

张华英, 杨建文, 高琼. 2021 年漾濞  $M_s6.4$  级地震前兆异常分析[J]. 华南地震, 2021, 41 (2): 176–182. [ZHANG Huaying, YANG Jianwen, GAO Qiong. Precursor Anomaly Analysis of the Yangbi  $M_s6.4$  Earthquake in 2021[J]. South China journal of seismology, 2021, 41(2): 176–182]

## 2021 年漾濞 $M_s6.4$ 级地震前兆异常分析

张华英, 杨建文, 高 琼

(中国地震科学实验场大理中心, 云南 大理 671000)

**摘要:** 对 2021 年 5 月 21 日漾濞 6.4 级地震的前兆资料进行分析, 认为漾濞 6.4 级地震之前滇西地区的地下流体、形变以及背景噪声都出现了不同程度的异常, 尤其滇西北地区的水温水位在震前表现出明显的短临特征。

**关键词:** 漾濞 6.4 级地震; 前兆异常; 背景噪声

**中图分类号:** P315.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8662(2021)02-0176-07

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2021.02.25

## Precursor Anomaly Analysis of the Yangbi $M_s6.4$ Earthquake in 2021

ZHANG Huaying, YANG Jianwen, GAO Qiong

(Dali Center of China Earthquake Science Experimental Site, Dali 671000, China)

**Abstract:** By analyzing the precursory data of the Yangbi  $M_s6.4$  earthquake on May 21<sup>st</sup>, 2021, it is considered that before the Yangbi  $M_s6.4$  earthquake, the underground fluid, deformation, and background noise in western Yunnan all showed different degrees of anomalies, especially the water temperature and level in Northwest Yunnan showed obvious short-term and impending characteristics before earthquake.

**Keywords:** Yangbi  $M_s6.4$  earthquake; Precursor anomaly; Background noise

### 0 引言

根据中国地震台网测定, 北京时间 2021 年 5 月 21 日 21 时 48 分, 云南大理白族自治州漾濞县发生 6.4 级地震, 震中位置  $25.67^\circ\text{N}$ 、 $99.87^\circ\text{E}$ , 震源深度 8 km, 并发生多次余震, 云南省内多地州

震感强烈。此次地震打破了云南地区 6 级地震 6 年零 7 个月平静, 滇西地区 6 级地震 9 年零 7 个月平静。

地震前的异常表现十分复杂, 不仅表现为单一的指标或台站出现异常, 而且表现为不同观测手段和前兆异常的群体活动化<sup>[1-3]</sup>。例如, 2017 年

收稿日期: 2021-06-10

基金项目: 中国地震局地震监测、预报、科研三结合课题(3JH-2021045); 中国地震局 2021 年度震情跟踪定向工作任务(2021010105)联合资助

作者简介: 张华英 (1983-), 女, 助理工程师, 主要从事地震监测预报工作。

E-mail: 78663789@qq.com

四川九寨沟 7.0 地震前 1 到 6 个月内,甘东南地区部分倾斜和应变观测数据出现了中短期地震前兆异常变化<sup>[4]</sup>。2020 年新疆于田 6.4 级地震前于田垂直摆倾斜 EW 分量破年变异常,和田、于田 GNSS 观测 EW 方向均显示了西向运动异常化<sup>[5]</sup>。

中国地震科学实验场大理中心现有地震观测项目涵盖地下流体、形变,漾濞地震发生前震区周围诸多观测资料均出现了不同程度的异常,中国地震科学实验场大理中心捕捉到了震前异常,并向云南省地震局填报了地震预报卡,三要素正确。本文通过漾濞 6.4 级地震的前兆观测资料异常分析,并结合基于背景噪声的云南地区波速测量结果,探索用传统前兆观测资料与背景噪声相结合的方法,为今后滇西特别是滇西北地区的短临预报提供经验借鉴。

