

Seismic Activity Research in Relative Temporal Stage

Jinping Gu, Gang Li, Mingxiao Li

China Earthquake Networks Center, Beijing
Email: gujinpings1000@126.com

Received: Feb. 10th, 2016; accepted: Feb. 26th, 2016; published: Feb. 29th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the structure stress field variety, b value among the G-R relationship function probably may be deviated. Some anomalous seismic activities emerging in relative temporal stage are discussed for the earthquake forecast research of the short stage.

Keywords

Stress Field Variety, The b Value Deviated, Relative Temporal Stage, Seismic Activity

地震活动时空关联研究

顾瑾萍, 李 纲, 黎明晓

中国地震台网中心, 北京
Email: gujinpings1000@126.com

收稿日期: 2016年2月10日; 录用日期: 2016年2月26日; 发布日期: 2016年2月29日

摘 要

基于构造应力场的变化, G-R关系式的 b 值可能发生非线性偏离。分析两者关联时间域出现的地震异常活动, 以推进中强地震的短期预测研究。

关键词

应力场变化, b 值偏离, 关联时域, 地震活动

1. 引言

地震活动是地球构造运动的产物, 地震活动的时空变化携带有与大震孕育有关的地壳形变过程中应力集中和积累的信息。许多学者用确定性方法或概率统计方法对地震活动的时空分布作过各种研究, 说明强震孕育时, 相应于应力场的变化, 地震活动会出现相对均匀 - 不均匀 - 不均匀增强(无序向有序转化)的过程, 虽然不同强震前的细节不同, 但由无序向有序转化的总体特征具有重显性[1]。这表明中强地震前, 地震活动状态的变化使 G-R 关系式出现非线性 b 值偏离也许是确定的[2]-[4]。这种地震活动状态的变化过程可以用 SOC 模型来认识。

作为控制大量广延耗散动力系统(Spatially extended dynamical systems)的普适法则, 自组织临界性((Self-organized criticality, 简称 SOC)是 Bak [5]-[7]等人为解释无序的、非线性复杂系统的行为特征提出的新概念, 即耗散动力学。认为系统的大量组元之间存在着强烈的相互作用、长程关联, 它们的时空关联函数满足幂指数关系(power-law)。相互作用使系统自然地朝着临界状态进化, 从而导致大规模事件的发生[8]。地震活动的 G-R 定律是满足幂指数关系(power-law)的, 所以也可把大地震事件的发生看成由于构造应力场的变化, 非线性岩石圈动力学系统作为广延耗散动力系统, 自组织地演化到一个临界状态的直接结果。朱传镇等(1997)曾用 SOC 模型的概念, 对 G-R 关系式非线性 b 值偏离有解释[9]。也有科研人员已经用 SOC 模型去研究地震预测预报问题[10]-[12]。

本文以中强震孕育时相应于构造应力场的变化, 地震活动会出现相对均匀 - 不均匀 - 不均匀增强过程的概念为基础确定研究主题: 首先是提出研究参数, 一是对应力场稳定性进行描述的参数: 时间变异系数及它的标准差; 二是为了在资料处理中便于计算, 引入隐性的 b 值参数: 平均震级。这 2 种参数出自相同的地震目录, 而前者由地震事件的时间资料得到, 后者由地震事件的强度 - 频度资料得到, 互不相关。故它们发生关联的时段, 可认为是构造应力场不稳定性增强时, 地震活动 G-R 关系式中 b 值非线性偏离的关联时域。其次, 讨论关联时域中相应的时空特征, 包括非线性 b 值偏离对应应力场变化的响应、及响应程度与未来地震强度的关系、关联时域的地震活动图像和以大地天文学参数表征的地震活动等, 这些特征可能对中强地震的短期预测研究有意义。

2. 时间变异系数及标准差

统计学中的变异系数定义为参数样本标准差与均值的比值。当样本随机分布时, 变异系数为 0.475, 系统最稳定, 这是变异系数的一个相对标准值。以我国地震台网记录的给定起始震级以上的地震事件时间差组成参数样本, 引入变异系数, 讨论它们在时间轴上的不均匀性。表明往往在时间变异系数值连续上升到高值后会发生中强地震。一般认为构造应力场的增强导致中强地震发生, 因而时间变异系数可以作为描述构造应力场稳定性的参数[13]。

