

杨立明、郝臻、王建军等,2018,强震临震微波动现象初步研究(二),中国地震,34(2),234~243.

## 强震临震微波动现象初步研究(二)

杨立明<sup>1,2)</sup> 郝臻<sup>1)</sup> 王建军<sup>1)</sup> 张淑珍<sup>1)</sup> 姚家俊<sup>3)</sup> 董蕾<sup>4)</sup>

1) 中国地震局兰州地震研究所,兰州市东岗西路 450 号 730000

2) 青海省地震局,西宁市兴海路 1 号 810001

3) 中国地震局地球物理勘探中心,郑州 450002

4) 重庆市地震局,重庆 401147

**摘要** 为了验证和检验强震临震微波动现象及其主要特征,利用甘、青、川、滇、藏等区域台网 200 余个宽频带数字地震台站的波形资料,建立了实时监控技术系统。通过对 2012~2014 年间青藏块体发生的 24 次 5 级以上地震及部分无震区域台站观测的全程实时跟踪、动态监控,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,进一步得出了临震微波动现象可能与地震强度有关,且震级越大,震前出现持续临震微波动的可能性越大的结论。

**关键词:** 临震微波动 时空指标 验证

[文章编号] 1001-4683(2018)02-0234-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

在《强震临震微波动现象初步研究(一)》(杨立明等,2018)中,作者通过对汶川地震、玉树地震、青川地震等 3 次震例临震阶段宽频带数字地震记录的反复对比研究,初步识别出具有共性频谱特征以及时、空表现的临震微波动,其主要特征表现为: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,而震中距大于 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。初步认为,临震微波动可能与临震阶段震源区的预活动、微震动、微破裂或与临震阶段相关活动构造的微活动、微破裂、裂隙扩展等事件有关。

为了对临震微波动及其上述主要特征作进一步的验证和检验,考虑到青藏高原地区强震频繁、便于检验的特点,作者于 2011 年 6 月在兰州建成了覆盖青藏高原地区的实时震情动态监控和跟踪分析技术系统(简称“兰州地脉动实时监控技术系统”)。该系统将甘肃、四川、云南、西藏、青海等区域台网约 200 余个宽频带数字地震台站的地脉动波形资料实时汇集到兰州,利用 6 台服务器构成技术支撑平台,实现了对青藏块体地脉动观测的实时、动态

[收稿日期] 2017-07-10; [修定日期] 2017-11-19

[项目类别] “十二·五”国家科技支撑计划专题“数字地震技术在强震中短期预测中的应用”(2012BAK19B02-01)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: yanglm@gdszj.gov.cn

监控和跟踪分析。通过对 2012~2014 年间发生的 24 次 5 级以上地震及部分无震区域台站观测的全程跟踪来检验和验证临震微波动及其主要特征,并进一步提炼震情监视指标和判据。

## 1 2012~2014 年青藏块体地震活动概况

从 2011 年 6 月起,“兰州地脉动实时监控技术系统”实现了对青藏块体地脉动观测的实时动态监控。由于数据量巨大,保持稳定连续实时计算对数据流及技术系统要求较高,在 3 年的连续实时监控运行过程中,存在部分时段的断记,即该时段资料不完整,无法对其间发生的地震事件进行分析处理。具体来讲,2012 年 6 月 2 日宁蒗 5.7 级、2013 年 1 月 18 日白玉 5.4 级、2013 年 1 月 30 日杂多 5.1 级、2013 年 7 月 22 日岷县漳县 6.6 级等 4 次地震发生前短时间内,台站或“兰州地脉动实时监控技术系统”处于断记或缺乏记录状态。

据中国地震台网测定,2012~2014 年间,监控区发生独立的 5 级以上地震 28 次,扣除上述 4 次地震后,其余 24 次地震具体参数如表 1 所示。

## 2 临震微波动现象及其主要特征的跟踪检验

为了对临震微波动现象及其主要特征进行检验,作者对表 1 中列出的 24 次 5 级以上地震进行全时空的实时跟踪研究。同时,对监控区内具有连续观测但未发生地震的局部地区,从无震检验的角度对临震微波动现象进行检验。

### 2.1 2012~2014 年监控区震例研究

由于地脉动实时跟踪分析的数据量十分巨大,尽管实际跟踪过程包括了 2012~2014 年间全部 200 余个台站的连续实时结果,但以下仅介绍震中距 100km 范围内的台站跟踪结果;不同台站事件活动度  $N$  值也仅展示震前 2 个月的资料,其他时段及台站的跟踪结果不再赘述。同时,由于分析思路一致,故逐年选择具有代表性的地震为例进行说明。

