

陈瑶,张昱,王英达,等.尼泊尔8.1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,2018,40(增刊):90-94.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.090

CHEN Yao,ZHANG Yu,WANG Yingda,et al.Co-seismic Responses of Fluid Observation Data in Gansu Area During the Nepal M8.1 Earthquake[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(Supp):90-94.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.090

尼泊尔8.1级地震甘肃地区流体 观测资料同震响应分析

陈瑶,张昱,王英达,曹玲玲,郑卫平,冯建刚

(甘肃省地震局,甘肃兰州730000)

摘要:2015年4月25日尼泊尔发生8.1级地震时,我国大量的地下流体台站记录到了丰富的同震响应现象,甘肃地区地下流体观测资料也出现了不同程度的同震响应。分析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,发现水位有6个井点(7个测项)记录到同震响应,且同震响应有较一致的变化规律,均以突变和脉冲为主,震后较快恢复原来状态;水温观测只有2个井点记录到同震响应,震后恢复时间较长。

关键词:尼泊尔强震;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(2018)增刊-0090-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.090

Co-seismic Responses of Fluid Observation Data in Gansu Area During the Nepal M8.1 Earthquake

CHEN Yao, ZHANG Yu, WANG Yingda, CAO Lingling, ZHENG Weiping, FENG Jian'gang

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

Abstract: During the Nepal M8.1 earthquake on April 25, 2015, abundant co-seismic responses were recorded by many underground fluid stations in China. The underground fluid data observed in Gansu area had co-seismic responses of different degrees as well. In this paper, the co-seismic variation characteristics and response ability of digital water level and water temperature in Gansu area during the earthquake are analyzed. It is found that the co-seismic responses were recorded by six wells (seven measurement items). The co-seismic responses of water level have consistent variation characteristics. The co-seismic responses of water temperature were recorded by only two wells, and the recovery time after earthquake is relatively long.

Keywords: strong earthquake in Nepal; co-seismic response; Gansu area; water level; water temperature

收稿日期:2018-01-18

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

第一作者简介:陈瑶(1971-)女,陕西西安人,高级工程师,主要从事网络维护、地震分析预报研究等工作。

E-mail:gscheny@sina.cn.

通信作者: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研究。

0 引言

地下流体是地壳中最活跃的介质,并且具有分布的广泛性、易流动性和不可压缩性等特征。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^[1],因此地下水位和水温观测一直是地震前兆观测的重要测项。近年来,不少学者对远场大震引起水位的同震响应现象进行了大量研究^[2-6],但针对远场大震引起的水温同震响应的研究并不太多,主要原因是没有获得足够的观测资料。20 世纪 90 年代后,中国地下流体水温观测网进行了高精度数字化仪器的改造使用,近几年收集了大量的同震响应观测资料。针对这些资料,国内学者进行了系统的分析和深入的研究讨论^[7-9]。

北京时间 2015 年 4 月 25 日 14 时 11 分在尼泊尔(28.2°N,84.7°E)发生 8.1 级地震,震中位于博克拉,震源深度 20 km。我国大陆多数流体观测井记录到了此次地震引起的同震响应现象,甘肃地区部分水位、水温观测井也记录到了同震响应和震后效应。本文选取此次大震中记录到同震、震后效应井点的水位、水温资料,对其同震响应特征进行分析讨论。

1 甘肃数字化水位、水温观测井概况

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 2007 年“十五”改造,直至汶川地震灾后恢复重建,多数资料从 2007 年下半年“十五”数字化改造开始,最短的为汶川地震灾后重建项目。现有 19 口地下流体观测井,其中水位 16 个测项,水温 23 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,其他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连续观测资料看,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,也有平稳波动、趋势上升和趋势下降型,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

度年动态曲线类型形态特征复杂、多种多样,有渐升型、年变型、缓降型、平稳型、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^[5-7]。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。地下水位的震时和震后效应,从形态上分为两类,一类是急速的阶跃变化,这主要是近震的井水位效应;另一类是水位的振荡变化,即为水震波效应,这种变化一般在震中距大于 2 000 km 的井孔中比较常见^[5-7]。

2.1 水位同震响应特征

本次地震距甘肃台网所有测点的距离在 1 800 km 以上。地震前,甘肃水位观测有 16 个水位测项,其中 11 个采用 LN-3 型水位仪、5 个采用 ZKGD 型水位仪进行观测。其中有 7 个测项在地震中记录到同震响应,之中 4 个测项(平凉威戎两个测项,平凉铁路小区、古浪横梁水位)记录的同震响应比较明显,另外 3 个测项(平凉柳湖、平凉华亭井、临夏 1 号井 LN-3 水位仪)记录到的同震响应比较微弱。

其中平凉威戎一套仪器记录的同震响应为波动后突降,另外一套仪器为突降;古浪横梁井为上升;平凉铁路小区突降 1 m 左右,1 h 之后恢复原来动态。

同一测点记录同震响应的能力基本相同,平凉威戎两套仪器同震变化的绝对幅度基本相当,不同测点记录同震响应的能力有一定差别。

2.2 水位同震响应分析与讨论

地下水位的同震变化反映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在地震振动的作用下,地下水位出现类似地震波的高频振荡,它反映了地下含水层介质弹性模量较大,岩层透水性好,是地震波在传播过程中含水介质的一种弹性

