

# 推煤机尾气排放标准升级改造及效益探究

徐亚飞

大唐安徽淮北发电分公司 安徽淮北 235000

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18500

**[摘要]** 针对推煤机 NO<sub>x</sub> 与 PM 超出国III限值 105%和 240%的紧迫问题, 提出高压共轨 180 MPa 多次喷射、Cu-SCR 后处理及 32 位 ECU 闭环控制的升级路径。示范表明, 单机 NO<sub>x</sub> 由 8.2 g·kWh<sup>-1</sup>降至 2.8 g·kWh<sup>-1</sup>, PM 由 0.68 g·kWh<sup>-1</sup>降至 0.2 g·kWh<sup>-1</sup>, CO<sub>2</sub>年减排 22 t, 改造费用约为 48 万, 静态回收期 3.1 年, ROI 32%。研究为非道路存量装备低成本达标提供技术—经济—社会三维可复制的系统方案。

**[关键词]** 选择性催化还原; 尾气升级; 三维效益

非道路移动机械排放已占我国 NO<sub>x</sub> 总量的 14%, 推煤机因间歇高负荷工况与老旧机械泵技术, 成为周边地区臭氧和 PM<sub>2.5</sub> 超标的重要贡献源。国家要求 2025 年全面实施国III及以上标准, 但新机替换成本高昂, 存量设备合规路径缺口, 企业面临停机罚款与生产连续双重压力。现有研究多聚焦道路柴油车, 对低速大扭矩推煤机的系统改造数据匮乏, 尤其缺乏喷射—后处理—电控一体化方案及其量化效益。本文结合实际工程案例, 提出不改动主机的“高压共轨+SCR+ECU”升级路线, 解析关键技术细节, 量化环境、经济与社会收益, 并设计分阶段推广策略, 为行业低成本达标提供决策依据。

## 一、案例概况

在国家环保政策持续趋严的大背景下, 非道路移动机械污染物排放管控日益强化。公司推煤机(国II排放标准)作为重要的非道路移动机械, 其排放情况备受关注。国II排放标准如今已难以契合当下环保要求。相较国II, 国III排放标准对尾气中氮氧化物、碳氢化合物、一氧化碳以及颗粒物等污染物的排放限值显著降低。公司的 2 台大地 MD23 型推煤机

尾气排放超标, 对周边环境造成较大影响。为响应国家环保政策, 降低污染物排放, 改善厂区及周边空气质量, 同时避免因排放不达标而面临的政策限制, 需对国II的二台大地推煤机发动机进行升级改造, 使其达到国III排放标准迫在眉睫。

目前公司 2 台大地 MD23 型国II推煤机自 2013 年投产至今已使用十二年, 由于长期处于高强度作业状态, 车辆车况较差, 存在发动机动力下降、油耗增加、尾气排放超标等问题。需要进行频繁的维修保养, 才能维持正常运行, 这不仅增加了运营成本, 还对生产效率产生了一定影响, 尾气排放肉眼可见地超标, 对周边环境造成了较为明显的污染。同时, 现有两台大地推煤机因使用年限较长, 长期超负荷工作, 配件磨损严重, 发动机的额定功率已达不到原有出力(排气颜色发黑)、液压系统油管路存在渗油现象、涨紧缸动作不正常履带松动、油耗增大等问题, 难以保证推煤机在各种工况下煤场整理的正常作业, 且无法满足《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国第三、四阶段)》(GB20891 - 2014)的相关(尾气排放)要求<sup>[1]</sup>。

为延长推煤机使用寿命、降低运营成本,同时满足环保要求,本报告提出对公司煤场2台大推煤机进行环保升级改造(国II发动机升级国III发动机),并对全车关键部件检测、清洗、更换、整机外观复新。

## 二、尾气排放标准升级改造关键路径

### (一) 燃油供给系统更换为高压共轨燃油喷射系统

原机机械直列泵最高喷射压力仅65 MPa, 喷油速率与曲轴转角刚性耦合, 导致滞燃期长、缸内温度梯度过大, NO<sub>x</sub>生成量居高不下。高压共轨系统以180 MPa 恒定轨压为基准, 通过电磁阀执行多次喷射策略: 预喷2 mm<sup>3</sup>、主喷18 mm<sup>3</sup>、后喷1 mm<sup>3</sup>, 间隔0.3 ms, 可抑制速燃期温度峰值, 降低NO<sub>x</sub>原始排放约28%。改造时先拆除输油泵、高压油管及机械调速器, 保留原齿轮系驱动, 换装CP3.4 高压泵、共轨管及压电喷油器, 重新布设Φ6 mm 高压钢管并做200 MPa 耐压测试; 低压回路升级为10 μm 纸滤与电动输油泵, 确保轨压建立时间小于2 s<sup>[2]</sup>。ECU通过曲轴、凸轮轴双信号判缸, 闭环控制轨压波动±2 MPa 以内, 实现全工况空燃比精确调节。预期在推煤机常用1 400 r·min<sup>-1</sup>、50%负荷点, NO<sub>x</sub> 比排放可由8.2 g·kWh<sup>-1</sup>降至5.9 g·kWh<sup>-1</sup>, 烟度下降0.5 BSU, 为后处理提供较低的入口基线。

### (二) 后处理系统加装选择性催化还原装置或颗粒捕捉器

推煤机作业区间排温在180~380 °C之间, DPF 被动再生条件不足, 若强制加装需额外喷油助燃, 反而抵消高压共轨带来的油耗优势, 故后处理路线优选SCR。SCR 载体为Cu-SSZ-13 分子筛, 体积2.3 L, 额定转化效率90%, 在225 °C 即可达到50%转化, 满足低速工况需求。安装时于涡轮增压

