

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2023.03.025

基于 CEEMDAN-K-means 算法的 爆破振动信号去噪研究*

闫鹏¹,张云鹏^{1,2},田婕¹,王晗¹

(1. 华北理工大学矿业工程学院,唐山 063210;2. 河北省矿业开发与安全技术重点实验室,唐山 063210)

摘要: 针对实测爆破振动信号存在噪声和 CEEMDAN 方法在去噪过程中容易造成信息缺失的问题,考虑聚类分析方法具有良好的数据处理能力,依据分解—聚类—重构的思想,提出了 CEEMDAN-K-means 算法的爆破振动信号去噪方法。首先,该方法通过 CEEMDAN 方法分解爆破振动信号获得不同数量级的 IMF 分量;然后,利用 K-means 聚类分析算法将 IMF 分量为五个不同类别并采用方差贡献率校核;最后,剔除高频噪声类别的 IMF 分量,获得重构的纯净爆破振动信号。以某露天矿爆破振动信号为例,采用信噪比和均方根误差指标,评价了 CEEMDAN-K-means 算法信号去噪性能。研究结果表明:与 CEEMDAN 方法和 EMD-小波阈值方法相比,CEEMDAN-K-means 信号去噪方法信噪比(20.06 dB)最大,分别提高了 1.26 dB 和 7.7 dB,均方根误差(0.22×10^{-3})最小,说明该方法不仅具有良好的信号去噪效果,也具有较好的保真度。通过对比分析不同方法信号去噪效果可知,在有效保留真实信号成分的基础上,CEEMDAN-K-means 方法可以有效去除实测爆破振动信号包含的高频成分,在爆破振动信号去噪领域具有实用性和有效性,为爆破振动信号去噪方法研究提供了新思路。

关键词: 爆破振动信号; CEEMDAN; K-means 聚类算法; 去噪

中图分类号: TD235.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2023)03-0184-07

Blasting Vibration Signal Denoising based on CEEMDAN-K-means Algorithm

YAN Peng¹, ZHANG Yun-peng^{1,2}, TIAN Jie¹, WANG Han¹

(1. College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China; 2. Hebei Provincial Key Laboratory of Mine Development and Safety Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: In view of the problem of noise and information loss in the CEEMDAN method in the denoising process of actual measurement blasting vibration signals, the clustering analysis method is considered to have good data processing ability. Based on the idea of decomposition-clustering-reconstruction, CEEMDAN-K-means algorithm for denoising of blasting vibration signals is proposed. Firstly, this method decomposes the blasting vibration signal by CEEMDAN method to obtain IMF components of different quantity levels. Then, the K-means clustering analysis algorithm is used to classify the IMF components into five different categories, and variance contribution rate verification

收稿日期 (Date of reception): 2022-09-29

网络首发日期 (Published online): 2023-02-20

作者简介: 闫鹏 (1995-), 男, 博士研究生, 主要从事爆破领域研究, (E-mail) yanp@stu.ncst.edu.cn。

通讯作者: 张云鹏 (1963-), 男, 博士、教授、博士生导师, 主要从事爆破领域研究, (E-mail) 2286744895@qq.com。

基金项目: 河北省自然科学基金 (E2016209388)

About the author: YAN Peng (1995-), male, doctoral candidate, mainly engaged in research on blasting, (E-mail) yanp@stu.ncst.edu.cn.

Corresponding author: ZHANG Yun-peng (1963-), male, Ph. D., professor, doctoral supervisor, mainly engaged in research on blasting, (E-mail) 2286744895@qq.com.

Funding projects: Natural Science Foundation of Hebei Province (E2016209388)

is used. Finally, the IMF components of high frequency noise category are removed and the reconstructed pure blasting vibration signal is obtained. Taking the blasting vibration signals from an open-pit mine as example, the signal denoising performance of the CEEMDAN-K-means algorithm was evaluated by signal-to-noise ratio and root mean square error indexes. The research results show that compared with the CEEMDAN method and the EMD-wavelet threshold method, the CEEMDAN-K-means signal denoising method has the largest signal-to-noise ratio (20.06 dB), which is increased by 1.26 dB and 7.7 dB, respectively, and the smallest root mean square error (0.22×10^{-3}), indicating that the method not only has good denoising effect, but also has good fidelity. Through the comparison and analysis of the denoising effect of different methods, it is known that on the basis of effectively retaining the real signal component, the CEEMDAN-K-means method can effectively remove the high-frequency components contained in the measured blasting vibration signal, and has practicality and effectiveness in the field of blasting vibration signal denoising.

