

李利波, 岳冲, 洪敏, 等. 云南云龙台形变观测群体异常原因探讨[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 94–97. [LI Libo, YUE Chong, HONG Min, et al. Discussion on the Cause of Group Anomaly of Deformation Observation in Yunlong Station of Yunnan[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 94–97]

云南云龙台形变观测群体异常原因探讨

李利波¹, 岳冲², 洪敏¹, 杨树峰¹

(1. 云南省地震局, 昆明 650224; 2. 中国地震台网中心, 北京 100045)

Discussion on the Cause of Group Anomaly of Deformation Observation in Yunlong Station of Yunnan

LI Libo¹, YUE Chong², HONG Min¹, YANG Shufeng¹

(1. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China; 2. China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

关键词: 载荷模型; 硐体应变; 水管倾斜; 垂直摆; 云龙台

Keywords: Load model; Cave strain; Water tube tiltmeter; Vertical pendulum; Yunlong seismic station

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0094-04

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.33

0 研究背景

硐室形变观测为研究云南地区中强地震地震孕育和发生过程中的地表变形特征提供了丰富的数据支撑。近年来随着城市基础设施的建设, 许多台站的观测环境在不同程度上受到工程施工的载荷影响, 相关研究包括质心点载荷模型、三维集中载荷模型和数值模拟分析等方面。基于模型对台站形变观测进行定量分析, 对地震前兆识别和区域震情研判具有重要的意义。云龙地区位于川滇菱形块体中部西侧, 西侧是NNW向的澜沧江断裂带, 中部为兰坪—永平断裂, 被南侧近EW向杨家村—宝丰断裂切割; 东侧是NW向顺鼻河断裂。区域构造复杂, 活动强烈, 近年来中强地震频发, 云龙、洱源、漾濞等地多次发生M5.0以上破坏性地震。

1 研究内容

云龙台形变类观测于2012年12月改造为“十五”数字化观测, 数据连续可靠, 具有较好的年变特征。其中水管倾斜NW分量在2020年5月起快速下降, 下降幅度 236×10^{-3} 角秒; 垂直摆NS分量2020年的年变形态滞后(9月前应转折上升, 该分量10月14日后才转折), 相对正常年变状态幅度减小 214×10^{-3} 角秒; 硐体应变EW和NW分量在2020年10月起, 处于年变幅度减小现象, 相对正常年变状态幅度分别减少 1510×10^{-8} 和 2560×10^{-8} (图1a); 该时期其它测项的变化不显著(图1b)。该时期台站周边有云龙宾馆、漾云高速公路和石门隧道等工程施工影响。本文基于现场调查核实, 利用闫伟等(2015)提出的不规则载荷模型^[1], 对云龙的形变观测进行模拟计算, 探讨其异常变化的原因。

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 中国地震局震情跟踪项目(2023010223); 国家“十四五”重点研发项目(2021YFC3007-08)联合资助。

作者简介: 李利波(1984-), 男, 高级工程师, 主要从事地球物理观测数据分析和地震预测研究。

E-mail: licags@126.com

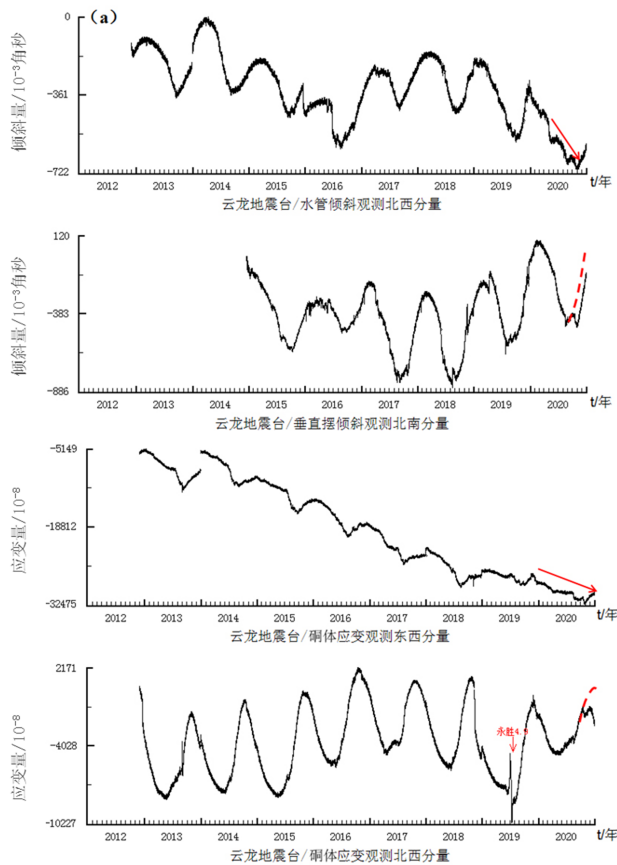


图1 云龙台形变类观测的群体异常动态曲线

Fig.1 The dynamic curve of group anomaly of deformation observation in Yunlong Station

