

陈大庆, 邵叶, 刘锦, 等. 中国大陆强震月相调制性质一致性分析[J]. 华南地震, 2022, 42(3): 65-70. [CHEN Daqing, SHAO Ye, LIU Jin, et al. Consistency Analysis of Lunar Phase Modulation Properties of Strong Earthquakes in Chinese Mainland [J]. South China journal of seismology, 2022, 42(3): 65-70]

中国大陆强震月相调制性质一致性分析

陈大庆¹, 邵叶¹, 刘锦¹, 谭争光¹, 李丽²

(1. 广东省地震局, 广州 510075; 2. 山西省地震局, 太原 030021)

摘要: 强震前震源区处于不稳定状态, 引潮力可能触发震源区中小地震的发生, 从而导致小震调制比异常。利用阴历历计算得到调制系数, 统计了中国大陆朔望调制、上下弦调制、非调制强震的时空分布特征, 在川滇交界区域、阿尔金-西昆仑区域、安徽至江苏至南黄海区域强震的调制性质具有较高的一致性。并且部分构造区域调制性质在某些时间段上也具有一定的一致性。统计1975年以来中国大陆17次7级以上地震, 其中8次地震在震前3个月震中区周边出现了中小地震调制性质一致性升高的现象。这一现象具有一定短临意义。

关键词: 中国大陆; 强震; 调制性质一致性; 时空特征

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2022)03-0065-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2022.03.08

Consistency Analysis of Lunar Phase Modulation Properties of Strong Earthquakes in Chinese Mainland

CHEN Daqing¹, SHAO Ye¹, LIU Jin¹, TAN Zhengguang¹, LI Li²

(1. Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510075, China; 2. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan 030021, China)

Abstract: Before a strong earthquake, the focal region is in an unstable state, and the tide-generating force may trigger the occurrence of small and medium earthquakes in the focal region, thus leading to the anomaly of the modulation ratio of small earthquakes. Using the lunar calendar to calculate the modulation Coefficients, the spatial and temporal characteristics of synodic modulation, the upper and lower chord modulation, and the non-modulated strong earthquakes are analyzed. the modulation properties of strong earthquakes in the Sichuan-Yunnan Boundary Region, the Arguin-West Kunlun region, and the Anhui-Jiangsu-South Yellow Sea region are highly consistent. And the modulation properties of some structural regions also have a certain consistency in some time periods. According to statistics, there have been 17 earthquakes with $M \geq 7$ in Chinese mainland since 1975, of which 8 earthquakes showed a consistent increase in the modulation properties of small and medium earthquakes around the epicenter three months before the earthquake. This phenomenon is of significance to the short-term and imminent prediction of strong earthquakes

收稿日期: 2022-03-15

基金项目: 山西省应用基础研究计划面上青年基金项目(201901D211549)

作者简介: 陈大庆(1977-), 男, 高级工程师, 主要从事地震分析预报工作。

E-mail: gd_daqing@163.com

Keywords: Chinese mainland; Strong earthquakes; Modulation consistency; The spatial and temporal characteristics

0 引言

秦保燕等提出了小震调制比的概念^[1-2],即受固体潮调制地震次数与地震总次数的比值,选择引潮力最大时段作为调制阴历时段,即朔日前后4 d,望日前后4 d,共计8 d,占全月时长的26.7%,并定义发生在此8 d内的小震为调制地震。并将震源处于不稳定时由于外因多次触发震源、最后导致大震的模式称为调制模式,认为将调制比随时间的变化作为地震发生的前兆信息是有意义的。

张国民等主要针对我国大陆地区 $M_s \geq 7.0$ 强震受潮汐力调制触发作用的影响进行了研究^[3-4],结果表明:平静期内的7级以上地震基本不受潮汐力触发,而活跃期内82.4%的7级强震发生在受潮汐力触发的月相调制,比本底概率高出36.4%。在进一步的研究中,把月相的调制触发分为两种类型:即I型为朔望型;II型为上下弦型。活跃期内不同地区的强震有不同的调制触发类型,华北和川滇以I类触发为主;新疆、西北以II类触发为主。月相调制触发类型与震源破裂机制有一定的相关性。在走滑型破裂区和部分张性破裂区,外力的调制触发以I型触发为主;而逆冲型的压性破裂区(尤其是天山西部地区)以II型触发为主。

