



应用型本科高校系列教材·电气信息类

JISUANJI KONGZHI JISHU



计算机控制技术




臧大进 © 主编

101010101010101
101010101010101

00110
01010
00110
01010
00110

JISUANJI
KONGZHI
JISHU

中国科学技术大学出版社

 应用型本科高校系列教材·电气信息类

JISUANJI KONGZHI JISHU

计算机控制技术

主 编 臧大进
副主编 韩 君
编 者 刘 艳 胡 波
穆海芳 唐培林

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机控制系统的基本组成及其在工业控制中的应用,并结合实际介绍了几种典型的控制系统. 主要内容包括:计算机控制系统概述,过程通道与输入输出,人机交互接口技术,数据预处理技术,常用控制技术,工业控制网络,计算机控制系统的抗干扰技术,以及计算机控制系统的设计与实现.

本书可作为应用型本科高校自动化、机电一体化、电气工程、计算机测控及计算机应用等专业计算机控制技术课程的教材,也可供从事计算机控制的工程技术人员参考.

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术/臧大进主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2012. 8
ISBN 978-7-312-03090-1

I. 计… II. 臧… III. 计算机控制 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 169075 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>

印刷 合肥学苑印务有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 710 mm×960 mm 1/16

印张 16.5

字数 320 千

版次 2012 年 8 月第 1 版

印次 2012 年 8 月第 1 次印刷

定价 28.00 元

前 言

计算机控制技术是自动化、机电一体化、电气工程、计算机测控及计算机应用等专业的专业课程。在安徽省应用型本科高校联盟的支持下,我们编写了此书。

在本书的编写过程中,编者依据安徽省应用型本科高校联盟的要求,力求使教材体现应用型特色。我们主要从以下几个方面进行了努力和尝试:

(1) 在编写中特别注意理论性与应用性相结合的原则,尽量讲清基本的理论、原理、思路等,并适当增加了工程应用案例。

(2) 在编写中注意了由浅入深、循序渐进的教学原则,首先让学生从浅显易懂的内容进入,再逐步加深知识的难度。

(3) 在内容的安排上注意应用性的原则,尽量选择典型的、常用的、成熟的技术。对理论性太强或学习难度较大的技术,本书未作介绍或只作简单介绍和探讨,留待学生在今后工作实践中再进行深入学习和掌握。

本书建议学时数为 60 学时,使用者可根据实际教学情况自行调整。

本书由臧大进任主编,韩君任副主编,刘艳、胡波、穆海芳、唐培林等老师参加了部分章节的编写工作。在本书的编写过程中,得到了宿州学院、皖西学院、铜陵学院等相关系部领导和老师的大力支持和帮助,在此表示诚挚的感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编 者
2012 年 6 月

目 录

前言	i
第 1 章 计算机控制系统概述	1
1.1 基本概念	1
1.2 计算机控制系统的组成	3
1.3 分类与特点	7
1.4 发展历程与趋势	13
第 2 章 过程通道与输入输出	18
2.1 数字量输入输出通道的结构	18
2.2 模拟量输出通道	19
2.3 模拟量输入通道	25
2.4 A/D 转换器的外围电路	33
2.5 键盘技术	35
2.6 显示器技术	36
第 3 章 人机交互接口技术	38
3.1 键盘原理及其接口技术	39
3.2 CRT 显示器原理及接口技术	47
3.3 LED 显示器原理及接口技术	49
3.4 LCD 显示原理及接口技术	53
3.5 打印机及其接口技术	55
3.6 其他人机接口	57
第 4 章 数据预处理技术	59
4.1 数据预处理过程	60
4.2 数字滤波	75
4.3 RC 低通滤波器	77

