课后答案网 您最真诚的朋友

第七章 蒸发

物料衡算

1. 已知：F=2000kg/h, w_0=10%（质量百分数，下同），w_3=40%，W_2=1.15W_1，

W_3=1.3W_1

求：W，w_1，w_2

解：$W=W_1+W_2+W_3$

取整个系统为控制体

$$Fx_0=(F-W_1-W_2-W_3)w_3=(F-W)w_3$$

$$\therefore W=F(1-\frac{w_0}{w_3})=2000\times(1-\frac{0.1}{0.4})=1500kg/h$$

故 $W=W_1+W_2+W_3$

$=W_1+1.15W_2+1.3W_3=3.45W_1$

得 W_1=435kg/h

$\therefore W_2=1.15W_1$=500kg/h

$\because Fw_0=(F-W_1)w_1$

$$\therefore w_1=\frac{Fw_0}{F-W_1}=\frac{2000\times0.1}{2000-435}=12.8\%$$

$\because Fw_0=(F-W_1-W_2)w_2$

$$\therefore w_2=\frac{Fw_0}{F-W_1-W_2}=\frac{2000\times0.1}{2000-435-500}=18.8\%$$

温度差损失

2. 已知：w=0.30 (质量分率，NaOH)，P=60kPa (绝)，L=2m，ρ=1280kg/m^3，

加热蒸汽 P_0=0.1MPa (表)

求：Δt

解：查 P=60kPa (绝)下，水蒸汽饱和温度 t° =85.6℃

P_0=0.1MPa (表)下，T=120.2℃

查教材图 7-22，30%NaOH，t° =85.6℃下，t=106℃

Δ'=106-85.6=20.4℃

$$P_m = P + \frac{1}{5}L\rho g = 60\times10^3 + \frac{1}{5}\times2\times1280\times9.81 = 6.51\times10^4(N/m^2)$$

查 P_m 下水的饱和温度为 87.8℃

$\therefore \Delta''$=87.8-85.6=2.2℃

$\Delta = \Delta' + \Delta''$ =20.4+2.2=22.6℃

$t = t^\circ + \Delta$ =85.6+22.6=108.2℃

$\therefore \Delta t = T - t$=120.2-108.2=12.0℃

单效蒸发计算

3. 已知：单效 F=5000kg/h，w_0=10%（质量百分数，下同），w_3=30%，t_0=50℃，P=67kPa(真)，P_0=50kPa(表)，K=2000W/m²·K，Q 损=5%Q，Δ''可不计，pa=101.3kPa。

求：A，W/D

解：物料衡算

$F \cdot w_0 = (F-W)w_1$

$$\therefore W = F(1-\frac{w_0}{w}) = 5000\times(1-\frac{0.1}{0.3}) = 3.33\times10^3 kg/h$$

P=101.3-67=34.3kPa (绝)

查水的饱和温度及汽化潜热或蒸汽焓值

34.3kPa (绝) 压强下 t° =72.4℃, I=2627kJ/kg

50kPa (表) 压强下 T=111.5℃, r=2229kJ/kg

查教材图 7-22，30%NaOH34.3kPa 下，沸点 t=92.5℃

查教材图 7-21，溶液焓值，50℃，10%NaOH，i_0=185kJ/kg

92.5℃，30%NaOH，i=350kJ/kg

Δt=T-t =111.5-92.5=19.0℃

作热量衡算：D • r+Fi_0=(F-W) i+WI+0.05D • r

$$\therefore Q = Dr = \frac{1}{0.95}[(F-W)i + WI - Fi_0]$$

$$= \frac{1}{0.95}[(5000-3.33\times10^3)\times350 + 3.33\times10^3\times2627 - 5000\times185]\times\frac{1}{3600}$$

=2460KW

$$A = \frac{Q}{K\Delta t} = \frac{2460\times10^3}{2000\times19.0} = 64.7m^2$$

$$D = \frac{Q}{r} = \frac{2460}{2229} = 1.10kg/s = 3.97\times10^3 kg/h$$

$$\frac{W}{D} = \frac{3.33}{3.97} = 0.839$$

4. 已知：w_0=2%（质量百分数，下同），t_0=28℃, w=3%，A=69.7m²，T=110℃，

F=4500kg/h，c_p=4100J/kg • ℃，Δ 不计，P=0.1MPa

求：(1)W，K

(2) F'=6800kg/h，其它操作条件不变，w'

解：(1)

$$W = F(1-\frac{w_0}{w})$$

$$= 4500\times(1-\frac{0.02}{0.03}) = 1500kg/h = 0.417kg/s$$

水在 0.1MPa 下，t° =100℃, r=2258kJ/kg

∵ Δ 不计，∴ $\Delta t = T - t^\circ$ =110-100=10℃

$$Q = D\cdot r = FC_p(t-t_0) + W\cdot r$$

$$= [4500\times4100\times(100-28) + 1500\times2258\times10^3]\times\frac{1}{3600}$$

$$= 1.31\times10^6 W$$

$$\therefore K = \frac{Q}{A\Delta t} = \frac{1.31\times10^6}{69.7\times10}$$

$=1.88\times10^{3}W/m^{2}\cdot℃$

(2) 假定 K 值不变

$$W'=F'(1-\frac{w_0}{w'})$$

$$\therefore Q=KA\Delta t=F'c_p(t-t_0)+W'r$$

$$=F'c_p(t-t_0)+F'(1-\frac{w_0}{w'})r$$

∵K，A，Δt 均不变

∴Q 不变，得

$$\frac{w_0}{w'}=1-\frac{Q}{F'r}+\frac{c_p(t-t_0)}{r}$$

$$=1-\frac{1.31\times10^{6}\times3600}{6800\times2258\times10^{3}}+\frac{4100\times(100-28)}{2258\times10^{3}}=0.824$$

$$w'=\frac{w_0}{0.824}=\frac{0.02}{0.824}=0.024=2.4\%$$

多效蒸发

5. 已知：并流三效蒸发，T_0=121℃，P_3=26.1kPa（绝），$t_0=t_1$，K_1=2840W/m²·K，K_2=1990W/m²·K，K_3=1420W/m²·K，$A_1=A_2=A_3$，Δ'均不计

求：t_1，t_2，t_3

解：由液柱静压强造成的Δ"不计，

查附录，26.1kPa（绝）压强下，饱和蒸汽 t_3° =66℃

∴Δ=0，　∴$t_3=t_3^{\circ}$ =66℃

∴$\sum\Delta t_{有效}=T_0-t_3$=121-66=55℃

假定各效溶液的汽化潜热相近，与其相比较，溶液的显热也很小。

则 $Q_1=D\cdot r=W_1r$，$Q_2=W_1r=W_2r$，$Q_3=W_2r=W_3r$

得 $Q_1=Q_2=Q_3$

即 $K_1\Delta t_1=K_2\Delta t_2=K_3\Delta t_3$

$$\therefore K_1\Delta t_1=\frac{\Delta t_1+\Delta t_2+\Delta t_3}{\frac{1}{K_1}+\frac{1}{K_2}+\frac{1}{K_3}}$$

$\Delta t_1+\Delta t_2+\Delta t_3=55℃$

$$\frac{1}{K_1}+\frac{1}{K_2}+\frac{1}{K_3}=\frac{1}{2840}+\frac{1}{1990}+\frac{1}{1420}=1.56\times10^{-3}$$

$$\Delta t_1=\frac{1}{K_1}\times\frac{55}{1.56\times10^{-3}}=\frac{1}{2840}\times\frac{55}{1.56\times10^{-3}}=12.4℃$$

$$\Delta t_2=\frac{1}{K_2}\times\frac{55}{1.56\times10^{-3}}=\frac{1}{1990}\times\frac{55}{1.56\times10^{-3}}=17.7℃$$

$\because \Delta t_1=T_0-t_1$ $\quad\therefore t_1=T_0-\Delta t_1=121-12.4=108.6℃$

$\Delta t_2=t_1-t_2$ $\quad\therefore t_2=t_1-\Delta t_2=108.6-17.7=90.9℃$

$\therefore t_3=t_3^{\circ}=66℃$

6. 已知：并流双效 F=2000 kg/h，w_0=5%（质量百分数，下同），c_p=4.18kJ/kg·℃，t_0=93℃，w_2=45%，T_0=120℃，r_0=2205kJ/kg，t_2°=53℃，$A_1=A_2=A$，K_1=2000W/m²·K，K_2=1500W/m²·K，Δ均不计，E=0，$Q_{损}$不计

求：A

解：F=2000kg/h=0.556kg/s

$$\therefore W=F(1-\frac{w_0}{w_2})=0.556\times(1-\frac{0.05}{0.45})=0.494kg/s$$

由热量衡算得

$Dr_0+Fi_0=(F-W_1)\,i_1+W_1I_1$

即 $Q_1=Dr_0=Fc_p(t_1-t_0)+W_1r_1$ (1)

$W_1r_1+(F-W_1)i_1=(F-W_1-W_2)\,i_2+W_2I_2$

即 $Q_2=W_1r_1=(F-W_1)c_p(t_2-t_1)+W_2r_2$ (2)

其中 $t_2=t_2^{\circ}$=53℃，$W_2=W-W_1$ (3)

$Q_1=K_1A(T_0-t_1)$ (4)

$Q_2=K_2A(t_1-t_2)$ (5)

先设 $Q_1=Q_2$，由式(4)、(5)得

$$t_1=\frac{K_1T_0+K_2t_2}{K_1+K_2}=\frac{2000\times120+1500\times53}{2000+1500}=91.3\ ℃$$

查得 t_1、t_2 下，r_1=2280 kJ/kg，r_2=2371 kJ/kg

由(1) (2) (3)式得方程

$$W_1r_1-Dr_0=FC_p(t_0-t_1)$$

$$W_2r_2+W_1[c_p(t_1-t_2)-r_1]=FC_p(t_1-t_2)$$

$$W_2+W_1=W$$

即得

$$2280W_1-2205D=2000/3600\times4.18\times(93-91.3)=3.948$$

$$2371W_2-2120W_1=2000/3600\times4.18\times(91.3-53)=88.94$$

$$W_2-W_1=0.494$$

解得 W_1=0.241kg/s，W_2=0.253kg/s，D=0.2474kg/s

传热面积由式(4) (5)

$$A_1=\frac{Dr_0}{K_1(T_0-t_1)}=\frac{0.2474\times2205\times10^3}{2000\times(120-91.3)}=9.5m^2$$

$$A_2=\frac{W_1r_1}{K_2(t_1-t_2)}=\frac{0.236\times2280\times10^3}{1500\times(91.3-53)}=9.56m^2$$

A_1与 A_2相差不大，不必再校 t_1，

取 $A_1=A_2=9.55m^2$。

第八章 吸收

汽液相平衡

1. 已知：$c=2.875\times10^{-2}$mol/l 溶液，P=101.3kPa, t=30℃，$\rho_m=996kg/m^3$。

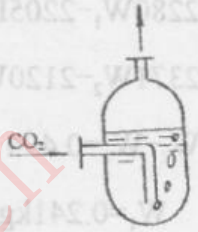
求：实验值 E

将此实验值与文献值 E=188.5MPa 作比较。

解：查 30℃时水的饱和蒸汽压，P_S=4242.24 Pa。

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

对于稀溶液 $M_m=M_S=18$



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

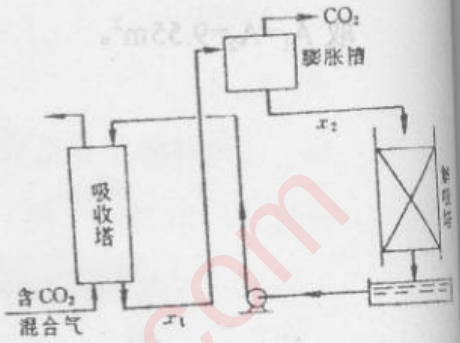
$$\therefore E=\frac{P_e\cdot\rho_m}{c\cdot M_m}=\frac{97.1\times10^3\times996}{2.857\times10^{-2}\times18}=188.1MPa$$

