

甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震与甘肃形变异常情况探讨^①

姜振海, 翟伟, 王小娟

(甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:对岷县漳县 $M_s6.6$ 地震震中附近的甘肃省形变观测资料进行了初步分析,发现了一些异常情况,总结出来供大家讨论。

关键词:岷县、漳县 $M_s6.6$ 地震; 形变异常; 异常分析

中图分类号: P315.725 文献标志码: A 文章编号: 1000-0844(2013)03-0549-08

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0549

Analysis of the Relationship between Abnormal Ground Deformation of Gansu and the Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake

JIANG Zhen-hai, ZHAI Wei, WANG Xiao-juan

(Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Minxian, located in southwestern Dingxi City of southern Gansu in the eastern region of the Qinghai Tibet Plateau, borders on Longnan and the West Qinling Mountains and is the geometric center of Dingxi, Tianshui, Longnan, and Gannan. The geological structure of Minxian belongs to the Qinling Mountains Hercynian geosyncline fold belt at the north branch of the Western Qinling Mountains fold belt. At 7:45 CST on July 22, 2013, an $M_s6.6$ earthquake occurred at the junction of Minxian and Zhangxian with a focal depth of 20 km. The earthquake occurred along the north branch Lintan—Dangchang fracture, 126 km from Dingxi and 17 km from Minxian County. Strong tremors were felt by residents in Dingxi, Tianshui, Longnan, and Gannan; those in Lanzhou and Baiyin also detected movement. The Earthquake Administration of Gansu province operates 8 deformation observation stations and 15 deformation observation projects situated within 300 km of the earthquake focus that include DSQ and SSY at Tanchang station; CZB at Wushan station; CZB and YRY at Linxia station; YZ-1 at Liujiaxia station; CZB at Lanzhou station; DSQ, SSY, SSY-II, SSQ, and PET at Lanzhou Shilidian station; and DSQ and SSY at Baiyin station. This study focuses on the data of 15 observation projects to conduct preliminary analysis, through which abnormal variation was detected in the data of 10 projects. Moreover, DSQ and SSY at Tanchang station and CZB at Lanzhou station showed obvious β , β_2 , and γ_1 stages, and CZB at Wushan and Liangshui exhibited obvious β_1 and β_2 stages. Therefore, deformation anomalies were present prior to the $M_s6.6$ earthquake. Although the distance between Lanzhou and Shilidian stations is less than 10 km, only DSQ, SSY, and SSY-II at Shilidian exhibited a significant bulge anomaly; SSQ of Shilidian showed no obvious abnormalities. Such a huge discrepancy in such a close proximity required further explanation. It was determined that the CZB component at Linxia station began to increase rapidly in January 2011 and entered a declining trend in August. At the same time, the EW component began to alter from a normal de-

^① 收稿日期:2013-08-22; 中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2013060

作者简介:姜振海(1971-),男,高级工程师,从事地形变研究和地震前兆监测工作。E-mail:jiangzh1971@163.com

cline, which resulted in significant deformation. These changes are unrelated to the NS component. Therefore, further research is needed to determine the reason for such anomalies.

Key words: Minxian—Zhangxian earthquake $M_s 6.6$; abnormal ground deformation; abnormality analysis

0 引言

2013 年 7 月 22 日 7 时 45 分在甘肃省定西市岷县、漳县交界发生 $M_s 6.6$ 地震,震源深度为 20 km。震中地处青藏高原东麓与西秦岭接壤区,地质构造属西秦岭地槽皱系的北支秦岭海西褶皱带。该地震发生在临潭—宕昌断裂(北支)上。

在地震发生之后,笔者对震中周围 300 km^[1] 范围以内的甘肃省地震局的 8 个形变观测台站 15 台(套)形变观测项目进行分析,发现了一些异常变化。这些异常主要发生在洞体应变观测、水管倾斜观测、钻孔倾斜观测这三种前兆观测上。目前甘肃省架设有洞体应变观测 6 台(套)、水管倾斜观测 5 台(套)、钻孔倾斜观测 8 台(套)。在岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震周围 300 km 以内架设有:洞体应变观测 3 台(套)、水管倾斜观测 2 台(套)、钻孔倾斜观测 3 台(套),其

中观测资料时间最短的是武山地震台的钻孔倾斜观测项目,可使用资料长度只有 14 个月;时间最长的是兰州十里店的洞体应变和水管倾斜观测项目,自 1986 年就开始观测,至今已有近 27 年的观测资料;大部分观测项目是“十五”新建或改建项目。本文针对这些异常做一个初步的分析。

1 形变异常统计

本文对震中 300 km 范围内的所有形变观测资料异常情况进行了统计,详见表 1。发现临夏台 YRY-4、刘家峡台 YZ-1、白银台 SSY 和 DSQ、兰州十里店台 PET 和 SSQ-2I 这 6 项观测资料没有明显的异常,其它 9 项观测资料均出现或大或小的异常现象;最早的异常出现在 2011 年 1 月,最晚的异常出现在 2013 年 6 月。

