

计算机控制技术

王 勤 编著

东南大学出版社

·南京·

内 容 提 要

本书详细介绍了常规和现代计算机控制技术的基本原理、计算机控制系统的设计和实现。本书共分9章,分别介绍计算机控制系统概述;数字PID控制及其工程实现;按模拟系统设计方法、离散设计方法、状态空间设计方法设计计算机控制系统;模糊控制;计算机控制系统应用实例及发展趋势。附录F中安排了两个计算机控制系统实验,并附C++编写的标准子程序,供读者做实验时参考。

本书可作为高等学校自动控制、自动化、计算机应用、机电一体化、机械等专业及其相关专业高年级本科生教材,还可供研究生和相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术 / 王勤编著. —南京: 东南大学出版社, 2003. 6

ISBN 7-81089-208-8

I. 计... II. 王... III. 计算机控制 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 110850 号

计 算 机 控 制 技 术

出版发行	东南大学出版社
出 版 人	宋增民
社 址	南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)
印 刷	通州市印刷总厂
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	14.5
字 数	359 千
版 次	2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷
印 数	1—4000 册
定 价	22.00 元

- 未经本社授权,本图书内任何文字不得以任何方式转载、演绎,违者必究。
- 东大版图书若有印装质量问题,请直接向发行科调换,电话:025-3795801。

前 言

“计算机控制技术”课程是随着计算机的逐步普及,于 20 世纪 70 年代末诞生的一门本科生高年级课程。1980 年,东南大学自动控制系洪振华教授、陈维南教授、蒋嗣荣教授等编写了国内第一本《计算机控制技术》教材;1985 年,蒋嗣荣教授、洪振华教授等重新编写出版了《计算机控制技术》;此后,对该教材又作过修订和再版。该书出版后,得到了许多读者的厚爱,众多高校选用该书作为“计算机控制技术”课程的教材。

随着计算机技术与控制技术的飞速发展,计算机控制系统在各行各业中日益广泛的应用,计算机控制技术也得到了快速发展,原有教材的不少内容已不再适用。为此,在东南大学教务处和自动控制系的统一安排下,近 10 年来,我们工业自动化教研室对原教材进行了多次较全面的修订,并作为校内讲义一直在东南大学校内使用。本书即是在校内讲义的基础上,经进一步修订完成的。

在本次修订中,除了对计算机控制技术与计算机控制系统的部分内容做了更新外,增加了现今应用较多的模糊控制内容;全部更新了计算机控制系统应用实例;开发了两个完整的计算机控制系统实验,并提供了相应的用 C++ 编写的标准子程序,为学生学以致用,提高解决实际问题的能力,创造了更好的条件。

修订后的教材共 9 章。第 1 章计算机控制系统概述,介绍了计算机控制系统的发展、构成、分类、特点等;第 2 章计算机控制系统的理论基础,扼要回顾了连续线性系统和线性离散系统的理论基础,本章内容可根据需要选讲或自学;第 3 章计算机控制系统的控制规律,讨论了数字 PID 控制器及其工程实现,解耦控制和时间最优控制;第 4、5、6 章着重讨论了计算机控制系统的分析和设计,分别讨论了按模拟系统设计方法进行设计、离散设计方法和状态空间设计方法;第 7 章模糊控制,叙述了模糊数学的基础知识、模糊关系及模糊推理,讨论了基本模糊控制器的设计及应用;第 8 章计算机控制系统应用实例,介绍了三个典型的计算机控制系统应用实例;第 9 章介绍了计算机控制系统的发展趋势。附录 F 中对提供的两个计算机控制系统实验的实验原理、方法、步骤做了详细的

介绍,并给出了用 C++ 编写的标准子程序,供读者做实验时选用。

本教材参考学时 60 学时,也可根据需要选用。本教材的先修课程为“自动控制原理”、“微机原理”与“过程控制”。

在本教材修订过程中得到了东南大学教务处、自动控制系及工业自动化教研室的大力支持,在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2003 年 2 月

目 录

1 计算机控制系统概述	(1)
1.1 计算机控制系统发展概况	(1)
1.2 计算机控制系统的构成和分类	(3)
1.3 控制用计算机的特点和发展趋势	(6)
1.4 计算机控制系统举例	(8)
思考题和习题	(11)
2 计算机控制系统的理论基础	(12)
2.1 连续线性系统的扼要回顾	(12)
2.2 线性离散系统的数学描述	(18)
思考题和习题	(27)
3 计算机控制系统的控制规律	(28)
3.1 PID 控制	(28)
3.2 复杂控制规律	(35)
3.3 数字 PID 控制器的工程实现	(40)
3.4 解耦控制	(47)
思考题和习题	(52)
4 计算机控制系统设计(一)	
——按模拟系统设计方法进行设计	(54)
4.1 概述	(54)
4.2 按模拟系统设计方法设计的步骤	(55)
4.3 数值积分法	(56)
4.4 零极点匹配法	(61)
4.5 等效保持算法	(62)
4.6 各种方法的比较	(63)
4.7 设计举例	(64)
思考题和习题	(66)
5 计算机控制系统设计(二)	
——离散设计方法	(67)
5.1 概述	(67)
5.2 z 平面上的根轨迹法	(75)
5.3 频率响应法—— w 变换	(80)

