

浙江大学 20_09 - 20_10 学年 春夏 学期

《 过程控制工程 》课程期末考试试卷

请考生仔细阅读以下注意事项：

1. 诚信考试，沉着应考，杜绝违纪。
2. 课程号： 11120510 ，考试试卷： ☒ A 卷、 ☐ B 卷（请在选定项上打 ☒ ）
3. 开课学院： 控制系
4. 考试形式： ☒ 闭、 ☐ 开卷（请在选定项上打 ☒ ），允许带 计算器 入场
5. 考试日期： 2010 年 07 月 01 日，考试时间： 120 分钟

考生姓名： _____ 学号： _____ 所属院系： _____

题序	一	二	三	四	五	六	七	八	总分
得分									
评卷人									

一、（19 分）填空题（每空 1 分）

1. 反馈控制系统由 （被控）对象 ， 测量变送 ， 末端执行器 和 控制器 四部分组成。
2. 采用纯比例控制时， K_c 增大控制作用增强，系统的稳定性 变差 ，余差会 变小 。

3. 假设真实过程的传递函数为 $\frac{-6s^2 + s + 1}{15s^2 + 8s + 1}e^{-15s}$ ，建立的内部模型为 $\frac{-6s^2 + s + 1}{18s^2 + 6s + 1}e^{-18s}$ ，则可设

计内模控制器为 $\frac{18s^2 + 6s + 1}{(T_f s + 1)(3s + 1)}$ 。

4. 温度变送器的量程为 $50 \sim 150^\circ\text{C}$ ，输出为 $4 \sim 20\text{mA}$ 。假设采用 12 位的 A/D ，当实际的测量值是 100°C 时采样值为 100000000000b 。

5. 数字 PID 的位置式为 $u(k) = K_c \left\{ e(k) + \frac{T_s}{T_i} \sum_{i=1}^k e(i) + \frac{T_d}{T_s} [e(k) - e(k-1)] \right\} + u_s$ ，增量式为

$$\Delta u(k) = K_c \left\{ [e(k) - e(k-1)] + \frac{T_s}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T_s} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\}。$$

6. 假设图 1 所示的锅炉三冲量控制系统中蒸汽和给水流量均为线性测量变送，加法器的运算式为

$$I_o = C_0 + C_1 I_L + C_2 I_V + C_3 I_W。$$

若蒸汽量的仪表量程为 F_{VM} T/hr，给水量仪表量程为 F_{WM}

T/hr；而对于调节阀开度的变化，对应的水量变化为 K_F (T/hr) / %。工艺上要求给水流量和

蒸汽流量相等。当给水阀为气开阀时，为实现对蒸汽量的理想静态前馈控制，则系数 C_2 和 C_3

应的关系应为
$$\frac{C_2}{F_{VM}} + \frac{C_3}{F_{WM}} = \frac{1}{100K_F}。$$

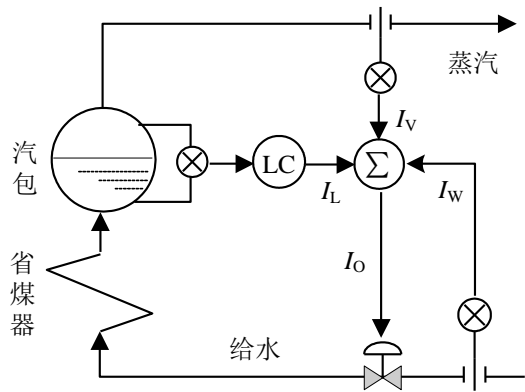


图1 锅炉三冲量控制系统

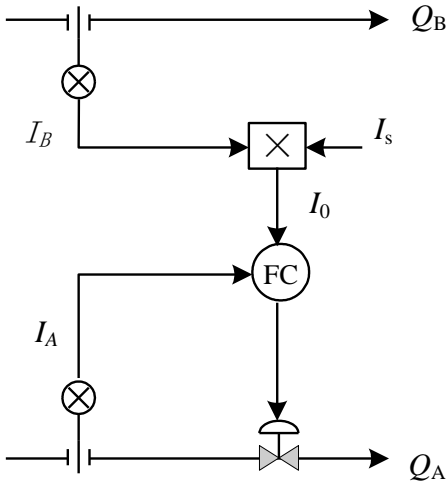


图2 比值控制系统

7. 图2所示为一个乘法器实现的比值控制系统，采用 DDZ-III 型仪表，且两个流量测量变送器都为线性变送器。已知 Q_B 的量程为 0~7000kg/h， Q_A 的量程为 0~4000kg/h。若已知两个流量期望

