

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.02.014

水流量对热泵热水器性能影响的实验研究

袁朝阳¹, 陶乐仁¹, 虞中旸¹, 谷志攀^{1,2}

(1. 上海理工大学 能源与动力学院, 上海 200093; 2. 嘉兴学院 建筑工程学院, 浙江 嘉兴 314001)

摘要:针对空气源热泵热水器运行工况多变,制热效率不稳定的特点,设计了循环加热式热泵热水器实验装置,系统由制冷剂循环和水循环两部分构成,重点研究了水流量对系统性能的影响。实验结果表明:逐时能效比随水温的升高而下降,加热前期水流量越大能效比越低,加热后期刚好相反;水流量越小系统越容易吸气带液,吸气带液会使制热量降低,能效比下降速率增大,导致系统性能变差;吸气带液时,制冷剂流量减小,换热系数增大,与换热系数相比制冷剂流量对制热量的影响更大。该结果为系统实际运行和进一步研究提供参考。

关键词:空气源热泵热水器;变制冷剂流量;水流量;能效比

中图分类号:TB657.5

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2018)02-0073-04

Experimental Research and Analysis of Effect of Water Flow on Performance of Heat Pump Water Heater

YUAN Zhaoyang¹, TAO Leren¹, YU Zhongyang¹, GU Zhipan^{1,2}

(1. School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. College of Civil Engineering & Architecture, Jiaxing University, Jiaxing, Zhejiang 314001, China)

Abstract: In view of the changeable operating conditions and unstable heat efficiency of air source heat pump water heater, a circulating heat pump water heater experiment device composed of refrigerant circulation and water cycle was utilized to study the effect of water flow rate on system performance. The results show that COP decreases with the increase of water temperature. In the early stage of heating, higher the water flow, lower the COP, but the latter period was opposite. The system with small water flow rate is easy to cause liquid refrigerant sucked in, which lead to the heat decrease, the descent rate of COP rise and the worse performance of the system. When compressor suck with few liquid, the refrigerant flow rate decreases and the heat transfer coefficient increases. Compared with the heat transfer coefficient, the refrigerant flow rate has more effect on the heat generation. The results provide reference for the practical operation and further study of the system.

Keywords: air source heat pump water heater; variable refrigerant flow rate system; water flow rate; COP (coefficient of performance)

储热式空气源热泵热水器可消耗少量电能把空气中的废热搬运到要加热的对象中,相比纯粹的电加热或者用气体燃料加热更加经济实惠。由于其加热时间长,影响因素多而系统制热效率不稳定,所以了解其运行参数在实际使用中的变化规律对用户和生产厂家都

极为重要。

水作为热量载体,其流量变化对系统制热性能的影响较大,因此一直是人们重点研究的对象。其中车敏等^[1]模拟研究了即热式热泵热水器的性能,认为水流量大于某一特定值时,热水输出率并不会因水流量

收稿日期:2017-08-10;修回日期:2017-11-30

基金项目:上海动力工程多相流动与传热重点实验室(13DZ2260900);2015年住房和城乡建设部科学技术计划项目(2015-K7-026);2016嘉兴市科技计划项目(2016AY13019)。

第一作者简介:袁朝阳(1992),男,河南信阳人,硕士,主要研究方向为制冷循环系统的优化。通信作者:陶乐仁(1962),男,江苏常熟人,教授,主要研究方向为制冷及低温技术。E-mail:cryo307@usst.edu.cn

的增大而产生大的波动。杜诗民等^[2]对小型水冷式CO₂热泵热水器进行了实验研究,得出系统整体性能随气冷器中冷却水流量的增加而升高的结论。蒋绿林等^[3]对空气源热泵热水器在不同水流量下进行了实验研究,结果表明加热初期设置为小水流量可提高能效比和制热量,但在加热后期恰恰相反。向勇涛等^[4]以水源热泵热水器为研究对象,研究了水流量变化对能效比的影响。实验数据表明,能效比随着加热的进行呈先增大后减小的变化趋势,整个加热过程中能效比随水流量的变化规律并不固定,各水流量的能效比曲线存在交叉区间,但文章并未对其进行重点分析讨论。由于目前研究的结果^[5-8]多集中于对实验现象的阐述,而未对现象产生的机理进行深入的剖析,因此有必要进行深入的研究。笔者在早期研究的基础上,搭建了一台以电子膨胀阀为节流装置的空气源热泵热水器实验台,研究水流量变化对系统性能的影响,以期找寻其对系统的影响规律,分析变化机理,为系统实际运行和进一步研究提供参考。

