

# 过程控制期末考试终极奥义

Aaron

2011 年 6 月 15 日

## I 填空及小型简答题

### 1.1 绪论

- (1) (平衡) 与 (速率) 是分析单元操作过程的两个基本方面。
- (2) “三传一反”是指 (热量传递)、(质量传递)、(动量传递) 和 (化学反应工程)。
- (3) 过程控制中被控参数种类包括 (温度)、(压力)、(流量)、(液位)、(成分) 和 (物性)。
- (4) 化学工程中的三种衡算分别是 (质量衡算)、(能量衡算) 和 (动量衡算)。
- (5) 对于质量守恒表达式  $\sum F = \sum D + A$ , 其中  $\sum F$  表示 (t 时间内输入物料质量的总和),  $\sum D$  表示 (t 时间内输出物料质量的总和),  $A$  表示 (t 时间内系统中积累的物料质量的总和)。
- (6) 对于能量守恒表达式  $\sum H_F + Q + H_R = \sum H_P + Q_A$ , 其中  $\sum H_F$  表示 (单位时间内输入系统的焓值的总和),  $\sum H_P$  表示 (单位时间内从系统输出的物料的焓值的总和),  $H_R$  表示 (单位时间内系统中化学反应放热),  $Q$  表示 (单位时间内从环境传入的热量),  $Q_A$  表示 (单位时间内系统中热量的积累)。

### 1.2 化工部分

#### 1.2.1 流体的流动与输送

- (1) 气体与液体的区别表现在 (密度) 和 (压缩性)。
- (2) 流动中的流体所受的作用力分为 (体积力) 和 (表面力) 两种。前者是作用于流体 (每个质点) 上的力, 与流体的 (质量) 成正比; 后者是作用于流体 (质点表面) 的力, 与流体的 (质点表面积) 成正比。
- (3) (垂直于表面的力) 称为压力, (平行于表面的力) 称为剪力。
- (4) 流体静力学方程的应用条件是 (静止)、(连续)、(均一) 的流体。
- (5) 粘性是 (确定流体流动时内摩擦力大小的这种物理性质), 而粘度是 (自然是流体粘度大小的物理量)。
- (6) 气体粘度随温度升高而 (升高), 液体的粘度随温度的升高而 (降低)。

- (7) 流体的流动可以分为（稳定流动）和（不稳定流动）<sup>1</sup>两类。
- (8) 什么是离心泵的“气缚”现象？（由于离心泵不具有自吸能力，如果泵壳和吸入管路内没有充满流体，泵内有空气，由于空气密度远小于液体的密度，叶轮旋转对其产生的离心力很小，叶轮中心处所形成的低压不足以形成吸上流体所需要的真空度，泵就无法工作。此现象称为“气缚”。）
- (9) 离心泵流量调节的主要方法有？（i. 通过在管路上安装调节阀法改变管路特性；ii. 通过改变泵的转速来改变泵的特性；通过改变泵的旁路回流量来改变管路的特性。）

### 1.2.2 传热

- (1) 传热的三种基本方式包括（热传导）、（对流）和（热辐射）<sup>2</sup>。
- (2) 物体的辐射能力是指（物体在一定温度下，单位表面积、单位时间内所发出的全部波长的总能量）。
- (3) 热交换过程的强化途径有（增大传热面积）、（增大平均温差）和（增大传热系数）。其中增大传热系数的方法有（增加湍流程度）、（增大热导率  $\lambda$ ）、（清除污垢）、（增加  $\alpha$  小的一面传热面）。

### 1.2.3 精馏

- (1) 精馏是（利用各种物质挥发性的不同，将一个多组分混合液分离的过程）。
- (2) 自由度是（在不引起相变的条件下，可以变动的独立变量的数目）。这里的独立变量是指系统的（温度）、（压强）和（两相的组成）。
- (3) （使混合物气、液两相共存，达到平衡后，再将二相分开以得到一定程度的分离）称为平衡蒸馏。
- (4) 简单蒸馏为（间歇）、（非定态）操作。

