

快速启动式空气源热泵空调 热水器性能实验^{*}

哈尔滨工业大学 张欣然[☆] 董建锴 姜益强[△]
中铁第一勘察设计院集团有限公司 沈德安

摘要 针对现有空气源热泵热水器启动慢的问题,提出了快速启动式系统,并搭建了实验台。分析了现有系统启动慢的原因,介绍了快速启动式系统的原理及测试系统。测试数据表明,该快速启动式系统可以把启动时间缩短至 4 min,系统制热水加制冷综合 COP 平均可达 7.2。

关键词 空气源热泵 热水器 生活热水 快速启动 性能系数 实验

Experimental study on performance of quick starting air-source heat pump with domestic water heater

By Zhang Xinran[★], Dong Jiankai, Jiang Yiqiang and Shen Dean

Abstract In order to solve the problem of slow starting of air-source heat pump water heater, puts forward the quick starting system and develops the test bed. Analyses the cause of slow starting, and presents the principle of quick starting system and testing system. Measured data show that the launching time can be shortened to 4 min, and overall COP can be improved to 7.2.

Keywords air-source heat pump, water heater, domestic hot water, quick starting, COP, experiment

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

0 引言

截至 2011 年底,夏季空调能耗已经占建筑总能耗的 10%,空调系统能耗已成为居住建筑的主要能耗之一。而我国城镇住宅生活热水总能耗为 1 453 万 t 标准煤,约为 1996 年的 9 倍,占住宅总能耗的 9.5%^[1],已经成为继室内供暖空调能耗之后的第二大能耗。

家庭生活热水主要用于日常的洗漱、淋浴和洗涤等,这些生活热水的需求温度一般在 45℃ 左右,而空调制冷剂在压缩机出口的温度一般都高于这个温度。因此,在夏季回收室外机冷凝热加热生活热水,在冬季和过渡季利用热泵的节能性加热生活热水综合系统,既节能环保又能提高系统的利用率和运行性能,还将节省大量运行费用。

国内外已经有很多人针对此技术原理展开研究。但研究重点都集中在热回收技术对系统性能的影响上,主要采用实验和计算机模拟 2 种方法。通过实验方法来测试系统性能,其研究内容主要集中在这种热回收机组的稳态特性,即研究系统制冷量、耗功、COP 及供热量等^[2-3]。数值模拟主要通过建立压缩机、蒸发器、冷凝器及蓄热水箱等主要设备的数学模型,在实验研究的基础上,进一步对整个热回收系统性能进行模拟,并同一些常规系统进行对比研究等^[4-5]。

国内对于家用空调冷凝热回收的研究起步较晚,但近几年发展较快。国内很多高校对此技术都

①☆ 张欣然,女,1988 年 11 月生,在读硕士研究生

△ 姜益强(通信作者)

150009 哈尔滨工业大学市政环境工程学院 1306

(0451) 86282123

E-mail: jyyq7245@163.com

收稿日期:2013-11-05

进行了实验和模拟研究^[6-12]。目前,家用空调冷凝热回收装置主要分为并联式和串联式2种,串联式系统存在启动慢的问题,而并联式系统相对复杂,且无法实现制热兼制热水的功能。

虽然研究很多,但是侧重于系统的可行性论证和整体稳态性能及经济性等方面,对于系统的启动动态特性研究至今还不深入。同时,对于串联式系统启动慢的问题,一直没有相关解决办法和控制策略。

本文主要针对制冷兼制热水模式下系统启动慢的问题进行了研究,分析了串联式系统启动慢的原因,研究了解决方案并改进了试验样机。根据测试数据给出了新系统的控制策略并分析了系统的启动性能。

1 系统原理

1.1 系统启动慢原因分析

串联式系统,即板式换热器与室外机串联,在夏季工况制冷兼制热水模式下,系统刚开始运行时,不开风机,制冷剂只在板式换热器内冷凝放热。由于板式换热器比风冷冷凝器具有更强的换热能力,这使得系统的过冷度加大,冷凝效果好,制冷剂气液比减小,从而流经室外机冷凝器的制冷剂压力降低,致使部分制冷剂滞留在室外机中,导致压缩机吸气压力变低,易造成系统的低压保护,系统启动慢,甚至使系统无法正常工作。若采用控制水泵启停的方法(当吸气温度降低到5℃以下时,关闭水泵),可以保证系统正常运行,但是会降低系统的制热水功率,从而降低系统综合COP,使系统由制冷兼制热水变成了单纯的制冷,无法体现系统优势。

