

张华英,高琼,杨建文,等. 2019年以来云南定点形变异常分析[J]. 华南地震, 2024, 44(3): 33-39. [ZHANG Huaying, GAO Qiong, YANG Jianwen, et al. Analysis of Fixed-Point Deformation Anomalies in Yunnan Since 2019[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(3): 33-39]

## 2019年以来云南定点形变异常分析

张华英, 高 琼, 杨建文, 杨树锋, 杨 芬

(中国地震科学实验场大理中心, 云南 大理 671000)

**摘要:** 定点形变是重要的前兆观测手段, 对2019年以来云南省内出现的定点形变群体异常进行了梳理, 总结异常特点: 异常台站分布广, 大幅度, 异常时间同步, 持续时间长。结合地震活动特点进行分析讨论, 认为群体异常和地震活动有一定吻合性, 对未来云南的震情研判有参考意义。

**关键词:** 云南; 定点形变; 异常

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)03-0033-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.03.04

## Analysis of Fixed-Point Deformation Anomalies in Yunnan Since 2019

ZHANG Huaying, GAO Qiong, YANG Jianwen, YANG Shufeng, YANG Fen

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

**Abstract:** Fixed-point deformation is an important precursor observation method. This article summarized the anomalies of fixed-point deformation groups that have occurred in Yunnan Province since 2019 and analyzed the characteristics of the anomalies as follows: The anomalies are distributed in various stations, with significant amplitude, synchronous time, and long duration. Based on the analysis and discussion of the characteristics of seismic activities, it is believed that there is a certain consistency between group anomalies and seismic activities, which has reference significance for future seismic situation analysis and judgment in Yunnan.

**Keywords:** Yunnan; Fixed-point deformation; Anomaly

### 0 引言

地震孕育和发生过程中最直接的现象是地壳形变, 定点形变作为重要的前兆观测手段之一, 具有明确的物理意义, 对了解地壳运动, 地震孕育过程和地震预测预报等有重要作用, 许多学者

已经做过相关方面的研究。张燕<sup>[1]</sup>对定点形变观测现状及研究进展做了阐述, 认为地壳形变是探索大地震前兆的重要途径。汶川8.0级地震前姑咱台钻孔应变、姑咱台垂直摆、峨嵋交大水管倾斜EW、西安洞体应变EW等震前都存在高频前兆异常<sup>[2]</sup>。冯建琴对山西定点形变在九寨沟7.0级地震, 新疆精河6.6级地震前前兆异常做过总结, 认为侯

收稿日期: 2024-02-27

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划项目(XH23034YA); 云南省地震局地震科技专项基金(2023ZX01)联合资助。

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

E-mail: 78663789@qq.com

马、清源、神池三个定点形变台站记录到了异常<sup>[3]</sup>,笔者对漾濞6.4级前兆异常回溯时也将定点形变异常视为震前突出异常之一<sup>[4]</sup>。

云南是我国大陆地震活动性最强的地区之一,《中国震例》对云南地区定点形变异常进行过震例分析统计<sup>[5]</sup>,李智蓉<sup>[6]</sup>对云南定点形变异常特征与地震关系做过相关分析,认为云南地区出现定点形变大幅显著异常与云南及周边6级以上地震有一定相关性,且随着时间逼近异常数量增加,但临震前可能减少,震级越大分布越广。付虹在统计云南 $M \geq 5.0$ 地震震前异常特征时认为,5级地震的形变异常持续时间比6级地震的短<sup>[7]</sup>。王云基<sup>[8]</sup>对西南地区前兆异常的研究则表明川滇 $M \geq 6.0$ 级地震定点形变异常特征有以下特点:①震级大小与异常分布范围有关,震级大,异常分布广;②震级大小与异常台项数无关,与震中距有关;③云南定点形变7级地震前出现的加速异常一般在震前三年左右。

2019年以来云南尤其是滇西地区的定点形变资料出现了诸多同步异常,其后云南相继发生了2021年漾濞6.4级地震,2021年双柏5.0级地震,2022年宁蒗5.5级地震,2023年隆阳5.2级,芒市5.0级等一系列中强地震,目前定点形变群体性异常仍然还在持续,这让云南的震情情势变得十分严

