



南開大學
Nankai University

《过程控制系统》

第10章 计算机过程控制系统

于宁波

南开大学人工智能学院

第10章 计算机过程控制系统

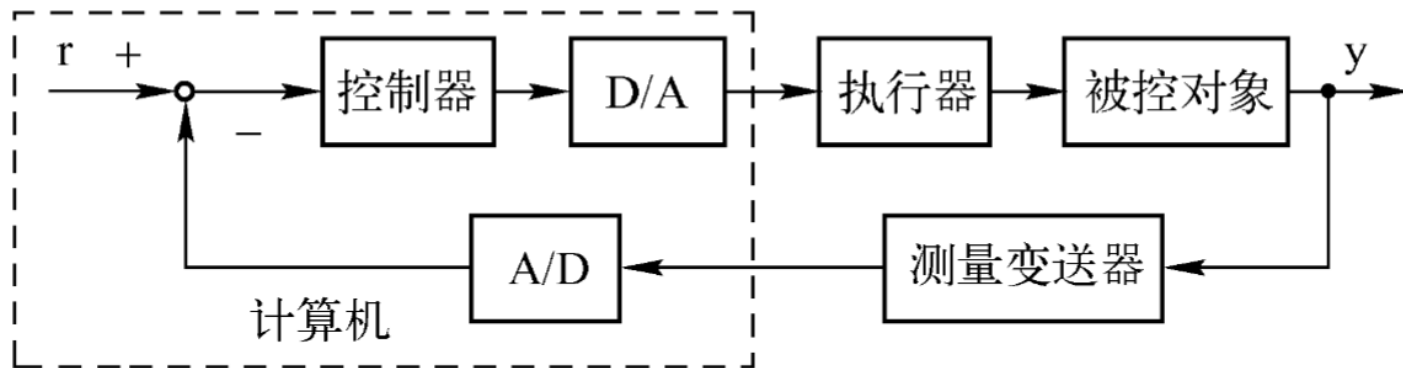
- 10.1 计算机过程控制系统简介
- 10.2 计算机过程控制系统的组成
- 10.3 计算机过程控制系统的类型
- 10.4 先进过程控制方法

计算机过程控制

- 现代过程工业向着大型化和连续化的方向发展，生产过程也日趋复杂，对生态环境的影响也日益突出，这些都对控制提出了越来越高的要求。
- 不仅如此，生产的安全性和可靠性，生产企业的经济效益都成为衡量当今自动控制水平的重要指标。
- 因此，仅用常规仪表已不能满足现代化企业的控制要求。
- 随着计算机技术的迅速发展，计算机具有运算速度快、精度高、存储量大、编程灵活以及有很强的通信能力等特点，已在过程控制中得到十分广泛的应用。

