



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材

computer
control technology

计算机 控制技术

© 罗文广 徐箭雨 廖凤依 石玉秋 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材

计算机控制技术

罗文广 徐箭雨 廖凤依 石玉秋 编著



机械工业出版社

本教材涉及计算机控制系统的硬件设计、软件设计、控制算法和仿真技术等内容,既具有较强的理论性,也具有很强的实践性。主要内容包
括:计算机控制系统的基本概念和组成,计算机控制系统的分类;采样过
程、数字控制设计基础、离散化方法、数字控制器设计方法等计算机控制
的基础理论;计算机控制系统的过程通道,数据处理和数字滤波,过程通
道的可靠性措施;数字 PID 控制、最少拍控制、纯滞后补偿控制等常用的
常规控制算法;分布式控制系统、现场总线控制系统、工业以太网控制系
统等网络控制系统;计算机控制系统的设计方法和步骤以及几个综合应用
实例。

本教材适合作为自动化、测控技术与仪器、电气工程及其自动化等专
业本科生教材,也可供从事控制系统设计的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术/罗文广等编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 8
普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-42676-9

I. ①计… II. ①罗… 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(2013)第 132722 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:于苏华 责任编辑:于苏华 王寅生 王小东

版式设计:常天培 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·370 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42676-9

定价:29.00 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

普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材

编审委员会委员名单

主任委员：刘国荣

副主任委员：张德江 梁景凯 张 元 袁德成

焦 斌 吕 进 胡国文 刘启中

汤天浩 黄家善 钱 平 王保家

委 员(按姓氏笔画排序)：

丁元明 马修水 王再英 王 军 叶树江

孙晓云 朱一纶 张立臣 李先允 李秀娟

李海富 杨 宁 陈志新 周渊深 尚丽萍

罗文广 罗印升 罗 兵 范立南 姜国焕

赵巧娥 项新建 徐建英 郭 伟 高 亮

韩成浩 蔡子亮 樊立萍 穆向阳

前 言

计算机控制技术是把计算机技术与自动化控制系统融为一体的一门综合性学问,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。随着自动化技术、计算机技术、通信技术、网络技术、管理技术等的发展,计算机控制技术将这些技术融合起来,呈现开放性、集散性、智能化、网络化等特点,并以日新月异的速度发展。以计算机控制技术为基础的计算机控制系统在军事、航天技术、工业、农业、交通运输、经济管理、能源开发与利用等各个领域都获得了广泛的应用。基于这样的应用需求,社会对掌握计算机控制技术的高素质人才的需求不断扩大。

本教材为普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材,教材编写指导思想依据“全国高等学校电气工程与自动化(应用型)规划教材编审委员会”制订的《普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材编写指导意见》,坚持“基本理论适度、注重工程应用”的基本原则,将理论知识与实践知识有机地融合起来;尝试引入启发式、互动式教学方法,借鉴国外精品教材以及国内应用型本科类优秀教材的写作思路、写作方法以及章节安排,并不照搬适用于国内研究型大学的教材编写模式。坚持“有所为,有所不为”,将计算机控制技术最核心的内容写透、写好,让学生易于理解和掌握,使学生掌握其应用方法,基本具备计算机控制系统的设计能力。本教材的编写特色如下:

- 1) 把握核心内容,仍以最基本的直接数字控制系统为主要对象,把计算机控制基础理论、过程通道(硬件和数字滤波)、常用的控制算法作为核心内容。
- 2) 注意以问题(或案例)为驱动,引出各章(或节)的知识点,激发学生的学习兴趣。
- 3) 注重实际和工程应用,给出较多的实际例子和实物图例,将理论知识与实践知识有机地融合起来,将作者多年的科研成果应用到教材中。
- 4) 进行理论分析时注重应用 MATLAB,对实例进行仿真,使抽象的理论知识易于理解。
- 5) 文字阐述简洁易懂,理论论述简单、通俗、易于理解,做到有利于学生课后自学。

本教材共分6章:第1章计算机控制系统概述,第2章计算机控制的理论基础,第3章过程通道,第4章常用的计算机控制算法,第5章网络控制系统,第6章计算机控制系统设计。其中,第2~4章是本书的重点,也是设计计算机控制系统的核心基础。

本教材适合作为自动化、测控技术与仪器、电气工程及其自动化等专业本科生教材,也可供其他专业及从事控制系统设计的专业技术人员参考。本教材参考学时为56学时(含8学时的实验),可根据教学计划和专业的不同要求进行适当安排,部分内容可自学,因此,也可按48学时组织教学。

本教材由广西科技大学的罗文广教授组织和统稿,第1、5章由桂林理工大学的徐箭雨编写,第2章由广西科技大学的石玉秋编写,第3章由广西科技大学的廖凤依编写,第4、6章由广西科技大学的罗文广编写。