的比值 $\frac{Q_A}{Q_B} = 0.5$ ，则 $I_s = 18\text{mA}$ 。

8. 在阶跃响应测试中，选择对象的近似模型为一阶加纯滞后模型，则由图3可知模型的静态增益

$$K = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0}，\text{时间常数 } T = T_2 - T_1，\text{纯滞后时间 } \tau = T_1 - T_0。$$

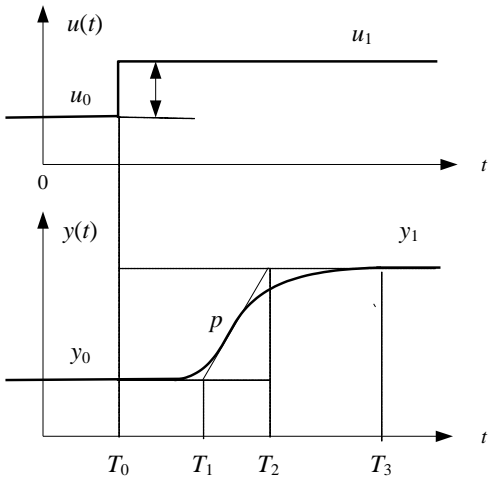


图3 阶跃响应测试

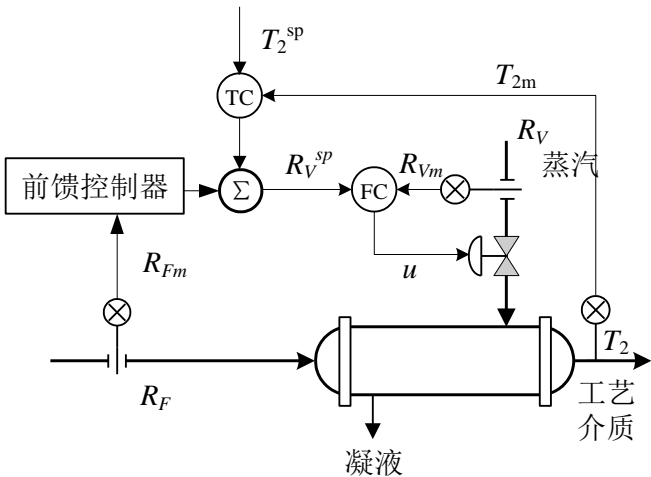


图4 换热器串级前馈控制系统

9. 图 4 所示的换热器串级前馈控制系统中采用的蒸汽流量调节阀是一个气开阀，则流量控制 FC 为反作用控制器，温度控制器 TC 为反作用控制器，前馈控制器为正作用控制器。假设

干扰通道的传递函数为 $G_{YD}(s) = \frac{T_{2m}(s)}{R_f(s)} = -\frac{7.8e^{-0.5s}}{3s+1} \frac{\%}{T/hr}$ ，控制通道的传递函数为

$G_{YC}(s) = \frac{T_{2m}(s)}{R_{vsp}(s)} = \frac{2.0e^{-0.2s}}{6.3s+1} \frac{\%}{T/hr}$ ，介质流量 R_f 的传感变送器的传递函数为

$G_{DM}(s) = K_{DT} = 4.0 \frac{\%}{T/hr}$ ，则可得前馈控制器 $G_{ff}(s) = 0.975 \frac{6.3s+1}{3s+1} e^{-0.3s}$ 。

二、（11 分）选择题：

- 通常情况下温度对象多采用d控制律。
a、比例 P b、比例积分 PI c、比例微分 PD d、比例积分微分 PID
- 一个串级控制系统中，主被控变量是温度，其变送器量程从原来的 0-200℃ 改为 80-120℃。在只考虑静态的情况下，副控制器比例度应该c，主控制器比例度应该a。
a、变大 b、变小 c、不变 d、随便
- 图 5 为一个液体储罐对象，通过调节进液阀来保持储罐的液位 H 不变。假设该系统的主要扰动来自出液截止阀的开度变化，仅考虑补偿静态特性 Kp 的变化，应选择进液阀为c。
a、快开阀 b、线性阀 c、对数阀 d、截止阀

