



第八章 气体吸收

8.1 吸收过程概述

8.2 吸收过程的相平衡关系

8.3 吸收过程的速率关系

8.3.1 膜吸收速率方程

一、双膜模型

吸收过程包括三个步骤：

① 气相内的物质传递

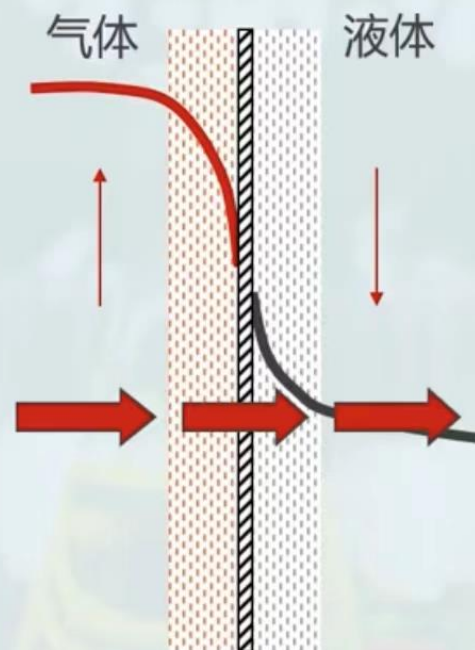
气相主体 $\xrightarrow{\text{对流和扩散}}$ 两相界面；

② 界面上的溶解过程

气相 \longrightarrow 液相；

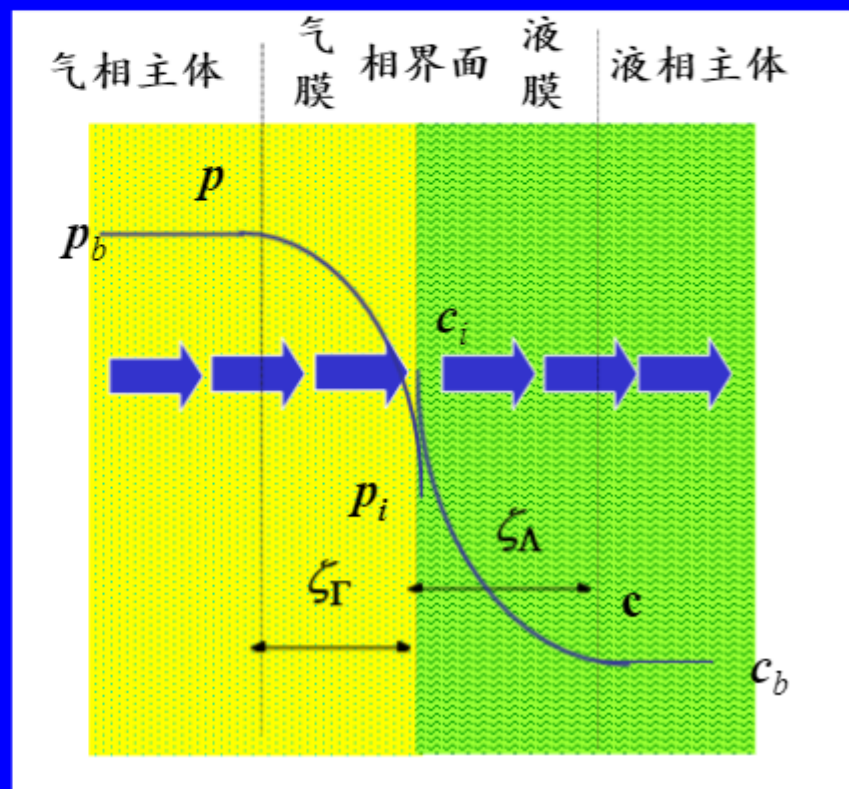
③ 液相内的物质传递

两相界面 $\xrightarrow{\text{对流和扩散}}$ 液相主体。



双膜模型的要点:

- (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 ζ_{Γ} 和 ζ_{Λ} ）的流体膜层（**气膜**和**液膜**）。溶质以分子扩散方式通过此两膜层。
- (2) 溶质在相界面处的浓度处于相平衡状态。无传质阻力。
- (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。



