

接近于()的对流传热系数。(管)(原油侧)

16. 某二元理想物系的相对挥发度为 2.5, 全回流操作时, 已知塔内某块理论板的气相组成为 0.625, 则下层塔板的气相组成为()。0.4
17. 气液平衡过程中, 泡点方程表达()与泡点温度之间的定量关系, 露点方程是表达气相组成与()温度之间的定量关系。(液相组成)(露点)
18. 在气相的稳定分子扩散中, 漂流因数反映()对传质速率的影响。当混合气体中溶质组分的浓度很低时, 漂流因数()为 1。(总体流动)、(近似)
19. 填料塔的 $\Delta p/Z-u$ 关系图中下转折点称为(), 上转折点称为()。(载点)(泛点)
20. 对流干燥过程中, ()干燥器出口气的湿度和()其温度可提高干燥的热效率。(提高)(降低)

三、简答题(共 5 小题, 每小题 4 分, 共 20 分)

21. (4 分) 流体在平均直管内作稳态流动时, 其平均流速 u 沿流程保持不变, 并不因内摩擦而减速, 这一说法是否正确? 为什么?
答: 不正确。根据连续性方程, 流体在管内作稳态流动时, 其平均流速随管截面积和流体密度而变。但当流体不可压缩时, 该说法是正确的。
22. (4 分) 沉降发生的前提条件是什么? 其推动力有哪些?
答: 沉降发生的前提条件是: 分散相和连续相之间存在密度差, 同时存在外力场的作用, 以造成两相的相对运动。实现沉降操作的作用力可以是重力或离心力, 因此, 沉降过程有重力沉降和离心沉降两种方式。
23. (4 分) 室内暖气片(内部为热流体—水或水蒸气, 片外冷流体为冷空气)为什么只把外表面制成翅片状?
答: 因为暖气片外壁与空气的对流传热系数远小于片内水或水蒸气与内壁的对流传热系数, 即片外的对流传热热阻为控制热阻。要增大冷、热介质的换热速率, 改变片外的对流传热状况即减小控制热阻至关重要。暖气的外表面制成翅片状后, 有两种作用: ①明显地增大了外表面的传热面积, 使总传热系数(按光管传热面积计)较原来增大几倍。②安装翅片后, 加剧了空气的湍动程度, 破坏了层流内层, 亦可使总传热系数增大。
24. (4 分) 判别下列因素对雾沫夹带的影响: 气速增大; 板间距增大; 操作压强增大; 液体表面张力增大; 液气比增大。
答: 气速增大, 雾沫夹带增加; 板间距增大, 雾沫夹带下降; 操作压强增大, 雾沫夹带下降; 液体表面张力增大, 雾沫夹带下降; 液气比增大, 雾沫夹带增加。
25. (4 分) 什么叫板式塔的液泛?
答: 由于气液负荷大, 阻力降增加, 使下一层塔板的液体上升到上一层塔板上, 气液完全返混, 气液传质被破坏, 塔不能正常操作, 这种现象称为液泛。

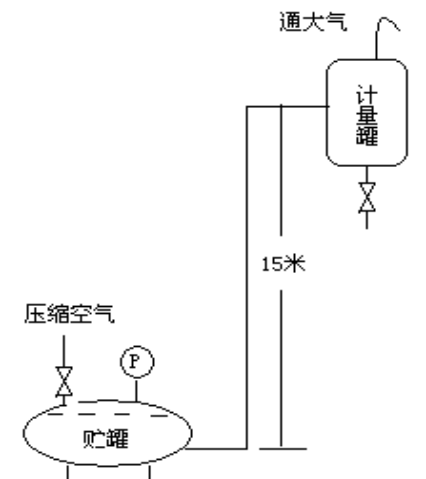
四、计算题(总共 6 小题)(任选作 5 小题并注明题号, 多选将按前面 5 小题计分, 每小题 18 分, 共 90 分)

26. (18 分) 某车间用压缩空气以恒定压力将浓硫酸(温度 20°C 、浓度 98%、密度 1830 kg/m^3)

