

张清秀, 陈莹, 李毅伟, 等. 福建仙游郊尾井水位、水温异常成因探讨[J]. 华南地震, 2018, 38(2): 8–16. [ZHANG Qingxiu, CHEN Ying, LI Yiwei, et al. Discussion on Causes of the Water-level and Temperature Anomaly of Jiaowei Observation well in Xianyou, Fujian[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(2): 8–16]

福建仙游郊尾井水位、水温异常成因探讨

张清秀¹, 陈莹¹, 李毅伟², 秦双龙¹, 刘水莲³

(1. 福建省地震局, 福州 350001; 2. 莆田地震台, 福建 莆田 351100; 3. 永安地震台, 福建 永安 366000)

摘要: 通过对仙游郊尾井观测系统工作环境和个工作状态的检查、观测环境排查、水下电视探测、抽水实验等现场工作, 以及对干扰井和观测井的水样进行氢氧同位素和水质成分分析, 认为仙游郊尾井水位、水温资料自2017年7月5日开始出现的同步异常现象是附近新打的机井干扰所致, 不是地震前兆异常。因打井对基岩的压力增大, 使得含水带内裂隙增大, 导致出水量增多, 同时新打的井破坏了含水带原有的平衡, 在多种因素综合影响下, 深部水量加大, 水位大幅度上升; 深部的高温水上涌, 使得120 m处的水温升高。同时干扰机井抽水, 造成观测井水位、水温出现同步下降。

关键词: 水位; 水温; 异常成因; 打井; 抽水干扰

中图分类号: P315.723

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2018)02-0008-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.02.002

Discussion on Causes of the Water-level and Temperature Anomaly of Jiaowei Observation well in Xianyou, Fujian

ZHANG Qingxiu¹, CHEN Ying¹, LI Yiwei², QIN Shuanlong¹, LIU Shuilian³

(1. *Fujian Earthquake Agency, Fuzhou 350001, China*; 2. *Putian Seismic Station, Putian 351100, China*;
3. *Yongan Seismic Station, Yongan 366000, China*)

Abstract: On July 5th, 2017, abnormal changes appeared on the water-level and temperature of Jiaowei observation well, Xianyou. The factors are systematically investigated by the researchers of Fujian Earthquake Agency at the first time. After checking the working status of observing systems and on-site problems, doing underwater photographing work and pumping experiments, analyzing hydrogen and oxygen isotope and water quality of interference well and observation well, the results show that the synchronous abnormal phenomenon is caused by the new dig well, and it is not an earthquake precursors anomaly. Since digging a well gains the rock pressure, the fracture of water-zone increases, at the same time, the new well destroys the balance of water-

收稿日期: 2016-10-26

作者简介: 张清秀(1972-), 女, 高级工程师, 主要从事前兆台网监测和质量监控工作。

E-mail: 596092730@qq.com.

zone, lead to the increase of deep outlet water. The resist effort of the concrete block at 120 m deep makes the deep water upwelling suddenly, which leads to the sharp rise in water level and the increase of temperature. the synchronous drop on the water-level and temperature are caused by the pumping of interfere well.

KeyWord: Water-level; Temperature; Abnormal genesis; Well digging; Pumping interference

0 引言

地球是一个开放的球体。地下流体的动态一方面与地壳内部的固体岩体介质的应力应变状况有关,另一方面又与地壳内外的流体运动有着不可分割的联系^[1],因此地下流体的动态变化有可能与地震的孕育和发展过程之间有着密切的成因上的关系。但是,随着城市现代化建设的不断扩张、工业化的加速发展,对流体的观测产生了严重干扰。车用太教授将流体的干扰异常分为由自然环境的改变与人类工程活动引起的异常,以及观测条件的改变引起的异常^[2],在中国南方地区,地下流体观测受到的主要干扰因素有大气降雨、水库的蓄水与放水、以及同一含水层打井与开采等,这些都会引起地下流体动态的异常变化。为此,当地下流体测项动态发生变化时,为识别是与地震的孕育与发生过程相关,还是由外界环境因素干扰造成的,需要逐步排查各种可能的干扰因素。许多同行在异常的识别方面做了大量工作,有的经过排查,确定为干扰异常,找出了干扰源,有的提取了到地震前兆异常^[3-7],为地下流体观测异常核实工作提供可借鉴的思路。

2017 年 7 月 5 日开始,福建仙游郊尾井水位、水温同时出现大幅异常变化,福建省地震局组织

了多次现场核实,笔者试图通过对观测环境排查、水下电视探测、抽水实验及对比观测等现场工作,以及对干扰井和观测井的水样进行氢氧同位素和水质成分分析,找出引起该水位、水温同时大幅异常变化的原因和机理。

