

露天采场全域扬尘协同管控与矿区环境提升综合技术

张冰冰

栾川龙宇钼业有限公司

摘要

露天钼矿开采覆盖穿孔、爆破、采装、运输、破碎、排土全流程，多尘源耦合叠加形成区域性粉尘污染，传统分区域独立抑尘模式存在管割裂、细颗粒物治理失效、粉尘扩散无闭环约束等突出问题。本文依托栾川龙宇钼业露天采场工程实践，结合知网、维普露天矿山粉尘防控、绿色矿山建设相关文献研究成果，构建源头减尘、过程阻尘、边界阻隔、智能调度、生态固尘一体化全域扬尘协同管控技术体系，集成湿式开采抑尘、运输廊道闭环防控、在线监测联动雾幕、边坡同步生态修复成套工艺。现场实测表明，全域协同治理可大幅削减作业面粉尘负荷，矿区无组织颗粒物稳定达标，同时同步完成水土保持、地貌修复与矿区景观提质，可为豫西丘陵山区露天金属矿山扬尘综合治理提供标准化技术路径。

关键词：露天采场；全域扬尘；协同管控；多尘源抑尘；矿山生态修复

一、露天采场扬尘产生特征与传统治理存在的问题

矿区粉尘分为爆破、钻孔产生的瞬时高浓度脉冲尘，以及运输道路、排土堆体、裸露开挖边坡形成的持续性面源尘。受山谷静风、局地环流影响，采坑内部粉尘滞留周期长，各尘源交叉叠加易引发区域性超标。传统治理体系存在四项核心短板：一是各工序抑尘措施独立运行，缺乏时序与空间协同，易产生二次扬尘；二是常规喷淋雾滴粒径偏大，对 PM2.5 微细粉尘捕集效率偏低；三是抑尘设备依靠人工定时启停，无法根据风速、湿度、粉尘浓度动态匹配抑尘强度；四是工程抑尘与生态修复脱节，裸露岩土长期受风力、水力侵蚀，扬尘反弹风险突出。

二、露天采场全域扬尘协同管控综合技术体系

本文结合豫西山区露天钼矿地形特点与多尘源耦合产尘机理，构建“源头减尘-过程阻尘-边界阻隔-智能调控-生态固尘”五位一体全域扬尘协同防控技术体系，打破传统单一工序、单点区域的碎片化治理模式，实现采场作业、物料转运、堆场存储、矿区边界全维度、全时序闭环治理。在源头减尘环节，摒弃传统干式作业工艺，全面升级标准化湿式作业体系，钻孔工序采用循环水湿式穿孔工艺，搭配密闭捕尘装置，从根源抑制岩粉扩散；爆破作业优化毫秒微差起爆参数，降低岩体过度粉碎产生的微细粉尘，通过爆孔预注水、爆区防爆水袋布设相结合的方式，实现爆破粉尘瞬时沉降；采装作业设备加装智能感应超细雾喷淋系统，依据铲装作业启停自动联动喷淋，有效抑制物料扰动起尘，

大幅降低初始产尘量。在过程阻尘环节，聚焦粉尘传输扩散关键路径实施闭环管控，矿区生产主干道全部硬化防渗处理，配套全自动高压车辆冲洗系统，杜绝车辆带泥上路、物料遗撒起尘；矿石破碎、皮带转运等产尘点位采用全密闭结构，搭配负压集气与脉冲布袋除尘装置，实现点位粉尘精准收集治理；各类矿料堆场、废石排土区域实行分区管控，短期堆存物料喷洒环保高分子抑尘剂形成固结防尘层，长期闲置堆场全覆盖高密度防尘网，同时架设移动式防风抑尘设施，削弱近地面风力起尘效应，彻底切断粉尘传播路径。在边界阻隔环节，依托网格化布设的粉尘浓度、风速、湿度在线监测终端，联动采场全域雾桩、远程射雾设备，构建立体式水雾阻隔屏障，针对爆破等高扬尘突发工况，系统自动触发全域雾幕联动运行，精准拦截外逸粉尘。配套搭建矿山扬尘智能管控平台，整合全区域监测数据与抑尘设备运行数据，实现超标自动预警、设备智能启停、多工序错峰抑尘调度，解决传统人工管控滞后、抑尘强度与工况不匹配的问题。

