

张昱, 吴建华, 陈瑶, 等. 日本 9.0 级地震甘肃地下流体资料同震响应特征分析[J]. 地震工程学报, 2017, 39(增刊): 097-101. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.增刊.097
ZHANG Yu, WU Jianhua, CHEN Yao, et al. Characteristics of the Co-seismic Response of Fluid Data in the Gansu Area prior to the 2011 Tohoku M9.0 Earthquake, Japan[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(Supp.): 097-101. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.097

日本 9.0 级地震甘肃地下流体资料 同震响应特征分析^①

张 昱, 吴建华, 陈 瑶, 冯建刚, 曹玲玲, 李春燕, 郑卫平

(甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 2011 年 3 月 11 日日本东北部宫城县以东太平洋海域发生 9.0 级地震时, 我国有不少地下流体台站记录到了丰富的同震响应现象, 甘肃地区数字化地下流体观测资料也出现不同程度的同震响应。分析了该地震时甘肃地区数字化水位、水温同震变化特征和响应能力, 发现井水位的同震响应有振荡和突变两种形态, 多数在震后较快恢复原来状态。水温记录同震响应能力明显低于水位, 仅有 1 个测项记录到同震响应, 为短时间波动, 且很快恢复。

关键词: 日本强震; 同震响应; 甘肃地区; 水位、水温

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)增刊-097-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.097

Characteristics of the Co-seismic Response of Fluid Data in the Gansu Area Prior to the 2011 Tohoku M9.0 Earthquake, Japan

ZHANG Yu, WU Jianhua, CHEN Yao, FEN Jianggang, CAO Lingling,

LI Chunyan, ZHENG Weiping

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

Abstract: During the Tohoku M9.0 great earthquake of March 11th, 2011, the digital observation data on underground fluids in the Gansu area showed different degrees of co-seismic response. In this study, we analyzed the co-seismic change characteristics and response ability of the digital water levels and water temperature in the Gansu area during the earthquake. It was found that the co-seismic response of the water level had two main patterns: oscillation and mutation. The water level of most wells returned to the initial state a short time after the earthquake. The recorded water temperature data showed a lower response capacity than the water level data. Only one of the measurement instruments recorded the co-seismic response of the water temperature, but this was just a short-term fluctuation and it easily recovered.

Key words: great earthquake in Japan; co-seismic response; Gansu area; water level; water tem-

① 收稿日期: 2017-03-08

基金项目: 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地科研业务费专项(2017IESLZ07)

作者简介: 张昱(1963—), 女, 甘肃秦安人, 高级工程师, 主要从事地下流体地震分析预报等。E-mail: zhangy@gsdzj.gov.cn。

通信作者: 陈瑶(1971—), 女, 陕西西安人, 高级工程师, 主要从事网络维护、地震分析预报等。

0 引言

地下水位和水温观测是地震前兆观测的重要测项之一。地下水具有分布广泛、易流动和不可压缩等特征,当井-含水层系统处于封闭性良好的承压体系中时,就能够客观、灵敏地反映地壳的应力应变信息,能起到“灵敏测压计”的作用^[1-3]。国内外地震学者曾以大量的观测事实论证了水位动态不仅可以直接反映受力状态变化引起的孔隙压力的变化,而且还可以反映出含水层地下水径流的速度与流量等的变化;不仅水位对含水层受力有所反映,对井水温度也会有灵敏的响应。井-含水层系统所受的动力加载作用方式有多种,地震波作用就是重要的一种,地下流体观测中水位与水温对大震的同震响应是地震波作用于井-含水层系统最直接的体现^[2-4]。近几年来,国内外不少学者对远场大震引起水位、水温的同震响应现象进行了研究^[1-7]。

据中国地震台网测定,北京时间 2011 年 3 月 11 日 13 时 46 分(当地时间 14 时 46 分)在日本东北部宫城县以东太平洋海域发生 9.0 级地震,震源深度 20 km,11—13 日共发生 168 次 5 级以上余震。我国大陆多数流体观测井记录到了此次地震的同震响应现象,甘肃地区部分水位、水温观测井也记录到了其同震响应和震后效应。本文选取了该地震时记录到同震响应井点的水位、水温资料,对其同震响应特征进行了分析讨论。

