

# 采矿区工程地质条件评价与灾害防控研究

翁 贵 王 恒

内蒙古准格尔旗力量煤业有限公司大饭铺煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 010399

**摘 要：**采矿区工程地质条件复杂，地质灾害频发。本文首先分析地质构造、水文地质特征，进行工程地质分区；接着阐述地面变形、地下及次生灾害类型与成因；然后构建包含监测预警、防治工程、应急管理技术的防控体系；最后提出风险管理体系构建、协同作业机制、人员培训与文化建设等防控管理策略。通过全面研究，为采矿区灾害防控提供科学依据，保障采矿作业安全有序开展。

**关键词：**采矿区；工程地质条件；地质灾害；防控技术；管理策略

引言：采矿活动在推动经济发展同时，也面临诸多地质灾害威胁。采矿区地质构造复杂，断层、褶皱影响稳定性；水文地质条件多变，水岩作用改变岩体性质。这些因素相互作用，易引发地面塌陷、冒顶、突水等灾害，严重威胁采矿作业安全与人员生命。深入研究采矿区工程地质条件评价与灾害防控，明确灾害类型与成因，构建防控体系与管理策略，对保障采矿安全、实现可持续发展意义重大。

## 1 采矿区工程地质条件评价

### 1.1 地质构造特征分析

断层与褶皱系统是影响采矿区稳定性的核心构造因素，不同断层类型在规模和活动性上存在差异，直接作用于采矿作业的安全稳定状态。褶皱形态主导区域应力分布态势，平缓褶皱区域应力分布均匀，复杂褶皱区域易形成应力集中带，给采矿工程带来潜在风险<sup>[1]</sup>。岩体结构特征主要通过节理裂隙发育情况和空间展布体现，裂隙密集程度和延伸方向决定岩体受力性能，影响采矿过程中岩体的抗破坏能力。岩体完整性指数反映岩体完整程度，结合工程分类标准，可明确岩体在采矿作业中的适配性，为采矿工艺选择提供地质依据。地层岩性组合呈现不同软硬岩层的搭配特征，软硬岩层交互过程中易产生应力差异，引发岩层变形或破坏。特殊岩性具备独特工程特性，膨胀岩遇水易发生体积膨胀，软岩强度较低且易风化软化，均会对采矿工程稳定性产生不利影响。

### 1.2 水文地质条件评价

地下水系统特征主要体现于含水层与隔水层的空间展布格局。二者分布范围和厚度存在差异，这种差异直接决定了地下水的赋存状态。地下水补给、径流、排泄系统构成完整的水循环过程，补给来源以及排泄路径会直接影响地下水位变化，而这种变化又会进一步作用于采矿区地质环境。水岩相互作用会改变岩体物理力学

性质。在地下水渗透过程中，岩体强度会被弱化，其抗剪、抗压能力随之降低，这无疑会增加采矿工程风险。进行突水危险性预测时，需结合水文地质参数，构建科学合理的预测模型，如此才能精准判断采矿过程中突水隐患的发生概率。除了地下水系统对采矿的影响外，地表水体与采矿区的相互作用也不容忽视。具体而言，地表水体与采矿区的空间距离和位置关系，是影响采矿作业安全性的重要因素。地表水渗漏通道的分布情况，直接关系到地表水是否会渗入采矿区。一旦地表水渗入，就可能引发地下水水位异常升高，进而威胁采矿安全。

### 1.3 工程地质分区

工程地质分区需遵循明确的原则与方法，地质条件相似性原则要求将地质特征相近的区域划分为同一类别，差异性原则则注重区分不同区域的地质差异，确保分区合理性。多因素综合分析法整合地质构造、水文地质等各类相关因素，全面考量各因素对采矿工程的影响，提升分区科学性。分区类型根据地质条件差异划分为稳定区、较稳定区、不稳定区，不同分区设定明确的划分标准，结合区域地质构造、岩体完整性、水文条件等参数确定。各分区工程地质参数阈值明确，稳定区岩体完整性高、水文条件简单，参数符合采矿工程安全要求；较稳定区存在轻微地质或水文隐患，参数处于安全合理范围；不稳定区地质构造复杂、水文条件恶劣，参数超出安全阈值，需采取针对性防控措施，为采矿工程布局、风险防控提供精准的分区依据，保障采矿作业有序开展。

## 2 采矿区地质灾害类型与成因机制

### 2.1 主要地质灾害类型

#### 2.1.1 地面变形灾害

地面变形灾害作为采矿区最为普遍且危害显著的灾害形式，严重破坏地表生态与基础设施。地面塌陷表现

为地表局部向下凹陷,破坏地表完整性和原有地貌形态。地面沉降多呈现区域性缓慢下沉,长期发展会导致地表建筑物开裂、基础设施损坏<sup>[2]</sup>。地面裂缝延伸范围广、深度不一,易加剧地表水体渗漏和地下水流失。山体滑坡表现为山体岩土体沿一定滑动面整体下滑,滑动速度受岩土体性质和受力状态影响差异较大。山体崩塌则是岩土体在重力作用下突然脱离母体,快速坠落堆积,破坏范围集中且破坏力极强。

