

# 小江断裂带强震危险性分析\*

毛燕, 刘自凤, 叶建庆, 李忠华

(云南省地震局, 云南昆明, 640224)

**摘要:** 利用1985年7月至2015年6月云南测震台网记录的地震资料, 分段计算小江断裂带的 $b$ 值、 $a/b$ 值、单位面积的年频度和年应变能, 并结合历史地震空区的识别结果, 综合分析了小江断裂带各段的强震危险性。研究表明: 巧家北至东川南 $b$ 值较低, 处于较高应力状态, 小震频发, 且强震平静时间达到了极限, 具备发生强震的条件; 东川至宜良段应力水平高, 但小震不活跃, 处于积累应变阶段, 不具备发生强震的条件; 宜良至华宁段具有小江断裂带最高的 $b$ 值, 应力水平低, 小震不活跃, 不具备发生强震的条件; 华宁以南至小江断裂南端处于高应力状态, 小震频发, 且强震平静时间间隔达到了极限, 具备发生强震的可能, 但由于该段断裂交错, 较为复杂, 强震可能发生在小江断裂与石屏—建水断裂的交叉部位。

**关键词:** 危险性; 强震;  $b$ 值; 小江断裂带

**中图分类号:** P315.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2016)02-0213-05

## 0 引言

强震活动通常发生于活动断裂带上具有高应力积累的凹凸体(Aki, 1984)或者闭锁段(Wyss *et al.*, 2000)。小江断裂带是川滇菱形块体的东边界, 北起巧家以北, 南至建水东南, 全长超过400 km。该断裂带由多条次级断层组成, 内部结构十分复杂。小江断裂自东川小江村南分成东、西两支, 平行向南延伸, 走向近南北。东支长约200 km, 走向由 $350^\circ$ 逐渐变化到 $10^\circ$ 左右, 水平年变速率为 $6.73 \text{ mm/a}$ ; 西支断裂长约180 km, 走向 $0^\circ \sim 5^\circ$ , 水平年变速率为 $5.443 \text{ mm/a}$ (毛玉平等, 2003; 宋方敏, 1998)。魏文薪等(2012)指出小江断裂北段应变积累程度高, 中北段次之, 中南段和南段不利于断层应变积累。自1500年以来, 小江断裂发生 $M_s \geq 6.0$ 地震15次(其中 $M_s \geq 6.5$ 地震10次), 而且大部分地震发生在小江断裂带西支。1966年2月13日东川6.2级地震后至今, 小江断裂带6级地震平静了49年, 1909年5月11日华宁、弥勒间发生的6.5级地震距今已有106年, 1789年6月7日华宁7.0级地震后至今, 小江断裂带7级地震平静了226年。根据M7专项工作组(2012)研究成果, 小江断裂带中段和北段的强震原地复发周期为100~200 a左右, 南段强震原地

复发周期为400a以上。因此, 探讨小江断裂带发生强震的危险性具有重要意义。

$b$ 值与应力水平呈反比,  $b$ 值越低, 应力水平越高(Urbancic *et al.*, 1992)。运用 $b$ 值的空间分布, 结合断裂带的地震活动背景, 分析断裂带的活动习性, 进而判断其强震危险段,  $b$ 值已被很多研究者用来研究断裂的中—长期地震危险性(Wyss *et al.*, 2000; 易桂喜等, 2006, 2013)。

本文选取1985年7月至2015年6月云南测震台网记录的地震资料, 分段计算小江断裂带的 $b$ 值, 结合历史地震空段, 分析小江断裂带现今高应力的段落, 以期对强震地点的中长期预测提供参考依据。

## 1 资料选取与研究方法

### 1.1 资料选取

由于1985年4月18日禄劝6.3级地震震中距小江断裂带较远, 不作统计。为了减弱该地震的影响, 本文选取1985年7月至2015年6月的地震资料进行 $b$ 值计算。根据M7专项工作组(2012)的研究成果和图1a中 $M_L \geq 2.0$ 的地震分布情况, 将小江断裂带分为4段(图1b): ①段为巧家以北至东川以南, ②段为东川以南至宜良以南, ③段为宜良以南至华宁以南, ④段为华宁以南至小江

\* 收稿日期: 2015-07-02.