此外,多位研究人员分别采用中等调制地震、调制地震频次、调制小震的非稳态短期异常特征及震中附近地区的小震调制比时间序列相结合等方法进行强震预测研究^[4-12],结果表明:地震的调制特征对中强地震预报具有一定意义。

本文将潮汐力在阴历月历中的半月周期归一化得到月相的调制系数,利用调制系数统计了中国大陆强震调制性质的时空分布特征,并对强震前震中周边区域中小地震调制性质的一致性进行了研究。

1 计算方法

统计中国大陆1900年以来6级以上地震(去余震)共计445次,为了便于区分调制性质,利用阴历月历计算出调制系数。

$$C = \text{ABS}(\text{ABS}(M - 15) - 7.5) / 7.5 \quad (1)$$

式(1)中 M 为阴历月历, C 定义为调制系数。

按上述公式定义调制系数 C 大于0.6,调制性质为朔望调制,包括阴历1、2、13~17、29~30,共计10 d,朔望调制的自然概率为33.3%;小于等于0.2为上下弦调制,包括6~9、21~24共计8 d,即自然概率为26.7%;剩余的12 d为非调制区间,自然概率为40%(图1)。通过上述转换,可以利用调制系数的大小反映调制性质,更好的方便统计计算。

2 中国大陆强震月相调制性质时空特征

利用调制系数统计了中国大陆1900年以来445次6级以上地震调制性质的时空分布特征。图2为中国大陆调制性质的空间分布,图3为各二级块体及三个异常区的调制性质分布占比。图3中可以看到中国大陆、新疆、青藏、华北二级块体强震调制性质的分布基本接近自然概率,华南非调制地