表 1 形变资料异常情况统计表
Table 1 summary of ground deformation abnormalities

台站名称	震中距/km	仪器型号	测点号	异常简述	异常起始时间
宕昌	53	铟瓦棒伸缩仪 SSY	1	EW: 年变幅度变大, 是往年的 3 倍	2011 年 4 月
				NS: 趋势改变	2011 年 1 月
		水管倾斜仪 DSQ	2	EW: 速率变化, 加速上升	2011 年 6 月
				NS: 趋势改变	2011 年 11 月
武山	80	钻孔倾斜仪 CZB-2A	1	EW: 速率变化, 加速上升, 出现畸变	2013 年 2 月
				NS: 出现鼓包畸变 2013 年 2 月	
两水	133	钻孔倾斜仪 CZB-2A	3	EW: 速率变化, 准线性变为非线性	2012 年 6 月
				NS: 出现鼓包畸变 2012 年 12 月	
临夏	152	分量式钻孔应变仪 YRY-4	1	未发现明显异常	
		钻孔倾斜仪 CZB-2A	a	EW: 准线性变为非线性	2011 年 8 月
				NS: 趋势改变	2011 年 1 月
刘家峡	178	压磁钻孔应力仪 YZ-1	1	未发现明显异常	
兰州	178	钻孔倾斜仪 CZB-2A	A	EW: 加速下降, 出现畸变	2012 年 11 月
				NS: 趋势改变, 快速下降	2012 年 3 月
兰州十里店	182	相对重力仪 PET	1	未发现明显异常	
		数字石英水平摆倾斜仪 SSQ-2I	2	未发现明显异常	
		铟瓦棒伸缩仪 SSY	3	EW: 出现鼓包畸变	2012 年 9 月
		水管倾斜仪 DSQ	4	NS: 出现鼓包畸变	2012 年 9 月
		石英伸缩仪 SSY-II	6	EW: 出现鼓包畸变	2012 年 9 月
白银	231	铟瓦棒伸缩仪 SSY	1	未发现明显异常	
		水管倾斜仪 DSQ	2	未发现明显异常	

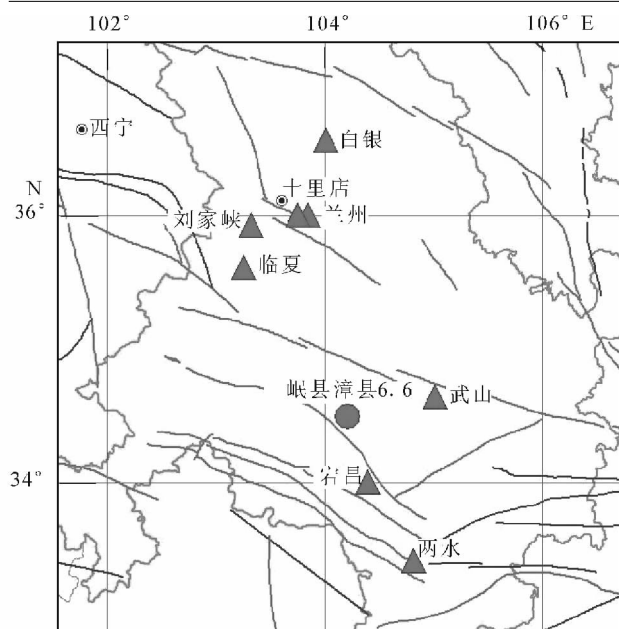


图 1 岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震及周围形变台站分布图

Fig. 1 Minxian-Zhangxian $M_s 6.6$ earthquake and distribution of ground deformation observatory stations

2 异常分析

地震前兆异常有 3 个自然属性:第一个是与地震相关;第二个是发生在地震之前;第三个是异常。我们可以依据这些属性来判断某个现象是否为地震前兆异常。第三个属性产生于一个判据:有正常背景;第一个属性需要从正反两个方面来考察;从反面考察产生第二个判据:非干扰影响,从正面考察产生第三个判据:与地震相关^[2]。因此,本文将从以下三点对这些异常进行探讨:(1)有正常背景;(2)非干扰影响;(3)与地震相关。

2.1 异常判断(有正常背景)

所谓异常是相对正常而言的。本文使用形态法对日均值曲线的速率变化的异常形态特征进行判别,判别标志为分量图上准线性(或正常轨迹)背景上出现非线性(或非正常轨迹)的速率(或畸变)变化^[1]。

(1) 宕昌台

宕昌地震台安装有 SSY 型洞体应变仪和 DSQ 型水管倾斜仪,仪器安装时间均为 2006 年 11 月,2007 年 6 月至 9 月试运行,2008 年 1 月 1 日开始正式产出观测资料。由于 2008 年汶川 $M_s 8.2$ 大地震对宕昌台的观测资料影响较大,而 2009 至 2013 年期间再没有其它 $M_s 5.0$ 以上的地震干扰,故本文是从 2009 年的观测资料开始分析(图 2)。

