

2021年云南漾濞 M_s 6.4 地震异常跟踪分析*

付虹, 刘自凤, 胡小静, 李智蓉, 洪敏, 彭关灵, 王光明, 倪喆

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

摘要: 对云南漾濞 M_s 6.4 地震前出现的前震序列、地震学、定点形变和流体观测异常进行系统梳理和回顾, 结果表明: 前震序列较为复杂, 能找到一些地震学的异常特征, 但难以通过这些特征对震后趋势进行正确判断; 定点形变观测异常出现时间早、异常幅度大, 可为震级预测提供依据; 流体观测异常出现时间短、异常相对集中, 为时间预测提供了更好的支撑; 形变和流体异常与亚失稳后期阶段具有较为相似的时空特征, 可能与亚失稳过程有关。前震序列的判断结合区域地震危险性, 可能是提高判断准确性更好的方法, 合理利用地震孕育不同阶段的异常特征, 是做好综合预测需要提倡的方法。

关键词: 漾濞 M_s 6.4 地震; 前震序列; 定点形变; 流体异常; 综合预测

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2021)03-0301-08

0 引言

2021年5月21日21时48分34秒, 在云南省大理白族自治州漾濞县发生 M_s 6.4 地震, 震中位于 (25.67°N, 99.87°E), 震源深度 8 km。这次地震属于 1 次典型的前震-主震-余震型地震事件, 2021年5月18日至21日 M_s 6.4 主震前发生了 10 次 $M_s \geq 3.0$ 地震, 最大前震为主震前 27 min 发生的 M_s 5.6 地震。

地震短临预测至今仍是世界性科学难题, 探索地震预报的可能性一直是地震工作者追求的目标。即使是发生在同一地点的 2 次地震, 震前的异常也几乎没有一模一样的, 由此可见地震前兆异常的复杂性, 这可能也是地震预测困难的原因之一。对每一次发生的破坏性强震震前异常和预测过程进行记录、分析、研究, 汲取经验教训, 是现阶段提高地震预报水平的重要途径。云南是中国大陆地震最频繁的区域之一, 前人对发生在云南的多个破坏性地震进行过综合研究 (石绍先等, 1991; 陈立德, 罗平, 1992, 1997; 付虹等, 2007, 2015), 但每次地震都具有不同的异常特点, 为了丰富对已经发生地震孕育过程的认识, 记录不同地震的异常特征仍然是必要的。漾濞

M_s 6.4 地震前, 云南地区地震学、流动重力、GNSS、定点形变和地下流体等观测均有异常显示, 2021年5月18日开始还出现了直接前震, 但跟踪预测过程中未能正确判断前震的发展趋势。本文真实记录分析地震预测过程中的异常和认识, 总结本次漾濞地震震前异常特征和跟踪预测过程中值得汲取的经验教训, 为今后的强震分析预测提供借鉴。

1 漾濞 M_s 6.4 地震前震序列跟踪分析和地震学显著异常

1.1 前震序列跟踪分析

表 1 给出了云南地震台网记录的漾濞 M_s 6.4 地震主震和 $M_s \geq 3.0$ 前震的主要参数。从表中可见, 主震前有直接前震发生, 从 2021年5月18日18时第 1 个 $M_s \geq 3.0$ 地震发生, 到 21 日 21 时的 M_s 6.4 主震发生, 中间间隔 39 h。其中, 主震前 1 h 内发生的 M_s 4.2、5.6、4.5 前震, 因与主震时间相隔太近, 在跟踪过程中没有来得及分析、判断, 但对 18 和 19 日发生的 M_s 4.2、4.4 地震我们都做过研究。

(1) 序列参数: 选取 1990 年以来这 2 次 4 级地震周围 50 km 内的全部 4 级震群, 用测震学地震

* 收稿日期: 2021-07-01.

基金项目: 基于地下流体资料震例回溯的亚失稳状态识别研究 (2018YFC150330505) 项目资助。

第一作者简介: 付虹 (1963-), 研究员, 主要从事地震活动性工作. E-mail: 280460086@qq.com.

