

# 2011年3月10日云南盈江5.8级地震序列研究\*

付虹<sup>1</sup>, 黄浩<sup>2</sup>, 李丽<sup>2</sup>, 赵小艳<sup>1</sup>

(1. 云南省地震局, 云南昆明 650224; 2. 云南大学 资源环境与地球科学学院, 云南昆明 650091)

**摘要:** 对2011年3月10日云南盈江5.8级地震序列作跟踪分析, 提出了适合该地震序列趋势判断的部分方法。在该序列  $M \geq 4.8$  地震的几个子序列中, 前震  $h$  值均小于1, 较准确地判定了地震趋势; 在前震和余震序列中  $b$  值没有出现前震序列低余震序列高的现象, 因而用  $b$  值对该序列的判断是失败的; 大盈江断裂上距离不远在类型相同的地震第1天的衰减方式有相似之处, 可以为快速判定地震类型提供依据; 本次5.8级地震是大盈江断裂在北北东向的主压应力作用下产生左旋走滑错动的结果, 该序列3.6级以上地震的震源机制解显示主震发生后小震  $P$ 、 $T$  轴出现了快速变化, 从而为地震类型的判定提供了参考依据; 主震发生后余震震中分布出现了北西向的共轭条带分布, 这可能意味着主震发生后在原震源区发生更大地震的可能性较小。

**关键词:** 盈江5.8级地震; 序列衰减; 震源机制; 精定位

中图分类号: P315.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2011)04-0414-06

## 0 引言

2011年3月10日云南盈江发生5.8级地震。震前从2010年12月14日开始, 在该震源区已经发生  $M \geq 1.0$  地震1222次, 丰富的前震序列为前震的识别研究提供了很好的基础。研究地震序列并用于地震预测预报的方法已有很多, 如常用的参数  $h$  值(刘正荣, 孔绍麟, 1986)、 $K$  值(朱传镇, 王琳瑛, 1989)、序列衰减大森公式  $p$  值和古登堡关系  $b$  值(傅征祥, 1982; 陆远忠, 陈章立, 1985)等。地震的动力学参数震源机制一致性(陈颢, 1978)也被用来判别地震是否是前震。在2008年汶川8.0级和2009年宁夏6.4级地震的序列跟踪中也曾用过这些方法, 并取得了一定的效果(付虹等, 2008, 2009)。利用  $P$  波和  $S$  波的振幅比和初动符号联合反演计算震源机制的方法在不断发展(Kisslinger *et al.*, 1981; 梁尚鸿等, 1984)。Snoke等(1984)在国际地震学和地球内部物理学协会(IASPEI)百年纪念时推出使用  $P$  波、 $SV$  波、 $SH$  波的初动和振幅比联合计算震源机制解程序, 该程序引入中国后得到了广泛的应用(刘杰等, 2004), 由于该程序可以计算更多的小震震源机制, 近年来我们也尝试在地震序列判断

中运用该程序。另外, 地震精确定位对于确定发震断层, 分析地震活动空间分布有更大的作用, 其中Hypo2000定位方法可以考虑比较复杂的地下速度结构状况, 可以在震源附近地区设置多达10个梯度层结构的速度模型(Klein, 1978)。本研究中, 笔者采用Hypo2000定位方法进行绝对定位, 然后再用双差法(Waldhauser, Ellsworth, 2000)进行相对定位。在盈江地震序列分析中笔者通过对这些方法的实际运用, 获得了一些有益的认识。

## 1 盈江地震序列基本情况和衰减特征分析

### 1.1 地震基本情况

云南地震台网测定, 2011年3月10日云南省盈江县发生5.8级地震, 该地震序列从震前2010年12月14日就开始出现1.0级以上地震活动, 截止到2011年5月31日, 该序列共发生  $M \geq 1.0$  地震2600次, 其中1.0~1.9级地震2124次, 2.0~2.9级地震392次, 3.0~3.9级地震71次, 4.0~4.9级地震12次, 最大震级为5.8级, 序列中  $M \geq 4.5$  地震参数见表1。

### 1.2 序列衰减特征

该序列的第一个4级地震为2011年1月1日

\* 收稿日期: 2011-06-14.