从车间底层贮罐压送至三楼计量罐内, 如附图所示。每批物料压送量为 0.3 m^3 , 要求在 10 分钟

内压完。设全部流动阻力损失为 7.85 J/kg , 输送管道管径为 $\phi 38 \times 3\text{ mm}$ 。试求压缩空气的最

低压强（表压）。



解：取硫酸储罐液面为截面 1-1'，硫酸出口管为截面 2-2'，取截面 1-1' 为基准水平面。（2 分）
在两截面间列伯努利方程：

$$gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + We = gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + \Sigma h_f \quad (2 \text{ 分})$$

其中： p_1 未知（表压）， $p_2 = 0$ （表压）； $u_1 \approx 0$ （实际压送过程中因液面下降很小，速度可以忽略不计）； $z_1 = 0$ ， $z_2 = 15\text{m}$ ； $We = 0$ ； $\Sigma h_f = 7.85 \text{ J/kg}$ ； $\rho = 1830 \text{ kg/m}^3$ （2 分）

$$\text{则有： } p_1 = \left(15 \times 9.81 + \frac{u_2^2}{2} + 7.85 \right) \times 1830 \quad (2 \text{ 分})$$

硫酸在管路中的流速 u_2 可由下式计算： $V_s = u_2 A = 0.785 d^2 u_2$ （2 分）

式中： $d = (38 - 2 \times 3) / 1000 = 0.032 \text{ m}$ （1 分）

$$V_s = 0.3 / (10 \times 60) = 0.0005 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{则有： } u_2 = V_s / (0.785 d^2) = 0.0005 / (0.785 \times 0.032^2) = 0.622 \text{ m/s} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{解得： } p_1 = \left(15 \times 9.81 + \frac{u_2^2}{2} + 7.85 \right) \times 1830 = \left(15 \times 9.81 + \frac{0.622^2}{2} + 7.85 \right) \times 1830 \quad (4 \text{ 分})$$

$$= 284003 \text{ Pa} = 2.804 \text{ atm}$$

即所需压缩空气的压力为 2.804 atm （表压）

27. （18 分）在实验室用一片过滤面积为 0.1 m^2 的滤叶对某种颗粒在水中的悬浮液进行试验，过滤压强差为 500 mmHg ，过滤 5 分钟后得滤液 1 升，又过滤 5 分钟得滤液 0.6 升。若再过滤 5 分钟，可再得滤液若干升？

解：为了解滤液量与过滤时间的变化关系，需先求出恒压过滤条件下的过滤常数 K 及 q_e 。（1 分）

$$\text{恒压过滤方程可写成： } q^2 + 2q_e q = K\theta \quad (2 \text{ 分})$$

已知： $A = 0.1 \text{ m}^2$ ； $\theta_1 = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$ ， $V_1 = 1 \text{ L} = 0.001 \text{ m}^3$ ； $\theta_2 = 5 + 5 \text{ min} = 600 \text{ s}$ ，

$$V_2 = 1 + 0.6 \text{ L} = 0.0016 \text{ m}^3 \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{则有： } (0.001/0.1)^2 + 2q_e \times (0.001/0.1) = K \times 300 \quad (\text{a}) \quad (2 \text{ 分})$$

$$(0.0016/0.1)^2 + 2q_e \times (0.0016/0.1) = K \times 600 \quad (\text{b}) \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{联立求解上两式得： } q_e = 7 \times 10^{-3} \text{ m}， K = 8 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{则 } \Delta p = 500 \text{ mmHg} \text{ 时的恒压过滤方程为： } q^2 + 2 \times 7 \times 10^{-3} q = 8 \times 10^{-7} \theta \quad (2 \text{ 分})$$

当 $\theta_3 = 5 + 5 + 5 \text{ min} = 900 \text{ s}$ 时, 由 $q^2 + 2 \times 7 \times 10^{-3} q = 8 \times 10^{-7} \times 900$ 解得:

$$q_3 = 2.1 \times 10^{-2} \text{ m}^3 / \text{m}^2 \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{则有: } V_3 = (2.1 \times 10^{-2}) \times 0.1 \text{ m}^3 = 2.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 2.1 \text{ L} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{由此可知, 若再过滤 } 5 \text{ 分钟, 可得滤液量为: } 2.1 - (1 + 0.6) = 0.5 \text{ L} \quad (1 \text{ 分})$$