2.1. 时间变异系数

假定某次中强震前出现的一些时间变异系数异常点均与该次地震发生的时间有关, 则这些方程被满足

$$Ti + \Delta Ti = X (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (1)$$

式中, T_i 为第 i 个变异系数异常时间点, 经过 ΔT_i 时间后, 在 X 时间点发生了该次中强震。但有 N 个变异系数异常时间点, 总有 $N + 1$ 个未知数, 方程无解。利用在非线性岩石圈动力学系统自组织地演化到一个临界状态时的韵律特性, 那么每个变异系数异常点相应的推前时间 ΔT_i 可设为一个基准 ΔT 的整倍数, 则中强震发震时刻是多个变异系数异常时间点的线性函数, 就可把式(1)改写为

$$X = a + b T_i \quad (2)$$

任意取 4 个 2003 年我国已发生的中强地震。可用式(2)反演计算求得 4 组 a 、 b 值, 结果见表 1。表 1 (及更多资料计算结果)表明 a 、 b 值比较接近, 旁证了本假定的可能性。求得平均 $a = 1.01$, $b = 7.12$ 。只要 a 、 b 值已知, 有了 n 个变异系数异常时间点组成可求解方程组, 就能完成对每次未来发震时间的预测, 因而该结果具有时间预测的前探性。

这种时间前探性研究, 尽管可能是近似的, 但它与构造应力场起伏水平有关, 就可能提前给出构造应力场未来一段时间起伏的大致进展。例如图 1 为 2015 年 2 月 22 日新疆沙湾 5 级地震的时间变异系数进程图。提前 10 天左右可见到 2 月 19~23 日构造应力场表现出非常不稳定, 而沙湾 5 级地震在 2 月 22 日发生。

2.2. 标准差

标准差是在统计学中衡量一组数据离散程度的度量, 表示了与相对均值的偏离程度。标准差的计算采用时间变异系数参数的 5 点滑动求得。计算方法是各个样本数据分别与其平均值之差的平方和求平均, 再开方。

时间变异系数描述构造应力场的变化, 其标准差参数则讨论相对均值变化状态和怎样变化的。如果时间变异系数增强而且其标准差大, 说明构造应力场的变化过程中起伏大, 很不稳定。反之同理。图 2 为 2013 年 1 月 29 日中哈边境 6.1 级地震前的时间变异系数的标准差时序图。标准差持续增强波动越来越大, 即应力场变得越来越不稳定。2013 年 1 月 18 日四川白玉 5.4 级地震和 1 月 23 日辽宁灯塔 5.1 级地震发生在标准差参数变化较明显时, 而 2013 年 1 月 29 日中哈交界 6.1 级地震则发生在标准差参数变化最大时。

时间变异系数标准差参数分析反映出应力场变化的阶段特性(图 2)。其次, 当处于应力场阶段跳跃或变得较高时, 中强震发生的可能性大。当应力场变化到最大值附近, 该过程中最大强度的地震可能发生, 因此地震往往成丛发生。另外, 标准差变化的阶段长度可能与未来中强地震强度有关。作近年来我国约 30 次中强地震前标准差变化的阶段长度统计, 即发震时间前的标准差 3 个阶段 w_1 、 w_2 、 w_3 , 相对 5、6 级地震, 仅在 w_2 阶段, 6 级左右地震相比 5 级左右地震要长约 20%; 而 7 级左右地震则在各阶段和总时间长度上都比 5、6 级地震要长约 40%~80%, 这对大事件的强度判定是有意义的。

3. G-R 关系式 b 值偏离和平均震级

3.1. b 值偏离和平均震级

在研究构造应力场的稳定性程度时, 再结合考虑 G-R 关系式 b 值的偏离情况。G-R 关系式为:

$$LgN = a - bM \quad (3)$$

由(3)式可知, 对某个时段中的最大地震 M_{\max} 而言, 当 $N = 1$, $M_{\max} = a/b$, M_{\max} 与 b 值成反比, 所以中强地震前 b 值会偏离 G-R 关系式。