表 1 2021 年漾濞 $M_s6.4$ 地震和 $M_s \geq 3.0$ 前震参数
Tab. 1 Parameters of the 2021 Yangbi $M_s6.4$ earthquake
and its $M_s \geq 3.0$ foreshocks

序号	发震时间		震中位置		M_s
	年-月-日	时:分:秒	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	
1	2021-05-18	18:49:30	25.65	99.93	3.2
2	2021-05-18	20:56:46	25.65	99.93	3.0
3	2021-05-18	21:39:35	25.65	99.93	4.2
4	2021-05-19	03:27:56	25.65	99.92	3.1
5	2021-05-19	20:05:56	25.66	99.92	4.4
6	2021-05-19	21:13:07	25.68	99.89	3.2
7	2021-05-20	01:58:00	25.67	99.90	3.2
8	2021-05-21	20:56:02	25.63	99.93	4.2
9	2021-05-21	21:21:25	25.63	99.92	5.6
10	2021-05-21	21:23:43	25.66	99.97	4.5
11	2021-05-21	21:48:34	25.67	99.87	6.4

表 2 2021 年 5 月 18 日漾濞 $M_s4.2$ 、5 月 19 日 $M_s4.4$ 地震震中 50 km 范围内 $M_s \geq 4.0$ 地震序列参数
Tab. 2 Parameters of the Yangbi $M_s4.2$ on 18 May, and $M_s4.4$ on 19 May, and other historical
 $M_s \geq 4.0$ earthquakes in the range of 50 kilometers

序号	地震事件	前震序列 参数	U	k	ρ	b 值	原震区发生地震情况	
							$M_s \geq 5.0$	震中距
1	1991-07-04 洱源 $M_s4.1$	$U-\rho$ 型	0.96	0.45	0.42	0.53	—	—
2	1995-03-14 洱源 $M_s4.3$	ρ 型	0.04	0.38	0.00	0.41	—	—
3	1998-01-06 洱源 $M_s4.2$	地震少不满足计算条件						—
4	2002-01-04 漾濞 $M_s4.1$	$\rho-k$ 型	0.43	0.78	0.51	0.70	—	—
5	2007-08-12 巍山 $M_s4.4$	$U-\rho$ 型	0.66	0.50	0.48	0.75	—	—
6	2009-04-14 洱源 $M_s4.4$	正常	0.04	0.29	0.68	0.62	—	—
7	2016-02-08 洱源 $M_s4.5$	ρ 型	0.17	0.38	0.53	0.49	2016-05-18 云龙 $M_s5.0$	6 km
8	2016-11-17 漾濞 $M_s4.4$	ρ 型	0.01	0.49	0.48	0.31	—	—
9	2021-03-01 洱源 $M_s4.3$	ρ 型	0.09	0.10	0.62	0.56	—	—
10	2021-05-18 漾濞 $M_s4.2$	U 型	0.99	0.78	0.67	0.44	2021-05-21 漾濞 $M_s6.4$	—
	2021-05-19 漾濞 $M_s4.4$							

(2) 震源机制一致性: 2021 年 5 月 18—20 日的前震序列中, 震源机制一致性非常好 (图 1a), 按照前人的研究结果 (陈鵬等, 1978, 2015), 震源机制一致性好是前震序列的重要特征之一。云南滇西谱振幅相关系数的研究结果显示 (黄浩, 付虹, 2014), 震源机制一致性好, 表明区域应力水平较高, 有利于后续地震的发生, 也有部分主震—余震型地震谱振幅相关系数高, 震源机制一致性好, 后面没有发生更大地震的例子。例如, 2017 年漾濞 $M_s5.1$ 地震震源机制一致性非常好, 其后没有发生更大地震 (图 1b)。因此, 仅

预报方法 (国家地震局监测预报司, 1997) 推荐的序列判定参数 (U 、 k 、 ρ) 进行计算, 将序列中达到前兆标准的参数列于表 2。由表可见: 前 9 组震群, 有 1 组 (3 号) 因为地震数目太少, 不满足计算条件, 有 1 组 (6 号) 所有的参数都未达到前震震群的判别标准, 其余 7 组序列的 U 值或 ρ 值, 或 U 、 ρ 值达到了前震的判别标准, 而这 7 组序列中只有 2016 年 2 月 8 日的洱源 $M_s4.5$ 地震后, 于 2016 年 5 月 18 日基本在同一震源区发生了云龙 $M_s5.0$ 地震, 其它序列原震区都没有发生 $M_s \geq 5$ 地震。但 5 月 18 和 19 日的 2 次 $M_s4.2$ 、 4.4 地震, 21 日在原震区震级升级到了 $M_s6.4$ 。从表 2 还可见, 该区其它 4 级地震符合前震的序列里, 除 2002 年和 2007 年漾濞 $M_s4.1$ 和巍山 $M_s4.4$ 地震外, 其它序列的 b 值也都相对都较低, 低于 0.6。因此用 b 值作为该区的前震序列判别参数作预测也是困难的, 虚报较高。

有震源机制一致性作为前震的判别指标, 在实际应用中也是困难的。

(3) 视应力: 陈学忠等 (2003) 给出了视应力的计算方法和对多次地震序列的跟踪分析结果, 认为低视应力的强震发生后, 震区发生较强后续地震的可能性小, 高视应力对后续地震有预报意义。2013 年四川芦山 $M_s7.0$ 地震前, 观测到在龙门山南段有高视应力的地震发生 (易桂喜等, 2013), 李艳娥等 (2012, 2017) 对其它一些震例的研究结果也显示主震前中小地震的视应力是逐渐增高的。

