

Design of Continuous Discharge Waste Heat Recovery System for Steam Boiler and Application Benefit Analysis

Peng Zhou

Beijing Ruihong Kaicheng Technology Co., Ltd., Beijing, 100070, China

Abstract

There is a significant problem of massive heat energy waste caused by the direct discharge of high-temperature drain water in the continuous blowdown link of industrial steam boilers. Taking the multi-tonnage steam boiler group in the boiler room of a certain unit as an engineering example, a continuous blowdown waste heat recovery system based on parallel plate heat exchangers was designed. Two sets of technical schemes suitable for different boiler capacities were proposed, and the system process flow, thermal calculation, equipment selection and construction organization design were completed. The operation data show that: on the premise of not affecting the safe operation of the boiler, the system can reduce the temperature of the continuous blowdown water from 100°C to 40°C and increase the temperature of the boiler feed water by 10~17°C; the total transformation investment cost of the project is 350,000 yuan. Calculated based on the A boiler operating 210 days a year, the B boiler operating 120 days a year, the natural gas calorific value of 34.58MJ/m³, and the gas price of 2.8 yuan/m³, the A boiler room saves 39,000 m³ of natural gas annually with an economic benefit of about 109,200 yuan, and the B boiler room saves 396,000 m³ of natural gas annually with an economic benefit of about 1,108,800 yuan. The system has a short investment payback period and prominent energy-saving and environmental protection benefits. The research can provide engineering reference for the continuous blowdown waste heat transformation of central heating boiler rooms such as airports and industrial parks.

Keyword

steam boiler; continuous sewage discharge; waste heat recovery; plate heat exchanger; energy-saving transition

蒸汽锅炉持续排污余热回收系统设计及项目应用效益分析

周鹏

北京睿弘恺诚科技有限公司, 中国·北京 100070

摘要

工业蒸汽锅炉持续排污环节存在大量高温、疏水直接排放,热能浪费明显等问题。以某单位锅炉房多吨位蒸汽锅炉群为项目实例,以并联式板式换热器为基础,设计了连续排污余热回收系统,提出了两套适用于不同锅炉容量的技术方案,完成了系统工艺流程、热力计算、设备选型及施工组织设计等工作。运行数据表明:该系统可在不影响锅炉安全运行的情况下,将连排水温度由100°C降至40°C,加热锅炉给水提高10~17°C;该项目改造投资费用35万元,按锅炉A年运行210天,锅炉B年运行120天,天然气热值34.58MJ/m³,气价2.8元/m³,预计A锅炉房每年可节约天然气3.9万m³,经济效益10.92万元,B锅炉房年节约天然气39.6万m³,经济效益110.88万元,系统投资回收期短,节能环保效益凸显。该研究可为机场、工业园区等集中供热锅炉房连排余热改造提供工程参考。

关键词

蒸汽锅炉; 持续排放污水; 余热回收利用; 板式热交换器; 节能转型

1 引言

工业锅炉是我国能耗和碳排放的重点装备,持续排污是保证蒸汽质量和炉水质的必要手段,其排放的污水具有温度高、流量稳定、余热品位高等特点。传统锅炉房多采用连续排污扩容闪蒸后直接排出低压疏水,大量低热能没有得到利用,有悖于国家“双碳”战略和工业节能降耗的要求。持续排污余热回收利用热交换器换热为主流技术路线,板式热

交换器由于换热系数高、结构紧凑、阻力小、易维护等优点,广泛应用于锅炉余热回收利用领域。以某单位锅炉房5台不同吨位的蒸汽锅炉为研究对象,针对原系统疏水直排、余热利用率低等问题,设计了并联式可切换余热回收系统,对同类项目进行了热力学计算、设备选型、施工方案及效益分析、技术支持及实践依据等方面的研究。

2 项目概况及设计参数

2.1 原系统概况

某单位锅炉房配置蒸汽锅炉5台,设计排污率2%,经扩容降压后连续排污水,疏水温度100°C左右。原系统仅

作者简介:周鹏(1985-),男,中国天津人,本科,助理工程师,从事供热研究。

将二次蒸汽回收用于除氧器加热, 扩容器低压饱和疏水排入地沟, 年散热量巨大, 能源浪费和运行费用过高等问题凸显。

2.2 设计依据和参数

设计遵循《工业锅炉设计标准》(GB50041-2020)、《锅炉房设计规范》、《板式换热器》(GB/T16409-2018)等国家标准, 以不影响锅炉安全运行、余热回收最大化、运维检修方便为原则, 按锅炉容量分级设计两套方案, 本项目改造投资共计 35 万元。

两套方案的具体适配区间:

A 锅炉房: 适配 2 台 10t/h 锅炉, 余热加热除氧器进水;

