

# 2014年云南鲁甸 $M_s$ 6.5 地震前水管倾斜特征分析\*

陈俊磊, 杨润海

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 选取2008年1月1日~2014年9月14日云南省前兆台网昭通、楚雄等6个台站的水管倾斜数据, 通过对比同一台站、不同年份的水管倾斜年变曲线, 对这6个台站的水管倾斜年变特征进行研究。对比分析了昭通、昆明等6个台站的水管倾斜在鲁甸  $M_s$  6.5 地震前的响应特征, 结果表明: 鲁甸  $M_s$  6.5 地震前昭通台水管倾斜EW向和楚雄台水管倾斜NS、EW向均表现出了一定的异常特征。

**关键词:** 水管倾斜; 鲁甸  $M_s$  6.5 地震; 年变特征

**中图分类号:** P315.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2015)03-0401-07

## 0 前言

地震是地壳内应力应变不断积累的结果, 地壳内局部区域应力应变的积累在前兆数据中将有所反应。因此加强对前兆数据的研究可以在一定程度上为地震预报创造有利条件。水管倾斜作为地震前兆观测手段之一, 具有明确的几何物理意义。位错理论研究表明, 孕震区在地震前后伴随有重力与形变场的改变(吴翼麟等, 1993)。高精度的水管倾斜观测是一种以地壳倾斜变形观测为基础, 研究地震物理过程和地球动力学的基本手段, 它在大地测量和地球物理领域发挥着重要作用(谢富仁, 2006)。对不同台站的倾斜固体潮分析, 可了解震源及其附近地区应力应变积累的情况(段华琛, 1991)。

在云南省前兆台网的监测手段中, 水管倾斜仪的安装比较普遍, DSQ型水管倾斜仪工作稳定, 采集的数据质量较高。许多学者利用云南地区的地倾斜数据进行过很多研究, 如唐伯雄等(1988)研究楚雄水管倾斜仪观测的倾斜变化特征, 周挚等(1993)对易门地倾斜前兆资料进行过综合分析, 刘仲全(2001)研究了姚安6.5级地震前云南倾斜场变化特征, 王永安等(2003)研究了云南地区大震前地倾斜趋势性异常的典型特征, 杨玲英等(2012)对云龙地震台水管倾斜仪与水平摆倾斜仪进行同震响应对比分析。但对云南水管

倾斜的年变曲线特征进行过全面分析的研究较少。倾斜年变曲线更能反映区域应力倾斜分量的缓慢积累与变化, 研究其特征有助于判断在地震前是否出现了异常。

2014年8月3日昭通鲁甸发生  $M_s$  6.5 地震, 造成了巨大的人员伤亡与财产损失, 引起了国内外的广泛关注。本文选取2008年1月1日~2014年9月14日云南地区昭通、昆明、楚雄等6个台站的水管倾斜数据进行研究, 通过对比这些地倾斜数据年变趋势, 归纳其规律特征, 以此了解与局部应力应变有关的地倾斜特征, 以期对鲁甸  $M_s$  6.5 地震的孕育过程有更进一步的认识。

## 1 地震概况

根据中国地震台网测定, 2014年8月3日16时30分10.2秒, 在云南省昭通市鲁甸县龙头山镇发生  $M_s$  6.5 地震, 震中位置(27.1°N, 103.3°E), 震源深度12 km, 震中最高烈度达IX, 龙头山强震仪记录到最大加速度达948 gal。根据中国地震局地球物理研究所(2014)给出的矩张量反演结果, 此次地震为走滑型, 地震断层节面I, 走向74°, 倾角84°, 滑动角177°; 节面II, 走向165°, 倾角87°, 滑动角6°。

根据中国地震局地质研究所(2014)联合有关研究机构利用最新观测资料, 对鲁甸  $M_s$  6.5 地震的发震构造进行了综合分析, 此次地震的发震

\* 收稿日期: 2014-10-21.

基金项目: 云南省地震局青年基金(201310)资助.

