

杨立明, 王建军, 张增换, 等. 2024. 强震临震微波动现象跟踪实践. 中国地震, 40(2): 295~303.

强震临震微波动现象跟踪实践

杨立明^{1,3)} 王建军²⁾ 张增换²⁾ 余娜³⁾ 李玮杰³⁾

1) 中国地震局第二监测中心, 西安 710054

2) 中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000

3) 青海省地震局, 西宁 810001

摘要 为验证和检验强震临震微波动现象及其主要特征, 利用甘肃、青海、四川、云南、西藏等区域台网 200 余个宽频带数字地震台站的实时波形资料和实时跟踪监控技术系统, 对 2019—2022 年间青藏高原发生的 44 次 5 级以上地震进行全程实时跟踪及动态监控, 进一步检验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、空间等特征。

关键词: 临震微波动现象 预报时空指标 验证

[文章编号] 1001-4683(2024)02-0295-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

临震预报是地震长、中、短、临渐进式预报中难度最大、最具挑战性的阶段。从数字地震波的角度开展探索是我国临震预报的主要研究方向之一, 得到了广泛而持久的关注(冯德益等, 1994; 郑斯华等, 1992; 陈章立, 2007; 高原等, 2004; 刘杰等, 2004; 王玥琪, 2015)。

近年来, 笔者利用宽频带数字地震记录开展了强震临震预测研究工作。在《强震临震微波动现象初步研究(一)》(下文简称: 初步研究(一))中, 通过对汶川 8.0 级、玉树 7.1 级、青川 5.4 级等震例临震阶段宽频带数字地震记录进行反复对比研究, 初步识别出具有共性频谱特征及时、空表现的临震微波动现象(杨立明等, 2018a; Yang et al, 2019)。主要特征表现为: ①频谱范围较宽, 优势频率为 11~16Hz, 频谱形态较为整齐; ②出现在震前 12~14 天, 有可能被震中距 50km 范围内的台站记录到, 震中距大于 50km 的台站一般记录不到; ③可能具有方向性, 表现为活动度 N 值变化显著的方向可能与强震的震源位置、发震断层及余震分布等有关。由此初步认为, 临震微波动可能与震源区的预活动、预滑移、微破裂或与临震阶段相关活动构造的预滑移、微破裂等事件有关。

在《强震临震微波动现象初步研究(二)》(下文简称: 初步研究(二))中, 通过对 2012—2014 年青藏高原 24 次 5 级以上震例持续 3 年的连续跟踪检验, 进一步验证了初步研究(一)中临震微波动的频谱、时空特征和临震微波动的客观性、重现性、信号的微弱性、与微震事件频谱的相似性等特征; 通过补充震例, 修改临震微波动的时间特征为: 出现在震前

[收稿日期] 2024-02-04 [修定日期] 2024-03-23

[项目类别] 国家重点研发计划项目(2021YFC3000705-04)资助

[作者简介] 杨立明, 男, 1966 年生, 研究员, 主要从事地震预报的理论方法研究和预报实践。E-mail: gsyanglm@163.com

6~24天、平均15天,并进一步得出临震微波动可能与地震强度有关的结论,即震级越大,震前出现临震微波动的可能性越大(杨立明等,2018b; Yang et al,2019)。

作为延续性工作,为了对临震微波动及其上述主要特征作进一步验证和检验,笔者及其团队基于2011年在兰州建成的覆盖青藏高原地区的“临震微波动实时监控和跟踪分析系统”(杨立明等,2017),利用甘肃、四川、云南、西藏、青海等区域台网200余个宽频带数字地震台站实时波形资料,对2019—2022年间发生的44次5级以上地震及部分无震区域台站观测进行全程跟踪,以验证临震微波动及其主要特征,进一步检验临震微波动的客观性、重现性等。