由于作者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

前言

第 1 章 计算机控制系统概述..... 1

1.1 计算机控制系统的概念..... 1

1.1.1 基本概念和组成..... 1

1.1.2 计算机控制系统的功能与特点..... 5

1.1.3 计算机控制系统的工作过程与方式..... 7

1.2 计算机控制系统的分类..... 8

1.2.1 操作指导控制系统..... 8

1.2.2 直接数字控制系统..... 9

1.2.3 监督控制系统..... 9

1.2.4 分布式控制系统..... 10

1.2.5 现场总线控制系统..... 11

1.3 计算机控制系统的发展趋势..... 13

1.3.1 推广应用成熟的先进技术..... 13

1.3.2 大力研究和发展智能控制系统..... 13

习题与思考题..... 14

第 2 章 计算机控制的理论基础..... 15

2.1 概述..... 15

2.2 采样过程..... 16

2.2.1 信号类型及系统类型..... 16

2.2.2 采样与保持分析..... 17

2.2.3 采样定理..... 21

2.2.4 采样周期的选择..... 23

2.3 数字控制设计基础..... 23

2.3.1 差分方程..... 23

2.3.2 z 变换及其特性..... 25

2.3.3 输入信号分析..... 29

2.3.4 脉冲传递函数..... 29

2.3.5 离散系统分析..... 35

2.3.6 MATLAB 仿真与分析..... 47

2.4 离散化方法..... 50

2.4.1 欧拉方法..... 50

2.4.2 零极点匹配等效方法..... 51

2.4.3 z 变换法..... 51

2.4.4 保持器等效方法..... 52

2.5 数字控制器设计方法..... 52

2.5.1 模拟化设计方法..... 53

2.5.2 直接数字设计方法..... 54

2.5.3 MATLAB 仿真..... 55

2.6 本章小结..... 58

习题与思考题..... 58

第 3 章 过程通道..... 60

3.1 概述..... 60

3.1.1 过程通道的分类..... 60

3.1.2 过程通道的功能..... 61

3.2 模拟量输入通道..... 61

3.2.1 模拟量输入通道的组成和结构形式..... 61

3.2.2 信号调理电路..... 62

3.2.3 多路转换器..... 65

3.2.4 采样保持器..... 67

3.2.5 A/D 转换器..... 68

3.2.6 A/D 转换器与计算机的接口设计及仿真..... 73

3.3 模拟量输出通道..... 82

3.3.1 模拟量输出通道的组成和结构形式..... 82

3.3.2 D/A 转换器..... 83

3.3.3 D/A 转换器与计算机的接口设计及仿真..... 88

3.4 数字量输入输出通道..... 94

3.4.1 数字量输入通道..... 94

3.4.2 数字量输出通道..... 95

3.4.3 数字量输入输出通道设计实例..... 97

3.5 数据处理和数字滤波..... 98

3.5.1 线性化处理..... 99

3.5.2 标度变换..... 100

3.5.3 数字滤波及 MATLAB 仿真..... 101

3.6 过程通道的可靠性措施..... 106

3.6.1 系统干扰与可靠性问题..... 106

3.6.2 过程通道设计中的可靠性措施..... 107

3.7 本章小结..... 109

习题与思考题..... 109

第 4 章 常用的计算机控制算法	111	5.3.2 现场总线的 OSI 模型	190
4.1 概述	111	5.3.3 五种典型的现场总线	194
4.2 数字 PID 控制	112	5.3.4 现场总线控制系统的设计方法	196
4.2.1 模拟 PID 控制及仿真	112	5.4 工业以太网控制系统	198
4.2.2 数字 PID 控制及仿真	116	5.4.1 工业以太网的技术特点	198
4.2.3 PID 控制的参数整定及仿真	135	5.4.2 工业以太网控制系统的设计方法	201
4.2.4 PID 控制算法的计算机实现	140	5.5 本章小结	203
4.3 最少拍控制	145	习题与思考题	204
4.3.1 最少拍伺服系统的控制规律	145	第 6 章 计算机控制系统设计	205
4.3.2 最小拍控制器的设计及仿真	145	6.1 计算机控制系统的设计方法及步骤	205
4.3.3 最少拍无纹波控制器的设计及仿真	154	6.1.1 概述	205
4.4 纯滞后补偿控制	155	6.1.2 控制系统总体方案的确定	207
4.4.1 纯滞后现象	155	6.1.3 控制用微型计算机的选择	210
4.4.2 大林算法及仿真	156	6.1.4 建立数学模型, 确定控制策略和控制算法	211
4.4.3 Smith 预估控制及仿真	161	6.1.5 控制系统硬件设计	211
4.5 数字控制器的实现方法	168	6.1.6 控制系统软件设计	214
4.5.1 直接程序设计法	168	6.1.7 计算机控制系统的调试	215
4.5.2 串行程序设计法	169	6.2 设计实例 1 (DDC 控制系统) ——	
4.5.3 并行程序设计法	170	湿热试验箱控制系统	217
4.5.4 数字控制器的设计步骤	172	6.2.1 湿热试验系统简介	217
4.6 本章小结	172	6.2.2 系统设计	218
习题与思考题	172	6.3 设计实例 2 (现场总线控制系统)	
第 5 章 网络控制系统	174	——列车试风试验控制系统	222
5.1 网络控制系统概述	174	6.3.1 系统概况	222
5.1.1 计算机网络	174	6.3.2 系统设计	222
5.1.2 基于网络的控制	177	6.4 设计实例 3 (工业以太网控制系统)	
5.1.3 网络控制系统的发展状况	179	——公路隧道监控系统	227
5.2 分布式控制系统	180	6.4.1 系统概况及功能要求	227
5.2.1 DCS 的体系结构与特点	180	6.4.2 系统设计	228
5.2.2 DCS 的分散过程控制级	182	6.5 本章小结	232
5.2.3 DCS 的集中操作监控级	184	习题与思考题	232
5.2.4 DCS 的综合信息管理级	186	附录 常用函数 z 变换表	233
5.3 现场总线控制系统	189	参考文献	234
5.3.1 现场总线的技术特点	189		