28. (18 分) 煤油冷却器原长度为 1 米, 水的进口温度为 12°C , 油的进口温度为 147°C , 水在 37°C 离开原冷却器。设总传热系数 K 、油和水的流速、进口温度以及冷却器的其它尺寸均保持不变, 用增长冷却器的办法使离开并流冷却器的油温由 97°C 降至 77°C , 试问冷却器需增长多少才能满足要求。(不考虑热损失)

解: 对原长度 1 米的并流冷却器:

$$\text{已知 } t_1 = 12^\circ\text{C}, t_2 = 37^\circ\text{C}; T_1 = 147^\circ\text{C}, T_2 = 97^\circ\text{C}; \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{对热流体油: } Q = W_h c_{ph} (T_1 - T_2) = W_h c_{ph} (147 - 97) = 50 W_h c_{ph} \quad (\text{a}) \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{对冷流体水: } Q = W_c c_{pc} (t_2 - t_1) = W_c c_{pc} (37 - 12) = 25 W_c c_{pc} \quad (\text{b}) \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{则有: } \frac{W_h c_{ph}}{W_c c_{pc}} = 0.5 \quad (1 \text{ 分})$$

并流时的对数平均温差:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)}} = \frac{(147 - 12) - (97 - 37)}{\ln \frac{(147 - 12)}{(97 - 37)}} = \frac{135 - 60}{\ln \frac{135}{60}} = 92.5^\circ\text{C} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{由式 a: } Q = 50 W_h c_{ph} = K S \Delta t_m = K n \pi d l_1 \Delta t_m \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{则有: } \frac{W_h c_{ph}}{K n \pi d} = \frac{92.5}{50} = 1.85 \quad (1 \text{ 分})$$

对新并流冷却器: 设总传热系数 K 、油和水的流速、进口温度以及冷却器的其它尺寸均保持不变。

$$\text{已知 } t_1 = 12^\circ\text{C}, t_2 = 37^\circ\text{C}; T_1 = 147^\circ\text{C}, T_2 = 77^\circ\text{C}; \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{对热流体油: } Q = W_h c_{ph} (T_1 - T_2) = W_h c_{ph} (147 - 77) = 70 W_h c_{ph} \quad (\text{c}) \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{对冷流体水: } Q = W_c c_{pc} (t_2 - t_1) = W_c c_{pc} (t_2 - 12) \quad (\text{d}) \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{由 } \frac{W_h c_{ph}}{W_c c_{pc}} = 0.5 \text{ 及上两式解得: } t_2 = 47^\circ\text{C} \quad (2 \text{ 分})$$

并流时的对数平均温差:

$$\Delta t'_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)}} = \frac{(147 - 12) - (77 - 47)}{\ln \frac{(147 - 12)}{(77 - 47)}} = \frac{135 - 30}{\ln \frac{135}{30}} = 69.8^\circ\text{C} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{则有: } Q = W_h c_{ph} (147 - 77) = 70 W_h c_{ph} = K n \pi d l_2 \Delta t'_m = 69.8 K n \pi d l_2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$l_2 = \frac{70 W_h c_{ph}}{69.8 K n \pi d} = 1.003 \times 1.85 = 1.86 \text{ m} \quad (1 \text{ 分})$$

故换热器需要增长 0.86 米才能满足要求。 (1 分)

29. (18 分) 一连续精馏塔, 泡点进料, 每小时向塔釜加入含甲醇 40% (摩尔分率, 下同) 的水溶液 200 kmol , 要求塔顶馏出液组成为 0.95, 塔釜残液组成为 0.05, 塔顶采用全凝器, 实际操作的回流比为最小回流比的 1.50 倍, 操作条件下物系的平均相对挥发度为 2.50。试求:

