

文章编号:0253 – 4339(2017) 03 – 0019 – 05  
doi:10. 3969/j. issn. 0253 – 4339. 2017. 03. 019

空气源/污水源复合热泵系统设计与应用

胡 鹏<sup>1</sup> 王铁军<sup>1</sup> 李继萍<sup>2</sup> 徐 维<sup>1</sup> 夏兴祥<sup>1</sup>

(1 合肥工业大学 合肥 230009; 2 安徽康特姆新能源工程有限公司 合肥 230009)

**摘 要** 基于公共浴室热水生产设备节能减排改造的需要,本文设计了可回收洗浴废水余热的空气源/污水源复合热泵热水系统,在合肥工业大学屯溪路校区建立了应用示范工程,进行了运行测试和应用研究工作。结果显示:在 8 ℃ ±1.2 ℃ 的环境温度、50 ℃ 供水设定温度的运行条件下,通过预热器和污水源热泵机组进行余热回收,洗浴废水温度从 30.6 ℃ 降低至 15.5 ℃,热回收的能量约占热水生产总能量的 1/3;在 10 ℃ ±1 ℃ 的环境温度、45 ℃ 供水设定温度的条件下,复合热泵系统的能效比为 3.45,与单独运行空气源热泵的 2.96 相比,能效提高 16%;与传统的燃气锅炉设备、电热水器对比分析,复合热泵系统可分别节约运行费用 53.3%、72.4%,节能、环保和降费的优势明显。

**关键词** 空气源热泵;污水源热泵;设计;现场实测;余热利用

**中图分类号:**TK115; TQ051.5;X703

**文献标识码:**A

Design and Application of Air/Sewage Source Heat Pump System

Hu Peng<sup>1</sup> Wang Tiejun<sup>1</sup> Li Jiping<sup>2</sup> Xu Wei<sup>1</sup> Xia Xingxiang<sup>1</sup>

(1. Hefei University of Technology, Hefei, 230009, China; 2. Anhui Quantum New Energy Co., Ltd., Hefei, 230009, China)

**Abstract** In order to achieve energy conservation and emissions reductions, an air source/sewage source heat pump hot water system was designed. Field tests were conducted in a demonstration project on Tunxi Road at Hefei University of Technology. The results show that at an ambient temperature of 8 ℃ ±1.2 ℃ and a water supply temperature of 50 ℃ condition, the wastewater temperature is decreased from 30.6 ℃ to 15.5 ℃ through preheater and waste heat recovery. Heat recovery energy accounts for about 1/3 of the total energy for hot water heating. At an ambient temperature of 10 ℃ ±1 ℃ and a water supply temperature of 45 ℃ condition, the energy efficiency of the composite heat pump system was 3.45. Compared with a separate air source heat pump, the energy efficiency is increased by 18%. Compared with a gas water heater and an electric water heater, the composite heat pump system can reduce operating costs by 53.3 % and 72.4%, respectively. The results show obvious advantages of composite heat pump system on energy saving, environmental protection, and cost reduction.

**Keywords** air source heat pump; sewage source heat pump; design; field test; waste heat recovery

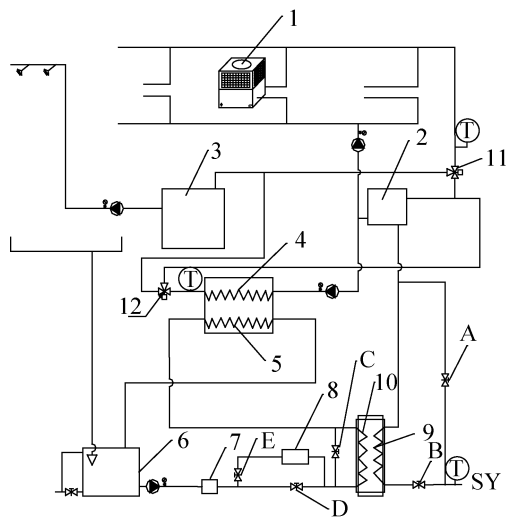
据统计,高校学生的平均能耗、水耗分别是全国居民人均的 4 倍和 2 倍<sup>[1]</sup>,节能减排是节约型校园和绿色大学建设的重点,并具有良好的教育、示范和引领作用<sup>[2]</sup>。高校的公共浴室普遍采用低能效、高污染的燃煤或燃气锅炉生产热水,节能减排改造成为必然<sup>[3]</sup>。在这样的背景下,热泵热水系统以消耗少量驱动能为代价,从环境中摄取数倍的热能生产热水,高效、环保、安全和经济的优势明显<sup>[4-6]</sup>。杨磊等<sup>[7]</sup>设计了一种复合热源太阳能热泵热水系统,进行了不同工作模式的性能模拟研究;张月红等<sup>[8]</sup>在南京市进行了复合热源热泵系统的实验研究,太阳充裕和阴天的平均能效比分别为 4.83 和 3.97;陈剑波等<sup>[9]</sup>、