115522104

5.4	用解析法进行离散系统的设计	(86)
5.5	离散设计方法小结	(99)
	思考题和习题	(100)
6	计算机控制系统设计(三)	
	——状态空间设计方法	(101)
6.1	状态空间设计方法	(101)
6.2	控制算法的实现方法	(110)
7	模糊控制	(116)
7.1	概述	(116)
7.2	模糊集合、模糊关系及模糊推理	(117)
7.3	基本模糊控制器的设计	(136)
7.4	基本模糊控制器应用实例	(144)
	思考题和习题	(148)
8	计算机控制系统应用实例	(149)
8.1	带钢轧制过程中张力控制系统的设计	(149)
8.2	土工离心模型试验机的微机监控系统	(158)
8.3	蓄电池极板化成装置集散控制系统	(164)
9	计算机控制系统的发展趋势	(170)
9.1	总体分散型控制系统	(170)
9.2	典型的分散型控制系统的配置	(174)
9.3	基本控制器的结构	(178)
9.4	分散型控制系统的安全性保障	(189)
9.5	TDC-3000 集散型控制系统	(193)
	思考题和习题	(195)
附 录		
附录 A	离散化方法应用举例	(196)
附录 B	拉氏变换和 z 变换表	(198)
附录 C	普通集合、模糊集合及模糊关系矩阵运算的基本规律	(199)
附录 D	几种常见的隶属函数及隶属函数曲线	(200)
附录 E	常用符号说明	(202)
附录 F	小型电加热炉计算机控制系统简介与实验指导	(204)
F.1	小型电加热炉计算机控制系统简介	(204)
F.2	实验指导	(207)
F.3	初始化程序及部分子程序	(213)
参考文献		(223)

1 计算机控制系统概述

计算机控制就是用计算机对一个动态对象或过程进行控制。在计算机控制系统中,用计算机代替自动控制系统中的常规控制设备,对动态系统进行调节和控制,这是对自动控制系统所使用的技术装备的一种革新。这一革新,改变了自动控制系统的结构,也导致对这类系统的分析和设计发生较多的变化。由于计算机控制的优越性及其良好的发展前景,掌握这一类系统的分析、设计的理论和方法,实现对实际对象或过程的控制就成为高等学校有关专业学生的必备知识。本章将介绍计算机控制系统的发展情况,它的主要组成部分,还将介绍几个简单的实际例子。

1.1 计算机控制系统发展概况

如前所述,人们用计算机取代了常规的控制设备,从而形成了计算机控制系统。所以,计算机控制系统的基础是自动控制技术和计算机技术,应当从自动控制技术的发展情况和计算机技术向控制领域的渗透两个方面进行分析研究。

在古代,中国和外国都出现过一些自动控制装置的雏形。由于介绍这方面情况的材料很多,不必赘述。真正得到广泛应用的是18世纪的锅炉供水的水位调节装置和蒸汽机转速调节器。19世纪初,人们设计出一些自动控制系统,但这些成就主要依靠直观的创作发明,缺少理论的分析 and 描述。19世纪中、后期,人们才开始用微分方程描述控制系统的运动情况。

第二次世界大战期间和战后,由于工业和军事的需要,自动控制理论和实践得到了飞速发展,飞机自动驾驶仪、大炮位置控制系统、雷达天线控制系统和其他一些以反馈控制方法为基础的军用装备系统得到了发展。在工业上,出现了各种用于控制生产过程的基地式调节仪表,并逐步发展成单元组合式仪表,由气动、液压仪表过渡到大量使用电动调节仪表,这些都是实现计算机控制的良好基础。

世界上第一台电子计算机于1946年在美国问世,经过10多年的研究,到50年代末,已经将计算机用于过程控制。例如,美国德克萨斯州的一个炼油厂,从1956年开始与美国的航天工业公司TRW合作进行计算机控制的研究。到1959年,已经将RW-300计算机用于控制聚合装置。该系统控制26个流量、72个温度、3个压力、3个成分。其功能为使反应器压力最小,确定五个反应器进料量的最优分配,根据催化作用控制热水流量和确定最优循环。

