

廖丽霞, 周跃勇. 卫星高光谱和温泉地球化学对台湾花莲  $M_s7.3$  地震的前兆反应[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 49–51. [LIAO Lixia, ZHOU Yueyong. Precursory Response of Satellite Hyperspectral and Hot Spring Geochemistry to Hualien  $M_s7.3$  Earthquake in Taiwan [J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 49–51]

# 卫星高光谱和温泉地球化学对台湾花莲 $M_s7.3$ 地震的前兆反应

廖丽霞, 周跃勇

(福建省地震局, 福州 350003)

## Precursory Response of Satellite Hyperspectral and Hot Spring Geochemistry to Hualien $M_s7.3$ Earthquake in Taiwan

LIAO Lixia, ZHOU Yueyong

(Fujian Earthquake Agency, Fuzhou 350003, China)

关键词: 台湾  $M_s7.3$  地震; 卫星高光谱; 温泉地球化学; 福建温泉; 地震预测

**Keywords:** Hualien  $M_s7.3$  earthquake in Taiwan; Satellite hyper-spectral; Hot spring geochemistry; Fujian hot springs;  
Earthquake prediction

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0049-03

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.18

### 0 研究背景

台湾地区地处欧亚板块、太平洋板块和菲律宾海板块相互作用弧陆碰撞的交汇处, 自古以来一直都是强震多发区, 尤其是台湾东部及东北部位于板块聚合带, 强震频发。福建省地震局承担着台湾地震的监测预测任务, 受地域限制无法在台湾布设观测台站, 一直以来对台湾7级地震预测主要依靠测震学的经验分析, 缺乏较为可靠的时间预测指标。

福建省位于环太平洋地震带的边缘, 是我国大陆新构造活动与地热活动最为活跃的地区之一。

2020-09—2023-09通过3年的研究发现该地区温泉遍布, 断裂切割超深, 且地幔热源十分丰富, 深部地壳的物理化学作用强烈; 同时构造分析显示台湾强震孕育过程中的应力积累能够通过深部动力传导引起福建温泉的响应, 因此福建是温泉地球化学观测研究的有利地区<sup>[1]</sup>。为充分发挥福建与台湾的邻区构造关联优势, 对台湾强震震情进行有效判定, 笔者带领研究团队优选多个幔源流体贡献大的温泉点开展连续观测; 同时充分应用卫星高光谱具有数据覆盖面广、时效性强、不受地面条件限制等优势, 借助卫星高光谱与福建温泉地球化学研究形成互补。事实证明这些温泉点和卫星高光谱确实捕捉到了深部和震源区大气中的

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 地震科技星火计划攻关项目(XH21013)

作者简介: 廖丽霞(1965-), 女, 高工, 主要从事地震地下流体监测报工作。

E-mail: 909051757@qq.com

地球化学信息,对台湾6级强震多数有灵敏的响应,气体更为灵敏,据此建立了3个温泉气数字化连续监测站观测 $H_2$ ,还曾梳理出多项通过R值检验的指标,用于台湾地区的震情跟踪,有效预测过台湾花莲 $M_s6.9$ 震群。

