

施甸5级震群前中短—短临的地震 活动参数动态演化

李永莉, 蔡静观, 刘丽芳, 张俊伟

(云南省地震局, 云南 昆明 650041)

摘要:通过2001年施甸5级震群前地震学各项参数异常的动态追踪,研究了中强地震孕育、发生的中短—短临的演化过程.结果表明:在云南地区出现 b 值、小震调制比、波速比等地震活动性参数异常以及中强地震的有规律迁移的中期异常背景上,出现了孕震区的频度、 b 值、应变加速等群体中短异常,以及云南省内的3、4级地震连续增频、3级日频次异常和显著的3、4级地震平静的短临异常.特别是3、4级地震异常平静,标志了明显的临震信息.并初步探讨了中强地震连续发生中如何识别单个地震的震兆问题.

关键词:中强震迁移; 连发; 孕震区; 短临异常; 异常平静

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)02-0158-08

0 前言

云南地区1999年11月发生了澄江5.2级、2000年1月姚安6.5级和丘北5.5级地震,出现中强地震连续发生的态势,特别是2001年2月至7月平均每月发生一次中强地震.而2001年4月10日、12日以及6月8日施甸发生的5.2、5.9、5.3级地震震群,为2001年云南省内引人注目的唯一一次震群.如何从中强地震的连续发生中区分某次地震的前兆异常,为地震预测预报中需要解决的难点问题.

本文将中强地震连续发生时间间隔不超过60天称为中强震连发,拟通过对施甸5级震群前的地震活动性作一定时间尺度的动态追踪,立足于中强地震前中—短—临异常的演化过程,寻求地震连发中,对个别地震发生的孕育过程有比较系统的认识.

1 云南地区2000年来的地震活动特征

云南地区地处青藏高原东南隅,缅甸弧东侧.滇西地区主要受到印度洋板块通过缅甸弧对云南产生北东向侧向挤压,使此区域的中强地震非常活跃.

以下对云南省2000年以来地震活动性的多项参数如频度、 b 值、波速比和调制比等进行空间扫描,探讨地震的失稳区域,确定未来地震的危险区.

1.1 地震活动性参数的空间分布

云南地区的研究范围取为北纬 $20^{\circ}30'$,东经 $97^{\circ}10'6''$.自1985年7月云南省遥测中心建立了速报台网,在云南地区监控能力达到2.5级地震,保证了2.5级以上地震目录资料的记录完整.

在考虑了计算各参数所需的不同时窗,对地震活动性参数进行空间扫描,结果如下:

1.1.1 b 值

从以往的震例及研究结果认为,云南地区某些强震前孕震区存在高 b 值异常现象,如1976年宁蒗6.7、6.4级地震,1996年丽江7.0级等^[4],因此将云南省内的高 b 值区作为异常区.

以2000年4月2001年3月为1年时窗; 用线性最小二乘法; 以 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 为扫描窗口, $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 为步长; 起算震级采用2.54.5级, 震级间隔为0.5, 对云南地区 b 值进行空间扫描, 结果见图 1(a)。看出, 云南省内 b 值 ≥ 1.2 的高 b 值区分别集中于滇西的龙陵、保山、施甸与永德一带, 以及永胜和宁蒗一带; 滇中小江断裂的东川、禄劝、寻甸、沾益、昆明、易门、玉溪与石屏一带。

