

Economic and Environmental Benefit Analysis of Composite Heat Pump Hot Water System

Wenjing Wu¹, Meiqin Ni¹, Yuxue Zhang¹, Hairong Lu²

¹College of Hydraulic and Energy Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

²Meinhardt China Consulting Co., Ltd., Shanghai

Email: 1745487417@qq.com

Received: Jun. 11th, 2019; accepted: Jun. 20th, 2019; published: Jun. 27th, 2019

Abstract

Aiming at the air source and sewage source composite heat pump hot water system of a college bathing center, this paper analyzes the advantages and disadvantages of the composite heat pump hot water system and the traditional hot water system from two aspects of economy and environmental protection. The results show that the composite heat pump hot water system has the lowest energy consumption, the hot water energy consumption is only 11.8 kWh/t; the initial investment of the system is high, but the operating cost is low, the annual cost is 675,000 Yuan, only about 38% of the oil-fired boiler, 55% of electric boiler; compared with gas boilers, environmental benefits are not obvious, but much smaller than other electric water heating systems.

Keywords

Air Source Heat Pump, Composite Heat Pump, Gas Boiler, Electric Boiler, Economic, Environmental

复合热泵热水系统的经济环保效益分析

吴文婧¹, 倪美琴¹, 张玉雪¹, 陆海荣²

¹扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州

²迈进工程设计咨询(上海)有限公司, 上海

Email: 1745487417@qq.com

收稿日期: 2019年6月11日; 录用日期: 2019年6月20日; 发布日期: 2019年6月27日

摘要

针对某高校洗浴中心的空气源和污水源复合热泵热水系统, 本文从经济性和环保性两个方面出发, 比较

分析复合热泵热水系统与传统热水系统的优劣性。结果表明,复合热泵热水系统能耗最低,热水能耗仅11.8 kWh/t;系统初投资高,但运行费用低,费用年值为67.5万元,仅约燃油锅炉的38%,电锅炉的55%;与燃气锅炉相比,环保效益不明显,但远小于其他用电热水系统。

关键词

空气源热泵, 复合热泵, 燃气锅炉, 电锅炉, 经济性, 环保性

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着生活水平的提高,生活用水的使用量也在逐年增加,与发达国家相比,我国居民的人均热水用量远远不能满足生活要求[1]。常规洗浴系统是直接将使用后温度较高的洗浴废水排入污水系统,使得污水中所含高于环境温度的热量被浪费,对于大型集中式洗浴系统中这种损失更加严重[2]。热泵技术是通过消耗少量高位能(如电能),来回收低温余热的一种节能利用方式;而洗浴污水中含有大量的余热,采用污水源热泵技术利用污水中的热能供热,可在一定程度上缓解能源紧张的形势[3]。许多学者[4]-[11]对空气源和污水源复合热泵热水系统进行研究,发现利用污水源热泵系统来回收洗浴废水的热量,来减少部分热水制备耗能,是一种节能环保的能量利用方式。

本文选取镇江市某高校学生洗浴中心的空气源和污水源复合热泵热水系统与其他几种热源形式对比,进行节能、经济及环保效益分析,包括燃油锅炉、燃气锅炉、电锅炉、空气源热泵及电锅炉辅助污水源热泵热水系统。

2. 节能效益分析

因为不同能源的计量单位不同,这里将各能源转换成等价标煤,进行各方案运行能耗的比较。根据文献[12]取折标煤系数,其中当量折标系数是按照燃料的当量热值(理论发热量)与标准煤发热量之比,等价折标系数是指二次能源的等价热值与标准热值之比[13]。表1给出了各方案的能源热值、设备热效率和各能源的折标煤系数,其中能源热值与设备热效率参考文献[14]。

设定全年自来水的平均温度 $t_2 = 15^\circ\text{C}$ [1],热水温度 $t_1 = 50^\circ\text{C}$,该校洗浴中心热水系统年热水用量 $m = 46,200\text{ t}$,根据热量计算公式:

Table 1. Energy calorific value and equipment thermal efficiency

表 1. 能源热值与设备热效率

加热方式	能源种类	理论热值	热效率	实际热值	当量折标系数	等价折标系数
燃油锅炉	柴油	42.8 MJ/kg	0.88	37.66 MJ/kg	1.4571 kg·ce/kg	1.4571 kg·ce/kg
燃气锅炉	天然气	35.6 MJ/Nm ³	0.9	32.04 MJ/Nm ³	1.2143 kg·ce/Nm ³	1.2143 kg·ce/Nm ³
电锅炉	电	3.6 MJ/kWh	0.95	3.4 MJ/kWh	0.1229 kg·ce/kWh	0.36 kg·ce/kWh
电锅炉 + 污水源热泵	电	3.6 MJ/kWh	2.4	8.64 MJ/kWh	0.1229 kg·ce/kWh	0.36 kg·ce/kWh
空气源热泵 + 污水源热泵	电	3.6 MJ/kWh	3.45	12.42 MJ/kWh	0.1229 kg·ce/kWh	0.36 kg·ce/kWh
空气源热泵	电	3.6 MJ/kWh	3.1	11.16 MJ/kWh	0.1229 kg·ce/kWh	0.36 kg·ce/kWh

$$Q = cm(t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中： c 为热水定压比热， $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

计算可得，年热水热负荷 $Q = 6,791,400 \text{ MJ}$ ，根据表 1 计算可得各热源方式的年运行能耗，如图 1 所示。

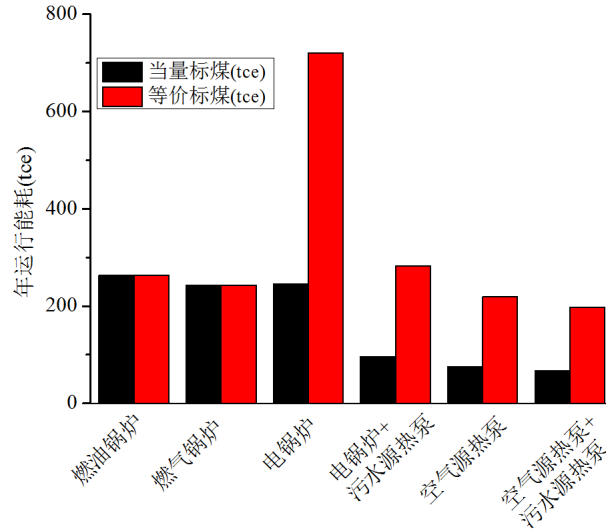


Figure 1. Energy consumption chart for annual operation of each heat source mode

图 1. 各热源方式年运行能耗图

从图 1 中可以看出各热源方式中，空气源热泵 + 污水源热泵最小，折合成等价标煤为 196.9 t，电锅炉明显最高，其余相差不大。空气源热泵 + 污水源热泵年运行能耗约为电锅炉的 27%，约为电锅炉 + 污水源热泵的复合热水系统的 70%，因为空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统以空气和污水作为低温位热源，制热系数(COP)恒大于 1，说明复合热泵热水系统的制热量始终大于耗功量，因此空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统比燃油锅炉、燃气锅炉和电锅炉有显著的节能效果；与空气源热泵相比，空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统的制热系数(COP)稳定在 3.7 左右，比空气源热泵的制热系数(COP)高，因此空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统的节能性优于空气源热泵。综上所述，空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统节能优势明显。

3. 经济效益分析

目前，评价热水系统经济效益有很多方法，如综合热价法、财务净现值法和动态费用年值法等，本文采用动态费用年值法对各热源方式进行分析。动态费用年值法是指将系统造价根据时间价值分散到系统使用周期内每年的费用，将每年的运行费用相加作为费用年值，以不同方案中费用年值最小的作为最佳方案。综合比较两个经济效益评价方法，动态费用年值法考虑到了初投资和运行费用，具有客观性和科学性，更加全面，因此该工程采用动态费用年值法，计算公式如下：

$$AC = C_i \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + C_k \quad (2)$$

式中： AC 为费用年值，元； C_i 为初投资，元/ m^3 ； C_k 为年运行费用，元/ m^3 ； i ——标准收益率，统一取 8% [1]； n 为设备使用年限，年。

系统的经济指标主要涉及两个部分，分别为初投资和年运行费用，其中初投资包括土建费、设备购

置费、安装费及其他费(包括设计费、监理费和不可预见费)等。初投资[15][16]计算为主机系统概算,以市场上各生产厂家机组报价和国家安装工程概算定额为依据。年运行费用包括设备折旧费、设备维修费、能源费、管理费等。为便于比较,本文主要考虑设备购置费、安装费、设备折旧费和设备维修费、能源费、管理费等。其中,设备折旧费根据公式:折旧费 = 固定资产 × (1 - 预计净残值率)/设备寿命,其中预计净残值率取 4%,设备维修费按设备固定资产的 2%计算[17],管理费按每人每年 2.4 万元计算[1]。

各能源的单价按照镇江地区 2015 年商用能源价格计算,能源单价如表 2 所示,在此基础上,按照空气源和污水源复合热泵热水系统的费用计算方式(如表 3 所示),依次计算各加热方式的初投资与年运行费用,具体结果见图 2。在利率取 8%的条件下,根据式(2)计算得动态费用年值,具体结果见图 2。

