

黄元敏, 杜龙, 邵叶, 等. 信宜-廉江断裂地震活动状态分析[J]. 华南地震, 2016, 36(4): 14-19. [Huang Yuanmin, Shao Ye, Wang Zhengya. Analysis on Stress State in Xinyi-Lianjiang Fault Area [J]. South china journal of seismology, 2016, 36(4): 14-19.]

## 信宜-廉江断裂地震活动状态分析

黄元敏<sup>1</sup>, 杜龙<sup>2</sup>, 邵叶<sup>1</sup>, 王振亚<sup>3</sup>

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中核工程有限公司, 广东 深圳; 3. 湛江市地震局, 广东 湛江 524043)

**摘要:** 利用 1972 年 1 月 1 日至 2016 年 3 月 31 日粤桂交界地区地震台网记录的地震资料, 获得了信宜-廉江断裂带及附近区域  $b$  值、 $a$  值和  $T_L$  值等多个地震活动性参数的空间分布图像, 讨论了断裂带的应力状态。研究表明: 信宜-廉江断裂带地震活动性参数分布具有明显的空间差异性。断裂带西南端的北部湾海域段落具有低  $b$  值、低  $a$  值和最短的复发间隔  $T_L$  值的参数组合特征, 表明该段落已处于高应力闭锁状态, 具有发生中强地震的应力条件。信宜-廉江断裂带中部与遂溪断裂带交汇的区域应力水平和闭锁程度低于北部湾地区, 但需要关注遂溪断裂带上中强地震对该断裂带的应力触发作用。高州水库区域小地震活跃, 应力释放以小震持续活动为主。

**关键词:** 地震活动性参数; 信宜-廉江断裂带; 应力状态; 闭锁

**中图分类号:** P315.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2016) 04-0014-06

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2016.03.003

## Analysis on Stress State in Xinyi-Lianjiang Fault Area

HUANG Yuanmin<sup>1</sup>, DU Long<sup>2</sup>, SHAO Ye<sup>1</sup>, WANG Zhengya<sup>3</sup>

(1. Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, Guangdong, China;

2. China Nuclear Power Engineering Company, Shenzhen 518000, China;

2. Earthquake Administration of Zhanjiang City, Zhanjiang 524043, China)

**Abstract:** Using the seismic data recorded by the Guangdong and Guangxi regional seismic network from January 1st, 1972 to March 31st, 2016, the paper obtained the spatial distribution of several seismicity parameters (including  $a$  and  $b$  values in the frequency-magnitude relationship, and the local recurrence intervals  $T_L$ ) in Xinyi-Lianjiang fault and its surrounding area to discuss the stress state in the fault. The results show that: the spatial distribution of several seismicity parameters was significantly heterogeneous in the fault area. The Beibu Gulf area in the southwest section of the fault had the characteristic of the low  $b$ -value, low  $a$ -value, and the shortest recurrence intervals  $T_L$ . All these implied that this section of the fault might have been locked under the high stress and more likely to generate moderate-strong earthquakes. The stress state and the degree of locking in the central section of fault, where it is the intersection of Xinyi-Lianjiang fault and Suixi

**收稿日期:** 2015-10-06

**基金项目:** 中国地震局“2016年度震情跟踪定向工作任务”(2016010111)、湛江市地震局“粤桂琼交界地区未来5年地震趋势及对策研究”项目资助

**作者简介:** 黄元敏(1982-), 男, 工程师, 主要从事地震预测研究工作。

**E-mail:** q\_hym@aliyun.com.

fault, were lower than Beibu Gulf section. Because it was the intersection of two faults, the stress triggering on Xinyi-Lianjiang fault from the moderate-strong earthquakes in Suixi fault could not be ignored. There were a lot of small earthquake in Gaozhou reservoir area, and its stress release was mainly based on the small earthquake activity.

