

张增换,王建军,毛冬瑶,等.玛多7.4级地震前临震微波动现象研究[J].地震工程学报,2021,43(4):890-895.DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2021.04.890
ZHANG Zenghuan, WANG Jianjun, MAO Dongyao, et al. Phenomenon of microwave fluctuation before the Maduo M7.4 earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2021, 43(4): 890-895. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2021.04.890

玛多7.4级地震前临震微波动现象研究

张增换,王建军,毛冬瑶,李敏娟

(甘肃省地震局,甘肃兰州730000)

摘要:强震临震微波动是强震临震阶段优势频率集中在11~16 Hz、频谱形态较为整齐的临震异常脉动记录。利用“兰州临震微波动实时监控与跟踪系统”的数据资料,对2021年5月22日玛多7.4级地震震中200 km半径的范围内台站的临震微波动事件进行分析。认为震前距离震中67 km的巴颜喀拉台EW通道存在显著异常,达到杨立明提出的异常跟踪指标;10个测震台站中的8个在本次地震前记录到了临震微波动事件,震中南侧台站记录到的事件多于北侧。

关键词:临震微波动;玛多7.4级地震;震情跟踪指标

中图分类号:P315

文献标志码:A

文章编号:1000-0844(2021)04-0890-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2021.04.890

Phenomenon of microwave fluctuation before the Maduo M7.4 earthquake

ZHANG Zenghuan, WANG Jianjun, MAO Dongyao, LI Minjuan

(Gansu Earthquake Agency, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The phenomenon of microwave fluctuation impending strong earthquake is a type of abnormal pulsation record; its dominant frequency of spectrum focuses on 11—16 Hz and frequency spectral morphology appears fairly orderly. Based on the data from "real-time monitoring and tracking system of microwave fluctuation impending earthquake in Lanzhou", the events of microwave fluctuation impending earthquake recorded by stations within 200 km of the Maduo M7.4 earthquake on May 22, 2021 were analyzed. It is considered that the EW channel of Bayan Har station, 67 km from the epicenter, was abnormal before the earthquake, which reaches the anomaly tracking index proposed by Yang Liming. The events of microwave fluctuation impending earthquake were recorded by eight seismic stations before the earthquake, and more events were recorded in the south of the epicenter than in the north.

Keywords: microwave fluctuation impending earthquake; Maduo M7.4 earthquake; seismic tracking index

收稿日期:2021-06-19

基金项目:甘肃省地震局地震科技发展基金(2021GZ01);甘肃省地震局创新团队(2019TD-02-01)

第一作者简介:张增换(1986—),女,硕士,助理工程师,主要从事地震活动性、数值模拟等研究。E-mail:693486874@qq.com。

通信作者:王建军(1975—),男,硕士,高级工程师,从事地震电磁观测方法与技术管理工作。E-mail:wjj_1229@163.com。

0 引言

地震波是人类探查地球内部结构的重要工具,蕴含着许多与地震预报有关的信息,是地震研究的基础。所以,许多学者尝试利用连续地震波探索地震的前兆信息。傅承义先生于 1971 年提出的“红肿”现象阐明了一种地震预报理论,即强震在孕育阶段可能导致其周边数百公里的地壳介质发生变化,而这种变化影响着地脉动的传播^[1]。胡小刚等^[2]通过分析地脉动信号的振幅变化与台风强度和行动路径的关系,认为汶川大地震前及昆仑山大地震前的“震前扰动”可能与台风事件有关。有的学者尝试从声波发射与断层活动的关系上寻找前兆信息,Rouet-Leduc 和 Claudia Hulbert 在模仿实验室环境的断层活动时,利用机器学习的方式探索了断层发出的声信号与其物理状态之间的关系;并在实验室地震周期的研究中,认为慢地震和快地震发生之前都会发生一连串的微破坏事件,并提出石英断层产生的声发射信号可以用来预测实验室地震的时间和震级^[3-5]。