由于计算机控制方面的上述开创性工作,使计算机逐步渗入到各行各业中。在渗入过程中,既有高潮,也有由于某些失败项目的阴影,而进入低潮。但是,最终还是逐步进入成熟期,从理论分析、系统设计,到工程实践都有一整套方法。从工作性质上来看,计算机逐步由早期的操作指导控制系统转变为直接数字控制(Direct Digital Control, DDC)。操作指导控制系统仅仅向操作人员提供反映生产过程的数据,并给出指导信息,而直接数字控制可以完全替代原有的模拟控制仪表,由计算机根据生产过程数据,对生产过程直接发出控制作用。1962年,英国帝国化学工业公司实现了一个DDC系统,它的数据采集点为244点,控制阀

门数为 129 个。

60 年代,由于集成电路技术的发展,计算机技术也有了很大发展,计算机的体积缩小、运算速度加快、工作可靠、价格便宜。60 年代后期,出现了适合工业生产过程控制的小型计算机(Minicomputer),使规模较小的过程控制项目也可以考虑采用计算机控制。70 年代,由于大规模集成电路技术的发展,1972 年出现了微型计算机。微型机具有价格便宜、体积小、可靠性高等优点,使计算机控制由集中式的控制结构,也就是用一台计算机完成许多控制回路的控制任务,转变成分散控制结构。人们设计出以微型计算机为基础的控制装置。例如,用于控制八个回路的“现场控制器”,用于控制一个回路的“单回路控制器”等。它们可以被“分散”安装到更接近于测量和控制点的地方。这一类控制装置都具有数字通信能力,它们通过高速数据通道和主控制室的计算机相连接,形成分散控制、集中操作和分级管理的布局。这就是“分散控制系统”(Distributed Control Systems,DCS)。对 DCS 的每个关键部位都可以考虑冗余措施,保证在发生故障时不会造成停产检修的严重后果,使可靠性大大提高。许多国家的计算机和仪表制造厂都推出了自己的 DCS,如美国 Honeywell 公司的 TDC-2000 和新一代产品 TDC-3000,日本横河公司的 CENTUM 等。现在,世界上几十家公司生产的 DCS 产品已有 50 多个品种,而且有了几代产品。

除了在过程控制方面计算机控制日趋成熟外,在机电控制、航天技术和各种军事装备中,计算机控制也日趋成熟,得到了广泛的应用。例如,通信卫星的姿态控制,卫星跟踪天线的控制,电气传动装置的计算机控制,计算机数控机床,工业机器人的姿态,力、力矩伺服系统,射电望远镜天线控制,飞行器自动驾驶仪等等。在某些领域,计算机控制已经成为该领域不可缺少的因素。例如,在工业机器人的控制中,不使用计算机控制是无法完成控制任务的。在射电望远镜的天线控制系统中,由于使用了计算机控制,引入了自适应控制等先进控制方法而大大提高了控制精度。

从 80 年代后期到 90 年代,计算机技术又有了飞速的发展,微处理器已由 16 位发展到 32 位,并且进一步向 64 位过渡。高分辨率的显示器增强了图形显示功能。采用多窗口技术和触摸屏调出画面,使操作简单,显示响应速度更快。多媒体技术使计算机可以显示高速动态图像,并有音乐和语音,增强显示效果。另一方面,人工智能和知识工程方法在自动控制领域得到应用,模糊控制、专家控制、各种神经网络算法在自动控制系统中同样得到应用。在故障诊断、生产计划和调度、过程优化、控制系统的计算机辅助设计、仿真培训和在线维护等方面也愈来愈广泛使用知识库系统(KBS)和专家系统(ES)。90 年代随着分散控制系统的广泛使用和工厂综合自动化的要求,对各种控制设备提出了很强烈的通信需求,要求计算机控制的核心设备,如工业控制计算机、现场控制器、单回路调节器和各种可编程控制器(PLC)之间具有较强的通信能力,使它们能很方便地构成一个大系统,实现综合自动化的目标。这就是在自动化技术、信息技术和各种生产技术的基础上,通过计算机系统将工厂的全部生产活动所需要的信息和各种分散的自动化系统实现有机集成,形成能适应生产环境不确定性和市场需求多变性总体最优的高质量、高效益、高柔性的智能生产系统。这种系统在连续生产过程中被称为计算机集成生产/过程系统(Computer Integrated Production/Process System, CIPS)。与此相对应的,在机械制造行业,称为计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。可以预见,在计算机技术、自动控制技术、通信技术(Computer、Control、Communication, 3C 技术)不断发展和紧密结合的驱动

下,计算机控制技术将会突飞猛进,以崭新的面貌出现在我们的面前。

1.2 计算机控制系统的构成和分类

根据计算机在控制系统中的应用特点和参与控制的方式,计算机控制可以分成下面五种类型:

- 操作指导控制系统;
- 直接数字控制系统;
- 监督控制系统;
- 分级控制系统;
- 分散控制系统。

计算机逐步渗入控制领域,形成计算机控制系统,由简单的控制发展到分散控制,基本上沿着“操作指导”、“直接数字控制”、“监督控制”、“分级控制”、“分散控制”各个阶段逐步发展起来的。