Table 2. Unit price of energy

表 2. 能源单价

能源种类	柴油	天然气	电
能源单价	6.91 元/L	2.9 元/Nm ³	0.5783 元/kWh

Table 3. Accounting cost of air-source and sewage-source compound heat pump water heating system

表 3. 空气源和污水源复合热泵热水系统核算费用

费用种类	设备/型号	数量	单价(万元)	合计(万元)	
热源部分	空气源热泵机组	DKFXRS-85II	13	7.25	94.25
	循环水箱	120 t (8*5*3 m)	2	11.52	23.04
	循环泵	IPL80	5	1.02	5.10
	安装费	-	-	5.50	5.50
余热回收部分	污水源热泵	SD(R)-1280S/W	2	11.18	22.36
	砂缸	10 m ³ /h	2	0.91	1.82
	板式换热器	28 m ²	2	0.96	1.92
	污水泵	9.6 m ³	2	0.49	0.98
	循环泵	10 m ³	2	0.36	0.72
	循环水箱	120 t (8*5*3 m)	1	11.52	11.52
	安装费	-	-	1.10	1.10
	能源费				31.64
	维修费				3.37
	折旧费				10.78
管理费				2.40	

由图 2 可以看出,以上六种方案的动态费用年值计算结果为:空气源热泵 < 空气源热泵 + 污水源热泵 < 电锅炉 + 污水源热泵 < 燃气锅炉 < 电锅炉 < 燃油锅炉。通过对图表中数据分析可得以下结论: 1) 复合热泵热水系统在以上各加热方式中初投资远高于其它方式,空气源热泵 + 污水源热泵的初投资费用为 168.31 万元,是锅炉初投资费用的 3.5 倍; 2) 采用锅炉生产热水的方式运行费用高,空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统运行费用最低,具有良好经济性,如锅炉系统的最高年运行费用可达 169.51 万元,最低的空气源热泵 48.33 万元,仍比空气源热泵 + 污水源热泵高约 0.15 万元; 3) 动态费用年值受年运行费用影响较大,初投资对其影响较小,采用空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热

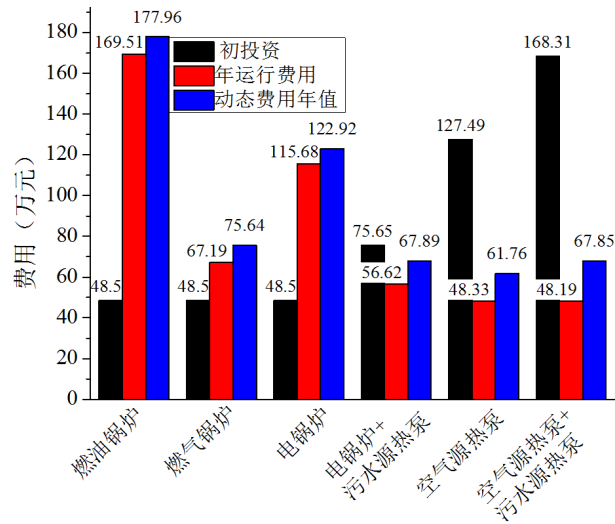


Figure 2. Annual comparison of dynamic cost for different heat source modes

图 2. 各热源方式动态费用年值比较

水系统生产热水的经济性最好，值得推广。

4. 环保效益分析

近年来，环境问题已经引起了全球各国的广泛关注，其中最受关注的有全球气候变暖、酸雨、臭氧层破坏等[18]，而这些环境问题的产生大多是因为化石燃料的过度使用。因此减少常规能源的使用，推广可再生能源技术刻不容缓。接下来通过比较空气源和污水源复合热泵热水系统与常规热水系统的污染物排放量来分析的系统环保性。

消耗单位能源的污染物排放量[19]，具体见表 4。

Table 4. Emissions of pollutants per unit energy consumption

表 4. 消耗单位能源的污染物排放量

能源种类	烟尘(kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	CO ₂ (kg)
燃煤发电(万 kWh)	33.5	80.3	69.0	0.72	10,523.0
柴油(t)	1.2	37.5	8.6	0.24	3186.0
天然气(万 Nm ³)	3.1	6.3	18.4	0.06	20,180.0

