

文章编号:1671-251X(2021)12-0087-07

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2021080038

耿村煤矿微震信号时频特征及 冲击地压前兆特征研究

张国华¹, 陈栋², 林松²

(1. 河南能源化工集团有限公司 安全健康环保监察局, 河南 郑州 450046;

2. 中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221116)



扫码移动阅读

摘要:基于微震监测数据,利用快速傅里叶变换、小波包变换和希尔伯特黄变换等方法,对河南能源化工集团有限公司耿村煤矿13200工作面采动诱发的冲击地压事件及冲击地压发生前微震事件进行了时频特征分析,结果表明:冲击地压发生时主频在10 Hz以内,而冲击地压发生前微震事件波形的主频在100 Hz以内;冲击地压发生时最高能量分布频带在5以内,在冲击地压发生前的3次微震事件波形最高能量分布频带在10左右;冲击地压发生前的6次微震事件波形瞬时能量不高,表明冲击地压发生前存在能量的静默期。基于工作面冲击地压事件及冲击地压发生前微震事件的时频特征,得到了冲击地压前兆特征:微震事件波形主频在100 Hz以内,最高能量分布频带在10以内,且瞬时能量小于1.5。

关键词:冲击地压;微震监测;时频特征;主频;频带能量分布;瞬时能量;能量静默期

中图分类号:TD324

文献标志码:A

Research on time-frequency characteristics of microseismic signal and precursory characteristics of rockburst in Gengcun Coal Mine

ZHANG Guohua¹, CHEN Dong², LIN Song²

(1. Safety, Health and Environmental Protection Supervision Bureau, Henan Energy and Chemical Industry Group Co., Ltd., Zhengzhou 450046, China; 2. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Based on the microseismic monitoring data, the time-frequency characteristics of the rockburst events induced by mining in 13200 working face of Gengcun Coal Mine of Henan Energy and Chemical Industry Group Co., Ltd. and microseismic events before the rockburst events are analyzed by using fast fourier transform, wavelet packet transform and Hilbert-Huang transform. The results show that the main frequency of rockburst is within 10 Hz, and the main frequency of the microseismic event waveform before rockburst is within 100 Hz. The highest energy distribution frequency band is within 5 when rockburst occurs. The highest energy distribution frequency band of the previous three microseismic events waveforms is about 10. The instantaneous energy of the six microseismic event waveforms before rockburst is not high, indicating that there is a silent period of energy before rockburst occurs. Based on the time-frequency characteristics of rockburst events and microseismic events before rockburst, the precursor characteristics of rockburst are obtained. The main frequency of the microseismic event waveform is within 100 Hz, the highest energy distribution frequency band is within 10, and the instantaneous energy is less than 1.5.

收稿日期:2021-08-16;**修回日期:**2021-12-18;**责任编辑:**盛男。

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(52104230)。

作者简介:张国华(1976—),男,河南义马人,工程师,主要从事矿井冲击地压防治和煤自然发火防治方面的研究,E-mail: zhang_gh1@163.com。

引用格式:张国华,陈栋,林松.耿村煤矿微震信号时频特征及冲击地压前兆特征研究[J].工矿自动化,2021,47(12):87-92.

ZHANG Guohua, CHEN Dong, LIN Song. Research on time-frequency characteristics of microseismic signal and precursory characteristics of rockburst in Gengcun Coal Mine[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(12): 87-92.

Key words: rockburst; microseismic monitoring; time-frequency characteristics; main frequency; frequency band energy distribution; instantaneous energy; energy silent period

0 引言

随着我国煤矿开采深度不断增加,矿井冲击地压等动力灾害呈发生频次高且风险大等特点^[1-2]。微震监测具有灵敏度高和安全可靠等特点,在矿井冲击地压监测中得到广泛应用^[3-7]。袁瑞甫等^[8]分析了冲击地压期间微震信号的时序特征,进而得到了微震信号的频谱特征及分布变化规律。王士超^[9]分析了矿井微震事件的波形信号,获得了冲击矿压发生前后的功率谱演变特征。肖亚勋等^[10]基于深埋隧洞微震波的衰减特征,修正了最大有效振幅,将相对有效振幅和最大有效频率作为频谱分析参数。李学龙等^[11]研究了矿山典型微震事件中干扰信号的频谱特征,并对含噪微震信号进行了去噪研究。韦四江等^[12]利用快速傅里叶变换方法,分析了煤矿发生冲击地压时微震信号的时域波形及频谱特征。刘海顺等^[13]分析了微震信号的时域和频域转换,揭示了不同能量水平下微震信号和频谱特征的差异。彭明辉^[14]对煤矿工作面微震信号类别进行了划分,分析了微震事件在时间和空间上的分布规律。

