

江苏流体井网对汶川和日本地震的同震响应特征研究^{*}

郑江蓉, 杨从杰, 江昊琳

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要: 通过对 2008 年汶川 8.0 级和 2010 年日本 9.0 级两次大地震的同震响应特征进行分析, 讨论了经过数字化改造后的江苏流体观测井网映震能力, 对不同测点井孔映震能力出现较大差异的原因进行了探讨, 结果表明: (1) 江苏区域井孔水位的同震响应能力强于水温, 水位同震响应有较一致的变化规律, 同时与震级密切相关, 水温同震响应在不同井点存在较大差异, 更多的表现为缓慢的恢复变化; (2) 不同构造单元的井孔同震响应能力有明显差异, 苏中和苏北地区的同震响应变化弱于苏南地区, 这种南强北弱的原因可能是苏中黄土覆盖层较厚的构造特征使其在捕捉应力—应变状态的微变化时较南部丘陵地带弱, 南部较为复杂的地质构造在受到微小扰动后更有利于地下水状态的变化。

关键词: 江苏流体观测井; 同震响应; 汶川地震; 日本地震

中图分类号: P315.723

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)01-0034-08

0 引言

远场大震的同震水位振荡现象在 1899 年意大利的一口深井记录中被发现, 之后多位学者开展了相关研究工作, Blanehand 和 Byerly (1935) 提出了水位波动反映地震波的简明理论, Rexin 等 (1962) 证实了水井的长周期反应优势 (陈大庆, 刘耀炜, 2006)。地下流体是地壳中最活跃的介质, 用于地震前兆监测承压井的水位与水温变化不仅能反映出无震时期含水层的受力状况 (如固体潮响应), 而且对远场大震也有显著的同震响应, 通过对这种响应的研究, 能够揭示地震波作用下含水层介质对应力应变的响应, 促进区域构造应力作用下地下水运动的研究, 加强对井区地质和水文地质条件的认识, 从而促进对地震孕育过程中流体前兆现象的识别与研究 (车用太等, 2006; 王博等, 2008; 黄辅琼等, 2000; 张永仙, 1991, 徐桂明等, 2010)。近 10 年来, 几次特大地震引起的全国地下流体观测井网的同震效应现象引起众多学者的关注, 成为研究热点并开展了较多的研究工作 (鱼金子等, 2012; 付虹等, 2007; 刘五洲等, 2009; 高小其等, 2006; 杨竹转等, 2007; 廖丽霞等, 2009; 顾申宜

等, 2010; 尹宝军等, 2009), 这些研究发现地震波引起的同震响应基本以水位振荡、水温下降—恢复的形态出现, 水位振荡和水温下降的幅度均与震中距、震级有着一定的量化关系, 机理比较复杂, 目前解释较多的有气体逸出说、热弥散说和冷水下渗说等 3 类, 各观点均具有合理性, 也能解释一定的观测现象, 但哪种机理更具普适性和合理性, 有待于更进一步的研究。

笔者整理收集了江苏数字化地下流体观测井网中 10 口同时具有水位、水温 2 个测项观测井的观测资料, 对 2008 年汶川 8.0 级和 2010 年日本 9.0 级两次大地震的水位、水温同震变化特征和响应能力进行研究分析, 给出观测井水位、水温同震响应具有的一般规律, 讨论了流体观测井网对远震响应能力出现较大差异的可能原因, 对提高江苏省地下流体观测井网的监测能力和今后井孔改造有较好参考价值。

1 区域地质构造背景和流体观测井网概况

江苏地质分类上跨华北断块区与下扬子断块区两个大地构造单元, 以郯庐断裂带和淮阴—响

^{*} 收稿日期: 2012-02-27.

基金项目: 江苏省科技支撑项目 (BS2007084) 和地震科技星火项目 (XH12020) 联合资助。

水口断裂带为界。区域内断裂构造较为发育，按断裂走向可分为北东向、北西向、北北东向和近东西向 4 组。其中北东向断裂在数量上占优势，区域内较大的活动断裂有：郯庐断裂带、淮阴—响水口断裂带、江山—绍兴断裂带、幕府山—焦山断裂和茅山断裂等。

江苏省水位和水温观测点基本位于活动断裂带（包含震中分布带、地热异常带）及其两侧，同时充分考虑到江苏平原广阔，松散堆积物发育，

地下水以孔隙水为主，岩溶水和基岩裂隙水资源相对较少的现状，结合观测层岩性性质，对不同区域按照不同的成井结构、成井深度、固体潮记录精度、映震效能和震后效应进行观测布局。经过“九五”、“十五”数字化改造，现在这些观测井点的地震构造条件、观测环境、仪器设备基本上能够满足地震监测预报的需求。区域主要活动断裂和江苏区域内 10 口水温与水位同井观测井孔基本参数如图 1 和表 1。

