

永胜台对汶川 8.0 级地震的倾斜响应与异常分析^{*}

杨玲英¹, 张 欢², 毛先进¹, 苏有锦¹, 杨正纲¹

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 上海地震局 佘山地震台, 上海 201203)

摘要: 2008 年汶川 8.0 级地震发生前, 云南永胜水管倾斜测值北南向出现将近一年大幅度趋势南倾异常, 东西向自 2007 年 7 月向西倾变化, 且速率比以往快。在排除气压、降雨等干扰因素影响后, 通过异常形态、持续时间、观测点所处构造, 分析了该异常与汶川地震的关系, 结果表明在强地震孕育阶段, 永胜水管倾斜有长期趋势异常。

关键词: 汶川地震; 水管倾斜观测; 同震响应; 震前异常

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)04-0628-06

0 引言

地震最基本的物理成因是地壳应力—应变状态的不均匀分布及其变化(赵洪声等, 2000), 从根本上说是可以监测到这种变化的。汶川地震后, 笔者研究了众多的前兆观测手段及观测点中的异常。定点形变测量作为地震预报的一种监测手段, 在云南已经开展了 40 多年, 积累了丰富的观测资料, 在监测地震孕育、发展、发生的过程中做出了巨大的贡献(刘仲权, 2001)。永胜地震台距离汶川地震震中约 580 km, 是云南地区距离汶川地震最近、观测时间较长的定点水管倾斜观测点。汶川地震前永胜水管倾斜北南向出现大幅度、长趋势的南倾异常, 异常持续时间和幅度是该台仪器自 2002 年 1 月以来从未出现过的; 东西向出现快速西倾趋势异常。经过笔者的分析研究, 认为这是汶川地震的孕震效应, 该异常变化对应的是汶川地震。

“十五”建设后, 云南省内的水管倾斜观测点增多, 研究永胜水管倾斜的异常, 有利于提高对水管倾斜观测异常数据的认识, 有利于提高形变预测能力, 对云南省内及周边大震震情跟踪分析判定具有参考意义。

1 永胜台水管倾斜观测环境情况

根据多年气象资料的分析, 永胜县境内年平均气温 13.9℃, 气温升降不剧烈。气压变化不大, 最高为 789.5 hPa, 最低为 783.7 hPa(云南省地震局, 2005)。永胜水管倾斜仪放置的观测山洞长 209.5 m, 覆盖层均达 30 m 以上, 仪器架设在三迭纪(T₂)的厚层石英砂岩上, 岩质坚硬致密。因此永胜水管倾斜观测数据受温度、气压、降雨等外界因素的干扰小。

仪器采用中国地震局武汉地震科学仪器研究院研制的 FSQ 型数字水管倾斜仪, 该类型仪器具有基线长、漂移小、精度高的特点(马森林等, 2001)。永胜台数字化水管地倾斜仪自 2002 年 1 月开始记录, 仪器的基线长度为: 北南向 42.35 m, 东西向 38.04 m; 北南向格值 $\eta = 0.4920 \times 10^{-3}''/\text{mV}$, 东西向格值 $\eta = 0.5239 \times 10^{-3}''/\text{mV}$ 。仪器观测环境好、数据稳定, 数据内精度高, 连续可靠。自投入观测至 2008 年 5 月 12 日汶川地震发生的 6 年多时间内, 在该观测点周边半径 100 km 范围内没有发生过 5.0 级以上地震。总的来说, 永胜水管倾斜周围环境干扰小、其他地震的前兆与震后效应叠加少, 背景清晰。

^{*} 收稿日期: 2013-09-16.

