

露天煤矿开采安全生产技术研究

廖信根

霍林郭勒古城露天煤业有限责任公司 内蒙古通辽

【摘要】基于针对大型露天煤矿向深部、复杂地质条件发展的趋势所带来的严峻安全挑战，文章聚焦于新一代信息技术与现代采矿工程的深度融合路径。该研究的核心论点在于矿山安全管理范式必须实现根本性转变，将安全参数作为内生变量全面融入采矿工艺的多目标协同优化，是破除安全与效率对立困境、迈向矿山本质安全的核心技术途径。

【关键词】露天煤矿；安全生产；安全隐患；安全技术；智能化开采

【收稿日期】2025年11月6日

【出刊日期】2025年12月30日

【DOI】10.12208/j.jer.20250399

Research on safety production technology in Open-Pit coal mining

Xingen Liao

Helin Gol Ancient City Open-pit Coal Industry Co., Ltd., Tongliao, Inner Mongolia

【Abstract】 Focusing on the deep integration path of the next-generation information technology and modern mining engineering, this article addresses the severe safety challenges posed by the trend of large-scale open-pit coal mines developing towards deeper depths and more complex geological conditions. The core argument of this research is that the safety management paradigm of mines must undergo a fundamental transformation. By fully integrating safety parameters as endogenous variables into the multi-objective collaborative optimization of mining processes, it becomes the core technical approach to break through the dilemma of safety versus efficiency and move towards intrinsic safety in mines.

【Keywords】 Open-pit coal mine; Work safety; Safety hazards; Safety technology; Intelligent mining

煤炭作为我国的基础能源，长期以来在国家能源结构中占据主导地位。露天开采因其具有资源回收率高、生产成本相对较低、劳动效率高等优点，在我国煤炭生产中占据着越来越重要的比重^[1]。然而，露天煤矿的生产环境复杂，开采规模宏大，生产环节多，潜在的危险因素也随之增多，安全生产形势依然严峻。边坡滑坡、运输车辆碰撞、爆破事故等时有发生，不仅对从业人员的生命安全构成严重威胁，也给企业带来巨大的经济损失和社会负面影响。

1 露天煤矿开采安全生产技术

1.1 边坡稳定性与地质灾害防治技术

在露天煤矿安全生产技术体系中，边坡稳定性与地质灾害防治居于核心地位。高精度监测技术构成了灾害防治的第一道防线，边坡雷达、GNSS位移监测与三维激光扫描等手段的应用，实现了对坡体微小变形的全天候、自动化捕捉^[2]。这些高分辨率时空数据为灾害的超前识别与动态预警判据的建立提供了关键数据支撑^[3]。与监测预警平行展开的是主动干预的工程治理，

削坡减载、预应力锚索加固以及系统性截排水等措施，直接作用于坡体应力场与渗流场，从根本上改变岩土体的失稳条件。

1.2 安全爆破技术

露天煤矿安全爆破技术的核心在于对爆炸能量在时空维度上的精准调控。数码电子雷管的应用是实现这一目标的技术基石，其毫秒级的延期精度与可编程特性，允许爆破工程师对起爆网络进行精细设计，主动干预岩体的破碎过程与抛掷方向。这种精准控制有效抑制了爆破震动与个别飞石的产生范围和强度，大幅降低了对最终边坡和周边环境的扰动^[4]。

2 露天煤矿开采安全生产技术的应用策略

2.1 构建“空天地”一体化的智能感知与分级预警体系

一体化智能感知体系强调不同监测平台的优势互补与数据协同，形成一个从矿区级宏观普查到关键体微观详查的多尺度、自适应感知网络^[5]。其核心是实现风险识别的逐级聚焦与信息的层层递进，最终目标是

输出精准、量化且具备明确行动指向的分级预警指令，使安全管理从被动的“亡羊补牢”转变为主动的、有预见性的前瞻式风险管控^[6]。

在具体实施中，首先，应用卫星 InSAR 技术，以季度或半年度为周期，获取覆盖全矿区（含排土场、工业场地）的毫米级地表形变速率图。此图谱作为矿山地质稳定性的“年度体检报告”，其主要作用是宏观圈定出具有异常沉降或隆起趋势的大型地质单元，为后续工作指明方向^[7]。针对“天”基普查发现的异常区或已知的高风险边坡，应启动“空”基无人机进行加密详查。

无人机应至少搭载两种载荷：一是三维激光雷达，以月度为频率，快速生成高精度数字高程模型（DEM），用于精确解算坡体形态参数变化、剥蚀量及潜在滑裂面的发育情况；二是热红外相机，用于探测排土场内部是否存在异常热源，为煤层自燃的早期发现提供线索。在“空”基详查确认存在明显变形或风险加剧的特定部位，必须部署“地”基在线监测设备。同时，在坡体内部的关键位置，应钻孔布设多点位移计与孔隙水压力计。最终的分级预警逻辑应是多源数据协同触发：当 InSAR 显示某区域长期沉降速率加快，无人机发现该区域出现拉张裂缝，且地基雷达监测到位移加速度超过预设阈值时，系统自动触发“橙色”预警；若此时深部孔隙水压力计读数同时出现急剧上升，系统则直接发布最高级别的“红色”疏散警报。

