

甘东南地下流体异常与甘肃岷县6.6级地震关系探讨

杨兴悦¹, 王 燕¹, 王建荣², 田 野³, 周建强¹

(1. 甘肃省地震局天水中心地震台, 甘肃 天水 741020; 2. 天水市麦积区地震局, 甘肃 天水 741020;

3. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:近年来南北地震带强震频发, 位于南北地震带北段的甘东南地区被认为可能是未来发生强震的区域之一。2013年7月22日岷县6.6级地震发生在这一区域, 本文对岷县地震前后甘东南地区地下流体资料进行了分析, 认为岷县地震前距震中300 km内的一些地下流体资料出现了明显的中期异常、短临异常和同震响应。本文从中期异常、短临异常、同震响应等几个方面对甘东南地区的水氡、水温、水位、流量资料进行分析和探讨。利用从属函数方法定量提取出的中期异常效果较为理想, 震前7-32个月各测点资料开始出现异常; 震前几个月地下流体资料出现了上升速率加快、趋势性上升、下降及与正常形态不一致等短临异常。

关键词: 岷县地震; 地下流体; 前兆异常; 中期异常; 短临异常; 同震响应

中图分类号: P315.71⁴ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2013)04-808-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.04.808

The Relationship between Underground Fluid Anomalies in Southeastern Gansu and the M_s6.6 Earthquake

YANG Xing-yue¹, WANG Yan¹, WANG Jian-rong², TIAN Ye³, ZHOU Jian-qiang¹

(1. Tianshui Center Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Tianshui Gansu 741020, China;

2. Earthquake Administration of Maiji County, Tianshu Gansu 741020, China;

3. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Six major earthquakes have occurred in the Tibetan Plateau during the past few decades: the 1997 Mani earthquake of magnitude 7.5 in Tibet, the 2001 Kunlun Mountain Pass earthquake of magnitude 8.1 in Qinghai, the 2008 Yutian earthquake of magnitude 7.3 in Xinjiang, the 2008 Wenchuan earthquake of magnitude 8.0 in Sichuan, the 2010 Yushu earthquake of magnitude 7.1 in Qinghai, and the 2013 Lushan earthquake of magnitude 7.0 in Sichuan. All of these occurred around the boundaries of the Bayan Har block of the Tibetan block. A series of strong earthquakes have occurred at the southwestern, northwestern, western, eastern, and southeastern boundaries of the Bayan Har block, which have attracted a great deal of attention from geologists. Some research has indicated that the adjacent zone and the boundary of the Bayan Har block are earthquake-prone areas, where strong earthquakes might occur in future. Earthquakes frequently occur in the north-south seis-

mic belt, which has also been the focus of research in recent years. The southeastern area of Gansu is located in the northern section of the north-south seismic belt, and adjacent to the northeastern boundary of the Bayan Har block. We therefore believe that the southeastern part of Gansu Province is an area at risk of disastrous earthquakes in future. The Minxian earthquake of magnitude M_s 6.6 occurred on July 22, 2013 in this area. In this study, we discussed the effect of strong earthquakes on the seismic situation and studied data on underground fluids in southeast Gansu Province. From analysis of underground fluid data from the southeastern part of Gansu Province, we concluded that underground fluid data from 300 km from the epicenter showed obvious mid-term anomalies, short-term anomalies, impending earthquake anomalies, and co-seismic response. We analyzed and discussed data on the water radon level, water temperature, water level, and outflow data to elucidate the medium-term anomalies, short-term anomalies, impending earthquake anomalies, and co-seismic responses. The medium-term anomalies before the Minxian earthquake were extracted by combining qualitative and quantitative methods. The data on water radon and water level changes in the southeast of Gansu provinces were analyzed according to the idea of "identity" and the method of subordinate function method. The preliminary conclusion is that it is obvious that the anomaly trend in the underground fluid appeared before the Minxian earthquake, and the subordinate function method can be successfully used to extract the medium-term anomaly of water radon. Based on the data for water radon (from Fujianchang spring, No. 1 spring, and No. 2 spring at Pingliang station, Huanui spring at Tianshui station, No. 1 spring at Wushan station, Diangou spring at Longnan station), water level (from Wenquan Well at Qingshui station), water temperature (from Wenquan Well and Ligou Well at Qingshui station), flow data (from Ligou Well at Qingshui station) for the Minxian earthquake, there were marked short-term precursor anomalies in southeastern Gansu. From one record of water radon, four records of water temperature (Liuhu Well at Pingliang station, Liangshui Well at Longnan station, No.1 spring at Wushan station, and Diangou Well and Chengxian Well at Longnan station), and two records of water levels (Huating Well and Liuhu Well at Pingliang station), we detected obvious coseismic effects caused by the earthquake. From the statistical analysis, water temperature and water level data sampled at a high rate showed more coseismic response, and flow data and water radon data sampled at a low rate did not show coseismic response.

