

张 帆, 胡金桥, 李 盛, 等. 海口 ZK26 井和 ZK46 井水位记录地震能力差异分析[J]. 华南地震, 2016, 36 (4): 78-83. [ZHANG Fan, HU Jinqiao, LI Sheng, et al. The Differences of Recording Earthquake Capability by Water Level of ZK26 Well and ZK46 Well in Haikou [J]. South china journal of seismology, 2016, 36(4): 78-83.]

海口 ZK26 井和 ZK46 井水位记录地震能力差异分析

张 帆, 胡金桥, 李 盛, 苏荣托雅
(海南省地震局, 海口 570203)

摘要: 统计了海口 ZK26 井和 ZK46 井水位对 2008 年以来全球 $M_s \geq 7.5$ 以上地震的同震响应情况, 得出所记录地震的次数及同震效应类型; 并绘制两口井水位是否记录所统计地震的平面分布图 (以震中距的对数为横坐标, 震级为纵坐标), 以此为基础得出两口井的水位记录地震能力曲线方程。根据所得的记震能力曲线方程, 认为尽管 ZK26 井和 ZK46 井水位记震能力差异不大, 但总体上 ZK26 井记震能力更优。

关键词: 水位; 同震效应; 震荡; 记录地震能力曲线

中图分类号: P315.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2016) 04-0078-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.04.012

The Differences of Recording Earthquake Capability by Water Level of ZK26 Well and ZK46 Well in Haikou

ZHANG Fan, HU Jinqiao, LI Sheng, SURONG Tuoya
(Earthquake Administration of Hainan province, Haikou 570203, China)

Abstract: This paper collects the coseismic responds of water level of ZK26 well and ZK46 well in Haikou during the earthquakes with $M_s \geq 7.5$ in global from 2008, and obtains the frequency of the recorded earthquakes and the type of seismic respond. Then, based on drawing plane distribution map of whether the water level of these two wells can record the collected earthquakes, the paper produces the recording seismic capacity curve equation of these two water wells. Based on the recording seismic capacity curve equation, the author considers that although ZK26 well and ZK46 well have little difference in recording earthquake, the recording earthquake ability of ZK26 well is more excellent.

Keywords: Water level; Coseismic respond; Vibration; Recording seismic capacity curve

收稿日期: 2016-10-06

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划 (XH15034Y)

作者简介: 张 帆(1988-), 女, 助理工程师, 主要从事流体监测预报和前兆跟踪分析工作。

E-mail: 170822581@qq.com.

0 引言

地震前兆连续观测中，大量实践和研究表明，定点形变、连续重力、水位观测均具有记录地震的能力^[1-4]，尽管由于观测仪器类型、观测仪器型号、观测仪器采样率、观测点位置 and 环境的差异，不同观测手段、不同观测点仪器记录地震能力有所差异。近年来，我国一些地震科技工作者在地下水位观测中对记录到的水位波幅特征、水震图特征和映震机理等方面进行分析研究，取得了一系列成果^[5-8]。这对研究海南水位观测记录地震能力具有启示和指导意义。目前，海南岛陆地地震前兆台网共有水位观测台站 7 个，在运行水位观测仪器 7 套。此前，顾申宜等^[9]研究海南琼海加积井水位对远大震的同震响应特征，取得了同震响应形态表现为以阶升为主，无振荡类型的变化；水位的变化幅度与井震距、震级有一定的关系等认识。

为此，本文对所处断裂一致，地层岩性类似的海口的 ZK26 井和 ZK46 井水位记录地震能力进行分析，以获得两口井水位记录地震的共性和异性。

1 海口 ZK26 井和 ZK46 井概况

ZK26 井和 ZK46 井分别位于海南省海口市海口地震台和海口向荣村台，台基岩性均为 Q4 代玄武岩砂质亚粘土。从区域新构造分区来讲，海南岛陆可分为两个新构造分区，以王五-文教断裂为界，北部地区和广东雷州半岛为雷琼断陷带，南部为琼中南隆起区，ZK26 井和 ZK46 井均位于王五-文教断裂带以北，即处于雷琼断陷带。ZK26 井位于海口-云龙断裂带上，两口井相距马袅-铺前断裂均约 5 km，ZK46 井距长流-仙沟断裂约 10 km。两口井的区位图见图 1，观测井基本情况见表 1。