为研究微震事件的时频特征及冲击地压前兆特征,本文以河南能源化工集团有限公司耿村煤矿 13200 工作面为工程背景,采用微震监测系统对该工作面采动诱发的微震事件进行了实时监测,分析了微震信号的主频、频带能量分布和瞬时能量等时频特征,在此基础上得出了工作面冲击地压前兆特征,可为设定煤矿冲击地压预警指标提供依据。

1 工程背景

1.1 矿井基本条件

耿村煤矿东西走向长 4.5 km,南北倾斜宽 2.6 km,面积 11.593 3 km²。该煤矿为斜立井单水平上下山混合开拓,水平标高为 +300 m。矿井现有 12 采区和 13 采区 2 个采区,12 采区位于耿村井田西部、13 采区位于耿村井田东部。耿村煤矿煤层具有中等冲击倾向性,属于冲击地压矿井。井田内可采煤层自上而下有 1-2 煤、2-1 煤、2-2 煤和 2-3 煤,1-2 煤、2-1 煤和 2-2 煤大面积可采,2-3 煤普遍可采,是矿井主要开采对象。煤层平均厚度为 13.8 m,含夹矸 3~5 层,夹矸为灰白色砂岩和灰黑色泥岩。上覆岩层存在平均厚度为 168 m 的厚砾岩层,稳定性和整体性好,岩性坚硬,抗变形能力强,

易大量积聚弹性能,工作面回采后顶板不易沉降,容易大面积悬顶,导致采空区应力集中,一旦发生脆性断裂,积聚的弹性能和原有重力势能将瞬间释放,导致冲击事件,在采掘工作面形成强烈的冲击震动。井田范围内部和井田边界存在落差较大的断层,采区内部还存在大大小小的没有揭露的次生断层等地质构造,对安全生产造成一定的影响。

1.2 工作面基本概况

13200 工作面位于 13 采区延深下山西翼,北侧为已回采的 13180 工作面,东部为正在回采的 13230 工作面 13 采区延深 3 条下山,西部为 12 采区、13 采区保护煤柱,南部为未开采的 2-3 煤。工作面设计可采长度 749 m,斜长 249 m,最大采深 623 m。

1.3 工作面微震监测

在 13200 工作面安装 ARAMIS M/E 微震监测系统,微震传感器布置如图 1 所示。微震监测系统集成数字通信系统,可实现矿山震动定位及震动能量计算。根据监测范围的不同,系统可选用不同频率范围的微震传感器。数字通信系统采用远距离通信电缆实现三向震动速率变化信号的传输。系统通过 24 位 AD 转换器进行震动信号的转换和记录,完成连续、实时的震动监测。系统采样频率为 500 Hz,可监测震动能量大于 100 J、震动频率为 0~150 Hz 及动态范围低于 100 dB 的震动事件。震源水平方向定位精度为 20 m,垂直方向定位精度为 50 m。

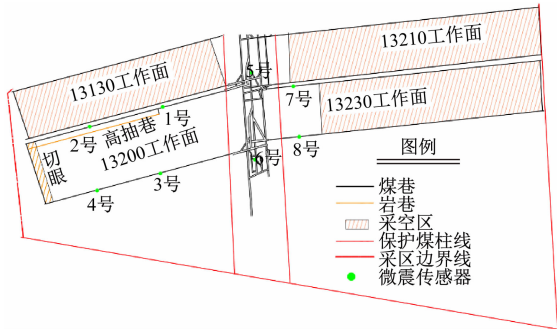


图 1 13200 工作面微震传感器布置
Fig.1 Arrangement of microseismic sensors in 13200 working face

