

严寒地区露天矿运输道路冬季防滑与扬尘控制研究

郭海龙, 钱福刚

内蒙古白音华蒙东露天煤业有限公司, 内蒙古 锡林郭勒 026200

DOI:10.61369/ETQM.2026030026

摘 要 : 严寒区域冬日岁月漫长、气温甚低, 露天矿运输路径易生积雪、凝冰、冻融交替等状况, 不但使得路面防滑性能急剧降低, 招致运输车辆打滑、侧翻等安全事端, 更会因车辆碾轧、风力影响生成大量扬尘, 造成生态环境损坏与作业人员健康损害。本文结合严寒区域露天矿实际作业状况, 剖析冬季运输路径防滑与扬尘管控的核心难题, 探究针对性强、契合实际的解决办法, 为同类矿区冬季路径安全运营与环保治理供给实践借鉴。

关 键 词 : 严寒区域; 露天矿; 运输路径; 冬季防滑; 扬尘管控

Research on Anti slip and Dust Control of Open pit Mining Transportation Roads in Winter in Severe Cold Regions

Guo Hailong, Qian Fugang

Inner Mongolia Baiyinhua Mengdong Open pit Coal Industry Co., Ltd. Xilingol League, Inner Mongolia 026200

Abstract : In extremely cold regions, the winter season is long and the temperature is very low. The transportation path of open-pit mines is prone to snow accumulation, freezing, and freeze-thaw alternation, which not only sharply reduces the anti-skid performance of the road surface, but also causes safety incidents such as skidding and overturning of transportation vehicles. It can also generate a large amount of dust due to vehicle rolling and wind impact, causing damage to the ecological environment and the health of workers. This article combines the actual operating conditions of open-pit mines in cold regions to analyze the core problems of anti-skid and dust control in winter transportation routes, explore targeted and practical solutions, and provide practical reference for the safe operation and environmental protection management of winter routes in similar mining areas.

Keywords : cold regions; open-pit mine; transportation route; anti slip in winter; dust control

引言

露天矿运输路径乃矿山生产之“生命脉络”, 肩负着采掘、剥离物料及设备转运的核心职责, 其运营状况直接作用于矿山生产效能、安全程度与生态环境。严寒区域冬季气温常低于 -20°C , 且伴有降雪、冰冻等恶劣天气, 露天矿运输路径受低温、冻融及车辆负荷双重影响, 路面易出现龟裂、起砂、凝冰等病害, 防滑性能大幅下滑, 同时干燥多风的气候加之车辆碾轧扰动, 扬尘污染问题凸显。当前部分矿区冬季路径管控多采用传统粗放形式, 防滑与扬尘控制举措针对性欠缺、协同成效不佳, 既增添了安全事端隐患, 又有违绿色矿山建设要求。基于此, 结合严寒区域露天矿路径实际状况, 深入研析冬季防滑与扬尘控制的关键技术和管理办法, 达成安全运营与环保治理的有机融合, 对推进严寒区域露天矿高质量发展具备重要现实价值^[1]。

一、严寒地区露天矿运输道路冬季核心问题分析

(一) 防滑性能减弱的核心缘由

严寒区域露天矿运输路径冬季防滑问题的产生, 系低温气候、路面特质与作业状况共同作用之果。从路面自身条件而言, 多数露天矿运输路径为临时土路或简易碎石路, 路面平整度欠佳、压实度不足, 冬季低温环境下, 路面土壤及碎石缝隙中的水分冻结膨胀, 致使路面结构损坏, 出现坑洼、松散等病害, 车辆行驶时抓地力明显降低^[2]。同时, 降雪后路面易形成积雪层, 若

清理不及时, 经车辆反复碾轧会变为压实雪或薄冰, 路面摩擦系数急剧下降, 尤其在坡道、弯道等关键路段, 车辆制动距离延长、操控性变弱, 极易引发安全事端。此外, 露天矿运输车辆载重量大, 多为重型自卸卡车, 车辆负荷对结冰路面的碾轧会加剧冰层与路面的结合程度, 进一步加大防滑处理难度, 且夜间气温极低, 路面易二次凝冰, 形成持续的安全隐患^[3]。

