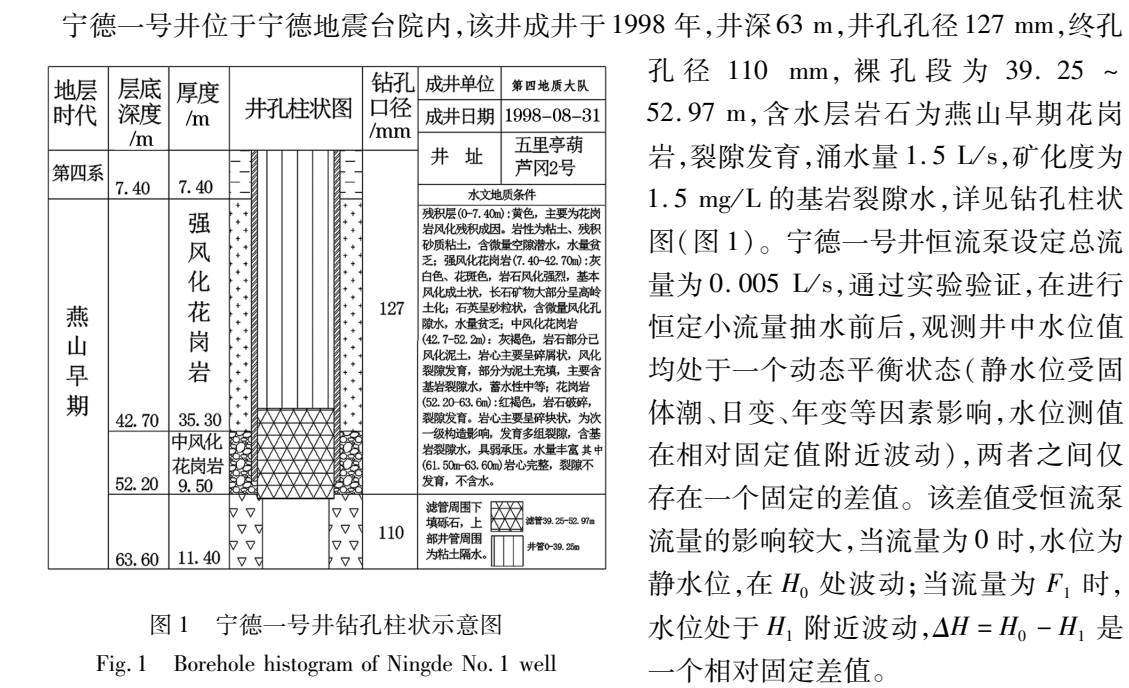


宁德一号井水位突跳现象分析^①

黎己余, 郑辰禾, 林稚颖, 杨鼎鸿, 程庆斌, 邓 聪
(福建省地震局, 福建 福州 350003)

地下流体广泛存在于地壳中,具有流动性,对地壳活动的响应十分灵敏,因此地下水动态活动对于地震活动和构造活动的响应也非常灵敏^[1]。近年来,大力发展地下流体监测工作,在中国进行流体监测较为常见的组合为同井(泉)进行静水位、水温,动水位、水温、溶解气或水质等方式。宁德地震台根据台站实际情况,2004 年开展宁德一号井“单井综合观测”模式探索工作,自主研发井口装置系统实现了单井综合观测^[2-3]。目前,宁德一号井中有静水位、水温和气氦等测项。地震观测数据是开展地震分析预报的基础,确保地震观测数据能可靠地用于地震科学研究具有重要意义。从历史观测数据分析,数据出现异常变化时,主要受到自然环境、场地环境、观测系统、人为干扰和地球物理事件等因素影响^[4-15]。2019 年 7 月 25 日至 8 月 12 日宁德一号井水位多次出现大幅度异常变化。本文中通过逐一排查后得出恒流泵故障是造成水位出现大幅异常变化的结论。

