

文章编号:0253 – 4339(2015) 03 – 0087 – 05
doi:10. 3969/j. issn. 0253 – 4339. 2015. 03. 087

多功能空调热水器最佳制冷剂充注量的实验与分析

王海峰 张守兵 原惠惠 孙亚娟 李玉夺 董闪闪

(郑州大学化工与能源学院 郑州 450001)

摘 要 本文提出了一种新型双节流储液器,该装置可以自动调节系统的制冷剂循环量,使得多功能空调热水器能够在多种模式下稳定运行。依据于 COP 最大的原则,通过实验确定了多功能空调热水器在夏天单独制冷和制冷兼制热水两种模式下制冷剂的最佳充注量,实验结果表明本装置在室外环境温度为 $32 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,夏季单独制冷、制冷兼制热水两种模式下的最佳充注量分别为 6.5 kg、7.5 kg,相应的最大 COP 分别为 3.80、5.88。当制冷剂充注量发生变化时,通过调节系统的节流阀,能够使系统的 COP 接近于制冷剂最佳充注量所能达到的效果。另外,考察了最佳充注量下节流阀开度对 COP、过冷度及过热度的影响,当制冷剂充注量相同,制冷兼制热水模式的 COP 和制冷量与单独制冷模式的相比,前者更大些。实验结果显示了双节流储液器对制冷剂循环量具有调节作用,达到了节能的效果。

关键词 变制冷剂流量系统;节流阀;能效比;双节流储液器;热泵热水器

中图分类号:TU831; TM925

文献标识码: A

Experimental Study on Optimal Refrigerant Charge of Multi-functional Air-conditioning Hot Water Heater

Wang Haifeng Zhang Shoubing Yuan Huihui Sun Yajuan Li Yuduo Dong Shanshan

(School of Chemical Engineering and Energy, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450001, China)

Abstract A new type of double-flow accumulator was developed, which can automatically adjust the amount of circulating refrigerant on the system of multi-functional air-conditioning/hot-water heater so that the system was more stable and efficient under multi-working modes. Based on the principle of maximum COP, the optimal refrigerant charge of the variable refrigerant flow rate system was determined by experiment for the modes of refrigeration only and both refrigeration and hot water in the summer. The tested results showed the optimal amounts of charge for the two modes were 6.5 kg and 7.5 kg respectively, and its maximum COP were 3.80 and 5.88 respectively when the outdoor temperature was $32 \pm 1^{\circ}\text{C}$. When the refrigerant charge changes, by controlling the throttle valve, the COP could be close to the case with the optimal refrigerant charge. Moreover, a series of performance parameters, such as COP, the refrigerating capacity, the degree of subcooling and superheat at optimal refrigerant charge, were investigated with the opening degree of the throttle valve. The results show that when refrigerant charge is the same, the COP and the refrigerating capacity of both refrigeration and hot water mode is bigger compared with refrigeration only mode. Experimental results also show that the double throttling accumulator plays an important role in regulating the refrigerant cycle and saving energy.

Keywords variable refrigerant flow rate; throttle valve; energy efficiency ratio; double-flow accumulator; heat pump water heater

制冷剂是热泵系统中实现热量从低温热源向高温热源转移的工作物质。制冷剂充注量的多少直接影响到系统的工作性能,而且制冷剂量的平衡问题在多功能空调装置中更为明显。为了解决该问题,国内外学者对其进行了大量的研究。马最良等^[1-2]提出采用压缩机的极限工作压力或极限工作温度来控制风冷冷凝器的启、停,但是该控制方法较为粗略,系统制冷量和 COP 均较低。彭建华^[3]提出了一种单侧旁通自然平衡式空调热水器,该系统在一定程度上减少

了制冷兼制热水模式下制冷剂充注量,但长时间运行时制冷剂会向冷凝器迁移,整体性能下降。Choi J M 等^[4]通过系统节流手段对充注量进行了研究。Vjacheslava N 等^[5]基于模型估算了制冷系统的最佳充注量。Jung H C 等^[6]对复叠热泵在不同充注量下的压缩机耗功、蒸发压力、冷凝压力等进行了实验分析。张良俊等^[7]分析了充注量变化对空气源热泵热水器系统热性能和运行稳定性的影响。仇富强等^[8]搭建了多功能一体机实验平台,其夏季总能效比可达