2.2 推行基于车路协同的全域防碰撞与智能调度

车路协同技术则将矿区所有交通参与者连接成一个实时交互的动态网络，每个单元都能即时共享自身状态并获取全局交通图景。这从根本上重构了矿区交通的安全逻辑，使安全管理从单体被动的“避险”模式，演进为全域主动的“协同”模式，其目标是在碰撞风险发生前，系统就能提前预知并协同干预。

例如，所有大型移动设备均须安装车规级的车载通信单元，以高频率向外广播本车的精确位置、速度、行驶方向、制动状态等关键信息。同时，它也接收并解析周边所有其他车辆广播的信息，其内部算法持续计算潜在的碰撞风险。在典型的十字路口会车场景中，即便驾驶员因视线受阻未发现侧向来车，两车的 OBU 也能通过 V2V 通信提前获知对方意图，当碰撞时间小于安全阈值时，系统会向双方驾驶员同时发出明确的声光预警。在急弯、坡顶等视线盲区，则应部署路侧感知单元（RSU）^[8]。RSU 通常集成毫米波雷达与高清摄像机，能够无死角地感知其覆盖区域内的交通状况，并通过 V2I 通信，将盲区内的车辆或障碍物信息实时广播

给即将进入该区域的车辆，实现“透视”效果。针对现场作业人员，则需为其配备集成个人通信单元（V2P）的智能安全帽。当人员进入大型设备的作业半径或视觉盲区时，设备的 OBU 能立即接收到人员的精确位置信号，并在驾驶室屏幕上高亮标记，同时发出“人员接近，注意避让”的语音警报，有效解决大型设备盲区伤人这一痛点。

2.3 实施爆破作业全流程的数字化闭环管控

数字化闭环管控的核心是建立一个从三维实景建模、参数设计、精准施工到爆后评估的数据链路，使每个环节都严格执行并忠实反馈，其目标是实现爆破作业的高度可预测、可控制与可追溯。

例如，可以在爆破设计前，采用无人机搭载激光雷达或倾斜摄影相机，对爆破工作面进行扫描，生成厘米级精度的三维实景模型。爆破工程师直接在该数字模型上进行钻孔布置、参数设计与起爆网络的可视化编程，并进行数值模拟，预测爆破震动与个别飞石的影响范围。

设计方案完成后，包含每个炮孔三维坐标、深度、角度等信息的数字文件，应直接下发至搭载高精度 GNSS 导航系统的智能钻机。钻机自主导航至设计孔位，并按预设参数自动完成钻孔作业，这就从源头上杜绝了人工丈量和定位的误差。在装药环节，现场人员使用手持终端（PDA）扫描每个数码电子雷管的唯一身份码，并与系统中对应的炮孔进行绑定，实现了“一孔一码”的精确关联。

起爆前，中央控制系统自动将现场上传的雷管网络数据与原始设计进行最终比对，任何不一致都将锁定起爆指令。爆破结束后，无人机再次对爆堆进行航测，软件自动对比爆前爆后两个三维模型，定量分析出矿岩的松散体积、块度分布及根底情况，形成一份量化的评估报告。这份报告将直接反馈给设计端，用于校正下一轮爆破设计的模型参数，形成一个持续迭代优化的技术闭环。

3 结束语

先进的安全生产技术是遏制露天煤矿事故的利器，但技术的应用深度与广度，终究取决于行业安全理念的革新。未来，露天煤矿的安全生产将不再仅仅是风险的被动规避，而是一种基于海量数据与深度学习的、可预测、可干预的精细化管理科学。当“零事故”不再是口号，而是内嵌于工艺流程、设备基因与管理决策中的设计目标时，安全技术才能真正发挥其最大效能。从长远看，随着人工智能与无人化开采技术的日臻成

熟,一个能够自主感知、自主决策、自主优化的智慧矿山安全体系正在从蓝图走向现实。

参考文献

- [1] 金磊,李浩然,刘欣.德国露天煤矿开采技术与装备发展研究[J].中国煤炭,2023,49(10):101-108.
- [2] 王黎明.露天煤矿开采技术创新与进步[J].中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术,2024(002):46.
- [3] 王大鹏.露天煤矿边坡治理安全技术应用措施探析[J].经济技术协作信息,2024(8):0265-0267.
- [4] 陈大伟,刘文坊.基于 AHP-TOPSIS 模型的露天煤矿开采方案优选研究[J].露天采矿技术,2024(001):039.
- [5] 贺喜,张禹,刘秉轩.露天煤矿智能化开采技术研究与应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(4):133-135.
- [6] 王赟,钟武剑.基于 iFIX 的露天煤矿综合自动化开采方法研究[J].自动化与仪器仪表,2023(12):214-217.
- [7] 郭马磊.露天煤矿土地复垦与生态修复技术的思考研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(3):165-167.
- [8] 吴国庆,贺红军.露天煤矿智能化开采技术与绿色生态修复协同发展研究[J].矿山工程,2024,12(4):671-675.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