1 2019—2022年青藏块体地震活动概况

据中国地震台网测定,2019—2022年青藏块体共发生独立5级以上地震44次,其中5.0~5.9级地震32次,6.0级以上地震12次。在实际跟踪过程中,5.0~5.9级地震前出现临震微波动的震例较少,与前期初步研究(二)的研究结果较为一致,故本文仅对6.0级以上地震进行分析,对5.0~5.9级地震仅举例阐述。2019—2022年青藏高原6.0级以上地震及典型5.0级地震具体参数,如表1所示。

表1 2019—2022年青藏高原6.0级以上及典型5.0级震例

序号	地震	震中距50km范围内的台站(震中距/km)	震中距51~100km范围内的台站(震中距/km)	异常台站(震中距/km)	异常开始时间(震前天数)	异常持续天数
1	2019-04-24 墨脱6.3级					
2	2019-06-17 长宁6.0级	筠连(42)	盐津(71) 泸州(79)			
3	2020-07-23 尼玛6.6级					
4	2021-03-19 比如6.1级		那曲(89) 比如(96)			
5	2021-05-21 漾濞6.4级	洱源(45) 团山(39)	云龙(56) 保山(98)	洱源(45)	2	9
6	2021-05-22 玛多7.4级	玛多(38)	巴颜喀拉(68)	玛多(38)	0	8
7	2021-06-12 盈江5.0级		箐口(53)民振(55) 热海(56)新华(64) 沙坝(65)畹町(99)	沙坝(65)	12	9
8	2021-09-16 泸州6.0级	泸州(37)	荣县(100)			
9	2022-01-08 门源6.9级	门源(35)	铧尖(67) 大通(99)			
10	2022-03-26 德令哈6.0级					
11	2022-06-01 芦山6.1级	雅安(31)	姑咱(81)都江堰(82) 小金(89)成都(97)			
12	2022-06-10 马尔康6.0级		马尔康(55) 壤塘(79)			
13	2022-09-05 泸定6.8级	石棉(49)	姑咱(60) 九龙(83)	姑咱(60)	20	12

2 临震微波动现象及其主要特征的跟踪检验

2.1 异常震例

为了研究工作的连续性,按照初步研究(一)、初步研究(二)相同的分析思路开展研究。鉴于实时跟踪分析的数据量庞大,本文仅介绍震中 100km 范围内出现明显临震微波动的台站及其震前 3 个月、2019—2022 年跟踪时段的连续资料,其他时段及台站的跟踪结果不做文字阐述。

2.1.1 2021 年 5 月 21 日漾濞 6.4 级地震

漾濞 6.4 级地震震中距离洱源台 45km、距团山台 39km、距龙云台 56km、距保山台 98km,其余台站震中距均超过 100km。洱源台在震前三个月的事件活动度 N 值曲线如图 1(a)所示,可以看出 5 月 19—28 日期间 N 值存在明显的异常变化,异常最先出现在 19 日,距离发震 2 天,持续 9 天,异常幅度最大值为 26,EW 测道异常突出。洱源台 2019 年 1 月 1 日—2022 年 12 月 31 日期间事件活动 N 值曲线如图 1(b)所示,在持续 4 年的实时连续跟踪实践中,仅 2021 年 5 月 19—28 日出现临震微波动,其余时段均未出现此现象,表明了临震微波动的客观性、真实性。

