

# 宁波地震台动水位与垂直摆对汶川 8.0 级地震的同震变化

邱永平<sup>1,2</sup>

(1. 浙江省宁波地震台, 浙江 宁波 315029; 2. 宁波市地震监测预报中心, 浙江 宁波 315016)

摘要: 分析认为宁波台 ZK03 井动水位、VS 垂直摆倾斜仪出现的异常可能是汶川 8.0 级地震的同震变化现象。动水位表现为水震波引起的脉冲和阶跃变化并抬高水位 12mm 左右。垂直摆表现为形变波引起的脉冲和阶跃变化, EW 向最大幅度约为  $339.9286 \times 10^{-3}''$  的脉冲式向 E 振荡波, 并向 W 出现阶跃变化, 震前 34 小时还出现了一个向 E 阶跃; NS 向最大幅度约为  $275.2411 \times 10^{-3}''$  的脉冲式向 N 振荡波, 并产生向 S 阶跃变化。对比分析结果说明, 该台因有干扰因素少、正常波动背景值噪声限低的优势, 观测效果比较理想。

关键词: 汶川 8.0 级地震; 动水位; 垂直摆; 同震变化; 宁波地震台

中图分类号: P315.72 文献标识码: A

## 0 引言

2004 年印尼苏门达腊发生 8.7 级地震后, 在我国部分地区出现了一些同震响应和震后效应现象<sup>[1-6]</sup>, 同震观测点最远可达 5400km<sup>[7]</sup>。有学者认为, 同震效应研究是揭示地壳介质对应力—应变过程响应最直接和最有效的手段之一<sup>[7]</sup>, 因此同震响应和震后效应已成为目前国内外学者研究的热点之一<sup>[8]</sup>。

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分汶川 8.0 级地震, 震中距宁波台约 1700km。此次地震不仅在震中区附近造成灾难性的破坏, 而且在四川省和邻近省市大范围造成破坏, 其影响更是波及到全国绝大部分地区乃至境外, 是新中国建立以来我国大陆发生的破坏性最为严重的地震事件。地震发生后, 一定会在我国部分地区出现一些同震变化现象。系统收集和整理这些同震异常和震后效应信息, 对进一步深入研究这次地震对我国未来地震趋势的影响具有一定的现实意义, 同时也是评价地震前兆测项对应力应变响应能力的有效方法。

浙江省宁波地震台在“95-01-02 改造项目”中新增的动水位、垂直摆倾斜仪等数字化测项在这

次地震时都有较明显的异常现象, 通过检查排除了人为或气象、环境干扰或仪器本身不稳定等因素造成异常变化的可能性, 分析认为出现的异常可能是这次特大地震的同震变化, 本文拟对此作对比分析。

## 1 观测条件

宁波地震台地处中国东南沿海的杭州湾南岸, 宁波向斜盆地北西翼边缘带上, 距离东海海岸约 16km, 即浙江省宁波市江北区庄桥街道灵山村(北纬  $29.98^\circ$ , 东经  $121.52^\circ$ , 海拔标高 20m), 属于国家基本台。ZK03 井就在该台院内, 该井 1979 年 4 月成井, 井深 83.06m, 井孔围岩为下白垩系紫灰色凝灰岩。井水水质属于低矿化度  $\text{HCO}_3-\text{Ca}$  型, 2007 年日平均自流量约为 1.5t。该井完工时, 把  $\Phi 168$  套管下至 9.8m 处(第四系覆盖物厚为 6.7m),  $\Phi 146$  套管下至 75m 处, 并在  $\Phi 168$  套管外用水泥固井止水。水位观测从 2001 年 3 月份开始, 选用 LN-3 型数字水位仪, 仪器探头放置在距离现井口 1.5m 处。二次仪表安装在与井口相距小于 10m 的标准计算机房内, 仪器信号电缆线用 PVC 管套埋入室, 井孔上盖有半地下室井房。图 1 是水位仪探头安装方法及位置示意图。

