

文章编号:1674-9669(2021)03-0092-08 DOI: 10.13264/j.cnki.ysjskx.2021.03.012

引文格式:李深海,何文,林凤翻,等.排土场滑移失稳次声信号特征研究[J].有色金属科学与工程,2021,12(3): 92-99.

排土场滑移失稳次声信号特征研究

李深海^{ab}, 何文^{a,b,c}, 林凤翻^{a,b}, 郑场松^{a,b}

(江西理工大学, a. 资源与环境工程学院; b. 江西省矿业工程重点实验室;
c. 钨资源高效开发及应用技术教育部工程研究中心, 江西 赣州 341000)

摘 要:为了探究排土场滑移失稳次声信号特征,开展室内模型试验模拟排土场滑移失稳过程,以次声波仪采集试验中的次声波信号,用 EEMD 处理信号并分析次声波信号的幅值、能量和 b 值的时变特征。结果表明:①EEMD 方法可以滤掉信号的高频部分和趋势项,有效提取排土场滑移失稳时产生的特征信号;②通过各 IMF 分量的时域波形图对比发现,排土场滑移失稳时产生的特征次声信号的频率范围为 0~3 Hz;③排土场发生整体滑移时,信号的幅值最大,信号能量出现跳跃式增加的時刻恰恰是排土场发生整体滑移的時刻, b 值的总体趋势是在不断地下降并在排土场发生整体滑移时达到最小值。次声波信号上述特征可以用于排土场滑移失稳的监测预警。

关键词:排土场监测;滑移失稳;次声波;时变特征

中图分类号:TD854.6 **文献标志码:**A

Research on characteristics of infrasound signals of waste dump sliding

LI Shenhai^{ab}, HE Wen^{abc}, LIN Fengfan^{ab}, ZHENG Changsong^{ab}

(a. School of Resources and Environmental Engineering; b. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Mining Engineering;
c. Engineering Research Center of High-Efficiency Development and Application Technology of Tungsten Resources, Ministry of Education,
Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: Laboratory tests of slip instability of dump were carried out to explore the characteristics of infrasound signals excited by slip instability of waste dump. The collected infrasonic signals were processed by EEMD method, and then their time-varying characteristics of amplitude, energy and b value were analyzed. The results showed: ① the EEMD could filter out the high frequency part of the signal and its trend item, and effectively extracted the characteristic signals produced by slip instability of the dump; ② Through the comparison of the time-domain waveform diagrams of each IMF component, it was found that frequency range of the characteristic signals produced by the slip instability of the dump was 0~3 Hz; ③ The signal amplitude was the largest when integral slip occurred. At that time, signal energy increased by leaps. The b value decreased continuously and reached the minimum value when the overall sliding happened. The above characteristics of infrasonic signal could be used for monitoring and advance warning of slip instability of waste dump.

Keywords: waste dump monitoring; slip instability; infrasonic waves; time-varying characteristics

收稿日期:2021-01-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51604127,51874268);中国博士后科学基金资助项目(2019M650156);江西省博士后科研资助项目(2018KY41)

通信作者:何文(1981—),男,博士,副教授,主要研究领域为岩土力学和岩土工程测试技术。E-mail:herman3@163.com

次声波是频率为 0~20 Hz 的声波。由于次声波在传播时衰减小、穿透力强、传播距离远^[1-2],因此次声波广泛应用于地质灾害、火箭发射等的监测^[3-10]以及大气信号的识别^[11]。朱星等分析了单轴加载过程中的岩石破裂发射出的次声波信号,发现岩石在破坏前加载过程中存在明显的发射次声波现象^[12]。徐洪等分析了 8 组砂岩试件变形破坏过程中产生的次声信号的能量特征,并提出可以根据信号能量特征对岩石变形破坏进行预警^[13],并对岩石在不同受力状态下产生的次声信号的波形、功率谱和时频特征等主要参数进行分析,认为可以根据这些参数的特征进行不同受力状态下次声信号的识别以及岩体灾变预测^[14]。众多的研究结果为次声波应用于岩石边坡的滑移监测提供了理论依据^[15-19]。黄永刚等研究发现,边坡稳定性分析中可将 BP 神经网络与模糊综合评判 2 种方法相结合来考虑加固、治理方案^[20];谢琳等则是应用分级分析法来探究高边坡的治理着重点^[21];王丹等将数值模拟与灰色理论相结合构建稀土矿边坡滑移破坏的监测预警体系^[22]。截至目前,关于排土场这类松散堆积体边坡滑移失稳的次声监测的相关文献少有报道。

排土场的稳定性对矿山至关重要,因此十分有必要对排土场边坡滑移失稳进行监测。谢振华等基于物元理论和关联函数,构建了露天矿山排土场滑坡灾害可拓预警模型^[23]。刘善军、吴立新等提出了时间协同、空间协同、参数协同和智能分析的天-空-地多平台多模式监测技术,进一步提升露天矿山边坡智能监测能力^[24]。排土场内部松散介质之间出现相对滑动,产