(二) 扬尘污染的主要来源与危害

冬季严寒地域降水稀缺、气候燥干, 地表水分急速凝结或蒸腾, 露天矿运输道路路面干燥松散, 化作扬尘污染的主要源头。

作者简介: 郭海龙 (1987.12-), 男, 汉族, 内蒙古赤峰市人, 本科, 职称: 注册安全工程师。从事的研究方向: 露天煤矿生产安全

扬尘产生主要聚于三个环节：首要是车辆行驶扰动，重型卡车于干燥路面行进时，轮胎与路面摩擦、碾轧会生成大量微小粉尘，同时车辆行驶造就的气流会将路面浮尘卷携，形成流动扬尘；次要是物料转运泄漏，运输车辆装载的采掘、剥离物料若遮盖欠严，在行进过程中会因颠簸洒落，洒落物料经后续车辆碾轧碎裂，产生二次扬尘；三是道路养护作业，冬季道路清扫积雪、填补洼陷时，机械作业会扰动路面表层泥土与碎石，在风力作用下形成扬尘^[4]。此类扬尘不仅会拉低作业区域能见度，影响车辆行驶安全，还会危及作业人员呼吸系统健康，长期暴露易诱发尘肺病等职业病症，同时扬尘扩散会污染周边泥土、植被与水体，破坏生态环境均衡。

（三）防滑与扬尘控制的协同难点

严寒地区露天矿冬季道路管控当中，防滑与扬尘控制存有一定的矛盾性，增添了协同治理难度。传统防滑手段多运用撒布融雪剂、碎石等材料，撒布碎石虽能提升路面摩擦系数，但碎石颗粒易被车辆碾轧碎裂，产生更多粉尘，加重扬尘污染；融雪剂虽能迅速消融冰雪，但部分融雪剂具有腐蚀性，会损害路面结构，致使路面松散，进一步增添扬尘产生的概率，且融雪剂残留会随春季冰雪融化渗入泥土，造成二次污染。同时，冬季低温环境之下，传统洒水降尘手段难以施行，水温过低易凝结成冰，反倒加重路面防滑难题，而保湿降尘材料在低温下易丧失黏性，降尘成效大幅减弱。另外，露天矿作业范畴广、道路里程长，冬季作业环境恶劣，人力、机械投入有限，难以达成道路全时段、全覆盖的防滑与扬尘管控，致使部分路段管控存在盲区^[5]。

二、严寒地区露天矿运输道路冬季防滑技术与实操措施

（一）路面基础优化与预处理

路面基础品质是提升冬季防滑性能的前提，需结合露天矿道路使用特性与严寒气候状况，做好前期优化与冬季预处理。对于临时运输道路，冬季来临前需对路面进行全面整修，填补洼陷、裂缝等病害，运用重型压路机压实路面，减少路面孔隙，降低水分渗透与凝结膨胀对路面结构的损害。同时，可在路面表层铺设一层粒径均匀的玄武岩碎石，玄武岩硬度大、耐磨性强，且表面粗糙，能有效提升路面摩擦系数，减少结冰风险^[6]。对于坡道与弯道及交叉口这类关键路段，要恰当提升碎石铺设厚度，在必要情形下运用混凝土浇筑方式加固路面结构，防范车辆碾压动作造成路面破损问题。另外，冬季降雪时刻之前，可于路面表层位置喷洒一层防滑预处理试剂，该类试剂能够在路面构造之间形成一层保护薄膜物体，降低冰雪物质与路面之间的附着力程度，便于后续阶段积雪清理工作开展，同时减轻路面结冰发生概率。

（二）防滑作业安全方面管控内容

冬季时光防滑作业需要兼顾作业安全状态与道路通行安全情形，构建完善健全的作业管控机制体系。防滑作业开展之前，要对作业人员群体进行安全培训活动，明确具体作业流程内容、安全注意相关事项以及应急处置措施办法，作业人员需要穿戴防滑

鞋子物品、防寒服装等防护用品物件，配备应急救援相关器材设备。机械进行作业期间，要安排专门人员实施指挥工作，避免多台机械装置交叉作业行为引发碰撞事故问题，同时在作业路段范围设置警示标识标记，划定具体作业区域空间，引导车辆群体绕行路线方向。清理积雪任务、破冰作业完成之后，要及时对路面状况进行检查工作，确保路面范围不存在残留积雪物质、冰层物体以及碎石杂物等东西，保障车辆群体通行安全状态。除此之外，建立天气预警相关机制，密切关注气象部门单位发布的降温信息、降雪预警内容情况，提前做好防滑物资储备工作与人员力量、机械装置调配事宜，确保降雪过后能够快速开展防滑作业任务，将安全隐患因素降到最低程度^[7]。

