

杨斐、张彬、杨选辉等, 2013, 汶川 8.0 级和日本 9.0 级地震时甘肃境内井水位、井水温同震效应对比分析, 中国地震, 29 (3), 377 ~ 385。

汶川 8.0 级和日本 9.0 级地震时甘肃境内井水位、井水温同震效应对比分析

杨斐¹⁾ 张彬²⁾ 杨选辉²⁾ 荆燕²⁾ 杨晓鹏¹⁾ 陈文凯³⁾

1) 甘肃省地震局平凉中心台, 甘肃平凉崆峒区广成路 39 号 744000

2) 中国地震局地壳应力研究所(地壳动力学重点实验室), 北京 100085

3) 中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000

摘要 通过对比研究发现, 2008 年汶川 8.0 级和 2011 年日本 9.0 级地震时甘肃境内台站井水位和井水温同震效应特征有明显差异: 汶川 8.0 级地震时, 绝大部分井水位和井水温都记录到同震效应, 且变化幅度比较大, 持续时间比较长; 相比而言, 日本 9.0 级地震虽然释放的能量更大, 但因震中距和震源方位的影响, 只有部分井水位记录到明显的同震变化, 井水温没有明显变化; 两次地震时古浪观测站井水位都记录到井水位变化, 但日本 9.0 级地震时的变化幅度大于汶川 8.0 级地震, 这一现象值得深入研究。

关键词: 井水位 井水温 同震效应 汶川 8.0 级地震 日本 9.0 级地震

[文章编号] 1001-4683(2013)03-0377-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

目前很多研究者认为, 对地下流体中的水位、水温同震效应研究是揭示地壳介质对应力-应变过程响应最直接和最有效的手段之一 (Roeloffs, 1998; Montgomery et al, 2003; 刘耀炜等, 2005)。研究一次大震对区域地下流体的影响特征, 是揭示地下介质动力过程的有效途径, 并已成为国际上地球动力学基础理论研究的热点问题之一 (Iassonov et al, 2003; Wang et al, 2004; 张永仙等, 1991; 鱼金子等, 1997; 陈大庆等, 2007; 石耀霖等, 2007; 张彬等, 2013)。地下流体的远程同震效应与地震应力触发有很大关系, 特别是动态应力触发 (张彬等, 2012), 地震引起的远程应变阶就是很好例证 (唐磊等, 2011)。

2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级和 2011 年 3 月 11 日日本 9.0 级地震是对中国大陆地下流体影响显著的两次特大地震, 中国甘肃境内很多地下流体观测站的井水位、井水温记录到两次地震的同震效应。甘肃流体观测站距汶川 8.0 级地震震中较近, 一般是 300 ~ 700km,

[收稿日期] 2012-03-08

[项目类别] 中国地震局地壳应力研究所基本科研专项 (ZDJ2011-08; ZDJ2011-08) 资助

[作者简介] 杨斐, 男, 1973 年出生, 工程师, 主要从事地下流体观测和地震分析预测工作。Email: plyangf@163.com
张彬 (通讯作者), 男, 1981 年生, 助理研究员, 主要从事地下流体动力学研究工作。

Email: zhangbin150006@163.com

而距日本 9.0 级地震震中都在 1000km 以上, 这为研究甘肃井水位、井水温近震和远震响应特征等提供了很好条件。通过对两次地震引起的地下流体同震或震后效应的分析与研究, 可以加强对观测站地质和水文地质条件的认识, 继而为评价台站监测能力和遴选台点遴选提供一定的科学依据。

1 甘肃省井水位和井水温观测概况

2008 年汶川 8.0 级和 2011 年日本 9.0 级地震时, 甘肃省在水位观测站 10 个测项和水温观测站 12 个测项(图 1、表 1)中皆有记录到明显的同震变化。临夏流体观测站有 2 个井点, 分别为 1 号井和 2 号井, 1 号井有 2 个观测探头, 2 号井 1 个观测探头; 古浪和芦阳观测站一个井孔中不同层位各放置 3 个水温传感探头。从甘肃水位、水温观测站空间分布看(图 1), 其主要分布在甘肃省中南部, 而西北部地区台点较少, 观测站主要沿着祁连山北缘、西秦岭北缘、六盘山、毛毛山、天桥沟-黄羊川和康县北等断裂分布。观测井大部分为静水位(温泉井为动水位)。目前, 甘肃水温观测仪器主要有两种类型, 即 SZW-1A 型水温仪和 ZKGD-3000L 型综合观测仪; 水位观测仪器也主要有两种类型, 即 LN-3 型水位仪和 ZKGD-3000 型综合观测仪。

