



## 文安井氡钍分析仪观测数据异常核实的实例与分析

王 艳, 马利军, 邢 杰, 吕文青, 王会芳

**Example and analysis of abnormal verification of observation data from the radon and thorium analyzer in Wen'an well**

Wang Yan, Ma Lijun, Xing Jie, Lü Wenqing, and Wang Huifang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2025-055>

## 您可能感兴趣的其他文章

**Articles you may be interested in**

### 永清井水温仪观测数据异常核实的实例与分析

Example and analysis of abnormal verification of water thermometer observation data in Yongqing well

地震科学进展. 2022, 52(9): 420–427

### 基于水化学的永清井水温异常分析

Analysis of water temperature anomaly in Yongqing well based on water chemistry

地震科学进展. 2022, 52(12): 559–565

### 蚌埠台水氡观测数据变化分析

Analysis of variation characteristics of radon observation data in Bengbu station

地震科学进展. 2021, 51(3): 130–134

### 不同型号测氡仪器在宁德一号井观测效能分析

Analysis of the observation effectiveness of different types of instrument for radon measurement in Ningde No.1 well

地震科学进展. 2021, 51(12): 553–559

### 备用采样点对汉中地震台水氡观测影响分析

Influence analysis of standby sampling points on water Radon observation at Hanzhong seismic station

地震科学进展. 2023, 53(5): 214–220

### AlphaGUARD测氡仪对BG2015R测氡仪标定的探索

Exploration on calibration of BG2015R radon meter by AlphaGUARD radon meter

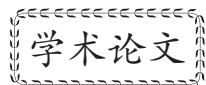
地震科学进展. 2023, 53(7): 315–322



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王艳, 马利军, 邢杰, 等. 文安井氡钍分析仪观测数据异常核实的实例与分析 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(12): 678-683, 690. doi:10.19987/j.dzkxjz.2025-055

Wang Y, Ma L J, Xing J, et al. Example and analysis of abnormal verification of observation data from the radon and thorium analyzer in Wen'an well[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(12): 678-683, 690. doi:10.19987/j.dzkxjz.2025-055



## 文安井氡钍分析仪观测数据异常核实的 实例与分析

王 艳<sup>1)\*</sup> 马利军<sup>1)</sup> 邢 杰<sup>2)</sup> 吕文青<sup>1)</sup> 王会芳<sup>1)</sup>

1) 保定地震监测中心站, 河北保定 071000

2) 张家口地震监测中心站, 河北张家口 075000

**摘要** 本文围绕文安井氡钍分析仪观测到的一次异常展开研究, 详尽记录基层台站在核实流体异常时的工作流程, 涵盖基础资料收集、仪器状态检查、周边环境调查等环节。通过实地采样, 首次获取文安井的水化学资料, 明确其水化学类型为  $\text{HCO}_3^-$ — $\text{Na}^+$ 型水, 且分析得出补给来源包含浅层地表混入与深层地下水补给, 存在水岩作用且未达离子平衡。研究对比分析文安台水位资料、地震活动性、水化学资料、FD-125K 测氡仪主、副样平行观测资料以及水氡观测仪备用闪烁室上下午对比观测资料等, 排除仪器故障、环境干扰、气象因素等影响。综合判定 2024 年 5 月 17 日以来文安井水氡出现的高值异常或与区域应力增强相关。本研究为地震前兆异常核实工作提供技术支撑与分析思路, 对地下流体学科研究及地震监测预警有重要参考价值。

**关键词** 文安井; 氡钍分析仪; 离子数据; 水化学; 异常核实

**中图分类号:** P315.72<sup>3</sup> **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7780(2025)12-0678-06

**doi:** 10.19987/j.dzkxjz.2025-055

### Example and analysis of abnormal verification of observation data from the radon and thorium analyzer in Wen'an well

Wang Yan<sup>1)</sup>, Ma Lijun<sup>1)</sup>, Xing Jie<sup>2)</sup>, Lü Wenqing<sup>1)</sup>, Wang Huifang<sup>1)</sup>

