

《信息、控制与系统》系列教材

过程计算机控制

王锦标 方崇智 编著

清华大学出版社

《信息、控制与系统》系列教材

过程计算机控制

王锦标 方崇智 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书系统地论述了自动控制理论和计算机技术在工业生产过程中的应用。全书共11章,分别讨论了过程计算机的常规和现代控制技术、过程输入输出和人机接口技术、抗干扰和总线技术、通信和软件技术、系统设计和工程实现,最后还介绍了分散控制系统。

本书可作为生产过程自动化及相关专业高等学校的教材,也可供有关科技人员参考。

(京)新登字 158 号

过 程 计 算 机 控 制

王锦标 方崇智 编著

责任编辑 蔡鸿程

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

中国科学院印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 19.5 字数: 460 千字

1992年2月第1版 1992年2月第1次印刷

印数: 0001—8000

ISBN 7-302-00925-2/TP·339

定价: 5.45元

《信息、控制与系统》系列教材

出版说明

《信息、控制与系统》系列教材是一套关于信息、控制和系统学科的基本理论和应用技术的高等学校教材。选题范围包括信号和信息处理、模式识别、知识工程、控制理论、自动化技术、传感技术、自动化仪表、系统理论、系统工程、机器人控制、智能控制、计算机应用和控制等方面。主要读者对象为自动控制、计算机、过程自动化、无线电等系科的高年级大学生和研究生，以及在这些领域和部门工作的科学工作者和工程技术人员。

信息、控制与系统科学是在本世纪上半叶形成和发展起来的新兴学科。它们的应用和影响已经遍及众多的部门和领域，贯穿其中的许多思想和方法已用于经济和社会现象的研究，而以这些学科为理论基础的自动化技术的广泛应用更是实现现代化的重要标志之一。这套系列教材，正是在这样的客观要求下，为适应教学和科研工作的需要而组织编写和出版的。它以清华大学自动化系、电机系等近年来经过教学实践的新编教材为主，力求反映这些学科的基本理论和最新进展，并且反映清华大学在这些学科领域中科学研究和教学研究的成果。我们希望这套系列教材，既能为在校大学生和研究生的学习提供较为系统的教科书，也能为广大科技人员提供有价值的参考书。

编辑和出版这套教材是一次尝试。我们热忱欢迎选用本系列教材的老师、学生和科技工作者提出批评、建议。

《信息、控制与系统》系列教材编委会

《信息、控制与系统》系列教材编委会

主 编 常 迺
编 委 常 迺 童诗白 方崇智 韩曾晋 李衍达
 郑大钟 夏绍玮 徐培忠
责任编辑 蔡鸿程 王仁康

2015/6/18

前 言

“过程计算机控制”是关于自动控制理论和计算机技术如何应用于工业生产过程自动化的一门专业技术。作者多年来一直为清华大学自动化系生产过程自动化专业高年级学生开设这门课程,本书是作者对历年讲稿、讲义进行提炼和修改的结果。书中也总结了作者及其同事们在这个领域中的部分研究成果。

过程计算机控制的实现涉及到许多专门知识,包括经典和现代控制理论、过程控制系统、计算机原理、计算机语言及自动化仪表等。本书是为已具有上述基础知识的读者编写的。本书主要讲述如何利用计算机去实现过程控制,重点放在过程计算机控制系统的工程实现,如其特有的硬件配置和应用软件的设计等。迄今为止,在过程控制中 PID 控制一直是最基本、最常用的控制方法。它适用面广,而且原理简单,很容易在控制计算机上实现。近二十年来,出现了许多新型的高级过程控制系统,其特点是它们都有被控过程的数学模型以各种方式砌入控制系统中,因而计算工作量大,只有用计算机才能予以实现。本书没有详细阐述这些高级控制系统的基本原理,而只是简要地总结了有关的基本理论知识,说明它们也是很容易在控制计算机上实现的。

作者希望本书不仅是高等学校生产过程自动化专业高年级学生的教材,而且是有关专业工程技术人员的一本实用参考书。为此,本书注重与基础知识的衔接和内容的系统性,同时又照顾到不同层次读者的需要。本书基本内容符合高等学校生产过程自动化专业教学指导委员会 1989 年工作会议制订的“《过程计算机控制技术》课程基本要求(初稿)”。