基金项目: 中国地震局监测、预报、科研三结合课题《云龙台形变短临异常提取及震例分析》(142501) 和云南省政府十项重点工程“云南大震短临跟踪工作”子课题《弥渡形变观测与周边抽水井干扰实验研究》(400130) 联合资助。

2 永胜水管倾斜正常和异常动态变化

2.1 水管倾斜正常动态

观测结果表明,永胜数字化水管倾斜东西向、北南向均有清晰、明显的年变化规律(图1)。东西向观测值一般在每年的2~5月逐渐上升,

到6月达到最高值,而后在7~9月以较快速度下降,到10月最低,年变形态呈现出比较规则的波动形态。北南向观测值一般在每年的1~3月逐渐下降,4月达到最低;而后在5~8月逐渐上升,9月达到最高(偶尔有8月或10月时),然后10~12月下降,年变形态呈现出比较规则的季节性波动形态。

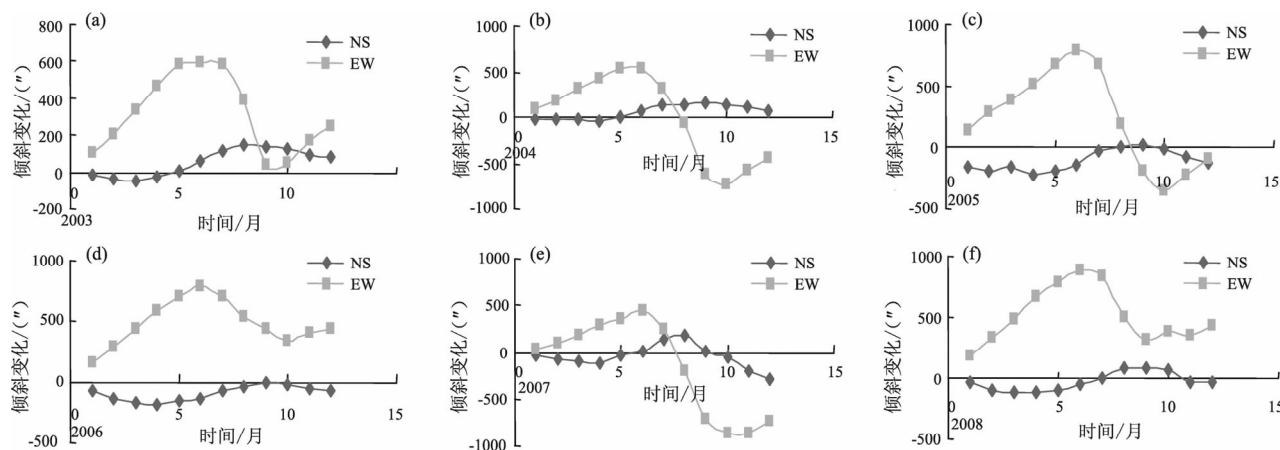


图1 2003~2008年永胜台水管倾斜仪年变曲线

Fig. 1 Annual change curve of water-pipe tiltmeter at Yongsheng Station from 2003 to 2008

2.2 汶川8.0级地震前永胜水管倾斜异常

在汶川8.0级地震前,永胜水管倾斜主要表现为:北南向出现将近1年的大幅度趋势下降异常,东西向自2007年7月起变化速率比以往快

(图2a、图3a)。

北南向:变化最明显从2007年9月初到2008年5月初,水管倾斜,变化量是 $583.6 \times 10^{-3}''$,同期的2003~2006年,变化量分别是 $289.5 \times 10^{-3}''$ 、

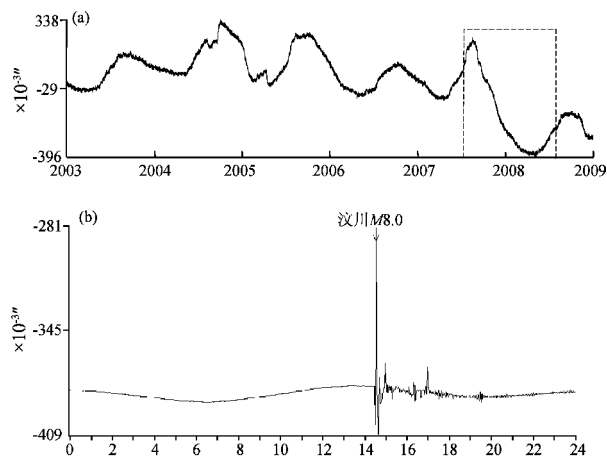


图2 永胜水管倾斜北南向观测曲线

(a) 2005~2008年整点值曲线; (b) 2008年5月12日分钟值曲线

Fig. 2 Observation curve of water-pipe tilt in NS at Yongsheng Station

(a) hour value curve from 2005 to 2008; (b) minute value curve on the May. 12, 2008