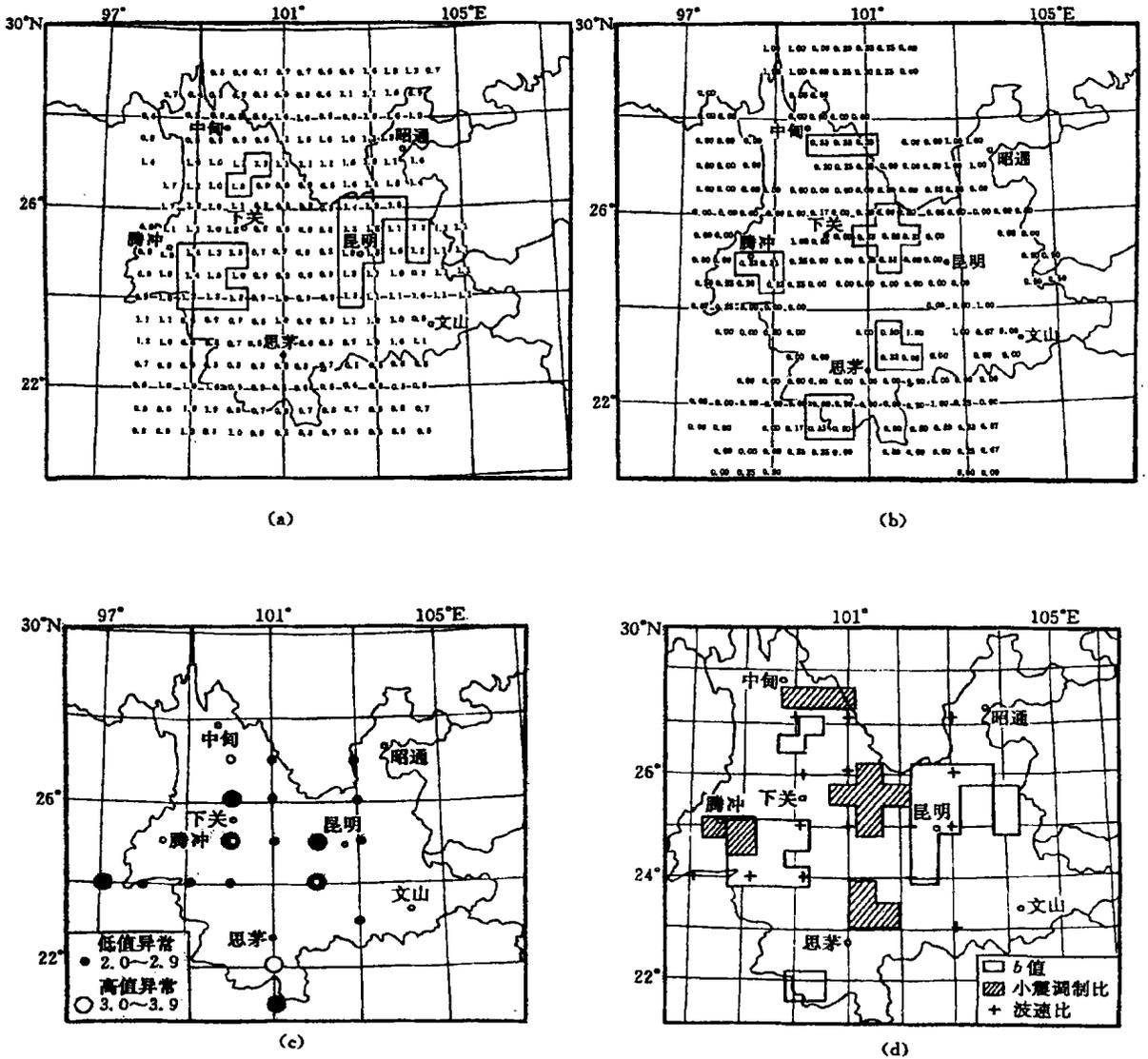


图1 云南地区地震活动性参数异常分布图

Fig.1 Distribution of seismicity parameter anomalies in Yunnan province.

1.1.2 小震调制比、波速比

调制作用所诱发的小震活动图像可以反映高应力集中区, 指出强震孕震区; 波速比异常反映了地震震源及其周围地区介质特性的异常变化。

以2000年11月2001年3月为时窗; 起算震级为2.54.5级地震; 取 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 为扫描窗口, $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 为步长, 对云南地区进行小震调制比的空间扫描。同时以起算震级为2.5级; 采用4个台以上的资料, 计算云南地区记录完整的地震波速比, 将 $1.75 \leq V_p/V_s \leq 1.65$ 的地震标示于图上。如图 1 (b)、(c)所示,

小震调制比 $R_m \geq 0.33$ ^① 的异常区集中于滇西的施甸—龙陵一带、丽江—宁蒗一带，滇中的元谋、楚雄、禄丰和双柏，滇西南的澜沧—景洪一带；波速异常区分别集中于滇西的永胜、下关—滇中的姚安、楚雄、易门—滇东的东川、寻甸、宜良，以及小滇西的龙陵、保山一带。

综上所述， b 值、小震调制比 R_m 和波速比 V_p/V_s 都从不同的方面反映了地震孕育的危险区域，而多项参数的群体异常反映了中强及强地震的孕育。三项异常区叠加于云南省内滇西的龙陵、保山、施甸一带，丽江—宁蒗一带，及其滇中的楚雄、易门、沾益、寻甸、昆明、玉溪一带(图 1(d))；引用“交汇法”^[3] 的观点，认为云南省内此三个地区孕育着地震，并已进入了地震孕育过程的中期。

