



地震事件分类识别系统对铜陵地区不明声响的判断

徐 强, 谢瑞杰, 洪 阳, 周聪愉, 袁鸣望, 吴 密

Determining source of unidentified sound in Tongling area based on seismic event recognition system

Xu Qiang, Xie Ruijie, Hong Yang, Zhou Congyu, Yuan Mingwang, and Wu Mi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2025-068>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

昭通巡龙强夯土非天然地震记录特征及识别研究

Research on the characteristics and identification of non natural earthquake records of Zhaotong Xunlong strong rammed soil
地震科学进展. 2024(3): 187–192

安徽铜陵农村民居抗震性能普查与研究

Investigation on seismic performance of rural residential buildings in Tongling, Anhui
地震科学进展. 2020(1): 20–26

天然地震与人工爆破特征识别研究综述

Identification of characteristics of earthquake and explosion: A research review
地震科学进展. 2021(9): 385–394

基于希尔伯特–黄变换的九寨沟M7.0地震加速度记录时频分析

Time–frequency analysis of Jiuzhaigou M7.0 seismic acceleration record based on Hilbert–Huang transform
地震科学进展. 2019(7): 9–16

非火山震颤研究综述

A review on non–volcano tremor
地震科学进展. 2019(1): 7–12

321响水爆炸的地震学分析及谱比法研究

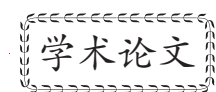
Seismic analysis and amplitude–style spectrum ratio study of the 21 March blast at Xiangshui
地震科学进展. 2021(5): 215–222



关注微信公众号，获得更多资讯信息

徐强, 谢瑞杰, 洪阳, 等. 地震事件分类识别系统对铜陵地区不明声响的判断 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(9): 543-548. doi:10.19987/j.dzqxjz.2025-068

Xu Q, Xie R J, Hong Y, et al. Determining source of unidentified sound in Tongling area based on seismic event recognition system[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(9): 543-548. doi:10.19987/j.dzqxjz.2025-068



地震事件分类识别系统对铜陵地区 不明声响的判断

徐 强^{1, 3, 4)} 谢瑞杰^{1)※} 洪 阳¹⁾ 周聪愉¹⁾ 袁鸣望²⁾ 吴 密¹⁾

1) 铜陵市地震局, 安徽铜陵 244000

2) 马鞍山市应急局, 安徽马鞍山 243000

3) 安徽蒙城地球物理国家野外科学观测研究站, 安徽亳州 233527

4) 安徽省地下结构探测与震灾风险防范重点实验室, 安徽合肥 230031

摘要 近年来铜陵地区发生了多起不明声响事件, 声响对构建物产生较大振动, 受到社会广泛关注。本文通过使用中国地震局地球物理研究所非天然地震研究室研发的地震事件分类识别系统(SERS), 对铜陵地区不明声响进行时频分析。通过 SERS, 把不明声响与铜陵地区天然地震、矿爆以及一起化工厂爆炸事件做时频数据、波形特点的对比分析, 初步判断不明声响来源于地面或地面以上。结合走访调研, 梳理排查, 不明声响发生时市内未有爆炸、地质灾害或者其他安全生产事故的报告, 综合判断不明声响事件排除由地面(或地表)人为活动造成。本文使用 SERS 中的时频分析方法对铜陵地区不明声响进行分析, 可为研究其他非天然地震提供参考。

关键词 铜陵; 时频; 非天然地震; 矿爆; 不明声响

中图分类号: P315.3⁺¹ **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7780(2025)09-0543-06

doi: 10.19987/j.dzqxjz.2025-068

Determining source of unidentified sound in Tongling area based on seismic event recognition system

Xu Qiang^{1, 3, 4)}, Xie Ruijie¹⁾*, Hong Yang¹⁾, Zhou Congyu¹⁾, Yuan Mingwang²⁾, Wu Mi¹⁾

1) Tongling Earthquake Agency, Anhui Tongling 244000, China

2) Ma'anshan Emergency Bureau, Anhui Ma'anshan 243000, China

3) Anhui Mengcheng National Geophysical Observatory, Anhui Bozhou 233527, China

4) Anhui Key Laboratory of Underground Structure Detection and Earthquake Risk Prevention,
Anhui Hefei 230031, China

