

黄惠宁, 郭培兰, 阎春恒, 等. 华南西部地区近期中强地震前定点形变异常特征分析[J]. 华南地震, 2022, 42(4): 127–136. [HUANG Huining, GUO Peilan, YAN Chunheng, et al. Analysis on the Anomalies Characteristics of Fixed-point Deformation Before Recent Moderately Strong Earthquakes in Western South China[J]. South China journal of seismology, 2022, 42(4): 127–136]

## 华南西部地区近期中强地震前定点形 变异常特征分析

黄惠宁, 郭培兰, 阎春恒, 苏 珊, 原永东

(广西壮族自治区地震局, 南宁 530022)

**摘要:** 通过研究华南西部地区近期发生的5级以上地震, 梳理中强地震前定点形变观测资料出现的异常特征, 分析形变曲线异常变化特征与华南西部地区中强地震的关系。结果表明: 趋势变化异常对华南西部地区5级以上地震的发生有一定的指示意义, 当区域内出现与自然环境和观测环境无关的趋势变化异常超过3个月, 异常台站300 km范围内存在发生5级左右地震的可能。研究得到的认识对华南西部地区地震前兆异常识别以及地震趋势研究有积极的意义。

**关键词:** 北流5.2级地震; 靖西5.2级地震; 定点形变; 前兆异常; 华南西部地区

**中图分类号:** P315

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8662(2022)04-0127-10

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2022.04.17

## Analysis on the Anomalies Characteristics of Fixed-point Deformation Before Recent Moderately Strong Earthquakes in Western South China

HUANG Huining, GUO Peilan, YAN Chunheng, SU Shan, YUAN Yongdong  
(Earthquake Agency of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

**Abstract:** Based on the study of recent earthquakes with  $M \geq 5$  in western South China, this paper sorts out the anomalies characteristics of fixed-point deformation observation data before moderately strong earthquakes, and analyzes the relationship between the abnormal variation characteristics of deformation curve and moderate-strong earthquakes in western South China. The results show that: The trend change anomaly has a certain indication significance for the occurrence of earthquakes with  $M \geq 5$  in western South China. When there is a trend change anomaly unrelated to the natural environment and observation environment in the region for more than 3 months, there is a possibility of an earthquake of about  $M5$  within 300 km of the abnormal station. The understanding obtained in this paper is of positive significance to the recognition of earthquake precursor anomalies and the study of earthquake trend in western South China.

**收稿日期:** 2022-03-10

**基金项目:** 广西科技攻关计划(1377002、12426001-1); 中国地震局震情跟踪定向工作任务(2021020504)联合资助。

**作者简介:** 黄惠宁(1985-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事GPS数据解算及地壳形变分析研究。

**E-mail:** lingbing226@163.com

**Keywords:** Beiliu  $M_s5.2$  earthquake; Jingxi  $M_s5.2$  earthquake; Fixed-point deformation; Precursory anomaly; Western South China.

## 0 引言

地震的孕育和发生的过程中最直接的现象是地壳形变,形变观测资料在了解大范围区域地壳运动状态、识别地震孕育过程中形变异常时空分布特征,进行地震时空强预报中发挥着重要的作用。基于定点形变连续观测资料获得的震兆实例研究也取了一些显著的成果,路珍对地球物理场区域形变测量和定点形变观测资料中震前异常现象时空分布特征进行研究得到地球物理场资料适合中长期地点判定,定点形变观测资料适合中短期预测的认识<sup>[1]</sup>。韩桂红对呼图壁  $M_s6.2$  地震 300 km 范围内定点形变测项进行研究发现,区域存在背景性准同步趋势转折异常,中期异常以趋势加速为主并呈现出外围向近场迁移的特征<sup>[2]</sup>。诸多研究表明,中强地震之前,定点形变资料反映出一定程度的中期异常,甚至是短临异常<sup>[3-5]</sup>,并且有些地区的震例研究已经归纳得到区域形变预测指标<sup>[6-7]</sup>,为区域捕捉地震前兆及开展地震预报研究提供参考。地震孕育过程中会出现各种形式的形变异常现象,这一点毋庸置疑,但由于台站所处区域地质条件和环境存在差异,各个台站表现出来的异常也存在差异<sup>[8]</sup>,基于此,本文通过震例进行研究,旨在对形变异常特征进行总结,为华南西部地区地震预测研究提供借鉴和参考。

形变台站数字化以来积累了 10 余年的形变观测资料,期间华南西部地区没有发生显著地震,直到 2016 年发生苍梧  $M_s5.4$  地震(下称“苍梧地震”)打破了广西地区长达 21 年的无 5 级地震的平静,2018 年 11 月 26 日发生海峡  $M_s6.2$  地震,2019 年又相继发生北流  $M_s5.2$ (下称“北流地震”)和靖西  $M_s5.2$  地震(下称“靖西地震”),震例的丰富给华南西部地区震前形变资料异常特征研究带来契机。本文以华南地区近年来发生的 5 级以上地震为基础,梳理这些显著地震前定点形变观测资料出现的异常变化,认识中强地震前异常变化的主要特征,提取可能存在的异常指标,以期能为今后华南地区中强地震预测提供依据。