研究数字地震记录中是否包含介质状态或者震源变化等与孕震过程息息相关的信息,并设法识别和提取该信息,是一个值得广泛关注并被持续研究的问题^[6-7]。王玥琪利用希尔伯特—黄变化对不同事件类型的频谱特征进行分析,以获取不同事件主频时空演化、稳定性、衰减性等特征,用于不同类型事件的判定^[8]。杨立明等利用宽频带数字地震资料,通过对汶川、玉树、青川等地震的反复对比研究,初步识别出可能存在的“临震微波动现象”及其时间和频率域的表现特征^[9-10]。杨立明等通过对 2012—2014 年间青藏块体发生的 24 次 5 级以上地震进行全程跟踪和监控,检验和验证了临震微波动现象的重现性和客观性,验证了临震微波动现象的频谱、时间、空间、方向性等特征^[11]。袁超等对呼图壁 6.2 级、门源 6.4 级等 4 次 5.5 级以上地震的临震微波动资料进行了分析,认为其特征与杨立明总结的基本一致^[12]。

本文利用“兰州临震微波动实时监控与跟踪系统”的地震波数据,对 2021 年 5 月 22 日玛多 7.4 级地震震中 200 km 半径的范围内 10 个台站的临震微波动资料进行分析,以总结本次地震的临震微波动特征,与前人提出的异常指标进行对比与检验。

1 资料与方法

本文的研究资料来源于“兰州临震微波动实时

监控与跟踪系统”,该系统包含了甘、川、滇、青、新、藏约两百多个宽频带数字地震台站资料,所有波形资料数据通过网络传输到兰州的服务器上。该系统每小时自动计算并识别临震微波动事件,计算思路:首先对波形进行高通滤波(频率 2.5 Hz,滤波器阶数为 50),以超出小时平均值 5 倍方差为标准,以超出部分为中心,在其前后延伸 41 s 截取 82 s 窗长的波形记录作为疑似临震微波动事件,然后利用快速傅里叶变化(FFT)得到该段波形的频谱特征,与以往震例确认的事件进行匹配,把满足临震微波动现象特征的波形记做一次临震微波动事件。

FFT 频谱分析法是目前常用的信号处理方法,其主要内容是将一般的时间函数 $\{e^{i\omega t}, \omega \in R\}$ 表示为具有不同频率的谐波函数 $f(x) \in L^2(R)$ 的线性叠加,从而将对原来时间域函数的研究转化为对不同频率成分谐波函数的研究^[12]。函数 $f(x) \in L^2(R)$ 的连续傅里叶变换定义为:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{i\omega x} dx \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{-i\omega x} d\omega \quad (2)$$

杨立明等总结出的“临震微波动”表现特征:(1) 频谱范围较宽,优势频率集中在 11~16 Hz 左右,频谱形态较为整齐;(2) 震前 6~24 天出现,有可能被震中 50 km 范围内的台站记录到;(3) 可能具有方向性,其活动度变化显著的方向与发震断层、余震分布及震源位置较为一致^[11]。

利用现有系统捕获的汶川、玉树两次地震的临震微波动在时间和频率域的特征如图 1 所示:事件波形长为 82 s,FFT 横轴频率范围为 2.5~28 Hz,两条红线之间的振幅为 11~16 Hz,汶川地震[图 1(a)]FFT 形态较为整齐,峰值在 11~16 Hz 较为突出,与其他频段差异明显。玉树地震 FFT 波[图 1(b)]形整体变化较为平缓,峰值在 11~16 Hz 之间不够突出。

为了定量表述临震微波动的活动程度 N ,按天将有效事件个数累加,作为微波动事件活动程度的定量指标,通常以活动频次图形判断震前活动状态。杨立明等认为异常判定标准为:某台站连续 4 日及以上出现活动度 $N \geq 4$ 的现象^[11]。

2 数据分析

2021 年 5 月 22 日在青海省果洛州玛多县发生

了 7.4 级地震,该地震周边台站分布较稀疏,200 km 半径范围内仅 10 个测震台站,这 10 个台站的震中距离如表 1 所列。震中 100 km 半径范围内仅有玛多与巴颜喀拉 2 个台站。