1 宁德一号井概况及观测系统



① 收稿日期:2020-10-10;修回日期:2021-05-21.
作者简介:黎己余(1990~),男,工程师,2013年毕业于防灾科技学院土木工程专业,主要从事地震监测系统建设与运维,地震前兆数据跟踪分析。E-mail:723976263@qq.com

2004 年 2 月数字化观测至今,宁德一号井观测仪器经过“十·五”项目改进,观测模式未改变,为单井综合观测,现有前兆观测仪器包括,LN-3A 水位仪、SZW-2 水温仪、SD-3A 测氦仪、BG2015R 测氦仪(正式运行);需要说明的是,LN-3 水位仪作为备用仪器,不向国家台网报送数据,但处于运行状态,如有需要可实时从仪器中提取相关数据。宁德一号井观测系统及仪器连接方式见图 2。

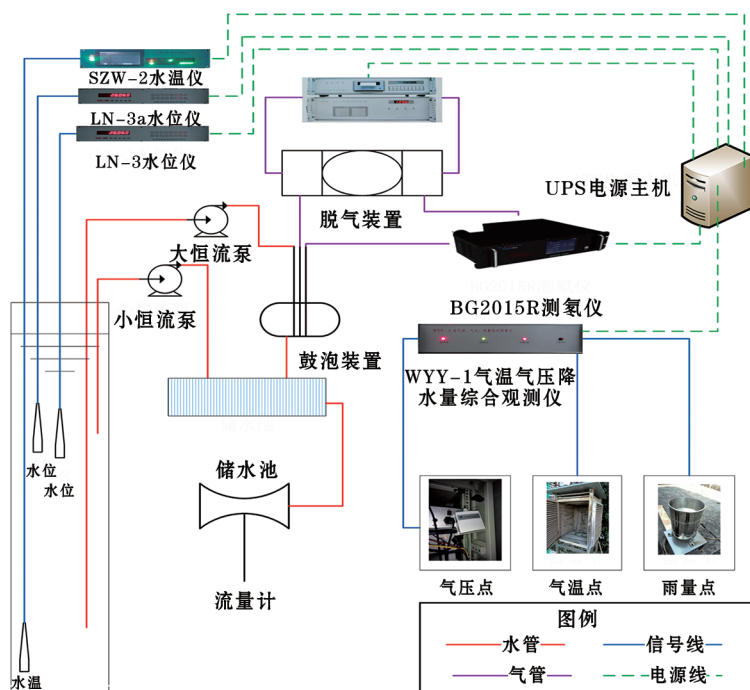


图 2 宁德一号井设备连接示意图

Fig. 2 Equipment connection diagram of Ningde No. 1 well

(1) 井口装置:宁德一号井井口装置由恒流泵(大、小 2 个恒流泵)和自主研发的程控定量“脱气-集气”装置两部分组成。大恒流泵流量控制在 200 ml/min,主要用于采集深层水进行鼓泡脱气,小恒流泵流量控制在 100 ml/min,主要用于循环表层井水,确保井水处于较为新鲜状态^[1]。大恒流泵抽送的井水经过“脱气-集气”装置“鼓泡-脱气-集气”环节,将溶解在水中的气(待测气)稀释出并输送往测氦仪闪烁室内进行观测。

(2) 供电系统:宁德一号井供电系统以交流电为主,直流电为辅,通过市电、UPS 电源、电瓶和发电机等 4 级配备供电。存在以下几种不同供电状态,(1)交流供电,市电对 UPS 电源充电,UPS 电源对仪器提供稳定的 220 V 电源;(2)市电停电,UPS 电源直接向仪器提供稳定的 220 V 电源(续航 8 h),工作人员根据断电时长(停电通知)判断是否启用发电机对 UPS 充电;UPS 与电瓶可确保观测仪器续航 10 h。

