



齐黎明, 卢云婷, 关联合, 等. 煤与瓦斯突出预测敏感指标确定方法探索及应用[J]. 矿业安全与环保, 2021, 48(3): 85-89.

QI Liming, LU Yunting, GUAN Lianhe, et al. Exploration and application of determination method of sensitive index for prediction of coal and gas outburst[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2021, 48(3): 85-89.

扫码阅读下载

DOI: 10.19835/j.issn.1008-4495.2021.03.016

技术经验

煤与瓦斯突出预测敏感指标确定方法探索及应用

齐黎明¹, 卢云婷¹, 关联合², 祁明¹

(1. 华北科技学院 安全工程学院, 北京 101601; 2. 开滦(集团)有限责任公司, 河北 唐山 063018)

摘要:煤与瓦斯突出预测敏感指标的确定,对突出煤层的安全开采有着重要意义。分析了传统指标敏感性确定方法在新时代所面临的局限性;提出了用于确定突出预测敏感指标的统计分析法,并找出各预测指标适应的地质条件,给出了其应用方案。在开滦矿区应用表明:钻孔瓦斯涌出初速度指标适用于典型的突出煤层,瓦斯解吸指标适用于以瓦斯为主导的突出煤层,钻屑量指标适用于以应力为主导的突出煤层;开滦矿区的煤与瓦斯突出控制性因素主要为高应力,其次是高压瓦斯,突出预测敏感指标为钻屑量和瓦斯解吸指标。

关键词:煤与瓦斯突出;敏感指标;统计分析法;钻孔瓦斯涌出初速度;瓦斯解吸指标;钻屑量

中图分类号:TD713

文献标志码:B

文章编号:1008-4495(2021)03-0085-04

Exploration and application of determination method of sensitive index for prediction of coal and gas outburst

QI Liming¹, LU Yunting¹, GUAN Lianhe², QI Ming¹

(1. School of Safety Engineering, North China Institute of Science & Technology, Beijing 101601, China;

2. Kailuan (Group) Co., Ltd., Tangshan 063018, China)

Abstract: The determination of sensitive index of coal and gas outburst prediction is of great significance to the safe mining of outburst coal seam. The limitations of the traditional method of determining the sensitivity of indicators in the new era are analyzed; a statistical analysis method for determining the sensitive index of outburst prediction is put forward, and the geological conditions suitable for each index are found out, and its application scheme is given. The application in Kailuan mining area shows that the initial velocity of gas gushing from drilling index is suitable for the typical outburst coal seam, the gas desorption index is suitable for outburst coal seam dominated by gas, the index of drilling cuttings quantity is applicable to the outburst coal seam dominated by stress; the controlling factors of coal and gas outburst in Kailuan mining area are mainly high stress, followed by high pressure gas, the sensitive index of outburst prediction is drilling cuttings and gas desorption index.

Keywords: coal and gas outburst; sensitive index; statistical analysis; initial velocity of gas gushing from drilling; gas desorption index; drilling cuttings quantity

收稿日期:2020-06-23;2020-08-09 修订

基金项目:国家自然科学基金项目(51204070);河北省自然科学基金项目(E2015508053);中央高校基本科研业务费项目(3142018028,3142020039)

作者简介:齐黎明(1979—),男,安徽安庆人,博士,教授,主要从事矿井瓦斯灾害防治技术研究工作。E-mail: qilm843@ncist.edu.cn.

煤与瓦斯突出严重威胁着突出矿井的安全生产,《煤矿安全规程》和《防治煤与瓦斯突出细则》(2019)均要求突出矿井采取两个“四位一体”的综合防突措施。突出预测是“四位一体”综合防突措施的第一步,推荐的区域预测方法所涉及的指标较少,只有瓦斯压力和瓦斯含量;而推荐的局部预测方法所涉及的指标相对较多,包括钻屑指标法(Δh_2 、 K_1 和 S)、复合指标法和 R 指标法3大类,具体包括

4种指标(Δh_2 、 K_1 、 S 和 q),其中 Δh_2 、 K_1 均为钻屑瓦斯解吸指标, S 为钻屑量, q 为钻孔瓦斯涌出初速度, R 为 S 、 q 的复合函数。