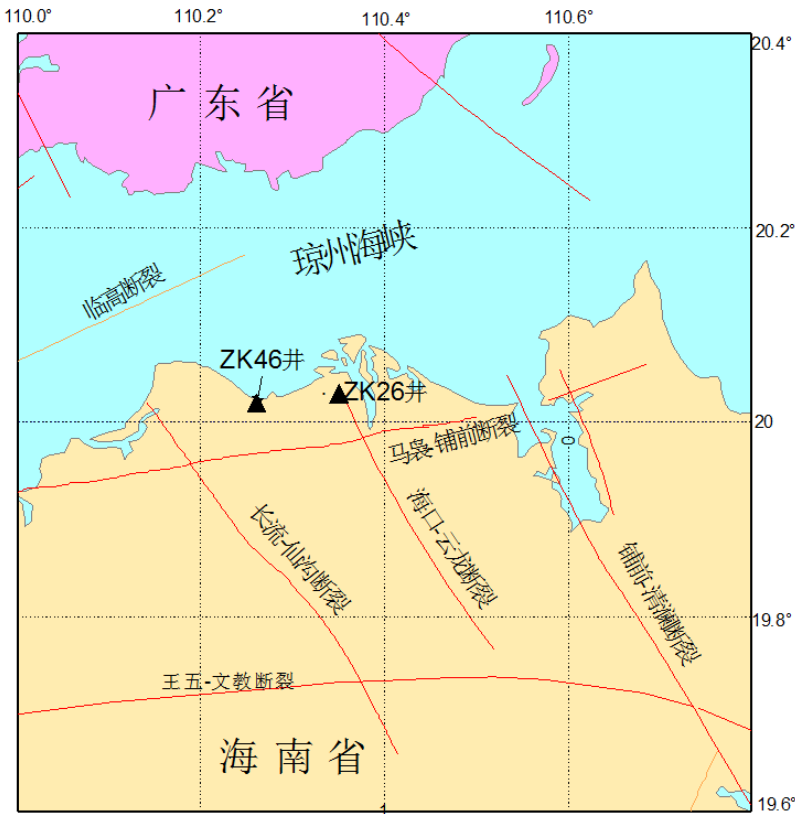


图1 ZK26 井和 ZK46 井区位图

Fig.1 The location map of ZK26 well and ZK46 well

表 1 ZK26 井和 ZK46 井基本信息表

Table 1 The essential information of ZK26 well and ZK46 well

序号	井点	井点位置		井-含水层特征			观测仪器	观测时间
		经度/°	纬度/°	井深/m	地层岩性	地下水类型		
1	海口 ZK26 井	110.35	20.03	706.3	Q4 玄武岩砂砾岩	承压水	SWY-II	1996-06-01
2	海口 ZK46 井	110.26	20.00	320.0	砂砾岩	裂隙混合水	DLZ-1	2001-01-01 至今

2 海口 ZK26 井和 ZK46 井记录地震情况

在一次大地震发生前后,震中外围的井孔由于地震波的传播而造成水位的同震异常变化现象称为水位的远场同震效应^[9-10]。对 2008 年以来两口井的水位观测数据进行分析,发现对于低于 M_s 7.5 以下的地震,两口井的水位均无同震响应(以 2013 年 4 月 20 日四川芦山 M_s 7.0 地震为例,见图 2)。对于大于 M_s 7.5 以上地震,2008 年 1 月至 2016 年 7 月,全球共发生 M_s 7.5 以上地震 58 次(根据中国地震台网统一正式目录),其中 ZK26 井