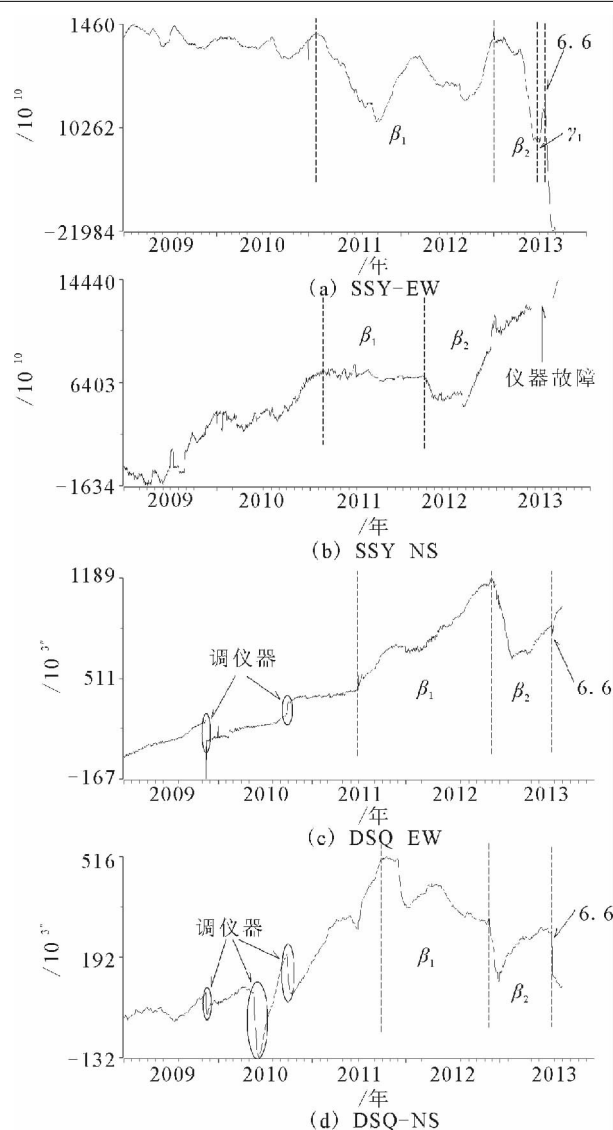


图 2 宕昌台 SSY 和 DSQ 日均值曲线图

Fig. 2 The SSY and DSQ average daily value curves at Tangchang station

SSY-EW:在 2009 年至 2010 年期间,EW 分量的年变幅度在 $3\,000 \times 10^{-10}$ 以内(2009、2010 年的年变幅为 $2\,888.2 \times 10^{-10}$ 、 $2\,633.1 \times 10^{-10}$),每年的 2 月、7 月为高点,5 月、10 月为低点,具有较为稳定的变化趋势。在 2011 年 4 月打破了年变规律,观测数据持续下降,在 2011 年 10 月到达 2011 年的最低点,年变化达到 $10\,094.2 \times 10^{-10}$,是 2009 年和 2010 年的 3 倍多;2012 年的年变幅也有 $7\,707.4 \times 10^{-10}$,明显大于 2009 年和 2010 年;在 2013 年 4 月 16 日至 6 月 7 日又出现快速下滑的形态,在短短 52 天时间里下滑幅度达到 $10\,085.4 \times 10^{-10}$,相当于 2011 年的最大年变幅,平均日变化达到 193.9×10^{-10} /日;随后在 7 月 3 日至 7 月 14 日又出现快速上升的

形态,在 11 天里变化了 $3\,482.4 \times 10^{-10}$,平均日变化为 $316.6 \times 10^{-10}/\text{日}$ 。异常出现在 2011 年 4 月。

SSY-NS:在 2009 年至 2010 年期间,NS 分量总体呈上升趋势,每年的年初小幅下降,自 4 月起上升至年底,变化趋势较为稳定。自 2011 年初起开始打破了 2008、2009 年的上升趋势,改为水平趋势;在 2012 年略有下降后又迅速上升,在 2013 年初恢复到原来的上升趋势(2013 年 5 月 16 日至 2013 年 8 月 7 日仪器故障,观测资料不可靠,未使用)。异常出现在 2011 年 1 月。

DSQ-EW:在 2009 年至 2011 年 6 月 29 日期间观测资料以 $0.35 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速度稳定缓慢的上升;在 2011 年 6 月 30 日至 2012 年 10 月 30 日期间观测资料以 $0.75 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速度加速上升。在 2012 年 10 月 31 日至 2013 年 2 月 13 日期间观测资料却以 $-4.70 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速度迅速下降;到 2013 年 2 月 14 日至 2013 年 7 月 21 日期间观测资料又恢复到以 $1.45 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速度上升。这三次速率的改变是 3 次非常明显的异常变化。

DSQ-NS:在 2010 年 5 月底和 9 月底出现了两次大幅度快速下降变化,查看观测日志发现在 5 月 21 日和 9 月 27 日有两次调零,因此认为异常变化为调试仪器造成的干扰变化。从 2009 年至 2011 年 10 月的整体来看,均为上升趋势;在 2011 年 11 月开始改上升趋势为下降趋势;2012 年 11 月至 12 月出现加速下滑,12 月底恢复上升趋势。异常出现在 2011 年 11 月。

