

# 1988年澜沧—耿马地震前震源区应力状态分析\*

易桂喜<sup>1</sup>, 付 虹<sup>2</sup>, 王思维<sup>1</sup>, 闻学泽<sup>1</sup>, 龙 锋<sup>1</sup>

(1. 四川省地震局, 四川 成都 610041; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 利用1973年1月1日至1988年11月5日云南区域地震台网记录的地震资料, 获得了1988年澜沧—耿马地震前震源及附近区域多个地震活动性参数的空间分布图像, 初步揭示了震前震源区应力状态。结果表明: 澜沧—耿马地震之前, 研究区地震活动性参数分布具有显著的空间不均匀性特征。澜沧7.6级地震震源区以低于0.7的异常低 $b$ 值、低 $a$ 值以及整个研究区最短的局部复发间隔 $T_L$ 值为特征, 表明震源所在断裂段在震前已处于高应力闭锁状态, 具有发生大震的应力条件。

**关键词:** 澜沧—耿马地震; 震源区; 地震活动性参数; 应力

**中图分类号:** P317.727

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2014)03-0332-07

## 0 前言

1988年11月6日21时3分, 云南省澜沧县发生7.6级地震(99°43'E, 22°50'N), 震源深度13 km, 在间隔不到13分钟的21时15分, 距澜沧地震震中约63 km的耿马县再次发生7.2级地震(99°36'E, 23°23'N), 震源深度8 km(李立平等, 1990), 两次地震的震级差小于0.5, 且余震区空间相连, 属于双主震型地震事件, 称之为澜沧—耿马地震。两个主震的极震区烈度均达IX度, 极震区等震线呈NW向椭圆, 余震区长125 km、宽45 km(图1)。主震及频发的强余震导致748人死亡, 7700人受伤, 直接经济损失超过20亿元(张肇诚, 1999)。

澜沧—耿马地震后, 不同机构或个人利用不同的资料与方法给出了大致相近的主震震源机制结果(陈培善, 1991; 王凯等, 1991)。对于此次地震的发震构造、错动方式与成因, 已有众多研究, 且有不同认识, 如: 毛玉平等(1991a, b)根据NW向等震线长轴走向、NNW向余震分布及NNW向形变带走向与力学性质, 认为此次双主震型地震事件是在NNE向区域主压应力作用下, NW向木嘎断裂和NNW向澜沧—勐海断裂、NNW向汗母坝断裂先后发生右旋错动的结果; Zhang和Wang(1993)根据场地观测结果, 认为澜沧地震与耿马地震存在各自的断裂带, 以右旋剪切为主;

王辉等(1991)依据地表破裂和烈度分布, 认为本次地震是澜沧—耿马断裂带右旋走滑正断活动的结果; 俞维贤等(1991)、Yu等(1994)根据地表变形带和震害特征, 认为澜沧地震和耿马地震的发震断层错动形式具有明显差异, 澜沧地震以木嘎断裂的强烈水平错动为主, 耿马地震则以汗母坝断裂的垂直运动为主, 并认为澜沧地震的发生对耿马地震具有触发作用。

2008年5月12日汶川8.0级地震的相关研究(易桂喜等, 2011)表明, 汶川地震之前, 震源区所在的龙门山断裂带中段存在多种地震活动性参数异常, 震源区具有远低于龙门山—岷山构造带区域平均值的显著异常低 $b$ 值、低 $a$ 值和较小的局部复发间隔 $T_L$ 值, 反映汶川主震之前震源区已处于高应力闭锁状态, 且发生强震的概率明显高于其它段。2013年4月20日芦山7.0级地震的相关研究(易桂喜等, 2013)也表明, 芦山地震之前, 震源区所在断裂段具有明显低于整个龙门山断裂带南段区域平均值的低 $b$ 值, 表明震源区具有相对较高的应力水平, 且余震区主体位于汶川地震后的应力升高区内。芦山地震的发生可能与汶川地震对龙门山断裂带南段的应力加载密切相关(刘杰等, 2013; 单斌等, 2013)。本文利用云南区域地震台网记录的地震资料, 研究1988年澜沧—耿马地震之前震源及附近区域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)空间分布特征, 进而初步探讨震前震源区应力状态。

\* 收稿日期: 2014-01-15.

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAK19B01-01)和中国地震局2014年度震情跟踪专项(M7)联合资助.

