

锅炉烟气环保治理与综合利用的技改及其经济效益分析

郭佰茹（中煤鄂尔多斯能源化工有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 017317）

摘要：锅炉烟气当中含有大量的污染物，锅炉燃烧排放烟气不仅会污染环境，还会影响人们的身心健康。针对锅炉烟气进行环保治理，将会成为响应我国节能减排号召的必然选择，针对锅炉烟气进行综合利用，已经开始成为企业追求利益最大化的主动行为。基于此，本文主要通过针对现有烟气治理技术与综合利用技术手段开展改进，加强锅炉烟气治理利用效果，推进节能环保工作进程，希望本文的分析可以起到参考的作用。

关键词：锅炉；烟气；环保；治理；综合利用；经济效益

中图分类号：X511 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 024-0061-03

Technical Renovation and Economic Benefit Analysis of Boiler Flue Gas Environmental Protection Treatment and Comprehensive Utilization

Guo Bairu (Middling coal Ordos Energy and Chemical Co., Ltd. Ordos, Inner Mongolia 017317, China)

Abstract: Boiler flue gas contains significant amounts of pollutants whose emissions not only contribute to environmental degradation but also pose risks to public health. Implementing effective flue gas treatment has become imperative in response to China's energy conservation and emission reduction policies, while the comprehensive utilization of flue gas is increasingly adopted by enterprises as a proactive measure to maximize economic returns. This paper examines current flue gas treatment and resource recovery technologies, proposing technical enhancements to improve treatment efficiency and utilization effectiveness. The study aims to advance sustainable practices in energy conservation and environmental protection, with the findings providing valuable references for industrial applications.

Keywords: boiler; flue gas; environmental protection; pollution control; comprehensive utilization; economic benefits

随着我国经济的快速发展和环保意识的不断提高，环境保护政策日益严格，对锅炉烟气的排放标准提出了更高的要求。企业面临着既要满足生产需求，又要减少污染物排放的双重压力。因此，对锅炉烟气进行环保治理与综合利用的技改势在必行。通过采用先进的脱硫脱硝、除尘技术以及余热回收等综合利用措施，不仅可以实现烟气的达标排放，减少对环境的破坏，还能将烟气中的余热等资源进行回收利用，转化为可利用的能源，降低企业的生产成本，提高能源利用效率，实现经济效益和环境效益的双赢。

1 锅炉烟气环保治理与综合利用的意义

1.1 环境效益层面的意义

锅炉烟气当中含有大量的二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等污染物，对大气环境造成较大污染。通过开展环保治理与综合利用，可以有效降低污染物排放量，通过使用高效率的脱硫设备，能够减少二氧化硫的排放量，避免形成酸雨，积极保护土壤、水体、植被，维护当地生态平衡与稳定。脱硝技术的使用，可以削减氮氧化物的含量，减少光化学烟雾以及臭氧污染量，改善空气质量。高效率的除尘装置，能够去除烟气当中的颗粒物，控制雾霾天气发生率，保障人们呼吸健康^[1]。

1.2 经济效益层面的意义

一方面，通过针对烟气余热的回收利用，可以将

余热转化为可以利用的热能和电能，将其用于企业生产当中，降低企业对外部能源的依赖性，避免能源采购成本过高。例如，通过烟气余热或者加热锅炉补水，可以提升能源利用效率，控制燃料消耗量。另一方面，先进的治理技术也可以积极延长锅炉与设备的使用寿命，降低设备维修成本。随着今后环保政策越发严格，企业将会开展烟气治理，避免由于超标排放面临的高额罚款，从中获得政府的环保补贴与税收优惠。

1.3 社会效益层面的意义

首先，在开展工作期间可以改善区域大气环境质量，避免由于空气污染而引发严重疾病，例如呼吸道疾病、心血管疾病等，有效提高居民生活质量与健康水平，提升居民幸福感与满意度。

其次，推动相关环保产业的发展与进步，例如环保设备制造、环境监测等，打造出更多的就业机会，促进当地经济的发展与提升。

再次，企业可以积极参与到烟气治理当中，展现出社会责任意识，提升企业的社会形象以及声誉水平，满足企业与社会的和谐需求。

最后，锅炉烟气治理技术的推广，可以为其他工业领域的污染治理提供示范与参考，推动工业行业走向绿色、可持续化发展方向，满足经济发展与环境保

护的需求^[2]。

2 锅炉烟气环保治理与综合利用的技术改进措施

2.1 脱硫技术改进

在锅炉烟气脱硫领域，湿法脱硫技术凭借较高的脱硫效率占据主导地位，针对这一技术开展优化与升级具有重要意义。传统的石灰石-石膏法脱硫，主要利用石灰石浆液作为吸收剂，吸收烟气当中的二氧化硫，从而发生反应，生成亚硫酸钙，再经过强制氧化，形成硫酸钙。

为了克服容易结垢和运行成本比较高的问题，引入双碱法作为补充将会有效得到改进与处理。双碱法先试用氢氧化钠或碳酸钠等碱性较强的溶液，迅速吸收二氧化硫，从而形成亚硫酸盐与硫酸盐，随后将富液引入到再生池当中，使用石灰乳开展再生，让吸收剂得到循环利用，控制结垢，降低运行成本^[3]。

