

李君, 李军辉, 裴红云, 等. 安徽霍山33井水化学特征分析[J]. 华南地震, 2024, 44(2): 8–13. [LI Jun, LI Junhui, PEI Hongyun, et al. Hydrochemical Characteristics of Huoshan Well 33 in Anhui Province[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(2): 8–13]

## 安徽霍山33井水化学特征分析

李君<sup>1</sup>, 李军辉<sup>1,2</sup>, 裴红云<sup>1</sup>, 周冬瑞<sup>2</sup>

(1. 安徽省地震局, 合肥 230031; 2. 蒙城地球物理国家野外科学观测研究站, 合肥 230031)

**摘要:** 采用piper图、主要离子相关等方法对安徽霍山33井2021—2023年井水13次水样离子检测结果进行分析, 结果显示: 该井地下水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca--Mg}$ 型水, 水中离子以 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 为主, 由于井水属于承压水, 埋藏深度大, 径流补给途径长, 溶解—溶滤作用强烈, 从而引起离子浓度高于地表水; 氢氧同位素的结果显示, 该井主要受到大气降雨补给; 离子浓度时间序列显示, 在2022年10月10日霍山3.0级地震前后, 2022年7—8月的离子检测中, 出现 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 浓度升高,  $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{Cl}^-$ 浓度降低的变化, 地震后恢复到正常背景值, 该变化可能反应了地震孕育过程有关。

**关键词:** 霍山33井; 水化学特征; 离子浓度

中图分类号: P315.724

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)02-0008-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.02.02

## Hydrochemical Characteristics of Huoshan Well 33 in Anhui Province

LI Jun<sup>1</sup>, LI Junhui<sup>1,2</sup>, PEI Hongyun<sup>1</sup>, ZHOU Dongrui<sup>2</sup>

(1. Anhui Earthquake Agency, Hefei 230031, China; 2. Mengcheng National Geophysical Observatory, Mengcheng 230031, China)

**Abstract:** The ion detection results of 13 water samples from the Huoshan Well 33 in Anhui Province from 2021 to 2023 were analyzed by using the piper plot and main ion correlation methods. The results show that the chemical type of groundwater in this well is  $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca--Mg}$  type water, and the main ions in the water are  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , and  $\text{Mg}^{2+}$ . As the well water is confined water, with a large burial depth, long run off supply path, and strong dissolution and filtration, the ion concentration of the well water is higher than that of surface water. The hydrogen and oxygen isotope results indicate that the well water is mainly recharged by atmospheric rainfall. The ion concentration time series shows that before and after the Huoshan  $M3.0$  earthquake on October 10<sup>th</sup>, 2022, the  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations increased, and the  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations decreased during the ion detection from July to August, 2022. After the earthquake, they returned to normal background values, which may reflect the earthquake preparation process.

**Keywords:** Huoshan Well 33; Hydrochemical characteristics; Ion concentrations

收稿日期: 2023-10-12

基金项目: 芜湖市科技计划项目(2023yf007); 中国地震局“监测、预报、科研”三结合课题(3JH-202401031)联合资助。

作者简介: 李君(1995-), 女, 助理工程师, 主要从事地震形变研究。

E-mail: 1020439684@qq.com

通信作者: 李军辉(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事震磁观测研究。

E-mail: lijunhui\_ah@163.com

0 引言

地下水作为地壳结构中最活跃的组分之一,常赋存在地壳岩石孔隙、裂隙之中,具有较好的流动性。正常活动状态下,地壳岩石的孔隙体积和孔隙中流体处于稳定状态;在地震孕育和形成过程中,由于地壳应力水平增强,岩石孔隙受压缩或拉伸膨胀变形,岩石孔隙体积发生变化,引起岩石孔隙中流体压力、温度、溶解能力的改变,补给、排泄径流的变化以及不同层位的流体混合等,岩层中各种环境条件的变化都会引起介质体系的变化和水—岩体系平衡的破坏,导致地下流体物理量和化学组分含量变化,地震监测实际情况发现,大部分中强地震发生过程中都伴有地下流体化学组分和水位的变化<sup>[1]</sup>,所以观测地下流体地球化学特征的变化是预测地震的一个重要有效手段。