生微小变形逐步积累形成宏观变形,在此过程中产生了大量的次声波信号。本文重点研究排土场滑移失稳时产生的次声信号提取以及幅值、能量和 b 值时变特征,为实现利用次声波对排土场的滑移失稳进行监测预警提供依据。

1 排土场滑移失稳试验

1.1 试验模型

排土场滑移失稳模型如图 1 所示。在尺寸为 1.5 m×0.7 m×1.0 m 的模型框内用碎石堆筑排土场模型。模型的边坡角为 44°,模拟底板的倾角也为 44°。模型左端的底部为铰支,另一端可以利用液压千斤顶自由抬升。为了降低模型框侧壁的边界约束效应,减小模型材料和内壁的摩擦,模型框的侧壁为有机钢化玻璃,并在侧壁涂有润滑油薄膜。实验示意图见图 2。



图 1 排土场滑移失稳模型

Fig. 1 Slide instability model of waste dump

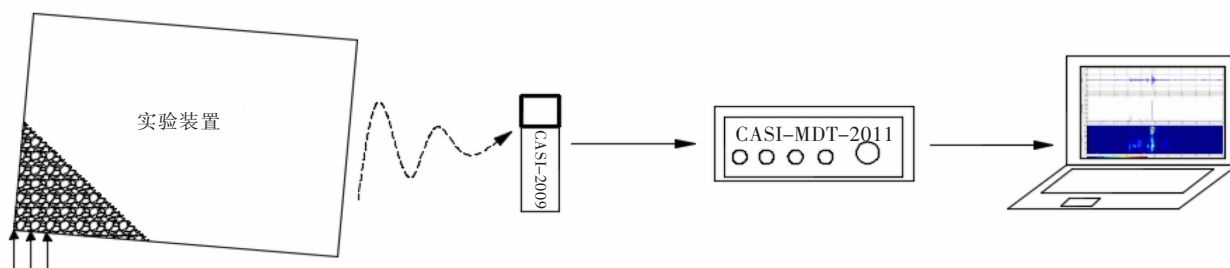


图 2 实验示意

Fig. 2 Experimental diagram

1.2 试验设备

试验设备分为 3 个部分: CASI-2009 次声传感器、CASI-MDT-2011 网络传输仪和计算机。CASI-2009 型传感器,用来采集排土场滑移失稳过程中产生的次声波信号。CASI-2009 次声传感器不需要和

试验材料耦合就能采集到信号,并且不会受到振动的影响,信号接收范围在 $1 \times 10^{-3} \sim 100$ Hz; CASI-MDT-2011 网络传输仪能将采集的信号运输到计算机中,它拥有 16 路采集通道,最高采样率可以达到 250 kHz,具有轻便、易操作、易携带的优点。

在试验过程中,首先将次声传感器与网络传输仪连接,由网络传输仪将传感器电信号转换为数字信号,再传输给电脑控制系统。次声数据采集采用非接触方式,次声传感器与模型相距约 1.5 m。次声波采集分析系统如图 3 所示。

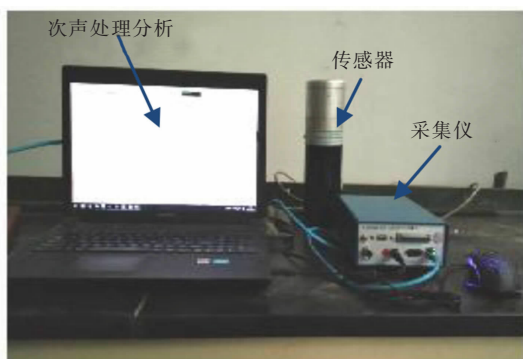


图 3 次声波采集分析系统

Fig. 3 Infrasound acquisition and analysis system

1.3 试验方法

1) 设置数据采集参数:采集频率为 512 Hz,首通道为 0、通道数为 1、增益为 1。试验过程中,做到数据采集和试验同时开始,同时停止。每次试验数据都需要及时转换和保存。

2) 通过匀速地压千斤顶,使得模型的自由端不断抬升,进而导致模型的滑移失稳。

3) 试验过程中,需要对试验模型进行拍摄、记录排土场发生滑移失稳的时间点,以便为后期数据分析提供依据。

1.4 排土场滑移失稳过程

从试验视频可以发现,排土场发生滑移失稳不是一个突兀的过程,它是一个逐步递进的过程。根据模型试验过程中排土场的形态变化可以将排土场滑移失稳过程分为 4 个阶段。初始阶段:如图 4(a)所示,在该阶段,排土场的形态未发生肉眼可观的变化,碎石没有出现明显的位移;局部滑移阶段:该阶段,由于模型自由端的抬升,少量碎石受到的致滑力大于抗滑力,开始脱离坡体向坡脚滚动,形成局部滑移,如图 4(b)所示;整体滑移阶段:模型自由端继续抬升,碎石受到的致滑力逐渐增大,在致滑力超过临界值之后,碎石脱离坡体沿坡面滚动,并带动周围的碎石形成大规模的滑移,造成排土场的整体滑移,如图 4(c)所示;再稳定阶段:能量耗尽的碎石堆积在坡脚,不再继续移动,整个排土场再次达到稳定状态,如图 4(d)所示。