2 宁德一号井水位异常特征

宁德一号井水位数据日动态正常,固体潮清晰(图 3)。在 2019 年 7 月 25 日至 8 月 12 日

水位数据多次出现突跳现象,且在突跳后自行恢复正常状态。数据突跳主要表现为水位急剧上升、回落,在短时间内多次出现这种反复“上升-下落”的现象;经统计数据变化最大幅度为

0.078 m,最大时长 163 min(表 1),曲线形态如图 4 所示。

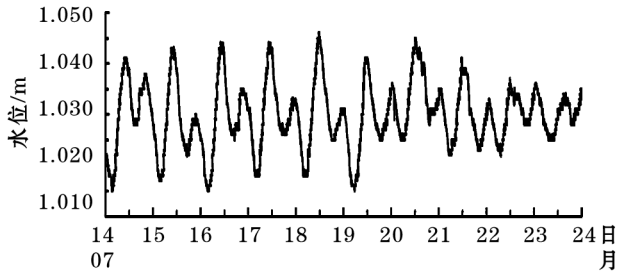


图 3 宁德一号井水位正常曲线图

Fig. 3 Normal water level curve of Ningde No. 1 well

测项与水位对比分析也未见异常(图 6);与一号井相距 30 m 二号井水位(2017 年 11 月至今水位试运行)对比分析,常态下,两者水位曲线动态变化具有较好的一致性;但这次一号井水位异常,二号井水位观测曲线无异常现象。通过两者同时段观测曲线对比分析,一号井水位无突跳时段,两者曲线变化形态及趋势仍具有一致性(图 7);每日定时监测的恒流泵总流量均在允许范围内(299 ~ 301) ml/min,并未发现流量异常。

3.2 周边场地环境

该井自观测以来受周边场地环境影响案例较少,在受到潜在的“干扰源”影响时,主要表

3 异常排查工作开展

3.1 其他测项综合分析

宁德一号井水位数据出现异常时,工作人员将同台其他测项数据进行对比分析。同井水温、气氦测值未见异常(图 5);气压、降雨量等辅助

表 1 宁德一号井水位数据异常时段

序号	异常时段			时长/min	幅度/m
	日期(月-日)	起始(时:分)	终止(时:分)		
1	07-25	08:48	09:08	20	0.005
2		09:33	09:57	24	0.033
3		10:09	10:34	25	0.034
4		13:54	15:39	105	0.076
5		15:59	17:31	92	0.071
6		18:32	19:32	60	0.063
7	07-27	07:49	09:21	92	0.073
8		09:53	10:23	30	0.03
9		16:02	16:33	31	0.034
10		16:43	17:11	28	0.025
11		14:10	15:00	50	0.063
12		15:34	16:23	49	0.042
13	08-11	16:57	17:31	34	0.021
14		17:57	19:11	74	0.073
15		20:57	21:40	43	0.048
16		22:58	01:41(12 日)	163	0.078
17	08-12	01:57	04:01	124	0.072
18		05:27	05:55	28	0.024

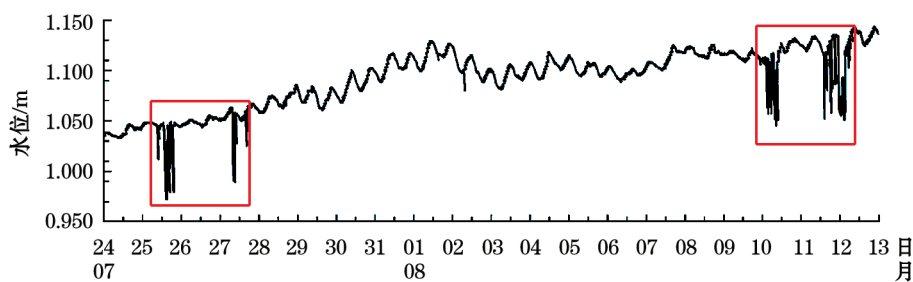


图4 宁德一号井水位异常时段数据(图中红色框指水位数据异常时段)