1) Baoding Earthquake Monitoring Center Station, Hebei Baoding 071000, China

2) Zhangjiakou Earthquake Monitoring Center Station, Hebei Zhangjiakou 075000, China

**Abstract** This research focuses on an anomaly observed by the radon-thorium analyzer in Wen'an well. It exhaustively records the workflow of grassroots water stations to verify fluid anomalies, including basic data collection, instrument condition inspection, and investigation of the surrounding environment. Through on-site sampling, the hydrochemical data of Wen'an well are obtained for the first time, determining it to be  $\text{HCO}_3^-$ — $\text{Na}^+$  type water. The analysis shows that the recharge sources include mixed shallow-surface substances and deep-groundwater recharge, with

收稿日期: 2025-05-07; 采用日期: 2025-07-24。

基金项目: 中国地震局三结合项目(3JH-202402061)资助。

\* 通信作者: 王艳(1981-), 女, 高级工程师, 主要从事地下流体学科分析与研究工作。E-mail: 43395571@qq.com。



active water-rock interactions occurring, and no ionic equilibrium being reached. The study comparatively analyzes the underground fluid data, seismic activity, hydrochemical data, parallel observation data, and morning-afternoon comparative observation data of Wen'an well, ruling out influences such as instrument malfunctions, environmental interference, and meteorological factors. It is comprehensively determined that the high-value radon anomaly in Wen'an well present since May 17, 2024 may be related to the enhanced regional stress state. This research provides technical support and analytical ideas for the verification of earthquake precursor anomalies, and has important reference value for research in underground fluid disciplines, earthquake monitoring, and early warning systems.

**Keywords** Wen'an well; radon-thorium analyzer; ion data; water chemistry; abnormal verification

## 1 台站背景和基础资料

### 1.1 文安井的概况

文安井(38.85°N, 116.46°E)位于河北省廊坊市文安县文安地震台院内, 胜芳—柳河—董村活动断裂西侧, 东距文安一大成断裂1 km, 观测井深300 m,

文安井成井于1979年, 该井起初为文安地震台饮用水机井。观测水位为沙土夹黏土层, 井内取样水温常年在15~8°C, 观测井0~50 m井段设有12英寸钢管, 50 m以下为8英寸的水泥管, 2013年12月后使用FD-125K室内氡钍分析器, 并且一直沿用至今(图1a)。

工程名称: 河北省地震局文安地震台			
坐标		纬度   38.8469	经度   116.4535
地层编号	底层深度	分层厚度	柱状图
①	3.3 m	3.3 m	地表土层
②	54 m	54 m	砂土层, 主要为松散细沙, 成黄色
③	82 m	28 m	沙土夹细砾层, 主体为松散细沙, 偶夹细砾, 砾石, 大小为4 mm
④	217 m	135 m	沙土夹粘土层, 沙土与粘土的比为2:1
⑤	235 m	18 m	细砾层, 砾石主要成分为石英, 砾石主体大小为2 mm
⑥	300 m	65 m	沙土夹粘土层, 沙土与粘土的比为2:1

