

吸收-2

黄婕老师

练习答案

吸收操作的物理依据是

混合气体在溶剂中的溶解度不同

亨利定律的三种表达式以及适用条件

$p = Ex$ ， $p = Hc$ ， $y = mx$ ，低浓度气体吸收

汽液传质设备分为填料塔和板式塔。填料塔为
_____接触设备；板式塔为_____接触设备。

微分 级式

若增加吸收的总压，则亨利常数 E ____，
 H ____， m ____，溶解度____，对吸收_____。

不变，不变，下降，增大 有利

若体系的温度下降，则亨利常数 m ____ E ____ H _____。

减小，减小，减小

温度升高 对_____有利。 解吸

常用解吸方法 _____。 升温、减压、吹气

第三节 扩散和单相传质

物质传递的两种形式：**分子扩散和对流扩散**

单相传质的机理

- (1) **分子扩散**：因分子的微观运动使该组分由高浓度处传递至低浓度处。
- (2) **对流传质**：流体的宏观流动导致的物质传递。

分子扩散用什么方程描述

费克定律 恒温恒压下的一维定态扩散 (条件)

表达式和公式意义

$$J_A = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz}$$

“-” 表示物质沿浓度降低方向传递。

J_A ——扩散速率, $\text{kmol/m}^2 \cdot \text{s}$

$\frac{dc_A}{dz}$ ——浓度梯度, kmol/m^4

D_{AB} ——扩散系数, m^2/s

温度压力对扩散系数的影响

① 组分在气体中的扩散系数

$$D = D_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1.81} \left(\frac{p_0}{p} \right)$$

$T \uparrow, D \uparrow;$
 $p \uparrow D \downarrow。$

② 组分在液体中的扩散系数

$$D = D_0 \frac{T}{T_0} \times \frac{\mu_0}{\mu}$$

$T \uparrow, D \uparrow; \mu \uparrow, D \downarrow$

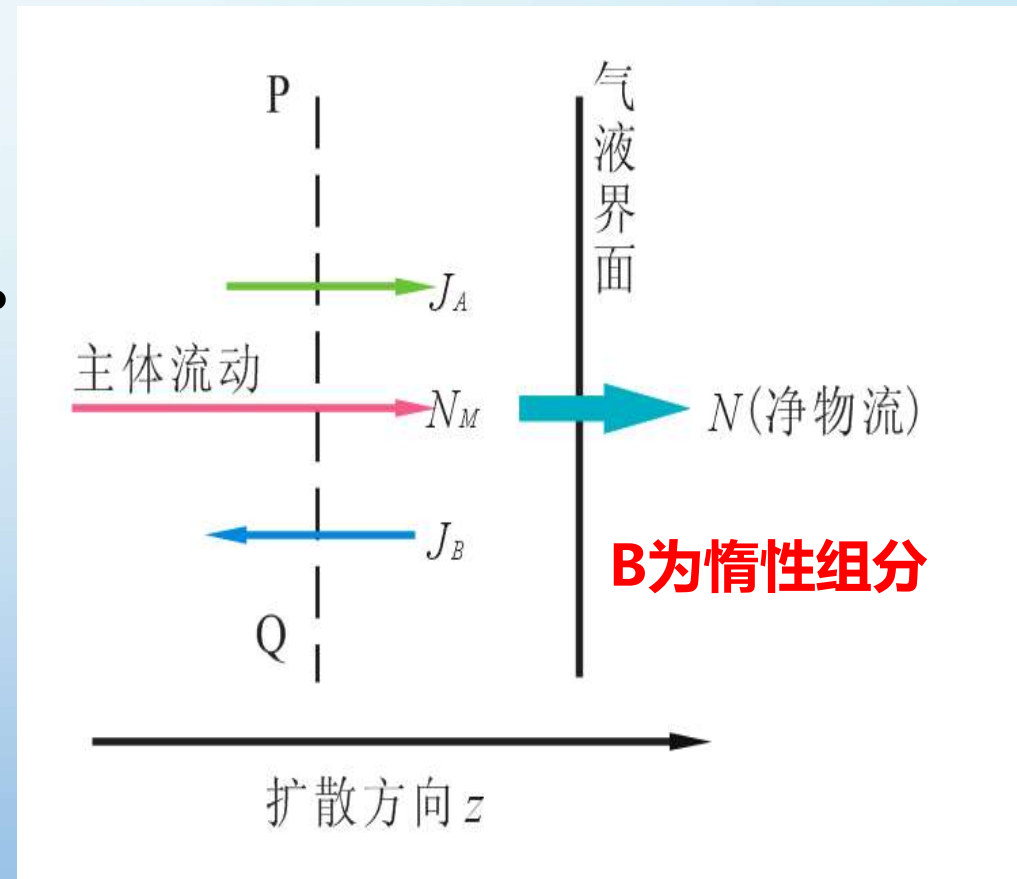
扩散流 J 和主体流动 N_M

扩散流 J

分子微观运动，传递**纯 A 或纯 B**。

主体流动 N_M

宏观运动，**同时携带 A 与 B** 至界面。**组分 B** 又以分子扩散形式返回气相主体。



主体流动是因分子扩散而引起的一种伴生流动

分子扩散速率方程

A分子的扩散速率方程:

$$N_A = J_A + N_M \frac{c_A}{c_M}$$
$$= J_A + N \frac{c_A}{c_M} = J_A + \underbrace{(N_A + N_B)}_{\text{总摩尔数}} \frac{c_A}{c_M}$$

(1) 等分子反向扩散 $N_A = \frac{D}{\delta} (c_{A1} - c_{A2})$

(2) 单向扩散 $N_A = \frac{D}{\delta} \frac{c_M}{c_{BM}} (c_{A1} - c_{A2})$

漂流因子

$$\frac{c_M}{c_{BM}} \quad \text{或} \quad \frac{p}{p_{BM}}, \quad c_{BM} = \frac{c_{B2} - c_{B1}}{\ln \frac{c_{B2}}{c_{B1}}}, \quad p_{BM} = \frac{p_{B2} - p_{B1}}{\ln \frac{p_{B2}}{p_{B1}}}$$