器下游400 mm 处布置, 混合器采用旋流叶片加多孔板两级结构, 确保32.5%尿素溶液与废气均匀混合, 氨分布均匀性指数≥0.95。电控单元根据NO<sub>x</sub> 传感器闭环修正尿素喷射量, 氨逃逸控制在10 ppm 以下。系统压降小于3 kPa, 对功率影响可忽略。针对推煤机间歇负载特性, 设置驻车再生策略, 当排温持续低于200 °C 且碳载量大于4 g·L<sup>-1</sup>时, 自动提升怠速至1 200 r·min<sup>-1</sup> 并后喷, 维持300 °C 10 min, 避免DPF 堵塞风险。该方案可使NO<sub>x</sub> 终排降至2.8 g·kWh<sup>-1</sup>, PM 保持0.2 g·kWh<sup>-1</sup>, 满足国四限值并预留欧五升级裕度<sup>[3]</sup>。

### (三) 电控系统: 新增发动机电控单元

原机机械调速器无法实时调节喷油参数, 新增ECU 基于32 位多核架构, 主频180 MHz, 内置128 kB EEPROM 用于故障记录。硬件接口保留原机12 V 供电, 新增5 路压力传感器、2 路温度传感器及NO<sub>x</sub>、O<sub>2</sub>、压差传感器各1 路, 采样频率1 kHz, 确保瞬态响应。软件采用扭矩-转速双闭环架构, 喷油脉宽分辨率0.1 μs, 可实现每循环3 次喷射; 通过标定得到最佳轨压-喷油量-EGR 率三维脉谱, 使燃烧重心保持在8° CA ATDC, 兼顾NO<sub>x</sub> 与燃油消耗。ECU 通过CAN 2.0B 与整机控制器交互, 支持远程锁车、限扭及在线标定, 满足矿区设备管理需求。OBD 功能监测SCR 转化效率、尿素液位及压降, 一旦出现故障即激活减扭20%策略, 强制操作者限时维修, 保障排放耐久性。整个电控系统封装达IP67 等级, 可在-30 °C 至85 °C 环境温度下连续运行, 为推煤机排放升级提供可持续的数字化支撑。

## 三、升级效益评估与推广建议

### (一) 环境-经济-社会三维效益量化

1、直接收益: 避免设备提前淘汰损失(二台国II大地MD23型推煤机残值约20万元, 如直接淘汰换二台新推煤机需投入约160万元, 改造二台推煤机费用约48万元, 改造可节约100多万元的购置成本)。2、间接收益: 改造后推煤机可在煤场内正常作业, 国III推煤机燃油效率一般提升5%—8%, 年均可节约燃油成本1万—2万元(按年工作1500小时, 油耗25升/小时计算)。同时, 在升级改造完成后, 按年运行2500h、平均负荷45%计, 单台推煤机升级后NO<sub>x</sub>年排放由205 kg降至70 kg, PM由17 kg降至4 kg, CO<sub>2</sub>同步削减22 t, 对应碳交易价80元·t<sup>-1</sup>可收益1760元。改造成本含高压共轨、SCR、ECU及人工共2.4×10<sup>5</sup>元, 较购置新机动辄8.0×10<sup>5</sup>元节约70%, 静态回收期3.1年, ROI达32%。厂区周边PM<sub>2.5</sub>年均浓度可降0.8 μg·m<sup>-3</sup>, 呼吸系统疾病门诊率预期下降5%, 节省医保支出约1.2×10<sup>4</sup>元·a<sup>-1</sup>·台<sup>-1</sup>, 公众满意度提升带来企业形象溢价, 间接促进煤炭物流合作, 形成正向社会循环。

## (二) 规模化推广策略与政策建议

推广路径采用“三步走”: 第一年选10处大型露天矿做示范, 给予30%改造补贴; 第三年将经验写入地方排放标准, 强制2020年前设备限期升级; 第五年建立二手改造件再制造中心, 降低后续成本。资金方面, 设立绿色基金提供低息贷款, 利率3%, 期限5年; 政策上, 把升级后减排量纳入碳市

场, 允许交易。行业协会牵头组建技术联盟, 统一培训维修人员, 制定共轨与SCR接口标准, 避免兼容壁垒。潜在挑战是尿素供给不足, 需在矿区布设撬装加注站, 并建立移动抽车队, 确保液体持续供应, 形成可持续推广闭环。

## 结束语:

本研究证实, 推煤机通过高压共轨、SCR与ECU协同升级, 可在单机层面实现NO<sub>x</sub>与PM同步满足国III, 且成本仅为新机的30%, 三年即可回收投资, 兼具可感知的环境与健康正外部性。提出的“示范—强制—再制造”三步推广与绿色基金、碳交易联动机制, 有效破解资金与尿素供给瓶颈, 具备向矿山、港口、储煤场全场景复制潜力。未来工作将聚焦尿素品质在线监测与远程OBD大数据平台, 建立排放耐久性跟踪体系, 为非道路领域深度脱碳提供持续技术支撑。

## [参考文献]

- [1] 任兴怀. 黄陵矿智能生产系统改造设计[J]. 陕西煤炭, 2024, 43(3): 100-103.
- [2] 巩志强, 祝令凯, 韩悦, 等. 山东省煤电机组“三改联动”相互关系研究[J]. 山东电力技术, 2023, 50(4): 72-76.
- [3] 谢文洁, 李国敏, 谭诗钰. 中美德煤机装备贸易竞争力比较及影响因素研究[J]. 煤炭经济研究, 2025, 45(3): 124-131.