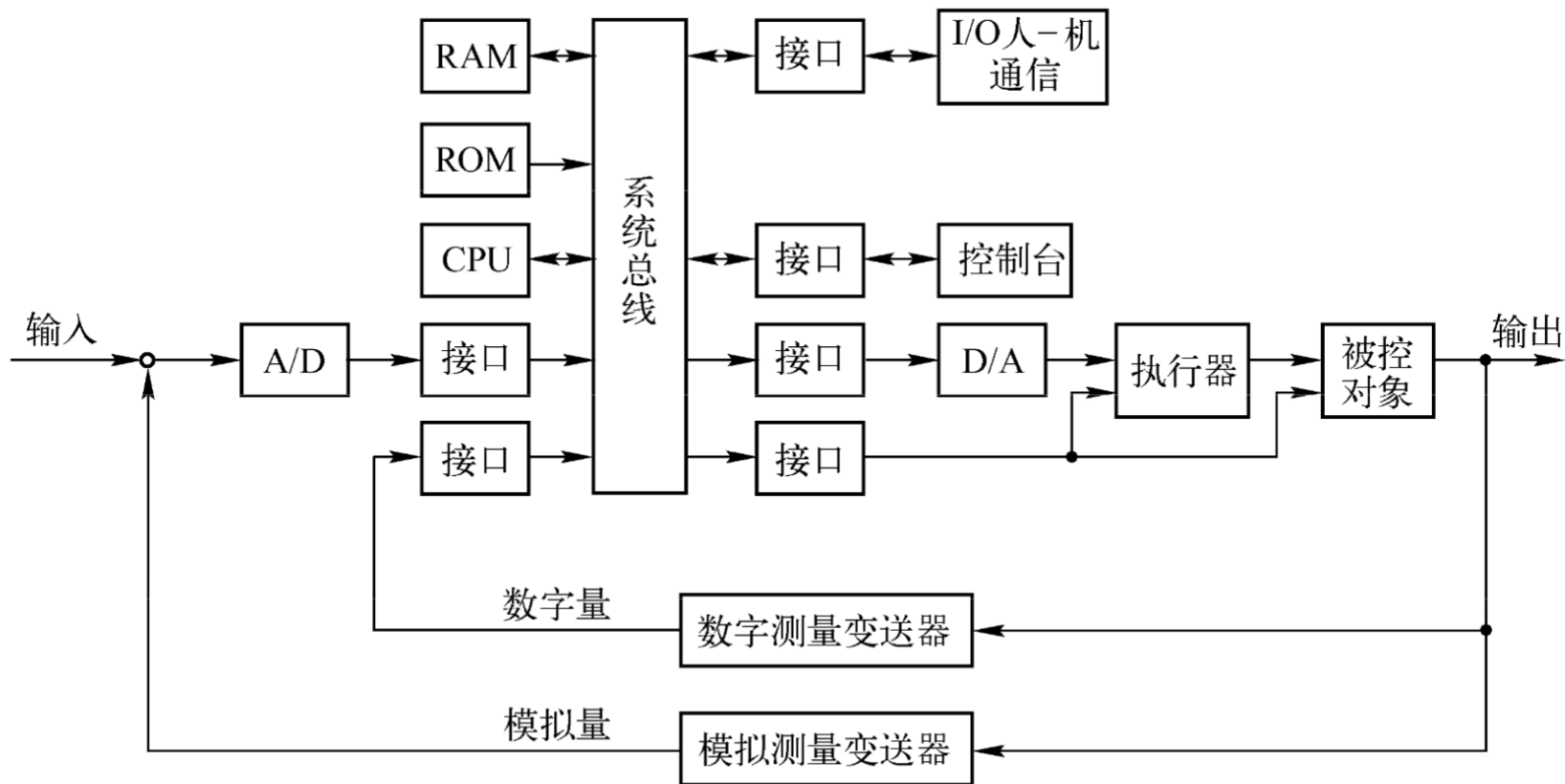
计算机过程控制系统的基本结构和组成

- 将计算机用于过程控制系统，就称之为计算机过程控制系统。
- 它由被控对象、测量变送器、计算机和执行器组成，如图所示。其中控制器的核心可以是微处理器、单片机、PLC或微型计算机。
- 计算机控制系统的最基本特征是实时系统，包括硬件和软件两大部分。



