

# 2014年云南鲁甸 $M_s$ 6.5 地震异常及预测\*

付虹, 钱晓东, 毛玉平, 苏有锦, 刘翔, 李琼, 张立, 赵小艳, 邬成栋

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 通过分析 2014 年云南鲁甸  $M_s$  6.5 地震前震情跟踪过程中的显著异常, 认为云南境内  $M \geq 6.5$  地震的长时间平静、 $M \geq 6$  地震的丛集活动以及  $M \geq 3$  地震月频次高值是震前云南地区地震活动异常的显著特征; 滇东北地区  $M \geq 5$  地震活动的韵律特征、2008 年后 3、4 级地震活动显著增强以及 2014 年以来滇东北地区的高水位异常是判定滇东北地区存在  $M \geq 6$  地震的主要依据。在多个地震同时孕育的过程中, 对判定哪个危险区先发震是困难的, 但每次地震都有新的前兆异常出现, 为成组地震连发过程中, 新地震的识别提供了依据。云南地区 3 级地震月频次异常和前兆突变异常增多是鲁甸  $M_s$  6.5 地震短期阶段最显著的异常特征。

**关键词:** 鲁甸  $M_s$  6.5 地震; 前兆异常; 异常特征; 地震预测

**中图分类号:** P315.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2015)02-0181-08

## 0 前言

云南是我国破坏性地震发生最为频繁的地区之一, 不断积累资料、探索地震预报的可能性是地震工作者一直以来追求的目标。地震前兆异常同时具有规律性和复杂性(张国民等, 2005), 因此每个地震都具有共性和差异性。通过不断总结每次地震前观测到的地震活动、前兆异常现象和规律, 丰富震例资料, 增加对不同地震孕育过程的认识无疑是有益的。从云南上个地震活跃期开始, 多个学者对云南地区发生的  $M \geq 7$  地震, 如 1988 年澜沧、耿马 7.6、7.2 级地震(石绍先等, 1991; 陈立德, 罗平, 1992), 1996 年丽江 7.0 级地震(陈立德等, 1997), 1995 年孟连 7.3 级地震(陈立德, 罗平, 1997; 付虹等, 1997) 等进行了总结, 结果显示每组地震都有差异性和共性。因此基于更多地震样本的研究, 有可能得到对地震孕育过程更全面的认识。

2014 年 8 月 3 日 16 时 30 分云南省鲁甸县(27.1°N, 103.3°E) 发生  $M_s$  6.5 地震, 震源深度 12 km。该地震发生在云南省地震局 2014 年度 6.5 级左右地震危险区内, 震前短期阶段, 云南省地震局进一步给出了危险性的判定意见。本文旨在

对震前的判定依据进行回顾性分析, 真实的记录震前的异常和认识, 为今后的地震预测提供借鉴。

## 1 地震学异常

### 1.1 云南地区区域地震活动显著异常

云南历史地震遗漏较多, 尤其红河断裂以西地区, 1920 年有仪器记录以后才有完整的  $M_s \geq 5$  地震记录, 因此本文选用 1900 年以来云南省边境 50 km 范围内  $M_s \geq 6.5$  地震作为研究样本。该研究区内  $M_s \geq 6.5$  地震从 2000 年 1 月 15 日姚安  $M_s$  6.5 地震后, 到 2014 年 7 月 5 日, 已平静了 14.5 a, 为 1900 年以来的最长平静时间(图 1)。

鲁甸  $M_s$  6.5 地震前, 于 2014 年 5 月 30 日在盈江发生了 1 次  $M_s$  6.1 地震。统计云南地区 1900 年以来  $M_s \geq 6$  地震, 共有 96 次, 其中有 48 次是在 3 个月内连续发生的(表 2)。盈江  $M_s$  6.1 地震前云南地区  $M_s \geq 6$  地震出现了从 2009 年 7 月 9 日姚安  $M_s$  6.0 地震后长达 4.9 a 的平静, 从表 2 可见盈江  $M_s$  6.1 地震后 3 个月内云南继续发生  $M_s \geq 6$  地震的概率可达 50%。

在  $M_s \geq 6.5$  地震长时间平静,  $M_s \geq 6$  地震连发概率较高的背景下, 2014 年 7 月云南地区出现了  $M$

\* 收稿日期: 2015-01-15.

基金项目: 中国地震局“云南鲁甸 6.5 级地震专题研究”和云南省人民政府“十项措施”监测预报项目(JCYB-20080601-5) 共同资助

$\geq 3$  地震的活跃异常, 云南地区月活动水平平均为 20 次, 当月频度  $N \geq 20$ , 未来 3 个月多有  $M_s \geq 6$  地震发生, 2014 年 5 月 30 日盈江  $M_s 6.1$  地震后, 7 月云南地区  $M \geq 3$  地震频次达到 25 次 (扣除了盈江  $M_s 6.1$  的余震), 再次达到异常指标 (图 2)。

2014 年 7 月 26 日宾川发生  $M_L 4.2$  地震, 该地震所处程海构造带的 4 级地震与云南地区的  $M_s \geq 5$  地震有较好的相关性。该地震带发生 4 级地震后, 2 个月内云南地区  $M_s \geq 5$  地震的对应率可达 80% (总共 15 次, 12 次对应), 其中 50% 的地震在 1 个月内发生 (表 2)。宾川窗口地震的发生, 表明短期内云南地区继续发生破坏性地震的可能性增大。