第 1 章 计算机控制系统概述

1.1 计算机控制系统的概念

1.1.1 基本概念和组成

1. 引例：烟气脱硫控制系统

现代工业废气中所含硫化物是空气污染的一个重要来源，图 1-1 是应用于某火电厂的烟气脱硫系统，从废气输入到净化后的清洁烟气排放、副产品回收均由计算机及相应的传感、执行装置实现自动控制。

整个系统包括吸收剂制备、烟气系统、CFB 吸收塔、注水系统、吸收剂定量给料、电除尘器、物料循环、副产品排放等子系统。应用于 $2 \times 300\text{MW}$ 机组，共采用两套脱硫除尘岛系统，采用分布式 IO 配置，在现场共安装 18 个工业控制柜板卡点数近千点：包含 DI、DO、AI、AO、RTD（分度热电阻）、PI（脉冲量输入）等多种类型信号。

图 1-2 是系统实物图，中间低矮的建筑为中央控制室，它的两侧即是 1 号和 2 号脱硫系统的吸收塔和除尘器，两套脱硫系统共用中央控制室后方的清洁烟气排气烟囱。

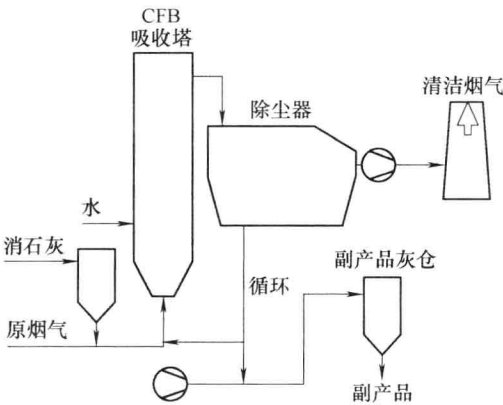


图 1-1 某火电厂的烟气脱硫系统结构

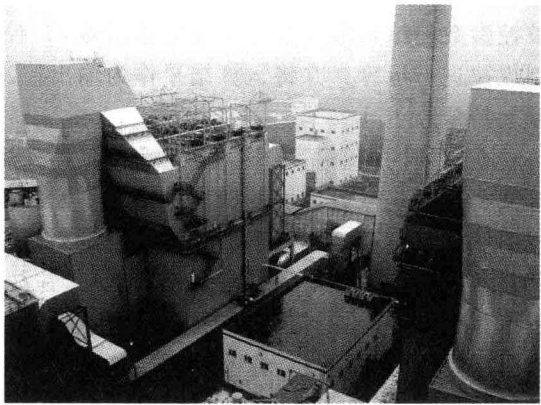


图 1-2 工业现场实物

图 1-3 是控制系统工作平台结构图。整个系统通过标准以太网连接为一个整体。控制系统主要包括 SO_2 排放浓度控制、吸收塔床层压差控制、吸收塔温度控制及吸收塔入口烟气流量控制，这些控制回路的结构图如图 1-4 所示。

上例也反映出工业用计算机控制系统的一些典型特征：整个系统是一个控制网络；IO 采集方式由集中式走向分布式；在工业上仍然采用以 PID，尤其是 PI 为主的控制算法，但不是用模拟元器件而是用计算机来实现；控制算法正在逐步从经典算法（PID）走向高级过程控制算法（动态矩阵控制（DMC）、模糊控制等）。

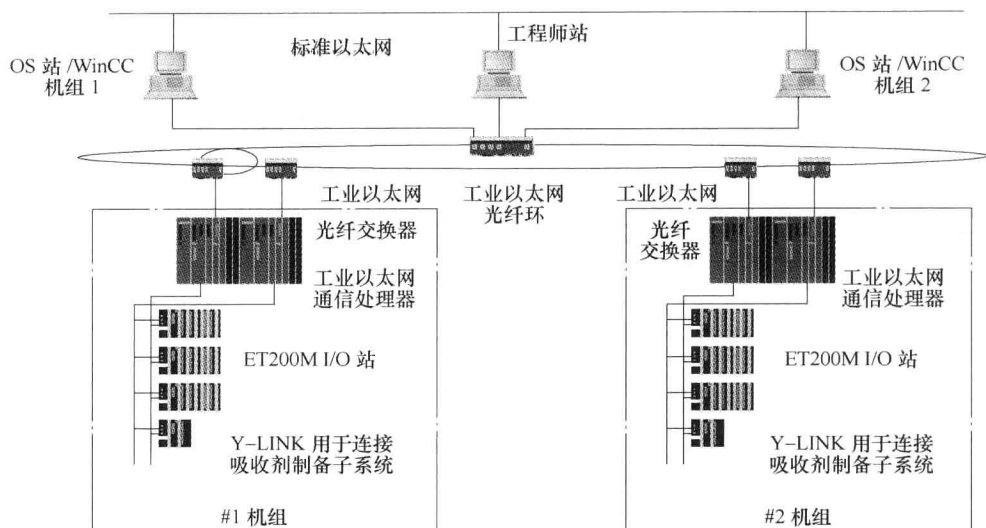


图 1-3 控制系统工作平台结构图

2. 计算机控制系统的概念

计算机控制系统就是利用计算机来实现生产过程自动控制的系统。

控制器或控制装置调节或控制被控对象输出行为的模拟系统，称为模拟控制系统。图 1-5 所示即为模拟控制系统，该系统由两部分组成：被控对象和测控装置。其中被控对象可能是电动机、水箱或电热炉等，测控装置则主要由测量变送器、比较器、控制器以及执行器等组成。系统的工作原理如下：当给定值或外界干扰变化时，系统将测量变送器反馈回来的被控参数与给定值比较后出现偏差信号 e ，控制器便根据偏差信号的大小按照预先设定的控制规律进行运算，并将运算结果作为输出控制量 u 送到执行机构，自动调整系统的输出，使偏差信号趋于 0。