表 1 江苏省数字化水位和水温观测点基本参数

Tab. 1 Basic parameters of the digitalized observation points of water level and water temperature in Jiangsu Province						
序号	台站	构造部位	观测层岩性	高程/m	井深/m	地下水类型
1	睢宁 02 井	郯庐断裂带西侧(相距约 15 km),北西向废黄河断裂带附近	灰岩	27.6	934.8	岩溶裂隙承压水
2	宿豫 05 井	郯庐断裂带以东约 23 km,沭阳凹陷内	细砂岩	20.0	934.8	孔隙承压水
3	金湖 06 井	金湖凹陷刘庄构造兴隆集高点	灰岩	10.0	2 354.7	孔隙承压水
4	兴化 08 井	溱潼凹陷,戴窑构造	白云岩、灰岩	3.5	2 680.4	孔隙承压水
5	南通 12 井	通扬隆起东西向黄桥—吕四断裂带内	闪长岩	3.8	689.75	孔隙承压水
6	海门 14 井	通扬隆起,东西向黄桥—吕泗断裂带的南侧	大理岩	3.8	463.33	孔隙承压水
7	句容 16 井	茅山断裂西侧,句容凹陷潜山隆起近顶部	岩浆岩与灰岩穿插	20.0	889.2	孔隙承压水
8	丹徒 18 井	宁镇反射弧茅山脊柱的北端,茅山断裂带茅东断裂的西侧	灰岩	17.4	366.8	岩溶裂隙承压水
9	昆山 21 井	苏州复背斜带,马鞍山断块隆起高部位	灰岩、白云岩	3.5	676.0	孔隙承压水
10	溧阳 22 井	宜溧山区一东西向背斜的轴部附近	砂岩	27.5	243.8	裂隙承压水

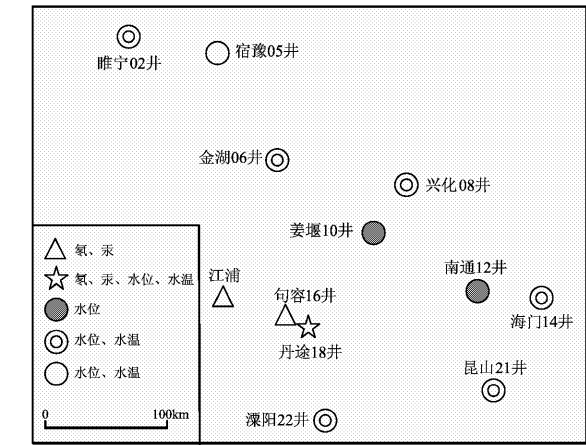


图 1 江苏省水温和水位同井观测点分布图

Fig. 1 Distribution of digitalized observation points of water level and water temperature in the same well in Jiangsu Province

水位和水温观测配有流量、气温、气压、降水等辅助测项，水位观测使用 LN-3 或 LN-3A 型数字水位仪，水温观测使用 SZW-1A 型数字测量仪。以昆山 21 井为例（图 2），由于近年来苏南地

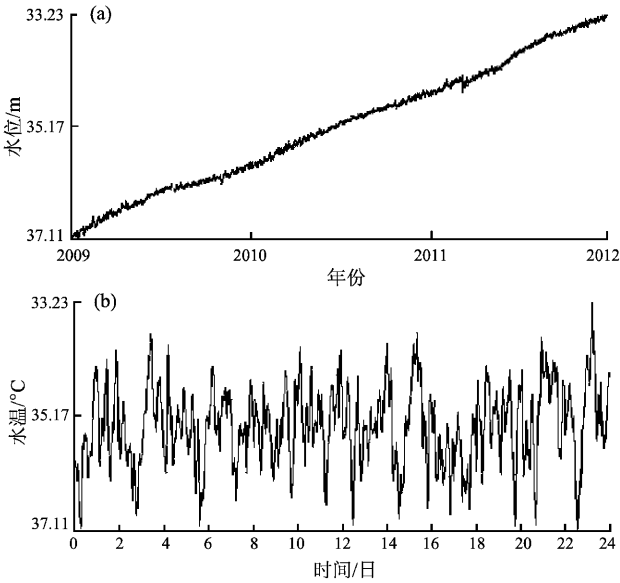


图 2 昆山 21 井水位长趋势变化图（a）和水温正常日波动变化图（b）

Fig. 2 Long-time trend change of water level (a) and normal daily fluctuation change of water temperature (b) in Kunshan 21 well

