

文章编号:1671-251X(2021)12-0039-07

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2021030074

微震异常区 CT 反演监测预警技术应用

李允生¹, 徐德生¹, 马志锋², 周海军¹, 郭文豪³

- (1. 山东东山古城煤矿有限公司, 山东 济宁 272000;
2. 徐州弘毅科技发展有限公司, 江苏 徐州 221018;
3. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116)



扫码移动阅读

摘要:针对微震监测仅能反映微震所在区域危险性、CT 反演监测不能及时反映当前工作面危险程度等问题,以山东济宁东山古城煤矿 3105 工作面为工程研究背景,提出了微震-应力多维信息监测预警方法,将短期的微震监测和中长期震动波 CT 反演监测技术相结合对工作面冲击危险区域进行判识,并结合基于中长期 CT 反演的大范围监测结果,利用工作面周边的微震数据对其修正,实现对工作面中长期应力演变及短期微震集聚的实时、动态监测预警。针对 3105 工作面 2019 年 8 月近 1 个月微震事件的时空分布异常情况,判断工作面前方变窄的区段煤柱区域为应力异常区域,采用 CT 反演技术进行危险区域划分和预警:依据 CT 反演结果,给出强冲击和中等冲击危险区域范围,确定 3105 工作面高波速冲击危险区域位于工作面材料巷和运输巷超前 100~200 m 区域;根据 CT 反演结果,按照分区管理原则,对高波速冲击危险区域采取了相应的煤层大直径钻孔、煤体爆破和深孔爆破卸压相结合的卸压解危措施。应用结果表明,利用震动波 CT 反演技术能准确预测两巷高波速与压力异常区对应关系,有效预测冲击危险区域,且能够区分危险等级;在高波速危险区域实施卸压措施后,有效降低了该区域微震频次及能量,微震频次及能量分别由 515、 12×10^5 J 降低至 338、 5.98×10^5 J,下降了 34.4%、50.2%,卸压效果明显。

关键词:冲击地压;微震异常区;CT 反演;监测预警;爆破卸压;钻孔卸压
中图分类号:TD324 **文献标志码:**A

Application of CT inversion monitoring and early warning technology in microseismic anomaly area

LI Yunsheng¹, XU Desheng¹, MA Zhifeng², ZHOU Haijun¹, GUO Wenhao³

- (1. Shandong Dongshan Gucheng Coal Mine Co., Ltd., Jining 272000, China;
2. Xuzhou Hongyi Technology Development Co., Ltd., Xuzhou 221018, China;
3. School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to solve the problems that microseismic monitoring can only reflect the danger of the area where the microseisms are located, and CT inversion monitoring cannot reflect the current danger level of the working face in time, taking the 3105 working face of Dongshan Gucheng Coal Mine in Jining, Shandong as the engineering research background, a microseismic-stress multi-dimensional information monitoring and early warning method is proposed. The method combines short-term microseismic monitoring and medium and long term seismic wave CT inversion monitoring technology to identify the impact dangerous area of the working face. And the method combines the large-scale monitoring results based on medium and long term CT inversion, uses microseismic data around the working face to correct them so as to realize the real-time and dynamic monitoring and early warning of the medium and long term

收稿日期:2021-03-23;**修回日期:**2021-09-16;**责任编辑:**张强。
基金项目:国家自然科学基金项目(51674253)。

作者简介:李允生(1975—),男,山东枣庄人,高级工程师,现主要从事煤矿安全生产及技术管理工作,E-mail:994081935@qq.com。

引用格式:李允生,徐德生,马志锋,等.微震异常区 CT 反演监测预警技术应用[J].工矿自动化,2021,47(12):39-45.

LI Yunsheng, XU Desheng, MA Zhifeng, et al. Application of CT inversion monitoring and early warning technology in microseismic anomaly area[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(12): 39-45.