峻,同时也引发了未来云南是否还会存在更大地震的讨论。本文对定点形变资料进行了异常梳理与分析,并结合震例尝试进行相应分析解释。

## 1 定点形变异常台站分布情况

云南定点形变现有省局专业台站共十五个,涵盖了水管倾斜、洞体应变、钻孔应变、垂直摆、水平摆等测项。2019年以来诸多测项陆续出现大幅度明显变化,剔除洱源台等存在干扰因素台站,异常台站共有六个,占全省专业台站数占比为37.5%。

从空间分布上来看,异常台站覆盖面广泛,从滇西至滇西南、滇南、滇东北,全省范围内不同地区均有台站出现了不同程度的异常(图1),其中滇西地区异常共有四个,分别为永胜台、云龙台、弥渡台、保山台;滇西南勐腊台,滇南通海台,滇东北昭通台。总体来看滇西地区的异常数量最多,这与滇西地区台站分布密集观测项目多也有一定关系,但值得注意的是滇西地区在2019年定点形变出现群体异常以后已经相继发生了五次5级以上地震,其中最大地震为2021年的漾濞6.4级地震。

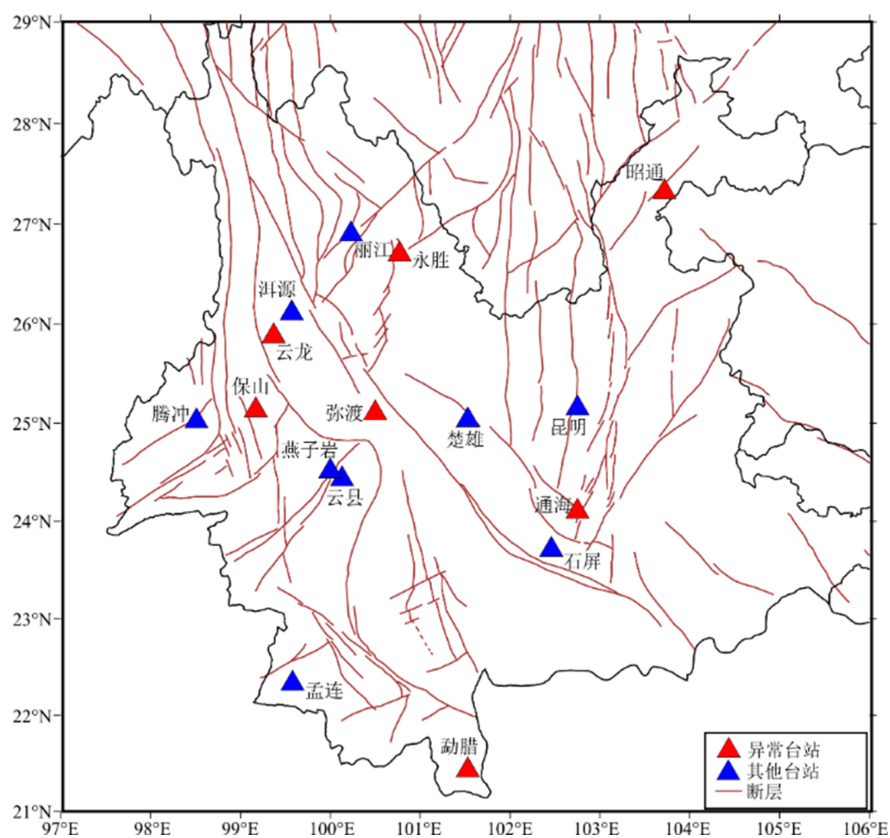


图1 云南定点形变台站分布图

Fig.1 Distribution of stations with fixed-point deformation in Yunnan

云南定点形变共有45个测项,其中水管倾斜13项、洞体应变12项、水平摆5项、垂直摆11项、钻孔应变4项。2019年以来出现的准同步大幅异常有8项,异常测项比为17.8%。从时间分布上来看,定点形变较早出现异常的是保山台的洞体应变NS,

昭通台的水管倾斜EW,时间大致在2019年的2月份;其次是永胜台洞体应变NS、云龙台洞体应变EW、勐腊台洞体应变EW、通海台垂直摆NS,而弥渡台的水管倾斜和云龙台的水管倾斜NS出现异常时间相对较晚,时间大致在2019年底,详见表1。

