

双碳目标下火电厂环保工程管理模式创新与实践探析

向家璋

国能永福发电有限公司 广西 桂林 541805

【摘要】：碳达峰与碳中和的刚性约束正在重塑火电行业的技术路线与管理范式，环保工程作为火电厂实现清洁化转型的核心载体，其管理效能直接决定着减排目标的达成质量。当前火电厂环保工程管理面临减排技术升级的成本压力、多部门协同的衔接障碍、运维标准化的体系缺失、专业人才的结构性短缺等现实困境，传统管理模式在应对超低排放与碳约束的双重压力时暴露出系统性缺陷。鉴于此，构建全流程污染物协同治理技术体系、推行项目全生命周期精细化管理机制、搭建智能化环保监测运维管理平台、建立多元主体参与的绩效考核制度，成为火电厂环保工程管理模式创新的核心路径，这些措施的协同实施能够有效提升环保工程的运行效能与管理水平，为火电行业在双碳目标约束下的可持续发展提供制度保障与技术支撑。

【关键词】：双碳目标；火电厂；环保工程；协同治理；智能监测；全生命周期管理

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.055

引言

火电装机在中国电源结构中的绝对发电量仍维持高位运行，由此带来的二氧化硫与氮氧化物排放在工业源排放中占据显著比重，双碳目标的政策刚性正在倒逼火电企业从末端治理向全过程管控转型。环保工程的内涵早已超越传统的脱硫脱硝除尘设施建设，扩展为涵盖碳捕集与封存预留接口设计、废水零排放系统集成、固废资源化利用链条构建的复合型工程体系，管理层面的滞后性由此凸显。现行管理模式脱胎于污染物总量控制框架，其核心逻辑是将环保工程视为生产系统的附属单元，以合规性达标为绩效终点，这种思路在面对超低排放改造的精细化要求与碳排放权交易的市场化约束时显得力不从心。管理模式的创新必须与技术路线的升级同步推进，孤立地引进先进工艺而忽视配套管理机制的重构，极易陷入高投入低产出的效率陷阱。

1 火电厂环保工程管理的现实背景

1.1 双碳目标对火电行业的刚性约束

2030年碳达峰与2060年碳中和的时间表将火电行业置于结构性收缩与技术性升级的双重压力之下，现役煤电机组供电碳排放强度须在规定期限内大幅收紧。刚性约束的传导机制体现为多重叠加：全国碳排放权交易市场对火电企业实施强制履约，配额缺口企业需以市场价格购入碳排放权；地方环保督察对超低排放改造进度实施挂牌督办，未能在限期内完成改造的机组面临惩罚性电价扣减；绿色金融评级体系将环保绩效纳入授信审批要素，环保工程管理水平的高低直接影响企业的融资成本与再融资能力。上述约束并非孤立作用，而是形成了相互强化的政策组合，火电企业若仍将环保工程管理视为边缘性事务，其生存空间将被持续挤压^[1]。

1.2 火电厂环保工程的主要类型及特点

环保工程的类型谱系随排放标准的迭代而持续扩展，当前火电厂的环保工程主要覆盖烟气治理、废水处理、固废处置三

大领域，各领域内部又呈现出高度的技术分化与工艺耦合特征。烟气治理子系统以脱硫脱硝除尘为核心，石灰石—石膏湿法脱硫、SCR选择性催化还原脱硝、低低温电除尘等工艺的协同运行需要精确控制烟气温度与流速及成分配比，任一参数的偏离都将引发连锁效率衰减。废水处理子系统的复杂性源于水质的多源异质性，脱硫废水含有高浓度氯离子与重金属，冲灰废水呈强碱性且悬浮物含量波动剧烈，不同来源废水需经差异化预处理方可进入后续单元。固废处置则面临粉煤灰与脱硫石膏的资源化利用率考核压力，综合利用率的达标与否受制于周边市场消纳能力的季节性波动。

1.3 传统环保工程管理模式的基本架构

传统管理模式的架构特征可以概括为职能分割与被动响应。职能分割体现在环保工程的建设与运维分属不同管理主体，工程建设阶段由基建部门主导，设备选型与工艺设计服从于投资控制目标；移交生产后由运行部门接管，日常运维侧重于设备可用率的维持；环保绩效考核则由安全环保部门负责，其关注焦点集中于排放数据的合规性审核。这种条块分割的架构导致信息孤岛效应显著，运行部门对关键设备的设计参数缺乏准确认知，安环部门对工艺调整缺乏技术判断能力，基建部门在设备采购时未能充分考虑后续运维的便捷性需求。被动响应则表现为管理行为以问题驱动为主，设备故障后才启动检修流程，排放超标后才追溯原因，政策调整后才着手合规改造，这种模式在超低排放与双碳目标的双重约束下暴露出系统性缺陷^[2]。

