

云南地下流体对尼泊尔 8.1 级地震的同震响应特征分析^{*}

张 立, 罗睿洁, 高文斐, 苏有锦, 钱晓东, 毛 燕

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 统计云南地下流体对尼泊尔 8.1 级地震的同震响应情况, 分析和总结了水位和水温数字化资料的同震响应特征。结果表明: 尼泊尔 8.1 级地震对云南地区的影响较大, 其流体宏观与微观动态有较显著的同震响应。水位与水温对该大地震的记震能力明显高于水氡和水质; 不同井水位、水温同震响应最大振幅、持续时间相差很大, 其变化形态水位以波动及阶升为主, 水温表现为上升或下降—恢复; 从主震与最大强余震的记录来看, 震级越大, 同震响应出现比例越高, 且在同井中响应幅度越大, 持续时间越长; 同井不同仪器记录的同震幅度和持续时间不同; 水温同震响应均出现在有水位同震响应井中, 表明井水位与水温同震响应是密切相关的, 且井水温同震响应多由井水位同震响应引起。

关键词: 尼泊尔 8.1 级地震; 地下流体; 同震响应; 记震能力

中图分类号: P315.723

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2016)04-0537-08

0 前言

地下流体同震响应能够有效、直接地揭示地壳介质对应力—应变的响应。在过去几十年里, 地震能引起较大范围的水位、水温同震响应和较强的振幅变化, 这是我国地震学家普遍关注的焦点问题(黄辅琼等, 2000; 中国地震局监测预报司, 2005; 晏锐, 黄辅琼, 2009; 杨竹转等, 2008, 2007, 2005; 高小其等, 2006; 廖丽霞等, 2009; 顾申宜等, 2010), 他们不仅研究了同震响应的形态特征, 而且开始探索同震响应特征在地震预测实践中的应用问题。黄辅琼等(2000)的研究表明, 当一个构造带区域井水位普遍上升, 代表构造应力场压性增强、张性减弱; 水位下降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的意义。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。

2015年4月25日尼泊尔发生8.1级地震, 该地震在云南引起了大范围地下流体井水位、水温及个别井的气氡、水质(钙离子、碳酸氢根离子及pH值)同震响应, 并出现2起宏观现象。本文系统收集和整理了尼泊尔8.1级地震在云南引起的地下流体同震响应现象, 并对数字化水位、水温同震响应在该区域的时空分布规律、影响因素和相互关系等特征进行了分析和讨论。

1 地下流体观测概况

经过近几十年对云南地区地下流体观测仪器设备的更新以及数字化改造, 云南地区地下流体观测有了较大的发展。到目前为止, 云南地区地下流体水位、水温及水化学观测台网共计300台项(不包括辅助测项), 其中, 水位70项、水温73项、氡54项、汞32项、水质(离子及其他)71台项, 具体台项统计见表1。

数字化水位、水温观测采样率为每分钟采样

^{*} 收稿日期: 2016-04-19.

基金项目: 云南省“十项”重点工程“云南大震短临跟踪专项研究”、云南省地震局“云南强震临震预警技术专项”、“周边8级特大地震活动对云南强震活动趋势的影响”和中国地震局2016年度震情跟踪合同制定向工作任务(2016010305)联合资助。

一次, 气氦和气汞观测为 1 小时观测一次, 水质包括离子及电导率、pH 等测项, 主要是模拟观测, 一天观测一次, 其中的数字化观测只是氦气, 采样率为每小时采样一次。

表 1 云南地下流体观测项目台项数统计

Tab. 1 Statistic of the number of underground fluid observation items in Yunnan

观测项目	台项数/个		台项总数
	模拟	数字化	
水位	17	53	70
水温	19	54	73
氦	23	31	54
汞	5	27	32
水质	68	3	71
合计	132	168	300

2 地下流体同震响应

2015 年 4 月 25 日发生的尼泊尔 8.1 级地震震中距云南流体观测井网最近井 1 430 km, 距最远井 1 960 km, 震后云南地区地下流体 45 口数字化水位观测井中有 39 口井观测到同震响应, 占总观测井的 87%。48 口数字化水温观测井中有 16 口井观测到同震响应, 占总观测井的 33%。20 口数字化气氦观测井中只有曲江井观测到同震响应, 15 口模拟水质观测井中只有普洱井观测到钙离子、碳酸氢根离子及 pH 值 3 个测项同震响应, 在宾川和丽江发现 2 起水发浑宏观现象, 其同震响应井点分布见图 1, 观测项响应统计见图 2。气汞未出现同震响应。