1.2 中强地震的迁移

云南地区的强震与地质构造有良好的对应，而中强震的分布却有一定的随机性。但中强震有规律的迁移图像曾在云南省强震平静期出现过，发生在 6 级左右双震后 1~4 年^②。2001 年 1 月 15 日姚安 5.9、6.1 级地震后，也出现了一系列中强震的连发和有规律的迁移。从图 2 可见，双震以后，云南省内先后发生了 2000 年 1 月 27 日丘北 5.5 级地震、2000 年 8 月 21 日武定 5.1 级地震、2000 年 10 月 6 日盈江 5.8 级地震，2001 年 3 月 12 日澜沧 5.0 级地震，中强地震形成了“逆时针”的有序迁移。从澜沧地震的位置看，下一个中强地震应发生于澜沧的北边。同时由于 2000~2001 年云南省中强地震活动主要集中于姚安以东地区，其以西地区明显缺震，指出了滇西地区的危险性。

2 孕震区的地震活动性

云南省内地震活动性多项参数异常集中地区的分布，以及 2000~2001 年中强地震有规律的活动，表明了滇西地区为未来地震的孕震区，并已经处于中期孕育阶段。施甸震群也正发生在滇西地区。

下面对滇西地区地震活动性参数进行时间演化过程的剖析，动态追踪施甸 5 级震群的孕育过程。

2.1 滇西地区的地震活动性参数时间进程

滇西地区的研究范围为北纬 24°~29°，东经 98°~101°；取 1990 年以来滇西地区 3~4.9 级地震资料；以 3 个月为时窗，1 个月为步长作滇西地区的地震月频度；同时以 6 个月为时窗，1 个月为步长，震级间隔为 0.2，作 b 值时间进程曲线，如图 3 中所示。间断线表示均值，虚线表示均方差值。

从图 3(a)、(b)可见，以均方差值为异常线，滇西地区 5 级以上地震及邻区 6 级以上地震，在震前都有异常出现。而滇西地区的频度 N 从 2000 年 5 月~2001 年 4 月一直处于低值异常中，同时 b 值也从 2000 年 11 月~2001 年 4 月出现低 b 值。结果表明：施甸地震前滇西地区的地震活动出现了时空上的异常密集，处于地震前应力集中的短期异常状态。

2.2 小滇西地区的应力加速

根据滇西地区的构造和地震活动情况，通常又将滇西地区分为滇西北与小滇西两个地区。小滇西地区是指包括保山、腾冲、龙陵、施甸等地，具体范围为北纬 23.8°~25.2°，东经 97.5°~100°。通过对小滇西地区的频度 N 、 b 值及应变变化的分析，进一步剖析施甸地震源区的应力变化过程。

(1) 取 1900 年以来小滇西地区 2.5~4.9 级地震；以 1 个月为时窗，1 个月为步长，计算月频度 N (图 4(a))；以 6 个月为时窗，1 个月为步长，震级间隔 0.2，计算月 b 值(图(b))。间断线表示均值，虚线表示均

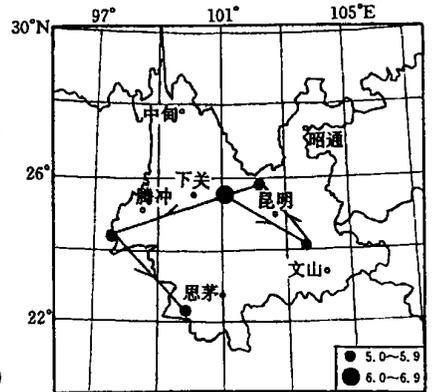


图 2 2001 年 1 月姚安 5.9、6.5 级地震后的中强震迁移
Fig. 2 Migration of moderate earthquakes after the M_s 5.9, M_s 6.5 Yao'an earthquakes in Jan., 2000.

① 云南省地震局. 西部地区 7-8 级强震危险性预测及短临跟踪研究. 1998.

② 云南省地震局. 云南地区未来 1-3 年地震大形势研究. 2000.