郭超等<sup>[10]</sup>进行的理论和实践研究进一步验证了太阳能、空气源复合热泵热水系统的高能效;韩丰云等<sup>[11]</sup>进行的污水源热泵、空气源热泵系统的经济技术分析表明,采用污水源热泵可以降低投资、减少运行费用;沈朝等<sup>[12]</sup>对公共浴室洗浴废水的温度和水量进行测试分析,认为利用热泵系统回收余热的潜力较大;安青松等<sup>[13]</sup>分析了洗浴废水的水质,提出了带过滤器的直接式循环热泵方案;胡敏东等<sup>[14]</sup>介绍了一种新型的回收废水余热的热泵热水器,实验得到了热泵系统在设定工况下的平均能效比及污水参数与制冷量的关系。本文在研发“集中浴室用空气源与污水源复合热泵热水系统及控制方法”<sup>[15]</sup>的基础上,结合合

肥工业大学屯溪路校区浴室热水系统节能减排改造项目,建立了空气源/污水源复合热泵热水系统应用示范工程,并进行了相关的应用研究和系统优化工作。

# 1 复合热泵热水系统设计与工作原理

空气源/污水源复合热泵热水系统如图 1 所示。其总能量计算依据最冷月平均气温、日均洗浴人次和运营时间等,设计额定热水供应量 100 m<sup>3</sup>/日,选取 4 台 QH-220EC-20 空气源热泵机组构成热水系统的主机,辅以 1 台 60 匹污水源热泵机组,设定室外温度小于 24 ℃ 运行污水源热泵进行洗浴污水的余热回收。其它组成包括预热换热器、热水箱、循环加热水箱、各类循环泵、污水收集及其清洗过滤装置等。



1 空气源热泵模块;2 循环加热水箱;3 热水箱;4 污水源热泵机组冷凝通道;5 污水源热泵机组蒸发通道;6 污水池;7 砂滤器;8 清洗加药箱;9 预热换热器预热通道;10 预热换热器污水通道;11、12 电动三通阀

图 1 空气源/污水源复合热泵系统

Fig. 1 Air source/sewage source heat pump system

## 1.1 补水操作

设定循环加热水箱液位波动区间为  $H_1 \pm \Delta H_1$ , 下限时开始补水,上限时停止补水,并按如下规则选择补水通道和方式。

若  $\Delta T \leq T_s$ , 自来水通过阀 A 直接进入循环加热水箱;若  $\Delta T > T_s$  且污水泵运行时,自来水通过阀 B、预热通道 9 后,进入循环加热水箱。其中:  $\Delta T = T_2 - T_6$ ,  $T_2$  为洗浴废水温度,  $T_6$  为自来水温度,  $T_s$  为设定温差。

## 1.2 循环加热及其能量控制

以热水箱液位为输入信号,设定热水箱液位波动

区间为  $H_2 \pm \Delta H_2$ ,  $V$  为液位变化速度,  $T$  为设定储水温度。采用循环加热工作方式生产热水,并按模糊控制规则调节热泵热水系统的输出总能量。