2 工作面微震信号时频特征

工作面发生 1 次冲击地压及冲击地压发生前微震事件基本信息见表 1(微震事件 1 即冲击地压事件)。

表1 工作面微震事件基本信息

Table 1 Basic information of microseismic events in working face

事件	时间	位置/m	能量/J
1	2020-08-23T03:01:07	$x:71\ 122,y:2\ 721,z:-7$	3.80×10^6
2	2020-08-23T02:31:50	$x:70\ 806,y:3\ 237,z:76$	4.00×10^2
3	2020-08-23T02:17:45	$x:71\ 415,y:3\ 025,z:36$	3.20×10^2
4	2020-08-23T01:28:22	$x:71\ 624,y:2\ 930,z:16$	1.90×10^4
5	2020-08-23T01:17:07	$x:71\ 408,y:2\ 978,z:8$	7.10×10^3
6	2020-08-22T19:24:27	$x:71\ 283,y:2\ 958,z:0$	6.40×10^1
7	2020-08-22T19:15:14	$x:71\ 107,y:2\ 801,z:-1$	2.10×10^1
8	2020-08-22T18:49:49	$x:71\ 127,y:2\ 886,z:52$	8.50×10^1
9	2020-08-22T17:53:13	$x:71\ 607,y:2\ 864,z:60$	3.90×10^4
10	2020-08-22T17:05:01	$x:71\ 700,y:3\ 090,z:16$	3.80×10^2