Key words: blasting vibration signal; CEEMDAN; k-means algorithm; denoising

在采集爆破振动信号过程中,测振仪器容易受到多种因素的干扰,导致爆破振动信号掺杂很多噪声,不利于后续信号时频分析^[1-3]。为此,研究学者开展了爆破振动信号去噪研究。王海龙等采用相关性系数筛选优势 IMF 分量的方法^[4],提出了傅里叶分解 (fourier decomposition, FDM) 和小波包分析相结合的爆破振动信号去噪方法,该方法集成了 FDM 和小波包的优势,为研究去噪方法提供了新的研究思路。周小龙等通过分析模拟信号和实测信号^[5],验证了变分模态分解 (variational model decomposition, VMD) 结合最大重叠离散小波包变换的信号去噪方法的可行性。付晓强等通过采用峰值误差和相关性系数等评价指标^[6],对比了不同方法的信号去噪效果研究发现,稀疏化基线估计消噪 (baseline estimation and de-noising with sparsity, BEADS) 和隐马尔可夫模型消噪方法 (hidden Markov model denoising, HMMD) 分别对低频和低频噪声具有较好的滤除效果。彭亚雄等^[7]以 3 组实测爆破振动信号为例,表明 VMD 和多尺度排列熵 (multi-scale permutation entropy, MPE) 方法去噪效果优于其它方法。付晓强等以典型的隧道爆破振动信号为研究对象^[8],通过 BEADS 方法去除了噪声并提取了趋势项信息。为了解决经验模态分解 (empirical mode decomposition, EMD) 算法存在的模态混叠问题,研究学者提出了自适应噪声完备集合经验模态分解 (complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise, CEEMDAN) 方法^[9]。例如,孙苗等通过 CEEMDAN 方法抑制了 EMD 存在的模态混叠^[10],也有效识别了不同频率的信号信息。陈毅军等提出了样本熵 (sample entropy, SE) 和 CEEMDAN 相结合的时频峰值滤波方法抑制信号噪声成分^[11]。

虽然,现有的信号去噪方法去噪效果较好,但是也存在局限性。傅里叶变换无法辨别时域上信号尖

峰来源于噪声还是突变。小波类信号去噪方法存在小波基函数和分解层数的选取具有随机性等不足之处。VMD 由于关键参数非最优存在信号分解不足或者过分解。EMD 分解得到的不同本征模态函数 (intrinsic mode function, IMF) 存在模态混叠。虽然,CEEMDAN 解决了 EMD 算法的模态混叠问题,在一定程度上也避免了残余噪声的影响,但是,该方法在处理部分信号时容易造成信号失真。

作为数据挖掘中经典的聚类算法之一,K-means 算法具有计算复杂度低和聚类效果较好等优点^[12]。为了解决 CEEMDAN 方法存在丢失原始信号有效信息的问题,采用 K-means 聚类算法将 CEEMDAN 方法分解的 IMF 分量划分不同的类别,识别有效信息序列和噪声序列,并采用方差贡献率校核后剔除噪声 IMF 分量序列,并重构有效信息 IMF 分量序列得到纯净的爆破振动信号。

综上所述,以 CEEMDAN 信号去噪效果不佳为研究对象,利用 K-means 算法良好的时间序列聚类效果优势,根据分解—聚类—重构的思想,提出了基于 CEEMDAN-K-means 算法的爆破振动信号去噪方法,通过采用信噪比和均方根误差指标对比分析与 CEEMDAN 方法和 EMD-小波阈值的去噪效果,并评价该方法在爆破振动信号去噪领域的可行性和有效性。

1 CEEMDAN-Kmeans 算法实现

CEEMDAN-Kmeans 算法是 K-means 算法针对 CEEMDAN 方法去噪时容易造成信号失真所改进的算法。虽然 CEEMDAN 方法在信号去噪过程中减轻了 EMD 方法的模态混叠问题和避免了残余噪声影响,但是,该方法容易造成部分有效信号信息缺失,导致去噪效果相对不够理想。由于爆破振动信号属于典型的时间序列,针对时间序列 K-means 算法具有良好的聚类效果,因此,可以采用 CEEMDAN 方法

与 K-means 算法相结合的方法进行信号去噪。CEEMDAN-Kmeans 算法流程如图 1 所示。CEEMDAN-K-means 算法步骤如下所示：

(1) 在获取的原始爆破振动信号 $x(t)$ 中加入噪声序列得到新信号 $h(t)$, 采用 CEEMDAN 算法分解新信号 $h(t)$ 获得 m 个不同的 IMF 分量, 每个 IMF 分量包含 n 个样本点 $h_i(t)$ 。

