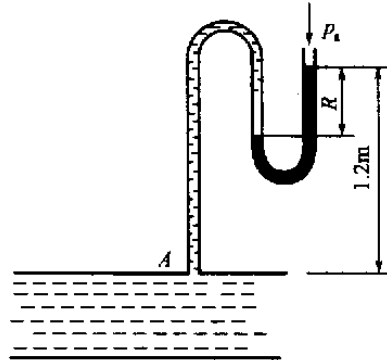


解题思路：

1. 已知： $p_a=101.3\text{kPa}$, $\rho=1000\text{kg/m}^3$, $\rho_i=13600\text{kg/m}^3$, $R=120\text{mm}$, $H=1.2\text{m}$ 。
求： P_A (绝) (Pa), P_A (表) (Pa)



解题思路：以 1-2-3 为等压面，列静力学方程：

$$P_A = P_1 + \rho g (H-R)$$

$$P_1 = P_2 = P_3$$

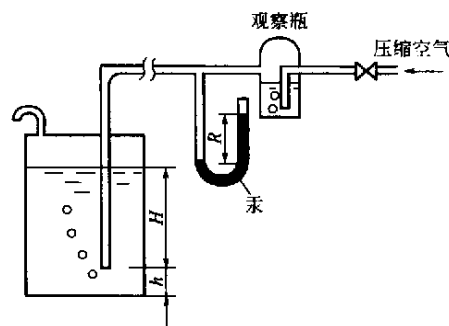
$$P_3 = P_a + \rho_i R g$$

$$P_A = P_a + \rho_i R g + \rho (H-R) g$$

$$P_A (\text{表}) = P_A (\text{绝}) - p_a$$

2. 已知： $R=130\text{mm}$, $h=20\text{cm}$, $D=2\text{m}$, $\rho=980\text{kg/m}^3$, $\rho_i=13600\text{kg/m}^3$ 。管道中空气缓慢流动。

求：贮槽内液体的储存量 W 。



解题思路：(1) 管道内空气缓慢鼓泡 $u=0$ ，可用静力学原理求解。

(2) 空气的 ρ 很小，忽略空气柱的影响。

$$H \rho g = R \rho_i g$$

$$W = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot (H+h) \rho$$

3. 已知： $T=20$ (苯), $\rho=880\text{kg/m}^3$, $H=9\text{m}$, $d=500\text{mm}$, $h=600\text{mm}$ 。

求：(1) 人孔盖受力 F (N)

(2) 槽底压强 P (Pa)

解题思路：(1) 由于人孔盖对中心水平线有对称性，且静压强随深度作线性变化，

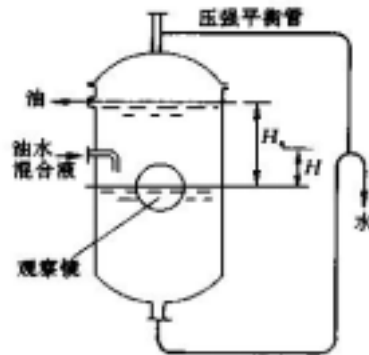
所以可以孔盖中心处的压强对全面积求积得 F 。

$$F=P \cdot A=\rho g(H-h) \cdot \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$(2) \quad P=\rho g H$$

4. 已知： $H_S=500\text{mm}$ ， $\rho_{\text{油}}=780\text{ kg/m}^3$ ， $\rho_{\text{水}}=1000\text{ kg/m}^3$

求： $H(\text{m})$

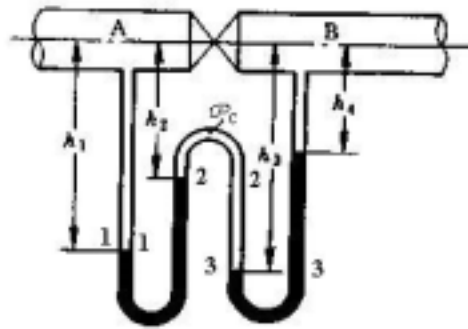


解题思路：假定：由于液体流动速度缓慢，可作静力学处理， $H_S \rho_{\text{油}} g = H \rho g$

$$\therefore H = H_S \cdot \frac{\rho_{\text{油}}}{\rho}$$

5. 已知： $\rho_i=13600\text{ kg/m}^3$ ， $\rho=1000\text{ kg/m}^3$ ， $h_1=1.2\text{m}$ ， $h_2=0.3\text{m}$ ， $h_3=1.3\text{m}$ ， $h_4=0.25\text{m}$ 。

求： $\Delta P_{AB}(\text{Pa})$



解题思路： $P_A - P_C = (h_1 - h_2)(\rho_i - \rho)g$

$$P_C - P_B = (h_3 - h_4)(\rho_i - \rho)g$$

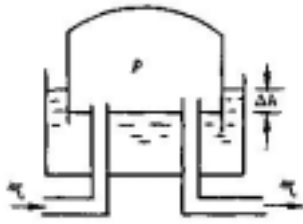
$$P_A - P_B = (h_1 - h_2 + h_3 - h_4)(\rho_i - \rho)g$$

$$\text{又 } Z_A = Z_B$$

$$\Delta P_{AB} = \Delta P_{AB}$$

6. 已知： $D=9\text{m}$ ， $m=10\text{t}$

求： $P, \Delta h$ 。



解题思路：设大气压为 P_0 ，由题设条件知可用静力学求解。

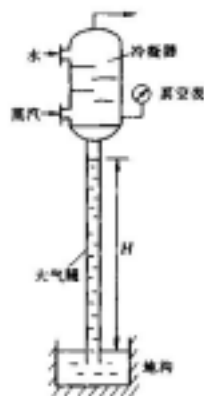
$$\frac{\pi}{4} D^2 (P - P_0) = mg$$

$$P = \frac{mg}{\frac{\pi}{4} D^2} + P_0$$

$$P = P_0 + \Delta h \cdot \rho g$$

7. 已知： $P(\text{真})=82\text{kPa}$ ， $P_a=100\text{kPa}$

求： $P(\text{绝})$ ， H



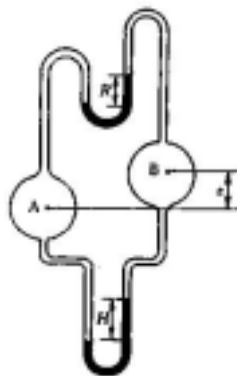
解题思路： $P(\text{绝})=P_a-P(\text{真})$

$$P(\text{绝}) + \rho g H = P_a$$

8. 已知： $\rho_A = \rho_B = \rho$ ，指示剂密度为 ρ_i

求：(1) R 与 H 之关系

(2) P_A 与 P_B 之关系



解题思路：(1)由静力学可知：

$$\begin{aligned} P_A - P_B &= R(\rho_i - \rho)g \\ &= H(\rho_i - \rho)g \end{aligned}$$

(2) $\rho_i > \rho$

$$P_A - P_B = H(\rho_i - \rho)g > 0$$

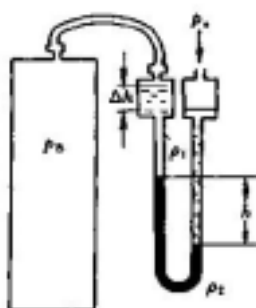
即 $P_A > P_B$

$$P_A + Z_A \rho g > P_B + Z_B \rho g$$

$$P_A > P_B + (Z_B - Z_A) \rho g > P_B$$

9. 已知：如图所示：

$$\text{求证： } P_B = P_a - hg(\rho_2 - \rho_1) - hg\rho_1 \frac{d^2}{D^2}$$



解题思路：作 1-1 等压面，由静力学方程得

$$P_a + h\rho_1 g = P_B + \Delta h\rho_1 g + h\rho_2 g \quad (1)$$

$$\Delta h \cdot \frac{\pi}{4} D^2 = h \cdot \frac{\pi}{4} d^2$$

$$\Delta h = h \cdot \frac{d^2}{D^2} \text{ 代入 (1) 式}$$

$$\text{得 } P_a + h\rho_1 g = P_B + h \cdot \frac{d^2}{D^2} \rho_1 g + h\rho_2 g$$

10. 已知： $dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$, $P_{h=0} = P_a$, $T = \text{const}$, 大气为理想气体。

求：大气压与海拔高度 h 之间的关系。

解：大气层仅考虑重力，所以

$$X=0, Y=0, Z=-g, dz=dh$$

$$dp = -\rho g dh$$

$$\text{又理想气体 } \rho = \frac{pM}{RT}$$

其中 M 为气体平均分子量， R 为气体通用常数。

11. 已知：钢管 $\phi 114 \times 4.5\text{mm}$ $P=2\text{MPa}$ (绝), $T=20$, 空气流量 $q_{V0}=6300\text{m}^3/\text{h}$ (标准状态),

求： u 、 q_m 、 G

解题思路：(1) $Pq_v=nRT$

$$\therefore q_{V1} = q_{V0} \times \frac{T_1}{T_0} \times \frac{P_0}{P_1}$$

$$\therefore u = \frac{q_{V1}}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$(2) \rho = \frac{pM}{RT}$$

$$\therefore G = u \cdot \rho$$

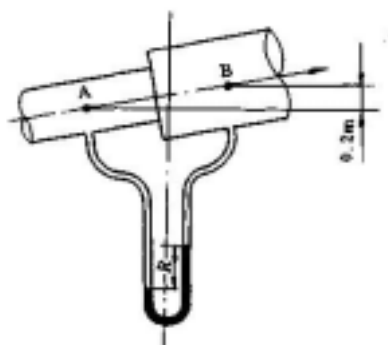
$$(3) \rho_0 = \frac{29}{22.4}$$

$$q_m = \rho_0 \cdot q_{V0}$$

12. 已知： $q_V=60\text{m}^3/\text{h}$, $d_A=100\text{mm}$, $d_B=200\text{mm}$, $h_{AB}=0.2\text{m}$, $\rho_i=1630\text{kg/m}^3$, $\rho=1000\text{kg/m}^3$,

求：(1)指示剂哪侧高， $R=?$

(2)扩大管道改为水平放置，压差计的读数有何变化？



解题思路：(1) 取 A、B 两个管截面列柏努利方程

$$\text{得 } \frac{P_A}{\rho} + \frac{u_A^2}{2} = \frac{P_B}{\rho} + \frac{u_B^2}{2}$$

$$\therefore P_{AB} = P_A - P_B = \frac{\rho}{2}(u_B^2 - u_A^2)$$

$$\Delta P_{BA} = Rg(\rho_i - \rho)$$

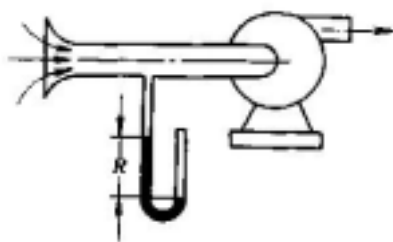
(2)若改为水平放置后，由于 u_A 、 u_B 不变，则

ΔP_{BA} 也不变，由 $\Delta P_{BA} = Rg(\rho_i - \rho)$

R 值也不变，即压差计指示的是总势能差。

13. 已知： $d=200\text{mm}$, $R=25\text{mm}$, $\rho_i=1000\text{kg/m}^3$, $\rho=1.2\text{kg/m}^3$ 。

求： $q_v(\text{m}^3/\text{h})$



解题思路：列 1-2 两截面伯努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2}$$

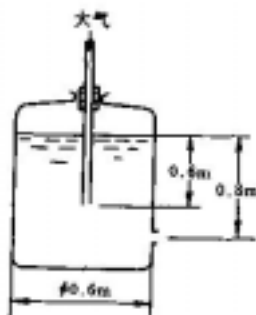
$$P_1 = P_a, z_1 = z_2, u_1 = 0$$

$$P_a - P_2 = \frac{\rho}{2} u_2^2$$

由 U 形压差计， $P_a - P_2 = Rg(\rho_i - \rho)$ (忽略空气柱)

$$\therefore q_v = u_2 \cdot \frac{1}{4} \pi d_2^2$$

14. 已知： $H=0.8\text{m}$ ， $h=0.6\text{m}$ ， $D=0.6\text{m}$ ， $d=10\text{mm}$ ， $C_0=0.62$ ，
求：液面下降 0.5m 所需的时间。



解题思路：列 1-2 截面伯努利方程，小孔中心处为基准面

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2}$$

$$P_1 = P_2 = P_a, z_2 = 0, z_1 = H - h = 0.8 - 0.6 = 0.2\text{m}, u_1 = 0$$

$$\therefore u_2 = \sqrt{2g(H - h)}$$

小孔实际流速

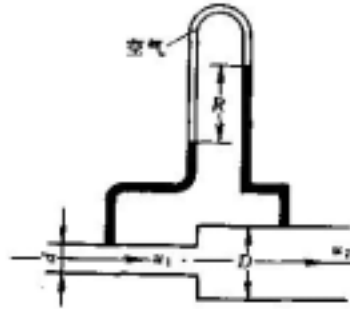
$$u_0 = C_0 u_2$$

液面下降 $0.5\text{m} < h = 0.6\text{m}$

液体下降过程中小孔流速不变

$$\therefore \tau = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 \times 0.5}{\frac{\pi}{4} d^2 \times u_0}$$

15. 已知: $q_v = 3.77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $d = 40 \text{ mm}$, $D = 80 \text{ mm}$, $R = 170 \text{ mm}$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
求: $H_f (\text{J/N})$



解题思路: 列 1-2 截面的柏努利方程

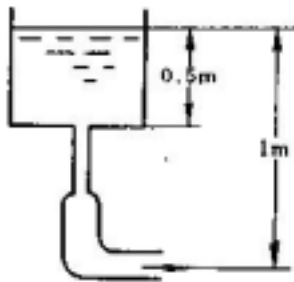
$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + h_{f12}$$

$$P_2 - P_1 = Rg(\rho - \rho_i)$$

$$\therefore h_{f12} = \frac{P_1 - P_2}{\rho} + \frac{1}{2}(u_1^2 - u_2^2)$$

$$H_f = \frac{h_f}{g}$$

16. 已知: 30 (水), $d_1 = 20 \text{ mm}$, $d_2 = 36 \text{ mm}$ 。不计 h_f ,
求: $P_{\min}$ 位置, 是否汽化?



解题思路: 查 30 水, P_v

从 1 截面到 2 截面列柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2}$$

$$P_1 = P_2 = P_a, u_1 = 0, \text{ 取 } z_2 = 0$$

$$\therefore u_2 = \sqrt{2gz_1}$$

再从 1 截面到任一截面（在 1-2 之间）列柏努利方程，则：

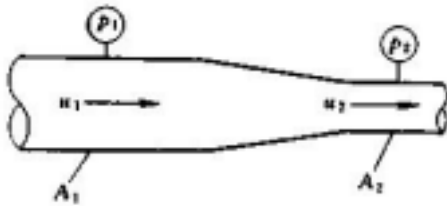
$$\frac{P_a}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_x}{\rho} + gz_x + \frac{u_x^2}{2}$$

$$u_1=0$$

$$\therefore P_x = [(gz_1 + \frac{P_a}{\rho}) - (z_x g + \frac{u_x^2}{2})]\rho$$

$$(gz_1 + \frac{P_a}{\rho}) \text{ 为定值, 当 } z_x g + \frac{u_x^2}{2} \text{ 为最大时, } P_x = P_{\min}$$

17. 已知： ρ , $(P_1 - P_2)$, A_1 , A_2 , h_f 不计
求： u_1 , u_2 表达式



解题思路：由 1 至 2 截面列柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2$$

$$\therefore \frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{u_1^2}{2} \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]$$

$$\text{得 } u_1 = A_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

$$u_2 = \frac{A_1}{A_2} u_1$$

18. 已知： $P_2 = P_a$, $q_v = 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$, $d_1 = 80 \text{ mm}$, $d_2 = 40 \text{ mm}$, P_1 (表) = 0.8 MPa ,
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

求：水流对喷嘴的作用力(N)



解题思路：设 F 为喷嘴对控制体的作用力，则由动量守恒得

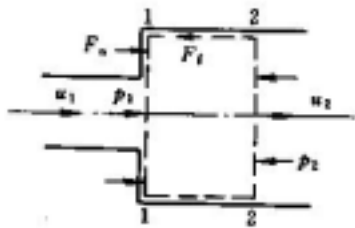
$$P_1 A_1 - F - P_2 A_2 = q_v \rho (u_2 - u_1)$$

$$P_1 = 0.8 \times 10^6 + 1.013 \times 10^5 = 9.013 \times 10^5 (\text{N/m}^2)$$

$$P_2 = 1.013 \times 10^5 (\text{N/m}^2)$$

$$F = P_1 A_1 - P_2 A_2 - q_v \rho (u_2 - u_1)$$

19. 已知：流体突然扩大，有阻力损失



$$\text{求证：} h_f = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \cdot \frac{u_1^2}{2}$$

解题思路：假定 $F_n = P_1 (A_2 - A_1)$ ，忽略管壁摩擦阻力

定态流动下有动量守恒方程：

$$P_1 A_1 - P_2 A_2 + F_n = \rho A_2 u_2^2 - \rho A_1 u_1^2$$

代入 $F_n = P_1 (A_2 - A_1)$ 及质量守恒方程 $\rho u_1 A_1 = \rho u_2 A_2$

整理得 $P_2 - P_1 = \rho u_2 (u_1 - u_2)$

取 1-1 截面至 2-2 截面列柏努利方程：

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_f$$

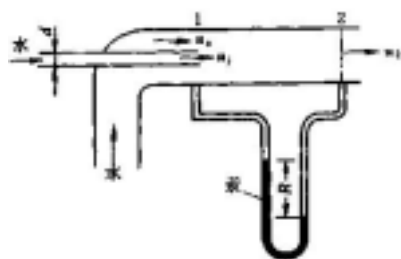
$z_1 = z_2$ ，代入得：

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} = u_2 (u_2 - u_1) + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} = \frac{(u_1 - u_2)^2}{2}$$

20. 已知： $d_j = 0.04\text{m}$, $u_j = 20\text{m/s}$, $u_s = 0.5\text{m/s}$, $D = 0.1\text{m}$ ，截面 1 各点 P_1 相同，截面 2 处速度分布均匀，忽略 1, 2 间管壁对流体的摩擦力

求：(1) u_2

(2) U 形压差计读数 R



解题思路：(1) $q_{v2} = q_{vs} + q_{vj}$ (质量守恒)

$$q_{vs} = u_s \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d_j^2)$$

$$q_{vj} = u_j \cdot \frac{\pi}{4} d_j^2$$

$$\therefore u_2 = \frac{q_{v2}}{A_2}$$

(2) 由 1 截面至 2 截面列动量守恒方程, 则

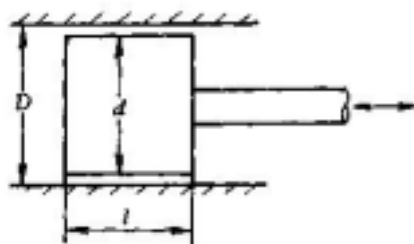
$$(P_1 - P_2)A = q_{v2}\rho u_2 - q_{vj}\rho u_j - q_{vs}\rho u_s$$

$$P_2 - P_1 = R(\rho_i - \rho)g$$

$$\therefore R = \frac{P_2 - P_1}{(\rho_i - \rho)g}$$

21. 已知： $u=0.8\text{m/s}$ ， $D=100\text{mm}$ ， $d=99.96\text{mm}$ ， $L=120\text{mm}$ ， $\mu=100\text{mPa} \cdot \text{s}$ (润滑油)，流动为层流

求：粘性力 F



解题思路：层流 $\therefore \tau = \mu \frac{du}{dy}$

$$\text{隙缝 } \delta = (D - d) / 2 = (100 - 99.96) / 2 = 0.02\text{mm}$$

$\delta \ll d$, 即剪切力变化极小, $\tau = \text{const}$

$$\frac{du}{dy} = \frac{\tau}{\mu} = \text{const}, \text{ 即速度分布可视作线性。}$$

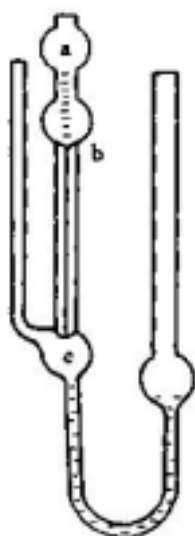
$$\text{得 } \frac{du}{dy} = \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{0-u}{0-\delta}$$

$$F = \tau \cdot A = \mu \frac{du}{dy} \cdot \pi dL$$

22. 已知： $q_{vab}=3.5\text{ml}$ ， $d_0=1\text{mm}$ ， $\tau_{ab}=80\text{s}$ ，

求：运动粘度 ν

提示：毛细管两端 b 和 c 的静压强都是 1atm，a 与 b 间的液柱静压及毛细管表面张力的影响忽略不计。



解题思路：设毛细管中为层流，则

$$u = \frac{q_{vab}}{\tau A}$$

从 b 截面到 c 截面列柏努利方程：

$$P_b = P_c = P_a \text{ 忽略液柱}$$

$$Z_b g = Z_c g + h_f$$

$$Z_{bc} g = \frac{32 \mu u Z_{bc}}{d^2 \rho} = \frac{32 \nu u Z_{bc}}{d^2}$$

$$\therefore \nu = \frac{gd^2}{32u}$$

$$\text{验 } Re = \frac{ud}{\nu}$$

23. 已知：湍流时 $u/u_{\max} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{7}}$

求：(1) $\bar{u}/u_{\max}$ 的值；

(2) 动能校正系数；

解题思路：
$$\bar{u} = \frac{\int_A u dA}{A} = \frac{\int_0^R u \cdot 2\pi r dr}{A}$$

积分变换 $x=R-r$, $dr=-dx$

$$\begin{aligned}\therefore \bar{u} &= \frac{\int_0^R u \cdot 2\pi r dr}{A} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7} \cdot 2\pi r dr \\ &= \frac{2u_{\max}}{R^2} \int_R^0 \left(\frac{x}{R}\right)^{1/7} \cdot (R-x)(-dx) \\ &= 2u_{\max} \int_0^1 \left(\frac{x}{R}\right)^{1/7} \left(1 - \frac{x}{R}\right) d\left(\frac{x}{R}\right) \\ &= 2u_{\max} / \left(\frac{1}{7} + 1\right) \left(\frac{1}{7} + 2\right)\end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{1}{u^3 A} \int_A u^3 dA = \left(\frac{u_{\max}}{u}\right)^3 \cdot \frac{1}{\pi R^2} \int_R^0 \left(\frac{x}{R}\right)^{3/7} \cdot 2\pi (R-x)(-dx)$$

24. 已知：粘度 μ , 密度 ρ , 液膜厚 δ , 平壁宽度 B , 高度为 H , 匀速层流流动



求证：
$$\frac{q_v}{B} = \frac{\rho g \delta^3}{3\mu}$$

证明：取一高为 H , 宽为 B , 厚为 y 的控制体
在垂直方向上匀速运动

$$(yBH) \rho g - \tau BH = 0$$

$$\tau = y \rho g$$

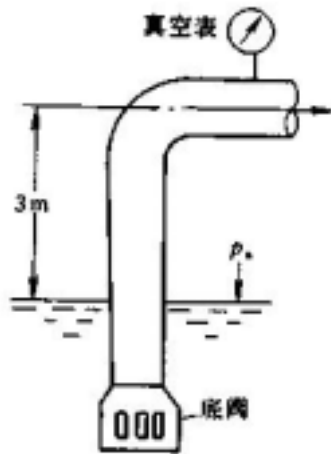
层流流动 , $\tau = -\mu \frac{du}{dy}$

$$\therefore y \rho g = -\mu \frac{du}{dy}$$

$$\int_{\delta}^y y dy = -\frac{\mu}{\rho g} \int_0^u du$$

$$q_v = \int_A u dA = \int_0^{\delta} u B dy$$

25 . 已知 : $H=3\text{m}$, $d=50\text{mm}$, $\varepsilon=0.2\text{mm}$, $l=8\text{m}$, 90° 弯头一只 , 底阀一只 ,
 $q_v=20\text{m}^3/\text{h}$, $T=20$



求 : (1) P (真)

(2) q_v 增加, P (真) 如何变化 ?

解题思路 : (1) 列 1-2 截面柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_f$$

$$P_1 = P_a, \quad z_1 = 0, \quad z_2 = H = 3\text{m}, \quad u_1 = 0$$

$$P(\text{真}) = P_a - P_2 = \left(Hg + \frac{u_2^2}{2} + h_f \right) \rho$$

$$u_2 = \frac{q_v}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

$$h_f = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{u_2^2}{2}$$

$$\text{Re} = \frac{du\rho}{\mu}$$

$$\varepsilon/d = \frac{0.2}{50}$$

查莫迪图得 λ

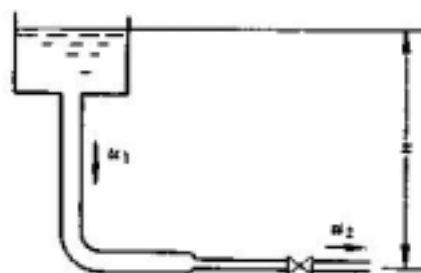
并查得 底阀 $\zeta=10$, 90° 弯头 $\zeta=0.75$, $\sum \zeta=10.75$

$$(2) \text{ 由 } P(\text{真}) = (gH + \frac{u_2^2}{2} + h_f) \rho$$

当 $q_v \uparrow$ $u \uparrow$ $h_f \uparrow$ $P(\text{真}) \uparrow$

26 . 已知 : $d_1=50\text{mm}$, $l_1=80\text{m}$, 90° 弯头 5 个 , $d_2=40\text{mm}$, $l_2=20\text{m}$, 1/2 开启闸阀 ,
 $T=20$ (水) , $q_v=3 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$

求 : Z



解题思路 : 列 1-2 截面柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_{f12}$$

$$P_1=P_2=P_a, \quad z_2=0, \quad z_1=Z, \quad u=0$$

$$\therefore Zg = \frac{u_2^2}{2} + h_{f12}$$

$$u_1 = \frac{q_v}{\frac{1}{4}\pi d_1^2}$$

$$u_2 = u_1 \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

20 水 , $\mu=1\text{mPa} \cdot \text{s}$ 选 $\varepsilon=0.2\text{mm}$

$$\text{Re}_1 = \frac{d_1 u_1 \rho}{\mu}$$

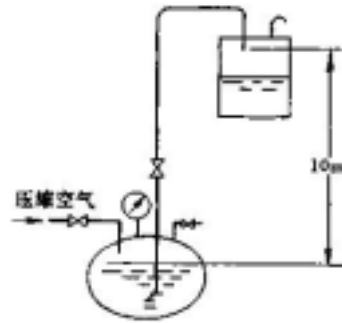
$$\text{Re}_2 = \frac{d_2 u_2 \rho}{\mu}$$

$$\varepsilon/d_2 = \frac{0.2}{40}, \quad \varepsilon/d_1 = \frac{0.2}{50} \text{ 查莫迪图得 } \lambda_1, \lambda_2$$

查得 : 90° 弯头 , $\zeta=0.75$, 闸阀 1/2 开 , $\zeta=4.5$ 突然缩小 $\zeta_1=0.5$ $\zeta_2=0.18$

$$\therefore Z = \frac{u_2^2}{2g} + (\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \sum \zeta_1) \frac{u_1^2}{2g} + (\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \sum \zeta_2) \frac{u_2^2}{2g}$$

27. 已知： $q_v=0.10\text{m}^3/\text{min}$ ，无缝钢管 $\Phi 38 \times 3\text{mm}$ ， $H=10\text{m}$ ， $l=20\text{m}$ ，一个闸阀(全开)，8 个标准 90° 弯头， $\rho=1830\text{kg}/\text{m}^3$ ， $\mu=12\text{mPa} \cdot \text{s}$



求：压缩空气 P (表) (MPa)

解题思路：列 1-2 截面柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_{f12}$$

$$P_1(\text{表}) = P_1 - p_a = P_2 - P_a, \quad z_1=0, \quad z_2=H, \quad u_1=0$$

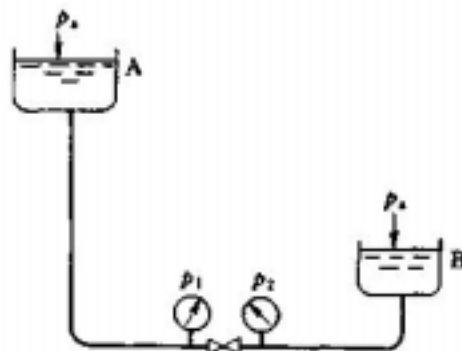
$$h_{f1-2} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \zeta \right) \frac{u_2^2}{2}$$

$$\therefore P(\text{表}) = \rho g H + \frac{u_2^2}{2} \rho \left(\lambda \frac{l}{d} + \zeta + l \right)$$

28. 已知： $\mu=30\text{mPa} \cdot \text{s}$ ， $\rho=900\text{kg}/\text{m}^3$ ， $d=40\text{mm}$ ， $l_1=50\text{m}$ ， $l_2=20\text{m}$ ，阀全关
 $P_1(\text{表})=0.09\text{MPa}$ ， $P_2(\text{表})=0.045\text{MPa}$ ，阀打开至 $1/4$ 开度， $l_e=30\text{m}$

求：(1) q_v

(2) 阀打开时 P_1 ， P_2 如何变化？



解题思路：(1) 取阀的高度 $Z=0$

阀关闭时流体静止，由静力学方程可知

$$P_A = P_a + P_1(\text{表})$$

$$P_B = P_a + P_2(\text{表})$$

阀 $1/4$ 开度时，列 A-B 截面柏努利方程

$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{u_A^2}{2} = \frac{P_B}{\rho} + \frac{u_B^2}{2} + \Sigma h_f$$

$$u_A = u_B = 0 \quad \Sigma h_f = \lambda \frac{\Sigma L}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

$$\text{设管内为层流, 则, } \lambda = \frac{64\mu}{\rho u d}$$

$$\text{得 } \frac{P_A}{\rho} = \frac{P_B}{\rho} + \frac{32\mu \Sigma L \cdot u}{d^2 \rho}$$

$$\therefore u = \frac{P_A - P_B}{32\mu \Sigma L} d^2$$

$$\text{验 } Re = \frac{\rho u d}{\mu}$$

(2) 阀打开 $u \uparrow$

$$\text{由 } \frac{P_A}{\rho} = \frac{P_1}{\rho} + \left(\lambda \frac{l_1}{d} + \zeta \right) \frac{u^2}{2}$$

P_A 不变, P_1 变小

$$\text{由 } \frac{u^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} = \frac{P_B}{\rho} + \lambda \frac{l_2}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

$$l_2 \text{ 且包括突然扩大损失 } \lambda \frac{l_2}{d} > 1$$

29. 已知: $T=20^\circ\text{C}$ (苯), $H=5\text{m}$, $P_1=P_2=P_a$, $\Phi 32 \times 3\text{mm}$, $\varepsilon=0.05\text{mm}$, $l=100\text{m}$

