

中卫倪滩井数字化水位同震响应特征分析

杨学锋*, 师海阔, 张立恒, 贺永忠

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川

收稿日期: 2021年10月21日; 录用日期: 2021年11月11日; 发布日期: 2021年11月22日

摘要

本文选取了2008年~2020年中卫倪滩水位对大陆7级以上地震的同震响应资料, 统计了水位同震响应的形态特征、记震能力、变化幅度等。结果表明, 水位对大陆7级以上地震的记震能力较强, 同震变化主要为震荡型, 响应时间较短, 震荡后, 水位曲线仍然按照原来正常形态变化。水位变化幅度与震级和震中距相关性不明显。

关键词

中卫倪滩井, 水位, 同震响应

Analysis of Co-Seismic Response Characteristics of Digital Water Level in Zhongwei Nitán Well

Xuefeng Yang*, Haikuo Shi, Liheng Zhang, Yongzhong He

Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia

Received: Oct. 21st, 2021; accepted: Nov. 11th, 2021; published: Nov. 22nd, 2021

Abstract

In this paper, the co-seismic response data of water level in Zhongwei Nitán to earthquakes of $M \geq 7$ in mainland China from 2008 to 2020 are selected, and the morphological characteristics, seismic recording ability and variation range of water level co-seismic response are counted. The results show that the water level has a strong ability to record earthquakes with $M \geq 7$ in the mainland. The co-seismic changes are mainly concussion type and the response time is short. After concussion, the water level curve still changes in accordance with the original normal form. There

*通讯作者。

is no obvious correlation between water level variation and earthquake magnitude and epicenter distance.

Keywords

Zhongwei Nitán Well, The Water Level, Coseismic Response

Copyright © 2021 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

地下水动态变化不仅取决于水量的增减,还会受到含水层中应力应变的影响[1]。一方面,地下水的运动引起应力变化从而有可能会引起地震的发生[2];另一方面,地震发生前的应力积累,地震发生时地震波传播造成的动态应力变化,地震发生后的断层错位引起的静态应力变化,都会引起孔隙流体压力和含水层特征的变化,进而带来地下水的流动[3][4][5][6]。因此,地下水资料携带了丰富的地下应力和介质参数变化的信息,通过分析地下水动态变化,有望提取到与地震或断层活动相关的应力及介质参数变化的信息。井-含水层观测系统对地震波有天然的放大效能[7],一次大震发生后,所产生的能量能够引起观测井孔的水位变化,井孔由于地震波的传播而造成水位的同震异常变化现象称为水位的远场同震效应[8][9][10]。

我国地震地下流体科学研究自70年代全面展开以来,很多地震学者对地震引起的水位同震响应现象进行了研究。云南段胜超研究了腾冲台水温、水位对尼泊尔8.1级地震的同震响应特征[11];江西牛在坡等研究了南昌井水位对远震的同震响应分析[12];杨竹转等研究了云南大寨井的水位同震阶变特征[13]。

实践证明地下流体对于地震的异常响应,在整个地震前兆观测体系中的表现是比较明显的[14],尤其水位的同震效应,其异常幅度、分布广度都是比较突出的。但不同井孔的灵敏度、响应形式等不尽相同,这与井孔的地质构造、围岩(含水层)条件、以及震级、震中距等多种因素有关。近年来,不少学者对此进行了广泛研究,涉及到响应特征、机理、后效预报等多方面。

本文结合中卫倪滩井地理、地质构造情况、基础资料及水位的动态变化特征,分析该井水位同震响应的特征。

2. 台站概况

2.1. 地震地质条件概况

中卫倪滩井位于宁夏中卫市常乐镇倪滩村南0.5 km处,距中卫市直线距离3 km。地理位置为东经105.21°,北纬37.45°,海拔1223 m。该井所在区域位于牛首山以南的弧形挤压-走滑构造区(青藏块体北东缘的一部分),也即宁夏南部弧形断裂系,区域地震活动强烈、地震地质构造复杂。井点附近的断裂带主要有中卫-同心断裂带、烟洞山断裂带和五佛寺-窑洞水断裂带,且离中卫-同心断裂带最近。该断裂带西起中卫西梁头,向东沿香山、天景山北东麓延伸至同心西,再向南通过两条呈右阶错列的断层与六盘山、海原断裂带近相接。西段走向近东西,至同心以南转为北西,呈明显的向北东突出的弧形展布。如按照活动特征和破裂特征的差异,该断裂带又可分为西段罐罐岭断裂带、中段香山-天景山断裂带(井点就处于该断裂带)和南段庙山断褶带。全新世以来,中卫-同心断裂带上的8条次级断层主要以左旋走

