

会昌井水温平行观测资料对比分析研究

欧阳澍培¹, 余志成¹, 欧晓斌², 钟智东¹

¹江西省地震局赣州地震监测中心站, 江西 赣州

²江西省地震局江西地震台, 江西 赣州

收稿日期: 2025年7月10日; 录用日期: 2025年8月15日; 发布日期: 2025年8月25日

摘要

本文采用了赣州地震监测中心站会昌地震台流体观测井的2套DLZ-1型水温仪与江西省巨灾防范工程项目安装运行的2套同型号水温仪的观测资料, 对比分析了2021年以来数据的长期稳定性、连续率和完整率、变化幅度、均方差和超差数据个数等指标, 同时选取了典型干扰下仪器的变化曲线形态, 以期提高水温数据观测质量, 更好地为地震观测提供有效、可靠的前兆信息。

关键词

水温, 对比观测, 会昌井, 地震

A Comparative Analysis Study on Parallel Observation Data of Water Temperature in Huichang Well

Shupeí Ouyang¹, Zhicheng Yu¹, Xiaobin Ou², Zhidong Zhong¹

¹Ganzhou Seismic Monitoring Center Station, Jiangxi Earthquake Agency, Ganzhou Jiangxi

²Jiangxi Seimostation, Jiangxi Earthquake Agency, Ganzhou Jiangxi

Received: Jul. 10th, 2025; accepted: Aug. 15th, 2025; published: Aug. 25th, 2025

Abstract

This paper adopts the observation data of two sets of DLZ-1 type water thermometers from the fluid observation wells of Huichang Seismic Station of Ganzhou Seismic Monitoring Center Station and two sets of the same model water thermometers installed and operated in the Jiangxi Province Catastrophe Prevention Project. It compares and analyzes the long-term stability, continuity rate and completeness rate, variation range, mean square deviation and the number of out-of-tolerance data of the

data since 2021. Meanwhile, it selects the variation curve shapes of the instruments under typical interferences, with the aim of improving the observation quality of water temperature data and providing more effective and reliable precursory information for earthquake observation.

Keywords

Water Temperature, Comparative Observation, Huichang Well, Earthquake

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前地下流体观测是我国地球物理站网的重要监测手段之一, 地下流体活动揭示了地球物理和地球化学动态过程形成与演化[1]。长期观测资料表明, 水温对地震活动响应非常灵敏, 因此利用观测深井水温微动态变化来研究水温同震响应、固体潮、地震前兆异常等现象在地震监测预报领域发挥了重要作用[2] [3]。前人研究统计发现, 汶川地震前 2 d 至一个月以上时间全国多地井水温曲线存在显著异常转折, 异常幅度 $0.004^{\circ}\text{C}\sim 0.244^{\circ}\text{C}$ 不等, 同时观测到明显震后及同震响应现象, 井水温受井水位的响应干扰, 震后曲线则变化缓慢, 持续时间较长[4] [5]。为进一步提高仪器观测数据的稳定性, 江西省巨灾防范工程项目改造完成后, 会昌流体观测井同一井孔新增了两套水温仪进行平行对比观测。

2. 观测环境与仪器

会昌井位于会昌县城西的岚山公园山腰, 会昌地震台院内(25.606°N , 115.775°E), 贡江北岸, 山体海拔 400.1 m, 地貌类型属于侵蚀构造低山丘陵。会昌台院内面积约 $11,850\text{ m}^2$, 井位场地地形相对平坦, 地面标高 210 m 左右, 台址周围山体基岩大面积出露[6]。根据区域地质构造和钻探资料, 流体观测井周围揭露主要地层是白垩系上统灰黄色风化粉砂岩, 风化裂隙发育, 岩体破碎, 为非含水层; 以及燕山早期岩浆岩, 灰白色中风化黑云钾长花岗岩, 裂隙发育一般, 赋存有一定量基岩裂隙水, 二者呈断层接触, 可见断层裂隙、断层泥和角砾岩发育。

构造上处于武夷山 NNE 向复式背斜西侧, 武夷山构造带南段西侧, 地质历史上构造活动频繁, 其构造主要以单斜盆地及断裂为主, 主要断裂石城—寻乌断裂带是华南地区邵武—河源大断裂带在赣南地区的重要一段、以及邵武—河源大断裂, 呈 NNE 向, 北起福建邵武, 贯穿石城、瑞金、会昌、安远、寻乌等县, 南至广东河源, 在江西省境内是断裂带中段。观测区域具备发生中强地震的构造条件, 历史最大地震是 1806 年 1 月 11 日会昌 6.0 级地震[7]。

赣州地震监测中心站会昌井成孔于 2018 年, 施工单位是江西省勘察设计研究院。0~6.5 m, 钻孔孔径 220 mm; 6.6~37.6 m, 钻孔孔径 171 mm; 37.7~120.34 m, 钻孔孔径 150 mm; 120.35~300.2 m, 钻孔孔径 130 mm。观测含水层位于 125.2~300.2 m。

会昌井井深 300 m, 出水温度 24.2°C , 井类型为自流井, 观测井水位类型是动水位, 井口位置的测点高程 205m。观测含水层的岩性主要为燕山早期黑云钾长花岗岩, 地下水埋藏类型为无压基岩裂隙水; 会昌井为构造带水, 井水自喷; 井房为砖混结构, 主井在观测房外, 副井和仪器共一室, 设有工作台、仪器台。基岩为花岗岩, 详见井孔柱状图(图 1)。

