

溴化锂溶液吸收制冷传热传质实验研究

张峰榛, 王海, 刘兴勇, 周小兵

(四川理工学院材料与化学工程学院, 四川 自贡 643000)

摘要:以质量浓度为 50% ~ 57%, 温度为 28 °C ~ 37 °C 的溴化锂溶液为“吸收剂”, 研究溴化锂溶液吸收制冷的传热传质过程。研究表明:增大溴化锂溶液浓度及降低溴化锂溶液温度, 可提高传质推动力, 进而强化制冷过程, 但不影响过程阻力, 获得的传质系数在 $10^6 \sim 10^7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 数量级范围。

关键词:溴化锂; 吸收制冷; 传热传质; 传质系数

中图分类号: TQ025.2

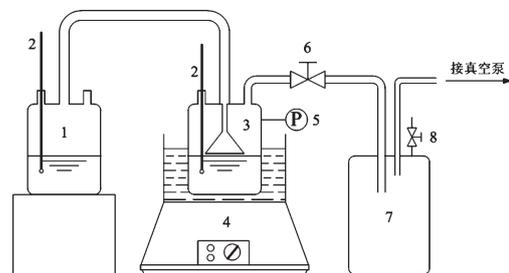
文献标志码: A

随着经济的日益发展, 我国的能源问题日趋突出。这主要体现在: 能源消费总量激增与人均能源占有量少、能源利用率低和能源消费结构不合理之间的矛盾^[1-2]。而另一方面, 我国余热资源总量大, 各行业的余热总资源约占其燃料消耗总量的 17% ~ 67%, 其中, 可回收利用的余热资源约占余热总资源的 60%^[3]。因此发展余热利用技术, 有利于提高能源利用率, 并显著节约能源。溴化锂吸收式制冷技术则是一典型的余热利用技术, 以低品位热源驱动, 回收工业废热及高温排气, 实现热能综合利用^[4]。针对溴化锂吸收式制冷过程的研究比比皆是, 但大多集中在发生器内溴化锂溶液蒸发提浓过程^[5-8], 对于吸收器内高浓度溴化锂吸湿致蒸发器内冷媒水蒸发降温的传热传质过程研究报道甚少。基于此, 本文在溴化锂溶液表面蒸发过程研究的基础上^[9], 进一步研究溴化锂溶液吸收制冷过程, 定量获得过程推动力及阻力, 并揭示过程强化的因素, 为吸收式制冷过程优化提供理论指导。

1 实验装置及流程

本文利用如图 1 所示溴化锂溶液吸收制冷实验装置获得其传热传质实验数据。装置主要由套有绝热保温层的蒸发器、吸收器、恒温水浴、缓冲瓶、真空泵组成。

每一组实验前, 吸收器内装有 100 mL 事先配置好一定浓度的溴化锂溶液, 并利用恒温水浴加热使溴化锂溶液温度达到实验所需温度后, 在蒸发器内加入 32 °C、100 mL 的蒸馏水作为冷媒水, 将蒸发器与吸收器迅速连接起来, 开启真空泵使吸收器内达到溴化锂溶液对应的饱和蒸汽压后, 迅速关闭吸收器与缓冲瓶之间的阀门, 并关闭真空泵。整个实验过程中需维持溴化锂溶液温度以及吸收器内压力的恒定; 并在一定的时间间隔内测量并记录蒸发器内蒸馏水的温度, 以作出实验条件下冷媒水温度随时间变化的冷却曲线。



1 - 蒸发器 2 - 温度计 3 - 吸收器 4 - 恒温水浴锅
5 - 真空表 6 - 阀门 7 - 缓冲瓶 8 - 放空阀

图 1 实验装置示意图

2 传热传质过程分析

溴化锂吸收制冷过程是传热传质耦合过程。在冷

收稿日期: 2014-04-21

基金项目: 四川理工学院人才引进项目(2012RC07); 四川理工学院教学改革项目(JG-1309)

作者简介: 张峰榛(1980-), 男, 四川德阳人, 讲师, 博士, 主要从事传质与分离及化工多相流技术方面的研究, (E-mail) zhangfengzhen421@163.com

媒水液面与溴化锂溶液液面的饱和蒸汽压差推动下,冷媒水表面蒸发,其蒸气被溴化锂溶液吸收,因蒸发带走潜热并使冷媒水降温。忽略热损失,冷媒水蒸发带走的潜热速率等于其显热变化速率。

$$wAr_v = c_p(M - dM) \frac{dT}{d\tau}$$

其中, w 为蒸发通量, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; r_v 为冷媒水的汽化潜热, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$; A 为蒸发器内冷媒水液面面积, m^2 ; c_p 为冷媒水的比热, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$; M 为冷媒水的初始质量, kg ; dM 为冷媒水的蒸发量, kg ; T 为冷媒水的温度, $^{\circ}\text{C}$; τ 为时间, s 。

