

日月引潮力与中国西北地区地震 发震时间的深入研究

田 静 韩延本
(中国科学院北京天文台)
李志安
(北京师范大学天文系)

摘要 深入研究了我国西北地区的地震与日月引潮力的关系。通过仔细分析西北地区活动断裂带的特点,把引潮力的水平分量分解为平行及垂直于活动断裂带走向的两个分量,研究其与地震发震时间的关系。研究表明,两个水平分量与地震的发震时间密切相关,其中平行于断裂带走向的水平分量与地震发生时间的关系更为密切,对不同的活动断裂带,相关关系又有所不同,这可能与断裂带的构造特点有关。

主题词 引潮力 地震 西北

1 引潮力和中国西北地区的地质构造

日月引潮力对地震的触发作用,已有许多作者做过研究,他们的结论各异。文献[1]和[2]研究了引潮力在震源处所引起的应力场与地震的关系,发现潮汐应力对具有某些震源解的地震(如走滑型地震)有一定的触发作用。文献[3]的研究方法与文献[1]和[2]相同,但结论却不同,没有得出引潮力触发地震的结论。文献[4]则研究了某些地质构造明确的小区域内发生的地震与引潮力产生的应力的关系,得出了二者之间明确相关的结论。

最近两年,北京天文台和北师大的学者从另一个角度研究了这个问题,探讨引潮力与地震发生时间的关系及由引潮力变化提供地震预测信息的可能性。因为地震发生前不知道震源解,因而无法计算引潮力在震源处引起的应力场,所以研究重点放在引潮力三分量与发震时间的关系上^[5~7]。他们把中国大陆发生的地震按震源所处地质构造的不同分为若干区域,如把西南和华北地区按断裂带各分为4个区域。对每一个地震,计算发震时刻前后两个月的日月引潮力三分量(垂直分量、东西及南北方向的水平分量),研究发震时间与引潮力三分量的关系。研究发现,在我国西南及华北地区,东西方向水平分量与发震时刻关系密切。但是当作者用相同的方法研究中国西北地区的引潮力与发震时间的关系时,却没有得到明确的类似结论。

作者注意到,西南地区和华北地区的活动断裂带走向与西北地区有明显的不同。西南地区主要以近南北向为主;华北地区引潮力与地震关系较强的断裂带的走向以北北东为主。而西北地区的断裂带走向多与东西及南北方向有一定夹角。若引潮力的水平分量仍为南北和东

西方向, 则与活动断裂带走向明显不同. 所以本文把引潮力的水平分量分解为沿断裂带走向及垂直于断裂带走向的两个分量.

本文所取的时间段为 1950~1990 年, 所涉及的地域范围为 $35^{\circ} \sim 50^{\circ}N, 65^{\circ} \sim 105^{\circ}E$, 依文献 [8] 的划分, 这一地区包括新疆断块的全部及青藏断块的一部分. 在这一地区, 有两个大断块盆地, 即塔里木盆地和准噶尔盆地, 还有一些断块隆起, 包括天山、阿尔泰山、准噶尔界山和阿拉善隆起. 两个断块的交界地带是活动断裂带, 这些断裂带走向清晰. 由于印度板块向北的推移和挤压受塔里木断块盆地的阻挡, 使得交界地带的断裂带处于强压力场中, 所以断裂带上的断层多是逆断层, 并兼具左旋或右旋的平移特征.

按断裂带的走向, 把西北地区分为 6 个断裂带. 如表 1, 每个断裂带与正北方向的夹角为 θ , 顺时针方向为正. 在图 1 中把它们表示为 I, II, III, IV, V 和 VI. 表 1 给出了这些断裂带的特征及所具有的典型断层. 对地震的选取有 3 个规则: ① 1950~1990 年本地区发生的所有 $M \geq 5.5$ 的地震; ② 挑选主震及其 $M \geq 6.0$ 的余震和前震; ③ 如果主震和余震(或前震)在同一天发生, 则只选取主震. 按以上原则选取的地震总数为 95.

表 1 西北地区断裂带的构造特征

断裂带	θ	断裂带走向	典型断层	断层特点
I	290.2°	北西、南北 ¹⁾	走滑断层	右旋
II	280.9°	北西西	逆断层 ²⁾	
III	69.5°	北东东	逆、走滑断层	左旋、右旋
IV	339.5°	北北西	逆、走滑断层	左旋、右旋
V	290.8°	东西	走滑断层、逆断层	左旋、右旋 ³⁾
VI	77.1°	北东东	逆、走滑断层	左旋

¹⁾ 主要以北西向断层为主, 整个断裂带中间部位有近南北走向的断层;

²⁾ 图 1 中未标明断层性质, 有关资料取自文献 [8];

³⁾ 以左旋平移为主, 只有个别断层是右旋平移.