stress evolution of the working face and short-term microseismic accumulation. According to the abnormal situation of spatial and temporal distribution of microseismic events in August 2019 in 3105 working face for nearly one month, it is judged that the coal pillar area of the narrowing section in front of the working face is the abnormal stress area, and the CT inversion technology is adopted for dangerous area division and early warning. According to the results of CT inversion, the range of dangerous areas of strong and medium impact is given, and the high wave velocity impact dangerous area of 3105 working face is determined to be 100-200 m ahead of the material roadway and transportation roadway of the 3105 working face. According to the results of CT inversion, in accordance with the principle of zoning management, the corresponding pressure relief measures combining large diameter drilling of coal seam, coal blasting and deep hole blasting pressure relief are adopted for the high wave velocity impact dangerous area. The application results show that the seismic wave CT inversion technology can predict the corresponding relationship between high wave velocity and abnormal pressure area in two roadways accurately, predict the impact dangerous area effectively and can distinguish the danger level. After implementing pressure relief measures in dangerous areas with high wave velocity, the microseismic frequency and energy in the area are reduced effectively. The microseismic frequency and energy are reduced from 515, 12×10^5 J to 338, 5.98×10^5 J, are decreased 34.4% and 50.2% respectively. The pressure relief effect is obvious.

Key words: rockburst; microseismic anomaly area; CT inversion; monitoring and early warning; blasting pressure relief; drilling pressure relief

0 引言

近几年,随着煤矿采深不断加大,冲击地压显现越来越突出^[1]。冲击地压的发生与地质构造、煤柱留设等密切相关,尤其在复杂地质构造区域,煤柱受多个构造、支承压力叠加影响,应力集中度高,复杂构造区域的覆岩破断或垮落可能诱发强矿震、冲击地压等现象^[2-4]。针对复杂地质构造区域的冲击地压危险监测,研究者提出了众多方法,如微震法^[5]、钻屑法^[6]、地音法^[7]和电磁辐射法^[8]等。但每种方法仅反映了煤岩某一方面的特征,且大多方法仅能监测而不能预警。如微震法只能对区域和局部微震进行监测而不能预警,微震法中的微震监测也多为事后记录,无法进行预测;钻屑法为点监测,可用于检验和预警;地音法和电磁辐射法也为局部监测,不能预警。上述方法的监测指标单一,针对性差,不能在复杂地质构造区起到良好的监测预警效果。

矿震震动波波速层析成像(Computerized Tomography, CT)技术作为复杂地质条件下新兴的冲击危险监测预警技术,部分学者对此展开了相关研究。巩思园^[9]围绕实验室研究得到的震动波波速与应力间的试验关系模型,利用震动波信号建立了矿震震动波波速层析成像模型,建立了波速异常、波速梯度变化等预警指标,用于预测预报冲击危险。窦林名等^[10-11]基于纵波波速开采区域冲击危险的理论基础,建立了采掘区域冲击危险性动态震动波 CT 探测技术,并给出了冲击危险判别准则。

程刚等^[12]以某矿 3_下 113 回采工作面为工程背景,研究了震动波 CT 反演技术在工作面受采空、断层、煤柱与采动影响的多重作用下的应用效果。曹安业等^[13]基于某矿 7192 回采工作面的覆岩空间结构及其运移规律研究,揭示了由断层错动导致的工作面动力显现及大能量矿震的频发机理,同时利用震动波 CT 技术对工作面冲击危险性进行动态预警。以上研究表明,CT 反演能较好反映现场工作面的危险性,但是在实际操作过程中,CT 反演由于其反演周期长,反演结果往往不能及时反映工作面的当前危险程度。

综上所述,单独使用微震监测技术,其微震监测范围仅能反映微震所在区域的危险性,给现场监测带来了困难;单独使用 CT 反演监测在煤矿现场可操作性有限,需要复杂的计算和判断,对数据分析人员的能力要求和专业要求很高,普适性较低。因此需要找到一种煤矿分析人员普遍好理解且现场好操作、执行明确的监测预警方法。鉴此,本文以山东济宁东山古城煤矿 3105 工作面为工程背景,提出了一种微震-应力多维信息监测预警方法,将短期的微震监测和中长期震动波 CT 反演监测技术相结合对工作面冲击危险区域进行判识,并结合基于中长期 CT 反演的大范围监测结果,利用工作面周边的微震数据对其修正,实现对工作面中长期应力演变及短期微震集聚的实时、动态监测预警。

1 工程背景

古城煤矿位于山东省济宁市兖州区东郊,本区

地势平坦,为冲积平原,地势东高西低,一般高程为+51~+56 m。其中3105工作面位于31采区的中部,工作面下至31采区集中轨道,上部隔离煤柱紧邻2107采空区,工作面东部为3106工作面,西南为31采区未开拓区域。地面标高为+52.7~+53.6 m,工作面标高为-1 060~-1 140 m。

