

引用格式:孙文斌,张纪扬,陈东伟.以断层活化突水事故为例的煤矿灾害感知研究[J].有色设备,38(2):24-31.

SUN Wenbin, ZHANG Jiyang, CHEN Weidong. Research on perception of coal mine disasters: a case study of water inrush accidents triggered by fault activation[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 38(2):24-31.

# 以断层活化突水事故为例的煤矿灾害感知研究

孙文斌<sup>1</sup>, 张纪扬<sup>1</sup>, 陈东伟<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学 能源与矿业工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 山东鲁泰控股集团有限公司 安全生产与应急管理部, 山东 济宁 272000)

**[摘要]** 煤矿智能化的发展为提升矿井安全保障能力提供了新的思路,但在煤矿灾害的感知方法研究上仍有不足,难以对灾害发育的阶段进行有效感知,缺少针对灾害发育不同阶段的防治措施。针对上述问题,本文提出了一种基于灾害演化特征分析的煤矿灾害感知方法,通过研究矿井灾害发育机制,划分灾害的演化阶段,提取阶段的转化条件并识别控制因素,结合关联性分析方法,选择敏感控制因素进行灾害发育的阶段感知。以煤矿断层活化突水事故为例,进行了灾害感知方法的试验验证,结果表明,敏感控制因素随工作面推进的变化能够反映断层活化突水事故演化程度,因此,基于演化特征分析的感知方法有望为煤矿灾害发育阶段感知提供参考。

**[关键词]** 灾害感知; 敏感特征; 断层突水; 数值模拟

**[中图分类号]** TD745; X43

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1003-8884(2024)02-0024-08

**DOI:**10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.02.005

## 0 引言

2016—2023年间,我国煤炭资源消费量持续增长<sup>[1]</sup>,但煤矿灾害的传统监测技术效率低、能力弱、传送慢等缺点严重制约煤炭开采等深地工程的发展<sup>[2]</sup>。目前灾害预警方法主要是通过通过分析各个参数的趋势性变化来判断灾害发生的危险性,难以确定灾害发生的具体时间及灾害演化的准确阶段<sup>[3-4]</sup>,为此,国家发展改革委、国家能源局印发的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》中明确指出将重大危险源智能感知与预警作为重点突破的主要任务之一。

在煤矿灾害感知特征研究方面,国内外专家学者通过数值模拟、试验研究等手段研究了冲击

地压、断层突水等典型煤矿动力灾害的破坏和演化机制<sup>[5-8]</sup>,并结合敏感性分析、灰色关联分析、图像识别技术等灾害特征评价与感知方法<sup>[9-11]</sup>,研究了煤矿灾害影响因素的控制作用,但未能动态地分析灾害演化过程中的敏感特征,在断层水害的感知研究上,主要依托对现有预警系统监测数据的聚类分析和分类决策<sup>[12]</sup>,对突水演化过程中的控制因素研究不足,难以更加精准地实现水害发育阶段感知。因此,本文结合当前我国在煤矿灾害监测预警及风险识别中存在的主要问题及煤矿安全智能化发展方向,提出了一种煤矿灾害阶段化感知方法,从煤矿灾害机理研究出发,对煤矿灾害阶段转化条件的控制因素变化进行分析,获得敏感控制因素,开展敏感参数研究进而实现致灾阈值的全流程、系统性灾害感知,根据灾害发育阶段感知结果结合煤矿实时生产情况进行灾害风险辨识,以期该方法能够为实现煤矿灾害智能感知提供参考。

## 1 煤矿灾害感知方法

### 1.1 煤矿灾害感知原理

煤矿灾害感知与风险判识首先应开展目标矿区

**[收稿日期]** 2024-03-20

**[第一作者]** 孙文斌(1981—),男,山东郓城人,教授,博士,主要研究方向为矿井水害防治与智慧矿山建设。

**[基金项目]** 国家自然科学基金面上资助项目(52274131);陕西省煤矿水害防治技术重点实验室开放基金(2021SKZD02);煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室开放基金(2021-CMCU-KF017);泰山学者工程专项经费资助项目(tsqn202211152)。

开采资料分析与矿区高风险灾害定性研究,通过矿区煤层上下岩层及附近水源存在情况、煤炭赋存条件与煤炭变质程度、矿井采掘工程资料等研究煤矿水害及顶板灾害风险、瓦斯及煤尘灾害威胁、采矿扰动对灾害的诱发影响,开展矿区灾害风险等级评价,根据煤矿典型灾害资料结合矿区实际条件,对高风险灾害孕育机理开展数值模拟和物理试验,确定灾害发育机制。

