

# 第13章 相间传质

# 第13章 相间传质



13.1 相间阻力传质理论（双膜理论）

13.2 气相——液相反应中的扩散 \_

13.3 气相——固相反应中的扩散 \_

13.4 相变扩散\_

13.4.1 相变扩散的基本概念

13.4.2 相变扩散速率

## 第13章 相间传质



**相间传质**——物质由某一相穿过界面向另一相内传递，传质发生在互相接触的两相之间。

### 常见相间传质实例

气—液：铝合金液通氮气脱氢；

液—液：钢液中脱磷、脱硫；

气—固：燃烧时的氧化反应。



## 13.1 相间阻力传质理论（双膜理论）

**双膜理论**包括以下三点：

(1) 两相接触时（以气-液相为例），在两相间的界面二侧，各自形成有效浓度边界层（薄膜），如下图所示。

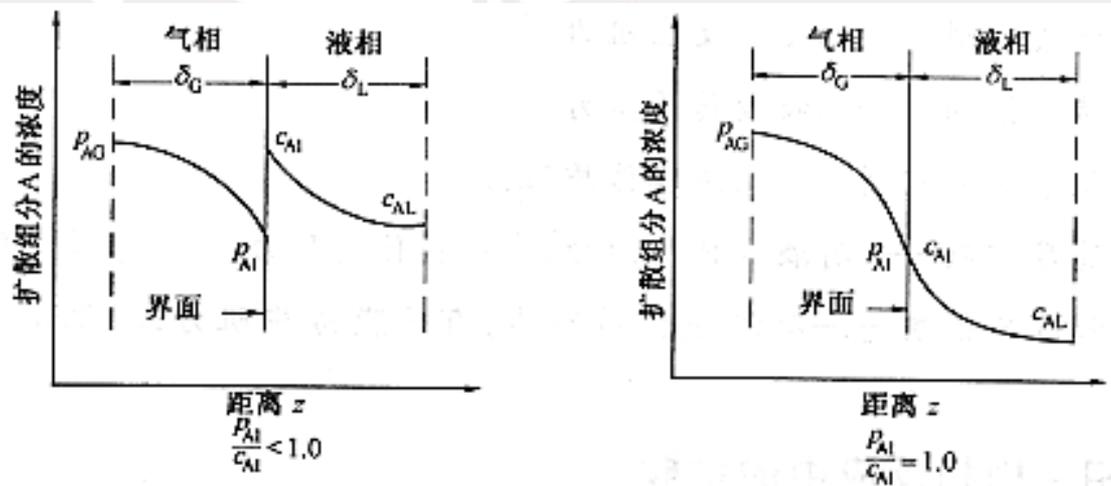


图13.1 互相接触的两相之间的浓度分布

图中  $p_{AG}$   $c_{AL}$  ——组分A在气相主体和液相主体中的分压和浓度；  
 $p_{AI}$   $c_{AI}$  ——组分A在界面处的分压和浓度。



当界面化学反应达到平衡时，由亨利定律：

$$p_{AI} = Hc_{AI}$$

- (2) 相间传质包括三个步骤：首先是某组分从一个相的内部向界面上传输，然后是穿过界面向第二相传输，最后向第二相内部传输。
- (3) 在界面处的二相，处于稳定的平衡状态，传质过程的阻力只存在于薄膜内。



