HARVEST 55

$\frac{\sum N_i}{\sum C_i}$

« جزوه ۲ - مفاهیم اولیه و مکانیزم ها »

شار مولی ≠ شار نفوذ مولی
$J_A \neq N_A$

① مفاهیم اولیه

$\bar{M} = \sum x_i M_i$, $w_i = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i}$, $u^* = \sum x_i u_i$, $\bar{M} = \frac{\rho}{C}$

$\frac{1}{\bar{M}} = \sum \frac{w_i}{M_i}$, $x_i = \frac{w_i/M_i}{\sum w_i/M_i}$, $u = \sum w_i u_i$, $dw_A = (\frac{1}{M})^2 M_A M_B dx_A$

- مکانیزم ها: نفوذ مولکولی، جابجایی
- نرخ (rate): مولی $\dot{n}_A$ ($\frac{mol}{s}$)، جرمی $\dot{m}_A$ ($\frac{kg}{s}$)
- شار (flux): مولی N_A ($\frac{mol}{m^2 \cdot s}$)، جرمی n_A ($\frac{kg}{m^2 \cdot s}$)

$N_A = \frac{\dot{n}_A}{A}$, $n_A = \frac{\dot{m}_A}{A}$ ← شار = نرخ / مساحت

$\dot{m}_A = M_A \dot{n}_A$, $n_A = M_A N_A$ ← جرمی = مولی × وزن مولکولی

$\dot{m}_A = N_A M_A A$

$N_A = C_A \cdot u_A = J_{At} + x_i \sum N_i$

$J_A = C_A (u_A - u^*)$

$D_{A,\text{گاز}} > D_{A,\text{مایع}} \gg D_{A,\text{جامد}}$

گاز	مایع	جامد
$\simeq 10^{-5}\ \frac{m^2}{s}$	$\simeq 10^{-9}\ \frac{m^2}{s}$	$\simeq 10^{-12}\ \frac{m^2}{s}$
$=10^{-1}\ \frac{cm^2}{s}$	$=10^{-5}\ \frac{cm^2}{s}$	$=10^{-8}\ \frac{cm^2}{s}$
$(0.3-5)\times 10^{-5}\ m^2/s$		

$D_{AB} \propto \frac{T^{3/2}}{P}$

$D_{AB} \propto \frac{T \times M_B \times \phi_B}{\mu \times V_A^{0.6}}$ (ضریب وجدی)

$T \uparrow \rightarrow D_{AB} \uparrow$

$D_{AB} \not\propto P$

$D = [\frac{m^2}{s}]$

② قانون اول فیک

حالت کلی: $J_A = -D_{AB} C \cdot \nabla x_A$

C ثابت: $J_A = -D_{AB} \cdot \nabla C_A$

- توی یه مخلوط n جزئی: $\sum J_i = 0$, $D_{AB} = D_{BA}$ ($n=2$)
- واسه‌ی مخلوط گاز ایده‌آل: درصد حجمی = درصد مولی

$D_{Am} = \frac{N_A - y_A \sum N_i}{\sum \frac{1}{D_{Ai}} (y_i N_A - y_A N_i)}$, $D_{Am} = \frac{1-y_A}{\sum_{i=B} \frac{y_i}{D_{Ai}}} = \frac{1}{\sum \frac{y_i'}{D_{Ai}}}$

③ محاسبه شار مولی انتقال جرم

حالت کلی: $N_A = J_A + x_A \sum N_i$

کارتزین: $\dot{n}_A = cte \rightarrow N_A = cte$

استوانه‌ای: $\sim \rightarrow N_A r = cte$

کروی: $\sim \rightarrow N_A r^2 = cte$

$N_A = \frac{C D_{AB} \lambda_A}{\delta} \ln \frac{\lambda_A - \frac{C_{A2}}{C}}{\lambda_A - \frac{C_{A1}}{C}}$

$\lambda_A = \frac{N_A}{\sum N_i}$

λ_A (جزء مولی) $= 1$

توی گاز: $\frac{C_{A2}}{C} = \frac{P_{A2}}{P_t} = y_{A2}$

توی مایع: $\frac{C_{A1}}{C} = x_1$, $C = (\frac{\rho}{M})$

شرایط پایا

- کارتزین، جزء ساکن و دافوزی ($\sum N_i = \beta N_A$): $N_A = \frac{C D_{AB}}{\delta} \cdot \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{C_{BM}}$ ← نیمه بی‌حرکت
- جذب سریع: $C_{A2} = P_{A2} = y_{A2} = x_{A2} = 0$

استوانه‌ای: $S_{av.} = \frac{2\pi L (r_2 - r_1)}{\ln r_2/r_1}$

کروی: $S_{av.} = 4\pi r_1 r_2$

جزء: $S_{av.} = \pi r_1 r_2$

$N_A = \frac{C D_{AB}}{\delta} (y_{A1} - y_{A2})$, $u^* = 0$

$\dot{n}_A = N_A \times S_{av.}$

- کارتزین، متقابل ($\sum N_i = 0$)
- مسئله‌ی لوله‌ی سوختن دفنی: $\dot{n}_{A1} = \dot{n}_{A2}$

