

教学模块1 计算机控制系统概述

教学单元2 计算机控制系统内容 简介

东北大学 · 关守平
guanshouping@ise.neu.edu.cn



信息科学与工程学院
COLLEGE OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING

教学单元2 计算机控制系统内容简介

主要内容:

- ◆ 计算机控制系统的基本概念
- ◆ 计算机控制系统的基本结构
- ◆ 计算机控制系统的性能指标
- ◆ 计算机控制系统的发展历程
- ◆ 计算机控制系统的基本类型



2.1 计算机控制系统的基本概念

(1) 什么是计算机控制系统

◆ **定义：**计算机控制系统就是由计算机参与并作为核心环节的**自动控制系统**，即应用**计算机参与控制**并借助一些**辅助部件**与**被控对象**相联系，以获得一定**控制目的**而构成的系统。

计算机：指各种规模的数字计算机，如从微型到大型的通用或专用计算机；

控制：使事物按照一定的规律运行(变化)。

辅助部件：主要指输入输出接口、检测装置和执行机构等。



被控对象：包括生产过程、机械装置、机器人、实验装置、仪器仪表等。

与被控对象和部件之间的联系：可以有有线方式，如通过电缆的模拟信号或数字信号进行联系；也可以是无无线方式，如用红外线、微波、无线电波、光波等进行联系。

控制目的：可以是使被控对象的状态或运动过程**达到某种要求**，也可以是**达到某种最优化目标**。



(2) 计算控制系统的主要特点

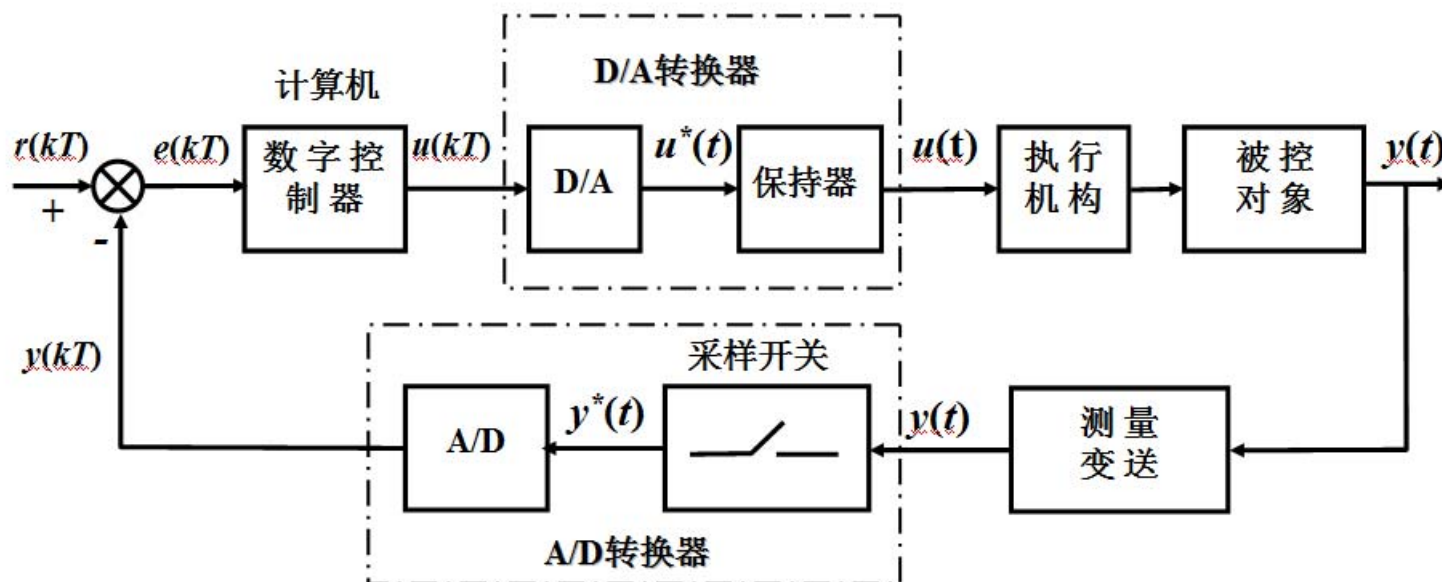


图1 计算机控制系统典型结构

数字信号（时间上离散、幅值上量化）： $r(k)$ -给定输入， $y(k)$ -系统输出， $e(k)=r(k)-y(k)$ -偏差信号， $u(k)$ -控制信号；

模拟信号（时间上连续、幅值上连续）： $y(t)$ -系统输出（被控量）， $u(t)$ —控制量；

离散模拟信号（时间上离散，幅值上连续）： $y^*(t)$ ， $u^*(t)$ 。



(2) 计算控制系统的主要特点

结构混合：控制器离散，而被控对象一般是连续的；

信号混合：包括模拟信号、离散模拟信号、数字信号等。

结构混合的特点决定了计算机控制系统存在两类设计方法：模拟化设计方法和离散化设计方法。

而信号混合的特点使信号变换和分析问题成为计算机控制系统的基础理论问题。



(3) 计算机控制系统的基本工作原理

计算机控制系统的基本工作原理可概括为：

- (1) 实时数据采集：对来自测量变送装置的被控物理量的瞬时值进行检测并输入；
- (2) 实时控制决策：对采样到的被控量进行分析和处理，按给定的控制规律，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。

