

孙强,王琪,姚腾飞,等. 唐山矿深部孤岛工作面冲击地压预控技术研究[J]. 矿业科学学报, 2019, 4(5): 410-416. DOI: 10.19606/j.cnki.jmst.2019.05.005

Sun Qiang, Wang Qi, Yao Tengfei, et al. Study on the pre-control of rock burst in the isolated island face of Tangshan mine[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2019, 4(5): 410-416. DOI: 10.19606/j.cnki.jmst.2019.05.005

唐山矿深部孤岛工作面冲击地压预控技术研究

孙强¹, 王琪², 姚腾飞¹, 李辉亮²

1. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京 100083;
2. 开滦(集团)唐山矿业分公司, 河北唐山 063000

摘要:冲击地压是严重危害矿井安全生产的动力灾害之一。孤岛工作面及其巷道附近应力集中程度高、顶板运动剧烈,易发生冲击地压。本文针对唐山矿孤岛工作面的特性,首先运用综合指数法确定Y484工作面的危险等级,将该工作面划分为7个弱冲击强度、2个中等冲击强度和3个强冲击强度区域;而后采用钻孔应力计和十字布点法确定了区域内的支撑压力峰值位置和影响范围,并根据不同的冲击地压危险等级分别采用钻孔卸压和爆破卸压技术对冲击地压进行预控。应用结果表明,该综合防治技术对Y484工作面的防控安全有效。

关键词:孤岛;冲击地压;综合指数法;爆破卸压;综合预控防治

中图分类号:TD 324

文献标志码:A

文章编号:2096-2193(2019)05-0410-07

Study on the pre-control of rock burst in the isolated island face of Tangshan mine

Sun Qiang¹, Wang Qi², Yao Tengfei¹, Li Huiliang²

1. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;
2. Kailuan (Group) Tangshan Mining Branch, Tangshan Hebei 063000, China

Abstract: Rockburst is one of the dynamic disasters that seriously threatened the safety of mine production. The stress concentration in the isolated working face and its roadway is high, and the characteristics of the violent roof movement make it more easy to occur rock burst. In view of the characteristics of isolated working face in Tangshan Coal Mine, firstly, the comprehensive index method was used to determine the dangerous grade of working face Y484, and the working face was divided into seven weak impact strength, two medium impact strength and three strong impact strength areas. Later, borehole stress gauge and cross-point method were adopted to determine the peak position and influence range of support pressure in the area. According to different dangerous grades of rock burst, the technology of borehole pressure relief and blasting pressure relief were used to pre-control rock burst. The application study shows that the comprehensive prevention and control technology is safe and effective for the prevention and control of working face Y484.

Key words: island; rock burst; comprehensive index method; blasting pressure relief; comprehensive pre-control

收稿日期:2019-01-19

作者简介:孙强(1962—),男,浙江常山人,博士,副教授,主要从事岩土工程专业方向的教学与科研工作。Tel:13621094559, E-mail:sunq_208@163.com

冲击地压是一种特殊的矿压显现形式,是煤岩体由于弹性变形能的瞬间释放而引起破坏的煤岩动力灾害现象^[1],具有极大的破坏性,是严重威胁煤矿安全生产的自然灾害之一^[2-3]。孤岛工作面应力集中程度高、顶底板运动剧烈的特点使之相较于其他工作面而言更易发生冲击地压。因此,对孤岛工作面的采前冲击地压危险性评价和预控的研究尤为重要。

众多学者的研究中,刘晓斐等^[4]提出了采用综合指数法和数值模拟方法进行采前冲击危险性区域预测,基于钻屑法和电磁辐射法进行开采冲击危险性局部预测的综合预测新思路;于正兴等^[5]提出了以综合指数法和冲击地压发生可能性指数诊断法进行冲击危险性评价的宏观评价方法;单仁亮等^[6]通过现场围岩变形监测研究了采空区下近距离巷道的矿压特征,得出距工作面 10 m 的范围内为采动影响的剧烈区;在冲击地压危险性监测方面,卢旭等^[7]介绍了应用钻孔应力计预测煤体内支撑压力变化规律从而监测冲击地压危险性的方法;张冬冬等^[8]介绍了钻屑法在冲击地压危险性监测的具体应用;李楠等^[9]介绍了微震法在冲击地压监测方面的现状以及改进。在综合防治方面,翟明华等^[10]提出了以“分类治理”为核心思想的冲击地压“分类-评价-解危-预警-检验-支护-管理”“七模块”治理技术体系;姜福兴等^[11]提出了“强卸压、强监测、强防护”的防冲技术,对冲击地压防治理论与技术是一个很好的总结。然而,由于煤矿深部开采地质条件复杂,特别是孤岛工作面条件不尽相同,更加深入的现场应用研究仍对我国煤矿安全高效开采具有现实意义。