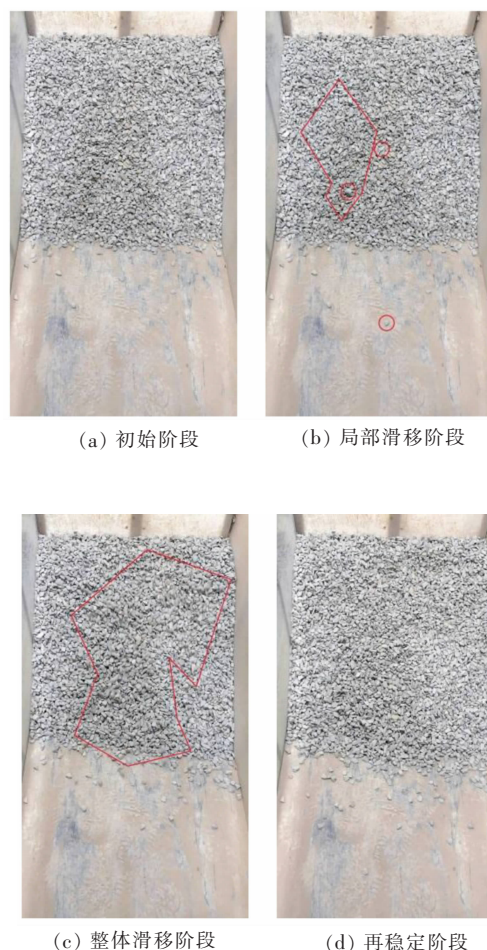


图 4 排土场滑移失稳过程

Fig. 4 Sliding instability process of waste dump

2 信号处理方法

采用 EEMD (Ensemble Empirical Mode Decomposition) 对信号做滤波处理,滤掉信号的高频部分和趋势项,获得更纯净的信号。EEMD 方法是在 EMD 方法 (Empirical Mode Decomposition) 的基础上提出的,该方法的步骤如下^[25]:

1) 将不同的高斯白噪声 $n_i(t)$ 加入原始信号 $x(t)$ 中,得到信号 $x_i(t)$ 。

$$x_i(t) = x(t) + n_i(t), i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

2) 对 $x_i(t)$ 做 EMD 分解,得到对应的分量 IMF_k^i , 其中 k 为分解尺度。

3) 将每次经 EMD 分解得到的 IMF 分量相加取平均值得到最终的结果。

$$IMF_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N IMF_k^i \quad (2)$$

信号经 EEMD 方法处理之后,得到若干个 IMF 分量,可以根据需求自由选择需要保留的 IMF 分量。

本文中,信号经 EEMD 方法处理之后,得到 16 个 IMF 分量,选择 $IMF_5 \sim IMF_{15}$ 一共 11 个 IMF 分量,相当于对原信号进行了一次带通滤波,得到 0~20 Hz 频率范围内的信号。由于 IMF_{10} 分量及后续分量的频率范围处于 0~1 Hz 之间,继续细分下去的意义不大。