对文献值相对误差 $\frac{188.1-188.5}{188.5}=-0.21\%$

2. 已知：y_1=0.3, P_1=1MPa（表），P_2=20kPa,，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：查 25℃，CO_2-H_2O 系统，$E=1.66\times10^2MPa$



令当地大气压为 0.1MPa

$P_1=1+0.1=1.1MPa$

$P_2=20\times10^3\times10\text{-}6+0.1=0.12MPa$

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

$$x_1=\frac{P_1\cdot y_1}{E}=\frac{1.1\times0.3}{1.66\times10^2}=1.99\times10^{-3}$$

$$x_2=\frac{P_2\cdot y_2}{E}=\frac{0.12\times1}{1.66\times10^2}=7.22\times10^{-4}$$

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

$$\therefore X_1 = 44 \times \frac{1.99\times10^{-3}}{18} = 4.86\times10^{-3}\,kgCO_2/kgH_2O$$

$$\therefore X_2 = 44 \times \frac{7.22\times10^{-4}}{18} = 1.76\times10^{-3}\,kgCO_2/kgH_2O$$

$G=X_1-X_2=3.10\times10^{-3}\ kgCO_2/kgH_2O$

3．已知：t=20℃，用 N_2 逆流吸收溶解于水中的 O_2，$y_1=0.001$ 塔底达平衡。

求：（1）P=101.3kPa（绝）　c_{min}　mg/m^3 水

（2）P=40kPa（绝）　c_{min}　mg/m^3 水

解：查=20℃，O_2--H_2O 系统，$E=4.062\times10^6 KN/m^2$

(1) $$H = E\frac{M_S}{\rho_s} = 4.06\times10^6 \times \frac{18}{1000}$$

$$= 7.31\times10^4\,kPa\cdot m^3/kmol$$

$$P_{e1} = P_1 \cdot y_1 = 101.3\times0.001 = 0.101kPa$$

$$P_e = cH$$

$$\therefore c_1 = \frac{P_{e1}}{H} = \frac{0.101}{7.31\times10^4} = 1.38\times10^{-6}\,kmol/m^3溶液$$

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

$$= 1.38\times10^{-6}\times32\times10^6 = 44.16mg/m^3水$$

(2) 同理　$P_{e2} = P_2 \cdot y_1 = 40\times0.001 = 0.04kPa$

$$\therefore c_2 = \frac{P_{e2}}{H} = \frac{0.04}{7.31\times10^4} = 5.47\times10^{-7}\,kmol/m^3溶液$$

$$c_{min} = 5.47\times10^{-7}\times32\times10^6 = 17.51mg/m^3水$$

4．已知：P=101.3kPa，用水逆流吸收 Cl_2，$y_1=0.01$，$x_1=0.8\times10^{-5}$

求：（1）t=20℃　(x_e-x)　$(y-y_e)$

(2) t=40℃　(x_e-x)　$(y-y_e)$

解：(1) 查 t=20℃，Cl_2-H_2O 系统，$E=0.537\times10^2 MPa$

$$m=\frac{E}{P}=\frac{0.537\times10^{2}}{0.1013}=0.53\times10^{3}$$

$$x_e=\frac{y}{m}=\frac{0.01}{0.53\times10^{3}}=1.89\times10^{-5}$$

$$y_e=mx=0.53\times10^{3}\times0.8\times10^{-5}=4.24\times10^{-3}$$

液相推动力 $(x_e-x)=(1.89-0.8)\times10^{-5}=1.19\times10^{-5}$

气相推动力 $(y-y_e)=0.01-4.24\times10^{-3}=5.76\times10^{-3}$

(2) 查 40℃，Cl_2-H_2O 系统，$E=0.8\times10^{2}$MPa

$$m=\frac{E}{P}=\frac{0.8\times10^{2}}{0.1013}=0.79\times10^{3}$$

$$x_e=\frac{y}{m}=\frac{0.01}{0.79\times10^{3}}=1.27\times10^{-5}$$

$$y_e=mx=0.79\times10^{3}\times0.8\times10^{-5}=6.32\times10^{-3}$$

液相推动力 $(x_e-x)=(1.27-0.8)\times10^{-5}=4.7\times10^{-6}$

气相推动力 $(y-y_e)=0.01-6.32\times10^{-3}=3.68\times10^{-3}$

5. 已知：$P_1=101$kPa，$y=50x$，$x_1=2\times10^{-4}$，$y_1=0.025$。

求：若 $P_2=202$kPa 求推动力的增加比值。

解：

$$y_{e1}=m_1x=50\times2\times10^{-4}=0.01$$

$$x_{e1}=\frac{y}{m_1}=\frac{0.025}{50}=5\times10^{-4}$$

$(y-y_e)_1=0.025-0.01=0.015$

$(x_e-x)_1=5\times10^{-4}-2\times10^{-4}=3\times10^{-4}$

$P_2=202$kPa，$m_2=50/2=25$

$y_{e2}=m_2x=25\times2\times10^{-4}=0.005$

$x_{e2}=y/m_2=0.025/25=0.001$

$(y-y_e)_2=0.025-0.005=0.02$

$(x_e-x)_2=0.001-2\times10^{-4}=8\times10^{-4}$

$$\therefore \frac{(y-y_e)_2}{(y-y_e)_1}=\frac{0.02}{0.015}=1.33(倍)$$

$$\therefore \frac{(x_e-x)_2}{(x_e-x)_1}=\frac{8\times10^{-4}}{3\times10^{-4}}=2.67(倍)$$

扩散与相际传质速率

6. 已知：h=2mm, δ=0.2mm, t=20℃, P_{A2}=1.33kPa, P=101.3kPa

求：τ

解：查20℃时 D=0.252×$10^{-4}$$m^2$/s, $\rho_{水}$=998kg/m^3

饱和蒸汽压 P_{A1}=2.338kPa

P_{B1}=P-P_{A1}=101.3-2.338=98.96kPa

P_{B2}=P-P_{A2}=101.3-1.33=99.97kPa

$$P_{Bm}=\frac{P_{B2}-P_{B1}}{\ln\frac{P_{B2}}{P_{B1}}}=\frac{99.97-98.96}{\ln\frac{99.97}{98.96}}=99.46kPa$$

$$\frac{P}{P_{Bm}}=\frac{101.3}{99.46}=1.02$$

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：

$$\tau=\frac{\rho RT\delta h}{MD}\cdot\frac{1}{(P_{A1}-P_{A2})}\cdot\frac{P_{Bm}}{P}$$

$$=\frac{998\times8.314\times293\times0.2\times10^{-3}\times2\times10^{-3}}{18\times0.252\times10^{-4}}\times\frac{1}{(2.338-1.33)}\times\frac{1}{1.02}$$

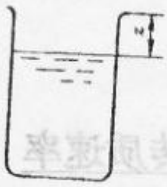
$$=2.09\times10^3(s)=0.58(hr)$$

7. 已知：t=30℃, P_{A2}=0, P=101.3kPa, z=1cm, H=4cm

求：τ

解：查 30℃， D=0.268cm²/s， ρ =995.7kg/m³

饱和蒸汽压，P_{A1}=4.24kPa



P_{B1}=101.3-4.24=97.06kPa

P_{B2}=101.3kPa

$$P_{Bm}=\frac{P_{B2}-P_{B1}}{\ln\frac{P_{B2}}{P_{B1}}}=\frac{101.3-97.06}{\ln\frac{101.3}{97.06}}=99.16KPa$$

$$\frac{P}{P_{Bm}}=\frac{101.3}{99.16}=1.02$$

$$N_A\cdot d\tau=\frac{\rho\cdot dh}{M},\delta=0.01+h$$

$$N_A=\frac{D}{RT\delta}\cdot(P_{A1}-P_{A2})\cdot\frac{P}{P_{Bm}}=\frac{D}{RT\delta}P_{A1}\cdot\frac{P}{P_{Bm}}$$

$$\therefore\int_0^{\tau}d\tau=\frac{\rho RTP_{Bm}}{MDP_{A1}P}\cdot\int_0^{H}(0.01+h)dh$$

$$\therefore\tau=\frac{\rho RTP_{Bm}}{MDP_{A1}P}(0.01H+\frac{1}{2}H^2)$$

$$\tau=\frac{995.7\times8.314\times303}{18\times0.268\times10^{-4}\times4.24\times1.02}\times(0.01\times0.04+\frac{1}{2}\times0.04^2)$$

$$=1.44\times10^6(s)=16.7(day)$$

8. 已知：G=16kmol/h·m², P=101.3kPa, k_ya=64.6kmol/h·m³,

k_La=16.6kmol/h·m³, P_A=4.62C_A, (P_A: kPa, c_A: kmol/m³)

求：（1）K_ya，H_{OG}

（2）液相阻力分率

解：（1）由亨利定律

P=Ex=Hc=Hc_M·x

y=mx

$$\therefore m = Hc_M / P = \frac{4.62}{101.3} c_M = 0.0456 c_M$$

$k_X a = k_L a c_M = 16.6 c_M \text{kmol/h} \cdot \text{m}^3$

$$\therefore \frac{m}{k_x a} = \frac{0.0456 c_M}{16.6 c_M} = 2.75 \times 10^{-3} \text{h} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol}$$

$$\frac{1}{K_y a} = \frac{1}{k_y a} + \frac{m}{k_x a}$$

$$= \frac{1}{64.6} + 2.75 \times 10^{-3} = 0.0182 \text{h} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol}$$

$\therefore K_y a = 54.9 \text{kmol/h} \cdot \text{m}^3$

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a} = \frac{16}{54.9} = 0.291 (\text{m})$$

(2) 液相阻力占总阻力之百分数为

$$\frac{m / k_x a}{1 / k_y a} = \frac{2.75 \times 10^{-3}}{0.0182} = 0.151 = 15.1\%$$

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：（1）

$$\frac{1}{K_y} = \frac{m}{k_x} + \frac{1}{k_y}$$

$$K_y = \frac{1}{\frac{m}{k_x} + \frac{1}{k_y}} = \frac{1}{\frac{2}{8 \times 10^{-4}} + \frac{1}{5 \times 10^{-4}}} = 2.22 \times 10^{-4} \text{kmol} / \text{s} \cdot \text{m}^2$$

$$y_e = mx = 2 \times 0.01 = 0.02$$

$$N_A = K_y (y - y_e)$$

$$= 2.22 \times 10^{-4} \times (0.05 - 0.02)$$

$$= 6.66 \times 10^{-6} (\text{kmol} / \text{s} \cdot \text{m}^2)$$

（2）$P'=162 \text{kPa}$

$$m'=\frac{P}{P'}\cdot m=\frac{101.3}{162}\times 2=1.25$$

又根据经验式

$Sh=0.023Re^{0.83}Sc^{0.33}$

得 $k=0.023\frac{D}{d}\cdot(\frac{dG}{\mu})^{0.33}(\frac{\mu}{\rho D})^{0.33}(kmol/s\cdot m^2(\frac{kmol}{m^3}))$

气体$\rho\propto P$，$D\propto\frac{1}{P}$，$c=\frac{n}{V}=\frac{P}{RT}\cdot y$

$\therefore k\propto\frac{1}{P}$ 而$k_y=\frac{P}{RT}k$

即 k_y 与 P 无关

$\because P\uparrow m\downarrow \quad \therefore (y-y_e)\uparrow$

由$K_y=\frac{1}{\frac{m}{k_x}+\frac{1}{k_y}}\uparrow$

$$K_y'=\frac{1}{\frac{1.25}{8\times10^{-4}}+\frac{1}{5\times10^{-4}}}=2.81\times10^{-4}\,kmol/s\cdot m^2$$

$y_e'=m'x=1.25\times0.01=0.0125$

$(y-y_e)'=0.05-0.0125=3.75\times10^{-2}$

$N_A'=K_y'(y-y_e)'=2.81\times10^{-4}\times3.75\times10^{-2}$

$=1.05\times10^{-5}\,kmol/s\cdot m^2$

传质速率增加了$\frac{N_A'-N_A}{N_A}=\frac{1.05\times10^{-5}-6.66\times10^{-6}}{6.66\times10^{-6}}=57.7\%$