1 测点概况

甘肃地区数字化流体水位、水温观测最早始于 2001 年“九五”改造,之后经 2007 年“十五”改造,至 2011 年有 13 口地下流体观测井,其中水位 11 个测项,水温 17 个测项。数字化水位、水温观测分别采用 LN-3A 型数字化水位仪、SZW-1A 型水温仪和 ZKGD-3000 型水位、水温综合观测仪。LN-3A 型水位仪和 SZW-1A 型水温仪观测服务时间由仪器自带时钟提供,ZKGD-3000 型仪器的服务时间为:当网络连通时数据记录的时间为服务器时间,当网络断开时为仪器自带时钟提供的时间。水温观测 SZW-1A 型仪器其时钟精度优于 0.1 s/d,其它两套仪器对时间精度没有明确的说明。

从甘肃地区多年来的观测资料看,多数井点的井水位观测资料表现出比较明显的年变规律,年动

态以年变型为主,也有波动、上升和下降型,多数井点具有记录固体潮的能力,只是程度不同而已,部分井点有明显的气压效应。井水温观测年动态曲线形态特征复杂,有年变型、平稳型、渐升型、缓降型、波动型或在波动和缓降的基础上表现出年变形态。

2 水位同震响应特征分析

水位同震响应是指强烈地震发生后,地震波向外传播时发生的水位“共振”现象。当地震波通过时引起含水层的瞬时变形,激发孔隙压力改变,使孔隙水没有足够的时间与外界交换,因此可以认为地震波引起含水层变形时,近似为不排水条件。对井-含水层系统而言,该系统是开放型的,含水层与井之间的水量交换与含水层的渗透系数有很大的关系。地震波通过时,渗透系数越大水位振荡幅度越大,映震效果越明显^[1-4]。另外井径、井孔水柱高度及水位仪频率特性等均与记录水震波有关。

2.1 同震响应形态特征

日本 9.0 级地震距甘肃台网所有测点距离均大于 3 000 km,其中临夏 2 口井 3 个测项记录到的同震响应形态为振荡型(图 1),平凉铁路小区井水位为突降、古浪横梁井水位为突升、永登英鸽井水位为上升转折变化(图 2)。不同测点记录同震响应的能力明显不同,其中临夏 1 号井[图 1(a),(c)]和临夏 2 号井[图 1(b)]、平凉铁路小区[图 2(a)]、古浪横梁[图 2(c)]记录到比较明显的同震响应,永登英鸽井[图 2(b)]记录到的同震响应信息非常微弱。最大同震变化幅度是资料日变幅的数倍,最小同震变化幅度小于日变幅度。平凉和临夏 3 个测项一天以后基本恢复到原来的状态,古浪横梁水位上升后持续 50 多天,到 4 月 26 日左右基本恢复。

同一测点不同仪器记录同震响应的能力也有一定差别,临夏 1 号井两种仪器[LN-3 图 1(a)、ZKGD 图 1(c)]记录到同震响应幅度有明显差别,最大幅度分别为 0.032 0 m 和 0.009 0 m,直观看,LN-3 水位仪同震响应更明显。

2.2 水位同震响应分析与讨论

地下水位的同震变化,反应了地壳形变和地面震动引起地下介质贮层变形、孔隙疏通、裂缝的清理、产生裂缝等变化。振荡型的同震变化,是指地震振动作用下,地下水位出现类似地震波的高频振荡,反映了地下含水层介质弹性模量较大,岩层透水性