Key words: Minxian M_s 6.6 earthquake; underground fluid; precursory anomaly; mid-term anomalies; short-term anomaly; co-seismic response

0 引言

据中国地震台网中心测定,2013年7月22日7时45分,在甘肃岷县漳县交界(北纬 34.5° ,东经 104.2°)发生了 M_s 6.6地震,震源深度20 km。此次地震震感强烈,极灾区烈度为Ⅷ度,甘肃省13个县受灾^[1],共造成95人死亡,经济损失26.49亿元^[2],这是在南北地震带及邻近地区继2008年汶川 M_s 8.0地震、2010年玉树 M_s 7.1地震和2013年芦山 M_s 7.0地震后发生的又一次强震。这几次地震造成了重大的人员伤亡和经济损失,给我国带来了巨大的灾难。这一系列强震的发生引起社会、媒体以及相关学者广泛关注,不少学者也在强震发生后进行了科学总结与反思^[3-6]。在岷县地震发生前一些研究人员认为甘东南地

区可能是未来强震发生的重点危险区域之一^[7-10]。

我国地震观测经过40多年的发展,积累了大量的观测数据和科学研究成果,在方法理论、观测技术、观测数据应用等方面取得了长足的进步,为地震前兆现象探索、地震前兆机理研究、地震预测预报方法研究以及地球科学研究积累了丰富的观测资料。但地震预测目前还是未解决的难题,经过近年来的大震检验后,党中央、国务院和地方各级政府对防震减灾,特别是监测预报工作高度重视,社会公众对提高监测预报科学水平的需求更加紧迫,因此在地震形势依然严峻以及甘东南地区地震形势依然复杂的情况下,有必要对甘东南地区的地震观测资料进行分析,结合岷县地震,总结经验,加强交流,期望

研究结果能为地震预测研究提供参考。

1 地下流体中期异常

大量观测资料表明,强震前地下流体异常变化过程具有阶段性,中期异常也是比较显著的^[11]。甘东南地区流体测项较多,测点距岷县地震震中均小于300 km。对地下流体资料异常进行严格筛选,车用太等^[12]提出了地下水干扰异常识别与排除的4个“相关性”原则,即成因上的相关性、空间上的相关性、时间上的相关性与强度上的相关性;提出了地下水前兆异常确认的4个判据,即首先是非干扰性异常,其次是有震例与理论模式的支持,再次是已有前兆震理论或模式的支持,最后是有其它测项与学科异常的配套。采用上述原则筛选出异常资料,然后在此基础上,采用王吉易等^[13]的“同一化”研究思路,遵循4个原则:(1)观测数据时间长,时间在10年以上;(2)无人为干扰(仪器改变、台站改造、井(泉)装置改变、无规律抽水、渠道放水与停水等)引起的台阶状变化或对台阶状变化因素比较清楚,能进行校正;(3)具有明显的年动态变化;(4)测点目前仍在正常观测。按照这些条件严格筛选,认为岷县地震前出现了趋势性异常的观测项目共8项,其中5项为模拟水氡,3项为水位,分别为平凉附件厂泉水氡、通渭温泉井水氡、武山1号泉水氡、武山22号井水氡、西和芦河泉水氡,陇05井水位、陇06井水位、陇18井水位。月均值曲线如图1。

图1中异常的认定主要依靠资料分析应用人员的经验,对于异常判定的警戒线可以有几种画法,有人认为异常从最低值开始比较合理,也有人可能将超出平均值的部分作为异常。因此,这种方法因人而异,定性成分较多,对于同一资料可能相应地有几种异常判定结果。可见“看图识字”方法存在主观随意性和多解性,因而其可操作性较差。为此,在本文中采用定性与定量相结合的方法判定异常,提取上述具有代表性的水氡、水位资料中期异常变化特征。定量判定方法具有确定性、可操作性等优点,正好弥补定性方法的不足。对于定量异常的判定,本文利用从属函数方法提取异常,杨兴悦、王燕等^[14-15]采用了此方法对甘东南水氡和水位资料中期异常进行了研究,结果表明,用13点滑动平均值作为计算序列的效果较好,明显优于直接使用月均值提取异常的方法。中期异常判定方法见表1。采用该方法提取出的岷县6.6级地震异常较为明显(图2),用从属函数法提取地下流体中期异常,特征统计表列于表2。本文重点分析岷县地震前中