在不同的地质条件下,上述4种指标在预测煤与瓦斯突出风险的敏感性方面,存在着差异;如果被选用的指标不敏感,会导致风险误判,易造成事故。为此,许多省份出台的地方性法规中,明确要求突出矿井开展突出危险性预测敏感指标优选,《河北省煤矿瓦斯综合治理办法》第三十九条就明确提出“有突出矿井的煤矿企业应根据所属矿井煤层的不同状况,确定符合实际的防突预测预报指标体系”。

有关确定突出预测敏感指标方法的研究,在公开发表的文献上,研究成果较多,但具有明显的局限性。为此,本研究对确定煤与瓦斯突出预测敏感指标的新方法进行探索与工程应用。

1 探索突出预测敏感指标确定新方法的必要性

敏感指标指突出预测时,能灵敏反映突出危险程度,明显地区分煤体是否具有突出危险的预测指标。突出预测敏感指标在进行工作面预测时,突出与非突出的测值要有明显的界限,交叉较少甚至无交叉^[1]。

针对怎样确定敏感指标的问题,国外相关研究较少,国内近年来进行了较多的研究。屠锡根等给出了确定敏感指标的定量判断标准,当能够同时满足预测突出率低于30%、预测突出准确率超过60%、预测威胁的准确率超过95%时,就认为此指标为该煤层突出预测的敏感指标^[2];王佑安等提出了根据预测数据计算预测突出率、预测突出准确率及预测不突出准确率来确定敏感指标的方法,即“三率法”^[3];“四率法”是在“三率法”的基础上改进而来,增加了能够反映突出漏报率的预测准确率;周松元运用专家统计法定量分析预测数据,并根据分析结果与突出危险的关系确定敏感指标^[4];孙东玲运用方差分析法结合喷孔率,分析突出预测指标的敏感度^[5];彭荣富利用灰色关联分析法分析不同指标与突出的关联性来确定敏感指标^[6];李成武等在焦作、北漂等地试验了基于模糊理论确定预测指标临界值的有效性^[7];王世超等建立了基于模糊数学和多元统计的预测指标敏感度函数数学模型^[8];赵涛涛、张兆一采用了模糊聚类分析方法确定敏感指标^[9-10];杨宏民等提出了基于“三率法”和模糊聚类分析法确定敏感指标的方法^[11];史广山利用主成分分析和指

标的离散性对回采工作面预测指标的敏感性进行了分析^[12];张嘉勇等通过离散回归理论分析,将瓦斯涌出量特征值作为预警指标^[13]。

传统指标敏感性确定方法的应用,必须拥有大量突出和非突出的基础数据,否则,无法实施。然而,在突出煤层中,一般认为,真正具有突出危险的区域仅占10%,并且,《煤矿安全规程》和《防治煤与瓦斯突出细则》(2019)均要求“不掘突出头、不采突出面”,即在开展工作面局部突出预测之前,已经采取了区域综合防突措施,突出危险性已经基本消除。因此,在井下的局部突出预测中,动力现象很少,甚至几乎没有,这正是传统方法在新的历史时代所面临的最大局限。

随着采掘工作的延伸,很多高瓦斯矿井(甚至包括低瓦斯矿井)都将升级为突出矿井;升级为突出矿井后,就必须优选出突出预测敏感指标。然而,传统方法在新时代又存在明显的局限性,急需探索出新的突出预测敏感指标确定方法。

2 突出预测敏感指标确定新方法探索

2.1 探索方案设计

我国是世界上煤与瓦斯突出灾害发生最为严重的国家,突出矿井主要分布在全国17个省、自治区和直辖市^[14];截至2010年底,我国已累计发生煤与瓦斯突出20 000余次^[15]。很多学者采用传统敏感指标确定方法,并结合煤与瓦斯突出记录资料和现场突出预测实践所掌握的信息,为很多矿井确定了突出预测敏感指标。

对已经确定了突出预测敏感指标的矿井(或煤层)进行调研、统计和分析,并最终得出各预测指标所适用的地质条件,该指标即为该地质条件下的敏感指标,简称统计分析法。调研对象为已经确定了突出预测敏感指标的矿井(或煤层),调研方式包括通讯咨询、现场考察和网络搜索等,调研内容主要包括突出预测敏感指标的选用情况及地质条件(主要包括地应力、瓦斯压力、煤体强度、瓦斯放散初速度及煤的构造种类等)。