江西省地震局赣州中心站会昌台流体观测井于 2021 年 9 月安装了 2 套 DLZ-1 型水温测量仪, 仪器

ZK1 号孔工程地质柱状图

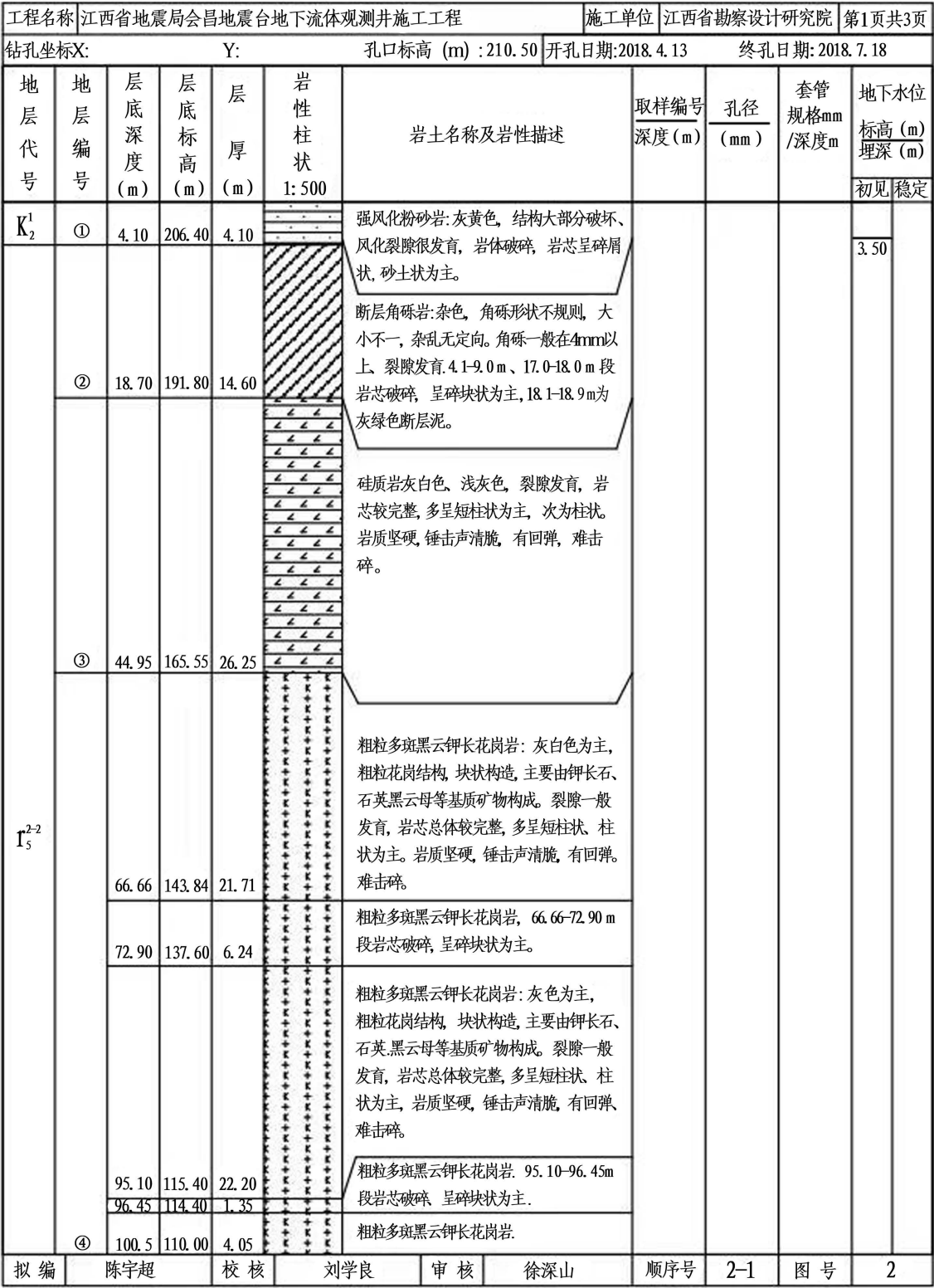


Figure 1. Columnar diagram of Huichang well borehole
图 1. 会昌井孔柱状图

由主机和高精度温度探头两部分组成, 由 300 m 电缆线连接, 水温仪探头安装深度分别是 270 m、273 m, 主要技术指标如下: 分辨率: 0.0001℃, 测量精度: 优于 0.05℃, 测量范围: 0~100℃, 稳定性: 长期小于 0.001℃ (一年), 短期小于 0.0001℃ (一天)。主机技术指标如下: 采样率: 1 次/1 分钟, 电源: 交流 220 (1%±10%) V, 直流 12 (1%±10%) V, 交/直流自动切换, 数据存储容量: 大于 6 个月。支持标准以太网接口, 10/100 m 自适应, 支持 TCP/IP 协议; 具有 RJ-45 和 RS-232 通信接口, 支持 WEB、FTP 方式管理与访问设备, 支持远程更新程序功能。主机工作环境: 温度为-20℃~+50℃, 相对湿度小于 85%。

江西省巨灾防范工程项目改造期间, 2024 年 10 月在会昌井同一井口不同层深安装了 2 套相同型号的试运行水温仪进行平行对比观测, 水温仪(A、B)探头安装深度均为 260 m, 与中层水温(F)不在同一梯度范围, 但位于同一观测含水层位, 可进行对比观测仪器的运行情况, 根据东南沿海地区及其周边标准地温梯度 2.5℃~3.5℃/100 m 估算, 0.25℃~0.35℃的静态温差符合实际观测结果的合理范围。设备已成功安装并接入市县库, 与省局数据库实现连通, 数据顺利入库, 各项参数配置正确, 仪器运行正常。