吸收过程数字描述

10. 已知：$\frac{1}{K_y}=\frac{m}{k_x}+\frac{1}{k_y}$

求证：$N_{OL}=\frac{1}{A}N_{OG}$

证明：$\frac{1}{K_y}=\frac{m}{k_x}+\frac{1}{k_y}$

$$\frac{1}{K_ya}=\frac{m}{k_xa}+\frac{1}{k_ya}$$

同理可得 $\frac{1}{K_x a}=\frac{1}{k_x a}+\frac{1}{mk_y a}$

即 $K_x a = mK_y a$

得 $H_{OG}=\frac{G}{K_y a}=\frac{L}{K_x a/m}\cdot\frac{G}{L}=H_{OL}\cdot\frac{m}{L/G}=\frac{1}{A}H_{OL}$

$H=H_{OG}\cdot N_{OG}=H_{OL}\cdot N_{OL}$

即 $N_{OL}=\frac{1}{A}N_{OG}$

11. 已知：$\Delta y_1=y_1-y_{1e}$，$\Delta y_2=y_2-y_{2e}$

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

证明：由物料衡算得

$$x=x_2+\frac{G}{L}(y-y_2)$$

低浓度吸收 $y_e=mx$

$$y_e=mx_2+\frac{mG}{L}(y-y_2)$$

$$N_{OG}=\int_{y_2}^{y_1}\frac{dy}{y-y_e}=\int_{y_2}^{y_1}\frac{1}{y-mx_2-\frac{mG}{L}(y-y_2)}dy$$

$$=\int_{y_2}^{y_1}\frac{dy}{(1-\frac{mG}{L})y+(\frac{mG}{L}y_2-mx_2)}$$

$$=\frac{1}{1-\frac{mG}{L}}\ln\frac{(1-\frac{mG}{L})y_1+\frac{mG}{L}y_2-mx_2}{y_2-mx_2}$$

$L(x_1-x_2)=G(y_1-y_2)$

$\therefore \frac{mG}{L}y_1-\frac{mG}{L}y_2+mx_2=mx_1$

得 $N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{mG}{L}}\ln\frac{y_1-mx_1}{y_2-mx_2}=\frac{1}{1-\frac{mG}{L}}\ln\frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}$

12. 已知：$x_2=0$ 逆流，$\eta=\dfrac{y_1-y_2}{y_1}$　$\dfrac{L}{G}=\beta(\dfrac{L}{G})_{min}$

求：$N_{OG}=f(\eta,\beta)$

解：$$(\frac{L}{G})_{min}=\frac{y_1-y_2}{x_{1e}-x_2}=\frac{y_1-y_2}{y_1/m-0}=m\cdot\eta$$

$$\frac{L}{G}=\beta(\frac{L}{G})_{min}=\beta m\eta$$

$$N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{1}{A}}\ln[(1-\frac{1}{A})\frac{y_1-mx_2}{y_2-mx_2}+\frac{1}{A}]$$

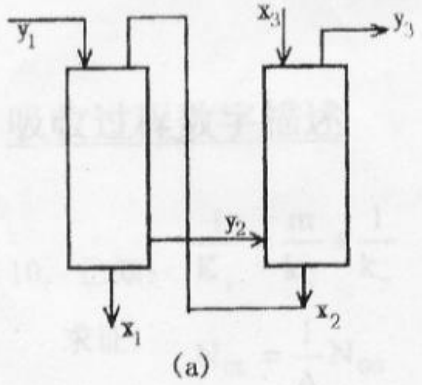
$$\frac{1}{A}=\frac{m}{L/G}=\frac{m}{\beta\eta m}=\frac{1}{\beta\eta}$$

$$\frac{y_1-mx_2}{y_2-mx_2}=\frac{y_1}{y_2}=\frac{1}{1-\eta}$$

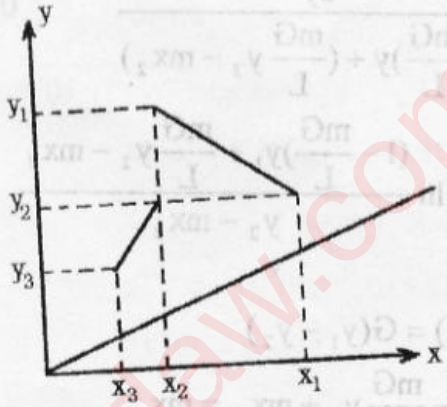
$$\therefore N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{1}{\beta\eta}}\ln[(1-\frac{1}{\beta\eta})\cdot\frac{1}{1-\eta}+\frac{1}{\beta\eta}]$$

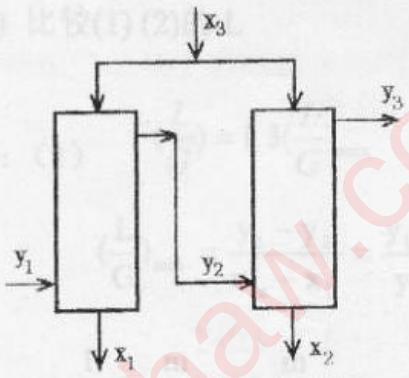
13. 画操作线与平衡线

解：对于流程 a 和流程 b，均有 $(\dfrac{L}{G})_A=(\dfrac{L}{G})_B$

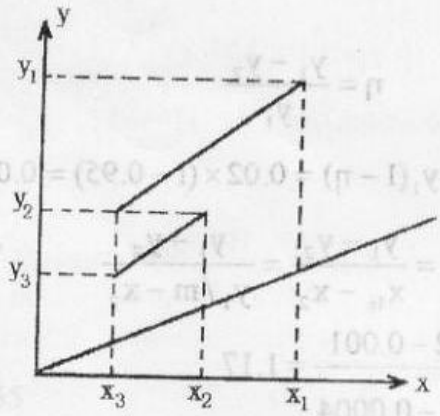


(a)



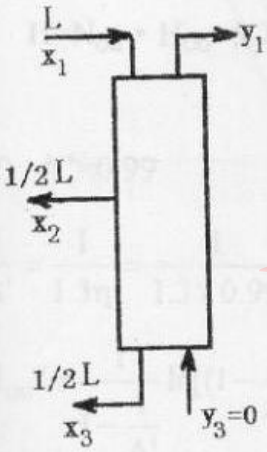


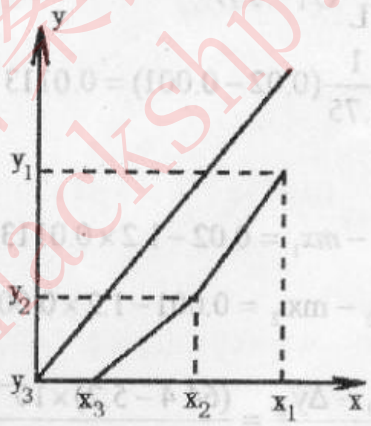
(b) 两塔的液体量相等



14. 画操作线与平衡线

解：对于该流程 $(\frac{G}{L})_{上}=(\frac{G}{L})_{下}$





吸收过程的设计型计算

15. 已知：$G=0.4kmol/s\cdot m^2$, $y_1=0.02$, $\eta=0.95$, $x_2=0.0004$, $\frac{L}{G}=1.5(\frac{L}{G})_{min}$

$K_ya=0.052kmol/s\cdot m^3$, $y=1.2x$

求：（1）x_1

(2) Δy_m

(3) H

解：（1） $\eta = \dfrac{y_1 - y_2}{y_1}$

$$y_2 = y_1(1-\eta) = 0.02\times(1-0.95) = 0.001$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{min} = \frac{y_1 - y_2}{x_{1e} - x_2} = \frac{y_1 - y_2}{y_1/m - x_2}$$

$$= \frac{0.02 - 0.001}{\dfrac{0.02}{1.2} - 0.0004} = 1.17$$

$$\therefore \frac{L}{G} = 1.5\left(\frac{L}{G}\right)_{min} = 1.5\times 1.17 = 1.75$$

根据物料衡算

$$G(y_1 - y_2) = L(x_1 - x_2)$$

$$\therefore x_1 = x_2 + \frac{G}{L}(y_1 - y_2)$$

$$= 0.0004 + \frac{1}{1.75}(0.02 - 0.001) = 0.0113$$

（2）

$$\Delta y_1 = y_1 - mx_1 = 0.02 - 1.2\times 0.0113 = 6.44\times 10^{-3}$$

$$\Delta y_2 = y_2 - mx_2 = 0.001 - 1.2\times 0.0004 = 5.2\times 10^{-4}$$

$$\Delta y_m = \frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{\ln\dfrac{\Delta y_1}{\Delta y_2}} = \frac{(64.4 - 5.2)\times 10^{-4}}{\ln\dfrac{6.44\times 10^{-3}}{5.2\times 10^{-4}}} = 2.35\times 10^{-3}$$

（3）

$$N_{OG} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m} = \frac{0.02 - 0.001}{2.35\times 10^{-3}} = 8.09$$

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a} = \frac{0.4}{0.052} = 7.69(\text{m})$$

$$H = H_{OG}\cdot N_{OG} = 7.69\times 8.09 = 62.2(\text{m})$$

16. 已知：x_2=0, L=1.3L_{min}, H_{OG}=0.8m

求：（1）η=0.9，H

（2）η=0.99，H

（3）比较(1)(2)的L

解：（1） $(\frac{L}{G})=1.3(\frac{L}{G})_{min}$

$$(\frac{L}{G})_{min}=\frac{y_1-y_2}{x_{1e}-x_2}=\frac{y_1-y_2}{y_1/m}=m\eta$$

$$\therefore \frac{1}{A}=\frac{m}{L/G}=\frac{m}{1.3m\eta}=\frac{1}{1.3\times0.9}=0.855$$

$$N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{mG}{L}}\ln[(1-\frac{mG}{L})\frac{1}{1-\eta}+\frac{mG}{L}]$$

$$=\frac{1}{1-0.855}\ln[(1-0.855)\frac{1}{1-0.9}+0.855]=5.76$$

$H=N_{OG}\cdot H_{OG}=5.76\times0.8=4.61m$

（2） η'=0.99

$$\frac{1}{A'}=\frac{1}{1.3\eta}=\frac{1}{1.3\times0.99}=0.777$$

$$N_{OG}'=\frac{1}{1-\frac{1}{A'}}\ln[(1-\frac{1}{A'})\frac{1}{1-\eta'}+\frac{1}{A'}]$$

$$=\frac{1}{1-0.777}\ln[(1-0.777)\frac{1}{1-0.99}+0.777]=14.1$$

$H'=N_{OG}'\cdot H_{OG}=14.1\times0.8=11.3m$

（3）比较(1)(2)可知，当回收率提高，则吸收剂用量为原来的 $\frac{1.3\times0.99\times m}{1.3\times0.9\times m}=1.1$（倍）

由L/G=1.3mη可知，吸收剂用量与回收率η成正比。

17. 已知：$x_1=2.5\times10^{-5}$，在 101.3kPa, 25℃下解吸，y=545x, $L'=5000kg/m^2\cdot h$，

$y_2=0$

求：（1）达 $x_2=0.1\times10^{-5}$, G_{min}

(2) $G=0.40kmol//m^2\cdot h$，H=∞时，x_2=？，并画出操作线。

解：（1） $$L=\frac{L'}{M}=\frac{5000}{18}=278kmol/m^2\cdot h$$

$$(\frac{G}{L})_{min}=\frac{x_1-x_2}{y_{1e}-y_2}=\frac{x_1-x_2}{mx_1-0}=\frac{2.5\times10^{-5}-0.1\times10^{-5}}{545\times2.5\times10^{-5}}=1.76\times10^{-3}$$

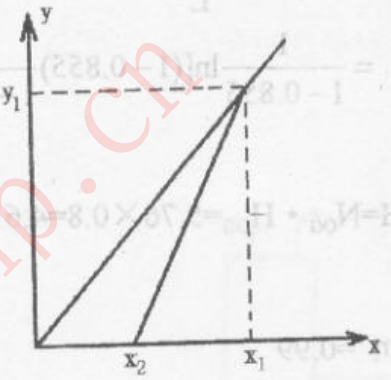
$$G_{min}=(\frac{G}{L})_{min}\times L=1.76\times10^{-3}\times278=0.489kmol/m^2\cdot h$$