1 前兆观测资料异常分析

云南省前兆台网现有专业台站 13 个,滇西地区就占了 7 个(滇西北有 6 个,另一个是腾冲台)。滇西地区专业台站分别是:下关、洱源、云龙、弥渡、丽江、永胜、腾冲。漾濞 6.4 级地震前滇西地区除下关台和丽江台以外,其余台站均出现不同程度异常,异常台站占比高达 71%。本文选取异常台站记录到的 10 条典型异常作为分析研究,主要观测资料为地下流和形变异常,所选台站包含五个省局专业台站和一个县局观测站龙陵,均分布在滇西地区。震中与异常台站分布如图 1 所示。

漾濞地震发生前洱源、龙陵、弥渡、腾冲、永胜、云龙的水位、水温、水氡、水汞以及形变等测项的观测资料在短期或中期内均出现了不同程度的异常,详见表 1。

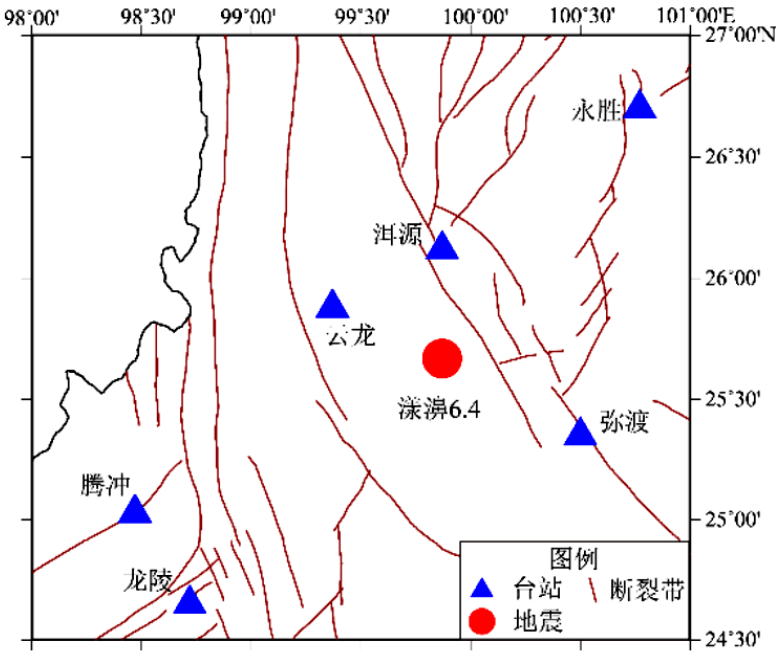


图 1 震中与异常台站分布图  
Fig.1 Distribution map of epicenter and abnormal stations

表 1 漾濞 6.4 级地震前兆异常特征  
Table 1 Precursory anomaly characteristics of the Yangbi  $M_s6.4$  earthquake

台站	观测项	异常开始时间/(年-月-日)	异常特征描述	异常开始(或结束)至发震间隔
洱源	静水位	2021-05-10	水位持续上升	11 d
	中层水温	2020-10-09— 2021-04-06	水温持续降低	45 d(结束)
龙陵	邦腊掌一号泉水氡	2020-11-02	持续低值	201 d
	邦腊掌一号泉水温	2020-08-04	持续性上升	293 d

(转下表)

(接表 1)

台钻	观测项	异常开始时间/(年-月-日)	异常特征描述	异常开始(或结束)至发震间隔
弥渡	动水位	2021-04-20	水位持续上升	30 d
	水管倾斜 NS 分量	2019-12-09	持续南倾	162 d
	水管倾斜 EW 分量	2019-12-02	持续向东倾	169 d
腾冲	叠水河碳酸泉汞	2021-05-20	临震前 1 天开始高值突跳	1 d
永胜	水管倾斜 NS 分量	2020-08-24	破年变	273 d
云龙	洞体应变 EW 分量	2021-01-02	破年变	139 d

1.1 地下流体异常

洱源水化站距离漾濞 6.4 级地震震中 76 km,震前洱源水化站的中层水温 and 静水位两个测项的观测资料均出现了明显的短临异常。中层水温自 2015 年 10 月更换仪器后,观测环境良好,资料连续可靠。2015 年 11 月 12 日至 2016 年 4 月 5 日洱源中层水温持续下降,2016 年 5 月 18 日发生了云龙 5.0 级地震;2016 年 12 月 13 日至 2017 年 3 月 18 日洱源水化站中层水温持续下降,2017 年 3 月 27 日发生漾濞 5.1 级地震。结合以往震例,洱源中层水温出现低值后,两个月内滇西北地区发生 5 级以上地震的概率高。此次漾濞 6.4 级地震前,洱