2 火电厂环保工程管理的现实困境

2.1 减排技术升级面临成本压力

技术升级的边际成本曲线在超低排放阶段呈现出陡峭上升态势，污染物浓度的非线性削减特征决定了深度减排的经济代价远超常规治理。将排放浓度从达标水平进一步压降至超低排放限值，需要增设烟气再热系统以补偿湿法脱硫的热损失，

需要提升浆液循环泵的扬程与流量以强化气液传质效率,需要升级在线监测仪表的精度等级以满足数据置信度要求,这些技术措施的叠加使单位减排成本呈指数级攀升。运维成本的刚性增长同样不容忽视,催化剂的再生与更换周期随运行工况的复杂化而缩短,废水处理系统的药剂消耗量随进水负荷波动呈现较大弹性,上述成本压力在电价形成机制尚未充分反映环保投入的背景下难以有效疏导^[3]。

2.2 多部门协同管理的衔接障碍

协同障碍的本质是组织架构与业务流程之间的结构性错配,这种错配在环保工程的跨部门协作中尤为突出。技术与管理的脱节表现为工程技术人员与管理人员之间缺乏共同语言,技术方案的编制未能充分考虑管理可行性,管理制度的设计未能准确把握技术约束条件,导致方案落地时频繁出现执行偏差。建设与运维的脱节表现为工程验收移交后的责任真空期,其间设备异常的响应速度显著降低。生产与环保的脱节表现为排放指标与发电负荷之间的博弈失衡,运行部门在电网调度指令与环保合规要求发生冲突时倾向于优先保障出力。衔接障碍的深层原因在于绩效考核体系的碎片化,各部门依据独立设定的指标开展工作,部门利益最大化与整体目标最优化之间存在张力,而现行管理架构缺乏有效的利益协调与冲突裁决机制。

2.3 环保设施运维的标准化缺失

标准化缺失是制约运维效能提升的关键瓶颈,其表征涵盖操作规程、检修工艺与备件管理三个层面。操作规程的标准化程度偏低导致运行参数的人为波动显著,脱硫系统在不同班组操作下的浆液pH值控制范围远超设计要求,这种波动直接影响脱硫效率的稳定性与设备使用寿命。检修工艺的标准化程度同样堪忧,同一型号设备的维护周期在不同检修班组的实践中存在较大差异,质量评判缺乏客观量化指标,主要依赖检修人员的经验判断^[4]。备件管理的非标准化则推高了库存成本与停机风险,环保设备备件的库存周转率普遍偏低,而关键备件缺货导致的延长停机事件仍时有发生。标准化缺失的根源可追溯至环保工程的后发属性,主机设备的运维体系经历了数十年的积淀与优化,而环保设施的运维管理起步较晚,尚未形成成熟的标准体系与知识库。

2.4 专业技术人才的结构性短缺

人才短缺呈现出总量不足与结构失衡并存的特征,这一困境在基层电厂尤为严峻。环保专业技术人员的实际在岗数量普遍低于编制要求,在岗人员中具有环境工程或相关专业背景的比例偏低,多为机械、电气等专业转岗而来。结构性短缺体现在复合型人才的稀缺,既懂环保工艺原理又熟悉控制系统逻辑的人员占比不足,既能开展设备检修又能进行数据分析的人员更为罕见。人才培养机制的滞后加剧了短缺程度,环保专业培训的人均学时普遍偏少,培训内容以政策法规解读与安全操作

规程为主,技术深度与前沿性明显不足。人才流失问题同样突出,职业发展通道狭窄与薪酬竞争力不足是主要诱因,其连锁效应已在日常运维中显现,复杂故障的诊断时间延长,技术改进建议的产出偏少,知识传承依赖个别资深员工的隐性经验而非显性化的技术文档。

3 火电厂环保工程管理的创新路径

3.1 构建全流程污染物协同治理技术体系

协同治理技术体系的构建突破了传统的单元设备优化思路,转而从系统层面追求多污染物协同脱除的整体最优。技术方案以烟气流程为主线,在脱硝-除尘-脱硫-湿电的串联工艺中嵌入多个协同控制节点:氮氧化物浓度与氨逃逸率的平衡控制通过调整喷氨格栅的分区流量配比实现;除尘器入口烟温与气溶胶生成的抑制控制通过精确设定运行温度区间达成;脱硫塔液气比与石膏品质的协调控制在保证脱硫效率约束下优化浆液循环量以降低能耗;湿电出口颗粒物浓度与能耗的均衡控制依据烟气含尘量动态调节运行参数以实现能效最优。协同控制的实现依赖多目标优化算法的支撑,以污染物排放总量最小化与运行成本最小化为双目标函数,以设备能力与工艺约束为边界条件,可满足实时优化的响应速度要求^[5]。