定义：单向扩散时因存在主体流动而使 N_A 为 J_A 的某一倍数。

- ① 漂流因子恒大于 1。
- ② 当 c_A 很低, $c_{BM} = c_M$ 时漂流因子接近于 1。
- ③ 等分子反向扩散时, 漂流因子=1。

对流传质三个理论

1、有效膜理论 特点：表面静止

界面两侧膜**静止**，传质阻力在膜上；膜中传质为**定态**分子扩散。

2、溶质渗透理论 特点：表面更新周期性发生

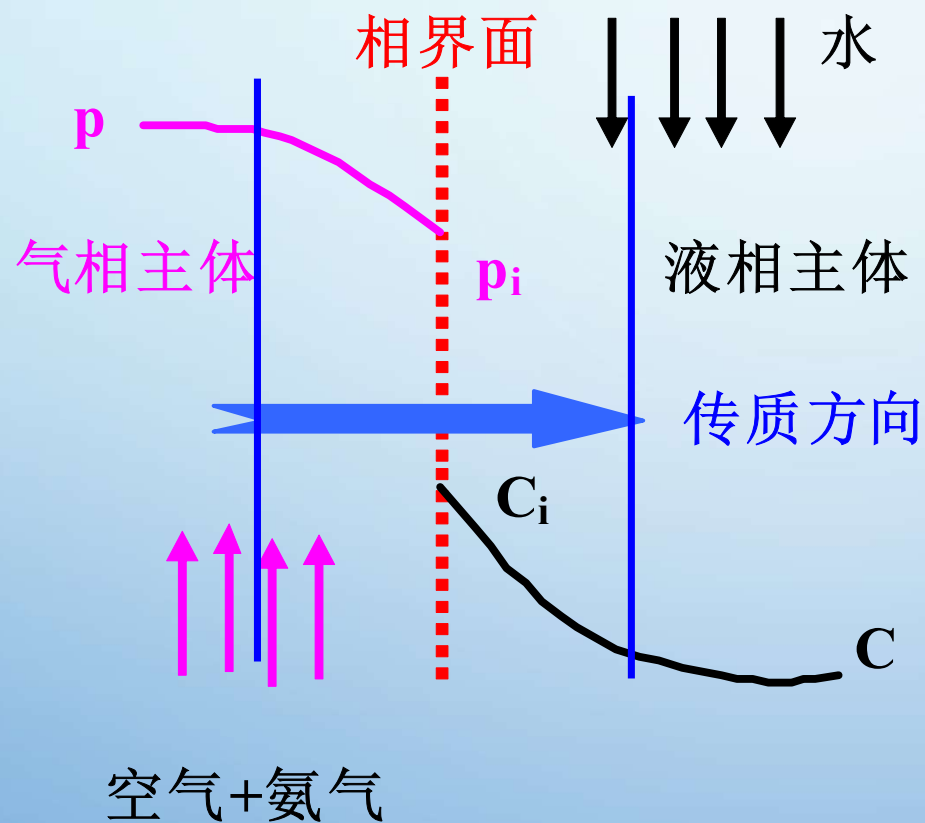
间隔一定**时间** τ_0 ，发生一次完全混合；**非定态**的扩散。

3、表面更新理论 特点：表面更新随时进行

流体表面不断更新，过程强化。 **S** 为更新频率。

对流传质

有效膜理论



吸收

p, p_i —— A的气相主体分压与界面处的分压, kN/m^2 ;
 c_i, c —— A的界面浓度与液相主体浓度, kmol/m^3 。

**请第一组同学上台讲解一下相际传质速率
(时间控制在5-6分钟)**

第四节 相际传质

相际物质传递的步骤

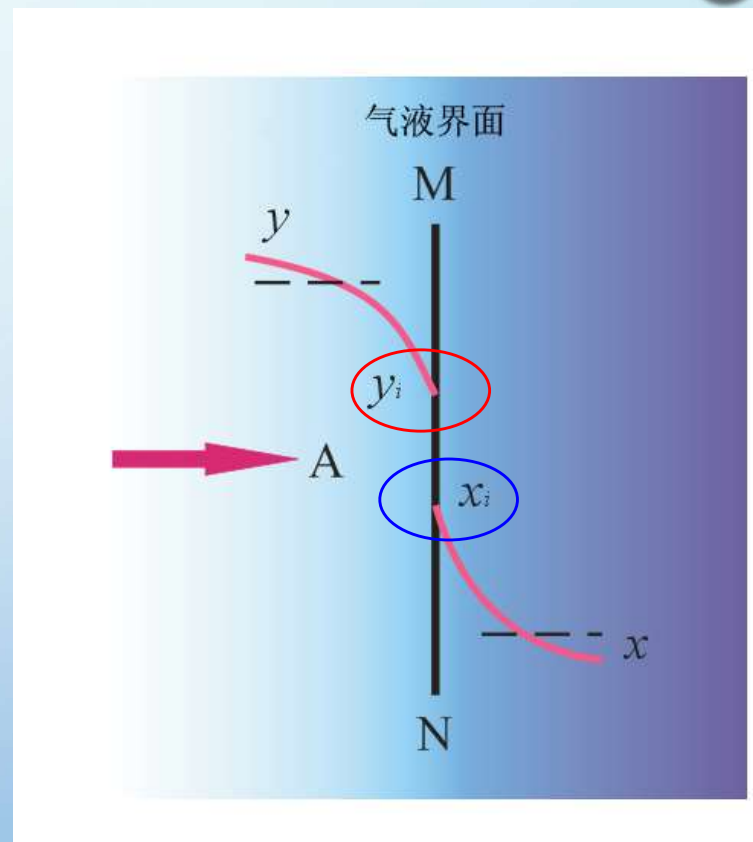
三个串联步骤

- (1) 溶质由气相主体扩散至两相界面;
- (2) 溶质在界面上的溶解;
- (3) 溶质自界面扩散至液相主体。

总过程速率取决于

单相传质速率

哪个速度最快?



