

文章编号: 0253-3782(2003)06-0583-08

# 青海昆仑山口西 8.1 级地震 时空强有序特征探讨<sup>\*</sup>

张晓东 张永仙 吕梅梅 余素荣

(中国北京 100036 中国地震局分析预报中心)

**摘要** 通过对 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震的时间、空间、强度和触发特征的分析和初步研究认为, 昆仑山口西 8.1 级地震在时间上具备时间节律的特征, 符合 8 级地震 24 年左右和 7 级以上地震 7 年左右的时间节律关系; 在空间上存在地震活动等间距、地震集中活动、共轭条带等特征; 在强度上符合节律特征, 并存在明显地受地球自转, 以及月亮、太阳的调制和触发作用。最后, 对巨大地震孕震和发震的条件进行了讨论。

**关键词** 大地震 时空强 有序 特征

**中图分类号:** P315.5      **文献标识码:** A

## 引言

2001 年 11 月 14 日昆仑山口西发生的 8.1 级地震, 是继 1951 年 11 月 18 日西藏当雄 8.0 级地震后 50 年, 中国大陆又发生的一次 8 级地震。该地震的发生引起了地震工作者的重视, 主要可以归纳为以下几个方面的问题:

1) 昆仑山口西发生的 8.1 级地震的破裂长度超过 400 km, 远远超过了过去人们统计的震级与破裂长度的统计经验关系(王赞军等, 2002)。

2) 昆仑山口西 8.1 级地震发生后, 其余震的分布远离主震的位置, 余震区与主震脱离(王赞军等, 2002)。

3) 昆仑山口西 8.1 级地震发生在青藏构造块体内部, 而不是以前 8 级以上地震发生在构造块体边缘(陈玉华, 马文静, 2002)。

4) 昆仑山口西 8.1 级地震发生前后, 在远离震中一千多公里的四川地区, 出现了十分显著的异常变化(杜方, 吴江, 2002)。这些异常变化究竟是昆仑山口西 8.1 级地震的前兆和后效, 还是其它大震孕育的反映, 需进一步研究。

本研究没有涉及上述的主要问题, 而是从另一角度研究昆仑山口西 8.1 级地震在发生的时间、空间和强度上是否有序等显著特点。这些特点让我们认识到昆仑山口西 8.1 级地震的发生在时、空、强方面都具有较为显著的规律性特征。

可以认为, 一次巨大地震的发生, 无论是在孕震阶段还是在发生前的触发阶段, 都会有一定的规律可寻。其原因是巨大地震的孕育在空间上占有十分巨大的立体空间, 要有与

\* “十五”国家科技攻关项目《强地震短期预测与救灾技术研究》(2001BA601B01-05-07)资助。  
2002-07-15 收到初稿, 2003-03-14 收到修改稿, 2003-04-29 决定采用。

之匹配的构造环境和应力作用环境；另外，巨大地震孕育到临界状态过程中的持续时间可能较长，处于临界状态的立体空间由于十分巨大，所受到的外因作用将十分显著。因此，发震的时间也会有一定的规律。

## 1 昆仑山口西 8.1 级地震的时间特征

分析中国大陆 8 级以上地震的发震时间，可以发现其具有十分明显的时间等间隔的跨越特征。表 1,2 是两组 8 级地震的特征统计。从表中可见，8 级地震发生的时间间隔为 24 年左右，其间隔的稳定性让人惊讶。这也从一个侧面说明 8 级巨大地震的发生，其规律性十分明显。这种特点不能用发震时间的周期性来解释，因为它不是在时间的周期点上才发生 8 级以上地震，在周期中间就没有 8 级以上地震，而是一种时间的节律或韵律，即在时间的节点附近发生 8 级地震，而在中间也有可能发生 8 级地震。中国大陆地震活动的 5 个活跃期一般划分为：1895~1906 年，1914~1937 年，1944~1955 年，1966~1976 年，1988 年至今。对照上述 8 级大震的发震时间，可以看出 8 级大震有规律地分布在各个活跃期中。例如，1902 年 7 月 19 日新疆阿图什 8.1 级地震发生在第一活跃期；1927 年 5 月 23 日甘肃古浪 8 级地震发生在第二活跃期；1950 年 8 月 15 日西藏察隅 8.6 级地震和 1951 年 11 月 18 日西藏当雄 8 级地震发生在第三活跃期；1976 年 7 月 28 日河北唐山 7.8 级地震发生在第四活跃期；2001 年 11 月 14 日青海昆仑山口西 8.1 级地震发生在第五活跃期。从而显示了中国大陆整体孕震和发生的规律特征。除了这一组 24 年左右韵律的 8 级地震外，剩下的 8 级地震有什么关系？除 1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8.6 级地震外，仅剩下 3 次 8 级以上地震，这 3 次地震也具有 24 年左右的韵律（表 2）。表 2 中的 8 级地震主要分布在天山地震带的中北段，具有区域性的特点。

