

东大什井水位对近场中强震 和远场大震的同震响应 特征分析

张璇, 卢燕红, 王铁岩, 陈卓

吉林省地震局, 吉林 长春

收稿日期: 2023年11月27日; 录用日期: 2024年1月9日; 发布日期: 2024年1月22日

摘要

本文收集整理了东大什井水位在2011~2020年间近场中强震和远场大震的同震响应变化, 分析其变化特征, 并结合东大什井周边区域构造概况, 探讨其成因机理。结果表明, 东大什井水位对远场大震和近场中强震有响应能力, 分别表现为阶降和振荡两种响应形态, 地震的地震能量密度、震中距都会对水位波动的持续时间和变化幅度产生影响。东大什井水位同震变化或与查干泡 - 道子井断裂带的活动存在联系, 这对松原地区地震的发震构造判断具有一定的指示意义。

关键词

地震预报, 地下流体, 同震响应

Analysis of Coseismic Response Characteristics of Dongdashi Well Water Level by Near-Fault Moderate-Strong Earthquakes and Far-Fault Large Earthquakes

Xuan Zhang, Yanhong Lu, Tiejian Wang, Zhuo Chen

Jilin Earthquake Agency, Changchun Jilin

Received: Nov. 27th, 2023; accepted: Jan. 9th, 2024; published: Jan. 22nd, 2024

文章引用: 张璇, 卢燕红, 王铁岩, 陈卓. 东大什井水位对近场中强震和远场大震的同震响应特征分析[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(1): 46-52. DOI: 10.12677/ag.2024.141005

Abstract

This paper collects and organizes the coseismic response changes in the water level of Dongdashi Well by near-fault moderate-strong earthquakes and far-fault large earthquakes from 2011 to 2020, analyzes their characteristics and combines with the structural overview of the surrounding area of Dongdashi Well to explore the genesis mechanism. The results show that the water level of Dongdashi Well has the ability to respond to far-fault large earthquakes and near-fault moderate-strong earthquakes, and shows two response forms: step down and oscillation. The earthquake energy density and distance from epicenter will both affect the duration and amplitude of water level fluctuations. Coseismic changes in water level in Dongdashi Well may be related to the activity of the Changpao-Dozijing fault zone, which has certain indicative significance for the determination of seismic structures in the Songyuan area.

Keywords

Earthquake Prediction, Underground Fluids, Coseismic Response

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地下流体监测是地震前兆监测的重要手段，地震时的应力能够瞬间改变地壳介质状态，引起含水层中地下水的流动。水位变化[1]能较好地反映地震波作用过程及震源破裂过程中能量的释放。井水位的同震响应是揭示地壳介质对应力-应变过程响应直接、有效的手段之一[2] [3]。已有的研究表明，井水位同震响应形态主要为震荡和阶变[4]。同震响应幅度与井孔条件、含水层介质、地震波类型、周期、振幅等因素有关，受地震面波影响最为明显[5] [6] [7] [8]。同震响应的研究不仅有助于对地下流体前兆现象的认识和理解，还对于减轻次生灾害、追溯地震前兆、跟踪后续地震及研究地壳活动规律等都有一定的理论和实际意义[9]。缪阿丽等[10]研究发现，水位同震响应上升区可能是区域应力集中的一种体现，它对中长期尺度中强地震的发震地点具有一定的指示意义。兰双双等[11]认为，地下水位对远震的响应主要受地震波应力作用对含水层介质产生影响，近震则为区域构造应力和地震波应力的共同作用。

目前关于吉林省地下流体对中强震同震响应特征分析的研究较少，本文选择对地震波反映较为灵敏的东大什井，利用东大什井的水位分钟值数据，分别对近场中强震和远场大震发生时东大什井水位的同震响应情况进行分析，明确地下流体对地震监测的作用，探索其内在联系，为吉林省地震预报提供理论依据。

2. 台站背景资料

东大什井位于东北断块区松辽断陷带中央拗陷区内，松辽盆地断(拗)陷带是一个大型的中、新生代内陆断(拗)陷盆地，基底由古生代变质岩系组成。距离东大什井较近的断裂带分别为扶余(松原)-肇东断裂和查干泡-道子井断裂。

东大什井目前观测手段为水位及水温的观测，于2008年使用ZKGD3000地下水数据监测系统正式开始观测。观测井深250 m，其地下水主要赋存于第四系粉细砂、中粗砂和含砾中粗砂岩隙中，含水层

