

2006 年研究生入学考试化工原理试题答卷

一、(10 分) 写出以下无因次准数并说明其意义

- A、Re 准数
- B、Pr 准数
- C、Gr 准数
- D、Sc 准数

准数名称	表达形式	意义
Reynolds 准数	$Re = \frac{du\rho}{\mu}$	反映流体的流动型态和湍流程度
Prandtle 准数	$Pr = \frac{C_p\mu}{\lambda}$	反映与传热有关的流体物性
Granshof 准数	$Gr = \frac{l^3\rho^2\beta g\Delta t}{\mu^2}$	反映由于温度差而引起的自然对流强度
Schmit 准数	$Sc = \frac{\mu}{\rho D}$	反映与传质有关的流体物性

二、填空题 (15 分)

1、如图所示，流体在园管中自上而下流动，通过 1 段的摩擦阻力损失为 h_{fab} ，压强差为 Δp_{ab} ，指示液柱高度为 R_1 ，若流量及其他条件都不变，使流体自下而上流动通过该 1 段，则改变流动方向后的阻力损失 h_{fba} 与改变前 h_{fab} 的关系为 (**相等**)，改变后的压强差 Δp_{ba} 与改变前 Δp_{ab} 的关系为 (**大于**)。改变前 R_1 与改变后 R_2 (**不变**)。

2、当流体温度升高时，离心泵的安装高度应 (**减小**)；流体流量不变时，吸入管路直径减小时，安装高度应 (**减小**)。

3、湿空气经预热后相对湿度 ϕ 将 **减小**。对易色龟裂的物料，常采用 废气循环 的方法来控制进干燥器的 ϕ 值。干燥操作的必要条件是 (1) 干燥介质的相对湿度小于 1; (2) 干燥物料的含水率大于干燥条件下的平衡含水率，干燥过程是 传热和传质 相结合的过程。

4、理想物系，平衡时测得气相组成是液相组成的 2 倍。若将含轻组分 50% 的该物系进行平衡蒸馏分离，控制液化率 50%，分离后馏出液轻组分浓度是原料液含轻组分浓度的 (**4/3**) 倍。