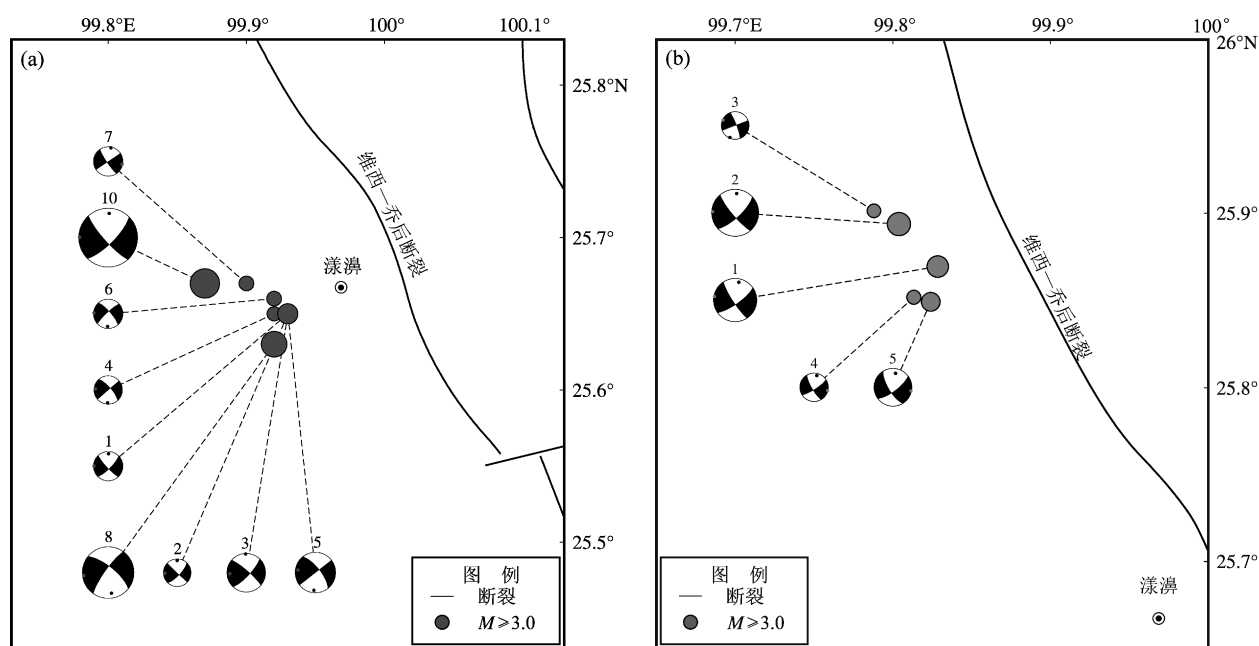


图1 漾濞2021年 $M_s6.4$ 地震前震序列 (a) 和2017年 $M_s5.1$ 地震序列震源机制解 (b)

Fig. 1 Focal mechanism solutions of the foreshocks of the Yangbi 2021 $M_s6.4$ earthquake and the 2017 $M_s5.1$ earthquake sequence

5月20日对漾濞 $M_s6.4$ 地震几次前震的视应力计算结果显示 (图2), 2021年5月18、19日的漾濞多次3、4级地震, 视应力大部分都位于区域视应力与震级相关的1倍均方差内, 没有出现芦山地震前视应力高、偏离均值的状态, 因此在这次前震活动中, 使用视应力无法判别该序列震级会升级。

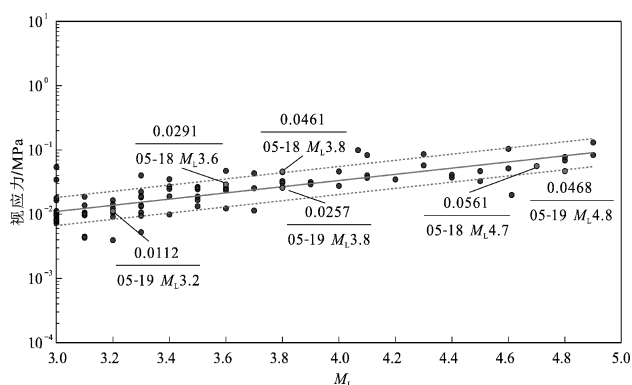


图2 2021年5月18、19日3、4级地震视应力与区域视应力

Fig. 2 Apparent stress of the 3-magnitude and 4-magnitude foreshocks and the regional apparent stress