与井孔接触为白垩系四方台组，水位观测曲线平稳，能记录到固体潮。

3. 近场中强震响应分析

吉林省是少震弱震省，有记录以来未有 7.0 级以上浅源地震的相关记载。近十年间吉林省内发生的浅源中强震主要集中在松原地区(图 1)，包括 2013 年吉林前郭 5.8 级震群、2018 年 5 月 28 日吉林松原 5.7 级地震、2019 年 5 月 18 日吉林松原 5.1 级地震等。东大什井水位在吉林省内部分中强震发生时表现出明显的同震异常变化。

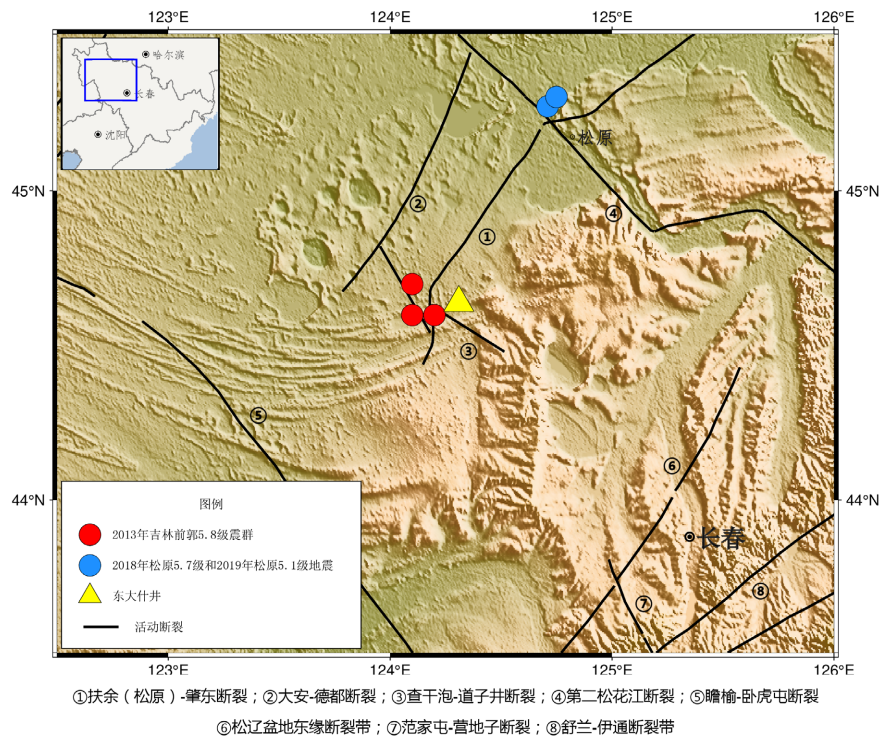


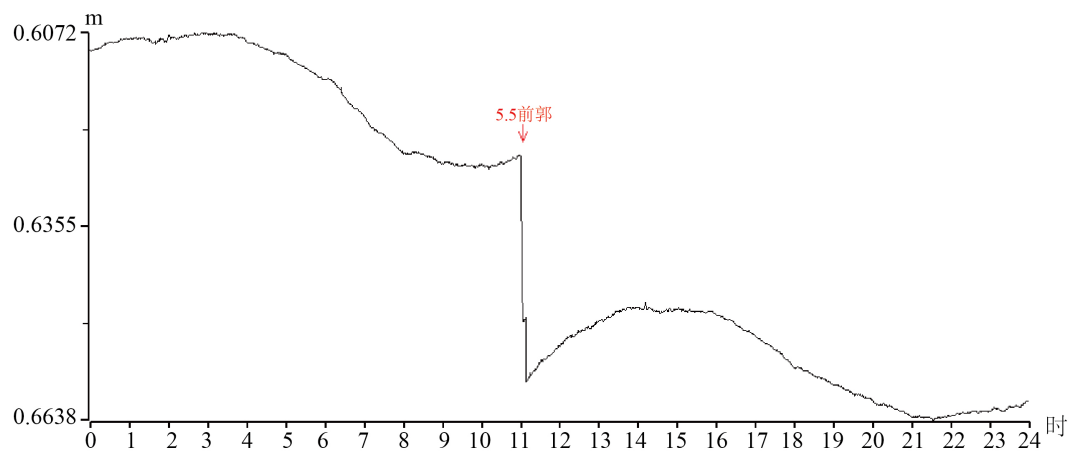
Figure 1. Distribution map of earthquakes with a magnitude of 5.0 or above in Songyuan area, Jilin Province from 2011 to 2020