5、过滤速率是指 单位时间通过单位过滤面积上的滤液量。在恒压过滤时，过滤速率将随操作的进行而逐步 减小。

6、用饱和水蒸汽加热空气时，换热管的壁温接近 冷凝液 的温度，而传热系数 K 值接近 空气一侧 的对流传热系数。

7、假定吸收系统的相平衡常数 m 为零，填料及其他条件不变，若增加气体流量，吸收率将（ 减小 ）。

三、判断题（15 分）

1、一台转筒真空过滤机，其他条件不变，

(1) 提高真空度，对提高生产能力（ ）；

☒ A、有利； B、不利； C、无影响

(2) 提高悬浮液的温度，对提高生产能力（ ）；

☒ A、有利； B、不利； C、无影响

2、请将你认为最恰当的答案填在（ ）内。

(1) 与单级萃取相比，如溶剂比、萃取相浓度相同，则多级逆流萃取可使萃余分率（ ）。

A、增大； ☒ B、减小； C、基本不变；

(2) 在 B-S 部分互溶的萃取过程中，若加入的纯溶剂量增加而其他操作条件不变，则萃取液浓度 y_A （ ）。

A、增大； ☒ B、减小； C、基本不变。

3、请将正确答案填写在括号（ ）内。

(1) 板框压滤机洗涤速率为恒压过滤最终速率的 $1/4$ ，这一规律只有在（ ）时才成立。

A、滤液的粘度与洗涤液的粘度相同；

☒ B、过滤压差与洗涤压差相同且滤液的粘度与洗涤液的粘度相同；

C、过滤压差与洗涤压差相同，滤液的粘度与洗涤液的粘度相同，且过滤面积与洗涤面积相同。

(2) 恒压过滤且介质阻力忽略不计时，如粘度降低 20%，则在同一时刻滤液增加（ ）。

☒ A、11.8%； B、9.54%； C、20%； D、44%

4、介质阻力系数 $\zeta=24/Re$ 的适用范围是（ ）形颗粒在（ ）内的运动。

A、圆柱……层流区； ☒ B、球……层流区； C、球……过渡区

5、在下面几种换热器中，传热系数较大的是（ A ）；能适用于高温高压场合的是（ B ）；单位传热面积的金属耗量较大的是（ C ）。

A、螺旋板式； B、列管式； C、套管式。

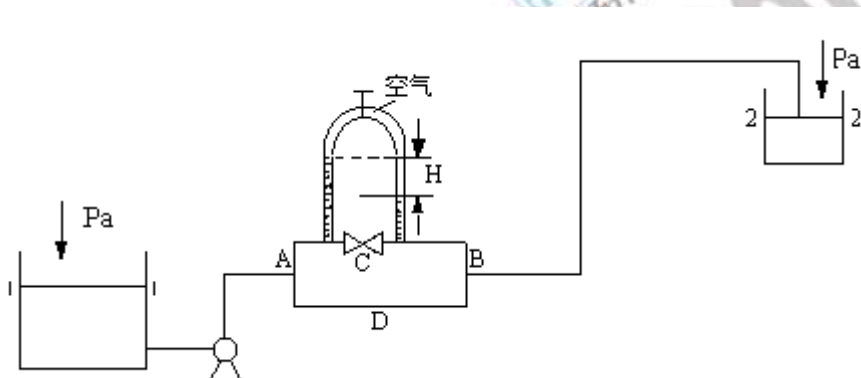
6、某精馏塔设计时，若将塔釜由原来间接蒸汽加热改为直接蒸汽加热，而保持 x_F , D/F ,

q , R 和 x_D 不变, 则 W/F 将 (A); x_W 将 (B); 提馏段操作线斜率将 (B); 理论板数将 (B)。

A、增大; B、减小; C、不变

四、计算题 (110 分)

1、(20 分) 如附图 1 所示, 管路输送水系统, 贮槽液面与高位槽之间高度差为 8m, 在阀门 C 的两端装有一个倒 U 型压差计, 读数 H 为 80mm。已知主管总长 (包括所有局部位置的当量长度但不包括并联管路部分) 为 30m, 规格为 $\phi 108 \times 4$, 阀门 C 的局部阻力系数 $\xi = 0.5$, 并联管路规格均为 $\phi 55 \times 2.5$, 长均为 10m (包括所有局部位置的当量长度), 水的密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1 \text{ cp}$, 离心泵效率 $\eta = 0.6$ 。试求离心泵的轴功率? 输送管路摩擦系数 λ 均取 0.02。



附图 1

解: 在并联管路的阀门 C 两端列柏努利方程, 得:

$$\rho g H = \xi \rho \frac{u^2}{2}$$

$$u = \sqrt{2gH / \xi} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.08 / 0.5} = 1.772 \text{ m/s}$$

$$h_{fc} = h_{fd}$$

$$(0.5 + 0.02 \times (10 / 0.05)) \frac{u_C^2}{2} = 0.02 (10 / 0.05) \frac{u_D^2}{2}$$

$$2.25 u_C^2 = 2 u_D^2$$

$$u_D = \sqrt{(2.25 \times 1.772^2) / 2} = 1.879 \text{ m/s}$$

您所下载的资料来源于 kaoyan.com 考研资料下载中心
获取更多考研资料, 请访问 <http://download.kaoyan.com>

$$v = v_C + v_D = 0.785d^2(u_C + u_D) = 0.785 \times 0.05^2(1.772 + 1.879) = 0.007165 \text{ m}^3/\text{s} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{总管流速: } u = 0.007165 / 0.785 \times 0.1^2 = 0.913 \text{ m/s}$$