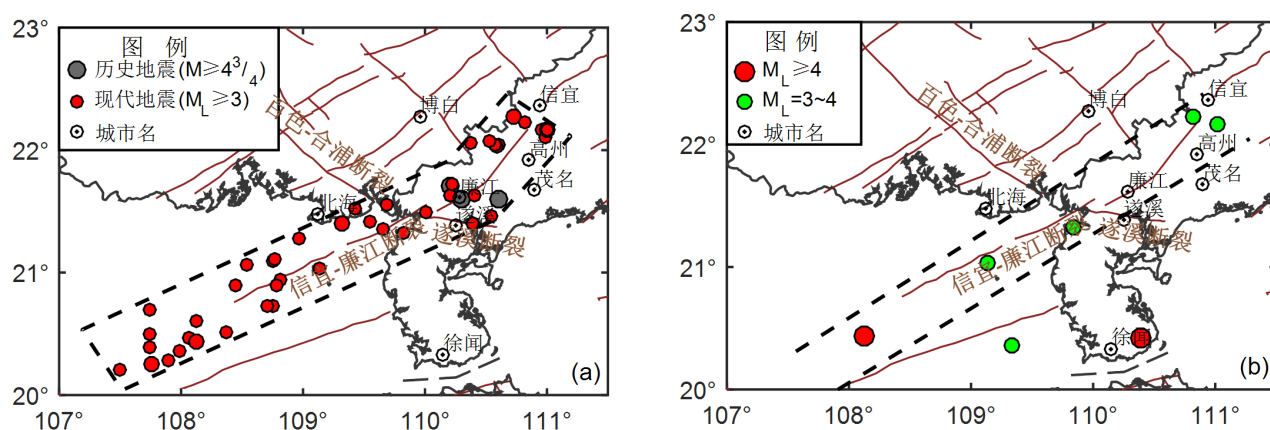
**Keyword:** Seismicity Parameters; Xinyi-Lianjiang Fault; Stress State; Locking

## 0 前言

信宜-廉江断裂带位于粤桂交界地区, 沿信宜、廉江一线呈北东向分布, 北东段走向  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ; 南西段向东偏转到  $60^{\circ}$ , 向西南延伸, 潜没于北部湾, 陆地部分长约 150 km, 为粤西地区地震活动较为活跃的断裂带之一<sup>[1]</sup>。历史上该断裂带发生了 3 次破坏性地震, 分别是 1509 年化州的  $4\frac{3}{4}$  级地震、1653 年和 1933 年廉江  $4\frac{3}{4}$  级地震。1970 年以来, 该断裂带以小震活动为主, 发生了多次  $M_L$  3.0 级地震, 特别是位于断裂带北端的高州水库地震活动较为活跃, 先后发生了 1983 年的  $M_L$  3.0 级震群、2005 年的  $M_L$  3.0 级地震、2013 年  $M_L$  4.2 级地震以及 2015 年  $M_L$  3.7 级地震等(图 1a)。2014 年 10 月以来, 粤桂交界地区发生了 7 次  $M_L \geq 3.0$

级地震, 其中 5 次发生在信宜-廉江断裂带上, 显示了很强的条带特征(图 1b), 意味着该断裂带可能是粤桂交界地区未来地震活动的主体区域。研究该断裂的应力状态, 对讨论粤桂交界地区的地震趋势具有重要的意义。

中强地震通常发生于活动断裂带上具有高应力积累的凹凸体<sup>[2]</sup>或闭锁断裂段<sup>[3-4]</sup>。实验室岩石破裂实验<sup>[5]</sup>、与流体抽取有关的地震活动研究<sup>[6]</sup>以及矿山岩石破裂观测<sup>[7]</sup>等均表明,  $b$  值对地壳中的有效剪应力最为敏感, 并与应力呈反比关系。因此, 低  $b$  值可以作为高有效剪应力的指标<sup>[8]</sup>, 目前已广泛应用于分析活动断裂带的地震危险性<sup>[3-4,8-18]</sup>。本文利用粤桂交界地区地震台网记录的地震资料, 研究信宜-廉江断裂带的多个地震活动性参数(包括  $b$  值、 $a$  值和局部复发间隔  $T_L$  值)空间分布特



(a. 断裂带位置及地震分布(1972–2016); b. 2014 年 10 月至 2016 年 3 月地震震中分布)