1.2.1 操作指导控制系统

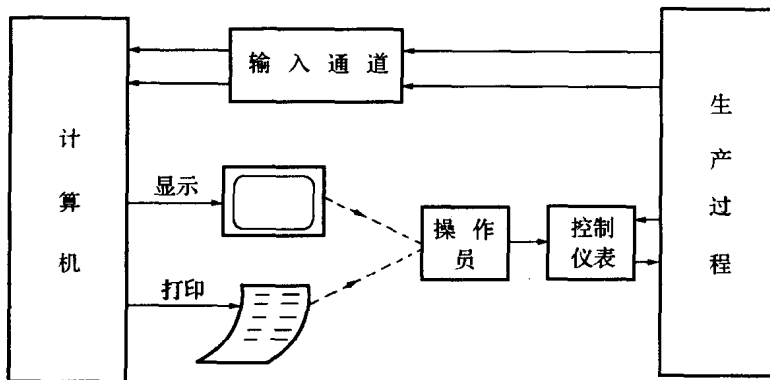


图 1-1 操作指导控制系统

图 1-1 为操作指导控制系统的示意图。由图可见,操作人员通过控制仪表对生产过程进行控制。该系统中计算机的主要作用是通过输入通道,采集反映生产过程实际工作状态的各类数据,由计算机进行各种计算和处理,整理成人们所要求的形式,通过打印机或显示装置输出,作为操作人员进行操作的指导性数据。操作人员参考这些数据,对生产过程进行控制。由于计算机并未对工业对象施加直接的控制作用,实际的控制操作是由人和控制仪表进行的,这只是一种开环指导型结构。如果计算机发生暂时性的故障,操作人员仍然可以按以往经验进行操作。在计算机技术渗入控制领域的早期,计算机的工作可靠性还不能满足闭环控制的要求时,用这种方式实现计算机控制比较安全。这类系统中,计算机的作用是采集大量生产数据,并对这些数据进行处理和复杂的计算,例如进行优化计算,输出计算结果,用于指导人们对生产过程的操作和控制。

1.2.2 直接数字控制系统(DDC 系统)

图 1-2 为直接数字控制系统的示意图。在这类系统中,各个被控量被“轮流地”通过采样设备,进入模—数转换器,将原来的模拟量转换成数字量,并送入计算机。作为计算机的运算结果,计算机输出相应的控制量,而且经过数—模转换器,由数字量转变成模拟量后,也对应地“依次”通过多路转换器,送到与被控量相对应的执行机构,对生产过程发生控制作用。由此可见,在 DDC 系统中各计算机取代了模拟控制器的作用,直接对被控对象进行控制。这类系统中计算机的主要作用是:对采样装置和多路转换器进行控制,使属于同一控制回路的测量仪表和该回路的执行机构被同时接通,使这一回路通过计算机形成闭合回路。计算机根据该回路的测量值,按预定的控制算法计算出应输出的控制量。接着,计算机以数字信号的形式输出该控制量。完成这一工作后,计算机又同时命令采样装置和多路转换器接通另一控制回路。总之,计算机“分时地”为各控制回路服务,计算机扮演了控制仪表的角色,成为闭环系统中的一个动态环节。这就要求计算机工作十分可靠,计算机的任何暂时失效,都将引起多个闭环系统的解体,引起系统的崩溃。

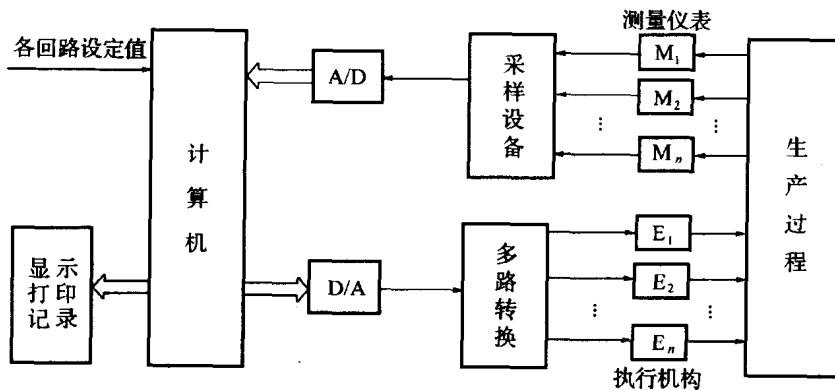


图 1-2 直接数字控制系统

虽然,各个控制回路周期性地短时间享用计算机的服务,但由于生产过程的运动速度相对于计算机的运算速度来说是很慢的,在一个控制周期内,计算机将规定的各个回路的运算工作做完后,生产过程的被控参数还不会发生显著的变化。