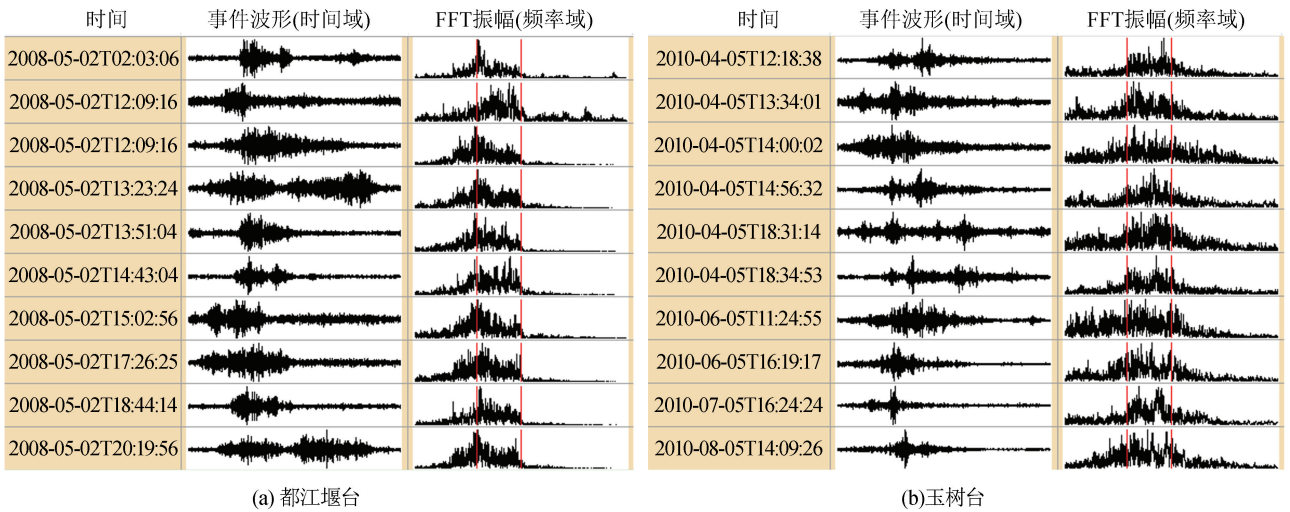


图 1 汶川和玉树两次地震前事件活动度最大一天的图形

Fig.1 Figure of the day with the highest activity before Wenchuan and Yushu earthquakes

