

# 添加剂对 LiBr 溶液吸收蒸汽过程中的强化机理\*

程文龙\*\*，陈则韶

(中国科学技术大学热科学和能源工程系, 合肥 230027)

**摘要:** 利用吊板法测量了加有正辛醇和异辛醇这两种添加剂的溴化锂溶液的表面张力, 利用激光照相的可视化方法研究了在静池吸收过程中添加剂对溴化锂溶液吸收水蒸汽的强化影响. 实验结果显示液体添加剂和蒸汽添加剂都能显著地降低溴化锂溶液的表面张力, 蒸汽添加剂不仅和液体添加剂一样可以在吸收表面引起马拉戈尼对流, 而且对吸收具有更好的强化效果. 根据对实验现象的分析, 得出了添加剂对吸收的强化机理: 由于溶液表面对液体添加剂或蒸汽添加剂的表面吸附作用, 造成吸收界面处表面张力分布不均匀, 从而在吸收界面引起马拉戈尼对流现象, 强化了吸收过程中的传热、传质性能.

**关键词:** 添加剂; 溴化锂; 吸收; 传热传质

中图分类号: TK511+.3 文献标识码: A

## Study on Enhancement Mechanism of Additive on the Absorption of Water Vapor by Aqueous LiBr\*

Cheng Wenlong\*\*, Chen Zeshao

(Department of Thermal Science & Energy Engineering, University of Science & Technology of China, Hefei 230027)

**Abstract** The surface tensions of aqueous lithium bromide (LiBr) with additive (2-ethyl-1-hexanol and 1-Octanol) have been measured by using a Wilhelmy plate method, and the enhancement effect of the additives on the absorption of steam into aqueous LiBr in a static pool has been studied by a real-time type laser holographic visualization method. The experimental results show that both of liquid additive and vapor additive can decrease the surface tensions of aqueous LiBr significantly, vapor additive not only can trigger the Marangoni convection at the absorption interface just like the liquid additive, but can bring about better enhancement effect on the absorption performance than that liquid additive can. The enhancement mechanism of additive on absorption has been concluded that both liquid additive and vapor additive can be adsorbed by aqueous LiBr at the liquid-vapor-interface from the liquid side and the vapor side respectively, which result in surface tension gradient, and then cause Marangoni convection at the interface which enhances the heat and mass transfer performance during the absorption process.

**Keywords** Additive, LiBr, Absorption, Heat and mass transfer

### 1 引言

在溴化锂(LiBr)吸收式制冷机中添加少量如异

辛醇(2EH)、正辛醇(1-Octanol)等添加剂可以大大提高 LiBr 溶液在吸收水蒸气过程中的传热、传质性能. 目前已经认识到, 添加剂对吸收的强化作用体现

\* Project supported by the National Natural Foundation of China (50206020) and the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars, University of Science & Technology of China.

\*\* Corresponding author, E-mail: wlcheng@ustc.edu.cn Received 22 April 2003; in final form 20 August 2003.

在添加剂对溶液表面张力的影响上:由于添加剂带来吸收界面的表面张力梯度分布,从而引起马拉戈尼对流,并最终强化了 LiBr 溶液对水蒸气的吸收。但是对于添加剂在吸收过程中的强化机理,目前还存在着一些争论<sup>[1]</sup>。柏木孝夫等人通过可视化实验研究了添加剂对 LiBr 溶液吸收过程中的马拉戈尼对流的影响,认为添加剂在吸收表面形成的“孤岛”是引起吸收过程中强化效果的主要原因<sup>[2]</sup>。当吸收进行时,作用在“孤岛”上的三个表面力(LiBr 溶液的表面张力、添加剂“孤岛”的表面张力以及 LiBr 溶液与“孤岛”之间的界面张力)之间的平衡被破坏,从而在“孤岛”之间引起马拉戈尼对流。但是,Hihara 等人发现添加剂“孤岛”并不是形成马拉戈尼对流的必要条件<sup>[3]</sup>,并提出了“盐析”理论来解释添加剂对吸收的强化现象<sup>[3,4]</sup>:当溶液中加入添加剂后,部分添加剂分子溶于 LiBr 溶液中,其余添加剂分子被吸附在溶液表面;当溶液中加入 LiBr 分子(LiBr 浓度变高)时,LiBr 溶液中电离出来的  $\text{Li}^+$  和  $\text{Br}^-$  的含量增加,由于水和  $\text{Li}^+$  和  $\text{Br}^-$  之间的水合力大于和添加剂之间的结合力,导致水和溶液中的离子结合,使部分添加剂分子从 LiBr 溶液中分离,并上升到溶液表面,从而降低了溶液的表面张力。这种现象造成的结果是:一旦吸收表面出现扰动,添加剂就会使吸收表面的表面张力出现不均匀分布,而且这种不均匀分布将会使表面的扰动进一步扩大,从而在吸收表面引起剧烈的表面对流——马拉戈尼对流。