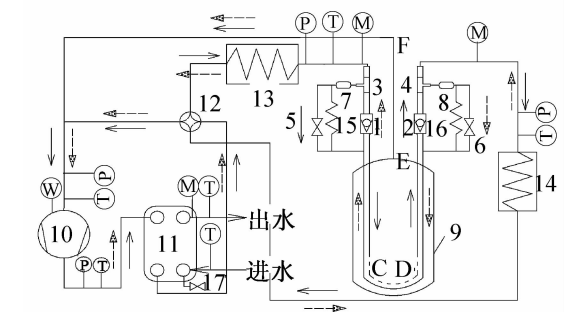
7.62. 杨强等^[9]实验研究了带有高压储液器的热泵系统,并着重分析了不同充注量下高压储液器对系统性能的影响。刘杰等^[10]利用新型换热器来降低汽车空调系统的制冷剂充注量。胡韩莹等^[11]对空气源热水器进行了实验研究。孙大坤等^[12]利用实验观察研究了制冷剂的充注量对电冰箱工作性能的影响,提出了最佳充注量原理。俞炳丰等^[13]分析了变频空调器稳态模型在不同频率时,制冷剂充注量对制冷系统性能的影响及原因。

相关企业也进行了研究,如格力公司的直热式冷暖型空调热水器^[14],美的公司的空气源热水器^[15]等,但他们都侧重于系统多功能化的实现,仍存在着切换模式时系统自动调节能力差的弊端。鉴于此,本文开发了一种新型双节流储液器,旨在使多功能空调热水器在切换运行模式时,可以在一定程度上自动调节系统内制冷剂的循环量,使系统能够稳定的、高效的运行。

1 实验装置与原理简介

1.1 实验装置

该多功能空调热水器测试系统由市售格力空调(制冷剂的标准充注量为 2.5 kg)改造而成,如图 1 所示。



1, 2 单向阀 3, 4 三通管 5, 6 手调节流阀 7, 8 过滤器 9 储液器 10 压缩机 11 板式换热器 12 四通换向阀 13 室外风冷换热器 14 室内风冷换热器 15, 16 辅助毛细管 17 放水阀 EF 导气管 P 压力测点 W 功率测点 M 流量测点 T 温度测点 ---> 制热, 制热水 → 制冷, 制冷兼制热水 (注: 箭头表示制冷剂流动方向)

图 1 多功能空调热水器测试系统概略图

Fig. 1 Schematic diagram of test system of multi-functional air-conditioning water heater

该设计在系统中串接一个板式换热器和一个容积约为 9 L 的双节流储液器^[16],实现系统双向运行,克服普通储液器短管进、长管出,只能使系统单向运行的不足。热水加热方式为即热式(即水一次被加

热到所要求的温度),热水储存在保温水箱中。经过改进的多功能空调热水器可在四种模式下运行:单独制冷、制冷兼制热水、单独制热、单独制热水。

1.2 系统运行原理

为了实现系统兼制热水的功能,通常是在压缩机出口和四通换向阀进口之间加装一个水冷换热器,但效果较差。因为一定量的制冷剂,无法使该系统的不同运行模式均达到最佳运行状态,甚至无法正常运行。而改进后的系统采用新型双节流储液器,用可手动开度的节流阀代替了原装置中的毛细管,同时并联 2 个毛细管,以保证系统有一个基本的最小流量。实验中,通过改变制冷剂充注量及节流阀的开度,可观察两者之间存在的联系,并对系统性能的影响进行考察。

2 实验过程与结果分析

在室外环境温度为 32 ± 1 °C,室内温度为 26 ± 1 °C 的条件下,对改进后的样机进行了夏季单独制冷、制冷兼制热水两种模式下的实验,分析了系统参数受制冷剂充注量和节流阀开度的影响,并以 COP 最大为原则来确定系统制冷剂最佳充注量^[17]。

2.1 单独制冷与制冷兼制热水的最佳充注量

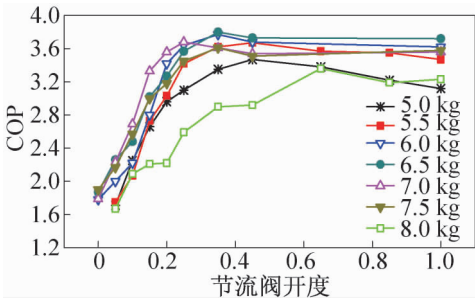
实验以 R22 为工质,制冷剂充注量变化范围为 5.0 ~ 8.0 kg,每次变化 0.5 kg,制冷兼制热水时冷水进口温度为 27 ± 1 °C,水流量为 2.84 L/min。实验过程中通过改变制冷剂充注量与节流阀开度,得到了两种模式下 COP 随充注量和节流阀开度的变化情况,如图 2 和图 3 所示。