图 1 信宜-廉江断裂带位置及  $M_L \geq 3.0$  地震的震中分布

Fig.1 Distribution of Xinyi-Lianjiang fault and epicenter of earthquakes with  $M_L \geq 3.0$

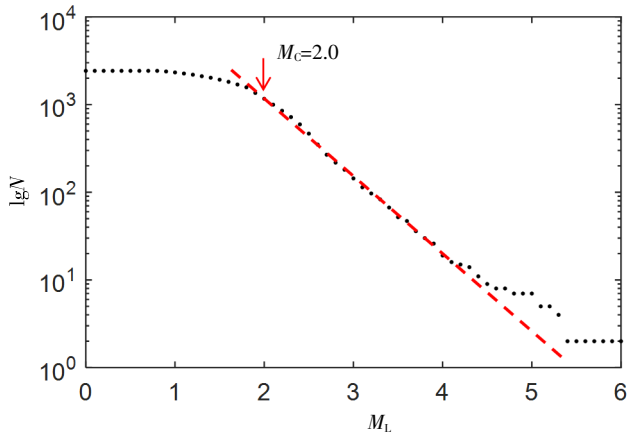
征, 进而初步探讨断裂带的应力状态。

## 1 资料与计算

### 1.1 资料

考虑到粤桂交界地区地震台网早期的监测能力, 本文取自 1972 年 1 月 1 日至 2016 年 3 月 31

日时段的地震目录进行计算。研究区  $M_L \geq 1.0$  级地震的震级-频度关系(图 2)显示, 在研究时段内  $M_L \geq 2.0$  级地震的线性拟合较好, 因此本文计算地震活动性参数所用资料的最小完整性震级  $M_c$  取  $M_L$  2.0。图 3 给出了粤桂交界地区  $M_L \geq 2.0$  级地震的震中分布。我们根据震中分布和断裂带的分布来确定研究区域(图 3 中虚线框)。



(1972-01-01~2016-03-31,  $M_L \geq 1.0$ )

图2 粤桂交界地区地震震级-频度分布

Fig.2 Frequency-magnitude distribution for earthquakes in the border region of Guangdong and Guangxi (19720101-20160331,  $M_L \geq 1.0$ )

## 1.2 参数计算

实验室岩石破裂实验<sup>[9]</sup>、与流体抽取有关的地震活动研究<sup>[6]</sup>以及矿山岩石破裂观测<sup>[7]</sup>等均表明,应力与震级( $M$ )-频度( $N$ )关系中的  $b$  值成反比:

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

式(1)中,  $M$  为震级,  $N$  为一定时间段内发生  $M \geq M_c$  (最小完整性震级)的地震数量,  $a$ 、 $b$  为回归常数。与  $a$ 、 $b$  值相关的另一地震活动性参数为局部复发间隔  $T_L$  <sup>[3-4]</sup> 为

$$T_L = \Delta T / 10^{(a-bM_f)} \quad (2)$$

式(2)中,  $\Delta T$  为使用地震资料的时段长度(年);  $M_f$  为预测震级。

基于震级-频度关系的不同地震活动性参数具有不同的物理意义:  $a$  值代表地震活动率;  $b$  值代表大小地震的比例;  $T_L$  值则代表给定震级条件下的局部复发间隔。 $b$  值作为估计断裂带相对应力水平的地震活动参数,目前已广泛应用于分析活动断裂带的地震危险性<sup>[3-4,8-18]</sup>。综合利用多个地震活动性参数值可以更合理地判断断裂带不同段落的地震活动习性和地震危险性<sup>[12-13,17-18]</sup>。例如,具有低  $a$  值、低  $b$  值和偏小  $T_L$  值特征的断裂段可能正处于低地震活动率的高应力闭锁状态,为未来最可能发生中强地震的危险段;相反,高  $a$  值、高  $b$  值和较大  $T_L$  值特征的断裂段具有蠕滑特征,地震活动以频繁小震为主,发生中强地震的可能性较小。

