

突出矿井延深水平突出危险性区域 综合预测技术

罗文柯^{1,2}, 汤霞芳^{1,2}, 胡筱斌³, 李柳青⁴, 邹声华^{1,2}

(1. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;
3. 湖南黑金时代长沙矿业有限公司, 湖南 长沙 410600; 4. 湖南黑金时代白山坪矿业有限公司, 湖南 耒阳 421831)

摘要:在对国内外突出危险性区域预测理论和预测技术进行系统研究的基础上,基于白山坪矿井延深水平(-400 ~ -600 m)的煤层赋存、顶底板条件、地质构造条件等情况,以延深水平开拓前与开拓后为时间区段,分别应用多种现有区域预测技术与方法进行水平、新采区和工作面的突出危险性区域预测,以提供科学、准确的预测结果,为科学合理采用防突技术提供关键依据。在对矿井延深水平3162工作面煤巷掘进的效果考察中发现,在采用区域综合预测结果分析后,仅对预测有突出危险性区域进行局部防突卸压后,经钻屑指标法对全工作面进行效果检验,其钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 和每个钻孔的最大钻屑量 S_{\max} 均小于《防突规定》中的参考临界值,取得理想卸压效果。

关键词:突出矿井;延深水平;突出危险性;区域预测;综合

中图分类号:X937 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2015)01-0022-07

Regional comprehensive prediction technology for coal and gas outburst danger in the deep level of coal and gas outburst mines

Luo Wenke^{1,2}, Tang Xiafang^{1,2}, Hu Xiaobin³, Li Liuqing⁴, Zou Shenghua^{1,2}

(1. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Key Laboratory of Mining Techniques of Coal Mines, Xiangtan 411201, China;

3. Changsha Mining Compang Limited, Changsha 410600, China;

4. Bai Shan Ping Mining Compang Limited, Hunan black gold era, Leiyang 421831, China)

Abstract: On regional prediction of outburst danger at home and abroad on the basis of studying the theory and technology of the forecasting system, based on the Bai Shan ping mine deep level (400 ~ 600 m), roof and floor of coal seam occurrence condition, geological structure, etc., to the deep level development before and after the development for the time segment, a variety of existing regional prediction technology and method were applied, to decide the new mining area and forecasting outburst danger area of working face, to provide scientific and accurate prediction result, to provide the key basis for the scientific and reasonable using outburst prevention technology. On the level of extending the deep in the mine 3162 working face in the investigation of effects of excavating in coal roadway, it found that after the regional comprehensive prediction analysis, only to predict outburst danger area of local outburst prevention after unloading, the drilling cuttings index method is carried out on the whole face effect test, the drilling cuttings gas desorption index Δh_2 and the maximum drilling cuttings S_{\max} of every hole is smaller than the reference in the outburst prevention provisions on the critical value, ideal pressure relief effect is obtained.

Keywords: coal and gas outburst mines; the deep level; coal and gas outburst danger; regional prediction; comprehensive

我国是世界上发生煤与瓦斯突出(以下简称突出)灾害最为严重的国家之一^[1-2].其突出矿井产量约占世界突出矿井总产量的24%,累计突出次数约占世界总突出次数的40%以上.就发生突出次数与强度来看,远远超过前苏联、波兰及法国等欧洲国家^[3-4].