表 1 中国大陆 8 级地震时间节律特征（第一组）

年-月-日	$\lambda_E/(\circ)$	$\varphi_N/(\circ)$	M	地名	时间间隔
1879-07-01	104.7	33.2	8.0	武都	
1902-08-22	76.2	39.9	8.1	阿图什	23 年 1 个月
1927-05-23	102.2	37.7	8.0	古浪	24 年 9 个月
1951-11-18	91.4	31.1	8.0	当雄	24 年 6 个月
(1950-08-15)	(96.7)	(28.4)	(8.6)	(察隅)	(23 年 3 个月)
1976-07-28	118.0	39.4	7.8	唐山	24 年 8 个月
2001-11-14	90.9	36.2	8.1	昆仑山	24 年 4 个月

表 2 中国大陆 8 级地震时间节律特征（第二组）

年-月-日	$\lambda_E/(\circ)$	$\varphi_N/(\circ)$	M	地名	时间间隔
1906-12-23	85.0	43.5	8.0	玛纳斯	
1931-08-11	89.8	47.1	8.0	富蕴	24 年 8 个月
1957-12-04	99.2	45.2	8.3	蒙古	26 年 4 个月

从表 3 可以看出，中国大陆 7 级以上地震确实存在 7 年左右的时间活动特点，在 7 年的时间节点附近一定至少发生一次 7 级以上地震。昆仑山口西 8.1 级地震也在中国大陆 7 级以上地震的 7 年时间节律中。表 4 是另一组 7 级以上地震的时间活动节律。从表 4 中最后一次 7 级地震，即 1997 年 11 月 8 日西藏玛尼 7.5 级地震外推 7 年左右，认为 2003~

2004 年中国大陆存在发生 7 级地震的可能性.

表 3 中国大陆 7 级地震时间节律特征(第一组)

年-月-日	$\lambda_E/^\circ$	$\varphi_N/^\circ$	M	地名	时间间隔
1937-01-07	35.5	97.6	7.5	花石峡	
1944-03-10	44.0	84.0	7.2	新源	7 年 2 个月
1951-11-18	31.1	91.4	8.0	当雄	7 年 8 个月
1959-04-27	24.8	122.7	7.5	台湾	7 年 5 个月
1966-03-22	37.5	115.1	7.2	邢台	6 年 11 个月
1973-02-06	31.3	100.7	7.6	炉霍	6 年 11 个月
1981-01-24	31.01	101.1	6.9	道孚	6 年 11 个月
1988-11-06	22.9	99.8	7.4	澜沧	7 年 10 个月
1995-07-12	22.0	99.3	7.3	孟连	6 年 8 个月
2001-11-08	36.2	90.9	8.1	昆仑山	7 年 4 个月

表 4 中国大陆 7 级地震时间节律特征(第二组)