本文计算区域为图3中虚线范围,计算过程中,我们将研究区域按  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  划分网格,挑选出以每个网格点为圆心、半径为  $r$  的圆形统计单元

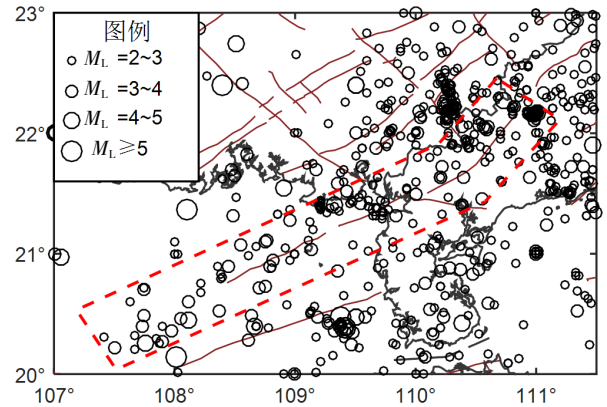


图3 粤桂交界地区  $M_L \geq 2.0$  地震分布图

Fig.3 Epicenter distribution of earthquakes with  $M_L \geq 2.0$  in the border region of Guangdong and Guangxi

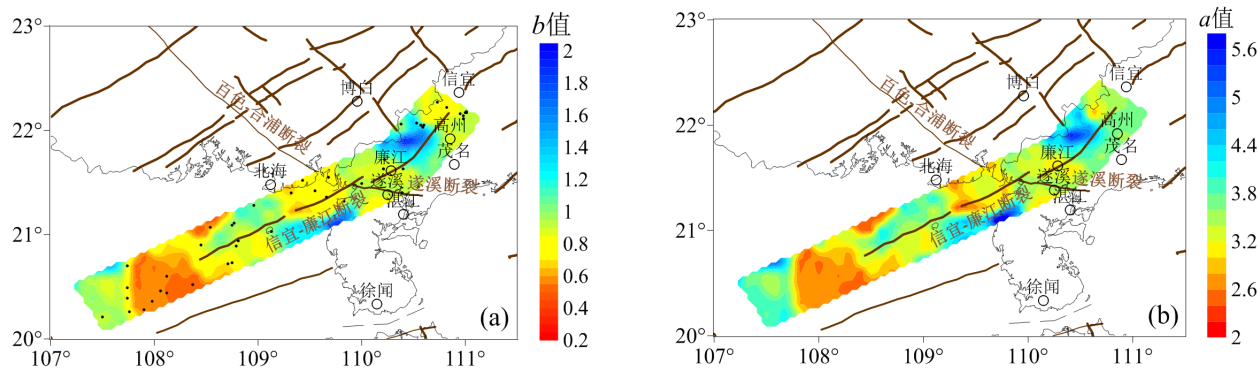
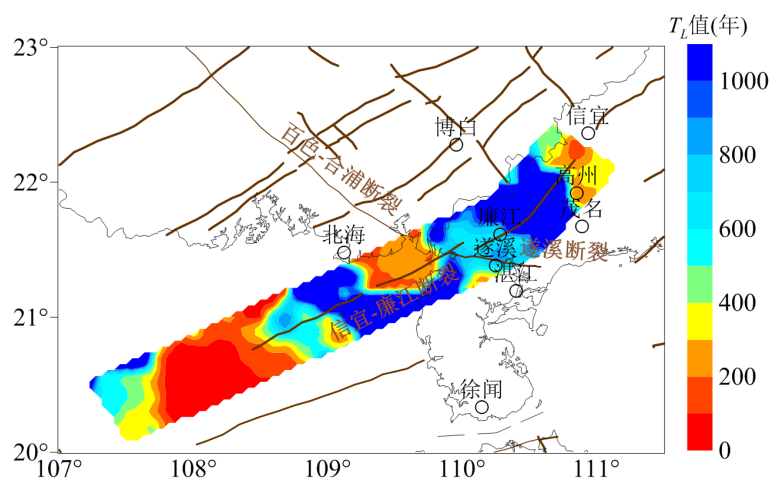
内的地震目录,然后按 0.1 级的震级档采用最小二乘拟合法计算出每个单元的  $a$ 、 $b$  和  $T_L$  值,并绘制等值线。考虑到研究区域早期地震资料的完整性,为保证计算结果的可靠性,要求每个统计单元内的地震样本数不少于 30 个,同时要求参与拟合的有效震级分档数不少于 5 档。计算中,统计单元的半径  $r$  值为 30 km,在地震稀疏区域适当扩大  $r$  值,但最大不超过 60 km。考虑到断裂带历史地震情况,在用公式(2)计算  $T_L$  值时,预测震级  $M_f$  取  $M_L 5.0$  级。