## 1 形变台站和观测数据概况

灵山地震台 1975 年建台,位于广西灵山县城

六峰山南侧山脚下,海拔高度 60 m,构造上处于北东向的防城—灵山断裂带和北西向的巴马—博白断裂带交汇部位,历史上发生的最大地震为 1936 年 4 月 1 日的灵山  $6\frac{3}{4}$  级地震,是华南地区陆区发生的最大地震<sup>[9]</sup>。“十五”前兆数字化改造后,灵山地震台拥有地倾斜、连续重力、流动水准测量等形变观测手段。倾斜重力山洞位于台站东约 350 m 的六峰山公园内,洞室进深 30 m,上覆基岩厚约 22 m,台基岩性为泥盆系中统东岗岭阶中厚层灰岩,山洞常年恒温 22.5 ℃,年温差小于 0.5 ℃,较为干燥。灵山地震台倾斜观测先后使用过 VS 垂直倾斜仪和 VP 垂直摆倾斜仪两种仪器,VP 垂直摆倾斜仪于 2017 年 12 月开始观测,固体潮形态良好,观测数据连续稳定,VP 垂直摆倾斜 EW 向有微弱年变,NS 向无明显年变形态。

梧州地震台 1977 年建台,位于梧州市西郊龙新村附近,海拔高度 25 m,构造上处于北东向防城—灵山断裂带和合浦—北流断裂带末端,历史上发生的最大地震为 2016 年 7 月 31 日的苍梧 5.4 级地震<sup>[9]</sup>。“十五”前兆数字化改造后,梧州地震台拥有地倾斜、地应变等形变观测手段。梧州地震台仪器洞室距办公室约 40 m,洞室进深约 38 m,覆盖厚度约 40 m,台基岩性为燕山期花岗岩,山洞仪器室温度恒定日变小于 0.03 ℃,观测环境较好。梧州地震台 DSQ 水管倾斜仪安装于 2007 年 1 月,自观测以来数据连续稳定,固体潮清晰,无年变形态。梧州地震台 SS-Y 洞体应变仪与 DSQ 水管倾斜仪同时安装,NS 分量在 2008 年至 2010 年有微弱年变,2011 年之后年变消失,EW 分量自观测以来年变清晰。

凭祥地震台 1972 年建台,位于凭祥市东南面的竹山村那岩屯,海拔 227 m,构造上处于桂林南宁断裂西端,“十五”数字化改造后拥有地倾斜和连续重力两种观测手段。倾斜山洞进深 26.61 m,覆盖厚度约 20 m,东西旁覆盖 10~15 m,台基岩性为二叠系灰岩,山洞常年恒温 21.3 ℃,年温差小于 0.5 ℃,观测环境良好。凭祥台倾斜观测也先后使用 VS 垂直摆倾斜仪和 VP 垂直摆倾斜仪两种仪器进行观测,2016 年由于 VS 垂直摆倾斜仪老化故障频发,与灵山地震台同时期更换成 VP 垂直摆倾斜仪,VP 垂直摆 NS 向自观测以来无年变也没有趋势特征,EW 向有年变,但年变形态和年变幅度明显与 VS 不同。

灵山地震台和梧州地震台在地理位置上位于广西桂东南地区,凭祥台位于桂西南地区,是广西唯一的边境台(图1),台站的测项和本文使用的测项资料情况如表1所示。

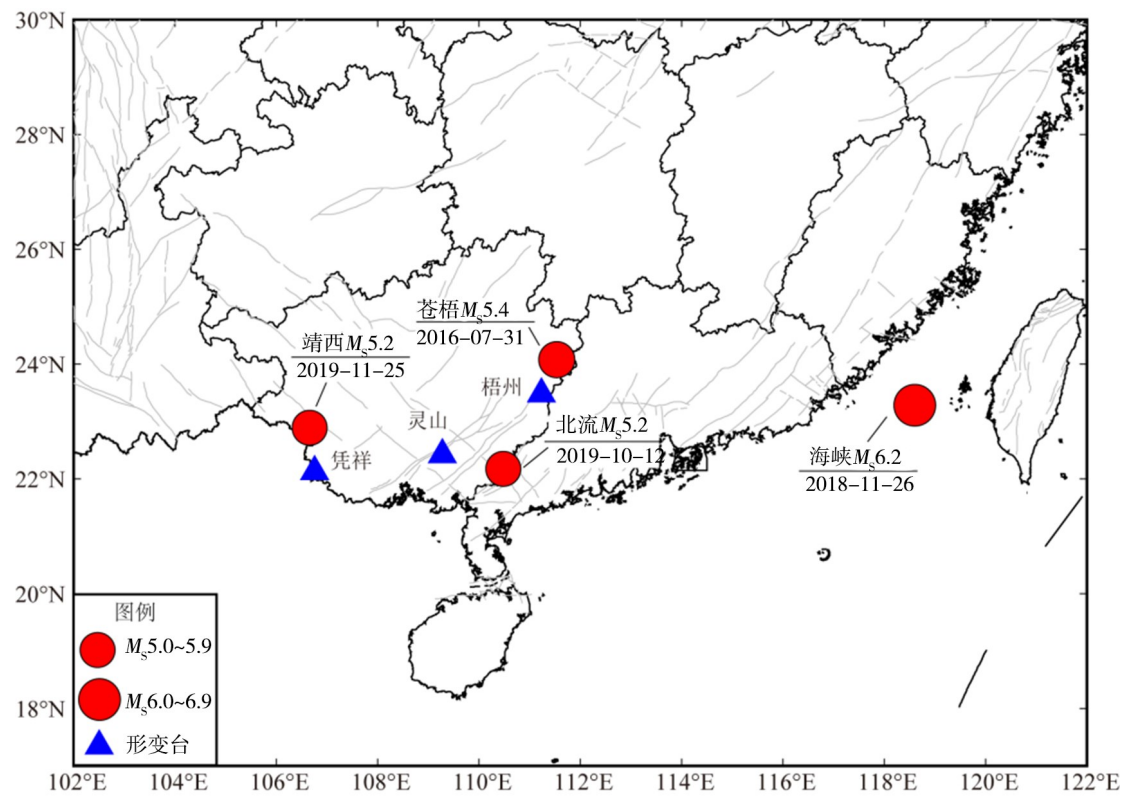


图1 广西定点形变台站与显著地震分布图

Fig.1 Distribution map of fixed-point deformation stations and significant earthquakes in Guangxi

