

豫西芦店滑动构造区瓦斯抽放技术研究

王志荣, 孙 龙, 靳润芳

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 针对河南省“三软”煤层岩性结构的特殊性以及罕见的顶板瓦斯突出现象,通过地质调查、室内岩样测试和现场压裂试验,系统地探讨了软岩顶板的变形特征、泥化性能、压裂性能以及瓦斯抽采技术。研究表明,在传统的注水压裂技术难以奏效的情况下,应根据顶板不同的岩性结构而采用不同的瓦斯抽放方法,即单层坚硬顶板宜采用钻孔抽放法,而复杂破碎顶板宜采用巷道抽放法。

关键词: 滑动构造;构造岩顶板;力学性能;瓦斯抽采

中图分类号: TD713.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2011)02-0019-06

Study on Techniques of Gas Drainage in Ludian Gliding Tectonics Area of West Henan

WANG Zhirong, SUN Long, JIN Runfang

(College of Water Conservancy and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: Aiming at the particularity of rock structure with “three soft” seams and the seldom seen phenomenon of gas outburst in roof, and through the geological survey, indoor test of rock samples and in-situ fragment experiment, the author systematically discussed the deformation characteristics, the performances of argillization and fragment and, gas drainage techniques under soft roof conditions. The research indicates that when the traditional water-injection fracturing technique doesn't work, we can adopt different gas drainage methods according to different rock structures of roof, namely, single layer hard roof is appropriate to use drilling drainage method, however, the complex broken roof is appropriate to use roadway drainage method.

Key words: gliding tectonics; roof with tectonic rock; mechanical property; gas extraction and drainage

芦店滑动构造位于河南省嵩山—五指岭和箕山—凤后岭之间的登封、密县境内,东起密县大槐镇,西止于登封县南嵩山断层带的玉皇庙断层。西宽东窄,总体展布近东西向,呈向北凸出的弧形,面积为 260 km²。构造区火成岩体极不发育,主采二₁煤层基本没有受到热异常的影响,但因受多期滑动构造的改造,变形强烈,结构复杂,全区基本上构造煤化。由于动力变质程度较高,煤级从高级烟煤到无烟煤,属豫西典型的“三软”煤层。

滑动构造的主滑脱面沿二₁煤及顶底板附近层位发育,钻孔揭露为平均厚 40 m 的碎裂岩带,岩性松软破碎。在漫长的地质时期中,瓦斯向多空隙的构造岩顶板运移与富集,从而形成豫西地区特有的构造岩顶板瓦斯异常现象^[1-3]。

1 构造岩顶板力学性能

1.1 构造岩顶板变形特征

芦店滑动构造的多期滑动成因造就了研究区丰富的构造现象。构造带在垂向上普遍出现分带现象,大致成上部断层裂隙带、中部断层破碎带和底部断层带(滑动构造带主体)的共生组合,断层带本身又可细分为

收稿日期: 2010-11-22

作者简介: 王志荣(1963—),男,浙江嘉善人,副教授,博士研究生,主要从事地质工程与地质灾害防治方面的研究。

E-mail: wangzhirong513@sina.com.

上部构造角砾岩覆盖下部断层泥的复杂二元结构(图 1)。根据变形特征和工程地质试验结果,构造角砾岩尚可进一步分为剪切角砾岩(图 2(a))和张性角砾岩(图 2(b))两种成因类型。滑动构造带中的张性角砾岩和断层泥的物理力学性能(表 1)基本符合软岩分类特征。

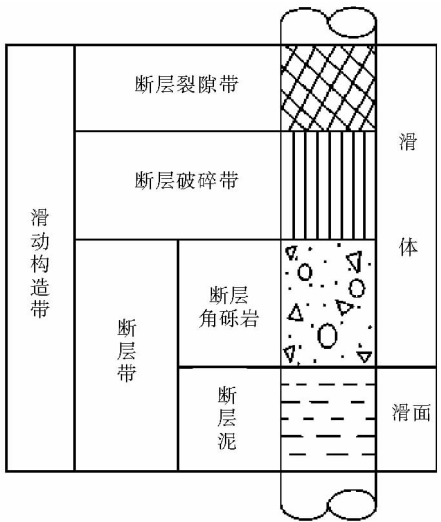
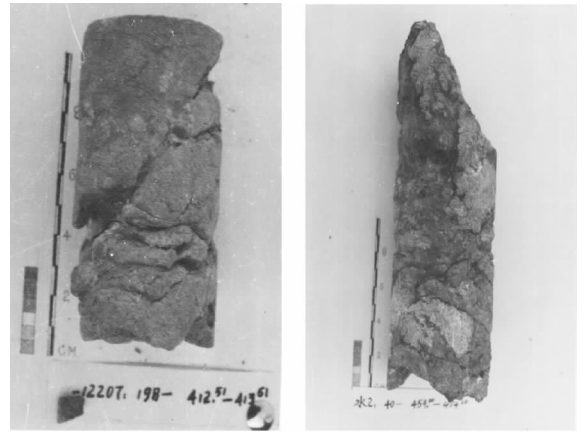


