

都龙矿区地质灾害成因及防治对策研究

王焰伟

云南华联锌铟股份有限公司 云南 文山 663700

【摘要】：我国金属露天矿区长期高强度开发，使得区域地质环境持续承受扰动，滑坡、崩塌、泥石流等灾害隐患不断显现。此类灾害多在复杂地层条件、强降雨渗透等自然因素与露天采掘、边坡卸荷、废渣堆置等工程活动共同作用下形成，对矿区人员安全、设施运行及周边生态均构成严重威胁。现阶段相关治理工作仍存在灾变规律把握不深、监测体系不完善、防治手段针对性不足等短板。因此，本文将结合都龙矿区实际工况，深入分析灾害诱发机理，探索科学可行的综合防治路径，以期为矿山安全生产与生态保护提供参考依据。

【关键词】：金属露天矿区；地质灾害；成因；防治

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.028

引言

金属矿长期开采不仅会导致城市面临资源枯竭，也会造成城市环境污染、采空区沉陷及各类次生灾害等问题。云南马关都龙矿区是典型案例，地处边境，以锡、锌、铟露天开采为主，长期作业形成大量高陡边坡、大型采坑与废渣堆场。区域构造复杂、软岩分布广、降雨集中，滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷频发，地质环境脆弱性显著。为解决此类问题，需制定有效的金属露天矿区地质灾害风险管理和城市转型策略，从而维护社会稳定并推动资源枯竭城市转型发展。可见，针对金属露天矿区地质灾害成因及防治对策进行深入研究极为重要。

1 金属露天矿区地质灾害防治的意义

1.1 守护人员安全与生产秩序

金属露天矿区作业区域开阔，人员与各类开采设备高度集中，边坡失稳、崩塌等地质灾害往往突发且破坏力极强，一旦发生，不仅会造成人员伤亡、设备损坏，还会导致开采作业被迫中止。通过实施科学的灾害防治措施，提前排查各类安全隐患、搭建完善的监测预警机制、采取精准的治理手段，可以有效降低灾害发生概率，减少人员与财产损失，保障矿山开采作业的有序推进。

1.2 助力绿色矿山建设落地

露天开采作业会直接破坏地表植被、扰动土壤层结构，而地质灾害的发生会进一步加剧这种生态破坏，引发水土流失、土地沙化、植被枯萎等问题，甚至会污染周边的水体与土壤，破坏区域生态平衡。开展地质灾害防治工作，结合边坡修整、植被复种、废渣规范堆放处置等举措，可有效遏制生态环境恶化的势头，修复受损的地质与生态环境，推动矿区生态系统逐步恢复，贴合绿色矿山建设的核心要求，实现资源开发与生态保护的协同发展。

2 金属露天矿区地质灾害成因

2.1 原生地质条件先天不足

原生地质背景是露天矿区灾害形成的根本内因，多数矿山

建矿时就存在地质构造复杂、岩体稳定性偏弱的先天短板。金属矿体多赋存于构造活动强烈区域，断裂、褶皱、节理裂隙密集发育，直接破坏岩体完整性，削弱岩体抗剪能力，为灾害发育埋下长期隐患。以滇东南都龙锡铟矿区为例，矿区位于华南褶皱系西南缘、滇东南褶皱带老君山穹窿南西翼，主干断裂与次级断裂交织分布，节理裂隙极为发育，岩体破碎、整体强度偏低，构成灾害形成的天然构造条件。与此同时，部分矿区岩土组成复杂，含软弱夹层或蚀变带，遇水后易软化、崩解，岩体稳定性进一步降低。都龙矿区出露新元古界至寒武系地层，钙质页岩、泥质灰岩、片岩分布广泛，其中瓦窑村组钙质页岩风化后易形成厚层松散层，遇水软化效应明显，是控制边坡稳定的关键软弱介质。除此之外，部分原始地形坡度偏陡，露天开挖后形成高陡临空面，打破原有地应力平衡，为滑坡、崩塌提供了有利地形条件。都龙矿区属中低山侵蚀地貌，自然坡度普遍在 25° — 45° ，露天开采后形成 50° — 70° 陡立边坡，临空效应显著，边坡失稳风险高。