收稿日期: 2025-06-04; 采用日期: 2025-07-21。

基金项目: 中国地震局 2025 年重大政策理论与实践问题研究课题(CEAZY2025ZL03)和安徽省地震局合同制课题(2025HT03)联合资助。

第一作者: 徐强(1989-), 男, 工程师, 主要从事地震监测、地震应急等研究。E-mail: 362387990@qq.com。

※ 通信作者: 谢瑞杰(1988-), 男, 高级工程师, 主要从事地震监测研究。E-mail: 277129624@qq.com。



Abstract In recent years, multiple unidentified sounds have been heard in the Tongling area, and significant vibrations have been felt within structures. To conduct a time-frequency analysis of these unidentified sounds, this study used the time-frequency analysis method in the seismic event recognition system (SERS) developed by the Non-Natural Earthquake Research Laboratory of the Institute of Geophysics, China Earthquake Administration. Through using the SERS, a comparative analysis of time-frequency data and waveform characteristics was conducted between unidentified sound and natural earthquakes, mine explosions, and a chemical plant explosion event in the Tongling area. It was preliminarily determined that the unidentified sound originated from the ground or above. Field visits and investigations showed that when the unidentified sound occurred, no explosions, geological disasters, or other safety production accidents were observed in the city. It was thus concluded that the unidentified sound event was caused by human activity on the ground (or surface). This study provides a reference for using SERS to analyze the source of other non-natural earthquakes.

Keywords Tongling; time frequency; non-natural earthquakes; mining explosion; unidentified sound

0 引言

地震事件分类识别系统(seismic event recognition system, SERS)是由中国地震局地球物理研究所非天然地震研究室研发的^[1-6], 该系统利用多种分析方法, 能够有效开展数据处理、特征提取、特征分析和人工智能综合识别等, 形成了较为完整的非天然地震性质判定技术。近年来, 铜陵地区发生多次不明声响事件, 近两年此类事件呈上升趋势, 其中多次声响产生的巨大声波造成建筑物及地面明显振动, 引起社会广泛关注。本文利用 SERS 对不明声响波形、天然地震波形、爆破波形以及一次化工厂爆炸波形开展时频分析, 对数据进行对比, 同时结合波形特点, 综合判断声响类别。

1 铜陵市地震构造背景

铜陵位于安徽省南部、长江下游南岸, 是长江经济带重要节点和皖中南中心城市, 是依托铜工业发展起来的城市。由第五代地震动峰值加速度区划图可知, 铜陵市均为Ⅵ度地震烈度以上地区。根据《铜陵市地震小区化》的研究发现, 铜陵位于华北地震区的郯庐地震带和长江下游—黄河地震带内(图 1), 区域存在发生中强震的可能^[7]。近十年区域地震活动处于较低水平, 未发生破坏性地震, 近两年仅发生一次无震感地震。

2 铜陵地区不明声响事件的分析

2024 年 1—6 月, 铜陵地区共发生不明声响事件 17 次, 每次声响事件在 10~15 s 内大概发生 2~3 次明显声响, 其中 2024 年 4 月 16 日 12 时 50 分声响较大, 有群众反映店内吊顶发生脱落。本次分析的所有波形数据均由铜陵市地震局 BBVS-60 宽频带地震计监测获得。BBVS-60 型宽频带地震计是北京港震仪

器设备有限公司新研制的位移换能力平衡反馈宽频带地震计, 内置电子反馈电路、控制电路、电源变换电路, 噪声水平低、动态范围大^[8]。

2.1 SERS 时频分析

对于非平稳信号 $x(t)$, 时频分析的基本思想是将待分析信号与指定窗函数相乘, 截取小段信号进行傅里叶变换求取局部谱, 窗函数沿着时间轴平移即可获得信号频率随时间的变化规律, 得到时频谱。令 f 和 τ 分别表示频率和时移, $w(t)$ 为时窗函数, 时频谱可以表示为:

$$FT(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t-\tau)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