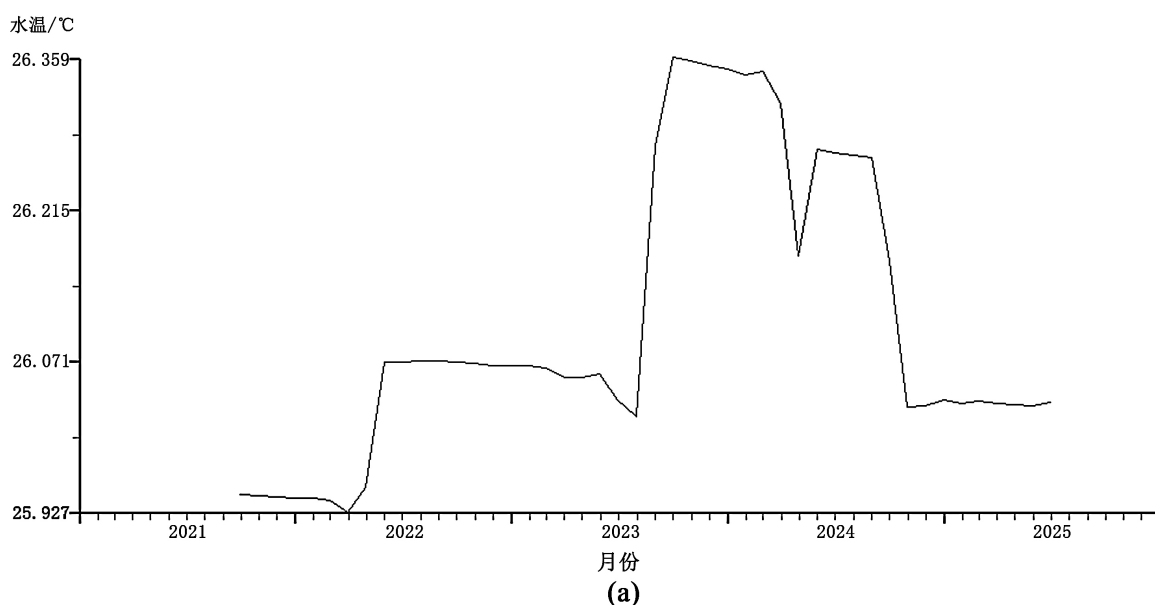
3. 观测数据对比分析

3.1. 仪器长期稳定性

会昌井 ZK1 号孔井口改造后, 于 2021 年 9 月安装运行了 2 套 DLZ-1 型水温仪。本文选取了 2021 年 9 月 1 日—2025 年 6 月 20 日 F 测点两套水温仪观测数据月均值, 长时间尺度下观测数据变化曲线如图 2 所示, 仪器数据起伏较大, 稳定性不佳, 年均变化量大于仪器长期稳定性指标 0.0010℃。测值动态变化如下: 浅层水温测值(F)由最开始 25.9438℃上升到 26.0338℃, 近 4 年时间上升 0.0900℃, 上升速率日均约为 6.4841×10^{-5} ℃, 最高值 26.4521℃; 中层水温测值(F)由最开始 25.9121℃下降到 25.8998℃, 近 4 年时间下降 0.0123℃, 上升速率日均约为 -8.8616×10^{-6} ℃, 最高值 26.0751℃。浅层、中层水温曲线长周期变化形态基本一致, 数据在 2023 年 8 月 10 日前一直处于上升状态, 而后阶梯下降, 目前二者均稳定在约 26.0365℃ (图 2)。

3.2. 仪器测值对比分析

会昌井同井口于 2024 年 10 月 11 日江西省巨灾防范工程项目改造期间安装、试运行了 2 套 DLZ-1



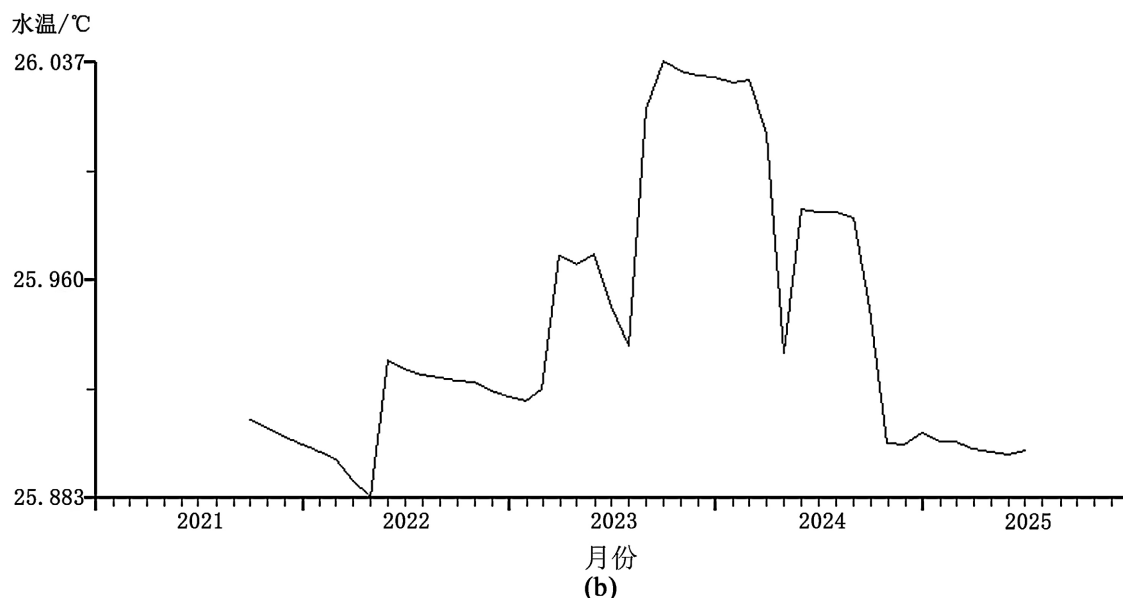


Figure 2. Dynamic variation curve of monthly average water temperature F of Huichang well ((a) Upper layer water temperature; (b) Middle layer water temperature)

图 2. 会昌井水温 F 月均值动态变化曲线((a) 浅层水温; (b) 中层水温)