基金项目: 云南省人民政府十项措施监测预报项目(JCYB-20080601-5)和云南省人民政府培引办(2006PY01-39)项目联合资助。

表 1 2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震序列  $M \geq 4.5$  地震参数

Tab. 1 Catalog of  $M \geq 4.5$  events in Yingjiang  $M_s 5.8$  sequence of Mar. 10, 2011

序号	发震时间 年-月-日	发震时刻 时:分:秒	北纬 $\varphi_N/(^{\circ})$	东经 $\lambda_E/(^{\circ})$	震中地名	震级 $M_s$	震源深度 /km
1	2011-01-01	15:31:58	24°43′	97°55′	盈江	4.6	10
2	2011-01-02	07:33:34	24°43′	97°55′	盈江	4.8	10
3	2011-02-01	15:11:20	24°44′	97°57′	盈江	4.8	10
4	2011-03-10	12:58:11	24°43′	97°55′	盈江	5.8	10
5	2011-03-10	13:03:57	24°42′	97°56′	盈江	4.7	10
6	2011-03-10	13:04:51	24°41′	97°55′	盈江	4.5	10
7	2011-03-10	20:41:36	24°45′	97°59′	盈江	4.5	7

的 4.6 级地震, 与次日的 4.8 级地震时间间隔较短, 很多参数难以计算, 因此笔者分别计算 1 月 2 日 4.8 级、2 月 1 日 4.8 级和 3 月 10 日 5.8 级地震后的  $h$  值和  $b$  值, 其  $h$  值分别是 0.6、0.8 和 1.2, 按照  $h$  值的判别方法, 前二者小于 1, 应该为前震序列, 表明  $h$  值在该序列中能较好地判断后续地震趋势;  $b$  值分别为 0.77、0.82 和 0.74, 在序列中并没有出现前震序列  $b$  值低的特点, 表明在该序列中利用  $b$  值的判定方法是失败的。

从 2010 年 12 月 14 日 3.1 级地震至 2011 年 3 月 10 日 5.8 级地震, 每组  $M \geq 4.8$  地震发生前, 2 级以上地震都出现相对平静的特征 (图 1a), 作  $M_L \geq 3$  地震时间间隔曲线 (图 1b), 从图 1b 中可见 3 级以上地震也同时出现了平静, 且平静时间均大于 6 天, 为 10 天左右。2、3 级地震相对平静可以作为下次 4.8 级以上地震的阈值, 是该地震序列的特点。

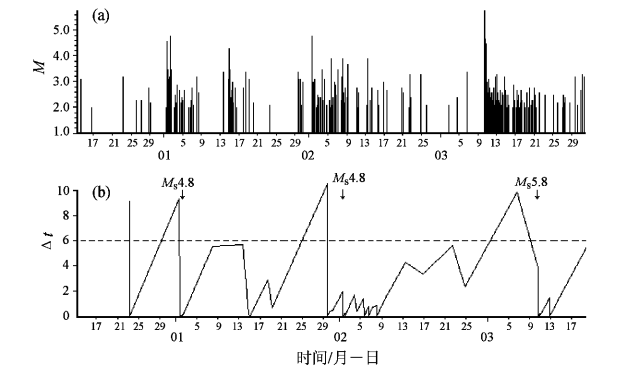


图 1 盈江 5.8 级地震序列  $M_L \geq 2$  地震  $M-t$  图(a) 和  $M_L \geq 3$  地震时间间隔曲线图(b)  
Fig. 1 Diagram of  $M-t$  ( $M_L \geq 2$  earthquakes) (a) and  $dt-t$  ( $M_L \geq 3$  earthquakes) (b) in Yingjiang  $M_s 5.8$  sequence

从盈江地震震中分布图看, 该地震序列的能量释放中心距离 2008 年 3 月 21 日盈江 5.1 级地震序列的能量释放中心仅 25 km, 而且都靠近大盈江断裂 (图 2)。因此在 2011 年 1 月 1 日的 4.6 级地震发生后, 笔者就将其与盈江断裂上已发生过的地震序列作类比, 进行趋势分析。