4.4	惯性滤波法	78
4.5	复合数字滤波	78
4.6	线性化处理	79
4.7	标度变换	82
第5章	常用控制技术	85
5.1	PID控制的概述	85
5.2	数字PID控制算法的改进	99
5.3	数字PID控制算法的整定	106
5.4	其他控制算法	114
第6章	工业控制网络	119
6.1	集散控制系统简介	119
6.2	现场总线技术简介	125
6.3	工业以太网技术简介	151
第7章	计算机控制系统的抗干扰技术	166
7.1	工业现场的干扰及对系统的影响	166
7.2	硬件抗干扰技术	168
7.3	系统供电与接地技术	174
7.4	软件抗干扰技术	179
第8章	计算机控制系统设计与实现	184
8.1	计算机控制系统的设计方法	184
8.2	计算机控制系统的实现过程	189
8.3	控制系统中的可靠性技术	197
8.4	多通道温度采集系统	204
8.5	智能小车控制系统	221
参考文献		256

第 1 章 计算机控制系统概述

计算机控制技术是计算机技术和自动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,进入人类社会生产和生活活动的各个方面,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、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、国防自动化设备和信息产业基础设施,包括铁路系统、发电厂和电网系统、智能交通系统,以及纺织工业、制造业、食品加工行业、石油化工行业、车载信息系统、国防系统、航空航天器系统、核电站监控和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.

1.1 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)进行自动控制的技术.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、写和算.

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.于是,对于计算机控制系统来说,其基本要素便扩展为四个基本功能:读、写、算和通信.

事实上,由于计算机控制系统是为人服务的,默认人的存在,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由人们设计和实现的、在人和控制对象间完成读、写、算和通信任务的代理系统(Agent).

研究和讨论这个系统实现的技术、成本和完成性能,以及各要素具体的实现方

法或方式,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,并在一定的时间内作出反应且进行控制,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定义,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,并不限定某一任务必须在多长时间时间内完成.

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(CPU)以及它的主频、内存等参数有一定的关系.另外,因为应用场合对系统实时性能要求的不同,实时也会有不同的定义.

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速度;
- (2) 过程控制和监控系统需要 100 ms 的响应速度;
- (3) 基于可编程控制器(PLC)的机械控制系统需要 10 ms 的响应速度;
- (4) 多轴协同动态高速运动控制系统的实时性要求在 1 ms 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一个实时系统, 但一个实时控制系统必定是在线系统.

1.2 计算机控制系统的组成

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中扮演了重要的角色.

闭环控制系统的典型结构如图 1.1 所示.

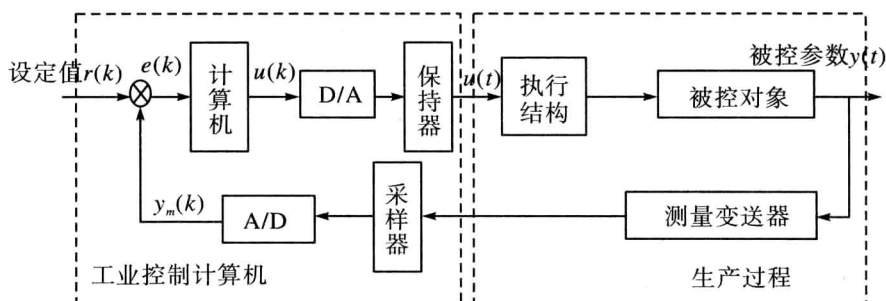


图 1.1 计算机控制系统

在该系统中, 输入/输出计算机的信号均为二进制数字信号, 因此需要进行数模(D/A)和模数(A/D)信号的转换. 控制信号通过软件加工处理, 充分利用计算机的运算、逻辑判断和记忆功能, 改变控制算法只需要改变程序而不必改动硬件电路.

一般的计算机控制系统由计算机、I/O 接口电路、通用外部设备和工业生产对象等部分组成, 其电路原理如图 1.2 所示.

在图 1.2 中, 被测参数经传感器、变送器, 转换成标准电信号, 再经多路开关分时送到 A/D 转换器进行模数转换, 转换后的数字量通过 I/O 接口电路送入计算机, 通常称为模拟量输入通道. 在计算机内部, 用软件对采集的数据进行处理和计算, 然后经数字量输出通道输出. 输出的数字量通过 D/A 转换器转换成模拟量, 再经反多路开关与相应的执行机构相连, 以便对被控对象进行控制. 可以用表 1.1 来说明一般计算机控制系统的基本组成.