表 1 甘肃境内水位和水温观测井基本情况

井(泉)名	构造部位	井深(m)	含水层岩性	顶板埋深(m)	水温探头安装深度(m)
李沟	陇西系南段、秦岭北缘大断裂的北侧	165.01	晚古生代花岗岩	-	-
温泉	陇西系南段、秦岭北缘大断裂的北侧	443.83	晚古生代花岗岩	-	260
两水	武都弧形构造前弧西翼	75.92	灰岩	50	75
樊坝	秦岭西北端米仓山脉	200	泥岩	65	100
平凉	鄂尔多斯块体的西南缘	610.27	N 砂质泥岩	-	200、280
天水	祁吕系西翼与秦岭纬向复合部位	402.29	沙质泥灰岩	9	300
观象台	兰州东盘	167.7	砂岩	55	165
临夏	大夏河 I 级阶地	200.1	砂质泥岩	8	60、185
高台	祁吕西褶皱外缘与古北北向构造斜撞复合部位	102	花岗岩	-	90
成县	徽成盆地	264.48	泥质砂岩	-	-
古浪	天桥沟-黄羊川断裂	193.01	灰白色中粗砂岩及砂岩	60	50、110、190
芦阳	海原断裂	194.29	砂岩	-	110、168、190

2 井水位和井水温记录到的汶川地震时的同震效应及特征分析

2.1 井水位同震效应

汶川 8.0 级地震时, 甘肃境内 11 个井水位测项中有 10 个井水位测项记录到同震效应(图 1), 其中临夏 1、临夏 2、临夏 3、永登和平凉 C11 井变化形态为下降, 景泰芦阳和武都两水测井变化形态为上升, 清水温泉井变化形态为突升-下降, 古浪井为下降-上升。从变化幅度来看, 平凉井水位变化幅度最大, 达 0.775m, 变化最小的为清水温泉井水位, 只有 0.012m。临夏 2 口井中 3 个井水位测项在汶川 8.0 级地震时同震效应都表现为水位下降, 并且变化幅度一致。高台井井水位数据质量较差, 无法识别同震变化。