传质过程的**控制环节**（速度最慢，即阻力最大的环节）

### (1) 物质迁移的快慢所控制

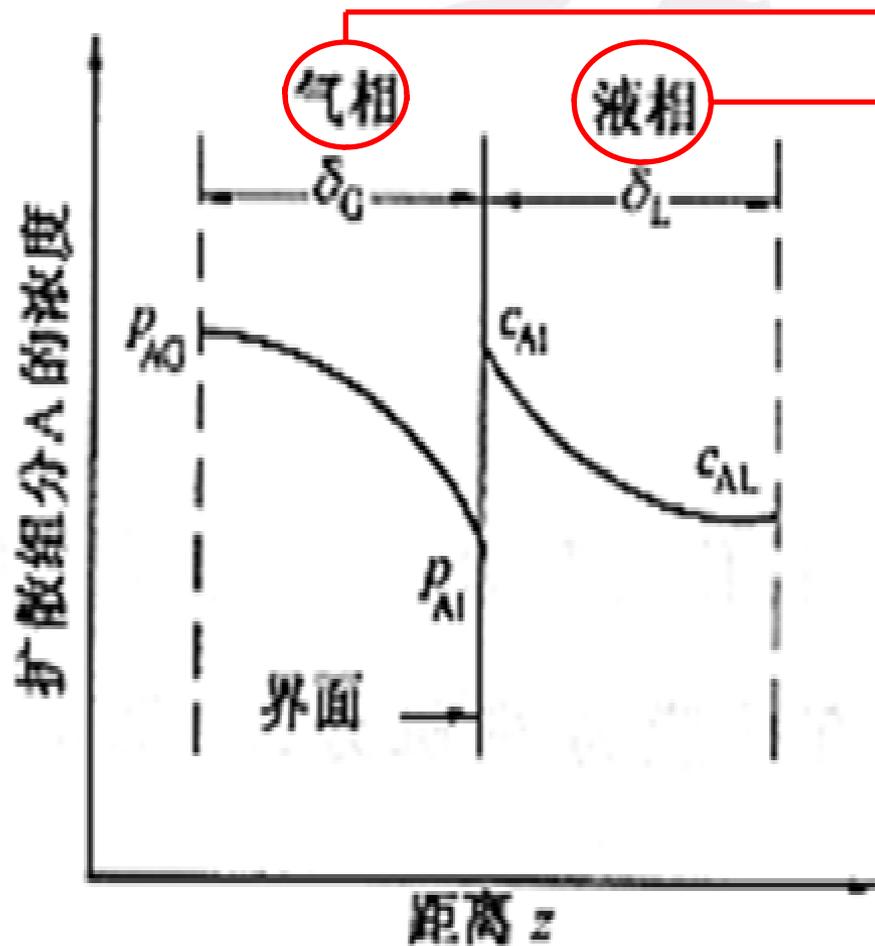
界面化学反应迅速达到平衡，过程进行速度由反应物的浓度或生长物中某一组分或几个组分的移动所控制。

### (2) 界面化学反应速度所控制

界面化学反应速度很慢，控制过程进行。



## 影响相间传质的因素



组分A在界面两侧Z方向上的传质通量为:

$$N_{AZ} = k_G (p_{AG} - p_{AI})$$

$$N_{AZ} = k_L (c_{AI} - c_{AL})$$

式中:

$k_G$  —— 气相对流传质系数;