鉴于此,本文针对唐山矿 Y484 孤岛工作面开采深度大、易发生冲击地压且冲击地压难以预测的特点,基于灾害控制理念^[12-14]提出以综合指数法与地质构造影响因素相结合的方法,确定冲击地压危险等级与危险区域的划分,并采用边监测、边解压的综合预控防治技术,以期实现更有效预控孤岛工作面冲击地压的目的。

1 工程概况

唐山矿 Y484 工作面位于开滦集团唐山矿业分公司 14 水平岳胥区,为 8、9 煤层合区工作面,其平均倾角 $11^{\circ} \sim 28^{\circ}$,煤层平均厚度约 11.5 m。工作面顶板属于砂质泥岩,平均厚度 6.3 m,普氏系数 12.7;底板为深灰色砂质泥岩,平均厚度 5.81 m,普氏系数 8.04;工作面采深为 -732.7 ~ -1 001.1 m,工

作面周围均为采空区,属于典型的深部孤岛开采工作面,工作面位置如图 1 所示。工作面发生冲击地压的可能性较大,需对其进行危险性评价和预控措施处理。

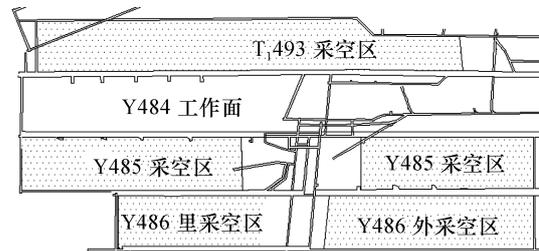


图 1 Y484 工作面位置

Fig. 1 Location of working face Y484

2 冲击地压危险性评价

2.1 综合指数法

冲击地压是在地质构造因素等内因和人为开采因素等外因的双重作用下发生的^[15]。综合指数法是指以冲击地压发生的诱发因素为指标,根据不同因素下各指标的影响程度分别赋予不同权重,再通过一定的综合算法对工作面冲击危险性进行预测的一种方法^[16]。综合指数的计算公式如下:

$$J_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} A_i}{\sum_{i=1}^{n_i} A_{i_{\max}}} \quad (1)$$

式中, J_h 为内因或外因条件下 Y484 工作面冲击地压危险级别, h 取 1 时为内因, h 取 2 时为外因; $A_{i_{\max}}$ 为编号 i 的指标中评价指数的最大值; A_i 为编号 i 的指标中现场评价指数; n_i 为内因或外因指标个数。

工作面冲击地压危险性评价指数 J 满足:

$$J = \max \{ J_1, J_2 \} \quad (2)$$

在考虑 Y484 工作面冲击地压发生次数、工作面埋深、煤层抗压强度、煤层采高、采空区处理方式、沿空掘巷等内外因指标的基础上,经计算得出 Y484 工作面冲击地压综合评价等级为 0.64,具有中等冲击地压发生的风险,需要及时制定冲击地压防治措施。

2.2 冲击地压危险区域划分

基于上述宏观冲击地压评价,对其进行更为细致的危险区域划分。依据其主要影响因素(初压、侧压、断层等)对 Y484 工作面不同位置划分为 12 个危险区域,其中有 3 个强冲击地压危险区域、2 个中等冲击地压危险区域以及 7 个弱冲击地压危险区域。具体划分结果如图 2 所示。

