

顾瑾萍、郭铁栓、姜龙, 2012, 水平引潮力极值天体时角表征与调制的讨论, 中国地震, 28(1), 61 ~ 68。

水平引潮力极值天体时角表征与调制的讨论

顾瑾萍 郭铁栓 姜龙

中国地震台网中心, 北京西城区三里河南横街 5 号 100045

摘要 讨论了引潮力与中、强地震发生的可能关系。进行了水平引潮力极值条件分析, 研究了满足水平引潮力极值条件下的天体时角表征的地震活动可能存在的应力调制。其技术途径是在一定的时窗内, 通过地震目录资料的天体时角计算, 求出满足水平引潮力极值条件时所出现的调制地震活动场的时空特征, 继而研究这些时空特征与未来中强地震三要素的关联, 以期获取地震预测信息。

关键词: 水平引潮力极值条件 天体时角表征 极值调制 地震预测

[文章编号] 1001-4683 (2012) 01-061-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

解决地震预测问题一般有两个途径, 即比较精确地给出地震活动的“动力学”方程或者通过地震活动的“运动学”现象找出较明显的地震活动规律。本文试图采用第 2 种方式进行讨论。

3000 年前, 中国的“竹书记年”中就有“帝癸十年, 五星错行, 夜中陨石如雨, 地震, 伊、洛竭”的记载。王充《论衡》中有了晏子与太卜已根据天象进行地震预测的记载。大约在公元 17 世纪, 国外就有了关于地震前后伴生天象异常的研究报道。公元 20 世纪以来, 大量地震资料的分析使人们开始重新注意宇宙圈与地震的关系 (Klein, 1964; 郭增建等, 1980; Bodri et al, 1988; Deng et al, 1999; Rydelek et al, 1999), 研究内容涉及到引潮力位、潮汐应力、应变及其时间函数的讨论和相应参数的时空变化特征等。

本文提出以固体地球水平引潮力极值天体时角表征为特征量, 讨论地震发生的应力调制思路, 主要基于以下一些研究结果。

有研究认为: 中强以上地震的发生可能与水平引潮力极值状态有关。如 1966 年邢台、1967 年河间和 1976 年唐山等几次强地震的发震时间都在朔、望的半日潮水平引潮力极大值时刻附近 (黎凯武, 1998)。而当处于朔、望大潮时, 半日潮水平引潮力的极大值时刻即为总的水平引潮力极大值时刻。对上世纪全球 7 级强震的统计也表明 (李延兴等, 2001), 许多大震都发生在日、月对震中区水平引潮力的极值附近, 这表明大地震的发生与水平引潮力

[收稿日期] 2010-10-13

[项目类别] 中国地震局地震科学联合基金资助 (项目编号 106038)

[作者简介] 顾瑾萍, 女, 1944 年生, 研究员。主要从事地震学和地震综合预报研究及研究生培养等工作。

E-mail: gujinping1000@126.com

极值状态可能有关,即大地震活动可能存在极值调制的问题。

有人通过华北地区 46 次 $M_L \geq 5$ 地震发生时震中位置固体潮相位的计算,发现中强地震有接近 70% 发生在固体潮的 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 相位时段,而此时的天体引潮力也正处于极值状态之一(陈建国,2004)。

另外,在天体时角变化与地震发生的关联探究中,陈荣华(1998)研究了强地震前显著地震活动的地方平太阴时特征,并通过对我国 6 级以上地震资料进行统计后认为,强震前往往会至少有 2 个显著地震存在地方平太阴时非常接近的现象。并利用前苏联米亚奇金的工作及被调裂缝的扩张机制进行了解释。

既然固体地球水平引潮力极值状态可能与中、强地震的发生有关,那么假如水平引潮力的极值条件可以用天体时角来表征,就有可能通过水平引潮力极值状态下的天体时角作为研究其与中、强地震发生关系的特征值。于是提出水平引潮力天体时角表征的极值调制预测思路。研究内容包括:水平引潮力极值条件的天体时角表征定量途径、水平引潮力极值调制地震活动的物理基础以及实际应用的可能等。