Kulankara 等人在利用滴重法测量 LiBr 溶液的表面张力时,发现添加剂蒸汽对表面张力具有重要影响力,据此,他们提出了蒸汽添加剂强化机理模型(Vapor Surfactant Theory)<sup>[5]</sup>。该模型的核心是认为马拉戈尼对流是由添加剂蒸汽引起的,这无疑是一个非常大的进步。但该模型过分地强调吸收界面蒸汽侧的添加剂的作用,而对溶解在 LiBr 溶液中的添加剂对吸收的强化作用则估计不足,且没有对蒸汽添加剂对吸收的强化作用进行直接的实验验证。

本工作通过对表面张力的实验测量和理论推算,得出了表面张力同时受到蒸气添加剂和液体添加剂的共同影响,并且利用实验方法测量出当带有添加剂的 LiBr 溶液暴露于空气时,其表面张力表现出一定的振荡性<sup>[6]</sup>;在静池吸收实验中,对蒸气添加剂对吸收的作用进行了初步的实验研究<sup>[7]</sup>。

本工作对添加剂的强化特性进行了更进一步的分析,为完全得出添加剂的强化机理提供更进一步

的理论和实验基础。

## 2 表面活性实验

在一个玻璃器皿中装入浓度为 60% 的 LiBr 溶液,然后在溶液表面滴入几滴正辛醇液体。这时可以发现添加剂液滴在溶液表面不断地破碎、振荡;此时,如果把器皿用玻璃盖板盖上,溶液表面液滴的振荡很快停止,原先破碎的液滴呈现重新缓慢聚集的趋势,再一次打开玻璃盖板,液滴在表面的振荡又重新开始。在排除外界干扰的情况下,溶液表面的振荡显然是由于添加剂在溶液表面分布不均匀所致:当器皿没有盖盖时,由于添加剂在溶液表面的挥发,气体侧添加剂的浓度很难和溶液表面达到平衡,导致添加剂在溶液表面分布不均匀,产生表面张力梯度,从而产生振荡;在盖上盖的情况下,溶液上方蒸气侧添加剂的浓度很快与溶液表面的添加剂达到平衡,表面运动停止。

随后对上述实验进行改变。在一个小玻璃器皿中装入“纯净”的 LiBr 溶液,在另一个大玻璃器皿中加入少量正辛醇液体;然后,把装有 LiBr 溶液的小玻璃器皿套入装有正辛醇的大玻璃器皿中。开始时,溶液表面处于静止状态;给大玻璃器皿盖上玻璃盖板,溶液表面没有明显的运动现象;一段时间后,打开玻璃盖板,溶液表面立刻出现剧烈振荡,但是这种振荡的剧烈程度迅速降低,最后维持一定的振荡水平,重新给该溶液盖上盖板,溶液表面的振荡快速消失,表面重新归于“平静”。这个实验说明,添加剂蒸汽对于表面活性也有贡献:当盖上玻璃盖板时,从大器皿中挥发出的部分添加剂蒸气附着在溶液表面,表面吸附浓度增大;打开玻璃盖板的瞬间,溶液表面的添加剂浓度较高,而气体侧添加剂浓度迅速降低,表面层的平衡被破坏,表面剧烈振荡,但是随着挥发的进行,溶液表面的添加剂浓度也逐渐减小,振荡随之逐渐减弱,盖上盖板后,表面快速恢复平衡,表面振荡也停止。

## 3 添加剂对溶液表面张力的影响

添加剂对吸收强化的影响主要是通过其对溶液表面张力的影响来实现的。采用吊板法(Wilhelmy 法)对添加剂正辛醇和异辛醇作用下的 LiBr 溶液的表面张力进行了测量。

静态表面张力测量所用的 LiBr 溶液由 LiBr 晶体( $\text{LiBr} \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 分子量:104.86)和蒸馏水按 55%

的浓度制备而成. 添加剂正辛醇和异辛醇的纯度为 98%. 为保证待测液混合均匀, 添加剂采用数字式微量移液器加入到溶液中, 并密封在试管中, 经剧烈摇晃, 在室温下保存 24 h 以后才进行测量. 测量时的环境温度为  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ . 测量结果采用多次测量取平均值的方法进行处理.