B 锅炉房: 适配 2 台 75t/h 和 1 台 40t/h 锅炉, 余热加热除氧水混水装置。

系统核心设计参数见表 1。

表 1 系统的核心设计参数

项目	单位	A 锅炉房	B 锅炉房
连排水进口温度	℃	100	100
连排水出口温度	℃	40	40
给水流量	t/h	21	106
原给水温度	℃	30	15
换热后给水温度	℃	40	32
设计排污率	%	2~5	2~5
热负荷	KW	243.6	2093.5

3 系统工艺流程设计

系统采用并联接入和旁路切换结构, 与原有的排污、供水系统独立分离, 在故障或检修时可迅速将原流程切回, 保证锅炉连续运行, 同时减少了改造对原有系统的扰动, 控制了改造投资费用。

3.1 总体工艺流程

锅炉排污水连续→排污扩容器降压闪蒸, 二次蒸汽分离进行除氧器预热;

通过扩容器→板式换热器热侧排出的高温疏水作为余热回收的热媒;

锅炉软化水/除氧水→板式热交换器冷侧, 吸收热媒送出的余热;

换热降温后的疏水(温度降至 40℃), 经检测达标后予以排放;

加热后的给水(温度升高 10~17℃)直接送入除氧机, 参与锅炉水循环, 减少除氧机能耗;

系统设置旁路阀门组, 当板式换热器发生故障需要检修时, 可自动切换到原有的排污过程中, 保证不影响锅炉的正常运行。

3.2 二方案的特点

模块化一体化设计, 占地面积小, 适配现有某单位锅炉房空间布局, 无需对场地进行大规模改造投入;

冷热源介质采用水换热效率高, 不会产生结垢和堵塞的

风险, 运行稳定性强, 可降低后期运行维护费用;

采用全自动温控和阀门联动控制, 操作简便, 不设专人值守, 运维人力成本进一步降低;

并联式切换结构, 可在改造施工期间不停产, 将对锅炉房供汽供热保障工作的影响降到最低。

4 设备选型及热工计算

以换热负荷、传热总传热系数为核心指标, 结合改造投资预算, 完成板式换热器的选型计算和辅助设备的选型计算, 在控制设备采购成本的同时, 保证换热效率和运行可靠性。

4.1 热力计算核心公式

换热量计算: $Q=cm\Delta t$

传热面积的计算: $F=Q/(K\Delta t_m)$

式中: c 为水的比热容 ($\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{℃})$); m 为介质质量流量 (kg/h); Δt 为介质的进出口温差 ($℃$); K 为总传热系数 ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); Δt_m 是对数平均温差 ($℃$)。

4.2 核心设备的选型

A 锅炉房(适配 2 台 10t/h 锅炉): 选用 FBR016H-1.6-4.13-E-I 型板式热交换器, 换热面积 4.13 m^2 , 设计热负荷 243.6 KW , 总传热系数 $3007\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$, 满足小流量、高热效率的换热需求, 设备选型兼顾经济性和实用性, 控制单套方案设备投资。

B 锅炉房(适配 2 台 1 台 40t/h 锅炉): 选用 BRS03AS-1.6-25-E-I 型板式换热器, 换热面积为 25 m^2 , 设计热负荷为 2093.5 KW , 总传热系数 $2108.6\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$, 适配大流量、高负荷运行工况, 保证大规模余热的高效回收利用。

辅助设备(阀门、管道、法兰、温压仪表、保温材料等)均按国家标准和锅炉房安全规范选型, 材料选用耐腐蚀、耐压的优质材料, 保证系统长期稳定运行, 同时优化采购渠道, 控制辅助设备投资, 确保改造总投资控制在 35 万元以内。

5 施工组织和安全保障情况

该项目为在用锅炉房节能改造, 建设以“不停工、少扰民、保安全、控成本”为核心原则, 结合改造投资预算, 合理规划建设缩短建设降低建设费用。

5.1 施工内容

主要施工内容有: 板式换热器基座施工, 连续排污管路开孔, 焊接改造, 拆除恢复原管道保温层, 安装校准温度/压力仪表, 系统试压、冲洗及联动调试等。

5.2 二组织和安全措施

组织架构: 建立项目负责人、质量安全专员三级管控体系, 明确分工, 责任到人, 对整个施工过程进行管控, 避免因施工失误导致追加投资。

施工安排: 重点管道焊接、设备对接等核心工序, 全部安排在夜间停炉检修期间进行施工, 将对锅炉房供汽供热的影响降到最低, 避免了因停工造成的经济损失。

安全措施: 施工前对原有管路进行排压、清污、通风

处理,设置明显的安全警示标志和防护措施,严格执行锅炉房动火作业审批制度和有限空间作业审批制度,确保施工安全,避免因投资增加而引发安全事故。

质量控制:在施工过程中严格执行施工规范,对焊口质量、管道连接精度、设备安装位置等进行全过程检测,待系统试压、冲洗、联动调试合格后方可投入运行,以保证改造质量,降低后期维护费用。

