文章编号:0253 - 4339(2015) 05 - 0060 - 05
doi:10. 3969/j. issn. 0253 - 4339. 2015. 05. 060

多功能空调热水器系统的改进

王海峰　原惠惠　李玉夺　孙亚娟　张守兵　董闪闪

(郑州大学化工与能源学院　郑州　450001)

摘　要　为了解决多功能空调夏季单独制热水时,室外风机频繁启停的问题,设计了一种改进的多功能空调热水器。通过改进多功能空调热水器系统的室外风冷换热器,改变了风机的输入电压和转速,调节了风冷换热器的吸热量,使其在不同季节的各种模式下,均能够高效稳定的运行。通过实验找出了压缩机和风机稳定运行的临界输出电压,得到了与节流阀各个开度相对应的系统 COP。与未改造前的系统相比,多功能空调热水器系统加入了变压器之后,系统的稳定性增加。在室外环境温度为 32 ℃,节流阀开度为 0.4,变压器输出电压为 160 V 时,可达到夏季单独制热水模式的最佳工况,其 COP 为 4.68。

关键词　空调热水器;变风量系统;节流阀;能效比

中图分类号:TU831;TM925.1　　**文献标识码**: A

Improvement of Multi-functional Air-conditioning Water Heaters

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

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

Abstract　An improved multi-functional air-conditioning water heater is devised to solve the problem of frequent starts and stops of fan, which always occurs while a traditional one produces hot water in summer. The improved multi-functional air-conditioning water heater can be highly efficient and stable operation in the various modes of different seasons owing to the change of input voltage and speed of fan, and improvement of the outdoor air-cooled heat exchanger. The critical output voltage for the stable operation of compressor and fan is found out, and the relationship between COP and the opening degrees of throttling valve is investigated. Compared with the system improved before, the system's stability has a great enhancement after adding a transformer in the multi-functional air-conditioning water heater. When the outdoor environment temperature is 32 ℃, the opening degree of throttling valve is 0.4, and the output voltage of transformer is 160 V. The improved system can reach an optimum COP of 4.68 under the hot water only mode in summer.

Keywords　air-conditioning hot water heater; variable-air-volume system; throttling valve; energy efficiency ratio

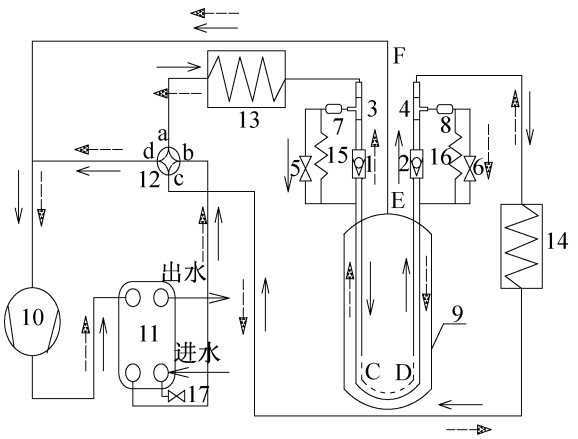
现代空调逐渐在生活生产中普及,同时带来许多能源和环境问题,如温室效应、破坏臭氧层,放出的冷凝热也会造成能量浪费[1],同时也加剧热岛效应。为了合理利用能量,Huang B J 等[2]、Stuij B[3]、Chyng J P 等[4]提出用热泵系统中的冷凝热来加热生活用水,实验表明如果能在 5 年内回收成本,系统就会有良好的效用。国内高校华南理工大学[5]、东南大学[6]、中国科学技术大学[7]和哈尔滨工业大学[8]分别提出了多功能热泵空调热水器,并实验证明其经济可行。但是多功能空调还存在着许多不足之处[9-10],如:在夏季单独制热水时,由于外界环境温度比较高,容易引起压缩机吸排气温度、压力过高,压缩机过载保护,室外风机频繁启停,甚至烧毁压缩机等现象[11],这是目前科研开发者面临的亟待解决的问题。有研究者提出[12-14]采用不同的压机,改善高温时压机运行工况,达到多功能空调系统稳定运行的目的。Liebenberg L 等[15]对混合工质 R22/R142b 作为制冷剂的高温热泵型热水器进行了理论研究。彭继军等[16]提出性能优于 R22 和 R407C 的新工质 RTJU3 及 RTJU4,解决热泵热水器长时间运行时性能变差的问题。中南大学江乐新等[17]提出一种新的变流量调节方式,进行理论可行性分析。本文作者考虑在多功能空调热水器的室外风冷换热器风机上增加一个变压器,通过调节变压器输出电压,改变风机转速,进一步调节室外风冷换热器吸热量,改善系统运行性能。