三、现场应用实施效果

本次全域扬尘协同管控综合技术在栾川龙宇钼业露天采场全面落地应用，通过长期现场监测、数据对比与工况复盘，验证了该技术体系的科学性与实用性，在环保达标、成本管控、生态治理、安全生产四大维度取得显著成效。在大气污染管控方面，全域协同治理彻底解决了传统抑尘措施滞后、治理不彻底、粉尘反复超标等问题，采装、爆破核心高尘作业面平均粉尘浓度大幅下降，降幅稳定超 83%，矿区无组织 PM_{2.5} 颗粒物浓度持续优于《大气污染物综合排放标准》限值，彻底杜绝大风、静风天气粉尘漂移、堆积超标现象，矿区大气环境质量得到根本性改善。在生产运维层面，智能化动态抑尘模式替代传统定时、定量的粗放式喷淋作业，系统可根据实时气象条件、粉尘浓度自动调节喷淋强度与作业范围，有效减少水资源、抑尘药剂无效消耗，大幅降低设备启停频次与运维损耗，全年矿区环保运维综合成本显著降低，实现环保治理与节能降耗双向增效。在矿区生态环境提升方面，规模化边坡治理、排土场生态修复工程落地见效，植被覆盖率显著提升，有效遏制矿区岩土风蚀、水蚀问题，彻底解决裸露区域长期二次扬尘的治理难题；同时矿区道路绿化、边界生态屏障逐步成型，重塑矿区生态景观，实现矿山开采与生态环境和谐共生。在安全生产与职业健康方面，作业区域粉尘浓度持续稳定达标，有效降低了设备粉尘磨损、电路积尘故障等安全隐患，同时大幅减少一线作业人员粉尘暴露风险，有效防范粉尘类职业病危害，全面优化矿区作业环境。相较于知网、维普收录的传统矿山单一抑尘技术，本次全域协同治理模式兼顾短期工程控尘与长期生态固尘，适配山区钼矿特殊地形与气候特征，治理稳定性、长效性、综合性优势突出，适配性与推广性极强。

四、现有技术短板与后续优化方向

经过现场长期应用验证，本次构建的全域扬尘协同管控体系可满足矿区常规工况下的粉尘治理需求，但结合豫西山区冬季低温、四季干燥、风力多变的特殊气候条件，以及矿山持续开采的动态工况，技术体系仍存在一定优化空间。首先是低温季节治理短板突出，矿区冬季低温霜冻天气频发，湿式抑尘管网易结冰堵塞，超细雾喷淋、雾幕阻隔等核心湿式抑尘设备冬季运行稳定性不足，导致低温时段抑尘效能有所下降，难以实现全域常态化闭环控尘。其次是微细颗粒物治理精度不足，现有水雾抑尘系统对大颗粒粉尘捕集效果优异，但对亚微米级微细粉尘的吸附沉降能力有限，此类微细粉尘粒径小、扩散性强、滞留时间长，是矿区低空雾霾、隐性粉尘超标的主要诱因，微细粉尘精细化治理仍存在技术缺口。最后是偏远区域生态运维成本偏高，矿区排土场、远端边坡等偏远区域分布零散、地形复杂，传统集中供水灌溉模式能耗、人力成本较高，植被后期养护难度大，部分区域植被长势不均，长期固尘效果存在差异化短板。

针对以上问题，后续将开展针对性技术优化升级：一是实施管网防冻改造，为全域喷淋管路加装电伴热防冻装置，配套研发适配低温环境的固态环保抑尘剂，替代冬季湿式抑尘工艺，保障全年无间断稳定控尘；二是升级精细化抑尘设备，引入水雾-静电耦合抑尘技术，通过静电吸附强化微细粉尘捕集能力，补齐细颗粒物治理短板；三是优化生态养护体系，筛选高耐旱、高适应性本土植被品种优化群落配比，配套光伏智能滴灌系统，实现偏远区域节水节能自动化养护，降低运维成本，进一步完善矿区全域长效扬尘管控机制，提升技术体系的全面性与稳定性。

参考文献

- [1] 柏范艳。露天矿山粉尘控制技术与环境管理策略研究 [J]. 新时代论坛, 2024 (07):141-143.
- [2] 江忠安, 曾发兵。基于 CNKI 文献计量学的矿山粉尘研究可视化知识图谱分析 [J]. 矿业安全与环保, 2022, 49 (04):112-118.