

解晓静, 苏荣托雅, 张帆, 等. 海南琼海加积井水位水温同步上升后转平的异常成因初探[J]. 华南地震, 2019, 39(S1): 37-45. [XIE Xiaojing, SU Rongtuoya, ZHANG Fan, et al. Preliminary Study on the Abnormality Causes of Turning Flat after Synchronized Rise of Water Level and Temperature in Qionghai Jiaji Well, Hainan Province [J]. South China journal of seismology, 2019, 39(S1) 37-45]

## 海南琼海加积井水位水温同步上升后转平的 异常成因初探

解晓静, 苏荣托雅, 张 帆, 孙三健  
(海南省地震局, 海口 570203)

**摘要:** 2017 年 8 月中旬至 11 月底琼海加积井水位水温同步大幅上升后至今呈转平形态的异常现象, 通过开展井孔周边环境干扰的调查、井孔水体化学组分的分析、井孔构造的影响分析、周边观测井水位水温资料的对比分析以及区域构造活动的分析等工作, 认为加积井水位水温的大幅上升后转平的现象非地球物理异常, 推测原因应是观测段内深部含水层水补给量的增大上涌导致观测井水位水温同步上升, 之后逐渐达到平衡, 转而在高值的水平上呈平稳形态。而深部含水层水量补给增大的来源可能是观测井深 110m 以下至井底观测段内含水带揭露处井壁坍塌渗漏所致; 也可能是其他的干扰所致, 但具体的干扰源还有待继续核实。

**关键词:** 海南加积; 水位水温上升; 异常成因

**中图分类号:** P315.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8662(2019)S1-0037-09

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2019.S1.007

## Preliminary Study on the Abnormality Causes of Turning Flat after Synchronized Rise of Water Level and Temperature in Qionghai Jiaji Well, Hainan Province

XIE Xiaojing, SU Rongtuoya, ZHANG Fan, SUN Sanjiang  
(Hainan Earthquake Agency, Haikou 570203, China)

**Abstract:** From mid-August to the end of November 2017, the water level and temperature of Qionghai Jiaji well have risen sharply at the same time, and the abnormal phenomena have turned to flat. Through the investigation of the environmental disturbance around the well, the analysis of the chemical composition of the water body in the well, the analysis of the influence of the well structure, the comparative analysis of the water level and temperature data of the surrounding observation wells and the regional tectonic activity, the abnormal phenomena have been observed. Dynamic analysis shows that the phenomena of water level and temperature of Jiaji well rising sharply and then turning flat are not geophysical anomalies. It is presumed that the reason is that the increase of water recharge from deep aquifer in observation section causes the water level and temperature of

**收稿日期:** 2019-02-26

**基金项目:** 2019 年中国地震局监测、预报和科研三结合课题(3JH-201901038); 2019 年中国地震局震情跟踪定向工作任务(2019010202)

**作者简介:** 解晓静(1982-), 女, 工程师, 主要从事地震前兆观测和地下流体学科地震预测研究。

**E-mail:** madyxiexj@foxmail.com.

observation wells to rise synchronously, and then gradually reach equilibrium, and then turn to a stable state at the high level. The increase of water recharge in deep aquifer may be caused by borehole collapse and seepage at the exposed aquifer zone from the observation well depth below 110 m to the bottom of the well. It may also be caused by other disturbances, but the specific disturbance sources need to be further verified.

**Keywords:** Hainan Jiaji; Rise of water level and temperature; Cause of anomaly

## 0 引言

地下水动态是指地下水的物理性质和化学成分(包括水位、水量、水温、化学组分、气体成分等)随时间的变化过程。地下水动态分为宏观动态和微观动态。地下水宏观动态是指由含水层水量增减变化而引起的地下水随时间的变化过程,地下水微观动态是指由于含水岩体应力应变状态改变而引起的地下水随时间的变化过程<sup>[1]</sup>。因此,地下水位水温的异常变化形态有可能是周边环境干扰等引起的干扰变化,也可能是区域构造活动引起的地球物理异常变化<sup>[2]</sup>。如何排除这些干扰因素的影响,识别出与构造活动有关的地下水微观态,进而判断地下水异常产生的机理,是目前地下流体资料分析应用的关键科学问题之一<sup>[3]</sup>。

为此,当地下流体测项动态发生变化时,需要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,有的提取到了地球物理异常<sup>[4]</sup>,为地下流体观测异常核实及成因分析等工作提供可借鉴的思路。

海南岛属于弱震少震区域,地震地下流体观测至今以来,水位观测已有 30 多年,水温观测有 10 多年。琼海加积井水位水温 2017 年 8 月中旬以

来出现的同步大幅异常变化,到底是环境干扰所致还是由构造活动所引起的地球物理异常信息,针对此问题,笔者拟从观测环境调查、井孔水化类型与氢氧同位素、井孔构造影响、周边观测井水位水温资料的对比以及区域构造活动等方面进行分析,探讨其水位水温的异常成因。