式中, 窗函数的选择决定了时频分析的性质。当 $w(t)$ 为常用的汉明窗或者高斯窗时, 式(1)为短时傅里叶变换(Short-time Fourier Transform, STFT)。由于时窗固定, 短时傅里叶变换无法调节时间和频率分辨率, 当时窗长度较大时, 频率分辨率较高而时间分辨率较低; 反之, 时窗较短则时间分辨率高而频率分辨率较低。为了克服 STFT 这一缺点, Stockwell 将时窗改为宽度随频率变化的高斯函数:

$$h_f(t) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}} \quad (2)$$

将式(2)替换到式(1)中就是 S 变换。S 变换窗函数随着频率伸缩, 使得谱分解过程中时频分辨率同时达到最佳, 这一特性与小波变换相似, 效果远好于 STFT。

在 S 变换过程中, 核函数的高斯窗形态仅由频率 f 决定, 无法灵活运用, 为此引入两个可调参数 λ 、 p 来控制高斯函数的时宽和衰减趋势, 此时窗函数改写为:

$$h_{GST}(t) = \frac{\lambda |f|^p}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\lambda^2 f^{2p} t^2}{2}} \quad (3)$$

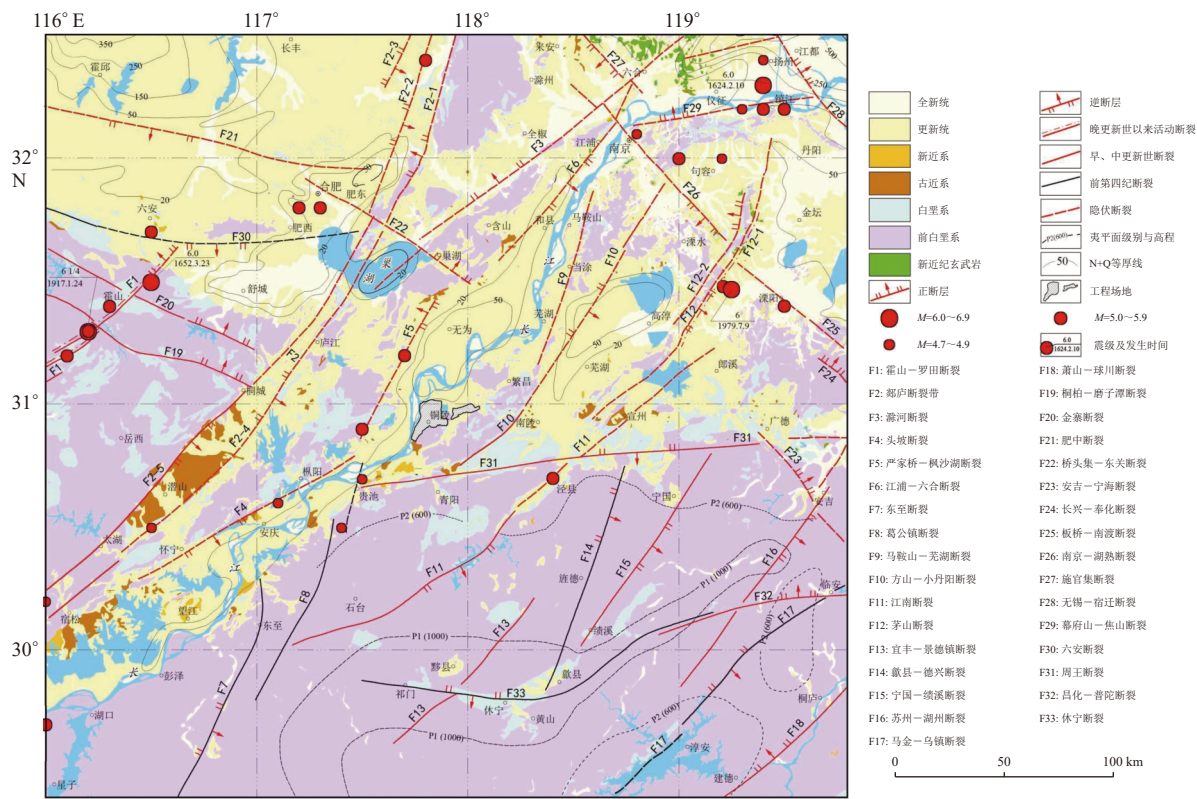


图 1 铜陵市区域地震构造图

Fig. 1 Map of regional seismic structure in Tongling City

将式(3)带入式(1)中得到广义 S 变换表达式:

$$GST(\tau, f) = \frac{\lambda}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} |f|^p x(t) e^{-\frac{\lambda^2 f^2 p (t-\tau)^2}{2}} e^{-i2\pi f \tau} dt \quad (4)$$