### 1.2.4 化学反应

- (1) 对于反应  $0 = \sum v_i A_i$ ，化学计量系数  $v_1 = -a_1$ ,  $v_2 = -a_2$ ,  $v_3 = a_3$ ,  $v_4 = a_4$  的物理意义是（如有  $v_1$  mol 的反应物  $A_1$  因反应而消失了，必有  $v_2$  mol 的反应物  $A_2$  也随之消失，同时必产生  $v_3$  mol 的生成物  $A_3$  和  $v_4$  mol 的生成物  $A_4$ ）。

## 1.3 过程控制部分

### 1.3.1 生产过程的动态特性

- (1) 飞升速度的物理意义是（单位阶跃响应的最大变化速度）。

---

<sup>1</sup>在一个流动系统中，如果流体的流速、压强、密度等只是位置的函数，不随时间而变化，则称为稳定流动，否则称为不稳定流动。

<sup>2</sup>要了解各方式的本质。热传导：自由电子运动或分子振动；对流：各部分质点发生相对位移；辐射：电磁波形式发射辐射能。

- (2) 图 1(a) 是（单容）水槽水位的阶跃响应，表征它的特征参数有（时间常数  $T$ ）、（放大倍数  $K$ ）和（飞升速度  $\varepsilon = K/T$ ）。
- (3) 图 1(b) 是（单容积分）水槽水位的阶跃响应，表征它的特征参数有（自平衡率  $\rho = 1/K$ ）和（飞升速度  $\varepsilon = 1/T$ ）。
- (4) 图 1(c) 是（多容（双容））水槽水位的阶跃响应，表征它的等效特征参数有（等效时间常数  $T$ ）、（等效迟延时间  $\tau$ ）和（放大倍数  $K$ ）。

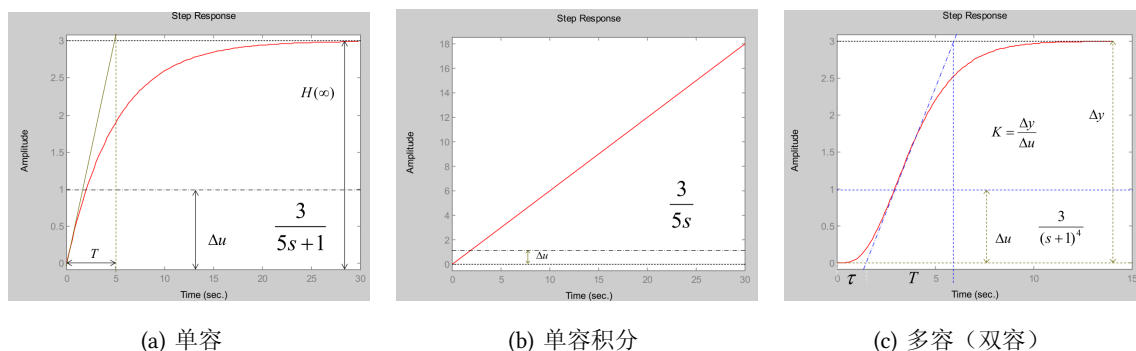


图 1: 不同型号浴盆泡澡曲线

- (5) 过程控制的三大难点问题是（非线性）、（大迟延）和（分布参数）。
- (6) 工业过程动态特性的特点有：i.（对象的动态特性是不振荡的）；ii.（对象动态特性有迟延）；iii.（被控对象本身是稳定的或中性稳定的）；iv.（被控对象往往具有非线性特性）。

### 1.3.2 PID 控制

- (1) 图 2 是一个有差中用带方向的箭头标出稳态误差、超调量、最大动态偏差和过渡过程时间。
- (2) 控制系统动态过程的品质要求有（稳定）、（准确）、（快速）。其中稳定性指标主要是（衰减率）<sup>3</sup>；准确性指标包括（稳态误差）、（最大动态偏差）和（超调量）；快速性指标主要是（过程调整时间）。
- (3) 二阶系统性能指标与特征参数的关系<sup>4</sup>：相对稳定性<sup>5</sup> $m$  上升，则衰减率增大， $\xi$  增大。
- (4) 调节器的正反作用的定义：在稳态时，  
正作用：测量值  $\uparrow \Rightarrow$  控制作用  $\uparrow$   
反作用：测量值  $\uparrow \Rightarrow$  控制作用  $\downarrow$
- (5) 正反作用选择原则：看广义过程  $G_v(s)G_p(s)G_m(s)$  的符号，为+选反，为一选正。
- (6) 比例带的物理意义是（输出作全量程范围变化时的输入变化占其全量程变化范围的百分数）。