年-月-日	$\lambda_E/^\circ$	$\varphi_N/^\circ$	M	地名	时间间隔
1906-12-23	85.0	43.5	8.0	玛纳斯	
1913-12-21	102.4	24.1	7.0	峨山	7 年
1920-12-16	104.9	36.7	8.5	海原	7 年
1927-05-23	102.2	37.7	8.0	古浪	6 年 7 个月
1934-12-15	89.0	31.3	7.0	申扎	7 年 7 个月
1941-12-26	99.9	22.7	7.0	澜沧	7 年
1948-05-25	100.5	29.5	7.3	理塘	6 年 5 个月
1955-04-14	101.8	30.0	7.5	康定	6 年 11 个月
1962-05-21	96.0	37.1	6.8	三湖	7 年 1 个月
1969-07-18	119.4	38.2	7.4	渤海	7 年 2 个月
1976-07-28	118.0	39.4	7.8	唐山	7 年
1983-02-13	75.07	39.97	6.7	乌恰	6 年 7 个月
1990-04-26	100.3	36.06	7.0	共和	7 年 2 个月
1997-11-08	87.3	35.2	7.5	玛尼	7 年 7 个月

2003~2004 年?

虽然 8 级和 7 级以上地震存在明显的时间韵律性或节律性的特点，但目前我们对这些韵律性或节律性特征产生的根源和机理尚不十分清楚。如果我们分析一下长时间的历史地震，也会发现这些特点仅存在一定的时间段内，其规律性不是在什么时间都成立的。

## 2 昆仑山口西 8.1 级地震的空间特征

青海及其邻近地区 6.3 级以上地震具有等间距(张晓东等, 1998)的特征(图 1)。取 NE 和 NW 交叉网络，网络间距 250 km 左右。如果取相交点为圆心，半径 60 km 为节点区域，可以统计出相交节点区域面积占整个区域面积的 15%，几乎 100% 的 6.3 级以上地震发生在 15% 的面积内。从 1915 年开始统计，仅 2000 年 9 月 12 日青海兴海 6.6 级地震没有发生在节点区域内，但它发生在 NE 向的网络条带上。一般来讲，大地震在节点附近发生，较小震级的地震在网络线上发生。研究这些网络节点，几乎所有的网络节点区域内都被填充过至少一次，只有 4 个节点区域内没有被填充过，即昆仑山口、布格达阪峰、当金山口和

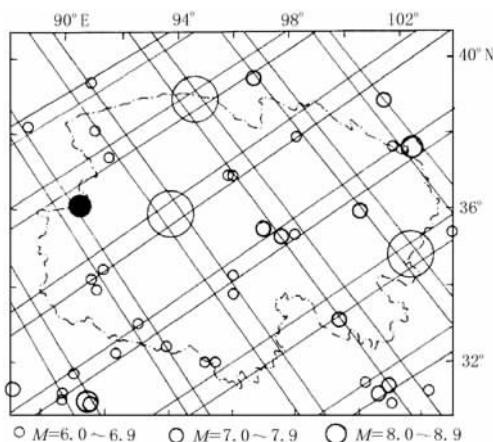


图 1 青海及其邻区 6.3 级以上强震等间距分布(1915~2001 年)

图中的大实心圆为昆仑山口西 8.1 级地震, 大空心圆为未填充的地区, 据考察昆仑山口地区已经被昆仑山口西 8.1 级地震的破裂带穿过

日玛尼 7.5 级和 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震, 1988 年 11 月 6 日云南澜沧 7.4 级地震。图 2 中也显示出云南及邻区的阿萨姆地区是 7 级地震最集中的区域。1988 年以来 7.4 级以上地震沿 NW 向分布(图 2 中双箭头线所示的方向)。