水位记录 13 次, ZK46 井记录 11 次, ZK26 井所记录的地震略多于 ZK46 井。两口井所记录地震的同震效应类型以震荡型为主,其中 ZK26 井水位同震效应仅有 1 次为阶跃型, ZK46 井水位同震效应有 2 次为阶跃型,其余均为震荡型,本文分别以 2011 年 3 月 11 日日本 9.0 特大地震(图 3, ZK26 井水位同震效应类型为震荡型, ZK46 井为阶跃型)和 2008 年 5 月 12 日汶川特大地震(图 4, ZK26 井水位无同震效应, ZK46 井为震荡型)期间两口井水位曲线为例展示其同震效应情况。

根据 ZK26 井和 ZK46 井记录地震情况,统计了两口井水位同震效应变化情况(见表 2 和表 3)

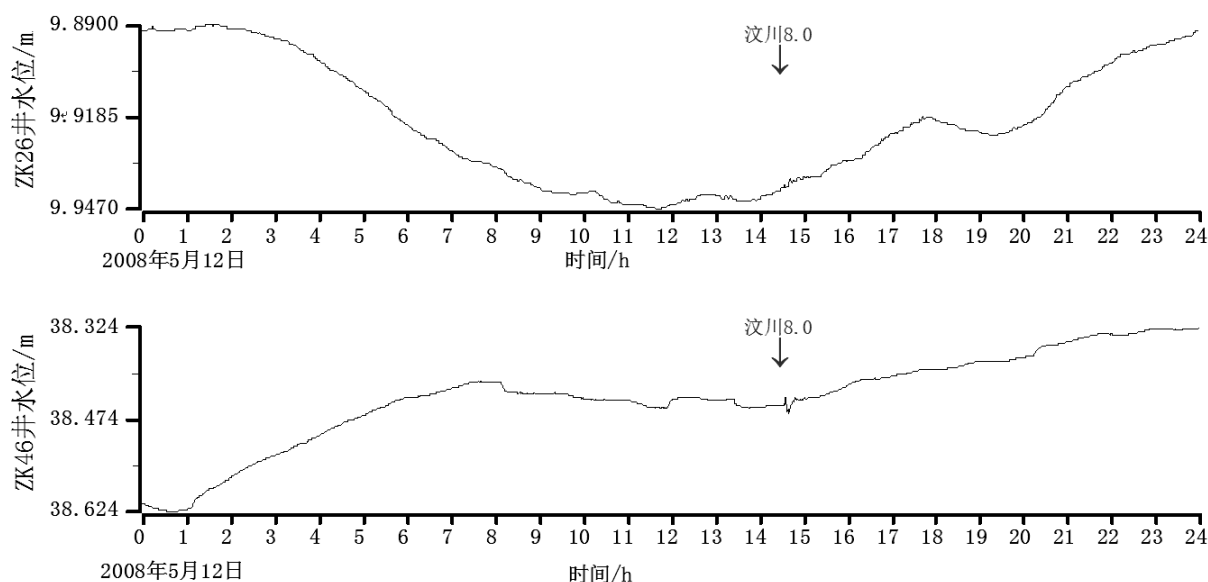


图 2 2013 年 4 月 20 日芦山 M_s 7.0 地震期间 ZK26 井和 ZK46 井水位观测曲线

Fig.2 The water level observation curve of ZK26 well and ZK46 well during Lushan M_s 7.0 earthquake on 20th April, 2013