(1) 塔顶馏出液量及塔底馏出液量, kmol/h ; (5 分)

(2) 操作的最小回流比; (5 分)

(3) 用逐板法计算从精馏塔顶部往下数的第二块理论板上的汽、液相组成。(8 分)

解：(1)塔顶馏出液量， $kmol/h$

$$q_{n,F} = q_{n,D} + q_{n,W} \quad 200 = q_{n,D} + q_{n,W} \quad (2 \text{ 分})$$

$$q_{n,F} \cdot x_F = q_{n,D} \cdot x_D + q_{n,W} \cdot x_W \quad 200 \times 0.4 = q_{n,D} \times 0.95 + q_{n,W} \times 0.05 \quad (2 \text{ 分})$$

$$q_{n,D} = 77.78 kmol/h \quad q_{n,W} = 122.22 kmol/h \quad (1 \text{ 分})$$

(2)操作的最小回流比

$$\text{泡点进料: } x_q = x_F = 0.4 \quad y_q = \frac{\alpha x_q}{1 + (\alpha - 1)x_q} = \frac{2.5 \times 0.4}{1 + (2.5 - 1) \times 0.4} = 0.625 \quad (3 \text{ 分})$$

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_q}{y_q - x_q} = \frac{0.95 - 0.625}{0.625 - 0.4} = 1.444 \quad (2 \text{ 分})$$

(3)用逐板法计算从精馏塔顶部往下数的第二块理论板上的汽、液相组成

$$\text{精馏线: } y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D = \frac{1.5}{1.5+1} x_n + \frac{0.95}{1.5+1} = 0.6x_n + 0.38 \quad (2 \text{ 分})$$

$$y_1 = x_D = 0.95 \quad (1 \text{ 分})$$

$$y_1 = \frac{\alpha x_1}{1 + (\alpha - 1)x_1} = \frac{2.5x_1}{1 + 1.5x_1} = 0.95 \quad x_1 = 0.884 \quad (2 \text{ 分})$$

$$y_2 = 0.6x_1 + 0.38 = 0.6 \times 0.884 + 0.38 = 0.9104 \quad (2 \text{ 分})$$

$$y_2 = \frac{2.5x_2}{1 + 1.5x_2} = 0.9104 \quad x_2 = 0.803 \quad (1 \text{ 分})$$

30. (18 分) 拟在直径为 $1m$ 的填料吸收塔中，用清水逆流吸收空气混合物中的可溶组分，混合气的处理量为 $30 kmol/h$ ，气液相平衡关系为 $y = 2x$ 。已知该可溶组分的进口浓度为 8% （摩尔百分数，下同）。现要求其出口浓度不大于 1% ，操作的液气比为 $L/G=2$ ，此时气相总体积传质系数 $K_y a = 0.0186 kmol/(m^3 \cdot s)$ 。试求：

(1)操作液气比与最小液气比之比；(6 分)

(2)填料吸收塔所需的填料层高度。(12 分)

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_1^* - x_2} \quad H_{OG} = \frac{G}{K_y a \Omega} \quad N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y^*}$$

解：(1)操作液气比与最小液气比之比

$$\text{已知: } y_1 = 0.08, y_2 = 0.01, x_2 = 0, y = 2x \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{则有: } \left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_1^* - x_2} = \frac{y_1 - y_2}{y_1/m - x_2} = \frac{0.08 - 0.01}{0.08/2 - 0} = 1.75 \quad (2 \text{ 分})$$

$$\frac{L/G}{(L/G)_{\min}} = \frac{2}{1.75} = 1.14 \quad (2 \text{ 分})$$

(2) 填料吸收塔所需的填料层高度

$$\text{传质单元高度: } H_{OG} = \frac{G}{K_y a \Omega} = \frac{30/3600}{0.0186 \times \frac{\pi}{4} \times 1^2} = 0.57 \text{ m} \quad (3 \text{ 分})$$

$$\text{由物料衡算式有: } x = G(y - y_2) / L \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{传质单元数: } N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y^*} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - mx} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - \frac{mG}{L}(y - y_2)} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{因为: } mG/L = 2/2 = 1 \quad (1 \text{ 分})$$

