

文章编号: 0253-4339(2012)02-0031-05

doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2012.02.031

活性炭颗粒的添加对溴化锂溶液蒸汽 吸收率/制冷量的影响

蔡杰¹ 市桥伸久² 板谷义纪²

(1南京师范大学能源与机械工程学院 南京 210042; 2日本名古屋大学化学工学系 名古屋 464-8603)

摘要 为强化吸收式制冷机的蒸汽吸收率及制冷效率, 基于活性炭的高吸附性能, 在溴化锂水溶液中添加适量活性炭颗粒形成活性炭/溴化锂悬浮液替代溴化锂水溶液作为吸收剂, 通过实验研究了其蒸汽吸收率、制冷效率, 分析了替代的可行性。研究表明, 在活性炭添加量为0~300ng/L条件下或在0~1.5吸着平衡常数范围内, 悬浮液的水蒸汽吸收量比和制冷机组的制冷量随活性炭添加量和悬浮液吸着平衡常数近似线性增长; 悬浮液的粘度随活性炭添加量线性增长, 随温度升高线性减小。

关键词 工程热物理; 吸收式制冷机; 蒸汽吸收率; 制冷效率; 活性炭/溴化锂水溶液悬浮液; 水蒸汽吸收量; 制冷机组制冷量

中图分类号: TQ025.3; TB61⁺2; TB61⁺6

文献标识码: A

Performance of Steam Absorption Rate and Refrigeration Efficiency of LiBr Aqueous Solution added with Active Carbon Particles

Cai Jie¹ Ichihashi Nobuhisa² Itaya Yoshinori²

(1. School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing, 210042, China; 2. Department of Chemical Engineering, Nagoya University, Nagoya, 464-8603, Japan)

Abstract To enhance the steam absorption rate and refrigeration efficiency of a absorption chiller, the active carbon/LiBr suspension was made up of a little active carbon particles and LiBr aqueous solution based on higher absorption performance of active carbon. The heat/mass transfer property of active carbon/LiBr suspension was studied through the experiments, and the feasibility analysis of substituting LiBr aqueous solution with active carbon/LiBr suspension in an absorption chiller was made in this paper. It is found that when the concentration of active carbon is in the range of 0~300ng/L or the adsorption equilibrium parameter is in the range of 0~1.5, there are linear increasing of absorption ration of steam and output of chiller with increment of the concentration of active carbon or adsorption equilibrium parameter, and the viscosity of active carbon/LiBr suspension linearly increase with concentration of active carbon and linearly decrease with the increase of temperature.

Keywords Engineering thermophysics; Absorption chiller; Steam absorption rate; Refrigeration efficiency; Active carbon/LiBr suspension; Absorption ration of steam; Output of chiller

当溴化锂吸收式制冷系统以余热、废热、排热等低品位废热为驱动能源时, 其具有非常显著的节能效果, 从而成为一种高效的节能技术。同时, 该技术以溴化锂溶液作为吸收剂, 以水为制冷剂, 对大气没有污染。因此, 溴化锂吸收式制冷技术在近年来受到广泛的重视。自改革开放以来, 我国溴化锂吸收式制冷技术发展迅速, 产量已经居于世界前列^[1-2]。并且, 溴化锂吸收式制冷机行业是我国制冷、空调领域中少有的拥有全部核心技术的行业。

单纯溴化锂水溶液的传热(0.5~2.5kW/(m²·K))和传质系数较低, 因此溴化锂吸收式制冷机组内部

换热器所需换热面积很大^[3-5], 这导致溴化锂吸收式制冷系统的体积较压缩式制冷机大。因此, 强化吸收剂的蒸汽吸收率及制冷效率, 减少必要的传热面积是溴化锂吸收式制冷系统小型化的关键, 是近年来溴化锂吸收式制冷研究领域的热点问题^[6-8]。

