



计算机控制系统概述

计算机控制是自动控制发展的高级阶段,是自动控制的重要分支。计算机控制系统利用计算机的硬件和软件代替自动控制系统的控制器,以自动控制理论、计算机技术和检测技术为基础,广泛应用于现代工业生产的各个领域。

随着计算机技术、高级控制策略、检测和传感器技术、现场总线智能仪表、通信和网络技术的高速发展,计算机控制技术水平大大提高,已从简单的单机控制发展到复杂的集散控制系统、计算机集成制造系统等。

1.1 计算机控制系统的特征和组成

从模拟控制系统发展到计算机控制系统,控制器结构、控制器中的信号形式、系统的测控通道内容、控制量的产生方法、控制系统的组成思想等都发生了重大变化。计算机控制系统在系统结构方面有自己的特点,在功能配置方面都呈现出模拟控制系统无可比拟的优势,在工作过程、方式等方面都存在着必须遵循的准则。

1.1.1 计算机控制系统的特征和工作原理

典型的计算机控制系统如图 1.1.1 所示。计算机控制系统由硬件和软件两个基本部分组成,硬件指计算机本身及其外部设备,软件指管理计算机的程序及生产过程应用程序,只有软件和硬件有机结合,计算机控制系统才能正常运行。

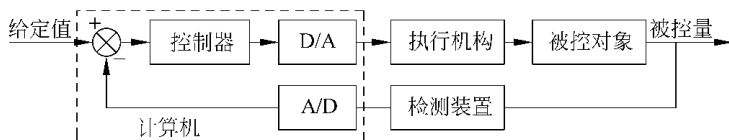


图 1.1.1 计算机控制系统基本框图

1. 结构特征

模拟连续控制系统中都采用模拟器件,而在计算机控制系统中除测量装置、执行机构等常用的模拟部件外,其执行控制功能的核心部件是计算机,所以计算机控制系统是模拟和数



字部件的混合系统。

模拟控制系统的控制器由运算放大器等模拟器件构成,控制规律越复杂,所需要的硬件就越多、越复杂,模拟硬件的成本几乎和控制规律的复杂程度成正比,假设要修改控制规律,一般需要改变硬件结构,而在计算机控制系统中,控制规律是用软件实现的,修改控制规律只需修改软件,一般不需要改变硬件结构,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。

在模拟控制系统中,一般是一个控制器控制一个回路,而计算机控制系统中,由于计算机具有高速的运算处理能力,所以可以采用分时控制的方式,同时控制多个回路。

计算机控制系统在本质上和其他控制系统没有什么区别,也存在着开环控制系统、闭环控制系统等不同类型的控制系统。

2. 信号特征

模拟控制系统中所有的信号都是连续模拟信号,而计算机控制系统中除了连续模拟信号外,还有离散模拟、离散数字等多种信号形式,计算机控制系统中的信号流程如图 1.1.2 所示。

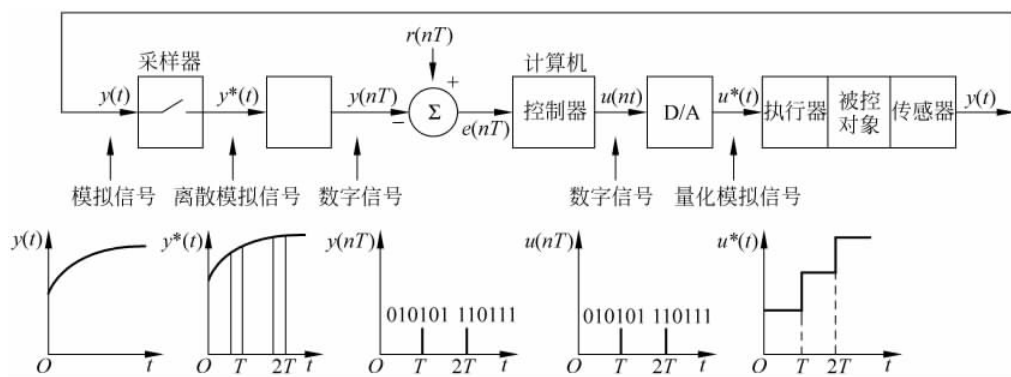


图 1.1.2 计算机控制系统的信号流程

在控制系统中引入计算机,利用计算机的运算、逻辑判断和记忆等功能完成多种控制任务。由于计算机只能处理数字信号,为了信号的匹配,在计算机的输入和输出端必须配置 A/D 转换器和 D/A 转换器。反馈量经过 A/D 转换器转换成数字量以后才能进入计算机,然后计算机根据偏差,按某种控制规律进行运算,计算结果再经过 D/A 转换器转换成模拟信号输出到执行机构,完成对被控对象的控制。