图 1 滑动构造带垂向结构图

Fig. 1 The vertical texture diagram of gliding tectonic zone



(a) 剪切角砾岩

(b) 张性角砾岩

图 2 滑动构造区断层角砾岩钻孔岩芯图

Fig. 2 The core of borehole with fault breccia in gliding tectonic zone

表 1 构造带岩石的物理力学参数表

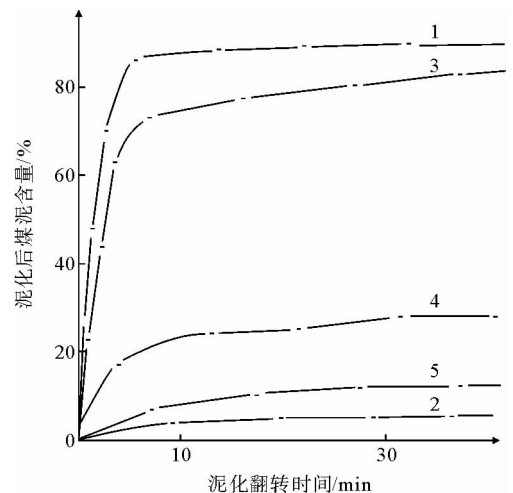
Tab. 1 The physical and mechanical parameters of rocks in tectonic zone

岩体类型	密度/(g/cm ³)	空隙率/%	含水量/%	吸水率/%	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa
断层裂隙带	2.75	3.69	0.87	0.54	87.6	3.3	3.16
断层破碎带	2.72	3.78	1.15	1.02	56.3	3.1	2.53
张性角砾岩	2.36	5.37	1.25	1.23	14.2	1.6	0.11
剪切角砾岩	2.77	3.87	1.04	1.10	45.2	2.3	0.57
断层泥	2.72	4.09	1.59	—	22.4	—	0.36

1.2 构造岩顶板泥化性能

自然界岩石遇水一般都具有塑性增强、强度降低及体积膨胀的泥化性能。泥化性能强的岩石在压力和水的联合作用下变形极大,但很少破坏产生裂隙^[4-5]。煤作为一种特殊的有机岩石,遇水后必然会产生一系列复杂的物理化学反应,从而大大改变其水理力学性能。为了评价构造岩顶板及二₁煤的注水压裂性能,在朝阳沟小井滑动构造带采集了泥化试验样,委托中国煤炭科学研究总院唐山分院,按煤炭行业标准《MT/T 109-1996 煤及其伴生矿物的泥化试验方法》中的安德瑞法进行了试验,其结果如图 3 所示。

从试验结果中可以得出:原煤、构造岩顶板、夹矸泥化现象明显,特别是开始 5 min,曲线斜率大,泥化速度快;而浮煤、底板泥化现象不明显,曲线位于座标系的下部,往右逐渐趋于水平,代表经过一定时间后,泥化逐渐停止,趋于稳定。根据上述特点,预料原煤和构造岩顶板在注水或在



1-构造岩顶板;2-底板;3-夹矸;4-原煤;5-浮煤

图 3 朝阳沟小井二₁煤层构造岩顶板泥化曲线图
Fig. 3 The curve diagram of argillization of tectonic rock roof in Well II₁ coal seam, Chaoyanggou mine

水采过程中容易泥化,将产生大量次生煤泥,既影响煤质,又使得本为隔水层的软岩顶板强度骤然降低,裂隙进一步变少甚至消失,必然影响顶板稳定性和瓦斯透气性。由此可见,水体与软岩顶板的相互作用在一定程度上影响顶板瓦斯的有效抽放。