滑为主，兼逆冲。中卫-同心断裂带中段自早更新世以来位错量达 3 km 多，全新世以来平均滑动速率为 (0.41~1.62) mm/a。1709 年宁夏中卫 7.5 级地震就发生在该断裂带上，造成长 60 km 左右的变形带(图 1)。

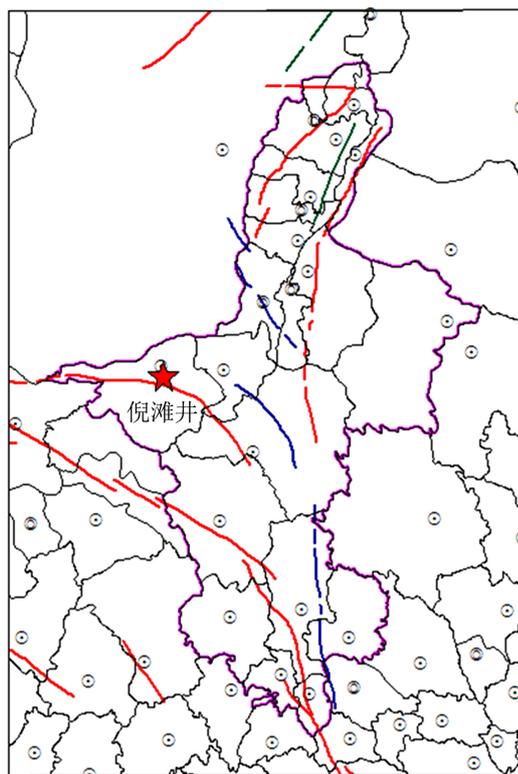


Figure 1. Topographic map of Zhongwei Nitán Well
图 1. 中卫倪滩井地形图

2.2. 水文地质条件概况

香山、卫宁北山是古生代的地层构成的主体，裂隙发育，利于地下水的储存和运移，弱富水。由于山前断裂的作用，该断层带有泉水出露。北侧为山前冲洪积平原，是新生代形成的复合型断陷盆地，盆地内有第四系厚层堆积物，储存有丰富的地下水，透水性良好。潜水含水层主要为砾卵石层，上覆为粘砂土，潜水微具承压性。潜水含水层之下为不连续的隔水层，其下为承压含水层，砂、石层间夹粘砂土和砂粘土，形成多韵律结构，潜水与承压水之间有一定的水力联系。倪滩观测井在黄河二级阶地下缘，台址北 2 km 为黄河，南面为香山山前冲积层陡崖，东、西地势平坦开阔。区域内引黄灌溉沟渠系成网，地表水丰沛，地下水埋深浅。大部分为农田，少部分为盐碱滩地。另外由于泉点与其北面公路之间地势低洼，泉水常年汇集成东西向展布的长条形积水洼地。

2.3. 井孔概况

倪滩井为我局 2006 年 10 月“十五”项目投资建设的地下流体观测井。含水层岩性为砂岩和砂砾石。由于上部地表水(扬黄水补给等)、潜水和下部承压水因断裂带使其水力联系密切，地下水类型为潜水、承压水混合水。成井时井深 195.7 m，现有井深 170.2 m。套管深度 170.85 m，套管直径 146 mm。水位观测段位于井下 119~170.2 m 间，过滤管位于井下 134~154.9 m 间。成井时为自流井(2009 年断流改为静水位观测井)，单位平均涌水量在 1.0 L/s 左右，渗透系数在 0.8 m/d 左右(图 2)。