按照计算机控制系统中信号的传输方向,系统的信息通道通常由 3 部分组成:

- (1) 输入通道,包含由 A/D 转换器组成的模拟量输入通道和开关量输入通道。
- (2) 输出通道,包含由 D/A 转换器组成的模拟量输出通道和开关量输出通道。
- (3) 人-机交互通道,系统操作者通过人-机交互通道向计算机控制系统输入相关命令,提供操作参数,修改设置内容等,计算机通过人-机交互通道向系统操作者显示相关参数、系统工作状态、对象控制效果等。

计算机通过输出通道向被控对象或工业现场提供控制量;通过输入通道获取被控对象



或工业现场信息。当计算机控制系统没有输入通道时,称为计算机开环控制系统。在开环系统中,计算机的输出只随给定值变化,不受被控参数影响,通过调整给定值达到调整被控参数的目的。当被控对象出现扰动时,计算机无法自动获取扰动信息,因此无法消除扰动,控制性能较差。当计算机控制系统仅有输入通道时,称为计算机数据采集系统。在计算机数据采集系统中,计算机的作用是对采集来的数据进行处理、归类、分析、储存、显示和打印等,计算机的输出和系统的输入通道参数有关,但不影响或改变生产过程的参数,这样的系统可认为是开环系统,但不是开环控制系统。

3. 控制方法特征

由于计算机控制系统包含连续信号和数字信号,所以计算机控制系统和连续控制系统在本质上有许多不同,需要采用专门的理论来分析和设计,常用的设计方法有模拟调节规律离散化设计方法和直接设计法。

4. 功能特征

1) 软件代替硬件

主要体现在两方面:一方面当被控对象改变时,计算机及其相应的过程通道硬件只需作少量的变化,甚至不需作任何变化,而只需面向新对象重新设计一套新控制软件即可;另一方面可以用软件来实现逻辑部件的功能,从而降低系统成本,减小设备体积。

2) 数据存储

计算机具有多种数据保存方式,如软盘、U 盘、移动硬盘、磁盘、光盘、固定硬盘、EEPROM、RAM、纸质打印、纸质绘图等,保证系统断电时不会丢失数据,有了这些数据保存措施,人们在研究计算机控制系统时可以从容应对突发问题,在分析解决问题时可以大大减少盲目性,提高系统研发效率,缩短研发周期。

3) 状态、数据显示

计算机具有强大的显示功能。常见的显示设备有 CRT 显示器、LCD 显示器、LED 数码管、LED 矩阵块、LCD 模块、LCD 数码管、各种类型打印机、各种类型绘图仪等,显示内容有给定值、当前值、历史值、修改值、系统工作波形、系统工作轨迹仿真图等,通过显示内容可以及时了解系统的工作状态、被控对象的变化情况、控制算法的控制效果等。

4) 管理功能

计算机具有串行通信或联网功能,利用这些功能可实现多套计算机控制系统的联网管理,资源共享,优势互补;可构成分级分布集散控制系统,满足生产规模不断扩大、生产工艺日趋复杂、可靠性更高、灵活性更好、操作更简易的大系统综合控制的要求,实现生产过程的最优化和生产规划、组织、决策、管理的最优化。

5. 计算机控制系统的工作原理

根据图 1.1.1 的计算机控制系统基本框图,计算机控制过程可归纳为以下 4 个步骤。

(1) 实时数据采集:对来自测量变送装置的被控量的瞬时值进行检测并输入。

(2) 实时控制决策:对采集到的被控量进行分析和处理,并按已定的控制规律决定将要采取的控制行为。



(3) 实时控制输出：根据控制决策适时地对执行机构发出控制信号，完成控制任务。

(4) 信息管理：随着网络技术和控制策略的发展，信息共享和管理成为计算机控制系统越来越重要的功能。

上述过程不断重复，整个系统按照一定的品质指标进行工作，并对控制量和设备本身的异常现象及时做出处理。

6. 计算机控制系统的工作方式

1) 在线方式和离线方式

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，而是靠人进行联系并进行相应操作的方式称为离线方式或脱机方式。