1 引潮力极值条件的天体时角表征

根据弹性理论的应力应变本构方程可以得到固体地球不同类型潮汐的各应力分量。潮汐应力场是随时间和空间变化的函数,这个场具有交变的性质。因此,潮汐应力场可表现为地球的一个附加应力场,它使孕震区介质除承受构造背景应力场外,还附加的、交替的处于压缩或拉张状态(顾瑾萍等,2000)。

从定量角度上讲,日、月对地球壳内任一点 P 的引潮力位 W 的计算公式可描述为

$$W = fm/2r_c + fm\rho_c^2/2r_c^3 [(3\cos^2 Z - 1) + \rho_c/r_c (3\cos Z - \cos^3 Z)] \quad (1)$$

$$\cos Z = \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\tau$$

$$\tau = S_0 + T(1 + \mu) + \lambda - \alpha$$

其中, f 为引力常数, m 为天体质量, r_c 为天体间的质心距, ρ_c 为地壳内任一点 P 的球心距, Z 为 P 点相对天体的天顶距, ϕ 、 λ 为 P 点的地理经纬度, δ 、 α 为天体的赤经、赤纬, τ 为天体相对 P 点的时角; S_0 为世界时, T 为零时的恒星时, μ 为世界时与恒星时的转换系数。天体对地壳内任一点 P 的引潮力的纬向分量和经向分量为

$$F_\varphi = 2K(\sin 2\phi \sin^2 \delta + \cos 2\phi \sin 2\delta \cos \tau - \sin 2\phi \cos^2 \delta \cos^2 \tau) \quad (2)$$

$$F_\lambda = -2K(\sin \phi \sin 2\delta \sin \tau + \cos \phi \cos^2 \delta \sin 2\tau)$$

其中 K 为引潮力常数。求天体对地壳内任一点 P 水平引潮力的极值条件如下,对于某一指定时刻 t , δ 即为已知定值, F_ϕ 、 F_λ 只是 ϕ 、 τ 的函数。所以求 F_ϕ 对 ϕ 、 τ 的一阶导数,并使其等于零时,则可得到

$$\cos 2\phi \cos^2 \delta \cos^2 \tau + \sin 2\phi \sin 2\delta \cos \tau - \cos 2\phi \sin^2 \delta = 0 \quad (3)$$

$$\sin \tau (\sin 2\phi \cos \delta \cos \tau - \cos 2\phi \sin \delta) = 0$$

由此,可求得 3 种以 τ (天体时角) 为表征参数的水平引潮力极值条件(李延兴等 2001)。即

$$\operatorname{tg} 2\phi = -\operatorname{ctg} 2\delta \quad (4)$$

$$\tau = 0^\circ$$

$$\operatorname{tg} 2\phi = \operatorname{ctg} 2\delta \quad (5)$$

$$\begin{aligned}\tau &= 180^\circ \\ \phi &= \pm 45^\circ \\ \tau &= 90^\circ, 270^\circ (\delta \neq 0)\end{aligned}\quad (6)$$

从上述结果可知,天体对地壳内任一点 P 满足一定的相对位置条件后,水平引潮力出现极值的 3 种情况中,天体时角为水平和垂直是一个必要条件。即可用它来讨论天体运动可能对地震活动产生的极值调制效应。

2 水平引潮力极值调制地震活动的物理基础

较多震例表明,震源孕育过程似可用裂隙串通模式(IPE 模式)解释。即大地震前地震活动向未来主断层集中,且相应的一些显著地震发生在平行于主断层的较大断裂上,这时地震活动表现出有序性,成为目前常用的地震活动空间前兆之一。而水平引潮力极值的存在,通过同一属性的调制单元互相关联作用,这种有序性的显示可能会得到提升。这就是考虑水平引潮力极值调制可资利用的依据。

