

九江中心站气氡异常跟踪核实实验分析

王良俊^{1,2}, 黄仁桂^{1,2*}, 赵影^{1,2}, 赵爱平², 李雨泽^{1,2}, 袁俊^{1,2}, 朱国伟^{1,2}, 罗桂生^{1,2}, 肖孟仁^{1,2}, 肖健², 吕坚²

¹江西九江扬子块体东部地球动力学野外科学观测研究站, 江西 九江

²江西省地震局, 江西 南昌

收稿日期: 2022年9月23日; 录用日期: 2023年2月8日; 发布日期: 2023年2月20日

摘要

针对2021年4月5日~18日江西省地震局九江中心站气氡异常变化, 通过现场核实和实验比对, 经分析得到: 此次气氡变化不是来自深部地下介质变化, 而是观测系统和环境干扰, 降雨、室内气温可能性较小, 是由于水路挤压导致脱气压力缓慢变化导致; 通过这次异常核实, 对气氡观测有了较为完整的认识, 为资料突变核实步骤和分析方法积累了经验, 也为探讨地震气氡氡值变化是否是地震前兆增添了佐证。

关键词

气氡观测, 氡值变化, 异常核实, 资料分析, 结论判定论文

Experimental Analysis of Startup Abnormal Tracking of Jiujiang Central Station

Liangjun Wang^{1,2}, Rengui Huang^{1,2*}, Ying Zhao^{1,2}, Aiping Zhao², Yuze Li^{1,2}, Jun Yuan^{1,2}, Guowei Zhu^{1,2}, Guisheng Luo^{1,2}, Mengren Xiao^{1,2}, Jian Xiao², Jian Lv²

¹Bservatory for Geodynamic of the East Yangtze Block in Jiujiang, Jiujiang Jiangxi

²Jiangxi Earthquake Agency, Nanchang Jiangxi

Received: Sep. 23rd, 2022; accepted: Feb. 8th, 2023; published: Feb. 20th, 2023

Abstract

For April 5-18, 2021, seismological bureau of jiujiang in jiangxi province center gas radon anomalies by verifying and field experiments, the results indicate: the gas radon comes not from deep

*通讯作者。

文章引用: 王良俊, 黄仁桂, 赵影, 赵爱平, 李雨泽, 袁俊, 朱国伟, 罗桂生, 肖孟仁, 肖健, 吕坚. 九江中心站气氡异常跟踪核实实验分析[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(2): 98-106. DOI: 10.12677/ag.2023.132009

underground medium changes, but the observation system and environmental interference, rainfall, less likely, indoor temperature is due to the water, as a result of degassing pressure slowly changing extrusion; through this anomaly verification, a relatively complete understanding of gas radon observation has been obtained, which has accumulated experience for data mutation verification steps and analysis methods, and also added evidence for discussing whether the change of gas radon value in earthquake is an earthquake precursor.

Keywords

Gas Radon Observation, Radon Value Changes, Anomaly Verification, Data Analysis, Conclusion Judgment Paper

Copyright © 2023 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

氡观测是国际上公认的地震监测手段之一，也是我国地震地下流体观测台网中重要测项，在地震趋势分析与短临震情研判中发挥着重要作用[1]-[6]，主要通过测氡仪对深层地下水(或温泉)中溶解气、逸出气以及断裂带土壤气体中的氡气进行连续观测，捕捉地震[7] [8]。氡被岩石、土壤颗粒表面吸附与解附，或溶解于地下水并随地下水迁移，在地震孕育与发生过程中，随着岩石应力与热力状态的变化及深部物质运移，可能会导致岩石氡射气系数改变、氡溶解度变化。但不可否认，气氡观测也存在许多影响观测资料质量的因素[8] [9]，如井水流量、脱气系统、观测室温度、湿度、气压等环境因素，水井周边环境的干扰因素等[10]。因此用气氡资料进行地震的分析预报，必须对异常开展充分的核实，来判断异常是地震前兆还是干扰[11]。本文以九江2井氡值异常成因探讨为例，对气氡异常核实进行探讨，为气氡的异常核实过程及异常分析提供实例，为地下流体的异常核实拓宽思路和方法提供具体的实例。