在回采期间,工作面前方进入到临3106采空区不规则煤柱及断层影响区域,矿震频发,且矿震频次及能量呈升高趋势。3105工作面局部复杂地质及采掘区域平面图如图1所示。

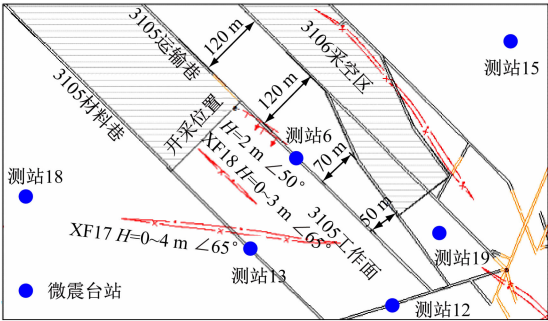


图1 3105工作面局部复杂地质及采掘区域平面图
Fig.1 Plan of local complex geology and mining area of 3105 working face

工作面所采煤层为3号煤层,平均厚度为8.6 m,煤层倾角为0~15°,坚固性系数 f 为2~3,煤层结构简单。工作面回采范围内两巷道及切眼在掘进过程中共揭露落差 H 为0~8 m的正断层12条。3105工作面综合柱状图如图2所示。

层号	柱状	层厚/m	埋深/m	岩性
1		1 071.2	1 071.2	无芯
2		0.78	1 071.98	2号煤层
3		2.75	1 074.48	细砂岩
4		2.03	1 076.51	粉砂岩
5		3.11	1 079.62	泥岩
6		4.76	1 084.38	粉砂岩
7		12.05	1 096.43	细砂岩
8		3.11	1 099.54	粉砂岩
9		6.80	1 106.34	3号煤层
10		5.34	1 111.68	粉砂岩

图2 3105工作面综合柱状图

Fig.2 Comprehensive histogram of 3105 working face

2 3105工作面微震时空演化分析

古城煤矿安装有SOS微震监测系统,通过3105工作面布置的6个微震探头对工作面采掘过程中的煤岩体震动信号进行采集、记录和分析,通过对多组波形处理,确定微震事件三维定位和能量,微震事件定位原理如图3所示,图中 x_0, y_0, z_0 和 x, y, z 分别为震源和台站的空间坐标, t_0 和 t_i ($i=1, 2, \dots, 6$,为微震探头数量)分别为震源的发生时间和台站的接收时间。

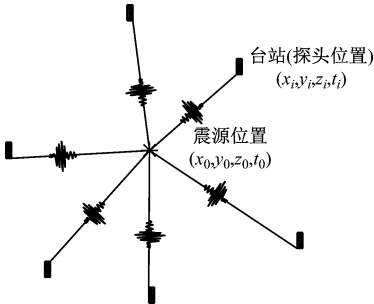


图3 微震事件定位原理

Fig.3 Microseismic positioning principle

从2019年8月开始,3105工作面微震频次能量逐渐升高,如图4所示。7月底之前微震能量处于低水平状态,且时序发展平稳,但从07-28开始,连续5 d微震频次能量上升,进入8月,微震能量及频次处于高水平状态,时序发展极其不稳定,微震平面分布如图5所示。由图5可知,工作面前方煤柱区内微震能量、频次明显增加,表明工作面超前应力范围已开始进入到临3106采空区不规则工作面区域,且工作面前方开采揭露断层,进一步造成微震事件积聚。在2019-08-01—15,微震大能量事件(能量大于 10^4 J)分布明显比7月多,微震分布范围相对7月较广,且工作面前方逐渐变窄的区段煤柱区域出现了较多微震事件。

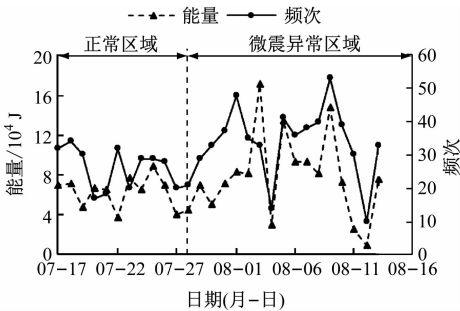
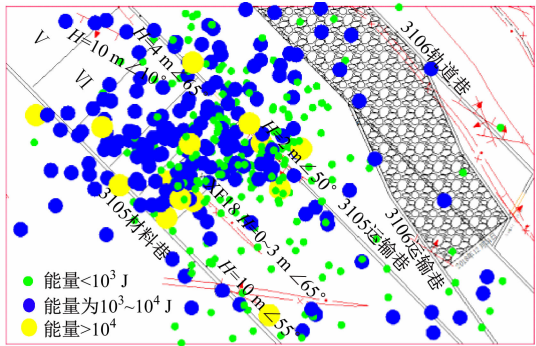


