

过程控制原理应用I

(检测技术与过程控制原理)

主讲人：安剑奇 教授

中国地质大学（武汉） 自动化学院

2020年11月

第8章 先进过程控制系统



第8章 先进过程控制系统

8.1 预测控制

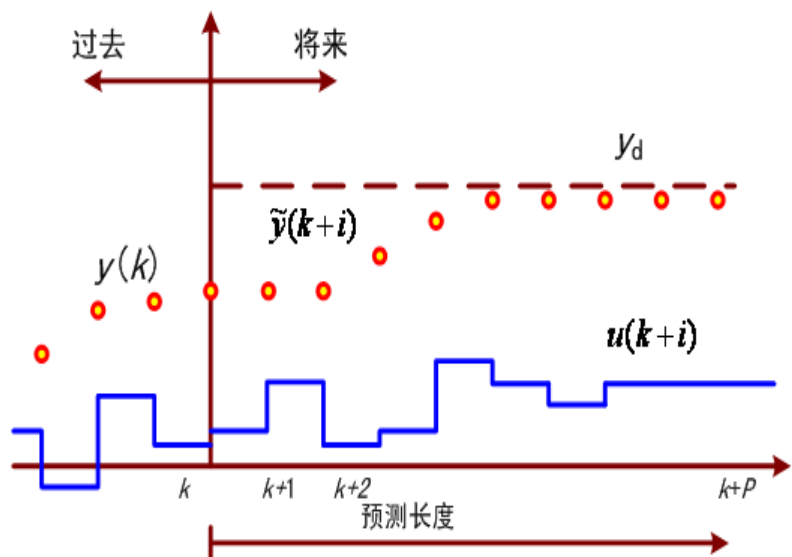
8.2 自适应控制

8.3 统计过程控制

8.4 控制系统故障诊断和容错控制

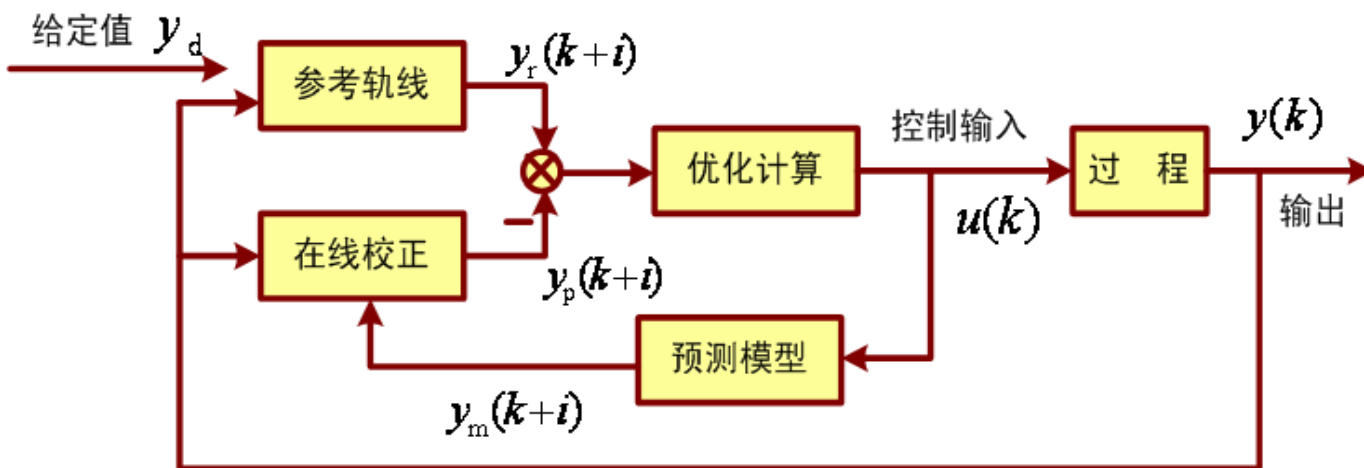
8.1 预测控制的基本原理

- 预测控制由Richalet等1978年提出，发展了模型预测启发式控制，模型算法控制，动态矩阵控制，预测控制等
- 根据过程当前的和过去的输出测量值和设定值的偏差，及预测模型来预估过程未来的偏差值，以滚动确定当前的最优输入策略
- 该过程反复在线进行