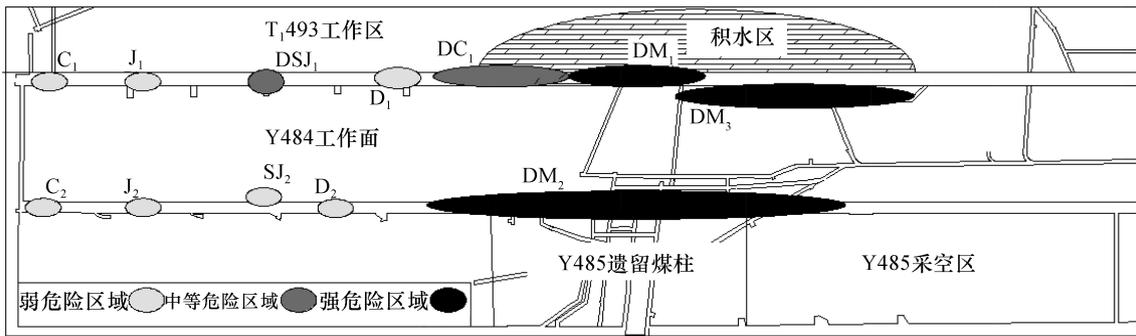


图2 Y484工作面回采期间冲击地压危险区域划分

Fig. 2 Division of the dangerous areas of rock burst during work face Y484 mining

3 冲击地压现场监测

冲击地压的实质是采动应力问题,弄清冲击地压发生的原因,实质上是要弄清采动应力场的分布规律^[17]。钻孔应力计可以对煤岩体在静压状态应力变化持续观测,十字布点法可以对巷道变形情况客观观测,这两种方法可以较好地弄清采动应力场的分布状态,为有效预测冲击地压提供依据。

3.1 超前支承压力实测

超前支承压力是诱发工作面冲击地压的一个重要因素,通过研究工作面超前支承压力的影响范围以及采场周围煤体内支承压力分布规律,更有利于进行冲击地压危险性预测工作。钻孔应力计安设在Y484工作面回风巷及轨道巷中,持续观测测点煤体应力变化情况,钻孔应力计的布置如图3所示。

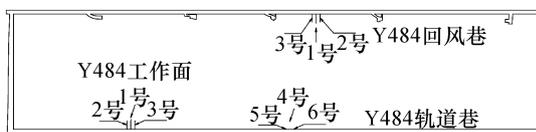


图3 Y484工作面钻孔应力计布置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of borehole stress gauge in working face Y484

钻孔应力计布置参数为:孔径42 mm,孔深8 m,钻孔间距5 m,钻孔高度为底板往上1.2 m位置,钻孔方向为水平向里垂直巷帮。选取轨道巷3号以及回风巷2号钻孔应力计数据进行分析得出轨道巷超前支承压力影响范围在67 m,峰值出现在工作面前方20 m附近,回风巷超前支承压力影响范围在45 m,峰值出现在前方27 m附近。

3.2 巷道变形监测

巷道变形监测的主要目的是通过对巷道位移变形情况观测,了解巷道应力分布,预防冲击地压。

巷道变形情况主要利用十字布点法进行观测。监测数据如图4、图5所示。

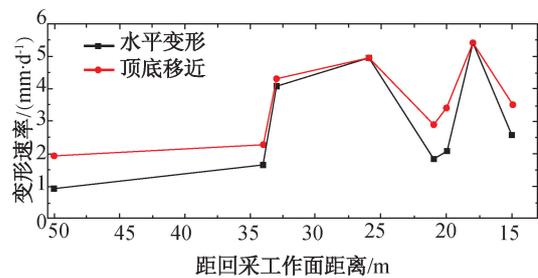


图4 Y484回风巷变形曲线

Fig. 4 Deformation curves of return air roadway in work face Y484

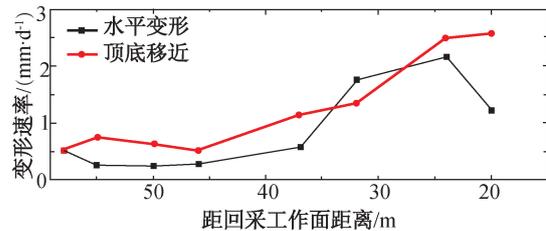


图5 Y484轨道巷变形曲线

Fig. 5 Deformation curves of track roadway of work face Y484

分析数据可知,轨道巷巷道变形速度在距工作面24 m位置处出现峰值,其后巷道变形速率降低,说明工作面顶板在距离24 m位置处完成断裂下沉,造成巷道变形速率加快。回风巷巷道变形速率在距离工作面27 m左右位置处出现峰值。监测结果和钻孔应力计监测数据大体相符,说明结果较为可靠。