<sup>3</sup>注意衰减率与衰减比的关系：衰减比  $= y_1 : y_3$ ，衰减率  $\Psi = 1 - y_3/y_1$ 。

<sup>4</sup>牢记： $\Psi = 1 - e^{-2\pi m}$ ， $\xi = \frac{1}{1 + \frac{1}{m^2}}$

<sup>5</sup>相对稳定性是实部比虚部。

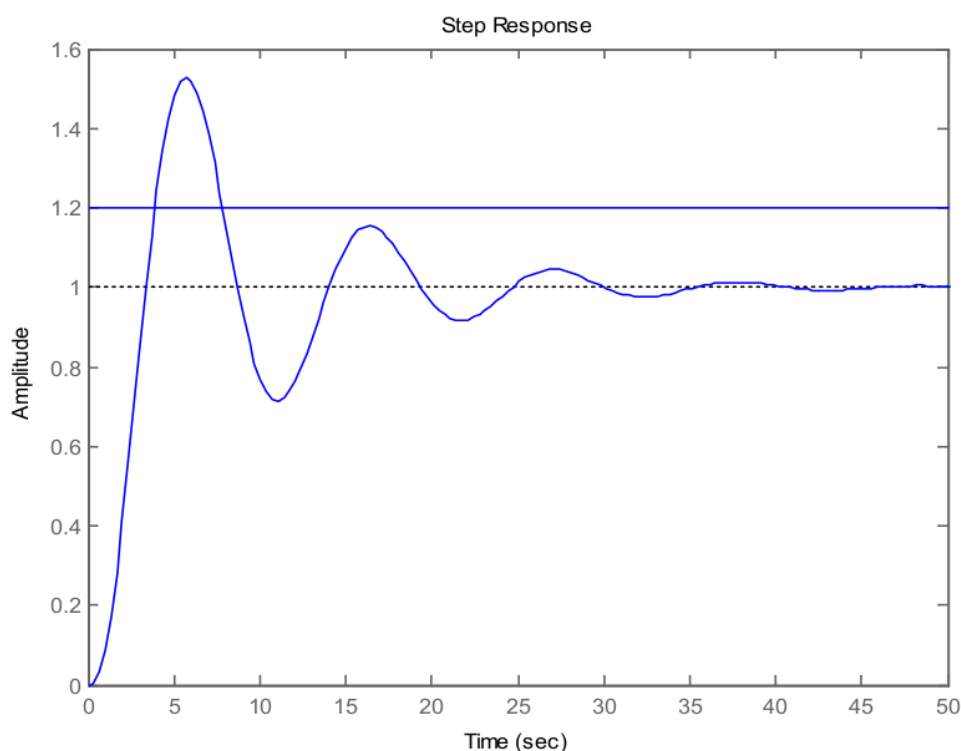


图 2: 中央美院素描考试

- (7) 比例调节是（有差的）。
- (8) 比例带对系统性能的影响：当比例带  $\delta \uparrow$ ，即比例放大倍数  $K_c \downarrow$  时，稳定性  $\uparrow$ ， $\Psi$ ,  $m$ ,  $\xi \uparrow$ ，工作频率  $\omega \downarrow$ 。
- (9) 对于给定通道，当  $K_c \uparrow$  ( $\delta \downarrow$ ) 时，最大动态偏差增大。对于扰动通道则反是。
- (10) 积分调节的特点是：i.（无差控制）；ii.（动作过程慢）；iii.（积分作用太强对系统稳定性不利）。
- (11) PI 控制结合了比例控制的（快速性）和积分控制的（无差性）。
- (12) 微分作用的影响：i.（适当引入微分可提高系统稳定性）；ii.（可提高快速性）。