Fig. 4 Water level anomaly data of Ningde No. 1 well

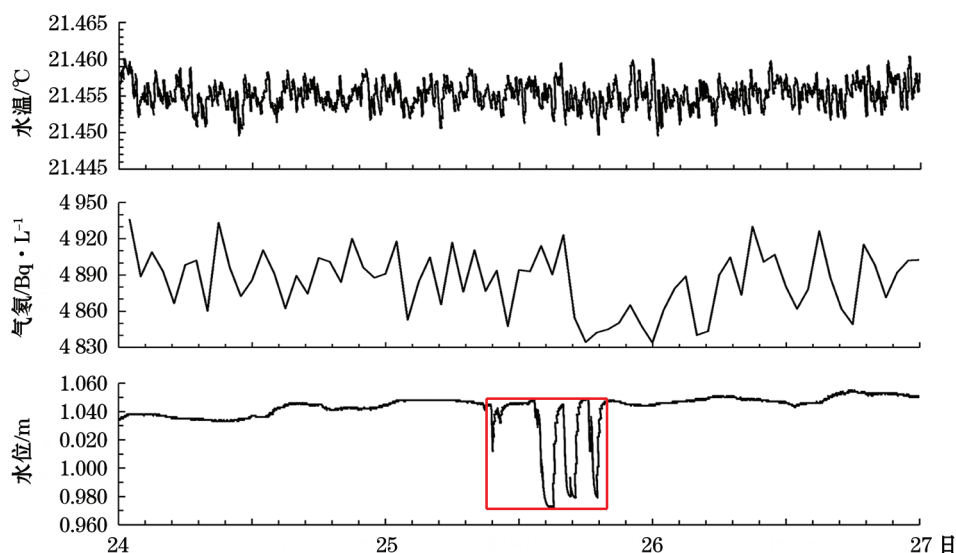


图5 2019年7月24~27日气氡-水温-水位对比曲线(图中红色框指水位数据异常时段)

Fig. 5 Gas radon, water temperature and water level comparison curve from July 24 to 27, 2019

现有:① 周边民用井抽地下水影响导致水位出现台阶或向下突跳;典型案例有:2017 年高级中学井抽水导致本台观测水位出现大幅下降,下降变幅达 0.7 m,台阶明显,在停止抽水后水位恢复到新的动态平衡。经多方协商,高级中学于 2018 年 3 月封井不启用。2019 年 5 月,台站所在辖区内自来水管道的修复,导致台站周边停水,居民启用自挖机井采水用于生活,导致宁德一号井、二号井水位均出现下降现象;民用机井井深 72 m,与本台观测井属同一含水层,距离本台观测井直线距离 40 m。② 受周边基建施工停工的影响,导致水位短时段内阶段性出现趋势变化现象。2019 年春节期间,周边大型施工场所停工休假,宁德地一号井、二号井水位数据同时出现短时段的下降趋势。从潜在的干扰源影响水位数据出现畸变现象分析,主要有 2 个方面与此次水位突跳表现形式不同。一是数据变化的表现形式,潜在干扰造成水位变化形态主要以水位下降为主,而此次异常水位为上升性突跳;二是影响的时段及时长,潜在干扰源造成的水位变化畸变主要集中在白天时段,且单次影响时间较长,而此次异常时段比较随机,且异常时间较短。