表1 灵山地震台和梧州地震台定点形变测项信息表

Table 1 Information table of fixed-point deformation measurement items of Lingshan Seismic Station and Wuzhou Seismic Station

台站	测项	台基岩性	资料使用时间
灵山台	VS垂直摆倾斜	灰岩	2008-01—2016-10
灵山台	VP垂直摆倾斜	灰岩	2018-01—2020-10
梧州台	DSQ水管倾斜	花岗岩	2008-01—2020-10
梧州台	SS-Y洞体应变	花岗岩	2008-01—2020-10
凭祥台	VS垂直摆倾斜	灰岩	2008-01—2016-10
凭祥台	VP垂直摆倾斜	灰岩	2018-01—2020-10

2 气象干扰因素分析

定点形变观测易受到自然环境的影响,气温、气压、降雨等气候变化都会对定点形变观测产生一定的影响<sup>[6]</sup>。气压是直接作用于地表的大面积荷载,气压急剧变化会导致地表负荷变化从而引起地表变形。降雨引起地表载荷变化,雨水渗透入

岩石,使得岩石产生不均匀变形。温度变化会导致岩石发生膨胀与收缩,发生变形。为明确气象因素对广西形变测项的影响,选取灵山垂直摆和梧州水管倾斜两个测项与气象三要素进行对比分析。如图2所示,灵山气压、降雨和温度具有明显的季节性变化特征,气压冬高夏低,温度夏高冬低,降雨量每年5月至7月达到最大,灵山垂直摆

NS分量在仪器故障之前没有明显的年变特征和趋势性特征, 更换设备后表现出显著的趋势性特征(持续南倾), 受到降雨干扰较为明显, 干扰特征主要为同步的短期波动变化, 对整体趋势影响不

大。梧州的气压、降雨特征与灵山一致, 降雨量每年5月至9月达到最大, 梧州水管倾斜NS分量无年变, 趋势变化特征明显(持续北倾), 受到气象因素干扰不显著。

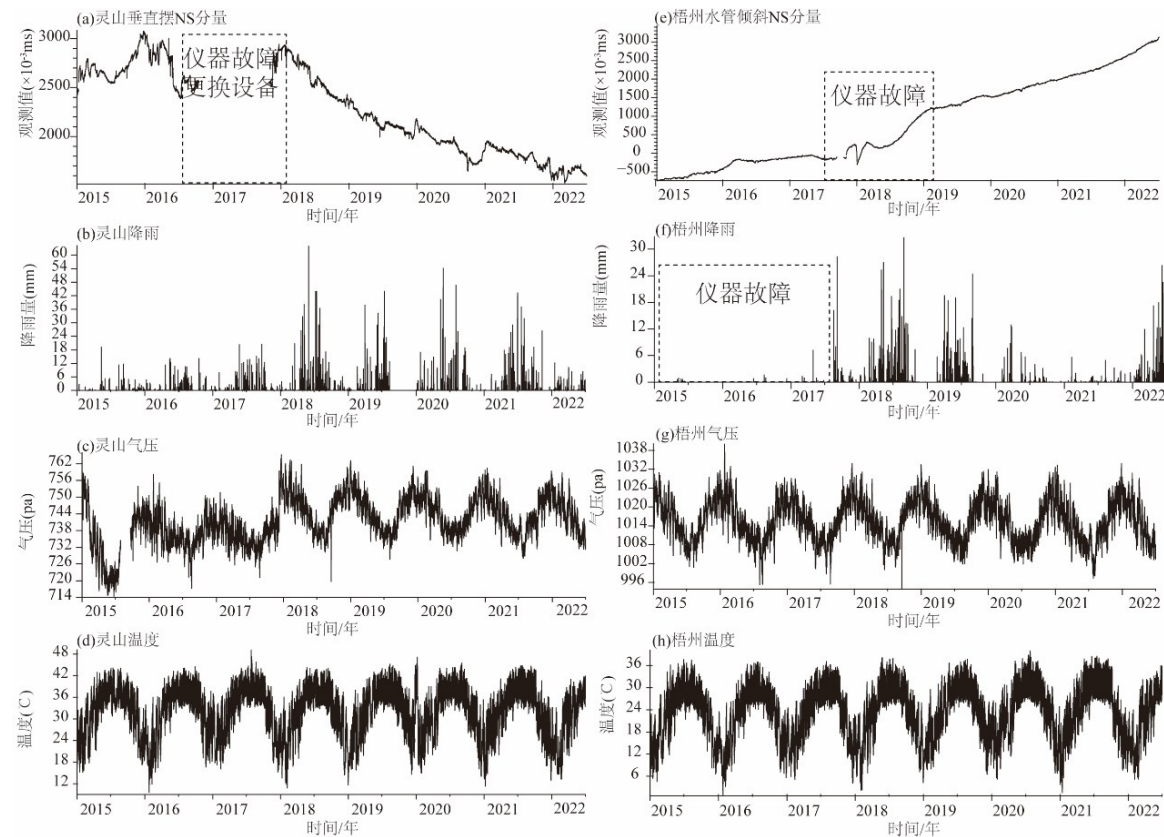


图2 灵山垂直摆NS分量和梧州水管倾斜NS分量与气象三要素对比图

Fig.2 Comparison of NS components of Lingshan vertical pendulum and Wuzhou water pipe tilt with three meteorological elements

