

滇西北强震活动特征及短期震兆研究*

刘翔¹, 吴国华¹, 付虹¹, 单连君²

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

摘要: 根据历史地震资料研究了滇西北强震活动韵律特征及最近 10 多年来 6.0 级以上强震前震中附近中小地震活动空间演化图像。对 1986 年以来滇西北 5.0 级以上中强震前该地区 $M \geq 3.0$ 和 $M \geq 4.0$ 地震的活跃和平静异常以及 3 级以上震群进行了清理和配套性研究, 定量地给出了滇西北强震短期震兆指标。得到以下主要结果: 滇西北 6.0 级以上强震前, 在全省 4.0 级以上地震平静异常阶段或 3.0 级以上地震活跃阶段, 震中附近 3 级地震比较活跃, 并形成明显的条带、围空、密集等地震活动有序分布异常图像; 滇西北 6.0 级以上地震短期异常综合预报量 $Y \geq 0.56$ 。短期震兆模型可分为两种: ①滇西北 3.0 级以上地震活跃异常和 3~4 级震群活动同时出现; ②滇西北 4 级以上地震出现平静异常后又出现 3.0 级以上地震平静异常。

关键词: 强震; 震兆; 短期; 配套性; 滇西北

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2010)01-0007-07

0 引言

上新世晚期以来, 由于印度板块向欧亚板块中国大陆的正面强烈推挤, 使青藏高原快速隆升, 西藏地块东移, 但受阻于四川地块和华南地块, 遂转向南作用, 驱使川滇菱形块体以南南东方向楔入。此外, 由于印度板块向北推移, 红河断裂以西云南西部地区直接受到侧向挤压的作用力(阚荣举等, 1977; 皇甫岗, 秦嘉政, 2006)。

印度板块以北东方向持续推挤欧亚板块, 使中国大陆形成统一的应力场。在这种情况下, 云南西部和川滇块体北部受压, 而东部和南部受阻并形成反作用力, 这就使川滇地区地壳得以积累起巨大的地震能量。

滇西北地区分布着红河断裂、程海断裂及金沙江断裂带三大活动构造。它们是川滇菱块西边界主要构造, 历史上曾多次出现 7 级地震活动(刘翔等, 2008, 易桂喜等, 2002)。笔者对滇西北强震活动时空分布特征及震前中小地震活跃、平静、震群活动等异常及其配套性进行了深入研究, 以寻求该地区强震活动时空规律及短期震兆指标和模型。

1 滇西北 $M \geq 5.0$ 和 $M \geq 6.0$ 地震的活动特征

笔者对 1900 年以来滇西北区内红河断裂、程海断裂及金沙江断裂带三大主要活动构造带及附近地区 5.0 级以上历史地震资料进行分析后发现, 1925 年大理 7.0 级地震以后, 滇西北 5.0 级以上地震的时间间隔大多小于 3.8 年, 超过 3.8 年的属小概率事件, 只有 3 次, 即 1933 年 6 月 7 日中甸 6 $\frac{1}{4}$ 级地震与 1943 年 3 月 31 日大理 5 $\frac{1}{2}$ 级地震间隔 10 年, 1966 年 9 月 28 日中甸 6.4 级地震与 1975 年 9 月 4 日漾濞 5.0 级地震间隔 9 年, 2003 年 8 月四川盐源 5.0 级地震至 2009 年 7 月 9 日姚安 6.0 级地震, 5.0 级以上地震又平静了 6 年。

滇西北 6.0 级地震具有明显的活跃、平静交替活动的规律。活跃期多发生 2~3 次 6.0 级以上地震, 时间间隔小于 5 年; 平静期最短时间间隔为 7.7 年, 1925 年大理 7.0 级地震和 1996 年丽江 7.0 级地震前 6 级地震平静时间均很长, 分别为 24 年和 19 年。1996 年丽江 7.0 级、宁蒗 6.2 级和 2001 年永胜 6.0 级地震活动后 6 级地震平静 7 年多, 接近最短平静极限值。由此可见, 目前滇西北 5、6 级地震平静异常比较显著(图 1)。

