




《分离工程》

第10讲 化学吸收过程计算


漆志文

德国马普学会过程强化技术伙伴研究团队
 化学工程联合国家重点实验室
 华东理工大学
 zwqi@ecust.edu.cn



本课提纲

➤ 化学吸收的分类和判别
 ➤ 不可逆一级反应化学吸收
 ➤ 不可逆瞬时反应化学吸收
 ➤ 不可逆二级反应化学吸收



两个重要参数

增强因子 β (化学反应对吸收速率的影响)

$$\beta = \frac{\text{化学吸收速率}}{\text{物理吸收速率}}$$


膜内转化系数 M (反应过程快慢程度的判据)

$$M = \frac{F\delta_l k_1^* c_{Ai}}{Fk_l c_{Ai}} = \frac{\text{液膜中最大可能的反应量}}{\text{通过液膜的最大扩散量}}$$

$$k_t = \frac{D_l}{\delta_l} \Rightarrow \delta_l = \frac{D_l}{k_t} \Rightarrow M = \frac{\delta_l k_1^*}{k_l} = \frac{D_l k_1^*}{k_l^2}$$

由双膜论

由于液膜厚度比液相主体薄得多，故以液膜中反应量与扩散量进行比较，判别化学反应的快慢。



1. 化学吸收的分类与判据

(1) 化学反应可忽略 ($M \rightarrow 0$)

$$Vk_1^* c_A \ll Q(c_A - c_{A0}) \quad (4-113)$$

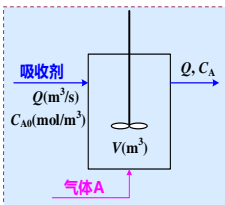
液相中的总反应量 \ll 扩散传递量

停留时间 $\tau = \frac{V}{Q}$


$\Rightarrow k_1^* \tau \ll 1 - c_{A0}/c_A \quad (4-115)$

若 $c_{A0}=0$, 则 $k_1^* \tau < 1$

或 $k_1^* < 0.1$



k_1^* : 拟一级反应动力学常数 [s^{-1}]
 $r = k_1^* c_A$ [$mol/m^3 \cdot s$]



(2) 慢速化学反应 ($M \ll 1$)

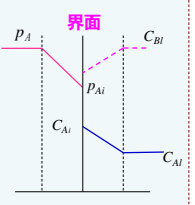
液膜中最大可能的反应量 \ll 通过液膜扩散的量

$$(F\delta_l)k_1^* c_{Ai} \ll Fk_l(c_{Ai} - c_{Al}) \quad (4-117)$$


$$\frac{\delta_l k_1^*}{k_l} \ll 1 - \frac{c_{Al}}{c_{Ai}} \quad (4-118)$$

$$M = \frac{\delta_l k_1^*}{k_l} = \frac{D_l k_1^*}{k_l^2} \ll 1 \quad (\text{取} 0.1)$$

$N_A = f$ (膜内扩散 + 液相主体反应)



慢反应时的浓度分布



(3) 中速化学反应 ($M \approx 1$)

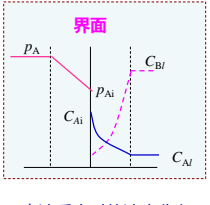
液膜中最大可能的反应量 \approx 膜内扩散量

$$M = \frac{D_l k_1^*}{k_l^2} \approx 1$$

大部分溶质在液膜反应，少量进入主体反应。

M 取0.1~10

$N_A = f$ (膜内扩散 + 膜内反应 + 主体反应)



中速反应时的浓度分布



(4) 快速化学反应 ($M > 10$)

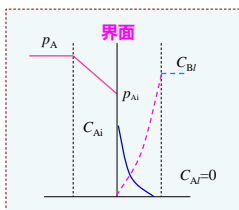
液膜中最大可能的反应量 \gg 通过液膜扩散传递的量

$$M = \frac{D_l k_1^*}{k_l^2} \gg 1$$

$$M > 9 \sim 10 \text{ 或 } \sqrt{M} > 3$$

□ 反应在膜内完成，边扩散边反应。

$$N_A = f(\text{膜内扩散} + \text{膜内反应})$$



快速反应时的浓度分布

7

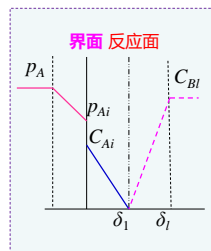


(5) 瞬间化学反应 ($M \rightarrow \infty$)