气液传质的步骤

问题-1 三个串联过程用公式表示

气相传质速率 $N_A = k_y(y - y_i)$

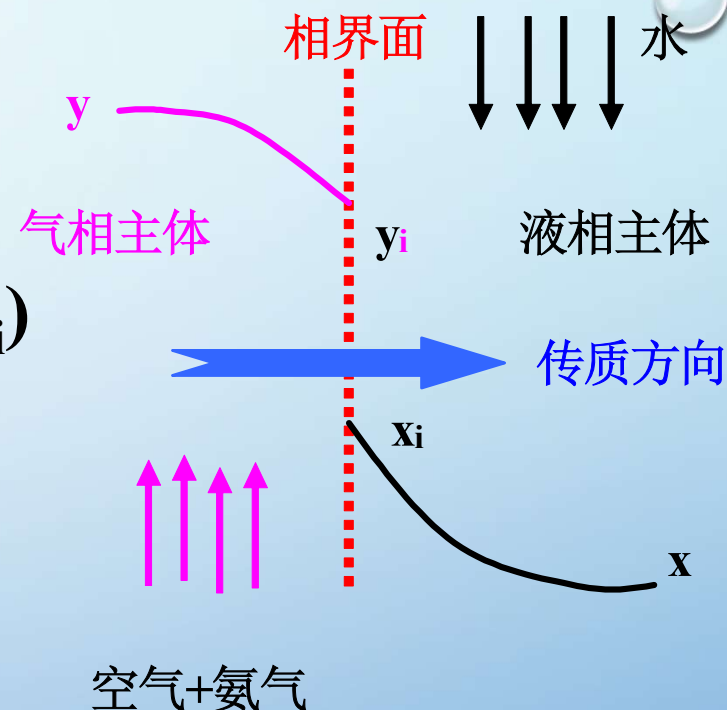
界面上气液两相服从相平衡方程 $y_i = f(x_i)$

对稀溶液，物系服从亨利定律 $y_i = mx_i$

液相传质速率 $N_A = k_x(x_i - x)$

定态传质速率方程

$$N_A = k_y(y - y_i) = k_x(x_i - x)$$



问题2-辨析下列公式——吸收OR解吸？

含义，公式间关系

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

以 $(y - y_i)$ 为推动力的气相吸收速率方程， **k_y** 为气相分传质系数

$$N_A = K_y (y - y_e)$$

以 $(y - y_e)$ 为推动力的气相吸收速率方程， **K_y** 为气相总传质系数

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

以 $(x_i - x)$ 为推动力的液相吸收速率方程， **k_x** 为液相分传质系数

$$N_A = K_x (x_e - x)$$

以 $(x_e - x)$ 为推动力的液相吸收速率方程， **K_x** 为液相总传质系数

它们相等吗？

定态下相等

问题2-辨析下列公式——吸收OR解吸？

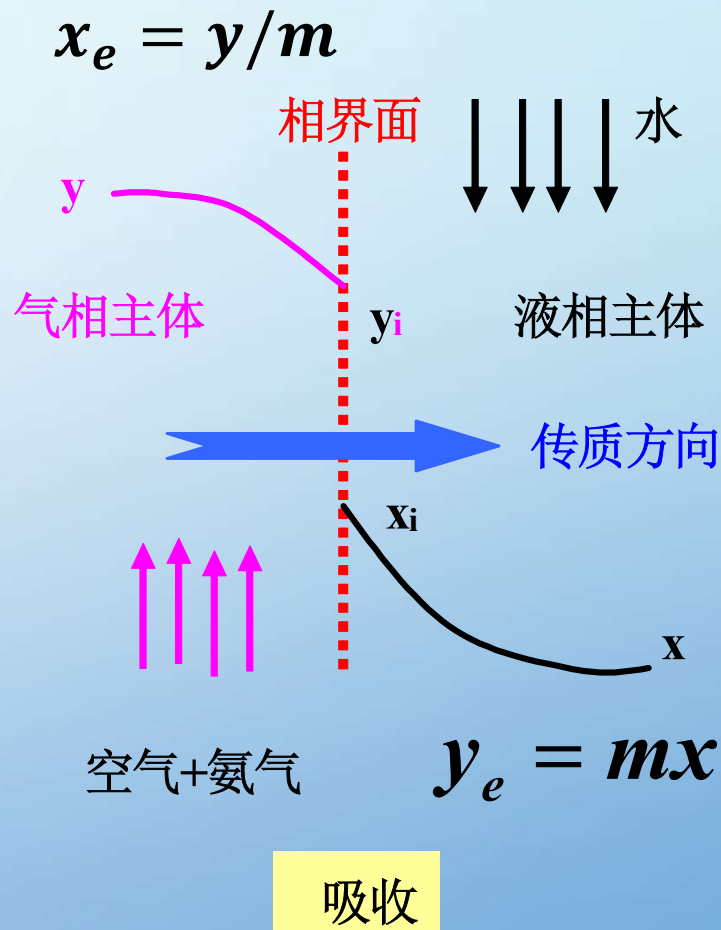
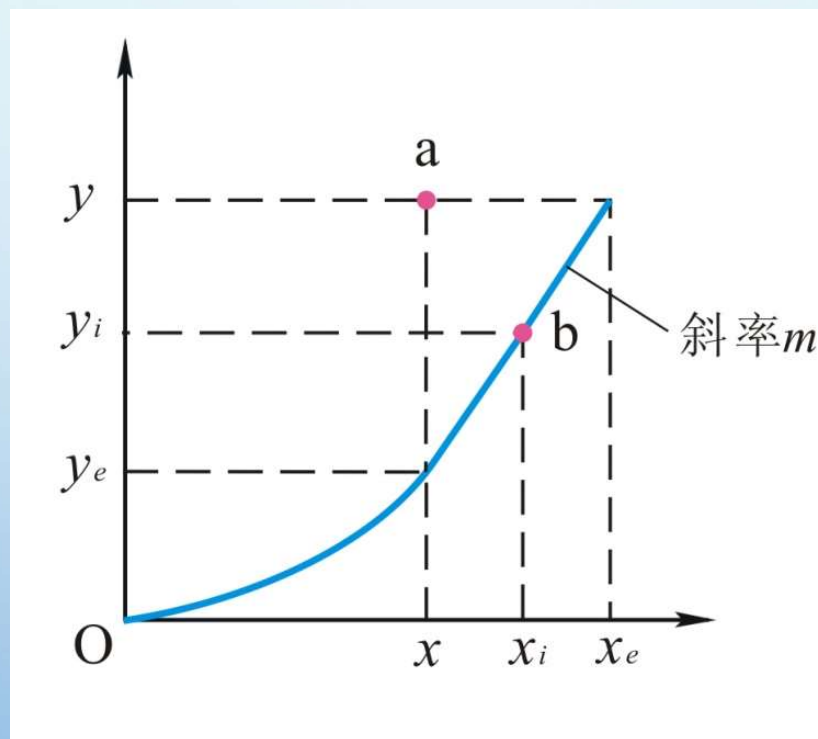
含义，公式间关系

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

$$N_A = K_y(y - y_e)$$

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

$$N_A = K_x(x_e - x)$$



问题3-吸收、解吸速率方程如何表达, K_x 和 K_y 关系如何?

