

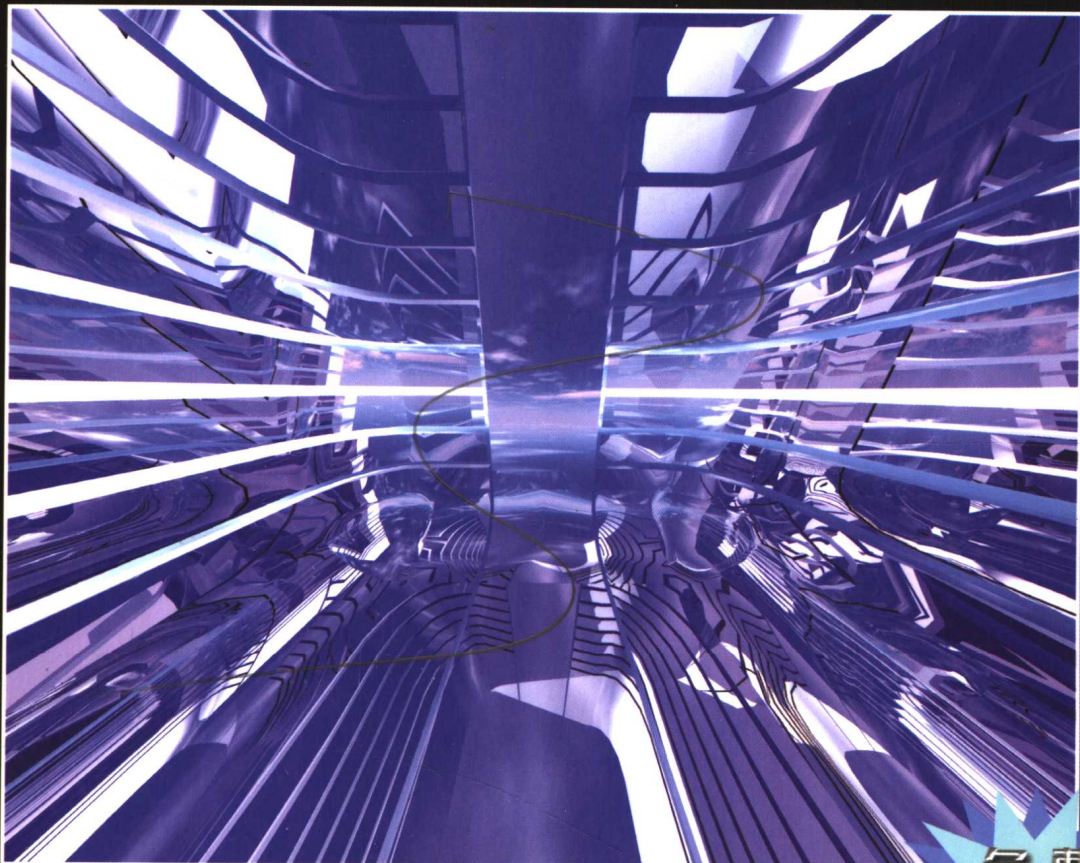


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机控制技术与应用

湖南工程学院 刘国荣 主编
哈尔滨工业大学（威海） 梁景凯

第2版



免费
电子课件

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TP273/490

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机控制技术与应用

第2版

主编	刘国荣	梁景凯
参编	陈文清	涂 军
	臧海河	谭 梅
主审	章 兢	李全利

机械工业出版社

本书系统地介绍了计算机控制系统的基础理论、控制方法、硬件设计方法和系统设计方法,是编者在多年教学与科研实践经验的基础上,吸收国内外计算机控制系统设计的新技术编写而成的。

全书共分10章,内容包括:计算机控制系统的一般概念,计算机控制系统理论基础,计算机控制系统设计方法,计算机控制系统常用的控制规律,过程通道,计算机控制系统抗干扰技术,计算机直接数字控制(DDC)系统,工业控制计算机,控制网络技术,集散控制系统。在相应章节中还编写了多个计算机控制系统设计案例。

本书注重理论与实际、硬件与软件相结合,突出工程应用,并跟踪计算机控制领域的最新发展,介绍一些工业生产中正在使用的新技术。每章都有小结,并附有习题和思考题,便于教师讲授和学生自学。

本书可作为普通高等学校自动化、计算机科学与技术及相近专业的教材,也可作为成人教育相应专业教材或教学参考书,亦可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术与应用/刘国荣,梁景凯主编. —2版.

北京:机械工业出版社,2008.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-06854-9

I. 计… II. ①刘…②梁… 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(2007)第206428号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:闫晓宇 责任校对:陈立辉

封面设计:张静 责任印制:李妍

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2008年4月第2版 第1次印刷

184mm×260mm·18.25印张·449千字

标准书号:ISBN 978-7-111-06854-9

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379727

封面防伪标均为盗版

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是“九五”国家级重点教材《计算机控制技术与应用》的修订版，是在多年讲授第1版的基础上，总结近年来的教学经验、教改成果和科研成果编写而成的。

关于“计算机控制技术”这门课程的教材已有不少，有的偏重理论，有的偏重实现技术，但定位于应用型本科、适应于应用型人才培养的“计算机控制技术”教材还很少。编者从事“计算机控制技术”这门课程的教学已有16年，对这门课程的特点认识很深。本书主编之一的刘国荣教授现为全国应用型本科教育协作组副组长，在应用型本科教育的定位及其人才培养模式方面做了大量的研究工作；主持了教育部“高等理工教育教学改革与实践”项目“工程应用型本科人才培养实践教学体系的研究与实践”；主持的“工程应用型本科教育的定位及其创新人才培养体系的研究”于2004年获湖南省优秀教学成果一等奖。通过教育研究和改革实践，本书编者积累了一定的经验，对培养应用型人才的教材应具备的特色有比较清晰的认识。本书就是在这种背景下申报立项、组织编写的。