（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 $y_1=mx_1=545\times2.5\times10^{-5}=0.0136$

物料衡算：$G(y_1-y_2)=L(x_1-x_2)$

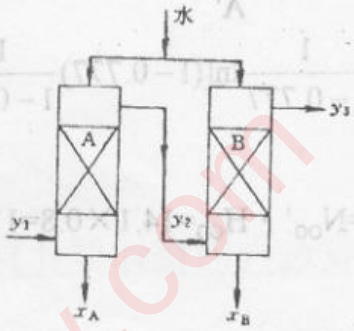


$$x_2=x_1-\frac{G}{L}(y_1-y_2)$$

$$=2.5\times10^{-5}-\frac{1}{695}(0.0136-0)=5.43\times10^{-6}$$

18. 已知：$x_2=0$, $\eta_{总}=0.91$, $L_A=L_B=1.43L_{min}$, $H_{OGA}=H_{OGB}=1.2m$

求：H_A, H_B



解： $$(\frac{L}{G})_{min}=\frac{y_1-y_2}{x_{1e}-x_2}=m\eta$$

$$(\frac{L}{G})_A=(\frac{L}{G})_B=1.43(\frac{L}{G})_{min}=1.43m\eta$$

$$\eta_A=\eta_B=\eta=\frac{y_1-y_2}{y_1}=\frac{y_2-y_3}{y_2}$$

$$又\eta_{总}=\frac{y_1-y_3}{y_1}=1-\frac{y_3}{y_1}=1-\frac{y_3}{y_2}\cdot\frac{y_2}{y_1}$$

$$=1-(1-\eta_A)(1-\eta_B)$$

$$=1-(1-\eta)^2$$

$\eta_{总}=0.91$，代入得

$\eta_A=\eta_B=\eta=0.7$

$$(\frac{L}{G})_A=(\frac{L}{G})_B=1.43m\eta=1.43\times0.7m=m$$

说明操作线与平衡线斜率相等，即推动力处处相等。

$$N_{OG}=\frac{y_1-y_2}{\Delta y_m}$$

由 $N_{OGA}=\frac{y_1-y_2}{y_2-mx_2}=\frac{\eta}{1-\eta}$ $N_{OGB}=\frac{y_2-y_3}{y_3-mx_2}=\frac{\eta}{1-\eta}$

$$\therefore N_{OGA}=N_{OGB}=\frac{0.7}{1-0.7}=2.33$$

$$\therefore H_A=H_{OGA}\cdot N_{OGA}=2.33\times1.2=2.8m$$

$$H_B=H_{OGB}\cdot N_{OGB}=2.33\times1.2=2.8m$$

吸收过程操作型计算

19. 已知：H=5m, D=1m, $x_2=0$, $q_V=2250m^3/h$, $y_1=0.05$, $y_2=0.0026$,

$x_1=60g$ 丙酮/kg 水，P=101.3kPa, T=25℃, y=2x

求：（1）H_{OG}，K_ya

(2) w（回收丙酮量/小时）

解：（1）$M_{丙酮}=58$

$$x_1=\frac{60/58}{60/58+1000/18}=0.0183$$

$$G'=\frac{q_V}{22.4}\cdot\frac{T_0}{T}=\frac{2250}{22.4}\cdot\frac{273}{298}=92.0kmol/h$$

$$G=\frac{G'}{A}=\frac{92.0}{0.785\times1^2}=117.2kmol/m^2\cdot h$$

$$N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{1}{A}}\ln[(1-\frac{1}{A})\frac{y_1-mx_2}{y_2-mx_2}+\frac{1}{A}]$$

物料衡算：$G(y_1-y_2)=L(x_1-x_2)$

$$\frac{L}{G}=\frac{y_1-y_2}{x_1}=\frac{0.05-0.0026}{0.0183}=2.59$$

$$\frac{1}{A}=\frac{m}{L/G}=\frac{2}{2.59}=0.772$$

$$\therefore N_{OG}=\frac{1}{1-0.772}\ln[(1-0.772)\cdot\frac{0.05}{0.0026}+0.772]=7.19$$

$$\therefore H_{OG}=\frac{H}{N_{OG}}=\frac{5}{7.19}=0.695(m)$$

$$H_{OG}=\frac{G}{K_y a}$$

$$K_y a=\frac{G}{H_{OG}}=\frac{117.2}{0.695}=168.6kmol/m^3\cdot h$$

（2）$w=G'(y_1-y_2)=92\times(0.05-0.0026)=4.36kmol/h=253kg/h$

20. 已知：$H=2.7m$, $P=101.3kPa$, $x_2=0$, $G=0.03kmol/m^2\cdot s$, $L=0.018kmol/m^2\cdot s$,

$y_1=0.02$, $K_y a=0.1kmol/m^3\cdot s$, $E=60kPa$

求：y_2

解：$m=E/P=60/101.3=0.6$

$L/G=0.018/0.03=0.6=m$

即操作线与平衡线平行，此时：

$$\Delta y_m=\Delta y_1=\Delta y_2=y_2-mx_2=y_2$$

$$H_{OG}=\frac{G}{K_y a}=\frac{0.03}{0.1}=0.3m$$

$$H=H_{OG}\cdot N_{OG}$$

$$\therefore N_{OG}=\frac{2.7}{0.3}=9$$

$$N_{OG}=\frac{y_1-y_2}{\Delta y_m}=\frac{y_1-y_2}{y_2}$$

$$\therefore 9=\frac{0.02-y_2}{y_2}$$

得 $y_2=0.002$

21. 已知：$x_2=0.002$, $L/G=3$, $y_1=0.01$, $\eta=0.90$, $y=2x$, $x_2'=0.00035$

求：（1）η'

（2）x_1'

解：（1）$y_2=y_1(1-\eta)=0.01\times(1-0.9)=0.001$

$$\frac{1}{A}=\frac{m}{L/G}=\frac{2}{3}=0.667$$

$$N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{1}{A}}\ln[(1-\frac{1}{A})\frac{y_1-mx_2}{y_2-mx_2}+\frac{1}{A}]$$

$$=\frac{1}{1-0.667}\ln[(1-0.667)\frac{0.01-0.0002\times2}{0.001-0.0002\times2}+0.667]=5.38$$

当 x_2 上升时，由于 H 不变，H_{OG} 不变

$\therefore N_{OG}=H/H_{OG}$ 也不变，即

$$5.38=\frac{1}{1-0.667}\ln[(1-0.667)\frac{0.01-0.00035\times2}{y_2'-0.00035\times2}+0.667]$$

$$y_2'=0.0013$$

$$\eta'=\frac{y_1-y_2'}{y_1}=\frac{0.01-0.0013}{0.01}=0.87$$

（2）物料衡算：

$$G(y_1-y_2')=L(x_1'-x_2')$$

$$\therefore x_1'=\frac{G}{L}(y_1-y_2')+x_2'$$

$$=\frac{1}{3}\times(0.01-0.0013)+0.00035=0.00325$$

22. 已知：P=101.3kPa，t=15℃，$y_1=0.0145$，$x_2=0.2$，$y_e=1.05\times10^{-4}x$，$y_2=0.000322$，

$K_ya\propto G^{0.8}$，$L\gg G$

求：G'=2G 时，y_2'

解：$L\gg G$，$\therefore \frac{1}{A}=\frac{m}{L/G}=0$

$$\therefore N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{1}{A}}\ln[(1-\frac{1}{A})\frac{y_1-y_{2e}}{y_2-y_{2e}}+\frac{1}{A}]$$

$$=\ln\frac{y_1-y_{2e}}{y_2-y_{2e}}$$

$$=\ln\frac{0.0145-1.05\times10^{-4}}{0.000322-1.05\times10^{-4}}=4.19$$

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

$H = H_{OG} \cdot N_{OG} = H_{OG}' \cdot N_{OG}'$

$$N_{OG}' = \frac{H_{OG}}{H_{OG}'} \cdot N_{OG} = 4.19 \times (\frac{1}{2})^{0.2} = 3.65$$

$$\therefore 3.65 = \ln \frac{0.0145 - 1.05 \times 10^{-4}}{y_2' - 1.05 \times 10^{-4}}$$

解得 $y_2' = 0.000479$

第十章 汽液传质设备

板式塔

1. 已知：常压苯—甲苯系统，$R=\infty$，$x_9=0.652$，$x_{10}=0.489$

求：第十块数默弗里板效率 E_{MV}

解：$$E_{MV}=\frac{y_n-y_{n+1}}{y_n^*-y_{n+1}}=\frac{y_{10}-y_{11}}{y_{10}^*-y_{11}}$$

全回流下，$y_{n+1}=x_n$

$\therefore$ $y_{11}=x_{10}=0.489$　　$y_{10}=x_9=0.653$

$$y_{10}^*=\frac{\alpha x_{10}}{1+(\alpha-1)x_{10}}$$

苯—甲苯系统 $\alpha=2.48$

$$\therefore y_{10}^*=\frac{2.48\times0.489}{1+148\times0.489}=0.704$$

$$\therefore E_{MV}=\frac{0.652-0.489}{0.704-0.489}=0.758$$

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：由教材附录相平衡数据查得：

$t_{底}=93℃$　　$t_{顶}=67.8℃$

$t_m=(t_{底}+t_{顶})/2=(93+67.8)/2=80.4℃$

再查 t=80℃时，汽液共存

$y=0.650$　　$x=0.241$

$$\therefore \alpha=\frac{y}{1-y}\cdot\frac{1-x}{x}$$

$$=\frac{0.65}{1-0.65}\cdot\frac{1-0.241}{0.241}=5.85$$

t=80.4℃时，$\mu_{水}=0.356mPa\cdot s$，$\mu_{甲}=0.275\ mPa\cdot s$

$$\mu_L = \sum_{i=1}^{n} x_i \mu_i = 0.4 \times 0.275 + 0.6 \times 0.356 = 0.324 \text{mPa} \cdot \text{s}$$

$$\alpha\mu_L = 5.85 \times 0.324 = 1.90$$

查 O'connell 关联图得 E_T=41%。

3. 已知：$y_{进}$=0.02，$y_{出}$=2×10^{-5}，E_{mv}=0.5，m=0

求：$N_{实}$

解：∵m=0　∴y_n^*=0

每板 $E_{mv} = \dfrac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} = 1 - \dfrac{y_n}{y_{n+1}}$

N块板逐推得　$y_{出} = y_{进}(1 - E_{mv})^N$

$$\therefore N_{实} = \frac{\ln\left(\dfrac{y_{出}}{y_{进}}\right)}{\ln(1 - E_{mv})} = \frac{\ln\left(\dfrac{2 \times 10^{-5}}{0.02}\right)}{\ln(1 - 0.5)} = 10\text{块}$$

4. 已知：P=101.3kPa，甲苯—邻二甲苯系统 V_s=2900m^3/h，L_s=9.2m^3/h，ρ_V=3.85kg/m^3，ρ_L=770kg/m^3，σ_L=17.5mN/m，H_T=450mm，u=0.8u_f，l_w=0.75D，

求：用弗尔泛点关联图，估计塔径

解：
$$F_{LV} = \frac{L_h}{V_h}\left(\frac{\rho_L}{\rho_V}\right)^{0.5} = \frac{9.2}{2900} \times \left(\frac{770}{3.85}\right)^{0.5} = 0.0449$$