期异常,因此表2未列出历史地震中期异常特征,本文中未列出的水氡、水位中期异常特征可参见文献14和15。

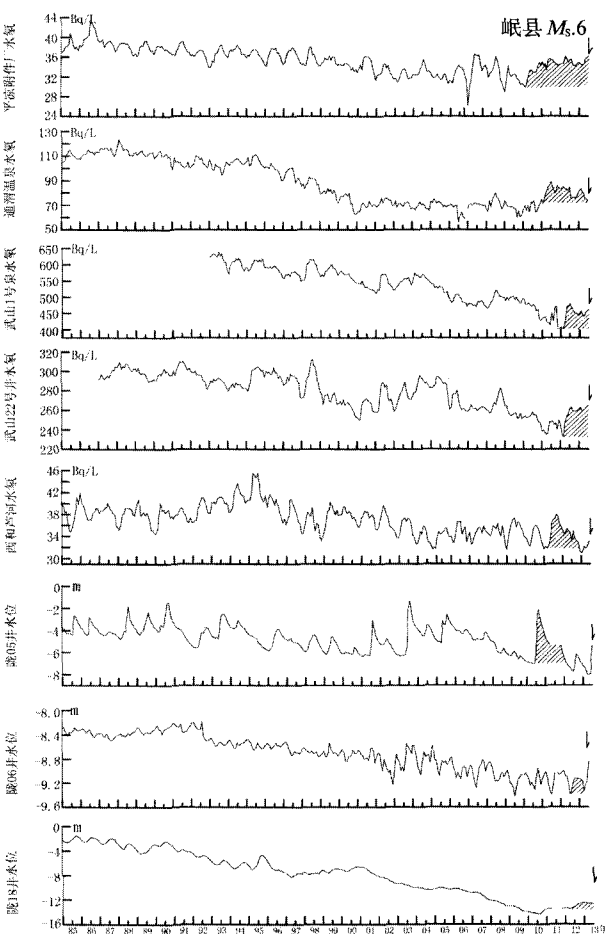


图1 岷县 Ms6.6地震前地下流体月均值曲线
Fig.1 Curves of month-mean values of underground fluid before the Ms6.6 Minxian earthquake

表1 水氡、水位中期异常判定方法表
Table1 Mid-term anomalies decision method of Radon and water level

方法	使用数据	信息参数计算		异常判定 指标
		计算式	特定要求	
从属函数	月均值的13点 滑动平均值 M_i	$\mu_i = \left[1 + \frac{\alpha}{ k_i r_i} \right]$	求曲线上升段的从属函数, 拟合窗口长度 $m=9$	$\mu_i \geq 0.5$

表1中, k_i 为观测值变化斜率; r_i 为滑动平均值 $M(i)$ 与时间 t 的相关系数,它反应了观测序列内在质量的好坏; α 为经验常数。在计算时,13点滑动平均值、从属函数值 μ_i 均置于计算时段的右端点。

