

锅炉余热回收技术在节能减排中的应用与效果评价

苏尧 呼星光

陕西有色榆林新材料集团有限责任公司 陕西榆林 719000

DOI:10.12238/ems.v7i9.15223

[摘要] 本论文围绕锅炉余热回收技术，系统探讨其在节能减排领域的应用实践与效果评价。详细剖析该技术的理论基础，深入阐述烟气、蒸汽、炉渣等余热资源的回收利用路径，构建涵盖能源、经济、环境等多维度的效果评价指标体系，并结合定量、定性及综合评价方法，深入挖掘技术应用过程中的现存问题，针对性提出应对策略。旨在全面揭示锅炉余热回收技术在节能减排中的重要价值，为该技术的广泛应用、持续优化以及行业推广提供全面且具有深度的理论与实践指导。

[关键词] 锅炉余热回收技术；节能减排；应用实践；效果评价

引言

在全球能源结构转型与生态环境保护的双重迫切需求下，节能减排已成为世界各国实现可持续发展的核心战略举措。锅炉作为工业生产、城市集中供热以及电力供应等领域的关键热能转换设备，其运行过程中产生的大量余热若直接排放，不仅造成能源资源的极大浪费，还会引发温室气体排放增加、热岛效应加剧等一系列环境问题。锅炉余热回收技术通过对余热的高效回收与再利用，能够显著提升能源综合利用效率，降低对传统化石能源的依赖程度，同时减少污染物的排放总量，在节能减排工作中占据着举足轻重的地位。深入且全面地研究该技术的应用场景、实施方式以及效果评价体系，对于推动能源的高效利用、加速产业绿色转型、助力实现“碳达峰、碳中和”目标具有重大的现实意义与深远的战略价值。

一、锅炉余热回收技术概述

（一）锅炉余热产生原因

锅炉运行是一个复杂的能量转换与传递过程，在这个过程中，多种因素导致余热的产生。从燃料燃烧角度来看，由于燃料本身品质的差异，如挥发分含量、热值波动等，加之燃烧设备设计的局限性以及运行工况的不稳定，使得燃料难以实现完全燃烧，大量化学能无法充分转化为热能，以未燃尽物质的形式随烟气或炉渣排出，造成能量损失。在热能传递环节，无论是通过金属管道进行的热传导，还是借助流体流动实现的热对流，亦或是高温物体以电磁波形式进行的热辐射，热量在传递过程中都会不可避免地通过管道壁面散热、设备表面辐射散热等途径散失到周围环境中。此外，为维持

锅炉系统的稳定运行，保证蒸汽压力、温度等参数符合工艺要求，需要进行必要的能量调节和排放，如排污、安全阀排放等，这也会导致部分能量以余热的形式白白浪费。这些因素相互交织，使得锅炉在运行过程中产生了大量亟待回收利用的余热资源。

（二）余热资源分类

锅炉余热资源依据不同的分类标准可呈现出多样化的类型。按温度划分，可分为高温余热、中温余热和低温余热。高温余热（温度高于 500℃）主要来源于锅炉燃烧产生的高温烟气以及刚排出的高温液态炉渣，此类余热能量密度高，回收利用后可产生较高的经济价值，常用于发电、大型工业加热等领域；中温余热（200℃-500℃）多存在于蒸汽系统中未被完全利用的蒸汽以及部分温度降低后的烟气中，可用于工业生产中的预热、干燥等工艺环节；低温余热（低于 200℃）常见于蒸汽冷凝水、设备表面散热以及部分冷却介质携带的热量，虽然单位能量较低，但由于其产生量较大，总量依然可观，可用于生活热水供应、建筑物供暖等对温度要求不高的场景。按余热载能体分类，主要包括烟气余热，其是锅炉余热的最主要组成部分，具有流量大、温度变化范围广的特点；蒸汽余热，涵盖蒸汽冷凝水余热和闪蒸蒸汽余热等，与蒸汽系统的运行状态密切相关；炉渣余热，即高温炉渣排出时携带的显热，其回收利用有助于降低炉渣处理能耗。

