

875267

5031

3045

动力装置数字控制系统

高等学校教材

姜大中 等编
陈 铮



西北工业大学出版社

高等学校教材

动力装置数字控制系统

姜大中 陈 铮 编
费 开 马 瑞

西北工业大学出版社

内 容 简 介

本书共分九章，从时域、复域、频域对数字系统作了介绍；全面论述了控制器的设计原理及数字控制系统的现代控制理论；对数字控制系统在动力控制方面的总体结构，设计要点和应用实例作了详细介绍。

本书为高等学校动力控制工程专业教材，也可供从事航空、航天、机械、冶金等动力控制类专业师生和工程技术人员选用。

高等学校教材

动力装置数字控制系统

姜大中 陈 铮 等编

责任编辑 李 珂

责任校对 樊 力

西北工业大学出版社出版

(西安市友谊西路 127 号)

陕西省新华书店发行

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0081-1/TP·23(课)

开本 787×1092 毫米 1/16 18 印张 438 千字

1988 年 12 月第 1 版 1988 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1500 册 定价 3.55 元

前 言

本书是根据高等航空院校航空动力装置控制工程专业《动力装置数字控制系统》课程教学大纲编写的教材。

20多年来,由于数字计算机和微电子学的蓬勃发展,使工程上模拟计算技术普遍应用的情况发生了变化,而使采样系统和数字控制系统日益得到广泛地应用。正是由于模拟化设计“转换”成数字化设计,控制系统的分析,设计和实现方法正在发生急骤的变化,获得许多新成果,并使控制理论亦得到重大发展。为此,本书将介绍数字控制系统设计和分析的有关理论。着重阐明基本概念、基本理论和分析问题的基本方法,并配合一些概念性和综合性的例题。选材注意到先进性和实用性。内容安排上,既考虑到科学性、必要的系统性与完整性,又注意到由浅入深,讲清概念及理论联系实际。

本教材是在学生已学习过“自动控制理论”,“计算方法和计算机语言”等课程,并具有初等矩阵理论及线性代数的知识,和一般电子学的基本内容的基础上编写的。

本书共分九章:第一章介绍数字控制系统的发展概貌及数字控制系统的基本概念、组成及工作原理和其特点;第二章讨论线性数字系统的基本理论、 Z 变换、脉冲传递函数及各组成部分的特性;第三章线性离散系统的性能分析。介绍 S 域和 Z 域的转换,线性离散系统的稳态响应、瞬态响应以及适用于这类系统的各种稳定判据;第四、第五章介绍线性离散系统的设计。分别在这两章内着重介绍在连续域与离散域内的几种设计方法和这些方法设计结果对性能的影响,并对为满足性能指标所需的校正装置及PID控制器的设计作了讨论;第六章研究了数字控制系统的状态变量描述,在此基础上讨论表征系统特性的可控,可达及可观等基本概念。接着介绍状态反馈实现的极点配置设计方法以及各类观测器的设计。最后还对伺服系统设计作了介绍;第七章讨论数字控制系统二次型优化。按最优性能指标对状态及控制作用量的二次型积分设计,它不仅方便地用于单输入单输出,也适用于多输入多输出系统及时变系统。同时对最佳二次型调节器设计进行了分析;第八章有限字长效应——数值量化误差。讨论了由于字长有限所引起的误差对数字控制器性能的影响,同时对两种数值系统的动态量程和溢出特性及量化噪声的传播等也作了初步讨论;第九章为动力装置控制系统应用实例。

本书由西北工业大学姜大中统稿并编写第一、六、七章,马瑞编写第二章,由南京航空学院陈铮编写第三、四、五章,费开编写第八、九章。

本书经北京航空学院王玉麟教授审阅。

由于编者水平所限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望读者批评指正。

编 者

1988.3.

目 录

第一章 数字控制系统概述	1
§ 1-1 计算机控制发展简史	2
§ 1-2 数字控制系统的组成及工作原理	3
§ 1-3 计算机控制系统的主要特点和优点	9
§ 1-4 计算机在控制中的典型应用	11
第二章 离散时间系统和Z变换	17
§ 2-1 计算机控制系统中的信号	17
§ 2-2 采样信号的特性	19
§ 2-3 采样信号的恢复	24
§ 2-4 信号数字化过程	30
§ 2-5 差分方程、卷积和计算机控制系统的数学描述	33
§ 2-6 Z变换及其性质	37
§ 2-7 用Z变换求解线性差分方程	49
§ 2-8 脉冲传递函数	50
第三章 线性离散系统的性能分析	64
§ 3-1 系统的时域响应	64
§ 3-2 S域极点和采样函数的Z域极点的映射关系	67
§ 3-3 Z平面极点分布与瞬态响应	69
§ 3-4 稳态误差	76
§ 3-5 稳定性和劳斯-古尔维茨稳定判据.....	81
§ 3-6 奈奎斯特(Nyquist)稳定判据.....	85
§ 3-7 朱里(JuRy)稳定性判据	89
§ 3-8 根轨迹法	95
第四章 数字控制系统的连续设计法	99
§ 4-1 模/数(A/D)转换器和数/模(D/A)转换器	99
§ 4-2 连续域-离散化设计的基本原理.....	101
§ 4-3 一阶差分不变法	104
§ 4-4 突斯汀(Tustin)变换法	107
§ 4-5 匹配Z变换法	114
§ 4-6 阶跃响应不变法	116
§ 4-7 频率特性拟合法	117
§ 4-8 各种离散方法的比较	118
§ 4-9 PID控制的模拟化设计(模拟化设计实例).....	120