型水温仪。水温仪安装后,数据趋于平稳,去除个别仪器自身原因造成的单点突跳后,选取了 2024 年 10 月 12 日~2025 年 6 月 20 日观测数据,变化曲线形态如图 3 所示。水温仪(A)由最开始 25.6140℃上升到 25.6207℃,上升了约 0.0067℃,上升速率日均约为 $2.7572 \times 10^{-5} \text{℃}$;水温仪(B)由最开始 25.6140℃上升到 25.6214℃,上升了约 0.0074℃,上升速率日均约为 $3.0452 \times 10^{-5} \text{℃}$ 。

试运行水温仪测值(A、B)与会昌井中层水温测值(F)同时间段对比显示,前者数据变化较小,去除单点突跳错误数据后,变化幅度最大为 0.0122℃,曲线形态较为一致,但仍存在细微差别,水温仪(B)异常点更多(图 4)。主要原因可能是同层观测造成的互相干扰现象,水温传感器在工作时,周围温度和电磁场会发生细微变化,从而引起观测值的变化[8]。水温测值自安装、试运行以来,水温测值整体呈下降趋势,后缓慢上升。

后者数据变化较大,稳定性不佳,变化幅度浅层水温最大为 0.0176℃,中层水温为 0.0133℃,水温测值长时间尺度下呈下降趋势,主要原因可能是仪器主机内部元件老化,系仪器自身原因导致数据不稳定。

通过计算得出仪器连续率和完整率分别为 99.8953%和 99.3403%(如表 1),水温仪(F)连续率略高于对比观测的水温仪(A、B),完整率则略低于对比观测的 2 套水温仪(A、B)。根据水温仪数据质量评价指标,正式在网运行的 2 套水温仪(F)数据均方差较小,但是超差 3 倍数据个数较多(如表 2),数据受到干扰产生较多突跳,主要故障有仪器主机故障、避雷系统故障、巨灾项目其他设备升级安装造成的人为干扰因素等。

3.3. 受到干扰水温仪的变化形态

3.3.1. 水温仪主机故障

如图 2、图 3 所示,水温仪(F)自安装运行以来,曲线形态多次出现突跳、阶变等较大起伏变化。2025 年 1 月 12 日~1 月 20 日,水温仪(F)曲线形态发生明显畸变,1 月 12 日 16:26~19:08 浅层水温下降约 0.0070℃,1 月 20 日 20:47~23:59 浅层水温开始回升,上升幅度约 0.0073℃。同时 1 月 12 日 16:28~20:12 中层水温下降约 0.0050℃,1 月 20 日 20:53~23:59 中层水温开始回升,幅度约 0.0048℃ (图 5)。经中心站

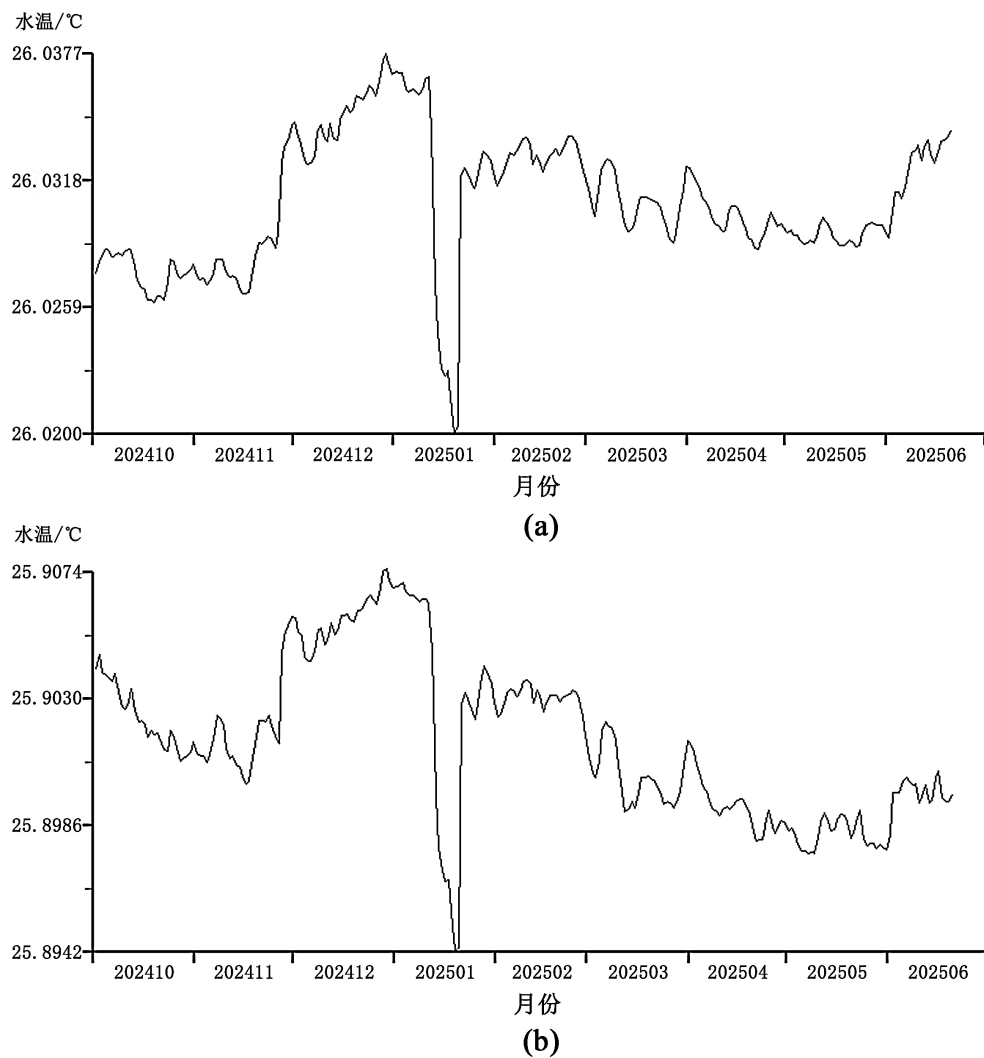
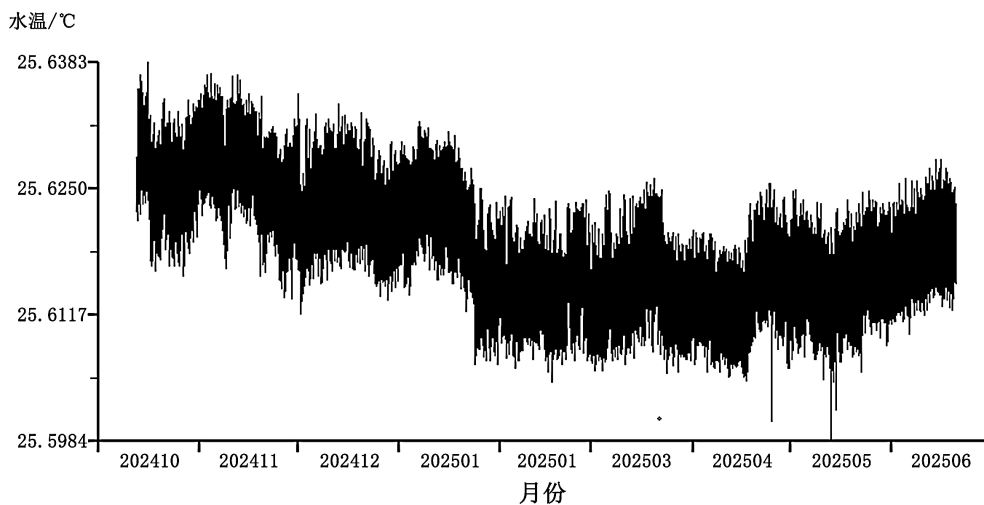