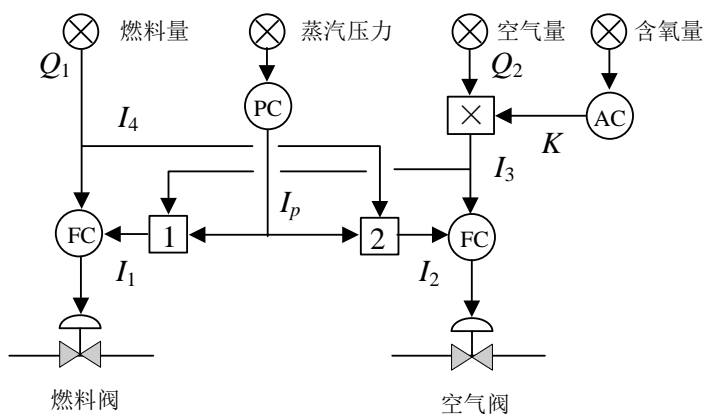


图 6 锅炉燃烧控制

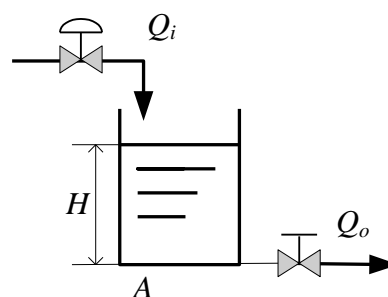


图 5 储罐液位系统

- 图 6 所示为锅炉燃烧控制，当图中的 [1] 处采用c，[2] 处采用d 时能实现正确的逻辑提降过程，即增加燃料时是先增加空气再增加燃料量，减少燃料时是先减少燃料再减少空气量。
a、加法器 b、乘法器 c、低选器 d、高选器
- 在图 7 中所示的换热器出口温度控制方案中实际上是通过b来调节传热量的。
a、改变传热系数 b、改变平均温差 c、改变传热面积 d、前 3 项都有

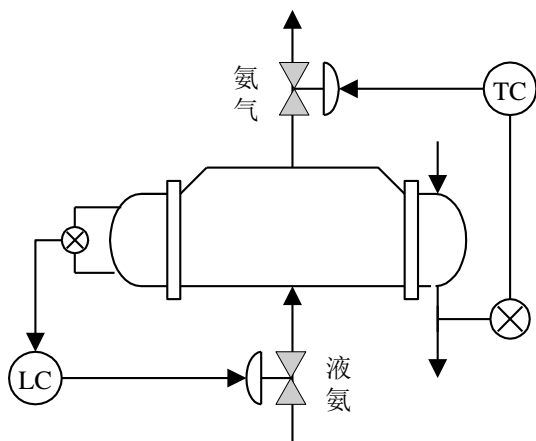


图7 换热器出口温度控制

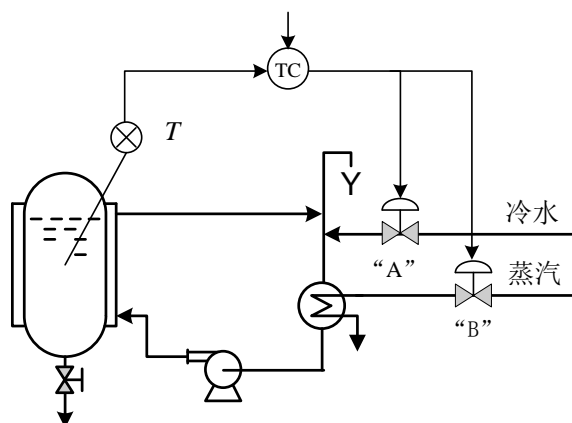


图8 聚合反应器温度分程控制

6. 对于图8所示的聚合反应器温度分程控制系统，为实现在反应开始阶段通入蒸汽来提高反应温度；反应正常进行时通冷水来降低反应器的内部温度。蒸汽阀B应为 a，分程区间为 d；冷水阀A应为 b，分程区间为 c。

a、气开阀 b、气关阀 c、0.02-0.06MPa d、0.06-0.10MPa

三、（10分）判断题：

1. 通过选择调节阀的“气开/气关”特性来保证控制回路是负反馈回路。（答案：×）
2. 由于串级控制系统比单回路控制更能够有效抑制干扰，在设计控制方案时应尽可能选择串级控制而不是单回路控制。（答案：×）
3. 串级控制系统能有效抑制副回路中的干扰，因此在选择副变量时应将所有的干扰都包含到副回路中。（答案：×）
4. 对于比值控制，假设期望两个流量 Q_A 和 Q_B 的比为 1:2，则只需将比值器的 K 值设置为 0.5 即可。（答案：×）
5. 选择性控制系统中，要同时根据两个控制回路来决定应该采用高选器还是低选器。（答案：×）
6. 某简单精馏塔，要求控制其回流罐液位 L_D 和精馏塔塔底液位 L_B ，可操纵变量为回流量 L ，塔顶产品采出量 D ，塔底产品采出量 B ，再沸器加热量 Q_H 。若精馏塔塔顶采出量 D 和塔底采出量 B 的比大于 10:1，则可用回流量 L 控制塔顶液位，塔底采出量 B 控制塔底液位。（答案：×）
7. 采用临界比例度法整定 PID 控制器参数时，首先将控制回路切换到手动，并将控制器的积分作用和微分作用全部切除，按比例增益 K_c 由小到大变化，对应于某一 K_c 值作小幅的设定值阶跃扰动，以获得临界情况下的等幅振荡。然后根据临界振荡周期 P_u 和控制器临界比例增益 K_{cmax} ，查表求取控制器的最佳参数值。（答案：×）
8. 对于多输入多输出系统，可根据静态增益的大小来选择变量配对。（答案：×）
9. 串级系统对副对象特性的变化具有较好的鲁棒性，因此副对象特性的变化对主、副回路的控制品质没有很大的影响。（答案：×）
10. 前馈控制是基于模型的开环控制。（答案：√）