表 1 云南  $M \geq 6$  地震连发统计

Tab. 1 Statistic the cluster activities of  $M \geq 6.0$  earthquakes in Yunnan

序号	首发地震	后续地震	时间间隔
01	1909-05-11 华宁 $M_6.0$	1909-05-11 华宁 $M_6.5$	0.0 月
02	1925-10-15 丽江 $M_6.0$	1925-12-22 勐腊 $M_6.8$	2.2 月
03	1929-08-08 缅甸 $M_6.5$	1929-10-17 腾冲 $M_6.5$	2.3 月
04	1930-04-29 腾冲 $M_6.3$	1930-05-15 巧家 $M_6.0$	0.5 月
05	1930-09-22 腾冲 $M_6.5$	1930-09-26 腾冲 $M_6.0$	0.1 月
		1930-12-02 腾冲 $M_6.0$	2.2 月
06	1933-06-07 中甸 $M_6.3$	1933-08-11 泸水 $M_6.5$	2.1 月
07	1934-01-12 石屏 $M_6.0$	1934-01-19 泸水 $M_6.0$	0.2 月
08	1936-04-27 马边 $M_6.8$	1936-05-16 马边 $M_6.8$	0.6 月
09	1941-10-31 腾冲 $M_6.3$	1941-12-26 澜沧 $M_7.0$	1.9 月
		1942-02-01 思茅 $M_6.8$	1.2 月
10	1950-02-03 勐海 $M_7.0$	1950-02-03 勐连 $M_6.8$	0.0 月
11	1955-03-22 泸水 $M_6.0$	1955-06-07 华坪 $M_6.0$	2.5 月
12	1962-06-24 南华 $M_6.2$	1962-09-22 缅甸 $M_6.0$	3.0 月
13	1965-07-03 景洪 $M_6.1$	1965-09-22 缅甸 $M_6.0$	2.7 月
14	1966-02-05 东川 $M_6.5$	1966-02-13 东川 $M_6.2$	0.3 月
15	1970-01-05 通海 $M_7.8$	1970-02-07 普洱 $M_6.2$	1.1 月
16	1976-05-29 龙陵 $M_7.3$	1976-05-29 龙陵 $M_7.4$	0.0 月
17	1976-11-07 盐源 $M_6.7$	1976-12-13 盐源 $M_6.4$	1.2 月
18	1988-11-06 澜沧 $M_7.4$	1988-11-06 耿马 $M_7.2$	0.0 月
19	1992-04-23 缅甸 $M_6.7$	1992-04-23 缅甸 $M_6.8$	0.0 月
20	1994-01-11 缅甸 $M_6.7$	1994-04-06 缅甸 $M_6.2$	2.8 月
21	1995-07-10 孟连 $M_6.2$	1995-07-12 孟连 $M_7.3$	0.1 月
22	1995-10-24 武定 $M_6.5$	1996-02-03 丽江 $M_7.0$	3.4 月
23	2003-07-21 大姚 $M_6.2$	2003-10-16 大姚 $M_6.1$	2.9 月
24	2014-05-30 盈江 $M_6.1$	?	

## 1.2 近场区地震学异常特征

滇东北、川滇交界地区的  $M_s \geq 5$  地震动静相间的韵律特征较为清晰, 当  $M_s \geq 5$  地震出现丛集活动—平静—活动后, 区内多有  $M_s \geq 6.5$  地震发生, 即  $M_s \geq 6.5$  地震发生在中等地震丛集活动的后期 (图 3)。2003~2006 年滇东北地区出现了  $M_s \geq 5$  地震丛集活动, 2008~2011 年中等地震平静, 2012 年以彝良  $M_s 5.7$ 、5.6 地震为标志, 再次开始新的中等地震丛集活动。

2010 年以来滇东北地区  $M \geq 4$  地震异常活跃, 并形成条带, 鲁甸  $M_s 6.5$  地震就发生在条带上 (图 4a); 计算滇东北地区 12 月累计 1 月滑动频

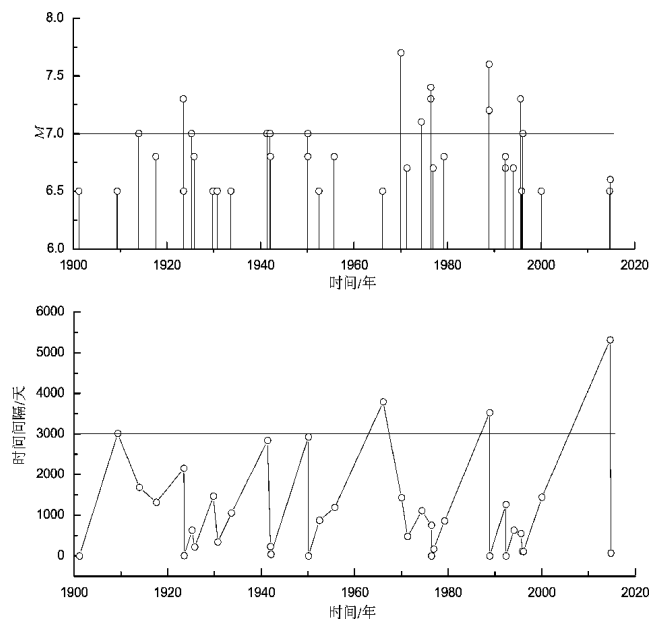


图 1 云南地区  $M_s \geq 6.5$  地震  $M-t$  和时间间隔时间进程图

Fig. 1  $M-t$  and time interval process diagrams of  $M_s \geq 6.5$  earthquakes in Yunnan region