由图 2 可知,COP 随制冷剂充注量和节流阀开度变化趋势相同,均是先增大后减小。因为 COP 是由制冷量和压缩机耗功共同决定的,随着充注量的增加,制冷剂流量增大,蒸发器的有效换热面积亦增大,从而使得制冷量增大;当充注量大于 6.5 kg 后,随着充注量的继续增加,制冷剂的蒸发压力和蒸发温度升高,使得蒸发器的传热温差减小,制冷量减小,也使得整个过程中制冷量和耗功的变化趋势相同,但制冷量的变化占主导地位,故 COP 先增加后减小。根据实验结果来看,单独制冷时,在制冷剂的充注量为 6.5 kg,开度为 0.35 的条件下,COP 达到最大值 3.80,为最佳充注量。

由图 3 可知,对于制冷兼制热水的运行模式,当节流阀开度小于 0.2 时,总 COP 随充注量和节流阀开度增大而迅速增大;当节流阀开度介于 0.2 和 0.4 范围内,总 COP 随充注量和节流阀开度的变化平缓;之后,总 COP 随充注量和节流阀开度的增加而降低。

综合实验结果来看,在制冷剂的充注量为 7.5 kg,开度为 0.25 时,系统总 COP 达到最大值 5.88,为最佳充注量。

对于多功能空调热水器系统,制冷剂的充注量是一定的,因而要尽可能地保证系统在多种模式下,装置都具有较佳的 COP。根据图 2 和图 3 可知,当制冷剂的充注量为 7.0 kg 时,系统单独制冷和制冷兼制热水的 COP 尽管都有所降低,但当调整开度为 0.25 时,单独制冷模式的 COP 可达到 3.6;当开度为 0.45 时,制冷兼制热水的 COP 可达到 5.7。由此表明,通过调节系统节流阀的开度,都能够使系统的 COP 接近于制冷剂最佳充注量所能达到的效果。实验过程中曾将制冷剂充注量达到 8.0 kg,通过调节节流阀,单独制冷的 COP 仍能达到 3.23,制冷兼制热水的 COP 能达到 5.25,这说明了新型双节流储液器的运用可以在一定程度上自动调节制冷剂的循环量,使系统在多种模式下都能够稳定运行。



0—节流阀全关 1—节流阀全开(下同)

图 2 单独制冷 COP 随充注量和节流阀开度的变化
Fig. 2 COP variation with refrigerant charge and opening degree of throttle valve

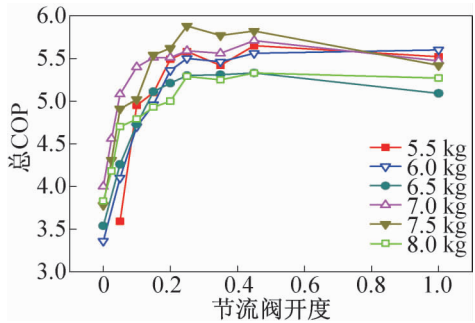


图 3 制冷兼制热水总 COP 随充注量和节流阀开度变化
Fig. 3 Total COP variation with refrigerant charge and opening degree of throttle valve

2.2 两种模式在最佳充注量下的系统参数对比

为了分析改进后多功能空调热水器系统的

COP、制冷量、过热度、过冷度等性能,实验考察了单独制冷和制冷兼制热水两种模式下,系统在最佳充注量下的 COP、制冷量、过热度、过冷度等参数随节流阀开启程度的变化情况,实验结果如图 4 ~ 图 6 所示。

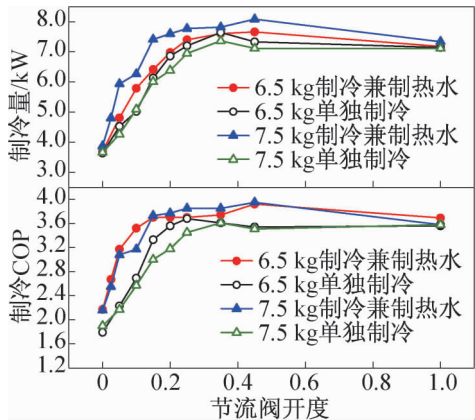


图 4 两种模式下制冷量和 COP 的变化
Fig. 4 Variations of refrigerating capacity and COP of two modes