将热水箱的液位划分为高、较高、中、较低和低 5 个液位等级。同理,将其液位变化速度  $V$  划分为正大、正中、零、负中和负大 5 个等级;将复合热泵热水系统的输出总能量按照大、中和零划分为 3 个等级;根据实时检测的液位  $H$  和液位变化速度  $V$ ,控制复合热泵热水系统进行加载或减载。设定复合热泵热水系统的加载顺序为:优先加载污水源热泵机组,随后逐个加载空气源热泵机组;减载顺序为:首先逐个卸载空气源热泵机组,最后卸载污水源热泵机组。

## 1.3 污水回路自动清洗操作

设定污水泵最大累计工作时间,并设最大运行功率作为参考信号。清洗操作时,截止阀 E 开启,截止阀 C、D 关闭,污水泵启动,污水流经清洗加药箱后对预热器、污水源热泵机组的蒸发通道进行清洗,之后排入城市污水管网。

复合热泵热水系统可根据环境温度、自来水温度、水箱水位等运行状态参数,自动控制补水、循环加热及其能量调节、清洗操作等,实现热泵热水系统的节能和稳定运行。

# 2 测试与分析

空气源/污水源复合热泵系统于 2013 年 2 月投入运行,其后进行了一系列的运行数据测试、分析和系统优化工作,取 2015-12-03—2015-12-20 期间的测试数据进行分析。

采用安捷伦数据采集仪自动存储温度数据,采集频率设为 0.5 min。温度标识及其测量位置如下:热水水温  $T_1$  的测点位于热水箱出水口,洗浴废水温度  $T_2$  的测点位于污水池进水口,预热后废水温度  $T_3$  的测点位于预热换热器污水通道出口,废水排水温度  $T_4$  的测点位于废水排水口,循环加热水箱水温  $T_5$  的测点位于循环水箱出水口,环境温度  $T_0$  的测点位于通风处。

## 2.1 数据处理

1) 复合热泵热水系统的制热量

$$Q_0 = \rho c G_0 (T_1 - T_6) \tag{1}$$

式中:  $Q_0$  为复合热泵热水系统的制热量, kJ;  $T_6$  为自来水温度, ℃;  $\rho$  为热水密度, kg/m<sup>3</sup>;  $c$  为热水的定压比热, kJ/(kg·K);  $G_0$  为热水供水量, m<sup>3</sup>。

2) 洗浴废水的余热回收量

$$Q_1 = \mu \rho c (G_0 + G_1) (T_2 - T_4) \tag{2}$$

式中:  $Q_1$  为洗浴废水的余热回收量, kJ;  $\mu$  为废水

收集系数,取 0.9<sup>[16]</sup>;  $G_1$  为洗浴时混入的冷水流量,  $\text{m}^3$ 。

3) 复合热泵热水系统的性能系数

$$\text{COP} = \frac{Q_0}{P} \tag{3}$$

式中:  $P$  为热水系统的总耗电量,  $\text{kW} \cdot \text{h}$ , 包括热泵机组、循环水泵、供水泵、污水泵等能耗。

### 2.2 测试结果与分析

图 2 所示为浴室工作某日 11:00 ~ 23:00 复合热泵系统的运行状况。该时段室外平均温度为 8.1 °C, 波动幅度 2.3 °C; 自来水温度基本稳定, 平均值为 10.2 °C, 热水供水温度设定为 50 °C; 洗浴废水的平均温度为 30.6 °C, 热回收过程中预热换热器出口、污水源热泵机组出口的废水平均温度分别为 25.8 °C、15.5 °C, 总温降为 15.1 °C。结合复合热泵系统当天的热水供水量  $G_0$  和洗浴水总流量  $G_2$ , 其中  $G_2 = G_0 + G_1$ , 由式(1)和式(2)计算得到余热回收的能量约占热水加热总能量的 1/3, 复合热泵系统节能效果明显。