查弗尔泛点关联图，得 C_{f20}=0.083

$$\therefore u_f = C_{f20}\left(\frac{\sigma}{20}\right)^{0.2}\left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}\right)^{0.5}$$

$$= 0.083 \times \left(\frac{17.5}{20}\right)^{0.2}\left(\frac{770 - 3.85}{3.85}\right)^{0.5} = 1.14\text{m/s}$$

$$u' = 0.8u_f = 0.8 \times 1.14 = 0.912\text{m/s}$$

$$A_n' = \frac{V_S}{u'} = \frac{2900/3600}{0.912} = 0.883\text{m}^2$$

$\frac{l_w}{D}=0.75$，由图10－40查得 $\frac{A'_f}{A'_T}=\frac{A_T'-A_n'}{A_T'}=0.12$

$\therefore A_T'=\frac{A_n'}{1-0.12}=\frac{0.883}{1-0.12}=1.00m^2$

$D'=(\frac{4A_T'}{\pi})^{0.5}=(\frac{4\times1}{\pi})^{0.5}=1.13(m)$

圆整取$D=1.2m$

此时$A_T=\frac{\pi}{4}D^2=\frac{\pi}{4}\times1.2^2=1.13m^2$

$A_n=A_T(1-0.12)=1.13\times0.88=0.994m^2$

$u=\frac{V_S}{A_n}=\frac{2900}{3600\times0.994}=0.81m/s$

泛点百分率$u/u_f=\frac{0.81}{1.14}=0.71$

填料塔

5. 已知：R=∞，$x_D=8.05\times10^{-3}$，$x_w=8.65\times10^{-4}$，H=8m，α=1.10

求：HETP

解：由芬斯克方程得

$$N_{min}=\frac{\log[\frac{x_D}{1-x_D}\cdot\frac{1-x_w}{x_w}]}{\log\alpha}$$

$$=\frac{\log[\frac{8.05\times10^{-3}}{1-8.05\times10^{-3}}\cdot\frac{1-8.65\times10^{-4}}{8.65\times10^{-4}}]}{\log1.1}=23.5(包括釜)$$

不包括釜 N_T=23.5-1=22.5

∴理论当量高度$HETP=\frac{H}{N_T}=\frac{8}{22.5}=0.356(m)$

6. 已知：乱堆 25×25×2mm 瓷质拉西环，水吸收丙酮，$V_s=800m^3/h$，$y_1=0.05$，

P=101.3kPa，T=30℃，$W_L/W_V=2.34$，$u=0.6u_f$

求：D， ΔP/H

解：$M_{丙}=58.1$　　$M_{空}=29$　　$\rho_L=1000kg/m^3$

$$\overline{M}=\sum y_i M_i=0.05\times58.1+0.95\times29=30.5$$

$$\rho_V=\frac{\overline{M}P}{RT}=\frac{30.5\times101.3}{8.314\times(273+30)}=1.23kg/m^3$$

$$\frac{W_L}{W_V}\left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)^{0.5}=2.34\left(\frac{1.23}{1000}\right)^{0.5}=0.0821$$

查教材图 10-54 得

$$\frac{u_f^2\phi\psi}{g}\left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)\mu_L^{0.2}=0.15$$

对于水 $\psi=1.0$

又查得 $\phi=450m^{-1}$　　$\mu_L=0.8012mPa\cdot S$

$$\therefore u_f=\sqrt{0.15\times\frac{g}{\mu_L^{0.2}}\cdot\frac{\rho_L}{\rho_V}\cdot\frac{1}{\phi\psi}}$$

$$=\sqrt{0.15\times\frac{9.81\times1000}{0.8012^{0.2}\times1.23\times450\times1}}=1.67m/s$$

$$u'=0.6u_f=0.6\times1.67=1.00m/s$$

$$D'=\left(\frac{4V_S}{\pi u'}\right)=\left(\frac{4\times800}{\pi\times1.00\times3600}\right)^{0.5}=0.532m$$

圆整取 D=0.6m

实际气速 $u=\frac{4V_S}{\pi D^2}=\frac{4\times800}{\pi\times3600\times0.6^2}=0.786m/s$

由实际气速求得：

$$\frac{u^2\phi\psi\rho_V}{g\rho_L}\cdot u_L^{0.2}=\frac{0.786\times450\times1\times1.23}{9.81\times1000}\times0.8012^{0.2}=0.0303$$

查教材图10－54得

$$\frac{\Delta P}{H}=220Pa/m$$

第十一章 萃取

单级萃取

1. 已知：x_f=15%，F=30kg，S=60kg，单级萃取，

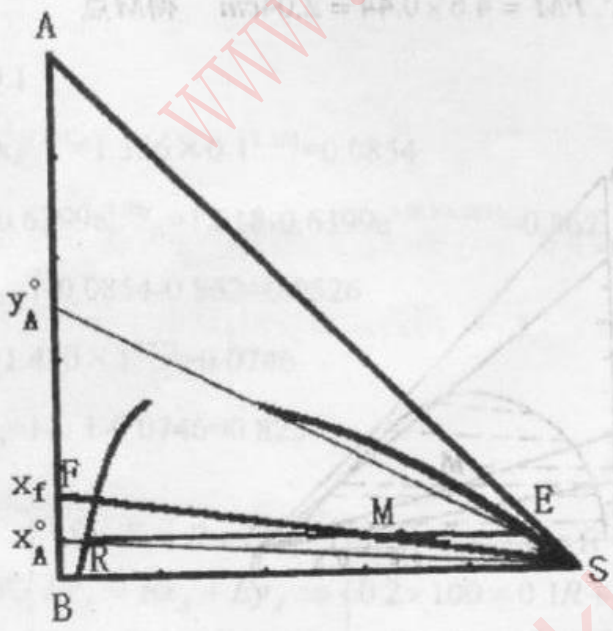
在25℃下，水(B)—醋酸(A)—乙醚(S)系统平衡数据如下表

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：



(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

$x_A=0.06$　　$y_A=0.046$　且量得$\overline{RE}=8.35cm$

$\overline{RM}=5.95cm$

根据杠杆定律$E=M\frac{\overline{RM}}{\overline{RE}}=90\times\frac{5.95}{8.35}=64.1kg$

$$R=M-E=90-64.1=25.9kg$$

(2) $k_A=\frac{y_A}{x_A}=\frac{0.046}{0.06}=0.767$

从图中读得　$y_A^0=0.50$　　$x_A^0=0.064$

$$\beta=\frac{y_A^0}{1-y_A^0}\Big/\frac{x_A^0}{1-x_A^0}=\frac{0.5}{1-0.5}\Big/\frac{0.064}{1-0.064}=14.6$$

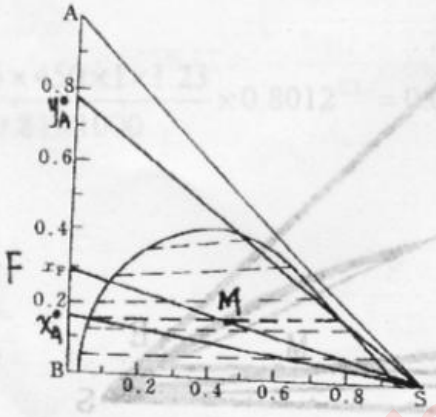
2. 已知：如图示 X_f　F=100kg，　S=80kg

求：(1) E，R，y_A，x_A

(2) E^0，R^0，y_A^0，x_A^0

解：　(1) 由$\frac{\overline{FM}}{\overline{FS}}=\frac{S}{M}=\frac{80}{100+80}=0.44$

量$\overline{FS}=4.6cm$，　$\therefore\overline{FM}=4.6\times0.44=2.04cm$　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

$x_A = 0.15$　　$y_A = 0.13$

$$E = M \cdot \frac{\overline{RM}}{\overline{RE}} = 180 \times \frac{1.66}{3.24} = 92.2kg$$

$$R = M - E = 180 - 92.2 = 87.8kg$$

（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　$F = E^0 + R^0$

$Fx_f = E^0 y_A^0 + R^0 x_A^0$

∴ $100=E^0+R^0$

$0.29\times100=0.77E^0+0.16R^0$

解得 E^0=21.31kg　　R^0=78.69kg

3. 已知：F=100kg，t=25℃，x_f=0.2，x_A=0.1，

醋酸(A)—水(B)—乙醚系统平衡关系：

$y_A=1.356x_A^{1.201}$

$y_S=1.618-0.6399e^{1.96y_A}$

$x_S=0.067+1.43x_A^{2.272}$

求：（1）R、E 及组成

（2）S

解：（1）x_A=0.1

∴ $y_A=1.356x_A^{1.201}=1.356\times0.1^{1.201}=0.0854$

$y_S=1.618-0.6399e^{1.96y_A}=1.618-0.6399e^{1.96\times0.0854}=0.862$

$y_B=1-y_A-y_S=1-0.0854-0.862=0.0526$

$x_S=0.067+1.430\times1^{2.272}=0.0746$

$x_B=1-x_A-x_S=1-0.1-0.0746=0.825$

由物料衡算式
$$\begin{cases} S+F=R+E \\ Fx_f=Rx_A+Ey_A \\ S=Rx_S+Ey_S \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} S+100=R+E \\ 0.2\times100=0.1R+0.0854E \\ S=0.0746R+0.862E \end{cases}$$

联立解出　R=88.6kg　　E=130.5kg

(2) S=E+R-F=88.6+130.5-100=119.1kg

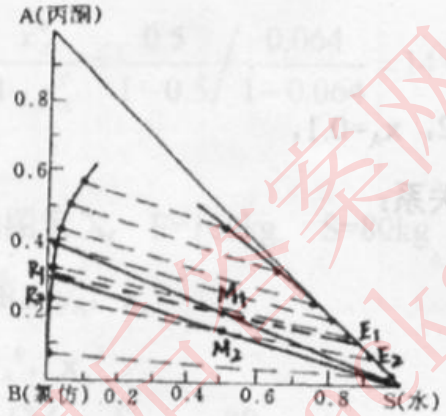
多级萃取

4. 已知：丙酮(A)—氯仿(B)—水(S)系统，t=25℃，两级错流，x_f=0.4，

$$\frac{S}{F}=\frac{S'}{R_1}=1:1$$

求：x_{A2}

解：



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$x_{A2}=0.22$

5. 已知：x_f=0.2，F=100kg，多级逆流萃取，x_{AN}=0.02，t=25℃，S/F=1，

相平衡关系见题 3

求：E_1、R_n及组成

解：由相平衡得

$$x_{SN}=0.067+1.43x_{AN}^{2.273}=0.067+1.43\times0.02^{2.273}=0.0672$$

$$x_{BN}=1-x_{AN}-x_{SN}=1-0.02-0.0672=0.913$$

由物料衡算式
$$\begin{cases}F+S=E_1+R_N\\ Fx_f=E_1y_{A1}+R_Nx_{AN}\\ S=E_1y_{S1}+R_Nx_{SN}\end{cases}$$

得
$$\begin{cases}100+100=E_1+R_N\\ 0.2\times100=y_{A1}E_1+0.02R_N\\ 100=(1.618-0.6399e^{1.96y_{A1}})E_1+0.0672R_N\end{cases}$$

整理并试差得 $y_{A1}=0.148$　　$E_1=125kg$　　$R_N=75kg$

$$y_{S1}=1.618-0.6399e^{1.96\times0.148}=0.763$$

$$y_{B1}=1-y_{A1}-y_{S1}=1-0.148-0.763=0.089$$

溶剂与稀释剂完全不互溶时的萃取

6．已知：Y=1.3X，φ=0.03，纯溶剂

求：（1）单级萃取 S/B

（2）三级错流萃取（每级所用溶剂量相等）

解：

(1) $SY=B(X_f-X)$，　$\varphi=\dfrac{BX}{BX_f}=\dfrac{X}{X_f}$

$$\therefore\frac{S}{B}=\frac{X_f-X}{Y}=\frac{X_f-X}{1.3X}=\frac{X_f-\varphi X_f}{1.3\varphi X_f}=\frac{1-\varphi}{1.3\varphi}$$

$$\therefore\frac{S}{B}=\frac{1-0.03}{1.3\times0.03}=24.9kgS/kgB$$

(2)
$$\varphi=\frac{1}{(1+\frac{1}{A})^N}=\frac{1}{(1+\frac{1}{A})^3}$$

$$\therefore\frac{1}{A}=(\frac{1}{\varphi})^{1/3}-1=(\frac{1}{0.03})^{1/3}-1=2.22$$