工作面来压期间是诱发冲击地压的高峰期,回采工作面支承压力是造成工作面应力集中的重要原因,回采工作面前方支撑压力最大值位置距离煤壁越近,其冲击地压危险程度越高,因此工作面超前支承压力影响范围就成为预防冲击地压发生的

重点部位。

4 冲击地压防治措施

冲击地压综合性防治应最大限度地避免工作面出现应力集中区。孤岛工作面的特点更易导致局部冲击的发生,局部冲击地压防治要从降低围岩应力和弱化煤岩体物理力学性质两个方面着手,“强弱化”“强卸压”是降低围岩应力和弱化煤岩体物理力学性质的主要手段,常用的有大直径钻孔卸压、爆破卸压、煤层注水等^[18]。具体解危步骤是从工作面安全区域逐步进入具有冲击地压危险性区域,遵循边监测边解危的处理原则,在实施解危措施之后,对解危结果进行检验,确保安全有效后,才能进行下一步工作。

4.1 常规区域防治措施

Y484 工作面回采期间,冲击地压常规区域是指在冲击地压危险区域划分结果中,属于弱冲击强度以及中等强度冲击地压危险区域。超前支撑压力影响范围在 67 m 左右,在 67~91 m 之间仍有微弱上升,为了尽量减少超前支撑压力的影响,根据以往工程经验,将钻孔范围扩宽为在 100 m 之前完成钻孔。具体参数为:爆破钻孔间距为 5 m;钻孔直径为 42 mm;钻孔深度应达到 7 m;钻孔方向为倾斜向上 3°~5°;装药长度为 2 m,使用 4 个 500 mm 药卷,2 个雷管。

当工作面顶底板较差时,应采取深孔大直径钻孔卸压。钻孔卸压具体参数为:孔径 110 mm;钻孔高度距底板上方 1.2 m;钻孔深度 20 m;钻孔方向为上仰 0°~3°;钻孔间距 2 m(现场施工条件允许的前提下,钻孔间距可加密至 1 m)。

4.2 危险区域防治措施

Y484 工作面冲击地压危险区域指在危险区域划分结果中具有强烈冲击地压危险性的区域。对该区域采前实行爆破卸压施工,然后利用钻屑法及钻孔应力计进行卸压效果检验。如果发现监测数据显示仍然具备冲击地压危险性,则在原钻孔间继续进行钻孔卸压及爆破卸压,直到监测数据显示已解除该区域冲击地压危险为止。

4.2.1 冲击地压危险区域防治措施

DM₁ 区域位于 Y484 回风巷与 5 槽煤残留煤柱压煤区域,在这个位置进行开采时,具有强烈冲击地压危险性。对其防治应在 DM₁ 区域煤壁前方与危险区域距离小于 300 m 之前,完成从 Y484 回风巷向煤体内部布置钻孔,实施爆破卸压施工。DM₁ 冲击地压危险区域如图 6 所示。

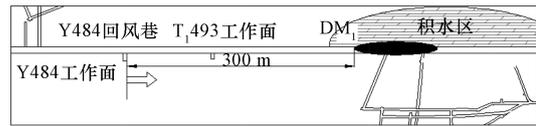
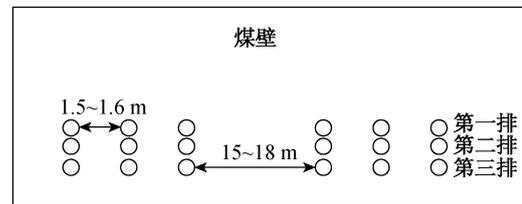