全书分为10章，内容包括：计算机控制系统的一般概念，计算机控制系统理论基础，计算机控制系统设计方法，计算机控制系统常用的控制规律，过程通道，计算机控制系统抗干扰技术，计算机直接数字控制（DDC）系统，工业控制计算机，控制网络技术，集散控制系统。

本书具有如下特点：

(1) 体系结构优化 本书按基础理论（第一、二章）——控制方法（第三、四章）——硬件设计（第五、六章）——系统设计（第七、八、九、十章）的体系编写，循序渐进，由浅入深，层次清楚，系统性好。

(2) 重点突出 控制方法方面重点介绍目前广泛应用的控制方法（PID控制、串级控制、前馈控制、Smith预估控制、比值控制、模糊控制等）；硬件设计方面重点介绍过程通道的设计，主机部分一般无需再设计，主要是选型问题，故只作简单介绍；系统设计方面重点介绍DDC系统的设计，这是因为DDC系统用得较多，也是监督控制系统（SCC）和集散控制系统（TDC）的基础。

(3) 注重应用 应用型本科培养高级工程技术应用型人才。这决定了应用型本科的教材建设，特别是专业课教材的建设要突出应用性这一特点。为此，本书编写时特别注重应用性。例如：①介绍过程通道等硬件设计时，提出模板的概念，并介绍一些典型模板，不停留在过去只讲述通道结构、工作原理的基础上；②介绍抗干扰技术时，按系统的物理组成来介绍抗干扰方法（电源部分抗干扰方法、过程通道部分抗干扰方法、接地技术、软件抗干扰技术、故障自诊断技术等），而不像以往，按干扰的种类来讲述抗干扰方法；③介绍控制方法时，重点介绍普遍使用的常规控制方法。数字控制器直接设计方法基于对象模型，工业控制中应用较少，故只作一般介绍；④编写了多个计算机控制系统设计案例，这些案例大都是从编者近几年的科研成果中筛选出来的。

(4) 跟踪发展 介绍了一些工业生产中正在使用的新技术。例如, 模糊控制方法、工业控制计算机、工控组态软件、控制网络技术、现场总线技术、集散控制技术等。

(5) 通俗易懂 叙述简单明了, 每章都有小结, 并附有习题和思考题, 便于教师讲授和学生自学。

本书教学时数为 60 学时, 其中实验为 10 学时。

本书由湖南工程学院刘国荣和哈尔滨工业大学梁景凯担任主编。参加编写的还有湖南工程学院谭梅、河南工业大学臧海河、哈尔滨理工大学徐军和洛阳理工学院陈文清。第一、十章由梁景凯编写, 第二、三章由谭梅编写, 第四章由刘国荣编写, 第五章由臧海河编写, 第六、九章由徐军编写, 第七章由陈文清编写, 第八章由臧海河、陈文清编写。何一鸣、葛运旺参加了本书第 1 版的编写, 在此表示诚挚的谢意。

本书由湖南大学章兢教授和哈尔滨理工大学李全利教授主审。他们对本书提出了许多宝贵意见, 在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 书中疏漏之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

编者

2007 年 7 月

目 录

前言	本章小结	100
	习题和思考题	101
第一章 概述 1	第五章 过程通道 104	
第一节 计算机控制系统的组成和特点..... 1	第一节 模拟量输入通道..... 104	
第二节 计算机控制系统的类型..... 4	第二节 模拟量输出通道..... 120	
第三节 计算机控制系统的发展概况..... 6	第三节 开关量输入/输出通道..... 126	
本章小结..... 7	本章小结..... 135	
习题和思考题..... 7	习题和思考题..... 135	
第二章 计算机控制系统理论基础 8	第六章 计算机控制系统抗干扰技术 136	
第一节 采样过程与采样定理..... 8	第一节 干扰的来源与种类..... 136	
第二节 零阶保持器..... 10	第二节 硬件抗干扰技术..... 137	
第三节 z 变换理论..... 12	第三节 软件抗干扰技术..... 145	
第四节 采样控制系统的数学模型..... 19	第四节 故障自诊断技术..... 153	
第五节 采样控制系统的稳定性分析..... 26	本章小结..... 154	
第六节 采样控制系统的稳态误差分析..... 27	习题和思考题..... 155	
第七节 采样控制系统的动态性能分析..... 29	第七章 计算机直接数字控制 (DDC) 系统 156	
本章小结..... 32	第一节 计算机 DDC 系统的组成和特点..... 156	
习题和思考题..... 32	第二节 计算机 DDC 系统的总体设计..... 158	
第三章 计算机控制系统设计方法 34	第三节 计算机 DDC 系统的硬件设计..... 162	
第一节 连续域——离散化设计..... 34	第四节 计算机 DDC 系统的软件设计..... 165	
第二节 最少拍数字控制系统的设计..... 41	第五节 基于 IPC 的小型感应热处理中心控制系统..... 177	
第三节 最少拍无波纹数字控制系统设计..... 48	第六节 基于 8031 的全数字双闭环直流调速系统设计..... 195	
第四节 大林算法..... 50	本章小结..... 203	
本章小结..... 53	习题和思考题..... 203	
习题和思考题..... 53	第八章 工业控制计算机 204	
第四章 计算机控制系统常用的控制规律 55	第一节 工业控制计算机概述..... 204	
第一节 PID 控制..... 55	第二节 PC 总线工业控制计算机..... 207	
第二节 串级控制..... 69	第三节 工控组态软件..... 218	
第三节 前馈控制..... 73		
第四节 史密斯 (Smith) 预估控制..... 76		
第五节 比值控制..... 81		
第六节 模糊控制..... 83		