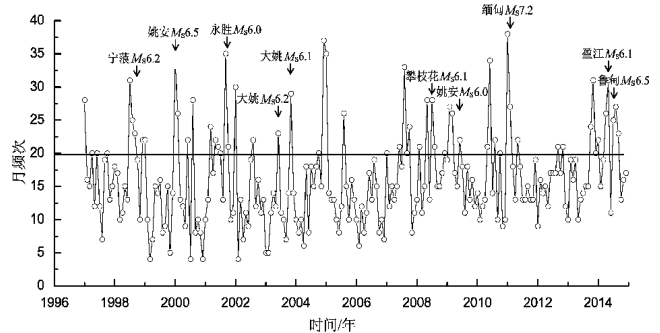


图 2 云南地区  $M \geq 3$  地震月频次时间进程图

Fig. 2 Time process diagram of monthly frequency of  $M \geq 3.0$  earthquakes in Yunnan region

度，发现汶川 $M_s8.0$ 地震后该区的 $M\geq 3$ 地震出现显著的频次增强（图4b）。虽然滇东北地区在2003年发生过鲁甸 $M_s5.1$ 、 $5.0$ 地震，2004年发生过鲁甸 $M_s5.6$ 地震、2006年发生过盐津 $M_s5.1$ 、 $5.1$ 地震，但 $M\geq 3$ 地震年累积频度均未达到2008年汶川 $M_s8.0$ 地震后的高值，可见汶川地震对该区地震活动的影响是存在的。2010年以后滇东北地区 $M\geq 4.0$ 地震活动水平为20年以来的最高，4级地震活动的显著增强和云南多次 $M_s\geq 6$ 地震前极为相似（付虹等，2002）。3、4级地震增强是鲁甸 $M_s6.5$ 地震前，滇东北最显著的地震学异常。

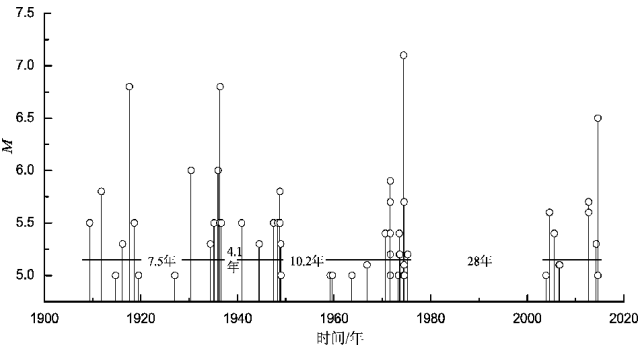


图3 滇东北地区 $M\geq 5$ 地震 $M-t$ 图  
Fig. 3  $M-t$  diagram of  $M\geq 5.0$  earthquakes in North-eastern Yunnan region

表2 永胜、宾川窗口4、5级地震与云南地区 $M\geq 5$ 地震对应关系  
Tab. 2 Relationship between  $M4$ 、 $M5$  earthquakes in Yongshan and Binchuan seismic window and  $M\geq 5$  earthquakes in Yunnan region

序号	窗口地震	对应地震	时间间隔/天
1	1987-05-09 永胜 $M4.2$	1987-05-18 鹤庆 $M5.5$	9
2	1988-11-19 宾川 $M4.5$ 1988-11-19 宾川 $M4.0$	1988-11-27 澜沧 $M6.3$ 1988-11-30 澜沧 $M6.7$	8
3	1992-12-18 永胜 $M5.6$ 1992-12-22 永胜 $M5.2$	1993-01-27 普洱 $M6.3$	36
4	1993-08-29 永胜 $M4.1$	1994-01-11 缅甸 $M6.7$	135
5	1996-08-29 永胜 $M4.1$	1996-10-25 丽江 $M5.7$	57
6	1998-01-06 宾川 $M4.2$ 1998-01-09 宾川 $M4.0$ 1998-03-08 宾川 $M4.4$		
7	2001-09-06 宾川 $M4.2$	2001-10-27 永胜 $M6.0$	51
8	2003-11-05 永胜 $M4.4$	2003-11-15 鲁甸 $M5.0$	10
9	2004-12-26 宾川 $M4.6$	2015-01-26 思茅 $M5.1$	31
10	2006-01-28 永胜 $M4.8$		
11	2009-11-02 宾川 $M5.0$	2010-02-25 元谋 $M5.1$	115
12	2011-11-16 永胜 $M4.0$	2011-11-28 缅甸 $M5.1$	12
13	2013-02-22 永胜 $M4.0$	2013-03-03 洱源 $M5.5$	9
14	2014-04-04 永胜 $M4.2$	2014-05-24 盈江 $M5.6$	40
15	2014-07-26 宾川 $M4.0$	2014-08-03 鲁甸 $M6.5$	8

