

张辉、张浪平、徐辉等, 2013, 中国大陆 $M_s \geq 7.0$ 地震与潮汐库仑破裂应力关系研究, 中国地震, 29(1), 48 ~ 56。

中国大陆 $M_s \geq 7.0$ 地震与潮汐库仑破裂应力关系研究

张辉^{1,2)} 张浪平³⁾ 徐辉¹⁾ 王熠熙¹⁾

1) 中国地震局兰州地震研究所, 兰州市东岗西路 450 号 730000

2) 兰州地球物理国家野外科学观测研究站, 兰州市东岗西路 450 号 730000

3) 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

摘要 选取 1900 ~ 2012 年中国大陆 $M_s \geq 7.0$ 浅源地震为研究对象, 计算日月潮汐在发震断层引起的库仑破裂应力, 确定潮汐相位角。通过 Schuster 检验, 定量分析了中国大陆强震与日月潮汐库仑破裂应力之间的相关性。结果表明, 具有震源机制解的 57 次强震中, 71.9% 的强震发生在潮汐加载相位区间, Schuster 检验 p 值为 3.83%, 显示中国大陆 7 级强震与潮汐库仑破裂应力间存在很好的相关性。活跃期 p 值为 4.56%, 75.5% 的地震发生在潮汐加载相位区间; 而在平静期发生在加载相位区间的地震比例为 50%。表明活跃期内的强震受潮汐库仑破裂应力的加载触发更为显著。

关键词: 日月潮汐 触发 潮汐相位 库仑破裂应力

[文章编号] 1001-4683(2013)01-0048-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震已被证明是开放系统的产物, 尤其大地震属于复杂系统的产物。在地震的孕育、发展的过程中, 与外界乃至宇宙中的多种物质进行着能量与物质的交换。当孕震系统中构造应力积累到达临界状态时, 外界的因素就有可能对其造成影响, 使地震提前或延后发生。

日月潮汐是指由月亮和太阳的引力而引起的地球弹性变形现象。日月潮汐引起地壳局部应力变化的量级为 10^3 Pa, 虽然它不是地震发生的主要原因, 但对于处在高应力、临界状态的孕震系统往往可以起到关键的触发作用。已有研究表明 (Tsuruoka et al, 1995) 日月潮汐对地震的发生有着不可忽视的影响。近年来, 地震学者从地震断层类型、潮汐剪应力等方面讨论了固体潮与地震之间的关系, 取得了许多重要的研究成果。Heaton (1975) 研究认为潮汐应力对倾滑型或斜滑型地震有明显的触发作用。高锡铭等 (1981) 研究发现沿断层错动矢量的潮汐剪应力对地震的触发作用更明显, 斜滑型地震与潮汐最大剪应力的相位有极

[收稿日期] 2012-09-14; [修定日期] 2012-10-12

[项目类别] 中国地震局兰州地震研究所地震科技发展基金(2012M01)、国家自然科学基金(41174059)和中国地震局定向跟踪任务(2012020101)共同资助

[作者简介] 张辉, 男, 1978 年生, 助理研究员, 主要从事地震学及数字地震资料的应用研究。

E-mail: zhh_gx@163.com

好的相关性。Tanaka 等(2002)利用全球 9350 次 $M_w \geq 5.5$ 地震的震源机制解,分析了潮汐在断层面上的剪应力与地震发生的相关性,认为逆断层的剪应力分量与地震的相关性很高。Cochran 等(2004)根据精确的海洋潮汐数据和大量地震震源机制解的数据,利用 Schuster 检验方法进行研究后认为,浅源逆冲型地震与潮汐的相关性高,并且还得到应力增加期间的地震次数要比减小期间多的结果。张晶等(2007)分析了 9 大地震断层面上的潮汐正应力和滑动方向的潮汐剪应力及其变化率,结果显示多数地震在发震时刻潮汐剪应力接近最大值。许亚吉等(2011)计算了全球 20395 个地震断层发震时潮汐库仑破裂应力,认为断层上潮汐库仑破裂应力的性质和特征与断层的类型、走向和位置密切相关,可用于直接判断地震断层所受到的潮汐应力作用性质。