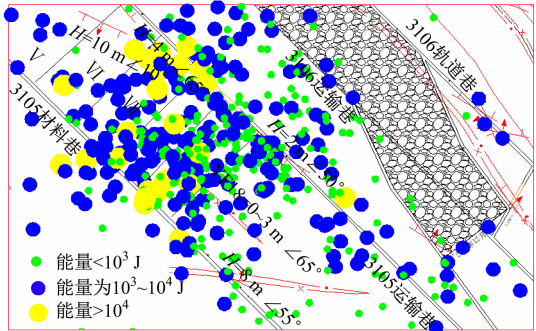
图4 微震能量及频次时序活动曲线

Fig.4 Time series activity curves of microseismic energy and frequency

通过近1个月微震事件的时空分布异常情况判断,可以断定工作面前方变窄的区段煤柱区域为应



(a) 2019-07-15—31 的微震平面分布



(b) 2019-08-01—15 的微震平面分布

图 5 微震平面分布

Fig. 5 Plane distribution of microseisms

力异常区域,但仅通过微震事件的分布不足以精确判断高应力区和准确实施卸压措施的范围,需要通过更加精准的 CT 反演技术进行危险区域划分和预警,为卸压措施提供可靠的依据。

3 复杂应力区 CT 反演及其应用结果

3.1 震动波 CT 反演原理

震动波 CT 反演技术就是利用传感器测定的岩体内初始平均波速与监测到的微破裂位置为初始数据,利用人工标定波形的 P 波到时,确定初始传播时间,通过反演计算不断调整微破裂位置与速度模型,最终重构和反演岩样内部在不同加载阶段的速度场分布规律,探测原理如图 6 所示。研究表明,煤岩体在应力作用下会引起震动波波速的改变,震动波传播通过工作面煤岩体时,煤岩体上所受的应力越高,震动传播的速度就越快^[9]。

3.2 工作面复杂应力区 CT 反演结果分析

基于微震异常情况,为更准确地预测冲击危险区域,使卸压方案有的放矢,古城煤矿从 2019 年 8 月开始,以 15 d 的微震数据为基础,进行被动 CT 反演,选择测站为 6、12、13、15、18、19(图 1)。选取 2019-08-01—15、08-16—31 及 09-01—15 三个阶段进行对比分析,分别选取 212、192、162 个微震有效波形,选取标高为-1 160 m 的波速反演结果切片。3 个阶段的反演结果如图 7 所示。

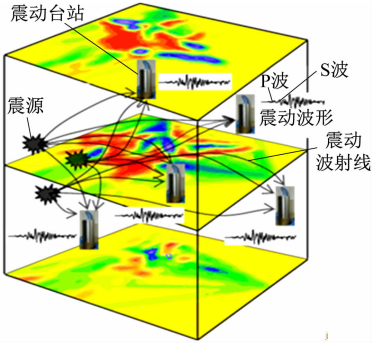
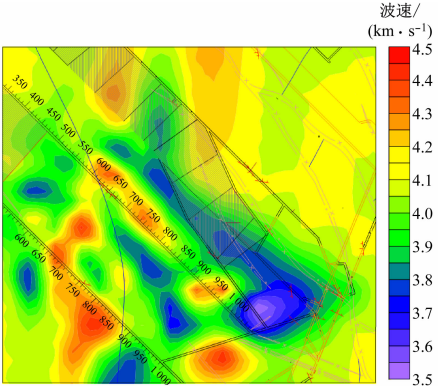
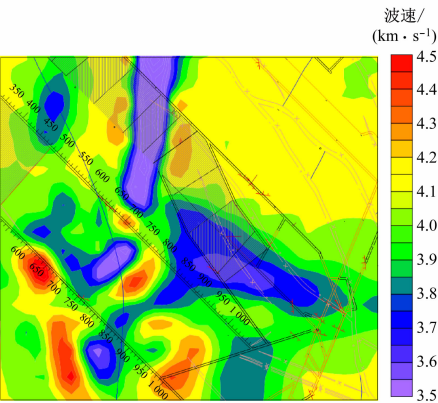


