

# Analysis on Anomaly of 6.6-Magnitude Earthquake and Its Co-Seism Responses at Min County

Yu Zhang, Weiping Zheng, Chunyan Li\*, Jiangang Feng, Lingling Cao, Yao Chen

Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou Gansu  
Email: zhangy@gstdzj.gov.cn, \*175232150@qq.com

Received: Nov. 22<sup>nd</sup>, 2017; accepted: Dec. 1<sup>st</sup>, 2017; published: Dec. 8<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

The variations of water level, flow and temperature data collected in Gansu area before the 6.6-magnitude earthquake of Min County on July 22th 2013 were analyzed. Two points showed evident abnormalities just before this earthquake. The flow discharges of Ligou and Qingshui showed medium or long-term anomaly, while the temperature of thermal spring in Qingshui showed short-impending anomaly. Besides, the water level, flow and temperature in some stations recorded a different degree of coseismic response. The configurations of these responses included sudden rise, sudden drop and slow-change type. The duration of these responses varied. Digital-observed water level and temperature recovered in a time from 10 minutes to several hours after the earthquake, while the traditional man-observed flow lasted 1 to 2 months. The observation stations that had co-seism responses showed no obvious regularity with epicenter location, direction or distance.

## Keywords

Min County Earthquake, Pre-Earthquake Anomaly, Co-Seism Response

# 岷县6.6级地震震前异常及其水位水温同震响应讨论

张 昱, 郑卫平, 李春燕\*, 冯建刚, 曹玲玲, 陈 瑶

甘肃省地震局, 甘肃 兰州  
Email: zhangy@gstdzj.gov.cn, \*175232150@qq.com

作者简介: 张昱(1963-), 女, 甘肃秦安人, 高级工程师, 主要从事地下流体地震分析预报等研究。  
\*通讯作者。

文章引用: 张昱, 郑卫平, 李春燕, 冯建刚, 曹玲玲, 陈瑶. 岷县6.6级地震震前异常及其水位水温同震响应讨论[J]. 水资源研究, 2018, 7(1): 67-73. DOI: 10.12677/jwrr.2018.71008

收稿日期：2017年11月22日；录用日期：2017年12月1日；发布日期：2017年12月8日

## 摘要

分析了2013年7月22日甘肃岷县6.6级地震前甘肃地区的水位、流量和水温资料的变化情况，结果发现在这次地震前两个测点的资料存在明显的震前异常，其中清水李沟流量为中长期异常，清水温泉水温为短临异常。另外部分水位、流量和水温测点的资料记录到不同程度的同震效应，形态有突升、突降和缓变型等，持续时间不等，其中数字化水位、水温均在地震后10分钟至数小时之内恢复，而传统的人工流量观测持续1到2个月。记录同震响应的测点与震中位置、方向、距离无明显规律。

## 关键词

岷县地震，震前异常，同震响应

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

地下水位(流量)和水温观测一直作为地震前兆观测的重要测项，在我国已有几十年的历史，取得了许多宝贵的观测资料和一些震例资料。数字化下水位和水温观测在我国已有十多年的历史，“九五”和“十五”期间中国地震局对水位和水温观测台网进行了数字化改造，甘肃地区也建立起比较完整的地下流体观测网。

国内外地震学者曾以大量的观测事实论证了水位动态不仅可以直接反映受力状态变化引起的孔隙压力的变化，而且还可以反映出含水层地下水径流的速度与流量等的变化；不仅水位对含水层受力有所反映，对井水微温度也会有灵敏的响应。井-含水层系统所受的动力加载作用方式有多种，地震波作用就是重要的一种，地下流体观测中水位与水温对大震的同震响应是地震波作用于井-含水层系统最直接的体现[1] [2] [3]。近几年来，大震引起地震地下流体同震响应的现象受到不少学者的关注，刘耀炜等[1] [4]、孙小龙等[2]、张昱等[5]、刘成龙等[6]、周志华等[7]分别分析了不同地震水位与水温的同震响应特征。