1 实验原理与方法

1.1 实验装置简介

图1所示为循环加热式热泵热水器实验装置,系统分制冷剂循环和水循环2部分。

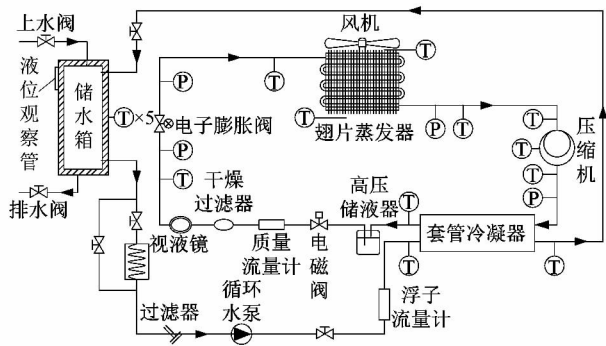


图1 实验装置原理图

Figure 1 Experimental installation schematic diagram

制冷剂侧由压缩机、质量流量计、翅片蒸发器、套管冷凝器、电子膨胀阀、高压储液器、电磁阀、过滤器及视液镜等组成。系统使用R134a为制冷剂。压缩机为热泵专用滚动转子式压缩机,定频50 Hz,吸气口自带气液分离器。质量流量 q_m 由科氏力质量流量计测量得到。蒸发器为风冷的翅片管式换热器。冷凝器为逆流套管换热器。电子膨胀阀为直动式电子膨胀阀,可手动调节步进电机控制器改变膨胀阀开度。

水侧由循环水泵、电加热箱、浮子流量计、套管冷

凝器及储水箱组成闭式回路。循环水泵可调流量3~11 L/min。电加热箱可调节初始水温,设定实验工况。浮子流量计可测循环水流量 q_v ,量程1.8~18.0 L/min。储水箱体积100 L,为热水器专用保温承压水箱,自带液位观察管和5个测温孔。

数据采集系统使用智能数显功率表测量压缩机、循环水泵和风机的总耗功 W_t 。压力变送器测量蒸发器出口压力 p_e 和冷凝器出口压力 p_c 。Pt100铂电阻测量冷凝器出口制冷剂温度 $T_{c,out}$ 、压缩机排气温度 T_{dis} 、压缩机吸气温度 T_{suc} 和水箱内5个测温点温度。P、T分别为压力和温度测点,具体布置位置见图1。

1.2 实验方法

通过电加热器将初始水温 $T_{w,set}$ 设定在20℃,系统运行目标水温 $T_{w,end}$ 取55℃。其中,初始水温与目标水温均以水箱内5个测点温度的平均值为准。电子膨胀阀开度设置为16%。蒸发器入风温度为环境室温,控制在15℃。调节水泵功率,使水流量分别为5, 7, 9, 11 L/min,开始实验并记录数据。

1.3 计算公式

实验中可测得压缩机吸气温度 T_{suc} ,排气温度 T_{dis} ,阀前温度 T_v ,进口水温 $T_{w,in}$,出口水温 $T_{w,out}$,出口制冷剂温度 $T_{c,out}$,制冷剂质量流量 q_m ,蒸发压力 p_e ,系统耗功 W_t 等数据。并由Refprop 9.0软件得到蒸发温度 T_e ,排气焓值 h_d 和阀前焓值 h_v ,然后通过计算可得到以下参数:

压缩机吸气过热度

$$T_{sh} = T_{suc} - T_e;$$

系统制热量

$$Q_h = q_m (h_d - h_v);$$

逐时能效比

$$C_{COP} = Q_h / W_t;$$

冷凝器出口制冷剂 and 进口水温差

$$\Delta t_1 = T_{c,out} - T_{w,in};$$

冷凝器进口制冷剂 and 出口水温差

$$\Delta t_2 = T_{dis} - T_{w,out};$$

冷凝器平均换热温差

$$\Delta t_m = (\Delta t_2 - \Delta t_1) / \ln (\Delta t_2 / \Delta t_1);$$

冷凝器总换热系数

$$K = Q_h / (A \cdot \Delta t_m).$$

式中, A 为冷凝器换热面积,为0.16 m²。

2 实验结果与分析

由图2可知,随水箱温度的升高,能效比整体皆呈下降趋势,但其下降速率有着明显差异,曲线在加热过

程中出现交叉。加热前期,水流量越大能效比越低,随着加热的进行,加热至后期时水流量越大能效比反而越高。

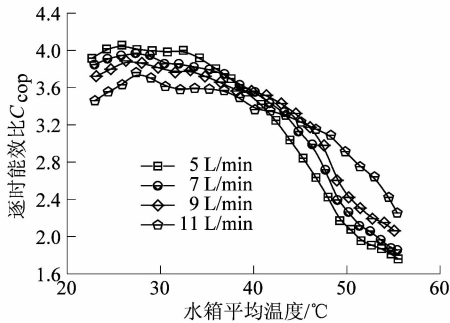


图2 水流量对能效比的影响

Figure 2 Effect of water flow rate on C_{COP}

图3所示为水流量对制热量的影响趋势,从图中可看出,制热量呈先增大后减小的趋势,与能效比相似亦有交叉区间,各水流量下制热量均有最大值。

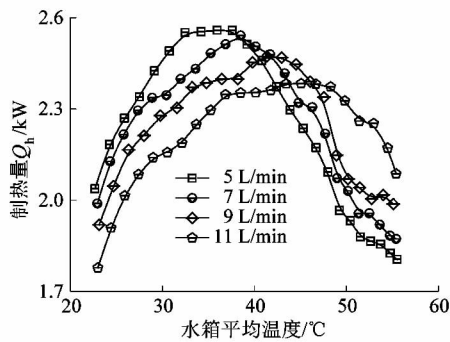


图3 水流量对制热量的影响

Figure 3 Effect of water flow rate on heating capacity

图4所示为水流量对过热度的影响曲线。结合图3发现,制热量的下降顺序与过热度降至0 K的顺序相对应。图4中,过热度均在水箱温度加热至45℃时降至0 K,压缩机此后在吸气带液中运行。水流量越大,过热度到达0 K时的水温越高。这是因为,增大水流量降低了水的进出口温差,使冷凝压力减小,进而蒸发压力减小,导致换热器中制冷剂与空气的换热温差增大,从而提升了压缩机的吸气过热度。

制热量的大小与制冷剂流量有关,由图5所示可知,制冷剂流量亦先增大后减小。相同水温,过热度越低,制冷剂流量越大。制冷剂的减小是受到0 K过热度的影响,但其下降点靠后于过热度降至0 K时的点。分析原因可知,压缩机吸气过热度时,随水温的升高,制冷剂流量因吸排气压比的增大而增大,如图6所示;

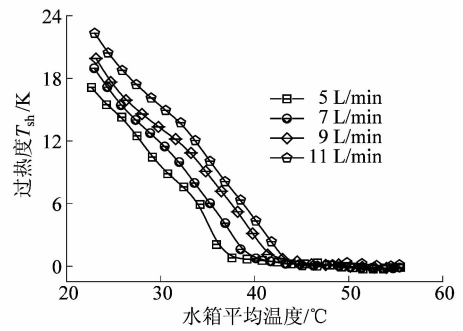


图4 水流量对过热度的影响

Figure 4 Effect of water flow rate on superheat

加热到吸气带液时,开始仅有少量液态制冷剂进入压缩机,其可在短时间内吸收机体耗散的热量 and 高温气态制冷剂的热量而迅速蒸发,此时制冷剂流量仍在上升,待吸气带液持续一段时间后,增多的液态制冷剂未能迅速蒸发而被回收至气液分离器内,制冷剂流量减小。同时,吸气带液增大了压缩机膨胀比体积,降低了容积效率和等熵压缩效率^[9-10],从图7可看出系统耗功也在增大。以上原因致使水温加热至后期时,水流量越小,压缩机吸气带液程度越大,逐时能效比越小。