区严格控制地下水开采, 水位呈现匀速缓慢上升年变趋势(图 2a), 水温日变形态稳定(图 2b)。从全省流体观测的长期变化趋势分析(图略), 除个别另台点因仪器故障或雷击等引起短暂缺记之外, 大部分台(点)观测精度较高, 固体潮汐记录清晰完整, 资料连续率达到 99%, 记录到的远震同震响应特征明显。

2 水位和水温的同震响应特征

选取距江苏区域约 1 300 ~ 1 500 km 的 2008 年汶川 8.0 级和距江苏区域约 2 400 ~ 2 600 km 的 2011 年日本 9.0 级两次远场大震, 分别讨论江苏区域 10 口数字化流体观测井的同震响应特征, 进而深入研究不同构造单元不同位置井孔的映震能力。

2.1 汶川 8.0 级地震水位和水温同震变化

图 3 是汶川 8.0 级地震发生时, 江苏 10 口流体观测井网中 8 口有同震异常的观测井分钟值曲线图, 曲线 a 为观测井深层水温记录, 曲线 b 为同一口井的水位记录, 表 2 为地震时(后)水位和水温同震响应的主要参数。

分析图 3 和表 2, 可知同一井孔水位、水温两种不同测项和不同井孔同一测项的同震响应变化特征均有较大的不同。水位响应形态上看, 主要有 3 类: (1) 脉冲型: 快速上升或下降变化后,

持续数分钟至半小时后观测值恢复正常动态变化值, 振荡幅度不同井孔有较大差异。如苏 02 井和苏 22 井, 震后 4 分钟水震波到达, 形成振幅达 1 m 以上的阶降一阶升(或阶升一阶降)变化, 持续半小时左右恢复正常; 苏 06、08、12 井等仅记录到微小脉冲, 没有压制正常固体潮变化形态。(2) 突变型: 震时(后)观测值受水震波影响出现突跳, 变化幅度不及脉冲型大, 震后调整不能在短期恢复到震前的正常动态变化值。如苏 18 井和苏 16 井, 震后 6 分钟出现快速抬升, 上升幅度约 0.2 m, 之后在新的基值上波动变化, 从长期观测形态分析, 两口井均用了近 1 年的时间才逐步回落到震前水位观测值; (3) 脉冲趋势型: 具有脉冲变化的特征, 但没有回落到正常动态变化, 出现趋势性上升变化。如苏 21 井, 震后 4 min 出现上升一下降脉冲变化, 回到正常动态值后, 受水震波的后续影响出现缓慢趋势性上升变化, 约 2 个月后逐步恢复到汶川强震前的水位值。

水温的同震响应变化与水位有较好的一致性, 也有一定的差别, 总体上水温的响应能力不如水位强。苏 06 井和苏 08 井没有明显的同震响应变化; 苏 21 井在较为平缓的波动变化背景下有一约 0.006 °C 的凹型变化, 持续 88 分钟后恢复正常变化; 苏 02 井、苏 12 井和苏 18 井的水温变化呈现脉冲型突变, 快速下降变化之后在新基值上波动变化, 约 3 个月左右恢复到原有的正常观测水温;