1 仙游郊尾井概况及观测资料异常变化

1.1 仙游郊尾井概况

仙游郊尾井位于福建省莆田市仙游县枫亭镇宝坑村,处在近东西向的漳平-仙游断裂带内,距离北东向长乐-诏安断裂带西北约 6 km。井深 153.37 m,高程 27 m,套管长度 24.43 m,是一口静水位观测井。地下水主要赋存和运移于砂卵石层孔隙及基岩中风化-细粒花岗岩的裂隙中,地下水类型为裂隙承压水,据钻探揭露本观测井共有 5 个裂隙含水带,其中 138.51~138.67 m 段为主要观测含水带,观测井钻孔柱状结构见图 1。仙游郊尾井使用 TDL-15 型数字水位仪和 TDT-36E 型数字水温仪进行水位、水温测项观测,2012 年 11 月在安装水温传感器前曾进行水温梯度测度,测试结果显示,该井水温呈现正梯度变化,并发现在 120 m 处有异物堵塞,因此将水温传感器放置于井下 120 m 观测。

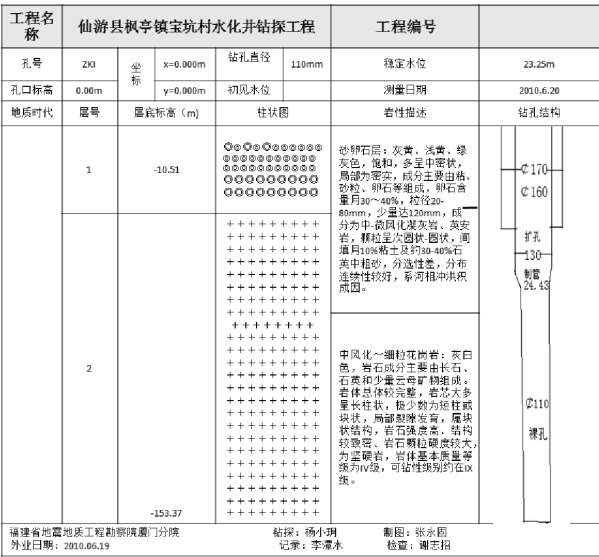


图 1 观测井柱状图

Fig.1 Bar graph of the observation well

1.2 观测资料异常变化

2017 年 7 月 5 日开始, 福建省莆田市仙游郊尾井水位、水温出现同步异常现象。7 月 5 日 14~17 时水位和水温同时大幅度下降, 幅度分别为 2.5 m 和 0.094 2 °C, 而后缓慢回升。7 月 6 日 8~12 时, 水位、水温再次出现大幅度突降-快速回升现象, 之后在高值上持续震荡, 固体潮消失, 直到 7 月 7 日 15 时基本恢复正常。7 月 13 日开始水位、水温又两次出现大幅度上升现象, 至 9 月 3 日, 水位总体上升幅度约为 11.05 m, 水温总体上升幅度约为 0.47 °C, 这期间的变化过程可以分为 3 个阶段, 第一阶段为 7 月 13~23 日, 水位因仪器超

量程无法观测到数据, 水温约上升 0.42 °C, 然后快速下降恢复; 第二阶段为 7 月 27 日至 8 月 10 日, 水位因上升幅度过大于 8 月 7 日开始仪器超量程无法观测到数据, 水温约上升 0.42 °C, 之后稳定在高值变化, 之间还伴有突降现象, 8 月底开始水位、水温出现逐渐下降的迹象, 整个异常变化过程中, 水温出现异常的时间滞后水位 10~20 min (图 2)。该井水位自 2013 年 8 月观测以来, 测值较稳定, 年动态清晰, 未出现过大幅变化; 水温仪在 2014 年由于受过雷击干扰, 电源一直不稳定, 对观测数据造成一定的影响。但自观测以来, 水位、水温同步出现异常的情况未出现过。