求: q_v

解题思路: 列两槽液面间柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

$$P_1=P_2=P_a, u_1=u_2=0, z_1=H, z_2=0$$

$$\therefore gH = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

$$\varepsilon/d = \frac{0.05}{26} = 0.002$$

假设流动已进入阻力平方区, 查莫迪图 $\lambda=0.023$

$$\therefore u = \sqrt{\frac{2gHd}{\lambda l}}$$

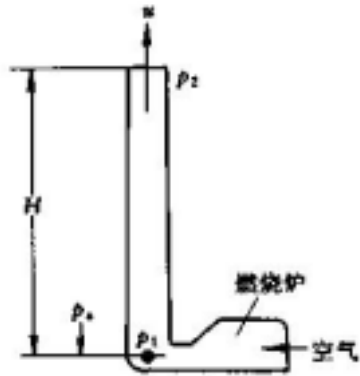
$T=20$, 苯 $\rho=880\text{kg/m}^3$, $\mu=0.67\text{mPa} \cdot \text{S}$

$$\text{Re} = \frac{\rho u d}{\mu}$$

查莫迪图 λ

与假设 λ 有差距, 重新计算 $u = \sqrt{\frac{2gHd}{\lambda l}}$

30. 已知: $d=2\text{m}$, $\varepsilon/d=0.0004$, $\rho_{\text{烟气}}=0.67\text{kg/m}^3$, $\mu=0.026\text{mPa} \cdot \text{S}$, $q_v=80000\text{m}^3/\text{h}$,
 $\rho_{\text{air}}=1.15\text{kg/m}^3$, P_1 (真) $=0.2\text{kPa}$
 求: H



解题思路: 列烟囱底部 (1 截面) 与顶部 (2 截面) 柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho_{\text{烟}}} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_{\text{烟}}} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + \Sigma h_{f1-2}$$

烟囱 $d_1=d_2$, $u_1=u_2$

$z_1=0$, $z_2=H$

$P_1=P_a-P_1$ (真)

$P_2=P_a-\rho_{\text{air}}gH$

$$\Sigma h_{f1-2} = \lambda \cdot \frac{H}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

$$u = \frac{q_v}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho u d}{\mu}$$

$\varepsilon/d=0.0004$, 查表得 λ

1-2 截面间柏努利方程为

$$\frac{-P_1(\text{真})}{\rho_{\text{烟}}} = \frac{-\rho_{\text{air}} g H}{\rho_{\text{烟}}} + g H + \lambda \frac{H}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

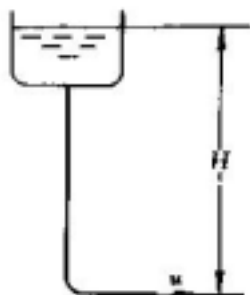
烟囱得以排气的必要条件是 $\rho_{\text{烟}} < \rho_{\text{外}}$,

若 $\rho_{\text{烟}} = \rho_{\text{外}}$ 时, $P_1 = 0$, 即无法起到抽吸作用。

H 增加, P_1 降低 (即真空度增加) , 抽吸量增加。

31 . 已知 : $A=3\text{m}^2$, $h=2\text{m}$, $H_0=4\text{m}$, $l=10\text{m}$, $\lambda=0.022$, $\phi 32 \times 3\text{mm}$

求 : $\tau_{\Delta H=1\text{m}}=?$



解题思路 : 列 1-1 和 2-2 截面间柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + g z_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + g z_2 + \frac{u_2^2}{2} + \Sigma h_{f1-2}$$

$$P_1=P_2, \quad z_1=0, \quad z_2=-H, \quad u_1=0$$

$$\Sigma h_f = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

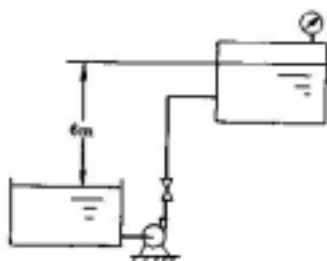
$$H = (1 + \lambda \frac{l}{d}) \frac{u^2}{2g}$$

对水槽作质量衡算 :

$$-dH \cdot A = u \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot d\tau$$

32 . 已知 : $q_v=2.5 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$, $P(\text{表})=0.2\text{MPa}$, $H=6\text{m}$, $\rho=1100\text{kg}/\text{m}^3$,
 $\Phi 40 \times 3\text{mm}$, $L=50\text{m}$, $\lambda=0.024$

求 : H_e (J/N)



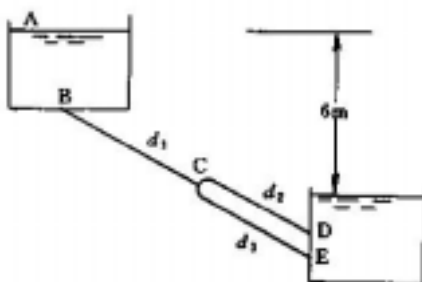
解题思路：列两槽面间柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + H_e = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

$$P_1 = P_a, \quad P_2 - P_a = 0.2 \text{ MPa}, \quad Z_2 - Z_1 = 6 \text{ m}, \quad u_1 = u_2 = 0$$

33. 已知： $Z_{AA'} = 6 \text{ m}$, $d_{BC} = 600 \text{ mm}$, $l_{BC} = 3000 \text{ m}$, $d_{CD} = d_{CE} = 250 \text{ mm}$, $l_{CD} = l_{CE} = 2500 \text{ mm}$,
 $\lambda = 0.04$, 忽略局部阻力

求： q_v



解题思路：由连续性方程

$$q_v = q_{vBC} = q_{vCD} + q_{vCE}$$

$$u_1 d_1^2 = u_2 d_2^2 + u_3 d_3^2$$

$$h_{f2} = h_{f3}$$

$$\therefore \lambda \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{u_2^2}{2} = \lambda \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{u_3^2}{2}$$

$$l_2 = l_3, \quad d_2 = d_3$$

$$u_2 = u_3$$

$$\text{因而 } u_2 = \frac{u_1}{2} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

由 A、A' 两截面列柏努利方程

$$Z_{AA'} = \lambda \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{u_2^2}{2g}$$

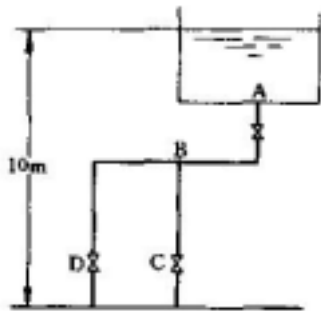
$$= \frac{\lambda}{2g} \left[\frac{l_1}{d_1} u_1^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 \frac{l_2}{d_2} u_1^2 \right]$$

$$q_v = \frac{1}{4} \pi d_1^2 \cdot u_1$$

34. 已知： $l_{AB} = 6 \text{ m}$, $d_1 = 41 \text{ mm}$, $l_{BC} = 15 \text{ m}$, $l_{BD} = 24 \text{ m}$, $d_2 = d_3 = 25 \text{ mm}$, $\lambda = 0.03$

求：(1) q_{v1} 、 q_{v2} 、 q_{v3}

(2) D 阀关闭， q_{v3}'



解题思路：(1) 从 B 点至两管口列柏努利方程

$$h_{f2} + \frac{u_2^2}{2} = h_{f3} + \frac{u_3^2}{2}$$

$$\text{即：} \left(\lambda \frac{l_2}{d_2} + 1 \right) \frac{u_2^2}{2} = \left(\lambda \frac{l_3}{d_3} + 1 \right) \frac{u_3^2}{2}$$

由连续性方程： $q_{V1} = q_{V2} + q_{V3}$

$$u_1 d_1^2 = u_2 d_2^2 + u_3 d_3^2$$

由槽内液面至 C 阀出口处截面列柏努利方程：

$$Hg = \lambda \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{u_1^2}{2} + \lambda \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{u_3^2}{2} + \frac{u_3^2}{2}$$

(2) D 阀关闭时：

连续性方程： $q_{V1}' = q_{V3}'$

$$u_1' \cdot d_1^2 = u_3' \cdot d_3^2$$

由槽内液面至 C 阀出口处截面列柏努利方程：

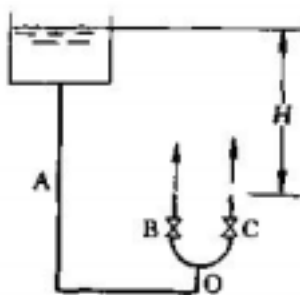
$$Hg = \lambda \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{u_1^2}{2} + \lambda \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{u_3^2}{2} + \frac{u_3^2}{2}$$

35. 已知： $d_B = d_C = 20\text{mm}$, $l_B = 2\text{m}$, $l_C = 4\text{m}$, $\lambda = 0.028$

求：(1) $\zeta_B = \zeta_C = 0.17$ 时， q_{VB}/q_{VC}

(2) H 增加， $\zeta_B = \zeta_C = 24$ 时， q'_{VB}/q'_{VC}

(3) 均布条件



解题思路：(1) 由汇点 0 至两管口截面列柏努利方程：

$$h_{fB} + \frac{u_B^2}{2} = h_{fC} + \frac{u_C^2}{2}$$

$$\therefore \left(\lambda \frac{l_B}{d_B} + \zeta_B + 1 \right) \frac{u_B^2}{2} = \left(\lambda \frac{l_C}{d_C} + \zeta_C + 1 \right) \frac{u_C^2}{2}$$

$$\therefore \frac{u_B}{u_C} = \sqrt{\frac{\lambda \frac{l_C}{d_C} + \zeta_C + 1}{\lambda \frac{l_B}{d_B} + \zeta_B + 1}}$$

$$d_B = d_C$$

$$\therefore \frac{q_{VB}}{q_{VC}} = \frac{u_B}{u_C} = \sqrt{\frac{\lambda \frac{l_C}{d_C} + \zeta_C + 1}{\lambda \frac{l_B}{d_B} + \zeta_B + 1}}$$

(2) $\zeta = 24$ 时

$$\therefore \frac{q_{VB}}{q_{VC}}$$

q_{VB} 与 q_{VC} 的比值与 H 的变化无关。

(3) 计算说明流体均布是以能量损失为条件的。

36. 已知： $q_m = 5000 \text{ kg/h}$ ， $L = 100 \text{ km}$ ， $d = 300 \text{ mm}$ ， $P_2 = 0.15 \text{ MPa}$ (绝压)， $T = 20$ ， $\lambda = 0.016$ ， $\rho = 0.85 \text{ kg/m}^3$ (标准状态)。

求： P_1

解题思路：对等温流动

$$G^2 \ln \frac{P_1}{P_2} + \frac{P_2^2 - P_1^2}{2P_1 v_1} + \lambda \frac{1}{2d} G^2 = 0$$

$$v_1 = \frac{1}{\rho_1} = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{P_0}{P_1} = \frac{1}{0.85} \times \frac{293}{273} \times \frac{1.013 \times 10^5}{P_1}$$

$$= \frac{1.28 \times 10^5}{P_1}$$

$$G = \frac{q_m}{A}$$

.试差求得 P_1 (绝)

37. 已知： $d = 300 \text{ mm}$ ， $M = 60$ ， $T = 40$ ， $P = 101.3 \text{ kN/m}^2$ ， $\mu = 0.02 \text{ mPa} \cdot \text{S}$ ，用毕托管测流速， $R_{\max} = 30 \text{ mmH}_2\text{O}$ ，

求： $\bar{u}$

解题思路： $\rho = \frac{\bar{M}}{22.4} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T}$

由毕托管流速计算式

$$u = \sqrt{\frac{2gR(\rho_i - \rho)}{\rho}}$$

$$\therefore u_{\max} = \sqrt{\frac{2gR_{\max}(\rho_i - \rho)}{\rho}}$$

$$Re_{\max} = \frac{\rho u_{\max} d}{\mu}$$

查 $\frac{\bar{u}}{u_{\max}} \sim Re_{\max}$ 图，得 $\frac{\bar{u}}{u_{\max}}$

38. 已知：孔板流量计测流量 $d=5\text{cm}$, $d_0=25\text{mm}$, $R=220\text{mmHg}$, $\rho=1050\text{kg/m}^3$, $\mu=0.6\text{mpa} \cdot \text{s}$

求： q_v

解题思路：面积比 $m = \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 = \left(\frac{25}{50}\right)^2 = 0.25$

设 $Re_d > Re_{d\text{极限}} = 8 \times 10^4$

由图 1-54，查得 $C_0=0.625$

$$\therefore u_0 = C_0 \sqrt{\frac{2gR(\rho_i - \rho)}{\rho}}$$

$$u = mu_0$$

$$\text{验证：} Re_d = \frac{\rho u d}{\mu}$$

39. 已知：转子流量计 $q_{\text{vair}}=400\sim 4000\text{l/h}$, $\rho_f=2670\text{kg/m}^3$,

求： q_{vco_2} 上限

解：由转子流量计

$$\frac{q_{\text{vco}_2}}{q_{\text{vair}}} = \sqrt{\frac{\rho_{\text{air}}(\rho_f - \rho_{\text{co}_2})}{\rho_{\text{co}_2}(\rho_f - \rho_{\text{air}})}}$$

$$\rho_{\text{气}} \ll \rho_f$$

$$\rho_f - \rho_{\text{co}_2} = \rho_f, \quad \rho_f - \rho_{\text{air}} = \rho_f$$

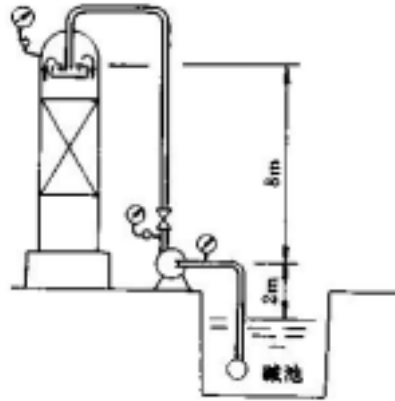
$$\therefore \frac{q_{vco_2}}{q_{vair}} = \sqrt{\frac{\rho_{air}}{\rho_{co_2}}} = \sqrt{\frac{M_{air}}{M_{co_2}}}$$

解题思路：

1. 已知： $\Delta Z=10\text{m}$, $P_2(\text{表})=0.06\text{MPa}$ ，无缝钢管 $\Phi 57 \times 3.5\text{mm}$, $L=50\text{m}$,
 $\rho=1200\text{kg/m}^3$, $\mu=2\text{mpa} \cdot \text{s}$, $\varepsilon=0.3\text{mm}$

求：(1) 管路方程

- (2) $q_v=30\text{m}^3/\text{h}$ 时的 H_e , P_e



解题思路：(1) 在阻力平方区 $\lambda=f(\varepsilon/d)$
 ε/d , 查图得 λ
 管路特性方程

$$H_e = \Delta z + \frac{P_2(\text{表})}{\rho g} + \frac{8\lambda L}{g\pi^2 d^5} q_v^2$$

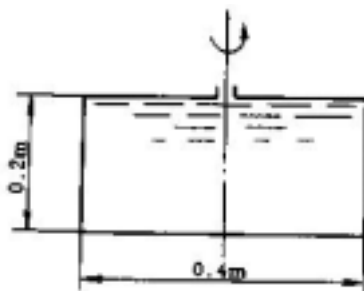
- (2) $q_v=30\text{m}^3/\text{h}$ 时，

$$H_e = \Delta z + \frac{P_2(\text{表})}{\rho g} + \frac{8\lambda L}{g\pi^2 d^5} q_v^2$$

$$P_e = H_e \cdot q_v \cdot \rho g$$

2. 已知： $D=0.4\text{m}$, $H=0.2\text{m}$, $n=1000\text{r/min}$, $\rho=1000\text{kg/m}^3$,
 求：(1) 顶盖 $P=f(r)$

$$(2) \left. \frac{P}{\rho g} \right|_{r=0}^{r=R} \quad \left. \frac{u^2}{2g} \right|_{r=0}^{r=R}$$



解题思路：离心力场中静力学方程为

$$P + \rho g z - \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} = \text{常数} = C$$

$$C = P_0 + \rho g z_0 - \frac{\rho \omega^2 r_0^2}{2}$$

由小孔处条件知 $P_0(\text{表}) = 0$, $z_0 = 0$, $r_0 = 0$

$$C = 0$$

$$\therefore P = \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 - \rho g z$$

$$z = z_0 = 0,$$

$$(2) \quad P + \rho g z - \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} = \text{常数} = 0$$

$$P = (P + \rho g z) = \frac{\rho \omega^2 r^2}{2}$$

$$\therefore \frac{P}{\rho g} = \frac{\omega^2 r^2}{2g} = \frac{u^2}{2g}$$

$$\therefore \left. \frac{P}{\rho g} \right|_{r=0}^{r=R} = \left. \frac{u^2}{2g} \right|_{r=0}^{r=R}$$

3. 已知： $q_v = 71 \text{ m}^3/\text{h}$, $P_1(\text{真}) = 0.029 \text{ MPa}$, $P_2(\text{表}) = 0.31 \text{ MPa}$, $d_1 = d_2$, $\Delta z_{12} = 0$,
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $P_{\text{轴}} = 10.4 \text{ kW}$

求： H_e , η

解题思路：(1) 由泵吸入端（截面1）至泵出口端（2截面）列机械能衡算式

$$\text{得 } \frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + H_e = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{u_2^2}{2g}$$

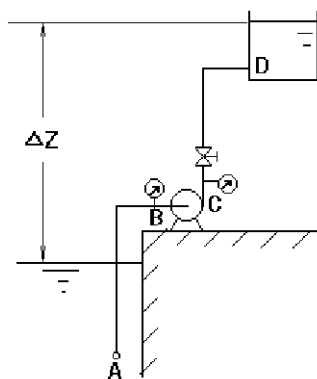
高度差不计，且 $d_1 = d_2$, $u_1 = u_2$,

$$\therefore H_e = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} = \frac{P_2(\text{表}) + P_1(\text{真})}{\rho g}$$

$$(2) \quad \eta = \frac{P_e}{P_{\text{轴}}} = \frac{H_e q_v \rho g}{P_{\text{轴}}}$$

4. 已知：吸入管 $\Phi 70 \times 3 \text{ mm}$, $L_{AB} = 15 \text{ m}$, 压出管 $\Phi 60 \times 3 \text{ mm}$, $L_{CD} = 80 \text{ m}$, $\lambda = 0.03$,
 $\Delta z = 12 \text{ m}$, $H_e = 30 - 6 \times 10^5 q_v^2$,

求： q_v , q'_v



解题思路：(1)从江面至高位槽液面排机械能衡算式得管路特性方程

$$H = \Delta z + \sum H_f = \Delta z + \lambda \left(\frac{8L_{AB}}{\pi^2 d_1^5 g} + \frac{8L_{CD}}{\pi^2 d_2^5 g} \right) q_v^2$$

将管路方程与泵的特性方程联立，可得 q_v

(2)江面下降 3m， $\Delta z = 15$ ，两方程重新联立

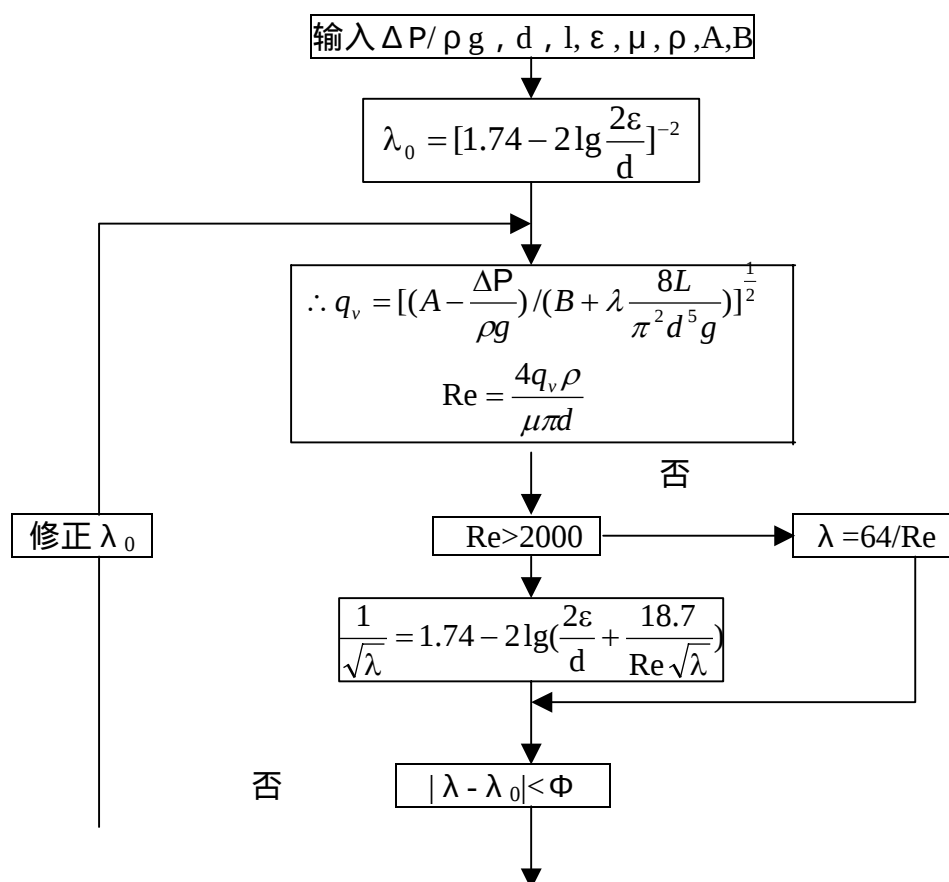
5. 已知： $\Delta P / \rho g$ ， d ， l ， ε ， μ ， ρ ， $He = A - Bq_v^2$

求：计算 q_v 的框图

解题思路：

$$\begin{cases} H = \frac{\Delta P}{\rho g} + \lambda \frac{L}{d^5} \cdot \frac{8q_v^2}{\pi^2 g} \\ He = A - Bq_v^2 \end{cases} \quad \therefore q_v = \left[\left(A - \frac{\Delta P}{\rho g} \right) / \left(B + \lambda \frac{8L}{\pi^2 d^5 g} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

框图如下：



是

输出 q_v

6. 已知：离心水泵的特性曲线数据如下：

q_v l/min	0	1200	2400	3600	4800	6000
H_e m	34.5	34	33	31.5	28	26

管路 $\Delta z=5\text{m}$, $L=360\text{m}$, $d=120\text{mm}$, $\lambda=0.02$, 两槽敞口

求： q_v , P_e

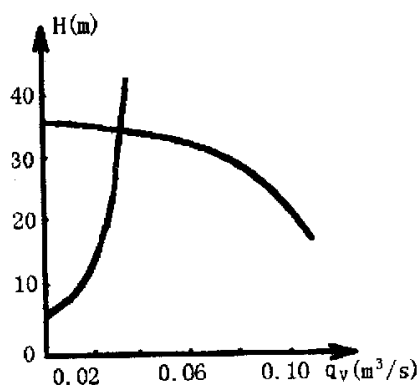
解题思路：对于管路：有 $H = \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta z + \frac{8\lambda L}{\pi^2 d^5 g} q_v^2$

两槽敞口 $\Delta P=0$

将数据列表：

流量 q_v m ³ /s	0	0.02	0.04
泵 H_e m	34.5	34	33
管路 H m	5	14.6	43.21

作图求得交点： q_v , H_e



$$P_e = q_v H_e \rho g$$

7. 已知：泵特性方程 $H_e = 20 - 2q_v^2$ (H_e - m, q_v - m³/min), 单泵 $q_v = 1\text{m}^3/\text{min}$, 两敞口容器 $z_{12} = 10\text{m}$

求： $q_v = 1.5\text{m}^3/\text{min}$ 时，两泵串联还是并联。

解题思路：假定管路 $\lambda = \text{const}$

$$\text{则单泵时，管路 } H = \frac{\Delta P}{\rho g} + Kq_v^2 = \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta z_{12} + Kq_v^2$$

两敞口容器： $\Delta P=0$, $\Delta z_{12}=10\text{m}$

$$H_e = 10 + Kq_v^2$$

由 $q_v = 1\text{m}^3/\text{min}$ 求 H_e

由 H_e 求 K

现 $q_v = 1.5\text{m}^3/\text{min}$ 求管路所需压头

算两泵并联，串联时流量

8. 已知： $n=1480\text{r/min}$ 时，泵 $H_e = 38.4 - 40.3q_v^2$ (H_e - m, q_v - m³/min),

$$\Delta P / \rho g = 16.8\text{m}, \Phi 76 \times 4\text{mm}, L=1360\text{m}, \lambda=0.03$$

求：(1) 输液量 q_v ；

(2) 当 $n'=1700\text{rpm}$ 时为 q_v'

解题思路：(1) 对于管路有 (q_v 取 m^3/min)

$$H = \frac{\Delta P}{\rho g} + H_f = 16.8 + \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{\frac{1}{4}\pi d^2} \right)^2 \left(\frac{q_v}{60} \right)^2$$

$$H = H_e$$

$$\text{得 } q_v = 0.178 \text{ m}^3/\text{min}$$

(2) $n'=1700\text{rpm}$

根据比例定律

$$\frac{H_e'}{H_e} = \left(\frac{n'}{n} \right)^2, \quad \frac{q_v'}{q_v} = \left(\frac{n'}{n} \right)$$

$$\therefore \frac{H_e'}{H_e} = \left(\frac{q_v'}{q_v} \right)^2$$

$$\therefore H_e' = (38.4 - 40.3 q_v^2) \left(\frac{q_v'}{q_v} \right)^2$$

$$= 38.4 \times \left(\frac{n'}{n} \right)^2 - 40.3 q_v'^2$$

$$= 38.4 \times \left(\frac{1700}{1480} \right)^2 - 40.3 q_v'^2$$

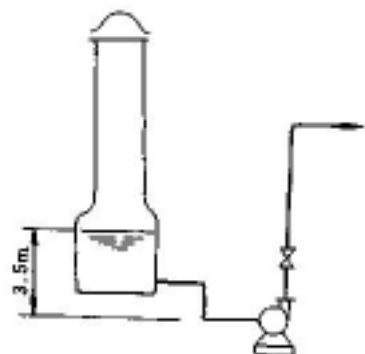
$$= 50.7 - 40.3 q_v'^2$$

与管路 $H' = 16.8 + 645 q_v'^2$ 联立

得 q_v'

9. 已知： $[NPSH]_r = 3.5\text{m}$, $(H_{f\text{吸}} + u_1^2/2g) = 3\text{J/N}$, $H_g = 3\text{m}$, $P_0 = 90\text{kPa}$, $t_{\text{H}_2\text{O}} = 20$

求：是否汽蚀？



解题思路：查得 20℃ 下水的饱和蒸汽压为 2338.43Pa

$$[Hg] = \frac{P_0}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} - \sum H_{f\text{吸}} - [NPSH]_r + 0.5$$

10 . 已知： P_0 (真)=67kPa, $P_v=P_0$ (绝), $H_g=-3.5\text{m}$, $\rho=986\text{kg/m}^3$, $H_{f\ 0-1}=0.87\text{m}$, $[\text{NPSH}]_r=3.7\text{m}$

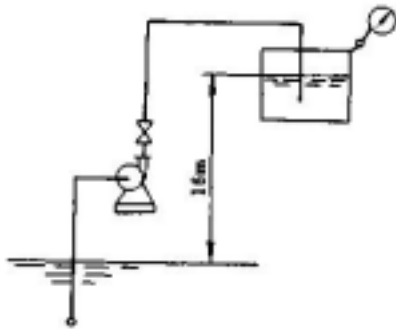
求：是否适宜，不适宜如何安装？

解题思路：由 0-1 列柏努利方程

$$\therefore [H_g] = \frac{P_o - P_v}{\rho g} - [(\text{NPSH})_r + 0.5] - \Sigma H_{f\ 0-1}$$

11 . 已知： $z_{12}=16\text{m}$, P_2 (表)=0.03MPa , $q_m=40$ 吨/时 , $\Sigma H_f=4.1\text{J/N}$

求：选水泵的型号



解题思路：以两液面 1 至 2 列柏努利方程

$$H = \frac{\Delta P}{\rho g} + \Sigma H_f = \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Sigma H_f$$

$$q_v = \frac{q_m}{\rho}, \text{ 查教材图 2-23, 选型}$$

12 . 已知： $n=60$ 次/min , $D=200\text{mm}$, $d=30\text{mm}$, $S=300\text{mm}$, $q_v=0.018\text{m}^3/\text{s}$

求： η_v

$$\text{解题思路： } q_{vT} = \frac{ZV_s \cdot n}{60} = \frac{Z(2F-f) \cdot s \cdot n}{60}$$

$$z=1, F=\pi D^2/4=0.785 \times 0.2^2=0.0314\text{m}^2, f=\pi d^2/4=0.785 \times 0.03^2=7.065 \times 10^{-4}\text{m}^2$$

$$S=0.3, n=60$$

$$\therefore \eta_v = \frac{q_v}{q_{vT}}$$

13 . 已知： $\rho=0.75\text{kg/m}^3$, $q_v=12700\text{m}^3/\text{h}$, $p_T=1.18\text{kPa}$, 风机 $q_{v0}=12700\text{m}^3/\text{h}$, $p_{T0}=1.57\text{kPa}$

求：此风机可用否？

解题思路： p_T , ρ , 且出厂规定 $\rho_0=1.2\text{kg/m}^3$,

$$\therefore [p_T] = \frac{\rho}{\rho_0} p_{T_0}$$

解题思路：

1. 已知：圆柱体 d_p, h

$$h=d_p=4\text{mm}, D=1\text{m}, L=1.5\text{m}, \varepsilon=0.43, T=20^\circ\text{C}, P=101.3\text{kPa 空气}, \\ q_v=360\text{m}^3/\text{h}$$

求： $d_{e,v}, \psi$ 表达式， ΔP

解题思路：体积相等， $V=\pi d_p^2 h/4=\pi d_{e,v}^3/6$

$$\therefore d_{e,v} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} d_p^2 h}$$

$$\psi = \frac{S_{\text{球}}}{S} = \frac{\pi d_{ev}^2}{\pi d_p h + 2 \times \frac{\pi d_p^2}{4}} = \frac{\left(\frac{3}{2} d_p^2 h\right)^{\frac{2}{3}}}{d_p h + \frac{1}{2} d_p^2} = \frac{(18 d_p h)^{\frac{1}{3}}}{2h + d_p}$$

$$a = \frac{6}{\psi d_{e,v}}$$

$$u = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

查 20 $^\circ\text{C}$ ，101.3kPa 下空气 $\rho=1.2\text{kg/m}^3, \mu=1.81 \times 10^{-5}\text{Pa} \cdot \text{s}$

$$\text{Re}' = \frac{\rho u}{a(1-\varepsilon)\mu}$$

用欧根公式

$$\Delta P = L \left[4.17 \frac{(1-\varepsilon)^2 a^2}{\varepsilon^3} \mu u + 0.29 \frac{(1-\varepsilon)a}{\varepsilon^3} \rho u^2 \right]$$

2. 已知：20 $^\circ\text{C}$ ，101.3kPa 空气， $u=0.3\text{m/s}$ ， $\Delta P/L=220\text{Pa/m}$

$$u=0.8\text{m/s}, \Delta P/L=1270\text{Pa/m}$$

30 $^\circ\text{C}$ ，0.7MPa 甲烷

$$u=0.4\text{m/s}$$

$$\mu=0.012\text{mpa} \cdot \text{s}, \rho=4.5\text{kg/m}^3$$

求：甲烷 $\Delta P/L$

解题思路：将欧根公式简化：

$$\frac{\Delta P}{L} = 4.17 \frac{(1-\varepsilon)^2 a^2}{\varepsilon^3} \mu u + 0.29 \frac{(1-\varepsilon)a}{\varepsilon^3} \rho u^2 \\ = A\mu u + B\rho u^2$$

查 20 , 101.3kPa 空气 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$, $\mu=0.0181\text{mPa} \cdot \text{s}$