第四节 二级计算机控制系统设计		
案例	232	
本章小结	234	
习题和思考题	235	
第九章 控制网络技术	236	
第一节 控制网络概述	236	
第二节 串行通信	237	
第三节 现场总线技术	245	
第四节 工业以太网	256	
本章小结	258	
习题和思考题	259	
第十章 集散控制系统	260	
第一节 集散控制系统概述	260	
第二节 集散控制系统的控制站	264	
第三节 集散控制系统的操作站	268	
第四节 集散控制系统的通信网络	273	
第五节 DCS 与 FCS 的集成技术	280	
本章小结	282	
习题和思考题	282	
附录 常见系统的 z 变换	283	
参考文献	284	

第一章 概述

计算机控制技术的应用领域日益广泛，如在机械、冶金、化工、电力、建材等方面，已经取得了令人瞩目的研究与应用成果，并且在国民经济中发挥着越来越大的作用。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增添了理论工具，而计算机技术的发展为新型控制规律的实现、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。

本章概述计算机控制系统的组成、特点、类型和发展概况。

第一节 计算机控制系统的组成和特点

一、计算机控制的一般概念

计算机控制技术近年来发展十分迅速，从理论到实践日趋成熟。计算机控制技术包含着两部分内容：一是计算机控制的理论基础；二是实现技术，主要包括通道接口技术与系统实现技术。

图 1-1 所示为计算机控制系统的典型结构。通常生产过程诸物理量一般都是模拟量的形式，而计算机采用的是数字信号，为此，两者之间必须采用模/数 (A/D) 转换器和数/模 (D/A) 转换器，以实现这两种信号之间的相互转换。在计算机控制系统中计算机根据给定输入信号、反馈信号和系统的数学模型进行信号处理，实现其控制策略，通过执行机构控制被控对象，达到预期的控制目标。总之，计算机控制系统就是采用计算机来实现的自动控制系统。

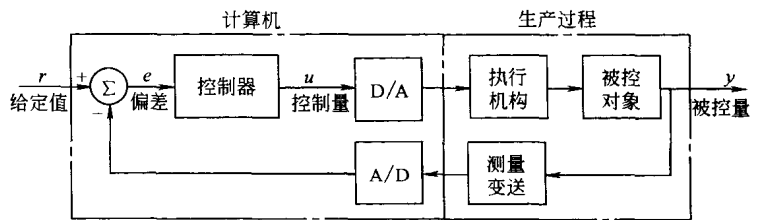


图 1-1 计算机控制系统的典型结构

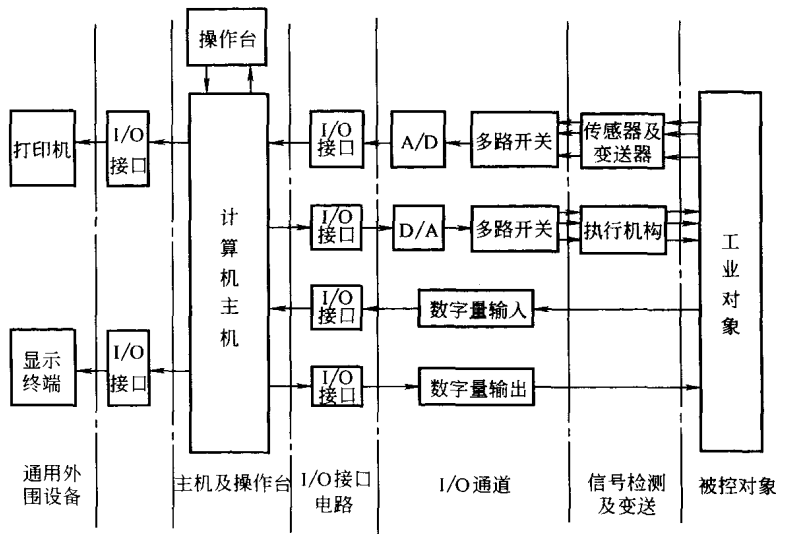


图 1-2 计算机控制系统的组成框图

二、计算机控制系统的组成

计算机控制系统的组成框图如图 1-2 所示,它主要由工业对象、过程输入输出系统和计算机系统组成。从计算机的角度来看,计算机控制系统由硬件和软件两部分组成。

1. 硬件组成

计算机控制系统的硬件主要是由计算机系统(包括主机和外围设备)和过程输入输出系统等组成。

(1) 计算机系统 计算机系统包括主机和外围设备。

主机由中央处理器(CPU)和内存存储器(RAM, ROM)组成,它是计算机控制系统的核心。主机根据过程输入设备送来的实时生产过程工作状况的各种信息以及预定的控制算法,自动地进行信息处理,及时地选定相应的控制策略,并实时地通过过程输出设备向生产过程发送控制命令。

外围设备可按功能分为输入设备、输出设备、通信设备和外存储器。

常用的输入设备有键盘、专用操作台等,用来输入程序、数据和操作命令。

常用的输出设备有显示器(CRT)、打印机、绘图机和各种专用的显示台,它们以字符、曲线、表格、图形、指示灯等形式来反映生产过程工况和控制信息。

常用的外存储器是磁盘、磁带、光盘等,它们兼输入和输出两种功能,存放程序和数据。

通信设备的任务是实现计算机与计算机或设备之间的数据交换。在大规模工业生产中,为了实现对生产过程的全面控制和管理,往往需要几台或几十台计算机才能完成控制和管理任务。不同地理位置、不同功能的计算机及设备之间需要交换信息时,把多台计算机或设备连接起来,就构成了计算机通信网络。