1.2 地震学显著异常

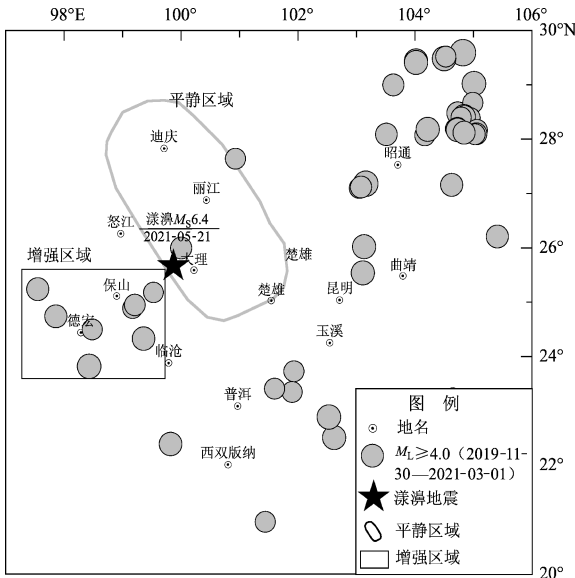
漾濞 $M_s6.4$ 地震发生在2021年度地震重点危险区内, 年度异常的主要判据有^①: 滇西北地区的中等地震进入活跃时段但缺6级地震、滇西北大理一带震源机制一致性好达到预报阈值、 b 值在大理州及附近区域出现异常等, 均显示该区存在发生6级以上地震的危险, 但这些依据在发震时间上不是太确定。

对时间预测贡献最大的地震学异常, 2021年以来滇西北地区 $M_L \geq 4.0$ 地震平静 (图3a)。从2019年11月开始云南地区 $M_L \geq 4.0$ 地震, 在滇西北的德钦至南华地区平静457 d后, 被2021年3月1日的洱源 $M_L4.3$ 地震打破。该区1987年有地震速报目录以来的统计结果显示 (图3b), $M_L \geq 4.0$ 地震平静达到235 d后, 3个月内对应滇西北地区发生 $M_L \geq 5.5$ 地震的概率可达9/17, 因此3月1日洱源 $M_L4.3$ 地震的发生, 标志着该区发生 $M_s \geq 5.5$ 地震的短期危险性增加。同时在漾濞 $M_s6.4$ 地震震中的西南地区——小滇西一带出现了 $M_L \geq 4.0$ 地震丛集活动 (图3a), 统计该区的 $M_L \geq 4.0$ 地震频度, 震前同样达到了预报阈值 (图3c), 以往滇西北地区达到阈值也对应过

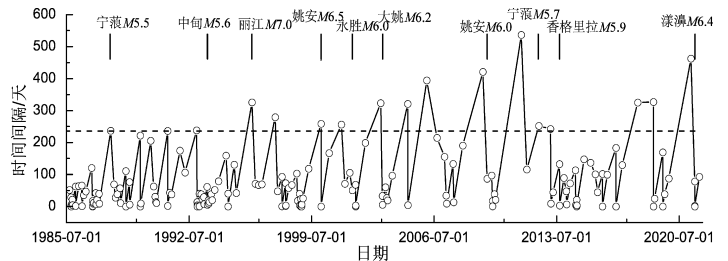
① 云南省地震局. 2020. 2021年度云南地震趋势研究报告.

发生在滇西到滇西北的 $M_s \geq 5.5$ 地震。漾濞 $M_s 6.4$ 地震发生在滇西北地区的 $M_L \geq 4.0$ 地震平静和小滇西地区的 $M_L \geq 4.0$ 地震活跃相交汇的

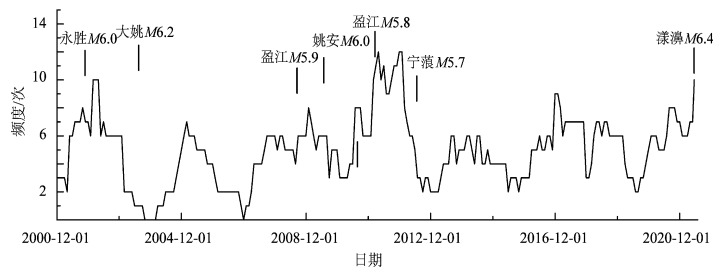
地区, 短期阶段地震学异常既满足平静指标, 又满足活跃指标, 在平静和活跃交界地区发生强震的震例在云南并不多见。



