

段胜朝. 腾冲台水温、水位对尼泊尔 8.1 级地震的同震响应特征分析[J]. 华南地震, 2017, 37 (2):29-33. [DUAN Shengchao. Analysis on Coseismic Response Characteristics with Water Temperature and Water Level in Tengchong Seismic Station Caused by the Nepal M_s 8.1 Earthquake [J]. South china journal of seismology, 2017, 37(2):29-33.]

腾冲台水温、水位对尼泊尔 8.1 级地震的同震响应特征分析

段胜朝

(云南省地震局腾冲地震台, 云南 腾冲 679100)

摘要: 介绍了腾冲台水温、水位观测井的地理位置、地质构造条件和水温、水位仪器布设、运行情况。对腾冲台水温、水位以及尼泊尔 8.1 级地震的同震响应特征分析, 结果显示: 尼泊尔 8.1 级地震引起的腾冲台水温、水位同震响应表现形态为水位下降-水温上升型, 同震效应表现非常显著。水温同震响应滞后于水位同震响应。当水位产生同震响应时, 水震波引起井孔内不同温度层位的井水多次对流和掺混, 致使水温产生同震响应变化。水位同震响应持续时间比水温持续时间短, 但水位的响应程度相比水温要剧烈。

关键词: 尼泊尔 8.1 级地震; 水温; 水位; 同震响应

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2017) 02-0029-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.02.005

Analysis on Coseismic Response Characteristics with Water Temperature and Water Level in Tengchong Seismic Station Caused by the Nepal M_s 8.1 Earthquake

DUAN Shengchao

(Tengchong Seismic Station, Yunnan Earthquake Agency, Tengchong 679100, China)

Abstract: The Nepal M 8.1 earthquake occurred at 2:11 p.m. April 25th 2015. The paper briefly introduced the geological location, geological structure condition, setting and operating conditions of water temperature and water level instruments of the observation well of Tengchong seismic station. Based on the analysis of the coseismic response characteristics of the water temperature and water level in Tengchong seismic station to the in Nepal M 8.1 earthquake, it is believed that the coseismic effect is very significant and its type is water level falling-water temperature rising. Water temperature rising was caused by water level falling, so the former happened behind the latter. The duration of water level falling is shorter than that of water temperature rising, while the response of the former is stronger than the latter.

Keywords: Nepal M_s 8.1 earthquake; Water temperature; Water level; Coseismic response

收稿日期: 2016-05-23

作者简介: 段胜朝 (1986-), 男, 助理工程师, 主要从事腾冲前兆观测与地下流体观测数据分析工作。

E-mail: 619239180@qq.com.

0 引言

2015 年 4 月 25 日 14 时 11 分, 尼泊尔第二大城市、著名旅游胜地博克拉(28.2°N, 84.7°E)发生 8.1 级地震, 震源深度 20 km。尼泊尔全境、中国西藏、印度新德里等地震感强烈。地震造成尼泊尔境内 8 019 人遇难, 超过 17 866 人受伤; 造成中国西藏多人不同程度受伤和死亡。受灾范围近 20 万平方公里。

地震震中距离云南省地震局腾冲地震台(25.02°N, 98.52°E) 1 417 km, 腾冲台水温、水位产生同震响应。近年来, 远场大震引起的地震地下流体同震响应现象越来越受到国内外许多学者的关注。孙小龙等^[1]分析认为: 井水位与水温对远场大震的响应是井-含水层受到地震波作用的结果, 并且同一观测井中的水温、水位之间存在着一定的关系。本文通过对腾冲台水温、水位对尼泊尔 8.1 级地震的同震响应形态分析, 试图了解其同震响应特征及其相关关系。

