

文章编号:1671-5942(2014)06-0014-06

# 2013 年甘肃岷县漳县 6.6 级地震前邻近区域 水管倾斜和伸缩应变观测结果<sup>\* 1</sup>

唐九安 沈旭章 高安泰  
(中国地震局兰州地震研究所,兰州 730000)

**摘 要** 计算分析了 2013 年甘肃岷县漳县 6.6 级地震邻近区域 300 km 范围内 6 个定点形变台站 2009-01-01 ~ 2013-07-21(地震前一天)26 道水管和伸缩仪整点观测数据。通过对数据进行预处理和潮汐参数计算,初步评价了观测数据的质量,并给出了主要潮汐响应参数和平滑数据的日均值曲线。基于日均值曲线分析了形变速率的动态特征,展示了数据观测中较为明显的速率转折和突变,探讨了这些变化与岷县漳县 6.6 级地震之间的可能联系。

**关键词** 水管倾斜仪及伸缩仪;数据预处理;日均值曲线;形变速率转折点;岷县漳县 6.6 级地震

中图分类号:P315

文献标识码:A

## ANALYSIS OF OBSERVATION DATA OF WATER-TUBE TILTER AND EXTENSOMETER BEFORE 2013 MINXIAN-ZHANGXIAN EARTHQUAKE

Tang Jiuan, Shen Xuzhang and Gao Antai

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000)

**Abstract** The data of 26 channel water-tube tilter and extensometer at 6 permanent stations located around the epicenter of 2013 Minxian-Zhangxian earthquake with Ms 6.6 during the period of January 1, 2009 and July 21, 2013(one day before the Minxian-Zhangxian earthquake) were analyzed. The raw data were preprocessed and tidal analyzed, and the quality of the observation was estimated. The tidal response parameters and the smoothed day averaged value were obtained. The relationship between dynamic characteristics of the deformation rates and the earthquake were discussed.

**Key words:** water-tube tilter and extensometer; data preprocess; day averaged value; turning point of deformation rate; Minxian-Zhangxian earthquake with Ms6.6

2013-07-22 07:43 甘肃岷县与漳县交界的临潭-宕昌断裂带上发生 6.6 级地震(以下简称岷漳地震)。在距离该地震震中 300 km 范围内,有电磁、形变和流体等各类前兆观测项目。分析这些观测数据,识别它们在震前不同时期的变化特征,具有重要的科学意义。本文侧重于总结距离震中 300 km 范

围内两类仪器观测结果中可能的“中期”异常现象。该范围内的水管、伸缩仪观测台站的工作大多始于 2007 年,积累了丰富的观测资料。本文基于日均值曲线分析了形变速率随时间变化的动态特征,统计了形变速率转折点,即速率的反向转折、显著加速、显著减速点的时空特征。通过分析观测资料中潮汐

\* 收稿日期:2013-08-26

基金项目:中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2014IESLZ03);甘肃省自然科学基金项目(1208RJZA178);地震行业专项。

作者简介:唐九安,男,1942 年生,研究员,主要从事定点形变资料观测和固体潮汐研究工作。E-mail: tangja@gssb.gov.cn。

通讯作者:沈旭章,男,1976 年生,研究员,主要从事地球内部物理、地震学及定点形变资料分析等工作。E-mail: shenxzh@gmail.com。

与非潮汐成分,对观测结果的性度进行评判。

# 1 观测数据预处理与逐日 NAKAI 拟合结果

在距离岷漳地震震中 300 km 范围内,选取拥有水管倾斜仪和伸缩仪观测项目的台站 6 个、测项分量 26 个(表 1),台站与震中的大致距离为:宕昌 80 km、兰州 150 km、白银 200 km、同仁 215 km、泾源 220 km、宝鸡 260 km(图 1)。所有测项产出的都是分钟值数据,但对于提取中期前兆指标而言,使用整点值完全可以满足要求。为避开 2008 年汶川地震及其震后效应影响,本研究选定数据的起止时间定为 2009-01-01 ~ 2013-07-21(岷漳地震前 1 日)。