断层为北西向包谷垭—小河断裂,此断裂是北东向昭—鲁断裂系的北西向次级走滑断层。因此,此次地震为一次左旋走滑型地震。

## 2 数据分析

水管倾斜在云南前兆台网中作为较普遍的形变观测手段之一,其数据记录稳定、质量较高,并且与地震孕育过程的关系相对较为密切。本文选取 2008 年 1 月 1 日至 2014 年 9 月 14 日水管倾斜数据,由于原始数据一般会有缺数,记为 99 999,本文采用简单的线性插值对原始数据进行处理,缺数太多的年份剔除不用。图 1 给出云南前兆台网部署有水管倾斜仪的台站分布图。

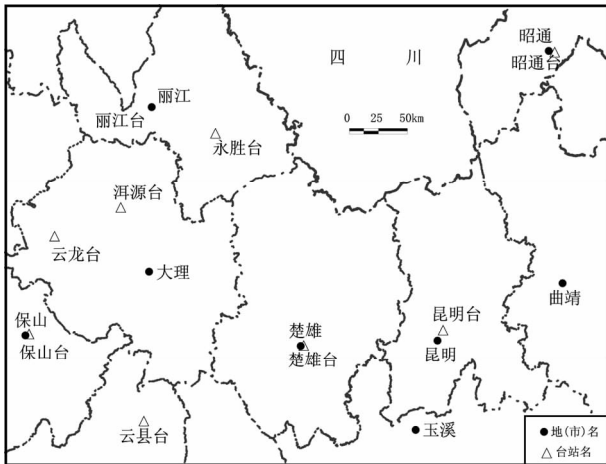


图 1 云南前兆台网水管倾斜仪的台站分布

Fig. 1 Distribution of stations of water tube tilt in Yunnan Precourcy Network

通过分析实测水管倾斜数据,可以总结出其数据具有以下基本规律:(1)水管倾斜仪容易受温度、湿度(降水)的影响,因此水管倾斜年变的形态与温度和降水有一定的相关性(刘其寿等,2010),不同年份即同一台站相同测向的水管倾斜曲线随季节的变化呈现一定的规律性;(2)每套仪器系统的特性不同(杨军,1998),因此不同台站相同测向的记录曲线形态各异,即不同台站相同测向的水管倾斜曲线不具规律性;(3)由于区域应力积累而形成的大地形变是一种长期的积累,因此此种形变积累应该包含在年变里;(4)水管倾斜原始记录每到一年便自动调零,数据的比对长度最长以年为单位,因此本文把同一台站同一

测项数据按照不同年份进行比对。通过总结以上特点,使对数据的分析更合理、更科学,也可以更加清晰地表现出曲线的异常形态,其显示的异常也更有说服力。

### 2.1 水管倾斜 NS 向

图 2 为 2008 ~ 2014 年昭通、昆明、楚雄、永胜、洱源、云县 6 个台站的水管倾斜 NS 向曲线对比。从图中可以看到,昭通台 NS 向水管倾斜自 2011 年开始呈逐渐下降的趋势,而 2012 和 2013 年则比较平稳,一直保持到 2014 年 6 月中旬以前,到 6 月 12 日即鲁甸  $M_s 6.5$  地震前一个半月左右,倾斜量突然增大,其异常是由 UPS 电源故障导致,如图 2a 中的红圈所示。由于受到这一干扰,昭通台水管倾斜 NS 向自 2014 年 6 月以后受到一定影响。

受云南前兆台网密度的限制,加上昭通地处云南东北角,与昭通台距离最近且架设水管倾斜仪的分别为昆明台、楚雄台、永胜台、洱源台和云县台。这些台站分布在昭通台的西南和西向,距昭通台约 300 ~ 400 km。西南方向距离昭通台最近的是昆明台,直线距离约 270 km。2014 年昆明台水管倾斜 NS 向的形态与 2011 和 2012 年的形态基本相似,均比较平缓,没有表现出特别的上升或下降趋势。楚雄台距昭通台 300 km,2014 年水管倾斜 NS 向在形态上与往年相似,而在 6 月以前表现出比往年偏高的上升幅度,6 月后迅速下降到正常水平。云县台距昭通台 480 km,2014 年水管倾斜 NS 向形态与 2013 年基本相似,形态比较平缓。而永胜和洱源台与昭通台的距离分别为 300 km 和 400 km,这两个台 2014 年的水管倾斜 NS 向曲线形态基本与往年相似,形态相对较平缓。综上所述,鲁甸  $M_s 6.5$  地震前,昭通台受到停电干扰,楚雄台水管倾斜 NS 向在 2014 年表现出了一定的年变畸变,其余台站均表现正常。

