

# 昆仑山口西 8.1 级地震前的地震活动异常及预测意义的讨论

王林瑛, 陈佩燕, 林碧苍, 丁秋琴

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要:** 昆仑山口西 8.1 地震前明显地出现大区域地震活动平静、高  $b$  值、高调制、低熵值的异常配套现象。回顾性分析了巨大地震前不同时间和空间尺度的地震活动性异常, 探讨了巨大地震的预测可能性。

**关键词:** 巨大地震; 地震平静; 异常配套性; 跟踪预测

**中图分类号:** P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)01-0022-06

## 0 引言

2001 年 11 月 14 日昆仑山口西地区发生了近半个世纪以来最强的一次巨大地震。此次地震不仅发震震级高 ( $M_s$  8.1), 而且有宏观破裂巨大 (长约 350 km), 余震与主震相隔远 (约 200 km), 余震区展布图像特异和低视应力背景等极为罕见的现象, 引起了有关研究学者的极大关注。抓住这次百年难遇的宝贵震例, 尽可能地利用近代地震目录, 回顾性分析巨大地震前不同时间和空间尺度的地震活动性异常, 以及探讨巨大地震的预测可能性, 对于不断加深和扩大对巨大地震预测的认识和实践, 是极为重要的。

## 1 昆仑山口西 8.1 地震前的地震活动性异常

在 50 年代后的两次接近 8 级地震 (昆仑山口西 8.1 地震和唐山 7.8 地震) 都明显地表现出背景条带显著、大区域地震活动平静、扫描区高  $b$  值、高调制、低熵值的异常配套现象。

### 1.1 震前全国大陆的 $M_s$ 5 以上地震平静

根据 1925~1990 年汪素云等编辑的历史地震目录及 1991~2002 年的分析预报中心月速报目录, 考虑到 20 世纪初全国地震目录的控制能力和一致性, 取 1925 年为资料的起算时间。从 1925 年以来, 全国大陆地区 5 级以上地震平静 90 天以上出现过 32 次。平静打破后, 一年内发生 7 级以上地震 19 次, 占总次数的 59%。这次昆仑山口西 8.1 地震前, 从 2001 年 7 月 26 日到 10 月 27 日全国大陆地区 5 级地震平静 93 天。平静起始地震 6.0 级, 结束地震为 6.2 级, 打破平静后 17 天发生昆仑山口西 8.1 地震 (图 1a)。根据以往对  $M_s$  7 以上强震活跃期的判定, 第二活跃期为 1920 年至 1937 年; 第三活跃期为 1946 年至 1957 年; 第四活跃期为 1966 年至 1976 年, 第五活跃期为 1988 年至 2001 年。由图 1a 可见, 5 级以上地震平静 90 天以上大都出现在 7 级以上地震活跃期的前半段, 或者在其结束的尾部。此次昆仑山口西 8.1 地震前后均出现平静现象, 有可能是第五活跃期即将走向结束的信号。

收稿日期: 2002-10-11

基金项目: “十五” 国家科技攻关项目; 华北地区强震的地震活动性短期预测方法研究 (2001BA601B01-01-02) 中国地震局地球物理研究所论著编号: 02AC2038。

