



地震学报

ACTA SEISMOLOGICA SINICA



ISSN 0253-3782

CN 11-2021/P

2022年1月8日门源 $M_s6.9$ 地震前青海地区地下流体群体异常特征

刘磊 高小其 苏维刚 赵玉红 李霞 冯丽丽

Characteristics of fluid group anomalies in Qinghai area before $M_s6.9$ Menyuan earthquake on 8 January, 2022

Liu Lei, Gao Xiaoqi, Su Weigang, Zhao Yuhong, Li Xia, Feng Lili

引用本文:

刘磊, 高小其, 苏维刚, 赵玉红, 李霞, 冯丽丽. 2022. 2022年1月8日门源 $M_s6.9$ 地震前青海地区地下流体群体异常特征. 地震学报[J], 44(2): 245–249. DOI: 10.11939/jass.20220015

Liu L, Gao X Q, Su W G, Zhao Y H, Li X, Feng L L. 2022. Characteristics of fluid group anomalies in Qinghai area before $M_s6.9$ Menyuan earthquake on 8 January, 2022. *Acta Seismologica Sinica*[J], 44(2): 245–249. DOI: 10.11939/jass.20220015

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11939/jass.20220015>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

2017年西藏米林 $M_s6.9$ 地震前地磁垂直强度极化异常特征

Anomalous characteristics of geomagnetic vertical strength polarization before the 2017 Milin $M_s6.9$ earthquake in Tibet
地震学报. 2021, 43(5): 584–594 <https://doi.org/10.11939/jass.20200196>

2016年门源 $M_s6.4$ 地震前兆异常演化特征

Evolution characteristics of precursory anomalies before the $M_s6.4$ Menyuan, Qinghai, earthquake in 2016
地震学报. 2020, 42(1): 24–33 <https://doi.org/10.11939/jass.20190108>

云南地区震前地下流体异常特征统计分析

Statistical analysis of pre-seismic anomalous characteristics of subsurface fluids in Yunnan region
地震学报. 2018, 40(5): 632–645 <https://doi.org/10.11939/jass.20170206>

2017年西藏米林 $M_s6.9$ 地震余震序列重定位和 b 值时空分布特征

Relocation of the aftershock sequence of Milin $M_s6.9$ earthquake in 2007 and spatio-temporal variation characteristics of b -value
地震学报. 2019, 41(2): 169–180 <https://doi.org/10.11939/jass.20180077>

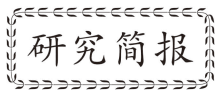
2016年青海门源 $M_s6.4$ 地震重定位

Relocation of the 2016 $M_s6.4$ Menyuan, Qinghai earthquake
地震学报. 2017, 39(2): 176–187 <https://doi.org/10.11939/jass.2017.02.002>

关于2021年5月滇西漾濞 $M_s6.4$ 地震序列特征及成因的初步研究

A preliminary study on the characteristics and mechanism of the May 2021 $M_s6.4$ Yangbi earthquake sequence, Yunnan, China
地震学报. 2021, 43(3): 261–286 <https://doi.org/10.11939/jass.20210100>

刘磊, 高小其, 苏维刚, 赵玉红, 李霞, 冯丽丽. 2022. 2022 年 1 月 8 日门源 $M_s6.9$ 地震前青海地区地下流体群体异常特征. 地震学报, 44(2): 245–249. doi: 10.11939/jass.20220015.
Liu L, Gao X Q, Su W G, Zhao Y H, Li X, Feng L L. 2022. Characteristics of fluid group anomalies in Qinghai area before $M_s6.9$ Menyuan earthquake on 8 January, 2022. *Acta Seismologica Sinica*, 44(2): 245–249. doi: 10.11939/jass.20220015.