第五章 数字控制系统的离散设计法	127
§ 5-1 解析设计法	127
§ 5-2 Z 平面设计法	144
§ 5-3 在 W 平面和 W' 平面上进行设计.....	153
§ 5-4 控制系统的性能指标	160
§ 5-5 频域的校正设计	162
§ 5-6 数字控制器 $D(z)$ 的实现	168
第六章 数字控制系统的状态空间设计方法	169
§ 6-1 状态空间描述	169
§ 6-2 离散系统的可控性和可观测性	184
§ 6-3 状态反馈控制的极点配置设计	188
§ 6-4 状态观测器设计	192
§ 6-5 调节器设计	200
§ 6-6 伺服器设计	204
§ 6-7 快速数字控制器的分析与设计	207
第七章 线性二次型最优控制	222
§ 7-1 离散二次型目标函数	222
§ 7-2 离散二次型最优状态调节器设计	225
§ 7-3 无限时间离散二次型最优状态调节器设计	231
§ 7-4 二次型稳态调节器问题的特征向量分解	237
§ 7-5 采用估计状态反馈的次最优控制	240
§ 7-6 伺服系统的最佳二次型设计	242
§ 7-7 计算机系统线性最优调节器	245
第八章 有限字长效应——数值量化误差	250
§ 8-1 定点数系统	250
§ 8-2 量化方法和量化误差	251
§ 8-3 量化噪声的产生和统计模型	254
§ 8-4 三种量化方法之间的等效关系	256
§ 8-5 量化噪声的传播	257
§ 8-6 两种数值系统的动态量程和溢出特性	258
§ 8-7 系数量化对滤波器特性的影响——系数的存贮误差	260
§ 8-8 死区、极限环和溢出振荡	263
第九章 设计举例	266
主要参考文献	282

第一章 数字控制系统概述

1946年世界上第一台数字计算机 ENICA 问世以后，立即受到各方面的重视，发展十分迅猛。计算机发展的初期，由于其结构庞大，价格昂贵，可靠性差，所以主要用于科学计算方面。随着计算机技术的不断发展和完善，现已广泛地应用到社会科学、自然科学及生产的各个领域，急剧地改变着人类的各项活动。其影响与日俱增，已成为各个国家发展水平的标志之一。

计算机控制系统是数字计算机和自动控制相结合的产物。在计算机控制系统中，用数字计算机代替自动控制系统中的常规控制器，对系统动态进行调节和控制。数字计算机虽只是控制系统中的一个部件，但是，这种结合，对控制系统的结构、性能，它的分析和设计方法却引起了深刻的变化。因此，对于从事控制领域工作的科技人员，除了熟悉连续系统控制理论外，还应该掌握计算机控制技术，掌握分析、设计和构成一个计算机控制系统的理论和方法。计算机控制系统和连续控制系统一样，遵循闭环负反馈的控制原则。若把图1-1(a)连续控制系统中的控制器用数字计算机来代替，这样就构成了一个计算机控制系统，其基本结构框图如图1-2所示。

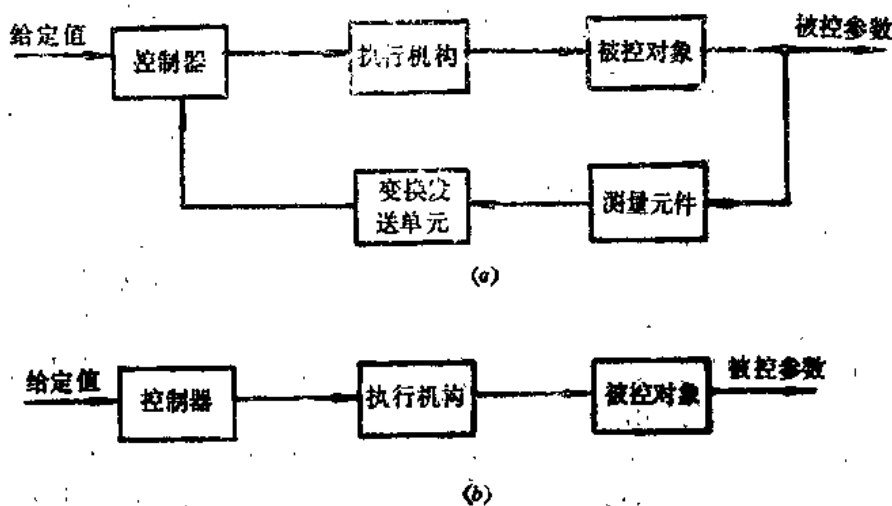


图 1-1 连续控制系统框图
(a) 闭环控制系统框图 (b) 开环控制系统框图

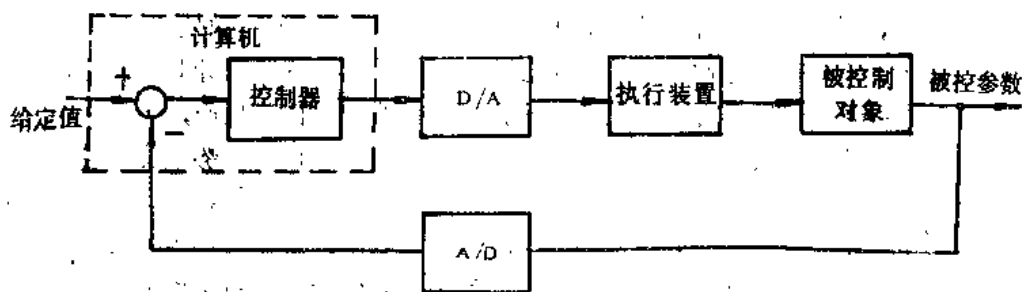


图 1-2 计算机控制系统基本框图

§ 1-1 计算机控制发展简史

如前所述,计算机控制系统,是在计算机技术和自动控制技术发展的基础上产生的。为了了解它的发展情况,必须从自动控制理论和计算机科学两个方面的发展予以阐述。

二次大战期间和战后,由于军事工业和民用工业的需要,经典控制理论得到迅速发展,逐步形成一门独立的新兴学科,它是自动控制系统分析、设计方面强有力的理论基础。它在飞机自动驾驶仪、火炮位置伺服系统、雷达天线控制系统等军用装备系统和众多的民用生产过程控制中(采用气动、液压及自动单元组合仪表等组成的模拟式控制系统),都得到成功的应用。