本文利用收集到的 1900 ~ 2012 年中国大陆 $M_s \geq 7.0$ 浅源地震的震源机制解,通过理论计算日月潮汐在发震断层面引起的潮汐库仑破裂应力,确定潮汐相位,再利用 Schuster 检验方法,定量分析中国大陆强震与日月潮汐库仑破裂应力之间的关系。

1 理论与方法

1.1 潮汐应力

假设地球内部的物理性质具有球对称性,球坐标系中起潮力在地球内部任一点的理论潮汐正应变(南北向 $e_{\theta\theta}$ 、东西向 $e_{\lambda\lambda}$)和剪应变 $e_{\theta\lambda}$ 表示为(蒋骏等,1995)

$$\begin{cases} e_{\theta\theta} = \frac{1}{rg} \sum_{n=2}^{\infty} [L_n(r) \frac{\partial^2 V_n}{\partial \varphi^2} + H_n(r) V_n] \\ e_{\lambda\lambda} = \frac{1}{rg} \sum_{n=2}^{\infty} [L_n(r) \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} \cdot \frac{\partial^2 V_n}{\partial \lambda^2} - \tan \varphi \frac{\partial V_n}{\partial \varphi} \right) + H_n(r) V_n] \\ e_{\theta\lambda} = -\frac{1}{rg} \sum_{n=2}^{\infty} L_n(r) \left[\frac{1}{\cos \varphi} \cdot \frac{\partial^2 V_n}{\partial \varphi \partial \lambda} + \frac{\tan \varphi}{\cos \varphi} \cdot \frac{\partial V_n}{\partial \lambda} \right] \end{cases} \quad (1)$$

对于各向同性介质,应力与应变满足广义胡克定律: $e_{ij} = 2\mu e_{ij} + \lambda \Theta \delta_{ij}$ 。

整理得到球坐标系中南北向 $\sigma_{\theta\theta}$ 、东西向潮汐正应力 $\sigma_{\lambda\lambda}$ 和剪应力 $\sigma_{\theta\lambda}$

$$\begin{cases} \sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{rg} \sum_{n=2}^{\infty} [B_n \frac{\partial^2 V_n}{\partial \varphi^2} + C_n V_n] \\ \sigma_{\lambda\lambda} = \frac{1}{rg} \sum_{n=2}^{\infty} [B_n \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi} \cdot \frac{\partial^2 V_n}{\partial \lambda^2} - \tan \varphi \frac{\partial V_n}{\partial \varphi} \right) + C_n V_n] \\ \sigma_{\theta\lambda} = -\frac{1}{rg} \sum_{n=2}^{\infty} B_n \left[\frac{1}{\cos \varphi} \cdot \frac{\partial^2 V_n}{\partial \varphi \partial \lambda} + \frac{\tan \varphi}{\cos \varphi} \cdot \frac{\partial V_n}{\partial \lambda} \right] \end{cases} \quad (2)$$

其中

$$\begin{cases} B_n = 2\mu L_n(r) \\ C_n = \lambda \left\{ [rH'_n(r) + nH_n(r)] + \frac{2(\lambda + \mu)}{\lambda} H_n(r) - n(n+1)L_n(r) \right\} \end{cases}$$

式中 r 为地心向径; g 为地球的平均重力; V_n 为 n 阶引潮位,对于月球,引潮位一般取 3 阶,太阳取至 2 阶(郗钦文等,1986); φ 为地球内部任一点的地理纬度; $L_n(r)$ 、 $H_n(r)$ 为 Love 函数; $H'_n(r)$ 为 Love 函数的 1 阶导数; λ 、 μ 为拉梅常数; θ 为体积应变; B_n 、 C_n 为潮汐应力系数。

根据上述方法分别计算月亮和太阳在震源处球坐标下的潮汐应力分量,然后对月亮和太阳产生的潮汐应力分量进行叠加。按照震源机制解参数,通过旋转矩阵将球坐标下的日月潮汐应力转换到断层走向、倾向和滑动方向的应力,得到发震断层面上的潮汐正应力 σ 和沿滑动角方向的潮汐剪应力 τ (尹祥础,1985),具体转换公式如下

$$\begin{aligned}\sigma &= e_{\theta\theta} \sin^2 \phi \sin^2 \delta + e_{\lambda\lambda} \cos^2 \phi \sin^2 \delta + 2e_{\theta\lambda} \sin \phi \cos \phi \sin^2 \delta \\ \tau &= \sin \delta \cos \lambda [0.5 \times (e_{\lambda\lambda} - e_{\theta\theta}) \sin 2\phi - e_{\theta\lambda} \cos 2\phi] \\ &\quad + \sin \delta \cos \delta \sin \lambda (e_{\theta\theta} \sin^2 \phi + e_{\lambda\lambda} \cos^2 \phi + 2e_{\theta\lambda} \sin \phi \cos \phi)\end{aligned}\quad (3)$$