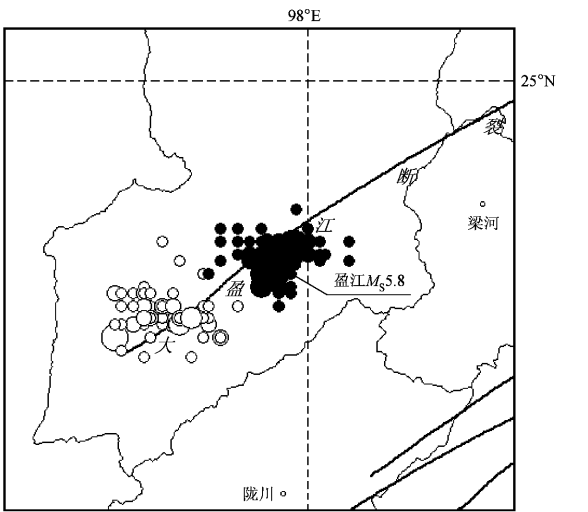


图 2 盈江  $M_L \geq 1$  地震震中分布图  
(空心圆圈表示 2008 年 3 月 21 日盈江 5.1 级地震序列; 实心圆圈表示 2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震序列)  
Fig. 2 Epicenter distribution with  $M_L \geq 1$  of the Yingjiang  $M_s 5.8$  sequence  
(hollow circles stand for  $M_s 5.1$  sequence on Mar. 21, 2011, solid circles stand for  $M_s 5.8$  sequence on Mar. 10, 2011)

把  $M_s 5.8$  地震及之前的 3 次  $M_s \geq 4.5$  地震后 1 天时间内的  $M-t$  图与 2008 年 3 月 21 日盈江 5.1 级地震的  $M-t$  图进行比较 (图 3), 可见 5.1 级地震后 1 天内发生的余震震级相对较大, 共发生了 3.5 ~ 4.0 级余震 4 次 (图 3a), 其中 4.0 级地震 1 次;

和2008年3月21日的盈江5.1级地震相比,2011年1、2日和3日在4.6、4.8、4.8级地震后当天的余震震级和3级以上地震的频度显著偏小、偏少(图3b、3c);而5.8级地震后1天内就分别发生了4.7、4.5、4.5、4.3、4.1、4.1级共6次4级以上地震(图3d),余震能量释放比之前的3次4.6~4.8级地震充分,所以之后没有发生更大地震。笔者分析认为近期大盈江断裂上的地震,如果主震发生后1天内余震震级偏小,并且 $\Delta M \leq 1.6$ 地震发生的频度 $N \leq 3$ ,就可以初步判定该地震序列能量释放不充分,其后还可能发生震级相当或更大的地震,即该地震不能定为主震—余震型,反之,就可以判定序列是主震—余震型。

从以上分析可初步认识到,运用 $h$ 值可以对该序列的后续地震进行较好的趋势判断,而 $b$ 值在该序列的前震判别中没有能起到作用。同一构造上距离相近、发震时间相隔不远的地震,其衰减方式有一定的相似性,应用类比方法可以尽早对未来地震的发展趋势作出一定程度的判断。

## 2 震源机制和地震精定位

### 2.1 震源机制

笔者运用 Snoke 方法 (Snoke *et al.*, 1984), 求取了该次地震序列中  $M \geq 3.6$  地震的震源机制解。表2为不同机构计算的5.8级地震震源机制解。从表2可见不同来源和方法得到的结果比较接近,说明本文的结果是可靠的。

表2 2011年盈江5.8级地震震源机制解对比表  
Tab.2 Acomparison among different institute or author

序号	节面Ⅰ			节面Ⅱ			P轴		T轴		
	走向 /(°)	倾角 /(°)	滑动角 /(°)	走向 /(°)	倾角 /(°)	滑动角 /(°)	方位角 /(°)	俯角 /(°)	方位角 /(°)	俯角 /(°)	结果来源
1	246	83	13	154	77	172	199	0	110	15	本文
2	254	80	1	155	89	172	200	2	110	3	美国哈佛大学
3	250	82	11	158	89	172	24	2	114	13	中国地震局地球物理研究所

