

元谋地震台地下流体观测干扰因素及预报效能分析

施建明, 李 庆, 肖 鑫, 周建荣, 罗嘉铨

Analysis of interference factors and prediction efficiency of underground fluid observations at Yuanmou seismic station

Shi Jianming, Li Qing, Xiao Xin, Zhou Jianrong, and Luo Jiazheng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2024-104>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

阿克苏断层氢中强震异常特征分析及预报效能评价

Characteristic analysis and forecasting effectiveness of Aksu fault hydrogen anomalies for moderate-strong earthquakes

地震科学进展. 2023(3): 120-126

翁田台地电场观测受干扰的因素分析

Analysis of factors affecting the disturbance of geoelectric field observation at Wengtian station

地震科学进展. 2022(2): 67-76

数字化地下流体观测仪器故障分析

Failure analysis of digital underground fluid observation instrument

地震科学进展. 2020(3): 25-29

泉州地震台g-Phone重力仪观测资料干扰因素分析

Analysis of interference factors of g-Phone gravimeter observation data at Quanzhou seismic station

地震科学进展. 2023(4): 159-164

双王井数字化观测资料前兆及干扰异常分析

Analysis of precursors and interference anomalies of digital observation data in Shuangwang well

地震科学进展. 2023(9): 403-408

宜昌地震台山洞伸缩仪干扰分析

Interference analysis of the cave extensometer at Yichang seismic station

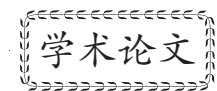
地震科学进展. 2024(5): 331-338



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

施建明, 李庆, 肖鑫, 等. 元谋地震台地下流体观测干扰因素及预报效能分析 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(9): 549-558. doi:10.19987/j.dzqxjz.2024-104

Shi J M, Li Q, Xiao X, et al. Analysis of interference factors and prediction efficiency of underground fluid observations at Yuanmou seismic station[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(9): 549-558. doi:10.19987/j.dzqxjz.2024-104



元谋地震台地下流体观测干扰因素 及预报效能分析

施建明^{*} 李 庆 肖 鑫 周建荣 罗嘉铮

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

摘要 选取元谋地震台 2008—2024 年的地下流体观测数据, 采用与正常观测数据对比分析的方法, 梳理出 4 类干扰类型, 分别是观测技术系统故障、场地环境干扰、人为因素干扰及其他各种偶然因素引起的干扰。选取 2010 年 1 月 1 日—2023 年 7 月 9 日水温和水位日均值数据, 2016 年 5 月 18 日—2023 年 7 月 9 日气汞日均值数据和 2017 年 12 月 14 日—2023 年 7 月 9 日气氦日均值数据进行预报效能分析, 采用阈值法、速率差分法、趋势转折法及破年变探测法对元谋地震台地下流体观测资料进行预报效能 R 值计算。结果显示: 水温、水位和气氦用 4 种方法计算出的 R 值均大于 0, 说明具有预测意义; 速率差分法计算出的水温预报效能 $R > R_0$, 说明具有显著预测意义; 气汞用 4 种方法计算出的 R 值均小于 0, 说明气汞无有效预测意义。

关键词 对比分析; 干扰类型; 预报效能; R 值

中图分类号: P315.72 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2025)09-0549-10

doi: 10.19987/j.dzqxjz.2024-104

Analysis of interference factors and prediction efficiency of underground fluid observations at Yuanmou seismic station

Shi Jianming, Li Qing, Xiao Xin, Zhou Jianrong, Luo Jiazheng

(Yunnan Earthquake Agency, Yunnan Kunming 650224, China)

Abstract The underground fluid observational data of Dian 02 well at Yuanmou seismic station from 2008 to 2024 were selected, and four types of interference were identified by comparison with normal observational data: technical system failure, site environmental, human factor, and other accidental interference. The prediction efficiency of the underground fluid observational data from Yuanmou seismic station was analyzed. The prediction efficiency R values of all underground fluid observational data of Yuanmou seismic station were calculated using the threshold, rate difference, trend turning, and annual change detection methods. The results showed that the water temperature, water level, and gas

收稿日期: 2024-06-30; 采用日期: 2024-09-19。

基金项目: 中国地震局监测、预报、科研三结合课题(3JH-202401076)和云南省地震局科技“传帮带”项目(CQ2-2023-05)联合资助。

^{*} 通信作者: 施建明(1993-), 男, 工程师, 主要从事地下流体观测、研究工作。E-mail: 867806417@qq.com。



radon R values calculated using these four methods were all greater than 0, indicating that they have predictive significance. The prediction efficiency of the water temperature calculated using the rate difference method was R greater than R_0 , indicating predictive significance. The gaseous mercury R values calculated using the four methods were all less than 0, indicating that gaseous mercury had no effective predictive significance.