好,在地震波传播过程中含水介质的一种弹性变化结果。阶变型同震变化是指在地震振动作用下,地

下水位阶变式上升或下降变化,它反映了地下介质的孔隙、裂隙被疏通或地下水力学特征发生改变,可

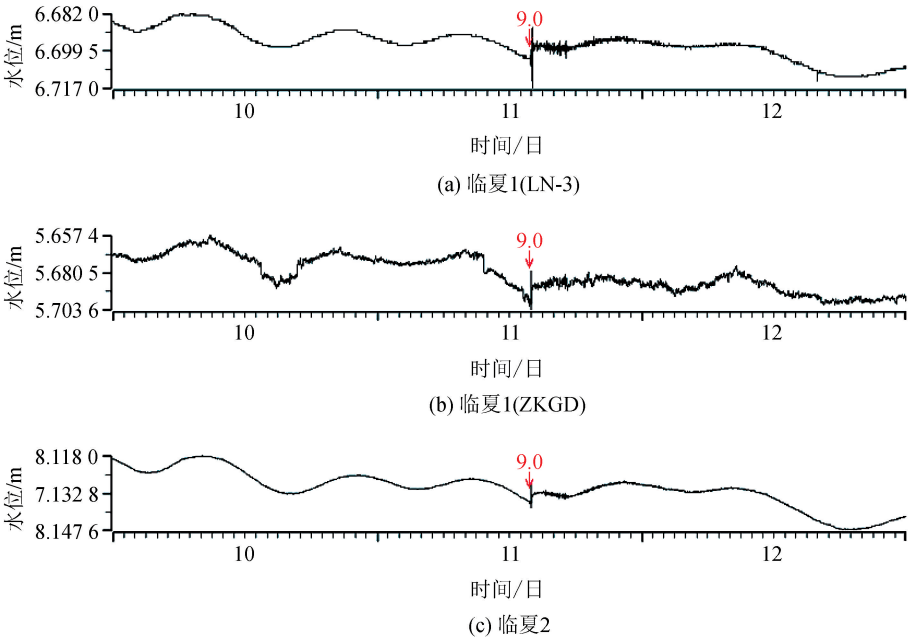


图 1 临夏综合(台阵)井孔位观测曲线(2011-03-10—12)

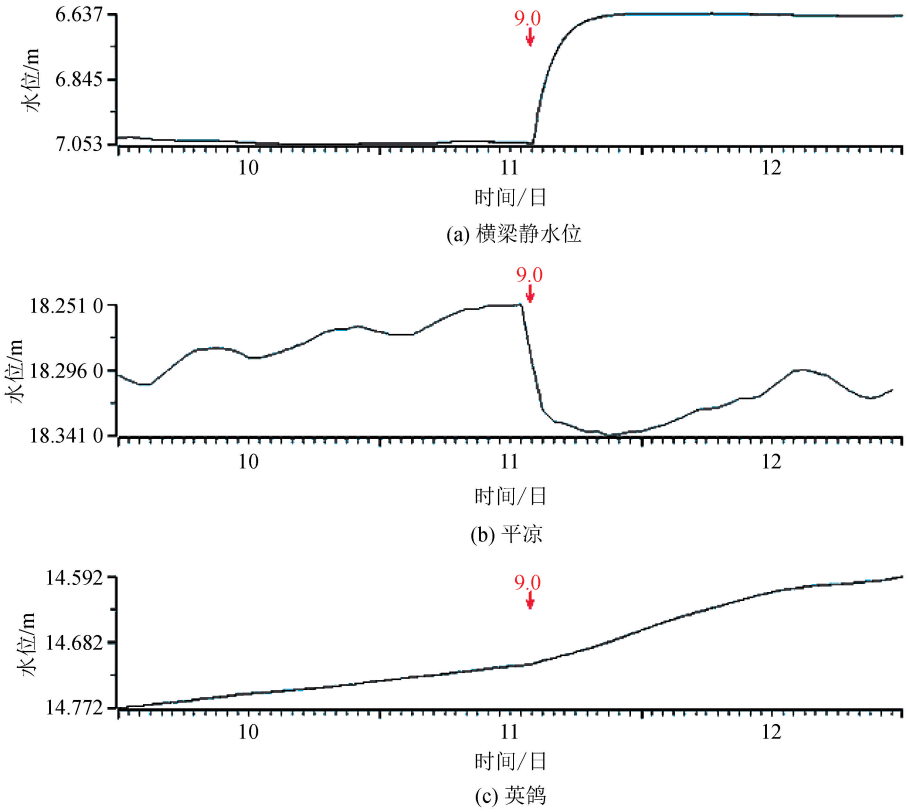


图 2 古浪横梁、平凉、永登英鸽水位观测曲线(2011-03-10—12)