中卫倪滩流体观测井概况

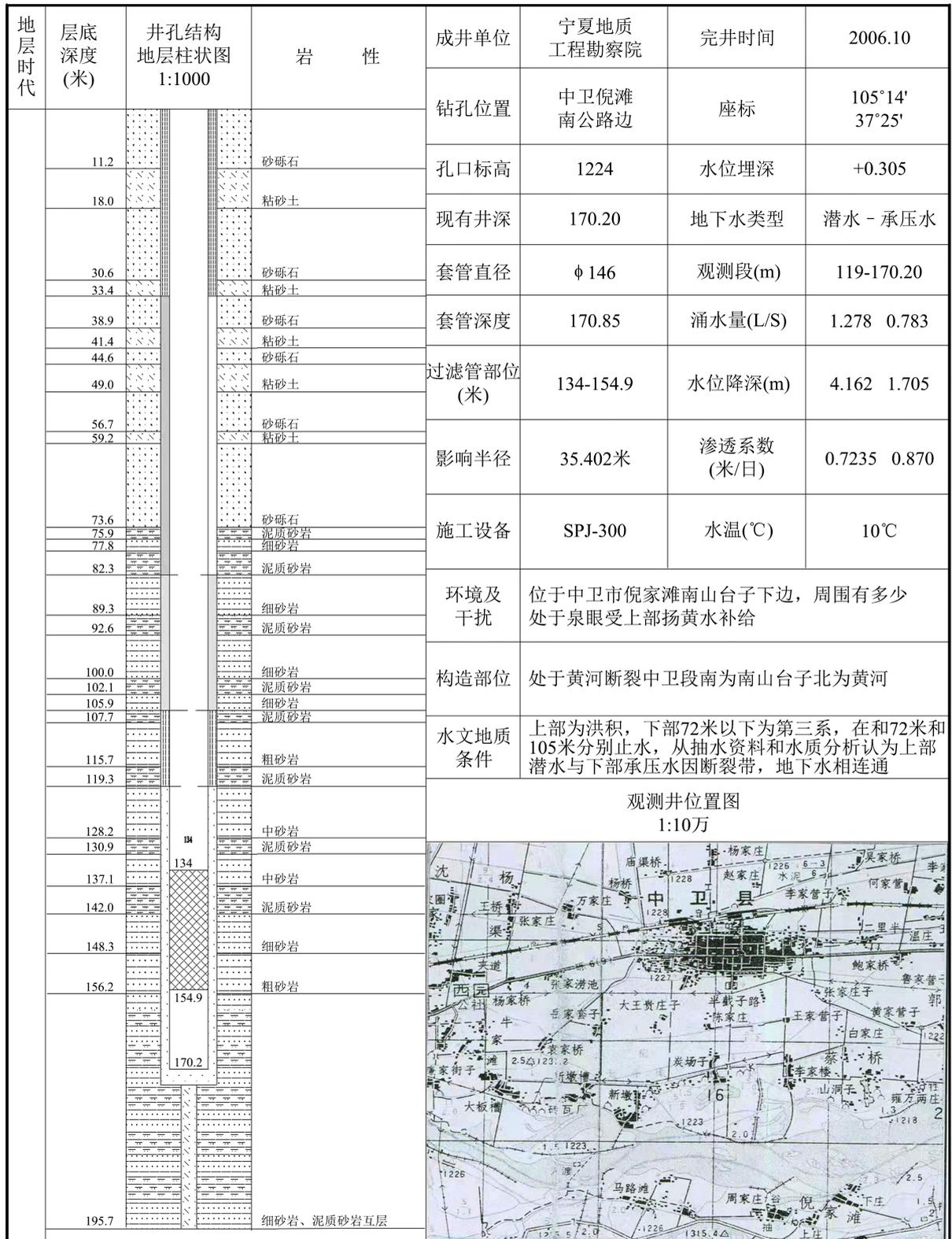


Figure 2. Hole histogram of Zhongwei Nitán Well
图 2. 中卫倪滩井井孔柱状图

2.4. 观测系统概况

中卫倪滩井其前身为中卫常乐地震台。1971年1月开展FD-105静电计水氡观测和流量观测，泉点在常乐地震台东的倪滩村阴洼崖。泉水出露南山台子前缘，系受断层控制而溢出，为下降泉。1972年更换FD-105K静电计观测。1984年因台站搬迁而停测。1986年中卫县地震办公室建地震观测站，在倪滩村租用民房开展地震观测。1986年10月架FD-125氡钍分析仪测氡和DEM-1气压计观测气压，但取水泉点没变。1991年正式建地震观测站，该观测站位于中卫倪滩村南，距中卫市8 km。同年将测氡仪由民房搬入该站观测，取水泉点仍然没变。2006年委托宁夏地质工程勘察院在原中卫倪滩水化观测泉附近选点打井，并于当年10月成井。2007年5月开始数字化观测，最初为自流井，建成时观测项目有气氡、水位、水温，辅助测项有气温、降雨、气压。架设有SD-3A型自动测氡仪、LN-3A型水位仪、SZW-1A型数字温度计、WYY-1型气象仪，水位探头投放深度为3.00 m，水温探头投放深度为170 m。2009年水位下降导致断流，水氡无法正常观测，水位变为静水位观测。后因仪器老化，逐步更换，现观测仪器为SWY-2型数字式水位仪、SZW-2型数字式温度计、RTP-2型气象三要素仪[15]。

3. 水位的动态特征分析