(2) 武山台

武山台在 2011 年 6 月安装了 CZB-2A 型钻孔倾斜仪。由于安装后仪器出现故障等问题,在 2012 年 7 月以后的观测资料才可以使用,只有 14 个月的资料。

CZB-EW:在 2012 年 7 月 1 日至 2013 年 2 月 2 日观测曲线以 $3.10 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速度稳定缓慢的上升。在 2013 年 2 月 3 日至 2013 年 6 月 14 日观测曲线改为以 $5.67 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速度上升,出现了较为明显的速率变化异常。查看观测日志发现在 2013 年 2 月 3 日对仪器主机进行了维修(未动探头),并对观测仪器的软件进行了升级,考虑主机维修不会对速率造成影响,因此认为此异常变化并不是仪器维修造成的;在 6 月 14 日观测曲线又出现了明显的鼓包畸变现象。

CZB-NS:在 2012 年 7 月 1 日至 2013 年 2 月 2 日观测曲线以 $-5.34 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速度下降。在

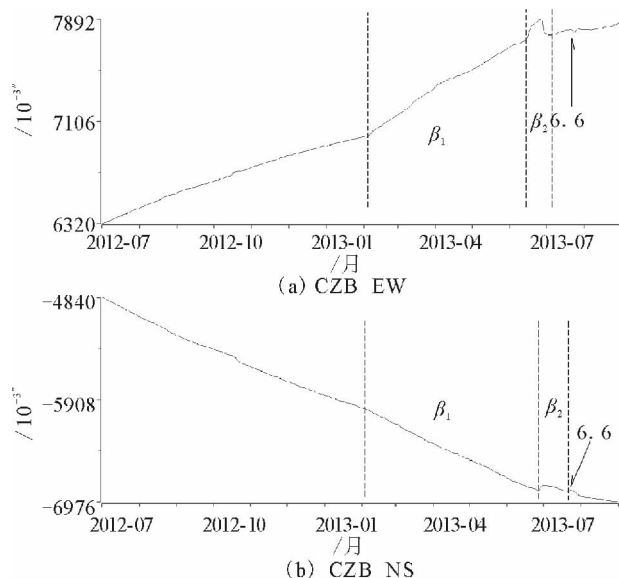


图 3 武山台 CZB 日均值曲线图

Fig. 3 The CZB average daily value curves at Wushang station

2013 年 2 月 3 日至 2013 年 6 月 26 日观测曲线改为以 $-5.92 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速度下降,出现了一定的速率变化异常;在 2013 年 6 月 27 日出现了明显的鼓包畸变。

(3) 两水台

两水台的 CZB-2A 型钻孔倾斜观测是同武山台一起在 2011 年 6 月安装,可用观测资料时间也比较短,只有 20 个月的资料。

CZB-EW:2012 年 1 月 1 日至 3 月 31 日以 $-8.77 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速率快速下降。2012 年 4 月 1 日至 2013 年 1 月 11 日以 $-2.74 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速率缓慢下降;2013 年 1 月起观测曲线出现较大幅度的波动,由准线性变化变化为非线性变化。异常出现在 2012 年 6 月。

CZB-NS:2012 年 12 月起连续出现幅度不是很大的鼓包畸变。认为在此时起进入异常变化。

(4) 临夏台

临夏台 CZB-2A 钻孔倾斜观测是“十五”项目新建的观测项目,自 2008 年正式运行以来观测资料连续、完整。自 2013 年 6 月 23 日起仪器故障,记录不到固体潮汐变化,故本文只对 2008 年至 2013 年 6 月 22 日的观测资料进行分析。

CZB-EW:2008 年至 2011 年 8 月观测曲线呈准线性下降趋势。自 2011 年 8 月开始转变为非线性波动变化,进入异常变化。

CZB-NS:2008 年至 2011 年 1 月 28 日观测曲线以 $-7.56 \times 10^{-3}''/\text{日}$ 的速率下降。自 2011 年 1

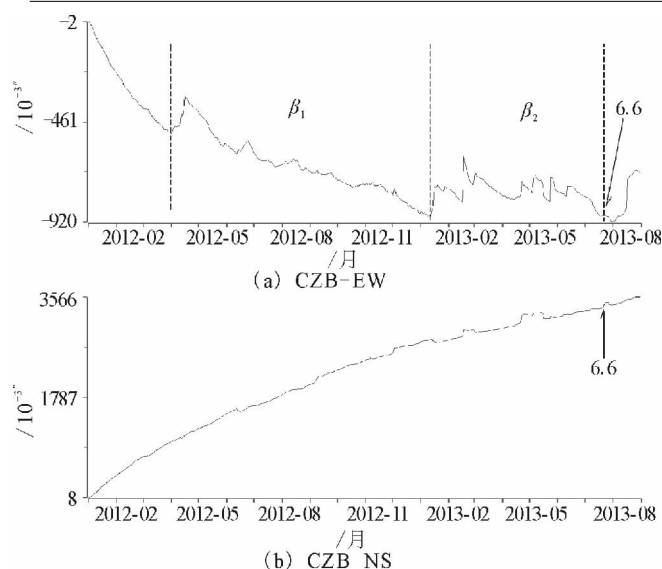


图 4 两水台 CZB 日均值曲线图

Fig. 4 The CZB average daily value curves at Liangshui station

月 29 日至 2011 年 8 月 16 日观测曲线改为以 $74.44 \times 10^{-3}''$ /日的速率上升, 上升幅度达 $14\ 888.48 \times 10^{-3}''$, 自 2011 年 8 月 17 日至 2013 年 6 月 22 日观测曲线又改为以 $-8.34 \times 10^{-3}''$ /日的速率下降。异常出在在 2011 年 1 月。

