

云南思茅大寨井水位地震同震响应特征分析*

毛巍颖

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 对1988—2017年云南思茅大寨井水位不同震级、不同震中距地震的同震响应分析,发现思茅大寨井水位具有较好的地震响应能力,不仅对台站附近10 km范围内的3~4级近震有响应,对云南及周边地区7级以上地震和震中距大于2 000 km的8级以上地震也具有响应能力。研究发现,长期以来,大寨井水位对地震的响应一直保持为同震阶变的上升模式,不受震源机制、发震构造等因素影响。大寨井水位对不同震级地震出现同震响应所对应的震中距分别为:5.0~5.9级地震120 km、6.0~6.9级地震300 km、7.0~7.9级地震700 km、8.0~8.9级可达3 000 km。

关键词: 思茅大寨井; 井水位; 同震响应; 阶变上升; 云南

中图分类号: P315.723 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2018)04-0577-06

0 引言

井水位同震响应现象已引起众多学者的关注(付虹等,2002;晏锐,黄辅琼,2009;车用太等,2014;刘成龙等,2009;陈玲等,2009;胡小静等,2016;张立等,2016),国内外关于井水位的同震响应研究,也取得了很多成果。Elkhoury等(2006)认为,井水位同震响应主要有2种机制,即静态应变和动态应变。静态应变是指地震发生过程中断层滑动产生的应变,其影响范围较小,主要位于近场范围(1~3倍断层破裂尺度);动态应变是地震波传播引起的应变,它通过改变含水层介质参数来引起同震水位变化,动态应变的影响范围较大(包括远场范围)。

针对我国大陆井水位观测资料的研究也很多,如Zhang等(2016)利用辽宁阜新井研究了同震水位与体应变之间的关系;Lai等(2016)研究了四川泸沽湖井水位的同震响应,认为渗透率变化是引起同震响应的主要原因;Liao等(2015)研究了汶川8.0级地震引起的四川江油井水位同震响应特征,认为大地震能打破隔水层是导致井水位同震大幅变化的主要原因。从以上研究可以看出,井水位的同震响应是复杂的,所以不同的研究提

出了不同的机理。以往学者更多去研究同震响应特征和现象,对更深刻地认识水位的同震响应无疑是有益的。思茅大寨井是云南记录同震响应最多的井,杨竹转等(2005)对1990—2003年该井的阶升现象进行研究,得到了一些有益的认识。2003年至今,该井附近又发生了多次5~6级地震,利用更长时间尺度的资料,对该井的同震响应现象进行进一步认识和研究,增加研究样本,提高资料的可信度。

1 观测井概况和资料选取

1.1 井孔观测概况

云南思茅大寨井位于普洱市思茅区依象盆地中偏南部NW向的依象逆断裂上,其井孔构造如图1所示。该井于1984年1月开始水位观测,动水位能记录到井潮效应及水震波,最大潮差2 cm,水位受降水干扰较大,具有雨季高、旱季低的动态特征(图2)。

1.2 资料的选取和分析方法

本文选取1988—2017年(20°~30°N, 97°~105°E)范围内 $M \geq 5.0$ 地震共47个,其中5.0~5.9级38个,6.0~6.9级8个,7.0级以上级地震1个,以及大寨井附近200 km内的4.0~4.9级

* 收稿日期: 2018-06-19.

基金项目: 国家自然科学基金(U1602233)和中国地震局三结合课题(CEA-JC13JH-172504)联合资助.

地震共 93 个, 查找这些地震是否引起思茅大寨井的同震响应。在此基础上, 笔者重新对 1988—2017 年该井记录的观测曲线出现的所有阶变进行了识别, 对这些阶升, 在排除降雨干扰后, 将其与云南 $M \geq 4.0$ 地震、全国 $M \geq 6.0$ 地震和全球 $M \geq 7.0$ 地震的发震时间进行对比, 用时间的相关性来确认地震的同震响应。