表1 云南定点形变异常情况表  
Table 1 Fixed-point deformation anomalies in Yunnan

台站	观测项	异常开始时间/年-月	异常特征描述	异常是否持续
永胜	钻孔应变EW	2019-06	趋势转折	是
弥渡	水管倾斜NS	2019-12	大幅北倾	是
云龙	水管倾斜EW	2019-12	大幅西倾	是
	水管倾斜NS	2019-12	加速倾斜	是
	洞体应变EW	2019-06	趋势转折	是
保山	洞体应变NS	2019-02	大幅北倾	是
勐腊	洞体应变EW	2019-06	大幅拉张	是
通海	垂直摆NS	2019-06	大幅拉张	是
昭通	昭通水管倾斜EW	2019-02	趋势转折	是

2 定点形变观测资料异常分析

定点形变常见异常一般有速率加大、破年变、矢量打结、固体潮畸变、相关系数降低,云南地区定点形变异常98%为倾斜类异常,这与云南倾斜仪器数量多且观测质量较好有关<sup>[6]</sup>。

2019年以来云南定点形变群体性异常以倾斜

异常为主,主要异常测项为水管倾斜和洞体应变,其次是钻孔应变和垂直摆。大范围的群体准同步异常且持续时间长,基本可以排除观测环境,观测仪器,气候变化等干扰因素,异常可信度高。

从异常特征来看,保山洞体应变EW(图2)、永胜洞体应变NS(图3)、勐腊洞体应变EW自2019年6月起准同步出现大幅拉张现象(图4),云龙洞体应变EW则是2019年开始出现趋势转折(图5)。

