

煤矿地质灾害防治研究

苑成群

乌海市裕隆利胜矿业有限公司 内蒙古 乌海 016000

摘要: 煤矿地质灾害由地质环境本底与开采扰动共同引发, 涵盖顶板灾害、水害等多种类型。文章围绕灾害形成机制展开分析, 构建地质环境基础监测与动态实时监测相结合的技术体系, 运用数据融合与智能算法提升预警精度。同时建立科学风险评估指标体系, 针对性提出顶板支护、水害综合防治等治理技术, 形成“监测-预警-评估-治理”的闭环防控模式, 为煤矿地质灾害精准防控提供理论与实践支撑。

关键词: 煤矿地质灾害; 灾害防治; 监测预警; 风险评估; 工程治理

引言: 煤矿地质灾害是制约煤炭行业安全高效发展的关键因素, 其发生具有隐蔽性、突发性与破坏性等特点, 严重威胁井下作业人员生命安全与矿区生态环境。深入探究灾害类型及形成机制, 构建完善的监测预警体系, 科学开展风险评估与工程治理, 是实现煤矿安全生产的必然要求。基于此, 本文从灾害成因、监测预警、风险评估及治理技术等方面展开系统研究, 为煤矿地质灾害防治提供可行路径。

1 煤矿地质灾害类型及形成机制

煤矿地质灾害的发生是地质环境本底条件与开采扰动共同作用的结果, 不同地质条件与开采方式对应不同灾害类型。常见灾害主要包括顶板灾害、底板水害、瓦斯突出、边坡失稳及地面塌陷等。顶板灾害多因开采后围岩应力重新分布, 顶板岩层失去支撑, 在重力作用下发生垮落或冒顶, 其形成与岩层岩性、厚度、裂隙发育程度及开采厚度密切相关。底板水害源于开采导致底板隔水层完整性破坏, 地下水突破隔水层涌入采掘空间, 与区域水文地质条件、隔水层厚度及开采扰动强度直接相关。瓦斯突出是煤体中吸附瓦斯在应力作用下瞬间释放的现象, 受煤体结构、瓦斯含量、地应力等因素综合影响。边坡失稳常见于露天煤矿, 因边坡开挖改变原始地形, 在自重、降雨及地震等因素作用下发生滑坡或崩塌。地面塌陷则是地下采空区顶板垮落引发的地表沉降, 影响范围与采空区规模、岩层稳定性相关^[1]。

2 煤矿地质灾害监测预警技术体系

2.1 地质环境基础监测

地质环境基础监测聚焦地层结构、水文地质条件及应力状态等核心要素, 为灾害成因分析与风险预判提供基础数据。地层结构监测可采用钻孔窥视、地质雷达探测等技术, 直观获取岩层岩性、裂隙发育程度及围岩变形情况, 明确灾害易发性区域。水文地质监测重点监

测地下水水位、流量、水质及水压变化, 通过布设水位观测孔、流量监测站等设施, 实时掌握地下水动态, 预判底板水害、地面塌陷等灾害的发生风险。应力状态监测可采用应力计、应变计等设备, 监测围岩应力分布及变化规律, 捕捉应力集中、突变等异常信号, 为顶板灾害、瓦斯突出等灾害预警提供依据。

2.2 灾害动态实时监测

灾害动态实时监测针对已识别的灾害隐患点, 开展高精度、高频次的动态跟踪监测。针对顶板灾害, 可采用顶板离层仪、锚杆测力计等设备, 监测顶板下沉量、离层值及锚杆受力情况, 当监测数据超过预警阈值时, 及时发出预警信号。针对瓦斯突出, 采用瓦斯浓度传感器、瓦斯抽采监测系统等, 实时监测采掘空间及煤体中瓦斯含量、浓度变化, 结合地应力监测数据, 构建瓦斯突出预警模型。针对边坡失稳, 采用GNSS定位、InSAR干涉测量等技术, 监测边坡位移量及变化速率, 结合降雨、地震等外部触发因素, 实现边坡滑坡、崩塌的动态预警。针对地面塌陷, 可采用地表沉降观测桩、激光测距等设备, 监测地表沉降范围与沉降速率, 预判塌陷发展趋势。

2.3 监测数据融合与分析

单一监测技术存在数据片面性, 需通过数据融合与分析技术, 整合多源监测数据, 提升预警准确性。构建监测数据管理平台, 实现地质环境基础监测、灾害动态实时监测等多维度数据的集中存储、统一管理与同步更新。采用数据清洗、去噪等预处理技术, 剔除异常数据, 保障数据质量。运用机器学习、深度学习等算法, 挖掘监测数据与灾害发生之间的内在关联, 构建多因素耦合的灾害预警模型, 实现对灾害发生时间、地点及规模的精准预判。同时, 结合历史灾害数据, 对预警模型进行迭代优化, 提升模型适配性与预警精度^[2]。