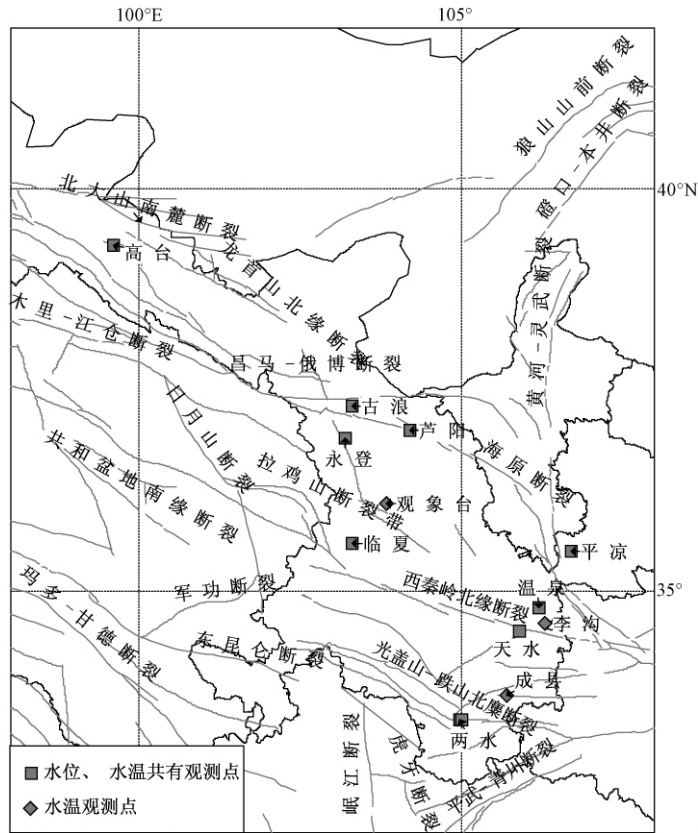


图 1 甘肃省水位、水温观测站空间分布图

2.2 井水温同震效应

汶川 8.0 级地震时,甘肃境内共有 12 个水温测项记录到同震效应(图 3),其中 2 个变化形态上升,其余的全为下降,清水李沟温泉井变化幅度最大,为 0.0512°C ,震中距为 492km,震中距最大的为高台井,变化幅度最小,为 0.0007°C 。而震中距最小的武都两水井水温变化幅度为 0.0139°C ,从中可以看出水温同震变化幅度与震中距虽有一定关系,但也受其它因素影响。

古浪和芦阳井的同井孔中具有不同层位 3 个传感器,古浪最上层和芦阳中间层水温虽然在汶川地震时同震变化不明显,但震后效应比较显著,其余两层水温同震效应明显,但变化特征存在差异,这说明水温传感器放置位置对信息获取有很大影响。临夏台并行观测的井孔水温中段和下段没有记录到明显同震效应。

2.3 水位与水温同震变化的关系

甘肃境内有 11 口测井同井并行观测水位与水温测项,二者出现同震效应的形态及变化方向基本相同,具有明显的同向协调性变化特征(图 2、图 3)。其中 3 口井中两种测项同步下降,分别为平凉井、清水温泉井和永登井;4 口井中呈同步上升,分别为樊坝、两水、古浪和芦阳井。井水位和井水温同震变化幅度上有很大差异,并且相关性较差,相关系数为 0.0832(图 4),最为明显的为平凉台水位和水温变化:时间变化上存在明显差异,通常响应