## 1 观测井及资料异常概况

加积井位于琼海市加积镇西南方,西南约 400 m 处为万泉河,南、北是市区,加积井处于万泉河水的中下游地带。且位于海南岛中生代隆起构造的东部边缘,所在断裂为琼海—文昌—三亚断裂(图 1),地处北东向南林—清澜大断裂的附近,而北西向东寨港—清澜断裂在它的东北方约 20 km 处通过。井孔柱状结构见(图 2),原井深 525.93 m,套管下至井口以下 11.50 m 深的基岩处,11.50 m 以下为裸孔,观测段为 11.50~525.93 m 的静水位,后因 1994 年水位的异常大幅上升,焊接加长套管,目前实际井深 529.33 m。观测段含水层的层数及具体层位无史料记录,岩性为白垩系极万群砂岩、砂砾岩。地下水类型为裂隙混合承压水。渗透系数  $K=0.212$  m/d。



图 1 观测井周边地质构造图

Fig.1 Geological structure map around observation well

加积井水位自观测以来,呈现出雨季上升,旱季下降的年变形态,含水层补给类型属降雨渗透补给型;加积井水温自观测以来,多年与年动态类型为缓慢上升型,短期动态较为平稳;且受降雨的影响,短期形态水位水温表现为反向相关型,即水位受降雨补给影响上升,水温则呈反方向下降。2017年8月中旬开

始,加积井水位却呈现大幅上升的形态,至同年11月底达到上升峰值,同时井水温也同步呈现大幅上升的形态,水位最大升幅约1.5 m,水温最大升幅约0.035℃。之后至今水位水温均在高位水平上呈转平形态,且转平形态下均保持正常的年动态,即水位仍为降雨补给型,水温仍为缓慢上升型(图3)。

地层编号	地层时代	层底深度(m)	分厚度(m)	井孔柱状图(mm)	岩土名称	水位深度(m)	观测日期
①	Q <sub>4</sub>	11.14	11.14	272	亚粘土亚砂土	3.281	2011.3.29
②				220	紫红色巨-粗砾杂砾岩		
③		80.80	69.66	150	紫红色粗-中砾杂砾岩		
④		135.02	54.22		细砾杂砾岩		
⑤	K <sub>2h</sub>	158.80	23.78		紫红色中-粗砾杂砾岩		
⑥				130	细砾杂砾岩		
⑦		224.34	65.54		紫红色粗-中砾杂砾岩		
⑧		244.34	20.00		细砾杂砾岩		
⑨		315.04	70.70		紫红色粗-中砾杂砾岩		
⑩		370.69	55.65		紫红色细砾杂砾岩与不等粒砾岩互层		
⑪	K <sub>2h</sub>	438.59	67.90	110	灰白色不等粒砾岩及角砾岩		
⑫		482.49	43.90		灰白色不等粒砾岩		
⑬		505.00	22.51		构造角砾岩		
⑭		525.93	20.93		粉砂岩中砾岩		