经典控制理论主要研究单输入单输出线性定常系统,对一些较复杂的多输入多输出参数相互耦合的系统也曾起过积极作用。但是无论在概念上、设计方法上、控制系统最优化等方面,都不能满足高质量复杂控制系统的需要。60年代初期,为了适应宇航等高新技术发展需要,在经典控制理论和现代应用数学研究的基础上,逐步形成了现代控制理论。计算机科学又大大推动了它的发展。

计算机科学的发展和应用,为自动控制系统开辟了新途径,提供了基本工具。而现代控制理论的发展又为自动控制系统提出了新概念、新方法,促进了计算机科学的发展。经典控制理论及现代控制理论与计算机技术结合,出现了新型的计算机控制系统。

计算机用于生产过程控制,经历了一个曲折地发展过程,大体可划分为三个阶段。

1965年以前是试验阶段。50年代初,首先在化工生产过程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年建成第一台闭环计算机控制,1962年实现了工业装置中第一个直接数字控制(DDC)系统,在化工、炼油等领域取得一定程度的成功。但是,由于当时计算机价格昂贵、运算速度低、结构庞大,只适用于集中型计算机控制系统,这给计算机与生产过程的连接、安装、启停和维护造成困难,特别是计算机出现故障时,对生产装置和整个生产系统会带来严重恶果。采用多机冗余方案可靠性得到提高,但投资急剧增加;加之计算机控制技术不成熟,操作人员缺乏经验,导致一些项目未能成功,从而曾一度引起人们对计算机控制的疑虑。

1965年到1969年是计算机进入实用和逐步普及的阶段。1965年既制造出了每秒计算千万次以上的巨型机,又出现了小型机,后者因其价格低而适应面宽,使计算机在生产过程控制中的应用得到很大的发展,由于这阶段仍然主要采用集中型计算机控制系统,依然存在灵活性差、维护使用不便、可靠性低等一些缺点,应用仍不够广泛。

1970年以后,计算机进入了大量推广和分级控制阶段。1971年微处理器首次在市场上问世,它和大规模集成电路存储器 and 输入输出接口一起装配成的微型计算机,它的硬件和软件对某些特定的专业性课题具有良好的适应性。加之元件的大批量生产,大大降低了硬件的价格,提高了可靠性,而获得广泛的应用,并很快取代了小型机的优势地位,使计算机用于生产过程控制进入了一个新的阶段——微型计算机组成的集散性控制系统。过去集中由一台计算机承担的各种任务,现在分派给不同的过程微型计算机,就是把计算机分散到生产装置中去,实现小范围的局部控制和某些特殊规律的控制,以便于建立数学模型,在一定条件下实现最优化,从而取得较显著的控制效果。各个微型计算机之间采用的数据通道、环形网络

连络起来，构成多级的各种不同目的的自动控制结构，以适应各种不同的对象。这种集散型计算机控制系统，具有节约线路、可靠性高，易于实行整体化的特点，是80年代计算机过程控制的一个重要发展方向。

§ 1-2 数字控制系统的组成及工作原理

如前所说，数字控制系统是用数字计算机代替常规控制器，按预先给定的控制规律，对动态系统进行调节和控制，构成通常由数字部件和模拟部件组合在一起的混合系统，如图1-2所示。尽管计算机本身的技术发展很快（基于集成电路的发展，运算速度提高，存储容量增大，可靠性改善），但是对于原始数据检测、转换和传输，应用计算机进行必要的信息处理，将结果变换为对生产过程进行控制的控制作用量，这种基本控制信号流程却并没有改变。图1-3顶部示出这一流程，首先检测表示控制对象系统状态的各种物理量（通常称之为过程变量），它可能是电压、电流等电量，但在多数情况下是温度、压力、转速、流量、位置等非电量，需要用传感器或变送器把这些物理量转换成直流电流和电压（最近已研制出具有数字输出的传感器，这样不仅可以直接将过程变量输入给计算机或用作数字数据传输，而且可以解决一些测量范围选择、非线性特性校正、故障自动检测等棘手问题）。很多情况下，控制对象占有很大的地区，原始数据的检测点位于比较远的地方，这时就必须传输经过转换的数据。传输距离比较短时，为了抑制干扰，可以直接采用电缆传输，但当传输距离很远时，就必须采用微型电路、光导纤维等数据通讯技术。

为了把传输数据送入计算机，必须首先消除由接地电位差引起的共模噪声，再经过模数转换（A/D）和数字量数据的串、并行转换后，根据计算机发出的指令，输入给中央处理单元的寄存器或直接输入存储装置。

另一方面，计算机根据输入的数据，执行预定的程序和控制算法，把处理后得到的控制作用量和操作步骤经由和输入反方向的通路，供给过程。通常是通过数模转换（D/A）或将数字量变成数字量脉冲序列等转换和数据传输，经功率放大后，送入驱动器或执行机构，以驱动过程的控制装置。

除上述以数字计算机和控制对象为中心的控制信息流程控制回路以外，还有通过人—机联系装置实现的计算机操作人员与控制对象系统之间的控制回路。以监视过程运行状况，改变运行形式和处理异常事态等任务的实现。上述计算机控制过程简述如图1-3所示。