表 1.1 计算机控制系统的基本组成

计算机控制系统		
被控制对象	计算机	
生产过程 + 检测元件 + 执行机构(广义对象)	硬件	软件
		中央处理器 + 通用外部设备 + I/O 接口电路

1. 计算机控制系统的硬件构成

(1) I/O 接口电路

I/O 接口电路是主机与被控对象进行信息交换的纽带. 主机通过 I/O 接口电路与外部设备进行数据交换. 目前, 绝大部分 I/O 接口电路都是可编程的, 即它们的工作方式可由程序进行控制. 目前, 在工业控制机中常用的接口有: 并行接口(如 8155 和 8255 等)、串行接口(如 8251 等)、直接数据传送控制器(如 8237)、中断控制接口(如 8259)、定时器/计数器(如 8253)和 A/D、D/A 转换接口.

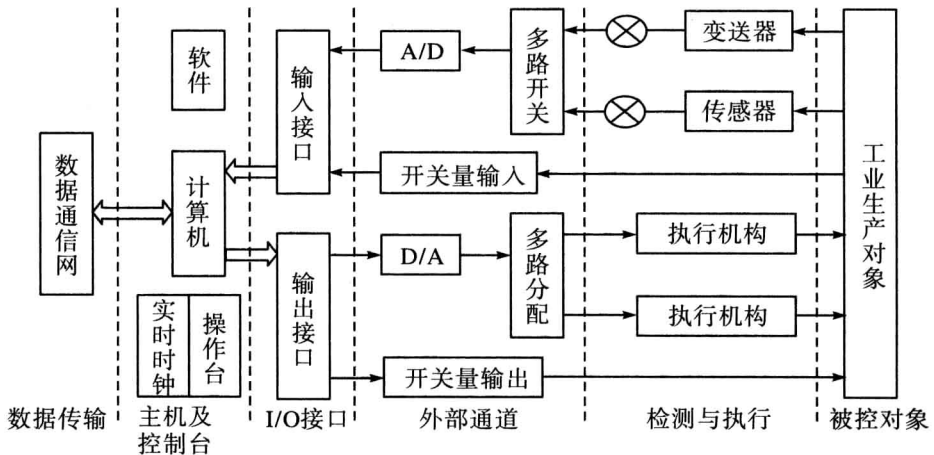


图 1.2 计算机控制系统原理图

由于计算机接收的是数字量, 而一般连续化生产过程中的被测参数大多数都是模拟量, 如温度、压力、流量、液位、速度、电压及电流等, 因此, 为了实现计算机控制, 还必须把模拟量转换成数字量, 即进行 A/D 转换. 同样, 外部执行机构的控制量也多为模拟量, 所以计算机计算出控制量后, 还必须把数字量变成模拟量, 即进行 D/A 转换.

(2) 通用外部设备

通用外部设备主要是为了扩大主机的功能而设置的,它们用来显示、打印、存储及传送数据.目前已有许多种类的通用外部设备,例如打印机、显示终端、数字化仪器、数码相机、纸带读入机、卡片读入机、声光报警器、磁带录音机、磁盘驱动器、光盘驱动器及扫描仪等.它们就像计算机的眼、耳、鼻、舌、四肢一样,从各方面扩充了主机的功能.

(3) 中央处理器(CPU)

CPU是整个控制系统的指挥中心,通过I/O接口电路及软件可向系统的各个部分发出各种命令,同时对被测参数进行巡回检测、数据处理、控制计算、报警处理及逻辑判断等.因此,CPU是计算机控制系统的重要组成部分,CPU的选用将直接影响系统的功能及接口电路设计等.最常用的CPU芯片有80x86及单片Intel8051、Intel8096系列等.由于主控芯片种类繁多、功能各异,因此,主控芯片的选用和接口电路的设计有十分密切的联系.