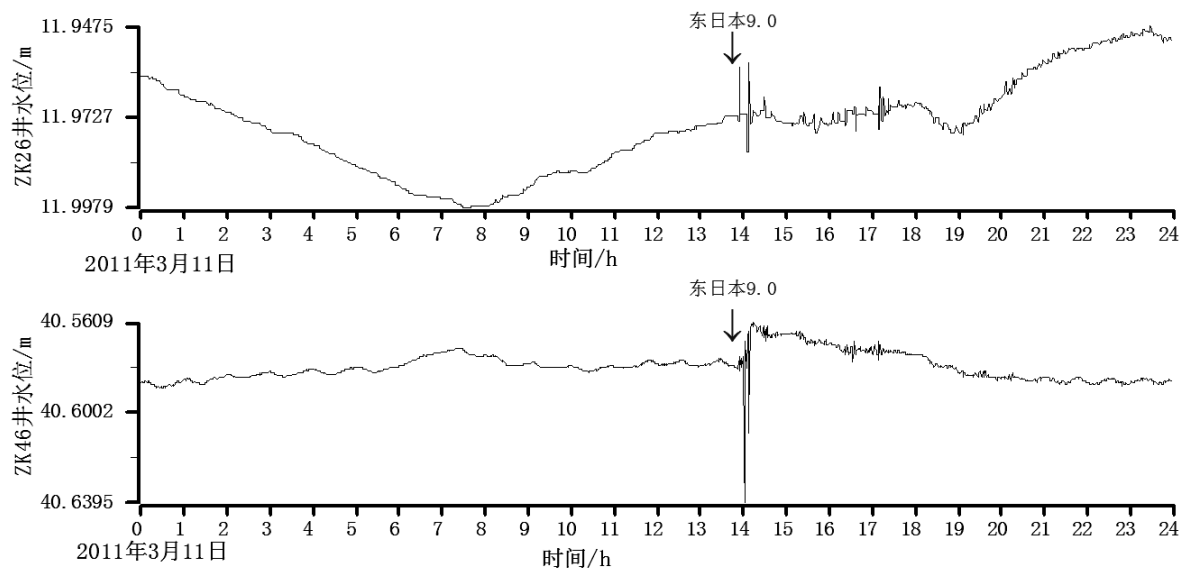


图 3 2011 年 3 月 11 日东日本 M_s 9.0 特大地震期间 ZK26 井和 ZK46 井水位观测曲线

Fig.3 The water level observation curve of ZK26 well and ZK46 well during Japan M_s 9.0 earthquake on 11th Mar, 2011