源中层水温明显低值异常(图 2),再次验证了该条指标对滇西北地区 5 级以上地震的短临指示意义。

洱源台静水位 2021 年 5 月 10 起挑头且快速上升,也表现出明显的短临特征(图 3)。

龙陵邦腊掌一号泉水温自 2018 年 9 月起持续升高、水氡自 2020 年 8 月起一直低值异常。统计 1978 年以来的数据资料,包括此次漾濞地震在内,邦腊掌一号泉水温持续上升一共出现过五组,持续时间最短 3 年,最长 5 年,滇西地区发生 5 级以上地震的概率为 100%(见图 4)。

统计 1985 年以来的数据资料,包括此次漾濞地震在内,每当一号泉水氡出现低值异常,随后滇西地区出现 5 级以上概率为 100%(见图 5)。

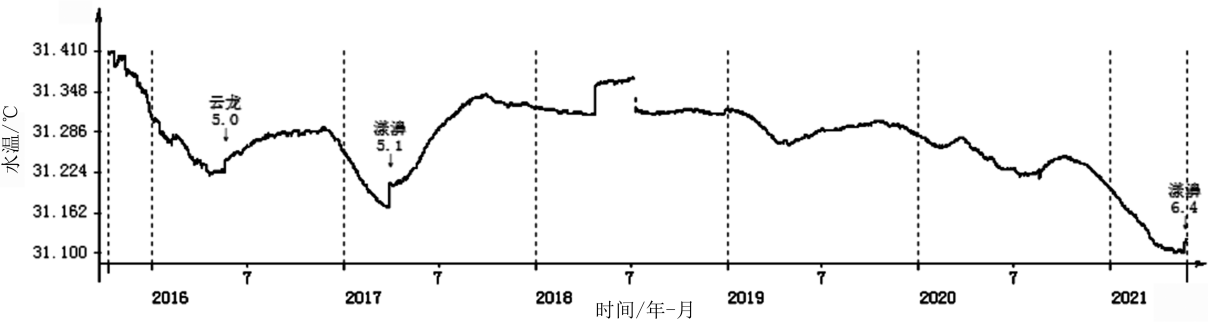


图 2 洱源水化站中层水温异常图

Fig.2 Water temperature Anomaly in the middle layer of Eryuan hydration station