首先要进行数据预处理。观测数据预处理有两个目标:一是找出掉格加以改正,二是找出非正常数据加以剔除。前者使用数据序列一阶差分特征识别,后者使用 NAKAI 法<sup>[1]</sup>逐日拟合计算过程中的二次反代法识别。原始观测数据经过预处理后生成的

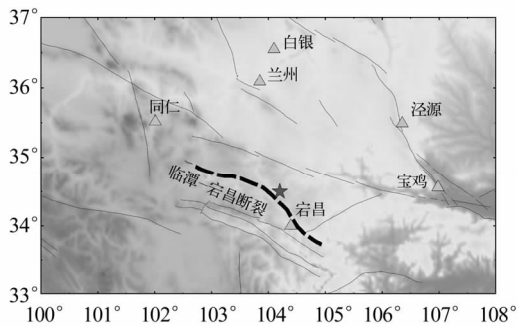


图 1 地震、台站及主要断裂分布

Fig. 1 Distribution of the earthquake, stations and main faults

数据即为平滑数据。表 1 给出了观测数据及其预处理信息和逐日 NAKAI 法拟合结果的统计值,表中的完整率定义为有效观测数据个数与区间日历数据个数的百分比,利用率定义为经过预处理后保留数据个数与有效观测数据个数的百分比; $A$ 、 $B$ 、 $K_1$ 、 $SMD$ 分别为逐日 NAKAI 拟合潮汐响应比值、滞后因子、一次项漂移系数和拟合方差的统计均值,AM为A

表 1 数据信息及逐日 NAKAI 拟合计算主要结果统计值(单位:倾斜为  $10^{-3}$  ms,应变为  $10^{-9}$ )

Tab. 1 The data information and statistic results of NAKAI fitting for daily data( unit: tilt  $10^{-3}$  ms; strain  $10^{-9}$ )

台站	测项	方位角 /(°)	原始数 据个数	完整率 /%	利用数 据个数	利用率 /%	A	AM/%	B/min	SMD
宝鸡	水管倾斜北南	354.6	35 764	89.61	35 630	99.63	0.761	20.42	-10.73	1.16
	水管倾斜东西	84.6	35 733	89.53	35 635	99.73	0.649	16.41	0.48	0.55
	水管倾斜北东	39.5	35 759	89.59	35 691	99.81	0.708	9.98	11.81	1.11
	洞体应变北南	354.6	34 752	87.07	34 469	99.19	1.036	7.88	-13.67	1.45
	洞体应变东西	84.6	34 823	87.25	34 603	99.37	1.006	25.76	-46.43	2.13
	洞体应变北东	39.5	34 817	87.23	33 965	97.55	2.657	16.1	-20.42	3.95
兰州	水管倾斜北南	359.3	39 815	99.76	39 751	99.84	0.618	26.84	1.63	0.64
	水管倾斜东西	65.2	39 813	99.75	39 710	99.74	0.628	31.33	2.92	0.52
	洞体应变北南	359.3	39 834	99.8	39 753	99.8	0.511	11.91	4.82	1.36
	洞体应变东西	65.2	39 834	99.8	39 677	99.61	0.353	7.26	2.39	1.24
宕昌	水管倾斜北南	359.7	39 789	99.69	39 744	99.89	0.605	70.53	10.1	0.77
	水管倾斜东西	88.8	39 792	99.7	39 676	99.71	0.773	21.98	-0.36	0.95
	洞体应变北南	359.7	39 683	99.43	36 134	91.06	0.69	11.82	6.53	4.57
白银	洞体应变东西	88.8	39 679	99.42	39 628	99.87	1.079	21.69	-10.67	2.03
	水管倾斜北南	13.4	39 740	99.57	39 656	99.79	0.669	7.3	0.52	0.52
	水管倾斜东西	98.6	39 728	99.54	39 618	99.72	0.65	12.23	4.23	0.76
	洞体应变北南	13.4	39 724	99.53	39 708	99.96	0.591	5.46	-1.85	0.72
同仁	洞体应变东西	98.6	39 720	99.52	39 700	99.95	0.605	11.04	-4.85	0.73
	水管倾斜北南	336.8	39 812	99.75	39 441	99.07	0.284	48.5	-65.52	1.93
	水管倾斜东西	108.3	39 811	99.75	39 708	99.74	0.719	22.48	7.63	1.93
	洞体应变北南	336.8	39 831	99.8	39 060	98.06	0.827	32.18	-26.57	3.58
泾源	洞体应变东西	108.3	39 834	99.8	38 786	97.37	1.419	51.93	-48.47	5.74
	水管倾斜北南	0	39 723	99.53	39 541	99.54	0.673	20.56	20.85	1.24
	水管倾斜东西	90	39 728	99.54	39 611	99.71	0.69	18.07	17.05	1.71
	洞体应变北南	0	38 396	96.2	37 987	98.93	0.367	54.44	6.66	2.96
平均	洞体应变东西	90	38 431	96.29	37 505	97.59	0.743	82.6	-45.47	4.97
				96.79		99.01				