- 不可逆反应，反应在膜内某个面瞬时完成；
- 可逆反应，膜内达到平衡。

$$M = \frac{D_l k_1^*}{k_l^2} \rightarrow \infty$$

$$N_A = f(\text{膜内扩散} + \text{膜内界面反应})$$



瞬间反应时的浓度分布

8



化学吸收的分类



反应类型	判别条件	物理意义及反应情况	浓度分布
瞬间反应	$M \rightarrow \infty$	反应在液膜中某个面瞬间完成	
快速反应	$M \gg 1$ (>10)	液膜反应量远大于通过液膜的扩散量，反应在液膜中完成	
中速反应	$M \approx 1$ ($0.1, 10$)	液膜反应量与扩散量相当，反应既在液膜又在主体中进行	
慢速反应	$M \ll 1$ (<0.1)	液膜反应量远小于通过液膜的扩散量，反应在主体中进行	
可忽略反应 (物理吸收)	$k_1^* \ll 1$	液相反应总量远小于于扩散传递总量 (在主体中进行)	

9



2. 扩散-反应模型与传质速率

研究思路：

- 1) 建立液相微元的扩散-反应微分方程；
- 2) 求得液相传质速率式；
- 3) 根据所获得的数学模型，求取模型参数 β 。

$$\text{扩散-反应方程} \rightarrow \text{膜内 } c_A = f(x) \rightarrow \left. \frac{dc_A}{dx} \right|_{x=0}$$

$$\rightarrow N'_A = -D_{Al} \left. \frac{dc_A}{dx} \right|_{x=0} \rightarrow N_A = \beta k_l (c_{Ai} - c_{Al})$$

10



扩散-反应微分方程

- (1) 在 dt 时间内，对膜内微元体 Fdx 作物料衡算，则：

扩散进入量 - 扩散流出量 - 反应量 = 累积量

$$M_x - M_{x+dx} - M_R = M_a$$

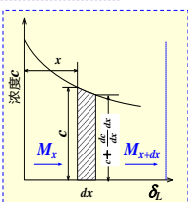
$$\text{扩散速率} \quad N_x = \frac{M_x}{Fdt} = -D_l \left. \frac{dc_A}{dx} \right|_{x=0}$$

$$\text{进入量} \quad M_x = -D_l \frac{\partial c_A}{\partial x} Fdt$$

$$\begin{aligned} \text{流出量} \quad M_{x+dx} &= M_x + \frac{\partial M_x}{\partial x} dx \\ &= -D_l \frac{\partial c_A}{\partial x} Fdt - D_l \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2} Fdt dx \end{aligned}$$

$$\text{反应量} \quad M_R = rFdxdt$$

$$\text{累积量} \quad M_a = \left(\frac{\partial c_A}{\partial t} \right) Fdxdt \quad (\text{非定态传质})$$



F 液膜截面积 $[\text{m}^2]$; M_x $[\text{mol}]$
 N $[\text{mol}/\text{m}^2\text{s}]$; D $[\text{m}^2/\text{s}]$

11



- (2) 定态时，积累量 $M_a = 0$

由物料衡算

$$M_x - M_{x+dx} - M_R = M_a = 0$$

$$\Rightarrow -D_l \frac{\partial c_A}{\partial x} Fdt - \left[-D_l \frac{\partial c_A}{\partial x} Fdt - D_l \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2} Fdt dx \right] - rFdxdt = 0$$

扩散-反应微分方程

$$D_l \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2} = r \quad (4-144)$$

$r = [\text{mol}/\text{m}^3\text{s}]$ 需牢记

注意：只有反应速率 r 为线性函数时，针对一级反应（或瞬间反应）的化学吸收过程动力学扩散-反应方程，才能求解解析。其它场合下只能求近似解或数值解。

12



物理吸收传质速率

对溶质A

$$D_l \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2} = r \xrightarrow{r=0} D_l \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2} = 0$$