四、（10 分）论述题（每题 5 分）

1. 图 9 所示的串级系统，分别在 u_1, u_2 阶跃干扰下从一个稳态过渡到另一个稳态。当 G_{c1} 和 G_{c2} 都为 PI 作用时，试分析能否保证 $y_1(\infty) = y_1(0), y_2(\infty) = y_2(0)$ ？

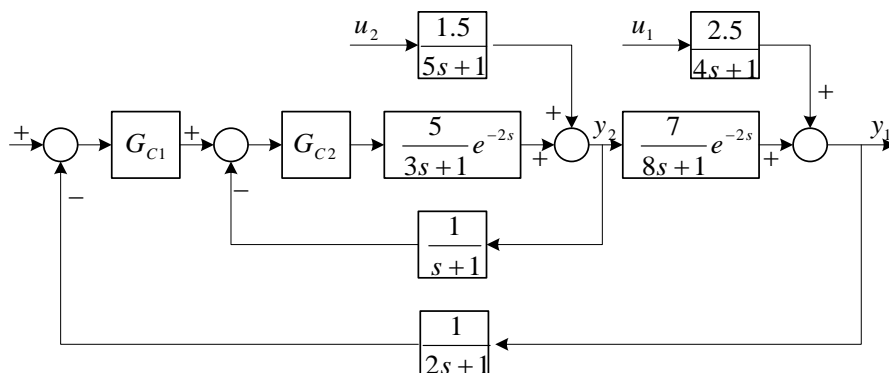


图 9 串级控制

答：由于 G_{c1} 为 PI 控制，在干扰情况下从一个稳态过渡到另一个稳态后应该没有余差，因此有 $y_1(\infty) = y_1(0) = y_1^{sp}$ 。在 u_1 干扰下，由于 $u_1(\infty) \neq u_1(0)$ ，所以 $y_2(\infty) \neq y_2(0)$ 。在 u_2 干扰下，由于 $u_1(\infty) = u_1(0)$ ，所以 $y_2(\infty) = y_2(0)$ 。

2. 试分析图 10 所示的两个系统各属于什么系统？并说明理由。

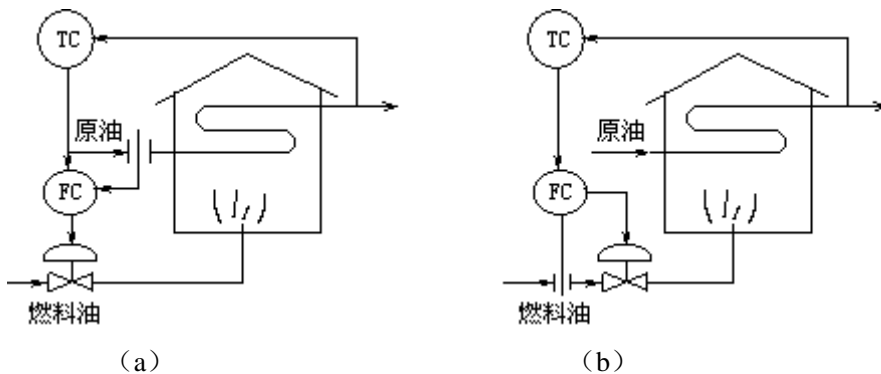


图 10 两个系统的结构图

答：图 10（a）为前馈反馈控制，（b）为串级控制。串级控制和前馈反馈控制的区别在于第二个被检测变量（图（a）中为原油的流量，图（b）中为燃料油的流量）是否会受到调节阀的影响。显然图（a）中原油的流量不会受到燃料油调节阀的影响，而图（b）中燃料油调节阀直接改变燃料油的流量。

五、（10 分）对于图 11 所示的加热炉温度控制系统，假设采用继电器自整定方法来确定 TC 控制器的参数。继电器的幅度为 $d = \pm 2.0$ ，可得到图 12 所示的输入输出曲线。试计算控制器的参数。