Figure 3. Dynamic variation curve of daily average water temperature F of Huichang well ((a) Upper layer water temperature; (b) Middle layer water temperature)

图 3. 会昌井水温 F 日均值动态变化曲线((a) 浅层水温; (b) 中层水温)



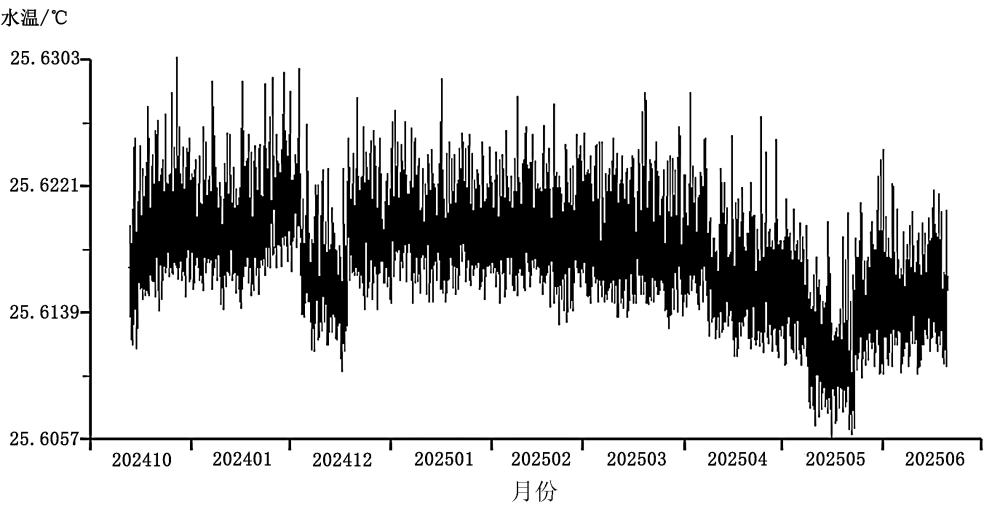


Figure 4. Dynamic variation curve of daily average water temperature A/B of Huichang well
图 4. 会昌井水温 A、B 日均值动态变化曲线

Table 1. Statistical table of instrument operation
表 1. 仪器运行情况统计表

序号	仪器名称	测点	仪器型号	测项代码	数据时段	连续率(%)	完整率(%)
1	水温仪(试运行)	A	DLZ-1	4312	2024/10/12-2025/6/20	99.7944	99.7729
2	水温仪(试运行)	B	DLZ-1	4312	2024/10/12-2025/6/20	99.7892	99.7586
3	水温仪	F	DLZ-1	4312	2024/10/12-2025/6/20	99.8953	99.3403
4	水温仪	F	DLZ-1	4311	2024/10/12-2025/6/20	99.8953	99.3403

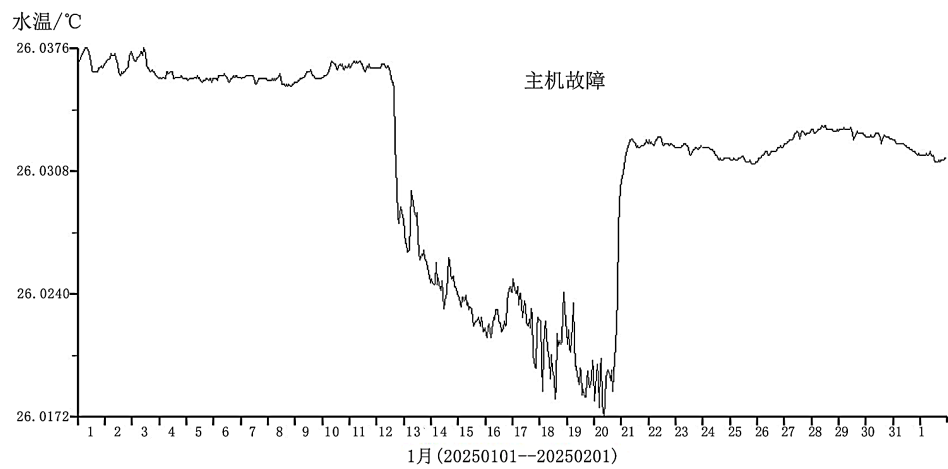
Table 2. Comparison of data quality evaluation indexes of water thermometers
表 2. 水温仪数据质量评价指标对比

