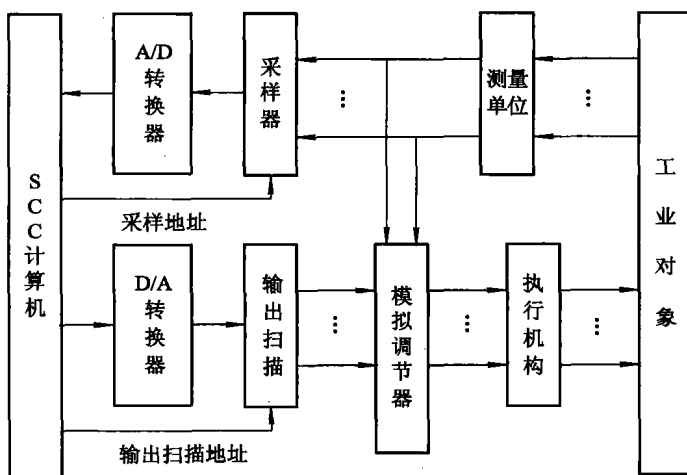


图 1-5 SCC+模拟调节器控制系统

2) SCC+DDC 控制系统

该系统原理图如图 1-6 所示。这实际上是一个两级控制系统,一级为监控级 SCC,另一级为控制级 DDC。SCC 的作用与 SCC+模拟调节器控制系统中的 SCC 一样,完成车间或工段一级的最优化分析和计算,并给出最佳给定值,送给 DDC 级计算机直接控制生产过程。两级计算机之间通过接口进行信息联系。当 DDC 级计算机出现故障时,可由 SCC 级计算机代替,因此大大提高了系统的可靠性。