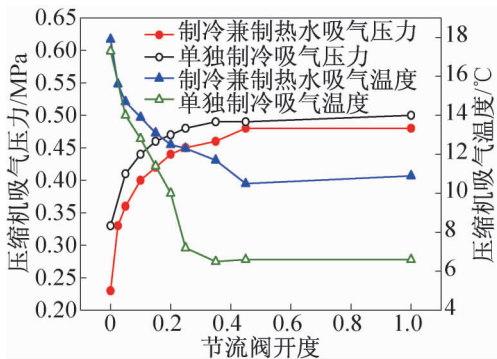


图 5 两种模式的过冷度、过热度的对比
Fig. 5 Comparison of degree of subcooling and degree of superheating between two modes

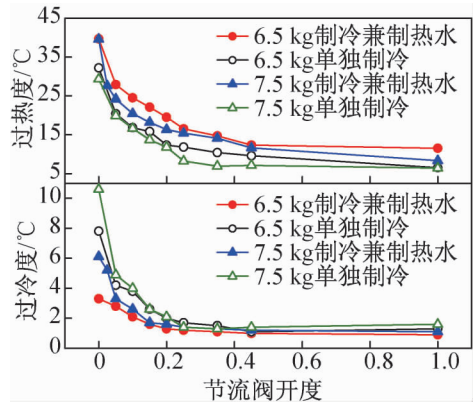


图 6 两种模式的压缩机吸气压力和吸气温度的对比
Fig. 6 Comparison of suction pressure and suction temperature of compressor between two modes

1) 两种模式下制冷量和 COP 的变化

由图4可知,当制冷剂充注量相同,节流阀开度也相同时,制冷兼制热水模式的COP和制冷量与单独制冷模式的相比,前者更大些。这主要是制冷兼制热水模式运行时,制冷剂进入板式换热器被水冷却,换热面积增大,由于水的进口温度低于室外环境温度,换热器的换热效果较好,使得冷凝压力、冷凝温度降低,压缩机耗功减少;与此同时,蒸发压力、蒸发温度也降低,引起传热温差增大,制冷量增大,COP增大。另一方面,当制冷量最大时,制冷兼制热水的节流阀开度为0.45,而单独制冷的节流阀开度为0.35,这说明制冷兼制热水模式对制冷剂的需求量增大,节流阀最佳开度向右移动。

2) 两种模式下过热度和过冷度的变化

过热度是压缩机吸气压力对应的饱和温度与吸气温度的差值。图5给出了两种模式下节流阀调节能力对过热度和过冷度的影响。图6显示了两种模式下节流阀开度变化对压缩机吸气压力和吸气温度的影响。由图5可知,用两种模式运行,当制冷剂充注量相同时,过热度随着节流阀开度的增加而降低;当制冷剂充注量不同时,在相同的节流阀开度下,制冷兼制热水模式的过热度大于单独制冷模式的过热度。这是由制冷兼制热水模式的压缩机吸气压力低、吸气温度高所引起的,这一点通过实验已被证实(见图6)。

过冷度是冷凝器出口压力所对应的饱和温度与冷凝器出口温度的差值。由图5实验结果可以看出,过冷度随制冷剂充注量的增加而增大,制冷兼制热水模式下的过冷度小于单独制冷模式下的过冷度。这是因为相对于单独制冷模式而言,制冷兼制热水时冷凝器出口压力和出口温度较低,由于冷凝压力的降低占主导地位,所以过冷度小于单独制冷时的过冷度。另外,由于实验进行时的环境温度为 $32 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,冷却水的进口温度为 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,这样可能会导致制冷剂在经过板式换热器冷却后的温度低于环境温度,造成制冷剂在室外风冷换热器中吸收外界热量,致使温度升高,过冷度减小。鉴于此,以后可以考虑在室外风冷换热器的进口处加设测温点,并通过温控器将测得的温度与环境温度进行比较。此温度若低于环境温度,就需要关闭室外风机,以减少制冷剂从环境中的吸热量;若高于环境温度,就需要开启室外风机,以进一步冷却制冷剂,提高过冷度。

