

基于生命周期评价的电厂配煤掺配方案环境影响评估

宋占键

神延煤炭有限责任公司西湾露天煤矿, 中国·陕西 榆林 719000

摘要: 在“双碳”目标引导下, 电厂燃煤过程的环境影响日益受到关注。配煤掺配作为影响燃烧效率和排放水平的重要手段, 亟须从环境全生命周期视角进行系统评估。论文基于生命周期评价(LCA)方法, 对不同配煤掺配方案在资源开采、运输、燃烧等阶段的能耗与污染排放进行定量分析, 涵盖碳排放、硫氧化物、氮氧化物和颗粒物等典型指标。研究表明, 合理的掺配策略不仅能在经济性上取得平衡, 还能在环境绩效方面实现协同优化。论文为煤电行业开展绿色调煤提供科学参考。

关键词: 生命周期评价; 配煤掺配; 环境影响; 燃煤电厂; 碳排放

Environmental Impact Assessment of Coal Blending Scheme of Power Plant based on Life Cycle Assessment

Zhanjian Song

Xibay Open-pit Coal Mine, Shenyang Coal Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract: Under the guidance of the “dual carbon” goals, the environmental impact of the coal combustion process in power plants has received increasing attention. As an important means to influence combustion efficiency and emission levels, coal blending and proportioning urgently need to be systematically evaluated from the perspective of the entire environmental life cycle. Based on the life cycle assessment (LCA) method, this paper quantitatively analyzes the energy consumption and pollution emissions of different coal blending and proportioning schemes in the stages of resource extraction, transportation, and combustion, covering typical indicators such as carbon emissions, sulfur oxides, nitrogen oxides, and particulate matter. The research results show that a reasonable blending strategy can not only achieve a balance in economic terms but also achieve a coordinated optimization in environmental performance. This paper provides a scientific reference for the coal power industry to carry out green coal blending.

Keywords: life cycle assessment; coal blending; environmental impact; coal-fired power plants; carbon emissions

0 前言

随着国家能源结构向低碳转型迈进, 煤电行业亟须在保障能源安全的前提下降低环境影响。在电厂运营过程中, 燃煤配煤掺配策略不仅影响锅炉效率和运行稳定性, 更对全流程能耗、排放及生态负荷水平产生重要影响。传统配煤策略侧重于热值、灰分、硫含量等经济与运行参数优化, 而对其带来的环境效应关注不足, 造成掺配决策存在一定片面性。近年来, 生命周期评价(LCA)方法被广泛应用于能源与环境系统研究, 其对资源输入与环境输出的系统性分析优势, 为配煤方案的环境效益量化提供了理论与方法支撑。

论文通过引入 LCA 分析框架, 从煤炭开采、运输、配煤、燃烧到排放处理的全过程出发, 对不同掺配比下的典型煤种组合进行环境负荷评估。重点评估二氧化碳排放、SO₂、NO_x 与颗粒物等关键污染因子在不同阶段的释放情况, 并对环境影响结果进行归一化与对比分析, 以明确各环节对整体环境绩效的贡献程度, 探索“减排不减效”的绿色配煤路径。

1 生命周期评价方法在配煤研究中的适用性分析

生命周期评价强调“从摇篮到坟墓”的全过程视角, 对产品或服务的环境影响进行系统性分析。在电厂配煤掺配背景下, 煤炭的开采、洗选、长距离运输、现场掺配、锅炉燃烧及排放处理构成了完整的生命周期链条。各阶段均涉及能耗与污染物释放, 其累积效应决定了配煤策略的最终环境表现。因此, 采用 LCA 方法可以有效识别不同掺配方案的环境优劣, 为配煤决策提供量化支撑。

在 LCA 实施中, 需明确功能单位和系统边界。论文以“满足 1 兆瓦时电量输出所需的煤炭资源消耗”为功能单位, 将系统边界设定为“煤炭资源开采至燃烧排放后处理”全过程。数据主要来源于煤炭生产企业公开资料、电厂运行记录、国家统计局数据与 CNEMC 排放因子数据库。通过建立清单分析表, 归集不同煤种在掺配比变化下的资源消耗与污染因子排放量, 并借助 SimaPro 软件进行影响评估, 得到每种配煤方案的环境负荷分布情况, 为后续优化提供基础数据。

2 电厂典型配煤方案设计与评价指标体系构建

为了分析不同煤种组合的环境影响差异, 论文选取了三种常见煤种: 高热值低硫烟煤、中灰分褐煤与高硫高挥发分混煤。设置四种典型掺配方案进行对比分析: A 方案(高比例烟煤)、B 方案(烟煤+褐煤均衡)、C 方案(褐煤为主)、D 方案(烟煤+混煤掺配)。每种方案在发热量保持等效基础上, 调整煤种比例, 观察其对环境负荷指标的影响变化。