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

监督控制系统如图 1-3 所示。由图可见,监督控制计算机一方面通过人—机接口或其他途径接收和存储生产工艺数据,另一方面通过直接测量或接收 DDC 计算机和模拟仪表送来生产过程中工作情况的大量数据,经过各种运算,并与所存储的工艺数据进行比较,从而确定应向 DDC 计算机或控制仪表发送的各种设定值和控制参数,保证生产过程满足预定的工艺要求,达到稳步、高产的目的。

监督控制系统中,保持被控量稳定的工作是由 DDC 计算机或控制仪表来完成的。监督控制计算机,则着眼于整个生产过程的“全局”,进行高级的控制和管理。它往往根据预定的

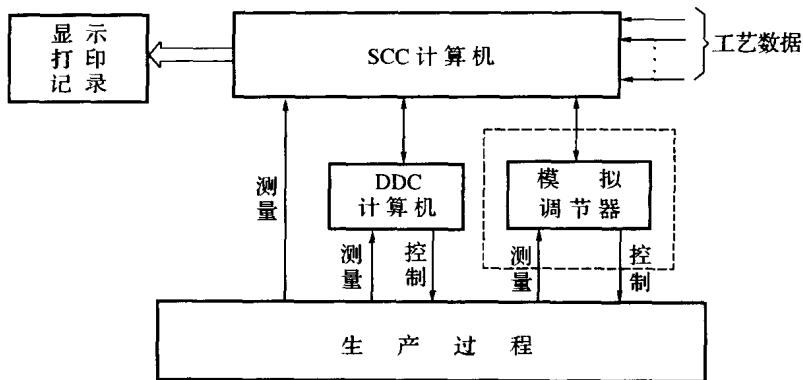


图 1-3 监督控制系统

数学模型和各种算法,例如最优控制算法、自适应控制算法等,在满足工艺要求的条件下,算出应向 DDC 计算机或控制仪表发出的控制信息,并随时检查这些计算机和仪表的工作情况。由于要求 SCC 计算机能输入、输出和存储大量数据,进行复杂的运算,并且有一定的管理功能,所以往往选用微型机、小型机、图形工作站等。

图中用虚线表示的模拟调节器,只在早期的监督控制中才会这样配置,DDC 出现后,SCC 计算机往往将它的输出设计成给 DDC 计算机的最佳设定值或相应回路的输出控制量。

1.2.4 分级控制系统(Hierarchical Control, HC 系统)

工业生产是由分工明确、组织精细的各个生产单位组成的联合体,它的基层是生产装置。生产装置的上面有车间、生产工厂、工业公司等各级组织。它们既进行生产的控制,也进行各项管理工作。如市场需求信息的获取,企业经营方面的决策管理,企业内部生产的规划调度,各种原材料的供应等。人们往往使用不同功能、不同档次的计算机协调工作,组成分级控制系统(见图 1-4)。

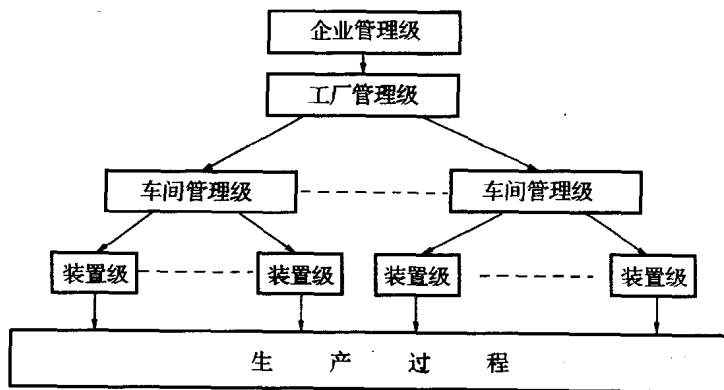


图 1-4 分级控制系统

最底层为装置级计算机,进行直接数字控制;车间级计算机对各装置进行监督控制,根据上一级计算机下达的命令,控制和协调各装置的工作;工厂管理级计算机用于对全厂生产进行规划调度,协调各车间的生产,制定生产计划,安排备品备件,检修计划和组织生产的安全保障等;企业管理级计算机主要对整个企业的经营方向和生产规划进行决策管理,包括获取市场需求信息、进行分析和预测,对企业经营进行多目标优化决策;安排原料采购、产品销售、财政收支平衡;制定企业的最优生产规划。对于具体的企业,究竟分成几级,各级任务的划分,配备何种计算机等,完全由企业的规模,各级机构的职能和管理范围的大小决定。

1.2.5 分散控制系统(DCS系统)