(a) 云南 $M \geq 4$ 地震震中分布



(b) 滇西北 $M \geq 4$ 地震时间间隔



(c) 小滇西地区 $M \geq 4$ 地震频度

图3 漾濞 $M_s 6.4$ 地震前地震学显著异常

Fig. 3 Significant seismometric anomalies before the Yangbi $M_s 6.4$ earthquake

2 地球物理定点形变和流体观测异常

漾濞 $M_s 6.4$ 地震前, 云南地区的地球物理定点观测异常中, 流体异常从小滇西到西北地区最为集中, 形变异常主要分布在永胜、弥渡、楚雄到通海、石屏等川滇菱形块体的西边界一带, 震前这些异常大部分都得到了显著的关注。

2.1 定点形变观测异常

漾濞 $M_s 6.4$ 地震前定点地球物理场观测异常中, 出现时间最早的是形变。石屏水平摆 NS 向、通海垂直摆 NS 向、楚雄垂直摆 NS 向和弥渡水管 NS 向观测都于震前 1 年多开始出现异常, 2020 年 10—11 月又分别出现楚雄、云龙钻孔应变和永胜水管观测异常。从表 3 可见, 出现异常最早的是震中距 400 km 附近的石屏水平摆 NS 向和通海垂直摆 NS 向, 200 km 内的异常除弥渡水管 NS 向外, 其余台异常出现相对较晚, 但所有的形变异常都开始于震前半年。漾濞 $M_s 6.4$ 地震前的定点形变观测异常出现时间早、异常幅度大, 大幅度的趋势异常出现时间还具有准同步性 (图 4),

与云南地区多次 6 级以上地震前异常相似 (付虹, 刘丽芳, 2003)。

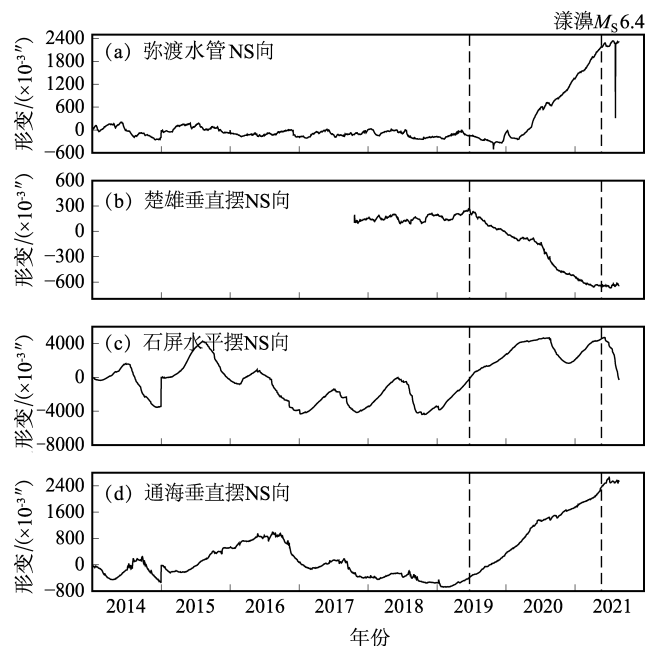


图4 定点形变趋势异常示意图

Fig. 4 Trend anomalies of the crust deformation at the fixed surveying sites

表 3 2021 年云南漾濞 $M_s6.4$ 地震前定点形变观测异常

Tab. 3 Anomalies of the crust deformation at the fixed surveying sites before the Yangbi $M_s6.4$ earthquake

异常台项	异常形态	起止日期	震后变化	异常幅度	震中距/km
云龙钻孔应变 EW 向	破年变	2020 - 10 - 28—2021 - 01 - 31	异常已结束	正常年变的 65%	55
弥渡水管 NS 向	加速北倾	2020 - 05 - 16—	异常未结束	$2.05 \times 10^{-6}''$	60
永胜水管 NS 向	加速北倾	2020 - 11 - 01—2020 - 12 - 01	异常已结束	$0.2 \times 10^{-6}''$	144
楚雄做空应变 NS 向	破年变	2020 - 10 - 01—	异常未结束	正常年变的 170%	180
楚雄钻孔应变 EW 向	破年变	2020 - 10 - 01—	异常未结束	正常年变的 220%	180
楚雄垂直摆 NS 向	加速南倾	2019 - 12 - 01—2020 - 10 - 31	异常已结束	$0.83 \times 10^{-6}''$	180
通海垂直摆 NS 向	加速北倾	2019 - 06 - 01—	异常未结束	$2.58 \times 10^{-6}''$	400
石屏水平摆 NS 向	加速北倾	2019 - 06 - 01—	异常未结束	$2.96 \times 10^{-6}''$	405