水化学特征在地震观测与机理研究方面都有着广泛的应用<sup>[2]</sup>,主要目的是解决地下水及化学组分的来源、地热储温度、冷热水混合比例、水循环深度及水岩反应程度等问题,进一步探讨断层和地震活动的关系及识别地震异常等问题<sup>[3]</sup>。水化学常量离子包括 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 等8种,常见的分析方法主要包括数值法和图解法。

前人统计了中国7级以上地震共计11次,均发现明显的地下流体异常,异常包括水位、水温、电导率、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ ,结果表明,

80%是中长期趋势异常和短期异常<sup>[4]</sup>。世界各地观测到的水化学异常种类较多,异常特征也有差异。历史地震记载的各种地震前兆中,流体异常占一半以上<sup>[5]</sup>。

本文主要对安徽霍山33井2021—2023年井水13次水样离子检测结果进行研究,分析该井地球化学特征,补给来源及离子浓度在地震活动前后的变化,获得对该井观测资料的深入认识。

1 研究区概括

1.1 构造地质概况

安徽“霍山地震窗”(31°~31.9°N, 115.7°~116.5°E),地质构造背景特殊,位于皖鄂交界的大别山东北部沉降带的南缘,同时也是秦岭—大别造山带与郯庐断裂带的交汇部位,该区域主要呈现南高北低的特殊地形,区域内地质构造复杂,历史上和1970年以来小震活动较为频繁(图1)。

1.2 井孔基本概况

霍山皖33井地质构造上地处青山—晓天破碎带,土地岭—落儿岭断裂西侧,井附近局部地断裂明显可见(图1)。该井坐落于霍山县诸佛庵镇深山村,井深230.90 m,观测段为120~145 m,含水层岩性为石英岩,裂隙承压水。该井封闭性好,2012年开始进行背景场项目改造,2013年7月开始实行数字化水位、水温观测。

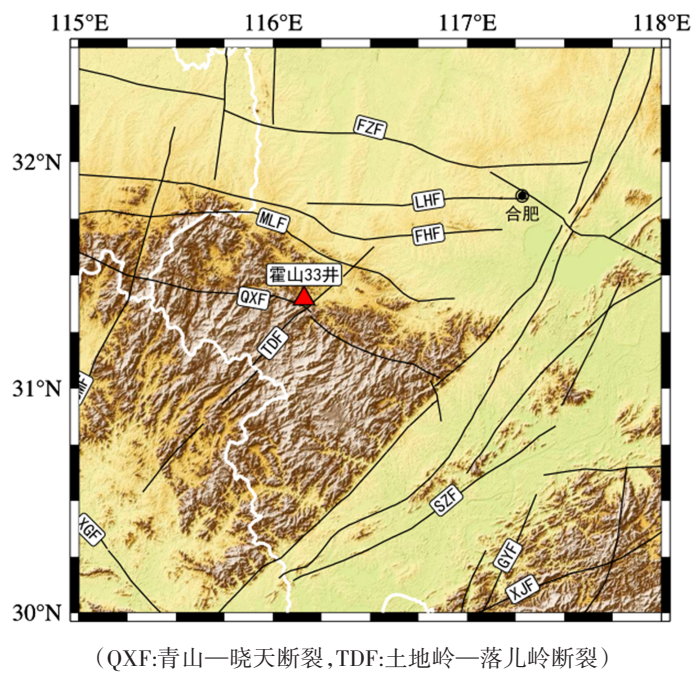


图1 霍山皖33井地质构造图

Fig.1 Geological structure map of Huoshan Well 33 in Anhui Province

### 1.3 观测资料基本情况介绍

霍山 33 井为承压自流井, 地层岩性为石英岩, 目前正常水位埋深在地面以上 2.3 m 左右。水位观测始于 1981 年, 2008 年井孔改造后水位连续率相对较好, 2012 年井房进行改造, 并洗井, 2013 年 7 月开始数字化水位、水温观测, 水位仪器型号为 SWY-II, 水温仪器型号为 SZW-1A。