三、严寒地区露天矿运输道路冬季扬尘控制实操方案

（一）源头方面管控举措：降低扬尘产生基础条件

扬尘控制工作的核心要点在于源头治理工作，需要从路面养护事项、物料管控工作两个方面入手开展，减少扬尘产生数量情况。路面养护工作层面，冬季时节道路需要定期开展巡查工作，及时填补路面坑洼部位、松散路段区域，避免车辆碾压行为产生大量粉尘物质；针对干燥松散状态的路面情况，可采用喷洒环保类型保湿剂的方式方法，该类保湿剂在低温环境之下不易发生冻结现象，能够有效粘结路面浮尘物质，减少车辆行驶过程当中的扬尘扰动问题，同时保湿剂具备一定耐磨性质，可延长路面使用时间寿命^[8]。物料管控工作方面，严格规范运输车辆装载标准要求，避免超载现象、装载过满情况导致物料散落问题，所有运输车辆必须加盖密闭形式篷布物体，篷布需要捆绑牢固状态，防止行驶过程当中篷布松动现象导致物料泄漏问题；在装载点位、卸载点位设置喷淋装置设备，装载操作、卸载操作之前对物料进行轻微洒水湿润处理，降低物料干燥程度情况，减少碾压破碎过程产生的扬尘问题，喷淋水温度需要控制在适宜范围之内，避免低温环境发生冻结现象。

（二）过程方面管控措施：抑制扬尘扩散路径方式

针对扬尘扩散具体特点，采取针对性对应措施阻断扩散路径走向，提升扬尘控制实际效果。在运输道路两侧方位设置防风抑尘网络结构，防风抑尘网高度需要结合道路宽度尺寸与车辆高度情况合理进行设置，一般状况下不低于5米标准，能够有效阻挡风力作用对路面扬尘的裹挟行为，减少扬尘扩散范围区域；针对作业区域周边的敏感点位，可适当加密防风抑尘网络设置，提升防护实际效果。同时，车辆行驶密度实施合理安排，防止多辆运输车辆出现连续行驶状况造成扬尘产生叠加情形，运输车辆须依照规定速度开展行驶动作，降低高速行驶过程形成的气流导致扬尘现象。道路关键节点部位设置洗车台装置，车辆驶离作业区域范围之前，对轮胎以及车身实施冲洗操作，清除附着状态的粉尘和杂物对象，避免运输车辆将粉尘物质带入外部道路环境，洗车产生的废水需要进行集中收集以及处理流程，防范二次污染问题出现。另外，冬季气候干燥的时间段，能够运用雾炮机设备对道路开展定时喷雾的降尘作业，雾炮机喷射的水雾呈现细小颗粒形

态，能够有效对空气中的粉尘实施吸附行为，并且不会造成路面出现结冰情况，适合于严寒区域范围进行使用操作^[9]。

四、严寒地区露天矿冬季道路运维管理体系构建

（一）专项管控责任制度的建立工作

明晰各个部门以及各个岗位在冬季道路防滑处理与扬尘控制工作当中的职责内容，构建“层级负责、全体人员参与”的管控责任制度。设置专项管理工作小组，由矿山生产部门、安全管理部门、环境保护部门等机构的人员共同组成，对冬季道路运行维护工作实施统筹协调，制定内容详尽的工作计划、管控标准以及考核办法。将防滑处理与扬尘控制任务分解至具体的班组和个人主体，明确作业范围、作业标准以及完成时间限制，定期开展考核检查工作，将考核结果和绩效待遇建立关联关系，对工作落实达到要求的班组和个人给予奖励举措，对工作态度敷衍、未达到管控要求的主体进行问责程序，通过倒逼机制推动各项措施得到落地执行^[10]。

（二）物资与机械设备的配置优化事项

结合冬季作业实际需求，预先完成防滑处理与扬尘控制相关物资、机械设备的储备以及维护工作。在防滑物资领域，储备数量充足的环保类型融雪剂、玄武岩材质碎石、防滑网装置、防滑垫物品等，相关物资需要进行分类存放管理，做好防寒保暖、防潮除湿措施，保障冬季期间能够正常投入使用；在扬尘控制物资方面，储备环保类型保湿剂、篷布遮盖物、雾炮机专用药剂等材料，定期开展物资质量检查工作，及时补充短缺数量的物资品类。在机械设备配置方面，配备数量足够的推雪机械设备、扫雪车辆装置、破冰机械设备、清扫车辆工具、雾炮机等设备，在冬季季节来临之前对所有机械设备进行全面检修和保养操作，更换冬季专用规格的机油、防冻液液体，检查设备制动系统、转向系统、喷洒系统等部件，保障设备性能保持稳定状态；同时，安排专门人员承担设备日常维护职责，及时处理设备运行故障问题，保障作业机械设备能够正常运转工作。