据前人研究，地下水位的震时和震后效应，从形态上分为两类，一类是急速的阶跃变化，这主要是近震的井水位效应；另一类是水位的振荡变化，即为水震波效应，这种变化一般在震中距大于 2000 km 的井孔中比较常见[4]-[9]。水温同震响应主要是地震波作用引起的含水层介质形变，使其孔隙压力发生变化，这种孔隙压力的变化会导致水流速度及水体与围岩间的热量变化，而各水体间及水体与围岩的热量交换既有加强也有减弱，从而导致观测井内水体温度产生变化[2] [9] [10]。另外，井水温度的变化与井-含水层系统参数改变密切相关。

本文分析了 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县-漳县 6.6 级地震前后甘肃地区的水位、流量及水温资料，结果发现在这次地震前两个测点的资料存在明显的震前异常[8]，部分测点也出现不同程度的同震响应。

## 2. 本次地震的基本参数及观测资料概况

### 2.1. 地震基本参数

本次地震的发震时刻为：2013 年 07 月 22 日 07 时 45 分，震中位置位于甘肃省岷县漳县交界，地理坐标为：北纬 34.5°，东经 104.2°，震源深度 20 km；发生在西秦岭断裂带南侧的临潭-宕昌断裂上，极震区烈度为 VIII，

VIII 度区西北自岷县中寨镇，东南至岷县禾驮乡东南、东北自岷县禾驮乡东北、西南至岷县禾驮乡西南，长轴为 40 km，短轴为 21 km，面积 706 km<sup>2</sup>。

该地震灾区主要涉及甘肃定西市岷县、漳县、临洮县、渭源县、陇西县，甘南州临潭县、卓尼县、迭部县、舟曲县，陇南市宕昌县、礼县，临夏州康乐县和天水市武山县等 13 个县区。灾区总面积约 16,432 km<sup>2</sup>，灾区人口约 2,359,126 人、589,782 户，其中，乡村失去住所人数为 279,684 人，69,921 户，城镇失去住所人数为 34,436 人，8609 户。

## 2.2. 观测资料概况

甘肃地震地下流体(水物理)观测至 2013 年 7 月 22 日地震前的资料包括水位、流量、水温 3 种观测手段，42 个测项；其中流量 3 项，水位 16 项，水温 23 项；观测资料最早为 1985 年 1 月开始的人工流量观测、之后为“九五”、“十五”数字化改造、直至汶川地震灾后恢复重建，观测最短的为 2011 年 11 月至 12 月开始。水位均为静水位观测，流量观测为流满 1 升水需要的时间。表 1 为测点与震中的大概距离，图 1 为震中、观测点及同震测点位置。

Table 1. Epicenter distance of measuring points

表 1. 测点与震中的距离

测点	震中距 km	测点	震中距 km	测点	震中距 km
礼县	97	武都	150	天水	155
临夏	155	成县	170	清水	180
静宁	185	华亭	230	永登	255
平凉	250	景泰	290	庆阳	320
古浪	350	高台	660		

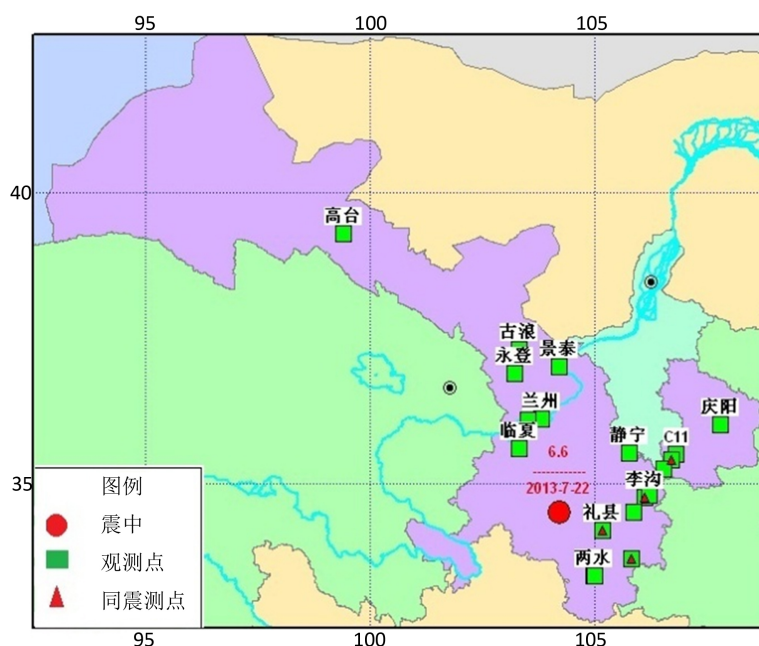


Figure 1. Distribution of water level (flow), water temperature measuring points and the co-seism points

