

# 煤矿地质灾害防治研究

崔波 王爱明

陕西省煤层气开发利用有限公司 陕西 榆林 719000

**摘要:** 本文聚焦煤矿地质灾害防治,系统分析瓦斯、水害、顶板等主要灾害类型及突发、关联、破坏性等共性特征,结合深部、浅部、露天矿区的差异性,剖析自然地质、人为开采及气候、管理等致灾因素与机理。构建全方位监测预警体系,提出针对性防治及应急处置技术,为破解煤矿地质灾害防控难题、降低灾害损失、保障矿井安全生产、推动矿区可持续发展提供理论支撑与实践指导。

**关键词:** 煤矿地质; 灾害监测预警; 灾害防治

引言: 煤炭作为我国核心能源,其安全高效开采关乎国家能源安全与矿区人员生命财产安全。当前,煤矿开采过程中瓦斯爆炸、矿井突水、顶板垮塌等地质灾害频发,受自然地质条件与人为开采扰动双重影响,灾害防控难度较大,严重制约煤矿行业高质量发展。因此,深入研究煤矿地质灾害的类型、致灾机理及防治技术,构建科学完善的防控体系,具有重要的现实意义与应用价值。

## 1 煤矿地质灾害类型及特征分析

### 1.1 煤矿主要地质灾害类型

(1) 瓦斯灾害: 包括瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出等,是煤矿最具危险性的灾害之一,严重威胁人员生命和矿井安全。瓦斯爆炸是瓦斯在空气中浓度达到5%~16%的爆炸极限时,遇火源引发的剧烈燃烧爆炸,典型特征是瞬间产生高温高压,破坏矿井设施并造成大量人员伤亡;煤与瓦斯突出则是煤体与瓦斯突然大量喷出,具有突发性强、破坏力大的特点。(2) 水害灾害: 包括矿井突水、透水等,主要水源为地下水(如奥灰水、裂隙水)和地表水(如河流、雨水)。当矿井开采破坏隔水层或遇到导水构造时,水源会突然涌入矿井,造成巷道被淹、设备损毁,甚至导致人员被困,严重时会使矿井停产关闭。(3) 顶板灾害: 包括顶板垮塌、冲击地压等,多发生在采空区、深部开采区域及巷道掘进过程中。顶板垮塌表现为煤层顶板岩层脱落、冒落,易掩埋作业人员和设备;冲击地压是高地应力作用下煤岩体突然释放能量引发的冲击现象,会造成巷道变形、设备损坏,甚至诱发其他灾害<sup>[1]</sup>。

### 1.2 煤矿地质灾害的共性特征

(1) 突发性: 多数煤矿地质灾害发生突然,预警时间极短,如瓦斯爆炸、矿井突水等,受地质条件、开采扰动等因素影响,难以提前精准预判,一旦发生,往往造成严重的人员伤亡和财产损失。(2) 关联性: 不同类

型地质灾害相互影响、相互诱发,形成连锁效应。例如,地质构造复杂区域,易同时出现瓦斯富集、顶板破碎及地下水异常,一旦发生一种灾害,可能引发其他灾害叠加,扩大破坏范围。(3) 破坏性: 地质灾害不仅会直接造成人员伤亡和矿井设备损毁,还会破坏矿区生态环境,如顶板垮塌引发地表塌陷,导致土地荒芜、植被退化,影响矿区可持续发展。

### 1.3 不同矿区地质灾害的差异性特征

(1) 深部矿区: 以冲击地压、热害、瓦斯突出等灾害为主。因埋深较大,高地应力集中、矿井温度升高,导致煤岩体稳定性下降,瓦斯吸附量增加,灾害发生频率和强度更高,且防控难度更大。(2) 浅部矿区: 以顶板垮塌、水害等灾害为主,受地质构造、地下水分布及开采扰动影响显著。浅部岩层压力较小,但岩层完整性较差,开采易导致顶板失稳,且地表水、浅层地下水易渗入矿井引发水害。(3) 露天矿区: 以边坡失稳、滑坡、台阶垮塌等灾害为主,受重力、降雨、爆破振动等因素影响较大。露天边坡长期受自然侵蚀和人为扰动,易出现边坡滑移、台阶垮塌,威胁作业人员和设备安全。