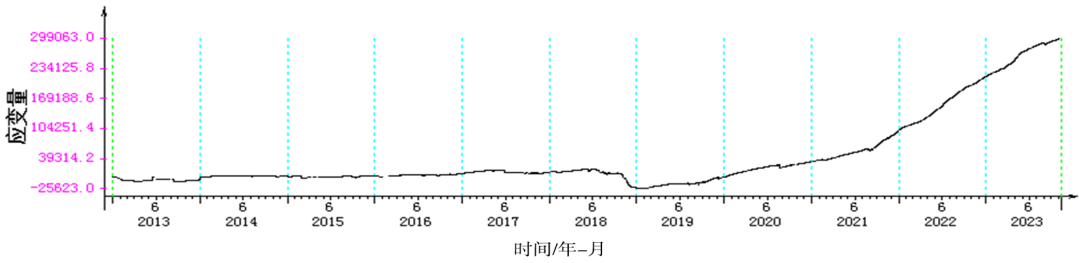


图2 保山洞体应变EW

Fig.2 Cave strain in EW direction in Baoshan

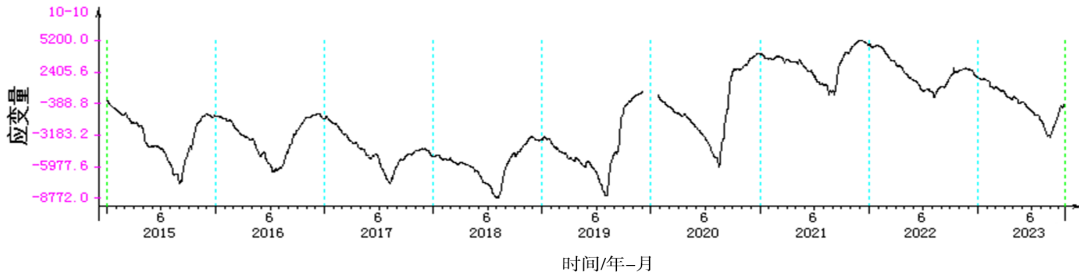


图3 永胜洞体应变NS

Fig.3 Cave strain in NS direction in Yongsheng

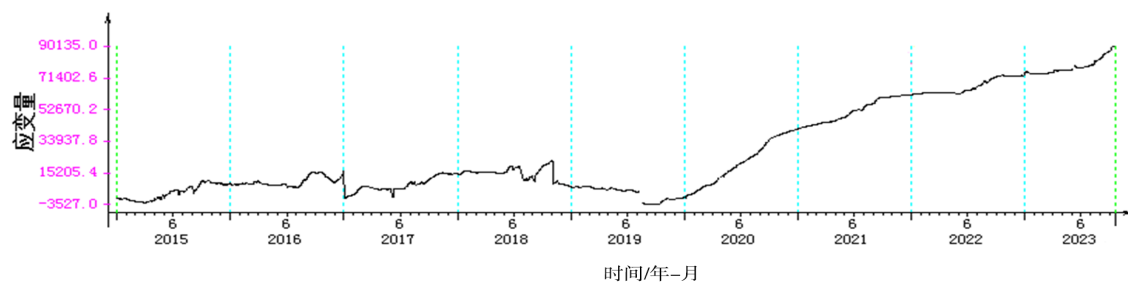


图4 勐腊洞体应变EW

Fig.4 Cave strain in EW direction in Mengla

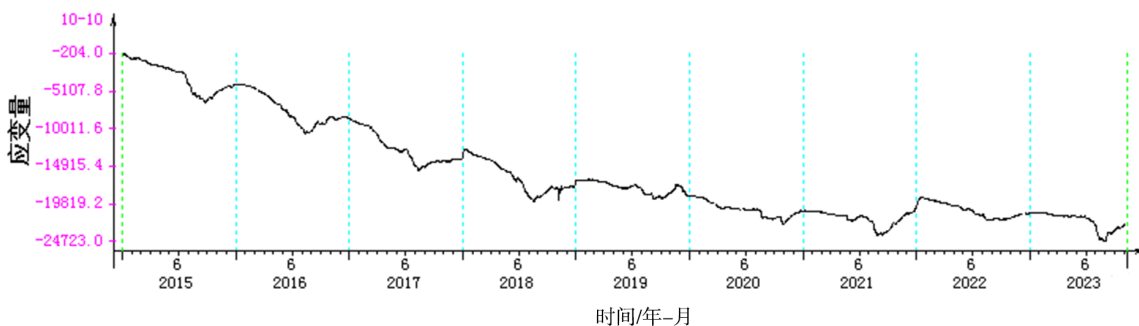


图5 云龙洞体应变EW

Fig.5 Cave strain in EW direction in Yunlong

弥渡水管倾斜NS自2019年底大幅度北倾(图6)、弥渡水管倾斜EW同步大幅西倾(图7); 云龙台水管倾斜NS分量则自2019年底开始加速向南倾斜(图8); 昭通水管倾斜EW长趋势倾斜, 2019年