这里**实时**的含义是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成。



2.2 计算机控制系统的基本结构

实例：电阻炉炉温计算机控制系统

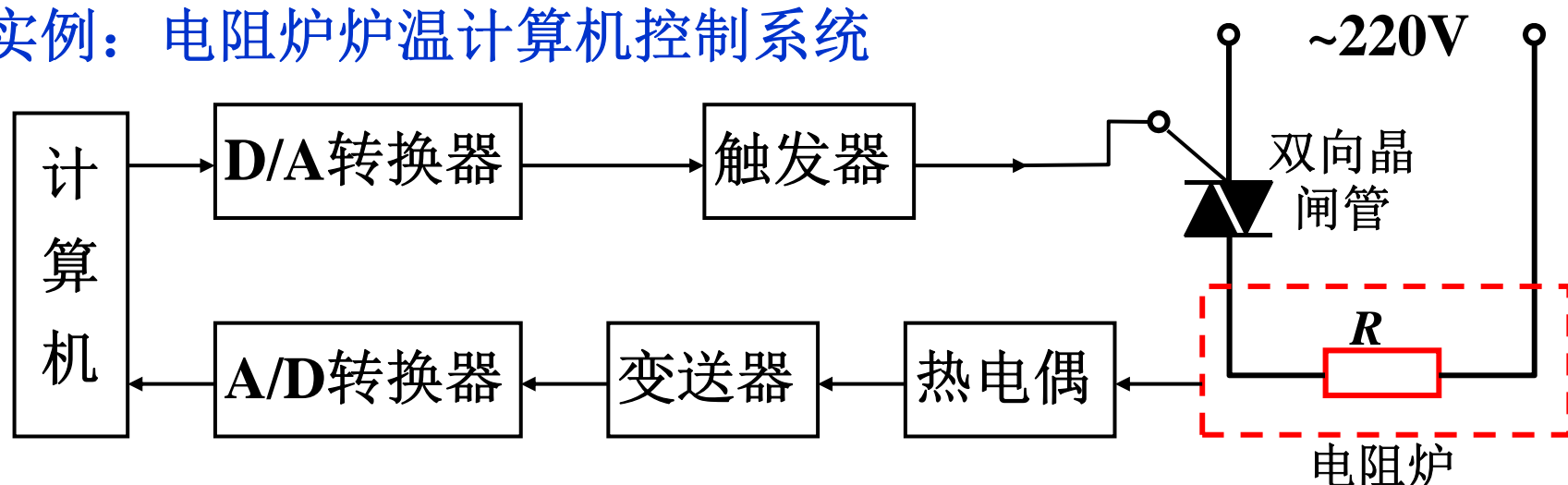


图2 炉温控制系统结构图

电阻炉温度信号经过热电偶检测后变成电信号（毫伏级），再经过变送器变成标准信号（0~5V或4~20mA），经A/D转换器采样后变成数字信号，在计算机中，与给定温度信号进行比较，得到温度偏差信号，经控制器运算得到数字控制信号，再经D/A转换器将该数字控制信号转换成模拟量，控制触发器，进而控制双向晶闸管对交流电压进行PWM调制，改变加热电阻两端电压，并最终达到控制温度的目。