3 结论

1) 本文对空调样机进行了改进,在系统中串接

一个板式换热器和一个容积约为9 L的双节流储液器,实现系统双向运行,克服普通储液器短管进,长管出,只能使系统单向运行的不足。新型双节流储液器可以在一定程度上自动调节制冷剂的循环量,使多功能空调器在多种模式下都能够稳定运行。

2) 通过对改进后的多功能空调热水器实验获得单独制冷模式下,COP达到最大值3.80时的制冷剂的充注量为6.5 kg;制冷兼制热水模式下,COP达到最大值5.88时,制冷剂的充注量为7.5 kg。当制冷剂充注量发生变化时,通过调节节流阀,能够使系统的COP接近于制冷剂最佳充注量所能达到的效果。

3) 通过对两种模式在最佳充注量下的系统参数对比,改造后的系统具有更优性能。但仍有改进的地方:1) 双节流储液器可以由固定容积(9 L)改进为非固定容积。2) 在室外风冷换热器的进口处加设测温点。今后的实验中将作进一步研究,以获得更优的系统。

参考文献

- [1] 马最良,唐金泉. 人工冰场制冷系统冷凝废热利用的可行性分析[J]. 制冷学报, 1987(2): 21-26. (Ma Zuiliang, Tang Jinquan. Analysis of possibility on utilization of artificial ice rink[J]. Journal of Refrigeration, 1987(2): 21-26.)
- [2] 王伟,马最良. 空调冷凝热回收热水供应系统方案研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 11(3): 56-62. (Wang Wei, Ma Zuiliang. Scheme development of air-conditioning condenser heat recovery hot water supply system [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2014, 11(3): 56-62.)
- [3] 彭建华. 单侧旁通自然平衡式空调热水器: 中国, 201210160658. X[P]. 2012-08-15.
- [4] Choi J M, Kim Y C. The effects of improper refrigerant charge on the performance of a heat pump with an electronic expansion valve and capillary tube[J]. Energy, 2002, 27(4): 391-404.
- [5] Vjacheslava N, Rozhentsevb A, Wang Chichuan. Rationally based model for evaluating the optimal refrigerant mass charge in refrigerating machines [J]. Energy Conversion and Management, 2001, 42(18): 2083-2095.
- [6] Jung H C, Choi J M. Evaluation of the impacts of high stage refrigerant charge on cascade heat pump performance [J]. Renewable Energy, 2014, 50(13): 1-6.
- [7] 张良俊,吴静怡,王如竹. 充注量对小型热泵热水器性能影响的实验及分析[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(8): 1307-1311. (Zhang Liangjun, Wu Jingyi, Wang Ruzhu. Experimental study on the performances of small-sized heat pump water heater at different R22 charge[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2006, 40(8):