1.3 构造岩顶板注水压裂性能

井下定向注水的现场试验客观反映了“三软”煤层的压裂性能。根据电法探测结果(图4),新义煤矿高抽巷1号与2号钻孔之间(40~80 m处),巷底以下25 m深度范围内的煤层在压裂前处密实状态,因而表现为视电阻率的高阻区(图4(a))。压裂后水体沿层间关键裂隙层流动,同一区域,即1号与2号钻孔之间的煤层已变为视电阻率的低阻区,这种压裂现象在煤层下部接近底板处尤为明显(图4(b)),而煤层上部接近顶板部位仍然呈现视电阻率高阻区。现场压裂试验再次佐证,软岩顶板在传统施压条件下难以产生层间裂隙,从而难以促使顶板瓦斯的有效抽放。

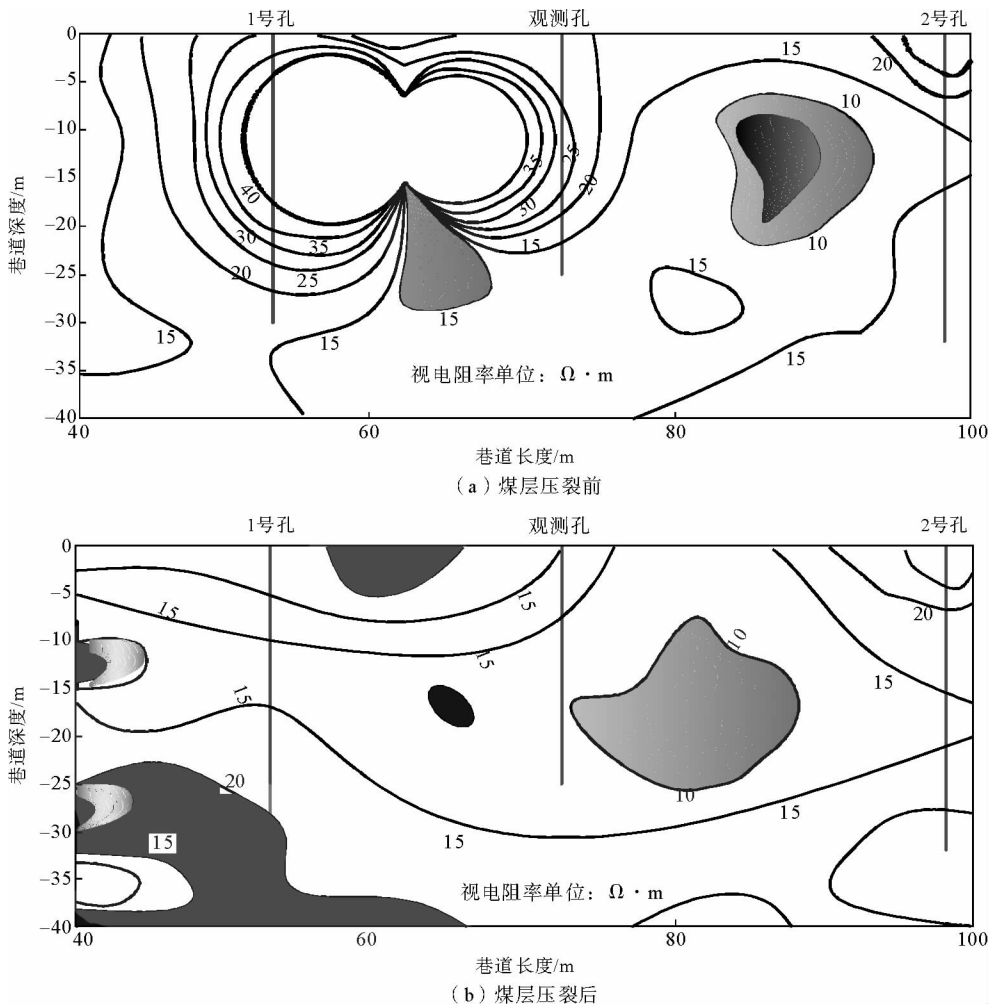


图4 新义煤矿煤层压裂电法探测对比图

Fig. 4 The contrast map of coal bed fracturing detected by electrical method in Xinyi Coalmine