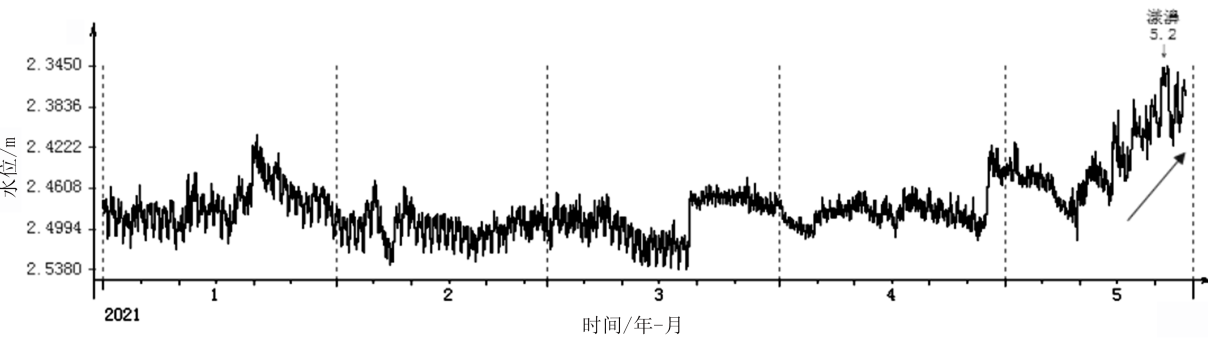


图 3 洱源水化站静水位异常图

Fig.3 Static water level anomaly of Eryuan hydration station

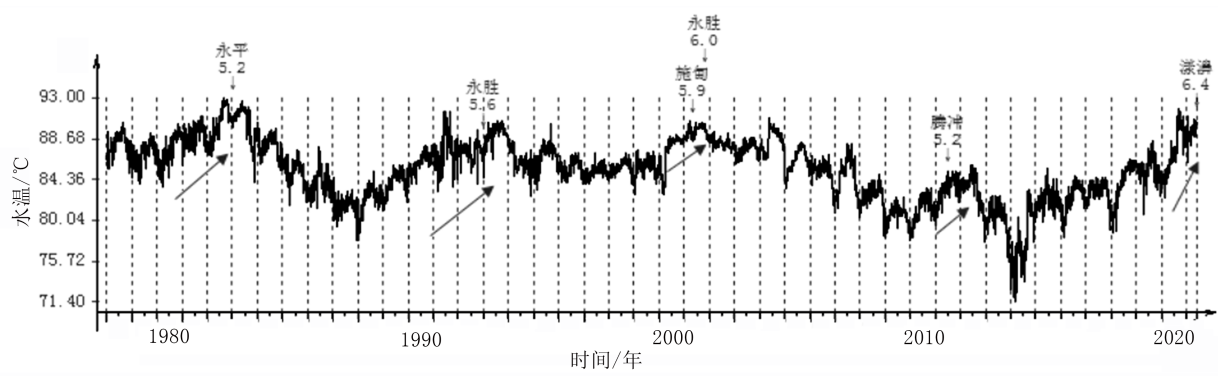


图 4 龙陵邦腊掌一号泉水水温异常图

Fig.4 Water temperature anomaly of Banglazhang No.1 spring in Longling

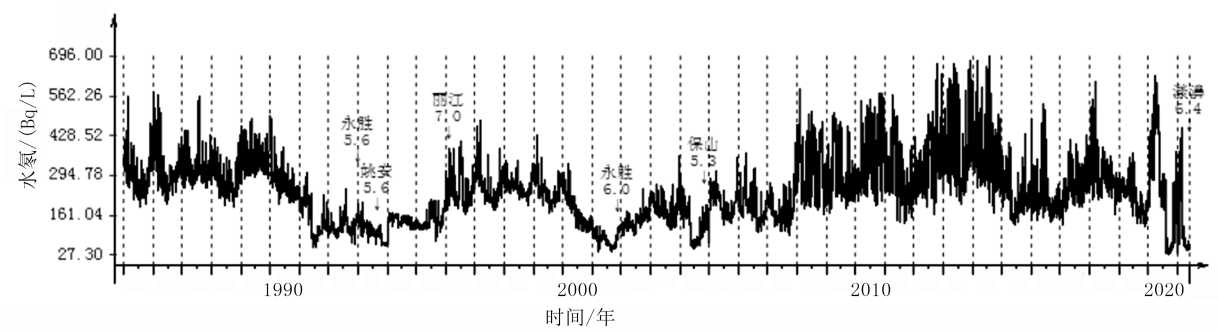


图 5 龙陵邦腊掌一号泉水氡异常图

Fig.5 Radon anomaly of Banglazhang No.1 spring in Longling

此外,从流体方面来看,弥渡水化站动水位从 2021 年 4 月 20 起,地震发生前的一个月内测值快速上升(图 6)。腾冲叠水河碳酸泉汞临震前一

