文章编号:0253-4339(2014) 06 - 0064 - 04
doi:10. 3969/j. issn. 0253 - 4339. 2014. 06. 064

振动对于吸收式制冷影响的实验研究

申 江[1] 董 斌[1] Josephine Lau[2] 申子奇[2] 王建民[1]

(1 天津商业大学制冷技术重点实验室 天津 300134; 2 内布拉斯加州林肯大学 美国林肯市 68046)

摘 要 利用已搭建的装有电动振动系统的溴化锂吸收式制冷实验台,对溴冷机各主要部件的性能进行实验分析。主要分析振动对于吸收式制冷过程中传热和制冷性能的影响。通过实验数据的处理和分析可以看出:在低频振动状态下,蒸发器、吸收器内的换热效果均优于静止的情形,表明低频振动有利于强化换热,同时增加了机组制冷量,提高了机组 COP 值。

关键词 吸收式制冷;振动;传热;强化

中图分类号:TB61⁺1;TQ051. 5 **文献标识码**: A

Experimental Research on Vibrating Effect for Absorption Refrigeration

Shen Jiang[1] Dong Bin[1] Josephine Lau[2] Shen Ziqi[2] Wang Jianmin[1]

(1. Engineering Research Center of Refrigeration Technology, Tianjin University of Commerce, Tianjin, 300134, China; 2. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, 68046, USA)

Abstract Lithium bromide absorption refrigeration testing with an electric vibrating system was established. Making use of the testing, performance of major parts of LiBr absorption chiller is analyzed. The main purpose is to analyze the effect of vibration on the performance of heat transfer and cooling during absorption refrigeration. The results indicate that compared with static conditions, the heat transfer property of the absorber and the evaporator has a better performance under vibrating conditions. The vibration contributes to heat transfer enhancement, increases refrigerating capacity and improves the COP.

Keywords absorption refrigeration; vibration; heat transfer; enhance

溴化锂吸收式制冷机是一种利用热能为驱动源的制冷机,它耗电量小、可利用低品位热能、可减少对大气臭氧层的破坏,在建筑节能领域及环保领域备受大家关注[1]。然而它的性能系数较低,因此提高其性能一直是大家努力的方向[2-3]。目前其研究现状基本包含以下几个方面:1)新型强化管的研究[4-6];2)新型表面活性剂的研究[7-9];3)强化吸收的研究[10]。ASHRAE 在 2012 年的研究计划中提出了运用机械方式来主动增强吸收器的传热传质效果的想法。计划中阐述了在主动强化吸收过程中,使用一些电力输入设备使管子表面发生运动(如摇动,震动,转动等)来强化吸收效果。这为研究吸收器的强化传热传质提供了一种新的研究方向。

刘艳丽等[11]对摇摆状态下 TFE/NMP 降膜吸收进行实验可以得出:在摇摆状态下的吸收器的传热系数和传质系数要高于静态下相对应的各参数值,并且传热传质系数受振幅和频率的影响,频率一样时传热传质系数与振幅成反比;振幅一样时传热传质系数与频率成正比。

姜波等[12]基于场协同理论,采用数值模拟和传热实验对振动强化的机理进行了较为细致的分析,比较了有无振动工况温度场的异同点。结果表明液体温度自管壁向外逐渐降低,靠近管壁的不同温区呈近似环带状分布;发现在相同的传热温差下振动工况的热边界层薄、温度梯度大。这说明振动能够有效强化传热。

J Ellenberger 等[13]对采用微震模式的吸收模型进行了研究,实验结果表明溶液对气体的吸收系数提高了近 400%。Robert Lemlich[14]通过实验研究流过振动加热管的空气的传热效果,结果得出传热系数随着振动频率和振幅的增加而增加,与振动方向无关。Atipoang Nuntaphan 等[15]实验研究了振动热管技术对于管壳式换热器的传热性能的影响,结果表明在适用振动热管时传热速率可以提高大约 10%。

郑友取等[16]实验研究了不同次声频脉动频率的脉动流横掠圆柱体的对流换热特性。实验数据表明:低频小振幅的脉动流横掠圆柱体时,相对努塞尔数随着频率的降低线性增大,辐射热流率占总热流率的比

