

赖爱京, 张锦萍, 蒋志英, 黄帅堂, 2017. 2016 年 7 月 19 日新疆  $M_S$  4.5 级地震乌什地震台形变异常. 震灾防御技术, 12 (2): 433—440. doi: 10.11899/zzyf20170221

# 2016 年 7 月 19 日新疆 $M_S$ 4.5 级地震 乌什地震台形变异常<sup>1</sup>

赖爱京 张锦萍 蒋志英 黄帅堂

(阿克苏中心地震台, 新疆维吾尔自治区阿克苏 843000)

**摘要** 利用乌什台数字化前兆形变观测资料, 分析乌什  $M_S$  4.5 级地震前乌什台水管倾斜仪、洞体应变仪数据变化情况。通过对比分析发现: 地震前, 洞体应变仪北南分量数据曲线正常, 东西分量数据曲线加速拉张, 05:14—20:32 拉张幅度达到  $7.40 \times 10^{-7}$ , 7 月 19 日 5 时至 20 日 16 时乌什洞体应变仪东西分量快速拉张了  $9.20 \times 10^{-7}$ ; 7 月 19 日 5—19 时, 水管倾斜仪北南分量数据曲线正常, 东西分量数据曲线反向西倾 7.13ms, 且 05:59—06:06、07:36—07:46、18:42—18:56 数据掉格, 水管倾斜仪异常结束后 1 小时, 在洞体应变仪异常过程中发生了乌什  $M_S$  4.5 级地震。水管仪东西分量震前反向西倾, 洞体应变仪东西分量震前拉张加速, 短临异常明显, 且 2 套形变观测震前异常时间同步性较好。

**关键词:** 乌什  $M_S$  4.5 地震 水管仪 洞体应变仪 短临异常

## 引言

据新疆地震台网测定, 北京时间 2016 年 7 月 19 日 20 时 32 分 53 秒, 在新疆阿克苏地区乌什县 ( $41.42^\circ\text{N}$ ,  $79.13^\circ\text{E}$ ) 发生  $M_S$  4.5 级地震。此次地震的震中位于乌什县境内, 震中距离乌什地震台 25km, 阿克苏、乌什、阿合奇地区有感, 无人员伤亡。震前乌什台水管仪、洞体应变仪存在不同程度异常。

## 1 台站地质构造背景

新疆乌什县位于南天山中段, 柯坪地块北部, 其西北是南天山褶皱带中的阔克萨勒复向斜, 中部为库车拗陷上的托什干山前拗陷, 南部为柯坪断隆上的阿克苏隆起和木垒杜克沉降带。主要断裂有阔克萨勒-别迭里断裂、阿依里断裂、索格当它乌大断裂、喀拉提克大断裂, 其中后 2 条断裂新构造运动剧烈, 历史上的几次大地震都与该断裂活动有关 (杨又陵等, 2009a)。乌什地震台位于新疆维吾尔自治区天山南麓的阿克苏地区乌什县, 地处天山南麓、塔里木盆地北缘, 在大地构造上跨及南天山地槽和塔里木盆地及其之间的过渡地带。台站区域有大面积基岩出露, 岩性为石英砂岩。乌什地震台水管倾斜仪、SSY-II 洞体应变仪架设在

<sup>1</sup> 基金项目 新疆维吾尔自治区地震局科学基金 (2015206), 中国地震局监测、预测、科研三结合课题 (163102)

[收稿日期] 2016-08-29

[作者简介] 赖爱京, 女, 生于 1968 年。高级工程师。主要从事数字化前兆监测工作。E-mail: xjlaij68@163.com

位于台站以东约 900m 的观测山洞内, 2 种设备架设在同一洞室内的同一个仪器槽上, 2006 年 10 月仪器架设完毕, 2007 年 1 月观测数据稳定, 数据曲线具有一定的日变和年变形态。台站方位、水管倾斜仪和洞体应变仪所在的观测山洞及其周围环境如图 1 所示。