根据典型灾害特征、灾害阶段转化条件与发育机理,基于煤矿智能化监测装备、信息传输、数据处理体系,研究煤矿安全监测体系在矿山灾害发生过程中所捕捉到的异常信号,分析矿山安全多源信息监测参数,建立监测参数异常变化敏感性与灾害发育阶段的表征关系,通过对敏感参数的监测实现对灾害发育阶段的感知以及灾害风险的辨识,其基本原理如图1所示。

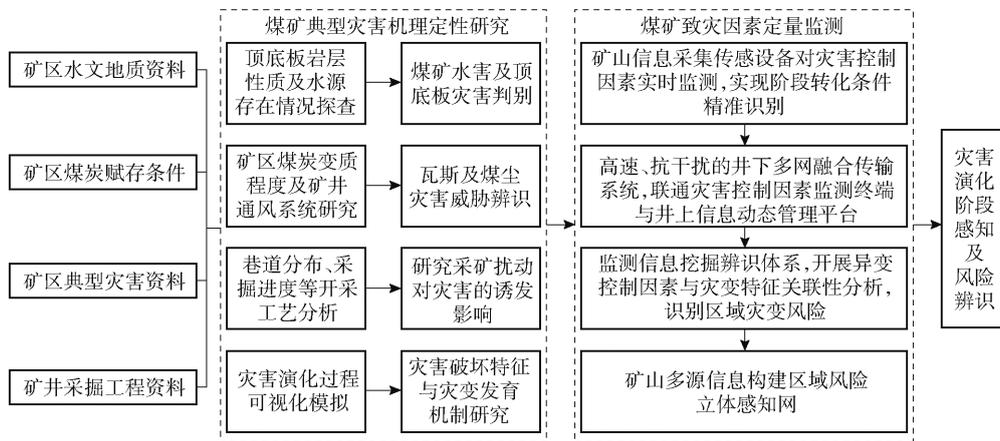


图1 煤矿灾害感知与风险判识原理

Fig.1 Principle of coal mine disaster perception and risk recognition

1.2 煤矿灾害阶段感知方法实施步骤

煤矿灾害阶段感知及风险的辨识方法应具有有良好的适用性,即对国内主要矿区的典型灾害均可以实现发育阶段感知以及对灾害风险进行判识,这就

要求在煤矿灾害感知方法的实施过程中应遵循一致、明确的基本步骤。本文所提出的基于煤矿灾害阶段转化条件及发育机理的煤矿灾害阶段感知方法共包含6个步骤,如图2所示。

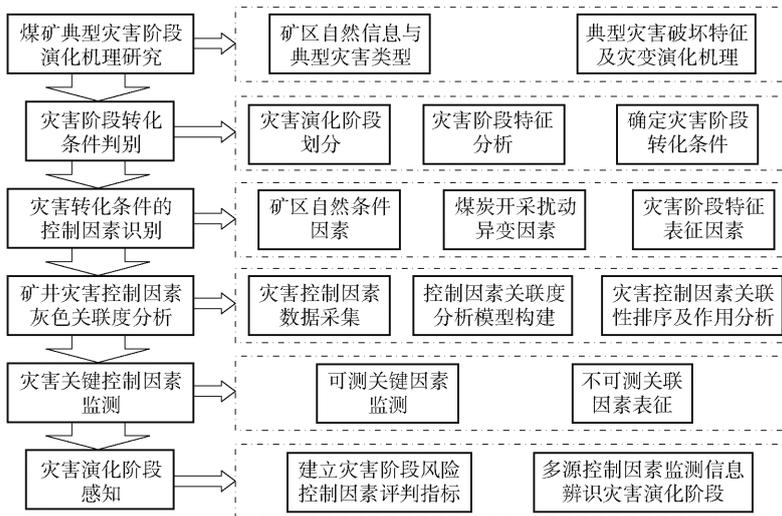


图2 煤矿灾害阶段感知实施步骤

Fig.2 Implementation steps for perception of coal mine disaster stages

1) 煤矿灾害特征机理: 实现煤矿灾害感知首先要开展矿区典型灾害类型及其特征分析, 以及在矿井安全状态下监测参数的自然动态变化规律, 然后结合煤矿灾害的发育机理、演变过程、破坏方式以及影响范围进行深入分析, 以确定灾害感知的区域。