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改造而成,本设计在前期改造的基础上[9-10],在多功

收稿日期:2015 年 3 月 26 日

能空调热水器中再加入一个变压器,变压器接在室外风冷换热器风机的电压输入口。通过调整变压器输出电压的大小来调节风机的输入电压,改变风机的转速,调节室外换热器的吸热量。通过不同阀门的开闭来改变制冷剂的流动方向,实现各个运行模式的转化,详细的工作原理如图 1 所示。经过改进的多功能空调热水器可在 4 种模式下稳定运行:单独制冷、制冷兼制热水、单独制热、单独制热水。



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 水冷式换热器 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 ⟵制热,制热水 ⟵制冷,制冷兼制热水(注:箭头表示制冷剂的流动方向)

图 1 多功能空调热水器原理图

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

2 实验原理

根据文献[9 – 10]的实验研究可知,在春秋季单独制热水,夏季单独制冷和制冷兼制热水,冬季单独制热及单独制热水模式下,系统均能高效稳定的运行。但在夏季单独制热水时,由于室外环境温度过高,制冷剂在室外吸热量大,引起压缩机排气压力和排气温度过高,电流过大而过载,导致风机保护性停机;而当压缩机排气温度、排气压力以及电流降低到一定程度后,风机又开启,如此循环往复。如果仅通过调节节流阀的开度控制系统的稳定性,不能从根本上解决问题。因为当节流阀开度较小时,压缩机排气温度过高,甚至达到 135 ℃左右,使压缩机因过热保护而停机。影响了压缩机的正常运行,不仅会缩短压缩机的使用寿命,还会使整个系统的 COP 小于 2.5,能效比降低。

为了克服这些不足,本研究在室外换热器风机电压输入口加入变压器,通过改变风机输入电压来调节风机的转速及换热器的吸热量,找到风机不停机保护的临界输出电压。用激光转速表测出风机转速和变压器输出电压的关系,如图 2 所示。

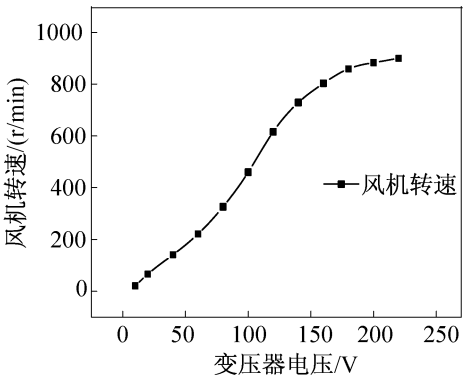


图 2 风机转速与变压器输出电压的关系

Fig. 2 The relationship between fan speed and transformer output voltage

由图 2 可以看出,风机转速与变压器输出电压不是呈正比关系,风机转速随着变压器电压的增大而增大,在电压大于 160 V 时,随着变压器输出电压的增大,风机转速增加的幅度较小。

3 实验结果及分析

文献[9 – 10]表明本系统的最佳制冷剂充注量为 6.5 kg,此时系统在其他几种模式下均能高效稳定运行,只有夏季单独制热水时,由于环境温度较高,风机经常保护性停机,使得系统无法稳定进行。所以本实验着重研究制冷剂充注量为 6.5 kg 时的夏季单独制热水模式,实验中,外界环境温度分别保持 28 ± 1℃和 32 ± 1℃,冷水流量为 3.0 kg/min,水温为 20 ± 1 ℃。

3.1 制热量、耗功与节流阀开度和变压器输出电压之间的关系

当变压器输出电压大时,节流阀在有些开度下,风机会停机保护,使系统无法正常运行。因此设计了不同开度下变压器输出电压由小到大的工况,直到输出电压使风机停机保护为止,此时输出电压为变压器的最大输出电压。系统制热量、耗功与节流阀开度和变压器输出电压的关系如图 3 所示,图中 0 表示节流阀全关,1 代表节流阀全开(下同)。

在夏季制热水模式下,多功能空调相当于热泵,制热量等于室外换热器从空气中吸收的热量与压缩机耗功的总和(风机耗功较小,可略去)。由图 3 可知,系统制热量随着变压器输出电压的增大而增大,耗功变化较小,制热量变化较大,因而系统 COP 也随

