

一种太阳能与空气源双热源热泵系统的性能研究

颜慧磊, 张 华, 邵秋萍

(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 针对单一空气源热泵和单一太阳能热水器的不足, 提出太阳能-空气源双热源热泵系统, 分析了太阳辐射强度对系统运行的影响. 通过太阳能辅助热泵与空气源热泵运行对比实验得出, 在整个加热过程中, 太阳能辅助热泵系统的系统运行性能和加热水速率均优于空气源热泵系统. 太阳能辅助热泵系统的性能系数 COP 平均值约为单一空气源热泵系统的 3 倍. 在冬季环境温度较低情况下, 太阳能辅助热泵相对于空气源热泵具有明显优势.

关键词: 太阳能辅助热泵; 空气源热泵; 系统性能

中图分类号: TK 519

文献标志码: A

Exploratory Research on the Performance of Solar-air Double Heat Sources Heat Pump System

YAN Hui-lei, ZHANG Hua, SHAO Qiu-ping

(School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Considering the disadvantages of single air source heat pump and single solar energy heater, a solar-air double heat sources heat pump system was proposed. The influence of solar radiation intensity on the performance of the whole system was briefly analyzed. The results of the comparative experiment between solar assisted heat pump system and air source heat pump system show that both the performance and water heating rate of solar assisted heat pump system are better than those of air source heat pump system in the whole heating process. The average coefficient of performance COP of solar assisted heat pump system is 3 times higher than that of air source heat pump system. Solar assisted heat pump has obvious advantages in relative to the air source heat pump in winter environment.

Key words: solar assisted heat pump; air source heat pump; performance of system

面对日益紧张的能源环境问题, 科研人员已逐渐将关注热点放在了太阳能与热泵系统相结合的太阳能热泵系统中. 利用太阳能在低温时的集热效率较高和热泵系统在较高的蒸发温度下热效率高的特

点, 两者互补, 寻求更高效的节能方式. 早在 20 世纪 50 年代初, 美国、日本等发达国家的科研人员着手研究与开发太阳能热泵技术, 并实施了多项太阳能热泵技术示范工程^[1]. Bakicri 等^[2]对带有储热容器

收稿日期: 2013-04-16

第一作者: 颜慧磊(1989-), 女, 硕士研究生. 研究方向: 太阳能热利用、复叠制冷. E-mail: yanhui123@126.com

通讯作者: 张 华(1966-), 男, 教授. 研究方向: 太阳能热利用、复叠制冷. E-mail:

的太阳能辅助热泵系统开展研究,在供暖期间进行实验,最终计算得到了系统的 COP 值. Aye 等^[3]通过家用传统的太阳能热水系统、空气源热泵热水系统以及太阳能热泵热水系统的对比实验,得出了太阳能热泵热水系统具有优势的结论. 我国学者对太阳能热泵技术的研究起步相对较晚,徐国英等^[4-5]研究了一种新型的太阳能-空气复合热源热泵热水装置(SAS-HPWH),对一台 150 L 的 SAS-HPWH 建立系统数学模型,结果显示该热水器在不同天气特征情况下可高效率地制造 55℃ 热水. 旷玉辉等^[6-7]对直膨式太阳能热泵展开了深入的研究. 随着能源危机和环保意识的加强,越来越多学者相继开展了太阳能热泵技术的研究^[8-9].

1 太阳能-空气源双热源热泵系统

针对单一空气源热泵和单一太阳能热源热水器的不足,提出太阳能-空气源双热源式热泵系统,两种热源根据运行环境的变化相互切换,满足不同环境条件下的供热需求,从而达到互补的效果. 本系统将空气源蒸发器和以太阳能为热源的蒸发器相结合,在空气源蒸发器侧并联一个由太阳能平板集热器提供热源的套管式蒸发器,通过电磁阀切换两个蒸发器的运行,既能克服空气源蒸发器在较低环境温度时易结霜的缺点,又能缓解单一太阳能热源难以连续稳定运行的缺陷.

1.1 太阳能-空气源双热源热泵系统的构成

实验台是在已有的空气源热泵热水器的基础上进行改进,增加了一个套管式蒸发器和太阳能集热系统,

其中空气侧蒸发器和太阳能侧套管式蒸发器并联设置,通过支路上的电磁阀门开闭,控制两蒸发器相互切换. 套管式蒸发器与太阳能集热系统直接相连,不设置中间换热设备,减少热损. 图 1 为太阳能-空气源双热源热泵系统原理图,该系统由热泵循环和太阳能集热循环两大部分组成,全天供应生活热水. 为保证实验的准确性,整个制冷剂管路均进行保温处理.