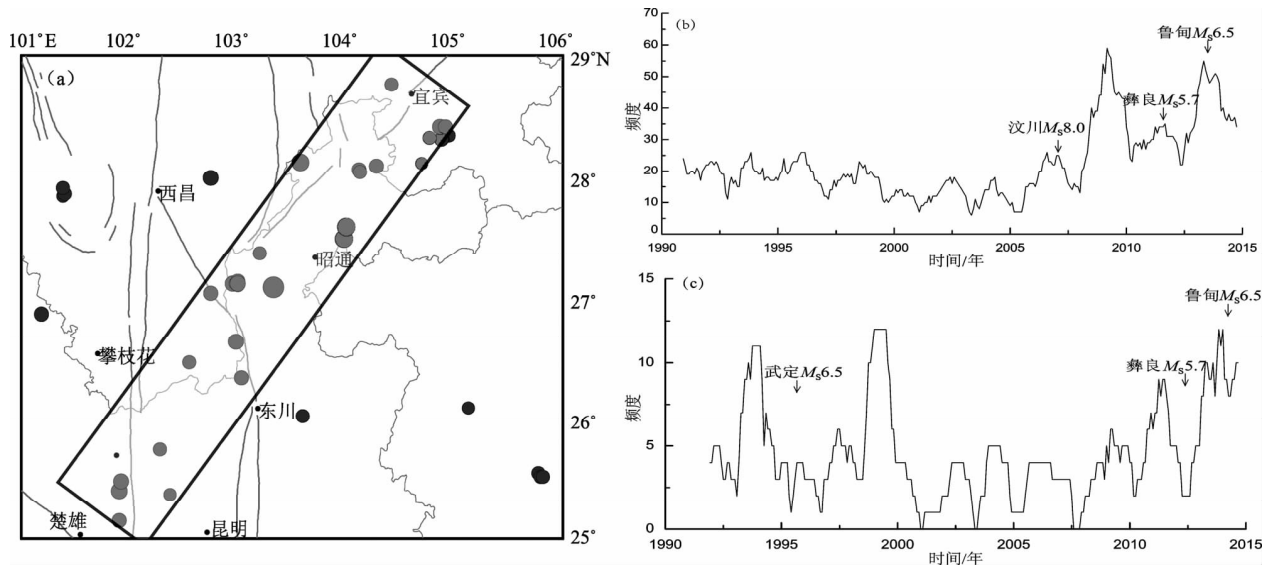


图4 滇东北地区中小地震活跃示意图  
(a) 2010~2015年 $M\geq 4$ 震中分布；(b)  $M\geq 3$ 地震半年累积1月滑动频度；  
(c)  $M\geq 4$ 地震半年累积1月滑动频度  
Fig. 4 Small-moderate earthquakes activity in North eastern Yunnan region  
(a) epicenters distribution of  $M\geq 4$  earthquakes from 2010 to 2015；(b) monthly sliding frequency after in cumulation half a year of  $M\geq 3$  earthquakes；(c) monthly sliding frequency after the cumulation in half a year of  $M\geq 4$  earthquakes；

## 2 前兆异常

### 2.1 趋势异常

滇东北川滇交界地区是 2014 年度云南省地震局  $M_s 6.5$  地震的重点危险区。到 2014 年 6 月年中震情会商时,最为突出的前兆趋势异常是跨断层短水准、短基线。全省 12 个场地共有 25 条测边出现异常<sup>①</sup>,其中下关水准 3-2 测边的异常形态和云南及周边之前发生的多次  $M_s 7$  地震前的异常相似(图 6)。此外昭通渔洞倾斜、云龙水管倾斜、勐腊洞体应变等的加速变化也与云南多次  $M_s \geq 6$  地震前的异常相似(图 5)。

### 2.2 短临异常

鲁甸  $M_s 6.5$  地震前短临异常较多。昭通市昭阳一中的水位,6 月 11 日至 15 日上升 51 cm,该井水位不受降水干扰,自 2011 年 8 月采用数字化观测以来一直呈缓升趋势,2012 年 9 月 7 日彝良  $M_s 5.6$ 、5.7 地震前,该井未出现短临异常,因此

51 cm 的上升异常在震前引起了高度关注;鲁甸氟离子在 2013 年 5 月 21 日更换电极后,测值变化一直较为平稳,2014 年 2 月 10 日开始出现趋势上升异常,在维持高值的基础上,6 月 12~14 日测值突升 0.088 mg/L,上升幅度达 65%;丽江碳酸氢根、钙离子等,6 月 7 日出现准同步突降异常,会泽水位、曲江水温等都出现不同程度的上升异常(图 6)。5 月 24 日和 30 日盈江先后发生 5.6、6.1 地震,根据云南地区多年对震后异常与新异常识别的研究结果,笔者认为震源区  $R = 1.5 \times 10^{(0.5M-1.8)}$  km 外的前兆异常都与区域构造活动有关(付虹,赵小艳,2013),因此当出现上述短期突变异常后,明确认为这些异常是区域构造活动增强所致,与新地震关系密切,而不是震后效应,因此在全国年中会商会上,进一步确认这些异常有短临指示意义。这些在盈江  $M_s 6.1$  地震后出现的显著异常距离鲁甸  $M_s 6.5$  地震都不到 2 个月,与云南多次巨幅异常与未来地震对应多在 70 天以内的研究结果一致(陈立德,付虹,2003)。