突出危险性区域预测是在全面分析突出煤层区域内各种异常地质特征基础上,阐明与区域预测相关的含煤层沉积环境、岩性特征,煤层的变质,区域地质构造,水文地质,火成岩作用以及煤层埋藏深度等地质特征与突出的关系、分布规律.建立地应力、瓦斯和煤质及地质构造特征诸参数与煤层突出危险性的关系,阐明突出发生的区域条件.科学准确地预测煤与瓦斯突出危险性,既能及早预测预报,又可为科学合理采用防突措施提供关键依据,是保证安全生产及提高安全程度的重要手段^[5].开采实践证明,影响突出的因素复杂,既有多种地质因素,亦有多种非地质因素(因采掘而产生的应力集中、瓦斯异常涌出、煤质和地质构造变化等因素^[6]).致灾环境层次多,且存在大量的不确定性,很难使用单一的方法进行突出区域预测,是一个典型的多目标综合分析问题^[7].因此,突出灾害的防治在很大程度上取决于区域预测的可靠性和准确性^[8-10].如果通过区域预测把突出危险区域、突出威胁区域和无突出危险区划分出来,进行分别对待与管理,就可达到卸压局部,解放一片的目的.以大大节约防突措施费用和提高采掘速度.

1 区域预测理论技术研究概述

1.1 区域预测理论研究简述

从理论上讲,区域预测的目的就是阐明煤层区域发生突出危险的理论条件.归纳国内外区域预测理论研究成果如表1所示.

表1 国内外区域预测理论研究成果一览表

理论名称	原理	应用情况
半经验统计理论	根据统计分析突出危险和非突出危险的煤、区域、煤层等在应力状态、瓦斯参数以及物理性质方面的不同,阐述发生突出的区域条件、突出危险煤层煤的破坏类型等.	方便易行而获得广泛应用,因某点测定结果代替水平或采取,故准确率较低.
固一流耦合失稳理论	突出是含瓦斯的煤失稳破坏后而发生的一种现象,因而失稳的判据就是突出发生的判据.该理论从煤的失稳破坏和能量角度出发,建立煤层区域发生突出危险的条件.	理论推导严密.但判据中众多参数难测定、计算繁琐,有待完善推广应用.
弹性应变能理论	突出的发生与煤的结构、煤(岩)力学性质、煤的应力状态有关,而反应构造压力、重力应力、瓦斯压力和煤(岩)力学性质的参数就是煤的弹性应变能.	虽然考虑瓦斯压力因素,但现场应用困难,难以推广.
瓦斯地质理论	区域地质构造是突出的地质背景,从煤层实际发生突出区域的条件出发,通过地质构造理论阐述突出发生的区域条件.	易掌握,现场便于应用,但无法解释无构造区域的突出.
地球物理探测理论	根据煤层密度、传播速度等物理参数研究同应力、煤质的物理性质、瓦斯压力的关系,阐述煤层区域发生突出的条件.	拓宽了突出区域预测研究领域,应用有待推广.

1.2 突出危险性预测技术研究概述

突出危险性预测根据矿井的不同开拓阶段分为:新水平、新采区开拓前的区域预测和新采区开拓完成后的区域预测两个阶段.开拓前区域预测结果仅用于指导新水平、新采区的设计和新水平、新采区开拓工程的揭煤作业;开拓后区域预测结果用于指导工作面的设计和采掘生产作业^[11-12].

由于对于突出机理的认识是一个逐渐过程,因此.研究区域预测技术亦随着对突出机理认识的不断深入而不断发展.综合国内外对开拓前和开拓后突出危险性预测技术研究演变,其区域预测技术可归纳如表2所示^[13-15].

2 工程概况

2.1 矿井及延深水平简况

白山坪煤矿隶属于湖南省煤业集团白山坪矿业有限公司,位于湖南省耒阳市泗门洲镇境内.其地理座标为:东经112°53'33"~112°57'09",北纬26°21'15"~26°24'03".井田南起耒水,北止F₁₂断层,西始6煤层露头线,东到2煤层-400 m水平,走向长5.1 km,倾向宽0.88~1.37 km,面积约6.2 km²,现采矿许可证面积3.782 6 km².矿井延深水平上至-400 m等高线,下部到-600 m等高线,北以F₁断层为界,南至1线附近的耒水河为界,走向长约4.0 km,倾向宽约0.5 km,面积约2.0 km².如图1所示.