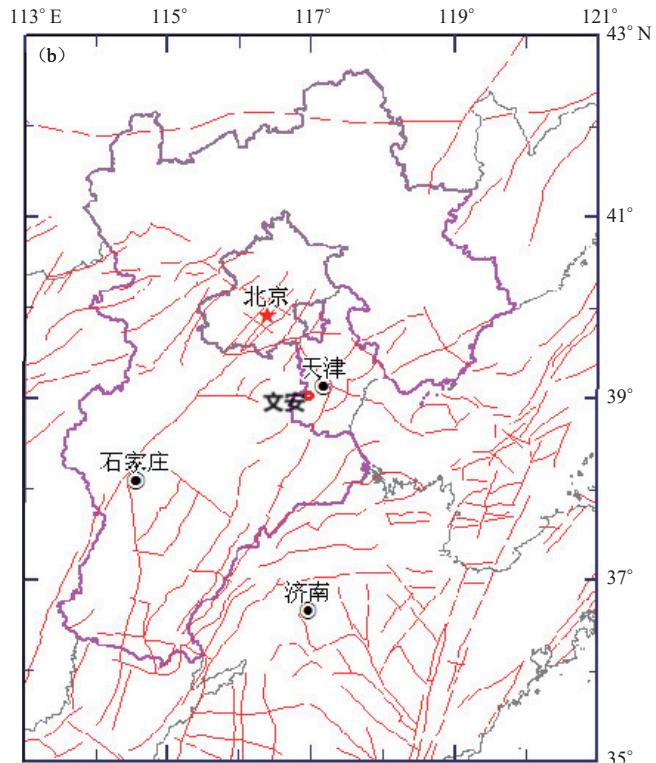


图1 文安井井孔柱状图(a)和台站位置和周边构造(b)

Fig. 1 Well hole histogram of Wen'an well (a) and station location and surrounding structure (b)

文安井位于华北平原沉降带的二级构造区——冀中坳陷部位。是新生代以来的沉降区, 主要地层包括震旦亚界震旦系中统、第三系、第四系等, 坳陷具有多凸、多凹、多断裂的特点, 它的主体由一系列北北东和北东向雁行排列的凸起和凹陷相间组成。冀中坳陷的西部为太行山隆起, 北部为燕山隆

起, 东南为沧县隆起。北东向展布的平谷—三河—廊坊构造带控制了冀中坳陷的发育, 构造带中的一系列断裂, 如马坊—夏垫断裂、大兴断裂、河西务断裂等, 把冀中坳陷分隔为大厂、廊坊、固安、武清、霸县5个断陷盆地。异常发生区域就位于其中的文霸盆地内, 异常区域临近2条重要活动断裂即NE走向

的大城断裂和 NE-NEE 走向的牛东断裂(图 1b)。

## 1.2 台站观测系统概况

文安台观测站运行仪器 3 套, 分别为氡钍测氡仪(观测类型为人工)、质子矢量磁力仪和水位仪(观测类型为十五), 其中氡钍分析仪和质子矢量磁力仪由文安台维护, 水位仪由廊坊市应急管理局代管。

## 2 文安台氡钍分析仪异常核实实例分析

文安台水氡观测仪器自 2020 年 1 月更换采样井以来, 曲线一直稳步变化, 较少出现大幅突升突降的变化。2024 年 5 月 27 日, 值班人员发现文安台水氡测值自 2024 年 5 月 16 日开始曲线上升, 到 24 日达最高值 6.71 Bq/L, 短短近 10 天内升高了 1.09 Bq/L, 增幅在 19% 左右, 之后几天一直在高值附近, 是 2020 年 1 月 1 日更换观测井以来的最快上升速度, 远远超出之前稳定的变化趋势(图 2)。而 2020 年 5 月 14 日—2024 年 5 月 14 日近 4 年来该测项升高才 1.63 Bq/L。本文将对此次水氡观测数据异常现象进行判定。

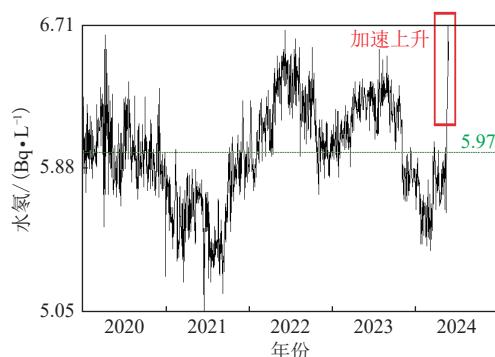


图 2 文安台水氡测值原始曲线图

Fig. 2 Original curve graph of radon measurement in water in Wen'an station

### 2.1 现场工作时的初步检查

按照《地震前兆异常落实工作指南》(2000)<sup>[1]</sup>的要求, 根据相关研究<sup>[2-4]</sup>, 本次现场工作从基础资料收集、观测仪器工作状态和取样井供电系统检查、采样与测试操作规范性检查、周边环境调查、气象因素等方面进行了核实, 结果显示观测系统正常, 观测流程符合规范要求, 周边未发现环境干扰, 近期无特殊气象变化, 观测数据真实可靠。