### 1.3.3 整定

- (1) 各种误差积分的特点：

- $IAE = \int_0^\infty |e(t)| dt$ ：抑制小误差；
- $ISE = \int_0^\infty e^2(t) dt$ ：抑制大误差；
- $ITAE = \int_0^\infty |e(t)| dt$ ：抑制长时间存在的误差。

- (2) 背下如图 3 所示的两张表。

### 1.3.4 调节阀

- (1) 根据安全性原则选择气开式还是气关式。

整定参数 性能指标	$\delta \downarrow$	$T_r \downarrow$	$T_D \uparrow$
最大动态偏差	$\uparrow$	$\uparrow$	$\downarrow$
残差	$\downarrow$	—	—
衰减率	$\downarrow$	$\downarrow$	$\uparrow$
振荡频率	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$

(a) 设定值扰动下

整定参数 性能指标	$\delta \downarrow$	$T_r \downarrow$	$T_D \uparrow$
最大动态偏差	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$
残差	$\downarrow$	—	—
衰减率	$\downarrow$	$\downarrow$	$\uparrow$
振荡频率	$\uparrow$	$\uparrow$	$\downarrow$

(b) 干扰作用下

图 3: 整定参数对调节过程的影响

(2) 流量特性是指（相对流量与相对开度之间的函数关系）。

### 1.3.5 串级控制系统

(1) 串级控制系统设计：把图 4 背下来。注意规范的表示方法。

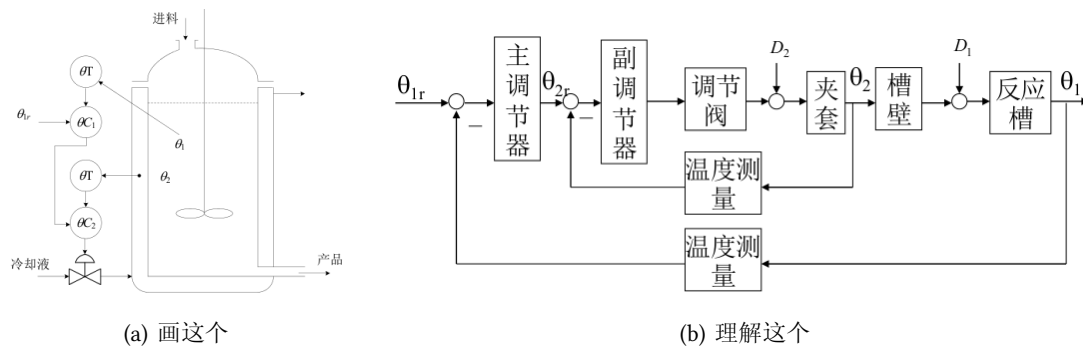


图 4: 串级控制系统设计举例

(2) 串级系统具有较好控制性能的原因有：i.（内环具有快速作用，能有效地克服二次扰动的影响）；ii.（内环起了发送对象动态特性的作用，提高系统工作频率，提高控制品质）；iii.（内环的存在使系统有一定的自适应能力）。

### 1.3.6 前馈与补偿

- (1) Smith 预估器的优点是（消除了纯滞后对控制品质的影响），其缺点是（对数学模型精度要求太高）。
- (2) 前馈：要会算静态补偿系数。
- (3) 通常采用（导前滞后环节）作为简单的动态补偿器。

## 1.3.7 先进控制系统

- (1) 其它常见控制系统包括（均匀控制）、（分程控制）和（选择控制）。
- (2) 均匀控制的系统特点是（相互矛盾的两个被控参数在控制过程中是变化的，而且这种变化是限定在一定范围内并是缓慢的）。
- (3) 均匀控制的几种形式：如图 5 所示，分别表示 a.（单回路方案）；b.（双冲量方案）；c.（串级均匀方案）。