盈江5.8级地震的节面Ⅰ走向和倾角与大盈江断裂基本一致(毛玉平,韩新民,2003),该地震序列的震中也基本上沿大盈江断裂分布(图2),因此笔者初步判断5.8级地震是大盈江断裂在北北东向的主压应力作用下产生左旋走滑错动的结果。

图4是该序列 $M \geq 3.6$ 地震震源机制解投影在震中分布上的示意图,5.8级主震为图4中的第12号地震。从图4可见,震前的第10号(2011年2

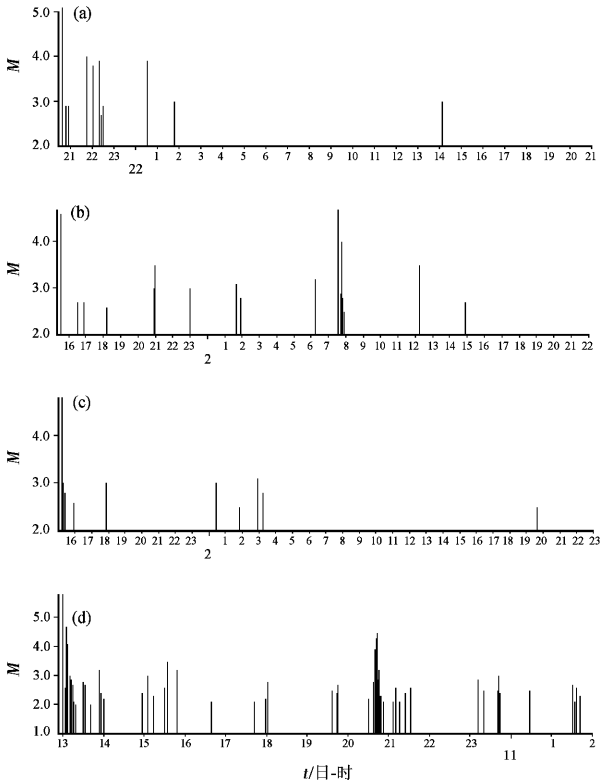


图3 盈江地震序列  $M-t$  图  
(a) 2008-03-21 盈江5.1级地震; (b) 2011-01-01 ~ 2011-01-02 盈江4.6、4.8级地震; (c) 2011-02-01 盈江4.8级地震; (d) 2011-03-10 盈江5.8级地震  
Fig.3 Diagram of  $M-t$  of Yingjiang sequence  
(a)  $M_{5.1}$  sequence on Mar. 21, 2008; (b)  $M_{4.6, 4.8}$  sequence on Jan. 1-2, 2011; (c)  $M_{4.8}$  sequence on Feb. 1, 2011; (d)  $M_{5.8}$  sequence on Mar. 10, 2011

月9日)和震后的第13号(2011年3月10日)地震分别为正断和逆冲兼走滑型地震,其余都为走滑型地震,且有较好的相似性。

从 $P$ 轴和 $T$ 轴的时间进程分析(图5),从2011年1月2日到2月9日发生的地震, $P$ 、 $T$ 轴的时间进程趋势基本上是一致的,之后稍有变化,5.8级地震发生后, $P$ 轴和 $T$ 轴迅速变化,这种震后的快速变化,可能说明了主震后不会有更大地震发生。

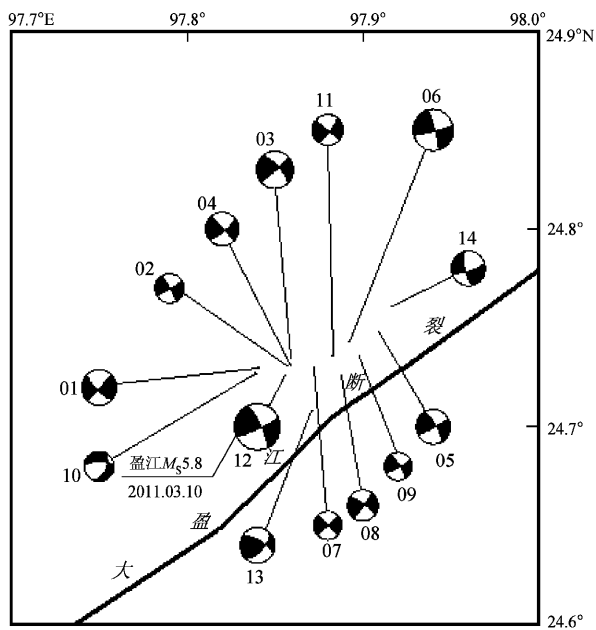


图 4 盈江序列  $M \geq 3.6$  地震震源机制解示意图  
Fig. 4 Focal mechanism solutions of  $M \geq 3.6$  events of Yingjiang sequence