2 同震响应特征分析

2.1 同震响应特征

对 1988—2017 年思茅大寨井的水位资料进行全时段的分析, 发现共出现同震响应的阶升 27 次 (表 1), 思茅大寨井对部分地震的同震响应见图 3。

2.2 同震响应特征分析

从表 1 可知, 思茅大寨井水位所有的同震响应均为阶升, 和杨竹转等 (2005) 得到的结果完全一致。该井对 4.0 ~ 4.9 级地震有 2 次同震响应, 震中距分别是 30 km 和 4 km。1988—2017 年, 距离大寨井 5 km 范围内共发生 $M \geq 3$ 地震 2 次, 其中 1 次有同震响应的是 2014 年景洪 4.6 级地震, 1 次无同震响应的是 1988 年思茅 3.1 级地震。目前的记录表明思茅大寨井水位可能只对 $M \geq 4.0$ 地震有同震响应。距离大寨井 5 km 范围内的 3 ~ 4 级地震同震响应率较高, 而扩展到 10 km 以上的 3 ~ 4 级地震基本没有同震响应。

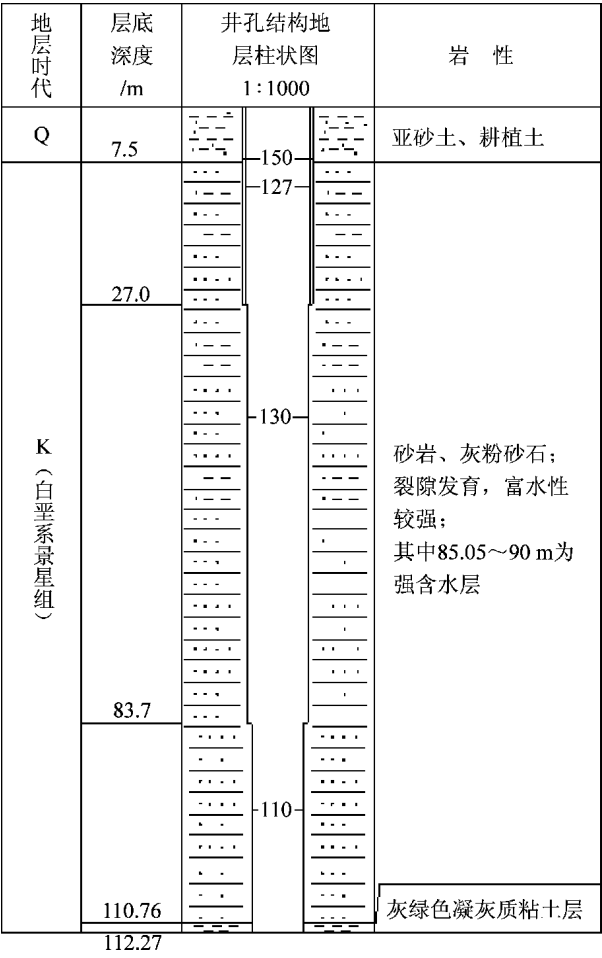


图 1 思茅大寨井井孔柱状图
Fig. 1 The Geological profile map of Simao Dazhai Well

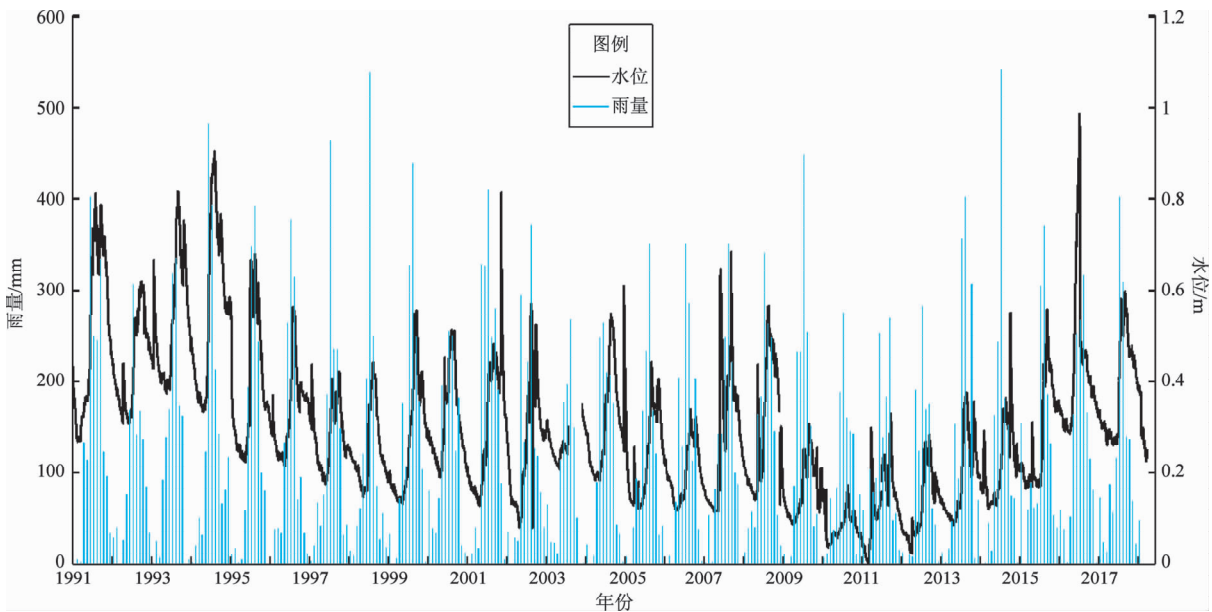


图 2 思茅大寨水位日均值曲线和月降雨量图
Fig. 2 The daily mean curve of water level of Simao Dazhai Station and monthly raining

