文章编号:0253 - 4339(2015) 05 - 0049 - 07 doi:10.3969/j.issn.0253 - 4339.2015.05.049

基于太阳能光伏光热组件的双热源热泵机组的实验研究

陈剑波¹ 孙 坤¹ 聂琳杰¹ 陈雷田²

(1上海理工大学环境与建筑学院 上海 200093;2上海安悦节能技术有限公司 上海 200083)

摘 要 本文基于太阳能光伏光热一体化系统,设计出应用太阳能光伏光热及空气源的双热源热泵机组。使热泵与太阳能光伏 光热组件结合组成太阳能热泵系统,利用太阳能光伏光热组件(PV/T)内循环水及空气源的能量制取生活热水,同时降低太阳能 光伏光热组件内循环水的温度,从而降低太阳能光伏板的温度。通过实验测得机组在水冷蒸发侧进水温度 20 ℃,热水出水温度 50 ℃的额定工况下,制冷量为2.855 kW,制热量为3.594 kW,COP 为3.6。机组在水-水工况及水-风工况下运行的节能性研究 结果表明,相对于单一空气源热泵,双热源热泵机组在满足家庭用生活热水需求的前提下,利用热泵技术回收太阳能光伏光热的 热量制取生活热水节能性显著。

关键词 光伏;空气源热泵;制冷量;性能系数 中图分类号:TO051.5;TK511.3

文献标识码:A

Experimental Research of Dual-source Heat Pump Unit Based on Solar Photovoltaic and Photothermal Component

Chen Jianbo¹ Sun Kun¹ Nie Linjie¹ Chen Leitian²

 School of Environment & Architecture, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai, 200093, China;
 Shanghai AnYo Energy-Efficiency Technology Co., Ltd., Shanghai, 200083, China)

Abstract Based on the solar photovoltaic-thermal integrated system, we designed a dual-source, i. e., solar photovoltaic-thermal and air source, heat pump unit. The unit becomes solar assisted heat pump system when combined with solar photovoltaic thermal unit, which produces domestic hot water by air source and circulating water in the solar photovoltaic solar-thermal components (PV/T) and reduces circulating water temperature and solar photovoltaic panel temperature. We drew the conclusion by experiment that when the inflow water temperature is 20 °C on the evaporation side and the outflow hot water temperature is 50 °C under the rated conditions, the unit capacity is 2.855 kW for refrigeration and 3.594 kW for heating, and the COP is 3.6. When the unit operates in the water-water condition and water-air condition, the experiment result shows the dual-source heat pump unit has remarkable energy-saving compared with single air source heat pump when the photovoltaic-thermal solar heat is used for domestic hot water.

Keywords solar potovoltaic; air-source heat pump; refrigerating capacity; coefficient of performance

从二十世纪七十年代开始,很多人就深入研究了 太阳能热泵系统。1955年,Sporn P等^[1]通过实验研 究提出了"直膨式太阳能热泵"的概念。研究表明, 直膨式集热结构可同时提高热泵机组和太阳能集热/ 蒸发器的性能。Chaturvedi S K 等^[2-3]通过研究指 出,其他条件一定的情况下,压缩机容量与集热器面 积是否匹配直接影响系统的热力性能;减小压缩机转 速(RPM)或增大集热器面积虽然可以提高热泵 COP,但集热器效率会显著降低。通过对 DX-SAHP 的仿真研究,他指出,DX-SAHP 的热力性能深受压缩 机转速、制冷剂性质、负荷温度以及集热面积的影响。 旷玉辉等^[4-6]通过搭建太阳能热泵供热系统实验台,

收稿日期:2015年1月14日

对太阳能冬季供暖工况进行实验研究,指出在整个供 暖测试期内,系统在未使用辅助热源的情况下,热泵 机组平均供热系数为2.55,整个系统平均供热系数 为2.19,并且集热器的平均集热效率高达67.2%。 之后建立了直膨式太阳能热泵热水器实验样机,蒸发 器采用裸板式太阳能集热器,在室内模拟光源(0~ 1000 W/m²)下,对热水器进行性能测试,得出热泵平 均 COP 为4.18,热水平均加热功率为1.04 kW。裴 刚^[7]以 R22 为介质设计了光伏—太阳能热泵样机 (PV-SAHP)。通过对系统进行数值模拟以及实验研 究,得出的结论是:与普通的光伏模块相比,PV-SAHP 系统的光电效率提高了16.3%。徐国英等^[8]设计了

