

热水型吸收式热泵回收燃煤锅炉烟气余热应用研究

李明宇¹, 李旋^{2*}, 宁喜军³, 赵飞¹, 荀亚静^{4,5}, 马坤茹^{4,5}

¹国家电投集团河北电力有限公司, 河北 石家庄

²石家庄市政设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄

³北京长峰新联工程管理有限责任公司, 北京

⁴河北科技大学建筑工程学院, 河北 石家庄

⁵河北省岩土与结构体系防灾减灾技术创新中心, 河北 石家庄

收稿日期: 2023年10月27日; 录用日期: 2023年11月7日; 发布日期: 2023年12月5日

摘要

采暖季燃煤锅炉会释放出大量烟气, 致使空气中弥漫着白烟, 对环境造成很大污染。为改善这一现状, 沧州某热力公司结合自身的需求, 用一台46 MW的备用锅炉制备110度热水提取15度温差作为热泵驱动, 通过热水型吸收式热泵系统对烟气余热回收利用。使用喷淋式烟气换热器和吸收式热泵作为烟气回收系统, 在实现烟气降温的同时, 回收烟气中的余热和凝水, 有效降低供暖成本, 实现降温、节能、节水的三赢目标。该技术主要用于集中供暖, 经过2019~2022三个采暖期的运行, 烟气温度降低到了36°C, 回收8500 KW余热, 满足了20多万平方米的供热缺口, 取得了较好的经济效益和社会效益。暂时只考虑到了排烟湿度和温度为影响烟气余热回收的两大不利因素, 今后可以对其他影响因素进行研究。

关键词

燃煤锅炉, 烟气, 吸收式热泵, 余热回收, 节能

Research on the Application of Waste Heat of Coal Boiler Flue Gas Recovered by Hot Water Absorption Heat Pump

Mingyu Li¹, Xuan Li^{2*}, Xijun Ning³, Fei Zhao¹, Yajing Xun^{4,5}, Kunru Ma^{4,5}

¹State Power Investment Group Hebei Electric Power Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei

²Shijiazhuang Municipal Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei

³Beijing Changfeng Xinlian Engineering Management Co., Ltd., Beijing

*通讯作者。

文章引用: 李明宇, 李旋, 宁喜军, 赵飞, 荀亚静, 马坤茹. 热水型吸收式热泵回收燃煤锅炉烟气余热应用研究[J]. 电力与能源进展, 2023, 11(6): 180-184. DOI: 10.12677/aepe.2023.116020

⁴School of Architectural Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei

⁵Hebei Province Geotechnical and Structural System Disaster Prevention and Mitigation Technology Innovation Center, Shijiazhuang Hebei

Received: Oct. 27th, 2023; accepted: Nov. 7th, 2023; published: Dec. 5th, 2023

Abstract

During the heating season, coal-fired boilers release a large amount of smoke gas, resulting in white smoke in the air, causing great pollution to the environment. In order to improve this situation, a heating company in Cangzhou, based on its own needs, used a 46 MW backup boiler to prepare 110°C hot water and extract a 15°C temperature difference as a heat pump drive. The hot water absorption heat pump system was used to recover and utilize waste heat from flue gas. The use of spray type flue gas heat exchanger and absorption heat pump as the flue gas recovery system not only achieves flue gas cooling, but also recovers waste heat and condensate from the flue gas, effectively reducing heating costs and achieving the triple goal of cooling, energy conservation and water conservation. This technology is mainly used for centralized heating, after the operation of three heating periods from 2019 to 2022, the flue gas temperature has been reduced to 36°C, and 8500 KW waste heat has been recovered, which meets the heating gap of over 200,000 square meters, and achieves good economic and social benefits. For the time being, only the humidity and temperature of exhaust gas have been considered as the two major adverse factors affecting flue gas waste heat recovery, and other influencing factors can be studied in the future.