按文献 [5] 计算引潮力的垂直(沿垂线方向)、东西和南北方向的 3 个分量, 然后按下式计算引潮力在平行及垂直于断裂带走向的两个方向上的分量.

$$F_{ewf} = F_{ew} \sin(\theta) - F_{ph} \cos(\theta)$$

$$F_{phf} = F_{ew} \cos(\theta) + F_{ph} \sin(\theta)$$

式中 F_{ph} 和 F_{ew} 是引潮力在南北及东西方向上的水平分量, 它们可由文献 [5] 中的公式算出, F_{ewf} 和 F_{phf} 是引潮力在平行及垂直于断裂带走向两个方向上的分量.

2 西北地区引潮力与地震发震时间的关系

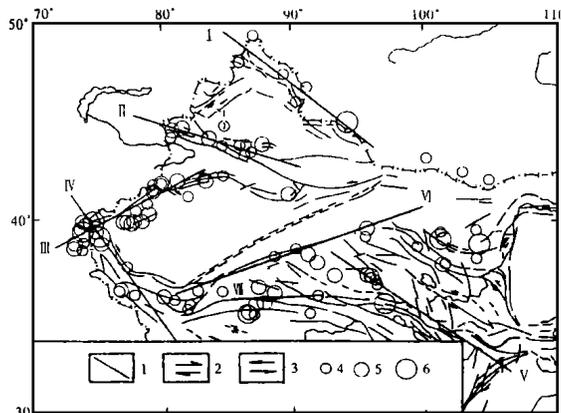


图 1 中国西北地区的断裂带

Fig. 1 The ruptures in the Northwest China.

1 断层; 2 右旋平移断层; 3 左旋平移断层;

4 $M \geq 5.0$; 5 $M \geq 6.0$; 6 $M \geq 7.0$

如上所述,引潮力的 3 个分量分别为垂向、平行及垂直于断裂带走向 3 个方向的分量.在计算出 F_{phf} , F_{ewf} 和 F_r 后,作出它们随时间变化的图象,并与发震时间进行比较.把每一个引潮力的主周期(约半个月)划分为 3 部分,它们分别为峰段、谷段和非峰非谷段.在每一个周期中,引潮力的最大值所对应的时刻记为 P,则 $P \pm 2.5$ 天称为峰段;同样,引潮力的最小值所对应的时刻记为 V, $V \pm 2.5$ 天称为谷段;其余为非峰非谷段.3 个时段大约各为 5 天.

通过比较发震时间和引潮力的变化,我们发现 6 个断裂带的地震都与 F_{phf} 和 F_{ewf} 有密切关系,尤其与 F_{ewf} 的关系更为密切,发震时间与 F_r 没有明显关系.表 2 列出了西北地区地震与引潮力的关系,表 3 给出了统计结果.

表 2 西北地区引潮力与地震的关系

断裂带	序号	发震日期	震中方位		震级 (M)	地震与引潮力的关系	
			$\Phi(^{\circ}\text{N})$	$\lambda(^{\circ}\text{E})$		F_{ewf}	F_{phf}
I	1	1961-05-21	48.0	86.0	5.5	P-1.0	P+2.0
	2	1962-04-14	49.4	87.2	5.5	P+1.5	No
	3	1974-07-05	45.0	94.2	7.1	P+2.0	P+2.5
	4	1975-03-31	46.7	91.2	5.9	P-1.5	P-2.0
	5	1980-12-16	46.0	90.4	5.8	P-1.0	V-2.5
	6	1987-09-19	47.4	89.5	5.8	No	No
II	1	1955-04-24	44.2	83.6	6.5	V+0.0	V-1.5
	2	1958-12-21	44.5	80.9	6.5	No	No
	3	1960-01-03	43.8	84.7	5.7	V+1.5	V+0.0
	4	1962-08-20	44.7	81.6	6.4	V+1.0	V+0.0
	5	1962-09-24	44.2	80.7	5.5	P-0.5	P+2.0
	6	1965-11-13	43.9	87.8	6.6	P+1.0	P-1.0
	7	1973-06-03	44.2	83.6	6.0	P+1.5	P+0.0
	8	1980-11-06	43.8	86.1	5.7	V+0.0	V+1.5
III	1	1953-02-12	39.8	77.4	5.5	P+1.0	V+1.5
	2	1953-07-10	39.9	78.3	6.0	P-1.0	V-1.0
	3	1953-08-07	43.4	86.4	5.5	P+0.0	V+0.0
	4	1953-11-29	43.9	86.6	5.7	V-1.5	P-1.0
	5	1958-06-24	40.8	78.8	5.7	V+2.0	P+0.0
	6	1959-06-28	41.9	80.0	6.7	V+1.5	P+2.0
	7	1960-01-03	43.8	84.7	5.7	V-2.0	P+0.0
	8	1961-04-01	39.9	77.8	6.7	V+0.0	P-2.5
	9	1961-04-14	39.8	77.7	6.8	V-1.5	P-1.0
	10	1961-12-30	39.9	77.6	5.5	V-1.0	P-1.0
	11	1962-11-26	39.9	77.4	5.7	V+2.0	V-2.5
	12	1965-05-04	41.8	79.4	5.7	V+0.0	V-2.0
13	1969-02-12	41.4	79.4	6.3	No	V-1.5	
14	1971-03-23	41.4	79.3	6.0	V-1.0	No	