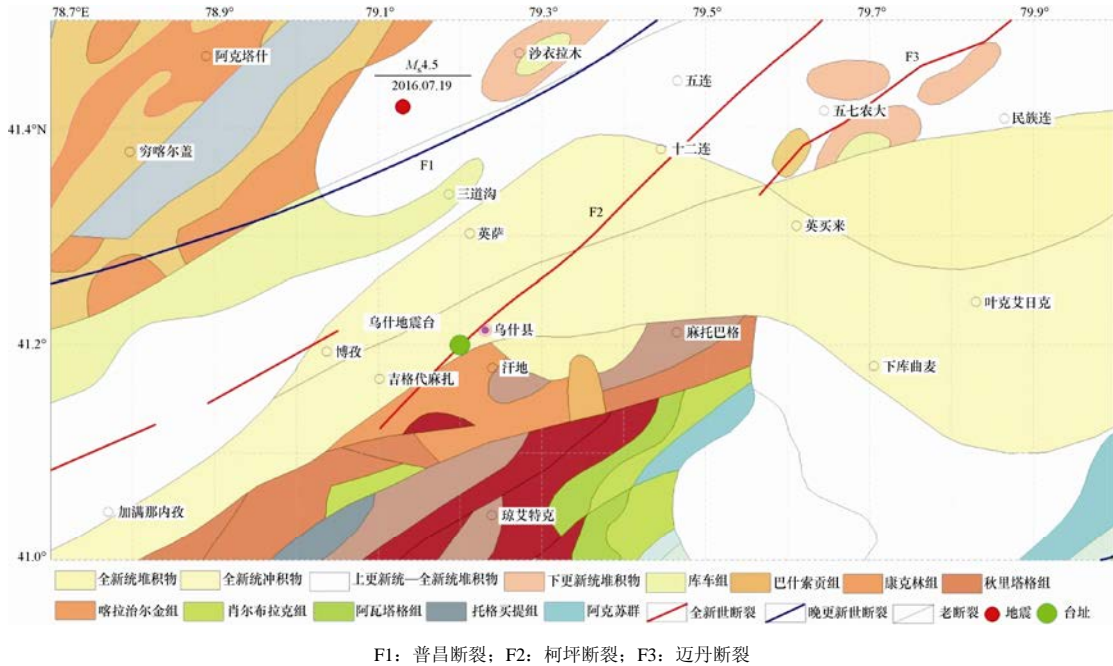


图 1 台站地质构造

Fig. 1 Simplified geological map near the earthquake and seismic station

## 2 台站观测系统

“十五”前兆数字化改造完成后, 乌什地震台现有的前兆数字化观测仪器包括 TJ- II 型体积式钻孔应变仪、SSY- II 型洞体应变仪、DSQ 型水管倾斜仪、LN-3A 型水位仪、SZW-1A 型水温仪、FHD-2 型地磁仪、ZD9A 型大地电场仪、PET 型重力仪、WYY-1 型气象三要素测量仪、RZB-2 型多分量钻孔应变仪和 VP 宽频带倾斜仪, 形成了较全面、系统的前兆监测能力。乌什台观测系统共分 2 个部分, 一部分架设在台站院内, 另一部分架设在离台站 900m 的山洞内和山洞外的观测场地。台站院内共架设了体应变、静水位、水温、分量式钻孔应变和气象三要素 5 套仪器。乌什台观测山洞内架设有水管倾斜仪、洞体应变仪、PET 重力仪和 VP 宽频带倾斜仪, 山洞外的观测场地架设有大地电场仪和 FHD 地磁仪(赖爱京等, 2010)。

## 3 2016 年乌什 $M_s$ 4.5 地震前形变异常

乌什台水管倾斜仪和洞体应变仪于 2006 年 10 月开始观测, 2 套仪器架设在山洞内的同一观测墩上, 观测环境稳定(杨又陵等, 2009b), 相对误差与重复精度均符合标定要求。2007 年观测资料基本稳定, 数据连续可靠, 固体潮清晰, 有一定的年变形态。自观测以来, 乌什水管仪和洞体应变仪在新疆南部发生的 2 次 7 级左右地震和柯坪块体 3 次 5 级地震前, 均有不同程度的中短期异常或临震异常(潘振生等, 2010), 即 2 套形变观测仪映震效果较好。前