在常规的控制系统中，上述的控制器采用气动或电动的模拟调节器实现，随着计算机的普及，特别是微处理器的性能价格比不断提高，工程技术人员用计算机来代替模拟调节器实现系统的自调节，逐渐形成计算机控制系统。在计算机控制系统中，计算机输入/输出信号都是数字量，被控对象的输入/输出信号往往是连续变化的模拟量，要想实现计算机与具有模拟量输入/输出的被控对象信号的传递，就必须有信号转换装置，才能实现被控对象与计算机之间的语言沟通，这个信号转换装置就是常说的 A/D 转换器和 D/A 转换器。在执行器的输出端用 D/A 转换器（也就是数/模转换器），在计算机的输入端用 A/D 转换器（就是模/数转换器），即计算机原理中的计算机接口。接口又分为数字量接口和模拟量接口，一般说来接口有具体的电平要求，为了保证计算机控制系统能适应不同的信号，需要有信号调理电路、采样器和保持器等，它们与 A/D 转换器、D/A 转换器一起构成了计算机与生产设备之间的接口，是计算机控制系统中必不可少的组成部分，且与计算机一起统称为计算机系统，如图 1-6 所示。

在控制系统中引入计算机，可以充分利用计算机强大的计算、逻辑判断和记忆等信息处理能力，运用微处理器或微控制器的丰富指令，就能编写出满足某种控制规律的程序，执行该程序，就可以实现对被控参数的控制。计算机控制系统中的计算机是广义的，可以是工业控制计算机、嵌入式计算机、可编程序控制器（Programmable Logical Controller, PLC）、单