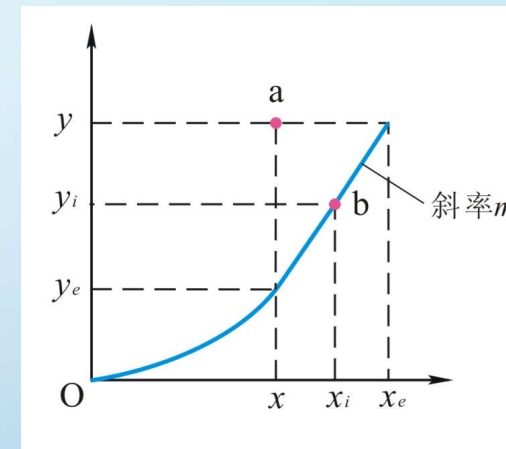
吸收速率方程

$$N_A = K_y(y - y_e) \quad N_A = K_x(x_e - x)$$

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

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

$$mK_y = K_x$$



解吸速率方程

$$N_A = K_x(x - x_e) \quad N_A = K_y(y_e - y)$$

K_y, K_x 表达式同上

看视频推导



推导过程

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

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

$$N_A = \frac{y - y_i}{\frac{1}{k_y}} = \frac{x_i - x}{\frac{1}{k_x}}$$

$$y_i = mx_i$$

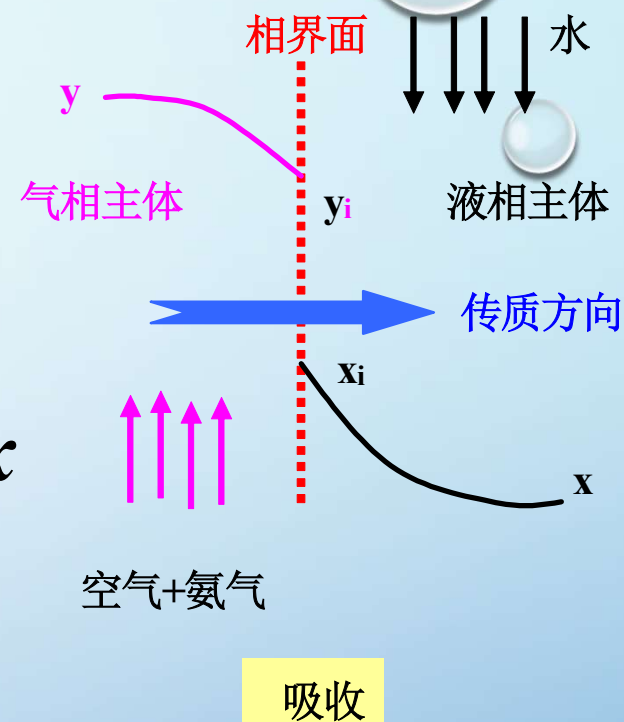
$$y_e = mx$$

$$N_A = \frac{y - y_i + (x_i - x)m}{\frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}} = \frac{y - y_e}{\frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}}$$

$$N_A = K_y(y - y_e)$$

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}}, \quad \text{kmol/s} \cdot \text{m}^2$$

以摩尔分率差为推动力的
气相总吸收速率方程
 K_y 为气相总传质系数



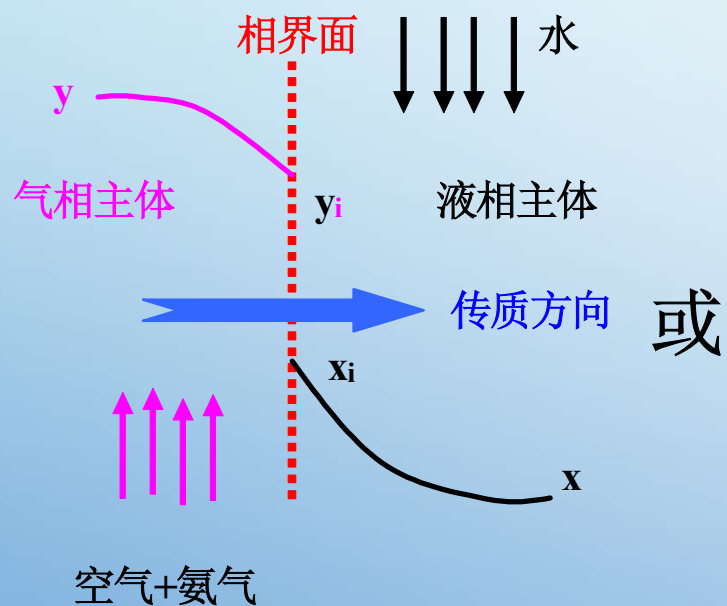
问题-4 传质速率方程各种表达形式——自行推导

相平衡方程	$y = mx + a$	$p = Hc + b$	
吸收传质速率方程	$N_A = k_y(y - y_i)$ $= k_x(x_i - x)$ $= K_y(y - y_e)$ $= K_x(x_e - x)$	$N_A = k_g(p - p_i)$ $= k_L(c_i - c)$ $= K_g(p - p_e)$ $= K_L(c_e - c)$	$k_y = pk_g$ $k_x = c_M k_L$ $K_y = pK_g$ $K_x = c_M K_L$
吸收或解吸的总传质系数	$K_y = \frac{1}{\frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}}$ $K_x = \frac{1}{\frac{1}{k_y \cdot m} + \frac{1}{k_x}}$	$K_g = \frac{1}{\frac{1}{k_g} + \frac{H}{k_L}}$ $K_L = \frac{1}{\frac{1}{k_g \cdot H} + \frac{1}{k_L}}$	
	$K_y m = K_x$	$K_g H = K_L$	