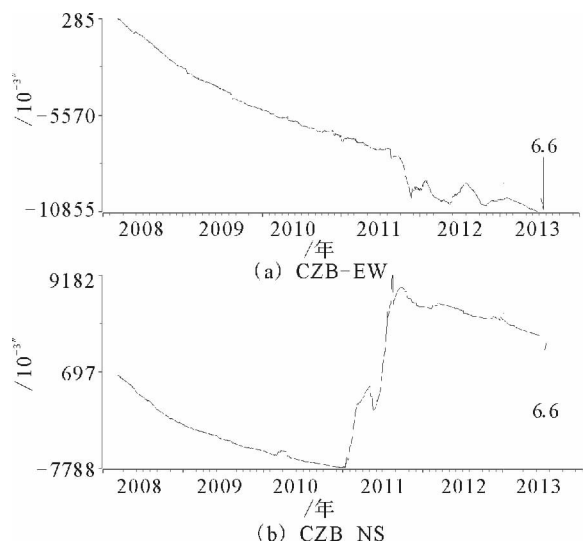


图 5 临夏台 CZB 日均值曲线图

Fig. 5 The CZB average daily value curves at Linxia station

(5) 兰州台

兰州台 CZB-1 型钻孔倾斜的观测资料时间较长, 自 2001 年 9 月就开始有观测数据了。在 2001 年至 2013 年期间, 岷县发生了 3 次 5 级及以上的地震, 分别是 2003 年 11 月 13 日岷县 $M_s 5.3$ 地震、2004 年 9 月 7 日岷县 $M_s 5.0$ 地震、2013 年 7 月 22

日岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震。其中在 5.0 和 6.6 级地震前兰州 CZB 均出现了一定的异常变化。本文在分析时主要使用了 2010 年以后的观测资料。

CZB-EW: 在 2012 年 10 月 15 日至 11 月 10 日期间仪器故障(主机故障, 探头工作正常), 维修仪器导致观测资料出现大幅度的阶跃, 此现象不作为异常考虑。在 2010 年 1 月 1 日至 2012 年 10 月 15 日期间, 观测资料以 $-1.23 \times 10^{-3}''$ /日的速率下降。在 2012 年 11 月 10 日至 2013 年 5 月 12 日期间观测资料以 $-2.55 \times 10^{-3}''$ /日的速率下降, 速率明显加大, 且在 2013 年 5 月 12 日突然上升形成一个鼓包变化。异常开始于 2012 年 11 月。

CZB-NS: 在 2010 年 1 月 1 日至 2012 年 3 月 16 日期间以 $0.48 \times 10^{-3}''$ /日的速率上升。在 2012 年 3 月 17 日至 12 月 10 日期间以 $-0.38 \times 10^{-3}''$ /日的速率下降, 明显出现趋势转变; 在 2012 年 12 月 10 日至 2013 年 5 月 13 日出现鼓包畸变。因此在 2012 年 3 月起进入异常变化。

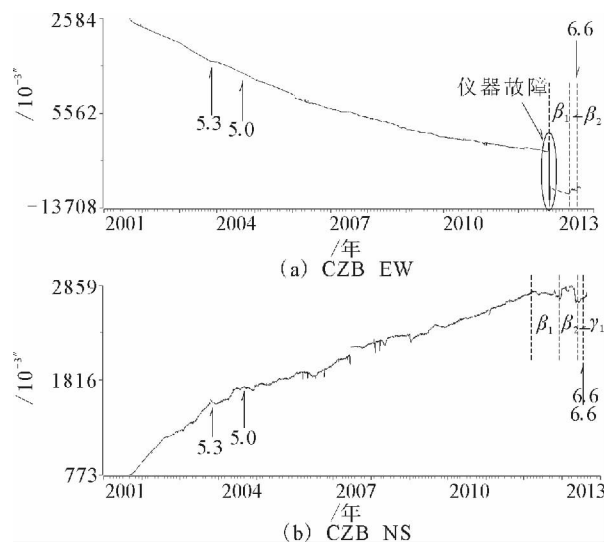


图 6 兰州台 CZB 日均值曲线图

Fig. 6 The CZB average daily value curves at Lanzhou station

(6) 兰州十里店台

兰州十里店台的形变观测项目较多, 有两套洞体应变、一套水管倾斜、一套水平摆倾斜、一套相对重力仪。其中, SSY 型洞体应变、SSQ 型水平摆和 PET 型相对重力仪是“十五”新建项目, DSQ 型水管倾斜是“十五”改造项目。SSY-II 型洞体应变在 2010 年 12 月对观测系统的检测装置、标定装置、主机、数采等, 除了基线以外的所有部件进行了改造。因此在分析 DSQ 和 SSY-II 的观测资料时本文只对改造后的观测资料进行分析。