2. 概述

2.1. 异常概述

2021年4月5日九江2井气氡持续升高，日变化幅度在10 Bq/L左右，6日内累积上升84 Bq/L，氡值上升幅度达43%，如图1所示。初步怀疑可能为脱气装置和气路问题导致，进行气路检查并处理气路中的凝积水等，氡值仍然上升。

2.2. 中心站观测环境概况

九江中心站位于赣北部的庐山西北侧，地理位置为东经116.01°，北纬29.65°，海拔110米，构造上属于扬子陆块下扬子地块中部，区域构造位于庐山西北缘边缘剪切带上的夏家-威家岭左行走滑断裂带，该断裂带呈北东走向，延伸约8千米，宽约1~1.5千米，总体倾向320°~330°，倾角60°~70°，在中-新生代以来长期多次活动，继承了早第四纪时发生的断块抬升运动，并控制第四纪的分布，1911年2月6日，在该断裂带上曾发生九江5.0级地震，该地震距中心站1.5千米[12] [13]。九江中心站形变山洞进深45米，覆盖层厚约35米，山洞年温差<1.0℃，日温差<0.02℃，洞体基岩为硅质灰岩。山体相对高度约70米，近EW走向，呈EW缓、NS陡形状，表层植被丰富，山体岩层多见裂隙[12] [13]。

2.3. 九江地震观测井参数

九江 1 井(流体物理量观测)和九江 2 井(流体化学量观测)均为构造承压自流井孔, 总出水量约 100 m³/d, 主要观测含水层埋深约 58~63 m, 从历年观测证明, 两井系连通管结构, 为主要含水层相通, 九江中心站井孔参数如表 1 所示[14] [15]。

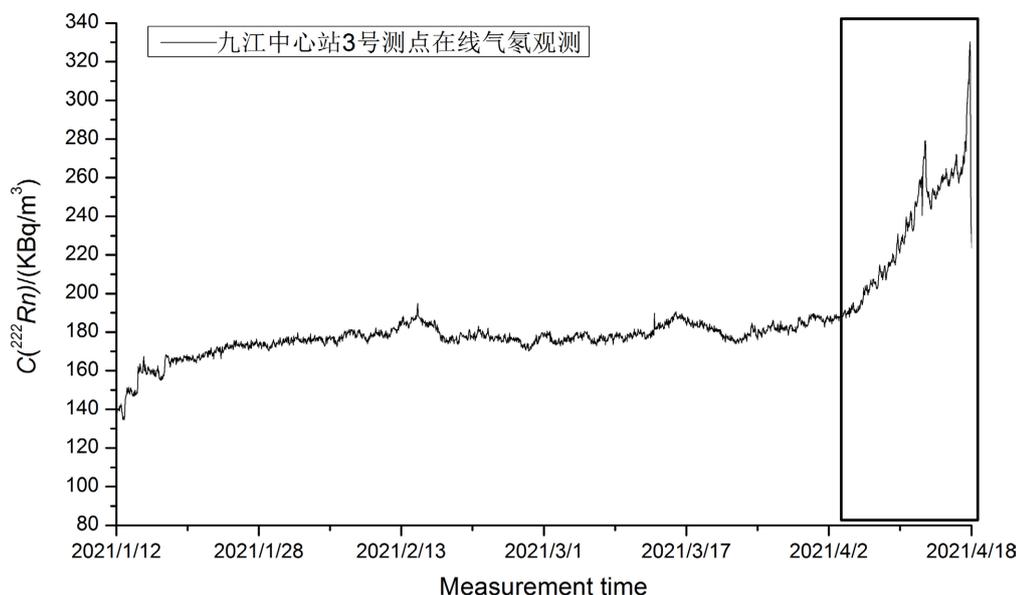


Figure 1. Data curve of gas radon anomaly in Well Jiujiang 2
图 1. 九江 2 井气氡异常数据曲线图

Table 1. Parameters of seepage property for sandstone
表 1. 九江台井孔参数表

井名称	成井日期	井深(m)	井径(mm)	基岩岩性
九江 1 井	2004-01-10	71.7	110	灰岩
九江 2 井	2008-11-03	71.0	130	灰岩