3 显著地震震例分析

自定点形变数字化观测资料以来, 华南西部地区共发生了4次5级以上地震, 2018年11月26

日海峡6.2级地震发生在海域, 本文暂不进行讨论。文章主要对华南西部地区3次5级地震震中300 km范围内的形变测项的异常特征进行研究, 震例及震中300 km范围内形变测项情况见表2。

表2 地震及震中300 km范围内形变测项情况表

Table 2 Table of earthquakes and deformation measurement items within 300 km of the epicenter

序号	地震	震级/ <i>M</i> <sub>s</sub>	发震时间	形变测项	震中距/km
1	苍梧地震	5.4	2016-07-31	灵山VS垂直摆倾斜	295
				梧州DSQ水管倾斜	75
				梧州SS-Y洞体应变	75
2	北流地震	5.2	2019-10-12	灵山VP垂直摆倾斜	130
				梧州DSQ水管倾斜	163
				梧州SS-Y洞体应变	163
3	靖西地震	5.2	2019-11-25	灵山VP垂直摆倾斜	262
				凭祥VP垂直摆倾斜	85



### 3.1 2016年7月31日苍梧 $M_s5.4$ 级地震前异常变化分析

苍梧地震 300 km 范围内有 3 个形变测项(见表 2), 出现异常的有灵山 VS 垂直摆倾斜 NS 分量和梧州 DSQ 水管倾斜 NS 分量 2 个测项。灵山 VS 垂直摆 NS 分量自 2014 年 2 月起北倾转平, 虽然在 2014 年 3 月至 2015 年 1 月受到开挖重力山洞年变不明显的

状态下依然能看到曲线呈现出较为明显的北倾趋势转平, 持续 911 d 发生苍梧 5.4 级地震, 震中距约 295 km, 但 VS 垂直摆在 2016 年 10 月故障无法跟踪后续变化。梧州 DSQ 水管倾斜 NS 分量在 2014 年 7 月开始北倾转折, 2015 年 11 月 23 日开始北倾加速, 持续 121 d 结束, 变化量 390 ms, 异常结束后 130 天发生苍梧地震, 震中距约 75 km, 震后 24 d 恢复北倾变化。