广义 S 变换是目前最有效的时频分析方法之一, 为了达到最佳的分辨效果, 可利用参数匹配法确定最优化窗口参数, 具体步骤如下:

- (1) 选取典型的地震数据, 对不同的 λ 和 $p \in [0, 1]$, 按照式(4)计算广义 S 变换;
- (2) 计算每一对 λ 和 p 的时频聚焦度^[9]:

$$M_{JP}(f, \lambda, p) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |GST(t, f)|^4 dt}{\left(\int_{-\infty}^{+\infty} |GST(t, f)|^2 dt \right)^2} \quad (5)$$

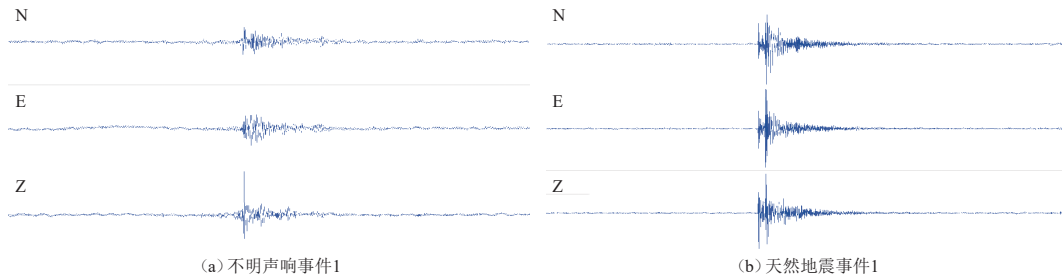


图 2 波形对比

Fig. 2 Comparison of waveforms

(3) 将使 $M_{JP}(f, \lambda, p)$ 达到最大的 λ 和 p 值作为对应频率 f 的优化参数;

(4) 波形信号按照公式 $GST(t, f, \lambda, p) = GST\{t, f, \arg \max[M_{JP}(f, \lambda, p)]\}$ 计算, 得到最终结果。

2.2 不明声响与天然地震的时频对比

选取 2024 年 4 月 16 日 12 时 50 分声响波形与 2022 年 3 月 1 日 18 时 47 分铜陵地区天然地震波形进行对比(图 2)。从波形上看, 不明声响的疑似 P 波发育不明显, 疑似 S 波较为明显; 振幅衰减平缓, 初动方向无明显规律, 波形频率较低, 明显的波形时长约为 20 s。

对比不明声响事件和天然地震的频率(表 1)及其时频图(图 3)发现: 不明声响波形频率主要集中在

表 1 不明声响事件与天然地震的频率对比
Table 1 Comparison of frequency between unidentified sound events and natural earthquakes

事件类型	发生时间	频率/Hz	事件类型	发生时间	频率/Hz
不明声响1	2024-04-16 12:50	2.5~10	不明声响4	2024-04-26 10:05	2~11
不明声响2	2024-04-16 13:09	3.0~10	天然地震1	2022-03-01 18:47	1~20
不明声响3	2024-04-16 13:21	2.0~10	天然地震2	2022-01-05 13:30	1~20