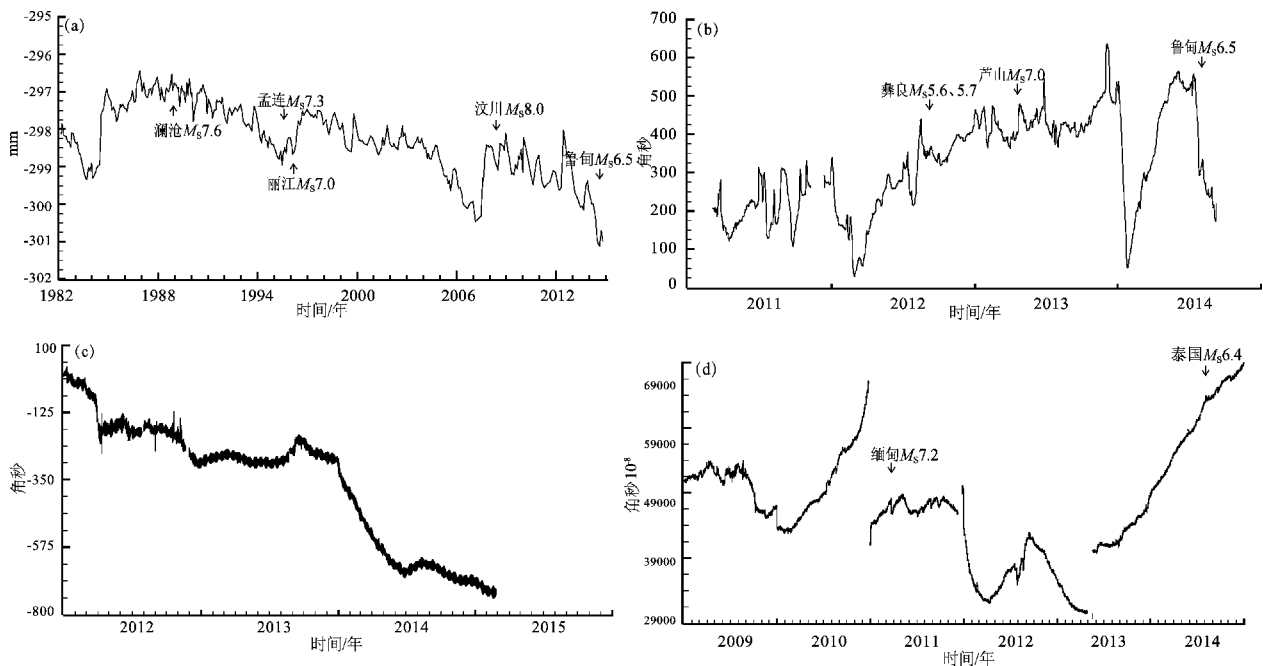


图 5 典型前兆趋势异常示意图

(a) 下关水准 3-2 测边; (b) 昭通渔洞倾斜; (c) 云龙水管倾斜东西分量; (d) 勐腊洞体应变东北向测值

Fig. 5 Sketch map of typical presursory tendency anomalies

(a) short leveling of 3-2 measuring side at Xiaguan Station; (b) tilt at Yudong Station in Zhaotong;

(c) pipe tilt in EW at Yunlong Station; (d) cavity strain in NE at Mengla Station

① 云南省地震局. 2014. 云南省 2014 年年中地震趋势报告.

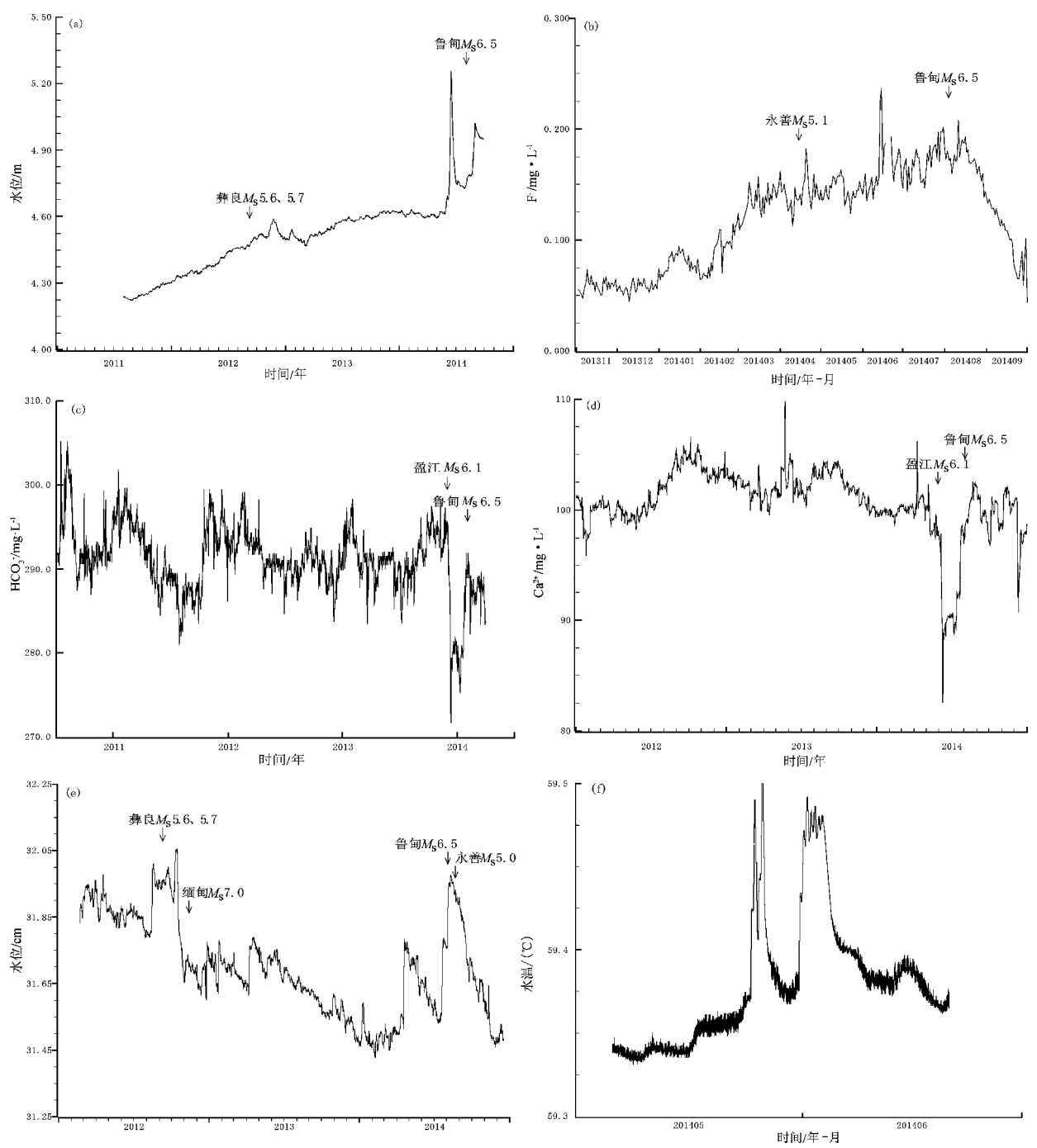


图6 震前典型的前兆短临异常示意图

(a) 昭阳水位；(b) 鲁甸氟离子；(c) 丽江碳酸氢根；(d) 丽江钙离子；(e) 会泽静水位；(f) 曲江水温

Fig. 6 Sketch map of typical short-imminent presursory anomalies before the earthquake