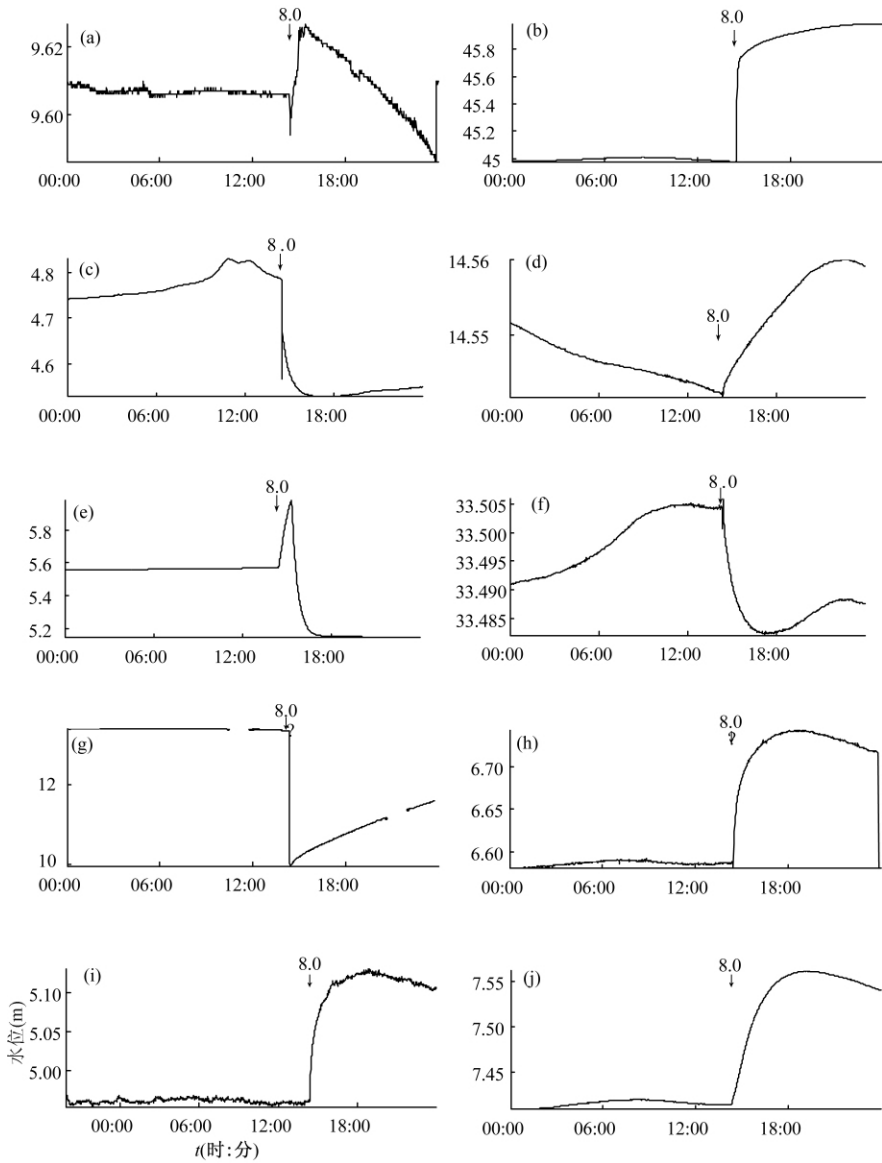


图2 汶川8.0级地震时甘肃境内井水位记录到的同震变化

(a) 温泉井, (b) 平凉井, (c) 两水井, (d) 永登井, (e) 古浪井,
(f) 芦阳井, (g) 樊坝井, (h) 临夏(1)井, (i) 临夏(2)井, (j) 临夏(3)井

的起始时间上水位早于水温, 曲线变化过程中转折的时间上水位也早于水温, 并且变化过程经历的时间上水位比水温短。

其中高台井和武都两水井由于水位仪器原因, 没有记录到数据或获得的数据质量较差, 虽然临夏两口井都获得了水位和水温数据, 但水温测项中没有记录到明显同震效应, 无法作对比研究。