据研究, 正常 b 值在 0.82 左右。表 2 为 2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震前我国大陆多次中强震前 b 值的偏离情况。显示了 b 值相对 0.82 的偏离。但是由于统计所取时空域不同, 对每个地震的结果的唯一性很难确定。

根据最大似然法为基础的宇津公式, G-R 关系式中的 b 值可表示为:

Table 1. The parameters of 4 moderate-strong earthquakes and the corresponding a and b values
表 1. 4 次中强地震参数与 a 、 b 值

年-月-日	纬度(N)	经度(E)	震级	地点	a 值	b 值
2003-01-17	32°48'	90°12'	5.0	西藏班戈	1.0669	6.8865
2003-02-24	39°30'	77°12'	6.8	新疆伽师	0.9273	6.6970
2003-07-21	26°00'	101°12'	6.2	云南大姚	1.0256	7.7949
2003-10-25	38°24'	101°12'	6.1	甘肃民乐	1.0364	7.0909

Table 2. Results of moderate-strong earthquakes and the corresponding deviation of b values
表 2. 几次中强震与 b 值的偏离结果

1	120720 (4.9)	0704-09	0.58	江苏扬州
2	121111 (7.0)	1026-31	1.04	缅甸
3	130129 (6.1)	0121-24	1.03	中哈边界
4	130212 (5.1)	0128-0201	0.58	青海海西
5	130303 (5.5)	0222-24	0.97	云南洱源
6	130311 (5.5)	0226-02	0.94	新疆阿图什
7	130329 (5.8)	0321-24	0.69	新疆昌吉
8	130420 (7.0)	0408-14	1.21	四川芦山

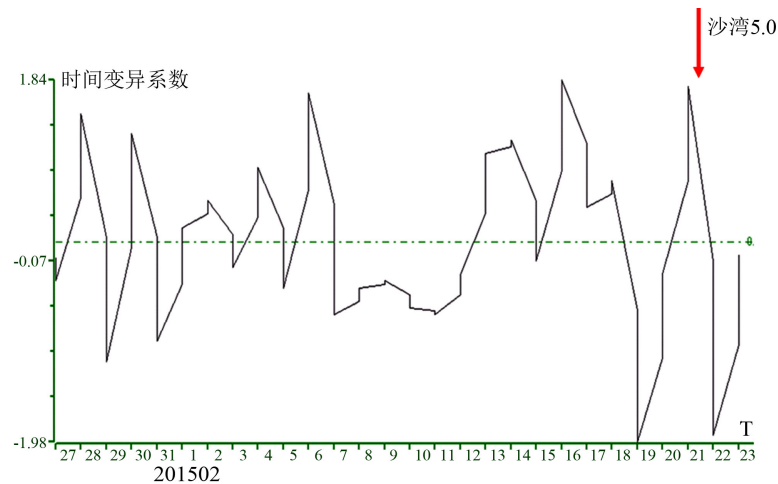


Figure 1. The time variation coefficient curve before Shawan Ms5.0 earthquake, in Xinjiang, on February 22, 2015

图 1. 2015 年 2 月 22 日新疆沙湾 5 级地震时间变异系数进程曲线

$$b = 0.4343 / (M_p - M_o) \quad (4)$$

其中, M_p 为平均地震, M_o 为所处理资料的起始震级。由(4)式可见, 采用 M_p 参数也可描述 b 值状态。为了使结果具有唯一性, 本文定义的 M_p 为我国地震台网记录 2 级以上地震目录的日平均震级。另外, 按最大似然法求 b 值对大小地震是等权处理的, 因此要求较大地震资料不能缺失。本文的资料取自中国地震台网中心, 基本可以做到这一点。