④ انتقال جرم شبه پایا

$N_A = \frac{-1}{A} \cdot \frac{dn_A}{dt}$, $n = \frac{m}{M}$, $C = \frac{n}{V} \Rightarrow n = CV$

حوزن

- جزء: $\dot{n}_A = cte$
- توی صفحه‌ی فلزی: $t_f \propto R^2$

⑤ معادلات حرکت

معادله‌ی اساسی جرم: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0$

$\frac{\partial C_A}{\partial t} + V \cdot \nabla C_A = D_{AB} \nabla^2 C_A + R_A$

- معادله‌ی پیوستگی: $R_A = V \cdot \nabla C_A = 0$
- قانون دوم فیک: $\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{AB} \nabla^2 C_A = -\nabla J_A$

$Da = \frac{k C_B^{a-1} L}{D_{AB}}$

$Da'' = \frac{k \delta}{D_{AB}}$

حرکت: $Da \gg 1 \Rightarrow C_A|_w = C$, $Da \ll 1 \Rightarrow \frac{dC_A}{dz}|_w = C$

$Da'' \gg 1$ → واکنش تند

$Da'' \ll 1$ → واکنش کند

$Thiele = \sqrt{\frac{kL^2}{D_{AB}}}$

N_i: شار مولی نسبت به ساکن

J_i: شار نسبت به متحرک

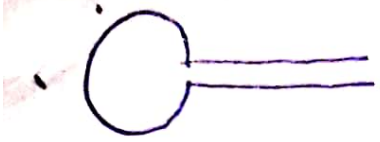
n_i: شار جرمی نسبت به ساکن

$x_i \sum N_i$: شار جرمی نسبت به متحرک

توی حل شدن کریستال $A.nH_2O$ توی آب:

$\lambda_A = \frac{1}{n+1}$

Scanned with CamScanner



$$N_A = \frac{D_{AB}(C_{A1}-0)}{z} = \frac{-1}{A}\cdot\frac{dn_A}{dt} = -\frac{V}{A}\cdot\frac{dC_A}{dt}$$

$$\Rightarrow dt = -\frac{Vz}{D_{AB}A}\frac{dC_A}{C_A}$$

$$\frac{\left.\frac{dP_A}{dz}\right|_1}{\left.\frac{dP_A}{dz}\right|_2} = \frac{1-y_1}{1-y_2}$$

سکون: $\frac{1-x_A}{1-x_1} = \left(\frac{1-x_2}{1-x_1}\right)^{\frac{z}{\delta}}$

تقابل: $\frac{x_1-x_A}{x_1-x_2} = \frac{z}{\delta}$

$t_f \propto \frac{T}{D_{AB}} \frac{1}{\sqrt{T}}$

$\frac{1}{9}$ ـ شرایطی نیست که نتوانست ـ میله یاکرن ـ تصعید ـ دمای حداقل دو و ۹ ـ زمان لازم

HARVEST 56

۱۱ جرم - ضرایب انتقال جرم ۱۱

$F=\frac{CD_{AB}}{\delta}$ $\left[\frac{mol}{m^2.s}\right]$

$\sum N_i\neq 0$: $N_A=F\lambda_A^{ln}\frac{\lambda_A-\frac{C_{A2}}{C}}{\lambda_A-\frac{C_{A1}}{C}}$

$\sum N_i=0$: $N_A=F\left(\frac{C_{A1}}{C}-\frac{C_{A2}}{C}\right)$

$\sum N_i=N_A\neq 0$ $(\lambda_A=1)$ ↓

$F_G=k_c\cdot C_{Bm}=k_G\cdot P_{Bm}=k_y\cdot y_{Bm}$

$F_L=k_L\cdot C_{Bm}=k_x\cdot x_{Bm}$

$\sum N_i\neq 0$ | $N_A=k_c\Delta C_A=k_G\Delta P_A=k_y\Delta y_A$ | $N_A=k_L\Delta C_A=k_x\Delta x_A$

$\sum N_i=0$ | $N_A=k'_c\Delta C_A=k'_G\Delta P_A=k'_y\Delta y_A$ | $N_A=k'_L\Delta C_A=k'_x\Delta x_A$

$[N_A]=\frac{mol}{m^2.s}$

$F_G=k'_c\cdot C=k'_G\cdot P_t=k'_y$

$F_L=k'_L\cdot C=k'_x$

① ضرایب

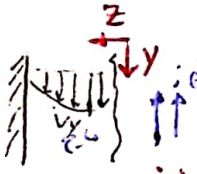
وقتی از k' استفاده می‌شه که $x_A\sum N_i=0$

۱ فرمول رویتی

۲ ماسولهای برابر

۳ شدت کم

② تئوری نفوذ



$N_A=\bar{k}_L\cdot(C_{Ai}-\bar{C}_{AL})$, $v_y=\frac{3}{2}\bar{v}_y\left(1-\left(\frac{z}{\delta}\right)^2\right)$, $\bar{v}_y=\frac{g\delta^2}{3\nu}$