## 2 结果分析

利用以上数据和方法,我们计算了研究区域的  $b$  值、 $a$  值和  $T_L$  值,并绘成等值图(图4,5)。从图中可知,信宜-廉江断裂带  $b$  值、 $a$  值和  $T_L$  值分布存在明显的空间差异,分段特征明显,反映了断裂带不同段落现今应力积累的水平 and 地震危险性的空间差异。而整个研究区域的平均  $b$  值为  $0.90 \pm 0.01$ ,略低于全球区域的平均值<sup>[19-20]</sup>。

$b$  值低于 0.8 的区域主要分布在断裂带南端的北部湾海域( $107.5^\circ\text{E}$ - $108.5^\circ\text{E}$  之间)、断裂带中部与遂溪断裂交汇的区域和断裂带北端的高州水库附近地区,表明这些地区处于高应力背景。

断裂带南端的北部湾海域区域( $107.5^\circ\text{E}$ - $108.5^\circ\text{E}$  之间)以大面积异常低  $b$  值( $b < 0.7$ )、低  $a$  值为特征(图4a),同时具有整个断裂带最短的复发间隔  $T_L$  值(图5),参数组合类似于 2008 年汶川 8.0 级地震、1988 年澜沧 7.6 级地震前震中区附近

图4 信宜-廉江断裂带  $b$  值(a)和  $a$  值(b)空间分布图Fig.4 Spatial distribution of  $b$ -value (a) and  $a$ -value (b) in Xinyi-Lianjiang fault area图5 信宜-廉江断裂带  $T_L$  值空间分布图Fig.5 Spatial distribution of  $T_L$ -value in Xinyi-Lianjiang fault area

断裂带的地震活动参数分布特征<sup>[12,15,17]</sup>,表明该断裂带目前处于高应力闭锁状态。

断裂带中部与遂溪断裂交汇的区域和断裂带北端的高州水库附近地区则以略低于断裂带平均值的相对低  $b$  值为特征( $b \leq 0.8$ ),表现为低  $b$  值、低  $a$  值和短复发间隔  $T_L$  的参数组合特征(图4、5),表明这两个区域也存在一定程度的应力积累,但地震活动性参数的低值异常程度和异常区的分布范围均远小于断裂带南端的北部湾海域,说明其相对应力水平和闭锁程度均低于北部湾区域。

### 3 讨论

根据地震活动性参数计算结果,信宜-廉江断裂带各段落的构造应力水平差异明显,2000年以来断裂带( $M_L \geq 1.0$ )地震分布的剖面(图6)也显示了断裂带上小震活动的差异。断裂带西南段的北部湾地区小震活动明显小于东北段,但平均震级

略大。地震分布一定程度上受到了台网监测能力的影响,但基本反应了断裂带的地震活动特征。

断裂带西南端的北部湾海域区域(107.5°E~108.5°E之间)具有低  $b$  值、低  $a$  值和短的复发间隔  $T_L$  的参数组合特征(图4、5),显示了相对较高的应力背景,表明该段落处于高应力闭锁状态。地震剖面显示,参数组合异常的区段以稀疏小震活动为特征(图6),说明该断裂段小震活动较弱,为应力闭锁段。根据凹凸体理论,这一段落可能为该断裂带上的凹凸体,控制着断裂带的滑动,为未来中强地震最可能发生的位置。