天大幅升高,测值从 4.4 ng/L 突升至 20 ng/L,测值升高了将近 4 倍,是较为明显的临震前异常(图 7)。

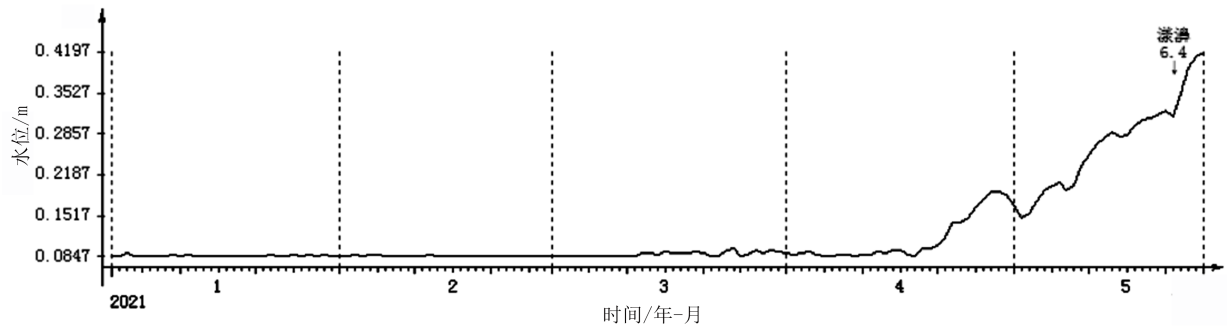


图 6 弥渡动水位

Fig.6 Midu dynamic water level

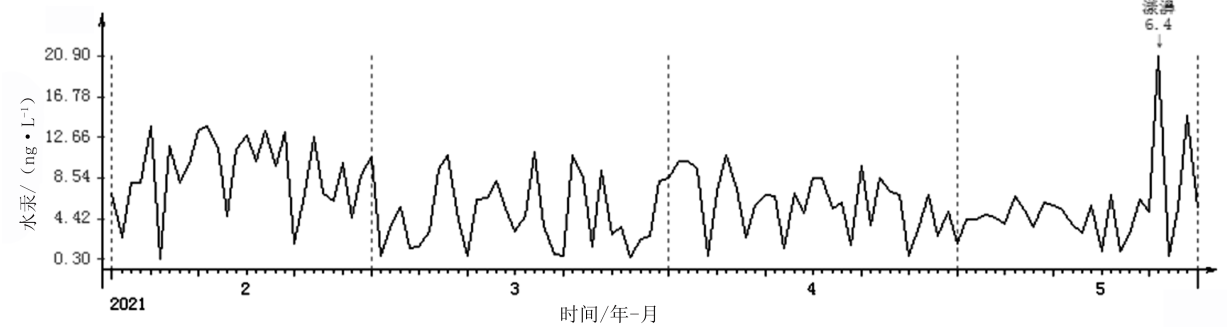


图 7 腾冲叠水河碳酸泉汞

Fig.7 Mercury in carbonated spring of Dieshuihe in Tengchong

1.2 形变异常

形变方面, 弥渡台水管倾斜的北南向分量和东西向分量于 2019 年的 12 月初同步出现异常, 表现为北南分量持续向北倾(图 8), 东西分量持续向西倾(图 9)。结合震例来看, 弥渡台的水管倾斜

东西向分量异常对半年内滇西地区 5 级以上地震具有良好的指示意义。

此外, 永胜台水管倾斜北南向自 2020 年 8 月起出现了明显的破年变现象(图 10), 而云龙台洞体应变东西向则是在漾濞地震前以往的年变现象消失了(图 11)。