兆异常形态主要是震荡扰动, 其次是分钟值固体潮曲线畸变, 然后是阶跃, 多为形态组合式, 固体潮畸变伴随震荡扰动、阶跃后出现震荡扰动(郑照福等, 2006)。

2016 年 7 月 19 日乌什  $M_S$  4.5 级地震前乌什洞体应变仪北南分量数据曲线正常, 东西分量数据曲线加速拉张, 05: 14—20: 32 拉张幅度达到  $7.40 \times 10^{-7}$ , 7 月 19 日 5 时至 20 日 16 时洞体应变仪东西分量快速拉张了  $9.20 \times 10^{-7}$ ; 7 月 19 日 5—19 时, 水管倾斜仪北南分量数据曲线正常, 东西分量数据曲线反向西倾 7.13ms, 且 05: 59—06: 06、07: 36—07: 46、18: 42—18: 56 数据掉格, 水管倾斜仪异常结束后 1 小时, 在洞体应变仪异常过程中发生了乌什  $M_S$  4.5 级地震, 震中距 25km。上述 2 项异常可能是该地震的临震异常。水管倾斜仪、洞体应变仪出现的同步异常变化如图 2 所示。洞体应变仪东西分量震后拉张速率有所减缓, 但整体仍然呈拉张变化趋势。7 月 24 日东西分量数据曲线再次加速拉张变化, 02: 04 至 25 日 17: 00 拉张幅度达到  $2.45 \times 10^{-7}$ , 7 月 25 日 17: 04 发生新疆阿合奇县  $M_S$  3.9 级地震(震中距 96.7km), 震后拉张速率有所减缓。19 日—25 日洞体应变仪东西分量 2 次快速拉张变化, 且无日变形态, 震后拉张速率均有所减缓, 且 26 日后东西分量数据曲线出现日变化, 故此次洞体应变仪东西分量 2 次加速拉张变化疑似震前异常。

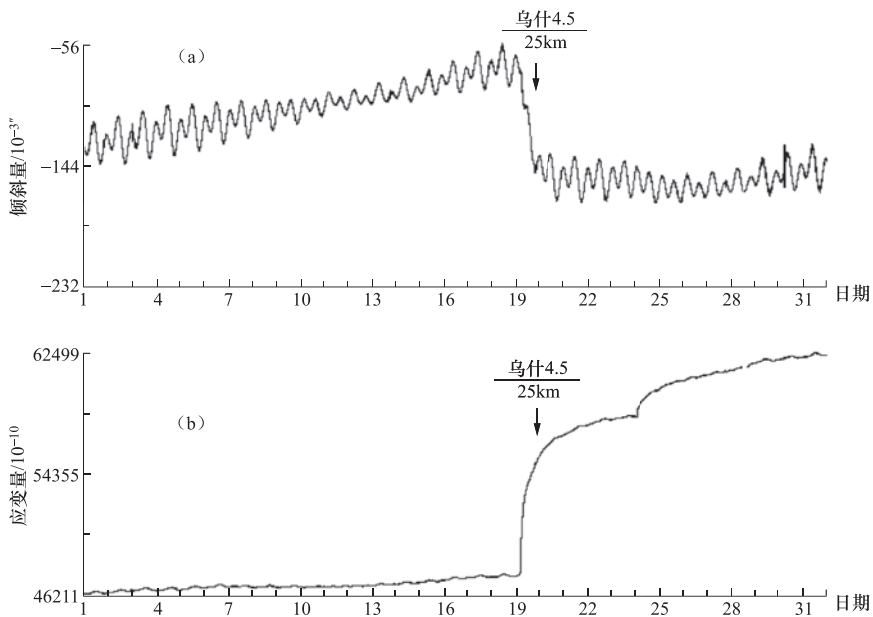


图 2 2016 年 7 月乌什水管倾斜与洞体应变东西分量时序分钟值曲线

Fig. 2 Plots of the strain EW component and tilt value before and after the earthquake

