

研究露天矿山工程开采技术及安全管理

赵志刚

中煤平朔集团融媒体公司，山西朔州，036000；

摘要：当前，我国国民经济呈现出持续快速发展趋势，能源供应、工业生产等领域对于矿产资源的需求量越来越高。作为矿产资源获取的主要途径，露天矿山工程的开采技术水平，通常与开采效率、成本投入存在着密切关联，而安全管理的科学性，则直接关系到现场作业人员的生命安全，以及矿山运营效率。本文首先分析露天矿山工程开采的关键技术，其次从几个方面深入探究露天矿山工程安全管理的有效策略，以供参考。

关键词：露天矿山工程；开采技术；安全管理

DOI：10.69979/3041-0673.25.12.084

近年来，我国露天矿山工程的规模越来越大，但是由于开采环境比较复杂，面对复杂地质构造、极端气候条件、脆弱生态环境，极大地增加了开采技术攻坚难度，同时也时刻面临着各种类型的安全风险。为了构建高效、安全、绿色的开采模式，对露天矿山工程开采技术及安全管理的研究显得格外重要。

1 露天矿山工程开采的关键技术

1.1 穿孔爆破技术

在露天矿山工程的开采作业中，穿孔爆破是其中的一个重要步骤，其技术应用成效，往往直接关系到开采作业效率、工程成本投入以及人员生命安全。第一，穿孔设备选型。根据岩性特征、工程需求合理选择设备。针对花岗岩、辉绿岩、玄武岩等高硬度岩石，以牙轮钻机为首要选择，此种设备具有高扭矩、大孔径的特点，穿孔效率相对较高，月进尺可以达到4000~6000m，而且成本投入不高；仅为潜孔钻机的70%，在大规模作业场景下十分适用^[1]。如果是页岩、石灰岩、砂岩等中等硬度的岩石，出于复杂地形适应性的考虑，建议选用潜孔钻机，设备在运行时，能够对钻孔角度进行灵活调节，适用于小型矿山、辅助作业的场景。第二，智能爆破设计。利用电子雷管、导爆管等设备构建一个非电起爆系统，再依托数字化延时控制算法、逐孔起爆技术，在远程状态下对起爆顺序进行精准控制，使之形成波浪式起爆模式，促进能源的最大化利用。由于电子雷管内置了晶振计时芯片和双通道加密芯片，相比于传统电雷管，延时误差极低，仅为毫秒级，爆破作业安全距离大幅缩短。第三，边坡爆破控制。在露天矿山工程中，边坡稳定性是值得关注的要素，既关系到工程安全性，也

直接影响着工程经济效益。边坡爆破控制技术的应用，通过沿边坡界限平行钻孔控制应力波，应力波控制，再采取不耦合装药措施促进能量梯度释放，在边坡轮廓线最后2-3排钻孔中逐渐减少装药量，从而精准控制岩体损伤。通过这一系列过程，很好地降低了边坡岩体破碎、裂痕扩展、局部坍塌等现象的发生风险，而且不需要投入过高的支护成本，产生的爆破粉尘较少。

1.2 采装运输技术

矿山地质条件较为复杂，由于矿岩硬度波动大、断层夹层发育、地形高差显著，使得开采整体效率不高。采装运输技术的应用，则为解决上述问题提供了全新思路，通过多维技术协同与动态适配策略，彻底突破产能瓶颈，促进资源经济价值释放。在露天矿山工程开采作业中，应当根据地质条件、生产规模，选择适宜的大型智能化采装设备，诸如无人驾驶矿用卡车、超大型电动液压挖掘机、智能掘进机、智能锂电单轨吊机车等，各具应用优势，都是比较理想的选择^[2]。以无人驾驶矿用卡车为例，适用于面积广阔、运输距离长、地形复杂的矿区，该运输设备内集成了激光雷达、毫米波雷达、北斗RTK等关键技术，可以实时地采集地形数据、设备状态、能耗参数，并以此作为运输路径调整的依据，而且支持多编组卡车进行协同作业。可以说，无人驾驶矿用卡车的应用，使装载、运输、卸载三个流程实现无缝衔接，既解决了运输设备空载率高、人工成本高的问题，更重要的是大幅提升了矿区现场的运输效率。技术条件和资金条件允许的情况下，可以搭建一个专门的健康监测平台，在矿区现场采装设备上部署传感器，用于常态化地监测设备发动机、电动轮、液压系统、胎压燃油等