2) 灾害阶段转化条件: 进行煤矿灾害感知应明确诱发灾害的初始条件, 结合矿区特殊开采背景及该类型灾害的构成要素, 进一步分析煤矿灾害发育阶段的演化条件, 确定灾害发育各阶段感知特征。

3) 诱发灾害条件发生的控制因素: 对导致煤矿灾害发育条件形成的控制因素进行监测是实现煤矿灾害感知的核心。根据煤矿灾害特征机理分析确定灾害感知区域, 利用煤矿安全监测信息, 建立灾害发育过程的数值模型, 对灾害发育数值模型进行定性分析, 找到灾害阶段转化的控制因素, 对灾害发育数值模型阶段变化进行定量分析, 提取灾害发育各阶段转化条件的控制因素变化范围, 确定煤矿灾害发育过程中的时空演变机制, 进行灾害风险识别。

4) 灾害关键参数敏感性分析: 灾害条件的形成往往不是单一控制因素作用结果, 灾害的不同发育阶段诱发条件的控制因素影响并不一致, 通过敏感性分析方法利用地质信息多要素监测数据, 将煤矿

灾害进行数字化表达, 进而通过敏感性分析等数据处理办法, 确定灾害不同诱发条件的控制因素对灾害发育过程的影响, 并对灾害风险大小进行辨识, 确定灾害阶段的敏感控制因素。

5) 敏感异变参数监测: 根据灾害诱发条件的控制因素敏感性分析结果, 依托煤矿安全监测预警体系, 针对灾害各阶段的主导关键参数开展精准监测, 实现监测数据的精简应用与煤矿灾害阶段感知的数字特征提取, 为灾害的预警与防控提供更为科学、精准的数据支撑。

6) 灾害阶段感知: 通过煤矿灾害各阶段敏感控制因素变化情况。将灾害监测数据的阶段特征进行数字化处理, 实现灾害演化阶段识别, 设定煤矿灾害各阶段的主导关键参数预警值, 进而实现煤矿灾害的感知与灾害风险的辨识, 针对性地实施适当的灾害防控措施, 降低灾害损失。

## 2 断层活化突水事故感知方法实施步骤

断层活化水害感知的具体实施步骤如图3所示。通过对断层构造活化水害监测预警中的可测参数进行分析, 并结合断层活化水害的发育机理, 采用敏感性分析方法确定水害阶段转化中的主导关键参数, 以反映水害发育过程的阶段性转化, 为断层活化突水防治方案的制订提供参考。

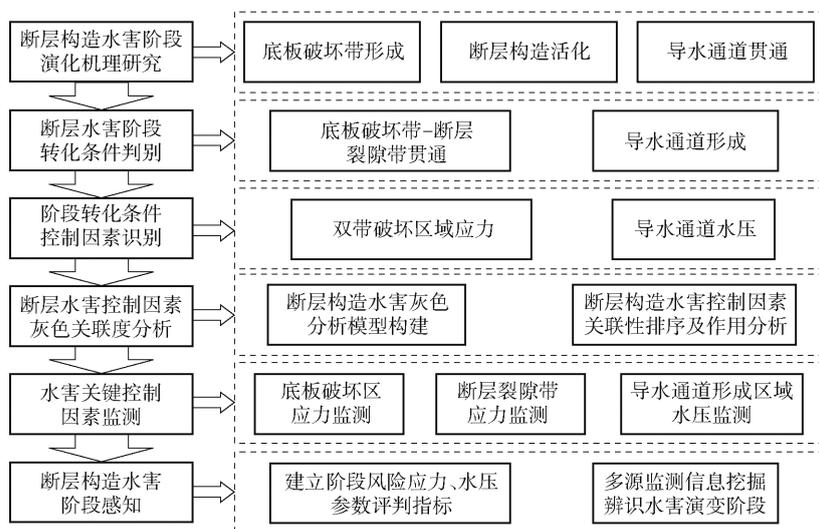


图3 断层活化突水事故感知实施步骤

Fig. 3 Implementation steps for perception of fault activation water inrush accidents

### 3 采动影响下断层活化突水感知方法验证

#### 3.1 断层活化水害演化转化条件判别

断层活化突水是由于煤炭的采出导致煤层顶板原有应力平衡被打破,底板岩体经历从开采前的超前应力集中状态,到开采临空区应力卸载状态,再到采空区上覆岩层垮落后重新压实状态的急剧变化<sup>[6,13]</sup>,进而在工作面底板岩体形成破坏