表2 国内外突出危险性区域预测技术一览表

技术方法名称	技术原理要点	计算公式	判别临界值与应用概况
1) 煤的破坏类型预测	基于突出煤层的原生和次生节理性质变化,对煤的微裂隙间距、断口、光泽等特性来预测突出危险性。	5种破坏类型 (I, II, III, IV, V类)	前苏联:IV, V类具有突出危险性; 中国:III, IV, V类具有突出危险性。
2) 煤的瓦斯放散初速度预测	通过测定煤样的放散瓦斯的初速度(以汞柱压差 ΔP 表示)来表征煤的破坏程度和孔隙性质,间接表明了煤层突出危险的必要条件。	综合预测辅助指标	$\Delta P \geq 10$,有突出危险。
3) 煤的强度性质预测	利用煤的坚固性系数 f 来表征煤层的突出危险性。	$f = \frac{20n}{l}$ n 为试样冲击次数; l 为筛分后煤尘高度,mm。	$f \leq 0.5 \sim 0.8$ 时,有突出危险; $0.5 < f \leq 1.2$ 突出威胁; $f > 1.2$ 无突出危险。
4) 煤的微观结构预测	日本用偏光显微镜观测发现:“突出煤有分枝性龟裂”;前苏联发现煤的结构排列规整性指标在突出点处急剧减小。	顺磁中心数指标 X 和介电损失角正切值 $\tan\delta$ 急剧升高。	实际应用困难
5) 煤层埋藏深度预测	前苏联:假如第一次突出位于回风平巷标高处,则由其沿仰斜向上100m处就开始视为突出危险区域。	始突深度是相对值;埋藏深度为绝对值。	我国部分矿井也其作为区域预测中一个重要指标加以应用。
6) 瓦斯压力和瓦斯含量预测	煤层中的瓦斯压力是决定煤中瓦斯含量大小的基本因素,也是发生突出的动力。	瓦斯压力: P 瓦斯含量: W	中国: $P \geq 0.74$ MPa, $W > 8$ m ³ /t,为突出危险煤层. 其他国家 P 取1.0 MPa, W 取9~10 m ³ /t.
7) 煤的挥发分和电阻率预测	以煤的挥发分 V_{daf} 和电阻率对数 $l\lg\rho$ 表示的煤变质程度,以说明煤层的突出危险性。		前苏联: $V_{daf} < 35\%$,或 $l\lg\rho > 3.3$ 时,煤层具有突出危险的或然率大,其余则或然率小。
8) 煤的吸附孔隙特性预测	煤的孔隙系统分为吸附孔(V_a)和渗透孔(V_s),利用其判别其突出危险性。	吸附孔分为微孔隙和过度孔隙;渗透孔分为中孔隙和大孔隙。	中国: $V_s < 40\%$ 时,为非突出危险; $V_s = 40\% \sim 60\%$ 时,为过渡型或威胁型;当 $V_s > 60\%$ 时,为突出危险。
9) 综合指标 K 值预测	前苏联东方研究所提出下列两个综合考虑瓦斯放散初速度 ΔP 和坚固性系数 f 的综合指标 K_1 和 K_2 值。	前苏联: $K_1 = \Delta p - 10f^2$; $K_2 = \Delta p - 25f^2$ 中国: $K = \Delta P / f$	式中: $\Delta P, f$ 均为全煤层加权平均的瓦斯放散初速度和坚固性系数。
10) 综合指标 e 值预测	通过煤放散初速度 ΔP 、坚固性系数 f 和煤的筛分指数 c 的关系进行预测。	$e = 1.8(\Delta P - f) + 0.7c$	当 $e > 21$ 时,有突出危险, $e < 21$ 时,无突出危险。
11) 综合指标 D 值预测	中国:提出了一个包括煤层开采深度 H 、瓦斯压力 P 和煤的坚固性系数 f 的综合指标 D 的区域预测技术。	$D = (0.0075H/f - 3)(P - 0.74)$	式中 D 为煤层的突出危险性综合指标
12) 综合指标 S_1 值预测	波兰主要应用综合指标 S_1 进行区域预测。	$S_1 = HG/40000f$ (H 为开采深度; G 为煤的瓦斯含量; f 为煤的坚固性系数。	当 $S_1 > 0.25$ 时,有突出危险; $S_1 > 0.5$ 时,有严重突出危险。
13) 地质构造指标预测	突出与构造有明显相关性. 各矿井地质构造差异大,则用煤层倾角标准差 α 变形系数 K_B 、小断层密度、煤后标准差 H_m 、变异系数 C_v 、揉皱系数 K_m 做定性判断。	$\alpha = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\beta_i - \bar{\beta})^2} K_B = \frac{L' - L}{L}$ $\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [x_i - \bar{x}]^2}$; $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i0}}{n}$; $C_v = \frac{\delta}{\bar{x}}$	越大越危险
14) 地质力学区域预测	基于煤的可破碎性、厚度、分层数、顶板裂隙密度、基本顶和直接顶厚度、岩石强度、工程地质类型等因素,概率统计得出了众多指标。	$B = \frac{4950\beta}{P\sqrt{P}}$ (式中 ΔP 为煤的瓦斯放散初速度; f 为煤的坚固性系数; P 为煤层瓦斯压力)	当 $B > 10$,有突出危险; $B < 10$,无突出危险。
15) 物探预测	根据地质勘探钻孔的地球物理数据,用法、放射法、热法、声控法等方法进行综合分析确定煤层的突出危险性。	美国与我国进行了地震透射法(CT),无线电透视技术,地质雷达探测、槽波透视等方法研究。	拓宽了区域预测研究领域. 当前尚处于摸索阶段,应用的区域还较少。

