

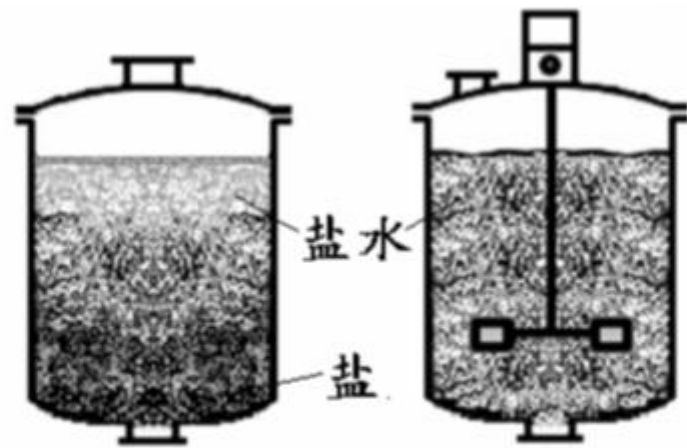
质量传递现象

孙志仁

第十三讲. 质量传递现象

- 1. 质量传递现象**
- 2. 分子扩散**
- 3. 运动流体中的分子扩散**
- 4. 固相中的分子扩散**
- 5. 对流传质**
- 6. 课堂讨论**

1. 质量传递现象



分子扩散 对流传质

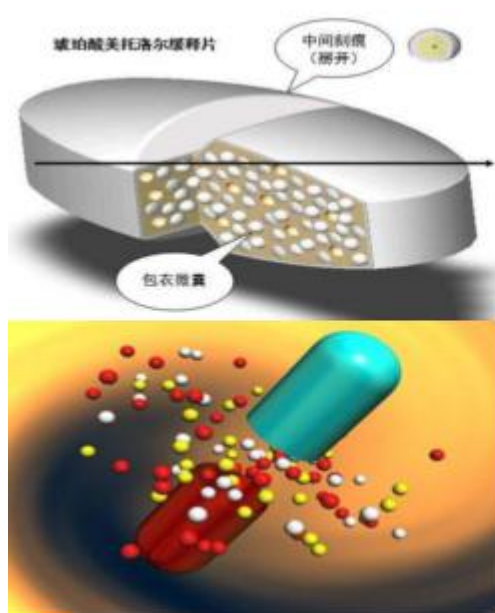


填料吸收塔



精馏塔装置

缓释药片



缓释化肥和农药

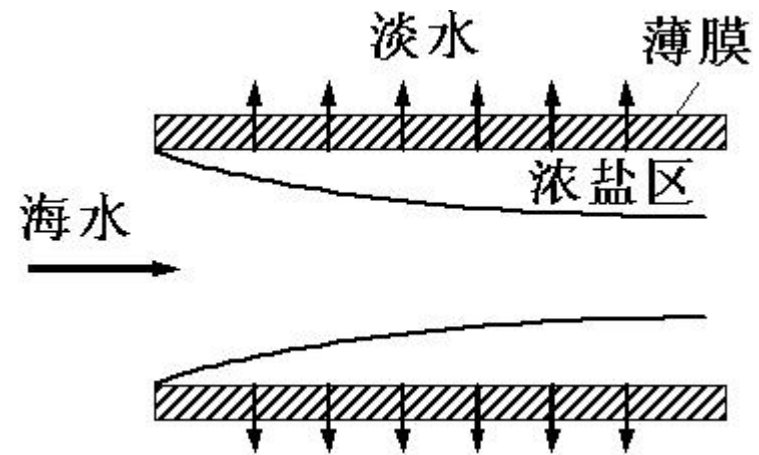


膜分离



膜分离装置

海水淡化

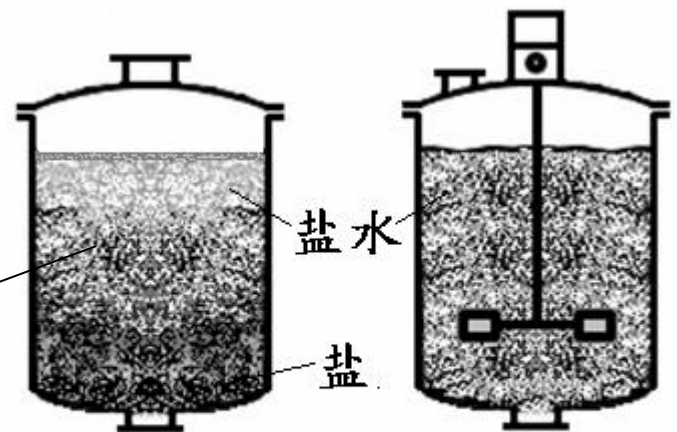


反渗透脱盐

2. 分子扩散

费克分子扩散定律

$$J_{Ay} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dy}$$



分子扩散

对流传质

J_{Ay} : 扩散通量 [kmol / m².s]