## 1 研究内容、理论基础和研究方法

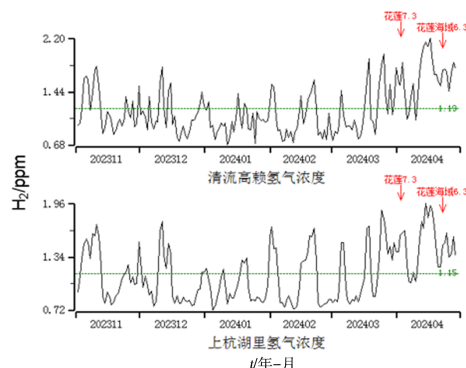
本研究针对流体台网分布不均存在监测盲区、映震灵敏的测项占比低及台湾地震指标缺乏的现状,充分发挥福建与台湾构造相联及温泉遍布的地域优势,借助台湾上空卫星高光谱与福建温泉地球化学研究形成互补,应用温泉地球化学构建了闽台构造地球化学立体观测网——在台湾地区用卫星高光谱捕捉震源气体增量释放的信息,在福建应用温泉捕捉区域活动增强信息,开展场源相结合的地球化学映震研究,引入氦氡碳同位素、水化学分析、气体观测、卫星高光谱等多尺度地球化学立体观测模式,结合地震、构造等情况进行相关分析,探索地球化学预测地震的新技术新方法,用于短临跟踪,实现监测预报科研三结合。由于温泉与构造活动密切相关,断裂带本身就是温泉上涌的通道。通过温泉地球化学成分的研究探寻幔源流体贡献率高的温泉布设观测点,这种地方一般壳幔连通程度高,其所在的断裂切割深、规模大,多是超壳断裂,其下地壳有的存在高导体或低速层这类熔融体,有的深部呈地幔底辟上涌、幔凸、地壳变薄等构造环境<sup>[1]</sup>,更易捕捉到深部信息。实践证明这些温泉观测点确实对台湾6级以上地震具有较好的前兆指示意义,在台湾7.3级地震前也提取到多项前兆异常。

地震孕育、发生过程中构造应力作用可导致深部气体沿断裂向上逸出的动态平衡被打破,前人的研究表明利用卫星遥感方法可以观测到地震前后的

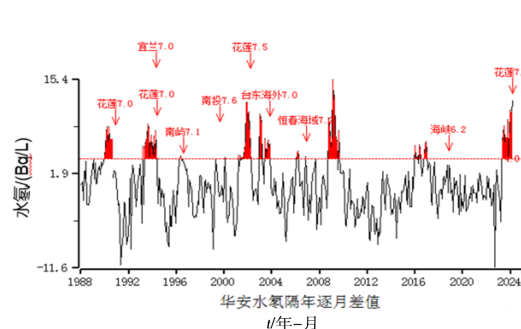
排气现象导致的大气中某些气体浓度的变化。崔月菊对应用卫星高光谱数据对全球113个7级以上地震(震源深度 $<35$  km)进行相关分析,发现地震过程出现 $CO$ 、 $O_3$ 或 $CH_4$ 异常的概率达到63.7%<sup>[2]</sup>;郭广猛应用卫星高光谱数据提取到2002年3月31日台湾7.5级强震前 $CO$ 的异常<sup>[3]</sup>。可见卫星高光谱不论在全球还是台湾地区的地震还是能有所作为的。据此从美国宇航局NASA提供的大气红外探测仪(AIRS)标准产品数据中获取 $CO$ 、 $O_3$ 和 $CH_4$ 浓度柱总量数据,利用2003—2020年的AIRS标准产品数据中 $CO$ 、 $O_3$ 和 $CH_4$ 柱总量的月平均数据构建台湾地区(共13个 $1^\circ \times 1^\circ$ 信息点)气体含量背景场,应用衬度即(原始值——该月的背景均值)/该月的标准差开展台湾强震研究。为与温泉进行对比分析,选取温泉研究期间即2021年以来的台湾6级以上地震进行相关分析,对总结出的多项短期前兆指标进行跟踪分析,从中提取到台湾7.3级地震前的多项前兆异常。

## 2 研究结果

在地震外围场区,福建有3口温泉的气体出现高值异常。华安氦在2023年5月起出现高值异常,该测点的氦在观测以来台湾7级地震前除南投7.6地震受严重抽水干扰外均出现高值异常;湖里和高赖的 $H_2$ 在震前一个月出现高值异常。在震区台湾地区卫星高光谱 $CO$ 、 $O_3$ 和 $CH_4$ 均提取到前兆异常。13个观测点震前出现异常占比 $O_3$ 达69.2%(9个观测点及全区均出现异常)、 $CO$ 和 $CH_4$ 达30.8%(4个观测点出现异常), $O_3$ 和 $CO$ 表现为高值异常,且与湖里和高赖的 $H_2$ 准同步,均在震前1个月内; $CH_4$ 多表现为低值异常。图1是福建温泉气体的典型映震图,图2是台湾震中区卫星高光谱 $CO$ 和 $O_3$ 衬度映震时序图。