$k_L$  —— 液相对流传质系数。

互相接触的两相之间的浓度分布

## 第13章 相间传质



在稳态条件下，在第一相的质量通量等于第二相的质量通量

$$N_{AZ} = k_G (p_{AG} - p_{AI}) = -k_L (c_{AL} - c_{AI})$$

两个对流传质系数的比值为

$$-\frac{k_L}{k_G} = \frac{p_{AG} - p_{AI}}{c_{AL} - c_{AI}} \quad (13.3)$$



# 第13章 相间传质



用主体分压 $p_{AG}$   
和浓度 $c_{AL}$ 来表示传  
质系数和传质通量。

定义总传质系数为：

$$N_A = K_G(p_{AG} - p_A^*) \quad (13.4)$$

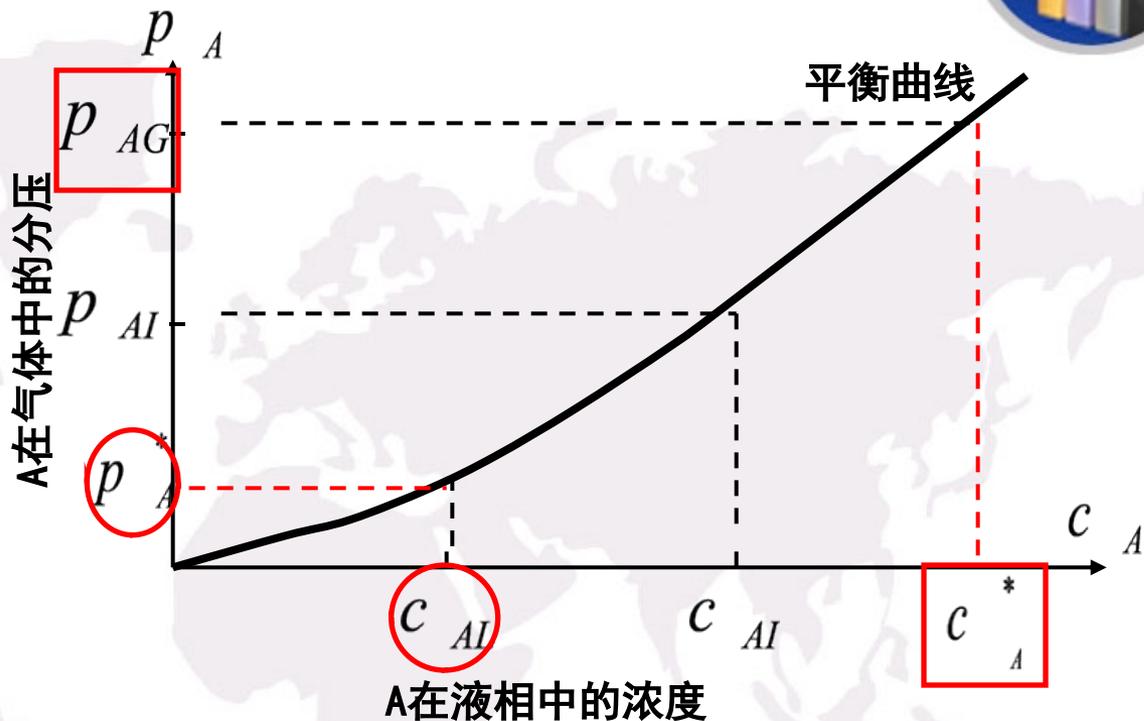


图13.2 双膜理论的浓度驱动力

- 式中  $p_{AG}$  —— 气相的主体状态的分压；  
 $p_A^*$  —— 组分A与液相主体浓度 $c_{AL}$ 平衡的分压；  
 $K_G$  —— 基于分压驱动力的总传质系数。





总传质系数也可以用浓度驱动力来表示，其定义式为

$$N_A = K_L (c_A^* - c_{AL}) \quad (13.5)$$

式中  $c_{AL}$  —— 液相主体浓度；

$c_A^*$  —— 组分  $A$  与  $p_{AG}$  平衡的浓度；

$K_L$  —— 基于浓度驱动力的总传质系数。



# 第13章 相间传质



每一相的传质阻力和总传质阻力的比值为(见图13.2)

$$\frac{\text{气相中的阻力}}{\text{两相中的总阻力}} = \frac{\Delta p_{AG}}{\Delta p_{A\text{总}}} = \frac{p_{AG} - p_{AI}}{p_{AG} - p_A^*} = \frac{N_{AZ}/k_G}{N_{AZ}/K_G} = \frac{1/k_G}{1/K_G} \quad (13.6)$$

$$\frac{\text{液相中的阻力}}{\text{两相中的总阻力}} = \frac{\Delta c_{AI}}{\Delta c_{A\text{总}}} = \frac{c_{AI} - c_{AL}}{c_A^* - c_{AL}} = \frac{N_{AZ}/k_L}{N_{AZ}/K_L} = \frac{1/k_L}{1/K_L} \quad (13.7)$$