从图 1、2 可清楚地看出, 有同震响应的水位、水温井点多、分布广, 对远场大地震的记震能力明显要高于气氦和水质, 虽然资料显示个别台气氦能记录到远场大地震的发生, 但其可识别程度明显低于水位及水温资料。

3 数字化水位、水温同震响应特征

对数字水位仪、水温仪入库数据的原始图像进行分析, 结果显示云南共有 39 口水位观测井的 45 台(套)仪器、16 口水温观测井的 20 台(套)仪器记录到了 2015 年 5 月 24 日尼泊尔 8.1 级地震的同震变化。记录到的资料有如下特征:

(1) 由图 3 可见, 震时水位、水温同震响应的变化形态有所不同, 水位同震响应变化形态主要有阶升、阶降及波动, 而水温同震响应变化形

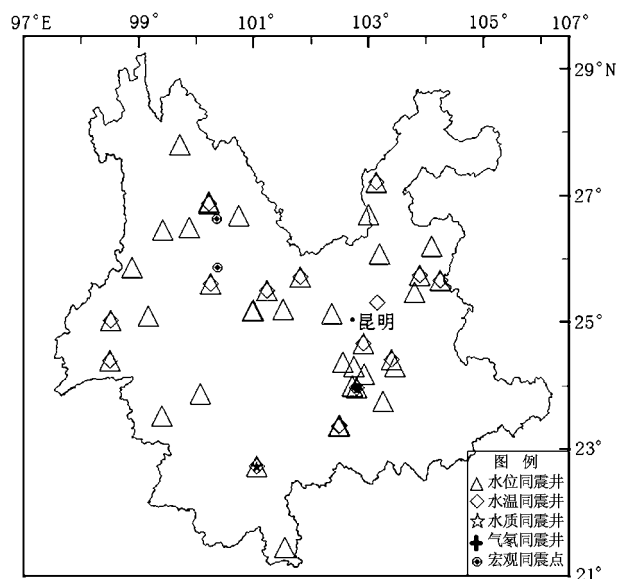


图 1 尼泊尔 8.1 级地震云南流体观测同震响应井分布图

Fig. 1 Distribution of fluid observation co-seismic response wells in Yunnan related to Nepal M8.1 earthquake

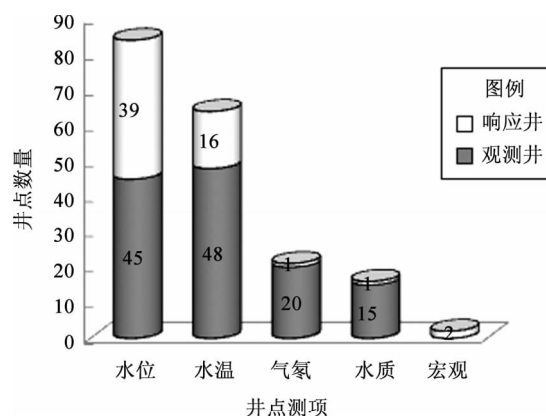


图 2 云南流体各测项同震响应统计图

Fig. 2 Statistics of the co-seismic response of each fluid observation items in Yunnan

态主要表现为上升或下降后恢复。

(2) 从表 2 统计的水位变化可以看出, 在 39 个水位测项中有 15 个测项为阶变 (阶升 11、阶降 4), 且以阶升为主, 其它 24 个测项为波动变化。不同水井记录的尼泊尔 8.1 级地震震时最大变化振幅、持续时间相差很大。阶变幅度 5 (兰坪) ~ 940 mm (怒江), 持续时间 4 (兰坪) ~ 540 min (曲靖), 波动幅度 1 (耿马) ~ 1 096 mm (昭通), 持续时间 2 (耿马) ~ 74 min (昆明) 不等 (图 4)。

表 2 云南数字化水位和水温尼泊尔 8.1 级地震的同震响应特征

Tab. 2 Co-seismic response characteristics related to Nepal M_s 8.1 earthquake which were recorded by digital water level and water temperature in Yunnan