每级 $\frac{1}{A}=\frac{S'K}{B}$

$$\therefore \frac{S'}{B}=\frac{1}{A}\cdot\frac{1}{K}=2.22\times\frac{1}{1.3}=1.71kgS/kgB$$

三级合起来 $\frac{S}{B}=3\times\frac{S'}{B}=3\times1.71=5.13kgS/kgB$

7. 已知：多级逆流萃取 F=100kg/h，x_f=0.15，K=2.2，x_N=0.01，Z=0

求：（1）S_{min}

（2）若 $S=1.5S_{min}$，N

解：(1) $X_f=\frac{x_f}{1-x_f}=\frac{0.15}{1-0.15}=0.176$

$$X_N=\frac{x_N}{1-x_N}=\frac{0.01}{1-0.01}=0.01$$

当 Y_1 与 X_f 达平衡时，溶剂用量最少。

$$\therefore (\frac{S}{B})_{min}=\frac{X_f-X_N}{Y_{e1}-Z}=\frac{X_f-X_N}{KX_f}=\frac{0.176-0.01}{2.2\times0.176}=0.429$$

$$S_{min}=0.429B=0.429\times100\times(1-0.15)=36.47kg/h$$

（2）$S=1.5S_{min}=1.5\times36.47=54.71kg/h$

$$N=\frac{1}{\ln(\frac{SK}{B})}\ln[(1-\frac{B}{SK})\frac{X_f}{X_N}+\frac{B}{SK}]$$

$$=\frac{1}{\ln(\frac{54.71\times2.2}{85})}\ln[(1-\frac{85}{54.71\times2.2})\frac{0.176}{0.01}+\frac{85}{54.71\times2.2}]=5.1(级)$$

第十二章 其它传质分离方法

1. 已知：F=100kg，w_1=29.9%，结晶盐为 $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$，t=20℃，w_3=0.176，W=2kg

求：m

解：$M_{Na_2SO_4}=142$　$M_{Na_2SO_4 \cdot 10H_2O}=322$

$$w_2=\frac{142}{322}=0.441$$

$$Fw_1=mw_2+(F-W-m)w_3$$

$$100\times0.299=m\times0.441+(100-2-m)\times0.176$$

解得 $m=47.7kg$

2. 已知：F=100kg，w_1=0.377，W=3.5kg，绝热蒸发，结晶温度 t_3=20℃，结晶盐不含结晶水，w_3=0.233，$r_{结晶}$=68kJ/kg，Cp=2.9kJ/(kg·K)，$r_{水}$=2446kJ/kg

求：进料温度 t_1

解：绝热蒸发即 Q=0，无结晶水即 w_2=1

物衡式　$Fw_1=mw_2+(F-W-m)w_3$

$$100\times0.377=m\times1.0+(100-3.5-m)\times0.233$$

得　m=19.8kg

热衡式　$Wr_{水}=mr_{结晶}+FCp(t_1-t_3)$

$$3.5\times2446=19.8\times68+100\times2.9\times(t_1-20)$$

得　t_1=44.9℃

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=111.0kPa　A_0=15.4nm^2

求：a

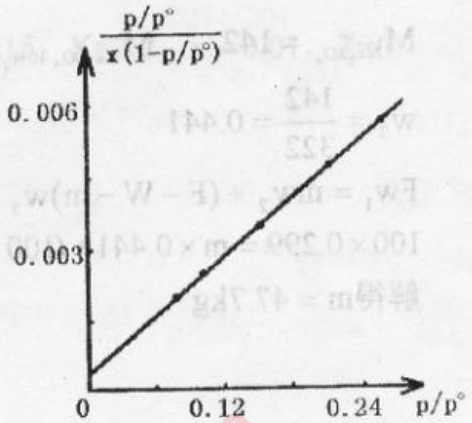
解：以 BET 方程求解。

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 $A=2.284\times10^{-4}$ g/mg



则 $x_m=\frac{1}{A+B}$

$$=\frac{1}{0.02373+2284\times10^{-4}}=41.74\text{mg/g}$$

比表面

$$a=\frac{N_0A_0x_m}{M}$$

$$=\frac{6.023\times10^{23}\times15.4\times10^{-20}\times41.74\times10^{-3}}{28}$$

$$=138.3\text{m}^2/\text{g}$$

4. 已知：t=20℃，D=0.2m，L=0.6m，$x=\frac{104c}{1+417c}$，（x—kg 丙酮/kg 活性炭，c—kg 丙酮/m^3气）　$\rho=1.2\text{kg/m}^3$，$c_2=0$，$c_1=0.01$kg 丙酮/m^3，$\rho_B=600\text{kg/m}^3$，$K_fa_B=10$ l/s，$q_v=30\text{m}^3/\text{h}$

求：τ_B

解：$x_1=\frac{104c_1}{1+417c_1}=\frac{104\times0.01}{1+417\times0.01}=0.20\text{kg/kg}$

$x_2=0$　得　$c_2=0$

操作线方程　$x=x_2+\frac{x_1-x_2}{c_1-c_2}(c-c_2)=\frac{0.20}{0.01}c=20c$

$c_B=0.05c_1=0.05\times0.01=0.0005\text{kg/m}^3$

$c_S=0.95c_1=0.95\times0.01=0.0095\text{kg/m}^3$

$x=\frac{104c_e}{1+417c_e}=20C$　得　$c-c_e=c-\frac{20c}{104-8340c}$

$$N_{of}=\int_{C_B}^{C_S}\frac{dc}{c-c_e}=\int_{0.0005}^{0.0095}\frac{dc}{c-\frac{20c}{104-8340c}}$$

$$=\left[\ln(104-20-8340c)-\frac{104}{104-20}\ln\frac{104-20-8340c}{c}\right]\Bigg|_{0.0005}^{0.0095}$$

$$=4.32$$

$$u=\frac{q_v}{\frac{\pi}{4}D^2}=\frac{30}{3600\times0.785\times0.2^2}=0.265m/s$$

$$H_{of}=\frac{u}{K_1a_B}=\frac{0.265}{10}=0.0265m$$

$$L_0=H_{of}\cdot N_{of}=0.114m$$

$$\tau_B=\frac{(x_1-x_2)\rho_B}{(c_1-c_2)u}(L-0.5L_0)=\frac{0.2\times600}{0.01\times0.265}(0.6-0.5\times0.114)=2.46\times10^4S=6.83hr$$

5. 已知：t=25℃，P=10MPa，$q_{v1}=10m^3/h$，$\rho=1022kg/m^3$，$w_1=0.035$，$w_2=0.0005$，$\eta_{水}=60\%$，$A=9.7\times10^{-5}kmol/(m^2\cdot S\cdot MPa)$，以上浓度、回收率均以质量计。

求：w_3，q_{m2}，J_{V1}，J_{V2}

解：对盐衡算：$q_{m1}w_1=q_{m2}w_2+q_{m3}w_3$ （1）

对水衡算：$\frac{q_{m2}(1-w_2)}{q_{m1}(1-w_1)}=\eta_{水}$ （2）

总衡算：$q_{m1}=q_{m2}+q_{m3}$ （3）

三式联立，其中 $q_{m1}=q_{v1}\cdot\rho=10\times1022=10220kg/h$

解得 $q_{m2}=\frac{q_{m1}(1-w_1)\cdot\eta_{水}}{(1-w_2)}=\frac{10220\times(1-0.035)\times60\%}{(1-0.0005)}=5920.3kg/h$

$$w_3=\frac{q_{m1}w_1-q_{m2}w_2}{q_{m1}-q_{m2}}=\frac{10220\times0.035-5920.3\times0.0005}{10220-5920.3}=0.0825$$

由表 12-4 查得不同浓度下盐水的渗透压为：

原料 $w_1=0.035$　　$\pi_1=2.84MPa$

淡水 $w_2=0.0005$　　$\pi_2=0$

浓盐水 $w_3=0.0826$　　$\pi_3=7.51\text{MPa}$

进口端　$J_{V1}=A(\Delta P-\Delta\pi_1)=9.7\times10^{-5}\times(10-2.84)=6.95\times10^{-4}\text{kmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$

出口端　$J_{V2}=A(\Delta P-\Delta\pi_3)=9.7\times10^{-5}\times(10-7.51)=2.42\times10^{-4}\text{kmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$

第十三章 热、质同时传递的过程

过程的方向和极限

1. 已知：t=30℃，P=2kPa，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：查水的饱和蒸汽压 50℃ P_s=12.3kPa 30℃ P_s=4.25kPa

18℃ P_s=2.08kPa 10℃ P_s=1.23kPa

以 Δt 为传热条件，ΔP_{H2O} 为传质条件，得：

水温 θ	50℃	30℃	18℃	10℃
传热方向	气←水	无	气→水	气→水
传质方向	气←水	气←水	气←水	气→水

2. 已知：P=101.3kPa，t_1=25℃，t_{w1}=20℃，θ=40℃，Z=∞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：（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

$\theta_1 = t_{w1} = 20℃$

（2）大量水处理少量空气的极限温度 t_2 为水的温度

$t_2 = \theta_2 = 40℃$，且湿度为 H_S

查 40℃下，P_s=7.38kPa

$$\therefore H = H_S = 0.622\frac{P_S}{P - P_S} = 0.622 \times \frac{7.38}{101.3 - 7.38}$$

$$= 0.0489 \text{公斤水/公斤干空气}$$

过程计算

3. 已知：P=320kPa，t=30℃，t_w=24℃，氢气—水系统，α/k_H=17.4KJ/Kg·℃

求：H（kg 水/kg 干氢气）

解：查得 24℃下，P_s=3.0kPa,r_W=2436.4KJ/Kg

$$H_W=\frac{M_{H_2O}}{M_{H_2}}\cdot\frac{p_W}{P-p_W}=\frac{18}{2}\times\frac{3}{320-3}=0.0852\text{kg水/kg干氢气}$$

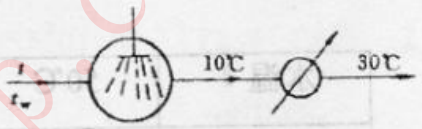
$$H=H_W-\frac{\alpha(t-t_W)}{k_H\cdot r_W}=0.0852-\frac{17.4}{2436.4}\times(30-24)=0.0423\text{kg水/kg干}H_2$$

4. 已知：P=101.3kPa，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：（1）查水的饱和蒸汽压



28℃　p_s=3.82kPa　r=2434.8kJ/kg

10℃　p_s=1.23kPa

$$H_W=0.622\frac{p_W}{P-p_W}=0.622\times\frac{3.82}{101.3-3.82}=0.0241\text{kg水/kg干空气}$$

$$H_1=H_W-\frac{1.09}{r_W}(t_1-t_{w1})$$

$$=0.0241-\frac{1.09}{2434.8}(30-28)=0.0232\text{kg水/kg干气}$$

$$H_2=H_{S2}=0.622\frac{p_S}{P-p_S}=0.622\times\frac{1.23}{101.3-1.23}=0.0076\text{kg水/kg干空气}$$

$$\therefore W=H_1-H_2=0.0232-0.0076=0.0156\text{kg水/kg干空气}$$

（2）H_3=H_2=0.0076kg 水/kg 干气

设 t_{w3}=18℃，查得 P_{w3}=2.08kPa，r_{w3}=2451kJ/kg

$$H_{W3}=0.622\frac{p_{W3}}{P-p_{W3}}=0.622\times\frac{2.08}{101.3-2.08}=0.0129\text{kg水/kg干气}$$

$$t_{w3}=t_3-\frac{r_W}{1.09}(H_{W3}-H_3)$$

$$=30-\frac{2451}{1.09}\times(0.0129-0.0076)$$

$= 18.1℃$

与所设基本相符，∴ t_w=18.0℃

5. 已知：t_1=60℃，H_1=0.02kg 水/kg 干气，常压，喷水量 W=0.006kg 水/kg 干气，等焓过程。

求：t_2，H_2

解：$H_2 = H_1 + W = 0.02 + 0.006 = 0.026$kg 水/kg 干气

∵ 等焓过程

∴ $I_1 = I_2$

即 $(1.01+1.88H_1)t_1 + 2500H_1 = (1.01+1.88H_2)t_2 + 2500H_2$

$$t_2 = \frac{(1.01+1.88H_1)t_1 + 2500(H_1 - H_2)}{1.01+1.88H_2}$$

$$= \frac{(1.01+1.88\times0.02)\times60 + 2500(0.02-0.026)}{1.01+1.88\times0.026}$$