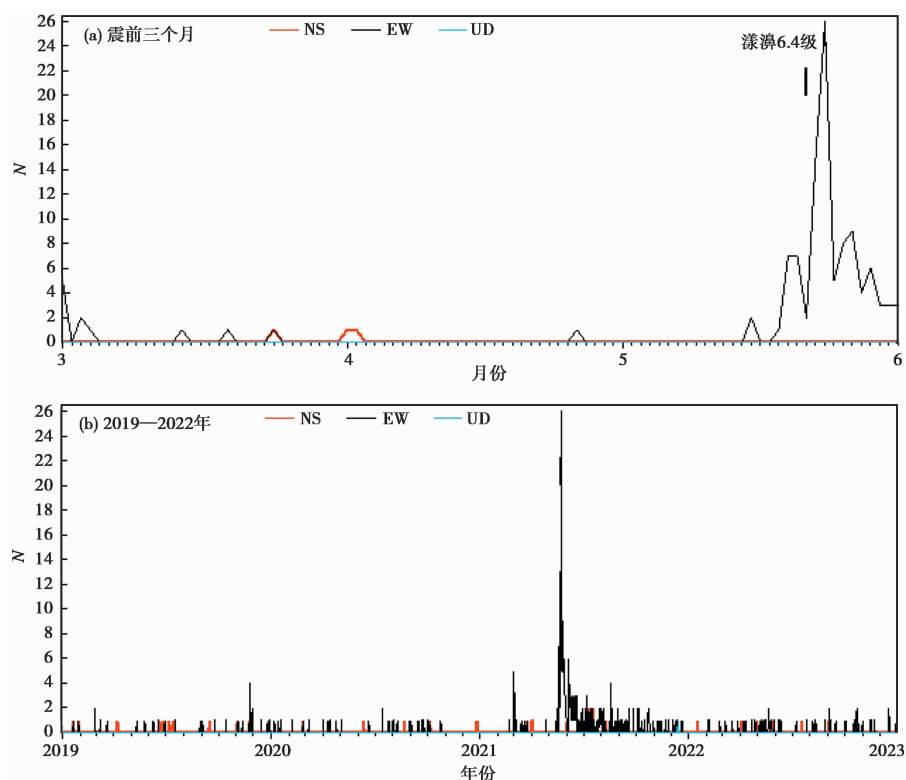


图 1 漾濞 6.4 级地震前后洱源台 N 值曲线

2.1.2 2021 年 5 月 22 日玛多 7.4 级地震

玛多 7.4 级地震附近台站稀疏,震中距离玛多台 38km、距巴颜喀拉台 68km。玛多台震

前三个月的事件活动度 N 值曲线如图 2(a) 所示,由图可见震前没有临震微波动异常现象,但是震后出现了明显的微波动异常,持续 8 天,UD 通道显著。2019 年 1 月 1 日—2022 年 12 月 31 日期间玛多台的事件活动度 N 值曲线如图 2(b) 所示,在持续 4 年的实时跟踪实践中,仅 2021 年 5 月 22—30 日出现临震微波动,其余时段均未出现此现象,表明临震微波动的客观性、真实性。