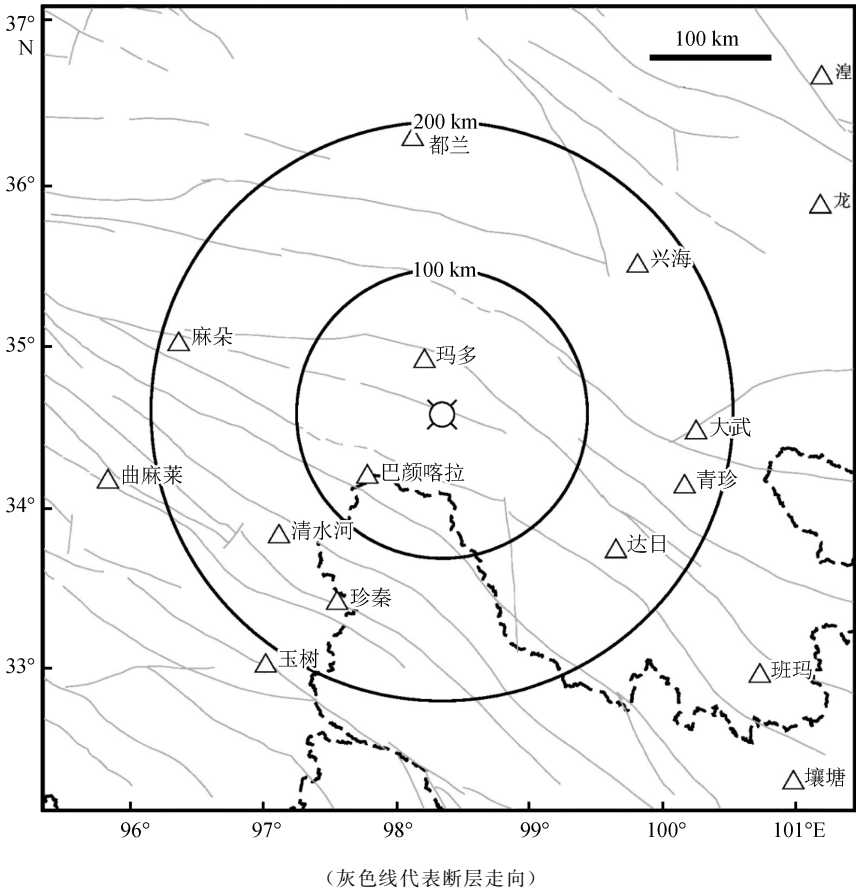


图 2 玛多 7.4 级地震 200 km 半径范围内的数字地震台站分布图

Fig.2 Distribution map of digital seismic stations within 200 km radius of Maduo M7.4 earthquake

由本次地震 150 km 和 200 km 范围台站的临震微波动的活动度 N 值统计图(图 3,图 4)可知,10 个台站中的 8 个记录到了临震微波动事件,仅都兰和麻朵台未记录到。记录到临震微波动现象的台站各通道(NS、EW、UD)的活动度 N 在 2021 年 3 月至 5 月期间存在明显高值异常,在此期间, N 值相

对较低($N < 4$)的台站记录临震微波动事件的天数更多,活动频次较高。

2021 年 3 月至 4 月,距震中 67 km 的巴颜喀拉台的 EW 通道活动度达到了异常跟踪指标,该台站连续多日(4 天以上)活动度 N 值在 5 左右波动。2021 年 1 月至 5 月期间,青珍台 NS 通道的活动度 N 值最高达 9,且在 5 月初连续 4 日 N 值在 3~4 之间波动。达日台 EW 通道在 2021 年 5 月初存在 2 次单日 N 值为 7,但未出现连续 4 日 $N \geq 4$ 的异常现象。清水河 UD 通道同样有单日 N 值大于 4,但连续活跃天数未达到 4 天的现象。本次地震北侧的玛多台站距离最近,但是同样未达异常跟踪指标。其余记录到临震微波动事件的台站活动度 N 值均在正常范围内随机波动,无明显异常。

由上述可知,异常最突出的台站不是距地震最近的玛多台,而是距震中 67 km 的巴颜喀拉台。其次,记录较多临震微波动事件的台站是珍秦、青珍、清水河、达日台等,这些台站与震中的距离均在 150 km 左右,这一现象与以往的观点有一定的差异。

由临震微波动活跃度图(图 3、图 4)与地震周边台站分布图(图 2)可知,比较活跃的几个台站(巴颜喀拉、珍秦、青珍、达日、清水河)均位于震中的南侧,其中巴颜喀拉、珍秦、清水河台均位于震中的西南方向,达日与青珍台位于震中东南方向,位于震中北侧的测震台站记录到的临震微波动事件非常少。就通道的不同方向而言,EW 通道的活动度 N 值总体较高。由图 1 可知研究区的断层展布大多呈 NW—SE 向展布,这可能是导致上述现象产生的原因。

表 1 玛多 7.4 级地震不同半径范围内台站及其震中距统计

Table 1 Statistics of stations and their epicentral distances in different epicenter radius of Maduo M7.4 earthquake

半径/km	台站(距离震中距离/km)
0~50	玛多(39)
50~100	巴颜喀拉(67)
100~150	清水河(141)、珍秦(150)
150~200	达日(153)、兴海(168)、都兰(172)、青珍(175)、大武(175)、麻朵(187)