收稿日期:2014 年 4 月 15 日

例随着频率的降低而呈指数下降。

研究目标是运用机械振动方式来主动增强吸收器传热传质效果。在溴化锂吸收式制冷机底部安装一个有效的垂直振动的电动振动系统,通过机械振动迫使吸收器中的换热管束也随着振动,在此种情况下对换热管束上的蒸汽-溴化锂水溶液吸收过程的特性进行实验研究,探讨主动强化传热传质的性质。

1 实验装置

为了实验研究低频机械振动对传热效果的影响,在实验室搭建了机械振动强化吸收式制冷传热效果研究的实验台,该实验台是一套集单效溴化锂吸收式制冷系统、电动振动及振动控制系统、数据采集系统为一体的综合实验系统。

制冷系统选用双良节能股份有限公司生产的 RXZ(95/85)-1.2ZS 型热水型溴化锂吸收式制冷机组。该制冷机组的制冷量可调范围为 20% ~100%,冷媒水和冷却水流量的调节范围为 60% ~120%。

振动源采用外置形式,安装在制冷机组底部,其选用的是苏州东菱振动实验仪器有限公司生产的 ES-50-445 型电动振动系统,该系统包括:ET-50-445 电动振动台、DA-50 开关式功率放大器、Amber 数字振动控制仪、DL 加速度传感器、B-7000 冷却风机和辅助支撑及空压机,其工作原理如图 1 所示。

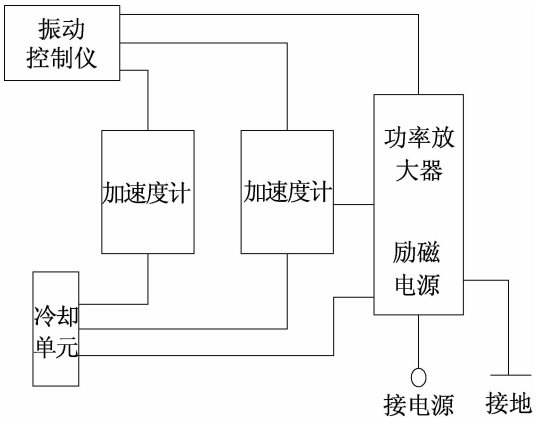

图 1 电动振动系统工作框图

Fig. 1 Electric vibration system block diagram

图 2 为实验系统循环原理以及温度、流量的相关测点分布图。水和溴化锂溶液温度均采用铠装热电阻进行测量,选用天津鼎拓公司生产的 DT-W100 铠装热点阻,其测量精度为 A 级精度。流量均采用液体涡轮流量计进行测量,液体涡轮流量计选用天津鼎拓公司生产的 LWGY 液体涡轮流量计,其测量精度为 0.5 精度。

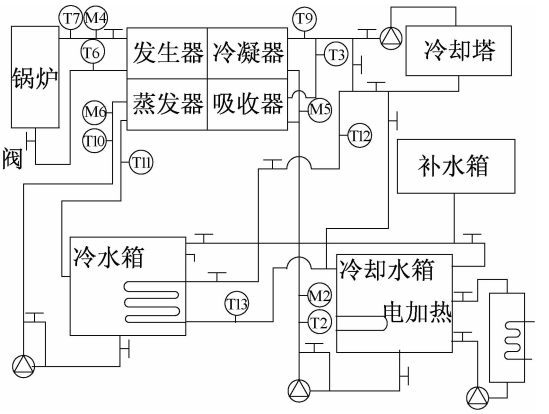

图 2 系统循环示意图

Fig. 2 System cycle diagram

2 实验分析

运用已建立的实验装置对单效溴化锂吸收式制冷过程进行实验研究。电动振动工况设定为振动频率 35 Hz、振幅 0.2 mm。振动实验中各处水流量与静止状态保持一致,冷却水流量为 4.17 m^3/h,冷水流量为 2.07 m^3/h,热水流量为 1.71 m^3/h。蒸发温度保持在 13 ~ 17 ℃之间。发生器中真空压力大约 2780 Pa,在振动时压力会轻微的上下波动。