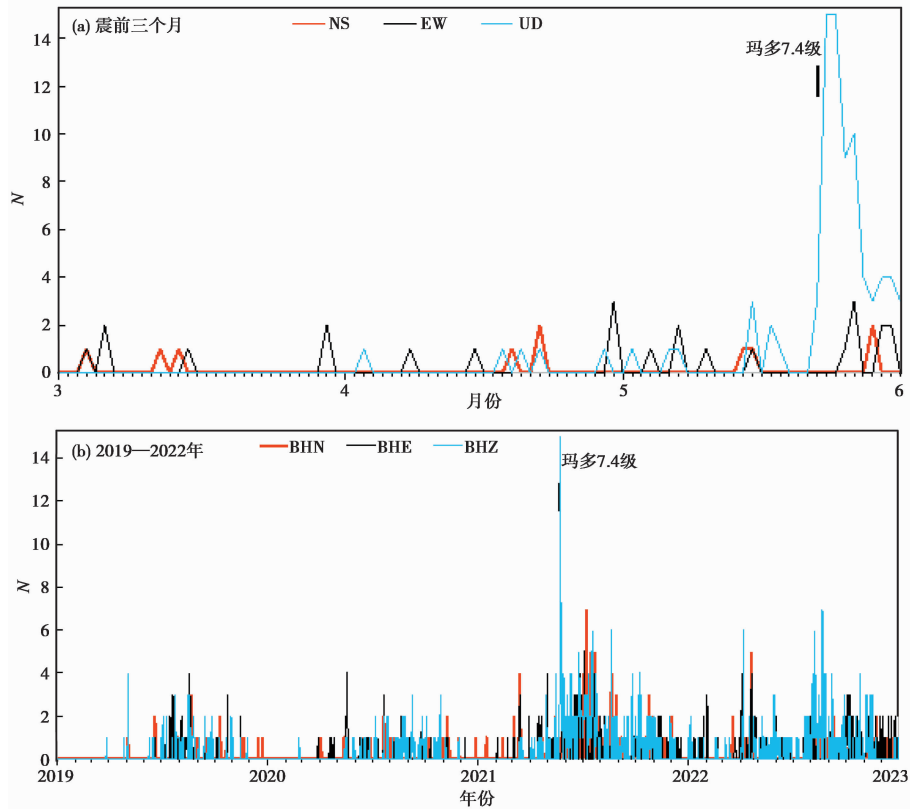


图 2 玛多 7.4 级地震前后玛多台 N 值曲线

2.1.3 2022 年 9 月 5 日泸定 6.8 级地震

泸定 6.8 级地震震中距离姑咱台 60km、距石棉台 49km、距九龙台 83km。姑咱台震前三个月的事件活动度 N 值曲线如图 3(a) 所示,震前 8 月 15—27 日期间,姑咱台 N 值出现明显的异常变化,异常于发震前 20 天开始,持续 12 天,异常幅度最大值为 24,EW 测道异常突出。2019 年 1 月 1 日—2022 年 12 月 31 日期间姑咱台的事件活动度 N 值曲线如图 3(b) 所示,在持续 4 年的实时跟踪实践中可以看到,尽管 N 值起伏变化较大,但泸定地震前 8 月 15—27 日期间的变化非常明显和突出。

2.1.4 2021 年 6 月 12 日盈江 5.0 级地震

盈江 5.0 级地震震中距离沙坝台 65km、距热海台 56km、距畹町台 99km、距民振台 55km、距箐口台 53km、距新华台 64km。沙坝台地震前三个月的事件活动度 N 值曲线如图 4(a) 所示,该台 5 月 31 日—6 月 8 日 N 值出现异常,异常于发震前 12 天开始,持续 9 天,