2.2 计算机控制系统的基本结构

将类似上述炉温控制系统的各类计算机控制系统抽象化，可得到计算机控制系统典型结构如图1，重画如下：

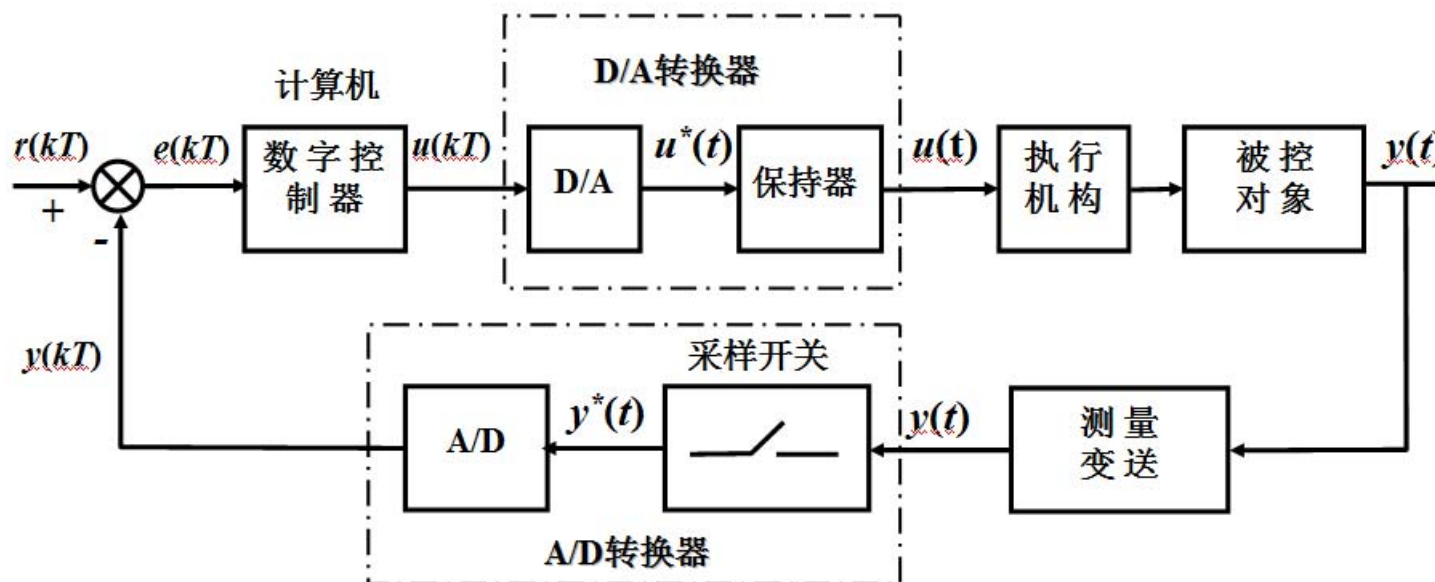


图1 计算机控制系统典型结构



2.3 计算机控制系统的性能指标

(1) 稳定性

稳定性是指当扰动作用消失后，系统恢复原平衡状态的能力。**稳定性是控制系统最重要的性能指标。**

闭环系统极点（特征根）的位置决定了系统的稳定性：连续系统稳定的充分必要条件是闭环系统的极点位于 s 平面的左半平面；离散系统稳定的充分必要条件是闭环系统的极点位于 z 平面的单位圆内。

(2) 稳态指标

稳态指标是衡量控制系统控制精度的指标，用稳态误差来表示：

$$e(\infty) = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{给定值}}}{y_0} - \underset{\substack{\uparrow \\ \text{稳态值}}}{y(\infty)} \quad (1)$$



2.3 计算机控制系统的性能指标

(3) 动态指标

动态指标能够比较直观地反映控制系统的过渡过程特性。动态指标包括：超调量 $\delta\%$ 、调节时间 t_s 、峰值时间 t_p 、振荡次数 N ，用得最多的是超调量 $\delta\%$ 和调节时间 t_s 。

(4) 综合指标

最优控制设计时，既要考虑到能对系统的性能做出正确的评价，又要考虑到数学上容易处理或工程上便于实现，因此，经常使用综合性能指标来评价控制系统性能。常用的综合性能指标为积分型综合指标：

$$J = \int_0^t e^2(t)dt \quad (2)$$



2.4 计算机控制系统的发展历程

计算机控制系统的发展过程，是生产过程对控制系统的要求不断提高的过程，也是计算机技术不断发展和成熟的过程，这两个要素在计算机控制系统的发展过程中，起着根本性的主导和推动作用。

◆ 1946年世界第一台数字计算机在美国诞生，起初计算机主要用于科学计算和数据处理。

◆ 1950年，在航空工业领域，出现了以计算机为主要组成部件的数字微分分析器DDA（digital differential analyser），可以将其看成是计算机用于控制领域的起点。



2.4 计算机控制系统的发展历程

◆ **1952**年，计算机首先被用来自动检测化工生产过程参量并进行数据处理；**1955**年美国**TRW**航空公司与美国一个炼油厂合作，联合研制**TRW-300**计算机控制系统，**1959**年**TRW-300**计算机控制系统在美国德克萨斯州某一炼油厂的聚合装置上投运成功。

这个阶段的计算机控制系统属于操作指导型计算机控制系统**OGCS**（operation guide control system）——人直接参与系统的工作过程。



2.4 计算机控制系统的发展历程

◆ 1962年英国的帝国化学工业集团（ICI）研制了一台用于过程控制的计算机，实现了直接数字控制（direct digital control, DDC），可直接测量224个实时变量，控制129个阀门。该系统的出现标志着直接数字控制（DDC）系统阶段的开始。1960到1965年，DDC系统在石油、化工、造纸等领域的应用取得广泛成功，是DDC的大发展时期。

但因为当时计算机过程通道庞大复杂、价格昂贵，而且系统的抗干扰性和可靠性较差，许多DDC系统发生故障。



2.4 计算机控制系统的发展历程

◆ 1967年到1975年，随着生产规模的不断扩大，被控对象的被控参数越来越多，控制回路也越来越复杂，加之小型机的出现，人们提出了集中计算机控制系统（integrated control system, ICS），即把几十个甚至几百个上千个控制回路及过程变量的检测、控制、显示、操作等控制集中到一台计算机上实现。

ICS系统的运行危险高度集中（所有的控制由一台计算机完成），系统运行过程中，潜伏着极大的不安全风险。



2.4 计算机控制系统的发展历程

◆ 1972年开始，微型计算机的出现和发展，推动计算机控制进入了崭新的发展阶段，到20世纪70年代末，产生集散计算机控制系统，也称为分布式计算机控制系统DCS（distributed control system），并逐步取代模拟系统而成为主流控制系统，20世纪80年代，是DCS大发展时期。