区。同时,采动影响下,煤层附近断层的上下盘出现应力不平衡,产生剪切破坏,使得断层上下盘沿断层面发生滑移,在断层端部产生新的裂隙<sup>[14]</sup>,在断层裂隙沟通含水层后,承压水沿断层裂隙带向上导升,底板破坏区与断层裂隙带连接形成导水通道后发生断层活化突水。断层活化水害演化过程如图4所示。

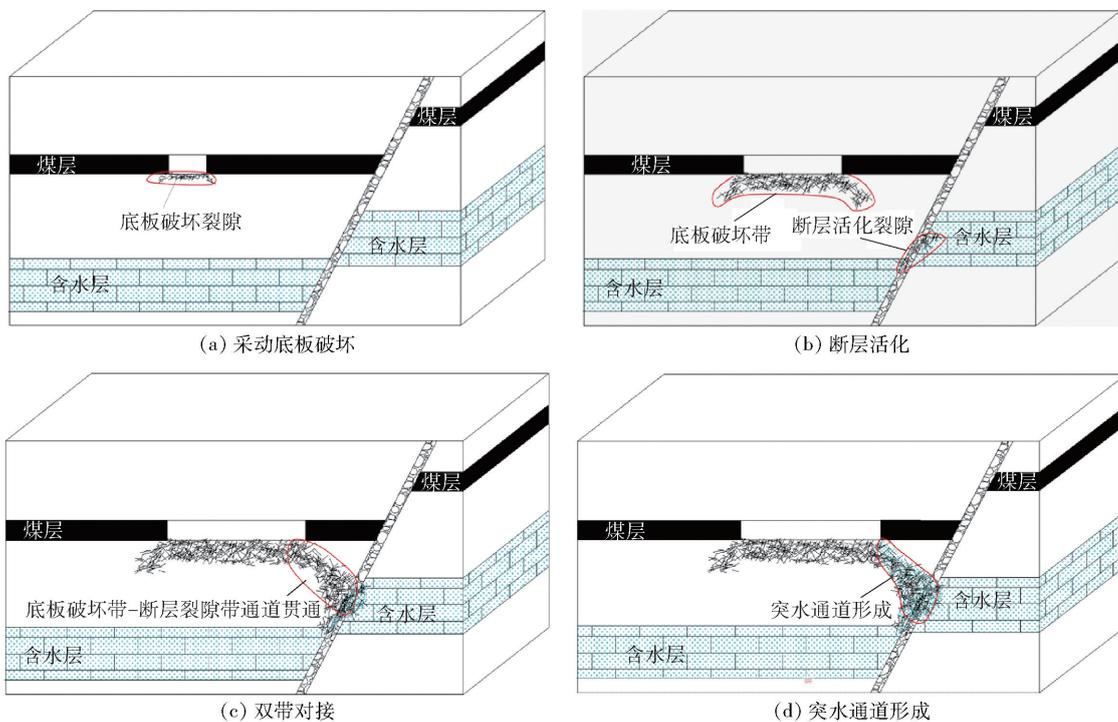


图4 断层活化突水演化过程示意图

Fig.4 Schematic diagram of the evolution process of fault activation water inrush

在断层活化突水事故演化过程中,底板及断层附近围岩发生的破坏主要包括底板破坏带形成、断层构造活化,在2种破坏区扩展发育后,导水通道实现贯通。根据断层突水灾变演化过程划分<sup>[15]</sup>结果,断层活化突水事故的发生在宏观上存在底板破坏带-断层裂隙带贯通后突水路径形成,以及断层裂隙连接含水层后承压水沿裂隙导升的导水通道形成2个转化条件。若采动影响只造成单一条件的形成则不会有突水风险,若造成2个条件均形成,则承压水能够沿裂隙导升至工作面导致断层突水事故。

#### 3.2 断层活化水害控制因素关联性分析

底板破坏区与断层裂隙带的形成主要是由于原有应力场平衡状态发生改变,应力重新平衡过程中出现应力集中现象,超过岩体的屈服强度后,导致岩

体产生塑性破坏。导水通道形成是由于断层裂隙带连接含水层后,承压水沿裂隙导升,在水压作用下对裂隙带产生侵蚀作用,使裂隙的宽度和深度进一步扩张延展<sup>[16]</sup>。因此,岩体应力和水压是造成断层活化突水条件转化形成的主要因素,结合断层活化突水破坏机理分析认为断层活化水害的控制因素为:底板破坏区应力、深部断层裂隙带应力、浅部断层裂隙带应力、深部断层裂隙带水压、导水通道贯通区水压。

