

2012年9月7日彝良5.7、5.6级地震 预测及科学依据*

付虹, 钱晓东, 苏有锦, 赵小艳, 邬成栋, 刘翔, 刘丽芳

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

摘要:通过分析彝良地震前地震预测意见和预测依据, 认为: 彝良地震前云南最主要的地震活动特征是境内6级以上地震平静时间接近或超过20世纪以来的极限时间, 中等地震丛集过程中, 缺少6级地震活动; 宁蒗地震的窗口意义和前兆异常数量持续增加是判断地震短期危险性的主要依据; 4级地震密集活动区为地点判断提供线索。彝良地震与缅甸地震同时孕育的复杂性, 增加了地震预测的难度, 也丰富了对地震孕育过程的认识。

关键词: 彝良地震; 地震预测; 地震活动

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2013)02-0141-07

0 引言

地震短临预报至今仍是困难的, 但不断积累资料、探索地震预报的可能性也一直是地震工作者追求的目标, 现阶段不断寻找震前异常的共性特征, 是可能实现预报的重要途径。通过对1966~2001年发生在中国大陆的100多个震例的综合分析发现前兆异常是有地区性的, 地震前兆异常同时具有规律性和复杂性(张国民等, 2005)。对于前兆异常显示出的差异性, 1988年陈颙提出可用重复载荷下岩石的破裂特点加以解释。

云南是我国破坏性地震发生较为频繁的地区

之一, 许多学者针对已发生过的云南强震不同时段的地震活动和前兆观测异常特征已进行过较多的研究(陈立德, 罗平, 1997; 陈立德, 1998; 石绍先等, 1991; 付虹等, 1997a, b, 2008), 但因地震孕育的复杂性、多样性, 基本上没有出现震前完全一样的地震活动和前兆异常, 因此不断总结和丰富震例资料, 可提高对地震孕育过程的认识。

2012年9月7日云南省昭通市彝良县发生了5.7、5.6级地震, 其地震参数见表1。云南省地震局对这组地震曾做过3个月的短期预报, 对震前给出的预测依据进行认真归纳、总结, 为今后的地震预测提供借鉴。

表1 2012年9月7日彝良地震参数

Tab. 1 Seismic parameters of Yiliang M_s 5.7、5.6 earthquakes on Sep. 7, 2012

发震时间/年-月-日	发震时刻/时:分:秒	北纬	东经	震级	震源深度/km	地名
2012年9月7日	11:19:40.7	27°30'	103°59'	5.7	14	云南彝良
2012年9月7日	07:12:16:29.2	27°33'	104°03'	5.6	10	云南彝良

1 震级预测依据

1.1 $M \geq 6$ 地震平静异常

云南省内发生 $M \geq 6$ 地震的自然概率是3年2次, 自2009年7月8日姚安6.0级地震至2012年

9月1日平静已达3.1年。从1900年以来云南省内 $M \geq 6$ 地震的平均间隔时间为1.7年, 间隔时间大于3年的地震仅占总数的17%, 为小概率事件(图1a); 省内 $M \geq 6.5$ 地震自2000年1月15日姚安6.5级地震至2012年9月1日平静已达12.6年, 云南省6.5级地震的平均间隔时间为4.2年。

* 收稿日期: 2013-01-22.

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAK19B01-07)资助.

大于目前平静时间的情况历史上仅出现过 1 次, 即 1966 年 2 月 5 日东川 6.5 级地震前平静 13.6 年 (图 1b), 因此分析认为云南发生 6 级地震的危险性较大。