D_{AB} : 扩散系数 [m²/s]

$\frac{dC_A}{dy}$: 浓度梯度 $\left[\frac{\text{kmol/m}^3}{\text{m}} \right]$

若浓度用 ρ_A 表示

$$j_{Ay} = -D_{AB} \frac{d\rho_A}{dy}$$

3. 运动流体中的分子扩散

经典表述

流动方向上的传质包括主体流动和分子扩散引起的，传质通量为：

$$N_{Ax} = C_A u_{Mx} + J_{Ax}$$

$$n_{Ax} = \rho_A u_x + j_{Ax}$$

这里需要提出的是： C_A 形式的速度表达和 ρ_A 形式的速度表达定义不同。

$$u_{Mx} = \frac{C_A u_{Ax} + C_B u_{Bx}}{C}$$

$$u_x = \frac{\rho_A u_{Ax} + \rho_B u_{Bx}}{\rho}$$

$$Cu_{Mx} = C_A u_{Ax} + C_B u_{Bx}$$

$$\rho u_x = \rho_A u_{Ax} + \rho_B u_{Bx}$$

$$N_x = N_{Ax} + N_{Bx}$$

$$n_x = n_{Ax} + n_{Bx}$$

$$\frac{C_A}{C} Cu_{Mx} = \frac{C_A}{C} (N_{Ax} + N_{Bx})$$

$$\frac{\rho_A}{\rho} \rho u_x = \frac{\rho_A}{\rho} (n_{Ax} + n_{Bx})$$

$$N_{Ax} = J_{Ax} + x_A (N_{Ax} + N_{Bx})$$

$$n_{Ax} = j_{Ax} + w_A (n_{Ax} + n_{Bx})$$

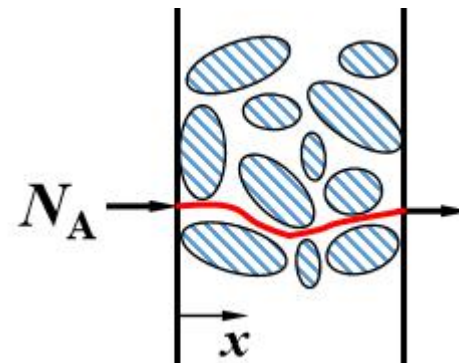
4. 固相中的分子扩散

均质固体的扩散:

$$N_{Ax} = J_{Ax} + x_A(N_{Ax} + N_{Bx})$$

通常溶质组分A的浓度一般都很低, $x_A \ll 1$,
可忽略主体流动的影响。

$$J_{Ax} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dx}$$



扩散与固体内部结构基本无关

课后思考

1.中药材的浸取

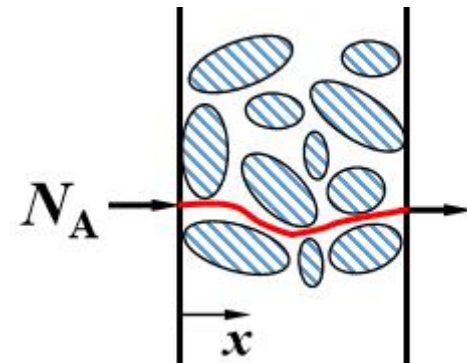
固体中药材浸入大量溶剂中（水、乙醇等），溶质将溶解于溶剂中，并通过溶剂进行扩散。