能是塑性变化的结果^[3-4]。

地震引起水位同震变化有振荡和阶变两种,振荡型变化是指在地震波作用下水位快速来回波动,地震

波经过后水位很快平静下来,仍沿原来的形态变化;阶变则改变了水位背景,使得水位出现阶梯式的抬升或者下降,这种变化通常需要十几分钟至几个月时

间才能恢复,有时甚至产生永久性的改变^[4]。

通常情况下,阶变型水位同震响应一般为地方震及近地震;振荡型水位同震响应一般为远大震,但是也有远震能引发同震阶变现象,水位同震升降的方向不因地震的远近、大小、震源机制或地震方位的变化而改变,更多地受控于本地的地质构造环境和水文地质条件,地震波能量的变化不能改变水位同震变化的方向,当地震波能量足够大时,会使一些原来仅产生振荡或者无同震响应的井孔水位发生阶变^[4]。

3 水温同震响应特征分析

地震波作用可导致井-含水层系统介质发生一定

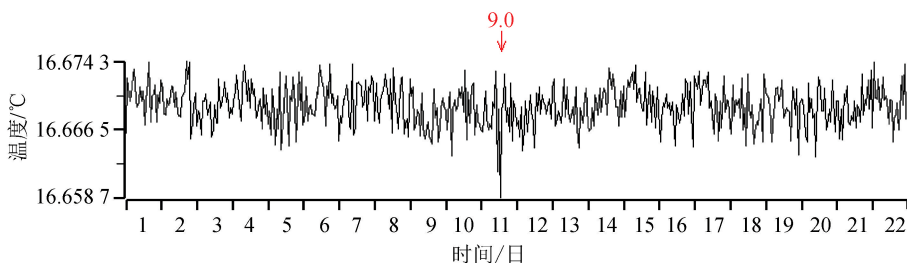


图3 平凉水温观测曲线(2011-03-01—22)

3.2 水温同震响应机理探讨

地震波作用引起的含水层介质形变可促使其孔隙压力发生变化,这种孔隙压力的变化会导致水流速度及水体与围岩间的热量变化。岩体介质孔隙压力在地震波作用时发生改变后,会有压力弥散及恢复的过程,此过程即为含水层系统中水流调节的过程^[6],如果这种调节作用持续较长时间,那么井—含水层系统的水流状态不会在短时间内趋于稳定,则观测井内水体温度是一持续变化的过程;如果井—含水层系统在地震波作用下发生了塑性形变,那么井—含水层系统水流会在短时间内达到新的平衡,则井水温度会很快达到新的稳定状态,并持续此平衡至新的扰动出现。

另外,井水温度的变化与井—含水层系统参数改变密切相关。地震发生时,地震波周期性张压作用于含水层系统后,使其介质发生了变形所致,这种应力的加卸载作用一方面激活了孔隙、裂隙中的充填物(如气体、滞水等),另一方面可促使局部裂隙的串通,此效应使得在空隙内运移的水体流动状态发生变化,使得各水体间及水体与围岩的热量交换加强或减弱,从而导致观测井内水体温度产生变化^[6]。

近年来,随着数字化水温观测的推广,远场大震引起的观测井水温响应机理的研究越来越多^[5-6]。

的形变,还会引起流经含水层的水流运移通道发生相应的变化,这种变化一方面会影响地下水的流动速度和路径,另一方面也会影响它到与周围岩体的热量交换,从而影响到观测井中水体的温度变化^[4-6]。

本次地震甘肃流体17个水温观测项中,只有平凉铁路小区水温记录到同震响应。

3.1 水温同震响应

平凉观测井是甘肃地区流体观测中深度最深的一口井,该测点水温观测资料在本次地震前后只有整点值,同震响应现象在地震后很快恢复(图3)。笔者曾经做过分析,该井水位观测记录固体潮的能力也比其它井点强。

就目前研究来看,各学者也提出了不同的观点,概括起来有以下3点:

(1) 气体逸出说:研究者据现场观察发现,井水温度大幅度下降的同时井水面上有大量气泡上涌,故认为井水温度的同震突降机制可归因于井水气体的释放^[5-6]。即当井水气体释放时,同时释放出井水中的热量,从而降低了井水温度。