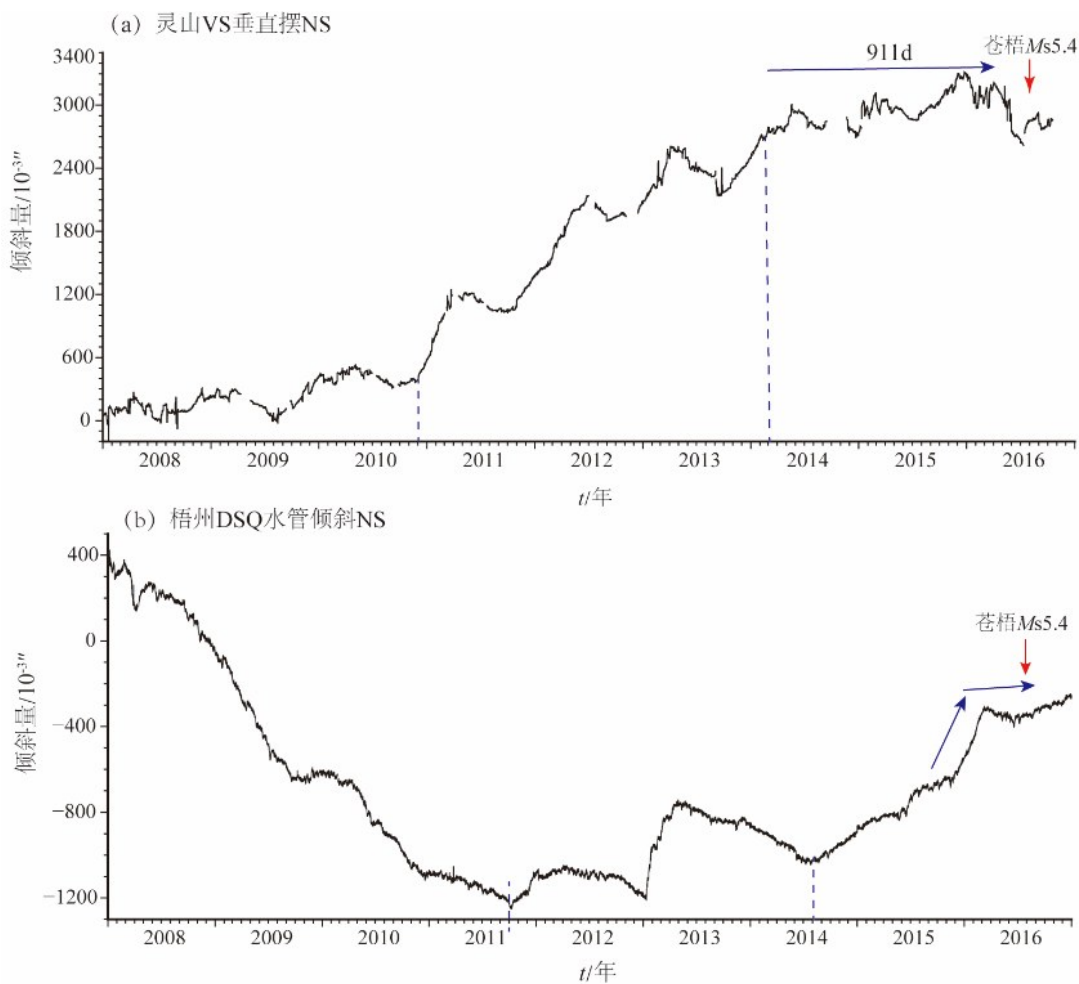


图3 苍梧地震前形变异常图

Fig.3 Deformation anomalies map before the Cangwu earthquake

### 3.2 2019年10月12日北流 $M_s5.2$ 级地震前异常变化分析

北流地震 300 km 范围内有 3 个形变测项, 出现异常的是灵山 VP 垂直摆 NS 分量, 梧州 DSQ 水管倾斜的 NS 和 EW 分量。灵山 VP 垂直摆倾斜 NS 分量自 2018 年观测以来一直保持南倾, 2019 年 6 月 30 日开始南倾转平, 持续 104 d 发生北流地震,

震中距 130 km, 震后南倾转平持续。梧州 DSQ 水管倾斜 NS 分量 2019 年 7 月 19 日开始北倾加速, 异常持续 85 d 发生北流地震, 变化量 272 ms, EW 分量 2019 年 3 月 31 日开始东倾加速, 加速 108 天东倾转平, 变化量 216 ms, 转平 87 d 后发生北流地震, 震中距 163 km, 震后 NS 分量北倾加速和 EW 分量东倾转平趋势持续。

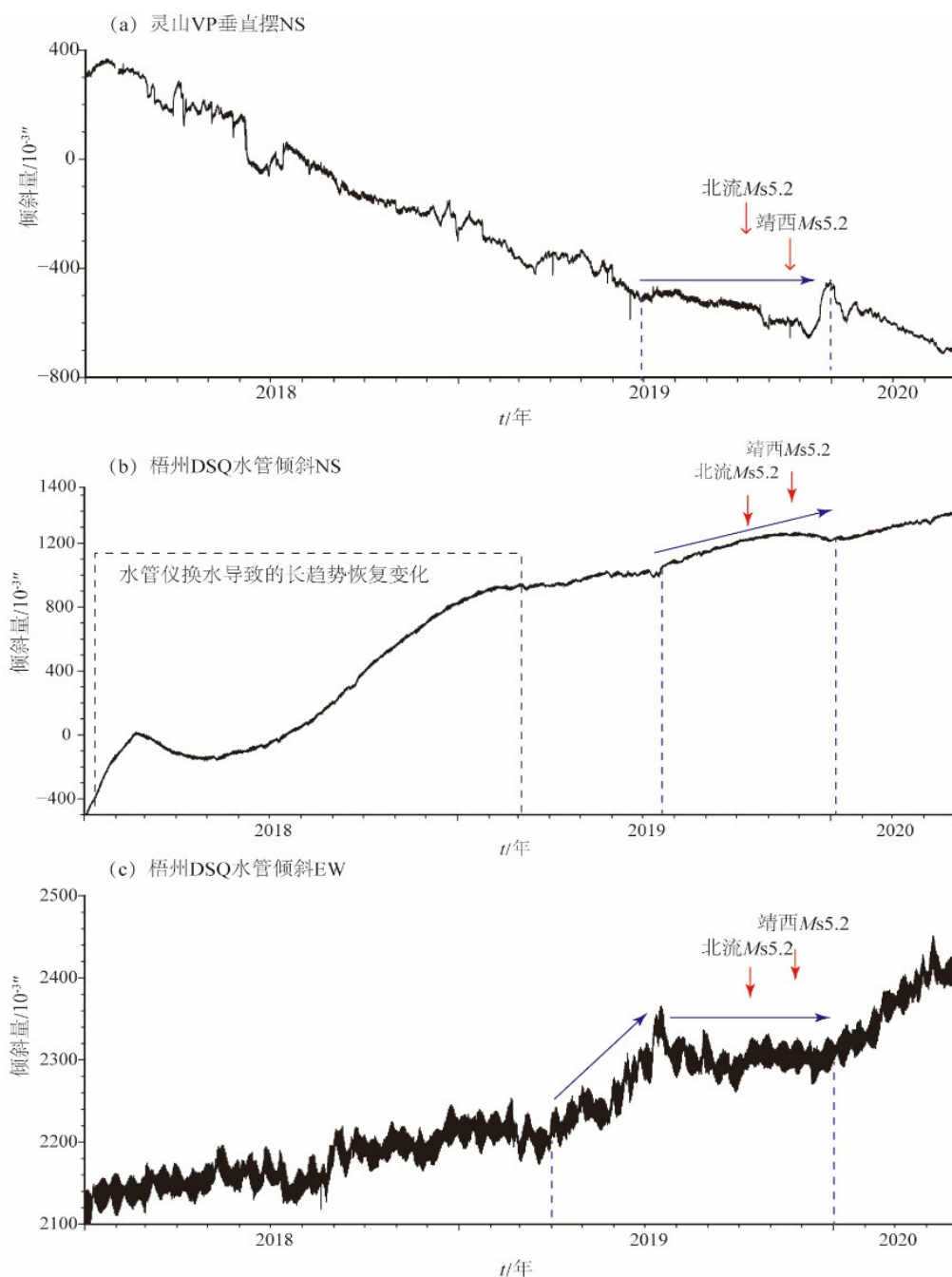


图4 北流地震和靖西地震前形变异常图

Fig.4 Deformation anomalies map before Beiliu earthquake and Jingxi earthquake

### 3.3 2019年11月25日靖西 $M_s5.2$ 级地震前异常变化分析

靖西地震和北流地震发震的时间间隔只有44 d, 在进行异常分析时将两个地震异常进行合并分析。在靖西地震300 km范围内有灵山VP垂直摆倾斜和凭祥VP垂直摆倾斜两个测项, 凭祥VP垂直摆自观测以来数据不稳定, 震前未发现显著异常变

