

传质原理

在材料加工、化工、冶金、低温工程、空间技术等领域当中，质量传输是很重要的过程。许多材料的加工工艺的单元操作，比如**加热、溶解、焊接、表面热处理**等，都要涉及质量传输过程。

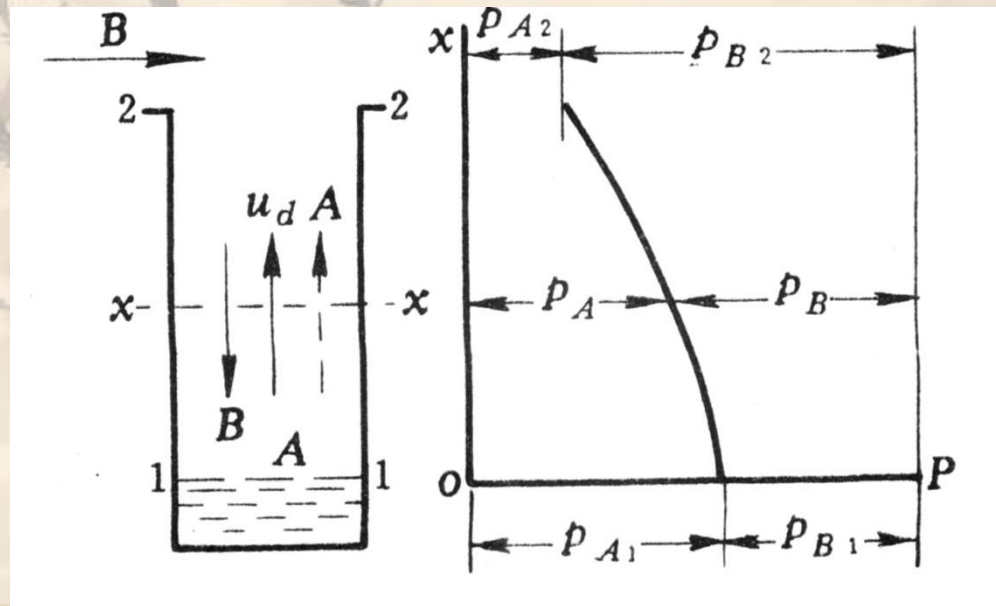


图2.39 经过静止气膜的水蒸气扩散

- 物质从体系的某一部分迁移到另一部分的现象，被称为质量传输，简称**传质**。
- 传质现象出现的原因可能有很多，如**浓度梯度**、**温度梯度**、**压力梯度**都会导致质量传输过程。本质上讲，**质量传输是由体系中的化学势差引起的**。当然流体的**宏观流动**也会将物质从一处迁移到另一处。
- 质量传输着眼点是**浓度场**的变化，不研究物质微团、颗粒甚至更大体积物质在空间的移动。
- **质量传输过程受动量传输和热量传输影响**，三种传输都与**分子的转移和运动**有关，他们的传输规律具有相似性。

研究方法：

- 研究**质量传输**的方法与研究**热量传输**的方法相似。
- 如果系统当中**组分浓度比较低**，**质量交换率比较小**，传质现象的数学描述与传热现象是类似的。如果**定解条件也类似**，从传热中得到的许多结果可以**通过类比直接应用于传质**。当然，如果以上条件不满足，传热与传质过程就会有明显差别，类比关系就不再适用。

研究目的：

确定系统内**浓度分布**、求出**质量传输速率**。

一、传质的一些基本概念与扩散系数

(1) 传质方式:

□ **扩散传质**: 由体系中浓度差（本质上是化学势差）引起的质量传输。（分子传质）

从本质上说，它是依赖**微观粒子**（分子、原子、离子）的**随机的分子运动**所引起的。对某一传输的物质体系而言，当体系存在浓度差时，浓度大的分子破坏了均衡态而导致了定向的分子运动，促使浓度大的区域的分子趋向浓度小的区域，从而达到浓度一致，从而完成宏观的质量传输。通常情况下，**分子扩散传质是很缓慢的**，传递的质量亦是很少的。

- **对流传质**：由**流体宏观运动**引起物质从一处迁移到另一处。包括**流体主运动**引起的传质和**浓度梯度**引起的**扩散传质**。发生在流体内部、流体与流体的分界面或流体与壁面间，与传输特性（扩散系数、浓度梯度）、流体的流动状态、流体动量传输密切相关。
如：物料干燥过程。
- **相间传质**：通过不同的**相界面**进行。既有分子或原子的扩散、又有流体中的对流传质，是**多种传质过程的综合**。与界面上的化学反应、相界面两侧介质的性质、运动状态有关。
如：钢件渗氮热处理。