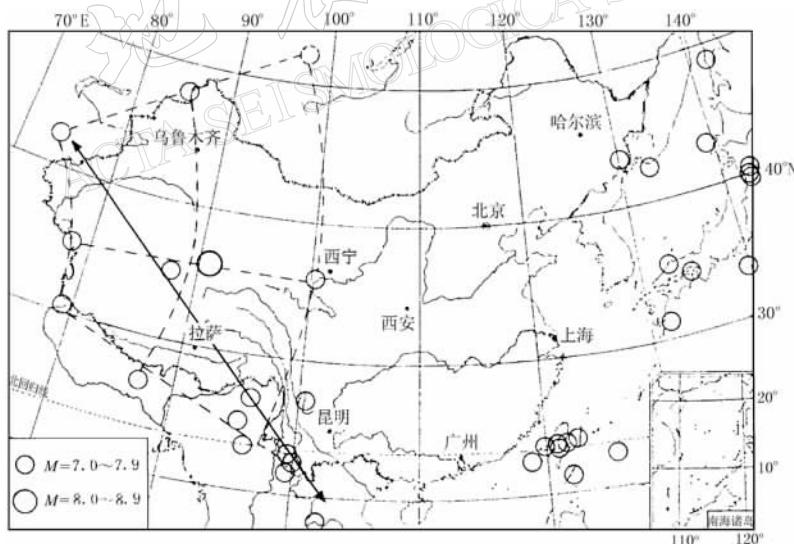


图 2 1988 年~2001 年 11 月 13 日中国及其邻区 7 级以上地震分布

中国大陆 1988 年~2001 年 11 月 13 日的 6.0 级以上地震集中分布在 3 个区域, 即南北地震带、青藏高原中部和天山地震带西南部地区(图 3)。这些集中区域都多次发生 6 级以上地震。可以认为, 这些区域在第五活跃期中为多应力集中的地震能量释放的区域, 而每个区域内都有 7 级以上大震发生。昆仑山口西 8.1 级地震发生在青藏高原中部地震集中

甘青川交界的河南、玛沁地区, 目前昆仑山口西 8.1 级地震填充了昆仑山口和布格达阪峰地区, 只有甘青川交界的河南、玛沁地区和当金山口地区没有被填充。

如果仔细观察上述的分布图, 稍微扩展图 1 的范围, 即可以明显看出, 1997 年 11 月 8 日玛尼 7.5 级地震( $35.2^{\circ}\text{N}, 87.3^{\circ}\text{E}$ )发生在布格达阪峰西南方向的节点区域内。

昆仑山口西 8.1 级地震发生在 1988 年~2001 年 11 月 13 日中国大陆及邻区 7 级以上地震活动的规则网络节点区域内, 除蒙古 1992 年 6.9 级地震不到 7 级, 其余网络节点区域都发生了至少一次 7 级或 7 级以上地震, 而其中 7.4 级以上地震又都分布在图 2 所示的 NW 方向上。它们是 1992 年 8 月 19 日吉尔吉斯斯坦 7.5 级地震, 1997 年 11 月 8

区域内, 显示出这 3 个区域中能量积累和释放最强的一个区域。另外, 图 3 中也可看到 NE 向 6 级地震活动带(双箭头线所示方向)。

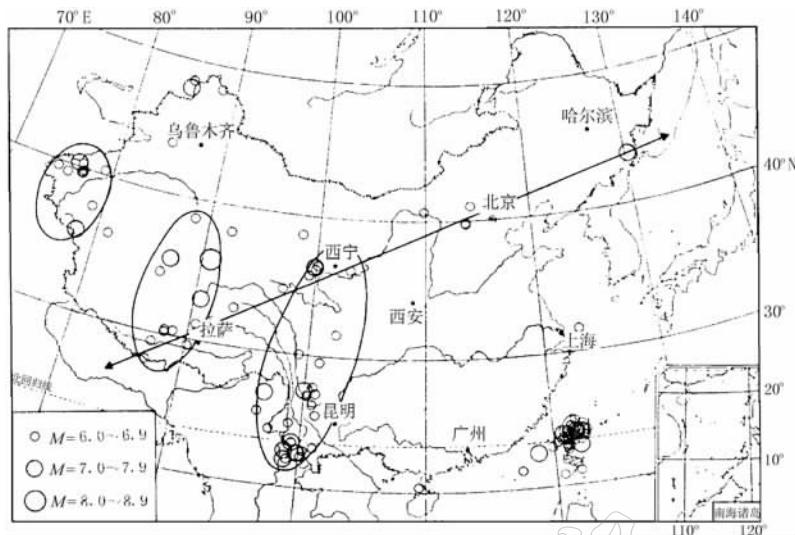


图 3 中国大陆 1988 年~2001 年 11 月 13 日 6.0 级以上地震分布

图中圆圈围成的区域为 6.0 级以上地震活动区域, 带箭头的直线表示 NE 向地震活动带

1999 年~2001 年 11 月 13 日中国大陆  $M_{L5}$  以上地震分布存在明显的 NW 和 NE 向共轭地震活动条带。2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震(图 4 中大空心圆所示的位置)发生在交汇区域附近的 NW 向地震活动条带上, 不在共轭地震活动条带的交汇点上(图 4)。

