

文章编号: 0253-4339(2009)01-0035-04

两级压缩空气源热泵热水器实验研究

武文彬¹ 王 伟² 金苏敏¹ 汤新敏¹

(1 南京工业大学能源学院 南京 210096; 2 烟台大学海洋学院 烟台 264005)

摘 要 空气源热泵热水器是一种消耗少量电能驱动热泵从空气中吸取热量加热热水的装置,但普通单级空气源热泵热水器在低温环境下运行中存在压缩比过大、制热量不足和制热效率低等问题。采用两级压缩制冷循环用于空气源热泵热水器,则可以解决空气源热泵热水器低温适应性的问题。设计出具有单双级两种循环模式的两级压缩空气源热泵热水器系统,并搭建了实验台进行了实验研究。实验表明:低温环境下,双级压缩循环压缩比低于普通单级压缩循环压缩比;系统制热量始终大于单级压缩循环制热量;系统能效比(COP)在-20℃环境温度下依然能够保持在1.5左右。

关键词 热工学;空气源热泵;两级压缩;热水器

中图分类号: TB651; TB63⁺2; TU831.4

文献标识码: A

Experiment on Two-stage Compression Air-source Heat Pump Water Heater

Wu Wenbin¹ Wang Wei² Jin Sumin¹ Tang Xinmin¹

(1.College of Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing, 210096, China; 2.School of Ocean, Yantai University, Yantai, 264005, China)

Abstract The two-stage compression refrigeration cycle was adopted in air-source heat pumps(ASHP) to improve the feasibility of ASHP at low ambient temperature. An air-source heat pump water heater with both modes of single-stage and two-stage compression cycles was designed and a test rig was built up. The experimental results show that the compression ratio in the two-stage compression cycle mode was smaller than that in the single-stage compression cycle mode while the heating ability of the pump with the two-stage compression cycle mode was higher at low ambient temperature. The COP of the two-stage compression system could reach about 1.5 when the ambient temperature was -20℃.

Keywords Pyrology; Air-source heat pump; Two-stage compression; Water heater

热泵是通过消耗一部分高品质的能量把热量从低温热源转移到高温热源中的一种装置。空气源热泵以空气为低温热源,能从空气中汲取低品位能,与其他制热方式相比效率高、使用方便、没有污染。空气源热泵热水系统能够在我国的长江中下游、华南及西南等地区得到较好的应用。但是低温条件下,普通空气源热泵热水系统运行性能受到很大影响,主要表现在以下几个方面:

1)随着环境温度的降低,普通空气源热泵系统蒸发温度降低,在冷凝温度(或冷凝压力)不变的情况下,压缩机压缩比增大,超出了普通单级压缩系统正常运行的临界值(根据资料,容积式压缩机临界值一般取8~10),压缩效率降低^[1]。

2)普通空气源热泵在低温环境下工作时,系统蒸发温度降低,压缩机吸气比容增大,输气系数

减小,以致制热量减少,系统制热性能系数下降,经济性降低。

3)当环境温度降至零摄氏度以下,蒸发温度过低时,压缩机压缩比增大引起排气温度过高,超过压缩机允许的工作范围,致使压缩机频繁起停,系统无法正常工作,严重时会导致压缩机烧毁。

鉴于以上几个问题,许多研究人员也对此进行了诸多研究,以解决空气源热泵在低温工况下的适应性问题,主要有以下几个方向^[2~9]:加辅助热源来提高低温端的各项性能;通过两级压缩、准二级压缩、或复叠循环来降低压缩机压缩比;用电加热气液分离器及其到压缩机间的吸气管路来提高蒸发温度;使用新制冷剂(比如非共沸制冷剂)来改善热泵系统低温环境下的制热性能。通常情况下两级压缩系统,可以解决低温工况下压缩机压缩比过

大的问题,同时两级系统的中间冷却器循环可以提高高压级的工质质量流量,从而提高系统制热量。

1 实验装置及测试系统

研究两级压缩空气源热泵热水器的初衷,是要突破普通热泵热水器在低温环境下的应用限制,扩大热泵热水器的应用空间,以提高各地方制热过程的节能环保性能。所以,在进行试验设计的时候,在分析综合系统性能的同时,尤其要重点考察两级压缩空气源热泵热水器在低温工况下的可行性,及其与普通单级压缩热泵循环性能的对比。

参照两级节流中间不完全冷却循环方式原理,并根据实验室条件和试验内容的实际情况,构建出了两级压缩空气源热泵热水器系统试验台,流程如图1所示:

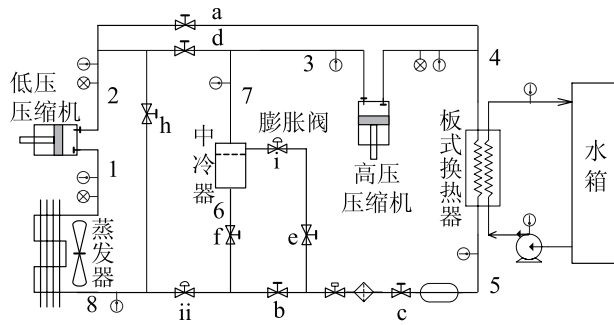


图1 两级压缩热泵热水器系统试验台流程图
Fig.1 Flow chart of the two-stage heat pump water heater test device

两级压缩热泵热水器系统主要由高低压级压缩机、室外蒸发器、室内冷凝器、中间冷却器、节流装置和多个电磁阀等部件构成。根据环境温度的变化,阀门动作,实现系统可切换的两种工作模式:

1) 环境温度比较低,需要大温差提升热量时的工作模式:电磁阀c、d、e、f开启,a、b、h关闭,设备为两级压缩中间冷却循环系统向水箱提供热量,使得水箱与环境温差可以达到50~80℃,高低压级压缩机同时工作。

2) 环境温度比较高,不需要大温差提升热量时的工作模式:电磁阀a、b、c开启,d、e、f、h关闭,设备为普通单级压缩循环系统向水箱提供热量,可以将水温水箱提至环境温差30~50℃,其中两台压缩机只有一台工作即可。

试验台所使用的主要仪器设备见表1。

表1 系统主要仪器设备表

Tab.1 The main equipment and instrument of test system

设备名称	设备类型	设备名称	设备类型
压缩机	活塞式	节流装置	热力膨胀阀
蒸发器	翅片管式	制冷剂	R134a
冷凝器	板式	数据采集装置	Agilent 34970A

2 实验结果分析

应用此热泵热水器试验台,进行一系列不同工况下的单双级循环系统运行特性的对比试验研究,分析探讨了双级压缩空气源热泵热水器系统运行性能,并重点考察其低温工况下的运行性能。

2.1 系统压缩比

如图2所示,50℃冷凝温度下,蒸发温度由-8℃降至-24℃,双级压缩循环系统的高低压两级压缩机压缩比均在4以下,而在该工况范围内,普通单级压缩循环系统的压缩比最小值也高于6,而最大值已接近12。由此可见,两级压缩循环系统很好地解决了低温工况下热泵热水器制热时系统压缩比过高的问题。

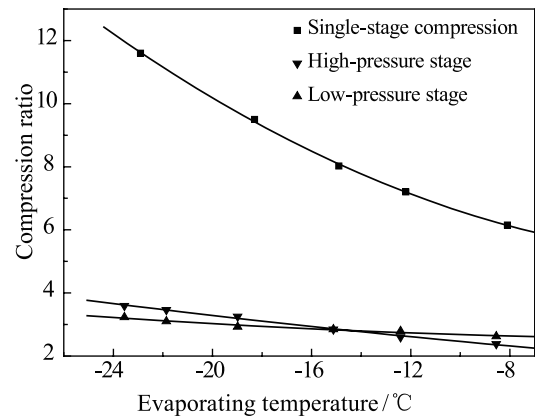


图2 冷凝温度50℃下单双级循环压缩比比较
Fig.2 Comparison of compression ratio

2.2 压缩机系统排气温度

试验系统制冷剂选用的是高温制冷剂R134a,由图3中曲线可以看出,高压端排气温度随冷凝温度的升高而升高,随蒸发温度的降低而升高,而且随着蒸发温度的降低排气温度升高的速度加快。试验台系统在蒸发温度-24℃、冷凝温度52.5℃的图示最恶劣工况下工作时,即为蒸发温度-24℃下冷凝器出水50℃时的状态点,排气温度约为82℃,相对较低,尚未达到普通压缩机的排气温度极