（三）健全应急处置机制架构

针对冬季异常气候催生的路面凝冰、重度扬尘等突发情形，构建完备的应急处置机制体系。拟定专项应急处置预案文本，明晰应急组织架构体系、应急响应操作流程、应急处置实施措施以及应急物资调度配置方案，定时开展应急模拟演练活动，增强作业人员应急处置实操能力。当遭遇强降雪、强寒潮等异常气候状况时，即刻启动应急处置预案程序，中止露天矿区域运输作业活动，组织人力团队、机械装备开展积雪清除搬运、防滑安全处理等工作事项，待路面环境条件符合安全运行要求标准后，再恢复运输作业任务；倘若出现重度扬尘污染现象，及时启动雾炮机械设备喷雾降尘作业，加大路面清扫保洁与保湿养护工作力度，在必要情形下暂停车辆运输作业活动，缩减扬尘污染扩散范围。同时构建应急通讯联络机制网络，确保各职能部门、各作业班组单元之间通讯联络畅通无阻，及时传递气象环境信息、作业指挥指令以及应急处置情况，保障应急处置工作高效有序开展推进。

五、结论

严寒气候区域露天矿运输通行道路冬季防滑防护与扬尘污染控制属于一项系统性工程体系，受气候环境条件、路面结构特性、作业生产工况等多重因素共同影响，需秉持“技术适对接、实操应用优先、协同联动管控”的基本原则，从路面基础条件优化、针对性技术手段实施、运维管理力度强化等多个维度构建综合性解决方案。借助路面预先处理工艺、物理防滑措施与环保型防滑材料结合应用的方式途径，可有效提升冬季道路防滑安全性能，降低安全事故发生隐患概率；通过源头防控管理、过程阻断干预、末端清理整治的全流程扬尘管控措施体系，能显著减少扬尘污染排放程度，兼顾生态环境保护要求与作业生产安全标准。同时建立专项管控责任制度、优化物资机械配置结构、健全应急处置机制架构，是保障各项措施落地实施执行、提升冬季道路运维管理水平核心关键。

参考文献

[1] 刘志鹏. 基于人工智能的露天矿运输车辆无人驾驶技术及应用 [J]. 能源与环保, 2025, 47 (11): 261-266.
[2] 薛万安, 姬儒东, 杨建国. 基于光谱分析仪的露天矿运输设备油液监测 [J]. 计算机仿真, 2025, 42 (11): 419-424.
[3] 江新奇, 贺希格图, 徐勇超, 王京伟. 露天矿运输车辆智能路网安全运输路径选取 [J]. 计算机仿真, 1-6.
[4] 马凤虎, 刘志芳, 尹慧民, 王晓庆, 王建国, 王丹, 陈博楠, 王雪晴. 考虑卡车运载不确定性因素的露天矿调度优化模型 [J]. 露天采矿技术, 2025, 40 (05): 44-49.
[5] 刘溪鸽, 朱万成, 陈庆凯, 等. 露天矿桥吊式提升运输系统设计与应用前景 [J/OL]. 金属矿山, 1-16.2025.
[6] 黄敏, 温晨, 黄明发, 高忠, 饶帝军. 露天矿运输道路水稳层改性材料综合性能研究 [J]. 矿业研究与开发, 2025, 45 (06): 87-93.
[7] 汪昕, 李贵, 张媛, 毕林, 代碧波. 露天金属矿典型运输工艺发展现状及展望 [J]. 金属矿山, 2025, (05): 17-31.
[8] 聂晨鑫. 露天矿运输设备维护检修要点分析 [J]. 世界有色金属, 2025, (03): 121-123.
[9] 李成业. 露天矿运输环节效能量化方法研究 [J]. 能源与节能, 2025, (01): 22-25+34.
[10] 苏树鹏. 基于遗传蚁群强化学习算法的露天矿运输路径优化试验研究 [J]. 矿业研究与开发, 2024, 44 (12): 221-227.