### 3.1 观测数据可靠性分析

2007 年乌什台水管倾斜仪个别月份的 M2 波潮汐因子中误差大于 0.02, 主要是由于标定电机故障、浮子对中不正等原因造成, 除此以外, 其余误差均小于等于 0.02。2008—2012 年远优于国家形变 I 类台标准(图 3)。2012 年 12 月 26 日水管仪 2 分量换液、维修, 2013 年 5 月 2 日水管仪东西分量标定不正常, 于 5 月 11 日再次清洗、换液, 之后标定成功, 9 月 27 日标定又不符合规范。北南分量 2012 年 12 月 26 日换液、维修后标定均成功, 资料变化逐渐稳定。2013 年 11 月 11 日, 中国地震局地震研究所的仪器专家到乌什台给水管仪 2 分量换液, 重新调试后仪器恢复正常工作。近 2 年, 仪器标定 1 次成功, 符合规范; 固体潮形态正常, 国家前兆台网中心月

评反馈潮汐因子等精度较高, 因此认为 2014 年 1 月后, 水管仪 2 分量资料可靠性较高。

洞体应变仪 2006 年 11 月至 2007 年 2 月东西分量吊丝断裂, 传感器铁芯对不正; 2008 年 4—5 月因雷击造成数采故障; 2009 年 3 月标定影响; 2012 年底更换东西分量传感器, 2013 年 12 月北南分量吊丝松动以及水管倾斜多次调试仪器造成该时段中误差未达标; 东西分量 2012 年底至 2013 年初以及 2014 年 4—5 月份中误差较高可能还与该时段出现的快速拉张异常有关。

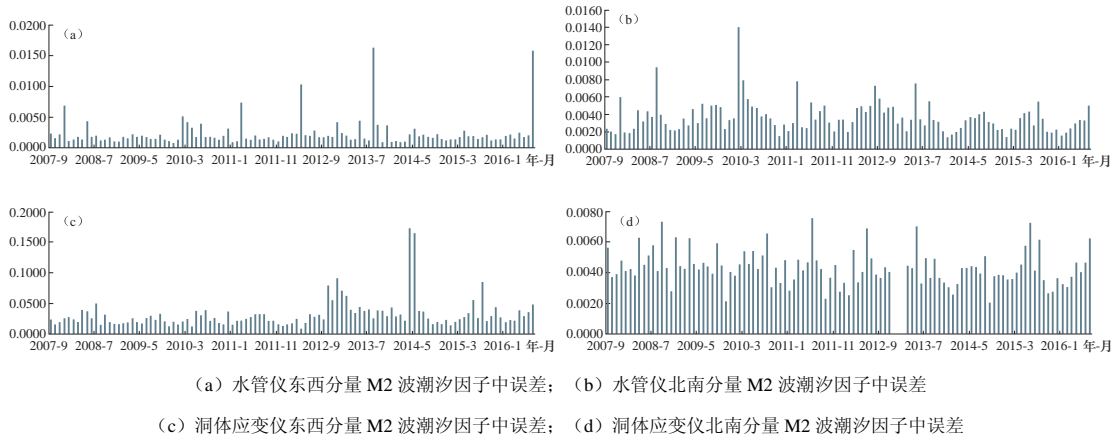


图 3 水管倾斜仪、洞体应变仪 M2 波潮汐因子中误差

Fig. 3 The factor error of M2 tidal wave from water tube-tilt and cave strain measurement

总体而言, 水管倾斜仪除个别月份的 M2 波潮汐因子中误差未达标准外, 其他月份均优于国家标准; 洞体应变仪的 M2 波潮汐因子相对误差较大。在相对噪声水平方面, 水管倾斜仪和洞体应变仪均达到了国家标准 (图 4)。