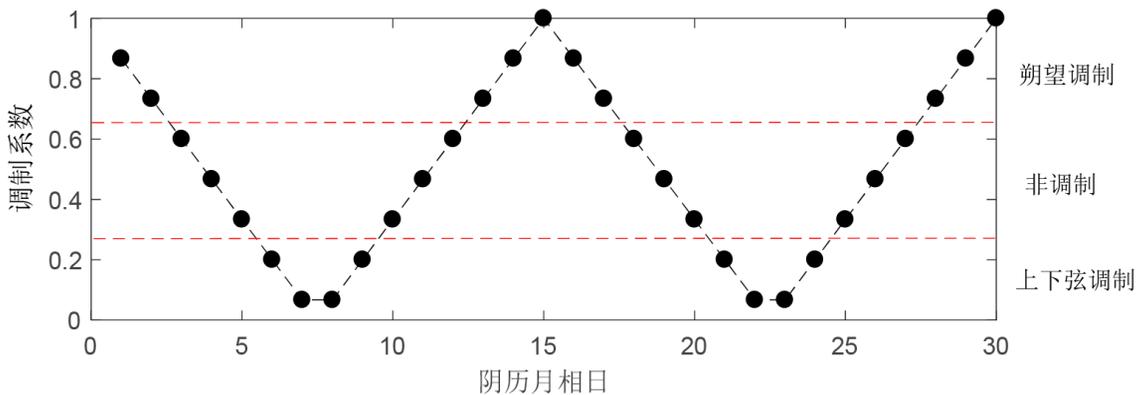


图1 阴历月历对应的调制系数及调制性质分布

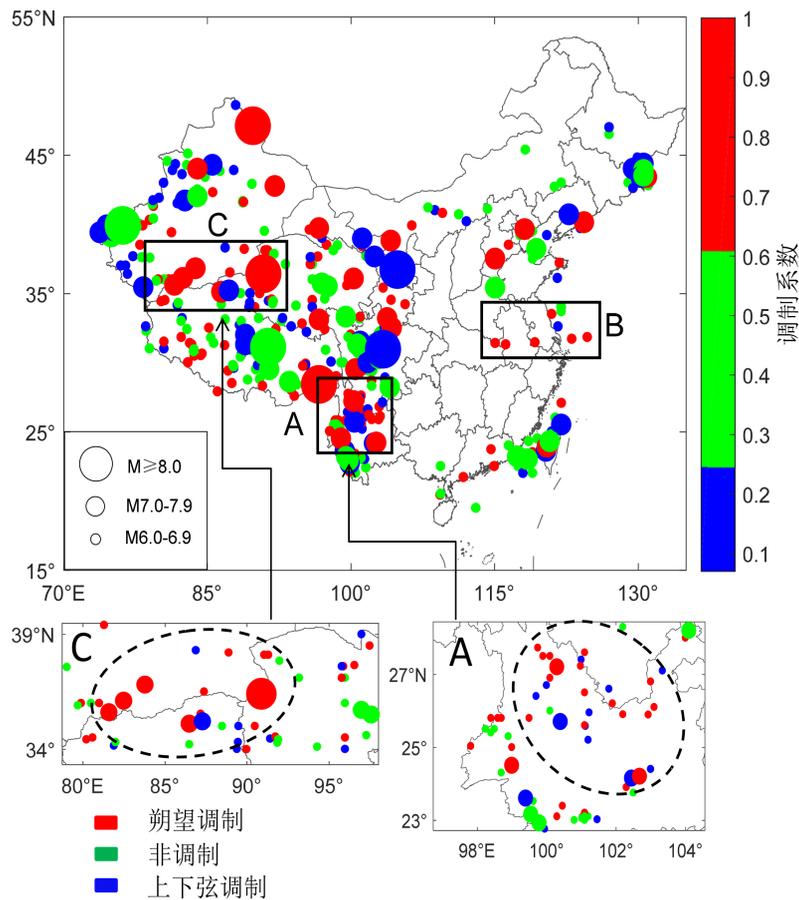
Fig.1 the corresponding modulation coefficients of lunar calendar and the distribution of modulation properties

震占比为66.7%，显著高于40%的自然概率。上下弦调制占比为6.7%，显著低于26.7%的自然概率。东北深震朔望调制的占比为18.2%，低于33.3%的自然概率。在图2中发现了三个调制性质的异常区域，区域A为川滇交界区域，面积约为23万km²，该异常区1900年以来共计发生31次6级以上地震，其中上下弦调制地震有12次，占38.7%(自然概率26.7%)；朔望调制地震有17次，占54.8%(自然概率33.3%)；非调制地震只有2次占6.5%(自然概率40%)，并且这2次也较为接近大潮调制期。该区域受到朔望、上下弦潮调制的统计概率93.5%显著高于自然概率60%，并且4次7级以上地震都发生在调制区间，说明该区域的强震显著受到月相调制的影响。区域B在新藏交界的阿尔金-西昆仑区域，1900年以来共计发生25次6级以上地震，其中上下弦调制地震有6次，占24%；朔望调制地震有14次，占56%；非调制地震只有5次占20%，该区域受到调制的统计概率80%，也显著高于自然概率60%。其中7次7级以上地震全部处于调制期间。区域C为安徽至江苏至南黄海区域，存在一

个以朔望调制为主的异常区，该区域共发生10次6级地震，其中有6次发生在朔望期间，也显著高于33.3%的自然概率。

通过上述中国大陆强震调制性质的空间分布特征可以看到二级块体内调制性质一致性并不显著，华南地区非调制地震偏高，东北深震朔望调制偏低可能和统计样本数偏少有关。但在个别构造区域却出现了调制性质的高度一致性，如川滇交界区域、阿尔金-西昆仑区域调制地震(包括朔望调制、上下弦调制)、安徽至江苏至南黄海区域朔望调制都显著高于自然概率。

张国民等^[3]研究认为：我国陆区平静期内的7级以上地震基本不受潮汐力触发，而活跃期内82.4%的7级强震发生在受潮汐力触发的月相期。图4是全国以及各二级块体和三个异常区域强震调制系数随时间变化，在新疆、华南、东北区域都存在某个时间段内强震调制性质的一致性。较为显著的是在川滇交界异常区朔望调制和上下弦调制有交替发生的特征。说明在一些构造区域可能某个时间段强震具有调制性质的一致性。



(A 川滇异常区; B 阿尔金-西昆仑异常区; C 苏皖异常区)

图2 中国大陆6级以上地震潮汐调制性质空间分布

Fig.2 The spatial distribution of modulation properties for earthquakes with $M \geq 6$ in Chinese mainland