第七节 传质原理

一、传质过程的基本方程式

1. 费克扩散定律——等摩尔逆扩散定律

$$g = -D \cdot dC / dx \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

g — 扩散质量流量； D —扩散系数； dC / dx —浓度梯度

对于气体： $PV = (m/M)RT$ 即 $m/V = PM/RT$

$$\text{所以 } g_i = -(M_i D_i / RT) dp_i / dx \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

实际应用中一般表示为：

$$g_A = D(C_{A1} - C_{A2})/x \quad \text{和}$$

$$g_A = (M_A D / RT) \cdot (p_{A1} - p_{A2})/x$$

● 费克第一定律是描述表观现象的**宏观经验公式**，表明了**扩散通量与浓度梯度成正比**，并不反映扩散传质过程的微观特征，**不同物质扩散在机理上差别体现在扩散系数上**。

● 费克第一定律适用于密度均匀的固体、液体及气体混合物中的扩散过程。**仅用来描述由浓度引起的分子扩散**。工程上还有其它物理条件引起的扩散传质，如温度梯度使多组分体系产生质量传递，为**热扩散**；用离心机对液体混合物的组元进行分离，为**压力扩散**；还有依靠重力作用下的**沉淀分离**等；虽然是传质现象，但**不适用菲克定律**。

2. 斯蒂芬定律——单向扩散定律：

单向扩散指没有相反方向的扩散。如干燥过程属于单向扩散。

设有一水槽，槽内水作等温蒸发，水面上水蒸气分压 p_{A1} 大于空气中水蒸气分压 p_{A2} ，故水蒸气从水面上向槽口扩散，并不断被空气带走。干空气则不断进入水面，槽内有一补偿速度 u_d 。

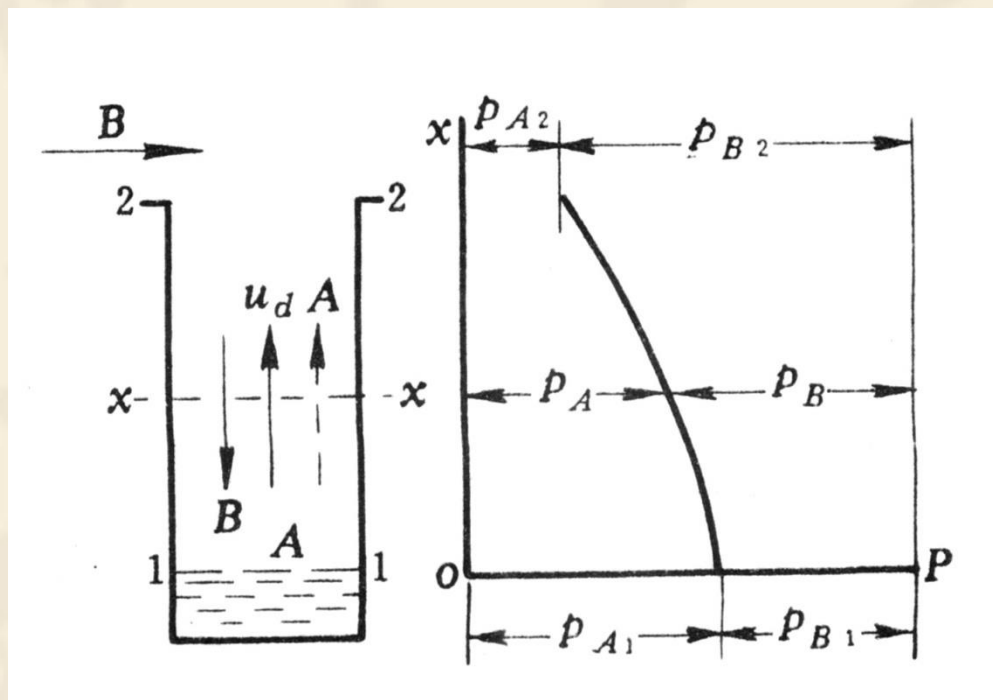


图2.39 经过静止气膜的水蒸气扩散

通过x-x面水蒸气的扩散质量流量为:

$$g_A = -(M_A D/RT) dp_A/dx + u_d M_A p_A /RT$$

通过x-x面干空气的扩散质量流量为:

$$g_B = -(M_B D/RT) dp_B/dx + u_d M_B p_B /RT$$

在稳定状态下, $g_A = \text{常数}$, $g_B = 0$;

得到 $u_d = (D/p_B) \cdot (dp_B/dx)$;

又 $p_A + p_B = P$, $dp_A/dx = -dp_B/dx$;