2.2 探索方案实施

根据设计的探索方案,调研共获取了100多份样本;对于信息不完整的样本(比如只有敏感指标信息,而缺少煤层特点方面的资料),直接删除;对于从不同渠道获取的同类信息(比如从不同期刊获取的同一煤层突出资料信息),进行合并。经整理、合并及删减后,样本信息比较完整、可靠的有59个,部分(26个)样本信息如表1所示。

表1 部分(26个)样本信息

行政区域	所属矿区或煤层信息	敏感指标	特 点
河南	郑州大平煤矿二 ₁ 煤层	q, S	Ⅳ、Ⅴ类煤, f 最小为0.10, $\Delta P > 30$
	郑州中煤新登煤业二 ₁ 煤层	S, q	Ⅳ类煤, 最大 p (表压)为0.15 MPa, 最小 f 为0.13, 最大 ΔP 为23.9
	郑州松栎亭煤矿二 ₁ 煤层	q, S	f 为0.15~0.26, ΔP 为11.8~12.8
	郑州煤电股份有限公司芦沟煤矿二 ₁ 煤层	S, q	f 为0.27, ΔP 为15.50~39.76
	平顶山首山一矿己 ₁₅ 煤层	q, S	$f = 0.11 \sim 0.12$, $\Delta P = 16 \sim 17$
	豫西矿区“三软”煤层	q	Ⅳ、Ⅴ类煤, $f < 0.35$, 最小 f 为0.10
安徽	淮南刘庄矿 C13-1 煤层	$S, \Delta h_2$	软分层, $f = 0.25$, $\Delta P = 10$
	淮南丁集矿 11-2 煤层	S	$f = 0.39 \sim 0.79$, $\Delta P = 0.33 \sim 5.00$, 赋存深度大, 地应力高
	谢一矿望峰岗井 C15 煤层	S, K_1	$f = 0.33 \sim 0.58$, $\Delta P = 4 \sim 5$, 地点-700 m
	淮北许疃井田	Δh_2	$\Delta P = 9$, $f = 0.46$
	皖北煤电孟庄矿	$\Delta h_2, S$	W 最高为9.98 cm ³ /g, p 最高为2.4 MPa
山西	晋城寺河矿 3 煤层	K_1	p 为2.12 MPa, W 为28.97 m ³ /t, Ⅱ~Ⅳ类煤
	阳泉寺家庄煤矿 15 煤层	K_1	W 为11.22~19.11 m ³ /t
重庆	松藻煤矿 K ₁ 煤层	K_1, S	突出与地质构造及赋存变化关系密切, 特别是在断层影响区
河北	邯鄹通顺矿业有限公司 2 号煤层	$\Delta h_2, S$	p (表压)为0.14~0.33 MPa, f 为0.43~0.56, ΔP 为18.1~21.7
	峰峰薛村矿	Δh_2	突出以瓦斯压力为主导, 涌出量较大
	峰峰集团小屯矿 2 煤层	$\Delta h_2, S$	f 值为0.53
云南	曲靖恩洪煤矿 C9 煤层	K_1, S	Ⅴ类煤, $\Delta P = 23$, $f = 0.18$, p 为1.12 MPa
贵州	水城大湾煤矿 11 煤层	K_1	W 为10.87 m ³ /t
四川	华蓥山 K ₁ 煤层	S, K_1	垂深460~870 m, 地压大, p 为3.2 MPa, $W > 18$ m ³ /t
	六枝局四角田矿	K_1	p 为3.45 MPa
	泸州石屏一矿 C19、C24 煤	K_1, S	f 为0.45, ΔP 为18, Ⅲ类煤, p (表压)为1.45 MPa, W 为15.9 m ³ /t
陕西	韩城桑树坪矿	K_1	W 为9.0~9.5 m ³ /t
内蒙古	阿拉善左旗松树滩煤矿	Δh_2	f 为1.02~1.29, W 为6.47~10.56 m ³ /t, ΔP 为22~26
黑龙江	鹤岗煤田南山煤矿	$\Delta h_2, S$	Ⅱ、Ⅲ类煤, $\Delta P = 5 \sim 13$, $f = 0.14 \sim 0.70$, p (表压)为0.87~0.95 MPa
宁夏	神华宁煤乌兰煤矿 7 煤层	S, K_1	f 为0.18~0.39, ΔP 为7~16