— 49 —

采用普通铜管和多孔铝扁管两种集热/蒸发器结构的 太阳能光伏光热一体化热泵系统,通过对两种不同集 热结构性能模拟及分析,得出结论是采用多孔铝扁管 集热结构比采用铜管集热结构电输出功率约提高 2%,采用多孔铝扁管的热泵系统的月平均 COP 在 4.23~5.54 之间,平均输出电功率为 82~133 W。 Comakli O 等^[9]通过热力学理论分析建立了分离式太 阳能热泵系统模型,指出热泵的 COP 与太阳能集热 器的面积和蓄热水箱的蓄热材料和蓄热水量的质量 都有很大关系。张超等^[10]通过采用数学模拟的方式 对太阳能-空气双热源复合热泵技术的制热量与 COP 进行了研究,结果表明太阳能-空气源双热源复合热 泵系统的制热量和 COP 均高于单一空气源热泵系 统。关欣等[11]、穆志君等[12]分别通过实验方式对光 伏热水系统进行分析,通过冷却光伏背板的温度来对 比 PV/T 系统与 PV 系统太阳能光伏发电效率。结果 表明,在日照条件良好的天气, PV/T 组件比 PV 组件 平均电效率可相对提高 5.1%~9%。基于上海理工 大学的光伏光热一体化系统,本文研制了一台双热源 热泵机组,并进行了机组在水冷蒸发器侧不同进水温 度工况下制取相同温度热水的性能测试:机组在水冷 蒸发器侧相同进水温度工况下制取不同温度热水的 性能测试:机组在水-水工况及水-风工况下运行的节 能性研究。



1 压缩机 2 冷凝器 3 风冷蒸发器 4 水冷蒸发器 5 调节阀 1 6 调节阀 2 7 循环水冷却泵 8 蓄热水箱 9 集热泵 10 太阳 能光伏光热组件 11 循环热水泵 12 热水箱

图 1 双热源热泵机组工作原理图 Fig. 1 The working schematic of double heat source heat pump unit

1 双热源热泵机组的工作原理

如图 1 所示,本双热源热泵机组是一种具有两个 独立蒸发器(风冷蒸发器、水冷蒸发器)制冷循环的 热泵系统^[13]。当有充足的太阳能可利用时,开启调 节阀 2,关闭调节阀 1,热泵机组采用水冷蒸发器制冷 循环,利用太阳能来制取生活用热水,同时降低光伏 光热板的温度,提高光伏板发电效率。当阴雨天或太 阳能不足时,开启调节阀 1,关闭调节阀 2,开启风冷 风机,热泵机组采用风冷蒸发器制冷循环,利用空气 源来制取生活用热水。

2 双热源热泵机组的设计及太阳能光伏 光热系统的优化设计

2.1 热泵机组方案设计

双热源热泵机组设计原理图如图 2 所示。该系 统主要部件包括压缩机、冷凝器、水冷蒸发器、风冷蒸 发器、循环水冷却泵、循环热水泵、两套外平衡热力膨 胀阀、两套电磁阀、储液器、干燥过滤器、高低压保护 开关等部件。



1 循环水冷却泵 2、19 外平衡热力膨胀阀 3 水冷蒸发器 4、9、14、20、21 单向阀 5、18 电磁阀 6 风冷蒸发器 7 气液分离器 8 四通换向阀 10 低压开关 11 压缩机 12 高压开关 13 冷凝器 15 储液器 16 干燥过滤器 17 视液 镜 22 循环热水水泵