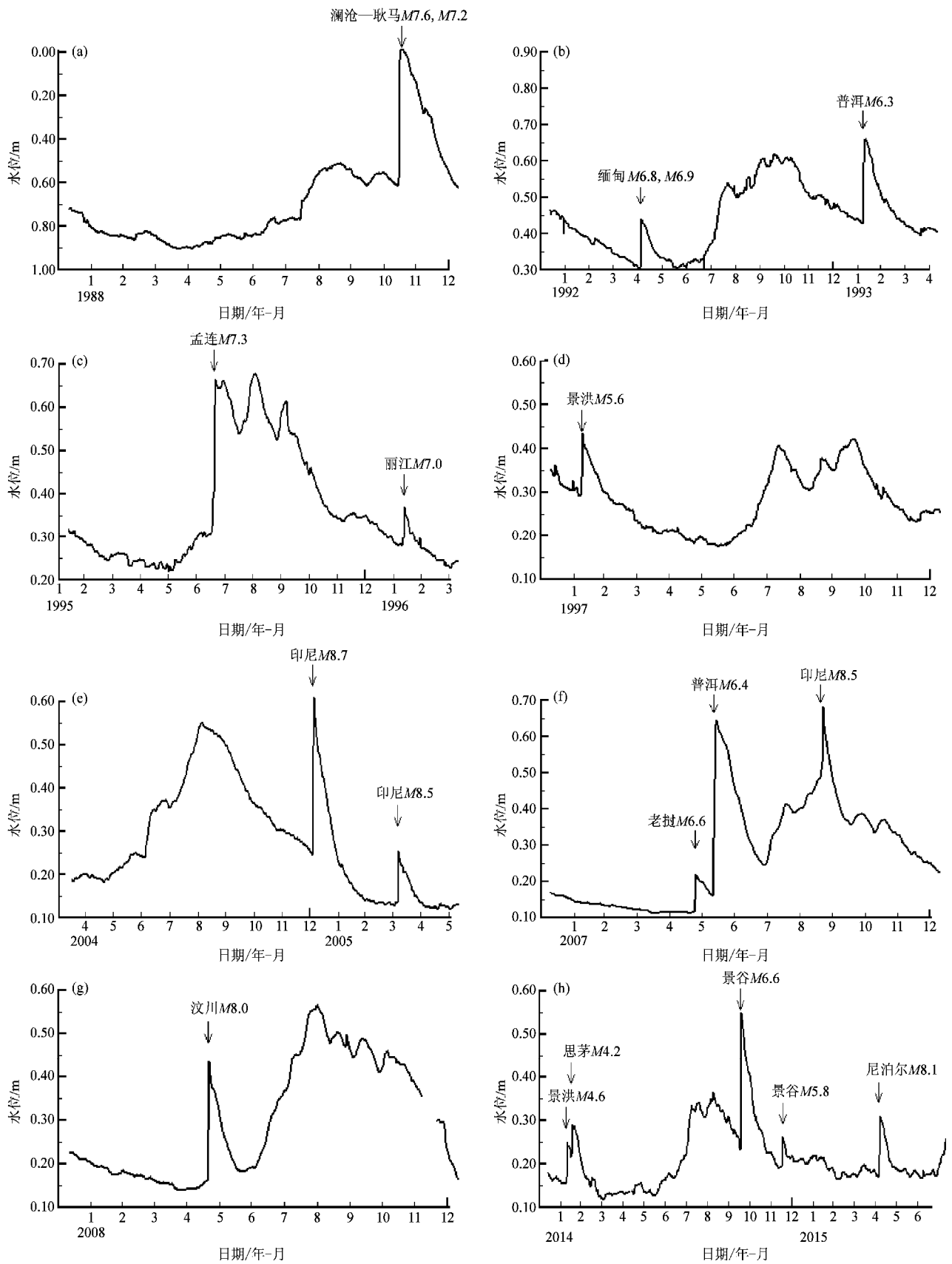


图3 思茅大寨井对部分地震同震响应图

Fig. 3 Some coseismic response samples of water level in Simao Dazhai Well

表 1 思茅大寨水位同震响应一览表
Tab. 1 Coseismic response of water level of Simao Dazhai Well

序号	震级范围	发震日期	地名	震级	震中与观测井 距离/km	同震阶变 幅度/m	同震阶 变特征
1	4.0~4.9	2014-01-28	云南景洪	4.6	30	0.099	上升
2	4.0~4.9	2014-02-05	云南思茅	4.2	4	0.069	上升
3	5.0~5.9	1990-01-27	云南双江	5.0	120	0.025	上升
4	5.0~5.9	1997-01-30	云南景洪	5.6	60	0.121	上升
5	5.0~5.9	2014-12-06	云南景谷	5.8	90	0.064	上升
6	6.0~6.9	1992-04-23	中缅边境	6.7, 6.8	200	0.132	上升
7	6.0~6.9	1993-01-27	云南普洱	6.3	23	0.234	上升
8	6.0~6.9	2000-01-15	云南姚安	6.5	300	0.02	上升
9	6.0~6.9	2007-05-16	老挝	6.6	240	0.034	上升
10	6.0~6.9	2007-06-03	云南普洱	6.4	36	0.473	上升
