

矿山地质灾害发育特征及防治措施研究

熊秀森

中勘（河南）岩土工程有限公司 河南 郑州 450000

摘要：矿山地质灾害是自然地质条件与工程活动耦合作用下的典型产物，其发育具有鲜明的时空分异特征与渐进演化规律。本文从形成条件与诱发机制出发，系统梳理了地面塌陷、边坡失稳、地裂缝及泥石流等主要灾害类型的发育特征，揭示了地质构造、工程扰动与环境变化对灾害演进的协同控制作用。在此基础上，提出了源头防控、专项治理、动态预警与生态修复相结合的综合防治技术框架，为矿区地质环境安全保障提供系统性技术支撑。

关键词：矿山地质灾害；发育特征；诱发机制；防治技术

引言：矿产资源开发在满足经济社会需求的同时，持续扰动矿区原本稳定的地质环境，诱发地面塌陷、边坡失稳、地裂缝等多种地质灾害。这些灾害并非孤立存在，而是在地质条件、工程活动与自然环境的交互作用下呈现复杂的链式演化态势。深入剖析灾害的形成机理与发育规律，构建有针对性的防治技术体系，对于保障矿区安全生产与地质环境可持续利用具有重要的现实意义。

1 矿山地质灾害形成条件与诱发机制

1.1 自然基础条件

矿区所处的天然地质环境构成地质灾害孕育发展的固有基底。地形地貌的起伏形态直接支配地表径流走向与岩土体自重应力分布，为各类形变破坏提供基础环境条件。地层岩性的物质组成与固结程度决定岩土体自身力学性能，质地松软、胶结较弱的岩体更容易产生变形与破坏问题。地质构造的发育状态改变地层整体连续性，构造活动影响区域会持续弱化岩体完整程度，降低地质结构整体稳定水平^[1]。水文地质状态调控地下水储存与运移规律，水体长期渗透浸润会持续软化岩土体结构，削弱岩体抗破坏能力。岩土体结构的疏密程度和裂隙发育状态直接影响整体抵御外力的性能，结构松散的地质体具备更高的灾害发育潜能。不同地质要素相互组合形成差异化的环境基底，直接影响矿区地质灾害的发育潜力与滋生概率。

1.2 人为诱发因素

矿山各类工程作业会持续打破天然地质环境维持的平衡状态，推动隐性地质隐患逐步转化为显性灾害。地下采掘会掏空深部岩体空间，改变地层原始应力分布状态，促使围岩产生形变与结构损伤。露天开挖剥离表层覆盖岩土体，形成全新临空界面，大幅降低边坡与浅表地层的稳定性能。废渣堆积会增加局部地表荷载，压迫下部地层结构，引发缓慢形变与结构错位问题。场地平

整改造原始天然地貌，破坏固有水土平衡与地层结构完整性，诱发局部地质失衡。地下水疏排改变区域水体分布格局，引发岩土体脱水压密或干湿交替变化，持续扰动长期形成的地质平衡体系。

1.3 灾害演化作用机理

矿山地质灾害的演化进程依托自然地质条件与人工工程扰动的相互作用逐步推进，完整覆盖隐患萌生到持续发展的全部过程。工程扰动促使地层内部应力重新排布，岩体受力状态突破固有承载极限后便会产生细微结构损伤。各类细微破损持续拓展贯通，逐步瓦解岩土体原有完整结构，造成地质体整体性能持续衰减。水体渗透侵蚀会顺着裂隙持续深入岩体内部，冲刷弱化结构软弱面，进一步加剧结构破损程度。内外因素持续叠加作用，让局部细微形变不断累积扩散，逐步发展为大范围的地质结构失稳，完整展现矿山地质灾害演化发展的内在力学规律。

2 矿山地质灾害主要发育类型与基本特征

2.1 地面塌陷发育特征

矿山地面塌陷的空间排布具备明显的规律性特征，多集中于地下采掘工程覆盖的地表范围之内，整体发展趋势贴合地下采空区的拓展走向。塌陷形成的地表形态存在多样化表现，地表会形成规模不一的凹陷区域，塌陷边界轮廓随地下岩体破损范围呈现不规则变化^[2]。不同开采深度与采掘范围会造就差异化的塌陷形态，浅层采掘引发的塌陷多呈现浅宽式地表沉降，深层采掘引发的塌陷更易形成纵深式塌陷坑。塌陷发育进程具备阶段性变化特点，地质体内部破损会缓慢累积，地表形变会随地下岩体失稳逐步显现。形变扩张会持续向采空区周边延伸，影响范围会随开采推进持续拓展。矿山开采扰动造就的地面塌陷依托人工采掘形成的空区发育，形变规模与发育强度受工程活动强度影响显著，整体发育模式