2.2 热泵机组的自动控制方式

作为实验样机,本文采用 PLC 作为热水系统控制器。当机组在水-水工况下运行时,主要通过压缩机启停控制热水出水温度,通过集热泵的启停控制光 伏光热板冷却水的进水温度;当机组在水-风工况下运行时,主要通过压缩机启停控制热水出水温度,通 过风冷蒸发器风机的调速来控制蒸发温度。同时 PLC 控制器还实现系统开机和停机程序、系统多项安 全保护等^[14]。

2.3 太阳能光伏光热系统的优化设计

如图 3 所示,本系统是在上海理工大学原有的 太阳能光伏光热系统的基础上进行的优化设计,增 加了双热源热泵机组、循环水冷却泵、循环热水泵 和热水箱等部件。夏季或者过渡季节比较热的工 况下,原有的风冷式散热器不能有效降低蓄热水箱 的水温度,随着热量的累积,水温度越来越高,最后 并不能有效降低光伏板的温度,提高发电效率。双 热源热泵机组可以不断把蓄热水箱的热量带走,转 移到热水箱,使蓄热水箱的水温保持恒定温度,通 过集热泵不断地降低光伏板的温度,使之拥有较高 的发电效率。



1 双热源热泵机组 2 太阳能光伏光热组件 3 集热泵 4 循环水冷却泵 5 循环热水泵 6 风冷式散热器 7 散热泵 8 蓄热水箱 9 热水箱

图 3 太阳能光伏光热系统原理图

Fig. 3 The schematic diagram of solar photovoltaic thermal system

3 实验及结果分析

3.1 实验内容

实验的主要内容包括:机组在水冷蒸发器侧不同 进水温度工况下制取相同温度热水的性能测试;机组 在水冷蒸发器侧相同进水温度工况下制取不同温度 热水的性能测试;机组在水-水工况及水-风工况下运 行的节能性研究。

3.2 实验工况

本双热源热泵机组既可在水-水工况下运行,又 可在水-风工况下运行。因此,机组的运行工况范围 可以达到水源热泵机组运行的工况,也可以达到空气 源热泵机组运行的工况。由国家标准 GB/T194092013《水(地)源热泵机组国家标准》^[15]、GB/ T23137—2008《家用和类似用途的热泵热水器》^[16]、 GB/T21362 - 2008《商业或工业用及类似用途的热泵 热水机》^[17]及实际应用情况,确定实验测试工况:冷 凝器水侧热水出水温度为45 ℃、50 ℃、55 ℃三个工 况;水冷蒸发器侧进水温度工况分别为10 ℃、15 ℃、 20 ℃、25 ℃、30 ℃;室外侧模拟环境温度工况分别为 -7 ℃、-5 ℃、2 ℃、7 ℃、10 ℃、15 ℃、20 ℃、25 ℃、 30 ℃。

3.3 实验方法

本实验是在符合国家标准的空调焓差综合实验 室内完成的。该实验室可以提供两路稳定的水系统 及恒定的室外环境,以保证机组在上文提出的实验工 况下运行。

实验样机的压缩机、冷凝器、蒸发器等重要部件 上布置有温度和压力测点,在数据采集仪和样机显示 屏上读取其数据;在焓差实验室室外侧布置空气温湿 度测点,实时记录实验样机运行时环境工况的变化; 采用数字功率表记录被测样机的电压、电流、功率等。 采用数据库的方式保存数据,便于随时查询、显示和 调用。

3.4 不同水温工况下制取 50 ℃热水的实验 分析

图 4 所示为压缩机吸排气压力随蒸发器侧进水 温度的变化。由图 4 可知,随着水冷蒸发器侧进水温 度的升高,压缩机的吸排气压力略有上升,但总体上 变化不大,最后,吸气压力稳定在 0.43 MPa 左右,排 气压力稳定在 1.95 MPa 左右。



图 4 压缩机吸排气压力随蒸发器侧进水温度变化 Fig. 4 The aspiration and exhaust pressure of compressor varied with inlet water temperature of the evaporator