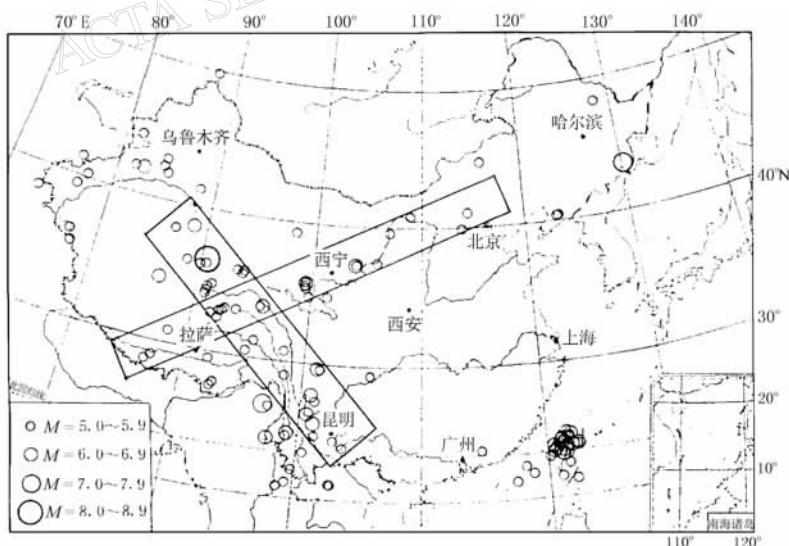


图 4 中国大陆 1999 年~2001 年 11 月 14 日  $M_{L5}$  以上地震分布

据青海省地震局的研究(朱丽霞, 2000; 陈玉华, 马文静, 2002), 昆仑山口西 8.1 级地

震前存在十分明显的 5 级以上地震的巨大围空区，其尺度达 800 km 左右，时间达 20 年左右<sup>①</sup>，空区的长轴沿昆仑山构造带方向。

### 3 昆仑山口西 8.1 级地震的强度特征

笔者对 1988 年～2001 年 11 月 13 日以来中国大陆 5 级以上地震做  $\lg N-M$  曲线，显示出曲线的截距为 8.1 级(图 5)。由于截距为 8.1 级，表示的是当  $N=1$  时地震的震级。由此似乎可以推测，昆仑山口西 8.1 级地震可能是 20 世纪以来中国大陆第五地震活跃期的最大地震。图 5 中显示该活跃期的  $b$  值为 0.84，接近前几个活跃期  $b$  值的水平<sup>②</sup>。因为一般情况下地震活跃期的  $b$  值较低(高震级的地震相对多一些)，地震平静期的  $b$  值较高(高震级的地震少一些)。

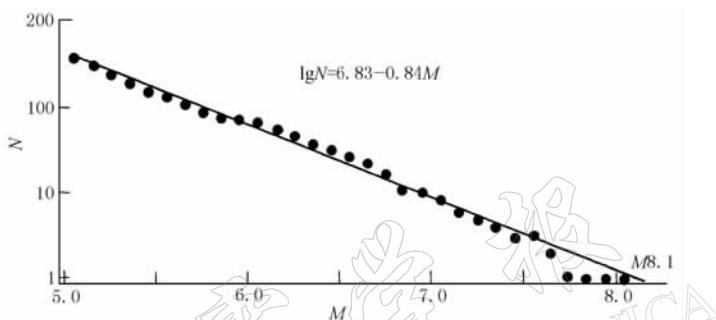


图 5 中国大陆 5 级以上地震的  $\lg N-M$  曲线(1988 年～2001 年 11 月 13 日)