的离散相对百分比误差。

表 1 显示,预处理过程中舍弃的数据占有效观测数据总数的 1%;各个测项分量都能清晰地记录弹性地球的潮汐响应,可用于地壳微形变的定量研究。

## 2 潮汐参数计算与结果

潮汐参数计算采用非数字滤波调和分析方法<sup>[2]</sup>,输入数据为平滑数据,计算步长(间隔)可按逐月、逐年和整体 3 种方式选择,杜德森常数表取 484 个分波(1/3 日波 16 个、半日波 150 个、周日波 197 个、长周期波 121 个)。在逐月计算时,将波群

分为 19 组(1/3 日波群分为 1 组、半日波群分为 5 组、日波群分为 6 组、长周期波群分为 7 组);在逐年计算时,将波群分为 22 组(1/3 日波群分为 1 组、半日波群分为 6 组、日波群分为 8 组、长周期波群分为 7 组);在整体计算时,将波群分为 25 组(1/3 日波群分为 1 组、半日波群分为 6 组、日波群分为 11 组、长周期波群分为 7 组)。表 2 给出了逐月计算的 4 个主波群( $S_2$ 、 $M_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ )潮汐参数的统计值(第 3 个字符  $A$  为潮汐因子, $B$  为以“°”为单位的相位滞后)、整体计算的方差、漂移系数、年变振幅与相位。表中还给出了  $M_2$  波潮汐因子的月离散相对(百分比)误差( $M_2AM$ )。

表 2 逐月调和分析几个主波潮汐参数统计结果及整体计算几个主要参数(单位:倾斜为  $10^{-3}$  ms;应变为  $10^{-9}$ )  
Tab.2 The statistic results of tidal factors of main wave for monthly harmonic analysis and several main parameters of integral calculation( unit: tilt $10^{-3}$  ms;strain  $10^{-9}$ )