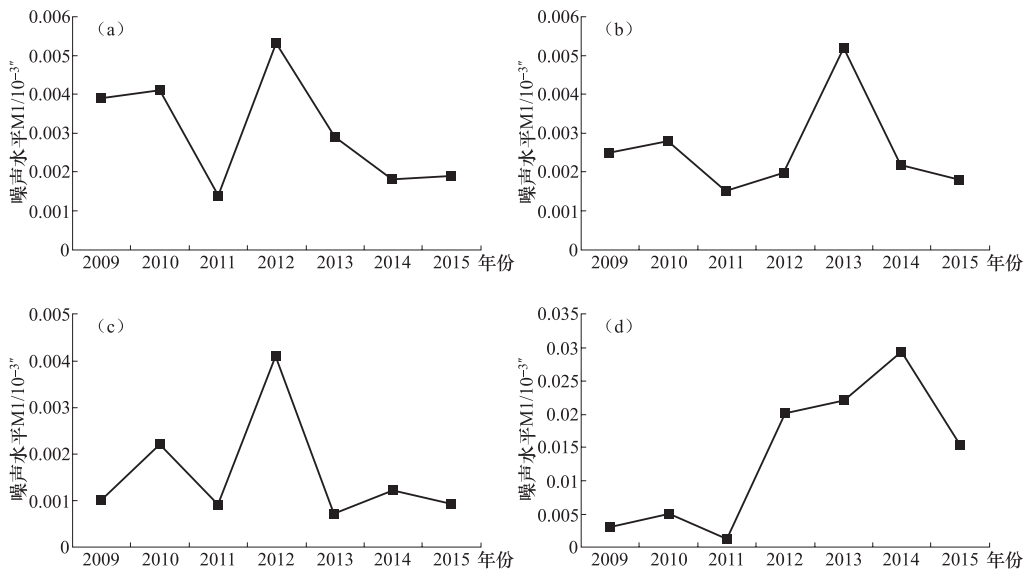
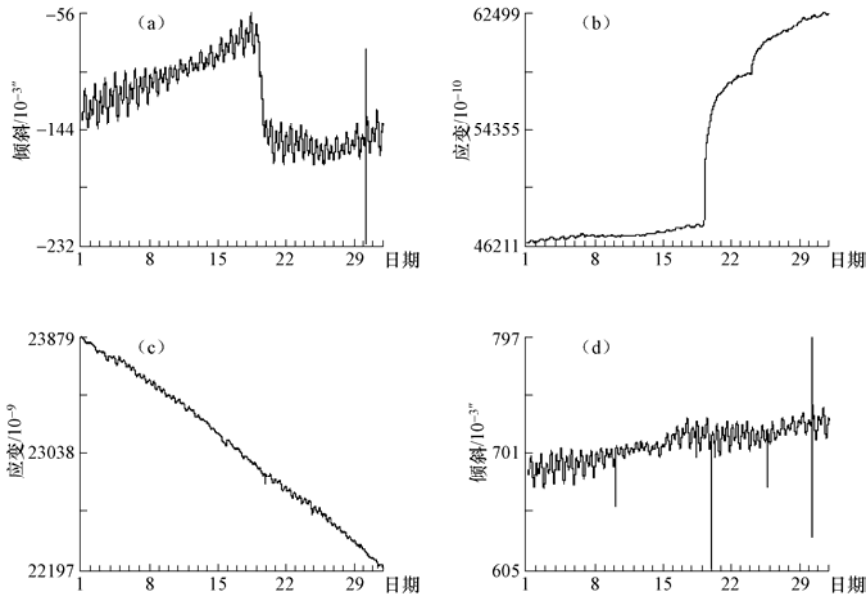


图 4 水管倾斜仪、洞体应变仪相对噪声

Fig. 4 The relative noise from water tube-tilt and cave strain measurement

### 3.2 同类型观测资料对比

乌什台形变观测仪器除水管倾斜仪和洞体应变仪外, 还有垂直摆倾斜仪和体应变观测仪。其中垂直摆倾斜仪与水管倾斜仪在同一山洞观测, 相互距离小于 10m, 体应变仪位于台站院内, 与洞体应变仪直线距离 650m。原理上作为同一台站的同类型观测, 如果同时记录到异常变化, 则异常信度较高, 相反则信度降低。但实际上 7 月 19 日水管倾斜仪和洞体应变仪出现大幅突变的时段垂直摆倾斜仪和体应变曲线平稳 (如图 5 所示), 只有 2 套仪器出现同步异常变化, 但也不能排除此次乌什水管倾斜仪和洞体应变仪异常的可靠性。