问题-5 界面浓度的求取

$$N_A = k_y(y - y_i) = k_x(x_i - x)$$

$$y_i = mx_i$$



空气+氨气

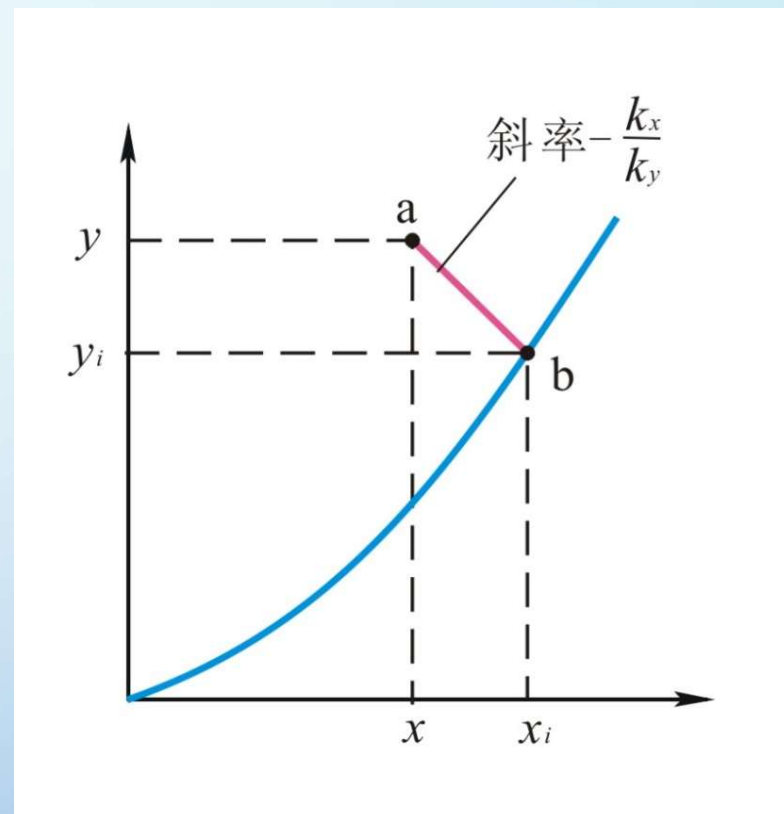
吸收

或

$$\frac{y - y_i}{x_i - x} = \frac{k_x}{k_y}$$

$$\frac{y - y_i}{x - x_i} = -\frac{k_x}{k_y}$$

(1) 解析法



界面浓度的求取

(2) 图解法

看视频中小练习



**第二组同学上台讲解传质阻力控制
(时间控制在5-6分钟)**

问题-6 推动力和阻力

$$N_A = \frac{y - y_e}{\frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}}$$

总推动力 $\Delta y = y - y_e$

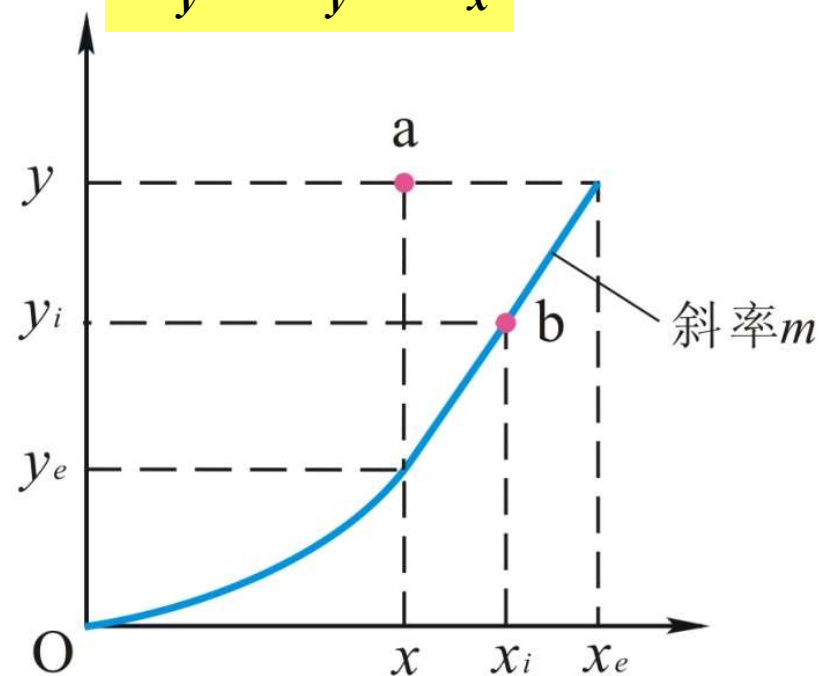
总阻力 $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$