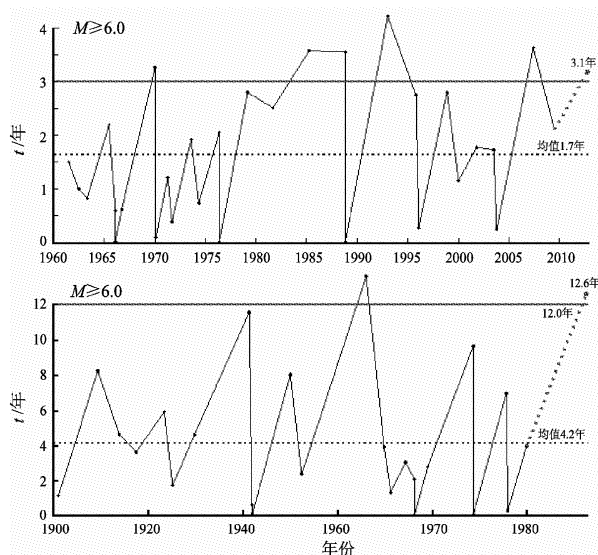


图 1 云南省内强震时间间隔 ΔT 图

(a) $M \geq 6.0$; (b) $M \geq 6.5$

Fig. 1 Time interval ΔT between the strong earthquakes in Yunan Province

1.2 中等地震连发和宁蒗 5.7 级地震的预报意义

2012 年 6 月 24 日宁蒗 5.7 级地震后 7 月 10 日、22 日又先后在云南统计范围内发生 5.5、5.4 级地震, 我们把发震时间间隔小于 3 个月, $M \geq 5.0$ 地震发生频次 $N \geq 3$ 定义为中等地震连发, 1998 年以来云南地区共出现了 9 组中等地震连发过程, 前 8 组中有 7 组均有 6 级地震参与活动, 表明云南地区继续发生 6 级地震的可能性较大, 因此彝良地震前的预测震级是以 6 级地震为目标的。

2 时间预测依据

2.1 地震活动特征预测时间

宁蒗地区的中等地震似为云南地区的窗口, 该区发生地震后, 云南地区 3 个月内继续发生 $M \geq 5$ 地震的比例高达 71% (表 3)。2012 年上半年云南地区的 4 级地震出现了长时间的平静, 自 6 月 12 日盐津 4.4 级地震开始, 出现了地震活动增强的态势, 在这种地震活动由极端平静转为活跃的

表 2 1998 ~ 2011 年云南地区 $M_s \geq 5.0$ 地震分组统计

Tab. 2 Statistic of $M_s \geq 5.0$ earthquakes grouping from 1998 to 2011 in Yunnan area

分组	分组内发生的地震	与上次地震的时间间隔/d	组内地震发生次数
1	1998-10-02 云南宁蒗 5.3 级地震	275	5 次
	1998-10-27 云南宁蒗 5.2 级地震	24	
	1998-11-19 云南宁蒗 5.0 级地震	24	
	1998-11-19 云南宁蒗 6.2 级地震	0	
	1998-12-01 云南宣威 5.1 级地震	12	
2	1999-11-25 云南澄江 5.2 级地震	132	4 次
	2000-01-15 云南姚安 5.9 级地震	51	
	2000-01-15 云南姚安 6.5 级地震	0	
	2000-01-27 云南弥勒 5.5 级地震	12	
3	2001-02-19 老挝 5.2 级地震	136	12 次
	2001-02-20 老挝 5.0 级地震	0	
	2001-03-12 云南澜沧 5.0 级地震	21	
	2001-04-10 云南施甸 5.2 级地震	29	
	2001-04-12 云南施甸 5.9 级地震	2	
	2001-05-24 云南宁蒗 5.8 级地震	41	
	2001-06-08 云南施甸 5.3 级地震	15	
	2001-07-10 云南楚雄 5.3 级地震	32	
	2001-07-15 云南江川 5.1 级地震	5	
	2001-08-25 缅甸 5.0 级地震	41	
	2001-09-04 云南景谷 5.0 级地震	10	
	2001-10-27 云南永胜 6.0 级地震	53	
4	2003-07-21 云南大姚 6.2 级地震	632	5 次
	2003-08-21 四川盐源 5.0 级地震	30	
	2003-10-16 云南大姚 6.1 级地震	56	
	2003-11-15 云南鲁甸 5.1 级地震	29	
	2003-11-26 云南鲁甸 5.0 级地震	12	
5	2004-08-10 云南鲁甸 5.6 级地震	258	4 次
	2004-10-19 云南保山 5.0 级地震	69	
	2004-12-26 云南楚雄 5.0 级地震	68	
	2005-01-26 云南思茅 5.0 级地震	30	
6	2007-05-16 老挝 6.6 级地震	128	4 次
	2007-06-03 宁洱 6.4 级地震	18	
	2007-06-23 缅甸 5.8 级地震	20	
	2007-06-23 缅甸 5.6 级地震	0	
7	2008-08-20 云南盈江 5.0 级地震	151	4 次
	2008-08-21 云南盈江 5.9 级地震	2	
	2008-08-30 四川攀枝花 6.1 级地震	9	
	2008-08-31 四川攀枝花 5.6 级地震	1	
8	2011-03-10 云南盈江 5.8 级地震	378	4 次
	2011-03-24 缅甸 7.2 级地震	14	
	2011-06-20 云南腾冲 5.2 级地震	88	
	2011-08-09 云南腾冲 5.2 级地震	50	
9	2012-06-24 宁蒗 5.7 级地震	208	?
	2012-07-10 缅甸 5.5 级地震	16	
	2012-07-22 缅甸 5.4 级地震	12	
	?	?	