图 1. 吉林省松原地区 2011~2020 年 5.0 级以上地震分布图

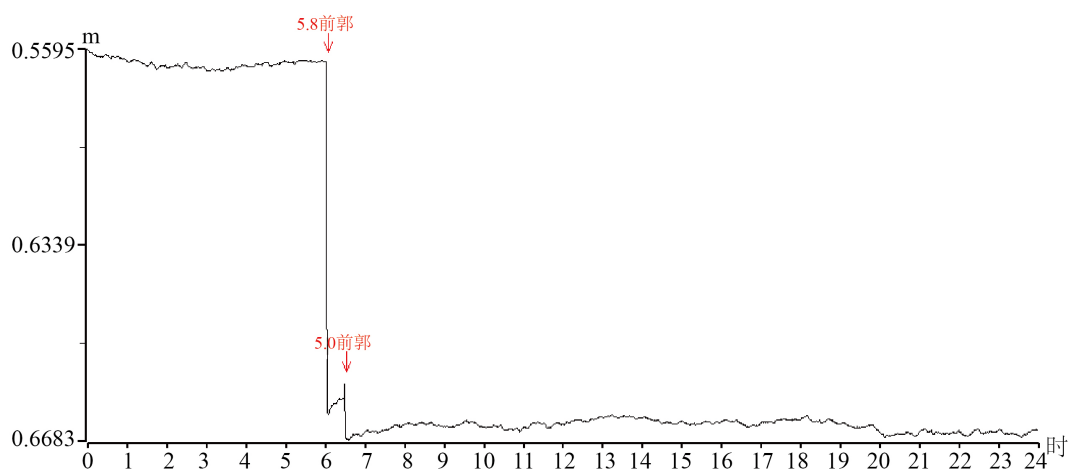
2013 年吉林前郭 5.8 级震群是由 2013 年 10 月 31 日吉林前郭 5.5 级地震、2013 年 11 月 22 日 5.1 级地震和 2013 年 11 月 23 日 5.8 级地震等多个中强地震组成。东大什井水位在多个地震都表现出阶降的变化形态，且多次阶降前后的水位数据曲线走势均未发生明显改变，仍保留原来的变化趋势，但不同震级对应的水位阶降幅度有所差异。其中，震级较大的 10 月 31 日 5.5 级地震东大什井水位下降约 0.0242 m，11 月 23 日 5.8 级地震水位下降约 0.0613 m，表现出明显的震级越大阶降幅度越大的响应特征(图 2)。

2018 年 5 月 28 日吉林松原 5.7 级地震和 2019 年 5 月 18 日吉林松原 5.1 级地震震中位置位于吉林省松原市宁江区，相较于 2013 年吉林前郭 5.8 级震群，东大什井所在位置距离 2018 年和 2019 年两次地震震中更远。两次地震东大什井水位都表现出水震波形态的同震变化，震级较高时水位的水震波振幅也较大(图 3、图 4)。

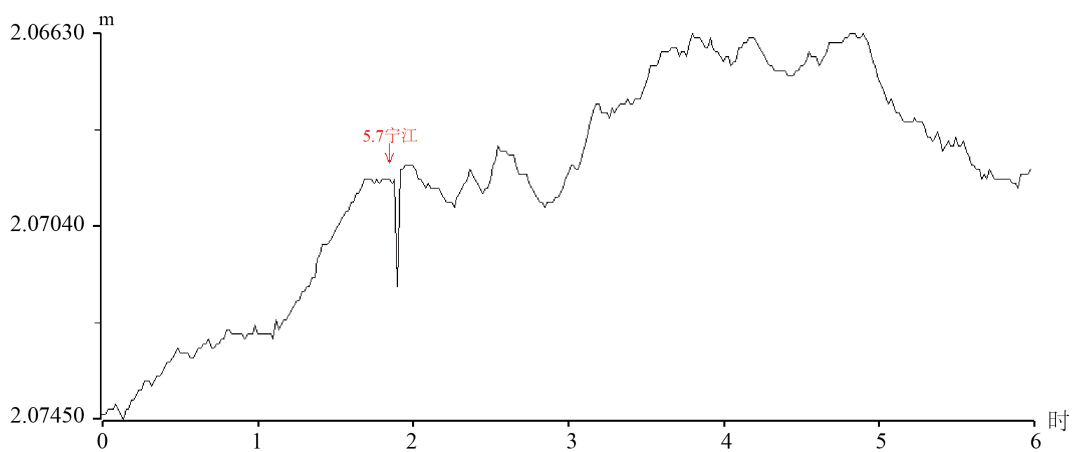
2013 年松原地区发生的 5.0 级以上地震都伴随有东大什井水位不同程度的阶降，认为这与地震造成的含水层孔隙度变化、应力改变等因素有直接联系。据前人研究，2013 年震群较大地震基本上以逆冲兼