地球岩石圈系统可以看成是由不同层次的块体组成的,大的块体如板块,小的块体如矿物颗粒。由于地球岩石圈系统的不断运动,提供了持续的能量供给,使岩石圈系统不同的层次、块体之间存在着非线性的相互作用,这样的—个动力系统可能自发地演化到偏离平衡状态,继而通过某种途径再达到平衡。这似可假定地球岩石圈的运动从一定意义上满足 SOC 模型(Bak et al, 1988; 吴忠良, 1998)。由此在讨论天体时角表征的水平引潮力对地震活动进行极值调制时,可以不必考虑地震动力学的细微过程,也可不把视野局限在传统地震学研究的“震源区”的狭小范围内,而从“长程关联”的角度分析地震源区应力作用的局域性与地震前兆区的大尺度性之间的矛盾。一旦系统出现自组织临界状态的“锁定”(偏离平衡状态)迹象时,某些构造应力场的异常信息就可能显示。这似可看成是水平引潮力出现极值时地震场被调制的物理基础。

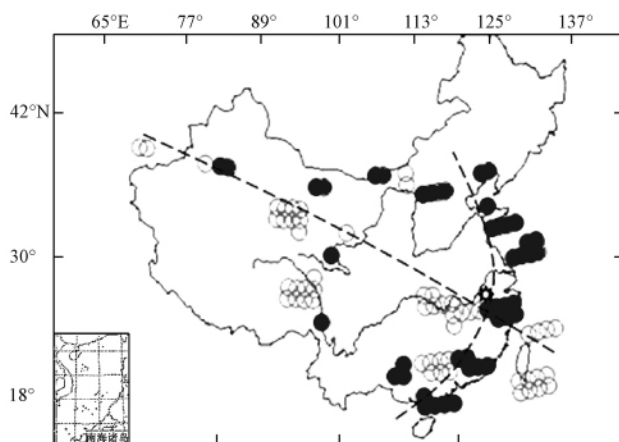
3 水平引潮力极值调制时空扫描分析

在满足上述天体时角对水平引潮力极值条件表征的方程时,一个时间窗内会发生各种不同属性的调制地震。当各单元某类属性调制地震的发生率超过相对全区域扫描时此类属性调制地震的设定阈值时,则该单元被判为该类属性的调制单元。然后探讨中强地震前,各类调制单元的时空分布特征。具体处理时,研究区内的一个基本单元大小可取为经纬度 $1^\circ \times 1^\circ$ 进行空间扫描,生成水平引潮力极值调制地震场图像。

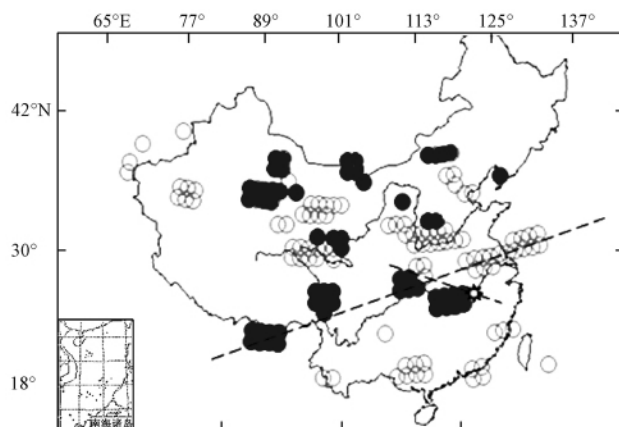
首先以 4 次中强地震的实际结果为例,对极值调制地震活动的特征进行讨论。图 1(a)~(d) 分别为 1979 年 7 月 9 日江苏溧阳 6.0 级、2005 年 4 月 8 日西藏仲巴 6.5 级、2005 年 11 月 26 日江西九江 5.7 级和 2007 年 6 月 3 日云南普洱 6.4 级地震前所对应的极值调制图像。由图 1 可见,中强震前极值调制图像有以下特征:

① 在未来的中强震震中附近,出现极值调制单元密集区,密集区持续展布范围的大小在整个扫描空间中往往是显著的。如图 1 所示,江苏溧阳 6.0 级地震和江西九江 5.7 级地震前都出现这种密集区,它们可能大致指示未来震中位置。但如果这种密集区附近发生中等地震时也会出现这种图像。如图 1 所示,2007 年 6 月 3 日云南普洱 6.4 级地震前在大华

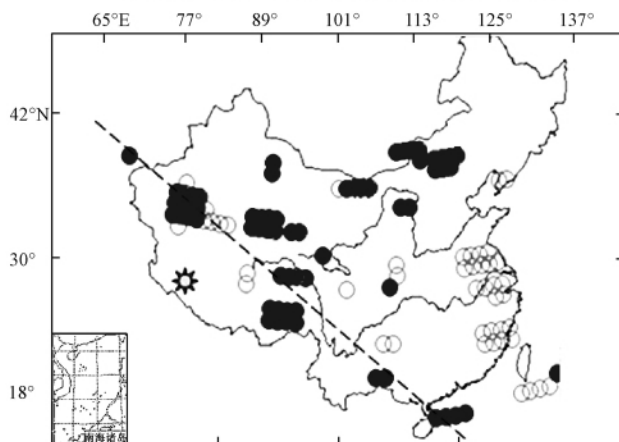
北西南部位也出现一片密集区,这可能是由于在2007年6月3日湖北江陵发生 $M_L 4.2$ 地震所致。这对云南普洱6.4级地震震中位置的指示是一种干扰。



(a) 1979年7月9日江苏溧阳6.0级地震前的极值调制图像



(b) 2005年11月26日江西九江5.7级地震前的极值调制图像



(c) 2005年4月8日西藏仲巴6.5级地震前的极值调制图像

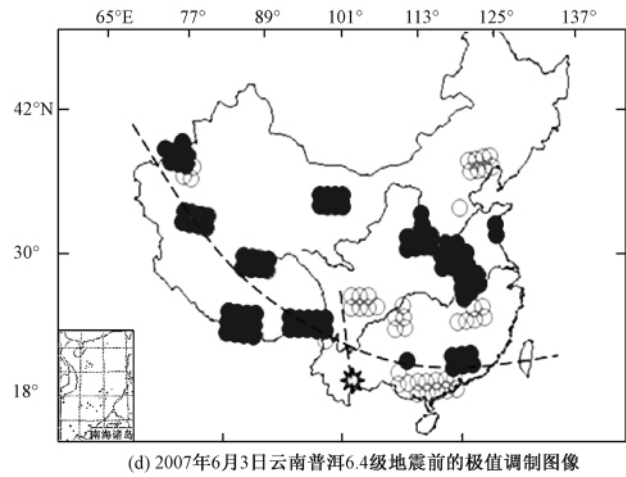


图 1 4 次中强地震前的天体时角极值调制空间扫描图像
空圈和实圈分别为两类极值调制单元;虚线为调制单元分布特征线;星号为震中

② 整个扫描范围内,两类属性的调制单元出现有序分布。如同一个属性的调制单元成带、成块或两种属性调制区域界线分明等,未来地震经常发生在界线附近。如江苏溧阳 6.0 级地震前一种调制单元沿 NW-SE 分布,而另一种调制单元大致沿 N-S 分布,溧阳地震发生在二者交汇处附近;江西九江 5.7 级地震发生在近 E-W 向分布的调制单元密集带上的两种属性调制区域分界线附近。特征②由“长程关联”提供了场上信息,并对未来震中区有提示意义。

③ 6 级以上地震前往往某类属性的调制单元分布的面积较大。如 2005 年西藏仲巴 6.5 级和 2007 云南普洱 6.4 级地震前全国范围分布着大面积的单一属性调制单元(图 1 (c)、(d))。震例表明单一属性调制单元占有范围相对大,未来地震的震级也可能相对大。