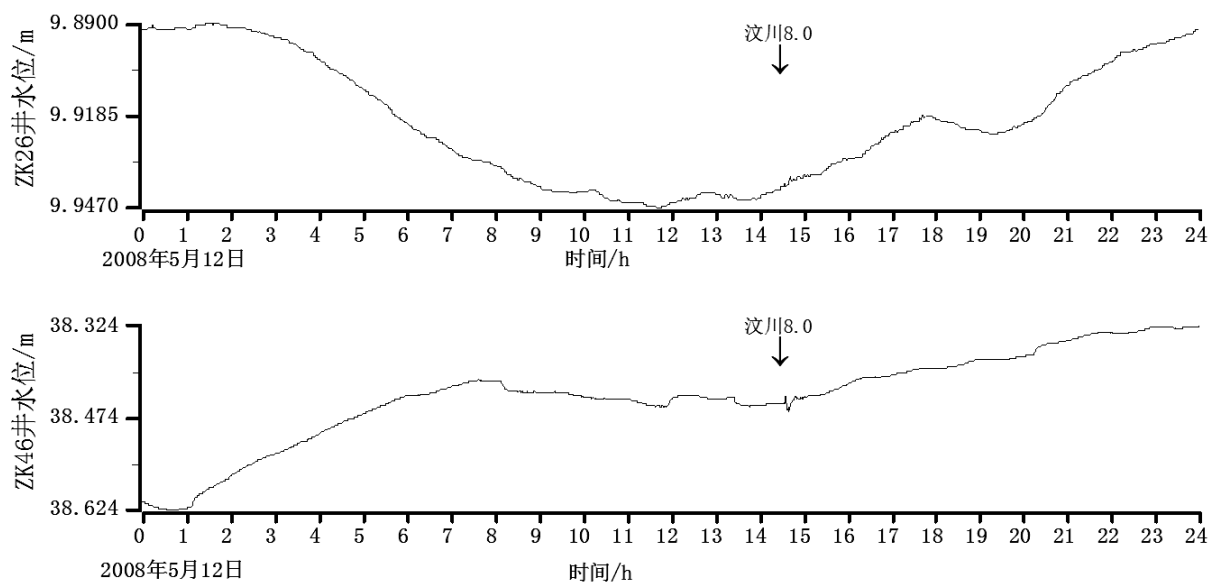


图4 2008年5月12汶川 M_s 8.0特大地震期间 ZK26 井和 ZK46 井水位观测曲线

Fig.4 The water level observation curve of ZK26 well and ZK46 well during Wenchuan M_s 8.0 earthquake on 12th, May, 2008

表 2 ZK26 井水位同震效应变化统计

Table 2 Statistics of the earthquake effect of ZK26 well water level

序号	地震时间/ 年-月-日	震级/ M_s	震中位置		震中距/km	同震响应类型	发震地点
			纬度/ $^{\circ}$	经度/ $^{\circ}$			
1	2010-02-27	8.8	-35.8	72.8	18 232	震荡	智利
2	2011-03-11	8.7	38.1	142.5	3 659.7	震荡	日本本州
3	2012-04-11	8.6	2.31	93.08	2 736.3	震荡	苏门答腊
4	2012-04-11	8.2	0.78	92.56	2 902.1	阶跃	苏门答腊
5	2012-08-31	7.5	10.77	126.76	2 046.6	震荡	菲律宾
6	2013-05-24	8.0	54.86	153.28	5 243.4	震荡	鄂霍次克海
7	2013-09-24	7.9	26.97	65.52	4 595	震荡	巴基斯坦
8	2013-11-17	8.2	-60.27	-46.41	15 182	震荡	斯科舍海
9	2014-04-02	8.2	-19.62	-70.75	19 843	震荡	智利北部
10	2015-04-25	8.2	28.15	84.65	2 736.9	震荡	尼泊尔
11	2015-09-17	8.3	-31.59	-71.62	18 712	震荡	智利中部
12	2016-03-02	7.9	-4.9	94.21	3 304.9	震荡	苏门答腊
13	2016-07-30	7.8	18.44	145.56	3 694.4	震荡	马里亚纳群岛

表 3 ZK46 井水位同震效应变化统计

Table 3 Statistics of the coseismic effect change of water level in ZK46 well

序号	地震时间/ 年-月-日	震级/ M_s	震中位置		震中距/km	同震响应类型	发震地点
			纬度/ $^{\circ}$	经度/ $^{\circ}$			
1	2008-05-12	8.0	30.95	103.4	1 398.3	震荡	汶川
2	2010-02-27	8.8	-35.8	72.8	1 819.9	震荡	智利
3	2010-04-07	7.9	2.31	97.2	2 420.8	震荡	苏门答腊
4	2011-03-11	8.7	38.1	142.5	3 687.6	阶跃	日本本州
5	2011-03-24	7.6	20.7	99.85	1 088.6	震荡	缅甸
6	2012-04-11	8.6	2.31	93.08	2 706.7	震荡	苏门答腊
7	2012-04-11	8.2	0.78	92.56	2 872	震荡	苏门答腊
8	2012-08-31	7.5	10.77	126.76	2 036.1	震荡	菲律宾
9	2014-04-02	8.2	-19.62	-70.75	19 865	震荡	智利北部
10	2015-04-25	8.2	28.15	84.65	2 744.8	阶跃	尼泊尔
11	2016-07-30	7.8	18.44	145.56	3 704.2	震荡	马里亚纳群岛

从两张表对比来看, ZK26 井和 ZK46 井水位均有同震响应的地震有 8 个, ZK26 井有同震响应而 ZK46 井无的地震有 5 个, ZK46 井有同震响应而 ZK26 井无的地震有 2 个。

