

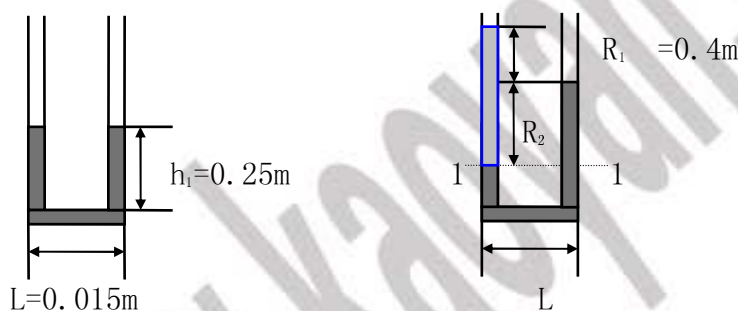
说明：1. 适用专业：化学工程，化学工艺，环境工程

2. 可使用的常用工具：计算器，三角板等文具

3. 答题内容，请写在答题纸上，写在试卷上一律无效

一、综合概念题（45 分）

1. （4 分）将水银倒入到图示的均匀管径的 U 形管内，水银高度 $h_1=0.25\text{m}$ 。然后将水从左支管倒入，测得平衡后左支管的水面比右支管的水银面高出 0.40m 。这时 U 形管内水与水银的体积比 1.19。



如图所示 1—1 为等压面， $\therefore p_1 = p_1'$

$$\therefore \rho_{\text{水}} g (R_1 + R_2) = \rho_{\text{水银}} g R_2$$

$$10^3 \times (0.4 + R_2) = 13.6 \times 10^3 R_2$$

$$\therefore R_2 = 0.0317\text{m}$$

$$V_{\text{水银}} = \frac{\pi}{4} d^2 (2h_1 + L)$$

$$V_{\text{水}} = \frac{\pi}{4} d^2 (R_1 + R_2)$$

$$\therefore V_{\text{水银}} / V_{\text{水}} = (2h_1 + L) / (R_1 + R_2) = (2 \times 0.25 + 0.015) / (0.4 + 0.0317) = 1.19$$

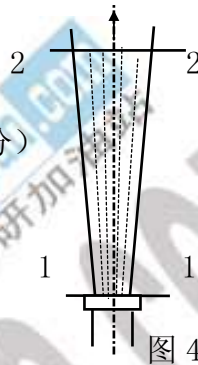
2. （每空 2 分）在离心泵性能测定试验中，以泵汲入口处真空度为 220mmHg ，出口压力表读数为 1.2kgf/cm^2 ，以孔板流量计及 U 形压差计测流量，孔板的孔径为 35mm ，采用汞为指示液，压差计读数 $R = 850\text{mm}$ ，孔流系数 $C_0 = 0.63$ ，测得轴功率为 1.92kW ，已知泵的进、出口截面间的垂直高度差为 0.2m 。则泵的压头 H_e _____ mH_2O ；流量 V _____ m^3/s ；效率 η _____。

二、综合计算题 (105 分)

图 3

三、综合计算题: (105 分)

1. (15 分) 水从喷嘴口 1-1 截面垂直向上喷射至大气。如图 4。设在大气中流束截面保持圆形, 已知喷嘴内直径 $d_1=20\text{mm}$, 出喷嘴口水流速 $u_1=15\text{m/s}$ 。问: 在高于喷嘴出口 5m 处水流的直径是多大? 忽略摩擦阻力。



解: 1-1 与 2-2 之间列柏努利方程

$$gz_1 + u_1^2/2 + p_1/\rho = gz_2 + u_2^2/2 + p_2/\rho \quad (5 \text{ 分})$$

$$z_1 = 0, z_2 = 5\text{m}, p_1 = p_2$$

$$\therefore u_1^2/2 = gz_2 + u_2^2/2$$

$$\therefore 15^2/2 = 9.81 \times 5 + u_2^2/2$$

$$\therefore u_2 = 11.26\text{m/s} \quad (5 \text{ 分})$$

$$\text{又, } u_1 d_1^2 = u_2 d_2^2$$

$$\therefore d_2 = (u_1/u_2)^{1/2} d_1 = \sqrt{15/11.26} \times 0.020 = 0.0231 \text{ m} \quad (5 \text{ 分})$$

2. (15 分) 有一叶滤机, 在恒压下过滤某种水悬浮液时, 得到如下过滤方程:

$q^2 + 30 \times q = 300 \times \tau$, 其中 $q - \text{L/m}^2$, $\tau - \text{min}$ 。在实际操作中, 先在 5 分钟内作恒速过滤, 此时过滤压差升至上述试验压强, 然后维持恒压过滤, 全部过滤时间为 20 分钟, 试求: ①每一循环中每 m^2 过滤面积所得滤液量? ②过滤后再用

$\frac{1}{5}$ 相当于滤液总量的水进行洗涤, 洗涤时间为多少?