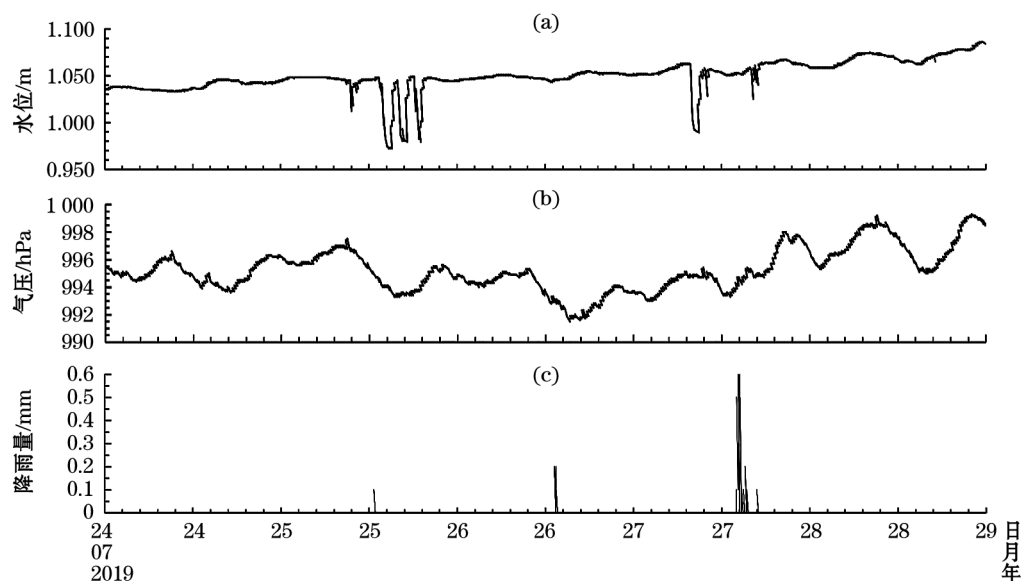


图 6 水位(a)气压(b)降雨量(c)对比图

Fig. 6 Comparison of water level (a), air pressure (b) and rainfall (c)

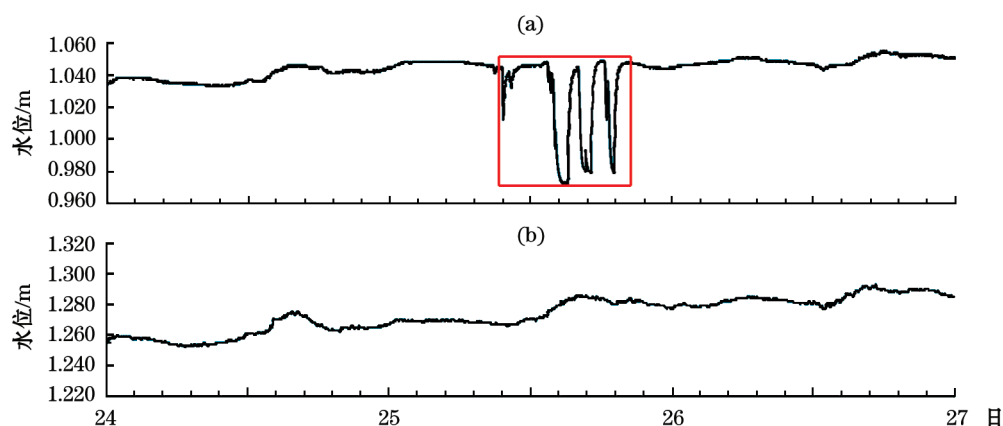


图 7 2019 年 7 月 24 ~ 27 日一号井(a)与二号井(b)水位对比图(图中红色框指水位数据异常时段)

Fig. 7 Water level comparison between well No. 1 and well No. 2 from July 24 to July 27, 2019

2019 年 7 月 25 日至 8 月 12 日宁德一号井水位数据多次出现大幅度异常,通过调查,并未发现高级中学井重新启用和新钻井使用;台站周边民用井也未出现抽水和注水情况;台站周边基建也照常施工未见明显异常现象,且宁德二号井水位也未见因周边基建引起的异常现象。因此认为此次水位出现异常与场地环境干扰影响不大。

3.3 观测系统

3.3.1 现场排查

排查工作主要包含供电系统和观测设备连接系统。① 供电系统排查通过对 UPS 电源和电瓶电压的检测,未发现电源电压异常。② 针对水位有影响的设备、系统和连接链路等展开