断裂带中部与遂溪断裂交汇的区域也具有低  $b$  值、低  $a$  值和较短的复发间隔  $T_L$  的参数组合特征,但低值异常程度及异常区面积均明显小于北部湾海域区段(图4、5),表明其应力水平和闭锁程度相对较弱。地震剖面显示,该段落小震活动较为活跃(图6),显示出一定程度的蠕滑特征。但该段落位于信宜-廉江断裂带与遂溪断裂带的交汇



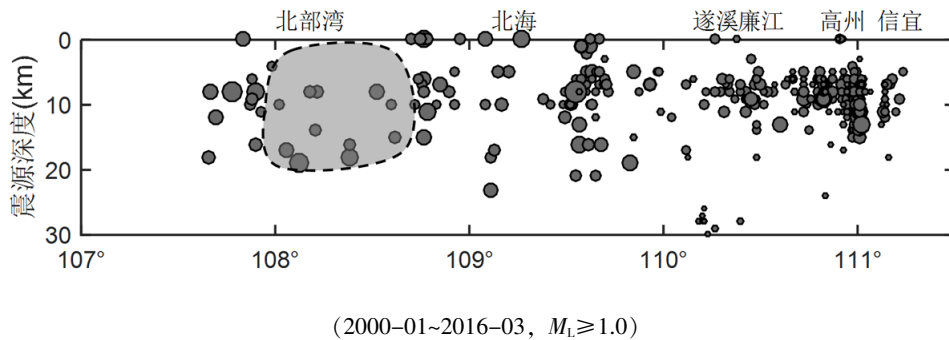


图6 信宜-廉江断裂带地震分布剖面图

Fig.6 Epicenter distribution of earthquakes in cross-section of Xinyi-Lianjiang fault area

处,地震活动受到两条断裂带的影响,需要考虑不同断裂带地震活动间的触发作用,重点关注遂溪断裂带上中强地震对该断裂带的应力触发作用。高州水库附近区域也具有低 $b$ 值、低 $a$ 值和短的复发间隔 $T_L$ 值的参数组合特征,但其异常程度较低、异常区面积较小(图4、5)。水库诱发地震统计显示,中强地震多发生在水库蓄水的早期<sup>[2]</sup>,如新丰江水库蓄水2.5年后发生了6.1级地震,主震之后以小震活动为主。高州水库蓄水至今已有50余年,蓄水早期没有发生中强地震,说明其应力水平未达到临界状态。蓄水后水位变化引起的载荷改变触发了断裂上的小震活动,发生了多次 $M_L$ 2~3级地震(图6),构造应变能不断释放,今后发生中强地震的概率较低。因此该段落未来发生中强地震的概率不大,其应力释放以小震持续活跃为主。

## 4 结语

本文利用粤桂交界地区地震台网记录到的40余年的地震资料,计算了信宜-廉江断裂带的 $b$ 值、 $a$ 值以及 $T_L$ 值等地震活动参数,初步分析了断裂带不同段落应力水平的空间差异及其未来地震的危险性。研究结果表明:

(1) 信宜-廉江断裂带地震活动性参数分布具有明显的空间差异性,反映了断裂带各段落的构造应力水平的差异。

(2) 断裂带西南端的北部湾海域段落(107.5°E-108.5°E之间)具有低 $b$ 值、低 $a$ 值和断裂带最短的复发间隔 $T_L$ 值的参数组合特征,且现代小震活动较弱,表明该段落已处于高应力闭锁状态,具有发生中强地震的应力条件,为未来中强地震最可能发生的段落。

(3) 断裂带中部与遂溪断裂交汇的区域的地

震活动性参数组合显示该段落的应力水平和闭锁程度相对北部湾区域较弱,但其位于断裂带交汇处,需要关注遂溪断裂带上中强地震对该断裂带上地震的应力触发作用。

(4) 高州水库区域地震活动参数虽然具有一定程度的异常特征,受库水位应力触发作用,小震活跃,构造应变能持续释放,发生中强地震的概率较小,地震活动以小震持续活跃为主。