在 1-1 和 2-2 截面之间列柏努利方程:

$$H = V_z + \frac{Vp}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} + \sum(h_f + h_{fd})$$

$$= 8 + 0 + 0 + 0.02 \left(\frac{30}{0.12} \frac{0.913^2}{2 \times 9.81} + \frac{10}{0.052} \frac{1.879^2}{2 \times 9.81} \right)$$

$$= 8 + 0.02(12.746 + 35.99) = 8.975 \text{ m}$$

$$N = HQ\rho g / \eta = 8.975 \times 0.007165 \times 1000 \times 9.81 / 0.6$$

$$= 1051.37 \text{ W} = 1.051 \text{ kW}$$

2、(20 分) 有一内管为 $\Phi 38 \times 3 \text{ mm}$ 套管换热器。管内是湍流流动的水，流量为 3000 kg/h ，入口温度为 20°C ，比热为 $4.18 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ ，且管内侧的对流传热系数为 $1800 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ；管隙间是湍流流动的油，与水流动方向相反，流量为 2100 kg/h ，入口温度为 100°C ，比热为 $1.88 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ ，管内侧的对流传热系数为 $500 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

要求将油冷却到 40°C ，忽略管壁热阻、污垢热阻和热损失，试求：

(1) 冷却水的出口温度；

(2) 要完成此传热任务，套管换热器的管长；

(3) 若水的质量流量增大一倍，而其他条件不变，以管外表面积为基准的总传热系数 K_1 。

解：(1) 冷却水的进出口温度

$$Q = m_{s1}c_{p1}(T_1 - T_2) = m_{s2}c_{p2}(t_2 - t_1) = \frac{2100}{3600} \times 1.88(100 - 40) = 65.8 \text{ kW}$$

$$t_2 = 38.9^\circ\text{C}$$

(2) 要完成此传热任务，套管换热器的管长

$$V_{t_1} = 100 - 38.9 = 61.1^\circ\text{C}$$

$$V_{t_2} = 40 - 20 = 20^\circ\text{C}$$

$$V_{t_m} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)} = \frac{61.1 - 20}{\ln(61.1 / 20)} = 36.8^\circ\text{C}$$

$$K_1 = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \frac{d_1}{d_2} \right) = 1 / \left(\frac{1}{500} + \frac{1}{1800} \frac{38}{32} \right) = 1 / 90.002 = 0.00066 = 376 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$A_1 = Q / K \Delta t_m = \frac{65.8}{0.376 \times 36.8} = 4.756 \text{ m}^2$$

$$\pi d_1 L = 4.756$$

$$L = \frac{4.756}{0.038\pi} = 39.8 \text{ m}$$

(3) 若水的质量流量增大一倍，而其他条件不变，以管外表面积为基准的总传热系数 K_1

$$\alpha_2' = 2^{0.8} \alpha_2 = 2^{0.8} \times 1800 = 3134 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\frac{1}{\alpha_2'} \frac{d_1}{d_2} = \frac{38}{3134 \times 32} = 3.79 \times 10^{-4}$$

$$K_1' = 1 / (0.002 + 0.000379) = 420.36 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

3、(20 分) 用纯吸收剂吸收混合气中的可溶组分，气相中溶质的初始浓度为 0.05，气体出口浓度为 0.02，吸收液出口浓度为 0.06（以上均为摩尔分率）。操作条件下的平衡关系为， $y=0.5x$ ，两相逆流接触。已知此吸收过程为气相阻力控制，试求：

(1) 操作液气比为最小液气比的多少倍； (2) 吸收因数 A 和气相总传质单元数 N_{OG} ；

(3) 液体流量增大时，气液相的出口浓度的变化。

解：(1) 操作液气比为最小液气比倍数

$$\begin{aligned} \left(\frac{L}{G}\right) / \left(\frac{L}{G}\right)_{\min} &= \left(\frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}\right) / \left(\frac{y_b - y_a}{x_b^* - x_a}\right) = \frac{x_b^* - x_a}{x_b - x_a} = \frac{(y_b / m) - x_a}{x_b - x_a} \\ &= \frac{(0.05 / 0.5) - 0}{0.06 - 0} = 1.67 \end{aligned}$$

$$\frac{L}{G} = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} = \frac{0.05 - 0.02}{0.06 - 0} = 0.05$$