表 1 Z-N 整定控制器参数

控制器	K_c	T_i	T_d
P	$0.5K_u$		
PI	$0.4K_u$	$0.8T_u$	
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.12T_u$

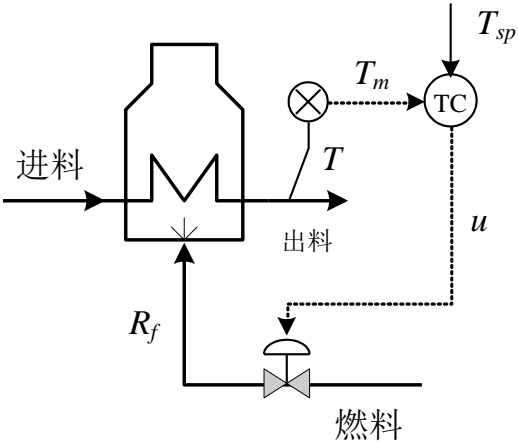


图 11 加热炉反馈控制

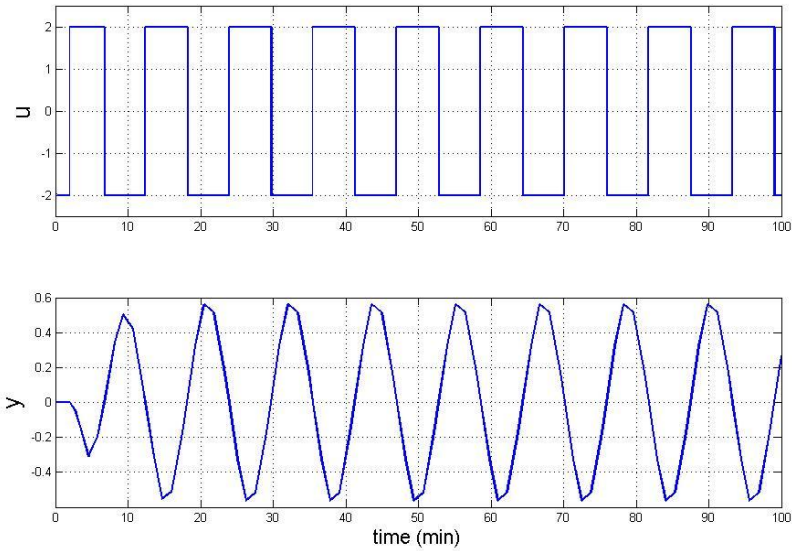


图 12 输入输出响应曲线

答：由图 12 可得，振荡周期 $T_u = 11\text{ min}$ ；振幅 $a = 0.6$ 。因而对应的临界控制增益为

$$K_u = \frac{4d}{\pi a} = \frac{4 \times 2}{3.14 \times 0.6} \approx 4.25$$

由于是温度控制，因此选择 PID 调节器，则由 Ziegler-Nichols 闭环整定法得到调节器参数为：

$$K_C = 0.6 \times K_u = 2.55, \quad T_i = 0.5 \times T_u = 5.5\text{ min}, \quad T_d = 0.12 \times T_u = 1.32\text{ min}.$$

六、（10 分）图 13 所示为一个加热炉对象，出料温度和燃料的阀后压力可测，燃料流量可调。试设计控制系统使得出料温度保持稳定，同时保证阀后压力不要过大，以免发生脱火的情况。