基金项目: 2014年度震情跟踪合同制资助(云南地区川滇菱形块边界断裂强震危险性分析2014020105).

断裂南端。小江断裂在②段和③段分为两支，平行向南展布，④段主要是小江断裂带东支分散为几支，且向南与曲江断裂、石屏—建水断裂相交，并止于红河断裂。

## 1.2 研究方法

古登堡—里克特提出  $\lg N = a + bM$ ，式中， $N$  代表震级  $M$  以上地震的频度； $a$  表示统计区域内的地震活动水平； $b$  值反映了不同震级的地震分布。该公式已被广泛用来研究地震活动性（李永莉等，2002；易桂喜等，2006，2013；王辉等，2012）。

笔者将小江断裂带研究区域以  $0.1^\circ$  的间隔进行网格化，以每个网格节点为圆心，半径 20 km 的范围内进行地震统计，每个网格的地震数量不少于 30 个，数据不够的网格图中用空白显示，即没有  $b$  值计算结果（图 2）。计算中，根据不同的段落，参考苏有锦等（2003）的研究结果，并分别确定最小完整性震级，小江断裂①、②、③、④段的最小完整性震级均为 2.0 级。然后利用  $M_L \geq M_{\min}$  的资料计算各统计单元的  $b$  值，根据每一单元格的  $b$  值得到整个研究区域的  $b$  值。

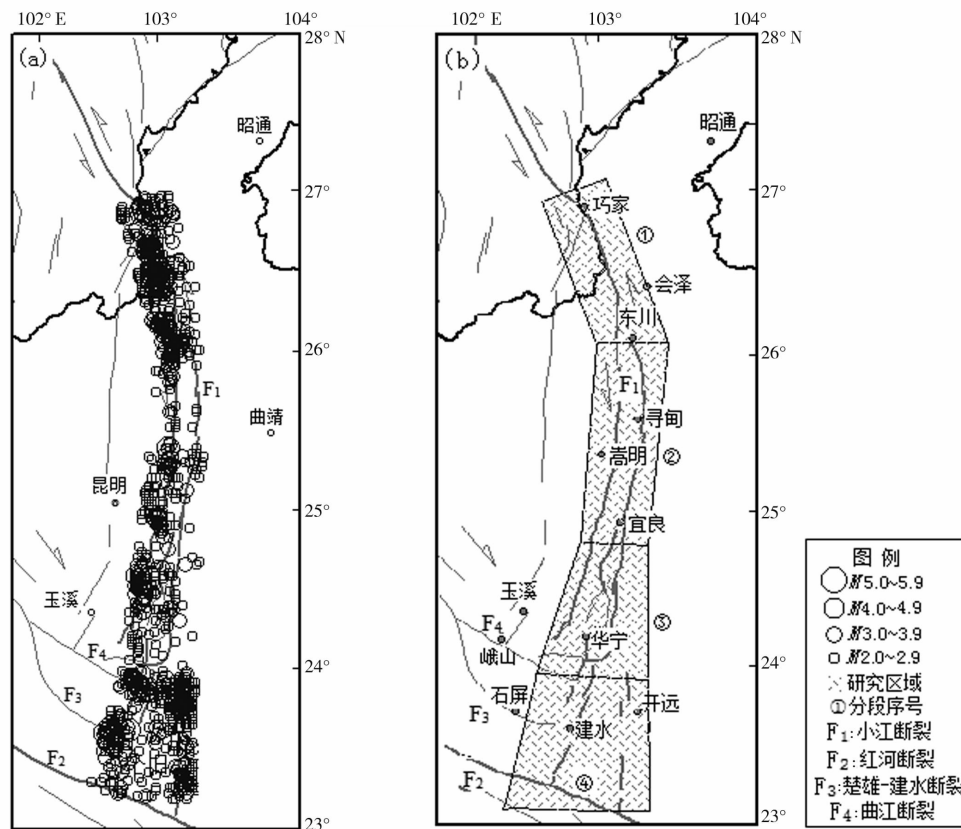


图 1 小江断裂带  $M_L \geq 2.0$  地震震中分布图（1985-07 ~ 2015-06）（a）及小江断裂带分段示意图（b）

Fig. 1 Epicenter distribution of  $M_L \geq 2.0$  earthquakes around Xiaojiang Fault Zone (1985-07 ~ 2015-06) (a) and the sketch map of the segments of Xiaojiang Fault Zone (b)