二、锅炉余热回收技术在节能减排中的应用方式

（一）烟气余热回收应用

烟气余热回收是锅炉余热回收技术应用的重点领域。常见的回收设备包括余热锅炉、省煤器和空气预热器等，它们

在不同的温度区间和工艺流程中发挥着各自的作用。余热锅炉通常布置在锅炉高温烟道中,其内部的受热面由大量的管道和换热元件组成,高温烟气通过时,将热量传递给管内的水或其他工质,使其加热蒸发产生蒸汽。这些蒸汽可用于驱动汽轮机发电,将热能转化为电能,为工业生产或区域电网提供电力支持;也可直接作为动力蒸汽,应用于化工、造纸、食品等行业的生产工艺中,替代部分新蒸汽的使用,从而减少锅炉的燃料消耗。省煤器安装于锅炉尾部较低温度的烟道内,利用低温烟气的热量对锅炉给水进行预热。经过省煤器预热后的给水温度升高,进入锅炉后能够更快地达到饱和温度,降低了在锅炉内加热所需的燃料量,提高了锅炉的整体热效率。空气预热器则通过烟气与冷空气的逆向热交换,将进入锅炉的助燃空气加热。加热后的助燃空气能够提高燃料的燃烧速度和燃烧程度,使燃料燃烧更加充分,不仅增加了锅炉的热输出,还降低了不完全燃烧产生的污染物排放,同时降低了排烟温度,减少了排烟热损失,实现了节能减排的双重目标。

(二) 蒸汽余热回收应用

蒸汽系统在工业生产和生活供热中广泛应用,其运行过程中产生的蒸汽余热具有重要的回收利用价值。蒸汽冷凝水余热回收是其中的重要环节,蒸汽在释放潜热完成做功后,会凝结成具有一定温度和压力的冷凝水。通过蒸汽冷凝水回收系统,利用疏水阀将冷凝水从蒸汽管道中分离出来,经冷凝水管道输送至回收水箱。这些回收的冷凝水可作为锅炉补水重新进入锅炉系统,由于其温度较高,减少了锅炉将补给水加热至所需温度的能耗;也可用于其他对水温要求不高的热水需求场景,如清洗、洗涤等,实现了水资源和热能的双重回收利用。闪蒸蒸汽余热回收则针对高压冷凝水降压过程中产生的二次蒸汽。当高压冷凝水进入闪蒸罐后,由于压力降低,部分冷凝水会迅速闪蒸形成蒸汽。通过对闪蒸罐的合理设计和控制,将分离出的闪蒸蒸汽收集并输送至低压蒸汽系统,可替代部分新产生的低压蒸汽,用于满足工业生产中对于蒸汽压力要求较低的工艺环节,如烘干、蒸煮等,从而减少了锅炉总的蒸汽产生量,降低了燃料消耗和污染物排放。

(三) 炉渣余热回收应用

高温炉渣在排出锅炉时携带大量的显热,对其进行余热

回收既能实现能量的再利用,又能降低炉渣处理的难度和成本。常见的炉渣余热回收方式主要有风冷和水冷两种。风冷技术是利用空气作为冷却介质,通过风机将冷空气鼓入专门设计的炉渣冷却装置中,与高温炉渣充分接触进行热交换。在热交换过程中,炉渣的热量传递给空气,使空气温度大幅升高,这些高温空气可作为助燃空气重新送入锅炉燃烧系统,提高燃烧效率,减少燃料消耗;也可用于其他需要热风的工艺环节,如物料烘干等。水冷方式则是采用水作为冷却剂,通过特制的水冷设备与炉渣进行热量交换。水冷设备通常包括水冷壁、冷却管道等,水在管道中流动吸收炉渣的热量,产生热水或蒸汽。这些热水或蒸汽可用于工业生产中的工艺加热、生活热水供应,或者通过蒸汽发电装置转化为电能,实现了炉渣余热的高效回收利用。同时,回收炉渣余热后,炉渣温度显著降低,便于后续的储存、运输和资源化处理,如用于建筑材料生产等,减少了对环境的影响。

三、锅炉余热回收技术节能减排效果评价指标体系构建

(一) 能源回收效率指标

能源回收效率是衡量锅炉余热回收技术节能减排效果的核心指标,它直观地反映了该技术对余热资源的利用程度。能源回收效率通常以回收的余热量与锅炉运行过程中原本散失的余热量之比来表示。该指标数值越高,表明技术能够更有效地将原本废弃的余热转化为可利用能源,从而减少对煤炭、石油、天然气等一次能源的依赖。通过对能源回收效率指标的监测和分析,可以评估余热回收系统的运行性能,发现系统存在的能量损失环节,为技术改进和优化提供方向。例如,当能源回收效率低于预期时,可针对性地检查热交换设备的传热性能、系统的保温情况以及运行参数的合理性等,采取相应措施提高余热回收效率,实现更高效的节能减排效果。

(二) 经济效益指标

经济效益指标从企业经济运行的角度出发,全面考量锅炉余热回收项目的成本与收益情况,是评估项目可行性和投资价值的重要依据。投资回收期反映了企业投入的项目建设资金通过节能收益回收所需的时间,是衡量项目资金回笼速度和经济风险的关键指标。投资回收期越短,说明项目能够更快地为企业带来经济回报,企业面临的资金压力和投资风