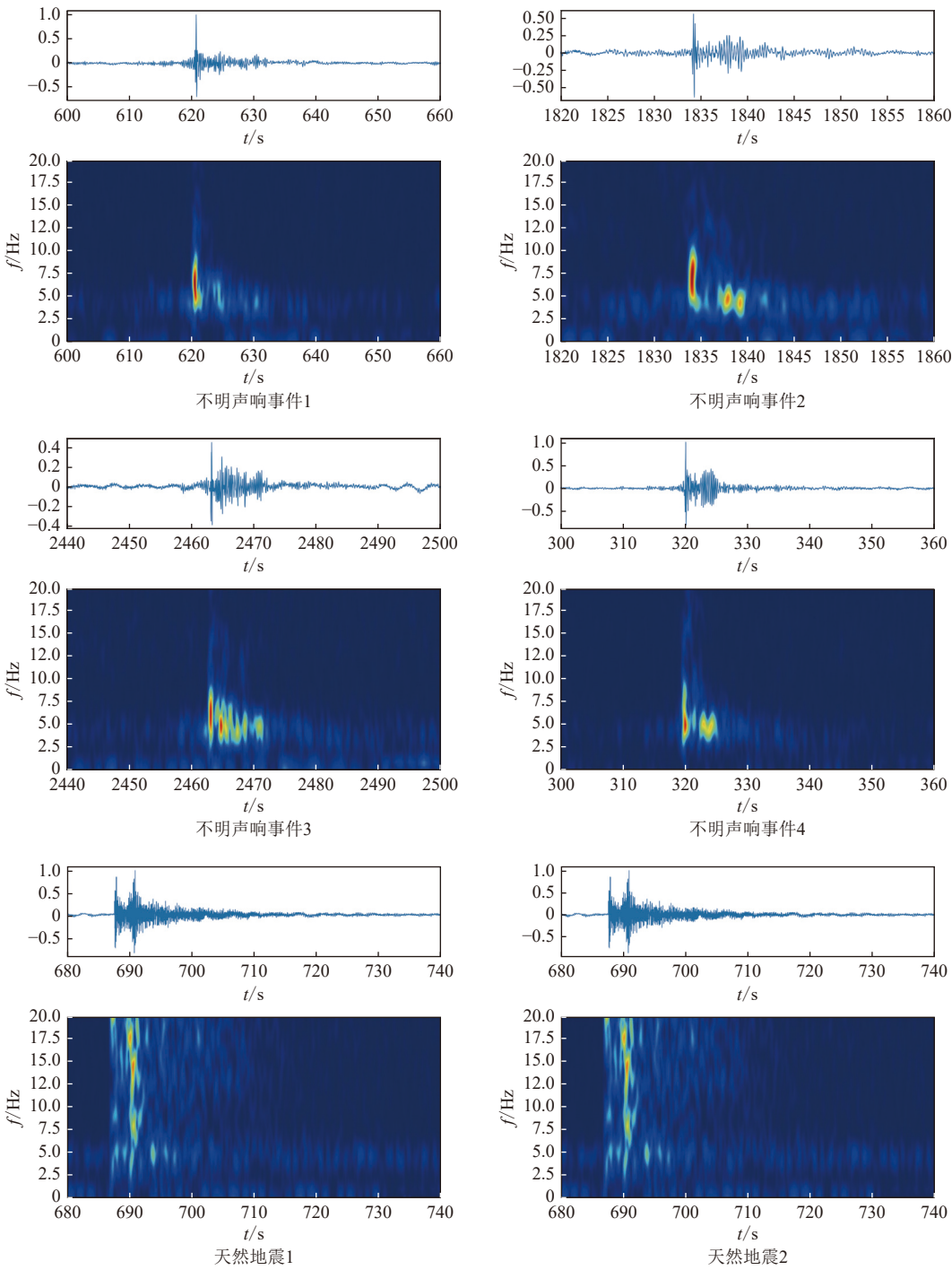


图 3 不明声响事件和铜陵地方震时频图

Fig. 3 Time-frequency diagram of unidentified sound events and local earthquakes in Tongling

在 2.5~10 Hz 之间；铜陵台记录的铜陵地方天然地震波形频率较高，高频部分会达到 20 Hz。不明声响与天然地震在频率上有差别，同时结合波形特点，初步判断不明声响为非天然地震。

2.3 不明声响与爆破的时频对比

铜陵是国家重要的铜开采和加工城市，矿爆频繁。选取铜陵地区典型的爆破事件与不明声响事件波形进行对比(图 4)，从波形上分析不明声响波形衰减速度较慢，振幅达到峰值后会持续几秒钟；爆破波

形振幅达到最大值时便迅速衰减。

与爆破时频图对比(图 5)，铜陵台记录的地方爆破频率主要集中在 1~7 Hz(表 2)，且很少达到 10 Hz。由于爆破事件为人类活动导致，有明显的时间和方位规律，铜陵地区的爆破大多集中在上午 10:00—12:00 以及下午 14:00—16:00 时，不明声响事件几乎发生于白天全时段，没有明显的时间规律。地方爆破发生后，周边群众反映比较强烈，能够排查到具体矿爆区域。因此，判断不明声响事件为非爆破事件。