Keywords comparative analysis; type of interference; prediction efficiency; R value

0 引言

地震地下流体观测在我国地震监测预报中发挥着重要作用,特别是在短临预报中往往起决定性作用,表现出对地震前兆异常的高灵敏性^[1]。微小的数据变化能够反映出地下介质的运动,灵敏的异常信号捕捉正是地下流体观测的优势所在。在地下流体观测中往往会出现不同于正常变化趋势的异常变化形态,这些异常变化有时是地壳运动和地震活动引起的,有时是观测技术系统故障、场地环境干扰、人为因素干扰和其他各种偶然因素引起的干扰异常变化。在非地震活动期间出现的,与正常动态特征存在明显差异的动态,就称之为地下流体干扰异常,它既不属于正常动态,也不属于前兆异常,同时也不是同震异常与震后异常^[2]。经过多年的地下流体观测实践,发现引起观测数据异常变化的干扰因素较多,通常可以分为4大类:观测系统故障、场地环境干扰、人为因素干扰和其他各种偶然因素引起异常变化的干扰。

本文选取元谋地震台2008—2024年地下流体资料进行分析,梳理出各测项的干扰因素及变化形态。经过该项工作,能够为未来的地下流体观测异常变化识别提供参考。使用4种技术方法对元谋地震台地下流体资料进行计算,识别出预报效能较好的测项,可以在未来的观测中重点关注。

1 滇02井概况及资料选取

1.1 滇02井概况

元谋地震台仅有一口地下流体观测井,该井编号为滇02井,位于云南元谋县城西5 km的热水塘村内,观测井位于元谋断陷盆地西侧,元谋—绿汁江大断裂带西侧3 km处地热异常区的热水塘温泉。观测站东面约120 km处是著名的小江断裂带。元谋地震台可用来监测滇中北部地区南北构造带—南北向绿汁江大断裂带和小江断裂带的地震活动情况^[3]。

该观测井于1982年11月经过国家地震局地下水动态观测网点验收合格,1985年9月又经云南省对水化台网的“调整论证”后被纳入国家水化Ⅱ类台

站。元谋观测井(滇02井)位于元谋大断裂带以西,井口标高1065.20 m,井深545.66 m,观测层位于280~545.66 m,在542.77 m处以下为断裂破碎带,是该井的主要水源区。该井以承压水为主,含水层较单一,含水层岩性为单辉、贰辉、黑云斜长橄榄岩,时代为元古代。地下含水层密封性较好,各项观测数据连续稳定。地下水化学成分为受断裂带控制下的热水泉,其水质较差,矿化度较高(矿化度1.9 g/L),属于弱碱微咸水^[4]。

1.2 资料选取

元谋地震台地下流体“十五”项目于2008年建设完成,建设项目包括数字化水温、水位、气氦和气汞,故选取2008—2024年地下流体观测资料进行干扰因素分析,梳理出元谋地震台地下流体观测干扰因素类型及变化形态。分析地下流体观测资料预报效能时,经过对观测资料的查询和梳理,发现2008—2009年元谋地震台地下流体观测资料预处理人员未经过专业培训,预处理存在漏处理的情况。2023年7月10日—9月18日,为配合当地县政府招商引资项目建设,元谋地震台流体观测暂时停测,观测站点由开发商推倒,重新修建临时观测房,9月18日恢复观测后水温和水位传感器参数均已修改,脱气装置也重新设计和制作。气汞观测仪器RG-BQZ于2016年5月故障,缺少备件无法维修,于2016年5月18日更换为ATG-6138M气汞仪,故选择ATG-6138M气汞仪的观测资料进行预报效能计算。气氦观测仪器于2017年12月由SD-3A型更换为DDL-1型,SD-3A气氦仪由于仪器老化严重,经常出现低—高值台阶和突跳变化,故选择DDL-1型气氦仪的观测资料进行预报效能计算。综合上述因素,进行预报效能计算的观测资料时间选取为:水温和水位选取2010年1月1日—2023年7月9日,气氦选取2017年12月14日—2023年7月9日,气汞选取2016年5月18日—2023年7月9日。

目前元谋地震台有4个地下流体观测测项,分别是:深层水温、动水位、逸出气氦和逸出气汞。元谋地震台深层水温和动水位数据日变形态清晰,有

明显的固体潮汐变化。逸出气氦浓度背景值较高，达 300 Bq/L 左右。逸出气汞自观测以来观测值较低，常年在 0.01 ng/L 以下，偶有超过 0.01 ng/L 的突跳数据。

2 地下流体观测干扰分析

2.1 干扰分析

所谓的地下流体观测干扰是相对于地震前兆异常而言的，指的是与地震无关，与正常动态特征有明显差异的动态变化，既不属于正常观测动态，也不属于前兆异常，同时也不是同震异常或是震后异常，而

是对地震异常信息的干扰，特别是对地震前兆异常信息的干扰，是违背地震异常动态规律的异常^[4-6]。元谋地震台观测至今已连续观测 17 年。在多年的连续观测实践中，总结出了地下流体观测项目、月和年变正常动态变化趋势，根据总结出的正常动态变化，采用对比分析法进行干扰异常变化识别，选取元谋地震台 2008—2024 年地下流体观测原始资料进行梳理，结果显示元谋地震台地下流体有 4 种干扰类型(表 1)：观测技术系统故障，场地环境干扰，人为因素干扰和其他各种偶然因素引起的干扰。

表 1 元谋地震台地下流体观测干扰因素分析

Table 1 Analysis of interference factors in underground fluid observations at Yuanmou seismic station

干扰类型	干扰种类	测项	干扰时间段	变化幅度	变化形态
观测系统	电源电压不稳	水温	2016-07-13—14	78℃	突跳
	气汞仪抽气	水位	每整点出现	0.025 m	突跳
	排水口堵塞	水位	2015-01-25—02-15	0.033 m	台阶
	冷凝水堵塞	气氦	3天左右出现	293 Bq/L	台阶
场地环境	温泉小镇抽水	水温	2017-01-17—04-20	0.0074℃	持续下降
		水位	2017-01-17—04-20	0.266 m	持续下降/台阶
		气氦	2017-01-17—04-20	516 Bq/L	台阶
人为因素	脱气装置改造	水温/水位	2016-05-18—05-22	0.0043℃, 0.31 m	台阶
	仪器更新项目	水温	2019-03-26	0.004℃	台阶/下降
	清洗脱气装置	气氦	5天左右出现	55 Bq/L	台阶
	仪器标定	气汞	每季度标定影响	0.03 ng/L	高值突跳
其他因素		水温/水位	1~2 min	0.0036℃, 0.059 m	高-低值突跳