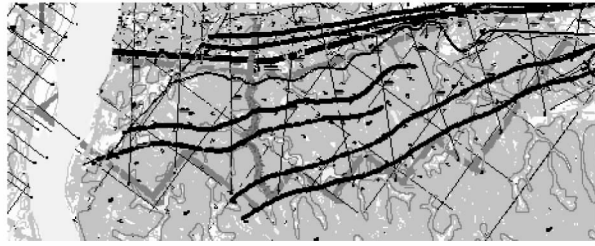


图1 白山坪煤矿延深水平区域平面图(浅色粗线标记)

矿井根据勘探资料和延深水平(-400 ~ -600 m)煤层赋存条件等将延深水平划分4个采区,即31, 33,32,34采区.各采区沿倾向分为5个区段,区段垂高约40 m.

2.2 延深水平煤层及其地质条件

1)煤层赋存情况:在矿井延深区域内5,6煤层均为局部可采煤层,主采煤层为6煤层,5煤可采性差.6煤层位于二叠系上统龙潭组上段(P₂l²)中下部,上距5煤层19.51~38.17 m,平均距30.16 m,煤厚0~7.09 m,平均厚度1.75 m,煤层倾角28°~32°,变异系数126.3%,可采范围比较集中.6煤层为不稳定大部可采的中厚煤层,赋存条件较好,可采性亦较好.其详勘钻孔煤层厚度如图2所示.