3.2 推行项目全生命周期精细化管理机制

全生命周期管理机制的核心在于打破建设与运维的人为割裂,将环保工程视为从可行性研究到退役处置的完整价值链予以统筹规划。可研阶段即引入运维团队参与技术评审,针对设备布局的检修可达性、备件的通用化程度、控制系统的开放性等运维关切提出设计优化建议。建设阶段推行设备供应商全周期服务合同模式,将质保期适度延长,将供应商的服务响应时间与配件供应承诺纳入合同约束,质保金的支付与运行可靠性指标挂钩。移交阶段建立详尽的技术交底与培训认证机制,运维人员须通过涵盖工艺原理、操作规程、故障处置的认证考核后方可上岗。运维阶段则构建以可靠性为中心的维修策略体系,依据设备重要度分级与故障模式分析结果制定差异化的维修计划,关键设备实施预测性维修,重要设备实施预防性维修,一般设备实施事后维修。

3.3 搭建智能化环保监测运维管理平台

智能化平台的搭建旨在破解信息孤岛与响应滞后两大痼疾,系统架构设计遵循边缘计算与云端分析相结合的技术路线。数据采集层部署涵盖烟气成分、设备状态、能耗参数的监测点位,采集频率从关键排放指标的高频采集到辅助参数的低频采集不等,边缘计算节点完成数据清洗与特征提取后上传至数据仓库。数据分析层集成三类核心算法模块:异常检测模块采用机器学习算法识别设备运行状态的异常偏离;趋势预测模块采用深度学习网络预测污染物排放浓度的变化趋势;优化决策模块在多约束条件下寻求运行参数的最优组合。应用展示层

开发面向不同用户角色的差异化界面，运行人员关注实时参数与报警信息，管理人员关注绩效指标与趋势分析，决策层关注成本效益与合规状态，环保数据的查询响应效率由此大幅提升。

3.4 建立多元主体参与的绩效考核制度

绩效考核制度的重构着眼于破解部门利益分割与责任边界模糊的体制性障碍，多元主体绩效考核体系涵盖目标设定、过程监控、结果评价、激励兑现四个环节的闭环管理。目标设定环节采用平衡计分卡框架，将环保绩效分解为排放达标、成本控制、效率提升、能力建设四个维度的量化指标，各维度权重依据年度工作重点动态调整。过程监控环节建立月度绩效跟踪与季度绩效预警机制，智能平台自动生成绩效仪表盘并推送至各责任主体，偏离目标值超过预设阈值时触发预警升级流程。结果评价环节引入第三方评估机制，委托具有资质的检测机构对排放数据进行独立核验，委托行业协会对管理绩效进行对标分析，评价结果的客观性与公信力得到保障。激励兑现环节实现绩效考核结果与薪酬分配及职级晋升的刚性挂钩，环保

绩效优秀的班组可获得专项奖励，连续绩效排名末位的管理人员将被调整岗位，这种强约束机制有效激发了各层级的环保责任意识。

4 结语

双碳目标下火电厂环保工程管理模式的创新，其价值不仅在于具体措施的落地实施，更在于揭示了技术升级与管理变革必须协同推进的内在逻辑。污染物协同治理技术体系的构建使排放控制从单元优化跃升至系统优化层面，全生命周期精细化管理机制的推行弥合了建设与运维之间的断裂地带，智能化监测运维平台的搭建为精准决策提供了数据基础与算法支撑，多元主体绩效考核制度的建立重构了责任传导与激励约束的制度链条。这些创新措施的叠加效应能够有效提升排放控制水平、降低综合运维成本、改善设备可用率、稳定专业人才队伍。展望未来，火电行业的环保工程管理仍面临碳捕集技术规模化应用、灵活性改造与环保设施协调运行等新课题的挑战，管理模式的持续迭代将是一个长期演进的过程。

参考文献：

- [1] 张丰硕. “双碳”目标下火电厂全生命周期成本管控的应对之策[J].中国商界,2025,(21):170-171.
- [2] 刘雪原,陈玉敏,魏阳,等. “双碳”目标下火电厂碳核算主要方法综述[J].四川电力技术,2024,47(05):34-43.
- [3] 黄昊,李玲,宋玥.双碳目标下火电厂碳成本精细核算及其决策应用——基于对A火电厂的实地调研[J].管理会计研究,2024,(02):46-57.
- [4] 张安安,周奇,李茜,等. “双碳”目标下火电厂CO₂计量技术研究现状与展望[J].发电技术,2024,45(01):51-61.
- [5] 张丽,窦有权,柯文明. “双碳”目标下火电厂燃料标准化管理研究[J].大众标准化,2022,(23):162-164.