

文章编号: 1671-6612 (2022) 04-632-05

高校洗浴废水余热回收系统的设计研究

史晨曦 狄育慧 蒋 婧

(西安工程大学城市规划与市政工程学院 西安 710048)

【摘要】 近年来, 能源短缺和环境污染问题成为世界关注的焦点问题, 大力推进节能减排, 发展以低能耗、低排放为标志的低碳经济, 实现可持续发展, 正成为世界各国经济发展的共同选择。作为发展中的大国, 中国能源环境方面的问题尤其突出。污水余热回收成为解决资源短缺问题的技术手段之一, 高校浴室作为校园建筑的重要组成部分, 其产生的洗浴废水具有废水余热量大、流量稳定等特点。针对西安某高校学生浴池的实际使用情况进行实地测试, 通过测试结果分析该高校浴池的洗浴废水余热回收潜力, 为该高校设计一套间接式污水源热泵回收系统并与原系统进行耦合为该校浴室提供热水, 并通过节能性环保性两方面分析该系统的可行性。

【关键词】 洗浴废水; 节能; 余热回收; 污水源热泵; 系统耦合

中图分类号 TK11+5 文献标识码 A

Application Research of Bath Wastewater Waste Heat Recovery System in Colleges and Universities

Shi Chenxi Di Yuhui Jiang Jing

(School of Urban Planning and Municipal Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048)

【Abstract】 In recent years, energy shortage and environmental pollution have become the focus of the world. We will vigorously promote energy conservation and emission reduction, develop a low-carbon economy marked by low energy consumption and low emissions, and achieve sustainable development is becoming a common choice for economic development around the world. As a major developing country, China's energy and environmental problems are particularly prominent. Sewage waste heat recovery has become one of the technical means to solve the problem of resource shortage. As an important part of the campus building, the bath wastewater produced by bathrooms in universities has the characteristics of large waste waste heat and stable flow. This paper tests the actual use of a university student bath in Xi'an, analyzes the waste heat recovery potential of the university bath, designs a set of indirect sewage source heat pump recovery system for the university and couples with the original system to provide hot water for the school bathroom, and analyzes the feasibility of the system through energy saving and environmental protection.

【Keywords】 bath waste water; energy saving; waste heat recovery; sewage source heat pump; system coupling

基金项目: 西安工程大学(柯桥)研究生院产学研协同创新重点项目(19KQZD05); 西安工程大学博士科研启动基金(107020419); 西安工程大学教学改革重点项目(21JGZD11)

作者(通讯作者)简介: 史晨曦(1996-), 男, 在读研究生, E-mail: 1271521169@qq.com

收稿日期: 2021-12-29

0 引言

洗浴废水是生活污水的主要来源之一^[1-3]。洗浴废水按照来源的不同可分为: 公共浴池洗浴废水、学校洗浴废水和居民洗浴废水三大类, 其中公共浴池洗浴废水和学校洗浴废水因为水量充足且流量

稳定容易被回收利用, 而且其排水温度较高^[4]。且目前我国对于洗浴废水处理的办法就是直接排放到管网中, 因此对于污水中的大量的低品位热能未进行利用, 造成了能源的极大浪费。目前, 随着污水源热泵在我国的兴起, 让这一部分的余热回收

利用成为可能。在国外, Baekl^[5]等研究以桑拿废水为低温热源的压缩式热泵, 利用峰谷电差蓄热, 为桑拿中心供热水。并利用 TRNSYS 搭建了仿真平台对整个系统进行模拟。对于国内, 大连理工大学郑晓琴^[6]建立了以洗浴废水为低温热源的污水源热泵模型, 并模拟了该系统的运行情况, 得出系统运行 COP 可达 5.2。清华大学安青松^[7]研究了污水源热泵在集中浴室废水余热利用, 分析对比洗浴废水与城市二级水, 表明利用热泵回收浴室废水余热的可行性; 污水源热泵通过消耗少量的电能从污水汲取低品位热能使其转化成高品位热能^[8]满足人们的日常所需。

文中主要针对学校洗浴废水, 结合某高校学生浴池具体使用情况进行调查测试, 收集数据资料, 针对其特点进行分析。为其设计一套与原系统耦合的污水源热泵回收系统。

1 项目基本情况

该高校占地面积 108 万平方米, 建筑面积 53 万平方米, 分为 A 和 B 两校区。本次调查测试主要针对 B, B 校区目前拥有全日制在校生 13000 余名。该校区学生浴池冬季热水来源由学校南锅炉房供给, 将加热后蒸汽送至锅炉房二楼与自来水进行换热, 使水温升高至 60℃, 然后通过供水管道将热水输送至洗浴中心, 由学生通过调节末端阀门进行冷热水调节, 其他季节均采用空气源热泵加热的方式来制取热水。学生浴池目前未设置洗浴污水余热回收系统, 洗浴废水直接通过学校污水管网排出。锅炉房设备为 2 台江苏双良锅炉有限公司生产 WNS10-1.0-QT 全自动燃油(气)蒸汽锅炉组成, 如图 1 所示, 该锅炉的技术参数如表 1 所示, 现有浴室系统结构图如图 2 所示。