### 2.2 异常分析

#### 2.2.1 文安台地下流体资料对比分析

在文安地震台站院外距离文安井 25 m 左右存在 1 口地下流体观测井, 为廊坊市应急管理局水位

观测井(简称文安深井), 有 1 套水位观测测项。文安深井位于文安县文安镇二村内, 紧邻文安县地震台, 文安深井井深为 120 m, 静水位观测值目前在 32~33 m 之间, 观测始于 20 世纪 80 年代, 采用 SW-40-1 型水位模拟观测仪。2018 年文安深井进行数字化改造, 观测仪器型号为 DATA-51 型, 现有专职观测人员一名。

理论上而言, 若文安水氡本次异常变化是由构造活动引起, 在区域构造活动与应力作用下, 如此大变化幅度, 水位也会有所反应并发生变化<sup>[5]</sup>。而从文安深井水位变化曲线(图 3a)可以看出, 水位变化稳定, 并未出现对应的异常变化。对邻区永清二氧化碳测点进行数据分析(图 3b), 也未发现与之匹配的前兆异常出现(虽然永清二氧化碳测项在 2024 年 5 月 17 日出现单天爆表情况, 但经核实为更换小量程试纸, 数据超量程导致)。说明文安水氡本次出现的异常变化为单一测项孤立事件, 即使为前兆异常, 异常信度也相对较低。

#### 2.2.2 地震活动性分析

异常发生区域位于冀中坳陷和沧县隆起地区, 区内发育的活动断裂主要有: NE 走向的大城断裂、NE-NEE 走向的牛东断裂等。

文安水氡在 2006 年 7 月 4 日文安地震、2020 年 7 月 12 日古冶地震、2023 年 8 月 6 日平原地震前该测项均未出现异常变化, 均未对应地震。

#### 2.2.3 水化学资料分析

地下水中的化学组分在很大程度上决定了地下水的物理性质和化学特征。这些离子的相对含量和绝对含量随着水文地质条件或其他外界环境的变化而变化, 从而使地下水形成各种不同的水质特征。因而对地下水化学成分进行分析, 也可以进行异常判定。

2024 年 3 月 27 日第一次对文安井进行水化学取样测试分析工作, 其 pH 值为 8.49, 电导为 752.4  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 弥补了文安井水化数据的空白。2024 年 5 月 27 日文安台水氡观测测项出现高值异常, 再一次对文安井和文安深井进行采样, 补充了文安深井水化学数据的空白。将异常前后的 2 组水样的氢-氧同位素测试数据进行投图分析(图 4a), 氢氧同位素对比图显示数据主要分布在全球大气降水线( Global Meteoric Water Line, GMWL)右侧, 表明文安地区地下水主要来源于大气降水, 而异常后数据更靠近大气降水线, 也可考虑是否短期内有其他含水层冷水的渗入, 而氡值升高, 氢氧同位素结果靠近大气降水, 也可说明