$v_y\frac{\partial C_A}{\partial y}=D_{AB}\frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2}$, $\overline{Sh}=\frac{\bar{k}_L\cdot\delta}{D_{AB}}$, $Sh=\frac{FL}{CDAB}\simeq\frac{L}{\delta}$, $Pe=Re.Sc$, $Sc=\frac{\nu}{D_{AB}}=\frac{\mu}{\rho D_{AB}}$

$Pe=\frac{uL}{D_{AB}}$

$Re<100$ جریان آرام $\overline{Sh}=3.414$, $Re=\frac{\rho\bar{v}_y D_H}{\mu}$ → $D_H=4r_H=4\delta$

$100<Re<1200$ جریان گذار $\overline{Sh}=\left(\frac{3\delta}{2\pi L}Pe\right)^{1/2}$ $\Gamma=\frac{\dot{m}}{w}=\rho\bar{v}_y\delta=\frac{\rho g\delta^3}{3\nu}$ → $\delta=\left(\frac{3\mu\Gamma}{\rho^2 g}\right)^{1/3}$, $Re=\frac{4\Gamma}{\mu}$

دبی جرمی شار: از ای واحد عرض صفحه

$N_{Gr}=\left(\frac{\rho g}{2\sigma}\right)^{1/2}.R_f>3$, $\bar{N}_A=\frac{\bar{v}_y\cdot\delta}{L}(\bar{C}_{AL}-C_{A0})=\bar{k}_L(C_{Ai}-\bar{C}_A)_m=\bar{k}_L\frac{(C_{Ai}-C_{A0})-(C_{Ai}-\bar{C}_{AL})}{\ln\frac{C_{Ai}-C_{A0}}{C_{Ai}-\bar{C}_{AL}}}$ $\bar{k}_L\propto\frac{\delta}{\sqrt{L}}$

دبی جرمی شار ← $\bar{N}_A=\frac{Q(\bar{C}_{AL}-C_{A0})}{A}$, $\bar{N}_A A=$ مقدار گاز جذب شده

$A\rightarrow\pi DL$

③ حرکت سیال از روی صفحه افقی

$Pr=\frac{\nu}{\alpha}=\left(\frac{\delta}{\delta_t}\right)^3$, $Le=\frac{\alpha}{D_{AB}}=\frac{Sc}{Pr}=\frac{Pe_D}{Pe_H}$, $Sh=-\frac{\partial C_A^*}{\partial y^*}\Big|_{y^*=0}$

$Sc=\frac{\nu}{D_{AB}}=\left(\frac{\delta}{\delta_c}\right)^3$, $k_L=\frac{-D_{AB}\frac{\partial C_A}{\partial y}\Big|_{y=0}}{C_{Aw}-C_{A\infty}}$, $Gr_D=\frac{g\Delta\rho L^3}{\rho\nu^2}=\frac{\rho g\Delta\rho L^3}{\mu^2}$, $Ra_D=Gr_D.Sc=\frac{g\Delta\rho L^3}{\mu D_{AB}}$

$k_L=\frac{3D_{AB}}{2\delta_c}$ → $Sh_x=\frac{k_L x}{D_{AB}}=0.332Re_x^{1/2}.Sc^{1/3}$, $Sh_x\propto x^{1/2}$, $k_L\propto x^{-\frac{1}{2}}$, $\frac{\partial C_A}{\partial y}\Big|_{y=0}\propto x^{-\frac{1}{2}}$

جریان آرام:

$\left(\frac{k_L x}{D_{AB}}\right)\propto\left(\frac{\rho u_\infty x}{\mu}\right)^{1/2}\left(\frac{\mu}{\rho D_{AB}}\right)^{1/3}$

④ تشابه

رینولدز ($Sc=1$: فرض) : $St_H=St_D=\frac{C_f}{2}$, $\frac{h}{\rho u_\infty c_p}=\frac{k_L}{u_\infty}=\frac{\tau_w}{\rho u_\infty^2}$

کلبرن → $j_H=j_D=\frac{C_f}{2}$, $j_H=St_x Pr^{2/3}$, $j_D=St_x.Sc^{2/3}$, $St_H=\frac{Nu}{Re.Pr}=\frac{h}{\rho u c_p}$, $St_D=\frac{Sh}{Re.Sc}=\frac{k_L}{u}$

کی ها برابرند: اصطکاک سطحی ، جریان آرام لوله ، جریان آرام سطح مسطح

$C_f=f_{fanning}=\frac{f_{darcy}}{4}$ $f_{darcy}\xrightarrow{moody}$

$\tau=-(\nu+E_\nu)\frac{d(\rho v)}{dz}$

$q=-(\alpha+E_H)\frac{d(\rho c_p T)}{dz}$

$J_A=-(D_{AB}+E_D)\frac{dC_A}{dz}$

تئوری گاز ها: $Sc\simeq Pr\simeq Le\simeq 1$

تئوری مایعات: $Sc>100$, $Le>100$, $Sc>1$: $\delta_c<\delta$

Scanned with CamScanner

⑤ روابط تجربی

$Sh = 2 + C.Re^{m}.Sc^{1/3} + c'.Gr^{m'}.Sc^{n'}$ ، $Sh = 2$ ، $Sh = \frac{2r'}{r'-R}$ ، $Sh = \frac{2}{\ln \frac{r'}{R}}$