井点名称	水位观测类型	井震距/km	水位			水温		
			响应形态	变化幅度/m	持续时间/min	响应形态	变化幅度/℃	持续时间/min
楚雄	动水位	1 710	阶升	0.11	45			
普洱	动水位	1 770	阶升	0.13	4	下降上升	0.011 3	40
勐腊	动水位	1 880	阶升	0.012	9			
保山	动水位	1 490	阶升	0.028	77			
弥勒	动水位	1 920	阶升	0.562	66	上升	0.002 9	54
玉溪	动水位	1 840	阶升	0.016	60			
迪庆	动水位	1 470	阶升	0.051	16			
临沧	动水位	1 620	阶升	0.037	7			
兰坪	动水位	1 470	阶升	0.005	4			
怒江	静水位	1 440	阶升	0.94	216			
曲靖	静水位	1 890	阶升	0.145	540			
沾益	静水位	1 920	阶降	0.037	148	下降上升	0.001 2	27
东川	静水位	1 850	阶降	0.012	35			
江川	静水位	1 860	阶降	0.023	107			
建水一中	静水位	1 870	阶降	0.129	77	下降	0.016 1	210
曲江	动水位	1 860	波动	0.039	19	下降上升	0.013 3	18
昆明小哨	动水位	1 660	波动	0.007	20			
丽江	动水位	1 540	波动	0.162	57			
昆明台	静水位	1 660	波动	0.263	74			
腾冲台	静水位	1 430	波动	0.054	60	上升下降	0.001 7	300
建水	静水位	1 870	波动	0.088	47	下降上升	0.074 6	91
下关	静水位	1 570	波动	0.040	22	上升	0.025	145
昭通	静水位	1 810	波动	1.096	52	上升下降	0.116 9	60
开远	静水位	1 930	波动	0.008	9			
澄江	静水位	1 860	波动	0.213	53	下降上升	0.051 3	93
姚安	静水位	1 680	波动	0.016	5	上升下降	0.003 7	87
泸西	静水位	1 930	波动	0.105	24			
高大	静水位	1 880	波动	0.005	16			
剑川	静水位	1 520	波动	0.004	3			
德宏	静水位	1 450	波动	0.729	60	下降上升	0.007	109
永胜	静水位	1 600	波动	0.078	55			
元谋	静水位	1 720	波动	0.012	3	上升下降	0.004 9	80
富民	静水位	1 790	波动	0.025	38	下降上升	0.007 9	305
华宁	动水位	1 870	波动	0.002	3			
耿马	静水位	1 580	波动	0.001	2			
富源	静水位	1 960	波动	0.058	50	下降上升	0.007 8	69
巧家毛椿林	动水位	1 810	波动	0.005	5			
宣威	静水位	1 930	波动	0.002	3			
丽江金甲井	静水位	1 540	波动	0.322	57			
寻甸	没有观测水位	1 830	/	/	/	下降上升	0.000 6	70

注：①水位阶变变化幅度及持续时间表示最大阶变幅度及达到最大阶变幅度持续的时间，波动变化幅度及持续时间是最大双振幅及波动起止持续的时间；②水温变化幅度及持续时间表示最大上升或下降幅度及上升或下降起始至恢复持续的时间。