目前, 国内外强化吸收式制冷机组蒸汽吸收率及制冷效率的手段主要有采用强化传热管和添加界面活性剂^[9-14]。文献[15-16]的研究表明在溴化锂溶液中添加适量纳米颗粒形成的纳米颗粒悬浮液的蒸汽吸收率及制冷效率系数较单纯溴化锂水溶液有明显提高。但是, 纳米颗粒成本较高, 不适合大规模工业化生产。日本名古屋大学板谷义纪教授研究

发现在溴化锂水溶液中添加微米级的活性炭、沸石等吸着剂颗粒形成的悬浮液的蒸汽吸收率及制冷量较溴化锂水溶液有明显的改善^[7]。并且,微米级的吸着剂颗粒制造成本远较纳米级颗粒的低。日本M会社已经开发出小型化的吸着式热泵制冷机。因此,基于活性炭、沸石等吸着剂颗粒的悬浮液作为吸收剂是强化吸收式制冷机组蒸汽吸收率及制冷效率的一个新途径。

在此通过实验方法,分析研究了活性炭颗粒的添加对溴化锂溶液吸收水蒸汽性能及制冷机组制冷量的影响,这对吸着剂/溴化锂溶液悬浮液吸收机理的研究及新型高效吸收剂的开发有重要意义。

1 实验装置及实验条件

1.1 活性炭/溴化锂溶液悬浮液蒸汽吸收率及制冷效率实验装置

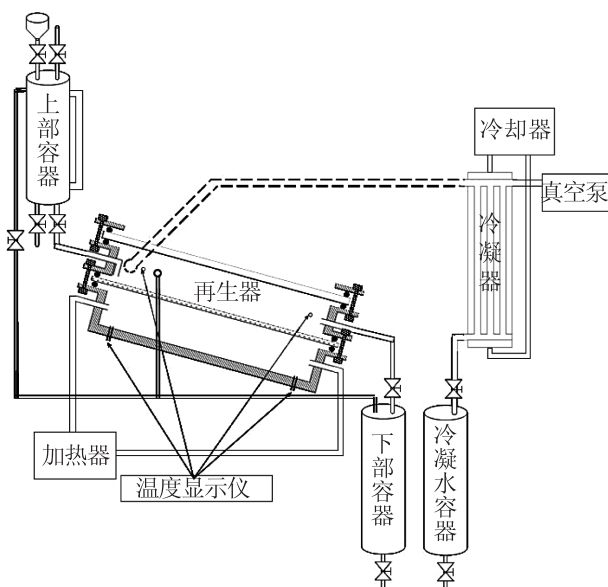


图1 实验装置简图

Fig.1 Diagram of experimental equipment

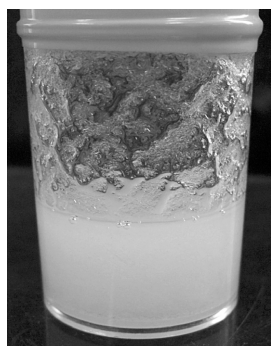


图2 过饱和和活性炭/溴化锂悬浮液

Fig.2 Super-saturated active carbon/ LiBr aqueous solution suspension

实验台主要由上部容器、再生器(换热表面做亲水处理)、下部容器、冷凝器、冷凝水容器、加热器、真空泵、冷却器、数据采集系统等几部分组成。装置简图如图1所示。溴化锂溶液中添加活性炭形成的白色悬浮液如图2所示。从再生器中出来的水蒸汽经冷凝器冷却成水之后进入冷凝水容器,再进入蒸发器。