因此将 IMF_{10} 分量及后续分量合并,与其他分量的信号共同形成 6 个分量的信号集。

试验取得 16 组信号数据,以第 1 组信号为例,绘制该信号的 6 个分量的时域波形图。如图 5 所示。

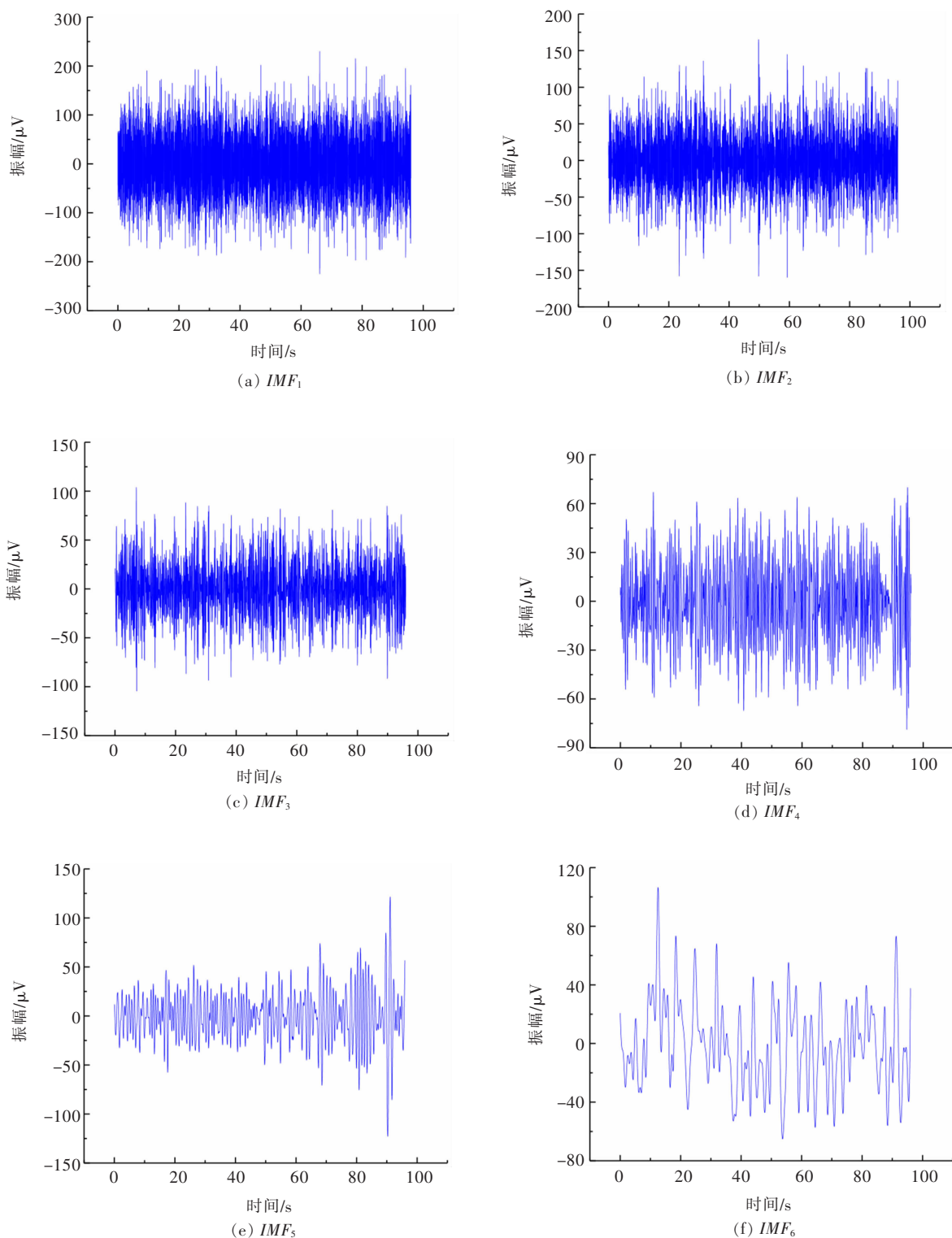


图 5 第 1 组信号 IMF 分量时域波形

Fig. 5 Time-domain waveform diagram of IMF component of the 1st group

从图 5 可以发现, IMF_1, IMF_2, IMF_3 和 IMF_4 分量的幅值在整个试验过程中幅值都保持相对稳定; IMF_6 分量的幅值在整个试验过程中多次出现快速增大(减小)现象; IMF_5 分量的幅值变化表现出明显的规律性, 随时间的推移幅值呈现逐渐增大的趋势, 在 89 s 快速增长并在 91 s 达到幅值峰值, 之后幅值恢复正常水平。从第 1 组试验的

视频发现, 在 89~91 s 排土场出现了大面积的滑移现象, 由于 IMF_5 分量幅值发生突变的时间点与排土场滑移失稳的时间点高度一致, 因此有理由认为, IMF_5 分量是排土场滑移失稳时产生的特征信号。

限于篇幅, 如图 6 展示了 2 组试验信号的 IMF_5 分量的时域波形图。

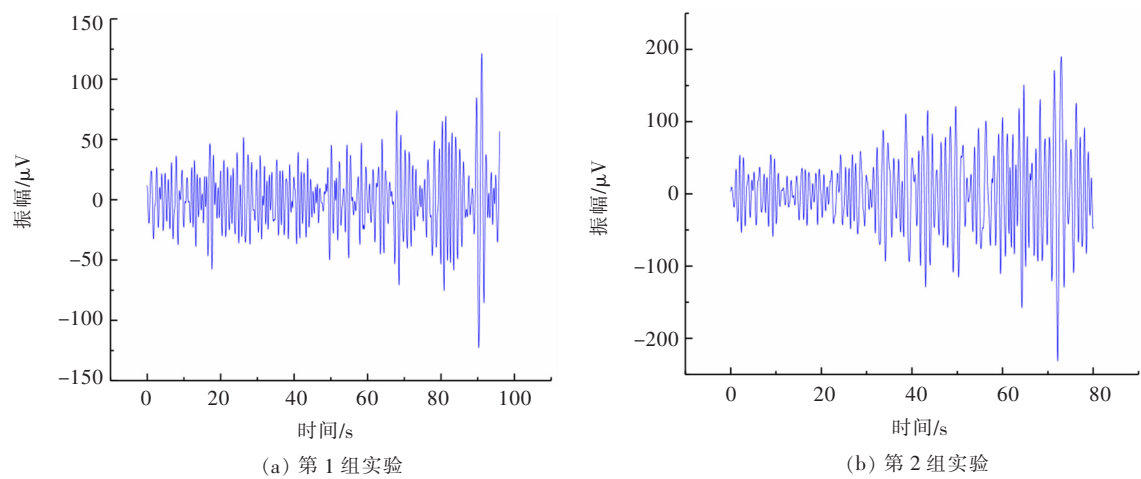


图 6 2 组信号的 IMF_5 分量时域波形
Fig. 6 Time-domain waveform diagram of IMF_5 component of 2 signals