变化的结果。阶变型的同震变化是指在地震振动的作用下,地下水位阶变式的上升或下降变化,它反映

了地下介质的孔隙、裂隙被疏通或地下水文学特征发生改变,可能是塑性变化的结果。

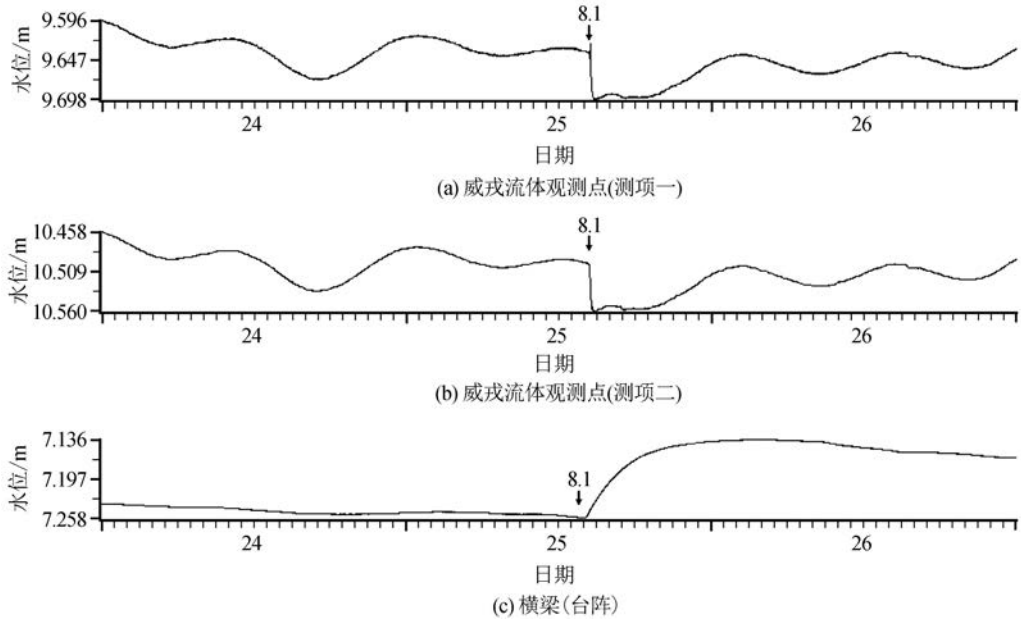


图1 平凉威戎、古浪横梁水位观测曲线(2015-04-24—2015-04-26)

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,但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多至几个月的时间才能恢复,有时甚至产生永久性的改变^[6]。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地震,但也有远震能引发同震阶变现象。

当一个构造带区域上井水位普遍上升,代表构造应力场压性增强、张性减弱;反之则代表构造应力场压性减弱、张性增强,因此水位同震阶变的观测井空间分布与构造区域的相互关系对判断构造应力场的变化具有积极意义。水位同震变化振幅除了与震中距、震级密切相关外,还可能与观测井含水层系统自身特性、震源方位、震源机制以及地震波的传播途径有关。振幅与震级呈正比关系,水位的同震阶变可视为大震后区域应力调整的表现,井水位同震阶升则说明井区压应力作用增强^[6]。

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,另一方面也会影响到它与周围岩体

的热量交换,从而影响到观测井中水体的温度变化^[7-9]。

甘肃流体台网有水温观测井点 18 个,其中平凉铁路小区在不同深度架设两个探头,景泰卢阳井、古浪横梁井分别在不同深度架设三个探头。目前共有水温测项 23 个。

3.1 水温同震响应

2015年4月25日尼泊尔8.1级强震发生后,甘肃水温观测中记录到同震响应的只有平凉柳湖水温和平凉威戎水温(图2)。

从图中可以看出,在地震波到达观测井时,平凉柳湖井水温表现为快速下降,大约 15 min 后降至最低值,下降幅度为 0.05 °C,之后缓慢上升,2 h 后恢复地震前的水平,之后缓慢上升。平凉威戎井水温与平凉柳湖水温井在形态上有所不同,首先是缓慢上升,上升幅度为 0.03 °C,至 25 日 20 时左右在高值波动,高值一直持续至 5 月 8 日 23 时左右,之后缓慢下降,至 5 月 10 日 13 时恢复到地震之前的水平。

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,之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。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,此时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,则井水温度很快会达到新的稳定状态,并持续此平衡至新的扰动出现。