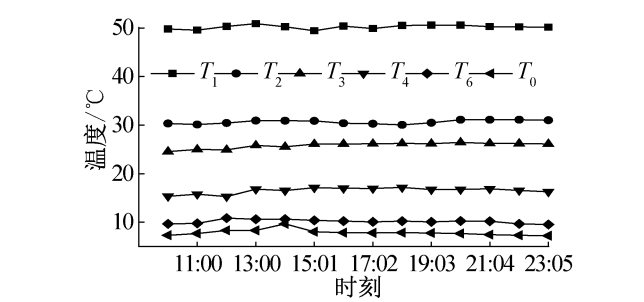


图 2 复合热泵热水系统运行状况  
Fig. 2 Operating conditions of compound heat pump

取测量期间循环加热水箱和热水箱中具有代表性的温度点绘制如图 3 所示。

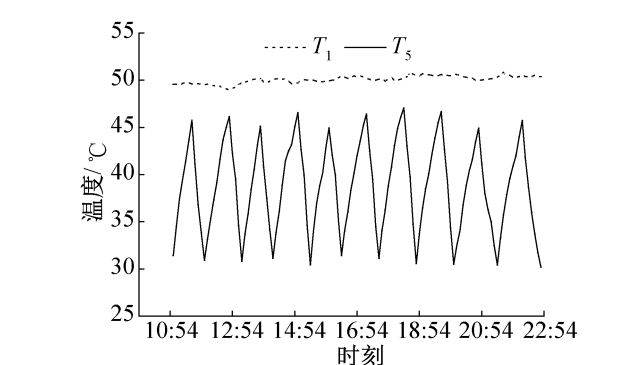


图 3 水箱温度动态变化  
Fig. 3 The water tank temperature varied with time

由图 3 可知, 热水温度基本稳定在 50 °C ± 1 °C 范围内, 表明复合热泵系统能够响应内、外部扰动, 稳

定、可靠地工作。循环加热水箱内的温度分层, 由下至上, 温度逐渐提高, 补水口设在水箱的下部,  $T_s$  呈周期性变化, 波动范围为 30 ~ 45.9 °C。热泵热水系统在浴室开放的 12 h 中, 共运行了 10 个近似的等幅振荡周期, 期间共生产热水 120  $\text{m}^3$ 。

图 4 所示为 2015 年 12 月 7 日单独运行空气源热泵、8 日运行空气源/污水源复合热泵制取 45 °C 热水的测试数据。图中  $T_7$  和  $T_8$  分别为两日的室外温度曲线。计算平均温度分别为 10.83 °C、10.71 °C, 自来水平均温度分别为 11.83 °C、11.78 °C。测量热泵系统的耗电量  $P$ 、热水供应量  $G_0$ , 由式(1)、(3)计算热泵系统运行能效的变化。

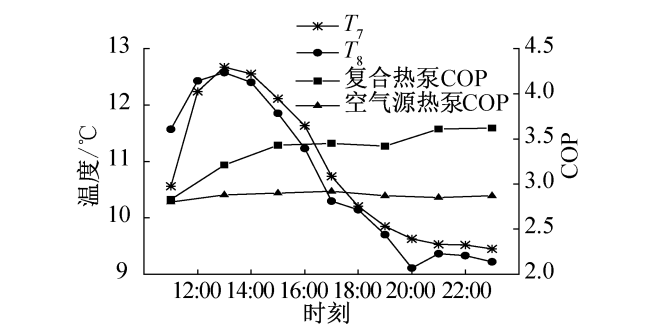


图 4 空气源热泵与复合热泵运行能效对照图  
Fig. 4 Comparison of energy efficiency of air source heat pump and compound heat pump

由图 4 可知, 12 月 7 日, 空气源热泵系统能效变化较为平缓, COP 在 2.96 左右。12 月 8 日, 复合热泵系统运行初期能效较低, 其原因在于洗浴废水流量不足, 污水源热泵没有运行; 随着污水源热泵投入运行, COP 平稳上升, 之后稳定在 3.45 左右; 在 20:45 ~ 22:00 洗浴人次高峰时段, 热泵系统的 COP 提高到 3.6, 其原因是洗浴废水温度高、流量大, 污水源热泵满负荷运行。相对于空气源热泵独立运行, 能效约提高 16%。