绘制图 6 中信号的 IMF_5 分量的频谱图, 如图 7 所示。从图 7 可以发现 IMF_5 分量的频率范围是 0~3 Hz,

因此排土场滑移失稳时产生的特征信号频率范围是 0~3 Hz。

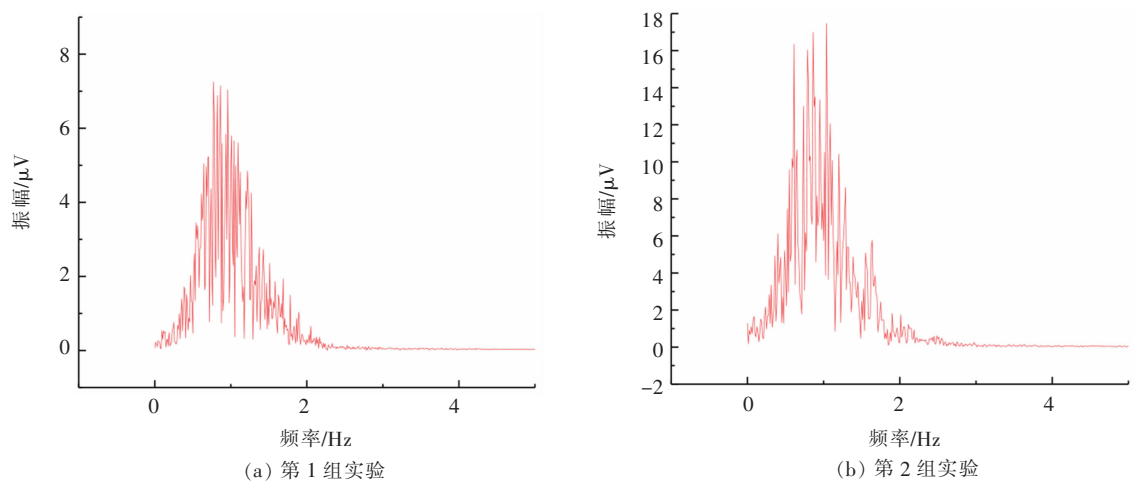


图 7 2 组信号的 IMF_5 分量频谱
Fig. 7 IMF_5 component spectrogram of 2 signals

3 次声信号特征分析

IMF_5 分量是排土场滑移失稳时产生的特征信

号, 因此在进行次声信号特征分析时只采用每组信号的 IMF_5 分量。此外, 对信号的幅值进行了归一化处理, 以便于后续的分析。

3.1 幅值时变特征

排土场是由碎石堆积形成的,当碎石发生相对滑动时,碎石之间必然存在着相互挤压、碰撞和摩擦等现象,每个现象都是一个次声波信号源,会激发出强

度不等的次声波信号,信号幅值的大小与信号源的强度息息相关,幅值是信号源强度的外在表征。以每一秒内所有次声信号幅值的均值作为该时刻信号的幅值,并以此为基础绘图,如图 8 所示。