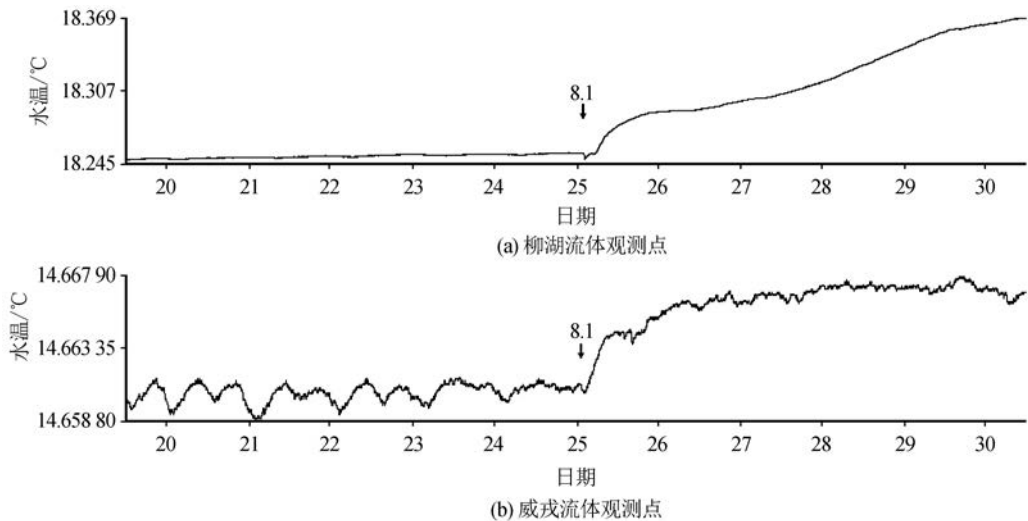


图2 平凉柳湖水温、平凉威戎水温分钟值观测曲线(2015-04-20—2015-04-30)

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,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^[9]。

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^[7-8]。就目前研究来看,各学者也提出了不同的观点,概括起来有以下几点:

(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^[7-9]。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^[7]在统计分析唐山矿井水温同震响应资料后提出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的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,形成水温的变化。

(3) 冷水下渗说:刘耀炜等^[9]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,引起温度的快速下降。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还有待于更进一步的研究证明。况且,同井同震响应特征并不是固定不变的,也与当时的井-含水层状态密切相关。

4 地震的同震响应对比分析

4.1 不同测项的对比

水位的同震响应变化与水温有较大差别。从数量上看,水位有6个井点(7个测项)记录到同震响应,水温只有2个测项,水位响应能力明显高于水温。甘肃流体台网观测井只有个别井点是单测项观测,绝大多数井点中水位、水温同时观测。在记录到水位同震响应的6个井点中,只有平凉华亭无水温观测,其余井点均为水位、水温同时观测,但记录到水温同震响应的只有平凉柳湖和平凉威戎2个井点。总体而言,水温的响应能力明显低于水位。对于同一井点而言,水位的响应能力不一定高于水温,平凉柳湖井水位同震响应很弱,而水温同震响应要

比水位明显。水位同震响应以突变、脉冲为主,恢复速度较快,而水温以缓慢变化为主,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,能量的交换并不受地下水存储空间的限制,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地震的响应能力和响应图像有较大差异。

4.2 同一测项的对比分析

从前面的讨论可知,水位观测中有6个井点(7个测项)记录到同震响应,不同井点记录同震响应的能力不同,同一测点记录同震响应的能力基本相当,震后恢复时间较短。

水温观测只有2个井点记录到同震响应,两个井点记录同震响应的幅度也有差别,但都是变化周期较大,恢复时间较慢。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,更多是体现一种持续性的影响,其变化更复杂。

5 结论

针对2015年4月25日尼泊尔8.1级地震,对甘肃地区数字化地下流体观测井网中水位、水温观测资料的同震变化特征和响应能力进行了分析讨论,得出以下结论:

(1) 根据甘肃地区流体观测资料可知:16个水位观测中有7个测项记录到同震响应;23个水温测项只有2个测项记录到同震响应,说明该区各测点相对于尼泊尔8.1级地震而言,水位测项的记震能力明显强于水温测项。

(2) 水位井点的同震响应以突变、脉冲为主,多数测点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与水位不同,

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未停止,含水层水体仍存在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。

(3) 部分观测井水位变化的同时水温未见明显变化,主要是由于此类观测井水温探头观测的含水层封闭性不好,气体脱逸的通道并不集中在井孔,所以温度变化不明显,再加上其水温日变化幅度比较大,可能掩盖了变化幅度。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。

(4) 由于水位动态的物理意义明显,含水层受压时水位上升,受拉张时下降,因此震后阶跃上升的水井水位可能包含有区域应力场的信息,水位阶跃上升集中区可能也是区域压应力相对集中区,对未来该区域发生较显著的地震具有空间上的指示意义。在当今许多观测资料明显受仪器和外界环境干扰,严重影响预报效能的情况下,远震产生的水位阶跃上升集中区可以作为一种补充手段。

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] 赵栋,易立新,王广才,等.地下水位中地震前兆信息提取方法研究[J].地震工程学报,2013,35(2):334-341.
- [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] 张素欣,杨卫东,张子广.唐山矿井模拟与数字水位的记震能力对比分析[J].西北地震学报,2007,29(2):170-173.
- [5] 耿杰,陈安方,潘双进.山东地下水动态观测井对2007年印尼8.5级地震的响应特征[J].西北地震学报,2008,30(2):173-178.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.