2.2 流体观测异常

漾濞 $M_s6.4$ 地震前的流体异常相对形变出现时间晚，震前最早出现的是龙陵测点的水氡降低、水温 and 流量升高达到经验预报阈值，这 3 项异常开始于 2020 年 8 月，其后是洱源、丽江和剑川水温，于 2021 年先后出现异常（图 5、表 4）。这些异常中，丽江水温异常是震前发现的，但当时认为近几年每年该井水位断流后，水温都会出现下降，是干扰；震后再分析，发现 2021 年的水位断流和水温下降，较前几年早 3 个月，且之前水位断流引起的水温下降会很快回升，而 2021 年 3 月的水温下降后，一直维持在低值，与往年有区别，因此

笔者认为这是漾濞 $M_s6.4$ 地震的前兆异常。另外有争议的异常还有剑川水温，震前怀疑是抽水干扰，震后验证发现抽水不会对水温产生影响^①，因此认为该项也可以作为震前异常，并将其收录。流体异常中水温异常最多，而且大部分都在 3 个月内，说明水温异常是短期预报较好的参量，这在云南 2007 年宁洱 $M_s6.4$ 地震前也曾出现过（付虹，2007）。

综上所述，云南漾濞 $M_s6.4$ 地震前，定点形变观测异常呈现时间早、幅度大的特点，流体异常出现时间短，呈现水温异常数量最多（这些水温异常点也都有水位观测，但未见水位观测异常）的特点。

表 4 2021 年云南漾濞 $M_s6.4$ 地震前定点流体观测异常

Tab. 4 Anomalies of the underground - fluid surveyed at fixed sites before the Yangbi $M_s6.4$ earthquake

异常台项	异常形态	起止日期	震后变化	异常幅度	震中距/km
洱源水温	快速下降	2021 - 04 - 05—2021 - 05 - 21	异常已结束	0.155℃	50
剑川水温	快速下降	2021 - 04 - 23—2021 - 05 - 05	异常已结束	0.047℃	95
丽江水温	快速下降	2021 - 03 - 20—	异常未结束	0.081℃	140
龙陵水温	高值	2020 - 08 - 10—	异常未结束	>89℃	165
龙陵流量	高值	2020 - 08 - 10—	异常未结束	>0.009 L/s	165
龙陵水氡	低值	2020 - 08 - 10—	异常未结束	<100 Bq/L	165
施甸水汞	高值突跳	2021 - 03 - 25—	异常未结束	17.8 ng/L	185