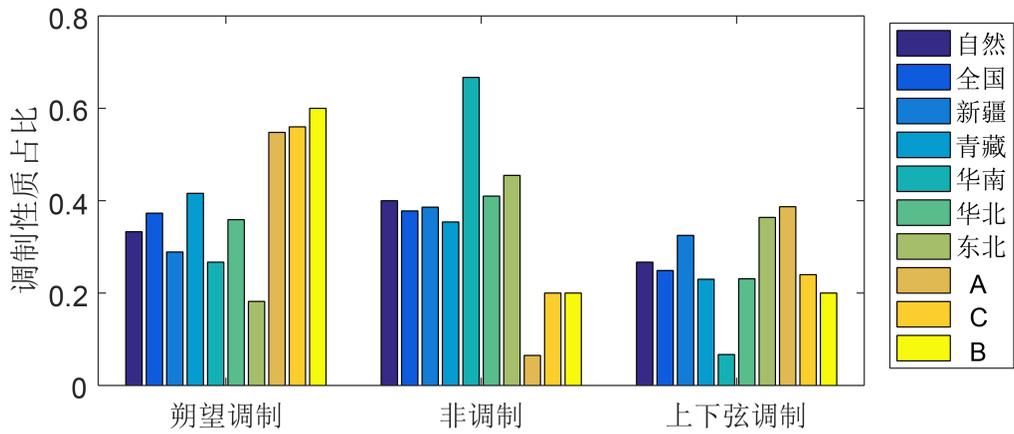


图3 中国大陆分区6级以上地震调制性质占比

Fig.3 The ratio of modulation properties of earthquakes with $M \geq 6$ in Chinese mainland