### 2.2 水管倾斜 EW 向

图 3 给出昭通、昆明、楚雄、永胜、洱源和云县台的 EW 向水管倾斜年变曲线。如图所示,2011 ~ 2014 年昭通台水管倾斜 EW 向的年变曲线表现为:2011 至 2013 年 7 月倾斜量均为下降,下降幅度逐年减小;2013 年 8 月至 2014 年变为上升。2009 ~ 2011 年昆明台水管倾斜 EW 向曲线均表现得相对平缓,2012 ~ 2014 年均表现为明显的上升

趋势, 上升幅度逐年增高。2009~2012年楚雄台水管倾斜EW向变化均比较平缓, 2013年8、9月有明显下降, 10月后有一定回升, 但2014年5、6月却显示出明显上升, 7、8月后迅速下降的趋势。2014年永胜台水管倾斜EW向的形态与往年的形

态基本相似。洱源台水管倾斜EW向自2008年以来, 均表现为逐渐上升的趋势, 形态基本相似。自2010年以来, 云县台水管倾斜EW向每年的年变曲线形态基本相似, 只是起伏的幅度有差别, 2014年的年变形态没有明显畸变。

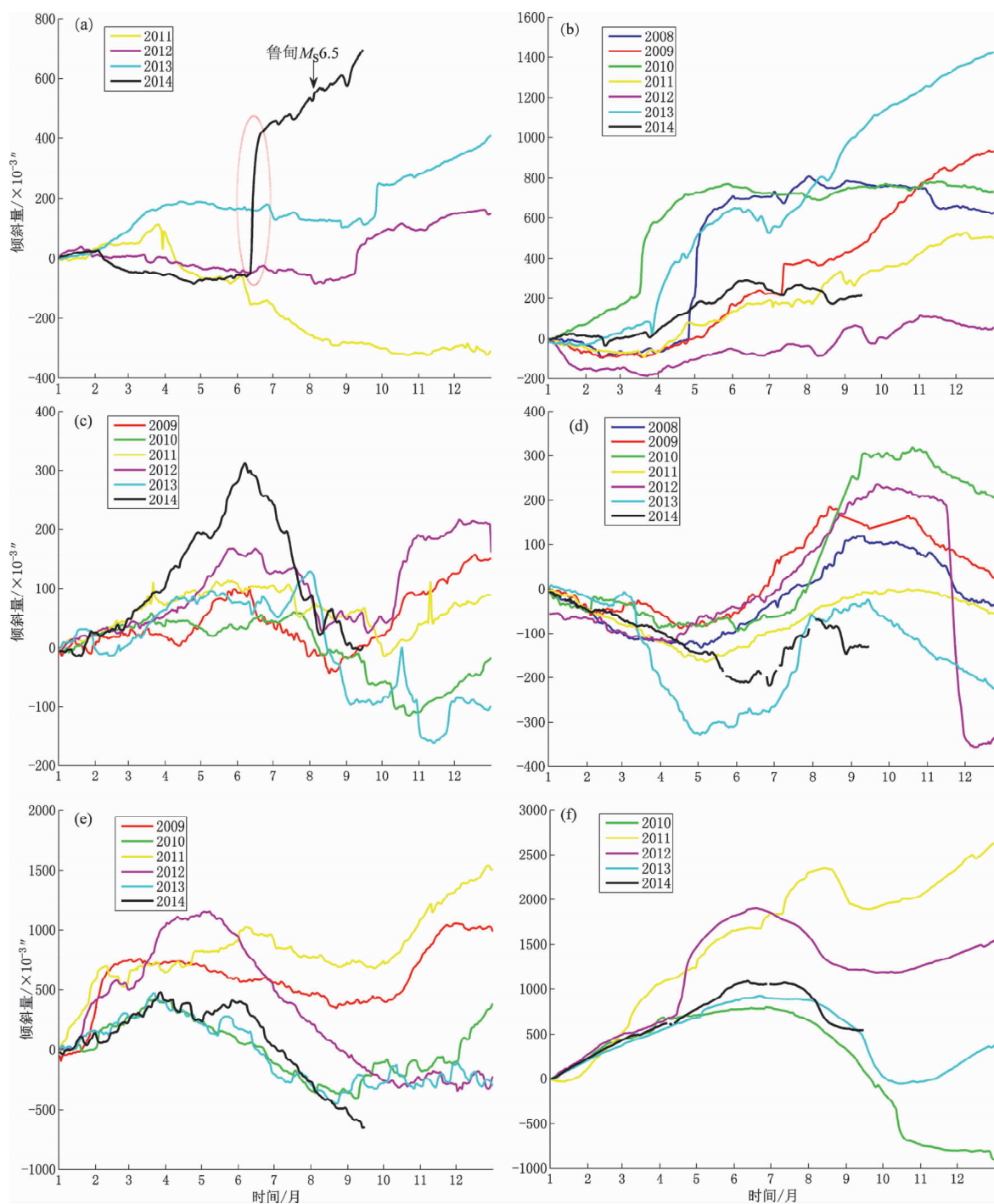


图2 2008~2014年昭通(a)、昆明(b)、楚雄(c)、永胜(d)、洱源(e)、云县(f)台水管倾斜NS向曲线对比

Fig. 2 Comparison of curves of water tube tilt in NS recorded by Zhaotong (a), Kunming (b), Chuxiong (c), Yongsheng (d), Eryuan (e), Yunxian (f) stations from 2008 to 2014

综上所述, 鲁甸  $M_s 6.5$  地震前各台站水管倾斜 EW 分量年变曲线特征总体表现为: (1) 2013 年 8 月楚雄台开始出现明显年变畸变, 2009 ~ 2012 年年变幅度不超过  $\pm 200 \times 10^{-3}''$ , 但自 2013 年 8 月开始倾斜量下降幅达  $-600 \times 10^{-3}''$ , 为过去几年

的 3 倍以上, 2014 年表现为先上升后下降的趋势, 上升值达  $+600 \times 10^{-3}''$ ; (2) 昭通台自 2013 年 8 月至 2014 年 9 月 14 日, 年变曲线趋势均上升, 与 2011 和 2012 年方向相反; (3) 除昭通台和楚雄台有同步变化外, 其余台站均无明显畸变。