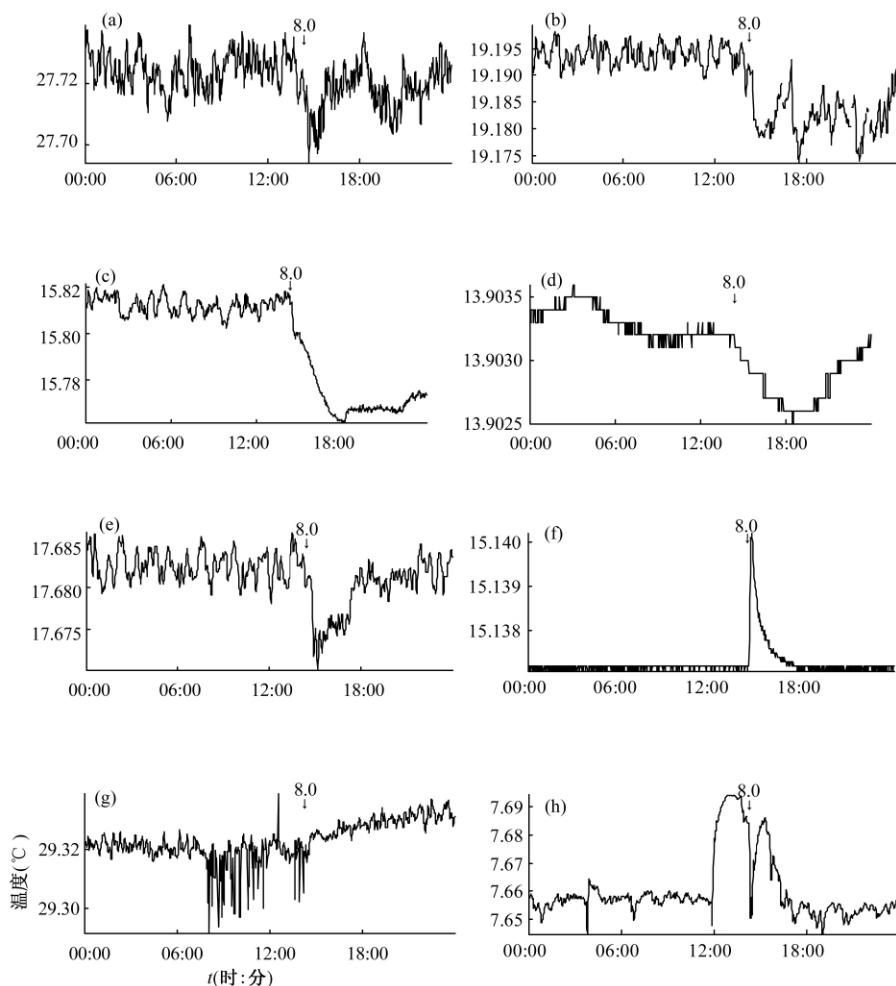
导致井水温同震变化的因素可能是多方面的, 其中井孔中的水体受震荡激发而加速对

流与掺混可能是主要原因,临夏两口井水位同震变化幅度较小,可能是因变化还不足以引起水体对流而出现水温同震变化。

3 井水位记录到 2011 年日本 9.0 级地震时的同震效应及特征分析

对于 2011 年日本 9.0 级地震,甘肃境内位于断裂带附近的 11 个井孔水位中只有 5 个井水位测项记录到明显的同震响应,分别为平凉、古浪、临夏(1)、临夏(2)和临夏(3)等观测井(图 5);井水温没有记录到明显的同震变化。

虽然甘肃省境内只有 4 口井水位(其中临夏一口井放置两个水位探头)记录到日本 9.0 级地震的同震效应,但变化形态多种多样,包括了所有井水位同震变化形态,既有振荡型也有阶变型,其中阶变型还包括了上升和下降两种,同时变化幅度也不相同,这种现象给我们研究同一地震对不同地区不同井孔流体同震效应提供了很好的机会。井水位对地震波作用的响应能力与响应特征,可能与井点所在的构造部位、观测含水层的类型和含水层的导水系数等有关。这需要通过今后更为全面的收集观测井井孔的资料和应力状态后,才能更准确地揭示这种“奇异”的同震现象。