液相总推动力、分推动力？
气相总推动力、分推动力？

$$N_A = K_y(y - y_e)$$

速率 = 推动力/阻力

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

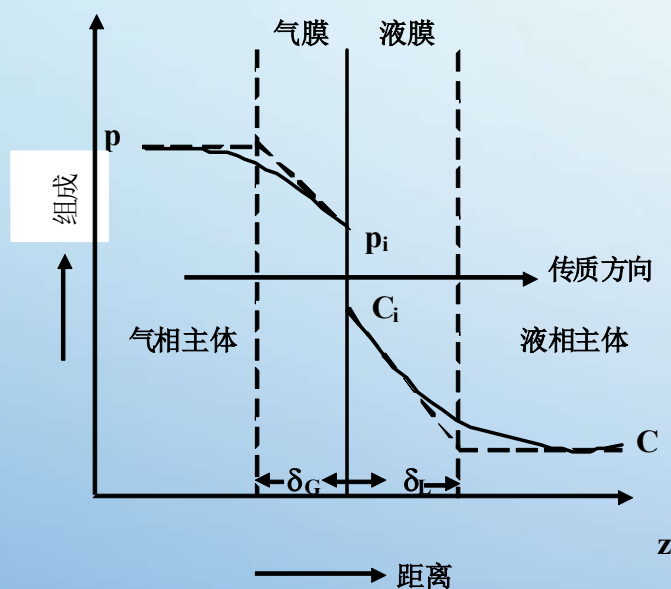


传质推动力分析

推动力大，阻力大

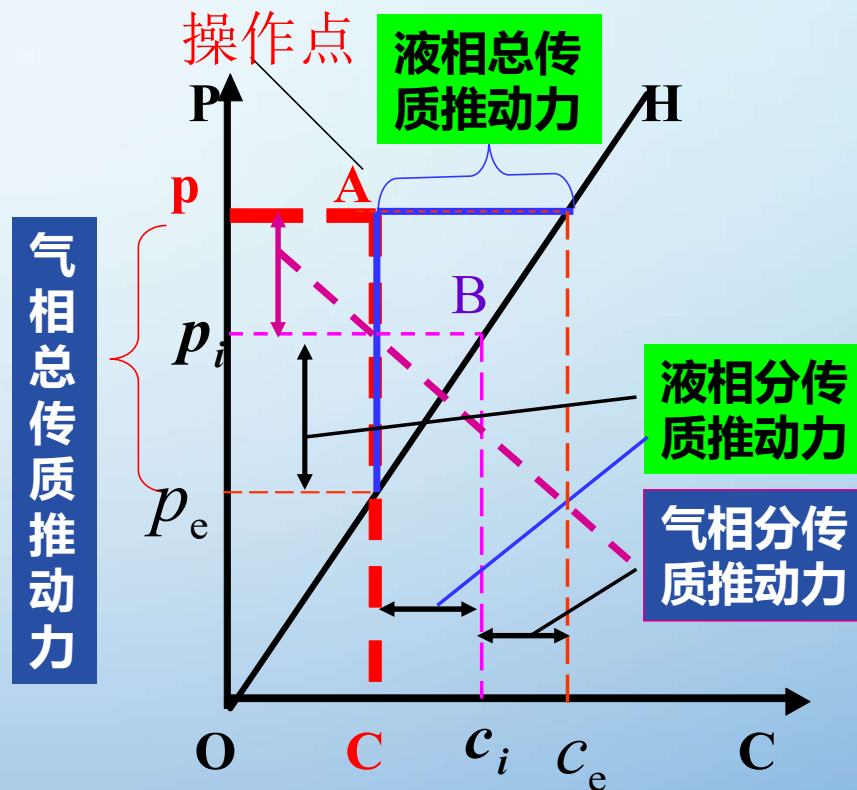
$$p_i = HC_i$$

操作点 A 离平衡线越近，
则总推动力就越小



双膜模型

$$N_A = -\frac{p - p_i}{\frac{1}{k_G}} = -\frac{C_i - C}{\frac{1}{k_L}} = -\frac{p - p_e}{\frac{1}{K_G}} = -\frac{C_e - C}{\frac{1}{K_L}}$$