◆ 20世纪80年代中后期，出现了将现场控制器和智能化仪表等现场设备用现场通信总线互连构成的新型分布式计算机控制系统——现场总线控制系统FCS（fieldbus control system）



2.4 计算机控制系统的发展历程

◆ 21世纪初期，以工业以太网为代表的**网络控制系统 NCS**（**networked control system**）技术在计算机控制系统中开始应用。虽然网络控制的理论和技术都还不够成熟，但已经成为当前的研究热点

● 计算机控制系统的发展趋势

DCS的思想引导着计算机控制系统的发展趋势，随着计算机技术、控制技术、网络技术、软件技术、嵌入式技术、智能技术等不断发展，以**FCS**、**NCS**为代表的新型**DCS**不断涌现。网络化、智能化、综合自动化将是未来计算机控制系统的主要特征。



2.5 计算机控制系统的基本类型

从前述计算机控制系统的发展历程中，我们可以将计算机控制系统按照功能和结构划分为如下基本类型：



2.5 计算机控制系统的基本类型

(1) 操作指导型计算机控制系统OGCS（产生于20世纪50年代）

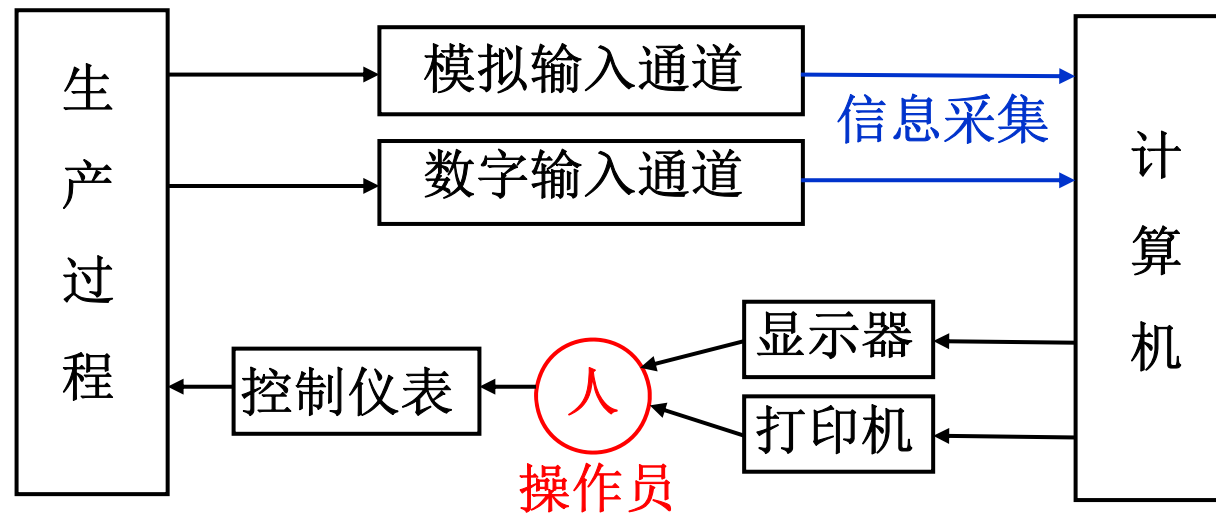


图3

工作原理：计算机首先通过模拟量和数字量输入通道实时采集监控的工艺参数，然后根据预先建立的数学模型和控制算法进行运算的处理，并通过显示器和打印机输出设定值等结果，作为操作指导参数，由操作人员根据这些指导参数和实际工作经验，操作各种常规的控制仪表或装置，对生产过程中被控对象进行控制。