解微分方程得到

$$c = ax + b$$

代入边界条件

$$\left. \begin{array}{l} x=0, c_A=c_{Ai} \\ x=\delta_l, c_A=c_{Al} \end{array} \right\} \rightarrow \left. \frac{dc_A}{dx} \right|_{x=0} = \frac{c_{Al} - c_{Ai}}{\delta_l}$$

$$\begin{aligned} N_A &= -D_l \left. \frac{dc_A}{dx} \right|_{x=0} = \frac{D_l}{\delta_l} (c_{Al} - c_{Ai}) \\ &= k_l (c_{Al} - c_{Ai}) = k_g (p_A - p_{Ai}) = K_L (c_A^* - c_{Ai}) = K_G (p_A - p_A^*) \end{aligned}$$

13



3. 一级不可逆反应的传质速率



$$r = k_2^* c_A c_B \approx k_1^* c_A \quad (\text{拟一级反应})$$

扩散-反应方程

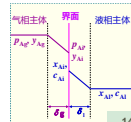
$$D_l \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2} = k_1^* c_A \Rightarrow \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2} = \frac{k_1^* c_A}{D_l} \quad (4-147)$$

边界条件

$$\left\{ \begin{array}{l} x=0, c_A=c_{Ai}, \frac{dc_B}{dx} = 0 \\ x=\delta_l, c_A=c_{Al} \\ -D_l \left. \frac{dc_A}{dx} \right|_{x=\delta_l} = k_1^* c_{Al} (V_l - \delta_l) \end{array} \right.$$

拟液容积 (液相厚度) $V_l = V/F$

组分A向主体扩散的量 A在主体中反应的量



14



求解扩散-反应方程

$$N_A = \frac{\sqrt{M}[\sqrt{M}(\alpha_l - 1) + th\sqrt{M}]}{(\alpha_l - 1)\sqrt{M}th\sqrt{M} + 1} k_l c_{Ai}$$

其中

$$M = \frac{D_l k_1^*}{k_l^2} \quad th\sqrt{M} \quad \text{双曲正切函数}$$

V_l 单位传质表面的液体体积[m³/m²]

$$\alpha_l = \frac{V_l}{\delta_l} \quad \delta_l \text{ 液膜厚度[m]}$$

物理吸收 $N_A = k_l (c_{Ai} - c_{Al}) = k_l c_{Ai}$ (快反应 $c_{Al}=0$)

$$\Rightarrow \beta = \frac{\sqrt{M}[\sqrt{M}(\alpha_l - 1) + th\sqrt{M}]}{(\alpha_l - 1)\sqrt{M}th\sqrt{M} + 1} \quad (4-159)$$

15

瞬间反应

$$\sqrt{M} \rightarrow \infty$$

反应膜 < 扩散膜

快反应

$$M \gg 1 \quad (M > 10)$$

$$c_{Al} = 0$$

中速反应

$$M \rightarrow 1 \quad (0.3 < \sqrt{M} < 3)$$

$$c_{Al} \approx 0$$

慢反应

$$M \ll 1 \quad (M < 0.1)$$

$$c_{Al} > 0$$

\sqrt{M}	0.01	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$th\sqrt{M}$.009996	.0997	.1974	.4621	.7616	.9640	.9951	.9993	.99991
$\sqrt{M}/th\sqrt{M}$	1.0	1.0033	1.0133	1.0820	1.3130	2.0746	3.0148	4.0028	5.00045

□ 各类一级不可逆反应 β 的求取

$$\beta = \frac{\sqrt{M}[\sqrt{M}(\alpha_l - 1) + th\sqrt{M}]}{(\alpha_l - 1)\sqrt{M}th\sqrt{M} + 1} \quad N_A = \beta k_l c_{Ai}$$