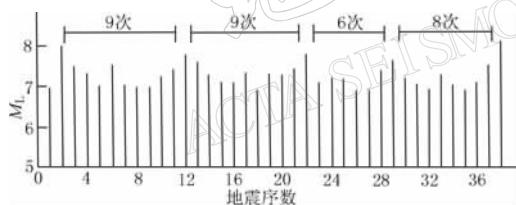


图 6 中国大陆 1950 年以来 6.9 级以上地震的节律分布

1951 年以来中国大陆 6.9 级以上地震在强度分布上具有节律特点，中国大陆两次 7.8 级以上地震之间基本上间隔 8～9 次(中间有一组间隔 6 次地震)6.9～7.7 级地震。其中节点上的地震：1950 年 11 月 18 日当雄 8.0 级地震为 2 号地震；1970 年通海 7.8 级地震为 12 号地震；1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震为 22 号地震；1988 年 11

月 6 日澜沧 7.6 级地震为 29 号地震；2001 年昆仑山口西 8.1 级地震为 38 号地震(图 6)。这里需要说明的是，这一节律现象是我们通过调整不同的震级统计下限，出现明显的节律才得出的。提高和降低这一下限，其规律性就不够明显；但在小区域，统计节律时空的下限一般较低。

### 4 昆仑山口西 8.1 级地震的调制和触发特征

昆仑山口西 8.1 级地震发生在 2001 年 11 月 14 日，阴历九月二十九日，可以说地震的发生首先在短期调制触发的阶段，受到固体潮的调制和触发，发生在朔的日期。从地球自

<sup>①</sup> 青海省地质局预报中心。2000、2001 年度青海省地震研究报告。

<sup>②</sup> 95-04-06 课题组(负责人：高旭，丁鉴海，张晓东)。2000、2001～2003 年地震大形式研究报告。

转的角度来讲，正好发生在地球自转季节性变化加快段，据研究这一地区也是地球自转加快阶段易触发地震的地区(李启斌, 1973). 其实在每年 11 月 14 日附近，是地球自转由减慢向加快过渡的阶段，此时角加速度最小(杜品仁, 徐道一, 1989)，接近于 0. 1988 年以来昆仑山地震带上发生了 3 次 7 级以上地震，它们是 1996 年 11 月 19 日喀喇昆仑山( $35.21^{\circ}$  N,  $78.00^{\circ}$  E)7.1 级地震、1997 年 11 月 8 日西藏玛尼( $35.21^{\circ}$  N,  $87.30^{\circ}$  E)7.5 级地震和 2001 年 11 月 14 日昆仑山( $36.20^{\circ}$  N,  $90.90^{\circ}$  E)8.1 级地震. 这 3 次地震都发生在 11 月份不是偶然的，与前面提到的地球自转的触发有关系，而不是随机发生的. 据丁鉴海(2003)的研究，该次地震也发生在地磁低点位移线上和其预测的时间段内. 所以，可以认为 8.1 级地震的发生时间受地球自转、月亮和太阳的调制和触发的作用明显，同时太阳的磁场作用也非常明显，显现了巨大地震发生受调制和触发作用明显的特征.

## 5 讨论

一次 8 级巨大地震的孕育，在空间上要占有十分巨大的立体空间(从 8.1 级地震破裂带长达 400 多公里可见一斑)，同时要有与之匹配的构造环境和应力作用环境. 这一区域应该具有 3 个特点：一是可以积累和储存 8 级大震具备的巨大能量；二是应力场的强度、方向和作用位置具备输入巨大能量的条件；三是在能量积累到临界状态时可以快速释放这一积累的巨大能量.

介质在破裂时具备的能量密度，在破裂区域内小地震和大地震并没有本质的区别. 其本质的区别是具备临界破裂(临界能量密度)介质的尺度或体积的大小. 如果一个地区能够在大尺度上积累能量，即这些地区同步或准同步进入临界状态，就能孕育大的地震. 当然，这些是必要的条件，还应具备外部应力作用的条件，同时还要具备巨大能量快速释放的条件. 如果这一巨大的能量通过隆起、蠕变等其它方式释放，也不会发生巨大地震. 因此，上述 3 个特点对发生巨大地震是必须具备的条件. 其中，第一个条件是介质条件或构造条件(具备大震潜在震源的条件)；第二个条件是应力条件，应力场的作用方式可以在潜在震源中积累巨大能量和高应力；第三个条件是能量释放条件，即巨大能量可以在短时间内快速释放，形成地震. 需要注意的是，有时孕震断层和发震断层并不是一个断层. 地质上的立交桥构造和地震研究中的立交模式都提出过类似的一些结果(郭增建, 秦保燕, 1991).

