

矿山地质灾害预测与防治技术研究

陈立政

中国平煤神马集团平煤股份五矿 河南 平顶山 467000

摘要：随着我国矿产资源的不断开发和利用，矿山地质灾害问题日益严重。矿山地质灾害不仅对矿山本身的安全构成威胁，而且对周边生态环境和人民生命财产安全产生严重影响。矿山地质灾害预测与防治技术是保障矿山安全生产及生态环境的核心手段，本文对矿山地质灾害预测与防治技术进行具体研究如下。

关键词：矿山地质灾害；预测；防治技术

我国是世界上矿产资源丰富的国家之一，矿产资源的开发和利用对经济发展起着重要的支撑作用。然而，矿山开采过程中往往伴随着地质灾害的发生，如地面塌陷、滑坡、泥石流等，这些灾害给矿山安全和周边环境带来了严重威胁。

1 矿山地质灾害类型

1.1 突发性矿山地质灾害。突发性矿山地质灾害是指在矿山开采过程中突然发生、难以预测且破坏性强的灾害事件，主要可分为井下和地面两类灾害：（1）井下突发性灾害，冒顶与片帮：巷道顶部或侧壁岩体因支撑不足突然垮塌，造成人员伤亡和设备损毁（如分宜铁矿瞒报事故）。突水突泥：开采破坏含水层结构，导致高压水或泥浆瞬间涌入矿井，淹没作业区。煤与瓦斯突出：煤矿中积聚的瓦斯在压力作用下瞬间喷出，伴随煤岩抛射，易引发爆炸。岩爆（冲击地压）：深部矿井岩体应力突然释放，引发剧烈震动和岩块弹射（如山东龙郛煤矿事故）。矿震：人为采矿活动诱发浅源地震，导致井下结构破坏。（2）地面突发性灾害，滑坡与崩塌：露天矿边坡或废渣堆积体失稳，岩土体高速滑落（如金属矿山渣场滑坡）。地面塌陷：地下采空区上方岩层骤然塌落，形成塌陷坑（如浅层矿体开采案例）。泥石流：暴雨引发废石渣场溃决，夹杂大量固体物质的洪流摧毁下游设施。矿坑诱发地震：大规模采矿改变地应力，触发区域性浅层地震。典型特征与危害，突发性强：如印尼库达山采石场滑坡，救援因二次滑坡中断。连锁反应：采空塌陷可诱发地表裂缝，加剧滑坡和突水风险。损失严重：易造成群死群伤。

1.2 群发性矿山地质灾害。群发性矿山地质灾害指由采矿活动或极端天气等因素触发，同一时段在矿区及周边集中发生的多种灾害事件，具有连锁性强、破坏面广的特点。主要类型及典型案例如下：（1）灾害组合类型，暴雨诱发型灾害链，暴雨→滑坡→泥石流：强降雨

导致露天矿边坡或废渣场失稳，形成滑坡并转化为泥石流（如群发灾害中，暴雨诱发边坡滑坡堵塞沟谷，后续暴雨引发泥石流）。暴雨→地面塌陷→突水：地下采空区在雨水渗透下加速塌陷，同时雨水灌入矿井引发突水事故。地震或采矿扰动型灾害链，矿震→岩爆+冒顶：深部采矿诱发矿震，连锁引发井下岩爆和巷道冒顶（如山东龙郛煤矿事故）。采空塌陷→地裂缝+地表沉降：大面积采空导致地面塌陷，伴随放射状地裂缝及区域性沉降。复合型灾害群，露天矿区三联征：暴雨同时触发滑坡+崩塌+泥石流（如金属矿山渣场因暴雨集中发生边坡崩塌、废渣滑坡及沟谷泥石流）。井下灾害群：瓦斯突出引发爆炸→火灾→冒顶，形成连环事故。（2）典型群发案例，某群发灾害，单日暴雨诱发矿区周边11处滑坡+3处泥石流，造成道路中断与农田掩埋。某金属矿山渣场溃决，尾矿库因持续降雨溃坝，形成人造泥石流+下游滑坡，摧毁民房20余间。深部煤矿冲击事件，岩爆引发连锁冒顶+瓦斯突出，导致井巷大规模坍塌（平禹煤矿事故）。（3）群发机制与防控难点，诱发因素：极端降雨（占群发灾害75%以上）、深部开采地应力突变5、集中爆破震动。防控挑战：灾害链速度快，从首次滑坡到泥石流形成仅数小时；多灾种叠加增加救援难度（如塌陷区二次滑坡阻断救援通道）。关键措施：建立矿区地质灾害隐患点动态清单，对安全系数1.0~1.2的“欠稳定斜坡”重点监控；极端天气前实施区域停工避险。