台站	测项	$A_{S_2}$	$B_{S_2}$	$A_{M_2}$	$\frac{AM_{M_2}}{\%}$	$B_{M_2}$	$A_{K_1}$	$B_{K_1}$	$A_{O_1}$	$B_{O_1}$	整体拟 合方差	整体漂 移系数	年变 振幅	年变 相位
宝鸡	水管 倾斜	北南 0.937	-4	0.872	8.11	-5.3	0.412	-10.5	0.397	-22.6	51.2	0.65	84.6	78.9
		东西 0.75	-1.7	0.667	2.54	-0.3	0.706	3.9	0.666	6.1	63.7	-0.32	51.6	59.3
		北东 0.75	6.9	0.753	3.13	6.5	0.596	18.8	0.545	20.6	137.9	2.51	157.3	67.1
	洞体 应变	北南 0.96	-5.4	1.066	1.96	-6.8	0.867	6.7	1.337	4.1	173.8	1.85	467	-11.8
		东西 1.048	-21.5	1.466	16.74	-21.8	0.805	-7.2	1.084	-7.7	135.9	-2.11	163.2	133.5
		北东 2.364	7.5	2.786	11.34	-2.1	2.336	-10.3	3.092	-18.2	122.6	-3.12	266.3	-63
兰州	水管 倾斜	北南 0.629	6.6	0.593	1.92	2.1	0.787	-5.3	0.795	-10.6	17.5	-0.12	27.9	132.2
		东西 0.611	4.2	0.627	1.82	1.7	0.697	6.5	0.611	4.7	71.7	-0.05	11.4	-69.5
	洞体 应变	北南 0.428	39.6	0.521	1.69	3.5	0.507	8	0.655	-4.3	23.7	-0.57	20.7	206.7
		东西 0.242	70.8	0.424	3.39	2.9	0.328	-2.6	0.409	-10.2	89	-1.78	44.6	-41.6
宕昌	水管 倾斜	北南 0.568	8.1	0.554	1.76	11	0.825	-5.2	0.89	-9.5	30.9	0.33	5.9	-56.5
		东西 0.943	-3.5	0.749	19.32	-0.6	0.832	0.4	0.772	1.8	32	0.72	501.8	240
	洞体 应变	北南 1.071	48.8	0.719	17.36	0	1.177	66.5	0.71	7.5	74.4	1.84	101.3	136.4
		东西 0.682	26.7	1.243	5.96	-13.9	0.991	6.5	1.267	-4.1	92.1	-0.12	179.4	-56.5
白银	水管 倾斜	北南 0.73	2.3	0.699	0.62	0.6	0.505	-5.5	0.478	-10.5	12.6	-0.28	65	-83.2
		东西 0.502	8.9	0.657	0.74	2.6	0.689	6.2	0.656	4.3	11.7	-0.14	306.9	145
	洞体 应变	北南 0.513	2.8	0.614	1.16	-2.6	0.49	9.4	0.657	-1.5	80.2	-1.13	293.6	109.5
		东西 0.545	16.3	0.651	1.25	0.7	0.589	-9.4	0.715	-3.9	17.5	0.52	169.2	105.1
同仁	水管 倾斜	北南 0.695	-53.6	0.684	0.92	-65.2	0.534	73	0.496	67.9	256.1	-12.46	141.4	80.2
		东西 1.04	6.3	0.674	2.39	4.9	0.935	1.6	0.769	4.7	75.4	0.08	84.1	-65.3
	洞体 应变	北南 0.858	9.2	0.946	10.16	-19.8	0.769	38.1	1.065	28.5	488.7	58.24	403.5	190.5
		东西 2.287	51	1.805	23.64	-13.9	2.401	22.7	1.717	-5.8	1095.3	29.93	228.6	40.5
泾源	水管 倾斜	北南 0.712	26.5	0.72	4.04	16.9	0.773	-39.1	0.761	-30	60.5	-2.98	40.4	-30.7
		东西 0.695	22.1	0.682	2.26	10.3	0.851	15.5	0.655	4.5	66.3	0.43	350.4	154.4
	洞体 应变	北南 0.308	-49.1	0.451	8.28	10.6	0.554	77.9	0.519	-8.6	145.1	1.85	323.3	176.4
		东西 3.36	42.3	1.057	16.83	-10.9	0.681	-12.8	0.816	2.3	239.1	4.37	285	-31.9

## 3 日均值曲线及动态特征分析

### 3.1 速率转折点及有关约定

研究日均值曲线动态变化与地震的可能关系,主要是统计不同阶段速率转折点数量的变化,定量分析转折点前后速率的显著差异。速率约定上升为

正,反之为负;速率的定向约定北倾、东倾为“正”,反之为“负”;应变“正”变化为“张”应变,反之为“压”应变。为使叙述简便,本节所给出的所有数据一律省略“量纲”,日期(年、月、日)以 8 位数字表示,省略其中的年、月、日。文中使用的“时震距”是指“转折点”到岷漳地震发震日之间的日历年数。图 2