传质推动力的图示

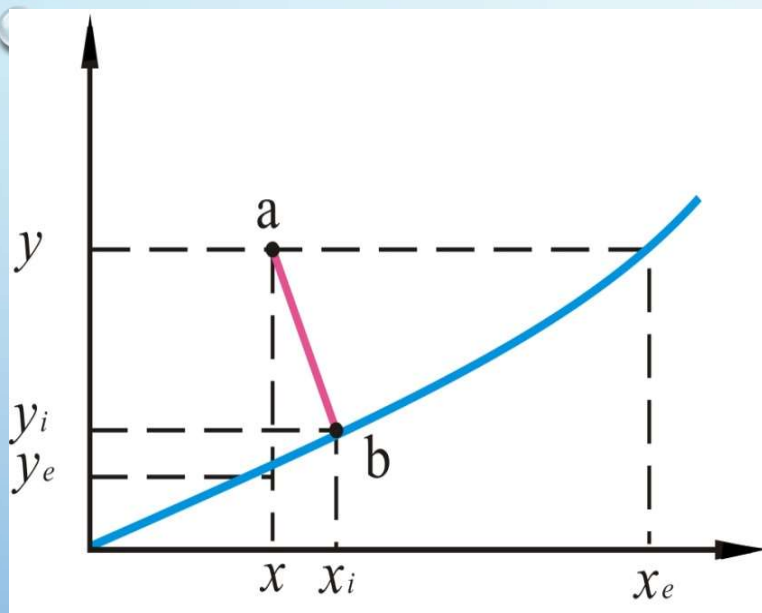
问题-7 气相阻力控制条件

$$N_A = K_y(y - y_e)$$

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

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

$$K_y \approx k_y$$



气相分传质推动力
≥ 液相分传质推动力

$$y - y_i \approx y - y_e$$

1、 $k_y \ll k_x$ 或 $\left| \frac{k_x}{k_y} \right| \gg 1$

2、 m 小（溶解度很大）；

例子：易溶气体：水吸收 NH_3 ， HCl 。

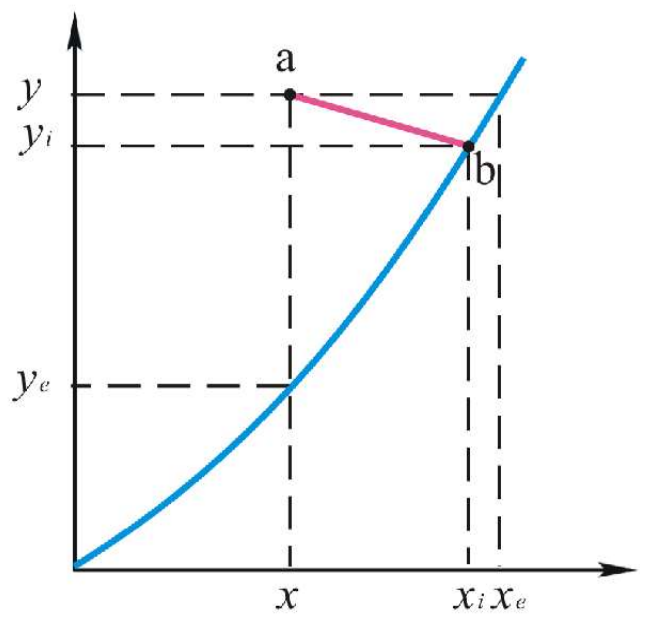
问题8- 液相阻力控制条件

$$N_A = K_x(x_e - x)$$

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

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

$$K_x \approx k_x$$



液相分传质推动力
≥ 气相分传质推动力

$$x_i - x \approx x_e - x$$

- 1、 $k_y \gg k_x$ 或 $\left| \frac{k_x}{k_y} \right| \ll 1$
- 2、 m 很大（溶解度很小）；

例子：难溶气体，水吸收 CO_2 ， O_2 等。

第五节 低含量气体吸收

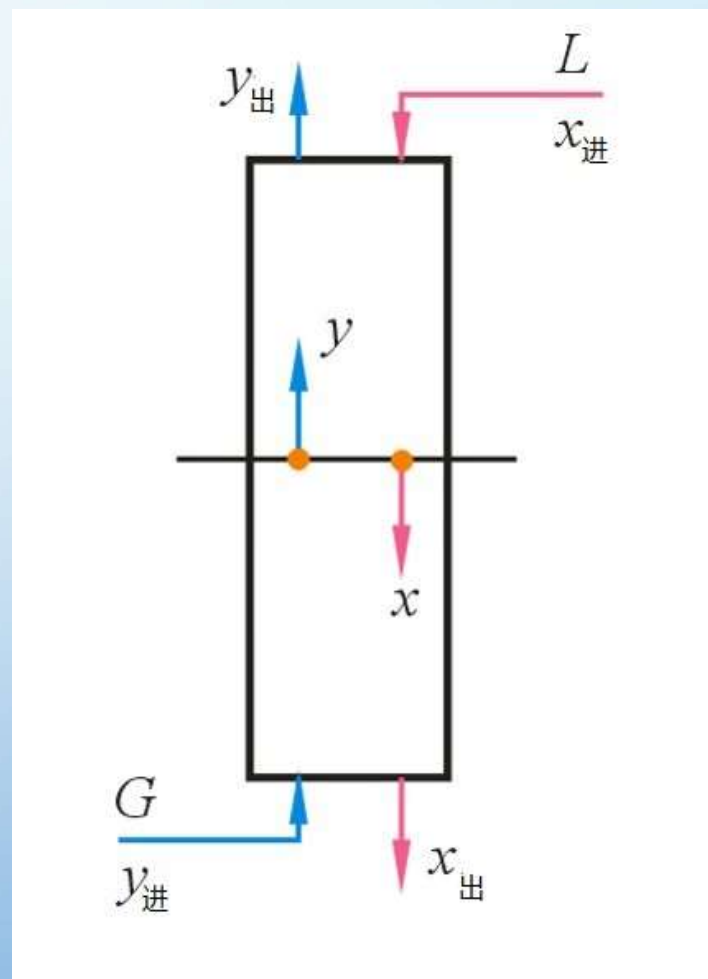
x, y 是否为同一种物质?

是

√ 溶质A

惰性组分B

溶剂 (吸收剂) S



问题9- 低含量气体吸收的特点

- (1) G, L 为常量
- (2) 过程等温
- (3) 传质系数为常量

全塔物料衡算

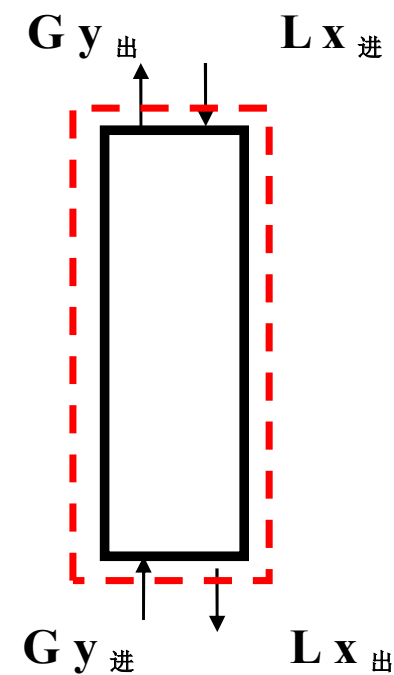
$$G (y_{\text{进}} - y_{\text{出}}) = L (x_{\text{出}} - x_{\text{进}})$$

定义回收率 η

$$\eta = \frac{y_{\text{进}} - y_{\text{出}}}{y_{\text{进}}} = 1 - \frac{y_{\text{出}}}{y_{\text{进}}}$$

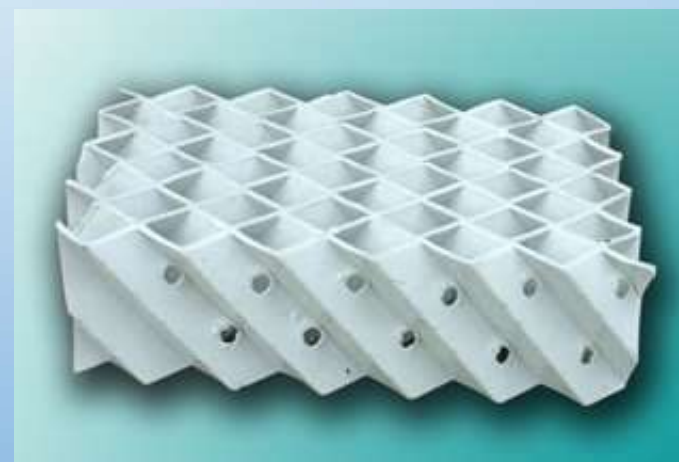
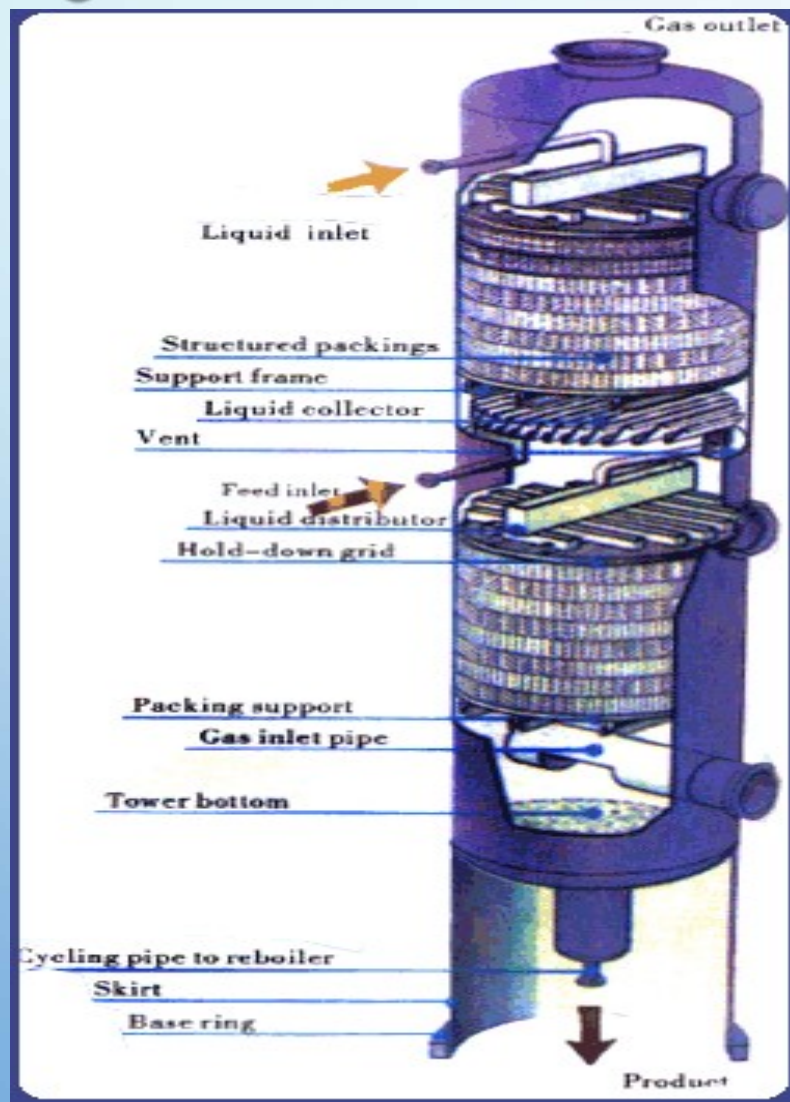
$$y_{\text{出}} = (1 - \eta) y_{\text{进}}$$