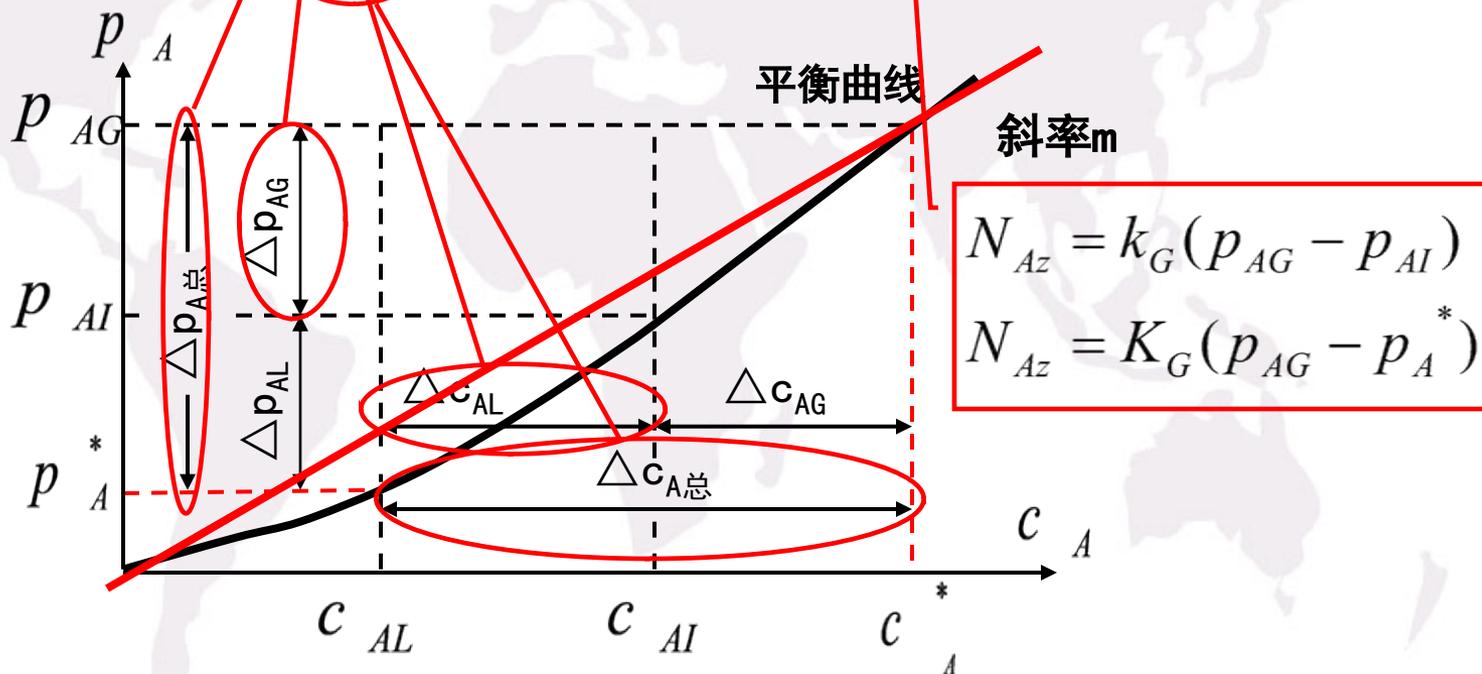


图13.2 双膜理论的浓度驱动力



# 第13章 相间传质



如果界面上的压力与浓度之间平衡关系为线性，则有：

$$p_{AG} = mc_A^*, p_A^* = mc_{AL}, p_{AI} = mc_{AI}$$

式中  $m$ ——亨利常数 (H)

将式 (13.4) 重新排列后可得

$$N_A = K_G (p_{AG} - p_A^*) \quad (13.4)$$

$$\frac{1}{K_G} = \frac{p_{AG} - p_A^*}{N_{AZ}} = \frac{p_{AG} - p_{AI}}{N_{AZ}} + \frac{p_{AI} - p_A^*}{N_{AZ}}$$