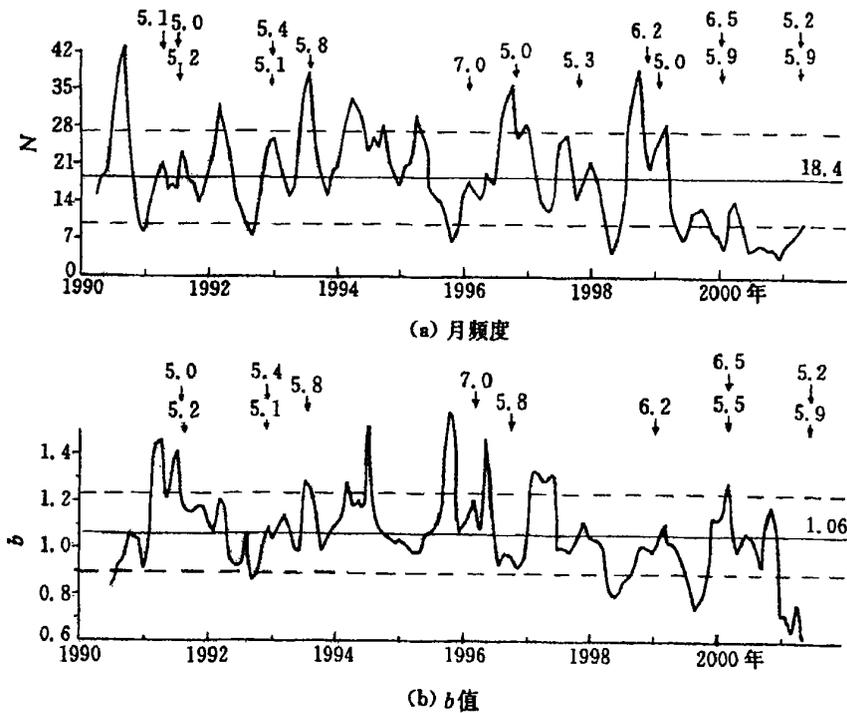


图3 滇西地区地震月频度和 b 值

Fig. 3 Monthly frequency and b -value of earthquakes in the West of Yunnan province.

方差值。小滇西地区的 N 值、 b 值从 2000 年 7 月同步出现低频度、低 b 值, 2001 年 1 月始回升。

(2) 以日为单位计算并绘制出小滇西地区 2000 年 1 月~2001 年 4 月的 2.5~4.9 级地震的日应变曲线(图 4(c)). 分析可见: 2000 年 5 月始作为孕震区的小滇西应变变化缓慢; 至 2001 年 2 月出现应变迅速的加速, 进入能量预释放阶段; 经过近 2 个月的加速达到释放而发生了施甸 5 级震群。

对小滇西地区的频度 N 、 b 值及应变能分析, 发现从 2000 年 5 月~2001 年 4 月, 小滇西地区明显出现了能量从积累至释放的过程, 即施甸地震前, 震源区显示了很清楚从预释放至释放的短—临孕育过程。

3 中小地震显著的短临活动

2001 年 1 月施甸地震进入预释放阶段, 云南省(北纬 $21^{\circ}\sim 29.5^{\circ}$, 东经 $97^{\circ}\sim 106^{\circ}$) 的 3、4 级地震也出现了少有的临震震兆, 出现了中小地震的显著活动图像。

3.1 3、4 级地震的增频

3.1.1 连续 3 个月的增频

用 1996 年以来云南省内(云南省界为边界)3 级以上的地震, 以月为单位分别作 3 级、4 级地震的月频度柱状图, 如图 5 所示。1998 年 11 月宁蒗地震后, 省内 3 级地震频次总体下降, 处于历年最低水平。在如此低频情况下 1999 年 11 月起 3、4 级地震增频, 发生了澄江 5.2、姚安 6.5、丘北 5.5 级地震。2000 年 12 月~2001 年 3 月 3 级地震连续增频, 同时 4 级地震由 1、2 月份的零次快速增加, 表明云南省内中强地震的临近。

3.1.2 3 级地震的日频次达三次

云南地区 3 级以上地震多年的月均值为 16 次, 也就是约 3 天 1.6 次。而 2000 年以来云南地区中强地震连发的临震前, 常出现两个以上地点的 3 级地震日频次 3 次的临震指标。3 月 12 日澜沧地震后, 3 月 20