总之，巨大地震在孕育过程中和孕育到临界状态的过程可能会十分有规律，在时间、空间和强度上都会呈现规律性的演化特点；而且在孕震到临界状态发生地震时，由于处于临界状态的立体空间十分巨大，受到外因作用的几率也十分大. 如果内部的作用与外因产生共振，调制和触发的共振因子将会起作用，所以发震的时间(有时是时刻)也会有规律可寻(张晓东, 1995). 昆仑山口西 8.1 级地震前出现了以往 7 级大震前出现的空区、条带、地震活动增强平静的异常(张国民等, 2001)，同时存在着地震活动时空演化和外因作用的规律性变化.

## 参 考 文 献

- 陈玉华, 马文静. 2002. 昆仑山口西 8.1 级地震前地震活动图像演化特征[J]. 高原地震, **14**(1): 41~47  
陈玉华, 马文静. 2002. 库玛断裂带强震活动与地震空区研究[J]. 地震, **22**(2): 81~87  
丁鉴海. 2003. 地磁“低点位移”现象与昆仑山口西 8.1 级地震[J]. 西北地震学报, **25**(1): 16~21

- 杜方, 吴江. 2002. 昆仑山口西 8.1 级地震远场前兆[J]. 高原地震, 14(1): 52~60
- 杜品仁, 徐道一. 1989. 天文地震学引论[M]. 北京: 地震出版社, 66~100
- 郭增建, 秦保燕. 1991. 地震成因和地震预报[M]. 北京: 地震出版社, 169~206
- 李启斌, 肖兴华, 李致森. 1973. 中国大陆强地震与地球自转角速度长期变化关系的初步分析[J]. 地球物理学报, 16(3): 71~80
- 王赞军, 黄光明, 张瑞斌, 等. 2002. 昆仑山口西 8.1 级地震地表破裂的类型与性质[J]. 高原地震, 14(1): 17~25
- 张国民, 傅征祥, 桂燮泰, 等. 2001. 地震预报引论[M]. 北京: 地震出版社, 12~20
- 张晓东, 秦保燕. 1995. 青海地震的固体潮时空调制[J]. 高原地震, 7(3): 9~14
- 张晓东, 张雅铃, 马文静, 等. 1998. 青海强震等间距特征研究及未来强震趋势预测[J]. 中国地震, 14(1): 59~67
- 朱丽霞. 2000. 2000 年兴海 6.6 级地震震(前)兆分析及预报过程综述[J]. 高原地震, 12(4): 1~11

## DISCUSSION ON THE FEATURE OF STRONG EARTHQUAKE DISTRIBUTION IN TIME, SPACE AND MAGNITUDE ORDER BEFORE KUNLUNSHAN 8.1 EARTHQUAKE

Zhang Xiaodong Zhang Yongxian Lu Meimei Yu Surong

(Center for Analysis and Prediction of China Seismological Bureau, Beijing 100036, China)

**Abstract:** In this paper, the feature of strong earthquake distribution in time, space and magnitude order is preliminarily studied. The modulation and triggering factors such as earth rotation, earth and sun tides are also analyzed. The results show that: giant earthquakes with magnitude more than 8 occurred about every 24 years in Chinese mainland; for earthquakes with magnitude more than 7, the duration between each two earthquakes is about 7 years. The Kunlunshan M8.1 earthquake exactly occurred at the expected time point. The spatial distribution shows the feature that major earthquakes occurred along two conjugate belts. The earthquakes occurred concentrated and the distances between each two swarms are approximately the same. The earth rotation, earth tide, sun tide and sun magnetic field also played roles of modulation and triggering factors. At last, the conditions of earthquake generation and occurrence are also discussed.

**Key words:** major earthquake; time, space and magnitude; order; feature