16



一级不可逆反应的增强因子

□ 慢反应

$$M \ll 1 \quad (M < 0.1)$$

$$\delta_r \gg \delta_l$$

$$\Rightarrow th\sqrt{M} \approx \sqrt{M} \Rightarrow \beta = \frac{\alpha_l M}{\alpha_l M - M + 1} \quad (4-164)$$

$$N_A = \beta k_l c_{Ai}$$

$$\alpha_l = \frac{V_l}{\delta_l}$$

(1) 如果 α_l 很大 (如鼓泡塔 10^4) , $\alpha_l M \gg 1$, 则 $\beta \rightarrow 1$ 仍可使 $\alpha_{Al} \rightarrow 0$ 或很小。

(2) 如果 α_l 不够大 (如填料塔10) , $\alpha_l M < 1$, 则 $\beta \ll 1$, 属极慢反应。
如 $\alpha_l = 10, M = 0.01, \alpha_l M = 0.1, \beta \approx 0.9 < 1$
则吸收速率将由液相主体的缓慢化学反应所决定 ($\alpha_{Al} > 0$) 。

17



一级不可逆反应的增强因子

□ 中速反应

$$M \approx 1 \quad (0.3 < \sqrt{M} < 3) \quad \beta = f(\alpha_l, \sqrt{M}), \quad \delta_r > \delta_l$$

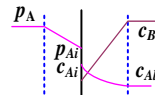
$$\alpha_l \gg 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{填料塔} \quad \alpha_l = 10 \sim 100 \\ \text{鼓泡塔} \quad \alpha_l = 100 \sim 10^4 \end{array} \right.$$

$$\beta = \frac{\sqrt{M}[\sqrt{M}(\alpha_l - 1) + th\sqrt{M}]}{\sqrt{M}(\alpha_l - 1)th\sqrt{M} + 1}$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{\sqrt{M}}{th\sqrt{M}} \quad (4-162)$$

$$N_A = \beta k_l c_{Ai} = \frac{\sqrt{M}}{th\sqrt{M}} k_l c_{Ai}$$

选择 α_l 较大的设备, 可促进反应基本在液膜中完成。



18

一级不可逆反应的增强因子

快反应

$M \gg 1 (M > 10) \quad c_{Ai} = 0, \delta_r < \delta_l$

$$\beta = \frac{\sqrt{M}[\sqrt{M(\alpha_l - 1)} + th\sqrt{M}]}{\sqrt{M(\alpha_l - 1)th\sqrt{M} + 1}}$$

$\Rightarrow \beta = \sqrt{M} \quad (4-160)$

$\Rightarrow N_A = \beta k_l c_{Ai} = \sqrt{D_{Ai} k_1^*} \cdot c_{Ai}$

与 δ_l, V_l 及 α_l 无关 \rightarrow 增加液相湍动不能强化传质;
只有改善反应条件或选择性好的吸收剂。

一级不可逆反应强化传质的途径

快速反应: $N_A = \beta k_l c_{Ai} = \sqrt{D_{Ai} k_1^*} \cdot c_{Ai}$ 与 k_l, δ_l 和 α_l 无关

强化途径: $k_1^* \uparrow, c_{Bl} \uparrow (k_1^* = k_1 c_{Bl})$

中速反应: $N_A = \beta k_l c_{Ai} = \frac{\sqrt{M}}{th\sqrt{M}} k_l c_{Ai}$

强化途径: $k_1^* \uparrow, k_l \uparrow, k_g \uparrow, V_l \uparrow$

慢速反应: $N_A = \beta k_l c_{Ai} = \frac{\alpha_l M}{\alpha_l M - M + 1} k_l c_{Ai}$

强化途径: $k_1^* \uparrow, V_l \uparrow$ 或改善反应条件, 如 T

各参数的物理意义

$M = \frac{D_l k_1^*}{k_l^2} \rightarrow$ 液膜中最大的化学反应量
通过液膜最大的扩散传质量

$\alpha_l = \frac{V_l}{\delta_l} \rightarrow$ 液膜中单位传质表面的体积
液膜厚度

$\alpha_l M \rightarrow$ 液相中最大反应量
液膜中最大扩散量

$\alpha_l M = \frac{V_l}{\delta_l} \cdot \frac{D_l k_1^*}{k_l^2} = \frac{V_l}{\delta_l} \cdot \frac{\delta_l k_1^*}{k_l} = \frac{F V_l k_1^*}{F k_l} \cdot \frac{c_{Ai}}{c_{Ai}}$