研究表明, 霍山 33 井水位的年变动态不明显, 水位变化基本不受降雨和周边环境干扰的影响<sup>[6-7]</sup>,

2022 年 5 月 15 日霍山皖 33 井水位出现多次突升突降变化, 在水位变化期间也进行多次现场核实和环境调研, 认为水位短时间突升突降与泄流口的堵塞和疏通有关, 但是水位的高值变化是真实可靠的。在霍山 33 井水位高值期间进行 10 次取水样分析(取样时间为图 2 中蓝色三角形位置), 获得不同时段的离子浓度的变化, 在高值前后也进行 3 次离子背景值的检测, 其中在 2022 年 10 月 10 日发生了安徽霍山的  $M_s 3.0$  地震(图 2)。

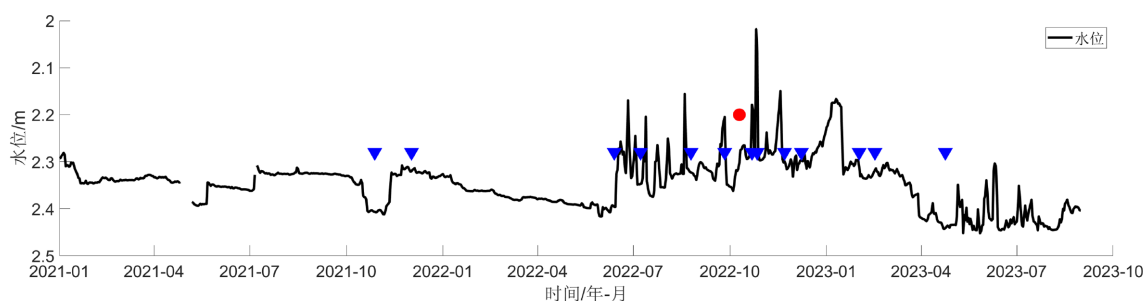


图2 霍山 33 井水位变化及取样时间

Fig.2 Water level change and sampling time in Huoshan Well 33

水样采集后送至华东冶金地质勘查局中心实验室进行检测,  $\text{HCO}_3^-$  采用标准甲基橙指示剂滴定法, 利用离子色谱发测定  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ , 它们的检出限分别为 0.1、0.04 和 0.1 mg/L。  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  等离子含量采用电感耦合等离子体发射光谱法测定, 其检出限分别为 5、5、10、16 和 20  $\mu\text{g/L}$ , 阴阳离子的误差控制在 10% 以内。

## 2 结果与讨论

### 2.1 水化学特征

研究表明  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  等 8 种离子在水体中广泛存在, 且含量最高, 很大程度上决定了水体的水化学特征, 通常岩溶水中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  离子主要来源于岩溶作用, 形成岩溶水体的优势离子<sup>[8]</sup>。

霍山 33 井水样测试结果见表 1, 霍山 33 井水样的实测温度为  $17^\circ\text{C} \sim 22^\circ\text{C}$ , pH 为 7.0 ~ 8.68, TDS 为 121.0 ~ 605.12 mg/L。水化学类型为  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Ca}$ - $\text{Mg}$  型。阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  为主, 浓度为 39.3 ~ 266.9 mg/L,  $\text{Mg}^{2+}$  是第二大阳离子, 浓度为 16.6 ~

48.8 mg/L; 阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  为主, 浓度为 239.11 ~ 602.80 mg/L,  $\text{SO}_4^{2-}$  的浓度为 0.82 ~ 14.17 mg/L。

霍山 33 井溪水水样的实测温度为  $17^\circ\text{C} \sim 22^\circ\text{C}$ , pH 为 6.5 ~ 8.66, TDS 为 56.0 ~ 408.0 mg/L。水化学类型为  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Na}$ - $\text{Ca}$  型。阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  为主,  $\text{Ca}^{2+}$  的浓度为 12.58 ~ 198.85 mg/L,  $\text{Na}^+$  是第二大阳离子,  $\text{Na}^+$  的浓度为 1.1 ~ 45.24 mg/L; 阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  为主,  $\text{HCO}_3^-$  的浓度为 53 ~ 155.94 mg/L,  $\text{SO}_4^{2-}$  的浓度为 8.88 ~ 12.10 mg/L。