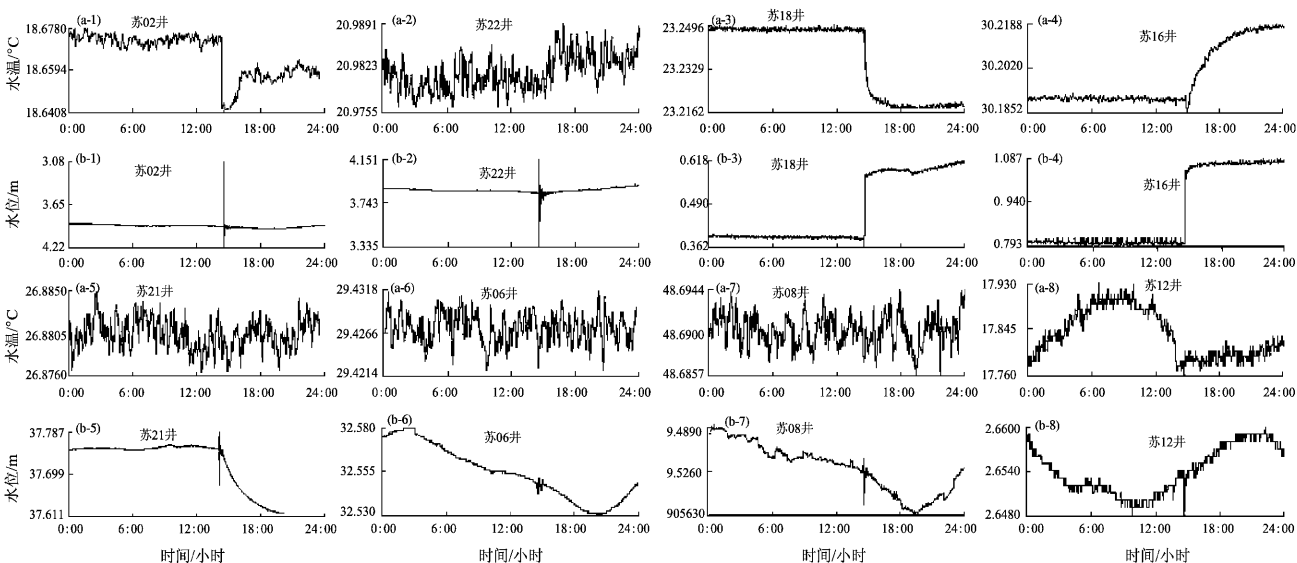


图 3 汶川 8.0 级地震江苏水位和水温观测井网同震变化图像

Fig. 3 Co-seismic variations of observation well net of water level and water temperature with Wenchuan M8.0 earthquake in Jiangsu Province

苏 22 井水温在强震后出现台阶，上升幅度为 0.012℃；苏 16 出现向下小幅脉冲之后转为缓慢趋势性上升变化，上升幅度累计 0.044℃，约 2 个月后又缓慢下落，逐步恢复到地震前的水温值。

2.2 日本 9.0 级地震水位和水温同震变化

由于日本地震震级大，8 口观测井的水位同

震响应中有 7 口井均呈现出快速大幅度阶降一阶升（或阶升一阶降）的脉冲变化，持续数分钟－半小时后观测值恢复正常动态变化值；但在汶川 8.0 级地震时出现小幅波动变化的南通 12 井水位在日本地震时基本没有记录到任何同震变化（表 3）。

表 2 汶川 8.0 地震时水位和水温同震响应主要参数

Tab. 2 Major parameters of co-seismic response of water level and water temperature with Wenchuan M8.0 earthquake

观测分量	观测井孔	起始时间/时:分	结束时间/时:分	持续时间/min	变化幅度	变化形态
水位	睢宁 02 井	14:32	15:22	50	114.8 cm	上升,脉冲型
	金湖 06 井	14:32	15:03	31	0.9 cm	下降,脉冲型
	兴化 08 井	14:32	15:03	31	3.9 cm	上升,脉冲型
	南通 12 井	14:36	14:55	19	0.6 cm	上升,脉冲型
	句容 16 井	14:34	14:42	8	24.4 cm	上升,突变型
	丹徒 18 井	14-35	14-41	6	20.9 cm	下降,突变型
	昆山 21 井	14-32	15-13	41	11.3 cm	上升,趋势型
	溧阳 22 井	14-32	15-07	35	108.6 cm	下降,脉冲型
水温	睢宁 02 井	14-33	14-41	8	0.032 ℃	下降,突变型
	金湖 06 井	/	/	/	/	/
	兴化 08 井	/	/	/	/	/
	南通 12 井	14-36	14-51	15	0.008 ℃	下降,突变型
	句容 16 井	14-37	/	/	0.044 ℃	上升,趋势型
	丹徒 18 井	14-38	14-51	13	0.008 ℃	下降,突变型
	昆山 21 井	14-32	16-00	88	0.006 ℃	下降,脉冲型
	溧阳 22 井	14-49	/	/	0.012 ℃	上升,趋势型

表 3 日本 9.0 地震时水位和水温同震响应主要参数

Tab. 3 Major parameters of co-seismic response of water level and water temperature with Japan M9.0 earthquake

观测分量	观测井孔	起始时间/时:分	结束时间/时:分	持续时间/min	变化幅度	变化形态
水位	睢宁 02 井	13:51	14:16	25	201.3 cm	下降,脉冲型
	金湖 06 井	13:42	14:02	20	36.8 cm	下降,脉冲型
	兴化 08 井	13:50	14:05	15	70.2 cm	下降,脉冲型
	南通 12 井	/	/	/	/	/
	句容 16 井	13:56	14:13	17	21.6 cm	上升,脉冲型
	丹徒 18 井	13:52	14:03	11	22.8 cm	下降,脉冲型
	昆山 21 井	13:52	14:17	25	30.4 cm	下降,脉冲型
	溧阳 22 井	13:51	14:16	25	190.5 cm	下降,脉冲型
水温	睢宁 02 井	13:50	14:18	28	0.035 ℃	下降,突变型
	金湖 06 井	/	/	/	/	/
	兴化 08 井	/	/	/	/	/
	南通 12 井	/	/	/	/	/
	句容 16 井	13:56	/	/	0.011 ℃	上升,趋势型
	丹徒 18 井	13:58	14:33	35	0.006 ℃	下降,突变型
	昆山 21 井	/	/	/	/	/
	溧阳 22 井	/	/	/	/	/