图 3 为 2013 年四川芦山 7.0 级地震前的 M-T 图(上)和 M_p 曲线(下), 下图从 3 月中开始到 7 级地震

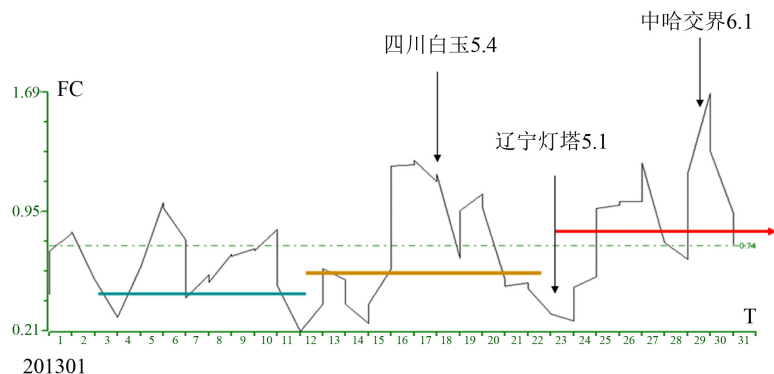


Figure 2. The time variation coefficient and standard deviation curve before the Ms6.1 China-Kazakhstan boundary. Earthquake, on January 29, 2013
图 2. 2013 年 1 月 29 日中哈交界 6.1 级中强震前时间变异系数标准差曲线

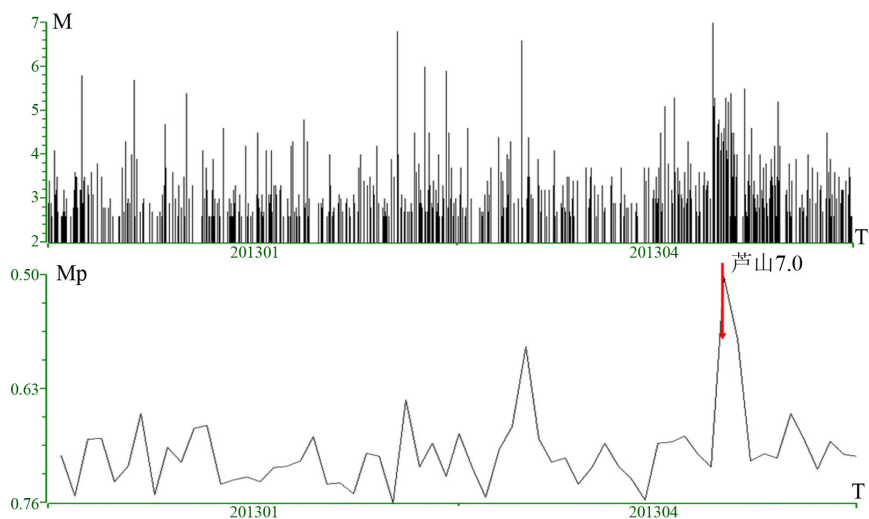


Figure 3. The M-T curve and Mp curve before the Sichuan Lushan Ms7.0 earthquake, in 2013
图 3. 2013 年四川芦山 7.0 级地震前 M-T 图和 Mp 曲线

发生显示了一个 b 值偏离过程。

3.2. b 值偏离对应力场变化的响应

① 图 4 为 2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震前的时间变异系数及 M_p 曲线。可以看出 2 条曲线在 2013 年 3 月下旬以后基本同步出现偏离后的线性上升趋势，它表现为 b 值偏离对应力场变化响应的关联现象。但 4 月 08~15 日 M_p 曲线不再增高发展，即 b 值在下降偏离后又出现上升偏离(与图中 M_p 相反)，地震活动进一步呈现非线性。由于 b 值偏离后，总要回到稳定值上去，那么，就将会发生较大的地震来改变这种偏离，从而判定地震活动趋势。

② 如果地震活动对构造应力场的增强有所响应，而构造应力场强度变化是不连续的，那么应力场阶段转换特点也应被地震活动反映。在时间变异系数标准差参数讨论时提出中强震前可划分 w_1 、 w_2 、 w_3 时间阶段。若定义 W_2 与 W_3 之间各取 2 天组成应力场变化转换时段，那么相应地 b 值应出现偏离。图 5 为我国近年约 30 次中强地震前 b 值偏离时段(蓝色)和应力场变化转换时段(红色)两者的中心日比较曲线。可见一致性较好。(其中横轴表示第 i 个地震，纵轴表示日期，不计月份。如 28 日与 3 日则变成 28 与 34。)