1 台站井孔及观测仪器概况

腾冲台地处怒江深大断裂、泸水-瑞丽断裂以西, 台址位于以全新世冲积层、熔岩为基底的腾冲盆地东侧近山麓地带, 处在腾冲火山分布区内, 腾冲盆地属熔岩盆地堆积地貌类型, 台站后靠东山为近代火山, 成近南北向线状排列。构造极为发育, 各组断裂于盆地内被第四纪堆积物所覆盖, 其基底由燕山期花岗岩构成, 台站位于腾冲-龙陵地震区是云南地块与欧亚带板缘最近的地震区, 于缅北密支那一带构造相连, 地震密集不可分。腾冲-龙陵地震区内含三条主要活动构造即怒江断裂、大盈江断裂和龙陵-瑞丽断裂。以怒江断裂和瑞丽-龙陵断裂带为主体, 构成一条弧形构造带, 腾冲盆地处于该构造带向南东凸的弧顶部位; 这三条活动构造都延伸到缅甸境内。

1999 年在腾冲台院内新钻了一口专用观测井(腾冲台 2 号机井), 井深 120 m, 非自流井。该井位于 NE 向大盈江断裂与 SN 向怒江断裂交汇处, 构造位置重要。观测井孔周围地层主要出露第四系冲洪积、湖积、残坡积及第四纪以来的火山岩。腾冲台观测井孔位于腾冲盆地中部东测边缘近山麓地带, 腾冲盆地属熔岩盆地堆积地貌类型, 堆积物主要由冲积、冲洪积、冲湖积之砂砾石层、粘土层并夹泥炭、硅藻土等组成; 盆地海拔标高 1

620~1 640 m, 与周围山峰比高 200~800 m; 观测井孔东山区为近代火山岩分布区, 属火山穹丘地貌类型, 火山呈近南北向线状排列。根据地下水赋存条件, 水力特征和水理性质, 可将井孔周围盆地及山区地下水类型划分为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两大类。松散岩类孔隙水主要含水层有全新统冲积层(Q4^{al})、全新统洪积层(Q4^{pl})及上更新统冲积层(Q3^{al})。孔洞裂隙水含水层有下更新统安山岩及熔结凝灰岩, 观测井孔揭露地层即该含水层, 水量中等丰富, 见图 1。

腾冲台数字化水温、水位在同一井内观测。水温仪器为 SZW-1A 型水温仪, 观测精度优于 0.0001℃, 根据观测井钻孔结构及地层柱状图和水温梯度测试结果(图 2a), 传感器探头放在井下 110 m 处(图 2b), 仪器运行以来, 工作性能稳定, 数据连续率达 99.99%。

水位仪器型号为 LN-3A 型数字化水位仪, 初始安装的基本情况: ① 探头投放深度 h : 12.55m (从井口标志点至传感器投放深度); ② 仪器显示深度 h_0 : 4.98 m (传感器在水下投放深度 m); ③ 仪器显示水位埋深值 H : 7.568 m (仪器产出的水位埋深值); ④ 仪器运行状况: 正常。

水位仪 2010 年 1 月 15 日校测水位出现超差, 16 日重校仍超差, 经查为探头工作状态不稳定, 需更换探头。18 日更换探头, 并对探头下放 1 m、2 m、3 m 分段校测, 仪器分别显示结果为: 0.985 5、1.972、2.977, 相对误差约为 1.2%; 最终探头下放至 10.50 m, 并校测水位, 校测结果 $|\delta| = 0.64\% < 2\%$, 传感器工作正常, 可以使用。

观测井井口装置、仪器探头位置及安装连接情况见图 2。

2 同震响应形态分析

对腾冲台水温、水位资料分析, 发现在 2015 年 4 月 25 日 14 时 11 分尼泊尔地震发生时, 水温、水位均出现了较为明显的同震响应形态。

2.1 水温同震响应

腾冲台数字化水温正常日动态特征表现为突跳式随机起伏型, 日变化幅度很小, 约为 0.000 3℃~0.001℃, 说明观测含水层受外界影响较小, 封闭性较好, 数据很稳定^[2]。尼泊尔 8.1 级地震发生之后, 水温表现为小幅上升-连续急速阶升-维持在最高值水平-连续急速阶降的同震响应过程, 最