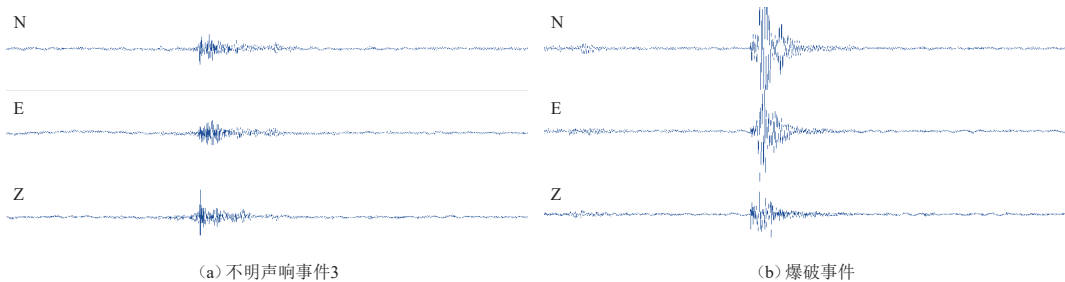


图 4 波形对比

Fig. 4 Comparison of waveforms

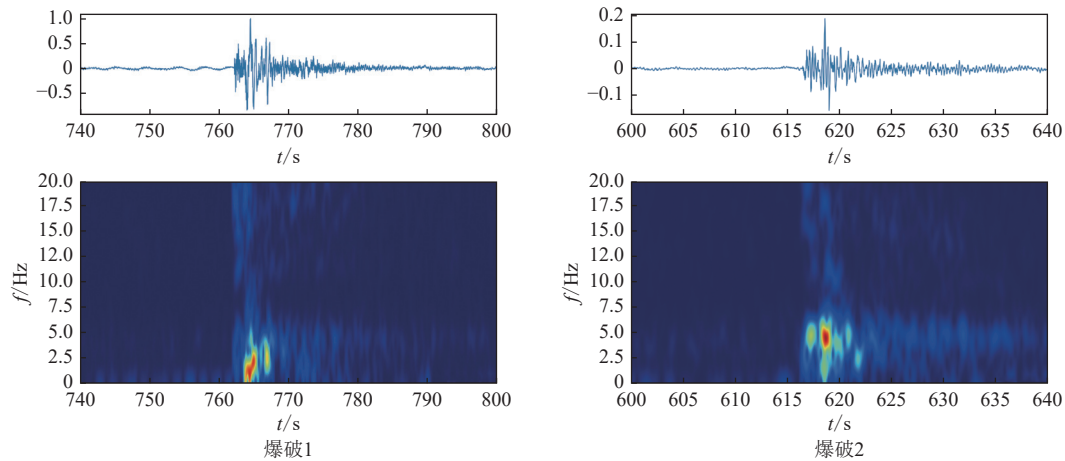


图 5 爆破事件时频图

Fig. 5 Time-frequency diagram of blasting events

表 2 爆破频率

Table 2 Blasting frequency

事件类型	事件时间	频率/Hz
爆破1	2024-05-10 14:58	1~7
爆破2	2024-05-12 10:44	1~6

2.4 不明声响与化工厂爆炸事件的时频对比

2017 年 2 月位于铜陵横港化工园区某化工厂储油罐发生爆炸，爆炸源位于地表油库。对比化工厂爆炸监测波形以及时频特点，两者波形形态相似且时

频主要集中在 7.5 Hz 左右，其中化工厂爆炸时频区间较长。化工厂爆炸源位于地表，初步判断声响疑似来自于地面或地面以上(图 6)。

3 讨论

(1)通过与天然地震波形分析和时频对比，不明声响事件初步排除为天然地震。铜陵地区矿爆频繁，矿爆具有典型的发生时间规律和影响范围，不明声响事件初步排除为矿爆。

(2)通过与铜陵一起化工厂爆炸波形分析和时频

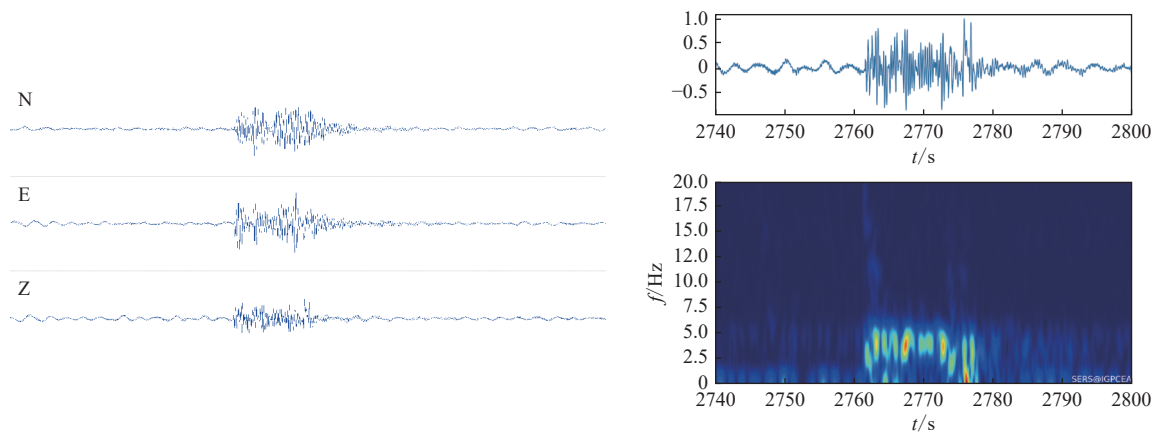


图6 铜陵化工厂爆炸事件波形和时频图

Fig. 6 Waveform and frequency chart of Tongling chemical plant explosion event

对比,初步判断不明声响疑是来源于地面或地面以上。同时通过走访调研,梳理排查,不明声响发生时市内未有爆炸、地质灾害或者其他安全生产事故的报告。综合判断不明声响事件排除由地面(或地表)人为活动造成。

(3)地震事件分类识别系统(SERS)中特征分析部分包括时频分析、单变量分析、谱比、主成分分析

和特征重要度分析等5个部分。本文仅使用了时频分析,下一步将综合使用其他分析,全面分析不明声响的特点。

致谢

感谢中国地震局地球物理研究所地震事件分类识别软件(SERS)为产出提供支撑。

参考文献

- [1] Wang T T, Bian Y J, Zhang Y X, et al. Using artificial intelligence methods to classify different seismic events[J]. *Seismological Research Letters*, 2023, 94(1): 1-16
- [2] 王婷婷, 边银菊. 振幅衰减特性在地震与爆破识别中的应用[J]. *地震学报*, 2015, 37(1): 169-179
Wang T T, Bian Y J. Amplitude attenuation and its application to earthquake and explosion discrimination[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2015, 37(1): 169-179
- [3] Wang T T, Bian Y J, Yang Q L, et al. Correction of P/S amplitude ratios for low-magnitude seismic events based on Bayesian Kriging method[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2021, 111(5): 2799-2813