2 研究结果

2.1 周围环境调查

对云龙的周围环境进行现场排查,对其观测数据可能有影响的是北西侧的云龙宾馆、北东侧漾云高速公路和石门隧道工程、沱江河水位变化等(图2)。调查结果如下:

(1)沱江位于台站西侧,距离观测洞室约400

m,其支流狮尾河位于北侧160 m处。工作组现场调查,并对比往年的调查情况,近期河水位变化较小。

(2)云龙宾馆位于台站北西侧,距离观测洞室约240 m,海拔相差-30 m。该工程设计26层,总面积30000 m²,于2019年5—7月开挖、地基打桩,地基开挖土方量约6000 m³。8月开始地面建设,2020年1—4月由于“新冠”疫情影响,4月下旬后加快建设,于12月底封顶。

(3)漾云高速公路是大理—漾濞—云龙—兰坪高速公路云龙段,位于台站北东侧和东侧,最近距离约410 m。该工程于2018年1月开始建设,主要沿着S227省道进行扩宽(双车道),对周边边坡开挖和冲沟搭桥,沿线土方工程量较小。石门隧道位于台站北东侧,距离观测洞室最近距离约550 m,海拔相差70 m,隧道全长1420 m,于2019年12月22日开挖,2020年4月下旬后加快建设,于2021年6月底隧道贯通。

2.2 载荷模型计算

选用闫伟等^[1]提出的二维不规则定量载荷模型进行定量计。云龙台洞体台基岩性为中风化的细砂岩,云南交投(石门隧道施工单位)曾采样做岩石力学实验,泊松比范围为0.28~0.68。依照《地基与基础》推荐参数,其弹性模量取值范围为(2.79~4.76)×10⁴ MPa,碎石土泊松比取值范围为0.15~0.25。在模拟过程中为了得到荷载对形变观测影响的最大值,取其弹性模量为2.79×10⁴ MPa,细砂岩和砂土泊松比分别为0.28和0.15,混凝土比重为2.5×10³ kg/m³,细砂岩比重为2.0×10³ kg/m³,地表沙土比重1.4×10³ kg/m³,计算得到云龙宾馆开挖载荷为-8.23×10⁷ N,建设载荷为36.75×10⁸ N,石门隧道载荷-1.39×10⁸ N。



图2 云龙台周边工程施工位置图

Fig.2 Location of engineering construction nearby Yunlong seismic station

模拟计算结果显示(表1), 云龙宾馆施工建设期间对云龙台形变观测影响较大, 载荷对其倾斜摆NS分量的最大影响量为 356.53×10^{-3} 角秒, EW分量的影响量是 -420.28×10^{-3} 角秒。对其硐体应变

NS分量的最大影响量为0.477 mm, EW分量的影响量是-0.483 mm(图3)。相对而言, 石门隧道施工对云龙台观测硐室的影响较小。

表1 云龙台周围施工对其形变观测影响结果统计表

Table 1 Statistical table of the influence of engineering construction around Yunlong Station on its deformation observation

施工项目	距离硐室/m	载荷变化量/ $\times 10^8$ N	载荷影响量			
			NS分量/ $\times 10^{-3}$ "	EW分量/ $\times 10^{-3}$ "	NS变形量/mm	EW变形量/mm
云龙宾馆	240	开挖 -0.82	-12.44	18.78	0.063	0.064
		施工 36.75	356.53	-420.28	-0.477	-0.483
石门隧道	410	开挖 -1.39	-22.80	-14.90	0.072	0.073
累计变化量		34.54	321.29	416.40	-0.342	-0.346

