

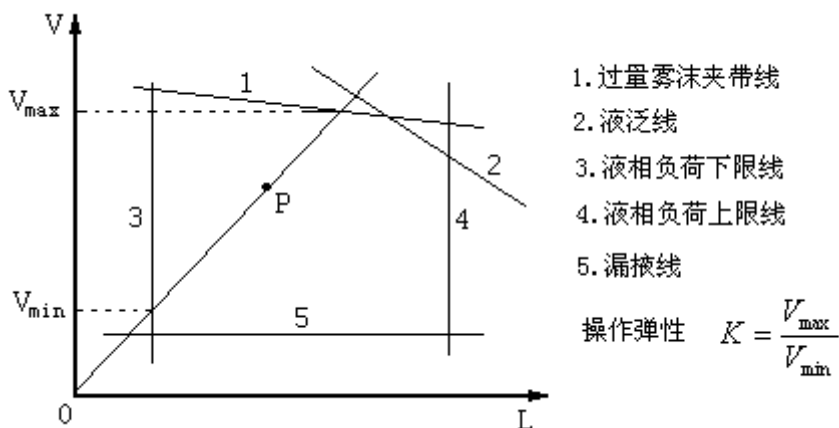
2005 年石油大学(华东)化工原理考研试题

一、填空题 (30 分)

1. 某设备上, 真空表的读数为 80mmHg, 其绝压 =  $0.87 \text{ kgf/cm}^2 = 85305 \text{ Pa}$ , 该地区大气压强为 720mmHg。
2. 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。
3. 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 增大, 床层高度 增大。
4. 压缩比增大, 往复式压缩机的容积系数 减小, 气体的出口温度 升高。
5. 常见的萃取操作有: 单级萃取、多级错流萃取、多级逆流萃取。
6. 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: 液气比为 1 时, 吸收率为 66.7%。
7. 转筒真空过滤机, 转速越大则生产能力 越大, 形成的滤饼厚度 越薄。

二、简答题 (20 分, 各 4 分)

1. 画出塔板负荷性能示意图并说明操作弹性如何确定。



2. 简述双膜模型的基本假设?

答: (1) 在相界面的两侧存在一层稳定的层流膜层, 溶质以分子扩散方式通过此两膜层;  
(2) 相界面上气液两相呈平衡;  
(3) 传质阻力集中在层流膜层内, 两相主体中无传质阻力。

3. 简述板式塔和填料塔的优缺点?

答: 同填料塔相比, 板式塔当塔径较大时造价较低, 易于取热和侧线抽出等; 当塔径较小

4. 萃取剂一定, 采用单级萃取和三级错流萃取结果有何不同, 为什么?

答: 萃取剂一定, 采用三级错流萃取时的萃取效果要比单级萃取的效果好。因为三级错流萃取要经过三次相平衡, 而单级萃取只经历一次相平衡, 三级错流萃取的平均传质推动力比单级萃取的推动力大。

5. 造成离心泵汽蚀的原因有哪些? 应采取何种解决方法?

答: (1) 离心泵的安装高度过高, 应降低泵的安装高度;

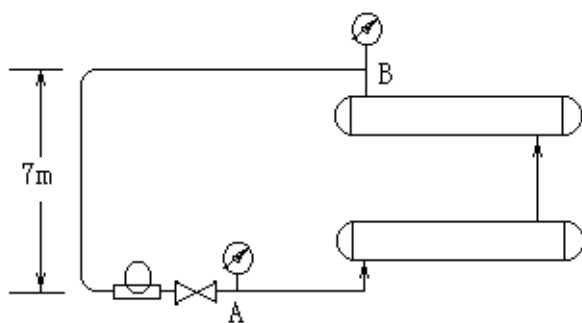
(2) 被输送液体的温度太高, 可考虑降低液体温度或降低泵的安装高度;

(3) 被输送液体上方的压力太低, 可加大液体上方压力或降低泵的安装高度;

(4) 被输送液体的饱和蒸汽压太大, 上述解决方案均可。

### 三、计算题 (100 分)

1. (20 分) 如图一冷冻盐水的循环系统。盐水的循环量为  $45\text{m}^3/\text{h}$ , 流体流经管路的压头损失, 自 A 至 B 的一段为  $9\text{m}$ , 自 B 至 A 的一段为  $12\text{m}$ 。盐水的密度为  $1100\text{kg}/\text{m}^3$ , 求: (1) 泵的功率为若干  $\text{kW}$ ? 设其效率为  $0.65$ 。(2) 若 A 处的压力表读数为  $1.5\text{kgf}/\text{m}^2$ , 则 B 处的压力表读数应为多少  $\text{Pa}$  (表压)?