图 3 为振动情况下冷水进出口温度变化示意图。冷水进出口温度是评估制冷机组性能的关键因素。冷水进口温度稍微有点波动,但总体上振动前后趋于稳定。振动开始之前,冷水进出口温差大约保持在 3.2 ℃。振动开始后冷水出口温度一直在下降,大约振动 70 min 后制冷机组运行稳定,冷水进出口温度基本不变,但冷水进出口温差从 3.2 ℃增大到 3.6 ℃,蒸发器的换热效果增强,制冷性能有一定的提高。

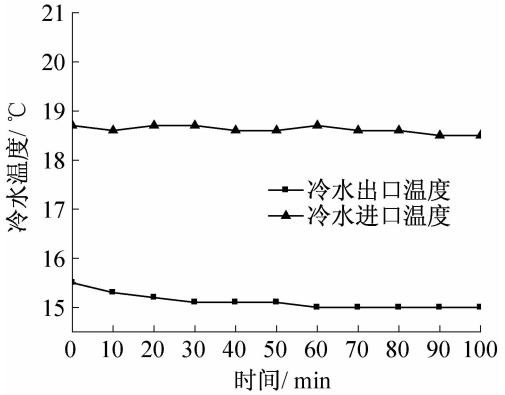

图 3 冷水进出口温度变化

Fig. 3 Chilled water temperature at the inlet and outlet

图 4 为振动情况下冷凝器中冷却水进出口温度变化示意图。振动开始后冷凝器中冷却水进口温度波动挺大。但随着振动的进行,冷却水进出口温差逐渐平

稳,从最初的 9.6 ℃逐渐降低稳定在 8.3 ℃左右。

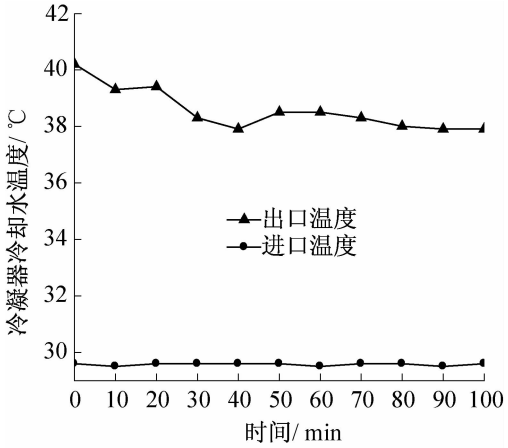

图 4 冷凝器中冷却水进出口温度变化

Fig. 4 Condenser cooling water temperature at the inlet and outlet

图 5 为振动情况下吸收器中冷却水进出口温度变化示意图。由于振动的影响,冷却水进口温度有极少的波动,但总体稳定,对实验分析的影响可忽略不计。由图 5 看出冷却水出口温度一直升高,随着机组的运行,逐渐趋于稳定。冷却水进出口温差明显增大,说明吸收器中冷却水带走溴化锂溶液的热量增多,改善了换热效果。一方面使吸收器出口稀溶液温度降低,如图 6 所示,导致溴化锂稀溶液质量分数降低,另一方面冷凝器中的温度和压力降低导致溴化锂浓溶液质量分数升高。从而引起溶液的循环倍率降低,而溶液的循环流量不变,使冷剂水的循环量增加,最终机组的制冷量增加,见图 7。

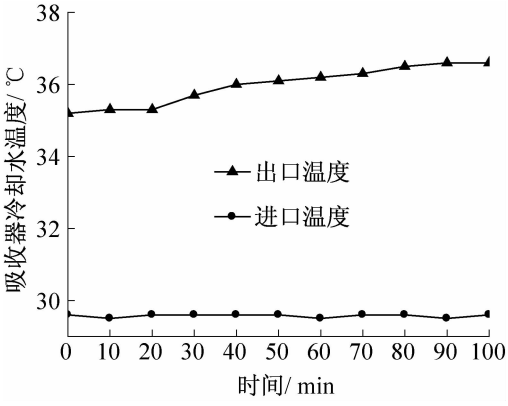

图 5 吸收器冷却水进出口温度变化

Fig. 5 Absorber cooling water temperature at the inlet and outlet

图 8 为振动情况下发生器中热源水进出口温度变化示意图。如图看出在保持热源水进口温度基本不变的情况下,热源水出口温度升高,大约振动 70 min 后趋于稳定。最终由于振动的影响,热源水进出口温差降低,溴化锂溶液从热源水吸收的热量减少,发生器中热负荷降低。而同时蒸发器中的制冷量是增大的,以较少的热负荷制取较大的制冷量,机组的 COP 值提高了。