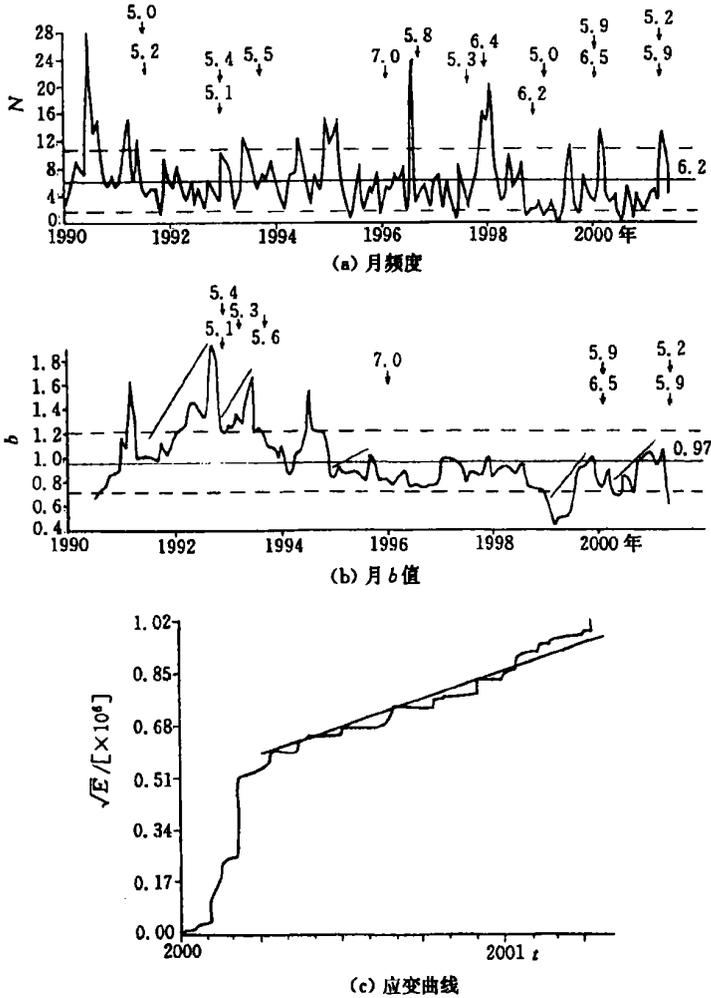


图 4 小滇西地区的地震活动时间进程 ($M_L = 2.5 \sim 4.9$)

Fig. 4 Time process of seismicity in Baoshan and Dehong area of Yunnan province ($M_L = 2.5 \sim 4.9$).

日、25日相继发生鹤庆3.6、3.2级、景洪3.1级和姚安3.9、3.9级和建水3.1级地震^③(表1),表明云南省内5级地震已出现临震指标。

3.2 显著平静的3、4级地震

云南省内在3级地震持续三个月增频的过程中,出现了3、4级地震的短时平静异常。

3.2.1 云南省内3级地震平静

2001年1月13日滇西南勐腊3.5级地震至2001年2月8日滇西保山3.2级地震,云南省内3级以上地震的平静高达25天。而1990年以来中强以上地震后省内3级以上地震平静时间曾2次高达20天以上(表2),平静结束时发生3、4级地震;而后平均25天左右发生中强以上地震。

3.2.2 云南省内4级地震平静

③ 万登堡,蔡静观,李永莉,等. 测震学异常在中强地震连发的短临跟踪. 震情研究, 2001, 50(3): 80—89.

2000年12月11日云龙4.6级地震至2001年3月12日澜沧的5.0级地震,云南省内4级地震出现长达3个月的平静,达到了省内4级平静的异常(图5(b)).类似的情况出现于1999年11月澄江5.2、姚安6.5、丘北5.5级地震前.而4月6~8日武定4.4级地震震群的发生加速了云南省内中强地震的连发,短短的2天后4月10日、12日施甸发生了5.2、5.9级震群.

通过对2001年1~3月云南省内3、4级地震活动的分析,得到云南省3、4级地震出现了显著的临震异常:以月为单位统计的3级以上地震在平静背景下连续上升,两个以上地点的3级地震日频次达3次;同时在云南省内3级地震增频的过程中,出现了3级地震的短时平静和4级地震的平静异常,而3级以上地震平静结束同时发生4级地震.表明3月份施甸5级地震震群进入了临震阶段.