系统综合COP计算方法见式(1)。

$$COP_c = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_3} \quad (1)$$

式中 COP_c 为系统综合COP; Q_1 为制冷量, kW; Q_2 为热水负荷, kW; Q_3 为系统的耗电量, kW。

1.2 快速启动式系统原理

为防止室外机冷凝器积液,保证系统快速启动和正常运行,进行了如下改进。

旁通室外机冷凝器,并增加一路由室外机冷凝器直接引回气液分离器的管路,上面连接有止回阀和毛细管。

系统原理如图1所示。

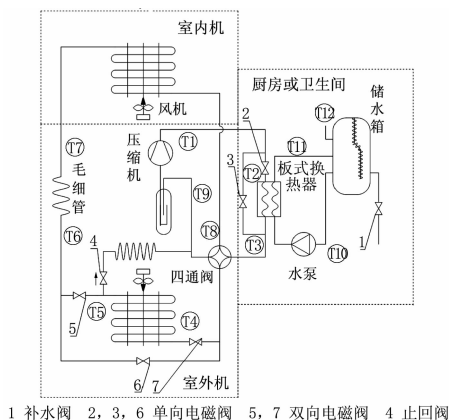


图1 系统原理图

在系统刚开始运行时,水温较低,温控开关自动控制旁通室外机冷凝器,且室外风机不运行。从压缩机出来的高温高压制冷剂经过板式换热器冷凝放热,水吸热温度升高。制冷剂经过四通换向阀和旁通管,与节流装置(毛细管)相连,不通过室外机冷凝器,直接进入室内机与室内空气换热,蒸发吸热,最后经过气液分离器回到压缩机。水被加热后储存在储水式热水箱中,由水泵控制循环水的流量,洗澡时开启补水。同时,如有滞留在室外机冷凝器中的制冷剂,则可沿新增管路直接流回压缩机。

当水温达到一定值(具体温度将在控制策略中讨论)时,板式换热器中的水不能完全吸收空调的冷凝热,这时电磁阀由温控器控制,取消旁通,制冷剂流经室外机冷凝器继续放热,风机也自动开启。多余的冷凝热释放到室外空气中,保证系统能连续稳定地运行。在热水制取完毕,达到生活热水温度要求后,可关闭循环水泵,节约能源。此时系统相当于普通的风冷式空调,完成了从制冷兼制热水模式到单独制冷模式的转换,使系统可以长时间稳定运行,不受单一模式的限制。

系统各部件及布置如图2所示。

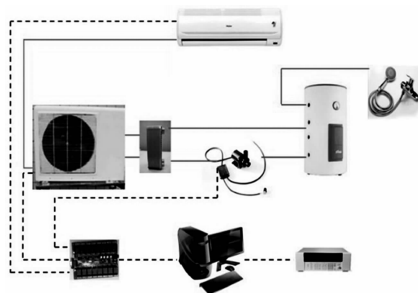


图2 系统设备布置图

1.3 快速启动式系统介绍

系统采用功率为 882 W(1.2 hp)的家用空调器,搭配 100 L 储水式电热水箱。根据匹配计算,选用 0.3 m² 板式换热器和流量 0~10 L/min 的无极直流变频水泵。温度及压力数据由 Agilent 34980A 数据采集仪采集。温控器型号为 LC-220A+。

温度测点主要布置在压缩机吸、排气口,水箱出、入水口,室内机和室外机的出风口和进风口等。具体测点布置如图 1 所示。采用 Pt1000 温度传感器,精度为 ±0.2 °C。试验样机耗电使用 EDA9133A 综合电力监控模块进行测量,精度为 1 级。水流量测点布置在水泵之前,精度为 0.01 L/s。

2 实验数据分析

2.1 系统控制策略(见表 1)

表 1 系统控制策略			
	37 °C 以下	37~48 °C	48 °C 以上
室内风机	开	开	开
室外风机	关	关	开
室外机冷凝器	旁通	旁通	取消旁通
水泵	关	开	开

当压缩机排气温度低于 37 °C,吸气温度低于 5 °C 时,系统综合 COP 明显降低。而压缩机温度高于 48 °C 时,系统功耗明显增大,而且热水温度已经满足普通生活热水要求的 45 °C。为方便控制,都取排气温度为控制温度。

2.2 系统性能分析

不加旁通的串联式系统综合 COP 如图 3 所示。最高水温达到 45 °C 时视为实验结束,总用时

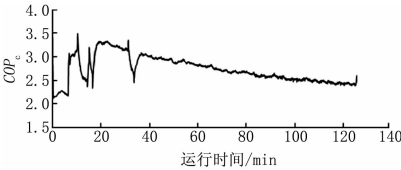


图 3 普通系统综合 COP

128.5 min。前 40 min,系统较为不稳定,为启动段,40 min 之后运行平稳。总制热水平平均功率为 1.27 kW,其中水泵流量为 0.1 L/s。系统制热水加制冷综合 COP 平均只有 2.73。这是由于制冷剂大量滞留在室外机冷凝器中,导致循环工作的制冷剂不足,系统一直处于低效运行状态。为保证系统不低压保护,水泵大部分时间都没有开启,这使得制热水功率比较低,也影响了系统综合 COP。