图 1. 水位(流量)、水温观测点及同震测点分布图

### 3. 6.6 级地震震前异常分析讨论

对所有观测资料进行了分析，发现只有清水李沟流量和清水温泉水温出现比较明显的震前异常。

#### 3.1. 清水李沟流量

清水李沟流量观测井位于甘肃省清水县城以西 6 km，处于西秦岭北缘断裂的北侧。观测资料始于 1985 年 1 月，多年来观测资料整体呈下降趋势，观测以来，附近地区的多次中强震前出现比较明显的异常，而以往震例为在高值下降的基础上发生地震，只是以往异常幅度较小，而 2003 年甘肃民乐 - 山丹 6.1 级地震和 2013 年甘肃岷县 - 漳县 6.6 级地震异常幅度明显较大。

由于 2008 年汶川地震引起清水流量的同震效应幅度较大，我们截取 2009 年以来的资料进行分析[4]，并对观测资料进行了趋势拟合分析(图 2)，从图中看出，无论是原始观测曲线还是趋势分析后的曲线，2012 年 4 月出现的高值异常均比较明显，持续时间为 3 个月，至 2013 年 7 月下旬结束(在这期间，进行过现场调查，未发现环境干扰和人为影响，异常可靠)，总体上升幅度达到 26 秒(每天观测为流满 1 升水需要的时间)，以往该测点出现异常持续结束后，到发震最长时间为 9 个月，这次在异常结束一年后发生地震，属中长期异常，距离较近，为 180 km，地震之后的上升为同震引起。

#### 3.2. 清水温泉水温

清水温泉水温观测点位于甘肃省清水县城东北的汤峪河峡谷内，观测井深 443.3 m，观测井水位、水温不受降水影响。该测点为“十五”数字化观测，观测资料始于 2007 年 7 月，从图中看出(图 3)，多年来比较稳定，整体呈上升趋势。2011 年初观测资料出现过低值过程，但附近地区并未发生 5.0 级以上地震，岷县 6.6 级地震前 11 天观测资料出现下降，下降幅度为 0.005℃，显示出震前短临异常(据调查，观测仪器正常，环境无干扰)。

### 4. 水位(流量)观测同震响应特征及分析

本次地震，所有水位(流量)观测资料中，只有清水李沟流量、礼县流量、平凉柳湖水位 3 个测项记录到比较明显的同震现象，另外 5 个测项记录到很微弱的同震现象，其它 11 个测项没有记录到同震响应。分析发现，这些测点与震中位置、方向、距离无明显规律。

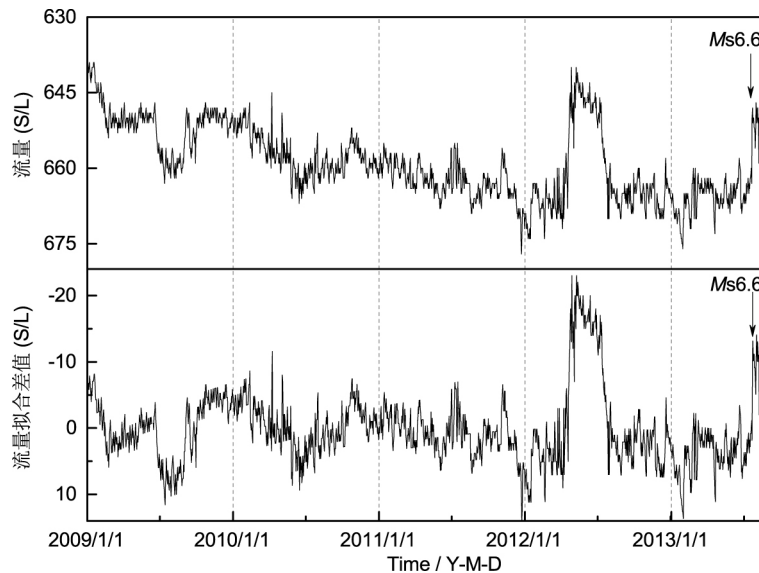


Figure 2. Observation of water flow discharge at Qingshui  
图 2. 清水流量观测曲线

清水李沟流量 2013 年以来观测资料比较平稳, 每天早上 8 点钟观测, 地震为 7 时 45 分, 所以, 当天观测时就观测到明显的同震效应, 上升幅度为 15S/L, 以往观测资料在正常时段(环境无干扰、无异常)不会出现这么大幅度的变化, 持续时间为 40 天左右, 之后略有恢复(图 4)。