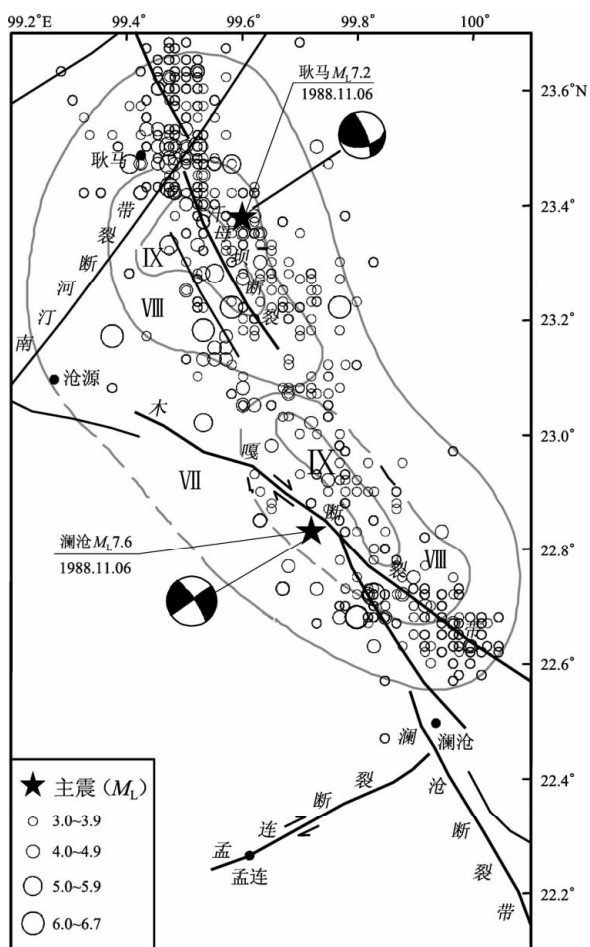


图1 澜沧—耿马地区主要断裂、1988 年主震震源机制与 3 级以上余震震中及等震线分布图 (张肇诚, 1999)

Fig. 1 Distribution of main faults in Lancang-Gengma area, the focal mechanism of the 2 main-shocks, epicenters of  $M_L \geq 3.0$  aftershocks and the isoseismal map (Zhang, 1999)

## 1 资料与计算

### 1.1 资料

考虑到云南区域地震台网早期监测能力, 本文利用 1973 年 1 月 1 日至 1988 年 11 月 5 日时段的地震目录资料计算澜沧—耿马地震前的地震活动性参数。澜沧—耿马震源区  $M_L \geq 1.0$  地震的震级—频度关系图 (图 2) 显示, 在该资料时段内,  $M_L \geq 2.5$  地震线性拟合较好, 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  $M_L 2.5$ 。图 3 给出了  $M_L \geq 2.5$  地震的震中分布。我们依据  $M_L \geq 2.5$  地震震中分布和 1988 年澜沧—耿马地震的余震分布来确定研究区域 (图 3 中虚线框)。

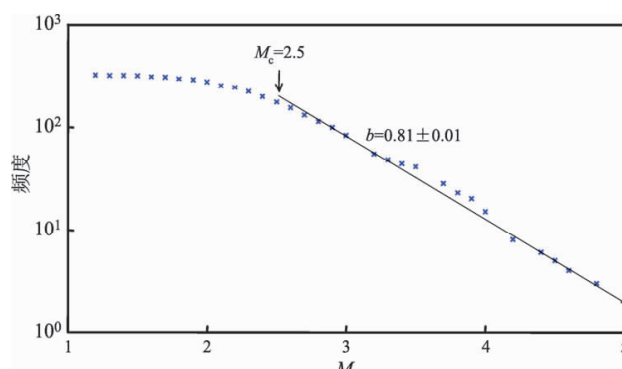


图2 1973 年 1 月 1 日至 1988 年 11 月 5 日澜沧—耿马地区  $M_L \geq 1.0$  地震的震级—频度分布

Fig. 2 Frequency-magnitude distribution for  $M_L \geq 1.0$  earthquakes in Lancang-Gengma area from Jan. 1, 1973 to Nov. 5, 1988