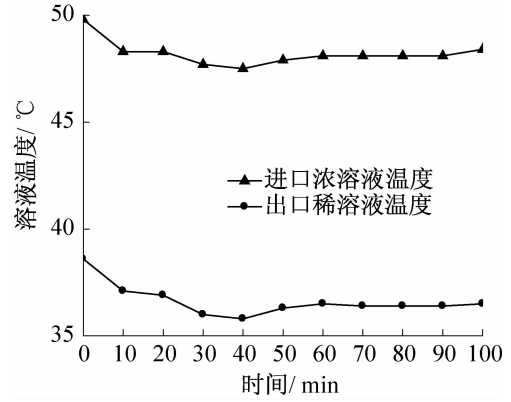

图 6 吸收器溶液进出口温度变化

Fig. 6 Absorber solution temperature at the inlet and outlet

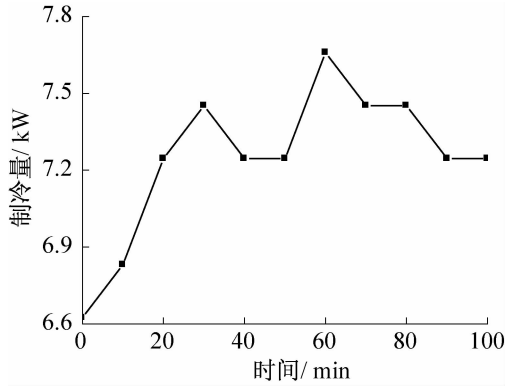

图 7 制冷量变化

Fig. 7 Refrigerating capacity

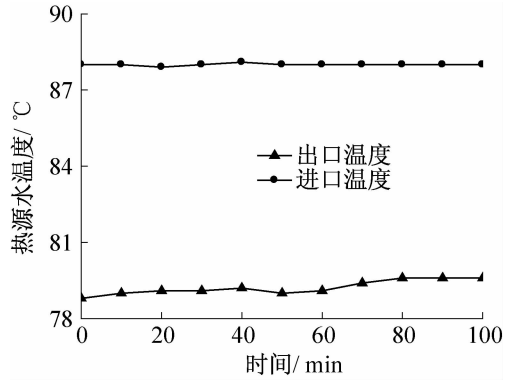

图 8 发生器热源水进出口温度变化

Fig. 8 Hot water temperature at the inlet and outlet

3 结论

利用机械振动强化吸收式制冷效果研究的实验台,就低频振动工况进行了初步实验。在低频振动条件下,由于振动加速度的存在,使吸收器气液接触表面

积有所增加,并且气液接触时间相对延长,提高了热量传递能力,换热温差增大,换热量增加。由此可见,吸收器的热传递优于静态下情形,换热量和换热系数明显增加。另外低频振动冷水温差增大,从而使蒸发器换热效果增强,在一定程度上改善了机组的制冷能力,增加了制冷量。而发生器中热负荷降低,以较少的热负荷制取较大的制冷量,机组的 COP 值提高了。

目前实验处于初步阶段,实验过程中存在着一些需要改善的问题,比如热水温度的控制精度、冷却水及冷水流量的调节。另外低频振动频率和幅度的大小直接影响着制冷机组性能,之后会进一步研究制冷机组性能与振动频率和振幅之间的关系,完善机械振动强化传热传质的理论。

参考文献

[1] 杨燕燕. 单效溴化锂吸收式制冷机机组性能研究及其应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.

[2] 张琴. 溴化锂吸收式制冷机蒸发器与吸收器强化传热传质的研究[D]. 西安:长安大学, 2011.

[3] 李大为. 溴化锂吸收式空调设计应用与发展前景讨论[J]. 机电信息, 2007 (19): 29-34. (Li Dawei. Application and development of Lithium Bromide absorption air-conditioning[J]. Mechanical and Electrical Information. 2007 (19): 29-34.)