化。灵山VP垂直摆倾斜NS分量在北流地震发生后南倾转平趋势未恢复, 靖西地震发生后31 d恢复南倾, 震中距262 km。值得一提的是梧州水管倾斜的NS分量在北流地震后北倾加速持续, 靖西地震后反向南倾, 37 d后恢复北倾变化, EW分量东倾转平在北流地震后持续, 靖西地震发生后37天恢复东倾变化, 震中距为465 km。

4 形变异常特征与其他观测资料的相关性分析

4.1 异常特征与地震关系分析

对华南西部地区发生的3次显著地震震前形变资料的异常变化进行统计(表3),可以发现异常主要呈现以下特征:时间尺度上异常主要以中长期趋势异常为主,除灵山VS垂直摆NS分量外,其他测项异常均在1年内出现,并且异常持续3个月至6个月,短临异常不突出;空间分布上异常集中在震中300 km范围内出现,虽然梧州DSQ水管倾斜仪距离靖西地震震中距为465 km,但在北流地震后NS分量北倾加速并未恢复,一直持续到靖西地震后才反向恢复南倾,约37 d后才恢复北倾变化;曲线的异常特征主要表现为趋势转折和趋势加速;震后约1个月左右异常逐渐恢复。

从同一测项对不同震级的地震的响应情况看,呈现震级越大异常持续时间越长,异常变化量越

大的特点。以梧州DSQ水管倾斜NS分量为例,该分量在2015年11月23日开始北倾加速,121 d后反向南倾,南倾变化130 d发震,异常持续251 d,异常变化量390 ms。北流地震前85 d北倾加速,加速过程中发震,异常变化量272 ms,震后异常持续直到靖西地震后开始南倾恢复,异常总共持续129 d,异常变化量为288 ms。

从同一地震不同测项的响应情况看,呈现出东西分量先出现异常,北南分量后出现异常,并且不同台项同分量异常具有同步性的特点。以北流地震为例,梧州DSQ水管倾斜EW分量2019年3月31日开始东倾加速,2019年7月19日转平,转平87 d后发生北流地震,NS分量2019年7月17日开始出现北倾加速,而灵山VP垂直摆NS分量在2019年6月30日开始出现南倾转折,与梧州DSQ水管倾斜NS分量出现异常的时间接近。并且,北流地震发生之后,灵山VP垂直摆NS分量、梧州DSQ水管倾斜NS分量和EW分量异常均未结束,直到靖西地震发生37 d之后,三个异常同步恢复。

表3 显著地震异常特征统计  
Table 3 Statistics of significant seismic anomalies characteristics

震例	异常测项	震中距/km	异常持续 时间/d	异常幅度/ms	异常描述
2016-07-31 苍梧5.4级地震	灵山VS 垂直摆倾斜NS	295	911		长趋势转折过程中发震
	梧州DSQ 水管倾斜NS	72	121	390	北倾趋势转折过程中趋势加速121 d,反向南倾130 d后发震,震后24 d恢复北倾
2019-10-12 北流5.2级地震	灵山VP 垂直摆倾斜NS	130	104		南倾趋势转折过程中发震,震后异常持续
	梧州DSQ 水管倾斜NS	163	85	272	北倾趋势加速过程中发震,震后异常持续
	梧州DSQ 水管倾斜EW	163	108	216	东趋势加速后转平87 d发震,震后转平持续
2019-11-25 靖西5.2级地震	灵山VP 垂直摆倾斜NS	262	148		北流地震后趋势转平持续过程中发震,震后37 d恢复南倾
	梧州DSQ 水管倾斜NS	465	129	288	北流地震后趋势加速持续过程中发震,震后反向恢复南倾,37 d后恢复北倾
	梧州DSQ 水管倾斜EW	465	131	216	北流地震后转平持续过程中发震,震后37 d后恢复东倾

## 4.2 其他观测资料的相关性分析

华南块体主要受西部川滇菱形块体旋钮作用和东部菲律宾海板块西向俯冲挤压作用<sup>[11]</sup>。GPS观测资料显示,华南块体西部近NS向的四川筠连—云南文山基线呈较稳定的张性趋势,NW向的四川盐源—广西河池基线、四川松潘—贵州凤冈基线和云南文山—海南三亚基线均为压性,且云南文山—海南三亚基线2019年5月至2020年2月呈压性趋势加速,2020年3月至2021年4月转折拉张,2021年5月之后再次转为压性(图4)。综合分析认为,东南沿海地震带西段受压扭作用增强,利于NW向走滑断裂和NE向逆冲断裂的活动。华南块体东部近

EW向的台湾—广州GPS基线2002—2014年为张性变化,2014—2016年转折压性变化,2016—2018年压性趋势减弱(图5),2020年5月至今压性趋势增强并持续。

采用CAP方法反演了苍梧地震、北流地震和靖西地震的震源机制解(图6,表4),结果显示:苍梧地震主破裂面走向NNW,呈左旋走滑运动性质,主压应力方向为NW向;北流地震主破裂面走向NWW,以走滑性质为主,兼有正断成分,主压应力P轴方位为NW向,与广西现今构造应力场主压应力方向一致;靖西地震震源机制均为逆断性质,主压应力P轴方位为NW-SE向,倾角近水平,与广西现今构造应力场主压应力方向一致。