图 5 所示为压缩机吸排气温度随蒸发器侧进水 温度的变化。由图 5 可知,压缩机的吸排气温度随水 冷蒸发器侧进水温度的升高而升高,当水冷蒸发器侧 进水温度低于 25 ℃时,压缩机的吸排气温度曲线变 化比较平缓,但当水冷蒸发器侧进水温度高于 25 ℃ 时,曲线的升高趋势变化比较剧烈。当蒸发器侧进水 温度达到 30 ℃时,压缩机的吸气温度达到 23.6 ℃, 排气温度达到 82 ℃。

图 6 所示为机组制热(冷)量和耗功率随蒸发 器侧进水温度变化。由图 6 可知,机组的制热量、 制冷量均随水冷蒸发器进水温度的升高逐渐升高。 当水冷蒸发器侧进水温度达到 30 ℃时,机组的制 热量为 5.221 kW,制冷量为 4.607 kW。当机组蒸 发侧进水温度为低温 10 ℃时,机组的制热量为 2.409 kW,仍然可以稳定运行。机组的耗功率随着 蒸发侧进水温度的升高有缓慢上升趋势,最终基本 稳定在 1.032 kW 左右,说明机组在蒸发器侧进水 温度 10~30 ℃范围内的不同工况下运行,是比较 稳定的。





Fig. 5 The aspiration and exhaust temperature of compressor varied with inlet water temperature of the evaporator





3.5 水温 20 ℃工况下制取不同温度热水的实 验分析

图 7 所示为压缩机吸排气压力随出水温度变化。 由图 7 可知,随着机组制热水温度的升高,机组的排 气压力不断升高,在制热水温度为 50 ℃时,机组的排 气压力达到 1.802 MPa;而机组的吸气压力随着机组 热水温度的升高趋势不是很明显,基本维持在 0.358 MPa 左右。



Fig. 7 The aspiration and exhaust pressure of compressor varied with the temperature of the outlet water







图 8 所示为压缩机吸排气温度随出水温度变 化。由图 8 可知,机组的排气温度随着机组制热水温 度的升高而升高,当机组制热水温度为55 ℃时,机组 的排气温度为66.8 ℃。机组的吸气温度随机组制热 水温度的升高呈现略微升高趋势,最后达到13.1 ℃。

图 9 所示为机组的制热(冷)量和耗功率随出水 温度变化。由图 9 可知,随着机组制取热水温度的升 高,机组的制热量、制冷量均逐渐降低。当机组出水 温度为 50 ℃时,机组的制冷量为 2.855 kW,符合设 计要求的 2.5 kW 额定制冷量,此时机组的制热量达 到 3.594 kW,高效制取了生活热水。机组的耗功率 随着机组制热水温度的升高而增大,当机组制取热水 的温度达到 55 ℃时,机组的耗功率为 1.074 kW。

3.6 双热源热泵机组的能效分析

图 10 所示为机组 COP 随蒸发器侧进水温度的 变化。由图 10 可知,随着蒸发器侧进水温度的升高, 机组的 COP 也随之升高。当机组蒸发器侧进水温度 为额定工况 20 ℃,热水出水温度为 50 ℃时,机组的 COP 达到 3.6。当进入机组蒸发器侧的水温为比较 低的 10 ℃,制取 50 ℃的热水时,机组的 COP 为 2.63,此时机组依然可以有效地制取生活热水。当蒸 发器侧进水温度达到 30 ℃,制取热水温度为 50 ℃ 时,机组的 COP 达到 5.05,在此工况下运行,机组不

— 52 —











仅稳定可靠,而且十分高效。

3.7 双热源热泵机组的节能性分析

图 11 所示为机组 COP 随蒸发器侧进水温度或 环境温度的变化。由图 11 可知,随着双热源热泵机 组水冷蒸发器侧进水温度或环境温度的升高,机组 COP 会随之升高。当温度大于 20 ℃时,水-水工况下 的 COP 性能曲线比水-风工况下的 COP 性能曲线变 化剧烈。当温度小于 20 ℃时,两种工况下的 COP 性 能曲线变化趋势相同,且两曲线相近。