\* 收稿日期: 2008-06-04

基金项目: 中国地震局 95-01-02 改造项目

作者简介: 邱永平(1959-), 男(汉族), 浙江宁波人, 宁波地震台高级工程师, 从事地震监测和管理工作。E-mail: nbdz@cnnb.com.cn

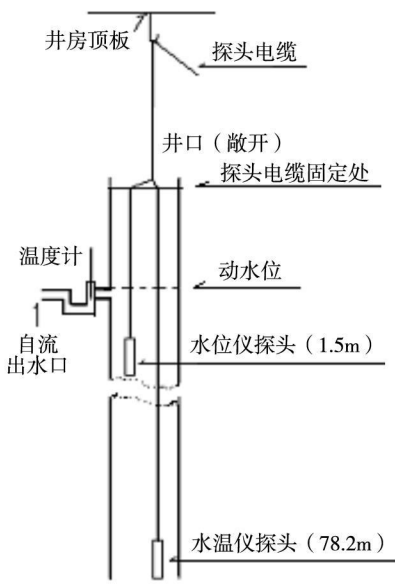


图 1 水位仪探头安装方法及位置示意图

该台 VS 垂直摆倾斜仪安装在台内进深约 43m 人工开凿的专用山洞仪器室内, 洞室顶覆盖层厚 30m 以上, 山坡上有杂草松树等植被, 洞内有七道

防护门, 仪器室内日温差极小, 年温差小于 0.3℃, 常年保持在 18.0℃左右, 湿度大于 95%。该仪器采用垂直悬挂的摆系, 采用电容式位移传感器测量摆的微小位移, 折合摆长 10cm, 电容测微器精度 0.0001μm。

## 2 同震变化现象

### 2.1 动水位的同震变化

#### 2.1.1 正常动态变化规律

宁波台 ZK03 井是一口小流量自流井, 观测的是动水位, 测值显示的是探头在井水下的埋深, 正常情况下每天能记录到清晰的半日周期固体潮, 一日两峰两谷或单峰单谷; 月潮汐变化为两次大两次小(水位变幅)的半月周期波, 但波动幅度不大。图 2 是该井动水位 2003 年 12 月份通过公用数采由计算机收集的(下同)整点值正常动态曲线, 图中可以看出, 全月测值波动平稳, 最高值与最低值之差仅为 10mm。

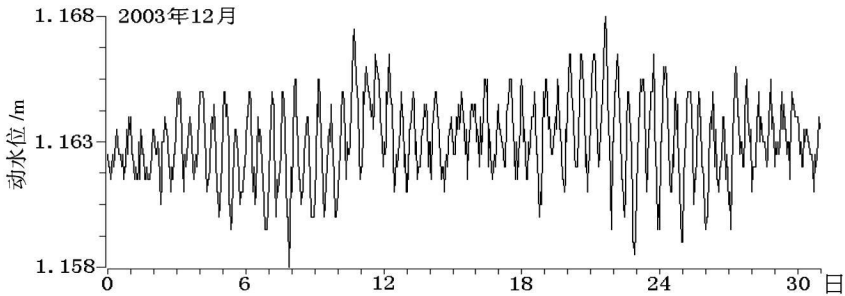


图 2 ZK03 井动水位整点值正常动态曲线图

#### 2.1.2 同震变化

图 3 是 2008 年 5 月 11~12 日动水位分钟值曲线。图中可以看出, 汶川 8.0 级地震前动水位波动正常, 地震后出现了一个振幅约 3mm 的向下震波, 之后快速产生了一个振幅约 30mm 的向上震波, 水

震波引起最大幅度约为 30mm 的脉冲式振荡, 并使水位产生阶跃变化, 2 个多小时后水位基本稳定, 重显固体潮波形, 但水位被明显抬高了 12mm 左右。图中每天 10 时 10 分的干扰为模拟水氢采样所致。

### 2.2 垂直摆的同震变化

宁波台 VS 垂直摆倾斜仪于 2001 年 4 月份安装并开始观测。通过 7 年多时间的观测表明仪器工作稳定, 月平均零漂值约为 NS:  $26.1 \times 10^{-3}''$ ; EW:  $51.9 \times 10^{-3}''$ 。正常情况下每天都能记录到清晰的半日周期固体潮, 一日两峰两谷或单峰单谷, 分钟值曲线光滑, 月潮汐变化为两次大两次小(变幅)的半月周期波<sup>9)</sup>。

图 4 是 2008 年 5 月 11~13 日该台 VS 垂直摆倾斜仪记录的分钟值曲线(a: EW 向, b: NS 向)。图中可以看出, EW 向在汶川 8.0 级地震前 34 小时有

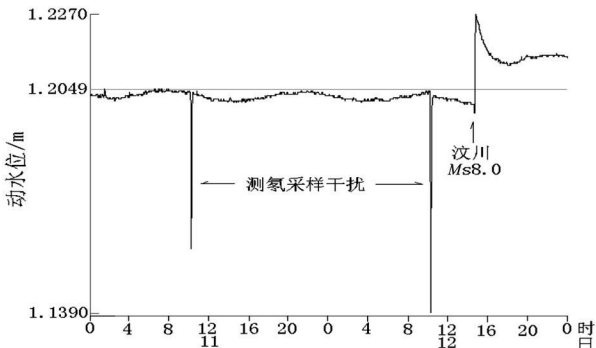


图 3 2008 年 5 月 11~12 日 ZK03 井动水位分钟值曲线图

一明显的阶跃异常,地震后出现了一个最大幅度与这3天平均值之差约为 $339.93 \times 10^{-3}''$ 的脉冲式向E振荡波,之后使测值产生向W的阶跃变化,6个多小时后震波基本衰减,重显固体潮波形。地震后NS向出现了一个最大幅度与这3天平均值之差约为 $275.24 \times 10^{-3}''$ 的脉冲式向N振荡波,之后使测值产生向S的阶跃变化,震波衰减较快,还记录到2次强余震形变波。