Keywords

Coal-Fired Boilers, Smoke, Absorption Heat Pump, Waste Heat Recovery, Energy Conservation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

纵观古今,人类社会的每一次巨大进步都与能源的改进和替换密不可分[1] [2]。从蒸汽机的发明到能源结构依次向煤炭、石油、天然气、核能的转变,人类对能源的探索一直都在进行着。在经济飞速发展的今天,能源需求也日益增加,我们也面临着能源短缺、环境污染等问题。早期,人们并未意识到烟气余热回收的重要性,未对燃煤锅炉采取有效的烟气余热回收措施,使得烟气中带有的显热及潜热被直接排放,造成了热量白白浪费。

随着锅炉余热回收技术的发展,国内外对于锅炉余热回收技术做了深入的研究。自上世纪 70 年代以来,法国、荷兰等国家先后对烟气冷凝热技术进行了研究[3] [4] [5]。而在 20 世纪以来,国内对锅炉烟气冷凝热技术进行了大量研究。清华大学江亿、付林等人对烟气冷凝热技术中的吸收式热泵技术进行了研究[6] [7]。魏亦强等[8]对北京某供热锅炉房进行改造,利用烟气冷凝热回收装置和吸收式热泵进行供热,大大提高了锅炉效率并减少了污染物的排放。由于燃煤锅炉烟气成分复杂,国内对燃煤锅炉的烟气余热回收利用深入研究较少,而我国北方以燃煤热电联产和燃煤锅炉房供热为主,因此有必要对燃煤烟气余热回收技术进行进一步研究,以回收烟气余热,达到节能减排的目的。

2. 热泵技术应用

2.1. 沧州某市供暖现状

沧州某市热力公司承担该市城区集中供暖任务,西北热源厂现装置 4 台 46 WM 燃煤热水锅炉,目前,实供建筑面积 290 万平方米,随着该市供暖面积的增加,热力公司出现供暖缺口,导致能源紧缺,如何回收排烟中的热量并净化环境,是我们急需解决的问题。

2.2. 工艺流程

热网回水进入厂区后,通过新增的热水泵,进入热泵进行预热,然后再进入均压热网混水管,优先与锅炉供水混合进入热网系统。对三台锅炉脱硫塔总烟道进烟囱处加堵板,在 4#炉脱硫塔处烟道上开孔,顺原烟道混凝土浇注两条新烟道,通往 1#炉脱硫塔位置,经喷淋换热器降温后烟气再返回原烟囱排到大气中,进行烟气余热回收和消白。用 1#锅炉出水作为热泵驱动热源,在 1#锅炉出口端引热水到热泵设备,作为热泵驱动使用,110℃ 高温热水经热泵吸收热量后再进入一次供水管。

“热水型吸收式烟气热泵 + 喷淋式换热器”的热泵烟气余热回收系统,由吸收式热泵、喷淋式换热器、循环水泵和其他设备组成,烟气换热器不断吸收烟气里的热量,降低烟气排放温度,给管道里的余热水升温,烟气吸收热泵将升温水提取到热网中,输送到供暖系统,提高锅炉效率。

2.3. 热泵选型

将燃煤锅炉脱硫塔后烟气温度由 46℃ 降到 36℃,回收余热 8500 KW,用 1#锅炉提供 110 度热水提取 15 度温差,作为热泵驱动,使用空塔式喷淋烟气换热器和吸收式热泵达到目标烟气温度时,分析烟气的余热量和水分,再以此建立余热回收系统和水处理系统,达到消白目的的同时解决供暖缺口问题。热泵选型方案如下所示:机组尺寸为 11000 × 4000 × 4000 mm,目标烟气温度 36.0℃,余热总回收量 8.5 MW,热泵总制热量 20.0 MW,热泵台数 1 台,单台热泵制热量 20.0 MW,热泵出水温度 61.3℃。

3. 经济性分析及实际应用效果

3.1. 项目初投资

项目初投资见清单表 1。

Table 1. List of equipment and investment estimate

表 1. 设备及投资估算清单

序号	名称	单位	数量	金额(万元)	备注
一	工程费用				
1	设备购置费	项	1	810.45	
2	安装工程费	项	1	189.69	
3	建筑工程费	项	1	190.67	
4	施工措施费	项	1	17.25	
二	技术服务及其他				
1	设计费	项	1	25.00	
2	项目管理费	项	1	20.00	
3	调试费	项	1	10.00	
4	性能检测费	项	1	15.00	
	总计			1278.05	

3.2. 投资回收期

经济效益的主要来源为余热回收的热量和回收的凝结水。热价按 40 元/GJ，电费按 0.52 元/度、凝水价格按 4.3 元/吨计算。

根据某热力公司提供的 2018 年度统计数据，按照热泵满负荷运行，考虑不确定因素，按 85% 热负荷计算经济效益及静态投资回收期，详见表 2。

Table 2. Economic benefits and static payback period
表 2. 经济效益及静态投资回收期

序号	名称	单位	某热力公司	
1	运行情况	运行小时数	h	2880
		平均负荷率	%	85
2	余热回收	回收负荷	MW	8.5
		年余热回收量	GJ	74909
		余热效益	万元	299.6
3	凝水回收	回收负荷	t/h	11
		年凝水回收量	T	26928
		凝水效益	万元	11.6
4	耗电	耗电负荷	kW	365
		年耗电量	万 kWh	63.1
		年耗电费	万元	37.2
5	药剂费	年药剂费	万元	7.2
6	合计		万元	266.8
7	静态投资回收期		年	4.8