- 1. 画出带控制点的工艺流程图（可表示在原图上）；
- 2. 画出防积分饱和信号连接示意图。

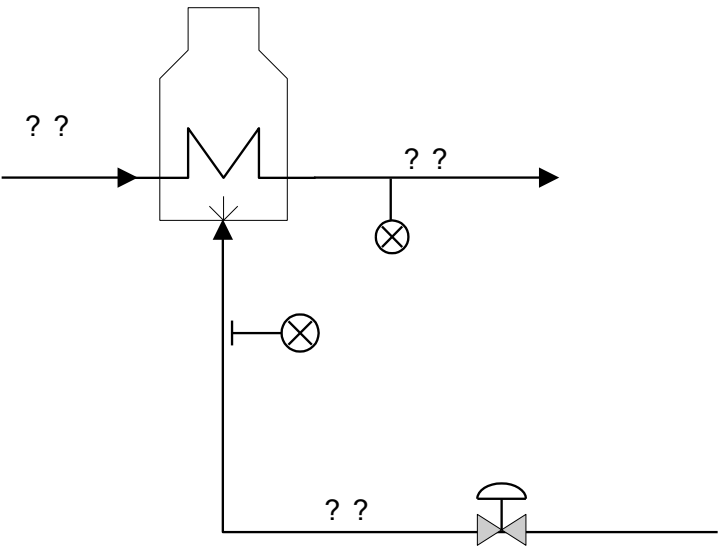


图 13 加热炉对象

答：

- 1、带控制的流程图如下图 13-1 所示。

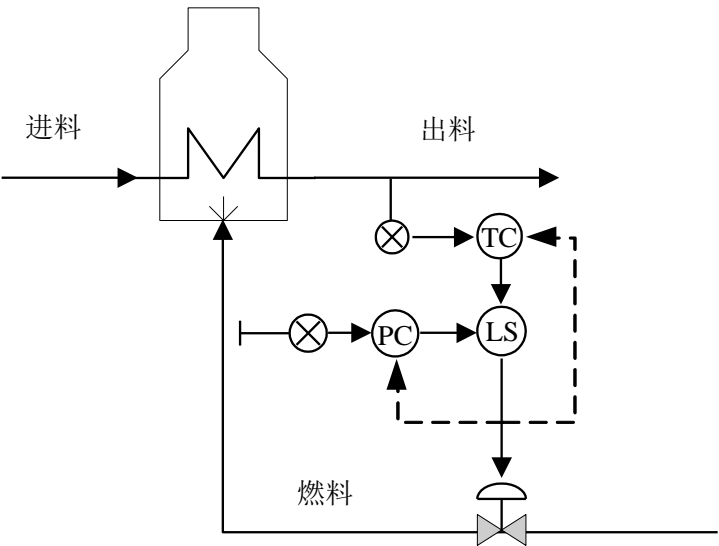


图 13-1

- 2、上图中的虚线即为防积分饱和信号连接。

七、（15 分）图 14 为一个精馏塔的两端质量指标控制流程图。假设已经建立塔底与塔顶温度 T_B 、 T_D 与

回流 L 和再沸器加热量 Q_H 之间的关系：

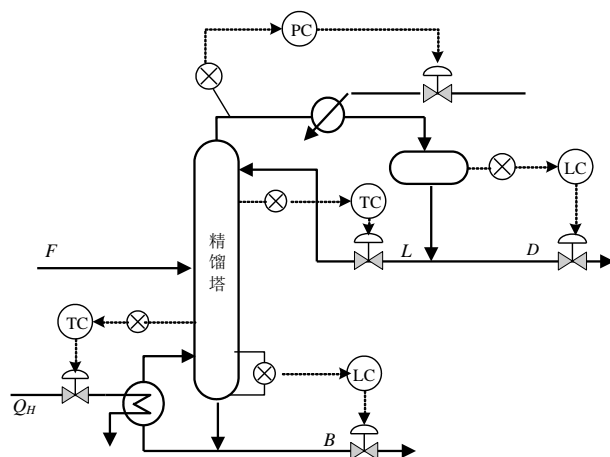
$$\begin{bmatrix} T_D(s) \\ T_B(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-2.16e^{-0.6s}}{8.25s+1} & \frac{1.26e^{-0.75s}}{7.05s+1} \\ \frac{-2.75e^{-1.8s}}{8.25s+1} & \frac{4.28e^{-0.35s}}{9.0s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L(s) \\ Q_H(s) \end{bmatrix}。$$

现选择回流 L 来控制塔顶温度 T_D ，再沸器加热量

Q_H 控制塔底温度 T_B 。

1. 试分析这种变量配对是否合适？
2. 该方案是否需要进行解耦控制？如果需要，

请设计前馈解耦环节，并画出解耦控制系统的方块图。



答：

图 14 精馏塔的两端质量指标控制流程图

- 1、可得静态增益矩阵为 $K = \begin{bmatrix} -2.16 & 1.26 \\ -2.75 & 4.28 \end{bmatrix}$ ，可求得相对增益矩阵为 $\Lambda = \begin{bmatrix} 1.6 & -0.6 \\ -0.6 & 1.6 \end{bmatrix}$ 。因此变量

配对合适。

- 2、由于相对增益为 1.6，因此变量对之间的耦合严重，需要进行解耦控制。解耦控制的方块图如图 14.1 所示，两个解耦环节分别为：

$$D_{12}(s) = -\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)} = -\frac{\frac{1.26e^{-0.75s}}{7.05s+1}}{\frac{-2.16e^{-0.6s}}{8.25s+1}}，所以 D_{12}(s) = \frac{0.58(8.25s+1)e^{-0.15s}}{7.05s+1}$$

$$D_{21}(s) = -\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)} = -\frac{\frac{-2.75e^{-1.8s}}{8.25s+1}}{\frac{4.28e^{-0.35s}}{9.0s+1}}，所以 D_{21}(s) = \frac{0.64(9.0s+1)e^{-1.45s}}{8.25s+1}$$