#### 2.1.1 2012 年 9 月 7 日宜良 5.6 级地震

2012 年 9 月 7 日宜良 5.6 级地震震中位于昭通台东北 34km,距丙乙底台 85km、盐津台 71km、雷波台 96km、筠连台 83km。震前 8 月 1 日~9 月 17 日间,临震微波动事件活动度随时间的变化如图 1 所示。8 月 21~27 日间昭通台出现明显的异常变化,此时距发震 16 天;异常幅度最大 21,NS 测道异常突出。

#### 2.1.2 2013 年 3 月 3 日洱源 5.5 级地震

2013 年 3 月 3 日洱源 5.5 级地震震中位于洱源台西南 35km,距云龙台 33km、团山台 65km、泸水台 85km、鹤庆台 86km。震前 2 月 1 日~3 月 3 日间,临震微波动事件活动度随时间的变化如图 2 所示。2 月 9~15 日间洱源台出现明显的异常变化,此时距发震 24 天;异常幅度最大达到 6,NS 测道异常突出。

#### 2.1.3 2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震

2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震震中位于雅安台正北 24km,距姑咱台 82km、峨眉台 91km、小金台 99km。震前 3 月 1 日~4 月 20 日间,临震微波动事件活动度随时间的变化如图 3 所示。4 月 15~19 日间雅安台出现明显的异常变化,此时距发震 6 天;异常幅度最大为 8,NS 测道异常明显。

表 1 2012~2014 年监控区 5 级以上地震震例检验

序号	地震	R50 台站	临震微波动及其表现
1	2012-02-17 革吉 5.2 级地震		R100 台站无异常
2	2012-05-03 金塔 5.4 级地震	俞井子台 (23)	俞井子台及其他 R100 台站无异常
3	2012-09-07 宜良 5.7 级地震	昭通台 (34)	震前 16 天,昭通台出现临震微波动变化,变化幅度最大 16,NS 测道突出;其他 R100 台站无异常
4	2013-02-25 改则 5.4 级地震		R100 台站无异常
5	2013-03-03 洱源 5.5 级地震	洱源台 (34) 云龙台 (33)	震前 24 天,洱源台出现临震微波动变化,变化幅度最大 6,NS 测道突出;云龙台及其他 R100 台站无异常
6	2013-04-17 洱源 5.0 级地震	洱源台 (28) 云龙台 (43)	洱源台、云龙台及其他 R100 台站无异常
7	2013-04-20 芦山 7.0 级地震	雅安台 (24)	震前 6 天,雅安台出现临震微波动,异常幅度最大 8,NS 测道异常突出;其他 R100 台站无异常
8	2013-05-16 尼玛 5.0 级地震		R100 台站无异常
9	2013-06-05 海西 5.0 级地震		R100 台站无异常
10	2013-08-06 尼玛 5.2 级地震		R100 台站无异常
11	2013-08-12 左贡 6.1 级地震		R100 台站无异常
12	2013-08-31 德荣 5.9 级地震	中甸台 (51)	中甸及其他 R100 台站无异常
13	2013-09-20 门源 5.1 级地震	门源台 (27) 铧尖台 (48)	门源台、铧尖台及其他 R100 台站无异常
14	2014-02-11 尼玛 5.1 级地震		R100 台站无异常
15	2014-03-31 改则 5.5 级地震		R100 台站无异常
16	2014-04-05 永善 5.3 级地震	雷波台 (23)	雷波台及其他 R100 台站无异常
17	2014-05-30 盈江 6.1 级地震		R100 台站无异常
18	2014-08-03 西藏 5.0 级地震		R100 台站无异常
19	2014-08-03 昭通 6.5 级地震	昭通台 (48) 巧家台 (41)	震前 15 天,昭通台出现临震微波动,幅度最大 8,NS 测道突出;巧家台及其他 R100 台站无异常
20	2014-08-17 永善 5.0 级地震	雷波台 (20) 美姑台 (44) 丙乙底 (45)	雷波台、美姑台、丙乙底台及其他 R100 台站无异常
21	2014-10-01 越西 5.0 级地震	美姑台 (33)	美姑台及其他 R100 台站无异常
22	2014-10-02 都兰 5.1 级地震	都兰台 (32)	都兰台及其他 R100 台站无异常
23	2014-10-07 景谷 6.6 级地震	景谷台 (27)	景谷天及其他 R100 台站无异常
24	2014-11-22 康定 6.3 级地震	姑咱台 (50)	震前 14 天,姑咱台出现临震微波动,变化幅度最大 6,EW 测道突出;其他 R100 台站无异常

注:R50 指震中距 50km 半径范围以内的台站;R100 指震中距 100km 半径范围以内的台站;“R100 台站无异常”指震中距 100km 半径范围内的台站没有记录到临震微波动;括号内的数字为震中距,单位:km