解: (1) 整个管路的压头损失为:  $\sum H_f = 12 + 9 = 21\text{m}$

$$N = \frac{Ne}{\eta} = \frac{HQ\rho g}{\eta} = \frac{45 \times 1100 \times 9.81 \times 21}{3600 \times 0.65} = 4358\text{W} = 4.358\text{kW}$$

(2) 从 A 至 B 截面列柏努利方程,

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{u_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{u_B^2}{2g} + z_B + \sum h_{fAB}$$

$$P_B = P_A - (\sum h_{fAB} + z_B)\rho = 1.5 \times 10^4 - (9 + 7) \times 1100 = -2600\text{kgf}/\text{m}^2 = -25497\text{Pa} \text{ (表)}$$

2. (15 分) 拟用一板框压滤机在恒压下过滤某一悬浮液, 要求经过 3 个小时能获得  $4\text{m}^3$  滤液, 若已知过滤常数  $K=1.48 \times 10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$ , 滤布阻力可以忽略不计, 试求: (1) 若滤框尺寸为  $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 30\text{mm}$ , 则需要滤框几块? (2) 过滤终了用水进行横穿洗涤, 洗涤水粘度与滤液相同, 洗涤压力与过滤压力相同, 若洗涤水量为  $0.4\text{m}^3$ , 试求洗涤时间。(3) 若辅助时间为 1 小时, 试求该压滤机的生产能力。

解：（1）根据恒压过滤方程， $A = \sqrt{\frac{V^2}{K\tau}} = \sqrt{\frac{4^2}{1.48 \times 10^{-3} \times 3}} = 60 \text{ m}^2$

每个框的过滤面积为  $2 \text{ m}^2$ ，所以需要框数为： $60/2=30$  个。

$$(2) \tau_w = 8a\tau = \frac{8 \times 0.4 \times 3}{4} = 2.4 \text{ h}$$

$$(3) Q = \frac{V}{\tau + \tau_w + \tau_R} = \frac{4}{3 + 2.4 + 1} = 0.625 \text{ m}^3 / \text{h}$$

3. (20 分) 有一套管换热器，用热水加热空气，内管为  $\phi 34 \times 2 \text{ mm}$  的钢管，空气走管内，其流量为  $m_1$ ，由  $20^\circ \text{C}$  被加热到  $50^\circ \text{C}$ ；热水走环隙，其流量为  $m_2$ ，温度由  $100^\circ \text{C}$  冷却到  $70^\circ \text{C}$ ，逆流操作，假设流体在管内和环隙中的流动均为湍流流动，试问：（1）下列方程中的三个温度是否相等？各为多少？

$$Q = m_1 c_{p1} \Delta t_1 = m_2 c_{p2} \Delta t_2 = KA \Delta t_m$$

（2）如改为并流操作，欲达到同样的出口温度，其平均温度差为多少？，管长需要作怎样的变化？

（3）当空气流量增加一倍时，要达到同样的空气出口温度，提出以下两种方案：①管长加长一倍；②管子直径减小一倍。你认为哪种方案可行？哪种方案较好？

（4）试通过计算结果定性分析说明何种方案更合理？

解：（1）根据题给数据，三个温差如下：

$$\Delta t_1 = 50 - 20 = 30^\circ \text{C}, \text{ 此温差为冷流体（空气）的进、出口温差；}$$

$$\Delta t_2 = 100 - 70 = 30^\circ \text{C}, \text{ 此温差为热流体（水）的进、出口温差；}$$

$$\Delta t_m = \frac{1}{2}(\Delta t_{\lambda} + \Delta t_{\text{出}}) = \frac{1}{2}(50 + 50) = 50^\circ \text{C}, \text{ 此温差为换热器两端传热温差的算术平均值。}$$

$$(2) \text{ 如果由逆流改为并流操作, } \Delta t_m = \frac{(100 - 20) - (70 - 50)}{\ln \frac{100 - 20}{70 - 50}} = 43.2^\circ \text{C}$$

$$\frac{L_{\text{并}}}{L_{\text{逆}}} = \frac{A_{\text{并}}}{A_{\text{逆}}} = \frac{\Delta t_{m\text{逆}}}{\Delta t_{m\text{并}}} = \frac{50}{43.2} = 1.15, \text{ 即管子长度应增加 } 15\%。$$