计算机过程控制系统基本结构图

计算机过程控制系统的组成：1. 硬件



计算机控制系统的一般硬件组成结构图

计算机过程控制系统的组成：2. 软件

- 计算机控制装置配置了必要的软件，才能针对生产过程的运行状态，进行自动控制，完成预定控制功能。
- 计算机控制装置的软件通常分为两大类：系统软件和应用软件。

① 系统软件

- 系统软件是主机基本配置的软件，一般包括操作系统、监视程序、诊断程序、程序设计系统、数据库系统、通信网络软件等。

② 应用软件

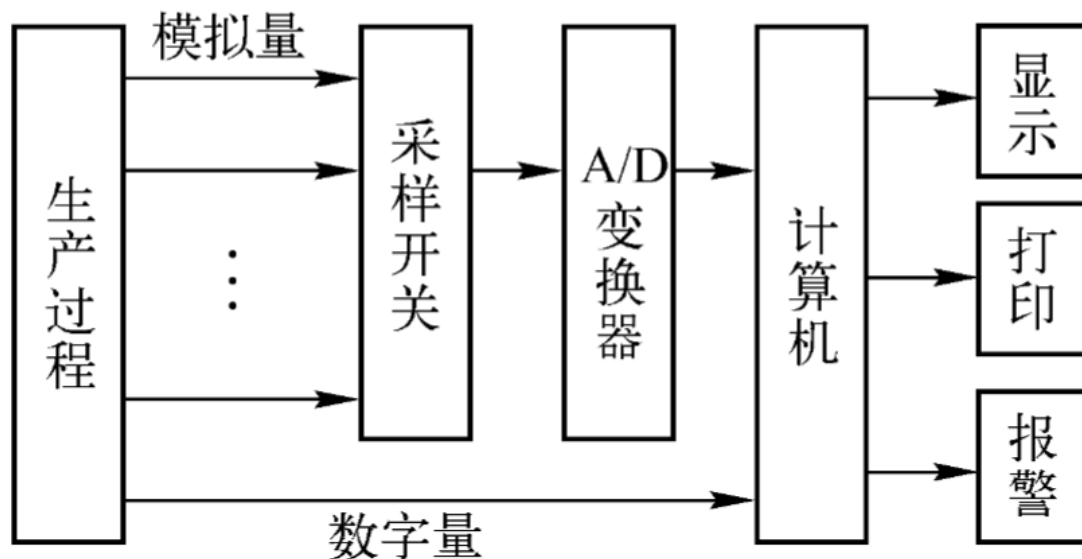
- 应用软件是针对某一生产过程，依据设计人员对控制系统的设计思想，为达到控制目的而设计的程序。

计算机过程控制系统的类型

- 1. 巡回检测和数据处理系统
- 2. 直接数字控制系统（DDC）
- 3. 监督控制系统（SCC）
- 4. 计算机多级控制系统
- 5. 集散控制系统（DCS）
- 6. 现场总线控制系统（FCS）
- 7. 现场总线集散控制型控制系统

1. 巡回检测和数据处理系统

- 最初，计算机只用于生产数据的处理和巡回检测。
- 巡回检测和数据处理系统的结构图如图所示，这是一个开环控制系统，计算机不直接参与过程控制，对生产过程不会直接产生影响。

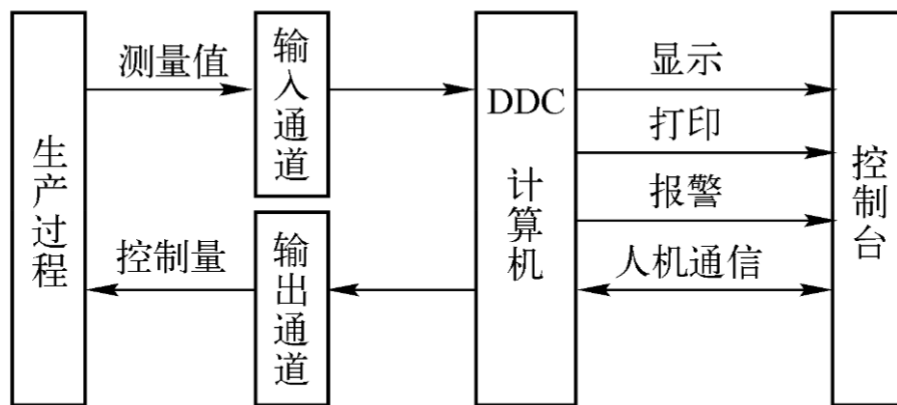


巡回检测和数据处理系统的结构图

2. 直接数字控制系统（DDC）

- 直接数字控制系统(DDC), 就是用一台计算机取代模拟控制器直接控制调节阀等执行器, 使被控变量保持在给定值。其基本组成如图所示。
- 直接数字控制系统是利用计算机的分时处理功能直接对多个控制回路实现多种形式控制的多功能的数字控制系统。