表3 宁蒗—盐源地震带 $M \geq 5$ 地震后3个月内云南后续地震统计表

Tab. 3 Statistic of subsequent earthquakes in 3 months after $M \geq 5$ earthquakes in Ninglang-Yanyuan seismic belt in Yunnan

宁蒗—盐源地震带 $M \geq 5$ 地震			后续 $M \geq 5$ 地震		间隔时间
01	1954-07-21 四川盐源	5.3级地震			
02	1955-06-07 云南宁蒗	5.3级地震			
03	1961-04-18 云南丽江	5.0级地震	1961-06-12 腾冲	5.8级地震	1.8月
			1961-06-27 中旬	6.0级地震	2.3月
			1961-07-08 龙陵	5.6级地震	2.7月
04	1962-03-03 云南宁蒗	5.1级地震	1962-03-23 中旬	5.0级地震	0.7月
			1962-03-26 中旬	5.1级地震	0.8月
			1962-04-23 富宁	5.5级地震	1.7月
05	1976-11-07 四川盐源	6.7级地震	1976-12-13 盐源	6.4级地震	1.2月
	1976-12-13 四川盐源	6.4级地震			
06	1978-08-31 四川盐源	5.6级地震	1978-09-10 普洱	5.8级地震	0.3月
07	1980-02-02 四川木里	5.8级地震			
08	1981-05-22 云南宁蒗	5.0级地震	1981-07-07 盈江	5.4级地震	1.5月
			1981-08-14 盈江	5.1级地震	2.8月
09	1986-08-12 四川盐源	5.4级地震	1986-10-07 富民	5.2级地震	1.8月
10	1988-01-10 云南宁蒗	5.5级地震			
11	1991-04-12 云南宁蒗	5.1级地震	1991-07-01 保山	5.0级地震	2.6月
12	1998-10-02 云南宁蒗	5.3级地震			
	1998-10-27 云南宁蒗	5.2级地震			
	1998-11-19 云南宁蒗	5.0级地震			
	1998-11-19 云南宁蒗	6.2级地震	1998-12-01 宣威	5.1级地震	0.4月
13	2001-05-24 云南宁蒗	5.8级地震	2001-06-08 施甸	5.3级地震	0.5月
			2001-07-10 楚雄	5.3级地震	1.5月
			2001-07-15 江川	5.1级地震	1.7月
14	2003-08-21 四川盐源	5.0级地震	2003-10-16 大姚	6.1级地震	1.8月
			2003-11-15 鲁甸	5.1级地震	2.8月
15	2012-06-24 云南宁蒗	5.7级地震			

状态下，地震活动增强会持续一段时间，中等地震连续发生是云南地区的地震活动特征，据云南以往震例，中等地震连发过程中两两地震的时间间隔均小于3个月，到2012年9月初时笔者认为中等地震已临近。

2.2 前兆异常预测时间

自2011年下半年以来云南地区的前兆异常数量居高不下，趋势异常一直呈增加的态势（图2），宁蒗地震发生后部分短期异常持续发展，如丽江的水温、罗茨和洱源地电场观测、永胜钻孔和洞体应变、丽江水管倾斜、贵阳钻孔应变、鲁甸氟离子和电导率、龙陵水氡、弥渡气汞、保山镁离子等异常，而且还有部分新异常出现，如鹤庆和