图 6 震动波 CT 反演技术探测原理

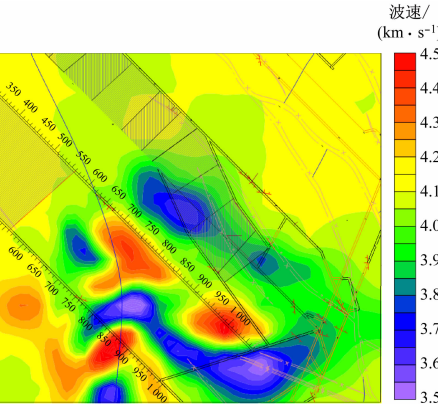
Fig. 6 Exploration principle of seismic wave CT inversion technology



(a) 08-01—15



(b) 08-16—31



(c) 09-01—15

图 7 3105 工作面复杂应力区 CT 反演结果

Fig. 7 CT inversion results of complex stress area in 3105 working face

冲击矿压事故多发生于煤层巷道内^[14-15]。通过图1可以发现,3105工作面材料巷和运输巷分别受到断层和煤柱的影响,冲击风险较高。因此结合古城煤矿历史CT反演数据,以两巷高波速(≥ 4.2 km/s)反演区域作为研究对象对两巷微震和冲击危险演化进行分析:第1阶段(08-01—15)的反演结果中高波速区域为材料巷650~880 m(230 m)及运输巷590~780 m(190 m)、930~960 m(30 m)区域;第2阶段(08-16—31)的反演结果中高波速区域为材料巷600~690 m(90 m)及运输巷690~720 m(30 m)区域;第3个阶段(09-01—15)的反演结果的高波速区域为材料巷850~910 m(60 m)及运输巷950~1 030 m(80 m)区域内。对于3105工作面,其波速及应力异常区域主要集中于材料巷和运输巷超前100~200 m范围,分布范围最大可达230 m。因此,冲击危险卸压区域应位于工作面超前两巷位置。

根据各阶段的CT反演结果,针对性地对高波速区域加强监测,并及时采取有效的卸压措施。实施卸压措施前后材料巷和运输巷3个阶段的高波速区域最大范围分别为230,90,60 m和190,120,30 m,即高波速区域范围呈现变小的趋势,并且由于断层XF17影响,材料巷相对比运输巷冲击危险程度高。综合反演结果可得出,08-16—31的应力显现低于08-01—15的应力显现,09-01—15的应力显现低于08-16—31的应力显现。

4 解危措施及效果检验

通过每15 d的工作面前方CT反演结果,给出确定的强冲击和中等冲击危险区域范围,依据分区管理的原则,对高波速冲击危险区域采取了及时的煤层大直径钻孔^[16]补强卸压和煤体爆破^[17]解危措施,同时对该区域顶板进行深孔爆破卸压^[18],爆破层位为煤层上方厚度为21 m的中砂岩层。顶板爆破原理如图8所示,通过采空区顶板爆破工程,主要实现2个卸压目的:①通过对采空区悬顶爆破,促进采空区顶板的弯曲下沉乃至垮断,缩短采空区顶板悬顶长度,实现对煤柱静载的卸压及顶板周期垮断时动载强度的降低。②通过爆破,降低顶板岩体的完整程度,促进其裂隙发展乃至破坏,降低岩体的应力集中程度,同时能够提高其抵抗动载冲击的能力。

卸压具体参数如下。
大直径钻孔卸压参数:孔径为110~150 mm,孔深为20 m,间距为1 m。
煤层爆破卸压参数:孔深为15 m,间距为4 m,

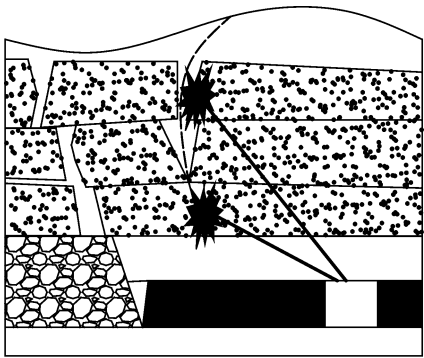


图8 顶板爆破原理

Fig. 8 Principle of roof blasting

孔径为110 mm,装药量为11 kg,装药长度为4 m,封孔长度为4 m,起爆间隔时间为30 min,采用煤矿二级乳化炸药,一次起爆一孔。

切顶爆破卸压参数:致裂层为煤层上覆厚度为21 m的中砂岩层,孔深为23 m,孔径为94 mm,间距为6~10 m,装药量为30 kg,装药长度为10 m,封孔长度为13 m,起爆间隔时间为30 min,采用煤矿二级乳化炸药,一次起爆一孔。顶板爆破卸压工程如图9所示。