若用  $m$  表示，则为

$$\frac{1}{K_G} = \frac{p_{AG} - p_{AI}}{N_{AZ}} + \frac{mc_{AI} - mc_{AL}}{N_{AZ}} = \frac{p_{AG} - p_{AI}}{N_{AZ}} + \frac{m(c_{AI} - c_{AL})}{N_{AZ}} = \frac{1}{k_G} + \frac{m}{k_L} \quad (13.10)$$





对于 $K$  也可导出一个类似的表达式, 即

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{mk_G} + \frac{1}{k_L} \quad (13.11)$$

由 (13.10) 和 (13.11) 两式可以看出, **影响总传质系数 $K_G$ 、 $K_L$ 的因素有:**

$$\frac{1}{k_G}, \frac{1}{k_L}, \text{ 以及 } m$$

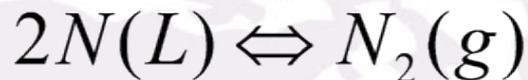
**实例分析——**

**双膜理论的局限性:** 只适用于在粘性较大同时不受强烈搅动情况下运动流体与固体壁面之间或不互溶运动流体之间的传质。



### 13.2 气相——液相反应中的扩散

西华特定律：



$$[N] = \sqrt{k'} \sqrt{p_{N_2}} = k \sqrt{p_{N_2}}$$

式中  $k'$  ——平衡常数

金属液中的吸气与排气过程：

- 1、气相中的传质；
- 2、液相中的传质；
- 3、界面化学反应；
- 4、新相（气泡）生成。

各基元过程均可能单独控制过程的总速度。





## 传质系数模型——薄膜理论

等效边界层  $\delta$

$$\left. \left( \frac{\partial c_A}{\partial y} \right) \right|_{y=0} = \frac{c_{A\infty} - c_{As}}{\delta}$$

$$N_{Ay} = \frac{D_{AB}}{\delta} (c_{As} - c_{A\infty})$$

$$= k_c (c_{As} - c_{A\infty})$$

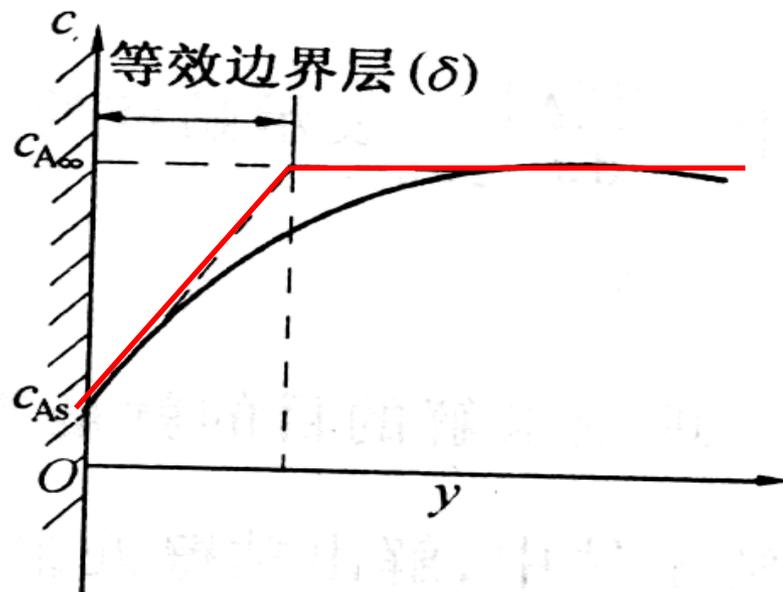


图 12.1 等效边界层模型



### 熔融金属吸气

符号意义说明：

$P^*$ ——界面上化学反应达到平衡时的气体分压力（气相侧）；

$P_i$ ——界面上的实际气体分压力（气相侧）；

$P$ ——气相内的主体压力；

$c$ ——液相内的主体压力；

$c_i$ ——界面上的液相浓度（液相侧）

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/098103023113006116>