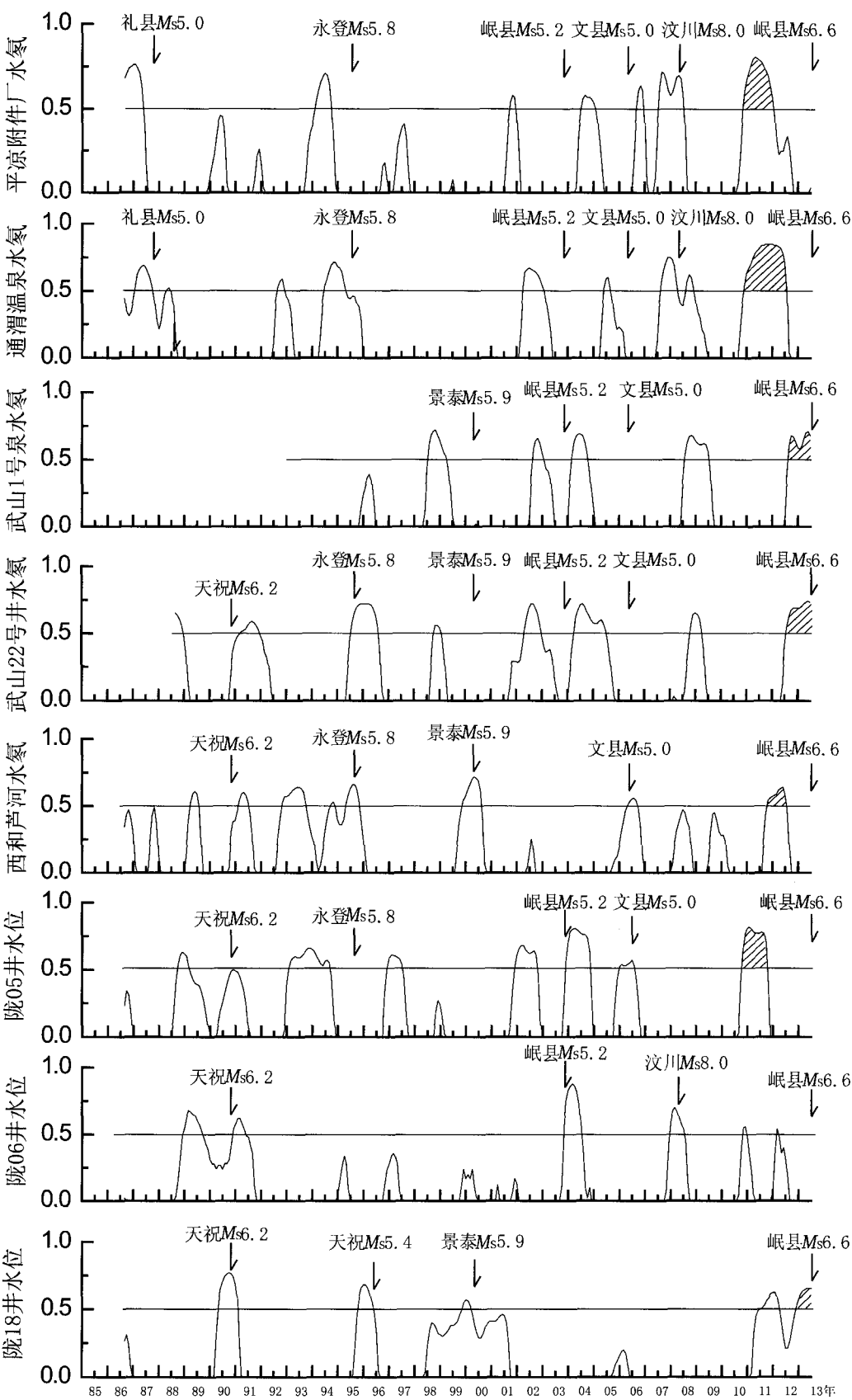


图2 岷县6.6级地震前水氡、水位从属函数中期异常变化曲线

Fig.2 Change Curves of mid-term anomalies of the subordinate function of radon and water level before the $M_s6.6$ Minxian earthquake

表2 岷县6.6级地震前地下流体中期异常特征统计表

Table 2 Feature of the mid-term anomalies of underground fluid before the M_s 6.6 Minxian earthquake

井(泉)名称 及测项	异常开始时间	定性异常		异常开始时间	定量异常		震中距 /km	从属函数经验 常数 α
		异常超前时间 /月	异常持续时间 /月		异常超前时间 /月	异常持续时间 /月		
平凉附件厂水氡	2010-03	40	>40	2010-12	31	13	260	0.07
通渭温泉水氡	2010-10	33	>33	2010-12	31	21	115	0.2
武山1号泉水氡	2012-03	16	>16	2012-09	10	>11	80	1.0
武山22号井水氡	2012-04	15	>15	2012-08	11	>12	79	0.5
西和芦河泉水氡	2011-04	27	21	2011-11	20	9	100	0.11
陇05井水位	2010-07	36	25	2010-11	32	12	227	0.05
陇06井水位	2012-06	13	13	2012-03	16	1	149	0.004
陇18井水位	2012-05	14	>14	2012-12	7	>8	231	0.04

备注:异常超前时间指:异常开始时间与发震时间之间的时差。水氡测项从属函数经验常数来自文献[14]。

2 地下流体短临异常

2.1 水氡

对甘东南地区10项水氡资料因标定仪器等引起的台阶进行了校正,然后再进行分析,认为出现了6项较为明显的短临异常,其中平凉附件厂水氡、平凉北山1号泉水氡、平凉北山2号泉水氡、天水花牛泉水氡出现了较为同步的上升异常(图3(a)~(d))。这几项资料测值从2013年3月开始上升速率较往年同期快,6月底7月初测值达到最高值,且测值均高于前两年同期值。

岷县地震前武山1号泉和陇南殿沟泉水氡出现了较为明显的短临异常(图3(e)~(f)),这两口泉震中距分别为80 km和140 km,武山1号泉水氡测值从6月下旬开始持续上升,在上升过程中发生岷县地震。陇南殿沟水氡在震前出现了较为明显的短临异常,6月下旬测值快速上升,7月中旬测值达到最高值后快速下降,在下降过程中发生地震。