1.2 实验条件及实验过程

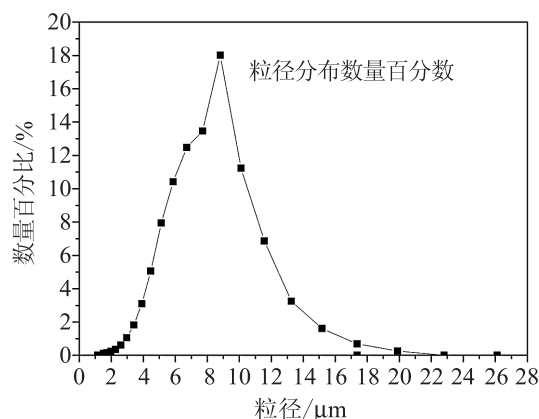


图3 活性炭颗粒的粒径分布

Fig.3 Particle size distribution of active carbon

实验用活性炭颗粒的粒径为微米级,算术平均粒径为7.2274μm,变动系数为37.6339,算术标准偏差为2.72μm。

将制冷系统抽真空,达到制冷条件,再将吸收剂由上部容器注入,吸收剂由上部容器进入再生器,经换热板吸收来自加热器的热量,同时解吸所吸着的水蒸汽,水蒸汽经冷凝器冷却之后进入冷凝水容器。通过测量加热中导热油的温差获得系统的制冷量,通过测量冷凝器中冷凝水的重量获取系统的水蒸汽吸收量数据。

2 实验结果及分析

2.1 吸收剂的粘度随活性炭加入量的变化

溴化锂溶液中添加活性炭颗粒之后,其粘度必然会发生变化,从而对溶液的流动及传热产生影响,因此对323K条件下,浓度59.17%,添加了不同量活性炭的溴化锂溶液的粘度进行了测量。实验仪器为日本AND SV-10正弦波振动式粘度计。该设备通过测量以固定频率和振幅不断振动的驱动电流,以驱动电流与粘度之间的比例关系来获得粘度,其测量范围为0.3mPa·s~10000mPa·s。图4反映了不同活性炭添加量条件下悬浮液的粘度。由图4中可以看出,随着活性炭添加量的增加,悬浮液的

粘度亦随之增加, 并且, 粘度变化与活性炭添加量变化呈近似线性关系。因此, 随着活性炭添加量的增大, 吸收剂沿换热面流动的速度也呈下降趋势。如果活性炭的添加量合适, 可控制吸收剂在换热表面的流动速度, 这在一定程度上有利于吸收剂充分吸收蒸汽。

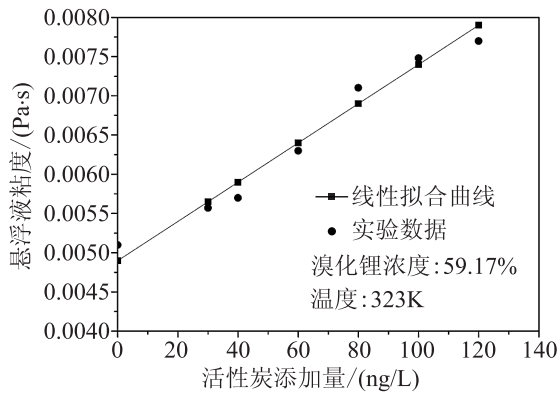


图4 悬浮液粘度随活性炭添加量的变化
Fig.4 Change of viscosity of suspension with different concentrations of active carbon

2.2 饱和吸收剂粘度随温度的变化

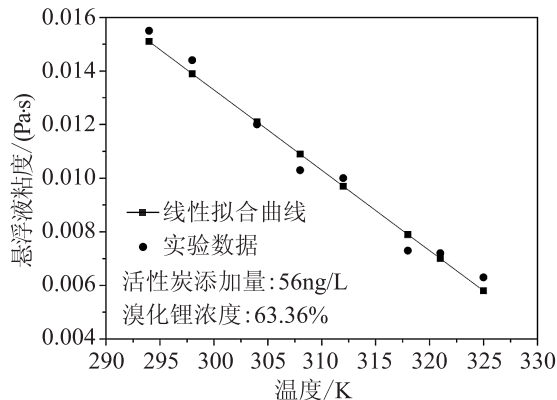


图5 悬浮液粘度随温度的变化
Fig.5 Change of viscosity of suspension with different temperature

由于在悬浮液吸收剂吸收蒸汽的过程中会有温度的变化, 并且温度的变化会导致吸收剂粘度的变化, 因此需要测量不同温度条件下悬浮液吸收剂的粘度。在此实验测量了溴化锂溶液浓度63.36%, 活性炭添加量56ng/L的活性炭/溴化锂悬浮液, 在不同温度条件下的粘度值。实验结果如图5所示。由图5可以看出, 在293~328K范围内, 悬浮液粘度值的下降与温度的升高呈近似线性关系。