2.2 采矿工程扰动，触发灾害发生

采矿活动是诱发露天矿区灾害最直接的人为因素，高强度开发持续打破地质环境原有平衡。露天台阶式开挖重塑地形，形成高陡边坡，卸荷回弹导致岩体裂隙持续扩展、结构松弛，整体稳定性不断下降。都龙矿区长期采用露天台阶开采，形成大量高陡边坡与大型采坑，岩体卸荷松弛明显，裂隙持续延展，边坡整体稳定性持续走低。爆破作业产生的震动持续损伤岩体，加剧裂隙贯通，诱发局部瞬时失稳。都龙矿区长期实施爆破施工，震动反复作用于破碎岩体，裂隙不断延伸、贯通，岩体整体结构进一步弱化。另外，排土场堆载不合理、堆高过大、坡角过陡，易导致基底软弱层失稳，引发整体滑移。都龙矿区部分排土场存在堆高超限、堆载不均、边坡偏陡等问题，基底承载力不足，滑移风险突出。坡脚超挖、底部掏采等违规作业，直接削弱边坡支撑，放大失稳概率。都龙矿区局部曾出现坡脚超挖、底部掏采等违规行为，边坡支撑体系受损，稳定性急剧下降。

2.3 水文地质作用加剧灾害隐患

水是放大露天矿区灾害风险的关键诱因,水岩作用直接改变岩土物理力学性质,显著降低边坡稳定性。大气降水是矿区最主要水源,强降雨快速入渗,增加岩土自重、抬升孔隙水压力,削弱岩体抗剪强度,诱发滑坡、泥石流。都龙矿区属亚热带季风气候,年均降水量1200—1600mm,5—10月为雨季,短时强降雨频发,雨水快速渗入边坡,极易触发浅层滑动与沟谷泥石流。地下水沿裂隙渗透,持续软化软弱夹层,产生静水、动水压力,加速岩体风化破碎。都龙矿区地下水以基岩裂隙水为主,水位变幅大,长期软化钙质页岩等软弱层,岩体风化、破碎进程明显加快。疏排水系统设计不足、维护不到位,导致积水滞留、水位波动剧烈,持续扰动地质结构,放大灾害风险。都龙矿区早期排水设施针对性不足、日常维护缺位,地表积水与地下水位频繁波动,不断扰动边坡岩体结构,灾害隐患持续累积。

2.4 设计施工管理存在缺陷

开采设计不合理与施工管理不规范,会明显增加金属露天矿区地质灾害的发生几率。部分矿区在开采设计阶段,没有充分开展地质勘察工作,边坡角设计过于陡峭,未按照相关规范留设安全平台,同时忽略了水文地质因素对矿区地质环境的影响。都龙矿区部分区段前期勘察精度偏低,软弱层、断裂及水文特征查明不全面,边坡设计偏陡,安全平台设置不足,整体安全储备偏弱。排水、防护工程适配性不足,难以应对强降雨与软岩地层的复杂条件。都龙矿区部分排水系统标准偏低,难以匹配当地强降雨特征与软岩遇水软化特性,水害防控效果受限。施工阶段爆破参数超标、排土工艺粗放、浮石危石清理不及时,进一步加剧岩体损伤与边坡隐患。都龙矿区施工期间曾出现爆破参数超标、排土分层压实不到位、边坡浮石清理滞后等问题,岩体损伤加剧,边坡隐患持续累积。日常管理中监测覆盖不全、隐患排查流于形式、整改闭环缺失、违规作业屡禁不止,进一步放大灾害风险。都龙矿区早期监测网络覆盖不全,隐患排查、整改、复查机制不完善,应急处置能力偏弱,难以及时预警、有效管控灾害风险。