为了了解界面添加剂挥发对表面张力的影响, 静态表面张力测量分别在开放条件下(溶液器皿口敞开)和封闭条件下(溶液器皿口盖上盖板)进行. 测量结果显示, LiBr 溶液尽管在封闭条件下可以得到稳定的表面张力值, 但是在开放条件下, 其表面张力值则表现出一定的振荡性. LiBr 溶液在两种添加剂作用下的静态表面张力的测量结果, 及其在开放条件下的典型振荡曲线如图 1、图 2 所示(曲线是理论推算的结果<sup>[6]</sup>).

从图 1 看出, 少量的添加剂可以大大减小 LiBr 溶液的表面张力, 并且溶液的表面张力随着添加剂浓度的增加而逐渐减小, 最后达到一个最小值(临界表面张力). LiBr 溶液在开放条件下, 其表面张力的振荡性是由于添加剂在表面层的挥发所造成的: 由于添加剂在 LiBr 溶液中的溶解度很小, 当表面添加剂在表面层向气体侧挥发时, 溶解在溶液中的添加剂通过扩散不能及时补充添加剂在表面层的损失, 从而打破了表面层的平衡, 并且可能最终造成表面层的振荡.

为了研究蒸气添加剂对 LiBr 溶液表面张力的影响, 测量了添加剂蒸气作用下 53.9% 的 LiBr 溶液的动态表面张力. 首先把装有添加剂的器皿置于密闭的测量空间并保持 24 h 以上, 以保证添加剂蒸气

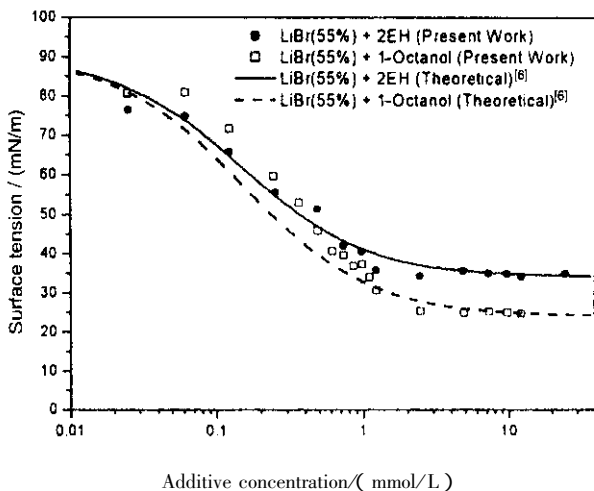


图 1 LiBr 溶液的表面张力

Fig. 1 Surface Tension of LiBr with Additive

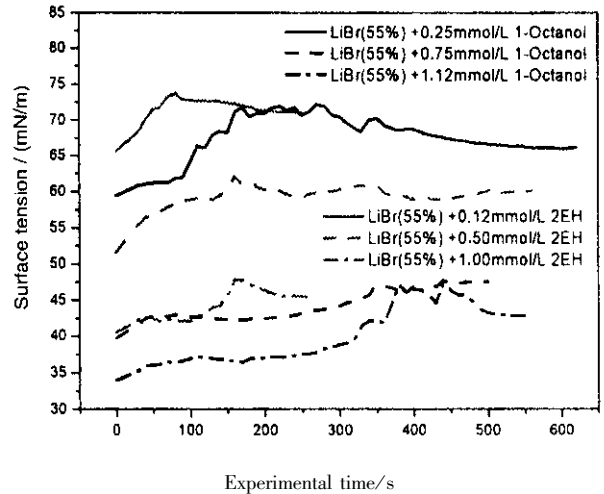


图 2 表面张力的振荡性

Fig. 2 Oscillation of Surface Tension of LiBr

均匀地弥散在整个测量空间, 测量时, 把待测样品迅速放于测试空间, 立即进行测量, 记录其表面张力随时间的变化(此时的表面张力是时间的函数, 称之为动态表面张力). 测量时环境温度控制在  $24^\circ\text{C}$  左右, 待测溶液装在一个直径 66 mm、深 14 mm 的玻璃器皿中. 对于同一种添加剂蒸气, 在不同 LiBr 溶液质量下进行了多次测量. 在异辛醇蒸气和正辛醇蒸气作用下, LiBr 溶液的动态表面张力的测量结果示于图 3 中(曲线是理论推算的结果<sup>[6]</sup>). 实验结果显示: ① 添加剂蒸气可以降低 LiBr 溶液的表面张力, 但是随着测量的进行, 溶液表面对气体侧添加剂的吸附速率降低, 并最终达到平衡, 此时, 动态表面张力达到一个稳定值, 几乎不随时间而变化; ② 在同一种添加剂蒸气作用下, 尽管待测溶液的质量不同, 但其动态表面张力随时间的变化曲线基本重合, 这说明 LiBr 溶液的动态表面张力基本不受待测溶液质量的影响(图 3 中有一组的测量结果明显偏离其它测量结果, 这是由于在这组测量中, 添加剂和 LiBr 溶液是同时放于测试空间的, 此时测试空间的添加剂蒸气浓度较低, 从而使测量结果偏大).