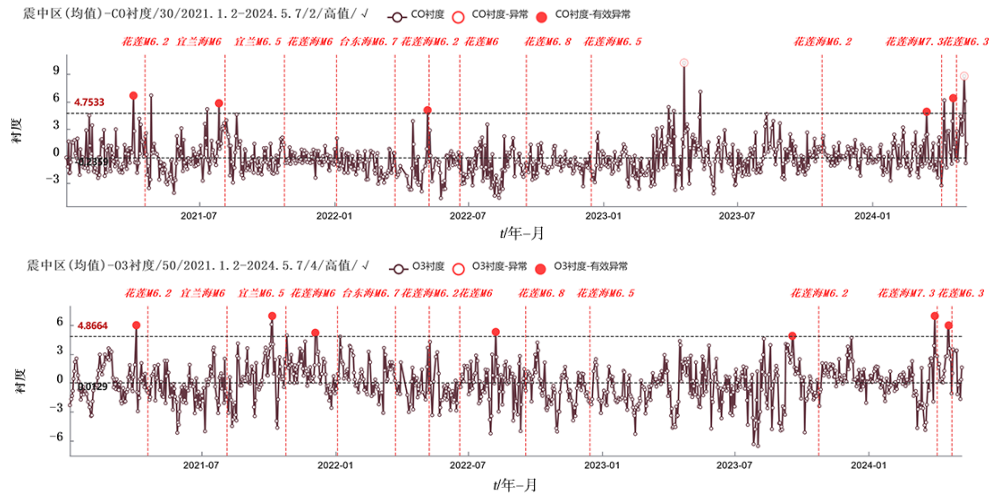
(a)上杭湖里和清流高赖 $H_2$ 时序曲线



(b)华安汰内水氢隔年逐月差值时序曲线

图1 福建温泉对台湾7.3地震典型映震时序曲线

Fig.1 Typical reflection time series curve of Fujian hot springs on Taiwan  $M_s7.3$  earthquake



注：图中地震数据来自中国台湾气象部门

图2 台湾卫星高光谱对台湾6级以上地震典型映震时序曲线

Fig.2 Typical reflection time series curve of Taiwan satellite hyperspectrum on earthquakes with  $M \geq 6$

### 3 结语

福建温泉气体和台湾卫星高光谱是较好的台湾7级地震映震灵敏组分。充分发挥温泉携带深部信息的特点及高光谱捕捉板块碰撞气体增量释放的信息的优势，可以填补福建流体监测盲区，改善福建流体观测站网空间分布不均、无流体流动观测的现状、突破无法到台湾布点的地域局限进而加强台湾地震监测能力；同时还可改善台湾地震前兆判定指标及时间预测指标缺乏的困境，提升台湾强震的预测能力。

本研究是在福建省地震局构造地球化学攻关团队工作的基础上提炼而成，感谢攻关团队全体成员的辛勤工作。感谢三明、龙岩、泉州、漳州、莆田、厦门、宁德市地震局和福州市防灾减灾中心为我们开展温泉气体地球化学研究工作提供的多方支持。

### 参考文献

- [1] Liao L, Zhou Y, Lin Z, et al. Gas geochemistry of the hot springs gas in Fujian province, SE China: Insight into the deep faults and seismic activity[J]. Front Earth Sci, 2023 (11):1277100.
- [2] 崔月菊. 大地震前后  $\text{CO}$ 、 $\text{O}_3$  和  $\text{CH}_4$  遥感地球化学异常特征 [D]. 北京:中国地质大学(北京), 2014..
- [3] 郭广猛, 曹云刚, 龚建明. 使用MODIS和MOPITT卫星数据监测震前异常[J]. 地球科学进展, 2006, 2(7):695-698.