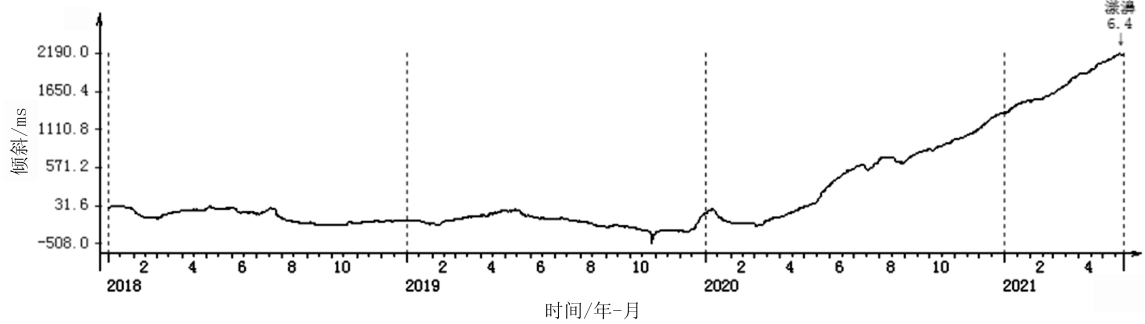


图 8 弥渡台水管倾斜 NS 向

Fig.8 Water pipe inclines in NS direction at Midu Station

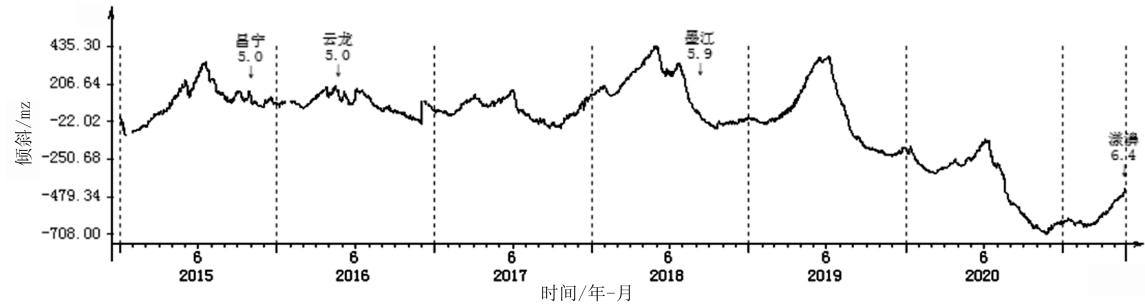


图 9 弥渡台水管倾斜 EW 向

Fig.9 Water pipe inclines in EW direction at Midu Station

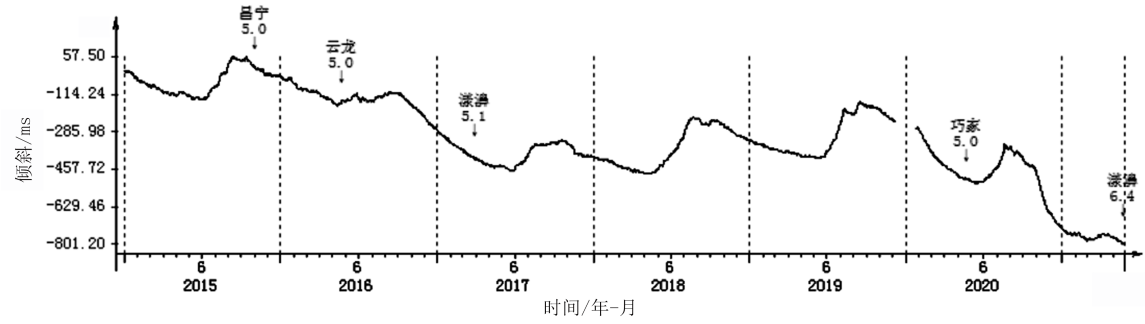


图 10 永胜台水管倾斜 NS 向

Fig.10 Water pipe inclines in EW direction at Yongsheng Station

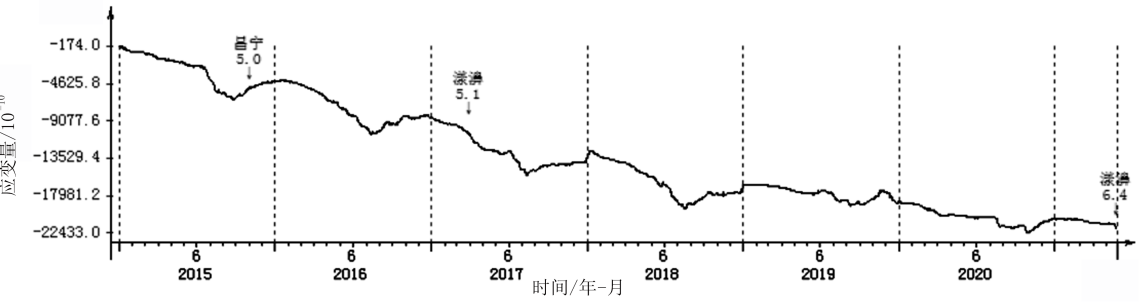


图 11 云龙洞体应变量 EW 向

Fig.11 Cave strain in EW direction in Yunlong



2 基于背景噪声的云南地区波速测量结果

地下介质速度变化研究是背景噪声地震学的主要应用方向之一。背景噪声波速测量主要依托于台站记录的连续波形资料，波形资料连续、实时记录的特点，决定了背景噪声波速测量结果应该具有捕捉强震发生前短临异常的能力。