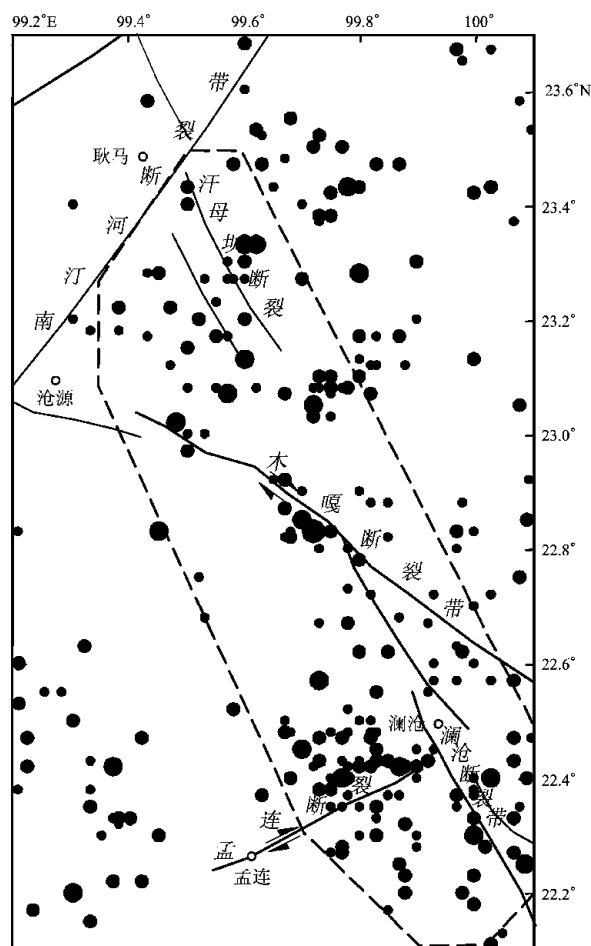


图3 1973 年 1 月 1 日至 1988 年 11 月 5 日澜沧—耿马地区  $M_L \geq 2.5$  地震的震中分布

Fig. 3 Epicenter distribution of  $M_L \geq 2.5$  earthquakes in Lancang-Gengma area from Jan. 1, 1973 to Nov. 5, 1988

## 1.2 参数计算

### 1.2.1 基本原理

实验室岩石破裂实验 (Scholz, 1968)、与流体抽取有关的地震活动研究 (Wyss, 1973) 以及矿山岩石破裂观测 (Urbancic *et al.*, 1992) 等表明, 应力的低与震级—频度关系中的  $b$  值成反比:

$$\lg N = a - bM. \quad (1)$$

式中,  $b$  值越低, 应力水平越高 (Gutenberg, Richter, 1944),  $M$  为震级;  $N$  为震级高于  $M$  的地震的累积频度;  $a$ 、 $b$  为回归常数。与  $a$ 、 $b$  值相关的另一个地震活动性参数为局部复发间隔  $T_L$  (Wiemer, Wyss, 1997; Wyss *et al.*, 2000) 为

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

其中,  $\Delta T$  为使用地震资料的时段长度 (年);  $M_f$  为预测震级。 $b$  值作为估计断裂带相对应力水平的主要地震活动性参数之一, 已广泛用于中—长期地震危险性评价 (易桂喜等, 2004a, b, 2005, 2008; Wyss, Wiemer, 2000; Zuñiga, Wyss, 2001; Schorlemmer *et al.*, 2005; Wyss, Stefansson, 2006; Ghosh *et al.*, 2008)。

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含义:  $a$  值代表地震活动率;  $b$  值表示大小地震的比例;  $T_L$  值则代表给定地震震级条件下的局部复发间隔,  $T_L$  值越小意味着局部复发强震的可能性越大。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的当前活动习性与地震危险性 (易桂喜等, 2006, 2007)。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, 将是未来最可能发生强震的地段; 相反, 高  $a$  值、高  $b$  值和较大  $T_L$  值分布的断裂段具有蠕滑特征, 活动习性以频繁小震滑动为主, 应力积累水平相对较低, 因而发生强震的可能性也相对较小。

### 1.2.2 参数计算

将研究区域以  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  间距进行网格化, 挑选出以每个网格节点为圆心、半径为  $r$  的圆形统计单元内的地震目录, 确定统计单元内能满足整个研究时段的最小完整性震级  $M_c$ ; 然后, 利用最

小二乘法由各单元  $M \geq M_c$  的地震资料计算出 (1)、(2) 式中的  $b$ 、 $a$ 、 $T_L$  值, 将计算结果作为各单元中心点 (即网格节点) 的计算值, 并绘制其空间分布等值线图。