2) 实时方式

所谓实时是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成，即计算机对输入信息以足够快的速度进行控制，超出了这个时间就失去了控制的时机，控制也就失去了意义。实时的概念不能脱离具体的过程，一个在线系统不一定是一个实时系统，但一个实时系统必定是在线系统。

1.1.2 计算机控制系统的硬件组成

计算机控制系统硬件组成框图如图 1.1.3 所示。硬件指计算机本身及其外围设备，一般包括中央处理器(CPU)、程序存储器(ROM)、数据存储器(RAM)、各种接口电路、以 A/D 转换器和 D/A 转换器为核心的模拟量输入/输出(I/O)通道、数字量输入/输出(I/O)通道以及各种显示/记录设备、运行操作台等。

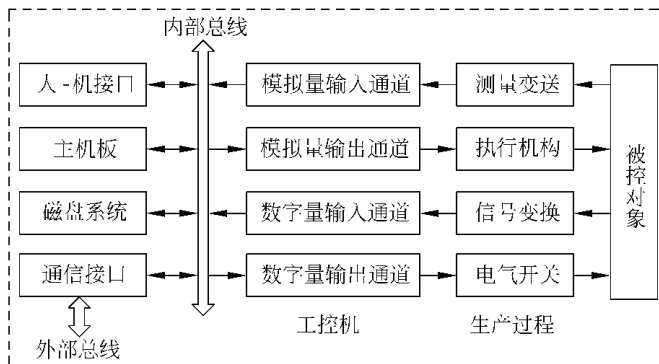


图 1.1.3 计算机控制系统硬件组成框图

1. 主机

CPU、ROM、RAM 及时钟电路、复位电路等构成的计算机主机是组成计算机控制系统的核心部分，主要进行数据采集、数据处理、逻辑判断、控制量计算、报警处理等，通过接口电路向系统发出各种控制命令，指挥全系统有条不紊地协调工作。



2. I/O 接口

I/O 接口和 I/O 通道是主机和外部连接的桥梁。常用的 I/O 接口有并行接口、串行接口等,它们大部分是可编程的。I/O 通道有模拟量 I/O 通道和数字量 I/O 通道。模拟量 I/O 通道的作用是:一方面将由传感器得到的工业对象的生产过程参数转换成二进制代码传送给计算机;另一方面将计算机输出的数字控制信号转换成控制操作执行机构的模拟信号,实现对生产过程的控制。数字通道的作用是:除完成编码数字输入、输出外,还可将各种继电器、限位开关等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由输出接口传送给生产设备中的各个电子开关或电磁开关。

3. 通用外部设备

通用外部设备主要是为扩大计算机主机的功能而设置的,用来显示、打印、存储和传送数据,常用的有打印机、记录仪、图形显示器(CRT)、软盘、硬盘等。

4. 传感器和执行机构

传感器的主要功能是将检测的非电量参数转变成电学量,如热电偶把温度信号变成电压信号,压力传感器把压力变成电信号等。变送器的作用是将传感器得到的电信号转换成适合计算机接口使用的电信号,如 0~10mA 直流信号。此外,为了控制生产过程,还必须有执行机构,常用的执行机构有电动、液动、气动调节阀,开关,交、直流电动机,步进电机等。

5. 操作台

操作台是人-机交互的桥梁,通过它可以向计算机输入程序、修改内存数据、显示被测参数以及发出各种操作命令等。它主要由以下 4 部分组成。

(1) 作用开关:电源开关、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停、设置和修改数据以及修改控制方式等,作用开关可通过接口和主机相连。

(2) 功能键:包括复位键、启动键、打印键及工作方式选择键等。

(3) LED 数码管及 CRT 显示器:用来显示被测参数及操作人员感兴趣的内容,如显示数据表格,系统流程、开关状态以及报警状态等。

(4) 数字键:输入数据或修改控制系统的参数。

1.1.3 计算机控制系统的软件

对于计算机控制系统而言,除了硬件组成部分以外,软件是必不可少的。软件是指完成各种功能的计算机程序的总和,如完成操作、监控、管理、计算和自诊断程序等。软件是计算机控制系统的中枢,整个系统的动作都是在软件的控制下协调工作的,按功能分类,软件可分为系统软件和应用软件两大部分。