从表面张力的测量结果可以看出, 添加剂对表面张力的影响主要体现在其对表面层的影响上; 表面层上添加剂的挥发会带来表面张力的不稳定性; 添加剂蒸气对溶液的表面张力具有重要的影响力.

## 4 添加剂对静池吸收的强化作用

### 4.1 测试仪器

大量实验结果表明, 在 LiBr 溶液中加入少量的

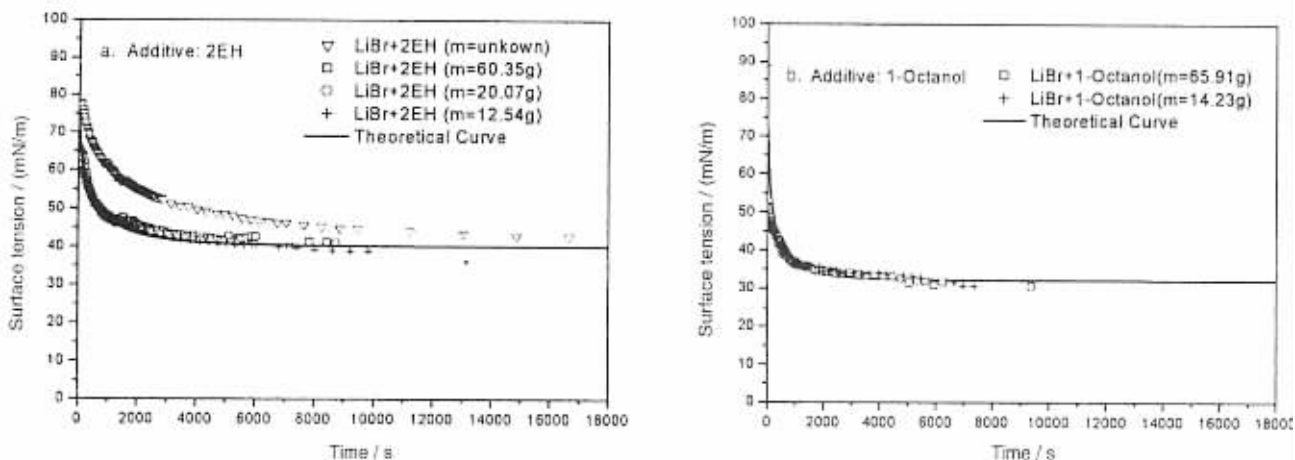


图 3 LiBr 溶液的动态表面张力

Fig. 3 Dynamic Surface Tension of LiBr with additive

添加剂(异辛醇、正辛醇等)可以大大促进 LiBr 溶液对水蒸气的吸收<sup>[1-5]</sup>。但是几乎还没有人对添加剂蒸气对吸收的影响进行过实验研究。本工作的重点就在于确定添加剂蒸汽对静池吸收的影响。

静池吸收装置如图 4 所示。吸收器是一个矩形槽, LiBr 溶液覆盖在槽底, 形成厚度为 1 ~ 2 mm 的薄膜。蒸发器为一个锥形瓶, 里面装有作为制冷剂的水。为了全面考察添加剂对吸收的影响, 本实验采用了两种不同的添加剂添加方法: ① 直接加入 LiBr 溶液中, 这是传统的添加方法, 此时, 添加剂主要从溶液的液体侧以液体的形式作用于吸收表面, 称之为“液体添加剂”形式; ② 加入装在蒸发器里的水中, 当吸收发生时, 水中的添加剂随同水一起蒸发进

入吸收器中, 从吸收界面的气体侧以蒸气形式作用于吸收表面, 称之为“蒸气添加剂”形式。LiBr 液膜在吸收过程中的温度通过分布在槽底的四对热电偶来测量。

为了显示静池吸收表面的吸收情况, 本工作采用激光对吸收表面进行了可视化研究(图 5)。当一束激光透过吸收表面时, 如果吸收表面出现扰动, 会使表面浓度分布不均匀, 由于不同的溶液浓度对激光的折射率不同, 从而使激光透过吸收表面后出现明暗条纹, 最后通过高速摄像机记录下来。