依双膜模型, 吸收过程为溶质通过相界面两侧的气膜和液膜的定态传质过程, 单独根据气膜或液膜的推动力及阻力写出的速率关系式称为**膜吸收速率方程**。

一、气膜吸收速率方程

吸收速率 (N_A)：单位面积、单位时间内所吸收的溶质A的物质的量，用 N_A 表示，单位： $\text{kmol/m}^2 \cdot \text{s}$ 。

吸收速率方程：吸收速率与吸收推动力之间的数学关系式

吸收速率=推动力 / 吸收阻力

吸收速率=推动力 \times 吸收系数

1: 气膜吸收速率方程式

①: 气相浓度用分压表示

$$N_A = \frac{D_{AB}}{z_G RT} \frac{P}{P_{Bm}} (p - p_i) \quad \text{令} \quad \frac{D_{AB} P}{z_G RT P_{Bm}} = k_G$$

$N_A = k_G (p - p_i)$ —— 气膜吸收速率方程式

k_G —— 以 $(p - p_i)$ 为推动力的气膜吸收系数，
 $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{kPa})$ 。

也可写成: $N_A = (p - p_i) / \frac{1}{k_G}$

$1/k_G$ ——气膜阻力，和气膜推动力 $(p - p_i)$ 相对应

②：气相浓度用摩尔分率表示

$$N_A = k_y (y - y_i) \qquad N_A = (y - y_i) / \frac{1}{k_y}$$

k_y ——以 $(y - y_i)$ 表示推动力的气膜吸收系数，
 $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。


$1/k_y$ ——气膜阻力，和气膜推动力 $(y - y_i)$ 相对应

气膜吸收系数 k_y 、 k_G 之间的换算

由道尔顿分压定律

$$p = p_{\text{总}} y$$

$$p_i = p_{\text{总}} y_i$$

$$N_A = k_y (y - y_i) = k_G (p_{\text{总}} y - p_{\text{总}} y_i) = k_G p_{\text{总}} (y - y_i)$$


比较得到：

$$k_y = p_{\text{总}} k_G$$

③：气相浓度用摩尔比（比摩尔分率）表示

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

$$N_A = (Y - Y_i) / 1/k_Y$$

k_Y ——以 $(Y - Y_i)$ 表示推动力的气膜吸收系数，
kmol/(m²·s)。

$1/k_Y$ ——气膜阻力，和气膜推动力 $(Y - Y_i)$ 相对应

一、气膜吸收速率方程

$$N_A = k_G (p - p_i), N_A = k_y (y - y_i), N_A = k_Y (Y - Y_i)$$

- k_G 以浓度差 $(P-P_i)$ 为推动力的气膜吸收系数。
- k_y 以浓度差 $(y-y_i)$ 为推动力的气膜吸收系数。
- k_Y 以浓度差 $(Y-Y_i)$ 为推动力的气膜吸收系数。

——气相主体浓度与界面的浓度差表示推动力

二、液膜吸收速率方程

①：液相浓度用摩尔浓度表示 $N_A = \frac{D'c_{\text{总}}}{z_L c_{BM}} (c_i - c)$

令 $\frac{D'c_{\text{总}}}{z_L c_{BM}} = k_L$ $N_A = k_L (c_i - c)$

$$N_A = (c_i - c) / \frac{1}{k_L} \quad \text{——液膜吸收速率方程}$$

k_L ——以 $(c_i - c)$ 表示推动力的液膜吸收系数，m/s。

②：液相浓度用摩尔分率表示

$$N_A = k_x (x_i - x) \qquad N_A = (x_i - x) / \frac{1}{k_x}$$

$1/k_x$ ——液膜阻力，和液膜推动力 $(x_i - x)$ 相对应

③：液相浓度用摩尔比（比摩尔分率）表示

$$N_A = k_X (X_i - X) \qquad N_A = (X_i - X) / 1/k_X$$

$1/k_X$ ——液膜阻力，和液膜推动力 $(X_i - X)$ 相对应

二、液膜吸收速率方程

液膜吸收系数 k_x 、 k_L 之间的换算

由 $C = C_{\text{总}} x$

$$C_i = C_{\text{总}} x_i$$

$$N_A = k_x (x_i - x) = k_L (c_{\text{总}} x_i - c_{\text{总}} x) = k_L c_{\text{总}} (x_i - x)$$