### 2.1.2 地下灾害

地下灾害直接对采矿作业人员的安全构成严重威胁,严重影响采矿工程的正常推进。巷道失稳表现为巷道围岩变形、片帮,严重时会导致巷道断面缩小甚至堵塞。冒顶是地下采矿中常见灾害,围岩因受力失衡发生脱落坠落,阻碍采矿作业推进。矿井突水表现为地下水突然大量涌入矿井,破坏采矿作业环境,甚至引发安全事故。矿井泥石流多由地下水携带岩土碎屑形成,流动速度快、裹挟能力强,易堵塞巷道和设备。

### 2.1.3 次生灾害

次生灾害多由主灾害诱发产生,其危害范围和程度往往超出主灾害本身,进一步加剧采矿区的灾害状况。瓦斯爆炸是采矿区重大安全隐患,瓦斯积聚到一定浓度后遇火源引发爆炸,破坏范围广且危害性极大。煤尘灾害源于采矿过程中产生的煤尘堆积,煤尘飞扬不仅危害作业环境,达到临界浓度后还可能引发爆炸。地热灾害表现为矿井内温度异常升高,影响作业人员身体健康和作业效率。有害气体积聚是地下采矿常见隐患,各类有害气体浓度超标会引发人员中毒,破坏采矿作业安全环境。

## 2.2 灾害成因机制分析

### 2.2.1 自然因素

自然因素是地质灾害发生的基础条件,为地质灾害的发生提供了潜在的背景和可能性。地质构造运动中地震活动会破坏岩体完整性,导致岩土体稳定性下降,诱发各类地质灾害,地震产生的强大震动能量会使岩体产生裂缝、错动等,改变岩体的原有结构。断层活化会加剧岩体破碎程度,增加灾害发生概率,断层活化后,岩体之间的连接变得松散,更容易发生滑动、坍塌等现象。气象水文条件中降雨是重要诱发因素,持续降雨会增加岩土体含水量,降低岩土体强度,诱发地面变形和山体滑坡,雨水渗入岩土体后,会润滑岩土体颗粒之间的摩擦力,使其更容易发生位移。融雪产生的水流会渗透到岩土体内部,破坏岩土体结构,尤其在山区易引发崩塌和滑坡灾害。

### 2.2.2 人为因素

人为因素是采矿区地质灾害发生的主要诱因,随着采矿规模和强度的不断增大,人为因素对灾害发生的影响愈发显著。采矿方法选择不当会破坏岩体原有应力平衡,导致岩土体受力失衡引发灾害。工程布置不合理会加剧局部应力集中,增加巷道失稳和冒顶风险。支护强度不足无法抵御围岩压力,围岩变形加剧后易引发地下灾害。施工工艺不规范会破坏岩体完整性,降低岩土体抗破坏能力。排水系统设计存在缺陷会导致地下水无法及时排出,地下水位异常升高,加剧岩体软化,诱发矿井突水和地面变形灾害。

## 3 采矿区灾害防控技术体系

### 3.1 监测预警技术

监测预警技术是采矿区灾害防控的基础,多源数据融合监测整合各类监测数据,实现对采矿区地质环境的全面感知和精准监测<sup>[3]</sup>。地质雷达可精准探测地下岩体结构异常,微震监测能捕捉岩体微小震动信号,分布式光纤传感可实时监测岩体变形和温度变化,三者协同提升监测覆盖面和准确性。地下水动态监测网络覆盖采矿区关键区域,实时跟踪地下水位、水量和水质变化,及时捕捉异常波动信号。灾害预警模型构建结合监测数据和地质条件,实现对灾害发生趋势的精准预判。基于机器学习的塌陷预测通过分析历史数据和实时监测信息,提升塌陷灾害预判的及时性和可靠性。滑坡位移时间降雨耦合模型结合滑坡位移变化、时间演进和降雨情况,精准捕捉滑坡灾害诱发规律,为预警发布提供科学支撑。

### 3.2 防治工程技术

防治工程技术针对不同类型灾害构建针对性防控体系,地面灾害防治聚焦地面变形和山体灾害防控。注浆加固通过向岩体裂隙注入加固材料,提升岩体完整性和强度,减少地面变形风险。抗滑桩支护可有效阻挡山体岩土体滑动,增强山体稳定性,遏制滑坡和崩塌发生。地表排水系统优化完善排水路径,提升地表水排出效率,减少地表水渗透对岩体的不利影响。地下灾害防治重点保障地下采矿安全,巷道支护结构优化采用锚杆锚索喷混凝土联合支护模式,增强巷道围岩承载力,遏制巷道失稳和冒顶。突水水源截断通过构建隔水屏障阻断突水来源,疏干工程降低地下水位,减少矿井突水隐患。次生灾害防控聚焦各类衍生灾害,瓦斯抽采可降低矿井内瓦斯浓度,通风系统优化加快瓦斯排出,杜绝瓦斯积聚隐患。地热降温采用专业降温设备降低矿井内温度,有害气体净化通过净化设备处理矿井内有害气体,保障作业环境安全。