构成生产过程装置和控制的计算机系统，必定是一个实时系统，它应该包括硬件和软件两部分。

一、硬件组成

计算机是数字控制系统硬件的核心部件，可以采用小型计算机、过程计算机、微型计算机、或者把这些计算机组合在一起使用。控制用的计算机与一般通用计算机并非有什么本质上的差别，只是需要增加几个作控制用的装置和功能，即除微处理器、内存贮器外，还应包括模数转换和数模转换为核心的输入输出通道，开关量输入输出通道，人—机联系装置和运行操作台几部分，下面分别作简要说明。

（一）主机

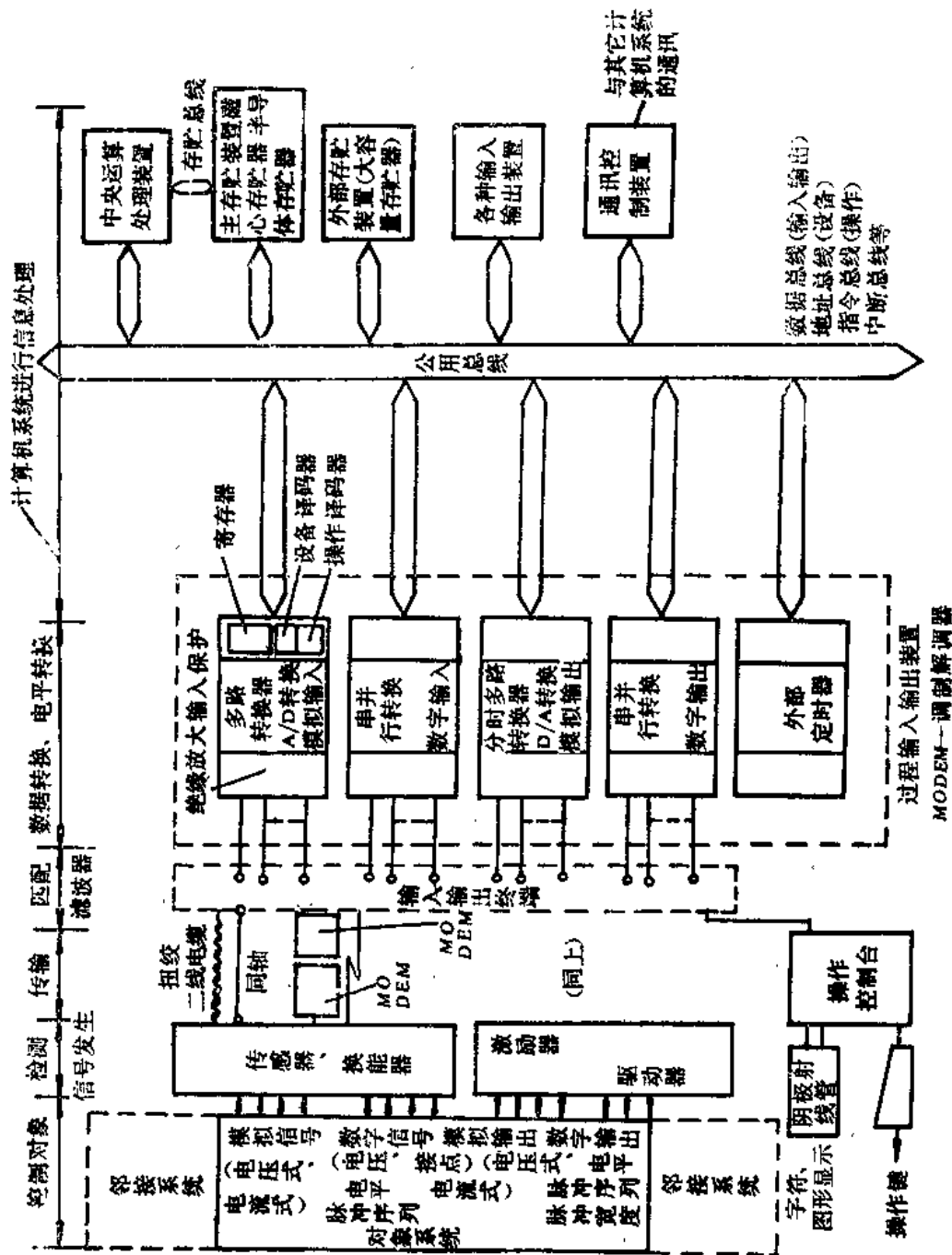


图 1-3 数字系统控制的构成

微处理器是控制系统的核心，它和内存贮器一起通称为主机。主机根据输入通道送来的控制对象工况参数和有关信息，按照人们预先安排的控制规律和控制算法程序，自动地进行信息处理、分析和计算，并作出相应的控制决策或调节，再以信息形式通过输出通道，及时发出控制命令。系统启动后，微处理器就从内存贮器中逐条取出预先安排好的指令并执行之，这样，整个系统就按人们事先设定的规律，自动分步地工作。

(二)常规外部设备

常规外部设备，按功能可分为三类：输入设备、输出设备和外存贮器。外部设备的配置，应视具体情况而定。

常用的输入设备有键盘、纸（磁）带输入机等。输入设备主要用来输入程序和数据。

常用的输出设备有打印机、记录仪、显示器（数码显示器或 CRT 显示器）、纸带穿孔机等。输出设备主要用来把各种信息和数据按人们容易接受的形式，如字符、数字、图表、曲线等提供给操作人员，以便及时了解控制过程的情况。

外存贮器，如磁带装置、磁盘装置，它们兼有输入、输出功能，主要用来存贮系统程序和有关数据。

(三)输入输出通道

过程输入输出通道，又称为过程通道。为了把对象系统的状态（过程参数和接触点状态）及有关信息，输入给计算机，必须把它们转换成等效的数字量；而把计算机的处理结果供给系统作控制作用量，通常又必须进行相反的变换。因此为了实现对生产过程或装置的控制，就需要在计算机和对象系统之间设置信息传递和变换的连接通道，这就是过程输入输出通道。