将两组数据代入上式, 得 A, B,

$$\therefore \text{甲烷} \frac{\Delta P}{L} = A\mu' u' + B\rho' u'^2$$

3. 已知: 板框 20 只, 尺寸 $0.45 \times 0.45 \times 0.025\text{m}$, $\phi=0.016\text{m}^3/\text{固}/\text{m}^3$ 悬浮液, 滤

饼中含水 50% (质量), $\rho_p=1500\text{kg/m}^3$, $\rho=1000\text{kg/m}^3$,

求: 滤饼充满滤框所得滤液 V

解题思路: $V_{\text{饼}}=20 \times 0.45 \times 0.45 \times 0.025\text{m}=0.101(\text{m}^3)$

$$\varepsilon = \frac{50/\rho}{50/\rho_p + 50/\rho}$$

$$(1-\phi)(V+V_{\text{饼}})=V+\varepsilon \cdot V_{\text{饼}}$$

$$\therefore V = \frac{(1-\phi-\varepsilon) V_{\text{饼}}}{\phi}$$

4. 已知: 恒压过滤 $A=1\text{m}^2$, 测得

滤液量 V (m ³)	0.10	0.20	0.30	0.40
过滤时间 τ (s)	38	115	228	380

求: K, q_e

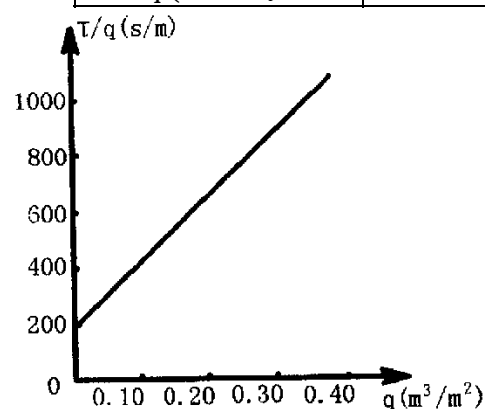
解题思路: 恒压

$$q^2+2qq_e=K \tau$$

$$\therefore \frac{\tau}{q} = \frac{1}{K} q + \frac{2q_e}{K}$$

由已知计算出

τ/q (s/m)	380	575	760	950
q (m ³ /m ²)	0.10	0.20	0.30	0.40



由图可得 截距 $= \frac{2q_e}{K}$, 斜率 $= \frac{1}{K}$

解得 K, q_e

5. 已知： $V=3800\text{m}^3/\text{year}$, 工作 $5000\text{hr}/\text{year}$, 恒压 $\tau + \tau_D=2.5\text{hr}$, $\tau=1.5\text{hr}$, $K=4 \times 10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$, $q_e=2.5 \times 10^{-2}\text{m}^3/\text{m}^2$, 滤饼不洗涤

求：(1) A

(2) $A_{\text{单}}=8\text{m}^2$ 时，需几台？

解题思路：(1) 每一周期滤液量 $V = \frac{3800}{5000/2.5} = 1.9\text{m}^3$

恒压过程

$$q^2 + 2qq_e = K\tau$$

$$q = \sqrt{K\tau + q_e^2} - q_e$$

$$V = qA$$

$$A = \frac{V}{q}$$

(2) $A_{\text{单}} = 8\text{m}^2$, $\frac{A}{A_{\text{单}}}$ 取整，得台数

6. 已知：恒压下，过滤时间 τ ，辅助时间 τ_D ，洗涤时间 $\tau_w=0$

求证： $\tau = \tau_D + 2q_e \sqrt{\frac{\tau_D}{K}}$ 时，生产能力最大

解题思路：恒压下， $q^2 + 2qq_e = K\tau$ ， $\tau = (q^2 + 2qq_e)/K$

$$\text{生产能力 } Q = \frac{V}{\tau + \tau_D} = \frac{qA}{\frac{1}{K}(q^2 + 2qq_e) + \tau_D} = AK \frac{q}{q^2 + 2qq_e + \tau_D K} = f(q)$$

当 $dQ/dq=0$ 时， q_{opt} 代入 $f(q)$ 即是最大生产能力

$$\therefore \frac{dQ}{dq} = AK \frac{q^2 + 2qq_e + K\tau_D - 2(q + q_e)q}{(q^2 + 2qq_e + K\tau_D)^2} = 0$$

7. 已知：恒压过程： $\tau=10\text{min}$ 时， $V=4\text{L}$ ， $\Delta\tau_1=10\text{min}$ ， $\Delta V_1=2\text{L}$ ， $\Delta\tau_2=10\text{min}$

求： ΔV_2

解题思路：恒压时 $V^2 + 2VV_e = KA^2\tau$

由已知条件建两个式子，解出

$$\therefore V_e, KA^2$$

$$\tau_2 = \tau + \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 = 10 + 10 + 10 = 30\text{min}$$

$$\therefore V_2^2 + 2V_2V_e = KA^2\tau_2$$

解得 V_2

$$\therefore \Delta V_2 = V_2 - V - \Delta V_1$$

8. 已知：恒速过滤阶段 $\tau_1=10\text{min}$, $v_1=5\text{L}$, 恒速过滤阶段 $\Delta\tau=60\text{min}$, $q_e=0$

求： ΔV

解题思路：恒速过滤 $V^2 + VV_e = \frac{1}{2}KA^2\tau$

$$q_e = 0 \quad V_1^2 = \frac{1}{2}KA^2\tau$$

$$\therefore KA^2 = \frac{2V_1^2}{\tau}$$

恒压阶段的 K 即是恒速终了时的 K

$$\text{恒压过滤 } (V^2 - V_1^2) + 2V_e(V - V_1) = KA^2(\tau - \tau_1)$$

$$V_e = 0$$

$$V^2 - V_1^2 = KA^2(\tau - \tau_1)$$

$$\therefore \Delta V = V - V_1$$

9. 已知：叶滤机，恒压下测得 $q^2 + 20q = 250 \tau$ (q -L/m² τ -min) 实际操作，恒速过程 $\tau = 5\text{min}$ ，压强升至试验压，再恒压操作，全部过滤时间 $\tau = 20\text{min}$

求：(1) $\tau = 20\text{min}$ ， q_1

(2) $q_w = q/5$ ，求 τ_w

解题思路：(1) 恒压过滤 $q^2 + 20q = K\tau$

恒速过滤：

$$q_1^2 + q_1q_e = \frac{1}{2}K\tau_1$$

解得 q_1

恒压过滤：

$$q^2 - q_1^2 + 2(q - q_1)q_e = K(\tau - \tau_1)$$

解得 q

$$(2) \quad q_w = \frac{1}{5}q$$

$$\text{叶滤机 } \left(\frac{dq}{d\tau}\right)_w = \frac{K}{2(q + q_e)}$$

$$\therefore \tau_w = \frac{q_w}{\left(\frac{dp}{d\tau}\right)_w}$$

10. 已知：板框压滤机，10只板框，尺寸 $635 \times 635 \times 25\text{mm}$ ，水悬浮液含 CaCO_3 13.9%(质量)，滤饼含水 50%(质量)， $\rho_p = 2710\text{kg/m}^3$ ，20℃，恒压操作下， $K = 1.57 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ ， $q_e = 0.00378\text{m}^3/\text{m}^2$ ，

求：(1) 充满滤框的时间 τ

(2) 在相同条件下洗涤, $V_w = \frac{1}{10} V$, τ_w

解题思路: (1) $A = 10 \times 2 \times 0.635^2 = 8.06 \text{ m}^2$

$$V_e = q_e A$$

$$\text{恒压过滤: } V^2 + 2VV_e = KA^2 \tau$$

根据物料衡算:

$$V_{\text{饼}} = 0.635^2 \times 0.025 \times 10 = 0.1008 \text{ m}^3$$

$$\varepsilon = \frac{50/\rho}{50/\rho_p + 50/\rho}$$

$$\phi = \frac{13.9/\rho_p}{13.9/\rho_p + (100 - 13.9)/\rho}$$

$$(V + V_{\text{饼}}) \phi = V_{\text{饼}} (1 - \varepsilon)$$

$$\therefore V = \frac{(1 - \phi - \varepsilon) V_{\text{饼}}}{\phi}$$

代入恒压过滤方程, 得 τ

(2) 板框压滤机

$$\tau_w = \frac{8(V + V_e)V_w}{KA^2}$$

11. 已知: 叶滤机 $A = 1.6 \text{ m}^2$, $s = 0$

在过滤初期 50s 内, 压差升至 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$, 以后在此压力下恒压操作。

测得:

$V (\text{m}^3)$	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24
$\tau (\text{s})$	50	164	317	512	750	1029

求: (1) 此压强下, K , q_e

(2) 若 $\Delta P = 1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下恒压操作, $\tau = 750 \text{ s}$, 求 V

解题思路: (1) 对于 $\tau_1 = 50 \text{ s}$, $V_1 = 0.04 \text{ m}^3$ 后的恒压段有

$$q^2 - q_1^2 + 2q_e(q - q_1) = K(\tau - \tau_1)$$

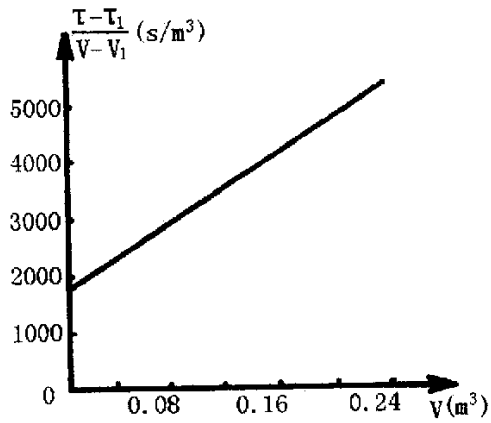
$$\therefore \frac{\tau - \tau_1}{q - q_1} = \frac{1}{K} q + \frac{1}{K} (q_1 + 2q_e)$$

$$\text{或 } \frac{\tau - \tau_1}{V - V_1} = \frac{1}{KA^2} V + \frac{1}{KA^2} (V_1 + 2V_e)$$

计算得:

$(\tau - \tau_1)/(V - V_1) (\text{s/m}^3)$	2850	3338	3850	4375	4895
$V (\text{m}^3)$	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24

由图可得:



∴ 截距 $\frac{1}{KA^2}(V_1 + 2V_e)$

斜率 $\frac{1}{KA^2}$

$A = 1.6m^2, K, V_e$

$q_e = \frac{V_e}{A}$

(2) $\Delta P' = 1.5 \times 10^5 N/m^2$

∴ $K' = \frac{\Delta P'}{\Delta P} K$

恒压过滤： $V^2 + 2VV_e = KA^2 \tau$

解得 V

12. 已知： $n=2r/min, Q=4m^3/hr, q_e=0$, 恒压操作

求： $Q'=6m^3/hr, n', L'/L$

解题思路：回转真空过滤：

恒压时： $q = \sqrt{K\tau + q_e^2} - q_e$ $q_e = 0, q = \sqrt{K\tau} = \sqrt{K \frac{\varphi}{n}}$

$Q = nqA = nA(\sqrt{K\tau + q_e^2} - q_e) = nA(\sqrt{K \frac{\varphi}{n} + q_e^2} - q_e)$

$q_e = 0, \therefore Q = A\sqrt{Kn\varphi}$

$$\therefore \frac{n'}{n} = \left(\frac{Q'}{Q}\right)^2 \quad n' = \left(\frac{Q'}{Q}\right)^2 \times n$$

$$L \propto q$$

$$q = \sqrt{K \frac{\Phi}{n}}$$

$$\therefore L \propto \sqrt{\frac{1}{n}}$$

$$\text{即 } \frac{L'}{L} = \sqrt{\frac{n}{n'}}$$

解题思路：

1. 已知： $d_p=30\mu\text{m}$, $\rho_p=2600\text{kg/m}^3$, $T=20^\circ\text{C}$,

求：水中 u_t , 空气中 u_t'

解题思路：查 20 $^\circ\text{C}$ 水, $\rho=998\text{kg/m}^3$, $\mu=1\text{mPa}\cdot\text{s}$

空气 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$, $\mu=0.0181\text{mPa}\cdot\text{s}$

设沉降在斯托克斯区

在水中

$$u_t = \frac{d_p^2(\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

$$\text{验 } Re = \frac{\rho u_t d_p}{\mu}$$

在空气中

$$u_t' = \frac{d_p^2(\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

$$\text{验 } Re = \frac{\rho u_t d_p}{\mu}$$

2. 已知： $\rho_p=2000\text{kg/m}^3$, 60 $^\circ\text{C}$ 空气

求：服从斯托克斯定律的 $d_{p\max}$ 。

解题思路：服从斯托克斯定律的最大颗粒满足 $Re_p = \frac{d_{p\max} \cdot u_t \cdot \rho}{\mu} = 2$

$$\text{而 } u_t = \frac{gd_{p\max}^2(\rho_p - \rho)}{18\mu}, \text{ 由两式消去 } u_t,$$

$$\text{得 } d_{p\max} = \left(\frac{36\mu^2}{g(\rho_p - \rho) \cdot \rho} \right)^{1/3}$$

查 60 $^\circ\text{C}$ 空气, $\mu=2.01 \times 10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{s}$, $\rho=1.06\text{kg/m}^3$ 。得 $d_{p\max}$

3. 已知： $d_p=0.12\text{mm}$, $\rho_p=2300\text{kg/m}^3$, 20 $^\circ\text{C}$ 水,

求：由 0 $\rightarrow$ 99% u_t 所需 τ , 距离 S 。

解题思路：根据牛顿第二定律有

$$F - F_b - F_D = m \frac{du}{d\tau}$$

$$F=mg, \quad F_b=\frac{m}{\rho_p}\rho g, \quad F_D=3\pi d_p\mu u \quad (\text{设处于斯托克斯区})$$

$$\therefore \frac{du}{d\tau} = \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} g - \frac{18\mu}{d_p^2 \rho_p} u$$

$$\begin{aligned} \text{积分得 } \tau &= -\frac{d_p^2 \rho_p}{18\mu} \ln \left[1 - \frac{18\mu}{d_p^2 (\rho_p - \rho) g} \cdot u \right] \\ &= -\frac{d_p^2 \rho_p}{18\mu} \ln \left(1 - \frac{u}{u_t} \right) \end{aligned}$$

查 20 水 $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1.005 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。
设处于斯托克斯区，

$$\text{则 } u_t = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho) g}{18\mu}$$

$$\text{验证 } \text{Re}_p = \frac{d_p u_t \rho}{\mu}$$

得 τ

$$\begin{aligned} \text{由积分式得 } u &= u_t \left(1 - e^{-\frac{18\mu}{d_p^2 \rho_p} \tau} \right) \\ u &= \frac{ds}{d\tau} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore S &= \int_0^\tau u d\tau = u_t \int_0^\tau (1 - e^{-\frac{18\mu}{d_p^2 \rho_p} \tau}) d\tau \\ &= u_t \left[\tau + \frac{d_p^2 \rho_p}{18\mu} (e^{-\frac{18\mu}{d_p^2 \rho_p} \tau} - 1) \right] \end{aligned}$$

4. 已知：20 水溶液， $\tau = 1 \text{ hr}$ ， $H = 5 \text{ cm}$ ， $\rho_p = 300 \text{ kg/m}^3$

求： $d_{p\max}$

解题思路：查 20 水， $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ ， $\mu = 1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$

设沉降在斯托克斯区

$$u_t = \frac{H}{\tau}$$

$$u_t = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho) g}{18\mu}$$

$$\therefore d_{p\max} = \sqrt{\frac{18\mu u_t}{(\rho_p - \rho) g}}$$

$$\text{验 } \text{Re} = \frac{\rho u_t d_p}{\mu}$$

5. 已知：重力沉降室 $L=2\text{m}$, $B=1.5\text{m}$, 101.3kPa , 100°C 物性同空气 ,
 $q_v=2700\text{m}^3/\text{h}$, $\rho_p=2400\text{kg}/\text{m}^3$ 。

求：(1) 100%除去的 $d_{p\min}$

(2) $d_p'=0.05\text{mm}$, 除去的百分率 η_p

解题思路：查 101.3kPa , 100°C , $\rho=0.946\text{kg}/\text{m}^3$, $\mu=2.19 \times 10^{-5}\text{Pa} \cdot \text{s}$

(1) 设 100%除去 $d_{p\min}$ 颗粒沉降在斯托克斯区

$$q_v = Au_t \quad u_t = \frac{q_v}{A} = \frac{q_v}{B \cdot L}$$

$$\therefore d_{p\min} = \sqrt{\frac{18\mu u_t}{(\rho_p - \rho)g}}$$

$$\text{验} \quad \text{Re} = \frac{\rho u_t d_{p\min}}{\mu}$$

(2) 设尘粒在入口处均匀分布，则当 $d_p' < d_{p\min}$ 时，

$$\eta_p = \frac{u_{tp}}{u_t} \quad u_{tp} = \frac{d_p'^2 (\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

$$\text{即} \eta_p = \frac{u_{tp}}{u_t} = \left(\frac{d_p'}{d_{p\min}} \right)^2$$

6. 已知： $d_A=0.1\sim 0.3\text{mm}$, $\rho_{pA}=1900\text{kg}/\text{m}^3$, $d_B=0.1\sim 0.15\text{mm}$, $\rho_{pB}=1350\text{kg}/\text{m}^3$,
 $\rho=1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

求：A、B 两种颗粒能否分开？

解题思路：沉降在斯托克斯区

$$u_t = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

$$\text{即} \quad u_t \propto (\rho_p - \rho)d_p^2$$

同一 d_p , $\rho_{pA} > \rho_{pB}$ 必有 $u_{tA} > u_{tB}$

能否将 A、B 分开，取决于 A 最小颗粒的沉降速度，是否大于 B 最大颗粒的沉降速度。

$$\frac{u_{tA\min}}{u_{tB\max}} = \frac{(\rho_{pA} - \rho)}{(\rho_{pB} - \rho)} \cdot \left(\frac{d_{pA\min}}{d_{pB\max}} \right)^2$$

若 $u_{tA\min} > u_{tB\max}$, 则 A、B 可完全分开。

7. 求证： $\zeta \cdot \text{Re}^2$ 与 u_t 无关的无因次数群。

求： $\zeta \cdot \text{Re}^2$ 小于何值时，沉降是斯托克斯区

解题思路：当颗粒力平衡时

$$\sum F = F_g - F_b - F_D = 0$$

$$\text{即 } \frac{\pi}{6} d_p^3 (\rho_p - \rho) g = \zeta \cdot \frac{\pi}{4} d_p^2 \cdot \frac{1}{2} \rho u_t^2$$

$$\therefore \zeta = \frac{4 d_p}{3 u_t^2} \frac{(\rho_p - \rho)}{\rho} g$$

$$\text{而 } Re = \frac{\rho u_t d_p}{\mu}$$

$$\begin{aligned} \therefore \zeta Re^2 &= \frac{4 d_p}{3 u_t^2} \cdot \frac{(\rho_p - \rho)}{\rho} g \cdot \frac{\rho^2 u_t^2 d_p^2}{\mu^2} \\ &= \frac{4 d_p^3 (\rho_p - \rho) g}{3 \mu^2} \quad \text{与 } u_t \text{ 无关。} \end{aligned}$$

当沉降在斯托克斯区 $\zeta = 24/Re$, $Re_{\max} = 2$, 可得 $(\zeta Re^2)_{\max}$

8. 已知 :

粒径 μm	5~10	10~20	20~40	40~100
质量分率 $x_{\lambda i}$	0.20	0.20	0.30	0.30
粒级效率 η_i	0.80	0.90	0.95	1.00

$$W_{\lambda} = 18 \text{ g/m}^3 \quad q_v = 1850 \text{ m}^3/\text{h}$$

求 : η_0 , 出口粒度分布 , $W_{\text{出}}$ (kg/day)

解题思路 : $\eta_0 = \sum x_i \eta_i$

$$\eta_0 = \frac{W_{\lambda} - W_{\text{出}}}{W_{\lambda}} \quad W_{\text{出}} = (1 - \eta_0) W_{\lambda}$$

$$\begin{aligned} \eta_i &= \frac{W_{\lambda i} - W_{\text{出}i}}{W_{\lambda i}} \quad W_{\text{出}i} = (1 - \eta_i) W_{\lambda i} = \frac{W_{\lambda i}}{W_{\lambda}} (1 - \eta_i) W_{\lambda} \\ &= x_{\lambda i} (1 - \eta_i) W_{\lambda} \end{aligned}$$

$$x_{\text{出}i} = \frac{W_{\text{出}i}}{W_{\text{出}}} = \frac{(1 - \eta_i) x_{\lambda i}}{1 - \eta_0}$$

$$d_p = 5 \sim 10 \mu m \quad x_{\text{出}1}$$

$$d_p = 10 \sim 20 \mu m \quad x_{\text{出}2}$$

$$d_p = 20 \sim 40 \mu m \quad x_{\text{出}3}$$

$$d_p = 40 \sim 100 \mu m \quad x_{\text{出}4}$$

$$W_{\text{出}} = (1 - \eta_0) W_{\lambda}$$

9. 已知：D=1.2m, m=3.62 吨, $\rho_p=1100\text{kg/m}^3$, $L_{\text{固}}=5\text{m}$, $L_{\text{流}}=10\text{m}$ 。

求：(1) $\varepsilon_{\text{固}}$ (2) $\varepsilon_{\text{流}}$ (3) ΔP

解题思路：(1) 颗粒所占体积 $V_p = \frac{m}{\rho_p}$

$$\text{床层 } V = \frac{\pi}{4} D^2 L_{\text{固}}$$

$$\therefore \varepsilon_{\text{固}} = 1 - \frac{V_p}{V}$$

$$(2) \text{ 流化床 } V = \frac{\pi}{4} D^2 L_{\text{流}}$$

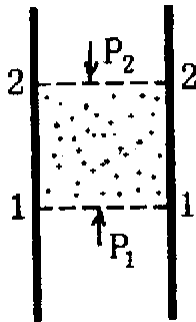
$$\therefore \varepsilon_{\text{流}} = 1 - \frac{V_p}{V}$$

$$(3) \Delta P = \frac{m}{A \rho_p} (\rho_p - \rho) g$$

$$\rho_p \gg \rho \quad \therefore \rho_p - \rho = \rho_p$$

$$\therefore \Delta P = \frac{m}{A} \cdot g$$

10. 已知：颗粒质量 m ，颗粒密度 ρ_p ，流体密度 ρ ，



求证：流化床压降 $\Delta P = \frac{m}{A \rho_p} (\rho_p - \rho) g$ (用动量守恒定律)

解题思路：颗粒重力 $F_2 = -mg$

$$\text{流体受重力 } G = - \left[A(Z_2 - Z_1) - \frac{m}{\rho_p} \right] \rho g$$

$$\text{两截面压差 } F_1 = A (P_1 - P_2)$$

$$\text{动量守恒 } \sum F = m (u_2 - u_1) = 0$$

$$\therefore A(P_1 - P_2) - \left[A(z_2 - z_1) - \frac{m}{\rho_p} \right] \rho g - mg = 0$$

11. 已知： $d_p = 55 \mu\text{m}$, $\rho_p = 1300 \text{kg/m}^3$, $\rho = 1.54 \text{kg/m}^3$, $\mu = 0.0137 \text{mPa} \cdot \text{s}$, $D = 2\text{m}$,
 $u = 0.3 \text{m/s}$,

求： D_{st} 。

解题思路：设 $d_p = 55 \mu\text{m}$ 颗粒沉降在斯托克斯区

$$\therefore u_t = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho) g}{18\mu}$$

$$\text{验证 } \text{Re} = \frac{d_p u_t \rho}{\mu}$$

当 $u_{\text{st}} \leq u_t$ 时， $55 \mu\text{m}$ 以上颗粒才不带走。

取 $u_{\text{st}} = u_t$ 为限

$$u_{\text{st}} \cdot D_{\text{st}}^2 = u D^2$$

$$\therefore D_{\text{st}} = D \sqrt{\frac{u}{u_t}}$$

12. 已知：欧根方程，小颗粒惯性项可忽略，且 $\frac{1 - \varepsilon_{\text{mf}}}{\psi^2 \varepsilon_{\text{mf}}^3} = 11$

大颗粒粒性项可忽略，且 $\frac{1}{\psi \varepsilon_{\text{mf}}^3} = 14$

求证： $\frac{u_t}{u_{\text{mf}}}$ 小颗粒为91.6，大颗粒为8.61。

解题思路：小颗粒，粘性项为主。

$$\text{由欧根公式 } \frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\mu u}{(\psi d_p)^2} + 1.75 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho u^2}{\psi d_p}$$

$$\text{得 } \frac{\Delta P}{L_{\text{mf}}} = 150 \frac{(1 - \varepsilon_m)^2}{\varepsilon_m^3 \psi^2} \cdot \frac{\mu u_{\text{mf}}}{d_p^2} = 1650 (1 - \varepsilon_m) \frac{\mu u_{\text{mf}}}{d_p^2}$$

$$\frac{\Delta P}{L_{\text{mf}}} = \frac{m}{A L_{\text{mf}} \rho_p} (\rho_p - \rho) g = (1 - \varepsilon_m) (\rho_p - \rho) g$$

$$\text{得 } u_{\text{mf}} = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho) g}{1650 \mu}$$

大颗粒，惯性项为主，得

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = 1.75 \frac{1 - \varepsilon_m}{\varepsilon_m^3 \psi} \cdot \frac{\rho u_{mf}^2}{d_p} = 24.5 (1 - \varepsilon_m) \frac{\rho u_{mf}^2}{d_p}$$

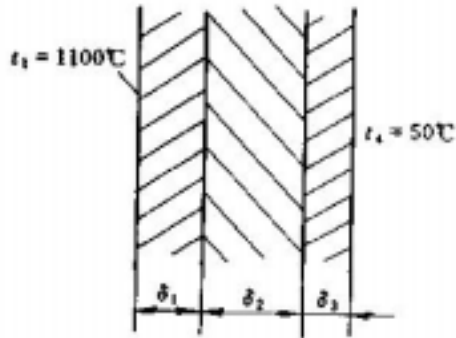
$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_m)(\rho_p - \rho)g$$

$$\therefore u_{mf} = \sqrt{\frac{d_p(\rho_p - \rho)g}{24.5\rho}}$$

$$\zeta = 0.44 \quad \therefore u_t = \sqrt{\frac{4g(\rho_p - \rho)d_p}{3\rho\zeta}} = \sqrt{\frac{4g(\rho_p - \rho)d_p}{3 \times 0.44 \times \rho}}$$

解题思路：

1. 已知： $\lambda_1=1.3\text{W/m.K}$, $\lambda_2=0.18\text{W/m.K}$, $\lambda_3=0.93\text{W/m.K}$, $T_1=1100^\circ\text{C}$,
 $t_2=900^\circ\text{C}$, $t_4=50^\circ\text{C}$, $\delta_3=12\text{cm}$, $q=1200\text{W/m}^2$, 接触热阻可忽略。
 求： δ_1 , δ_2



解题思路： $q = \lambda \frac{\Delta t}{\delta}$

$$\therefore \delta_1 = \lambda_1 \frac{\Delta t_1}{q} = \lambda_1 \frac{t_1 - t_2}{q}$$

$$\text{又 } q = \lambda_2 \frac{\Delta t_2}{\delta_2} = \lambda_3 \frac{\Delta t_3}{\delta_3}$$

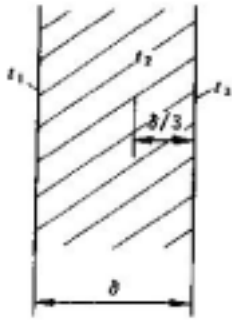
$$\text{即 } q = \frac{t_2 - t_3}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{t_3 - t_4}{\frac{\delta_3}{\lambda_3}}$$

$$q = \frac{t_2 - t_4}{\frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}$$

$$\text{即 } \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{t_2 - t_4}{q} - \frac{\delta_3}{\lambda_3}$$

得 δ_2

2. 已知： $\delta_2=(1/3)\delta$, $t_2=300^\circ\text{C}$, $t_3=50^\circ\text{C}$
 求： t_1



解题思路： $q = \lambda \frac{t_1 - t_3}{\delta} = \lambda \frac{t_2 - t_3}{\delta_2}$

$$\therefore t_1 = (t_2 - t_3) \frac{\delta}{\delta_2} + t_3$$

3. 已知： $G=0.048\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ， $t_2=110$ ， $r=2000\text{kJ/kg}$ ，垢层 $\delta=2\text{mm}$ ， $\lambda=0.65\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。

求： t_1

解题思路： $q=G \cdot r$

$$q = \lambda \frac{\Delta t}{\delta} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta}$$

$$\therefore t_1 = q \frac{\delta}{\lambda} + t_2$$

4. 已知：外径 $\Phi 150\text{mm}$ ， $\lambda=0.103+0.000198t(t: ^\circ\text{C})$ ，蒸汽管外壁温度 $t_0=180$ ，保温层外壁温度 $t_1=50$ ，冷凝量 $G=1 \times 10^{-4}\text{kg/m} \cdot \text{s}$ 。

求：保温层厚度 δ

解题思路： $Q=G \cdot r$

查 180 水， $r=2019\text{kJ/kg}$

Q/L

对于圆筒壁

$$Q = \frac{2\pi L \lambda (t_1 - t_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$r_1 = d/2 = 75\text{mm}$$

$$r_2 = r_1 + \delta = (75 + \delta)\text{mm}$$

保温层平均温度 $t_m = (t_0 + t_1)/2 = (180 + 50)/2 = 115$

$$\lambda = 0.103 + 0.000198 t_m$$

$$= 0.103 + 0.000198 \times 115 = 0.126\text{W/m} \cdot \text{K}$$

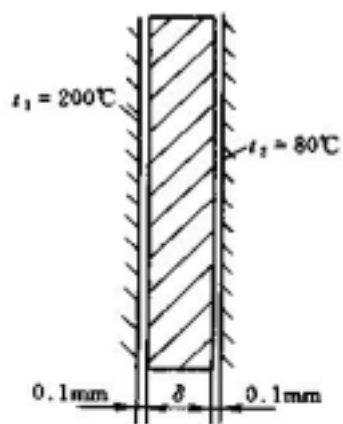
$$\therefore \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) = \frac{2\pi \lambda (t_1 - t_2)}{Q/L}$$

得 δ

5. 已知： $D=120\text{mm}$ ，气体 $\delta_g=0.1\text{mm}$ ， $\lambda_g=0.030\text{W/m} \cdot \text{K}$ ， $t_1=200$ ， $t_2=80$ ，

$$Q=40\text{W}。$$

$$\text{求：} \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda}$$



$$\text{解题思路：} q = \frac{Q}{A}$$

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\delta / \lambda'} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda} + 2 \cdot \frac{\delta_g}{\lambda_g}}$$

$$\therefore \frac{\delta}{\lambda'} = \frac{\delta}{\lambda} + 2 \frac{\delta_g}{\lambda_g}$$

$$\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda'}{\lambda} - 1 = \frac{\delta / \lambda}{\delta / \lambda'} - 1 = \frac{\delta / \lambda - \delta / \lambda'}{\delta / \lambda'} = \frac{-2 \frac{\delta_g}{\lambda_g}}{\delta / \lambda'}$$

$$\delta / \lambda' = \frac{t_1 - t_2}{q}$$

$$\therefore \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda}$$

6. 已知：通过中空球壁导热热流量 Q 。

$$Q = \frac{\Delta t}{\delta / \lambda A_m}$$

求证： $A_m = \sqrt{A_1 A_2}$ (A_1, A_2 为球壁的内、外表面积)