(2) 从 IMF 分量序列中选取 K 个 IMF 分量作为初始聚类中心点 δ_i , 其中, $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_i \in \delta$ 。计算样本点 $h_i(t)$ 到不同聚类中心点 δ_i 欧式距离, 欧式距离计算公式为^[13]

$$D[h_i(t), \delta_i] =$$

$$\sqrt{[h_1(t) - \delta_1]^2 + [h_2(t) - \delta_1]^2 + \dots + [h_n(t) - \delta_n]^2}$$

(3) 根据欧式距离最近原则将不同 IMF 分量划分至不同类别, 将每个类别所有样本点均值作为新聚类中心 φ_i , 计算聚类目标函数 J_{SSE} , 目标函数计算公式为^[12]

$$J_{SSE} = \sum_{i=1}^n \sum_{h_i(t) \in \delta_i} \min |h_i(t) - \varphi_i|^2$$

(4) 反复执行步骤(2)和(3), 若聚类目标函数 J_{SSE} 达到收敛条件则停止迭代, 输出最终聚类结果。

(5) 计算不同 IMF 分量的方差贡献率校核聚类结果, 剔除噪声类别并重构有效信息类别获得纯净的爆破振动信号。

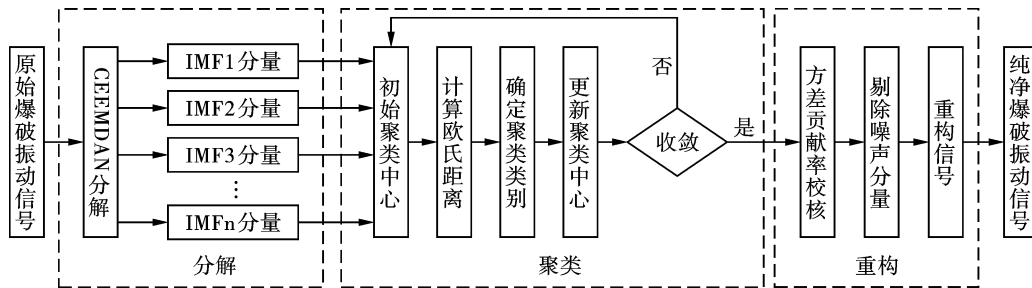


图 1 CEEMDAN-Kmeans 算法流程图

Fig. 1 CEEMDAN-Kmeans algorithm flow chart

2 工程实例分析

2.1 工程背景

露天矿山位于河北省滦州市响堂镇, 主要采用中深孔台阶爆破技术开采矿石, 为了减少生产爆破对矿山周围村庄的影响, 需要定期开展爆破振动监测。矿山生产爆破现场如图 2 所示。以 2022 年 2 月 28 日采用 TC-4850N 测振仪采集的生产爆破振动信号为研究对象, 开展爆破振动信号去噪研究。该信号采样频率为 50 Hz, 采样时间为 2 s, 共计 10000 个采样点, 原始爆破振动信号如图 3 所示。爆破参数如表 1 所示。



图 2 矿山生产爆破现场

Fig. 2 Mine production blasting site

表 1 爆破参数

Table 1 Blasting parameters

台阶高度/m	炮孔直径/m	孔深/m	单段最大药量/kg	孔距/m	填塞长度/m
12	150	16	560	7	8

2.2 信号分解与聚类

采用 CEEMDAN 算法分解原始爆破振动信号, 高斯白噪声标准差与原始信号标准差之比为 0.2, 信号平均次数为 100, 最大迭代次数为 1000, 获得 14

个不同频率的 IMF 分量和 1 个残余分量。根据图 4 可知, 噪声对不同分量的影响逐渐降低, 其中, IMF1 ~ IMF5 分量具备噪声分量的特征, IMF6 分量含有部分信号特征, 但是也受到了噪声干扰, IMF7 ~ IMF10

