

文章编号: 1671-6612 (2020) 06-744-04

印染废水余热回收系统设计及节能环保性分析

宋晨¹ 狄育慧¹ 郝振东² 沈利铭³

(1.西安工程大学城市规划与市政工程学院 西安 710600

2.西安工程大学柯桥纺织产业创新研究院 绍兴 312030

3.浙江嘉业印染有限公司 绍兴 312030)

【摘要】 针对某印染企业的印染废水排放量大, 温度高等特点, 提出了一套使用污水源热泵系统的技术来回收印染废水中余热的设计方案。对该热泵系统进行了节能环保效益分析, 结果表明使用该系统来回收印染废水中的余热, 具有良好的节能环保效益。

【关键词】 污水源热泵; 印染废水; 余热回收; 节能环保

中图分类号 TK11+5 文献标识码 A

Design of Waste Heat Recovery System for Printing and Dyeing Wastewater and Analysis of Energy Saving and Environmental Protection

Song Chen¹ Di Yuhui¹ Hao Zhendong² Shen Liming³

(1.School of Urban Planning and Municipal Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710600;

2.Keqiao Textile Industry Innovation Research Institute, Xi'an University of Technology, Shaoxing, 312030;

3. Zhejiang Jiaye Printing and Dyeing company limited, Shaoxing, 312030)

【Abstract】 Aiming at the characteristics of large discharge and high temperature of printing and dyeing wastewater of a printing and dyeing enterprise, this paper puts forward a set of design schemes to recover waste heat from printing and dyeing wastewater using a technology of sewage source heat pump system. The energy-saving and environmental-protection benefit analysis of the heat pump system is performed, and the results show that using the system to recover waste heat in printing and dyeing wastewater has good energy-saving and environmental-protection benefits.

【Keywords】 Sewage source heat pump; printing and dyeing wastewater; waste heat recovery; energy saving and environmental protection

基金项目: 西安工程大学(柯桥)研究生学院产学研协同创新项目(编号: 19KQZD05)

作者简介: 宋晨(1997.04-), 男, 硕士研究生, E-mail: 781512207@qq.com

通讯作者: 狄育慧(1964.02-), 女, 教授, E-mail: 470836165@qq.com

收稿日期: 2020-04-14

0 前言

随着我国经济的飞速发展, 污染严重问题显得尤为突出, 国家也越来越重视环境保护的问题, 相

应的出台了許多政策。我国每年的污水排放量为 $3.9 \times 10^{10} \text{t}$, 工业废水占总排放量的 51%, 并且以 1% 的速率递增。我国是纺织印染工业的第一大国, 纺

织印染行业是废水排放的大户, 约占整个工业废水排放量的 35% 其中印染废水排放量约为 $3 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ [1]。印染行业属于高耗能, 高耗水, 高污染的“三高”行业。印染废水的排放温度较高, 废水的排放量较大, 具有较大的热能, 如果不将其中的热能加以回收再利用, 将会损失大量的能源, 而且温度过高的废水排放到环境中去, 将会对环境造成热污染。

污水源热泵是一种以污水作为直接或间接冷热源的装置, 属于水源热泵的一种, 主要是以生活污水、工业废水等作为储存能量的低温冷、热源, 通过热泵机组系统内工质吸热、放热的物态循环变化, 消耗少量电能或机械能, 从而达到冷却或加热效果的一种创新节能技术。污水源热泵减少了燃煤、燃气锅炉的使用, 减少了不可再生能源的使用, 则环保效果较为显著。污水源热泵系统可供暖、供冷、供生活热水, 真正做到一机多用的效果。污水源热泵技术对环境基本没有污染, 作为一种清洁能源技术, 在国内外受到大力的发展。

1 污水源热泵系统

1.1 污水源热泵系统原理

污水源热泵是一种通过消耗少量的电能或机械能实现从低温向高温输送热量的装置。热泵机组由蒸发器、冷凝器、压缩机、节流装置等主要部件构成, 低温热源在蒸发器内与循环工质进行定压换热, 低温热源放热后排出, 而循环工质吸热后由液体变为蒸汽; 蒸汽进入压缩机内被压缩, 升温升压变成过热蒸汽; 过热蒸汽在冷凝器内向冷却介质进行放热, 与其进行定压换热, 冷却介质吸热后变为高温热源, 而过热蒸汽放热后成为高压工质液体; 工质液体进入节流阀后进行降压, 成为低温低压的工质液体, 最后再被导入蒸发器内, 如此形成一个循环的过程 [2]。其工作原理如图 1 所示。