$= 45.2℃$

6. 已知：CO_2—水蒸汽，V=2000kg/h，水蒸汽占 70%(质)，P=0.3MPa(表)，t_2=80℃，

求：W（冷凝下的水量）

解：$V_干 = V(1-70\%) = 2000\times(1-0.7) = 600$kg/h

$$\therefore H_1 = \frac{V_水}{V_干} = \frac{2000\times0.7}{600} = 2.33kg水/kg干气$$

P=0.3MPa(表)=401.3kPa

查得 80℃时，水的饱和蒸汽压 p_S=47.38kPa

$$\therefore H_2 = \frac{M_水}{M_{CO_2}}\cdot\frac{p_S}{P-p_S} = \frac{18}{44}\times\frac{47.38}{401.3-47.38} = 0.0548kg水/kg干气$$

$$W = V_干(H_1 - H_2) = 600\times(2.33-0.0548) = 1365.12kg水/kg干气$$

7. 已知：氮—苯混合气 P_1=102.4kPa，t_1=297K，p_1=7.32kPa，η=75%，t_2=283K，

p_{S2}=6.05kPa，

求：P_2

解：

$$H_1=\frac{M_{苯}}{M_{N_2}}\cdot\frac{p_1}{P_1-p_1}$$

$$H_2=\frac{M_{苯}}{M_{N_2}}\cdot\frac{p_{S2}}{P_2-p_{S2}}$$

$$\eta=\frac{H_1-H_2}{H_1}=1-\frac{H_2}{H_1}$$

$$\therefore 1-\eta=\frac{H_2}{H_1}=\frac{p_{S2}}{P_2-p_{S2}}\cdot\frac{P_1-p_1}{p_1}$$

$$1-0.75=\frac{6.05}{P_2-6.05}\cdot\frac{102.4-7.32}{7.32}$$

$$\therefore P_2=320.4KN/m^2$$

8. 已知：填料式凉水塔，θ_2=34℃，θ_1=20℃，L=2.71×10^{-2}kg/s·m^2，

V=4×10^{-2}kg/s·m^2，t_1=20℃，H_1=0.004kg 水/kg 干空气，P=100kPa，

k_Ha=1.6×10^{-2}kg/s·m^2，

求：塔高 Z

解：

$$I_1=(1.01+1.88H_1)t_1+2500H_1$$

$$=(1.01+1.88\times0.004)\times20+2500\times0.004=30.35kJ/kg$$

$$I_2=I_1+\frac{L}{V}C_L(\theta_2-\theta_1)$$

$$=30.35+\frac{2.71\times10^{-2}}{4\times10^{-2}}\times4.18\times(34-20)=70.0kJ/kg$$

查得 θ_1=20℃时，I_{e1}=57.86kJ/kg

θ_2=34℃时，I_{e2}=123.72kJ/kg

∵ 水温变化不大，可近似认为 $I_e=K\theta+b$，即为直线关系。

$$\therefore \Delta I_m = \frac{(I_{e1} - I_1) - (I_{e2} - I_2)}{\ln \frac{I_{e1} - I_1}{I_{e2} - I_2}}$$

$$= \frac{(57.86 - 30.35) - (123.72 - 70)}{\ln \frac{57.86 - 30.35}{123.72 - 70}}$$

$$= 39.4kJ/kg$$

$$N_{OG} = \frac{I_2 - I_1}{\Delta I_m} = \frac{70 - 30.35}{39.4} = 1.01$$

$$H_{OG} = \frac{V}{k_H a} = \frac{4 \times 10^{-2}}{1.6 \times 10^{-2}} = 2.5m$$

$$\therefore Z = H_{OG} \cdot N_{OG} = 2.5 \times 1.01 = 2.53m$$

第十四章　　固体干燥

湿空气的性质

1. 已知：t_1=27℃，t_{d1}=22℃，t_2=80℃，

求：φ_1，φ_2

解：查水的饱和蒸汽压　22℃　2.668kPa

27℃　3.6kPa

80℃　47.38kPa

$$\varphi_1=\frac{P_d}{P_{S1}}=\frac{2.668}{3.6}=74.1\%$$

$$\varphi_2=\frac{P_d}{P_{S2}}=\frac{2.668}{47.38}=5.6\%$$

$$\varphi\text{变化：}\frac{\varphi_1-\varphi_2}{\varphi_1}=\frac{74.1-5.6}{74.1}=0.924$$

2. 已知：t_1=65℃，t_{w1}=40℃，t_2=25℃，P=101.3kPa

求：$W_{水}$，Q

解：查水的饱和蒸汽压　40℃　7.375kPa　r_w=2401kJ/kg

25℃　3.168kPa

$$H_w=0.622\frac{p_w}{P-p_w}=0.622\times\frac{7.375}{101.3-7.375}=0.0488\text{kg水/kg干气}$$

$$H_1=H_w-\frac{1.09}{r_w}(t_1-t_{w1})$$

$$=0.0488-\frac{1.09\times(65-40)}{2401}=0.0375\text{kg水/kg干气}$$

$$H_2=H_{S2}=0.622\frac{p_S}{P-p_S}=0.622\times\frac{3.168}{101.3-3.168}=0.0201\text{kg水/kg干气}$$

$$W_{水}=H_1-H_2=0.0375-0.0201=0.0174kg\text{水}/kg\text{干气}$$

$$I_1=(1.01+1.88H_1)t_1+2500H_1$$

$$=(1.01+1.88\times0.0375)\times65+2500\times0.0375=164.0\text{kJ/kg干气}$$

$$I_2 = (1.01+1.88H_2)t_2 + 2500H_2$$

$$= (1.01+1.88\times0.0201)\times25 + 2500\times0.0201 = 76.4\text{kJ/kg干气}$$

$$\therefore Q = I_1 - I_2 = 164 - 76.4 = 87.6\text{kJ/kg干气}$$

3. 已知：P=100kPa

求：用焓——湿度图填充下表。

解：

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=0.01kg水/kg干气，$W_{水}$=0.1kg/S，θ=30℃，

$V_{干}$=10kg干气/S，忽略热损失

求：（1）ΔI

（2）t_2

（3）忽略ΔI，t_2

解：（1）喷水后气体增加的焓即液体所带入的焓

$$\Delta I = W_{水}c_p\theta/V_{干} = 0.1\times4.18\times30/10 = 1.25\text{kJ/kg干气}$$

（2）$I_1+\Delta I=I_2$

$$H_2 = H_1 + \frac{W}{V_{干}} = 0.01 + \frac{0.1}{10} = 0.02\text{kg水/kg干气}$$

$$\therefore (1.01+1.88H_1)t_1 + 2500H_1 + \Delta I = (1.01+1.88H_2)t_2 + 2500H_2$$

$$\therefore t_2 = \frac{(1.01+1.88H_1)t_1 + 2500(H_1-H_2) + \Delta I}{1.01+1.88H_2}$$

$$= \frac{(1.01+1.88\times0.01)\times80 + 2500\times(0.01-0.02) + 1.25}{1.01+1.88\times0.02}$$

=55.9℃

（3）若忽略ΔI，则 $I_1=I_2$

$$\therefore t_2=\frac{(1.01+1.88\times0.01)\times80+2500\times(0.01-0.02)}{1.01+1.88\times0.02}$$

$$=54.7℃$$

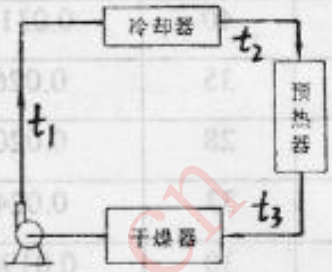
5. 已知：$t_1=30℃$，$t_{d1}=20℃$，$V_{湿}=1000m^3/h$，$W=2.5kg/h$，$t_3=60℃$，$P=101.3kPa$

求：(1) t_2，H_2

(2) φ_3

解：（1）查水的饱和蒸汽压

20℃时 $P_d=2.338kPa$



$$H_1=0.622\frac{P_d}{P-P_d}$$

$$=0.622\times\frac{2.338}{101.3-2.338}$$

$$=0.0147kg水/kg干气$$

$$\upsilon_{H1}=(2.83\times10^{-3}+4.56\times10^{-3}H_1)(t+273)$$

$$=(2.83\times10^{-3}+4.56\times10^{-3}\times0.0147)\times(30+273)$$

$$=0.878m^3/kg干气$$

$$\therefore V_{干}=\frac{V_{湿}}{V_H}=\frac{1000}{0.878}=1.14\times10^3kg干气/h$$

$$H_2=H_1-\frac{W_{水}}{V_{干}}=0.0147-\frac{2.5}{1.14\times10^3}=0.0125kg水/kg干气$$

$\because$ $t_{d2}=t_2$

$$\therefore H_2=0.622\frac{p_{S2}}{P-p_{S2}}$$

$$0.0125=0.622\frac{p_{S2}}{101.3-p_{S2}}$$

$$\therefore p_{S2}=1.996kPa$$

查对应的饱和温度 $t_2=17.5℃$

（3）查 60℃，$p_{S3}=19.91kPa$

$$\therefore \varphi_3=\frac{p_{S2}}{p_{S3}}=\frac{1.996}{19.91}=10.0\%$$

间歇干燥过程计算

6. 已知：P=101.3kPa，t=25℃　　φ=100%，X_1^*=0.02kg 水/kg 干料

φ=40%，X_2^*=0.007kg 水/kg 干料　　X=0.25，空气 25℃，φ=40%

求：自由含水量，结合水量，非结合水量

解：自由含水量=$X-X_2^*$=0.25-0.007=0.243kg 水/kg 干料

结合水量=X_1^*=0.02kg 水/kg 干料

非结合水量=$X-X_1^*$=0.25-0.02=0.23kg 水/kg 干料

7. 已知：$N_{恒}$=1.1kg 水/m^2·h，G_C=1000kg，A=55m^2，X_1=0.15kg 水/kg 干料，X_2=0.005kg 水/kg 干料，X*=0，X_c=0.125kg 水/kg 干料，

求：τ

解：∵ $X_1>X_c>X_2$

∴ 干燥过程分恒速阶段与降速阶段两部分

$$\therefore \tau = \tau_{恒} + \tau_{降}$$

$$= \frac{G_C}{AN_{恒}}\left[(X_1 - X_C) + X_C \ln\frac{X_C}{X_2}\right]$$

$$= \frac{1000}{55\times 1.1}\times\left[(0.15-0.125) + 0.125\ln\frac{0.125}{0.005}\right]$$

$$= 7.06(hr)$$

8. 已知：浅盘 n=50 只，盘底面积 70×70cm，厚度 h=0.02m，$\rho_{湿}$=1600kg/m^3，X_1=0.5kg 水/kg 干料，X_2=0.005kg 水/kg 干料，X*=0，X_C=0.3kg 水/kg 干料

