

2005 年石油大学(华东)化工原理考研试题 A

一、填空题 (30 分)

1. 某流体在圆形光滑管内作湍流流动, 若管长和管径不变, 流量增加为原来的 2 倍, 则摩擦阻力增加为原来的 3.36 倍, 若管长和流量不变, 管径减小为原来的 2 倍, 则摩擦阻力增加为原来的 26.9 倍。

2. 如在测定离心泵的性能曲线时, 错误地将压力表安装在泵出口调节阀以后, 则操作时压力表读数(表压)将随真空表读数的增大而 增大。

3. 离心式水泵吸入管路漏入过量的空气后, 将发生 气缚 现象, 当离心式水泵入口压力低于被输送液体的饱和蒸汽压时, 将发生 气蚀 现象。

4. 萃取操作选择萃取剂的原则为(写出三条): 萃取剂的选择性好、化学稳定性好、价廉易得等。

5. 逆流吸收塔用纯溶剂吸收混合气中易溶组分, 设备高为无穷大, 入塔 $Y_b = 3\%$ (摩尔比浓度), 平衡关系 $Y = 1.5X$, 问: 当液气比为 1 时, 气、液两相在吸收塔的 塔底 位置达到相平衡, 吸收率为 66.7%; 当液气比为 2 时, 吸收率为 100%。

6. 在板框压滤机的操作中, 若分别采用置换洗涤和横穿洗涤的方式, 用与滤液体积相同的洗液在相同的压力下对滤饼进行洗涤, 已知洗液的粘度与滤液相同, 过滤介质阻力可忽略, 则洗涤时间分别为过滤时间的 8 和 2 倍。

7. 在固体流态化操作中, 增大流体的流速, 则单位高度流化床层的压降 降低, 膨胀比 增加。

二、简答题 (20 分, 各 4 分)

1. 已知欲全部除去的尘粒在降尘室内的沉降速度为 u_t , 试从理论上推导降尘室的处理能力和降尘室结构尺寸(降尘式的长、宽、高分别为 L、W、H)间的关系。

答: 当欲除去的尘粒直径为 d 时, 尘粒的沉降速度 u_t 一定, 则沉降时间 $\tau_t = H / u_t$, 设处理量为 V_s , 尘粒在降尘室内的停留时间为 $\tau = LHW / V_s$, $\because \tau_t \leq \tau, \therefore V_s \leq LWu_t$ 。

2. 举例说明什么是单向扩散, 什么是等分子反向扩散?

答: 在吸收过程中, 溶质分子从气相扩散至液相可以看作为气体的单向扩散; 在恒摩尔假定成立的蒸馏过程中, 气相中的分子通过扩散的方式进入液相, 同时有相同数量的液相分子通过扩散的方式进入气相, 该过程为等分子反向扩散。

3. 精馏塔板设计过程中, 发现设计好的塔板在操作条件下易出现漏液现象, 应考虑更改塔板的那些设计参数?

答: 出现漏液现象说明塔板的阀孔动能因数太低, 应考虑增大气相流速, 可采用减小开孔

率、减小塔径或减小塔板鼓泡区的面积等方法。

4. 萃取中分配系数 K 及选择性系数 β 的定义是什么？ $K=1$ 及 $\beta=1$ 两种情况下萃取操作能否进行？

答：分配系数 K ：是指溶质在互成平衡的萃取相和萃余相中的质量分率之比。

选择性系数 β ：是指萃取相中溶质与稀释剂的组成之比和萃余相中溶质与稀释剂的组成之比的比值。 $K=1$ 时，萃取操作可以进行， $\beta=1$ 时萃取操作不能进行。

5. 简述黑体辐射的 Stefan-Boltzmann 定律，并解释为何低温下的辐射热量可以忽略。

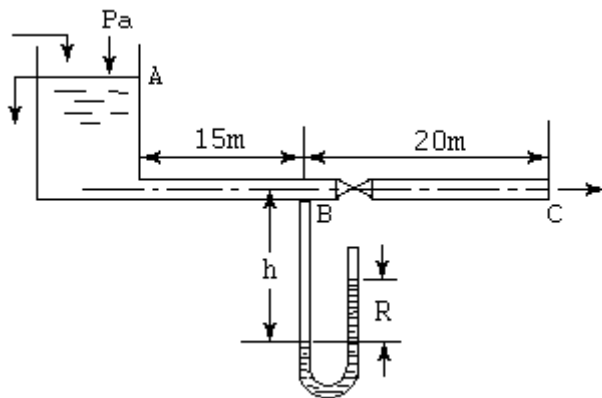
答：单位面积的黑表面的辐射能力与绝对温度的 4 次方成正比： $E_0 = \sigma_0 T^4$ ，其中

$$\sigma_0 = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W } / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