(2) 吸收因数 A 和气相总传质单元数 N_{OG}

$$\Delta y_b = 0.05 - 0.5 \times 0.06 = 0.02$$

$$\Delta y_a = 0.02 - 0 = 0.02$$

$$\Delta y_m = \frac{\Delta y_b + \Delta y_a}{2} = 0.02$$

$$N_{OG} = \frac{y_b - y_a}{\Delta y_m} = \frac{0.05 - 0.02}{0.02} = 1.5$$

(3) 液体流量增大时, 气液相的出口浓度的变化

对于气膜阻力控制系统, 当液相流量增大时, $H_{OG} = \frac{G}{K_y a} \approx \frac{G}{k_y a}$ 几乎不变, 所以

N_{OG} 亦不变。但注意到当 L 增大时, $S = mG/L$ 减小, 故 $\frac{y_b - mx_a}{y_a - mx_a}$ 增大, 因 N_{OG}

不变, 故 y_a 下降, 吸收率提高, 但 x_b 下降。

4、(15 分) 在连续精馏塔中分离苯-甲苯溶液, 塔釜间接蒸汽加热, 塔顶全凝器。

已知原料液流量为 1000 kmol/h , 进料中苯的摩尔分率为 0.47, 原料液以气液混合物状态进入塔内, $q=0.5$ 。若要求釜液组成为 0.04, 馏出液组成为 0.96, 系统的相对挥发度为 2.45。试求:

(1) 要达到上述分离程度, 回流比至少应大于多少?

(2) 此时苯的塔顶采出率;

(3) 所得的塔顶产品量和塔底产品量分别为多少?

您所下载的资料来源于 kaoyan.com 考研资料下载中心
获取更多考研资料, 请访问 <http://download.kaoyan.com>

(4)试分析精馏段和提馏段的气液流量的大小关系。

解：(1)要达到上述分离程度，回流比至少应大于多少

$$q \text{ 线方程为: } y = \frac{q}{q-1}x - \frac{x_F}{q-1} = \frac{0.5}{0.5-1}x - \frac{0.47}{0.5-1} = -x + 0.94$$

$$\text{平衡线方程为: } y = \frac{\alpha x}{1+(\alpha-1)x} = \frac{2.45x}{1+1.45x}$$

联立以上两方程求解可得: $x_e = 0.36$, $y_e = 0.58$

$$\text{最小回流比为: } R_{\min} = \frac{x_D - y_e}{y_e - x_e} = \frac{0.96 - 0.58}{0.58 - 0.36} = 1.727$$

所以，实际回流比应大于 1.727。

(2)此时苯的塔顶采出率

$$\frac{Dx_D}{F x_F} = \frac{x_F - x_w}{x_D - x_w} \times \frac{x_D}{x_F} = \frac{0.47 - 0.04}{0.96 - 0.04} \times \frac{0.96}{0.47} = 95.47\%$$

(3)所得的塔顶产品量和塔底产品量分别为

$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_w}{x_D - x_w} = \frac{0.47 - 0.04}{0.96 - 0.04} = 0.4674$$

$$D = 0.4674 \times 1000 = 467.4 \text{ kmol/h}$$

$$W = F - D = 1000 - 467.4 = 532.6 \text{ kmol/h}$$

(4)试分析精馏段和提馏段气液流量的大小关系

因为 $q \in (0,1)$ ，所以 $L' > L$, $V' < V$

5、(15 分) 在恒定干燥条件下进行湿物料的干燥，已知物料的湿基含水量从 20%

降到 10%用了 2 小时，且物料的临界干基含水率为 0.25，平衡干基含水率为 0.04，

且降速干燥阶段的干燥速率与物料的自由含水率($X - X^*$)成正比。试求：

(1)在上述干燥过程中，每千克质量湿物料析出的水分质量；

您所下载的资料来源于 kaoyan.com 考研资料下载中心
获取更多考研资料，请访问 <http://download.kaoyan.com>

(2)将物料的湿基含水量继续降到 5%还要用多长时间。

解: (1)在上述干燥过程中, 每千克质量湿物料析出的水分质量

$$w_1 = 20\% \quad , \quad w_2 = 10\% \quad ; \quad X_1 = \frac{w_1}{1-w_1} = \frac{0.20}{1-0.2} = 0.25 \quad ,$$