(a) water level at Zhaoyang Station; (b) Fluorinion at Ludian Station; (c) Bicarbonate ion at Lijiang Station; (d) Calcium ion at Lijiang Station; (e) static groudwater level at Huize Station; (f) water tempreture at Qujiang Station

水位升高表明孔隙压力增大（刘耀炜等，2010），云南大部分 $M_s \geq 5.5$ 地震都发生在高水位地区，但高水位地区不一定发生地震<sup>①</sup>。2014年6

月滇东北地区的宣威、昭通、渔洞、昭阳一中、会泽水位均出现上升或维持高值状态，这种高水位状态有利于地震的发生（图7）。

① 云南省地震局. 2003. 云南省 2003 年度地震趋势研究报告.

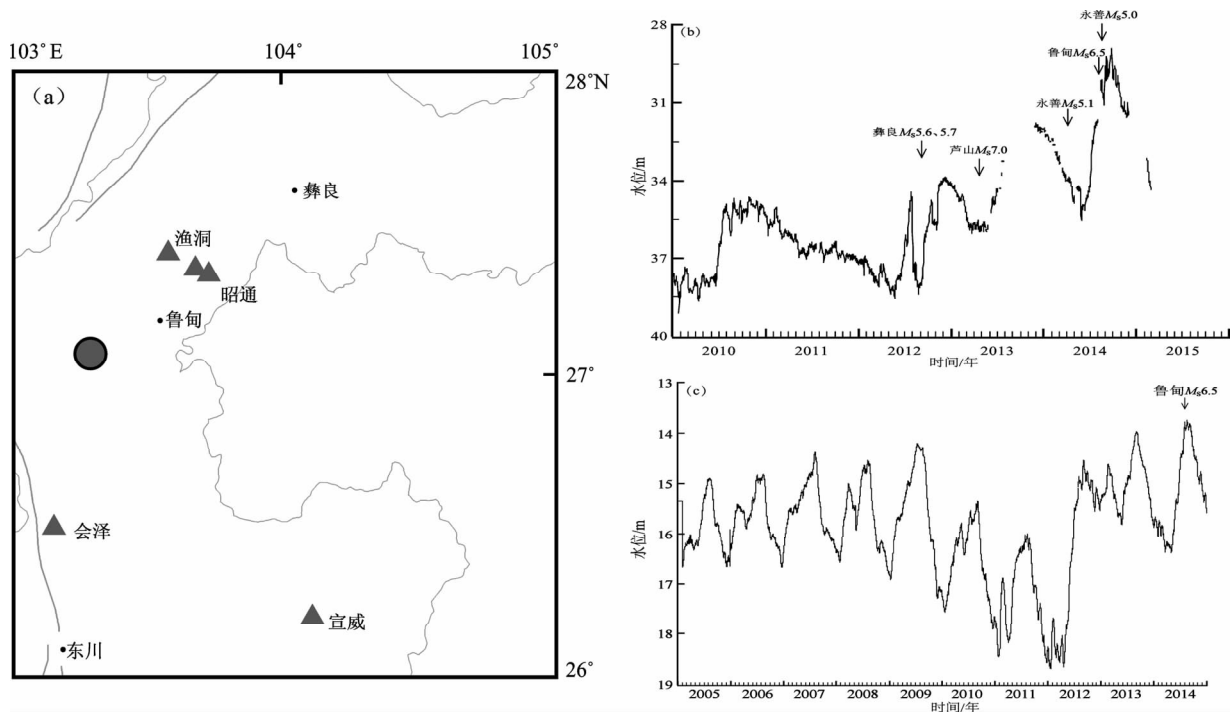


图7 滇东北地区高水位井孔分布和异常曲线示意图

(a) 井孔分布示意图; (b) 昭通水位; (c) 宣威水位

Fig. 7 Distribution of high water level well holes and the sketch map of their anomaly curves in Northeastern Yunnan

(a) distribution of high water level well holes; (b) water level at Zhaotong Station; (c) water level at Xuanwei Station

前兆观测显著的趋势异常变化显示云南地区存在6~7级地震的背景, 为未来地震的震级判定提供了依据; 昭通昭阳一中水位、鲁甸氟离子和丽江碳酸氢根、钙离子等的突变异常可以判定地震的短期危险性。其中昭通水位和澄江水位的突降异常是5月24日盈江 $M_s5.6$ 地震后最显著的新异常, 5月28日云南省地震局预报中心月会商时, 分析人员认为云南地区6月可能有发生6级地震的危险, 危险区主要关注了滇西北和滇东北地区, 但实际是5月30日盈江再次发生了 $M_s6.1$ 地震。由于异常观测井地处滇东北和滇东南地区, 笔者当时认为盈江 $M_s6.1$ 地震并不能解释这2项异常, 他们与鲁甸 $M_s6.5$ 地震的关系更为密切。前兆异常的多点突变为地震的短期预测提供了依据, 但用其判定哪个区域发生地震是困难的。滇东北高水位的存在结合区域地震活动的增强, 是判定地点的有效方法之一。