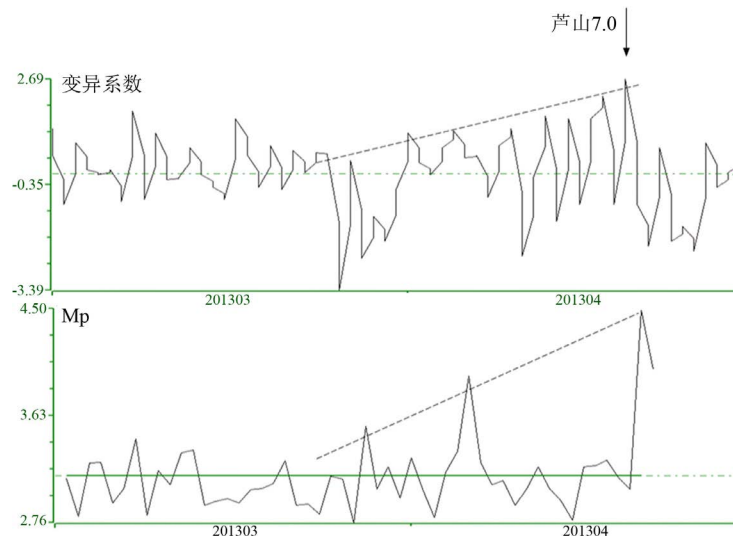


Figure 4. The time variation coefficient and the corresponding M_p curve before the Sichuan Lushan Ms7.0 earthquake in 2013

图 4. 2013 年四川芦山 7.0 级地震前时间变异系数和 M_p 曲线

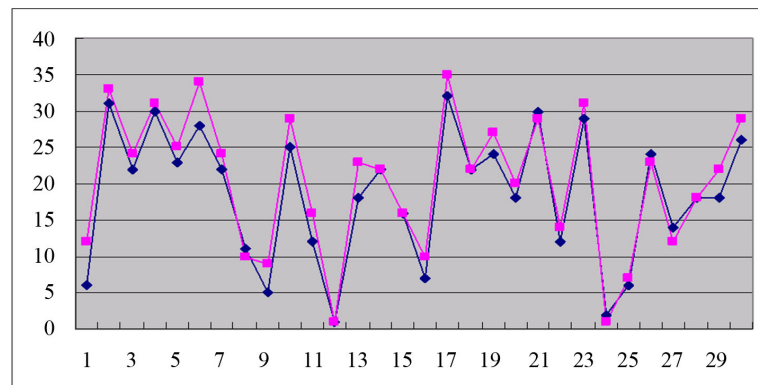


Figure 5. The contrastive analysis between b value deviation period and the conversion stage for some middle-strong earthquakes

图 5. 中强地震前 b 值偏离时段和阶段转换时段比较

4. 关联时域地震活动特点

4.1. 预估中强地震的强度范围

M_p 与所发生的最大震级是直接有关的, 当 M_p 曲线与时间变异系数曲线基本同步出现线性上升关联时, 由于时间变异系数曲线未来一段时间的大致进展可以提前 10 天左右给出的, 那么相应的 M_p 将达到的最大值可被估计出来。为了从 M_p 估计未来中强震的震级, 先建立以往一些震例两者的经验关系(图 6)。经验关系表明, 当 M_p 大于 3.5 时, 就有可能发生约 6 级以上的地震, 以 2013 年四川芦山 7.0 级地震为例, 由图 4 可以估计 4 月 20 日 M_p 达到 4.5 左右, 按经验关系推测, 可能发生大于 7 级的地震。

另外, 从标准差阶段时间长度统计得到, 该震例 W_1+W_2 时间段为 22 天, 大于统计值 18.6 天标准, 也估计 4 月 20 日左右可能发生大于 7 级的地震。

4.2. 显著地震可能指示震中

由于未来中强震震源位于高应力集中区, 在关联时域 $W_1 + W_2$ 内发生的一些显著地震可能指示震中。

图 7 为 2013 年四川芦山 7.0 级地震(震中: 30.3°N, 103.0°E), W1 + W2 时段震源区被 4 级地震(绿色)有序围绕。

4.3. 地震活动情况

图 8 为四川芦山 7.0 级地震前, 4 月 8~15 日的非线性时段地震活动, 其间 3 级(红色)以上地震缺少、2 级(蓝色)地震呈带状分布。3 级只集中在 3 月 29 日已发生的新疆吉昌 5.8 级地震附近和未来 4 月 20 日芦山 7.0 级地震附近。