低温下因为 σ_0 很小，辐射能力很小，故辐射热量可以忽略。

三、计算题（100 分）

1. （20 分）如图所示，贮槽内水位不变，槽底与内径为 100mm 的钢质放水管相连，管路上装一闸阀和 U 型管压差计，其内指示液为水银。压差计一端与管道相连，连接管内充满了水，另一端通大气。（1）当闸阀关闭时，测得 $R=600\text{mm}$ ， $h=1500\text{mm}$ ；当闸阀部分开启时，测得 $R=400\text{mm}$ ， $h=1400\text{mm}$ 。摩擦系数 λ 可取为 0.025，问每小时管中流量为若干 m^3/h ？（2）当闸阀全开时，其当量长度与管内径之比为 15，管路的摩擦系数 λ 仍可取为 0.025，求 U 型管压差计测压点处的压力为若干 Pa（表压）？



解：（1）当闸阀关闭时， $P_a + (h_{AB} + h)\rho g = P_a + R\rho_0 g$

$$h_{AB} = \frac{R\rho_0 - h\rho}{\rho} = 6.66\text{m}$$

当闸阀部分开启时，在 A、B 间列能平：

$$gh_{AB} = \frac{P_B}{\rho} + \frac{u^2}{2} + (\zeta_i + \lambda \frac{l}{d}) \frac{u^2}{2}, \quad P_B = R\rho_0 g - h\rho g, \quad \text{代入数据,}$$

$\zeta_i = 0.5, \lambda = 0.025$, 解得: $u=3.129\text{m/s}$, $V=88.47\text{m}^3/\text{h}$

(2) 当闸阀部分开启时, 在 A、C 间列能平:

$$gh_{AB} = (\zeta_i + \lambda \frac{l}{d} + \lambda \frac{l_e}{d} + \zeta_0) \frac{u^2}{2}$$

$$6.66 \times 9.81 = (0.5 + \frac{0.025 \times 35}{0.1} + 0.025 \times 15 + 1) \frac{u^2}{2}$$

解得: $u=3.506\text{m/s}$ 。

$$\text{在 B、C 间列能平: } \frac{P_B}{\rho} + \frac{u^2}{2} = (\zeta_0 + \lambda \frac{l_e}{d} + \lambda \frac{l_2}{d}) \frac{u^2}{2}$$

解得: $P_B=33.05 \text{ kPa}$

2. (15 分) 用压滤机在 1.5atm (表压) 下恒压过滤某种悬浮液, 1.6h 后得滤液 25m^3 , 介质阻力可以忽略不计。(1) 如果压力提高一倍 (指表压的数值), 滤饼的压缩系数 s 为 0.3, 则过滤 1.6h 后可得多少滤液? (2) 设其他情况不变, 将操作时间缩短一半, 所得滤液为多少? (3) 若在原表压下进行过滤 1.6h 后, 以横穿洗涤方式用 3m^3 的水 (水的粘度与滤液相同) 来洗涤滤饼, 求所需的洗涤时间。

解: (1) 如果压力提高一倍, 因为 $V^2 = 2k\Delta P^{1-s} A^2 \tau$,

$$V' = V \left(\frac{\Delta P'}{\Delta P} \right)^{\frac{1-s}{2}} = 25 \times 2^{\frac{1-0.3}{2}} = 31.86\text{m}^3$$

(2) 将操作时间缩短一半, $V^2 = KA^2 \tau$

$$V' = V / \sqrt{2} = 25 / \sqrt{2} = 17.68\text{m}^3$$

(3) 横穿洗涤时, 粘度不变, 则

$$\tau_w = \frac{V_w}{\frac{1}{4} \left(\frac{KA^2}{2V} \right)}, \quad KA^2 \tau_w = 8V \cdot V_w, \quad \text{所以, } \tau_w = \frac{8V_w}{V} \cdot \tau = 1.536 \text{ 小时}$$