2007年5月开始数字化观测以来，尤其是断流后变为静水位观测以来，多年观测结果表明，水位季节性变化明显，有较好的年变规律。这主要是因为倪滩井隔水层主要为砂岩，浅水层与承压水层之间有水力联系，所以周围农田引黄灌溉对水位影响较大。每年4月初左右春灌开始，水位出现持续上升，8月份达到最高值。9月中旬左右夏季灌溉结束，水位持续下降。11月初冬灌开始，水位再次出现上升且上升速率较大，之后随着冬灌结束而回落。在灌溉季节结束后的11月底至来年4月初数据变化较平稳，能够记录到清晰的固体潮汐和气压效应变化。在整个灌溉期间，由于农田的集中灌溉或停灌会造成水位波动较大(图3)。

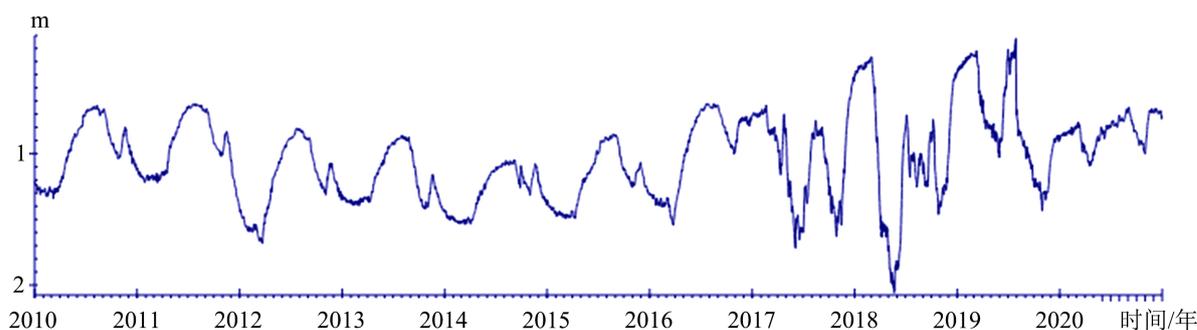


Figure 3. Water level curve of Zhongwei Nitan Well (daily mean)

图3. 中卫倪滩井水位曲线图(日均值)

4. 同震效应分析

4.1. 记震能力

倪滩水位自数字化观测以来全国发生7.0级及以上地震共6次(表1，目录来自宁夏地震台)，水位均出现了不同程度的同震效应，响应率为100%。说明该井水位对大陆7级以上地震的记震能力很强。

4.2. 同震变化特征分析

由同震震例来看(图4)，中卫倪滩井水位同震变化主要为震荡型，响应持续时间大约1~3 min，震荡

后, 水位曲线仍然按照原来正常形态变化。水位变化幅度与震级和震中距关系均不甚明显, 主要原因可能是地震统计样本太少所致, 另外每次地震的成因和特征也是复杂的, 有待使用更多的震例来进一步深入研究。

Table 1. Change statistics of coseismic effect of Zhongwei Nitan water level
表 1. 倪滩水位同震效应变化统计