由表1可知, 钻孔瓦斯涌出初速度 q 在河南得到广泛使用, 将钻孔瓦斯涌出初速度 q 列为突出预测敏感指标的区域, 有一个共同的特点是属于典型的突出煤层(f 值低、 ΔP 高和Ⅳ、Ⅴ类煤), 因此, 对于典型的突出煤层, 建议选择 q 为敏感指标。将瓦斯解吸指标 Δh_2 和 K_1 作为敏感指标的应用非常广泛, 除了典型的突出煤层区域和高应力区域(采深大、构造复杂), 一般都是优先选用瓦斯解吸指标 Δh_2 和 K_1 作为敏感指标, 并且, 选择二者的区域一般瓦斯浓度都比较高, 因此, 对于以瓦斯为主导的突出, 建议选择 Δh_2 、 K_1 指标为敏感指标。除了局部区域外, 几乎所有的调研对象都将钻屑量 S 作为敏感指标, 特别是在采深大、构造复杂的区域, 该指标的

地位更加重要, 因此, 对于以应力为主导的突出, 建议选择钻屑量 S 为敏感指标。

2.3 新方法的应用

根据上述分析结果可知, q 适用于典型的突出煤层, Δh_2 和 K_1 适用于以瓦斯为主导的突出煤层, S 适用于以应力为主导的突出煤层。各突出预测指标的适用性如表2所示。

表2 各突出预测指标的适用性

指标类别	适用性
q	典型的突出煤层
$\Delta h_2, K_1$	以瓦斯为主导的突出煤层
S	以应力为主导的突出煤层

在应用统计分析法确定突出预测敏感指标时,首先,应摸清煤层的地质条件,并分析其煤与瓦斯突出控制性因素;然后,根据表2的对应关系,确定1~2个指标为其突出预测敏感指标;最后,在突出预测实践中,进行检验。

3 工程应用

3.1 开滦矿区瓦斯动力灾害控制性因素分析

在开滦矿区,共有3个突出矿井,分别是马家沟矿、赵各庄矿和钱家营矿。本研究共收集了开滦矿区47次煤与瓦斯突出的记录卡片,记录的信息包括每次突出发生的条件(包括采深、采掘作业类型、煤层厚度、倾角、煤体硬度、顶底板岩性、动力灾害发生时的相对瓦斯涌出量、邻近层开采情况和地质条件)及动力灾害的强度(抛出煤量和瓦斯涌出量)。

有些条件(采深、煤层厚度、倾角、动力灾害发生时的相对瓦斯涌出量)是定量的,有些条件(采掘作业类型、煤体硬度、顶底板岩性、邻近层开采情况和地质构造)是定性的。在采用数学方法分析其权重时,需要将定性的条件量化。另外,瓦斯动力灾害结果包括抛出煤量和瓦斯涌出量,这两个方面需要联合起来,形成一个评价瓦斯动力灾害后果的指标。

由于突出地点全部发生在掘进过程中,作业类型包括石门揭煤、上山掘进和平巷掘进,将发生事故的采掘作业类型量化为1,其余两个为0;将松软煤层量化为1,中硬煤层量化为0;岩性包括页岩、中粒砂岩、细砂岩和粉砂岩4种,将相应的量化为1,其余为0;邻近层开采情况包括停采位置、不可采、未开采和已采4种,同样,将相应的量化为1,其余为0;地质条件比较复杂,但是,主要为地质构造和煤层重叠,有就量化为1,否则为0;抛出煤量比瓦斯涌出量要小约2个数量级,因此,将瓦斯动力灾害严重程度量化为抛出煤量和瓦斯涌出量的1%之和。

在量化处理后,根据神经网络预测法,编制好相应的计算程序;输入量化处理后的数据,并运行程序,即可得出各影响因素与瓦斯动力灾害结果之间的相关性。计算结果越接近于1,表明其相对应的自变量与因变量的相关关系越显著,即该因素对瓦斯动力灾害的影响权重越大。

运行计算结果显示,与瓦斯动力灾害的相关性最紧密的前5位因素是:煤厚、粉砂岩、石门、地质构造、煤层重叠;在这5个因素中,石门和粉砂岩均对煤体有较好的封闭作用,有效阻碍煤体瓦斯释放,煤厚异常和煤层重叠也是地质构造运动影响的结果。因此,在开滦矿区,对煤与瓦斯突出起控制性作用的