其中 ϕ 为断层面走向, δ 为倾角, λ 为滑动角, 如图 1 所示。在图 1 (b) 中, T 为作用在断层面上的潮汐应力。

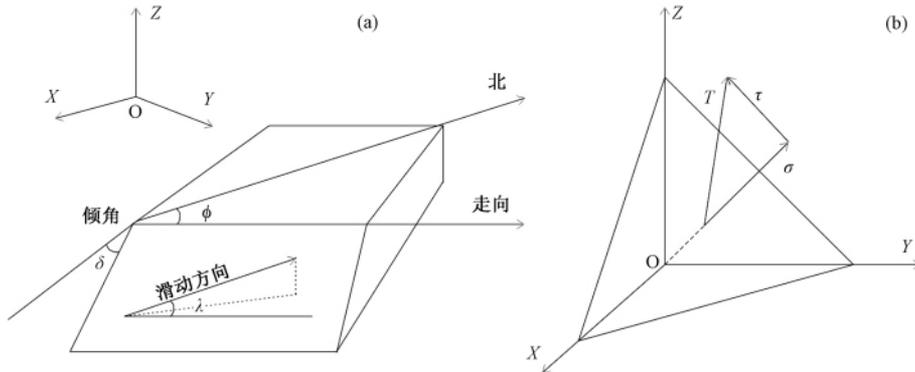


图 1 (a) 断层面参数; (b) 断层面上的潮汐应力示意图

1.2 潮汐库仑破裂应力

潮汐库仑破裂应力 (Stein, 1999) 是固体潮在地震断层面上产生的库仑破裂应力, 其原理类似于地震库仑破裂应力。根据库仑破裂应力的定义 (Stein, 1999), 断层面上的潮汐库仑破裂应力按下式计算 (Reasenberget al, 1992; Harris, 1998; Cochran et al, 2004)

$$\text{CFS} = \tau + \mu' \sigma \quad (4)$$

式中 CFS 代表断层面上由潮汐引起的库仑破裂应力; τ 为断层面上沿滑动方向的潮汐剪应力; σ 为断层面上的潮汐正应力; μ' 为断层的有效摩擦系数, 通常取 0.4 (Cochran et al, 2004; Fischer et al, 2006)。将由式 (3) 计算出的潮汐正应力 σ 、潮汐剪应力 τ 代入 (4) 式可求得断层面上的潮汐库仑破裂应力。

本文断层面上潮汐库仑破裂应力的计算综合考虑了太阳、月亮相对地球的位置及地震断层本身的性质, 即考虑了日月潮汐在断层面上引起的正应力和断层滑动方向上的剪应力, 这有别于以往研究中所涉及的垂向应力和水平应力。

1.3 统计检验

本文采用的相位定义方法如图 2 所示。对单个地震事件, 计算日月潮汐在发震断层面上引起的库仑破裂应力, 并依据时间变化做出曲线。确定发震时刻在库仑破裂应力曲线中的位置, 规定在潮汐破裂应力变化曲线中离发震时刻最近的潮汐波峰所处相位为 0° , 峰值前后波谷处的相位分别为 $+180^\circ$ 、 -180° , 以峰值相位 0° 为基准即可确定地震的潮汐相位角。