在出现快速脉冲变化的 7 口井中有 6 口井水位是在震后 4 ~ 10 min 记录到同震水震波，而金湖 06 井水位的同震记录起始时间却表现出不一样的变化，从表 3 的同震起始时间可发现，该井水位在震前 4 min 就出现快速下降，13 时 46 分发生 9.0 级主震，震后 2 min 即 13 时 48 分出现一组最大脉冲变化，幅度为 0.368 m（图 4），之后持续约 20 min 的小幅波动变化，恢复到正常背景值。比较汶川地震时 06 井水位没有出现这种现象，分析认为这是水位观测仪器服务时钟的误差造成，由于地震发生时的观测记录已入库，现已无法对时间进行准确校正。虽然本文的研究对时间精度要求不是很高，但对于前兆观测数据的精确性和今后的深入应用上，数分钟的时间误差还是值得重视的。

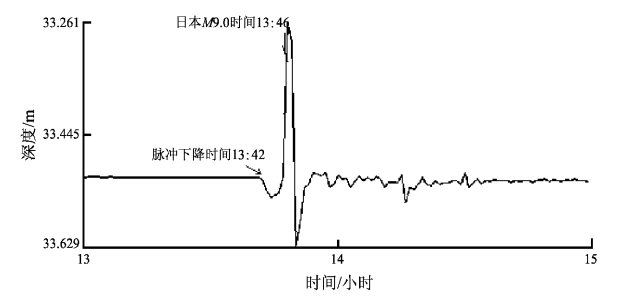


图 4 金湖 06 井 2011 年 3 月 11 日 8 ~ 20 时
水位曲线图

Fig. 4 Water level curve recorded by Jinhu 06 Well from
8 am to 20 pm on Mar. 11, 2011

虽然日本地震震级较之汶川地震更大，但日本地震对江苏区域井网水温的同震影响要小，仅有苏 02、18、16 井有同震响应，苏 02 井的水温同震变化形态与汶川地震极其相似，呈现凹型变化，且变化幅度相近，分别下降 0.035 ℃ 和 0.032 ℃；苏 16 井和苏 18 井水温同震变化形态与汶川地震也相似，只是下降（上升）变化的幅度较小，分别为 0.011 ℃ 和 0.006 ℃，变化趋势更为平缓。图 5 是有水温同震响应的 3 口井 3 月 11 日震后 3 个月的水温整点值曲线图，从图中可看出，同一次地震不同井孔的水温震后效应是完全不同的，苏 02 井在快速突降之后迅速稳定在一个新的基值温度上保持平稳变化，苏 16 井在震前变化平稳，震时突升，在高值持续 1 天后开始趋势下降，下降速度先急后缓，至 2011 年 6 月时趋于稳定，之后在 30.255 ℃ 新的基值线波动变化，比地震前的基值 30.279 ℃ 下降了 0.024 ℃；苏 18 井水温背景波动

起伏较大，虽然同震影响呈现凹型变化，但变化幅度较小，只有 0.006 ℃，震后水温小幅抬升，约 1 个月后趋于正常。

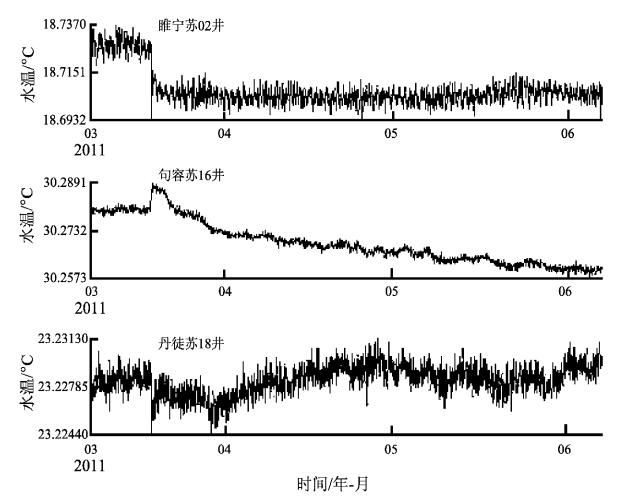


图 5 日本 9.0 级地震震后苏 02、16、18 井
水温整点值曲线

Fig. 5 Water temperature hour values curve
recorded by Su 02, 16 and 18 Wells after
the Japan M9.0 earthquake