比较得

$$k_x = c_{\text{总}} k_L$$

二、液膜吸收速率方程

$$N_A = k_L (c_i - c), N_A = k_x (x_i - x), N_A = k_X (X_i - X)$$

- k_L 以浓度差 ($c_i - c$) 为推动力的气膜吸收系数。
- k_x 以浓度差 ($x_i - x$) 为推动力的气膜吸收系数。
- k_X 以浓度差 ($X_i - X$) 为推动力的气膜吸收系数。

——液相主体浓度与界面的浓度差表示推动力

三、界面组成的确定

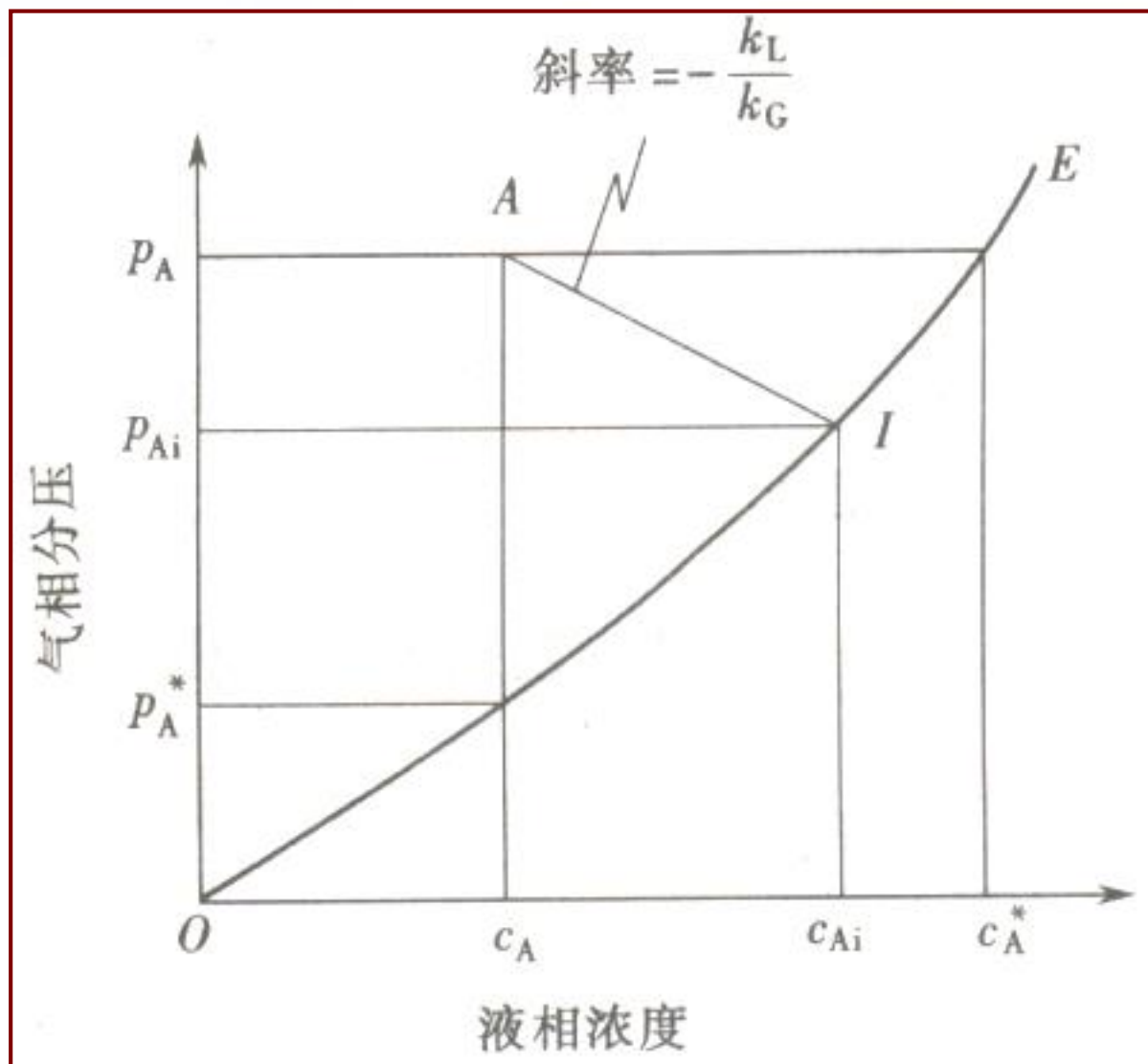
稳定传质，两膜内的传质速率相等： $N_{A\text{气}} = N_{A\text{液}}$