着变压器输出电压的增大呈上升趋势。所以找到每个开度下风机能正常运行(不频繁停机)时的变压器对应的最大输出电压,就能得到该开度下系统的最大 COP,再对各个开度的 COP 进行对比,可得夏季单独制热水模式下最佳开度的最大 COP。

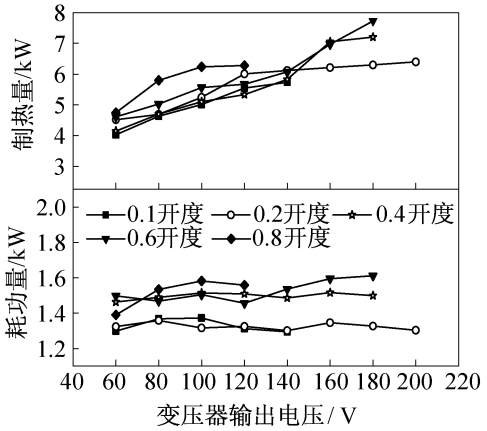


图 3 制热量、耗功量与节流阀开度和变压器输出电压的关系

Fig. 3 The influence of an opening degree of throttle and transformer output voltage on heating capacity and power consumption

3.2 变压器最大输出电压与节流阀开度的关系

实验时,环境温度分别为 28 ±1℃和 32 ±1℃,保持节流阀阀门开度不变,依次找出各开度对应的变压器最大输出电压值,其结果如图 4 所示。

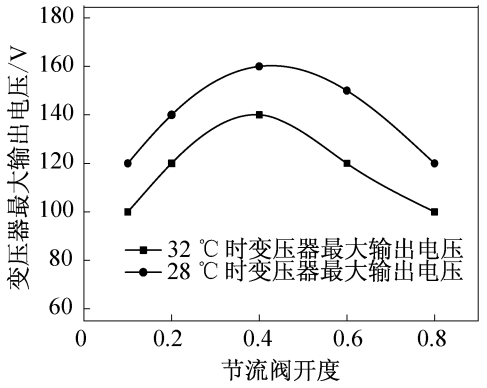


图 4 变压器最大输出电压与节流阀开度的关系

Fig. 4 The relationship between the maximal output voltage of transformer and the opening degree of throttle

由图 4 可以看出,外界环境为 28 ℃和 32 ℃时,系统在保证风机正常运行的情况下,随着节流阀阀门开度的增大,变压器最大输出电压呈现出先增大后减小的变化趋势,变压器最大输出电压值在 140 ~ 160 V 范围内,对应的风机转速为 730 ~ 800 r/min。从图中还可以看出,在节流阀阀门开度为 0.4 时,变压器输出电压达到最大值,且在同一阀门开度下,28 ℃时变压器的临界电压大于 32 ℃时的临界电压。原因在于外界温度越高,制冷剂从外界吸收的热量就越大,压缩机进出口压力、温度就越高,要使系统能够正常稳定的运行,就需要调小变压器的输出电压以减少吸热量。因此,在 32 ℃左右的变压器输出电压要小于 28 ℃左右的变压器输出电压。

3.3 制热量、耗功、COP 与节流阀阀门开度的关系

综上所述,系统在变压器最大输出电压运行时的制热量和能效系数最高。节流阀不同阀门开度时,变压器最大输出电压如图 4 所示,可以找到不同节流阀阀门开度下的最大制热量及能效系数。在各节流阀开度相对应的临界电压点处,制热量、耗功与阀门开度的关系如图 5 所示。

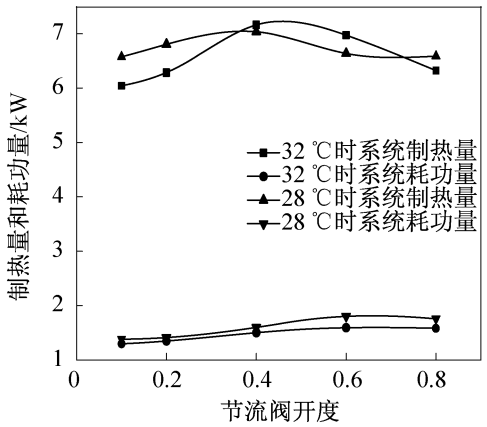


图 5 阀门开度与制热量、耗功量的关系

Fig. 5 The influence of an opening degree of throttle on heating capacity and power consumption