2.1.1 观测技术系统故障

元谋地震台地下流体观测中观测技术系统故障干扰因素主要是观测仪器故障、供电线路故障、电源电压不稳、气汞仪抽气、排水口堵塞及冷凝水堵塞气路等。

2016 年 7 月 13—14 日水温数据出现大幅度的高-低值突跳变化，变化过程中观测数据有缺测情况。对水温仪进行检查，没有出现死机情况，重启仪器后显示正常，大幅高-低值突跳仍存在。向省局维修专家请教，怀疑为电源电压不稳造成的，在供电端接入稳压设备后，水温数据恢复正常(图 1a)。水位数据在整点时规律性出现脉冲突跳，检查观测仪器和系统装置未发现故障情况，整点突跳持续出现；当时已经有气氦仪和气汞仪为整点测量，在进行关机实验后，发现为气汞仪整点测量时抽气造成的干扰(图 1b)。2015 年 1 月 25 日—2 月 15 日动水位数据出

现上升台阶，台阶持续近一个月之久，台阶出现后工作人员进行现场检查，对观测仪器、观测系统装置、传感器线缆及周边环境进行检查，没有发现异常情况；在对排水口进行清理后，水位数据下降至正常观测值(图 1c)。在气氦观测中，观测井水为温泉水，经过脱气装置后逸出气体温度较高，观测房与井房之间存在温度差，观测房空调运行，从而对气路内的高温气体造成影响，在气路内产生冷凝水，冷凝水的出现堵塞了气路管内的气体运移，造成气氦值出现下降(图 1d)，这个问题持续影响了气氦观测，每过一段时间就会出现气氦下降情况。