按照上述改进措施和控制策略完成的系统,其压缩机吸、排气温度和水箱平均温度如图 4 所示。

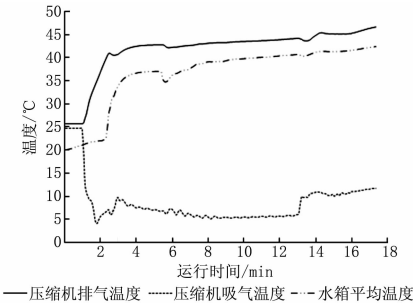


图 4 温度随时间的变化

到室外风机第一次开启,即压缩机出口温度达到 48 °C 时,系统总共运行 18 min。前面 4 min 为启动段,4 min 之后系统基本运行稳定。相比于普通热泵空调热水系统,启动段所用时间大大缩短。而在稳定段,压缩机排气温度在 40 °C 以上,吸气温度基本稳定在 6 °C 左右。当水箱平均温度在 25~35 °C 时,水温上升迅速。

新系统综合 COP 如图 5 所示。制热水平平均功

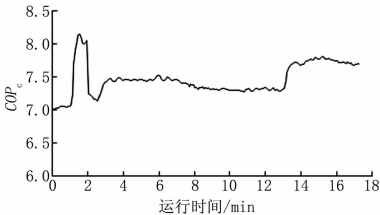


图 5 新系统综合 COP

率可达到 6.9 kW,系统制热水加制冷综合 COP 平均可达到 7.2。由图 4,5 可知,水箱平均温度在 25~35 °C 时,水温上升迅速,系统综合 COP 值也明显提高,说明在水温 25~35 °C 时,系统效率较高。当水箱平均温度上升到 40 °C 以上时,随着水温升高,系统综合 COP 缓慢下降。

室内机送风温度变化如图 6 所示。系统运行稳定后室内送风温度基本维持在 16~18 °C。结合

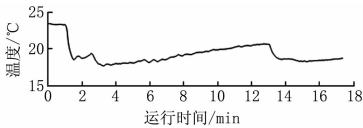


图 6 室内机送风温度

图 4,5,6 可以看出,当水箱平均温度上升到 40 °C 以上时,随着水温升高,系统综合 COP 缓慢下降,室内机平均送风温度也缓慢升高,最高达到 20 °C。这说明,水温过高,制冷剂在板式换热器中不能完

全冷凝,这时若不取消旁通,开启室外风机,会对室内机送风温度造成一定的影响,从而影响室内舒适和制冷效果。但为了尽可能提升水温,也不能过早取消旁通。所以何时取消旁通,除了考虑耗电功率外,还要综合考虑室内机送风温度和水温,否则会影响制冷效果或增加制取热水的时间。只要采用合理的控制策略,使室内机送风温度在合理范围内波动,完全可以在不影响室内舒适度的情况下,尽可能快速制取生活热水。

3 结论

3.1 使用温控器实现系统自动控制,并给出了系统的控制策略。

3.2 快速启动式系统启动时间能缩短至 4 min,能快速制取生活热水并保证室内空调制冷效果。

3.3 系统制热水加制冷综合 COP 平均可达 7.2,市场应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2013[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2013:40-64
- [2] Lee A H W, Jones J W. Performance data for a desuper heater integrated to a thermal energy storage system[J]. Energy Engineering, 1995, 92(4):6-25
- [3] Chaiwongsa P, Duangthongsuk W. Hot water making potential using of a conventional air-conditioner as an air-water heat pump[J]. Procedia Engineering, 2011(8): 165-170
- [4] Bong T Y, Hawlader M N A, Mahmood W. The

prospect of incorporating desuperheaters to room air-conditioners for tropical application[G]//ASHRAE Trans, 1988, 94 (1): 340-349

- [5] Toh K C, Chan S K. Thermosiphon heat recovery from an air-conditioner for a domestic hot water system[G]//ASHRAE Trans, 1993, 99 (1): 259-246
- [6] Shi W X, Shao S Q, Wang B L. Thermodynamics analysis and thermoeconomics evaluation on heat recovery inverter air cooling heat pump with domestic hot water[C]//7th International Energy Agency Conference on Heat Pump Technologies, 2002
- [7] 季杰,裴刚,何伟,等. 空调热水器一体机制冷兼制热水模式的性能模拟和实验分析[J]. 暖通空调, 2003, 33(2):19-23
- [8] 王洪磊. 带热水供应的热泵空调器实验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2011
- [9] 江乐新,钟杰. 空调热水一体机制冷兼制热水模式运行控制策略的研究[J]. 制冷与空调, 2011, 11(5): 47-49
- [10] 周聪,叶倩,陈剑波. 空调热水一体机单独制热水性能实验及优化运行研究[J]. 建筑科学, 2010(4): 52-56
- [11] 周建勇. 复合冷凝/蒸发四功能热泵热水空调机组性能研究[D]. 长沙:湖南大学, 2010
- [12] 俞乔力,金从卓,魏超,等. 采用吸气管过热度调节的户式空气源采暖空调热水三用机[J]. 制冷与空调, 2011, 11(6):17-20