区别于自然条件主导的普通地表塌陷。

2.2 边坡失稳灾害发育特征

露天矿山边坡区域会滋生多种失稳破坏形式，不同破坏形式对应不同的岩体运动状态与变形规律。边坡失稳问题多集中于坡面陡峭、岩土体风化程度较高、结构裂隙密集分布的边坡区段，边坡临空面会为岩体位移破坏提供必要空间条件。滑坡现象以岩土体整体滑移运动为主要表现，坡面岩体沿内部软弱结构面产生持续性位移，变形过程存在缓慢累积的变化状态。崩塌现象多表现为坡面岩体突发性脱落坠落，岩体结构出现瞬时破坏分离，破坏过程具备较强的突发性。溜塌现象介于缓慢变形与突发破坏之间，浅表松散岩土体出现渐进式滑移流失。各类边坡失稳问题会随坡面岩土体风化、水体入渗、开采削坡活动持续演变，坡面稳定状态会持续动态变化。

2.3 地裂缝发育特征

矿山开采诱发的地裂缝会沿着地下采空区边界及地表变形带集中分布，整体延展方向与采掘工程推进方向保持高度关联。裂缝空间尺度会呈现动态变化特征，浅表位置裂缝宽度与延伸长度相对有限，纵深发育的裂缝会贯穿表层岩土体，不断增大竖向发育深度。裂缝分布格局呈现条带状与组团式交织的特点，采空区中心区域裂缝发育密度更高，周边区域裂缝发育密度逐步衰减。裂缝萌生时间紧跟地下采掘作业进程，会在开采扰动后逐步出现并持续扩张。岩土体内部应力持续调整会推动裂缝逐步贯通延伸，单一细小裂缝会逐步发育为连通性较好的裂缝带，持续改变表层岩土体的结构完整状态，弱化区域地质体整体稳定性。

2.4 其他次生地质灾害发育特征

矿山工程扰动会催生多种次生地质灾害，各类灾害的发育规律与矿区地质环境及开采模式紧密关联。矿区松散堆积体在水体冲刷与重力作用下会形成泥石流灾害，松散物质储备充足、地表汇水条件良好的区域更易触发此类灾害，整体表现为物质快速运移堆积的破坏形式。巷道及地下采场周边会出现围岩变形问题，围岩受应力调整影响产生挤压变形、结构错位等现象，变形程度会随开采空间拓展持续加剧。浅表岩土体在风化与扰动叠加作用下会出现岩土剥落，表层岩体逐层脱落破坏，长期侵蚀会逐步改变矿区原有地质形态。

3 矿山地质灾害影响因素与演化规律

3.1 地质条件对灾害发育的控制作用

各类原生地质要素能够从根本上约束矿山地质灾害的整体发育状态，主导灾害在矿区内部的分布格局与破

坏形态。褶皱构造会改变地层原始展布形态，造成岩层产状发生起伏变化，构造转折部位岩体受力状态更为复杂，灾害更容易在这类区域集中发育。断层与节理构造会割裂地层整体完整性，让连续岩体形成大量贯通性结构面，大幅降低地质体整体抗变形能力，直接限定灾害发育的空间范围。软弱岩层自身力学强度偏低，抵抗外力扰动的性能较弱，在外力作用下容易产生塑性变形与结构破损，主导灾害发育的规模强度^[3]。松散堆积层结构相对疏松，颗粒间胶结性能较差，整体稳定性偏弱，会提升岩土体滑移、坍塌等破坏行为的发生概率。不同类型地质要素相互组合搭配，持续制约矿区地质灾害的发育走向，规范各类破坏行为的具体表现形式。

3.2 工程活动对灾害发育的驱动作用

矿山各类工程生产行为是诱发地质灾害持续发展的核心外力来源，能够持续推动地质隐患持续活化与扩张。不同开采方式会对地层结构产生差异化扰动，露天开挖与地下采掘分别改变地表及地下岩体的稳定状态，促成不同类型地质破坏持续发生。开采深度的持续增加会改变地层原始应力平衡状态，深部岩体原本的稳定结构逐步被打破，地质形变的活跃程度会持续提升。开采范围的不断拓展会扩大地层扰动区域，让更多原生地质结构暴露于临空环境，增大地质灾害的发育空间。废渣堆放的堆积方式与堆积厚度会改变局部地表荷载分布状态，引发下部地层产生持续性形变偏移。工程参数的持续变动会不断加剧矿区地质扰动程度，推动地质灾害按照工程推进节奏持续发育演变。

3.3 环境因素对灾害发育的加剧作用

自然环境的动态变化会持续放大地质与工程因素的致灾效果，加快矿区地质结构的破损进程。大气降水会持续渗入浅表岩土体内部，弱化颗粒胶结性能，软化各类软弱结构面，让原本趋于稳定的地质体重新进入形变状态。温度的周期性波动会引发岩土体产生反复胀缩变化，加剧岩体表层风化破坏程度，逐步拓展岩土体内部裂隙网络。地下水动态变迁会改变岩土体内部的水文环境，水流渗透冲刷会带走细小颗粒，逐步扩大结构裂隙尺度，持续弱化地质体承载性能。环境变化产生的各类劣化作用，会和原生地质缺陷、工程扰动损伤相互叠加，进一步加剧矿区地质体的不稳定性，推动各类地质灾害持续加剧发展。