系统软件一般是由计算机厂商提供的,用来管理计算机本身资源,方便用户使用计算机的软件,主要包括操作系统、各种编译软件和监控管理软件等。这些软件一般无需用户自己



设计,它们只是作为开发应用软件的工具。

应用软件是面向生产过程的程序,如 A/D 和 D/A 转换、数据采样、数字滤波、标度变换、控制量计算等程序。应用软件一般由用户自己根据实际需要开发,应用软件的优劣,对控制系统的功能、精度和效率有很大的影响,它的设计是十分重要的。

1.2 计算机控制系统的分类

计算机控制系统与其所控制的对象密切相关,控制对象不同,其控制系统也不同。计算机控制系统的分类方法很多,可按系统的功能、工作特点分类,也可按控制规律、控制方法分类。

按照控制方式分类,计算机控制系统可分为开环控制和闭环控制;按照控制规律分类,可分为程序和顺序控制、比例积分微分控制、有限拍控制、复杂规律控制及智能控制等;按照系统的功能、工作特点分类,可分为操作指导控制系统、直接数字控制系统、监督计算机控制系统、集散控制系统、现场总线控制及计算机集成制造系统等。

1.2.1 操作指导控制系统

操纵指导控制系统(Operational Information System,OIS)指计算机的输出不直接用来控制被控对象,而只是对系统过程参数进行收集、加工处理,然后输出数据,操作人员根据这些数据进行必要的操作,其原理如图 1.2.1 所示。操作指导控制系统的优点是结构简单、控制灵活安全,特别适用于未摸清控制规律的系统,常常用于计算机控制系统研制的初级阶段,或用于试验新的数字模型和调试新的控制程序等。由于需要人工操作,所以操作指导控制系统不适用于快速过程控制。

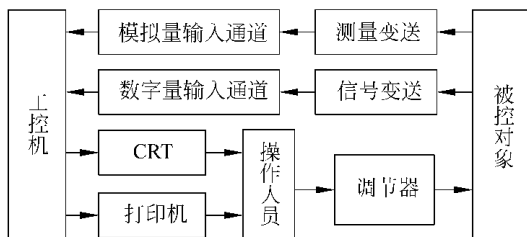


图 1.2.1 操作指导控制系统原理图

1.2.2 直接数字控制系统

直接数字控制(Direct Digital Control,DDC)是计算机用于工业过程控制最普遍的一种方式,其结构如图 1.2.2 所示,计算机通过输入通道对一个或多个物理量进行循环检测,并根据规定的控制规律进行运算,然后发出控制信号,通过输出通道直接控制调节阀等执行结构。DDC 系统中的计算机参加闭环控制过程,它不仅能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,只需通过改变程序就能实现多种较复杂的控制规律。

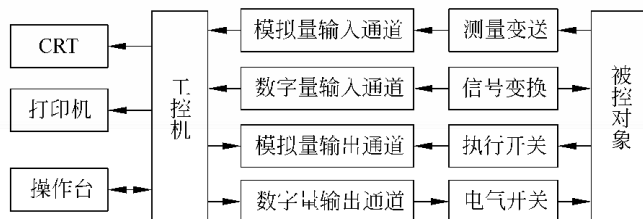


图 1.2.2 直接数字控制系统

1.2.3 监督计算机控制系统

在监督计算机控制(Supervisory Computer Control, SCC)系统中,计算机根据工艺参数和过程参量检测值,按照所设计的控制算法进行计算,计算出最佳设定值直接传给常规模拟调节器或 DDC 计算机,最后由模拟调节器或 DDC 计算机控制生产过程。SCC 系统有两种类型:一种是 SCC 加上模拟调节器;另一种是 SCC 加上 DDC 的控制系统。监督计算机控制系统构成如图 1.2.3 所示。