对于吸收塔内部结构，可以添加高效传质元件和规整填料，进而极大地增加气液接触面积，让二氧化硫与吸收剂更加充分地开展反应。新型喷淋装置使用特殊设计的喷嘴，实现更均匀的喷淋效果，进一步提升反应效率。

通过强化氧化技术，在反应体系当中鼓入适量的空气或者其他氧化剂，可以将亚硫酸钙快速氧化成为硫酸钙，产出高品质的脱硫副产品石膏，提升综合利用价值。通过使用先进的数字化监测与控制技术，能够对脱硫期间的酸碱值、液气比、二氧化硫浓度等参数进行精准监控，按照反馈信息自动调整运行参数，确保脱硫效率保持在95%以上，满足环保标准与要求。

2.2 脱硝技术改进

选择性催化还原法作为现如今广泛使用的脱硝技术，改进的目标在于催化剂与反应器的优化。通过选择高效率的钒钨钛催化剂，此类催化剂在低温环境可以展现出非常好的活性，拓宽活性温度窗口，控制运行温度，这不仅可以节约能源，还能够避免由于高温对设备造成的损伤。为了让氨气与烟气在SCR反应器内均匀混合，通过安装导流板与混合器，优化设备内气道的分布，避免局部氨气浓度过高的情况，提升脱硝效率，避免对设备与环境造成后续影响^[4]。

通过使用选择性非催化还原与SCR技术相结合的联合脱硝技术，可以有效发挥出两者的优势与好处。在锅炉炉膛的高温区域，先开展SNCR反应，在其中喷入氨气或者尿素等还原剂，将其与氮氧化物进行反应，去除一部分的氮氧化物。在下游的SCR反应器当中，通过催化剂的作用进行深度脱硝处理，进一步控制锅炉内部的氮氧化物浓度。针对复杂多变的情况，使用人工智能算法对脱硝系统开展智能控制，结合实

时监测到烟气流量、温度、氮氧化物浓度等参数，准确计算并调整喷氨量，达成准确脱硝处理，保障氮氧化物的排放浓度始终处于较低状态，满足今后越发严格的环保要求。

2.3 除尘技术改进

对于布袋除尘器，新型耐高温、高性能滤料的使用将会成为关键突破点，聚四氟乙烯纤维滤料凭借独特的化学稳定性以及低阻力特性，现如今成为除尘的理想选择。聚四氟乙烯纤维滤料不仅可以拦截0.1 μm以上的细微颗粒物，同时具有良好的抗腐蚀与抗氧化性能水平，提升滤袋的使用寿命。同时，针对清灰系统进行全面优化与改进，通过使用脉冲喷吹清灰与声波清灰相结合的复合清灰方式，脉冲喷吹清灰可以快速清除滤袋表面的积灰，声波清灰能够深入到滤袋内部，松动附着在滤袋孔隙当中的细微颗粒，提升清灰效果，保障滤袋维持较低的阻力运行状态^[5]。

对于电除尘器，将传统的工频电源升级成为高频电源，将会有效改进技术效果。高频电刀将会提供更高的电场强度与更加稳定的电晕功率，将烟气当中的颗粒物有效率荷电，提升除尘的效率。除此之外，增加湿式电除尘作为末端精处理设备，可以去除烟气当中的细微颗粒物、气溶胶、重金属等污染物，湿式电除尘通过水雾的方式让颗粒物团聚，随后在电场作用下被捕集，满足超净排放的严格要求。

2.4 余热回收技术改进

锅炉烟气余热回收技术的改进，主要目的在于实现能源的最大化利用，通过多种技术有机结合的方式，可以提升回收的效率。首先，安装高效率的管式换热器将会成为基础措施，在设计上，选择传热系数较高的管材，例如不锈钢翅片管，增大换热面积，提升换热的效率。

通过合理管道布局，让烟气与锅炉补水与生产用热水进行逆流换热，有效回收烟气当中的热量，提升能源利用效率。对于温度较高的烟气，热管式换热器通过自身较高的传热效率、紧凑的节奏、较好的等温性，进而成为理想选择。热管内部的工质在高温端吸收烟气热量之后迅速气化，在压差的作用下流向低温端，释放热量之后回流冷凝水，循环往复的情况下将热量快速传递给热媒。

为了进一步达成能量梯级利用，可以考虑引入有机朗肯循环系统，精心选择合适的有机工质，例如异戊烷等，通过烟气余热加热有机工质，将其蒸发成为蒸汽。产生蒸汽之后，可以推动透平机旋转发电，将烟气余热直接转化为电能，实现从热能到电能的高效率转换。

除此之外，余热回收系统当中可以安装蓄热装置，通过相变蓄热材料，例如高温熔融盐或者水合盐类。当烟气余热过剩之后，相变蓄热材料可以吸收并且存储热量，进而产生相变反应。在烟气余热不足或者热设备需要热量时，相变材料释放存储的热量，有效保障余热利用的稳定性与完善性，提升余热回收系统的效率，控制企业能源消耗量与生产成本。