~7 显示了6个不同台站日均值曲线。为方便比较,所有测道数据在绘图中都进行归一化处理。

### 3.2 转折点特征分析

#### 3.2.1 宝鸡台

该台共有6个测项分量,水管和伸缩各3个(图2)。倾斜南北分量总体趋势上升,2011-05下旬前后趋势平稳,之后转为快速上升,速率由之前的-0.02转为2.31,并持续1 a之久;自2012-05下旬前后,上升速率显著减小,减为0.41。倾斜东西分量总体趋势下降,2011-09下旬前后转上升,速率由-0.63转为0.69;自2013-03月底至震前的110 d里,出现急剧的下降变化,下降平均速率为-7.43。因下降突然,应查证仪器工作状态是否有变化。倾斜北东分量先平缓延伸至2011-12中旬,这期间的平均速率为0.01;2011-12中旬之后直至震前一直急剧上升,上升的平均速率为7.44。从曲线形态看,应查证观测环境在2011-12中旬前后是否有突然变化。伸缩南北分量除2010-02下旬有下降段外,之后一直上升。但2011-09月底前后上升速率明显转折,之前的上升速率为6.49,之后为2.23。伸缩东西分量除2009-09中旬前有上升段外,之后一直下降。在2011-03中旬前后存在1个下降加速点,之前的速率为-1.52,之后的速率为-5.17。2013-07-06左右转为急剧上升,直至震前持续了15 d,上升段的平均速率为12.3。从时间上看,2013-07-06左右的急剧转折有可能与岷漳地震进入临震阶段有关。伸缩北东分量除2009-09中旬前趋势平稳外,之后一直下降。自2011-09月底后约29 d起,下降有加速趋势。

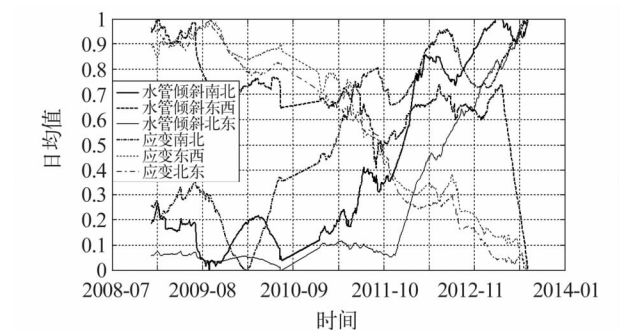


图2 宝鸡台各测道日均值曲线

Fig.2 The day average curves of various items at Baoji station

#### 3.2.2 兰州台

该台共有4个测项分量,水管和伸缩各2个(图3)。倾斜南北分量总体趋势下降,2011-09中旬初前后段的下降速率有显著变化(前-0.37、后-0.11);2012-08下旬前后~2013-02下旬出现上升段,之后直至震前又继续下降,平均速率-0.35。

从曲线形态看,应查证2012-08下旬前后是否移动过仪器。倾斜东西分量:如果忽略2012-10-09~2012-12-23、2013-04-23~2013-05-22时段的快速下降(可能与仪器故障有关),总体呈上升趋势,平均速率为0.43。伸缩南北分量:总体趋势下降,其中2011-01中旬前后为速率转折点,之前的速率为-0.36,之后为-0.70;2013-07-07为下降速率加速转折点,之后直至震前半个月的平均速率为-6.24(之前为0.70)。从曲线形态和时间点看,2013-07-07的速率转折有可能与岷漳地震进入临震阶段有关。伸缩东西分量:总体趋势下降。转折点2个,位于2012-08-30、2012-11-22,分割3个时段的平均速率为-2.38、3.95、-1.13。其中2012-08-30为速率的明显转折点,之前下降,平均速率为-2.38,之后上升,持续时间约3个月,平均速率为3.95;到2012-11-22之后又转为下降,持续时间约8个月,平均速率-1.13。从曲线形态看,应查证2012-11-22前后是否移动过仪器。