(a) 2016 年 7 月乌什水管仪东西分量时序分钟值曲线; (b) 2016 年 7 月洞体应变仪东西分量时序分钟值曲线;  
(c) 2016 年 7 月体应变时序分钟值曲线; (d) 2016 年 7 月垂直摆倾斜仪东西分量时序分钟值曲线

图 5 2016 年 7 月乌什台形变观测资料对比

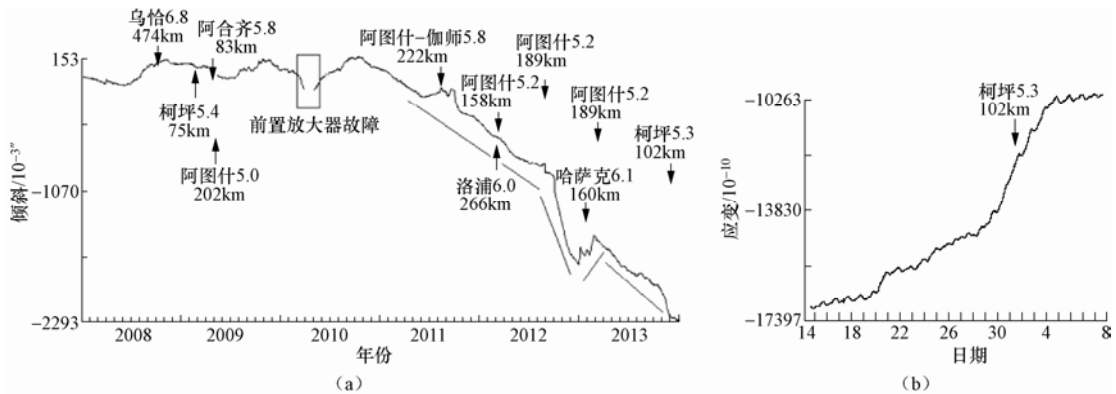
Fig. 5 Comparison of deformation observation from Wushi station in July 2016

## 4 震例回顾

### 4.1 水管倾斜仪震例

自观测以来, 乌什水管仪 2 分量年变形态清晰, 东西分量持续东倾, 北南分量趋势性北倾。远场先后发生了 2008 年 3 月 21 日于田 7.4 级地震、2008 年 10 月 5 日乌恰 6.9 级地震、2014 年 2 月 12 日于田 7.3 级地震及 2015 年 7 月 3 日皮山 6.5 级地震; 近场的柯坪块体及相邻区域先后发生了多次 5 级地震和 2012 年 3 月 9 日洛浦 6.0 级地震, 以及 2013 年 1 月 29 日哈萨克 6.1 级地震。震前临震异常特征是原始数据曲线临震前 10 天内出现高频抖动异常, 短期异常特征为北南分量反向南倾, 东西分量反向西倾, 总的异常特征主要为反向异常和上弯型异常。异常恢复后 2—3 个月发震。乌什水管倾斜仪在历史上出现了 2 次反向异常和 1 次上弯型异常, 异常特征如表 1 所示, 持续时间在 1 个月内, 异常幅度不大。3 组异常中, 2013

年 8 月出现的 1 次反向异常对应了 2013 年 12 月 1 日柯坪 5.3 级地震 (如图 6 (a) 所示)。本次异常持续了 15 个小时, 异常幅度 7.13ms。与以往相比, 本次异常幅度略大, 持续时间较短。异常开始后 15 个小时距该测点 25km 发生了乌什  $M_S$  4.5 级地震, 因此认为该异常是此次地震的短临异常。



(a) 乌什水管仪北南分量日均值曲线图; (b) 乌什伸缩仪 2013 年 11 月 14 日—12 月 9 日东西向分钟值曲线图

图 6 乌什水管仪、伸缩仪观测曲线图

Fig. 6 Plots of tilt and strain recorded in Wushi station

表 1 乌什水管倾斜仪东西分量反向异常特征统计

Table 1 The statistical anomaly of the reverse characteristics of the water tube-tilt EW component from Wushi station