2 构造岩顶板瓦斯赋存规律

构造岩顶板的破碎性能基本决定了矿井的“顶板瓦斯”现象。断层泥和张性角砾岩强度低,变形大,在全部垮落法管理顶板的开采方式中随采随落,因而无严格的伪顶、直接顶和基本顶之分,也无真正意义的冒落带、裂隙带之分。软岩顶板垮落后随即进入塑性软化状态,导致采动裂隙极不发育^[6-8]。采空区瓦斯向上运

移受阻并滞留于冒落带或冒落带之下,难以通过采动裂隙向上伏系统围岩运移,前方采面推进时,在通风负压和矿压的共同作用下,随着采空区漏风大量涌向工作面隅角,从而形成新的二次瓦斯源。郟城煤矿 13 采区内八个工作面的统计资料表明,正常生产条件下,采煤工作面瓦斯涌出量构成为:采面煤壁占总量的 60%,采面老空占总量的 25%,回风两巷占总量的 15%。

采掘面通风排释是矿井治理瓦斯地质灾害的基本手段,问题的关键是科学合理地确定配风量。在人们的一般概念中,通风量越大,瓦斯稀释效果越好。但在研究区这种特殊构造条件下,增大通风量也随之带来了严重的副作用。一方面老空区赋存在构造岩顶板中的瓦斯,随着巷道配风量的增加源源不断涌向工作面,从而增加了矿井通风负荷;另一方面粉状构造煤在强烈风流的作用下产生大量煤尘,既恶化了工作环境,又埋下了事故隐患。

表 2 是该矿 13031 采面瓦斯涌出量与配风量关系统计表,该采面顶板由极其软弱的断层泥和张性角砾岩组成。表中数据显示:采煤工作面风量在 1 000 m³/min 以下时,瓦斯涌出量为 8.5 m³/min,而老空区仅占总量的 20.0%~25.8%;当采煤工作面风量在 1 000 m³/min 以上时,老空区瓦斯所占比例剧增,平均达 43.32%。对高瓦斯采面而言,瓦斯涌出量都在 14 m³/min 以上,单靠通风排释,则配风量需相应达到 1 500 m³/min。而此时随着通风负压增加,老空区瓦斯已占 50%以上,采面风速也达 6 m/s,严重违反安全规程。因此,采空区构造岩顶板瓦斯是造成矿井采面“二次涌出”的首要原因。

表 2 郟城煤矿 13031 采面瓦斯涌出量与配风量关系表

Tab. 2 The relation between gas emission volume and the air quantity distributed in face 13031 of Gaocheng mine m³/min

配风量	瓦斯涌出量			
	回风流	采面	老空区	巷道
700	6.20	4.28	1.24	0.68
800	6.70	4.57	1.38	0.75
900	7.50	5.10	1.59	0.81
1 000	8.50	5.46	2.20	0.84
1 100	9.35	5.47	2.90	0.98
1 200	11.00	5.78	4.20	1.02
1 300	12.40	5.81	5.56	1.03
1 400	13.80	5.85	6.83	1.12
1 500	14.50	5.88	7.45	1.17

3 构造岩顶板瓦斯抽放技术

顶板岩石瓦斯抽放正是利用布置在煤层顶板中的钻孔或巷道,在泵站负压的作用下,改变采空区瓦斯的流向,通过抽排系统将顶板瓦斯导入矿井总回风中,从而达到降低采面隅角和回风流瓦斯浓度的目的。

3.1 钻孔抽放

3.1.1 地面抽放

研究区构造煤结构破坏严重,基本上被挤压成片状和碎粉状,煤的渗透性极差,几乎无法实施煤层强化抽放。但构造岩顶板空隙率大、渗透性强,自然状态下即可实施直接抽放。针对上述开采地质条件,作者从煤与瓦斯突出防治措施中的开采“解放层”方法中得到启示,提出了煤层构造岩顶板地面完整井或井下直接强化抽放瓦斯的新方法。地面完整井方法,即使用钻机钻穿构造岩顶板但不钻入煤层即行完孔。选择最破碎的区段建立“自然储层”,然后从这一“自然储层”中抽放由煤层扩散出来的瓦斯。超化煤矿于 2003 年 7 月份开始建立地面瓦斯抽放系统,抽放流量在 70~100 m³/min 之间,一般稳定在 80 m³/min;抽放瓦斯浓度在 4%~20%之间,一般稳定在 8%;抽放瓦斯纯流量平均为 6.4 m³/min;在配风量为 1 200 m³/min 情况下,工作面瓦斯浓度、上隅角瓦斯浓度和上副巷回风流瓦斯浓度分别可控制在 0.2%,0.6%和 0.35%以下。矿井瓦斯经过综合治理,不仅改善了采面的工作环境,并且消除了瓦斯超限现象,为我国东部伸展构造区的瓦斯地质灾害防治作出了示范。