## 2 计算结果

为了综合分析小江断裂带各段的活动习性，根据易桂喜等（2004）给出的多参数综合分析方法，分别计算了各断裂段的  $b$  值和  $a/b$  值，单位面积的年频度  $N$  和单位面积年应变能（表 1），这 4 个参数的不同组合反映了断裂不同分段的现今活动习性。如：具有低  $b$  值（反映高应力）、低  $N$  值

和总  $a/b$  值（反映低频度地震活动及低应变能释放）以及较高  $a/b$  值（反映具有偏高的最大期望震级），这样的参数值组合的断裂段，处于较高应力背景下的相对闭锁状态；而具有高  $b$  值和  $N$  值，中等或中偏低的  $\sqrt{E}$  值，以及较低的  $a/b$  值组合的断裂段，具有以频繁小震滑动为主，应力积累水平不高的活动习性。图 2 给出了小江断裂带各段的  $b$  值计算结果。

表1 小江断裂带各段地震活动性参数

Tab. 1 Seismic activity parameters of different segments of Xiaojiang Fault Zone

参数计算值	各段序号			
	①	②	③	④
$b$ 值	0.89	0.84	1.05	0.85
$a/b$ 值	4.6	4.1	3.6	4.4
$N(n/a \cdot km^2)$	0.013 7	0.003 7	0.003 6	0.008 7
$\sqrt{E}(J^{1/2}/a \cdot km^2)$	64.65	21.29	21.55	51.65
断裂现今活动习性	频繁中小地震活动	稀疏小震活动	稀疏小震活动	较频繁中小震活动
应力水平	偏高	高	低	较高

3 小江断裂带危险性分析

根据小江断裂带的分段参数计算结果（表1，图2），综合分析各段的现今活动习性和强震危险性，结果如下：

（1）巧家以北至东川以南（①段）：该段位于小江断裂带的最北段，1900~1966年，5级地震频繁发生，1911年发生过5.8级地震，1930年5月15日发生巧家6.0级地震，1966年2月5日发生东川6.5级地震，之后处于5级以上地震平静状态，直到2005年8月5日发生了会泽5.3级地震，6级地震平静时间较长。根据M7专项工作组（2012）的研究结果，该段自1733年发生东川7级地震后，一直处于7级强震空区，且这一段大地震破裂的原地平均复发间隔一般为100~200a左右。目前该段具有中偏低的 $b$ 值，最高 $N$ 值、 $a/b$ 值和 $\sqrt{E}$ 值，表明这一段目前处于较高应力水平，中小地震频发，未来发生强震可能性大。

（2）东川以南至宜良以南（②段）：该段具有较低 $b$ 值，低 $N$ 值、较低 $a/b$ 值和低 $\sqrt{E}$ ，表明这一段目前处于高应力水平，但小地震发生频度低，尚处于积累应变阶段，属于闭锁状态。该段历史上发生过几次大震：1500年宜良7.0级地震，1833年嵩明8.0级地震，1927年寻甸6.0级地震。该段目前不具备发生大震的条件，但由于 $b$ 值较低，且小震活动较弱，小江断裂带东支发震间隔时间长，不排除近期发生中强震的可能性。