作者简介: 王林瑛 (1950-), 女 (汉族), 山西和顺人, 研究员, 现从事地震预测研究。

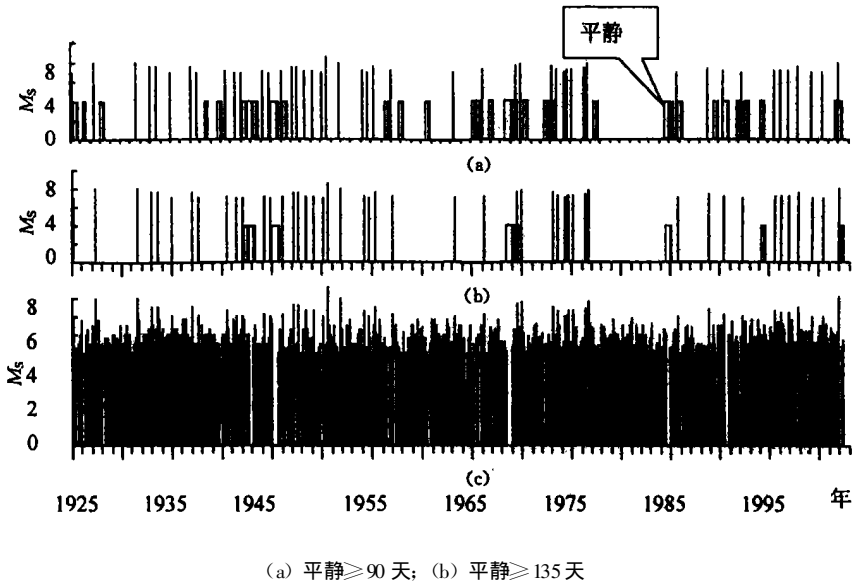


图 1 中国大陆 5 级以上地震平静分布与 7 级以上地震  $M-t$  图

Fig. 1 Distribution of different quiet periods between  $M_s \geq 5$  earthquakes and  $M-t$  chart of  $M_s \geq 7$  earthquakes in mainland of China.

图 2 为平静起始和结束地震的震级与平静时间间隔长短的关系. 自 1930 年以来, 最长的平静为 230 天. 从图 2 中可见, 在平静 90 天至 110 天, 平静起始和结束地震的震级无明显关系, 表现出较强的随机性; 平静在 110 天至 160 天之间, 则平静起始和结束地震的震级随时间的增长表现出明显的线性增长特性; 而 160 天至 230 天之间则反之, 平静起始和结束地震的震级随时间的增长表现出明显的线性降低特点. 从统计比例看, 平静 90 天至 110 天占 64%; 平静 111 天至 160 天占 28%; 平静 161 天至 230 天占 12%. 从 5 级以上地震间隔的分布特征看, 平静 111 天以上为极小概率事件, 有可能受到大范围应力背景的控制, 与未来强震的发生与否存在某种内在的联系, 因此在 111 ~ 160 天平静起始和结束地震的震级表现出明显的正相关关系. 对于 161 ~ 230 天表现出明显的负相关关系, 可否理解为: 由于平静大都发生在地震活跃期的前半部, 地震带处于应力逐渐加强的状态. 在一定的平静间隔内 (111 ~ 160 天), 平静时间越长, 则意味着可能积累的能量越大, 导致起始和结束地震的震级越高; 当平静超出一定的限度 (161 ~ 230 天), 则表明在大范围应力背景场处于增强中的相对偏低的状态, 因此起始和结束地震的震级随间隔时间的增加而降低. 在这里必须强调的是, 平静时间超长且平静结束的地震震级可能不高, 并不意味着平静结束后无 7 级以上强震发生的可能. 统计结果也表明: 当平静超长后 (大于 135 天), 平静打破后一年内发生 7 级以上强震的可能性也明显增强 (见表 1, 图 1b). 这是因为,  $M_s 7$  地震的自然发生率每年约平均为 0.68 次, 在活跃期内每年约平均为 1 次. 在活跃期内, 由于较长时间的 5 级地震活动受到抑制, 为 7 级地震的能量快速积累创造了有利条件. 由此可见, 当平静超出 130 天后, 根据平静的时间长短, 可对平静结束的地震震级作出一定程度的预测, 同时也可作为判断平静结束后是否发生 7 级地震提供参考依据.

全国大陆地区 5 级地震平静是昆仑山口西 8.1 级地震之后地震活动性最为显著的异常, 其特殊性引起了预测专家的普遍关注. 首先, 这种 5 级地震的平静在 1900 年以来的  $M_s 7.7$  巨大地震后从未出现过, 而且 1925 年以来这种 135 天以上的平静仅有 8 次, 在 1 195 个地震的时间间隔中仅占 0.7%, 为极小概率事件. 从这 8 次 135 天以上的平静看, 平静一旦打破, 其中 7 次 (88%) 在未来 0 ~ 13 个月有 7 级以上地震发生. 最后一次平静 135 天, 2001 年 12 月 8 日开始至 2002 年 4 月 22 日由河北邢台  $M_s 5.0$  地震打破 (表 1 和图 3). 考虑 2002 年 6 月 29 日的东北汪青深震活动, 则最后一次平静指标基本满足. 由此可见, 全国大陆地区 5 级以上超长平静 (大于 135 天) 对于 7 级地震有较好的中短期时间预测意义.