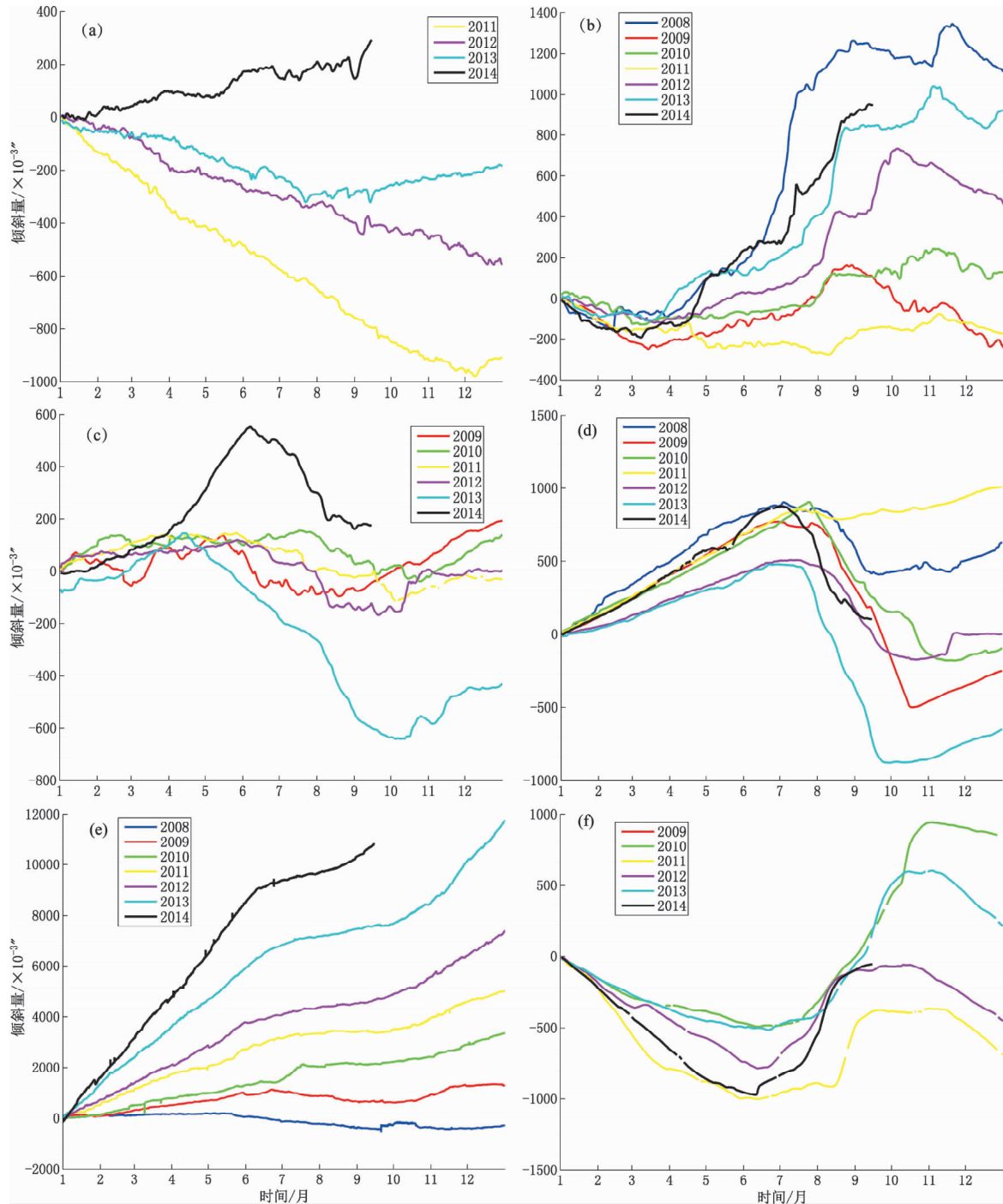


图3 2008 ~ 2014 年昭通 (a)、昆明 (b)、楚雄 (c)、永胜 (d)、洱源 (e)、云县 (f) 台水管倾斜 EW 向对比曲线

Fig. 3 Comparison of water tube tilt curves in EW recorded by Zhaotong (a), Kunming (b), Chuxiong (c), Yongsheng (d), Eryuan (e), Yunxian (f) stations from 2008 to 2014

通过联合分析同一台站倾斜的 EW 向和 NS 向, 可以研究台站倾斜的真实方向。楚雄台 2013 年 EW、NS 两个分量的倾斜均为下降趋势, 尤其自 8 月开始快速下降。2014 年 1~6 月倾斜的两个分量均为上升趋势, 6 月以后至鲁甸地震发生前又快速下降。NS 分量下降表明为南倾, EW 分量下降表明为西倾 (蒋靖祥等, 2005), 所以楚雄台 2013 年的倾斜方向是西南, 尤其在 8 月为快速西

南向倾斜。2014 年 1~6 月倾斜分量均表现为上升, 即为东北向倾斜, 6 月以后至鲁甸地震发生前又快速变为西南向倾斜。地形倾斜变化的过程与介质所受应力变化的过程有紧密联系, 这种地形倾斜的快速变化是由应力的变化引起。但是造成此地形倾斜变化的应力作用是非常复杂的。总体上应力积累区与相邻地震的应力环境相同 (程建武等, 2013; 沈旭章, 2013)。