过程通道一般分为：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、数字量输入通道、数字量输出通道。

以模拟量输入通道为例，根据应用要求的不同，可以有不同的结构形式。一般由信号处理、多路转换器、放大器、采样保持器和数模转换器组成。图 1-4 是多路模拟量输入通道一般组成框图。模拟输出通道则执行与上述相反的动作，图 1-5 是多路模拟量输出通道一般组成框图。

(四)接口电路

外部设备和过程通道是不能由主机直接控制的，必须通过“接口”来传送相应的信息和命令。

计算机控制系统的接口，根据应用的不同，有各种不同的接口电路。从广义上讲，过程通道属于过程参数和主机之间的专用接口。此处讲的接口乃是指通用接口电路，一般有并行

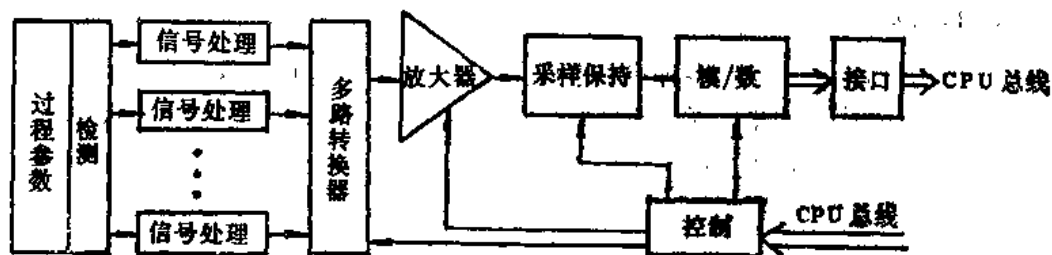


图 1-4 模拟量输入通道一般组成

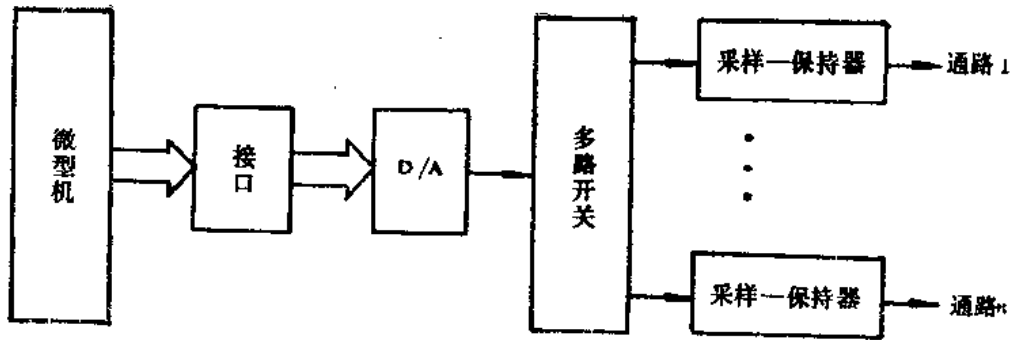


图 1-5 共用数/模转换器

接口、串行接口和管理接口（包括中断管理、直接存贮器存取（DMA）管理、计数/定时等）。

还应指出，接口电路仅沟通了主机与过程通道，但各种信息的输入与输出则是通过称为总线的公用线完成的。如果把通过总线的输入输出方法标准化，那么只要在必要的时候将各种输入和输出装置接通总线，即可构成以计算机为核心的控制系统，实现所要求的功能。S-100 总线和 MULTIBUS 等就是广泛使用的微型计算机标准总线。

（五）运行操作台

每台主机原来都有一套键盘控制台，它是用来直接与 CPU 进行“对话”的，程序员用其检查程序，维修人员用它判断故障。计算机控制系统操作人员应了解该控制台的使用细节。

此外，计算机控制系统操作人员还须与计算机控制系统进行“对话”以了解控制过程状态，有时还要修改控制系统某些参数，以及对突发事故迅速进行人工干预等等。

所以，计算机控制系统一般要有一套专供运行操作人员使用的控制台，称为运行操作台，其基本功能如下：

1. 要有一个显示屏幕或数码显示器，以显示操作人员要求显示的内容或报警信号。
2. 要有一组或几组功能板键或按钮（标有作用标志与字符），扳动板键，主机就执行该标志的动作。
3. 要有一组或几组送入数据的板键，用来送入某些数据或修改控制系统某些参数。
4. 运行操作人员即使误动作，也不应造成严重后果。

对于运行工作台，可以单独设置，也可把主机控制台适当扩充，和主机控制台结合在一起。但不论哪种形式，都要有适当硬件和接口，再配上人一机联系程序才能实现。

二、软件组成

计算机控制系统是通过执行各种指令序列完成预定复杂功能的，这种指令序列就是程序，各种程序和有关信息的集合通称为软件。它是计算机与控制对象之间联系的桥梁。软件的优劣关系到计算机的正常运行，硬件功能的充分发挥和推广应用。过程控制软件可分为系统软件和应用软件。

（一）系统软件

系统软件包括程序设计系统、诊断系统、监控系统、操作系统以及与计算机密切相关的

其它程序，它带有一定的通用性，由制造单位提供。与实时过程控制的有关人员往往只关心应用软件和数据库，而忽视操作系统，但是我们应该看到，一个复杂的过程控制系统（钢铁冶炼、石油生产自动化、航空大型实验设备控制等），从硬件上说，有大量的外部设备和庞大的外围设备。从软件上说，计算机要执行大量的实时控制、数据处理和监控等用户程序，采用人工来管理是难以实现的。而实时操作系统（RTOS）是控制计算机操作的一种管理程序。可以合理地组织计算机的整个工作流程，有效地管理计算机的硬件、软件资源，从而达到提高资源利用率，方便用户操作和使用的目的。操作系统的基本结构如图 1-6 所示。