## 2 煤矿地质灾害致灾机理及影响因素

### 2.1 自然地质因素致灾机理

(1) 地质构造因素: 断层、褶皱、陷落柱等地质构造是诱发煤矿地质灾害的核心自然因素,其核心致灾机理是破坏煤层和岩层的连续性与完整性,导致应力异常集中、瓦斯富集。其中,断层会割裂岩体,形成导水通道和瓦斯聚集区,易引发水害和瓦斯突出;褶皱区域岩层受挤压或拉伸,完整性差、应力集中,易发生顶板垮塌;陷落柱多伴随岩体破碎,易导通地下水,诱发矿井突水,同时破坏瓦斯运移通道,加剧瓦斯灾害风险。(2) 岩土体性质因素: 煤层、岩层的物理力学性质直接决定其稳定性,是致灾的基础条件。若岩层硬度低、抗剪强

度差,开采时易发生破碎、冒落,诱发顶板灾害;煤层透气性差会导致瓦斯难以排出,易形成瓦斯富集区,增加瓦斯爆炸和突出风险;岩土体破碎、孔隙度大则会加剧地下水渗透,降低岩体稳定性,同时为瓦斯聚集提供空间,诱发多种灾害叠加<sup>[2]</sup>。(3)水文地质因素:地下水的分布、水位变化及渗流特征通过改变岩土体状态和瓦斯运移规律致灾。地下水渗流会软化岩土体,降低其抗剪强度,导致岩体失稳,引发顶板垮塌和边坡滑坡;地下水位上升会导通导水构造,引发矿井突水;同时,地下水的流动会携带瓦斯,导致瓦斯异常涌出,或在水体压力作用下,推动煤体与瓦斯突出,形成水害与瓦斯灾害联动。

### 2.2 人为开采因素致灾机理

(1)开采方式不当:不合理的采掘顺序、过大的开采强度及过快的工作面推进速度,会打破原有的地质应力平衡,导致围岩应力重新分布。采掘顺序混乱会造成应力叠加,开采强度过大会超出岩体承载能力,推进速度过快则使围岩无法及时稳定,均易诱发顶板垮塌、冲击地压等灾害,同时可能破坏隔水层和瓦斯通道,引发水害、瓦斯灾害。(2)开采扰动影响:煤矿开采过程中,采掘作业会对煤层和围岩产生强烈扰动,破坏地质环境的自然平衡。这种扰动会导致岩体裂隙增多、破碎程度加剧,使瓦斯易从裂隙中异常涌出,同时降低岩土体稳定性,引发岩体变形、位移,增加顶板灾害、水害的发生概率,形成“开采扰动—地质环境破坏—灾害诱发”的连锁反应。(3)防治措施不到位:防治措施的缺失或不完善是灾害发生的重要人为诱因。通风系统不完善会导致瓦斯积聚,无法及时排出,增加爆炸风险;支护结构不合理、强度不足,无法支撑围岩压力,易引发顶板垮塌;监测预警不及时,无法提前发现瓦斯、水位、岩体应力等异常变化,导致灾害发生时无法及时处置,加剧灾害危害程度。

### 2.3 其他影响因素分析

(1)气候因素:降雨、暴雨等天气主要通过改变岩土体含水量致灾,对露天矿区和地下矿区影响存在差异。对露天矿区,暴雨会大幅增加边坡岩土体含水量,降低抗剪强度,诱发边坡失稳、滑坡和台阶垮塌;对地下矿区,降雨会渗入地下,抬高地下水位,加剧矿井水害风险,同时雨水渗透会软化地表岩体,可能诱发地表塌陷,间接影响地下开采安全。(2)管理因素:安全管理制度不健全、人员操作不规范、技术培训不足,会从管理层面增加灾害发生风险。管理制度缺失导致灾害隐患排查不彻底,易遗留瓦斯、水害、顶板等隐患;人员操作不