台站代码	测点	测项分量	仪器型号名称	均值	均方差	超差(3 倍)数据个数
36002	A	4312	DLZ-1 便携式流体综合观测仪(试运行)	25.6183	0.0023	11
36002	B	4312	DLZ-1 便携式流体综合观测仪(试运行)	25.6174	0.0023	39
36002	F	4311	DLZ-1 便携式流体综合观测仪	26.0309	0.0003	113
36002	F	4312	DLZ-1 便携式流体综合观测仪	25.9014	0.0003	97

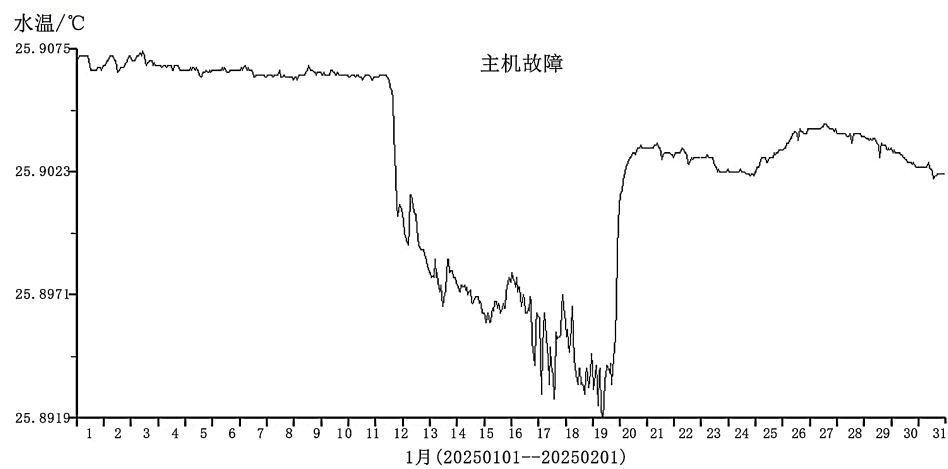
工作人员排查，因主机故障导致数据错误，更换仪器主机后数据观测恢复正常，但后续仍存在数据稳定性较差的问题。仪器主机故障的原因之一是主机元部件老化，导致数据产生错误，曲线形态往往表现为无规则畸变。因流体观测房紧靠流体井出水口，长期处于较潮湿的环境下，主机受潮也可能引起观测数据出现频繁突跳[9]。为此采用机房温、湿度监控报警系统，炎热潮湿天气环境下开启机房空调可以有效防止主机受潮的问题，也可采用吹风机对主机内部进行加热，使之干燥。

3.3.2. 水温仪雷击故障

2024 年 3 月 25 日~3 月 26 日，会昌井水温仪(F)因受到雷电干扰，曲线形态发生“L”型阶变，变化幅度浅层水温约为 0.1630℃，中层水温约 0.0871℃ (图 6)。经中心站工作人员排查发现，水温数据异常与雷暴天气在时间上高度吻合，排除故障后水温观测恢复正常。水温仪主机中含放大电路的元器件，



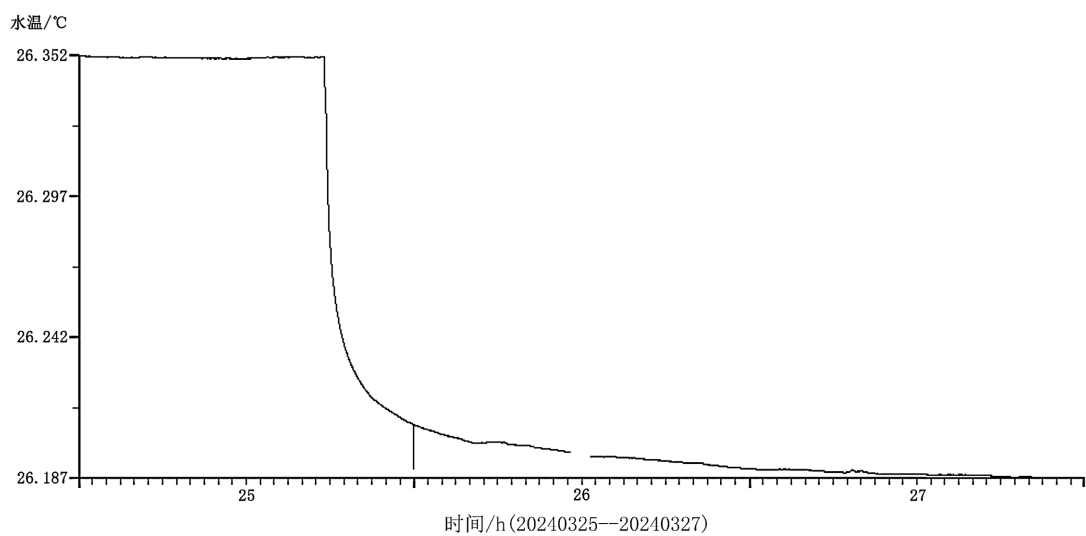
(a)



(b)

Figure 5. Hour variation curve of main unit fault of water thermometer F ((a) Upper layer water temperature; (b) Middle layer water temperature)

图 5. 水温仪 F 主机故障整点值变化曲线((a) 浅层水温; (b) 中层水温)



(a)