消耗单位能源的污染物排放量结合各加热方式的年运行能耗，得到各加热方式的实际污染物排放量，具体结果见表 5。

Table 5. Emissions of pollutants from different heating modes

表 5. 各加热方式的污染物排放量

加热方式	烟尘(kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	CO ₂ (kg)
燃油锅炉	238	7437	1705	48	631,784
燃气锅炉	62	126	368	1.2	403,600
电锅炉	6700	16,060	13,800	144	2,104,600
电锅炉 + 污水源热泵	2633	6312	5423	56	827,108

Continued

空气源热泵	2040	4890	4202	44	640,851
空气源热泵 + 污水源热泵	1832	4392	3774	39	575,608

由表 5 可以看出, 各类污染物排放量计算值由小到大顺序为燃气锅炉 < 燃油锅炉 < 空气源热泵 + 污水源热泵 < 电锅炉 + 污水源热泵 < 空气源热泵 < 电锅炉, 虽然空气源热泵 + 污水源热泵的污染物排放量大于燃气锅炉和燃油锅炉系统, 但远小于空气源热泵、电锅炉及电锅炉 + 污水源热泵。空气源热泵 + 污水源热泵与燃气锅炉相比, 环保效益不明显, 但与以电能为能源的其他设备相比, 运行能耗大大减少, 污染物排放量也大大减少。因此, 如果电能不采用燃煤发电, 而采用现在大力推广的清洁能源发电, 如水力发电、太阳能光伏发电或风力发电, 那么换算成一次能源污染物排放量后, 空气源热泵 + 污水源热泵一定是环保效益最佳的生产热水方式。

5. 结语

本文选取镇江市某高校学生洗浴中心的空气源和污水源复合热泵热水系统与其他几种热源形式从节能、经济及环保效益这三个方面进行对比研究, 得出以下结论:

1) 对六种热水系统的年运行能耗进行比较, 结果表明, 空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统在各加热方式中年运行能耗最低, 折合为当量标煤和等价标煤分别为 67.2 t 和 196.9 t, 约为电锅炉年运行能耗的 27%, 节能效益明显。

2) 采用动态费用年值法比较各加热方式的经济性, 虽然空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统的初投资较其它热水系统来说偏高, 但其年运行费用最低, 动态费用年值也低, 虽只比空气源热泵高 0.15 万元, 远低于燃油锅炉和电锅炉, 且该复合热泵热水系统利用了污水余热回收, 节能环保。

3) 在环保效益分析中, 空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统是燃气锅炉和燃油锅炉外最具环保性的热水生产方式。如果电能来源于清洁能源, 则空气源热泵 + 污水源热泵的复合热泵热水系统的环保性最佳。

参考文献

- [1] 胡鹏. 空气源和污水源复合热泵系统的应用与研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [2] 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(自然科学版), 2010, 37(1): 57-61.
- [3] 孙春锦, 吴荣华, 孙源渊, 郑记莘. 污水源热泵技术研究现状及分析[J]. 暖通空调, 2015, 45(9): 49-53.
- [4] Rose, R. (2002) Heat Pumps in European Overview. *7th International Energy Agency Heat Pump Conference*, Beijing.
- [5] 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+64.
- [6] 郭超, 王芳, 罗谟娇, 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.
- [7] Nam, Y., Ooka, R. and Shiba, Y. (2010) Development of Dual-Source Hybrid Heat Pump System Using Groundwater and Air. *Energy and Buildings*, 42, 909-916. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.013>
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 胡鹏, 王铁军, 李继萍, 徐维, 夏兴祥. 空气源/污水源复合热泵系统设计与应用[J]. 制冷学报, 2017, 38(3): 19-22+62.
- [11] 张秋艳, 朱学锦, 杨洪海, 朱喆. 医院应用污水源热泵的可行性分析[J]. 暖通空调, 2016, 46(1): 51-54+5.
- [12] GBT2589-2008 综合能耗计算通则[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

- [13] 陈晓红. 浅议折标系数及对节能降耗的影响[R]. 南京: 江苏省统计局, 2009.
- [14] 李玉洁. 家用太阳能热水系统的节能与环境效益分析[J]. 节能技术, 2007, 25(3): 211-212+226.
- [15] 编写组. 锅炉房使用设计手册[M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [16] 于国清. 建筑物太阳能供热与空调的技术经济分析[D]: [博士后学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2003.
- [17] 杨家兴. 太阳能热泵热水系统优化设计与经济性分析[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2007.
- [18] 郦建国, 朱法华, 孙雪丽. 中国火电大气污染防治现状及挑战[J]. 中国电力, 2018, 51(6): 2-10.
- [19] 虞江萍, 崔萍, 王五一. 我国农村生活能源中 SO₂、NO_x 及 TSP 的排放量估算[J]. 地理研究, 2008, 27(3): 547-555.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjce@hanspub.org