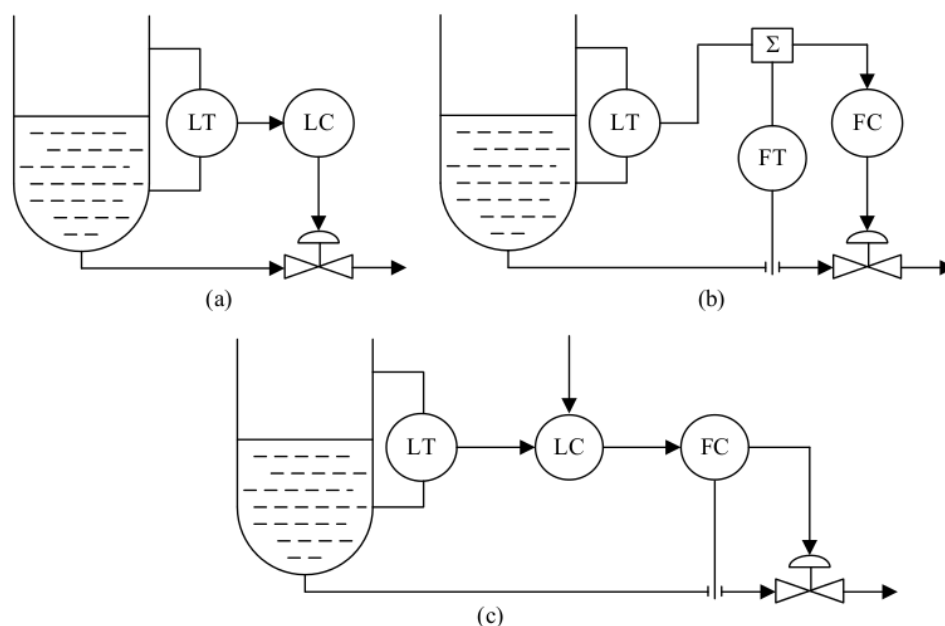


图 5: 均匀控制的几种方案

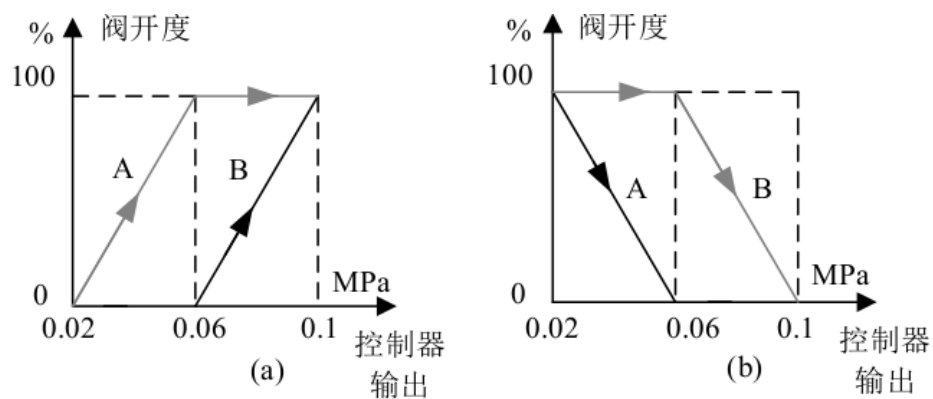
- (4) 分程控制：请根据描述在图中画线。要把图 6 理解好。
- (5) 选择控制系统的类型有（对被控量的选择性控制系统）和（对操纵量的选择性控制系统）。
- (6) 选择控制系统框图设计，把图 7 背下来，根据实际情况判断是高选还是低选，确定中间是写 HS 还是写 LS。