2.Zn-Cu合金的扩散。



多孔固体内的扩散

多数出现在吸附、非均相催化反应中，
扩散与固体内部结构相关。



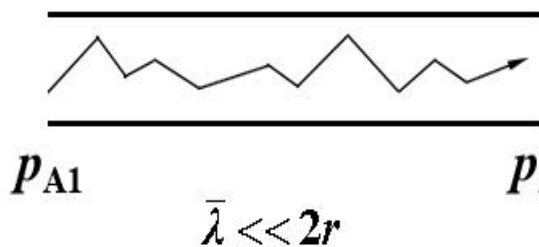
r — 毛细管半径

$\bar{\lambda}$ — 气体分子平均自由程

定义纽特逊数: $kn = \frac{\bar{\lambda}}{2r}$

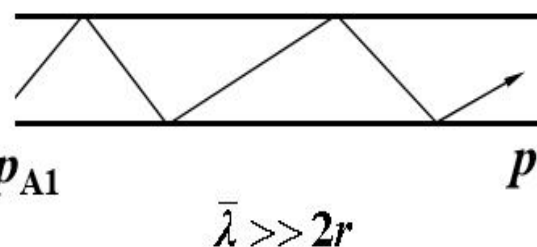
$$\bar{\lambda} = \frac{3.2\mu}{p} \left(\frac{RT}{2\pi M} \right)^{1/2}$$

分三种类型



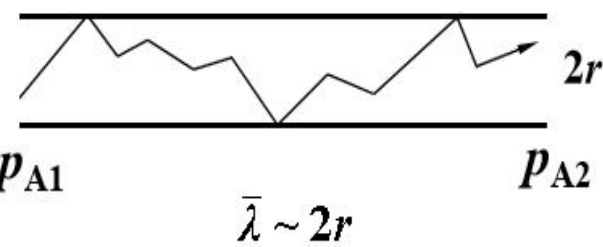
①费克型扩散

$$kn \leq 0.01$$



②纽特逊扩散

$$kn > 10$$



③过渡区中扩散

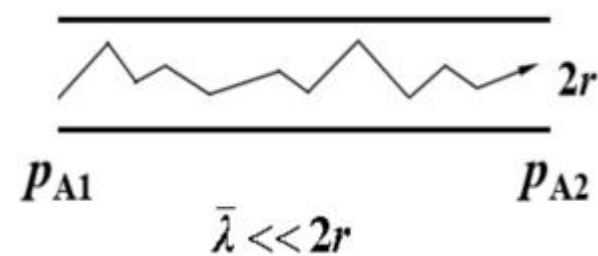
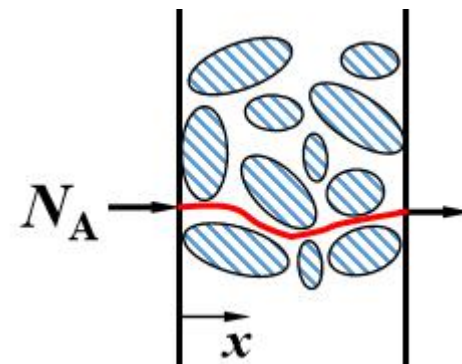
$$0.01 < kn \leq 10$$

①费克型扩散

$$J_{Ax} = -D_{AB,e} \frac{dC_A}{dx}$$

有效扩散系数: $D_{AB,e} = D_{AB} \frac{\varepsilon}{\tau}$

其中: ε — 孔隙率
 τ — 曲折因子



②纽特逊扩散

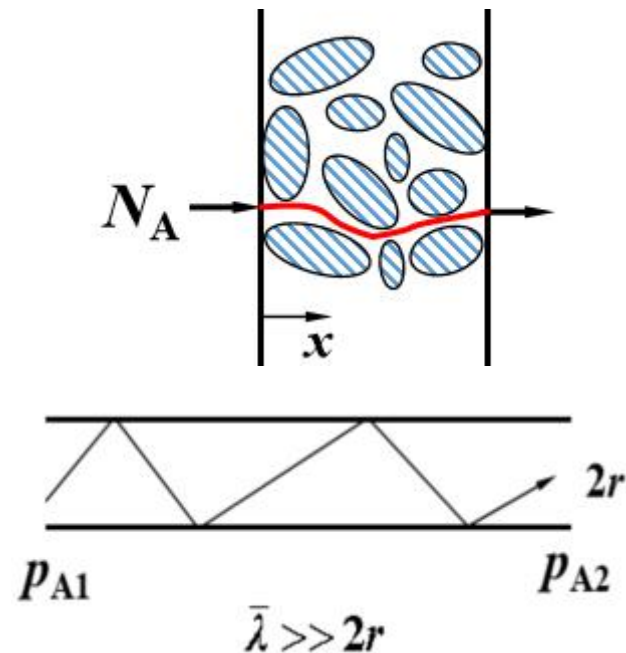
$$J_{Ax} = -D_{AK} \frac{dC_A}{dx}$$

纽特逊扩散系数: $D_{AK} = \frac{2}{3} \bar{v} r$

气体分子平均速度: $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M_A}}$

$$D_{AK} = 97.0r \sqrt{\frac{T}{M_A}}$$

毛细孔半径: $r = \frac{2\varepsilon}{\rho_p S} = \frac{2V_p}{S}$



引入有效扩散系数:

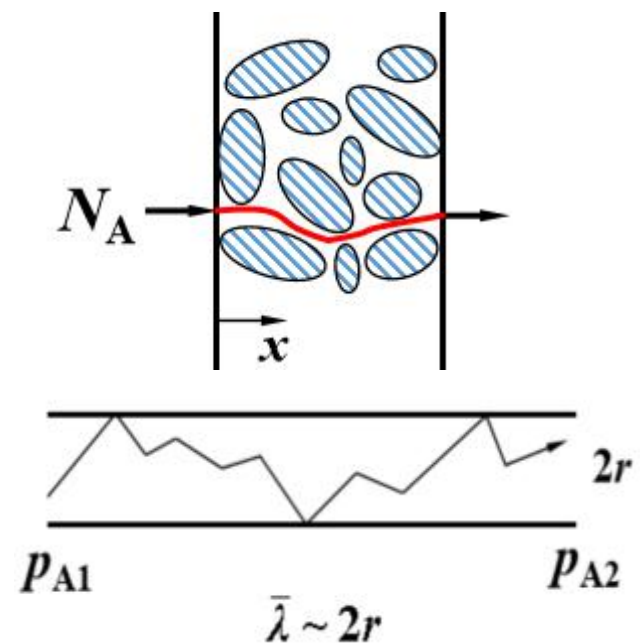
$$D_{AK,e} = D_{AK} \frac{\varepsilon}{\tau}$$

$$J_{Ax} = -D_{AK,e} \frac{dC_A}{dx}$$

多孔介质中, 传递主要依靠纽特逊扩散。

③过渡区中扩散

$$J_{Ax} = -D_{AB,p} \frac{dC_A}{dx}$$



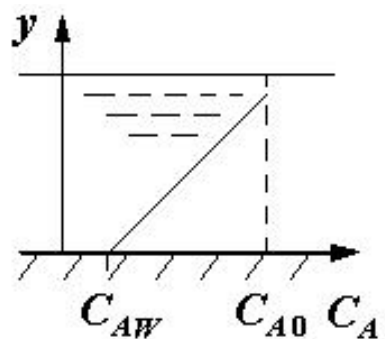
过渡区中，既有分子间的碰撞，又有分子与壁面的碰撞，扩散系数可由阻力串联表示，即：

$$\frac{1}{D_{AB,p}} = \frac{1}{D_{AB,e}} + \frac{1}{D_{AK,e}}$$

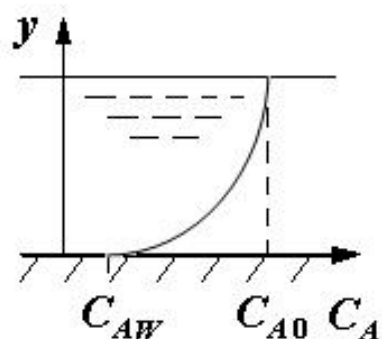
5. 对流传质

对流传质模型: $N_A = k(C_{AW} - C_{Af})$

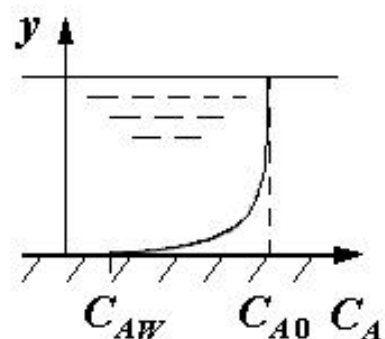
式中: k 为对流传质系数 [m/s], 通常由实验测定。



静止流体



层流



湍流

6. 课堂讨论

1. 扩散和对流总是同时发生？

2. 自然对流是扩散、还是对流？

3. 传递机理是扩散、还是对流？