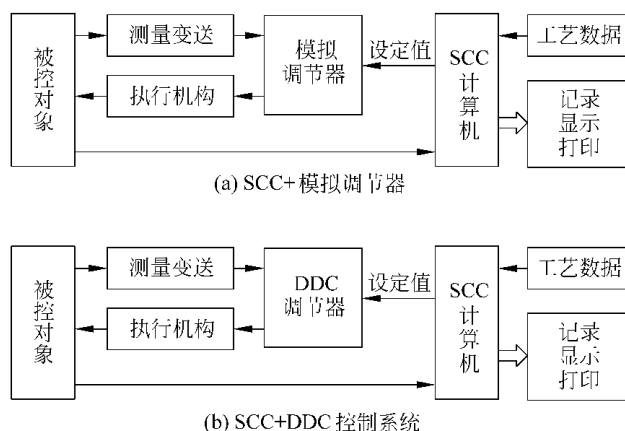


图 1.2.3 监督计算机控制系统

1. SCC 加上模拟调节器的控制系统

这种类型的系统中,计算机对各过程参数进行巡回检测,并按一定的数学模型对生产工况进行分析,计算后得出被控对象各参数的最优设定值送给调节器,使工况保持在最优状态。当 SCC 计算机发生故障时,可由模拟调节器独立执行控制任务。

2. SCC 加上 DDC 的控制系统

这是一种二级控制系统,SCC 系统可采用较高档的计算机,它与 DDC 系统之间通过接口进行信息交换。SCC 计算机完成工段、车间等高一级系统的最优化分析和计算,然后给出最优设定值,送给 DDC 计算机执行控制。

在 SCC 系统中,通常选用具有较强计算能力的计算机,其主要任务是输入采样和计算



设定值。由于它不参与频繁的输出控制,有时间进行复杂控制算法的计算,因此,SCC 能进行最优控制、自适应控制等,并能完成某些管理工作。SCC 系统的优点是能进行复杂控制规律的控制,工作可靠性较高,当 SCC 出现故障时,下级仍可继续执行控制任务。

1.2.4 集散控制系统

集散控制系统(Distributed Control System, DCS)就是企业经营管理和生产过程控制分别由几级计算机进行控制,实现分散控制、集中管理的系统。这种系统每一级都有自己的功能,基本上是独立的,但级与级之间或同级计算机之间又有一定的联系,相互之间实现通信。集散控制系统的结构如图 1.2.4 所示。

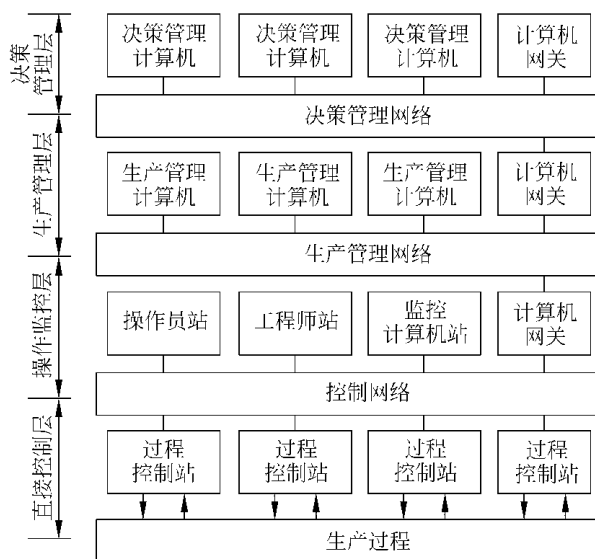


图 1.2.4 集散控制系统结构图

1. 决策管理层

该层处于公司级,管理公司的生产、供应、销售、技术和财务等部门,通过收集各部门的信息,进行综合分析,实时作出决策,协助各级管理人员指挥调度,使公司各部门的工作处于最佳运行状态。

2. 生产管理层

该层处于工厂级,根据订货量、库存量、生产能力、生产原料和能源供应情况及时制定全厂的生产计划,并分解落实到生产车间或装置;另外还有根据生产状况及时协调全厂的生产,进行生产调度和科学管理,使全厂的生产始终处于最佳状态,并能应付不可预测的事件。

3. 操作监控层

该层是 DCS 的中心,根据生产工艺信息,按照某种目标实施高等过程控制策略,实现装置级的优化控制和协调控制;对生产过程进行故障诊断、预报和分析,保证生产安全。



4. 直接控制层

该层是 DCS 的基础,它对生产工艺流程或生产设备进行巡回检测和直接控制。

1.2.5 现场总线控制系统

现场总线控制系统(Field Bus Control System,FCS)的核心是现场总线。根据现场总线基金会(Field Bus Foundation)的定义,现场总线是连接现场智能设备和控制室之间的全数字式、开放的、双向的通信网络。