(2) 过程输入输出系统 计算机与工业对象之间的信息传递是通过过程输入输出系统进行的,它在两者之间起到纽带和桥梁的作用。过程输入输出系统由输入/输出通道(也称检测/控制通道)及接口、信号检测及变送装置和执行机构等组成。从信号传递的方向来看,又可分为过程输入通道和过程输出通道两部分。

输入/输出(I/O)通道及接口是计算机与外部连接的桥梁。常用的输入/输出接口有并行接口、串行接口等,输入/输出通道有模拟量输入/输出通道和数字量输入/输出通道。模拟量输入/输出通道的作用是:一方面将检测变送装置得到的工业对象的生产过程参数变成二进制代码送给计算机;另一方面将计算机输出的数字控制量变换为控制操作执行机构的模拟信号,以实现对生产过程的控制。数字量 I/O 通道的作用是,除完成编码数字输入输出外,还可将各种继电器、限位开关的状态通过输入接口传送给计算机,或将计算机发出的开关动作逻辑信号经由输出接口传送给生产过程中的各个开关、继电器等。

检测变送装置的主要功能是将被检测的各种物理量转变成电信号,并转换成适用于计算机输入的标准信号。

执行机构用来驱动工业对象,完成相应的动作。常用的执行机构有电动机、调节阀、电液伺服阀、各种开关等。

计算机控制系统种类繁多,系统复杂程度也不尽相同,组成计算机控制系统的硬件组成也不同,设计者可根据实际情况进行选择。

2. 软件组成

软件是指计算机控制系统中具有各种功能的计算机程序的总和。软件从功能上分为两大类：系统软件和应用软件。

(1) 系统软件 系统软件是由计算机和软件生产厂商提供的，用来管理计算机本身的资源，方便用户使用计算机的软件。常用的有汇编程序、高级语言编译程序、操作系统、数据库系统、开发系统等。计算机设计人员负责研制系统软件，而计算机控制系统设计人员则要了解系统软件并学会使用，从而更好地编制应用软件。

(2) 应用软件 应用软件是计算机控制系统设计人员针对某生产过程而编制的控制和管理程序，如输入程序、输出程序、控制程序、人机接口程序、打印显示程序等。应用软件的优劣将给控制系统的功能、精度和效率带来很大的影响，它的设计思想和设计方法是本书主要介绍的内容之一。

在计算机控制系统中，硬件和软件不是独立存在的，在设计时必须注意两者相互间的有机配合和协调，只有这样才能研制出满足生产要求的高质量的控制系统。

三、计算机控制系统的特点

在计算机控制系统中，被控制量通常是模拟量，而计算机本身的输入输出量都是数字量。因此，计算机控制系统大都具有数字-模拟混合式的结构。在图 1-1 所示的计算机控制系统基本框图中，包括工作于离散状态下的计算机和具有连续工作状态的生产过程两部分。计算机控制系统中信号的具体变换与传输过程，如图 1-3 所示。为了便于讨论，我们将图 1-3 中的信号和信号变换过程名称进行统一定义：

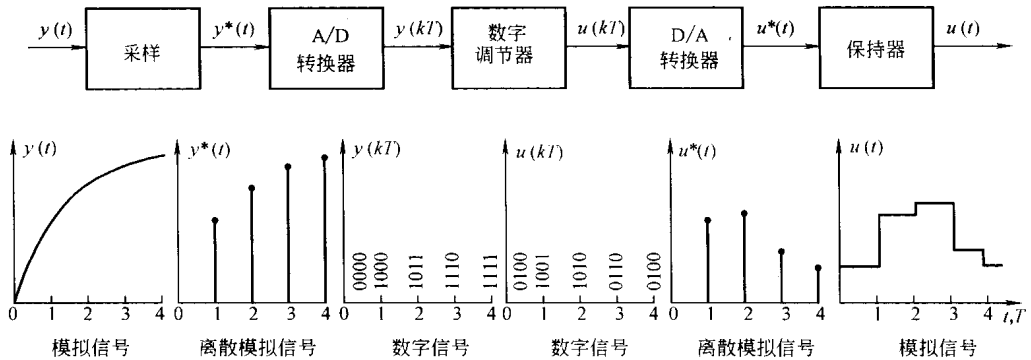


图 1-3 计算机控制系统中信号的具体变换与传输

模拟信号——时间上、幅值上都连续的信号，如图 1-3 中的 $y(t)$ 、 $u(t)$ 。

离散模拟信号——时间上离散而幅值上连续的信号，如图 1-3 中的 $y^*(t)$ 、 $u^*(t)$ 。

数字信号——时间上离散，幅值也离散的信号，计算机中常用二进制表示，如图 1-3 中的 $y(kT)$ 、 $u(kT)$ 。

采样——将模拟信号抽样成离散模拟信号的过程。

量化——采用一组数码（如二进制数码）来逼近离散模拟信号的幅值，将其转换成数字信号。

从图 1-3 可以清楚地看出计算机获得信号的过程，这个过程是由 A/D 转换器来完成的。

从模拟信号 $y(t)$ 到离散模拟信号 $y^*(t)$ 的过程就是采样, 其中 T 是采样周期。显然合理地选择采样周期是必要的, T 过大会损失信息, T 过小会使计算机的负担加重, 即存储与运算的数据过多。