趋势转折(图9)。

永胜台钻孔应变EW长时间处于压缩状态, 2019年6月趋势转折(图10)。

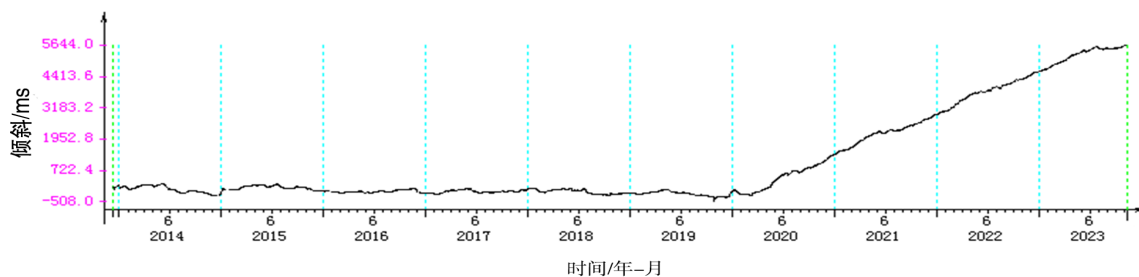


图6 弥渡水管倾斜NS

Fig.6 Water pipe inclination in NS direction in Midu

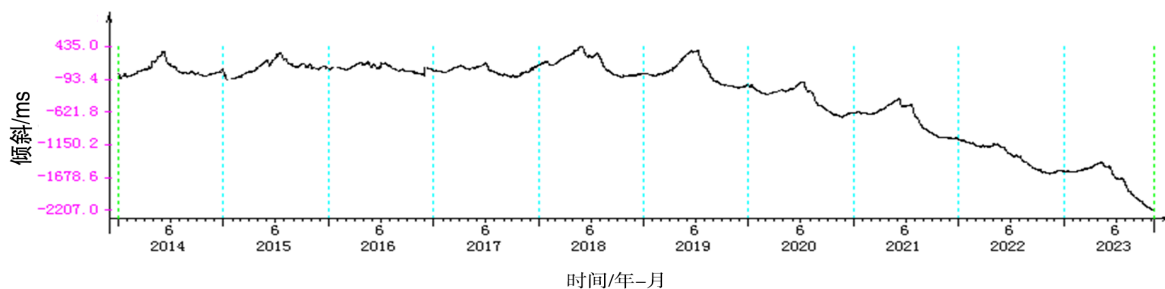


图7 弥渡水管倾斜EW

Fig.7 Water pipe inclination in EW direction in Midu

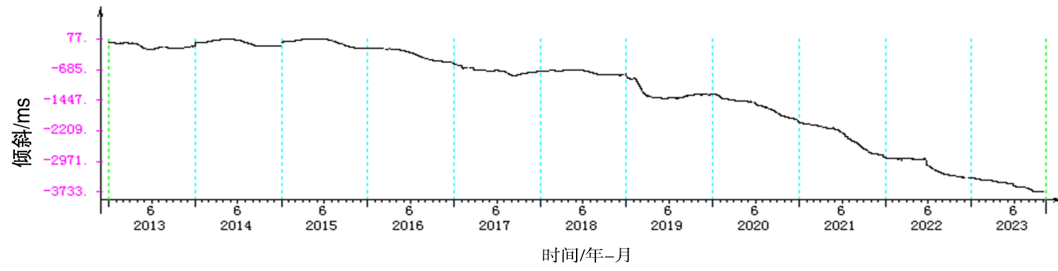


图8 云龙台水管倾斜NS  
Fig. 8 Water pipe inclination in NS direction in Yunlong

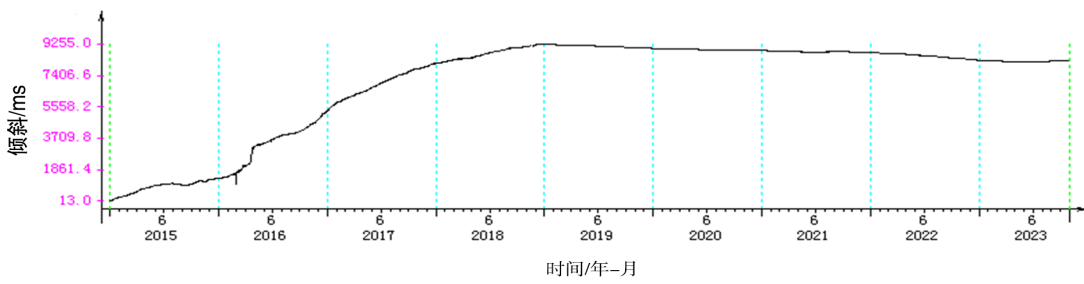


图9 昭通水管倾斜EW  
Fig.9 Water pipe inclination in EW direction in Zhaotong

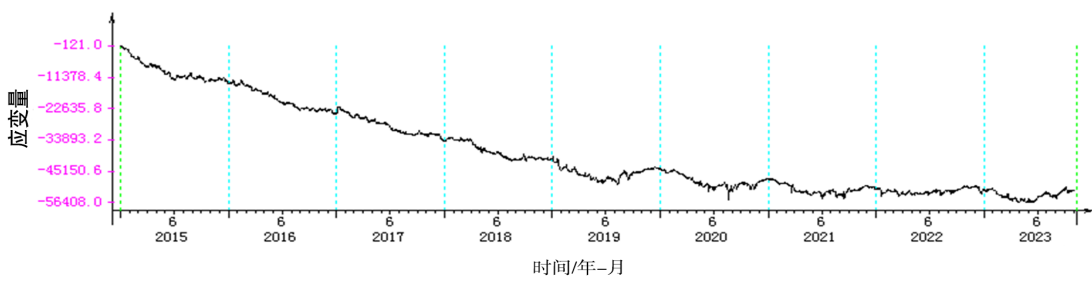


图10 永胜台钻孔应变EW  
Fig.10 Borehole strain in EW direction in Yongsheng Station

### 3 讨论

值得注意的是弥渡台水管倾斜在长时间向北倾斜异常同时自2023年8月出现了新变化,具体表现为北南向出现转折现象,而东西向则倾斜速率加快(图11)。《中国震例》总结在1996年丽江地

震前该台也曾出现过类似情况(见图12)<sup>[9]</sup>。1990年至1995年弥渡水管倾斜长期向北倾斜异常,1995年底开始转折,随后1996年便发生了丽江7.0级地震。长期倾斜后的转折和速率变化是否意味着该区域的应力发生了变化,继而有利于地震的发生,这一变化不容忽视。