3. 异常调查分析

3.1. 异常初步判断

九江中心站对同井水氡加密取样测试, 水氡氡值变幅 10%以内, 属正常范围内。4 月 12 日 22 时在 3 号测点气氡仪后串接一台新 BG2015R 测氡仪, 进行串联对比观测实验, 及时收集两台测氡仪氡值数据, 发现同步持续上升, 说明气氡仪工作状态正常。

气氡异常现场核实: 1) 检查九江 2 号井及井口装置变化情况; 2) 检查中心站 BG2015R 型测氡仪、FD-125 氡钍分析仪、SWY-II 型水位仪、RTP-1 气象三要素仪和新安装 BG2015R 型测氡仪等仪器工作状态, 确认仪器均正常工作; 3) 检查测氡仪、气汞和气汞 G 水路及气路, 特别检查气路是否通畅等, 经检测均属正常; 4) 分析上述仪器近期观测资料, 均表现为日变动态正常, 水位固体潮形态良好。另外, 近半年来水位仪、水氡仪、气氡仪校测资料, 表明仪器工作状态良好, 观测正常; 5) 检查与此次异常相关的工作日志与观测日志; 6) 检查中心站外围, 未发现有明显变化。

3.2. 中心站观测环境调查

对九江中心站的九江 1 井及井房、抽水泵房、白龙荡水坑及山洞查看, 均未发现其它异常现象。对中心站周边环境进行调查, 未发现较大的施工工程开工, 未发现有打井、抽水等明显的干扰源。本次气氦异常涉及地下水化学组分的含量变化, 其他显性的水位埋深、地倾斜、应变均没有明显的变化, 故对中心站周边环境调查只限于一般性的了解, 中心站 200 米外的 5727 井房井孔没有发现异常, 周边村民生活井亦无异常。

3.3. 加密监测实验

除在测点气氦后串接一台新 BG2015R 测氦仪, 进行串联对比实验, 再进行以下实验排查工作:

1) 在气氦观测室内安装温湿度计进行温度、湿度等环境监控。

2) 考虑观测系统问题, 对同井出水口并联安装一套气氦观测系统, 进行同井气氦并联对比实验, 进一步验证气氦异常的可靠性。4 月 19 日 20 时在九江 2 井房主井管外水氦水样取水点处(接主井管的出水管)安装一个三通, 一路水用于水氦采样, 一路用于并联新观测系统气氦观测用水, 选择脱气装置为自然吸气脱气装置, 型号与测点测氦仪脱气装置一致, 脱出气体连接一台 P2000F 测氦仪, 开展同井并联对比观测实验。

3) 分别在 2 井主井管出水口、井房外泄水池、氦比测平台出水口采集三个水样, 封装邮寄中国地震局地震预测研究所, 进行地下水氢氧同位素等水质测量实验, 每 3 天采集一次水样, 共采集 4 次。

4) 由于地震氦观测仪器检测平台之前一直处于实验状态, 在 3 月下旬停止实验, 并把水路管道和恒流箱水排空, 4 月出气氦出现异常。考虑可能是氦检测平台系统影响, 于 5 月 11 日开展检测平台抽水实验把管路和恒流箱体处于满管状态, 验证气氦异常是否与水路管道挤压有关。

4. 异常分析

4.1. 观测资料对比分析

对中心站所有地球物理测项观测数据对比分析, 随着春天雨季到来, 3 月份雨量以三波逐渐增大的方式到来, 水位亦同步逐级升高, 最高上升 19 cm, 同期水温逐渐升高至目前维持在相对高值阶段, 而同井观测的水氦稳定变化没有出现异常, 水位有一定的同步异常变化; 2 井气汞和气象三要素, 气汞值维持比较低水平, 变幅不大, 观测室温度和室外环境温度缓慢上升。

气氦与定点形变相关观测资料对比, 从气氦异常与倾斜、洞体应变对比看, 形变各测项均未有明显的同步异常变化, 而在 3 月 17~19 日降雨量过程中, 形变各测项均有较好的响应。总体而言, 除降雨、水位资料可能存在同步异常变化外, 其它的地下流体观测、形变观测均未见明显异常[12] [13]。