填料塔 $\alpha_l = 10 \sim 100$
鼓泡塔 $\alpha_l = 100 \sim 10^4$

4. 一级不可逆瞬时反应

瞬时反应: $A(g) + bB(l) \rightarrow Q(l)$

界面侧液膜 $D_{Al} \frac{d^2 c_A}{dx^2} = 0 \quad (0 < x < \delta_1')$

主体侧液膜 $D_{Bl} \frac{d^2 c_B}{dx^2} = 0 \quad (\delta_1' < x < \delta_l)$

边界条件

$$\begin{cases} x=0, c_A=c_{Ai}, c_B=0 \\ x=\delta_1', c_A=c_B=0 \\ x=\delta_l, c_A=0, c_B=c_{Bl} \end{cases}$$

化学计量关系 $N_A = -\frac{1}{b} N_B, c_B = b c_A$

不可逆瞬时反应下 β 的求取

界面侧浓度 $c_A = (1 - \frac{x}{\delta_1'}) c_{Ai}$	主体侧浓度 $c_B = \frac{c_{Bl}}{\delta_l - \delta_1'} (x - \delta_1')$
相界面求导 代入速率式	液膜边界求导 代入速率式
界面侧速率 $N_A = \frac{D_{Al}}{\delta_1'} \cdot c_{Ai}$	主体侧速率 $N_B = \frac{D_{Bl}}{\delta_l - \delta_1'} \cdot c_{Bl}$

$N_A = -\frac{N_B}{b}$ 与物理吸收速率比较

$\beta = \frac{\delta_l}{\delta_1'} = 1 + \frac{D_{Bl}}{D_{Al}} \cdot \frac{c_{Bl}}{b c_{Ai}}$

讨论1: $\beta = \frac{\delta_l}{\delta_1'} = 1 + \frac{D_{Bl}}{b D_{Al}} \cdot \frac{c_{Bl}}{c_{Ai}}$ $A(g) + bB(l) \rightarrow Q(l)$

若 $c_{Bl} \uparrow \rightarrow \beta \uparrow, \delta_1' \downarrow$

若 $c_{Bl} \rightarrow c_{Bl}^c$

则 $\delta_1' \rightarrow 0, c_{Ai} \rightarrow 0, p_{Ai} \rightarrow 0$

当 $c_{Bl} \geq c_{Bl}^c$ 气膜控制

当 $c_{Bl} < c_{Bl}^c$ 双膜控制

c_{Bl}^c 临界浓度

讨论2: 临界浓度的求取及传质速率

□ 当 $c_{BI} \geq c_{BI}^c$, 反应面与界面重合

$$N_A = k_g(p_A - p_{Ai}) = k_g p_A$$

$$N_B = \frac{D_{BI}}{\delta_l} c_{BI}^c = \frac{D_{BI}}{D_{AI}} k_l c_{BI}^c$$

$$N_B = b N_A \Rightarrow c_{BI}^c = \frac{b k_g D_{AI}}{k_l D_{BI}} p_A \quad (4-174)$$

□ $c_{BI} \geq c_{BI}^c$ 气膜控制, 则有 $N_A = k_g p_A$ (4-175)

□ $c_{BI} < c_{BI}^c$ 双膜控制, 则有 $N_A = K_G [p_A + \frac{D_{BI} H_A' c_{BI}}{b D_{AI}}]$ (4-178)

$(p_{Ai} = H_A' c_{Ai})$

讨论3: 瞬间反应如何强化传质?

$$\beta = 1 + \frac{D_{BI}}{b D_{AI}} \cdot \frac{c_{BI}}{c_{Ai}}$$

β 与反应速率常数、反应级数无关

□ $c_{BI} \geq c_{BI}^c$ 措施: $p_A \uparrow$, 强化气相湍动使 $k_g \uparrow$

□ $c_{BI} < c_{BI}^c$ 措施: $p_A \uparrow, k_g \uparrow, k_l \uparrow, c_{BI} \uparrow$