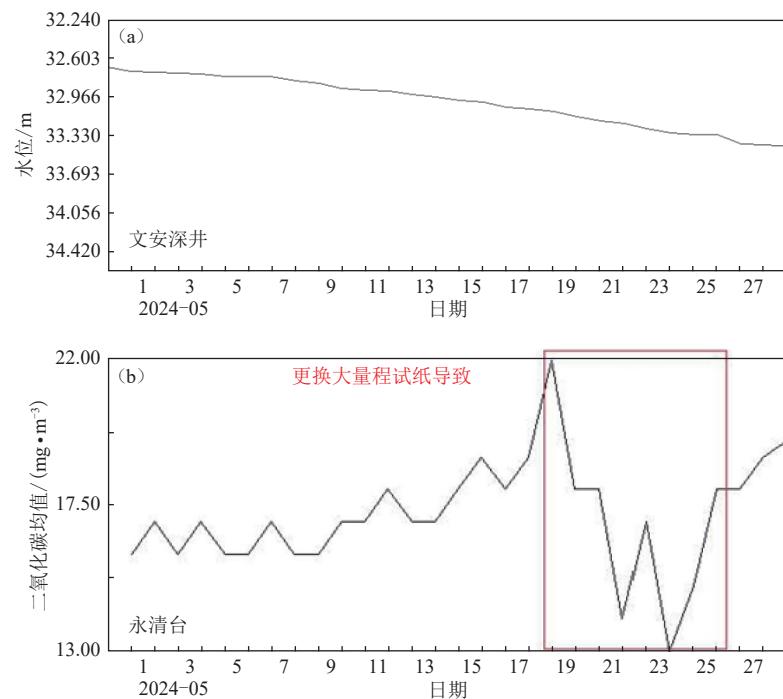


图 3 文安深井水位变化均值曲线图

Fig. 3 Average curve graph of water level changes in Wen'an deep well

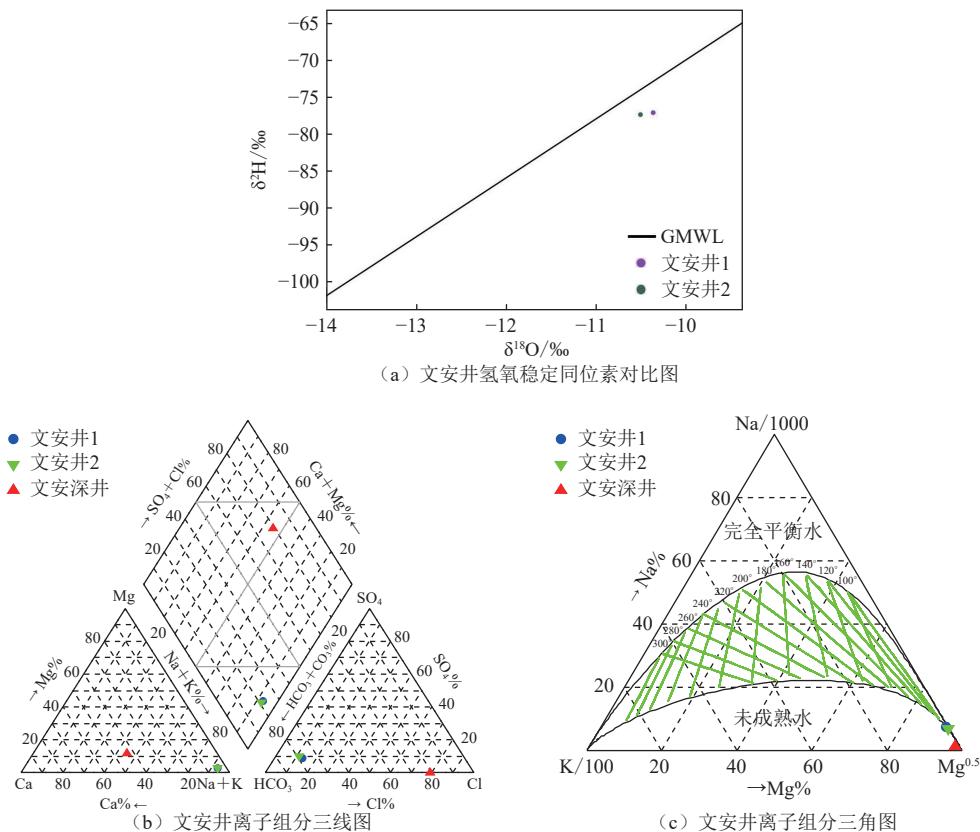


图 4 文安井水化学分析图

Fig. 4 Hydrochemical analysis of Wen'an well

有一定的水岩作用。将数据投影至 Piper 三线图(图 4b)与水-岩化学平衡三角图(图 4c)。从 Piper 三线图(图 4b)可以看出, 文安井水质化学类型为  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Na}^+$ 型水, 文安深井水化学类型为  $\text{Cl}^-$ - $\text{Ca}^{2+}$ 型水, 表明文安井与文安深井样品来源不一致, 文安井的出水段在井下 84~300 m, 而文安深井的出水段在井下 34~50 m。从文安井 2 期样品离子数据看出: ①在阴离子、阳离子相对浓度都降低的情况下, 异常发生后,  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度不断增大, 已知  $\text{SO}_4^{2-}$  离子是地表水和浅层地下水中常见的离子, 深层封闭地质构造中  $\text{SO}_4^{2-}$  含量很少,  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度不断增加, 说明含水层有一个开放的变化, 有不同的水混进来。②当区域应力增强时, 构造活动会引起地下水与岩石之间的水岩作用增强, 以及不同性质的地下水之间的混合作用。根据离子之间的反应过程可知, 当观测井中水体与含水层中的岩体之间发生深度接触时, 水体中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  会发生一系列被吸附和交换的过程, 从而