排查,均能正常工作;③ 利用测钟进行水位 2 次水位现场校测,校测结果均符合学科要求,仪器可继续观测,说明该水位仪在此观测系统中能正常记录水位的动态变化(表 2);④ 利用同井 LN-3 水位仪观测数据进行对比分析,时序图显示 LN-3 仪与 LN-3A 仪能同步记录到水位突跳现象,因此更明确水位仪能真实反映并记录水位变化情况(图 8)。

表 2 2019 年 7 月 26 日水位异常期间水位现场校测结果

次数	项目	平均值 /m	误差 /m	观测误差值 /m	误差判断值 /m	校测结果 /m	校测时间 (时:分~时:分)
1	校测值	1.045 9	0.000 4	0.002 6	0.027 8	0.0004 < 0.005, 0.0026 < 0.0278,	09:13 ~ 09:20
	水位值	1.048 5	0.000 2				
2	校测值	1.048 6	0.000 5	0.001 9	0.028 1	0.0004 < 0.005, 0.0019 < 0.0281,	15:36 ~ 15:42
	水位值	1.050 5	0.000 4				

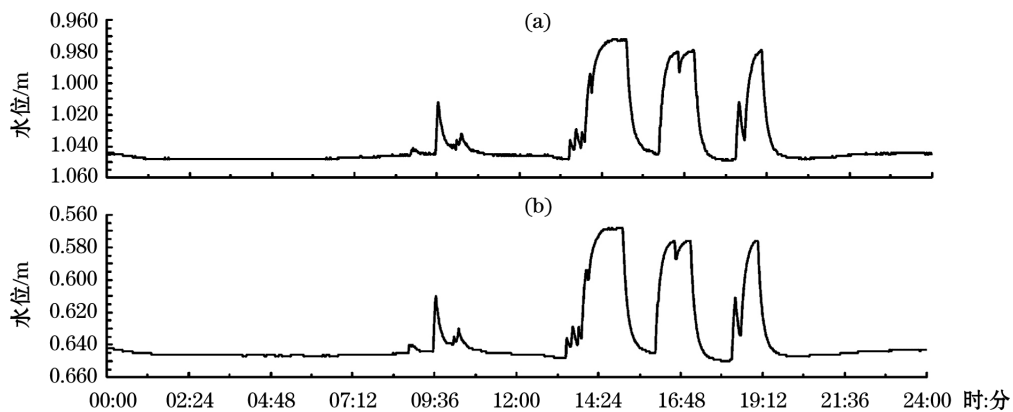


图 8 2019 年 7 月 25 日 LN-3A 水位仪(a)数据与 LN-3 水位仪(b)数据对比

Fig. 8 Comparison of LN-3a water level gauge (a) data and LN-3 water level gauge data (b) on July 25, 2019

确定水位仪正常、测值正常后,开始加密监控恒流泵流量,暂未发现流量异常,且水位测值也正常。7 月 27 日观测人员在巡检时发现恒流泵抽水总量变小,经对大小恒流泵分开测量流量,发现小恒流泵抽水量变小,甚至达到断流状态。通过电源重启后,小恒流泵恢复正常工作,流量也稳定在阈值内,水位数据逐渐恢复。通过小恒流泵故障时段水位数据进行分析,发现 27 日水位异常变化与 25 日具有较高的一致性,因此判定本次水位异常为受小恒流泵故障引起。另有一号井同时段氡观测系统能正常运行(含大恒流泵),且水位观测系统(含大、小恒流泵)能真实反馈水位动态变化,水位数据在非场地及地震前兆因素下出现数据突跳畸变现象,水位观测系统能正常工作,也进一步证明了 7 月 25 日、27 日水位数据出现大幅度异常变化是受小恒流泵故障影响。

3.3.2 理论排查

通过对数据突跳时长和变幅两者间统计分析,数据异常时段变化特征:(1) 单次数据突跳范围在 80 min 以内,水位测值变化幅度与数据异常时长具有明显的线性关系,数据出现异常相邻两次的时间间隔较小,连续性出现次数多,从而导致流量忽大忽小,水位变化表现为“上升-下降”模式;(2) 异常时间大于 80 min,水位变化幅度相对稳定,变化幅度 0.075 m,数据