鉴于此，在日常的工作中，我们主要基于云南数字地震台网 22 个台站记录的 2018 年以来的宽频带垂直分量连续波形数据(图 12)，采用背景噪声互相关及傅立叶变换等方法，获取了 28 台站对间的瑞利波走时偏移，并以 $\pm 1.5$  倍标准差作为

异常阈值，动态跟踪了云南地区波速异常变化特征。并将波速测量结果应用到了云南地区  $M \geq 5.0$  破坏性地震的日常跟踪及分析预测工作中。

图中红色表示波速异常一直在持续的台站对，绿色表示现已恢复，但 3 个月内仍有指示意义的台站对。

由图 12 可知，在 2021 年 5 月 21 日漾濞 6.4 级地震前，异常台站对主要分布于滇西北、滇南和川滇菱形块体内部，且滇西北的异常台站对主要集中分布于漾濞 6.4 级地震震中附近。图 13 为震中附近 TUS-DAY 台站对的瑞利波走时偏移时间序列。

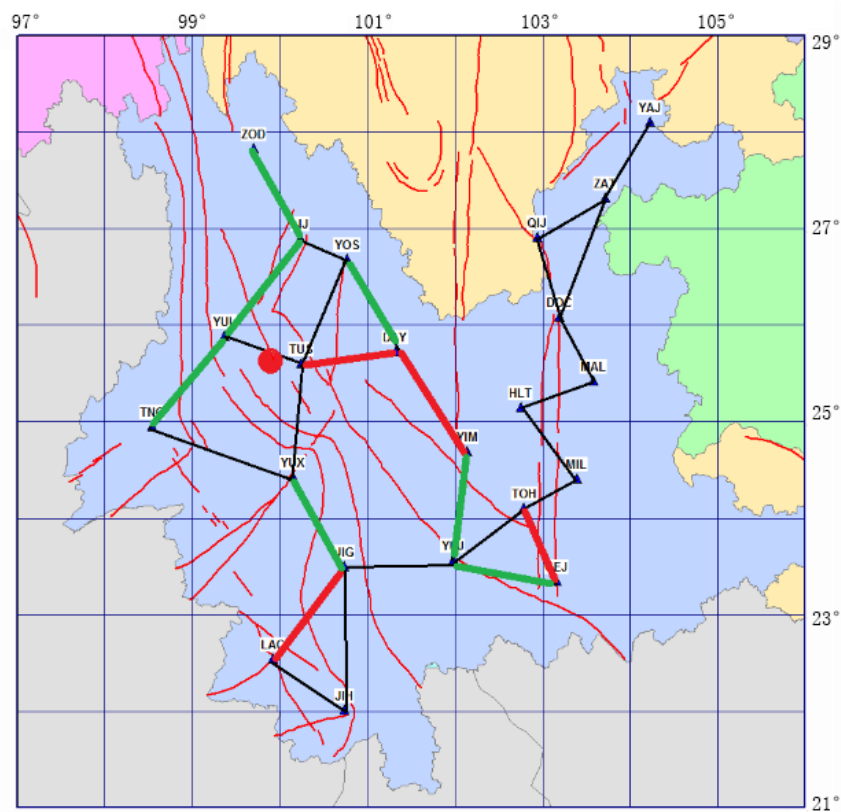


图 12 2021 年 5 月 21 日漾濞 6.4 级地震前云南地区异常台站对分布  
Fig.12 Distribution of abnormal station pairs in Yunnan before the Yangbi  $M_s6.4$  earthquake