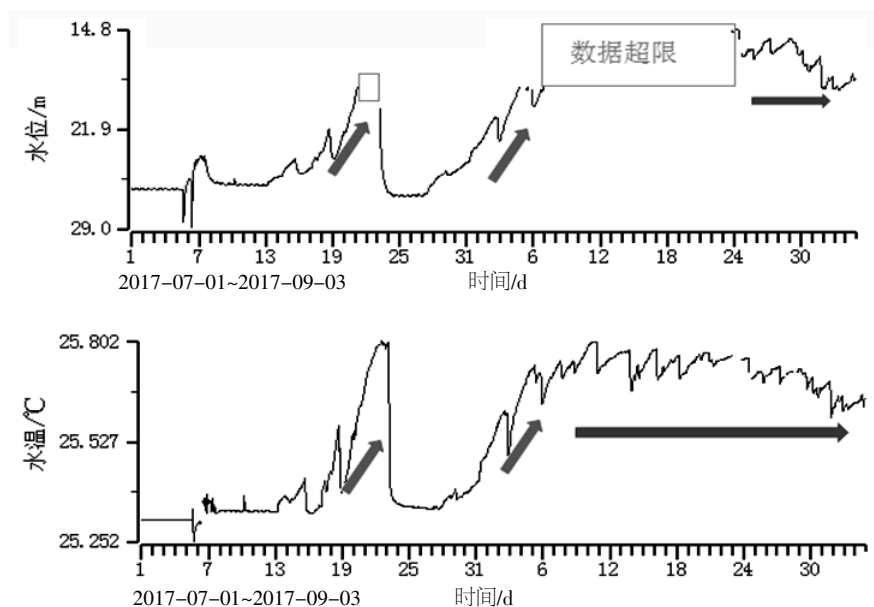


图 2 水位与水温异常变化曲线图

Fig.2 Curves of water-level and temperature abnormal changes

2 异常排查及成因分析

从异常出现开始, 福建省地震局就组织了多次异常核实。2017 年 8 月 26 日又成立了仙游郊尾井异常核实现场工作组, 制定了工作方案(图 3), 于 8 月 27~29 日再次到现场进行全面深入调查。

(1) 检查仪器工作环境和工作状态;

(2) 收集资料: 收集、研究观测井的地质资料和水井档案, 了解观测井的构造和含水层的位置; 通过走访调查周边环境, 排查是否有抽水干扰。

(3) 物理实验: 井下电视观察井壁和套管是否完整; 温度梯度测试判定是否存在温度异常点; 对可疑的干扰井进行抽水试验并与观测井进行对比观测, 进一步确定干扰情况。

(4) 化学实验: 取干扰井和观测井的水样进行同位素和水质成分分析, 判定两口井是否来自同一含水带。

在以上工作基础上进行综合分析, 得出异常核实结果。

2.1 观测系统工作环境和工作状态检查

(1) 供电系统参数检查过程: 该井仪器供电是由交流电源经过蓄电池, 转换为直流电, 直流电压 12~13 V (10.5~15 V 条件下正常工作)。经过长期观测资料对比分析, 发现该井水温曾受到电源不稳因素影响, 表明该套仪器的供电电路存在不稳定的因素, 但自 2016 年底增加稳压电源后电压影响的幅度和频次都明显减少, 且近期电压观测数据较为稳定。

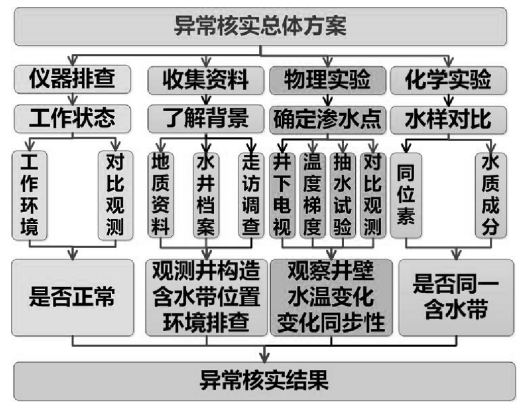


图 3 异常核实总体方案

Fig.3 Process designed for the abnormal phenomena investigating issue

(2) 现场水位校测：因水位大幅度上升，8 月 7 日开始已超出仪器观测量程，8 月 23、24 日两次调整水位传感器位置，两次调整水位传感器位置后均进行了人工水位校测，两次校测结果均符合规范要求，说明仪器工作状态正常。

(3) 对比观测：在井口安装 LN-3A 数字水位仪，与原有的 TDL-15 数字水位仪进行对比观测，观测数据接近，变化同步。

(4) 避雷系统：检查避雷器工作正常。

(5) 仪器防护接地：使用接地电阻测试仪检查防护接地端到井口接电，接地正常。

综合以上工作结果，确定仪器工作环境良好，工作状态正常。

2.2 井下电视探测

为了弄清观测井井壁和套管是否完好，是否存在渗水点，使用井下电视进行探测，探测结果显示：

(1) 井口至水面、水面以下 15 m 到井下 120 m 套管、井壁完好，未发现明显的渗水迹象。

(2) 从水面至水下 15 m 浑浊，无法确认套管是否完好，是否有水渗入。

从 2012 年所做的温度梯度结果显示，该井水温呈正梯度变化，即随着井深加大，温度逐渐升高。因为此次水温为高值异常，结合井下电视探测结果，怀疑从水面至水下 15 m 浑浊段有地表高温水渗入。

(3) 井下 120 m 处被水泥块堵住，水泥块有明显裂痕，怀疑下部有水涌入。

2012 年 11 月在安装 TDT-36 数字温度计时发现，井孔 120 m 处被异常堵住，水温传感器无法

下放到井底。此次井下电视探测发现，在 120 m 处有一大块水泥，上面有明显裂痕，水里有较大颗粒的漂浮物在不停的快速旋转，有一块布在不停飘动，因此怀疑水泥块下部有水渗入对水泥块上部的水造成扰动。