大变幅为约 0.002℃，是正常背景值得 2 至 15 倍，至 19 时 19 分，整个过程持续约 5 个小时，同震效应明显。之后，水温数据继续快速下降，26 日 4 时左右触底开始回升，15 时 09 分再次发生尼泊尔 7.1 级地震后，水温数据缓慢上升到正常水平(图 3)。

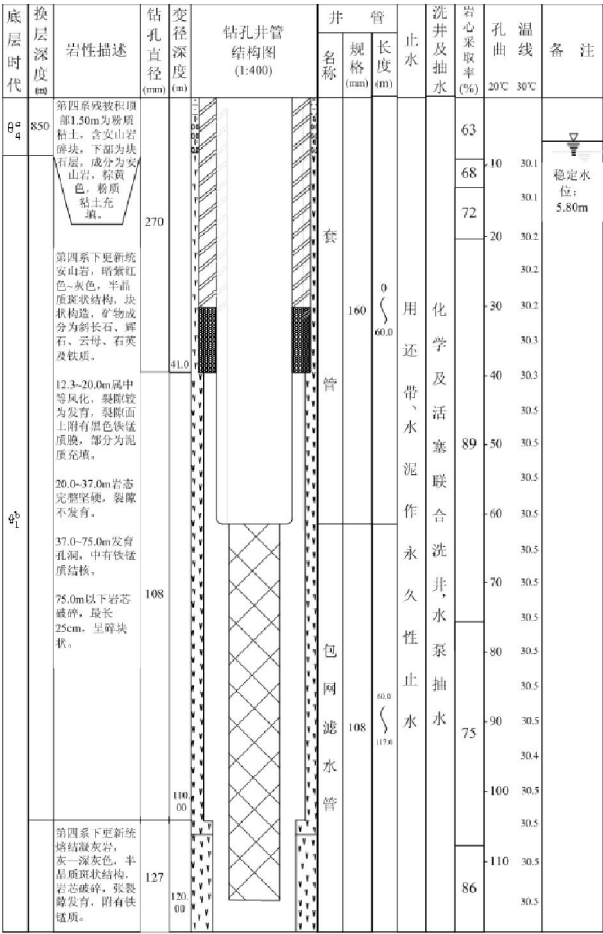


图 1 腾冲台 2 号机井柱状图

Fig.1 Columnar section of No.2 well at Tengchong seismic station

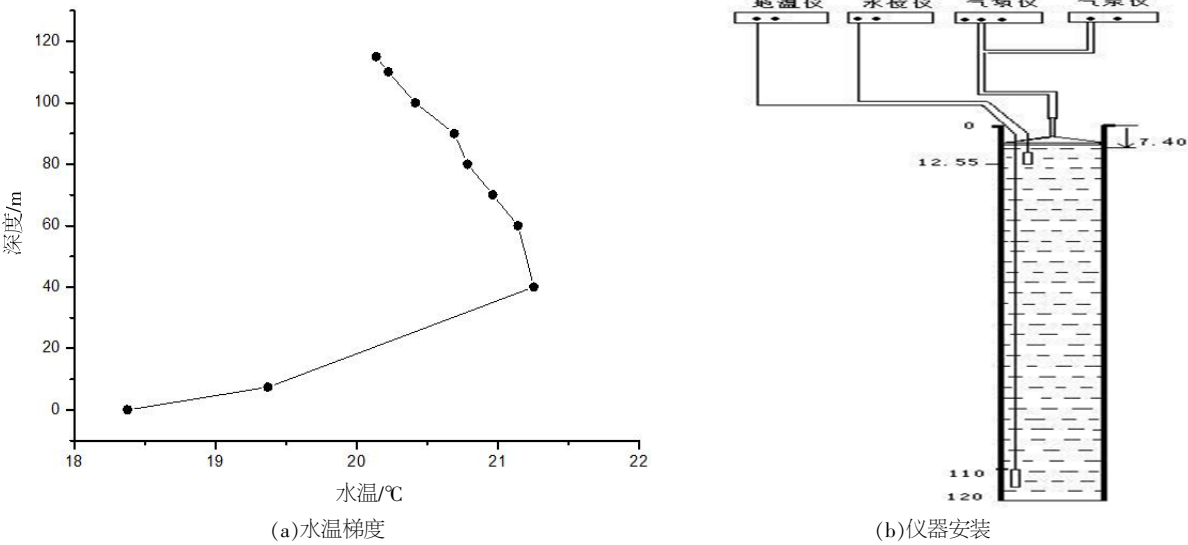


图 2 水温仪器安装

Fig.2 Deployment of water thermometers at Tengchong seismic station

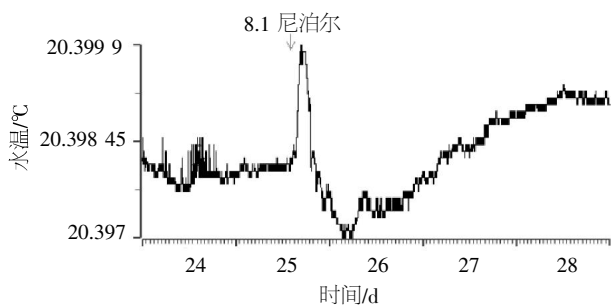


图3 腾冲台水温同震响应图 (2015-04-24~2015-04-28)

Fig.3 The coseismic response of water temperature in Tengchong seismic station

2.2 水位同震响应

正常情况下, 腾冲台静水位日变化形态表现为明显的固体潮汐波形态, 日变幅为约 0.09~0.15 m。尼泊尔地震发生之前, 水位处于固体潮趋势上升阶段, 形态清晰。地震发生 7 min 后, 水位表现出阶降-阶升-阶降的振荡急速下降态势, 最大下降幅度达 0.046 m, 是正常背景值的 3 至 5 倍, 之后, 水位以阶升态势快速回升到正常值水平, 整个过程持续 58 min, 同震效应非常显著(图 4)。