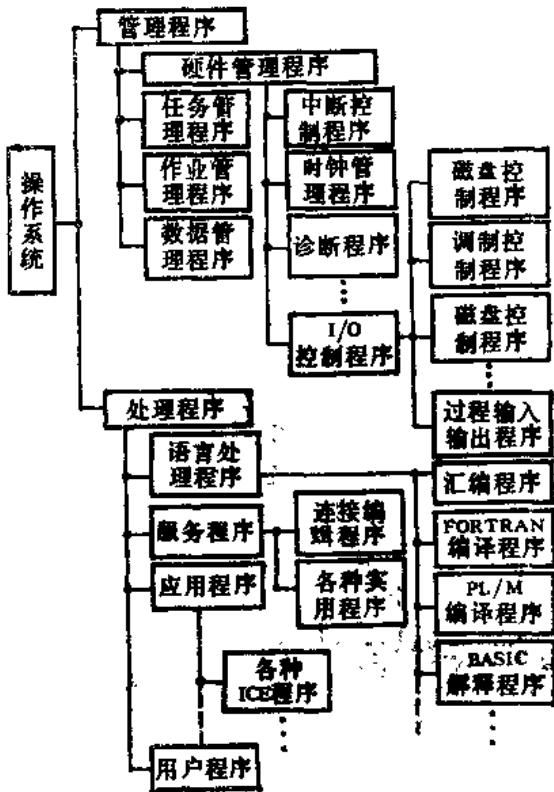


图 1-6 操作系统的基本结构

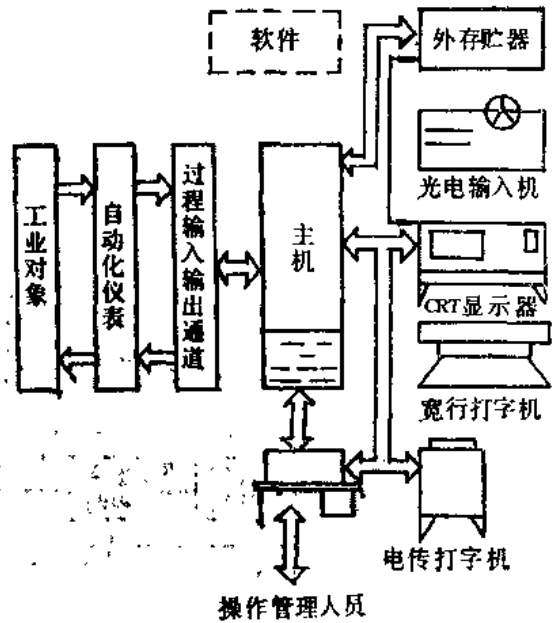


图 1-7 计算机控制系统的基本组成

（二）应用软件

应用程序是一个直接控制程序，而其它的系统程序往往是为其服务的。应用程序由用户自行配置。它在操作系统的管理下具体反映并控制生产过程的程序，是计算机控制系统的重要组成部分。其优劣将会给系统的精度和效率带来很大的影响。应用软件一般分成若干个功能块。

1. 数据采集、处理程序 包括巡回检测程序、定时制表程序、数据处理程序等等。
2. 监控程序 包括超限报警、事故预报、故障监控、自动启停设备等等程序。
3. 控制程序 包括性能指标判别，控制规律切换、控制算法计算、参数调整等等。它是计算机控制系统性能的核心，也是本书研究的主要问题。

以上讨论的计算机控制系统的基本组成可用图 1-7 来表示。

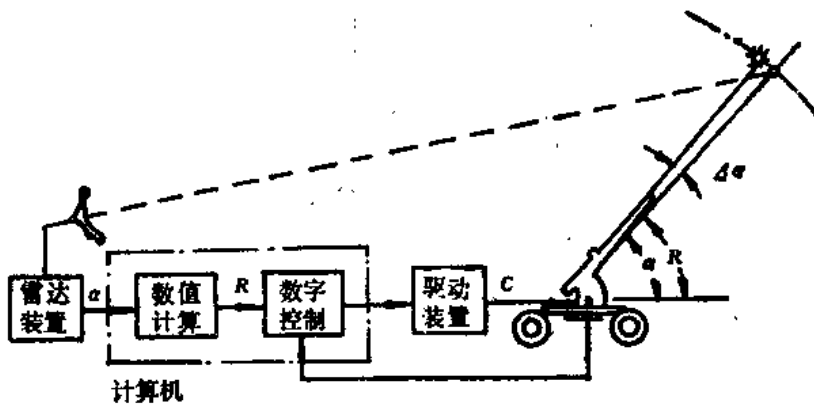
三、计算机控制系统的工作原理

计算机控制系统和连续系统均属于自动控制系统。它们都是由测量比较元件、放大元件、校正装置、执行机构和控制对象等组成的，都是按误差进行控制的负反馈闭环系统。现以火炮计算机控制系统为例来说明计算机控制系统的工作原理。其控制系统如图 1-8 所示。

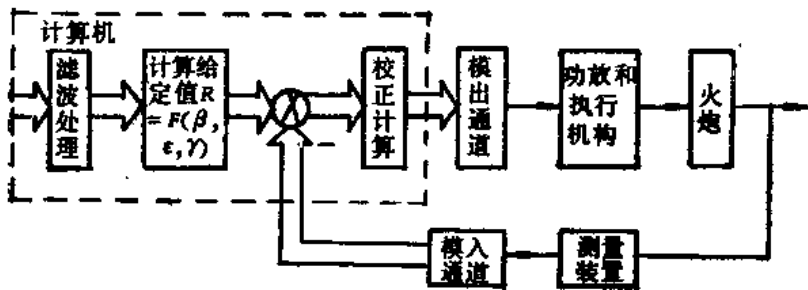
火炮计算机控制系统主要由雷达、计算机、火炮三大部分组成。

雷达是目标的定位装置，测出目标的方位角，高低角和斜距，并把这些数据送入计算机。

计算机要完成下述一系列的功能。首先对雷达送来的信号进行处理，除去信号中夹杂的各种干扰，也就是通常所说的数字滤波。接着，计算机利用这些处理后的数据，按预先给定的计算公式算出火炮的发射角各数据，即火炮控制系统的给定值。然后，计算机把给定值与实际值相比较，得到误差信号，进而对误差信号按控制规律的要求进行加工（相当于连续系统中校正环节所起的作用）。最后，计算机将加工所得的控制信号经模拟量输出通道送往炮塔控制电路，控制炮口按给定值方向运动。由此可见，计算机在火炮控制系统中分别起着解算装置和数字校正的作用。