本文计算区域为图 3 中虚线框所圈定范围, 计算时震级分档间隔取 0.1。鉴于研究区域早期台网监测能力有限, 较短的资料时段及较高的震级下限导致研究时段内可用于参数计算的地震样本量相对较少, 为保证 (1) 式最小二乘拟合结果的可靠性, 要求每个统计单元内的地震样本至少 30 个, 同时, 要求参与拟合的有效震级分档数不低于 5 档。计算中, 对于多数节点, 统计单元的半径  $r$  值为 20 km; 对于地震分布较稀疏的区域, 适当扩大  $r$  值, 但最大半径不超过  $2r$  (即 40 km)。考虑到边界上的统计单元或靠近边界的统计单元, 计算使用的资料选取范围大于计算范围, 外扩范围取决于边界上统计单元的半径  $r$ 。由于地震活动存在空间差异, 各个统计单元的震级下限  $M_c$  也存在一定的差异, 本文中统计单元震级下限  $M_c$  主要集中在  $M_L 2.5 \sim 2.6$ , 少数几个单元的震级下限  $M_c$  达到  $M_L 3.0$ 。由此获得的各单元  $b$  值的计算误差小于 0.02。本研究对 (2) 式的预测震级  $M_f$  设定为 6.5 级。

## 2 结果分析

由 1973 年 1 月 1 日至 1988 年 11 月 5 日  $M_L \geq 2.5$  地震获得的研究区平均  $b$  值为  $(0.81 \pm 0.01)$  (图 2), 明显低于全球区域平均值 (Zuñiga, Wyss, 2001; Frohlich, Davis, 1993)。

$b$  值、 $a$  值与局部复发间隔  $T_L$  值空间分布图像 (图 4~5) 显示, 澜沧—耿马地震之前, 研究区地震活动性参数分布具有显著的空间差异, 分段特征明显。

澜沧断裂带所在的研究区南部 ( $22.6^\circ \text{N}$  以南), 以明显高于区域平均值的高  $b$  值为特征 (图 4a), 该区同时具有研究区内最高的  $a$  值 (图 4b) 和最长的局部复发间隔  $T_L$  值 (图 5), 表明在澜沧地震之前研究区南部尤其是澜沧以南地区断层活动以较频繁的小震滑动为主, 应力水平相对较低, 不具备发生强震的应力条件。由图 1 可见, 澜沧地震 3 级余震未能扩展到澜沧以南区域, 应

与该区由高  $b$  值所揭示出的较低的应力水平密切相关。

研究区中部即木嘎断裂带中段, 属于澜沧 7.6 级地震震源区, 以大面积分布的异常低  $b$  值 ( $b < 0.7$ )、低  $a$  值 (图 4) 为特征, 且具有整个研究区最短的复发间隔  $T_L$  值 (图 5), 类似于 2008 年汶川 8.0 级地震前龙门山断裂带中段的地震活动性参数分布特征 (易桂喜等, 2006, 2011), 表明在澜沧地震前震源区已处于高应力闭锁状态。

包含汗母坝断裂在内的研究区北部 ( $23^\circ\text{N}$  以北) 为耿马 7.2 级地震震源区, 除局部区域外, 大部分区域以接近或略低于研究区平均值的相对低  $b$  值为特征 (图 4a), 表明该震源区已具有一定的应力积累, 但该震源区  $b$  值高于澜沧 7.6 级地震震源区, 显示其相对应力水平与闭锁程度低于澜沧震源区。

### 3 讨论

根据地震活动性参数计算结果, 澜沧震源区在震前已处于高应力闭锁状态, 具有发生大震的应力条件; 耿马震源区震前的相对应力水平低于澜沧震源区, 震源区应力水平的差异可能是澜沧地震首先发生的最主要原因。

静态库仑破裂应力增加 0.01 MPa (Reasenbeng, Simpson, 1992; King *et al.*, 1994; Hardebeck *et al.*, 1998; Harris, 1998) 或动态库仑破裂应力增加 0.5 MPa (Kilb *et al.*, 2000) 可导致断层破裂。静态应力触发时间长短不同, 如 1992 年美国加州大熊 (Big Bear) 6.3 级地震距 1992 年兰德斯 (Landers) 7.3 级地震仅 3.5 小时, 1999 年赫克托矿 (Hector Mine) 7.1 级地震则发生在兰德斯 7.3 级地震 7 年后 (Kilb, 2003), 1995 年日本阪神