$$N_A = k_G (p - p_i) = k_L (c_i - c)$$

整理得 $\frac{p - p_i}{c - c_i} = -\frac{k_L}{k_G}$ ——两点式直线方程

该直线通过点A (p, c) 和点I (p_i, c_i)，且斜率是 $-k_L/k_G$

对于确定的操作条件，点A确定；过A点作斜率为 $-k_L/k_G$ 的直线，点I即在该直线上



*I*点的物理意义?

界面组成的确定

第八章 气体吸收

8.3 吸收过程的速率关系

8.3.1 膜吸收速率方程

8.3.2 总吸收速率方程

8.3.2 总吸收速率方程

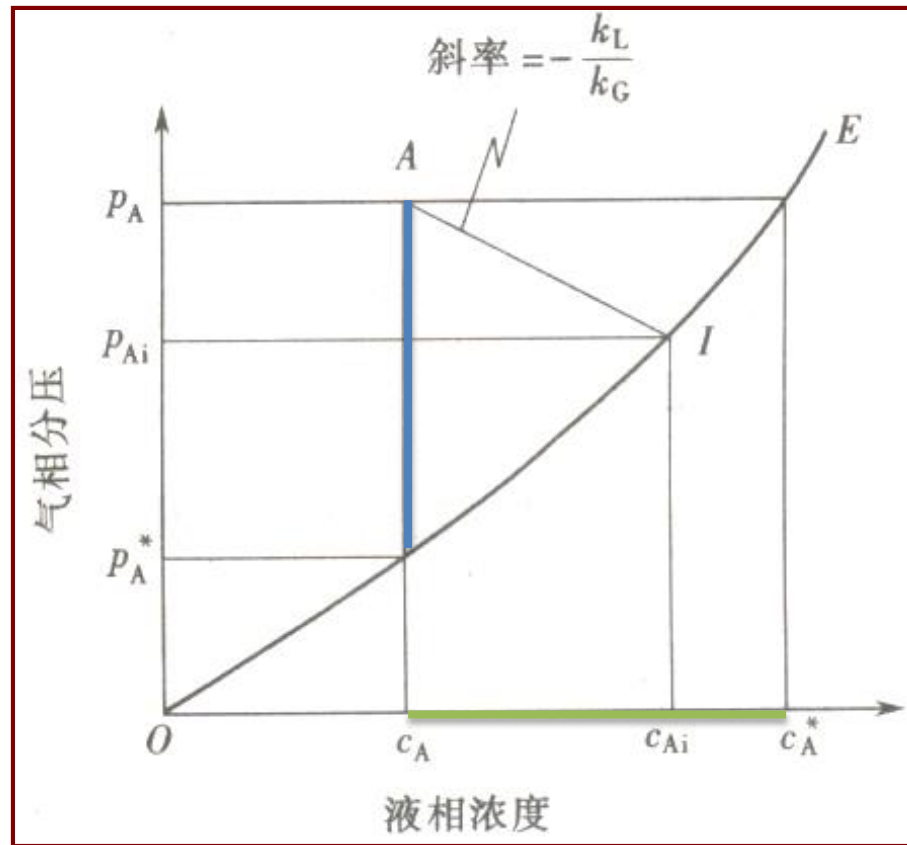
$$\text{速率} = \text{系数} \times \text{推动力}; \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{膜速率} = \text{膜系数} \times \text{膜推动力} \\ \text{过程速率} = \text{总系数} \times \text{总推动力} \end{array} \right.$$