利用灰色关联分析模型对断层活化突水事故的控制因素敏感性进行综合评价,根据断层活化突水影响因素<sup>[16-17]</sup>和演化机理分析<sup>[18]</sup>,对控制因素在断层活化突水中的控制作用进行评分,具体权重及评分见表1。

表1 断层活化突水控制因素评价

Table 1 Evaluation of control factors for fault activation water inrush

一级因素	权重	二级因素	权重	评分
岩体应力	0.53	开切眼附近底板破坏区应力	0.30	91
		终采线附近底板破坏区应力	0.18	79
		深部断层裂隙带应力	0.23	83
		浅部断层裂隙带应力	0.29	88
通道水压	0.47	深部断层裂隙带水压	0.33	87
		浅部断层裂隙带水压	0.25	82
		导水通道贯通区水压	0.42	93

根据断层活化突水案例分析和专家评分确定比较序列,将断层活化突水控制因素敏感性划分为4类,分别为95分及以上为A类、85分及以上为B类、75分及以上为C类、65分及以上为D类,其中A类为断层活化突水敏感性较高影响因素。对应一个参考序列 $X_0$ ,一个或若干个比较序列的情况下,灰色关联度系数计算公式如式(1)所示。

$$\xi_i(k) =$$

$$\frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| - \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中: $\rho$ 为分辨系数,取0.5。

灰色关联度是关联系数通过加权求均值后给出,如式(2)所示。

$$R_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_i(k) \quad (2)$$

各影响因素的灰色关联度结果见表2。

表2 断层活化突水控制因素关联度

Table 2 Correlation of control factors for fault activation water inrush

控制因素	关联度	排名
开切眼附近底板破坏区应力	0.956	1
终采线附近底板破坏区应力	0.896	3
深部断层裂隙带应力	0.523	7
浅部断层裂隙带应力	0.910	2
深部断层裂隙带水压	0.875	5
浅部断层裂隙带水压	0.840	6
导水通道贯通区水压	0.882	4

通过对断层活化突水阶段转化控制因素的关联度分析与排序结果可以看出,开切眼附近底板破坏

区应力、浅部断层裂隙带应力、终采线附近底板破坏区应力、导水通道贯通区水压等因素与断层活化突水演化的关联性较高,即该4项控制因素对断层活化突水阶段转化较为敏感。

### 3.3 断层活化突水控制因素感知试验

断层活化突水敏感控制因素在突水演化过程中与突水事故间关联性较高,因此,通过对断层活化突水演化过程中的控制因素数值演化规律研究,从时空线性规律及突水现象入手,分析控制因素的变化情况与突水发育阶段的关系,验证敏感控制因素监测在突水阶段感知上的效果。

以济宁矿区某采区工作面为例,开采3上煤层时受底板三灰水影响明显,为评估该工作面在采动影响下发生断层活化突水事故的风险,采用COMSOL数值模拟软件建立断层活化突水演化模型。该采区南北长约4.6 km,东西长约1.2 km,面积5.52 km<sup>2</sup>,所研究开采水平标高为-863 m,地面标高+31.2 ~ +33.6 m,采区主要地质构造为断层,采区内及边界邻近共发育32条规模大小不等的正断层,研究煤层附近发育有1条倾角约为58°的导水断层。根据相关地层条件,建立数值模型,模型尺寸为200 m × 100 m,隔水层厚度为50 m,断层宽度为3 m,煤厚4 m,模型网格划分及监测点位置如图5所示。

边界条件设置为:模型下边界采用固定约束,左右面采用横向约束,上部为自由边界,模拟上覆岩层施加均布载荷20 MPa,渗流边界条件为模型底部承压水含水层水压值固定,模拟含水层水压为6 MPa,顶部及左右两侧为隔水边界。采用多孔和自由介质流动场、固体力学场进行流-固耦合分析研究。为消除边界效应,开切眼距模型边界距离为20 m,从上盘向下盘开采,岩层物理力学参数