解题思路：定态 $Q = \text{const}$

一维： $\frac{Q}{4\pi r^2} = q = \lambda \frac{dt}{dr}$

$$\therefore \frac{Q}{4\pi} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \lambda \int_{t_1}^{t_2} dt$$

得 $\frac{Q}{4\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \lambda(t_2 - t_1) = \lambda \Delta t$

$$Q = \frac{4\pi\lambda\Delta t(r_2 \times r_1)}{r_2 - r_1} = \frac{\Delta t \cdot \sqrt{4\pi r_1^2 \cdot 4\pi r_2^2}}{\delta / \lambda} = \frac{\Delta t \sqrt{A_1 A_2}}{\delta / \lambda}$$

7. 已知： $d_0 = 25\text{mm}$ ， $\delta_1 = \delta_2 = 25\text{mm}$ ， $\lambda_2 / \lambda_1 = 5$ ，热损 Q ， λ_1 与 λ_2 互换， Δt 不变，热损 Q' 。

求： Q'/Q

解题思路：圆筒壁 $Q = \frac{2\pi\lambda L \Delta t}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}$

$$\therefore Q = \frac{2\pi L \Delta t}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_1}}$$

$$Q' = \frac{2\pi L \Delta t}{\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}}$$

$$\therefore \frac{Q'}{Q} = \frac{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_1}}{\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}}$$

显然 λ 较小的材料放内层热损较小。

8. 已知：L=3m, d=53mm, G=172kg/s · m², 苯被加热, μ=0.49mPa · S,
λ=0.14W/m · K, Cp=1.8kJ/kg · °C。

求：α

解题思路： $Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{G d}{\mu}$, $Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda}$, $\frac{L}{d}$

苯被加热

可用 $Nu=0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$ 公式

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

9. 已知：常压下空气 T₁=200 °C, T₂=120 °C, q_m=3kg/s, 空气外壳体中平行于管束流动, D=260mm, n=38, 小管 Φ25 × 2.5mm,

求：α

解题思路：空气平均温度 t_m=(t₁+t₂)/2=(200+120)/2=160

查常压 160 °C 空气 ρ=0.815kg/m³, μ=2.45 × 10⁻⁵Pa · S, Pr=0.682≈0.7,
λ=0.0364W/m · K.

$$d_e = \frac{4A}{s} = \frac{4 \times (\frac{\pi}{4} D^2 - n \frac{\pi}{4} d^2)}{\pi D + n \pi d} = \frac{D^2 - n d^2}{D + n d}$$

$$G = \frac{q_m}{A}$$

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{d_e G}{\mu}$$

空气被冷却

$$\therefore \alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d_e} Re^{0.8} Pr^{0.3}$$

10. 已知：水平蒸汽管加热外部重油, d=60mm, t_m=20 °C, t_w=120 °C, 70 °C 重油：ρ=900kg/m³, Cp=1.88kJ/(kg · °C), λ=0.174W/(m · °C),
ν=2 × 10⁻³m²/s, β=3 × 10⁻⁴1/°C

求：q W/m²

解题思路：属大容积自然对流

$$Gr = \frac{\beta g \Delta t \rho^2 l^3}{\mu^2}$$

水平放置, 特性尺寸 l=d

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\therefore Gr = \frac{\beta g \Delta t d^3}{\nu^2}$$

$$Pr = C_p \mu / \lambda = \frac{C_p \nu \rho}{\lambda}$$

$Gr \cdot Pr$

查教材表 6-3 , A , b

$$\alpha = A \frac{\lambda}{d} (Gr \cdot Pr)^b$$

$$q = \alpha(t_w - t_m)$$

11 . 已知：两水平放置圆管 , $d_1=10d_2$, $(Gr \cdot Pr)_2=10^9$

求： q_1/q_2

解题思路：属自然对流 , $\alpha = A \lambda / d (Gr \cdot Pr)^b$

$$Gr = \frac{\beta g \Delta t \rho^2 l^3}{\mu^2} \quad Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda}$$

大小两种管子 , 不同的只是特性尺寸 l , 因水平放置 $l=d$

$$Gr \cdot Pr \propto d^3$$

$$\therefore (Gr \cdot Pr)_1 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^3 (Gr \cdot Pr)_2$$

查表 6-3 , 两者均在 3 区域 , $A=0.135$, $b=1/3$

$$q \propto \alpha \propto \frac{1}{d} (Gr \cdot Pr)^b$$

$$\therefore \frac{q_1}{q_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{d_2}{d_1} \left[\frac{(Gr \cdot Pr)_1}{(Gr \cdot Pr)_2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

12 . 已知： $t_s=100$, $t_w=96$, $L=3m$, $d=0.03m$

求：(1) 圆管竖放 , $w(kg/h)$

(2) 圆管水平放 , $w'(kg/h)$

解题思路：查 100 , 水, $r=2258kJ/kg$, $t_m=(t_s+t_w)/2=(100+96)/2=98$

查 98 , 水, $\rho=960kg/m^3$, $\mu=0.290mPa \cdot s$, $\lambda=0.682W/m \cdot K$

(1) 设凝液为层流 , 则竖放时

$$\alpha = 1.13 \left(\frac{\rho^2 g r \cdot \lambda^3}{\mu L \Delta t} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{验 } Re = \frac{4 \alpha L \Delta t}{\mu r}$$

$$w = \frac{Q}{r} = \frac{\alpha \pi d L \Delta t}{r}$$

(2) 水平放 , 仍设层流

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = 0.64 \left(\frac{L}{d} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$W \propto \alpha$$

$$\therefore w' = \frac{\alpha'}{\alpha} w$$

$$\text{验 } Re = \frac{4w'}{L \cdot \mu}$$

13. 已知：热电偶测得 $T_1=300$, $\varepsilon_1=0.3$, $\alpha=60\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$, $T_w=230$,

求：气体的真实温度 T_g

解题思路：与壁面相比，热电偶面积很小。

$$q = \frac{Q}{A} = \varepsilon_1 C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right] = \alpha(T_g - T_1)$$

得 T_g

可见，提高 α ，降低 ε ，抽气提高 t_w ，均可减少误差。例如用遮热罩抽气式热电偶。

14. 已知： $Q=1\text{kW}$ ， $A=0.05\text{m}^2$ ， $\varepsilon=0.9$ ， $\alpha=10\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ， $T=20$ ，

求：炉外壁温度 T_w

解题思路：定态时，发热量应等于辐射，对流传热之和

$$\frac{Q}{A} = \varepsilon_1 C_0 \left[\left(\frac{T_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] + \alpha(T_w - T)$$

上式试差得 T_w

15. 已知： $m=2.3\text{kg}$ ， $\varepsilon_1=\varepsilon_2=0.02$ ， $A=0.12\text{m}^2$ ， $t_2=20$ ， $t_1=99$ ，塞子处热损不计。

求：水降 1 ， τ

解题思路： $A_1/A_2=1$ ， $\psi_{12}=1$ ，拟定态处理。

辐射热

$$Q = \frac{AC_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

查 99 水， C_p

$$Q \cdot \tau = mC_p \Delta t$$

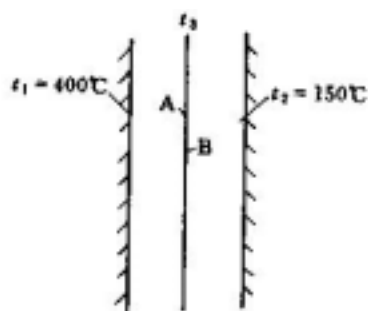
$$\therefore \tau = \frac{mC_p \Delta t}{Q}$$

16. 已知： $T_1=400$ ， $T_2=150$ ， $\varepsilon_1=0.65$ ， $\varepsilon_2=0.90$ ，两板间插入一平板，此平

板 A、B 面黑度不同，当 $1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow 2$ 时， $T_3=327$

当 $1 \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow 2$ 时， $T_3'=277$

求： ε_A 、 ε_B



解题思路： $A_1/A_2=1$,

$$\varphi_{12} = \varphi_{21} = 1$$

$$Q = \frac{A_1 C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

当 $1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow 2$ 时 ,

$$\begin{aligned} \frac{Q}{A} &= \frac{C_0 \times 10^{-8} [T_1^4 - T_3^4]}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_A} - 1} \\ &= \frac{C_0 \times 10^{-8} [T_1^4 - T_2^4]}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_A} - 1 + \frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1} \end{aligned} \quad (1)$$

当 $1 \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow 2$ 时 ,

$$\begin{aligned} \frac{Q}{A} &= \frac{C_0 \times 10^{-8} [T_3^4 - T_2^4]}{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \\ &= \frac{C_0 \times 10^{-8} [T_1^4 - T_2^4]}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1 + \frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \end{aligned} \quad (2)$$

由 (1)(2) 式可见 , 两状况下 Q/A 相等

$$\therefore \frac{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_A} - 1} = \frac{T_3^4 - T_2^4}{T_1^4 - T_3^4}$$

得 ε_A

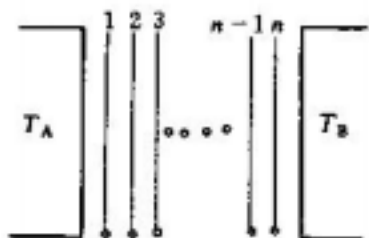
同理：
$$\frac{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_A} - 1} = \frac{T_3^4 - T_2^4}{T_1^4 - T_3^4}$$

得 ε_A

17. 已知： $T_A > T_B$ ，无遮热板传热 Q ， n 块遮热板传热 Q'

$$\varphi_{12} = \varphi_{23} = \cdots = \varphi, \varepsilon_A = \varepsilon_B = \cdots = \varepsilon$$

求证：
$$\frac{Q'}{Q} = \frac{1}{n+1}$$



解题思路：

$$\begin{aligned} \frac{Q}{A} &= \frac{C_0 \left[\left(\frac{T_A}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right]}{2\varphi \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) + 1} \\ &= \frac{C_0 \left[\left(\frac{T_A}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right]}{2 \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) + \frac{1}{\varphi}} \\ \frac{Q'}{A} &= \frac{C_0 \left[\left(\frac{T_A}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right]}{2 \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) + \frac{1}{\varphi}} = \cdots \\ &= \frac{C_0 \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right]}{2 \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) + \frac{1}{\varphi}} \end{aligned}$$

由加和性（等比定理）得

$$\frac{Q'}{A} = \frac{C_0 \left[\left(\frac{T_A}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{100} \right)^4 \right]}{(n+1) \left[2 \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) + \frac{1}{\phi} \right]}$$

18. 已知：内钢管 $\Phi 25 \times 2.5\text{mm}$ ， $\lambda = 45\text{W/m} \cdot \text{K}$ ，管内冷水湍流， $\alpha_1 = 2000\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ，环隙热气湍流， $\alpha_2 = 50\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ，不计垢层热阻。

求：(1) 管壁热阻占总热阻的百分率

(2) $u_{\text{水}}$ 增倍， K'

(3) $u_{\text{气}}$ 增倍， K''

解题思路：(1)
$$K = \left(\frac{1}{\alpha_1} \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_2}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}$$

总热阻 $\frac{1}{K}$

管壁热阻 $\frac{d_2}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}$

得管壁热阻分率

(2) $\alpha \propto u^{0.8}$

$\alpha_1' = 2^{0.8} \alpha_1 = 2^{0.8} \times 2000 = 3.48 \times 10^3 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

求得 K'

增加 $\frac{K' - K}{K}$

(3) $\alpha_2' = 2^{0.8} \alpha_2 = 2^{0.8} \times 50 = 87.1 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

求得 K''

增加 $\frac{K'' - K}{K}$

由上可知，管壁热阻往往占分率很小，可忽略；提高 K 值，强化传热，应在 α 小处着手。

19. 已知：管子 $\Phi 68 \times 4\text{mm}$ ， $\lambda = 0.08\text{W/m} \cdot \text{K}$ ， $t_{\text{外}} = 20$ ， $\alpha_1 = 5000\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ， $\alpha_2 = 10\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ，

求：(1) 每米管长冷凝量 w ；

(2) 保温层外表面温度 t_w

解题思路：(1) $d_1 = 0.068 - 2 \times 0.004 = 0.06\text{m}$ ， $d_0 = 0.068\text{m}$

$d_2 = 0.068 + 2 \times 0.03 = 0.128\text{m}$ ，

不计管壁热阻

$$\therefore K = \left(\frac{1}{\alpha_1} \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_2}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_0} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}$$

$Q = K_2 A_2 (T - t_{\text{外}}) = K_2 \pi d_2 L (T - t_{\text{外}})$

查 0.2MPa (表) 下, 饱和蒸汽 $T=133.3$, $r=2168.1\text{kJ/kg}$

$$\therefore Q_L = K_2 \pi d_2 (T - t_{\text{外}})$$

$$w = \frac{Q_L}{r}$$

$$K_2 (T - t_{\text{外}}) = \alpha_2 (t_w - t_{\text{外}})$$

$$\therefore t_w = \frac{K_2}{\alpha_2} (T - t_{\text{外}}) + t_{\text{外}}$$

20. 已知: 球罐 $d_1=1.2\text{m}$, $t_1=-196$, 绝热材料 $\lambda=0.02\text{ W/m} \cdot \text{K}$, $t_w=28$,
 $t_{\text{气}}=32$, $\alpha_2=12\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。

求: 绝热层厚度 δ

解题思路: 大气向球罐传热

$$Q = \alpha_2 \pi d_2^2 (t_{\text{气}} - t_w)$$

保温层导热

$$Q = \lambda \frac{A_m \Delta t}{\delta} = \lambda \frac{\pi d_1 d_2}{\delta} (t_w - t_1)$$

两 Q 相等, 得 δ

21. 已知: 列管式冷凝器, 管子 $\Phi 28 \times 2.5\text{mm}$, $\lambda=45\text{W/m} \cdot \text{K}$,
 水在管内高度湍流流动 α_2 , 管外蒸汽冷凝 α_1 ,
 传热系数 K 以外表面为基准。

试验次数	第一次		第二次
流速 (m/s)	1.0	2.0	1.0
传热系数 K ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	1200	1860	1100

求: (1) 第 1 次, α_1 , $\alpha_2|_{u=2\text{m/s}}$;

(2) 第 2 次, K 值变化原因。

解题思路: (1) 设 $K_{1,0}$ 为 $u=1\text{m/s}$ 的 K , $K_{2,0}$ 为 $u=2\text{m/s}$ 的 K

$$\frac{1}{K_{1,0}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{2\lambda} \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{d_1}{\alpha_2 d_2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{K_{2,0}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{2\lambda} \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{d_1}{\alpha_2' d_2}$$

$$\text{且 } \alpha_1 \propto u^{0.8} \quad \alpha_2' = \left(\frac{u_{2,0}}{u_{1,0}} \right)^{0.8} \alpha_2 = 2^{0.8} \alpha_2 = 1.74 \alpha_2$$

$$\therefore \frac{1}{K_{1,0}} - \frac{1}{K_{2,0}} = \frac{d_0}{d_1} \left(\frac{1}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_2'} \right) = \frac{d_0}{d_1 \alpha_2} \left(1 - \frac{1}{1.74} \right)$$

得 α_2

$$\alpha_2' = 3.05 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

代入 (1) 式得 α_1

(2) 由于使用一段时间之后, 壁面生成垢层, 使 K 值下降垢层热阻 R

$$\frac{1}{K_{1,0}'} = \frac{1}{K_{1,0}} + R$$

22. 已知: 中空钢球容器, $d_1=0.34\text{m}$, $t_1=38^\circ\text{C}$, $T=100^\circ\text{C}$, $\lambda=45\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$, $\alpha=500\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$,

求: $Q_{\max}$ 和钢球厚度 δ

解题思路: 对于所传热量有

$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{\Delta t}{\frac{\delta}{\lambda A_m} + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{A}}$$

其中, $\Delta t=100-38=62^\circ\text{C}$, $\delta=r-r_1$, $A_m=4\pi r r_1$

$$\therefore R = \frac{r-r_1}{4\lambda\pi r r_1} + \frac{1}{\alpha \cdot 4\pi r^2}$$

当 R 最小时必有 $Q_{\max}$

$$\text{当 } \frac{dR}{dr} = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{\lambda r^2} - \frac{2}{\alpha r^3} \right) = 0 \text{ 时}$$

$$\text{得 } r = \frac{2\lambda}{\alpha}, \delta=r-r_1, Q_{\max}$$

23. 已知: $A=16.5\text{m}^2$, $q_{m2}=2.5\text{kg/s}$, $t_1=20^\circ\text{C}$, $t_2=30^\circ\text{C}$, $T=80^\circ\text{C}$, $t_2'=26^\circ\text{C}$,

求: 垢层 R

解题思路: 新的冷凝器

$$\text{定性温度 } \bar{t} = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$$

查水的 c_p

$$Q = q_{m2} c_{p2} (t_2 - t_1) = KA \Delta t_m = KA \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

$$\therefore K = \frac{q_{m2} c_{p2}}{A} \ln \frac{T - t_1}{T - t_2} \quad (1)$$

结垢之后, $\bar{t} = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$, C_p 几乎不变

由 (1) 式得 K'

若不计温度变化 2 引起的水的物性变化对水一侧的 α 的影响, 不计由于蒸汽冷凝量变化对蒸汽一侧 α 影响对总阻力的影响, 则

$$\frac{1}{K'} = \frac{1}{K} + R, \quad R = \frac{1}{K'} - \frac{1}{K}$$

24. 已知: 管子 $\Phi 25 \times 2.5\text{mm}$, 苯在管内, $t_1=20$, $t_2=55$, $q_{m2}=15\text{T/h}$, $u_2=0.5\text{m/s}$,
 $C_{p2}=1.76\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, $\rho_2=858\text{kg/m}^3$, 管外蒸汽 $T=130$, $K=700\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。

求: n, L

解题思路: $q_{m2}=15\text{T/h}=4.17\text{kg/s}$

$$q_{m2} = n \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \cdot u_2 \cdot \rho_2$$

$$\therefore n = \frac{q_{m2}}{\frac{\pi}{4} d^2 \cdot u_2 \rho_2}$$

$$Q = q_{m2} c_{p2} (t_2 - t_1) = KA \Delta t_m = K \cdot n \pi d_0 \cdot L \cdot \Delta t_m \quad (1)$$

$$\Delta t_m = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

由(1)式得 L

25. 已知: 管内气体 $q_{m2}=90\text{kg/h}$, $t_1=38$, $t_2=138$, $d=53\text{mm}$, $D=78\text{mm}$, $\delta=2.5\text{mm}$,
 $t_w=150$, $\mu=0.027\text{mPa} \cdot \text{s}$, $P_r=1$

求: L

$$\text{解题思路: } Q = \alpha A \Delta t_m, \quad \Delta t_m = \frac{(t_w - t_1) - (t_w - t_2)}{\ln \frac{t_w - t_1}{t_w - t_2}} = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{t_w - t_1}{t_w - t_2}}$$

$$Q = q_{m2} c_{p2} (t_2 - t_1)$$

$$\therefore A = \pi d L = \frac{q_{m2} c_{p2} (t_2 - t_1)}{\alpha \Delta t_m} = \frac{q_{m2} c_{p2}}{\alpha} \ln \frac{t_w - t_1}{t_w - t_2} \quad (1)$$

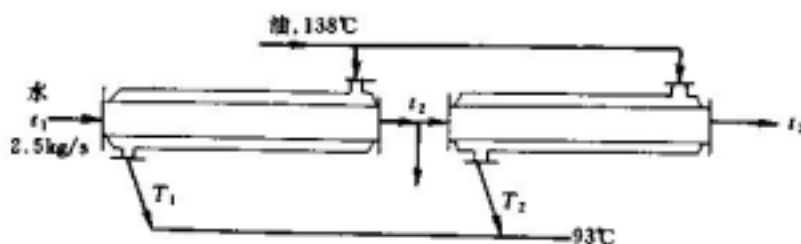
$$\text{Re} = \frac{dG}{\mu} = \frac{q_{m2}}{\frac{\pi}{4} d \mu}$$

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} = 0.023 \frac{c_p \mu}{d \text{Pr}} \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4}$$

代入 (1) 式得

$$L = \frac{q_{m2} c_{p2}}{\pi d \alpha} \ln \frac{t_w - t_1}{t_w - t_2}$$

26. 已知: $A_1=A_2=A$, $K_1=K_2=450\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, $c_{p1}=2.1\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$, $T_1=138^\circ\text{C}$, $T_2=93^\circ\text{C}$, $t_1=25^\circ\text{C}$, $t_2=50^\circ\text{C}$, $t_3=65^\circ\text{C}$, $q_{m2}=2.5\text{kg/s}$, $q_{m6}=0.62\text{kg/s}$, 求: q_{m5} , A



解题思路:

(1) 水的定性温度 $\bar{t} = \frac{1}{2}(t_1 + t_3)$ 下 c_{p2}

$$q_{m4} = q_{m2} - q_{m6} = 2.5 - 0.62 = 1.88\text{kg/s}$$

作总的热量衡算有 $q_{m5}c_{p1}(T_1 - T_2) = q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1) + q_{m4}c_{p2}(t_3 - t_2)$

$$\therefore q_{m5} = \frac{q_{m2}(t_2 - t_1) + q_{m4}(t_3 - t_2)}{c_{p1}(T_1 - T_2)} c_{p2}$$

(2) 由质量衡算 $q_{m5} = q_{m1} + q_{m3} = 4.0$ (1)

由热量衡算 $q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1) = q_{m1}c_{p1}(T_1 - T_3)$ (2)

$q_{m4}c_{p2}(t_3 - t_2) = q_{m3}c_{p1}(T_1 - T_4)$ (3)

$$\Delta t_{m1} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_3 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_3 - t_1}}$$

$$\Delta t_{m2} = \frac{(T_1 - t_3) - (T_4 - t_2)}{\ln \frac{T_1 - t_3}{T_4 - t_2}}$$

$$\frac{\Delta t_{m1}}{\Delta t_{m2}} = \frac{Q_1 / K_1 A_1}{Q_2 / K_2 A_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \quad (4)$$

联立 (1)(2)(3)(4) 可解得

T_3, T_4, q_{m1}, q_{m3} ,

$$\therefore Q_1 = q_{m2}c_{p2}(t_1 - t_2) = KA\Delta t_{m1}$$

得 A

27. 已知: $q_{m1}=1.5\text{kg/s}$, $r=395\text{kJ/kg}$, $T=60^\circ\text{C}$, 管束 n 根 $\Phi 25 \times 2.5\text{mm}$, 管内河水 $t_1=25^\circ\text{C}$, 不计管外冷凝、管壁、垢层热阻, $N_p=1$

求: (1) q_{m2}

(2) n, L ($u=1\text{m/s}$)

(3) n 不变, $N_p'=2$, q_{m1}'

解题思路: (1) 从 $\Delta t_m > 10^\circ\text{C}$ 及防止水中盐类析出为原则, 选 t_2

$$\bar{t} = (t_1 + t_2) / 2$$

查附录得 ρ , c_{p2} , λ , μ , Pr

由热量衡算得 $q_{m1}r = q_{m2}C_{p2}(t_2 - t_1)$

$$q_{m2} = \frac{q_{m1} \cdot r}{c_{p2}(t_2 - t_1)}$$

(2) 取水在管内流速为 1m/s 左右 , 则

$$n = \frac{q_{m2}}{0.785d^2 \rho u}$$

取 n

$$G = \rho u = \frac{q_{m2}}{0.785d^2 n}$$

$$Re = \frac{dG}{\mu}$$

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

由题意知 $K \approx \alpha$

$$\text{由传热速率式: } q_{m2}C_{p2}(t_2 - t_1) = KA \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

$$\text{得 } \frac{T - t_1}{T - t_2} = \exp\left(\frac{KA}{q_{m2}C_{p2}}\right) \quad (1)$$

$$\text{即 } A = \frac{q_{m2}C_{p2}}{K} \ln \frac{T - t_1}{T - t_2}$$

$$L = \frac{A}{n\pi d}$$

验 $L/d > 30 \sim 40$

(3) 改为双管程 , 流速变化 , K 也变化

$$K = \alpha \propto u^{0.8} \propto N_p^{0.8}$$

$$\therefore \frac{K'}{K} = \left(\frac{N_p'}{N_p}\right)^{0.8} \quad \therefore K' = \alpha^{0.8} K = 1.74K$$

由 (1) 式得

$$\frac{T - t_1}{T - t_2'} = \exp\left(\frac{K'A}{q_{m2}C_{p2}}\right) = \exp\left(\frac{1.74KA}{q_{m2}C_{p2}}\right) = \left(\frac{T - t_1}{T - t_2}\right)^{1.74}$$

得 t_2'

$$q_{m1}r = q_{m2}C_{p2}(t_2 - t_1)$$

$$\therefore \frac{q'_{m1}}{q_{m1}} = \frac{t_2' - t_1}{t_2 - t_1}$$

28. 已知： $A=20\text{m}^2$, $T=100$, $t_1=40$, $q_{m2}=0.917\text{kg/s}$, $c_{p2}=4000\text{J/kg} \cdot$,
 $K=125\text{W/m}^2 \cdot$

求： 水蒸汽量 q_m

解题思路：查 100 水蒸汽 , $r=2258\text{kJ/kg}$

$$Q = q_{m2}C_{p2}(t_2 - t_1) = KA \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}} = q_m r$$

$$\therefore \frac{T - t_2}{T - t_1} = \exp\left(-\frac{KA}{q_{m2}C_{p2}}\right), \text{ 得 } t_2$$

$$q_m = \frac{q_{m2}C_{p2}(t_2 - t_1)}{r}$$

29 . 已知：内管 $\Phi 19 \times 3\text{mm}$, $L=2\text{m}$, 逆流 , $q_{m1}=270\text{kg/h}$, $T_1=100$,
 $c_{p1}=1.88\text{kJ/kg} \cdot$, $q_{m2}=360\text{kg/h}$, $t_1=10$, $K_2=374\text{W/m}^2 \cdot$

求： T_2 、 t_2

解题思路：水的定性温度未知 , 选取水的比热 $C_{p2}=4.18\text{kJ/kg} \cdot$

$$\text{解法 1：由热效率公式 } \varepsilon_1 = \frac{1 - \exp[NTU_1(1 - R_1)]}{R_1 - \exp[NTU_1(1 - R_1)]}$$

$$R_1 = \frac{q_{m1}c_{p1}}{q_{m2}c_{p2}} = \frac{270 \times 1.88}{360 \times 4.18} = 0.337$$

$$NTU_1 = \frac{K_2 A_2}{q_{m1}c_{p1}}$$

$$\text{得 } \frac{T_1 - T_2}{T_1 - t_1} = \varepsilon_1$$

得 T_2

$$q_{m1}c_{p1}(T_1 - T_2) = q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1)$$

$$\therefore t_2 = \frac{q_{m1}c_{p1}}{q_{m2}c_{p2}}(T_1 - T_2) + t_1$$

解法 2：由热量衡算

$$Q = q_{m1}c_{p1}(T_1 - T_2) = q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1)$$

$$\therefore \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{(q_m c_p)_2}{(q_m c_p)_1}$$

$$\text{由速率方程式 } Q = q_{m1}c_{p1}(T_1 - T_2) = K_2A_2 \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}}$$

$$\therefore \ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} = \frac{K_2A_2}{q_{m1}c_{p1}} \left[1 - \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2} \right] = \frac{K_2A_2}{q_{m1}c_{p1}} \left[1 - \frac{(q_m c_p)_1}{(q_m c_p)_2} \right]$$

$$\text{由 } \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}, \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}, \text{ 而得出 } T_2, t_2$$

查 $\bar{t} = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$ 下的水 c_p ，偏差不大，计算有效。

30. 已知：饱和水蒸汽， $T=110$ ， $t_1=30$ ， $t_2=100$ ， $q'_{m2}=1.5q_{m2}$ ，

求：(1) t_2'

(2) 保持 $t_2'=100$ 的措施

$$\text{解题思路：(1) 由传热速率式 } Q = q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1) = KA \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

$$\text{得 } \frac{T - t_1}{T - t_2} = \exp\left(\frac{KA}{q_{m2}c_{p2}}\right) \quad (1)$$

$$\frac{T - t_1}{T - t_2'} = \exp\left(\frac{K'A}{q'_{m2}c_{p2}}\right)$$

饱和水蒸汽冷凝的热阻，管壁热阻可忽略

$$\therefore K = \alpha_2 \propto q_{m2}^{0.8}$$

$$\therefore K' = \left(\frac{q'_{m2}}{q_{m2}}\right)^{0.8} \cdot K = 1.5^{0.8} \cdot K$$

$$\therefore \frac{T - t_1}{T - t_2'} = \exp\left(\frac{1.5^{0.8} KA}{1.5q_{m2}c_{p2}}\right) = \exp\left(0.922 \frac{KA}{q_{m2}c_{p2}}\right) = \left(\frac{T - t_1}{T - t_2}\right)^{0.922}$$

得 t_2'

(2) 可以采用提高饱和水蒸汽的压强，即提高 T 的方法来维持 $t_2'=100$

$$\exp\left(\frac{K'A}{q'_{m2}c_{p2}}\right) \text{ 不变}$$

$$\therefore \frac{T' - t_1}{T' - t_2} = \exp\left(\frac{K'A}{q'_{m2}c_{p2}}\right)$$

得 T' ，查对应蒸汽压强 P 。

31. 已知：A=0.4m², 油在管内 T₁=75 , T₂=65 , 冷却水在环隙, t₁=30 ,
t₂=45 , α₂=4000W/m²· , d=25mm, λ₁=0.56W/m· , μ=1.8mPa·s,
c_p=2070J/kg· , 管壁热阻可忽略

求： q_{m1,max}

解题思路：当 T₂ 达到规定的 65 时, q_{m1} 即为最大, 实际操作中若再加大 q_{m1} ,
则 T₂ 将达不到要求

$$\therefore q_{m1,max} \times c_{p1}(T_1 - T_2) = KA\Delta t_m$$

$$q_{m1,max} \text{ 与 } K \text{ 关系} \quad (1)$$

$$Re = \frac{dG}{\mu} = \frac{4q_{m1,max}}{\pi d\mu}$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda}$$

$$\alpha_1 = 0.023 \frac{\lambda}{d} Re^{0.8} Pr^{0.3} \text{ 含 } q_{m1}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \text{ 含 } \frac{1}{q_{m1,max}^{0.8}}$$

代入(1)式试差解得 q_{m1,max}

32. 已知：T₁=100 , t₁=40 , 并流时 T₂=80 , t₂=60 ,

求：逆流操作 T₂' , t₂'

$$\text{解题思路：并流时 } \frac{q_{m1}c_{p1}}{q_{m2}c_{p2}} = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2}$$

$$\text{而 } q_{m1}c_{p1}(T_1 - T_2) = KA \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}}$$

$$\frac{KA}{q_{m1}c_{p1}} = \frac{(T_1 - T_2) \ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}}{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}$$

$$\text{逆流时 } \frac{q_{m1}c_{p1}}{q_{m2}c_{p2}} = \frac{t'_2 - t_1}{T_1 - T'_2}$$

$$\Delta t_1 = T_1 - t'_2 = T'_2 - t_1 = \Delta t_2$$

$$\Delta t_m = \Delta t_1 = T_1 - t'_2 = \Delta t_2 = T'_2 - t_1 \quad (1)$$

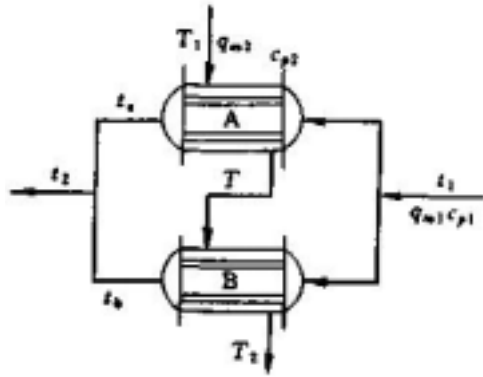
$$q_{m1}c_{p1}(T_1 - T'_2) = KA \Delta t_m = KA(T'_2 - t_1)$$

$$\therefore T_1 - T_2' = \frac{KA}{q_{m1}c_{p1}}(T_2' - t_1)$$

得 T_2' , 代入 (1) 式得 t_2'