分量具有和原始信号相似的波形。

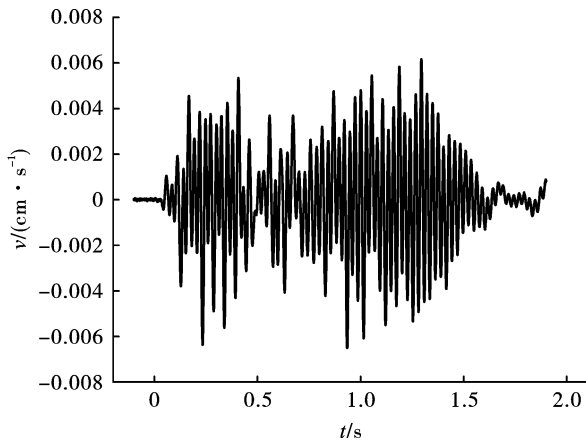
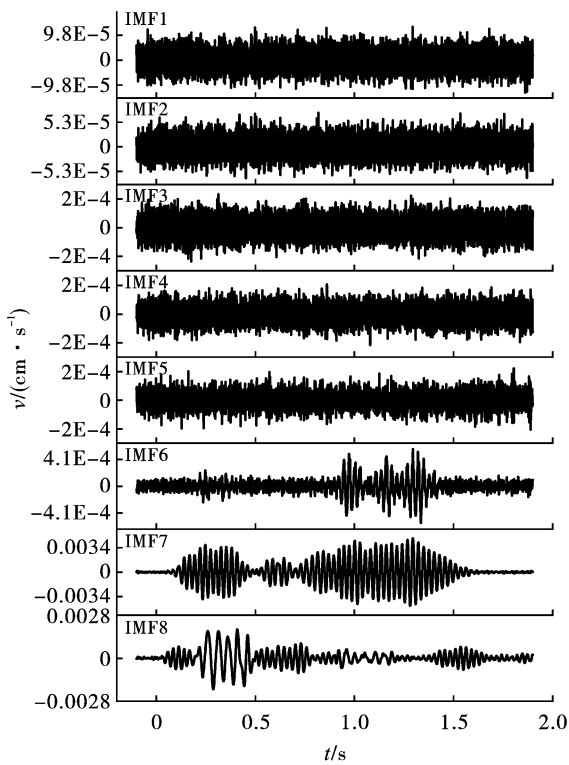


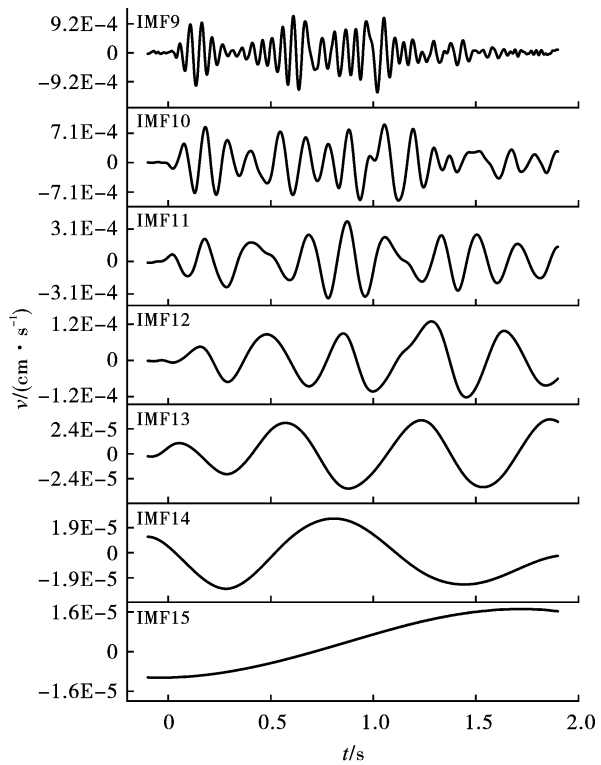
图 3 原始爆破振动信号

Fig. 3 Original blasting vibration signal

为了提高 CEEMDAN 算法方法的信号重构效率



(a) IMF1~IMF8 分量
(a) IMF1~IMF8 component



(b) IMF9~IMF15 分量
(b) IMF9~IMF15 component

图 4 原始爆破振动信号 IMF 分量

Fig. 4 IMF component of original blasting vibration signal

类别一重构信号波形如图 7 所示。与原始爆破振动信号图 1 相比,第一类 IMF 分量重构波形相似性较差且具有噪声信息特征,其它类别 IMF 分量重构波形相似性较好且包含较多原始信号信息,因此,可将第一类 IMF 分量重构波形初步定义为高频噪