图3 兰州台各测道日均值曲线

Fig.3 The day average curves of various items at Lanzhou station

#### 3.2.3 宕昌台

该台共有4个测项分量,水管和伸缩各2个(图4)。倾斜南北分量:总体2011-09月底前上升,之后下降。2011-09月底前上升段中,又以2010-06为分界点,之前的速率为0.15,之后为1.47。下降段中,2012-11中下旬与2013-06月上旬期间,以2012-12月底为谷底构成一段“V”型异常段,持续时间约7个月,结束时间距离震前约40 d。倾斜东西分量:从2009年初开始至2013-01月初持续上升。在这一上升段中,以2011-06月底为分界点,分成两个上升速率明显不同的时段,前后速率为0.55、1.40。在2013-01-03~02-13出现了约40 d的下降段,之后直至震前均为上升段。伸缩南北分量:总体趋势上升,2011-07-12为上升段的加速点,速率由0.70加速为6.98。在2012-03-16~2012-12-25形成一段(持续时间284 d)“锅型”异常。2012-03-16为速率的转

向点,速率由 6.98 转为  $-2.77$ 。2012-12-25 为速率减速点。平均速率由 4.12 减速为 0.66。伸缩东西分量:总体 2011-09 月底前下降,之后上升。在下降段中,2010-10 月上旬存在一个下降加速点,前后速率分别为  $-0.47$ 、 $-1.92$ 。2010 年底前后为年变幅度分界点,前后年变幅度比约为 1:3。从曲线形态看,应查证 2010-10-11 前后观测环境是否有重大变化。

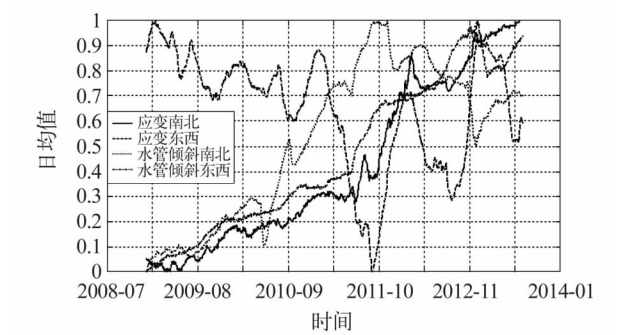


图4 宕昌台各测道日均值曲线

Fig. 4 The day average curves of various items at Tangchang station

3.2.4 白银台

该台共有 4 个测项分量,水管和伸缩各 2 个(图 5)。倾斜北南分量:总体趋势下降,平均下降速率  $-0.28$ ;年变形态规则,平均年变幅度 65。倾斜东西分量:总体趋势下降,平均下降速率  $-0.14$ ;年变形态规则,平均年变幅度约 307,但 2010 ~ 2011 的低值点较其余年度抬升约 60;该测项年变幅度总体偏大,可能与周年气温变化干扰有关,查证后应采取措施排除或降低干扰。伸缩南北分量:总体趋势先降、后升、再急剧下降。2010-09 中下旬为速率转向点,转折点前后时段的速率分别为  $-5.21$ 、 $0.83$ ;2013-03 月上旬左右出现第二个速率转折点,转折点前后的速率分别为 2.82、 $-10.72$ 。急剧下降段 2013-03-09 ~ 2013-07-21 持续 134 d,该段可能与岷漳地震孕育过程进入短期前兆阶段有关。伸缩东西分量:总体趋势上升,上升平均速率 0.52;年变形态规