2.3 温度梯度测试

为了确认水面至水下 15 m 浑浊段是否有高温水渗入，8 月 27 日进行了温度梯度测试。按照井水温梯度测量要求，本次全程测量点间距为 10 m，结合井下电视结果，在井水浑浊部位进行加密测量(见表 1、图 4)。

温度梯度测试结果显示，本次温度梯度测试曲线与 2012 年测试曲线变化趋势基本一致，水面至水下 15 m 浑浊段未见明显高温变化层，基本排除该段有地表热水渗入的可能。

表 1 温度梯度测试结果表

Table 1 Results of temperature gradient test		
井深/m	温度/℃	梯度/℃
20	23.201 3	6.638
25	23.533 2	1.956
30	23.63	0.99
40	23.729	4.256
50	24.154 6	1.068
60	24.261 4	8.437
70	25.105 1	0.638
80	25.168 9	5.313
90	25.700 2	0.286
100	25.7288	0.264
110	25.755 2	-0.482 86
120.5	25.704 5	

2.4 环境干扰情况调查

仙游郊尾井所在的莆田市仙游县郊尾镇宝坑村现有 3 500 多人，700 多户，生活用水来源有自来水、山泉水和井水。对全村所有水井进行逐一排查，共走访调查了 94 口水井，其中有 6 口浅井(井深 10 m 以下)出现不同程度的上升现象，其余 88 口无明显变化，未发现大面积水位上升的现象。

94 口水井中，有 6 口机井，其中一口为 2017 年 7 月 4~6 日新打的机井，位于观测井东南面 108 m，井深 100 m，由于打井时间与观测井水位突降和震荡时间基本一致，又因该井深 100 m，与观测井处同一含水带，根据连通管原理，该井抽水会对观测井造成影响，因此怀疑其为干扰源。全村水井分布见图 5。