越溪井电磁波等（图3），表明宁蒗5.7级地震后前兆异常持续发展，云南地区的这组地震活动过程没有结束。

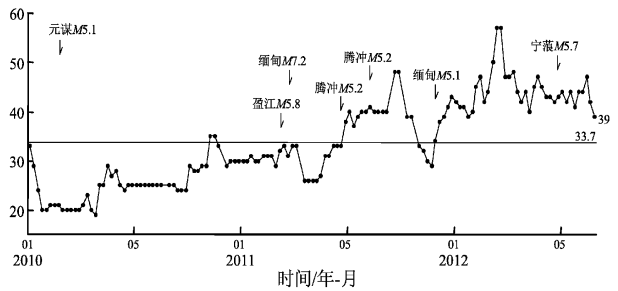


图2 云南地区前兆异常数量时间
进程曲线

Fig. 2 Time progressing curve of precursory
anomaly number in Yunnan area

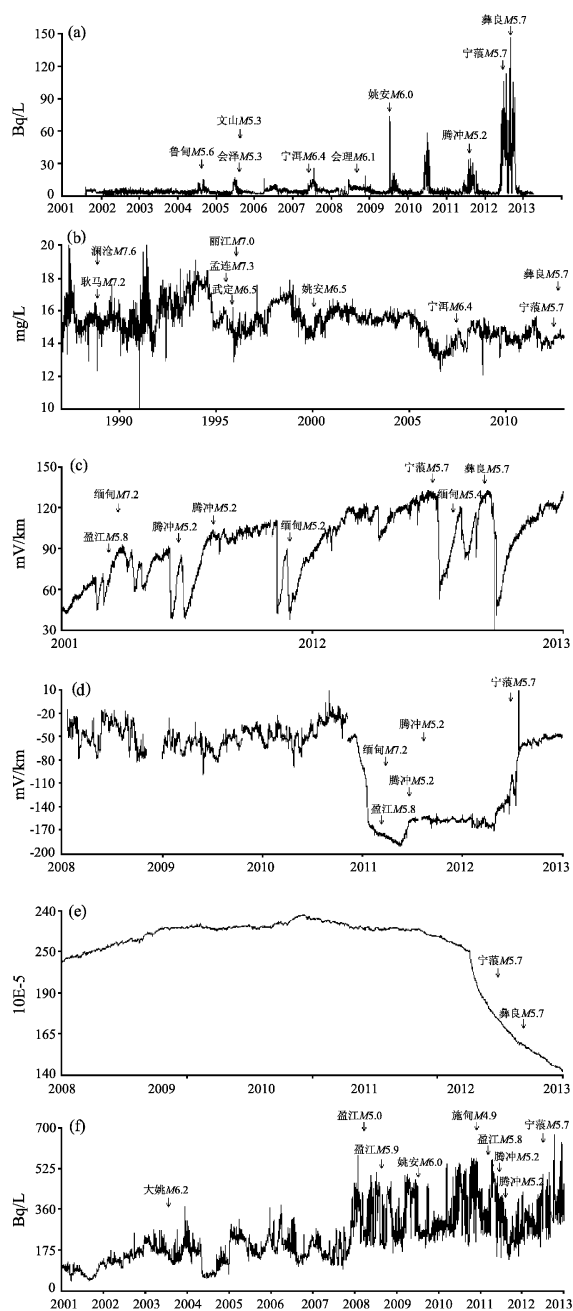


图3 前兆典型异常曲线

(a) 通海高达气氡日均值; (b) 保山镁离子日值;

(c) 洱源地电场长极距北南向; (d) 罗茨地

电场短极距东西向; (e) 永胜钻孔应变

东西向; (f) 龙陵水氡日均值

Fig. 3 Typical precursory anomaly curve

(a) daily mean value of gas radon in Gaoda Well, Tonghai;