4.2. 观测资料关联性分析

4 月 5 日~12 日测点气氦上升, 上升幅度达 43%, 九江 1 号井水位 4 月 5 日~7 日上升约 3 cm, 后至 12 日平稳变化; 降雨量在 3 月 30 日至 4 月 4 日连续小雨, 分别降雨 5 mm、6.7 mm、12.6 mm、10.3 mm、2.7、2.4 mm 总降雨量合计 39.7 mm, 4 月 7 日降雨 16.5 mm, 4 月 11、12 日分别降雨 9.3 mm、6 mm; 一般水位升高说明井孔流量增大, 而本次异常变化与 2015 年 6 月 24 日气氦异常不同之处在于, 水位 4 月 7 日~12 日不再升高而气氦值仍维持固定速率持续上升, 因此, 难以把此次异常与水位上升确定为直接相关。针对气氦异常与水位存在一定的同步性问题, 回顾降雨 - 水位 - 气氦三者间多年来统计关系, 见图 2, 具体对应表 2。

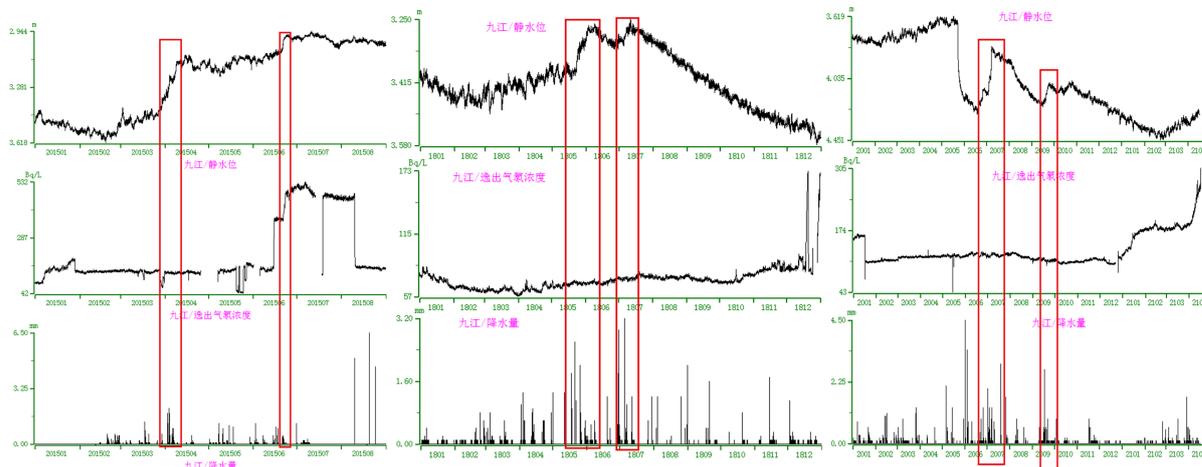


Figure 2. Corresponding curves of water level, gas radon anomaly and rainfall in Jiujiang Central Station
图 2. 九江中心站水位、气氡异常和降雨量对应曲线图

Table 2. Statistical table of water level, gas radon anomaly and rainfall in Jiujiang Central Station
表 2. 九江中心站水位、气氡异常和降雨量统计表

时间段	降雨总量(mm)	水位变化(m)	氡值变化率
2015/04/02-04/07(A)	252	0.297	0.00%
2015/06/21-06/22(B)	75	0.089	32.97%
2018/05/25-06/05(C)	222	0.115	1.45%
2018/07/05-07/07(D)	136	0.05	1.37%
2020/07/04-07/08(E)	267	0.333	9.57%
2020/09/16-09/23(F)	220	0.119	2.78%
2021/04/01-04/14(G)	75	0.089	43.68%

从表 2 看出 2021 年 04 月 01 日~04 月 14 日(G)降雨量 75 mm、水位变化 0.089 m, 氡值变化率为 43.68%, 与 2015/6/21~6/22(B)有点相似, 从九江中心站气氡值变化率、水位和降雨对应图来看, 相关性较好。但与 A、C、D、E 和 F 时间段对比, 降雨量和水位变化均大于 G 时间段, 氡值变化率较低, 即使受降雨和水位影响也不会引起这么大的变化幅度和这么长的持续时间, 因此难以说明本次氡值异常与水位、降雨有直接影响。