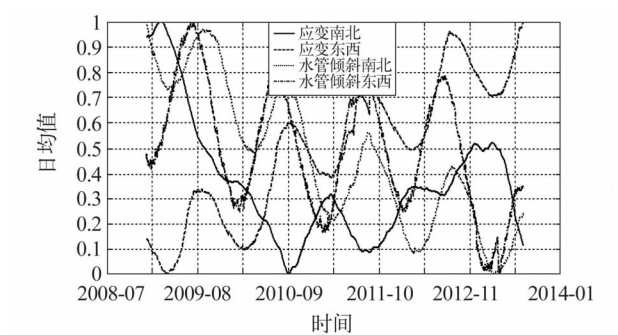


图5 白银台各测道日均值曲线

Fig. 5 The day averages curve of various items at Baiyin station

则,平均年变幅度 169。该测项年变幅度偏大,原因可能与周年气温变化干扰有关,查证后应采取措施排除或降低干扰。

3.2.5 同仁台

该台共有 4 个测项分量,水管和伸缩各 2 个(图 6)。倾斜南北分量:总体趋势下降,平均速率  $-12.45$ 。但 2011-08 前后速率有显著变化,之前的平均速率为 28.72,之后则为 6.12,该转折点的时震距为 690 d。该测项速率基值太大,观测结果信度较低。倾斜东西分量:总体趋势为下降-平缓-上升-平缓-下降。转折点大致位于 2010-03 中旬、2010-08 上旬、2011-03 上旬、2011-10 中旬;分割的 4 个时段速率分别为  $-2.66$ 、 $4.56$ 、 $-1.40$ 、 $-1.71$ 。最后一个下降段以 2012-12 月底为界分成两个时段,速率分别为  $-1.40$ 、 $-1.71$ ;减速段直至震前持续了 206 d。伸缩南北分量:总体持续上升,平均速率为 56.08。速率有 2 个明显转折点,大致位于 2010-09 中旬和 2012-12 下旬。分割的 3 个时段速率分别为 45.47、58.22、38.54。该测项速率基值太大,观测结果信度较低。伸缩东西分量:总体趋势持续并不断加速上升。速率有 2 个明显转折点,大致位于 2011-05 上旬和 2012-05 中旬,分割的 3 个时段速率分别为 13.84、42.51、48.09。该测项速率基值太大,观测结果信度较低。

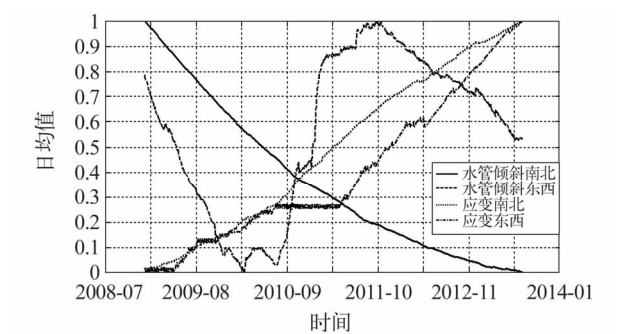


图6 同仁台各测道日均值曲线

Fig. 6 The day average curves of various items at Tongren station

3.2.6 泾源台

该台共有 4 个测项分量,水管和伸缩各 2 个(图 7)。倾斜南北分量:总体趋势持续下降,但速率大小有阶段变化。转折点大致有 4 个,位于 2009-08 中旬、2011-08 中旬、2012-10 下旬和 2013-06 中下旬,分割的 5 个时段速率分别为  $-0.49$ 、 $-3.54$ 、 $-4.02$ 、 $-0.61$ 、 $-7.35$ 。2011-08 中旬 ~ 2012-10 下旬为加速下降段,速率为  $-4.02$ ;2013-06 中下旬 ~ 震前的 30 余天为急剧下降段,速率为  $-7.35$ ,这有可能是岷漳地震进入到短临阶段的征兆。倾斜东西

分量:速率有2个明显的转折点,大致位于2009-11月上旬和2012-05月上旬,分割的3个主要时段速率分别为3.94、-0.77、1.17;2012-05月上旬之后的上升段至震前持续了430多天。伸缩南北分量:速率有2个明显的转折点,大致位于2010-07中旬和2012-05月上旬,分割的3个时段速率分别为-1.83、2.16、5.39。2010-07中旬为速率转向点,速率由-1.83转为2.16;2012-05月上旬为速率上升加速点,速率由2.16加速为5.39,至震前持续430多天。伸缩东西分量:总体趋势上升,2011-08中旬前后上升速度明显加快。