(a) 2013年10月31日



(b) 2013年11月23日

Figure 2. Water level of Dongdashi Well in the 2013 Jilin Qianguo 5.8 magnitude earthquake swarm**图 2.** 2013年吉林前郭5.8级震群东大什井水位**Figure 3.** Water level of Dongdashi Well on May 28, 2018**图 3.** 2018年5月28日东大什井水位

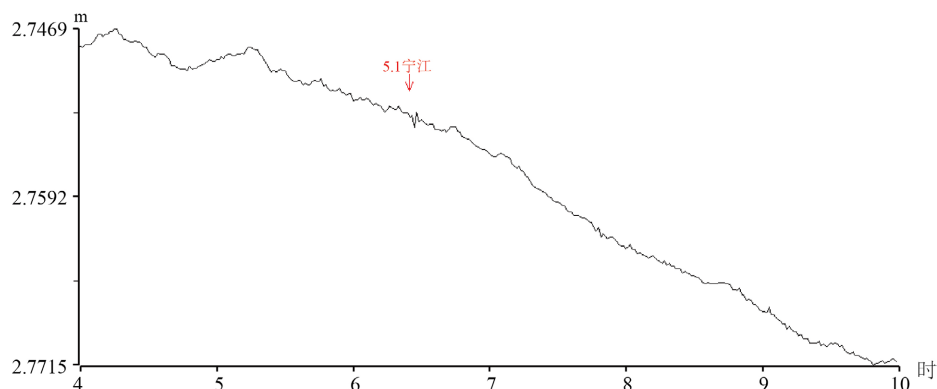


Figure 4. Water level of Dongdashi Well on May 18, 2019

图 4. 2019 年 5 月 18 日东大什井水位

走滑的破裂方式为主，且 NW 向查干泡 - 道子井断裂为发震断层的可能性更大。东大什井正处于扶余 - 肇东断裂与查干泡 - 道子井断裂的交汇位置，2013 年地震时水位的多次阶降或能证明东大什井水位可以反映查干泡 - 道子井断裂带的活动情况。而 2018 年松原 5.7 级和 2019 年松原 5.1 级地震震中处于扶余 - 肇东断裂和第二松花江断裂的交汇部位，距离东大什井相对较远，水位同震表现为振荡形态，也侧面说明东大什井所处构造环境与这两次地震发震构造存在直接联系的可能性较小。东大什井水位的同震变化或对吉林松原前郭的地震活动有一定的指示意义。

3. 远场大震响应分析

本次对照 2011~2020 年全球地震目录，梳理了对应时段东大什井水位数据，发现多次远大地震发生时东大什井水位出现明显同震变化。本次研究选取全球 8.0 级以上地震中东大什井水位同震响应较为明显的 5 个地震进行具体分析(图 5)。