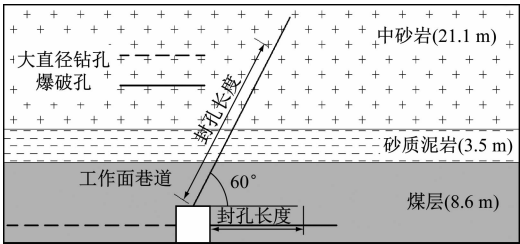


图9 顶板爆破卸压工程

Fig. 9 Schematic diagram of pressure relief blasting project of roof

对图7(a)CT反演结果中的工作面前方200 m范围外危险区域实施顶板爆破、煤体爆破卸压工程,实施日期为2019-08-16以后。从图7(b)和图7(c)CT反演结果可看出,实施爆破卸压后,工作面前方的冲击危险性明显降低,表现为工作面前方高冲击危险区域减小及危险区域前移(远离工作面),卸压效果明显,高波速区域明显远离工作面及巷道,且范围减小。

每15 d的微震统计数据如图10所示,从图10可看出,工作面回采至缩窄煤柱区域,微震频次和总能量呈逐渐上升趋势,微震频次由420上升至515,上升了22.6%,微震事件总能量由 10.3×10^5 J上升至 12×10^5 J,上升了16.5%。在采取了顶板爆破卸压措施后,微震频次及总能量下降明显,15 d和30 d后的微震频次由515降低至387、338,分别下降了24.9%、34.4%;微震能量由 12×10^5 J降低至 8.98×10^5 、 5.98×10^5 J,分别降低了25.2%、50.2%,卸压效果明显。

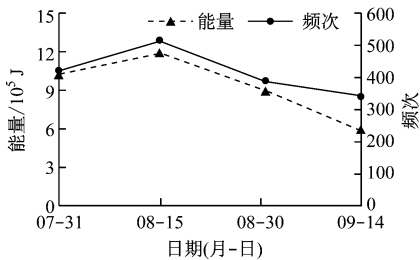


图 10 每 15 d 微震频次及能量曲线

Fig. 10 Microseismic frequency and energy curves every 15 days

5 结论

(1) 每天微震活动频次、能量升高及异常变化可作为微震活动的异常情况,并为实施 CT 监测预警提供依据。

(2) 利用震动波 CT 反演技术能够有效地预测冲击危险区域,而且能够区分危险等级。3105 工作面波速及应力异常区域主要分布在工作面超前 100~200 m 的巷道区域。震动波 CT 反演技术有效提高了预警准确性,同时可指导实施针对性卸压措施,降低了卸压劳动强度。

(3) 通过每 15 d 一次的 CT 反演给出的巷道冲击危险结果,分别实施大直径钻孔卸压和顶板深孔爆破方案。微震监测和 CT 反演结果表明,采取爆破卸压措施后,微震频次及总能量下降明显,高波速区域的微震频次及能量分别由 515、 12×10^5 J 降低至 338、 5.98×10^5 J,分别下降了 34.4%、50.2%,取得了很好的冲击防治效果。

参考文献(References):

[1] 齐庆新,李一哲,赵善坤,等.我国煤矿冲击地压发展 70 年:理论与技术体系的建立与思考[J].煤炭科学技术,2019,47(9):1-40.
QI Qingxin,LI Yizhe,ZHAO Shankun,et al. Seventy years development of coal mine rockburst in China; establishment and consideration of theory and technology system[J]. Coal Science and Technology, 2019,47(9):1-40.

[2] LI Zhenlei, DOU Linming, CAI Wu, et al. Investigation and analysis of the rock burst mechanism induced within fault-pillars [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences,2014,70:192-200.

[3] 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.

[4] 李利萍,李卫军,潘一山.冲击扰动对超低摩擦型冲击地压影响分析[J].岩石力学与工程学报,2019,38(1):111-120.
LI Liping, LI Weijun, PAN Yishan. Influence of impact disturbance on anomalously low friction rock bursts[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2019,38(1):111-120.