33. 已知: $K_a = K_b$, $A_a = A_b$, $q_{m2a} = q_{m2b}$, $T_1 = 150$, $T_2 = 40$, $t_1 = 30$, $t_2 = 90$

求: T , t_a , t_b



解题思路: 运用消元法

$$\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} = \frac{KA}{q_{m1}c_{p1}} \left(1 - \frac{q_{m1}c_{p1}}{q_{m2}c_{p2}}\right)$$

$$\text{对 A: } \ln \frac{T_1 - t_a}{T - t_1} = \frac{KA}{q_{m1}c_{p1}} \left(1 - \frac{q_{m1}c_{p1}}{q_{m2a}c_{p2}}\right)$$

$$\text{对 B: } \ln \frac{T - t_b}{T_2 - t_1} = \frac{KA}{q_{m1}c_{p1}} \left(1 - \frac{q_{m1}c_{p1}}{q_{m2b}c_{p1}}\right)$$

$$\therefore \frac{T_1 - t_a}{T - t_1} = \frac{T - t_b}{T_2 - t_1} \quad (1)$$

$$\text{热量衡算: 对 A } \frac{(q_m c_p)_1}{(q_m c_p)_{2a}} = \frac{t_a - t_1}{T_1 - T}$$

$$\text{对 B } \frac{(q_m c_p)_1}{(q_m c_p)_{2b}} = \frac{t_b - t_1}{T - T_2}$$

$$\therefore \frac{t_a - 30}{150 - T} = \frac{t_b - 30}{T - 40} \quad (2)$$

由冷流体交汇点热量衡算得

$$t_2 = \frac{1}{2}(t_a + t_b) = 90 \quad (3)$$

联立(1)(2)(3)式可得

T , t_a , t_b ,

34. 已知：带搅拌夹套加热釜， $T=120$ 蒸汽， $t_1=25$ ， τ_1 时 $t_2=110$ ，
 $\tau'=2\tau_1$ 时釜内温度均匀， K 、 A 为常数

求： t_2'

解题思路：由速率式 $Q=KA(T-t)$

热量衡算式， $Q=Gc_p \frac{dt}{d\tau}$

$$\text{得 } d\tau = \frac{Gc_p}{Q} dt = \frac{Gc_p}{KA} \cdot \frac{dt}{T-t}$$

$\tau=0$ ， $t=t_1$ ， $\tau=\tau$ 时， $t=t$

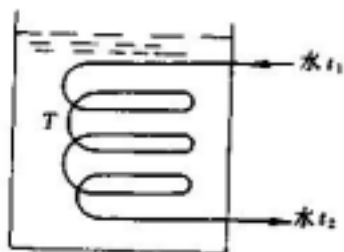
$$\text{积分得 } \tau = \frac{Gc_p}{KA} \ln \frac{T-t_1}{T-t}$$

$$\therefore \frac{\tau'}{\tau} = 2 = \frac{\ln \frac{T-t_1}{T-t_2'}}{\ln \frac{T-t_1}{T-t_2}}$$

得 t_2'

35. 已知： $G=6000\text{kg}$ ， $c_{p1}=4.6\text{kJ/kg}$ ， $T_1=100$ ， $T_2=60$ ， $t_1=20$ ， $q_{m2}=1500\text{kg/h}$ ，
 $A=6\text{m}^2$ ， $K=230\text{W/m}^2$ ， $Q_{\text{损}}=0$ ， $c_{p2}=4.18\text{kJ/kg}$ ，槽内液体温度均一。

求： τ



$$\text{解题思路：由速率式 } q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1) = KA \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}} \quad (1)$$

$$\text{衡算式 } q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1) = -Gc_{p1} \frac{dT}{d\tau} \quad (2)$$

$$\text{由(1)式得 } t_2 = T(1 - e^{-\frac{KA}{q_{m2}c_{p2}}}) + t_1 e^{-\frac{KA}{q_{m2}c_{p2}}}$$

代入(2)式后得

$$\int_0^{\tau} d\tau = - \frac{Gc_{p1}}{q_{m2}c_{p2}[(1 - \exp(-\frac{KA}{q_{m2}c_{p2}}))]} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T - t_1}$$

$$\tau = \frac{Gc_{P1}}{q_{m2}c_{P2}[1 - \exp(-\frac{KA}{q_{m2}c_{P2}})]} \ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}$$

36. 已知： $t_1=20$, $t_2=50$, $T_1=100$, $T_2=60$,

求：(1)单壳程，四管程的 Δt_m

(2) 双壳程，四管程的 Δt_m ，

解题思路： $\Delta t_m = \psi \Delta t_{m逆}$

$$\Delta t_{m逆} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

(1) 单壳程，四管程，查 $\psi=f(R,P)$ 图，(教材图 6-57a) ψ

$\Delta t_m = \psi \Delta t_{m逆}$

(2) 双壳程，四管程，查 $\psi=f(R,P)$ 图，(教材图 6-57b) ψ

$\Delta t_m = \psi \Delta t_{m逆}$

37. 已知：煤油走壳程被冷却， $q_{m1}=28700\text{kg/h}$ ， $T_1=230$, $T_2=120$,

$c_p=2.60\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, $\rho=710\text{kg/m}^3$, $\mu=0.32\text{mPa} \cdot \text{s}$, $\lambda=0.13\text{W/(m} \cdot \text{K)}$,

$D=560\text{mm}$, 70 根 $\Phi 25 \times 2.5$ 钢管， $L=6\text{m}$, $t=32\text{mm}$, 三角形排列，挡板

切除 25%， $B=300\text{mm}$

求：煤油的给热系数 α

解题思路：当 $Re > 2000$, 25% 圆缺挡板

$$Nu = 0.36 Re^{0.55} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$A' = BD(1 - \frac{d_0}{t})$$

$$\therefore u_0 = \frac{q_{m1}}{A' \rho}$$

$$d_e = \frac{4(\frac{\sqrt{3}}{2}t^2 - \frac{\pi}{4}d_0^2)}{\pi d_0^2}$$

$$Re = \frac{d_e u_0 \rho}{\mu}$$

$$\text{Pr} = \frac{c_p \mu}{\lambda}$$

$$\text{煤油被冷却} \quad \therefore \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} = 0.95$$

$$\therefore \alpha = 0.36 \frac{\lambda}{d_e} \text{Re}^{0.55} \text{Pr}^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

38. 已知：单壳程双管程，管外饱和蒸汽 $T=120$ ，干空气管内 $u_2=12\text{m/s}$ ，
 $\Phi 38 \times 2.5\text{mm}$, $n=200$, $t_1=26$ ， $t_2=86$ ，

求：(1) L

(2) q_{m2} , t_1 , L 不变，管子变为 $\Phi 54 \times 2\text{mm}$, $n'=80\%n$, t_2'

$$\text{解题思路：} \bar{t} = \frac{1}{2}(26+86) = 56$$

查 56 干空气， $c_p=1.0\text{kJ/kg} \cdot$ ， $\rho=1.07\text{kg/m}^3$, $\lambda=0.0286\text{W/m} \cdot \text{K}$,
 $\mu=1.99 \times 10^{-5}\text{Pa} \cdot \text{S}$, $\text{Pr}=0.697$

$$(1) \quad q_{m2} = \frac{n}{2} \times \frac{\pi}{4} d^2 \times \rho \cdot u$$

$$Q = q_{m2} c_{p2} (t_2 - t_1)$$

$$\text{Re} = \frac{du\rho}{\mu}$$

$$\therefore \alpha_2 = 0.023 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4}$$

管外蒸汽冷凝， $\alpha_1 \gg \alpha_2$, $K = \alpha_2$

$$Q = KA \Delta t_m$$

$$\Delta t_m = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

$$A = n \cdot \pi d L$$

$$\therefore L = \frac{Q}{K \cdot n \pi d \Delta t_m}$$

$$(2) \quad q_{m2} \text{ 不变} \quad \therefore u \propto \frac{1}{nd^2}$$

$$K = \alpha_2 \propto \frac{u^{0.8}}{d^{0.2}} \propto \frac{1}{n^{0.8} d^{1.8}}$$

$$\therefore \frac{K'}{K} = \left(\frac{n}{n'} \right)^{0.8} \left(\frac{d}{d'} \right)^{1.8}$$

$$\frac{A'}{A} = \frac{n'd'}{nd}$$

$$q_{m2}c_{p2}(t_2 - t_1) = KA \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

$$\therefore \frac{T - t_1}{T - t_2} = \exp\left(\frac{KA}{q_{m2}c_{p2}}\right)$$

$$\therefore \frac{T - t_1}{T - t_2'} = \exp\left(\frac{K'A'}{q_{m2}c_{p2}}\right) = \exp\left(\frac{0.566 \times 1.21 \times KA}{q_{m2}c_{p2}}\right) = \left(\frac{T - t_1}{T - t_2}\right)^{0.685}$$

得 t_2'

39. 已知：乙醇蒸汽 $q_{m1}=3000\text{kg/h}$, $t_1=30$, $t_2=40$, $T=78$, $r_1=925\text{kJ/kg}$,
 $\alpha_1=1660\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$,

试设计一列管式换热器，设计内容：

- (1) N_p , N_T , L
- (2) 管子排列
- (3) 壳体内径

解题思路：热负荷 $Q = q_{m1}r_1$

由于乙醇无腐蚀性可走壳程，水走管程

水的定性温度 $\bar{t} = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$

查水的 c_{p2} , ρ , λ , μ , P_r

$$q_{m2} = \frac{Q}{c_{p2}(t_2 - t_1)}$$

选用 $\Phi 25 \times 2.5\text{mm}$ 的钢管，选水的流速， $u=1\text{m/s}$

$$q_{m2} = \frac{N_T}{N_p} \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \cdot u \cdot \rho$$

$$\frac{N_T}{N_p} = \frac{4q_{m2}}{\pi d^2 u \rho}$$

取 $\frac{N_T}{N_p}$, N_p 得 N_T

可采用三角形排列，如右图所示，等边六角形层数为 a

则交点数 $n_0=1+6(1+2+\dots+a) = 1+3(a+a^2)$

现取 a 为 6 层

则 $n_0=1+3 \times (6+36) = 127$

除去中间双管的隔板位置 13 个交点。

即可安置 $127-13=114$ 根管子。

取管中心间距 $t=32\text{mm}$ (取 $t=1.25d_0$ 后圆整得)

外壳内径 D 的计算:

取外层管中心与壳壁的最小距离为 38mm (取 $1.5d_0$ 后圆整得)

$$D=2a \times t + 2 \times 0.038$$

管子长度计算:

$$u = \frac{q_{m2}}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{N_T}{N_P} \cdot \rho}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho u d}{\mu}$$

$$\alpha_2 = 0.023 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4}$$

考虑水的垢层热阻, 查教材表 6-6, 取 R_2 (取河水)

考虑乙醇蒸汽垢层热阻, 查得 R_1

$$\therefore \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_2} + R_2 + (R_1 + \frac{1}{\alpha_1}) \frac{d}{d_0}$$

得 K (以内表面为基准)

$$\Delta t_m = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

$$Q = KA \Delta t_m = KN_T \pi d L \Delta t_m$$

$$L = \frac{Q}{K \cdot N_T \pi d \cdot \Delta t_m}$$

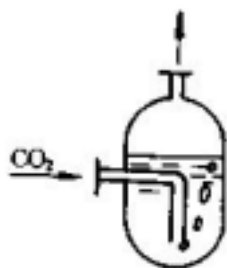
$$\text{故 } \frac{A_{\text{实}}}{A_{\text{计}}} = 1.2, \quad \therefore L_{\text{实}} = 1.2 L_{\text{计}}$$

解题思路：

1. 已知： $c=2.875 \times 10^{-2} \text{mol/l}$ 溶液， $P=101.3 \text{kPa}$, $t=30$, $\rho_m=996 \text{kg/m}^3$ 。

求：实验值 E

将此实验值与文献值 $E=188.5 \text{MPa}$ 作比较。



解题思路：查 30 时水的饱和蒸汽压， $P_S=4242.24 \text{ Pa}$ 。

长期通入 CO_2 后， $P_e=P-P_S=101.3-4.24=97.1 \text{kPa}$

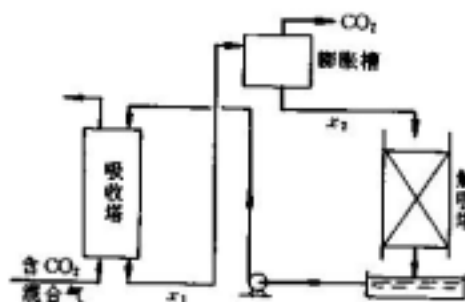
对于稀溶液 $M_m=M_S=18$

$$P_e = Ex = E \cdot \frac{c}{\rho_m / M_m}$$

$$\therefore E = \frac{P_e \cdot \rho_m}{c \cdot M_m}$$

2. 已知： $y_1=0.3$, $P_1=1 \text{MPa}$ (表), $P_2=20 \text{kPa}$, $t=25$, 吸收塔底部达饱和。

求：1kg 水在膨胀槽中放出 CO_2 的量 G 。



解题思路：查 25 , $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系统， $E=1.66 \times 10^2 \text{MPa}$

设当地大气压为 0.1013MPa

$$P_1=1+0.1013=1.1013 \text{MPa}$$

$$P_2=20 \times 10^3 \times 10^{-6}+0.1013=0.1213 \text{MPa}$$

$$P_e = E \cdot x \quad \therefore x = \frac{P \cdot y}{E}$$

$$x_1 = \frac{P_1 \cdot y_1}{E}$$

$$x_2 = \frac{P_2 \cdot y_2}{E}$$

对稀溶液，其比质量分率 $X = M_{CO_2} \cdot \frac{x}{M_{H_2O}}$

$$\therefore X_1 = 44 \times \frac{x_1}{18}$$

$$\therefore X_2 = 44 \times \frac{x_2}{18}$$

$$G = X_1 - X_2$$

3. 已知：t=20，用 N₂ 逆流吸收溶解于水中的 O₂，y₁=0.001 塔底达平衡。

求：(1) P=101.3kPa (绝) c_{min} mg/m³ 水

(2) P=40kPa (绝) c_{min} mg/m³ 水

解题思路：查=20，O₂--H₂O 系统，E=4.062 × 10⁶kPa

$$(1) H = E \frac{M_s}{\rho_s}$$

$$P_{e1} = P_1 \cdot y_1$$

$$P_e = cH$$

$$\therefore c_1 = \frac{P_{e1}}{H}$$

$$c_{\min} = c_1 \times M_{O_2} \times 10^6$$

(2) 同理 $P_{e2} = P_2 \cdot y_1$

$$\therefore c_2 = \frac{P_{e2}}{H}$$

4. 已知：P=101.3kPa，用水逆流吸收 Cl₂，y₁=0.01，x₁=0.8 × 10⁻⁵

求：(1) t=20，(x_e-x)，(y-y_e)

(2) t=40，(x_e-x)，(y-y_e)

解题思路：(1) 查 t=20，Cl₂-H₂O 系统，E=0.537 × 10²MPa

$$m = \frac{E}{P}$$

$$x_e = \frac{y}{m}$$

$$y_e = mx$$

液相推动力 (x_e-x)

气相推动力 (y-y_e)

(2) 查 40，Cl₂-H₂O 系统，E=0.8 × 10²MPa

$$m = \frac{E}{P}$$

$$x_e = \frac{y}{m}$$

$$y_e = mx$$

液相推动力 ($x_e - x$)

气相推动力 ($y - y_e$)

5. 已知: $P_1=101\text{kPa}$, $y=50x$, $x_1=2 \times 10^{-4}$, $y_1=0.025$ 。

求: 若 $P_2=202\text{kPa}$ 求推动力的增加比值。

解题思路: $y_{e1} = m_1 x$

$$x_{e1} = \frac{y}{m_1}$$

算 $(y - y_e)_1$, $(x_e - x)_1$

$P_2=202\text{kPa}$, $m_2=50/2=25$

$y_{e2} = m_2 x$

$x_{e2} = y/m_2$

算 $(y - y_e)_2$, $(x_e - x)_2$

$$\frac{(y - y_e)_2}{(y - y_e)_1}$$

$$\frac{(x_e - x)_2}{(x_e - x)_1}$$

6. 已知: $h=2\text{mm}$, $\delta=0.2\text{mm}$, $t=20$, $P_{A2}=1.33\text{kPa}$, $P=101.3\text{kPa}$

求: τ

解题思路: 查 20 时 $D=0.252 \times 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$, $\rho_{\text{水}}=998\text{kg}/\text{m}^3$

饱和蒸汽压 $P_{A1}=2.338\text{kPa}$

$P_{B1}=P-P_{A1}$

$P_{B2}=P-P_{A2}$

$$P_{Bm} = \frac{P_{B2} - P_{B1}}{\ln \frac{P_{B2}}{P_{B1}}}$$

$$\frac{P}{P_{Bm}}$$

对恒定的静止空气层厚度有:

$$N_A \tau = \frac{\rho \cdot h}{M}$$

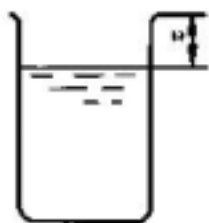
$$N_A = \frac{D}{RT\delta} \cdot \frac{P}{P_{Bm}} \cdot \frac{1}{(P_{A1} - P_{A2})}$$

得：

$$\tau = \frac{\rho RT \delta h}{MD} \cdot \frac{1}{(P_{A1} - P_{A2})} \cdot \frac{P_{Bm}}{P}$$

7. 已知：t=30, $P_{A2}=0$, $P=101.3\text{kPa}$, $z=1\text{cm}$, $H=4\text{cm}$

求： τ



解题思路：查 30, $D=0.268\text{cm}^2/\text{s}$, $\rho=995.7\text{kg}/\text{m}^3$

饱和蒸汽压, $P_{A1}=4.24\text{kPa}$

$P_{B1}=101.3-4.24=97.06\text{kPa}$

$P_{B2}=101.3\text{kPa}$

$$P_{Bm} = \frac{P_{B2} - P_{B1}}{\ln \frac{P_{B2}}{P_{B1}}}, \quad \frac{P}{P_{Bm}}$$

$$N_A \cdot d\tau = \frac{\rho \cdot dh}{M}, \quad \delta = 0.01 + h$$

$$N_A = \frac{D}{RT\delta} \cdot (P_{A1} - P_{A2}) \cdot \frac{P}{P_{Bm}} = \frac{D}{RT\delta} P_{A1} \cdot \frac{P}{P_{Bm}}$$

$$\therefore \int_0^\tau d\tau = \frac{\rho RTP_{Bm}}{MDP_{A1}P} \cdot \int_0^H (0.01 + h)dh$$

$$\therefore \tau = \frac{\rho RTP_{Bm}}{MDP_{A1}P} (0.01H + \frac{1}{2} H^2)$$

8. 已知：G=16kmol/h · m², $P=101.3\text{kPa}$, $k_y a=64.6\text{kmol}/\text{h} \cdot \text{m}^3$,
 $k_L a=16.6\text{kmol}/\text{h} \cdot \text{m}^3$, $P_A=4.62C_A$, (P_A : kPa, c_A : kmol/m³)

求：(1) $K_y a$, H_{OG}

(2) 液相阻力分率

解题思路：(1) 由亨利定律

$$P = Ex = Hc = Hc_M \cdot x$$

$$y = mx$$

$$\therefore m = Hc_M / P = \frac{4.62}{101.3} c_M = 0.0456 c_M$$

$$k_x a = k_L a c_M$$

$$\therefore \frac{m}{k_x a} = \frac{0.0456 c_M}{16.6 c_M}$$

$$\frac{1}{K_y a} = \frac{1}{k_y a} + \frac{m}{k_x a}$$

得 $K_y a$

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a}$$

(2) 液相阻力占总阻力之百分数为

$$\frac{m/k_x a}{1/k_y a}$$

9. 已知 : $y=0.05$, $x=0.01$, $k_x=8 \times 10^{-4} \text{ kmol/s} \cdot \text{m}^2$, $k_y=5 \times 10^{-4} \text{ kmol/s} \cdot \text{m}^2$, $P=101.3 \text{ kPa}$
时 $y=2x$,

求 : (1) N_A ($\text{kmol/s} \cdot \text{m}^2$)

(2) $P'=162 \text{ kPa}$, N_A'

解题思路 : (1) $\frac{1}{K_y} = \frac{m}{k_x} + \frac{1}{k_y}$

$$K_y = \frac{1}{\frac{m}{k_x} + \frac{1}{k_y}}$$

$$y_e = mx$$

$$N_A = K_y (y - y_e)$$

(2) $P'=162 \text{ kPa}$

$$m' = \frac{P}{P'} \cdot m$$

又根据经验式 $Sh=0.023Re^{0.83}Sc^{0.33}$

$$\text{得 } k = 0.023 \frac{D}{d} \cdot \left(\frac{dG}{\mu}\right)^{0.33} \left(\frac{\mu}{\rho D}\right)^{0.33} (\text{kmol} / \text{s} \cdot \text{m}^2 \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}\right))$$

$$\text{气体 } \rho \propto P, D \propto \frac{1}{P}, c = \frac{n}{V} = \frac{P}{RT} \cdot y$$

$$\therefore k \propto \frac{1}{P} \quad \text{而 } k_y = \frac{P}{RT} k$$

即 k_y 与 P 无关

$$P \uparrow \quad m \downarrow \quad (y-y_e) \uparrow$$

$$\text{由 } K_y = \frac{1}{\frac{m}{k_x} + \frac{1}{k_y}} \uparrow$$

$$\text{传质速率增加了 } \frac{N_A' - N_A}{N_A}$$

$$10. \text{ 已知: } \frac{1}{K_y} = \frac{m}{k_x} + \frac{1}{k_y}$$

$$\text{求证: } N_{OL} = \frac{1}{A} N_{OG}$$

$$\text{解题思路: } \frac{1}{K_y} = \frac{m}{k_x} + \frac{1}{k_y}$$

$$\frac{1}{K_y a} = \frac{m}{k_x a} + \frac{1}{k_y a}$$

$$\text{同理可得 } \frac{1}{K_x a} = \frac{1}{k_x a} + \frac{1}{m k_y a}$$

$$\text{即 } K_x a = m K_y a$$

$$\text{得 } H_{OG} = \frac{G}{K_y a} = \frac{L}{K_x a / m} \cdot \frac{G}{L} = H_{OL} \cdot \frac{m}{L/G} = \frac{1}{A} H_{OL}$$

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG} = H_{OL} \cdot N_{OL}$$

$$11. \text{ 已知: } \Delta y_1 = y_1 - y_{1e}, \Delta y_2 = y_2 - y_{2e}$$

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

解题思路: 由物料衡算得

$$x = x_2 + \frac{G}{L}(y - y_2)$$

低浓度吸收 $y_e = mx$

$$y_e = mx_2 + \frac{mG}{L}(y - y_2)$$

$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{1}{y - mx_2 - \frac{mG}{L}(y - y_2)} dy$$

$$= \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(1 - \frac{mG}{L})y + (\frac{mG}{L}y_2 - mx_2)}$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{mG}{L}} \ln \frac{(1 - \frac{mG}{L})y_1 + \frac{mG}{L}y_2 - mx_2}{y_2 - mx_2}$$

代入 $L(x_1 - x_2) = G(y_1 - y_2)$

12. 已知： $x_2=0$ 逆流， $\eta = \frac{y_1 - y_2}{y_1}$ $\frac{L}{G} = \beta(\frac{L}{G})_{\min}$

求： $N_{OG}=f(\eta, \beta)$

解题思路： $(\frac{L}{G})_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2} = \frac{y_1 - y_2}{y_1/m - 0} = m \cdot \eta$

$$\frac{L}{G} = \beta(\frac{L}{G})_{\min} = \beta m \eta$$

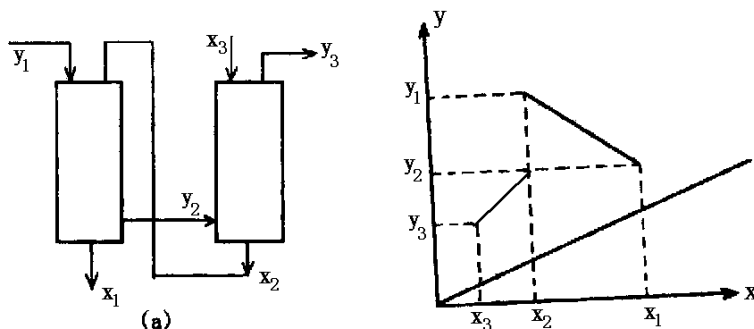
$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A}} \ln[(1 - \frac{1}{A}) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + \frac{1}{A}]$$

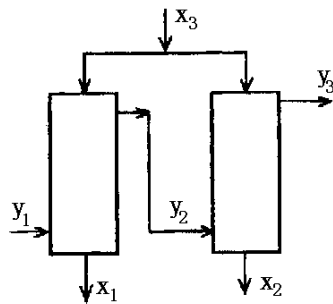
$$\frac{1}{A} = \frac{m}{L/G} = \frac{m}{\beta \eta m} = \frac{1}{\beta \eta}$$

$$\frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} = \frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{1 - \eta}$$

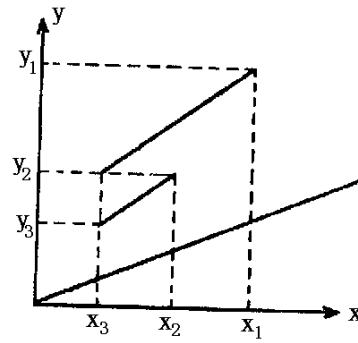
13. 画操作线与平衡线

解题思路：对于流程 a 和流程 b，均有 $(\frac{L}{G})_A = (\frac{L}{G})_B$



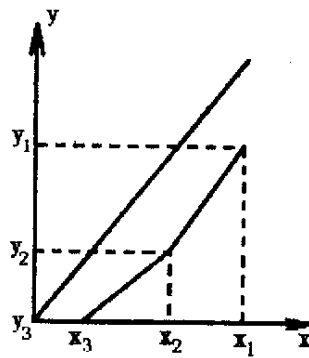
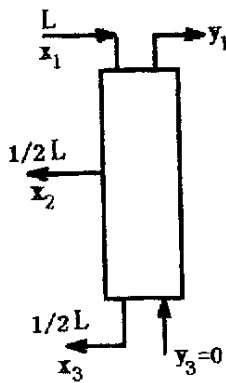


(b) 两塔的液体量相等



14. 画操作线与平衡线

解题思路：对于该流程 $(\frac{G}{L})_{\text{上}} = 0.5(\frac{G}{L})_{\text{下}}$



15. 已知： $G=0.014\text{kmol/s} \cdot \text{m}^2$, $y_1=0.02$, $\eta=0.95$, $x_2=0.0004$, $\frac{L}{G}=1.5(\frac{L}{G})_{\min}$

$$K_y a = 0.052 \text{kmol/s} \cdot \text{m}^3, y = 1.2x$$

求：(1) x_1

(2) Δy_m

(3) H

解题思路：(1) $\eta = \frac{y_1 - y_2}{y_1}$

$$y_2 = y_1(1 - \eta)$$

$$(\frac{L}{G})_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2} = \frac{y_1 - y_2}{y_1/m - x_2}$$

$$\therefore \frac{L}{G} = 1.5(\frac{L}{G})_{\min}$$

根据物料衡算

$$G(y_1 - y_2) = L(x_1 - x_2)$$

$$\therefore x_1 = x_2 + \frac{G}{L}(y_1 - y_2)$$

$$(2) \Delta y_1 = y_1 - mx_1$$

$$\Delta y_2 = y_2 - mx_2$$

$$\Delta y_m = \frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{\ln \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}}$$

$$(3) N_{OG} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m}$$

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a}$$

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG}$$

16. 已知: $x_2=0$, $L=1.3L_{\min}$, $H_{OG}=0.8\text{m}$

求: (1) $\eta=0.9$, H

(2) $\eta=0.99$, H

(3) 比较(1)(2)的 L

解题思路: (1) $(\frac{L}{G}) = 1.3(\frac{L}{G})_{\min}$

$$(\frac{L}{G})_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2} = \frac{y_1 - y_2}{y_1 / m} = m\eta$$

$$\therefore \frac{1}{A} = \frac{m}{L/G} = \frac{m}{1.3m\eta}$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{mG}{L}} \ln[(1 - \frac{mG}{L}) \frac{1}{1 - \eta} + \frac{mG}{L}]$$

$$H = N_{OG} \cdot H_{OG}$$

(2) $\eta'=0.99$

$$\frac{1}{A'} = \frac{1}{1.3\eta}$$

$$N_{OG}' = \frac{1}{1 - \frac{1}{A'}} \ln[(1 - \frac{1}{A'}) \frac{1}{1 - \eta'} + \frac{1}{A'}]$$

$$H' = N_{OG}' \cdot H_{OG}$$

(3) 比较(1)(2)可知, 当回收率提高, 则吸收剂用量为原来的

$$\frac{1.3 \times 0.99 \times m}{1.3 \times 0.9 \times m} = 1.1 \text{ (倍)} \text{ 由 } L/G = 1.3m\eta \text{ 可知, 吸收剂用量与回收率 } \eta \text{ 成正比。}$$

17. 已知: $x_1=2.5 \times 10^{-5}$, 在 101.3kPa, 25 °C 下解吸, $y=545x$, $L'=5000\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, $y_2=0$

求: (1) 达 $x_2=0.1 \times 10^{-5}$, $G_{\min}$

(2) $G=0.40\text{kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, $H=\infty$ 时, $x_2=?$, 并画出操作线。

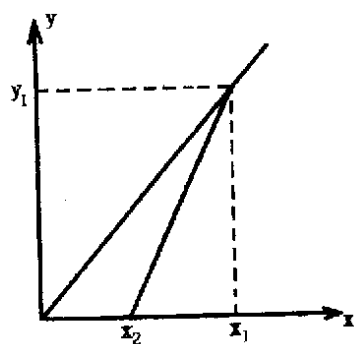
解题思路: (1) $L = \frac{L'}{M} = \frac{5000}{18} = 278\text{kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

$$\left(\frac{G}{L}\right)_{\min} = \frac{x_1 - x_2}{y_{1e} - y_2} = \frac{x_1 - x_2}{mx_1 - 0} = \frac{2.5 \times 10^{-5} - 0.1 \times 10^{-5}}{545 \times 2.5 \times 10^{-5}} = 1.76 \times 10^{-3}$$

$$G_{\min} = \left(\frac{G}{L}\right)_{\min} \times L = 1.76 \times 10^{-3} \times 278 = 0.489\text{kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