注: x,y 为水平方向坐标; z 为垂直方向坐标。

2.1 主频

采用快速傅里叶变换^[15]对工作面冲击地压及

冲击地压发生前微震事件波形进行频谱分析,结果如图2所示。

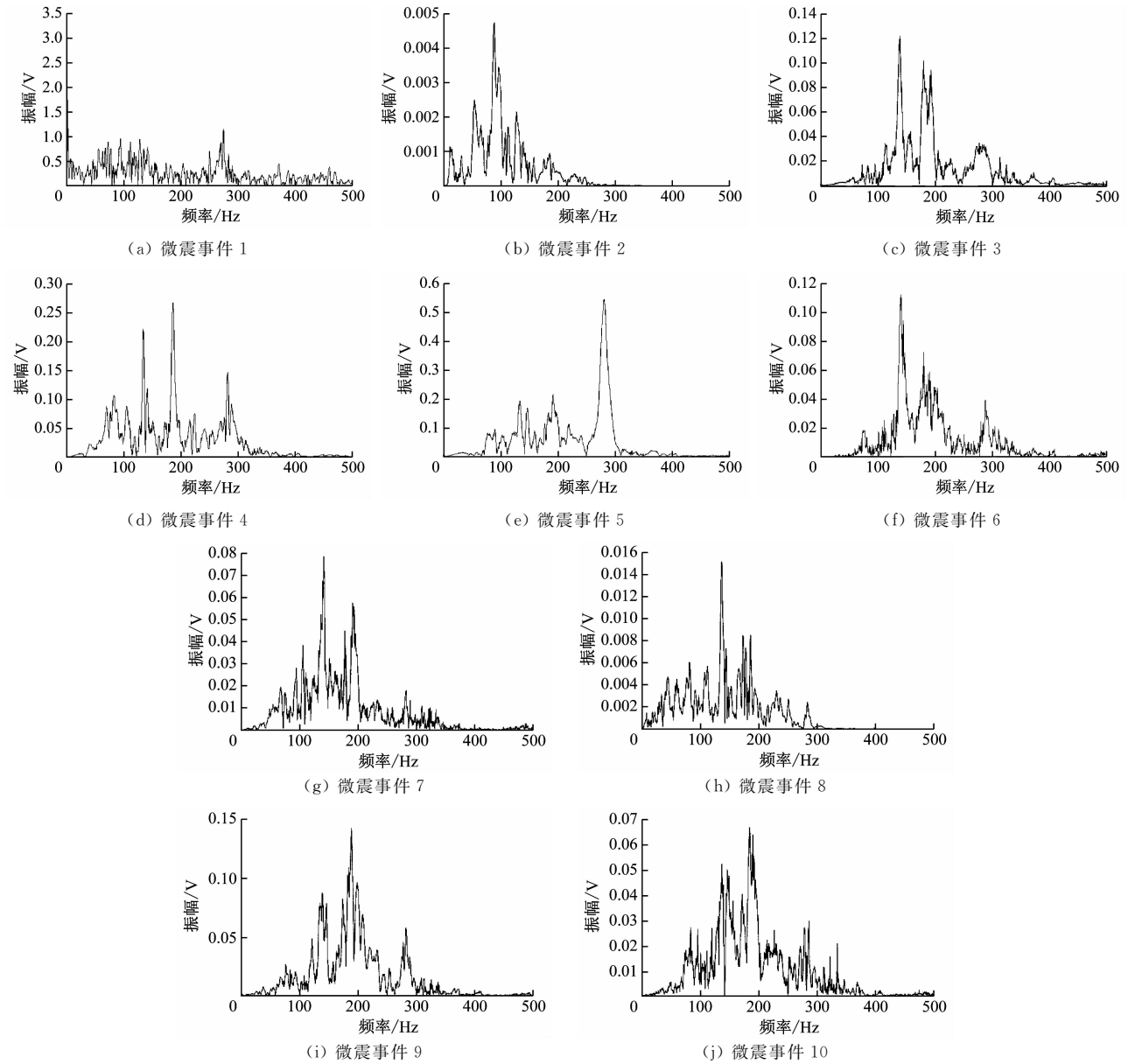


图2 工作面微震事件波形频谱

Fig.2 Spectrum of microseismic events in working face

从图 2 可看出,冲击地压事件及冲击地压发生前微震事件波形的主频分别为 1.24, 87.89, 138.85, 186.37, 281.91, 140.82, 142.67, 137.68, 188.72, 184.00 Hz; 冲击地压发生时的主频在 10 Hz 以内, 冲击地压发生前微震事件 2 的主频在 100 Hz 以内。

2.2 频带能量分布

采用小波包变换^[16](选用 db8 小波基函数, 将微震信号分解为 5 层小波包, 在第 5 层中有 32 个小波包, 将全频域分割为 32 个子频域带, 计

算第 5 层小波包分解中每个节点的能量占微震信号总能量的百分比)对冲击地压事件及冲击地压发生前微震事件波形进行频带能量分析, 结果如图 3 所示。可看出冲击地压事件及冲击地压发生前微震事件波形的最高能量分布频带分别为 1, 8, 11, 11, 26, 14, 14, 13, 15, 11; 冲击地压发生时最高能量分布频带在 5 以内, 冲击地压发生前微震事件 2—4 波形的最高能量分布频带为 10 左右, 且微震事件 2 波形的最高能量分布频带小于 10。