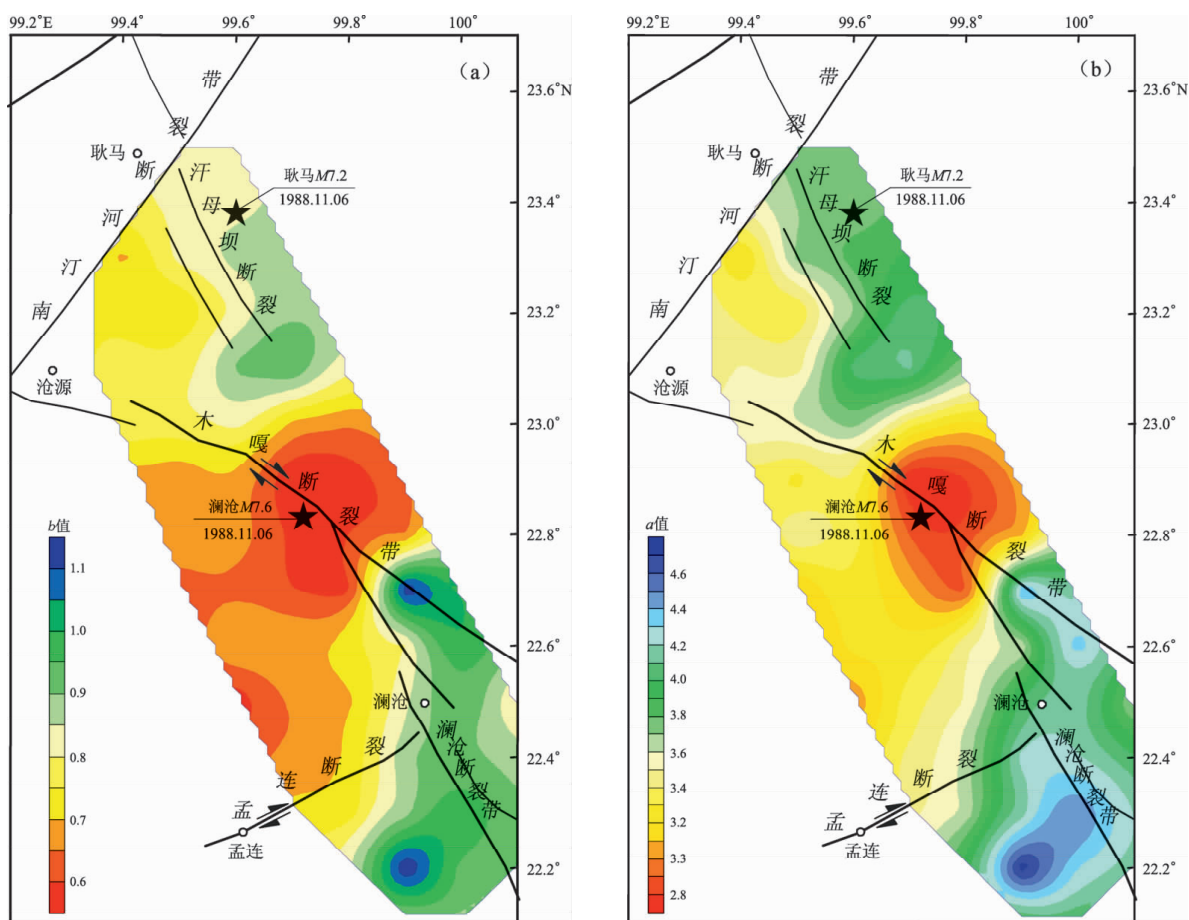


图4 澜沧—耿马地震前研究区域  $b$  值 (a) 和  $a$  值 (b) 空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of  $b$ -value (a) and  $a$ -value (b) before the Lancang-Gengma earthquake in the study region

(Kobe) 6.9 级地震则被认为是 1944 年东南海 (Tonankai) 8.0 级地震和 1946 年南海道 (Nankai-do) 8.2 级地震触发所致 (Freed, 2005)。动态应力则通过较强的瞬态应力加载在几秒至几天的较短时间内触发地震, 吴小平等 (2007) 的研究结果表明: 耿马 7.2 级地震震源区处于澜沧 7.6 级地震所产生的面积最大的动态库仑应力增强区内, 其所在位置的动态库仑破裂应力达 1.5 ~ 2.0 MPa, 远高于动态应力触发阈值 0.5 MPa。同时, 澜沧地震加载于耿马地震震源区的静态库仑破裂应力高于 0.1 MPa, 远高于静态应力触发阈值 0.01 MPa。因此, 耿马地震的发生除本身具有一定的应力积累外, 澜沧 7.6 级地震加载于耿马 7.2 级地震震源区的远高于触发阈值的动态和静态应力, 可能是耿马 7.2 级地震快速发生的重要因素之一。