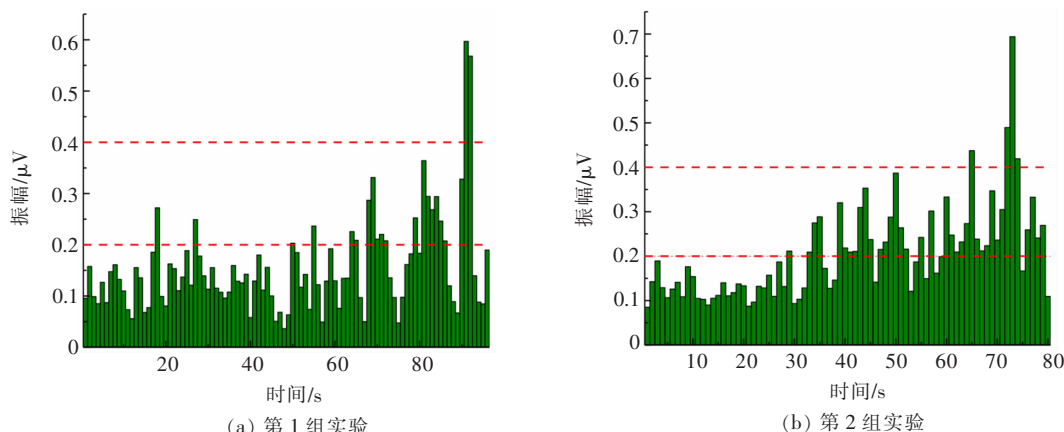


图 8 幅值时变特征

Fig. 8 Time-varying amplitude

结合排土场的滑坡失稳过程和图 8 可以发现,排土场滑坡失稳过程的不同的阶段信号幅值具有不同的特征。以图 8(b)为例进行说明:在初期阶段,幅值在一个相对恒定的范围内波动,大小为 0~0.2 之间的低幅值占大多数,原因是此时排土场处于一个相对稳定的状态,碎石之间的相互挤压、碰撞和摩擦等现象的强度低,次数少,释放的能量较小;随着时间的推移,信号的幅值逐渐变大,处于 0.2~0.4 的中幅值的数量明显增加,原因是这个时候排土场已经进入局部转移阶段,碎石之间相互挤压、碰撞和摩擦等现象强度增大,次数增加;到了整体转移阶段,信号的幅值出现跳跃式增长,信号幅值的峰值开始出现,原因是该阶段排土场出现整体转移,使碎石之间产生大量高强度的相互挤压、碰撞和摩擦等现象,激发出大幅值的信号;在再稳定阶段,信号的幅值迅速降低,原因是碎石的运动状态由移

动向停滞转变,碎石之间的相互挤压、碰撞和摩擦等现象的强度降低,次数减少,产生信号幅值减小。

3.2 能量时变特征

信号能量的大小间接反映了碎石之间发生挤压、碰撞和摩擦等现象的频率和强度,而这些现象恰恰是碎石相对滑动导致排土场出现变形的结果。信号的能量越大,说明此时排土场的变形程度越大,碎石之间发生挤压、碰撞和摩擦等现象的次数越多、强度越大;而当信号的能量较小时,排土场处于较为稳定的状态,排土场介质之间发生挤压、碰撞和摩擦等现象的次数少、强度低。

在声发射中能量的定义为信号检波包络线下的面积,可分为总计数和计数率,反映了声发射事件的相对能量或强度。计算信号能量的总计数和计数率,根据计算结果绘图,如图 9 所示。

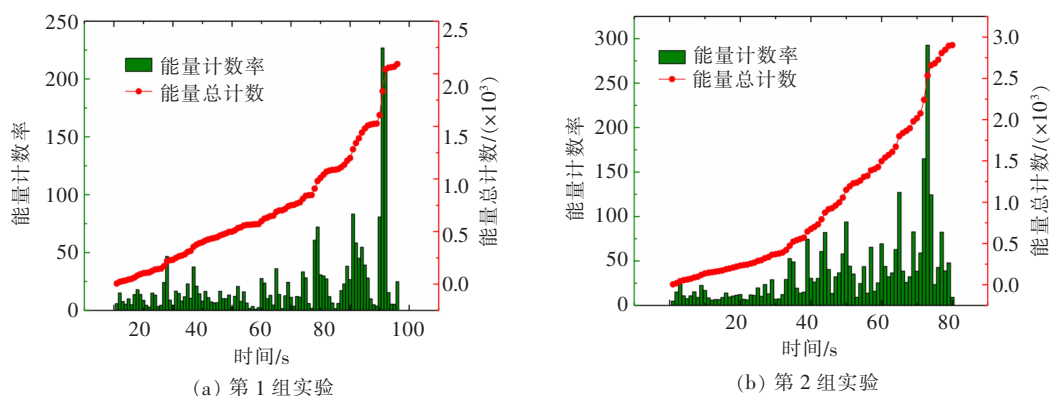


图 9 能量时变特征

Fig. 9 Energy time-varying characteristic

从图9可以发现:虽然图9中2图之间存在局部差异,但是他们具有相同的时变特征。在初始阶段,排土场的形态没有发生明显的变化,该阶段能量计数率较小,缺少中等和大数值的能量计数率且能量总计数曲线的斜率无明显变化,主要是因为此时碎石之间发生挤压、碰撞和摩擦等现象的次数少,强度低;随着时间的推移,能量计数率增加,中等和大数值的能量计数率的个数开始增加,能量总计数曲线的斜率在个别时刻发生跳跃,此时碎石之间相互挤压、碰撞和摩擦等现象的次数开始增加,强度变大,少量或个别碎石可能开始运动,形成坡体局部滑移;当排土场出现整体滑移时,不但能量计数率表现出骤然增加并达到峰值的特征而且能量总计数曲线的斜率明显变大,这是排土场发生了整体滑移使得碎石之间频繁发生高强度的挤压、碰撞和摩擦等现象的结果。

3.3 b 值时变特征

b 值最早是地震研究领域用于表征震级与频度关系的参数^[26],如今 b 值已不再局限于地震研究领域,在材料特性、矿山和边坡研究领域都有所应

用^[27-29]。 b 值的变化特征体现了材料内部裂纹发展的演化特征, b 值增大说明材料内部裂纹发展主要以微裂纹的产生、扩展为主; b 值减小说明材料内部裂纹发展主要以微裂纹汇集、贯穿形成宏观裂纹为主; b 值在小范围内波动说明材料内部裂纹发展状态较为稳定; b 值缓慢增大(减小)说明材料内部裂纹发展缓慢进行,处于渐进发展状态; b 值跳跃性增大(减小)说明材料内部裂纹发展状态发生突变,处于突变发展状态。排土场是由碎石堆积形成的散体结构,与岩石材料由于微裂纹的产生、扩展而导致的破坏不同,碎石相对滑动导致排土场不断产生微小变形、积累形成宏观变形是排土场滑移失稳的根本原因。当排土场内部活动以微小变形的产生为主时, b 值较小;而当排土场出现宏观变形时, b 值较大;排土场的状态较为稳定, b 值在小范围内波动;排土场的变形逐渐累积,形态渐进发展, b 值缓慢增大(减小);排土场形态突变发展, b 值跳跃式增大(减小)。