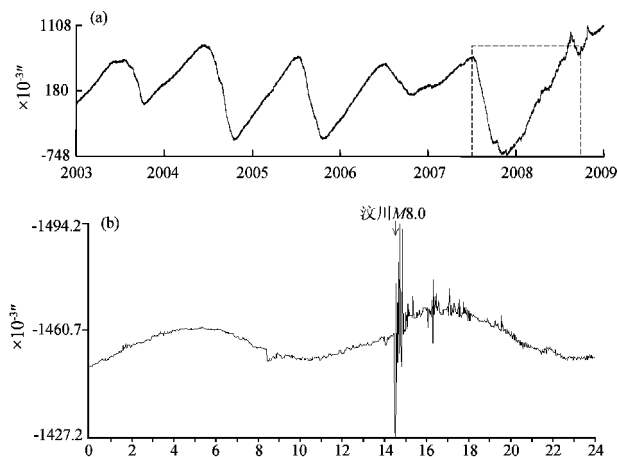


图3 永胜水管倾斜东西向观测曲线

(a) 2005~2008年整点值曲线; (b) 2008年5月12日分钟值曲线

Fig. 3 Observation curve of water-pipe tilt in EW at Yongsheng Station

(a) hour value curve from 2005 to 2008; (b) minute value curve on the May. 12, 2008

$313.1 \times 10^{-3}''$ 、 340.1 、 $179 \times 10^{-3}''$ ，汶川地震前的变化量是同期 2003 年的 2.0 倍、2004 年的 1.8 倍、2005 年的 1.7 倍、2006 年的 3.3 倍。

东西向：从 2007 年 12 月初到 2008 年的 5 月初，水管倾斜变化最明显，变化速率是 $213.4 \times 10^{-3}''/\text{月}$ ，同期的 2003 ~ 2006 年，变化速率分别是 $106.7 \times 10^{-3}''/\text{月}$ 、 $134.4 \times 10^{-3}''/\text{月}$ 、 $148.4 \times 10^{-3}''/\text{月}$ 、 $60.3 \times 10^{-3}''/\text{月}$ 。从图 2、3 可以看出：（1）汶川地震当天，永胜台水管倾斜固体潮双峰双谷分钟值曲线上叠加有汶川大震所激发的瞬态高频同震响应；（2）永胜台的水管倾斜观测值在 2007 年 7 月以前，都有比较规则的年变形态，尤其东西向，但是 2007 年 7 月 10 日以后北南向、东西向的变化趋势异于往年，呈现出趋势性异常。北南向向南倾斜，幅度大、延续时间长，打破了以往的年变形态。东西向变化速率高于前 4 年中的任何一年，曲线上有高频成分叠加，使曲线看起

来不光滑，有小结节。

从统计结果看（表 1），2005 年永胜水管倾斜北南向、东西向的月平均变化量较高，在 2005 年 8 月 5 日发生了云南会泽 5.3 级地震，震中距 213 km。2007 年、2008 年 1 ~ 4 月的月平均变化量达到历史最高水平，但是在永胜台周边 350 km 范围内，没有发生 5.0 级以上的地震。快速地倾斜变化具有一定的短期前兆指示意义，且与地震震级有一定的相关性，快速地倾斜变化往往具有较清晰的物理特征，如起止时间（持续时间）、变化幅度及速度等物理特征具有可读性。对每次中强地震前云南地区地倾斜观测资料进行扫描，可以捕捉到震前短期内发生的一些快速变化图像，并获得相应的物理特征。西南地区各测点地倾斜在震前快速变化的特征表明，永胜测点的变化最为灵敏（牛安福，2004）。因此永胜台水管倾斜的变化，应该与汶川地震有关。

表 1 2003 年 1 月至 2008 年 4 月永胜水管倾斜月平均变化

Tab. 1 Monthly average changes of water-pipe tilt at Yongsheng Station from Jan. , 2003 to Apr. , 2008