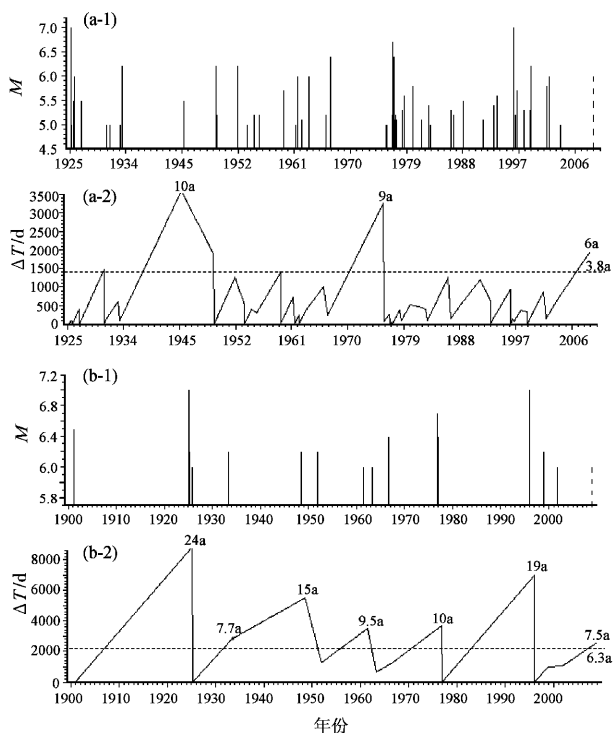


图1 滇西北 $M \geq 5.0$ 和 $M \geq 6.0$ 地震 $M-T$ 图和 $\Delta T-T$ 图
(a-1) $M \geq 5.0$ 地震 $M-T$ 图; (a-2) $M \geq 5.0$ 地震 $\Delta T-T$ 图;
(b-1) $M \geq 6.0$ 地震 $M-T$ 图; (b-2) $M \geq 6.0$ 地震 $\Delta T-T$ 图

Fig. 1 $M-T$ diagram and $\Delta T-T$ diagram of the $M \geq 5.0$ and $M \geq 6.0$ earthquakes in Northwest Yunnan
(a-1) $M-T$ diagram of $M \geq 5.0$ earthquakes; (a-2) $\Delta T-T$ diagram of $M \geq 5.0$ earthquakes; (b-1) $M-T$ diagram of $M \geq 6.0$ earthquakes; (b-2) $\Delta T-T$ diagram of $M \geq 6.0$ earthquakes

2 滇西北强震前地震活动空间变化特征

笔者对 1996 年丽江 7.0 级地震以来滇西北 5 次 6.0 级以上强震前地震活动的空间分布异常进行研究后发现, 强震前短期内震中附近中小地震高度集中。具体分析如下。

2.1 1996 年 2 月 3 日丽江 7.0 级地震短期异常

从 1992 年 12 月永胜 5.4、5.1 级双震至 1994 年 3 月, 滇西北主要断裂构造带至楚雄断裂上的中甸—永胜—大姚一带出现 4 级和 5 级地震活跃现象, 并形成北西向地震条带。1995 年孟连 7.3 级和武定 6.5 级地震后, 云南省内出现 4.0 级以上地震平静异常, 此时, 平静了 1 年多的 4、5 级地震条带上出现了 3 级地震活动, 随后在条带的北端, 即 4、5 级地震活动的空段丽江发生 7.0 级地震 (图 2)。