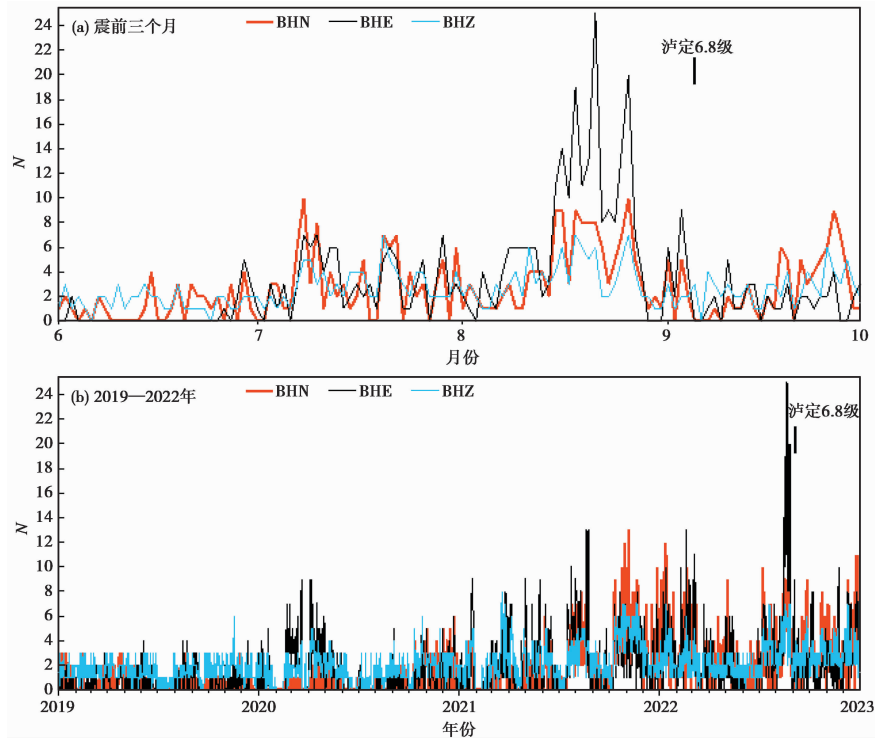


图3 泸定6.8级地震前后姑咱台 N 值曲线

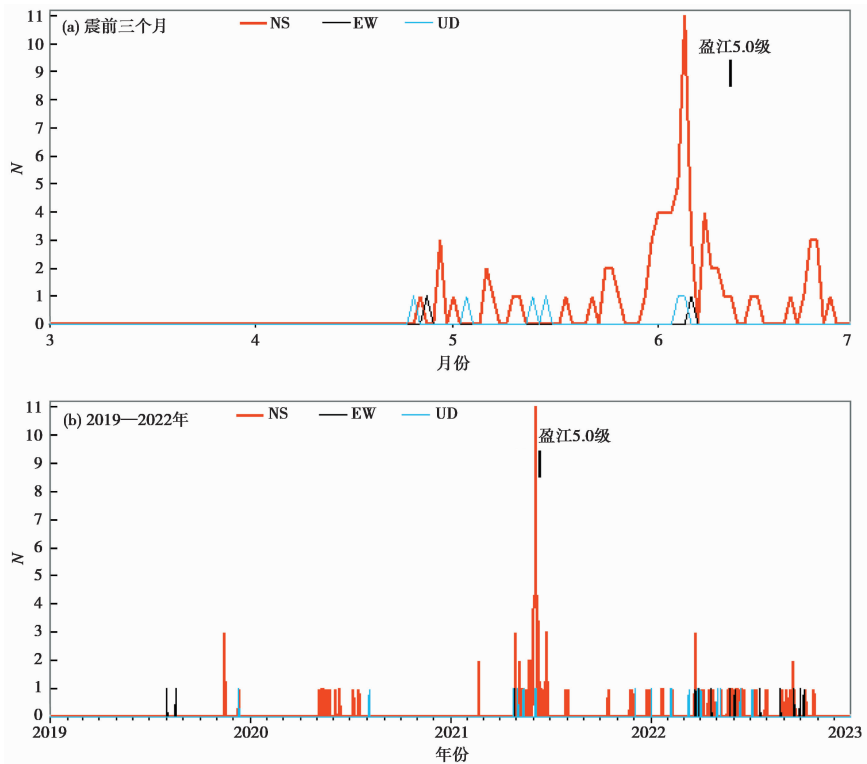


图4 盈江5.0级地震前后沙坝台 N 值曲线

异常最大值为 11, NS 测道异常显著。2019 年 1 月 1 日—2022 年 12 月 31 日期间沙坝台事件活动度 N 值曲线如图 4(b) 所示, 在连续 4 年的跟踪实践中, 仅盈江 5.0 级地震前出现临震微波动, 其余时段均未出现该现象, 同样表明了临震微波动的客观性、真实性。

2.1.5 研究震例基本情况简要归纳

依照上述思路, 逐一研究 2019—2022 年期间发生在青藏块体的 5 级以上地震。在 12 次 6 级震例中, 3 次地震(墨脱 6.3 级、尼玛 6.6 级、德令哈 6.0 级地震)震中 100km 范围内无台站; 1 次地震(比如 6.1 级地震)震中 50km 范围内无台站; 4 次地震(长宁 6.0 级、泸州 6.0 级、门源 6.9 级、马尔康 6.0 级地震)震中 50km 范围内虽有台站, 但未记录到临震微波动。

在全部 5.0~5.9 级地震中, 8 次地震震中 100km 范围内无台站, 其余 24 次地震仅盈江 5.0 级地震记录到临震微波动(沙坝台, 震中距 65km)。

漾濞 6.4 级、玛多 7.4 级、泸山 6.8 级、盈江 5.0 级 4 次地震分别在震前、震后余震活动中观测到类似汶川 8.0 级、玉树 7.1 级地震前的临震微波动现象, 异常台站空间距离、异常持续时间等特征见表 1。

2.2 临震微波动的无震跟踪实践

在对临震微波动持续 4 年的实时观测中, 有一个现象值得关注, 即出现临震微波动现象的台站很少。作为延续性的工作, 为了与前期初步研究(二)的研究结果相对应, 以下仍以西藏地震台网为例进行研究。