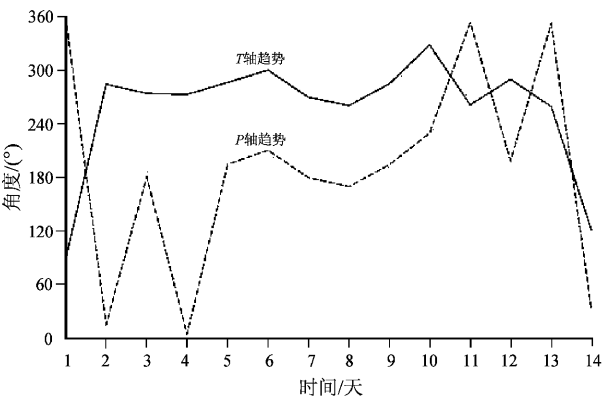


图 5  $P$  轴和  $T$  轴时间进程曲线  
Fig. 5 Curve of  $P$ -axis and  $T$ -axis

2.2 地震精定位

根据“滇深 82 工程”遮放—马龙的测深结果(阚荣举, 韩源, 1992), 笔者整理、构建了盈江地区的速度模型(表 3), 再根据这一模型, 用 Hypo2000 方法对盈江地震序列进行绝对定位, 然后再用双差方法进行相对定位(图 6)。

表 3 盈江地区水平层状地壳速度模型  
Tab. 3 Horizontal layered crustal velocity model in Yingjiang area

深度/km	0.00	3.00	9.00	15.00	24.00	42.00
$V_p/km \cdot s^{-1}$	4.30	6.05	6.30	6.56	7.03	8.06

从图 6 可见, 地震活动呈现出北东、北西两个方向的分布。仔细观察地震精确定位后的震中分布动态演化过程, 笔者发现, 5.8 级地震前所有的小震活动主要沿北东向分布, 5.8 级地震发生后, 当天就在北西向出现小震活动。这种小震活动出现共轭条带分布的情况在许多主震—余震型地震的余震分布中都出现过, 如 2008 年汶川 8.0 级地震(黄媛等, 2008)、1970 年通海 7.8 级地震(陈立德, 1988)等, 这种现象可能表明, 5.8 级地震后, 在该震源区发生更大地震的可能性较小。