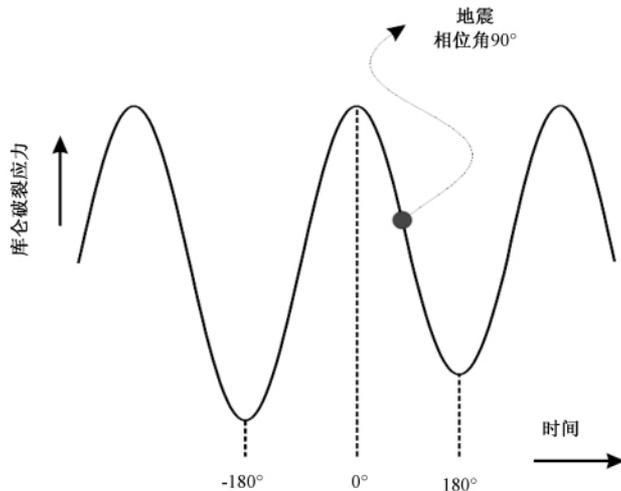


图2 潮汐库仑破裂应力相位角(离发震时刻最近的波峰为 0°)

根据潮汐相位定义法便可确定出每个地震的相位角,然后对全部地震的潮汐相位角进行统计分析,利用 Schuster 检验方法(Heaton, 1975、1982; Tsuruoka et al, 1995)排除失稳发生的随意性。即

$$D^2 = \left(\sum_{i=1}^N \cos\theta_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N \sin\theta_i \right)^2 \quad (5)$$

$$p = \exp\left(-\frac{D^2}{N}\right)$$

式中 θ_i 为第 i 次地震的相位角, N 为研究的地震总数 ($N > 10$); 检验中每一个地震依靠它的潮汐相位角被表征为一个单位长度的向量, D 为向量和。 p 值为定量描述地震活动与日月潮汐之间相关程度的指标, p 值越小, 潮汐与地震的相关度越高。

2 资料及处理

本文选取 1900 年以来发生在中国大陆地区的 $M_s \geq 7.0$ 浅源地震作为研究对象, 地震的基本参数及震源机制解主要来源: 1900 ~ 1976 年的地震来源于 Jacopo 等 (2004) 的研究结果, 1976 年以后地震选用哈佛大学的矩心矩张量解。本文共搜集得到 57 次有震源机制解的浅源地震 (图 3)。

震源机制解是获得潮汐库仑破裂应力的前提条件。震源机制解包含两个断层面解, 因此首先要判断地震实际的发震断层面。其判断标准: 发生在块体边界强震的破裂方向与块体边界同向; 发生在块体内部的强震, 其破裂方向与附近大的活动断裂走向一致。基于此判断标准, 我们选取了 57 次地震的发震断层面。

3 结果分析

本文计算了 57 次地震的发震断面上的潮汐库仑破裂应力, 确定了潮汐相位角, 利用 Schuster (1897) 检验的 p 值作为指标, 对地震与潮汐库仑破裂应力的关系进行定量讨论。采