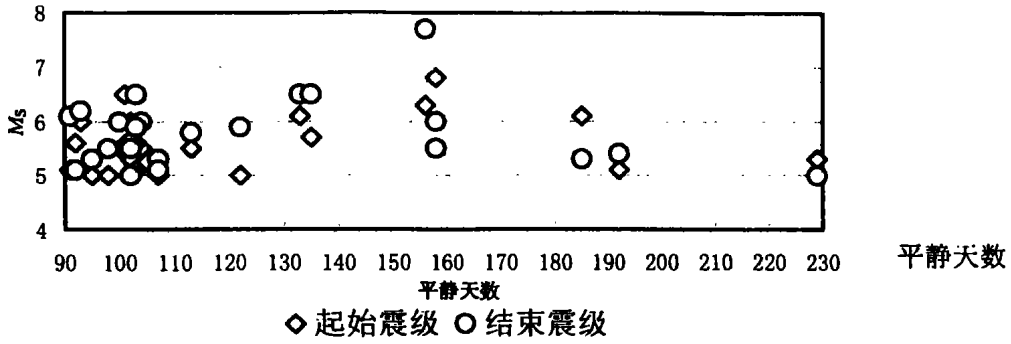


图2 中国大陆  $M_s \geq 5$  地震平静 90 天以上时间间隔  
与平静起始和结束地震震级关系图

Fig. 2 The relation of quiet time interval over 90 days between  $M_s \geq 5$  earthquakes with magnitude  
of starting and ending earthquakes for the interval in mainland of China.

从理论上分析“平静”产生的原因主要有两种：膨胀强化或者由于沿正在形成的断裂发生缓慢滑动而使应力下降。岩石破裂实验也证明在断裂上出现“粘滑”型不稳定之前，发生着缓慢传播的滑动，使部分剪应力下降<sup>[1]</sup>。全国大陆地区  $M_s$  5~6.9 地震的自然发生率每年平均约为 15 次，平静 4 个月以上显然是极为少见的异常现象，很可能受到巨大地震孕育过程的干预和控制。唐山地震前华北地区 4 级以上地震平静 97 天，唐山地震为直接打破平静的地震，大区域平静特征也是显著的<sup>[2]</sup>。