$$X_2 = \frac{w_2}{1-w_2} = \frac{0.10}{1-0.10} = 0.111$$

$$G_c = G_1(1-w_1) = G_2(1-w_2)$$

$$W = G_1 - G_2$$

$$\frac{W}{G_1} = 1 - \frac{G_2}{G_1} = \frac{w_1 - w_2}{1 - w_2} = \frac{0.20 - 0.10}{1 - 0.10} = 0.111 \text{ kg 水 / kg 湿物料}$$

(2)将物料的湿基含水量继续降到 5%还要用多长时间

$$X_3 = \frac{w_3}{1-w_3} = 0.0526 \quad , \quad \text{因为 } x_1 \text{ 即为临界含水率, 故开始即进入降速阶段。}$$

$$\theta_1 = \frac{G_c}{Ak_X} \ln \frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*} = 2$$

$$\theta_2 = \frac{G_c}{Ak_X} \ln \frac{X_2 - X^*}{X_3 - X^*}$$

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\ln \frac{X_2 - X^*}{X_3 - X^*}}{\ln \frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*}} = \frac{\ln \frac{0.111 - 0.04}{0.0526 - 0.04}}{\ln \frac{0.25 - 0.04}{0.111 - 0.04}}$$

$$\theta_2 = 3.20 \text{ h}$$

6、(15 分) 在实验室内用一片过滤面积为 0.05 m^2 滤叶在 36 kPa 的绝压下进行试验 (大气压为 101.3 kPa)。于 300 s 内共抽吸出 400 cm^3 滤液, 再过 600 s , 又另外抽吸出 400 cm^3 滤液。

(a) 估算该过滤压力下的过滤常数 K 。

(b) 估算再收集 400 cm^3 滤液需要再用多少时间。

(c) 若每收集 1 l 滤液有 5 g 固体物沉积在滤叶上, 求比阻 $r' (\text{m/kg})$ 。滤液粘度为 1 cp 。

解: (a) 估算该过滤压力下的过滤常数 K

您所下载的资料来源于 kaoyan.com 考研资料下载中心
获取更多考研资料, 请访问 <http://download.kaoyan.com>

$$q^2 + 2q_e q = k\theta$$

$$q_1^2 + 2q_e q_1 = \theta_1 k$$

$$q_2^2 + 2q_e q_2 = \theta_2 k$$

$$\theta_1 = 300s$$

$$q_1 = V_1 / A = 0.0004 / 0.05 = 0.008 m^3 / m^2$$

$$\theta_2 = 900s$$

$$q_2 = V_2 / A = 0.0008 / 0.05 = 0.016 m^3 / m^2$$

$$0.008^2 + 2 \times 0.008 q_e = 300k$$

$$0.000064 + 0.016 q_e = 300k$$

$$0.0016^2 + 2q_e q_2 = 900k$$

$$0.000256 + 2 \times 0.016 q_e = 900k$$

$$q_e = 0.004 m^3 / m^2$$

$$k = 4.27 \times 10^{-7} m^2 / s$$

(b) 估算再收集 400cm³ 滤液需要再用多少时间。

$$q_3^2 + 0.008 q_3 = 4.27 \times 10^{-7} \theta_3$$

$$q_3 = V_3 / A = 1.2 \times 10^{-3} / 0.05 = 0.024 m^3 / m^2$$

$$0.024^2 + 0.008 \times 0.024 = 4.27 \times 10^{-7} \theta_3$$

$$\theta_3 = 1798.6s$$

$$\Delta\theta = 1798.6 - 900 = 899s$$

(c) 若每收集 1l 滤液有 5g 固体物沉积在滤叶上，求比阻 r' (m/kg)。滤液粘度为 1cp

$$r' = \frac{2p}{k\mu c'} = \frac{2 \times \frac{36}{101.3} \times 10^3}{4.27 \times 10^{-7} \times 1 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-3}} = 7.80 \times 10^{13} m / kg$$