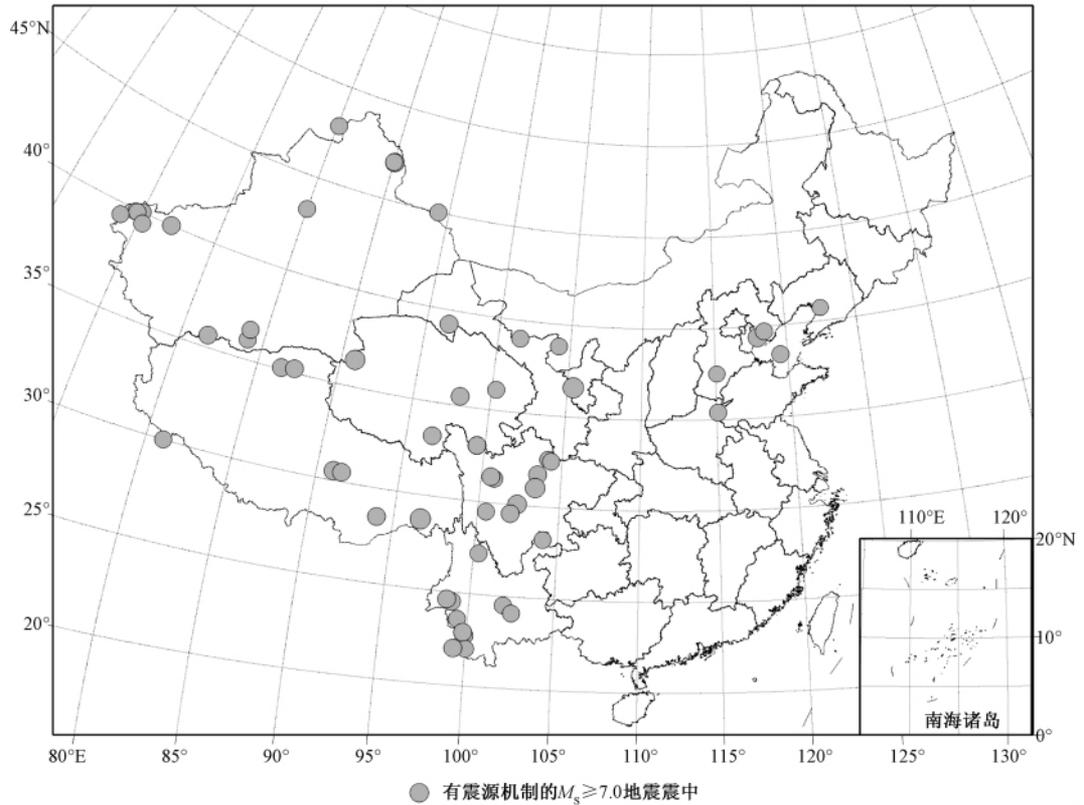


图3 具有震源机制解的 $M_s \geq 7.0$ 地震震中分布

用随机概率进行定量分析,假定地震与潮汐库仑破裂应力无关,是随机发生的,那么地震在潮汐库仑破裂应力相位角的区间内应该是随机分布的。文中把 360° 区间均分为 12 等份, 30° 为一个等分区间,每个等分区间内地震发生的自然概率为 $\frac{1}{12}$;而 $-180^\circ \sim 0^\circ$ 区间内地震发生的自然概率为 $\frac{1}{2}$,即 50%。

3.1 中国大陆强震与潮汐库仑破裂应力

图4为全部地震潮汐库仑破裂应力相位角的统计结果。 N 为地震个数, p 值由57次地震通过Schuster检验得到。黑色曲线是基于公式 $P(\theta) = P_0 + P_1 \cos(\theta - \phi)$ 得到的频次正弦拟合曲线,其中 θ 是相位角, P_0 是平均频次, P_1 和 ϕ 是拟合曲线的振幅和相位角。

由图4可见,57次7级强震的 p 值为 3.83%,显示了中国大陆7级强震与日月潮汐库仑破裂应力间存在很好的相关性。而库仑破裂应力的相位角频次拟合曲线起伏较大,峰值为 -60° ,相位在 $-180^\circ \sim 0^\circ$ 内发生的地震要比相位 $0^\circ \sim 180^\circ$ 内的多。由图2潮汐库仑破裂应力曲线可知,潮汐相位 $-180^\circ \sim 0^\circ$ 位于发震断层面上库仑破裂应力增强段,对断层面有加载作用。由于介质响应的滞后,地震发生的时刻可能略滞后于潮汐库仑破裂应力(段华琛,1991),因此定义 $-150^\circ \sim 30^\circ$ 为潮汐加载相位。为了便于定量分析,按照潮汐加载相位 ($-150^\circ \sim 30^\circ$) 和非潮汐加载相位进行统计(表1)。

由表1可见,潮汐加载相位 ($-150^\circ \sim 30^\circ$) 占全部相位区间的 $\frac{1}{2}$,其间发生 $M_s \geq 7.0$ 地