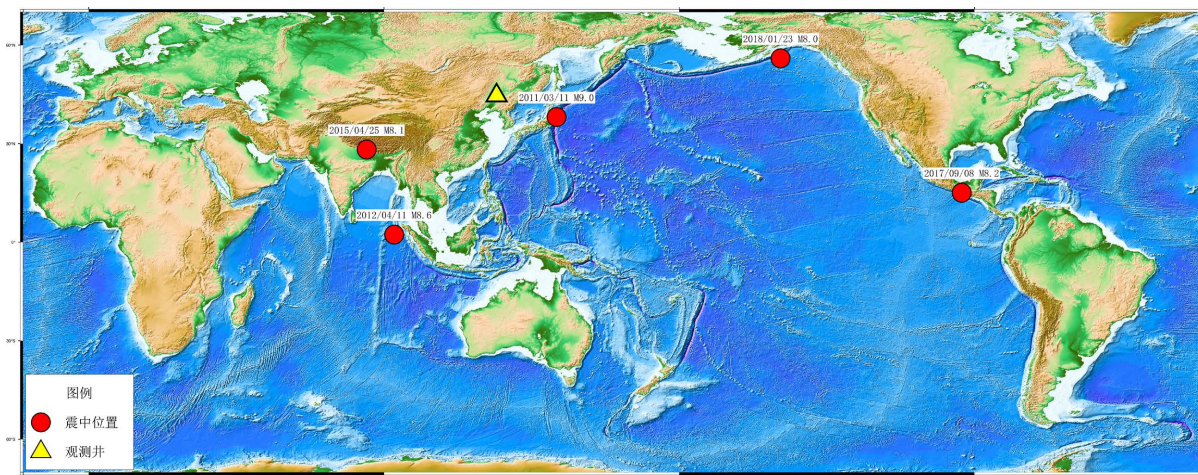


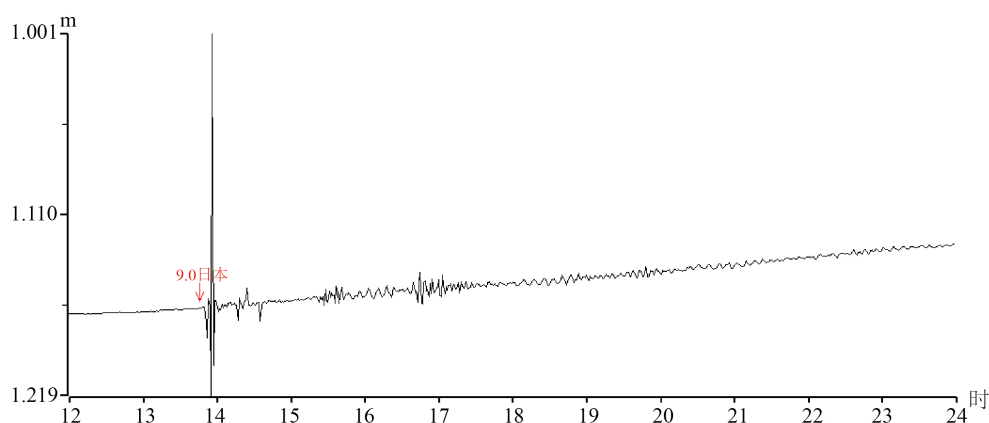
Figure 5. Global epicenter location map of earthquakes with a magnitude of 8.0 or above recorded by Dongdashi Well

图 5. 东大什井记录到的全球 8.0 级以上地震震中位置图

东大什井水位对远场大震的响应形态皆表现为振荡型，初动方向存在差异(表 1)。在震源深度和震级一致的情况下，水位波动的持续时间与变化幅度呈反比，表现出震中距离越近，则水位波动持续时间越短，变化幅度越大的特征。

Table 1. Coseismic change table in water level of Dongdashi Well**表 1.** 东大什井水位同震变化情况表

参考地点	发震时间	经度 (°)	纬度 (°)	震源深度 (km)	震级 (M)	震中距 (km)	持续时间 (min)	初动方向	响应形态	变化幅度 (m)
日本本州东海岸附近海域	2011-03-11	142.60	38.10	20	9.0	1682	8	向下	振荡型	0.2181
苏门答腊北部附近海域	2012-04-11	93.10	2.30	20	8.6	5646	22	向下	振荡型	0.0133
尼泊尔	2015-04-25	84.70	28.20	20	8.1	3943	11	向下	振荡型	0.0164
墨西哥沿岸近海	2017-09-08	-93.90	15.05	20	8.2	12323	12	向上	振荡型	0.0128
阿拉斯加湾	2018-01-23	-149.13	55.96	10	8.0	5844	33	向下	振荡型	0.0035

**Figure 6.** Water level of Dongdashi Well during the 9.0 magnitude earthquake in Japan on March 11, 2011**图 6.** 2011 年 3 月 11 日日本 9.0 级地震东大什井水位