8.1 预测控制的基本原理

- 由预测模型、参考轨迹、滚动优化、反馈校正等构成
- 在当前时刻，基于过程模型预测未来有限时域的过程输出，通过最小化输出响应与期望轨迹的偏差确定未来有限时域的控制增量；
- 在所得到的控制增量中，只执行当前的控制量



8.1 预测控制的基本原理

➤ 预测模型

- 一个描述系统动态行为的模型，在预测控制中具有重要的作用。
- 常用：脉冲响应模型、阶跃响应模型、可控自回归滑动平均模型（CARMA）、可控自回归积分滑动平均模型（CARIMA）

➤ 参考轨迹

- 为避免过程输出的急剧变化，要求过程输出沿着事先指定的一条随时间而变化的轨迹达到给定值

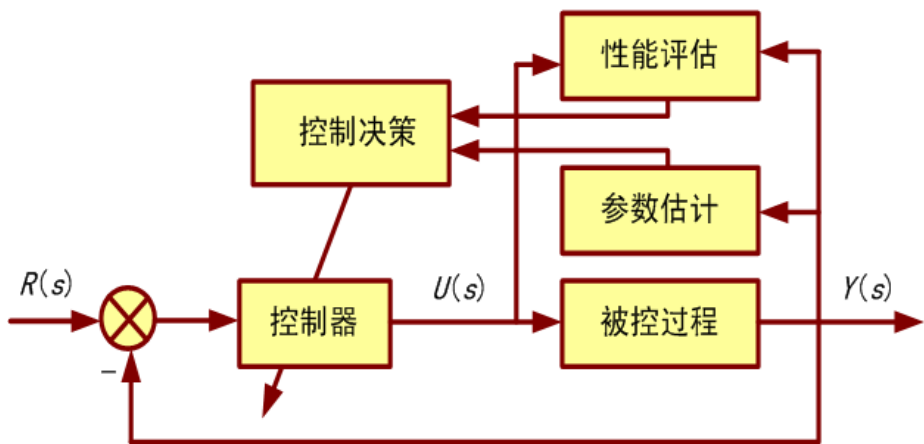
➤ 控制算法

- 找到一组能满足性能指标的控制作用，使选定的目标函数最优

8.2 自适应控制

➤ 自适应控制的基本原理

- 根据参考模型的输出与实际过程的输出之差来自动调整控制器的参数，以适应过程特性或环境的变化
- 自适应控制系统至少由**测量和估计环节**、**性能指标的评价环节**、**控制决策**和**自动调整环节**等三部分组成



8.2 自适应控制

➤ 测量和估计环节

- 用于辨识被控过程或环境的结构和参数，并建立被控过程的数学模型，估计模型参数
- 包括对被控过程的输入输出进行测量、过程参数的在线估计等

➤ 性能指标的评价环节

- 用于评价控制系统的性能指标是否满足所需的最优指标，以便判断控制系统是否已偏离最优状态

➤ 控制决策和自动调整环节

- 用于自动调整控制器的控制规律和参数，保证控制系统在最优状态下运行

8.2 自适应控制

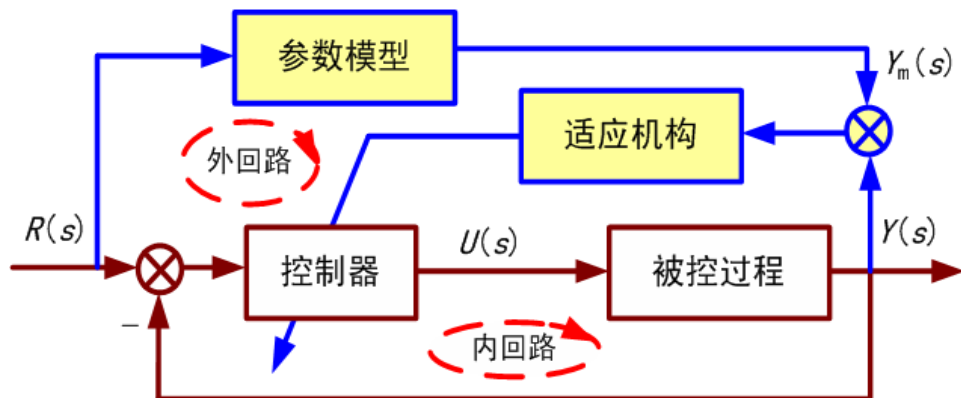
➤ 一般有三种类型：

- **自整定控制器**：用专家经验规则辨识和整定PID参数的控制器
- **自校正控制器**：采用在线辨识方法，实时获得过程数学模型的参数，根据控制性能指标自行校正控制算法。
- **模型参考自适应控制系统**：建立具有预期性能指标的参考模型，依据参考模型输出与过程输出间的偏差来调整控制器的控制规律或参数，使过程特性尽量接近参考模型的特性

8.2 自适应控制

➤ 模型参考自适应控制系统

- 通过调整控制器参数或控制规律，使系统动态输出与参考模型输出尽可能一致。
- 由内、外两个控制回路组成。内回路为反馈控制系统，外回路用于调整内回路的控制器参数或控制规律，由参考模型、适应机构和控制器组成。



8.3 统计过程控制

➤ 统计过程控制的基本原理

- 利用概率论和数理统计等统计学原理
- 采用统计控制图、统计描述、统计相关分析、实验设计等方法
- 目标：提高产品质量和生产率
- 分析处理与产品质量相关的生产过程数据，监视生产过程的进行，判断过程是否处于统计控制状态，对产品的质量进行分析，确定产品是否合格，并寻找改进途径
- 统计过程控制主要针对过程的平均水平及过程的分散度进行控制，理论基础是中心极限定理和 3σ 定理

8.3 统计过程控制

- 产生过程变化的原因有：偶然因素和异常因素。
 - 偶然因素指过程所固有的对过程影响较小、难于消除的因素。由偶然因素造成的质量随机波动称为正常波动；当仅有偶然因素存在时，产品质量处于正常波动范围，认为生产过程处于受控状态。
 - 异常因素是非过程所固有、对质量影响较大、可以消除的因素。由异常因素造成的质量波动称为异常波动。当异常因素的影响使质量特征值偏离规定的范围时，则认为生产过程处于失控状态。

8.3 统计过程控制

➤ 质量控制图

- 休哈特控制图：一类最常用的控制图
- 根据控制图中方差和均值变化判断出过程处于受控或失控状态
- 由于偶然因素引起的波动在上下控制限内，而异常因素引起的过程波动在上下控制限外
- 控制图适用于具有统计特性和重复性的被控过程，要注意选择主要被控质量指标进行控制图分析和判别

8.3 统计过程控制

➤ 其他统计过程控制技术

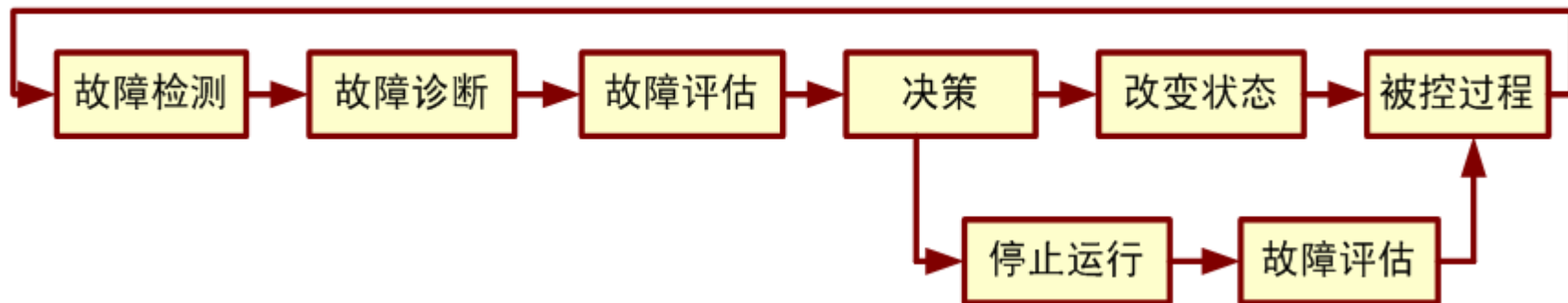
- ❑ 多元投影方法：将高维数据空间数据投影到低维特征空间的方法。可用于多元统计过程控制。包括：主元分析，部分最小二乘法
- ❑ 主元分析法（PCA）：用几个综合变量反映原系统中较多的具有相关特征变量所包含的大部分信息。
- ❑ 部分最小二乘法：通过多元投影变换，分析两个不同矩阵中变量之间的相互关系。可用于直接分析过程变量和质量变量间的映射关系

8.4 控制系统故障诊断和容错控制

- 故障检测和诊断(FDD): 对系统异常状态检测、异常状态原因识别、异常状态预测技术。
- 控制系统的故障: 系统状态出现不期望的、不能容许的且不能自恢复的偏差, 这种偏差使系统出现异常特性, 不能按预期工作
- 分类:
 - 被控过程故障: 即被控对象的某部分器件失效;
 - 仪器仪表器件故障: 包括检测元件、变送器、执行器、连接管线、控制装置和计算机接口的故障等;
 - 软件故障: 计算机诊断程序、控制程序和系统程序等软件的故障

8.4 控制系统故障诊断和容错控制

- **产生故障原因**：系统设计错误、设备性能退化、操作人员误操作。
- **故障检测和诊断**：故障建模、故障检测、故障分离和估计、故障分类、评价和决策
- **故障建模**：按照先验知识和输入/输出关系，建立系统故障的数学模型，作为故障检测和诊断的依据



8.4 控制系统故障诊断和容错控制

➤ 故障检测和诊断的基本方法

□ 根据系统采用的模型和决策方法差异，故障诊断方法可分为：

- 依赖于模型的故障诊断方法
- 不依赖于模型的故障诊断方法

8.4 控制系统故障诊断和容错控制

1、依赖于模型的故障诊断方法

- 用解析冗余取代硬件冗余。解析冗余是通过构造观测器估计出系统输出，然后将它与输出测量值比较，从中取得故障信息
- 可分为两种：基于状态估计的故障诊断方法和基于参数估计的故障诊断方法

8.4 控制系统故障诊断和容错控制

2、不依赖于模型的故障诊断方法

- 基于专家经验知识等浅知识的故障诊断：知识表达直观、形式统一、模块化和推理速度快；局限性大，知识不完备。
- 基于诊断对象模型知识等深知识的故障诊断专家系统：知识获取方便、维护方便、易于保证知识库的一致性和完整性；搜索空间大，推理速度慢。

8.4 控制系统故障诊断和容错控制

➤ 容错控制

- 通过控制策略或算法的合理设计，使控制系统在正常状态下或存在某些故障时，仍能保持稳定或仍能保持必要的控制功能，确保系统仍能工作。
- 按设计方法的特点分类：被动容错控制和主动容错控制

8.4 控制系统故障诊断和容错控制

1、被动容错控制

- 设计适当固定结构的控制器，除了考虑正常工作状态的参数值以外，还要考虑在故障情况下的参数值
- 不仅在所有控制部件正常运行时，而且在执行器、传感器和其他部件失效时，保障系统仍然具有稳定性和令人满意的性能
- 分为可靠镇定、同时镇定、完整性控制、鲁棒容错控制等
- 优点：故障发生时能够及时实现容错控制，不存在主动容错控制中因故障隔离延时而引起的控制性能变坏问题。
- 缺点：只能适应较少的故障情况，不可能用一个控制器实现对所有故障的鲁棒性，且以牺牲系统的性能为代价

8.4 控制系统故障诊断和容错控制

2、主动容错控制

- 通过故障调节或信号重构保证故障发生后系统的稳定性和性能指标
- 主动容错控制要解决两个问题：故障诊断，容错控制
 - 故障诊断：对控制系统中执行器、传感器和被控对象实时故障检测，并根据故障特征进行故障的动态补偿或切换故障源
 - 容错控制器：根据故障检测环节所得到的故障特征作出相应的处理，对反馈控制的结构进行实时的重构
- 控制系统的故障诊断和容错控制的发展相辅相成，故障诊断是容错控制的基础，容错控制的发展为故障诊断研究带来新的动力