解: ① $\because q^2 + 30q = 300\tau$

$$\therefore q_e = 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \quad K = 300 \text{ m}^2/\text{min}$$

$$\text{恒速过程 } q_1^2 + q_e q_1 = (K/2) \tau_1$$

$$\therefore q_1 = 20.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

$$\text{恒压过程 } (q^2 - q_1^2) + 2q_e(q - q_1) = K(\tau - \tau_1)$$

$$\therefore q = 60.7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \quad (5 \text{ 分})$$

$$\textcircled{2} \left(\frac{dq}{d\tau} \right)_E = \frac{K}{2(q + q_e)} = 1.98 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min}) \quad \left(\frac{dq}{d\tau} \right)_W = \left(\frac{dq}{d\tau} \right)_E \quad (5 \text{ 分})$$

$$\tau_w = \frac{V_w}{\left(\frac{dV}{d\tau} \right)_w} = \frac{J q_e A}{\left(\frac{dq}{d\tau} \right)_w A} = \frac{0.2 \times 60.7}{1.98} = 6.13 \text{ min} \quad (5 \text{ 分})$$

3. (15 分) 在传热面积为 10m^2 的管壳式换热器中, 用工业水集中冷却车间内各离心泵的轴封冷却用水, 工业水走管程, 进口温度为 20°C , 轴封冷却水走壳程, 进口温度为 70°C , 采

用逆流操作方式。当工业水流量为 1.0kg/s ，测得工业水与轴封冷却水的出口温度分别为 40°C 与 29°C ，当工业水流量增加一倍时，测得轴封冷却水出口温度为 24°C ，假设管壁两侧刚经过清洗，试计算管程和壳程的给热系数各为多少？

解：当工业水流量为 1.0kg/s 时，则

$$\frac{w_2 C_{p2}}{w_1 C_{p1}} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{70 - 29}{40 - 20} = 2.05$$

$$\Delta t_m = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} = \frac{(70 - 40) - (29 - 20)}{\ln \frac{70 - 40}{29 - 20}} = 17.4 \quad ^\circ\text{C}$$

$$K = \frac{W_2 C_{p2} (t_2 - t_1)}{A \Delta t_m} = \frac{1 \times 4200 \times (40 - 20)}{10 \times 17.4} = 481 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad (5 \text{ 分})$$

当工业废水增加一倍时，则

$$\frac{2w_2 C_{p2}}{w_1 C_{p1}} = \frac{T_1 - T_2'}{t_2' - t_1} = \frac{70 - 24}{t_2' - 20} = 2 \times 2.05 = 4.1$$

$$\therefore t_2' = 31.2 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_m' = \frac{(T_1 - t_2') - (T_2' - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2'}{T_2' - t_1}} = \frac{(70 - 31.2) - (24 - 20)}{\ln \frac{70 - 31.2}{24 - 20}} = 15.3 \quad ^\circ\text{C}$$

$$K' = \frac{2w_2 C_{p2} (t_2' - t_1)}{A \Delta t_m'} = \frac{2 \times 4200 \times (31.2 - 20)}{10 \times 15.3} = 614.5 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad (5 \text{ 分})$$

$$\frac{1}{481} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}$$

$$\frac{1}{614.5} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{2^{0.8} \alpha_2}$$

联立以上二式，解得： $\alpha_1 = 942.3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ； $\alpha_2 = 982.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 。(5分)

4. (15分) 对低浓度气体吸收，当平衡关系为直线时，试证明：

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{mG}{L}} \ln \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}$$

式中 Δy_1 、 Δy_2 分别为塔底与塔顶两端面上的气相吸收推动力。

证明： $N_{OG} = (y_1 - y_2) / \Delta y_m$ (5分)

$$\begin{aligned}
 &= (y_1 - y_2)(\ln \Delta y_1 / \Delta y_2) / [(y_1 - mx_2) - (y_2 - mx_2)] \\
 &= (\ln \Delta y_1 / \Delta y_2) / [1 - m(x_1 - x_2) / (y_1 - y_2)] \quad (10 \text{ 分}) \\
 &= \ln(\Delta y_1 / \Delta y_2) / (1 - mG / L)
 \end{aligned}$$

5. (25 分) 以连续精馏分离正庚烷(A)与正辛烷(B)。已知相对挥发度 $\alpha = 2.16$, 原料液浓度 $x_f = 0.35$ (正庚烷的摩尔分率, 下同), 塔顶产品浓度 $x_D = 0.94$, 加料热状态 $q = 1.05$, 馏出产品的采出率 $D/F = 0.34$ 。在确定回流比时, 取 $R/R_{\min} = 1.40$ 。设泡点回流。试求:

- 1) 写出精馏段与提馏段操作线方程;
- 2) 采用逐板计算法计算离开塔顶第二块理论塔板的汽液相组成。

解: 1) 精馏段与提馏段操作线

计算 R_{\min} 和 R : (5分)