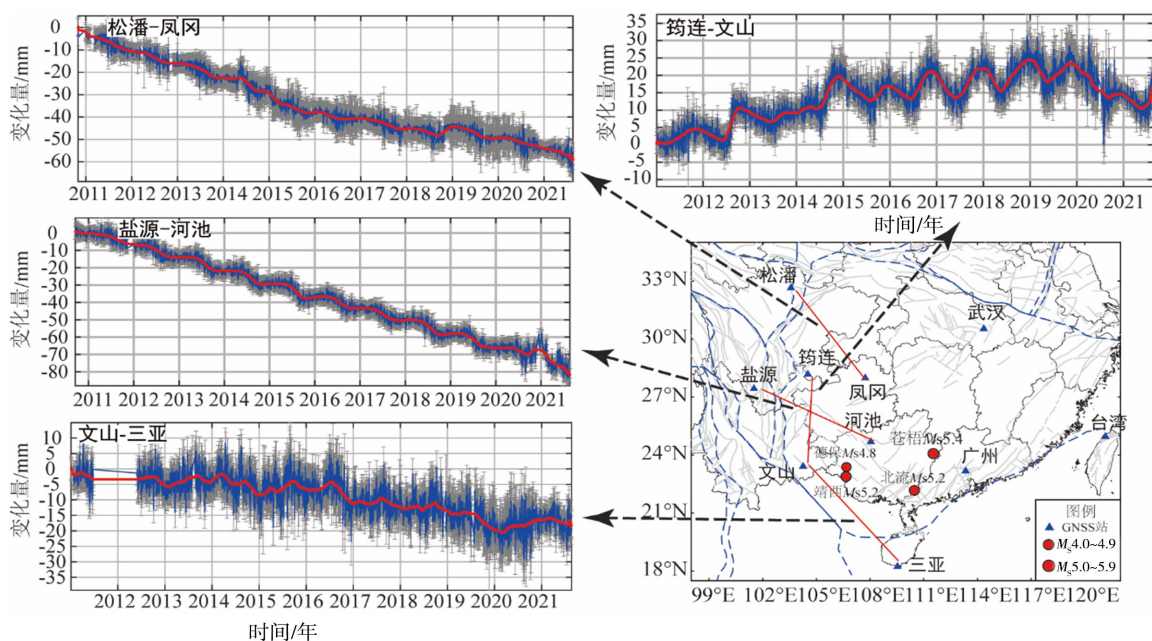


图5 华南块体西部边界基线图

Fig.5 Baseline map of the western boundary of South China block

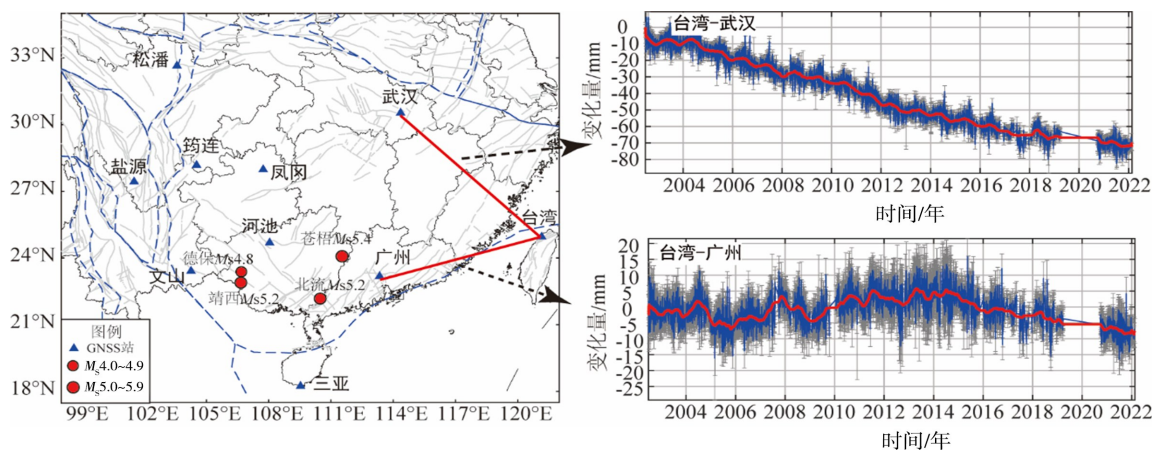


图6 华南块体东部边界基线图

Fig.6 Baseline map of the eastern boundary of South China block



基线及震源机制解结果表明,2014年以来华南块体东部处于强挤压状态,区域应力明显增强,受到NW向推挤作用,梧州水管倾斜、灵山VP垂直摆倾斜出现显著并持续的趋势转折、转折加速等异常现象,期间广西东部相继发生了苍梧地震

和北流地震。华南块体西部2019年至2020年期间顺时针压扭作用加速增强,在北西向区域构造应力场作用下,利于NW向走滑断裂和NE向逆冲断裂的活动,期间广西西部发生了极浅源的靖西地震。