2.1.4 2014 年 8 月 3 日昭通 6.5 级地震

2014 年 8 月 3 日昭通 6.5 级地震震中位于昭通台西南 48km,距巧家台 41km、普格台 81km、石门坎台 60km、丙乙底台 80km。震前 6 月 3 日~8 月 3 日间,临震微波动事件活动度随时间的变化如图 4 所示。其中,7 月 20~25 日间昭通台出现临震微波动变化,此时距发震 15 天;异常幅度最大 8,NS 测道异常突出。

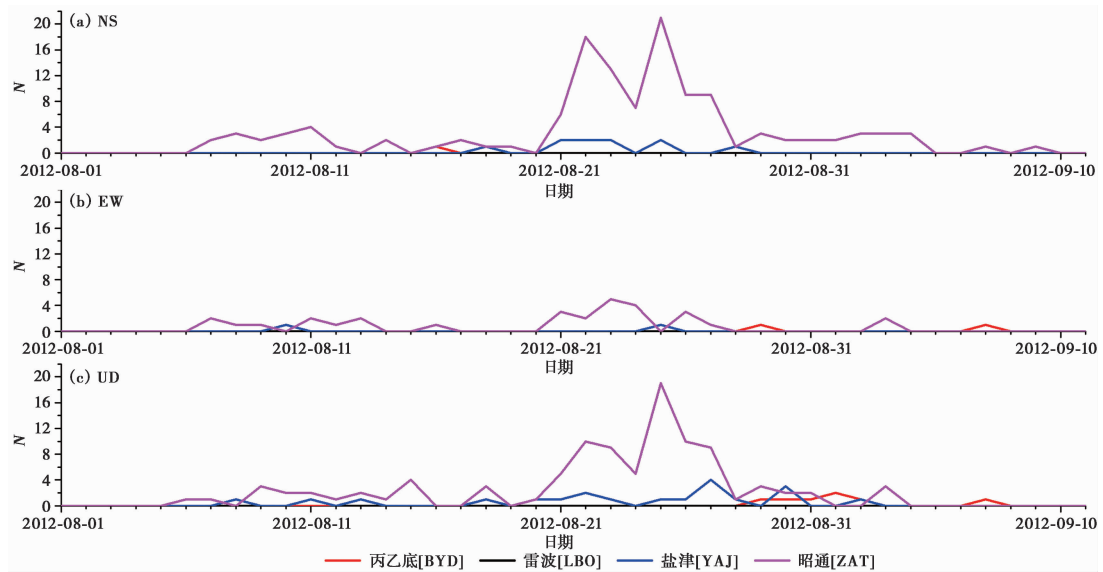


图 1 2012 年 9 月 7 日宜良 5.6 级地震前后不同台站  $N$  值的变化

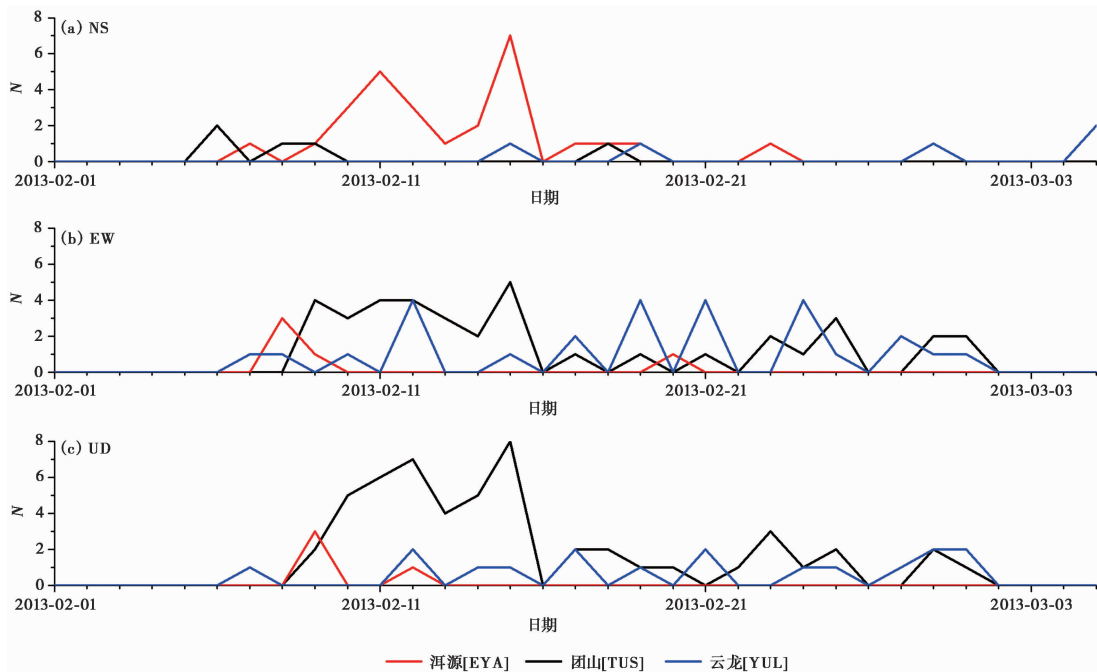


图 2 2013 年 3 月 3 日洱源 5.5 级地震前后不同台站  $N$  值的变化

2.1.5 2014 年 11 月 22 日康定 6.3 级地震

2014 年 11 月 22 日康定 6.3 级地震震中位于姑咱台正西 50km, 距雅江台 73km、道孚台 96km、小金台 100km。震前 9 月 22 日~11 月 22 日间, 临震微波动事件活动度随时间的变化如图 5 所示。其中, 11 月 8~18 日间姑咱台出现明显的异常变化, 此时距发震 14 天; 异常幅