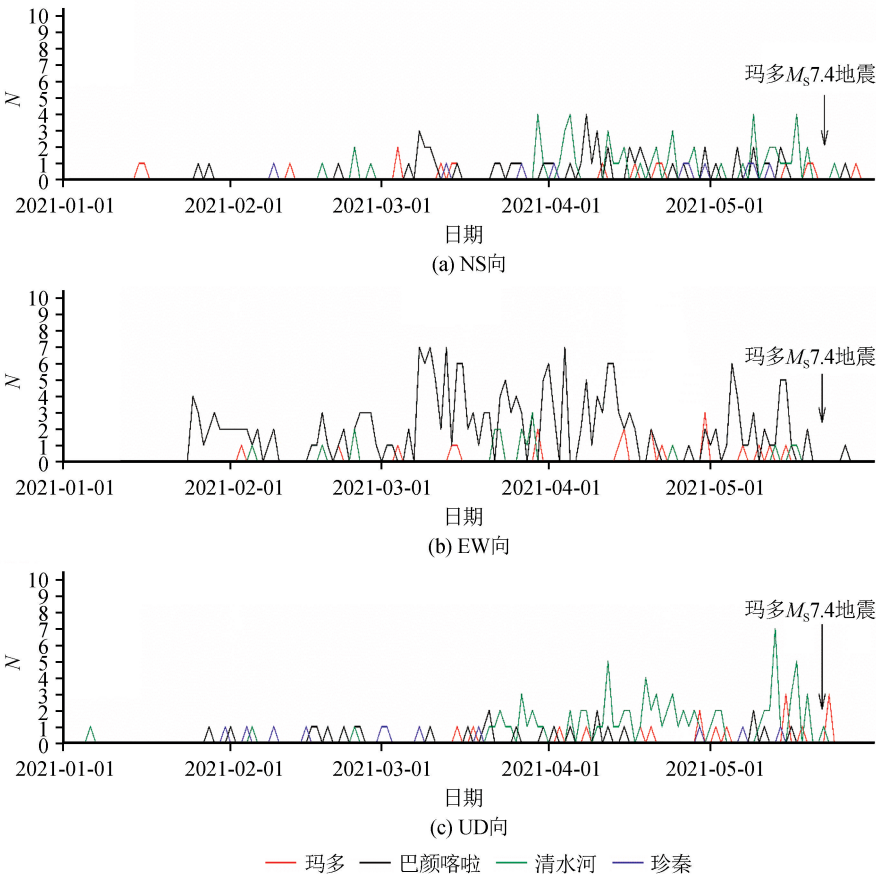


图 3 2021 年 5 月 22 日玛多 7.4 级地震震前 150 km 范围内台站 N 值变化

Fig.3 Change of N values of stations within 150 km of the epicenter before Maduo M7.4 earthquake on May 22, 2021