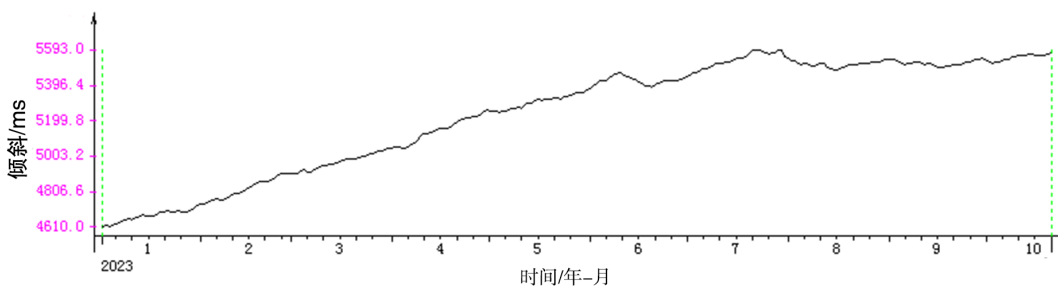


图11 2023年弥渡水管倾斜NS趋势转折图  
Fig.11 Trend of water pipe inclination in NS direction in Midu in 2023

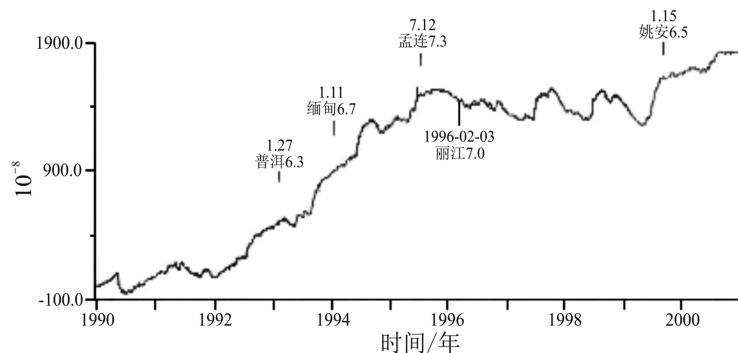
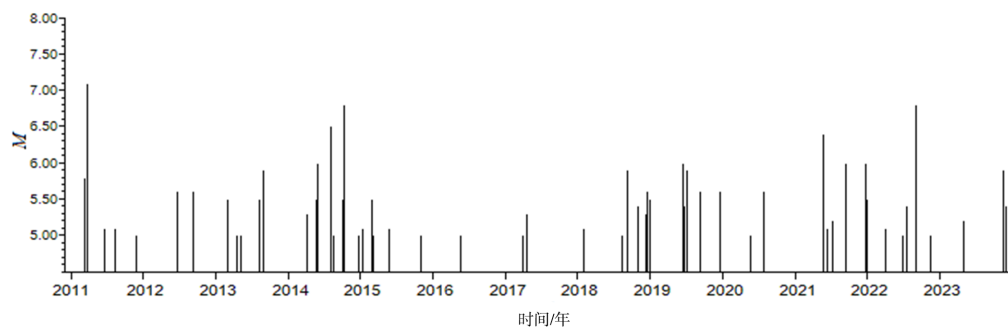
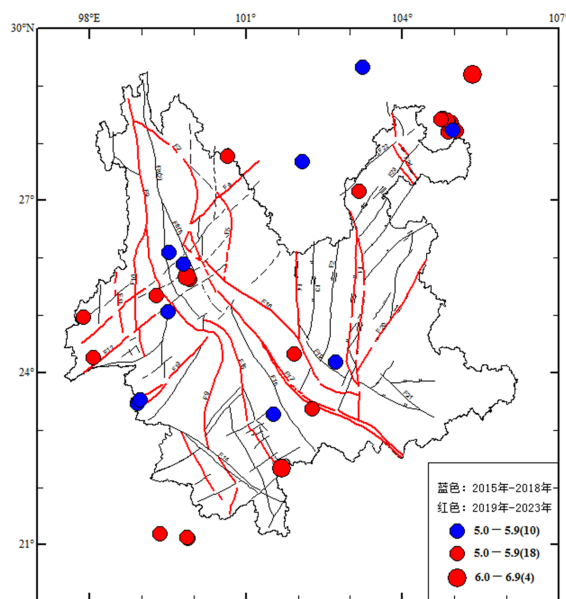