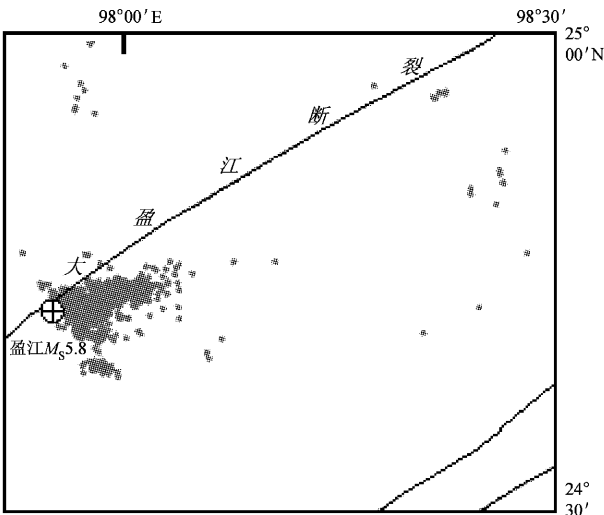


图 6 盈江地震序列精确定位结果示意图  
Fig. 6 Epicenter distribution after accurate relocation

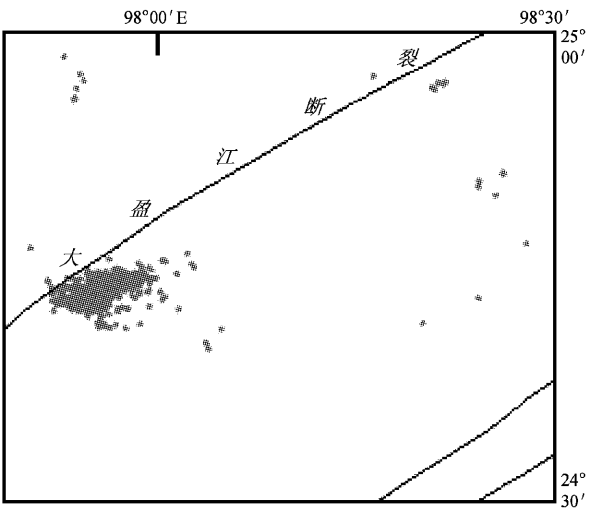


图 7 2011 年 1 月 1 日~3 月 9 日盈江地震序列震中分布图  
Fig. 7 Epicenter distribution of earthquakes from Jan. 1 to Mar. 9, 2011 after accurate relocation

## 4 认识和讨论

(1) 盈江 5.8 级地震的前震非常丰富,震前  $M_L \geq 3$  地震平静时间大于 6 天,这是  $M \geq 4.8$  地震发生前的共性特征;5.8 级地震前,所有  $M \geq 4.8$  地震后 1 天内最大余震震级差  $\Delta M \leq 1.3$  的地震频次  $N \leq 1$ ;2008 年 3 月 21 日盈江 5.1 地震后 1 天内震级差  $\Delta M \leq 1.3$  的余震发生了 4 次,2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震后当天  $\Delta M \leq 1.3$  的余震发生了 3 次,笔者对比分析后初步认为余震能量释放相对充分可以作为大盈江断裂上破坏性地震原震区发生更大地震的可能性小的判别指标,反之余震偏小可能是大盈江断裂上近期地震的震群或前震的特征。

(2) 在该次地震序列的前震子序列中,  $h$  值均小于 1,说明用  $h$  值能很好地判断该序列中主震是否发生,但  $b$  值在该序列中对后续地震趋势的判断没有起到作用;同一断裂上的地震衰减方式有一定的可比性,序列衰减方式的  $M-t$  图的简单类比是判断后续地震活动趋势最简单和有效的方法之一。

(3) 盈江 5.8 级地震序列震源机制解节面 I 的走向和倾向均与大盈江断裂一致,笔者认为 5.8 级地震可能是大盈江断裂在西北东向的主压应力作用下产生左旋走滑错动的结果;序列中  $M \geq 3.6$  地震的  $P$ 、 $T$  轴时间进程显示,5.8 级地震前震源机制有一个阶段出现了较好的一致性,而震后震源机制快速变化,说明利用震源机制的一致性可以对地震发展趋势作出一定的估计,但其过程是复杂的。

(4) 用 Hypo2000 和双差法进行地震精确定位后,笔者发现 5.8 级地震前小震活动主要沿北东向的大盈江断分布,5.8 级地震后出现了北西向的小震条带,笔者参考部分已有震例,初步认为小震共轭条带的出现也可以作为判断主震—余震型地震的依据,因为从震源机制一致性分析,共轭条带的出现,是破坏了震源机制一致性最直接的证据。

中国地震局监测预报司 7~8 级地震危险性研究课题组提供了 Hypo2000 和双差定位的计算程序,中国地震局数字地震实验室提供了改进后的 Snoke 震源机制计算方法程序,在此一并致谢!