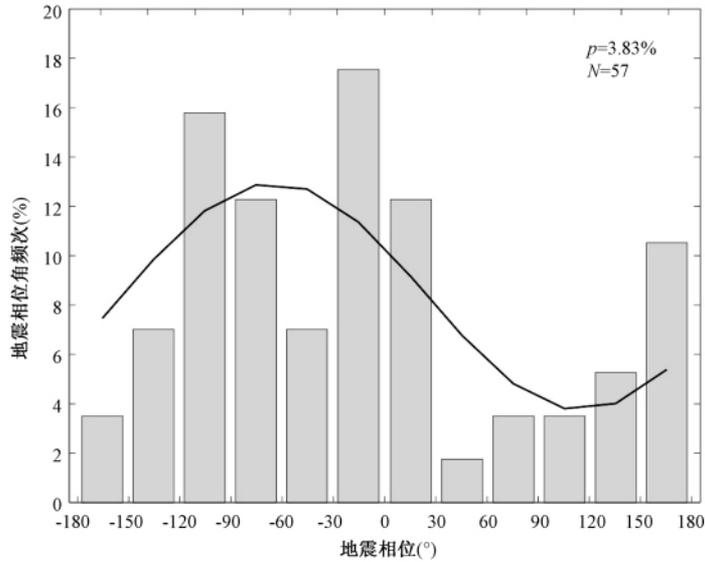


图4 57次地震潮汐相位角的频次分布图

震41次,占地震总数的71.9%;而非潮汐加载相位区间发生地震16次,占28.1%。结果显示,潮汐加载相位内7级以上强震发震概率高于自然发震概率(50%),也明显高于非潮汐加载相位区间地震的发震概率,表明地震断层面上库仑破裂应力的加载有利于强震的发生。

表1 潮汐加载相位统计

相位角	地震数	发震概率(%)
潮汐加载相位(-150°~30°)	41	71.9
非潮汐加载相位	16	28.1

3.2 活跃期强震与潮汐库仑破裂应力

已有研究表明,中国大陆7级以上地震具有成组活动特征,自19世纪末以来,中国大陆地区可划分为6个强震活动期(张国民,1987;张国民等,2001)。由于19世纪末和20世纪初地震记录资料缺失较多且震源机制解难于获取,因此,本文从中国大陆地震第2活动期进行研究。将第2~6活动期的7级以上强震活动划分为平静期和活跃期,按照潮汐加载相位作为分类标准进行统计,包括每个活动期的平静期、活跃期的时间分布以及期内7级地震数、处于潮汐加载相位的地震数、潮汐加载相位地震数的比例(表2)。

表2 1900~2012年中国大陆地震活跃期和平静期 $M_s \geq 7.0$ 地震统计

地震活动分期	第2活动期		第3活动期		第4活动期		第5活动期		第6活动期		平静期 调制数	活跃期 调制数
	平静期	活跃期	平静期	活跃期	平静期	活跃期	平静期	活跃期	平静期	活跃期		
时间分布	1908~1920~ 1920年	1920~1937年	1937~1947~ 1947年	1947~1955年	1955~1966~ 1966年	1966~1976年	1976~1988~ 1988年	1988~2001年	2001~2008~ 2008年			
地震数	2	11	2	13	1	15	1	7	0	3	6	49
加载数	1	10	1	10	0	10	1	5	0	2	3	37
加载比率(%)	50	91	50	77	0	67	100	71	0	67	50	75.5

图 5 为活跃期潮汐相位统计柱状图。相位角频次拟合曲线显示优势相位区间为 $-150^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。49 次地震的 Schuster 检验 p 值为 4.56%，反映了中国大陆活跃期内 7 级强震与日月潮汐库仑破裂应力具有较好的相关性。