本文采用最大似然估计法计算排土场模型试验次声信号幅值的 b 值,得到 b 值随时间的变化曲线,如图10所示。

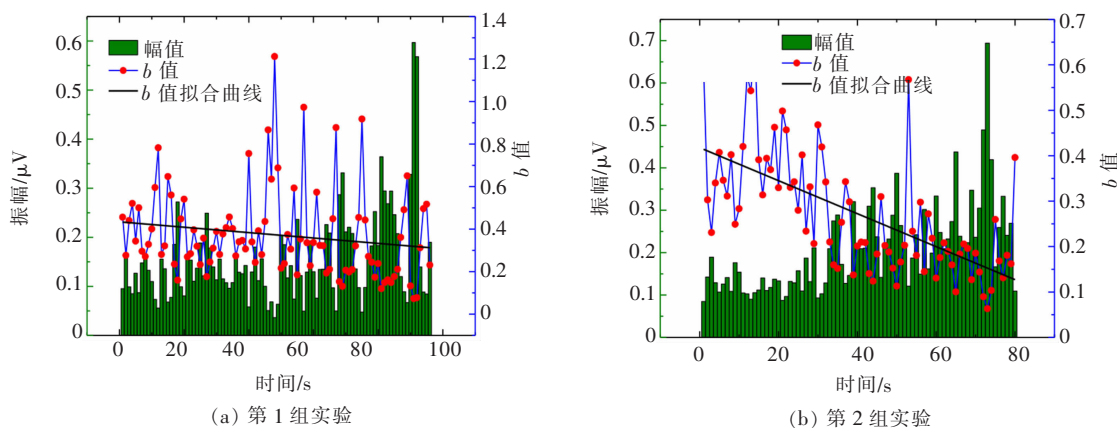


图10 b 值时变特征

Fig. 10 b value time-varying feature

从图10可以发现, b 值与幅值显著负相关。幅值较小的时刻, b 值较大,幅值较大的时刻, b 值较小,在幅值最大的时刻, b 值最小。在初始阶段,小 b 值的个数较少,大 b 值的数量较多,说明该阶段排土场的内部活动主要以微小变形为主,碎石之间发生挤压、碰撞和摩擦等现象的强度低,激发出的信号以小幅值信号为主;在局部滑移阶段,小 b 值的数量显著增加,说明该阶段碎石之间发生挤压、碰撞和摩擦等现象的强度增大,产生的大幅值信号的比例上升;排土场变形量不断累积在整体滑移阶段超过临界值,使得排土场发生滑移破坏,该阶段的 b 值最小,说明该阶段碎石

之间发生挤压、碰撞和摩擦等现象的强度最大,激发出的信号以大幅值信号为主。

用最小二乘法对 b 值做直线拟合,研究 b 值在整个过程中的变化趋势。从图10可以发现从试验开始到排土场出现整体滑移, b 值的总体趋势是在不断地下降并在滑移失稳时刻达到最小值,说明排土场由微小变形产生阶段不断向宏观变形阶段发展。当坡体变形超过临界值时使得排土场出现宏观大变形进而发生整体滑移。观察排土场整体滑移时 b 值的变化,发现在该时刻 b 值的变化形式可以分成2种:第1种是“陡降”, b 值在短时间内降低至最小值,说明此时微

小变形迅速累积形成宏观变形,排土场的滑移失稳突变式发展;另一种是“缓降”, b 值波动式下降至最小值,说明此时微小变形缓慢增加形成宏观变形,排土场的滑移失稳渐进式发展。

4 结 论

根据前述的计算结果和分析,可以得到以下几个结论:

1) EEMD 将原始信号分解之后,能够将排土场滑移失稳过程中产生的次声波信号与噪声分离,通过合理选择 IMF 分量重构信号,获得较为纯净的次声波信号。

2) IMF_5 是排土场滑移失稳过程产生的特征信号,其频率为 0~3 Hz。

3) 在排土场滑移失稳的不同阶段,次声波信号的幅值、能量和 b 值具备不同的特征,其中又以整体滑移阶段的变化特征最为明显。排土场发生整体滑移时,信号的幅值最大,信号能量出现跳跃式增加的時刻恰恰是排土场发生整体滑移的時刻, b 值的总体趋势是在不断下降并在排土场发生整体滑移时达到最小值。次声波信号的上述特征可以用于排土场滑移失稳的监测预警。

参考文献:

- [1] EVERS L G, SIEGMUND P. Infrasonic signature of the 2009 major sudden stratospheric warming [J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36(23): 23808.
- [2] 刘俊民.次声信号产生机理与特性分析 [J]. 环境工程, 2010, 28(4): 92.
- [3] 杨庆生,张少伟,夏雅琴,等. 不同地域震前次声波异常信号的分析[J]. 北京工业大学学报, 2016, 42(2): 167-173.
- [4] JOHNSON J, ASTER R, JONES K R, et al. Acoustic source characterization of impulsive strombolian eruptions from the Mount Erebus lava lake [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2008, 117(3): 673-686.
- [5] ULIVIERI G, MARCHETTI E, RIPEPE M, et al. Monitoring snow avalanches in Northwestern Italian Alps using an infrasound array[J]. Cold Regions Science and Technology, 2011, 69(2/3): 177-183.
- [6] 章书成,余南阳.泥石流早期警报系统[J].山地学报, 2010, 28(3): 379-384.
- [7] MARUYAMA T, SHINAGAWA H. Infrasonic sounds excited by seismic waves of the 2011 Tohoku-oki earthquake as visualized in ionograms[J]. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2014, 119(5): 4094-4108.
- [8] 尚东方,刘敦龙,韩雪,等.基于次声监测的泥石流实时预警系统[J].计

算机与现代化,2020(3):6-12.

- [9] 胡至华,袁路,马东涛,等.基于 EEMD 分形和 LS-SVM 的次声信号识别泥石流类型[J]. 山地学报,2020,38(4):619-629.
- [10] 文雨迪,任文涛,杨宇,等.CZ-7 遥 2 运载火箭发射次声信号分析研究[J]. 兵器装备工程学报,2019,40(9):70-73.
- [11] 吴湔晖,邹士亚,庞新良,等.应用支持向量机和人工神经网络对大气次声信号识别的初步实验[J].应用声学,2020,39(2):207-215.
- [12] 朱星,许强,邓茂林,等.岩石次声滤波处理新技术—Sallen-Key 数学模型[J]. 煤炭学报, 2013, 38(8):1357-1361.
- [13] 徐洪,陈正华,周廷强,等.基于小波分解的岩石破坏次声信息特征研究[J]. 应用声学, 2016, 35(3): 231-238.
- [14] 徐洪,周廷强.岩石变形破坏次声异常的能量特征研究[J].岩土工程学报,2016,38(6):1044-1050.
- [15] 陈忠清,魏威,吕越,等.不同加载条件下岩石破坏产生的次声波信号特征试验研究[J].绍兴文理学院学报(自然科学),2020,40(2):9-19.
- [16] 陈乔,张阔,陈吉龙,等.土剪破坏次声监测试验研究[J]. 力学学报,2020,52(3):877-889.
- [17] 杨云峰,赵奎,李期森,等.不同加载路径下岩石次声信号特征研究[J]. 矿业研究与开发,2017,37(12):87-92.
- [18] 徐洪,孙从露,任世聪.不同受力状态下岩石破坏过程次声信号特征[J]. 地球科学与环境学报,2018,40(6):813-821.
- [19] 赵久彬,刘元雪,杨骏堂,等.滑坡次声信号简正波模型的匹配场超前定位算法[J/OL]. 岩土力学,2020(12):1-12.
- [20] 黄永刚,张学焱,李雪珍,等.神经网络和模糊综合评判在边坡稳定性分析中的应用比较[J]. 有色金属科学与工程,2016,7(3):94-99.
- [21] 谢琳,刘文连,王修峰,等.基于分级分析法评价结构面对岩质高边坡稳定性的影响[J]. 有色金属科学与工程,2019,10(1):77-86.
- [22] 王丹,袁博云,饶运章,等.稀土矿边坡监测方案构建与滑坡灰色预测[J].有色金属科学与工程,2015,6(3):116-120.
- [23] 谢振华,何娜,栾婷婷,等.露天矿山排土场滑坡灾害预警技术[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(9): 96-101.
- [24] 刘善军,吴立新,毛亚纯,等.天-空-地协同的露天矿边坡智能监测技术及典型应用[J].煤炭学报,2020,45(6):2265-2276.
- [25] NORDEN E H, ZHENG S, STEVEN R L, et al. The empirical mode decomposition and the hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998, 454:903-995.
- [26] AKI K. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits[J]. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 1965,43(2): 237-239.
- [27] ZHANG Q, ZHANG X P. A numerical study on cracking processes in limestone by the b -value analysis of acoustic emissions[J]. Computers and Geotechnics, 2017,92:1-10.
- [28] FRANCISCO S, MIGUEL E Z, ROSE P, et al. Acoustic emission energy b -value for local damage evaluation in reinforced concrete structures subjected to seismic loadings[J].Mechanical Systems and Signal Processing, 2018,102: 262-277.
- [29] YUAN R F, SHI B W. Acoustic emission activity in directly tensile test on marble specimens and its tensile damage constitutive model[J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2018(5): 295-304.