

# 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

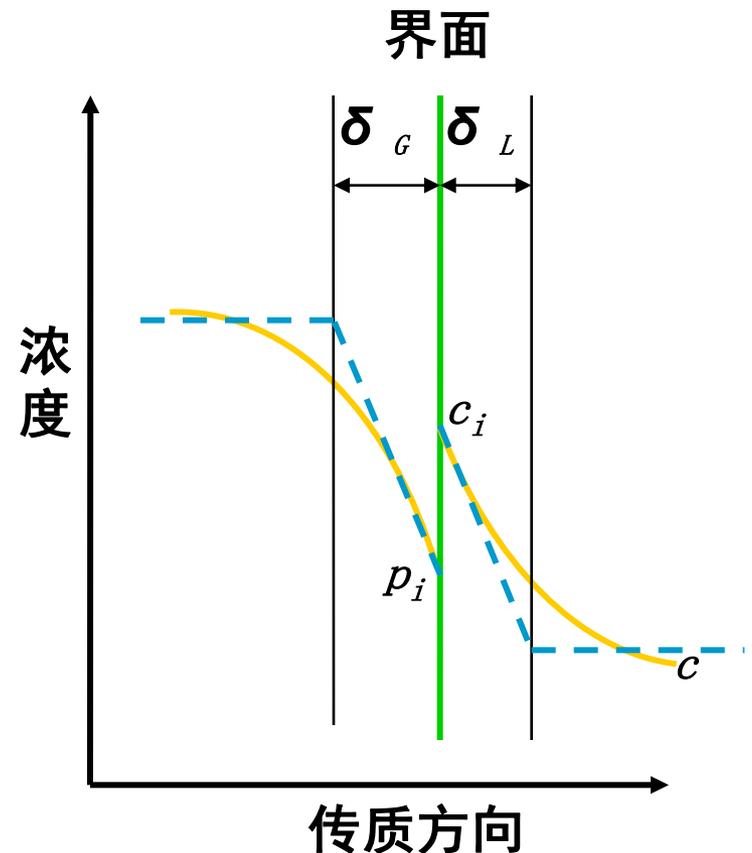
**双膜理论**将两流体相际传质过程简化为经两膜层的稳定分子扩散的串联过程。对吸收过程则为溶质通过气膜和液膜的分子扩散过程。

**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  $\delta_G$  和  $\delta_L$ ）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·m<sup>2</sup>)

$k_X$  — 推动力为比摩尔分数差的液相传质系数，kmol/(s·m<sup>2</sup>)

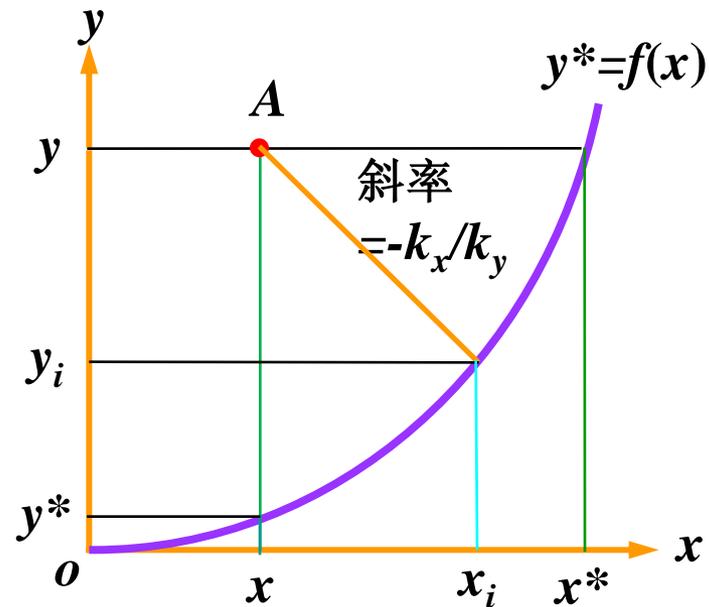
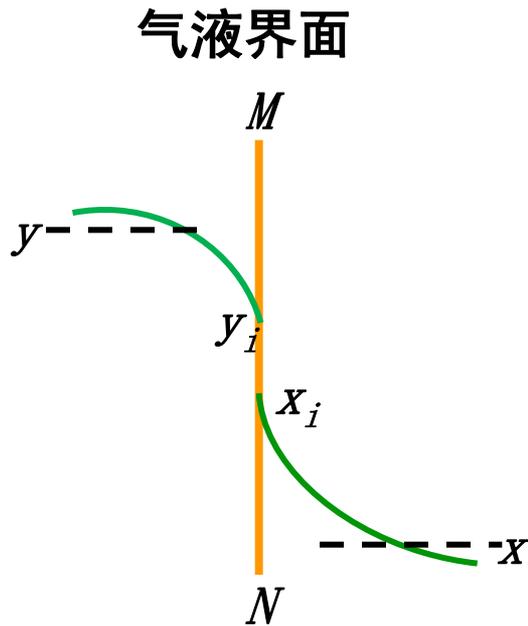
$c$ 、 $x$ 、 $X$  — 溶质A在液相主体中的浓度

$c_i$ 、 $x_i$ 、 $X_i$  — 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： $y^*=mx$

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

## 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。