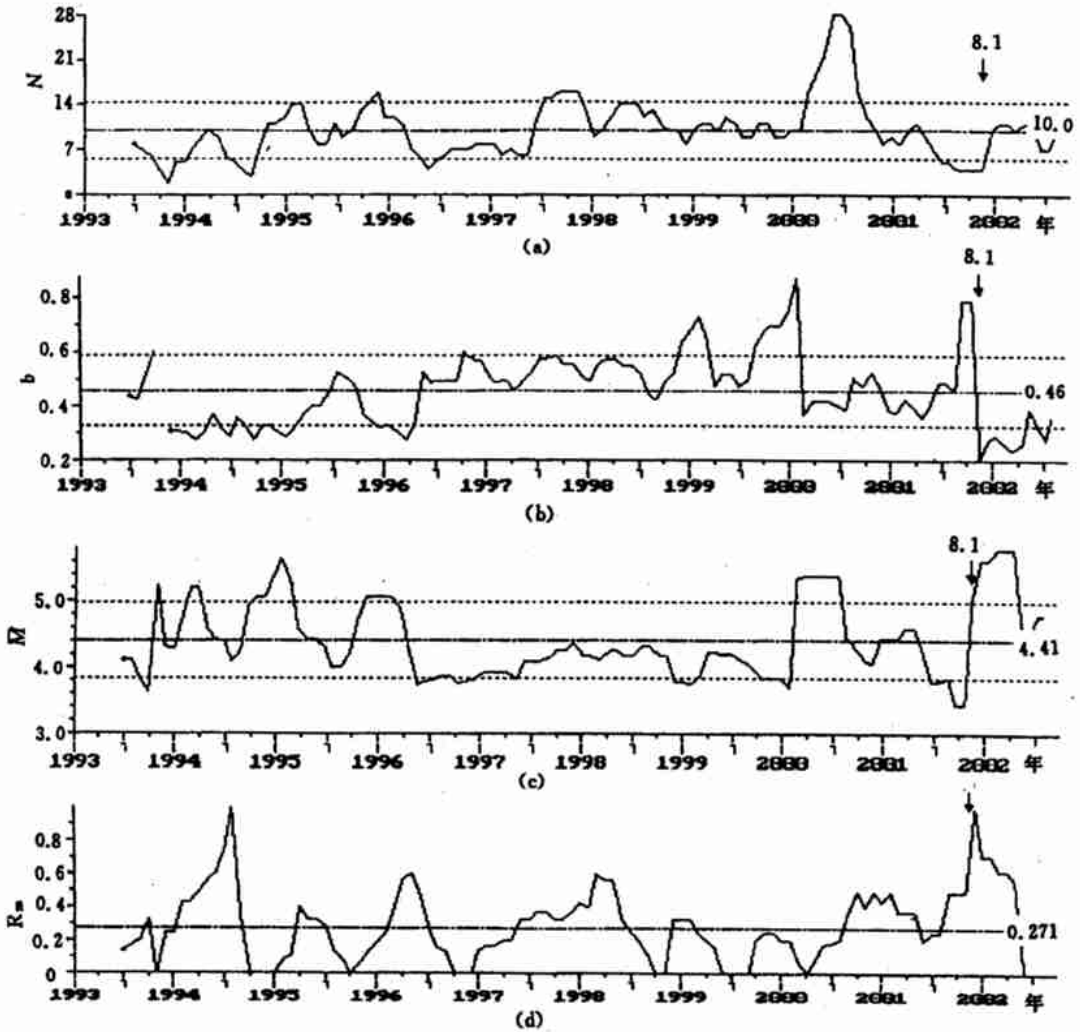
表 1 全国大陆地区 5 级以上地震平静 135 天以上的统计表

序号	平静起始日期 ~ 平静结束日期	平静天数	结束地震震级 / $M_s$	平静打破后至 7 级 地震的间隔时间	结束平静后 7 级地震 / $M_s$
1	1942-02-01 ~ 1942-07-09	158	6.0		1 年内无
2	1942-09-03 ~ 1943-02-09	158	5.5	12 个月	1944-03-10 7.1
3	1944-12-19 ~ 1945-08-22	245	5.0	5 个月	1946-01-11 7.1
4	1968-06-13 ~ 1968-12-22	192	5.4	7 个月	1969-07-18 7.7
5	1969-02-12 ~ 1969-07-18	156	7.7	直接 打破平静	1969-07-18 7.7
6	1984-05-21 ~ 1984-11-23	185	5.3	9 个月	1985-08-23 7.0
7	1994-01-27 ~ 1994-06-30	153	6.5	12 个半月	1995-07-12 7.3
8	2001-12-08 ~ 2002-06-04	135	5.0	2 个月	2002-06-29 7.2

## 2.2 震前出现明显的低频次、缺震、高丛集、高 $b$ 值和高调制配套现象

考虑昆仑山地区的地震检测能力，为保证地震数据的一致性和完整性，取 1993 年以来的 3 级以上地震数据。研究的区域是以昆仑山口西 8.1 级地震为中心的  $6^\circ \times 6^\circ$  的范围，计算的时间窗为 180 天，滑动 30

天. 有关强震前地震活动性异常的研究表明: 缺震背景(能量积累过程)出现, 中等以上地震的能量分配比例失调(中等地震活动降低或中等显著地震活跃), 中等以上地震的发生表现出较强的调制特性, 以及空间和时间分布有序性增强等的地震活动性异常, 且在时间和地域上配套显现, 是巨大强震前地震活动性异常的典型特点. 根据 1993 年以来的数据计算结果, 在昆仑山地区近 10 年来 3 级以上地震在半年尺度上这种配套现象仅出现过 1 次, 其后仅 2 个月发生 8.1 级巨大地震. 从图 3(a~d)和图 4 不难看出, 仅看不同方法单一的曲线变化, 起伏较多, 异常与地震的关系并不唯一, 预测效能不理想. 但低频次、高  $b$  值、缺震、高调制和高丛集配套性组合出现, 则是 1993 年来仅此一次. 已有大量研究表明: 在未来巨大地震的源区周围, 在中小地震能量释放受到抑制的背景下, 地震的大小比例出现紊乱, 时空分布有序性增强(地震活动与构造分布关联增强)且受到一定程度的调制, 这些特征都可能和巨大地震孕育过程相关<sup>[1]</sup>. 8 级地震是极小概率事件, 5 种异常同时出现也是极小概率事件, 两个极小概率事件在短时间内的偶合, 极大地降低了随机性, 增加了必然性和预测可信度.