⑥ تئوری های انتقال جرم

- مدل فیلم (نرست) : $Sh = 1 \Rightarrow k_c = \frac{D_{AB}}{Z_f}$ (نفوذ پذیری جزئی مربع ماهیت نوشوندگی جزئی کم) - شرایط پایا

- مدل رسوخ - تداخل (هیگبی) : $N_A|_{z=0} = \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi t}}(C_{Ai}-C_{A0})$ ، $\overline{N_A} = 2\sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi\theta}}(C_{Ai}-C_{A0})$ ، $k_c = 2\sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi\theta}}$ (نفوذ ناپایا)

↓

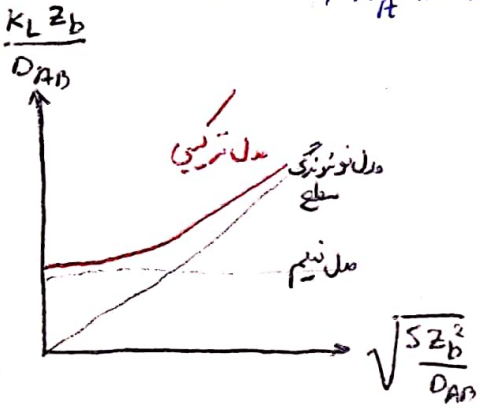
~ ، $\overline{N_A} = \sqrt{D_{AB}s}(C_{Ai}-C_{A0})$ ، $\overline{k_L} = \sqrt{D_{AB}s}$ (کمیر توی ناپایا - نفوذ جزء ساکن ، θ واسی همه ی گذرهای ماع یکیه)

- مدل نوشوندگی سطح (دانکورتز) : ($\overline{k_L}$ = سرعت نوشوندگی میان ، s = عین زندگی متوسط تکه های میان ، θ دیگه یکی نیست)

- مدل ترکیبی فیلم و نوشوندگی (دابینز) :

$$\overline{k_L} = \sqrt{D_{AB}s}\,.\coth\sqrt{\frac{sz_b^2}{D_{AB}}}$$

$\overline{k_L} \propto D_{AB}^{n}$ $(0.5 < n < 1)$



$T\uparrow \rightarrow Sc\downarrow$ $100 < Sc < 10\,000$ ماییا

$T\uparrow \rightarrow Sc \sim$ $0.5 < Sc < 2$ گازا

Sc ... ←

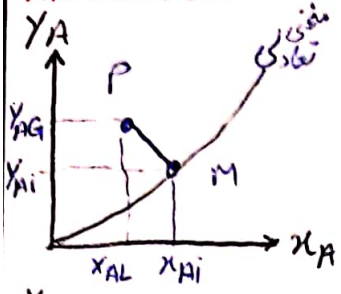
- تصحیح گلوبه k_L :

$$N_A = -\frac{\rho}{M}\cdot\frac{dr}{dt} \Rightarrow dt = -\frac{\rho}{MkC_A^*}dr = -\frac{C}{kC_A^*}dr$$

$$dt = \frac{C_A}{N_A}dr \rightarrow t_f = \frac{\rho}{M}\cdot\frac{R}{N_A} = \frac{CR_0}{k_G P_s^{sat}}$$

Scanned with CamScanner

انتقال جرم بین دو فاز



$$N_A = k_y (y_{AG} - y_{Ai})$$

$$N_A = k_x (x_{Ai} - x_{AL})$$

$$\frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}} = -\frac{k_x}{k_y}$$ معادله خط گرم

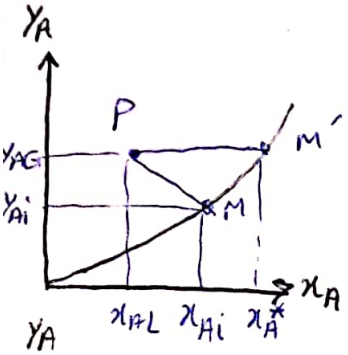
رابطه بین فاز

$$P_A = H x_A = y_A P_t$$

ایده‌آل

$$x_A P_A^{sat} = y_A P_t$$

$$y_{Ai} = m x_{Ai}$$



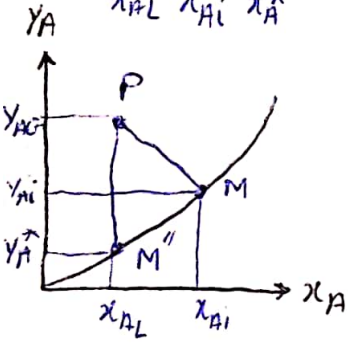
$\frac{-k_x}{k_y} \to 0$ مقاومتی فاز گاز نیست