3. (20 分) 现有两台单壳程单管程的传热面积均为 $A_t=20\text{m}^2$ 的列管式空气加热器, 每台加热器均由 64 根 $\phi 57 \times 3.5\text{mm}$ 钢管组成, 壳程为 170°C 的饱和水蒸气冷凝 (冷凝潜热为 2054kJ/kg), 空气入口温度 $t_1=30^\circ\text{C}$, 流量为 2.5kg/s , 以湍流方式通过管内。(该传热过程的控制热阻在空气侧)。

(1) 若两台换热器并联使用, 通过每台换热器的空气流量均等, 此时空气的对流传热系数为 $38\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 求空气的出口温度 t_2 及水蒸气的总冷凝量为多少?

(2) 若两台换热器串联使用, 问此时空气的出口温度 t_2' 及水蒸气的总冷凝量为多少?

假设空气的物性不随温度及压力而变化, 视为常数, $c_p=1\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。忽略热损失。

解：（1）并联使用，因该传热过程的控制热阻在空气侧，所以 $K_i \approx \alpha_i$

$$Q = K_i A_i \frac{(t_2 - t_1)}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}} = m_2 c_{p2} (t_2 - t_1), \text{ 代入数据, 解得: } t_2 = 93.8^\circ\text{C}$$

$$\text{水蒸气的总冷凝量 } m_r = \frac{m_2 c_{p2} (t_2 - t_1)}{\gamma} = 0.0776 \text{ kg/s} = 279.46 \text{ kg/h}$$

（2）串联使用，

$$K_i' \approx \alpha_i' = 2^{0.8} \alpha_i = 66.16 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$Q = K_i' A_i \frac{(t_2' - t_1)}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2'}} = m_2 c_{p2} (t_2' - t_1), \text{ 代入数据, 解得 } t_2' = 121.4^\circ\text{C}$$

$$m_r' = \frac{m_2 c_{p2} (t_2' - t_1)}{\gamma} = 0.111 \text{ kg/s} = 400.6 \text{ kg/h}$$

4. (20 分) 一吸收塔, 用清水吸收某易溶气体, 已知其填料层高度为 6m, 平衡关系 $Y^* = 0.75X$, 气体流率 $G = 50 \text{ kmol/(m}^2 \cdot \text{h)}$, 清水流率 $L = 40 \text{ kmol/(m}^2 \cdot \text{h)}$, $Y_b = 0.10$ (摩尔比组成, 下同), 吸收率为 98%。求 (1) 传质单元高度 H_{OG} ; (2) 若生产情况有变化, 新的气体流率为 $60 \text{ kmol/(m}^2 \cdot \text{h)}$, 新的清水流率为 $58.6 \text{ kmol/(m}^2 \cdot \text{h)}$, 塔仍能维持正常操作。欲使其他参数 Y_b , Y_a , X_a 保持不变, 试求新情况下填料层高度应为多少? 假设 $K_Y a = AG^{0.7} L^{0.8}$ 。

解：（1） $Y_a = Y_b (1 - \phi) = 0.1 \times (1 - 0.98) = 0.002$

$$G(Y_b - Y_a) = L(X_b - X_a) \quad \text{即: } 50(0.1 - 0.002) = 40(X_b - 0)$$

解得: $X_b = 0.1225$

$$\Delta Y_b = Y_b - mX_b = 0.1 - 0.75 \times 0.1225 = 0.008125$$

$$\Delta Y_a = Y_a - mX_a = 0.002 - 0.75 \times 0 = 0.002$$

$$\Delta Y_m = \frac{\Delta Y_b - \Delta Y_a}{\ln \frac{\Delta Y_b}{\Delta Y_a}} = 0.004369$$

$$N_{OG} = \frac{Y_b - Y_a}{\Delta Y_m} = \frac{0.1 - 0.002}{0.004369} = 22.43$$

$$H_{OG} = \frac{h}{N_{OG}} = \frac{6}{22.43} = 0.2675(m)$$

$$(2) \quad G'(Y_b - Y_a) = L'(X_b' - X_a') \quad \text{即: } 60(0.1 - 0.002) = 58.6(X_b' - 0)$$