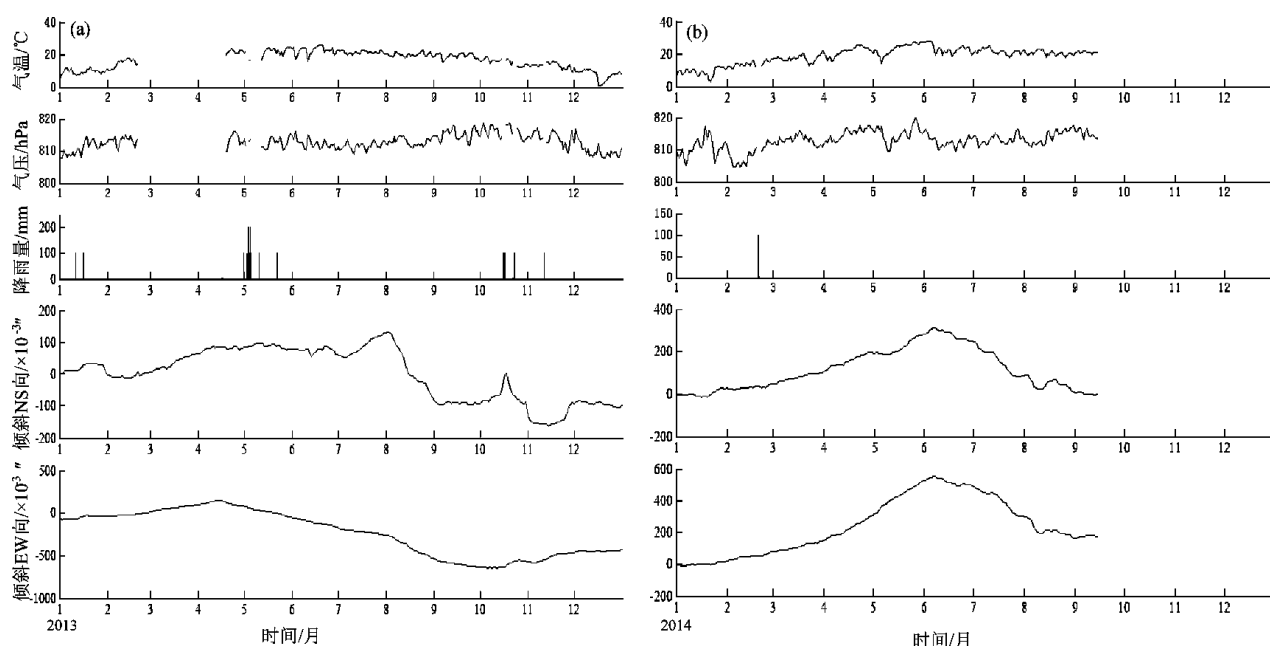


图4 2013 (a) 和 2014 年 (b) 楚雄台气象三要素与水管倾斜对比图

Fig. 4 Comparison of three meteorological elements with water tube tilt at Chuxiong Station in 2013 (a) and 2014 (b)

前文分析表明, 在所选台站中楚雄台水管倾斜年变在鲁甸地震前表现出一定的畸变特征。为了甄别这种年变畸变与气象三要素的关系, 笔者作进一步分析。如图 3 所示, 2013 和 2014 年楚雄台最低气温约  $5^{\circ}\text{C}$ , 最高气温约  $37^{\circ}\text{C}$ , 可见气温对测洞内的温度影响不大。2013 年 10~12 月气压有一个扰动, 类似的扰动于 2014 年 1、4 和 5 月均有出现, 其变化与 2013 和 2014 年水管倾斜变化趋势没有明显相关性。2013 年 5 月出现最大降雨, 最大降雨量 200 mm, 2014 年基本无降水, 2013 和 2014 年楚雄台地表降水均偏少, 测洞内的湿度变化不会太大, 即 2013 和 2014 年楚雄台水管倾斜仪受降水的影响较小。唐伯雄等 (1988) 对楚雄台水管倾斜的倾斜变化特征作了详细研究, 并给出