学生浴池分为上下两层且构造相同, 二楼为女生浴池, 一楼为男生浴池。共有浴头数量 308 个, 其中包括 218 个单人洗浴和 90 个开放洗浴。冬夏季开放时间均为 10:00—22:00, 日供水时间为 12 个小时, 年平均运行时间 280 天。

表 2 洗浴中心 11 月份用水量统计表

Table 2 Water Consumption Statistics of Bath Center in November

日期	用水量 (t/d)	日期	用水量 (t/d)	日期	用水量 (t/d)
11 月 1 号	172	11 月 11 号	185	11 月 21 号	224
11 月 2 号	195	11 月 12 号	186	11 月 22 号	165



图 1 西安某高校学生浴室热水供应锅炉

Fig.1 Hot water supply boiler for a college student bathroom in Xi'an

表 1 WNS10-1.0-QT 全自动燃油(气)蒸汽锅炉技术参数

Table 1 The WNS10-1.0-QT is fully automatic Technical parameters of fuel fuel (gas) steam boiler

名称	单位	数值
额定蒸发量	t/h	10
额定蒸汽压力	MPa	1.0
额定蒸汽温度	℃	184

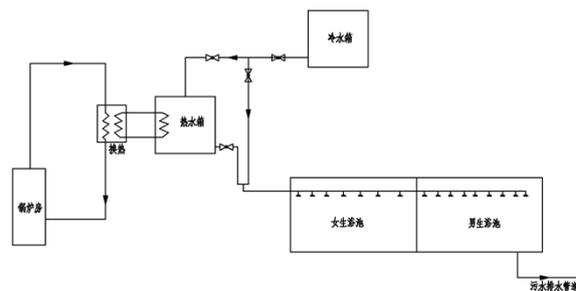


图 2 现有浴室系统流程图

Fig.2 Flow chart of the bathroom system

2 数据调查及分析

为了给本论文提供真实可靠的数据依据, 数据来源采用现场实测的方式进行。笔者通过调查统计该高校 2021 年 11 月份 30 天的用水量, 统计结果如表 2 所示, 对于温度的测试包括自来水温度、天气温度以及浴池污水温度。测试采用随机采样的方式选取 11、12 月份十天内三项数据的逐时温度进行统计分析并制作成点线图, 结果如图 3、图 4 所示。以此来确定整个冬季浴池的相关温度工况。

续表 2 洗浴中心 11 月份用水量统计表

日期	用水量 (t/d)	日期	用水量 (t/d)	日期	用水量 (t/d)
11 月 3 号	187	11 月 13 号	218	11 月 23 号	176
11 月 4 号	175	11 月 14 号	231	11 月 24 号	186
11 月 5 号	186	11 月 15 号	176	11 月 25 号	169
11 月 6 号	201	11 月 16 号	189	11 月 26 号	171
11 月 7 号	228	11 月 17 号	183	11 月 27 号	231
11 月 8 号	181	11 月 18 号	165	11 月 28 号	228
11 月 9 号	185	11 月 19 号	173	11 月 29 号	173
11 月 10 号	194	11 月 20 号	213	11 月 30 号	185

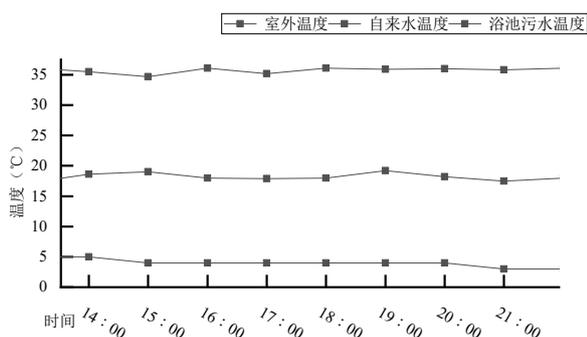


图 3 温度逐时变化图

Fig.3 Time-by-time temperature change diagram

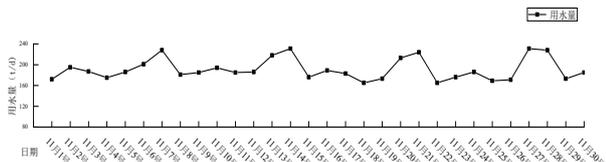


图 4 2021 年 11 月份用水量点线图

Fig.4 Line diagram of water consumption points in November 2021

由统计数据可以看出,自来水温度以及浴池温度随天气温度的变化波动不大,分析其原因是由于自来水通过地下管道输送,与空气之间的传热小;而洗浴污水由于浴池内流动直接通过污水管道排出,且浴池墙壁也避免了浴池污水直接暴露于环境温度下,因此减少了与环境温度之间的大面积换热,所以水温波动不大。日用水量存在周期性变化,周一到周五用水量相对稳定,周六周天会出现用水小高潮。这是由于学校学习生活的规律性,相似性造成的。

