

吸收传质理论与吸收速率方程

- 双膜理论
- 相内分传质速率方程
- 相际总传质速率方程
- 气膜控制与液膜控制
- 从膜控制角度强化吸收速率

对流传质理论

提出传质理论模型的目的：**解决传质速率的理论计算**

典型传质模型

双膜理论

溶质渗透理论

表面更新理论

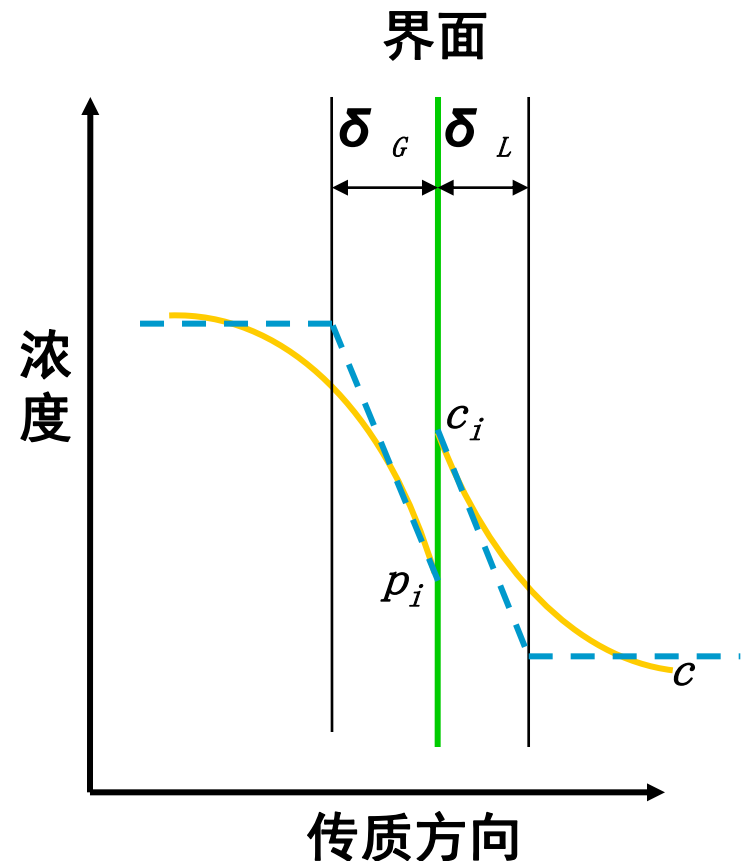
双膜理论将两流体相际传质过程简化为经两膜层的稳定分子扩散的串联过程。对吸收过程则为溶质通过气膜和液膜的分子扩散过程。

双膜理论存在一定局限性；

溶质渗透理论和表面更新理论对双膜理论进行了改善。

双膜理论20世纪20年代，由W.K.Lewis和W.G.Whitman提出，是最早出现的传质理论。**有效膜理论**的基本论点是：

- (1) 相互接触的两流体间存在着稳定的相界面，界面两侧各存在着一个很薄（等效厚度分别为 δ_G 和 δ_L ）的流体膜层。溶质以分子扩散方式通过此两膜层。
- (2) 相界面没有传质阻力，即溶质在相界面处的浓度处于相平衡状态。
- (3) 在膜层以外的两相主流区由于流体湍动剧烈，传质速率高，传质阻力可以忽略不计，相际的传质阻力集中在两个膜层内。



相内分传质速率方程

气相传质速率方程常用的表达形式有三种

$$N_A = k_g(p - p_i)$$

$$N_A = k_y(y - y_i)$$

$$N_A = k_Y(Y - Y_i)$$

k_g — 推动力为分压差的气相传质系数, $kmol/(s \cdot m^2 \cdot kPa)$

k_y — 推动力为摩尔分数差的气相传质系数, $kmol/(s \cdot m^2)$

k_Y — 推动力为比摩尔分数差的气相传质系数, $kmol/(s \cdot m^2)$

p, y, Y — 溶质A在气相主体中的浓度

p_i, y_i, Y_i — 溶质A在界面气相侧的浓度

相内分传质速率方程

液相传质速率方程常用的表达形式也有三种

$$N_A = k_l(c_i - c)$$

$$N_A = k_x(x_i - x)$$

$$N_A = k_X(X_i - X)$$

k_l — 推动力为摩尔浓度差的液相传质系数, m/s

k_x — 推动力为摩尔分数差的液相传质系数, kmol/(s·m²)

k_X — 推动力为比摩尔分数差的液相传质系数, kmol/(s·m²)