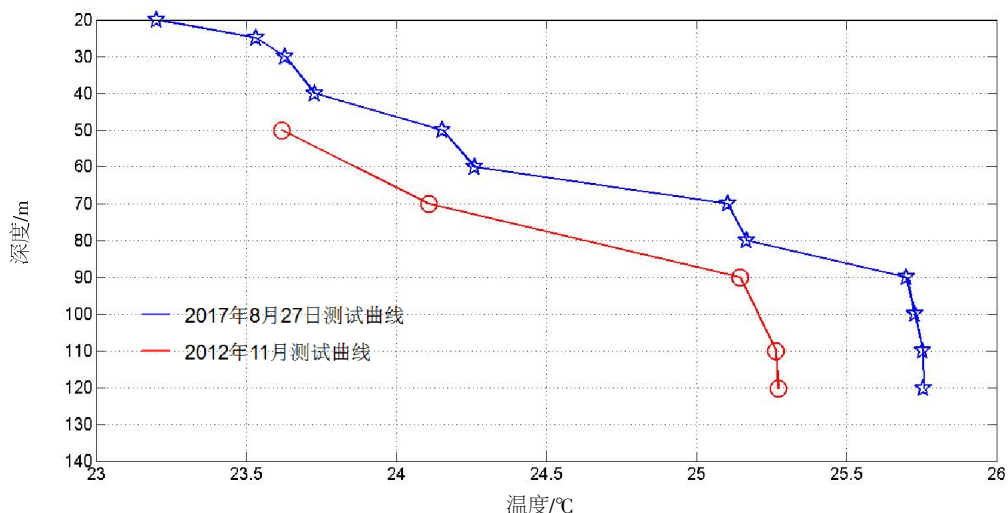


图4 温度梯度测试曲线

Fig.4 Curves of temperature gradient test

2.4.1 抽水实验与对比观测

2017年8月29日傍晚怀疑7月4日新打的机井(以下称为干扰井)对观测井造成干扰,8月29

日至9月2日连续5天进行了5次抽水实验,并于8月30日至9月2日在干扰井上安装了LN-3A数字水位仪进行对比观测(见表2,图6~7)。

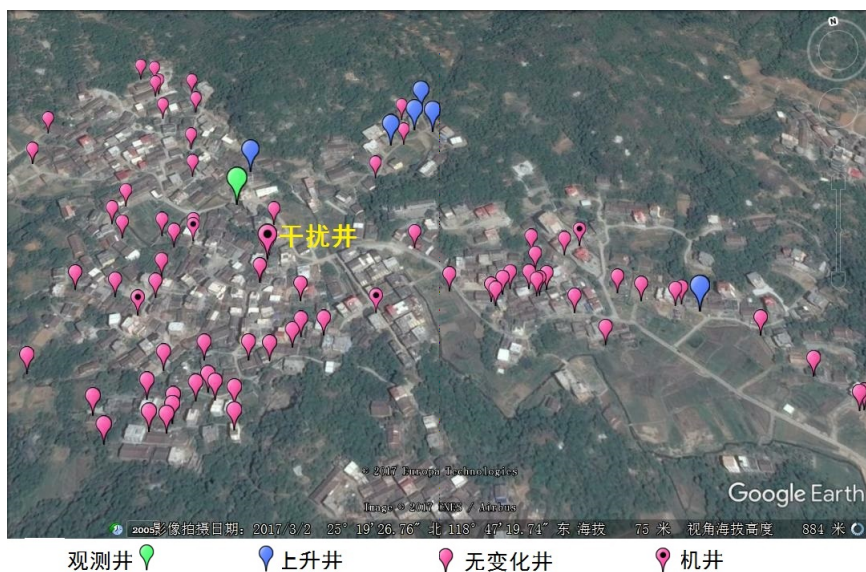


图5 宝坑村水井分布图

Fig.5 The distribution of wells in Baokeng village

从抽水实验和对比观测结果分析,干扰井抽水时,该井水位与观测井水位同步大幅度下降,观测井水温的下降变化滞后9~11 min,可以确定因干扰井抽水造成观测井的水位、水温的大幅度下降。

2.4.2 化学实验

取观测井24 m和120 m处井水各2瓶,取干扰井新鲜水样2瓶,送中国地震局地壳研究所进行氢氧同位素和水质成分分析,以确认2口井的

水源。

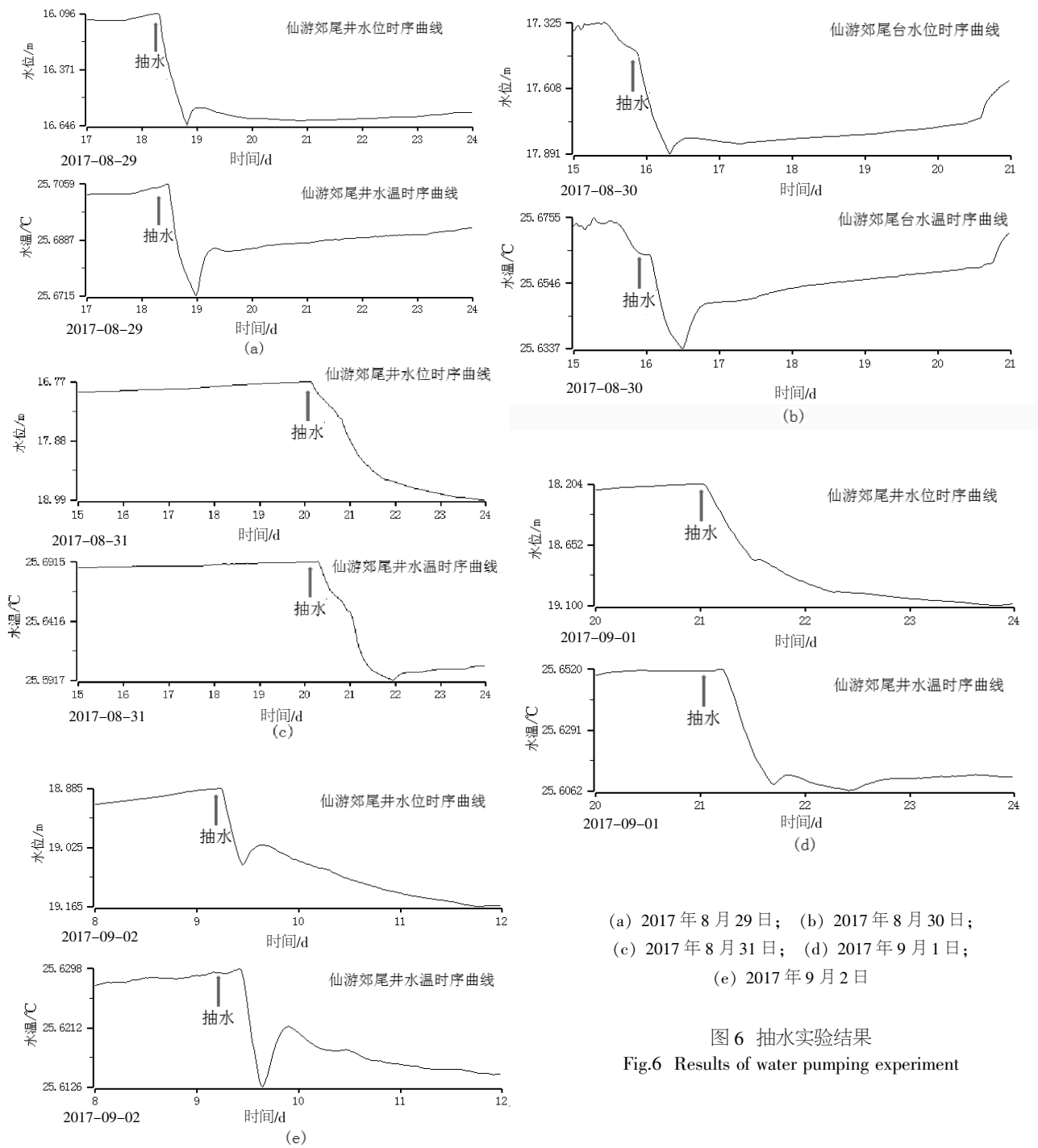
(1) 水质类型分析。观测井和干扰井3个水样水质成分分析结果见表3。从表中可见,2井口水质类型均为 Ca-HCO_3 型,为重碳酸型水,代表典型的大气水与岩石之间的第一阶段反应,反映了浅层的水文循环特征,缺乏深部的物质来源^[8-9]。从水化离子Pipper图(图8)分析,3个水样离子浓度的相对含量分布集中,含量接近,说明2口井来自同一水源。