和去噪效果,可将具有相似特征 IMF 分量划归为一类。采用 K-means 算法对 IMF1 ~ IMF15 分量进行聚类分析,剔除噪声分量后重构其它 IMF 分量获得纯净的信号。不同聚类类别的误差平方和变化 (Sum of Squared Error, SSE) 如图 5 所示,随着聚类类别个数不断增加 SSE 逐渐减小。当聚类类别为 5 个时, SSE 曲线出现转折并且下降趋势逐渐平缓,因此,为了获得更好的聚类效果将聚类类别设置为 5。

根据 K-means 算法聚类分析结果, IMF1 ~ IMF6 分量和 IMF11 ~ IMF15 分量划分为第一类, IMF7 分量 ~ IMF10 分量分别划分为第二类、第三类、第四类以及第五类。根据不同聚类中心数据统计指标箱线图 6 所示,不同类别数据分布特征之间的差异性较大,说明 K-means 算法具有良好的数据识别和聚类分析性能。

声序列,其他类别 IMF 分量重构波形初步定义为有效信息序列。

为了保证 K-means 算法聚类分析结果的准确性,采用方差贡献率进行校核^[13]。方差贡献率 η 计算公式如下所示

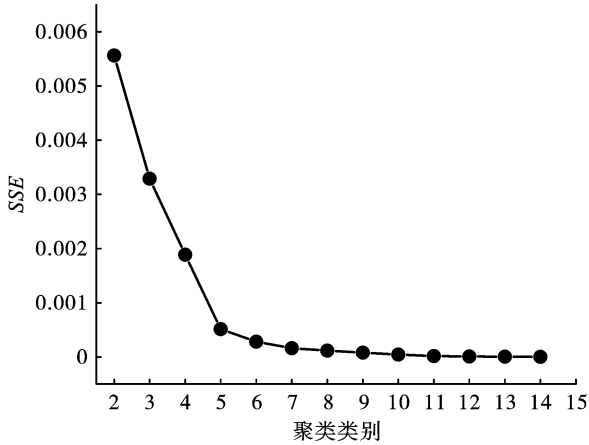


图5 不同聚类类别 SSE 变化

Fig. 5 SSE variation for different clustering categories

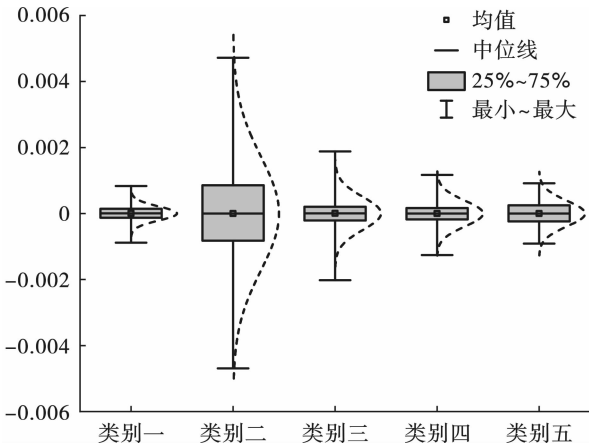


图6 聚类中心数据统计指标

Fig. 6 Clustering center data statistical indicators

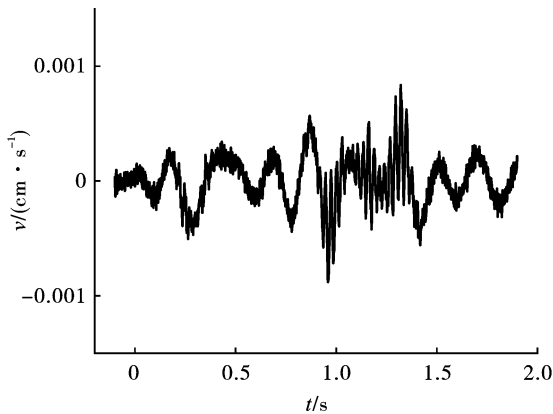


图7 类别一重构信号

Fig. 7 Category 1 Reconfiguration Signals

$$\begin{cases} K_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i \right]^2 \\ \eta = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} \times 100\% \end{cases}$$

式中: K_i 为方差; x_i 为 n 维向量。

不同类别的方差贡献率如表 2 所示。与类别一相比,其它类别的 IMF 分量方差贡献率明显较高,尤其是第二类别的 IMF 分量方差贡献率达到了 83.2%,说明方差贡献率的分析结果和 K-means 算法聚类分析的结论相同,因此,可以将类别一认定为噪声序列,其他类别 IMF 分量重构波形认定为有效信息序列。