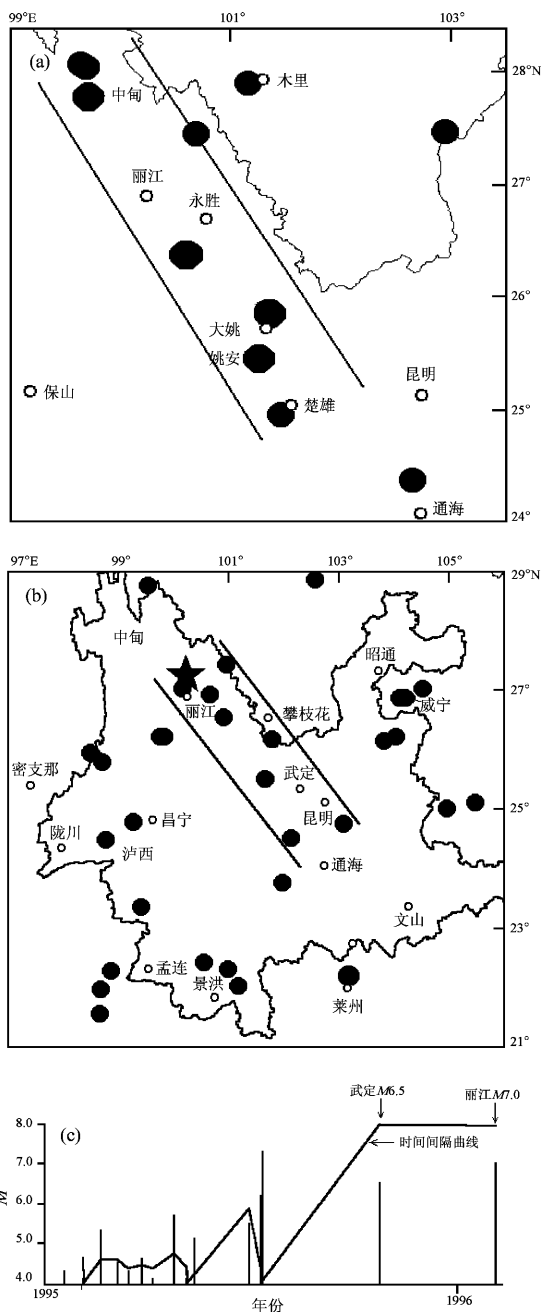


图2 1996 年丽江 7.0 级地震前地震活动时空异常图
(a) 1992 年 12 月至 1994 年 3 月川滇菱形块体 $M \geq 4.0$ 地震空间分布图; (b) 1995 年 11 月至 1996 年 2 月 3 日云南 $M \geq 3.0$ 地震空间分布图; (c) 1995 年 1 月至 1996 年 2 月云南 $M \geq 4.0$ 地震 $M-T$ 图和 $\Delta T-T$ 图

Fig. 2 Temporal-spatial anomaly of the earthquake activity before the $M7.0$ Lijiang earthquake in 1996
(a) Spatial distribution of the $M \geq 4.0$ earthquakes in Sichuan-Yunnan rhombic block from December, 1992 to March, 1994; (b) Spatial distribution of the $M \geq 3.0$ earthquakes in Yunnan from November, 1995 to February 3, 1996; (c) $M-T$ relation and $\Delta T-T$ relation of the $M \geq 4.0$ earthquakes from January, 1995 to February, 1996.

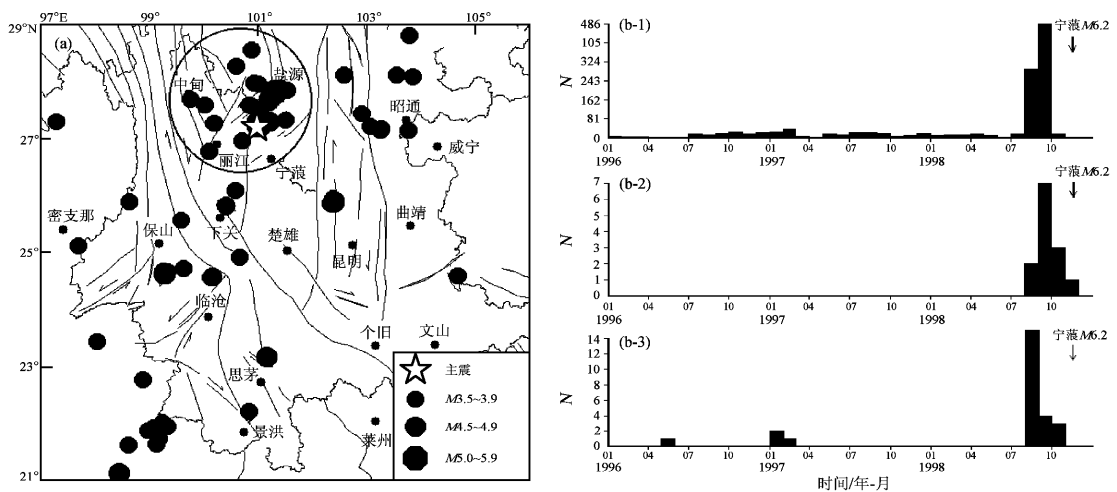


图 3 1998 年 11 月 19 日宁蒗 6.2 级地震前云南 $M \geq 3.0$ 地震空间分布图(a)和宁蒗、四川木里震群频次图(b) (b-1) 宁蒗 $M \geq 1.0$ 震群; (b-2) 宁蒗 $M \geq 3.0$ 震群; (b-3) 四川木里 $M \geq 3.0$ 震群
Fig.3 Spatial distribution of the $M \geq 3.0$ earthquakes in Yunnan before $M6.2$ Ninglang earthquake on November 19, 1998 (a) and the frequency-time diagram of the earthquake clusters in Ninglang and Muli, Sichuan Province (b) (b-1) $M \geq 1.0$ earthquake clusters in Ninglang; (b-2) $M \geq 3.0$ earthquake clusters in Ninglang; (b-3) $M \geq 3.0$ earthquake clusters in Muli, Sichuan Province

2.2 1998 年 11 月 19 日宁蒗 6.2 级地震短期异常

1998 年 7 月底以来,云南 3 级以上地震主要集中在滇西地区,尤其是川滇交界的木里和宁蒗一带出现高频的震群活动,8~9 月两震群中 3.0 级以上地震近 30 次,10 月 2 日、10 月 27 日、11 月 19 日连续发生 5.3、5.2、6.2 级地震(图 3)。

2.3 2000 年 1 月 15 日姚安 6.5 级地震短期异常

从 1999 年 5 月 1 日大理 4.1 级地震至 1999 年 11 月 25 日澄江 5.2 级地震,云南省内近 7 个月无 4.0 级以上地震,处于高度平静异常状态。7~10 月,姚安、大理、宁蒗、东川、元谋一带出现 3 级地震活动,并有序地形成 3 级地震围空,2 个半月后在该围空的边缘发生姚安 6.5 级地震(图 4)。