（3）设管壁热阻及污垢热阻均不计，因为  $\alpha_1 \approx 1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}), \alpha_2 \approx 30 \sim 50 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ，所以， $K \approx \alpha_2$ （空气侧）

$$\text{①管长增加一倍, } \alpha_i \propto \text{Re}_i^{0.8} \propto u_i^{0.8}, \therefore K' = 2^{0.8} K$$

$$\text{由 } \frac{Q'}{Q} = \frac{m'(t_2 - t_1)}{m(t_2 - t_1)} = \frac{K'\pi dl'\Delta t_m}{K\pi dl\Delta t_m}, \text{ 得 } \frac{l'}{l} = \frac{m'/m}{K'/K} = 2^{0.2} = 1.15$$

即管长只需增加 15%便可完成任务, 这一方案是较为可行的。

②管径减小一倍, 由

$$\alpha_i \propto \frac{V^{0.8}}{d_i^{1.8}}, \therefore K' = 2^{2.6} K = 6.06K$$

而传热面积:

$$A' = \pi d' l = \frac{1}{2} \pi d l = \frac{A}{2}$$

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{K'A'\Delta t_m}{KA\Delta t_m} = 3.03$$

即传热速率提高了 203%, 能完成任务, 但由于阻力增加, 能耗也随之增加。

4. (25 分) 用板式精馏塔分离苯-甲苯二元混合物, 进料流量为 15000 kg/h, 其中苯的含量为 40.0 % (质量百分数, 下同)。要求塔顶馏出液中苯的回收率达到 97.1 %, 塔釜液体中苯的含量不超过 2.0 %。进料为饱和液体, 塔顶采用全凝器, 饱和液体回流。操作条件下的相对挥发度可取为 2.47, 苯的相对分子质量为 78, 甲苯的相对分子质量为 92。

(1) 试求塔顶馏出液和塔底釜液的摩尔流量及摩尔组成各为多少?

(2) 试计算最小回流比?

(3) 如回流比为最小回流比的 1.2 倍, 试求精馏段操作线方程, 并指出斜率和截距各为多少?

(4) 如果塔内各层塔板认为是理论板, 计算由塔顶数起第二块塔板流下的液体组成为多少?

解: (1) 将质量分率换算为摩尔分率:

$$x_F = \frac{40/78}{40/78 + 60/92} = 0.44, \quad x_w = \frac{2/78}{2/78 + 98/92} = 0.0235$$

$$F = \frac{15000 \times 0.4}{78} + \frac{15000 \times 0.6}{92} = 174.75 (\text{kmo/h})$$

由:

$$F = D + W$$

$$F x_F = D x_D + W x_w$$

$$\frac{D x_D}{F x_F} = 0.971$$

代入数据:

$$174.75 = D + W$$

$$174.75 \times 0.44 = Dx_D + 0.0235W$$

$$\frac{Dx_D}{174.75 \times 0.44} = 0.971$$

$$\text{解得: } W = 94.89 \text{ kmol/h}, \quad D = 79.86 \text{ kmol/h}, \quad x_D = 0.935$$

(2) 由相平衡关系及进料组成 ( $x_F = 0.44$ ) 计算进料的气相组成:

$$y_q = \frac{2.47 \times 0.44}{1 + (2.47 - 1)0.44} = 0.66$$

$$\text{最小回流比为: } R_{\min} = \frac{x_D - y_q}{y_q - x_F} = \frac{0.935 - 0.66}{0.66 - 0.44} = 1.25$$

$$(3) \text{ 适宜回流比为: } R = 1.2R_{\min} = 1.2 \times 1.25 = 1.5$$

精馏段操作线方程:

$$\begin{aligned} y_{n+1} &= \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1} \\ &= \frac{1.5}{1.5+1}x_n + \frac{0.935}{1.5+1} \\ &= 1.6x_n + 0.374 \end{aligned}$$