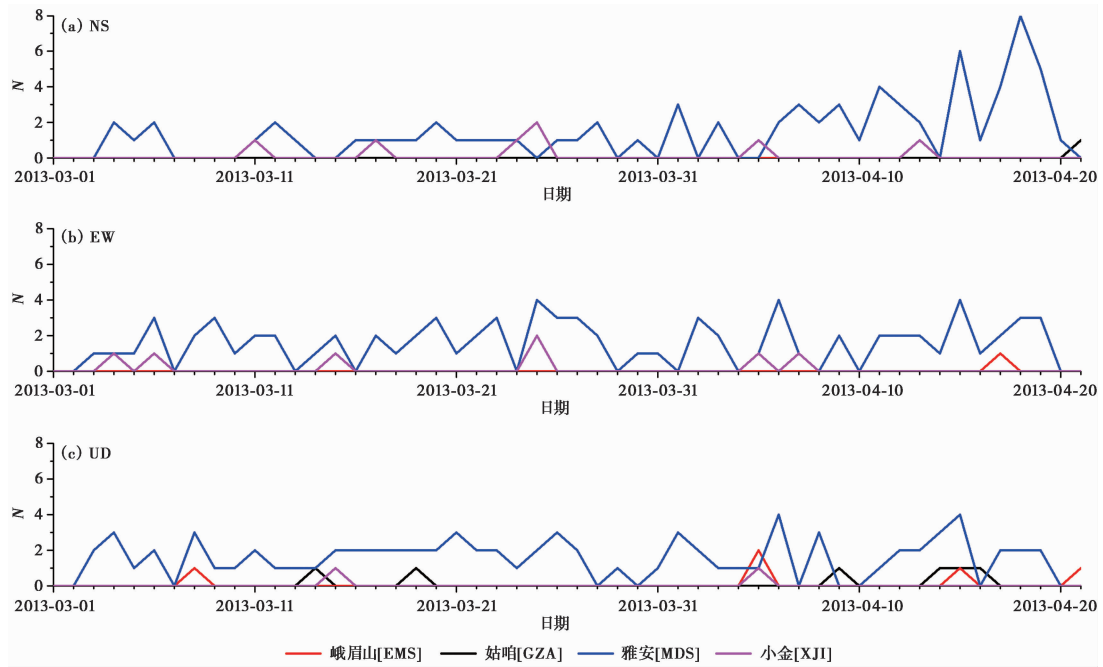


图 3 2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震前后不同台站  $N$  值的变化

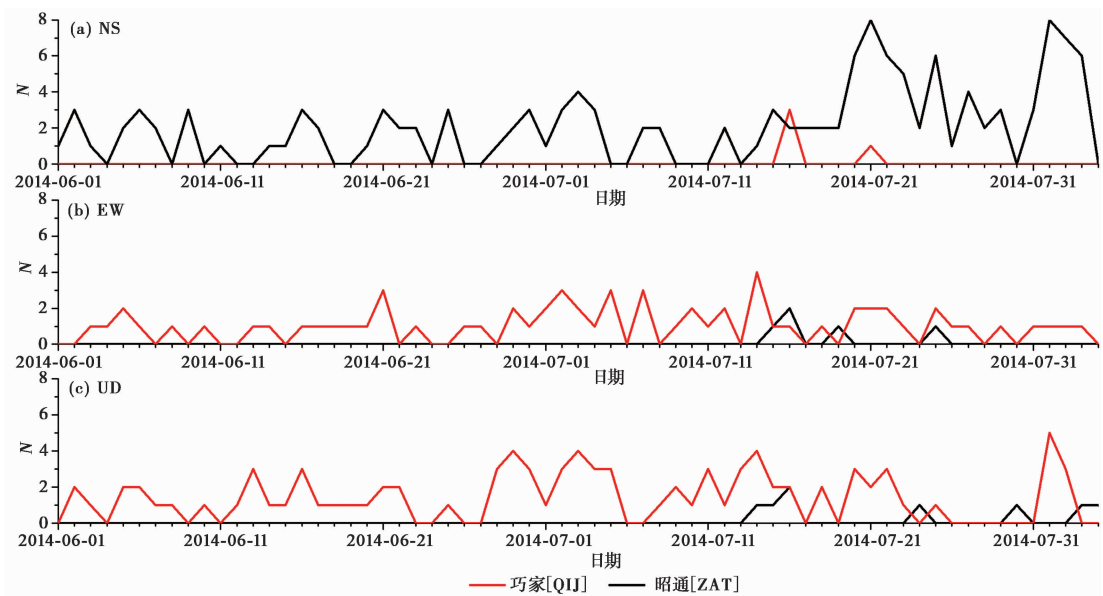


图 4 2014 年 8 月 3 日昭通 6.5 级地震前后不同台站  $N$  值的变化

度最大 6,EW 测道异常突出。

依照上述思路,逐一研究 2012~2014 年间发生的其他 20 次地震。基本结果汇总如表 1 所示。由表 1 可以看出:

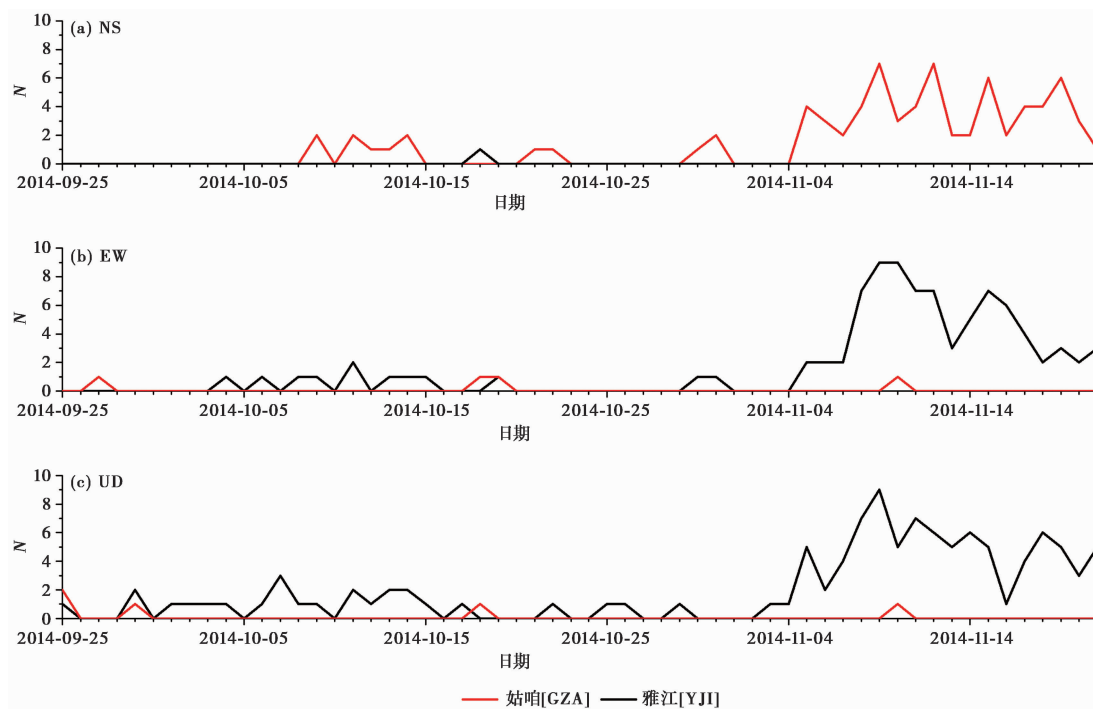


图 5 2014 年 11 月 22 日康定 6.3 级地震前后不同台站  $N$  值的变化

(1) 在 24 次震例中,有 14 次地震,在震中距 50km 半径范围内有地震台站;其中的 5 次,即 2012 年宜良 5.7 级、2013 年洱源 5.5 级、2013 年芦山 7.0 级、2014 年昭通 6.5 级、2014 年康定 6.3 级等地震中观测到类似汶川地震、玉树地震前的临震微波动现象。

(2) 5 次观测到临震微波动现象的震例中,从临震微波动出现到主震发生时间最长 24 天,最短 6 天,优势时段集中在 14~16 天;在空间特征方面,5 次地震震前的临震微波动均有震中距 50km 半径范围内的台站记录到,超过 50km 的台站没有记录到;在方向性特征方面,表现出活动度  $N$  值变化显著的方向基本与强震的发震断层、余震分布及震源位置较为一致。因此,5 次震例与汶川地震、玉树地震、青川地震等震例的结论基本一致。