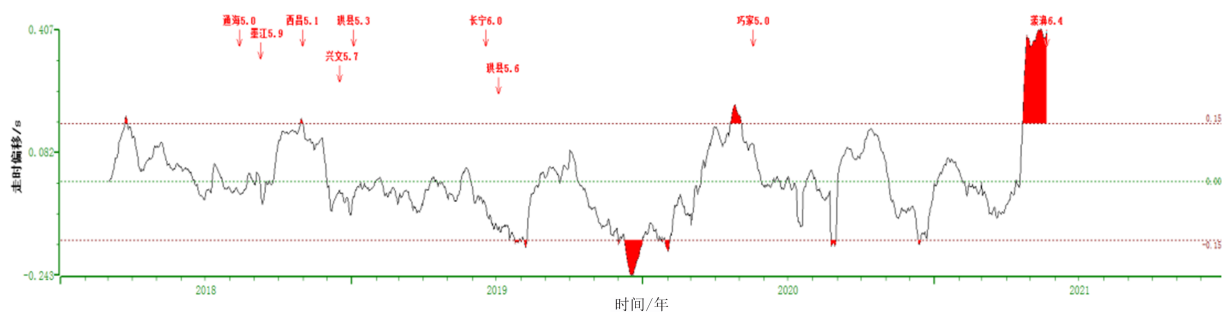


图 13 TUS-DAY 台站对的瑞利波走时偏移时间序列  
Fig.13 Rayleigh wave travel time migration time series of TUS-DAY station pairs

由图 13 可知,对 TUS-DAY 台站对的瑞利波走时偏移时间序列划定 $\pm 1.5$  倍标准差作为异常阈值后,该台站对的超指标异常 3 个月内对云南地区的  $M \geq 5.0$  地震的发震时刻具有一定的指示意义。另外,从 2021 年 4 月 21 日开始,该台站对的瑞利波走时偏移出现了明显的超指标异常,31 天后发生了漾濞 6.4 级地震,且该超指标异常一直在持续中。

### 3 结论与讨论

漾濞 6.4 级地震前滇西地区的前兆观测资料出现不同程度的异常,其中地下流体和形变异常最为明显。洱源水化站水温、水位,弥渡动水位,腾冲叠水河碳酸泉汞等地下流体观测资料在此次漾濞地震前大幅变化,是较为明显的短期异常,而形变资料在震前则更多表现为破年变异常。结合历史震例,洱源中层水温低值异常对滇西北地区尤其大理境内的 5 级以上地震有较强短临指示意义。龙陵邦腊掌一号泉水温和水氡对滇西地区 5 级以上地震有较强指示意义,且截止到本文发稿前龙陵邦腊掌一号泉水温、水氡异常仍然持续,是否意味着漾濞 6.4 级地震后滇西地区仍存在发生 5 级以上地震危险性?

此外,漾濞地震前云南地区背景噪声也出现异常,且滇西北的异常台站对主要集中分布于漾濞 6.4 级地震震中附近。可尝试用背景噪声来判定短临地震的地点,且将此新方法更广泛应用到地震短临预报工作中。

以往滇西北地区发生 5 级以上地震前,洱源水化站水汞,下关水化站水汞、水氡在震前往往都会有明显异常变化,但是此次漾濞 6.4 级地震,这几条指标均没有出现异常,分析原因,可能是从震源机制解上看此次漾濞地震是走滑型地震,因而没有表现出明显的拉张或压缩。

#### 参考文献:

- [1] 马玉虎,马震,杨晓霞,等. 2016 年门源 6.4 级地震异常分析[J]. 高原地震,2017,29(4):1-11.
- [2] 付虹,洪敏,王光明,等. 云南区域强震活动中短期异常的共性特征及应用研究[J]. 地震研究,2020,43(2):241-253.
- [3] 莫佩婵,文翔,黄惠宁,等. 2016 年 7 月 31 日广西苍梧 5.4 级地震前兆异常研究[J]. 华南地震,2018,38(03):352-61.
- [4] 陈雪梅. 2017 年四川九寨沟 7.0 级地震前甘东南定点形变资料异常变化分析[J]. 甘肃科技,2016,34(18):33-36
- [5] 赵彬彬,高歌,李桂荣,等. 2020 年 6 月 26 日新疆于田  $M_s$  6.4 地震前前兆形变异常特征分析[J]. 内陆地震,2020,34(3):286-294