图2 琼海加积井柱状图

Fig.2 Column diagram of Jiaji well in Qionghai

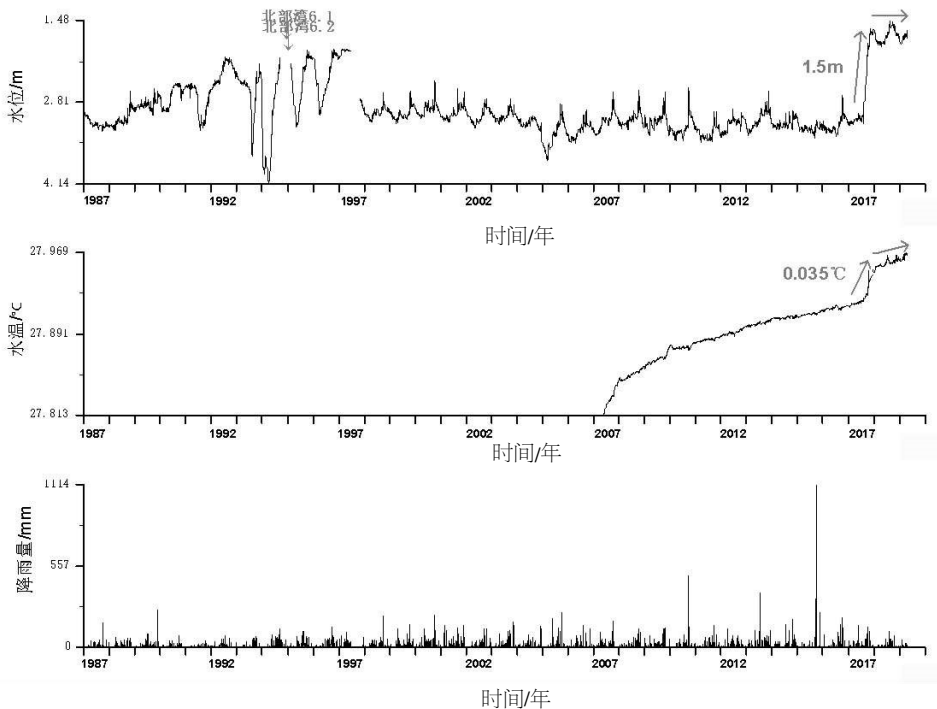


图3 加积井水位与水温异常变化曲线图

Fig.3 Curve diagram of water level and temperature anomalies in Jiaji well

从震例资料来看,琼海加积井水位于 1994 年 4 月至 9 月期间呈现大幅上升,最终溢出井口导致水位仪器超量程无法记录数据,之后于同年 12 月 31 日和次年 1 月 10 日在北部湾分别发生 6.1、6.2 级的地震(图 3)。当时未开展井水温的观测。那么本次加积井水位的突升与 1994 年的水位上升异常相似,值得深入调查与分析。

加积台站仪器设备、供电避雷及工作状态等均正常。由异常变化曲线(图 3)来看,亦可排除降雨量的影响。

那么从数据分析的结果来看,引起井水位水温在三个半月时间内同步大幅上升,后转为平稳形态的原因,推测一是受到周边观测环境干扰导致水位水温突升,之后逐渐达到平衡稳定的形态,包括是否有温泉水或大型施工排放热水的渗入补给,或是有新钻机井的影响,或是地下注水等干扰;二是井孔构造的突变影响,包括井孔观测段较深部存在坍塌渗漏等情况,从而导致含水层深部段水量短期内补给增多后达到平衡转为平稳的

形态;三是由于区域应力场改变构造活动导致地壳的岩体产生变形,使含水层固体骨架之间的孔隙压增大,从而导致短期内观测井深部热水上涌,后逐渐达到平衡转为平稳形态,即为地球物理异常。

为此,笔者以下将从这三个方面的原因推测进行异常的探讨分析。

2 异常成因调查与分析

2.1 观测井周边环境的影响分析

琼海加积井位于琼海市加积镇西南方,地处市镇区,调查结果显示,未见大型施工排放热水等项目,也未见钻孔机井及地下注水等作业。原温度梯度测试该井水温呈正梯度变化,异常变化后进行新的温度梯度测试(图 4),因 110 m 井孔处受硬物堵塞无法下放水温探头,测试结果只能显示井口至 110 m 之间井段的温度梯度信息,其结果仍显示井水温呈正梯度变化,即可排除受地表及浅层热水的渗入补给可能。

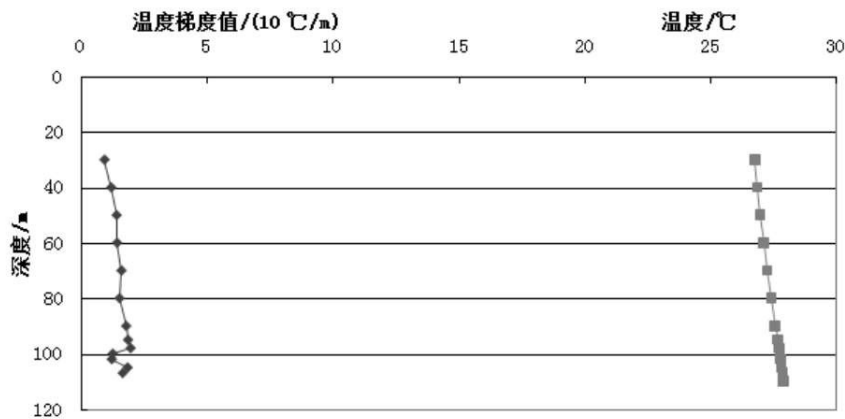


图 4 加积井温度梯度测试曲线  
Fig.4 Temperature gradient curve of Jiaji well

距离加积井最近的温泉点为官塘温泉,直线距离约 5 km,且加积周边现开发的温泉场地也仅为官塘地区,调查到官塘当地温泉休闲中心集中有两三口自流温泉井,最深井为 285 m,且井水未有流量变小等宏观现象。进一步的微观分析,采集该温泉井水样与加积井水样进行水化类型对比

(表 1、图 5),结果可知,官塘温泉井水质类型为 Na-Cl-HCO3 型,而加积井水质类型为 Na-HCO3 型,由水化离子 Papper 图分析,2 个水样离子浓度的相对含量也不一致,图中显示其含量分布相距较远,说明 2 口井并非同一水源。即加积井水位水温的突升与周边温泉水的补给亦无直接联系。