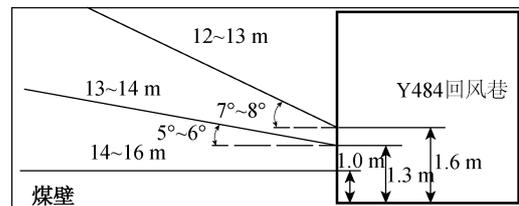
图 6 Y484 工作面 DM₁ 冲击地压危险区域

Fig. 6 DM₁ dangerous area of rock burst in work face Y484

爆破卸压参数为:钻孔间距为 15~18 m,每组设置 9 个钻孔进行爆破工作;每组钻孔布置分为 3 排,最下方一排平行煤壁方向,中间一排钻孔上仰 5°~6°,最上方钻孔上仰 7°~8°;钻孔深度为 12~16 m,每组最上方钻孔可适当增加打钻深度,使其尽可能与上方顶板接触,具体钻孔深度可根据工作面实际情况进行增加,钻孔直径 42 mm;装药长度为 2 m,共 4 个 500 mm 药卷,2 个雷管,每 2 个药卷之间连接雷管。在实施爆破卸压后,每个月对卸压结果检验一次,如果发现该位置仍具有冲击地压危险,应当继续进行卸压处理,直至危险解除。钻孔布置如图 7 所示。



(a) 正视图



(b) 侧视图

图 7 DM₁ 危险区域爆破卸压钻孔布置

Fig. 7 Layout of blasting pressure relief hole in DM₁ dangerous area of working face Y484

5 冲击地压防控效果检验

工作面实施卸压措施后,需要对防控效果进行检验。钻孔应力计可以实时监测钻孔前后应力变化情况,钻屑量的变化可以有效地反映支撑压力的变化^[19-20]。因此,采取钻屑法与钻孔应力计进行检验。

5.1 钻孔应力计

DM₁ 区域位于 Y484 回风巷、距离开切眼 760 m 处,在该处设置钻孔应力计第一测站,沿工作面

回采方向间隔 30 m 布置一台钻孔应力计,共布置 7 台,用于监测工作面回采期间回风巷应力变化情况。监测数据如图 8 所示。DM₂ 区域位于 Y484 轨道巷、距离开切眼 505 m 处,在该位置设置钻孔应力计第二测站,同样沿工作面回采方向每隔 30 m 布置一台钻孔应力计,该测站布置 12 台钻孔应力计,其监测数据如图 9 所示。

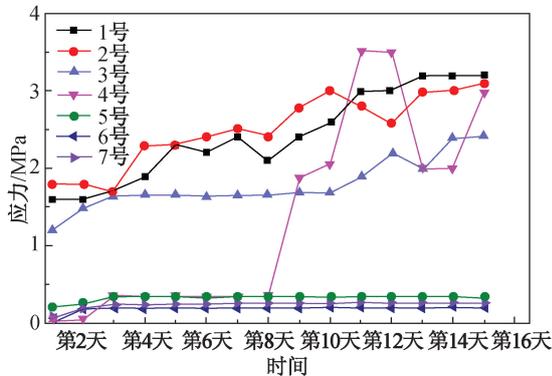
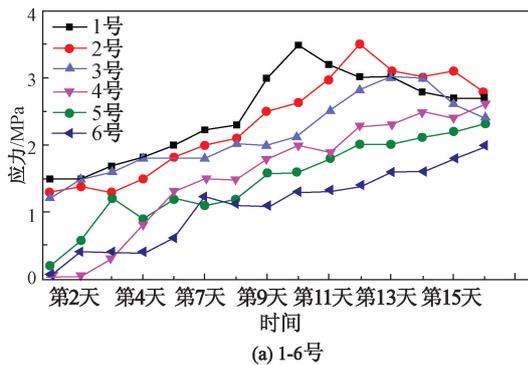
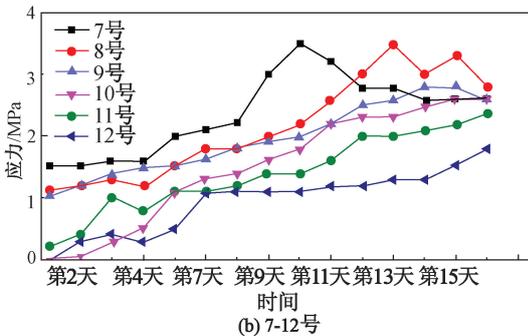


图 8 Y484 回风巷与 5 槽煤柱危险区域钻孔应力计监测曲线

Fig. 8 Monitoring curves of borehole stress in the return air roadway of work face Y484 and 5 coal pillar areas



(a) 1-6号



(b) 7-12号

图 9 Y484 轨道巷与 5 槽煤柱危险区钻孔应力计监测曲线

Fig. 9 Monitoring curves of borehole stress gauge in haulage roadway of work face Y484 and 5 coal pillar dangerous areas