李丽等 (2011) 基于小震精定位结果, 认为

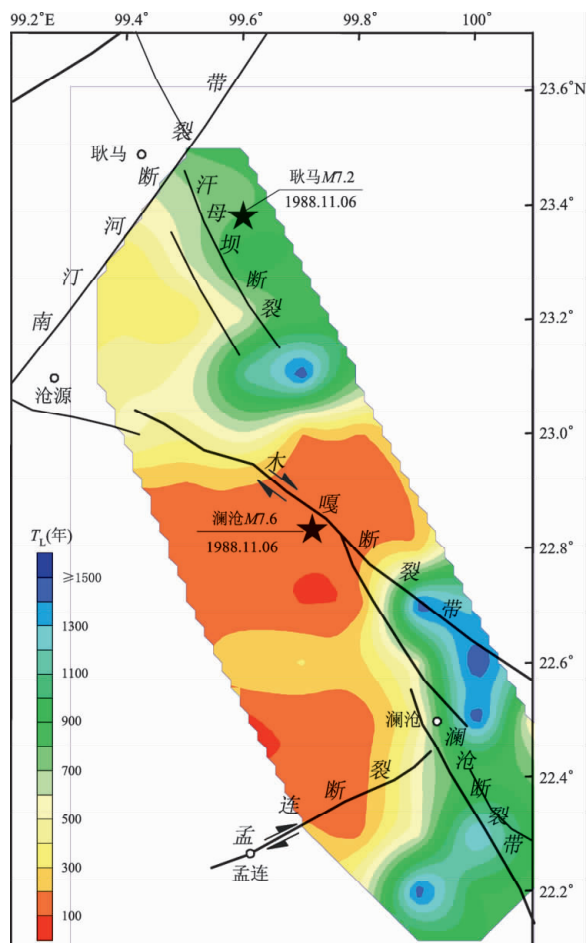


图 5 澜沧—耿马地震前研究区域  $T_L$  值空间分布  
Fig. 5 Spatial distribution of  $T_L$  values before the Lancang-Gengma earthquake in the study region

NNW 向的澜沧、耿马构造带的南段和北段在深部似乎相互贯通, 由此推测, 澜沧—耿马地震可能是同一构造的不同段落先后破裂的结果。周龙泉等 (2009) 利用 S 波高频衰减参数研究了云南地区地壳  $Q$  值分布, 发现 NW 向的澜沧—耿马一带区域的强震发生在高  $Q$  值区, 表明澜沧—耿马地震震源区介质强度大, 高速坚硬岩体的发育更有利于能量的积累从而发生大地震 (刘启元等, 2009; 易桂喜等, 2010)。澜沧—耿马地震大部分余震发生在  $Q > 400$  的高强度岩体分布区域内, 这一余震分布特征在汶川地震区同样存在 (马瑾等, 2013)。

## 4 结论

本文利用云南区域地震台网记录的约 16 年的地震资料, 对 1988 年澜沧—耿马地震前震源及附近区域的地震活动性参数空间分布特征进行了回顾性研究, 初步分析了 1988 年澜沧—耿马地震前震源区应力水平的空间差异性及其与后续强震之间存在的关联性。研究结果表明:

(1) 澜沧—耿马地震之前, 地震活动性参数分布具有显著的空间差异性。

(2) 澜沧 7.6 级地震震源区以大面积分布的异常低  $b$  值、低  $a$  值及整个研究区最短的复发间隔  $T_L$  为特征, 表明震源所在断裂段在震前已处于高应力闭锁状态, 具有发生大震的应力条件。震源区应力水平的差异可能是澜沧地震首先发生的主要原因。

(3)  $b$  值分布显示耿马 7.2 级地震前震源区的应力水平低于澜沧 7.6 级地震震源区。澜沧 7.6 级地震加载于耿马 7.2 级地震震源区的远高于触发阈值的动态与静态应力可能是耿马 7.2 级地震发生的重要因素之一。

感谢中国地震台网中心周龙泉研究员提供澜沧—耿马地区的地壳  $Q$  值数据。

## 参考文献:

- 陈培善, 1991. 澜沧—耿马地震的破裂过程[J]. 地震研究, 14(2): 95-103.
- 单斌, 熊熊, 郑勇, 等. 2013. 2013 年芦山地震导致的周边断层应力变化及其与 2008 年汶川地震的关系[J]. 中国科学(D 辑), 43: 1002-1009.