续表 2

断裂带	序号	发震日期	震中方位		震级 (M)	地震与引潮力的关系	
			$\Phi(^{\circ}\text{N})$	$\lambda(^{\circ}\text{E})$		F_{swf}	F_{phf}
	15	1971-03-24	41.3	79.4	6.1	V-2.5	P-2.0
	16	1971-07-26	41.5	79.3	5.8	V-1.0	P-0.5
	17	1971-07-26	39.9	77.1	6.0	V+0.5	P-0.5
	18	1972-01-06	40.3	79.1	6.2	P+2.5	V+2.0
	19	1974-09-29	40.5	77.9	5.5	V-2.0	P-1.5
	20	1974-09-29	39.9	77.3	6.2	No	P+1.5
	21	1977-12-19	41.9	80.0	5.5	V+0.0	No
	22	1979-03-29	42.0	83.4	6.0	V+1.5	P+1.5
	23	1980-11-06	43.8	86.1	5.7	V+2.0	P+2.0
	24	1987-01-06	42.0	81.2	6.2	V+0.0	P+1.0
	25	1987-01-24	41.5	79.3	6.4	V+2.5	No
	26	1987-08-25	41.2	82.1	5.6	P-1.5	V-1.0
	1	1950-06-26	38.7	78.9	5.5	No	V+2.5
	2	1953-02-12	39.8	77.4	5.5	P+1.5	P+1.0
	3	1955-04-15	39.9	74.6	7.0	P+2.0	P+1.0
	4	1959-11-15	38.8	75.3	6.4	P-2.5	P-2.5
	5	1961-09-05	38.5	73.3	6.0	P-1.5	P+0.0
	6	1963-06-26	36.4	76.7	6.0	V-1.5	No
	7	1963-08-29	39.8	74.2	6.5	P+0.0	P-1.5
	8	1963-10-16	38.8	73.3	6.6	V+0.0	V-1.0
	9	1967-05-11	39.3	73.8	5.9	P-1.5	P-2.0
	10	1967-05-28	36.1	77.7	5.9	P+2.0	P+1.0
	11	1969-08-28	39.0	73.5	5.6	V-2.0	V-1.0
	12	1969-09-14	39.7	74.8	5.5	V+0.0	V+0.0
	13	1973-03-26	38.4	73.8	5.5	P+0.0	P-1.0
IV	14	1974-08-11	39.4	73.8	7.3	P-2.5	P+0.0
	15	1974-08-12	39.4	73.5	6.4	P-1.5	V+2.0
	16	1974-08-27	39.9	73.9	6.0	P+1.0	P+2.0
	17	1975-04-28	36.0	79.9	6.1	P-1.5	P+1.0
	18	1978-10-08	39.4	74.8	6.0	P+0.0	P+0.0
	19	1980-02-14	36.2	76.9	6.0	P+2.0	P+0.0
	20	1983-01-15	36.3	76.5	5.5	P+1.5	No
	21	1983-02-13	39.9	75.0	6.7	No	No
	22	1983-04-05	39.9	75.1	6.1	P+0.0	P-2.0
	23	1985-08-23	39.2	75.3	7.4	No	N+2.0
	24	1985-09-12	39.4	75.4	6.7	P+1.5	P+1.5