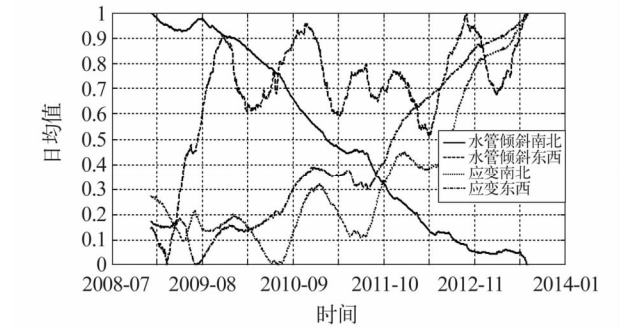


图7 涇源台各测道日均值曲线

Fig.7 The day average curves of various items at Jingyuan station

### 3.3 折点统计与分析

1)折点数的时间分布。26个测项分量日均值曲线中,2010-07之后(震前3a内)的显著转折点总个数为53个。在时间分布上:震前3~2a,2~1a、1a以内的折点数量分别为14、19、20个;震前2~1a和震前1a内的折点个数大致相等,但临震阶段(15d内)的折点数仅1个。因此,折点数量的时间分布特征可以供1~2a时间尺度地震预测参考。

2)折点数的空间分布。按台站统计折点数:宝鸡13个、兰州7个、宕昌13个、白银3个、同仁8个、涇源9个。因宝鸡有6个测道,其他台站均为4个,如果都按4个测道计算,宝鸡台的折点数应为9个。所以折点数量以宕昌居第一,为13个,以下依次是宝鸡9、涇源9、同仁8、兰州7、白银3。折点的空间分布可供预测发震地点时参考,使用这一条件要求观测台站有足够的密度。

宕昌台离震中最近,它的折点数量居第一。这

有可能说明该台的观测结果与岷漳地震的关系更密切。虽然宝鸡台离震中最远、涇源台离震中次远,但它们的折点数量仅次于宕昌台,这一现象有待于进一步研究。

## 4 结 论

1)6个台站、26个测项分量都清晰地记录到弹性地球的潮汐响应,这些测项所提供的地壳微形变量化指标有研究价值。

2)宕昌台离震中最近,应更加重视该台日均值曲线在研究岷漳地震孕育过程的应用。

3)速率折点数量的时间分布可供地震中期和短期预测参考,空间分布可供预测地震地点时参考。

4)宝鸡台伸缩东西分量日均值于2013-07-06左右转为急剧上升,直至震前持续15d,上升段的平均速率为12.3,远大于以往任何时段;兰州台伸缩南北分量于2013-07-07速率急转为-6.24(之前为0.70)。从曲线形态和时间点看,这两个异常点与岷漳地震发震时间较为接近,需进一步调查和分析,以判定该现象能否作为可能的短临异常。

5)涇源台倾斜南北分量于2013-06中下旬至震前的30余天为急剧下降段,速率为-7.35,斜率大于以往任何时段。白银台伸缩南北分量于2013-03上旬左右出现反向和急剧下降(前后速率分别为2.82、-10.72)。急剧下降段持续130余天,这种现象是否属于岷漳地震孕育过程进入短临阶段的征兆也需要进行深入研究。

## 参 考 文 献

- 唐九安. 天顶距微分公式用于重力、倾斜和应变固体潮资料的拟合检验[J]. 地壳形变与地震,1990,10(2):1-8. (Tang Jiuan. The zenith distance formulas of the first order differential quotient for the theoretic value of the earth tides applied to the fit-testing of the gravity,tilter and line strain earth tides [J]. Crustal Deformation and Earthquake,1990,10(2):1-8)
- 唐九安. 计算固体潮潮汐参数的非数字滤波调和分析方法[J]. 地壳形变与地震,1999,19(1):49-55. (Tang Jiuan. Method of non-digital filter harmonic analysis for computing the earth tidal parameters [J]. Crustal Deformation and Earthquake,1999,19(1):49-55)