根据地震能量密度(e)与地震震级(M)和震中距(r)的经验关系式[12]:

$$\lg e = 3(0.48M - \lg(r) - 1.4) \quad (1)$$

得知 5 次地震中能量密度最大的为 2011 年 3 月 11 日日本 9.0 级地震, 达 $1.2 \times 10^{-1} \text{ J/m}^3$, 此次地震水位的变化幅度也为 5 次地震中最大(图 6)。2012 年 4 月 11 日苏门答腊 8.6 级地震、2015 年 4 月 25 日尼泊尔 8.1 级地震、2018 年 1 月 23 日阿拉斯加湾 8.0 级地震、2017 年 9 月 8 日墨西哥 8.2 级地震能量密度依次递减, 分别为 $8.49 \times 10^{-4} \text{ J/m}^3$ 、 $4.75 \times 10^{-4} \text{ J/m}^3$ 、 $2.17 \times 10^{-5} \text{ J/m}^3$ 和 $1.05 \times 10^{-4} \text{ J/m}^3$ 。利用地震能量密度或许难以直接得出水位同震的具体变化情况, 但如果数值相差较大, 那么地震能量密度越大, 则同震响应变化幅度越大。

4. 认识与讨论

东大什井水位对于近场中强震和远场大震都有明显的同震响应, 近场中强震与远场大震的同震响应表现存在差异。从近场中强震的响应特征来看, 震中位置不同, 东大什井水位分别表现出明显的台阶型和振荡型同震变化, 响应形态与构造条件和人文环境有直接联系; 出现水位阶降时, 阶降前后水位变化趋势无明显改变。从远场大震的响应特征来看, 东大什井水位都表现为振荡型的同震变化, 变化幅度与震中距、地震能量密度有直接联系: 震源深度和震级一致的情况下, 震中距离越近, 则水位波动持续时

间越短, 变化幅度越大; 地震能量密度越大, 同震响应变化幅度也越大。

结合东大什井水位的同震响应特征及前人对吉林省松原地区中强震的测震学研究, 本文认为, 东大什井水位变化与查干泡 - 道子井断裂带的关系较为密切, 这对松原地区地震的发震构造判断具有一定的指示意义。但实际地下水水位的同震响应机理较为复杂, 与地下水的运移方向、井孔结构等多种因素有关, 水位数据的应用也还需考虑到仪器运行及周边干扰的影响, 同震响应机理的深入分析有待后续进一步研究。

基金项目

2023 年度吉林省地震局青年科技发展课题(JZQ-202304)。

参考文献

- [1] 洪旭瑜, 陈祥开, 秦双龙, 等. $M_S \geq 6.0$ 地震引起的永安井水位同震响应特征研究[J]. 华南地震, 2023, 43(3): 39-45. <https://doi.org/10.13512/j.hndz.2023.03.05>
- [2] 段胜朝, 张山元, 番绍辉, 等. 2021 年漾濞 $M_S 6.4$ 地震云南数字化井水位同震响应特征分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2022, 43(4): 131-139.
- [3] 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.
- [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] 刘凯, 陈其峰, 张军, 等. 2021 年玛多 $M_S 7.4$ 和 2022 年门源 $M_S 6.9$ 地震引起的山东井水位同震响应特征分析[J]. 内陆地震, 2023, 37(2): 210-216. <https://doi.org/10.16256/j.issn.1001-8956.2023.02.012>
- [6] 丁风和, 戴勇, 宋慧英, 等. 大甸子井一含水层系统水文地质参数间的变化关系[J]. 地震地质, 2015, 37(4): 982-990.
- [7] 孙小龙, 向阳. 基于同震水震波的水文地质参数求取方法探讨[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(3): 22-29.
- [8] 赵嶝, 张宝匀, 丁谋谋, 等. 北京昌平井水位对日本 $M_w 9.0$ 地震的响应[J]. 内陆地震, 2020, 34(4): 347-354.
- [9] 杨竹转, 邓志辉, 赵云旭, 等. 云南思茅大寨井水位同震阶变的初步研究[J]. 地震学报, 2005, 27(5): 569-574.
- [10] 缪阿丽, 祝涛, 张艺, 等. 2021 年青海玛多 7.4 级地震的江苏流体井水位同震响应特征[J]. 地震研究, 2023, 46(1): 68-73.
- [11] 兰双双, 迟宝明, 姜纪沂. 地下水位对近震和远震异常响应的比较——以汶川地震和苏门答腊地震为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(1): 145-152.
- [12] Wang, C.Y. and Manga, M. (2010) Hydrologic Responses to Earthquakes and a General Metric. *Geofluids*, **10**, 206-216. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2009.00270.x>