表 1 加积井与官塘温泉井水样水化分析结果一览表

Table 1 A list of hydration analysis results of water samples from Jiaji well and Guantang hot spring wells											
分析项目	PH	总硬度/ (mg·l <sup>-1</sup> )	矿化度/ (mg·l <sup>-1</sup> )	阳离子/(mg·l <sup>-1</sup> )				阴离子/(mg·l <sup>-1</sup> )			
				K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO4 <sup>2-</sup>	NO3 <sup>-</sup>	HCO3 <sup>-</sup>
加积井	8.58	25	396	1.0	101	7.7	1.4	11	<4	19	255
官塘温泉井	8.7	18.6	689	7.4	182	7.0	0.3	129	75.1	9.2	192

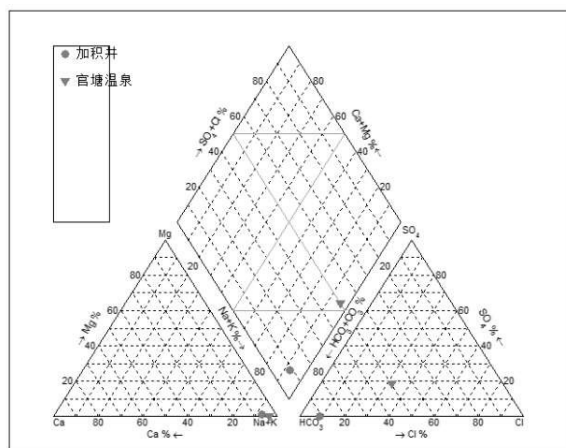


图5 加积井与官塘温泉井水样水化离子 Piper 图

Fig.5 Piper Diagram of Hydration Ions in Water Samples of Jiayi Well and Guantang Hot Spring Well

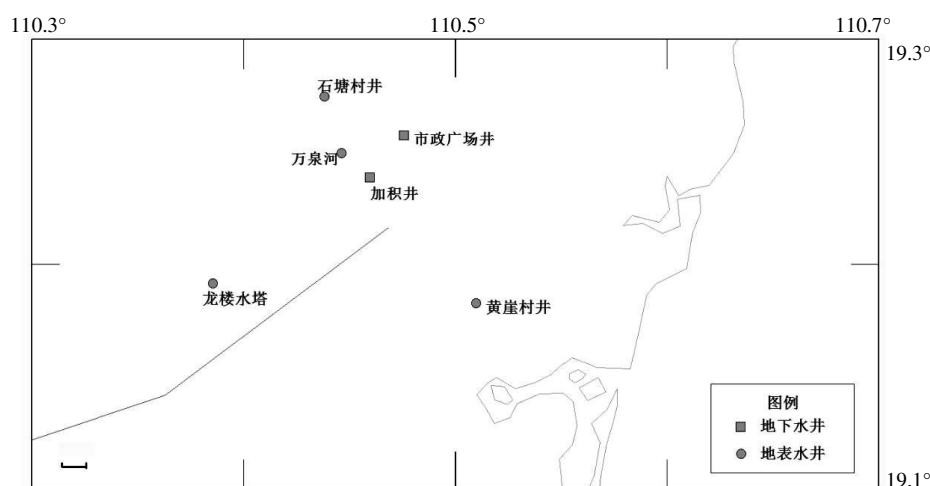


图6 加积井及周边采水样点分布图

Fig.6 Distribution map of water sampling points in Jiayi well and its surrounding areas

委托海南省地质测试研究中心和中国地震局地壳应力研究所分别对水样的水质成分和氢氧同位素进行了测试,化验结果分析图7。从水化学三线图(图7a)可见,加积井水两次检测的水质结果基本一致,类型均为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型,为钠型重碳酸型水,而周边几口地表井水、万泉河水及井深200m的市政广场井,其分析结果在三线图上的位置则偏离加积井呈集中分布,水质类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型,为钙型重碳酸型水,均反映了浅层、年龄较轻的水文循环特征<sup>[9]</sup>,也表明加积井与其他各井非同—水源。

从水样的 $\text{Na-K-Mg}$ 三角图(图7b)可见,加积井两次检测的结果一致,其井水与其他地表水等均处于“未成熟水”区域,说明水-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

## 2.2 观测井水化学特征分析

取水样进行水质成分的分析,除了可确认各井水是否为同一水源外,还可通过判定异常变化时观测井水体中的水-岩相互作用程度,以此来判断观测井水体中是否携带来源于深部构造活动的物质成分。

为此,笔者于2017年8月中旬加积井水位水温出现异常变化时以及2018年11月加积井水位水温呈现突升后转平形态下,分别两次采集加积井水下50m水样。并经调查后采集了周边几口民用地表水井、市政广场内一口约200m深的地震避险备用地下水井及距离加积井西南向仅400m的万泉河水样。其中周边民用水井,井深为5~15m。采样水点分布如图6。