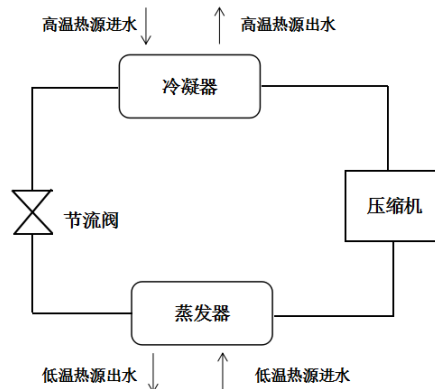


图 1 污水源热泵工作原理图

Fig.1 Working principle of sewage source heat pump

1.2 污水源热泵系统分类

污水源热泵系统根据污水是否与热泵机组直接接触可分为直接式系统和间接式系统 [3]。

直接式系统以污水的二级出水或中水作为低温热源, 该系统的污水经过了处理, 相对于原生污水的水质得到了很好的改善, 可以与热泵机组进行直接接触。但是系统的水温经过连续的处理有所降低, 这会影响系统的传热效果并降低系统的能效比。

间接式系统以原生污水为低温热源, 该系统的污水未经过有效的处理, 水质较差, 如果与热泵机组直接进行接触, 会对机组造成腐蚀、结垢、堵塞等影响, 大大的降低了热泵机组的寿命。所以该系统使用中间换热器进行换热, 原生污水把热量通过中间换热器传递给中介水, 中介水再把吸收的热量传递给热泵机组。这样就避免了热泵机组与原生污水直接接触, 从而提高了热泵机组的使用寿命。目前大多数的工程都采用间接式热泵系统来进行余热回收。

2 印染废水余热回收系统设计

2.1 工程概况

本文主要针对浙江绍兴某印染企业进行废水余热回收系统的设计。该企业是一家集研发、生产、销售针织产品于一体的大型纺织印染公司。该企业日常的能源消耗主要以水、电、蒸汽为主, 其中蒸汽所占的比重最多, 占到 50% 以上, 电和蒸汽都由附近的热电厂输送。企业地址位于浙江省绍兴市滨海工业园区, 临近曹娥江, 水资源较为丰富, 所以工业园区的印染企业都以河水 (地表水) 作为生产工艺用水。河水 (15°C 左右) 经过简单的处理后由

蒸汽换热器进行加热，达到工艺生产的要求。根据实地的调研可知，该企业每天的废水排放量达到2000t，废水的温度约为40℃左右，废水经过简单的处理之后，废水中含有的杂质较多，水质较差，若是直接排放会对当地的水环境造成严重的污染，所以必须排放到附近的污水处理厂进行集中处理。

2.2 废水余热回收系统的设计

结合该印染企业的印染废水排放量大、温度高等特点，本文拟将采用间接式污水源热泵系统对印染废水进行余热回收。

如图2所示，15℃的冷水与40℃的废水在换热器1中进行换热，冷水升温至30℃左右，废水降温至25℃左右。废水继续排放至换热器2内释放热量，废水温度降至20℃左右排出，15℃左右的中间循环水在换热器2内吸收热量，温度升至20℃左右，中间循环水将吸收的热量再释放给热泵机组的循环工质。30℃的冷水在冷凝器内吸收循环工质释放的热量，升温至60℃左右的热水。生产的热水由蒸汽加热至工艺生产要求的温度，相比于加热15℃的冷水，该系统可减少蒸汽的使用量。

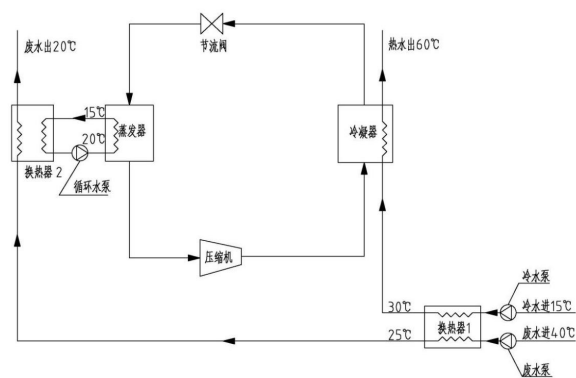


图2 印染废水余热回收系统设计图

Fig.2 Design of waste heat recovery system for printing and dyeing wastewater

3 系统的节能环保效益分析

3.1 节能性分析

该印染企业每天的废水排放量为2000t (23kg/s)，忽略换热器的热量损失，可根据公式(1) [4] 计算出热泵机组每天制取的热量为2000t。

$$m_1 c_1 (t_{1, out} - t_{1, in}) = m_2 c_2 (t_{2, in} - t_{2, out}) \quad (1)$$

式中： m_1 为清水的质量流量，kg/s； c_1 为清水的比热容，取4.2KJ/(kg·℃)； $t_{1, out}$ 为换热器1清水

侧的出水温度，℃； $t_{2, out}$ 为换热器1清水侧的进水温度，℃； m_2 为废水的质量流量，kg/s； c_2 为废水的比热容，取4.2kJ/(kg·℃)； $t_{2, in}$ 为换热器1废水侧的进水温度，℃； $t_{2, out}$ 为换热器1废水侧的出水温度，℃。