西藏地震台网由 15 个台站组成。对于 2019 年 1 月—2022 年 12 月西藏地区 5 级以上地震, 震中附近有台站的几次地震依次为: 2020 年 1 月 25 日丁青 5.1 级地震, 最近台站为丁青台, 震中距 87km; 2020 年 3 月 10 日改则 5.0 级、3 月 12 日改则 5.1 级地震, 最近台站为改则台, 震中距分别为 89km 和 94km; 2021 年 3 月 19 日比如 6.1 级地震, 最近台站为那曲台, 震中距 89km, 以及比如台, 震中距 96km; 其余地震周边台站的震中距均超过 100km。即 4 年期间, 西藏地区发生的 5 级以上地震均在距离台站 50km 以外(最近距离 87km)。

西藏地震台网部分台站连续 4 年的 N 值曲线如图 5 所示, 其表现出 N 值处于一种随机起伏的状态(如当雄、改则、那曲、普兰等台站), 或存在某种周期性的起伏(如林芝、墨竹工等台站), 但没有一个台站的 N 值出现过类似汶川 8.0 级、玉树 7.1 级等震例的异常特征, 也没有一个台站出现满足初步研究(一)、初步研究(二)提炼的震情监视、跟踪指标的情况。

因此, 2019—2022 年期间, 西藏地震台网的台站没有观测到临震微波动现象, 且期间发生在西藏地区的 5 级以上地震距离台站均超过 50km(最近 87km)的事实, 符合初步研究(一)、初步研究(二)提炼的震情监视、跟踪指标判据, 从另一个角度对临震微波动现象的有效性进行了验证。

3 讨论与结论

3.1 相关问题的讨论

(1) 临震微波动现象具有重现性。在本次跟踪的 2019—2022 年 4 年期间, 青藏高原地区发生的具有较大影响的漾濞 6.4 级、玛多 7.4 级、泸定 6.8 级等地震事件均观测到了类似汶川 8.0 级、玉树 7.1 级、芦山 7.0 级、康定 6.3 级等地震的临震微波动现象, 其主要特征及表现与前期初步研究(一)、初步研究(二)的研究结果一致, 再次证实了强震前的临震微波