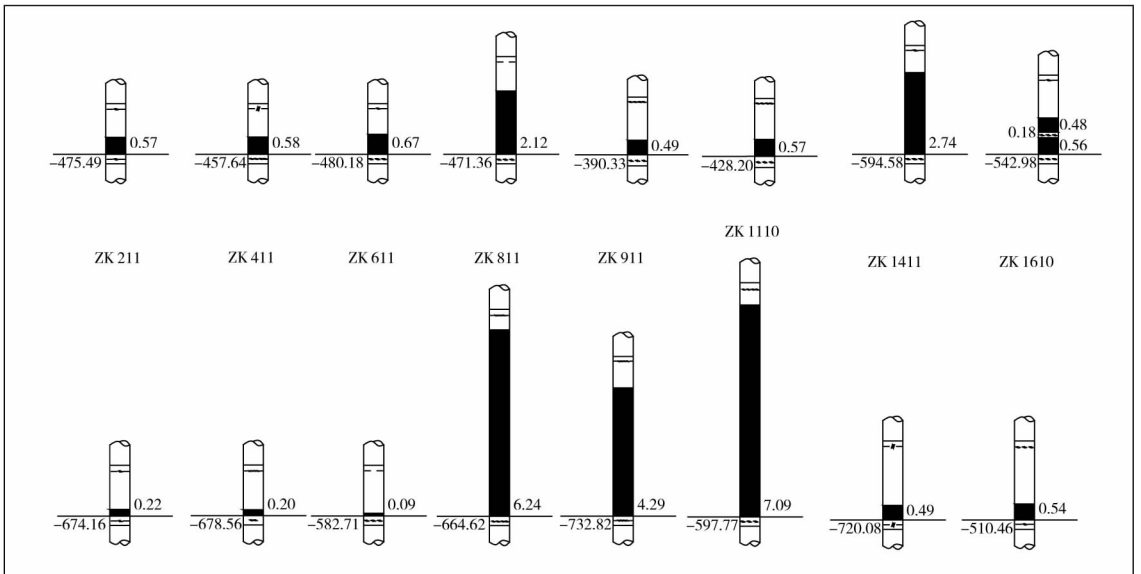


图2 白山坪延深水平勘探钻孔6煤层厚度变化图

2)煤层顶底板情况:5煤层直接顶板砂质泥岩,单轴饱和和抗压强度为19.1 MPa,6煤层直接顶板粉砂岩,单轴饱和和平均抗压强度25.2 MPa,均属较软岩;老顶岩石强度较高,中细粒砂岩单轴饱和抗压强度33~56.9 MPa,属较硬岩;5煤层直接底板中细粒砂岩单轴饱和抗压强度为42.4 MPa,属较硬岩,6煤层直接底板粉砂岩单轴饱和抗压强度13.8 MPa,属软岩,岩体较完整,稳定性较好.顶板属中等冒落的,为II级顶板管理,故延深水平(-400~-600 m)内5,6煤层顶、底板工程地质条件简单.

3)延深水平褶皱与断层情况:矿井深(-400~-800 m)水平原勘探报告中有向3背3,向4背4,其中向3背3与厚煤层交叉,将会造成局部瓦斯积聚增大;向4背4对煤层的影响主要存在于-600 m水平以下.由地勘报告可以看出,主采区域内包含5条正断层,只有F₃在矿井范围内

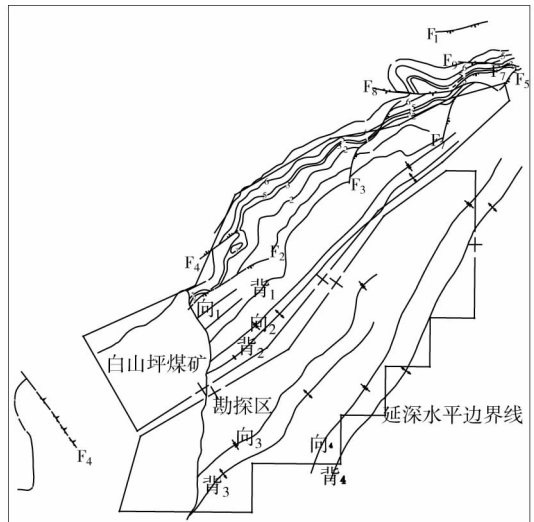


图3 白山坪延深水平褶皱、断层分布平面图

具有一定的延深,主要穿过矿井中南部不可采区域,与中部与厚煤层有部分交叉处,使得该处瓦斯得以释放,一定程度上降低了煤层的瓦斯含量,其余构造规模均很小,对煤层瓦斯赋存影响甚微。