从传质角度分析,冷媒水的蒸发通量 w 表达式为:

$$w = k(p_v - p_s)$$

其中, k 为传质系数, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$; p_v 和 p_s 分别为冷媒水和溴化锂溶液的饱和蒸汽压, Pa ; $(p_v - p_s)$ 为传质推动力。假设每一实验工况下的溴化锂溶液浓度为一定值。

忽略冷媒水蒸发量,传质系数表达式为:

$$k = \frac{c_p M}{(p_v - p_s) w A r_v} \cdot \frac{dT}{d\tau}$$

通过实验测得冷媒水温度随时间的变化关系,采用数值解法可获得不同实验条件下传质系数 k 随时间 τ 的变化关系。

3 结果与讨论

3.1 溴化锂温度的影响

图2为质量浓度 ($w\%$) 为 50%, 不同溴化锂溶液温度条件下冷媒水温度 T 随时间 τ 的变化规律。可见,冷媒水温度 T 随时间 τ 先陡然降低、而后降低缓慢;高溴化锂溶液温度工况对应较高的冷媒水温降速率。这主要是因为溴化锂溶液温度越高其饱和蒸汽压越大,使得过程的传质推动力减小所致,如图3所示。50% 质量浓度的溴化锂溶液,其温度分别在 28 $^{\circ}\text{C}$ 、32 $^{\circ}\text{C}$ 和 37 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,其对应的饱和蒸汽压分别为 1.04 kPa、1.33 kPa 和 1.78 kPa。

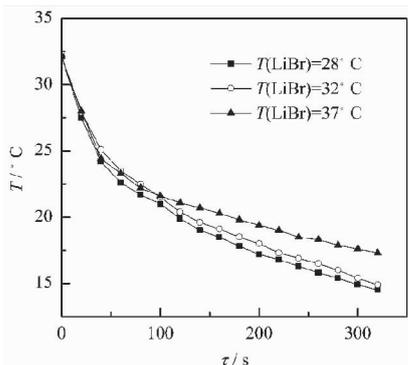


图2 冷媒水温度随时间变化关系 ($w\% = 50\%$)

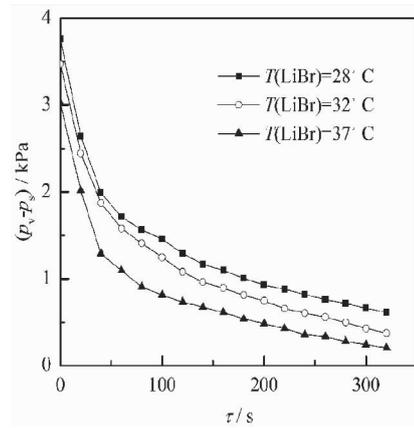


图3 传质推动力随时间变化关系 ($w\% = 50\%$)

3.2 溴化锂浓度的影响

图4为温度为 28 $^{\circ}\text{C}$, 不同溴化锂溶液浓度条件下冷媒水温度 T 随时间 τ 的变化规律。高浓度溴化锂溶液工况对应较高的冷媒水温降速率。这主要是因为溴化锂溶液浓度越高其饱和蒸汽压越小,使得过程的传质推动力增大所致。传质推动力 $(p_v - p_s)$ 随时间 τ 的变化规律如图5所示。28 $^{\circ}\text{C}$ 的溴化锂溶液,其质量浓度分别在 50%、53% 和 57% 条件下,其对应的饱和蒸汽压分别为 1.04 kPa、0.76 kPa 和 0.48 kPa。

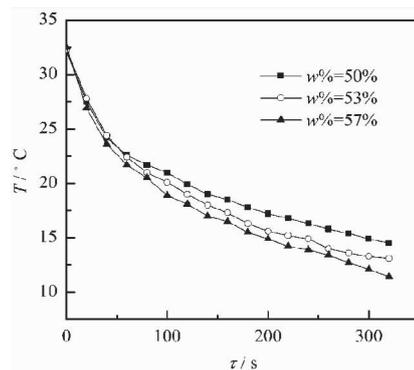


图4 冷媒水温度随时间变化关系 ($T_{\text{LiBr}} = 28^{\circ}\text{C}$)