礼县流量观测井位于甘肃省礼县石桥镇, 处于西秦岭北缘断裂的北侧。观测含水层的封闭性较好。以往观测资料日变幅较大, 每天观测时间为早上 8 点钟, 2013 年观测资料总体较平稳, 地震之前观测资料比较稳定, 当天观测是在地震后, 观测到 31S/L 的上升变化, 持续时间较短, 20 天左右恢复到上升前的水平(图 4)。

平凉柳湖井原为自流井, 2007 年断流, 2008 年汶川地震之后灾后重建, 架设水位观测, 现有观测资料始于 2011 年 11 月。该井水位观测资料虽然在趋势上受当地开采的影响, 还是能记录到一定的潮汐, 在以往大震时水位和水温也记录到同震响应现象。这次地震时记录到比较明显的同震现象, 地震之后观测资料快速下降, 3 小时之后基本恢复原来的上升趋势(图 4, 其中图 4 上、中时间坐标为日值, 图 4 下时间坐标为分钟值)。

地下水位(流量)的同震变化, 反应了地壳形变和地面震动引起地下介质贮层变形、孔隙疏通、裂缝的清理、产生裂缝等变化。地震引起水位同震变化主要有振荡和阶变两种形态, 也有振荡中出现上升或下降变化的, 也上升或下降之后随之发生振荡的。振荡型变化是指在地震波作用下水位快速来回波动, 地下水位出现类似地震波的高频振荡, 地震波经过后水位很快平静下来。阶变型的同震变化是指在地震振动的作用下, 地下水位阶变式的上升或下降变化, 它反映了地下介质的孔隙、裂隙被疏通或地下水力学特征发生改变, 可能是塑性变化的

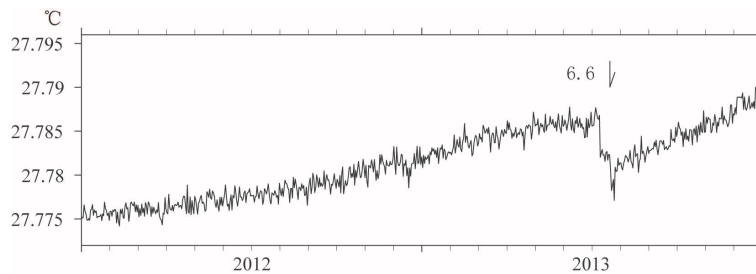


Figure 3. Observation of hot spring water temperature at Qingshui  
图 3. 清水温泉水温观测曲线

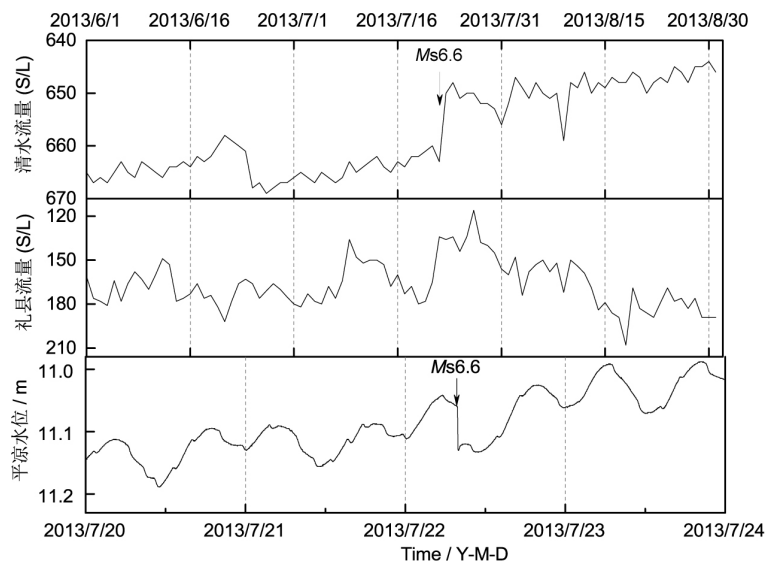


Figure 4. Observation of flow discharge at Qingshui and Lixian as well as water level at Liuhu and Pingliang  
图 4. 清水和礼县流量与平凉柳湖水位同震图