(a) 示意图



(b) 方块图

图 1-8 火炮计算机控制系统

§ 1-3 计算机控制系统的主要特点和优点

一、主要特点

计算机控制系统和连续控制系统相比较具有如下一些特点:

(一) 结构上的特点

数字计算机内参预算术运算和逻辑运算的信息都是二进制数码表示的数字信号。各测量装置(通常都是模拟部件)所测得的连续模拟信号,需经 A/D 转换器进行编码,变成数字机采用的数字信号,而数字机算出的数字信号,通常也需经 D/A 转换器进行转换,变成执行机构、控制对象所能接受的连续模拟控制信号。当前大多数计算机控制系统都是这类由数字部件和模拟部件组成的混合系统。如果系统中全是数字部件,则称为全数字控制系统。全数字控制系统目前还不多见。

(二) 信号形式上的特点

由于当前数字控制系统大都是混合系统,从信息的观点看,系统中的信号形式是多样的。它有连续模拟信号、离散模拟信号、连续数字信号、离散数字信号等各种形式。图 1-9 给出了计算机控制系统中有关计算机部分的结构图。它显示了各部件间的关系和各点信号形式。有关信号变换方式,变换后信号的特性等问题都将在下一章中介绍。

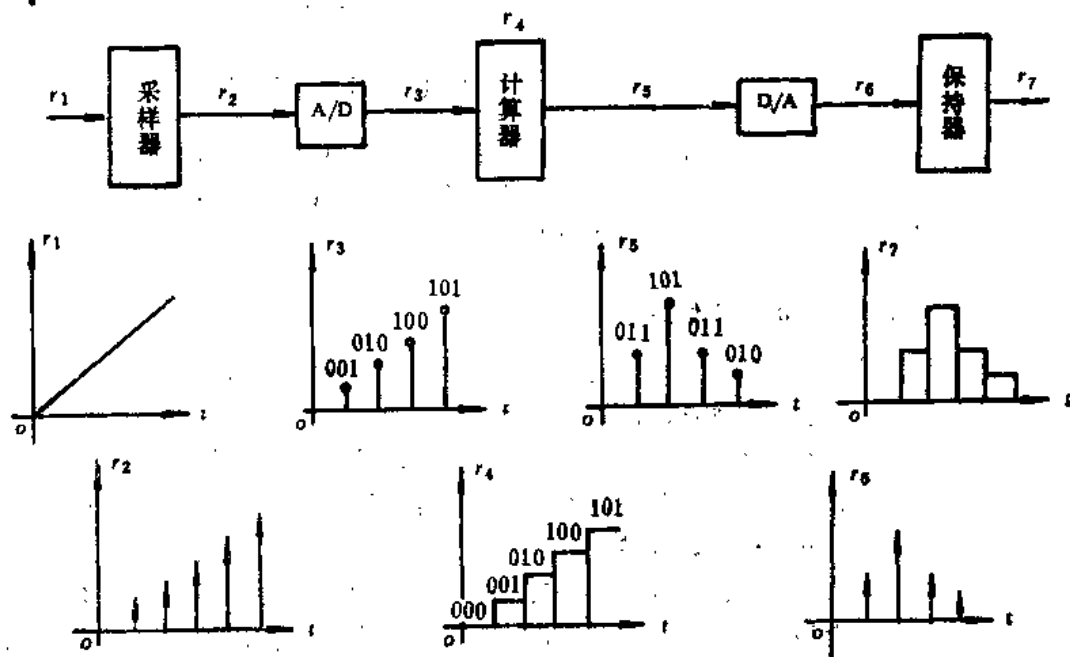


图 1-9 计算机部分结构图

(三) 工作方式上的特点

在连续控制系统中,一个控制器仅为一个控制系统回路服务。而计算机控制系统中一个控制器(数字计算机)经常可以同时为多个控制回路服务,计算机成为多个控制回路的共用

装置。尤其在工业控制过程中，一台计算机经常要同时控制几十甚至上百个控制回路工作，采用巡回控制的方法依次进行。

每一路控制过程的每个控制循环中至少可划分为三步。计算机首先执行输入指令，对各个连续模拟量信号，按一定顺序采样及二进制编码；进而，计算机按预定的控制算法进行算术和逻辑运算；最后，计算机执行输出指令，经保持器，D/A 转换器，发出若干控制信号输出给执行机构等组成。计算机控制就是这样周而复始地循环，对每个控制回路进行控制的。显然，一次循环花费的总时间亦为此三步之和。如图 1-10 所示。

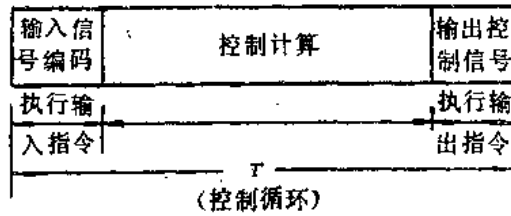


图 1-10 一个控制循环

由于完成上述三步所涉及的硬件是不同的，三个硬件必须串行工作，若每次三个硬件只分别用于一个控制回路，设三步所需时间分别为 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 ，则 N 个回路巡回一次所需总时间为 $N \times (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3)$ 。为了充分发挥硬件设备功能，同样三个串行硬件，可同时为 N 个不同回路服务，则对 N 个回路巡回一次，所需时间为 $(N + 2) \times \Delta t$ ，其中 Δt 系上述