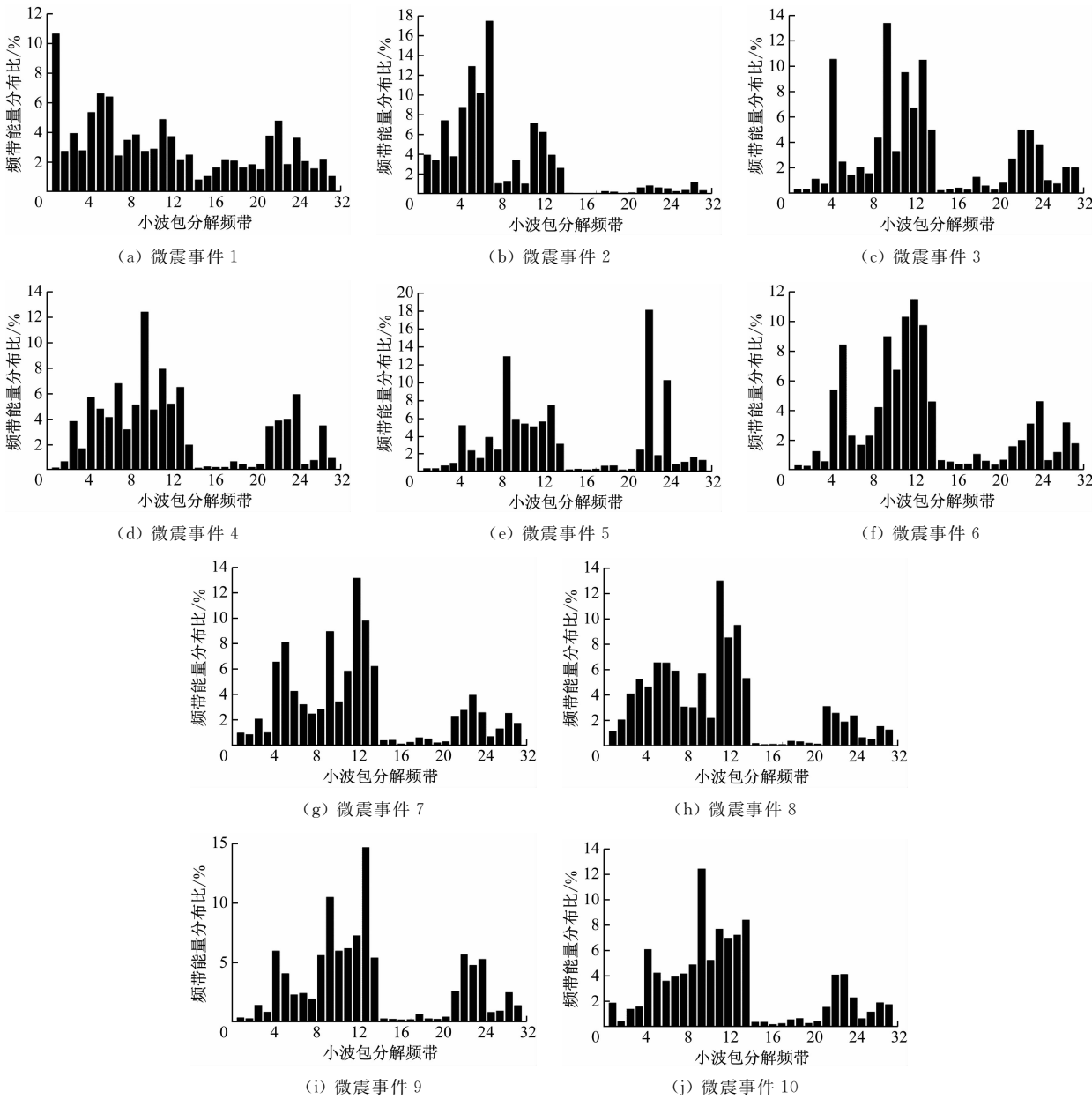


图 3 工作面微震事件波形频带能量分布

Fig. 3 Frequency band energy distribution of microseismic events in working face

2.3 瞬时能量

利用希尔伯特黄变换^[17]对冲击地压事件及冲

击地压发生前微震事件波形进行瞬时能量分析, 结果如图 4 所示。

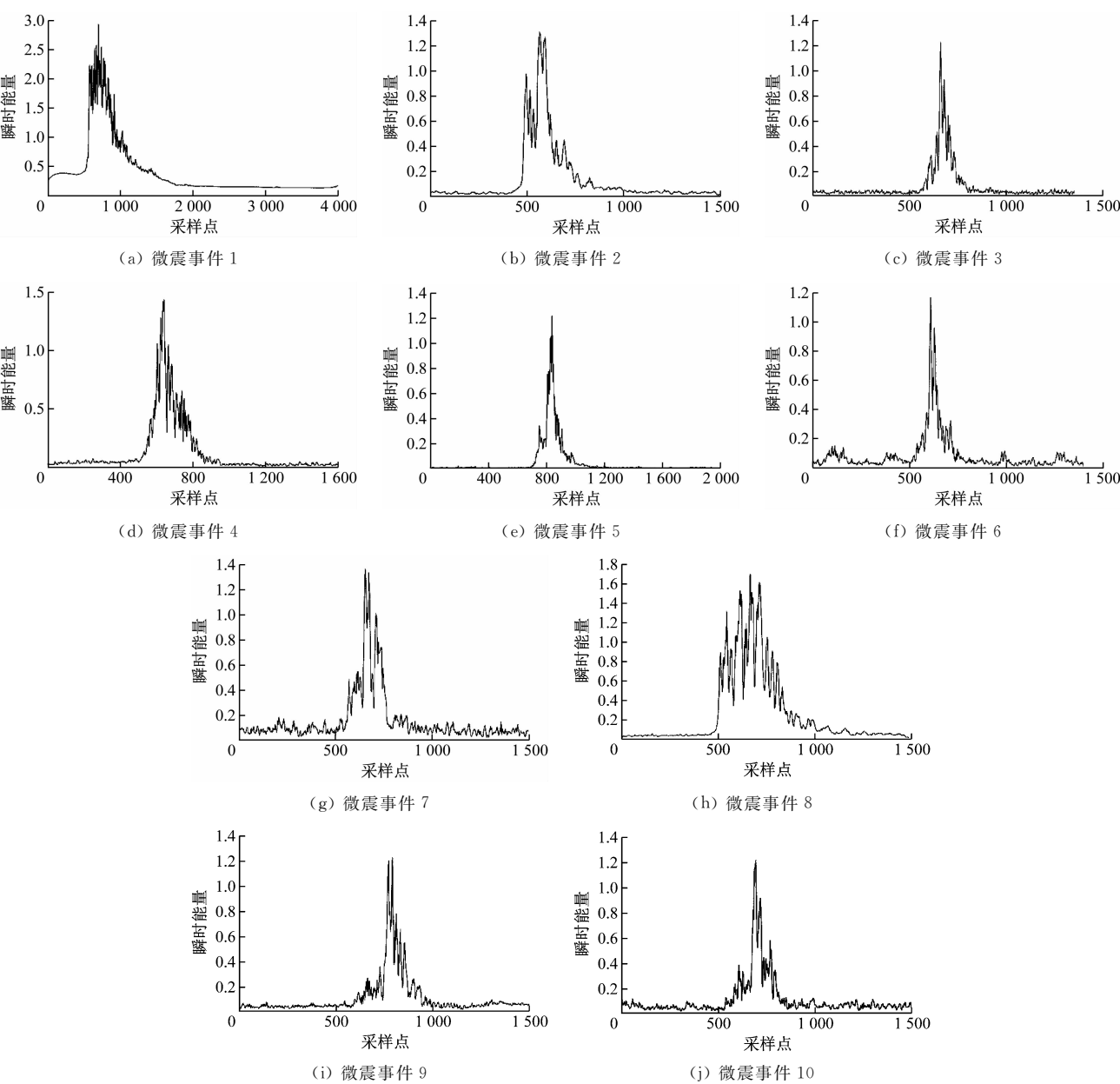


图 4 工作面微震事件波形瞬时能量

Fig. 4 Instantaneous energy of microseismic events in working face

从图 4 可看出,冲击地压事件及冲击地压发生前微震事件波形的最高瞬时能量分别为 2.93, 1.31, 1.24, 1.44, 1.22, 1.16, 1.37, 1.70, 1.23, 1.22;冲击地压发生前微震事件 2—5 波形的瞬时能量不高,表明冲击地压发生前存在能量的静默期。

3 基于微震信号时频特征的冲击地压前兆特征

通过分析工作面微震事件波形主频,发现冲击地压发生前微震事件 5—2 波形的主频依次为 281.91,186.37,138.85,87.89 Hz,主频逐渐降低,其中冲击地压发生前微震事件 2 波形的主频降到了 100 Hz 以内;冲击地压事件波形的主频为 1.24 Hz,降到了 10 Hz 以内。通过分析工作面微

震事件波形频带能量分布,发现冲击地压发生前微震事件 5—2 波形的最高能量分布频带依次为 26,11,11,8,最高能量分布频带逐渐降低,其中冲击地压发生前微震事件 2 波形的最高能量分布频带降到了 10 以内;冲击地压事件波形的最高能量分布频带为 1,降到了 5 以内。通过分析工作面微震信号瞬时能量,发现冲击地压发生前只有微震事件 8 波形的瞬时能量超过了 1.5,微震事件 8 发生后,冲击地压发生前微震事件 7—2 波形的瞬时能量均小于 1.5,表明微震事件 8 产生一定的能量释放后,微震事件 7—2 均没有释放大能量,而是在积聚能量,从而导致冲击地压发生。

4 结论