在本次测试数据中,测得该校自来水平均温度为 18℃,洗浴污水平均温度为 36℃。日平均用水

量为 191t/d。最小用水量分别出现在 18 号和 20 号这两天,用水量为 165t/d,最大用水量出现在 14 号,用水量为 231t/d。根据《建筑给水排水设计规范》(GB 50015-2003)中 5.1.1 条中规定在对洗浴热水使用温度设计时一般应在 40~45℃。由公式 (1) 可计算出洗浴废水中含有的热量与加热自来水所需热量的比值。

$$F = \frac{t_1 - t}{t_2 - t} \tag{1}$$

式中, t_1 为洗浴废水温度,℃; t_2 为洗浴水温度,℃; t 为自来水温度,℃。

取洗浴水温度为 42℃代入公式可得结果 $F=75%$, 因此可知洗浴中用到的热量仅占 25%, 75%的热量都随洗浴废水浪费掉。

总结以上数据分析可知,该校目前洗浴用水量大、水量稳定,洗浴废水温度较高,因此对与该校洗浴废水余热回收存在巨大潜力。

3 系统设计

基于洗浴废水中含有大量不同的污染物^[9], 容易造成热泵余热回收系统的腐蚀、结垢、堵塞等问题,因此系统选择与原蒸汽锅炉进行耦合的间接式污水源热泵系统。该种方式中的污水源热泵系统承担部分负荷,其余负荷由原有锅炉或空气源热泵承担,污水源热泵系统的负荷可以根据污水的排放量及污水的取热温差确定,其他加热方式的负荷根据总的热负荷减掉污水源热泵系统的负荷来确定,这种方式较之前单一的加热方式运行费用低且更加节能环保,改造后浴池系统如图 6 所示。

3.1 热泵机组设备选型计算

由系统设计需求可知, 该热泵系统需要将 18℃的自来水加热至 60℃送至热水箱, 且自来水流量为 4.2kg/s, 代入公式 (2) [10]可计算出所需热泵机组的制热量为 740.9kW。

$$Q=mc(t_{out}-t_{in}) \quad (2)$$

式中: m 为自来水流量, kg/s; c 为自来水的比热容, 取 4.2KJ/(kg·℃); t_{out} 为热泵机组出水温度, ℃; t_{in} 为热泵机组进水温度, ℃。

根据计算结果选择机组为开利公司生产的型号为 61XW-B1-210B 水地源热泵, 该热泵的技术参数如表 3 所示。

表 3 61XW-B1-210B 水地源热泵技术参数

Table 3 61 Technical Parameters of X W-B1-210B water and ground source heat pump

名称	单位	数值
名义制热量	kW	839.3
输入功率	kW	168.1
制热 COP	kW/kW	4.99
冷凝器热水流量	l/s	37.1
冷凝器水压降	kPa	56
蒸发器热源水流量	l/s	22.0
蒸发器水压降	kPa	22

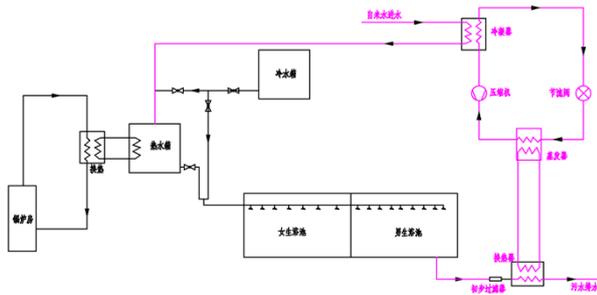


图 6 改造后浴室系统图

Fig.6 Bath system diagram after renovation

3.2 系统节能性分析

该热泵机组每天制取的热量折算成标准煤为:

$$M_1 = \frac{Q}{q_e \eta_1 COP} \quad (3)$$

式中, M_1 为污水源热泵机组制热折算成的标准煤量, kg; Q 为热泵机组每天的制热量, kJ; q_e 为标准煤的热值, 取 2.9×10^4 KJ/kg [11]; η_1 为电力输入效率, 取 30% [12]; COP 为热泵机组的能效比,

取 4.99。则 $M_1 = 740.9 \times 24 \times 3600 / (2.9 \times 10^4 \times 30\% \times 4.99) = 1475$ kg。