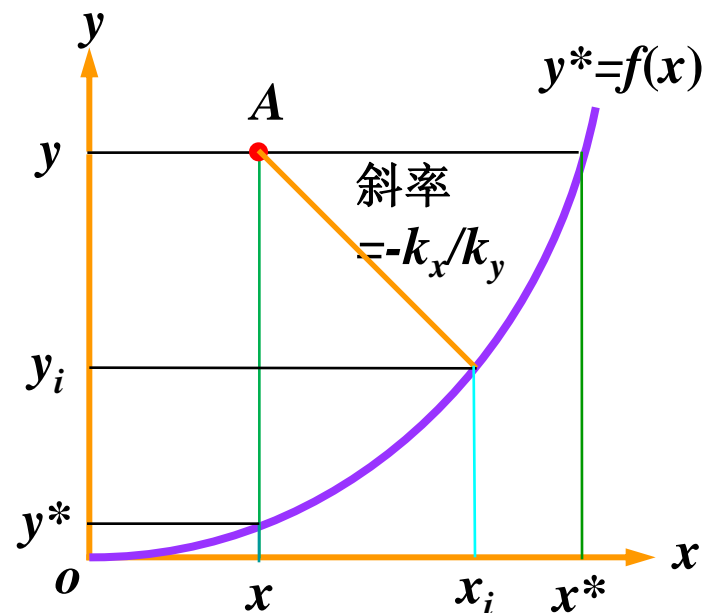
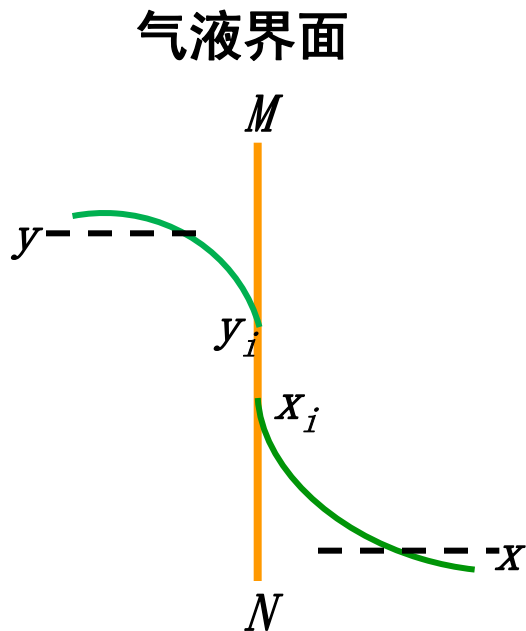
c, x, X — 溶质A在液相主体中的浓度

c_i, x_i, X_i — 溶质A在界面液相侧的浓度

相界面的浓度

作图法：

y_i 、 x_i 为直线 $(y-y_i) = -k_x/k_y(x-x_i)$ 与平衡线 $y^*_i=f(x_i)$ 的交点坐标，直线上 A 点坐标为与之对应的气、液主体流的摩尔分数 y 、 x 。



相际总传质速率方程

传递过程的阻力具有加和性。

以双膜理论为依据，则吸收过程的传质总阻力是气相传质阻力与液相传质阻力之和。

总传质速率为总传质推动力 $(y-y^*)$ 与总的传质阻力 $(1/K_y)$ 之比。

当相平衡关系为直线

对稀溶液，物系的相平衡关系服从亨利定律： $y^*=mx$

$$\left. \begin{array}{l} \text{气相: } \frac{N_A}{k_y} = (y - y_i) \\ \text{液相: } \frac{N_A m}{k_x} = (y_i - y^*) \end{array} \right\} N_A = \frac{(y - y_i) + (y_i - y^*)}{\frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}} = \frac{y - y^*}{\boxed{\frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}}}$$
$$\text{相际: } N_A = \frac{y - y^*}{\boxed{1/K_y}} = K_y (y - y^*) \quad \frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$$

相际总传质速率方程

以气相为基准的总传质速率方程：
$$N_A = K_y (y - y^*)$$

K_y —以 $(y-y^*)$ 为推动力的总传质系数，单位为 $\text{kmol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ，其倒数为气、液两相传质总阻力。

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

总传质系数 K_y 与相内传质系数 k_x 、 k_y 的关系式，实质表达了总传质阻力 $1/K_y$ 等于气相传质阻力 $1/k_y$ 与液相传质阻力 m/k_x 之和。

因为总阻力 $1/K_y$ 以气相为基准，所以液相阻力 $1/k_x$ 需乘以换算系数 m 。

相际总吸收速率方程

如将 $y_i=mx_i$ 和 $y=mx^*$ 代入式 $N_A=k_y(y-y_i)$ ，可得

$$\left. \begin{array}{l} \text{气相: } \frac{N_A}{k_y m} = (x^* - x_i) \\ \text{液相: } \frac{N_A}{k_x} = (x_i - x) \end{array} \right\} N_A = \frac{x^* - x}{\frac{1}{k_x} + \frac{1}{mk_y}}$$

$$\text{相际: } N_A = \frac{x^* - x}{\frac{1}{K_x}} = K_x (x^* - x) \quad \frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{mk_y}$$

以液相为基准的
总传质速率方程

K_x 是以 (x^*-x) 为推动力的总传质系数，单位为 $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 $1/K_x$ 代表了以液相为基准的吸收传质过程的总传质阻力，是以液相为基准的气、液两相相内传质阻力之和。

气膜控制与液膜控制

总传质阻力取决于气、液两相的传质阻力。当气、液两相传质阻力在总传质阻力中所占的比例相差悬殊时，可简化。

对易溶气体，平衡常数 m 值小，平衡线很平，这时：

$$\frac{1}{k_y} \gg \frac{m}{k_x} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{K_y} \approx \frac{1}{k_y} \quad \Rightarrow \quad K_y \approx k_y$$

传质阻力主要在气相，为**气相阻力控制**或**气相扩散控制**过程

对难溶气体，平衡常数 m 值大，平衡线很陡，这时：

$$\frac{1}{k_x} \gg \frac{1}{mk_y} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{K_x} \approx \frac{1}{k_x} \quad \Rightarrow \quad K_x \approx k_x$$

传质阻力主要在液相，为**液相阻力控制**或**液相扩散控制**过程

从膜控制角度强化吸收速率

判断气相、液相传质阻力所占的比例，可有效强化传质过程，提高传质速率。

以气相阻力为主的吸收操作为例，增加气体流速，可减薄界面处气膜层的厚度，从而降低气相传质阻力，有效地提高吸收速率；若此时增加液体流速，吸收速率变化则不明显。