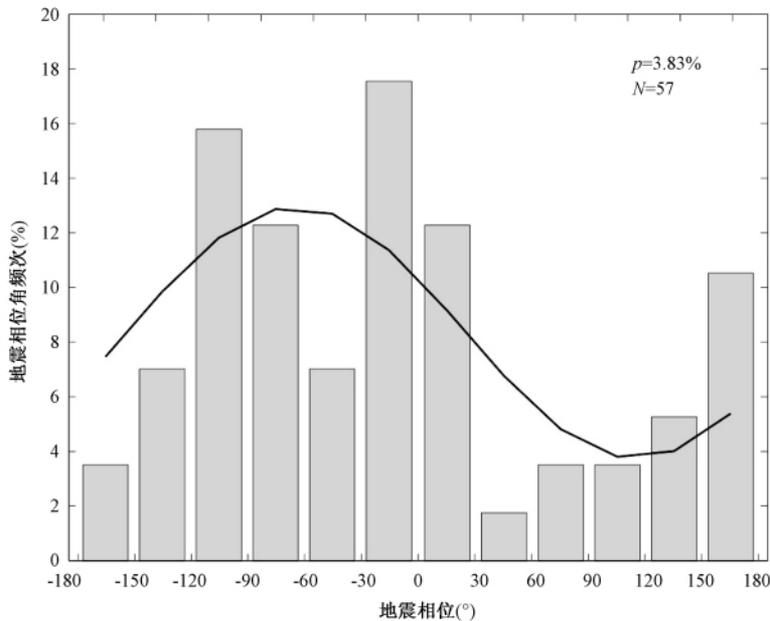


图 5 活跃期地震相位角的频次分布图

由于每个平静期的 7 级地震都较少,为提高信度,将 5 个平静期和 5 个活跃期分类求和,以便从总体上给出平静期和活跃期两种状态的地震发生与潮汐库仑破裂应力之间的相关程度。每个活跃期中 7 级以上地震处于潮汐加载相位的比例在 70% 左右,5 个活跃期内 $M_s \geq 7.0$ 地震 49 次,其中位于潮汐加载相位区间的地震为 37 次,达到 75.5%。5 个平静期共发生 $M_s \geq 7.0$ 地震 6 次,其中位于潮汐加载相位的地震 3 次,加载比率为 50%,与自然发震概率持平。由此可见,活跃期潮汐加载相位内 7 级以上强震发震概率明显高于平静期潮汐加载相位内的发震概率,也高于表 1 给出的 7 级地震总体的概率,表明活跃期内的强震受潮汐库仑破裂应力的加载触发更为显著。

构造块体成组孕震模型理论(张国民等,1993、1995)指出,成组强震连发的高潮活动时段,构造块体孕震大系统处于远离平衡态的非稳定临界失稳状态,外界动力作用的某些微小涨落就有可能引起系统的失稳。这一非稳定状态为活跃期内的强震受到潮汐库仑破裂应力的加载而触发提供了基本条件。

4 结论

本文以 1900 ~ 2012 年中国大陆地区 57 次 $M_s \geq 7.0$ 浅源地震为研究对象,定量计算发震断层所受日月潮汐库仑破裂应力,确定潮汐相位角,通过 Schuster 检验,利用 p 指标对中国大陆强震与潮汐库仑破裂应力之间的相关性进行定量分析。研究得出以下认识:

(1) 中国大陆 57 次 7 级浅源地震通过 Schuster 检验的 p 值为 3.83%,显示了中国大陆

7 级浅源地震与日月潮汐库仑破裂应力间存在很好的相关性。潮汐加载相位 ($-150^\circ \sim 30^\circ$) 内 7 级以上强震 41 次, 占总数的 71.9%, 明显高于非潮汐加载相位的 16 次地震, 表明断层面库仑破裂应力加载有利于强震的发生。

(2) 中国大陆 $M_s \geq 7$ 地震具有成组活动特征, 将每一个活动期划分为平静期和活跃期按照潮汐加载相位进行了统计。结果表明, 5 个活跃期内位于潮汐加载相位区间的 $M_s \geq 7.0$ 地震 37 次, 占总数的 75.5%, Schuster 检验 p 值为 4.56%, 显示中国大陆活跃期内 7 级强震与日月潮汐库仑破裂应力之间具有较好的相关性。5 个平静期共发生 $M_s \geq 7.0$ 地震 6 次, 潮汐加载地震 3 次, 发震概率为 50%, 与自然发震概率持平。由此可见, 活跃期潮汐加载相位内 7 级以上强震发震概率明显高于平静期内潮汐加载相位内的发震概率, 表明活跃期内的强震受潮汐库仑破裂应力的加载触发更为显著, 进一步支持了构造块体成组孕震模型理论研究的结果。