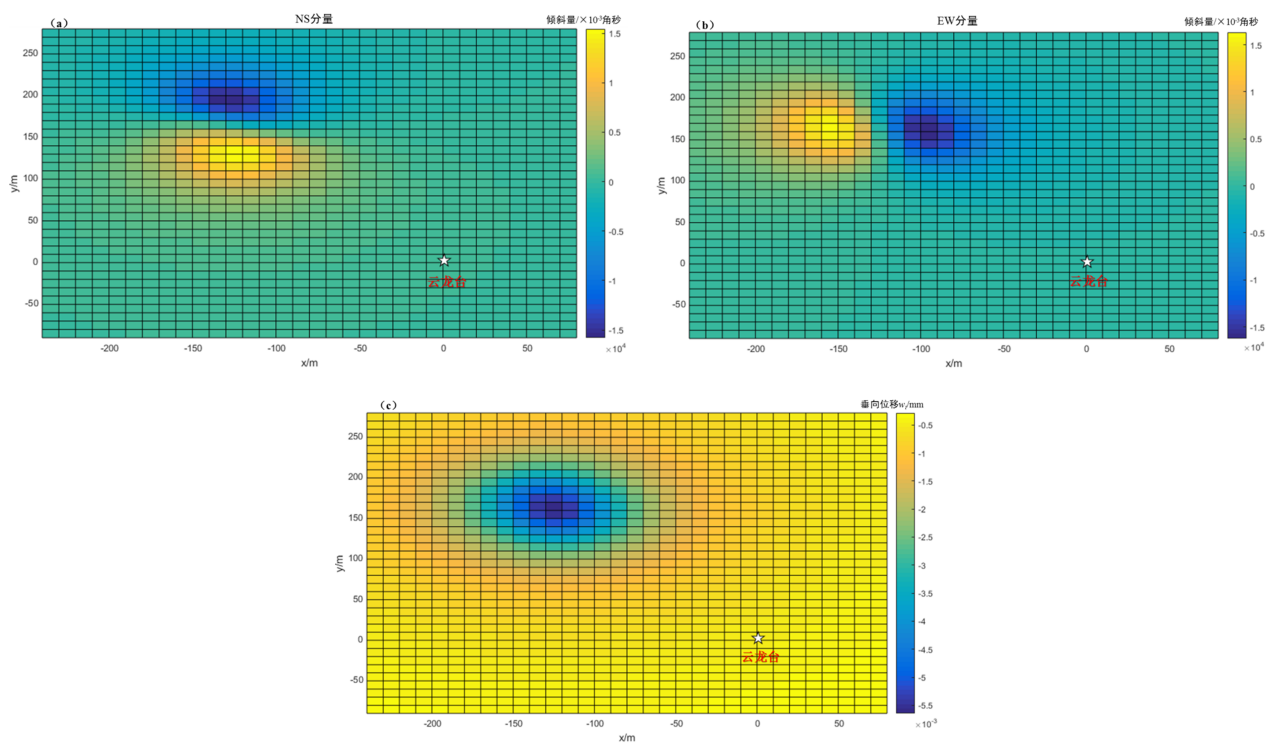


图3 云龙宾馆建设对其周围倾斜影响(a,b)和垂向位移(c)的空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of tilt displacement(a,b) and vertical displacement(c) affected by engineering of Yunlong hotel in nearby area

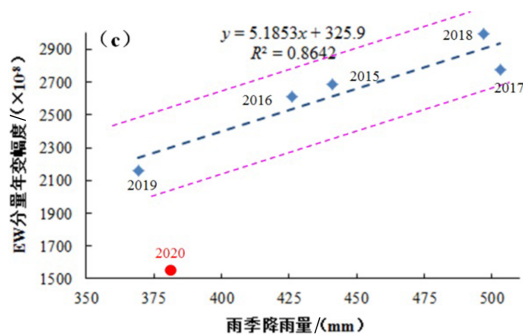
实际观测显示, 云龙台水管倾斜NW分量2020年5月下降 198×10^{-3} 角秒、垂直摆NS分量2020年年变幅度减少 440×10^{-3} 角秒, 这两者的变化量在云龙宾馆施工的影响范围内或大致相当。云龙台硐体应变年变2020年EW分量减少 1510×10^{-8} , NW分量幅度较少 2560×10^{-8} , 这两者的变化量均超出云龙宾馆和石门隧道施工的影响范围, 表明这两者变化含有一定程度的异常信息。

因此, 从载荷模型分析认为, 近期云龙台水管倾斜NW分量和垂直摆NS分量的变化主要受北西侧云龙宾馆施工影响; 周边工程施工对其硐体应变EW和NW分量有一定影响, 但不是主要因素, 含有异常信息。

2.3 降雨量分析

云龙台硐体应变两分量均具有年变形态, 呈夏低冬高型, 受雨季降雨量影响, 其下降响应明显。统计云龙地区雨季降雨量与其硐体应变EW分

量的年变幅度之间的关系,发现两者之间表现出较好的线性关系,相关系数为0.8642;对2020年的数据进行投影,EW分量严重偏离一倍方差线之外(图4a),表现出明显的压性特征。今年云龙地区雨季期间(7—9月)的降雨量为379.9 mm,全年降雨量为574.5 mm,比往年平均降雨量偏少14%。表明今年EW分量的破年变现象虽然受降雨量偏少一定程度的影响,但其年变幅度严重偏小,偏离降雨量的影响范围,显示出明显的异常信息。