2022 年 1 月 8 日门源 $M_s6.9$ 地震前青海地区地下流体群体异常特征^{*}

刘磊¹⁾ 高小其^{2),†} 苏维刚¹⁾ 赵玉红¹⁾
李霞¹⁾ 冯丽丽¹⁾

1) 中国西宁 810001 青海省地震局

2) 中国北京 100085 应急管理部国家自然灾害防治研究院

关键词 门源 $M_s6.9$ 地震 地下流体 异常特征 群体异常

doi: 10.11939/jass.20220015 中图分类号: P315.72⁺3 文献标识码: A

Characteristics of fluid group anomalies in Qinghai area before $M_s6.9$ Menyuan earthquake on 8 January, 2022

Liu Lei¹⁾ Gao Xiaoqi^{2),†} Su Weigang¹⁾ Zhao Yuhong¹⁾ Li Xia¹⁾ Feng Lili¹⁾

1) *Qinghai Earthquake Agency, Xi'ning 810001, China*

2) *National Institute of Natural Hazards, Ministry of Emergency Management, Beijing 100085, China*

Key words: Menyuan $M_s6.9$ earthquake; underground fluid; anomalous characteristic; group anomalies

据中国地震台网正式测定, 2022 年 1 月 8 日 1 时 45 分, 青海省海北州门源县发生 $M_s6.9$ 地震, 震中位置(37.77°N, 101.26°E), 震源深度为 10 km. 此次地震造成地表破裂长约 22 km, 地震震中位于门源县皇城蒙古族乡附近, 距门源县城 54 km, 西宁、兰州等地有明显震感. 研究区处于青藏高原东北缘, 位于柴达木—祁连地块、阿拉善地块和鄂尔多斯地块的交会处, 属祁连地震构造带, 距此次地震震中最近(约 5 km)的断层为冷龙岭断裂带西北端与托莱山断裂的阶区. 此次地震的发震断层以左旋为主, 震源机制解为走滑型(图 1).

门源 $M_s6.9$ 地震前, 青海地区地下流体先后出现八项中短期异常, 异常形态多以上升、

*** 基金项目** 国家重点研发计划(2019YFC1509203)、应急管理部国家自然灾害防治研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项(ZDJ2021-11)、中国地震局地震科技星火计划(XH20063Y)、2022 年度震情跟踪定向工作任务(2021010303)和青海省地震局地震科学基金(2021C02)共同资助.

收稿日期 2022-02-10 收到初稿, 2022-03-07 决定采用修改稿.

作者简介 刘磊, 硕士, 高级工程师, 从事地下水化学及地球化学流动观测方面研究, e-mail: liu_leiy@163.com; †高小其, 研究员, 主要从事地震地下流体和地球化学研究, e-mail: gaioxq06@126.com



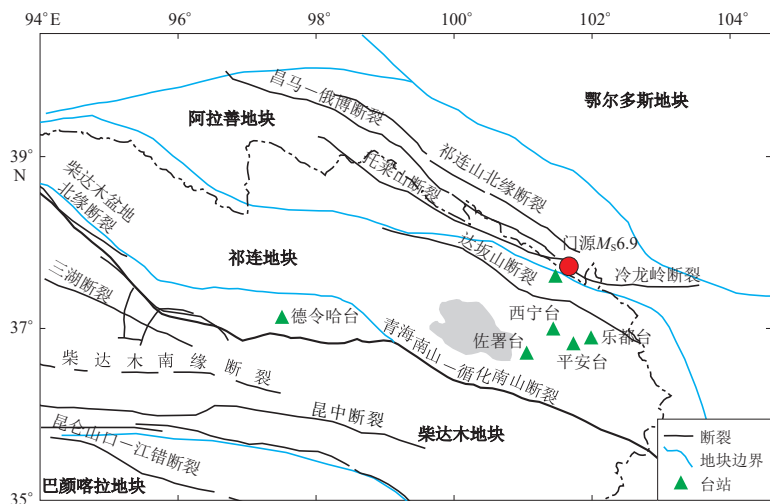


图 1 研究区域的地质构造背景

Fig. 1 The geotectonic settings of the study area

下降、破年变为主(表 1, 图 2). 震前, 笔者依据流体异常出现的时间顺序多次开展现场核实, 排除了人为、环境和仪器等干扰, 确定了门源静水位、佐署动水位、佐署浅层水温等多项信度较高的异常, 经综合分析, 于 2021 年 12 月 6 日填卡较好地预测了门源 $M_s6.9$ 地震. 震后, 进一步对部分显著流体异常进行现场采样和分析, 并对可能的前兆孕震机理进行分析, 为门源 $M_s6.9$ 地震跟踪过程提供科学的参考依据.