监测结果显示,矿山压力显现应力值在 0~4 MPa 之间,与前图对比可以得知其应力值明显减少。说明通过爆破卸压等措施,煤体内应力得到释放,没有形成应力大量积聚现象。

5.2 钻屑法

以 D₁ 区域为例,工作面煤壁距该区域 100 m 范围时,采用钻屑法对该区域进行冲击地压危险性监测,在打钻过程中若出现板炮、夹钻等现象,表明该区域有冲击地压危险,对该区域进行钻孔卸压局部解危。用钻屑法对卸压效果进行监测,结果如图 10 所示。

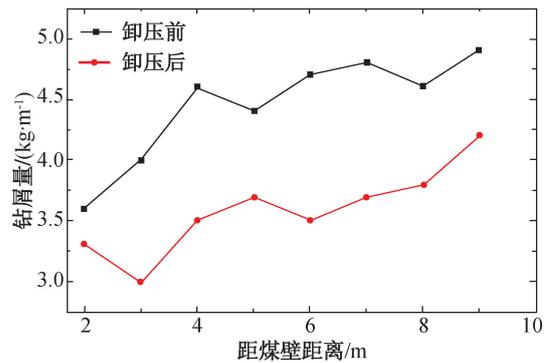


图 10 卸压前后钻屑量对比

Fig. 10 Comparison of the amount of cuttings before and after unloading

数据表明,钻孔卸压后钻屑量明显减少,未达到冲击地压钻屑量临界值,说明此位置钻孔卸压切实有效。

6 结论

(1) 针对唐山矿 Y484 孤岛工作面开采深度深、开采条件复杂、易发生冲击地压灾害的特点,用综合指数法确定冲击地压危险等级与危险区域的划分。

(2) 利用钻孔应力计法确定了 Y484 工作面轨道巷超前支承压力影响范围在 67 m,峰值出现在工作面前方 20 m 附近,Y484 工作面回风巷超前支承压力影响范围在 45 m,峰值出现在前方 27 m 左右,与十字布点法巷道变形速度监测结果大体相符,说明其监测结果较为可靠。

