

燃煤电厂超低排放技术改造与效益评估

杜世平

内蒙古博源银根化工有限公司 内蒙古阿拉善盟 010000

摘要: 随着我国环保政策的持续收紧以及社会对环境质量要求的不断提高,燃煤电厂超低排放技术改造成为其可持续发展的关键路径。本文深入剖析了燃煤电厂超低排放技术改造的核心技术内容,通过详实的实际案例展示其实施成效,并对环境与经济双重效益进行了全面评估。在此基础上,提出了针对性的技术创新方向、政策优化建议等策略,旨在为燃煤电厂的绿色转型提供坚实的理论与实践支撑,助力我国能源产业与生态环境的协调共进。

关键词: 燃煤电厂;超低排放;技术改造;效益评估

在全球气候变化加剧与国内大气污染问题严峻的双重背景下,燃煤电厂作为能源供应的重要支柱,其污染物排放治理刻不容缓。二氧化硫(SO_2)、氮氧化物(NO_x)和颗粒物(PM)等污染物的大量排放,不仅是雾霾等恶劣天气形成的重要诱因,也对生态系统和人类健康构成了严重威胁。因此,深入研究燃煤电厂超低排放技术改造,从技术原理到实际应用效果,再到综合效益评估,具有重大的现实意义与学术价值,为推动电力行业的绿色升级提供关键指引。

1 超低排放技术改造内容

1.1 锅炉燃烧系统优化

锅炉燃烧过程是 NO_x 生成的主要源头之一。低氮燃烧器改造作为关键举措,通过优化燃烧器的结构设计,如采用分级燃烧、空气分级等技术原理,实现燃烧过程中空气与燃料的精细化混合,有效抑制 NO_x 的生成。分级燃烧将燃烧过程分为主燃烧区和再燃区,在主燃烧区形成缺氧燃烧环境,降低火焰温度峰值,从而减少热力型 NO_x 的生成。再燃区喷入少量燃料,进一步还原主燃烧区生成的 NO_x 。燃烧调整则基于对锅炉运行参数的精准监测与调控,包括燃料的粒度分布、风量配比、燃烧温度分布等,确保锅炉在高效稳定运行的同时,最大程度降低 NO_x 排放。通过先进的燃烧诊断技术,如在线燃烧监测系统,实时获取燃烧过程中的关键信息,为燃烧调整提供精准依据,使锅炉燃烧系统的优化更加科学、高效^[1]。

1.2 烟气脱硫系统升级

石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术在超低排放改造中占据核心地位。其化学原理基于 SO_2 与石灰石(CaCO_3)在浆

液中的吸收反应,生成亚硫酸钙(CaSO_3),随后在氧化风机的作用下氧化为石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。为提高脱硫效率,对吸收塔的结构进行优化设计,如增加喷淋层数、优化喷淋角度,确保浆液与烟气的充分接触面积和接触时间。同时,采用高效的雾化喷嘴,使浆液能够更均匀地分散在烟气中,增强传质效率。此外,对浆液的循环系统进行升级,提高浆液的浓度稳定性和反应活性,通过在线监测系统实时监控浆液的酸碱度(pH值)、密度等参数,精确控制石灰石的添加量,保证脱硫反应的持续高效进行,从而确保 SO_2 排放浓度稳定达到超低排放标准。

1.3 烟气脱硝系统升级

选择性催化还原(SCR)脱硝系统的增装或优化是降低 NO_x 排放的关键环节。SCR技术的核心原理是在催化剂的作用下,利用还原剂(如氨气)将 NO_x 选择性地还原为氮气(N_2)和水(H_2O)。在催化剂选型方面,选用高活性、高选择性且抗中毒性能强的催化剂,如以钛钨($\text{TiO}_2 - \text{WO}_3$)为载体的钒基(V_2O_5)催化剂,并根据电厂的实际工况进行合理的催化剂模块布置,确保烟气在催化剂层中的均匀分布,提高脱硝反应效率。同时,优化还原剂的喷射系统,采用精准的流量控制和喷射格栅设计,实现还原剂与烟气的均匀混合,避免氨逃逸现象的发生。通过先进的在线监测系统,实时监测脱硝前后的 NO_x 浓度、氨逃逸率等参数,反馈调节还原剂的喷射量,保证脱硝系统的稳定高效运行,实现 NO_x 的深度脱除^[2]。