变化表现为“上升-平台-下降”模式。当恒流泵停止工作时,水位数据急速上升到新的水头位置,并处于动态平衡状态,启动恒流泵后,水位数据又下降到原有的动态平衡状态,其中新水头位置与恒流泵流量大小有关(图9)。

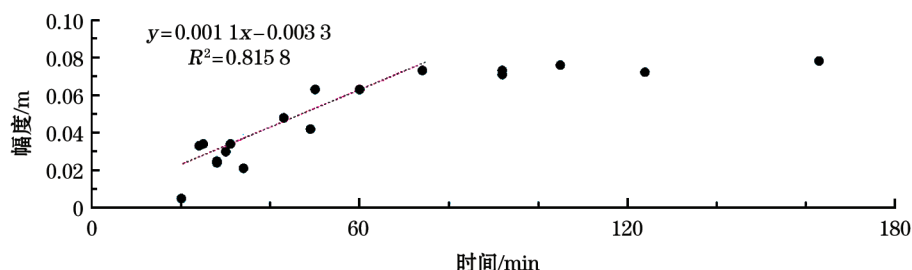


图9 故障时长与水位变化幅度关系图

Fig. 9 Relationship between fault duration and water level change amplitude

利用地下流体相关理论可较好的说明,长时间恒流泵停止工作水位,水位变化幅度较大且有上限。假设“井孔外围”水头高度为 h_0 ,未进行“恒流式”综合观测改造时,井孔静水位水头值为 h_1 ,通过“恒流式”综合观测改造观测时,“恒流式”动水位水头为 h_2 ,对于同一观测井而言,根据达西定律有以下物理关系,

$$Q = KA \frac{h_0 - h_2}{\Delta L} \quad (1)$$

式中, Q 为流量, A 和 ΔL 分别为达西实验装置中水流横截面积和两个水头之间的直线距离, K 为水力传导系数,是价值和流体的函数,在确定研究对象为宁德一号井时,上述参数可认定为是一个常数,在恒定流量下 Q 为个固定值,由公式(1)可知, $(h_0 - h_2)$ 与流量 Q 之间具有较强的线性关系,当流量 $Q=0$ 时,恒定动水位 h_2 与井孔静水位 h_1 等价,同时根据公式(1)可得出: $h_0 - h_2 = 0$, $h_0 = h_2 = h_1$,由此也可得出当 Q 为恒定值时,恒定动水位值与井孔静水位值保持着恒定的水头落差 Δh 。因此该井中当恒流泵工作不稳定时,导致流量 Q 出现波动,从而由公式(1)可推出水头落差 $\Delta h = h_0 - h_2$ 随之出现波动,这就较好解释了宁德一号井水位在7月25日至8月12日出现突跳的现象。

3.3.3 故障维修

在认定水位异常是受恒流泵异常影响,故障原因可能是恒流泵长期使用导致管路受水垢,微生物等杂质堵塞引起流量变小,甚至流量不通顺导致恒流泵死机不能正常工作。对管路、轴承等零配件进行清洗调整,将流量调整至正常水平后,水位数据暂未出现突跳现象。2019年8月10~12日,水位又出现了该现象,与恒流泵厂家联系后,认为是恒流泵元件老化,恒流功能不稳,建议返厂修复。小恒流泵返厂维修期间,采用备用恒流泵,观测系统运行正常,观测数据连续可靠(图10)。