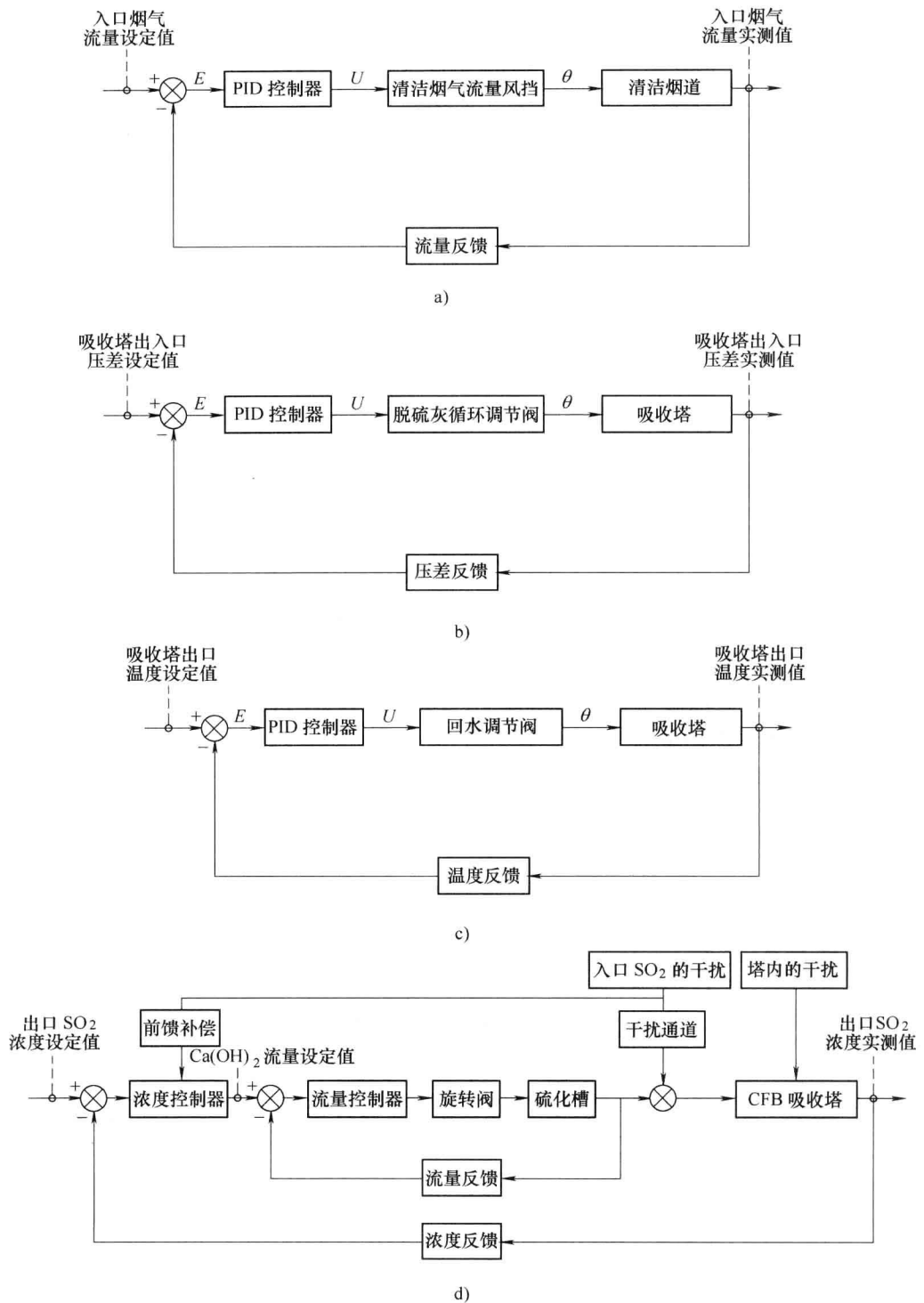


图 1-4 主要控制回路结构图

- a) 吸收塔入口烟气流量控制 b) 吸收塔温度控制
c) 吸收塔床层压差控制 d) SO₂ 排放浓度控制

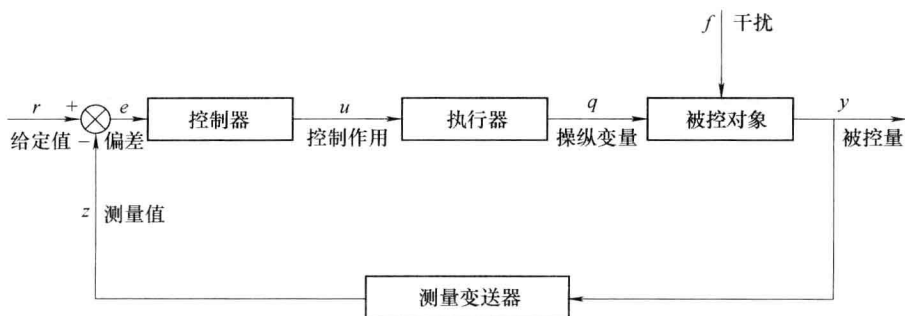


图 1-5 模拟控制系统

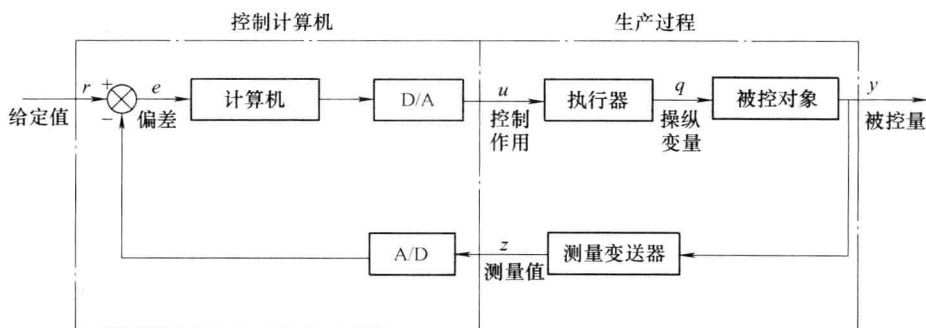


图 1-6 计算机控制系统原理图

片机系统、数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）等。

3. 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由计算机系统和被控对象组成，如图 1-7 所示。计算机系统又由硬件和软件组成。

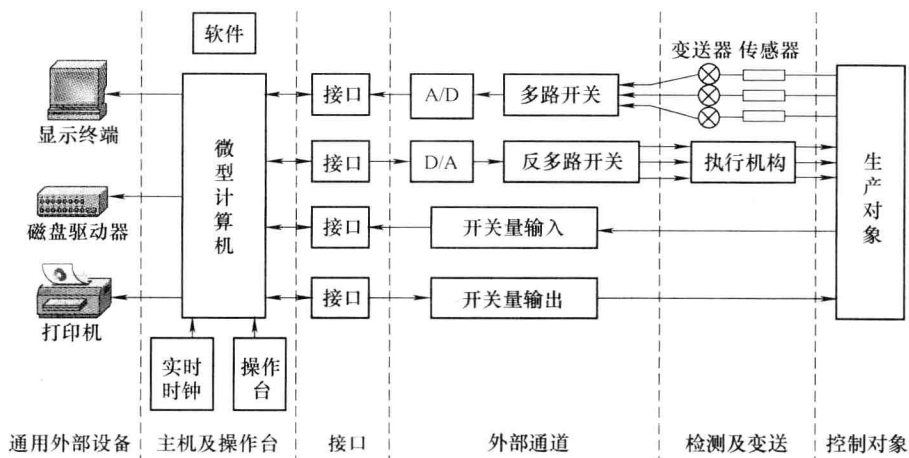


图 1-7 计算机控制系统组成图

(1) 硬件

硬件主要包括计算机、过程输入/输出通道（外部通道）、外部设备和操作台等。

1) 计算机。计算机是计算机控制系统的核心，通过接口可以向系统的各个部分发出各种命令，同时对被控对象的被控参数进行实时检测及处理。其具体功能是完成程序存储、程

序执行、数值计算、逻辑判断、数据处理等工作。

2) 过程输入/输出通道。过程输入/输出通道是在计算机和被控对象(或生产过程)之间设置的信息传送和转换的连接通道。过程输入通道把被控对象(或生产过程)的被控参数转换成计算机可以处理的数字代码。过程输出通道把计算机输出的命令和数据,转换成可以对被控对象(或生产过程)进行控制的信号。过程输入/输出通道一般分为模拟量输入通道、模拟量输出通道、开关量输入通道、开关量输出通道。