(1) 冲击地压发生时波形主频在 10 Hz 以内,而在冲击地压发生前的微震事件波形主频在 100 Hz 以内;冲击地压发生时波形最高能量分布频带在 5 以内,在冲击地压发生前的 3 次微震事件波形最高能量分布频带在 10 左右;冲击地压发生前的 6 次微震事件波形瞬时能量不高,表明冲击地压发生前存在能量的静默期。

(2) 通过分析工作面冲击地压事件及冲击地压发生前微震事件波形的时频特征,得到了冲击地压前兆特征:微震事件波形主频在 100 Hz 以内,最高能量分布频带在 10 以内,且瞬时能量小于 1.5。

参考文献 (References):

[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] 姜耀东,赵毅鑫.我国煤矿冲击地压的研究现状:机制、预警与控制[J].岩石力学与工程学报,2015,34(11):2188-2204.
JIANG Yaodong, ZHAO Yixin. State of the art: investigation on mechanism, forecast and control of coal bumps in China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(11): 2188-2204.

[3] 张宗文,王元杰,赵成利,等.微震和地音综合监测在冲击地压防治中的应用[J].煤炭科学技术,2011,39(1):44-47.
ZHANG Zongwen, WANG Yuanjie, ZHAO Chengli, et al. Application of micro seismic and ground acoustic emission comprehensive monitoring and measuring to prevention and control of mine strata pressure bumping[J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(1): 44-47.

[4] 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.