2.3 水蒸汽吸收量(制冷机组制冷量)随吸着平衡常数的变化

吸收剂的水蒸汽吸收量及制冷机组的制冷

量作为吸收式制冷机的两个重要指标, 可以反映吸收剂的品质及性能。因此, 对冷却水入口温度290K, 蒸发器温度280K, 溶液流量为0.01kg/s, 传热面积为1.0m², 吸着平衡常数在0~1.5范围内, 溴化锂溶液浓度70%, 活性炭添加量200ng/L的活性炭/溴化锂悬浮液的水蒸汽吸收量及制冷机组制冷量进行了测量, 研究分析水蒸汽吸收量及制冷机组制冷量与吸着平衡常数之间的关系。吸着平衡常数指在水蒸汽吸着与解吸速率达到平衡时, 吸着比例系数与水蒸汽吸着份额之积与水蒸汽解吸比例系数之比。图6反映了不同吸着平衡常数条件下的水蒸汽吸收量基于蒸汽吸收量基准值(吸着平衡常数为0时)的比值及制冷机组制冷量。由图6中可以看出, 随着吸着平衡常数的增加, 蒸汽吸收量比由1上升到1.05, 制冷机组制冷量由7.86kW上升到8.25kW, 蒸汽吸收量及制冷机组制冷量均有较为明显的增加, 且蒸汽吸收量及制冷机组制冷量增加与吸着平衡常数增加呈近似正比的关系。这说明, 通过提高吸收剂的吸着平衡常数可以改善吸收剂的蒸汽吸收量, 提高制冷机组的制冷量。

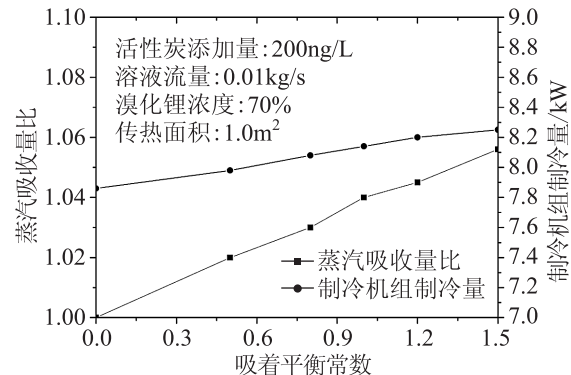


图6 不同吸着平衡常数条件下悬浮液的水蒸汽吸收量及制冷机组制冷量
Fig.6 Steam absorption rate and refrigeration efficiency of a absorption chiller with different adsorption equilibrium parameters

2.4 水蒸汽吸收量(制冷机组制冷量)随活性炭添加量的变化

活性炭添加量对吸收剂在传热表面的流动及蒸汽吸收率及制冷效率均有非常重要的意义, 因此需研究水蒸汽吸收量及制冷机组制冷量随活性炭添加量的变化。这里对冷却水入口温度290K, 蒸发器温度280K, 吸着平衡常数为1.5, 传热面积为1.0m², 溶液流量为0.01kg/s, 溴化锂溶液浓度70%, 活性炭添加量为0~300ng/L的活性炭/溴化锂悬浮液的水蒸汽吸收量及制冷机组制冷量进行了测

量, 研究分析水蒸汽吸收量及制冷机组制冷量与活性炭添加量之间的关系。图7反映了不同活性炭添加量条件下的水蒸汽吸收量基于蒸汽吸收量基准值(活性炭添加量为0时)的比值及制冷机组制冷量。由图7中可以看出, 随着活性炭添加量的增加, 蒸汽吸收量比由1上升到1.08, 制冷机组制冷量由7.86kW上升到8.44kW, 蒸汽吸收量及制冷机组制冷量均有较为明显的增加。这说明, 通过在溴化锂溶液中添加一定量的活性炭颗粒可以明显改善溴化锂溶液的蒸汽吸收量及制冷机组的制冷量, 从而提高制冷机的性能。