一台热水型吸收式热泵回收烟气余热使用吸收式热泵技术将烟气温度降低至 36℃，可回收 8500 KW 余热，配套 1 台 20 MW 热泵和 1 台 8600 KW 烟气换热器，投资估算为 1278.05 万元，年经济效益约 2,668,000 元，由公式(1)可得[9]静态投资回收期约为 4.8 年。

$$Y = \frac{K_{inv}}{K_{rev}} \quad (1)$$

式(3)中：Y 为静态投资回收周期； K_{inv} 为项目工程总投资； K_{rev} 为项目年净收益。

3.3. 实际应用效果

经三个采暖期实际应用，改造后供暖季可回收烟气的余热量为 8500 KW，凝水量为 11 t/h，与理论计算相符合。按平均 40 W/m² 的耗热量计算，这些热量可增加供暖面积 21.25 万平方米，相当于节约标煤 3300 余吨，节水 3.4 万吨左右。本方案的投资估算为 1278.05 万元，年经济效益约 266.8 万元，静态投资回收期为 4.8 年。

4. 结论

(1) 采用“热水型吸收式烟气热泵 + 喷淋式换热器”的热泵烟气余热回收系统，在烟气余热回收过程中会产生大量的冷凝水，经过处理后，可以作为供热系统补水进行回收利用，回收余热的同时节水。

(2) 经过 3 个采暖期的运行, 本热水型吸收式热泵回收燃煤锅炉烟气余热项目在供暖建筑面积约 290 万平方米的基础上, 通过烟气余热回收, 将烟气温度降低到 36℃, 可回收 8500 KW 余热, 满足 20 多万平方米的供热缺口。本项目投资约为 1278.05 万元, 年经济效益约 266.8 万元, 静态投资回收期为 4.8 年。经三个采暖期实际应用, 改造后供暖季可回收烟气的余热量为 8500 KW, 凝水量为 11 t/h, 与理论计算相符合。按平均 40 W/m² 的耗热量计算, 这些热量可增加供暖面积 21.25 万平方米, 相当于节约标煤 3300 余吨, 节水 3.4 万吨左右。为北方地区燃煤锅炉烟气余热回收利用技术的研究与推广应用提供参考。

(3) 在对烟气余热进行回收时, 只考虑到了排烟湿度和排烟温度为影响烟气余热回收的两大因素, 今后可以扩展到烟气的其他影响因素综合进行研究。

科技项目

河北省科技厅创新能力提升计划(21554501K)。

参考文献

- [1] 张德义. 世界能源消费形势刍议[J]. 中外能源, 2012, 17(3): 1-11.
- [2] IEA (2006) Key World Energy Statistics. International Energy Agency, Paris.
- [3] 王丽. 冷凝式燃气热水器换热器的研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2006.
- [4] Liu, Y.H., Gupta, R. and Wall, T. (2007) Ash Formation from Excluded Minerals Including Consideration of Mineral-Mineral Association. *Energy & Fuel*, **21**, 461-467. <https://doi.org/10.1021/ef060414z>
- [5] Revankar, S.T. and Pollock, D. (2005) Laminar Film Condensation in a Vertical Tube in the Presence of Noncondensable Gas. *Applied Mathematical Modeling*, **29**, 341-359. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2004.09.010>
- [6] 祝侃, 夏建军, 谢晓云, 等. 吸收式热泵及直接接触换热在燃气锅炉全热回收中应用[J]. 暖通空调, 2013, 43(9): 111-115.
- [7] 付林, 田贯三, 隋军, 等. 吸收式热泵在燃气采暖冷凝热回收中的应用[J]. 太阳能学报, 2003, 24(5): 620-624.
- [8] 魏亦强, 王随林, 陈康, 等. 锅炉排烟余热深度回收利用节能改造工程实测分析[J]. 暖通空调, 2013, 43(4): 59-63.
- [9] 魏茂林, 付林, 赵玺灵, 等. 燃煤烟气余热回收与减排一体化系统应用研究[J]. 工程热物理学报, 2017, 38(6): 1157-1165.