

矿山地质灾害风险评价与应急管理体系建设

陈思煜 李庆祥

呼伦贝尔东明矿业有限责任公司 内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘要：本文系统阐述了矿山地质灾害的主要类型及其成因特征，构建了包含危险性、暴露性、脆弱性与防灾减灾能力四个维度的风险评价指标体系，提出了基于层次分析-模糊综合评价法的风险定量化评价模型。在此基础上，从组织体系、监测预警、预案管理、救援力量、物资保障五个方面设计了矿山地质灾害应急管理体系的整体架构。研究认为，风险评价与应急管理应形成闭环联动，通过全周期动态管控提升矿山地质灾害综合防御能力。本文为矿山企业及地方政府推进地质灾害防治工作提供了理论参考与方法支撑。

关键词：矿山地质灾害；风险评价；应急管理体系；层次分析法；监测预警

引言

矿产资源开发对促进国民经济和社会发展以及维护国家安全发挥重要作用，但是矿产资源开采严重破坏自然条件，容易造成采空区塌陷、滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝以及矿井突水等地质灾害。减少灾损的核心在于形成一个完整的由风险识别到应急响应过程：风险评估明确“灾害何处、范围大小、损失程度”，以便有针对性地进行预防；应急管理解决“如何迅速反应、合理处理、及时恢复”。两者应当有机结合——评估结果用于应急准备，而应急预案又反过来对评估方法进行修正和完善。但是在实际工作中很多矿山把这两者割裂开来，使评估报告成为摆设、应急预案流于形式，在灾祸来临时不知所措。因此需要建立结合风险评估与应急响应的整体框架体系，既具有重要的理论意义又具备较强的实际应用价值。

1 矿山地质灾害类型与成因分析

1.1 主要灾害类型

矿山地质灾害依据成因以及表现形式可分为五种类型。地面变形型灾害主要有采空区地面塌陷、地裂缝、地面沉降等，而采空区地面塌陷是其中最常见的一种灾害类型，在地下开采矿山、铁矿、非金属矿山中较为普遍。边坡失稳型灾害有滑坡、崩塌、滚石等，在露天矿山高陡边坡以及排土场、尾矿库坝体上较为常见。水动力型灾害主要是矿井突水、老窑透水等，这类灾害具有突然性和破坏力强的特点，常导致淹井事故。动力冲击型灾害有岩爆（冲击地压）、瓦斯突出等，在深部开采的高应力区域以及煤与瓦斯突出矿井中较易发生。另外，泥石流、崩落流等固体流体型灾害也是由于矿山排放废物如废石、尾砂受雨水冲刷后形成的。

1.2 成因机制与演化规律

自然条件是内因，如地形地貌（坡度、坡向、切割密度）、岩土体性质（强度、结构、水敏性）、地质构造（断层、节理、褶皱）、水文地质条件（地下水位、富水性、导水性）以及地震、降雨等外力作用；而工程因素是外因也是主要原因，例如不同的开采方法及开采工艺（房柱式、长壁式、充填式、露天剥离等）、开采规模及深度、爆破振动、支护与加固、排水疏干和土方剥离物堆放等^[1]。灾害的发展一般为连锁过程：采空区产生→上方覆盖层移动→地面下陷裂缝→雨水进入增多→弱结构面充分湿润→边坡垮塌→阻塞河道→形成泥石流。这说明一个危险源可能导致一系列次生或衍生灾害，因此对灾害进行评估时应考虑其整体性和相关性。另外，矿山地质灾害还有显著的时间滞后性，在停止开采若干年后，一些采空区仍会继续塌陷，这对防范工作提出了持久的要求。

2 矿山地质灾害风险评价体系

2.1 风险评价的基本内涵

风险一般是指灾害发生的可能性与其造成的后果相乘的结果。矿山地质灾害风险是在一定区域范围内，在一定时期内由于采矿所导致的潜在地质灾害实际发生并给人们的生产生活造成不利影响的可能性以及这种不利影响的程度。一个完整的矿山地质灾害风险可以分为四个部分：即危险性、暴露性、脆弱性和减灾能力。危险性是灾害发生的几率及其大小；而暴露性是指可能受到灾害影响的承灾体的数量以及其价值；脆弱性是指承灾体在遭遇某种强度的灾害后所遭受损失的程度；减灾能力则是反映该地区抵抗和恢复的能力。这四个方面相互之间存在着一定的关系可以用公式表示为 $R = f(H, E, V, C)$ ，其中H和E与风险成正比，V越大风险越大，C越大风险越小。