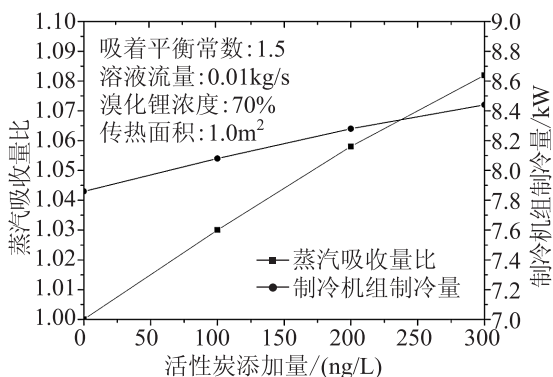


图7 不同活性炭添加量条件下悬浮液的水蒸汽吸收量及制冷机组制冷量

Fig.7 Steam absorption rate and refrigeration efficiency of a absorption chiller with different concentration of active carbon

3 结论

这里针对溴化锂溶液中添加活性炭吸着剂颗粒形成的悬浮液的蒸汽吸收率及制冷效率特性进行了实验研究。研究表明:

1) 活性炭添加量为0~140ng/L条件下, 活性炭/溴化锂悬浮液的粘度与活性炭添加量呈线性增加关系;

2) 在293~328K范围内, 活性炭/溴化锂悬浮液的粘度与温度的升高呈线性减少关系;

3) 在0~1.5吸着平衡常数范围内, 悬浮液吸收剂的水蒸汽吸收量及制冷机组的制冷量与吸着平衡常数数值增加呈线性增长关系;

4) 在活性炭添加量为0~300ng/L条件下, 悬浮液吸收剂的水蒸汽吸收量及制冷机组的制冷量与吸着平衡常数数值增加呈线性增长关系。

5) 添加适量微米级活性炭颗粒可以有效改善溴化锂溶液的蒸汽吸收率及制冷效率。

参考文献

- [1] 戴永庆, 耿惠彬, 蔡小荣. 溴化锂吸收式制冷技术的回顾与展望[J]. 制冷技术, 2001, (1): 21-24. (Dai Yongqing, Geng Huibin, Cai Xiaorong. Review and prospects of Lithium bromide absorption refrigeration technology[J]. Refrigeration Technology, 2001, (1): 21-24.)
- [2] 李明久. 溴化锂吸收式制冷机的发展状况及其经济性分析[J]. 低温与特气, 2007, 25(4): 4-6. (Li Mingjiu. The development of Lithium bromide absorption refrigeration machine and its efficiency analysis[J]. Low temperature and speciality gases, 2007, 25(4): 4-6.)
- [3] 李慧宇, 申江, 乔海军, 等. 采用预冷却绝热吸收的溴化锂吸收式制冷循环的研究[J]. 流体机械, 2006, 34(6): 56-60. (Li Huiyu, Shen Jiang, Qiao Haijun. Study on LiBr refrigeration cycle of using pre-cooling adiabatic absorption[J]. Fluid Machinery, 2006, 34(6): 56-60.)
- [4] 任晓峰, 孙欢. 吸收压力对LiBr斜板绝热吸收器的影响[J]. 制冷, 2008, 27(2): 63-67. (Ren Xiaofeng, Sun Huan. Influence of absorption pressure in the adiabatic absorber of sloping desk[J]. Refrigeration, 2008, 27(2): 63-67.)
- [5] 石程名, 宫世吉, 徐灿君, 等. 竖管内溴化锂溶液降膜发生实验[J]. 制冷学报, 2008, 29(3): 43-46. (Shi Chengming, Gong Shiji, Xu Canjun, et al. Experiment research on Lithium bromide solution falling film generation in vertical tube[J]. 2008, 29(3): 43-36.)
- [6] 郭韵, 黄志强. 活性介质强化溴化锂水溶液的吸收性能[J]. 上海工程技术大学学报, 2004, 18(2): 105-109. (Guo Yun, Huang Zhiqiang. Experimental study of effect of surfactant on falling film of Lithium bromide aqueous solutions[J]. Journal of Shanghai university of engineering science, 2004, 18(2): 105-109.)
- [7] 丁玉娟, 康相玖, 赵然. 溴化锂吸收式冷水机组的新技术及应用[J]. 制冷技术, 2009, (3): 27-31. (Ding Yujuan, Kang Xiangjiu, Zhao ran. New technology and application of Lithium absorption chiller[J]. Refrigeration Technology, 2009, (3): 27-31.)
- [8] 李跃智, 吴裕远, 王鹏飞. 无泵溴化锂热水型吸收式制冷机小型化研究[J]. 制冷技术, 2003, (4): 16-18. (Li Yuezhi, Wu Yuyuan, Wang Pengfei. Research on small size hot water type pumpless LiBr absorption Refrigeration machine[J]. Refrigeration Technology, 2003, (4): 16-18.)
- [9] 陈达卫, 王启杰, 林毅强. 高效传热管的实验研究[J]. 化工学报, 2004, 55(6): 888-895. (Chen Dawei, Wang Qijie, Lin Yiqiang. Enhanced heat transfer tubes[J]. Journal of Chemical industry and Engineering (China), 2005, 55(6): 888-895.)
- [10] 高树杰, 周贵斌, 薛兴. 高效化技术在溴化锂吸收式制冷机中的应用[J]. 制冷与空调, 2009, 23(2): 59-62. (Gao Shujie, Zhou Guibin, Xue Xing. Application of