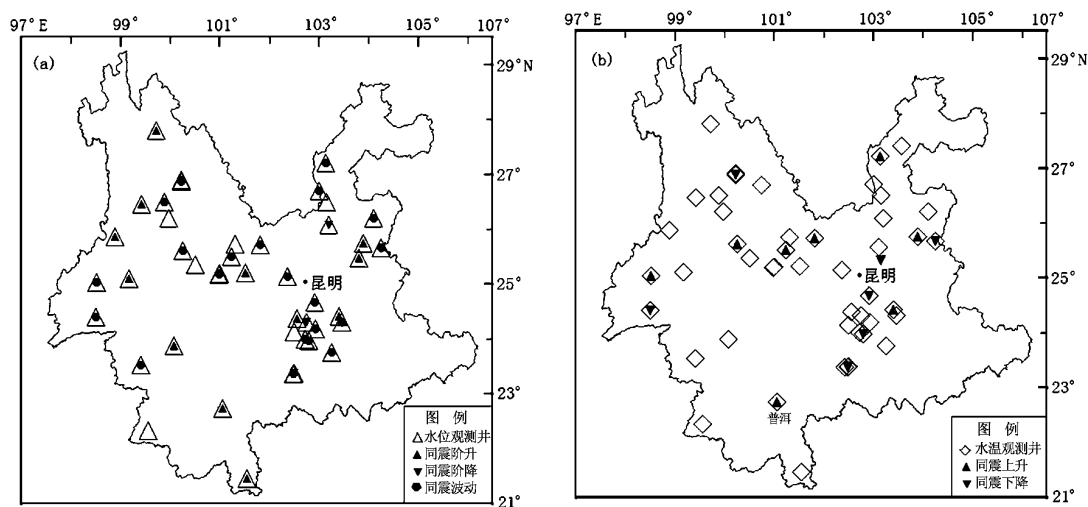


图3 水位 (a)、水温 (b) 观测井及同震响应井分布图

Fig. 3 Distributions of water level (a), water temperature (b) observation wells and co-seismic response wells

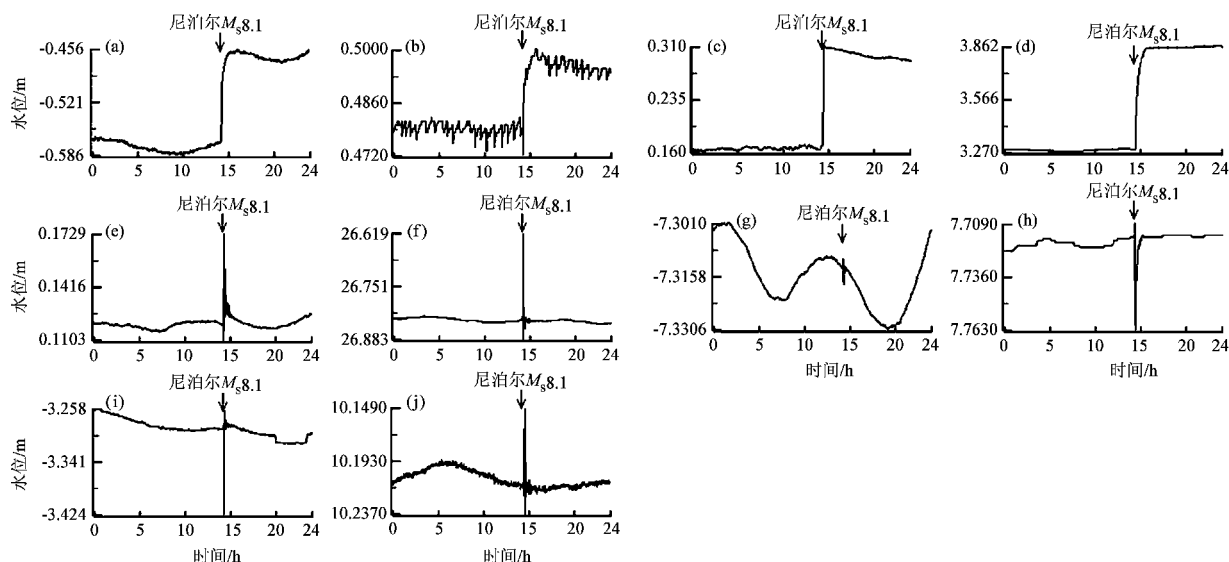


图4 部分水位震时响应曲线图

(a) 楚雄动水位; (b) 保山动水位; (c) 普洱动水位; (d) 弥勒动水位; (e) 曲江动水位; (f) 昆明台静水位; (g) 昆明小哨动水位; (h) 腾冲台静水位; (i) 丽江动水位; (j) 建水静水位

Fig. 4 Part of the water level response curves at the earthquake time

(a) Chuxiong dynamic water level; (b) Baoshan dynamic water level; (c) Puer dynamic water level; (d) Mile dynamic water level; (e) Qujiang dynamic water level; (f) Kunming station static water level; (g) Kunming Xiaoshao dynamic water level; (h) Tenchong station static water level; (i) Lijiang dynamic water level; (j) Jianshui static water level

由图5可见,用15个测项水位阶变和24个测项水位波动分别统计同震变化幅度与持续时间、震中距的关系,持续时间的长短与其最大振幅成正比,水位最大振幅越大,持续时间越长(除个别井外),而幅度变化与震中距没有统计关系。