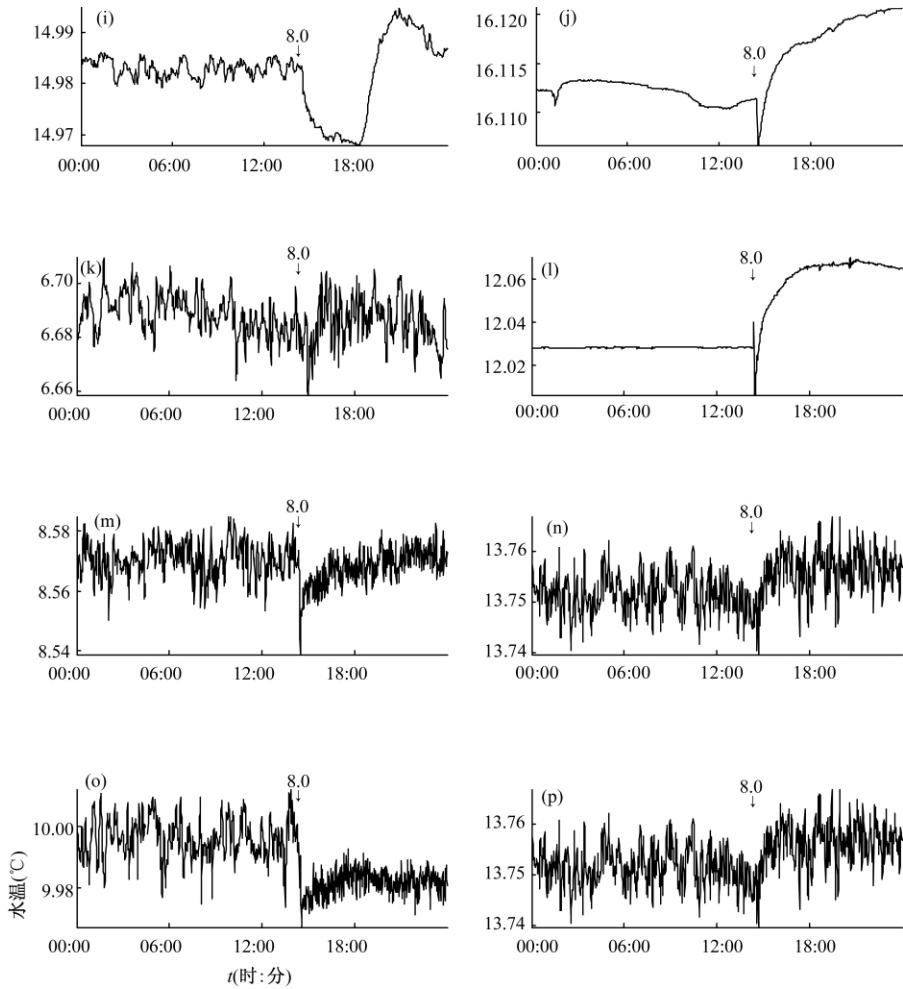


图3 汶川8.0级地震时甘肃境内井水温记录到的同震变化

(a) 温泉井, (b) 平凉井, (c) 李沟井, (d) 高台井, (e) 观象台井, (f) 樊坝井, (g) 天水井, (h) 永登井, (i) 成县井, (j) 武都井, (k) 古浪井(浅), (l) 芦阳井(浅), (m) 古浪井(中), (n) 芦阳井(中), (o) 古浪井(深), (p) 芦阳井(深)

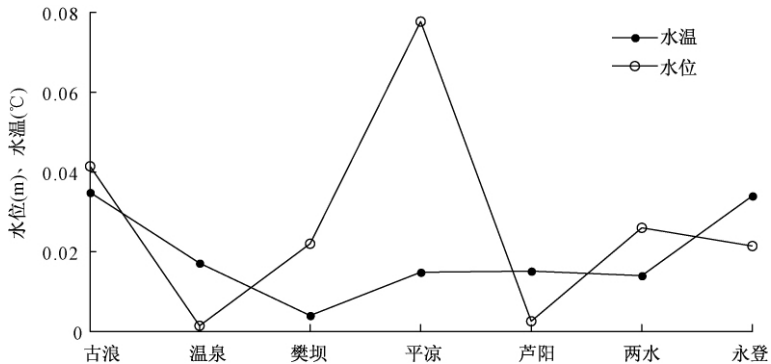


图4 汶川地震时水位、水温同震变化幅度相关统计图(水位变化幅度为真实变化幅度的1/10)

表 2 汶川 8.0 级地震时甘肃境内水位、水温同震效应基本特征

井名	观测类型*	震中距 (km)	井深 (m)	水温变化类型	水温响应幅度 (°C)	水位变化类型	水位响应幅度 (m)
樊坝	十五	315	160	上升	0.0039	上升	0.22
两水	九五	300	75.9	上升	0.0139	上升	0.26
李沟	十五	492	165.01	下降	0.0512	/	/
温泉	十五	493	443	下降	0.0171	突升-下降	0.012
成县	九五	377	264.48	下降	0.0149	/	/
平凉	九五	557	610.27	下降	0.0146	下降	0.775
高台	九五	990	99	下降	0.0007	/	/
观象台	九五	566	167.7	下降	0.0116	/	/
永登	十五	656	74.01	下降	0.0339	下降	0.214
古浪 1	十五	701	193.01	震后效应	/	/	/
古浪 2	十五	701	193.01	上升	0.0348	下降-上升	0.414
古浪 3	十五	701	193.01	下降	0.0233	/	/
芦阳 1	十五	671	194.29	下降	0.0336	/	/
芦阳 2	十五	671	194.29	震后效应	/	上升	0.025
芦阳 3	十五	671	194.29	下降	0.0151	/	/
临夏 1	十五	521	200.1	无变化	/	下降	0.162
临夏 2	十五	521	200.1	/	/	下降	0.1764
临夏 3	十五	521	70.52	无变化	/	下降	0.1464
天水	九五	473	402.29	无变化	/	停测	/