3) 外部设备。实现计算机和外界交换信息的设备称为外部设备(简称外设)。外部设备包括人-机通信设备、输入/输出设备和外存储器(简称外存)等。输入设备有键盘、光电输入机等。它主要用来输入程序和数据。输出设备有打印机、记录仪、纸带穿孔机、显示器(数码显示器或CRT显示器)等。它主要用来向操作人员提供各种信息和数据,以便及时了解控制过程。外存储器有磁带装置、磁盘装置等,它兼有输入/输出功能,主要用来存储系统程序和数据。

4) 操作台。操作台是操作人员与计算机控制系统进行“对话”的设备,主要包括如下几部分。

① 显示装置,如显示屏幕、LED或LCD数码显示器,主要用来显示操作人员要求显示的内容或报警信号。

② 一组或几组功能键,通过功能键,可向主机申请中断服务。功能键包括复位键、启动键、打印键、显示键等。

③ 一组或几组数字键,用来输出某些数据或修改控制系统的某些参数。

(2) 软件

软件是指能够完成各种功能的计算机控制程序系统。它是计算机系统的神经中枢,整个系统的动作,都是在软件的指挥下进行的。它由系统软件和应用软件组成。

系统软件是指能提高计算机使用效率,扩大功能,为用户使用、维护和管理计算机提供方便的程序的总称。系统软件通常包括操作系统、语言加工系统和诊断系统,具有一定的通用性,一般随硬件一起由计算机生产厂家提供。应用软件是用户根据要解决的实际问题而编写的各种程序。在计算机控制系统中则是指完成系统内各种任务的程序,如控制程序、数据采集及处理程序、巡回检测及报警程序等。

1.1.2 计算机控制系统的功能与特点

1. 功能

计算机在工业自动化领域中的应用,经历了逐步发展的过程。就国外情况看,大体上经历了三个阶段。1965年以前是实验阶段。20世纪50年代初,首先在化工生产中实现了自动测量和数据处理。1954年开始用计算机构成开环系统,1959年工业上第一台闭环计算机控制装置在美国一个炼油厂建成。1960年美国的一个氨厂用RW-300实现了计算机监督控制。1962年3月,在一个乙烯工厂实现了工业装置中的第一个直接数字控制(DDC)系统。同年7月,英国的一个制碱厂也实现了一个DDC系统。

1965~1969年是计算机控制进入实用和开始逐步普及的阶段。由于小型计算机的出现,使可靠性不断提高,成本逐年下降,计算机在生产控制中的应用得到了很大的发展,但这个阶段仍然主要是集中型的计算机控制系统。在高度集中控制时,若计算机出现故障,将对整

个生产装置和整个生产系统带来严重影响。虽然采用多机并用方案可以提高集中控制的可靠性，但这样就要增加投资。

1970 年以后进入了大量推广和分级控制阶段。现代一些工业的高度连续化、大型化的特点，仅仅实现局部范围内的孤立的控制，是难以取得显著效果的，必须使用系统工程方法实现综合管理和最优控制。这种控制方式称为分级、分散型计算机控制系统。特别是微型计算机具有高可靠性、价格便宜、使用方便灵活等特点，为分散型计算机控制系统的发展创造了良好的条件。

计算机控制系统中，控制规律是由计算机通过程序实现的（数字控制器），修改一个控制规律，只需改相应的程序，一般不对硬件电路进行改动，因此，计算机控制系统具有很大的灵活性和适应性，丰富的指令系统和很强的逻辑判断功能，能够实现模拟电路不能实现的复杂控制规律。由于计算机具有高速的运算处理能力，一个数字控制器经常可以采用分时控制的方式，同时控制多个回路。采用计算机控制系统，如分级计算机控制系统、集散控制系统、计算机网络控制系统等，便于实现控制与管理一体化，使工业企业的自动化程度进一步提高。

目前，计算机的应用已使自动化发展到一个高级的阶段，一些新型的设备和生产方式正在逐步推广应用，如工业机器人、柔性生产系统（FMS）等，必将带来更加显著的经济和社会效益。计算机与自动化学科的融合，加上其他新兴学科的支撑，使得自动化在国民生产、生活领域的应用在广度和深度上不断拓展。

2. 计算机控制系统的特点

计算机控制系统相对于连续控制系统，其主要特点如下所述。

（1）系统结构的特点

计算机控制系统执行控制功能的核心部件是计算机，而连续系统中的被控对象、执行部件及测量部件均为模拟部件。这样系统中还必须加入信号转换装置，以完成系统信号的转换。因此，计算机控制系统是模拟和数字部件的混合系统。若系统中各部件都是数字部件，则称为全数字控制系统。

（2）信号形式上的特点

连续系统中各点信号均为连续模拟信号，而计算机控制系统中有多种信号形式，由于计算机是串行工作的，必须按照一定的采样间隔（称为采样周期）对连续信号进行采样，将其变为时间上离散的信号才能进入计算机，所以计算机控制系统除了有连续模拟信号外，还有离散模拟、离散数字、连续数字等信号形式，是一种混合信号形式系统。

（3）信号传递时间上的差异

连续系统中（除纯延迟环节外）模拟信号的计算速度和传递速度都极快，可以认为是瞬时完成的，即该时刻的系统输出反映了同一时刻的输入响应，系统各点信号都是同一时刻的相应值，而在计算机控制系统中就不同了，由于存在“计算机延迟”，因此系统的输出与输入不是在同一时刻的相应值。