(3) 在地震强度方面,出现临震微波动现象的 5 次震例,其震级均大于 5.5 级;而震中距 50km 半径范围内有地震台站,但没有观测到临震微波动现象的 9 次震例中,震级为 5.0~5.4 级的 7 例。也就是说,临震微波动现象的出现似乎与

表 2 不同震级档的映震率

震级档	地震个数	出现临震波动地震数	映震率/%
5.0~5.4	7	0	0
5.5~5.9	3	2	67
≥6.0	4	3	75

地震强度有关,震级越大,震前越可能出现持续临震微波动。表 2 给出了上述 14 次震例不同震级档的统计结果。由表 2 可见,在 7 次 5.0~5.4 级地震中,没有 1 次震前出现临震波动现象;3 次 5.5~5.9 级地震中,有 2 次震前出现临震微波动现象,映震率 67%;4 次 6.0 级及以上地震中,有 3 次震前出现临震波动现象,映震率 75%。其实,如果仅考虑 7.0 级以上地震,

那么,2008年以来监控区内发生的汶川、玉树、芦山等地震震前均出现了临震波动现象,映震率100%。因此,临震微波动现象可能与地震强度有关,震级越大,震前出现持续临震微波动的可能越大。

### 2.2 临震微波动的无震跟踪研究

在对临震微波动现象持续3年时间的实时连续观测中,有一个现象值得关注。那就是在2012年1月~2014年12月长达3年时间的连续观测期间,出现临震微波动现象的台站很少;且即使出现,能够持续异常达到或超过4天则很少。以下以西藏地震台网、甘青川交界部分台站为例进行说明。

西藏台网由13个台站组成。2012年1月~2014年12月间,西藏地区5级以上地震震中没有一次在距台站50km半径范围内,10个台站的 $N$ 值变化过程如图6所示。由图6可见,在3年连续观测期间,所有台站的 $N$ 值均处于一种随机起伏的状态,没有一个台站的 $N$ 值出现过类似汶川地震、玉树地震、青川地震等震例的异常状态。

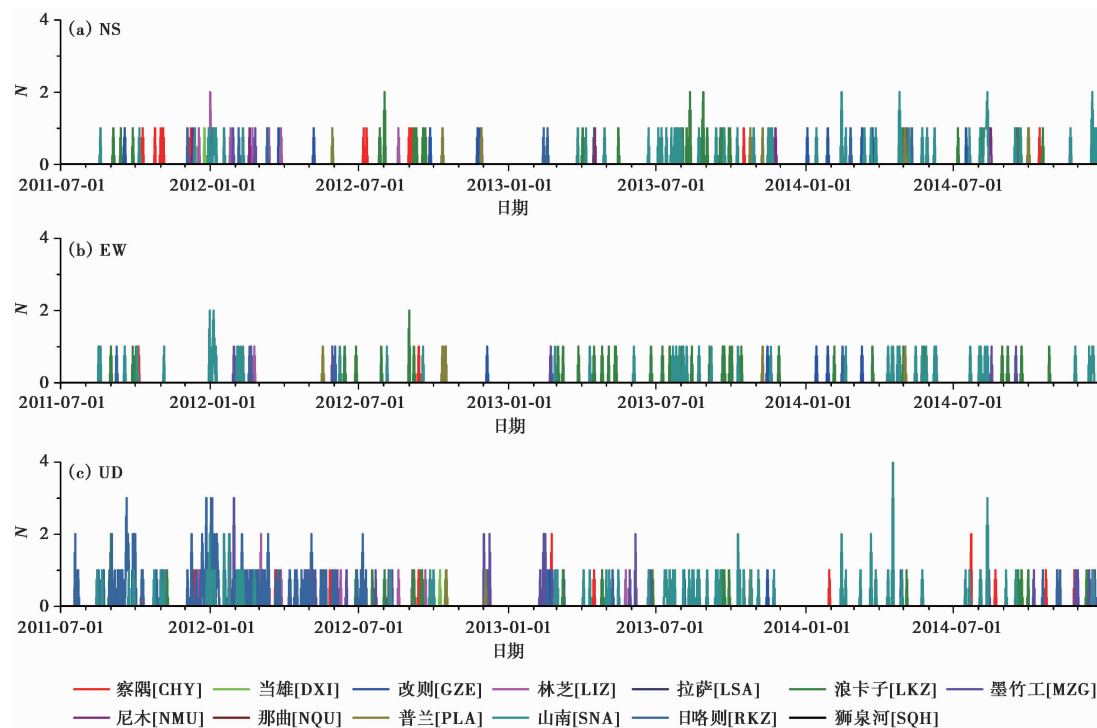


图6 2012年1月~2014年12月西藏台网台站 $N$ 值变化过程

与此类似,2012年1月~2014年12月间,甘青川交界地区未发生5级以上地震。该区域内的玛曲、迭部、若尔盖等台站的 $N$ 值变化过程如图7所示。由图7可见, $N$ 值变化过程表现出类似于西藏台网的特点,即在3年时间内没有一个台站出现过类似汶川地震、玉树地震、青川地震等震例的异常状态。