由图 5 可知,随着节流阀开度的增加,制热量呈现出先增大后减小的趋势。当节流阀开度特别小时,由于制冷剂流量不足使得制热量较小,随着节流阀阀门开度的增加,制冷剂流量增大,制冷剂在室外换热器中吸收的热量增大,系统的制热量也增大。由于在不同节流阀阀门开度下,变压器的最大输出电压先增大后减小,随着阀门开度变大,输出电压变小,风机转速降低,室外换热器吸热量减少,系统的制热量也减少。因此开始阶段,制热量随着节流阀开度的增加而增大;节流阀达到一定开度后,制热量会随着节流阀开度的增大而减小。

实验表明,系统耗功量受节流阀阀门开度大小的影响不明显,在不同工况下,通过变压器来改变风机的输入电压,压缩机耗功变化很小,均在 2 kW 以下。系统改进之前,处于夏季单独制热水模式时,在同样

的制冷剂充注量条件下,耗功量大于 2.5 kW,并且随着节流阀开度的增大而增大[9-10]。因为环境温度升高,制冷剂在室外换热器中的传热温差增大,吸热量增多,蒸发压力和蒸发温度升高,压缩机吸排气温度和排气压力升高,耗功增多。在恒定水流量时,热水的出水温度升高,进一步提高了系统的冷凝温度,使压缩机排气压力和排气温度升高,耗功更多。在系统中增加变压器后,能有效控制风机转速,降低室外风冷换热器的吸热量,即使系统在夏季高温下也能稳定运行。二者相比,改进后的系统更稳定。

系统改进之前,环境温度为 32 ℃,制冷剂充注量为 6.5 kg 时,系统 COP 基本不超过 2.5(如图 6 所示,因经常停机保护,有些节流阀开度下无法实验)。改进后的系统在 28 ℃和 32 ℃左右的温度条件下,COP 大部分在 4.0 以上,且具有很好的性能。由图 6 可知,系统 COP 随节流阀开度的增大而先增大后减小,在节流阀开度为 0.4 时,系统 COP 达到最大值,即多功能空调热水器在夏季单独制热水模式下,阀门开度为 0.4,变压器电压为 160 V 时,系统性能最好,COP 最高,达到 4.68。

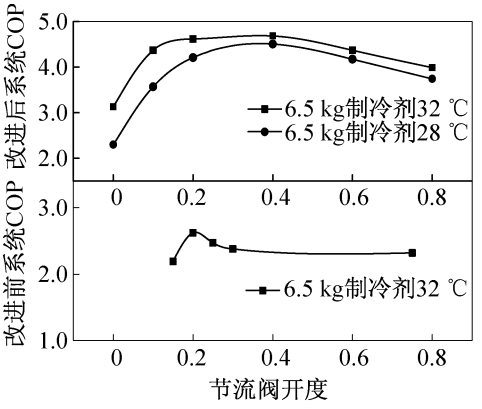


图 6 各节流阀开度下系统 COP

Fig. 6 COP of system under different opening degree of throttle valve

4 结论

多功能空调热水器在夏季高温工况下单独制热水时,室外风冷换热器吸热量过多,致使风机频繁启停,系统无法稳定运行。为解决此问题,本实验在系统室外风冷换热器风机入口加入变压器,调节室外换热器吸热量,并对不同阀门开度下的系统 COP 进行对比,得到以下结论:

1)增加变压器后,解决了高温时压缩机吸排气温度和排气压力过高,压缩机过载保护及室外风机频繁启停的问题,使系统在夏季高温情况下也能高效稳定运行。

2)改进后的多功能空调热水器节能效果显著,夏季单独制热水模式系统 COP 大部分在 4.0 以上,系统性能得到很大改善。

3)改进后的多功能空调热水器夏季单独制热水的最佳工况:环境温度为 32 ℃,节流阀开度为 0.4,变压器输出电压为 160 V,此时系统 COP 达到 4.68。

参考文献

[1] 涂逢祥. 建筑节能[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002: 32-46.

[2] Huang B J, Chyng J P. Integral-type solar-assisted heat pump water heater[J]. Renewable Energy, 1999, 16(1/4): 731-734.

[3] Stuij B. Waste heat recovery heat pumps for buildings: an international overview[J]. IEA Heat Pump Central Newsletter, 1994, 12(9): 12-19.

[4] Chyng J P, Lee C P, Huang B J. Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater[J]. Solar Energy, 2003, 74(1): 33-44.