DSQ-NS:观测资料自 2008 年 11 月起呈现下降趋势,2009、2010、2011 连续 3 年在 9 月左右有一个回升过程,回升幅度大约在 60 ms 左右。2012 年 9 月观测资料迅速拉高,最大幅度达 200 ms,打破了往年的变化规律,为异常变化。

SSY-EW:在 2010 年 4 月至 9 月仪器故障。除去仪器故障时段,在 2008 年至 2012 年 8 月观测资料呈现准线性下降趋势。在 2012 年 9 月开始改变下降趋势为上升趋势,形成了一个较大的鼓包形态,为异常变化。

SSY-II-EW:在 2011 年至 2012 年 8 月观测资料呈下降趋势。在 2012 年 9 月开始改下降趋势为上升趋势,出现异常变化。

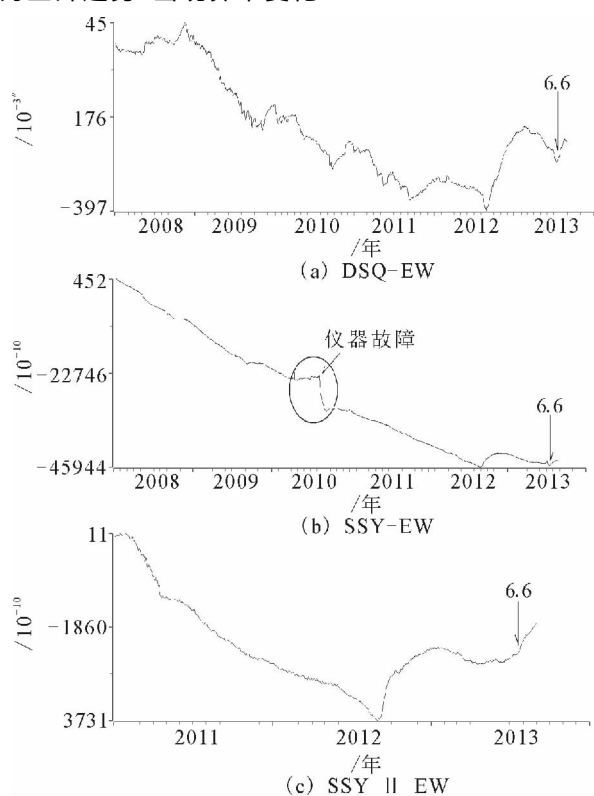


图 7 兰州十里店台 DSQ 和 SSY 日均值曲线图
Fig. 7 The DSQ and SSY average daily value curves at Shilidian station in Lanzhou

2.2 干扰排查(非干扰影响)

确定了异常之后,就要判断这些异常是否是受到干扰影响造成的。一般的干扰影响主要包括仪器故障和环境变化。仪器故障在观测日志和工作日志当中都有记录;环境变化比较复杂,包括人为影响和天气影响两种。人为影响在观测日志和工作日志当中也基本都有记录;天气变化在工作日志当中也有记录,并且可以调阅相关的辅助观测资料——气象三要素。

本文针对上述发现的异常进行了调查。特别是异常发生时段的观测日志和工作日志都进行了详细的调阅,最后发现由仪器故障或环境变化引起的异常变化有以下几处:

(1) 宕昌台 SSY-NS 分量在 2013 年 5 月 16 日仪器故障,检查基线时发现吊丝断裂。由于更换吊丝后基线被新安装的吊丝拉向一侧,使线圈与铁芯接触在一起,导致日观测曲线记录不到固体潮汐的变化,直至 2013 年 8 月 7 日重新调整吊丝后观测资料才恢复正常。分析时未使用此段观测资料。

(2) 宕昌台 DSQ-NS 分量在 2010 年 5 月 21 日调零后和 9 月 27 日调零后均出现了大幅度的快速下降变化(图 2),经过反复调取分钟值数据对比查看后确认,此异常变化为调试仪器造成的干扰变化。

(3) 临夏台 CZB 自 2013 年 6 月 23 日起仪器故障,记录不到固体潮汐变化,分析观测资料时只使用了 6 月 22 日以前的资料。

(4) 兰州台 CZB-EW 分量在 2012 年 10 月 15 日至 11 月 10 日期间观测资料出现了大幅阶跃。经过对观测日志和工作日志的检查发现在此期间 CZB 发生主机故障(探头工作正常),维修仪器导致了观测资料的大幅阶跃(图 6)。