由上海地区全年气象参数及上海理工大学太阳 能光伏光热实验系统实验数据可知,全年太阳能光伏 光热板温度超过 25 ℃的天数比例约为 80.7%。全 年工况下,双热源热泵机组有将近 270 d 可以利用太 阳能高效制取生活用热水,同时降低太阳能光伏光热 板温度,提高发电效率,达到双重节能效果。

在冬季时,环境温度一般都远低于10℃,甚至达 到0℃以下。此时机组运行时,即使蒸发测进水温度 为最低温度10℃时,水-水工况下的 COP 值也大于 水-风工况下的 COP 值。12 月太阳能光伏光热板温 度超过15℃的天数比例为67.7%,1 月为57.2%,3 月为77.8%。即使在冬季最冷的1月,机组也有将 近18 d 可以较高效利用太阳能制取生活用热水,同 时更好地解决空气源热泵在较低温度下运行时需要 除霜的问题。

在阴雨天太阳能不能满足制取生活用热水时,可 开启机组水-风侧,此时机组以空气源热泵工作。这 样,机组既可以保证常年不间断供应生活用热水,也 达到最大程度的节能性。

图 12 所示为双热源热泵机组应用在太阳能光伏 光热系统中水箱温度随时间的变化。由图 12 可知, 7:45 时刻开启双热源热泵机组,在7:45~11:45 期 间未对 PV/T 组件进行降温时,500 L 蓄热水箱的水 温度从 26.77 ℃降低到 17.54 ℃,降低了 9 ℃。11: 45 时刻开启集热泵,对 PV/T 组件进行降温,在 12: 00~14:15 时, 蓄热水箱的水温度从 19.45 ℃上升到 23.99 ℃,增加了4℃左右,说明经过2h温度升高4 ℃进行了蓄热;在14:30~17:30 期间从23.95 ℃下 降到 20.22 ℃,下降了 3.7 ℃左右,蓄热水箱的水温 度基本维持在22℃左右,蓄热水箱水温的基本恒定 确保了机组的连续运行,且运行范围符合要求 10~ 30 ℃之间。热水水箱水温度从 30 ℃升高到 50 ℃需 要1.5h左右,经过计算,20L热水水箱的热量为2.6 kW,选型时的额定制冷量2.5 kW 的设计选型基本满 足。从7:45 开双源热泵机组到 17:30 停机共 10 h 的工作时间内,机组基本可以运行4个周期,制得



图 12 水箱温度随时间的变化

Fig. 12 The water tank temperature varied with time

800 L 热水。

4 结论

1)本文分别对双热源热泵机组在不同水温工况 下制取 50 ℃热水和水温 20 ℃工况下制取不同温度 热水进行实验研究,通过对机组压缩机的吸排气压力 和温度的实验结果分析可知,双热源热泵机组在水冷 蒸发器侧进水温度范围为 10 ~ 30 ℃,制取 45 ~ 55 ℃ 生活用热水时,运行稳定、可靠。

2) 对机组在水温 20 ℃工况下制取不同温度热 水进行实验研究,由机组的制冷量、制热量和功率实 验结果分析可知,在水冷蒸发器侧进水温度 20 ℃,热 水出水温度 50 ℃设计工况下,机组的制热量为 3.594 kW,制冷量为 2.855 kW,COP 达到 3.6,满足 样机设计要求,同时机组运行稳定、可靠、高效。

3)分别对机组在水冷蒸发器侧进水温度 10~30 ℃工况下制取 45~55 ℃热水进行实验研究,由机组 的 COP 实验结果分析可知,随着水冷蒸发器侧进水 温度的升高,机组的 COP 上升。当进入机组蒸发器 侧的水温为较低的 10 ℃、制取热水的温度为 50 ℃ 时,机组的 COP 为 2.63。当蒸发器侧进水温度达到 30 ℃、制取热水温度为 50 ℃时,机组的 COP 达到 5.05,说明机组具有高能效性。