2. 检测元件及执行机构

(1) 检测元件

在计算机控制系统中,为了对生产过程进行控制,首先必须对各种数据进行采集,如温度、压力、液位、成分等.因此,必须通过检测元件传感器,把非电量参数转换成电量参数.例如,热电偶可以把温度转换成毫伏级电压信号,压力变送器可以把压力变成电信号.这些信号经过变送器,转换成统一的标准信号(0~5 V或4~20 mA)后,再送入计算机.因此,检测元件精度的高低,直接影响计算机控制系统的精度.

(2) 执行机构

控制生产过程,还必须有执行机构,其作用就是控制各种参数的调节.例如:在温度控制系统中,根据温度的误差来控制进入加热炉的煤气(或油)量;在水位控制系统中,控制进入容器的水的流量.执行机构有电动、气动、液压传动等几种,也有的采用电动机、步进电机及晶闸管元件等进行控制,在后面章节中将详细介绍这些内容.

3. 主控制台

主控制台是人机对话的联系纽带.通过它,人们可以向计算机输入程序,修改内存的数据,显示被测参数及发出各种操作命令等.通常,主控制台由以下几个部分组成.

(1) 作用开关

作用开关有电源开关、数据和地址选择开关及操作方式(自动/手动)选择开关等.通过这些开关,人们可以对主机进行启动、停止、设置数据及修改控制方式等操

作.作用开关可通过接口与主机相连.

(2) 功能键

设置功能键的目的,主要是要通过各种功能键向主机申请中断服务,如常用的复位键、启动键、打印键、显示键等.此外,面板上还有工作方式选择键,如连续工作方式或单步工作方式.这些功能键是以中断方式与主机进行联系的.

(3) LED 数码管及 LCD 显示

它们用来显示被测参数及操作人员需要的内容.随着计算机控制技术的发展,显示的应用越来越普遍,它不但可以显示数据表格,而且能够显示被控系统的流程图、柱状指示图、开关状态图、时序图、变量变化趋势图、调节回路指示图等.

(4) 数字键

数字键用来送入数据或修改控制系统的参数.关于键盘及显示接口的设计将在后面章节中详细讲述.

4. 计算机控制系统的软件构成

对于控制系统而言,除上述几部分以外,软件也是必不可少的.所谓软件,是指能够完成各种功能的计算机程序的总和,如操作、监控、管理、控制、计算和自诊断程序等.软件分为系统软件和应用软件两大部分(见表 1.2).它们是计算机控制系统的神经中枢,整个系统的动作都是在软件指挥下进行协调工作的.

表 1.2 计算机控制系统软件分类

软件	系统软件	操作系统	管理程序,磁盘操作系统程序	
		诊断系统	调节程序,诊断程序等	
		开发系统	程序设计语言(汇编语言、高级算法语言),服务程序(装配程序、编译程序),模拟主机系统(系统模拟、仿真、移植软件),数据管理系统	
		信息处理	文字翻译,企业管理	
	应用软件	过程监视	上、下限检查及报警,巡回检测,操作面板服务,滤波及标度变换,判断程序,过程分析等	
		过程控制计算	控制算法程序	PID 算法,最优化控制,串级调节,系统辨识,比值调节,前馈调节,其他
			事故处理程序	
			信息管理程序	文件管理,输出,打印,显示
公共服务	数码转换程序,格式编辑程序	函数运算程序,基本运算程序		

(1) 系统软件

系统软件是指专门用来使用和管理计算机的程序,它们包括各种语言的汇编、解释和编译软件(如 8051 汇编语言程序、C51、C96、PL/M、Turbo C、Borland C 等),监控管理程序,操作系统,调整程序及故障诊断程序等。

这些软件一般不需要用户自己设计.对用户来讲,它们仅仅是开发应用软件的工具.