为全面衡量掺配策略的环境表现, 构建了包含能源消耗强度、CO₂ 排放强度、SO₂ 排放量、NO_x 排放量、PM_{2.5} 排放水平五个一级评价指标的综合评估体系。其中, 能源消耗通过煤耗量与运输路径换算, 污染物排放则依据煤质特性及排放因子测算。各指标进行归一化处理, 并按等权重合成综合环境负荷指数, 以便实现多方案横向比较与敏感性分析。该体系不仅考虑单一排放因子控制, 还注重整体环境表现, 有助于兼顾实际运行需求与绿色发展目标。

3 不同掺配方案生命周期环境影响评估结果分析

分析结果表明, 不同掺配比例对环境指标的影响差异显著。A 方案虽燃烧效率高, 但因烟煤开采能耗较大, 导致生命周期 CO₂ 排放量居高不下。C 方案虽减少了高热值煤使用, 降低了前端碳足迹, 但褐煤在燃烧过程中产生较多颗粒物与 SO₂, 对空气质量影响更为明显。B 方案则在排放强度与能耗水平之间取得相对平衡, 综合环境负荷指数最低, 表现为较优策略。D 方案则因混煤含硫高、运输路径长, 导致污染因子释放显著上升。

进一步归因分析显示, 资源开采和燃烧阶段是环境负荷的主要来源, 两者合计贡献超过总影响的 85%。运输环节在距离超出 300 公里后对 CO₂ 排放的贡献呈现非线性增长, 提示在掺配中应尽量采用本地资源。颗粒物排放则受煤中灰分与设备控制效率双重影响, 说明掺配策略与技术治理手段需协同考虑。通过敏感性分析发现, SO₂ 排放对煤种中硫含量变动最为敏感, 提示高硫煤应严格控制掺配比例或采用脱硫效率更高的技术配套。

4 基于 LCA 结果的绿色配煤策略优化建议

结合生命周期评估结果, 提出以下优化策略以降低配煤环境影响: 一是在满足热值需求前提下, 提高低硫、中灰分煤种使用比例, 通过煤种结构优化实现污染物源头减量。二是优先选用运输半径小、供应稳定的煤源, 减少物流过程中产生的能耗与间接排放, 推动区域煤炭调度一体化。三是建立以环境绩效为导向的掺配决策支持系统, 将 LCA 结果与经济指标同步分析, 辅助运行人员做出平衡型掺配方案

选择。

此外, 应推动企业层面建立煤炭碳足迹标签制度, 对不同来源煤种的全生命周期排放强度进行标识管理, 为绿色采购提供数据支持。同时, 将生命周期分析嵌入电厂智能燃料管理平台, 结合实时煤质监测与大数据预测模型, 实现动态环境影响监控与策略迭代优化。

5 LCA 方法在煤电行业管理与政策实践中的推广价值

生命周期评价不仅具有方法论价值, 更在实际管理与政策设计中展现出广泛应用潜力。当前煤电企业正从粗放型管理向精细化、透明化运营转型, 传统的经济性导向配煤模式逐步暴露出环境代价与监管合规风险。将 LCA 方法嵌入配煤流程, 可帮助企业实现从“只看成本”到“兼顾环境”的多维度决策转变, 为环保型、低碳型调煤策略提供依据。例如, 配合能效与环保信息披露机制, LCA 结果可作为企业绿色资产管理与第三方审计的关键数据源。

在政策层面, LCA 模型能够为区域煤炭调度、碳定价与排放权分配等提供定量基础, 助力政府制定更科学、更公平的能源与环境政策。例如在构建碳税或碳交易机制时, 若引入煤种生命周期排放因子作为分档依据, 既可提升政策精准度, 也能引导企业主动优化掺配结构, 避免“高排煤种”流入市场形成外部性转嫁。同时, 通过标准化 LCA 指标体系的推广, 也有利于形成行业统一的配煤环境评价口径, 推动绿色电力市场的稳步发展。

6 结语

论文基于生命周期评价方法, 对电厂典型配煤掺配方案的环境影响进行了系统分析。结果显示, 不同煤种组合在碳排放与污染物控制方面存在显著差异, 掺配策略需在污染源控制与整体能效之间寻找平衡点。通过构建多维指标体系与定量模型, 可为电厂提供科学、可操作的绿色调煤方案。未来, 应加强数据集成与平台化建设, 推动生命周期评价结果向实时化、智能化应用演进, 助力煤电行业实现绿色发展目标。

参考文献:

- [1] 于丹. 农林生物质与煤耦合发电产业发展及政策仿真研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2023.
- [2] 廖传华, 王小军, 王银峰, 等. 能源环境工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2020.
- [3] 刘志超. 工业污泥干化与煤粉掺烧协同利用生命周期评价[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [4] 张晓萱. 考虑环境约束的不确定性城市能源系统优化模型[D]. 华北电力大学(北京), 2010.