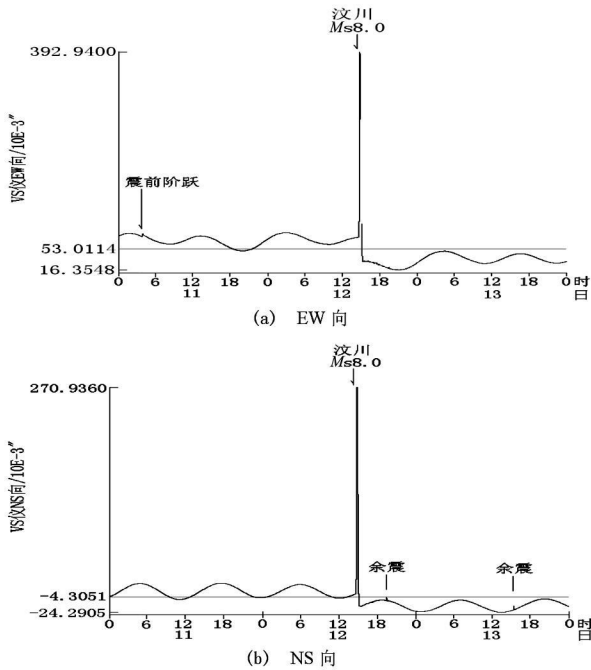


图4 2008年5月11~13日VS垂直摆分钟值曲线图

### 2.3 对比分析

为便于对比分析,把动水位、垂直摆在汶川8.0级地震中的同震变化特征列于表1中。

表1 动水位、垂直摆在汶川8.0级地震中的同震变化特征表

同震变化	动水位	垂直摆	
		EW向	NS向
异常结束时间	震后约2小时	震后约6小时	震后约1小时
同震异常形态	脉冲	脉冲	脉冲
震后异常形态	阶跃	阶跃	阶跃
同震最大异常量	波幅30mm	$339 \times 10^{-3}''$	$275 \times 10^{-3}''$

从表1中看出,动水位、垂直摆同震异常形态主要表现为脉冲形式,这可能与观测仪器的采样率有关,该2种仪器的最高采样率都是1次/min,记录过程中不可避免地出现缺失现象,因此,造成记录波形不全。另外震后都出现了阶跃。虽然垂直摆的两个分向阻尼相同,但形变波持续时间有明显的差异。

## 3 讨论

(1)由于前兆数字化仪器采样率相对较低(1次/min),记录数据缺失较多,记录的同震变化波形不完整,很难进行周期等分析。

(2)该台垂直摆EW、NS向在汶川地震后都出现了脉冲和阶跃形变波。震前EW向还出现了一个阶跃异常;震后NS向还记录到2次强余震振荡形变波;而且EW向脉冲和阶跃的绝对变化量明显大于NS向。这些差异可能与汶川震区位于宁波地震台的近正西部有关,即异常具有一定的方向性。如果是这样,则对未来地震预报研究具有一定的启示意义。

(3)震后垂直摆记录出现的矢量是向WS方向阶跃,这可能与震源机制有关。震源机制解表明,主地震破裂面南段以逆冲为主兼具右旋走滑分量,北段以右旋走滑为主兼具逆冲分量(据中国地震信息网)。说明宁波台垂直摆记录出现的震后矢量阶跃异常与震源机制解的主地震破裂面旋转方向是基本一致的。

(4)对动水位同震变化的成因,认为主要是地震发生后地震波传播引起的。地震发生后产生的振荡波作用于含水层,引起含水层产生弹性波作用→含水层变形→孔隙压力变化→井—含水层间水流运动,使水位发生变化。

(5)该台动水位、垂直摆在汶川地震后都出现了脉冲和阶跃,但震波的持续时间有明显的差异。形变与地下水位在某种程度上相互作用、相互影响。比如,地壳形变过程将引起地下水位异常,但地下水位异常未必都是由地震过程引起的;地下水位异常既可能是最直接的短临前兆,也可能是影响地壳形变异常的主要控制因素<sup>[3]</sup>。据文献[7],在强远震的影响下,水位阶变说明地下介质变化较大,起主要作用的可能是区域水文地质条件和构造特征的影响。引发阶变型形变波的区域,地壳应力可能是处于临界状态的反映,地下介质的力学性质已发生了改变,产生了塑性变化。因此,综合分析同震及震后效应可提供很多有用信息,对于追溯地震前兆、识别前兆异常、估计地球物理及水文地质参数都具有十分重要的意义<sup>[10-11]</sup>。