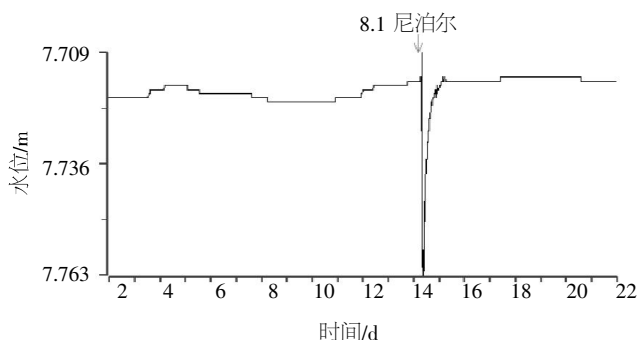


图4 腾冲台水位同震响应图

Fig.4 The coseismic response of water level in Tengchong seismic station

3 原因分析

水温同震变化与水位变化关系密切, 杨竹转^[3]对一井多震的研究结果表明, 水位同震变化是水温同震变化的必要条件。有水温同震变化的震例 9 都存在水位同震变化; 而发生水位同震变化的震例则不一定有水温同震变化。研究结果显示, 水位水温同震变化主要存在 4 种组合, 它们分别是: 水位上升水温上升型、水位下降水温上升型、水位下降

水温下降型、水位振荡水温下降型。

经过对腾冲台水温、水位对尼泊尔地震的同震响应过程分析认为: 水温响应的急速反应阶段发生在水位响应的急速响应阶段之后, 并且水温的响应过程是由水位的同震响应所造成的。腾冲台水温、水位对尼泊尔地震的响应类型为水位下降-水温上升型。这与郑江蓉等^[4]提出的由地震波引起的同震响应基本以水位振荡、水温下降-恢复的形态不相符合。由腾冲台水温梯度测试结果(如图 2a)可知, 腾冲台 2 号机井井水温度在井内分布是不均匀的, 不同的井孔深度, 水层温度有一定的差异, 上层水温度相对较低, 中层水温度相对最高, 下层水温度相对上层要高但却低于中层水温。对于水温同震变化的机理, 刘耀炜等^[5]提出的“冷水下渗学说”, 陈大庆等^[6]提出的“气体脱逸模式”以及石耀霖等^[7]提出的“热弥散效应机理”均不能合理解释腾冲台水温同震响应上升的现象。