从离散模拟信号到数字信号的变化过程叫做量化, 即用一组二进制数码来逼近采样的模拟信号值。显然, A/D 转换的过程就是一个量化的过程。由于计算机的字长是有限的, 因此量化过程会带来量化误差。量化误差的大小取决于量化单位 q 。若被转换的模拟量满量程为 M , 转换成二进制数字量的位数为 n , 则量化单位定义为

$$q = M/2^n$$

而量化误差 $\varepsilon = \pm q/2$ 。显然, n 越大, 量化误差越小, 但 n 过大会导致计算上有效数字长的增加。

计算机引入控制系统之后, 由于其运算速度快, 精度高, 存储容量大, 以及它强大的运算功能和可编程性, 因此不仅可以完成常规的 PID 控制算法, 而且还可以完成模拟系统难以解决的许多复杂控制算法, 如自适应控制、最优控制、自学习控制、智能控制等。可以说没有计算机, 现代控制理论和智能控制理论的应用问题是很难想象的。另外, 在计算机控制系统中, 控制规律是用软件实现的。修改一个控制规律, 无论复杂还是简单, 只需修改软件即可, 一般不需要变动硬件, 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, 使系统具有很大的灵活性和适应性。

第二节 计算机控制系统的类型

根据应用特点、控制方案、控制目的和系统构成, 计算机控制系统大体上可分成 5 种类型: 数据采集系统 (DAS)、直接数字控制系统 (DDC)、监督控制系统 (SCC)、集散控制系统 (DCS) 和现场总线控制系统 (FCS)。

一、数据采集系统 (DAS)

数据采集系统 (Data Acquisition System, DAS) 的构成如图 1-4 所示。

系统的主要功能是:

(1) 生产过程的集中监视 DAS 通过输入通道对生产过程的参数进行实时采集、加工处理, 并以一定格式在 CRT 上显示, 或通过打印机打印出来, 实现生产过程的集中监视。

(2) 操作指导 DAS 对采集到的数据进行分析处理, 并以有利于指导生产过程的方式表示出来, 实现生产过程的操作指导。

(3) 越限报警 DAS 预先将各种工艺参数的极限存入计算机, DAS 在数据采集过程中进行越限判断和报警, 以确保生产过程安全。

二、直接数字控制系统 (DDC)

直接数字控制 (Direct Digital Control, DDC) 系统的构成如图 1-5 所示。这类系统中,

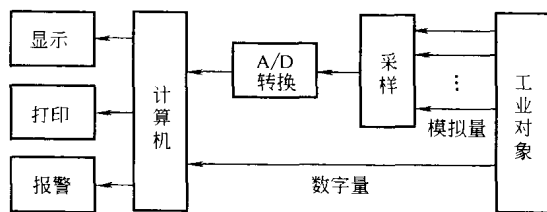


图 1-4 数据采集系统

计算机的运算和处理结果直接输出作用于生产过程。DDC 系统中计算机参与闭环控制，不仅可完全取代模拟调节器，实现多回路的 PID 控制，而且只要改变程序就可以实现复杂的控制规律，如非线性控制、纯滞后控制、串级控制、前馈控制、最优控制、自适应控制等。DDC 系统是计算机用于工业控制最普通的一种形式。

三、监督计算机控制系统 (SCC)

监督计算机控制 (Supervisory Computer Control, SCC) 系统的构成如图 1-6 所示。在 SCC 系统中，计算机根据工艺参数和过程参量检测值，按照描述生产过程的数学模型，计算出生产过程的最优设定值，输入给 DDC 系统或模拟控制系统。SCC 系统输出值不直接控制执行机构，而是给出下一级的最佳给定值，因此是较高级的控制。它的任务着重在控制规律的修正与实现，如最优控制、自适应控制等。

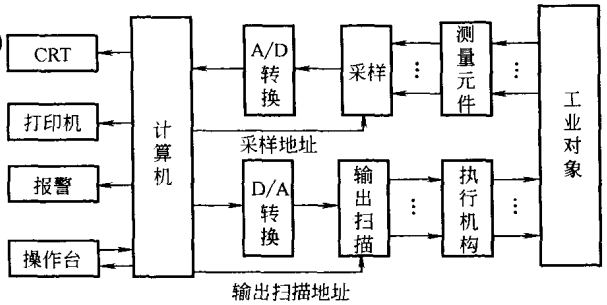


图 1-5 直接数字控制系统

应当指出，SCC + DDC 的两级控制形式目前在较复杂的控制设备中应用相当普遍，如在多坐标高精度数控机床的控制系统中，上一级的任务是完成插补运算及加工过程的管理，而下一级完成各个坐标的进给。又如工业机器人的两级控制，上一级完成机器人运动轨迹的计算和工业机器人工作过程的管理，而下一级完成各个关节的进给与定位。

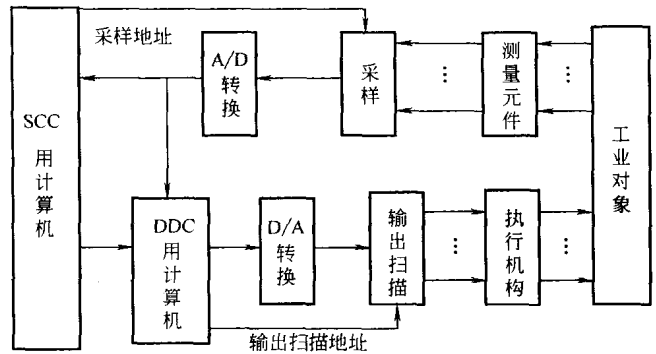


图 1-6 监督计算机控制系统

在过程控制中，如锅炉最优燃烧控制系统、水泥窑的温控系统及配料管理等常采用两级控制形式。

四、集散控制系统 (DCS)

集散控制系统 (Distributed Control System, DCS) 的结构如图 1-7 所示。DCS 采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调的设计原则，把系统从上而下分为过程控制级、控制管理级、生产管理级等若干级，形成分级分布式控制，所以集散控制系统也称为分布控制系统或分散控制系统。