(2) 直接数字控制系统（DDC系统，产生于20世纪60年代初）

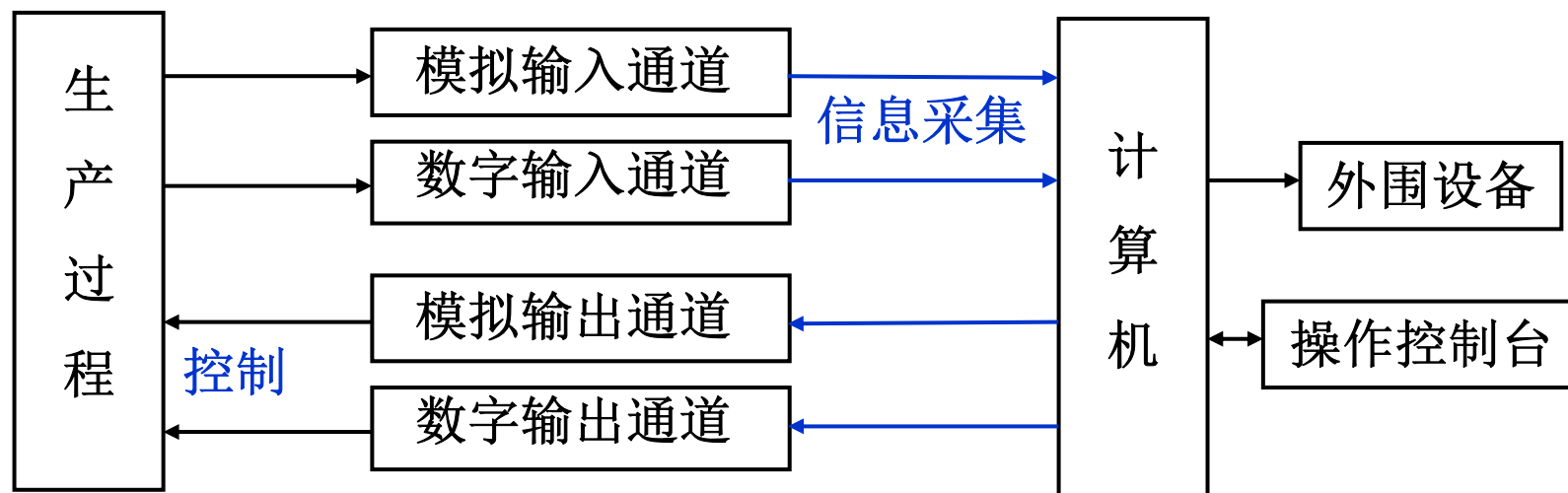


图4

基本工作原理：计算机首先通过模拟量和数字量输入通道实时采集生产过程参数，然后各个回路的控制算法计算相应的控制量，并通过模拟量和数字量输出通道输出到个回路的执行机构，实现各回路被控对象的控制。



(3) 计算机监督控制系统（SCC，产生于20世纪60年代）

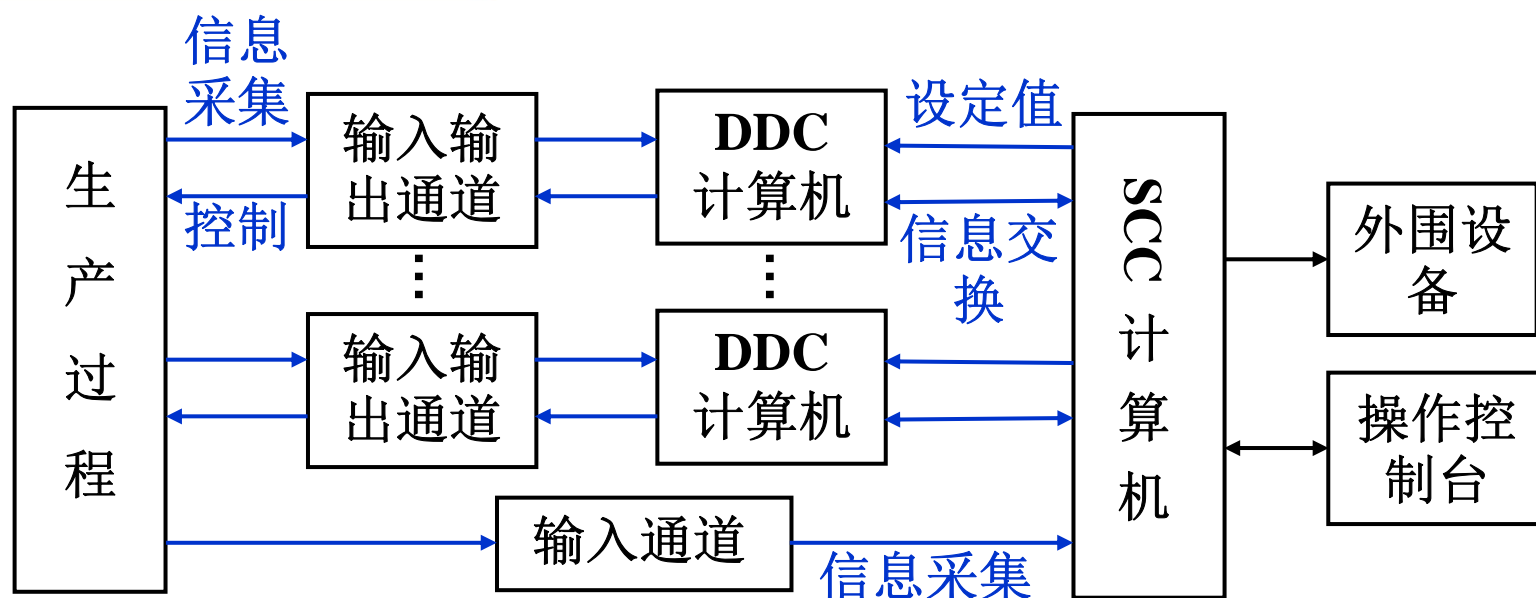


图5

这是一个二级计算机控制系统，SCC计算机根据不断变化的生产、工艺及环境条件等信息，按照生产过程的数学模型，**计算出各控制回路的最优设定值**，输出给对应的DDC系统，从而使DDC系统能适应生产过程情况的变化，始终工作在最优工作状态（最优质量、最低成本...）。