4.4. 以大地天文参数表征的地震活动

在天球系统中, 设想观测点的地球纬度为 ϕ , 天体正处于天顶以南的子午圈上, 则满足:

$$\text{COS } Z_m = \text{COS}(\phi - \delta) \tag{5}$$

$$\phi = Z_m + \delta \tag{6}$$

其中, δ 为天体赤纬, Z_m 为天顶距。

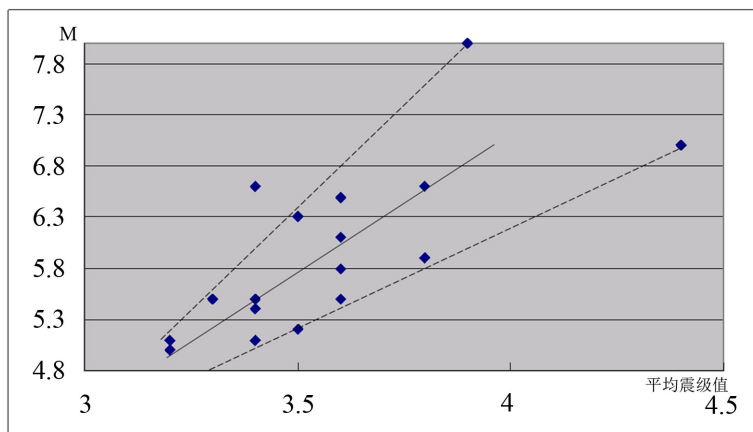


Figure 6. The experience relationship between the main shock magnitude and the corresponding Mp value

图 6. 主震震级与相应 Mp 值的经验关系

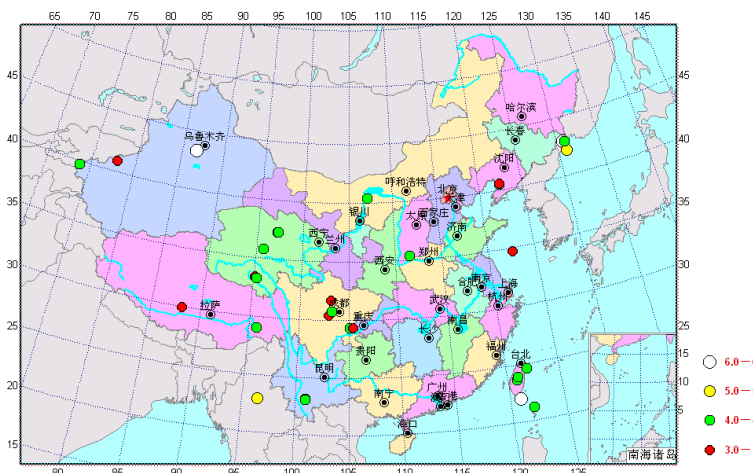


Figure 7. The distribution of earthquakes (ML ≥ 3.0) in the epicentral area before the Sichuan Lushan Ms7.0 earthquake

图 7. 四川芦山 7.0 级地震前震源区的地震分布(ML ≥ 3.0)

从大地天文学含义上讲, 满足(6)式时某天体相对观测点正处于上中天的状态。天体处于上中天的状态恰好是天体过天球子午圈, 其相应天体时角满足水平引潮力的极值条件, $\tau = 0^\circ$ 或 360° , 或 $\tau = 180^\circ$ 。

图9为四川芦山7.0级地震前, 3月25日到27日(月相“望”), 满足上中天条件的地震在震源区有序分布。图10为相同时段, 天体时角表征的两类极值地震形成南北2个集中圈交汇于震源区。

5. 结论

本文研究得到以下一些可参考的结论:

时间变异系数的前探性研究可能近似, 但它能反映出未来时段构造应力场起伏变化的大致状态。利用这一前瞻性可求得关联时域中平均震级参数的最大推测值, 再通过经验关系预估未来中强震的强度。