因此,西藏台网、甘青川交界部分台站没有观测到临震微波动现象、也没有地震发生的事实,从另一个角度对临震微波动现象的有效性进行了验证。

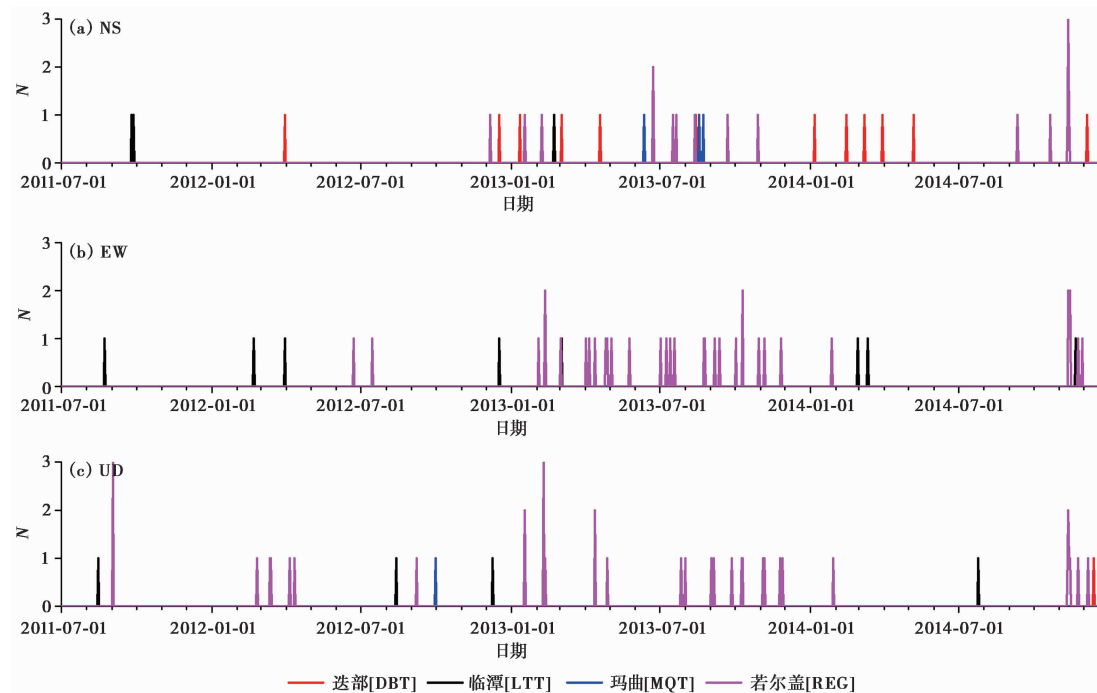


图 7 2012 年 1 月~2014 年 12 月甘青川交界部分台站  $N$  值变化过程

### 3 讨论与结论

#### 3.1 临震微波动及地震强度特征

在汶川地震、玉树地震、青川地震等震例研究的基础上,综合上述 24 次震例的实际跟踪,得出如下初步结论。

(1) 临震微波动现象具有重现性。该现象不仅在汶川、玉树、青川等地震前出现,也在宜良、洱源、芦山、康定等地震前出现;且西藏地区及甘青川交界地区连续 3 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。这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实际价值。

(2) 临震微波动现象可能与地震强度有关,震级越大,震前出现持续多天临震微波动的可能性越大。对 5.5 级以下地震,几乎观测不到临震微波动现象,除非是台站附近发生的地震,如 2011 年 11 月 1 日青川 5.4 级地震,其震中距仅 7km。

#### 3.2 基于临震微波动的震情跟踪指标初步提炼

综合汶川地震、玉树地震、青川地震等震例及 2012~2014 年 24 次震例的实际跟踪结果,可初步提炼震情监视、跟踪的判据如下,以期作为进一步研究验证的基础。

(1) 跟踪指标:以临震微波动及其活动度为目标,动态跟踪震情的变化。若临震微波动活动度在一定范围内随机起伏,则属正常活动,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,且从异常出现之日计算,预测



未来 6~24 天,平均 15 天左右可能存在强震的危险。

(3)地点判据:可有依次逼近的 3 条判据:① 以出现临震微波动异常变化的台站为中心,50km 为半径的区域可能是未来发震的区域;② 临震微波动活动度优势异常方位为未来可能强震的发震方位;③ 判据①、判据②所指区域及方向存在的活动断层段为可能的发震危险区段。