3.1.2 井下抽放

研究区内高瓦斯矿井一般采用井下“顶板钻孔抽放”技术。实践证明,钻孔施工是顶板瓦斯抽放技术的关键环节。为解决由顶板破碎造成的钻进慢、易塌孔、易断杆问题,井下钻孔采用 SGZ-III A 和 ZYG-150 型钻机进行施工,同时积极采取以下应对措施:

- 1) 将传统的旋转钻进改为风动冲击钻进,使钻进速度提高 5 倍以上,保证了抽放钻孔的接替。
- 2) 为解决塌孔问题,对破碎顶板采取注浆加固措施,每钻进 5~10 m 即进行一次注浆,待凝固后进行第

二次钻进,如此循环往复直至终孔。对完整性较好的剪切构造岩,钻进后及时下花管即可。

3)为解决断杆问题,一般使用直径较大($\Phi 50$ mm)的钻杆,目前最大进尺已达 120 m。

采用顶板抽放技术,郟城煤矿瓦斯抽放量可达 $2\sim 3$ m^3/min ,平均抽放浓度达 15%,最高为 70%。在采面配风量相同的条件下,通过顶板抽放可使瓦斯浓度降低 0.2%~0.4%;在保证采面瓦斯在安全浓度的情况下,则可相应减少配风量 $200\sim 300$ m^3/min 。这样不但可以改善井下工作环境,而且保证了采面的安全生产,瓦斯治理效果非常明显。

3.2 顶板“高抽巷”抽放

滑动构造下的软岩顶板,尤其是张性角砾岩,岩芯极其破碎,导致钻孔施工十分困难。针对这种地质条件,可在煤层顶板直接开挖巷道(高抽巷)进行瓦斯抽放。郑州煤业集团超化煤矿在“三软”厚煤层 21071 综放工作面,采用本煤层高抽巷方法进行瓦斯抽放,取得了良好的效果。

3.2.1 工作面概况

21071 综放工作面位于该矿 21 采区东部,受滑动构造影响,煤层厚度变化极大,平均厚度为 8 m,倾角 $4^\circ\sim 20^\circ$,煤层结构复杂,坚固性系数小, $f=0.13\sim 0.2$,易冒落。煤层顶、底板岩性均为破碎砂质泥岩。根据掘进时顶板情况,瓦斯涌出呈带状分布,顶板破碎地段最大涌出量达到 6.0 m^3/min 以上。结合该矿经验,回采与掘进工作面瓦斯涌出经验比值可达 3.38,预计工作面回采时最大瓦斯涌出量 20.28 m^3/min 。

3.2.2 “高抽巷”瓦斯抽放方法

该工作面回采二₁煤层特厚且透气性极差,瓦斯主要在回采时集中涌出。根据本煤层钻孔抽放难钻进、易塌孔、流量小且衰减期短的特点,在本煤层沿顶板内错回风巷 15 m 位置开拓高抽巷。高抽巷采用木棚及其它不燃性材料进行支护,利用机械形成的高负压对冒落带、裂隙带及老塘区瓦斯进行抽放,解决回风流及上隅角瓦斯超限问题。

高抽巷与工作面同期施工,同时投入使用。高抽巷末端应位于切巷开切眼塌陷角以内,保证工作面回采时高抽巷能与工作面及时沟通。

3.2.3 “高抽巷”瓦斯抽放效果

瓦斯抽放效果十分明显,抽放系统起到了很好的作用。从最初抽放率 18.1% 上升到 60% 以上,抽放浓度也由最初的 5% 上升到 40% 左右,保证了工作面上隅角及回风流瓦斯浓度稳定在安全范围,工作面日产量稳定在 5 000 t 以上,极大地提高了工效。

4 结论

1)豫西滑动构造下的软岩顶板,岩芯破碎且结构复杂,是“三软”矿区名副其实的“二次”瓦斯富集源,这在我国乃至世界实属罕见。

2)软岩顶板的泥化试验与注水压裂试验表明,只有在顶板直接布置钻孔或巷道,才能实现瓦斯的高效抽放。

3)针对软岩顶板的不同岩性应采取不同的瓦斯抽放方法。在剪切角砾岩分布区段应采用钻孔抽放技术,而在张性角砾岩分布区段应采用巷道抽放技术。

参考文献:

- [1]王志荣,蔡迎春,孙文标.典型瓦斯地质灾害与防治[M].郑州:黄河水利出版社,2009.
- [2]WANG Z R,CHEN L X,CHENG C R,et al. Forecast of gas geological hazards for “three-soft” coal seams in gliding structural areas[J]. Journal of China University of Mining and Technology,2007,17(4):484-488.
- [3]王志荣,朗东升,刘士军,等.豫西芦店滑动构造区瓦斯地质灾害的构造控制作用[J].煤炭学报,2006,31(5):553-557.
WANG Zhirong,LANG Dongsheng,LIU Shijun,et al. Tectonic control on gas geological hazard in Ludian gliding structure [J]. Journal of China Coal Society,2006,31(5):553-557.
- [4]崔冠英.水利工程地质[M].北京:中国水利出版社,2000.
- [5]王志荣,牛书安,李冰,等.软岩井巷喷射混凝土抗渗机制及模拟试验研究[J].岩土力学,2007,28(12):2675-2680.
WANG Zhirong,NIU Shuan,LI Bing,et al. Research of anti-permeation mechanism of soft rock tunnel of shotcrete and its

analogue experiment[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2007, 28(12): 2675-2680.

[6] 袁亮. 高瓦斯矿区复杂地质条件安全高效开采关键技术[J]. *煤炭学报*, 2006, 31(2): 174-178.

YUAN Liang. Key technique to high efficiency and safe mining in highly gassy mining area with complex geologic condition [J]. *Journal of China Coal Society*, 2006, 31(2): 174-178.

[7] 卢平, 袁亮, 程桦, 等. 低透气性煤层群高瓦斯采煤工作面强化抽采卸压瓦斯机理及试验[J]. *煤炭学报*, 2010, 35(4): 580-585.

LU Ping, YUAN Liang, CHENG Hua, et al. Theory and experimental studies of enhanced gas drainage in the high-gas face of low permeability coal multi-seams[J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(4): 580-585.

[8] 肖福坤, 段立群, 葛志会. 采煤工作面底板破裂规律及瓦斯抽放应用[J]. *煤炭学报*, 2010, 35(3): 417-419.

XIAO Fukun, DUAN Liqun, GE Zhihui. Laws of floor breaking in coal mining face and gas extraction application[J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(3): 417-419.

(上接第 13 页)

[25] 窦林名, 何学秋. 由煤岩变化破坏引起的电磁辐射[J]. *清华大学学报*, 2001, 41(12): 86-88.

DOU Linming, HE Xueqiu. Electromagnetic radiation caused by coal rock change damage[J]. *Journal of Tsinghua University*, 2001, 41(12): 86-88.

[26] DOU L M, WANG B. *Computer application in the minerals industries*[M]. Rotterdam: A. A. Balkema Publisher, 2001.

[27] FRID V, VOZOFF K. Electromagnetic radiation induced by mining rock failure[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2005, 64(6): 57-65.

[28] LURKA A. Location of high seismic activity zones and seismic hazard assessment in Zabrze Bielszowice coal mine using passive tomography[J]. *Journals of China Mining University*, 2008, 18(3): 177-181.

[29] 李洪. 冲击矿压前兆信息的混沌预测及模式识别研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2006.

[30] UNANDER T E. The effect of attenuation on b-values in acoustic emission measurements: a theoretical investigation[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 1993, 30(7): 947-950.

[31] 宋维源, 潘一山. 冲击地压的混沌学模型及预测预报[J]. *煤炭学报*, 2001, 26(1): 26-30.

SONG Weiyan, PAN Yishan. Chaotic model of rock burst and forecasting[J]. *Journal of China Coal Society*, 2001, 26(1): 26-30.

[32] 谭云亮, 李芳成. 冲击地压声发射前兆模式初步研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2000, 19(4): 425-428.

TAN Yunliang, LI Fangcheng. Preliminary study on precursory mode of rock burst acoustic emission[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19(4): 425-428.

[33] 潘立友. 冲击地压前兆信息的可识别性研究及应用[D]. 泰安: 山东科技大学, 2003.