2.4 2003 年 7 月 21 日大姚 6.2 级地震短期异常

2001 年 10 月 27 日永胜 6.0 级地震后云南一直处于 5.0 级以上地震高度平静状态,至 2003 年 7 月 21 日大姚 6.2 级地震,平静时间达到 632 天,历史罕见。在此异常时段中,2002 年 10 月 19 日武定 4.3 级地震至 2003 年 3 月 28 日勐腊 4.1 级地震阶段,云南及周边地区 4 级地震平静时间近 5 个月,远远超过 3 个月的平静异常阈值。在 4 级地震平静期内,云南 3 级地震主要集中在滇西地区的大理、大姚以南及中缅交界一带。4 级地震平静结束后,云南及周边 3 级地震较为活跃,其中 6 月份地震频次达 21 次,比前几个月增加了 1 倍多,地震活动主要集中在滇西地区,7 月 21 日大姚 6.2 级

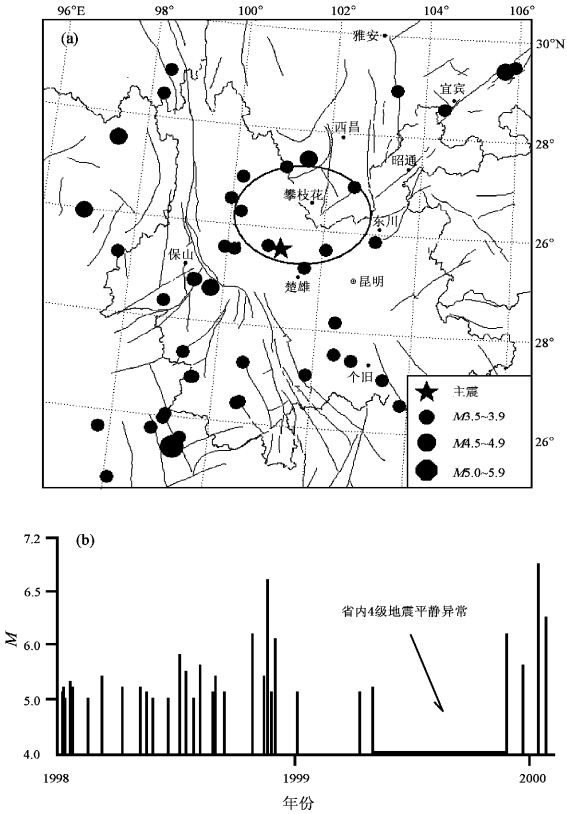


图 4 2000 年 1 月 15 日姚安 6.5 级地震前云南 $M \geq 3.0$ 地震空间分布图 (a) 和 $M \geq 4.0$ 地震 $M-T$ 图 (b)
Fig.4 Spatial distribution of the $M \geq 3.0$ earthquakes in Yunnan before $M6.5$ Yao'an earthquake on January 15, 2000 (a) and $M-T$ diagram of $M \geq 4.0$ earthquakes in Yunnan