	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年 1 ~ 4 月
北南向	$15.9 \times 10^{-3}''$	$16.8 \times 10^{-3}''$	$20.3 \times 10^{-3}''$	$14.5 \times 10^{-3}''$	$39.3 \times 10^{-3}''$	$34.8 \times 10^{-3}''$
东西向	$45.8 \times 10^{-3}''$	$85.6 \times 10^{-3}''$	$94.6 \times 10^{-3}''$	$52.1 \times 10^{-3}''$	$110.3 \times 10^{-3}''$	$117.0 \times 10^{-3}''$

3 永胜水管倾斜异常与汶川 8.0 级地震关系分析

3.1 永胜台水管倾斜变化与气温、气压、降雨的关系

（1）2003 年 1 月 ~ 2008 年 12 月永胜地震台气温月均值的变化如图 4a 所示，从图 4a 可以看出，在 2007 年 7 月至 2008 年 5 月汶川地震发生前的这段时间内，该台的气温与往年相比没有明显异常，表明汶川地震的孕育过程中永胜水管倾斜异常没有受到气温的影响。

（2）2003 年 1 月至 2008 年 12 月永胜地震台气压月均值的变化如图 4b 所示，从图 4b 可以看出，在 2007 年 7 月至 2008 年 5 月汶川地震发生前的这段时间内，该台的气压与往年差别不大，表明汶川地震的孕育过程中永胜水管倾斜异常没有受到气压的影响。

（3）表 2 列出了 2003 年 1 月至 2008 年 12 月永胜地震台记录到的降雨年变化量，并统计了这

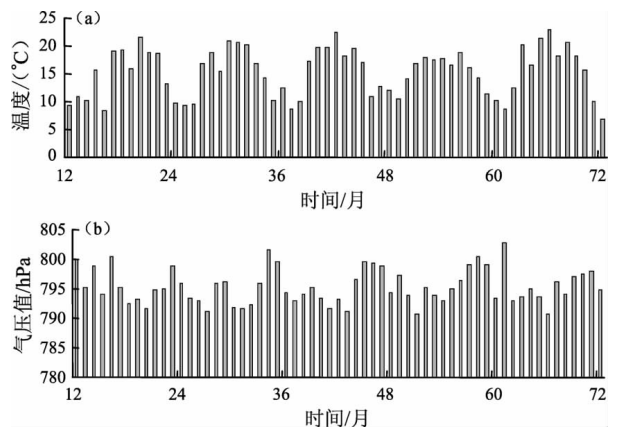


图 4 2003 ~ 2008 年永胜台气温 (a)、气压 (b) 月均值曲线

Fig. 4 Monthly mean curves of air-temperature (a) and pressure (b) at Yongsheng Station from 2003 to 2008

段时间内该台的水管倾斜南北、东西分量的年变化量，经过对比分析，认为 2007 年永胜水管倾斜北南向的大幅度变化、东西向 7 月以后的快速变化受降雨影响不大。2005 年的降雨量比 2007 年还多，但是 2005 年该台的水管倾斜两个分向的变化量都没有 2007 年的大。

表 2 2003 ~ 2008 年永胜水管倾斜年变化量与降雨量统计表
Tab. 2 Statistic of annual variations of water-pipe tilt and rainfall at Yongsheng Station from 2003 to 2008

	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
年降雨量/mm	963.5	798.0	1 573	1 058.0	1 481.0	1 012.3
北南向年变化量/ $\times 10^{-3}''$	191.0	202.0	243.4	174.3	471.3	209.3
东西向年变化量/ $\times 10^{-3}''$	549.4	1 267.7	1 135.0	625.7	1 323.2	1 459.2

2004 年北南、东西向分量的变化量比 2003 年大，2004 年 12 月 26 日在距离永胜台 225 km 的双柏发生了 5.0 级地震。2005 年北南向的变化量比 2004 年大，2005 年 8 月 5 日在距离永胜台 213 km 的会泽发生了 5.3 级地震。2006 年的 1 月至 2007 年 12 月，距永胜台 350 km 范围内没有发生过 5.0 级以上地震。2007 ~ 2008 年永胜水管倾斜北南、东西分向的巨大变化量，无法解释。