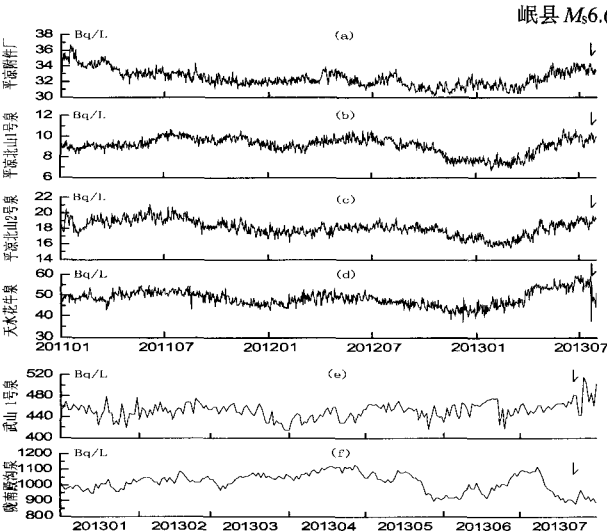


图3 甘东南水氡日值曲线

Fig.3 Daily value curves of radon in southeast area of Gansu province

2.2 水温

我国水温观测经过30多年的发展形成了具有三百多个水温观测台站(点)的前兆观测台网,其中大部分台站都采用具有0.000 1℃分辨率、高精度的石英温度计,因此通过对反映地壳热状态的井水温度或井孔围岩温度的观测,有可能捕捉到地震前地壳热状态异常变化信息,从而进行地震监测预报的探索^[16]。本文分析了甘东南地区的12项水温资料,排除明确的环境干扰、架设仪器、降雨及人为干扰等因素造成的异常变化后,有2个测点水温在震前存在异常,分别为清水李沟水温和清水温泉水温(图4)。

李沟水温自5月底开始持续下降至6月下旬,7月初开始持续上升,测值形态呈“凹”形(图4(a)),从降雨资料来看,6月20日、7月8日和7月21日降雨量分别为96 mm、80 mm和60 mm图4(b),可见降雨对水温资料变化无影响。特别是震前两三天测值出现大幅波动变化,排除了环境等干扰因素,推断此资料为较可信的短临异常。

清水温泉水温7月12日突然下降,降幅为0.006 8℃(图4(c)),从温泉降雨资料来看,7月8日和7月22日降雨暴雨,降雨量分别为57 mm和108 mm(图4(d)),降雨后测值没有出现明显下降,可以推断降水对水温变化没有影响。需要说明的是7月17日在该井中下放了一个水温探头,下放深度为300 m,从7月19日开始在该井中又下放一水温探头(拟下放400 m),每天下放20 m,由于架设新仪器可能对原水温有影响,随着探头及线缆入水,水位也随之上升,可能对水温的变化有影响,但从观测曲线来看,这种影响较小,因此认为该井水温大幅下降是岷县地震前兆异常。

2.3 水位

我国已经建立了比较完善的地震地下流体观测网,水位观测作为重要的地震前兆观测手段被应用于地震预

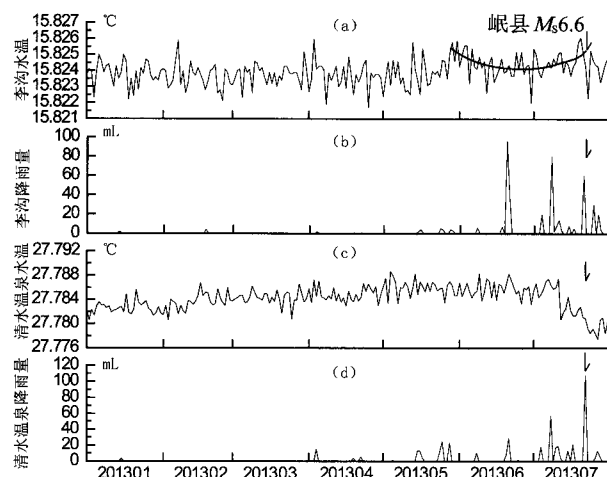


图4 清水温泉水温和李沟水温日值曲线

Fig.4 Daily value curve of water temperature in Wenquan well and Ligou Well at Qingshui station

测实践。赵栋等研究表明利用水位资料能很好地识别地震前兆信息^[17]。本文收集了甘东南地区10项水位资料进行分析,排除明确的环境干扰、架设仪器、降雨影响及人为干扰等因素造成的异常变化后,认为清水温泉水位在岷县地震前存在短临前兆异常,清水温泉7月22日降暴雨,降雨量为108 mm,为今年以来单日最大降雨量(图4(d)),而当日水位资料没有上升(23日因停电断记)(图5),认为降雨对清水温泉水位影响不明显。因此认为温泉水位从6月中旬以来持续上升为地震前兆异常。7月17日水位大幅上升是由于在同一井中下水温探头所致。