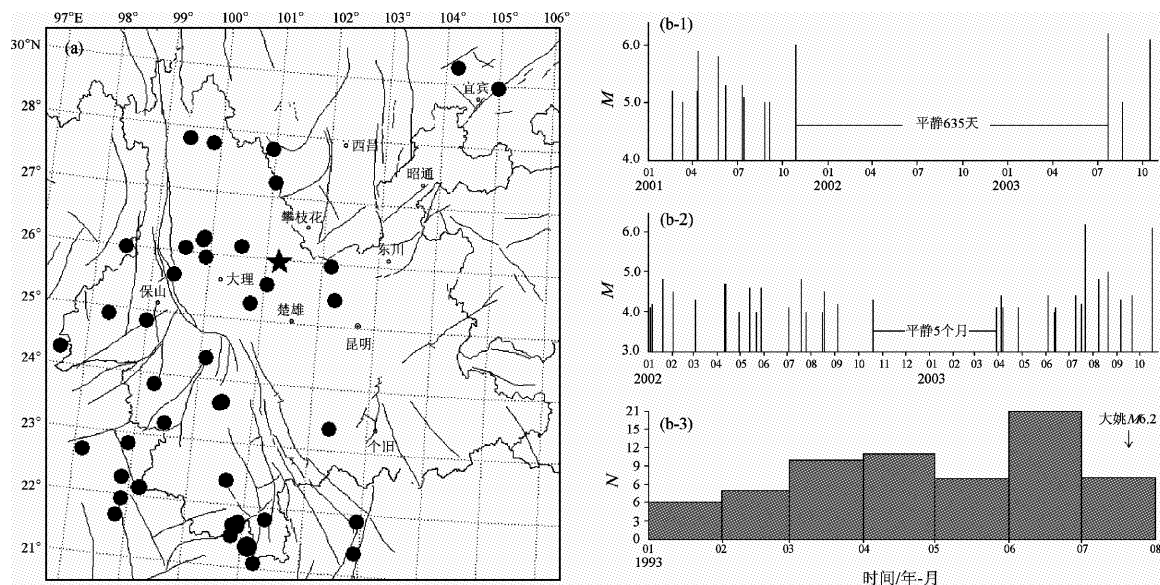


图5 2003年7月21日大姚6.2级地震的震兆图

(a) 2002年11月至2003年3月云南 $M \geq 3.0$ 地震空间分布图; (b) 大姚6.2级地震前云南地震平静与活动异常图
(b-1) 云南地区 $M \geq 5.0$ 地震 $M-T$ 图; (b-2) 云南地区 $M \geq 4.0$ 地震 $M-T$ 图; (b-3) 云南地区 $M \geq 3.0$ 地震月频度图

Fig. 5 Seismic precursors before the $M6.2$ Dayao earthquake on July 21, 2003

(a) Spatial distribution of the $M \geq 3.0$ earthquakes in Yunnan from November 2002 to March 2003; (b) tranquility-and-activity anomaly in Yunnan before the $M6.2$ Dayao earthquake on July 21, 2003; (b-1) $M-T$ diagram of the $M \geq 5.0$ earthquakes in Yunnan; (b-2) $M-T$ diagram of the $M \geq 4.0$ earthquakes in Yunnan; (b-3) Diagram of monthly frequency of $M \geq 3.0$ earthquakes in Yunnan

地震就发生在3级地震密集区的边缘上(图5)。

滇西北6级以上地震前中小地震活动高度有序、集中的异常图像,对地震危险区域的预测有一定的指导意义。地震活动图像预测方法参见陈章立等(1998)、陆远忠等(2002)、周传荣等(1987)、刘翔等(2006)的研究。1998年7~9月滇西北出现了3级以上地震活跃、集中等异常现象,并有多组震群活动,笔者据此向中国地震局报送了预报卡,预测发震时间为1998年11月1日至16日,震级为5.5~5.9级,危险地点在以宁蒗为圆心,半径60 km范围内。1998年11月19日宁蒗发生5.0、5.9级地震,预报意见基本正确,笔者受到中国地震局预报奖励基金会的奖励。

3 滇西北强震短期异常指标

为了得到滇西北强震短期异常指标,笔者取包含红河断裂、程海断裂及金沙江断裂带三大活动构造及丽江—宁蒗断裂区域($25.0^{\circ} \sim 28.3^{\circ}N$, $98.5^{\circ} \sim 101.5^{\circ}E$)内的3级和4级地震资料及震群进行研究。

3.1 4级地震平静异常指标

在大部分5级以上尤其6级以上地震前,滇西北会出现显著的4级地震平静异常。1996年丽江7.0级地震前,4级地震平静异常指标为180天,地震后云南地区进入强震平静期,中小地震活动水平明显降低,4级地震平静异常时间相对较长,为220天。总体而言,滇西北4级地震平静异常的对对应率为88.9%(8/9)。2008年2月18日漾濞4.8级地震至2009年4月14日洱源4.4级地震,滇西北1年零2个月无4级以上地震,4级以上地震平静时间超出历史极限(图6)。

3.2 3级地震活动异常指标

笔者研究发现滇西北地区5级以上地震前短期内,3级以上地震活动异常表现出两种不同的方式:活跃和安静(图7)。笔者研究得出:1996年丽江7.0级地震前,滇西北3级以上地震活动月频次超过8次为活跃异常(不包含震群),月频次小于2次为安静异常;丽江7.0级地震后,滇西北3级以上地震活跃异常指标为月频次超过7次(不包含震群),安静异常指标为月频次小于1次。滇西北3级以上地震异常指标与该地区5级以上地震的对应率为47.6%。