2.4 预警信息发布与传递

预警信息发布与传递是保障预警效果的关键环节,需构建高效、便捷的信息传递机制,确保预警信息及时送达相关责任主体。建立分级预警机制,根据灾害风险等级,划分不同预警级别,明确各级预警对应的响应措施。通过矿山调度系统、移动终端APP、声光报警设备等多种渠道,实现预警信息的多途径发布。同时,完善预警信息传递流程,明确信息传递责任主体与时限要求,确保预警信息从监测中心快速传递至采掘一线、调度部门及管理团队,为及时采取防控措施提供保障。

3 煤矿地质灾害风险评估与治理技术

3.1 风险评估指标体系构建

风险评估作为煤矿地质灾害精准防控的前提,它可实现对灾害风险的定量研判与等级划分。指标体系构建需立足煤矿地质环境本底特征、开采技术实际和灾害类型差异,系统性选取影响灾害孕育、发生、发展的关键驱动因素,保证评估客观且有针对性和实用性。结合生产实践,该体系可划分为地质环境本底、开采扰动、灾害隐患及防控能力四大核心维度,形成全方位、多层次框架。地质环境本底指标是基础,涵盖岩层岩性、地质构造、水文地质条件、地形地貌等,直接体现区域地质环境的固有脆弱性。比如,断裂构造发育区灾害多发,富水地层水害风险高。开采扰动指标关注人为活动对地质环境的干扰,像开采厚度、强度、采掘布局 and 支护方式等。高强度开采、不合理布局易使围岩应力失衡,引发顶板垮落、地面塌陷等灾害。灾害隐患指标聚焦已存在的风险点,通过隐患点数量、规模、发育程度及变化趋势等数据,直观呈现灾害现实威胁程度。防控能力指标衡量矿山应对灾害的综合水平,包括监测预警精度、治理技术适配性、应急处置效率等,是降低灾害损失的关键。在指标权重确定上,可采用层次分析法结合熵权法,兼顾专家经验与数据客观性,再用模糊综合评价法构建评估模型,将风险划分为高、中、低三个等级,为后续精准落实治理措施提供依据^[3]。

3.2 顶板灾害治理技术

顶板灾害治理需遵循“主动防控、因地制宜、动态调整”原则,结合顶板岩层特性与开采条件,构建综合治理体系。(1) 支护加固是顶板灾害防控的核心手段,要根据顶板稳定性差异选适配技术。对于岩层破碎、稳定性差的区域,采用锚杆+锚索+金属网联合支护模式。锚杆锚固浅层岩层,锚索提拉深层稳定岩层,金属网拦截碎块岩层,形成多层次支护结构,大幅提升顶板整体承载能力。在厚煤层开采或顶板裂隙发育严重的场景,

注浆加固技术效果突出。向顶板岩层注入水泥基或化学浆液,填充裂隙、胶结破碎岩体,增强岩层完整性与抗压强度,从根源上降低垮落风险。(2) 卸压减载技术可主动调整应力分布,减少顶板荷载与应力集中。开采参数优化是其中一种方式,通过控制开采厚度、采用分层开采等手段,降低单次开采对顶板的扰动。顶板预裂爆破则是另一种有效方式,定向爆破在顶板岩层形成人工裂隙,引导顶板缓慢垮落,避免应力突然释放引发冒顶事故。(3) 还需配套建立顶板动态监测系统,利用顶板离层仪、锚杆测力计等设备,实时监测顶板下沉量、离层值及锚杆受力变化。一旦数据接近或超过预警阈值,及时调整支护参数与开采节奏,实现顶板灾害的动态防控,切实保障井下采掘作业的安全有序进行。

3.3 水害治理技术

水害是煤矿安全生产的重大威胁,其治理遵循“探、防、堵、截、排”综合方针,结合矿区水文地质条件,构建“源头管控、过程阻断、末端疏导”的多维度防控体系,实现全链条治理。(1) “探”是水害防控前置环节,运用物探、钻探、化探等综合技术,精准查明地下水赋存层位、隔水层厚度、导水通道位置及富水区域分布,为后续治理提供地质依据。其中,超前探水钻孔是井下采掘前必要工序,能有效规避未知水害风险。(2) “防”注重源头预防,合理规划采掘工作面布局,避开地下水富集区与导水构造;加强底板隔水层保护,控制开采扰动对隔水层的破坏;采掘时实施超前注浆加固,提升隔水层抗渗透能力,降低水害发生概率。(3) “堵”针对导水通道与富水区域,采用水泥浆、化学浆液等注浆封堵,构建隔水帷幕,阻断地下水渗透路径。对裂隙发育的导水通道,用复合浆液提升封堵效果,确保隔水可靠。(4) “截”与“排”侧重末端疏导。地面布设截水沟、排水渠,拦截地表径流,减少地下水补给;井下构建分级排水系统,在采掘工作面、巷道低洼处布设排水泵与管路,及时排出积水。高水压区域通过排水钻孔排水降压,将地下水压力控制在安全范围。(5) 建立水文地质动态监测系统,实时跟踪地下水水位、水压、流量变化,结合采掘进度动态调整治理措施,形成“探测-防控-治理-监测”的闭环管理模式^[4]。