(4) 集中式计算机控制系统（ICS）（1967~1975年）

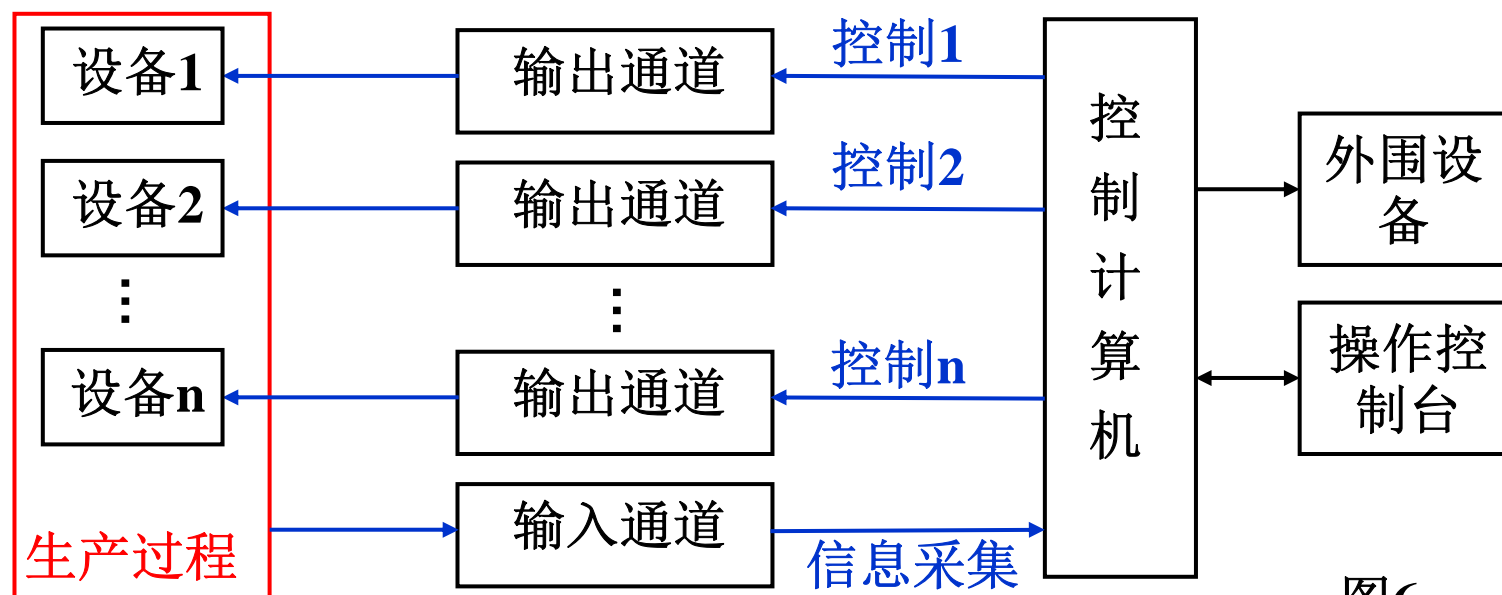


图6

主要特点就是集中，所有的控制回路都由一台计算机完成，因此具有高度集中的控制结构。由于功能过于集中，计算机负荷过重，计算机出现的任何故障都会产生非常严重的后果，所以该系统非常脆弱，安全可靠性和保障。