1.4 除尘系统升级

高效除尘设备的应用是降低颗粒物排放的关键手段。电

除尘器通过高压电场使颗粒物带电，在电场力的作用下向集尘极运动并被捕集。在超低排放改造中，对电除尘器的电极结构进行优化，如采用新型的芒刺线和极板形式，提高电场强度的均匀性和电晕放电性能，增强对细微颗粒物的捕集能力。同时，改进振打清灰系统，采用智能振打控制技术，根据粉尘的堆积情况实时调整振打强度和频率，确保极板的清洁度，维持电除尘器的高效运行。湿式电除尘器则利用水膜冲洗的方式捕集颗粒物，同时对烟气中的酸雾、重金属等污染物也具有一定的去除效果。通过优化喷淋系统和气流分布装置，提高水膜的均匀性和稳定性，进一步降低颗粒物的排放浓度，确保燃煤电厂的烟尘排放达到超低排放限值要求，如图 1 所示。

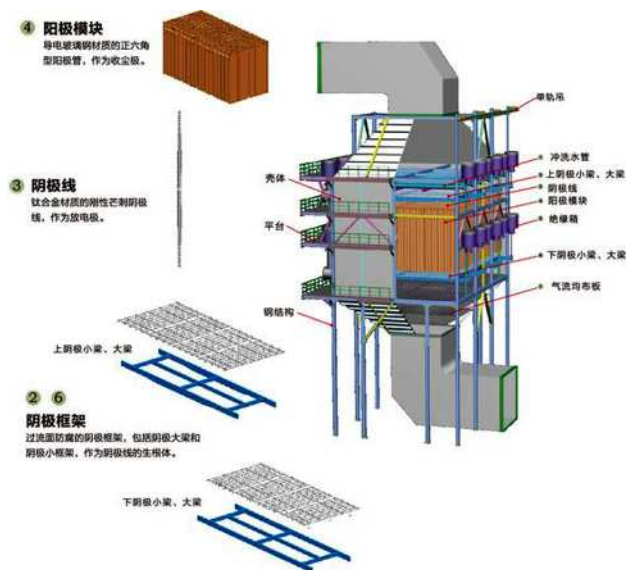


图 1：湿式电除尘器工作原理示意图

2 超低排放技术改造实施效果

以某 600MW 超临界燃煤机组为例，该机组于 2015 年完成了全面的超低排放技术改造。改造前，机组的 NO_x 、 SO_2 和 PM 排放浓度分别为 $80\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ 和 $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右，汞及其化合物浓度约为 $5\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。经过系统性的技术改造后，在满负荷稳定运行工况下，烟气排放口的 NO_x 浓度平均值降至 $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下， SO_2 浓度稳定在 $15\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右，PM 浓度降低至 $2\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以内，汞及其化合物浓度也显著下降至 $2\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 以下，各项污染物排放指标均远低于国家超低排放限值要求，实现了对大气污染物的深度削减。同时，对机组的运行稳定性进行长期监测发现，改造后机组的负荷响应速度、运行参数的稳定性等方面均未受到明

显影响，反而在部分工况下，通过优化燃烧和热回收系统，提高了机组的热效率，降低了煤耗，进一步验证了超低排放技术改造的可行性与有效性，为同类型燃煤电厂的改造提供了可靠的实践范例^[3]。

3 效益评估

3.1 环境效益

从宏观区域环境角度来看，以京津冀及周边地区、长三角地区和珠三角地区等重点区域内约 5 亿千瓦的煤电机组为例，若全部实现超低排放，其烟尘、 SO_2 和 NO_x 的年排放量将分别大幅降低至 10 万吨、30 万吨和 60 万吨以下，相较于改造前，占全国相应污染物排放总量的比例分别降至 1.5%、1.2% 和 3% 以下。这将对区域大气环境质量的改善产生显著的推动作用，有效降低雾霾天气的发生频率和严重程度，改善能见度，减少因大气污染导致的呼吸道疾病、心血管疾病等发病率，保护生态系统的平衡与稳定，提升区域居民的生活质量和健康水平，具有不可估量的环境价值和社会效益。

