

非金属露天矿山边坡安全管理研究

孟庆江 马玉金

本溪钢铁（集团）矿业有限责任公司石灰石矿 辽宁本溪 117000

摘要：本文聚焦非金属露天矿山边坡安全管理，通过分析非金属露天矿山矿岩特性差异大、边坡暴露性强等特点，识别出工程管理漏洞、地质条件缺陷、技术应用不当三类核心影响因素。研究构建“全周期风险排查+多维度技术管控+分层级监督管理”的综合管理体系：风险排查区分日常、定期与专项三类场景，针对不同矿岩边坡明确关键排查点；技术层面整合监测与加固手段，适配非金属矿岩特性；管理上强化组织制度、部门监督与安全文化协同。结果表明，该体系可有效识别边坡风险、提升管控精准度，降低事故发生率。研究为非金属露天矿山边坡安全管理提供系统化方案，对推动矿山安全生产标准化具有重要参考价值。

关键词：非金属；露天矿山；边坡安全；管理措施

引言

非金属矿作为支撑国民经济发展的基础性资源，广泛应用于建筑、基建、化工、新能源等关键领域，其产量与质量直接影响产业链供应链稳定。据行业统计，我国非金属矿开采中露天开采占比高达85%以上，露天矿山已成为非金属矿资源开发的主要形式。然而，边坡安全问题始终是露天矿山安全生产的“心腹之患”，尤其非金属露天矿山因矿岩类型多样、物理力学特性差异显著，泥质页岩、石膏等软岩则易受水蚀影响发生软化崩解，再加上开采过程中形成的边坡多为高度超百米、走向延伸数千米的高陡复合边坡，长期暴露于自然环境中，易受暴雨、冻融、地震等外部因素扰动，导致边坡失稳风险远高于金属矿山。

当前，部分非金属露天矿山在边坡安全管理中仍存在明显短板：一是风险排查缺乏系统性，多依赖人工巡查，对深部岩体变形、隐蔽裂隙等隐患识别能力不足；二是技术应用与矿岩特性适配性差，如在软岩边坡中套用硬岩支护方案，导致支护失效；三是监督管理存在“重审批、轻监管”现象，对隐患整改的跟踪闭环力度不足。

一、非金属露天矿山的特点

非金属露天矿山作为非金属矿资源开发的主要载体，具有显著区别于金属矿山与地下矿山的专业特征。在开采工艺层面，其多采用台阶式分层开挖模式，开采作业空间完全暴露于自然环境中，受气候条件影响显著，如暴雨易引发边坡积水、冻融循环会破坏矿岩结构完整性，

进而直接关联边坡稳定性。从矿岩物理力学属性来看，非金属矿普遍具有硬度差异大、节理裂隙发育不均的特点，部分矿岩还存在软化性或崩解性，例如泥质页岩遇水后强度大幅降低，这对边坡设计的坡率选择、支护方案制定提出了差异化要求。在工程规模与空间布局上，非金属露天矿山通常服务年限较长，随着开采深度增加，形成的边坡高度可达百米以上，且边坡走向延伸范围广，易形成多台阶复合边坡体系，增加了边坡变形监测与风险管控的复杂度。

二、非金属露天矿山边坡安全的影响因素

1. 工程管理因素

工程管理因素是影响露天矿山边坡安全的核心人为因素，其管控质量直接决定边坡安全管理的整体成效。从开采作业管理来看，若存在超挖、欠挖或违规改变设计坡率的行为，会破坏边坡原有的应力平衡状态，例如在台阶开挖中未按设计预留安全平台宽度，易导致边坡局部应力集中，诱发片帮、滑坡等事故。在日常安全管理方面，部分矿山存在安全责任体系不健全、巡查频次不足或隐患整改不及时的问题，如未建立边坡定期巡查台账，无法及时发现边坡表面的裂隙发育、局部塌落等早期隐患，错失风险处置最佳时机。此外，人员管理也是关键环节，若作业人员安全培训不到位，缺乏边坡风险辨识能力与应急处置技能，在遇到边坡异常变形时可能因操作不当加剧风险，而管理层若存在重生产、轻安全的倾向，削减边坡监测、支护等安全投入，会进一步降低边坡安全保障水平，这些管理漏洞共同构成边坡安全的重大隐患。

2. 内部因素

内部因素主要指露天矿山自身的地质条件与矿岩物理力学特性，是决定边坡稳定性的先天基础因素，对边坡安全具有根本性影响。从地质构造来看，矿山所在地的地层岩性、地质构造发育情况至关重要，若矿区存在断层、节理、褶皱等地质构造，会削弱边坡岩体的完整性，例如断层破碎带的存在会使边坡岩体强度大幅降低，成为边坡滑动的潜在软弱面，在水压力或重力作用下易引发沿断层带的滑坡。矿岩的物理力学性能也直接关联边坡安全，如矿岩的抗压强度、抗剪强度、内摩擦角等参数，若矿岩松软、胶结程度差或具有遇水软化特性（如泥岩、蒙脱石黏土岩），在雨水渗透或地下水作用下，矿岩强度会显著下降，导致边坡抗滑力不足。