释放出更多的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ , 使得含水层水体中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量相对减少, 而  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  含量则相对升高, 文安井的 2 期离子数据有这个特点。从水-岩化学平衡三角图(图 4c)可以看出, 2 次文安井样品“部分平衡水”和“未成熟水”区域内, 异常后更趋近于  $\text{Mg}$  端元, 说明补给来源中除了浅层地表的混入, 也有深层地下水的补给, 反映出深部构造活动特征, 发生了一定的水岩作用, 水-岩之间尚未达到离子平衡状态, 水岩作用仍在进行。而文安深井水样落在  $\text{Mg}$  端元末端, 为未成熟水, 表明其属于典型的地表水。主要接受大气降水的补给, 循环周期相对较快, 水-岩之间尚未达到离子平衡状态, 水岩作用仍在进行<sup>[6-7]</sup>。

#### 2.2.4 平行观测资料分析

FD-125K 测氡仪每天进行主、副样观测, 主、副样测量结果(图 5)显示, 5 月 15 日开始主、副样同步升高, 5 月 24 日主样出现高值的情况下, 副样结果也出现高值, 基本可排除仪器问题<sup>[8]</sup>。

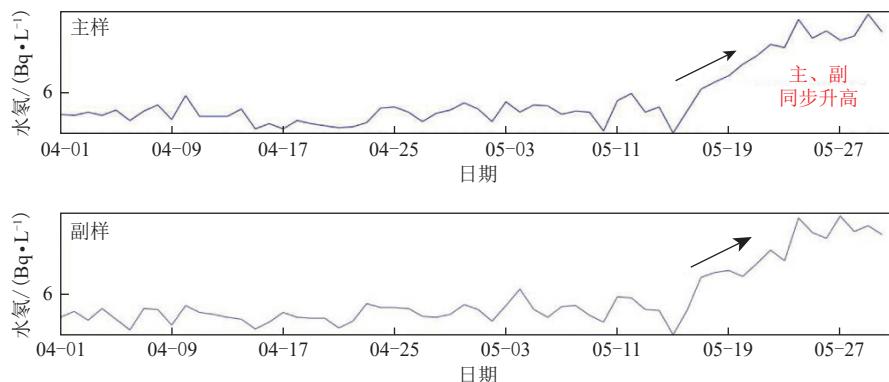


图 5 文安水氡主、副样测量曲线

Fig. 5 Measurement curves of the main and secondary samples of radon in Wen'an water

#### 2.2.5 文安水氡上下午对比观测分析

文安台水氡观测仪有一个备用的闪烁室, 在主、副样超差时启用, 在异常核实期间, 核实组计划加密观测一个数据, 短时间观测闪烁室底数降不到 150 脉冲/min 的情况下, 正好启用第 3 个闪烁室, 观测人员按照规范从 2024 年 5 月 27 日下午进行加密观测(图 6)。通过加密观测发现, 加密观测值虽然低于主、副样的值, 但仍然维持在高值, 氡值数据可信。

#### 2.3 异常判定

2024 年 5 月 15 日以来, 文安水氡出现高值, 5 月 24 日达到最高, 到目前为止一直维持在高点, 我们实时跟踪监控观测系统运行状态, 确保记录数据真实可靠。