了气象三要素对楚雄台水管倾斜的影响。由图 4 中可知: 气象三要素的变化很难引起 2013 年 8 月至 2014 年 9 月 14 日楚雄台如此明显的水管倾斜年变畸变。

图 5 为楚雄台 2009 年 1 月 1 日至 2014 年 9 月 14 日水管倾斜去掉趋势后的年变曲线。由图可知, 2009 年至 2013 年 8 月楚雄台水管倾斜 NS 和 EW 向年变曲线均比较规律, 2013 年 8 月至 2014 年 9 月 14 日年变曲线则变得不规律, 变化幅度以及形态与常年均有较大差别。畸变的时间与昭通台水管倾斜 EW 向出现反向的时间吻合, 说明二者具有时间同步的关系。但可惜的是昭通台水管倾斜 NS 向受断电干扰, 年变趋势受到影响, 已不能用于验证这一结论。

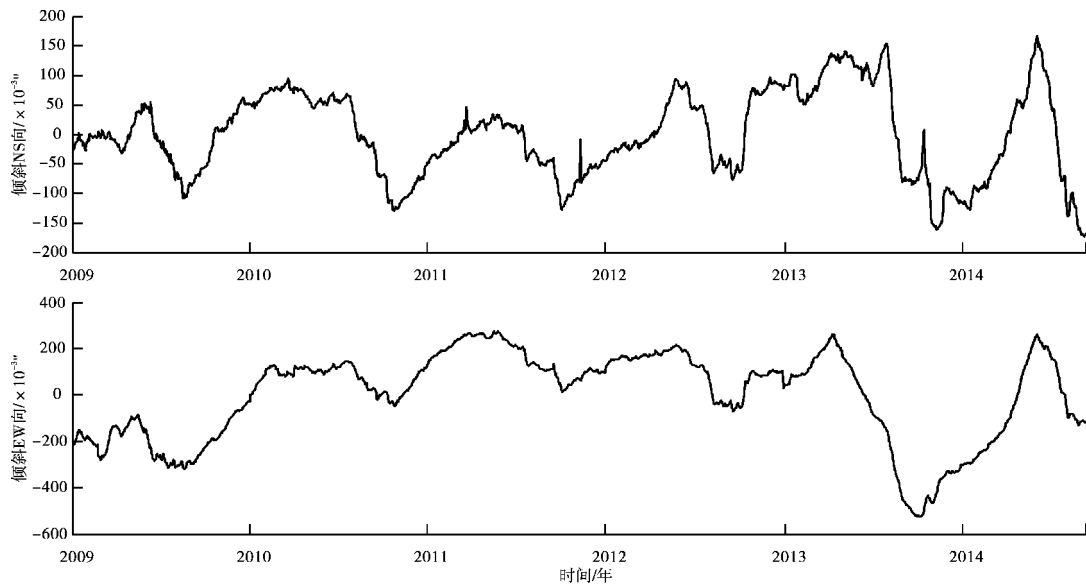


图5 楚雄台水管倾斜 NS (a) 和 EW (b) 向去趋势的年变曲线对比

Fig. 5 Comparison of annual variation of water tube tilt in NS (a) and EW (b) after removing the trend at Chuxiong Station

### 3 结论

通过对鲁甸  $M_s 6.5$  地震前, 云南前兆台网昭通、楚雄等 6 个台站的水管倾斜年度曲线特征分析, 我们可以得到以下结论:

(1) 鲁甸  $M_s 6.5$  地震前楚雄台水管倾斜 NS 和 EW 向都分别表现出与昭通台同步的年变畸变, 距离更近的昆明台和其它方向上的台站却表现正常。说明同步变化与距离和方位的关系并不直接。而且这种表现是否偶然, 或是具有某种构造上的联系, 就目前的仪器布设密度还难以断言。