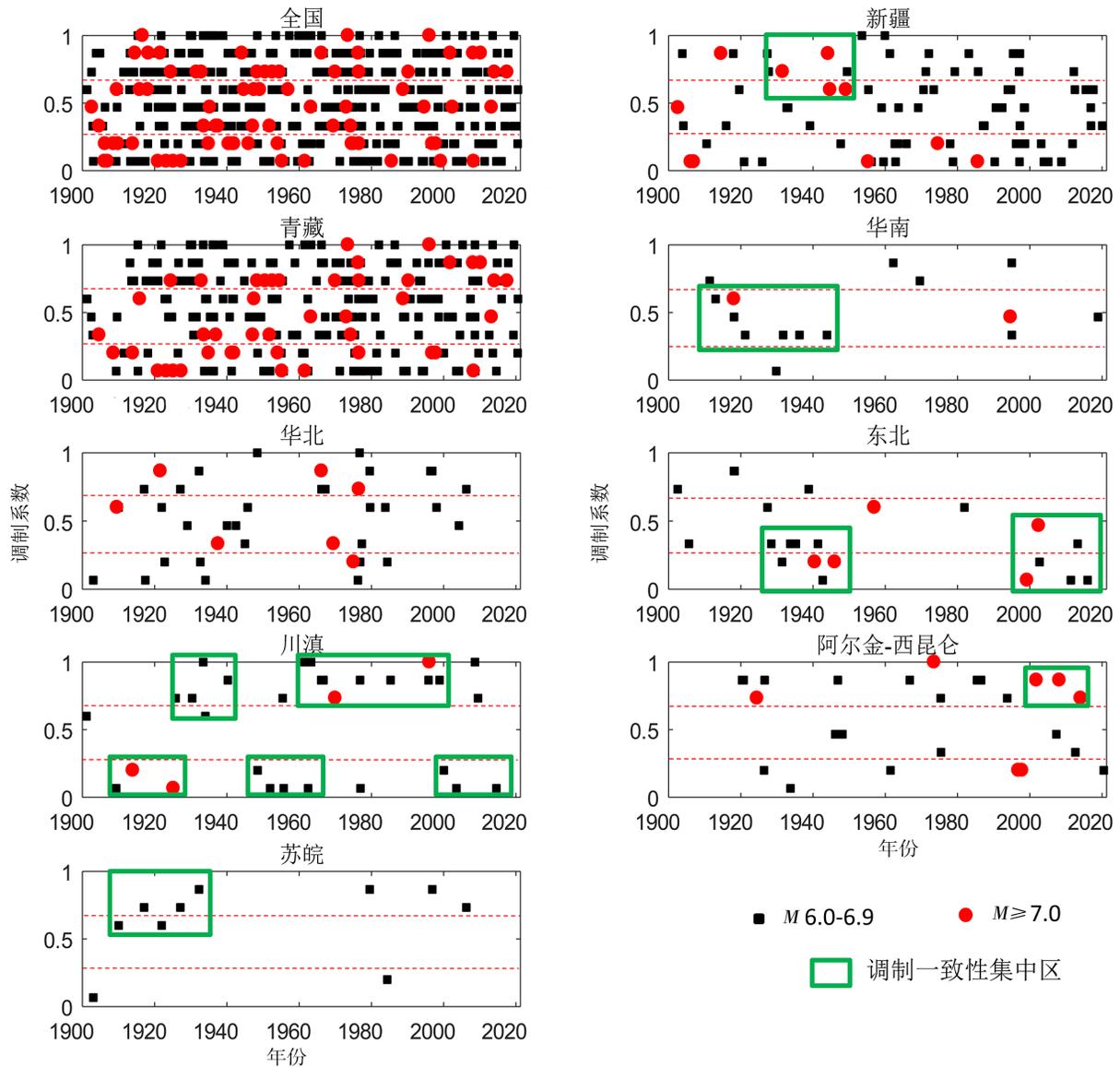


图4 中国大陆6级以上地震各分区调制系数随时间变化

Fig.4 Time variation of modulation factor with earthquakes with $M \geq 6$ in Chinese mainland

3 强震前中小地震调制性质一致性

前人的研究认为一些强震前震源区会出现调制比异常,图5分别为1975年2月4日辽宁海城7.3级地震前、2008年5月12日汶川8.0级地震前3个月震中区附近3级以上中小地震的调制性质分布。这两次地震都属于上下弦调制,震前3个月震中附近的中小地震也以上下弦调制为主,和主震具有一致性,而外围则一致性较差。

选取震中300 km范围内3级以上地震,计算了1975年以来全国17次7级以上地震(去除双震的后一次地震)震前震中周边和未来主震同性性质小震调制比随时间的变化,图6选取了8次震前3个月同性性质小震调制比有显著升高的地震,平均同性性质调制比从震前6个月的0.355升高到震前3个月的0.671。显示了强震孕育的中短临阶段震中区同性性质中小地震调制性质一致性的升高,反映了强震前震源区处于不稳定状态,和未来主震同性性质的月相调制性质可能触发更多中小地震的发生。

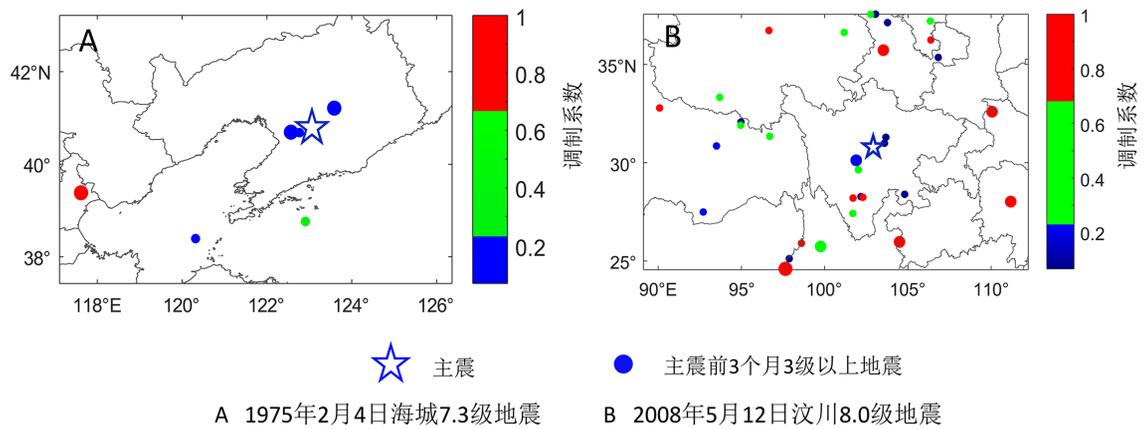


图5 海城、汶川地震前震中区中小地震调制性质分布
 Fig.5 Distribution of modulating properties of small and moderate earthquakes in the epicentral region before the Haicheng and Wenchuan earthquakes