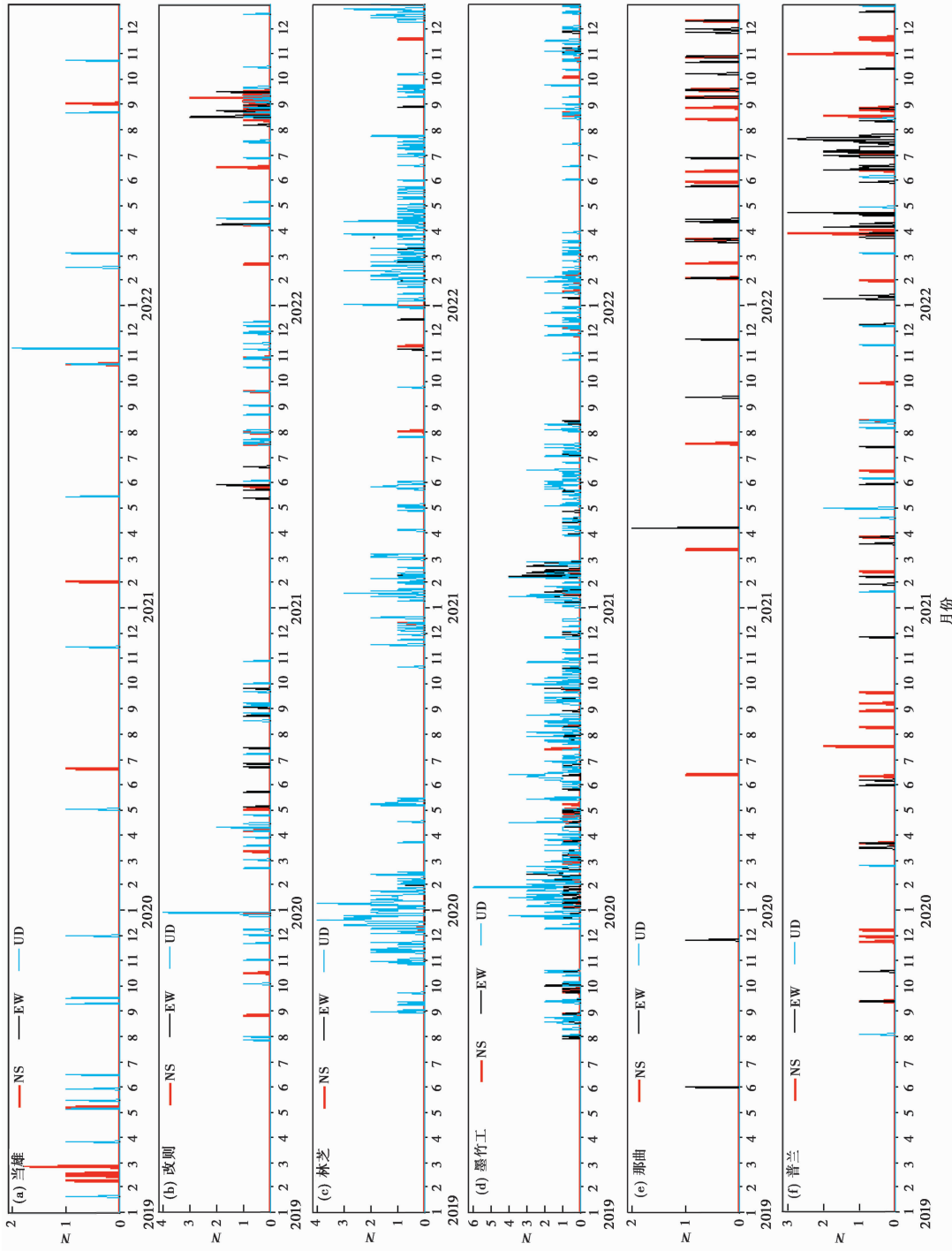


图 5 2019—2022 年西藏地震台网部分台站 N 值曲线

动具有重现性。而对西藏地区连续4年的观测和地震活动实况,从另一个角度检验了临震微波动的客观性和有效性。既证实了临震微波动具有重现性,也意味着以此现象为跟踪指标进一步开展临震预测探索具有现实意义。

(2) 临震微波动有效监控半径确定为70km可能比较合适。在初步研究(一)、初步研究(二)中,临震微波动出现在震中距50km半径的台站。在2019—2022年跟踪过程中,距离盈江5.0级地震65km的沙坝台观测到了临震微波动,突破了50km半径范围。因此,以70km为临震微波动的有效观测半径可能比较合适。在今后的跟踪实践中,应视实际震例继续完善。

(3) 临震微波动现象与震级有关,震级越大,震前出现临震微波动的可能性越大。除去震中距70km半径内无台站的地震外,不同震级档地震出现临震微波动映震率如表2所示。2019—2022年发生的6.4级以上地震,除门源6.9级地震外,其余3次,包括漾濞6.4级、玛多7.4级、泸定6.8级地震均出现了临震微波动现象。而震级较小的地震映震比率较小,与前期初步研究(二)的研究结果相一致。

表2 不同震级档地震出现临震微波动映震率

序号	震级	地震个数	100km范围内 无台站地震个数	100km范围内 有台站地震个数	临震微波动 现象出现次数	映震率
1	5.0~5.9级	32	8	24	1	4.2%
2	6.0~6.3级	7	2	5	0	0
3	≥6.4级	5	1	4	3	75%

3.2 基于临震微波动的震情跟踪指标进一步提炼

综合汶川8.0级、玉树7.1级等震例,初步研究(一)、初步研究(二)提炼的结果以及本文对2019—2022年震例跟踪结果可进一步提炼震情监视、跟踪的判据如下:

(1) 跟踪指标: 以临震微波动及其活动度为目标,动态跟踪震情变化。若临震微波动活动度在一定范围内随机起伏,属正常活动,不具有强震危险性;若临震微波动活动度超出随机起伏的变化范围,且持续时间达到或超过4天,则意味着可能具有强震危险性。