④ 有的地震前,整个扫描范围内布满某单一属性的调制单元,而恰恰在未来震中附近会出现调制空区,这也提示了未来中强地震的可能发生在调制空区部位。如 2005 年西藏仲巴 6.5 级和 2007 年 6 月 3 日云南普洱 6.4 级地震前都有类似特点。

地震 3 要素预测的一般依据:对发震时刻,一般针对下 1 个时间窗;震级由极值调制单元覆盖的面积大小来估计,当调制单元覆盖的面积大且出现的特征又多又强时,估计未来地震的震级会增大;未来震中的地点一般在同一个属性的极值调制单元带或极值调制单元密集块附近。

以 2005 年为例进行极值调制图像的逐月综合预测分析(表 1)。在表 1 中,“密集单元块大小”栏是对特征①的定量描述,表示该时间窗(月)最大极值调制单元密集块所占的单元数。“调制单元总数”栏是对特征③的定量描述,以 36 个单元为 1 个记数单位来判定该时间窗对极值调制的响应程度。“图像特征”栏中的序号与上文关于特征讨论的序号一致,序号的右上角出现“+”号表示该特征被强化(例如出现一个时间窗内的统计数要超过阈值的半个均方差以上)。

表 1 中,“密集单元块大小”栏的阈值取 16,“调制单元总数”栏阈值取 14,并结合“图像

特征序号”栏中出现的①、②、③、④几个特征作综合判定。

表 1 2005 年逐月地震活动的极值调制特征

2005 年 (月份)	最大震级 M_s	密集单元块大小 ($1^\circ \times 1^\circ$)	调制单元总数 ($1^\circ \times 1^\circ$) $\times 36$	图像特征序号
01	5.0 (云南)	16	5	①, ④
02	6.2 (新疆)	16	14	①, ②, ③ ⁺
03	—	8	7	②
04	6.5 (西藏)	12	14	② ⁺ , ③, ④
05	—	16	12	①
06	5.9 (西藏)	8	19	② ⁺ , ③ ⁺
07	5.1 (黑龙江)	16	18	①, ② ⁺ , ③ ⁺ , ④
08	5.3 (新疆)	16	7	①, ②
09	—	13	8	—
10	—	12	13	—
11	5.7 (江西)	26	14	① ⁺ , ② ⁺ , ③ ⁺
12	—	32	8	① ⁺ , ②

注:图像特征的右上角出现“+”号表示该特征明显

实际上,地理位置的影响很难排除。如 2005 年 7 月份,只在黑龙江发生 5.1 级地震,但显示的异常特征却十分强烈,这时我国周边有 4 次 5 级地震。而 2005 年 8 月份的新疆地震由于地处边疆,受观测能力所限,特征信息显示很弱。

4 极值调制和构造应力场的关系

下面讨论极值调制图像与构造应力场关系。江苏溧阳 6.0 级地震前,两类调制单元分界沿 NW-SE 走向展布,与表 2 震源机制解中节面 1 的走向正交,与节面 2 的走向基本一致。而 NW-SE 走向的板桥-南渡断裂可能是该地震的发震断裂。江西九江 5.7 级地震发生在襄樊-广济断裂和郯鲁地震带南端九江-靖安断裂的交汇处,它们分别与表 2 中的 2 个节面解比较一致。2008 年 5 月 12 日发生汶川 8.0 级大地震,图 2 为计算得到的天体时角极值调制空间扫描图像,可见 NNW 走向的分界线与发生汶川 8.0 级地震单侧破裂的 NNE 向龙门山构造带正交。