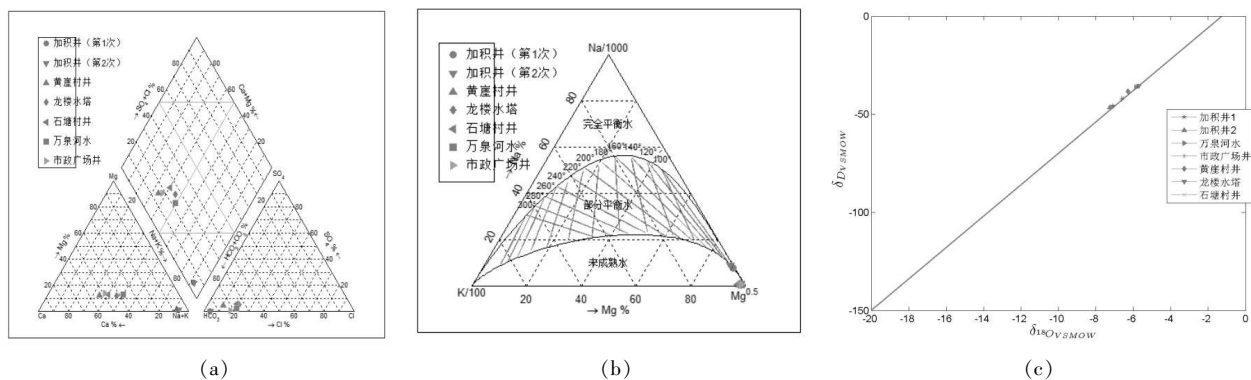
期快。而其他地表水等更靠近 $\text{Mg}^{2+}$ 端元附近,表明其他地表井水相较加积井水而言,水体与岩体之间的相互作用程度更弱,分析认为应是加积井为较深的地下水与浅层地表水的显著区别。

从氢氧同位素对比图(图7c)可见,加积井两次检测结果与其他各地表水等均位于全球大气降水线上,表明均为大气成因水,其水-岩相互作用程度较低,循环深度不大。

综合水化学类型及氢氧同位素分析结果,认为加积井水体不存在来自深部构造活动的物质成分。

## 2.3 井孔构造影响分析

除了周边环境的影响可能造成加积井水位水温的上升外,观测井孔构造也可能存在套管腐蚀、开裂、漏水或井孔坍塌等构造上的干扰导致地下流体动态产生异常变化<sup>[9]</sup>。



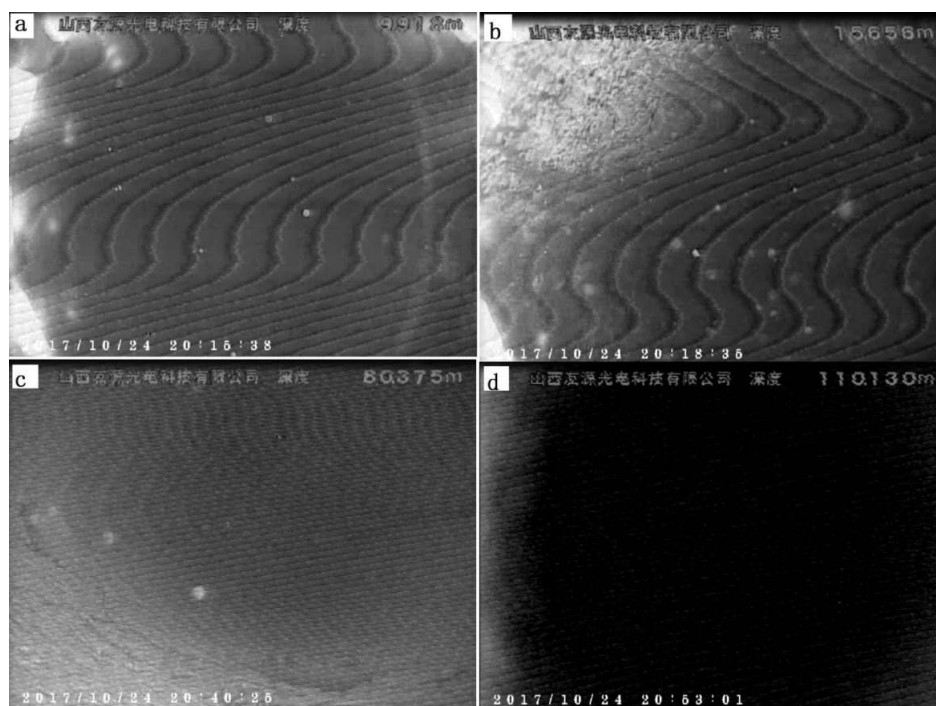
(a) 水化学 Piper 图 ; (b) Na-K-Mg 三角图; (c) 氢氧同位素对比图

图 7 加积井及周边多井水样测试结果分析

Fig.7 Analysis of water sample test results of Jiaji well and surrounding wells

加积井观测段岩性为砂岩、砂砾岩, 存在造成井壁坍塌的构造条件。为此, 利用井下电视可开展对井孔套管、井壁及水体是否有上涌现象等的探查, 以便进行直观准确的判断(图 8)。与水温梯度测量情况类似, 由于 110 m 处硬物的受阻,