4.3. 化学量对比实验分析

按测氡仪比测相关技术要求, 4 月 12 日晚 10 时, 在 3 测点测氡仪出气口串接另一台贝谷公司生产 BG2015R 测氡仪, 采样率为每 10 分钟采样一次, 二者的观测数据和趋势吻合度较高, 变化速率与变化形态基本一致, 如图 3(a)所示。表明在此观测条件下, 3 测点测氡仪观测到气氡观测数据是真实的, 仪器工作状态正常。按测氡仪比测相关技术要求, 同井并联气氡观测数据与 3 测点测氡仪观测对比如图 3(b)所示, 从图可以看出并联气氡数据稳定, 变化较小, 而在线观测气氡先升高后降低, 说明可能在线观测系统或环境有干扰。

采集中心站三个位置 4 次水样邮寄中国地震局地震预测研究所进行水化组分测试, 根据测试结果分别做 Piper 图和 Schoeller 图, Piper 图表明水中阴阳离子组成的常用分析图, 根据样点在 Piper 图上位置,

能够指示水的化学组成类型,明确不同水体之间的混合作用[16],如图3(c)所示常量离子的含量较为接近,说明补给源一致。Schoeller图是由一组垂直平行线组成,横坐标上每条线代表一种化学成分,纵坐标为离子含量,用折线将各种离子含量的点连接在一起[17]。Schoeller图可直观反映研究区内不同水体之间化学成分变化及分布的相关关系,以及同一水体不同时间的变化特征[16],如图3(d)能够清晰地说明主要离子成分的含量基本接近,是同一补给来源[17],与Piper图的结果一致。图3(c)和图3(d)可以看出除Cl⁻离子有微小变化,其他基本没有变化,进一步说明在线观测气氛可能受观测系统或环境干扰。