得到: $u_d = -D/(p-p_A) \cdot (dp_A/dx)$

故 $g_A = -(M_A D/RT) [P/(p-p_A)] (dp_A/dx)$

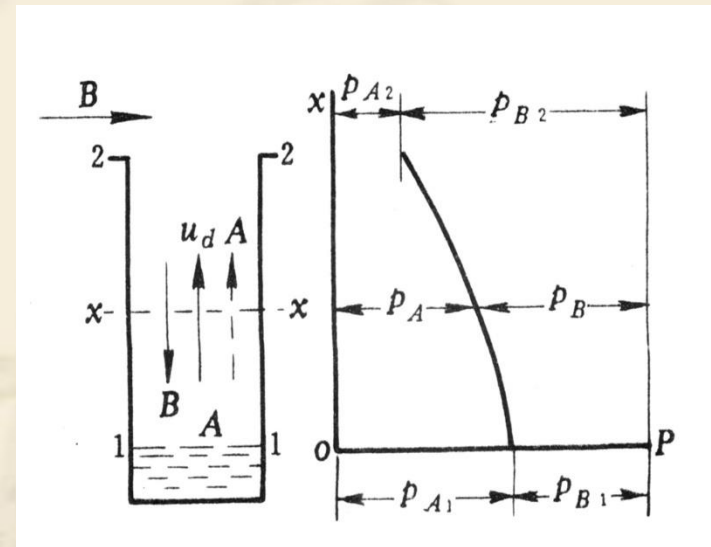
由于 $P_{A1} - P_{A2} = P_{B2} - P_{B1}$,

$$g_A = (M_A D/RT) (p/x) [(p_{A1} - p_{A2}) / P_{Bm}]$$

或: $g_A = D/x \cdot p/p_{Bm} \cdot (C_{A1} - C_{A2})$,

式中 $p_{Bm} = (p_{B2} - p_{B1}) / \ln (p_{B2}/p_{B1})$

86页错误



3. 扩散系数

表示物质在介质中的扩散能力。采用吉里兰半经验公式(气体A在B中扩散):

$$D = 435.7(T^{3/2}/P)(V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^{-2} \cdot (1/M_A + 1/M_B)^{0.5}$$

式中 V_A 、 V_B 为气体A和B在正常沸点下，其液态的摩尔体积（分子容积）， cm^3/mol 。可查表2-8

在非标状态下的扩散系数： $D = D_0(p_0/p)(T/T_0)^{3/2}$

例17 有一直径为30mm的容器，底部盛有20°C的水，水面到容器200mm，流过容器口的空气温度为20°C，总压强P为1atm，出口处水蒸气分压 P_{A2} 为700Pa，试求水蒸气往空气中的扩散系数；水的蒸发速率？

解：（1）计算扩散系数D

查表得到 $D_0 = 0.22 \text{ cm}^2/\text{s}$ ，换算成20°C的D值，

$$D = D_0(p_0/p)(T/T_0)^{3/2} = 0.22 \times (293/273)^{3/2} = 0.244 \text{ cm}^2/\text{s} = 0.088 \text{ m}^2/\text{h}$$

水蒸气 $V_A = 18.9 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ， $M_A = 18$ 空气 $V_B = 29.9 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ， $M_B = 28.9$

水蒸气往空气中的扩散系数

$$D = 435.7(T^{3/2}/P)(V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^{-2} \cdot (1/M_A + 1/M_B)^{0.5}$$

$$= 435.7 \times (293^{3/2}/101325)(18.9^{1/3} + 29.9^{1/3})^{-2} \cdot (1/18 + 1/28.9)^{0.5}$$

$$= 0.1946 \text{ cm}^2/\text{s} = 0.0701 \text{ m}^2/\text{h}$$

（2）计算水的蒸发速率

水表面蒸气分压由附录8查得 $p_{A1} = 2338 \text{ Pa}$ ，

容器口蒸气分压700Pa，相应空气分压 $p_{B1} = p - p_{A1}$

$$p_{B1} = 101325 - 2338 = 98987 \text{ Pa}; \quad p_{B2} = 101325 - 700 = 100625 \text{ Pa}$$

$$p_{Bm} = (p_{B2} - p_{B1}) / \ln(p_{B2}/p_{B1}) = (100625 - 98987) / \ln(100625/98987) = 99804 \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned}g_A &= (M_A D / RT)(p/x)[(p_{A1} - p_{A2}) / P_{Bm}] \\ &= [0.088 \times 18 / (8314 \times 293)] \times (101325 / 0.2) [(2338 - 700) / 99804] \\ &= 5.4 \times 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})\end{aligned}$$

由于水蒸气分压小，也可用费克定律（等摩尔逆扩散定律）计算：

$$\begin{aligned}g_A &= (M_A D / RT)[(p_{A1} - p_{A2}) / x] \\ &= [0.088 \times 18 / (8314 \times 293)] \cdot [(2338 - 700) / 0.2] \\ &= 5.33 \times 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})\end{aligned}$$

每小时蒸发量

$$W = f \cdot g_A = 5.33 \times 10^{-3} \times \pi / 4 \times 30^2 / 10^6 = 3.77 \times 10^{-6} \text{ kg/h}$$