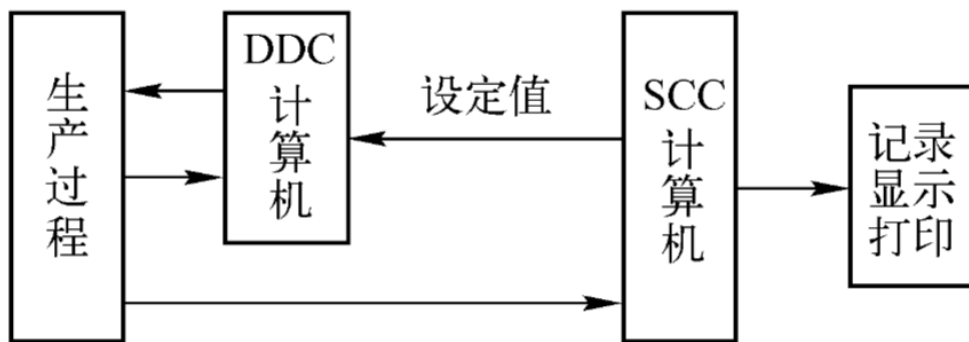
- 在线实时控制
- 分时方式控制
- 灵活和多功能控制
- 对计算机的可靠性要求高



直接数字控制系统的结构图

3. 监督控制系统（SCC）

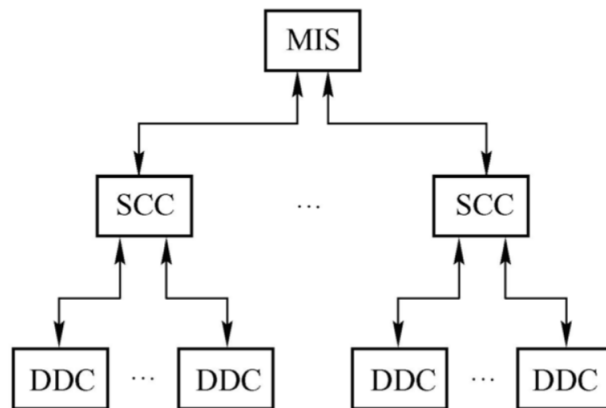
- 监督控制系统(SCC), 它是利用计算机对工业生产过程进行**监督管理和控制**的计算机控制系统。这是一个**二级控制系统**, SCC计算机可直接对被控对象和生产过程进行控制, 功能类似于DDC直接数字控制系统。
- 监督控制系统可以通过对外部信息的检测, 根据当时的工艺条件和控制状态, 按照一定的数学模型和优化准则, 在线计算最优设定值, 并及时送至下一级DDC计算机, 实现自适应控制, 使控制过程始终处于最优状态。



监督控制系统结构图

4. 计算机多级控制系统

- 计算机多级控制系统按照企业组织生产的层次和等级，配置多台计算机来综合实施信息管理和生产过程控制。
- 通常由直接数字控制系统、监督控制系统和管理信息系统三级组成。

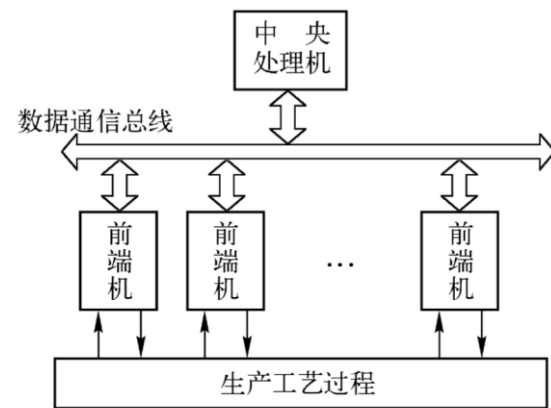


计算机多级控制系统的示意图

- 直接数字控制系统(DDC) 位于最末级，直接控制生产过程，实施多种控制功能，并完成数据采集、报警等功能。通常由若干台小型计算机或微型计算机构成。
- 监督控制系统(SCC) 是第二级，指挥直接数字控制系统的工作，有些情况下，也可兼顾一些DDC的工作。
- 管理信息系统(MIS) 主要进行计划和调度，指挥监督控制系统工作。按管理范围还可以分为若干个等级。通常由中型计算机或大型计算机来完成。