3. 技术风险因素

由于在非金属露天矿山作业中，涉及复杂的作业程序、作业内容，技术难度高，所以技术风险是影响非金属露天矿山作业安全的一大重要因素。在边坡设计技术层面，若设计阶段未充分结合矿区实际地质条件，采用的计算模型与参数取值不准确，会导致设计方案与实际情况脱节，例如在边坡稳定性计算中未考虑地下水渗流的影响，会低估水压力对边坡稳定性的削弱作用，使设计坡率偏陡，增加滑坡风险。在监测技术应用方面，若选用的监测手段精度不足、监测点布置不合理或数据解读存在偏差，会影响对边坡变形趋势的准确判断，如仅采用人工测斜仪进行深部变形监测，无法实现实时数据传输与动态预警，在边坡快速变形时难以及时发出警报。此外，支护技术选择不当也会引发风险，如在裂隙发育的硬岩边坡中采用柔性支护（如喷锚支护），无法有效抵抗岩体的刚性变形，而在松软土岩边坡中采用刚性支护（如挡土墙），易因支护结构与岩体变形不协调导致支护失效，这些技术层面的缺陷会直接降低边坡安全保障能力，加剧安全风险。

三、非金属露天矿山边坡安全的管理措施

1. 边坡安全监测技术

非金属露天矿山边坡安全监测需构建“多维度、高精度、实时化”的技术体系，结合非金属矿岩特性实现动态风险管控。针对非金属矿岩节理裂隙发育、部分矿岩遇水软化的特点，可采用无人机航测与地面三维激光扫描相结合的方式，定期获取边坡表面三维点云数据，精准识别裂隙扩展、局部塌落等微小变形，尤其适用于大型复合边坡的整体变形监测。对于深部变形监测，需根据矿岩硬度差异选择监测手段，如在坚硬花岗岩边坡中

布设钻孔测斜仪，实时监测深部岩体滑动趋势；在松软泥质页岩边坡中采用分布式光纤监测技术，利用光纤传感的连续性优势，捕捉边坡内部应力应变变化。同时，应搭建数据集预警平台，将位移、应力、地下水水位等监测数据实时传输至终端，通过预设阈值与趋势分析模型，实现风险自动预警，避免因人工数据分析滞后导致的风险漏判，为边坡安全决策提供精准数据支撑。

2. 边坡加固与防护措施

非金属露天矿山边坡加固与防护需依据矿岩特性与边坡风险类型，采取差异化技术手段，兼顾安全性与经济性。针对节理裂隙发育的硬岩边坡，可采用锚杆加固技术，通过锚杆的锚固力将破碎岩体与稳定基岩连接，增强边坡整体稳定性，同时配合喷射混凝土支护，封闭岩体表面裂隙，防止雨水渗透加剧岩体风化。对于遇水软化的松软土岩边坡，需优先控制地下水影响，设置截排水系统，如在边坡顶部布设截水沟、边坡内部设置盲沟，减少雨水下渗；加固方面可采用格构梁与植被协同防护技术，格构梁提供刚性支撑抵抗边坡滑动，植被根系则能增强土体黏聚力，同时实现生态防护。此外，对于存在潜在滑坡风险的边坡，可设置抗滑桩或挡土墙，抗滑桩适用于深层滑坡治理，通过桩体的抗剪能力阻挡滑体移动；挡土墙则多用于浅层边坡防护，结合坡脚压重技术，提升边坡抗滑力，避免因坡脚失稳引发整体滑坡。

3. 排查边坡安全风险

非金属露天矿山边坡安全风险排查需构建“全周期、分层次、定重点”的排查体系，结合矿岩特性与开采阶段动态识别风险。在排查周期上，需区分日常排查、定期排查与专项排查：日常排查由现场作业班组每日开展，重点检查边坡表面是否存在裂隙、浮石、局部塌落，以及截排水系统是否通畅，尤其关注雨后、冻融期等特殊时段的边坡状态；定期排查每季度由矿山技术部门牵头，联合地质、安全人员采用地质罗盘、手持激光测距仪等工具，对边坡坡率、台阶高度、安全平台宽度等参数进行复核，对比设计值判断是否存在偏差；专项排查则在开采深度增加10米以上、遭遇强降雨或地震等灾害后开展，全面评估边坡应力状态与稳定性变化。排查过程中需聚焦关键风险点：针对节理裂隙发育的硬岩边坡，重点排查裂隙走向、宽度及填充情况，判断是否存在潜在滑动面；针对遇水软化的松软边坡，重点核查地下水水位变化与土体含水率，评估软化作用对边坡强度的影响；针对多台阶复合边坡，重点检查台阶间衔接处是否存在应力集中现象。排查完成后需形成《边坡安全风险排查