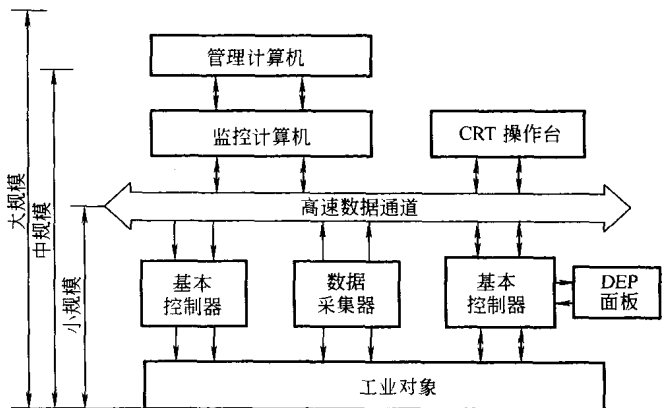


图 1-7 集散控制系统

以微处理机为核心的基本控制

器实现地理上和功能上的分散控制。又通过高速数据通道把各个分散点的信息集中起来送到监控计算机和操作站,以进行集中监视和操作,并实现高级复杂的控制。这种控制系统使企业自动化水平提高到了一个新的阶段。

五、现场总线控制系统 (FCS)

现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS) 是一种以现场总线为基础的分布式网络自动化系统。FCS 的核心是现场总线,它是一种数字通信协议,是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、全分散、双向传输、多分支结构的通信网络,具有开放式数字通信功能,可与各种通信网络互连。FCS 用现场总线把传感器、变送器、执行器和控制器集成一体,实现生产过程的信息集成。

FCS 是 20 世纪 80 年代中期在国际上发展起来的新一代分布式控制系统结构。FCS 的出现不仅变革了传统的单一功能的模拟仪表,将其改为综合功能的数字仪表,而且变革了传统的计算机控制系统 (DDC、DCS),将输入、输出、运算和控制分散分布到现场总线仪表中,形成了全数字的彻底的分散控制系统。FCS 是从 DCS 发展过来的,仅变革了 DCS 的控制站,形成了现场控制层,其他各层 (操作监督控制层、生产管理层和决策管理层) 仍然同 DCS。

第三节 计算机控制系统的发展概况

计算机的出现使科学技术产生了一场深刻的革命,同时也把自动控制推向一个新水平。随着大规模及超大规模集成电路的发展,计算机的可靠性和性能/价格比越来越高,这使得计算机控制系统得到越来越广泛的应用。

世界上第一台计算机于 1946 年问世。1952 年计算机开始应用于化工生产过程的自动检测 and 数据处理,并打印出生产管理用的过程参数。1954 年开始利用计算机构成开环控制系统,操作人员根据计算机的计算结果及时准确地调节生产过程的控制参数。1957 年开始利用计算机构成闭环控制系统,对石油蒸馏过程进行自动控制。1958 年开始试验性地采用直接数字控制系统,从而实现了计算机的“在线”控制。1960 年开始在生产过程中实现监督计算机控制。1966 年以后计算机控制开始侧重于生产过程的最优控制,并向分散控制和网络控制方向发展。20 世纪 70 年代随着大规模集成电路技术的发展,于 1972 生产出微型计算机,使得计算机控制技术进入了一个崭新的阶段。

微型计算机的出现开创了计算机控制的新时代,即从传统的集中控制系统革新为分散控制系统。20 世纪 80 年代随着超大规模集成电路技术的飞速发展,使得计算机向着硬件超小型化、软件固化和控制智能化方向发展。前期开发的分散控制系统的基本控制器一般是 8 个回路以上。20 世纪 80 年代中期,出现了只控制 1~2 个回路的数字控制器。20 世纪 80 年代末又推出具有计算机辅助设计、专家系统、控制和管理融为一体的新型集散控制系统。20 世纪 80 年代中、后期又推出了将 DCS 底层控制级的现场控制器和智能化仪表设备用现场通信总线连接起来的现场总线控制系统 (FCS)。20 世纪 70 年代出现的可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 是采用微型机芯片,根据工业生产特点而发展起来的一种控制器,既可以单台独立工作,也可以用通信线把多台连接起来构成网络控制系统。PLC 具有输入、控制、输出和通信功能,其中输入和输出以开关或逻辑信号为主、模拟信号为辅,

控制以逻辑控制或顺序控制为主、连续控制为辅。

计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 是随着计算机辅助设计与制造的发展而产生的。它是在信息技术、自动化技术和制造技术的基础上, 通过计算机技术把分散在产品制造过程中各种孤立的自动化子系统有机地集成起来, 形成适用于多品种、小批量生产, 实现整体效益的集成化和智能化制造系统。集成化反映了自动化的广度, 它把系统的范围扩展到了市场预测、产品设计、加工制造、检验、销售及售后服务等的全过程。智能化则体现了自动化的深度, 它不仅涉及物资流控制的传统体力劳动自动化, 还包括信息流控制的脑力劳动的自动化。

当前, 我国 CIMS 已改变为现代集成制造系统 (Contemporary Integrated Manufacturing System), 它已在广度与深度上拓展了计算机集成制造系统的内涵。其中, “现代” 的含义是计算机化、信息化和智能化。“集成” 有更广泛的内容, 它包括信息集成、过程集成及企业间集成等 3 个阶段的集成优化; 企业活动中三要素 (组织、经营管理和技术) 及三流 (物流、价值流和信息流) 的集成优化; CIMS 有关技术的集成优化及各类人员的集成优化等。该系统能综合应用自动化技术、信息技术、计算机技术、生产加工技术和现代管理科学, 从生产过程的全局出发, 通过对生产活动所需的各种信息的集成, 实现常规的过程控制、先进控制、在线优化、生产调度、企业管理和经营决策等功能, 达到提高企业经营效益、适应能力和竞争能力的目的。当前, 建立这种适应各种生产环境和市场需求、总体最优、高质量、高效益、高柔性的工业过程计算机集成控制系统已成为工业自动化领域的共识和一种必然发展趋势。同时, 低成本的嵌入式系统、智能控制系统也会得到极大的发展, 应用越来越广。可以预料, 随着微电子技术、计算机技术和自动控制理论的发展, 计算机控制技术将会出现惊人的飞跃。