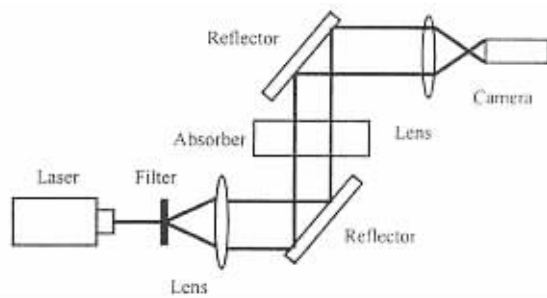
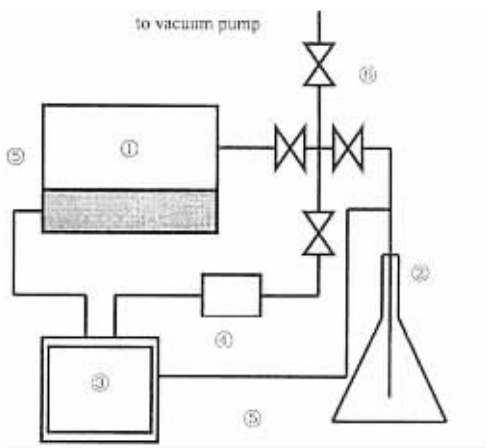


图 5 激光可视化显示系统

Fig. 5 Schematic Diagram of Visualization



① Absorber, ② Evaporator, ③ Computer, ④ Pressure gauge, ⑤ Thermal couples, ⑥ Valves

图 4 静池吸收系统结构简图

Fig. 4 Static Pool Absorption System

本工作对相同条件下的静池吸收过程中液膜温升进行了多次测量, 最后取温升的平均值。图 6 为正辛醇和异辛醇直接加入蒸发器里的水中, 其浓度分别为 1.54 和 76.79 mmol/L 时, 液膜温升各测量两次的重复性实验结果。从图中可以发现, 对于这两种情况, 实验具有较好的重复性。

#### 4.2 可视化结果

图 7、图 8 分别给出了在液体添加剂与蒸汽添

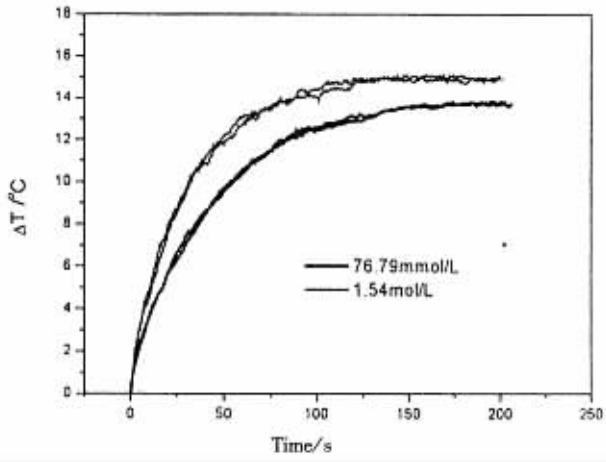


图 6 静池吸收温升的重复性实验  
Fig. 6 Repeatability of experiment

加剂条件下,其吸收表面的可视化图像.图中显示,当吸收开始时,吸收表面首先形成一个或几个扰动区域,这些扰动区域迅速扩大、联合,最后在整个吸收表面都出现剧烈的扰动现象,即马拉戈尼对流.但是,随着吸收的进行,液膜内 LiBr 浓度逐渐增大,温度也逐渐升高,吸收能力下降,马拉戈尼对流的强度也随之降低,最后完全消失.这是一个重要的实验结果:在蒸气添加剂条件下,吸收表面也会出现马拉戈尼对流.