井下电视也只能探测到该深度处。探测结果可知, 井口至井下 110 m 井段可清晰看到钢制套管及裸孔段的井壁, 不存在套管腐蚀、开裂漏水及井壁坍塌等现象。而井下 110 m 至井底段井壁及水体是否有上涌现象等情况未知。



(a) 井深约为 9.9 m ; (b) 井深约为 15 m ; (c) 井深约为 80 m ; (d) 井深约为 110 m

图 8 井下电视采集加积井井下图像

Fig.8 Downhole TV acquisition of downhole images of Jiaji well

### 3 观测井周边水位水温资料分析

加积井水位水温的同步上升, 如果是区域构造活动导致的地球物理异常, 那么根据地下流体异常的特性, 与加积井处于同一含水层或邻近含水层的周边观测井, 多数会出现区域共性现象。为此, 可

通过对比分析周边观测井资料, 进一步确定加积井水位水温的上升是否为区域性异常。加积周边区域内流体观测井, 其中文昌潭井, 井深 136 m, 岩性为复矿砾岩, 地下水类型为裂隙混合水, 与加积井距离最近(图 9), 虽然井深较加积井浅, 但是观测段均为裂隙混合水, 即含水层相邻近。

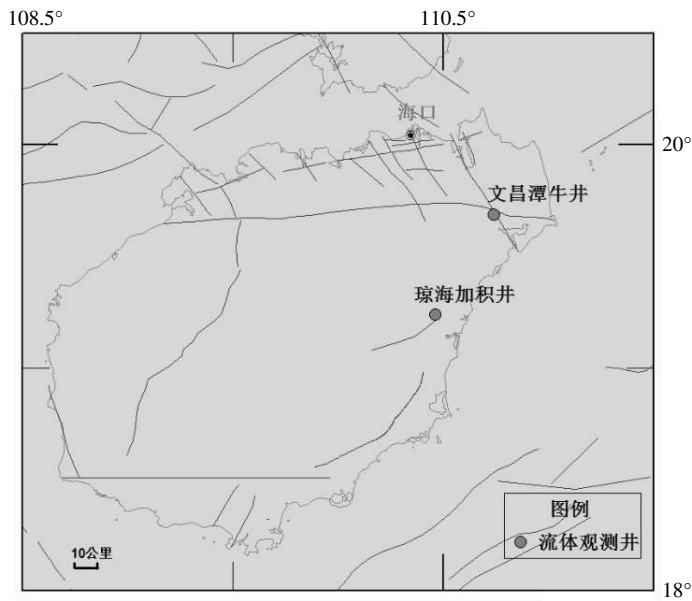


图 9 加积井与潭牛井空间分布图

Fig.9 Spatial distribution map of Jiayi and Tanniu Well

由加积井水位水温与文昌潭牛井水位水温对比图 (图 10), 可看出, 相同时段下文昌潭牛井水位水温均保持正常的年动态形态, 态势平稳, 未出现与加积井水位水温同步上升的异常变化形态。因此, 分析认为加积井水位水温的上升, 为单井上升现象, 不存在区域性同步异常。

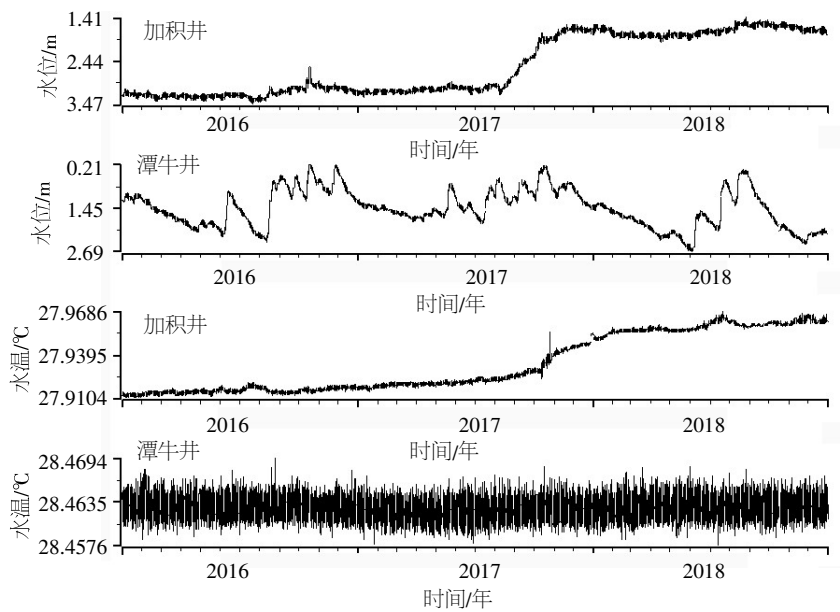


图 10 加积井与潭牛井水位水温资料

Fig.10 Comparison of water level and temperature data between Jiayi and Tanniu Well