根据公式(2)可计算出热泵机组的制热量为2917kW，则污水源热泵机组选择型号为3DHXC-HP1-800A的开利水源热泵，该热泵机组的技术参数如表1所示。

$$Q = m_1 c_1 (t_{3, out} - t_{3, in}) \quad (2)$$

式中： Q 为热泵机组的制热量，kw； $t_{3, out}$ 为热泵机组的出水温度，℃； $t_{3, in}$ 为热泵机组的进水温度，℃。

表1 3DHXC-HP1-800A的技术参数

Table 1 Technical parameters of 3DHXC-HP1-800A

名称	数值	单位
名义制热量	3092	kW
输入功率	672	kW
冷凝器热水流量	532	m ³ /h
冷凝器水压降	86	kPa
蒸发器热源水流量	254	m ³ /h
蒸发器水压降	29	kPa
COP	4.6	

该污水源热泵机组每天制取2000t的60℃消耗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煤量，kg； Q 为热泵机组每天的制热量，kJ； q_e 为标煤的热值，取 2.9×10^4 kJ/kg [5]； η_1 为电力输入效率，取30% [6]； COP 为热泵机组的能效比，取4.6。

所以 $M_1 = 2917 \times 24 \times 3600 / (2.9 \times 10^4 \times 30\% \times 4.6) = 6298$ kg

若是采用传统的燃煤锅炉制取同样的热水则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煤量，kg； η_2 为燃煤锅炉效率（包含储煤损失、运输损失等），取60% [7]。

所以 $M_2 = 2917 \times 24 \times 3600 / (2.9 \times 10^4 \times 60\%) = 14484$ kg

则污水源热泵机组每天折算的耗煤量相比于传统的燃煤锅炉减少了 $\Delta M = M_2 - M_1 = 14484 - 6298 = 8186 \text{kg}$, 而且污水源热泵机组每天折算的耗煤量只占燃煤锅炉的 43%, 节能效果显著。

3.2 环保性分析

经过上一节的计算得到污水源热泵机组每天折算的耗煤量相比于传统的燃煤锅炉减少了 8186 kg, 则全年 (按 330 天计算) 的标准煤减少量为 2701380kg。我国污染物排放定额如表 2^[6]所示。

表 2 我国污染物排放定额

Table 2 Pollutant emission quotas 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排放量根据公式 (5)^[8]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 CO₂、SO_x、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 SO_x 全年减少量为 $\Delta m_{\text{SO}_x} = 2701380 \times 0.03 = 81041.4 \text{kg}$, 其余污染物全年排放减少量见表 3 所示。

表 3 污染物全年排放减少量

Table 3 Reduction of pollutant emissions throughout the year

污染物	SO _x	CO ₂	NO _x	粉尘
减少量/kg	81041.4	7428795	10805.52	54027.6

4 结语

该印染企业印染废水排放量大、温度高, 可作

为污水源热泵的热源进行废水的余热回收。所以本文采用间接式污水源热泵系统来回收企业产生的印染废水余热, 相比于传统的燃煤锅炉, 一年可减少 $2.7 \times 10^3 \text{t}$ 标准煤的消耗, 同时 SO_x 的年减少排放量为 81t, CO₂ 的年减少排放量为 $7.4 \times 10^3 \text{t}$, NO_x 的年减少排放量为 10.8t, 粉尘的年减少排放量为 5.4t。

使用该热泵系统来进行废水的余热回收, 可减少二氧化碳、硫化物等污染物的排放, 减少了大气环境的污染。同时减少了印染废水对水资源环境的热污染, 起到了保护生态环境的作用, 实现了节能减排的目的, 具有良好的节能环保效益。

参考文献:

- [1] 肖永清. 节能减排废水治理开拓纺织印染企业新天地[J]. 染整技术, 2015, 37(11): 49-54.
- [2] 李萌. 基于余热回收用的热泵技术对比研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [3] 唐安民. 城市污水源热泵在建筑节能中的应用[J]. 供热制冷, 2017, (11): 24-27.
- [4] 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.
- [5] 申涛涛, 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.
- [6] 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.
- [7] GB 50810-2012, 煤炭工业给水排水设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [8] 杨秀娥. 唐山市污水源热泵系统的工程应用与分析[J]. 节能, 2016, 35(12): 62-64.

(上接第 743 页)

- [6] 石礼昌. BIM 技术在暖通工程设计与施工中的运用[J]. 中国高新技, 2019, (5): 85-87.
- [7] 吴欣欣. 基于 BIM 技术暖通设计优化应用[D]. 郑州: 中原工学院, 2018.
- [8] 王风召. 刍议暖通空调设计中 BIM 技术的应用[J]. 河南建材, 2017, (2): 9-10.

- [9] 骆俊丽. BIM 技术在暖通空调设计中的运用与相关问题阐述[J]. 四川建材, 2016, 42(7): 197-198.
- [10] 张大镇. BIM 技术在暖通空调设计应用中的现状分析[J]. 发电与调, 2016, 37(2): 62-65.
- [11] 赵越. BIM 对建筑设计和施工的优化[J]. 安徽建筑, 2012, 19(5): 173-174.
- [12] 郭文强. 基于“BIM+VR”的建筑可视化设计方法及应

用研究[D].北京:北京交通大学,2017.