25

例4-8: H_2S 与 MEA (乙醇胺) 水溶液的反应可看作**瞬时反应**, 当 H_2S 含量较低时, 还可看作是**不可逆反应**, 即

$$H_2S + RNH_2 \rightarrow HS^- + RNH_3^+$$

分别用吸收溶剂浓度为 2mol/L 和 0.3mol/L 的 MEA 溶液脱除气体中所含的 H_2S 。

已知: 在 293K 下, $D_{H_2S} = 1.48 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{RNH_2} = 0.95 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, $H = 8.696 \times 10^2 (\text{kJ/kmol})$ 。物理传质系数 $k_l = 2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, $k_g = 1 \times 10^{-5} \text{ kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{kPa})$ 。

试求: 气相 H_2S 分压 $p_A = 10 \text{ kPa}$ 时的传质速率。

解: 首先, 求 c_{BI}^c

$$c_{BI}^c = \frac{b k_g D_{AI}}{k_l D_{BI}} p_A = \frac{1 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-4}} \times \frac{1.48 \times 10^{-9}}{0.95 \times 10^{-9}} \times 10 = 0.779 \text{ kmol}/\text{m}^3$$

(1) $c_{BI} = 2\text{mol/L} > c_{BI}^c$, 吸收过程为**气膜控制**

$$N_A = k_g p_A = 1 \times 10^{-5} \times 10 = 1 \times 10^{-4} \text{ kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

(2) $c_{BI} = 0.3\text{mol/L} < c_{BI}^c$, 吸收过程为**双膜控制**

$$N_A = \frac{p_A + \frac{H_A' D_{BI}}{b D_{AI}} c_{BI}}{\frac{H_A'}{k_l} + \frac{1}{k_g}} = \frac{10 + \frac{8.696 \times 10^2 \times 0.95 \times 10^{-9}}{1 \times 1.48 \times 10^{-9}} \times 0.3}{\frac{8.696 \times 10^2}{2 \times 10^{-4}} + \frac{1}{1 \times 10^{-5}}} \times 0.3$$

$$= 3.99 \times 10^{-5} \text{ kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

【计算结果与教材稍有不同】

5. 二级不可逆反应的传质速率

二级反应: $A(g) + bB(l) \xrightarrow{k_{II}^*} Q(l)$

扩散-反应微分方程

$$D_{AI} \frac{\partial^2 c_A}{\partial x^2} = k_{II}^* c_A c_B \quad (4-179)$$

边界条件

$$\begin{cases} x=0, c_A=c_{Ai} \\ x=\delta_l, c_A=c_{Al} \\ x=\delta_l, c_B=c_{BI} \\ -D_{AI} \frac{dc_A}{dx} \Big|_{x=\delta_l} = (V_l - \delta_l) k_{II}^* c_{Al} c_{BI} \end{cases}$$

k_{II}^* 二级反应速率常数

(1) 当 c_{BI} 很大(B大大过量)时, 按照拟一级反应情况处理。

(2) 当 c_{BI} 有限, $c_{Ai}=0$ 时, β 的近似解为:

$$\beta = \sqrt{M \frac{(\beta_\infty - \beta)}{\beta_\infty - 1}} / \sqrt{M \frac{(\beta_\infty - \beta)}{\beta_\infty - 1}} \quad (4-180)$$

其中 $\beta_\infty = 1 + \frac{D_{BI}}{D_{AI}} \cdot \frac{c_{BI}}{b c_{Ai}}$ (瞬间反应时的 β)