[5] 崔峰,杨彦斌,来兴平,等.基于微震监测关键层破断诱发冲击地压的物理相似材料模拟实验研究[J].岩石力学与工程学报,2019,38(4):803-814.
CUI Feng, YANG Yanbin, LAI Xingping, et al. Similar material simulation experimental study on rockbursts induced by key stratum breaking based on microseismic monitoring[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2019,38(4):803-814.

[6] 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.

[7] 窦林名,何学秋,Bernard Drzezls.冲击矿压危险性评价的地音法[J].中国矿业大学学报,2000,29(1):85-88.
DOU Linming, HE Xueqiu, Bernard Drzezls. AE method of evaluating the danger of rock burst[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000,29(1):85-88.

[8] 王恩元,何学秋,聂百胜,等.电磁辐射法预测煤与瓦斯突出原理[J].中国矿业大学学报,2000,29(3):3-7.
WANG Enyuan, HE Xueqiu, NIE Baisheng, et al. Principle of predicting coal and gas outburst using electromagnetic emission [J]. Journal of China University of Mining & Technology,2000,29(3):3-7.

[9] 巩思园.矿震震动波波速层析成像原理及其预测煤矿冲击危险应用实践[D].徐州:中国矿业大学,2010.
GONG Siyuan. Research and application of using mine tremor velocity tomography to forecast rockburst danger in coal mine[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology,2010.

[10] 窦林名,蔡武,巩思园,等.冲击危险性动态预测的震动波 CT 技术研究[J].煤炭学报,2014,39(2):238-244.
DOU Linming, CAI Wu, GONG Siyuan, et al. Dynamic risk assessment of rock burst based on the technology of seismic computed tomography detection

[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39 (2): 238-244.

[11] 窦林名,姜耀东,曹安业,等. 煤矿冲击矿压动静载的“应力场-震动波场”监测预警技术[J]. 岩石力学与工程学报,2017,36(4):803-811.

DOU Linming, JIANG Yaodong, CAO Anye, et al. Monitoring and pre-warning of rockburst hazard with technology of "stress field and wave field" in underground coalmines[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2017,36(4):803-811.

[12] 程刚,梁开山,辛崇伟,等. 基于震动波 CT 探测的冲击地压危险性分析及防治实践[J]. 煤炭工程,2020, 52(1):64-69.

CHENG Gang, LIANG Kaishan, XIN Chongwei, et al. Rockburst risk analysis and prevention practice based on vibration wave CT detection [J]. Coal Engineering,2020,52(1):64-69.

[13] 曹安业,王常彬,窦林名,等. 临近断层孤岛面开采动力显现机理与震动波 CT 动态预警[J]. 采矿与安全工程学报,2017,34(3):411-417.

CAO Anye, WANG Changbin, DOU Linming, et al. Dynamic manifestation mechanism of mining on the island coalface along fault and dynamic pre-warning of seismic waves with seismic tomography[J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2017,34(3):411-417.

[14] 潘俊锋,毛德兵,蓝航,等. 我国煤矿冲击地压防治技术研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术,2013,41(6): 21-25.

PAN Junfeng, MAO Debing, LAN Hang, et al. Study status and prospects of mine pressure bumping control technology in China [J]. Coal Science and Technology,2013,41(6):21-25.

[15] 沈威,窦林名,贺虎,等. 实体煤掘进加卸载路径下的冲击机理及防控研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2019,36(4):768-776.

SHEN Wei, DOU Linming, HE Hu, et al. Study on mechanism and prevention of rock burst under loading and unloading path in solid coal driving[J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2019,36(4):768-776.

[16] GB/T 25217. 10—2019 冲击地压测定、监测与防治方法 第 10 部分:煤层钻孔卸压防治方法[S].

GB/T 25217. 10-2019 Methods for test, monitoring and prevention of rockburst-part 10: prevention method of drillhole destressing relief of coal seam[S].

[17] GB/T 25217. 11—2019 冲击地压测定、监测与防治方法 第 11 部分:煤层卸压爆破防治方法[S].

GB/T 25217. 10-2019 Methods for test, monitoring and prevention of rockburst-part 11: prevention method of destress blasting in coal seam[S].

[18] GB/T 25217. 13—2019 冲击地压测定、监测与防治方法 第 13 部分:顶板深孔爆破防治方法[S].

GB/T 25217. 10-2019 Methods for test, monitoring and prevention of rockburst-part 13: prevention method of deep-hole blasting in roof[S].