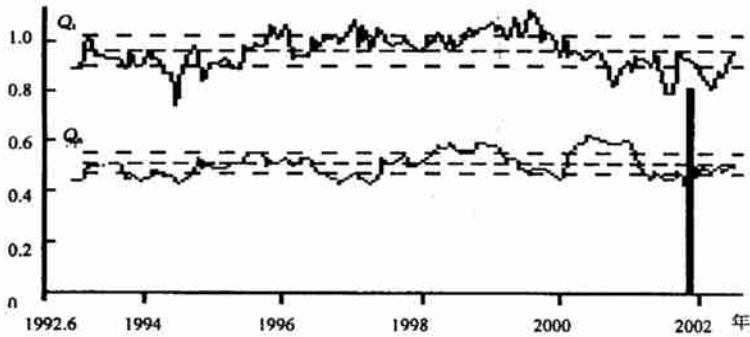


(a) 频次; (b)  $b$  值; (c) 缺震; (d) 调制比

图 3 昆仑山口西 8.1 级地震区 3 级以上地震频次、 $b$  值、缺震和调制比(时间窗 180 天, 滑动 30 天)

Fig. 3 Variations of frequency,  $b$  value, lack of earthquakes and modulation ratio for  $M_s \geq 3$  earthquakes in west to Kunlun Mountain Pass  $M_s$  8.1 earthquake area.

在河北唐山 7.8 级巨大地震前 4 个月也可看到这种异常配套现象,不同的是小震频次不是异常降低,而是快速升高.虽然计算的时间窗为半年,由于异常的过程大都为半年,而且异常配套的现象仅出现在震前 2~4 个月,具有短期特性,所以尽管预测的空间范围较大( $6^{\circ} \times 6^{\circ}$ ),但对于巨大地震的时间预测具有十分重要的短期信息.



( $Q_t$ : 时间熵  $Q_s$ : 空间熵)

图 4 昆仑山口西 8.1 级地震区 3 级以上地震时空熵曲线

Fig. 4 Curve of time-space entropy for  $M_S \geq 3$  earthquake in west to Kunlun Mountain Pass  $M_S$  8.1 earthquake area.

## 2 异常项数的配套性与地震震级关系

用地震活动性预测因子做时空扫描分析时,不仅要以样本量为基本条件,更重要的应考虑地震发生随机性的强弱,尽可能利用震级相对较高的地震的活动性异常,以降低随机性增加确定性.对于地震监测能力相对较弱的青藏高原地区,选择了 20 世纪 90 年代以来台网建设和控制能力增强后的资料为基础.对于不同震级层次的预测,选择了不同的时空扫描尺度,即不同的分析时空窗.单一的时空窗可能会丢失很多重要的构造系统演化信息.

本研究重点选择了四项相互独立的地震活动性预测因子:  $b$  值、时间间隔  $dt$ 、时空熵值( $Q_t$  和  $Q_s$ )<sup>[3]</sup>、调制比  $R_m$  等<sup>[4]</sup>. 东部取震级下限为  $M_L$  2.5; 西部取震级下限为  $M_L$  3.0; 地震资料为中国地震局地震分析预报中心提供的 1970~2002 年的全国地震目录. 对全国大陆地区 1970 年以来的近 90 例(东部  $M_S$  5.5 和西部  $M_S$  6.0 以上地震)地震的上述四项预测因子异常情况的统计表明: 5.5~6.9 级地震前活动性异常大都在 1~2 项之间, 7 级以上强震异常大都在 2~3 项以上; 7.8 级以上巨震异常在 4 项以上. 在异常项数分布特征上 5.5~6.9 级地震与 7 级以上强震存在较明显的差异(图 5), 很可能反映了不同震级地震的能量积累过程上的差异, 这对于判断未来地震的量级十分重要. 有无地震活动性异常以及出现多少异常与地震的破裂机制似乎无明显区域分布关系, 仅与未来地震的震级有关, 这与其它地球物理场的前兆现象有一定的类似之处. 不同的是测震学预测因子的异常分布具有一定的局域性, 在未来地震地点的判断上具有一定的优势.