3 锅炉烟气环保治理与利用的经济效益分析

3.1 直接成本节约与能源效率提升

锅炉延期治理与综合利用技术，通过回收余热和处理污染物，可以直接降低企业能源消耗以及运行成本。以余热回收为例进行分析，通过使用管式换热器、热管技术、有机朗肯循环系统，将烟气当中 50% 左右的余热转化成为可用热能，再通过发电系统，能够形成热能。例如，蒸发量 100 吨 / 小时的燃煤锅炉，烟气温度从 200℃ 降低到 100℃ 左右，每年可回收的热量相当于 3000 吨燃煤。按照当前的煤价进行估算，年节约燃料成本可以达到 200 万元左右。

另外，高效脱硫脱硝技术将会减少药剂消耗量，例如双碱法脱硫相比较于传统的石灰石脱硫，可以降低 30% 左右的碱性吸收剂用量，年运行成本节约 60 万元。另外，除尘设备的优化也将会延长设备的使用寿命，例如滤袋的更换频率下降，电极板也无需快速优化，因此年维修成本降低 50% 左右。技术改进通过开源节流的方式，可以提升企业的能源利用效率，成为经济效益直观体现。

3.2 资源综合利用与副产品价值开发

在烟气治理的过程中，产生的一些副产品具有经济价值，将副产品变废为宝已经成为现如今常见的循环经济模式。脱硫系统副产的工业石膏可以作为建材的基本原料，将其用于生产石膏板、水泥缓凝剂等，每年处理 10 万吨二氧化硫开展计算，年生产石膏约 30 万吨，按市场价 50 元 / 吨的价格估算，年收益达到 1500 万元。对于钢铁、化工等行业的锅炉，烟气当中可能含有硒、汞等重金属，通过湿式电除尘或活性炭吸附技术富集优化之后，能够将其进一步提炼回收，创造出额外的收益。

3.3 政策红利获取与环境风险规避

通过积极推进烟气治理技术，能够帮助更多企业享受政策红利带来的好处，规避环境风险带来的隐性成本。在政策支持方面，中央与地方政府可以对环保技术改进项目提供专项资金补贴，例如大气污染防治专项资金、循环经济示范项目补贴等，单个项目能够获得数百万的补偿与支持。除此之外，企业所得税法当中规定，购买环保专用设备的投资额可以按照 10%

的比例将其抵扣纳税额，进一步降低税务的负担。如果项目纳入碳排放权交易市场，余热回收减少的碳排放可能转化成为碳配额或碳资产，通过交易的方式获得额外收益。

在风险规避的层面，超标排放可能会面临罚款、停产整顿等后果，进而导致巨额的损失。例如，某企业由于二氧化硫排放超标，被处罚年利润 5% 的罚款，远远超过治理成本，这种处罚方式将会倒逼企业提升治理技术。

3.4 长期竞争力提升与市场溢价效应

烟气治理与综合利用技术改进，将会成为企业践行绿色发展的核心目标，进而带来长期发展的市场竞争优势。在供应链角度，下游客户将会逐渐关注供应商的环保表现，通过 ISO 14001 认证，从中获得绿色工厂称号的企业更容易进入到高质量客户的供应链，订单量也可以提升 20%。在品牌价值层面，环保领先企业可以享受 5% ~ 10% 左右的溢价空间，例如某电热厂通过烟气超净排放改造处理之后，年增收益超千万元。此外，随着碳关税、ESG 投资理念的普及，让烟气治理水平成为投资者评估企业可持续发展能力的一项重要指标。虽然经过优化之后带来的隐性经济效益难以量化，但也构成了企业差异化竞争的核心壁垒，帮助企业在长期市场博弈当中占据高质量地位。

4 结束语

展望未来，随着环保要求的不断提高与技术的持续创新，锅炉烟气环保治理与综合利用技术将会不断地完善与发展。作为企业，需要加大在环保技术改进方面的投入与支持，积极探索更加高效、经济、可行的治理技术与综合利用模式，进一步提升环保水平与经济效益。政府也需要加强政策引导与支持，鼓励企业开展环保技术改进，推动工业领域实现绿色转型与可持续发展，实现经济发展与环境保护的良性互动交流，为建设美丽中国做出更大贡献。

参考文献：

- [1] 卢胜华. 钢铁行业燃气锅炉烟气脱硫脱硝除尘技术对比分析 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(06): 118-120.
- [2] 冯校泽. 35t/h 流化床燃煤锅炉烟气治理升级改造的实践研究与应用 [J]. 山东化工, 2024, 53(06): 183-185.
- [3] 吴燕斌. 火电厂锅炉烟气除尘脱硫环保治理技术创新实践研究 [J]. 环境与生活, 2024, (Z1): 86-88.
- [4] 李宏亮, 李红博. 小型燃气锅炉烟气治理实现超低排放的技术应用与分析 [J]. 模具制造, 2023, 23(12): 139-141.
- [5] 马庆. 工业锅炉运行与烟气治理的节能减排措施 [J]. 当代化工研究, 2023, (11): 103-105.