1.2 太阳能-空气源双热源热泵系统运行模式

该系统分太阳能制热水、空气源热泵制热水、太阳能辅助热泵制热水 3 种模式运行:

a. 太阳能制热水模式

当太阳辐射足够强时,充分发挥本系统的节能优势,只启动太阳能制热水模块(循环为 9—11—14—9),利用太阳能集热器直接加热生活用水,满足用水需求;

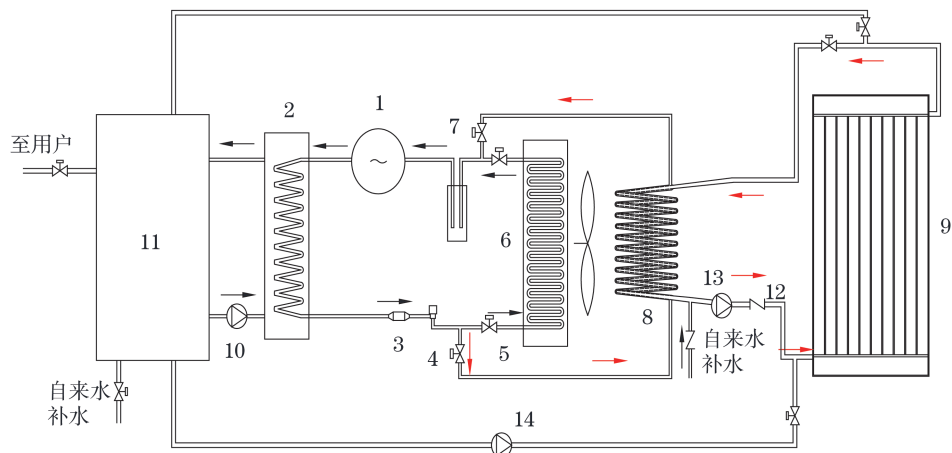
b. 空气源热泵制热水模式

当阴雨、多云天气或夜间用热水的情况下,太阳能辐射强度不足以将水加热到所需温度,则启动空气源热泵制热水模块(循环为 1—2—3—4—5—6—7—1),以空气作为低温热源制取生活热水,以满足用户需求;

c. 太阳能辅助热泵制热水模式

当天气条件介于两者之间时,利用太阳能集热器所集热水作为低温热源,提高循环的蒸发温度(循环为 1—2—3—4—8—7—1),加快制热水速率,提高系统运行性能.

此实验台将空气源热泵和太阳能辅助热泵有机结合起来,即使在恶劣的天气条件下,也可实现一年四季不间断供热水.



1. 压缩机 2. 套管式冷凝器 3. 过滤器 4. 电子膨胀阀 5. 阀门 6. 空气源蒸发器 7. 气液分离器 8. 套管式蒸发器
9. 太阳能平板集热器 10, 13, 14. 循环水泵 11. 用户储热水箱 12. 安全止回阀

图 1 太阳能-空气源双热源热泵系统示意图

Fig.1 Schematics of solar-air double heat sources heat pump system

2 数据采集与测量

实验需要测量的主要物理量有太阳能辐射强度、温度、电流、功率、电能等。

测试系统包括:太阳辐射强度测试系统、热电偶测温系统以及功率测量系统。

太阳辐射强度测试系统包括:直接辐射表、散射辐射表、精密温度传感器、总辐射表、地球辐射表、风速风向传感器等。

热电偶测温系统:根据测试的温度范围及精度要求,本实验采用 T 型热电偶。将热电偶布置在集热器进出口处、水箱以及环境中,分别对其测温。并在压缩机吸排气口、冷凝器进出口、空气源蒸发器进出口、套管式蒸发器制冷剂侧进出口、套管式蒸发器水侧进出口处设置热电偶,来检验系统运行的安全性和可行性。

功率测量系统:为分析系统的运行性能,需测量整个系统以及主要部件的耗电量(瞬时耗功和总耗功)。实验中使用功率分析仪对电参数进行测量,型号为 AN8726H,将该仪器接入系统中,测试系统耗功。