(2) $L/G=278/0.4=695>m=545$

此时塔高不受限制, 则可在塔顶达到汽液平衡



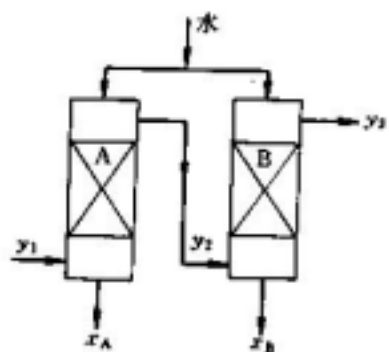
则 $y_1=mx_1$

物料衡算: $G(y_1-y_2)=L(x_1-x_2)$

$$x_2 = x_1 - \frac{G}{L}(y_1 - y_2)$$

18. 已知: $x_2=0$, $\eta_{\text{总}}=0.91$, $L_A=L_B=1.43L_{\min}$, $H_{\text{OGA}}=H_{\text{OGB}}=1.2\text{m}$

求: H_A , H_B



解题思路: $\left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2} = m\eta$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_A = \left(\frac{L}{G}\right)_B = 1.43\left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = 1.43m\eta$$

$$\eta_A = \eta_B = \eta = \frac{y_1 - y_2}{y_1} = \frac{y_2 - y_3}{y_2}$$

$$\begin{aligned} \text{又 } \eta_{\text{总}} &= \frac{y_1 - y_3}{y_1} = 1 - \frac{y_3}{y_1} = 1 - \frac{y_3}{y_2} \cdot \frac{y_2}{y_1} \\ &= 1 - (1 - \eta_A)(1 - \eta_B) \\ &= 1 - (1 - \eta)^2 \end{aligned}$$

$$\eta_{\text{总}} = 0.91, \text{ 代入得 } \eta_A = \eta_B = \eta$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_A = \left(\frac{L}{G}\right)_B = 1.43m\eta = m$$

说明操作线与平衡线斜率相等，即推动力处处相等。

$$N_{OG} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m}$$

$$\text{由 } N_{OGA} = \frac{y_1 - y_2}{y_2 - mx_2} = \frac{\eta}{1 - \eta}, \quad N_{OGB} = \frac{y_2 - y_3}{y_3 - mx_2} = \frac{\eta}{1 - \eta}$$

$$\therefore N_{OGA} = N_{OGB}$$

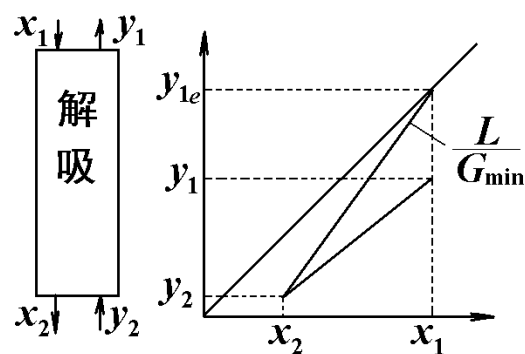
$$\therefore H_A = H_{OGA} \cdot N_{OGA}$$

$$H_B = H_{OGB} \cdot N_{OGB}$$

19. 已知： $x_1 = 0.05, \eta = 0.97, y'_2 = 0, G = 1.3G_{\min}, H_{OG} = 0.3, y = 2.8x,$

求： H

解题思路：变量如图所示，



$$\eta = \frac{x_1 - x_2}{x_1} = 1 - \frac{x_2}{x_1}, \quad \text{得 } x_2$$

$$\frac{L}{G_{\min}} = \frac{y'_{1e} - y'_2}{x_1 - x_2} = \frac{mx_1}{x_1 - x_2}$$

$$\frac{L}{G} = \frac{L}{1.3G_{\min}}$$

根据物料衡算

$$G(y_1 - y_2) = L(x_1 - x_2)$$

$$\therefore y'_1 = y'_2 + \frac{L}{G}(x_1 - x_2)$$

$$\Delta y_1 = mx_1 - y'_1$$

$$\Delta y_2 = mx_2 - y'_2$$

$$\Delta y_m = \frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{\ln \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}}$$

$$N_{OG} = \frac{y'_1 - y'_2}{\Delta y_m}$$

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG}$$

20 . 已知 : $H=5\text{m}$, $D=1\text{m}$, $x_2=0$, $q_V=2250\text{m}^3/\text{h}$, $y_1=0.05$, $y_2=0.0026$,
 $x_1=60\text{g 丙酮/kg 水}$, $P=101.3\text{kPa}$, $T=25$, $y=2x$

求 : (1) H_{OG} , $K_y a$

(2) w (回收丙酮量/小时)

解 : (1) $M_{\text{丙酮}}=58$, $x_1 = \frac{60/58}{60/58 + 1000/18} = 0.0183$

$$G' = \frac{q_V}{22.4} \cdot \frac{T_0}{T}$$

$$G = \frac{G'}{A}$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A}} \ln \left[\left(1 - \frac{1}{A} \right) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + \frac{1}{A} \right]$$

物料衡算 : $G(y_1 - y_2) = L(x_1 - x_2)$

$$\frac{L}{G} = \frac{y_1 - y_2}{x_1}$$

$$\frac{1}{A} = \frac{m}{L/G}$$

得 N_{OG}

$$H_{OG} = \frac{H}{N_{OG}}$$

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a}$$

$$K_y a = \frac{G}{H_{OG}}$$

$$(2) w = G'(y_1 - y_2)$$

21. 已知：H=2.7m, P=101.3kPa, $x_2=0$, $G=0.03\text{kmol/m}^2 \cdot \text{s}$, $L=0.018\text{kmol/m}^2 \cdot \text{s}$,
 $y_1=0.02$, $K_y a=0.1\text{kmol/m}^3 \cdot \text{s}$, $E=60\text{kPa}$

求： y_2

解题思路： $m=E/P$

$$L/G=0.018/0.03=0.6=m$$

即操作线与平衡线平行，此时：

$$\Delta y_m = \Delta y_1 = \Delta y_2 = y_2 - mx_2 = y_2$$

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a} = \frac{0.03}{0.1} = 0.3m$$

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG}$$

$$\therefore N_{OG} = \frac{2.7}{0.3} = 9$$

$$N_{OG} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m} = \frac{y_1 - y_2}{y_2}$$

得 y_2

22. 已知： $x_2=0.0002$, $L/G=3$, $y_1=0.01$, $\eta=0.90$, $y=2x$, $x_2'=0.00035$

求：(1) η'

(2) x_1'

解题思路：(1) $y_2 = y_1 (1 - \eta)$

$$\frac{1}{A} = \frac{m}{L/G}$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A}} \ln \left[\left(1 - \frac{1}{A} \right) \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} + \frac{1}{A} \right]$$

当 x_2 上升时，由于 H 不变， H_{OG} 不变

$N_{OG}=H/H_{OG}$ 也不变，得

$$y_2', \eta' = \frac{y_1 - y_2'}{y_1}$$

(2) 物料衡算：

$$G(y_1 - y_2') = L(x_1' - x_2')$$

$$\therefore x_1' = \frac{G}{L}(y_1 - y_2') + x_2'$$

23 . 已知：P=101.3kPa , t=15 , $y_1=0.0145$, $x_2=0.2$, $y_e=1.05 \times 10^{-4}$, $y_2=0.000322$,
 $K_{ya} \propto G^{0.8}$, $L \gg G$

求：G'=2G 时 , y_2'

解题思路： $y_e=\text{常数}$, $N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e} = \ln \frac{y_1 - y_e}{y_2 - y_e}$

当流率增加一倍时 , $H_{OG} = \frac{G}{K_{ya}} \propto \frac{G}{G^{0.8}} \propto G^{0.2}$

$$H_{OG}' = H_{OG} \times 2^{0.2}$$

塔高不变 , 则

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG} = H_{OG}' \cdot N_{OG}'$$

$$N_{OG}' = \frac{H_{OG}}{H_{OG}'} \cdot N_{OG}$$

得 y_2'

解题思路：

1. 已知：P=101.3kPa，苯(A)—甲苯(B)溶液

$$\log P_A^0 = 6.031 - \frac{1211}{t + 220.8} \quad (P^0 \text{ — kPa}, t \text{ — } ^\circ\text{C})$$

$$\log P_B^0 = 6.080 - \frac{1345}{t + 219.5}$$

$$t_1 = 108, \quad t_2 = 81$$

求：(1) α_1, α_2

(2) $\alpha_m, x \sim y$ 表

解题思路：(1) $t_1 = 108$ 时

$$\log P_A^0 = 6.031 - \frac{1211}{108 + 220.8} = 2.348, \quad P_A^0 = 222.8 \text{ kPa}$$

$$\log P_B^0 = 6.080 - \frac{1345}{108 + 219.5} = 1.973, \quad P_B^0 = 94.0 \text{ kPa}$$

$$\therefore \alpha_1 = \frac{P_A^0}{P_B^0}$$

$$t_2 = 81 \text{ 时}$$

$$\log P_A^0 = 6.031 - \frac{1211}{81 + 220.8} = 2.018$$

$$P_A^0 = 104.33 \text{ kPa}$$

$$\log P_B^0 = 6.080 - \frac{1345}{81 + 219.5} = 1.604$$

$$P_B^0 = 40.19 \text{ kPa}$$

$$\therefore \alpha_2 = \frac{P_A^0}{P_B^0}$$

$$(2) \alpha_m = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2)$$

$$\text{由 } y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} \text{ 计算}$$

2. 已知：乙苯(A)—苯乙烯(B)溶液理想物系，P=8kPa， $y_A = 0.595$

$$\log P_A^0 = 6.08240 - \frac{1424.225}{213.206 + t} \quad (P^0 \text{ — kPa}, t \text{ — } ^\circ\text{C})$$

$$\log P_B^0 = 6.08232 - \frac{1445.58}{209.43 + t}$$

求：(1) t

(2) x_A

$$\text{解题思路：(1) } y_A = \frac{P_A^0}{P} \cdot \frac{P - P_B^0}{P_A^0 - P_B^0}$$

设：温度 t ，计算 P_A^0 ， P_B^0 ， y_A

直至 y_A 符合

$$(2) x_A = \frac{P - P_B^0}{P_A^0 - P_B^0}$$

3. 已知：乙苯(A)—苯乙烯(B)， $P=13.6\text{kPa}$ ， $x_A=0.144$ 。

求：(1) t

(2) y_A

解题思路：(1) 设液体温度 t ，计算 P_A^0 ， P_B^0 ， x_A

直至 x_A 符合

$$(2) y_A = \frac{P_A^0 x_A}{P}$$

4. 已知： $P=303.9\text{kPa}$ ，丁烷(A)—戊烷(B)， $y_{F(A)}=0.8$ ，
 $t=40$ 下， $P_A^0=373.3\text{kPa}$ ， $P_B^0=117.1\text{kPa}$ ，

求： $n_{\text{液}}/n_{\text{汽}}$

解题思路：冷凝至 40 后：

$$x_A = \frac{P - P_B^0}{P_A^0 - P_B^0}$$

$$y_A = \frac{P_A^0}{P} x_A$$

取总物料为 1 摩尔计：

$$\begin{cases} n_{\text{液}} x_A + n_{\text{汽}} y_A = 0.8 \\ n_{\text{液}} + n_{\text{汽}} = 1.0 \end{cases}$$

$$\text{得 } \frac{n_{\text{液}}}{n_{\text{汽}}} = \frac{y_A - 0.8}{0.8 - x_A}$$

5. 已知： $P=101.3\text{kPa}$ 下作简单精馏 $W_1=100\text{kmol}$ ， $x_1=0.40$ ， $x_2=0.30$ ， $\alpha=3.0$

求：(1) $W_{\text{汽}}$ ， $\bar{y}$ (2) 改为平衡蒸馏， $W_{\text{汽}}$ ， y

$$\text{解题思路：(1) } \ln \frac{W_1}{W_2} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[\ln \frac{x_1}{x_2} + \alpha \ln \frac{1 - x_2}{1 - x_1} \right]$$

得 W_2

$$\therefore W_{\text{汽}} = W_1 - W_2$$

$$\bar{y} = x_1 + \frac{W_2}{W_1 - W_2} (x_1 - x_2)$$

$$(2) y = \frac{\alpha x_2}{1 + (\alpha - 1)x_2}$$

由物料衡算 $(W_1 - W_{\text{汽}}) x_2 + W_{\text{汽}} y = w_1 x_1$

$$W_{\text{汽}} = W_1 \cdot \frac{x_1 - x_2}{y - x_2}$$

6. 已知： $x_f=0.24$, $q=1$, $x_D=0.95$, $x_w=0.03$

求：(1) D/F

$$(2) R = 2 \text{ 时}, \frac{L}{V}, \frac{\bar{V}}{L}$$

$$(3) R = 4 \text{ 时}, \frac{L}{V}, \frac{\bar{V}}{L}$$

解题思路：(1) 物料衡算

$$\begin{cases} D + W = F \\ Dx_D + Wx_w = Fx_f \end{cases}$$

$$\begin{cases} D + W = F \\ 0.95D + 0.03W = 0.24F \end{cases}$$

解得 D/F

$$(2) \frac{L}{V} = \frac{RD}{(R+1)D} = \frac{R}{R+1}$$

$$q=1, \bar{L} = L + qF = RD + F$$

$$\bar{V} = V - (1-q)F = (R+1)D$$

$$\therefore \frac{\bar{L}}{\bar{V}} = \frac{R + F/D}{(R+1)}$$

$$\text{得} \frac{\bar{V}}{L}$$

$$(3) \frac{L}{V} = \frac{R}{R+1}$$

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} = \frac{R + F/D}{R+1}$$

$$\text{得 } \frac{\bar{V}}{L}$$

7. 已知：苯—甲苯系统：

$x_f=0.3$, $t_f=40$, $F=\text{kmol/h}$, $P=101.3\text{kPa}$, $x_D=0.95$, $x_w=0.03$, $R=3$

求： $\bar{V}$

解题思路：查苯—甲苯相平衡，得 $x_f=0.3$ 时, $t_s=98.6$,

$$\text{由 } t = \frac{1}{2}(t_f + t_s)$$

查得： $C_{P\text{苯}}=148\text{kJ/kmol} \cdot$, $C_{P\text{甲苯}}=175\text{kJ/kmol} \cdot$
 $r_{\text{苯}}=33300\text{kJ/kmol}$, $r_{\text{甲苯}}=39200\text{kJ/kmol}$

$$C_P = C_{P\text{苯}} \cdot x_f + C_{P\text{甲苯}} \cdot (1 - x_f)$$

$$r = r_{\text{苯}} x_f + r_{\text{甲苯}} (1 - x_f)$$

$$q = 1 + \frac{C_P}{r}(t_s - t_f)$$

物料衡算：

$$\begin{cases} D + W = F \\ Dx_D + Wx_w = Fx_f \end{cases}$$

$$\begin{cases} D + W = 10 \\ 0.95D + 0.03W = 0.3 \times 10 \end{cases}$$

得 D

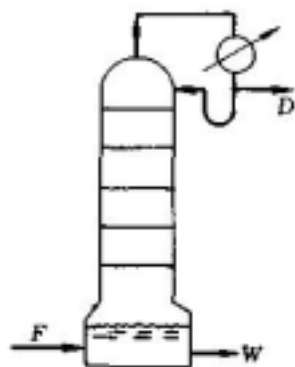
$$V = (R+1)D$$

$$\bar{V} = V - (1 - q)F$$

8. 已知： $x_f=0.1$, $q=0$, $F=10\text{kmol/h}$, $x_D=0.9$, $x_w=0.05$, 塔釜加料

求：(1) V

(2) R , L/V



解题思路：(1) 物料衡算：
$$\begin{cases} D+W=F \\ Dx_D+Wx_w=Fx_f \end{cases}$$

得 D , $V=F$

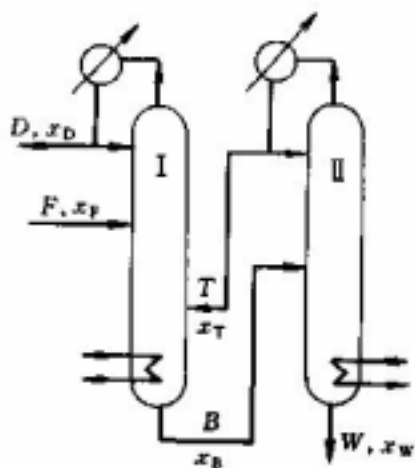
$$(2) V=(R+1)D, R=\frac{V}{D}-1$$

$$\frac{L}{V}=\frac{RD}{(R+1)D}=\frac{R}{R+1}$$

9. 已知： $R_1=R_2=3$, $q_1=q_2=1$, 饱和液体回流。 $x_f=0.6$, $x_D=0.9$, $x_B=0.3$, $x_T=0.5$,
 $F=100\text{kmol/h}$, $\eta_{\text{总}}=0.9$

求：(1) $\bar{V}_2$

(2) 1 塔中段操作线



解题思路：(1) $\eta_{\text{总}}=\frac{Dx_D}{Fx_f}$, 得 D

对 1 塔作物料恒算：

$$\begin{cases} F+T=D+B \\ Fx_f+Tx_T=Dx_D+Bx_B \end{cases}$$

得 T , B

对 2 塔 , $V_2=(R_2+1)T$

$$\bar{V}_2=V_2-(1-q_2)B=V_2$$

(2) 取 1 塔中段第 n 块板至塔顶作物料衡算。

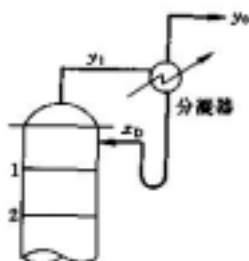
$$Fx_f+V'y_{n+1}=Dx_D+L'x_n$$

$$y_{n+1}=\frac{L'}{V'}x_n+\frac{Dx_D-Fx_f}{V'}$$

$$q_1 = 1 \quad \therefore V' = V = (R_1 + 1)D$$

$$L' = L + qF$$

10. 已知：塔顶产品组成：全凝器时为 x_D ，分凝器时为 y_0 ，
求： $x_D = y_0$ 时，两种情况下的操作线方程。



解题思路：由精馏段一截面与塔顶（包括分凝器在内）作物料衡算。

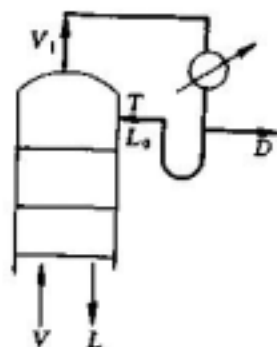
$$Vy = Lx + Dy_0, \text{ 若回流比为 } R$$

$$\text{则 } y = \frac{L}{V}x + \frac{D}{V}y_0 = \frac{R}{R+1}x + \frac{1}{R+1}y_0$$

$$\text{对于全凝器时，精馏段操作线 } y = \frac{R}{R+1}x + \frac{1}{R+1}x_D$$

可知：当选用的回流比一致，且 $x_D = y_0$ 时两种情况的操作线完全一致。
在 $y \sim x$ 图上重合，分凝器相当于一块理论板。

11. 已知：冷回流 $R' = L_0/D$ ，塔内实际回流 $R = L/D$ 。



$$\text{试证：(1) } R = R' \left[\frac{r + c_p(T_s - T)}{r} \right]$$

(2) 操作线方程形式不变

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

解题思路：(1) 对塔顶第一块板作能量衡算

$$L_0 i_0 + V_2 I_2 = L_1 i_1 + V_1 I_1$$

忽略 V_1 与 V_2 的温度变化，则 $I_1 = I_2 = I_0$ 。

又：对该板作物料衡算。

$$V_2 + L_0 = L_1 + V_1$$

将此两式代入能量衡算式，整理可得：

$$L_1 = L_0 \frac{I - i_0}{I - i}$$

若以 0 为焓的基准，则 $I = C_p T_S + r$ ， $i = T_S C_p$ ， $i_0 = T C_p$

(2) 若对精馏段任一截面与塔顶作物料衡算：

$$\begin{cases} V = L + D \\ Vy = Lx + Dx_D \end{cases} \quad R = L/D$$

$$\therefore y = \frac{L}{V}x + \frac{D}{V}x_D = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

12. 已知： $x_f = 0.5$ ， $x_D = 0.96$ ， $x_w = 0.05$ ， $q = 1$ ， $R = 1.2R_{\min}$ ， $\alpha = 2.5$

求：逐板计算法得 N_T ，加料位置。

解题思路： $q = 1$ ， $x_q = x_f = 0.5$

$$y_q = \frac{\alpha x_q}{1 + (\alpha - 1)x_q}$$

$$\frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{x_D - y_q}{x_D - x_q}, \text{得 } R_{\min}$$

$$\therefore R = 1.2R_{\min}$$

精馏段操作线方程：

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

提馏段操作线方程：

$$y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{V}x_m - \frac{Wx_w}{V}$$

$$q = 1 \quad \therefore V' = V = (R+1)D$$

$$L' = L + qF = RD + qF$$

由全塔物料衡算：

$$\begin{cases} F = D + W \\ Fx_f = Dx_D + Wx_w \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F = D + W \\ 0.5F = 0.96D + 0.05W \end{cases}$$

$$\frac{W}{F} = 0.505, \quad \frac{D}{F} = 0.495$$

$$y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{V} x_m - \frac{Wx_w}{V}$$

$$= \frac{R \cdot D / F + q}{(R+1)D / F} x_m - \frac{W / F}{(R+1) \cdot D / F} x_w$$

平衡方程： $y = \frac{2.5x}{1+1.5x}$ 即 $x = \frac{y}{2.5-1.5y}$

自塔顶往下计算： $y_1=x_D=0.96$

$$x_1 = \frac{y_1}{2.5-1.5y_1} = \frac{0.96}{2.5-1.5 \times 0.96} = 0.906$$

$$y_2 = 0.58 \times 0.906 + 0.403 = 0.928$$

计算，当第 m 块板时， $x < x_q = 0.5$ ，为加料板

计算，当第 N 块理论板 $x < x_w = 0.05$

所以，全塔需理论板为 N 块（包括釜）

13. 已知： $F=15\text{kmol/h}$ ， $x_f=0.35$ ， $x_D=0.95$ ， $x_w=0.04$ ， $q=1$ ， $R=1.5$ ，
间接蒸汽加热分离甲醇—水溶液

求：(1) $\bar{V}$ ， η

(2) 图解法 N_T

解题思路：(1) $\eta = \frac{Dx_D}{Fx_f} = \frac{(x_f - x_w)}{(x_D - x_w)} \cdot \frac{x_D}{x_f}$

$$D = F \cdot \frac{x_f - x_w}{x_D - x_w}$$

$$q=1.0,$$

$$\text{塔釜蒸发量 } \bar{V} = V = (R+1)D$$

(2) 按教材附录的平衡数据作出甲醇—水溶液的平衡曲线。

精馏段操作线截距

$$\frac{x_D}{R+1} = \frac{0.95}{1.5+1} = 0.38$$

作图得 N_T (包括釜)，加料板位置为第 m 块理论板。

14. 已知：数据同上题，改用直接饱和蒸汽加热， x_D ， x_W ， R 不变

求：(1) S ， η

(2) 作图计 N_T

解题思路：(1) x_D 、 x_W 不变

$$S = \bar{V} = (R+1)D - (1-q)F = (R+1)D$$

$$\therefore \begin{cases} S + F = D + W \\ Fx_f = Dx_D + Wx_w \end{cases}$$

得 D, W

$$S = \bar{V} = (R+1)D$$

$$\text{回收率 } \eta = \frac{Dx_D}{Fx_f}$$

(2) 改用直接蒸汽加热后精馏段操作线方程没变

$$\text{提馏段} \begin{cases} S + \bar{L} = \bar{V} + W \\ \bar{L}x = \bar{V}y + Wx_w \end{cases}$$

$$S = \bar{V} \quad \bar{L} = W$$

$$\text{得 } y = \frac{W}{S}x - \frac{W}{S}x_w$$

显然 $x=x_w$ 时, $y=0$

作图可得 N_T 块 (包括釜), 加料板位置为第 m 块理论板。

15. 已知: $x_D=0.98$, $x_f=0.60$, $x_w=0.05$, $R=1.5R_{\min}$, $\alpha=2.47$, $q=1$

求: 捷算法 N_T

解题思路: $q=1$, $x_q=x_f=0.6$

$$y_q = \frac{\alpha x_q}{1 + (\alpha - 1)x_q}$$

$$\frac{R_{\min}}{R_{\min+1}} = \frac{x_D - y_q}{x_D - x_q}$$

得 $R_{\min}$, $R = 1.5R_{\min}$, 算 $\frac{R - R_{\min}}{R + 1}$

查吉利兰图得 $\frac{N - N_{\min}}{N + 1}$

$$\text{由芬斯克方程可得: } N_{\min} = \frac{\log\left[\left(\frac{x_D}{1-x_D}\right)\left(\frac{1-x_w}{x_w}\right)\right]}{\log \alpha}$$

可得 N (包括塔釜)

16. 已知: $x_f=0.42$, $q=1$, $x_w=0.02$, $\alpha=2.5$, 塔顶不回流,

求: (1) $x_D=0.6$ 时, N_T

(2) N_T 不限, $x_{D\max}$

解题思路: (1) 该塔为一无回流回收塔, 其操作线即为提馏段操作线

$$y = \frac{\bar{L}}{\bar{V}}x - \frac{W}{\bar{V}}x_w$$

且 $q=1$, $R=0$

$$\therefore \bar{L} = F, \quad \bar{V} = D$$

$$y = \frac{F}{D}x - \frac{W}{D}x_w$$

由全塔物料衡算

$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_w}{x_D - x_w}$$

$$\frac{W}{F} = 1 - \frac{D}{F}$$

$$y_1 = \frac{\alpha x_1}{1 + (\alpha - 1)x_1}$$

逐板计算： $y_1 = x_D = 0.6$

$$x_1 = \frac{y_1}{2.5 - 1.5y_1} = \frac{0.6}{2.5 - 1.5 \times 0.6} = 0.375$$

$$y_2 = 1.45 \times 0.375 - 0.009 = 0.535, \quad x_2 = 0.315$$

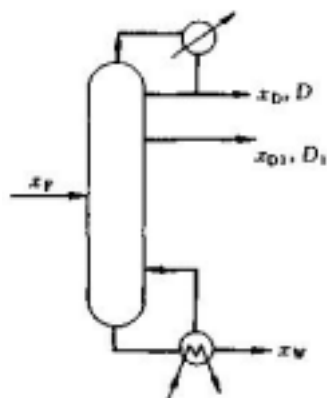
依次反复计算，至 $x_N \leq x_w = 0.02$

(2) 在设计条件下，若板数不限则 $N_T = \infty$ 时，塔顶产物可达 $x_{D\max}$

$$x_{D\max} = \frac{\alpha x_f}{1 + (\alpha - 1)x_f}$$

17. 已知： $x_D = 0.9$, $x_{D1} = 0.7$, $x_f = 0.4$, $x_w = 0.1$, $q = 1.05$, $R = 2$, $\alpha = 2.4$, $D/D_1 = 2$, D_1 为液相。

求： N_T



解题思路：第一段操作线方程：

$$V_1 y = L_1 x + D x_D$$

$$y = \frac{L_1}{V_1} x + \frac{D}{V_1} x_D = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_D}{R+1}$$

第二段操作线方程：

$$V_2 y = L_2 x + D x_D + D_1 x_{D1}$$

$$y = \frac{L_2}{V_2} x + \frac{D x_D + D_1 x_{D1}}{V_2}$$

$$D_1 \text{ 为液相, } V_2 = V_1 = (R+1)D \quad L_2 = L_1 - D_1$$

$$\therefore y = \frac{R - D_1/D}{R+1} x + \frac{x_D + D_1/D \cdot x_{D1}}{R+1}$$

第三段操作线方程：

$$V_3 y + F \cdot x_f = L_3 x + D x_D + D_1 x_{D1}$$

$$y = \frac{L_3}{V_3} x + \frac{D x_D + D_1 x_{D1} - F x_f}{V_3}$$

$$q=1.05$$

$$L_3 = L_2 + qF = 2D - D_1 + 1.05F$$

$$V_3 = V_2 - (1-q)F = 3D + 0.05F$$

作全塔物料衡算：

$$\begin{cases} F = D + D_1 + W \\ F x_f = D x_D + D_1 x_{D1} + W x_w \\ D/D_1 = 2 \end{cases}$$

得 D_1/F , D/F , 操作线方程

$$q \text{ 线方程: } y = \frac{q}{q-1} x - \frac{x_f}{q-1}$$

联立得交点

$$\text{由塔顶 } y_1 = x_D = 0.9, \quad x_1 = \frac{y_1}{2.4 - 1.4 y_1} = \frac{0.9}{2.4 - 1.4 \times 0.9} = 0.789$$

$$y_2 = 0.667 \times 0.789 + 0.3 = 0.826$$

依次计算

$$x_2 < x_{D1} = 0.7$$

换第二段操作线计算, 至 $x_9 < x = 0.411$

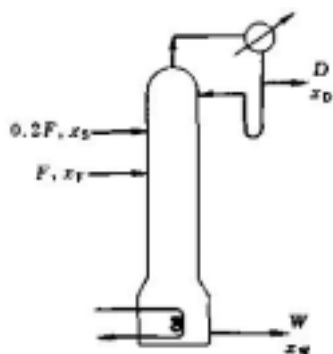
换第三段操作线计算, 至 $x_N < x = 0.1$

得 N_T (包括釜)

18. 已知: $x_D = 0.98$, $x_s = 0.56$, $x_f = 0.35$, $x_w = 0.02$, $\alpha = 2.4$, $S = 0.2F$, $q_f = q_s = 1$

求: (1) η

(2) $R_{\min}$



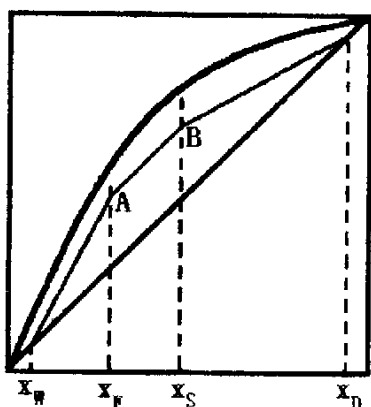
解题思路：(1) 作全塔物料衡算：

$$\begin{cases} S + F = D + W \\ S \cdot x_s + F \cdot x_f = Dx_D + Wx_w \\ S = 0.2F \end{cases}$$

解得 D/F

$$\eta = \frac{Dx_D}{Sx_s + Fx_f}$$

两段加料，全塔有三段操作线，如图示。



在最小回流比下，可能出现的有 A 点或 B 点成为挟点。

(i) 当 A 点挟紧时， $q_f=1$

$$x_A = x_f = 0.35$$

$$y_A = \frac{\alpha x_A}{1 + (\alpha - 1)x_A}$$

$$\frac{L''}{V''} = \frac{y_A - x_w}{x_A - x_w}$$

$$q_s=1 \quad L'' = L' + F = L + S + F = RD + 1.2F$$

$$V'' = V' = V = (R+1)D$$

$$\therefore \frac{R_{\min} D + 1.2F}{(R_{\min} + 1)D} = \frac{y_A - x_w}{x_A - x_w}$$

得 $R_{\min A}$

(ii) 当 B 点挟紧时, $q_s=1$

$$x_B=x_S=0.56$$

$$y_B = \frac{\alpha x_B}{1 + (\alpha - 1)x_B}$$

$$\frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{x_D - y_B}{x_D - x_B}$$