2.5 生态环境破坏,削弱抗灾能力

金属露天开采过程中对生态环境的破坏,会间接削弱矿区地质环境的抗灾能力,从而诱发各类地质灾害。开采作业会直接破坏矿区地表的植被覆盖,导致植被根系固土保水的功能丧失,岩土体失去植被的保护后,容易受到雨水的冲刷、侵蚀,加快水土流失的速度,进而诱发泥石流灾害。都龙矿区长期大规模开采,原生植被大面积消失,地表裸露,雨水冲刷强度增大,水土流失严重,松散物质持续堆积,为泥石流形成创造条件。同时,弃土弃渣无序堆放,占用土地、堵塞沟谷,成为泥石流重要物源。都龙矿区大量废渣随意堆弃,挤占沟道、阻碍行洪,遇强降雨极易形成泥石流。植被破坏改变局部小气候,

降水分布不均,极端降雨频次上升,形成生态恶化与灾害频发的恶性循环。都龙矿区植被退化后局部气候失衡,极端降雨事件增多,生态破坏与地质灾害相互促进,风险持续放大。

3 金属露天矿区地质灾害的防治对策

3.1 优化地质勘察与开采设计,筑牢防治基础

地质勘察与开采设计作为金属露天矿区地质灾害防治的首要环节,必须强化前期勘察的精准度,不断优化设计方案,从源头遏制灾害隐患的产生。在矿区开采工作启动前,要组织开展全面且细致的地质勘察工作,系统排查矿区范围内的地质构造分布、岩土体物理力学性质、水文地质条件等核心要素,明确地质灾害隐患点的具体分布位置、灾害类型及风险等级,建立完整、详实的地质勘察数据库,为后续开采设计工作提供精准、可靠的技术支撑。以滇东南都龙矿区为例,矿区构造复杂、断裂密集,钙质页岩、泥质灰岩分布广,遇水易软化、强度骤降,是边坡失稳的主控因素。若前期勘查粗略,极易低估软岩范围与水害影响,导致边坡设计偏陡、安全储备不足。因此,勘查阶段需加密勘探点,精准查明软岩厚度、风化层分布及地下水渗流路径。在设计阶段据此合理确定边坡坡度、台阶高度、安全平台宽度,软岩区适度放缓边坡,采用自上而下分层推进开采,避免一次性大规模开挖。另外,还要同步规划截排水、边坡支护、监测设施,把防灾理念贯穿设计全过程,减少开采扰动,筑牢源头防控底线。

3.2 规范采矿作业流程,减少人为扰动

采矿活动是露天矿区灾害最直接的人为诱因,规范施工流程、严控作业标准,能有效降低岩体损伤、减少灾害触发概率。露天开采需严格按设计执行台阶开挖,严禁坡脚超挖、底部掏采、局部陡坎残留等违规行为,避免边坡支撑被削弱、应力集中诱发垮塌。日常作业中,及时清理坡面浮石、危岩,定期修整边坡轮廓,保持坡面稳定形态。同时,爆破施工摒弃粗放方式,改用预裂爆破、分层微差爆破等低扰动工艺,合理控制药量与起爆顺序,降低震动对岩体的破坏,减少裂隙贯通与岩体松动。都龙矿区长期实践证明,严控爆破参数后,边坡岩体完整性明显改善,浅层滑坡频次显著减少。排土场需科学选址,避开沟谷、陡坡、汇水区域;严格控制堆高、坡角,分层压实、分层排水,防止基底软弱层滑移或雨水冲溃。井下开采优先充填法治理采空区,及时处理老旧空区,避免顶板垮塌引发地表塌陷,实现露天、井下作业协同管控。

3.3 强化水文调控,降低水文地质影响

水文地质作用是加剧金属露天矿区地质灾害隐患的关键因素,强化水文调控力度,完善疏排水系统建设,可以有效削弱水对岩土体的不利作用,提升矿区地质环境的稳定性。针对大气降水可能引发的灾害隐患,要搭建配套完善的地表排水体系,合理布设排水沟、截水沟等排水设施,及时排出地表积水,