异常特征					地震对应情况		
开始时间	结束时间	持续时间	异常幅度/ms	异常形态	发震时间	地震	震中距/km
2009-02-14	2009-02-19	6 天	0.52	反向、掉格	2009-02-20	柯坪 5.2	98
2009-04-14	2009-04-19	5 天	9.66	反向	2009-04-19	阿合奇 5.5	76
2011-08-03	2011-08-10	7 天	0.69	反向、掉格	2011-08-11	阿图什 5.8	220
2012-08-20	2012-12-26	129 天	33000	反向	2013-01-29	哈萨克斯坦 6.1	160
2013-08-10	2013-08-28	18 天	-0.017	反向	2013-12-01	柯坪 5.3	102
2013-12-17	2014-01-11	26 天	0.028	反向			
2014-03-28	2014-04-25	27 天	0.036	反向、上弯型	2014-07-09	麦盖提 5.1	225
2016-07-19	2019-07-19	14 小时	0.084	反向	2016-07-19	乌什 4.5	25

## 4.2 洞体应变仪震例

乌什洞体应变仪自投入观测以来, 所处的柯坪块体及相邻区域先后发生了多次 5 级以上地震。震前趋势异常为北南分量趋势性转折, 短期异常特征为加速拉张, 临震异常特征为震前 2—8 天原始观测曲线出现“畸变”, 并伴随高频成份增多。乌什洞体应变仪地震震例总结如表 2。

表 2 乌什洞体应变仪东西分量快速拉张异常特征统计

Table 2 The statistical anomaly of the reverse characteristics of the rapid tension EW component from Wushi station

异常特征					地震对应情况		
开始时间	结束时间	持续时间	异常幅度/ $10^{-10}$	异常形态	发震时间	地震	震中距
2009-02-11	2009-02-19	8 天	14.5	加速拉张	2009-02-20	柯坪 5.2	98
2009-04-14	2009-04-19	5 天	9.66	加速拉张	2009-04-19	阿合奇 5.5	76
2011-08-03	2011-08-10	7 天	45.5	加速拉张	2011-08-11	阿图什 5.8	220
2012-08-20	2012-12-26	129 天	33000	加速拉张	2013-01-29	哈萨克斯坦 6.1	160
2013-11-19	2013-12-01	12 天	-0.017	加速拉张	2013-12-01	柯坪 5.3	102
2014-04-06	2014-05-16	41 天	0.028	加速拉张	2014-07-09	麦盖提 5.1	225
2016-07-19	2019-07-19	15 小时	0.084	加速拉张	2016-07-19	乌什 4.5	25

乌什洞体应变仪的主要异常特征为快速拉张。历史上出现了 5 次快速拉张异常, 其中 3 次异常幅度巨大, 达到了  $10^{-6}$  量级, 持续 1—4 个月, 为中短期异常; 其余 2 次异常幅度在  $10^{-7}$  量级, 持续 8—12 天, 为短临异常, 5 次大幅异常有 2 次对应了地震(表 2)。乌什伸缩仪东西向 2013 年 10 月 18 日至 12 月 19 日由压缩转为拉张, 异常幅度  $1.4 \times 10^{-6}$ , 11 月 15 日至 20 日东西分量缓慢拉张变化, 21 日起拉张变化加速, 12 月 1 日发生柯坪 5.3 级地震, 12 月 5 日后加速拉张变化结束, 恢复到之前变化速率, 整个变化过程临震异常特征显著(赖爱京, 2015, 如图 6)。2013 年柯坪地震前的异常持续了 2 天, 异常幅度为  $9.2 \times 10^{-7}$ , 幅度大于 2011 年的 2 次异常, 小于 2012 年以后的 3 次异常, 而持续时间较短。异常开始后 15 个小时距该测点 25km 发生了  $M_S$  4.5 级地震。