4)分别对机组在水冷蒸发器侧进水温度 10~30 ℃下制取 50 ℃热水和环境温度 -7~30 ℃下制取 50 ℃热水进行实验研究,通过对机组的 COP 实验结果 分析和上海地区的气象参数分析比较可知,双热源热 泵机组比单一的空气源热泵机组具有高效性和节能 性。同时,机组能保证一年四季不间断提供生活用热 水,达到最大节能性。对机组应用在太阳能光伏光热 系统中蓄热水箱和热水箱水温的变化进行研究,由水 箱水温变化结果分析可知,机组能够连续稳定运行, 并且满足设计要求。

本文受上海市太阳能分布式发电前端集成技术研究与示范 项目(CXY-2013-49)和沪江基金(D14003)项目资助。(The project was supported by the Shanghai Technology Research and Demonstration Program of Solar Distributed Generation Front Integration (No. CXY-2013-49) and the Hujiang Fund (No. D14003).)

参考文献

- Sporn P. The heat pump and solar energy [C]//Proceedings of the World Symposium on Appiled Solar Energy. CA: Stanford Research Institute, 1955: 1-5.
- [2] Chaturvedi S K, Chiang Y F, Roberts A S. Analysis of two-phase flow solar collectors with application to heat pumps[J]. Journal of Solar Energy Engineering, 1982,
 54 —

104(4): 358-365.

- [3] Chaturvedi S K, Abazeri M. Transient simulation of a capacity-modulated, direct-expansion, solar-assisted heat pump[J]. Solar Energy, 1987, 39(5): 421-428.
- [4] 旷玉辉,王如竹,于立强.太阳能热泵供热系统的实验研究[J].太阳能学报,2002,23(4):408-413. (Kuang Yuhui, Wang Ruzhu, Yu Liqiang. Experimental study on solar heat pump heating system[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2002, 23(4):408-413.)
- [5] 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.(Kuang Yuhui, Wang Ruzhu. Experimental study on the direct-expansion solar-assisted heat-pump water heater[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2005, 26(3):379-381.)
- [6] 旷玉辉,王如竹,许煜雄. 直膨式太阳能热泵供热水系 统的性能研究[J]. 工程热物理学报,2004,25(5): 737-740. (Kuang Yuhui, Wang Ruzhu, Xu Yuxiong. Studies on the performance of a direct-expansion solar-assisted heat pump water heating system[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2004, 25(5): 737-740.)
- [7] 裴刚. 光伏-太阳能热泵系统及多功能热泵系统的综合性能研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2006.
- [8] 徐国英,张小松,杨磊.两种集热结构的太阳能光伏/ 光热一体化热泵性能分析[J].化工学报,2008,59 (Suppl. 2): 224-229. (Xu Guoying, Zhang Xiaosong, Yang Lei. Performance evaluation of PV/T integrated heat pump using two different collector/evaporators[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2008, 59 (Suppl. 2): 224-229.)
- [9] Comakli O, Bayramouglu M, Kaygusuz K. A thermodynamic model of a solar assisted heat pump system with energy storage[J]. Solar Energy, 1996, 56(6): 485-492.
- [10] 张超,赵晓丹,周光辉.太阳能-空气双热源复合热泵 系统性能研究[J].流体机械,2011,39(8):74-77.
 (Zhang Chao, Zhao Xiaodan, Zhou Guanghui. Studying of system performance of the solar-air dual-source heat pump [J]. Fluid Machinery, 2011, 39(8):74-77.)
- [11] 关欣, 王艳迪, 向勇涛, 等. 太阳能光伏热水系统的能量梯级利用[J]. 工程热物理学报, 2012, 33(7): 1240-1242. (Guan Xin, Wang Yandi, Xiang Yongtao, et al. Cascade utilization of energy in solar photovoltaic hot water system[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2012, 33(7): 1240-1242.)
- [12] 穆志君,关欣,刘鹏. 太阳能光伏光热一体化系统运行 实验研究[J]. 节能技术, 2009, 27(5): 445-447. (Mu Zhijun, Guan Xin, Lui Peng. Experimental study of hybrid photovoltaic-thermal solar system[J]. Energy Conservation Technology, 2009, 27(5): 445-447.)

(下转第64页)

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.
- (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—

- [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.

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.