规范会直接触发灾害,如违规爆破、违规作业等;技术培训不足导致作业人员缺乏灾害防范意识和应急处置能力,隐患出现时无法及时识别,灾害发生时处置不当,进一步扩大灾害损失。

## 3 煤矿地质灾害监测预警及综合防治技术

### 3.1 煤矿地质灾害监测技术体系

(1)瓦斯监测技术:核心是实现瓦斯浓度的实时监控与异常预警,构建“自动化监测+人工巡检”的双重监测体系。井下关键采掘区域、回风巷、工作面等重点位置,均安装瓦斯传感器,接入矿井自动化监测系统,实时采集瓦斯浓度数据,当浓度接近预警阈值时自动报警;同时,一线作业人员配备便携式瓦斯检测仪,开展常态化人工检测,重点排查传感器盲区,弥补自动化监测的不足,确保瓦斯浓度监测无死角,防范瓦斯爆炸、突出等事故。(2)水害监测技术:以掌握地下水动态变化为核心,通过多维度监测构建水害隐患预警基础。在矿井井下、井田周边布置地下水观测孔,安装水位、水质、渗流监测设备,实时监测地下水水位升降、水质变化及渗流速度,精准捕捉地下水异常波动;对地表水、老空水等潜在水源,同步开展动态监测,分析水源补给关系和导水通道变化,提前识别矿井突水、透水等隐患,为水害防治提供数据支撑<sup>[3]</sup>。(3)顶板及边坡监测技术:聚焦岩土体变形和应力变化,采用多种技术协同监测。地下矿区主要运用微震监测技术捕捉岩体破裂信号,结合三维激光扫描精准测量顶板变形量,通过位移传感器实时监测巷道围岩位移;露天矿区重点部署边坡位移监测设备,跟踪边坡岩土体沉降、滑动情况,同时监测岩体应力变化,及时发现顶板垮塌、冲击地压、边坡失稳等隐患,为防控措施实施争取时间。

### 3.2 煤矿地质灾害预警机制构建

(1)预警指标确定:结合不同地质灾害类型,选取针对性强、量化的预警指标,明确各指标的预警阈值。针对瓦斯灾害,选取瓦斯浓度、瓦斯涌出量、瓦斯压力等指标;针对水害,选取地下水位、渗流量、水质浑浊度等指标;针对顶板及边坡灾害,选取岩土体位移量、应力值、微震频次等指标,确保预警指标贴合灾害发生规律,为精准预警提供依据。(2)预警级别划分:根据灾害隐患的严重程度、发展趋势,划分四个预警级别,明确不同级别的响应措施。一般预警针对轻微隐患,采取加强监测、排查整改措施;较重预警针对明显隐患,暂停相关区域作业,启动专项排查;严重预警针对重大隐患,全面停止井下作业,组织人员撤离;特别严重预警针对极危险隐患,立即启动应急响应,封锁矿区,全

力防范灾害发生。(3) 预警信息传递: 建立“线上+线下”全覆盖的预警信息传递机制, 确保信息传递及时、无遗漏。线上通过矿井调度系统、手机APP、语音广播等渠道, 快速推送预警信息; 线下安排专人负责预警信息传达, 重点通知一线作业人员和管理人员, 明确预警级别、隐患位置及应急要求, 确保相关人员第一时间掌握预警信息, 为应急处置争取宝贵时间<sup>[4]</sup>。