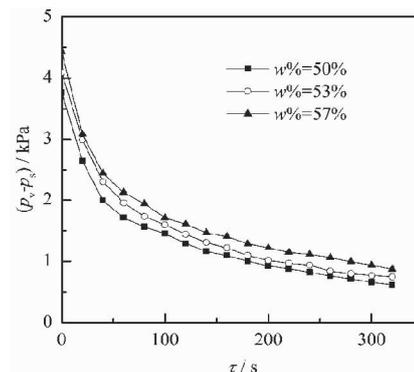


图5 传质推动力随时间变化关系 ($T_{\text{LiBr}} = 28^{\circ}\text{C}$)

忽略散热损失,由热量衡算可获得每一制冷实验冷媒水的蒸发量 Δm 。

$$\Delta m r_v = c_p (M - \Delta m) \Delta T$$

其中, r_v 和 c_p 分别为冷媒水的汽化潜热和比热容; M 为冷媒水的初始质量; ΔT 为冷媒水的温降。

在本研究实验条件下,冷媒水初始质量为 0.1 kg, 320 s 内冷媒水的最大温降约为 20 °C,冷媒水最大蒸发量为 0.004 kg,其值比冷媒水和溴化锂溶液初始质量小 2 个数量级。该结果表明,忽略冷媒水蒸发量以及将溴化锂溶液浓度视为定值的假设是合理的。

3.3 制冷过程传质系数

图 6 给出了不同实验条件下传质系数 k 随时间 τ 的变化规律。传质系数 k 几乎不受溴化锂溶液温度和浓度的影响,其值在 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ 数量级范围内。该结果说明改变溴化锂溶液的温度和浓度虽可提高传质推动力,但不能改变过程阻力。

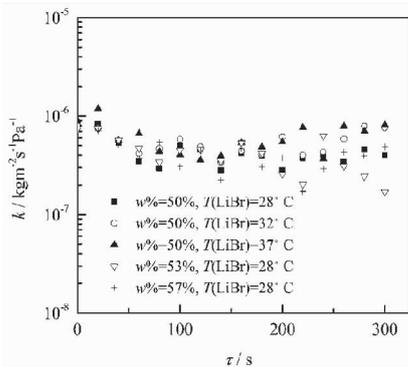


图 6 传质系数随时间变化关系

4 结论

本文研究了溴化锂溶液吸收制冷过程,获得了过程

推动力及阻力,揭示了强化过程的因素,为溴化锂吸收式制冷技术优化提供指导。

(1) 本文实验条件内,溴化锂溶液吸收制冷过程传质系数的值在 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ 数量级内。

(2) 溴化锂溶液吸收制冷过程的强化可通过增大溴化锂溶液浓度以及降低溴化锂溶液温度实现,但这两种方式仅仅提高传质推动力,不能改变过程阻力。

参考文献:

- [1] 王芳.我国能源发展的严峻形势及对策[J].应用能源技术,2005(4):1-4.
- [2] 唐红义.我国能源问题的现状及思路[J].中国科技信息,2005,24:142.
- [3] 戴永庆.溴化锂吸收式制冷技术及应用[M].北京:机械工业出版社,1996.
- [4] 辛长平.溴化锂吸收式制冷机实用教程[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [5] 石程名,王洋,宫世吉.溴化锂溶液竖管内降膜蒸发传热性能分析[J].重庆大学学报,2010,33(9):113-118.
- [6] 杨颖,王洋,石程名,等.竖管内溴化锂溶液降膜蒸发数值研究[J].太阳能学报,2012,33(4):658-662.
- [7] 胡慧莉.竖管内二元溶液降膜蒸发传热传质数值研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [8] 徐灿君.竖管内溴化锂溶液降膜蒸发传热性能数值模拟及实验研究[D].重庆:重庆大学,2007.
- [9] 张峰榛,钟悦声,杜怀明,等.溴化锂溶液真空表面蒸发实验研究[J].四川理工学院学报:自然科学版,2013,26(6):1-3.

Experimental Study on the Heat and Mass Transfer Process of Absorption Refrigeration of LiBr Solution

ZHANG Fengzhen, WANG Hai, LIU Xingyong, ZHOU Xiaobing

(School of Material and Chemical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: With the LiBr solution whose mass concentration ranges from 50% to 57% and temperature between 28 °C and 37 °C as absorbent, the heat and mass transfer process of absorption refrigeration of LiBr solution is studied. The results show that increasing the concentration of LiBr or decreasing the solution temperature can benefit the refrigeration by rising the mass transfer driving force without changing the process resistance. In this study, the mass transfer coefficient obtained ranges from $10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ to $10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$.

Key words: lithium bromide; absorption refrigeration; heat and mass transfer; mass transfer coefficient