2.1.2 场地环境干扰

元谋地震台地下流体观测中受场地环境干扰主要是：在观测井西侧约 960 m 处温泉小镇开发机井持续抽水干扰。

2016 年，元谋温泉小镇开发项目开始钻井动

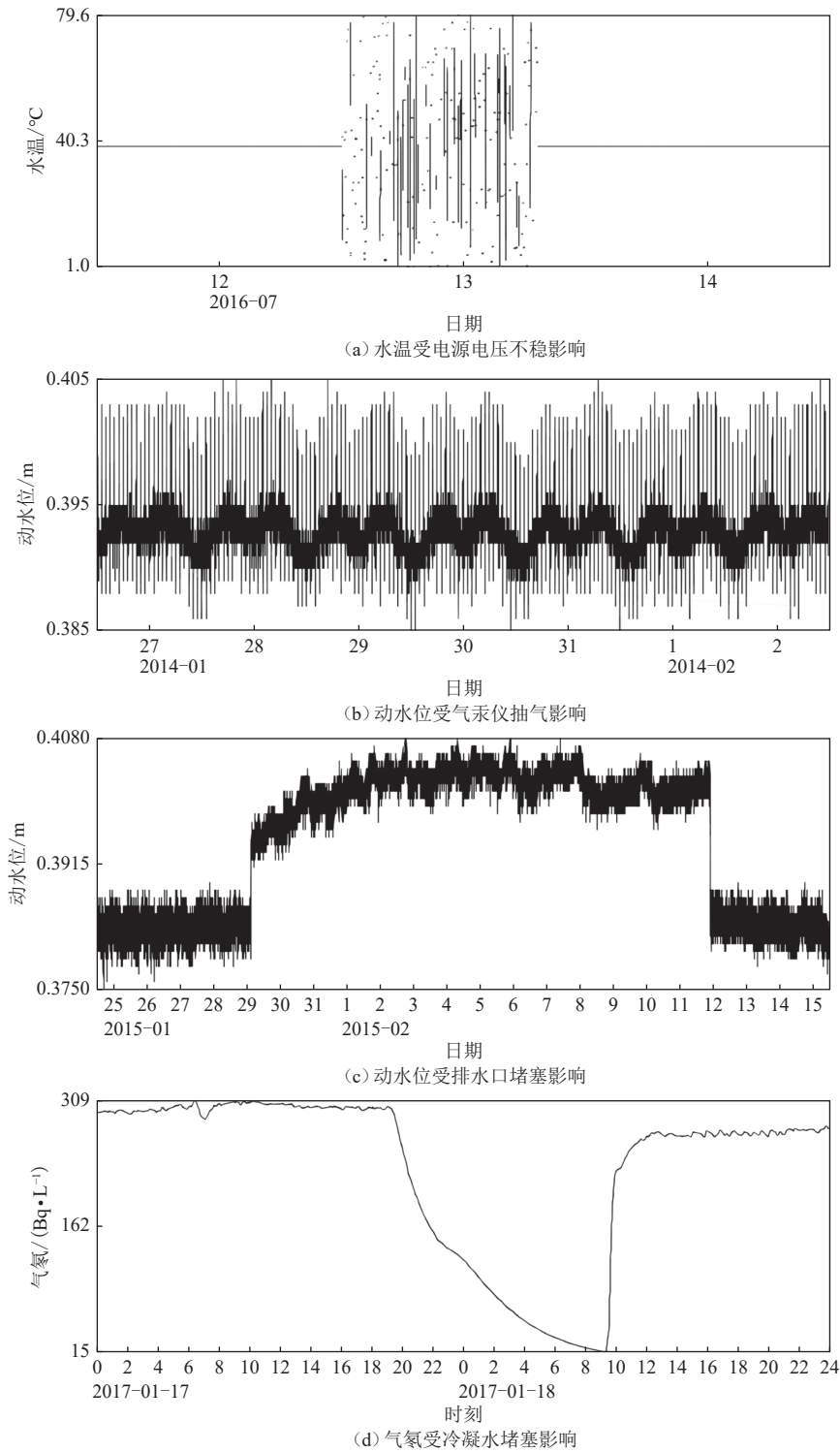


图 1 观测技术系统故障干扰

Fig. 1 Fault interference in observational technology system

工, 该井距离元谋地震台观测井约 960 m 左右, 钻井施工破坏了元谋地震台地下流体观测环境, 对观测造成了一定干扰。在 2016 年温泉小镇钻井施工过程中, 元谋地震台进行了多次的仪器安装、井口改造和脱气装置改造等人为因素的干扰, 未能分辨出温泉

小镇钻井影响程度。2017 年元谋地震台未进行过改造项目, 温泉小镇机井也完成施工, 井深为 1417 m。机井完成施工后, 施工方开始持续抽水进行洗井作业。在洗井过程中, 持续大量的抽水对元谋地震台地下流体观测的影响突出显现出来。根据抽水记录, 温

泉小镇机井在 2017 年 1 月 1 日—4 月 16 日进行洗井和大量抽水作业，在该段时间内元谋地震台水温、水位和气氡数据出现大幅变化。水温数据从 2017 年 1 月 17 日开始缓慢下降，1 月 24 日开始下降幅度逐渐增强，下降趋势持续至 4 月 20 日，与往年同期进行对比分析，水温下降趋势最大，且已破年变(图 2a)。水位数据从 2017 年 1 月 17 日开始持续下降，下降幅

度达观测以来最大值，由于水位持续下降，造成脱气装置断流，气氡值也出现下降情况；在调节泄流口阀门后，水位值上升，脱气装置正常进行脱气，气氡值回升。2017 年 1 月 17 日—4 月 20 日这一情况持续发生，期间水位值(图 2b)和气氡值(图 2c)出现大量的下降—回升，4 月 20 日后温泉小镇持续抽水情况改变为间断性抽水，即在温泉小镇温泉水不够时，才抽水补充。