## 参考文献:

- [1] 魏柏林. 东南沿海地震活动特征[M]. 北京: 地震出版社, 2001.
- [2] Aki K. Asperities, barriers, characteristic earthquakes and strong motion prediction[J]. J Geophys Res, 1984, 89 (B7): 5 867- 5 872.
- [3] Wiemer S, Wyss M. Mapping the frequency magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence times[J]. J Geophys Res, 1997, 102 (B7): 15 115-15 128.
- [4] Wyss M., Schorlemmer D., Wiemer S. Mapping asperities by minima of local recurrence time: San Jacinto-Elsinore fault zones [J]. J Geophys Res, 2000, 105 (B4): 7 829-7 844.
- [5] Scholz C.H. The frequency-magnitude relation to micro-fracturing in rock and its relation to earthquakes[J]. Nihon Naika Gakkai Zasshi the Journal of the Japanese Society of Internal Medicine, 1968, 96 (9): 1 909-11.
- [6] Wyss M. Towards a physical understanding of the earthquake frequency distribution[J]. Geophys J R Astr Soc. 1973, 31 (4): 341-359.
- [7] Urbancic T I, Trifu C I, Long J M, et al. Space-time correlation of  $b$ -values with stress release[J]. Pure Appl Geophys, 1992, 139 (3): 449-462.
- [8] Wyss M, Wiemer S. Change in the probability for earthquakes in southern California due to the Landers

- magnitude 7.3 earthquake[J]. Science, 2000b, 290: 1 334-1 338.
- [9] Wiemer S, McNutt S R, Wyss M. Temporal and three-dimensional spatial analysis of the frequency magnitude distribution near Long Valley caldera, California [J]. Geophys J, Int, 1998, 134 (2): 409- 421.
- [10] 易桂喜, 闻学泽, 等. 由地震活动参数分析安宁河-则木河断裂带的现今活动习性 & 地震危险性[J]. 地震学报, 2004, 26 (3): 294-303.
- [11] 易桂喜, 闻学泽, 徐锡伟. 山西断陷带太原-临汾部分的强地震平均复发间隔与未来危险段落研究[J]. 地震学报, 2004, 26 (4): 387-395.
- [12] 易桂喜, 闻学泽, 王思维, 等. 由地震活动参数分析龙门山-岷山断裂带的现今活动习性与地震危险性[J]. 中国地震, 2006, 22 (2): 117-125.
- [13] 易桂喜, 闻学泽. 多地震活动性参数在断裂带现今活动习性与地震危险性评价中的应用 & 问题[J]. 地震地质, 2007, 29 (2): 254-271.
- [14] 易桂喜, 闻学泽, 张致伟, 等. 川南马边地区强震危险性分析[J]. 地震地质, 2010, 32 (2): 282-293.
- [15] 易桂喜, 闻学泽, 辛华, 等. 2008 年汶川  $M_s$  8.0 地震前龙门山-岷山构造带的地震活动性参数与地震视应力分布[J]. 地球物理学报, 2011, 54 (6): 1 490-1 500.
- [16] 易桂喜, 闻学泽, 辛华, 等. 龙门山断裂带南段应力状态与强震危险性研究[J]. 地球物理学报, 2013, 56 (4): 1 112-1 120.
- [17] 易桂喜, 付虹, 王思维, 等. 1988 年澜沧-耿马地震前震源区应力状态分析[J]. 地震研究, 2014, 37 (3): 332-338.
- [18] 黄元敏, 杨马陵, 叶秀薇. 多地震活动性参数在粤闽交界及其近海地区的应用[J]. 华南地震, 2011, 31 (2): 71-78.
- [19] Frohlich C, Davis S. Telescismic b-values: or, much ado about 1.0[J]. J Gophys Res., 1993, 98 (B1): 631-644.
- [20] Zuniga R, Wyss M. Most- and Least-likely Locations of Large to Great Earthquakes along the Pacific Coast of Mexico Estimated from Local Recurrence Times based on b-values[J]. Bull Seism Soc Am, 2001, 91 (6): 1 717-1 728.
- [21] 周 斌. 水库诱发地震时空演化特征及其动态响应机制研-以紫坪铺水库为例[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2010, 31 (2): 11-14.