3.2 从地质构造方面分析永胜台水管倾斜变化与汶川地震的关系

汶川地震发生在北东走向的龙门山断裂上(张立等, 2010)，永胜水管倾斜观测点处于川滇交界的九龙—永胜地震带上，丽江—小金河断裂带和宾川—程海断裂带之间，是跨越川滇两省的多条断裂的交汇处。丽江—小金河断裂带与龙门山断裂带同为北东向断裂，同为第四纪活动断层，这两条断裂在地下的某一点是否贯通，是否同为一条断裂？有待进一步研究。

3.3 从监测能力分析永胜台水管倾斜变化与汶川地震的关系

吴翼麟(1994)经过系统清理总结，按现有台站的实际观测精度，形变监测地震的能力半径 D_j 可用下式估算： $\lg D_j = 0.303 (M + 1.6)$ ，据此，我国形变台网当前的布局，基本可以满足东部监测 5 级，西部监测 6 级地震的要求。根据该公式可算出，汶川 8.0 级地震，形变的监测半径是 810.59 km，永胜地震台距离汶川 580 km，汶川地震在永胜水管倾斜的监测半径内。因此笔者认为永胜水管倾斜北南向的大幅度、东西向的高速率变化，是汶川地震的异常反映。通过上述分析，在排除了外界气象干扰的前提下，永胜水管倾斜仪不但记录到了汶川地震显著的同震响应，

而且记录到了汶川地震前可能的趋势异常变化。

3.4 汶川地震后永胜台水管倾斜变化分析

2008 年 5 月汶川地震后，2009、2010 年的观测又可见比较清晰的年变规律(图 5)。

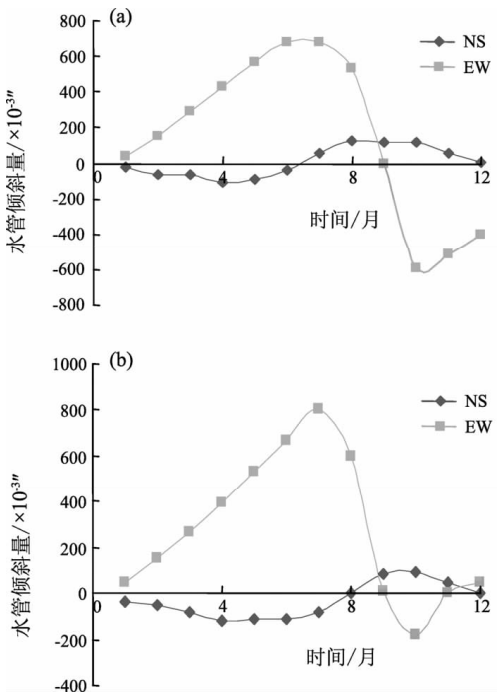


图 5 2009 年 (a)、2010 年 (b) 永胜台水管倾斜月均值曲线

Fig. 5 Monthly mean curve of water-pipe tilt at Yongsheng Station in 2009 (a) and 2010 (b)