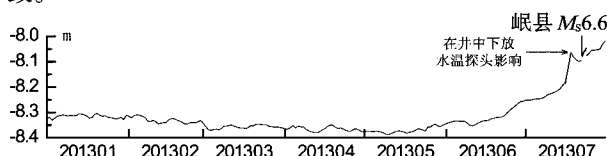


图5 清水温泉水位日值曲线

Fig.5 Daily value curve of water level in Wenquan well at Qingshui station

3 同震响应及震后调整

地震发生后伴随着地表破裂,引起地下流体观测资料的同震变化或震后效应,涉及范围较广。甘肃岷县6.6级地震发生后,经统计甘东南地区的地下流体资料,发现有9项资料出现了同震响应及震后效应(图6),分别为天水花牛水氡、平凉柳湖水温、成县水温、陇南两水水温、陇南樊坝水温、平凉华亭水位、平凉柳湖水位、兰州大滩水位和临夏水位,其中兰州大滩水位和临夏水位资料同震变化幅度较小,在图中未列出。

天水花牛泉水氡为日值,降雨对其有影响,但不是十

分明显,天水地区6月20日、7月8日和7月22日降暴雨,降雨量分别为114.8 mm、86.5 mm和85 mm,从图6a中可以看出氡值受降雨影响不大,7月22日氡值下降20.2 Bq/L,下降幅度为32.1%,且当天采水样时间位于岷县地震后,因此认为天水花牛泉水氡地震当天低值为岷县地震同震响应。

清水李沟流量作为作为主测项观测从上世纪80年代开始观测,采用人工测量,每天定时测量一次,测值较为稳定。对比清水李沟流量资料(图6(b))和清水李沟降雨量(图4(b)),认为清水李沟流量受降雨影响较小,2013年6月底至岷县地震前流量资料呈现出的“凹”形变化认为是较为可信的前兆异常。地震后流量大幅上升,同震效应明显。

平凉柳湖、陇南两水、陇南樊坝水温分钟值在岷县地震时出现了同震响应,变化幅度分别为0.025 °C、0.002 2 °C和0.000 2 °C(图6(c)、(e)、(f))。成县水温分钟值在岷县地震后持续下降,累计下降幅度为0.004 °C,14时9分开始快速回升,表现出了明显的震后效应(图6(d))。

平凉华亭水位和平凉柳湖水位分钟值在岷县地震时也出现了同震响应,变化幅度分别为1.2 mm和6.9 mm(图6(g)、(h))。

4 认识与讨论

(1) 本文中提取地下流体中期异常采用定性与定量相结合的方法,即出现定性异常,也应出现定量异常,才能认为是地震前兆异常。但是定性异常可能因人而异,目前对于定性异常的划分没有一个标准,如在本文中资料出现趋势性下降后转折上升,异常时间从转折点开始算起还是从转折后算起因人的认识而异,因此将定性与定量相结合的方法提取异常,效果更为理想。对于使用从属函数提取资料定量异常时,从属函数经验常数非常重要,对一个测项资料进行研究时,一旦确定下来从属函数经验常数,就要一直延用,不能对不同的地震使用不同的经验常数。

(2) 趋势异常本身并不是某一个地震的“专有”前兆,而是多个地震的“共同前兆”。从成因来看,趋势异常不是来自震源的“源兆”,而是“外因性”的“场兆”。这一特点决定了依据这类异常提出的预测,只是一个“可能的发震时段”,一组趋势异常变化并不只对应一个地震,而是对应一个地震的活跃时段,即趋势异常为多个强震、中强震的共同前兆。