### 3 热泵系统与常规系统的比较

根据本项目热泵热水系统的测试数据, 对采用空气源/污水源复合热泵热水系统、电热水器、燃气锅炉、燃煤锅炉等 4 种加热方式进行经济性比较。为方便比较, 现设定如下条件: 环境温度为 10 °C, 将 1 000 kg 自来水从 10 °C 加热到 45 °C。计算比较结果如表 1 所示。

表 1 中计算的能源价格分别: 电 0.65 元/( $\text{kW} \cdot \text{h}$ )、煤 750 元/t、天然气 3.60 元/ $\text{m}^3$ , 燃煤锅炉效率  $\eta = 0.8$ , 燃气锅炉的效率取  $\eta = 0.9$ , 电热水器的效率  $\eta = 0.95$ 。由表 2 可知, 燃煤锅炉生产热水的费用最



低,但由于高能耗、高污染等问题,国家已经禁止在城市内使用。空气源/污水源复合热泵节能、环保、安全,相对于燃气锅炉节约费用 53.3%,相对于电热水器节约费用 72.4%。

表 1 几种典型热水生产方式的性能对比  
Tab.1 Economic analysis of different water heater

| 加热方式    | 燃煤      | 燃气                 | 电热      | 复合热泵     |
|---------|---------|--------------------|---------|----------|
| 能源种类    | 标准煤     | 天然气                | 电       | 电        |
| 能源热值/MJ | 29.29   | 35.56              | 3.60    | 3.60     |
| 能耗      | 6.27 kg | 4.6 m <sup>3</sup> | 43 kW·h | 11.8kW·h |
| 费用/元    | 4.7     | 16.5               | 27.9    | 7.7      |
| 相对费用    | 0.61    | 2.14               | 3.62    | 1        |
| 环保性     | 差       | 较差                 | 好       | 好        |

4 结论

研发空气源/污水源复合热泵热水系统,建立了空气源/污水源复合热泵热水示范工程,进行了复合热泵热水系统运行状况的测试研究,得出如下结论:

1) 在环境温度为 10℃条件下,复合热泵系统相对于空气源热泵、燃气热水器、电热水器分别节约费用 16%、53.3%、72.4%,测试期间系统运行平稳,热水水温稳定,在洗浴高峰期出水温度依然能达到设定温度。

2) 室外平均温度为 8.1℃,对污水池内污水温度、预热换热器污水通道出口温度、污水排水口温度测试结果显示,各温度相对稳定,分别为 30.6℃、25.8℃、15.5℃,污水总温降约 15.1℃,回收热量约占加热总能量的 1/3,污水余热回收效果明显。

3) 循环水箱内水温近似等幅振荡,波动范围为 30~45.9℃,系统在 12 h 内共完成 10 个加热周期,制得 50℃热水 120 m<sup>3</sup>;同一个加热周期内水温上升速度变缓、耗电量上升速度变快。

4) 分别对空气源热泵、空气源/污水源复合热泵系统在 10℃±1℃的条件下,将自来水加热到 45℃进行实验研究,空气源热泵平均能效为 2.96,复合热泵系统平均能效为 3.45,复合热泵系统相对于普通的空气源热泵更高效、节能。

参考文献

[1] 干靓. 美国绿色学校评估体系及其实践研究[C]//第七届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集. 北京:中国城市科学研究会,中国建筑节能协会, 2011: 97-101.

(GAN Liang. American green school evaluation system and its practical research[C]// Beijing: Chinese Society For Urban Studies, China Association of Building Energy Efficiency, 2011: 97-101. )

[2] 潘军刚,郑明明,万莉. 高校集中浴室联合热水系统节能效益分析[J]. 建筑节能, 2015, 43(9): 115-118. (PAN Jungang, ZHENG Mingming, WAN Li. Energy-saving analysis of the combined hot water system for bathroom in university[J]. Building Energy Efficiency, 2015, 43(9): 115-118. )

[3] Kaoru S. Heat pump water heater market in Japan [J]. Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News, 2008, 8: 85-88.