车用太等^[8]提出的水温同震阶降机制认为: 当地震波通过含水层时, 含水层中发生交替的压缩与膨胀变形, 导致井-含水层间引起“高”频的水交替, 造成井水位的“高”频振荡, 此时随着井筒内水体的上、下高频运动, 一方面导致井水的扰动, 促使上部低温水与下部高温水反复对流, 使不同温度的井水发生混合。通过分析, 本文认为: 尼泊尔地震产生的地震波传播到腾冲的时候产生水震波, 引起腾冲台水位振荡且急速下降, 使井内上层、中层和下层井水产生对流, 造成井水的扰动。井水的对流过程将井内部分上层水带到中层, 中层带到下层, 回流过程中部分下层水回升到中层再到上层, 整个过程都有不同水层相互混合。在井水对流过程中, 下层水受到中层水的混合, 由于下层水比中层水温度低, 混合之后经过热传导作用, 温度显著升高, 当两者混合达到热平衡即温度相同的时候, 下层水在下次不同水层混合之前会保持一个稳定值。同时, 当上层水与下层水都与中层水混合之后, 中层水温度会相应降低, 当这些中层水再次向下对流与下层水混合的时候, 温度就会比之前在下层混合的水温度要低, 加上围岩温度比下层混合水温度要低, 也会产生热传导, 三者在下层水重新混合平衡后下层水温就会下降。当水位恢复到正常水平之后,

① 刘耀炜, 杨选辉, 刘永铭, 等. 地下流体对苏门答腊 8.7 级地震的影响特征. 中国地震局监测预报司编, 2005.

井水慢慢结束对流,上、中、下三层井水在各自水层经过热传导平衡慢慢恢复到原来各自水层的平衡。由此可知,井水位同震响应产生的井水对流过程刚好与水温同震响应过程中温度变化过程相一致^[9]。

4 结语

经过对腾冲台数字化水温、水位对尼泊尔 8.1 级地震的同震响应特征分析可知:

(1) 水温、水位的同震响应类型为水位下降-水温上升型,同震效应较为显著。

(2) 水温同震响应滞后于水位同震响应,并且水温同震响应是由水位同震响应引起井水对流所造成的。

(3) 水位同震响应持续时间比水温同震响应时间短,但水位的响应程度相比水温要剧烈。

参考文献:

- [1] 孙小龙,刘耀炜.本溪自流井水位与水温同震变化关系研究[J].大地测量与地球动力学,2007,27(6):100-104.
- [2] 曾庆堂,起卫罗,马志刚,等.腾冲台数字化水温资料的初步分析[J].防灾科技学院学报,2014(1):30-35.
- [3] 杨竹转.地震波引起的井水位水温同震变化及其机理解析[J].国际地震动态,2012(11):42-47.
- [4] 郑江蓉,杨从杰,江昊琳.江苏流体井网对汶川和日本地震的同震响应特征研究[J].地震研究,2013,36(1):34-41.
- [5] 秦双龙,刘水莲,廖丽霞,等.福州连江江南井水位水温同震响应变化特征及机理探讨[J].华南地震,2016,36(4):50-57.
- [6] 陈大庆,刘耀炜,杨选辉,等.远场大震的水位、水温同震响应及机理研究[J].地震地质,2007,29(1):122-132.
- [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(3):105-115.
- [8] 车用太,刘成龙,鱼金子.井水温度微动态及其形成机制[J].地震,2008,28(4):20-28.
- [9] 林国元,朱继承,秦双龙.氟离子观测水温干扰因素的排除及实验[J].华南地震,2015,35(2):50-54.