结果。这种变化通常需要十几分钟至几个月的时间才能恢复，也有恢复不了，为台阶式永久性的变化[7]。

### 5. 水温同震响应及分析讨论

水温观测资料中，只有平凉柳湖水温和成县水温在这次地震中出现比较明显的同震响应，其余资料基本不明显。这两个测点与震中位置、方向、距离无明显规律

平凉柳湖水温观测时间为 2011 年 11 月，观测资料变幅较大，但地震前后资料比较平稳，地震后快速下降，8 时 11 分左右下降至最低，下降幅度为 0.025℃，之后缓慢恢复，两小时之内基本恢复正常(图 5)。成县水温观测资料始于 2007 年 6 月，多年来观测资料比较稳定，整体呈上升趋势。地震之后缓慢下降，下午 14 时之后快速恢复，20 时开始基本恢复至正常水平，下降幅度为 0.011℃ (图 5)。

水位同震变化已有比较多的研究，而水温的同震响应现象近年来才引起地震学家的关注，其机理的研究目前也处于探讨阶段，而且比较复杂。另外，前人研究的水温同震响应特征[2] [5] [9]，多数以水温阶变下降为主，也有波动或上升变化，这也说明水温的同震响应受多种因素的制约。

地震波作用引起的含水层介质形变可促使其孔隙压力发生变化，这种孔隙压力的变化会导致水流速度及水体与围岩间的热量变化。如果这种作用持续时间较长，则观测井内水体温度是一持续变化的过程；如果井 - 含水层系统在地震波作用下发生了塑性形变，那么井 - 含水层系统会在短时间内达到新的平衡，则井水温度会很快达到新的稳定状态。当然，井水温度的变化与井 - 含水层系统参数改变密切相关。地震发生时，地震波作用于含水层系统后，使其介质发生了变形所致，这种应力作用一方面激活了孔隙、裂隙中的充填物(如气体、滞水等)，使得在空隙内运移的水体流动状态发生变化，导致各水体间及水体与围岩的热量交换加强或减弱，从而导致观测井内水体温度产生变化[9]。

### 6. 结论与讨论

这次 6.6 级地震的震中距离多数观测点在 400 km 以内，从以上的讨论知道，出现明显异常的测项只有两项，这说明地震前兆异常的复杂性，当然，也可能关系到多个方面的问题，比如，观测仪器的稳定性、观测环境的好坏、还有观测井点的条件等等，但是，只要某种观测手段在震前能观测到一些异常，我们可以与其它观测手段和学科的资料综合，也可能对地震预报有一定的借鉴意义。

该地震有 10 个测项记录到不同程度的同震响应，其中 5 个测项反映比较明显，另外 5 个测项记录到比较微

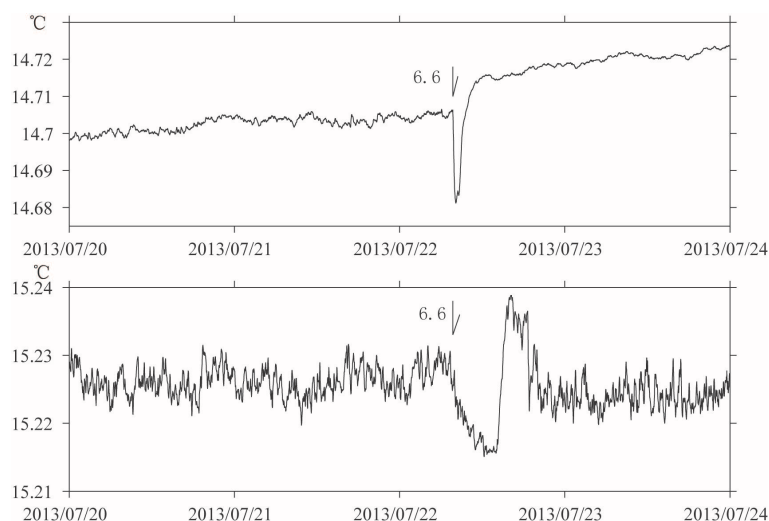


Figure 5. Measured water temperature at Liuhu, Pingliang and Cheng Xian  
图 5. 平凉柳湖水温与成县水温同震效应图