因素主要为地质构造所产生的高应力,其次是高压瓦斯。

3.2 开滦矿区煤与瓦斯突出预测敏感指标优选

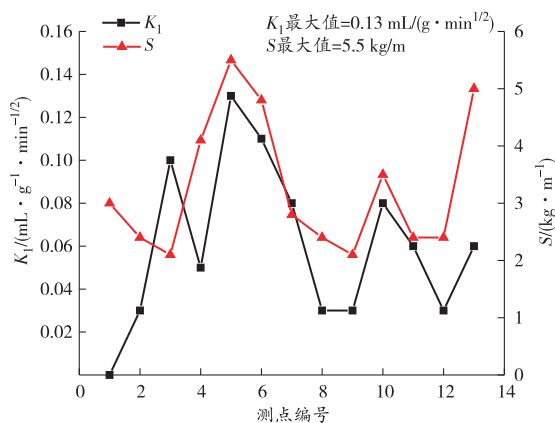
根据各突出预测指标适用性,并结合开滦矿区的瓦斯动力灾害控制性因素,在开滦矿区煤与瓦斯突出预测指标应首选钻屑量 S ,次选瓦斯解吸指标 Δh_2 和 K_1 。

《河北省煤矿瓦斯综合治理办法》第四十七条要求,工作面突出危险性预测和工作面防突措施效果检验应至少采用1种具备储存、显示功能的仪器,设备内储存的数据保持2d以上。目前,市场上的常规突出预测指标(q 、 Δh_2 、 K_1 和 S)测定仪器,具备该功能并且应用比较成熟的,只有用于测定 K_1 的WTC瓦斯突出参数仪。

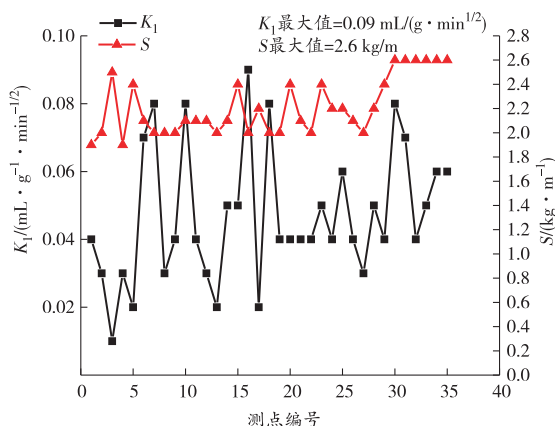
因此,考虑到《河北省煤矿瓦斯综合治理办法》第四十七条对突出预测仪器在储存、显示功能方面的要求,开滦矿区的突出预测指标选定为 S 和 K_1 。