$$N_A = K_x (x_A^* - x_{AL})$$

$$(x_A^* - x_{AL}) = (x_A^* - x_{Ai}) + (x_{Ai} - x_{AL})$$

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

$k_x > K_x$



$\frac{-k_x}{k_y} \to \infty$ هیچ مقاومتی فاز مایع نیست

$$N_A = K_y (y_{AG} - y_A^*)$$

$$(y_{AG} - y_A^*) = (y_{AG} - y_{Ai}) + (y_{Ai} - y_A^*)$$

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

$k_y > K_y$

$\sum N_i = 0$ واضح که توی حالت $\sum N_i = 0$

$$N_A = F_G (y_{AG} - y_{Ai}) = F_L (x_{Ai} - x_{AL})$$

$$N_A = F_{OG} (y_{AG} - y_A^*) = F_{OL} (x_A^* - x_{AL})$$

$$\frac{1}{F_{OG}} = \frac{1}{F_G} + \frac{m}{F_L}$$

$$\frac{1}{F_{OL}} = \frac{1}{F_L} + \frac{1}{m F_G}$$

$F > k$ ولی

$\sum N_i \neq 0$

$$N_A = \lambda_{AB} F_G \ln \frac{\lambda_{AB} - y_{Ai}}{\lambda_{AB} - y_{AG}} = \lambda_{AB} F_{OG} \ln \frac{\lambda_{AB} - y_A^*}{\lambda_{AB} - y_{AG}}$$

$$N_A = \frac{\Delta x \ (\text{or } \Delta y)}{R}$$ مقاومت در برابر انتقال جرم

نسبت مقاومت

فاز گاز کنترل کننده

$$\frac{1/k_y}{1/K_y} = \frac{1}{1 + m\frac{k_y}{k_x}}$$ فاز گاز کل :

$$\frac{1/k_x}{1/K_x} = \frac{1}{1 + \frac{k_x}{m k_y}}$$ فاز مایع کل :

$$\frac{1/k_x}{1/K_x} = \frac{m k_y}{k_x} = \frac{R_L}{R_G}$$ فاز مایع به فاز گاز :

$K_y \simeq k_y$ فاز گاز کنترل کننده $\downarrow\downarrow m$ or $\uparrow\uparrow k_x$

$\frac{m k_y}{k_x} \ll 1$

بیشتر به فاز گاز توی مایع

یعنی انتقال جرم توی فاز مایع به راحتی انجام میشه

$K_x \simeq k_x$ فاز مایع کنترل کننده $\uparrow\uparrow m$ or $\uparrow\uparrow k_y$

$\frac{m k_y}{k_x} \gg 1$

$$K_x = m K_y$$

m با حلالیت گاز توی مایع رابطه‌ی عکس داره

$\uparrow m$ ← گاز بیشتر توی فاز مایع حل میشه

if

$y_A = m x_A \Rightarrow \frac{k_y}{k_x}$

$P_A = m x_A \Rightarrow \frac{k_G}{k_x}$

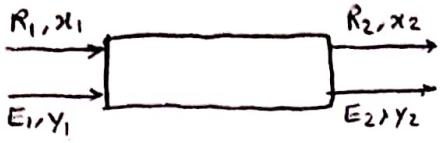
$P_A = m C_A \Rightarrow \frac{k_G}{k_L}$

Scanned with CamScanner

"جرم - موازنه مواد" روی دستگاه انتقال جرم

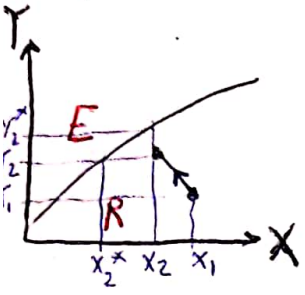
$X = \frac{x}{1-x}$ ، $\frac{x}{y} \rightarrow \frac{X}{Y}$

① مرحله‌ای موازی و همسو یا متقاطع



$R_S = R_i(1-x_i)$ ، $x_1R_1 + y_1E_1 = x_2R_2 + y_2E_2$

$E_S = E_i(1-y_i)$ ، $X_1R_S + Y_1E_S = X_2R_S + Y_2E_S$



$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = -\frac{R_S}{E_S}$ ← شیب خطوط اتصال (خطوط کار)

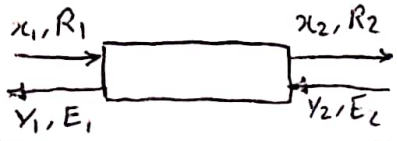
$E_{ME} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_2^* - Y_1}$ ، $E_{MR} = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - X_2^*}$

$E_{ME} = \frac{E_{MR}}{E_{MR}(1-\frac{1}{A}) + \frac{1}{A}}$

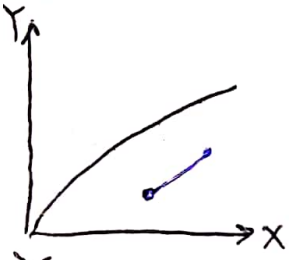
ضریب جذب $= A = \frac{R_S}{mE_S} = \frac{\text{شیب خط تعادلی}}{\text{شیب خط عملیاتی}} = \frac{1}{S}$

درصد جداسازی $= \frac{x_1R_1 - x_2R_2}{x_1R_1} \times 100 = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100$

② مرحله‌ای موازی و غیرهمسو



$x_1R_S + y_2E_2 = x_2R_2 + y_1E_1 \Rightarrow X_1R_S + Y_2E_S = X_2R_S + Y_1E_S$