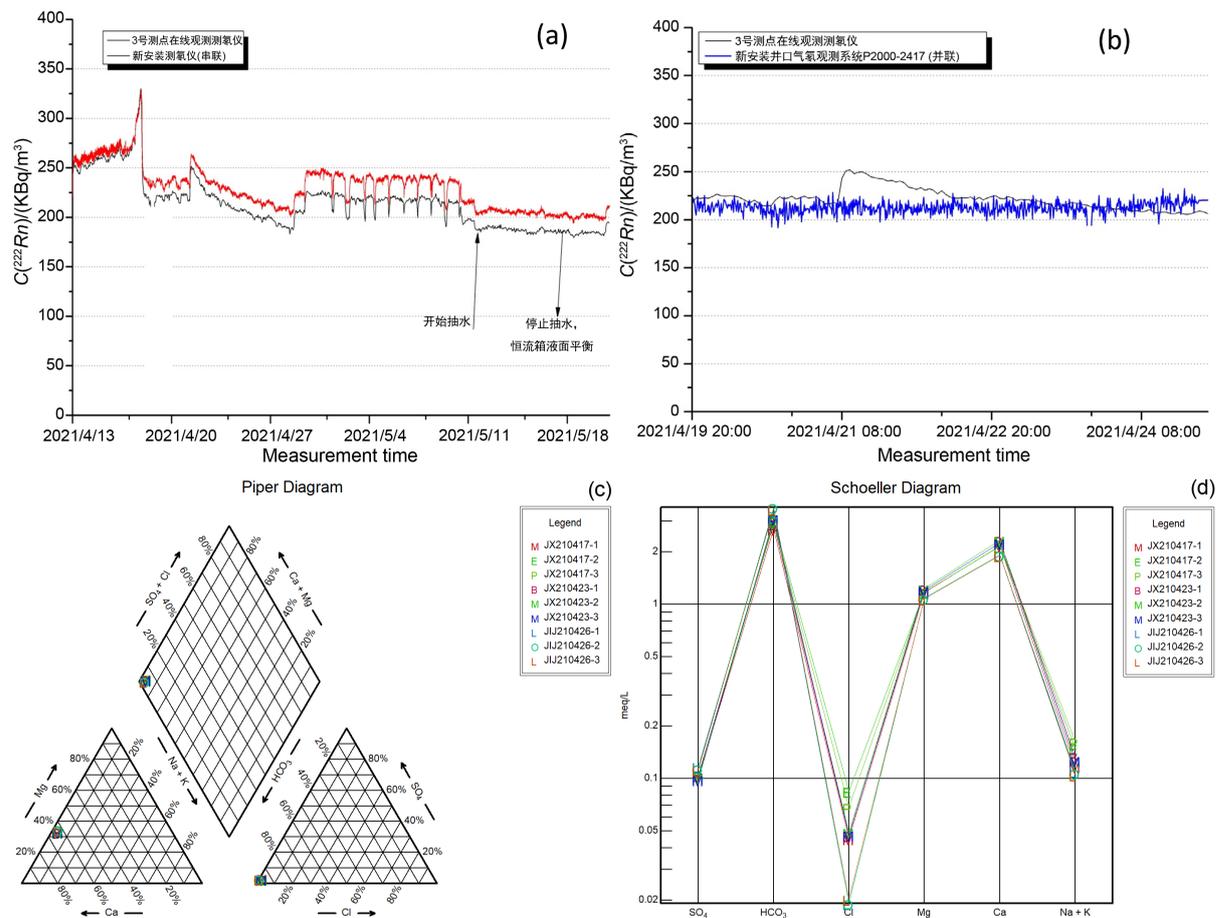


Figure 3. Experimental curve of chemical quantity comparison
图3. 化学量对比实验曲线图

4.4. 环境实验分析

新温湿度环境监控与在线气氛观测在同一观测室内如图4(b)。两者数据如图4(a)所示,可以看出4月28日至5月8日气氛出现间断性突跳,观测室内温度也存在同样现象,但气氛稍有滞后现象,可看出气氛跟温度存在一定关联,在开空调使室内温度稳定后,突跳现象逐渐消除。

5月11日开展检测平台抽水实验把水路管路和恒流箱处于水满管状态如图4(d)所示,之后气氛数据开始下降并处于稳定,数据恢复到异常前的数值,如图4(d)所示,说明气氛异常可能水路与恒流箱的排空,而后再恢复流水所造成的。因为排空后再注水用于观测,在注水过程后水路的管道内有一些空间是地下水不可能立即充满,留有一些空间,在地下水流动过程中地下水中的溶解氦会慢慢地释放出来变成逸出气氛,这些逸出气氛就充填到没有被地下水充满的空间中累积,然后就慢慢地参与到地下水中流到

脱气装置，而后进入传感器。随后这些空间被地下水慢慢地充满，逸出气氮混合到地下水的量慢慢地达到最高，而后也就慢慢地降低，恢复到正常的状态，水路挤压导致压力缓慢变化导致。