2.3 两次地震的同震响应特征对比分析
2.3.1 水位、水温变化与震级和距离的响应关系

Matsumoto（1992）研究了日本 Haibara 井、Roeloffs（1998）研究了美国加利福利亚州 Parkfield BV 井、杨竹转（2006）研究了云南思茅井的水位变化幅度与震级和距离的关系，这些研究结果显示，地震后井水位变化与震级的大小和井震距满足如下关系：

$$\lg \Delta h = b_1 M + b_2 \lg D + \alpha, \tag{1}$$

式中， Δh 为水位变化幅度，单位为 cm； M 为地震震级； α ， b_1 ， b_2 为常数； D 为井震距。

根据表 2 和表 3 的统计值对江苏 10 口井进行回归计算，得

$$\lg \Delta h = 0.74 M - 1.16 \lg D - 0.54. \tag{2}$$

区域内两次强地震时的水位变化幅度基本满足关系式（2），特别是睢宁 02 井和溧阳 22 井均出现 $\Delta h > 100$ cm 的水位大幅脉冲型上升（或下降）变化。

进一步分析水位和水温的变化可知，当地震

引起的水位变幅越大，温度变化的幅度也越大（图 6），取水位变幅为自变量 X （单位为 m ），温度变幅为因变量 Y （单位为 $^{\circ}C$ ），满足幂函数：

$$Y = 0.099X^{-0.5031}$$

(3)

从图 6 可知两次强震时大部分台站在水位变化 $10\text{ cm} < \Delta h < 50\text{ cm}$ ，水温变化在 $0.005\text{ }^{\circ}C$ 之内，当水位变化幅度大于 1 m 时，温度变化较大，由此可知在流体的同震响应中温度的变化和水位的振荡有很好的对应关系。

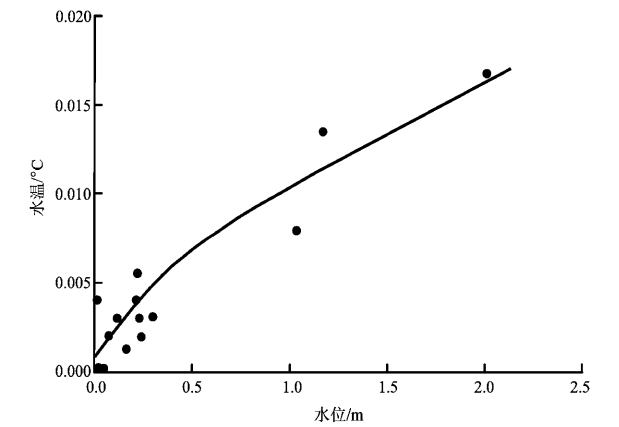


图 6 同震响应的水位和水温变化幅度关系图
Fig. 6 Co-seismic response range change relationship between water level and water temperature

2. 3. 2 同井不同测项的对比分析

综合统计 10 口井在两次地震时的同震响应情况结果如表 4。

江苏区域 10 口井水位均为静水位观测，自井口固定基准面向下至井筒内投放探头的垂直距离在 $30\sim50\text{ m}$ 左右；水温观测中金湖 06 井、兴化 08 井为深层水温，分别自井口固定基准面向下 400 m 和 800 m 深度，其余 8 口井为中层水温，均为自井口固定基准面向下 200 m 深度。

从表 4 可知，宿豫 05 井和海门 14 井水位和水温对两次强震无任何同震响应，占全部观测井的 20%，汶川地震时 8 口井水位记录到水震波，占观测井的 80%，7 口井记录到水温变化，占观测井的 60%，日本地震时 6 口井水位记录到水震波，占观测井的 70%，仅有 3 口井记录到水温变化，占观测井的 30%。水位同震响应以脉冲型变化为多，变化幅度大于水温同震变化，而水温以趋势性变化为多，其同震响应的持续时间和震后调整时间

大于水位。
水位和水温记震能力的强弱与各自的变化机制有很大的关系，水位的变化主要受含水层系统内孔隙压力及水流速度的影响，如果井一含水层系统的承压性和封闭性好，那么应力—应变十分微弱的变化均能体现在水位的变化上；而水温的变化是地下水与其周围介质之间能量交换的结果，能量的交换并不受地下水存贮空间的限制，水温的变化除了受水流速度的影响外，还受水流路径、围岩介质的传热性能以及观测井内水温探头所处的深度等多种因素的控制，水位和水温不同的变化机理导致同井观测对同一次地震的响应能力和响应图像有较大差异。

表 4 江苏省数字化水位与水温同震响应能力统计表
Tab. 4 Co-seismic response abilities statistics of the digitalized water level and water temperature in Jiangsu Province