(2) 昭通台地倾斜 NS 与 EW 向趋势, 自 2013 年 8 月起均出现明显反向, 表明在鲁甸  $M_s 6.5$  地震前, 该地区存在显著的局部应力调整及变化。

感谢云南省监测中心前兆台网提供的数据支持, 感谢昭通台提供的观测说明。

#### 参考文献:

- 程建武, 董治平, 郑卫平, 等. 2013. 2010 年青海玉树 7.1 级地震发生的构造背景及其动力学分析[J]. 内陆地震, 27(3): 195–203.
- 段华琛. 1991. 地倾斜固体潮所反映的地震之前应变积累异常信息[J]. 地球物理学报, 34(6): 744–752.
- 蒋靖祥, 王在华, 温和平, 等. 2005. 2003 年昭苏  $M_s 6.0$  地震定点形

变异常初步分析[J]. 地震, 25(2): 83–90.

- 刘其寿, 杨佩琴, 王绍然, 等. 2010. 龙岩地震台地倾斜资料干扰因素分析[J]. 大地测量与地球动力学, 30(增刊 I): 91–95.
- 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.
- 沈旭章. 2013. 2010 年玉树 7.1 级地震震源区 P 和 S 波接收函数成像[J]. 地球物理学报, 56(2): 495–502.
- 唐伯雄, 张惠英, 熊维棣. 1988. 楚雄水管倾斜仪观测的倾斜变化特征[J]. 地震研究, 11(3): 291–300.
- 王永安, 刘强, 王世芹, 等. 2003. 云南地区大震前地倾斜趋势性异常的典型特征[J]. 地震研究, 26(增刊): 126–132.
- 吴翼麟, 牛安福, 李爱萍. 1993. 孕震区形变异常临近地震时的有序度研究[J]. 地壳形变与地震, 13(3): 7–12.
- 谢富仁. 2006. 地壳构造与地壳应力文集(18)[A]//何成平, 欧阳祖熙. 倾斜形变观测技术发展综述[C]. 北京: 中国地震局地壳应力研究所, 18: 149–157.
- 杨军. 1998. 地倾斜仪的频率响应与潮汐因子[J]. 地震学报, 20(4): 394–402.
- 杨玲英, 崔庆谷, 毛先进, 等. 2012. 云龙地震台水管倾斜仪与水平摆倾斜仪同震响应对比分析[J]. 地震研究, 35(1): 48–52.
- 中国地震局地球物理研究所. 2014 年 8 月 3 日云南鲁甸 6.5 级地震[EB/OL](2014–8–3)[2014–10–21]. <http://www.ceia-igp.ac.cn/tpxw/270724.shtml>
- 中国地震局地质研究所. 鲁甸地震地表破裂带及其发震构造[EB/OL](2014–10–10)[2014–10–21]. [http://www.eq-igl.ac.cn/wwwroot/c\\_000000090002/d\\_1445.html](http://www.eq-igl.ac.cn/wwwroot/c_000000090002/d_1445.html).
- 周攀, 杨建忠, 沈荣臣. 1993. 易门地倾斜前兆综合分析的初步研究[J]. 地震研究, 16(2): 138–147.

## Analysis of Water Tube Tilt Feature before Ludian $M_s6.5$ Earthquake in 2014

CHEN Jun-lei, YANG Run-hai

(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

### Abstract

Basing on the water tube tilt data recorded by Zhaotong Station, Chuxiong Station etc. in Yunnan Precursor Network from Jan. 1, 2008 to Sep. 14, 2014, we compared the annual variation of water tube tilt at the same station in different years, and found the annual feature of water tube tilt at six stations. Then we analyzed the response of water tube tilt recorded by Zhaotong Station, Chuxiong Station etc. before Ludian  $M_s6.5$  earthquake. The result shows that there appeared some abnormal feature on water tube tilt at Zhaotong Station and Chuxiong Station before the earthquake.

**Key words:** water tube tilt; Ludian  $M_s6.5$  earthquake; annual variation characteristic