[5] 夏永学,康立军,齐庆新,等.基于微震监测的 5 个指标及其在冲击地压预测中的应用[J].煤炭学报,2010,35(12):2011-2016.
XIA Yongxue, KANG Lijun, QI Qingxin, et al. Five indexes of microseismic and their application in rock burst forecastion[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(12): 2011-2016.

[6] 杨作林.微震信号识别与地压灾害微震前兆规律研究[D].赣州:江西理工大学,2015.
YANG Zuolin. Microseismic signal recognition and the law of ground pressure disaster microseism precursor research[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2015.

[7] 赵毅鑫,姜耀东,王涛,等.“两硬”条件下冲击地压微震信号特征及前兆识别[J].煤炭学报,2012,37(12):1960-1966.
ZHAO Yixin, JIANG Yaodong, WANG Tao, et al. Features of microseismic events and precursors of rock burst in underground coal mining with hard roof[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(12): 1960-1966.

[8] 袁瑞甫,李化敏,李怀珍.煤柱型冲击地压微震信号分布特征及前兆信息判别[J].岩石力学与工程学报,2012,31(1):80-85.
YUAN Ruifu, LI Huamin, LI Huaizhen. Distribution of microseismic signal and discrimination of portentous information of pillar type rockburst[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(1): 80-85.

[9] 王士超.冲击前后微震信号的功率谱规律[J].煤矿安全,2013,44(11):50-52.
WANG Shichao. Power spectrum laws of microseism signal before and after rock burst[J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(11): 50-52.

[10] 肖亚勋,冯夏庭,陈炳瑞,等.深埋隧洞即时型岩爆孕育过程的频谱演化特征[J].岩土力学,2015,36(4):1127-1134.
XIAO Yaxun, FENG Xiating, CHEN Bingrui, et al. Evolution of frequency spectrum during instant rockbursts in deep inoculation tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 36(4): 1127-1134.

[11] 李学龙,李忠辉,王恩元,等.矿山微震信号干扰特征及去噪方法研究[J].中国矿业大学学报,2015,44(5):788-792.
LI Xuelong, LI Zhonghui, WANG Enyuan, et al. Study of mine microseismic signals interference characteristic and its de-noising method[J]. Journal of

- China University of Mining & Technology, 2015, 44 (5):788-792.
- [12] 韦四江,杨玉顺.义煤矿区冲击地压微震信号频谱特征分析[J].煤矿安全,2015,46(4):181-184.
WEI Sijiang, YANG Yushun. Spectrum characteristic analysis of rock burst microseismic signal in Yimei Mining Area[J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(4): 181-184.
- [13] 刘海顺,井广成,谢龙,等.微震信号随能量的变化特征——以张小楼井为例[J].采矿与安全工程学报, 2018,35(2):316-323.
LIU Haishun, JING Guangcheng, XIE Long, et al. Variation of microseismic signal with energy: a case study of Zhangxiaolou Coal Mine [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2018, 35(2): 316-323.
- [14] 彭明辉.李雅庄煤矿微震信号类别及微震事件时空分析[J].矿业安全与环保, 2019, 46(4): 87-91.
PENG Minghui. Category of microseismic signals and time-space analysis of microseismic event in Liyazhuang Coal Mine [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2019, 46(4): 87-91.
- [15] 丁鑫,肖晓春,吕祥锋,等.煤岩破裂过程电荷信号时-频域特性及降噪研究[J].煤炭学报, 2018, 43(3): 657-666.
DING Xin, XIAO Xiaochun, LYU Xiangfeng, et al. Investigation on charge signal time-frequency domain characteristics in coal failure process and noise reduction[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43 (3): 657-666.
- [16] 唐礼忠,陈资南,张君,等.矿山微震信号小波分析与研究[J].科技导报, 2013, 31(32): 29-33.
TANG Lizhong, CHEN Zinan, ZHANG Jun, et al. Research and analysis on wavelet of mine microseismic signals [J]. Science & Technology Review, 2013, 31(32): 29-33.
- [17] 曹晓立,高文学,吕洪涛,等.爆破振动信号的 Hilbert-Huang 变换分析与应用研究[J].兵工学报, 2016, 37(增刊 2): 107-113.
CAO Xiaoli, GAO Wenxue, LYU Hongtao, et al. Analysis of blasting vibration signal by HHT transform[J]. Acta Armamentarii, 2016, 37 (S2): 107-113.