4 永胜台水管倾斜变化与周边地震对应情况分析

图 6 是 2003 ~ 2008 年永胜水管倾斜北南、东西分量月均值曲线图，从图中可以看出：震中距

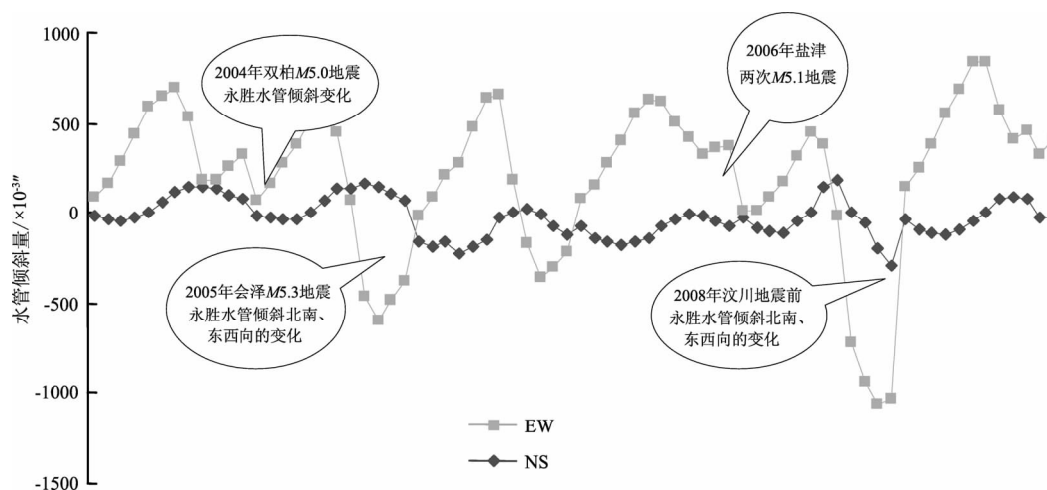


图6 2003~2008年永胜台水管倾斜月均值曲线

Fig. 6 Monthly mean curve of water-pipe tilt at Yongsheng Station from 2003 to 2008

在 300 km 范围内、 $M \geq 5.0$ 地震前, 永胜水管倾斜的东西分量均有一定的变化, 北南分量变化不明显。汶川地震前水管倾斜东西分量变化幅度较大、北南分量有明显变化。

5 结论与讨论

永胜台的水管倾斜观测背景清晰, 无显著的干扰因素, 且倾斜变化大, 打破以往规律。因此笔者认为永胜水管倾斜北南、东西两分向自 2007 年 7 月起的异常变化, 是汶川地震前地壳倾斜变形的反映。

同样是记录地面倾斜变化的垂直摆倾斜仪器, 永胜地震台的垂直摆倾斜仪却没有记录到这样的前兆变化, 这是否与不同仪器的摆长、周期有关? 此问题有待进一步研究。

本文在撰写过程中得到云南省地震局杨沧生工程师、杨学慧工程师的帮助, 在此向他们表示衷心感谢。

参考文献:

- 刘仲全. 2001. 姚安 6.5 级地震前云南倾斜场变化特征[J]. 地震研究, 24(4): 301-306.
- 马森林, 车用太, 车兆宏, 等. 2001. 地震及前兆数字观测技术规范(地壳形变观测)[M]. 北京: 地震出版社.
- 云南省地震局. 2005. 云南省地震监测志[M]. 北京: 地震出版社.
- 牛安福. 2004. 丽江地震前后西南地区定点形变变化的特点分析[J]. 内陆地震, 18(4): 301-302.
- 吴翼麟. 1994. 形变前兆异常的追踪分析地震形变前兆特征的识别于研究[M]. 北京: 地震出版社.
- 张立, 何德强, 申波, 等. 2010. 汶川 8.0 级地震前云南水富井水位长期异常初探[J]. 地震研究, 33(2): 162-166.
- 赵洪声, 苏有锦, 张立, 等. 2000. 云南地震前兆与短临预报[J]. 地震研究, 23(1): 10-11.

Analyses on Tilt Responses and Anomalous for Wenchuan M8.0 Earthquake at Yongsheng Station

YANG Ling-ying¹, ZHANG Huan², MAO Xian-jin¹, SU You-jin¹, YANG Zheng-gang¹

(1. *Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650024, Yunnan, China*)

(2. *Sheshan Seismic Station, Earthquake Administration of Shanghai Municipality, Shanghai 201203, China*)

Abstract

Before Wenchuan M8.0 earthquake on May. 12, 2008, the water-pipe tilt observation value in NS direction appeared a substantial anomalous trend of south tilt recorded by Yongsheng Station in Yunnan for nearly one year, while the observation value in EW direction changed to west tilt, and its rate was faster than ever before. After removing the pressure, rainfall and other interference factors, we analyzed the relationship between the water-pipe tilt observation value anomalies and the Wenchuan M8.0 earthquake through the anomalous patterns, duration time and the tectonic where the observation points located, and concluded that there existed long-term anomalous trends for water-pipe tilt observation value at Yongsheng Station during the seismogenic processes of strong earthquakes.

Key words: Wenchuan M8.0 earthquake; water tilt observation; coseismic response; anomaly before earthquake