（4）系统工作方式上的特点

在连续控制系统中，一般是一个控制器控制一个回路，而计算机具有高速的运算处理能力，一个控制器（控制计算机）经常可采用分时控制的方式而同时控制多个回路。通常，它利用一次巡回的方式实现多路分时控制。

(5) 计算机控制系统具有很大的灵活性和适应性

对于连续控制系统,控制规律越复杂,所需的硬件也往往越多,越复杂。模拟硬件的成本几乎和控制规律的复杂程度、控制回路的多少成正比,并且,若要修改控制规律,一般必须改变硬件结构。由于计算机控制系统的控制规律是由软件实现的,并且计算机具有强大的记忆和判断功能,修改一个控制规律,无论是复杂的还是简单的,只需修改软件,一般不需改变硬件结构,因此便于实现复杂的控制规律和对控制方案进行在线修改,使系统具有灵活性高、适应性强的特点。

(6) 计算机控制系统具有较高的控制质量

由于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、智能控制等,从而可达到较高的控制质量。

随着微电子技术的不断发展和对自动控制系统功能要求的不断提高,计算机控制系统的优越性表现得越来越突出,现在控制系统不管是简单的还是复杂的,几乎都是采用计算机进行控制的。

3. 工业控制机 (IPC) 的特点

1) 可靠性高和可维修性好。可靠性和可维修性是两个非常重要的因素,它们决定着系统在控制上的可用程度。可靠性的简单含义是指设备在规定的时间内运行不发生故障,为此采用可靠性技术来解决;可维修性是指工业控制机发生故障时,维修快速、简单、方便。

2) 环境适应性强。工业环境恶劣,这就要求工业控制机能适应高温、高湿、腐蚀、振动、冲击、灰尘等环境。工业环境电磁干扰严重,供电条件不良,工业控制机必须要有极高的电磁兼容性。

3) 控制的实时性。工业控制机应具有时间驱动和事件驱动能力,要能对生产过程工况变化实时进行监视和控制。为此,需要配有实时操作系统和中断系统。

4) 完善的输入/输出通道。为了对生产过程进行控制,需要给工业控制机配备完善的输入/输出通道,如模拟量输入、模拟量输出、开关量输入、开关量输出、人-机通信设备等。

5) 丰富的软件。工业控制机应配备较完整的操作系统、适合生产过程控制的应用程序。工业控制软件正向结构化、组态化方向发展。

6) 适当的计算机精度和运算速度。一般生产过程,对于精度和运算速度要求并不苛刻。通常字长为8~32位,速度在每秒几万次至几百万次。但随着自动化程度的提高,对于精度和运算速度的要求也在不断提高,应根据具体的应用对象及使用方式,选择合适的机型。

1.1.3 计算机控制系统的工作过程与方式

在计算机控制系统中,计算机的输入和输出都是数字信号,因此,在这样的控制系统中需要有将模拟信号转换为数字信号的A/D转换器,以及将数字控制信号转换为模拟控制信号的D/A转换器。

从本质上来看,计算机控制系统的控制过程可以归结为以下三个步骤:

1) 实时数据采集。对被控参数的瞬时值进行检测,并输入。

2) 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, 决定进一步的控制过程。

3) 实时控制。根据决策, 适时地对控制机构发出控制信号。

上述过程不断重复, 使整个系统能够按照一定的动态品质指标进行工作, 并且对被控参数和设备本身出现的异常状态及时监督并作出迅速处理。对微处理器来讲, 控制过程的三个步骤, 实际上只是执行算术、逻辑操作和输入/输出操作。

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, 即计算机对输入信息以足够快的速度进行处理, 并在一定的时间内作出反应或进行控制, 超出这个时间, 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。如炼钢炉的炉温控制, 延迟 1s, 仍然认为是实时的。而一个火炮控制系统, 当目标状态量变化时, 一般必须在几毫秒或几十毫秒之内及时控制, 否则就不能击中目标了。实时性的指标, 涉及如下一系列的时间延迟: 一次仪表的延迟、过程量输入的延迟、计算和逻辑判断的延迟、控制量输出的延迟、数据传输的延迟等。一个在线的系统不一定是一个实时系统, 但一个实时控制系统必定是在线系统。例如, 一个只用于数据采集的微型机系统是在线系统, 但它不一定是实时系统, 而计算机直接数学控制系统, 则必定是一个在线系统。

1.2 计算机控制系统的分类

计算机控制系统所采用的形式与它所控制的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形式。

1.2.1 操作指导控制系统

操作指导控制系统的构成如图 1-8 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。该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

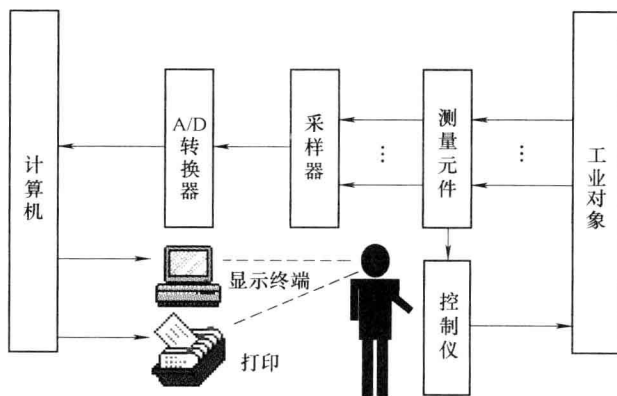


图 1-8 操作指导控制系统

操作执行机构。

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）系统是计算机用于工业过程最普遍的一种方式，属于闭环控制型结构，其结构如图 1-9 所示。计算机通过测量元器件对一个或多个生产过程的参数进行巡回检测，经过过程输入通道输入计算机，并根据规定的控制规律和给定值进行运算，然后发出控制信号，通过过程输出通道直接去控制执行机构，使各个被控量达到预定的要求。