3.2 经济效益

尽管超低排放技术改造初期需要投入高额的资金用于设备购置、安装调试以及技术研发等方面，但从长期运行的综合经济效益来看，具有明显的优势。一方面，随着污染物排放量的显著降低，电厂每年可节省大量的排污费用，同时根据国家相关政策，可获得可观的环保电价补贴，这部分收入在一定程度上弥补了改造投资成本。以某 300MW 燃煤机组为例，改造后每年节省的排污费用约为 300 万元，获得的环保电价补贴约为 500 万元。另一方面，通过技术改造优化了机组的运行性能，提高了机组的可靠性和稳定性，降低了设备的维修频次和成本。例如，在提高机组运行负荷方面，从改造前的平均 70% 负荷提升至 90% 负荷运行时，FGD（烟气脱硫）、SCR 脱硝及 ESP（电除尘器）+WESP（湿式电除尘器）除尘单位发电量运行成本分别可下降约 25%、28% 和 35% 左右。此外，部分电厂通过对脱硫石膏、粉煤灰等副产品的精细化处理和综合利用，进一步拓展了盈利渠道，如将高品质的脱硫石膏用于建筑材料生产，粉煤灰用于混凝土掺合料等，实现了废弃物的资源化利用，增加了额外的经济效益，使超低排放技术改造在经济上具备了可持续性和可行性^[4]。

4 技术创新与研发建议

4.1 新型燃烧技术突破

研发基于先进燃烧理论的新型燃烧技术,如富氧燃烧、循环流化床燃烧与化学链燃烧等。富氧燃烧通过提高燃烧过程中的氧气浓度,改善燃烧效率,降低 NO_x 生成,同时便于后续二氧化碳的捕集与封存。循环流化床燃烧技术利用流态化原理,使燃料在流化状态下实现高效燃烧,对劣质煤具有良好的适应性,且能有效控制污染物排放。化学链燃烧则通过载氧体的氧化还原循环,实现燃料与空气的间接燃烧,具有内在的 CO_2 分离特性,可显著降低燃烧过程中的能量损失和污染物排放。加大对这些新型燃烧技术的基础研究和工程应用研究力度,突破关键技术瓶颈,如载氧体的性能优化、流化床的稳定性控制等,推动其在燃煤电厂的商业化应用,从源头实现污染物的低排放甚至零排放,引领燃煤发电技术的革命性变革。

4.2 一体化脱硫脱硝除尘技术创新

探索开发一体化的脱硫脱硝除尘技术,打破传统分单元处理模式的局限,实现多种污染物的协同高效脱除。例如,基于等离子体技术与湿法洗涤相结合的一体化工艺,利用等离子体的强氧化性能将 NO_x 氧化为高价态氮氧化物,同时激活 SO_2 和颗粒物,使其更易于被湿法洗涤液吸收和捕集。或者研发基于光催化氧化与吸附原理的一体化设备,通过光催化剂在紫外光照射下产生的强氧化性自由基,将 SO_2 和 NO_x 氧化为硫酸和硝酸,同时利用吸附剂吸附颗粒物和酸性气体,实现多种污染物的一步净化处理。加强对这些一体化技术的反应机理、工艺参数优化以及设备集成等方面的研究,提高其处理效率、稳定性和经济性,为燃煤电厂的超低排放提供更加简洁、高效的技术解决方案。

4.3 智能监测与控制系统优化

利用大数据、人工智能、物联网等新兴技术,构建智能化的燃煤电厂超低排放监测与控制系统。通过在电厂各生产环节部署大量的高精度传感器,实时采集烟气成分、温度、压力、流量等参数,以及设备的运行状态信息,形成海量的运行数据。利用大数据分析技术挖掘数据背后的潜在规律,建立精准的污染物排放预测模型和设备故障诊断模型,提前预测污染物排放趋势和设备故障风险,为运行调整和维护检修提供科学依据。同时,引入人工智能算法,如深度学习、强化学习等,实现对脱硫、脱硝、除尘等系统的智能控制,