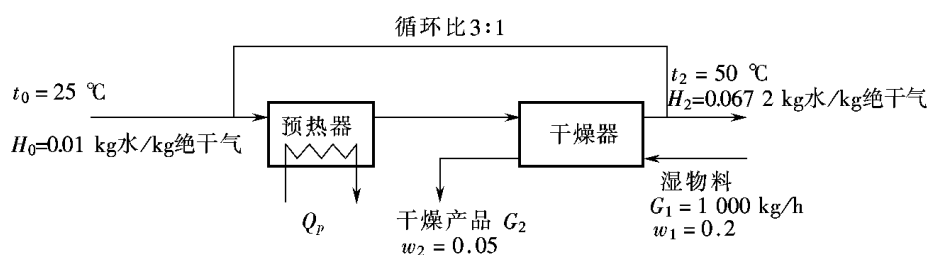
$$\text{所以: } N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_2} = \frac{y_1 - y_2}{y_2} = \frac{0.08 - 0.01}{0.01} = 7 \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{填料层高度 } h = N_{OG} \times H_{OG} = 7 \times 0.57 = 3.99 \text{ m} \quad (2 \text{ 分})$$

31. (18 分) 采用如图所示的废气循环系统干燥湿物料, 已知数据标于本题附图中。假设系统热损失可忽略, 干燥操作为等焓干燥过程。试求:

(1) 新鲜空气的消耗量; (9 分)

(2) 进入干燥器的湿空气的温度及焓。(9 分) ($I = (1.01 + 1.88H)t + 2490H$)



解: (1) 新鲜空气的消耗量

$$\text{已知: 湿基含水量 } w_1 = 0.2, w_2 = 0.05 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{干基含水量: } X_1 = \frac{w_1}{1 - w_1} = \frac{0.2}{1 - 0.2} = 0.25, X_2 = \frac{w_2}{1 - w_2} = \frac{0.05}{1 - 0.05} = 0.053 \quad (2 \text{ 分})$$

$$G = G_1(1 - w_1) = 1000 \times (1 - 0.2) = 800 \text{ kg 绝干物料/h} \quad (2 \text{ 分})$$

$$W = G(X_1 - X_2) = 800 \times (0.25 - 0.053) = 157.6 \text{ kg 水分/h} \quad (2 \text{ 分})$$

对整个系统进行物料衡算:

$$L_0 = \frac{W}{H_2 - H_0} = \frac{157.6}{0.0672 - 0.01} = 2755 \text{ kg 绝干气/h} \quad (1 \text{ 分})$$

$$L = L_0(1 + H_0) = 2755 \times (1 + 0.01) = 2783 \text{ kg 新鲜空气/h} \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 进入干燥器的湿空气的温度及焓

由于干燥过程无热量损失, 干燥过程可以认为是一个绝热等焓过程。 (1 分)

$$I_1 = I_2 = (1.01 + 1.88H_2)t_2 + 2490H_2 = (1.01 + 1.88 \times 0.0672) \times 50 + 2490 \times 0.0672 = 224.6 \text{ kJ/kg 绝干气} \quad (2 \text{ 分})$$

$$L_{\text{循环}} = 3L_0 = 3 \times 2755 = 8265 \text{ kg 绝干气/h} \quad (1 \text{ 分})$$

$$H_m = \frac{L_0 H_0 + L_{\text{循环}} H_2}{L_0 + L_{\text{循环}}} = \frac{2755 \times 0.01 + 8265 \times 0.0672}{2755 + 8265} = 0.0529 \text{ kg / kg 绝干气} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\text{由 } I_1 = (1.01 + 1.88H_m)t_1 + 2490H_m \quad (1 \text{ 分})$$

求得： $224.6 = (1.01 + 1.88 \times 0.0592)t_1 + 2490 \times 0.0592$ $t_1 = 83.32 \text{ } ^\circ\text{C}$ (2 分)