采用舒卡列夫分类法对水体水化学类型进行划分, 在不同时段的阳离子中,  $\text{Ca}^{2+}$  离子所占的比重均是最大的, 达到 60% 以上, 其次  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  的含量都在 20% 以下; 在阴离子中,  $\text{HCO}_3^-$  所占的比重最大, 达到 94% 以上,  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  都在 5% 以下, 这说明, 霍山 33 井的水化学类型是  $\text{Ca}$ - $\text{HCO}_3^-$  型, 这两种离子的浓度与岩溶作用强度有密切的关系, 显示了碳酸盐的溶蚀-沉淀过程对霍山 33 井的水化学特征有控制作用。溪水的离子来源复杂, 大多数样品水化学类型属于混合型, 主要表现为  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Na}$ - $\text{Ca}$  型, 与井水样品存在明显的差异, 蒸发岩溶解和碳酸岩风化可能是该地区的水化学的重要演化机制(图 3)。

表1 霍山33井、溪水不同时段水样离子参数

Table 1 Ion parameters of water samples from Huoshan Well 33 and stream at different time periods													
类别	取样时间	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	pH值	TDS
霍山33井井水	2021-10-28	11.6	1.16	56.6	23.4	0.86	2.70	13.6	288	0.77	1.74	7.69	216
	2021-12-02	3.15	1.22	48.2	23.1	2.57	1.97	13.1	281	/	1.48	8.09	188
	2022-06-13	32.4	5.31	39.3	22.2	2.68	2.56	13.3	315	0.88	1.56	8.68	224
	2022-07-08	3.56	2.35	52.0	26.4	4.20	3.00	13.9	296	/	1.53	8.62	252
	2022-09-05	2.40	1.12	66.5	26.6	0.52	0.012	0.82	301	0.14	0.029	7.98	300
	2022-10-22	11.84	1.91	259.55	21.75	0.800	1.20	11.70	299.31	/	/	8.00	278.0
	2022-10-27	11.98	1.93	113.10	21.55	0.600	1.20	11.50	239.11	/	/	7.90	233.0
	2022-11-22	11.22	2.00	266.90	22.30	0.600	1.40	11.50	300.65	0.90	0.01	7.96	319.5
	2022-12-08	12.18	1.73	90.02	22.70	0.200	1.40	11.70	343.14	0.30	0.009	7.49	231.0
	2023-02-01	17.30	1.22	132.38	48.80	2.138	4.10	12.50	306.61	0.50	0.008	7.60	260.0
	2023-02-16	35.77	1.74	50.15	22.20	0.74	2.30	12.60	291.72	0.90	0.016	7.91	121.00
霍山33井溪水	2023-04-24	12.04	1.26	65.76	15.50	0.105	1.50	10.20	295.35	0.80	0.050	7.70	142.0
	2021-10-28	4.08	1.08	15.1	2.61	0.11	2.64	8.93	53	6.85	1.08	8.15	76.0
	2021-12-02	1.1	1.34	22.9	4.23	/	2.41	10.1	77.5	6.84	0.67	8.41	56.0
	2022-06-13	12.5	3.97	15.0	3.19	0.075	2.79	8.88	78.8	6.82	0.94	8.38	78.0
	2022-07-08	5.26	2.23	26.2	4.10	/	3.52	11.4	78.8	3.57	/	8.55	124
	2022-09-05	1.18	1.86	38.5	6.30	0.067	3.23	11.3	135	1.70	0.81	8.63	156
	2022-10-22	5.78	2.49	142.90	4.16	0.200	2.00	11.90	114.50	3.90	0.01	7.87	109.0
	2022-10-27	5.99	2.75	198.85	4.05	0.400	2.30	11.90	107.94	4.40	0.01	8.03	110.0
	2022-11-22	4.53	2.70	118.40	3.03	0.200	2.30	9.80	56.21	10.70	0.09	7.25	106.5
	2022-12-08	5.00	1.62	31.64	2.70	0.200	2.00	10.40	68.37	9.20	0.01	7.85	408.0
	2023-02-01	7.36	1.32	81.88	8.20	0.123	3.10	12.10	97.96	8.20	0.012	7.06	137.0
	2023-02-16	16.54	1.65	19.72	2.88	0.82	3.10	11.60	61.71	10.10	0.02	8.41	234
	2023-04-24	3.96	1.16	17.54	2.78	0.120	3.50	11.00	49.13	9.50	0.280	7.60	256.0