3 海口 ZK26 井和 ZK46 井记录地震能力分析

取震中距的对数(对数的底数为 10)为横坐标, 震级为纵坐标, 根据 ZK26 井和 ZK46 井水位对 2008 年以来全球 M_s 7.5 以上地震的记录情况, 分别做出两口井水位记震地震能力统计图, 见图 5。从图中可以发现, 有同震效应和无同震效应的点大致被一条蓝色的直线(下文统称为记震能力曲线)区隔, 直线上方区域基本为有同震效应区域, 下方则为无同震效应区域, ZK26 井记震能力曲线

大致可用下式 1(M_s 代表震级, D 代表震中距)表示, ZK46 井记震能力曲线则可用式 2 表示。

$$M_s = 0.37291 \lg D + 6.4764 \quad (1)$$

$$M_s = 0.4612 \lg D + 6.3390 \quad (2)$$

理论上 ZK26 井和 ZK46 井所能记录的最小地震分别为 M_s 6.4764 和 M_s 6.3390 (即是在震中距为 0 的情况下), ZK26 井水位所能记录 M_s 7.0 和 M_s 7.5 地震的最大震中距分别为 25.12 km 和 556 km, ZK26 井水位记录 M_s 7.0 和 M_s 7.5 地震的最大震中距 27.10 km 和 323 km, 也即两口井水位对 M_s 7.0 地震几乎无记录能力, 但对 M_s 7.5 地震的记录能力有所差异。两口井水位记震能力曲线的交点坐标为 (1.556, 7.06), 即在震中距为 36 km 时, 两口井的所能记录的最小地震均为 M_s 7.06(两口井水位记震曲线见图 6), 因(1)式的一次项系数大于(2)式, 因此在震中距大于 36 km 时, ZK26 井的

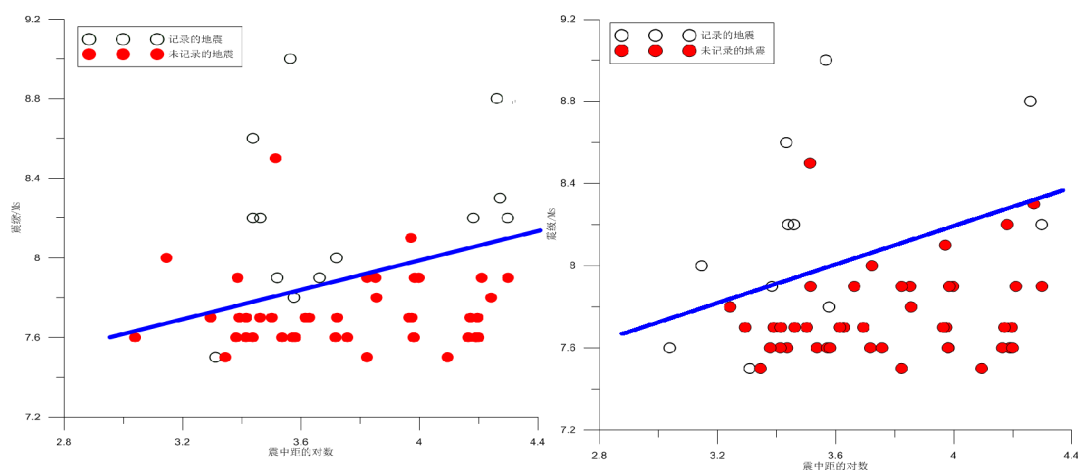


图 5 ZK26 井(左图)和 ZK46 井(右图)水位记录地震能力统计图

Fig.5 Statistics of the capacity of recording earthquakes of ZK26 well (left) and ZK46 well (right)