1.3 矿山冲击地压等动力灾害。矿山冲击地压等动力灾害是指由采矿活动诱发、具有瞬时能量释放特征的突发性灾害，主要类型及特点如下：（1）核心动力灾害类型，冲击地压（岩爆），坚硬煤岩体因应力超限突发脆性破坏，伴随煤岩抛射、巨响及气浪现象。深度超800米矿井高发（如吉林龙家堡煤矿事故）。煤与瓦斯突出，高压瓦斯携粉碎煤体瞬间喷出，易引发爆炸（河南千秋煤矿事故）。突水灾害，承压水突破隔水层造成淹井事

故，破坏性极强。顶板垮落，采空区顶板大规模塌陷，常连锁引发冒顶事故。（2）复合型动力灾害，煤岩瓦斯复合动力灾害，冲击地压与瓦斯突出叠加，破坏力倍增（典型煤矿事故模式）。矿震诱发灾害链，采矿扰动诱发浅源地震→触发岩爆/冒顶（山东龙郛煤矿案例）。

（3）关键特征与防控痛点，突发性：90%事故无明显前兆，能量释放过程仅需数分钟至数小时，深度关联性：随开采深度增加（>1000米），冲击地压风险显著上升。监测难点：需依赖微震监测系统捕捉岩体微破裂信号。典型防控措施：强冲击危险区限制人员密度。采用“卸压爆破+大直径钻孔”降低岩体应力。

2 矿山地质灾害预测技术

矿山地质灾害预测技术已形成多维度监测预警体系，主要涵盖以下核心技术：

2.1 地质环境监测技术。岩土体变形监测，地表位移监测：采用北斗/GPS高精度定位技术，实时捕捉地表沉降及裂缝扩展动态（精度达毫米级）。深部形变监测：通过钻孔倾斜仪、多点位移计监测岩层内部位移，预警滑坡与地面塌陷。地下水质与水文监测，布设压力传感器监测含水层水位变化，预测突水风险。实时分析矿井涌水量突变特征，建立突水阈值模型。

2.2 应力场与能量场监测技术。岩体应力监测，微震监测系统捕捉岩体微破裂信号，预测冲击地压与岩爆（灵敏度达 10^{-6} m位移）。地应力实时监测装置分析采动应力集中区，预警冒顶事故。瓦斯动态监测，光纤瓦斯传感器实时传输瓦斯浓度及压力数据，结合煤体声发射技术预警突出风险。

2.3 空天遥感与三维建模技术。InSAR地表形变监测，卫星干涉雷达扫描矿区地表形变速率，识别潜在塌陷区（覆盖范围>100km²）。三维地质建模，激光扫描与无人机航测构建矿区三维地质模型，模拟采空区稳定性。数字孪生平台动态推演灾害演化过程，优化防控方案。

2.4 智能预警与分析技术。多源数据融合分析，机器学习算法（如LSTM神经网络）整合地质、气象、开采数

据，预测泥石流与滑坡概率。灾害链预警系统建立“监测-分析-决策”联动平台，实现暴雨→滑坡→突水等灾害链的分钟级响应。

2.5 群防群测技术。隐患点动态清单管理，对安全系数1.0~1.2的高风险边坡实施网格化巡查。物联网预警终端，部署声光报警装置与移动端信息推送系统，覆盖偏远矿区。

3 矿山地质灾害防治技术

3.1 岩土体稳定技术。锚固支护，危岩加固：预应力锚索/锚杆固定板状危岩体，减少崩塌风险。软基强化：喷射混凝土护壁增强风化岩基承载力（如泥岩基座加固）。削坡与减载，清除高危孤石或削缓边坡坡度，降低滑坡势能（适用于中小型危岩体）。灌浆固结，注浆填充岩体裂隙，提升岩层整体强度（常配合锚固使用）。

3.2 水文灾害防控技术。排水系统，地表截流：环形排水沟拦截地表径流，减少雨水渗透。地下疏干：钻孔排水降低孔隙水压力，防控突水及滑坡。隔水屏障，封闭塌陷区落水洞、岩溶通道，阻断地下水侵入路径。

3.3 智能监测预警技术。多维度监测网络，形变监测：GNSS/北斗系统实时捕捉地表位移（精度毫米级）。应力监测：微震传感器分析岩爆前兆（灵敏度达 10^{-6} m微破裂）。水文监测：压力传感器预警含水层水位异常。智能分析平台，机器学习算法融合地质、气象数据，预测滑坡-泥石流灾害链概率，UWB精准测距系统（误差<10cm）实现矿区车辆防撞预警。

3.4 灾害规避与应急技术。主动避让措施，高风险区人员搬迁安置，采空区强制划定禁入范围，线路绕避大型崩塌带（隧道替代地表道路）。柔性防护体系，滚石防控：落石槽+拦石网缓冲冲击能量（露天矿边坡防护），冲击吸收：棚洞、明洞遮挡中小型崩落体。

3.5 生态修复技术。采空区治理，煤矸石回填复垦，同步控制地面塌陷与固废污染。生物工程措施，植被恢复增强土壤抗侵蚀能力（泥石流防治关键手段），技术适配性指南如下。