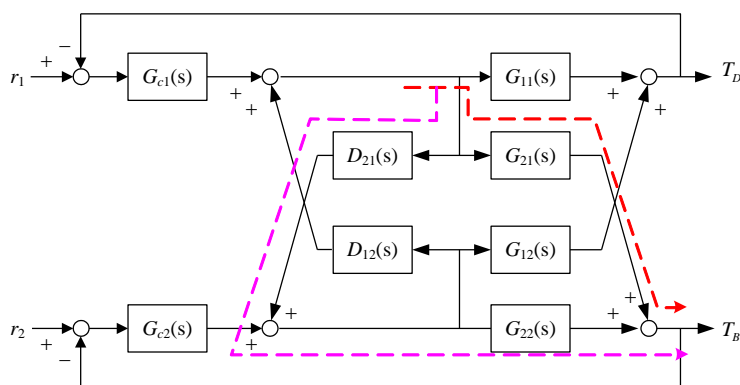


图 14.1 解耦方块图

八、（15 分）某锅炉燃烧系统如下图 15 所示，工艺上采用燃料油和瓦斯气两者并用。其中瓦斯气为能源回收利用，有多少就用多少，但其流量不稳定，且只能提供所需热量的 25%-35%左右。燃料油流量可选作操纵变量，但油源压力不稳定。假设瓦斯气流量、燃料油流量以及蒸汽压力可测，且两个流量计完全相同。为保持蒸汽压力稳定，请利用已有的测量变送器、调节阀以及 PID 控制器和加法器设计控制系统（加法器的输出为 $I = c_1 I_1 + c_2 I_2 + c_0$ ）。

1. 画出带控制点工艺流程图（可表示在原图上）；
2. 画出系统的方块图，并给出系数 c_1 和 c_2 的值。（已知燃料油的热值为 λ_2 ，瓦斯气的热值为 λ_1 ）；
3. 标出控制阀的气开、气关形式及控制器的正反作用。