$$\text{总推动力} = \text{实际状态与极限状态的差值}$$

对传质来说，浓度的表示方法不同；即使表示法相同，基准也不一样，故总推动力用气相或液相表示其形式和数值就不一样。

8.3.2 总吸收速率方程

总推动力=实际状态与极限状态的差值



---操作时主体浓度与“该相极限浓度”差

1: 总推动力通过气相反映时的总吸收速率方程式

①: 气相浓度用分压表示

设吸收系统服从亨利定律或平衡关系在过程所涉及的浓度范围内为直线

$$p^* = \frac{c}{H}$$

根据双膜模型，相界面上两相互成平衡

$$p_i = \frac{c_i}{H}$$

$$p_i = \frac{c_i}{H}$$

$$p^* = \frac{c}{H}$$

由此得

$$N_A = k_L(c_i - c) = k_L H(p_i - p^*)$$

整理得

$$\frac{N_A}{k_L H} = (p_i - p^*)$$

由

$$N_A = k_G(p - p_i) \longrightarrow \frac{N_A}{k_G} = (p - p_i)$$

相加得

$$N_A \left(\frac{1}{H k_L} + \frac{1}{k_G} \right) = p - p^*$$

令

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{Hk_L} + \frac{1}{k_G}$$

总阻力

液膜阻力

气膜阻力

则

$$N_A = K_G(p - p^*)$$

气相总吸收
速率方程式

K_G ——以 $(p - p^*)$ 为**总推动力**的气相总吸收系数，
 $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{kPa})$ 。

$1/K_G$ ——总阻力，和总推动力 $(p - p^*)$ 相对应。

P --吸收质在相气主体中的分压；

P^* --为吸收质在气相主体中与液相主体浓度 **C** 成平衡的气相分压。

对于易溶气体， H 值很大

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{Hk_L} + \frac{1}{k_G}$$

$$\frac{1}{Hk_L} \ll \frac{1}{k_G}$$

液膜阻力

$$\frac{1}{K_G} \approx \frac{1}{k_G}$$

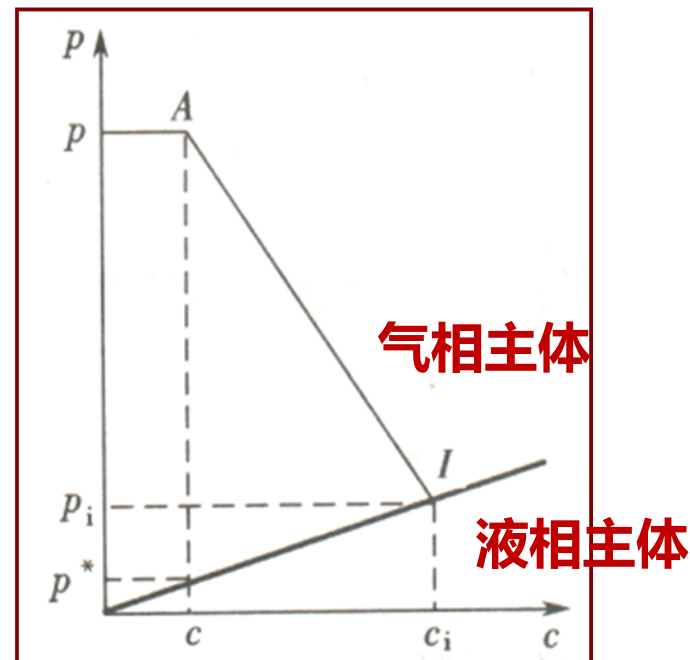
气膜阻力

气膜阻力控制
整个吸收
过程的速率



气膜
控制

示例：水吸收氨



气膜控制示意图

$$p - p^* \approx p - p_i$$

在气膜控制情况下，要提高吸收系数，应
增大（）液体/气体流速。

②：气相浓度用摩尔分率表示

$$N_A = K_y (y - y^*)$$

K_y ——以 $(y - y^*)$ 为总推动力的气相总吸收系数，
 $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