表 1 2022 年青海门源 $M_s6.9$ 地震前定点流体观测异常

Table 1 Observation of fluid anomalies at the fixed points before $M_s6.9$ Menyuan, Qinghai earthquake in 2022

台站	异常项	异常形态	起止时间	震后变化	异常幅值	震中距/km
门源台	静水位	上升一下降	2021-09-17—11-30	异常恢复	0.089—0.16 m	37
佐署台	动水位	下降	2021-07-10—08-25	异常未恢复	0.27 m	132
佐署台	水温	上升	2021-07-10—至今	异常未恢复	0.12 m	132
平安台	静水位	破年变	2021-08-13—10-11	异常恢复		160
乐都台	气氦	上升一下降	2021-09-15—10-06	异常恢复	360—298 Bq/L	169
西宁台	气氦	下降一上升	2021-09-22—11-08	异常恢复	14.2 Bq/L	133
德令哈台	水温	上升一下降	2021-12-02—12-16	异常恢复	0.02—0.007 °C	344
共和台	水温	下降	2021-01-06—12-15	异常未恢复	0.1—0.4 °C	180

依据《地下流体分析预报手册》(中国地震局监测预报司, 2020)中异常识别方法的原始曲线法, 2021 年 7—9 月出现的流体群体异常对门源 $M_s6.9$ 地震的发生具有较好的指示意义. 以水位、逸出气氦异常为主, 从异常出现时间及空间演化来看, 最早于震前 6 个月出现的异常为佐署动水位、水温异常, 距震中 132 km; 随后于震前 4.5 个月出现平安静水位破年变异常, 距震中 160 km; 2021 年 9 月 15—22 日(震前 3.5 个月)先后集中出现乐都逸出气氦、门源静水位和西宁逸出气氦异常, 距震中分别为 169, 37 和 133 km. 从异常出现及持续时间推测优势发震时间在 2022 年 1 月 31 日前; 依据异常空间分布及演化特征推测优势发震地区有两个, 其一为青海中南部地区, 其二为祁连地震带, 以青海中南部地区为主; 所发生历史