鲁甸 $M_s6.5$ 地震前, 特别是2014年6月下旬云南最显著的前兆异常分布如图8所示, 从图可见, 前兆异常在云南全省均有分布, 可能表明整个云南地区区域应力水平较高, 导致出现大面积的异常,

但总体上滇东北和滇西北的异常相对更多。

2014年云南出现的前兆异常较多, 由于篇幅有限, 所给出的仅仅是在震情跟踪过程中, 对决策贡献较大的异常。更细致的前兆异常分析, 有待进一步研究。

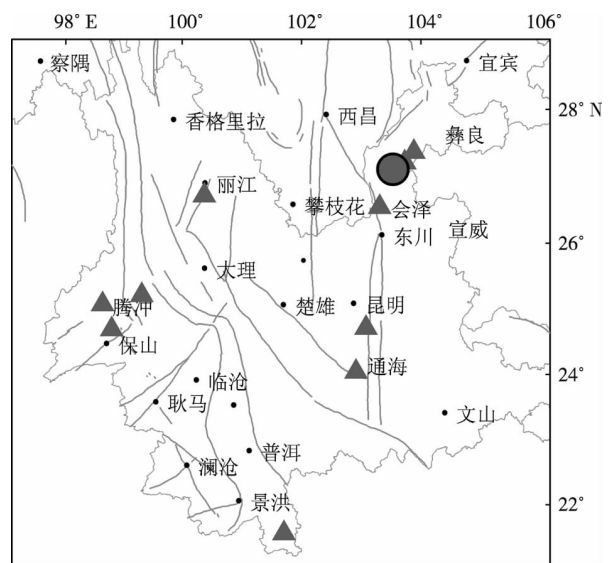


图8 显著前兆异常分布

Fig. 8 Distribution of remarkable precursory anomalies

### 3 鲁甸 $M_s6.5$ 地震跟踪预测及其分析

滇东北地区是云南省 2014 年 6.5 级左右地震重点跟踪区, 在震情跟踪过程中, 2014 年 4 月 4 日永胜发生  $M_L4.2$  地震后, 云南省地震局上报的预测意见认为: “云南地区存在发生 6 级地震的危险。主要危险区为: 滇西弥渡—剑川—永胜—香格里拉一带; 滇东北东川—会泽—巧家—永善及川滇交界一带; 滇南至滇西南宁洱—墨江—江城—石屏—建水一带可能发生 5~6 级地震的危险。”之后 5 月 24、30 日在盈江发生了  $M_s5.6$ 、 $6.1$  地震, 但地震没有发生在所期待的危险区内。

2014 年 6 月云南省地震局地震趋势年中会商会上, 云南省地震预报研究中心进一步分析云南地震的危险性后, 认为“2014 年下半年继续存在发生 6~7 级地震的背景, 主要注意 6 级地震的发生。未来 3 个月, 云南地区有发生 6 级左右地震的危险。主要危险区为 2014 年度的滇西北至川藏交界、四川道孚至川滇交界东部、滇南至滇西南重点危险区”。7 月 26 日宾川 3.5 级、31 日宾川 3.4 级地震相继发生后, 8 月 1 日会商会再次坚持认为云南短期内存在 6 级地震的危险。

2014 年的所有短期预测都把滇西北地区放在预测地点的首位, 其次才是滇东北地区, 盈江  $M_s6.1$  和鲁甸  $M_s6.5$  地震分别发生在小滇西和滇东北地区。从鲁甸地震前的地震活动和前兆异常分析, 滇东北的  $M_s \geq 6$  地震判据是充分的, 回顾当时决策的依据, 把滇西北危险区排在第一位, 与永胜和宾川震群发生在滇西北地区有密切关系。因为永胜、宾川地处滇西北地区, 历史上发生 4 级地震后也是对应滇西北地区的地震居多, 因此当永胜、宾川窗口出现开窗地震后, 首先考虑了滇西北地区, 加之年度危险区预测, 滇西北也是 6~7 级地震的重点跟踪区。

从鲁甸  $M_s6.5$  地震的跟踪过程分析, 对时间的预测优于对地点的判断。对时间预测贡献较大的是云南大区域的  $M \geq 3$  地震活动月频次高值, 前兆突变异常的增加和地震窗口出现开窗地震。

### 4 结论和讨论

(1) 鲁甸  $M_s6.5$  地震发生在云南省  $M \geq 6.5$  地

震平静 14.6 年的背景下, 震前短期阶段云南地区  $M \geq 3$  地震出现活跃状态, 月频次 25 达到  $M_s \geq 6$  地震预测的阈值, 宾川地震窗口出现开窗地震。云南地区  $M_s \geq 6.5$  地震长时间的缺震, 以及对云南  $M_s \geq 6$  地震成组活动特征的认识,  $M \geq 3$  地震活跃和窗口地震活动是鲁甸  $M_s6.5$  地震前短期阶段, 能认识到云南地区未来 3 个月内有  $M_s \geq 6$  地震的地震学依据。

(2) 滇东北地区从 2003 年以来开始出现  $M_s \geq 5$  地震丛集活动, 汶川  $M_s8.0$  地震后  $M \geq 3$  地震活动显著增强, 2010 年以来 4、5 级地震活动增强, 并形成 4 级地震条带, 鲁甸  $M_s6.5$  地震发生在条带上。区域不同震级的地震活动增强, 是鲁甸  $M_s6.5$  地震前震中附近地区最显著的地震活动异常, 与云南多次  $M \geq 6$  地震前的异常特征有较好的相似性(付虹等, 2002)。这一异常现象与实验室得到的加速协同化开始于准静态扩展向准动态扩展的转化, 断层间出现强相互作用的结果, 较为一致, 即这是因为断层的协同化特征所致(马瑾, 郭彦双, 2014), 因此震前滇东北的中小地震活动增强具有一定的物理意义。