2.3 与地震的相关性分析

观测与研究表明,地震地形变存在着一个由继承性运动→偏离继承性运动→发生地震→震后调整逐步回复到继承性运动的过程;岩石破裂实验也证明主破裂发生前应力-应变曲线存在着一个由准线性至非线性的变化。因此当地形变时序出现由准线性至非线性的趋势变化时,有可能是大震、强震的中、短期前兆,大致可以与地震地形变演化阶段当中的速率变化段(β_1)、不稳态段(β_2)和临震反向段(γ_1)相类比^[3]。因此,我们在用形态异常法判别异常是否与地震相关时,可以通过寻找观测曲线的 β_1 、 β_2 和 γ_1 这 3 个阶段来确认。而其中的 γ_1 这个阶段目前仅在少数大震(强震)前个别测点有幸观测到^[3]。故本文在判别是否与地震相关时主要是寻找日均值曲线图当中的 β_1 和 β_2 这 2 个阶段。

(1) 宕昌台

宕昌地震台位于临潭—宕昌断裂(北支)上,岷县、漳县 $M_s 6.6$ 地震也发生在这条断裂上(图 1),分别处于断层的两侧,震中距只有 53 km。在宕昌台 SSY-EW 分量的异常变化当中存在 β_1 、 β_2 和 γ_1 这 3 个变化阶段,SSY-NS 分量、DSQ-EW 和 DSQ

—NS 分量也存在 β_1 和 β_2 这 2 个变化阶段(图 2)。SSY—EW、DSQ—EW 和 DSQ—NS 分量均记录到明显的同震效应(SSY—NS 分量仪器故障),特别是 SSY—EW 分量在震后还记录到大幅度的震后变化。因此宕昌台洞体应变观测和水管倾斜观测的异常变化是与此次地震相关的。

(2) 武山台

武山台位于岷县漳县 $M_s6.6$ 地震的东面,震中距 80 km。武山台 CZB—EW 在震后都记录到了较为明显的震后变化,CZB—EW 和 CZB—NS 分量的异常变化当中也能找到 β_1 和 β_2 这 2 个变化阶段(图 3)。在 2013 年 6 月,天水中心台依据天水台的深井地电、武山台的钻孔倾斜等观测资料对此次地震进行了预报,三要素中的地点和震级均报准了,时间早了 14 天。因此武山台钻孔倾斜观测的异常变化是与此次地震相关的。

(3) 两水台

两水台位于岷县漳县 $M_s6.6$ 级地震的北偏西方向,震中距 152 km。虽然在两水台 CZB—EW 分量的异常变化当中能找到 β_1 和 β_2 这 2 个变化阶段(图 4)。但是只靠这一点就判断此异常与地震相关证据略现不足。因此还需要根据更长时间的资料做进一步研究。

(4) 临夏台

临夏台位于岷县漳县 $M_s6.6$ 地震的北偏西方向,震中距 152 km,安装有钻孔倾斜和钻孔分量应变 2 类形变观测项目。临夏台 CZB—NS 分量在 2011 年 1 月开始改下降趋势为快速上升趋势至 2011 年 8 月恢复至下降趋势,而此时 CZB—EW 分量却开始打破正常下降趋势,出现较大幅度的跳动、畸变。在此期间 CZB—NS 分量出现异常变化时 CZB—EW 分量没有任何异常变化,CZB—EW 分量出现异常变化时 CZB—NS 分量没有任何异常变化,距钻孔倾斜不足 10 m 远的 YRY—4 钻孔应变仪在此期间也没有记录到任何异常变化。且在临夏台 CZB—EW 和 CZB—NS 分量的异常变化当中都找不到 β_1 和 β_2 这 2 个变化阶段(图 5)。因此临夏台钻孔倾斜观测的异常变化与此次地震无关。

(5) 兰州台

兰州台位于岷县漳县 $M_s6.6$ 地震的北面,震中距 178 km。在 2003 年 11 月岷县 $M_s5.3$ 地震时兰州台的 CZB 也观测到了雷同的异常情况(两次地震均发生在临潭—宕昌断裂(北支)上,详见文献[4])。且在兰州台 CZB—NS 分量的异常变化当中存在

β_1 、 β_2 和 γ_1 这 3 个变化阶段,在 CZB—EW 分量的异常变化当中也存在 β_1 和 β_2 这 2 个变化阶段(图 6)。CZB—NS 分量的异常幅度大于 CZB—EW 分量与兰州台位于震中的北方相符合。因此,兰州台钻孔倾斜观测的异常变化是与此次地震相关的。

(6) 兰州十里店台

兰州十里店台位于岷县漳县 $M_s6.6$ 地震的北面,震中距 178 km,安装有多种形变仪器。其中 SSY—EW、SSY—II—EW 和 DSQ—NS 分量同时出现了相同的异常变化,异常不但形态相同,起始时间也基本一致,而 SSQ 水平摆倾斜仪和 PET 相对重力仪没有任何较为明显的异常出现。距十里店台不足 10 km 的兰州台钻孔倾斜仪却记录到了非常明显的与地震相关的异常。因此兰州十里店台 SSY—EW、SSY—II—EW、DSQ—NS 分量出现的异常需要进一步的研究才能做出合理的解释。