报告》，明确风险等级、影响范围及整改措施，建立隐患台账实行“销号管理”，确保风险排查不遗漏、隐患整改有闭环，从源头防范边坡安全事故。

4. 加强监督管理力度

行业管理部门需以“压实责任、精准管控”为目标，从监管机制、执法效能、科技赋能三方面强化非金属露天矿山边坡安全监督管理力度。在监管机制上，建立“清单式监管”模式，制定《边坡安全监管责任清单》，明确监管部门、矿山企业的职责边界，将边坡设计审核、监测数据上报、隐患整改等关键环节纳入监管清单，实行“对标检查、逐项销项”；同时推行“驻点监管+远程监控”结合，对高风险矿山派驻专业技术人员驻点指导，对中低风险矿山通过远程调取监测数据实现动态监管，避免监管“一刀切”。执法层面需强化“联动执法+信用惩戒”，联合应急、自然资源等部门开展边坡安全专项执法行动，对超挖超采、未落实监测措施等违法违规行为，依法采取停产整顿、高额罚款等处罚；对多次违法或整改不力的企业，纳入行业信用黑名单，限制其矿产资源申请、项目审批等资格，提高违法成本。此外，借助科技手段提升监管效能，搭建区域边坡安全监管平台，整合各矿山监测数据，通过大数据分析识别高风险矿山，实现“精准预警、靶向监管”，切实推动监督管理从“被动应对”向“主动预防”转变，保障非金属露天矿山边坡安全。

5. 提高生产管理水平

在生产管理中，加强对技术要点、管理要点的把控，提高边坡的安全性。在开采作业管理上，严格遵循边坡设计方案，严禁超挖、欠挖或擅自调整坡率，通过划分作业区域、设定开采顺序，避免无序开采破坏边坡应力平衡，例如在台阶开挖时同步预留安全平台与清扫平台，确保边坡结构稳定。人员管理方面，建立“岗前培训+定期考核”机制，针对采矿、爆破等关键岗位人员，重点培训边坡风险辨识、应急处置技能，考核不合格者不得上岗，同时明确各岗位边坡安全职责，将安全绩效与薪酬挂钩，提升员工安全责任意识。此外，需建立生产与边坡安全联动机制，生产部门定期与技术部门沟通，根据边坡监测数据、矿岩特性变化动态调整生产计划，如遇边坡变形预警，立即暂停危险区域作业，待风险排除后再恢复生产，通过精细化生产管理，实现生产效率与边坡安全的协同统一。

6. 推进安全文化建设

非金属露天矿山边坡安全文化建设需围绕“全员参与、风险预控”理念，将安全意识融入生产全过程，形

成长效安全氛围。在文化培育方面，可通过案例教育与实景宣传提升员工风险认知，如定期组织员工观看非金属矿山边坡滑坡事故案例视频，结合矿山自身边坡风险点开展实景讲解，让员工直观感受边坡事故危害；在作业现场设置边坡安全警示标识，如在高风险边坡区域悬挂“注意边坡变形，禁止停留”等标识，强化视觉提醒。同时，应建立员工参与机制，开展边坡安全合理化建议征集活动，鼓励一线员工结合作业经验提出风险防控建议，对采纳的建议给予奖励，提升员工参与边坡安全管理的积极性；定期组织边坡安全应急演练，模拟边坡滑坡、片帮等事故场景，让员工熟悉应急逃生路线与救援流程，避免因应急处置不当扩大事故损失，通过文化建设将“要我安全”转变为“我要安全、我会安全”，筑牢边坡安全管理的思想防线。

结束语

本文系统梳理非金属露天矿山边坡安全管理的关键环节，明确矿岩特性是边坡安全的先天基础，工程管理、技术应用与监督管控是风险防控的核心抓手。通过构建差异化的风险排查机制、适配性的技术措施及闭环式的监督体系，可有效破解非金属露天矿山边坡安全管理难题。未来需进一步结合智慧矿山建设，推动监测技术与AI预警深度融合，提升风险预判能力；同时加强跨区域管理经验交流，完善行业标准体系。本文研究成果可为非金属露天矿山企业提供实操指南，助力行业实现安全与效益的协同发展，为国家矿产资源安全开发贡献力量。

参考文献

- [1] 于雷, 闫岩, 邓巧巧. 基于大数据的矿山边坡稳定性评价模型[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(05): 138-147.
- [2] 冯小鹏, 李勇, 袁于思, 黄定于, 张磊. 基于AdaBoost卷积神经网络的矿山边坡稳定性预测[J]. 有色金属(矿山部分), 2022, 74(03): 65-70+77.
- [3] 陈辉, 殷浩杰, 张军辉, 潘征. 寒区矿山边坡冻融岩石细观结构及分形维数研究[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(04): 50-54.
- [4] 杨娟娟. 5G时代智能矿山安全管理技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (01): 97-99.
- [5] 申晓东. 构建“六坚持六提升”安全管理体系推进新时代煤矿高质量发展[J]. 中国煤炭工业, 2023, (08): 12-14.