本章小结

本章概述计算机控制系统的组成和结构。从计算机控制系统中信号与传递的角度介绍了计算机控制系统的特点; 还介绍了计算机系统的类型, 计算机控制系统的发展概况等内容, 它对我们了解本学科的特点、指导今后进一步的学习很有帮助。

习题和思考题

- 1-1 计算机控制系统是由哪几部分组成的? 各部分的作用是什么?
- 1-2 计算机控制系统的硬件、软件各由哪几部分组成, 有什么功能?
- 1-3 DAS、DDC、SCC、DCS、FCS 控制系统的工作原理是什么? 它们之间有何区别与联系?
- 1-4 什么是 CIMS? 简述 CIMS 的内涵。
- 1-5 简述计算机控制系统的发展趋势。

第二章 计算机控制系统理论基础

随着数字技术与计算机技术的蓬勃发展，计算机控制系统得到了越来越广泛的应用。要研究这种实际的物理系统，首先应解决其数学描述及分析工具问题。

本章主要阐述计算机控制系统的基本概念和基本方法。首先建立采样信号及保持器的数学表达式，介绍 z 变换和离散系统的数学模型——差分方程、脉冲传递函数；然后讨论采样系统的稳定性、稳态误差及系统的动态性能。

第一节 采样过程与采样定理

一、采样控制系统

计算机采样控制系统结构框图如图 2-1 所示。系统中以计算机作为控制器，连续误差信号经模/数转换器 (A/D) 转换成数字量，经计算机处理后，再经数/模转换器 (D/A) 转换成模拟量输出，实现对受控对象的控制。

在 A/D(采样器)—计算机—D/A(保持器) 的通道上，传送的信号不是连续的模拟量，而是离散信号，其信号只在一定间隔的采样瞬时上存在。这种具有离散传输通道的系统常称为采样系统。

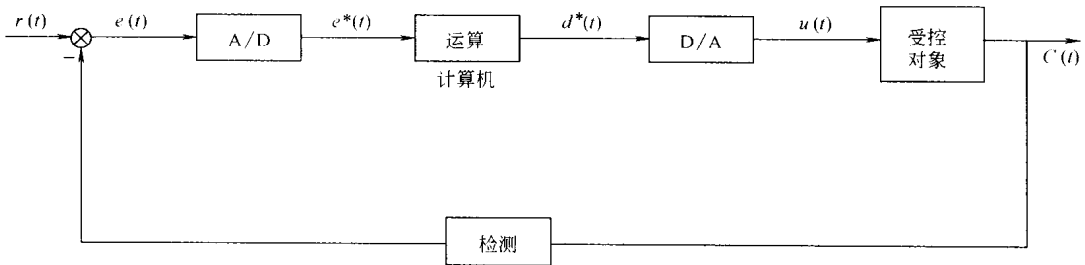


图 2-1 采样控制系统结构图

二、采样过程

所谓采样过程，就是利用采样开关将连续信号转换成离散信号的过程。

如图 2-2 所示，采样开关每隔一定时间 T 闭合一次，每次闭合持续时间为 τ ，由于 τ 远小于采样周期 T ，也远小于系统中连续部分的时间常数，因此在分析采样系统时， τ 可近似忽略不计。于是，原来在时间上连续的信号 $f(t)$ 就变成了离散的信号 $f^*(t)$ 。

因此，采样过程可视为单位理想脉冲序列 $\delta_T(t)$ 被输入的信号 $f(t)$ 进行幅值调制的过程，采样开关相当于一个载波信号为 $\delta_T(t)$ 的幅值调制器，而 $f(t)$ 为调制信号，采样信号 $f^*(t)$ 为加权单位理想脉冲序列。采样过程的数学描述为

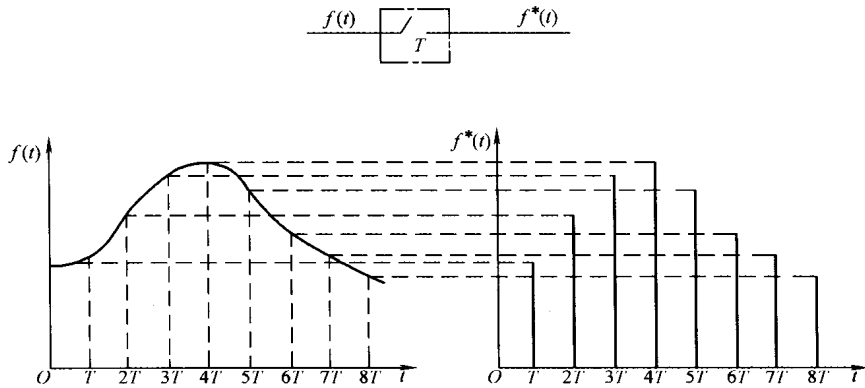


图 2-2 采样过程

$$f^*(t) = f(t)\delta_T(t) \quad (2-1)$$

式中

$$\delta_T(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - kT) \quad (2-2)$$