注:*：“九五”为“九五”期间或更早建立的观测井；“十五”为“十五”期间建立的观测井

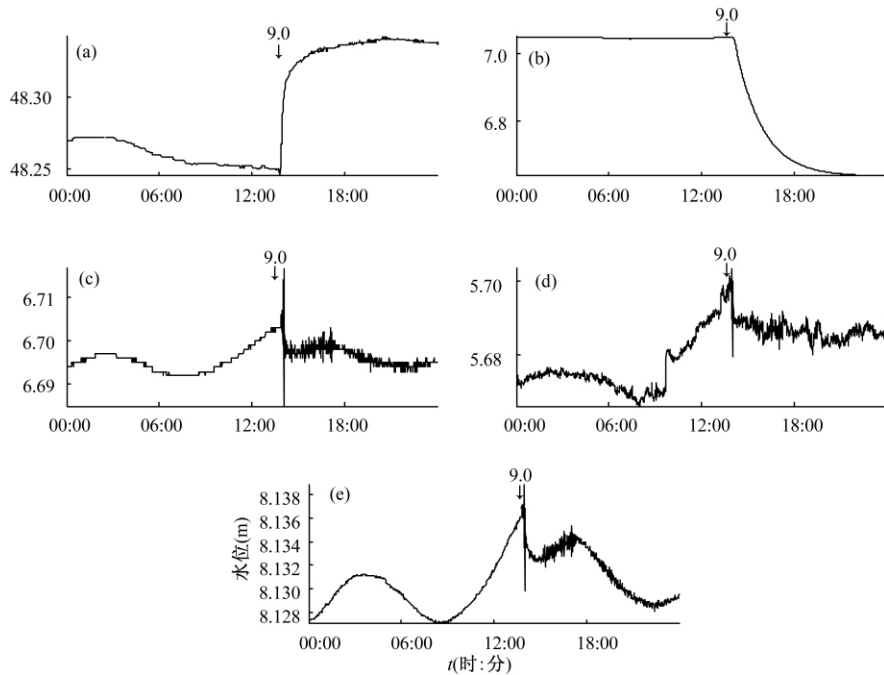


图 5 日本 9.0 级地震时甘肃境内水位记录到的同震效应

(a) 平凉 (b) 古浪; (c) 临夏(1); (d) 临夏(2); (e) 临夏(3)

4 讨论与结论

(1) 2008年5月12日四川汶川8.0级地震对甘肃境内地下流体的影响远大于2011年3月11日日本9.0级地震。从空间分布来看,汶川8.0级地震引起的同震效应的数量远超过了日本9.0级地震,甘肃绝大部分台站都记录到汶川8.0级地震时井孔水位、水温同震效应或震后效应;而对日本9.0级地震,甘肃境内所有台站井孔水温没有记录到明显的同震变化,只有部分井水位测项记录到明显的同震效应。从两次地震响应中的水位同震响应类型来看,汶川8.0级地震时甘肃境内水位变化以阶变上升或阶变下降为主,日本9.0级地震时水位变化形态包括了所有井水位同震变化形态,既有振荡型也有阶升型和阶降型。从同震变化幅度来看,除古浪井水位变化幅度大于汶川地震,其余4个井水位变化幅度明显小于汶川地震时的幅度。

(2) 地下流体对地震的波动变化响应分为近震与远震两种情况。近震的影响不仅受地震波触动影响,还与周围井孔受力永久变形有关,表现为多孔弹性介质对静态应力场的响应,井水位变化表现为阶变;远震大部分解释为地震波(长周期瑞雷波)与含水层相互作用的结果,含水层内交替地产生弹性压缩与拉张变形,致使孔隙压力发生变化造成的。

(3) 汶川8.0级地震时的水位同震效应主要以阶跃变化为主,其成因机制主要是汶川地震与甘肃境内各台站距离较近,地震发生后引起应力调整时间较长,且具有滞后性,水位发生的显著动态变化,都是水位短时间或较长时间的载荷作用的灵敏反映。日本9.0级地震时甘肃境内只有井孔水位具有相对比较明显的同震效应,其成因机制可能是由于地震波到达时产生脉冲状应力,进而引起含水层水位的震荡变化。