(6)宁波台动水位、垂直摆在汶川8.0级地震中出现的较明显的同震变化现象,说明该台因有干扰因素少、正常波动背景值噪声限低的优势,观测效果还是比较理想的。

## 参考文献:

- [1] 郑江蓉, 徐桂明, 李鸿宇, 等. 2004 年 12 月 26 日印尼 8.7 级强震后江苏地区同震效应分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 25(1): 105-113.
- [2] 张素欣, 张子广, 张跃刚, 等. 2004 年 12 月 26 日印尼大强震河北省数字水位、地热记震能力分析[J]. 华北地震科学, 2005, 23(3): 27-30.
- [3] 高小其, 陈华静, 杨又陵, 等. 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, 2006, 27(3): 40-46.
- [4] 万永芳, 叶东华, 杨向东. 2004 年 12 月 26 日印尼 8.7 级强震广东地区同震效应分析[J]. 华南地震, 2006, 26(4): 67-73.
- [5] 张双凤, 孙晴, 于伟. 印尼 8.7 级强震在河北省的震后效应初探[J]. 华北地震科学, 2007, 25(3): 15-19.
- [6] 张清秀, 陈小云, 陈莹, 等. 福建省数字化水位水温资料的远场效应研究[J]. 华北地震科学, 2007, 25(4): 49-54.
- [7] 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.
- [8] 刘耀炜, 陈华静, 车用太. 我国地震地下流体观测研究 40 年发展与展望[J]. 国际地震动态, 2006, (7): 3-12.
- [9] 夏超德. 宁波地震台地倾斜模拟与数字观测对比分析[J]. 华南地震, 2005, 25(2): 80-87.
- [10] 陆明勇, 黄辅琼, 周峥嵘, 等. 地壳形变与地下水异常关系研究进展[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(3): 98-104.
- [11] 陆明勇, 黄辅琼, 刘华, 等. 地壳变形与地下水相互作用及其异常关系初探[J]. 地震, 2005, 25(1): 67-73.

## Wenchan $M_s8.0$ Earthquake Coseismic Effects in ZK03 Well and VS Vertical Pendulum Tiltmeter of Ningbo Seismic Station

QIU Yong-ping<sup>1,2</sup>

(1. Ningbo Seismic Station of Zhejiang Province, Ningbo 300201, China;

2. Ningbo Seismic Monitoring and Predicating Center, Ningbo 300201, China)

**Abstract:** Step and pulse changes caused by water level vibration have been observed in ZK03 well of Ningbo seismic station. Similar changes caused by deformation waves are also observed in VS vertical pendulum tiltmeter of Ningbo seismic station. According to our analysis these changes may be the coseismic effects of Wenchan  $M_s8.0$  earthquake. Rise of dynamic water level in the ZK03 well is about 12mm. Eastward pulse type oscillatory waves are observed at EW component of the VS vertical pendulum tiltmeter with westward step, the maximum amplitude of the pulse is about  $339.9286 \times 10^{-3}''$ . Southward pulse type oscillatory waves are observed at NS component with westward step, the maximum amplitude of the pulse is about  $275.2411 \times 10^{-3}''$ . Comparative analysis indicates that the observation data of Ningbo seismic station has the advantages of low background, high signal-to-noise ratio.

**Key words:** Wenchan  $M_s8.0$  earthquake; dynamic water level; vertical pendulum; coseismic effects; Ningbo seismic station

(上接第 24 页)

## Analysis on Coseismic Effect of Water Level in Two Wells of Tianjin

MA Jian-ying<sup>1</sup>, SHAO Yong-xin<sup>1</sup>, WANG Cui-zhi<sup>1</sup>, LIU Xue-ling<sup>2</sup>

(1. Seismological Bureau Of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China;

2. Baodi Seismostation, Seismological Bureau Of Tianjin City, Tianjin 300180, China)

**Abstract:** Coseismic groundwater level changes of strong earthquakes (with  $M_s \geq 6$  in china and  $M_s \geq 7$  out of china) recorded in two wells of Tianjin are studied from different angles. Because of the different geographical position, geological structure, depth and aquifer rock, coseismic groundwater level changes of the same earthquake in the two wells are different. The result indicates that groundwater level is sensitive to distant earthquakes and not to near earthquakes and local earthquakes. The amplitude of coseismic groundwater level wave is related to magnitude and epicentral distance of the earthquake. The well's Ability for coseismic effects and for earth tide is different.

**Key words:** water level; coseismic groundwater level changes; wells of Tianjin