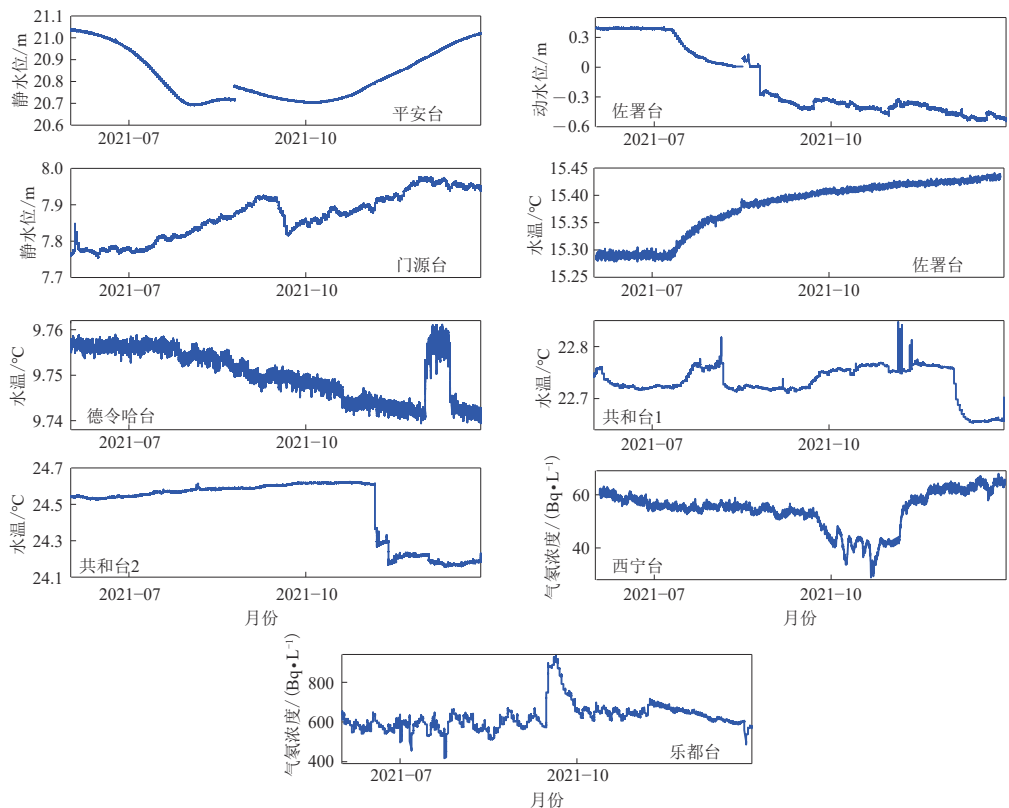


图 2 2022 年门源 $M_S6.9$ 地震前定点流体观测异常

Fig. 2 Observation of fluid anomalies at the fixed points before $M_S6.9$ Menyuan earthquake in 2022

地震的震级均介于 $M5.6$ — 7.4 之间, 综合分析后认为目标地震震级约为 $M6$, 最终给出预测震级为 $M6.0$ — 6.4 .

图 2 所示的异常时空演化显示: 在时间尺度上, 异常均在地震前半年出现, 具有中期趋势向短期演化的特征, 并且一半以上的异常具有短临预报指示意义; 在空间分布上, 异常总体呈现由外围异常区向震中区域发散—聚拢—发散的特点。

异常出现后通过现场水化学取样分析, 并与较早的取样结果(背景值)进行对比(刘磊等, 2017, 2021; 苏维刚等, 2021)。样品分别委托中国地震局地壳应力地壳动力学重点实验室、中国地震局地震预测重点实验室、中国科学院青海盐湖研究所分析测试中心依据《DZ/T0064—1993 地下水水质检验方法》, 数据结果见表 2 和图 3。

门源台静水位异常前后 Cl^- 和 Na^+ 的浓度变化显著, 其它离子的浓度变化程度相当, 具体表现为: Cl^- 和 Na^+ 的浓度在水位异常出现后均有升高迹象, 两者可形成水体中的氯化物, 说明沉积岩中岩盐及其它氯化物溶解反应相较未出现异常前有所增强; SO_4^{2-} 浓度呈反向变化, 西宁地区样本出现气氡异常后, SO_4^{2-} 浓度低于背景值, 佐署台动水位、水温及平安台静水位出现异常后 SO_4^{2-} 浓度高于背景值, 分析认为这是由于 SO_4^{2-} 离子是中等矿化水中含量最多的阴离子, 西宁台逸出气氡水体是温泉水, 循环深度较深, SO_4^{2-} 浓度降低指示有部分低矿化水混入, 反之, 佐署台动水位、水温及平安台静水位水体均为地表水, 循环深度浅, SO_4^{2-} 浓度升高指示有部分中等矿化水混入; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度只在佐署台动水位、水温出现异常后

表 2 各异常台站水样的离子浓度

台站	Na ⁺ /(mg·L ⁻¹)		K ⁺ /(mg·L ⁻¹)		Mg ²⁺ /(mg·L ⁻¹)		Ca ²⁺ /(mg·L ⁻¹)		Cl ⁻ /(mg·L ⁻¹)		SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)		HCO ₃ ⁻ /(mg·L ⁻¹)	
	<i>B</i>		<i>B</i>		<i>B</i>		<i>B</i>		<i>B</i>		<i>B</i>		<i>B</i>	
	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
西宁台	3200.54	3386	14.52	14.49	16.37	19.03	34.27	38.00	92.64	1154	3857.94	3531	2753.64	2667
门源台	368.2	386.6	3.61	8.56	5.18	4.22	8.01	9.02	155.3	168.8	31.7	55.05	695.6	671.2
佐署台	165.3	593.9	2.29	1.456	12.54	1.571	26.64	3.976	251.7	203.5	119.1	430.2	545.2	522.5
平安台	610	1136	9.03	11.72	84.74	82.9	441.6	445.5	224.1	306.1	2207	2763	183.1	203.8

注: *B*为各离子背景值, *A*为各离子浓度异常值.