图12 1996年弥渡水管倾斜趋势转折图

Fig.12 Trend of water pipe inclination in Midu in 1996

从云南地区近几年地震活动特征上看, 2011年缅甸7.1级地震后云南进入地震活跃期, 2014年云南发生了3次6级以上地震, 分别为盈江6.1级地震, 鲁甸6.5级地震, 景谷6.6级地震。2015年后云南地震进入弱活动状态直至2019年开始再次

活跃(图13)。具体表现为: 云南地区( $21^{\circ} \sim 29.5^{\circ} \text{N}$ 、 $97^{\circ} \sim 106.5^{\circ} \text{E}$ ) 2015年至2018年四年时间共发生10次5.0至5.9级地震, 0次6级地震, 而2019年至2023年, 近5年时间已经发生了4次6级地震, 18次5级地震(图14)。

图13 云南地区  $M \geq 5$  地震活动性Fig.13 Seismic activity with  $M \geq 5$  in Yunnan图14 云南地区  $M \geq 5$  地震分布图Fig.14 Distribution of earthquakes with  $M \geq 5$  in Yunnan

可见,2019年以后云南地区地震频次增强且地震强度逐渐增大,这与徐东卓<sup>[10]</sup>的云南地壳应变积累研究结果:四川九寨沟7.0级地震后,南北地震带南段应力可能会加速积累,云南地区的中强震危险性增加的观点具有一定吻合性。

2019年以来云南省内已经相继发生2021年漾濞6.4级地震、盈江5.0级地震、双柏5.1级地震,2022年宁蒗5.5级地震,2023年隆阳5.2级地震、芒市5.0级地震,最大震级已经达到了6.4级,但这一系列中强地震后定点形变群体异常还在持续,这种态势下仍有利于大地震发生,后续需关注云南及邻区是否有大地震或多次地震发生的可能性。

## 4 结语

2019年以来云南定点形变出现群体异常,总结其特征是:异常台站分布范围广,几乎覆盖全省;异常幅度大;异常出现时间同步,均集中在2019年前后;异常持续时间长,已长达4年之久。类似大范围出现同步异常在历史上并不多见,因而缺乏足够震例供研究参考,但付虹<sup>[7]</sup>、李智蓉<sup>[6]</sup>、王云基<sup>[8]</sup>等学者对云南定点形变异常特征与6级以上地震相关性作过研究和总结,并得到相同认识:云南定点形变大幅显著异常与云南及周边6级以上地震有相关性,震级越大异常分布越广,且震级越大异常持续时间越长。目前云南的定点形变异常

已经出现这些特征,对未来云南及邻区的强震甚至大震具有指示意义,但时间和地点把握还需后续综合其它手段综合判断。

## 参考文献

- [1] 张燕,王迪晋,赵莹,等. 定点形变观测现状及研究进展[J],武汉大学学报,2022,47(6):830-838.
- [2] 武善艺,刘琦,龚丽文,等. 2008年汶川地震前定点形变高频异常特征的研究[J]. 地震,2018,38(2):145-156.
- [3] 冯建琴,杨静,张聪聪,等. 四川九寨沟7.0级、新疆精河6.6级地震山西定点形变异常分析[J]. 山西地震,2019,47(3):29-32.
- [4] 张华英,杨建文,高琼. 2021年漾濞 $M_s$ 6.4级地震前兆异常分析[J]. 华南地震,2021,41(2):176-182.
- [5] 陈棋福,郑大林,车时. 中国震例(1992—1994)[M]. 北京:地震出版社,2002.
- [6] 李智蓉,付虹,高华宴. 云南地区定点形变观测异常特征与地震预测研究[J]. 地震研究,2018,41(1):90-97.
- [7] 付虹,李永莉,赵小艳,等. 云南 $M \geq 5$ 地震震前异常的统计特征[J]. 地震研究,2008,31(4):335-339.
- [8] 王云基,张立,官致君. 西南地区前兆观测异常特征和地震短期预测方法研究[J]. 四川地震,2003,12(4):1-13.
- [9] 刘丽芳,王世芹,付虹,等. 中国震例(1995—1996)[M]. 北京:地震出版社,2002.
- [10] 徐东卓,塔拉,罗三明,等. 利用断层活动协调比方法分析云南现今地壳应变积累[J]. 地震工程学报,2021,43(1):43-49.