3 开拓前区域预测

在延深水平开拓前,进行区域预测的依据是该矿井上水平突出始深度和《白山坪煤矿边深部煤炭详查地质报告》^[16-17]。结合表2所示的区域预测技术,则矿井-400~-600 m水平区域预测结果如表3所示。

表3 白山坪矿井延深水平开拓前区域预测结果

区域预测技术	预测原理分析	区域预测结果
1) 顶底板岩性指标预测	延深水平南翼6煤伪顶为0.1~0.2 m的泥岩,是瓦斯聚集的良好屏蔽层,直接顶为非常致密的砂质泥岩,屏蔽性很好;北翼伪顶泥岩较薄,且分布前均匀和大部分地区缺失,透气性相对较好。	南翼的煤与瓦斯突出危险性远高于北翼
2) 煤层厚度变异系数指标预测	突出集中发生在煤层厚度变化地带。在煤层厚度急剧变化处易产生应力集中和煤体结构的破坏,形成有利于突出发生的地质条件。由图2可以看出:由北向南厚度逐渐增厚,局部达7 m。厚度变异系数计算: = 0.83。	6煤厚度 C_v 较大,突出危险性亦较大;局部达到7 m以上,更易导致发生突出。
3) 挥发分指标预测	根据该矿井延深水平详勘期间取6煤芯煤样10个挥发分的测试结果为3.26%~5.38%,其平均值为4.36%,远小于35%。	6煤突出危险性大
4) 地质构造指标预测	延深水平向3背3与厚煤层交叉,将会造成局部瓦斯积聚增大;向4背4在于-600 m水平以下,影响不大,矿井共5条正断层,仅 F_3 在矿井范围内具有一定的延深,与中部与厚煤层有部分交叉处,使得该处瓦斯得以释放,一定程度上降低了煤层的瓦斯含量。	地质构造对突出影响甚微。

由表3可以看出,该矿井在为进行开拓工程之前,有关与6煤突出危险性的信息有限,但通过详勘资料的深入分析和4项单项指标的预测结果看,在延深水平范围内,6煤的突出危险性大,且南翼的突出危险性高于北翼。故防治突出灾害的重点在南翼。

4 开拓后区域预测

在矿井延深水平开拓工程完成后,给煤层瓦斯的基础参数测试提供了场地,加之巷道掘进工程中的地质构造和水文地质情况的进一步勘探仔细。给新采区的突出危险性区域预测提供了更多的有效信息,结合表2的国内外区域预测技术研究成果。对白山坪矿井延深水平在开拓工程完成后区域预测(以31采区为例)结果如表4所示。

表4 白山坪矿井延深水平开拓前区域预测结果

区域预测技术	预测原理分析	区域预测结果
1) 瓦斯压力与瓦斯含量指标预测	根据《防突规定》要求:同一地质单元内沿煤层走向布置测试点不少于2个,沿倾向不少于3个,则在矿井延深水平布置1 [#] ,2 [#] ,3 [#] ,4 [#] ,5 [#] 钻场进行6煤的瓦斯压力和瓦斯含量的测定,就已经完成的1 [#] 和2 [#] 钻场来看: $P_{1\#} = 1.1 \text{ MPa}$, $P_{2\#} = 1.5 \text{ MPa} > 0.74 \text{ MPa}$; $W_{1\#} = 9.41 \text{ m}^3/\text{t}$, $W_{2\#} = 10.47 \text{ m}^3/\text{t} > 8 \text{ m}^3/\text{t}$ 。	31采区区域煤层瓦斯含量和瓦斯压力都较高,具有突出危险性。
2) 地质构造指标预测	压扭性断裂率计算:未见到压扭性断层,故压扭性断裂率 $I = 0$;煤层厚度变异系数计算: $C_{v\text{走向}} = 0.73$; $C_{v\text{倾斜}} = 0.65$,说明该采区在6煤在倾斜方向的厚度变化也比较大。	突出危险性也较强,因此,说明采区阶段划分不宜太大,以防局部特厚煤层的卸压时间长,卸压效果不佳的情况。
3) 煤质指标预测	31采区-440 m北二石门煤样坚固性试验: $f = 0.6 > 0.5$,说明该采区未收构造影响破坏;31采区煤样筛分指数测试试验:粒径 $< 0.5 \text{ mm}$ 煤样质量(g)占19%;软分层煤的瓦斯放散初速度指标,实测-440 m水平 $\Delta p = 27.627$ 。	从31采区煤样的筛分试验和瓦斯放散初速度试验结果看,6煤具有突出危险性;但坚固性试验看:煤的结构强度能阻挡突出。
4) 综合指标e值预测	$e = 1.8(27.627 - 0.6) + 0.7 \times 0.19 = 48.8$	因 $e = 48.8 > 21$,故延深水平新采区具有突出危险性。