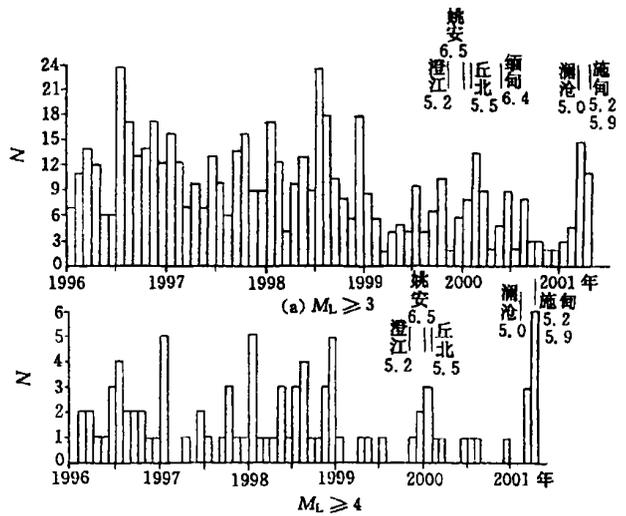


图5 云南省内3级、4级地震月频度

Fig. 5 Monthly frequency of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ and $M_L \geq 4.0$ in Yunnan province.

表1 两个以上地点3级地震与中强震连发的关系

编号	中强地震		3级日频次		间隔时间
	时间	地震	时间	地震	
1	2000-08-21	武定 5.1			
2	2000-10-06	陇川 5.8	2000-08-25	潞西 3.4, 楚雄 3.1, 缅甸 3.0	41天
3	2001-02-23	雅江 6.0	2001-01-05	越南 3.0, 腾冲 3.1, 缅甸 3.0	33天
4	2001-03-12	澜沧 5.0	2001-02-25	老挝 3.6, 姚安 3.4, 3.9	15天
5	2001-04-10	施甸 5.2	2001-03-20	鹤庆 3.6, 3.2, 景洪 3.1	21天
	2001-04-12	施甸 5.9	2001-03-25	姚安 3.9, 3.9, 建水 3.1	21天

表2 1990年省内3级以上地震平静≥25天后发生4级地震

省内3级以上地震平静特征			后续中强震		
起始地震	结束地震	平静时间	4级地震	地震	间隔时间
1999-11-25	1999-12-19	25天	1999-12-20	2000-01-15	4级地震
澄江 5.2级	盈江 3.0级		盈江 4.6级	姚安 6.5级	后25天
2000-06-30	2000-07-28	28天	2000-07-28	2000-08-21	4级地震
姚安 4.1级	丽江 3.6级		景洪 4.0级	武定 5.1级	后24天
				2001-04-10	
2001-01-13	2001-02-08	25天	2001-03-13	施甸 5.2级	4级地震
勐腊 3.5级	保山 3.2级		楚雄 4.0级	2001-04-12	后28天
				施甸 5.9级	

4 讨论与结论

(1) 文中所用指标均通过了震例检验,且大多数已在地震预测中应用.限于篇幅,本文对使用的各项

指标难以详尽叙述.如图3中所示,滇西地区的频度 N 、 b 值地震前既有高值也有低值,在确定其是否为异常时,则从数学和多年统计上确定均方差线为其异常值,即均方差线以外是异常.当其出现转折时表明地震已经孕育成熟,故 N 值、 b 值在出现了长达半年以上的异常时,于2001年3月出现了转折,表明其异常为施甸地震孕育所致.

图1(a)与图3(b)中都提到了滇西的 b 值异常.由于所采用地震计算范围以及时间窗的不同,反映了不同时段、不同大小的介质状态.图3(b)反映了施甸地震孕育区域内小范围 b 值以月为时窗的变化过程;而图1(a)以一年为时窗从云南省大范围反映了介质状态.由于其样本的差异,故前者为低值异常,后者异常则表现为高值,这在地震预测预报应用中经常出现并相对统一.

(2)图1中所示,2000年以来两项以上的地震活动性参数异常区叠加于云南省内滇西的龙陵、保山、施甸一带,丽江—宁蒍一带,及滇中的楚雄、易门、沾益、寻甸、昆明、玉溪一带,本文认为是三个孕震区.除施甸孕震区其余两个区又分别于2001年5月、2001年7月发生了宁蒍5.8级、楚雄5.3级和江川5.1级地震,证明地震学参数异常的集中区为中强地震的孕震区.但如何判定每个区发展的快慢则为今后需要解决的难题.