(b) Magnesium ion daily value in Baoshan; (c) long polar

distance in N-S direction in geoelectric field in Eryuan; (d)

short polar distance in E-W direction in geoelectric field in Luo-

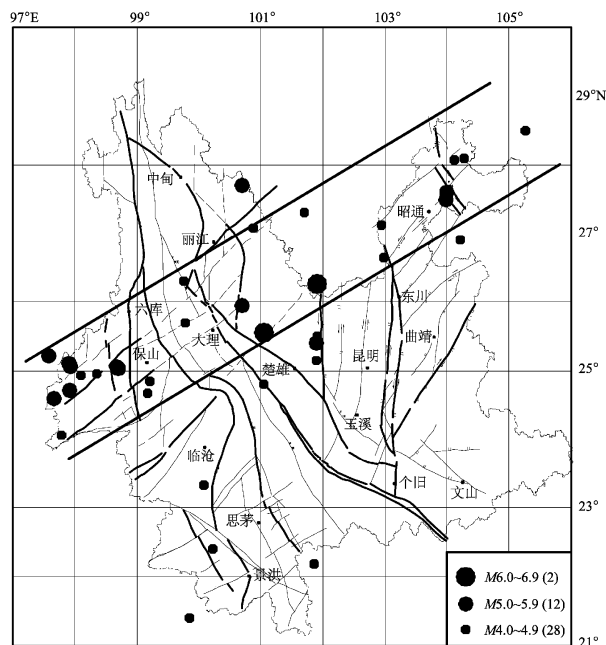
ci; (e) borehole strain in E-W direction in Yongsheng; (f)

daily mean value of water radon in Longling

3 地点预测依据

2012年云南的前兆异常分布范围较广, 很难用于地点判定。因为预测的震级是6级, 根据云南地区80%以上的 $M \geq 6$ 地震前, 周边地区均有地震活动增强的特征(付虹等, 2002), 我们把跟踪的重点放到了云南2008年以来形成的从盈江至昭通的 $M \geq 4.5$ 地震北东条带上(图4)。该条带的中段在2009年7月9日已发生了1次姚安6.0级地震, 而其两端是近年来4级地震活动增强最显著的区域, 因此认为其两端的危险性较大(图5)。

分别对盈江至昭通地震条带两端的地震活动进行分析, 发现: (1) 小滇西地区自2008年开始4、5级地震异常活跃, 4级地震及前兆异常在该区最多, 2008年以来龙陵水氡持续出现高值, 保山镁离子持续下降都显示该区发生强震的危险性比较大, 永胜和丽江的形变异常在宁蒗地震后持续发展; 洱源、罗茨地电场从2008年观测以来, 出现异常主要对应的是小滇西到滇西北的地震, 宁蒗地震后前兆新异常在这个地区也最多, 因此把该区列在第1危险区。(2) 滇东北地区自2010年以来4级地震异常活跃, 2012年被列为6~7级地震危险区, 强震背景突出。该区的

图4 云南地区 $M \geq 4.5$ 地震震中分布图Fig. 4 Epicenter distribution of $M \geq 4.5$ earthquakes in Yunnan area

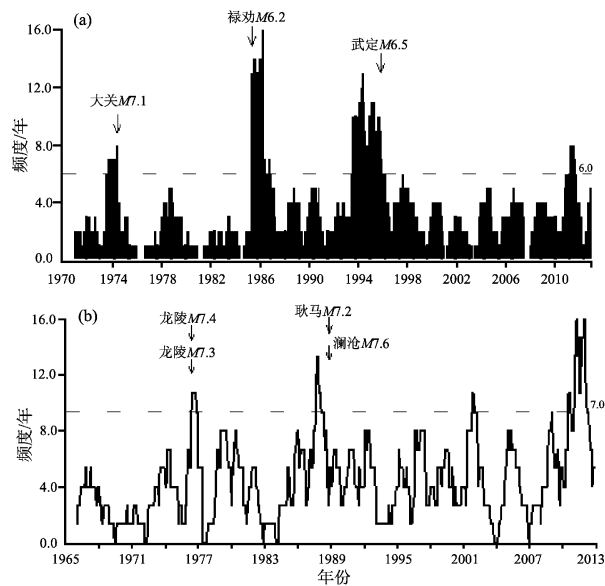


图5 $M \geq 4.0$ 地震12月累计1月滑动时间进程曲线
(a) 小滇西地区；(b) 滇东北地区
Fig. 5 Sliding time progressing curve of $M \geq 4.0$ earthquakes accumulated in one month of 12 months
(a) small western Yunnan area; (b) northeastern Yunnan area