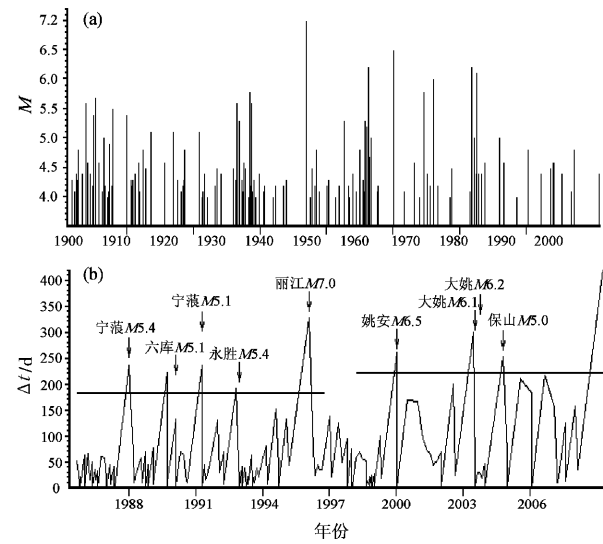


图6 滇西北 $M \geq 4.0$ 地震 $M-T$ 图 (a)
和地震时间间隔 $\Delta T-T$ 图 (b)
Fig. 6 $M-T$ diagram of $M \geq 4.0$ earthquakes (a)
and $\Delta T-T$ diagram (b) in Northwest Yunnan

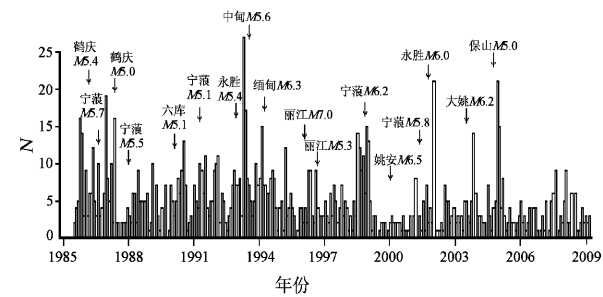


图7 滇西北 $M \geq 3.0$ 地震月频度图
Fig. 7 Diagram of monthly frequency of $M \geq 3.0$
earthquakes in Northwest Yunnan

3.3 震群

滇西北是云南震群比较活跃的地区。表1为3级以上地震频次超过5次的震群统计表。由表1可看出,滇西北震群活动往往出现在该区5级以上地震前和外围大震前后,典型震例有:1986年12月26日至1987年3月巍山震群活动,其中3级地震频次为20次,4级地震频次为7次,最大地震为4.7级。其后1个多月鹤庆发生5.0级地震;1993年4~7月盐源、中甸出现震群活动,3~4级地震频次分别为17次和15次,最大震级分别为4.6级和4.5级,随后于7月17日中甸发生5.7级地震;1998年7~9月永平、盐源、宁蒗相继出现震群活动,其中盐源、宁蒗3~4级地震频次高达34次,最大震级为4.4级,其后1个多月宁蒗发生6.2地

震。此外,2001年11月14日昆仑山西口8.1级地震及2004年12月26日印尼8.7级地震后云南大理均出现丰富的震群活动。分析认为,滇西北震群活动多为区域应力场应力增强的标志。1985年以来滇西北共出现震群26次,震群活动发生后3个月内云南地区发生5.0级地震的概率为54%,其中滇西北为27%,其余震群活动多是外围大震前后区域应力场调整的响应。

4 滇西北强震短期异常配套性研究

“0、1”型预报方法是广泛运用于气象预报等领域的一种综合预测的统计方法,该方法简洁明了,便于使用(朱伯承,1981)。

对每一地震活动参数而言,只要给定了预测的阈值,参数变化就可简化为“正常”、“异常”两种状态。若正常用“0”表示,异常用“1”表示,则地震活动参数变化状态就可简单地赋予“0”、“1”两个数码。设Y为综合预报量,采用线性综合法,综合预报量与预报因子的关系可表示为

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \cdots + a_nX_n = \sum_{i=1}^n a_iX_i \tag{1}$$

预报因子系数 a_i 的大小体现了预报因子的信度高低:

$$a_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \tag{2}$$

式中, p_i 为第 i 项预报因子异常的报准率:

$$p_i = \frac{m_i}{M_i} \tag{3}$$

其中 m_i 为第 i 项预报因子异常预测正确的次数, M_i 为第 i 项预报因子出现异常的总次数。

选取滇西北4级以上地震平静异常、3级以上地震异常、3~4级震群3个参数作为预报因子进行配套性研究,于是滇西北地震短期异常综合预报量与预报因子的关系可表示为

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 = \sum_{i=1}^3 a_iX_i \tag{4}$$

以3个月尺度的预测时间为准则,若预报因子出现异常后3个月内发生地震则预测正确,超过3个月

表 1 滇西北地震频次超过 5 次的 $M \geq 3.0$ 震群统计表

Tab. 1 statistics of the earthquake clusters including over 5 events in Northwest Yunnan