平衡线方程: $y^* = \alpha x / [1 + (\alpha - 1)x] = 2.16x / (1 + 1.16x)$

q 线方程: $y = qx / (q - 1) - x_f / (q - 1) = 1.05x / 0.05 - 0.35 / 0.05$
 $= 21x - 7$

二线交点: $x_e = 0.3594 \quad y_e = 0.5476$

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_e}{y_e - x_e} = \frac{0.94 - 0.5476}{0.5476 - 0.3594} = 2.085$$

$$R = 1.40R_{\min} = 1.40 \times 2.085 = 2.92$$

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1} = \frac{2.92}{2.92+1}x + \frac{0.94}{2.92+1} = 0.745x + 0.2398 \quad (5 \text{ 分})$$

提馏段操作线方程(5分):

$$L' = L + qF = R(D/F)F + qF = [R(D/F) + q]F$$

$$\begin{aligned}
 V' &= V - (1 - q)F = (R + 1)(D/F)F - (1 - q)F \\
 &= [(R + 1)(D/F) - (1 - q)]F
 \end{aligned}$$

又 $Fx_f = Dx_0 + Wx_w$ 即 $x_f = (D/F)x_D + (W/F)x_w$

$$\therefore Wx_w = 0.0304F$$

$$\ominus y = (L'/V')x - (W/V')x_w$$

$$= \frac{[R(D/F) + q]F}{[(R + 1)(D/F) - (1 - q)]F}x - \frac{0.0304}{(R + 1)(D/F) - (1 - q)}$$

$$= \frac{2.92 \times 0.34 + 1.05}{(2.92 + 1) \times 0.34 - (1 - 1.05)} x - \frac{0.0304}{(2.92 + 1) \times 0.34 - (1 - 1.05)}$$

$$= 1.477x - 0.0220$$

且 $x_w = 0.0304(F/W) = 0.0304/(1 - D/F) = 0.0304/(1 - 0.34) = 0.046$

2) 离开塔顶第 2 块塔板的汽、液体浓度组成: (10 分)

精馏段操作线方程: $y = 0.745x + 0.240$ (1)

平衡线方程: $x^* = y/[\alpha - (\alpha - 1)y]$ (2)

计算顺序: 已知 y_1 经 (2) $\rightarrow x_1$ 经 (1) $\rightarrow y_2$ 经 (2) $\rightarrow x_2$

$$y_1 = 0.94$$

$$x_1 = \frac{0.94}{2.16 - (2.16 - 1) \times 0.94} = 0.8788$$

$$y_2 = 0.745 \times 0.8788 + 0.240 = 0.8947$$

$$x_2 = \frac{0.8947}{2.16 - 1.16 \times 0.8947} = 0.7973$$

6. (20 分) 在恒定干燥条件下的箱式干燥器内, 将湿染料由湿基含水量 45% 干燥到 3%, 湿物料的处理量为 8000 kg 湿染料, 实验测得: 临界湿含量为 30%, 平衡湿含量为 1%, 总干燥时间为 28h。试计算在恒速阶段和降速阶段平均每小时所蒸发的水分量。

解: $w_1 = 0.45$ $X_1 = \frac{w_1}{1 - w_1} = 0.818$ kg 水/kg 干料

$w_2 = 0.03$ $X_2 = \frac{w_2}{1 - w_2} = 0.031$ kg 水/kg 干料

同理 $X_0 = 0.429$ kg 水/kg 干料 $X^* = 0.01$ kg 水/kg 干料 $\tau = 28$ h
 (含水量换算 5 分)

$$\tau_1 = \frac{G_c}{Au_0} (X_1 - X_0)$$

$$\tau_2 = \frac{G_c (X_0 - X^*)}{Au_0} \ln \frac{X_0 - X^*}{X_2 - X^*}$$
 (写出两个阶段的干燥速率式 5 分)

$$\therefore \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{X_1 - X_0}{(X_0 - X^*) \ln \frac{X_0 - X^*}{X_2 - X^*}} = \frac{0.818 - 0.429}{(0.429 - 0.01) \ln \frac{0.429 - 0.01}{0.031 - 0.01}} = 0.31$$

$$\therefore \tau_1 = 0.31\tau_2$$

又 $\therefore \tau_1 + \tau_2 = \tau = 28$ h $\therefore \tau_1 = 6.6$ h $\tau_2 = 21.4$ h (解出两阶段干燥时间 5 分)

$$G_c = 8000 \times (1 - 0.45) = 4400$$
 kg 干料

$$\therefore \frac{G_c(X_1 - X_0)}{\tau_1} = 259.3 \text{ kg 水/h}$$

$$\frac{G_c(X_0 - X_2)}{\tau_2} = 81.8 \text{ kg 水/h} \quad (5 \text{ 分})$$