续表 2

断裂带	序号	发震日期	震中方位		震级 (M)	地震与引潮力的关系	
			$\Phi(^{\circ}\text{N})$	$\lambda(^{\circ}\text{E})$		F_{ewf}	F_{phf}
	25	1987-04-30	39.6	74.8	6.3	P-2.5	No
	26	1990-04-17	39.3	74.3	6.4	P+1.0	P+1.0
	27	1990-05-17	38.5	74.4	5.7	No	No
	1	1952-10-06	37.1	93.2	6.0	V+2.5	No
	2	1954-02-11	39.0	101.3	7.2	P-1.5	P-2.0
	3	1954-07-31	38.8	104.2	7.0	V-2.5	V-1.5
	4	1959-11-11	36.2	88.7	6.0	V-0.5	V+2.0
	5	1962-05-21	37.2	96.0	6.8	V-2.0	P-1.0
	6	1963-04-19	35.7	97.0	7.0	No	No
	7	1964-03-16	37.0	95.6	5.8	V+0.0	V+0.0
	8	1966-10-14	36.5	87.4	6.0	V-1.5	V+1.0
V	9	1971-03-24	35.5	98.1	6.3	No	No
	10	1977-01-19	37.1	95.8	6.3	P+2.0	P+2.0
	11	1980-03-07	36.1	91.9	5.6	P-2.5	V+2.0
	12	1986-08-26	37.7	101.4	6.4	P-2.5	No
	13	1986-09-17	37.7	101.6	5.5	V-1.5	V-2.0
	14	1987-02-26	37.8	92.0	6.4	V-2.0	No
	15	1988-11-22	38.6	99.5	5.7	V+1.5	V+2.5
	16	1990-01-14	37.5	92.1	6.7	V-1.5	V-1.5
	17	1990-04-26	36.1	100.2	6.9	V+2.0	P-2.0
	1	1951-12-21	39.6	95.7	6.0	P+1.0	V-1.5
	2	1952-01-23	39.6	95.1	5.5	P-1.0	V-1.0
	3	1963-08-12	38.1	88.7	5.5	V-2.0	No
	4	1977-01-02	38.2	91.2	6.4	No	V-2.0
	5	1979-12-02	38.5	90.3	5.7	V+2.0	No
VI	6	1980-06-01	39.1	95.6	5.6	No	V+1.0
	7	1965-01-21	35.1	87.0	5.5	P-1.5	P-2.0
	8	1973-07-14	35.1	86.5	7.3	No	V+0.0
	9	1975-03-19	35.2	86.9	6.0	P-1.5	V-2.0
	10	1985-04-21	35.7	87.7	6.0	No	P+2.5
	11	1985-05-20	35.6	87.2	6.3	V+2.0	No

注:表中 V 代表谷段, P 代表峰段, N 代表非峰非谷段. $V \pm n$ 表示地震发生在引潮力曲线最小值之后或之前 n 天, $P \pm n$ 为落后或超前最大值 n 天.

从表 3 可以看出,发震时间与平行于断裂带走向的引潮力分量关系密切,具体讲,断裂带 I, IV 和 VI 的地震多发生在峰段,而 II, III 和 V 的地震多发生在谷段.对 6 个断裂带,其对应比例可达到 50%~83%.同时,发震时刻与 F_{phf} 也有一定关系,但不如前者密切,除了断裂带 III

以外, 其它 5 个断裂带的地震对应于 F_{phf} 和 F_{ewf} 的峰段和谷段的情况是一样的, 即都是峰段或都是谷段, 从表 3 还可以看出, 对不同的断裂带, 结论有所不同, 即有的对应于峰段, 有的对应于谷段, 下面将对这些结果作出分析.

表 3 西北地区引潮力与地震关系的统计结果

引潮力	I	II	III	IV	V	VI
F_{ewf}	P: 83%	V: 50%	V: 69%	P: 74%	V: 65%	P: 71%
F_{phf}	P: 50%	V: 50%	P: 58%	P: 59%	V: 53%	P: 57%

注: 表中 V 代表谷段, P 代表峰段.

3 结果分析

通过对断裂带的深入分析, 我们可以了解引潮力是如何对已经处于临界状态的震源应力场起触发作用的. 在表 1 中我们给出了一些典型的地震断层, 它们包括逆断层、左旋或右旋的平移断层, 或者是逆断层兼具左旋或右旋的特点. 一般情况下, 这些典型的地震断层具有它所处断裂带的地质构造的主要特点. 所以研究这些典型断层, 就可以弄清整个断裂带的情况. 引潮力对不同断裂带的地震发震时间的触发情况不同, 作者认为这是因为断裂带的地质构造情况不同造成的. 这主要包括断裂带的走向以及所具有的平移旋转方向. 我们主要研究平移旋转方向比较明确的 3 个断裂带, 它们是 I, V 和 VI.