(2) 水-岩化学平衡反应特征分析。Na-K-Mg三角图解法用来评价水-岩平衡状态和区分不同类型的水样，由完全平衡线和部分平衡线把整个三角型分为完全平衡水、部分平衡水和未成熟水3个区^[8-9]。

表 2 抽水实验和对比观测结果表

Table 2 Results of water pumping experiment and comparison observation

序号	抽水日期	干扰井水位开始变化时间	观测井水位开始变化时间	观测井水温开始变化时间
1	08-29	未观测	18:17	18:27
2	08-30	15:51	15:53	16:02
3	08-31	20:08	20:08	20:18
4	09-01	21:01	21:01	21:12
5	09-02	09:14	09:14	09:25



(a) 2017年8月29日; (b) 2017年8月30日;
(c) 2017年8月31日; (d) 2017年9月1日;
(e) 2017年9月2日

图 6 抽水实验结果

Fig.6 Results of water pumping experiment

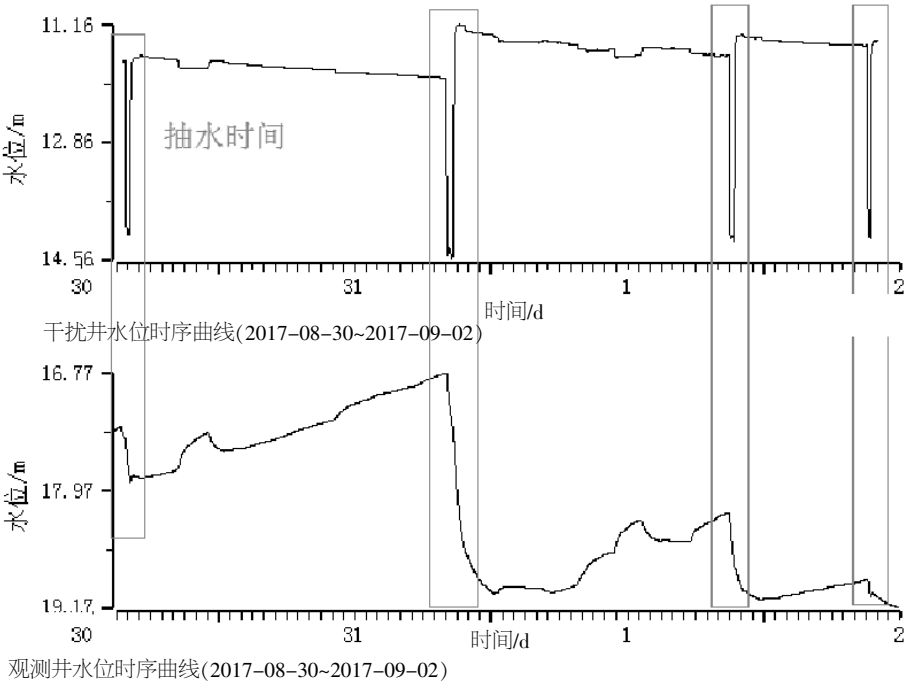


图 7 干扰井和观测井水位对比曲线

Fig.7 Correlation curve of water level of observation well and disturbed well

表 3 仙游观测井与干扰井水样水质分析结果一览表

Table 3 Water quality analysis result of disturbed well and observation well

检测项目	阳离子/(mg·L ⁻¹)				阴离子/(mg·L ⁻¹)				
	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
仙游 24 m	23.451	3.689	8.237	46.471	0.692	20.327	28.949	50.461	134.726
仙游 120 m	32.984	7.471	9.733	46.134	0.731	22.027	28.020	60.315	164.014
干扰井	24.985	5.753	14.228	39.179	0.341	46.581	19.661	71.354	152.298