限值150℃, 所以系统还可以将水温继续往上提至60℃。

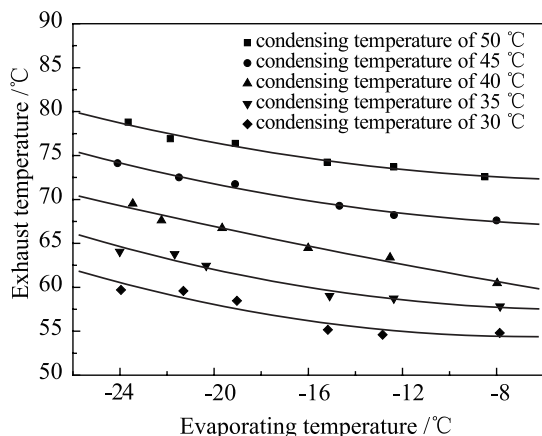


图3 系统排气温度随工况变化曲线

Fig.3 Discharge temperature of compressor

2.3 系统制热能力

由于受压缩机吸气比容和系统单位制热量的影响, 由图4可以直观地看出, 系统制热量随蒸发温度的降低而降低, 而随冷凝温度的变化不大。

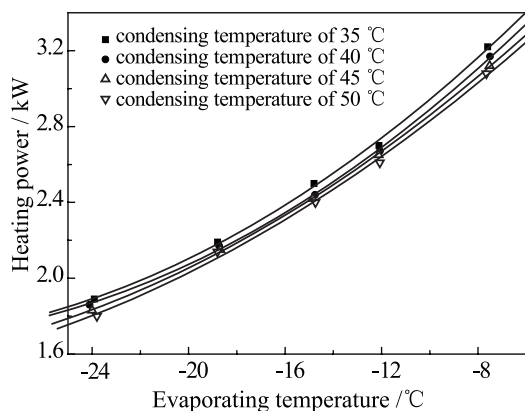


图4 系统制热量随蒸发温度的变化曲线

Fig.4 Heating power variation with evaporation temperature

而图5为系统单双级循环模式在冷凝温度50℃工况下系统制热量随环境温度变化情况。如图示, 在单双级不同运行模式下系统制热量均随环境温度的降低而逐渐降低, 这主要是由于随着环境温度的降低, 热泵系统能从低温热源泵得的热量自然会越来越少; 两种循环制热量的不同之处在于: 同工况条件下, 两压缩机串联压缩, 效率高, 两级压缩循环系统从空气中吸取的热量大于单级压缩循环系统, 同时, 两台压缩机用以做功加热热水所消耗的能量也大于单级压缩循环, 所以两级压缩循环系统的系统制热量始终高于单级系统。

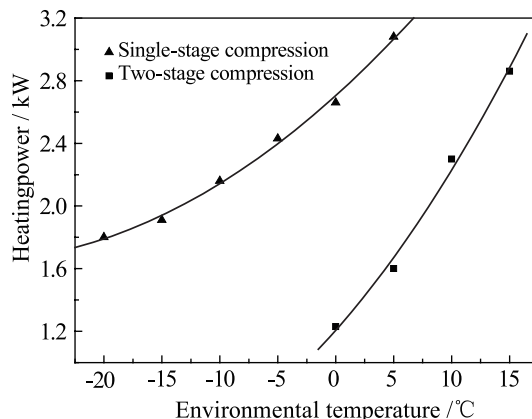


图5 单双级循环系统制热量对照

Fig.5 Comparison of heat capacity between two-stage and single-stage cycle

2.4 制热效率变化情况

图6所示为系统在双级压缩运行模式下COP在一定冷凝温度下随着蒸发温度的变化情况。由图示可以看出, 在一定冷凝温度下, 系统COP变化趋势是随着蒸发温度的降低而降低的, 并且随着冷凝温度的降低而衰减速度变大。在冷凝温度30℃下, 蒸发温度由-8℃降至-24℃过程中, COP减小了约42%, 蒸发温度平均每降低1℃而COP衰减2.6%; 在冷凝温度50℃下, 蒸发温度由-8℃降至-24℃过程中, COP减小了约35%, 蒸发温度平均每降低1℃而COP衰减2.1%。

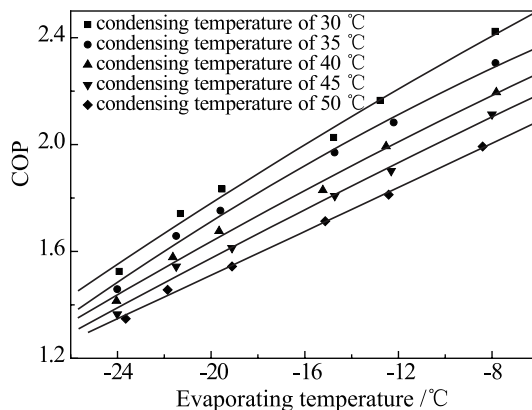


图6 系统COP随蒸发温度变化曲线

Fig.6 COP of the system variation with evaporation temperature

如图7所示的COP变化曲线, 双级压缩循环系统的COP衰减速度远小于单级压缩循环系统的, 当环境温度越低时此趋势越明显。当环境温度降至5℃时, 热泵热水器双级压缩循环模式下的系统COP即开始大于单级压缩循环模式, 环境温度在