### 3.3 应急管理技术

应急管理技术为采矿区灾害处置提供保障,应急预案制定结合采矿区灾害类型和风险等级,明确灾害处置流程和责任分工,确保灾害发生后处置工作有序推进。灾害分级响应机制根据灾害严重程度划分不同响应等级,对应不同处置措施和资源调配方案,提升应急处置针对性和效率。避灾路线规划结合采矿区布局和灾害风险分布,设计科学合理的逃生路线,标识系统清晰标注路线方向和安全区域,引导作业人员快速撤离。救援装备与技术配备适配采矿区灾害特点,生命探测仪可快速定位被困人员位置,快速掘进设备能打通救援通道,加快救援进度。应急排水系统可快速排出矿井内积水,缓解突水灾害影响,应急供电保障系统确保灾害发生后救援设备和排水系统正常运行,为救援工作提供稳定动力支撑,最大限度降低灾害造成的损失。

#### 4 采矿区灾害防控管理策略

##### 4.1 风险管理体系构建

风险管理体系构建是采矿区灾害防控的核心支撑,风险识别与评估贯穿采矿全流程,聚焦各类灾害潜在隐患,实现隐患精准排查与风险科学研判<sup>[4]</sup>。灾害隐患点动态排查常态化开展,定期对采矿区重点区域、关键环节进行全面排查,及时发现新增隐患、跟踪隐患变化,确保隐患早发现、早处置。风险矩阵法量化评估通过科学划分风险等级,明确不同风险等级的管控重点,提升风险评估的客观性和实用性,为防控措施制定提供可靠依据。风险控制措施注重针对性和可操作性,工程治理与监测预警有机结合,既通过工程手段从根源上降低灾害风险,又通过监测预警及时捕捉风险异常,形成防控闭环。限产停产与避让搬迁决策根据风险等级和隐患严重程度科学制定,风险过高时及时采取限产停产措施,避免灾害扩大,对受灾害威胁严重的区域合理规划避让搬迁,从空间上规避灾害风险。

##### 4.2 协同作业机制

协同作业机制能够提升灾害防控整体效能,开采与掘进协同聚焦采矿全流程衔接,优化空间布局设计,合理安排开采与掘进的时间序列,避免施工过程中相互干扰,减少应力集中和岩体破坏。设备配套与通信控制系统同步完善,根据采矿工艺和防控需求配置适配设备,搭建高效通信控制系统,确保设备运行协调、信息传递畅通,提升作业效率和防控能力。多部门协同管理打破部门壁垒,地质、采矿、安全部门加强信息共享,实现

地质条件、采矿进度、安全隐患等信息实时互通,避免信息脱节导致防控漏洞。应急指挥与资源调配平台统筹整合各类资源,明确各部门应急职责,实现应急指令快速传达、应急资源高效调配,提升灾害应急处置的整体性和及时性。

##### 4.3 人员培训与文化建设

人员培训与文化建设筑牢灾害防控人文基础,专业技能培训聚焦作业人员核心能力提升,重点开展灾害识别与应急处置能力培训,让作业人员熟练掌握灾害前兆特征和应急处置流程,提升应对突发灾害的实战能力。新技术装备操作规范培训同步推进,确保作业人员熟练掌握各类防控设备和新技术的操作方法,充分发挥装备和技术的防控效能<sup>[5]</sup>。安全文化建设常态化推进,强化风险意识教育,通过多种形式传递安全理念,强化作业人员安全敬畏之心。安全绩效考核与激励机制不断完善,将安全防控工作纳入绩效考核,对防控工作成效显著的個人和团队给予激励,对违规操作、防控不力的进行约束,引导全员主动参与灾害防控,形成人人重安全、守安全的良好氛围。

##### 结束语

采矿区工程地质条件评价与灾害防控研究是一项长期且复杂的任务。通过全面分析地质条件,精准识别灾害类型与成因,构建完善的技术体系与管理策略,可有效降低灾害发生风险。持续强化风险管理体系运行,优化协同作业机制,加强人员培训与安全文化建设,能进一步提升采矿区灾害防控能力,保障采矿作业安全稳定进行,推动采矿行业健康有序发展。

##### 参考文献

- [1]郑国凯.基于煤矿开采的水文地质与涌水量评价研究[J].矿业装备,2023(11):102-104.
- [2]靳晓,杨栓成,王东升,等.西南采矿集中区高位地质灾害危险性评价研究[J].中国金属通报,2024(19):32-34.
- [3]杨帆,范毅,徐定芳,等.湘潭某大型锰矿矿区地面塌陷成因及危险性评估与防治策略[J].中国地质调查,2025,12(3):85-96.
- [4]丁立勇.矿山工程地质勘查及地质灾害治理对策研究[J].世界有色金属,2022(19):157-159.
- [5]李辰罡,王学治,赵腾云,等.矿山地质环境综合评价研究[J].西部探矿工程,2024,36(02):135-138+141.