2.2 评价指标体系构建

风险评价的准确性基于合理的指标体系。指标的选择应符合系统性、可测量性、独立性和时效性的要求,一般分为四类:第一是危险性,包括地质条件(岩石力学性质、断层分布、地下水位变化)、采矿条件(采空区比例、采深、爆破振动等)以及诱因(降水、地震、人为活动);第二是易感性,包括人口数量、重要的建筑物/构筑物(破碎站、筒仓)、道路管线以及土地价值;第三是脆弱性,包括建筑物的抗震级别、设备的安全防护程度、人们的自救互救能力和对环境的敏感性;第四是抵御灾害的能力,包括监测覆盖率、应急预案是否完善、救援队伍的专业水平、物质储备、通讯手段、安置点和演习次数等,在不同的矿山类型和开采方法下其重要性不同——露天矿更注重边坡结构面,而地下矿山主要考虑采空区垮塌以及涌水的风险^[2]。建立之后需要做相关性检验去除重复指标并利用专家打分或者主成分分析法得出相应的权重值。

2.3 量化评价模型

一般方法有AHP、模糊综合评价法、信息量法、逻辑回归以及机器学习等。本文建议使用AHP-模糊综合集成模型来解决具有一定的主观性和混合指标的问题。建模过程分为六个步骤:①定义评价单元(例如50m网格);②建立层次结构(目标→准则层→指标层);③建立判断矩阵,利用1至9标度进行评分并经过一致性检验($CR < 0.1$)得到各指标权重;④设定隶属函数(对于数值型采用梯形或者三角形隶属函数,而对于非数值型采用等级赋值方式);⑤逐级进行模糊综合运算,求出总的危险程度隶属度向量;⑥根据最大的隶属度确定低、中、高、很高四个等级的风险等级以及相应的得分。当有足够的信息时还可以辅以信息量的方法(基于历史上的灾害地点的数量计算)或机器学习的方法(比如随机森林等),虽然准确度较高但是可解释性较差,应结合使用。

2.4 风险区划与动态更新

风险评价结果为风险等级分区图以及风险清单。风险区划应标示出高风险区、较高风险区所占空间位置和比例,标明重点防护区域范围边界。风险清单应对各个评价单元风险大小、主要致灾因素、主要承灾体、脆弱性以及目前存在的不足一一罗列出来。评价成果要以直观图表和简明表格形式提供给相关领导审阅。另外需要指出的是风险不是一成不变的。随着矿产资源不断被开采,采空区面积逐渐增大,边坡坡度随着开采台数增加而变得越来越陡峭,地下水面因为排水而不断降低,这

就造成风险发生变化。而且一年中雨季与非雨季之间、爆破前后之间风险都有很大差别。因此,矿山企业要建立定期开展风险评价制度,一般情况下每年至少两次,发生重大变动时(例如改变开采水平或者采矿方法或者是遇到特别严重暴雨情况等)也要及时开展一次。

3 矿山地质灾害应急管理体系建设

3.1 应急管理体系的总体架构

应急管理贯穿灾前、灾中、灾后全过程,可以分为“预防与准备、监测与预警、处置与救援、恢复与重建”四个方面内容。矿山地质灾害应急预案体系也应做到“统一指挥、反应灵敏、协调有序、运转高效”,由五个部分组成,即组织指挥系统、监测预警系统、预案演练系统、应急救援系统、物资保障系统。这五个系统彼此之间联系紧密,构成一个自始至终的风险识别到现场处置然后到后期恢复闭环。

3.2 组织指挥与责任体系

大型矿山企业应当成立应急管理委员会,企业负责人主任,矿长为副主任,安全环保部、生产技术部、机电运输部、调度室、医务室、保卫部等部室负责人为委员。下设办公室为调度中心,发生突发事件时,立即转变为现场指挥部并根据灾害种类设置核心应急组(6个)1.抢救救灾组(现场处置组)2.技术专家组3.医疗救护组4.通讯信息组(联络组)5.后勤保障组6.警戒保卫组^[3]。责任要落实到每一个工作岗位,具体到每一个人。矿长为应急管理第一责任人,各分管领导对其分管业务负有主要责任。班组长、安检员、瓦检员等一线工作人员为“第一响应人”有权在紧急情况下决定停止作业并组织人员撤离。此外,矿山还要与上级应急管理部门、自然资源部门、当地政府以及邻近矿山救援队伍建立联系,签订应急联动协议,做到资源共享、优势互补。