4级地震活跃后出现平静，2012年6月12日发生盐津4.2级地震后又再次开始活动，据该区以往 $M \geq 6$ 地震前的4级地震活动特征分析，认为该区下半年进入了6级地震发震的优势时段（图6）。另一方面四川长宁7月28日开始出现3级震群活动，虽然有学者认为该区的地震活动和注水有较好的

关系，但经过分析发现，该区的震小震活跃与云南滇东北的地震有关联性，因此分析认为该震群的出现，可能与区域应力场增强有关，对滇东北的地震有一定的指示意义，表明滇东北地区的地震危险性在增加。同时滇东北地区也存在多项显著的前兆观测异常，最为突出的是鲁甸的氟离子、电导率、水富的倾斜、大关二氧化碳等，因此把该区列为第2危险区（图7）。

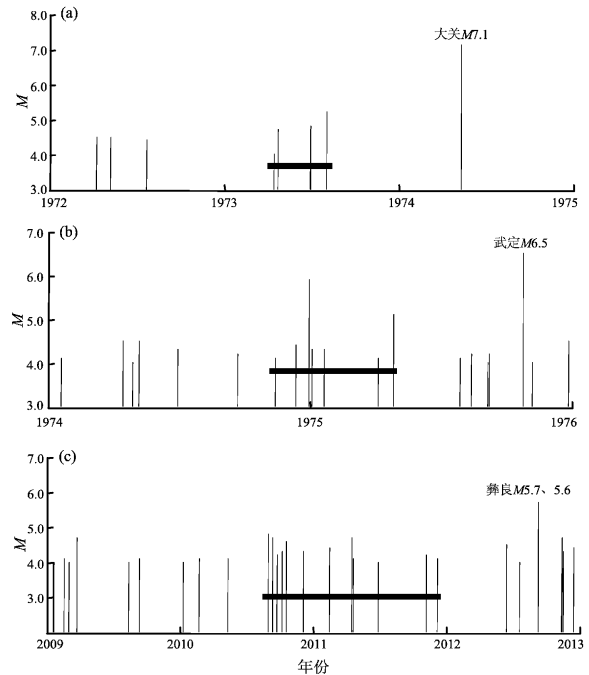


图6 滇东北地区M-T图
Fig. 6 M-T diagram in northeastern Yunnan area

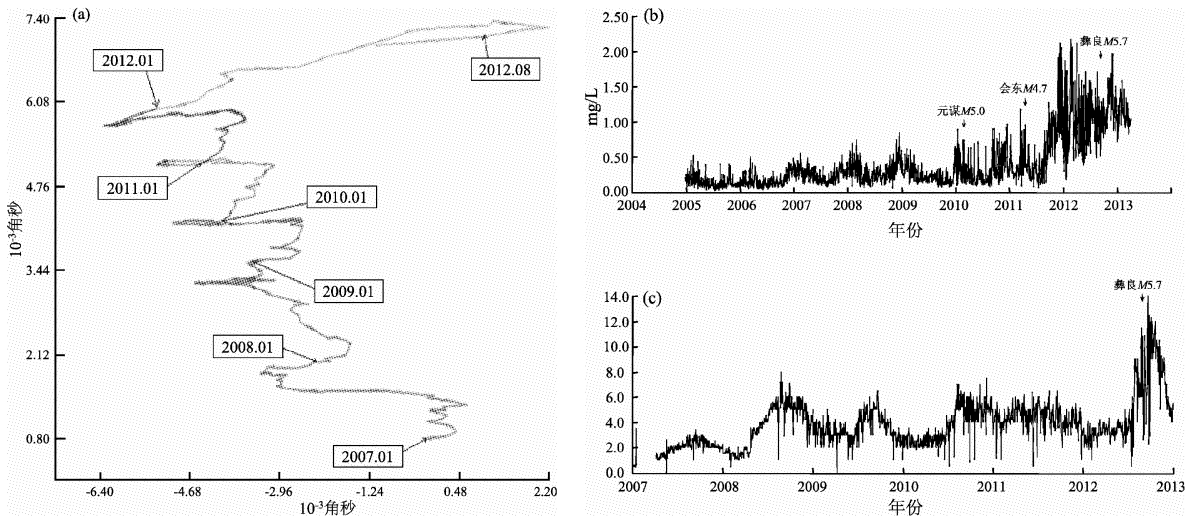


图7 滇东北地区前兆典型异常
(a) 水富倾斜；(b) 鲁甸氟离子；(c) 大关二氧化碳
Fig. 7 Typical precursory anomaly in northeastern Yunnan area
(a) tilt in Shuifu; (b) fluoride in Ludian; (c) carbon dioxide in Daguang