0℃时, 双级压缩循环模式下的COP比单级压缩循环模式增大了约30%, 环境温度降至-5℃时, 由于单级压缩循环模式压缩比过大等因素的影响导致系统COP都已经低于1了, 而此时两级压缩循环模式的系统COP依然在1.6以上。

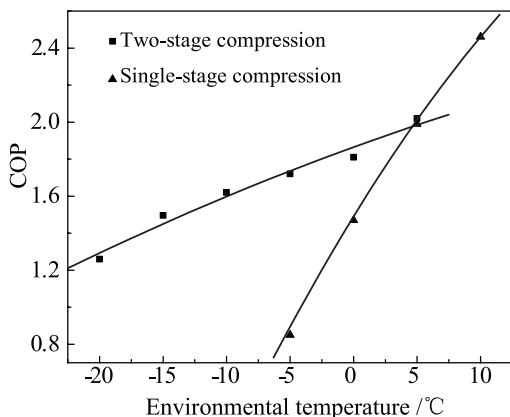


图7 单双级循环系统COP随环境温度变化曲线
Fig.7 Comparison of COP between two-stage and single-stage cycle

3 结论

使用热泵热水装置, 在节能和节约费用的方面都优于传统的燃气热水器、电热水器, 但普通的单级压缩空气源热泵热水器在低温环境下的应用中, 会出现系统运行状况恶劣、制热性能较差的情况。

针对普通热泵热水器的低温适应性问题, 提出了两级压缩用于空气源热泵热水器的方案, 以求解决其低温适应性问题。通过对两级压缩热泵热水器试验台的实验研究, 考察了两级循环系统的低温运行性能, 包括: 制热量、制热效率、压缩比、以及压缩机的吸排气状况等, 在重点对比研究两级压缩热泵制热循环相对于普通单级压缩制热循环的性能优劣的同时, 为两级压缩空气源热泵热水器系统的应用与完善提供参考依据。

参考文献

- [1] 吴业正, 朱瑞琪, 李新中, 等. 制冷与低温技术原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004, 115-116.
- [2] 王林, 陈光明, 陈斌. 一种用于低温环境下新型空气源热泵循环研究[J]. 制冷学报, 2005, (2): 34-38. (Wang Lin, Chen Guangming, Chen Bi. Cycle Analysis of Heating and Refrigeration in New Air-source Heat Pump[J]. Journal of Refrigeration, 2005, (2): 35-38.)
- [3] 王伟, 金苏敏, 陈建中. 用于低温环境下的双级压缩风冷热泵热水器[J]. 流体机械, 2005, 33(9): 62-66. (Wang Wei, Jin Sumin, Chen Jianzhong. Two-stage Compression Air Source Heat Pump Water Heater Used in Low Temperature Environment[J]. Fluid Machinery, 2005, 33(9): 62-66.)
- [4] 田长青, 石文星, 王森太. 用于寒冷地区双级压缩变频空气源热泵的研究[J]. 太阳能学报, 2004, 25(3): 288-293. (Tian Changqing, Shi Wenxing, Wang Sen. Research On Two-Stage Compression Variable Frequency Air Source Heat Pump In Cold Regions[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2004, 25(3): 288-293.)
- [5] 柴沁虎, 马国远. 空气源热泵低温适应性研究的现状及进展[J]. 能源工程, 2002, (5): 25-31. (CHAI Qinhu, MA Guoyuan. State of knowledge and current challenges in the ASHP developed for the cold areas[J]. Energy Engineering, 2002, (5): 25-31.)
- [6] 王伟, 金苏敏, 陈建中. 空气源热泵热水器双级压缩循环研究[J]. 暖通空调, 2006, 36(9): 58-61. (Wang Wei, Jin Sumin, Chen Jianzhong. Two stage compression cycle for water heaters in air source heat pumps[J]. HV&AC, 2006, 36(9): 58-61.)
- [7] Horiuchi N. Development of package air conditioner for cold regions[J]. Refrigeration, 1997, 72(7): 837-842.
- [8] Sami S M, Tulej P J. A New Design For An Air Source Heat Pump Using A Ternary Mixture For Cold Climates [J]. Heat Recovery System & Chp, 2001, 15(6): 521-529.
- [9] 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. Fluid Machinery, 2005, 33(9): 48-66.)