表 2 江苏溧阳 6.0 级和江西九江 5.7 级地震的震源机制参数

序号	日期 (年-月-日)	位置		震级	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴	
		Φ_N	λ_E		走向 ($^\circ$)	倾向	倾角 ($^\circ$)	走向 ($^\circ$)	倾向	倾角 ($^\circ$)	方位 ($^\circ$)	仰角 ($^\circ$)	方位 ($^\circ$)	仰角 ($^\circ$)
1	1979-07-09	31°30′	119°18′	6.0	33	NW	60	119	SW	83	238	25	251	16
2	2005-11-26	29°43′	115°43′	5.7	60	ES	-130	325	WS	-6	297	36	183	26

这些实际结果与吴小平等(2001)通过对地震震源处沿主压应力 P 轴和主张应力 T 轴方向的附加潮汐应力分量的计算,并结合岩石力学莫尔-库仑准则理论说明附加潮汐应力可能调制发震断层的结果是相符的。

5 讨论

目前的地震预测研究处于难度巨大、鲜有突破的阶段,因此探索视野的拓展与深入十分重要,本文正是缘于这一点而进行的努力。但基于学科本身的特点及研究领域的现实局限

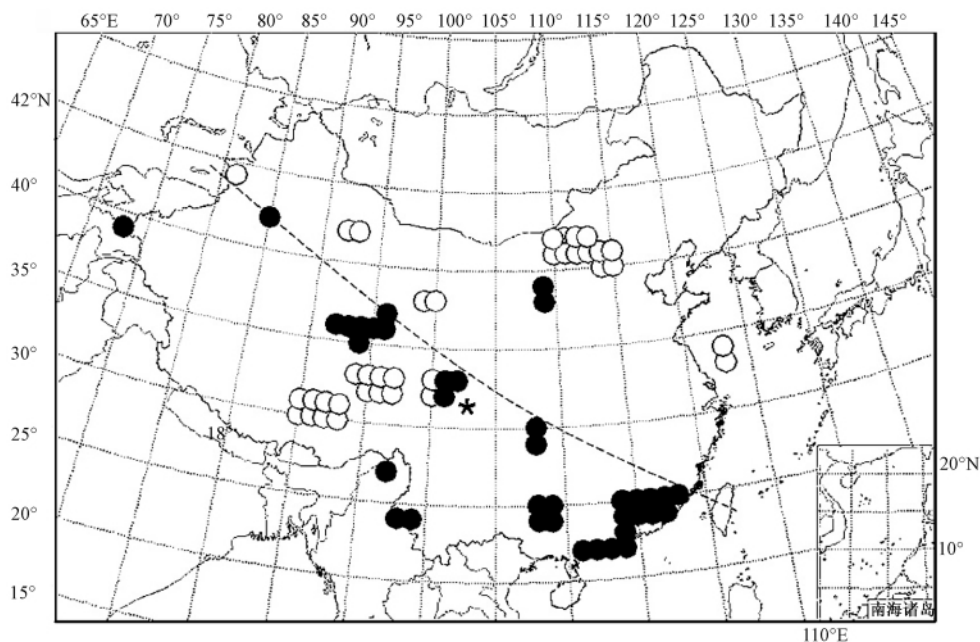


图2 汶川8.0级地震前天体时角极值调制空间扫描图像
空圈和实圈分别为两类极值调制单元；虚线为调制单元分布特征线；星号为震中

性,本文的讨论肯定是初步的和尝试性的,还有不少疑难问题需要深入研究。

(1) 目前在引潮力和地震发生的关系研究中存在一些难度,如直接计算水平引潮力的研究有待进一步考虑,如在一些参数预测方法中,主震前利用发震断层参数建立计算条件尚有问题;另外,主震前显著地震震源机制也很难得到等等。

(2) 若用裂隙串通模式(IPE)解释震源孕育过程中空间有序性的地震活动前兆,那么在地壳中任一点P水平引潮力出现极值的情况下,同一属性的调制单元形成的引潮力的有序性和空间上地震活动的有序性前兆之间就可能有一定的联系。这是水平引潮力极值调制应用的考虑依据。但极值状态的水平引潮力与震源断层力系的互相作用可改变断层面上的剪切应力或正应力(摩擦力)状态,这一物理基础的探讨还有待深入。