致谢: 中国地震局地震预测研究所邵志刚博士对本文提出了诸多有益建议, 两位审稿专家提出了中肯意见和建议, 在此表示感谢。

参考文献

- 段华琛, 1991, 地倾斜固体潮所反映的地震之前应变积累异常信息, 地球物理学报, **34** (6), 744 ~ 752.
- 高锡铭、殷志山、王威中等, 1981, 固体潮应力张量对地震的触发作用, 地震学报, **3** (3), 263 ~ 275.
- 蒋骏、张雁滨, 1995, 发震断层面上潮汐有效剪切应力增量的计算与加卸载的确定, 中国地震, **11** (1), 72 ~ 83.
- 郗钦文、侯天航, 1986, 固体潮汐与引潮常数, 中国地震, **2** (2), 30 ~ 41.
- 许亚吉、吴小平、阎春恒等, 2011, 不同类型地震断层上的固体潮汐库仑破裂应力特征, 地球物理学报, **54** (3), 756 ~ 763.
- 尹祥础, 1985, 固体力学, 北京: 地震出版社.
- 张国民, 1987, 我国大陆强震活动的韵律性特征, 地震地质, **9** (2), 27 ~ 37.
- 张国民、耿鲁明、石耀霖, 1993, 中国大陆强震轮回活动的计算机模型研究, 中国地震, **9** (1), 20 ~ 32.
- 张国民、耿鲁明、张永仙等, 1995, 构造块体成组孕震模型和前兆场某些特征分析, 地震学报, **17** (1), 1 ~ 10.
- 张国民、李丽、黎凯武等, 2001, 强震成组活动与潮汐力调制触发, 中国地震, **7** (2), 110 ~ 120.
- 张晶、郗钦文、杨林章等, 2007, 引潮力与潮汐应力对强震触发的研究, 地球物理学报, **50** (2), 448 ~ 454.
- Cochran E S, Vidale J E, Tanaka S, 2004, Earth tides can trigger shallow thrust fault earthquakes, Science, **306**, 1164 ~ 1166.
- Fischer T, Kalenda P, Skalsky L, 2006, Weak tidal correlation of NW-Bohemia/Vogtland earthquake swarms, Tectonophysics, **424**, 259 ~ 269.
- Harris R A, 1998, Introduction to special section: stress triggers, stress shadows, and implication for seismic hazard, J Geophys Res, **103**, 24347 ~ 24358.
- Heaton T H, 1975, Tidal triggering of earthquakes, Geophys J R Astron Soc, **43**, 307 ~ 326.
- Heaton T H, 1982, Tidal triggering of earthquakes, Bull Seism Soc Am, **72**, 2181 ~ 2200.
- Jacopo S, Warner M, 2004, Focal parameters, depth estimation, and plane selection of the worldwide shallow seismicity with $M_s \geq 7.0$ for the period 1900 ~ 1976, Geochemistry Geophysics Geosystems, **5**, 1525 ~ 2027.
- Reasenber P A, Simpson R W, 1992, Response of regional seismicity to the static stress change produced by the Loma Prieta earthquake, Science, **255**, 1687 ~ 1690.
- Schuster A, 1897, On lunar and solar periodicities of earthquakes, Proc R Soc Lond, **61**, 455 ~ 465.
- Stein R S, 1990, The role of stress transfer in earthquake occurrence, Nature, **402**, 605 ~ 609.
- Tanaka S, Ohtake M, Sato H, 2002, Evidence for tidal triggering of earthquakes as revealed from statistical analysis of global data, Geophys Res, **107**, 2211 ~ 2221.

Tsuruoka H, Masakazu O, Haruo S, 1995, Statistical test of the tidal triggering of earthquakes: Contribution of the ocean tide loading effect, *Geophys J Int*, **122**, 183 ~ 194.

Relationship of $M_s \geq 7.0$ earthquakes in Chinese mainland and tidal coulomb failure stress

Zhang Hui^{1,2)} Zhang Langping³⁾ Xu Hui¹⁾ Wang Yixi¹⁾

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

2) Lanzhou National Observatory of Geophysics, Lanzhou 730000, China

3) Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing 100036, China

Abstract In this paper, we focused on earthquakes with $M_s \geq 7.0$ in Chinese mainland from 1900 to 2012, calculated the lunisolar tidal coulomb failure stress on the seismic fault plane and got the tidal phase. With the help of Schuster's examination, a quantitative analysis was made about the correlation of strong earthquakes in the Chinese mainland with tidal coulomb failure stress. Research shows that of 57 strong earthquakes with focal mechanism solutions, over 71.9% took place within the tidal loading phase. The p value is 3.83%, demonstrating that strong earthquakes with $M_s \geq 7.0$ in Chinese mainland have a certain correlation with lunisolar tidal coulomb failure stress. In the active period, the p value is 4.56%, and 75.5% earthquakes occurred in the tidal loading phase zone. 50% earthquakes occurred in the quiescence period, indicating that strong earthquakes in the active period were obviously triggered with the tidal coulomb failure stress loading.

Key words: Lunisolar tide Trigger Tidal phase Coulomb failure stress