表 2 IMF 分量方差贡献率

Table 2 Variance contribution rate of IMF component

类别一	类别二	类别三	类别四	类别五
0.013	0.832	0.07	0.043	0.042

将类别一高频噪声序列剔除,重构第二类、第三类、第四类以及第五类 IMF 分量得到去噪后的纯净爆破振动信号如图 8 所示。根据图 8 可知,采用 CEEMDAN-K-means 算法去噪后的纯净信号和原始信号相比,波形特征具有较高的相似性,说明该方法基本消除了原始信号中的噪声信息,并且保留了原始信号的有效信息。根据图 9 和图 10 所示,与 CEEMDAN-K-means 算法去噪后信号相比,虽然,EMD-小波阈值和 CEEMDAN 方法也具有一定的去噪效果并去除了部分高频噪声,但是,去噪后信号与原始信号波形相似性较差。

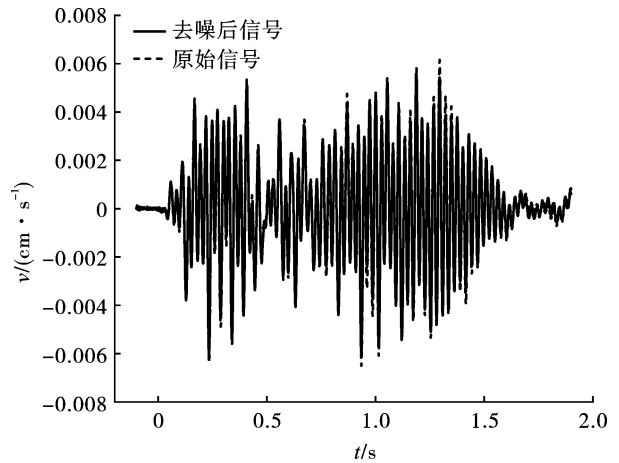


图8 CEEMDAN-K-means 算法去噪前后信号对比

Fig. 8 Signal comparison before and after denoising of CEEMDAN-Kmeans algorithm

2.3 信号去噪效果评价

为了验证 CEEMDAN-K-means 算法的信号去噪效果,采用 CEEMDAN 方法和 EMD-小波阈值方法分别对原始信号进行去噪,通过信噪比^[14] (signal-to-noise ratio, SNR) 和均方根误差^[15] (root mean

square error, RMSE) 指标评价三种方法的去噪效果。SNR 和 RMSE 计算公式如下所示

$$SNR = 10 \lg \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n x_i(t)}{\sum_{i=1}^n [x_i(t) - x_i^*(t)]^2} \right\}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [x_i(t) - x_i^*(t)]^2}$$

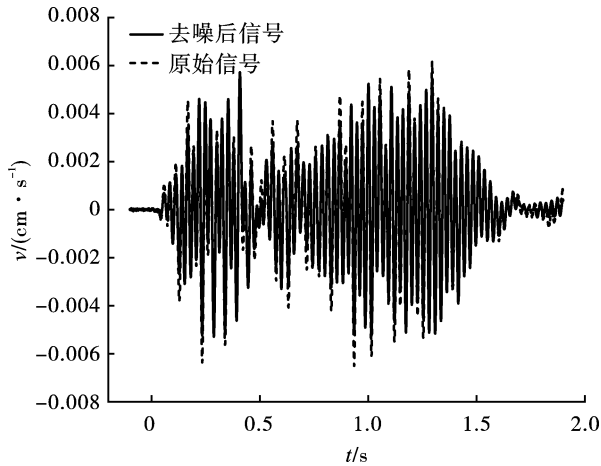


图9 EMD-小波阈值算法去噪前后信号对比

Fig. 9 Signal comparison before and after denoising of EMD-wavelet threshold algorithm