基于本次及以往核实结果, 并未发现可造成文

安水氡异常变化的测点周边环境干扰情况。通过对仪器进行检查, 仪器运转正常, 未发现故障等问题。通过对观测员取样及测试等操作流程进行检查, 操作流程未见问题。通过将水氡观测数据与本区域气象资料进行分析, 基本排除气象因素对水氡异常造成的影响。通过与邻井水位观测数据对比, 并未发现与之配套的同步异常现象。水化学氢氧同位素数据结果, 可考虑是否短期内有其他含水层冷水的渗入, 而氡值升高, 氢氧同位素结果靠近大气降水, 也可说明有一定的水岩作用; 而离子数据结果说明含水层有一个开放的变化, 有不同的水混进来。结合地震活动性、加密观测数据、主副样对比观测数据等对水氡本次异常现象进行综合分析, 2024 年 5 月 17 日以来水氡出现的高值异常可能与区域应力增强存在一定

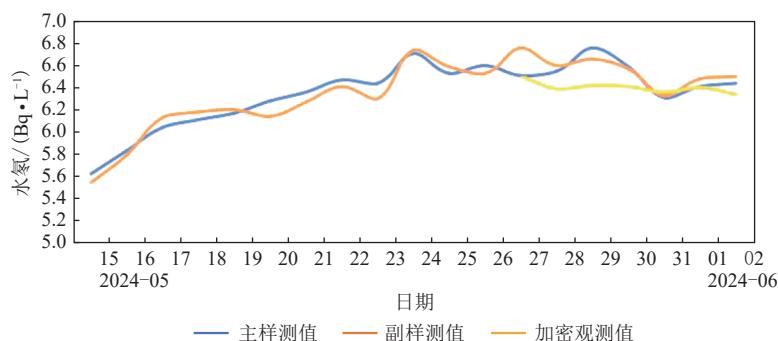


图 6 文安井水氡加密观测对比值

Fig. 6 Contrast ratio of water radon encrypted observations in Wen'an water

成因联系。

### 3 结论和建议

#### 3.1 结论

通过上述对文安水氡的异常调查和分析得到一下几点结论:

(1) 通过对观测系统工作状态的检查、仪器标定结果的检查以及采样测试流程的检查等, 判定仪器工作状态正常, 水氡测值变化真实可信。

(2) 通过对文安水氡观测点进行地质结构分析, 将文安水氡数据变化与气象因素进行对比分析, 基本排除气象因素对水氡异常造成的影响。

(3) 水质化验分析结果表明, 文安井水质化学类型为  $\text{HCO}_3^-$ — $\text{Na}^+$ 型水。从水-岩化学平衡三角图可以看出, 文安井样品“部分平衡水”和“未成熟水”区域内, 说明补给来源中除了浅层地表的混入, 也有深层地下水的补给, 反映出深部构造活动特征, 发生了一定的水岩作用, 水-岩之间尚未达到离子平衡状态, 水岩作用仍在进行。将水样的氢-氧同位素测试数据

进行投图分析, 氢氧同位素对比图显示更靠近大气降水线, 数据主要分布在全球大气降水线右侧, 表明文安地区地下水主要来源于大气降水, 也可考虑是否短期内有其他含水层水的渗入。

(4) 通过对邻井水位观测资料、同井水氡测值主副样以及加密观测数据分析, 认为水氡数据是真实、可靠的。

经对取样过程、观测流程、周边环境进行初步核实, 并未发现干扰, 因此将文安水氡快速上升变化作为异常进行跟踪, 但由于没有可靠的震例, 预报效能为 C, 因此该变化作为 C 类异常进行跟踪, 异常信度相对较低。后续需持续关注该地区其他地球物理观测异常发展与地震活动。

#### 3.2 建议

(1) 加密观测可对不同井水源进行加密观测, 把加密观测的水源改为距离 25 m 的文安深井水源;

(2) 因水氡观测易受周边环境干扰, 后续还需持续对周边干扰情况进行调查;