(5) 集散控制系统（DCS，产生于20世纪70年代中期）

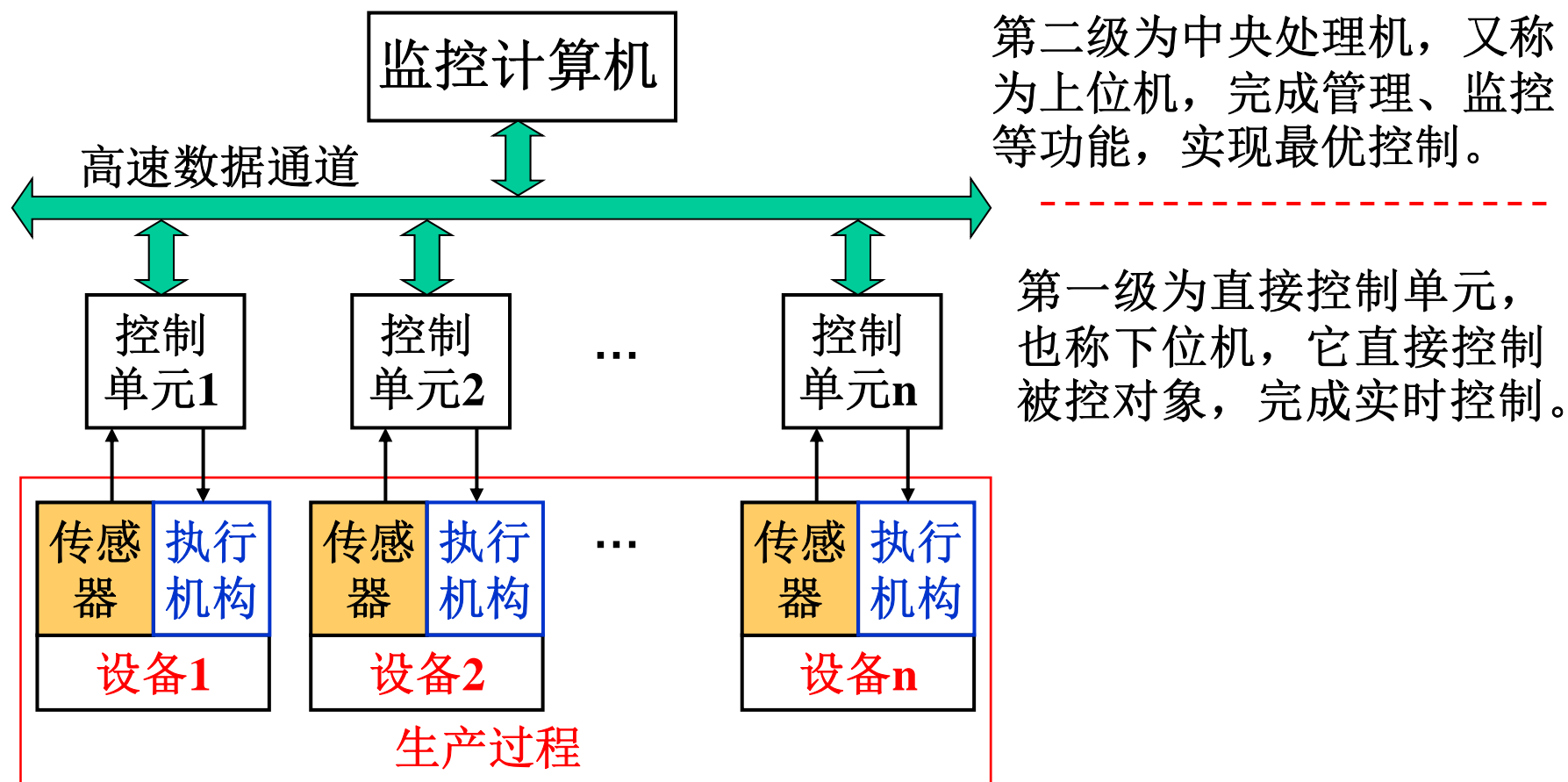


图7 二级结构模式下的DCS



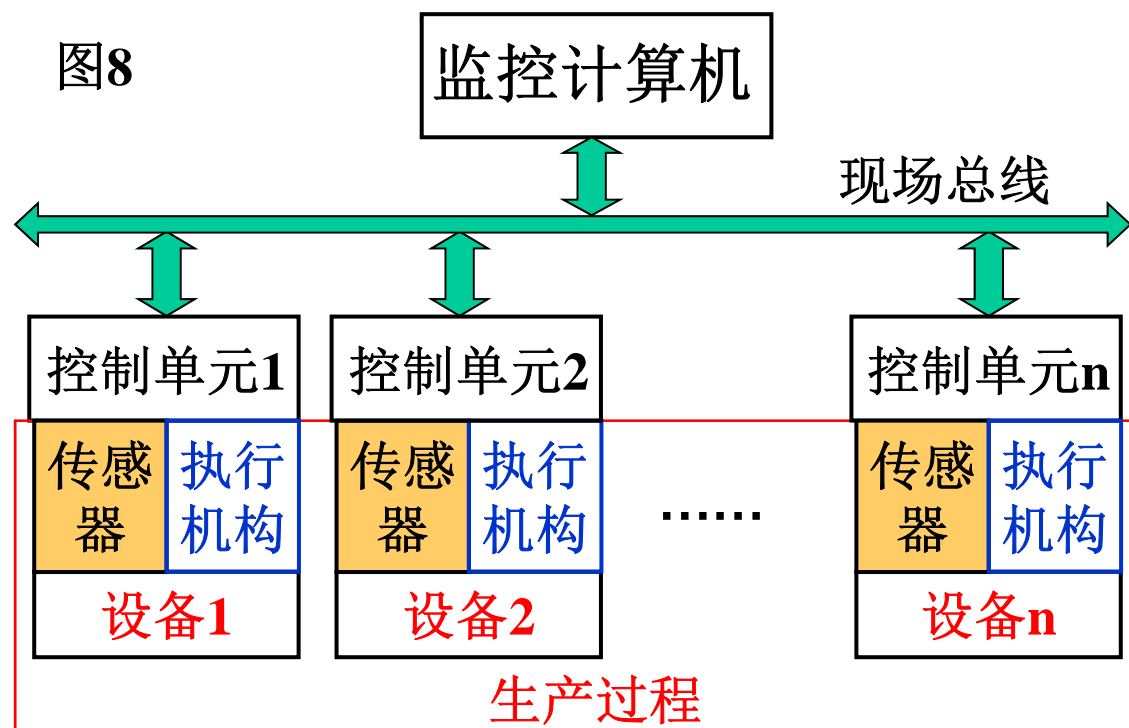
◆ 集散控制系统（DCS）的特点：

DCS充分体现了“分散控制，集中管理的原则”。控制功能分散以后，不仅使得系统运行的危险得以分散，也给技术上的处理带来很大方便。

一般上位机和下位机位于远离现场的控制室中，因此需要大量的电缆连接控制器与现场设备，以达到信号传输的作用，因此施工费用大，且信号远距离传输容易受到干扰。



（6）总线控制系统（FCS，产生于20世纪80年代末、90年代初）



FCS把原来DCS系统中处于控制室的控制单元、I/O模块置入现场设备中，现场设备具有通信能力，实现了彻底的分散控制。

FCS中用数字信号代替了模拟信号，大大简化了系统结构，节约了硬件设备和连接电缆，系统的开放性、互用性、可靠性等得到提高。



(7) 网络控制系统 (NCS, 产生于21世纪初)