| 序号 | 震群 | | | | 对应地震 | | |
|----|-----------------------|----|------------|----|------------|-----|----|
| | 活动时段 | 频次 | M_{\max} | 地点 | 时间 | 震级 | 地点 |
| 1 | 1985-10-05~10 | 6 | 4.2 | 漾濞 | | | |
| 2 | 1985-11-04~15 | 6 | 4.8 | 云龙 | | | |
| 3 | 1986-01-06~07 | 5 | 4.4 | 中甸 | 1986-03-13 | 5.3 | 鹤庆 |
| 4 | 1986-12-26~1987-03-31 | 27 | 4.7 | 巍山 | | | |
| 5 | 1987-05-07~16 | 8 | 4.5 | 泸水 | 1987-05-18 | 5.0 | 鹤庆 |
| 6 | 1990-07-23~31 | 6 | 4.4 | 宁蒗 | | | |
| 7 | 1991-07-04~09 | 9 | 4.4 | 洱源 | 1991-07-22 | 5.0 | 施甸 |
| 8 | 1992-02-10~11 | 8 | 3.7 | 宁蒗 | 1992-04-23 | 6.9 | 缅甸 |
| 9 | 1993-04-09~25 | 17 | 4.6 | 盐源 | | | |
| 10 | 1993-05-07~16 | 15 | 4.5 | 中甸 | 1993-07-17 | 5.8 | 中甸 |
| 11 | 1994-02 | 5 | 3.3 | 中甸 | 1994-04-06 | 6.3 | 缅甸 |
| 12 | 1995-03-03~04-09 | 10 | 4.3 | 云龙 | 1995-07-12 | 7.3 | 孟连 |
| 13 | 1996-04-14~18 | 7 | 4.0 | 兰坪 | 1996-07-02 | 5.5 | 丽江 |
| 14 | 1998-07 | 7 | 4.8 | 永平 | | | |
| 15 | 1998-08 | 21 | 3.9 | 木里 | | | |
| 16 | 1998-08-09 | 13 | 4.4 | 宁蒗 | 1998-11-19 | 6.2 | 宁蒗 |
| 17 | 1998-12 | 15 | 4.7 | 大理 | 1999-01-03 | 5.0 | 宁蒗 |
| 18 | 2001-09-02~14 | 5 | 4.2 | 宾川 | 2001-10-27 | 6.0 | 永胜 |
| 19 | 2002-01-03~16 | 18 | 4.2 | 漾濞 | | | |
| 20 | 2003-11-12~12-05 | 14 | 3.7 | 洱源 | 2003-11-15 | 5.1 | 鲁甸 |
| 21 | 2004-07-04~26 | 6 | 3.7 | 宾川 | 2004-10-19 | 5.0 | 保山 |
| 22 | 2004-12-28~2005-01-10 | 15 | 3.9 | 剑川 | | | |
| 23 | 2004-12-30~2005-01-18 | 6 | 3.5 | 洱源 | | | |
| 24 | 2005-03-22~29 | 5 | 3.4 | 剑川 | | | |
| 25 | 2007-07-28~08-31 | 13 | 4.4 | 巍山 | | | |
| 26 | 2008-02-18~27 | 5 | 4.8 | 漾濞 | 2008-03-20 | 5.0 | 盈江 |

3 个月内对应率：云南为 14/26 = 54%，滇西北为 7/26 = 27%

就为虚报，计算得滇西北 4 级以上地震平静异常预报因子系数 $a_1=0.44$ ，滇西北 3~4 级震群预报因子系数 $a_2=0.21$ ，滇西北 3 级以上地震活跃异常预报因子系数 $a_3=0.35$ ，若为平静异常，则预报因子系数 $a_3=0.17$ 。

可见，滇西北 4 级以上地震平静异常对应该区 6.0 级地震的概率比较高，但在预测时间的确定上难度较大，因为强震前平静时间往往比较长，如 1996 年 2 月 3 日丽江 7.0 级地震前，滇西北 4 级以上地震平静时间近 1 年，地震发生在异常达到指标后约 5 个月，如果异常达标后立即启动 3 个月的短期预测，预测时间就早了 2 个月，就会虚报。而滇西北 3 级以上地震异常及 3~4 级震群具有较好的短期指示意义，但对应率较低，虚报率较高。

图 8 为由以上 3 个预报参数得出的综合预报量动态变化图。取综合预报量阈值 $Y=0.56$ 研究得出，综合预报量达阈值后 3 个月内滇西北主要断裂带及其附近发生 5.7 级以上地震的概率较高。1993~2008 年滇西北处于强震活动时段，综合预报量

出现了 8 次异常，异常结束后 3 个月内发生 5 次 6 级地震，只有 2001 年 10 月 27 日永胜 6 级地震前综合预报量没达到异常阈值，6 级以上地震漏报 1 次，对应率为 63%，另外 3 次异常中有 2 次分别对应 5.7 级地震和 5 级地震，1 次虚报。