序号	井名	汶川 8.0 级地震		日本 9.0 级地震	
		水位	水温	水位	水温
1	睢宁 02 井	●	●	●	●
2	宿豫 05 井	○	○	○	○
3	金湖 06 井	●	○	●	○
4	兴化 08 井	●	●	○	○
5	南通 12 井	●	●	○	○
6	海门 14 井	○	○	○	○
7	句容 16 井	●	●	●	●
8	丹徒 18 井	●	●	●	●
9	昆山 21 井	●	●	●	○
10	溧阳 22 井	●	●	●	○

注：●表示有同震响应，○表示无同震响应。

2. 3. 3 不同地震同一测项的对比分析

从表 4 可知无论是水位观测还是水温观测，汶川 8.0 级地震记录到的同震响应变化井孔数量要多于日本 9.0 级地震的井孔数量，汶川地震震中距江苏约 $1\,300\sim1\,500\text{ km}$ ，而日本地震震中距江苏约 $2\,300\sim2\,500\text{ km}$ ；虽然日本地震震级更大，但由于距离的增加，使得其间的构造单元、地下水类型、含水层的导水能力更加复杂多样，使得各井水位、水温的同震响应阶变幅度不同，阶变恢复时间不等，同震响应后效也不尽相同。

水位同震响应程度与远场地震的震级密切相关，震级越大则响应程度越高，日本地震时的水位同震变化形态均以大幅脉冲—快速恢复到背景

变化为主,汶川地震时的水位同震变化平缓许多,如苏 06、08、12、16 井。水温不遵循这种规律,如苏 22、21 井,日本地震时没有任何同震异常,其它井的水温同震变化形态、幅度也整体偏小,由于温度变化通常取决于该处的岩石透水率、温度梯度、探头的温度响应滞后时间等因素,更多的体现一种持续性的影响,其变化要复杂的多。

2.3.4 同一断裂带上相距较近的井孔有完全不同的强震响应能力

在同时设有水位和水温测项的 10 口观测井中,两次地震时水位与水温皆记录到同震响应变化的井孔有 3 口,两次地震水位和水温均无同震变化的井孔有 2 口,说明区域内不同井孔监测能力的差异性较大。

同一断裂带上相距较近的井孔有完全不同的强震响应能力,最典型的有两组:睢宁 02 井和宿豫 05 井,南通 12 井和海门 14 井。02 井和 05 井位于郯庐断裂带两侧,两井之间相距约 80 km,其岩性、成井深度、地下水类型等基本条件相近,对远震的响应却是完全不同的,05 井无论水位还是水温对 2 次强震没有任何同震变化。同样的情况也出现南通 12 井和海门 14 井,2 井均位于通扬隆起东西向黄桥—吕四断裂带内,相距 20 km,但海门 14 井对 2 次强震没有任何同震变化,这种现象更多的反映了该井的监测效能也许是不足的。

从全区域来看,苏中地区由于受覆盖层较厚或者是地下水类型等因素的影响,几口井对远震响应的总体灵敏度均较低,而苏南的 16、18、21、22 这 4 口井对远震的响应,无论是从响应时间、阶变幅度、后续变化等参数上均体现出较高的监测水平。

3 结论

笔者针对江苏数字化地下流体观测井网中 10 口同时具有水位、水温 2 个测项的观测资料,对汶川 8.0 级和日本 9.0 级 2 次大地震的水位、水温同震变化特征和响应能力进行了讨论,得出以下初步结论:

(1) 江苏 10 口井的同震响应资料表明,该区各测点水位测项的记震能力明显强于水温测项。大部分井水位的同震响应有较一致的变化规律,同时与震级密切相关,震级越大则响应程度越高,

对井区的应力状态的影响越表现为瞬时特征,以脉冲振荡为主,震后较快恢复原来状态。而水温和水位有不同的响应机理,因此其响应程度与形态是不同的,且不同的井孔之间水温变化也存在较大的差异,更多的表现为缓慢的恢复变化,即当水位停止振荡后,含水层水体与井水的横向水力作用并没未停止,含水层水体仍存在着相对缓慢的对流换热过程,这也许减缓了井水温度的恢复速率。

(2) 不同构造单元的井孔同震响应能力有明显差异。苏中和苏北地区的水位和水温测项只有睢宁 02 井对两次强震有较好的反映,大部分井孔对远场地震所引起的水位和水温微动态变化反映不明显,而苏南地区的井孔水位和水温在这两次地震中均记录到了较好的同震响应变化,这种观测井记震能力南强北弱的原因可能是观测井所处的地质构造不同所致,苏中黄土覆盖层较厚的构造特征使其在捕捉应力一应变状态的微变化时较南部丘陵地带弱,南部较为复杂的地质构造在受到微小扰动后更有利于地下水状态的变化。