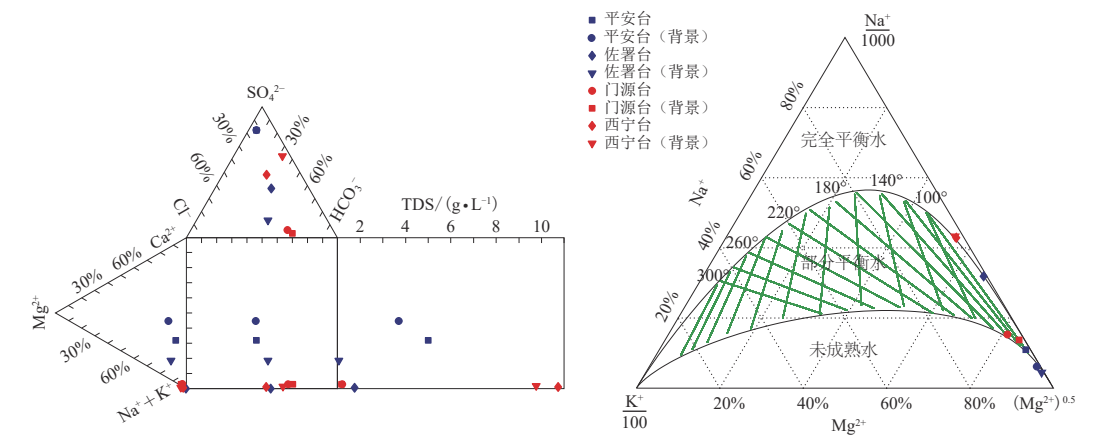


图 3 Durov 图和 Na-K-Mg 三角图

Fig. 3 Durov diagram and triangle diagram of Na-K-Mg

显著变化, 表现为异常出现后 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度明显低于背景值, 说明 Ca^{2+} 的地下水径流途径比较长(刘耀伟, 施锦, 2000; 官致君, 2001).

结合所得实验数据, 依据舒卡分类法, 西宁台逸出气氦、平安台静水位采样点水样的水化学类型为 Na-SO_4 , 门源台静水位采样点水样的水化学类型为 Na-HCO_3 , 佐署台静水位、水温采样点水样水化学类型由背景值的 Na-HCO_3 型转变为异常出现后的 Na-SO_4 型. 从 Na-K-Mg 三角形图解可以看出: 大部分采样点测值结果集中分布于部分平衡水与未成熟水的交界区域, 并且位于 Mg^{2+} 端元, 表明水样与周围环境的水岩作用加剧, 显示有深、浅两部分水的混合(高小其等, 2002; 刘耀伟等, 2004); 西宁台逸出气氦的背景值与异常值均位于部分平衡水区域, 说明水岩反应程度较强, 循环深度较深. 另外, 佐署台动水位、水温采样点由背景值位于未成熟水区域转变至异常出现后的部分平衡水区域, 显示有其它深部水体的混入, 水岩反应程度增强, 此现象与离子浓度分析结果一致.

综上所述, 震前青海地区出现罕见群体性流体异常, 且大部分出现在震中 200 km 范围内, 较为集中, 并且呈现出由外围异常区向震中区域发散—聚拢—发散的特点. 2021 年玛多 $M_S7.4$ 地震后部分流体异常并未完全恢复至正常观测状态, 表明区域应力调整还在继续, 随后新增多项流体同步异常, 致使异常数量整体不减反增, 为后续震情判定提供了科学的参考依据. 此次门源 $M_S6.9$ 地震的发生表明震前对预测时间的判断正确, 但优势发震地区与门源 $M_S6.9$ 地震震中相差 240 km; 最终预测震级为 $M6.0-6.4$, 与实际发生地震存在 0.5 的偏差.