3 实验结果与分析

系统运行 COP 的计算式为

$$COP = \frac{mC\Delta T}{W} = \frac{4.18V(T_k - T_0)}{3.6W} \quad (1)$$

式中, m 为水箱内水的质量, kg; C 为水的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; ΔT 为水箱水的温升, $^{\circ}\text{C}$; T_0 , T_k 为水的初始温度和加热后的温度, $^{\circ}\text{C}$; V 为水箱容积, L; W 为系统总耗功, $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。由于实验条件有限,实验结果略有误差。

3.1 太阳辐射强度对太阳能辅助热泵制热水模式系统性能影响

实验对比了上海地区晴天工况和阴天工况下,采用太阳能辅助热泵制热水模式,利用太阳能集热器所集热水作为低温热源时系统的运行情况。分别在 2013 年 01 月 16 日(阴,最高气温 5°C ,最低气温 1°C)和 2013 年 01 月 19 日(晴,最高气温 10°C ,最低气温 5°C)两天进行实验。该两天太阳辐射情况具体见图 2,其中 19 日为晴天工况,太阳辐射强度最高达 $683 \text{ W}/\text{m}^2$,而 16 日阴天最高太阳辐射强度只有 $200 \text{ W}/\text{m}^2$ 。水箱容积 150 L,初始水温设为 8°C ,水箱

最终水温设定为 53°C ,两天均从 10:00 开机运行。

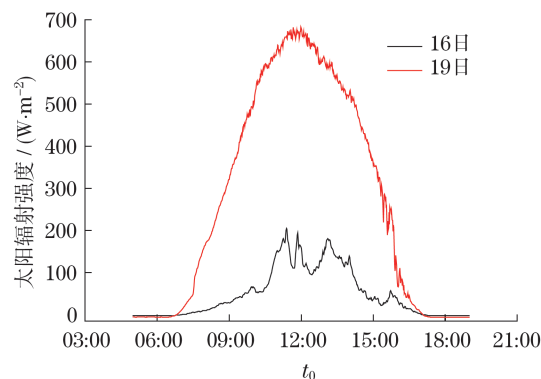


图2 太阳辐射强度对比图

Fig.2 Comparison of the intensity of solar radiation

图 3 为太阳辐射强度不同时,水箱中热水升温速率和系统 COP 的对比图。从图中可以看出,水箱中热水温度 T 基本呈直线上升,随着水温逐渐增加,升温速率略有下降,而系统的 COP 随着水箱温度的升高而降低。

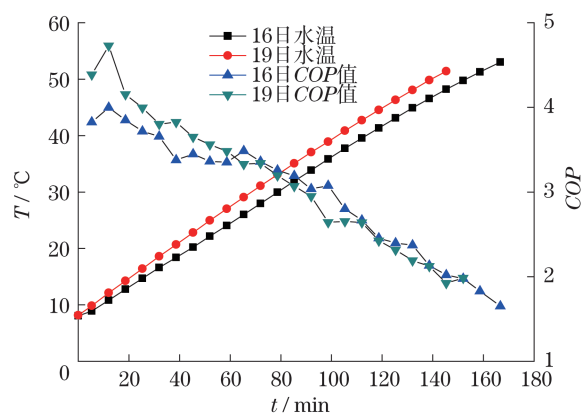


图3 太阳辐射强度对系统性能的影响

Fig.3 Effects of solar radiation intensity on system performance

从图中看出:19 日与 16 日相比,由于 19 日天晴,太阳辐射强度高,集热板所集热水温度高,相对的系统蒸发温度较高,冷凝温度上升加快,水箱加热水的速率也相应加快;系统加热初始阶段,19 日的 COP 高于 16 日的 COP,但是由于 19 日水箱水温升高速率快,导致运行后期反而减小,整个加热过程平均 COP 对比见下页表 1。

3.2 太阳能辅助热泵制热水模式与空气源热泵制热水模式对比

图 4(见下页)为以太阳能作为低温热源的太阳能辅助热泵和以空气为低温热源的空气源热泵的系统运行对比图,水箱初始水温为 20°C 。图中所列为

表1 不同太阳辐射强度下的系统性能
Tab.1 System performance under different solar radiation intensity

天气类型	太阳辐射强度/ (MJ · m ⁻²)	平均 COP	W/ (kW · h)	最终 水温/℃
阴(01-16)	2.37	2.80	2.799	53.04
晴(01-19)	13.79	3.03	2.585	52.89

两不同低温热源的水箱升温速率对比. 两组实验数据取自2012年12月27日和2013年01月09日两天的实验. 这两天的天气情况分别为: 2012年12月27日, 小到中雨, 最高气温9℃, 最低气温3℃, 采用空气作为低温热源; 2013年01月09日, 多云, 最高气温6℃, 最低气温1℃, 采用太阳能作为低温热源.