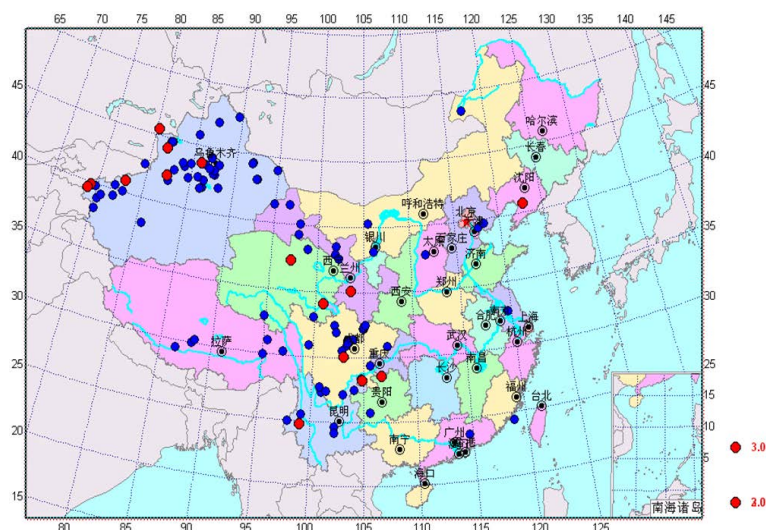


Figure 8. The seismic activity in the nonlinear stage before the Sichuan Lushan Ms7.0 earthquake

图8. 四川芦山7.0级地震非线性时段地震活动

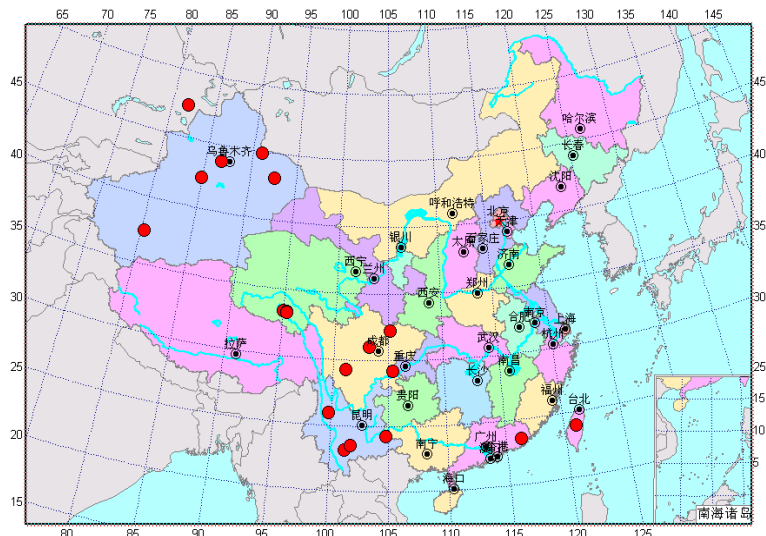


Figure 9. The distribution of the modulation earthquakes from March 25 to March 27(full moons) before the Sichuan Lushan Ms7.0 earthquake

图9. 四川芦山7.0级地震前的3月25~27日(“望”)调制地震分布

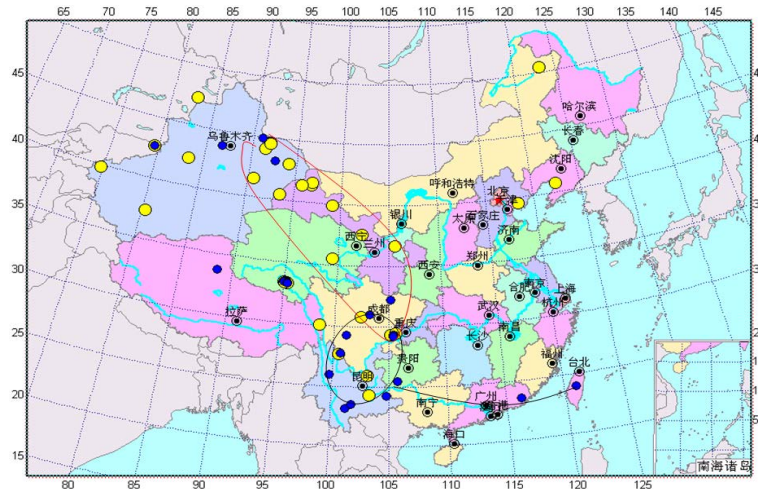


Figure 10. The distribution of two types extreme value modulation earthquakes symbolized by globe time angle in moon's full stage before the Sichuan Lushan Ms7.0 earthquake