计算云龙地区雨季降雨量与其硐体应变NW分量的年变幅度之间的关系,发现两者之间也表现出较好的线性关系,相关系数为0.8930;2020年的数据投影在一倍方差线之内(图4b)。2019年和2020年雨季降雨量相对偏少(分别比往年偏少19%和14%),其NW分量的年变幅度也相对较小,显示在降雨量的影响范围内,分析认为是2019年的极低值是雨季降雨量偏少影响;2020年的年变幅度减少与雨季降雨量减少有关。

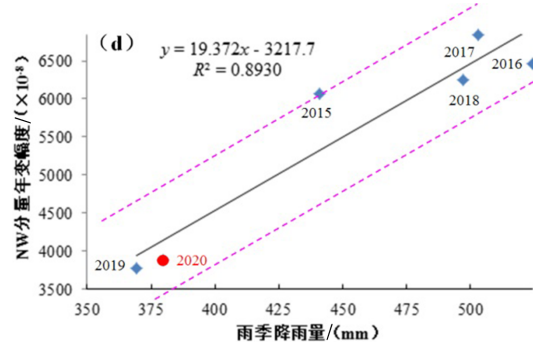


图4 云龙地震台硐体应变EW和NW分量年变幅度与雨季降雨量的关系图

Fig.4 Relationship between the annual variation of the EW and NW components of the cavern strain and the rainfall in the rainy season at Yunlong seismic station

2.4 漾濞 $M_{\text{s}}6.4$ 地震

2021年5月21日发生漾濞 $M_{\text{s}}6.4$ 、 $M_{\text{s}}6.4$ 、 $M_{\text{s}}5.0$ 、 $M_{\text{s}}5.2$ 地震,打破了滇西和云南地区 $M_{\text{s}}5$ 、 $M_{\text{s}}6.0$ 地震平静,该组地震距离云龙台观测硐室南东侧约55km。云龙台硐体应变EW分量在2021年2月18日恢复正常动态(图5),异常持续时间113 d,异常结束后92 d发震。分析认为本次破年变异常可完全交代给漾濞 $M_{\text{s}}6.4$ 地震。

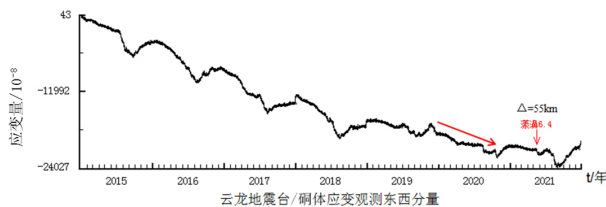


图5 云龙地震台硐体应变EW分量在漾濞 $M_{\text{s}}6.4$ 地震前后的动态曲线

Fig.5 Dynamic curves of EW component of cave strain before and after the Yangbi $M_{\text{s}}6.4$ earthquake of Yunlong Seismic Station

4 结论

基于云龙台水管倾斜NW分量、垂直摆NS分量、硐体应变EW和NW分量等测项出现的群体异

常,本文主要从载荷模型和降雨量方法,对其进行识别,定量分析后认为:

(1)载荷模型模拟计算显示,云龙台水管倾斜NW分量和垂直摆NS分量的变化受北西侧云龙宾馆施工影响,硐体应变EW分量的变化量超过工程载荷影响量,含有异常信息;

(2)硐体应变NW分量与降雨量对比显示2020年的年变幅度减少与雨季降雨量减少有关;

(3)硐体应变EW分量近期的潮汐因子在2020年7月有快速下降现象,数值拟合显示2020年的变化幅度严重偏离雨季降雨量的影响范围,显示出明显的异常信息。

因此云龙台硐体应变EW分量低值破年变属于前兆异常。该异常在2021年2月18日恢复正常动态,分析认为与2021年漾濞 $M_{\text{s}}6.4$ 地震有关。张小涛等曾对该震例总结^[2],把该异常作为较为典型的震前短期异常。

参考文献

- [1] 闫伟,牛安福,陈国琴. 不规则载荷影响地表近场垂向位移和倾斜观测的定量计算[J]. 中国地震, 2015, 31(02): 297-307.
- [2] 张小涛,苑争一,姚丽,等. 2021年5月21日云南漾濞 $M_{\text{s}}6.4$ 地震总结[J]. 地震地磁观测与研究, 2021, 42(06): 165-180.