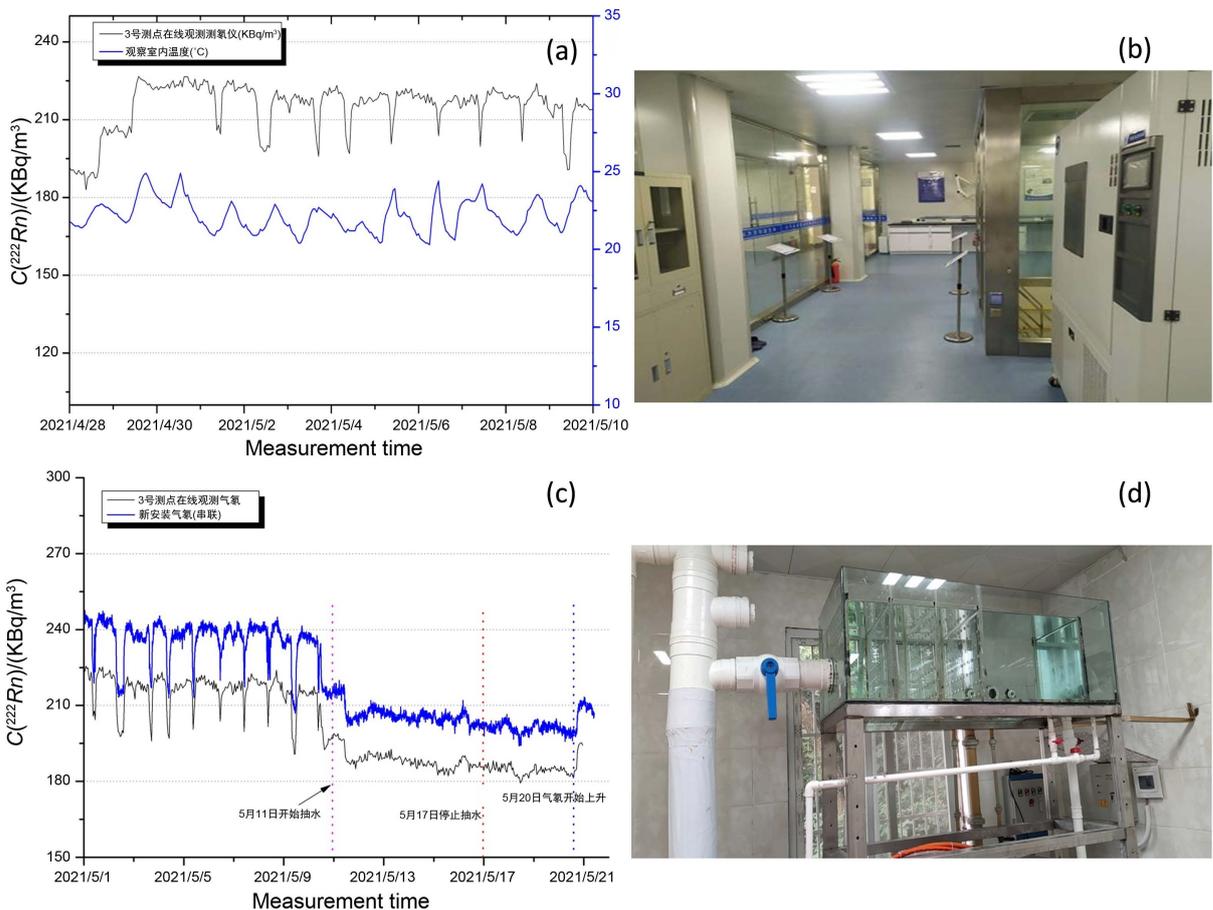


Figure 4. Corresponding curve of environmental experiment
图 4. 环境实验对应曲线图

4.5. 气氮异常的震例分析

九江中心站气氮资料做回顾性震例分析得到以中心站 100 公里以内有两次 ML4.0 级以上地震，2011 年 9 月 10 日江西九江 ML4.9 级地震震前表现为较好的异常对应。2015 年 6 月 17 日江西九江 ML4.2 级地震未记录到异常；100~200 公里以内有安徽安庆 ML4.8、桐城 ML4.1、霍山 ML4.4、江西浮梁 ML4.2，其中桐城 ML4.1 级地震似有一定异常显示，其它地震均未见明显异常。

本次气氮异常与 2011 年 9 月 10 日前的异常现象有一定的相似性，后者是在 2011 年 8 月 10 日起逐级升高，至 19 日升高至高值平台后持续高值约 12 天后，氮值下降，之后一周内发震，本次气氮从 5 日起逐级升高目前仍在升高，从同井气氮和水氮加密实验得出仪器真实值保持稳定，排除是地震前兆。

5. 讨论和结论

经过对中心站观测仪器检查、对比观测实验、中心站外围 2 公里范围走访调查等现场工作，就进行数据资料分析，认为 2021 年 4 月以来九江气氮异常不是地震前兆异常，引起气氮异常主要成因为以

下方面:

1) 由于 2 井 3 号测点气氡观测水路和氡检测平台水路并排进行观测室, 把氡平台水路排空, 氡值出现上升, 恢复氡平台水路和恒流箱处于水满管状态时, 气氡数值下降, 并恢复到异常前的氡值, 水路与恒流箱的排空, 后再恢复流水所造成的, 水路挤压导致脱气压力缓慢变化导致。

2) 九江 2 井气氡变化与降雨、水位变化存在一定影响和关联, 可能性较小。

3) 九江 2 井 3 号测点气氡观测系统在观测室内, 气氡与观测室内温度变化存在一定关联, 在开空调使室内温度稳定后, 突跳现象逐渐消除。

通过九江 2 井气氡的异常核实, 认识到异常核实除了要调查周边环境干扰、观测仪器是否正常工作、了解以往震例及以往出现类似异常的原因外, 还应设计恰当的对比观测实验和设计环境实验来验证推论, 分析气氡变化及特征, 必要时还应充分应用异常测项本身的物理、化学性质及水井的基础资料进行综合判定, 为气氡异常核实跟踪提供实验支撑, 从而提高气氡观测效能, 并介绍异常核实的步骤和经验, 供他人讨论和借鉴。