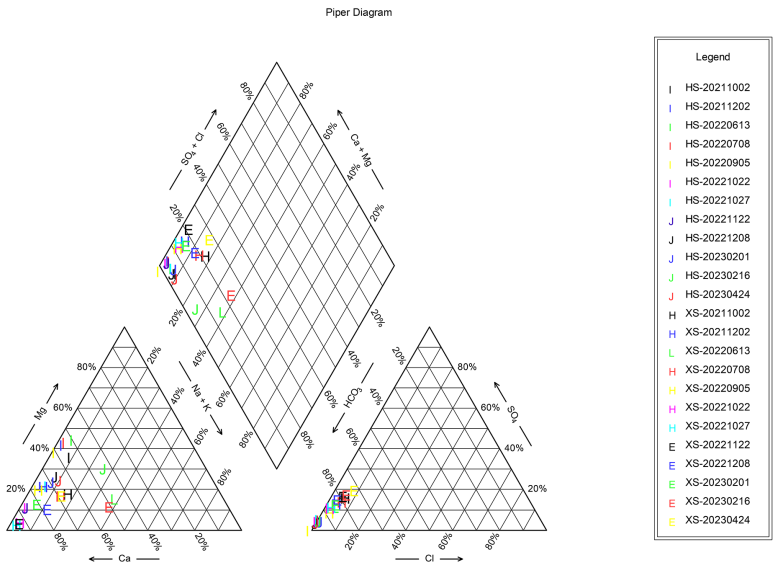


图3 霍山33井、溪水水样Piper图

Fig.3 Piper three-line diagram of water samples from Huoshan Well 33 and stream



利用Na-K-Mg三角图方法评价地下水水岩系统平衡和区分不同类型的水样,将33井井水和溪水的数据投射到Na-K-Mg三角图中(图4),结果显

示33井井水和溪水的水样点均落在该图中的未成熟水区域,体现了地下水中水-岩作用正在进行,尚未达到平衡。

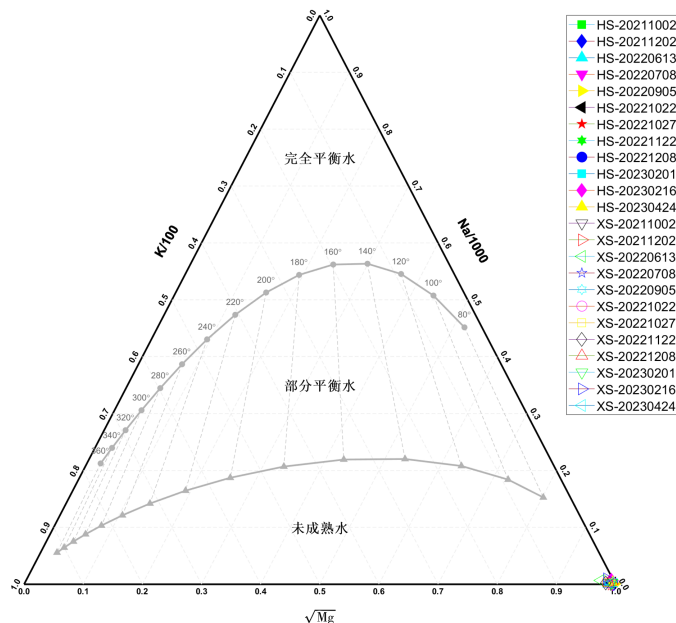


图4 霍山33井、溪水Na-K-Mg三角图

Fig.4 Na-K-Mg triangle map of water samples from Huoshan Well 33 and stream

## 2.2 时间序列特征

2021年10月至2023年4月霍山33井13次水样的检测结果显示:①在2022年10月10日霍山3.0级地震前2~3个月,离子含量出现明显的变化,其中 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 含量出现明显的增大变化, $\text{Na}^+$ 、