## 3 实时的跟踪分析和判断的重要性

在以往我们的跟踪分析思路中,总是习惯于先长后短,即长—中—短—临的正向思维方式. 昆仑山口西 8.1 地震的发生,使我们不得不认真地思索在中长期预测能力方面存在的大量问题. 中长期预测涵盖了整个预测时段,也包括

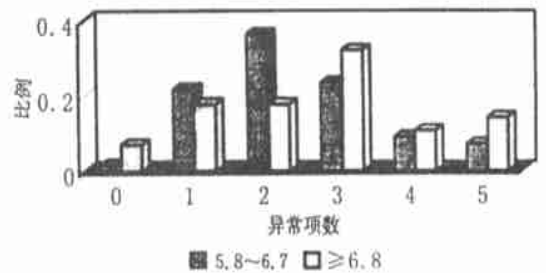


图 5 不同震级档的地震异常项数比例统计图

Fig. 5 The ratio statistics of seismic anomaly numbers for different earthquake magnitudes.

短临. 预测所依托的主要是历史地震目录, 而目录中存在的完整性、样本量和震级测定误差等问题都可能导致统计结果的不确定和分辨率的局限. 在大形势研究还很不成熟, 难以对未来 1~3 年的活动趋势作出较高信度和较高分辨率的判断的情况下, 实时的跟踪分析和判断就显得十分重要. 在年尺度时间窗和  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  空间扫描区内, 3~5 级地震活动出现 300 km 较大尺度的异常集中稳定分布是未来发生 7 级以上地震的重要前兆信息; 中小地震的年尺度活动图像的异常变化, 如大范围平静背景下的异常条带、集中有序(震群或爆发余震)、逼近地震(信号震)、前震或前震序列、异常项数明显增多和同一地区前兆时间同步, 异常种类配套也是未来发生 8 级左右地震的重要前兆信息. 因为地震活动性直接反映了地壳内应力状态, 当地壳某处或某几处的应力状态发生变化时, 地震活动图像就会出现异常, 改变为规则图像<sup>[5]</sup>. 因此在异常图像的判定基础上, 重点对出现异常图像的区域进行地震活动性预测因子的异常变化和预测研究, 不仅可加强了分析的目标性, 还可有效地降低预测的虚报率. 尤其是中等地震(4~5 级)的异常与地质构造环境以及活动构造的受力状态的关系比微小地震更为密切<sup>[4]</sup>.

### [参考文献]

- [1] 索波列夫著 A. 张肇城, 等译. 震源物理与地震预报[M]. 北京: 地震出版社, 1997. 114.
- [2] 中国地震局监测预报司. 1998 年张北地震[M]. 北京: 地震出版社, 1999. 53.
- [3] 朱传镇, 王林瑛. 地震活动熵值及其在地震危险性估计中的应用[J]. 地震, 1988, (2): 32—36.
- [4] 国家地震局预测预报司. 测震学分析预报方法[M]. 北京: 地震出版社, 1997.
- [5] 梅世蓉. 唐山地震的问题与启示[A]. 见: 梅世蓉地震科学论文选集[C]. 北京: 地震出版社, 1993. 131.

## THE ANOMALIES OF SEISMICITY BEFORE WEST TO KUNLUN MOUNTAIN PASS $M_s$ 8. 1 EARTHQUAKE AND ITS PREDICTION SIGNIFICANCE

WANG Lin-ying, CHEN Pei-yan, LIN Bi-cang, DING Qiu-qin  
(*Institute of Geophysics, CSB, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** Before west to Kunlun Mountain Pass  $M_s$  8. 1 earthquake, the anomaly coupling phenomena of seismicity quiescence in large area, high  $b$  value, high modulation and low entropy value appeared obviously. The anomalies of seismicity in different time-space scales before great earthquake are analysed and the prediction possibility to great earthquake is discussed.

**Key words:** Great earthquake; Earthquake quiescence; Anomaly coupling; Tracing prediction