基金项目

地震科技星火计划项目(XH21017Y)、中国地震局三结合课题(3JH-20221402)共同资助。

参考文献

- [1] Alam, A., Wang, N., Petraki, E., Barkat, A., *et al.* (2021) Fluctuation Dynamics of Radon in Groundwater Prior to the Gansu Earthquake, China (22 July 2013: Ms = 6.6): Investigation with DFA and MF DFA Methods. *Pure and Applied Geophysics*, **178**, 3375-3395. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02818-8>
- [2] Muto, J., Yasuoka, Y., Miura, N., *et al.* (2021) Preseismic Atmospheric Radon Anomaly Associated with 2018 Northern Osaka Earthquake. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 7451. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86777-z>
- [3] Zhou, Z., Tian, L., Zhao, J., *et al.* (2020) Stress-Related Pre-Seismic Water Radon Concentration Variations in the Panjin Observation Well, China (1994-2020). *Frontiers in Earth Science*, **8**, Article ID: 596283. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.596283>
- [4] Zhao, Y., Liu, Z., Li, Y., *et al.* (2021) A Case Study of 10 Years Groundwater Radon Monitoring along the Eastern Margin of the Tibetan Plateau and in Its Adjacent Regions: Implications for Earthquake Surveillance. *Applied Geochemistry*, **131**, Article ID: 105014. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105014>
- [5] Wang, X., Li, Y., Du, J., *et al.* (2014) Correlations between Radon in Soil Gas and the Activity of Seismogenic Faults in the Tangshan Area, North China. *Radiation Measurements*, **60**, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2013.11.001>
- [6] Wang, B., Liu, Y., Sun, X., Ma, Y., *et al.* (2018) Hydrogeological and Geochemical Observations for Earthquake Prediction Research in China: A Brief Overview. *Pure and Applied Geophysics*, **175**, 2541-2555. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1885-y>
- [7] 刘春国, 余丹, 陶志刚, 等. 基于数据挖掘的甘肃武都殿沟泉氡异常与地震活动统计关系研究[J]. 地震工程学报, 2021, 43(6): 1263-1268.
- [8] 刘仕锦, 田思留, 李志鹏, 等. 水源污染对姑咱海子泉气汞和气氡观测的干扰分析[J]. 四川地震, 2019(2): 10-16.
- [9] 赵冬, 李志鹏, 袁梅, 等. 姑咱海子泉气氡脱气技术系统改造效能分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2018, 39(3): 170-174.
- [10] 徐长银, 汪成国, 杨绍富, 等. 库尔勒新 43 泉异常跟踪调查的初步分析[J]. 内陆地震, 2017, 31(4): 393-397.
- [11] 刘磊, 李霞, 冯丽丽, 等. 2016 年门源 Ms6.4 地震前乐都气氡异常特征[J]. 地震学报, 2017, 39(2): 296-299+306.
- [12] 赵爱平, 李传江, 周红艳, 等. 九江地震台观测环境因素引起的洞体应变异常机理探讨[J]. 大地测量与地球动力学, 2015, 35(3): 537-542.
- [13] 赵爱平, 周红艳. 不同力源作用下九江地震台井水位仪与伸缩仪的体应变响应分析[J]. 华南地震, 2014, 34(4): 94-101.
- [14] 周红艳, 赵影, 李雨泽, 等. 九江 1 井水温动态变化特征[J]. 地震地磁观测与研究, 2017, 38(6): 79-85.

- [15] 肖健, 黄仁桂, 姚玉霞, 等. BG2015 闪烁室测氡仪器应用于地震气氡测试运行实验[J]. 防灾减灾学报, 2017, 33(1): 44-51.
- [16] 张磊, 刘耀炜, 任宏微, 等. 水化学分析方法在地下水异常核实中的应用[J]. 地震, 2019, 39(1): 29-38.
- [17] 张磊, 刘耀炜, 任宏微, 等. 氢氧稳定同位素在地下水异常核实中的应用[J]. 地震地质, 2016, 38(3): 721-731.