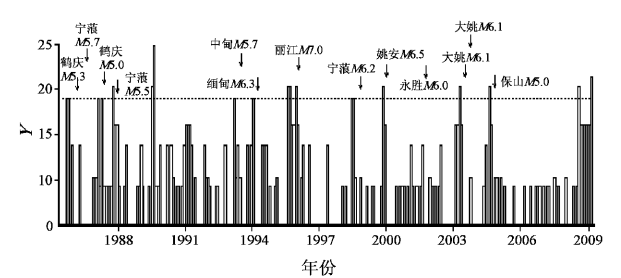


图 8 滇西北主要地震带地震活动参数综合预报量动态变化图

Fig. 8 Variation of the synthetic predictive index Y of the parameters of earthquake activity in the main earthquake belts in northwest Yunnan

由图 8 还可看出，滇西北 6 级以上地震短期异常模型分为两种：① 滇西北 3 级以上地震活跃异

常与3~4级震群活动同时出现,如1998年11月19日宁蒗6.2级震群前的地震活动异常;②滇西北达到4级以上地震平静异常后出现3.0级以上地震平静异常。1996年2月3日丽江7.0级地震、2000年1月15日姚安6.5级地震、2003年7月21日大姚6.2级地震短期异常均属这种模型。此外,在滇西北地震活动水平处于正常背景上出现的震群活动大多不是近场前兆,而是远场前兆或大震前后的响应。

5 结论

(1) 滇西北大多数强震前的短期阶段地震活动空间出现比较明显的异常图像,其特征为:滇西北6.0级以上地震前震中附近3级地震较为活跃,并形成明显的条带、围空、密集等地震活动有序分布异常图像,这种异常出现在两类不同的地震活动水平状态背景上,即云南4.0级以上地震平静异常阶段或3.0级以上地震活跃阶段。

(2) 滇西北6.0级以上地震短期异常综合预

报量 $Y \geq 0.5$ 。震兆模型有两种:①滇西北3.0级以上地震活跃异常时段同时出现3~4级震群活动;②滇西北4级以上地震出现平静异常后还会出现3.0级以上地震平静异常。

参考文献:

- 陈章立,葛治洲,张国民,等.1998.大陆地震预报的方法和理论[M].地震出版社,16-21.
- 皇甫岗,秦嘉政.2006.云南地区大震活动规律研究[J].地震地质,28(1):37-47.
- 阚荣举,王绍晋,黄崑,等.1977.中国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨[J].地球物理学报,20(2):96-109.
- 刘翔,黄泰春,朱荣欢,等.2008.汶川8.0级地震与云南东部主要构造带强震关联性研究[J].地震研究,31(增刊):445-451.
- 刘翔,王绍晋,钱晓东,等.2006.2005年会泽5.3级地震与小江断裂地震活动关系研究[J].地震研究,29(4):332-337.
- 陆远忠,李胜乐,邓志辉,等.2002.基于GIS的地震分析预报系统[M].成都:成都地图出版社.
- 易桂喜,闻学泽,徐锡伟,等.2002.川滇地区若干活动断裂带整体的强地震复发特征研究[J].中国地震,18(3):267-276.
- 周传荣,刘翔,朱进,等.1987.微震活动条带分布特征[J].地震研究,10(3):247-257.
- 朱伯承.1981.统计天气预报[M].上海:上海科学技术出版社.

Characteristics of Strong Earthquake Activity in Northwest Yunnan and Study on Short-term Earthquake Precursor

LIU Xiang¹, WU Guo-hua¹, FU Hong¹, SHAN Lian-jun²

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

(2. College of Resources, Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China)

Abstract

Based on the historical earthquake data, we study the rhythm of strong seismicity in Northwest Yunnan and get the medium-sized earthquake space evolution images in the neighboring region of epicenters before the $M \geq 6.0$ strong quakes occurred in Northwest Yunnan over the past decade. According to the $M \geq 5.0$ strong quakes since 1986, we study the activity and equability anomaly of the $M \geq 3.0$ or $M \geq 4.0$ earthquakes, and the $M \geq 3.0$ clusters. The index of short precursor of strong earthquake in northwest Yunnan is given quantitatively. The main results show: (1) before the $M \geq 6.0$ quakes occurred in Northwest Yunnan, the $M \geq 4.0$ were in equability and $M \geq 3.0$ were in activity, the $M \geq 3.0$ quakes around the potential epicenter were in activity, so the abnormal images of orderly distribution of seismic activity were given including the obvious band, void and intensive areas; (2) the integrated forecasting index Y of the quakes above 6 in short term anomaly in Northwest Yunnan is equal to or greater than 0.5. There are two types of short term precursor model; type one, the anomaly of activity of earthquakes with $M \geq 3.0$ appear synchronously with the clusters of earthquakes with $3.0 \leq M \leq 4.0$. Type two, in the process of the tranquility of the $M \geq 4.0$ earthquakes, there are intermittent tranquility of $M \geq 3.0$ earthquakes.

Key words: strong motion earthquake; earthquake precursor; short term; supporting