(3) 由表2统计的水温变化可知,16个井水温测项中有8个测项为上升、8个测项为下降。不

同水井记录的尼泊尔8.1级地震震时最大变化振幅、持续时间也相差很大。最大双振幅0.006℃(寻甸)~0.1169℃(昭通),持续时间18(曲江)~305min(富民)不等(图6)。

由图7可见,用16个水温测项分别统计同震变化幅度与持续时间、震中距关系,均没有明显的统计关系。

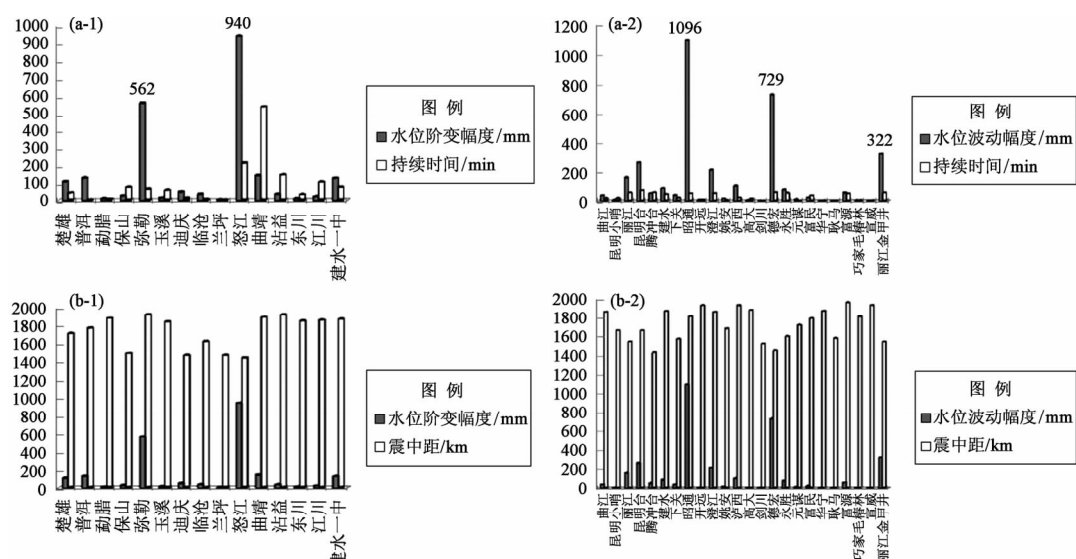


图5 水位变化幅度与持续时间 (a)、震中距 (b) 统计图

Fig. 5 Statistic between water level change amplitude and duration (a), epicenter distance (b)