干燥条件：平行流过 u=2m/s，t=77℃，φ=10%，$N_{降}\propto(X-X^*)$

求：τ

解：以一只盘为基准进行计算

$G=A\cdot h\cdot \rho_{湿}=0.7\times 0.7\times 0.02\times 1600=15.68kg$

$$G_C=\frac{G}{1+X_1}=\frac{15.68}{1+0.5}=10.45kg干料$$

查焓—湿图，t=77℃，φ=10%时，H=0.0268 kg 水/kg 干料

t_w=38℃，r_w=2411kJ/kg

$$\therefore \upsilon_H=(2.83\times10^{-3}+4.56\times10^{-3}H)(t+273)$$

$$=(2.83\times10^{-3}+4.56\times10^{-3}\times0.0268)\times(77+273)$$

$$=1.03m^3/kg干气$$

$$湿空气的密度\rho=\frac{1+H}{\upsilon_H}=\frac{1+0.0268}{1.03}=0.997kg/m^3$$

湿空气的质量流速

$$G'=\rho u=0.997\times2=1.99kg/m^2\cdot S$$

$$\alpha=0.0143(G')^{0.8}$$

$$=0.0143\times1.99^{0.8}$$

$$=0.0248kJ/m^2\cdot S\cdot ℃=89.3\ kJ/m^2\cdot h\cdot ℃$$

$$N_{恒}=\frac{\alpha}{r_w}(t-t_w)=\frac{89.3}{2411}\times(77-38)=1.445kg/m^2\cdot h$$

$$\therefore \tau_{恒}=\frac{G_C}{A}\cdot\frac{X_1-X_C}{N_A}=\frac{10.45}{0.7\times0.7}\times\frac{0.5-0.3}{1.445}=2.95(hr)$$

$$\tau_{降}=\frac{G_C}{A}\cdot\frac{X_C}{N_{恒}}\ln\frac{X_C}{X_2}$$

$$=\frac{10.45}{0.7\times0.7}\times\frac{0.3}{1.445}\times\ln\frac{0.3}{0.005}=18.13(hr)$$

$$\therefore \tau=\tau_{恒}+\tau_{降}=2.95+18.13=21.08(hr)$$

连续干燥过程计算

9. 已知：t_0=20℃，H_0=0.01kg/kg 干气，t_1=120℃，t_2=70℃，H_2=0.05kg/kg 干气，

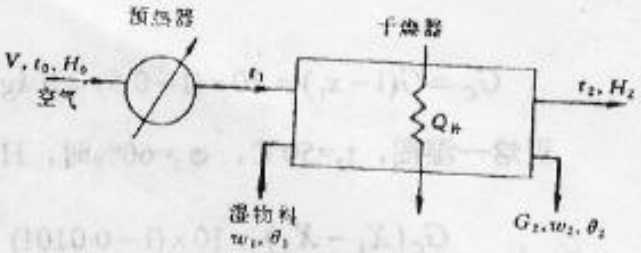
θ_1=30℃，w_1=20%，θ_2=50℃，w_2=5%，c_{ps}=1.5kJ/(kg·℃)，G_2=53.5kg/h，

$Q_{损}$=0

求：（1）$V_{空}$

（2）Q_p

（3）Q_D



解：（1）
$$X_1=\frac{w_1}{1-w_1}=\frac{0.2}{1-0.2}=0.25$$
$$X_2=\frac{w_2}{1-w_2}=\frac{0.05}{1-0.05}=0.0526$$
$$G_C=G_2(1-x_2)=53.5\times(1-5\%)=50.825kg干/h$$
$$W=G_C(X_1-X_2)=50.825\times(0.25-0.0526)=10.03kg/h$$
$$V_{空}=\frac{W}{H_2-H_1}=\frac{W}{H_2-H_0}=\frac{10.03}{0.05-0.01}=250.75kg干/h$$

(2)
$$I_1=(1.01+1.88H_1)t_1+2500H_1$$
$$=(1.01+1.88\times0.01)\times120+2500\times0.01=148.46kJ/kg干$$
$$I_0=(1.01+1.88H_0)t_0+2500H_0$$
$$=(1.01+1.88\times0.01)\times20+2500\times0.01=45.58kJ/kg干$$
$$Q_P=V_{空}(I_1-I_0)=250.75\times(148.46-45.58)=25798.2kJ/h$$

(3)
$$I_2=(1.01+1.88H_2)t_2+2500H_2$$
$$=(1.01+1.88\times0.05)\times70+2500\times0.05=202.28kJ/kg干$$
$$Q_D=V_{空}(I_2-I_1)+G_C(i_2-i_1)$$
$$i_2=(c_{ps}+c_{PL}X_2)\theta_2=(1.5+4.19\times0.0526)\times50=86.02kJ/kg干$$
$$i_1=(c_{ps}+c_{PL}X_1)\theta_1=(1.5+4.19\times0.25)\times30=76.4kJ/kg干$$
$$Q_D=250.75\times(202.28-148.46)+50.825\times(86.02-76.4)=13984.3kJ/h$$

10. 已知：P=100kPa，w_1=0.5，w_2=0.01，G=20kg/s，t_0=25℃，

H_0=0.005kg 水/kg 干气，t_2=50℃，φ_2=60%，理想干燥器

求：（1）V

（2）t_1

（3）η

解：（1）
$$X_1=\frac{w_1}{1-w_1}=\frac{0.5}{1-0.5}=1kg水/kg干料$$
$$X_2=\frac{w_2}{1-w_2}=\frac{0.01}{1-0.01}=0.0101kg水/kg干料$$

$$G_C = G(1-x_1) = 20\times(1-0.5) = 10kg干料/S$$

查焓—湿图，t_2=50℃，φ_2=60%时，H_2=0.0495kg 水/kg 干气

$$V_干 = \frac{G_C(X_1-X_2)}{H_2-H_1} = \frac{10\times(1-0.0101)}{0.0495-0.005} = 222kg干气/s$$

$$\therefore V = V_干(1+H_1) = 222\times(1+0.005) = 223kg/s$$

（2）∵理想干燥器

∴ I_1=I_2

$$(1.01+1.88H_1)t_1 + 2500H_1 = (1.01+1.88H_2)t_2 + 2500H_2$$

$$\therefore t_1 = \frac{(1.01+1.88H_2)t_2 + 2500(H_2-H_1)}{1.01+1.88H_1}$$

$$= \frac{(1.01+1.88\times0.0495)\times50 + 2500\times(0.0495-0.005)}{1.01+1.88\times0.005}$$

=163℃

（3） $$\eta = \frac{t_1-t_2}{t_1-t_0} = \frac{163-50}{163-25} = 81.1\%$$

11. 已知：P=100kPa，w_1=0.20，w_2=0.01，G=1.75kg/s，t_0=20℃，t_{w0}=16℃，φ_2=70%，

求：（1）一次预热 t_1=120℃，V，η

（2）先预热至 t_1=120℃达 φ_2=70%后，再加热至 t_3=100℃，

再达 φ_4=70%后排出，求 V，η

解：（1） $$X_1 = \frac{w_1}{1-w_1} = \frac{0.2}{1-0.2} = 0.25$$

$$X_2 = \frac{w_2}{1-w_2} = \frac{0.01}{1-0.01} = 0.01$$

$$G_C = G(1-x_1) = 1.75\times(1-0.2) = 1.4kg干料/s$$

$$W_水 = G_C(X_1-X_2) = 1.4\times(0.25-0.01) = 0.336kg/s$$

∵理想干燥器

∴由 I—H 图查得：

H_0=0.01kg 水/kg 干气，H_2=0.041kg 水/kg 干气，t_2=42℃

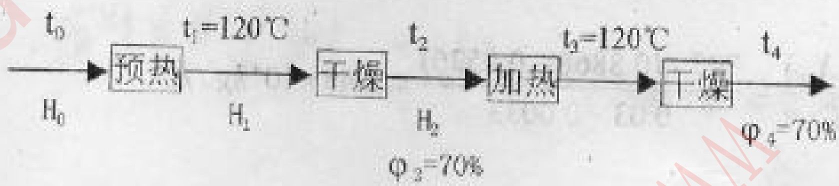
$$W_{水} = V_{干}(H_2 - H_0)$$

$$\therefore V = \frac{W_{水}}{H_2 - H_0} \times (1 + H_0)$$

$$= \frac{0.336}{0.041 - 0.01} \times (1 + 0.01) = 10.9kg/s$$

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0} = \frac{120 - 42}{120 - 20} = 78\%$$

(2)



有中间加热，理想干燥器

由 I—H 图得

H_4=0.0615kg 水/kg 干气，t_4=51℃

$$V = \frac{W_{水}}{(H_4 - H_0)} \times (1 + H_0)$$

$$= \frac{0.336}{0.0615 - 0.01} \times (1 + 0.01) = 6.59kg/s$$

$$\eta = \frac{(I_1 - I_2') + (I_3 - I_4')}{(I_1 - I_0) + (I_3 - I_2)}$$

$H_0 = H_1$ $\quad \therefore I_1 - I_0 = (1.01 + 1.88H_0)(t_1 - t_0)$

$H_2 = H_3$ $\quad \therefore I_3 - I_2 = (1.01 + 1.88H_2)(t_3 - t_2)$

$$I_2 = (1.01 + 1.88H_0)t_2 + 2500H_0$$

$$\therefore I_1 - I_2 = (1.01 + 1.88H_0)(t_1 - t_2)$$

$$I_4 = (1.01 + 1.88H_2)t_4 + 2500H_2$$

$$\therefore I_3 - I_4 = (1.01 + 1.88H_2)(t_3 - t_4)$$

$$\therefore \eta = \frac{(1.01 + 1.88H_0)(t_1 - t_2) + (1.01 + 1.88H_2)(t_3 - t_4)}{(1.01 + 1.88H_0)(t_1 - t_0) + (1.01 + 1.88H_2)(t_3 - t_2)}$$

$$= \frac{(1.01 + 1.88 \times 0.01)(120 - 42) + (1.01 + 1.88 \times 0.041)(100 - 51)}{(1.01 + 1.88 \times 0.01)(120 - 20) + (1.01 + 1.88 \times 0.041)(100 - 42)} = 80.5\%$$

12. 已知：理想干燥器，$V_{循}=0.8V_{废}$，$H_0=0.0033$kg 水/kg 干气，$t_0=16℃$

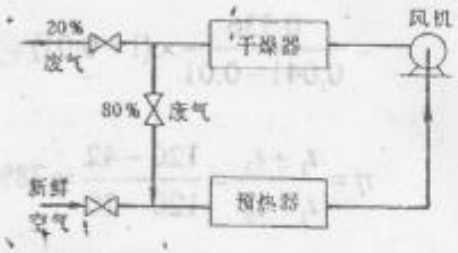
$t_2=67℃$，$H_2=0.03$kg 水/kg 干气，$G_1=1500$kg 湿料/h，$w_1=0.47$，$w_2=0.05$

求：V，$Q_{预}$

解：

$$X_1=\frac{w_1}{1-w_1}=\frac{0.47}{1-0.47}=0.8868$$

$$X_2=\frac{w_2}{1-w_2}=\frac{0.05}{1-0.05}=0.0526$$



$$G_C=G(1-x_1)=1500\times(1-0.47)=795kg/h$$

$$V_{干}=\frac{G_C(X_1-X_2)}{H_2-H_1}=\frac{795\times(0.8868-0.0526)}{0.03-0.0033}=2.48\times10^4kg/h$$

解法 1：∵ 循环后，空气用量不变时，$Q_{预}$不变，η不变

$$\therefore I_0=(1.01+1.88H_0)t_0+2500H_0$$

$$=(1.01+1.88\times0.033)\times16+2500\times0.0033=24.5kJ/kg干气$$

$$I_1=I_2=(1.01+1.88H_2)t_2+2500H_2$$

$$=(1.01+1.88\times0.03)\times67+2500\times0.03=146kJ/kg干气$$

$$\therefore Q_{预}=V_{干}(I_2-I_0)=2.48\times10^4\times(146-24.5)=3.01\times10^6kJ/h$$

$$V=V_{干}(1+H_0)=2.48\times10^4\times(1+0.0033)=2.49\times10^4kJ/h$$

解法 2：由混点作物料恒算得 $5H_m=H_0+4H_2$

$$\therefore H_m=\frac{1}{5}(0.0033+4\times0.03)=0.02466kg水/kg干气$$

$$I_1=I_2$$

$$\therefore(1.01+1.88H_m)t_1+2500\times H_m=(1.01+1.88H_2)\times t_2+2500\times H_2$$

$$(1.01+1.88\times0.02466)t_1+2500\times0.02466=(1.01+1.88\times0.03)\times67+2500\times0.03$$

$$\therefore t_1=80.3℃$$

$$\therefore Q_{预}=2.48\times10^4(1.01+1.88\times0.0033)(80.3-16)$$

$$+4\times2.48\times10^4(1.01+1.88\times0.03)(80.3-67)=3.01\times10^6kJ/h$$