6 效益分析

该项目改造投资费用35万元,按锅炉A年运行210天,锅炉B年运行120天,天然气热值34.58MJ/m³,天然气单价2.8元/m³测算,结合两套方案的热负荷差异,从经济效益、节能效益三个维度综合分析系统改造效果。

6.1 经济效益

经济效益主要体现在节约天然气燃料费用,具体测算如下:

AA 锅炉房(年运行210天):年回收余热1318 GJ,根据天然气热值34.58MJ/m³计算,可节约天然气3.9万m³,按气价2.8元/m³测算,年节约燃料费用为3.9×10⁴ m³×2.8元/m³=10.92万元;

B 锅炉房(年运行120天):结合年运行天数调整,年回收余热13077 GJ,根据天然气热值34.58MJ/m³计算,可节约天然气39.6万m³,按气价2.8元/m³测算,年节约燃料费用为39.6×10⁴ m³×2.8元/m³=110.88万元;

项目总年节约燃料费用为10.92万元+110.88万元=121.8万元。

按总改造投资35万元计算,系统投资回收期=改造总投资÷年节约燃料费用=35万元÷121.8万元≈0.29年(约3.5个月),投资回收期极短,经济效益十分显著,可快速收回改造成本并实现盈利。

6.2 节能环保效益

节能效益:通过回收不断排放的余热,加热锅炉给水,减少了锅炉排烟和排污热损失,使锅炉房整体热效率提高1%~3%,进一步提高了践行了工业节能降耗的要求;同时,减少天然气消耗,间接减少能源开采和运输环节的能源损失。

6.3 经营效益

提高给水温度,减少除氧机耗汽量,进一步节约能耗,降低运行费用;

系统旁路切换灵活,检修和故障时锅炉正常运转不受影响,保证了锅炉房蒸汽供应和供热的稳定;

环保效益:根据天然气燃烧产生的碳排放系数(2.6kgCO₂/m³)计算,B锅炉房每年可节约天然气39.6万m³,可减少CO₂排放量为39.6×10⁴ m³×2.6 kg/m³=102.96×10⁴ kg=1029.6吨,约1030吨;天然气燃烧产生的SO₂、NO_x等有害气体排放同步减少了对大气环境的污染,满足了国家“双碳”战略和环保排放的要求。

系统模块化设计,操作维护简便,后期运行维护费用低,设备使用寿命长,能够长期稳定的产生节能效益。

7 结论

采用并联式板式换热器回收蒸汽锅炉持续排放余热,技术成熟,结构可靠,切换灵活,在不影响锅炉安全运行和生产不中断的情况下,能够高效回收余热,改造方案科学合理。

A锅炉房两套技术方案,分别适配小型、大中型蒸汽锅炉,具有投资少、回收期短、运行维护简便、适配性强等特点,适用于连续排污余热回收改造的各类工业锅炉和集中供热锅炉房,具有广泛的推广应用价值。

这一改造方案能够为各类企事业单位、工业园区、公共建筑等在用锅炉房的节能改造提供典型案例和技术借鉴,帮助工业领域实现节能降耗、绿色低碳发展,符合国家“双碳”战略要求,对于促进工业锅炉行业节能升级意义重大。

参考文献

- [1] 国家《中华人民共和国国家标准》. GB50041-2020,锅炉房设计标准[S]. 北京:中国计划出版社2020.
- [2] 国家《中华人民共和国国家标准》. GB/T16409-2018板式热交换器[S]. 北京:中国标准出版社2018.
- [3] 石巍、肖健民、朱学庚. 蒸汽锅炉持续排污热力回收项目实践与分析[J]. 工业锅炉、2023(2):45—48.
- [4] 王云涛. 连排余热回收利用技术应用研究[J]. 工程技术与管理、2023、7(10):46—48.
- [5] 赵大周、谢玉荣. 设计集中供热锅炉余热回收系统及经济性分析[J]. 热力发电、2024、53(2):112-117.
- [6] 李建明、张艳、刘军. 工业锅炉持续排污余热回收利用技术的优化和应用[J]. 节能技术、2023、41(3):278-282.
- [7] 张磊、王丽. 板式换热器应用于锅炉连排余热回收的研究[J]. 化工设备工艺、2024、45(1):38-41.
- [8] 国家《中华人民共和国国家标准》. 《工业锅炉热工性能试验规程(GB/T10180-2017)》[S]. 北京:中国标准出版社2017年版.