### 参考文献:

- 陈立德. 1988. 1970 年 1 月 5 日云南省通海 7.7 级地震[M]//中国震例(1966—1975). 张肇诚,罗兰格,李海华,等. 1988. 北京:地震出版社.
- 陈顺. 1978. 用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数[J]. 地球物理学报,21(2):142—159.
- 付虹,郭成栋. 2008. 川滇地区 7 级大震衰减特征及其在汶川地震中应用[J]. 地震研究,31(增刊),430—435.
- 付虹,王绍晋,龙晓帆,等. 2009. 宁洱地震序列的震源机制解分析[J]. 地震研究,32(3),253—257.
- 傅征祥. 1982. 强余震活动的持续时间[J]. 地震学报,4(4):389—394.
- 黄媛,吴建平,张天中,等. 2008. 汶川 8.0 级大地震及其余震序列重新定位研究[J]. 中国科学(D 辑),38(10),1242—1249.
- 闾荣举,韩源. 1992. 云南遮放至马龙地学断面[M]. 北京:地震出版社.
- 梁尚鸿,李幼铭,束沛镒,等. 1984. 利用区域地震台网 P、S 振幅比资料测定小震震源参数[J]. 地球物理学报,27(3):249—257.
- 刘杰,郑斯华,康英,等. 2004. 利用 P 波和 S 波的初动和振幅比计算中小地震的震源机制解[J]. 地震,24(1):19—26.
- 刘正荣,孔绍麟. 1986. 根据地震频度衰减与地震预报[J]. 地震研究,9(1):6—8.
- 陆远忠,陈章立. 1985. 地震预报的地震学方法[M]. 北京:地震出版社.
- 毛玉平,韩新民. 2003. 云南地区强震( $M \geq 6$ )研究[M]. 昆明:云南科技出版社.
- 朱传镇,王琳瑛. 1989. 震群信息熵异常与地震预报[C]//地震预报方法实用化研究文集:地震学专辑. 北京:学术书刊出版社,229—242.
- Kisslinger C, Bowman J R, Koch K. 1981. Procedures for computing focal mechanism  $M_s$  from local (SV/P) z data [J]. BSSA, 71(6):1719—1729.
- Klein F W. 1978. Hypocenter location program HYPOINVERSE Part I: Users guide to versions 1,2,3 and 4[J]. U S Geol Surv Open-File Rept,78—694.
- Snoke J A, Munsey J W, Teague A G, et al. 1984. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV—P amplitude ratio data [J]. Earthquake Notes,55(3):15—22.
- Waldhauser F, Ellsworth W L. 2000. A double—difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward Fault, California [J]. BSSA, 90(6):1353—1368.

## Research of the Mar.10, 2011, $M_s5.8$ , Yingjiang, Yunnan Earthquake Sequence

FU Hong<sup>1</sup>, HUANG Hao<sup>2</sup>, LI Li<sup>2</sup>, ZHAO Xiao-yan<sup>1</sup>

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

(2. *School of Resource Environment and Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China*)

### Abstract

We tried the  $h$ -value and  $b$ -value to trace the  $M_s5.8$  Yingjiang earthquake sequence and found that: (1)  $h$ -value after the Yingjiang  $M_s4.8$  earthquake on January 2 was 0.6, and the one after the  $M_s4.8$  earthquake on February 1 was 0.8. Both were less than 1. So we concluded that the two earthquakes were foreshocks and there would be a larger earthquake. The  $M_s5.8$  earthquake occurring on Mar.10 proved our judgment right. (2)  $b$ -value after the  $M_s4.8$  Yingjiang earthquake on January 2 was 0.77, and the one after the  $M_s4.8$  earthquake on February 1 was 0.82, according to these two high  $b$ -values we concluded that there would be no larger earthquakes anymore and we failed. Comparing the  $M_s5.1$  Yingjiang earthquake sequence on Mar.21, 2008 with the  $M_s5.8$  earthquake sequence on Mar.10, we found that the earthquakes occurred closely on the Dayingjiang Fault showed the same characters of energy attenuation in the first day of the main shock. This regularity is helpful for the fast determination of the earthquake pattern. The  $M_s5.8$  earthquake resulted from the left-lateral, strike-slip faulting of the Dayingjiang Fault. Calculating the focal mechanisms of thirteen  $M \geq 3.6$  events of the sequence, we found that  $P$ -axis and  $T$ -axis greatly changed. This regularity is also helpful for pattern determination. The epicenters of the aftershocks distributed conjugately in North-West direction, which means that the probability of another larger earthquake in the source region was small.

**Key words:** Yingjiang  $M_s5.8$  earthquake; sequence attenuation; focal mechanisms; precise earthquake relocation