综合考虑表4所预测结果,延深水平新采区(31采区)的突出危险性较大,但该采区煤的结构强度有利于阻碍突出灾害的发生。

5 效果考察

根据白山坪矿井延深水平的开拓工程进程,在区域预测的基础上,给新采区提供了防突重点在31采区的信息,在对31采区实施底板穿层钻孔+顺层钻孔抽采瓦斯后的3162工作面的煤巷掘进过程的效果检验发现,钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 和每个钻孔的最大钻屑量 S_{\max} 均小于《防突规定》中的参考临界值,实现了科学准确预测和合理有效防突措施目标。

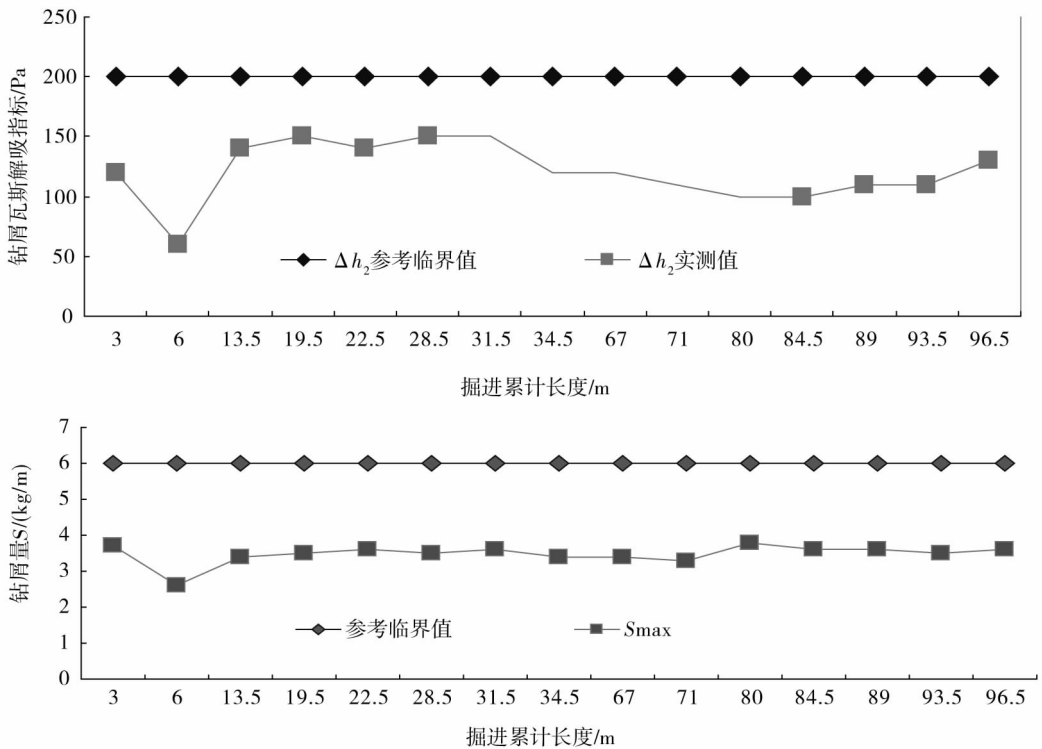


图4 白山坪煤矿3162工作面预测指标实测值与参考临界值对比分析图

6 结论

1)在对国内外对突出危险性区域预测理论与预测技术综合分析基础上,提出了突出矿井延深水平常用的15种预测技术及其使用原理和判别临界参考值。

2)突出矿井随着开拓工程的进程,延深水平区域预测分有无井下实测瓦斯参数2个阶段,既不同阶段提供了不同的预测信息,也就提出了不同的预测技术及获得不同预测结果。

3)以白山坪矿井延深水平为典型案例,采用多种区域预测指标进行综合分析发现,延深水平的南翼突出危险性大于北翼。

4)在对延深水平新采区(31采区)实施区域预测及防突卸压措施后的效果考察中发现把突出危险区、威胁区和无危险区分别管理,有利消除一点,卸压一片的目的,卸压效果明显。

参考文献:

- [1] 漆旺生,凌标灿,蔡嗣经.煤与瓦斯突出预测研究动态及展望[J].中国安全科学学报,2003,13(12):1-4.
- [2] Zhang H W, Yang H, Song W H, et al. Pattern recognition prediction of coal and gas outburst hazard in the sixth Mine of Hebi [J]. Journal of Coal Science & Engineering(China), 2008, 14(2): 248-251.

- [3] 程五一,张序明,吴副昌.煤与瓦斯突出区域预测理论及技术[M].北京:煤炭工业出版社,2005.
- [4] Li S,Zhang H W,Cheng Y Q,et al. Coal and gas outburst model recognition and regional prediction[J]. Proceedings in Mining Science and Safety Technology,2002,13(6):40-43.