(3) 根据水化学结果, 看是否需要别的核实手段, 比如断层气。

### 参考文献

- [1] 中国地震局监测预报司. 地震前兆异常落实工作指南 [M]. 北京: 地震出版社, 2000  
Monitoring and Forecasting Department of China Earthquake Administration. Guidelines for the implementation of seismic precursor abnormalities [M]. Beijing: Seismological Press, 2000
- [2] 车用太, 刘喜兰, 姚宝树, 等. 首都圈地区井水温度的动态类型及其成因分析 [J]. 地震地质, 2003, 25(3): 403-420  
Che Y T, Liu X L, Yao B S, et al. Well water temperature behaviors in capital circle and their formation mechanism [J]. Seismology and Geology, 2003, 25(3): 403-420
- [3] 车用太, 鱼金子. 井水温度观测中有待解决的若干基本问题 [J]. 中国地震, 2013, 29(3): 306-315  
Che Y T, Yu J Z. Some basic problems in well water temperature observation [J]. Earthquake Research in China, 2013, 29(3): 306-315
- [4] 王艳, 何案华, 邓卫平, 等. 永清  $M_s 4.3$  地震前永清井水温异常分析 [J]. 地震地磁观测与研究, 2018, 39(6): 173-180  
Wang Y, He A H, Deng W P, et al. Analysis of the water temperature anomaly in Yongqing well before Yongqing  $M_s 4.3$  earthquake [J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2018, 39(6): 173-180

(下转第 690 页)

13(2): 363-372

[11] 王卫平, 赵韬, 古云鹤, 等. 陕西地震烈度速报与预警系统一般站运行对比分析 [J]. 地震科学进展, 2022, 52(8): 388-395

Wang W P, Zhao T, Gu Y H, et al. Comparative analysis on the operation of general stations of Shaanxi earthquake intensity quick report and early warning system[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2022, 52(8): 388-395

[12] André M, van der Schaar M, Zaugg S, et al. Sea observatories and acoustic events: Towards a global monitoring of ocean noise[C]//2011 IEEE Symposium on Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies. IEEE, 2011: 1-3

[13] 孙常青, 朱振家, 潘章容, 等. 甘肃地震预警测站典型异常波形的频谱分析 [J]. 地震工程学报, 2023, 45(3): 614-624

Sun C Q, Zhu Z J, Pan Z R, et al. Spectrum analysis of the typical abnormal waveforms of earthquake early warning stations in Gansu Province[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2023, 45(3): 614-624

[14] 韩璐, 陶正如. 基于异常检测与结构性态的加速度脉冲识别方法 [J]. 工程力学. doi: 10.6052/j.issn.1000-4750.2023.07.0540

Han L, Tao Z R. Anomaly detection and structural performance-based identification method for acceleration pulse[J]. Engineering Mechanics. doi: 10.6052/j.issn.1000-4750.2023.07.0540

=====

(上接第 683 页)

[5] 李富. 辉春 7.0 级深震地下流体前兆的动态特征研究 [J]. 华北地震科学, 2004, 22(3): 9-14

Li F. Study on the dynamic features of subsurface fluid precursor before Huichun  $M7.0$  deep earthquake[J]. North China Earthquake Sciences, 2004, 22(3): 9-14

[6] 晏锐, 蒋长胜, 张浪平. 汶川 8.0 级地震前水氡浓度的临界慢化现象研究 [J]. 地球物理学报, 2011, 54(7): 1817-1826

Yan R, Jiang C S, Zhang L P. Study on critical slowing down phenomenon of radon concentrations in water before the Wenchuan  $M_{8.0}$  earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(7): 1817-1826

[7] 范秀丽, 张宝民, 郝书琴. 张北 6.2 级地震前廊坊地区地下流体异常特征 [J]. 华北地震科学, 2004, 22(1): 51-54

Fan X L, Zhang B M, Hao S Q. The characteristics of subsurface fluid anomalies in Langfang region before Zhangbei  $M6.2$  earthquake[J]. North China Earthquake Sciences, 2004, 22(1): 51-54

[8] 杜学彬, 张新基, 张慧. 中国大陆地震水氡短临异常的空间特征研究 [J]. 地震学报, 1996, 18(3): 358-364

Du X B, Zhang X J, Zhang H. Study on spatial characteristics of short-impending anomaly of radon in Chinese mainland earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 1996, 18(3): 358-364