5. 集散控制系统（DCS）

- 集散控制系统 (DCS), 也称分布式控制系统, 是70年代中期发展起来的计算机控制系统:
 - 由多台计算机分别控制生产过程中多个控制回路,
 - 同时又集中获取数据和集中管理。

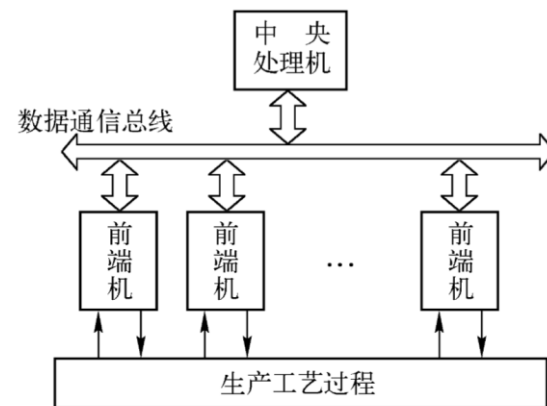


二层结构模式的集散控制系统的结构示意图

- 它是计算机技术（Computer）、控制技术（Control）、通信技术（Communication）和图形显示（CRT）等技术的综合应用，通常也将集散控制称为4C技术。
- 它不仅具有传统的控制能力和集中化的信息管理和操作显示功能，而且还有大规模数据采集、处理的功能以及较强的数据通讯能力，为实现高等过程控制 and 生产管理提供了先进的工具和手段。

5. 集散控制系统（DCS）

- 集散控制系统采用微处理器分别控制各个回路，而用中小型工业控制计算机或高性能的微处理器实现上一级的控制，各回路之间和上下级之间通过高速数据通道交换信息。集散控制系统具有数据获取、直接数字控制、人机交互及监督和管理等功能。

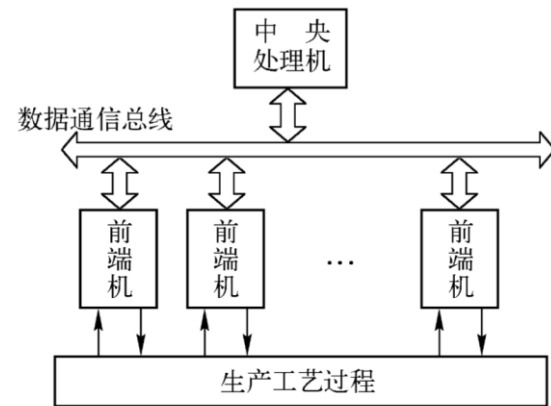


二层结构模式的集散控制系统的结构示意图

- 在集散控制系统中，按区域把微处理器安装在测量装置与执行器附近，将控制功能尽可能分散，管理功能相对集中，
 - 这种分散化的控制方式会提高系统的可靠性，不像在直接数字控制系统中那样，当计算机出现故障时会使整个系统失去控制。
 - 在集散控制系统当中，当管理级出现故障时，过程控制级仍有独立的控制能力，个别控制回路出现故障也不会影响全局。

5. 集散控制系统（DCS）

- 相对集中的管理方式，有利于实现功能标准化的模块化设计；
- 与计算机多级控制比较，集散控制系统在结构上更加灵活，布局更加合理，成本更低。
- 集散控制系统具有硬件组装积木化、软件模块化、组态控制系统、应用先进通信网络并具有开放性、可靠性等特点。