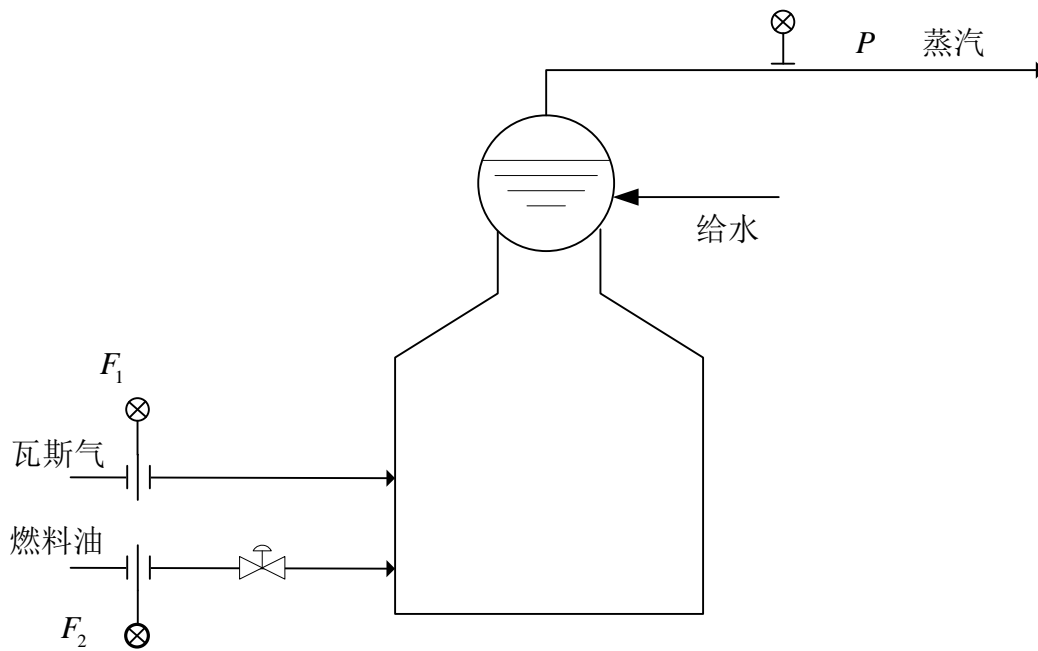


图 15 锅炉燃烧系统

答：

- 1、带控制点的工艺流程图如图 15-1 所示

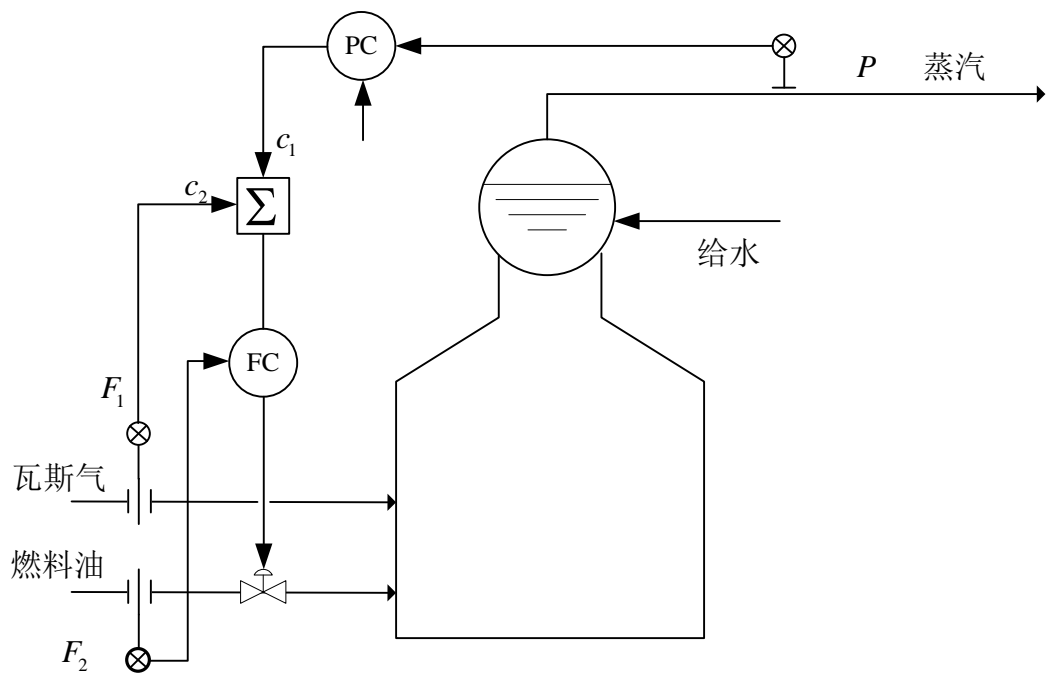


图 15-1

2、控制方框图如图 15-2 所示

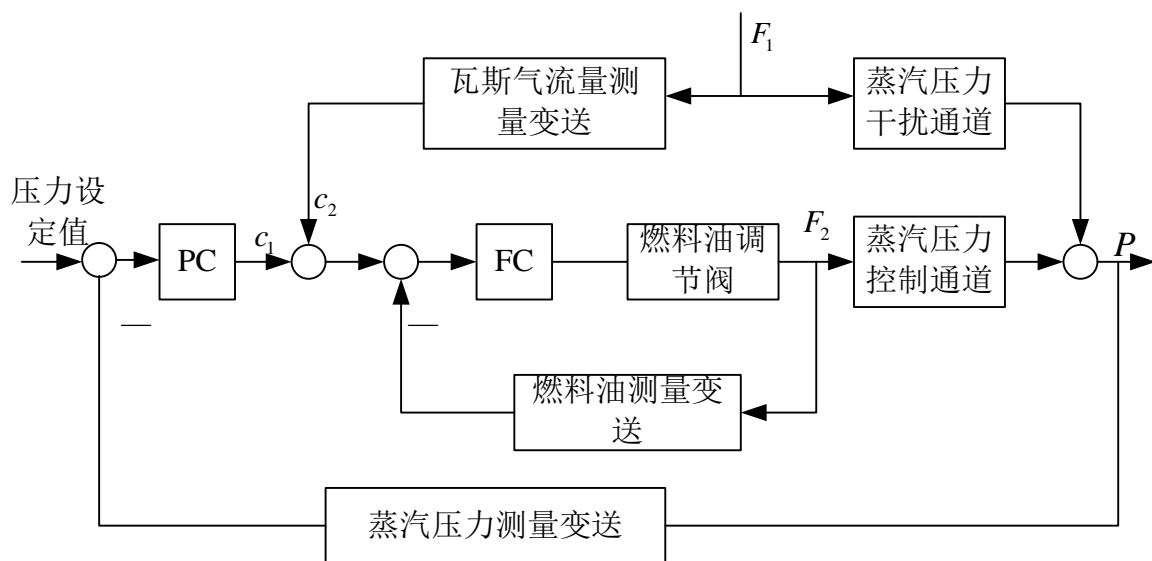


图 15-2

图中系数分别为: $c_1 = 1$, $c_2 = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

3、控制阀为气开阀, FC 控制器为反作用控制器, PC 为反作用控制器