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，而且不需要改变硬件，只需通过改变软件就能实现多种较复杂的控制规律，如串级控制、前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制等。

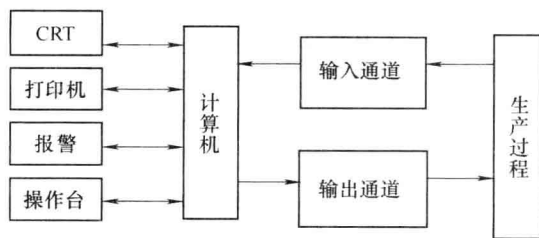


图 1-9 直接数字控制系统

由于 DDC 系统中的计算机直接承担控制任务，所以要求（系统）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，使其不失时机地完成所有功能。DDC 系统是计算机用于工业生产过程控制的一种系统，在热工、化工、机械、冶金等部门已获得广泛应用。在 DDC 系统中使用计算机作为数字控制器。

1.2.3 监督控制系统

在直接数字控制系统中，对生产过程产生直接影响的被控参数给定值是预先设定的，并且存入微型机的内存中，这个给定值不能根据过程条件和生产工艺信息的变化及时修改，故直接数字控制系统无法使生产过程处于最优工况，这显然是不够理想的。

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，所以又称给定值控制（Set Point Computer Control, SPC）。

监督控制系统的控制效果主要取决于数学模型的优劣。这个数学模型一般是针对某一目标函数设计的，如果这一数学模型能使某一目标函数达到最优状态，那么这种控制方式就能实现最优控制。当数学模型不理想时，控制效果也不会太理想。监督控制系统也可以实现自适应控制。监督控制系统有两种不同的结构形式，如图 1-10 所示。

1. SCC + 模拟调节器的控制系统

该系统（见图 1-10a）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

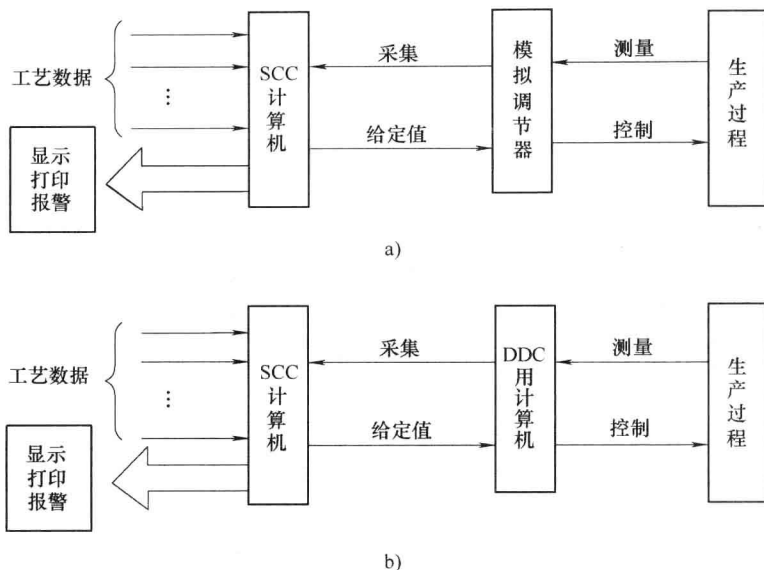


图 1-10 监督计算机控制系统的两种结构形式

a) SCC + 模拟调节器的控制系统 b) SCC + DDC 分级控制系统

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。

2. SCC + DCC 的分级控制系统

这实际上是一个二级控制系统（见图 1-10b），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。这种系统的可靠性高。

1.2.4 分布式控制系统

生产过程中既存在控制问题，也存在大量的管理问题。而且设备一般建在不同的区域，其中各工序、各设备并行工作，基本相互独立，故整个系统比较复杂。过去由于计算机价格高，复杂的生产过程系统往往采取集中型控制方式，以便充分利用计算机。这种控制方式任务过于集中，一旦计算机出现故障，将会影响全局。使用价格低廉而功能完善的微型计算机，可以实现由若干个微处理器或微型计算机分别承担部分任务而组成的计算机控制系统，称为分布式（或分级式）控制系统（Distributed Control System, DCS）。该系统有代替集中控制系统的趋势。该系统的特点是将控制任务分散，用多台计算机分别执行不同的任务，既能进行控制又能实现管理。图 1-11 所示的分布式控制系统是一个四级系统，各级计算机的任务如下：

① 装置控制计算机（DDC）。对生产过程或单机直接进行控制，如进行 PID 控制或前馈控制等，使所控制的生产过程在最优的工况下工作。

② 车间级监督计算机（SCC）。根据厂级下达的命令对通过装置控制级获得的生产过程进行最优化控制。它还担负着车间各个工段的协调控制并担负着对 DDC 级的监督。

③ 工厂级集中控制计算机。根据上级下达的任务和本厂情况，制订生产计划、调配工作人员及协调各车间的任务，并及时将 SCC 级和 DDC 级计算机的情况向上级反映。