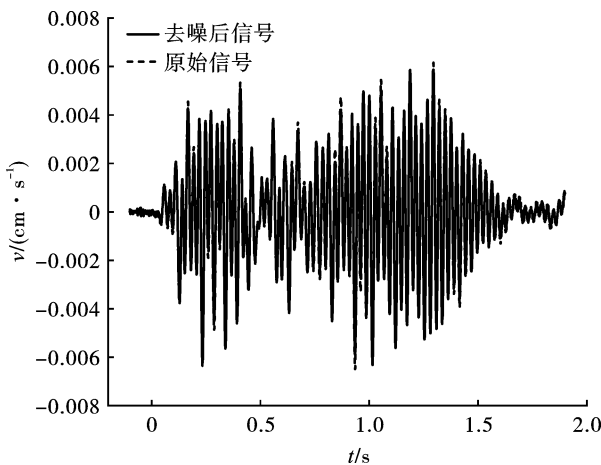


图10 CEEMDAN 算法去噪前后信号对比

Fig. 10 Signal comparison before and after denoising of CEEMDAN algorithm

不同方法的信号去噪效果评价指标如表3所示。通过分析三种方法的信号去噪评价指标发现,三种方法均具有良好的去噪效果,但是,CEEMDAN-K-means 算法的信号去噪效果明显优于其它方法,该方法的信噪比最大,均方根误差最小,说明去噪后的信号更好地保留了原始信号信息,与原始信号具有较高的相似度。因此,CEEMDAN-K-means 算法在爆破振动信号领域具有一定的优越性,可以有效去除原始信号中存在的噪声成分。

表3 去噪效果评价指标

Table 3 Evaluation indicators of the denoising effect

去噪方法	信噪比/dB	均方根误差/ $\times 10^{-3}$
EMD-小波阈值	12.36	0.52
CEEMDAN	18.80	0.25
CEEMDAN-Kmeans	20.06	0.22

3 结论

(1) CEEMDAN-Kmeans 信号去噪方法有效识别了爆破振动信号中真实信号信息和噪声信息,去噪后的纯净信号波形与原始信号具有较高的相似性,为爆破振动信号去噪研究提供了一种新的研究思路。

(2) 与 CEEMDAN 方法和 EMD-小波阈值方法相比,CEEMDAN-K-means 方法的信号去噪效果评价指标最优,有效去除了原始信号中存在的噪声信息,该方法在爆破振动信号去噪领域具有较高的实用性。

参考文献 (References)

- [1] 孙兵,彭亚雄,苏莹.基于自适应 CEEMD-MPE 算法的矿山爆破振动信号去噪研究[J].爆破,2022,39(2):153-158,185.
- [1] SUN Bing, PENG Ya-xiong, SU Ying. Denoising of mine blasting vibration signal based on adaptive CEEMD-MPE algorithm[J]. Blasting, 2022, 39(2): 153-158, 185. (in Chinese)
- [2] 付晓强,俞缙.隧道爆破信号交叉项抑制及雷管延期时间研究[J].中国安全科学学报,2021,31(12):53-61.
- [2] FU Xiao-qiang, YU Jin. Study on cross terms suppression of tunnel blasting vibration signals and time of detonator delay[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(12): 53-61. (in Chinese)
- [3] 付晓强,俞缙,戴良玉,等.隧道爆破振动信号时频谱交叉项干扰抑制方法[J].振动与冲击,2021,40(19):59-65,79.
- [3] FU Xiao-qiang, YU Jin, DAI Liang-yu, et al. Suppression method for cross term interference in time-frequency spectrum of tunnel blasting vibration signal[J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(19): 59-65, 79. (in Chinese)
- [4] 王海龙,柏皓博,赵岩,等.基于傅里叶分解-小波包分析的爆破信号去噪方法[J].爆破,2021,38(2):37-44.
- [4] WANG Hai-long, BAI Hao-bo, ZHAO Yan, et al. Denoising algorithm of blasting signal based on fourier decomposition method-wavelet packet analysis[J]. Blasting, 2021, 38(2): 37-44. (in Chinese)
- [5] 周小龙,徐鑫莉,王尧,等.基于变分模态分解和最大重叠离散小波包变换的齿轮信号去噪方法[J].振动与冲击,2021,40(12):265-274,289.
- [5] ZHOU Xiao-long, XU Xin-li, WANG Yao, et al. A gear