(3) 金湖 06 井水位在日本地震时同震响应时间超前与地震发生时间造成的误差,对前兆观测数据的精确性和观测数据的深入应用上有较大的影响,加强对前兆观测的时间服务系统校检是监测工作必须重视的问题之一。

参考文献:

- 车用太,赵文忠,鱼金子,等. 2006. 京津冀地区井水位的数字化观测及其地震前兆监测效能评估[J]. 地震,26(4):103-112.
- 陈大庆,刘耀炜. 2006. 我国在井一含水层系统对地震波同震响应方面的研究进展[J]. 国际地震动态,(7):27-31.
- 付虹,邹成栋,刘强,等. 2007. 印尼巨大地震引起的云南水位异常记录及其意义[J]. 地震地质,29(4):873-882.
- 高小其,陈华静,杨又陵,等. 2006. 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,27(3):40-46.
- 顾申宜,李志雄,张慧. 2010. 海南地区五口井水位对汶川地震的同震响应及其频谱分析[J]. 地震研究,33(1):36-43.
- 黄辅琼,迟恭财,徐桂明. 2000. 大陆地下流体对台湾南投 7.6 级地震的响应研究[J]. 地震,20(增刊):119-125.
- 廖丽霞,王政玲,吴绍祖. 2009. 福建省流体台网井水位的同震效应及其地震预测意义[J]. 地震学报,31(4):432-441.
- 刘五洲,鱼金子,车用太,等. 2003. 三峡井网地下流体动态与映震能力的初步分析[J]. 地震地质,25(4):632-639.
- 王博,刘耀炜,孙小龙. 2008. 地下流体与断裂活动关系的研究综述[J]. 地震研究,31(3):296-302.
- 徐桂明,郑江蓉,杨从杰,等. 2010. 江苏 05 井、06 井水温的中短期

地震异常典型特征研究[J]. 地震研究, 33(4): 274 – 280.

杨竹转, 邓志辉 陶京玲, 等. 2007. 北京塔院井数字化观测水温的同震效应研究[J]. 地震学报, 29(2): 203 – 213.

杨竹转, 邓志辉, 赵云旭, 等. 2006. 云南思茅大寨井水位同震阶变的初步研究[J]. 地震学报, 27(5): 569 – 574.

鱼金子, 车用太, 刘成龙, 等. 2012. 金沙江水网对日本 9.0 级地震的同震响应及其特征与机理地震[J]. 地震, 32(1): 59 – 69.

张永仙. 1991. 流量与水温关系的模型研究及地震水温前兆机制的探讨[J]. 中国地震, 7(3): 88 – 94.

Blanchard F B, Byerly. 1935. A study of a well gauge as a seismograph [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 25 (1): 313 – 321.

Matsumoto N. 1992. Regression analysis for anomalous changes of ground water level due to earthquake. Geophys ResLett, 19 (12): 1193 – 1199.

Rexin E E, Oliver J, Prentiss D. 1962. Seismically-induced fluctuation of the water level in the Nunn-Bush Well in Milwaukee[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 52(1): 17 – 25.

Roeloffs E A. 1998. Persistent water level changes in a well near Parkfield California, due to local and distant earthquakes. J Geophys Res, 103 (B1): 869 – 889.

Research on Co-seismic Responses Features of Wenchuan M8.0 and Japan M9.0 Earthquakes in Jiangsu Fluid Well Pattern System

ZHENG Jiang-rong, YANG Cong-ji, JIANG Hao-lin
(Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract

Through the analysis of co-seismic responses features of Wenchuan M8.0 and Japan M9.0 earthquakes, we discussed the earthquake reflecting ability of the Jiangsu Fluid Observation Well Pattern System which had been digitized reformed and the reason of the major difference of earthquake reflecting ability of well holes at different measuring points. The result indicated that: (1) The co-seismic responding ability of water level was stronger than that of water temperature in regional well holes in Jiangsu. The water-level co-seismic responses had a consistent change law, and were closely related to the magnitude. The co-seismic responses of water temperature were great different at different well points, which were manifested as a slow restorative change. (2) There was difference of co-seismic responding ability at different well holes in different tectonic units. The co-seismic response change in central and northern Jiangsu area was weaker than that in southern Jiangsu area, whose reason is the tectonic characteristics of the thicker upper loess covering layer in central Jiangsu was weaker than the hilly country in southern Jiangsu in capturing the micro-changes of stress-strain states. The relatively complicated geological structure in southern Jiangsu became more favorable to the change of underground water state by the tiny disturbance.

Key words: Jiangsu Fluid Well Pattern System; co-seismic responses; Wenchuan M8.0 earthquake; Japan M9.0 earthquake