3 结论与讨论

在岷县漳县 $M_s6.6$ 地震后,本文对震中周围 300 km 以内的 15 个甘肃省地震局形变观测项目进行了初步分析,发现了 9 项观测出现异常变化。其中确认与地震相关的有宕昌台 SSY 和 DSQ、武山台 CZB、兰州台 CZB 等 4 项观测项目,可以确认该地震前存在地形变前兆异常。

然而在兰州十里店台和临夏台也出现一些异常变化差异很大的现象,令人费解,还有待于进一步的研究。

参考文献(References)

- [1] 吕品姬,陈志遥,赵斌,等. 定点倾斜观测映震能力综述[J]. 大地测量与地球动力学,2010,30(增刊Ⅱ):50-56.
LV Ping-ji, CHEN Zhi-yao, ZHAO Bin, et al. Summary of Ability for Catching Precursors before Earthquake from Fixed-tilt Observations[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010,30(SuppⅡ):50-56. (in Chinese)
- [2] 邱泽华. 关于地震前兆的判据问题[J]. 大地测量与地球动力学,2010,30(增刊Ⅱ):1-5.
QIU Ze-hua. How to Identify Earthquake Precursor[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010,30(SuppⅡ):1-5. (in Chinese)
- [3] 中国地震局监测预报司. 地形变测量(第一版)[M]. 北京:地震出版社,2008:320-347.
Monitoring and Predicting Department, China Earthquake Administration. Ground Deformation Measurement (First edition) [M]. Beijing: Seismological Press, 2008: 320-347. (in Chinese)
- [4] 姜振海,史小平. 兰州 CZB—1 型竖直接倾斜仪观测资料初步

- 分析[J]. 地震研究, 2006, 29(1): 55-59.
- JIANG Zhen-hai, SHI Xiao-ping. Primary Study on CZB-1 Type Vertical Pendulum Tilt meter Data at Lanzhou Observatory[J]. Journal of Seismological Research, 2006, 29(1): 55-59. (in Chinese)
- [5] 王梅, 李峰, 孔向阳, 等. 数字化形变观测干扰识别[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(1): 94-98.
- WANG Mei, LI Feng, KONG Xiang-yang, et al. Identification of Disturbance of Digital DEFORMATION Observations[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, 24(1): 94-98. (in Chinese)
- [6] 薄万举. 形变异常与干扰关系的再认识[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 30(1): 6-8.
- BO Wang-ju. Study on Relation between Crust Deformation Anomaly and Disturbances[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, 30(1): 6-8. (in Chinese)
- [7] 范雷彪, 任忠. 调整形变观测思路探寻地震预报的新途径[J]. 西北地震学报, 2011, 33(4): 408-412.
- FAN Lei-biao, REN Zhong. Adjust Deformation Observational Way to Explore New Path of Earthquake Forecasting[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(4): 408-412. (in Chinese)
- [8] 邱泽华, 石耀霖. 地震应变变化的理论量级与最大传递距离关系[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(2): 99-105.
- QIU Ze-hua, SHI Yao-lin. Relationship between Theoretic Magnitude and Longest Propagation Distance of Seismic Strain Change[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, 24(2): 99-105. (in Chinese)
- [9] 李瑞莎, 张希, 唐红涛, 等. 玉门、民乐等地震前跨断层形变异常及与定点前兆观测的相互印证[J]. 西北地震学报, 2012, 34(4): 388-392.
- LI Rui-sha, ZHANG Xi, TANG Hong-tao, et al. Cross-fault Deformation Anomaly and Confirm Each Other with the Fixed-point Precursors Observation before Yumen and Minle Earthquakes[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(4): 388-392. (in Chinese)
- [10] 池顺良, 刘琦, 池毅, 等. 2013年庐山 $M_s 7.0$ 地震的震前及临震应变异常[J]. 地震学报, 2013, 35(3): 296-303.
- CHI Shun-liang, LIU Qi, CHI Yi, et al. Borehole strain anomalies before the 20 April 2013 Lushan $M_s 7.0$ earthquake [J]. Acta Seismologica Sinica, 2013, 35(3): 296-303. (in Chinese)
- [11] 蒋骏, 张雁滨, 林钢, 等. 应用地震连续形变观测技术有效监测地震前兆[J]. 大地测量与地球动力学, 2011, 31(4): 10-17.
- JIANG Jun, ZHANG Yan-bin, LIN Gang, et al. Application of Seismic Deformation Observation Techniques to Effectively Monitor Earthquake Precursor[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011, 31(4): 10-17. (in Chinese)
- [12] 李莹甄, 聂晓红, 王在华, 等. 2008年新疆和静 5.3 级地震异常特征及短临跟踪回顾分析[J]. 西北地震学报, 2010, 32(4): 381-387.
- LI Ying-zhen, NIE Xiao-hong, WANG Zai-hua, et al. Retrospective Analysis on Short-term Tracing and Prediction before Hejing $M_s 5.6$ Earthquake in Xinjiang in 2008 [J]. Northwestern Seismological Journal, 2010, 32(4): 381-387. (in Chinese)