4 结语

通过对同井观测数据,场地环境、现场校测、检查供电等观测系统等多方面分析排查,认为

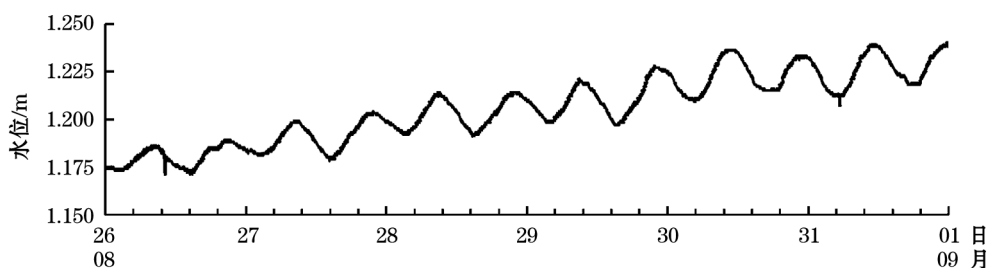


图 10 2019 年更换更流泵后水位数据

Fig. 10 Water level data after replacement of flow changing pump in 2019

水位仪运行稳定,场地环境无干扰,造成宁德一号井 2019 年 7 月 25 日至 8 月 12 日水位出现突跳的原因为恒流泵故障。结合此次异常分析及恒流泵工作特点,认为在宁德一号井观测中,恒流泵运行稳定与否直接影响着各测项观测数据质量,实现对恒流泵运行状态实时监控为数据分析及异常核实具有积极作用。

参考文献:

- [1] 蔡作馨,程庆斌,杨鼎鸿,等. 地下水“恒流式”单井综合观测方法[J]. 地震,2003,23(1):109-114.
- [2] 杨鼎鸿,蔡作馨,程庆斌,等. 地下流体数字化单井综合观测技术方案的对比试验[J]. 华北地震科学,2010,2(28):58-62.
- [3] 张素欣,盛艳蕊,张子广,等. 仓 13 井地热异常跟踪分析[J]. 地震地磁观测与研究,2012,33(1):70-74.
- [4] 刘俊芳,吕芳,郭宇,等. 山西静乐观测井水位干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究,2016,37(3):30-35.
- [5] 赵强,史双双,张亮娥,等. 孝义地震台水位异常分析[J]. 山西地震,2018,174(2):13-15.
- [6] 龚永俭,程立康,李颖楠,等. 天津王 3 井水位突升异常的调查与研究[J]. 高原地震,2016,28(3):26-31.
- [7] 廖丽霞,秦双龙,叶威,等. 泉州局一号井水位异常的调查与研究[J]. 内陆地震,2013,27(1):13-15.
- [8] 廖丽霞,廖春奇,朱海燕. 福建闽侯旗山井水位大幅波动成因探讨[J]. 地震研究,2007,30(3):260-264.
- [9] 桂荣,向阳,朱成英,等. 伽师 55 井水位大幅度高值异常的落实与分析[J]. 内陆地震,2016,30(2):155-161.
- [10] 黎己余,杨鼎鸿,邓聪,等. 宁德地震台地下流体单井综合观测系统故障分析[J]. 科学技术创新,2018,(18):14-17.
- [11] 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.
- [12] 龚永俭,王熠熙,李颖楠,等. 天津高村井一次水位异常的调查与排除[J]. 内陆地震,2015,29(1):93-98.
- [13] 李惠玲,张登科,高云峰,等. 山西大同镇川井水位各类异常特征及成因分析[J]. 山西地震,2018,174(2):21-37.
- [14] 温丽媛,刘春国,陈其峰,等. 山东地震前兆台网地下流体数据跟踪分析[J]. 内陆地震,2019,33(2):166-173.
- [15] 李颖楠,龚永俭,徐诚,等. 水位校测对同井孔水温的影响及机理探讨[J]. 内陆地震,2017,31(1):64-70.

ANALYSIS ON NINGDE NO. 1WELL QUICK CHANGES OF GROUNDWATER LEVEL

LI Ji-yu, ZHENG Chen-he, LIN Zhi-yin, YANG Ding-hong, CHENG Qin-bin, DENG Cong

(Fujian Earthquake Agency, Fuzhou 350003, Fujian, China)