分散控制系统是分级控制系统的一种具体实现,其装置级计算机在结构上与以前有根本差别。微处理器出现以前,装置级计算机采用小型计算机进行多个控制回路的集中控制。计算机的可靠性不能满足过程控制的要求。微处理器出现后,人们用微处理器设计制造成各种功能单元,如基本控制器、扩展控制器、数据采集器等。每个单元只负责局部的专项工作。在各单元间和控制室内的监控计算机和操作站间,用高速数据通道连成一个整体。整个系统采用分散控制、集中管理的方式。各个功能单元如果发生短暂失效,也只影响局部工作;重要的功能单元,采用冗余备用、故障自动切换和报警技术。所以,整个系统的可靠性、灵活性、适应性很高。许多国家的仪表和计算机制造商推出了各具特点的 DCS 系统。这些产品对分层控制系统的各级计算机进行了合理的配置,提供了相应的硬件、软件和通信手段。可以说,分散控制系统就是以微处理器为核心的,采用分布式结构的分级计算机控制系统。分散控制系统所具有的适应性、灵活性、可扩充性和高可靠性,使它成为当前计算机控制系统的发展潮流。

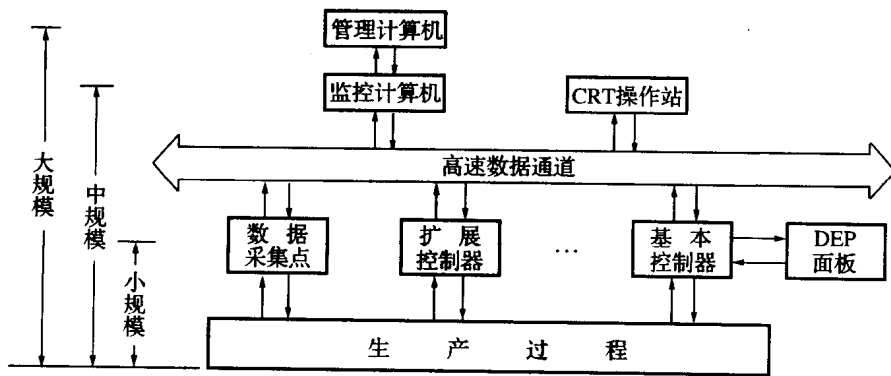


图 1-5 分散控制系统

1.3 控制用计算机的特点和发展趋势

由于计算机可以被用来完成控制任务,构成计算机控制系统,很自然地产生了这样的问题:科学计算和办公室自动化所用的计算机与控制用计算机有没有区别?控制用计算机有

哪些特点？

任何一台可用的计算机都是由硬件和一些软件构成的，这是所有计算机的共性。控制用计算机，有如下特点：

1) 较高的可靠性

对于生产过程来说，由于生产的连续性，计算机发生任何故障都将对生产过程发生严重的影响。由于微处理器和微型计算机的可靠性比较高，而且价格较低，可以在关键部位采用冗余措施提高可靠性。例如采用双机备用，或用多个 CPU，各 CPU 互为备用等冗余措施。采用分布式结构也是提高可靠性的措施之一，因为在分散控制系统中，每个功能单元只负责一个局部工作，缩小了故障所产生的影响范围。如果在正常工作的功能单元发生故障时，系统能自动将备用的功能单元投入运行，并将失效的功能单元切除，则全系统的工作可靠性将会更高。

2) 实时控制

实时的意思就是“及时”，是计算机术语。实时控制要求在一定的时间内，对被控对象及时进行控制。超过一定的时间就失去了控制的时机，被控对象就会脱离计算机的控制而造成不可预期的后果。这里的“一定时间”将与被控对象的具体特性有关。例如对加热炉的炉温控制，如果延时一秒到数秒，仍可以认为是实时的；而一个飞行器控制系统，若延时超过几十毫秒，就可能失去对飞行器的控制时机，从而丧失对飞行器的控制能力，这是因为不同的控制对象的运行规律各不相同。炉温的变化过程很慢，而飞行器的变化过程很快。对这两种过程的计算机控制都要求“及时”，但允许的延时是不同的。为了实现实时控制，要求计算机除了配备优先级中断处理电路和相应的中断处理程序外，还应有完善的时钟管理程序和实时操作系统，实现对各种“任务”按优先级进行调度，使计算机能按照所发生的事件的轻重缓急，占用 CPU 的处理时间。

3) 与外部世界的紧密联系

控制用计算机首先必须对生产过程进行数据采集，各种信号的形态各不相同，有电源信号、电压信号、脉冲信号、数字信号；电压信号有毫伏信号，也有 0~5V 直流电压等。所以许多控制用计算机配备各种接口模板和信号调理模板。此外，还有模—数和数—模转换接口板等。其次，工业控制计算机往往配有通信模板，使各台工业控制机能在监控计算机的统一指挥下，协调工作。

4) 对环境的适应性

控制用计算机往往安装在离生产现场不远的地方，工作环境恶劣。温度和湿度可能很高，还可能有粉尘、腐蚀性气体、外界震动等不利因素。生产现场还可能有高电压、大电流电气设备的电磁干扰，高频电器干扰和由于接地电位不相等而形成的共模干扰等。有的控制用微型机甚至被装在插入式线路板上，直接装在被控制的装置或机器设备上，在这些恶劣条件下，要求计算机仍能正常工作。