这表明地下流体异常对于优势发震时间具有较好指示意义,但对震级及发震地区判断不够准确,需要结合测震学及其它地球物理异常进一步梳理预测指标。

震前的区域应力加载导致周围岩石产生裂隙孔隙,使承压井水位、井水温发生持续变化,同一时段的水岩反应加剧,使得水化学离子组分的浓度亦发生相应变化,需特别关注的是最早出现的佐署台动水位、水温异常,其水化学类型及水化学组分也发生很大改变,由此推断该观测点是构造灵敏点,对后续该区震情判定具有地点指示意义。综合所有异常形态、时空演化特征分析认为,基于现场异常核实和异常信度分类认识,排除干扰,对提高震情跟踪工作效能具有重要作用。尽管本次群体性异常特征与观测点密度存在一定关系,但对于震例总结仍具有重要参考意义,同时也有助于提升该区的震情研判能力。

参 考 文 献

- 高小其,许秋龙,王道,李艳萍,崔勇,范博勤. 2002. 地下流体中强震源兆、场兆和强震远兆特征及其物理成因[J]. *地震*, 22(3): 81–88.
- Gao X Q, Xu Q L, Wang D, Li Y P, Cui Y, Fan B Q. 2002. The characteristics of the focal precursors, field precursors before moderately strong earthquakes and remote precursors before strong earthquakes and their physical essence[J]. *Earthquake*, 22(3): 81–88 (in Chinese).
- 官致君. 2001. 川西地下流体化学组分观测与中强震关系[J]. *四川地震*, (3): 20–25.
- Guan Z J. 2001. Relationship between chemical element changes in ground water and medium & strong earthquakes[J]. *Earthquake Research in Sichuan*, (3): 20–25 (in Chinese).
- 刘磊,李霞,冯丽丽,祁昌炜,王佳音. 2017. 2016 年门源 $M_s6.4$ 地震前乐都气氡异常特征[J]. *地震学报*, 39(2): 296–299.
- Liu L, Li X, Feng L L, Qi C W, Wang J Y. 2017. Characteristics of gas radon concentration anomaly at Ledu before the 2016 Menyuan $M_s6.4$ earthquake[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 39(2): 296–299 (in Chinese).
- 刘磊,张朋涛,苏维刚,李霞,赵玉红,冯丽丽. 2021. 2021 年 5 月 22 日青海玛多 $M7.4$ 地震前共和水温异常分析研究[J]. *地震工程学报*, 43(4): 860–867.
- Liu L, Zhang P T, Su W G, Li X, Zhao Y H, Feng L L. 2021. Anomalies of water temperature at Gonghe seismic station before the Maduo $M7.4$ earthquake on May 22, 2021[J]. *China Earthquake Engineering Journal*, 43(4): 860–867 (in Chinese).
- 刘耀炜,施锦. 2000. 强震地下流体前兆信息特征[J]. *地震学报*, 22(1): 102–107.
- Liu Y W, Shi J. 2000. Information characteristics of ground fluid precursor on continental strong earthquakes[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 22(1): 102–107 (in Chinese).
- 刘耀炜,牛安福,卢军. 2004. 强震短期前兆异常特征物理分析和解释的研究进展[J]. *地震*, 24(4): 57–65.
- Liu Y W, Niu A F, Lu J. 2004. Study progress of physical analysis and explanation of short-term strong earthquake precursory anomaly characteristics[J]. *Earthquake*, 24(4): 57–65 (in Chinese).
- 苏维刚,刘磊,袁伏全,赵玉红,孙玺皓. 2021. 2021 年玛多 $M_s7.4$ 地震前玉树地震台井水温异常特征[J]. *地震学报*, 43(3): 392–396.
- Su W G, Liu L, Yuan F Q, Zhao Y H, Sun X H. 2021. The anomaly characteristics of well water temperature in Yushu seismic station before the 2021 Maduo $M_s7.4$ earthquake[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 43(3): 392–396 (in Chinese).
- 中国地震局监测预报司. 2020. 地下流体分析预测技术方法工作手册[M]. 北京:地震出版社: 1–340.
- Department of Earthquake Monitoring and Prediction, China Earthquake Administration. 2020. *Summary of Technical Methods for Underground Fluid Analysis and Prediction*[M]. Beijing: Seismological Press: 1–340 (in Chinese).