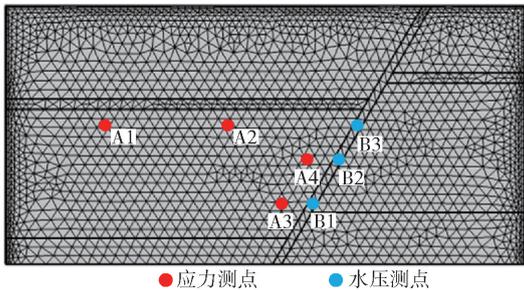


图5 网格划分及测点布置

Fig. 5 Grid division and layout of measurement points

见表3。

工作面推进过程中断层及底板岩体的渗流场演化情况如图6所示。从图6可知,工作面自开切眼推进后,底板渗流状态发生改变,断层底部边界渗流速度略微提高,工作面推进至30m处时,底板高速渗流区的范围扩大,断层底部渗流速度增长明显;工作面推进至45m处,底板高速渗流区继续扩大,与周边其他岩体的渗流速度梯度扩大,断层高速渗流区高度继续上升;工作面推进至60m处时,底板高

表3 岩层物理力学参数

Table 3 Physical and mechanical parameters of strata

岩层	密度/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	泊松比	杨氏 模量/GPa	体积 模量/GPa	剪切 模量/GPa	抗拉 强度/MPa	内聚 力/MPa	内摩擦 角/( $^{\circ}$ )
顶板	2 500	0.25	18.5	9.4	6.4	3.2	4.50	40
煤层	1 400	0.33	2.6	4.2	2.4	1.6	2.20	26
隔水层	2 700	0.23	14.7	13.6	10.2	4.8	5.00	44
含水层	2 800	0.28	8.7	14.6	11.7	6.4	6.00	53
断层	1 500	0.30	2.0	1.2	0.8	0.4	0.32	26

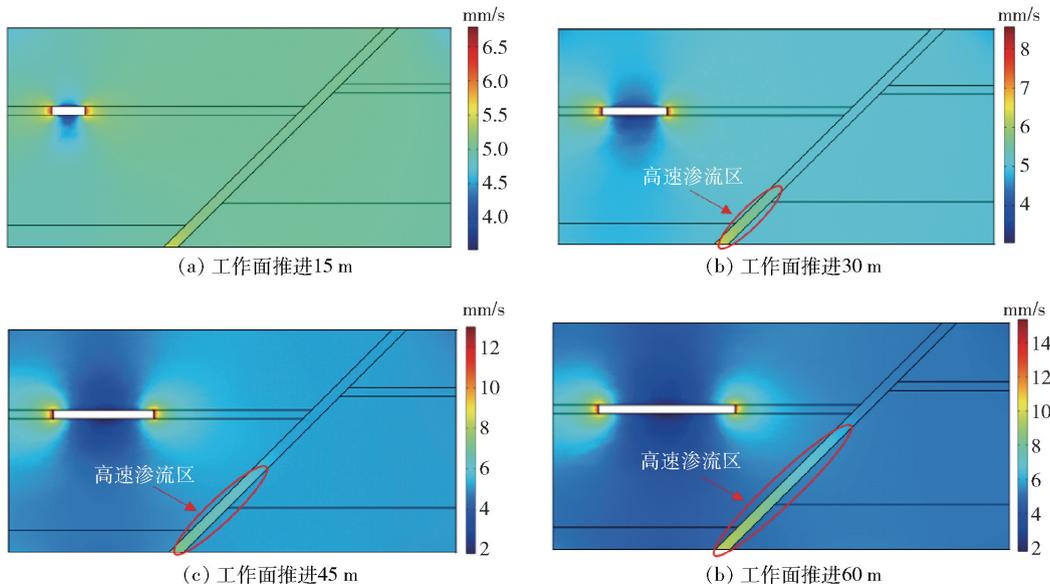


图6 断层及底板岩体渗流场演化云图

Fig. 6 Evolution cloud map of percolation field in fault and floor rock mass

速渗流区斜下方的渗流速度和断层上盘区域渗流速度变化明显。

工作面推进过程中的各应力监测点的数值变化如图7所示。从图7可以看到,应力发生初始响应与工作面推进步距的关系,其中A1即开切眼附近

底板破坏区应力最先发生变化,这表明开切眼附近的底板应力对采动影响造成的应力失衡更为敏感,A3即深度断层裂隙带应力出现应力响应时间最晚,这主要与工作面持续推进造成的断层活化裂隙生成有关。从应力快速增长阶段的开始时间来看,浅部