G ——混合气体流率
 L ——液体流率



逆流吸收塔的物料衡算

填料塔



问题-10 物料衡算微分式

塔截面积 A ($=\frac{\pi}{4}D^2$)

单位体积内的有效吸收表面 a m^2/m^3

微元段 dh ，则有效传质面积为 $aA dh$

传质量为 $N_A a A dh$

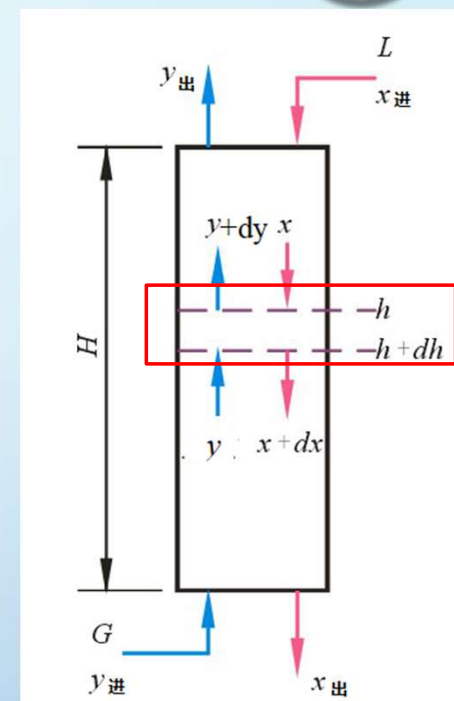
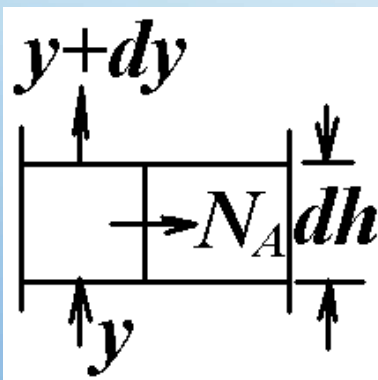
定态条件下： $\Sigma \text{进} = \Sigma \text{出}$

$$GAy = GA(y+dy) + N_A a A dh$$

得 $-Gdy = N_A a dh$

同理，液相有 $Ldx = N_A a dh$

物料衡算微分式 $-Gdy = Ldx$



$$N_A = K_y (y - y_e)$$

小练习

- ① 对某吸收系统，如果 $1/k_y \gg 1/k_x$ ，则为气膜控制；
 $1/k_y \ll 1/k_x$ ，则为液膜控制。此说法是____的。（对或错）
- ② 工程上常用水——空气系统进行氧解吸以测定填料传质性能，这种系统属于____系统，传质阻力主要在____一侧。
- ③ 对于水吸收 CO_2 的低浓系统，如在水中加碱，则此系统的 k_y ____， K_y ____。
- ④ 用水逆流吸收氨气，该吸收过程为____。
- A. 气膜控制 B. 液膜控制 C. 气、液膜控制
- ⑤ 对一定操作条件下的填料吸收塔，如将填料层增高些，则塔的 H_{OG} 将（ ）， N_{OG} 将（ ）
- A、降低 B、升高 C、不变 D、不确定

扫码练习



思考

① 对某吸收系统，如果 $1/k_y \gg 1/k_x$ ，则为气膜控制；

$1/k_y \ll 1/k_x$ ，则为液膜控制。此说法是____的。（对或错）

错，没有考虑 m 的影响

② 工程上常用水——空气系统进行氧解吸以测定填料传质性能，这种系统属于____系统，传质阻力主要在____一侧。

液膜控制

液相

③ 对于水吸收 CO_2 的低浓系统，如在水中加碱，则此系统的 k_y ____， K_y ____。

液膜控制

不变，增大

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

④ 用水逆流吸收氨气，该吸收过程为 ____。 **A**

A. 气膜控制 B. 液膜控制 C. 气、液膜控制

⑤ 对一定操作条件下的填料吸收塔，如将填料层增高些，
则塔的 H_{OG} 将 (**C**)， N_{OG} 将 (**B**) $H = H_{OG} \cdot N_{OG} = H_{OL} \cdot N_{OL}$

A、降低 B、升高 C、不变 D、不确定

线上学习内容和下次课程的上台讲解

- 1、复习今天的视频内容
- 2、完成传质单元数和设计型计算的视频学习
- 3、第一组准备讲解传质单元数和操作线方程
- 4、第三组准备讲解设计型命题的计算和条件选择
- 5、第四组准备讲解进口的吸收剂浓度最高和最低可分别到达多少？为什么？
- 6、第五组准备讲解吸收过程的液气比。

备注：讲解时间5-6分钟