11	6.0~6.9	2014-10-07	云南景谷	6.6	100	0.289	上升
12	7.0~7.9	1988-11-06	云南澜沧—耿马	7.6, 7.2	170	0.571	上升
13	7.0~7.9	1991-01-05	缅甸曼德勒	7.6	560	0.106	上升
14	7.0~7.9	1995-07-12	云南孟连西	7.3	200	0.251	上升
15	7.0~7.9	1996-02-03	云南丽江	7.0	510	0.091	上升
16	7.0~7.9	2003-09-22	缅甸	7.2	690	0.099	上升
17	7.0~7.9	2011-03-24	缅甸	7.2	260	0.258	上升
18	7.0~7.9	2012-11-11	缅甸	7.0	510	0.063	上升
19	8.0~8.9	2001-11-14	昆仑山口西	8.1	1 840	0.398	上升
20	8.0~8.9	2004-12-26	印度尼西亚	8.7	2 180	0.365	上升
21	8.0~8.9	2005-03-29	印度尼西亚	8.5	2 300	0.115	上升
22	8.0~8.9	2007-09-12	印度尼西亚	8.5	3 000	0.165	上升
23	8.0~8.9	2008-05-12	四川汶川	8.0	950	0.277	上升
24	8.0~8.9	2012-04-11	印度尼西亚	8.6	2 430	0.07	上升
25	8.0~8.9	2015-04-25	尼泊尔	8.1	1 780	0.139	上升
26	9.0	2011-03-11	日本	9.0	4 300	0.023	上升