险也越低。年节约成本体现了项目实施后, 每年因余热回收替代新能量供应而节省的能源采购成本、设备运行维护成本以及可能的水资源处理成本等费用总和, 直接关系到企业经济效益的提升幅度。内部收益率则用于评估项目投资的盈利能力, 通过计算项目在整个生命周期内预期的收益率, 并与行业基准收益率或企业的目标收益率进行对比, 判断项目在经济上是否值得投资。若内部收益率高于基准收益率, 表明项目具有较好的盈利能力和投资价值, 能够为企业创造经济效益。

(三) 环境效益指标

环境效益指标聚焦于锅炉余热回收技术对生态环境的改善作用, 是评估该技术社会价值的重要维度。通过量化二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等主要大气污染物的减排量, 可以直观地展现技术在缓解温室效应、改善空气质量方面的贡献。减少的二氧化碳排放量体现了因余热回收替代化石燃料燃烧而避免的温室气体排放, 对于减缓全球气候变暖、应对气候变化具有重要意义。二氧化硫、氮氧化物减排量的降低有助于减少酸雨、雾霾等环境问题的发生频率和危害程度, 保护生态环境和人类健康。

四、锅炉余热回收技术应用与效果评价中的问题及对策

(一) 存在问题

在技术应用方面, 部分锅炉余热回收设备存在效率不高的问题, 尤其是在处理低温余热时, 由于传热温差小、传热效率低, 导致余热回收效果不理想。同时, 高温、高粉尘、高腐蚀性的运行环境对设备材质和结构提出了极高的要求, 现有设备容易出现腐蚀、磨损、结垢等故障, 增加了设备维护成本和停机检修时间, 降低了系统的可靠性和稳定性。在经济层面, 余热回收项目初期需要投入大量资金用于设备购置、安装调试、系统改造以及技术研发等, 对于许多企业, 特别是中小企业而言, 资金筹措困难, 难以承担高额的前期投资。此外, 能源市场价格波动频繁, 余热回收项目的经济效益受能源价格影响较大, 使得企业难以准确预估项目的收益, 增加了投资决策的不确定性和风险。

(二) 应对策略

针对技术应用问题, 加大科研投入力度, 鼓励高校、科研机构与企业开展产学研合作, 加强对余热回收技术的研发

创新。重点攻克低温余热高效回收技术难题, 开发新型高效的热交换设备和材料, 提高设备的传热性能和抗腐蚀、抗磨损能力。例如, 研究新型纳米涂层材料应用于设备表面, 增强设备的耐高温、耐腐蚀性能; 开发高效紧凑的板式换热器、螺旋板式换热器等, 提高热交换效率。在经济方面, 政府应发挥积极的引导和支持作用, 出台一系列优惠政策, 如税收减免、财政补贴、绿色信贷等, 降低企业投资风险, 提高企业实施余热回收项目的积极性。同时, 鼓励企业采用合同能源管理等市场化模式, 引入专业的节能服务公司参与项目建设和运营, 实现风险共担、利益共享。对于效果评价问题, 进一步完善评价指标体系, 细化各指标的定义和计算方法, 结合实际应用场景, 引入先进的数据分析和评估技术, 提高指标量化的准确性。加强对不同评价方法的研究和整合, 制定统一的评价标准和规范, 建立科学合理的评价流程, 提高评价结果的可比性、权威性和可信度, 为技术的评估和推广提供可靠依据。

结束语

锅炉余热回收技术在节能减排领域具有显著的应用价值和广泛的市场前景。通过对余热资源的有效利用, 不仅可以显著降低工业生产过程中的能源消耗和污染物排放, 还有助于提高企业的经济效益和环境友好性。未来, 随着技术的不断进步和政策的进一步支持, 锅炉余热回收技术将在工业领域得到更广泛的应用, 为推动我国节能减排事业做出更大贡献。

[参考文献]

- [1] 孙鹏. 工业锅炉烟气余热回收技术及其节能应用研究[J]. 工业加热, 2025, 54 (03): 60-63.
- [2] 李海明, 姜兆杰. 基于余热回收的火力发电锅炉节能减排一体化技术研究[J]. 中国机械, 2025, (06): 97-100.
- [3] 戴国栋, 杨斌学, 张自丽, 陈世旺, 陈飞, 李恭彦. 在用锅炉典型节能技术的节能效果比较与分析[J]. 工业锅炉, 2025, (01): 29-33.
- [4] 李冰倩, 田恩华. 锅炉烟气余热回收技术专利分析[J]. 科技与创新, 2024, (17): 155-157+161.
- [5] 徐娟. 节能降耗技术在电厂锅炉运行中的应用[J]. 能源与节能, 2024, (08): 101-103.