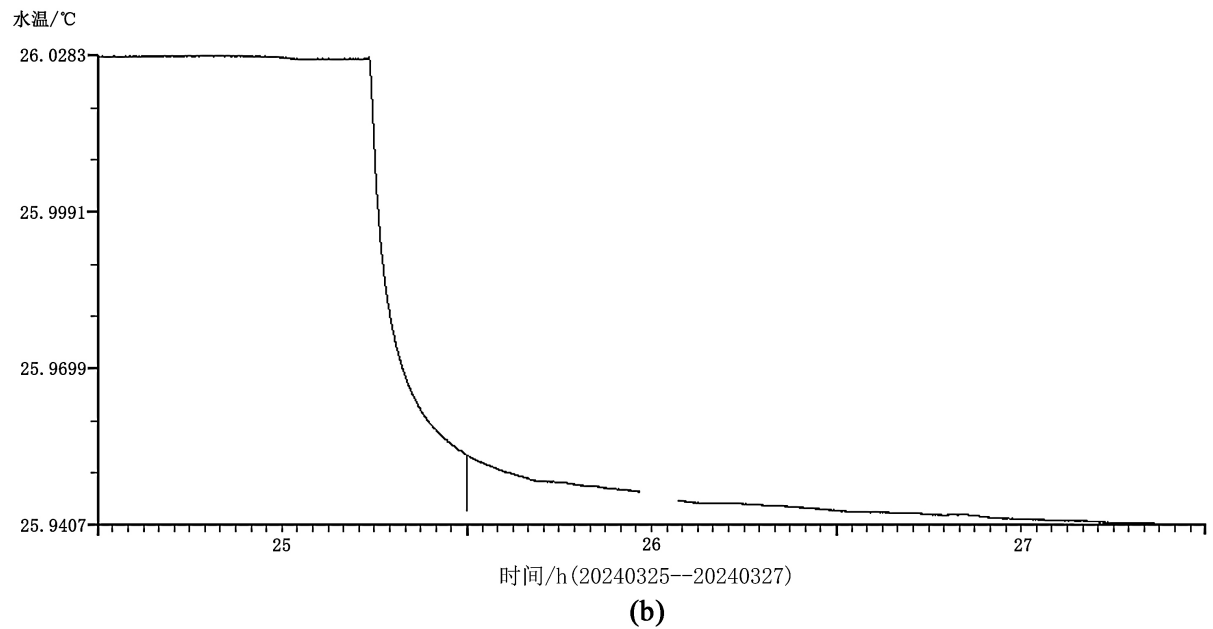


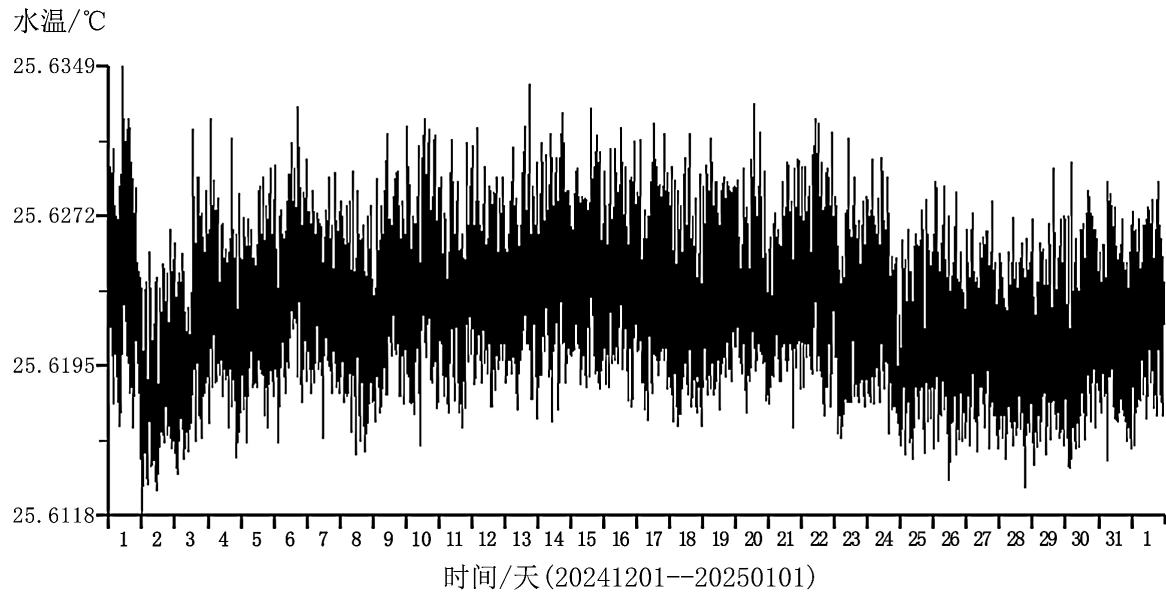
Figure 6. Minute variation curve of thunder strike fault of water thermometer F ((a) Upper layer water temperature; (b) Middle layer water temperature)

图 6. 水温仪 F 雷击故障分钟值变化曲线((a) 浅层水温; (b) 中层水温)

而地球物理观测是通过传感器转化为微弱电信号进行数据传输，当雷电引入到仪器主机电路中，经由放大电路，会造成主机数据错误甚至损毁，通过加装避雷器，加固防雷地网可有效避免雷击干扰引起的故障[9]。

3.3.3. 水温仪供电故障

2024 年 12 月数据波动较大，数据突跳较多，水温仪(A)在 12 月 2 日、水温仪(B)在 12 月 4 日分别产生阶梯下降现象(图 7)，疑因巨灾项目智能化设备升级安装造成干扰，因智能电源供电断电，交直流切换造成供电电压不稳，水温仪受到交流电脉冲干扰，可能会导致水温数据畸变的现象。