关键部件的运行状态，以便于提前识别故障隐患，并针对性地进行设备维护、检修，使设备始终保持在稳定可靠运行状态，进一步减少故障停机时间，为露天矿山工程开采作业的顺利有序进行保驾护航。

1.3 排土复垦技术

在露天矿山工程开采作业中，科学应用排土复垦技术，既有助于充分保障矿山生产的安全性，同时也能最大限度降低矿山开采对生态环境造成的不良影响，营造能源与环境和谐共生的良好格局，为露天矿山工程的可持续发展奠定坚实基础^[3]。排土复垦技术的应用，主要从以下几个方面着手：第一，排土场设计。在开采作业现场，排土场主要用于堆放废土、表土等剥离物，为了减少排土场的占地面积、提升整体稳定性，建议采用多台阶的设计策略，对剥离物进行分层堆放。选择一块较低的台阶，在其表面堆放粒度细、含水率高或黏聚性强的剥离物，比如植物根系、腐殖质、黏土矿物、细颗粒矿物等，初步形成一个排土场的保护层，强化排土场抵御雨水冲刷、风化作用的能力；接着，在排土场的坡脚位置，逐层堆放高密度、大块度的剥离物，目的在于增加坡脚抗滑力、优化应力分布。第二，土地复垦。把矿山表层的肥沃土壤保留下来，利用推土机、平地机等设备重新回填到塌陷区域，以此来改善土地的坡度、平整度。第三，生态修复。积极引入生物技术，在开采区域种植耐旱、耐贫瘠的植物，以此来减少水土流失，逐渐恢复该区域的生态功能；同时，在土壤内施撒石灰、有机肥等，以起到土壤改良的作用，有效调节土壤的酸碱度、增强土壤肥力，使之尽快恢复到原本的生产力水平。

表 1. 风险清单与应对方案

风险类型	风险等级	管控负责人	应对方案
爆破飞石	4 级	总工程师	停产撤离；爆破前 2 小时清空警戒区，无人机实时监控；爆破后 30 分钟内通过 AI 图像识别技术定位超限飞石来源孔位。
边坡局部裂缝	3 级	地质工程师	裂缝处安装分布式光纤传感器，实时监测宽度与深度变化；每周 2 次对裂缝区域进行三维建模，对比裂缝扩展趋势。
雨季边坡坍塌	4 级	矿长	立即停产撤离边坡作业区人员；设截水沟与排水管，坡面覆盖防水土工布；边坡位移雷达 24 小时连续监测，位移速率。
设备带病运行	3 级	班组长	强制检修；安装设备振动传感器与温度传感器，实时预警故障；对使用年限超 10 年的设备实施技术改造或报废更新

2.2 边坡稳定控制，强化主动防控机制

针对边坡稳定性的控制，工程负责人应当安排专业人员充分整合钻孔数据、岩土力学参数，把边坡风险等级合理划分为高、中、低三个等级，并建立一个三维地质模型^[5]。接下来，积极地引入卫星 InSAR、无人机航拍、边坡雷达三项技术，搭建一个覆盖天、空、地一的

2 露天矿山工程安全管理的有效策略

在矿产资源开发领域，露天矿山工程是一种应用比较广泛的开采方式，具有效率高、成本低的优势，通过对地下矿产资源的深挖，为各个产业稳定地供给基础原材料。然而，在开采作业中，由于作业环境十分复杂，使得安全风险大幅增加，为现场安全管理带来了巨大难度。为了切实保障露天矿山工程开采的安全性，促进工程效益最大化，推动我国矿业的高质量、可持续发展，必须要对露天矿山工程的安全管理策略展开深入研究。

2.1 风险分级管控，筑牢动态防护体系

露天矿山是一项危险系数极高的工程，在开采作业时，面对复杂地质条件、动态环境变化，严重威胁着现场作业人员的生命安全。为了筑牢矿山工程的安全防线，必须要聚焦爆破、边坡、运输、用电四个环节，充分识别可能出现的风险隐患，比如爆破飞石、边坡局部裂缝、雨季边坡坍塌、设备带病运行、电缆老化等，并结合事故发生概率、后果严重性，做好风险等级划分工作^[4]。与此同时，根据风险等级针对性地制定应急处置方案（如表 1. 所示范），明确具体的管控负责人，确保在风险发生后，可以即时做出响应，把管控措施精准落实到位，进而把风险造成的人员伤亡、经济损失控制到最少。当然，应急处置方案并非一成不变，考虑到露天矿山的环境复杂多变，工程现场负责人需要根据季节变化、生产阶段、设备状态，定期更新风险清单，并对处置方案进行灵活调整，以进一步提升风险管控与应对的水平。