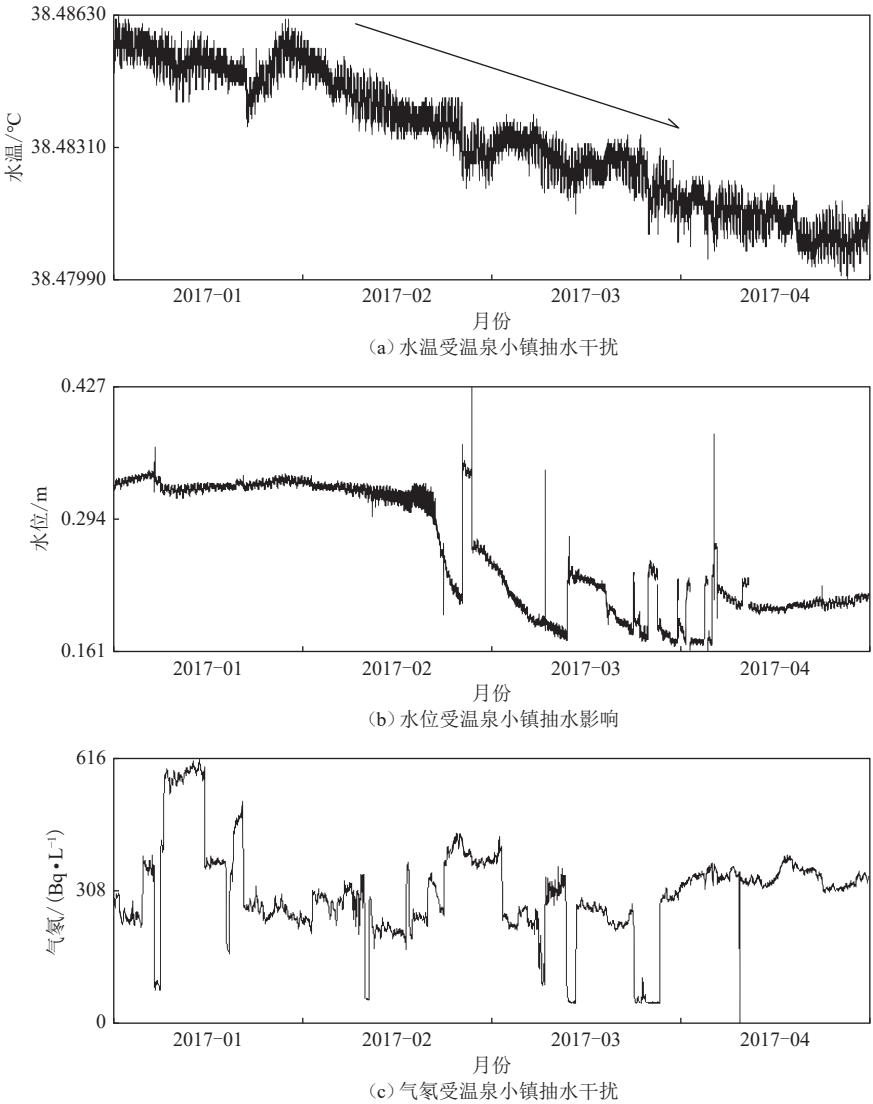


图 2 场地环境干扰

Fig. 2 Site environmental interference

2.1.3 人为因素干扰

元谋地震台地下流体观测中人为因素干扰主要是脱气装置改造(图 3a 和图 3b)、仪器更新放置新探头、清洗脱气装置(图 3c)和标定仪器(图 3d)等。

元谋地震台在 2016 年 5 月 18—22 日，2018 年 8 月 20—23 日进行脱气装置改造。改造期间，拆除

原有脱气装置，调节泄流口流量等操作，水温、水位和气氡数据在该段时间内出现了不同程度的阶变和突跳变化，改造完成后各测项数据恢复正常变化。

根据《地下流体站网运行管理技术细则》要求，数字测氡仪每年标定一次，可在 6 月或 12 月相对固定时段完成，季度检查应在每年的 2，5，8 和 11 月

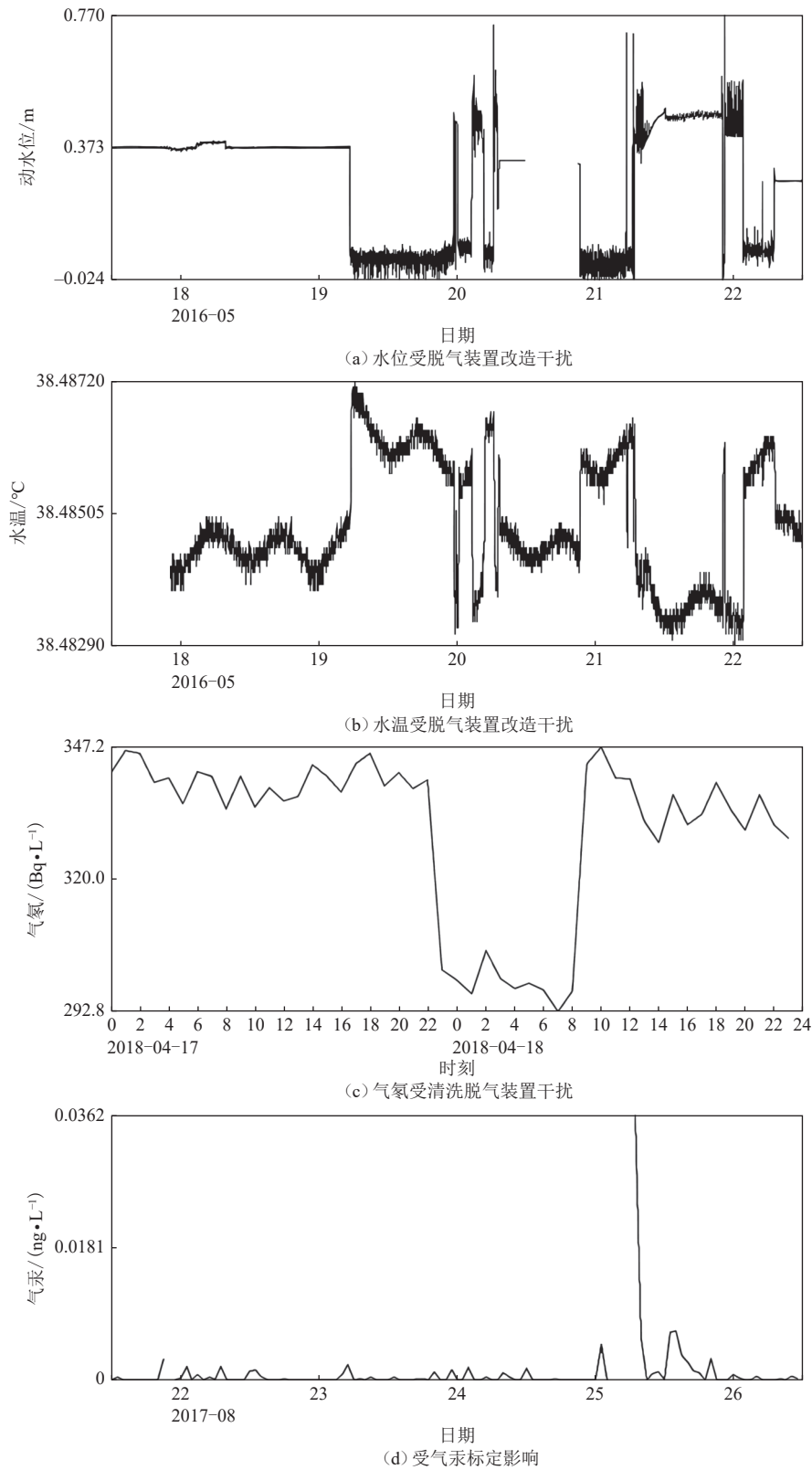


图 3 人为因素干扰

Fig. 3 Human factor interference

的 10 日前完成。工作人员每年 12 月初对数字测氡仪进行标定, 由于云南局将多个台站的测氡仪集中

到元谋地震台标定, 造成标定时间较长, 约 5 天左右完成标定, 标定期间造成气氡缺测, 标定结束后启用

新 K 值,气氦数据出现台阶变化。ATG-6138M 数字测汞仪应分别在每年的3、6、9和12月相对固定时间标定与检查1次。工作人员按照技术要求进行标定,每次标定都更换补汞管,标定期间气汞数据缺失,标定完成后,由于注射汞蒸气的缘故,标定完成后的测值会出现高值情况,经过多次测量后,数据会恢复正常。