滇南至滇西南地区的思茅、普洱地区 $M \geq 5$ 地震也出现了自 1965 年以来最长时间的平静,同时滇南地区的 3 级地震在长时间平静后于 2012 年出现了活跃,2012 年以来滇南地区峨山水温、通海高大气压等前兆观测异常也极为显著,宏观异常也较为突出,因此把该区也列为了注意地区。

4 预测过程

鉴于上述地震活动和前兆异常,云南省地震预报研究中心于 2012 年 8 月底提出了预测意见,经云南省地震评审委员会评审后,于 9 月 5 日以预报卡的形式上报了中国地震局,9 月 6 日形成《震情反映》(2012 05)上报云南省人民政府(文件已签发,但震前未报出)。9 月 7 日彝良地震后,9 月 11 日在滇西又发生了缅甸 4.9 级地震,15 日云南省地震局再次组织召开了专题会商会讨论,认为彝良地震解释不了云南目前的前兆异常,因此把未报出的《震情反映》再次上报云南省人民政府,坚持认为云南地区仍存在 6 级地震的危险性,危险地点仍然应该关注滇西至滇西北地区,在预报期内 11 月 11 日发生了缅甸的 7.0 级地震。

5 认识和讨论

(1) 4 级地震活动增强,并出现活跃—平静—活跃的特征,周边地区四川长宁出现 3 级前兆震群,水富倾斜 2012 年速率为 2005 年观测以来正常背景的 2~3 倍、鲁甸氟离子出现持续高值、大关二氧化碳 6 月出现高值等异常是判断滇东北地区有地震的主要依据,这些依据主要集中在滇东北地区且变化幅度较大,为彝良 5.7、5.6 级地震预测奠定了基础。

(2) 彝良地震前云南省内地震活动最显著的现象是云南境内 $M \geq 7.0$ 、 $M \geq 6.5$ 、 $M \geq 6.0$ 地震平静分别近 17 年、13 年和 3.5 年,均接近历史平静极限时间。震例和指标研究结果表明(苏有锦,李忠华,2011),这 3 个震级档同步出现显著异常,是一个值得特别关注的现象。加之 2012 年 6 月 24 日宁蒗 5.7 级地震开始的中等地震连发过程中,最大地震仅 5.7 级,以往云南的中等地震丛集中,多有 6 级地震参与活动,因此彝良地震前的预测目标是 6 级地震。彝良 5.7、5.6 级地震发生后,云南

境内 6 级以上地震长时间平静的异常现象依然没有得到解释。但要开始再一次新的预测仅靠平静指标显然是不行的,还需新的中小地震活动和前兆异常过程,才可能开始新的预测。

(3) 2012 年 9 月提交预测意见时,云南前兆异常数量多、分布广,因此预报区域也相对较多,滇西至滇西北地区的前兆异常也较为突出,因此预测意见中第 1 个危险区是滇西至滇西北地区,彝良地震位于第 2 个危险区,但 2012 年 11 月 11 日在第 1 个危险区外围发生了缅甸 7.0 级地震。缅甸 7.0 级地震附近的小滇西地区同样是中等地震活动增强的区域。小的单元发生破裂后能量积累到更大单元,发生更大地震的认识(郭增建,秦保燕,1979),在云南具有普适性,因此 4 级地震活动增强可以作为云南强震预测地点判定的主要依据。

(4) 彝良地震发生在 2008 年以来形成的小滇西至滇东北的 $M \geq 5$ 地震条带上,该条带为 2012 年云南地区 $M \geq 5$ 地震的地点预测提供了依据,但彝良 5.7、5.6 级地震的发生并不能解释该条带,未来中等地震甚至更大地震继续发生在该条带上的危险性仍然是存在的。