图 10. 四川芦山 7.0 级地震“望”时段天体时角两类极值地震分布

时间变异系数标准差的研究表明，构造应力场变化的状态可能有阶段特性。中强地震的成丛发生可能与这种阶段交接有关；

利用时间变异系数标准差的阶段时间长度也可以估计未来地震强度，而且 7 级左右地震则在各阶段和总时间长度上都比 5、6 级地震要长约 40%~80%，这对大事件的强度判定是有意义的。

非线性 b 值偏离会对构造应力场的变化有关联反应，关联时域中的地震活动出现一些现象，如由于未来中强震震源位于高应力集中区，在关联时域发生的一些显著地震呈有序分布。又如 b 值偏离的非线性时段弱小地震呈带状分布；另外，以大地天文参数表征的地震活动图像可能对震中位置指示等。这将对地震短临预测有意义。

由于中强地震位于不同构造区域、有不同产状以及各地台网观测精度不相同等都可能影响结果。本研究思路中也存在以下一些问题：

① 在孕震中、后期构造应力场起伏比较大，客观上研究的每一步都会有误差引入，如构造应力场的转换阶段、 b 值偏离非线性时段的确定等。

② 地震成丛发生，也会重叠和互相干扰，增加分析难度。

③ 强度估计中判据的经验样本有待增加。

总之，目前地震预测预报还是非常复杂和困难的问题，本工作只企图推进中强地震的短期预测研究。

参考文献 (References)

- [1] 张国民, 付征祥, 桂燮泰, 等. 地震预报引论[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 陈时军, 王志才, 陶九庆, 等. 非线性震级频次关系与两类地震活动系统[J]. 地震学报, 1998, 20(2): 174-184.
- [3] 顾瑾萍. 非线性震级频次关系在时间项短临预测中的应用[J]. 地震, 2000, 21(S1): 51-57.
- [4] 顾瑾萍, 等. 地震活动性时间频度参数 h_1 的异常研究[J]. 防灾科技学院学报, 2013, 15(3): 30-34.
- [5] Bak, P., Tang, C. and Wiesenfeld, K. (1987) Self-Organized Criticality: An Explanation of $1/f$ Noise. *Physical Review Letters*, **59**, 381-384. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.59.381>
- [6] Bak, P., Tang, C. and Wiesenfeld, K. (1988) Self-Organized Criticality. *Physical Review A*, **11**, 364-374. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.38.364>
- [7] Bak, P. and Tang, C. (1989) Earthquakes as a Self-Organized Critical Phenomenon. *Journal of Geophysical Research*,

94, 15635-15637. <http://dx.doi.org/10.1029/JB094iB11p15635>

- [8] 吴忠良. 自组织临界性与地震预测——对目前地震预测问题争论的评述(之一)[J]. 中国地震, 1998, 14(4): 1-8.
- [9] 朱传镇, 王琳瑛, 舒曦, 等. 前震活动特征及其识别的研究[C]//国家地震局预测预防司. 地震短临预报的理论与研究. 北京: 地震出版社, 1997: 32-37.
- [10] 罗灼礼, 孟国杰. 关于地震丛集特征、成因及临界状态的讨论[J]. 地震, 2002, 22(3): 2-14.
- [11] 罗灼礼, 孟国杰, 王伟君, 罗伟. 地震活动涨落、自组织结构和大震临界状态的统计特征[J]. 地震, 2004, 24(4): 1-17.
- [12] 顾瑾萍, 郭铁栓, 姜龙. 水平引潮力极值天体时角表征与调制讨论[J]. 中国地震, 2012, 28(1): 61-68.
- [13] 顾瑾萍. 中强地震发震时间预测研究[J]. 地震, 2014, 34(2): 138-142.