2.1.4 其他各种偶然因素引起的干扰

元谋地震台水温数据在2017年4月1—7日出现多处单点突跳,变化幅度为 0.0036°C (图4a),水位数据在2018年5月11日—6月1日出现多处单点突跳,变化幅度为 0.059 m (图4b)。从变化形态来看,单点突跳形态相当明显,影响了水温和水位正常变化形态,对观测仪器、观测系统、井口装置及周边环境进行检查后,没有发现异常情况,单点突跳前和突跳后周边区域没有地震发生,判断为仪器自身运行时的稳定性或供电电源微小波动造成的影响,具有一定的偶然性。

2.2 干扰排除措施

通过梳理以上分析的4种干扰因素,结合台站

的实际情况以及多年积累的经验,一方面加大对观测数据变化幅度和变化形态的关注,当异于正常变化形态的数据出现时,及时检查观测仪器、观测系统和观测场地等,按照观测规范要求排除各类干扰因素,保证产出正常的观测数据。

观测系统故障应对措施:①仪器和设备故障引起的脉冲、突跳和台阶变化,解决办法是台站储备充足的备机备件,及时更换元器件,保证仪器运行正常。②气汞仪抽气引起的水位整点值突跳变化,多个台站均存在这类干扰,无法排除;在仪器更新项目时,将气汞仪更换为ATG-6138M气汞仪后,这一干扰未再出现。③冷凝水堵塞气路的问题,在仪器与气路之间设计冷冻液装置给气体降温,能在较大程度上缓解问题。

场地环境干扰应对措施:元谋地震台地下流体观测场地干扰主要是温泉小镇持续抽水干扰造成数据变化。关于场地环境干扰,由于城镇不断扩张,不可避免地会出现这类干扰。总结的经验是:在发现测区范围内出现大型施工项目或钻井项目时,积极与开发商和政府部门沟通,明确告知项目建设可能对

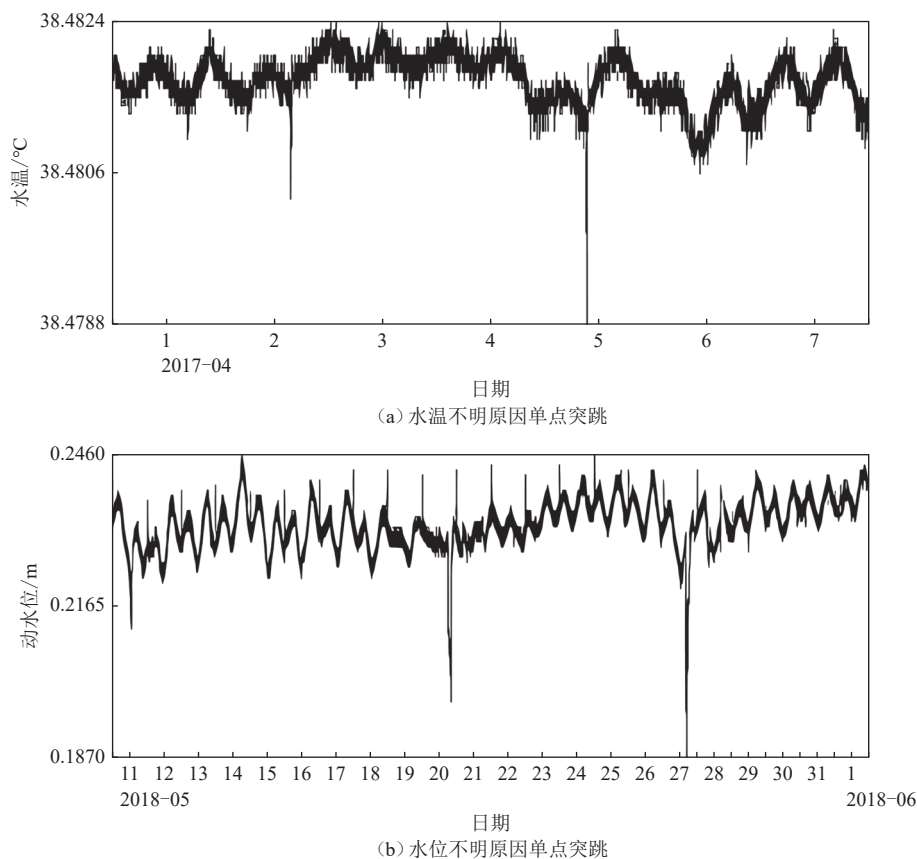


图4 其他各种偶然因素引起的干扰异常变化

Fig. 4 Abnormal changes in interference caused by various other accidental factors

地震地下流体观测造成的影响,就保护措施和补救方法进行协商,协商一致后,形成文件说明。

人为因素干扰应对措施:元谋地震台地下流体观测人为因素干扰主要是脱气装置改造和清洗脱气装置,为避免这两种类型的干扰,台站工作人员按照场地情况,设计制作了满足化学量观测的溅落式脱气装置,该脱气装置自 2018 年观测以来未再出现堵塞情况,能够满足化学量连续观测的要求。

其他各种偶然因素引起干扰应对措施:在明确是偶然引起的干扰后,及时使用前兆数据处理软件剔除突跳或者台阶数据,保证观测数据的正常变化形态。

3 元谋地震台预报效能分析

选取元谋地震台 2010 年 1 月 1 日—2023 年 7 月 9 日水温和水位日均值数据,2016 年 5 月 18 日—2023 年 7 月 9 日气汞日均值数据和 2017 年 12 月 14 日—2023 年 7 月 9 日气氦日均值数据,采用阈值法、速率差分法、趋势转折法和破年变探测法进行预报效能 R 值计算,对计算结果进行分析。