- high efficiency technology on LiBr absorption chiller[J]. Refrigeration and air conditioning, 2009, 23 (2): 59-62.)
- [11] Ogawa Kiyoshi, Hitoyilo Naoci. Study on Absorption Heat Transfer of Two-dimensionally Constant Tubes-1(Shape of Heat Transfer Surface and Observation of Liquid Film)[J]. Collections of papers of Japanese Refrigeration Institute, 1989, 6(2): 33-40.
- [12] Kim K J, Berman N S, Chau D S C, et al. Absorption of water vapor into falling films of aqueous lithium bromide[J]. Int. J. Refrig., 1995, 18 (7): 486-494.
- [13] 高洪涛, 飞原英治. 含有促进传热传质添加剂的溴化锂水溶液的表面张力[J]. 制冷学报, 2004, (3): 5-8. (Gao Hongtao, Hihara Eiji. Surface tension of LiBr aqueous solution with heat/mass transfer enhancement additives[J]. Journal of Refrigeration, 2004, (3): 5-8.)
- [14] 高洪涛, 李豪. 界面活性剂的混合添加对溴化锂溶液吸收水蒸汽的影响[J]. 制冷学报, 2007, 28(3): 11-14. (Gao Hongtao, Li Hao. Effects of compound surfactants on water vapor absorption of aqueous LiBr solution[J]. Journal of Refrigeration, 2007, 28(3): 11-14.)
- [15] 解国珍, 李国栋, 法晓明, 等. 纳米颗粒对溴化锂溶液发生温度的影响研究[J]. 制冷与空调, 2008, 8(增刊): 80-82. (Xie Guozhen, Li Guodong, Fa Xiaoming, et al. Influence of nano-particles on generating temperature of LiBr solution[J]. Refrigeration and air condition, 2008, 8(supplement): 80-82.)
- [16] 吴刚. 添加纳米颗粒的溴化锂溶液稳定性及热物理特性研究[D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2007.
- [17] 蔡杰, 市橋伸久, 板谷義紀, 等. 吸着剤 / 吸収液スラリーの液膜熱交換による吸収式ヒートポンプ性能[C]// 鹿儿岛: 化学工学会第75年会, 2010.

作者简介

蔡杰, 男(1978-), 博士/讲师, 南京市玄武区板仓街78号南京师范大学能源与机械工程学院, 210042, 15850551890, E-mail: nnucj@163.com. 研究方向: 多相流动及传热传质的模拟及实验研究。

About the author

Cai Jie (1978-), male, Ph. D./lecturer, School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, 78#, Bancang Street, Nanjing, China, 210042, (086) 15850551890, E-mail: nnucj@163.com. Research fields: Simulation and experiment study of heat and mass transfer of multi-phase flow.