(3) 震前云南地区出现显著的前兆趋势异常, 是判定云南地区下半年存在 6~7 级地震的重要依据。基于对震后异常与新地震异常的识别研究结果(陈立德, 付虹, 2003), 5 月 30 日盈江  $M_s6.1$  地震后出现的流体突变异常, 被及时识别为新地震异常, 为鲁甸  $M_s6.5$  地震的短期预测提供了依据。结果再次证明, 云南多年积累的震后异常和新地震异常的识别研究方法和结果是有效的。

(4) 永胜和宾川窗口发生开窗地震后, 认为窗口所处的区域最危险, 因此一直把滇西北地区放在预测的第一危险区, 事实上地震并没有发生在窗口所处的区域。窗口地震应该是区域的应力敏感点, 因此出现开窗地震只表明应力水平增加, 可能的发震区域不能仅限于窗口所处的区域, 是这次跟踪过程中的一个重要认识。

(5) 根据地震活动和前兆异常的演化特征, 震前云南省地震预报研究中心做了不同程度的短期预测, 从预测结果看, 对发生 6 级地震的时间判断基本上是正确的, 但对地点的判断有偏差。云南 2014 年盈江  $M_s6.1$  和鲁甸  $M_s6.5$  地震前的短期异常是突出的, 表明出现大面积的中小地震活动增强和前兆群体突变异常, 可能是区域应力水平增强的结果,

在这种应力状态下有利于强震发生。但在多个地震同时孕育过程中,判断哪个危险区先发生地震较为困难。现阶段的预报水平要通过成功短临预报取得减灾实效也是有难度的。

(6) 2014 年 8 月 3 日鲁甸  $M_s6.5$  地震前, 5 月 24、30 日云南盈江发生了  $M_s5.6$ 、 $6.1$  地震, 之后 10 月 7 日景谷又发生了  $M_s6.6$  地震, 在多个地点成组地震连发过程中, 地震活动 and 前兆异常是复杂的, 对具体判断每一个地震增加了难度。但在每组地震前都能看到新的前兆异常出现是肯定的, 这为新地震异常的前兆识别研究提供了依据, 也为成组地震预测提供了借鉴。

#### 参考文献:

- 陈立德, 付虹. 2003. 地震预报基础与实践[M]. 北京: 地震出版社, 208-210, 262.  
陈立德, 龙晓帆, 张喜玲, 等. 1997. 丽江 7.0 级地震预报判据及地震学主要异常[J]. 地震, (4): 340-348.

- 陈立德, 罗平. 1992. 澜沧 7.6 级地震前兆异常的综合特征(一)中期异常及其综合特征[J]. 地震, (4): 18-27.  
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(1)[J]. 地震研究, 20(2): 151-156.  
付虹, 陈立德, 罗平, 等. 1997. 1995 年 7 月 12 日云南中缅边界孟连 7.3 级地震中短临预报及前兆特征(2)[J]. 地震研究, 20(3): 249-257.  
付虹, 王伟, 王世芹, 等. 2002. 地震活动因子 A 值在川滇地区  $M_s \geq 6$  地震中的应用[J]. 内陆地震, 16(3): 205-211.  
付虹, 赵小艳. 2013. 汶川  $M_s8.0$  地震前云南地区显著前兆观测异常分析[J]. 地震学报, 35(4): 477-484.  
刘耀炜, 陆明勇, 付虹, 等. 2010. 地下流体动态信息提取与强震预测技术研究[J]. 北京: 地震出版社, 39-40.  
马瑾, 郭彦双. 2014. 失稳前断层加速协同化的实验室证据和地震实例[J]. 地震地质, 36(3): 547-561.  
石绍先, 付虹, 沈斌, 等. 1991. 1988 年澜沧耿马大震的预报和再认识[J]. 西北地震学报, 13(1): 35-40.  
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.

## Anomaly and Forecast of Yunnan Ludian $M_s6.5$ Earthquake in 2014

FU Hong, QIAN Xiao-dong, MAO Yu-ping, SU You-jin, LIU Xiang, LI Qiong,  
ZHANG Li, ZHAO Xiao-yan, WU Cheng-dong

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

#### Abstract

Analyzing the remarkable precursory anomalies in the process of seismic tracking before Yunnan Ludian  $M_s6.5$  earthquake in 2014, we considered that the main characteristic of earthquake activity anomaly before the earthquake was that the quiet of  $M \geq 6.5$  earthquakes for a long time, the cluster activities of  $M \geq 6.0$  earthquakes and the high value of monthly frequency of  $M \geq 3.0$  earthquakes in Yunnan province. The main basis of making the judgment that there existed  $M \geq 6.0$  earthquake in Northeastern Yunnan region are the prosodic features of  $M \geq 5.0$  earthquakes in Northeastern Yunnan region, the earthquake activities of  $M3.0 \sim 4.0$  earthquakes increased notably since 2008 and some high water level anomalies in Northeastern Yunnan region since 2014. In the process of the several earthquakes preparation at the same time, it is difficult to make the judgment whose risk region will be the first to occur the earthquake. However there appeared new precursory anomalies before each earthquake, which can help us to identify the new earthquake in the occurrence of grouped earthquakes in succession. The monthly frequency anomaly of  $M \geq 3.0$  earthquakes and the increasing of sudden change of precursory abnormality items made good effort in the time prediction of Ludian  $M_s6.5$  earthquake in the short-term period.

**Key words:** Ludian  $M_s6.5$  earthquake; precursory anomaly; anomaly characteristic; earthquake prediction