3.1 计算方法

(1) 阈值法。该方法直接从原始观测时序数据中识别出异常信息,也称为原始曲线法。

(2) 速率变化法。又称差分法,是一种压抑长周期、突出短周期变化的线性滤波。针对原始观测数据的一阶差分序列,使用平稳序列的均方差作为异常控制线。或使用给定的阈值作为异常控制线来判别时间序列中的异常点,突出那些突跳性或离散度较大的异常。

(3) 趋势转折法。该方法中的观测数据趋势项基于线性拟合方法提取,利用最小二乘法对观测时序数据进行线性拟合,得到观测数据的最佳转折时间点,根据线性拟合速率值出现变化或变化量超出给定阈值来判定是否为趋势转折异常。

(4) 破年变探测法。年变形态或幅度异于多年平均变化的异常,称之为破年变异常,一般采用矩平分法识别该类异常^[7]。

1989 年许绍燮研究团队构建了地震预报效能评估中的 R 值检验体系,用于衡量地震预报的准确性和可靠性,该评价模型在异常信号可信度验证和地震预报效能方面具有重要应用价值。其数学表达式可表示为:

$$R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}}$$

当 $R=1$ 时,表示全报对;当 $R \leq 0$ 时,表示预报没有起作用; R_0 是一个自然概率量,表示正常发生地震的概率,当 $R \geq R_0$ 时,表示该预测方法通过置信度 97.5% 的显著检验,具有显著的预测意义;当 $0 \leq R < R_0$ 时,表示该预测方法具有一定的预测意义^[8]。

3.2 计算结果分析

针对元谋地震台地下流体预报效能,选取 2010 年 1 月 1 日—2024 年 6 月 30 日全国及临近周边地区 $M_S \geq 5.0$ 地震作为地震目录(表 2)。根据云南地震台地球物理研究室预报效能研究方法,以元谋地震台作为中心, $5.0 \leq M_S \leq 5.9$ 范围为 200 km, $6.0 \leq M_S \leq 6.9$ 范围为 300 km, $M_S \geq 7.0$ 范围为 500 km。使用阈值法、速率差分法、趋势转折法和破年变探测法对元谋地震台水温、水位、气氦和气汞做预报效能计算(表 3)。计算结果如图 5 所示。

表 2 选取的地震目录
Table 2 Selected earthquake catalog

序号	发震时间(UTC)	地震地点	震级	震中距/km
1	2010-02-25 12:56	元谋	5.1	36
2	2014-08-03 16:30	鲁甸	6.5	215
3	2014-10-07 21:49	景谷	6.6	294
4	2018-08-13 01:44	通海	5.0	191
5	2021-05-21 21:48	漾濞	6.4	197
6	2021-06-10 19:46	双柏	5.1	153

深层水温预报效能计算结果:速率差分法计算结果显示深层水温预报效能 $R > R_0$,通过预报效能置信度 97.5% 的显著检验,具有显著预测意义。阈值法、趋势转折法和破年变探测法计算结果显示 $0 < R < R_0$,说明对预报具有一定的预测意义。

动水位预报效能计算结果:阈值法、速率差分法、趋势转折法和破年变探测法计算出的动水位预报效能均为 $0 < R < R_0$,说明动水位数据对预报具有一定的预测意义。

逸出气氦预报效能计算结果:阈值法、速率差分法、趋势转折法和破年变探测法计算出的逸出气氦预报效能均为 $0 < R < R_0$,说明气氦数据对预报具有一定的预测意义。

逸出气汞预报效能计算结果:阈值法、速率差分法、趋势转折法和破年变探测法计算出的逸出气汞预报效能均为 $R < 0$,说明逸出气汞数据对预报没有预测意义。

表 3 预报效能计算结果
Table 3 Calculation results of prediction efficiency

测项	方法	指标	预测时间/d	R	R_0
水温	趋势转折法		57	0.038	0.289
	阈值法	1.2倍标准差	152	0.244	0.443
	速率变化法	1.8倍标准差	86	0.449	0.443
	破年变探测法	2.0倍标准差	30	0.246	0.289
水位	趋势转折法		171	0.471	0.473
	阈值法	1.0倍标准差	30	0.325	0.443
	速率变化法	2.1倍标准差	80	0.156	0.381
	破年变探测法	1.0倍标准差	69	0.126	0.381
气氦	趋势转折法		93	0.289	0.512
	阈值法	1.2倍标准差	152	0.277	0.324
	速率变化法	3.0倍标准差	30	0.112	0.324
	破年变探测法	1.6倍标准差	207	0.632	0.707
气汞	趋势转折法		30	-0.023	-0.251
	阈值法	3.0倍标准差	30	-0.062	-0.251
	速率变化法	2.4倍标准差	30	-0.077	-0.251
	破年变探测法	3.0倍标准差	30	-0.066	-0.251