3.3 开滦矿区煤与瓦斯突出预测工程实践

在开滦矿区钱家营矿5煤层的1355、1356和1358等3个工作面,应用初选的煤与瓦斯突出预测指标 S 和 K_1 ,开展现场突出预测试验,预测结果见图1。



(a) 1355 回风边眼



(b) 1356 回风巷

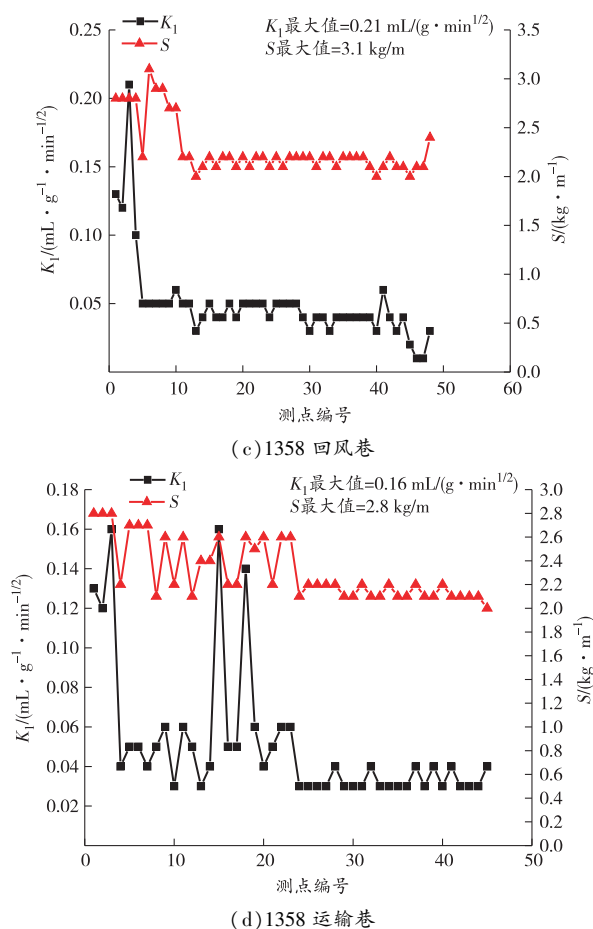


图1 煤与瓦斯突出预测结果

在突出预测和随后的掘进过程中,均没有任何动力现象,没有突出危险。由图1可以看出, K_1 最高值为 $0.21 \text{ mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})$,只有临界值的42.0%, S 最高值为 $5.5 \text{ kg}/\text{m}$,为临界值的91.7%,均未超标,因此,突出预测指标测试数据反映的突出危险性与实际相吻合。在测试地点,瓦斯起主导作用的 K_1 较小,地应力起主导作用的 S 相对较高;这与尚未考虑测试仪器要求时的预测指标优选结果“在开滦矿区,煤与瓦斯突出预测指标应首选钻屑量 S ,次选瓦斯解吸指标 Δh_2 和 K_1 ”是一致的。因此,从现场工程实践来看,将 S 和 K_1 定为开滦矿区突出预测敏感指标,是合适的。

4 结语

1)煤与瓦斯突出预测传统指标敏感性确定方法存在较大局限性,面对市场需求,急需探索出新的突出预测敏感指标确定方法。

2)提出了用于确定突出预测敏感指标的统计分析法,找出了各预测指标适应的地质条件; q 适用于典型的突出煤层, Δh_2 和 K_1 适用于以瓦斯为主导的突出煤层, S 适用于以应力为主导的突出煤层。

3)在开滦矿区,对煤与瓦斯突出起控制性作用的因素主要为高应力,其次是高压瓦斯;结合《河北省煤矿瓦斯综合治理办法》第四十七条的要求,选定其突出预测敏感指标为 S 和 K_1 。

参考文献:

- [1] 尚鹏. 基于多指标加权灰靶决策的煤与瓦斯突出预测指标研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2014.
- [2] 屠锡根, 哈明杰. 突出敏感指标初探[J]. 煤矿安全, 1991(9): 15-21.
- [3] 王佑安, 王魁军. 工作面突出危险性预测敏感指标确定方法探讨[J]. 煤矿安全, 1991(10): 9-14.
- [4] 周松元. 煤与瓦斯突出预测敏感指标及临界值的确定[J]. 湖南煤炭科技, 1995(9): 26-29.
- [5] 孙东玲. 突出敏感指标及临界值确定方法的探讨与尝试[J]. 煤炭工程师, 1996(4): 3-7.
- [6] 彭荣富. 突出预测敏感指标及临界值确定研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2016.
- [7] 李成武, 付京斌. 煤与瓦斯突出敏感指标的确定方法[J]. 煤矿安全, 2003(增刊1): 72-74.
- [8] 王世超, 潘凤龙, 申健. 煤与瓦斯突出预测敏感指标确定及应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(5): 82-85.
- [9] 赵涛涛. 屯留煤矿煤与瓦斯突出危险性指标研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2011.
- [10] 张兆一. 压裂煤体煤与瓦斯突出敏感指标及其临界值的确定[J]. 矿业安全与环保, 2019, 46(6): 93-97.
- [11] 杨宏民, 冉永进, 陈立伟, 等. 谢桥矿突出预测敏感指标及临界值确定[J]. 煤炭技术, 2012, 31(5): 87-89.
- [12] 史广山. 告成矿21021回采工作面突出危险性预测敏感指标研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2009.
- [13] 张嘉勇, 艾子博, 吕华新, 等. 基于瓦斯涌出特征的钱家营矿掘进工作面突出预警系统应用[J]. 矿业安全与环保, 2020, 47(2): 61-65.
- [14] 付建华, 程远平. 中国煤矿煤与瓦斯突出现状及防治对策[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(3): 253-259.
- [15] 黄旭超, 孙东玲. 我国煤矿煤与瓦斯突出现状及预警技术的研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(7): 61-63.

(责任编辑: 李 琴)