$\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 出现同步的下降变化, $\text{Ca}^{2+}$ 含量增大27%左右, $\text{Mg}^{2+}$ 增大约18%, $\text{Na}^+$ 下降10 mg/L(图5abc);②pH值结果显示,正常时段的pH值在8以下,2022年7—8月2期取样结果显示33井水的pH值在8.6左右,偏碱性,地震前恢复到正常水平(图5f)。

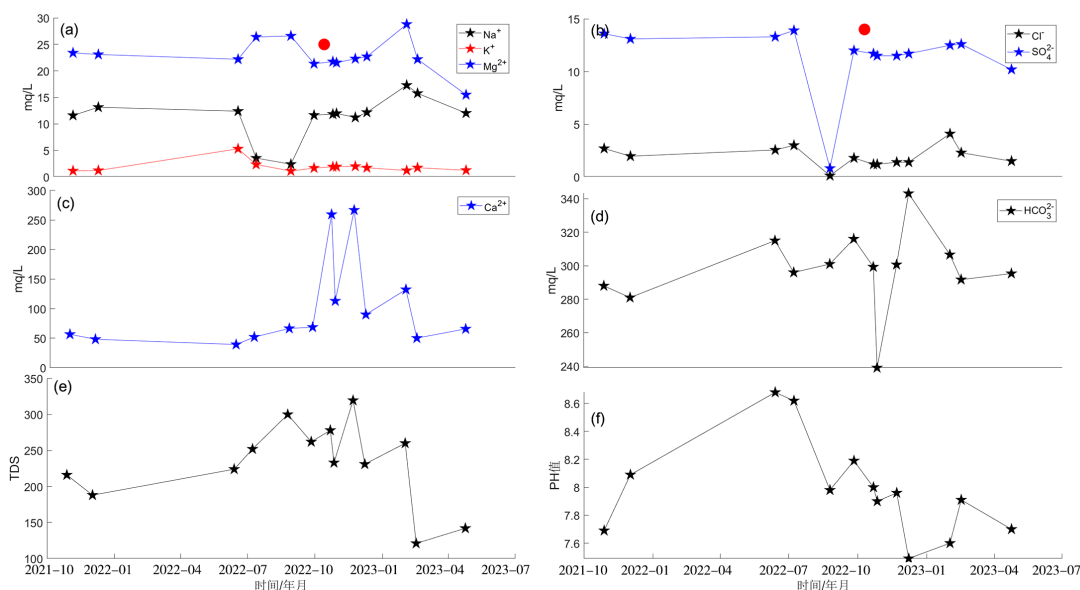


图5 霍山33井水体主要离子变化

Fig.5 Main ion changes in water body of Huoshan Well 33

### 2.3 氢氧同位素

大气降水中 $\delta_D$ 和 $\delta^{18}O$ 之间存在线性关系(GMWL):  $\delta_D=8\delta^{18}O+10$ , 也就是全球大气降雨线<sup>[9]</sup>, 根据全球降水同位素观测网南京站点1987—1992年的降水同位素数据, 采用最小二乘法拟合得到南京地区大气降水线方程(LMWL)为:  $\delta_D=8.49\delta^{18}O+17.71$ , 由于距离南京较近, 因此, 当地大气降水线(LMWL)参考南京地区的大气降雨线<sup>[10]</sup>。根据氢氧同位素的测试结果, 建立 $\delta_D$ 和 $\delta^{18}O$ 之间的关系, 可知霍山33井和溪水的氢氧同位素均落在当地大气降水线附近(图6), 说明霍山33井的井水和溪水的补给来源均为大气降水补给, 但2022年和2023年的氢氧组成发生了明显的改变, 溪水的氢氧同位素变化可能主要来自大气降雨的补给影响; 霍山33井的 $\delta^{18}O$ 出现漂移变化, 表明该井的水—岩作用强烈, 在深部循环的地下水和岩石之间发生氧同位素的交换, 导致井水中氧同位素富集<sup>[11]</sup>。