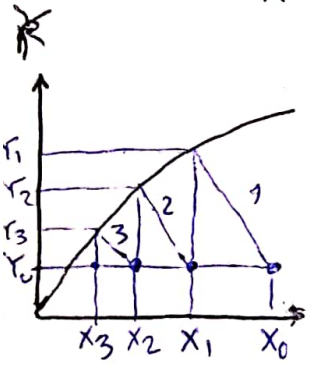


$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{R_S}{E_S}$

درصد جداسازی همان

- حداقل جلال ← باید قوی حالت خروجی، منحنی تعادلی را قطع کند و خروجی حلال هم‌ویژه تعادلی
- تابیو سته ← مشابه همسو ($L_1 \geq L_2$ و نقطه لحظه‌ای صفر نهایی)
- نیمه پیوسته ← ~ ~ ~ (~ ~ ~ ~ ~ شروع و پایان)

③ چند مرحله‌ای متقاطع



1: $\frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} = -\frac{R_S}{E_{S1}}$

2: $\frac{Y_2 - Y_0}{X_2 - X_1} = -\frac{R_S}{E_S}$

3: $\frac{Y_3 - Y_0}{X_3 - X_2} = -\frac{R_S}{E_S}$

$N = \frac{\log(\frac{X_N}{X_0})}{\log(\frac{1}{1+\frac{1}{A}})}$

- تعداد مراحل ایده‌آل: R ← E
  - منحنی خطی متقاطع
  - حلال خالص یا بازیابی بالا

$Y_1 = \sqrt[3]{Y_0^2 Y_3}$ ، $Y_2 = \sqrt[3]{Y_0 Y_3^2}$ ← حداقل حلال سه مرحله‌ای

$\frac{R_{S1}}{-E_S} = \frac{R_{S2}}{-E_S} = \frac{R_{S3}}{-E_S} = \frac{\sqrt[3]{Y_3} - \sqrt[3]{Y_0}}{\frac{\sqrt[3]{Y_3}}{m}}$

- حداقل حلال دو مرحله‌ای:

$Y_1 = \sqrt{Y_0 Y_2}$

$\frac{R_{S1}}{-E_S} = \frac{R_{S2}}{E_S} = \frac{\sqrt{Y_2} - \sqrt{Y_0}}{\frac{\sqrt{Y_2}}{m}}$

④ چند مرحله‌ای متقابل

تعداد مراحل ایده‌آل / تعداد واقعی = راندمان کلی

KSB | R → E: $N = \frac{\log\left(\frac{X_0 - \frac{Y_{N+1}}{m}}{X_N - \frac{Y_{N+1}}{m}}(1-A) + A\right)}{\log\frac{1}{A}}$

- معادله کی مرتبه برآورد منحنی تعادلی خطی

if $A = \frac{R_S}{mE_S} = 1$ $\rightarrow$ $N = \frac{X_0 - X_N}{X_N - \frac{Y_{N+1}}{m}}$

E → R: $N = \frac{\log\left(\frac{Y_{N+1} - mX_0}{Y_1 - mX_0}(1-\frac{1}{A}) + \frac{1}{A}\right)}{\log A}$

if $A = 1$ $\rightarrow$ $N = \frac{Y_{N+1} - Y_1}{Y_1 - mX_0}$

اگه $A = 1$:
- خطوط عملیاتی و تعادلی موازی‌ن
- پس نیروی محرکه انتقال جرم قوی
- طول دستگاه ثابت می‌شه

$\log 0^{\circ} = \infty \equiv$ حداقل حلال

Scanned with CamScanner

HARVEST 59

«جرم - عملیات انتقال جرم»

- عملیات جداسازی
  - مکانیکی (غربال کردن - فیلتراسیون - ته نشینی - سنتریفوژ)
  - با انتقال جرم
    1. تماس مستقیم دو فاز غیرقابل امتزاج
    2. " " " قابل امتزاج
    3. " غیرمستقیم به واسطه دیواره جامد
    4. جداسازی به کمک میدان های سطحی

1. گاز - مایع
   - تقطیر
   - جذب
   - دفع
   - رطوبت زنی و رطوبت زدایی
2. گاز - جامد
   - تصعید
   - خشک کردن
   - جذب سطحی
3. مایع - مایع : استخراج (LLE)
4. مایع - جامد
   - تبلور
     - تصفیه منطقه ای (Zone Refining)
     - تبلور انتخابی (Adductive Crys.)
   - لیچینگ
   - جذب سطحی

2. تفوذ حرارتی (ایجاد گرادیان دمای پیوسته) / جداسازی غشایی
   - تفوذ دارویی (کشتی)
   - الکترولیز (با غشاء)
   - سانتریفیوژ

4. جداسازی کف
   - با مواد فعال سطحی

• عملیات انتقال جرم
- مستقیم: تقطیر، تبلور و استخراج
- غیرمستقیم

• اصول طراحی و داده های تجربی
- تعداد مراحل (واقعی)
- زمان تماس بین فازها
- دبی جریان ها
- انرژی های حرارتی و مکانیکی مورد نیاز

3. غشاء
   - انواع: متخلخل - چگال (غیر متخلخل) Permselective
   - مکانیزم ها: تفوذ - تراوش (انحلال - تفوذ)
   - گاز - گاز
     - تفوذ ناوسی (متخلخل) (effusion) $Q_k = 97 r \sqrt{\frac{T}{M}}$
     - تراوش (چگال)
   - مایع - گاز: تراوش بخیری
   - مایع - مایع
     - اسمز معکوس
     - دیالیز

