

露天矿山开采边坡滑坡风险控制研究

马洪明 150430198504291294

摘要：露天矿山开采活动会对原有地质结构产生持续扰动，边坡失稳滑坡是我国露天矿山生产中高发的地质灾害类型，不仅会中断正常生产作业、造成设备损毁，还会威胁作业人员生命安全，甚至引发周边区域生态灾难。本文基于露天矿山边坡滑坡的形成机理，分析当前露天矿山边坡滑坡风险识别与管控中存在的普遍问题，从技术管控、制度建设、应急管理三个维度提出针对性风险控制优化策略，为露天矿山企业提升边坡安全管理水平、降低滑坡灾害发生概率提供参考。

关键词：露天矿山；边坡滑坡；风险控制；地质灾害

一、露天矿山边坡滑坡的形成机理与风险诱因

露天矿山开采需要对地表岩土进行持续剥离，原本处于应力平衡状态的边坡岩体被不断改造，内部应力会重新分布并逐步向临空面方向释放，当应力超过边坡岩土体的抗剪强度极限后，就会产生边坡失稳变形，最终引发滑坡灾害。从诱发因素来看，露天矿山边坡滑坡可以分为自然诱因与人为诱因两类。

自然诱因主要包括地质条件与气象条件两个方面：地质条件方面，若露天矿山所在区域本身存在断层、裂隙、软弱夹层等不良地质构造，岩体完整性较差，抗剪强度本身就处于较低水平，开采活动的扰动极易打破原有平衡；部分区域岩土体本身性质偏软，雨季含水率上升后会进一步降低抗剪强度，增大滑坡风险。气象条件方面，持续强降雨是边坡滑坡最主要的自然触发因素，雨水渗入边坡岩土体后，一方面会增加岩土体自重，增大下滑力，另一方面会软化软弱夹层、降低结构面摩擦力，同时形成的孔隙水压力会进一步抵消有效应力，多重作用下极易触发滑坡。此外，地震、周边山体自然滑坡等突发地质活动也会对露天矿山边坡稳定性产生冲击。

人为诱因主要来自不规范的开采作业，部分矿山企业为了压缩开采成本、提升开采效率，存在盲目扩大边坡角、超量开采的问题，设计阶段预留的安全边坡参数被突破，边坡应力远超设计承受范围；部分企业在开采过程中未按照规范进行边坡加固处理，或者在边坡顶部违规堆载剥离废石，额外增加了边坡荷载，破坏了边坡稳定性；还有部分企业忽略了边坡排水系统的建设与维护，排水通道堵塞导致雨水长期积存渗入岩土体，也会增大滑坡风险。

二、当前露天矿山边坡滑坡风险管控存在的问题

（一）风险识别预警体系不完善

当前部分中小型露天矿山企业对边坡滑坡风险的重视程度不足，尚未建立常态化的边坡监测体系，仅依靠人工定期巡检开展风险识别，不仅效率低下，而且难以发现边坡内部的早期变形隐患，往往等到边坡出现明显开裂、位移等宏观特征时，滑坡风险已经进入较高等级，留给应急处置的时间非常有限。部分已经安装自动化监测设备的矿山，也存在监测参数不全、设备布设点位不合理的问题，仅监测表面位移，未对深部应力、地下水水位等核心参数进行同步监测，无法全面反映边坡的真实稳定状态，预警阈值设置也缺乏针对性，容易出现误报或者漏报问题。

（二）边坡治理设计与施工不规范

部分露天矿山在前期设计阶段，对地质勘察工作重视不足，勘察获得的地质数据精度不够，导致边坡设计参数存在偏差，安全储备不足，从根源上留下了滑坡隐患。在边坡治理施工过程中，部分施工单位存在偷工减料问题，比如锚杆锚固深度不足、锚索预应力达不到设计要求、护坡混凝土强度不达标等，导致加固工程无法发挥应有的作用。还有部分矿山对老旧边坡的动态治理重视不足，随着开采深度不断增加，边坡高度与坡度都在不断变化，原有加固设施的防护能力已经无法满足新的边坡稳定要求，未及时进行升级改造，长期带隐患运行。