## 1.3.8 高等过程控制系统

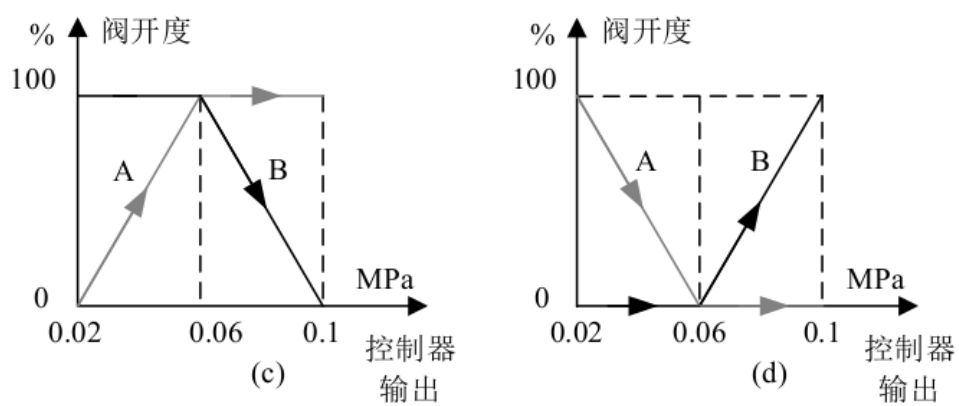
- (1) 推理控制用于（被控变量与干扰量均不可测的场合）。
- (2) 预测控制： $A^{-1}\tilde{e}(k+1)$  表明（控制过程中在任何一个采样时刻系统没有偏差）； $(A^TQA + R)^{-1}\tilde{e}(k+1)$  则是（最小二乘意义下拟合的结果）。

## II 重型计算题

- (1) 离心泵安装高度 1.5 m，出口表压  $5 \times 10^5$  Pa，喷嘴距水面 28 m，喷嘴表压  $3.5 \times 10^5$  Pa。离心泵是否能将水扬至喷嘴高度？如果不行，能否通过更改安装高度来使泵正常工作？（都不行。用白努力方程计算。还要知道大气只能把水压上 10 m 哦～）



(a)、(b)控制阀同向动作示意图



(c)、(d)控制阀异向动作示意图

图 6: 分程控制控制阀动作示意图

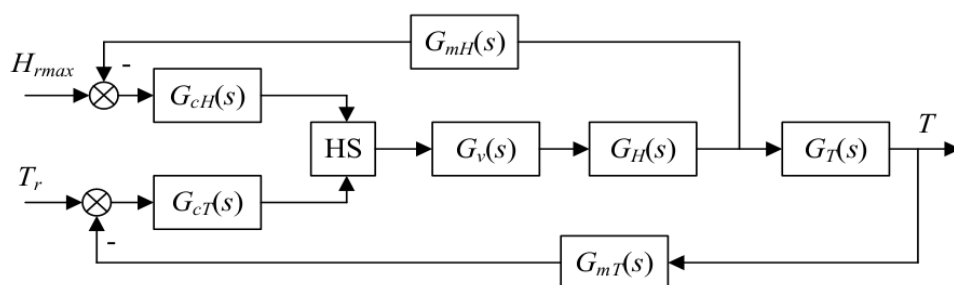


图 7: 选择控制系统框图设计

(2) 炉温  $500^{\circ}\text{C}$ ，炉外壁  $100^{\circ}\text{C}$ 。加上保温层后，炉温  $500^{\circ}\text{C}$ ，炉外壁  $400^{\circ}\text{C}$ ，保温层外壁  $50^{\circ}\text{C}$ ，求热损失减少的比例。

(3) 精馏组分与操作线方程。

(4) 两种溶液混合，两种溶液流量由阀门  $\mu_1, \mu_2$  控制，浓度分别为  $A_1, A_2$ 。要求输出溶液浓度  $A$  的精度高。输出流量  $Q = \mu_1 + \mu_2$ ， $A_Q = \mu_1 \cdot A_1 + \mu_2 \cdot A_2$ 。对系统部分解耦，使  $\mu_1 = \mu_c \cdot \mu_2$ ，其中  $\mu_c$  由  $A$  得出。试计算  $\lambda_{11d}$ 。

(5) 前馈：课本  $P_{185}$  6.6 题。附加问题：前馈的机理是？（要点是预先测量和补偿）

(6) 一个加热炉，用于加热热油。燃料进料量波动比较大，热油流量振幅较大，输出温度精度要求高。设计控制系统。画出控制系统的结构和框图。（前馈 + 串级）