（3）宜良以南至华宁以南（③段）：该段及附近地区历史上发生过1588年曲溪7.0级地震、1789年华宁7.0级地震和1909年华宁6.5级地震。

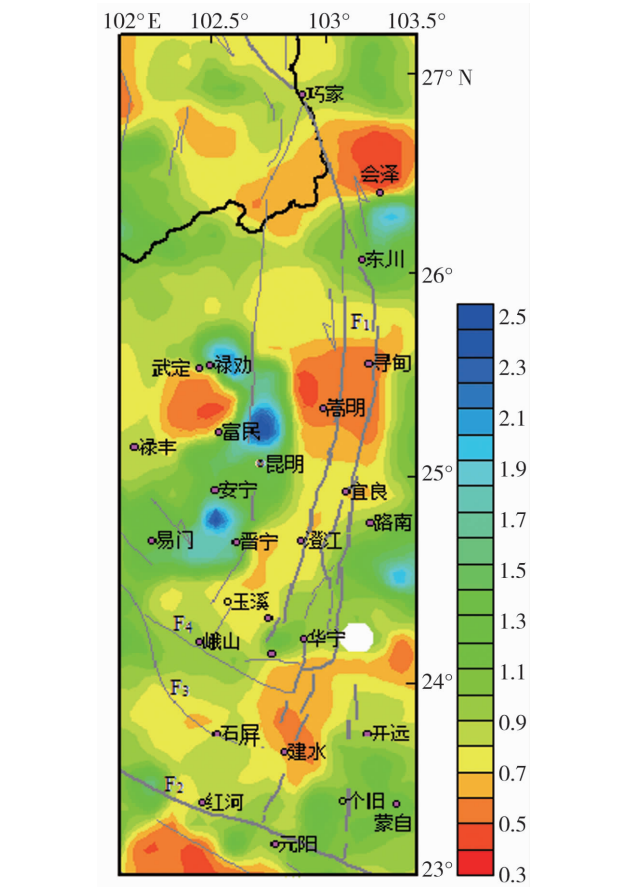


图2 小江断裂带 $b$ 值空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of  $b$  value of Xiaojiang Fault Zone

目前该段具有整条断裂上最高的 $b$ 值，最低的 $N$ 值和次低的 $\sqrt{E}$ ，图2中右下角的空白处显示该区域网格内地震数据不足，不进行 $b$ 值计算。计算结果表明该段处于相对较低的应力状态，小震不活跃，该段近期发生强震的概率相对较低。

（4）华宁以南至小江断裂南端（④段）：该段具有整条小江断裂上次低的 $b$ 值、次高的 $a/b$ 值、

次高的  $N$  值和次高  $\sqrt{E}$ 。图 2 显示该段的华宁—建水段具有整条断裂最低的  $b$  值, 且小震频发, 该段最近发生的一次强震为 1606 年建水 6.7 级地震,  $M_s \geq 6.7$  地震平静时间超过 400a, 该段大地震破裂的原地平均发震间隔为 400a 以上 (M7 专项工作组, 2012), 具备发生强震的条件。但小江断裂东支在该段分散为几支, 向南与曲江断裂、石屏—建水断裂交叉, 且止于红河断裂。历史地震显示强震多发生在石屏—建水断裂, 而小江断裂在该段不易积累应变 (魏文薪等, 2012), 故该段的强震危险性主要在断裂交叉部位。

## 4 结论与讨论

本文通过近 30 年的测震资料, 系统分析了小江断裂带 4 个分段的多个地震活动性参数, 获得如下的主要结果和认识:

(1) 根据小江断裂带分段参数计算结果, 发现小江断裂带目前存在 4 个具有不同活动习性的分段。巧家北至东川南  $b$  值低, 处于高应力状态, 小震频发, 且强震平静时间间隔达到了极限, 具备发生强震的条件; 东川至宜良段应力水平高, 但小震不活跃, 处于积累应变阶段, 强震平静时间不足, 不具备发生强震的条件; 宜良至华宁段具有小江断裂带最高的  $b$  值, 应力水平低, 小震不活跃, 不具备发生强震的条件; 华宁以南至小江断裂南端  $b$  值低, 处于高应力状态, 小震频发, 且强震平静时间间隔达到了极限, 具备发生强震的可能。但由于该段断裂交错, 较为复杂, 强震可能发生在小江断裂与石屏—建水断裂的交叉部位。