从图4中可以看出, 太阳能辅助热泵系统制取热水的升温曲线近似为直线, 而空气源热泵系统制取热水的升温曲线随着时间的增长趋于平缓. 相比较而言, 太阳能辅助热泵的加热水速率要快得多, 在100 min内能很快升温至50℃, 而空气源热泵只能升温至30℃. 从图中可以得出结论, 在天气不佳的情况下, 太阳能辅助热泵加热水速率比空气源热泵快3倍左右, 太阳能辅助热泵制热水模式比单一空气源热泵制热水模式的加热水能力更强, 能够实现快速供应热水.

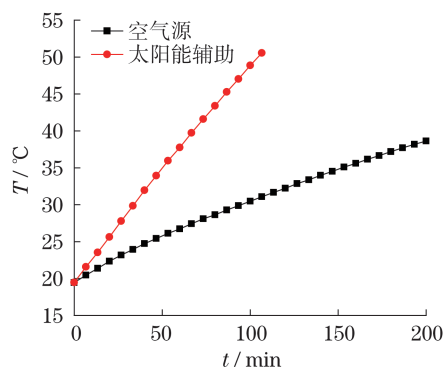


图4 不同低温热源的水箱加热水速率对比
Fig.4 Water heating rate under different low-temperature heat sources

虽然2012年12月27日环境温度相对较高, 但其系统运行瞬时COP最高2.71, 最低仅有0.61, 整个加热过程平均COP为1.02; 而太阳能辅助热泵, 整个热泵热水系统的平均COP达到3.03, 同样约为空气源的3倍. 所以相对于单一空气源热泵系统

来说, 在冬季环境温度较低的情况下, 太阳能辅助热泵热水系统具有明显优势.

4 结 论

搭建了太阳能-空气源双热源热泵实验台, 简单分析了太阳辐射对系统运行的影响. 在冬季晴天工况下, 太阳能辅助热泵不管是水箱加热水速率还是系统的运行性能都高于空气源热泵. 通过太阳能辅助热泵与空气源热泵运行对比实验得出, 太阳能辅助热泵系统的平均COP约为单一空气源的3倍. 所以相对于单一空气源热泵系统来说, 在冬季环境温度较低情况下, 太阳能辅助热泵具有明显优势.

参考文献:

- [1] Kaygusuz K. Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump [J]. Renewable Energy, 2000, 21(1): 79-102.
- [2] Bakicri K, Yuksel B. Experimental thermal performance of a solar source heat-pump system for residential heating in cold climate region [J]. Applied Thermal Engineering, 2011, 31(8/9): 1508-1518.
- [3] Aye L, Charters W W, Chaichana C. Solar heat pump systems for domestic hot water [J]. Solar Energy, 2002, 73(3): 169-175.
- [4] 徐国英, 张小宋. 太阳能-空气复合热源热泵热水器的性能模拟与分析 [J]. 太阳能学报, 2006, 27(11): 1148-1154.
- [5] Xu GY, Zhang X S, Deng S M. A simulation study on the operating performance of a solar-air source heat pump water heater [J]. Applied Thermal Engineering, 2006, 26(11/12): 1257-1265.
- [6] 旷玉辉, 王如竹. 直膨式太阳能热泵热水器的实验研究 [J]. 工程热物理学报, 2005, 26(3): 379-381.
- [7] Kuang Y H, Sumathy K, Wang R Z. Study on a direct-expansion solar-assisted heat pump water heating system [J]. International Journal of Energy Research, 2003, 27(5): 531-548.
- [8] 李戡洪, 白宁, 马伟斌, 等. 大型太阳能空调/热泵系统 [J]. 太阳能学报, 2006, 27(2): 152-158.
- [9] 冯诗愚, 胡伟, 高秀峰, 等. 热泵辅助太阳能中央热水系统年运行特性研究 [J]. 太阳能学报, 2008, 29(3): 283-289.

(编辑: 金虹)