5) 不同的软件配置

控制用计算机，尤其是直接数字控制机，往往配置对被控的生产过程进行控制的专用性很强的控制算法和控制策略，这些程序大部分写入 EPROM 中，并周而复始地循环工作。

计算机分级控制系统中的企业管理级、工厂管理级和车间管理级计算机,就比较接近于办公室自动化所用的计算机。所配置的软件分为系统软件和应用软件两种类型。系统软件是为专门的计算机系统或一个计算机系统系列所设计的软件,例如操作系统、编译程序、各种外部设备(如显示器、磁盘、打印机、光盘等)的驱动程序。应用软件是完成某种特定功能而专门研制的软件,例如生产过程监控、生产计划编制和调度、火炮控制、飞行器导航等软件。

在设计符合要求的计算机控制系统时,控制用计算机的上述特点是必须考虑的。

随着大规模集成电路制造技术的不断发展,微处理器的功能越来越强。微处理器的字长从8位到16位、32位,并正在向64位过渡。计算机的主振频率从4MHz、8MHz、...已经达到100MHz,并且还在向更高的频率过渡。计算机的内存贮器容量和硬磁盘的容量也越来越大,各种用途的工业控制机也跟随着飞速发展。当个人计算机(PC)由286、386、486、586,进一步发展到奔腾Ⅱ时,工业控制机也同样作相应的同步发展。工业控制机的发展是按照标准化、系列化、组合化和模块化的方向发展的,是以开放式系统的思想发展的,所以产品的升级换代很快。所谓标准化、系列化就是在计算机设计中规定了总线标准、通信接口标准、图形显示标准、外围接口标准,并规定了各种功能模板的机械特性,在此基础上设计一系列的功能模板。组合化、模块化是指将模板设计成多种品种、不同档次的系列产品,整个计算机由各种功能模板组合而成。通过各种功能模板的组合,适应不同档次的各类用户的具体需求。

按照前述各项标准生产的各个工厂的产品,理论上讲应该是可能通用的,这就是开放式系统的设计思想,在设计中还提出了和个人计算机(PC)兼容的附加要求,所以工业控制机和PC机的发展基本上是同步的。

除了硬件的发展外,工业控制机在通信等其他方面也得到很快的发展。PC机基于图形用户接口(GUI)的窗口技术、触摸屏输入、多媒体技术等都被引入。通信的发展方向是开放系统互连(OSI)。通过将专用通信网改造成国际标准的网络或在专用网络和局域网间加入网关,使专用网的各个设备能和以太网和MAP网连接,使各种计算机控制设备可以很方便地与指挥生产的上位计算机进行信息交换,实现计算机集成生产系统(CIPS)。

总之,在3C技术的推动下,工业控制机和计算机控制系统也将跃上一个新的台阶。

1.4 计算机控制系统举例

如今,在过程控制、机电控制、伺服系统以及雷达天线、舰船、飞行器、人造卫星等各种控制系统中都已经使用了计算机控制。本节介绍一些简单的例子。

由计算机控制的简单回路结构,已在图1-2中介绍了。反馈控制使用的情况大多相同,所以下面举例,只需要介绍一个被控对象就行了。

【例1-1】 卫星姿态控制。

运行中的卫星经常要求对其姿态进行控制,以使它的天线和传感器相对于地球具有适当的方位。为此,计算机往往对三个轴分时地进行姿态控制。图1-6画出了一个轴的运动情况。假设只允许绕垂直于本书页面的轴进行旋转,该系统的运动方程如下:

$$I\ddot{\theta} = M_c + M_D$$

式中: I 是卫星围绕其质量中心的惯性矩; M_c 是由助推器加上的控制转矩; M_D 是扰动力矩;

θ 是卫星轴相对于基准线的角。

令 $u = M_C/I, w_d = M_D/I$ (1-1)

可得

$$\ddot{\theta} = u + w_d \quad (1-2)$$

上式的拉氏变换为

$$\theta(s) = \frac{1}{s^2} [u(s) + w_d(s)] \quad (1-3)$$

如果不考虑扰动 ($w_d(s) = 0$), 则可得

$$\frac{\theta(s)}{u(s)} = \frac{1}{s^2} = G(s) \quad (1-4)$$

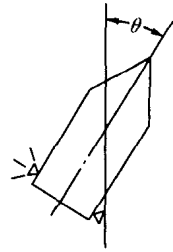


图 1-6 卫星控制图

卫星姿态控制的原理框图如图 1-7 所示。由于需要轮流测量卫星三个方向的姿态角, 所以要有采样开关。如果测量装置是模拟式的, 则还需要进行 A/D 变换。

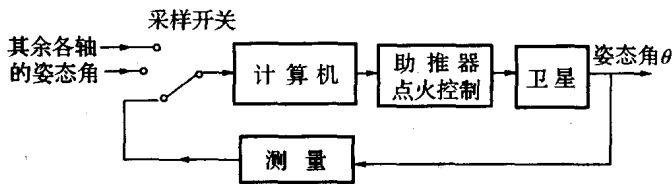


图 1-7 卫星姿态控制系统框图

【例 1-2】 天线方位控制伺服系统。

我们讨论卫星跟踪天线的仰角控制(见图 1-8)。假设天线及其可动部分具有惯性转矩 J , 由于直流驱动电机的反电势及由于轴承和空气动力摩擦产生了阻尼, 其阻尼系数为 B , 则运动方程为