(2) 井内水体热弥散说:石耀霖等^[5]在统计分析唐山矿井水温同震响应资料后提出了水温下降变化的热弥散模型,认为其主要机理为水分子的弥散效应,弥散系数与水的宏观速度密切相关,在静水中弥散系数很低,在同震水位振荡时弥散系数大大增加,温度较高的一些高分子动能水分子弥散到冷的低分子动能的水中,以及温度较低处一些低分子动能的水分子弥散到温度较高处,形成水温变化。

(3) 冷水下渗说:刘耀炜等^[6]对远场大震引起水位振荡—水温下降现象的解释是,井孔含水层周边上层地下水随着振动效应的作用,加大了向下垂直运动的速率,低温水快速混入观测含水层中,引起温度快速下降。由于这些上层低温水是赋存于孔隙或裂隙中的附着水,一般来说不产生长距离的运移,这些水的下渗只引起短时间、短距离地下水的运移,因此不会产生井孔水位的上升。

由此可见,水温同震响应机理的研究目前还处于探讨阶段,各学者所提出的机理皆能解释一定的观测现象,但究竟是哪种机理最具合理性有待于更进一步的研究。另外,同井同震响应特征不是固定不变的,与当时的井-含水层状态密切相关。

4 同震响应对比分析

4.1 不同测项对比

水位同震响应变化与水温差别很大,总体而言,水位响应能力明显高于水温。日本 9.0 级地震时,水位有 6(5 个井点)个测项记录到同震响应,水温只有一个测项记录到了同震响应,其余测点均不明显。对于同一井点而言,地震时,水位的响应能力也比水温强,记录到水位同震响应的 5 个井点中均有水温观测,只有平凉井水温观测记录到同震响应。

水位和水温映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-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,能量交换并不受地下水存贮空间的限制,水温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。

4.2 同一测项对比

从前面讨论可知,水位观测中有 6 个(5 井点)测项记录到同震响应,不同井点记录同震响应的能力不同,同一井点,不同仪器记录到的响应程度也有明显差别。

水温观测只有 1 个测项记录到同震响应,不遵循水位同震响应规律。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,变化更为复杂。

5 结论

通过对 2011 年 3 月 11 日日本 9.0 级大震甘肃地区数字化水位、水温观测资料的同震变化特征和响应能力分析,得出以下结论:

(1) 甘肃地区流体观测 11 个水位测项中,有 6 个测项记录到同震响应;17 个水温测项只有 1 个测项记录到同震响应;说明该区各测点相对于此次地震,水位观测的记震能力强于水温观测。

(2) 大部分井水位的同震响应有比较一致的变化规律,对井区应力状态的影响主要表现为瞬时特征,以振荡、突变为主,多数测点震后较快恢复原来状态。

(3) 多数观测井水位变化的同时水温未见明显变化。可能是由于此类观测井水温探头的观测含水层封闭性不好,气体脱逸的通道并不集中在井孔,所以温度变化不明显,另外,水温日变化幅度比较大可能掩盖了其变化幅度。对于这类观测井可以通过调整水温探头的位置来优化观测系统。

参考文献

- [1] 孙小龙,刘耀炜,王博,等.宾川井对印尼大震的同震响应特征及其机理解释[J].地震,2008,28(3):69-78.
- [2] 张昱,李春燕,吴建华,等.印尼 8.6 级地震甘肃地区流体观测资料同震响应分析[J].地震工程学报,2016,38(5):830-837.
- [3] 刘成龙,王广才,张卫华,等.三峡井网井水位对汶川 8.0 级地震的同震响应特征研究[J].地震学报,2009,31(2):188-194.
- [4] 周志华,黄辅琼,马玉川.中国大陆井水位观测网对甘肃岷县漳县 6.6 级地震同震响应特征分析[J].地震工程学报,2013,35(3):529-534.
- [5] 石耀霖,曹建玲,马丽,等.唐山井水温的同震变化及其物理解释[J].地震学报,2007,29(5):265-273.
- [6] 中国地震局监测预报司.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[M].北京:地震出版社,2005:131-258.
- [7] 孙小龙,刘耀炜.苏门答腊 8.5 级地震引起的水温响应变化[J].华北地震科学,2008,26(1):35-40.