(3) 中强地震前,映震能力范围内的地下流体资料会出现中期异常、短临异常以及同震响应和震后效应,对

于同震及震后效应分布范围,可能与地震震级大小有关。从本文统计来看,采样率较高的水温和水位资料出

现同震响应的测项较多,采样率较低的水氢、流量资料无同震响应出现。

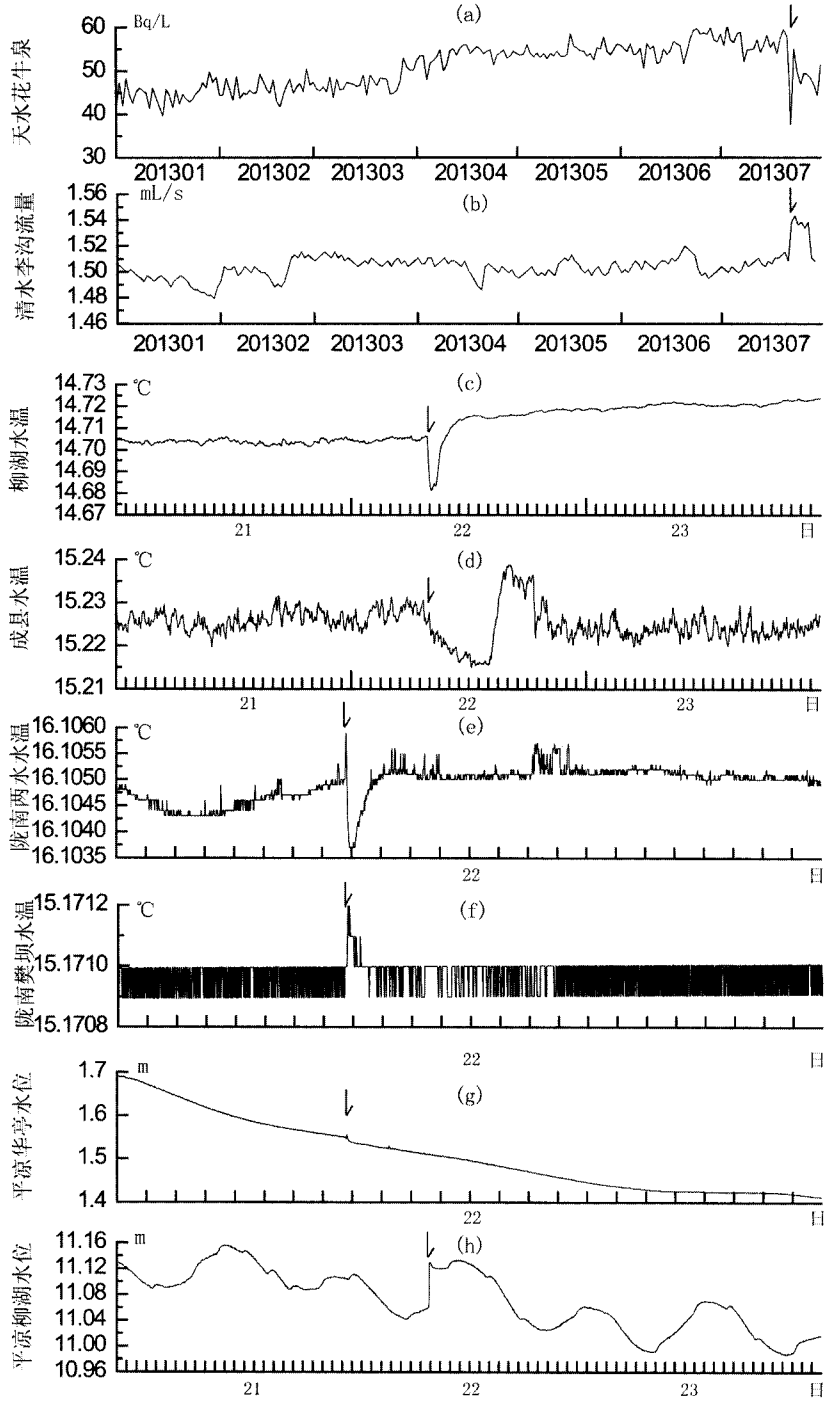


图6 岷县地震同震异常曲线
Fig.6 Abnormal curves of co - seismic response at Mianxian earthquake

参考文献(References)

[1] 甘肃省地震局.甘肃岷县漳县6.6级地震烈度评定工作顺利
完成.<http://www.gssb.gov.cn/pub/work/2013/07/24/1374667786331.html>.

[2] 7·22定西地震.[http://baike.baidu.com/view/10793081.htm?](http://baike.baidu.com/view/10793081.htm?fromId=10798735)

[3] 邓起东.关于四川汶川8.0级地震的思考[J].地震地质,2008,
20(4):811-827.

DENG Qi-dong. Some Thoughts on the M_s 8.0 Wenchuan,Si
chuan Earthquake[J]. Seismology and Geology, 2008,20(4):