无论如何当地壳中任一P点与天体满足一定的相对位置条件后,引潮力出现极值对未来中强地震的发生只是一个必要条件,而不是充分必要条件。并且,时角对水平引潮力极值条件的表征不单纯对着P点的,而是在同经度上的任一点都满足这种条件。所以作三要素预测时只考虑水平引潮力极值条件,很不严格。尤其在地点预测时只能作为一种背景依据,可提供的参考区域比较大。

(3) Bak等(1988)认为,按SOC模型,尽管地球岩石圈系统中各单元之间的相互作用是局域的,系统中仍可以存在“长程关联”。但由于自由度很大甚至可以为无穷,故对该系统中涨落事件的确定性的预测原则上是不可能的。本文作为尝试性的工作,在实践中虽有可能贴近实际结果,但总的讲,是半经验半定量的,方法表现出巨大的复杂性。

(4) 依本文思路进行地震三要素分析预测时,信息中往往存在着干扰。例如把时间窗

长取为 1 个月,实际上回避了调制过程中各种复杂的周期性;分析“长程关联”效用时,相应观测台网的地理位置影响难以排除。另外,预测实践和研究结果有时会差距较大。如 2005 年的九江地震,实际预测中估计震中可以偏离约 350km。

期望本文提出的思路与进行的讨论能起到抛砖引玉的作用。

参考文献

- 陈荣华,1998,显著地震地方平太阴时分布及其在伽师地震短临预报中的应用,地震,18(2),134~140。
- 陈建国,2004,应变固体潮相位与地震关系的研究,华北地震科学,22(2),45~49。
- 郭增建、秦保燕,1980,论短临地震预报的调制模式,西北地震学报,2(1),18~26。
- 顾瑾萍、吕培苓、李纲,2000,应力调制与预报研究,地震,20(3),16~24。
- 李延兴、耿红,2001,大地震纬向分布的基本规律与动力学解释,地震,21(2),1~6。
- 黎凯武,1998,日月引潮力触发地震的一个证据——论邢台、河间、唐山地震的时间特性,地震学报,20(5),545~551。
- 吴忠良,1998,自组织临界性与地震预报,中国地震,14(4),1~10。
- 吴小平、黄雍、胡家富等,2001,地震主应力方向的附加潮汐应力计算及其对发震断层的作用方式研究,地震研究,24(1),48~54。
- Bak P, Tang C, Wiesenfeld K, 1988, Self organized criticality, Phys Rev, A38, 364~374.
- Bodri B, Iizuka S, 1988, On the Correlation between Earth Tidal and Micro Seismic Activity, Physics of the Earth Planet Interiors, 55, 126~134.
- Deng J, Hudnut K, Gurnis M, et al, 1999, Stress loading from viscous flow in the lower crust and triggering of aftershock following the 1994 Northridge, California, earthquake, Geophys Res Lett, 26, 3209~3212.
- Klein F W, 1964, Earth tide as a triggering mechanism for earthquakes, BSSA, 1964, 54(9), 1865~1870.
- Rydelek P A, Sacks I S, 1999, Large earthquake occurrence affected by small stress changes, BSSA, 89, 822~828.

Globe time angle as a token of horizontal tidal force extreme and earthquake modulation

Gu Jinping Guo Tieshuan Jiang Long

China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract Based on analysis of the horizontal tidal force extreme condition symbolized by globe time angle the modulation of earthquake activity is discussed in this paper. By the calculation of globe time angle for micro earthquakes satisfying the condition of the horizontal tidal force extreme modulation, some prediction messages of a recent moderate or strong earthquake in the research region are hoped to be obtained.

Key words: The horizontal tidal force extreme condition Globe time angle as a token of extreme modulation Earthquake forecast