3.3 监测预警与信息发布

监测网络要覆盖采空区、主要巷道、露天边坡、排土场、尾矿库等地段,在这些地方安装位移计、应力计、水位计、裂缝仪、雨量计、微震监测仪等仪器。大面积地区可以使用合成孔径雷达干涉测量或者无人机航测定期开展形变监测工作。所有的监测数据都要及时传送到调度室,设定不同级别的警戒线(蓝色提示、黄色警告、橙色警报、红色警戒),超过警戒线就会自动报警。预警信息要迅速准确发出。红色、橙色预警要通过声音、灯光报警、应急广播、手机短信、对讲机群呼等方式向井下所有作业地点以及地面有危险地段的所有人员发送,不能有遗漏。预警信息内容包括灾害种类、可能发生的时间、可能波及的范围、已采取的应急措施以

及逃生路线等。另外,矿山还要有预警信息核实和解除制度,防止频繁误报造成人们“狼来了”式的恐慌,但是绝对不可以因为担心误报而不发布真实的预警。

3.4 应急预案编制与演练

矿山地质灾害应急预案一般包括综合预案、专项预案(例如采空区塌陷专项预案、边坡滑坡专项预案、矿井突水专项预案)、现场处置方案三个层次。其中,综合预案主要对整个矿山应急组织机构及其职责、应急资源、应急程序等做出总体安排;专项预案是对某种特定类型的灾害进行详细说明,包括监测预警、响应、处置等内容;现场处置方案则是针对具体采掘工作面或边坡台阶等最小单位,在出现征兆时“谁来处理、做什么、如何处理”。预案质量并不在于其长度而在于其实用性^[4]。矿山应当至少每年组织一次专项应急预案实战演练,可以采取桌面推演和实战演练相结合的形式。演练中应当包含一些意外情况出现(例如通讯中断、道路受阻、人员受伤等),以考察应急团队的随机应变能力。演练后要对演练情况进行总结评估,发现问题及时改进和完善预案。同时还要让承包商以及附近居民参加演练,以防由于各方利益不同而导致应急管理混乱。

3.5 应急资源保障与队伍能力

煤矿必须依照有关规定组建兼职或者专职矿山救护队,深井、大型露天煤矿以及突出煤层煤矿应当建立独立的专业矿山救护队,并且定期进行业务学习和技术练兵。不能单独建立矿山救护队的小型煤矿应当与临近的专业矿山救护队签订有偿服务合同,在接到事故报警后能够及时赶到事故现场。物资装备实行“平战结合、分级储备、统一调拨”的原则。各煤矿都要有专门的应急物资库房,存放支护材料(木垛、工字钢、充填袋)、排水设施(大流量水泵、排水管路)、破拆器具、急救

包、担架、应急照明灯、发电机组等物品。这些物资应该根据风险评估的结果进行更新,高风险区域附近要设立前置储备点。推行物资装备信息化管理,建立电子台账,注明位置、数量、保质期,每三个月核查一次并及时补充。另外,煤矿还要与附近的医疗机构联系开通绿色通道,与酒店等生活服务单位签订合同,在发生较大规模突发事件时能够提供必要的生活保障。

4 结语

矿山地质灾害风险评估及管理是跨领域、综合性工作。本文建立了由危险性、暴露度、易损性和防灾减灾能力构成的风险评估指标体系,“层次分析—模糊综合评价法”,以及组织指挥、监测预警、预案演练、应急救援、物资保障五个方面的应急管理子系统。重点是建立“以评促备、以备促应、以应对”的良性循环。建议:将风险评估纳入矿山企业法定常规任务并接入安全管理系统;小型矿山共建共享应急资源与兼职救援队;政府搭建地质灾害大数据平台;研发矿山专用智能监测装备与应急机器人;将应急素养培训纳入矿工岗前及年度安全教育,提升“第一响应”能力。虽无法消除风险,但科学评估与完善应急体系可将其控制在可接受水平,保障生命安全、促进矿业高质量发展。

参考文献

- [1]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,(4):107-109.
- [2]杨勇,李冰,张文哲.矿山地质灾害治理监理流程与质量控制策略探究[J].中国金属通报,2026,(3):101-103.
- [3]甄大超,谢贤贤.矿山工程地质勘查及地质灾害的治理对策[J].防灾减灾工程学报,2026,46(1):218-219.
- [4]程理哲.矿山水工环地质灾害综合防治措施[J].中国金属通报,2025,(12):68-70.