Scanned with CamScanner

HARVEST 60

«فصل ۳ - دستگاه‌های تماسی گاز-مایع»

- برج پاششی
- برج ایواره عمودی
- ستت و نوادندهای دوری
- برج پرشده

- فاز گاز پراکنده می‌شود
- حباب ساز
- هزن دار
- برج سینی دار

- فاز مایع پراکنده می‌شود
- فازی که کنترل کننده‌ی مقاومت بیشتری دارد، پراکنده می‌کنیم

① مخازن حباب ساز

$Sh = \frac{F_L d_P}{C D_{AB}} = f(Re, Sc)$ ← سرعت ظاهری

$\phi_G = \frac{\text{حجم فاز گاز}}{\text{حجم گاز-مایع}} = Gas\ holdup$ ← برای تعیین حجم گاز-مایع

سرعت واقعی: فاز گاز $\frac{V_G}{\phi_G}$ ، فاز مایع $\frac{V_L}{1-\phi_G}$

$V_{GS} = \frac{V_G}{\phi_G} + \frac{V_L}{1-\phi_G}$ ← سرعت لغزشی

$a = \frac{6\phi_G}{d_P}$ ← سطح ویژه $\left[\frac{m^2}{m^3}\right]$

- فاز مایع در اطراف حباب ← مقاومت اصلی در مقابل انتقال جرم
- قوی لختاری تعادل بین نیروهای درگ و شناوری ذرات باشد
- سرعت نهایی (V_t): $V_t = \frac{g d_P^2 \Delta\rho}{18\mu_L}$ $d_P < 1A$

② مخازن مجهز به هزن

- توان هزن
  - $P_o = f(Re, Fr, We)$ ← مجهز به بافل
  - $P_o \neq f(Fr, We)$ ← بدون بافل
  - $P_o \propto \frac{1}{Re}$ ، $P \propto \mu N^2 d_i^3$: هزن توربینی
  - $P_o = cte$ ، $P \propto \rho N^3 d_i^5$: هزن پروانه‌ای

- VORTEX
  - کاربرد: جلوگیری کردن ضبط گاز
  - هیدرودینامیک ردوفرنا بین دهانه‌ی ناقی
  - حواجز نرمانتورها وجی فعال

- هزن توربینی
  - قوی سرعت‌های پایین
  - واسه مایعات ویسکوز
  - برای سنتزهایی که $\frac{d_i}{T} = \frac{1}{3}$ قطر پره / قطر تانک
- فاز مایع: مقاومت دهی دارد

③ برج‌های سینی دار

- انواع سینی
  - کلاهکی - حبابی (Bubble cap)
  - غربالی متحرک (sieve)
  - دریچه‌ای (Valve)
- مشکلات
  - Weeping ← خاصیت سینی: Dumping ← [هرزابری] (با شدت کاهش گرادیان تا پایین رسیدن به حالت پایداری)
  - Entrainment
  - Coning
  - Flooding ← طغیان
  - Priming ← ازدیاد

- فاصله بین سینی‌ها ↑ ← قطر برج ↑
- راندمان موضعی (E_{OG} ، E_{OL}): هوده کوچکتر از یک
- راندمان موثری (E_{MG} ، E_{ML}): ۵ تا بزرگتر از یک

- پیشنهاد اصلی: ارزون‌ترین - افت فشار کمتر
- اگر دبی یا فشار کم باشد ← انتخاب سینی (Twin downs)
- ماندگی: ۵-۱۵٪ ← مقدار مایعی که در سینی می‌ماند

- زمان تماس ↑ ← سطح تماس ↑ ← ضریب انتقال جرم ↑ ← راندمان ↑ ← افت فشار ↑
- سرعت گاز ↑ ← راندمان ↑ ← افت فشار ↑ ← ماندگی ↑
- فاصله سینی‌ها ↑ ← زمان تماس ↑ ← راندمان ↑ ← افت فشار ↑
- ضریب انتقال جرم ↑ ← راندمان ↑ ← ماندگی ↑

$t_r = \frac{\rho_L A_d h_d}{m_L}$ ← زمان اقامت مایع در سینی

$\psi = \frac{\text{مقدار مایعی که در سینی می‌ماند}}{\text{کل مایع سینی}}$ ← ماندگی

$Turndown\ ratio = \frac{\text{دبی گاز در شرایط طغیان}}{\text{حداقل دبی}}$

$u_F = C_F \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}}$ ← سرعت ظاهری در شرایط طغیان

$\text{درصد طغیان} = \frac{u_G}{u_F}$ ← سرعت ظاهری / ضریب طغیان

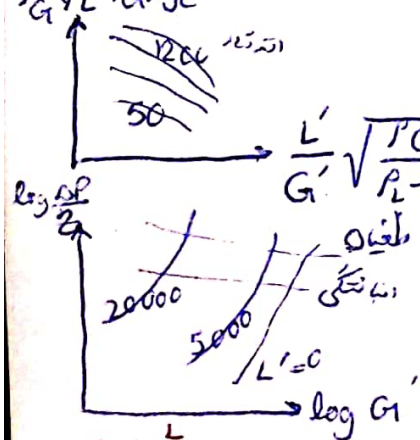
$E_{MGE} = \frac{E_{MG}}{1 + E_{MG}\left(\frac{\psi}{1-\psi}\right)}$