- [5] 付小平,薛新华,李洪涛. GRNN 模型在煤与瓦斯突出及瓦斯含量预测中的应用[J]. 中国安全科学学报,2012,22(1):24-28.
- [6] Frid V,Vozoff K. Electromagnetic radiation induced by mining rock failure[J]. International Journal of Coal Geology,2005,64(1/2):57-65.
- [7] 张子戌,刘高峰,吕闰生,等. 基于模糊模式识别的煤与瓦斯突出区域预测[J]. 煤炭学报,2007,32(6):592-595.
- [8] Wang E Y,He X Q,Dou L M,et al. Forecasting rock burst with the non-contact method of electromagnetic radiation[C]//2002 International Proceedings of Safety Science and Technology. Taian: Safety and Environment magazine,2002.
- [9] 张宏伟,段克信,张建国,等. 矿井动力现象区域预测研究[J]. 煤炭学报,1999,24(4):383-387.
- [10] 施式亮,伍爱友. 基于神经网络与遗传算法耦合的煤与瓦斯突出区域预测研究[J]. 中国工程科学,2009,11(9):91-96.
- [11] 卢连宁,张迎新,张保勇. 煤与瓦斯突出机理及其区域预测技术对比[J]. 黑龙江科技学院学报,2007,17(1):33-36.
- [12] 钱建平,孙文卿,傅雪海,等. 淮南潘一煤矿未开拓区煤与瓦斯突出预测[J]. 中国煤炭地质,2011,23(6):23-27.
- [13] 兰天伟,苏广福,韩军,等. 地质动力区划预测煤与瓦斯突出[J]. 中国安全科学学报,2010,20(3):46-50.
- [14] 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [15] 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [16] 湖南省湘煤集团. 湖南省耒阳市白沙矿区白山坪井田白山坪煤矿边深部煤炭详查地质报告[R]. 耒阳:白山坪矿业公司,2011.
- [17] 湖南省湘煤集团. 白山坪矿井瓦斯地质图编制说明书[R]. 耒阳:白山坪矿业公司,2012.