得 $R_{\min B}$

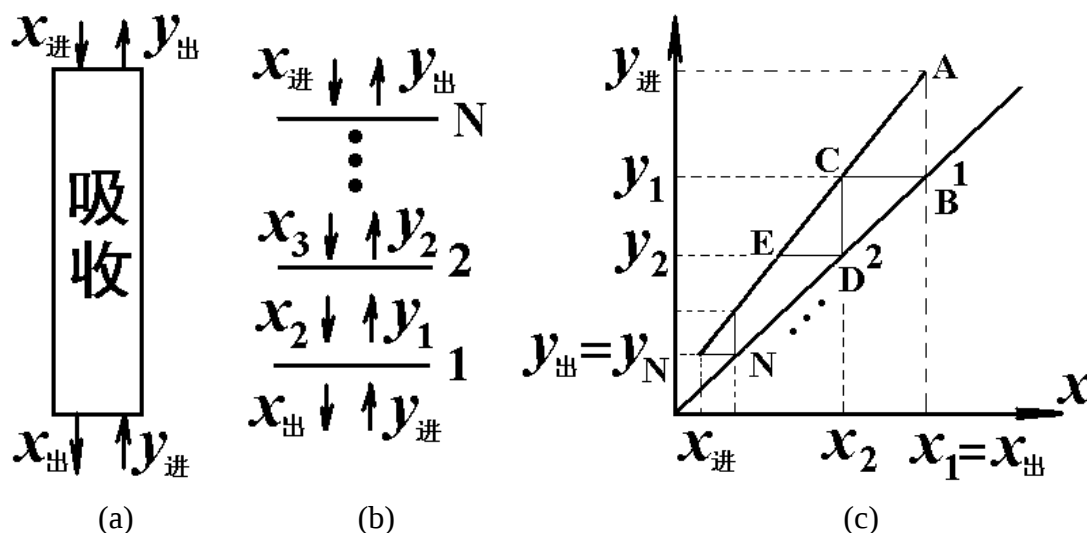
比较 $R_{\min A}$ 与 $R_{\min B}$, 取大者

第 09 章 05 讲:

19. 逆流吸收, 物系相平衡服从 $y=mx$, 证明 $N_T = \frac{1 - \frac{mG}{L}}{\ln \frac{L}{mG}} N_{OG}$

解题思路: 如(a)图所示的吸收过程, 由式(8-84)可得

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{mG}{L}} \ln \left[\left(1 - \frac{mG}{L} \right) \frac{y_{\text{进}} - mx_{\text{进}}}{y_{\text{出}} - mx_{\text{进}}} + \frac{mG}{L} \right] \quad (1)$$



按照理论板的概念, 如图(b)所示。 $y_{\text{出}}=y_N$, $x_{\text{出}}=x_1$ 。图(c)中画出了操作线与平衡线, 以及梯级三角形。 $\triangle ABC$ 与 $\triangle CDE$ 为相似三角形。线 AB 比线 BC 等于 L/G , 即操作线的斜率; 线 CD 比线 BC 等于 m , 即平衡线的斜率。相似三角形的相似比就是线 AB 与线 CD 之比, 等于 $L/mG=A$ 。这样,

$$y_{\text{进}} - mx_{\text{进}} = (y_{\text{进}} - y_1) + (y_1 - y_2) + (y_2 - y_3) + \dots + (y_{N-1} - y_N) + (y_N - mx_{\text{进}})$$

$$= [1 + \frac{1}{A} + \frac{1}{A^2} + \frac{1}{A^3} + \dots + \frac{1}{A^N}] (y_{\text{进}} - y_1)$$

$$= [1 + \frac{1}{A} + \frac{1}{A^2} + \frac{1}{A^3} + \dots + \frac{1}{A^N}] (y_N - mx_{\text{进}}) A^N$$

或 $\frac{y_{\text{进}} - mx_{\text{进}}}{y_{\text{出}} - mx_{\text{进}}} = 1 + A^2 + A^3 + \dots + A^N = \frac{A^{N+1} - 1}{A - 1} = \frac{A^N - \frac{1}{A}}{1 - \frac{1}{A}}$

20. 已知： $N_T=5$, $x_f=0.5$, $q=1$, $m=3$ (第三块加料), $R=3$, $D/F=0.44$, $\alpha=2.47$
求： x_D , x_W

解题思路： $\frac{D}{F} = \frac{x_f - x_w}{x_D - x_w}$

$$x_D = \frac{x_f - x_w}{D/F} + x_w$$

先设 $x_w=0.194$, 则

$$x_D = \frac{0.5 - 0.194}{0.44} + 0.194 = 0.889$$

精馏段操作线方程：

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1} = \frac{3}{3+1}x + \frac{0.889}{3+1} = 0.75x + 0.222$$

提馏段操作线方程：

$$y = \frac{\bar{L}}{\bar{V}}x - \frac{W}{\bar{V}}x_w$$

$$q=1 \quad \therefore \bar{L} = L + qF = RD + F \quad \bar{V} = V = (R+1)D$$

$$\therefore y = \frac{R+F/D}{R+1}x - \frac{F/D-1}{R+1}x_w$$

$$= \frac{3+1/0.44}{3+1}x - \frac{1/0.44-1}{3+1} \times 0.194 = 1.32x - 0.0617$$

平衡线方程：

$$x = \frac{y}{\alpha - (\alpha - 1)y} = \frac{y}{2.47 - 1.47y}$$

自塔顶逐板计算： $y_1=x_D=0.889$

$$x_1 = \frac{y_1}{2.47 - 1.47y_1} = \frac{0.889}{2.47 - 1.47 \times 0.889} = 0.764$$

$$y_2 = 0.75 \times 0.764 + 0.222 = 0.795$$

由计算结果验证 x_w 。

21. 已知：将上题的加料板位置上移一块，即：m=2

求： x_D, x_w

解题思路：先设 $x_w=0.207$

$$\therefore x_D = \frac{0.5-0.207}{0.44} + 0.207 = 0.873$$

精馏段操作线方程：

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1} = \frac{3}{3+1}x + \frac{0.873}{3+1} = 0.75x + 0.218$$

提馏段操作线方程：

$$\begin{aligned} y &= \frac{R+F/D}{R+1}x - \frac{F/D-1}{R+1}x_w \\ &= \frac{3+1/0.44}{3+1}x - \frac{1/0.44-1}{3+1} \times 0.207 = 1.32x - 0.0659 \end{aligned}$$

相平衡方程：

$$x = \frac{y}{2.47-1.47y}$$

自塔顶逐板计算，由计算结果验证 x_w 。

22. 已知： $N_T=3, x_f=0.002, q=0, R=4, y=6.4x$ ，塔釜进料

求： x_D, x_w

$$\text{解题思路： } N_T = \frac{1}{\ln \frac{1}{A}} \ln \left[(1-A) \frac{x_D - \frac{y_{N+1}}{K}}{x_w - \frac{y_{N+1}}{K}} + A \right]$$

$$\frac{1}{A} = \frac{KV}{L} = \frac{(R+1)K}{R}$$

$q=0$ ，塔釜进料 $y_{N+1}=x_f=0.002$

获得 x_D 与 x_w 的关系

又有该塔仅有精馏段，其操作线方程

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1} = \frac{4}{4+1}x + \frac{x_D}{4+1} = 0.8x + 0.2x_D$$

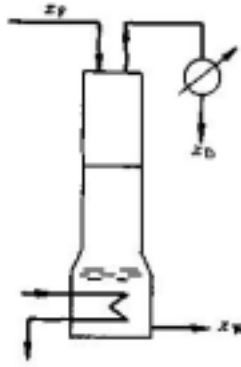
$$y = x_f = 0.0002 \text{ 时, } x = x_w$$

$$\therefore 0.002 = 0.8x_w + 0.2x_D$$

将上两式联立可解得 x_D, x_w 。

23. 已知： $N_{\text{实}}=1, q=1$ ，塔顶加入 $x_f=0.2, \eta=80\%, x_D=0.28, \alpha=2.5, R=0$

求： x_w, E_{mV}



解题思路： $\eta = \frac{Dx_D}{Fx_f}$ ，可得 D/F ， W/F

$$\text{全塔物料衡算} \quad \begin{cases} F = D + W \\ Fx_f = Dx_D + Wx_w \end{cases}$$

可得 x_w

$$E_{mV} = \frac{y_1 - y_2}{y_1^* - y_2}$$

塔釜相当于一块理论板

$$\therefore y_2 = y_w = \frac{\alpha x_w}{1 + (\alpha - 1)x_w}$$

又 $y_1 = x_D = 0.28$

取塔顶与第一块塔板之间作控制体

得衡算式 $Vy_2 + Fx_f = Lx_1 + Dx_D$

由恒摩尔流得 $F=L$ ， $D=V$

$$\therefore \frac{D}{F}y_2 + x_f - \frac{D}{F}x_D = x_1$$

$$\therefore y_1^* = \frac{\alpha x_1}{1 + (\alpha - 1)x_1}$$

$$\therefore E_{mV} = \frac{y_1 - y_2}{y_1^* - y_2}$$

24. 已知： $x_f=0.5$ ， $q=1$ ， $\alpha=2$ ， $D/F=0.6$ ， $N_T=\infty$

求：(1) $R=0.8$ ， x_D ， x_w

(2) $R=1.5$ ，绘操作线示意图

解题思路：(1) $N_T=\infty$ ，设 y_q ， x_q 达相平衡，则 $R=R_{\min}=0.8$

$q=1$ ， $x_q=x_f=0.5$

$$\therefore y_q = \frac{\alpha x_q}{1 + (\alpha - 1)x_q}$$

由 $\frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{x_D - y_q}{x_D - x_q}$, 得 x_D

验物料衡算

$$x_w = \frac{x_f - \frac{D}{F} x_D}{1 - \frac{D}{F}} \text{ 是否 } > 0$$

(2) 仍为 y_q, x_q 达平衡, 则

$$\frac{1.5}{1.5+1} = \frac{x_D - 0.667}{x_D - 0.5}$$

$$\therefore x_D = 0.917$$

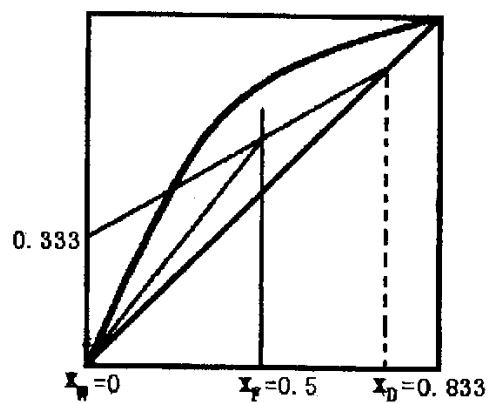
验物料衡算

$$x_w = \frac{x_f - \frac{D}{F} x_D}{1 - \frac{D}{F}} = \frac{0.5 - 0.6 \times 0.917}{1 - 0.6} = -0.05 < 0$$

原假设不成立, 而显然在 $x_w=0$ 处相平衡

$$\therefore x_w = 0 \quad x_D = \frac{F x_f}{D} = \frac{0.5}{0.6} = 0.833$$

精馏段操作线截距 $\frac{x_D}{R+1}$



全塔操作线如图示。

解题思路：

1. 已知：常压苯—甲苯系统， $R=\infty$ ， $x_9=0.652$ ， $x_{10}=0.489$

求：第十块板默弗里湿板效率 E_{MV}

$$\text{解题思路： } E_{MV} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} = \frac{y_{10} - y_{11}}{y_{10}^* - y_{11}}$$

全回流下，表观操作线方程 $y_{n+1}=x_n$

$$y_{11}=x_{10}=0.489 \quad y_{10}=x_9=0.653$$

$$y_{10}^* = \frac{\alpha x_{10}}{1 + (\alpha - 1)x_{10}}$$

苯—甲苯系统 $\alpha=2.48$

2. 已知：常压，甲醇—水系统， $x_f=0.4$ ， $x_D=0.9$ ， $x_w=0.05$ ，

求：用 O'Connell 关联图估计 E_T

解题思路：由教材附录相平衡数据查得：

$$t_{\text{底}}=93 \quad t_{\text{顶}}=67.8$$

$$t_m = (t_{\text{底}} + t_{\text{顶}})/2 = (93 + 67.8)/2 = 80.4$$

再查 $t=80$ 时，汽液共存

$$y=0.650 \quad x=0.241$$

$$\therefore \alpha = \frac{y}{1-y} \cdot \frac{1-x}{x}$$

$t=80.4$ 时， $\mu_{\text{水}}=0.356\text{mPa} \cdot \text{s}$ ， $\mu_{\text{甲}}=0.275\text{mPa} \cdot \text{s}$

$$\mu_L = \sum_{i=1}^n x_i \mu_i = 0.4 \times 0.275 + 0.6 \times 0.356 = 0.324\text{mPa} \cdot \text{s}$$

算 $\alpha\mu_L$

查 O'Connell 关联图得 E_T

3. 已知： $y_{\text{进}}=0.02$ ， $y_{\text{出}}=2 \times 10^{-5}$ ， $E_{mv}=0.5$ ， $m=0$

求： $N_{\text{实}}$

解题思路： $m=0$ $y_n^*=0$

$$\text{每板 } E_{mv} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} = 1 - \frac{y_n}{y_{n+1}}$$

N 块板逐推得 $y_{\text{出}} = y_{\text{进}}(1 - E_{mv})^N$

$$\therefore N_{\text{实}} = \frac{\ln(\frac{y_{\text{出}}}{y_{\text{进}}})}{\ln(1 - E_{mv})}$$

5. 已知： $R=\infty$ ， $x_D=8.05 \times 10^{-3}$ ， $x_w=8.65 \times 10^{-4}$ ， $H=8\text{m}$ ， $\alpha=1.10$

求：HETP

解题思路：由芬斯克方程得

$$N_{\min} = \frac{\log\left[\frac{x_D}{1-x_D} \cdot \frac{1-x_w}{x_w}\right]}{\log \alpha} \text{ (包括釜)}$$

不包括釜 $N_T = N_{\min} - 1$

$$\therefore \text{理论当量高度 } HETP = \frac{H}{N_T}$$

解题思路：

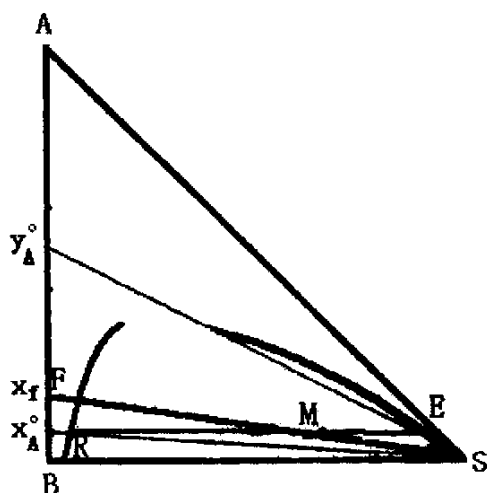
1. 已知： $x_f=15\%$ ， $F=30\text{kg}$ ， $S=60\text{kg}$ ，单级萃取，
在 25 下，水(B)—醋酸(A)—乙醚(S)系统平衡数据如下表

水层			乙醚层		
水	醋酸	乙醚	水	醋酸	乙醚
0.933	0	0.067	0.023	0	0.977
0.88	0.051	0.069	0.036	0.038	0.926
0.84	0.088	0.072	0.050	0.073	0.877
0.782	0.138	0.080	0.072	0.125	0.803
0.721	0.184	0.095	0.104	0.181	0.715
0.65	0.231	0.119	0.151	0.236	0.613
0.557	0.279	0.164	0.236	0.287	0.477

求：(1) E ， R ， x ， y

(2) k_A ， β

解题思路：



(1) 由 $\frac{\overline{MS}}{\overline{FS}} = \frac{F}{M} = \frac{F}{F+S} = \frac{30}{30+60} = \frac{1}{3}$ 得图中 M 点

用内插法过 M 点作一条平衡联结线，得平衡时 R 、 E 相由图中读得各组组成

$$x_A = 0.06 \quad y_A = 0.046 \quad \text{且量得 } \overline{RE} = 8.35\text{cm}$$

$$\overline{RM} = 5.95\text{cm}$$

$$\text{根据杠杆定律 } E = M \frac{\overline{RM}}{\overline{RE}}$$

$$R = M - E$$

$$(2) \quad k_A = \frac{y_A}{x_A}$$

从图中读得 y_A^0 x_A^0

$$\beta = \frac{y_A^0}{1 - y_A^0} \bigg/ \frac{x_A^0}{1 - x_A^0}$$

2. 已知：如图示 X_f $F=100\text{kg}$, $S=80\text{kg}$

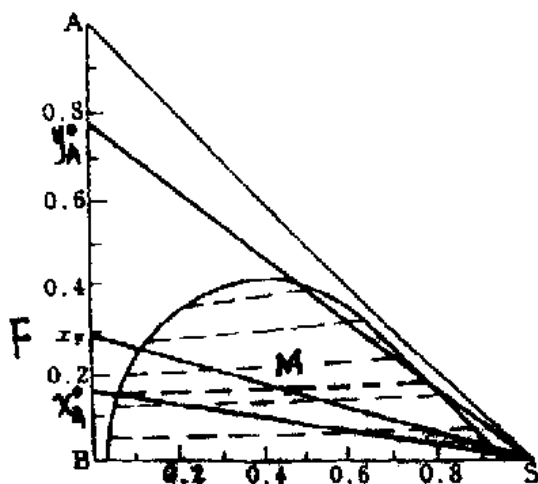
求：(1) E , R , y_A , x_A

(2) E^0 , R^0 , y_A^0 , x_A^0

解题思路：

(1) 由 $\frac{\overline{FM}}{\overline{FS}} = \frac{S}{M} = \frac{80}{100+80} = 0.44$

量 $\overline{FS} = 4.6\text{cm}$, $\therefore \overline{FM} = 4.6 \times 0.44 = 2.04\text{cm}$ 得 M 点



用内插法过 M 点作一条平衡联结线得平衡时 R 、 E 相，从图中读得

x_A , y_A

$$E = M \cdot \frac{\overline{RM}}{\overline{RE}}$$

$$R = M - E$$

(2) 从图中读得 $x_f=0.29$, $x_A^0=0.16$, $y_A^0=0.77$

物料衡算式 $F = E^0 + R^0$
 $Fx_f = E^0 y_A^0 + R^0 x_A^0$

解得 E^0 , R^0

3. 已知： $F=100\text{kg}$, $t=25$, $x_f=0.2$, $x_A=0.1$,

醋酸(A)—水(B)—乙醚系统平衡关系：

$$y_A = 1.356x_A^{1.201}$$

$$y_S = 1.618 - 0.6399e^{1.96y_A}$$

$$x_S = 0.067 + 1.43x_A^{2.273}$$

求：(1) R 、 E 及组成

(2) S

解题思路：(1) $x_A=0.1$

$$y_A = 1.356x_A^{1.201} = 1.356 \times 0.1^{1.201} = 0.0854$$

$$y_S = 1.618 - 0.6399e^{1.96y_A} = 1.618 - 0.6399e^{1.96 \times 0.0854} = 0.862$$

$$y_B = 1 - y_A - y_S = 1 - 0.0854 - 0.862 = 0.0526$$

$$x_S = 0.067 + 1.430 \times 0.1^{2.273} = 0.0746$$

$$x_B = 1 - x_A - x_S = 1 - 0.1 - 0.0746 = 0.825$$

$$\text{由物料衡算式} \begin{cases} S + F = R + E \\ Fx_f = Rx_A + Ey_A \\ S = Rx_S + Ey_S \end{cases}$$

联立解出 R, E

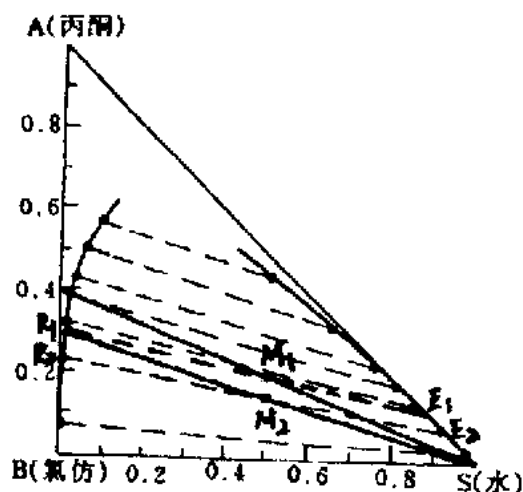
$$(2) S = E + R - F$$

4. 已知：丙酮(A)—氯仿(B)—水(S)系统， $t=25^\circ\text{C}$ ，两级错流， $x_f=0.4$ ，

$$\frac{S}{F} = \frac{S'}{R_1} = 1:1$$

求： x_{A2}

解题思路：



作该系统相图

连 $\overline{FS}$ ，取 M_1 点使 $\overline{FM_1} = \overline{M_1S}$ ($S = F$)，用内插法过 M_1 点作一条平衡联结线，得 E_1, R_1

连 $\overline{R_1S}$ ，取 M_2 点使 $\overline{R_1M_2} = \overline{M_2S}$ ($S' = R_1$)，用内插法过 M_2 点作一条平衡联结线，得 E_2, R_2

读萃余相 x_{A2}

解题思路：

1. 已知：F=100kg， $w_1=29.9\%$ ，结晶盐为 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ， $t=20$ ， $w_3=0.176$ ， $W=2\text{kg}$

求：m

解题思路：

$$M_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 142 \quad M_{\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}} = 322$$

$$w_2 = \frac{142}{322} = 0.441$$

$$Fw_1 = mw_2 + (F - W - m)w_3$$

得m

2. 已知：F=100kg， $w_1=0.377$ ， $W=3.5\text{kg}$ ，绝热蒸发，结晶温度 $t_3=20$ ，结晶盐不含结晶水， $w_3=0.233$ ， $r_{\text{结晶}}=68\text{kJ/kg}$ ， $C_p=2.9\text{kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ ， $r_{\text{水}}=2446\text{kJ/kg}$

求：进料温度 t_1

解题思路：绝热蒸发即 $Q=0$ ，无结晶水即 $w_2=1$

物料衡算式 $Fw_1 = mw_2 + (F - W - m)w_3$

得 m

热量衡算式 $Wr_{\text{水}} = mr_{\text{结晶}} + FC_p(t_1 - t_3)$

得 t_1

3. 已知：BET 法测比表面，-195 不同 N_2 分压下硅胶的 N_2 平衡吸附量如下：

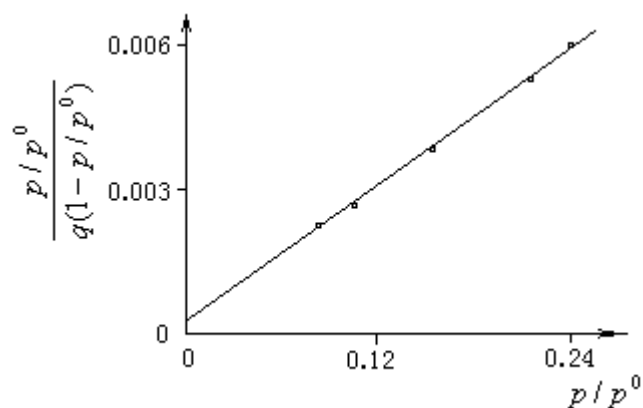
p/kPa	9.13	11.59	17.07	23.89	26.71
x/mg/g	40.14	43.60	47.20	51.96	52.76
$p^0=111.0\text{kPa}$	$A_0=15.4\text{nm}^2$				

求：a

解：以 BET 方程求解。

以 $\frac{p/p^0}{x(1-p/p^0)}$ 对 p/p^0 作图，相应数值如下：

p/p^0	0.08225	0.1044	0.1538	0.2152	0.2406
$\frac{p/p^0}{x(1-p/p^0)}$	0.002233	0.002674	0.003851	0.005277	0.006005



作图得斜率 $B=0.02373$

截距 $A=2.284 \times 10^{-4} \text{ g/mg}$

$$\text{则 } x_m = \frac{1}{A+B}$$

$$\text{比表面 } a = \frac{N_0 A_0 x_m}{M}$$

4. 已知: $t=20$, $D=0.2\text{m}$, $L=0.6\text{m}$, $x = \frac{104c}{1+417c}$, (x —kg 丙酮/kg 活性炭 ,
 c —kg 丙酮/ m^3 气) $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$, $c_2=0$, $c_1=0.01\text{kg 丙酮/m}^3$,
 $\rho_B=600\text{kg/m}^3$, $K_{fAB}=10 \text{ l/s}$, $q_v=30\text{m}^3/\text{h}$

求: τ_B

解题思路:

$$x_1 = \frac{104c_1}{1+417c_1}$$

$$x_2 = 0 \quad \text{得 } c_2 = 0$$

$$\text{操作线方程 } x = x_2 + \frac{x_1 - x_2}{c_1 - c_2} (c - c_2)$$

$$c_B = 0.05c_1 = 0.05 \times 0.01 = 0.0005\text{kg/m}^3$$

$$c_S = 0.95c_1 = 0.95 \times 0.01 = 0.0095\text{kg/m}^3$$

$$x = \frac{104c_e}{1+417c_e} = 20C \quad \text{得 } c - c_e = c - \frac{20c}{104-8340c}$$

$$N_{of} = \int_{c_B}^{c_S} \frac{dc}{c - c_e} = \int_{0.0005}^{0.0095} \frac{dc}{c - \frac{20c}{104-8340c}}$$

$$u=\frac{q_v}{\frac{\pi}{4}D^2}$$

$$H_{of}=\frac{u}{K_f a_B}$$

$$L_0=H_{of}\cdot N_{of}$$

$$\tau_B=\frac{(x_1-x_2)\rho_B}{(c_1-c_2)u}(L-0.5L_0)$$

解题思路：

1. 已知： $t=30$ ， $P=2\text{kPa}$ ，与三种状态水接触，

水温 θ	50	30	18	10
传热方向	气 水	气 水	气 水	气 水
传质方向	气 水	气 水	气 水	气 水

求：传热、传质方向（用箭头表示）

解题思路：查水的饱和蒸汽压

50	$P_s=12.3\text{kPa}$	30	$P_s=4.25\text{kPa}$
18	$P_s=2.08\text{kPa}$	10	$P_s=1.23\text{kPa}$

以 Δt 为传热条件， $\Delta P_{\text{H}_2\text{O}}$ 为传质条件确定传热、传质方向

2. 已知： $P=101.3\text{kPa}$ ， $t_1=25$ ， $t_{w1}=20$ ， $\theta=40$ ， $Z=\infty$ 逆流接触。

求：(1) 大量空气，少量水， θ_1

(2) 大量水，少量空气， t_2 ， H_2

解题思路：(1) 大量空气处理少量水的极限温度 θ_1 为空气的湿球温度

$$\theta_1 = t_{w1}$$

(2) 大量水处理少量空气的极限温度 t_2 为水的温度

$$t_2 = \theta_2 = 40, \text{ 且湿度为 } H_s$$

查 40 下， $P_s=7.38\text{kPa}$

$$\therefore H = H_s = 0.622 \frac{P_s}{P - P_s}$$

3. 已知： $P=320\text{kPa}$ ， $t=30$ ， $t_w=24$ ，氢气—水系统， $\alpha/k_H=17.4\text{KJ/Kg}$ 。

求： H (kg 水/kg 干氢气)

解题思路：查得 24 下， $P_s=3.0\text{kPa}$ ， $r_w=2436.4\text{KJ/Kg}$

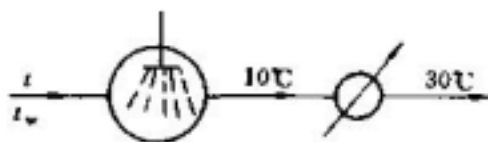
$$H_w = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2}} \cdot \frac{p_w}{P - p_w}$$

$$H = H_w - \frac{\alpha(t - t_w)}{k_H \cdot r_w}$$

4. 已知： $P=101.3\text{kPa}$ ， $t_1=30$ ， $t_{w1}=28$ ， $t_2=10$ ， $t_{d2}=10$ ，

求：(1) 析出的水分 W (kg 水/kg 干气)

(2) $t_3=30$ ，求 t_{w3}



解题思路：(1) 查水的饱和蒸汽压

28 $p_s=3.82\text{kPa}$ $r=2434.8\text{kJ/kg}$

10 $p_s=1.23\text{kPa}$

$$H_w = 0.622 \frac{p_w}{P - p_w}$$

$$H_1 = H_w - \frac{1.09}{r_w}(t_1 - t_{w1})$$

$$H_2 = H_{s2} = 0.622 \frac{p_s}{P - p_s}$$

$$\therefore W = H_1 - H_2$$

(2) $H_3 = H_2 = 0.0076 \text{ kg 水/kg 干气}$

设 $t_{w3} = 18$, 查得 $P_{w3} = 2.08 \text{ kPa}$, $r_{w3} = 2451 \text{ kJ/kg}$

$$H_{w3} = 0.622 \frac{P_{w3}}{P - P_{w3}}$$

$$t_{w3} = t_3 - \frac{r_w}{1.09}(H_{w3} - H_3)$$

验 t_{w3}

解题思路：

1. 已知： $t_1=27$, $t_{d1}=22$, $t_2=80$,

求： ϕ_1 , ϕ_2

解题思路：查水的饱和蒸汽压

22	2.668kPa
27	3.6kPa
80	47.38kPa

$$\phi_1 = \frac{P_d}{P_{s1}}$$

$$\phi_2 = \frac{P_d}{P_{s2}}$$

$$\phi \text{变化} : \frac{\phi_1 - \phi_2}{\phi_1}$$

2. 已知： $t_1=65$, $t_{w1}=40$, $t_2=25$, $P=101.3\text{kPa}$

求： $W_{\text{水}}$, Q

解题思路：查水的饱和蒸汽压

40	7.375kPa	$r_w=2401\text{kJ/kg}$
25	3.168kPa	

$$H_w = 0.622 \frac{P_w}{P - p_w}$$

$$H_1 = H_w - \frac{1.09}{r_w} (t_1 - t_{w1})$$

$$H_2 = H_{s2} = 0.622 \frac{P_s}{P - p_s}$$

$$W_{\text{水}} = H_1 - H_2$$

$$I_1 = (1.01 + 1.88H_1)t_1 + 2500H_1$$

$$I_2 = (1.01 + 1.88H_2)t_2 + 2500H_2$$

$$Q = I_1 - I_2$$

3. 已知： $P=100\text{kPa}$

求：用焓——湿度图填充下表。

解题思路：查焓——湿度图

干球温度	湿球温度	湿度 kg 水/kg 干空气	相对湿度	热焓 kJ/kg 干空气	水汽分压 kPa	露点

80	40	0.0319	11.0	165	4.8	32.5
60	35	0.026	20	125	4.1	29
40	28	0.020	43	95	3.2	25
57	33	0.024	21	120	3.7	28
50	30	0.0196	25	98	3.0	23

4. 已知： $t_1=80$, $H_1=0.01\text{kg 水/kg 干气}$, $W_{\text{水}}=0.1\text{kg/S}$, $\theta=30$,
 $V_{\text{干}}=10\text{kg 干气/S}$, 忽略热损失

求：(1) ΔI

(2) t_2

(3) 忽略 ΔI , t_2

解题思路：(1) 喷水后气体增加的焓即液体所带入的焓

$$\Delta I = W_{\text{水}} c_p \theta / V_{\text{干}} = 0.1 \times 4.18 \times 30 / 10 = 1.25 \text{kJ / kg 干气}$$