(2) 应用软件

应用软件是面向生产过程的程序,如 A/D、D/A 转换程序,数据采样程序,数字滤波程序,标度变换程序,键盘处理、显示程序,过程控制程序等。

另外,有一些专门用于控制的应用软件,其功能强大,使用方便,组态灵活,可节省设计者大量时间,因而越来越受到用户的欢迎。

目前,计算机控制系统的软件设计已经成为计算机科学中一个独立的分支,而且发展得非常快,且正逐渐规范化、系统化。

1.3 分类与特点

由于被控对象不同,工业生产过程及被测参数也千差万别,因此由微机组成的控制系统也不尽相同.计算机控制系统分类的方法很多,可以按照系统的功能分类,也可以按照系统的控制规律分类,还可以按照控制方式分类。

1. 按照功能对计算机控制系统分类

(1) 数据采集和监视系统

一个微机控制系统离不开数据的采集和处理.计算机在数据采集和处理时,主要是对大量的过程参数进行定时巡回检测、数据记录、数据计算、数据统计和处理、参数的越限报警及对大量数据进行积累和实时分析.图 1.3 是微机数据采集、处理系统的典型框图。

在这种应用方式中,计算机虽然不直接参与生产过程的控制,对生产过程不直接产生影响,但其作用还是很明显的.首先,由于计算机具有运算速度快等特点,故在过程参数的测量和记录中可以代替大量的常规显示和记录仪表,对整个生产过程进行集中监视.同时,由于微处理器具有运算、逻辑判断能力,可以对大量的输入数据进行必要的集中、加工和处理,并且能以有利于指导生产过程控制的方式表示出来,故对指导生产过程有一定的作用.另外,计算机有存储大量数据的能力,可以预先存入各种工艺参数,在数据处理过程中进行参数的越限报警等工作,或者按要求定时制表、打印或将数据处理的结果记录在外存储器中,作为资料保存或供分析

使用。

(2) 直接数字控制系统

直接数字控制系统(DDC, Direct Digital Control)是计算机在工业应用中最普遍和最基本的一种方式。DDC 系统中的计算机参加闭环控制过程,无需中间环节(调节器)。它用一台微机对多个被控参数进行巡回检测,将检测结果与设定值进行比较,再根据规定的 PID 规律、模糊逻辑规律或直接数字方法等进行控制运算,最后输出到执行机构对生产过程进行控制,使被控参数稳定在给定值上。一般的直接数字控制系统有一个功能齐全的运行操作台,系统的给定、显示、报警等集中在此控制台上。其系统原理如图 1.4 所示。

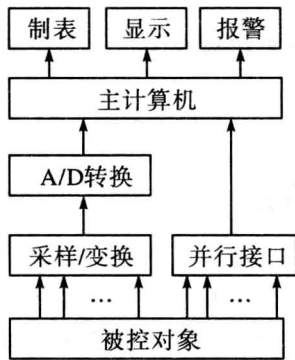


图 1.3 数据采集、处理系统

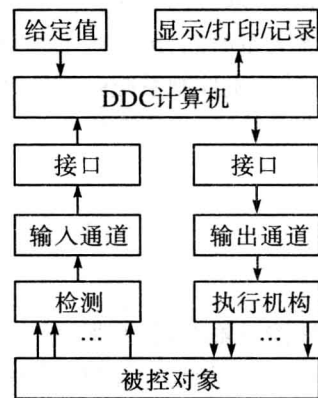


图 1.4 DDC 系统框图

在 DDC 系统中,计算机不仅完全取代模拟调节器,实现多回路的 PID 调节,而且不需要改变硬件,只需要通过改变软件就可以有效地实现较复杂的控制算法。

(3) 微机监督控制系统

在 DDC 方法中,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,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,因此 DDC 方式无法使生产过程处于最优工况。

微机监督控制系统(SCC, Supervisory Computer Control)中,计算机根据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者 DDC 系统的给定值,从而使生产过程始终处于最优工况(如最低消耗、最低成本、最高产量等)。从这个角度上说,它的作用是改变给定值,所以又称为给定值控制(SPC, Set Point Computer Control)。

SCC 系统不仅可以进行给定值控制,同时还可以进行顺序控制、最优控制以及自适应控制等,其效果取决于生产过程的数学模型。如果这个数学模型能使某一目

标函数达到最优状态, SCC 方式就能实现最优控制; 如果这个数学模型不理想, 控制效果也会变差. 监督控制系统有两种典型的结构形式, 如图 1.5 所示.