减少雨水向岩土体内部的入渗量。例如：都龙矿区属亚热带季风气候，年均降水1200—1600毫米，雨季集中、雨势猛，历史上多次因排水不畅引发浅层滑坡与沟谷泥石流。完善排水系统后，地表积水快速排出，入渗量明显减少，灾害发生率显著下降。地下水方面，需布置疏水钻孔、导水巷道，合理调控地下水水位，减小水位升降幅度，避免水位骤变扰动岩体。对钙质页岩、泥质灰岩等软弱层，则要采用注浆封堵裂隙、加固岩体，提高抗水软化与抗渗透能力。建立降雨、水位、孔隙水压力动态监测，实时调整疏排策略，形成“降水—径流—疏排—加固”的水害治理链条。

3.4 完善监测预警与管理体系，提升防控效能

建立覆盖边坡、排土场、采空区的监测预警体系，是实现隐患早发现、早预警、早处置的关键。相关部门需采用遥感、地面位移监测、裂缝计、沉降观测等多手段融合，实时捕捉边坡变形、岩体开裂、地表沉降、水位变化等关键信息，实现数据实时采集、传输与分析。同时，搭建智能化预警平台，结合矿区地质条件设定分级预警阈值，一旦数据超标，自动触发报警并推送信息，快速组织人员撤离与应急处置，防止灾情扩大。都龙矿区实施空天地一体化监测后，多次成功预警边坡滑移、排土场变形隐患，有效规避人员伤亡与设备损失。另外，还要构建完善的管理制度，明确各岗位防灾责任，建立隐患排查、整改、复查、销号闭环机制，定期开展全域隐患排查，对发现问题逐项整改、跟踪落实、验收销号。通过常态化开展安全培训与应急演练，提升作业人员风险意识与处置能力，杜绝违规

作业，保障防控措施落地见效。

3.5 推进生态修复，增强地质环境抗灾能力

植被破坏、水土流失、废渣乱堆，会削弱矿区自然抗灾能力，形成“生态恶化—灾害频发”的恶性循环。治理需坚持“边开采、边修复”，恢复植被固土保水功能，减少松散物源，改善局部水文与小气候。边坡、排土场等裸露区域，要选用耐旱、固土能力强的本地草本、灌木、乔木，构建复合植被防护带，以根系固土、枝叶拦水，降低雨水冲刷、抑制水土流失。同时需规范处置废渣，将开采废渣用于采空区充填、边坡回填、土地复垦，减少废渣堆存体量，降低泥石流物源供给。都龙矿区通过废渣资源化，减少废渣堆放约三成，同时修复废弃场地，生态与安全效益显著。水土流失严重区域，则要采用客土改良、鱼鳞坑整地、修建挡土墙等措施，恢复地表覆盖，改善局部降水分布，减少极端降雨诱发灾害概率。另外，还要在建立长期管护机制的基础上，定期养护植被、监测修复效果，动态优化方案，持续提升地质环境自我修复能力，实现资源开发、安全保障与生态保护协同推进。

总而言之，金属露天矿区各类地质灾害，多在区域地质条件、地下水文环境与露天采掘活动的多重作用下形成，治理上应从前期防控入手，实施综合整治。未来，还需进一步探究灾害形成机制，健全动态监测与预警手段，改进工程防护与生态修复举措，加强开采全周期管理，从而实现矿产资源合理开发与矿区安全稳定并行，为矿山可持续运营筑牢基础。

参考文献：

- [1] 司莉.露天矿区地质灾害易发性评价[J].煤炭技术,2024,43(03):230-235.
- [2] 刘玉兰.龙门县三丫石灰岩露天矿区地质灾害影响评价[J].华北自然资源,2023,(03):103-107.
- [3] 张超彪.抚顺西露天矿区地质灾害风险评价[D].辽宁工程技术大学,2022.
- [4] 冯东梅,王静.露天矿区突发地质灾害公众应急安全疏散行为研究——以抚顺西露天矿区为例[J].中国安全生产科学技术,2022,18(02):132-138.
- [5] 王静.抚顺西露天矿区北帮环境地质灾害链风险评估研究[D].辽宁工程技术大学,2021.