(5) 缅甸 7.0 级地震距离云南小滇西地区边境 190 km,7 级地震前云南出现了大范围的地震活动增强和前兆观测异常,这给地点判断带来了很大的困难。另一方面彝良地震可能是缅甸地震前地震活动增强中的 1 个事件,震前观测到的云南前兆异常有部分是与缅甸地震有相关的,云南地区前兆异常的增多与地震有一定的相关性,异常集中地区与未来强震区并不呈简单的对应关系(李丽,张国民,1999),表明多个地震同时孕育时,地震活动图像和前兆异常更为复杂,地震预报特别是地点预报的难度也更大。

(6) 虽然彝良地震前曾作出了一定程度的预测,但预测的目标震级是 6 级,震级有偏差,之后发生的缅甸 7.0 级地震也没有在危险区内。只是震前有异常是客观的。这些地震活动图像和前兆异常丰富了我们对于地震孕育复杂性的认识,也为今后的震例积累了新的资料。

参考文献:

- 陈立德,罗平. 1997. 1995 年 7 月 12 日孟连中缅边界 7.3 级地震短临预报及前兆异常特征[J]. 地震研究, 20(2): 151-156.
陈立德. 1998. 丽江 7.0 级地震短临预报特征及震源硬化模型[J].

- 地震, 18(1): 7-13.
- 付虹, 陈立德, 罗平, 等. 1997a. 1995年7月12日云南孟连中缅边界7.3级地震中短临预报及前兆异常特征(2) [J]. 地震研究, 20(3): 249-258.
- 付虹, 陈立德, 罗平, 等. 1997b. 1995年7月12日云南孟连中缅边界7.3级地震中短临预报及前兆异常特征(3) [J]. 地震研究, 20(4): 345-355.
- 付虹, 李永莉, 赵小艳. 2008. 云南 $M \geq 5$ 地震震前异常的统计特征 [J]. 地震研究, 31(2): 335-339.
- 付虹, 王炜, 王世芹, 等. 2002. 地震活动因子值在川滇地区 $M_s \geq 6$ 地震中短期预报中的应用 [J]. 内陆地震, 16(3): 205-211.
- 郭增建, 秦保燕. 1979. 震源物理 [M]. 北京: 地震出版社.
- 李丽, 张国民. 1999. 前兆场动态演化与强震成组活动 [J]. 中国地震, 15(4): 310-322.
- 石绍先, 付虹, 沈斌, 等. 1991. 1988年澜沧—耿马大震的预报和再认识过程 [J]. 西北地震学报, 13(1): 35-40.
- 苏有锦, 李忠华. 2011. 云南地区6级以上强震时间分布特征及其概率预测模型研究 [J]. 地震研究, 34(1): 1-7.
- 张国民, 张晓东, 吴荣辉, 等. 2005. 地震预报回顾与展望 [J]. 国际地震动态, (5): 39-53.

Earthquake Prediction of Yiliang $M5.7$ 、 5.6 Earthquakes on Sept. 7 in 2012 and its Scientific Basis

FU Hong, QIAN Xiao-dong, SU You-jin, ZHAO Xiao-yan, WU Cheng-dong, LIU Xiang, LIU Li-fang
(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

Basing on the prediction opinion and criteria of Yiliang $M5.7$ 、 5.6 earthquakes, we considered that the main earthquake activity characteristic before Yiliang $M5.7$ 、 5.6 earthquakes was the earthquake quietude time of $M \geq 6.0$ earthquakes approached to or exceeded its utmost time since 20th century, and there is lack of $M \geq 6.0$ earthquakes in the period of continuous occurrence of moderate strong earthquakes activity in Yunnan province. The main basis of the short-term earthquake risk were the window effect of Ninglang earthquake and the continuous increase of precursor abnormality items. The concentrating activity area of $M \geq 4.0$ earthquakes provided the clue of earthquake occurrence location judgment. Because of the preparation of Yiliang $M5.7$ 、 5.6 and Burma $M_s 7.0$ earthquakes in the same period, which increased the prediction difficulty of Yiliang $M5.7$ 、 5.6 earthquakes, however it also enriched our understanding of earthquake gestation.

Key words: Yiliang $M5.7$ 、 5.6 earthquakes; earthquake prediction; seismic activity