(2) 时间判据: 当临震微波动活动度 N 值出现异常变化,从异常出现之日计算,预测未来2~24天,平均15天左右可能存在强震的危险。

(3) 地点判据: 以出现临震微波动异常变化的台站为中心,70km为半径的区域可能是未来发震的区域。

(4) 强度判据: 临震微波动现象可能与震级有关,震级越大,震前出现临震微波动的可能性越大。在震情跟踪实践中,目标地震震级一般应在6级以上,对于6级以下地震,除个别震例或台站附近发生的地震,一般不具有预测效能。

3.3 有关问题的说明

(1) 尽管本文仅给出了2019—2022年期间临震微波动的跟踪结果,但实际上,自2011年起“临震微波动实时监控和跟踪分析系统”已连续运行了13年。2012—2014年跟踪结果已在初步研究(二)中发表,本文对2019—2022年的跟踪结果进行了论述,有关2015—2018年期间的典型震例至今还未发表,但其结论与初步研究(二)和本文研究结果

一致。

(2)2022 年门源 6.9 级、2016 年门源 6.4 级地震均未记录到临震微波动现象,类似的震例还有 2014 年 10 月 7 日景谷 6.6 级地震,该地震距离景谷台 27km,也没有记录到临震微波动,其原因需进一步研究。

参考文献

- 陈章立. 2007. 数字地震观测资料应用研究. 北京: 地震出版社.
- 冯德益,陈化然,丁伟国. 1994. 大震前地震波频谱异常特征的研究. 地震研究,17(4):319~329.
- 高原,梁维,丁香,等. 2004. 云南 2001 年施甸地震的剪切波分裂参数变化特征. 地震学报,26(6):576~582.
- 刘杰,郑斯华,康英,等. 2004. 利用 P 波和 S 波的初动和振幅比计算中小地震的震源机制解. 地震,24(1):19~26.
- 王玥琪. 2015. 不同类型事件宽频带地震仪记录的频谱特征研究. 硕士学位论文. 兰州: 中国地震局兰州地震研究所.
- 杨立明,郝臻,王建军,等. 2017. “兰州地脉动实时跟踪技术系统”简介. 国际地震动态,(8):77~78.
- 杨立明,郝臻,王建军,等. 2018a. 强震临震微波动现象初步研究(一). 中国地震,34(2):219~233.
- 杨立明,郝臻,王建军,等. 2018b. 强震临震微波动现象初步研究(二). 中国地震,34(2):234~243.
- 郑斯华,铃木次郎. 1992. 青藏高原及其周围地区地震的地震矩张量及震源参数的尺度关系. 地震学报,14(4):423~434.
- Yang L M,Hao Z,Wang J J, et al. 2019. A preliminary study on the phenomenon of microseismic fluctuations before impending strong earthquake. Earthq Res Adv,33(3):367~390.

Practice of Tracking the Phenomenon of Microwave Fluctuation before Strong Earthquakes

Yang Liming^{1,3)}, Wang Jianjun²⁾, Zhang Zenghuan²⁾, Yu Na³⁾, Li Weijie³⁾

1) The Second Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China

2) Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China

3) Qinghai Earthquake Agency, Xining 810001, China

Abstract In order to verify and examine the micro-fluctuation phenomenon and its main characteristics of impending strong earthquakes, the real-time waveform data of more than 200 broadband digital seismic stations in Gansu, Qinghai, Sichuan, Yunnan, Tibet and other regional networks are used to the full real-time tracking and dynamic monitoring of 44 earthquakes of magnitude 5 or above that occurred on the Qinghai-Tibet Plateau from 2019 to 2022, with the base of real-time tracking and monitoring technology system. We further tested the reproducibility and objectivity of the impending earthquake micro-fluctuation phenomenon, and verified the spectrum, time, space and other characteristics.

Keywords: The phenomenon of microwave fluctuation impending strong earthquakes; Prediction index of space-time; Verification