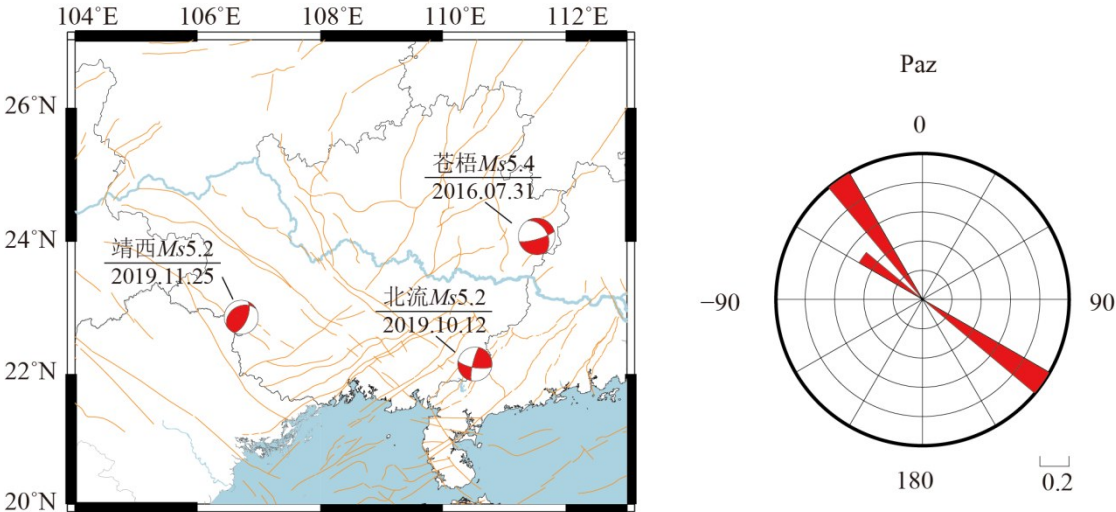


图7 显著地震震源机制解图

Fig.7 Focal mechanism solution of significant earthquakes

表4 显著地震震源机制解结果

Table 4 Focal mechanism solution results of significant earthquakes

地震	深度	节面A			节面B			P轴		T轴		B轴	
		走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角
苍梧5.4级地震	10	330	42	-18	74	78	-131	305	42	193	22	84	40
北流5.2级地震	8	100	72	169	193	80	18	326	5	58	20	222	69
靖西5.2级地震	10	24	61	71	239	34	120	128	14	256	68	33	17

5 结论与讨论

本文通过对形变观测数字化以来发生的3次中强地震震前定点形变资料异常变化进行梳理总结,分析了形变异常特征与中强地震的关系,研究结果表明:

(1)震例研究结果表明,中强地震前震中距300 km范围内的定点形变测项可以观测到不同程度的异常变化。异常特征以趋势背景上的趋势转折和趋势加速为主,异常变化通常出现在震前1年内,异常持续时间超过3个月以上,并在震后1个

月左右结束,呈现出震级越大异常幅度越大,异常持续时间越长的特征。因此,出现超过3个月以上的趋势异常变化可能是与地震有关的前兆异常,应予以关注。

(2)其他观测资料的相关性分析表明,灵山VS垂直摆NS分量与梧州DSQ水管倾斜NS分量在苍梧地震前后和北流地震前后出现同步的趋势异常变化现象,与GPS基线变化结果一致,该现象表明在区域应力场一致作用力影响下,基岩发生持续加速倾斜时,各种仪器记录到的结果则是有序的,与其他学者的研究结果一致<sup>[10]</sup>。

(3)本文尝试利用数字化定点形变观测资料开展形变异常特征与地震关系探索性研究,试图积累经验,为华南西部地区地震趋势研究和定点形变预测指标体系建设提供借鉴和参考。华南西部地区定点形变台站数量较少且测项单一,观测数据受到各种因素的干扰较多,震例相对较少,难以进行预测效能检验,存在一定的局限性。利用定点形变观测资料预测地震的机理是一个复杂的科学问题,需要长期不懈地开展震例回溯性研究,不断地总结震例前兆异常,识别地震前兆异常特征,不断提高利用形变前兆异常进行地震预测的水平。

### 参考文献

- [1] 路珍,李瑞莎,唐洪涛,等. 中强地震形变前兆异常时空分布综述[J]. 地震,2016,36(4):89-99.
- [2] 韩桂红,滕海涛,邢喜明,等. 新疆呼图壁  $M_s6.2$  地震定点形变异常分析[J]. 内陆地震,2019,33(S1):12-20.
- [3] 牛安福,李旭东,李正媛,等. 张北6.2级地震前定点形变异常的动力学特征[J]. 地震,1998,18(4):373-377.
- [4] 王在华,滕海涛. 新疆新源、和静交界  $M_s6.6$  地震前形变异常[J]. 内陆地震,2012,26(4):347-353.
- [5] 杨又陵,张翼. 2003年2月14日石河子  $M5.4$  级地震形变异常及其演化分析[J]. 内陆地震,2005,19(3):241-248.
- [6] 牛安福,张晶,高福旺. 地倾斜持续加速变形与地震关系的研究[J]. 大地测量与地球动力学,2002,22(1):30-33.
- [7] 马栋,刘琦,闫伟. 张渤带形变预测指标分析[J]. 地震,2016,36(4):101-108.
- [8] 吴翼麟,周克昌. 孕震区形变前兆的配套和有序[J]. 地壳形变与地震,1993,13(S2):3-8.
- [9] 广西壮族自治区地震局. 广西壮族自治区地震监测志(中国地震监测志系列)[M]. 北京:地震出版社,2004.
- [10] 牛安福. 地倾斜变化的突变性及与地震关系的研究[J]. 地震学报,2003,25(4):442-445.
- [11] 广西壮族自治区地震局. 广西壮族自治区2022年度地震趋势研究报告[R]. 南宁:广西壮族自治区地震局,2021.