断层裂隙带、开切眼附近底板破坏区、深部断层裂隙带、终采线附近底板破坏区依次出现,这反映了采动影响和断层活化对底板破坏带-断层裂隙带贯通转化条件的作用。

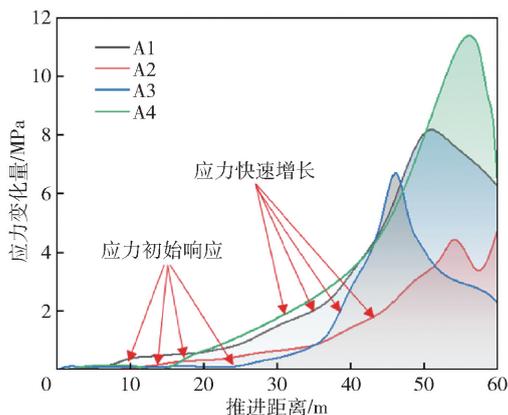


图7 测点应力与工作面推进关系

Fig.7 Relationship between stress at measurement points and advancement of working face

各水压监测点随工作面推进的变化如图8所示。由图8可知,深部断层裂隙带水压最先出现变化,这表明受断层活化作用影响,深部断层裂隙水压因素的时间敏感性较强,从水压峰值来看,导水通道贯通区水压最高,这表明水压导升至该位置处时受裂隙发育影响作用较大,在承压水侵蚀作用下,导水通道进一步扩展并造成水压值的下降。浅部断层裂隙带水压值的突变时间和峰值均低于其他位置,这主要与承压水沿导水通道导升有关。

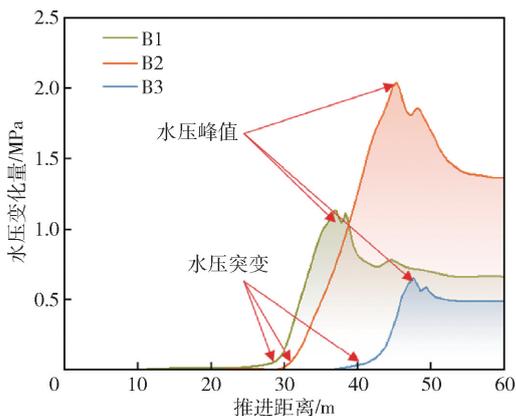


图8 测点水压与工作面推进关系

Fig.8 Relationship between water pressure at measurement points and advancement of working face

通过对工作面推进过程中的各监测点的数据演化规律分析,发现开切眼附近底板破坏区应力、浅部断层裂隙带应力、终采线附近底板破坏区应力、导水通道贯通区水压的响应时间及变化幅度与断层活化突水阶段演化规律较为一致,因此,可以验证这4类控制因素为敏感控制因素,同时验证了断层活化突水感知的可行性。

## 4 结论

本文以提升煤矿灾害防治水平为目标,构建了以灾害敏感特征信息识别的煤矿灾害感知体系,并以断层活化突水事故感知为例,验证了该体系的可行性,具体结论如下。

1)煤矿灾害阶段化感知方法的内涵主要包括:根据煤矿灾害阶段特征,深入剖析灾害形成条件,总结致灾条件的主要控制因素,对灾害控制因素进行灰色关联性分析,根据敏感控制因素变化情况进行灾害阶段转化条件识别,实现灾害的阶段化感知。

2)以断层活化突水事故为例,分析断层活化突水各阶段的破坏过程,得到底板破坏带-断层裂隙带贯通、导水通道形成2个转化条件,并结合灰色关联性分析法对转化条件的控制因素关联性进行排序,发现开切眼附近底板破坏区应力、浅部断层裂隙带应力、终采线附近底板破坏区应力、导水通道贯通区水压4个控制因素对断层活化突水事故演化最为敏感。

3)利用COMSOL数值模拟软件,研究了各控制因素随工作面推进变化情况,结果表明开切眼附近底板破坏区应力在工作面推进时最先出现应力响应,浅部断层裂隙带应力最先出现快速增长阶段且其峰值最高,终采线附近底板破坏区应力出现响应时间最晚,这与工作面推进情况一致;水压方面,导水通道贯通区水压峰值最高,这反映了承压水对导水通道的扩展作用,与断层活化突水机制分析基本一致,验证了通过敏感因素监测实现突水演化情况感知的可行性,有望为煤矿灾害感知提供参考。