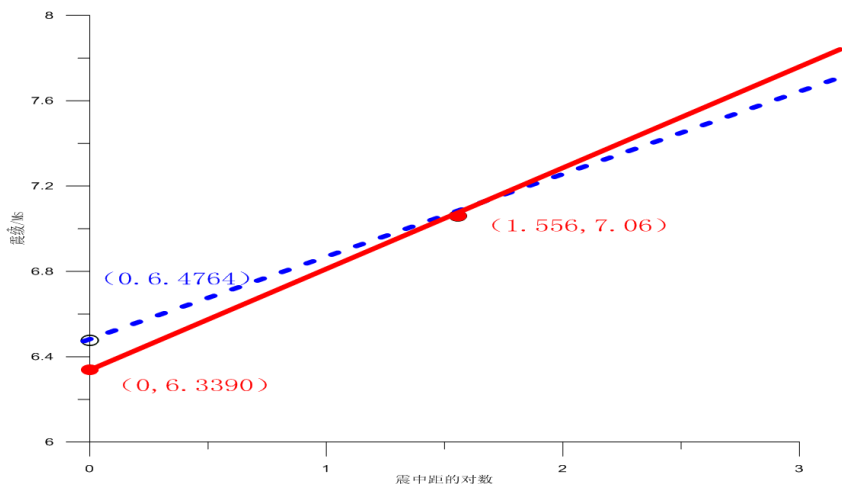


图 6 ZK26 井(蓝色虚线)和 ZK46 井(红色实线)水位记震曲线

Fig.6 The recording seismic capacity curve of ZK26 well (the blue dotted line) and ZK46 well (the red solid line)

记录能力大于 ZK46 井。当然,以上所得均为理论计算值,实际上地震还受地震发生区域的地质构造、震源深度等因素的影响而有所差异。

4 结论

综合以上分析,认为:

(1) ZK26 井和 ZK46 井水位均具有记录地震的能力,其同震效应类型均以震荡型为主,这与已有的研究结果显示,井水位对地震波的响应形态多为振荡型^[10-11]的结论吻合,而产生阶跃型同震效应的地震震级均在 M_s 8.0 以上。

(2) ZK26 井和 ZK46 井相距仅约 10 km,均处于雷琼断陷带,根据所得的两口井水位记震曲线方程,其斜率(分别是 0.372 9 和 0.461 2)和常数(6.476 4 和 6.339)相差不大,因此两口井水位记震能力差异不大。但总体而言,ZK26 井水位的记录地震能力优于 ZK46 井,可能与两口井水位观测仪器、井深、地下水类型等影响因素有关,这也与 2008 年以来 ZK26 井水位实际记录地震的次数多于 ZK46 井这一情况一致。

参考文献:

- [1] 肖孟仁,梁帅,操红.南昌地震台钻孔应变同震响应分析[J].大地测量和地球重力学,2012,32(S1):72-75.
- [2] 刘川琴,卢叶啸,孙鸿博,等.体应变大地震同震形变响应[J].地震地磁观测与研究,2016,37(1):92-95.
- [3] 李盛,解晓静,郭昱琴,等.琼中台连续重力观测记录地震特征分析[J].国际地震动态,2015(12):13-18.
- [4] 马建英,邵永新,汪翠枝,等.天津两井水位同震效应分析[J].华北地震科学,2009,27(1):20-24.
- [5] 高小其,陈华静,杨又陵,等.2004年12月26日印尼 8.7 级强震新疆地区的同震效应[J].地震地磁观测与研究,2006,27(3):40-46.
- [6] 万永芳,叶东华,杨向东.2004年12月26日印尼 8.7 级强震广东地区同震效应分析[J].华南地震,2006,26(4):67-73.
- [7] 张双凤,孙晴,于伟.印尼 8.7 级强震在河北省的震后效应初探[J].华北地震科学,2007,25(3):15-19.
- [8] 张清秀,陈小云,陈莹,等.福建省数字化水位水温资料的远场效应研究[J].华北地震科学,2007,25(4):49-54.
- [9] 顾申宜,刘阳,张慧,等.2011,海南琼海加积井水位对远大震的同震响应特征研究[J].中国地震,27(1):83-91.
- [10] 汪成民,车用太,万迪堃,等.地下水微动态研究[M].北京:地震出版社,1988.
- [11] Cooper, H H. The response of well-aquifer systems to seismic waves[J]. Geophys Res, 1965, 70(16): 3 915-3 926.