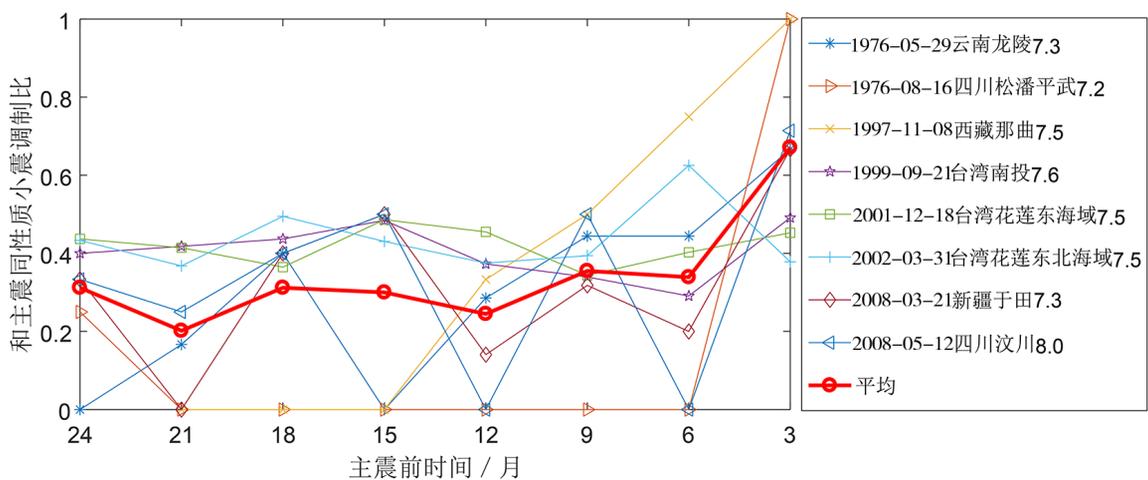


图6 部分7级以上地震震前3级地震同性性质调制比随时间变化
 Fig.6 Time variation of the same property modulation ratio of earthquakes with $M \geq 3$ before some earthquakes with $M \geq 7$

4 结论和讨论

本文中利用阴历月历计算得到的调制系数,统计了中国大陆强震的调制性质时空分布特征。二级块体内强震调制性质一致性并不显著,但在个别构造区域却出现了调制性质的高度一致性,如川滇交界区域、阿尔金-西昆仑区域调制地震(包括朔望调制、上下弦调制)、安徽至江苏至南黄海区域。在新疆、华南、东北区域都存在某个时间段内强震调制性质的一致性。统计全国7级以上地震震前震中周边和未来主震同性小震调制比随时间的变化,发现部分地震在震前3个月有较为显著的调制比升高的现象。因此中小地震的调制性质一致性升高可以在部分区域作为强震中短临的一个预测指标。

强震调制性质一致性的时空间分布可能和构造特征以及强震的破裂方式,时间上可能与所处的平静、活跃幕有关。强震前震中区中小地震调制性质一致性的升高可能反映了高应力状态下,系统失稳前的一段时间内,和未来主震同性质的月相更容易引起震源区中小地震的发生。

参考文献

- [1] 秦保燕,姚立殉,徐纪人,等. 西海园地区小震调制特征[J]. 西北地震学报,1983,5(S1):1-5.
- [2] 秦保燕,汪进,姚立殉,等. 由调制小震法初探中、强地震时空强预报[J]. 地壳形变与地震,1986,6(4):293-30
- [3] 张国民,李丽,黎凯武,等. 强震成组活动与潮汐力调制触发[J]. 中国地震,2001,17(2):110-120.
- [4] 张晓东,秦保燕. 青海地震的固体潮时空调制[J]. 高原地震,1995,7(3):9-14.
- [5] 张晓东,秦保燕. 调制块比在地震中期预报中的应用[J]. 地震,2000,20(1):27-31.
- [6] 谷光裕,王玉莹,赵振,等. 固体潮高时段地震活动特征与小震调制比R异常的判定[J]. 东北地震研究,1999,15(4):9-17.
- [7] 汪翠枝,曹井泉,郭洪丽,等. 川滇地区调制/非调制地震短期震兆特征研究[J]. 中国地震,2010,26(2):210-217.
- [8] 王慧敏,吕梅梅,张晓东,等. 成丛强震前调制地震异常分布图像及预测意义[J]. 地震,2004,24(S1):69-76.
- [9] 王炜,宋先月,谢端,等. 地震调制比及其在华北地震中期预报中的应用[J]. 地震,2001,21(2):7-12.
- [10] 韩颜颜,孟令媛,刘桂萍,等. 西北地区中强震前固体潮调制比时空特征分析. 地震学报,2017,39(5):738-750.
- [11] 余娜,毕金孟,蒋长胜. 基于ETAS模型对青海地区余震预测效能评估的研究[J]. 地震工程学报,2020,42(3):696-704.
- [12] 段博儒,郭安宁. 青藏高原西北地区与南北地震带地震活动性研究[J]. 地震工程学报,2020,42(5):1077-1084.