(2) $I_1 + \Delta I = I_2$

$$H_2 = H_1 + \frac{W}{V_{\text{干}}} = 0.01 + \frac{0.1}{10} = 0.02 \text{kg 水 / kg 干气}$$

$$\therefore (1.01 + 1.88 H_1) t_1 + 2500 H_1 + \Delta I = (1.01 + 1.88 H_2) t_2 + 2500 H_2$$

$$\therefore t_2 = \frac{(1.01 + 1.88 H_1) t_1 + 2500 (H_1 - H_2) + \Delta I}{1.01 + 1.88 H_2}$$

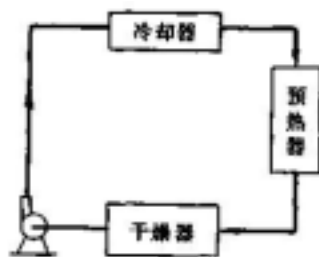
(3) 若忽略 ΔI , 则 $I_1 = I_2$

$$t_2 = \frac{(1.01 + 1.88 H_1) t_1 + 2500 (H_1 - H_2)}{1.01 + 1.88 H_2}$$

5. 已知： $t_1=30$, $t_{d1}=20$, $V_{\text{湿}}=1000\text{m}^3/\text{h}$, $W=2.5\text{kg/h}$, $t_3=60$, $P=101.3\text{kPa}$

求：(1) t_2 , H_2

(2) φ_3



解题思路：(1) 查水的饱和蒸汽压 , 20 时 $P_d=2.338\text{kPa}$

$$H_1 = 0.622 \frac{P_d}{P - P_d}$$

$$v_{H1} = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} H_1)(t + 273)$$

$$\therefore V_{\text{干}} = \frac{V_{\text{湿}}}{V_H}$$

$$H_2 = H_1 - \frac{W_{\text{水}}}{V_{\text{干}}}$$

$$t_{d2}=t_2$$

$$\therefore H_2 = 0.622 \frac{p_{s2}}{P - p_{s2}}$$

得 p_{s2}

查对应的饱和温度 t_2

(2) 查 60 , $p_{s3}=19.91\text{kPa}$

$$\therefore \varphi_3 = \frac{p_{s2}}{p_{s3}}$$

6. 已知： $P=101.3\text{kPa}$, $t=25$, $\varphi=100\%$, $X_1^*=0.02\text{kg 水/kg 干料}$

$\varphi=40\%$, $X_2^*=0.007\text{kg 水/kg 干料}$, $X=0.25$, 空气 25 , $\varphi=40\%$

求：自由含水量，结合水量，非结合水量

解题思路：自由含水量 $=X-X_2^*$

结合水量 $=X_1^*$

非结合水量 $=X-X_1^*$

7. 已知： $N_{\text{恒}}=1.1\text{kg 水/m}^2 \cdot \text{h}$, $G_C=1000\text{kg}$, $A=55\text{m}^2$, $X_1=0.15\text{kg 水/kg 干料}$, $X_2=0.005\text{kg 水/kg 干料}$, $X^*=0$, $X_C=0.125\text{kg 水/kg 干料}$,

求： τ

解题思路： $X_1 > X_C > X_2$

干燥过程分恒速阶段与降速阶段两部分

$$\therefore \tau = \tau_{\text{恒}} + \tau_{\text{降}}$$

$$= \frac{G_C}{AN_{\text{恒}}} [(X_1 - X_C) + X_C \ln \frac{X_C}{X_2}]$$

8. 已知：浅盘 $n=50$ 只，盘底面积 $70 \times 70\text{cm}$ ，厚度 $h=0.02\text{m}$ ， $\rho_{\text{湿}}=1600\text{kg/m}^3$ ， $X_1=0.5\text{kg 水/kg 干料}$ ， $X_2=0.005\text{kg 水/kg 干料}$ ， $X^*=0$ ， $X_C=0.3\text{kg 水/kg 干料}$

干燥条件：平行流过 $u=2\text{m/s}$ ， $t=77$ ， $\varphi=10\%$ ， $N_{\text{降}} (X-X^*)$

求： τ

解题思路：以一只盘为基准进行计算

$$G=A \cdot h \cdot \rho_{\text{湿}}=0.7 \times 0.7 \times 0.02 \times 1600=15.68\text{kg}$$

$$G_C = \frac{G}{1 + X_1}$$

查焓—湿图， $t=77$ ， $\varphi=10\%$ 时， H

$$t_w=38 \quad , \quad r_w=2411\text{kJ/kg}$$

$$\therefore v_H = (2.83 \times 10^{-3} + 4.56 \times 10^{-3} H)(t + 273)$$

$$\text{湿空气的密度 } \rho = \frac{1+H}{v_H}$$

湿空气的质量流速

$$G' = \rho u$$

$$\alpha = 0.0143(G')^{0.8}$$

$$N_{\text{恒}} = \frac{\alpha}{r_w}(t - t_w)$$

$$\therefore \tau_{\text{恒}} = \frac{G_C}{A} \cdot \frac{X_1 - X_C}{N_A}$$

$$\tau_{\text{降}} = \frac{G_C}{A} \cdot \frac{X_C}{N_{\text{恒}}} \ln \frac{X_C}{X_2}$$

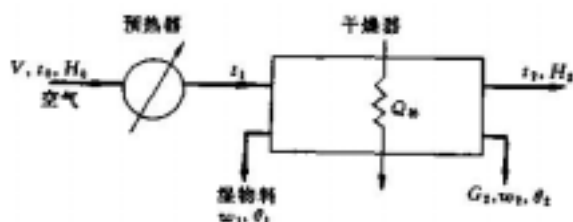
$$\therefore \tau = \tau_{\text{恒}} + \tau_{\text{降}}$$

9. 已知： $t_0=20$, $H_0=0.01\text{kg/kg}$ 干气, $t_1=120$, $t_2=70$, $H_2=0.05\text{kg/kg}$ 干气,
 $\theta_1=30$, $w_1=20\%$, $\theta_2=50$, $w_2=5\%$, $c_{ps}=1.5\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, $G_2=53.5\text{kg/h}$,
 $Q_{\text{损}}=0$

求：(1) $V_{\text{空}}$

(2) Q_P

(3) Q_D



$$\text{解题思路：(1) } X_1 = \frac{w_1}{1-w_1}$$

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

$$G_C = G_2(1 - x_2)$$

$$W = G_C(X_1 - X_2)$$

$$V_{\text{空}} = \frac{W}{H_2 - H_1} = \frac{W}{H_2 - H_0}$$

$$(2) \quad I_1 = (1.01 + 1.88H_1)t_1 + 2500H_1$$

$$I_0 = (1.01 + 1.88H_0)t_0 + 2500H_0$$

$$Q_P = V_{\text{空}}(I_1 - I_0)$$

$$(3) \quad I_2 = (1.01 + 1.88H_2)t_2 + 2500H_2$$

$$i_2 = (c_{ps} + c_{pL}X_2)\theta_2$$

$$i_1 = (c_{ps} + c_{pL}X_1)\theta_1$$

$$Q_D = V_{\text{空}}(I_2 - I_1) + G_C(i_2 - i_1)$$

10. 已知: $P=100\text{kPa}$, $w_1=0.5$, $w_2=0.01$, $G=20\text{kg/s}$, $t_0=25$,

$H_0=0.005\text{kg 水/kg 干气}$, $t_2=50$, $\varphi_2=60\%$, 理想干燥器

求: (1) V

(2) t_1

(3) η

解题思路: (1) $X_1 = \frac{w_1}{1-w_1}$

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

$$G_C = G(1-x_1)$$

查焓—湿图, $t_2=50$, $\varphi_2=60\%$ 时, H_2

$$V_{\text{干}} = \frac{G_C(X_1 - X_2)}{H_2 - H_1}$$

$$V = V_{\text{干}}(1 + H_1)$$

(2) 理想干燥器

$$I_1 = I_2$$

$$(1.01 + 1.88H_1)t_1 + 2500H_1 = (1.01 + 1.88H_2)t_2 + 2500H_2$$

$$\therefore t_1 = \frac{(1.01 + 1.88H_2)t_2 + 2500(H_2 - H_1)}{1.01 + 1.88H_1}$$

$$(3) \quad \eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}$$

11. 已知: $P=100\text{kPa}$, $w_1=0.20$, $w_2=0.01$, $G=1.75\text{kg/s}$, $t_0=20$, $t_{w0}=16$, $\varphi_2=70\%$,

求：(1) 一次预热 $t_1=120$, V , η

(2) 先预热至 $t_1=120$ 达 $\phi_2=70\%$ 后，再加热至 $t_3=100$,

再达 $\phi_4=70\%$ 后排出，求 V , η

解题思路：(1) $X_1 = \frac{w_1}{1-w_1}$

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

$$G_C = G(1-x_1)$$

$$W_{\text{水}} = G_C (X_1 - X_2)$$

理想干燥器

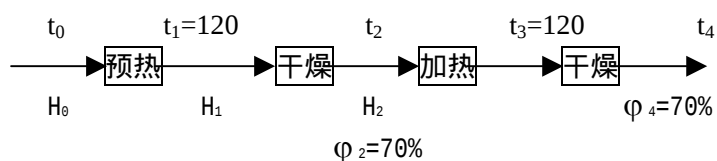
由 I—H 图查得： H_0 , H_2 , t_2

$$W_{\text{水}} = V_{\text{干}}(H_2 - H_0)$$

$$\therefore V = \frac{W_{\text{水}}}{H_2 - H_0} \times (1 + H_0)$$

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}$$

(2)



有中间加热，理想干燥器

由 I—H 图得

$H_4=0.0615\text{kg 水/kg 干气}$, $t_4=51$

$$V = \frac{W_{\text{水}}}{(H_4 - H_0)} \times (1 + H_0)$$

$$\eta = \frac{(I_1 - I_2') + (I_3 - I_4')}{(I_1 - I_0) + (I_3 - I_2)}$$

$$H_0 = H_1 \quad \therefore I_1 - I_0 = (1.01 + 1.88H_0)(t_1 - t_0)$$

$$H_2 = H_3 \quad \therefore I_3 - I_2 = (1.01 + 1.88H_2)(t_3 - t_2)$$

$$I_2 = (1.01 + 1.88H_0)t_2 + 2500H_0$$

$$\therefore I_1 - I_2 = (1.01 + 1.88H_0)(t_1 - t_2)$$

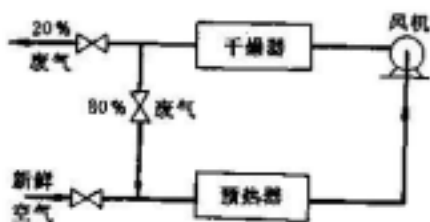
$$I_4 = (1.01 + 1.88H_2)t_4 + 2500H_2$$

$$\therefore I_3 - I_4 = (1.01 + 1.88H_2)(t_3 - t_4)$$

$$\therefore \eta = \frac{(1.01 + 1.88H_0)(t_1 - t_2) + (1.01 + 1.88H_2)(t_3 - t_4)}{(1.01 + 1.88H_0)(t_1 - t_0) + (1.01 + 1.88H_2)(t_3 - t_2)}$$

12. 已知：理想干燥器， $V_{\text{循}} = 0.8V_{\text{废}}$ ， $H_0 = 0.0033\text{kg 水/kg 干气}$ ， $t_0 = 16$
 $t_2 = 67$ ， $H_2 = 0.03\text{kg 水/kg 干气}$ ， $G_1 = 1500\text{kg 湿料/h}$ ， $w_1 = 0.47$ ， $w_2 = 0.05$

求： V ， $Q_{\text{预}}$



解题思路： $X_1 = \frac{w_1}{1 - w_1}$

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

$$G_C = G(1 - x_1)$$

$$V_{\text{干}} = \frac{G_C(X_1 - X_2)}{H_2 - H_1}$$

解法 1：循环后，空气用量不变时， $Q_{\text{预}}$ 不变， η 不变

$$\therefore I_0 = (1.01 + 1.88H_0)t_0 + 2500H_0$$

$$I_1 = I_2 = (1.01 + 1.88H_2)t_2 + 2500H_2$$

$$\therefore Q_{\text{预}} = V_{\text{干}}(I_2 - I_0)$$

$$V = V_{\text{干}}(1 + H_0)$$

解法 2：由混点作物料恒算得 $5H_m = H_0 + 4H_2$

得 H_m

$$I_1 = I_2$$

$$\therefore (1.01 + 1.88H_m)t_1 + 2500 \times H_m = (1.01 + 1.88H_2)t_2 + 2500 \times H_2$$

得 t_1 ，算 $Q_{\text{预}}$

化工原理试题（本科）

2005.6

班级_____，姓名_____，学号_____

题 号	一	二	三	四	五		Σ
得 分							
阅 卷							

一、填空（25分）

1、对于气体，温度升高，粘度_____；对于液体，温度降低，粘度_____。水在管道中的常用流速范围是_____m/s；低压气体在管道中的常用流速范围是_____m/s。

2、湍流与层流的根本区别在于_____。在圆形直管内，如 $Re=1600$ ，则 $\lambda=_____$ ，管内的平均流速是管中心流速的_____倍。

3、流体以一定的质量流量在水平直管内作层流流动时， Re 值随管径增加而_____，随流体密度增加而_____；压降随管子相对粗糙度增加而_____。（增大、减小、不变、不确定）

4、属于正位移泵形式，除往复泵外，还有_____，_____等型式。

5、往复泵的流量调节方法有_____和_____。

6、启动离心泵前，应先_____和_____。

7、吸收操作的依据是_____；精馏操作的依据是_____。

8、精馏操作中，若 $\bar{V}$ 上升，而回流量 L 和进料状态（ F, x_f, q ）均保持不变，则 R _____, x_D _____, x_W _____, $\bar{L}/\bar{V}$ _____.（变大，变小，不变，不确定）

9、吸收、解吸操作时，低温对_____有利；低压对_____有利。

10、恒摩尔流的主要前提是_____。连续精馏塔设计时，如将原来的泡点回流改为冷回流，其他设计条件不变，则所需理论板数_____（增加、减少）。

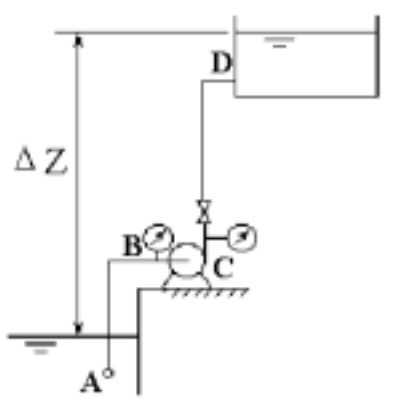
11、在常压下，常温不饱和湿空气经预热器间接加热后，该空气的下列状态参数有何变化？湿度 H _____, 相对湿度 ϕ _____, 湿球温度 t_w _____, 露点 t_d _____, 焓 I _____.（升高，降低，不变，不确定）

二、带泵管路(18分)

图示输水管路，用离心泵将江水输送至常压高位槽。已知吸入管直径 $\phi 70 \times 3\text{mm}$ ，管长 $L_{AB}=25\text{m}$ ，压出管直径 $\phi 60 \times 3\text{mm}$ ，管长 $L_{CD}=80\text{m}$ （管长均包括局部阻力的当量长度），摩擦系数 λ 均为 0.025 ， $\Delta Z=11\text{m}$ ，离心泵特性曲线为

$H_e=30-6 \times 10^5 q_v^2$ ，式中 H_e ：m； q_v ： m^3/s 。试求：

- (1) 管路流量为多少 m^3/h ，
- (2) 旱季江面下降 2m ，与原流量相比，
此时流量下降百分之几？



三、传热计算（20分）

在某套管换热器中用饱和水蒸汽加热苯液，苯在 $\phi 54 \times 2$ mm的钢管内流动。120℃的饱和水蒸汽在环隙冷凝。已测出苯的进口温度为30℃，出口温度为60℃，流量为4000 kg / h。苯和水蒸汽的对流给热系数分别为 $500 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ 和 $10000 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ ，管内壁的污垢热阻为 $0.0004 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ ，忽略管壁热阻、管外壁的污垢热阻及热损失。已知操作条件下苯的热容为 $1.9 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$ ，蒸汽的汽化潜热为 $2204 \text{ kJ} / \text{kg}$ ，试求：

- 1、饱和水蒸汽的消耗量；
- 2、套管的长度；

四、吸收计算（17分）

某填料吸收塔，用清水逆流吸收混合气中的可溶组分A。入塔气体中A组分浓度 $y_1 = 0.05$ （摩尔分数，下同），相平衡 $y = 0.4x$ ，回收率要求95%，操作液气比为最小液气比的1.4倍。填料的传质单元高度为0.2m。

1、所需的填料层高度为多少？

2、在上述塔高下进行操作，现入塔气体中A组分浓度上升为 $y_1' = 0.06$ ，则出塔气体浓度将为多少？

五、精馏计算（20分）

用板式精馏塔在常压下分离苯—甲苯溶液，塔顶设全凝器，塔釜间接加热，苯对甲苯的平均相对挥发度为 $\alpha = 2.47$ 。进料为150 kmol/h、含苯0.4（摩尔分数，下同）的饱和蒸汽。要求塔顶馏出液组成 $x_D = 0.97$ ，塔釜残液组成 $x_W = 0.02$ 。所用回流比为最小回流比的1.5倍。试求：

1、塔顶产品量 D 和塔底产品量 W ；

2、精馏段操作线方程；

3、操作时，全凝器冷凝液组成为0.97，求由塔顶往下第二块理论板上升的汽相组成。

化工原理试题（专科）

2006.3

班级_____，姓名_____，学号_____

题 号	一	二	三	四	五		Σ
得 分							
阅 卷							

一、填空（25分）

1. 连续性假定认为流体是_____。
_____。20 水的粘度为
_____ mPas，水在管道中的常用流速范围是_____ m/s。
2. 湍流与层流的根本区别是_____，在水平均匀直管中，流体流动的阻力损失体现在_____。
3. 带离心泵管路常用_____调节流量，
而往复泵管路则采用_____。
4. 流体以一定的质量流量在水平直管内作层流流动时， Re 值随管径增加而_____，随流体密度增加而_____；压降随管子相对粗糙度增加而_____。（增大、减小、不变、不确定）
5. 流体通过流化床的压降随气体流量增加而 _____。流化床主要优点是_____。
6. 离心分离因素 α 的物理意义是_____，评价旋风分离器主要性能指标为_____和_____。
7. 吸收操作的依据是_____；精馏操作的依据是_____。
8. 在精馏塔设计时，若选用回流比减小（ F, x_f, q, x_0, x_w 均指定），则塔釜加热量_____，所需理论板数_____。（增加，减少，不确定）

9. 对溶剂常用的解吸方法有_____、_____、_____。

10. 在常压下，常温不饱和湿空气经预热器间壁加热后，该空气的下列状态参数有何变化？湿度 H ____，相对湿度 ϕ ____，湿球温度 t_w ____，露点 t_d ____，焓 I ____。（升高，降低，不变，不确定）

二、带泵管路(18分)

用离心泵输液进塔。塔内表压49kPa，原料槽内表压9.8kPa，塔内管出口比原料槽液面高8m。总管长共20m(包括局部阻力)，管内径50mm，摩擦系数0.02。液体密度800kg/m³。泵的特性： $H_e=20-1.12 \times 10^5 q_v^2$ (H_e —m， q_v —m³/s)，求流量及有效功率。

三、传热计算（17分）

某套管换热器，用饱和蒸汽将空气从10℃加热至90℃。管内走空气。内管为 $\phi 25 \times 2.5\text{mm}$ 钢管。空气的给热系数为 $100\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ 。管外为 $T=120^\circ\text{C}$ 饱和蒸汽冷凝给热，给热系数为 $10000\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ 。空气的处理量为 45kg/h ，管壁及垢层热阻均可不计。试计算所需的换热面积。试求套管的长度。（空气 $C_p=1.01\text{kJ/Kg}\cdot^\circ\text{C}$ ）

四、吸收计算（20分）

某逆流吸收塔，用纯溶剂吸收混合气中可溶组分。气体入塔浓度 $y_1=0.01$ ，回收率 $\eta=0.9$ 。平衡关系： $y=2x$ ，且知 $L/G=1.2 (L/G)_{\min}$ ， $H_{06}=0.9\text{m}$ 。

试求： 塔的填料层高度；

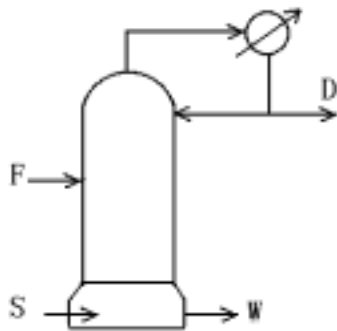
若该塔操作时，改用再生溶剂 $x'_2=0.0005$ ，其它入塔条件不变，则回收率 η' 又为多少？

五、精馏计算（20分）

用精馏分离某水溶液，水为难挥发组分，进料 $F=1\text{kmol/s}$ ， $x_f=0.2$ （mol%，下同），以饱和液体状态加入塔中部，塔顶采出量 $D=0.3\text{kmol/s}$ ， $x_D=0.6$ ， $R=1.2R_{\min}$ ，系统 $\alpha=3$ ，塔釜用饱和水蒸气直接通入加热。

试求： 回流比； 蒸汽通入量； 提馏段操作线；

设计时，若 $N_T=\infty$ ，为达到题给的 x_D ， D ，塔釜 x_W 的最大值为多少？



模拟考试答案：(仅供参考)

- 一、1. 增大，增大，1~3，8~15
2. 流体质点是否存在着脉动性，0.04，0.5
3. 降低，不变，不变
4. 齿轮泵，螺杆泵
5. 旁路阀，改变转速
6. 灌泵，排气
7. 气体各组分溶解度的不同，液体混合物各组分挥发度的不同
8. 变小，变小，变小，变小
9. 吸收，解吸
10. 液体混合物各组分的摩尔汽化潜热相等，减少
11. 不变，降低，升高，不变，升高

二、(1) 管路特性：
$$H_e' = \Delta Z + \Delta p / \rho g + 8 \lambda l_1 q_v^2 / (\pi^2 g d_1^5) + 8 \lambda l_2 q_v^2 / (\pi^2 g d_2^5)$$
$$= 11 + 8 \times 0.025 \times (25/0.064^5 + 80/0.054^5) \times q_v^2 / (\pi^2 \times 9.81) = 11 + 4.08 \times 10^5 q_v^2$$

泵的特性：
$$H_e = 30 - 6 \times 10^5 q_v^2$$

$$H_e = H_e' \quad \text{解得 } q_v = 4.34 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 15.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

(2) 当江面下降 2m 时， $H_e' = 11 + 4.08 \times 10^5 q_v^2$ ， $H_e = H_e'$ 解得 $q_v = 4.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 14.78 \text{ m}^3/\text{h}$
流量下降 $(4.34 - 4.11)/4.34 = 5.4\%$

三、解：1)
$$Q = q_m r = q_{m2} C_{p2} (t_2 - t_1) = \frac{4000}{3600} \times 1900 \times (60 - 30) = 6.33 \times 10^4 \text{ W}$$

$$q_{m1} = \frac{Q}{r} = \frac{6.33 \times 10^4}{2204 \times 10^3} = 0.0287 \text{ kg/s} = 103.4 \text{ kg/h}$$

2)
$$K = \frac{1}{\frac{1}{10^4} + \frac{54}{50} \left(\frac{1}{500} + 0.0004 \right)} = 371.5 \text{ W/m}^2$$

$$\Delta t_m = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}} = \frac{60 - 30}{\ln \frac{120 - 30}{120 - 60}} = 73.99$$

$$A_{\text{计}} = \frac{Q}{K \Delta t_m} = \frac{6.33 \times 10^4}{371.5 \times 73.99} = 2.30 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A}{\pi d_{\text{外}}} = \frac{2.30}{3.14 \times 0.054} = 13.58 \text{ m}$$

3)
$$Q = q_{m2} C_{p2} (t_2 - t_1) = KA \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}}$$

得
$$\ln \frac{T - t_1}{T - t_2} = \frac{KA}{q_{m2} C_{p2}} = \ln \frac{T' - t_1}{T' - t_2'}$$
，所以
$$\frac{120 - 30}{120 - 60} = \frac{109 - 30}{109 - t_2'}$$

$$t_2' = 56.3$$

四、解：1) $x_2=0$, $y_2 = (1 - 0.95) \times 0.05 = 0.0025$,

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{y_1/m - 0} = m\eta = 0.4 \times 0.95 = 0.38$$

$$\frac{L}{G} = 1.4 \left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = 1.4 \times 0.38 = 0.532$$

$$\frac{mG}{L} = \frac{0.4}{0.532} = 0.752$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{mG}{L}} \ln \left[\left(1 - \frac{mG}{L}\right) \frac{1}{1 - \eta} + \frac{mG}{L} \right]$$

$$= \frac{1}{1 - 0.752} \ln \left[(1 - 0.752) \frac{1}{1 - 0.95} + 0.752 \right] = 7.02$$

$$H = H_{OG} N_{OG} = 0.2 \times 7.02 = 1.40 \text{m}$$

2) H 不变, N_{OG} 不变,

$$\frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} = \frac{y_1' - mx_2}{y_2' - mx_2}, \quad \frac{0.05}{0.0025} = \frac{0.06}{y_2'}, \quad \text{得 } y_2' = 0.003$$

五、解：1) $q=0$, $x_F=0.4$, $D = \frac{F(x_F - x_W)}{x_D - x_W} = \frac{150 \times (0.4 - 0.02)}{0.97 - 0.02} = 60 \text{kmol/h}$

$$W = F - D = 90 \text{kmol/h}$$

2) $y_e = x_F = 0.4$, $x_e = \frac{0.4}{2.47 - 1.47 \times 0.4} = 0.213$

$$R_m = \frac{x_D - y_e}{y_e - x_e} = \frac{0.97 - 0.4}{0.4 - 0.213} = 3.04, R = 1.5R_m = 4.56$$

$$\text{精馏段 } y = \frac{4.56}{5.56}x + \frac{0.97}{5.56} = 0.820x + 0.1745$$

$$\text{提馏段 } y = \frac{RD}{(R+1)D - F}x - \frac{Wx_W}{(R+1)D - F} = \frac{4.56 \times 60}{5.56 \times 60 - 150}x - \frac{90 \times 0.02}{5.56 \times 60 - 150}$$

$$= 1.490x - 0.00980$$

3) $y_1 = x_D = 0.97$, $x_1 = \frac{y_1}{2.47 - 1.47y_1} = \frac{0.97}{2.47 - 1.47 \times 0.97} = 0.929$,

$$\text{得 } y_2 = 0.820 \times 0.929 + 0.1745 = 0.936$$

模拟试题 2 答案：(仅供参考)

一、1. 由无数质点组成、彼此间没有间隙、完全充满所占空间的连续介质，1，1~3

2. 流体质点是否存在着脉动性，压强的降低

3. 出口阀，旁路阀，改变转速

4. 降低，不变，不变

5. 不变，混合均匀、传热传质快

6. 离心力与重力之比，分离效率，压降

7. 气体各组分离解度的不同，液体混合物各组分挥发度的不同

8. 变小，增大

9. 升温，减压，吹气

10. 不变，降低，升高，不变

二、解：管路特性：

$$\begin{aligned} H_e &= (z_2 - z_1) + (p_2 - p_1) / (\rho g) + \sum H_f \\ &= 8 + (49 - 9.8) \times 10^3 / (800 \times 9.81) + 8 \lambda \cdot l \cdot q_v^2 / (\pi^2 \cdot g \cdot d^5) \\ &= 13 + 1.058 q_v^2 \end{aligned}$$

$$\text{泵的特性：} H_e = 20 - 1.12 \times 10^5 q_v^2$$

$$H_e = H_e', \text{ 解得 } q_v = 5.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{则 } H_e = 20 - 1.12 \times 10^5 q_v^2 = 16.4 \text{ m}$$

$$P_e = H_e q_v \rho g = 16.4 \times 5.67 \times 10^{-3} \times 800 \times 9.81 = 730 \text{ W}$$

$$\text{三、解：1) } Q = q_{m2} C_{p2} (t_2 - t_1) = \frac{45}{3600} \times 1010 \times (90 - 10) = 1010 \text{ W}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10^4} + \frac{25}{20} \frac{1}{100}} = 79.4 \text{ W} / \text{m}^2$$

$$\Delta t_m = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T - t_1}{T - t_2}} = \frac{90 - 10}{\ln \frac{120 - 10}{120 - 90}} = 61.57$$

$$A_{\text{计}} = \frac{Q}{K \Delta t_m} = \frac{1010}{79.4 \times 61.57} = 0.207 \text{ m}^2$$

$$2) L = \frac{A}{\pi d_{\text{外}}} = \frac{0.207}{3.14 \times 0.025} = 2.63 \text{ m}$$

$$\text{四、解：1) } x_2 = 0, y_2 = (1 - 0.9) \times 0.01 = 0.001,$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = \frac{y_1 - y_2}{y_1 / m - 0} = m \eta = 2 \times 0.9 = 1.8$$

$$\frac{L}{G} = 1.2 \left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = 1.2 \times 1.8 = 2.16$$

$$\frac{mG}{L} = \frac{2}{2.16} = 0.926$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{mG}{L}} \ln \left[\left(1 - \frac{mG}{L} \right) \frac{1}{1 - \eta} + \frac{mG}{L} \right]$$

$$= \frac{1}{1 - 0.926} \ln \left[(1 - 0.926) \frac{1}{1 - 0.9} + 0.926 \right] = 6.9$$

$$H = H_{OG} N_{OG} = 0.9 \times 6.9 = 6.2 \text{m}$$

$$2) N_{OG} \text{ 不变, } \frac{mG}{L} \text{ 不变, 则 } \frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} = \frac{y_1 - mx_2'}{y_2' - mx_2'}$$

$$10 = \frac{0.01 - 2 \times 0.0005}{y_2' - 2 \times 0.0005}, y_2' = 0.0019, \eta = 1 - \frac{y_2'}{y_1} = 1 - \frac{0.0019}{0.01} = 0.81$$

$$\text{五、解: } 1) q=1, x_f=0.2, y_e = \frac{3 \times 0.2}{1 + 2 \times 0.2} = 0.429$$

$$R_m = \frac{x_D - y_e}{y_e - x_e} = \frac{0.6 - 0.429}{0.429 - 0.2} = 0.75, R = 1.2 \times 0.75 = 0.9$$

$$2) S = V = (R+1)D = (0.9+1) \times 0.3 = 0.57 \text{ kmol/s}$$

$$3) x_w = \frac{Fx_F - Dx_D}{F + S - D} = \frac{0.2 - 0.3 \times 0.6}{1 + 0.57 - 0.3} = 0.0158$$

$$\text{提馏段 } y = \frac{\bar{L}}{V} x - \frac{Wx_w}{V} = \frac{RD + F}{S} x - \frac{Wx_w}{S}$$

$$y = \frac{0.9 \times 0.3 + 1}{0.57} x - \frac{1 + 0.57 - 0.3}{0.57} \times 0.0158 = 2.228x - 0.0351$$

$$4) \text{ 在 } NT = \infty \text{ 时, } R = 0.75, S = (R+1)D = 1.75 \times 0.3 = 0.525$$

$$x_w = \frac{Fx_F - Dx_D}{F + S - D} = \frac{0.2 - 0.3 \times 0.6}{1 + 0.525 - 0.3} = 0.01633$$