(2) 东川至宜良段具有较低的  $b$  值, 虽然该段于 1833 年发生过嵩明 8 级地震, 但嵩明地震发生在小江断裂带西支, 是否因其破裂尺度较大, 使得小江断裂带西支也处于强震免疫区, 还是处于强震危险期呢? 这需要在后续工作中进一步分析。

(3) 根据  $b$  值判定的小江断裂带危险段, 主要是基于近 30 年的地震活动性进行判定, 在时间尺度上应属于中长期判断。危险的断裂段在过去 30 年中处于更高应力的积累状态。因此, 从长期来看, 相对于其它断裂段在未来的强震危险性更高, 但较为明确的危险时间段和紧迫性应结合其它资料和方法, 如云南地区强震前地震活动特征和前兆异常状态等, 以进行更深入的分析 and 判断。

本文在撰写过程中得到易桂喜研究员的帮助, 在此表示衷心感谢。

## 参考文献:

- 李永莉, 蔡静观, 曹刻. 2002. 云南地区强震活动过程中的调制比、 $b$  值[J]. 地震研究, 25(1): 25-30.
- M7 专项工作组. 2012. 中国大陆大地震中——长期危险性研究[M]. 北京: 地震出版社, 35-36.
- 毛玉平, 韩新民, 谷一山等. 2003. 云南地区强地震 ( $M \geq 6$ ) 研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 20-22.
- 宋方敏. 1998. 小江活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 22.
- 苏有锦, 李永莉, 李忠华等. 2003. 川滇地区区域地震目录完整性最小震级分析[J]. 地震研究, 26(增刊): 10-16.
- 王辉, 曹建玲, 荆燕等. 2012. 川滇地区强震活动前  $b$  值的时空分布特征[J]. 地震地质, 34(3): 531-543.
- 魏文薪, 江在森, 武艳强等. 2012. 小江断裂带的运动及应变积累特征研究[J]. 大地测量与地球动力学, 32(2): 11-15.
- 易桂喜, 闻学泽, 范军等. 2004. 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, 26(3): 294-303.
- 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强震危险性[J]. 中国地震, 2(2): 117-125.
- 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.
- Aki K. 1984. Asperities, barriers, characteristic earthquakes and strong motion prediction[J]. J Geophys Res, 89(B7): 5867-5872.
- 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.
- Wyss M, Schorlemmer D, Wiemer S. 2000. Mapping asperities by minima of local recurrence time: San Jacinto-Elasimore fault zone[J]. J Geophys Res, 105(B4): 7829-7844.

## Analysis on Strong Earthquake Risk of Xiaojiang Fault Zone

MAO Yan, LIU Zifeng, YE Jianqing, LI Zhonghua

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

### Abstract

Selecting the data recorded by the Yunnan Seismic Network from Jul. , 1985 to Jun. , 2015, we calculated  $b$  value,  $a/b$  value, annual frequency and annual strain energy on unit area. Then, referring to the seismic gaps which had been determined by the previous seismologists, we analyzed the strong earthquake risk on the four segments of the Xiaojiang Fault Zone. We found that the segment from north part of Qiaojia County to the south part of Dongchuan City with low  $b$  value and frequent small earthquakes was in the state of high stress. And the quiescent period of strong earthquakes on this segment had reached the limit, which indicated that this segment had the conditions for strong-earthquake occurrence. The segment from Dongchuan City to Yiliang County was in the state of relative high stress, and small earthquakes were inactive. This segment was in the stage of stress accumulation and the possibility of strong earthquakes was low. The segment from Yiliang County to Huaning County with the highest  $b$  value of the whole fault zone was in the state of low stress. Small earthquakes were inactive and the possibility of strong earthquakes was low on this segment. The segment from the south part of Huaning Country to the end of the fault zone with frequent small earthquakes was in the state of high stress, and the quiescent period of strong earthquakes on this segment had reached the limit, which indicated that this segment had the conditions for strong-earthquake occurrence. However, since several other faults cross on this segment, strong earthquakes may occur on the crossing site of the Xiaojiang Fault and the Shiping-Jianshui Fault.

**Key words:** earthquake risk; strong earthquake;  $b$  value; the Xiaojiang Fault Zone