序号	发震时刻	M	纬度/ (°N)	经度/ (°E)	深度/ (km)	震中	震中距/ (km)	同震效应	变化幅度/ (mm)
1	2008-03-21	7.3	35.6	81.6	33	新疆于田县	2112	小幅震荡	3
2	2008-05-12	8.0	31.0	103.4	14	四川汶川县	752	大幅震荡	181
3	2010-04-14	7.1	33.1	96.7	33	青海玉树县	921	小幅震荡	4
4	2013-04-20	7.0	30.3	103.0	13	四川芦山县	836	小幅震荡	8
5	2014-02-12	7.3	36.1	82.5	12	新疆于田县	2023	小幅震荡	4
6	2017-08-08	7.0	33.2	103.8	20	四川九寨沟县	504	小幅震荡	2

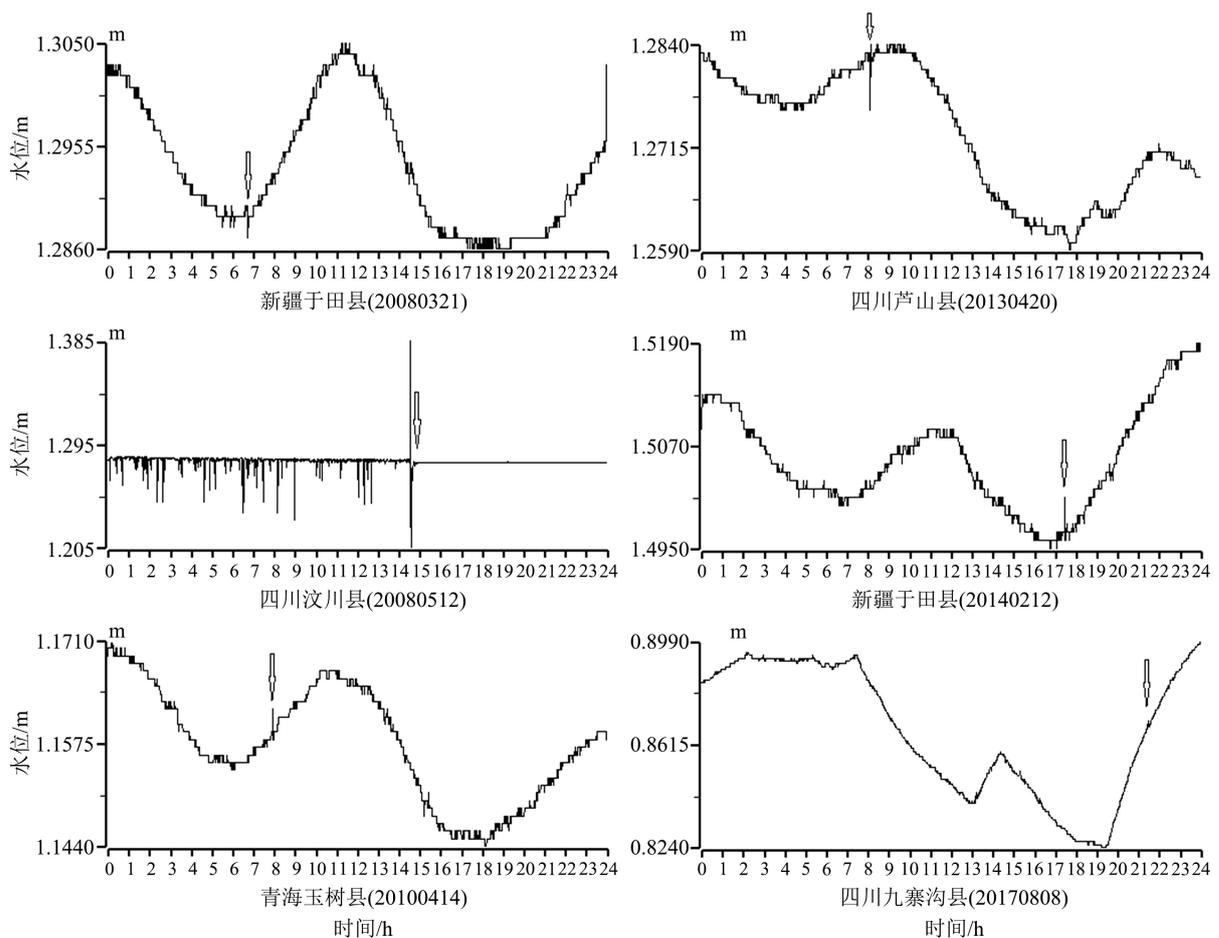


Figure 4. Coseismic response diagram of water level in Zhongwei Nitan Well (min)
图 4. 中卫倪滩井水位同震响应图(分钟值)