(3)通过对施甸孕震区地震学参数的进一步分析,初步提出追踪中期异常孕震区,可以捕捉到地震中短—短临的孕育过程,再结合其他临震信息则可作出临震预测预报的思路.是否对分辨中强地震连发中的每个地震具有普遍意义,则有待今后的震例检验.

(4)通过对2001年施甸5级震群前云南地区地震活动性各项参数的动态追踪,表明在云南地区出现 b 值、小震调制比、波速比等多项地震活动性参数异常,以及中强地震的有规律迁移的中期异常背景上,出现了孕震区的频度、 b 值、应变加速等短—临的异常演化,以及云南省3、4级地震连续增频和显著的3、4级地震平静的临震信息.即从2000-2001年云南中强地震连发中,动态追踪地震学中期异常的滇西孕震区的地震活动发展,寻找到了2001年施甸5级震群前的短临震兆.

[参考文献]

- [1] 梅世蓉,冯德益,张国民,等.中国地震预报概论[M].北京:地震出版社,1993.44—99.
- [2] 梅世蓉.地震前兆场物理模式与前兆时空分布机制研究(二)—强震孕育时应力应变场的演化与地震活动地震前兆的关系[J].地震学报,1996,18(1):1—10.
- [3] 秦保燕.强地震地点预报方法——交会法[J].内陆地震,1997,11(2):104—111.
- [4] 陈兴凯,蔡静观.丽江7级地震前高 b 值演化过程和孕震模式[J].地震研究,1999,22(4):330—336.
- [5] 蔡静观.丽江大震前长—中—短—临地震学异常的演化过程[J].地震研究,1997,20(1):13—20.
- [6] 李永莉,蔡静观.云南近期姚安、澄江及丘北地震的孕育[J].地震研究,2001,24(3):213—219.

DYNAMIC EVOLUTION OF SEISMICITY PARAMETERS ON MID-SHORT AND SHORT-IMMINENT TERMS BEFORE SHIDIAN M_s5 EARTHQUAKE SWARM

LI Yong-li, CAI Jing-guan, LIU Li-fang, ZHANG Jun-wei

(Seismological Bureau of Yunnan Province, Yunnan Kunming 650041, China)

Abstract: By tracing down anomalies of seismological parameters before Shidian M_s5 earthquake swarm occurred in 2001, the evolution process of preparation and occurrence of moderate earthquakes for mid-short and short-imminent terms are studied. The result shows: on the background of anomalies of seismicity parameters

including b -value, regulatory ratio of small earthquakes and wave velocity ratio as well as the regular migration of moderate earthquakes for middle term in Yunnan province, some mid-short term anomalies such as frequency, b -value and strain acceleration in seismogenic zone of western Yunnan appear. Mainwhile some short-imminent term anomalies such as continuous frequency increase of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ and $M_L \geq 4.0$, anomaly of daily frequency of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ and notable quiescence of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ and $M_L \geq 4.0$ also appear in Yunnan province. Especially the anomaly quiescence of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ and $M_L \geq 4.0$ gives obvious mark of imminent information. A preliminary discussion on how to distinguish a single earthquake during the continuous occurrence of moderate earthquakes is made.

Key words: Migration of moderate earthquakes; Continuous occurrence; Seismogenic zone; Short-imminent term anomalies; Anomaly quiescence

(上接 157 页)

ASTRONOMICAL AND METEOROLOGICAL CONDITIONS FOR MEDIUM-STRONG EARTHQUAKES IN MIDDLE-EASTERN SECTION OF QILIAN MOUNTAIN SEISMIC ZONE

ZHOU Min-du¹, GUO Zeng-jian¹, XU Zhong-qiu², FAN Bin¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Gansu Lanzhou 730000, China;

2. Seismological Bureau of Lanzhou City, Gansu Lanzhou 730000, China)

Abstract: The origin times of 7 medium-strong earthquakes in middle-eastern section of Qilian mountain seismic zone in last 20 years are analysed. The result shows that: the earthquakes basically occur about solar terms, and in the first or last ten days of a month; the air temperature on epicenter area is colder before and after earthquake; the origin times are coincident with the peak year or the valley year of solar activity.

Key words: Middle-eastern section of Qilian mountain seismic zone; Medium-strong earthquake; Solar term; Weather; Solar activity