体化监测系统，用于常态化监测边坡位移、岩体内部应力变化、边坡形貌变化、地下变化等因素，以便于精准捕捉潜在风险隐患，提醒工作人员及时采取处理措施。与此同时，在边坡加固方面多下功夫，根据边坡高度、岩土体特性、潜在破坏模式，在兼顾安全性经济性的基础上，选择适宜的加固措施。以高度大于 200 度的边坡

为例,可以利用预应力锚索,对边坡的深层岩体施加主动压力,从而增强边坡深部的抗滑力;再在边坡周围设置排水沟,以有效拦截坡面径流、降低浅层岩体含水率,进一步缓解边坡孔隙水压力。

2.3 爆破安全优化,完善精准爆破流程

在传统的矿山爆破作业中,由于对经验的依赖程度较高,导致参数误差较大,无法预判断层、溶洞、地下水等隐蔽地质异常,极大地增加了风险隐患。当前,我国露天矿山工程对安全性、效率性、合规性的要求越来越严格,面对此种新形势,必须要对爆破作业进行全面优化,打造精准爆破的流程及模式。落实到实践中,工程负责人应当积极引入智能装备与监测技术,实时采集爆破振动、冲击波、飞石轨迹等数据,并依托 LS-DYNA 软件,对爆破效果进行直观模拟,根据模拟结果适当调整孔距参数、装药量,以有效提升能量释放的均匀度,努力把大块率控制在 5%以内^[6]。另外,在爆破作业时,严格执行五查五确认的流程,即查孔距、查药量、查填塞、查警戒、查设备,确认人员撤离、设备停运、警戒范围、通讯畅通、应急物资到位,力求提前拦截风险,将隐患扼杀在萌芽阶段。在现场爆破作业完成之后,安全人员应当第一时间对爆破区域进行全面扫描,特别是填塞段、岩体裂缝、低洼积水区,精准识别因雷管残留造成的盲炮风险;爆破人员则要利用内窥镜,采取可视化检查法,对炮孔填塞段逐个进行检查,找到填塞物松动、雷管脚线断裂等问题,并采取应对的处理措施^[7]。

3 结束语

综上所述,在露天矿山工程中,开采技术、安全管

理是至关重要的两项要素,前者往往直接关系到开采整体效率、资源利用率,后者则是保障现场人员生命安全、维持良好生产秩序的先决条件。露天矿山企业应当深刻认识到开采技术应用以及安全管理的重要性,在开采作业中,科学地应用好穿孔爆破技术、采装运输技术、排土复垦技术;同时,把风险分级管控、边坡稳定控制、爆破安全优化等一系列安全管理举措贯穿于开采作业的始终,努力打造规范化开采模式、精细化管理模式,推动露天矿山的安全、高效、绿色发展。

参考文献

- [1] 刘志旭. 露天矿山工程开采技术及施工安全管理分析[J]. 世界有色金属, 2024, (21): 193-195.
- [2] 李广泽. 复杂环境下矿山露天开采技术与安全防护[J]. 有色金属设计, 2024, 51 (03): 28-31.
- [3] 郭瑞东. 露天矿山工程开采技术及施工安全管理分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (15): 91-93.
- [4] 宋晶. 复杂地质条件下矿山工程开采管理技术[J]. 世界有色金属, 2023, (09): 55-57.
- [5] 杨锦华. 浅谈露天矿开采技术创新及其安全防范措施[J]. 世界有色金属, 2023, (03): 43-45.
- [6] 张延森, 邱化廷. 影响露天金属矿山开采边坡安全的因素及安全技术分析[J]. 世界有色金属, 2022, (17): 232-234.
- [7] 钱民国, 李田丰. 复杂地质条件下矿山工程开采管理技术研究[J]. 中国金属通报, 2021, (09): 203-204.

作者简介: 赵志刚(198.12-), 男, 汉族, 山西省朔州市人, 大专, 研究方向: 矿山工程。