根据实时工况自动优化运行参数,如还原剂喷射量、浆液循环量、电场电压电流等,确保各系统在最佳工况下运行,提高污染物脱除效率,降低运行成本,提升燃煤电厂的智能化管理水平和超低排放的稳定性。

5 政策引导与支持策略

5.1 精准补贴与激励机制完善

政府应进一步优化环保电价补贴政策,根据燃煤电厂的实际超低排放改造效果和运行稳定性,实施精准补贴机制。建立动态的补贴调整机制,定期对电厂的污染物排放数据进行监测评估,对于持续稳定达到超低排放限值且运行效率较高的电厂,适当提高补贴标准。对于排放超标或运行不稳定的电厂,暂停或降低补贴额度,并要求其限期整改^[5]。同时,设立专项奖励基金,对在超低排放技术创新、设备国产化替代、节能减排等方面取得突出成绩的燃煤电厂给予额外的奖励,激发电厂主动进行技术改造和创新的积极性,推动整个行业的技术进步和可持续发展。

5.2 环保标准与监管政策协同

环保部门应加强与能源、工业等相关部门的协同合作,制定更加严格且科学合理的燃煤电厂环保标准和监管政策。随着技术的不断进步和环境质量要求的提高,适时修订超低排放限值,提高污染物排放标准的先进性和前瞻性,引导燃煤电厂持续进行技术升级改造。加强对燃煤电厂的全过程监管,从项目审批、建设施工到运行维护,建立严格的环境影响评价制度和环保设施竣工验收制度,确保超低排放技术改造项目的质量和效果。同时,加大对违法排污行为的处罚力度,提高环境违法成本,形成有效的震慑作用,促使燃煤电厂严格遵守环保法律法规,保障超低排放技术改造的顺利实施和长期稳定运行。

5.3 绿色金融支持政策拓展

金融机构应积极响应国家绿色发展战略,加大对燃煤电厂超低排放技术改造的绿色金融支持力度。创新绿色金融产品和服务模式,如设立专项绿色信贷、发行绿色债券、开展绿色融资租赁等,为燃煤电厂的技术改造项目提供多元化的融资渠道和优惠的融资条件。降低贷款门槛,延长贷款期限,给予利率优惠,减轻电厂的融资负担。同时,建立绿色金融风险分担机制,由政府、金融机构和企业共同承担技术改造项目的潜在风险,提高金融机构的参与积极性和信心。通过绿色金融政策的引导和支持,加速资金向

燃煤电厂超低排放领域的流动,为技术改造项目的实施提供有力的资金保障。

6 结论

燃煤电厂超低排放技术改造在提升环保性能的同时,也带来了显著的环境效益和一定的经济效益。通过理论分析与实际案例研究,本文详细阐述了超低排放技术的改造内容、实施效果及效益评估。未来,应继续加大技术创新与研发力度,完善政策引导与支持体系,推动超低排放技术的广泛应用,为实现大气环境质量持续改善贡献力量。

参考文献:

[1] 郭俊蒙.超低排放改造关键问题探究[J].节能与环保,2023,(01):74-76.

[2] 何为.超低排放燃煤电厂非常规污染物的协同处理效应研究[J].中国战略新兴产业,2022,(18):42-44.

[3] 宋贺强.电厂超低排放的环保改造的设备管理分析[J].电子技术,2022,51(01):280-281.

[4] 苏强强.超低排放下电除尘提效技术及改造[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2021,(06):176-177.

[5] 张增利,操斌,刘天福.燃煤电厂烟气超低排放改造及运行总结[J].中国氯碱,2021,(02):36-38.

作者简介:

姓名:杜世平、出生年月:1989年2月16日、性别:男、民族:汉、籍贯:内蒙古呼和浩特市、学历:本科、职称:中级工程师、研究方向:电力行业