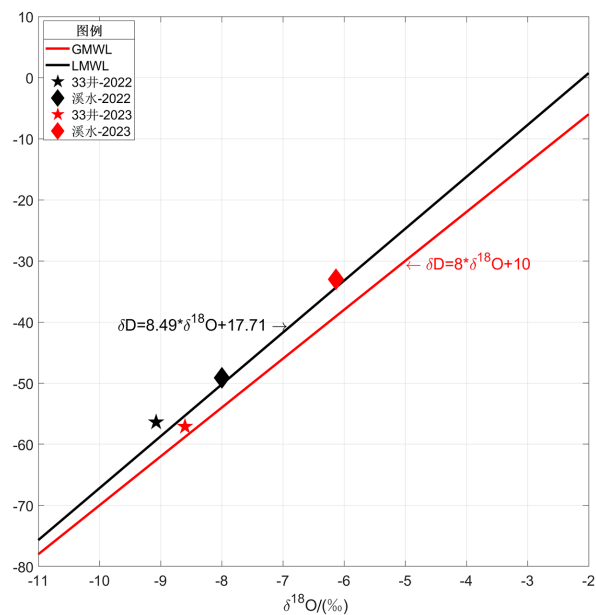


图6 霍山33井、溪水样品氢氧同位素关系图

Fig.6 Relationship between  $\delta_D$  and  $\delta^{18}O$  of water samples from Huoshan Well 33 and stream

## 3 结论

通过对霍山33井异常时段前后13次水样例子检测结果的分析, 得到结论如下:

(1)霍山33井地下水化学类型为 $HCO_3-SO_4-Ca-Mg$ 型水, 水中离子以 $HCO_3^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 为主,

地下水中TDS与 $Ca^{2+}$ 、 $HCO_3^{2-}$ 有较好正相关关系, 其它离子的相关性较弱。井水中离子浓度明显高于溪水中离子的浓度, 可能是由于井水属于承压水, 埋藏深度大, 径流补给途径长, 溶解—溶滤作用强烈, 从而引起离子浓度高于地表水。

(2)氢氧同位素的结果显示, 该井主要受到大气降雨补给。水—岩平衡的结果显示, 霍山33井中的水—岩反应尚未达到平衡, 属于未成熟水。

(3)离子浓度时间序列显示, 在2022年10月10日霍山3.0级地震前2~3个月 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 浓度分别升高27%和18%,  $SO_4^{2-}$ 和 $Cl^-$ 浓度降低的变化, 地震后恢复到正常背景值, 该变化可能反应了地震孕育过程有关。

### 参考文献

- [1] 周晓成, 杜建国, 陈志, 等. 地震地球化学研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(4): 340-346.
- [2] 刘耀炜, 任宏微, 张磊, 等. 鲁甸6.5级地震地下流体典型异常与前兆机理分析[J]. 地震地质, 2015, 37(1): 12.307-318.
- [3] 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, 9(1): 29-38.
- [4] 晏锐, 黄辅琼, 顾瑾平. 中国大陆7级强震前地下流体前兆时空特征[J]. 地震, 2004, 24(1): 126-131.
- [5] 廖丽霞, 廖春奇. 花岗岩层岩性与水文地球化学指标映震能力的探讨[J]. 华南地震, 2002, 22(3): 44-51.
- [6] 孙盼盼, 张军, 刘泽民, 等. 霍山皖33井水位与“霍山窗”小震活动关系的初步研究[J]. 华南地震, 2011, 31(2): 79-85.
- [7] 张军, 陈宇卫, 陶月潮, 等. 霍山皖33井水位突变异常成因的研究[J]. 地震, 2009, 29(2): 19-103
- [8] 张陶, 蒲俊兵, 李建鸿, 等. 漓江干流水体主要离子化学变化特征及影响因素[J]. 广西科学, 2018, 025(5): 532-543.
- [9] Craig H. Isotopic variations in meteoric waters[J]. Science, 1961, 133(3465): 1702-1703.
- [10] 王涛, 张洁茹, 刘笑, 等. 南京大气降水氧同位素变化及水汽来源分析[J]. 水文, 2013, 33(4): 25-31
- [11] 张云辉, 李晓, 许模, 等. 鲜水河地热带道孚地区地热水水文地球化学特征研究[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(3): 42-51