大寨井水位只对 3 次 5.0~5.9 级地震出现了同震响应,其中包括 2014 年景谷 6.6 级地震的 1 次 5.8 级余震。出现同震响应的地震中震中距最远为 120 km,而 120 km 范围内共发生 5.0~5.9 级地震 14 次,响应率仅为 21%。

对于 6.0~6.9 级地震,大寨井水位有同震响应的地震震中距基本都在 300 km 范围内,且 200 km 范围内的地震响应幅度较大,但响应幅度与震级和震中距呈不完全线性相关。如:1993 年和 2007 年的普洱 6.3 级和 6.4 级地震,震中距分别为 23 km 和 36 km,后者的同震响应阶变幅度是前者的 2 倍,而 2014 年景谷的 6.6 级地震距离大寨井 100 km,同震响应阶变幅度比 1993 年普洱 6.3

级地震高,似乎震级的因素更为重要。大寨井附近 200 km 内,对 1988—2017 年发生的 4 组 6.0~6.9 级地震都有同震响应,300 km 范围内的 7 组 6.0~6.9 级地震中,只对 1989 年 5 月 7 日耿马 6.3 级地震没有同震响应。300~500 km 范围内,云南还先后发生了 1995 年武定 6.5 级、1998 年宁蒗 6.2 级、2001 年永胜 6.0 级,2003 年大姚 6.2 级和 6.1 级、2009 年姚安 6.0 级、2014 年盈江 6.1 级、鲁甸 6.5 级地震等,研究表明,大寨井水位对震中距大于 300 km 的 6.0~6.9 级地震基本没有同震响应,或响应很微弱。

大寨井水位对 7.0~7.9 级地震的响应范围在 700 km 内,记录到最远的有同震响应的 7.0~7.9

级地震是2003年9月22日的缅甸7.2级地震, 响应幅度最大的是距离大寨井最近的1988年澜沧—耿马7.6, 7.2级地震。但同震响应的幅度与震级不是完全线性相关, 如1995年孟连西7.3级地震震中距200 km, 2011年的缅甸7.2级地震震中距260 km, 缅甸7.2级地震震中距更大, 但同震响应阶变幅度却更大。同样的, 距离大寨井510 km的1996年丽江7.0级和2012年的缅甸7.0级地震相比, 震级相同, 震中距更大的丽江地震的同震响应阶变幅度更大。总体上, 大寨井水位对300 km范围内的地震响应幅度比300 km以上地震的大很多。

1988—2017年, 大寨井水位同震响应最远的地震是2011年3月11日的日本9.0级地震, 震中距为4 300 km。其对2 000 km以内的8.0级地震和3 000 km内的8.5级地震都有响应, 同样的, 同震阶变幅度与震级和震中距不完全相关, 如2005年3月印度尼西亚8.5级地震震中距2 300 km, 同震阶变幅度为0.115 m, 2007年9月印度尼西亚8.5级地震震中距3 000 km, 同震阶变为0.165 m, 震中距越大的同震阶变幅度反而更大。

3 结论

研究地下流体同震响应是揭示地壳介质对应力—应变响应的最直接、有效的手段, 其中, 井水位的同震响应较为复杂, 不同的研究对象得到的响应机理各不相同。本文选择云南思茅大寨井30年的观测数据, 依照一定原则对观测数据进行筛选、收集、分析, 详细研究不同震级、不同震中距的同震响应特征。利用更多的数据资料分析该井的同震响应现象, 不仅可检验之前的研究结果, 还可以提供更多的观测事实, 为减轻次生灾害提供基础依据。通过统计分析该井水位同震变化趋势, 主要得到以下结论:

(1) 1988—2017年, 大寨井水位对26次地震有同震响应, 同震响应阶变特征均为阶变上升, 且该同震响应模式不受震源机制、发震构造等因素影响。

(2) 在大寨井水位26次同震上升阶变中, 阶变上升幅度达10 cm以上的共有15次地震。其中1988年11月6日云南澜沧—耿马7.6, 7.2级地震

对思茅井水位产生的同震阶变幅度为57.1 cm, 是大寨井记录到的最大同震阶变。地震震中距越小, 同震响应幅度也更大, 但不完全是线性相关。

(3) 大寨井水位对4级以上近震会出现明显同震响应现象。对于震中距大于2 000 km, 且小于3 000 km的8.5级以上特大地震或巨震都会有同震响应。

(4) 大寨井水位对主震和强余震均可记录到同震响应。

(5) 震中距对大寨井水位同震响应有明显影响。大寨井水位对云南地区甚至滇西南地区震中距大于30 km的4级以上地震一般不会出现同震响应, 但对震中距30 km范围内, 特别是10 km范围内的3.0~4.0级地震都可能出现同震响应。大寨井水位对滇西南地区部分5.0~5.9级地震有同震响应, 但响应率相对较低, 但对滇西南地区的6.0~6.9级地震响应较为显著, 阶变幅度可达10 cm以上, 100 km内的阶变幅度均在20 cm以上。此外, 大寨井水位对滇西南300 km内的6.0~6.9级地震也可能出现同震响应现象。

(6) 可能引起大寨井水位出现同震响应的相应的震级所对应的震中距分别为: 5.0~5.9级地震对应震中距120 km、6.0~6.9级地震对应震中距300 km、7.0~7.0级地震对应震中距600 km、8.0~8.9级地震对应震中距3 000 km。

本文在撰写过程中, 得到云南省地震局付虹研究员、崔庆谷博士的悉心指导, 在此表示衷心感谢!

参考文献:

- 车用太, 李万明, 刘成龙, 等. 2014. 金沙江水网地下水动态在彝良5.7地震前的异常及其特征[J]. 地震, 34(1): 104–111.
- 陈玲, 高小其, 朱成英, 等. 2009. 新疆地区地下水位同震及震后效应的研究[J]. 华南地震, 29(3): 43–55.
- 付虹, 刘丽芳, 王世芹, 等. 2002. 地方震及近震地下水同震震后效应研究[J]. 地震, 22(4): 55–64.
- 胡小静, 付虹, 毕青. 2016. 基于年降水干扰排除的云南地区地下水位群体异常研究[J]. 地震研究, 39(4): 545–552.
- 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.
- 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, 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 – 575.
- 张立, 罗睿洁, 高文斐, 等. 2016. 云南地下流体对尼泊尔 8.1 级地震的同震响应特征分析[J]. 地震研究, 39(4): 537 – 544.
- Lai G, Jiang C, Han L. 2016. Co – seismic water level changes in response to multiple large earthquakes at the LGH well in Sichuan [J]. Chin. Tectonophysics, 679(4): 211 – 217. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.04.047>.
- Zhang Y, Wang C Y, Fu L Y. 2016. Mechanism of the Coseismic Change of Volumetric Strain in the Far Field of Earthquakes[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 107(1) doi: 10.1785/0120160253.
- Elkhoury J E, Brodsky E E, Agnew D C. 2006. Seismic waves increase permeability[J]. Nature, 441(7097): 1135 – 1138. doi: 10.1038/nature04798.
- Liao X, Wand C Y, Liu C P. 2015. Disruption of groundwater systems by earthquakes[J]. Geophysical Research Letters, 42(22): 9758 – 9763. doi: 10.1002/2015GL066394.

Coseismic Response Characteristics of Water Level in Simao Dazhai Well, Yunnan

MAO Weiyang

(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Based on the coseismic response of water level at Simao Dazhai well in Yunnan province to earthquakes with different magnitudes and epicentral distances from 1988 to 2017, we found that the water level at Simao Dazhai well has shown good coseismic response to certain earthquakes, which include $3 \leq M \leq 4$ earthquakes within 10 km from the well, $M \geq 7$ earthquakes in Yunnan and its adjacent area, and $M \geq 8$ earthquakes beyond 2 000 km from the well. The coseismic responses of water level in Dazhai Well shows uplift with steps since 1988, which is not affected by focal mechanism and seismogenic structure. The epicentral distances corresponding to coseismic response of water level in Dazhai well to $M5.0 \sim 5.9$, $M6.0 \sim 6.9$, $M7.0 \sim 7.9$, $M8.0 \sim 8.9$ earthquakes are 120 km, 300 km, 700 km, 3 000 km respectively.

Keywords: the Simao Dazhai Well; water level; coseismic response; uplift with steps; Yunnan