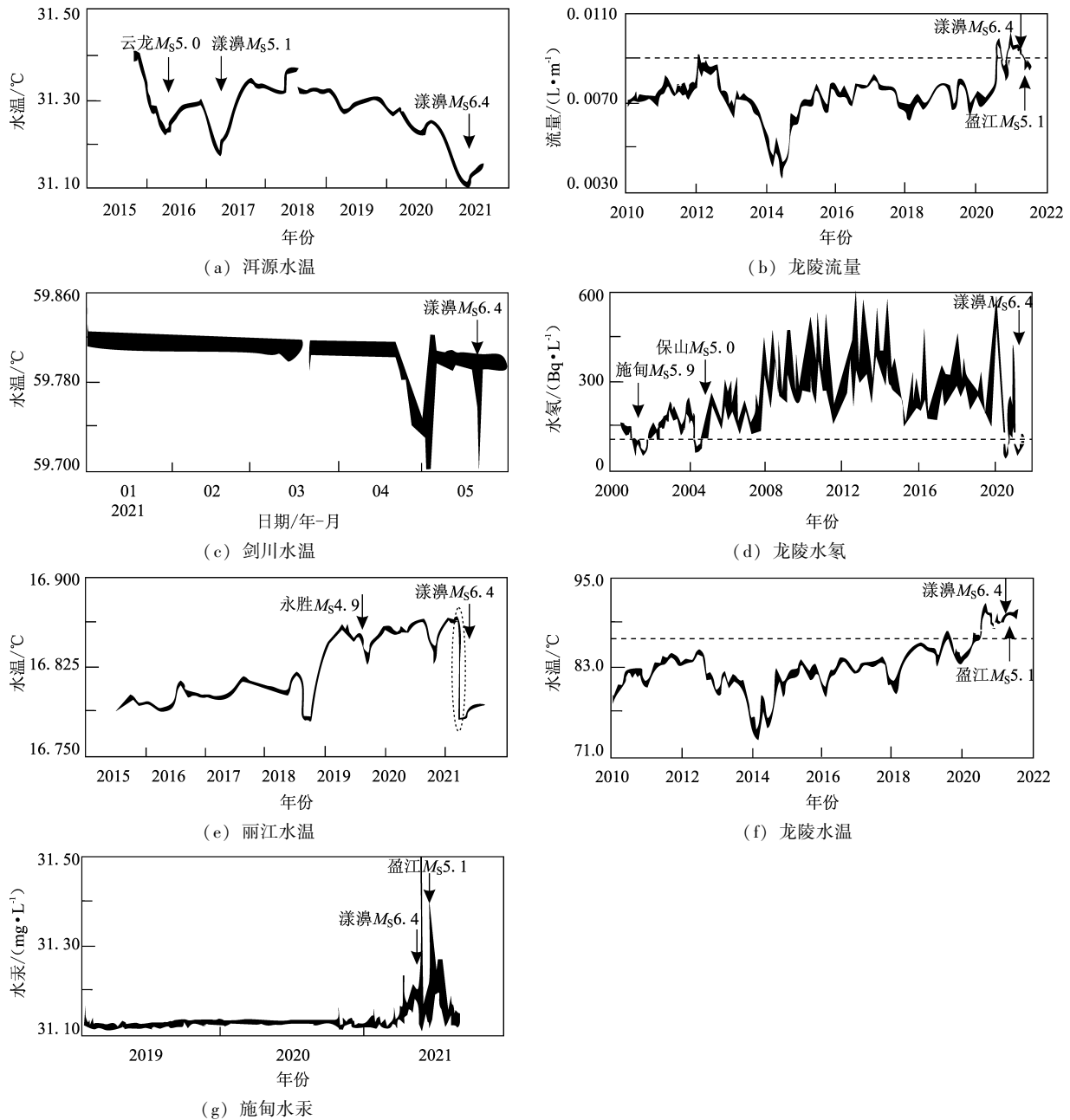
3 结论和讨论

本文对 2021 年漾濞 $M_s6.4$ 地震前云南地区地震学、定点形变和地下流体等观测异常进行了系

统分析，获得如下认识：

（1）漾濞 $M_s6.4$ 地震属于前震 - 主震 - 余震型地震。 $M_s6.4$ 地震前发生了 10 次 $M_s \geq 3.0$ 地震，按照地震活动参数计算，前震 18、19 日地震序列的 b 值、 U 值异常，显示为前兆震群；震源机制一

① 赵刚. 2021. 剑川地热观测情况说明.

图5 漾濞 $M_s6.4$ 地震前流体异常Fig. 5 Anomalies of the underground fluid before the Yangbi $M_s6.4$ earthquake

致性也显示该震群为前震,但视应力和该区背景地震的水平相当。震源区附近区域曾发生过多次4级震群序列,这些震群序列中也有地震活动参数和震源机制一致性显示为前震序列,但其后均没有发生更大地震,这是在跟踪过程中,没有把18、19日的4级地震活动判定为直接前震的主要原因。也说明该区的4级震群活动具有复杂性,很难用常规的地震学参数对序列进行正确判断。

(2) 之前对地震视应力的认识是视应力高说

明区域应力水平高,可以作为后续有破坏性地震预测的主要依据。随着序列研究样本的增多,目前已经观测到了部分序列直接前震视应力偏低的现象(Chen, Shearer, 2013),但震前大部分分析预报人员未能及时关注到类似震例,同时也说明视应力在地震序列中的变化是复杂的,还需要不断认识和深入研究。

(3) 云南地区大部分6级地震前的异常特征都是地震活动增强(付虹等, 2015),只有滇西北

地区以平静异常为特征,最显著的震例是1996年丽江 $M_s7.0$ 地震前4级地震平静后直接发生强震(图3b),因此震前特别注意到了滇西北地区4级地震平静现象。震前3个月,小滇西地区4级地震活动增强非常显著,4级地震频度达到预报阈值,漾濞 $M_s6.4$ 地震发生在4级地震活动增强区与平静区的交界区。因此可以分别用2个区域的异常特征,寻找交集进行地点预测,这在云南的6级震例中并不多见,丰富了对该区6级地震活动异常的认识。

(4) 漾濞 $M_s6.4$ 地震前的定点形变观测异常出现时间早、异常幅度大,大幅度的趋势异常在震前1~2年的时间尺度出现。与云南以往6级地震前的异常进行对比,2014年鲁甸 $M_s6.5$ 、景谷 $M_s6.6$ 地震前的形变异常基本上都出现在1年时间尺度内,而以往1~2年时间尺度的异常,大部分都出现在7级地震前,因此漾濞 $M_s6.4$ 地震前的异常是否得到交代,其后是否还有地震对应,值得进一步深入研究。

(5) 漾濞 $M_s6.4$ 地震前的流体异常,开始时间大部分都集中在半年时间尺度内,表明在这个区域,流体异常作为中短期的判别指标,对时间的预测更有意义。震前云南地区的流体异常都出现在震中200 km范围内,与定点形变的异常范围相比,在空间上更为集中。定点形变和流体异常由外围逐渐收缩至震中区,可能与亚失稳有关,因为在亚失稳态的后期阶段具有相似的收缩特征^①