$$\text{解得: } X_b' = 0.1$$

$$\Delta Y_b' = Y_b - mX_b' = 0.1 - 0.75 \times 0.1 = 0.025$$

$$\Delta Y_a' = 0.002$$

$$\Delta Y_m' = \frac{\Delta Y_b' - \Delta Y_a'}{\ln \frac{\Delta Y_b'}{\Delta Y_a'}} = \frac{0.025 - 0.002}{\ln \frac{0.025}{0.002}} = 0.0091$$

$$N_{OG}' = \frac{Y_b - Y_a}{\Delta Y_m'} = \frac{0.1 - 0.002}{0.0091} = 10.77$$

$$\because K_y a = AG^{0.7} L^{0.8} \quad H_{OG} = \frac{G}{K_y a}$$

$$\therefore \frac{H_{OG}'}{H_{OG}} = \frac{G'}{G^{0.7} L'^{0.8}} \times \frac{G^{0.7} L^{0.8}}{G} = \left(\frac{G'}{G}\right)^{0.3} \left(\frac{L}{L'}\right)^{0.8} = \left(\frac{60}{50}\right)^{0.3} \left(\frac{40}{58.6}\right)^{0.8} = 0.82$$

$$H_{OG}' = 0.82 H_{OG} = 0.82 \times 0.2675 = 0.2194(m)$$

$$h' = H_{OG}' N_{OG}' = 0.2194 \times 10.77 = 2.363(m)$$

5. (25 分) 用一连续精馏塔分离某二元混合物。进料组成 $x_F=0.5000$ (轻组分的摩尔分数,下同), 进料为饱和液体。塔顶产品的组成为 $x_D=0.9500$, 塔顶产品量为 $D=50 \text{ kmol/h}$, 要求塔顶产品中轻组分的回收率为 $\Phi=96\%$ 。塔顶采用一分凝器和一全凝器, 分凝器中的饱和液体作回流用。已知回流液体的组成为 $x_0=0.88$, 离开第一块塔板向下流动液体组成为 $x_1=0.79$ 。塔底采用间接加热方式, 塔内皆为理论板。全塔相对挥发度为常数。试求:

(1) 进料量 F 、塔底产品量 W 和塔底产品组成 x_W 各为多少?

(2) 操作回流比是最小回流比的多少倍?

(3) 精馏段和提馏段的气相流量各是多少?

$$\text{解: (1)} \quad \frac{Dx_D}{Fx_F} = \frac{50 \times 0.95}{F \times 0.5} = 0.96$$

$$\text{解得: } F=98.96 \text{ kmol/h}$$

$$W=F-D=98.96-50=48.96 \text{ (kmol/h)}$$

$$Fx_F=Dx_D+Wx_W$$

$$\text{即: } 98.96 \times 0.5 = 50 \times 0.95 + 48.96x_W$$

$$\text{解得: } x_W=0.04$$

(2) 根据相平衡关系: $y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$

$$\text{有: } 0.95 = \frac{0.88\alpha}{1 + (\alpha - 1)0.88}$$

解得: $\alpha = 2.59$

饱和液体进料: $x_q = x_F = 0.05$

$$y_q = \frac{\alpha x_q}{1 + (\alpha - 1)x_q} = \frac{2.59 \times 0.05}{1 + (2.59 - 1)0.05} = 0.07217$$

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_q}{y_q - x_q} = \frac{0.95 - 0.07217}{0.07217 - 0.05} = 1.03$$

$$\text{由相平衡关系: } y_1 = \frac{\alpha x_1}{1 + (\alpha - 1)x_1} = \frac{2.59 \times 0.79}{1 + (2.59 - 1) \times 0.79} = 0.9069$$

$$\text{代入操作线方程: } y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D$$

$$y_1 = \frac{R}{R+1} x_0 + \frac{1}{R+1} x_D$$

$$0.9069 = \frac{R}{R+1} \times 0.88 + \frac{1}{R+1} \times 0.95$$

解得: $R = 1.6$

$$\text{所以: } \frac{R}{R_{\min}} = \frac{1.6}{1.03} = 1.55$$

(3) 饱和液体进料:

$$\text{精馏段气相流量: } V = (R+1)D = (1.6+1)50 = 130(\text{kmol/h})$$

$$\text{提馏段气相流量: } V' = V = 130(\text{kmol/h})$$