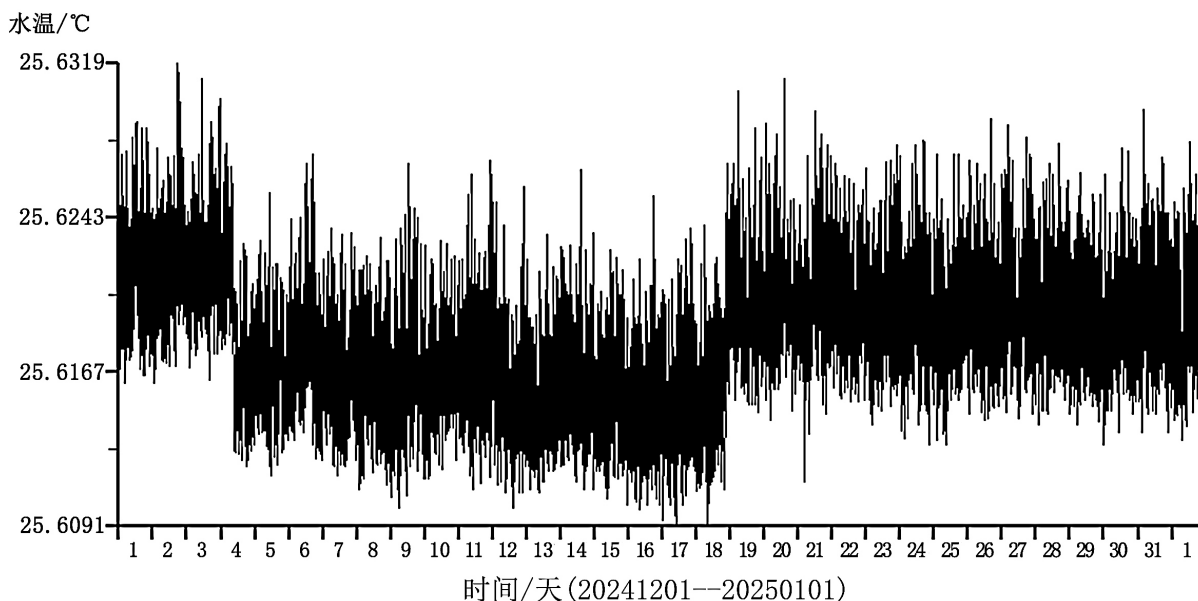


Figure 7. Minute variation curve of power supply failure of water thermometer A/B

图 7. 水温仪 A、B 供电故障分钟值变化曲线

4. 结论

(1) 赣州中心站会昌井 2021 年开始安装运行的 2 套 DLZ-1 型水温仪(测点 F), 到目前为止, 长时间尺度下仪器长期稳定性不佳, 观测数据质量较差, 年均变化量大于仪器长期稳定性指标, 浅层、中层水温曲线长周期变化形态基本一致, 但曲线变化形态起伏较大, 仪器易受到自然或人为干扰导致数据产生突跳、畸变等错误。

(2) 会昌井 2024 年巨灾防范工程项目期间开始安装、试运行的 2 套 DLZ-1 型水温仪(测点 A 和 B)对比观测显示数据整体变化幅度较小, 长期稳定性更佳, 数据超差 3 倍, 数据个数较少, 曲线形态没有出现大幅升降。两套仪器虽然位于同一深度, 曲线形态整体较为一致, 但二者仍存在细微差别, 是否存在同层互相干扰现象或观测含水层对流扰动等原因, 有待进一步探讨。

(3) 水温仪(F)自安装运行以来, 曲线形态多次出现主机故障、避雷系统故障、巨灾项目其他设备升级安装等人为干扰因素造成的故障, 受到雷击影响尤其明显, 雷电会影响仪器主机电路中微弱电信号的传输, 造成主机数据错误甚至损毁。水温仪(A、B)也受到了雷击干扰、供电电压不稳等造成的干扰, 内在原因有待进一步研究。通过加装防雷器, 加固接地线可有效避免雷击干扰引起的故障, 同时厂家生产新仪器应当考虑减小雷电、供电系统对仪器稳定性的影响, 从而更好地为地震观测提供可靠、有效的前兆信息。

(4) 根据仪器观测的初步结果, 目前水温仪(A、B)数据资料数据连续率、完整率达标, 日变化清晰, 内在质量达到了正式运行要求, 基于数据优势, 笔者建议新仪器取代旧仪器作为主要观测手段。但是由于仍存在数据突跳、二者曲线形态微小差异等问题, 建议继续并行观测一段时间。

参考文献

- [1] 刘春国, 晏锐, 樊春燕, 等. 我国地震地下流体监测现状分析及展望[J]. 地震研究, 2022, 45(2): 161-172.
- [2] 邱永平. 宁波地震台 ZK03 井水温平行观测资料的对比分析[J]. 中国地震, 2011, 27(4): 431-437.
- [3] 汪成国, 赵刚, 高守权, 等. 新 30 井不同深度下的水温观测试验及其结果[J]. 地震, 2012, 32(3): 37-46.

- [4] 车用太, 何案华, 鱼金子. 水温微动态形成的水热动力学与地热动力学机制[J]. 地震学报, 2014, 36(1): 106-117.
- [5] 邓卫平, 何案华, 车用太, 等. 全国水温台网井水温度 2008 年动态及其汶川地震前后的异常变化[J]. 大地测量与地球动力学, 2019, 39(7): 751-755.
- [6] 谢斌, 赵爱平, 肖孟仁, 等. 2018 年 7 月会昌地震台洞体应变观测异常分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2025, 46(1): 115-121.
- [7] 谢斌, 赵爱平, 肖孟仁, 等. 人类活动对水管倾斜仪的影响及解决方法[J]. 地震地磁观测与研究, 2025, 46(2): 116-122.
- [8] 李慧峰, 袁宝珠, 吕奥博. 宁波地震台 2 套水温仪同层观测互干扰现象[J]. 地震地磁观测与研究, 2016, 37(6): 102-105.
- [9] 王云泉, 龚永俭, 王建国, 等. 天津台网水温观测系统事件数据跟踪分析[J]. 地震科学进展, 2021, 51(1): 7-14.