[4] 刘科伟, 吴裕远, 程玉龙, 等. 回热型氨-水-溴化锂吸收式制冷机的实验研究[J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(7): 38-41. (Liu Kewei, Wu Yuyuan, Cheng Yulong, et al. Experiment on an NH_3-H_2O-LiBr absorption chiller with heat-regenerators[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2010, 44(7): 38-41.)

[5] 解国珍, 法晓明. 溴化锂吸收式制冷机亚稳平衡增压吸收试验和机理[J]. 化工学报, 2010, 61(Suppl. 2): 164-167. (Xie Guozhen, Fa Xiaoming. A novel LiBr absorption chiller with enhanced absorption pressure[J]. CLESC Journal,2010, 61(Suppl. 2): 164-167.)

[6] 姜培鹏, 马永志. 三效溴化锂吸收式制冷机开发设计[J]. 暖通空调, 2009, 39(2): 84-86. (Jiang Peipeng, Ma Yongzhi. Design and development of triple-effect LiBr absorption chillers[J]. Journal of HV&AC, 2009, 39(2): 84-86.)

[7] 孟祥锋, 陈光明, 何一坚. 吸收式制冷循环分析及吸收器性能改进[J]. 流体机械, 2004, 32(3): 47-50. (Meng Xiangfeng, Chen Guangming, He Yijian. Analysis of absorption refrigeration cycle and performance improvement of absorber[J]. Fluid Machinery, 2004, 32(3): 47-50.)

[8] 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): 888-894. (Chen Dawei, Wang Qijie, Lin Yiqiang. Enhanced heat transfer tubes[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2004, 55(6): 888-894.)

[9] 程文龙, 陈则韶. 添加剂对 LiBr 溶液吸收蒸汽过程中的强化机理[J]. 化学物理学报, 2004, 17(2): 179-185. (Cheng Wenlong, Chen Zeshao. Study on enhancement mechanism of additive on the absorption of water vapor by aqueous LiBr[J]. Chinese Journal of Chemical Physics, 2004, 17(2):179-185.)

[10] 孙欢. 传热传质分离的蒸汽-溴化锂水溶液吸收机理研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2007.

[11] 刘艳丽, 徐士鸣, 韩魏, 等. 摇摆状态下 TFE/NMP 降膜吸收试验研究[J]. 大连理工大学学报, 2004, 44(1): 65-69. (Liu Yanli, Xu Shiming, Han Wei, et al. Experimental apparatus for falling film absorption under the condition of vacillation[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2004, 44(1): 65-69.)

[12] 姜波, 田茂诚, 冷学礼, 等. 低频振动管外流动与传热特性研究[J]. 工程热物理学报, 2009, 30(5): 811-813. (Jiang Bo, Tian Maocheng, Leng Xueli. Research on flow and heat transfer characteristics outside low frequency vibration tubes[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2009, 30(5): 811-813.)

[13] J Ellenberger, R Krishna. Improving mass transfer in gas-liquid dispersions by vibration excitement[J]. Chemical Engineering Science,2002,57(22/23): 4809-4815.

[14] Robert Lemlich. Effect of vibration on natural convective heat transfer[J]. Industrial and Engineering Chemistry, 1995, 47(6): 1175-1180.

[15] Nuntaphan A, Vithayasai S, Vorayos N, et al. Use of oscillating heat pipe technique as extended surface in wire-on-tube heat exchanger for heat transfer enhancement[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2010, 37(3): 287-292.

[16] 郑友取, 李国能, 胡桂林, 等. 次声频脉动流横掠圆柱体的传热实验研究[J]. 工程热物理学报, 2014, 35(2):342-345. (Zheng Youqu, Li Guoneng, Hu Guilin, et al. Experimental study of heat transfer of a cylinder in pulsating cross-flow with infrasonic frequency[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2014, 35(2): 342-345.)

通信作者简介

申江, 男(1960 -), 教授, 天津商业大学机械工程学院院长, (022)26669745, E-mail: shenjiang@ tjcu. edu. cn。研究方向: 食品冷链技术,制冷系统优化及节能技术等。

About the corresponding author

Shen Jiang (1960 -), male, Professor, Dean of Mechanical Engineering School, Tianjin University of Commerce. (022) 26669745, E-mail: shenjiang@ tjcu. edu. cn. Research fields: Food cold chain technology, optimization and conservation technology of refrigeration systems, etc.