三步动作时间中最长的一个控制作用时间，以此作为控制作用时间，就能保证控制过程正常进行。可见这种分时控制，巡回的控制回路数目愈多，节省时间也愈多，从而使整个控制过程的采样周期显著缩小。分时控制原理如图 1-11 所示。

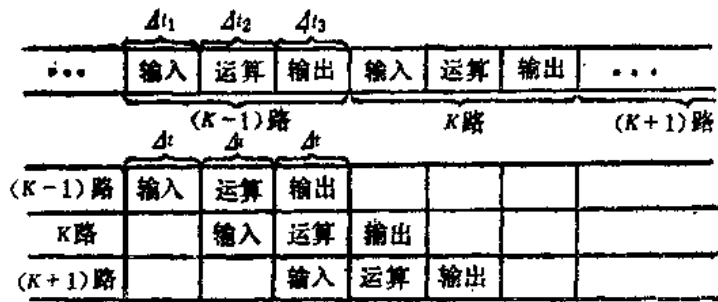


图 1-11 分时控制时间表

三步动作时间中最长的一个控制作用时间，以此作为控制作用时间，就能保证控制过程正常进行。可见这种分时控制，巡回的控制回路数目愈多，节省时间也愈多，从而使整个控制过程的采样周期显著缩小。分时控制原理如图 1-11 所示。

二、计算机控制系统的主要优点

从上面介绍的计算机控制系统的组成及工作原理来看，似乎还难以说明计算机控制系统优于模拟式控制器。事实并非如此，以航空动力装置为例，一个完整的航空动力装置控制是十分复杂的，它由主燃油、加力燃油、进气道、尾喷口、导向叶片、放气等多个控制系统组成。以往采用分系统独立设计、分散控制的积木式组合控制方式，即使各分系统达到最优，也不可能达到总体控制性能最优，显然是难以发挥并挖掘航空动力装置潜在性能。至于实行飞行/推进管理一体化，即实现飞行控制系统、导航系统、火力控制系统、雷达系统、动力装置控制系统等等综合控制系统，没有计算机的强大硬件功能和丰富的软件，仅依靠现有模拟式控制技术是根本不可能实现的。即使方案可行，可靠性、重量、成本等一系列问题也难以解决。如果采用数字计算机控制方案，实现上述高精度、极其复杂的综合控制系统是有可能的，而且也正是从事航空控制工作者通力解决的奋斗目标。其原因就在于计算机控制相对于模拟式控制有如下一些优点：

(一) 计算机控制系统功能强

数字计算机的高速运算能力、丰富的逻辑判断功能和大容量的存贮等特性，再配以相应的输入输出通道、接口和系统软件，系统信息的获取、传递、加工、处理都极为方便，从而有能力实现极为复杂的控制规律和控制算法。如对于多输入多输出系统实现多重决策，多种工作状态转换，执行最优控制和自适应控制等都是可以实现的。

(二) 计算机控制系统的灵活性和适应性强

控制规律、逻辑、参数的修改或控制功能的扩大，一般并不需要修改硬件，而只需修改程序即可实现。但是对于连续控制系统，控制系统的任何变更一般是非更改硬件不可的。

(三) 计算机控制系统的功能/价格比值高

对连续系统来说，控制规律愈复杂，所需要的硬件也就愈多愈复杂。模拟硬件的成本几乎和控制规律的复杂性成正比关系。而计算机控制系统无论是简单的还是复杂的，控制规律的实现主要表现在软件编制上。硬件结构几乎没有多大的变化。

(四) 计算机控制系统的体积和重量都较模拟系统小

据统计，集成电路的集成度以每年增加一倍的速度上升，而成本则以每 10 年降低两个数量级的速度下降。相应能耗也有较大降低。

(五) 可靠性日益提高

在数字通讯和计算机结构方面采用容错技术、冗余技术、自动诊断等新技术，使计算机控制系统易于实现监控、自动修复、转换等工作，从而提高系统的可靠性。

§ 1-4 计算机在控制中的典型应用

工业过程用计算机控制系统，与它所控制的生产过程的复杂程度密切相关，不同的控制对象和不同的要求，应该有不同的控制方案。现从应用特点、控制目的出发，简述几种典型应用实例。

一、数字计算机在过程控制中的应用

(一) 计算机在工业过程控制中主要有三个作用

1. 数据处理 完成数据的巡回检测，分析处理，性能计算以及选点显示，记录，定时制表等。
2. 监控 完成超限报警，事故预报和处理，设备的自动启停，系统诊断与管理。
3. 实时控制 根据给定的控制算法，对过程实现在线实时控制。

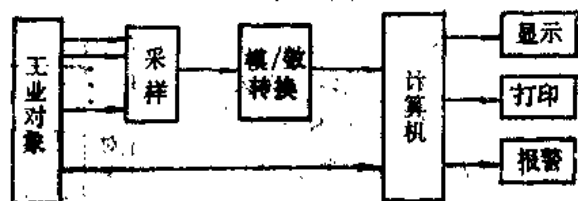


图 1-12 数据采集、数据处理组成框图

(二) 在工业过程控制中计算机主要有下述几种应用方式

1. 数据采集和处理系统 图 1-12 表示了这种应用方式，计算机只是在规定时刻对大量过程参数进行巡回检测，数据处理，数据统计和整理，数据超限报警以及对大量数据进行积累和实时分析。显然这种应用方式，计算机并不直接参与过程控制，对生产过程也不直接