(4)强度判据:临震微波动现象预测的地震震级一般应在 5.5 级以上,对 5.5 级以下地震一般不具有预测效能,除非是台站附近发生的地震。

### 3.3 有关问题的讨论

#### (1) 临震微波动活动度 $N$ 值异常幅度与震级间的关系

在《强震临震微波动现象初步研究(一)》(杨立明等,2018)中,汶川地震、玉树地震、青川地震等震例呈现出震级大,则临震微波动活动度  $N$  值大、持续时间长;震级小,则临震微波动活动度  $N$  值小、持续时间短的特征。但是,在 2012~2014 年间的震例跟踪中,该特征似乎并不明显。因此,有关临震微波动活动度  $N$  值异常幅度、持续时间与震级间的关系还需要进一步的研究和验证。

#### (2) 临震微波动现象机理的初步讨论

临震微波动现象是否来源于临震阶段震源区的预活动、微震动、微破裂等事件,仍然难以确定,这需要更多的研究来验证。但是,2012~2014 年持续 3 年的连续跟踪研究给出了临震微波动现象的检验和验证,相关震例的增加进一步强化了对临震微波动现象重现性和客观性的认识。

据已有研究可知(马瑾等,2012;马瑾,2016),地震是以突发形式表现的构造变形,存在一个由慢变快的物理过程。预滑、震颤等现象正好刻画了构造变形由慢变快的过程。同时,地震的发生是一个力学过程,断层处于应力峰值强度后的亚失稳阶段时,进入一个不可逆的变形阶段,这标志着地震的发生已不可避免。据此,我们不难联想到,临震微波动在持续数年的观测中不存在,但是在临震阶段出现,且具有重现性、方向性、临震性、近源性、微弱性等特征,这是否是震源应力状态进入亚失稳阶段的表现,是否可作为地震孕育进入亚失稳的标志,值得我们进一步跟踪研究。

(3)尽管本文仅给出了 2012~2014 年间临震微波动的跟踪结果,但实际上,“兰州地脉动实时监控技术系统”至今已连续稳定运行了 6 年,关于 2015~2017 年间的典型震例、典型地球物理事件及环境变化的频谱特征与临震微波动的差异性分析等研究结果,有待另文介绍。

(4)2014 年 10 月 7 日景谷 6.6 级地震前,景谷台震中距 27km,但没有记录到临震微波动,其原因需进一步研究。

**致谢:** 马瑾院士,陆远忠、张晓东、江在森、徐平、聂永安、吴云、车时、马宏生、周龙泉等给予了有力的指导、启发和鼓励;中国地震局地球物理研究所国家测震台网数据备份中心提供了具体的波形数据,郑秀芬研究员给予了大量的帮助,一并表示感谢。

### 参考文献

马瑾,2016,从“是否存在有助于预报的地震先兆”说起,科学通报,61(4-5),409~414.

马瑾、SISHERMAN、郭彦双, 2012, 地震前亚失稳应力状态的识别——以 5° 拐折断层变形温度场演化的实验为例, 中国科学: 地球科学, **42**(5), 633~645.

杨立明、郝臻、王建军等, 2018, 强震临震微波波动现象初步研究(一), 中国地震, **34**(2), 219~233.

## Preliminary Study on Phenomenon of Microwave Fluctuation Impending Strong Earthquake(2)

*Yang Liming*<sup>1,2)</sup> *Hao Zhen*<sup>1)</sup> *Wang Jianjun*<sup>1)</sup> *Zhang Shuzhen*<sup>1)</sup> *Yao Jiajun*<sup>3)</sup>  
*Dong Lei*<sup>4)</sup>

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

2) Qinghai Earthquake Agency, Xining 810001, China

3) Geophysical Exploration Center, CEA, Zhengzhou 450002, China

4) Chongqing Earthquake Agency, Chongqing 401147, China

**Abstract** In order to verify the phenomenon of microwave fluctuation impending earthquake and test the accuracy of its main features, real-time monitoring technology system was established based on waveform data recorded by more than 200 digital broad-band seismic stations of Gansu, Qinghai, Sichuan, Yunnan, Tibet and other regional digital seismic networks. The system examined reproducibility and objectivity of microwave fluctuation impending earthquake and verified spectrum, time, space, directionality and other features of the phenomenon through whole course real-time tracking and dynamic monitoring 24 earthquakes above  $M_s 5.0$  observed in Qinghai-Tibetan Block between 2012 and 2014 and stations partially distributed in earthquake-free areas. We then made the conclusion that phenomenon of microwave fluctuation impending earthquake can be related to earthquake intensity. Moreover, the greater the magnitude, the more possibility of persistent micro-fluctuations before earthquake.

**Key words:** Microwave fluctuation impending earthquake; Time and space index; Verification