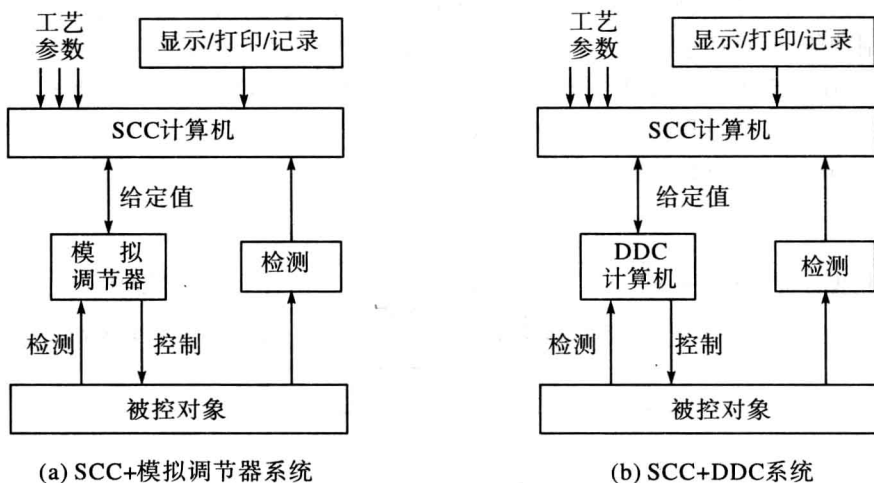


图 1.5 SCC 系统框图

(1) SCC + 模拟调节器系统

在该系统中, 微机的作用是对各物理量进行巡回检测并接收管理命令, 然后, 按照一定的数学模型计算后, 输出给定值到模拟调节器. 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后输出到执行机构, 以达到调节生产过程的目的. 这样, 系统就可以根据生产情况的变化, 不断地改变给定值, 以达到实现最优控制的目的. 一般的模拟系统是不能随意改变给定值的. 因此, 这种系统特别适合老企业的技术改造, 以便能够充分利用原有的模拟调节器.

(2) SCC + DDC 系统

该系统为两级微机控制系统, 一级为监督级 SCC, 二级为 DDC. SCC 的作用与 SCC + 模拟调节器中的 SCC 一样, 用来计算最佳给定值, 它与 DDC 之间通过接口进行信息联系. 直接数字控制器 DDC 用来把给定值与测量值 (数字量) 进行比较, 其偏差由 DDC 进行数字计算, 并实现对各个执行机构的调节控制作用. 当 DDC 级计算机出现故障时, 可由 SCC 计算机完成 DDC 的控制功能. 它显然提高了控制系统的可靠性. 与 SCC + 模拟调节器系统相比, 其控制规律可以改变, 使用更加灵活.

总之, SCC 系统比 DDC 系统有更大的优越性, 可以更接近于生产的实际情况. 当系统中模拟调节器或 DDC 控制器出现故障时, 可用系统代替调节器进行调节, 因此大大提高了系统的可靠性. 但是, 由于生产过程很复杂, 其数学模型建立比

较困难,所以此系统要达到理想的最优化控制是不容易的。

(3) 分级控制系统

现代微机、通信技术和 CRT 显示技术的巨大进展,使得微机控制系统不但包含控制功能,而且还包含生产管理和指挥调度的功能.除了直接数字控制和监督控制以外,还出现了工厂级集中监督微机和企业级经营管理微机.在企业经营管理中,除了管理生产过程控制,还具有收集经济信息、计划调度、产品订货和运输等功能.图 1.6 为一个分级控制系统的典型结构图。