[4] 杨昭,赵海波,胡云峰,等. 水-水热泵系统全年性能优化的研究[J]. 制冷学报, 2006, 27(3): 24-29. (YANG Zhao, ZHAO Haibo, HU Yunfeng, et al. Research on annual performance factor of water-water heat pump system [J]. Journal of Refrigeration, 2006, 27(3): 24-29. )

[5] 张海峰,王勤,陈光明,等. 相变蓄热型热泵热水器的设计及实验研究[J]. 制冷学报, 2005, 26(3): 22-25. (ZHANG Haifeng, WANG Qin, CHEN Guangming, et al. Design and experimental research on a heat pump water heater with PCM[J]. Journal of Refrigeration, 2005, 26(3): 22-25. )

[6] 张泽国,曹向军,周俊海,等. 循环加热式空气源热水机性能评价研究[J]. 低温与超导, 2013, 41(10): 87-89. (ZHANG Zeguo, CAO Xiangjun, ZHOU Junhai, et al. Study on the evaluation system for the performance of water heater based on circular heating type heat pump[J]. Cryo. & Supercond, 2013, 41(10): 87-89. )

[7] 杨磊,张小松. 复合热源太阳能热泵热水系统性能模拟[J]. 化工学报, 2009, 60(9): 2292-2298. (YANG Lei, ZHANG Xiaosong. Performance simulation of multiple heat source solar heat pump water heater system [J]. CIESC Journal, 2009, 60(9): 2292-2298. )

[8] 张月红,徐国英,张小松. 太阳能与空气复合热泵热水系统多模式运行实验特性[J]. 化工学报, 2010, 61(2): 484-490. (ZHANG Yuehong, XU Guoying, ZHANG Xiaosong. Experimental characteristics of solar-air source heat pump water heating system operating in different modes[J]. CIESC Journal, 2010, 61(2): 484-490. )

[9] 陈剑波,孙坤,聂琳杰,等. 基于太阳能光伏光热组件的双热源热泵机组的实验研究[J]. 制冷学报, 2015, 36(5): 49-54. (CHEN Jianbo, SUN Kun, NIE Linjie, et al. Experimental research of dual-source heat pump unit based on solar photovoltaic and photo thermal component [J]. Journal of Refrigeration, 2015, 36(5): 49-54. )

- [4] Kannan K, Rudramoorthy R. Experimental and numerical analysis of laminar and low turbulent flow distributions in inlet dividing header of shell and tube heat exchanger[J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2010, 22(4):494-502.
- [5] 赵宇, 祁照岗, 陈江平. 微通道平行流蒸发器流程布置研究与分析[J]. *制冷学报*, 2009, 30(1):25-29. (ZHAO Yu, QI Zhaogang, CHEN Jiangping. Flow configuration in micro-channel parallel flow evaporator [J]. *Journal of Refrigeration*, 2009, 30(1):25-29.)
- [6] 刘巍, 朱春玲. 分流板开孔面积对微通道平行流蒸发器性能的影响[J]. *制冷学报*, 2014, 35(3):58-64. (LIU Wei, ZHU Chunling. Effects of open area of holes in deflector on performance of micro-channel evaporator with parallel flow[J]. *Journal of Refrigeration*, 2014, 35(3):58-64.)
- [7] 鲁红亮, 陶红歌, 胡云鹏, 等. 平行流换热器中热流体分布均匀性的研究进展[J]. *制冷学报*, 2010, 31(6):39-45. (LU Hongliang, TAO Hongge, HU Yunpeng, et al. State-of-the-art of thermo-fluid uniform distribution in microchannel heat exchanger [J]. *Journal of Refrigeration*, 2010, 31(6):39-45.)
- [8] Kim S, Choi E, Cho Y I. The effect of header shapes on the flow distribution in a manifold for electronic packaging applications [J]. *International Communications in Heat & Mass Transfer*, 1995, 22(3):329-341.
- [9] Horiki S, Nakamura T, Osakabe M. Thin flow header to

distribute feed water for compact heat exchanger[J]. *Experimental Thermal & Fluid Science*, 2004, 28(2/3):201-207.