在图 2 中, (a), (b) 和 (c) 分别给出 I, V 和 VI 断裂带上的典型断层. 起张性作用的引潮力东西方向的水平分量 F_{ew} , 其平行于断裂带走向的 F_{ewf} 与断层旋转滑动方向相同, 故在其峰段时最容易激发地震. 断裂带 VI 的情况与 I 相同. 对断裂带 V, 因为 F_{ewf} 的方向与平移旋转的方向相反, 所以 F_{ewf} 谷段 (即 F_{ewf} 峰段的负方向) 容易触发地震.

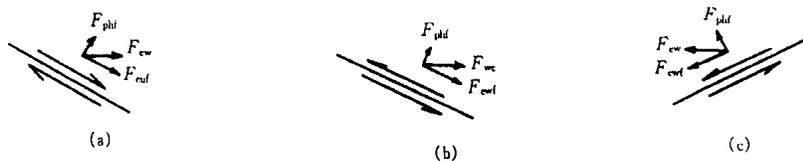


图 2 中国西北地区断裂带的典型断层

Fig. 2 The typical faults in the ruptures of the Northwest China.

(a) 断裂带 I; (b) 断裂带 V; (c) 断裂带 VI

这个结果对改善地震发生时间的短临预测可能是有重要意义的, 当利用其它预报方法 (如地磁、重力异常等) 给出西北地区的中长期地震预报, 就可利用本文的方法, 计算出预定的危险区一定时期内的引潮力三分量 F_r , F_{phf} 和 F_{ewf} 的变化, 结合本文的结论, 在每个月给出为期约 10 天的发震危险期, 这对提高地震发震时间预测的准确性将有一定的价值.

参考文献

- 1 Heaton T H. Tidal triggering of earthquakes. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 1975, 43(307): 307~326.
- 2 高锡铭, 王威中. 中国大陆不同类型地震序列的固体潮位相特征. *地震学报*, 1983, 5(3): 323~335.
- 3 Heaton T H. Tidal stress tensor at the time of earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 1982, 72(A6): 2181~2200.
- 4 Klein F. Earthquake swarms and the semidiurnal solid Earth tide. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 1976, 45(2): 254~295.
- 5 李志安, 韩延本, 陈黎, 田静. 触发地震的日月引潮力. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 1994, 30(3): 366~372.
- 6 Han Yanben, Li Zhian, Tian Jing. Interrelation between seismicity of three belts in Southwest China and variation of tidal generation force of the Moon and Sun. *Publication of the Beijing Astronomical Observatory*, 1994, (25): 73~78.
- 7 Han Yanben, Tian Jing, Li Zhian. Occurrence dates of major earthquakes in the North China and Luni solar tidal generation force. *Publication of the Beijing Astronomical Observatory*, 1995, (26): 86~90.
- 8 邓起东. 中国的活动断裂. 见:《中国的活动断裂》文集. 北京: 地震出版社, 1982. 19~27.
- 9 冯先岳. 阿尔金断裂带. 见:《中国的活动断裂》文集. 北京: 地震出版社, 1982. 219~225.
- 10 戈树谟. 天山南缘主要活动断裂及其现今活动特点. 见:《中国的活动断裂》文集. 北京: 地震出版社, 1982. 226~230.

**THE DEEP RESEARCH ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LUNAR AND
SOLAR TIDE-GENERATING FORCE AND THE OCCURRENCE TIME OF
EARTHQUAKES IN THE NORTHWEST CHINA**

TIAN Jing HAN Yanben

(*Beijing Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences*)

LI Zhian

(*Department of Astronomy, Beijing Normal University*)

Abstract

In this paper, the relationship between seismicity in the Northwest China and three components of the Lunar and Solar tide-generating force has been researched deeply. Based on the geological structure in the region, authors let one of two horizontal components of the tidal force parallel to rupture strike and another perpendicular to that. The result shows that there is an important relationship between seismicity and two horizontal components simultaneously, and parallel one is more important than vertical one. This result has more important significance for predicting occurrence time of an earthquake.

Key words Tide-generating force, Earthquake, Northwest China