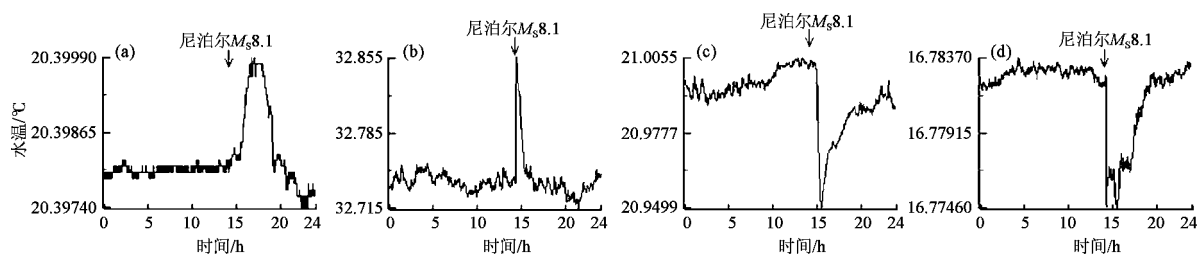


图6 部分水温震时响应曲线图

(a) 腾冲台; (b) 昭通; (c) 澄江; (d) 丽江

Fig. 6 Part of the water temperature response curves at the earthquake time

(a) Tengchong station; (b) Zhaotong; (c) Chengjiang; (d) Lijiang

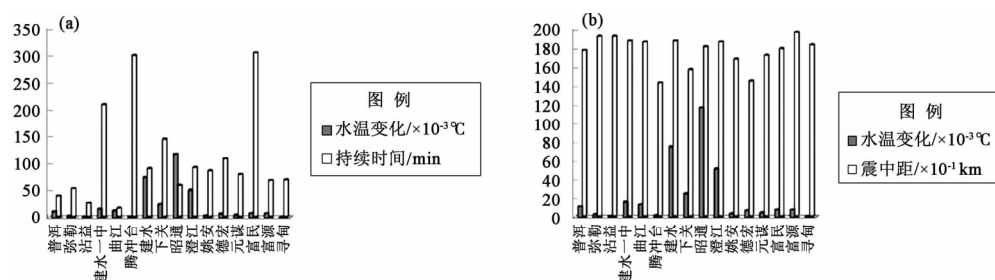


图7 水温变化幅度与持续时间 (a)、震中距 (b) 统计图

Fig. 7 Statistic between water temperature change amplitude and duration (a), epicenter distance (b)

(4) 2015年4月25日尼泊尔8.1级地震发生后,5月12日又发生了7.5级最大余震。由图8可见,同一套仪器记录的尼泊尔主震及强余震的水位、水温同震响应变化显示,曲线形态相似,且震级越大,同震响应幅度越大。昭通、德宏、建水、澄江、永胜5个水位井,昭通、德宏、丽江3个水温井记录到7.5级地震的同震响应分别占观测井的11%、

6%,即有同震响应井数量也较主震少。

(5) 尼泊尔地震发生时,6口水位井(曲江、小哨、弥勒、开远、澄江、高大)、4口水温井(普洱、下关、澄江、弥勒)有2种不同型号仪器并行观测水位、水温。由图9可见,同一井孔内不同型号仪器均有同步响应,仪器型号不同,其响应最大幅度及持续时间有明显差异。

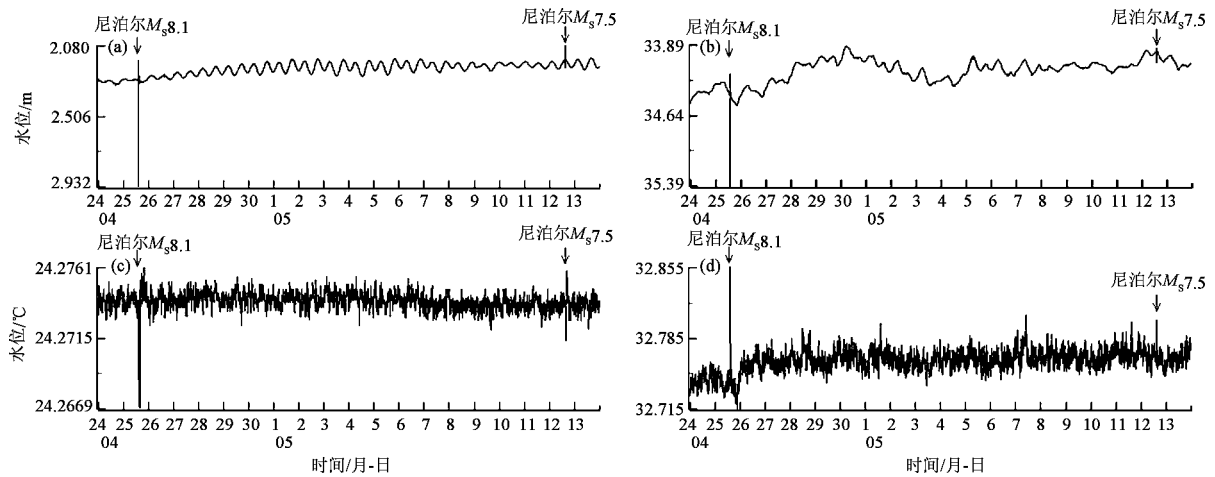


图 8 同一套仪器记录的主震及强余震的水位、水温同震响应曲线

(a) 德宏静水位; (b) 昭通静水位; (c) 德宏水温; (d) 昭通水温

Fig. 8 Co-seismic response curves of water level and water temperature of the main shocks and aftershocks recorded by the same observation instrument

(a) Dehong static water level; (b) Zhaotong static water level; (c) Dehong water temperature; (d) Zhaotong water temperature