(3) 钻孔应力计和钻屑法卸压前后数据对比表明:基于灾害控制理念的综合防治技术切实有效,能够起到较好的预控效果。

参考文献

[1] 姜耀东,潘一山,姜福兴,等. 我国煤炭开采中的冲击地

- 压机理和防治[J]. 煤炭学报,2014,39(2):205-213.
- Jiang Yaodong, Pan Yishan, Jiang Fuxing, et al. State of the art review on mechanism and prevention of coal bumps in China [J]. Journal of China Coal Society, 2014,39(2):205-213.
- [2] 欧阳振华. 煤矿冲击地压灾害防治技术体系[J]. 煤矿安全,2014,45(11):168-171.
- Ouyang Zhenhua. Prevention technology system for rock burst in coal mine [J]. Journal of Coal Mine Safety, 2014,45(11):168-171.
- [3] 潘一山,李忠华,章梦涛. 我国冲击地压分布、类型、机理及防治研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(11):1844-1851.
- Pan Yishan, Li Zhonghua, Zhang Mengtao. Distribution, type, mechanism and prevention of rockburst in China [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003,22(11):1844-1851.
- [4] 刘晓斐,王恩元,赵恩来,等. 孤岛工作面冲击地压危险综合预测及效果验证[J]. 采矿与安全工程学报,2010,27(2):215-218.
- Liu Xiaofei, Wang Enyuan, Zhao Enlai, et al. Study on multi-prediction of rock burst in the mining of gob-surrounded coal face and demonstration [J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2010,27(2):215-218.
- [5] 于正兴,姜福兴,桂兵. 冲击地压危险性的宏观评价方法在“孤岛”工作面的应用[J]. 矿业安全与环保,2011,38(5):30-32.
- Yu Zhengxing, Jiang Fuxing, Gui Bing. Application of macroscopic evaluation method of rock burst risk in "isolated island" workplace[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2011,38(5):30-32.
- [6] 单仁亮,黄博,宋永威,等. 新峪矿采空区下近距离巷道矿压特征研究[J]. 矿业科学学报,2016,1(1):29-37.
- Shan Renliang, Huang Bo, Song Yongwei, et al. Ground pressure features of roadway under close range goaf in the Xinyu Mine [J]. Journal of Mining Science and Technology,2016,1(1):29-37.
- [7] 卢旭,张丰,周韶华,等. 钻孔应力计在预测预报冲击地压中的应用[J]. 煤矿现代化,2005,14(5):42-43.
- Lu Xu, Zhang Feng, Zhou Shaohua, et al. Application of borehole stress meter in prediction of rock burst [J]. Modernization of Coal Mine, 2005,14(5):42-43.
- [8] 张冬冬,赵刚,于海洋,等. 钻屑法在监测煤层冲击地压危险性中的应用[J]. 煤炭与化工,2015,38(5):111-113.
- Zhang Dongdong, Zhao Gang, Yu Haiyang, et al. Drilling bits method application in monitoring impact ground pressure hazard of coal seam [J]. Coal and Chemical Industry, 2015,38(5):111-113.
- [9] 李楠,王恩元,Ge Maochen. 微震监测技术及其在煤矿的应用现状与展望[J]. 煤炭学报,2017,42(增1):83-96.
- Li Nan, Wang Enyuan, Ge Maochen. Microseismic monitoring technique and its applications at coal mines: present status and future prospects [J]. Journal of China Coal Society,2017,42(S1):83-96.
- [10] 翟明华,姜福兴,齐庆新,等. 冲击地压分类防治体系研究与应用 [J]. 煤炭学报,2017,42(12):3116-3124.
- Zhai Minghua, Jiang Fuxing, Qi Qingxin, et al. Research and practice of rock burst classified control system [J]. Journal of China Coal Society, 2017,42(12):3116-3124.
- [11] 姜福兴,魏全德,姚顺利,等. 冲击地压防治关键理论与技术分析 [J]. 煤炭科学技术,2013,41(6):6-9.
- Jiang Fuxing, Wei Quande, Yao Shunli, et al. Key theory and technical analysis on mine pressure bumping prevention and control [J]. Coal Science and Technology, 2013,41(6):6-9.
- [12] 周世宁. 瓦斯在煤层中流动的机理[J]. 煤炭学报,1990,15(1):15-24.
- Zhou Shining. Mechanism of gas flow in coal seams [J]. Journal of China Coal Society, 1990,15(1):15-24.
- [13] 姜福兴. 微震监测技术在矿井岩层破裂监测中的应用[J]. 岩土工程学报,2002,24(2):147-149.
- Jiang Fuxing. Application of microseismic monitoring technology of strata fracturing in underground coal mine [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002,24(2):147-149.
- [14] 曲效成,姜福兴,于正兴,等. 基于当量钻屑法的冲击地压监测预警技术研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(11):2346-2351.
- Qu Xiaocheng, Jiang Fuxing, Yu Zhengxing, et al. Rockburst monitoring and precaution technology based on equivalent drilling research and its applications [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011,30(11):2346-2351.
- [15] 李凤明. 冲击地压灾害的预防与治理[J]. 山东煤炭科技,2014,32(2):90-91,97.
- Li Fengming. Prevention and governance on impact ground pressure hazard [J]. Shandong Coal Science, 2014,32(2):90-91,97.
- [16] 张周全,吴兴荣. 煤矿冲击矿压控制技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2008:98.

- [17] 齐庆新, 窦林名. 冲击地压理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [18] 杨伟利, 姜福兴. 煤矿孤岛工作面冲击地压防治[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2018.
- [19] 尹光志, 李晓泉, 赵洪宝, 等. 钻屑量与矿山压力及瓦斯压力关系现场实验研究[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(1): 1-7.
Yin Guangzhi, Li Xiaoquan, Zhao Hongbao, et al. In-situ experimental study on the relation of drilling cuttings weight to ground pressure and gas pressure[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2010, 32(1): 1-7.
- [20] 陆菜平, 窦林名, 曹安业, 等. 深部高应力集中区域矿震活动规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(11): 2302-2308.
Lu Caiping, Dou Linming, Cao Anye, et al. Research on microseismic activity rules in deep high-stress concentration district[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(11): 2302-2308.

(责任编辑: 陈骏)