- signal de-noising method based on variational mode decomposition and maximal overlap discrete wavelet packet transform [J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(12):265-274,289. (in Chinese)
- [6] 付晓强,杨仁树,刘纪峰,等. 冻结立井爆破近区井壁振动信号基线漂移校正和消噪方法[J]. 爆炸与冲击, 2020,40(9):100-112.
- [6] FU Xiao-qiang, YANG Shu-ren, LIU Ji-feng, et al. Base-line drift correction and de-noising method of shaft lining vibration signal in near field of freezing vertical shaft blasting[J]. Explosion and Shock Waves, 2020,40(9):100-112. (in Chinese)
- [7] 彭亚雄,刘广进,苏莹,等. 基于自适应VMD-MPE算法的矿山爆破地震波信号降噪方法研究[J]. 振动与冲击, 2022,41(13):135-141.
- [7] PENG Ya-xiong, LIU Guang-jin, SU Ying, et al. Noise reduction method of mine blasting seismic wave signal based on adaptive VMD-MPE algorithm[J]. Journal of Vibration and Shock, 2022,41(13):135-141. (in Chinese)
- [8] 付晓强,俞缙,刘纪峰,等. 隧道爆破振动信号畸变校正与混沌多重分形特征研究[J]. 振动与冲击, 2022,41(6):76-85.
- [8] FU Xiao-qiang, YU Jin, LIU Ji-feng, et al. Distortion correction and fractal characteristics of vibration signals of a tunnel blasting[J]. Journal of Vibration and Shock, 2022, 41(6):76-85. (in Chinese)
- [9] 陈中慧,王海云,常喜强,等. 基于CEEMDAN-PSO-Elman的电采暖短期负荷预测[J]. 计算机仿真, 2022, 39(5):432-437.
- [9] CHEN Zhong-hui, WANG Hai-yun, CHANG Xi-qiang, et al. Electric heating short-term load forecasting based on CEEMDAN-PSO-Elman neural network [J]. Computer Simulation, 2022,39(5):432-437. (in Chinese)
- [10] 孙苗,吴立,袁青,等. 基于CEEMDAN的爆破地震波信号时频分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2020,48(3):76-82.
- [10] SUN-Miao, YAUN Li, YUAN Qing, et al. Time-frequency analysis of blasting seismic signal based on CEEMDAN[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2020,48(3):76-82. (in Chinese)
- [11] 陈毅军,程浩,巩恩普,等. 基于CEEMDAN的时频峰值滤波微地震随机噪声压制方法[J]. 石油地球物理勘探, 2021,56(2):234-241,209-210.
- [11] CHEN Yi-jun, CHENG Hao, GONG En-pu, et al. Suppression of random microseismic complete ensemble empirical mode noise based on decomposition with adaptive nose of TFPF [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2021, 56(2):234-241,209-210. (in Chinese)
- [12] 刘兴亮. 基于Hadoop的海量图书流通数据的kmeans分析[D]. 南昌:东华理工大学, 2015.
- [12] LIU Xing-liang. Kmeans analysis of massive book circulation data based on Hadoop [D]. Nanchang:East China University of Technology, 2015. (in Chinese)
- [13] 王海龙,赵岩,王海军,等. 基于CEEMDAN-小波包分析的隧道爆破信号去噪方法[J]. 爆炸与冲击, 2021,41(5):125-137.
- [13] WANG Hai-long ZHAO Yan, WANG Hai-jun, et al. De-noising method of tunnel blasting signal based on CEEMDAN decomposition-wavelet packet analysis [J]. Explosion and Shock Waves, 2021,41(5):125-137. (in Chinese)
- [14] 黄智刚,吕虎波,林一庚,等. 基于CEEMDAN-MPE算法的隧道爆破地震波信号降噪方法及应用[J]. 爆破, 2020,37(4):138-144.
- [14] HUANG Zhi-gang, LV Hu-bo, LIN Yi-geng, et al. De-noising method of tunnel blasting seismic wave signal based on CEEMDAN-MPE algorithm and its application [J]. Blasting, 2020,37(4):138-144. (in Chinese)
- [15] 易文华,刘连生,闫雷,等. 基于EMD改进算法的爆破振动信号去噪[J]. 爆炸与冲击, 2020,40(9):77-87.
- [15] YI Wen-hua, LIU Lian-sheng, YAN Lei, et al. Vibration signal de-noising based on improved EMD algorithm [J]. Explosion and Shock Waves, 2020,40(9):77-87. (in Chinese)

英文编辑:黄刚

《爆破》论文网络首发及著作权使用声明

《爆破》为使录用论文首发权及时获得确认,自2019年12月起与中国知网合作启动“网络首发”在线优先数字出版项目,即《中国学术期刊(网络版)》(简称CAJ-N),统一连续出版物号ISSN 2096-418/CN 11-6037/Z。

作者稿件经审稿录用后,将会以“录用定稿”模式第一时间上传至中国知网“网络首发”平台发布。每篇网络首发论文均可下载一份“中国知网学术期刊网络首发论文出版证书”,其效力等同于纸质出版论文。

为避免出现一稿多投的现象,凡已投《爆破》的稿件,在未确认录用或退稿前,请勿再投他刊!

《爆破》为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《中文科技期刊数据库》、“万方数据——数字化期刊群”、维普网和超星学术期刊“域出版”平台收录期刊。本刊已许可上述机构以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议,请在投稿时说明,本刊将按作者说明处理。