弱的同震响应, 其余测项没有记录到, 而这些井点中也有在其它大震时记录到过同震响应的例子, 这也说明地下水观测的同震响应受发震地点、震级、震中位置、地震波到观测井的传播路径及发震构造等多种因素的影响。

由于水位动态的物理意义明显, 含水层受压时水位上升, 受拉张时下降, 因此震后阶跃上升的水井水位可能包含有区域应力场的信息, 水位的同震阶变可视为大震后区域应力调整的表现, 水位阶跃上升集中区可能也是区域压应力相对集中区, 对未来该区域发生较显著的地震具有空间上的指示意义。

## 基金项目

中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地基本科研业务费专项(2017IESLZ07)。

## 参考文献 (References)

- [1] 刘耀炜, 任宏微. 汶川 8.0 级地震氡观测值震后效应特征初步分析[J]. 地震, 2009, 29(1): 121-131.  
LIU Yaowei, REN Hongwei. Wenchuan 8.0 earthquake radon observation after the earthquake effect characteristics of the preliminary analysis. Earthquakes, 2009, 29(1): 121-131. (in Chinese)
- [2] 孙小龙, 刘耀炜, 王博, 等. 宾川井对印尼大震的同震响应特征及其机理解释[J]. 地震, 2008, 28(3): 69-78.  
SUN Xiaolong, LIU Yaowei, WANG Bo, et al. Feature and mechanism of co-seismic response in Binchuan well to Indonesia earthquakes. Earthquakes, 2008, 28(3): 69-78. (in Chinese)
- [3] 张昱, 刘小凤, 常千军, 等. 汶川地震的异常及其震后效应特征分析[J]. 高原地震, 2009, 21(3): 22-27.  
ZHANG Yu, LIU Xiaofeng, CHANG Qianjun, et al. Analysis of characteristics of Wenchuan earthquake anomaly and the earthquake effect. Plateau Earthquake, 2009, 21(3): 22-27. (in Chinese)
- [4] 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: 131-258.  
Monitoring and Forecasting Department of China Earthquake Administration. Effects of Indonesia Ms8.7 earthquake in 2004 on the mainland of China. Beijing: Seismological Press, 2005: 131-258. (in Chinese)
- [5] 张昱, 李春燕, 吴建华, 等. 印尼 8.6 级地震甘肃地区流体观测资料同震响应分析[J]. 地震工程学报, 2016, 38(5): 830-837.  
ZHANG Yu, LI Chunyan, WU Jianhua, et al. Analysis on co-seism responses of fluid observation data in Gansu area during 8.6-magnitude Indonesia earthquake. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(5): 830-837. (in Chinese)
- [6] 刘成龙, 王广才, 张卫华, 等. 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, 2009, 31(2): 188-194.  
LIU Chenglong, WANG Guangcai, ZHANG Weihua, et al. Co-seismic response of well water level in Three Gorges well-network to MS8.0 earthquake in Wenchuan. Acta Seismologica Sinica, 2009, 31(2): 188-194. (in Chinese)
- [7] 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.  
ZHOU Zhihua, HUANG Fuqing and MA Yuchuan. Coseismic changes of water level caused by the Minxian-Zhangxian Ms6.6 earthquake. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 529-534. (in Chinese)
- [8] 赵栋, 易立新, 王广才, 等. 地下水位中地震前兆信息提取方法研究[J]. 地震工程学报, 2013, 35(2): 334-341.  
ZHAO Dong, YI Lixin, WANG Guangcai, et al. Research on the technology of extracting earthquake precursor information from groundwater level. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(2): 334-341. (in Chinese)
- [9] 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): 265-273.  
SHI Yaolin, CAO Jianling, MA Li, et al. Tele-seismic coseismic well temperature Changes and their interpretations. Earthquake Journal, 2007, 29(3): 265-273. (in Chinese)
- [10] 孙小龙, 刘耀炜. 苏门答腊 8.5 级地震引起的水温响应变化[J]. 华北地震科学, 2008, 26(1): 35-40.  
SUN Xiaolong, LIU Yaowei. Water temperature variation caused by Sumatra Ms8.5 earthquake. North China Earthquakes Sciences, 2008, 26(1): 35-40. (in Chinese)