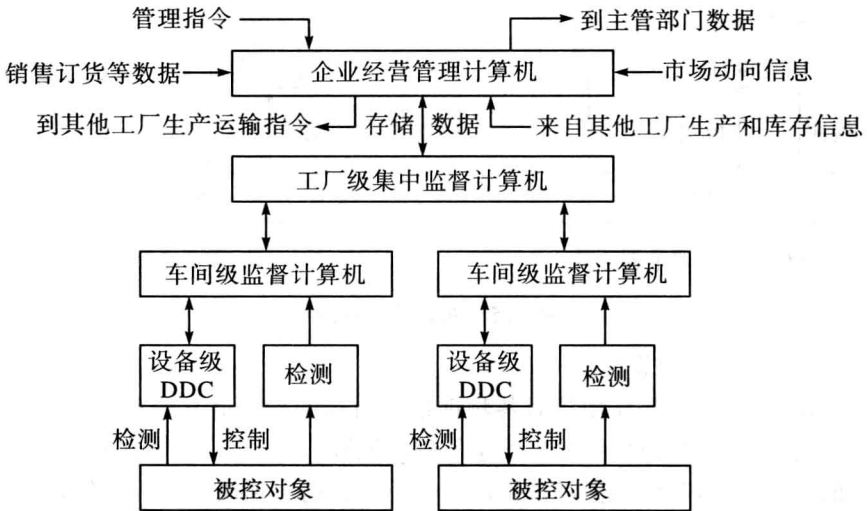


图 1.6 分级控制系统框图

分级控制系统是工程大系统,它所解决的不是局部最优化问题,而是一个工厂、一个公司乃至一个区域的总目标或总任务的最优化问题,即综合自动化问题.最优化的目标函数包括产量最高、质量最好、原料和能耗最小、成本最低、可靠性最高、环境污染最小等指标,它反映了技术、经济、环境等多方面的综合性要求.分级控制系统的理论基础是大系统理论.智能控制机器人可以看作是一个大系统,智能控制的结构之一就是分级控制。

(4) 集散控制系统

20 世纪 70 年代中期出现的集散控制系统(DCS, Distributed Control System, 或称分布控制系统),采用分散控制和集中管理的控制理念与网络化的控制结构,灵活地将控制服务器、基础自动化单元联系在一起.从综合自动化角度出发,按功能分散、管理集中和应用灵活等原则进行设计,具有高可靠性能,便于维修与更新.它以系统最优化为目标,以微处理机为核心,与数据通信技术、CRT 显示、人机接

口技术和输入/输出接口技术相结合,是用于数据采集、过程控制、生产管理的新型控制系统.该系统的典型结构如图 1.7 所示.

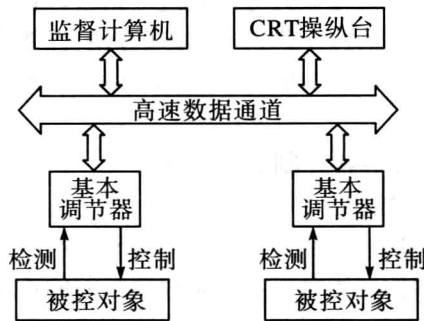


图 1.7 集散控制系统框图

(6) 计算机控制网络

由一台中央计算机(CC)和若干台卫星计算机(SC)构成计算机网络,中央计算机配了齐全的各类外围设备,各个卫星计算机可以共享资源,网络中的设备以及其他资源可以得到充分利用.各个卫星机按照不同单元的功能要求由不同的微处理机进行操作控制;中央计算机用于协调各卫星机之间的工作,并实现生产过程监督控制功能,还能进行最优化计算和计划、调度、库存管理等工作.计算机控制网络如图 1.8 所示.

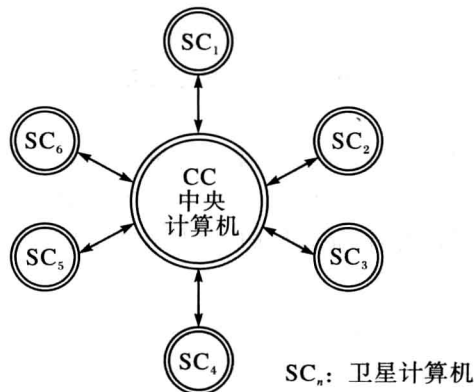


图 1.8 计算机控制网络

应该指出的是,随着工业生产的发展,用户对计算机的可靠性和快速性提出了更高的要求,因此在一个计算机系统中只使用一个或少数几个 CPU 的传统概念受