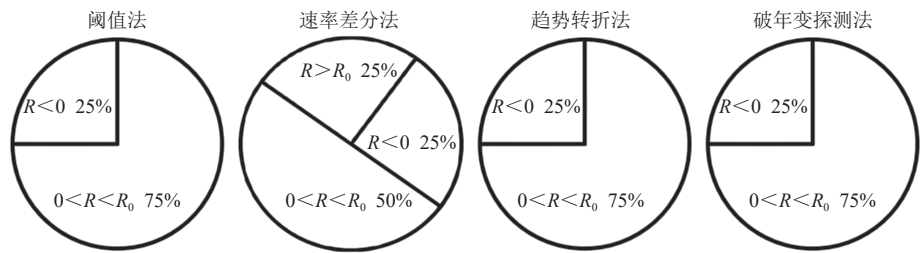


图 5 4 种预测效能方法计算结果

Fig. 5 Calculation results of the four prediction efficiency methods

4 结语

经过对选取的 2008—2024 年元谋地震台地下流体资料的梳理分析，元谋地震台地下流体观测中的干扰因素有：①观测技术系统故障主要是观测仪器故障、供电线路故障、电源电压不稳、气汞仪抽气、排水口堵塞及冷凝水堵塞气路等造成的数据缺测、不同程度的突跳和台阶。针对观测仪器和供电故障的问题，更换“十五”仪器和观测房标准化改造后得到了较大的改善。气汞每一小时抽气对动水位的影响，在将 RG-BQZ 测汞仪更换为 ATG-6138M 痕量汞仪后，这一问题得到解决。冷凝水堵塞的问题可以在仪器与气路之间设计冷冻液装置降温，能够较大缓解问题。②场地环境干扰主要是温泉小镇持续抽水干扰造成水温和水位出现下降，间接造成脱气装置

断流，气氦值下降。康养城项目施工引起水位高-低值突跳，持续抽水造成水温和水位不同程度突跳出现。③人为因素干扰主要是脱气装置改造、清洗脱气装置和校准仪器，造成气氦出现不同程度的阶变。④其他各种偶然因素引起的数据干扰异常变化主要是水温和水位偶然出现的单点突跳变化，具有偶尔性特点，明确观测仪器、观测系统及周边环境没有异常情况，周边无地震出现。通过梳理干扰造成的数据异常变化，可以在以后的观测中不断提高异常识别能力，为以后快速识别前兆异常提供坚实的基础。

采用阈值法、速率差分法、趋势转折法和破年变探测法对元谋地震台水温、水位、气氦和气汞 4 个测项进行预报效能 R 值计算。其中水温速率差分法计算出的 R 值满足 $R > R_0$ 的条件，通过预报效能置信度 97.5% 的显著检验，对预报具有显著意义；其他

3 种方法计算出的 R 值显示为 $0 < R < R_0$, 对预报具有一定意义。水位和气氡经过 4 种方法计算, 显示为 $0 < R < R_0$, 对预报具有一定意义。气汞经过 4 种方法计算, 结果为 $R < 0$, 表明没有预报意义。经过预报效能检测, 后续观测中应着重关注水温、水位和气氡观测, 加强观测资料分析及跟踪工作。

参考文献

- [1] 车用太, 刘成龙, 鱼金子. 地下流体观测环境的评估指标: 干扰度 [J]. [地震](#), 2005, 25(3): 63-68
Che Y T, Liu C L, Yu J Z. Interference degree: An index for assessing the observation conditions of subsurface fluids[J]. [Earthquake](#), 2005, 25(3): 63-68
- [2] 高小其. 地震地下流体典型干扰异常的研究 [C]//中国地震学会第五届地震流体专业委员会成立暨 2016 年学术年会论文摘要. 呼伦贝尔: 中国地震学会地震流体专业委员会, 内蒙古自治区地震局, 2016: 8
Gao X Q. Study on typical interference anomalies of seismic underground fluid[C]//The Fifth Seismological Fluid Professional Committee of China Seismological Society was established and the 2016 Academic Annual Meeting Was Held. Hulun Buir: Seismic Fluid Professional Committee of the Chinese Seismological Society, Seismological Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, 2016: 8
- [3] 起卫罗, 余庆坤, 曾庆堂. 云南禄丰 3.7 级地震元谋水化站气氡同震效应分析 [J]. [高原地震](#), 2018, 30(4): 6-10
Qi W L, Yu Q K, Zeng Q T. Analysis on the gas radon coseismic effect of Lufeng M3.7 earthquake at Yuanmou hydrochemical station in Yunnan Province[J]. [Plateau Earthquake Research](#), 2018, 30(4): 6-10
- [4] 施建明, 周建荣, 肖鑫, 等. 元谋地震台气氡脱气装置改造及效果分析 [J]. [高原地震](#), 2023, 35(1): 43-47
Shi J M, Zhou J R, Xiao X, et al. Modification and effect analysis of radon degassing device at Yuanmou station[J]. [Plateau Earthquake Research](#), 2023, 35(1): 43-47
- [5] 张昱, 吴建华, 范兵, 等. 数字化流体观测资料干扰因素分析 [J]. [西北地震学报](#), 2013, 35(增刊 1): 122-125, 161
Zhang Y, Wu J H, Fan B, et al. Analysis of the interference factors in digital fluid observation data[J]. [Northwestern Seismological Journal](#), 2013, 35(S1): 122-125, 161
- [6] 周洋, 罗棋, 李查玮, 等. 数字化地下流体观测仪器故障分析 [J]. [地震科学进展](#), 2020, 50(3): 25-29
Zhou Y, Luo Q, Li C W, et al. Failure analysis of digital underground fluid observation instrument[J]. [Progress in Earthquake Sciences](#), 2020, 50(3): 25-29
- [7] 胡小静, 付虹, 张翔, 等. 基于 4 种技术方法的地下流体资料预报效能探讨 [J]. [中国地震](#), 2023, 39(4): 732-741
Hu X J, Fu H, Zhang X, et al. Discussion the forecasting efficiency of underground fluid data through different technical methods[J]. [Earthquake Research in China](#), 2023, 39(4): 732-741
- [8] 许绍燮. 地震活动性预报地震方法 [J]. [地震学报](#), 1993, 15(2): 239-252
Xu S X. Prediction earthquake methods by seismic activity[J]. [Acta Seismologica Sinica](#), 1993, 15(2): 239-252