### 4.3 两种添加剂条件下的强化效果比较

如果假定吸收器绝热,则溶液吸收的热量与水

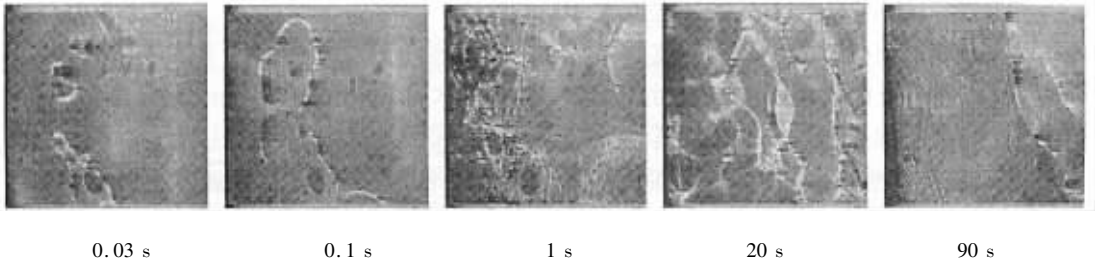


图 7 液体添加剂条件下的马拉戈尼对流现象

Fig. 7 Marangoni Convection under the Liquid Surfactant Condition

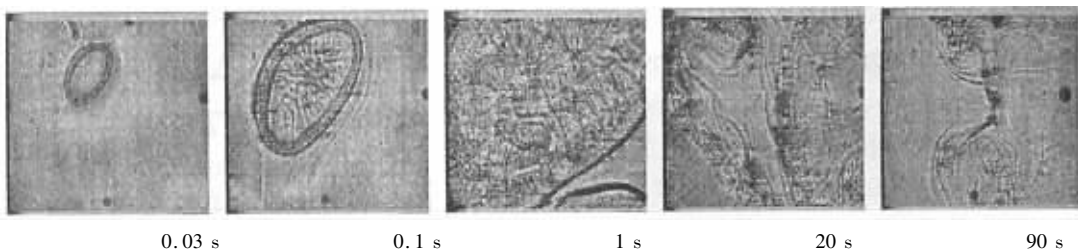


图 8 蒸气添加剂条件下的马拉戈尼对流现象

Fig. 8 Marangoni Convection under the vapor Surfactant Condition

蒸气被溶液吸收所释放的吸收热相等,有:

$$\lambda dm = mcdT \quad (1)$$

式中  $m$  为 LiBr 溶液的质量;  $c$  为其比热容;  $\lambda$  为吸收热;  $T$  为溶液温度. 积分得:

$$\int \frac{dm}{m} = \int \frac{c}{\lambda} dT \quad (2)$$

假定在溶液温度与浓度变化不大的情况下,  $c$  与  $\lambda$  为定值. 由(2)式可得溶液吸收水蒸气的量与液膜温升之间的关系满足:

$$\begin{aligned} \Delta m &\approx m_0 \left( e^{\frac{c}{\lambda} \Delta T} - 1 \right) \\ &= m_0 \left( e^{l \Delta T} - 1 \right) \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $l = c/\lambda$ , 为常数,且远小于 1;  $m_0$  为吸收开始时溶液的质量. 式(3) Taylor 展开:

$$\Delta m \approx m_0 l \Delta T \quad (4)$$

即溶液对水蒸气的吸收量近似地和 LiBr 液膜的温升成正比. 因此,可以通过比较静池吸收过程中的液膜温升来判定添加剂对吸收的强化程度.

静池吸收实验的初始条件如表 1 所示.

由于本工作的重点是考察蒸汽添加剂相对于液体添加剂对吸收的强化程度. 因此,定义一个比较量——相对强化系数  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{\Delta T_v}{\Delta T_L} \quad (5)$$

其中,  $\Delta T_v$  为 LiBr 溶液在吸收水蒸气过程中的温

表1 实验初始条件\*

Table 1 Initial Experimental Conditions\*

Room temperature/°C	20
Absorber temperature/°C	25.0
Evaporator temperature/°C	18.0
Thermostatic temperature/°C	20.0
Absorber pressure/kPa	0.2(0.6)
Mass of water in evaporator/g	200
Mass of LiBr solution in absorber/g	14.0
LiBr concentration/%	53.9

\* The initial pressure in the absorber is 0.2 kPa except noted especially.