从震例来看, 以往乌什水管倾斜仪和洞体应变仪出现过多次类似异常, 其中部分异常对应了地震。2016 年 7 月 19 日水管倾斜仪和洞体应变仪出现的异常与以往异常相比, 持续时间较短。异常开始 15 个小时后, 距观测点 25km 发生了乌什  $M_S$  4.5 级地震。因此该异常是此次地震的短临异常。

## 5 结论和讨论

通过以上对前兆观测资料的分析与研究, 表明形变观测资料中存在一定的趋势和短临前兆信息, 主要以中、短临异常为主。此次乌什  $M_S$  4.5 级地震的数字化前兆数据主要表现为乌什台水管倾斜仪东西向反向西倾, 洞体应变仪东西分量显著加速拉张异常。

乌什台经过“十五”数字化改造后, 水管倾斜仪、洞体应变仪具备较好的监测能力, 但因水管仪水质变质, 多次换水造成的干扰较大, 使数据资料变化较大, 难以确定部分图像是否震兆异常, 很难掌握临震异常。从现有资料和现阶段的认知水平, 很难对某一地震做出准确预报。在未来工作中, 要善于总结各类前兆异常与地震的对应关系, 不断积累经验, 并结合其他观测手段进行综合分析, 充分发挥数字化前兆观测资料的作用, 更好地为地震预测研究服务(张红秀等, 2012)。

## 参考文献

- 赖爱京, 冯英, 王金萍等, 2010. 乌什地震台多分量钻孔应变观测资料干扰的初步分析. 华北地震科学, **28** (4): 51—56.
- 赖爱京, 2015. 2013 年 12 月 1 日柯坪  $M_S$  5.3 地震前部分前兆异常分析. 内陆地震, **29** (4): 362—370.
- 潘振生, 刘辉, 冯雪玲等, 2010. 2009 年新疆柯坪块体 3 次 5 级地震前异常分析. 地震地磁观测与研究, **31** (5): 17—24.
- 杨又陵, 赵建政, 李晓东等, 2009a. 新疆数字化重力观测台站的场地勘选、建设、运行及其资料评价. 内陆地震, **23** (2): 127—136.
- 杨又陵, 唐九安, 2009b. 乌什地震台倾斜固体潮观测与震兆异常. 西北地震学报, **31** (3): 242—247.
- 张红秀, 郭国祥, 郭林旺等, 2012. 临汾地震台摆式倾斜仪的监测能力. 地震地磁观测与研究, **33** (3): 223—230.
- 郑照福, 周德坚, 2006. 佳木斯地震台 DSQ 水管倾斜仪对日本及日本海域地震的前兆反映. 地震地磁观测与研究, **27** (4): 52—56.

## Analysis on Seismic Anomalous of Deformation Caused by the Wushi $M_S$ 4.5 Earthquake

Lai Aijing, Zhang Jinping, Jiang Zhiying and Huang Shuaitang

(Aksu Central Seismic Station, Aksu 843000, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China)

**Abstract** We used Wushi digital precursory deformation observational data to analyze the water tube-tilt and cave strain changes before the Wushi  $M_S$  4.5 earthquake. Through comparative analysis we found that before the Wushi  $M_S$  4.5 earthquake, the north-south strain component recorded in the Wushi cave instrument is normal, but the east-west component value changes greatly. The amplitude of stretching is  $7.40 \times 10^{-7}$  from 05:14 to 20:32. From 05:00 to 19:00 on July 19, the east-west component records from the Wushi water-pipe tilt meter is normal and the east-west component value is reverse to westward inclination 7.13ms. Moreover, the recorded data drop out at 05:59—06:06, 07:36—07:46, and 18:42—18:56. The water pipe inclinometer abnormal was observed after 1 hour, in the process of the body strain gauge anomaly Wushi  $M_S$  4.5 earthquake occurred. The EW component of water tube-tilt from Wushi station west-dipping reverse, cave stuff strain tensile EW component rapid tension before the earthquake, short-impending anomalies before the seismogenic, and the two sets of deformation observation of seismic anomalous have a good agreement to each other.

**Key words:** Wushi  $M_S$  4.5 earthquake; Tube-tilt; Cave strain; Short-impending anomalies