二层结构模式的集散控制系统的结构示意图

- 右图的二层结构模式的集散控制系统：
 - 第一级为前端计算机，也称下位机、直接控制单元。前端机直接面对控制对象完成实时控制、前端处理功能。
 - 第二层称为中央处理机，它一旦失效，设备的控制功能依旧能得到保证。
 - 在前端计算机和中央处理机之间是中间层计算机。

6. 现场总线控制系统（FCS）

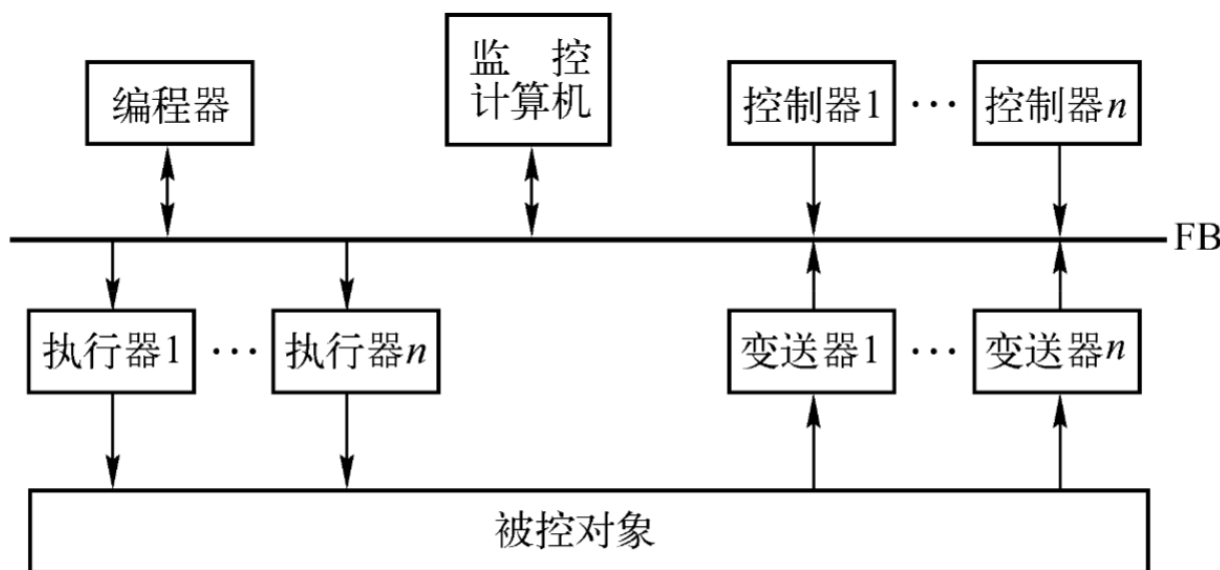
- 随着数字通信技术的发展极大地推进着现场级信息网络技术的发展，在国际上出现了现场总线技术。

现场总线的概念包含两方面内容。

- 首先，**现场总线是一种通信标准**，是全数字化、双向、多信息、多主站通信规程的可应用之技术。把控制功能分散到现场装置中，并能实现以数字形式宽范围的通信。
- 其次，**现场总线的通信标准是开放的**，控制系统中的现场仪表装置，用户可自由选择不同厂商的符合标准的产品，利用现场总线构成所需控制系统。开放性是现场总线的主要标志之一。

6. 现场总线控制系统（FCS）

- 变送器、控制器和执行器均为直接挂接在现场总线上的全数字化仪表装置，彼此之间以符合现场总线协议规定进行信息交换。



现场总线型控制系统结构示意图

7. 现场总线集散控制型控制系统

- 随着计算机技术的发展，通用PC机及其系统软件、工具软件的性能迅速提高，而价格直趋下跌，这促使技术人员舍弃DCS的专用计算机体系结构及其独家自成体系的系统软件，而采用通过PC机及商品化系统软件，并将先进的现场总线技术融于系统之中，淘汰DCS的输入输出结构，从而推出一种面貌全新的现场总线集散控制型控制系统。