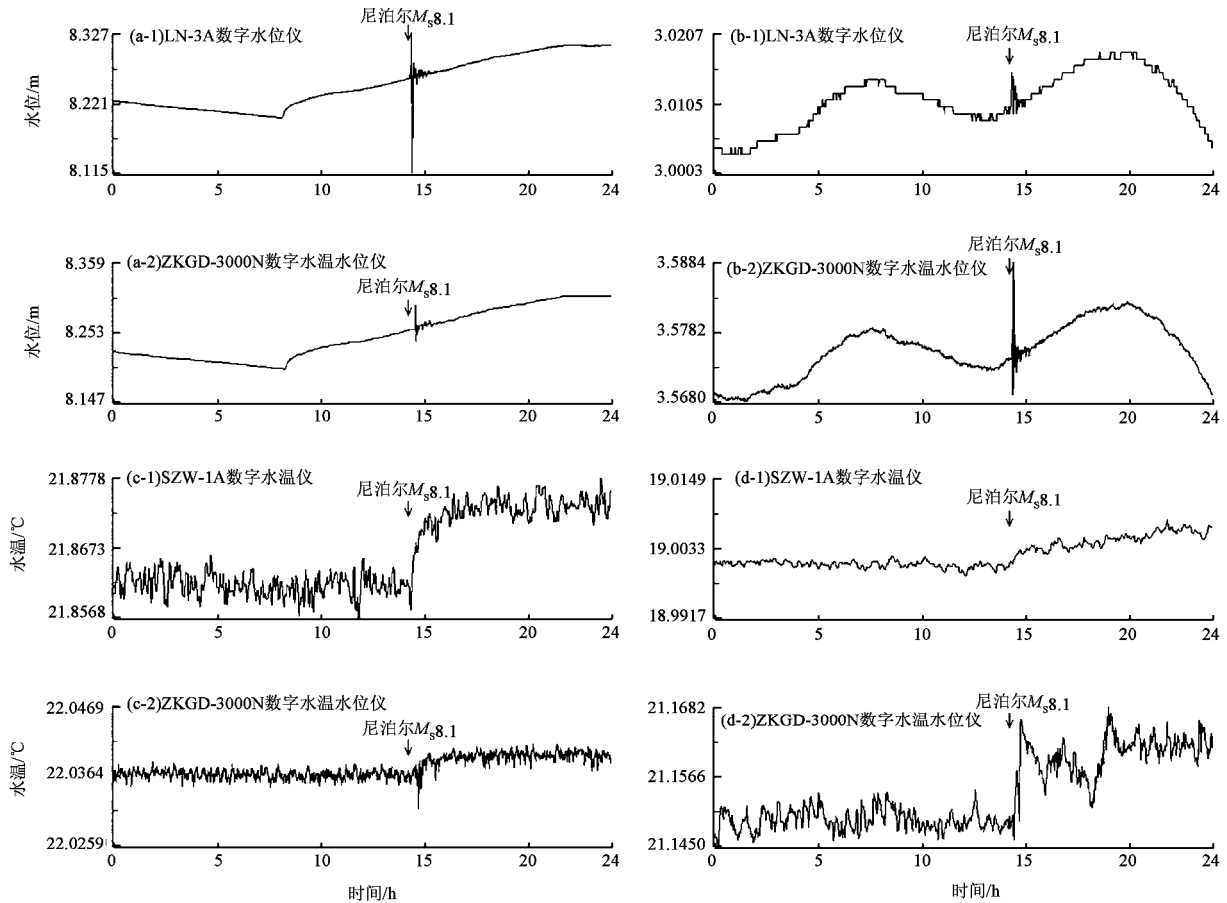


图 9 水位、水温同井 2 种不同型号仪器观测同震响应的同比例图

(a) 澄江静水位; (b) 高大静水位; (c) 普洱水温; (d) 弥勒水温

Fig. 9 The curves of water level and water temperature co-seismic response in same scale recorded by two different types of instruments in the same well

(a) Chengjiang static water level; (b) Gaoda static water level; (c) Puer water temperature; (d) Mile water temperature

(6) 尼泊尔8.1级地震发生时,16项水温同震响应中有15项与水位同震响应在同一口井(寻甸井有水温同震响应,但没有观测水位)(图1、表2),表明水温同震响应是与水位同震响应相关。

4 结论及认识

通过对尼泊尔8.1级地震在云南区域观测到的流体同震响应的分析研究,得到以下初步认识:

(1) 尼泊尔8.1级地震对云南地区的影响较大,引起了地震地下流体观测微观及宏观动态较显著的同震响应。数字化水位与水温对该大地震的记震能力明显要高于气氦和水质。分析其原因大致可能有几个方面:首先,受观测技术和观测方法的限制,目前气氦和水质的观测分别是整点值及日值,以这样的采样频率很难捕捉到迅速经过井-含水层系统的地震波所引起的地壳介质的瞬时动态变化;其次,气氦、水质等化学量的变化并非由单纯的应力-应变的扰动所引起,其变化受多种因素的控制,地震波引起气氦与水质的微变化以目前的观测精度还无法记录到;再者,气氦与水质观测手段,其干扰因素相对较多,这就会对同震响应或异常变化的提取造成很大程度的影响(孙小龙,王博,2008)。

(2) 水位同震响应的比例为87%,水温同震响应的比例为33%,表明云南水位与水温观测对高频地壳动力作用有较强的响应能力,且水位的记震能力强于水温。水位、水温记录最大强余震同震响应井比例分别为11%、6%,说明水位与水温的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,也可说具有同震响应的井点数越多,这与杨竹转等(2005)提出的观点相一致。

(3) 不同井水位、水温同震响应最大振幅、持续时间相差很大,水位以振荡和阶变上升为主,水温则表现为上升或下降后缓慢恢复的变化形态。不同的观测井对远场大震具有不同的响应特征,这主要与观测井自身的水文地质背景有关(刘成龙等,2009)。

(4) 对同一井孔内水位、水温记录的主震及最大余震的同震响应变化显示,震级越大,同震响应幅度越大,但形态相似。

对同一井孔内水位、水温不同型号仪器均可记录到同步响应,但仪器型号不同,其响应最大幅度及持续时间有明显差异。

单一观测井对不同地震有着比较一致的记震形态,且响应幅度除观测仪器外,主要与远场地震的震级有一定的关系(刘成龙等,2009)。

(5) 有水温同震响应的井中均有水位同震响应。井水位与井水温同震响应是密切相关的,井水温的同震响应多由井水位的同震响应引起,其主要原因为井水位振荡时井筒内上下水混合作用(鱼金子等,2012)。

参考文献:

- 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1):119-125.
- 廖丽霞,王玫玲,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.
- 刘成龙,王广才,张卫华等.2009.三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,31(2):188-194.
- 孙小龙,王博.2008.小江断裂带地下流体记震能力分析[J].华南地震,28(4):18-26.
- 晏锐,黄辅琼.2009.黄骅井水位对苏门答腊5次地震的同震响应初步研究[J].中国地震,25(3):325-332.
- 杨竹转,邓志辉,刘春国等.2008.中国大陆井水位与水温动态对汶川 M_s 8.0地震的同震响应特征分析[J].地震地质,30(4):895-905.
- 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.2005.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[J].地震,32(1):59-69.
- 中国地震局监测预报司.2005.2004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,131-258.

Analysis on Coseismic Response Characteristic of Underground Fluid Related to Nepal *M*8.1 Earthquake in Yunnan

ZHANG Li, LUO Ruijie, GAO Wenfei, SU Youjin, QIAN Xiaodong, MAO Yan

(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

The coseismic responses of underground fluid in Yunnan related to Nepal *M*8.1 earthquake were made statistical, and its characteristic was also analyzed. The results showed that Nepal *M*8.1 earthquake had great impact on Yunnan region, where the significant coseismic responses appeared in both the macro and micro dynamics fluid data. The recording earthquake ability of water level and water temperature related to Nepal *M*8.1 earthquake is higher than that of water radon and water quality. The maximum amplitude and duration of the co-seismic response recorded by water level and water temperature had great difference in different wells, and the tendency of water level mainly showed fluctuations and ascending order, and the tendency of water temperature showed rise or drop – recovered. According to the recordings of main shock and the largest aftershock, the greater magnitude of the earthquake, the higher proportion of the coseismic responses. Meanwhile, the larger of the amplitude of coseismic responses, the longer of the duration in the same well. The coseismic amplitude and duration measured by different instruments were different in the same well. The coseismic responses of water temperature were also appeared in all wells where the coseismic responses of water level, which indicated that there is an important relation of coseismic responses between water level and water temperature, and most of the coseismic response of water temperature was caused by the coseismic response of water level.

Key words: Nepal *M*8.1 earthquake; Yunnan underground fluid; coseismic response; abilities of recording earthquake