若采用传统的燃煤锅炉制取同等质量的热水需要消耗的标准煤为:

$$M_2 = \frac{Q}{q_e \eta_2} \quad (4)$$

式中, M_2 为燃煤锅炉制热折算成的标准煤量, kg; η_2 为燃煤锅炉效率 (包含储煤损失、输送损失等), 取 60% [13]。

则 $M_2 = 740.9 \times 24 \times 3600 / (2.9 \times 10^4 \times 60\%) = 3679$ kg

由计算结果可知采用污水源热泵机组每天折算的标准煤量相比于传统燃煤锅炉每天折算的标准煤量节约了 $\Delta M = M_2 - M_1 = 3679 - 1475 = 2204$ kg, 且污水源热泵机组每天折算标准煤量仅占传统燃煤锅炉标准煤量的 40%, 节能效果显著。

3.3 系统环保性分析

由上一节计可知污水源热泵机组每天节约折算标准煤量为 2204kg, 该校浴池平均年运行天数为 280 天, 则全年节约标准煤量为 617120kg。我国污染物排放标准定额如表 3 [14] 所示。

表 3 我国污染物排放标准定额

Table 3 The pollutant emission standard quota in China

污染物	SO _x	CO ₂	NO _x	粉尘
标煤/kg·kg ⁻¹	0.03	2.75	0.004	0.02

则污水源热泵机组全年减少的污染物排放量根据公式 (5) 计算:

$$\Delta m_{w,i} = M \times \Delta R_{w,i} \quad (5)$$

式中: $\Delta m_{w,i}$ 为第 i 种污染物的排放减少量, kg; i 为依次代表 SO_x、CO₂、NO_x、粉尘; $\Delta R_{w,i}$ 为单位质量标煤燃烧产生的第 i 种污染物质量, kg·kg⁻¹。

所以全年 SO_x 排放减少量为 $\Delta m_{w,i} = M \times \Delta R_{w,i} = 617120 \times 0.03 = 18513.6$ kg, 其余污染物排放减少量计算结果见表 4 所示。

表 4 污染物全年排放减少量

Table 4 Annual reduction in pollutant emissions

污染物	SO _x	CO ₂	NO _x	粉尘
减少量/kg	18513.6	1697080	2468.48	12342.4

4 结语

该高校当前洗浴废水直接排到学校排水系统中,这样对洗浴废水中余热造成了严重的浪费,经计算洗浴中用到的热量仅占 25%,75%的热量都随洗浴废水浪费掉。另外,将洗浴废水直接排放也会造成环境热污染问题。笔者根据该高校污水的排放量及污水的取热温差以及洗浴废水的水质特点为该校设计出一套与原有锅炉系统相耦合的间接式污水源热泵系统。对该系统按折算标准煤量计算该系统仅占传统燃煤锅炉标准煤量的 40%,节能效果显著。通过环保分析可知每年 SO_x 排放减少量 18513.6kg、 CO_2 排放减少量 1697080kg、 NO_x 排放减少量 2468.48kg、粉尘减少量 12342.4kg,环保效益显著。

参考文献:

- [1] 郁文红,李姗姗,王美琳.洗浴废热能量回收与中水水源热泵应用[J].建筑节能,2017,45(7):113-115.
- [2] 靳志军.城市生活污水原位再生利用[J].中国环保产业,2002,(7):22-24.
- [3] 纪鹏磊,林真国,蒋晏平,等.污水源热泵在公共浴室废水热回收工程中的应用[J].建筑与土木工程,2012,34(S1):263-266,274.
- [4] 阮久丽,于凤,陈洪斌,等.生活污水分类收集处理的探讨[J].中国给水排水,2010,26(8):25-29.
- [5] NC Baek, UC Shin, JH Yoon. A Study on the Design and Analysis of a Heat Pump Heating System Using Wastewater as a Heat Source[J]. Solar Energy, 2005,78(3):427-440.
- [6] 郑晓琴.洗浴废水热回收热泵系统的分析与研究[D].大连:大连理工大学,2007.
- [7] 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.
- [8] 黄英杰.浅议污水源热泵技术[J].科技与企业,2015,(11):125.
- [9] 周文忠,李建兴,涂光备.污水源热泵系统和污水冷热能利用前景分析[J].暖通空调,2004,(8):25-29.
- [10] 拓炳旭.印染厂废水余热回收系统研究[D].西安:西安工程大学,2017.
- [11] 钱剑峰.直接式污水源热泵系统节能与环保性能研究[J].建筑热能通风空调,2011,30(1):18-22.
- [12] 申传涛,彭冬根,胡松,等.南昌市污水源热泵系统工程实例与应用可行性分析[J].可再生能源,2014,32(10):1510-1513.
- [13] GB 508 10-2012,煤炭工业给水排水设计规范[S].北京:中国计划出版社,2012.
- [14] 钱剑峰,孙德兴.直接式污水源热泵系统节能与环保性能分析[C].中国制冷学会 2009 年学术年会论文集,2009.