$$N_A = (y - y^*) / \frac{1}{K_y}$$

$1/K_y$ ——总阻力，和总推动力 $(y - y^*)$ 相对应

③：气相浓度用**摩尔比**（比摩尔分率）表示

$$N_A = K_Y(Y - Y^*)$$

$$N_A = (Y - Y^*) / \frac{1}{K_Y}$$

$1/K_Y$ ——总阻力，和总推动力（ $Y - Y^*$ ）相对应

当溶质在气相中的浓度很低，或者溶质在吸收剂中的溶解度很大时（气膜控制）：

$$K_Y \approx K_y = K_G p_{\text{总}}$$

2: 总推动力通过液相反映时的总吸收速率方程式

①: 液相浓度用摩尔浓度表示

设吸收系统服从亨利定律或平衡关系在过程所涉及的浓度范围内为直线

$$p = \frac{c^*}{H}$$

根据双膜模型，相界面上两相互成平衡

$$p_i = \frac{c_i}{H}$$

$$p_i = \frac{c_i}{H}$$

$$p = \frac{c^*}{H}$$

由此得 $N_A = k_G(p - p_i) = k_G(c^* - c_i)/H$

整理得 $\frac{N_A H}{k_G} = (c^* - c_i)$

由 $N_A = k_L(c_i - c) \longrightarrow \frac{N_A}{k_L} = (c_i - c)$

相加得 $N_A \left(\frac{1}{k_L} + \frac{H}{k_G} \right) = c^* - c$

令

$$\frac{1}{K_L} = \frac{H}{k_G} + \frac{1}{k_L}$$

总阻力

气膜阻力

液膜阻力

则

$$N_A = K_L (c^* - c)$$

液相总吸收
速率方程式

K_L — 液相总吸收系数, m/s

C --收质在液相主体中的浓度;