- [4] Zhang Y X, Wang T T, Bian Y J, et al. Features of different types of seismic events in China's capital region[J]. *Earthquake Science*, 2021, 34(6): 489-506
- [5] 王婷婷, 边银菊, 杨千里, 等. 不同地区人工爆炸与天然地震记录特征及识别研究[J]. *地震学报*, 2021, 43(4): 427-440
Wang T T, Bian Y J, Yang Q L, et al. Research on seismic characteristics and identification of artificial explosion in different areas and natural earthquake[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2021, 43(4): 427-440
- [6] 杨千里, 王婷婷, 边银菊. 基于广义S变换的地震与爆炸识别[J]. *地震学报*, 2020, 42(5): 613-628
Yang Q L, Wang T T, Bian Y J. Recognition of earthquakes and explosions based on generalized S transform[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2020, 42(5): 613-628
- [7] 谢瑞杰, 樊冬, 朱兴, 等. 安徽铜陵农村民居抗震性能普查与研究[J]. *地震科学进展*, 2020, 50(1): 20-26
Xie R J, Fan D, Zhu X, et al. Investigation on seismic performance of rural residential buildings in Tongling, Anhui[J]. *Progress in Earthquake Sciences*, 2020, 50(1): 20-26
- [8] 赵楠, 江沛春, 张光华, 等. 六安地区BBVS-60与KS-2000宽带地震计系统性能分析[J]. *地震地磁观测与研究*, 2011, 32(4): 105-110
Zhao N, Jiang P C, Zhang G H, et al. Performance to analysis of BBVS-60 and KS-2000 broadband seismograph systems of at Lu'an seismic stations[J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 2011, 32(4): 105-110
- [9] Radad M, Gholami A, Siahkoobi H R. S-transform with maximum energy concentration: Application to non-stationary seismic deconvolution[J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2015, 118: 155-166