第10章 计算机过程控制系统

- 10.1 计算机过程控制系统简介
- 10.2 计算机过程控制系统的组成
- 10.3 计算机过程控制系统的类型
- **10.4 先进过程控制方法**

先进过程控制方法

- 随着计算机在过程控制系统的广泛应用，20世纪80年代开始针对工业过程本身的特点，控制界提出了一系列行之有效的先进过程控制方法。
- 先进过程控制方法，通常在计算机过程控制系统当中用于处理复杂的多变量过程控制问题，如大迟延、多变量耦合、被控变量与控制变量存在着各种约束的时变系统等。
- 先进控制是建立在常规控制之上的动态协调约束控制，可使控制系统适应实际工业生产过程动态特性和操作要求。
- 目前应用得比较成功的先进过程控制方法有自适应控制、预测控制、模糊控制、神经网络控制和鲁棒控制等等。

1. 自适应控制

➤ 自适应控制是一种

- 利用辨识器将对象参数进行在线估计
- 利用控制器实现参数自动整定

的控制技术，可应用于结构已知、参数未知但恒定的随机系统，也可用于结构已知、参数缓慢变化的随机系统。

➤ 对象结构参数、初始条件发生变化或者目标函数的极值点发生漂移的时候，自适应控制系统能够自动地维持在最优工作状态。

➤ 20世纪50年代末，麻省理工学院提出第一个自适应控制系统。

➤ 发展到现阶段，较成熟的自适应控制系统有

- 模型参考自适应控制系统 (Model Reference Adaptive System, MRAS)
- 自校正控制系统 (Self-tuning Regulator, STR)

2. 模型预测控制

- 模型预测控制（MPC），是20世纪80年代初开始发展起来的一类新型计算机控制算法。该算法直接产生于工业过程控制的实际应用，并在与工业应用的紧密结合中不断完善和成熟。
- 模型预测控制（MPC）的主要特征是
 - 以预测模型为基础，
 - 采用二次在线滚动优化性能指标和反馈校正的策略，
 - 来克服受控对象建模误差和结构、参数与环境等不确定性的影响，
 - 有效地弥补了现代控制理论对复杂受控对象所无法避免的不足之处。
- 模型预测控制算法采用了多步预测、滚动优化和反馈校正等控制策略，具有控制效果好、鲁棒性强、对模型精确性要求不高的优点。

2. 模型预测控制

- 预测控制算法主要有
 - 基于非参数模型的模型算法控制（MAC）和动态矩阵控制（DMC）；
 - 基于参数模型的广义预测控制（GPC）和广义预测极点配置控制（GPPPC）等
- 模型算法控制采用对象的脉冲响应模型，而动态矩阵控制采用对象的阶跃响应模型，这两种模型都具有易于获得的优点；
- 广义预测控制和广义预测极点配置控制是预测控制思想与自适应控制的结合，采用CARIMA模型（受控自回归积分滑动平均模型），具有参数数目少并能够在线估计的优点，而广义预测极点配置控制进一步采用极点配置技术，提高了预测控制系统的闭环稳定性和鲁棒性。

3. 模糊控制

- 1965年美国加州大学的控制论专家 Zadeh 提出模糊数学，广泛地应用于自然科学和社会科学各领域
- 把模糊逻辑应用于控制始于1972年。
- 模糊控制技术建立在模糊数学基础上，它是针对被控对象的数学模型不明确，或非线性模型的一种工程实用、实现简单的控制方法。
- 与传统的PID控制器相比，模糊控制器
 - 有更快的响应和更小的超调，
 - 对过程参数的变化不敏感，即具有很强的鲁棒性，
 - 能够克服非线性因素的影响。