3.4 矿山地质灾害动态演化规律

矿山地质灾害的发育进程会跟随开采作业推进呈现清晰的阶段性特征，整体演变过程具备稳定的递进规律。矿区初始开采阶段的地层扰动强度相对有限，地质

体仅会出现局部轻微形变与细微结构破损,隐患影响范围相对局限。开采作业持续推进后,地层应力扰动范围不断扩大,岩土体结构破损程度逐步加深,局部破损会缓慢延伸扩散,形成规模化的地质隐患区域。各类内外致灾因素持续累积作用,会让零散的地质破损逐步衔接贯通,彻底打破局部地质平衡。

4 矿山地质灾害针对性防治技术与防控体系

4.1 灾害源头防控技术

矿山地质灾害源头防控依托前期工程规划与作业管控实现隐患前置规避,从根本上削减地质扰动带来的致灾隐患。开采规划的科学优化能够贴合矿区地质环境禀赋,匹配地层稳定特性布置开采作业区域,规避地质结构薄弱区域开展工程建设。合理调控各类开采作业参数可以弱化采掘活动对地层应力的扰动幅度,维持天然地质结构的基础稳定状态^[4]。工程布局的系统优化能够规整矿区作业空间分布,减少无序开挖与随意堆载造成的地质环境破坏。针对性开展岩土体原始结构保护工作,能够留存矿区原生地质平衡体系,减少岩土体破损与裂隙发育的生成条件。各类源头管控技术相互配合,能够有效清除大部分地质灾害的孕育基础,降低矿区地质隐患的滋生概率。

4.2 各类地质灾害专项治理技术

不同类型矿山地质灾害的发育特性存在差异,适配专业化治理技术能够实现精准化灾害治理。地面塌陷治理依托空洞充填、地层压实加固等技术修复破损地下空间,重塑地层承载结构,遏制地表形变持续发展。边坡失稳问题可通过坡面加固、结构锚固、岩土体修整等技术提升坡面整体稳定性,约束岩土体滑移与脱落行为。地裂缝治理依托裂隙封堵、岩土体固结补强等技术阻断裂缝延展路径,恢复浅表地层结构的完整性。矿区泥石流防控侧重水体疏导与松散物质固封,通过规整地表径流路径、固化松散堆积土体,削弱水体冲刷引发的物质运移破坏。分类适配的专项治理手段可以精准对应灾害破坏机理,提升矿区灾害治理的专业适配程度。

4.3 灾害动态防控与预警机制构建

常态化防控模式能够适配矿山地质灾害递进式的发育特点,实现地质隐患的全周期管控。布设全域监测手段可以持续捕捉矿区岩土体形变、水文环境变动等关键

数据,捕捉地质环境的细微变化趋势。依托实时监测数据开展风险预判分析,能够精准识别地质隐患的发育程度与演化走向。落实前置化干预举措可以在隐患初步发育阶段完成治理管控,避免小型隐患持续演化成大型地质灾害。多维度的管控环节相互衔接,构建覆盖开采全周期的防控框架,持续强化矿区地质灾害的主动防控能力。

4.4 矿区生态修复与灾害长效防控

生态治理手段能够重塑稳定的矿区地质生态环境,搭建地质灾害长效防控的基础体系。开展矿区破损岩土体修复作业可以补强弱化地质结构,提升地层整体抗扰动能力,改善区域地质稳定条件。推进坡面与空地植被恢复可以依托植物根系固持土体,减缓水土侵蚀速率,弱化自然环境对地质体的劣化作用。开展矿区地形重塑能够规整杂乱地貌形态,优化地表径流运移条件,消除局部易致灾地形短板^[5]。完善水文环境修复工作可以恢复矿区地下水循环体系,平衡岩土体含水状态,减少水体作用诱发的地质破损问题,依托生态稳态实现地质环境的长久稳固。

结束语

矿山地质灾害的发育是一个多因素耦合、多阶段递进的动态过程,天然地质缺陷与工程扰动的叠加效应决定了灾害的整体演化格局。源头防控、专项治理、动态预警与生态修复构成的技术体系,能够覆盖灾害从萌生到发展的全生命周期。将各类防治手段有机整合,不仅可以有效遏制灾害扩展,还能逐步恢复矿区地质生态平衡,实现矿产开发与地质环境保护的长期协调。

参考文献

- [1]张伟亮.双柏县矿山地质灾害特征与修复治理[J].中国井矿盐,2025,56(2):36-37.
- [2]徐一帆,何涛.贵州煤矿山分布与地质灾害发育特征研究[J].凯里学院学报,2025,43(3):63-69.
- [3]王勇宏.基于大数据下山西省矿山地质灾害分布特征及预警防治措施[J].中国金属通报,2022(13):144-146.
- [4]李阳.矿山地质灾害类型划分与防治对策研究[J].中国金属通报,2026(7):107-109.
- [5]李晋波.智能监测系统在矿山地质灾害防治中的应用[J].凿岩机械气动工具,2026,52(3):192-194.