(4) 汶川8.0级地震中水位变化幅度表明,发生大地震时,不一定是震中距越大,水位变化幅度就呈单纯衰减状态。分析原因还可能与地震震源机制与构造环境以及观测井点所在的地质构造环境、观测条件有关,同时还可能与地震波传波过程中的地质构造有关,这些问题还有待进一步深入研究。日本9.0级地震时古浪井水位变化幅度比汶川地震时还要大,可能与古浪井为灰白色中粗砂岩及砂岩、裂隙及溶孔发育,地震波波动影响比静态应力加载作用更大,以及日本地震时地震波频度与井孔频率一致性更强等因素有关。

鉴于井孔资料和作者认识水平的限制,所得到的认识只是初步的,今后将会收集更多相关资料,开展更深入的实验和研究,以期得到更多有意义的认识。

致谢: 特别感谢甘肃省地震局张幼敏、陈兰庆和杨兴乐等提供的部分观测数据和台站基础资料;感谢匿名审稿专家提出的宝贵修改意见。

参考文献

- 陈大庆、刘耀炜、杨选辉等,2007,远场大震的水位、水温同震响应及其机理研究,地震地质,29(1),122~132。
刘耀炜、杨选辉、刘永铭等,2005,地下流体对苏门答腊8.7级地震的响应特征,见:中国地震局监测预报司编,2004年印度尼西亚苏门答腊8.7级大地震及其对中国大陆地区的影响,131~258,北京:地震出版社。
唐磊、邱泽华、郭燕平等,2011,日本9.0级地震引起的应变阶分析,地震地磁观测与研究,32(6),13~16。
石耀霖、曹建玲、马丽等,2007,唐山井水温的同震变化及其物理解释,地震学报,29(5),265~273。
鱼金子、车用太、刘五洲,1997,井水温度微动态形成的水动力学机制研究,地震,17(4),389~396。

- 张彬、刘耀炜、杨选辉, 2013, 中国大陆井水温对汶川 8.0 级、玉树 7.1 级、芦山 7.0 和岷县 6.6 级地震响应特征的对比研究, 地震工程学报, **35** (3), 203 ~ 396。
- 张彬、陆远忠、刘耀炜等, 2012, 2000 年苏门答腊 M_s 8.0 地震对缅甸 M_s 6.5 地震动态应力触发作用及影响因素探讨, 吉林大学学报(地球科学版), **42** (S2), 399 ~ 406。
- 张永仙、石耀霖、张国民, 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, 中国地震, **3**, 90 ~ 96。
- Montgomery D R, Manga M, 2003, Streamflow and water well responses to earthquakes, Science, **300** (27), 2047 ~ 2049.
- Iassonov P P, Beresnev I A, 2003, A model for enhanced fluid percolation in porous media by application of low-frequency elastic waves, J Geophys Res, **108** (B3), 2138.
- 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.
- Wang R, Woith H, Milkereit C, et al., 2004, Modelling of hydrogeochemical anomalies induced by distant earthquakes, Geophys. J. Int, **157**, 717 ~ 726.

Analysis on co-seismic responses of well water level and water temperature in Gansu Province to the Wenchuan M_s 8.0 earthquake and the Japan M_s 9.0 earthquake

Yang Fei¹⁾ Zhang Bin²⁾ Yang Xuanhui²⁾ Jing Yan²⁾ Yang Xiaopeng¹⁾ Chen Wenkai⁴⁾

1) Pingliang Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Pingliang 744000, Gansu, China

2) Key Laboratory of Crustal Dynamics, Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China

3) Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China

Abstract Comparative study of the coseismic effects of well water level and well water temperature at the Gansu seismic stations finds that there are many obvious differences between the Wenchuan M_s 8.0 earthquake in 2008 and the Japan M_s 9.0 earthquake in 2009. The majority of well water level and well water temperature recorded the coseismic effect after Wenchuan earthquake with larger magnitude and longer duration. Despite the release of larger energy by the Japan earthquake, only a few well water level recorded the coseismic change with little change in well water temperature, which were affected by the epicentral distance and focal orientation. Well water level in Gulang station recorded the change after the two earthquakes, with a larger magnitude after Japan earthquake than after the Wenchuan earthquake. The phenomenon is worthy of further study.

Key words: Well water level Well water temperature Co-seismic responses M_s 8.0 Wenchuan earthquake M_s 9.0 Japan earthquake