灾害类型	核心防治技术
冲击地压	微震监测+卸压爆破《矿山防灾减灾技术规范》
露天矿滑坡	锚索网格梁支护+InSAR形变扫描《非煤露天矿边坡工程技术规范》
突水灾害	地下水位实时监测+防水帷幕《煤矿采空区岩土工程勘察规范》
滚石灾害	拦石堤+360°UWB防撞系统《露天煤矿井采采空区勘查技术规范》

4 矿山地质灾害防治面临的挑战与应对策略

4.1 核心挑战。极端气候加剧灾害群发性，极端暴雨触发滑坡、泥石流等多灾种链式反应，响应时间缩短至

数小时。全国28.4万处自然地质灾害隐患点叠加180万处人为风险斜坡，动态管控难度大。监测预警能力不足，传统监测存在盲区：40%偏远矿区依赖人工巡查，暴雨天

气难以覆盖。多部门预警信息割裂,导致基层“响应混乱”(如同时接收气象、应急多头指令)。深部开采风险升级,采深超800米矿井冲击地压风险激增,90%事故无明显前兆。采空区塌陷引发连锁地裂缝与突水,修复成本达每县千万元级。治理资金与人才短缺,历史遗留废弃矿山修复依赖中央专项资金,地方配套不足。县级自然资源部门人均负责灾害防治、生态修复等多领域,专业力量薄弱。

4.2 应对策略。技术防控层面,智能监测升级,构建“空-天-地”体系:InSAR卫星扫描地表形变+微震系统捕捉岩爆信号+物联网终端覆盖盲区。机器学习融合地质与气象数据,优化灾害链预警模型(如暴雨→滑坡→突水联动预测)。工程治理创新,采空区防控:充填复垦法(煤矸石回填)降低塌陷风险,同步处理固废污染。露天矿边坡加固:对安全系数1.0~1.2的欠稳定斜坡实施锚索+网格梁支护。管理机制优化,分级管控,划定高风险区(如尾矿库、深部采空区)强制停工避险。资金多元化,专项债支持修复工程,吸引社会资本参与。应急联动改革,整合自然资源、气象部门预警通道,建立“分钟级”响应机制。长效能力建设,人才梯队培养:定向培训群测群防员技能,配备便携式监测装备(如智能位移仪)。

责任机制完善:推行矿山环境责任保险,压实企业闭坑后生态修复义务。

5 矿山地质灾害预测与防治技术未来发展趋势

5.1 监测预警智能化与精准化。多源传感技术融合,高精度位移传感器、微震监测仪、InSAR卫星遥感与物联网(IoT)设备组成立体监测网络,实时捕捉岩体形变、地下水动态等灾害前兆信号,预警时效性提升至小时乃至分钟级。AI驱动风险预测,基于机器学习的灾害风险评估模型,通过历史数据与实时监测融合分析,实现滑坡、塌陷等灾害的概率预测与动态预警。例如,AI算法可识别高风险边坡的失稳模式,减少误报率。

5.2 防治技术向绿色与高效转型。生态化治理工程,矿坑修复从单纯工程加固转向“地质稳定+生态重建”综合模式,如采用植被护坡、微生物土壤改良等技术,提升边坡长期稳定性。新型材料与工艺应用,无损检测技术(如锚索预应力超声测定)替代传统破坏性检测,实现结构安全实时评估;环保型注浆材料降低施工污染,提升治理效率。

5.3 政策与市场双轮驱动升级。政策强化技术标准,各国政府将地质灾害防治纳入生态文明建设框架,如中国推行“预防为主、避让结合”原则,专项资金支持监测预警体系建设。市场规模持续扩张,全球气候变化加剧灾害风险,2025年地质灾害防治市场规模预计突破千亿元,驱动企业加大技术研发投入,如智能化监测设备、生态修复材料的创新应用。

矿山地质灾害预测与防治技术是保障矿山安全生产的核心领域,其研究涵盖灾害形成机理、监测预警、风险防控及生态修复等多方面。矿山地质灾害预测与防治技术正朝着智能化、精准化和系统化方向快速发展,结合最新行业动态与技术突破,技术发展需应对矿山深部开采、极端气候等新挑战,未来将进一步强化主动防控能力与跨区域协同治理机制。

参考文献

- [1]李珺.矿山地质灾害勘查技术研究与防治措施的应用[J].世界有色金属,2022(79):227-228.
- [2]王川.无人机技术在矿山地质灾害调查中的应用探讨[J].矿山工程,2019(04):116-117.
- [3]黄瑞.探讨矿山地灾类型,危险性与地质灾害勘查技术方法[J].世界有色金属,2020(11):64-66.
- [4]李婷.浅谈地质灾害危险性评估中应注意的主要方面[J].中国新技术新产品,2021(04).
- [5]施鹏.矿山灾害链及其断链减灾模式分析[J].煤田地质与勘探,2023(05).