5. 结论

通过对倪滩井水位同震响应特征梳理分析, 得出以下结论:

1) 倪滩井水位对国内 7.0 级以上地震均有记录, 但是除了 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震外, 其余同震水位振幅均不大。

2) 倪滩井水位同震变化主要为震荡型, 响应持续时间大约 1~3 min, 震荡后, 水位曲线仍然按照原来正常形态变化。

3) 倪滩井记录到的同震水位变化幅度与震级和震中距相关性均较差, 一方面原因可能是统计的同震样本太少; 另一方面原因可能与震源破裂方式、应力变化等有关。

致 谢

感谢宁夏回族自治区地震局宁夏地震台丁风和副台长、中卫地震监测中心站贺永忠台长对本文章的指导。

基金项目

宁夏地震科研专项基金课题: “罗山周边外行业井网调研及观测井优选”(NX202102); 宁夏地震局科技创新团队“地下流体监测与应用研究创新团队”(CX2019-2)。

参考文献

- [1] 汪成民. 地下水微动态研究[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [2] Talwani, P. (1984) Pore Pressure Diffusion and the Mechanism of Reservoir-Induced Seismicity. *Pure & Applied Geophysics*, **122**, 947-965. <https://doi.org/10.1007/BF00876395>
- [3] Cooper Jr., H.H., Bredehoeft, J.D., Papadopoulos, I.S. and Bennett, R.R. (1965) The Response of Well-Aquifer Systems to seismic waves. *Journal of Geophysical Research*, **70**, 3915-3926. <https://doi.org/10.1029/JZ070i016p03915>
- [4] Kovach, R.L., Nur, A., Wesson, R.L. and Robinson, R. (1975) Water-Level Fluctuations and Earthquakes on the San Andreas Fault Zone. *Geology*, **3**, 437-440. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1975\)3<437:WFAEOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1975)3<437:WFAEOT>2.0.CO;2)
- [5] Antonioli, A., Piccinini, D., Chiaraluce, L., et al. (2005) Fluid Flow and Seismicity Pattern: Evidence from the 1997 Umbria-Marche (Central Italy) Seismic Sequence. *Geophysical Research Letters*, **32**, Article ID: L10311. <https://doi.org/10.1029/2004GL022256>
- [6] Catalli, F., Meier, M.A. and Wiemer, S. (2013) The Role of Coulomb Stress Changes for Injection-Induced Seismicity: The Basel Enhanced Geothermal System. *Geophysical Research Letters*, **40**, 72-77. <https://doi.org/10.1029/2012GL054147>
- [7] 陈大庆, 刘耀炜. 我国在井-含水层系统对地震波同震响应方面的研究进展[J]. 国际地震动态, 2006(7): 27-31.
- [8] 张清秀, 郑小菁, 林木金, 等. 永春井水位对远大地震的记震能力及同震效应特征分析[J]. 华南地震, 2011(3): 33-40.
- [9] 张环曦, 周安聘, 刘静, 等. 无极井水位同震效应特征浅析[J]. 国际地震动态, 2018(1): 17-20.
- [10] 李颖, 殷伟伟, 胡玉良, 等. 山西洪洞井水位对远场大震的响应特征分析[J]. 中国地震, 2018, 34(1): 93-103.
- [11] 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.
- [12] 牛在坡, 查小惠. 南昌井水位对远震的同震响应分析[J]. 防灾科技学院学报, 2017, 19(3): 37-43.
- [13] 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.
- [14] 简春林. 中国大陆地震地下流体异常特征研究[J]. 地震, 2004, 24(1): 42-49.
- [15] 宁夏回族自治区地震局. 宁夏地震志[M]. 北京: 地震出版社, 2014.