3.4 瓦斯突出治理技术

瓦斯突出治理以“先抽后采、监测预警、综合治理”为准则,结合煤体结构、瓦斯赋存及地应力分布,构建“抽采减源、加固稳体、卸压增透、预警防控”的全方位体系。(1) 瓦斯抽采是降低风险根本措施,依瓦斯赋存深度、含量及渗透性选适配方式。高瓦斯、深部

煤层采用地面钻井抽采,地面钻孔直达富集层位,负压抽采高效回收瓦斯,降低井下压力;井下抽采针对采掘面及周边煤体,用顺层、穿层钻孔,精准抽采工作面前方及巷道两侧瓦斯,定向钻孔可提升抽采范围与效率。

(2)煤体加固增强其稳定性,减少突出诱因。向煤体注入高分子化学或水泥浆液,胶结裂隙,提升抗压强度与整体性,配合锚杆支护,抑制破碎变形。(3)卸压增透通过破坏煤体致密结构、降低地应力,提升透气性助力抽采。常用水力压裂与松动爆破,水力压裂用高压水流切割煤体形成裂隙网络,松动爆破以定向爆破实现煤体卸压,均能显著提升抽采效率。(4)监测预警是防控关键环节。布设瓦斯浓度传感器、地应力监测仪等设备,实时采集数据,结合机器学习算法构建多因素耦合预警模型。数据异常突变时,及时预警,联动停止采掘作业,启动应急处置流程,实现精准防控。

3.5 边坡失稳与地面塌陷治理技术

边坡失稳(常见于露天煤矿)与地面塌陷(常见于井工煤矿)严重威胁矿区地表设施及周边生态环境,治理需遵循“分类施策、标本兼治、动态监测”原则,依据地形地貌、岩性特征及灾害发育程度构建针对性治理体系。(1)边坡失稳治理以提升坡体稳定性为核心,采用支挡加固、排水防渗、削坡减载三大技术。支挡加固方面,土质边坡可设置挡土墙、抗滑桩,岩质边坡采用锚杆+锚索格构支护,利用支挡结构抵消坡体下滑力,增强抗滑稳定性;对裂隙发育的坡体,用注浆加固填充裂隙、胶结岩体,提升整体性。排水防渗是重要辅助手段,在边坡顶部布设截水沟、坡面铺排水沟、坡脚设渗沟,及时排出地表径流与地下水,减少水对坡体的软化与渗透破坏,坡面铺设防渗膜可降低雨水下渗量。削坡减载通过降低边坡坡度、移除上部荷载,减少坡体自

重,降低下滑风险,适用于坡体坡度大、上部荷载集中的区域。(2)地面塌陷治理旨在恢复地表稳定性、消除隐患,采用回填夯实与注浆加固结合技术。小型、浅层采空区用矸石、沙土等废料回填夯实,快速恢复地表承载能力;大型、深层采空区采用高压注浆加固,注入水泥浆或复合浆液填充空隙、胶结地层,提升地层整体稳定性。同时,构建边坡位移与地表沉降动态监测系统,运用GNSS定位、InSAR干涉测量、沉降观测桩等技术,实时跟踪变化,及时发现风险隐患并调整治理措施,来保障矿区及周边区域安全^[5]。

结束语

煤矿地质灾害防治需立足地质环境与开采实际,精准把握不同灾害类型的形成规律。监测预警体系的构建需整合多源技术手段,通过数据融合分析实现灾害精准预判。风险评估指标体系应兼顾地质本底与人为扰动因素,治理技术需遵循分类施策原则,采用支护加固、注浆封堵等手段实现标本兼治。全方位、多层次的灾害防治体系,能够有效降低灾害发生概率,推动煤炭行业向安全化、绿色化方向发展。

参考文献

- [1]刘华山.煤矿地质灾害防治研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(13):187-189.
- [2]宋小刚.煤矿冲击地压地质灾害防治技术研究[J].能源与节能,2025(3):130-132+181.
- [3]吕浩华.煤矿采空区地质灾害特征分析及防治措施研究[J].西部探矿工程,2025,37(5):75-77.
- [4]刘阳.煤矿地质灾害防治研究[J].西部探矿工程,2023,35(8):95-97.
- [5]杨强,李东东,徐智颖.煤矿地质灾害特征与防治技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(4):181-183.