- 1307-1311.)
- [8] 仇富强,杨明堂,龚毅. 热泵冷暖热水-体机实验研究[J]. 制冷学报,2010,31(4): 50-56. (Qiu Fuqiang, Yang Mingtang, Gong Yi. Experimental study on a heat pump generating hot/warm/cool water[J]. Journal of Refrigeration, 2010, 31(4): 50-56.)
- [9] 杨强,王怀信. 带有高压贮液器的热泵系统不同充灌量下的实验研究[J]. 制冷学报,2006,27(3): 50-53. (Yang Qiang, Wang Huaixin. Experimental research on heat pump system with high pressure liquid receiver at different refrigerant charges[J]. Journal of Refrigeration, 2006, 27(3): 50-53.)
- [10] 刘杰,赵宇,祁照岗,等. 制冷剂充注量对新型换热器汽车空调的影响[J]. 制冷学报,2011,32(1): 12-15. (Liu Jie, Zhao Yu, Qi Zhaogang, et al. Impact of refrigerant charge on mobile air conditioning system with new heat exchanger[J]. Journal of Refrigeration, 2011, 32(1): 12-15.)
- [11] 胡韩莹,巨小平,林州强,等. 外盘管空气源热泵热水器不同工况下的试验研究[J]. 流体机械,2012,40(12): 58-61. (Hu Hanying, Ju Xiaoping, Lin Zhou-qiang, et al. Experimental study on external coil air source heat pump water heater under different conditions[J]. Fluid Machinery, 2012, 40(12): 58-61.)
- [12] 孙大坤,张军,刘卫兵. 电冰箱最佳灌注量的实验研究和理论解释[J]. 低温工程,1995,86(4): 39-42. (Sun Dakun, Zhang Jun, Liu Weibing. Experimental research and theoretical explanation for the optimal refrigerant charge of refrigerator[J]. Cryogenics Engineering, 1995, 86(4): 39-42.)
- [13] 俞炳丰,王志刚,何晓明. 变频空调器制冷系统充灌量的影响分析和确定原则研究[J]. 流体机械,1998,26(9): 52-56. (Yu Bingfeng, Wang Zhigang, He Xiaoming. Research on influence and conformability principle of refrigerant charge of frequency conversion air-conditioning system[J]. Fluid Machinery, 1998, 26(9): 52-56.)
- [14] 广东美的电器股份有限公司. 空气源热泵空调热水器: 中国,200610095400.0[P]. 2007-07-11.
- [15] 珠海格力电器股份有限公司. 直热式冷暖型空调热水器: 中国,200810220355.6[P]. 2010-06-23.
- [16] 王海峰. 空调储液器及其空调设备: 中国,200610128288.6[P]. 2007-09-05.
- [17] 王海峰,孙亚娟,王冲,等. 多功能空调热水器的改进及最佳充注量的研究[J]. 制冷技术,2013,33(3): 27-30. (Wang Haifeng, SunYajuan, Wang Chong, et al. Improvement of multifunctional air-conditioning water heater and research on optimal refrigerant charge[J]. Refrigeration Technology, 2013, 33(3): 27-30.)
- 通信作者简介**
王海峰,男,高级工程师,郑州大学化工与能源学院,13015506045, E-mail: wanghaifeng@zzuedu.cn. 研究方向:制冷,热泵、节能技术的研究。
- About the corresponding author**
Wang Haifeng, male, senior engineer, School of Chemical Engineering and Energy, Zhengzhou University, + 86 13015506045, E-mail: wanghaifeng@zzu.edu.cn. Research fields: refrigeration, heat pump, energy saving technology.
-
- (上接第86页)
- [9] 张科,吴兆林,周志钢. 一种节能型空调系统的设计思路和计算方法探讨[J]. 流体机械,2009,37(9): 79-82. (Zhang Ke, Wu Zhaolin, Zhou Zhigang. Discussion of a new type of energy-saving air-conditioning system design and calculation methods[J]. Fluid Machinery, 2009, 37(9): 79-82.)
- [10] 韩星,张旭,李魁山,等. 采用冷冻除湿的温湿分控户式空调系统的送风分析[J]. 建筑科学,2008,24(8): 75-80. (Han Xing, Zhang Xu, Li Kuishan, et al. Analysis on air supply of freezing dehumidification-based independent temperature-humidity control of residential air-conditioning system[J]. Building Science, 2008, 24(8): 75-80.)
- [11] 肖益民,付祥钊. 冷却顶板空调系统中用新风承担湿负荷的分析[J]. 暖通空调,2002,32(3): 15-17. (Xiao Yimin, Fu Xiangzhao. Dehumidifying of outdoor air in cooling ceiling system application[J]. Journal of HV&AC, 2002, 32(3): 15-17.)
- [12] 江亿. 温湿度独立控制空调系统[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [13] 余晓平. 夏热冬冷地区住宅新风能耗分析和降温除湿方式的研究[D]. 重庆:重庆大学,2000.
- [14] 韩星,张旭,刘金涛,等. 户式热湿分控空调机组的设计与性能实验研究[J]. 制冷学报,2011,32(2): 1-8. (Han Xing, Zhang Xu, Liu Jintao, et al. Design and experimental study of a novel residential air cooled air-conditioning system for independent temperature and humidity control[J]. Journal of Refrigeration, 2011, 32(2): 1-8.)
- [15] 张立志. 除湿技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- 通信作者简介**
李美玲,女,在读硕士研究生,上海理工大学,(021)55273240, E-mail: sister930@126.com. 研究方向:辐射空调,室内空气净化等。
- About the corresponding author**
Li Meiling, female, master candidate, University of Shanghai for Science and Technology, +86 21-55273240, E-mail: sister930@126.com. Research fields: dehumidification on radiation air conditioning, indoor air purification, et al.