- [10] Rousseau P G, Greyvenstein G P. Enhancing the impact of heat pump water heaters in the South African commercial sector[J]. *Energy*, 2000, 25(1):51-70.
- [11] Habib M A, Ben-Mansour R, Said S A M, et al. Evaluation of flow maldistribution in air-cooled heat exchangers [J]. *Computers & Fluids*, 2009, 38(3):677-690.
- [12] Horiki S, Nakamura T, Osakabe M. Thin flow header to distribute feed water for compact heat exchanger[J]. *Experimental Thermal & Fluid Science*, 2004, 28(2/3):201-207.
- [13] Ngoma G D, Godard F. Flow distribution in an eight level channel system[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2005, 25(5/6):831-849.

#### 通信作者简介

孙文卿, 男, 硕士, 南京师范大学, 15996273358, E-mail: 1461353063@qq.com。研究方向: 换热器分液装置改善研究。

#### About the corresponding author

Sun Wenqing, male, master, Nanjing Normal University, + 86 15996273358, E-mail: 1461353063@qq.com. Research fields: study on the improvement of the liquid distributor in the heat exchanger.

(上接第22页)

- [10] 郭超, 王芳, 罗漠娇, 等. 太阳能、空气源热泵热水系统性能优化实验研究[J]. *制冷学报*, 2013, 34(5):41-46. (GUO Chao, WANG Fang, LUO Mojiao, et al. Experimental research on performance optimization of solar-air source heat pump water heater [J]. *Journal of Refrigeration*, 2013, 34(5):41-46.)
- [11] 韩丰云, 王铁军, 刘杰. 污水源热泵热能经济技术分析[J]. *合肥工业大学学报*, 2008, 31(3):352-355. (HAN Fengyun, WANG Tiejun, LIU Jie. Cost-effectiveness analysis of sewage source heat pump [J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 2008, 31(3):352-355.)
- [12] 沈朝, 姜益强, 姚杨. 洗浴中心废热回收热泵热水系统性能的实验研究[J]. *建筑科学*, 2012, 28(10):24-28. (SHEN Chao, JIANG Yiqiang, YAO Yang. Experimental study on heat pump water heating system with waste heat recovery in a SPA center [J]. *Building Science*, 2012, 28(10):24-28.)
- [13] 安青松, 史琳, 汤润. 基于污水源热泵的大型集中洗浴废水余热利用研究[J]. *华北电力大学学报*, 2010, 37(1):57-61. (AN Qingsong, SHI Lin, TANG Run. Waste heat recovery research of large-scale public bath sewage based on sewage heat pump [J]. *Journal of North China Electric Power University*, 2010, 37(1):57-61.)
- [14] 胡敏东, 金苏敏. 生活浊水热泵热水器性能的实验研究[J]. *制冷学报*, 2011, 32(2):9-13. (HU Mindong, JIN

Sumin. Experimental study on performances of heat pump water heater based on heat recovery of domestic waste [J]. *Journal of Refrigeration*, 2011, 32(2):9-13.)

- [15] 李继萍, 胡鹏, 王铁军. 集中浴场用空气源与污水源复合热泵热水系统及控制方法, 201610291265.0 [P]. 2016-07-20. (LI Jiping, HU Peng, WANG Tiejun. The air source and sewage source heat pump hot water system and control method used in centralized bathing room: China, 201610291265.0 [P]. 2016-07-20.)
- [16] 陈明, 许志浩, 胡勇, 等. 某高校浴室污水余热回收分析[J]. *制冷与空调(四川)*, 2012, 26(5):511-513. (CHEN Ming, XU Zhihao, HU Yong, et al. An analysis of bathroom sewage waste heat recovery of a college [J]. *Refrigeration and Air Conditioning*, 2012, 26(5):511-513.)

#### 通信作者简介

王铁军, 男, 教授, 合肥工业大学制冷与空调技术研究所所长, 13905510159, E-mail: wtj555@sina.com。研究方向: 制冷空调系统节能与能源综合利用。

#### About the corresponding author

Wang Tiejun, male, professor, the Head of Refrigeration and Air Conditioning Institute, Hefei University of Technology, + 86 13905510159, E-mail: wtj555@sina.com. Research fields: conservation and utilization of energy in refrigeration and air conditioning system.