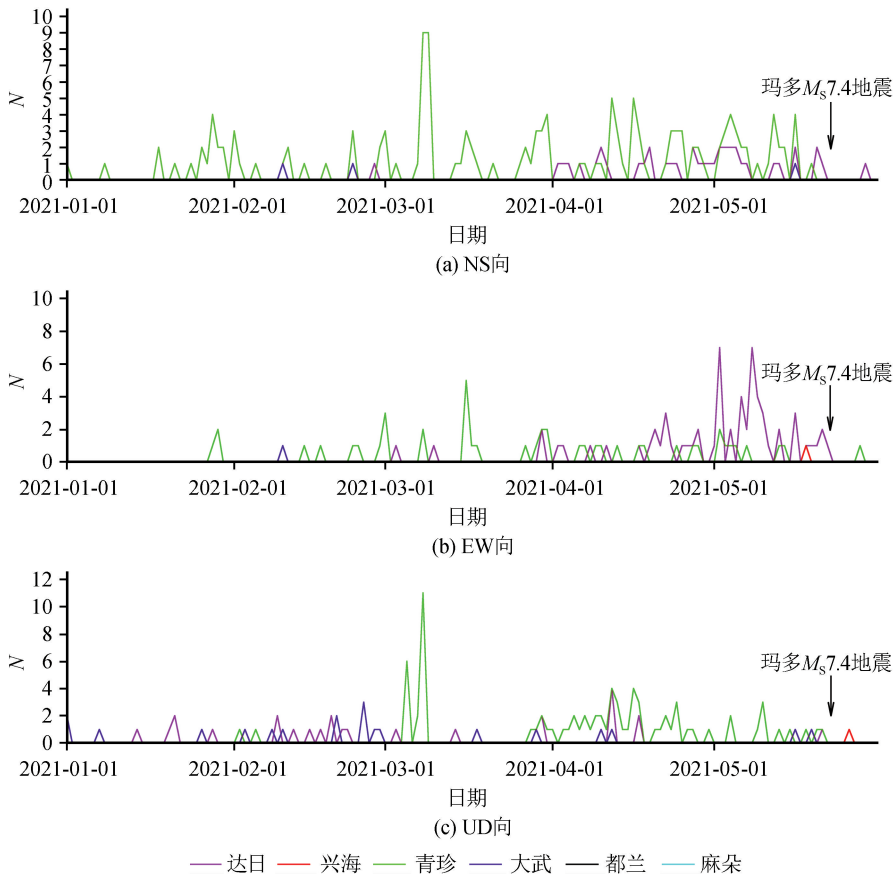


图 4 2021 年 5 月 22 日玛多 7.4 级地震震前 200 km 范围内台站 N 值变化

Fig.4 Change of N values of stations within 200 km of the epicenter before Maduo M7.4 earthquake on May 22, 2021

3 结论

利用“兰州临震微波动实时监控与跟踪系统”的数据资料,参考杨立明等基于临震微波动提炼的震情跟踪指标,对 2021 年 5 月 22 日玛多 7.4 级地震的临震微波动现象进行分析,得出以下结论:

(1) 周边 200 km 范围内的台站大多数没有达到临震微波动的异常跟踪指标,但在震前 1 个多月活跃天数呈增加趋势。

(2) 以持续 4 天活动度 N 值 ≥ 4 且作为异常指标,巴颜喀拉台震前存在明显的短临异常,活动度 N 值最高达 7,异常出现 2 个月后发生了强震,与以往认识的 6~24 天有一定的差异。

(3) 达到异常指标的台站不是距离最近的,位于震中南侧的台站记录到的临震微波动事件更显著,这可能与发震断层的活动方式及构造环境有关,其相关性有待更进一步的研究。

参考文献(References)

[1] 朱传镇,房明山,安镇文,等.脉动与地震关系的初步探讨[J].

地球物理学报,1977,20(1):20-32.
ZHU Chuanzhen, FANG Mingshan, AN Zhenwen, et al. Preliminary study of the microseisms in relation to earthquakes [J]. Chinese Journal of Sinica, 1977, 20(1): 20-32.
[2] 胡小刚,郝晓光.强台风对汶川大地震和昆仑山大地震“震前扰动”影响的分析[J].地球物理学报,2009,52(5):1363-1375.
HU Xiaogang, HAO Xiaoguang. An analysis of the influences of typhoon on anomalous tremors before the great Wenchuan and Kunlunshan earthquakes[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(5): 1363-1375.
[3] ROUET-LEDUC B, HULBERT C, LUBBERS N, et al. Machine learning predicts laboratory earthquakes[J]. Geophysical Research Letters, 2017, 44(18): 9276-9282.
[4] HULBERT C, ROUET-LEDUC B, JOHNSON P A, et al. Similarity of fast and slow earthquakes illuminated by machine learning[J]. Nature Geoscience, 2019, 12(1): 69-74.
[5] ROUET-LEDUC B, HULBERT C, BOLTON D C, et al. Estimating fault friction from seismic signals in the laboratory[J]. Geophysical Research Letters, 2018, 45(3): 1321-1329.
[6] 陈运泰,吴忠良,王培德,等.数字地震学[M].北京:地震出版, 2000,172-184.
CHEN Yuntai, WU Zhongliang, WANG Peide, et al. Digital

seismology[M].Beijing:Seismological Press,2000,172-184.

[7] 陈章立.数字地震观测资料应用研究[M],北京:地震出版社,2007.

CHEN Zhangli.Application of digital seismic observation data [M],Beijing:Seismological Press,2007.

[8] 王玥琪.不同类型事件宽频带地震仪记录的频谱特征研究 [D].兰州:中国地震局兰州地震研究所,2015.

WANG Yueqi.Study on frequency spectrum characteristics of different type events record by broadband seismograph[D]. Lanzhou:Lanzhou Institute of Seismology,2015.