由于离散信号仅在采样时刻有效，而 $t = kT$ 处的 $f(t)$ 值即为 $f(kT)$ ，故式 (2-1) 也可写作

$$\begin{aligned} f^*(t) &= f(t) \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - kT) = \sum_{k=0}^{\infty} f(t) \delta(t - kT) = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT) \delta(t - kT) \\ &= f(0)\delta(t) + f(T)\delta(t - T) + f(2T)\delta(t - 2T) + \dots \end{aligned} \quad (2-3)$$

采样的幅值调制过程如图 2-3 所示。

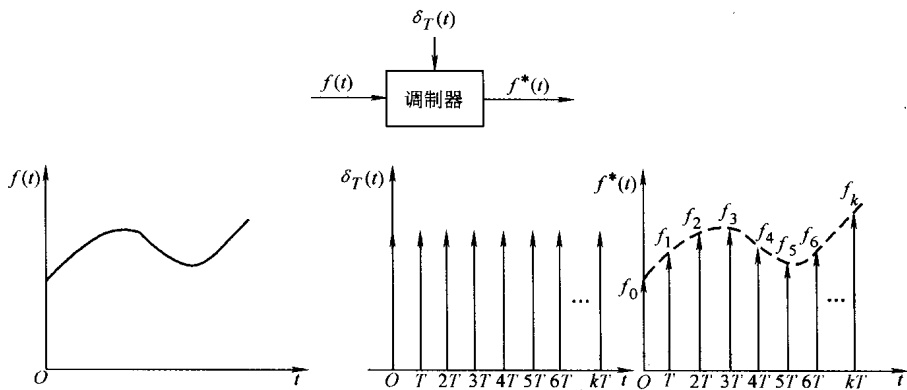


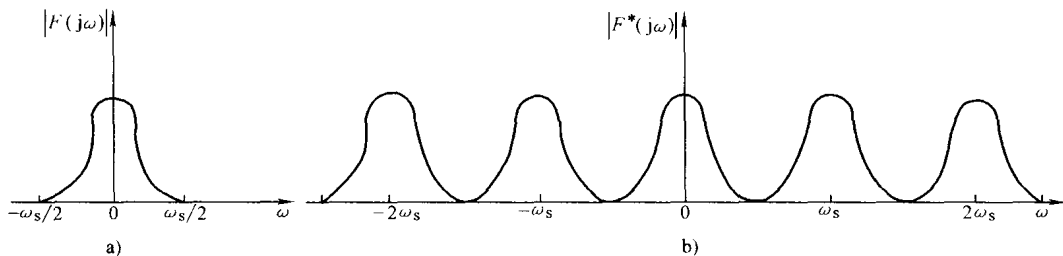
图 2-3 调制过程

三、采样定理

由采样过程不难发现，采样周期 T 越短，采样信号 $f^*(t)$ 就越接近被采样信号 $f(t)$ 。反之， T 越大， $f^*(t)$ 与 $f(t)$ 的差别就越大。

由频谱分析可知，连续信号经采样后，其频谱将沿频率轴以 ω_s 为周期无限重复，如图 2-4 所示。因此采样系统引入了高频成分。

通常连续信号（模拟信号）的频谱宽度是有限的，一般为一孤立频谱。为保证采样信

图 2-4 $f(t)$ 、 $f^*(t)$ 的频谱a) $f(t)$ 的频谱 $F(j\omega)$ b) $f^*(t)$ 的频谱 $F^*(j\omega)$

号 $f^*(t)$ 的频谱是 $f(t)$ 的频谱无重叠的重复（沿频率轴方向），以便采样信号 $f^*(t)$ 能反映被采样信号 $f(t)$ 的变化规律，采样频率 ω_s 至少应是 $f(t)$ 频谱 $F(j\omega)$ 的最高频率 ω_{\max} 的两倍，即

$$\omega_s \geq 2\omega_{\max}$$

这就是著名的采样定理，即香农（Shannon）定理。从物理意义上看，如果选择的频率对连续信号所含的最高频率来说，能做到在一个周期内采样两次以上，则在经采样获得的脉冲序列中将包含连续信号的全部信息。反之，如果采样次数太少，即采样周期太长，就做不到无失真地再现原连续信号。

当采样周期满足采样定理时，利用一个理想的滤波器可以滤除高频部分，从采样信号中恢复原来的信号。

采样定理虽然奠定了选择采样频率的理论基础，但对于连续对象的离散控制，不易确定连续信号的最高频率，而且被采样的连续信号是延迟出现的，又必须与采样定理一起考虑，这就形成了实际困难。在实际应用中，通常由采样定理指明选择频率的准则，通过实际试验来解决问题。

第二节 零阶保持器

一、信号复现

在时域中，采样信号的包络线相当于连续信号，但在频率域中，这两个函数的特性完全不同。采样函数 $f^*(t)$ 在频率域中为一离散频谱，除主频外，还包含无穷多个附加高频频谱分量。附加的高频频谱分量会使系统元件的磨损和损耗增加。因此采样信号在经过计算机运算后加到被控对象之前，应经过一种滤去附加高频频谱的理想滤波器，滤去其高频分量。如图 2-5a 所示，它的频率特性截止于 $\omega_s/2$ 处，因而能将 $F^*(j\omega)$ 中的高频分量全部滤掉，不失真地保留主分量 $F(j\omega)$ ， $F(j\omega)$ 即连续信号 $f(t)$ 的频谱。故经过理想滤波器后，离散信号能恢复成原来的连续信号。实际上，理想滤波器是无法实现的，因此，在工程上常用保持器来代替。其性能比较接近理想滤波器。

保持器是将采样信号复现为连续信号的装置。从数学角度看，其任务是解决各采样时刻之间的插值问题，在工程实际中，多采用具有外推功能的保持器来解决这个问题。在采样控制系统中，应用最广泛的是具有恒值外推功能的零阶保持器。