C^* --为吸收质在液相主体中与气相主体浓度 P 成平衡的液相浓度。

对于难溶气体， H 值很小

$$\frac{1}{K_L} = \frac{H}{k_G} + \frac{1}{k_L}$$

$$\frac{H}{k_G} \ll \frac{1}{k_L}$$

气膜阻力

液膜阻力控制
整个吸收
过程的速率

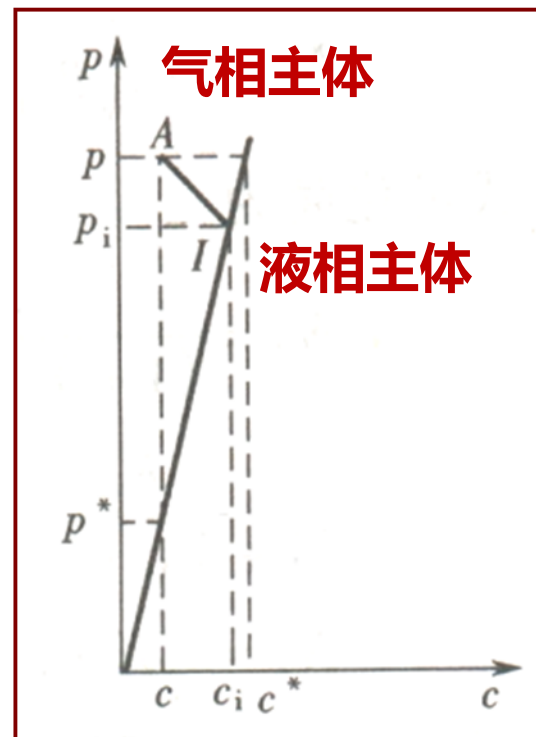


液膜控制

示例：水吸收氧

$$\frac{1}{K_L} \approx \frac{1}{k_L}$$

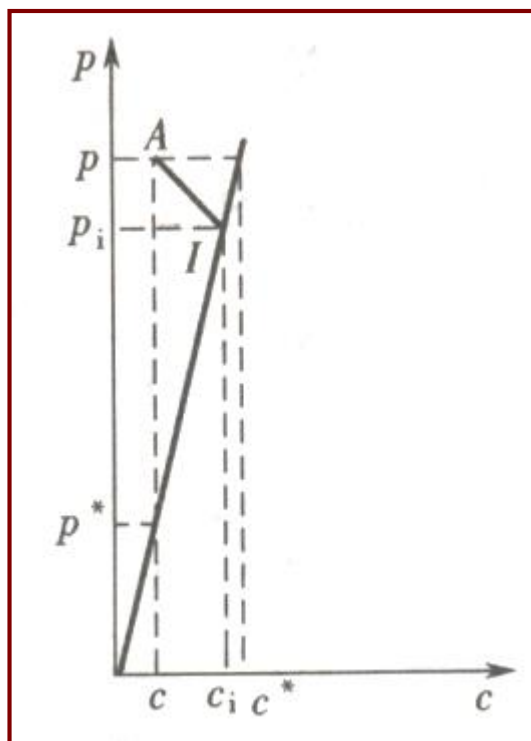
液膜阻力



液膜控制示意图

$$c^* - c \approx c_i - c$$

在液膜控制情况下，要提高吸收系数，应
增大（ ） 气体 / 液体 流速。



②：液相浓度用摩尔分率表示

$$N_A = K_x (x^* - x)$$

K_x ——以 $(x^* - x)$ 为总推动力的液相总吸收系数，
kmol/(m²·s)。

$$N_A = (x^* - x) / \frac{1}{K_x}$$

③：液相浓度用**摩尔比**（比摩尔分率）表示

$$N_A = K_X (X^* - X)$$

K_X ——以 $(X^* - X)$ 为**总推动力**的液相总吸收系数，
 $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

$$N_A = (X^* - X) / \frac{1}{K_X}$$

$1/K_X$ ——总阻力，和总推动力 $(X^* - X)$ 相对应

当溶质在液相中的浓度很低时

$$K_X \approx K_x = K_L c_{\text{总}}$$

吸收速率方程小结

1) : 与膜系数相对应的吸收速率方程

$$N_A = k_G (p - p_i), N_A = k_y (y - y_i), N_A = k_Y (Y - Y_i)$$

$$N_A = k_L (c_i - c), N_A = k_x (x_i - x), N_A = k_X (X_i - X)$$

——用一相主体浓度与界面的浓度差表示推动力

2) : 与总系数相对应的吸收速率方程

$$N_A = K_G (p - p^*), N_A = K_Y (Y - Y^*), N_A = K_y (y - y^*)$$

$$N_A = K_L (c^* - c), N_A = K_X (X^* - X), N_A = K_x (x^* - x)$$

——操作时主体浓度与“该相极限浓度”差表示推动力

同相总（膜）吸收系数间的关系

$$\left\{ \begin{array}{l} K_x = c_{\text{总}} K_L \approx K_x \\ K_y = p_{\text{总}} K_G \approx K_y \end{array} \right.$$

异相总吸收系数间的关系

$$\left\{ \begin{array}{l} K_x = m K_y \\ K_L = \frac{K_G}{H} \end{array} \right.$$

总系数和分系数间的关系

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{1}{H k_L} & \frac{1}{K_L} = \frac{H}{k_G} + \frac{1}{k_L} \\ \frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x} & \frac{1}{K_x} = \frac{1}{m k_y} + \frac{1}{k_x} \end{array} \right.$$

注意：

(1) 上述的各种吸收速率方程式是等效的。采用任何吸收速率方程式均可计算吸收过程速率。

(2) 任何吸收系数的单位都是 $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{单位推动力})$ 。

(3) 必须注意各吸收速率方程式中的吸收系数与吸收推动力的正确搭配及其单位的一致性。

(4) 上述各吸收速率方程式都是以气液组成保持不变为前提的，因此只适合于描述稳态操作的吸收塔内任一横截面上的速率关系，而不能直接用来描述全塔的吸收速率。在塔内不同横截面上的气液组成各不相同，其吸收速率也不相同。

(5) 在使用与总吸收系数相对应的吸收速率方程式时，在整个过程所涉及的浓度范围内，平衡关系须为直线。