4 基于 GPS 观测数据的区域构造活动分析

区域构造应力场是地壳内一定范围内某一瞬时的应力状态, 是造成地壳岩体构造变形和构造断裂的应力场<sup>7</sup>。其反映区域构造应力的聚集、叠加和

集中部位的分布规律、形式及特点。通过区域构造应力场分析可以认识地壳构造运动的根本原因和所在地区构造运动的发生、发展和转变规律, 以及对推断和预测地下未知构造的方位、性质和形态也有所帮助<sup>8</sup>。GPS 观测数据可以反映地球内部应力场变化在地面的形变响应分布, 及构造应力缓慢作用

过程中地壳的某些形变和运动特征<sup>[9-11]</sup>。因此,我们通过利用 GPS 资料来分析研究华南地区的地壳形变特征以及对区域地下流体变化的影响。

目前海南在琼北地区活动断裂带两侧布设有 GPS 流动观测站(图 11),以期通过断裂两侧的 GPS 流动观测点对断裂活动进行形变观测,从而监测区域内火山及地震活动状态。琼海加积台位于该监测区域周边,根据海南省地震局火山监测

中心对琼北地区流动 GPS 的解算结果(图 12),可知 2008—2018 年以来参考站马鞍岭与各流动观测站之间的 6 条基线逐渐变化基本在 10 mm 以内,总体变化较小且稳定(2015 年青山岭、七星岭、高山岭观测站因场地遮挡等干扰导致数据变化较大),即琼北及周边地区没有明显的拉张和挤压趋势,表明块体内部较稳定。据此分析认为,加积井水位的上升不予受控于区域构造应力的影响。

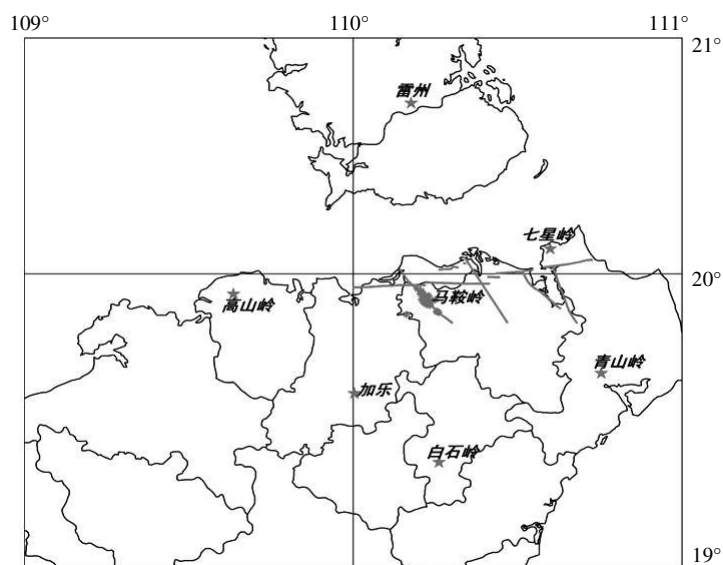


图 11 琼北地区流动 GPS 观测点分布

Fig.11 Distribution of mobile GPS observation points in northern Qiongzhou

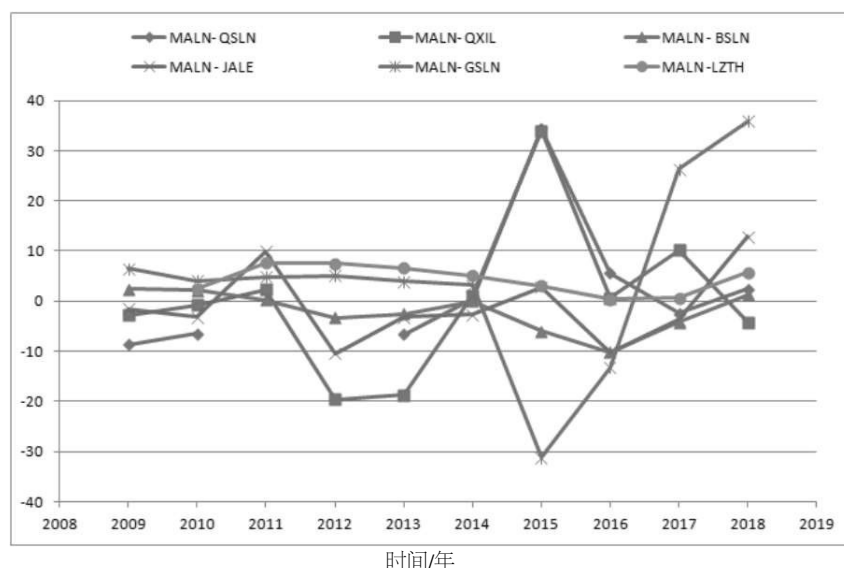


图 12 马鞍岭参考站与各流动站点基线逐年变化示意图

Fig.12 Annual variation of baselines of Ma'anling reference station and mobile stations