$\frac{G'^2 C_F \mu_L^{0.1} J}{\rho_G(\rho_L - \rho_G) g_c}$

$Pe = \frac{z^2}{E_D \theta_L}$ ← ضریب پخش گرادیان ای

طول میزان اقامت مایع در سینی / زمان اقامت

$u_F = C_F \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}}$ ← $\frac{PM}{RT}$



$\frac{L'}{G'} = \frac{\frac{L}{A_C}}{\frac{G}{A_C}} = \frac{L}{G}$

$\frac{\Delta P}{Z} = C_D \frac{G'^2}{\rho_G}$ ← ضریب درگ

$\phi_L = \phi_o + \phi_s$ ← مقدار مایع موجود در برج
- ϕ_o ← متحرک
- ϕ_s ← ساکن

- جذب و دفع، ϕ_s تولید می‌کند
- تقطیر: d_S هم تولید می‌کند
- افت فشار در برج‌های پرشده
  - $\simeq 1$ mmHg/ft ← برای سبک
  - $\simeq 2$ mmHg/ft ← برای طغیان

$a_p = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_p}$

④ برج‌های پرشده

- پرکن‌های منظم
  - افت فشار ↓
  - سطح ویژه ↑
  - دبی فازها ↑
  - گرونتر
- نسبت به نامنظم

- اندازه‌ی پرکن ← واحد: قطر برج
- هرچی پرکن کوچیکتر
  - سطح ویژه ↑
  - قیمت ↑
  - افت فشار ↑

- قطر مبنای محاسبات
  - جذب: پایین برج (دبی max)
  - دفع: بالای برج (دبی ~ ۵۰٪)

قطر برج ← Loading و max دبی

Scanned with CamScanner

ارتفاع فعال برج = HETP × تعداد مراحل ایده‌آل

$$Z = H_{tG} \times N_{tG}$$

(مقدار واحدها) (معرف سختی واسازی) (معرف ارتفاع یک واحد جداسازی)

$$H_{tG} = \frac{G}{F_G a} \quad , \quad F_G = k_y y_{BM} = k_y (1-y_A)_m \quad , \quad N_{tG} \overset{\text{(تقریبی)}}{=} \frac{y_1 - y_2}{y - y_i}$$

$$HETP \propto \frac{1}{\text{سطح تماس بین دو فاز}}$$

تقریبی ثابت فرض می‌شود طول برج

$$(y - y_i)_{ln} = \frac{(y_1 - m x_1) + (y_2 - m x_2)}{2}$$

⑤ مقایسه برج های سینی دار و پر شده

- سینی دار: پرشده با نظم < پرشده با نامنظم
- تحت فشار ← پرشده ✓

- منبت سرعت جریان گاز به مایع
  - سینی دار: کمه
  - پرشده: زیاده

⑥ بقیه

- سیستم دستگاه دهنده ی دستوری
  - دقتی افت فشار کم مدنظره
  - دانه جذب SO_2 از گازهای دفعی حاصل از کوره ها یا دیگ بخار موجود توی گازها

- برج های دیواره مرطوب
  - کاربرد تحقیقاتی
  - افت فشار کم
  - جذب کلی از فاز گاز توسط فیلم مایع

- برج پاششی
  - افت فشار کم
  - ماندگی بالا
  - به خاطر دهم ← نسبت قطر به ارتفاع
    - اگه ↓ : قطره‌های مایع بخاطر پراکندگی به دیواره‌ی خود دفعات به خوبی انجام نمیشه
    - اگه ↑ : نمی‌شه از جریان‌های متقابل استفاده کرد

$$Z = N_{tOG} H_{tOG} \quad , \quad N_{tOG} = \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{y - y^*} \overset{y^*=0}{\Rightarrow} N_{tOG} = \ln \frac{y_{in}}{y_{out}}$$

Scanned with CamScanner

HARVEST 61

« جرم - برج های جذب و دفع »

- بهترین عملکرد: جذب: $\uparrow P$ و $\downarrow T$ (حلالیت توی دماهای پایین بیشتره) — گرمایزا / گرماگیر
  دفع: $\downarrow P$ و $\uparrow T$

- ضریب جذب: $A = \frac{L_S}{mG_S}$
  - اگه $A<1$: میزان جذب با هر تعداد سینی ای کمتره
  - نه $A>1$: با تعداد سینی مناسب می‌شه هر میزانی جذب کرد
  - توی شرایط بهینه: $1.2 < A < 2$

- میزان حلال مصرفی = $\frac{1.4}{}$ × حداقل

- ویژگی های حلال خوب:
  - قابل احیا - ظرفیت جذب بالا
  - فراریت کم ($\downarrow P_V$ - نقطه جوش $\uparrow$)
  - خورندگی کم - دیکوزینه کم
  - نقطه اشتعال $\downarrow$

Scanned with CamScanner