（三）安全管理制度与应急管理不到位

部分露天矿山企业的边坡安全管理制度不完善，责任划分不清晰，没有明确专门的边坡管理岗位与责任人员，日常巡检、维护、监测等工作落实不到位，存在管理盲区。应急管理方面，部分企业没有制定针对性的边坡滑坡应急预案，或者应急预案流于形式，未定期开展应急演练，作业人员对滑坡灾害的逃生路线、应急处置流程不熟悉，一旦发生险情容易出现混乱，增大人员伤亡概率。应急物资储备也存在不足，无法满足突发灾害发生后的抢险救援需求。

三、露天矿山边坡滑坡风险控制优化策略

（一）完善风险监测预警体系，提升风险识别能力

露天矿山企业应当建立自动化、全覆盖的边坡稳定性监测体系，根据边坡的

地质条件与风险等级合理布设监测点位，对边坡表面位移、深部水平位移、岩土体应力、地下水水位、孔隙水压力等核心参数进行实时在线监测，结合物联网技术实现监测数据的自动传输与分析。引入大数据分析 with 边坡稳定性评价模型，根据监测数据的变化趋势自动评估边坡稳定等级，当监测参数超过预警阈值时自动发出预警，实现滑坡风险的早期识别，为应急处置争取充足时间。对于风险等级较高的边坡，要适当增加监测密度，增加人工巡检的频次，形成自动化监测与人工巡检相结合的风险识别机制。

（二）优化边坡治理技术体系，提升边坡稳定性能

在前期设计阶段，要严格开展地质勘察工作，全面掌握矿山区域的地质构造、岩土体物理力学参数，以此为基础合理设计边坡参数，预留足够的安全储备，从设计源头降低滑坡风险。针对已经存在变形隐患的边坡，要根据边坡的具体条件选择合适的加固治理技术：对于高度较小、坡度较缓的边坡，可以采用削坡减载技术，降低边坡高度与坡度，减少下滑力，同时清理边坡顶部的违规堆载；对于存在软弱夹层的边坡，可以采用锚杆锚索加固技术，通过锚杆锚索将不稳定岩土体锚固到深部稳定岩体上，提升边坡整体抗滑能力；对于雨水渗入问题比较严重的边坡，要完善边坡排水系统，在边坡表面设置排水沟，在边坡内部设置盲沟、排水孔，及时排出边坡内部的积水，降低雨水对边坡稳定性的负面影响。此外，还可以采用生态护坡技术，通过种植植被加固边坡表层岩土，减少雨水冲刷，同时改善矿区生态环境。

（三）健全管理制度与应急体系，强化风险管控保障

矿山企业要建立完善的边坡安全管理制度，明确边坡安全管理责任主体，划分各岗位的安全管理职责，将日常监测、巡检、维护等工作落实到人，建立边坡安全管理台账，定期开展边坡安全隐患排查，对发现的隐患及时进行整改。完善应急管理体系，制定针对性的边坡滑坡应急预案，明确应急处置流程、人员疏散路线、抢险救援分工，定期组织开展应急演练，提升作业人员的风险防范意识与应急逃生能力。按照要求储备足够的应急抢险物资与设备，建立与地方应急管理相关部门的联动机制，一旦发生滑坡灾害能够及时开展救援，最大限度降低灾害损失。

四、结语

边坡滑坡风险控制是露天矿山安全生产管理的核心内容之一，矿山企业应当充分认识边坡滑坡灾害的危害性，从风险识别、工程治理、制度保障多个层面构

建完善的风险控制体系，实现边坡滑坡风险的全流程管控，在保障矿山生产安全的同时，推动露天矿山行业的绿色可持续发展。

参考文献

[1] 王建树, 谢定义, 郭相平. 露天矿边坡滑坡灾害风险评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(S1): 2678-2683.

[2] 李远耀, 殷坤龙, 谢剑明. 露天矿山边坡稳定性分析与滑坡防治研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(3): 5-10.

[3] 李占海, 朱万成, 张鹏海. 露天矿山边坡滑坡机理与防治技术研究进展[J]. 金属矿山, 2018, (10): 141-148.