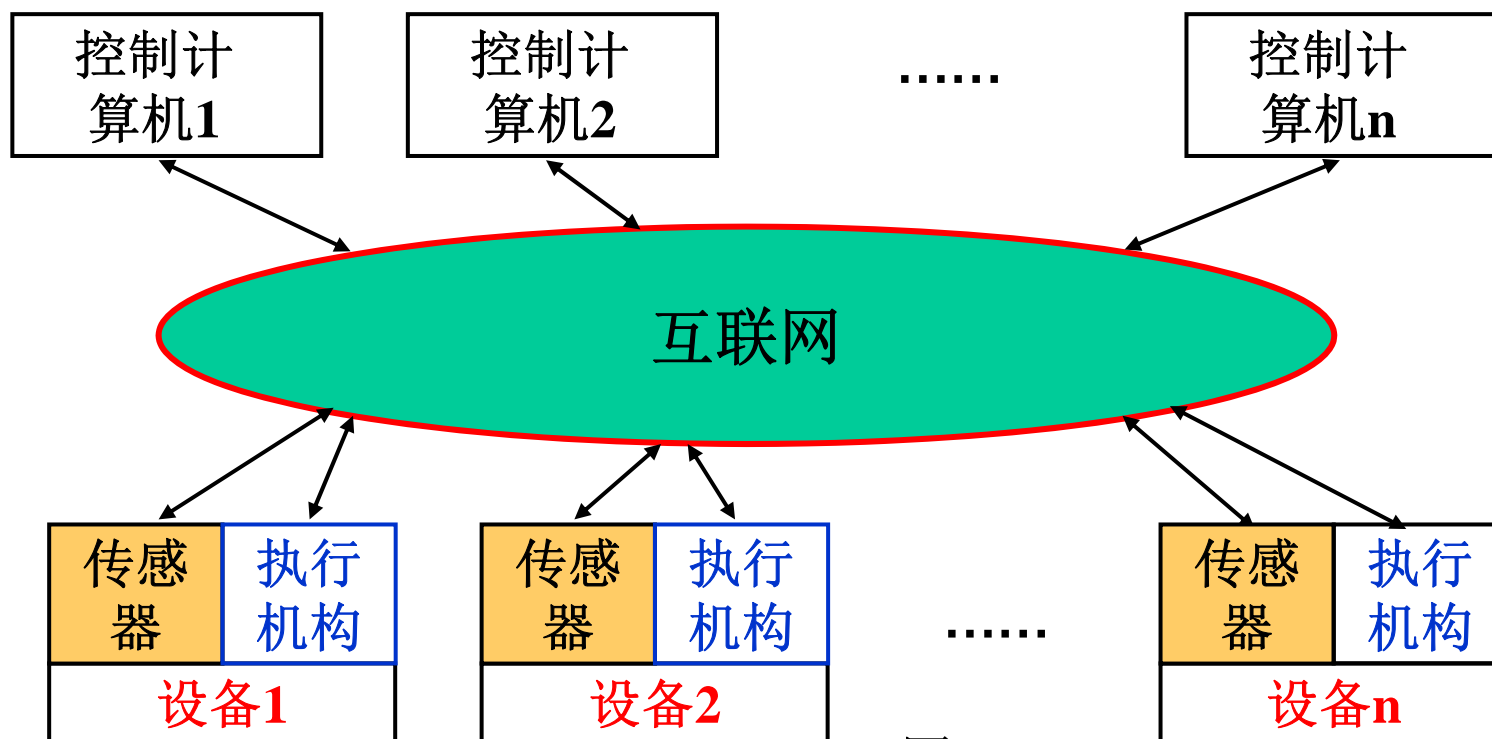


图9

随着嵌入式微处理机技术的发展，嵌入了智能芯片的传感器和执行机构等现场设备具有网络接口功能，可以作为独立的节点直接连入网络，加之采样数据和给定或控制信号可以在网络上传输，构成闭环控制回路。



◆ 网络控制系统（NCS）的特点：

优点：由于控制网络属于一种彻底的分布式控制结构，因此它具有连线少、可靠性高，易于系统扩展以及能够实现信息资源共享等。

缺点：存在信息传输的延时，网络的拥塞等。一旦主干网发生信息拥塞或受到损害，则整个NCS系统会完全陷入瘫痪，所以NCS也是一个风险高度集中的控制系统。相关的理论和技术问题已经成为计算机控制系统的研究热点，我们期待这些研究取得突破性进展！



• 教学单元2结束 •



信息科学与工程学院
COLLEGE OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING