

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10章 过程控制系统应用实例



第10章 过程控制系统应用实例

10.1 过程控制系统设计步骤

10.2 控制方案的确定

10.3 系统的工程设计

10.4 工业锅炉自动控制系统

10.5 精馏塔过程控制系统

10.1 过程控制系统设计步骤

- 首先，全面了解被控生产过程，深入分析工艺过程
- 其次，要根据工艺要求，确定最佳控制方案，选择合适检测变送器和执行器
- 最后，要根据具体控制性能指标要求，对过程控制系统进行控制器设计，参数整定和投运

10.1 过程控制系统设计步骤

➤ 系统要求一般可归纳为以下几个方面：

- **安全性**：确保人员设备安全。采用参数超限报警、事故报警、连锁保护等措施
- **稳定性**：在一定外界扰动下，在系统参数、工艺条件一定变化范围内，能长期稳定运行的能力
- **准确性**：被控量实际与希望之间偏差小，系统控制精度高
- **快速性**：从一种工作状态向另一种状态过渡的时间要短
- **经济性**：提高产品质量、产量的同时，降耗节能，提高经济效益与社会效益

10.1 过程控制系统设计步骤

➤ 设计开发基本步骤为：

1、熟悉系统的技术要求或性能指标

- 通常由用户或被控过程设计制造单位提出，是控制方案设计的基本前提

2、建立被控过程的数学模型

- 模型是过程控制系统理论分析和设计的基础

3、确定控制方案

- 根据控制要求确定不同的控制方案，要从生产过程全局出发加以考虑
- 系统的控制方案包括系统的组成、控制方式和控制规律的确定

10.1 过程控制系统设计步骤

4、根据系统的动态和静态特性进行理论与综合

- 判定稳定性, 分析计算过渡过程特性等, 为控制器参数整定提供依据
- 方法包括: 经典控制理论的频率特性法、根轨迹法、现代控制理论的优化设计方法、计算机仿真和实验研究等

5、实验验证

- 采用计算机仿真工具MATLAB、LabVIEW等进行实验验证

6、工程设计

7、工程安装

8、控制器的参数整定

第10章 过程控制系统应用实例

10.1 过程控制系统设计步骤

10.2 控制方案的确定

10.3 系统的工程设计

10.4 工业锅炉自动控制系统

10.5 精馏塔过程控制系统

10.2 控制方案的确定

- 过程控制系统的控制方案设计包括：
 - 合理选择被控参数和控制变量
 - 检测信息的获取和变送
 - 选择调节阀
 - 确定控制器的控制规律及正、反作用方式等

10.2 控制方案的确定

➤ 被控变量的选择

- 选用具有决定性作用，可以直接检测的工艺参数作为被控变量。

注意：被控变量要兼顾工艺上的合理性和检测仪表的可行性、可靠性

- 当直接变量难以获得，选取具有单值函数关系的间接变量

注意：间接变量对直接变量应具有较高的控制灵敏度

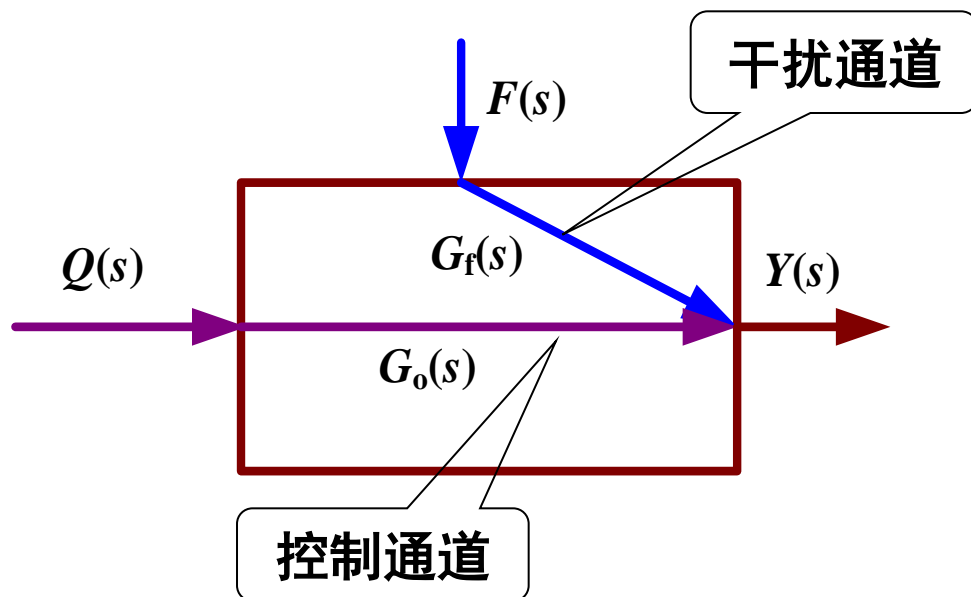
- 也可以采用推断控制获得实际取值

注意：推断控制中被控变量为不可测直接变量，它与辅助变量的对应函数关系可根据经验、实验或理论方法获得。

10.2 控制方案的确定

➤ 控制变量的选择

- 选择哪个(些)变量作为控制变量会直接影响控制方案的选取及实施效果
- 合理选取控制变量, 首先要掌握过程特性对系统控制品质的影响
- 过程特性包含干扰通道特性和控制通道特性



10.2 控制方案的确定

➤ 干扰通道特性对控制质量的影响

□ 干扰通道静态增益 K_f 的影响

- K_f 越小越好，以减弱扰动对被控参数的影响

□ 干扰通道时间常数 T_f 的影响

- 一阶惯性环节的干扰通道传递函数为一阶滤波器， T_f 越大，滤波能力越明显，扰动越易于克服

□ 干扰通道滞后时间的影响

- 干扰通道纯滞后，不影响系统的控制质量

□ 干扰进入系统的位置对控制质量的影响

- 离被控参数越近，影响越大；离阀越近，扰动对其影响越小

10.2 控制方案的确定

➤ 控制通道特性对控制质量的影响

□ 控制通道静态增益 K_0 的影响

- K_0 越大, 控制作用越强, 克服干扰能力越强, 系统稳态误差越小, 被控变量对控制作用响应越迅速、越灵敏
- 为兼顾稳定性、快速性和准确性, K_0 与 K_c 乘积保持在一个恰当值

□ 控制通道时间常数 T_0 的影响

- T_0 过大, 控制作用不及时, 过渡过程时间延长, 控制质量下降
- T_0 过小, 控制器调节过于灵敏, 容易引起系统振荡

10.2 控制方案的确定

□ 控制通道滞后时间 τ_0 的影响

- 为提高系统的控制质量，应设法减小控制通道的纯滞后时间

□ 控制通道时间常数匹配的影响

- 时间常数相差越大，临界稳定增益越大，对系统的稳定性越有利
- 多个时间常数的最大时间常数不能随意改变，可减小其他时间常数来保证控制质量

□ 控制变量的选取原则

- 选择对被控量影响大的为控制量，即控制通道静态增益尽可能大
- 使几个环节时间常数分开，最大与最小时间常数比值要尽可能大
- 干扰通道 K_f 尽量小， T_f 尽量大，扰动远离被控量且靠近执行器
- 考虑工艺操作的合理性、可行性和经济性

10.2 控制方案的确定

➤ 被控变量的检测与变送

- 选择快速检测仪表，减小检测变送环节的时间常数与纯滞后时间
- 正确安装检测仪表，避免安装不当引起不必要的测量误差
- 对测量信号进行必要的滤波和线性化处理
- 对纯滞后采用补偿措施
- 检测变送环节时间常数小于控制通道最大时间常数的0.1倍
- 应尽量缩短气压信号的传输距离

10.2 控制方案的确定

➤ 执行器的选择

□ 执行器的选型

- 综合考虑过程特点、对推力需求、被控介质特性及安全性等因素

□ 气动执行器的气开、气关形式选择

- 控制器输出信号为零或气源中断时使生产过程处于安全状态

□ 调节阀尺寸的选择

- 调节阀的开度和口径大小；正常工作时要求开度处于15%~85%之间

□ 调节阀流量特性的选择

- 通过选择调节阀的非线性流量特性来补偿被控过程的非线性特性

10.2 控制方案的确定

➤ 控制器调节规律的选择

□ 控制器正/反作用方式

- 根据生产及安全等原则确定气开、气关形式，即 K_V 的正负
- 根据被控过程特性确定被控过程正、反作用类型，即 K_0 的正负
- 确定控制器的正、反作用方式

□ 调节规律选择的一般原则

- 控制通道时间常数较大或容量滞后较大，引入D调节；工艺容许有静差时，选用PD调节；工艺要求无静差时，选用PID调节
- 控制通道时间常数很大且纯滞后时间较大、负荷变化剧烈，应采用复杂控制系统或其他控制方案

10.2 控制方案的确定

□ 若广义过程的传递函数具有如下形式

$$G_0(s) = \frac{K_0}{T_0s + 1} e^{-\tau_0s}$$

- $\tau_0/T_0 < 0.2$, 选用 P 或 PI 调节规律;
- $0.2 < \tau_0/T_0 < 1.0$, 选用 PD 或 PID 调节规律
- $\tau_0/T_0 > 1.0$, 简单控制系统一般难以满足要求, 需要采用其他控制方式, 如串级、前馈—反馈复合控制

第10章 过程控制系统应用实例

- 10.1 过程控制系统设计步骤
- 10.2 控制方案的确定
- 10.3 系统的工程设计
- 10.4 工业锅炉自动控制系统
- 10.5 精馏塔过程控制系统

10.3 系统的工程设计

➤ 工程设计的主要内容包括：

- ① 熟悉工艺流程、确定控制方案，完成工艺流程图和控制流程图绘制
- ② 在仪表选型的基础上完成有关仪表信息的文件编制
- ③ 完成控制室的设计及其相关条件的设计
- ④ 完成信号连锁系统的设计
- ⑤ 完成仪表供电、供气关系图及管线平面图的绘制
- ⑥ 完成有关的其他设备、材料的选用情况统计及安装材料表的编制
- ⑦ 完成抗干扰和安全设施的设计
- ⑧ 完成设计文件的目录编写等

10.3 系统的工程设计

➤ 控制系统的抗干扰和接地设计

□ 干扰的来源

- **电磁辐射干扰**：雷电、无线电广播、电视、电网和电气设备的暂态过程产生，具有空间分布范围大、强弱差异大、性质复杂等特点
- **引入线传输干扰**：通过电源引入线和信号引入线进入仪表和系统
- **接地系统干扰**：模拟地、逻辑地、屏蔽地、交流地和保护地等。接地系统混乱使大地电位分布不均，存在电位差，形成环路电流，影响正常工作
- **系统内部干扰**：来自于系统内部元器件相互之间的电磁辐射

10.3 系统的工程设计

□ 抗干扰措施

- **隔离**：采用尽量减少干扰对信号影响的布线方式；采用隔离变压器、光耦合隔离器等隔离器件将供电系统与电气线路隔断
- **屏蔽**：用金属导体将被屏蔽的元件、电路、信号线等包围。用于抑制电容性噪声耦合
- **滤波**：在信号线和地之间并接电容，减少共模干扰；在信号两极间加装 Π 型滤波器，可减少差模干扰
- **避雷保护**：信号线穿在接地金属管内，或敷设在接地封闭的金属汇线槽内，使因雷击而产生的冲击电压与大地短接

10.3 系统的工程设计

□ 接地系统及其设计

- **保护性接地方式**：将电气设备、用电仪表中不应带电金属部分与接地体之间进行良好金属连接，保证金属部分在任何时候都处于零电位
- **工作接地**：抑制干扰，提高仪表测量精度，保证仪表可靠工作
- **特殊要求接地方式**：
 - 本质安全仪表独立设置接地系统，并与电气系统接地网相距5m以上
 - 同一信号回路、同一屏蔽层、各仪表回路和系统只能用一个接地点，各接地点之间的直流信号回路需隔离
 - 仪表类型不同，信号回路的接地位置也不同

10.3 系统的工程设计

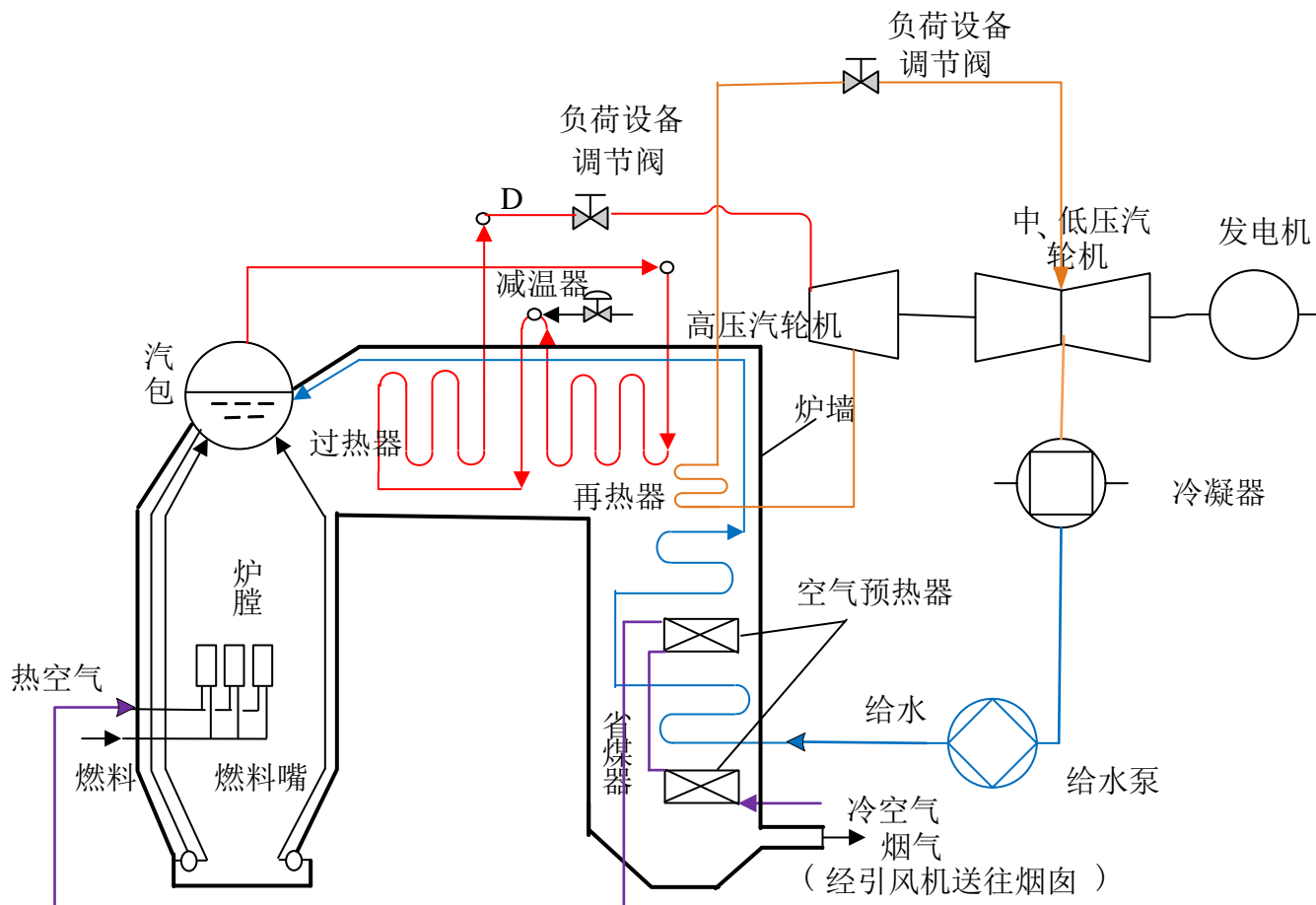
- 接地系统构成：接地线、接地汇流排、公用连接板、接地体等
 - **接地体**：埋入地中并和大地接触的金属导体
 - **接地线**：用电仪表和电子设备接地部分与接地体连接的金属导体，一般使用多股铜芯绝缘电缆
 - **接地电阻**：接地体对地电阻和接地线电阻的总和。接地电阻越小，接地性能越好。

第10章 过程控制系统应用实例

- 10.1 过程控制系统设计步骤
- 10.2 控制方案的确定
- 10.3 系统的工程设计
- 10.4 工业锅炉自动控制系统
- 10.5 精馏塔过程控制系统

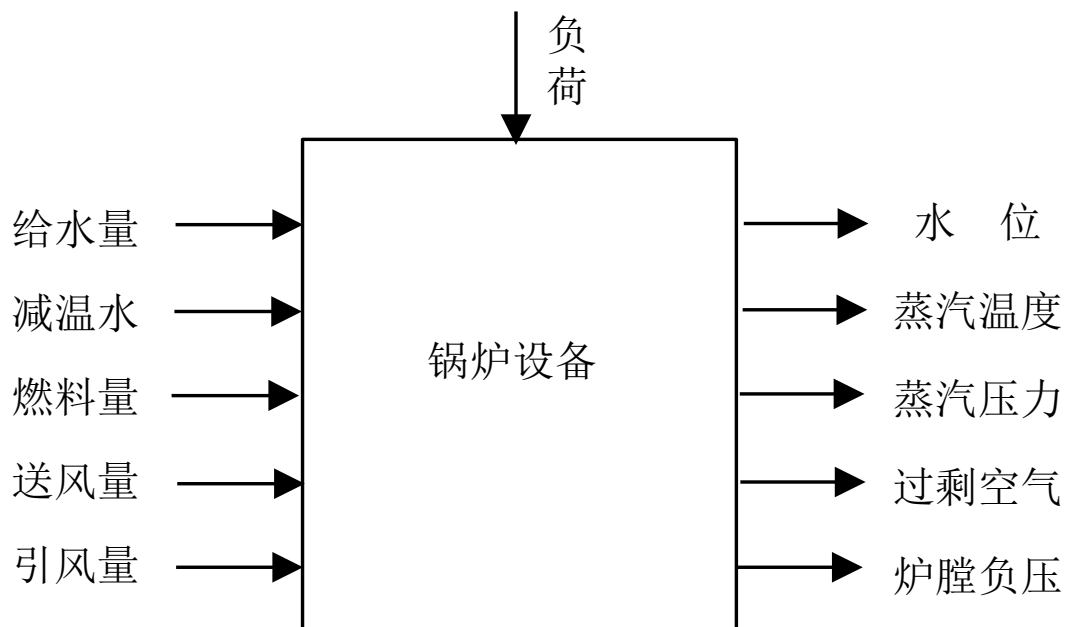
10.4 工业锅炉自动控制系统

➤ 锅炉是发电、炼油、化工等工业重要能源、热源动力设备



10.4 工业锅炉自动控制系统

- 主要的被控参数：**汽包水位、过热蒸汽压力、过热蒸汽温度、炉膛负压、燃-空配比**
- 主要的控制变量有：**锅炉给水、燃料量、减温水流量、送风量等**



10.4 工业锅炉自动控制系统

➤ 控制子系统

控制系统	特性
锅筒水位控制系统	使锅炉给水量与锅炉的蒸发量相适应，维持汽包中水位在工艺允许的范围内
燃烧控制系统	使燃料燃烧产生的热量适应锅炉负荷的需要； 使燃料量与空气量之间满足一定比例，以保证经济燃烧； 使引风量与送风量相适应，以保持炉膛负压稳定；
过热蒸汽温度控制系统	将过热器出口蒸汽温度控制在所要求的范围之内，并保证管壁温度不超过允许的温度上限

10.4.1 锅筒水位控制系统

➤ 锅筒水位是保证锅炉安全运行的重要指标

- ❑ 水位过低时，若负荷较大，水汽化速度快，使水量变化速度较快，一旦水全部汽化，会导致锅炉烧坏，甚至爆炸
- ❑ 水位过高时，影响汽水分离，产生蒸汽带液现象，使过热器管壁结垢，过热蒸汽温度下降，容易损坏汽轮机叶片，影响机组运行的安全性和经济性

➤ 影响锅筒水位的因素

- ❑ 给水量：给水温度低于锅筒内饱和水温度，给水量变化会使锅筒中气泡含量减少，从而导致水位下降
- ❑ 蒸汽用量：在燃料量维持不变条件下，蒸汽用量增加使水位降低

10.4.1 锅筒水位控制系统

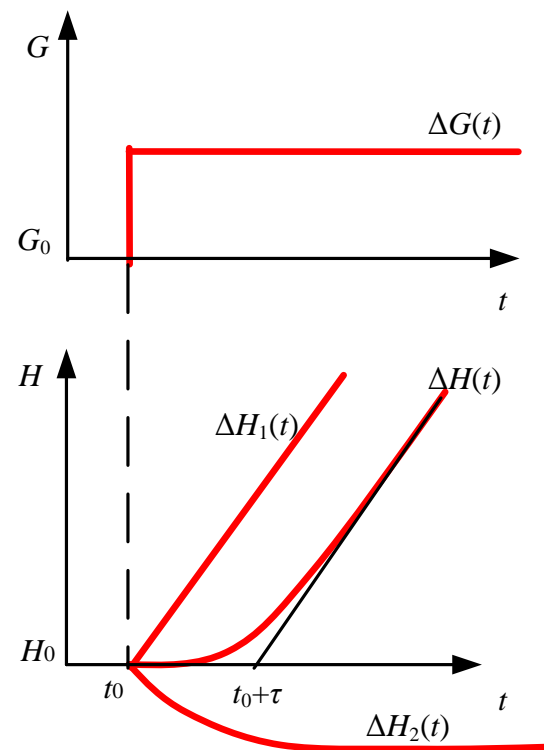
➤ 给水量对水位的影响

□ 在给水量增加时，可看作无自衡单容过程，锅筒水位的阶跃响应曲线如图中 $\Delta H_1(t)$ 所示

□ 水中汽泡总体积减小导致水位变化的阶跃响应曲线如图中 $\Delta H_2(t)$ 所示

□ 实际水位 $\Delta H(t)$ 是 $\Delta H_1(t)$ 与 $\Delta H_2(t)$ 的叠加

$$\Delta H(t) = \Delta H_1(t) + \Delta H_2(t)$$



10.4.1 锅筒水位控制系统

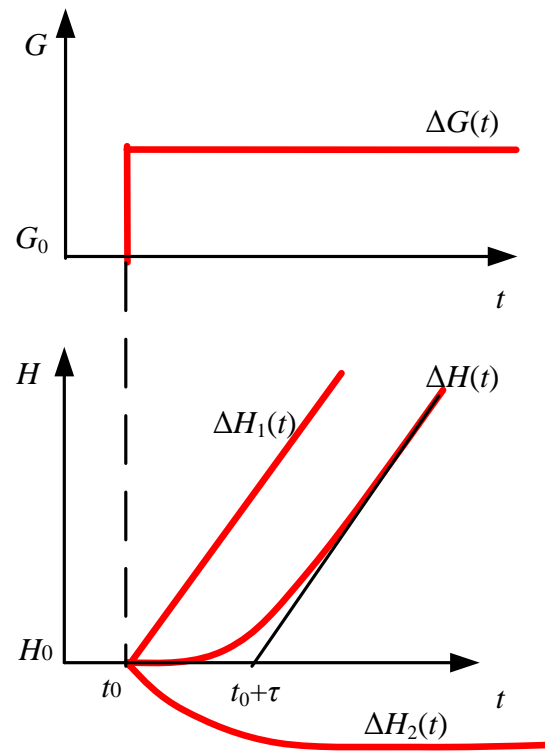
□ 传递函数为

$$\frac{H(s)}{G(s)} = \frac{\Delta H_1(s)}{G(s)} + \frac{\Delta H_2(s)}{G(s)} = \frac{\varepsilon_0}{s} - \frac{K_1}{T_1 s + 1}$$

□ 用一阶模型近似时，可表示为：

$$\frac{H(s)}{G(s)} = \frac{\varepsilon_0}{s} e^{-\tau s}$$

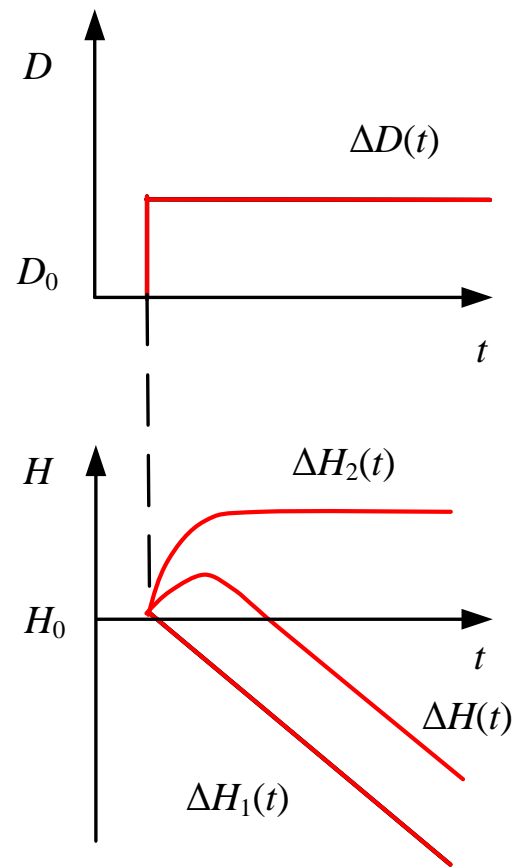
- ✓ 式中， ε_0 为阶跃响应曲线的斜率； τ 为纯滞后时间
- ✓ 给水温度越低，纯滞后时间 τ 越大，一般约在15~100 s



10.4.1 锅筒水位控制系统

➤ 蒸气用量对水位的影响

- ❑ 蒸气流量突然增加，物料平衡变化，**汽包瞬时流出水量大于流入量，汽包存水量减少**
- ❑ $\Delta H_1(t)$ 表示将汽包当作非自衡单容对象看待时，汽包水位对蒸汽流量的阶跃响应曲线
- ❑ 蒸汽用量增加产生**“虚假水位”**现象：由于汽包压力下降，导致汽包液位上升对应的虚假水位阶跃响应曲线如图中的 $\Delta H_2(t)$ 所示



10.4.1 锅筒水位控制系统

□ 蒸汽流量增加时，水位变化的实际阶跃响应为 $\Delta H(t)$

□ 实际水位的变化 $\Delta H(t)$ 为 $\Delta H_1(t)$ 与 $\Delta H_2(t)$ 的叠加，即

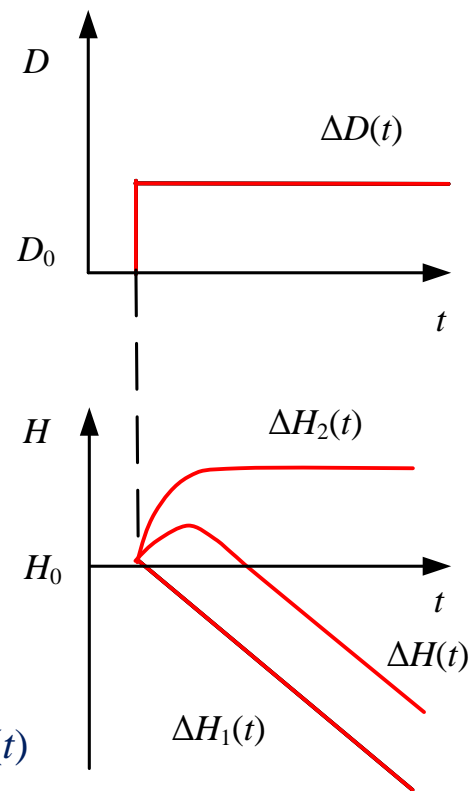
$$\Delta H(t) = \Delta H_1(t) + \Delta H_2(t)$$

□ 传递函数为

$$\frac{H(s)}{D(s)} = \frac{H_1(s)}{D(s)} + \frac{H_2(s)}{D(s)} = -\frac{\varepsilon_f}{s} + \frac{K_2}{T_2s + 1}$$

✓ ε_f 为蒸汽流量作用下，阶跃响应曲线的斜率

✓ K_2 、 T_2 分别为只考虑水面下气泡体积变化所引起的水位变化 $\Delta H_2(t)$ 的放大倍数和时间常数



10.4.1 锅筒水位控制系统

锅筒水位的
控制方案

被控量：
锅筒水位

控制量：
给水流量

干扰量：
蒸汽用量
给水量

调节阀：
气关式

锅筒水位的
控制方法

单冲量控
制系统

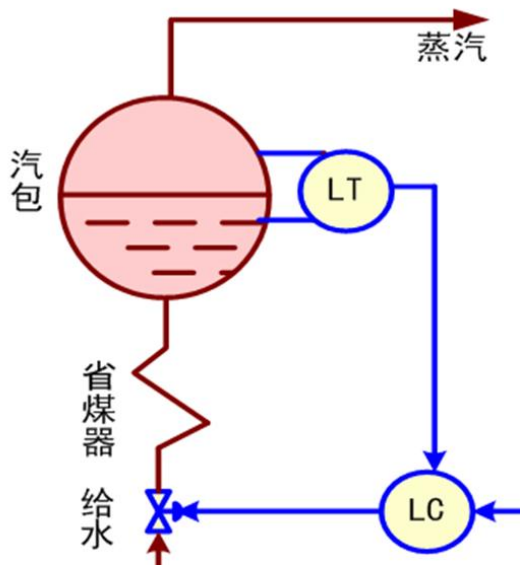
双冲量控
制系统

三冲量控
制系统

10.4.1 锅筒水位控制系统

➤ 单冲量控制系统

以汽包水位为被控参数，给水量作为控制变量构成单回路水位控制系统，工程上也称为单冲量控制系统

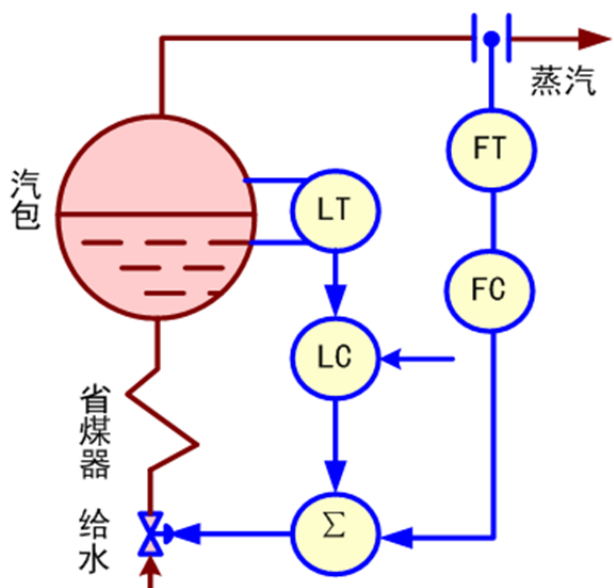


- ❑ 蒸汽用量突然增加，应加大给水量以满足负荷需求
- ❑ 由于假水位现象，控制器先减小给水量抑制瞬间水位升高；随着假水位消失，水位在负荷增加和给水量减少的双重作用下，产生严重的水位下降，甚至发生危险
- ❑ 不适用于负荷变动较大的情况

10.4.1 锅筒水位控制系统

➤ 双冲量控制系统

水位主要干扰是蒸汽流量变化；利用蒸汽流量变化对给水量进行补偿控制，称为双冲量液位控制系统。

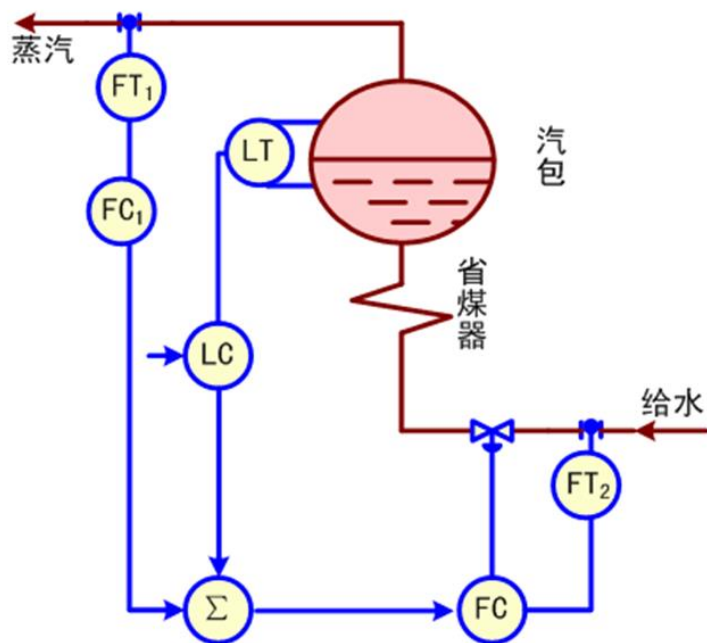


- ❑ 将蒸汽流量作为前馈引入单冲量控制系统，避免假水位引起误动作
- ❑ 本质为前馈—反馈复合控制，给水量取决于锅筒水位，还受蒸汽用量影响
- ❑ 能适应负荷需求变化，但对给水系统中水压等干扰因素造成波动不能及时抑制

10.4.1 锅筒水位控制系统

➤ 三冲量控制系统

在双冲量水位控制系统的基础上，将给水流量信号作为副参数，构成三冲量水位控制系统



- ❑ 汽包水位是主参数，也称主冲量
- ❑ 给水流量为副参数，蒸汽流量是前馈补偿，给水与蒸汽流量也称为辅助冲量
- ❑ 这是一个前馈-串级复合控制系统

10.4.2 燃烧控制系统

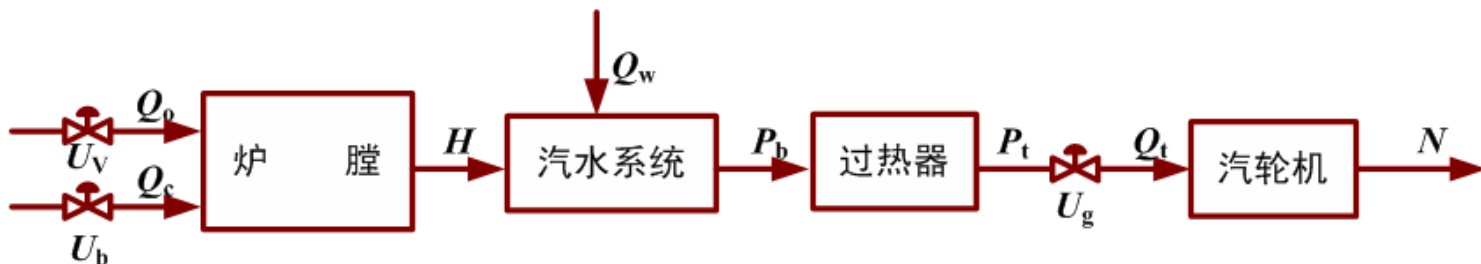
- 使燃料所产生热量满足蒸汽负荷需求，保证燃烧的经济性和锅炉安全性

控制系统	特性
蒸汽压力控制系统	蒸汽压力反映锅炉生产的蒸汽量和汽轮机消耗的蒸汽量相适应的程度。负荷变化时，通过调节燃料量使蒸汽压力稳定
经济燃烧控制系统	燃料量改变时，按照一定的比例调节送风量，保证充分燃烧和经济性
炉膛负压控制系统	炉膛压力的高低关系到锅炉的安全经济运行，燃烧控制系统需配合引风量与送风量，以保证炉膛压力稳定

10.4.2 燃烧控制系统

1、主蒸汽压力的动态特性

- 主要影响因素：燃料量，汽轮机耗汽量
- 燃料量增加，炉膛热负荷增加，汽包压力升高，汽轮机进汽阀开度不变时，主蒸汽压力升高
- 电网负荷变化，改变汽轮机进汽阀开度，使汽轮机耗汽量发生突然改变，主蒸汽压力发生变化
- 燃料量波动大时，为及时抑制燃料量自身扰动，采用蒸汽压力-燃料量构成的串级控制



10.4.2 燃烧控制系统

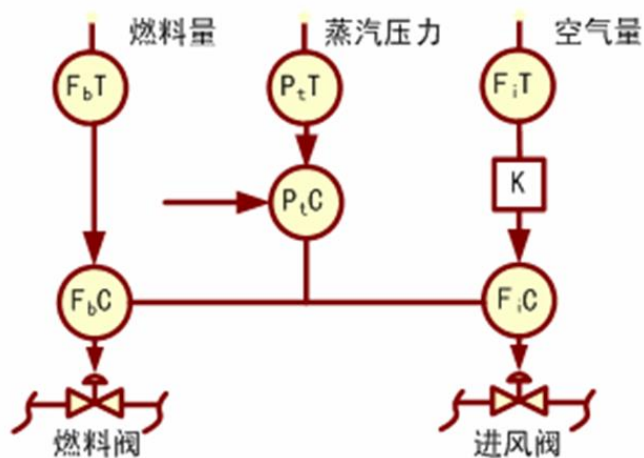
2、经济燃烧控制

- 以燃料量跟踪蒸汽负荷需求为前提，保证空气量（进风量）能与燃料量满足一定比例，使燃烧过程充分，从而以最经济的燃料供给量提供最大的燃烧热
- 燃料量与进风量之间采用比值控制
- 燃料量跟随蒸汽负荷变化而变化，为主流量
- 进风量为副流量

10.4.2 燃烧控制系统

➤ 控制方案1

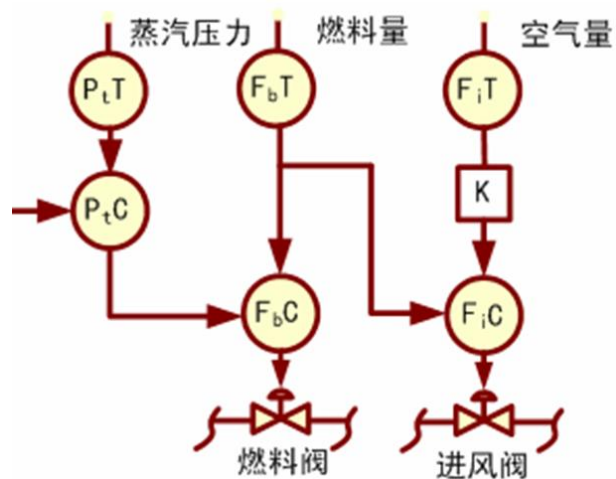
- ❑ 将蒸汽压力控制器的输出同时作为燃料量控制器和进风量控制器的设定值
- ❑ 可以保持蒸汽压力的稳定，空燃比通过两个控制器的正确动作而间接得到保证



10.4.2 燃烧控制系统

➤ 控制方案2

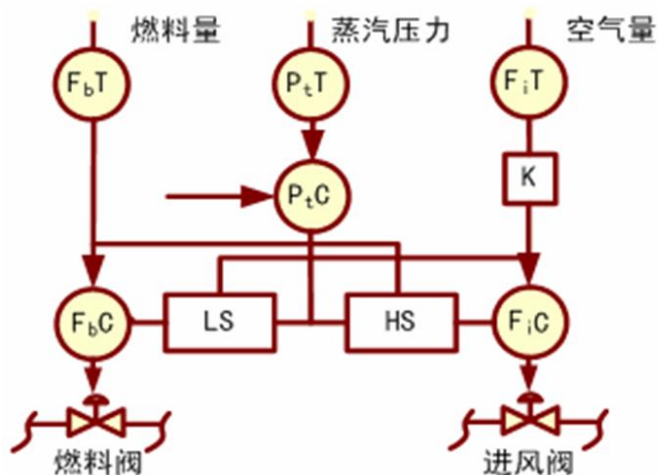
- ❑ 蒸汽压力与燃料量构成串级控制，进风量跟随燃料量变化而变化，从而确保空燃比
- ❑ 负荷发生变化时，进风量变化落后于燃料量，会导致燃烧的不完全性



10.4.2 燃烧控制系统

➤ 控制方案3

- ❑ 在控制方案1的基础上增加选择性控制，当负荷减少时，通过低值选择器先减少燃料量，后减少空气量
- ❑ 当负荷增加时，通过高值选择器，先增加空气量，再加大燃料量，从而保证充分燃烧



10.4.2 燃烧控制系统

- 上述方案不能保证始终保持最经济燃烧
 - 不同负荷下，两流量的最优化比值是不同的
 - 燃料成分和热值可能会变化
 - 流量测量不够准确
- 导致空气过量或者燃烧不完全，造成锅炉热效率下降

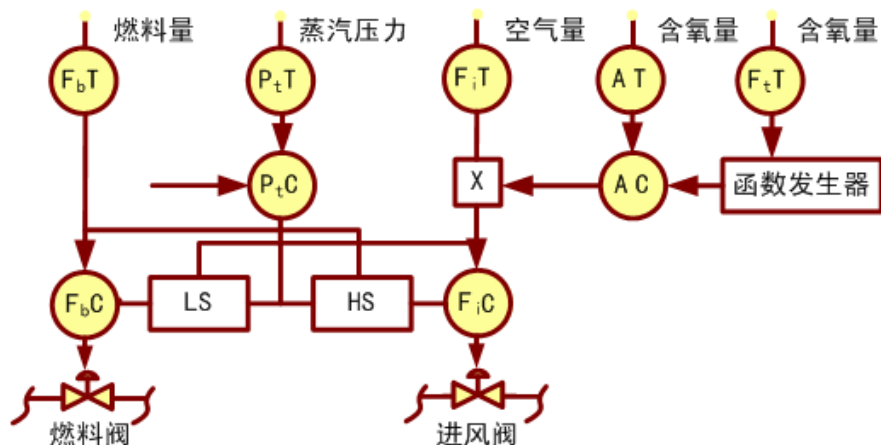
如何保证最优空燃比呢？

10.4.2 燃烧控制系统

- 烟气中的含氧量可以衡量空燃比，常用过量空气系数 α 衡量风量-燃料配比
- 最佳 α 值与锅炉负荷有关
- 烟气中的 O_2 含量与 α 之间有比较固定的关系，通过测量和控制锅炉烟气中的 O_2 含量可实现过量空气系数 α 的测量和控制，也就实现了风量-燃料配比的控制

10.4.2 燃烧控制系统

- 根据烟气含氧量与蒸汽流量之间的近似关系，获得当前负荷条件下的烟气含氧量设定值。
- 氧含量成分控制器：根据最佳值对过剩空气量进行校正，使锅炉在不同负荷下始终处于最优过剩空气量下运行，保证锅炉燃烧的经济性最高，热效率最高。



10.4.2 燃烧控制系统

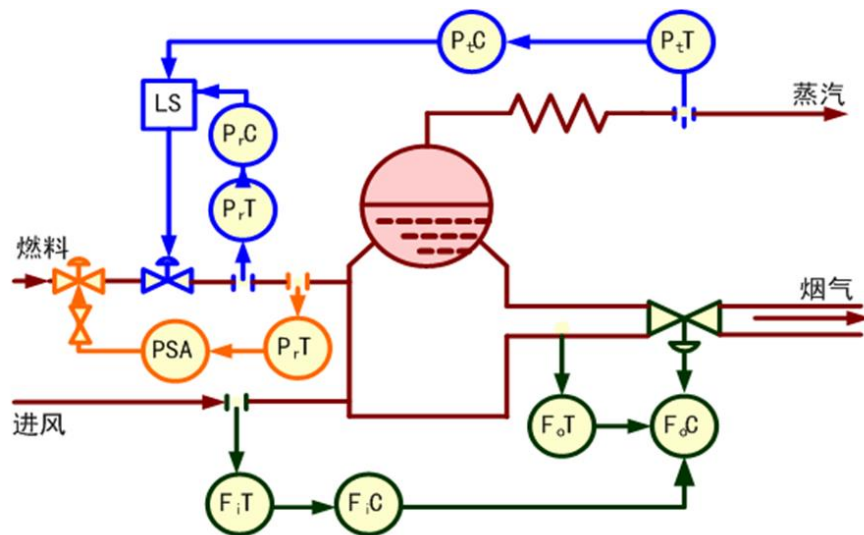
3、炉膛压力控制

- 为保证炉膛安全，要求炉膛压力略低于大气压力，保持微负压
- 若炉膛负压太小，热烟气甚至火焰会向外冒出，影响人员设备安全
- 若炉膛负压太大，冷空气进入炉内，使热量损失增加，热效率降低
- 可通过调节烟道引风机开度来改变引风量，维持炉膛负压一定
- 由于炉膛压力受到引风量和送风量影响，特别是锅炉负荷变化比较大时，送风量变化会引起炉膛负压的较大波动
- 引入送风量作为前馈信号，与引风量单回路控制系统共同构成前馈-反馈复合控制系统，有效维持引风量与送风量之间的平衡关系

10.4.2 燃烧控制系统

4、安全保护系统

- ❑ 燃烧嘴背压过高，容易引起脱火现象；背压过低，会导致回火
- ❑ 背压正常时，控制燃料给入量，维持主蒸汽压力稳定
- ❑ 背压过高时，通过低值选择器LS，减小阀开度，降低背压，避免脱火
- ❑ 背压过低时，由PSA带动联锁，切断燃料上游阀门，避免回火引发事故

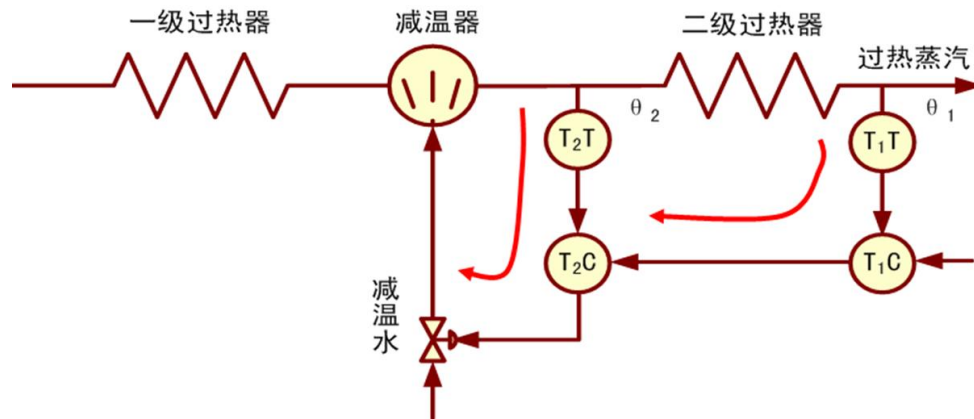


10.4.3 过热蒸汽温度控制系统

- 锅炉出口的过热蒸气温度是蒸气重要的质量指标，直接关系到设备的安全和系统的生产效率
- 由一级过热器、减温器、二级过热器构成
- 若过热蒸气温度过高，容易烧坏过热器，还会引起汽轮机内部零件过热，影响生产过程顺利进行
- 温度过低则会降低全厂热效率，引起汽轮机叶片磨损
- 一般电厂锅炉要求过热蒸气温度偏差保持在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内

10.4.3 过热蒸汽温度控制系统

- 由减温器后蒸汽温度 T_2 与过热蒸汽温度 T_1 构成串级控制
- 主回路以维持过热蒸汽温度 T_1 稳定为目标
 - 副回路中, T_2 能反映减温水压力等扰动对蒸汽温度的影响, 并通过副回路控制器及时抑制这些扰动
 - 注意: 该方案前提条件是减温器出口允许安装测温元件



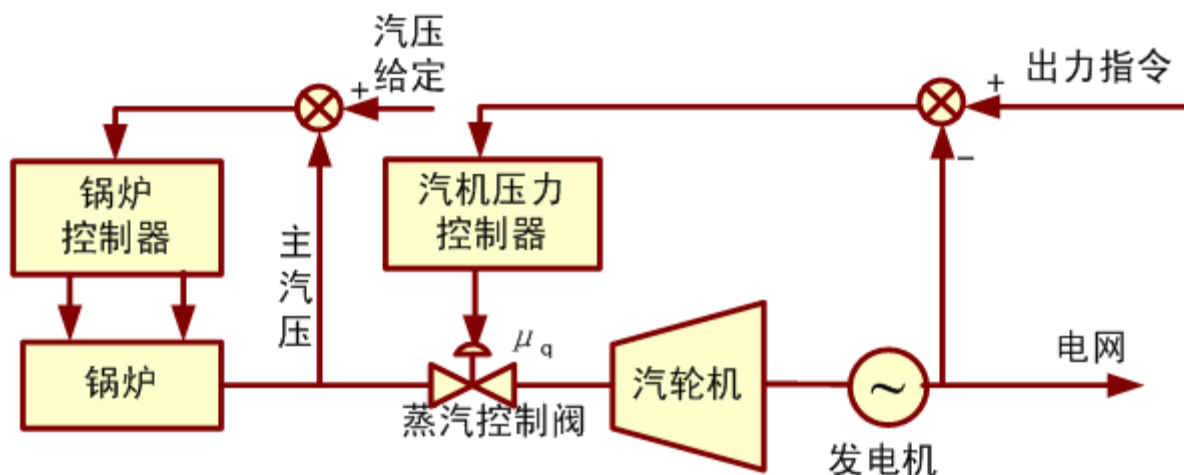
10.4.4 机炉协调控制

- 单元机组由锅炉和汽轮机构成，其控制任务是及时适应外界负荷需求，并保持主汽压稳定
- 为适应电网负荷变化，根据单元机组的结构特点，设计出三种不同负荷控制方式
 - 炉跟机运行方式
 - 机跟炉运行方式
 - 机炉协调运行方式

10.4.4 机炉协调控制

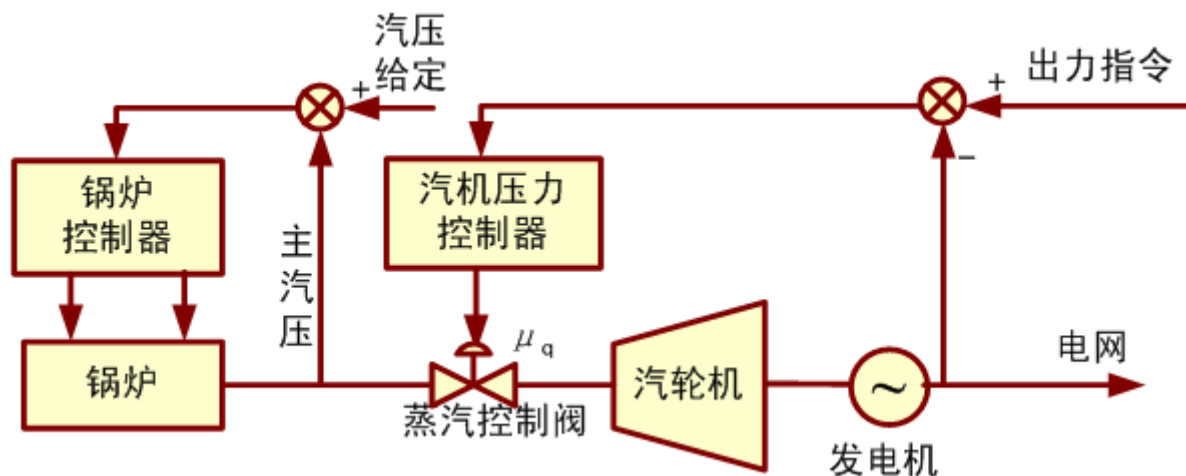
1、炉跟机运行方式

- 先由汽轮机跟踪外界负荷需求，再让锅炉跟随汽轮机的变化，称为“炉跟机”方式
- 充分利用锅炉蓄热能力，使机组能较迅速地跟踪出力指令变化



10.4.4 机炉协调控制

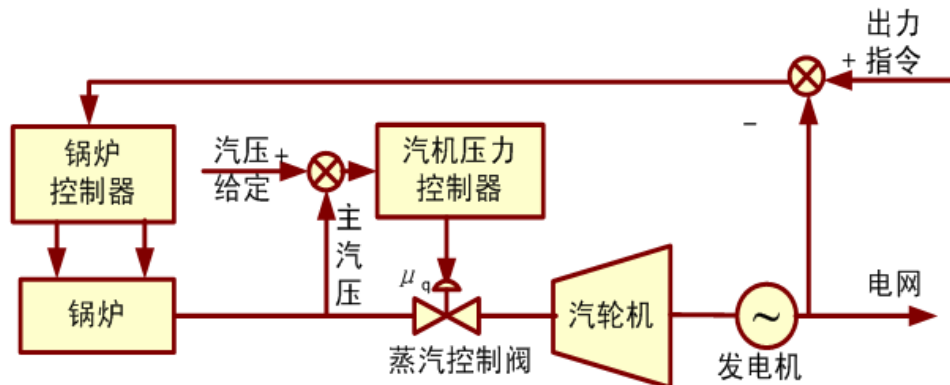
- 出力指令变化较小时，锅炉蓄热能力可满足快速反应需求
- 出力指令变化较大时，锅炉蓄热能力有限及锅炉大惯性导致主蒸汽压力波动大，不能及时满足汽轮机负荷，不利于安全运行
- 适用于参加电网调频的机组



10.4.4 机炉协调控制

2、机跟炉运行方式

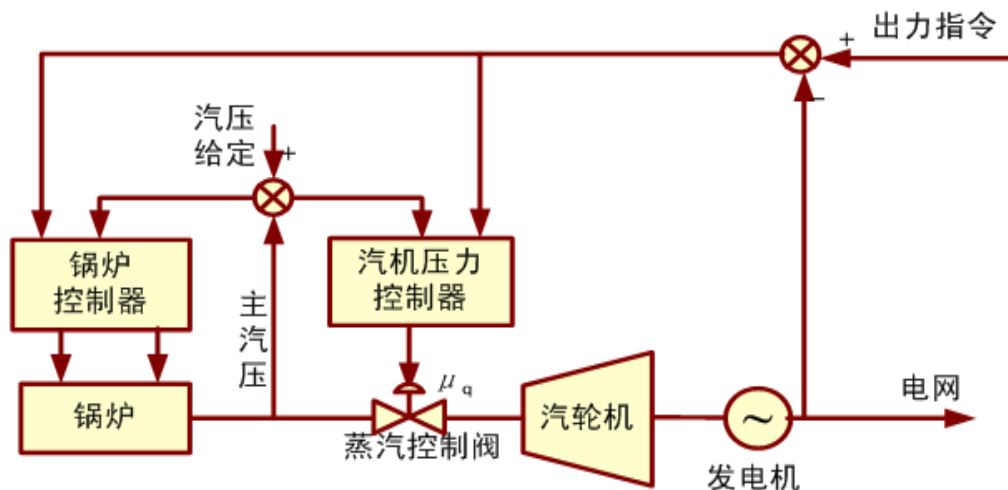
- 先由锅炉跟踪外界负荷需求，再让汽轮机跟随锅炉的变化，称为“机跟炉”方式
- 主蒸汽压力比较稳定，但没有利用锅炉蓄热量、燃烧延迟，使响应缓慢，负荷适应性不好
- 适用于带基本负荷的机组上



10.4.4 机炉协调控制

3、机炉协调控制

- 为兼顾锅炉和汽轮机对电网负荷的适应能力，出力指令和主蒸汽压力信号同时作用到汽轮机压力控制器和锅炉控制器
- 既避免了“炉跟机”调用锅炉需热量过大而导致过大主蒸汽压力波动，又克服“机跟炉”方式中负荷变化响应缓慢的缺点



10.4.4 机炉协调控制

- 可以有效抑制锅炉自身扰动引起的出力波动：当锅炉燃料量自发增加时，主蒸汽压力升高，通过锅炉控制器减少燃料量，同时通过汽机压力控制器加大蒸汽控制阀开度，增加汽轮机进气量，从而迅速抑制主蒸汽压力的波动
- 综合了“炉跟机”和“机跟炉”各自的优点，兼顾出力需求和主蒸汽压力稳定两方面，能确保机组在安全的前提下最大限度地适应负荷的需要

第10章 过程控制系统应用实例

- 10.1 过程控制系统设计步骤
- 10.2 控制方案的确定
- 10.3 系统的工程设计
- 10.4 工业锅炉自动控制系统
- 10.5 精馏塔过程控制系统（自学）