- 李立平, 业建庆, 谢庆茵. 1990. 澜沧—耿马地震震源动力学参数研究[J]. 地震研究, 13(3): 223–233.
- 李丽, 刘剑, 付虹. 2011. 澜沧—耿马地区中小地震精确定位研究[J]. 地震研究, 34(4): 482–487.
- 刘杰, 易桂喜, 张致伟, 等. 2013. 2013 年 4 月 20 日四川芦山  $M7.0$  地震介绍[J]. 地球物理学报, 56(4): 1404–1407.
- 刘启元, 李昱, 陈九辉, 等. 2009. 汶川  $M_s8.0$  地震: 地壳上地幔 S 波速度结构的初步研究[J]. 地球物理学报, 52(2): 309–319.
- 马瑾, 刘培洵, 刘远征. 2013. 地震活动时空演化中看到的龙门山断裂带地震孕育的几个现象[J]. 地震地质, 35(3): 461–471.
- 毛玉平, 李盛德. 1991a. 澜沧—耿马地震序列图象与发震构造讨论[J]. 西北地震学报, 13(1): 57–62.
- 毛玉平, 张俊昌. 1991b. 澜沧—耿马地震发震构造初步研究[J]. 地震研究, 14(1): 9–15.
- 王辉, 强祖基, 袁衷忠, 等. 1991. 1988 年云南澜沧—耿马地震的烈度分布及地表破裂[J]. 地震学报, 13(3): 344–353.
- 王凯, 高莉萍, 姚振兴, 等. 1991. 澜沧—耿马地震的震源机制研究[J]. 地球物理学报, 34(5): 569–580.
- 吴小平, 虎雄林, Bouchon M., 等. 2007. 云南澜沧—耿马  $M_s7.6$  地震的完全库仑破裂应力变化与后续地震的动态、静态应力触发[J]. 中国科学(D 辑), 37(6): 746–752.
- 易桂喜, 范军, 闻学泽. 2005. 由现今地震活动分析鲜水河断裂带中—南段活动习性与强震危险地段[J]. 地震, 25(1): 58–66.
- 易桂喜, 闻学泽, 范军, 等. 2004a. 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及地震危险性[J]. 地震学报, 26(3): 294–303.
- 易桂喜, 闻学泽, 苏有锦. 2008. 川滇活动地块东边界强震危险性研究[J]. 地球物理学报, 51(6): 1719–1725.
- 易桂喜, 闻学泽, 王思维, 等. 2006. 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, 22(2): 117–125.
- 易桂喜, 闻学泽, 辛华, 等. 2011. 2008 年汶川  $M_s8.0$  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, 54(6): 1490–1500.
- 易桂喜, 闻学泽, 辛华, 等. 2013. 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, 56(4): 1112–1120.
- 易桂喜, 闻学泽, 徐锡伟. 2004b. 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, 26(4): 387–395.
- 易桂喜, 闻学泽. 2007. 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与问题[J]. 地震地质, 29(2): 254–271.
- 易桂喜, 姚华建, 朱介寿, 等. 2010. 用 Rayleigh 面波方位各向异性研究中国大陆岩石圈形变特征[J]. 地球物理学报, 53(2): 256–268.
- 俞维贤, 柴天俊, 侯学英. 1991. 澜沧 7.6 级地震形变带[J]. 地震地质, 13(4): 343–352.
- 张肇诚. 1999. 中国震例(1986–1988)[M]. 北京: 地震出版社, 316.
- 周龙泉, 刘杰, 苏有锦, 等. 2009. 利用 S 波高频衰减参数对云南地区地壳  $Q$  值成像[J]. 地球物理学报, 52(6): 1500–1507.
- Freed A. M. . 2005. Earthquake Triggering by Static, Dynamic, and Postseismic Stress Transfer[J]. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 33: 335–67, doi:10.1146/annurev.earth.33.092203.122505.
- Frohlich C., Davis S. . 1993. Teleseismic b-values: or, much ado about 1.0[J]. J. Geophys. Res., 98: 631–644.
- Ghosh A., Newman A. V., Thomas A. M., et al. . 2008. Interface Locking along the Subduction Megathrust from b-value Mapping near Nicoya Peninsula, Costa Rica [J]. Geophys. Res. Lett., 35: L01301, doi: 10.1029/2007GL031617.
- Gutenberg R., Richter C. F. . 1944. Frequency of Earthquakes in California[J]. Bull. Seism. Soc. Am., 34: 185–188.
- Hardebeck J. L., Nazareth J. J., Hauksson E. . 1998. The Static Stress Change Triggering Model: Constraints from Two Southern California Aftershock Sequences [J]. J. Geophys. Res., 103 (B10): 24427–24437.
- Harris R. A. . 1998. Introduction to Special Section: Stress Triggers, Stress Shadows, and Implications for Seismic Hazard [J]. J. Geophys. Res., 103 (B10): 24347–24358.
- Kilb D., Gombert J., Bodin P. . 2000. Triggering of Earthquake Aftershocks by Dynamic Stresses[J]. Nature, 408: 570–574.
- Kilb D. . 2003. A Strong Correlation between Induced Peak Dynamic Coulomb Stress change from the 1992  $M7.3$  Landers, California, Earthquake and the Hypocenter of the 1999  $M7.1$  Hector Mine, California, Earthquake [J]. J. Geophys. Res., 107 (0), 108, doi: 10.1029/2001JB000678.
- King G. C. P., Stein R. S., Lin J. . 1994. Static Stress Changes and The triggering of Earthquakes [J]. Bull. Seismol. Soc. Am., 84: 935–953.
- Reasenber P. A., Simpson R. W. . 1992. Response of Regional Seismicity to the Static Stress Change Produced by the Loma Prieta earthquake [J]. Science, 255: 1687–1690.
- Scholz C. H. . 1968. The Frequency-magnitude Relation to Microfracturing in Rock and Its Relation to Earthquakes[J]. Bull. Seism. Soc. Am., 58: 399–415.
- Schorlemmer D., Wiemer S., Wyss M. . 2005. Variation in Earthquake Size Distribution across Different Stress Regimes [J]. Nature, 437: 539–542, doi:10.1038/nature04094.
- Urbancic T. I., Trifu C. I., Long J. M., et al. . 1992. Space-time Correlation of b-values with Stress Release [J]. Pure Appl. Geophys., 139: 449–462.
- Wiemer S., Wyss M. . 1997. Mapping the Frequency-magnitude Distribution in Asperities: An Improved Technique to Calculate Recurrence times [J]. J. Geophys. Res., 102 (B7): 15115–15128.
- Wyss M., Schorlemmer D., Wiemer S. . 2000. Mapping Asperities by Minima of Local Recurrence Time: San Jacinto-Elsinore Fault Zones [J]. J. Geophys. Res., 105 (B4): 7829–7844.
- Wyss M., Stefansson R. . 2006. Nucleation Points of Recent Mainshocks in Southern Iceland, Mapped by b-values [J]. Bull. Seismol. Soc. Am., 96(2): 599–608.
- Wyss M., Wiemer S. . 2000. Change in the Probability for Earthquakes in