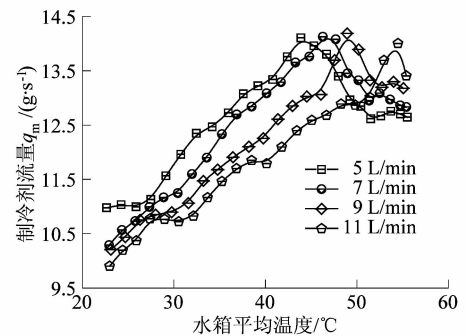


图5 水流量对制冷剂流量的影响

Figure 5 Effect of water flow rate on refrigerant flow rate

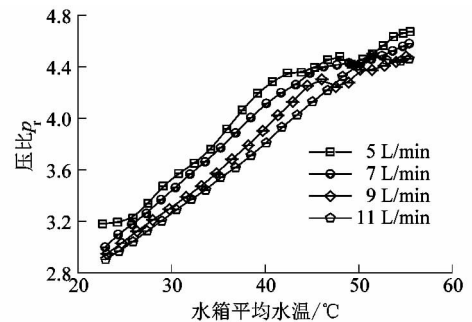


图6 水流量对压比的影响

Figure 6 Effect of water flow rate on pressure ratio

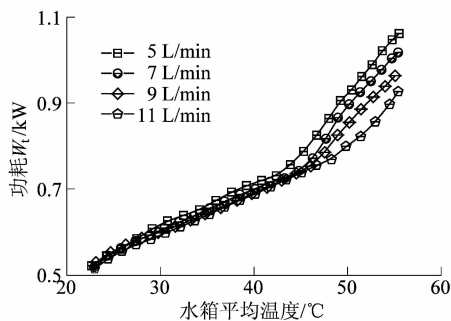


图7 水流量对耗功的影响

Figure 7 Effect of water flow rate on power consumption

图8所示为不同水流量下冷凝器换热系数的变化曲线,吸气过热时的换热系数基本不变,吸气带液时换热系数迅速升高,这是因吸气带液降低排气温度,减小排气过热度所致。对比图3和图5可知,换热系数虽升高但制热量下降,说明制热量与制冷剂流量相比,换热系数对制热量的影响偏小。

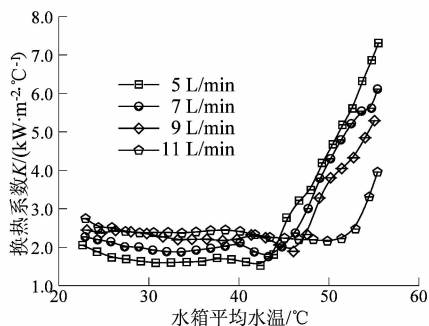


图8 水流量对换热系数的影响

Figure 8 Effect of water flow rate on heat transfer coefficient

结合以上结论分析系统性能可知,对于同一水流量,开始加热后,系统耗功随压缩机吸排气压比的增大而增大,但由于制冷剂流量的变大,系统制热量亦随之增大,所以能效比的下降趋势较为平缓;随着加热的进行,吸气口制冷剂无过热度后,压缩机开始吸气带液,冷凝器换热焓差减小,制冷剂流量下降,制热量减小,能效比下降趋势增大。

对于不同水流量,吸气过热时,水流量越大吸排气压比越小,制冷剂流量和制热量也越小,所以水流量越大能效比越小;吸气带液时,水流量越大能效比受其影响的时间越短,因此吸气带液时水流量越大逐时能效比越大。

3 结论

笔者以空气源热泵热水器为实验研究对象,通过改变水流量,研究了水流量变化对空气源热泵热水器系统性能的影响,得出以下结论:

1) 随水温的升高,逐时能效比逐渐下降。加热前期,水流量越大能效比越低,加热后期水流量越大能效比反而越高。

2) 水流量越小系统越容易吸气带液,吸气带液使制热量降低,能效比下降速率增大,系统性能变差。

3) 吸气带液时制冷剂流量降低,换热系数增大,但制热量依然降低,此时制热量主要受制冷剂流量的影响。

参考文献:

- [1] 车敏,张江涛,王子龙,等. 即热式热泵热水器水箱进水装置研制[J]. 制冷与空调,2016,16(9):21-25.
- [2] 杜诗民,刘业凤,蔡操平,等. 小型水冷式跨临界CO₂热泵热水器试验分析[J]. 流体机械,2015,43(6):61-65.
- [3] 蒋绿林,张晔. 空气源热泵热水器实验研究[J]. 江苏工业学院学报,2009,21(1):57-59.
- [4] 向勇涛,党相兵,解苗苗,等. 水源热泵热水器实验研究[J]. 能源研究与信息,2014,30(1):48-51.
- [5] 雷明镜,张华,车敏,等. 即热式空气源变频热泵热水系统性能的试验研究[J]. 流体机械,2015,43(10):61-66.
- [6] 王超,陶乐仁,申玲,等. 空气源热泵热水器系统性能优化研究[J]. 轻工机械,2016,34(5):85-89.
- [7] 仝高强,朱兴旺,苏宇贵,等. 循环加热污水源热泵热水器运行性能的试验研究[J]. 流体机械,2014,42(5):71-73.
- [8] 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.
- [9] 朱立. 制冷压缩机[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
- [10] 王乐民,陶乐仁,杨丽辉. 转子式压缩机吸气带液时排气状态的变化[J]. 能源研究与信息,2015,31(3):131-135.