3. 模糊控制

- 模糊控制的重点不是研究被控对象或过程，它是
 - 建立在人工经验基础上，模仿人在控制中的模糊概念和控制策略，
 - 绕过建模的困难，
 - 通过在考察区域划分模糊子集，对获得的信息构造隶属度函数，再按照控制规则和推理法则做出模糊决策，从而实现对被控制对象的有效控制。
- 因此，模糊控制可以对一个存在大量的模糊信息而难以精确描述，且无法建立适当数学模型的复杂非线性系统加以控制。
- 实际上，对于一个有经验的操作人员，他并不需要了解被控对象精确的数学模型，而是凭借其丰富的实践经验，采取适当的对策来巧妙地控制一个复杂过程。

4. 神经网络控制

- 传统的基于模型的控制方式，是根据被控对象的数学模型及对控制系统要求的性能指标来设计控制器，并对控制规律加以数学解析描述；
- 模糊控制，是基于专家经验和领域知识总结出若干条模糊控制规则，构成描述具有不确定性复杂对象的模糊关系，通过被控系统输出误差及误差变化和模糊关系的推理合成获得控制量，从而对系统进行控制。
- 这两种控制方式都具有显式表达知识的特点。
- 神经网络不善于显式表达知识，但是它具有很强的逼近非线性函数的能力，即非线性映射能力。
- 把神经网络用于控制，正是利用它的这个独特优点。

4. 神经网络控制

- 神经网络是在现代神经科学研究成果基础上发展出来的一种高度并行的信息处理系统，在许多实际应用领域中取得了显著的成效：
 - 具有很强的自适应自学习能力，
 - 不依赖于研究对象的数学模型，
 - 对被控对象的系统参数变化及外界干扰有很好的鲁棒性，
 - 能处理复杂的多输入多输出非线性系统，
- 神经网络控制，亦即基于神经网络的控制，是指在控制系统当中，
 - 采用神经网络对难以精确描述的复杂的非线性对象进行建模，
 - 或充当控制器，或优化计算，或进行推理，或故障诊断等，或同时兼有上述某些功能的适应组合，这样的系统统称为基于神经网络的控制系统，称这种控制方式为神经网络控制。

5. 鲁棒控制

- 控制系统的鲁棒性研究是现代控制理论研究中一个非常活跃的领域，鲁棒控制问题最早出现在20世纪对于微分方程的研究中。1927年Black首先在他的一项专利上应用了鲁棒控制。
- 鲁棒性的英文拼写为Robust，即健壮和强壮的意思。
- 鲁棒性表示当一个控制系统的参数发生摄动时系统能否保持正常工作的一种特性或属性。
- 鲁棒性一般定义为在实际环境中为保证安全、要求控制系统最小必须满足的要求。

5. 鲁棒控制

- 鲁棒控制的一些算法不需要精确的过程模型但需要一些离线辨识。
- 一般鲁棒控制系统的设计是以一些最差的情况为基础，因此一般系统并不工作在最优状态。
- 鲁棒控制方法适用于稳定性和可靠性作为首要目标的应用，同时过程的动态特性已知且不确定因素的变化范围可以预估。
- 过程控制应用中，某些控制系统可以用鲁棒控制方法设计，特别是对那些比较关键且不确定因素变化范围大、稳定裕度小的对象。

本章小结

- 本章介绍了计算机过程控制系统的基本概念、组成和几种典型形式，并对几种常用的先进过程控制方法进行了简单介绍
- 在工业过程控制方面，由于原材料成分的不稳定（其成分随机波动），或者由于改换产品品种，或者由于设备磨损等，这些因素都要使工艺参数发生变化，从而使产品质量不稳定，常规PID控制器不能很好地适应工艺参数的变化，往往需要经常进行整定。
- 当计算机采用先进控制算法后，控制参数可以随着环境和特性的变化而自动整定，所以对各种不同的运行条件，系统都能很好地工作，使被控过程输出对其设定值的误差达到最小，这样既保证了产品质量，又节省了原材料和能源的消耗因此，在工业控制的许多领域，先进控制方法都得到了成功的应用。