- Southern California due to the Landers Magnitude 7.3 Earthquake [J]. *Science*, 290:1334 – 1338.
- Wyss M. . 1973. Towards a Physical Understanding of the Earthquake Frequency Distribution[J]. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* ,31:341 – 359.
- Yu W. X. ,Chou R. Q. ,Hou X. Y. ,*et al.* . 1994. Seismogenic Mechanism of Lancang and Gengma Earthquake[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 7(2):209 – 216.
- Zhang Z. L. ,Wang H. Q. . 1993. A Model of Nonuniform Fracture System for Lancang-Gengma Earthquake Sequence and Elasto-plastic Computation Method[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 6(2):397 – 408.
- Zuñiga R. ,Wyss M. . 2001. 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.* ,91(6):1717 – 1728.

## Analysis on Stress State in Seismogenic Area before Lancang-Gengma $M7.6$ and $M7.2$ Earthquakes in 1988

YI Gui-xi<sup>1</sup>, FU Hong<sup>2</sup>, WANG Si-wei<sup>1</sup>, WEN Xue-ze<sup>1</sup>, LONG Feng<sup>1</sup>

(1. *Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China*)

(2. *Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

### Abstract

Using the seismic data recorded by the Yunnan Regional Seismic Network from Jan. 1, 1973 to Nov. 5, 1988, we obtained the spatial distribution of several seismicity parameters (including the  $a$  and  $b$  values in the frequency-magnitude relationship, and the local recurrence intervals  $T_L$ ) in seismogenic and its surrounding area before Lancang-Gengma  $M7.6$  and  $M7.2$  earthquakes in 1988 to reveal the stress state in the seismogenic area before the earthquake. The main results show that the spatial distribution of seismic activity parameters was significantly heterogeneous in the study area before the Lancang-Gengma earthquake. The seismogenic area of the Lancang  $M7.6$  earthquake had the characteristic of the abnormal low  $b$ -value that were much lower than the regional average ( $b < 0.7$ ), low  $a$ -value, and the shortest recurrence intervals  $T_L$ . All these implied that the fault where the focal located might have been locked under the high stress and more likely to generate major earthquakes.

**Key words:** Lancang-Gengma  $M7.6$  and  $M7.2$  earthquakes; seismogenic area; seismic activity parameters; stress