全书共分 11 章。

第一章是绪论,向读者介绍过程计算机控制系统的组成、类型和发展概况,并简要给出必要的数学基础。

第二章讨论过程计算机控制中采用的常规控制技术。当前,过程计算机控制中使用最广泛的仍然是数字 PID 控制,但它不只是简单地把 PID 模拟控制仪表数字化,而是丰富了它的控制功能,并与顺序逻辑控制融为一体,使之更加完善和实用。

然而,控制计算机完全有能力实现更复杂的控制。为了更好地满足生产要求,在有些情况下需要用高级过程控制去取代 PID 控制。控制计算机为高级过程控制的实现提供了可能性,而高级过程控制又为发挥计算机的巨大潜力提供了用武之地。为此,第三章扼要介绍了一些基本的现代控制技术及其程序设计方法。

如果从整个控制系统的角度来看第二、三章,那么它们仅仅解决了控制器的设计问题,而要具体实现控制任务还需考虑很多其它问题。为此,在第四、五章分别讨论了典型的过程输入输出技术和人机接口技术。为了保证控制计算机的可靠性,并实现标准化设计,第六、七章分别讨论了抗干扰技术和总线技术。

随着现代化工业生产的规模不断扩大,市场竞争日益剧烈,往往需要多台计算机构成

计算机网络才能有效地完成控制和管理任务。另外,计算机本身的系统软件也日趋复杂。为了提高计算机的应用水平,控制工程技术人员有必要了解通信网络技术和系统软件技术,它们分别构成第八、九章的内容。

第十章主要讨论两个不同类型的过程计算机控制系统的设计方法和设计过程,它们既能对读者自行设计系统有所帮助,同时也是对本书前面各章内容的总结。最后,许多读者不仅要求学会一般的系统设计,而且要了解当代过程计算机控制的最新成就,这就是第十一章介绍的分散控制系统。

本书的内容比较丰富,但读者不一定要从头到尾通读全书。教师讲授的内容也可以按不同要求灵活安排,其中最基本的讲授路线是第一→二→四→五→十章。本书每章的内容都是自成一体的,不同层次的读者可以根据自己的知识结构和需要加以选择。学完第二章后可选学第三章。学习第五章之后可分别选学第六或第七章,然后再学第十章。第八、九、十一章可在学完第十章后选学。为方便教学和实际应用,本书附有习题、实验和PID控制程序。

本书是王锦标执笔编写的,方崇智教授从全书框架构思到文字表达方面给予具体指导。清华大学自动化系很多同事也从各个方面给予了支持和鼓励,特别是徐用懋教授提出了许多宝贵意见,胡延同志担负了誊稿和画图等工作。在此,作者一并向他们表示诚挚的感谢。书中难免存在一些缺点和不足之处,殷切希望广大读者批评指正。

作者于清华大学自动化系

1991年8月17日

目 录

第一章 绪论 1	
1.1 过程计算机控制系统的组成 1	
1.1.1 硬件组成 1	
1.1.2 软件组成 3	
1.2 过程计算机控制系统的类型 4	
1.2.1 操作指导控制系统 4	
1.2.2 直接数字控制系统 4	
1.2.3 监督计算机控制系统 5	
1.2.4 分散控制系统 5	
1.3 过程计算机控制的发展概况 5	
1.4 过程计算机控制的数学基础 6	
1.4.1 信号的变换 6	
1.4.2 过程的数学模型 9	
第二章 过程计算机常规控制技术23	
2.1 数字 PID 控制算法.....23	
2.1.1 理想微分 PID 控制.....23	
2.1.2 实际微分 PID 控制.....25	
2.2 数字 PID 控制算法的改进.....28	
2.2.1 积分项的改进28	
2.2.2 微分项的改进30	
2.3 数字 PID 控制器的工程实现.....31	
2.3.1 给定值处理31	
2.3.2 被控量处理32	
2.3.3 偏差处理33	
2.3.4 PID 计算34	
2.3.5 控制量处理34	
2.3.6 自动手动切换35	
2.4 数字 PID 控制参数的整定.....36	
2.4.1 采样周期的选取37	
2.4.2 PID 控制参数的整定37	
2.5 数字 PID 控制系统的设计.....40	
第三章 过程计算机现代控制技术43	
3.1 基于状态空间模型的极点配置设计法43	
3.1.1 按极点配置设计控制规律43	
3.1.2 按极点配置设计观测器48	
3.1.3 按极点配置设计控制器 ... 52	
3.2 基于状态空间模型的最优化设计法 55	
3.2.1 设计最优控制规律 56	
3.2.2 设计状态最优估计器 60	
3.2.3 设计最优控制器 61	
3.3 基于输入输出模型的极点配置设计法 62	
3.3.1 设计问题 62	
3.3.2 多项式方程的解 65	
3.3.3 设计方法 68	
3.3.4 设计分析 72	
3.4 基于输入输出模型的最优化设计法 73	
3.4.1 设计问题 73	
3.4.2 最小方差控制 75	
3.4.3 广义最小方差控制 82	
3.4.4 设计分析 85	
第四章 过程计算机输入输出技术 87	
4.1 模拟量输出通道 87	
4.1.1 D/A 转换器 87	
4.1.2 D/A 转换器接口 90	
4.1.3 D/A 转换模板的通用性 ... 93	
4.1.4 D/A 转换模板的设计 95	
4.2 模拟量输入通道 98	
4.2.1 A/D 转换器 98	
4.2.2 A/D 转换器接口 102	
4.2.3 A/D 转换模板的结构 104	
4.3 数字量输入输出通道 109	
4.3.1 数字量输入通道 109	
4.3.2 数字量输出通道 109	
4.4 数字滤波和数据处理 110	
4.4.1 数字滤波 110	
4.4.2 数据处理 112	
4.5 字长选择 114	
4.5.1 量化误差 114	

4.5.2	A/D 转换器的字长	115	7.4	外部总线	164
4.5.3	D/A 转换器的字长	116	第八章	过程计算机通信网络技术	169
4.5.4	运算的字长	116	8.1	数据通信基础知识	169
第五章	过程计算机人机接口技术	119	8.1.1	数据通信概述	169
5.1	回路操作显示器	119	8.1.2	数据传输形式	170
5.1.1	回路操作和显示	119	8.1.3	多路复用技术	171
5.1.2	手动操作器	121	8.1.4	通信线路的通信方式	172
5.2	键盘接口	122	8.1.5	同步技术	172
5.2.1	独立连接式键盘	122	8.2	通信网络技术	175
5.2.2	矩阵连接式键盘	123	8.2.1	网络拓扑结构	175
5.2.3	二进制编码键盘	125	8.2.2	信息送取控制技术	177
5.3	LED 显示器接口	127	8.2.3	信息交换技术	178
5.3.1	七段 LED 显示器接口	128	8.2.4	差错控制技术	180
5.3.2	十六段 LED 显示器接口	130	8.3	通信网络协议	181
5.3.3	指示报警接口	131	8.3.1	协议层次模型	181
5.4	可编程键盘和 LED 显示器接口	132	8.3.2	物理层协议	183
5.4.1	Intel 8279 的组成和功能	132	8.3.3	数据链路层协议	184
5.4.2	Intel 8279 的应用	138	8.3.4	局部区域网络协议	186
5.5	CRT 显示画面	140	第九章	过程计算机系统软件技术	190
第六章	过程计算机抗干扰技术	142	9.1	数据结构	190
6.1	干扰的来源和传播途径	142	9.1.1	数据结构类型	190
6.1.1	干扰传播途径	142	9.1.2	数据查找	195
6.1.2	串模干扰	145	9.1.3	数据排序	200
6.1.3	共模干扰	145	9.2	操作系统	202
6.1.4	长线传输干扰	147	9.2.1	处理机管理	203
6.2	干扰的抑制	147	9.2.2	存储管理	207
6.2.1	共模干扰的抑制	147	9.2.3	设备管理	209
6.2.2	串模干扰的抑制	150	9.2.4	文件管理	211
6.2.3	长线传输干扰的抑制	151	9.3	数据库系统	213
6.2.4	信号线的选择和敷设	152	9.3.1	数据库系统概述	214
6.3	接地技术	154	9.3.2	数据库系统结构	215
6.3.1	地线系统的分析	154	9.3.3	数据库系统设计	218
6.3.2	输入系统的接地	155	第十章	过程计算机控制系统设计	221
6.3.3	主机系统的接地	156	10.1	过程计算机控制系统设计原则	221
6.4	供电技术	156	10.2	过程计算机控制系统设计之一	222
6.4.1	供电系统的一般保护措施	157	10.2.1	控制系统设计	223
6.4.2	电源异常的保护措施	157	10.2.2	硬件设计	238
第七章	过程计算机总线技术	158	10.2.3	软件设计	240
7.1	总线的分类	158	10.2.4	系统调试	246
7.2	总线的模板化结构	159	10.3	过程计算机控制系统设计之二	250
7.3	内部总线	160	10.3.1	通用性分析	250
			10.3.2	通用功能模块	251

10.3.3	控制系统组态.....	262	11.3	分散控制系统的控制管理级.....	285
10.3.4	填表式组态语言.....	264	11.3.1	操作站.....	285
第十一章	过程计算机分散控制系统介绍..	268	11.3.2	数据通信.....	287
11.1	分散控制系统综述.....	268	11.4	分散控制系统的生产管理级和经 营管理级.....	289
11.1.1	分散控制系统的产生.....	268	11.4.1	管理系统的构成.....	289
11.1.2	典型的分散控制系统.....	269	11.4.2	管理系统的功能.....	290
11.1.3	分散控制系统的特点.....	273	习题		291
11.2	分散控制系统的过程控制级.....	275	实验		293
11.2.1	过程控制单元.....	275	PID 控制程序		295
11.2.2	过程控制单元的冗余.....	282	参考文献		299
11.2.3	过程输入输出单元.....	283			

第一章 绪 论

计算机控制的应用领域是非常广泛的,本书侧重于计算机对工业生产过程的控制,比如各种化工、炼油、发电、冶金、轻纺、建材和制药等连续生产过程,被控量主要是温度、压力、流量、料面和成份等。过程计算机控制系统是由被控对象、测量变送、计算机和执行机构组成的闭环控制系统,如图 1.1 所示。其中控制器的设计用到经典控制理论和现代控制理论,并由计算机来具体实现,计算机相当于一台广义控制器。

计算机控制是以自动控制理论和计算机技术为基础的。自动控制理论是计算机控制的理论支柱,计算机技术的发展又促进了自动控制理论的发展与应用。随着计算机控制的推广和应用,人们不断总结、不断创新,已使得计算机控制系统的设计方法日臻完善。

过程计算机控制综合了计算机、过程控制和生产过程等方面的知识。本书将讨论过程计算机的常规和现代控制技术、过程输入输出和人机接口技术、抗干扰和总线技术、通信网络和系统软件技术、系统设计及其工程实现,并介绍先进的过程计算机分散控制系统。

本章概述过程计算机控制系统的组成、类型和发展概况,以及有关的数学基础。

1.1 过程计算机控制系统的组成

过程计算机控制系统的典型结构如图 1.1 所示。众所周知,表征工业生产过程特性的物理参数大部分是模拟信号,而计算机采用的信号是数字信号。为此,两者之间必须采用模/数转换器(A/D)和数/模转换器(D/A),以实现这两种信号之间的互相转换。尽管工业生产过程多种多样,但是,用于对其实施控制的计算机却是大同小异,而计算机主要由硬件和软件两部分组成。

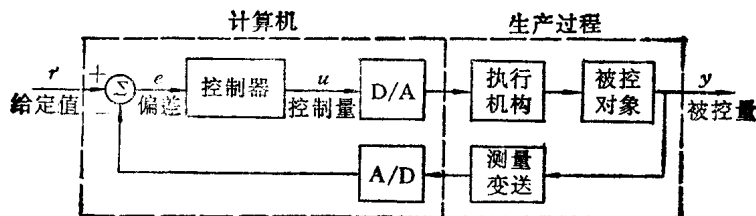


图 1.1 过程计算机控制系统的典型结构

1.1.1 硬件组成

过程计算机控制系统的硬件主要是由主机、外部设备、过程输入输出设备、人机联系设备和通信设备等组成,如图 1.2 所示。现分述如下:

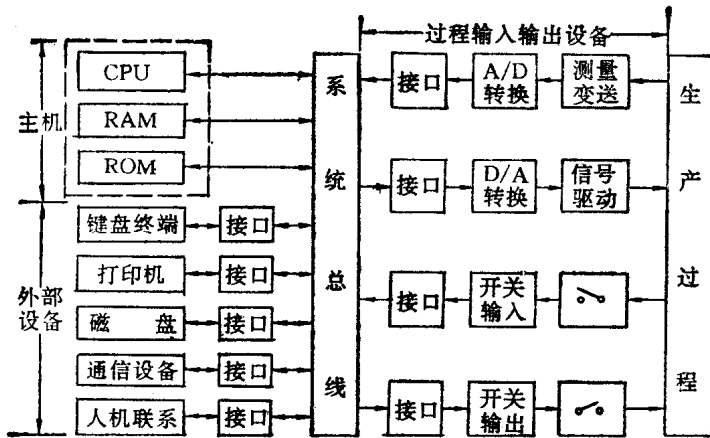


图 1.2 过程计算机控制系统的硬件组成框图

一、主机

由中央处理器 (CPU) 和内存储器 (RAM, ROM) 组成的主机是控制系统的核心。主机根据过程输入设备送来的实时反映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和运算, 及时地选定相应的控制策略, 并立即通过过程输出设备向生产过程发送控制命令。

在内存储器中预先存入了实现信号输入、运算控制和命令输出的程序, 这些程序反映了对生产过程进行控制的控制规律。系统被起动后, CPU 就从内存储器中逐条取出指令并执行, 从而达到预定的控制目的。

二、外部设备

常用的外部设备可按功能分为三类: 输入设备, 输出设备和外存储器。

常用的输入设备是键盘终端, 用来输入程序、数据和操作命令。

常用的输出设备是打印机、绘图机、CRT 显示器等, 它们以字符、曲线、表格和图形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、磁带等, 它们兼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设备。

这些常规的外部设备用于一般的科学计算和管理已经能够满足要求。但是, 如果用于生产过程控制, 还需要增添过程输入输出设备。

三、过程输入输出设备

计算机与生产过程之间的信息传递是通过过程输入输出 (Process Input Output, 简称 PIO) 设备进行的, 它在两者之间起到纽带和桥梁的作用。

过程输入设备包括模拟量输入通道 (简称 A/D 通道) 和开关量输入通道 (简称 DI 通道), 分别用来输入模拟量信号 (如温度、压力、流量、料位和成份等) 和开关量信号或数字量信号。

过程输出设备包括模拟量输出通道 (简称 D/A 通道) 和开关量输出通道 (简称 DO 通道), D/A 通道把数字信号转换成模拟信号后再输出, DO 通道则直接输出开关量信

号或数字量信号。

过程输入输出通道中的测量变送单元和信号驱动单元属于自动化仪表，不属于本书范围。

这里只简单地介绍了 PIO 概念，其细节将在第四章叙述。

四、人机联系设备

操作员与计算机之间的信息交换是通过人机联系设备进行的。例如，CRT 显示器和键盘，专用的操作显示面板或操作显示台等。其作用一是显示生产过程的状况，二是供生产操作人员操作，三是显示操作结果。人机联系设备也称为人机接口。这部分内容将在第五章专门叙述。

过程控制计算机的操作员可分两种，一种是系统操作员，另一种是生产操作员。系统操作员负责建立控制系统，如编制程序和系统组态等；生产操作员则负责保证生产过程正常运行，而进行与此有关的操作。这两者可以共用一台操作设备（如键盘终端），但是为了操作安全和操作方便，一般是分开的。

五、通信设备

现代化工业生产过程的规模一般比较大，对生产过程的控制和管理也很复杂，往往需要几台或几十台计算机才能分级完成控制和管理任务。这样，在不同地理位置、不同功能的计算机之间或设备之间就需要通过通信设备进行信息交换。为此，需要把多台计算机或设备连接起来，构成计算机通信网络。通信网络方面的知识，将在第八章简要介绍。

1.1.2 软件组成

上述硬件只能构成裸机，它只为过程计算机控制系统提供了物质基础。裸机只是系统的躯干，既无大脑思维，也无知识和智能。因此必须为裸机提供软件，才能把人的思维和知识用于对生产过程的控制。软件是各种程序的统称，软件的优劣不仅关系到硬件功能的发挥，而且也关系到计算机对生产过程的控制品质和管理水平。软件通常分为两大类：系统软件和应用软件，现分述如下：

一、系统软件

系统软件一般包括汇编语言、高级算法语言、过程控制语言、数据结构、操作系统、数据库系统、通信网络软件和诊断程序等。计算机设计人员负责研制系统软件，而过程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。系统软件方面的知识，将在第九章简要介绍。

二、应用软件

应用软件是系统设计人员针对某个生产过程而编制的控制和管理程序，它的优劣直接影响控制品质和管理水平。因此，它的设计思想和设计方法将贯穿于本书的大部分章节。应用软件一般分为过程输入程序、过程控制程序、过程输出程序、人机接口程序、打印显示程序和各种公共子程序等。其中过程控制程序是应用软件的核心，是基于经典或现代控制理论的控制算法的具体实现。过程输入、输出程序分别用于过程输入、输出通道，一方面为过程控制程序提供运算数据，另一方面执行控制命令。

计算机实时地对生产过程进行控制和管理。所谓实时是指信号的输入、运算和输出

都要在极短的时间内完成，并能根据生产过程工况的变化及时地进行处理。实时性不仅取决于计算机硬件指标，而且更主要地依赖于系统软件和应用软件。同样的硬件，配置高性能的软件，可以取得较好的控制效果；反之，不仅发挥不出硬件的功能，而且还达不到预定的控制目标。

1.2 过程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，过程计算机控制系统大体上可以分成四种类型：操作指导控制系统，直接数字控制系统，监督计算机控制系统和分散控制系统。

1.2.1 操作指导控制系统

操作指导控制系统的构成如图 1.3 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。

计算机首先通过模拟量输入通道和开关量输入通道实时地采集数据，然后根据一定的控制或管理方法进行计算，最后通过 CRT 或打印机输出操作指导信息。另一种是按照预先存入计算机的操作顺序和操作方法，根据生产工艺流程逐条输出操作信息。比如发电厂的锅炉、汽轮机、发电机的起动阶段和停止阶段，是十分复杂的操作过程，可以采用计算机进行操作指导。

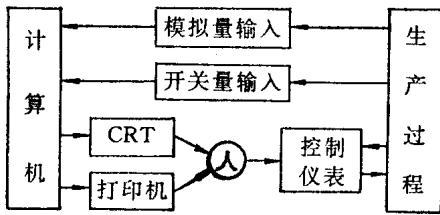


图 1.3 操作指导控制系统框图

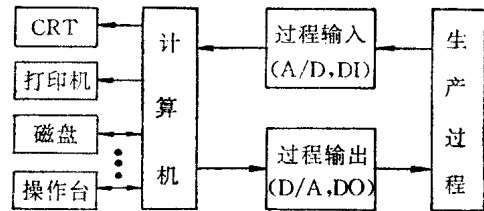


图 1.4 直接数字控制系统框图

1.2.2 直接数字控制系统

直接数字控制 (*Direct Digital Control*, 简称 DDC) 系统的构成如图 1.4 所示。计算机首先通过模拟量输入通道 (A/D) 和开关量输入通道 (DI) 实时采集数据，然后按照一定的控制规律进行计算，最后发出控制信息，并通过模拟量输出通道 (D/A) 和开关量输出通道 (DO) 直接控制生产过程。DDC 系统属于计算机闭环控制系统，是计算机在工业生产中最普遍的一种应用方式。

由于 DDC 系统中的计算机直接承担控制任务，所以要求实时性好、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，使之不失时机地完成所有功能。工业生产现场的环境恶劣，干扰频繁，直接威胁着计算机的可靠运行。因此，必须采取抗干扰措施来提高系统的可靠性，使

之能适应各种工业环境。抗干扰技术将在第六章专门叙述。

1.2.3 监督计算机控制系统

监督计算机控制 (*Supervisory Computer Control*, 简称 *SCC*) 系统的构成如图 1.5 所示。*SCC* 系统通常采用两级计算机,其中 *DDC* 用计算机(称为第一级)完成上述直接数字控制的功能;*SCC* 用计算机(称为第二级)则根据反映生产过程工况的数据和数学模型,进行必要的计算,给 *DDC* 用计算机提供各种控制信息,比如最佳给定值和最优控制量等。

DDC 用计算机与生产过程连接,并直接承担控制任务。因此,要求可靠性高,抗干扰性强,并能独立工作。一般选用单板机或微型机作为 *DDC* 用计算机。

SCC 用计算机承担高级控制与管理的任务,它的信息存储量大,计算任务繁重。一般选用高档微型机或小型机作为 *SCC* 用计算机。

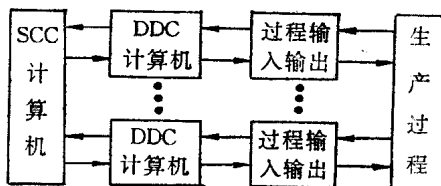


图 1.5 监督计算机控制系统框图

1.2.4 分散控制系统

随着计算机技术的发展、工业生产过程规模的扩大、综合控制与管理要求的提高,人们研制出以多台微型机为基础的分散控制系统 (*Distributed Control Systems*, 简称 *DCS*)。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,从下而上可以分为若干级,如过程控制级、控制管理级、生产管理级和经营管理级等。这部分内容将在第十一章简要介绍。

1.3 过程计算机控制的发展概况

世界上第一台电子计算机于 1946 年问世,经历了十多年的研究,于 1959 年世界上第一台过程控制计算机在美国德克萨斯州的一个炼油厂正式投入运行。该系统控制 26 个流量、72 个温度、3 个压力和 3 个成份;基本功能是控制反应器的压力,确定反应器进料量的最优分配,根据催化作用控制热水流量以及确定最优循环^[46]。

早期的计算机采用电子管,它不仅运算速度慢、价格昂贵,而且体积大、可靠性差。1958 年前后,计算机的平均无故障时间(MTBF: *Mean Time Between Failures*)为 50~100 小时。由于它的可靠性差,所以主要用于数据处理和操作指导。

随着半导体技术的发展、计算机运算速度的加快和可靠性的提高,1962 年开始采用直接数字控制 (*DDC*),MTBF 大约为 1000 小时。比如,1962 年英国的帝国化学工业公司 (*ICI*) 实现了一个 *DDC* 系统,其中数据采集量为 244 个,它控制 129 个阀门。

整个 60 年代,随着集成电路技术的发展,使得计算机技术有了很大的发展。主要体现在它的运算速度加快、体积变小、工作更可靠以及价格更便宜,MTBF 提高到大约 2000 小时。到了 60 年代后期,已出现专用于工业生产过程控制的小型计算机。由于小

型计算机的出现,过程控制计算机的台数从1970年的约5千台上升到1975年的约5万台,五年中增长了约10倍^[46]。

70年代随着大规模集成电路(LSI)技术的发展,于1972年生产出微型计算机,使得过程计算机控制技术进入了一个崭新的阶段。微型计算机的最大优点是运算速度快、可靠性高、价格便宜和体积很小。由于微型计算机的出现,而开创了过程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(DCS)。世界上几个主要的计算机和仪表制造厂于1975年几乎同时生产出分散控制系统。例如,美国Honeywell公司的TDCS-2000,日本横河公司的CENTUM^[47]等。

80年代随着超大规模集成电路(VLSI)技术的飞速发展,使得计算机向着超小型化、软件固化和控制智能化方向发展。前期开发的DCS的基本控制器一般是8个回路以上。80年代中期,出现了只控制1~2个回路的数字控制器。80年代末又推出具有计算机辅助设计(CAD)、专家系统、控制和管理融为一体的新型分散控制系统。

可以预料,随着超大规模集成电路技术、软件智能化技术和自动控制理论的发展,过程计算机控制技术将会出现惊人的飞跃。

1.4 过程计算机控制的数学基础

过程计算机控制就是用数字计算机实现过程控制规律,从而对生产过程进行控制。它所控制的对象大部分是连续生产过程,数字控制系统的设计仍然是以连续控制系统的设计为基础。但是因为数字计算机只能处理离散的数字信号和离散的数学模型,所以,首先应将连续过程离散化,即将连续的数学模型变为离散的数学模型,然后才能由计算机来处理。

本节首先研究信号的变换,再扼要给出过程的输入输出模型和状态空间模型,以及连续的数学模型与离散的数学模型之间的转换。本节只给出其主要结果和程序流程,详细的分析研究属于控制理论的基本内容,读者可参阅有关文献^{[3][52]}。

1.4.1 信号的变换

计算机控制系统的工作过程,可以看作信号的采集、处理和输出的过程。计算机只能接受和处理数字信号,而来自被控对象的信息(如温度、压力、流量、料位和成份等)大部分是模拟信号。因此,在计算机控制系统中必须解决这两种信号的相互转换。

一、信号的采样

计算机控制系统的信号流程如图1.6所示,其中主要有四种信号:模拟信号——时间上连续和幅值上也连续的信号,如图中的 $y(t)$;离散模拟信号——时间上离散而幅值上连续的信号,如图中的 $y^*(t)$;数字信号——时间上离散和幅值上离散量化的信号,如图中的 $y(nT)$ 和 $u(nT)$;量化模拟信号——时间上连续而幅值上连续量化的信号,如图中的 $u(t)$ 。这些信号之间的转换,是通过采样器、模/数转换器(A/D)和数/模转换器(D/A)等硬件来实现的。

把时间上连续和幅值上也连续的模拟信号,按一定的时间间隔 T 转变为在瞬时 $0, T,$

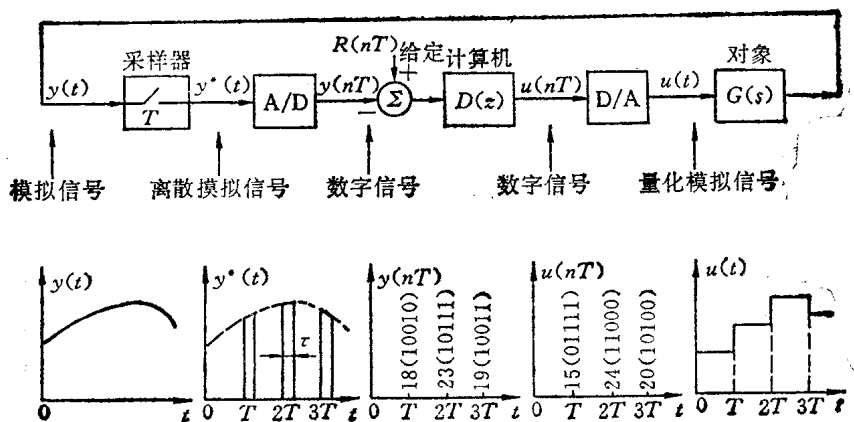


图 1.6 计算机控制系统的信号流程图

$2T, \dots, nT$ 的一连串脉冲输出信号的过程称为采样过程，实现采样的装置叫采样器或采样开关，如图 1.7 所示。人们把采样开关每次通断的时间间隔 T 称为采样周期，采样器的输入信号 $y(t)$ 称为原信号，而经采样后的输出信号 $y^*(t)$ 则称为采样信号。

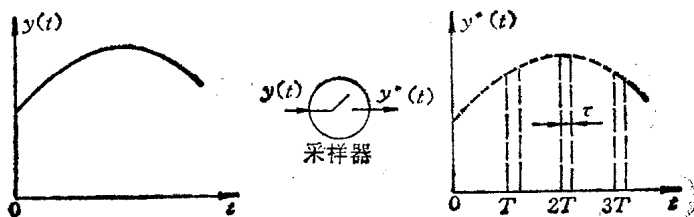


图 1.7 采样过程

在图 1.7 中，当采样开关的闭合时间 τ 远小于采样周期 T 时，可以近似地认为采样信号 $y^*(t)$ 是 $y(t)$ 在采样开关闭合时的瞬时值，再经 A/D 转换成数字脉冲序列 $y(T), y(2T), \dots, y(nT)$ 。 $y^*(t)$ 和 $y(nT)$ 之间仅差 A/D 转换过程中的量化误差，这在数学处理上是等价的。

当采样开关的闭合时间 τ 远小于采样周期 T 时，可以把实际采样开关近似地看作理想采样开关。因此，采样信号 $y^*(t)$ 可以描述为

$$y^*(t) = y(t) \sum_{n=0}^{\infty} \delta(t - nT) \quad (1.4.1)$$

式中， $\delta(t - nT)$ 表示发生在 $t = nT$ 时刻的理想采样脉冲。

因已假设为理想采样脉冲，因而 $y^*(t)$ 只与 $y(t)$ 在脉冲出现瞬间的值 $y(nT)$ 有关，而与采样时刻以外的值无关。这样，可将式 (1.4.1) 改写为

$$y^*(t) = \sum_{n=0}^{\infty} y(nT) \delta(t - nT) \quad (1.4.2)$$

选择采样周期 T 的理论依据是采样定理，它给出了从采样信号 $y^*(t)$ 唯一地复现原信号 $y(t)$ 所必需的最低采样频率。