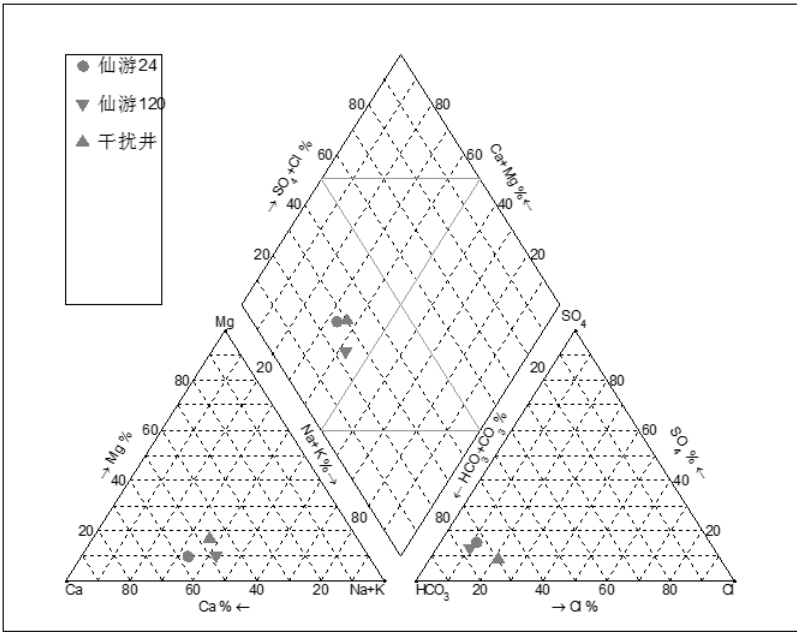


图 8 水化离子 Piper 图

Fig.8 Piper diagram of hydrated ion

将 3 个样品数据投到 Na-K-Mg 三角图(图 9),发现 3 个水样全部处于未成熟水区域,并且非常靠近 Mg 端元附近,表明水-岩反应程度较弱,水-岩尚未达到离子平衡状态,地下水循环周期快,溶解作用仍在进行。

(3) 氢氧同位素特征分析。地下水氢氧同位素组成特征一般利用大气降雨线进行对比分析,能够有效地识别地下水的来源与补给过程,此处采用全球大气降雨线, $\delta^2\text{H}=8\delta^{18}\text{O}+10$ 。3 个水样中

$\delta^2\text{H}$ 值为 -40.8‰ – -39.6‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -6.5‰ – -6.3‰ , 3 个水样氢氧同位素比值均在全球大气降水线附近(图 10),表明均为大气成因水,其水-岩反应程度较低,循环深度不大^[8-10]。

综合以上分析认为,仙游观测井和干扰井水质类型均为 CaHCO_3 型,两口井来自同一水源,均为大气成因水;两口井井水均为未成熟水,水-岩反应程度较弱,尚未达到离子平衡状态,地下水循环深度不大,循环周期快,溶解作用仍在进行。