现场总线的节点是现场设备或现场仪表,如传感器、变送器和执行器等,但不是传统的单功能现场仪表,而是具有综合功能的智能仪表,如温度变送器不仅具有温度信号变换和补偿功能,而且具有 PID 控制和运算功能。现场设备具有互换性和互操作性,采用总线供电,具有本质安全性。现在国际上流行的设备级通信网络有多种,如 CANBUS、LONWORKS、PROFIBUS、HART 及 FF 等。

现场总线控制系统代表了一种现场控制的控制观念。它的出现对 DCS 作了很大的变革:信号传输实现了全数字化,从最底层逐层向最高层均采用通信网络互联;系统结构采用全分散化,废弃了 DCS 的输入/输出单元和控制站,由现场设备或现场仪表取代;现场设备具有互操作性,改变了 DCS 控制层的封闭性和专用性,不同厂家的现场设备可互联互通,并可统一组态;通信网络为开放式互连网络,可方便地实现数据共享;技术和标准实现了全开放,面向任何一个制造商和用户。

和传统的 DCS 相比,新型的全数字控制系统的出现将充分发挥上层系统调度、优化、决策的功能,更容易构成 CIMS 系统,并更好地发挥其作用;其次,将降低系统投资成本和减少运行费用,仅系统布线、安装和维修费用可比现有系统减少约 2/3,节约电缆导线约 1/3。

1.2.6 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System,CIMS)是计算机技术、网络技术、自动化技术、信号处理技术、管理技术和系统工程技术等新技术发展的结果,它将企业的生产、经营、管理、计划、产品设计、加工制造、销售及服务等环节和人力、财力、设备等生产要素集成起来,进行统一控制,求得生产活动的最优化。CIMS 一般由集成工程设计系统、集成管理信息系统、生产过程实时信息系统、柔性制造工程系统及数据库、通信网络等组成。随着 CIMS 研究的进一步发展,人们将 CIMS 系统集成的思想应用到流程工业中,获得了良好的设计效果。

CIMS 采用多任务分层体系结构,经过 30 多年的发展,现在已形成多种方案,如美国国家标准局(AMRF)的自动化实验室提出的 5 层递阶控制体系结构、面向集成平台的 CIMS 体系结构、连续型 CIMS 体系结构及局域网型 CIMS 体系结构等。不管结构如何变化,其基本控制思想都是递阶控制。



1.3 计算机控制的发展概况和趋势

1.3.1 计算机控制的发展过程

在生产过程中采用数字计算机控制的思想出现在 20 世纪 50 年代中期,控制理论和计算机技术结合,产生了计算机控制系统,为自动控制系统的应用和发展开辟了新的途径。

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 20 世纪 50 年代末,计算机已经可以用于过程控制。例如,美国得克萨斯州的一个炼油厂,从 1956 年开始和美国航天工业公司合作进行计算机控制的研究,到 1959 年,已经将 Rw300 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 个压力和 3 个成分,其功能是使反应器压力最小,确定 5 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方式。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,控制阀为 129 个。

20 世纪 60 年代,由于集成电路技术的发展,计算机体积缩小、运算速度加快、工作更可靠、价格更便宜。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,微型计算机具有价格便宜、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转变成分散控制结构成为可能。研究人员设计和开发了以微型计算机为基础的控制装置。例如,用于控制 8 个回路的“现场控制器”,用于控制 1 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。这类控制装置都具有数字通信能力,通过高速数据通道和主控制室的计算机连接,形成分散控制、集中操作和分级管理的布局,这就是“集散控制系统”。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,可靠性大大提高。许多国家的计算机和仪表厂商都推出了自己的 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。

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、伺服系统控制、射电望远镜天线控制、飞行器自动驾驶仪等。在某些领域,计算机控制已成为不可或缺的因素。例如,工业机器人控制中,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。

20 世纪 80 年代后期到 90 年代,计算机技术又有了飞速发展,微处理器由 16 位发展到 32 位,并进一步向 64 位发展。高分辨率的显示器增强了图形显示功能,采用多窗口和触摸屏技术,操作更简单、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、专家系统、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越来越