$$J\ddot{\theta}_a + B\dot{\theta}_a = T_c + T_d$$

式中: T_c 是驱动电机产生的纯转矩; T_d 是刮风时的扰动转矩。如果我们定义: $B/J = a, u = T_c/B, w = T_d/B$, 则方程化简为

$$\frac{1}{a}\ddot{\theta}_a + \dot{\theta}_a = u + w \quad (1-5)$$

其拉氏变换式为

$$\theta_a(s) = \frac{1}{s(\frac{s}{a} + 1)} [u(s) + w(s)] \quad (1-6)$$

如果不考虑扰动 ($w(s) = 0$), 则有

$$\frac{\theta_a(s)}{u(s)} = \frac{1}{s(\frac{s}{a} + 1)} = G(s) \quad (1-7)$$

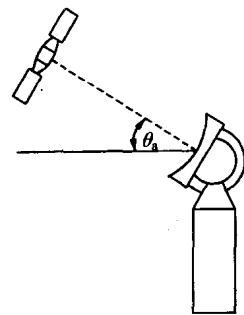


图 1-8 天线示意图

上面的分析是近似的, 没有包括非线性因素。当天线用计算机控制时, 其原理框图如图 1-9 所示。

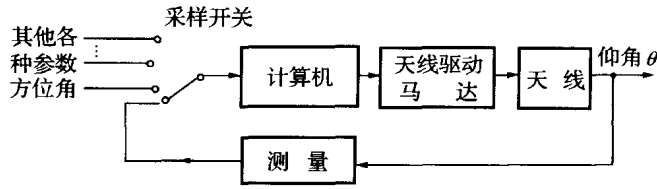


图 1-9 天线控制系统

【例 1-3】工业炉控制。

图 1-10 介绍了工业炉控制的典型情况,其燃料为燃料油或瓦斯。为了保证燃料在炉膛内正常燃烧,必须保持燃料和空气的比值恒定。图中描述了燃料和空气的比值控制过程,它可以防止空气太多时,过剩空气带走大量热量;也可防止当空气太少时,由于燃料燃烧不完全而产生许多一氧化碳或碳黑。为了保持所需的炉温,将测得的炉温送入计算机计算,进而控制燃料和空气阀门的开度。为了保持炉膛压力恒定,避免在压力过低时从炉墙的缝隙处吸入大量过剩空气,或在压力过高时大量燃料通过缝隙逸出炉外,必须采用压力控制回路。测得的炉膛压力送入计算机,进而控制烟道出口挡板的开度。此外,为了提高炉子的热效率,还须对炉子排出的废气进行分析,一般是用氧化锆传感器测量烟气中的微量氧,通过计算而得出其热效率,并用以指导燃烧控制。

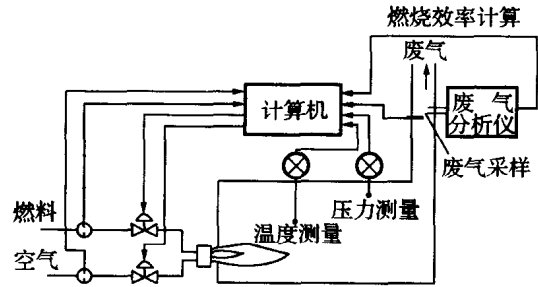


图 1-10 工业炉的典型控制

【例 1-4】计算机用作顺序控制的例子。

这是一个原料混合和加热的控制系统,是重复进行的(见图 1-11)。

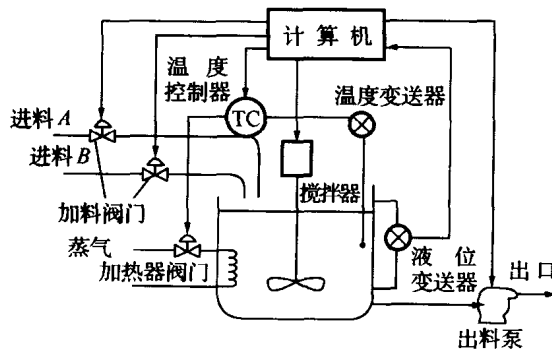


图 1-11 计算机顺序控制