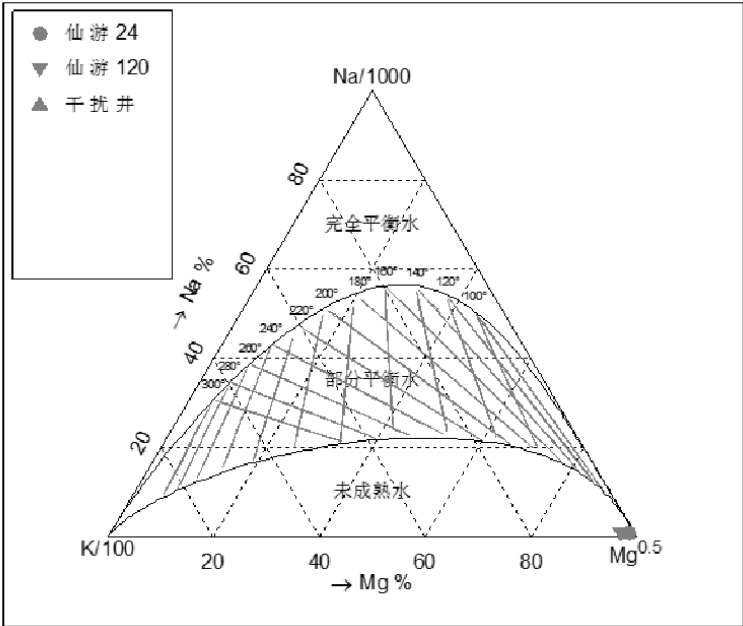


图 9 Na-K-Mg 水化学离子三角图
Fig.9 Triangular diagram of hydrated ion of Na-K-Mg

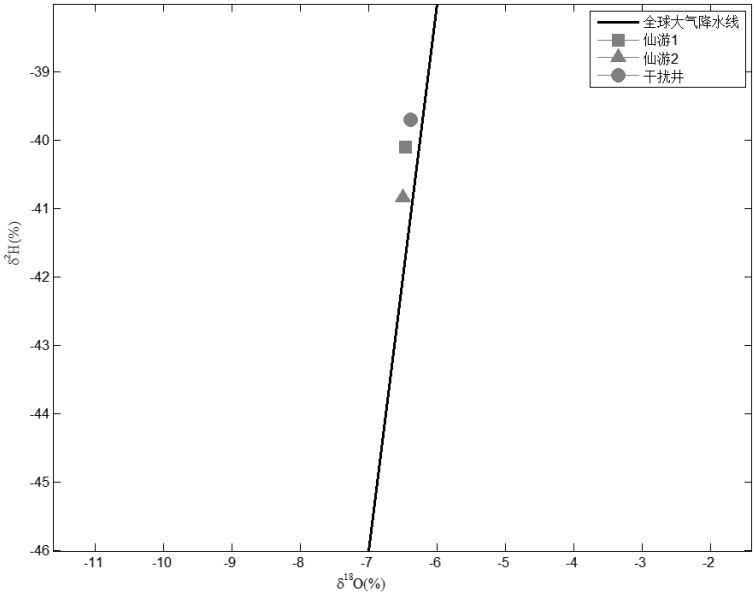


图 10 水样氢氧同位素与大气降水线关系图
Fig.10 Relationship between hydrogen and oxygen isotopes in water samples and meteoric water line

3 讨论

经过对仪器、供电系统和避雷系统检查,认为仪器工作环境和工作状态正常。通过观测环境排查、水下电视探测、抽水实验及对比观测等现场工作,以及对干扰井和观测井的水样进行氢氧同位素和水质成分分析,认为仙游郊尾井水位、水温资料自 7 月 5 日以来出现的同步异常现象是新打的机井干扰所致,不是地震前兆异常。

(1) 干扰井与观测井来自同一水源,处于同一含水带,根据连通管原理,以及抽水实验和对比观测,确定由于干扰井抽水,造成水位下降、水温也出现同步下降。

(2) 观测井的地下水类型为基岩裂隙承压水,因打井对基岩的压力增大,使得含水带内裂隙增大,导致出水量增多,同时新打的井破坏了含水带原有的平衡,在多种因素综合影响下,深部水量加大,又因 120 m 处的水泥块的阻挡,使得此处的井水出现上涌的现象,水位大幅度上升;深部的高温水上涌,使得 120 m 处的水温升高。

4 结语

仙游地区 2013 年发生了 M 4.8 级震群,是福建省近年来中等地震较为活跃区域,而仙游郊尾井为目前莆田地区唯一的流体观测井,该井自 2013 年 8 月开始正式观测以来,水位变化平稳,年动态和固体潮清晰,数据连续可靠,观测质量评估为 A 类。因此建议对该观测井进行清孔,并加深钻井,重新下放套管,以避开周围民用机井的同层抽水干扰,继续为地震前兆监测服务。

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.
- [2] 车用太,鱼金子. 地下流体典型异常的调查与研究[M]. 北京:气象出版社,2004.
- [3] 孙小龙,刘耀伟,宴锐. 云南姚安井 2009 年后水位下降的成因分析[J]. 地震学报,2013,35(3):410-420.
- [4] 廖丽霞,刘其寿,郑永通,等. 福建闽清梅埔井水位异常判识[J]. 地震地磁观测与研究,2010,31(4):51-56.
- [5] 廖丽霞,秦双龙,叶威. 泉州一号井水位异常的调查与研究[J]. 内陆地震,2013,27(1):67-73.
- [6] 陈莹,朱石军,陈小云,等. 福建省闽清梅埔井水位固体潮畸变成因探讨[J]. 地震地磁观测与研究,2008,29(5):36-40.
- [7] 张淑亮,车用太,范雪芳,等. 介休井水位异常的调查与分析[J]. 地震研究,2002,25(4):320-327.
- [8] 张磊,刘耀伟,孙小龙,等. 基于水化学和物理方法的井水位异常分析[J]. 地震地质,2014,36(2):513-522.
- [9] 苏鹤军,张慧,史杰. 祁连山断裂带中东段地下水地球化学特征分析[J]. 西北地震学报,2010,32(2):122-128.
- [10] 韩晓雷,哈里白,戴勇,等. 通辽井水位和水温动态变化影响因素分析[J]. 华南地震,2017,37(1):49-53.