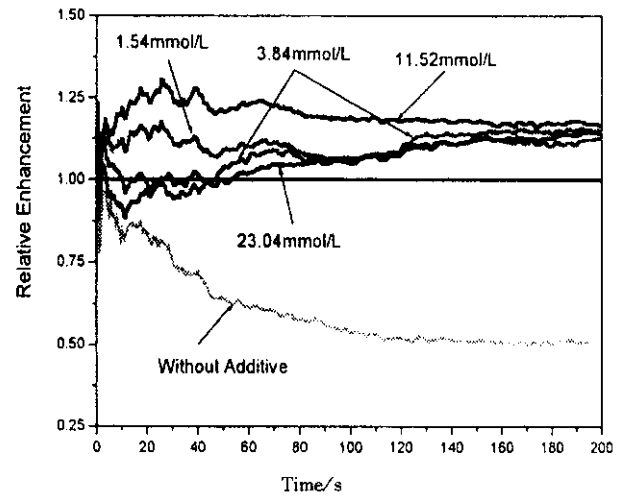
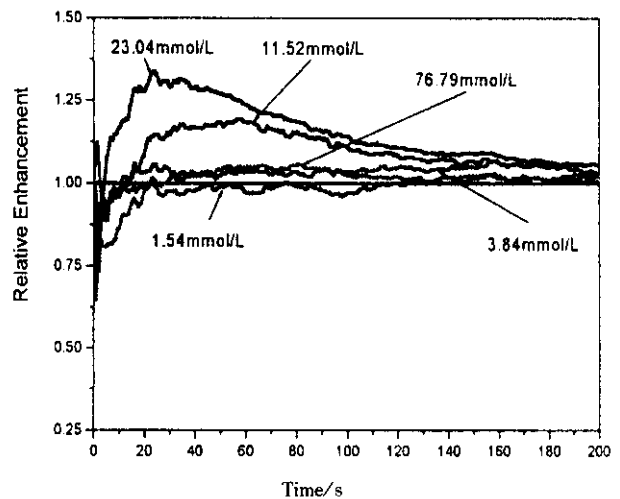
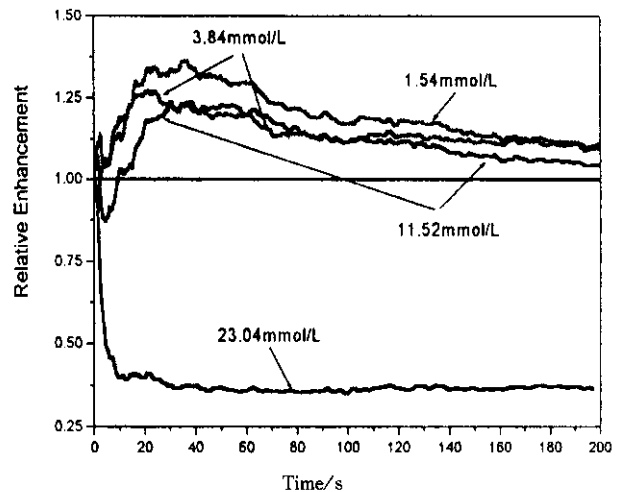
升;  $\Delta T_L$  为添加剂在 LiBr 溶液中吸收过程中液膜的温升, 添加剂的浓度为 2.47 mmol/L.

吸收器内初始压力分别为 0.6 和 0.2 kPa(其它条件如表 1), 在吸收过程中, 相对强化系数随吸收时间关系的实验结果如图 9 所示.

在图 9 中, 浓度为 2.47 mmol/L 的液体添加剂是作为比较的基准, 其相对强化系数为 1. 从图 9a 中可以看出, 在没有添加任何添加剂的情况下, LiBr 溶液的相对强化系数远远小于 1, 这说明添加剂可以大大强化 LiBr 溶液的吸收效果, 这个结论已经被很多实验所证实.

图 9 还显示出: 无论对于正辛醇还是异辛醇, 在蒸汽添加剂作用下, 其相对强化系数一般要大于 1, 这表明蒸汽添加剂对吸收的强化效果要优于液体添加剂; 蒸汽添加剂的强化效果随着吸收时间而改变, 在静池吸收中, 当吸收进行到 30 s 时, 其强化效果最大, 这主要是由于在吸收开始阶段, 添加剂在吸收界面气体侧的浓度较低所造成的; 蒸汽添加剂的强化效果受到其在蒸发器中浓度的影响, 并存在着一个最佳的强化浓度. 对于正辛醇, 其在蒸发器中的最佳强化浓度较大, 在 11.52 ~ 23.04 mmol/L, 而异辛醇的最佳强化浓度较小, 只有 1.54 mmol/L 左右.

比较图 9 b、c 还可以发现, 在蒸汽添加剂条件下, 正辛醇与异辛醇还有一个重要的区别: 当异辛醇在蒸发器中的浓度过大时, 会严重阻碍吸收的进行. 吸收器内的初始压力为 0.2 kPa 时, 当异辛醇在蒸发器中的浓度达到 23.04 mmol/L, 其相对强化系数仅仅为 0.3 左右(图 9c); 而当添加剂为正辛醇时, 即使在蒸发器中的浓度达到 76.79 mmol/L, 也没有出现严重阻碍吸收进行的现象. 造成这种结果的主

a. Additive: 1-Octanol,  $P_0 = 0.6$  kPab. Additive: 1-Octanol,  $P_0 = 0.2$  kPac. Additive: 2EH,  $P_0 = 0.2$  kPa图9 相对强化系数  $\alpha$  随时间的变化Fig.9 Relative enhancement factor  $\alpha$  vs. time