## 5 讨论

通过对海南琼海加积井自 2017 年 8 月中旬至

同年 11 月底出现的水位水温大幅上升后至今转平的现象进行观测环境、水化学组分、井孔构造、周边地下流体观测井水位水温资料对比以及区域



GPS 构造活动等方面的分析,得到如下认识:

(1) 自 2017 年 8 月中旬以来至同年 11 月底加积井水位水温同步出现大幅上升,对加积井周边环境进行了详细的调查,未发现能影响水位水温产生大幅上升的大型施工、注水等作业项目;根据新的温度梯度测量结果,可知井口至井下 110 m 井段温度梯度与原梯度测量背景值一致,均呈正梯度变化,表明未受到地表及浅层热水的渗入补给;再根据加积井与周边官塘温泉水样水质分析结果,得知两口井非同水源,表明也未受到周边温泉水的补给影响。

(2) 通过加积井及周边几口民用水井的水样水化学组分和氢氧同位素分析结果表明,加积井与周边各井水均非同水源,且所有井水的水-岩相互作用程度均较弱,基本以浅层的溶解作用为主,加积井水体不存在来自深部构造活动的物质成分。

(3) 对比与加积井处于同一断裂带且观测含水层相邻近的文昌潭牛井水位水温资料,发现加积井水位水温的大幅上升为单井异常现象,非区域性现象。

(4) 由琼北地区以马鞍岭为参考站与各流动 GPS 观测站之间的 6 条基线变化较小且稳定的结果,可知琼北及周边块体没有明显的拉张或挤压趋势,而加积井位于该区域周边,依此分析认为,加积井孔处于块体内部稳定的区域。

(5) 井下电视探测加积井孔结构可知,井口至井下 110 m 的井段套管及裸孔段井壁清晰,未见套管开裂漏水及井壁坍塌等现象,而因井下 110 m 处的硬物受阻,导致井下 110 m 至井底段井壁及水体是否有上涌现象等情况未知。

(6) 综合上述几个方面的分析,笔者认为加积井水位水温自 2017 年 8 月中旬的大幅上升后转平的现象,不受周边环境的影响,水体的循环深度较浅不携带有深部构造活动的物质成分,区域范围内表现为单井上升,流动 GPS 基线显示区域块体处于稳定状态。但利用井下电视对井孔构造的探查发现,井口至井下 110 m 之间的套管及井壁不存在漏水及坍塌的情况,而井下 110 m 至井底段井壁情况未知,因此,认为加积井水位水温的同步大幅上升,非构造应力增强导致的地球物理异常,推测认为应是观测井深部高温水补给量增大,从而使观测井水位上升,同时传感器置放于 110 m 处的观测水温升高,之后水位水温逐渐达到平衡,亦即同步上升至最高水平值后转而保

持平稳的形态。而深部水的补给来源有两种可能,第一种可能是因井下 110 m 至井底的观测段内较深层含水带的揭露处井壁坍塌导致井孔高温水量补给增大;第二种可能是受其它干扰导致观测井深部高温水的补给量增大,而具体的干扰源仍未找到,有待继续的核实。

## 6 结语

琼海加积井作为琼东北地区的地下流体观测井,水位始测时间为海南最早,观测以来,水位年动态和固体潮清晰,数据连续可靠,全国资料评比多年保持前三名,观测质量效能评估为 A 类,且是目前为止海南岛唯一一口水位震例资料明显的观测井。因此建议对该观测井进行清孔,疏通堵塞物体,以便井下电视能够全井探测,同时便于水温传感器的投放进行更深层温度的梯度测量等,继续为地震地球物理监测服务。

## 参考文献:

- [1] 贾化周,张炜,董守玉,等.地震地下水手册[M].北京:地震出版社,1995.
- [2] 胡小静,付虹,李琼.滇南地区近期水位趋势上升异常机理初探[J].地震学报,2018,40(5):620-631.
- [3] 车用太,鱼金子,刘成龙,等.判别地下水异常的干扰性与前兆性的原则及其应用实例[J].地震学报,2011,33(6):800-808.
- [4] 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.
- [5] 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研究[J].地震工程学报,2010,32(2):122-128.
- [6] 李克,赵仲和,宋彦云,等.地震地下流体理论基础与观测技术[M].北京:地震出版社,2007.
- [7] 安欧.构造应力场[M].北京:地震出版社,1992.
- [8] 宋卫华,张宏伟,徐秀茹.区域构造应力场的数值模拟与应用[J].辽宁工程技术大学学报,2006,25(1):39-41.
- [9] 顾申宜,王惠琳,张帆.海南琼中台 GPS 垂直分量变化与降水、地下水位关系研究[J].大地测量与地球动力学,2014,34(6):37-40.
- [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.
- [11] 莫佩婵,文翔,聂冠军,等.广西浦北寨圩水井变混异常核实与分析[J].华南地震,2017,37(3):110-116.