(6) 不同学科异常在地震三要素预测中可能具有不同作用。漾濞 $M_s6.4$ 地震前,滇西北地区的4级地震平静和小滇西地区的4级地震活跃,可为地点预测提供判据;形变异常显示该区未来1~2年可能发生6级以上地震,可为震级预测提供判据;流体异常出现时间短,特别是水温异常集中在半年时间尺度内,为预测时间的逼近提供了依据。以上表明在地震孕育不同阶段,不同学科的异常特征是有差异的,把这些差异有机的结合,是做好综合预报的基础。

(7) 地震学前震判别参数用于中、小地震序

列判断时,对后续是否有更大地震发生进行直接判断是困难的,但漾濞 $M_s6.4$ 地震的跟踪经验表明,如果序列发生的区域有具备发生更大地震的地震学和地球物理观测异常时,满足前震序列特征的中、小地震序列,将其判定后续有更大地震的概率加大,前震序列特征结合区域地震学和地球物理背景异常,可能是目前提高强震前震识别率更有效的方法。

参考文献:

- 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.
- 陈学忠,王小平,王琳英,等. 2003. 地震视应力用于震后趋势快速判定的可能性[J]. 国际地震动态, (7): 1-3.
- 陈鹏. 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.
- 陈鹏,刘杰,杨文. 2015. 前震序列的图像特征研究[J]. 中国地震, 31(2): 177-187.
- 付虹,刘丽芳. 2003. 云南地区中短期前兆异常与强震关系研究[J]. 地震研究, 26(S1): 95-100.
- 付虹,钱晓东,毛玉平,等. 2015. 2014年云南鲁甸 $M_s6.5$ 地震异常及预测[J]. 地震研究, 36(2): 141-147.
- 付虹,王世芹,秦嘉政,等. 2007. 2007年5—6月滇西南地区 $M \geq 5$ 成组地震活动中、短临异常特征及预测[J]. 地震研究, 30(4): 303-310.
- 国家地震局预测预防司. 1997. 测震学分析预报方法[M]. 北京:地震出版社: 105-108.
- 黄浩,付虹. 2014. 2008年以来滇西地区地震序列的谱振幅相关系数变化特征[J]. 地震学报, 36(4): 631-639.
- 李艳娥,陈学忠,付虹. 2012. 2007年云南宁洱 $M_s6.4$ 地震前滇西南地区震源动力学参数时空变化特征[J]. 地震, 32(1): 28-39.
- 李艳娥,陈学忠. 2017. 2011年日本 $M_w9.1$ 地震前后破裂区内视应力时空变化[J]. 地震, 37(4): 10-21.
- 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.
- 易桂喜,闻学泽,辛华,等. 2013. 龙门山断裂带南段应力状态与强震危险性研究[J]. 地球物理学报, 56(4): 1112-1120.
- Chen X, Shearer P M. 2013. California foreshock sequences suggest aseismic triggering process[J]. Geophysical Research Letters, 40(11): 2602-2607.

① 何昌荣等. 2020. 地震亚失稳阶段识别的实验,理论与野外观测研究中期报告.

Tracking Analysis of Seismic Anomalies of the 2021 Yangbi, Yunnan $M_s6.4$ Earthquake

FU Hong, LIU Zifeng, HU Xiaojing, LI Zhirong, HONG Min,
PENG Guanling, WANG Guangming, NI Zhe
(*Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

In this study, we made a series of researches and retrospections of the foreshock sequence, as well as the anomalies of seismological, deformation and fluid observations at fixed observational sites before the occurrence of the Yangbi $M_s6.4$ earthquake. The results are as follows: seismicity of the foreshock sequence is relatively complicated; some seismological anomalies can be extracted from the foreshock sequence. However, it's difficult to make a short-term forecast based on the characteristics of the foreshock sequence. The anomalies of deformation at fixed observational sites arose early and substantially, which could shed light on the prediction of earthquake magnitude. The anomalies of fluid observation prior to the $M_s6.4$ earthquake were transient and intensive, which could provide better evidence for forecasting of the timing of the mainshock. Features of the anomalies of deformation and underground fluid are much similar in time and space with the features of the fault's later-stage meta-instability, which may be because of the fault's meta-instability evolution. One could improve the accuracy of the earthquake prediction by combining the characteristics of foreshock sequence and regional seismic risk. We suggested that it was a promising method for comprehensive earthquake prediction by reasonably using the characteristics of the anomalies emerged in different seismogenic stages.

Keywords: the Yangbi $M_s6.4$ earthquake; foreshock sequence; fixed survey of the crust deformation; underground – fluid anomalies; comprehensive prediction