### [参考文献]

- [1] 国家统计局. 2016—2023年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].
- [2] 张茹,吕游,张泽天,等. 深地工程多维信息感知与智能建造的发展与展望[J/OL]. 煤炭学报;1-38[2024-04-01].
- [3] 袁亮. 煤矿典型动力灾害风险判识及监控预警技术研究

- 进展[J]. 煤炭学报, 2020, 45(5): 1557 - 1566.
- [4] 袁亮. 煤矿典型动力灾害风险辨识及监控预警技术“十三五”研究进展[J]. 矿业科学学报, 2021, 6(1): 1 - 8.
- [5] 吴学松, 曹安业, 买巧利, 等. 倾斜煤层含矸煤柱区应力状态及防冲技术研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2023, 42(2): 44 - 52.
- [6] 李利平, 李术才, 石少帅, 等. 基于应力-渗流-伤耦合效应的断层活化突水机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(S1): 3295 - 3304.
- [7] 孔凯, 尹大伟, 张虎, 等. 岩-煤组合体试样变形场与能量演化特征试验研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2022, 41(5): 30 - 39.
- [8] 胡昌硕, 李东, 周法乐, 等. 多因素耦合诱发孤立煤体冲击地压机理研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2022, 41(5): 40 - 50.
- [9] 鲁锦涛, 贾小榕, 郭昕曜. 基于改进灰色预测的瓦斯突出敏感指标分析[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(11): 74 - 81.
- [10] 程继杰, 刘毅. 基于深度特征的煤矿冲击地压和煤与瓦斯突出图像感知报警方法[J/OL]. 煤炭科学技术: 1 - 14[2024-04-09].
- [11] 徐爽, 徐聪聪. 利用灰色关联度进行煤层底板突水危险性综合评价的研究与应用[J]. 山东国土资源, 2017, 33(2): 51 - 55.
- [12] 邱浩, 李宏杰, 李文, 等. 煤矿水害智能预警系统关键架构及模型研究[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(7): 197 - 206.
- [13] 胡新宇. 采场底板隐伏断层活化及突水机理研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
- [14] 安泰龙, 姚邦华, 李硕, 等. 底板承压水作用下断层破碎带岩体冲蚀-渗流灾变规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2023, 40(2): 354 - 360.
- [15] 孔令君. 充填物岩性组分对断层活化作用影响及灾变特征研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2021.
- [16] 杜晓林, 张智洋, 付茂殿. 基于 AHP 与 GIS 的底板突水评价研究[J]. 山东煤炭科技, 2024, 42(1): 133 - 136, 150.
- [17] 尹尚先, 徐维, 尹慧超, 等. 深部开采底板厚隔水层突水危险性评价方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(1): 83 - 89.
- [18] 孙文斌, 杨辉, 赵金海, 等. 断层突水灾变演化过程划分基础研究[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(7): 118 - 128.

## Research on perception of coal mine disasters: a case study of water inrush accidents triggered by fault activation

SUN Wenbin<sup>1</sup>, ZHANG Jiyang<sup>1</sup>, CHEN Weidong<sup>2</sup>

(1. College of Energy and Mining Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;  
2. Shandong Lutai Holdings Group, Department of Safety Production and Emergency Management, Jining 272000, China)

**Abstract:** The development of coal mine intelligence provides new perspectives for enhancing mine safety assurance capabilities. However, research on the perception method of coal mine disasters is still insufficient, and it is difficult to effectively perceive the stage of disaster development, and then the prevention and control measures taken are not targeted to the stage of disaster development. To address these issues, this paper proposes a coal mine disaster perception method based on the analysis of disaster evolution characteristics. By studying the development mechanism of mine disasters, the evolution stages of disasters are delineated, transition conditions of each stage are identified, and controlling factors are recognized. Combining correlation analysis methods, sensitive indicators are selected for perceiving the stages of disaster development. Using the coal mine water inrush accident triggered by fault activation as an example, experimental verification of the disaster perception method is conducted. The results indicate that sensitive characteristics reflecting the degree of evolution of the fault activation water inrush accident vary with the advancement of the working face. Therefore, perception methods based on evolutionary feature analysis hold promise for providing reference for perceiving the stages of coal mine disaster development.

**Key words:** disaster perception; sensitive characteristics; fault water inrush; numerical simulation ▲