要原因在于添加剂对水的蒸汽压的影响. 实验显示, 当异辛醇在蒸发器中的浓度达到 23.04 mmol/L 时, 在吸收过程中, 吸收器中的吸收压力(和蒸发器中水的蒸汽压基本相等)只有 0.7~0.8 kPa;而在其他条件下(包括正辛醇在水中达到 76.79 mmol/L), 吸收器中的压力则为 1.0~1.7 kPa. 这说明, 当异辛醇在水中的浓度较大时, 会大大降低水的蒸汽压, 从而降低了吸收器中吸收界面气体侧的水蒸气的分压, 导致吸收性能的降低. 有关添加剂对蒸汽压的影响需要进一步的实验来证明.

## 5 添加剂的强化机理解释

本工作的实验结果显示, 添加剂对 LiBr 溶液吸收过程强化的原因是吸收界面对添加剂的表面吸附的结果. 因此不管是添加剂分布在吸收界面的液相侧(添加剂溶解于 LiBr 溶液中), 还是分布在吸收界面的气相侧, 只要能够影响汽液界面的表面吸附浓度的变化, 造成表面张力在吸收表面的梯度分布, 都有可能造成吸收界面的扰动, 并最终形成吸收过程中的马拉戈尼对流现象, 从而实现对吸收过程中的表面传热、传质的强化, 并且蒸汽添加剂具有更好的强化效果.

根据上述解释, 我们认为, 采用蒸汽添加剂取代目前普遍使用的液体添加剂有可能增强添加剂的强化效果.

通过前面的分析, 对于 LiBr 溶液对水蒸气的吸收, 合适的添加剂应该具有下列特性: ① 表面活性强, 微量添加剂可以导致 LiBr 溶液表面张力大幅减小; ② LiBr 溶液中加入添加剂后, 临界表面张力较小, 以使 LiBr 溶液在吸收过程中, 可以形成更大的表面张力梯度分布; ③ 表面张力随 LiBr 溶液浓度的增大而减小, 随着温度的增大而降低, 并且 LiBr 浓度和温度对表面张力的影响较为敏感; ④ 动态表面张力特性明显, 可以在降膜吸收的降膜方向形成更大的表面张力梯度; ⑤ 添加剂的蒸汽压不能

太小, 以保证气体吸附的顺利进行; ⑥ 添加剂在水中具有一定的溶解度, 以保证蒸汽添加剂方案的实施, 即通过蒸发器随水蒸气进入吸收器的添加剂具有较高的浓度.

## 6 结论

表面张力的实验显示出蒸汽添加剂与液体添加剂一样, 都会造成溶液表面张力的降低, 并且, 添加剂在表面的挥发有可能引起表面张力的振荡, 蒸汽添加剂与液体添加剂都有可能在吸收表面引起马拉戈尼对流, 从而强化 LiBr 溶液对水蒸气的吸收效果, 并且蒸汽添加剂的强化效果更好, 添加剂的强化机理. 添加剂对吸收的强化影响, 体现在其对表面层的影响上, 从而引起吸收表面的表面张力的梯度分布, 引起马拉戈尼对流. 蒸汽添加剂和液体添加剂都具有这种效果, 在吸收式制冷机中采用蒸汽添加剂有可能具有更好的强化效果, 这部分工作还需要更进一步的展开.

## 参 考 文 献

- [1] Ziegler F, Grossman G. *Int. J. Refrigeration*, 1996, **19**: 301
- [2] Kashiwagi T. *Newsletter of the IEA Heat Pump Center*, 1988, **64**: 2
- [3] Hihara E, Saito T. *Int. J. Refrigeration*, 1993, **16**: 339
- [4] Daiguji D, Hihara E, and Saito T. *Int. J. Heat and Mass Transfer.*, 1997, **40**: 1743
- [5] Kulankara S, Herold K E. *HVAC&R Research*, 2000, **6**: 369
- [6] Cheng W L, Chen Z S, Akisawa A, et al. *Sci. in China E*, 2003, **46**: 191
- [7] Cheng Wenlong(程文龙), Chen Zeshao(陈则韶). *Fluid Machinery(流体机械)*, 2002, **30**(12): 40
- [8] Wang Rong(汪蓉), Sheng Yong(盛勇), Yang Chuanlu(杨传路), et al. *Chin. J. Chem. Phys.*(化学物理学报), 2000, **13**: 380