[5] 朱健文. 多功能热泵空调热水机理论分析与实验研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.

[6] 李舒宏, 武文斌, 张小松. 多功能热泵空调热水器的实验研究[J]. 流体机械, 2005, 33(9): 48-66. (Li Shuhong, Wu Wenbin, Zhang Xiaosong. Experimental investigation on the multi-functional heat pump air conditioner water heater[J]. Fluid Machinery, 2005, 33(9): 48-66.)

[7] 江斌. 多功能热泵热水器与新型冷凝换热器性能的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.

[8] 张欣然. 多功能家用热泵空调器实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

[9] 孙亚娟. 多功能空调热水器的改进及实验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.

[10] 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, Sun Yajuan, Wang Chong, et al. Determination of the optimal refrigerant charge in a new multi-functional air conditioning water heater[J]. Refrigeration Technology, 2013, 33(3): 27-30.)

[11] 顾小刚, 王玉军, 卢谭, 等. 空气源热泵热水机高温工况运行研究与实验[J]. 制冷与空调(北京), 2007, 7(5): 47-49. (Gu Xiaogang, Wang Yujun, Lu Tan, et al. The study and experiment on air-source hot-water heat pump under high temperature working condition[J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2007, 7(5): 47-49.)

[12] 李翔, 张旭, 倪龙, 等. 热泵热水器运行中常见问题分析及改进措施[J]. 建筑科学, 2010, 26(4): 106-109. (Li Xiang, Zhang Xu, Ni Long, et al. Analysis on com-

mon problems of household heat pump water heater during operation period and its improvement measurements[J]. Building Science, 2010, 26(4): 106-109.)

[13] 王善平, 谷波, 韩润虎. 涡旋压缩机在热泵热水器中的应用[J]. 制冷与空调(北京), 2007, 7(5): 78-80. (Wang Shanping, Gu Bo, Han Runhu. Application of scroll compressors to heat pump water heater[J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2007, 7(5): 78-80.)

[14] Gabrielii C, Vamling L. Drop-in replacement of R22 in heat pumps used for district heating-influence of equipment and property limitations[J]. International Journal of Refrigeration, 2001, 24(7): 660-675.

[15] Liebenberg L, Meyer J P. Potential of the zotropic mixtures R22/R142b in high temperature heat pump water heaters with capacity modulation[J]. ASHRAE Trans, 1998, 104(1): 418-429.

[16] 彭继军, 杨昭, 王明涛, 等. 中高温热泵热水器工质的理论及实验研究[C]//中国制冷学会 2007 学术年会论文集. 杭州: 中国制冷学会, 2007: 112-116.

[17] 江乐新, 钟杰. 多功能热泵空调与热水负荷调节的理论分析与试验研究[J]. 制冷学报, 2011, 32(4): 39-42. (Jiang Lexin, Zhong Jie. The theoretical analysis and experimental study of multi-funtion heat pump in regulating load of hot water and air-conditioning[J]. Journal of Refrigeration, 2011, 32(4): 39-42.)

[18] 王海峰, 张冲, 李聪慧. 空调储液节流经济器及其空调设备: 中国, 2011102513643[P]. 2013-03-06.

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 54 页)

[13] 吴业正, 韩宝琦. 制冷原理及设备[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1997.

[14] 初勤亭, 张萍. 基于 PLC 的电子膨胀阀模糊参数自整定控制[J]. 自动化技术与应用, 2008, 27(7): 17-20. (Chu Qinting, Zhang Ping. PLC-based parameter adaptive fuzzy control for electronic expansion valve[J]. Techniques of Automation and Applications, 2008, 27(7): 17-20.)

[15] 合肥通用机械研究院. GB/T19409—2013 水(地)源热泵机组国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

[16] 中国家用电器研究院. GB/T23137—2008 家用和类似用途的热泵热水器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[17] 全国冷冻空调设备标准化技术委员会. GB/T21362—2008 商业或工业用及类似用途的热泵热水机[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

通信作者简介

孙坤, 男, 在读硕士研究生, 上海理工大学环境与建筑学院, 18301976852, E-mail: skhndc@163.com。研究方向: 太阳能, 室内空气净化。

About the corresponding author

Sun Kun, male, master degree candidate, School of Environment & Architecture, University of Shanghai for Science & Technology, +86 18301976852, E-mail: skhndc@163.com. Research fields: solar, indoor air purification.