精馏段操作线方程的斜率为: 0.6, 截距为: 0.374。

$$(4) \text{ 塔顶采用全凝器时: } y_1 = x_D = 0.935$$

$$\text{由相平衡方程计算 } x_1: y_1 = \frac{2.47x_1}{1 + (2.47 - 1)x_1}, \quad 0.935 = \frac{2.47x_1}{1 + (2.47 - 1)x_1}$$

$$\text{解得: } x_1 = 0.853$$

$$\text{由精馏段操作线方程计算 } y_2: y_2 = 0.6 \times 0.853 + 0.374 = 0.886$$

$$\text{再由相平衡方程计算 } x_2: y_2 = \frac{2.47x_2}{1 + (2.47 - 1)x_2}, \quad 0.886 = \frac{2.47x_2}{1 + (2.47 - 1)x_2}$$

$$\text{解得: } x_2 = 0.759$$

5. (20 分) 拟在填料吸收塔中用纯水吸收空气-氨混合气体中的氨, 混合气体中的氨浓度为  $y_b=0.05$  (摩尔分数, 下同)。要求氨的吸收率不低于 95%, 塔底得到的氨水的浓度不低于 0.05。已知在操作条件下的气液相平衡关系为  $Y_e=0.95X$  ( $Y$ 、 $X$  为摩尔比浓度), 试计算:

(1) 如用纯水吸收采用逆流操作, 混合气体的摩尔流率为  $0.02 \text{ kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 总体积传质系数  $K_y a=0.02 \text{ kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ , 所需要的塔高为多少 m?

(2) 如果采用部分吸收液再循环吸收的流程操作 (如附图所示), 新鲜吸收剂 (纯水) 与循环吸收液的摩尔流量之比  $L/L_R=20$ , 气体的流速不变, 总体积传质系数  $K_y a$  也近似为常数, 所需要的塔高为多少 m?

(3) 示意画出两种操作情况时的操作线图。

(4) 试通过计算结果定性分析说明何种方案更合理?

解: (1) 将摩尔组成换算为摩尔比组成:

$$Y_b = \frac{0.05}{1-0.05} = 0.0526, \quad Y_a = (1-0.95) \times 0.0526 = 0.00263$$

$$X_b = \frac{0.05}{1-0.05} = 0.0526$$

$$\text{混合气体中惰性气体摩尔流率: } V = 0.02(1-0.05) = 0.019 (\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$$

$$\text{吸收剂的摩尔流率: } L = \frac{V(Y_b - Y_a)}{X_b - X_a} = 0.018 (\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$$

$$H_{OG} = \frac{V}{K_y a \Omega} = 0.95 \text{ m}$$

$$\Delta Y_b = Y_b - mX_b = 0.00263, \Delta Y_a = Y_a - mX_a = 0.00263, \Delta Y_m = 0.00263$$

$$N_{OG} = \frac{Y_b - Y_a}{\Delta Y_m} = 19, h = H_{OG} \cdot N_{OG} = 18.05 \text{ m}$$

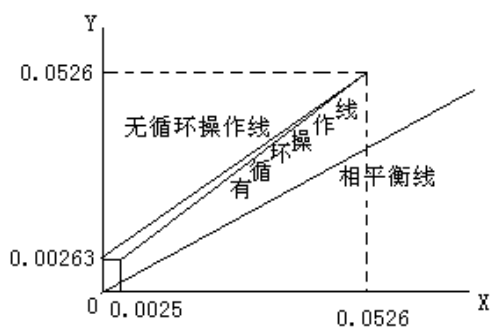
(2) 采用部分循环时, 吸收剂的组成为:

$$X'_a = \frac{L_R X_b}{L + L_R} = 0.0025$$

$$\Delta Y'_b = Y_b - mX_b = 0.00263, \Delta Y'_a = Y_a - mX'_a = 0.000255, \Delta Y'_m = 0.001$$

$$N'_{OG} = \frac{Y_b - Y_a}{\Delta Y'_m} = 49.97, h' = H'_{OG} \cdot N'_{OG} = 47.47 \text{ m}$$

(3) 操作线示意图



(4) 通过计算可以看出，当有循环时，达到同样的吸收效果，需要塔高明显增高，因此，无循环的吸收操作更加合理。