### 3.3 不同类型地质灾害的针对性防治技术

(1) 瓦斯灾害防治技术: 以“降浓度、卸压力”为核心, 采用综合防治手段。通过瓦斯抽采技术, 提前抽取煤层中的瓦斯, 降低煤层瓦斯压力和浓度, 从源头减少灾害隐患; 优化矿井通风系统, 合理布置通风巷道, 确保风量充足, 及时排出积聚的瓦斯; 配备合格的防爆设备, 严禁明火作业, 防范瓦斯爆炸, 同时加强作业人员培训, 规范操作流程, 提升瓦斯防控意识。(2) 水害灾害防治技术: 坚持“预防为主、防治结合”, 构建全方位防控体系。通过超前地质探测技术, 精准查明井田内导水构造、地下水分布等情况, 提前预判水害隐患; 采用注浆堵水技术, 封堵导水通道, 阻断水源涌入; 实施疏水降压措施, 降低地下水位, 减少水害风险; 完善矿井防排水系统, 配备足够的排水设备, 提升矿井抗灾排水能力, 防范矿井突水、透水事故。(3) 顶板及边坡灾害防治技术: 以提高岩土体稳定性为核心, 结合矿区实际选取适宜技术。地下矿区采用锚杆支护、棚式支架支护等方式, 加强巷道和工作面顶板支护, 增强岩体承载能力; 对破碎岩体实施注浆加固, 填补裂隙, 提升岩体完整性; 对采空区进行充填处理, 减少顶板垮塌风险。露天矿区通过边坡修整, 放缓边坡坡度, 清除危岩浮石; 采用注浆加固、锚杆锚固等技术, 提升边坡稳定性, 防范边坡滑坡、台阶垮塌。

### 3.4 煤矿地质灾害应急处置技术

(1) 应急救援预案制定: 结合煤矿地质条件、灾害类型及生产实际, 制定针对性强、可操作性强的应急救援预案。明确应急组织机构及职责分工, 细化救援流程、人员疏散路线、隐患处置措施等, 针对不同类型灾害制

定专项应急处置方案, 确保灾害发生时能够有序开展救援工作, 避免盲目处置扩大损失。(2) 应急物资储备: 按照“足额储备、及时更新、随时可用”的原则, 储备应急救援所需的设备、器材、药品等物资。重点储备救生舱、避难硐室、应急通讯设备、排水设备、急救药品等, 在井下关键区域和地面应急仓库合理布置, 定期检查物资完好情况, 及时补充和更新, 确保灾害发生时能够快速调用, 为救援工作提供保障<sup>[5]</sup>。(3) 应急演练与处置: 定期开展应急演练, 结合不同灾害场景, 模拟灾害发生、预警、疏散、救援等全过程, 提升作业人员和管理人员的应急处置能力和协同配合能力。灾害发生时, 立即启动对应级别的应急预案, 组织人员快速疏散至安全区域, 成立应急救援小组, 开展隐患处置、人员搜救、设备抢修等工作, 最大限度降低人员伤亡和财产损失。

### 结束语

煤矿地质灾害防治是一项长期、复杂的系统工程, 需兼顾自然地质规律与人为开采实际, 统筹监测预警、精准防治与应急处置。本文梳理的灾害特征、致灾机理及防治技术, 可为煤矿企业防控工作提供参考, 但地质条件的复杂性决定了防治技术需持续优化。未来需加强多技术融合应用, 完善防控机制, 强化隐患排查, 持续提升煤矿地质灾害防控能力, 助力煤矿行业安全、绿色、可持续发展。

### 参考文献

- [1] 李云飞. 煤矿地质灾害预防技术措施应用[J]. 能源技术与管理, 2020, 45(04): 126-128.
- [2] 张皓莎. 煤矿地质灾害特征及其防治措施[J]. 矿业装备, 2023, 12(04): 106-107.
- [3] 党江磊. 煤矿地质灾害特征及防治措施[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, 26(09): 170-172.
- [4] 周志强. 煤矿地质灾害特征及防治措施[J]. 当代化工研究, 2022, 10(09): 26-29.
- [5] 陈健. 煤矿地质灾害特征及其防治措施[J]. 江西化工, 2021, 21(02): 333-334.