[9] 杨立明,郝臻,王建军,等.汶川、玉树地震临震微波波动现象的震例研究[J].国际地震动态,2015,9:62.

YANG Liming,HAO Zhen,WANG Jianjun,et al.Study on phenomenon of microwave fluctuation before Wenchuan and Yushu earthquake[J],Recent Developments in World Seis-mology,2015,9:62.

[10] 杨立明,郝臻,王建军,等.强震临震微波波动现象初步研究(一) [J].中国地震,2018,34(2):219-233.

YANG Liming,HAO Zhen,WANG Jianjun,et al.Preliminary study on phenomenon of microwave fluctuation impending strong earthquake (1) [J]. Earthquake Research in China, 2018,34(2):219-233.

[11] 杨立明,郝臻,王建军,等.强震临震微波波动现象初步研究(二) [J].中国地震,2018,34(2):234-243.

YANG Liming,HAO Zhen,WANG Jianjun,et al.Preliminary study on phenomenon of microwave fluctuation impending strong earthquake (2) [J]. Earthquake Research in China, 2018,34(2):234-243.

[12] 袁超,杨立明,王建军.强震临震微波波动现象跟踪试验研究 [J].地震工程学报,2019,41(2):500-506.

YUAN Chao,YANG Liming,WANG Jianjun.Tracing tests on the phenomenon of microwave fluctuation preceding im-pending strong earthquakes[J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(2):500-506.

[13] COOLEY J W,TUKEY J W.An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series [J]. Mathematics of Computation,1965,19(90):297.



(上接第 889 页)

Code for seismic design of buildings:GB50011—2010[S].Bei-jing:China Architecture & Building Press,2010.

[12] 中华人民共和国住房和城乡建设部.住宅设计规范:GB 50096 —2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China.Code for design of dwelling hou-ses:GB 50096 — 2011 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2011.

[13] 霍俊荣,胡聿贤.地震动峰值参数衰减规律的研究[J].地震工 程与工程振动,1992,12(2):1-11.

HUO Junrong,HU Yuxian.Study on attenuation laws of ground motion parameters[J].Earthquake Engineering and Engineering Vibration,1992,12(2):1-11.

[14] 俞言祥,汪素云.中国东部和西部地区水平向基岩加速度反应 谱衰减关系[J].震灾防御技术,2006,1(3):206-217.

YU Yanxiang,WANG Suyun.Attenuation relations for hori-zontal peak ground acceleration and response spectrum in eastern and western China[J].Technology for Earthquake Disaster Prevention,2006,1(3):206-217.

[15] 俞言祥,李山有,肖亮.为新区划图编制所建立的地震动衰减 关系[J].震灾防御技术,2013,8(1):24-33.

YU Yanxiang,LI Shanyou,XIAO Liang.Development of ground motion attenuation relations for the new seismic haz-ard map of China[J].Technology for Earthquake Disaster Prevention,2013,8(1):24-33.

[16] 黄勇,张昊宇,管仲国,等.野马滩大桥地震科考纪实[R/OL]. (2021-05-31)[2021-06-09].https://mp.weixin.qq.com/s/___biz=MzUzMdQxODM3NA==&.mid=2247485629&.idx=1&.sn=307ac68dbcc1bb41d5d891cb75876c0d&.chksm=fa535714cd24de029a75cde1fe8db8b875969431a761707268cee-d0f88a1def90a20b5a72ba2&.mpshare=1&.srcid=053136TO-wmvHGtQRwC9WxjSE&.sharer_sharetime=1622445551239&.sharer_shareid=cd5b7451482e196ee3ed8a60a9fbfae0&.from=groupmessage&.scene=1&.subscene=10000&.click-time=1623052358&.enterid=1623052358&.ascene=1&.devicetype=android-29&.version=28000637&.nettype=ctnet&.abtest_cookie=AAACAA%3D%3D&.lang=zh_CN&.exportkey=AyQO9mgeLnHYTf9ooi1nOZU%3D&.pass_ticket=%2FURpMEeBA3IQ%2BXxe1fc%2B1EdYaH6l5GP8v71-VdM8ulxDPkvh0oxbpwQs3r94sKMb%2F&.wx_header=1.