$$M = \frac{D_{AI} k_{II}^* c_{BI}}{(k_l)^2}$$

(3) 以 β_∞ 为参数, 作 $\beta - \sqrt{M}$ 图

若已知 β_∞ 和 \sqrt{M} 值, 可直接查取 β 值



讨论1：二级反应作拟一级处理

条件： $\beta_\infty > 2\sqrt{M}, \sqrt{M} > 3$

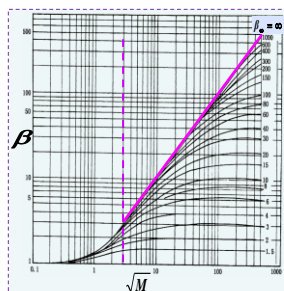
B的扩散量 \gg 反应消耗量

c_{B1} 恒定不变

可作为拟一级快反应处理

$$\beta = \sqrt{M}$$

对应于图中的45°对角线

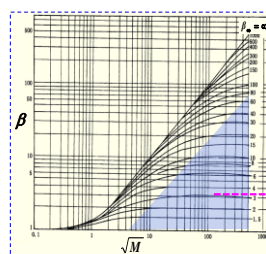


31



讨论2：二级反应作瞬间反应处理

条件： $\sqrt{M} > 10\beta_\infty \implies \beta = \beta_\infty$ (可作为瞬间反应)



➤ 图中曲线的水平部分；

➤ \sqrt{M} 对 β 的影响微弱；

➤ 相对于反应速度常数 k_{II} 很大或传质系数 k_f 很小。

$$\beta = \beta_\infty = 1 + \frac{D_{B1}}{D_{A1}} \cdot \frac{c_{B1}}{bc_{A1}}$$

32



讨论3：在其它区域，查图迭代求取 β

计算流程

假定： $c_{A1} = \frac{p_{A1}}{H'_A} \approx \frac{p_{A1}}{H_A}$

计算： $M = \frac{D_{A1} k_{II}^* c_{B1}}{k_f^2}$ 和 $\beta_\infty = 1 + \frac{D_{B1}}{D_{A1}} \cdot \frac{c_{B1}}{bc_{A1}}$

查图： $\beta_\infty, \sqrt{M} \xrightarrow{\text{查图}} \beta$

修正 c_{A1}

迭代： $N_A = \beta k_1 c_{A1} = k_g(p_A - p_{A1}) \rightarrow p_{A1} \rightarrow c_{A1} = p_{A1}/H'_A$

33



6. 化学吸收计算方法总结

□ 如果已知为一级反应，或吸收剂浓度 c_{B1} 近似不变，按照一级快反应、慢反应、中速反应化学吸收处理。

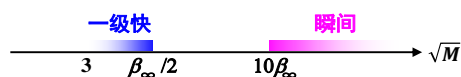
□ 如果已知反应是瞬间反应，先计算临界浓度 c_{B1}^c ，按照瞬间反应化学吸收处理。

□ 若反应级数未知，还不能确定是否是瞬间反应，那么先计算 \sqrt{M} 和 β_∞ ，然后进行判断。

34



□ 未知反应级数， c_{A1} 或 p_{A1} 也未知时，假设 $c_{A1} = p_{A1}/H'_A$ ，得到 \sqrt{M} 和 β_∞ 再校正。



➤ 若 $\beta_\infty > 2\sqrt{M}$ 可作为一级不可逆反应；

➤ 若 $\sqrt{M} > 10\beta_\infty$ 可作为瞬间反应；

➤ 如果都不满足，按照二级反应吸收查图迭代求解。

35



本课小结

- 主要概念和物理意义【 M, β 】
- 化学吸收分类判据和浓度分布【慢中快反应 M 】
- 扩散-反应模型
- 一级不可逆反应吸收【 β, N_A 】
- 不可逆瞬时反应吸收【 β, N_A, c_{B1}^c 】
- 二级不可逆反应吸收【 β, N_A 】
- 气、液、双膜控制

36



复习思考题

补充思考题：

1. 根据下列传质速率公式，试推导 c_{Ae} , c_{Ai} , p_{Ae} , p_{Ai} , p_A 之间的关系。

$$N_A = k_g (p_A - p_{Ai}) = K_G (p_A - p_{Ae})$$

$$N_A = k_l (C_{Ai} - C_{Al}) = K_L (C_{Ae} - C_{Al})$$

2. 化学吸收促使传质速率增大的原因是什么？对于气膜控制物系还是液膜控制物系其增强作用更大？

作业题 第4章4-1 ~ 4-7

37



本讲结束

38