- 811-827.(in Chinese)
- [4] 车用太,刘成龙.汶川地震后关于地震预测问题的再思考[J].国际地震动态,2008,358(10):1-6.
CHE Yong-tai,LIU Cheng-long. Opinions about Earthquake Prediction after Wenchuan Earthquake[J]. Recent Developments in World Seismology, 2008,358(10):1-6.(in Chinese)
- [5] 陈玉华,马玉虎,杨晓霞,等.青海玉树7.1级地震异常及其思考[J].国际地震动态,2010,383(11):19-26.
CHEN Yu-hua, MA Yu-hu, YANG Xiao-xia, et al. The Seismic Anomalies of Yushu $M_s 7.1$ Earthquake and Some Relevant Thoughts[J]. Recent Developments in World Seismology, 2010,383(11):19-26.(in Chinese)
- [6] 陈运泰,杨智娴,张勇,等.从汶川地震到芦山地震[J]. 中国科学:地球科学,2013,43:1064-1072.
CHEN Yun-tai, YANG Zhi-xian, ZHANG Yong, et al. From 2008 Wenchuan Earthquake to 2013 Lushan Earthquake[J]. Scientia Sinica Terrae, 2013,43:1064-1072.(in Chinese)
- [7] 邓起东,高翔,陈桂华,等.青藏高原昆仑-汶川地震系列与巴颜喀喇断块的最新活动[J]. 地学前缘,2010,17(5):163-178.
DENG Qi-dong, GAO Xiang, CHEN Gui-hua, et al. Recent Tectonic Activity of Bayankala Fault-block and the Kunlun-Wenchuan Earthquake Series of the Tibetan Plateau[J]. Earth Science Frontiers, 2010,17(5):163-178.(in Chinese)
- [8] 张辉,王熠熙,冯建刚.甘东南地区地壳介质各向异性特征[J].西北地震学报,2011,33(2):111-116.
ZHANG Hui, WANG Yi-xi, FENG Jian-gang. Seismic Anisotropy in the Crust in Southeastern Area of Gansu Province[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011,33(2):111-116.(in Chinese)
- [9] 杨兴悦.青藏高原巴颜喀拉块体强震动力学过程数值模拟[D].兰州:中国地震局兰州地震研究所,2012.
YANG Xing-yue. Numerical Simulation on Strong Earthquake Dynamics Process of Bayan Har Block of the Qinghai-Tibetan Plateau[D]. Lanzhou:Lanzhou Institute of Seismology,CEA 2012.(in Chinese)
- [10] 杨兴悦,陈连旺,杨立明,等.巴颜喀拉块体周缘几次强震对甘肃地区地震形势的影响[J].地震,2013,33(3):77-89.
YANG Xing-yue, CHEN Lian-wang, YANG Li-ming, et al. Effect on Seismic Situation of Gansu Region from Several Strong Earthquakes around Bayan Har Block[J]. Earthquake, 2013,33(3):77-89.(in Chinese)
- [11] 范雪芳,王吉易,陆明勇.汶川8.0级地震前典型流体中期前兆异常的初步研究[J].地震,2009,29(1):132-140.
FAN Xue-fang, WANG Ji-yi, LU Ming-yong. Preliminary Study on Some Typical Medium-term Subsurface Fluid Anomalies before the Wenchuan 8.0 Earthquake[J]. Earthquake, 2009,29(1):132-140.(in Chinese)
- [12] 车用太,鱼金子,刘成龙,等.判别地下水异常的干扰性与前兆性的原则及其应用实例[J].地震学报,2011,33(6):800-808.
CHE Yong-tai, YU Jin-zi, LIU Chen-long, et al. Principles on Distinguishing Interference from Seismic Precursor of Underground Water Variation and Its Application[J]. Acta Seismologica Sinica, 2011,33(6):800-808.(in Chinese)
- [13] 王吉易,宋贯一,曹志成,等.地下水诱发的浅层前兆异常及其机理与有关的地震预报问题(3)[J].华北地震科学,2003,21(1):1-10.
WANG Ji-yi, SONG Guan-yi, CAO Zhi-cheng, et al. The Mechanism of Shallow Layers Anomaly Caused by Groundwater and Its Related Question in Earthquake Prediction[J]. North China Earthquake Sciences, 2003,21(1):1-10.(in Chinese)
- [14] 杨兴悦,王燕,侯亚江,等.甘肃东南部水氡中期异常特征研究[J].地震研究,2011,34(1):8-18.
YANG Xing-yue, WANG Yan, HOU Ya-jiang, et al. Study on Mid-term Anomalies of Radon in Southeast Gansu Province[J]. Journal of Seismological Research, 2011,34(1):8-18.(in Chinese)
- [15] 王燕,杨兴悦,陈雪梅,等.甘肃模拟水位资料处理方法研究及映震效能评估[J].地震研究,2013,36(1):24-33.
WANG Yan, YANG Xing-yue, CHEN Xue-mei, et al. Research on Processing Method of Analogue Water Level Data and Evaluation of Earthquake-reflecting Efficacy in Gansu Province[J]. Journal of Seismological Research, 2013,36(1):24-33.(in Chinese)
- [16] 何案华,赵刚,刘成龙,等.青海玉树与德令哈地热观测井在汶川与玉树地震前的异常特征[J].地球物理学报,2012,55(4):1261-1268.
HE An-hua, ZHAO Gang, LIU Cheng-long, et al. The Anomaly Characteristics before Wenchuan Earthquake and Yushu Earthquake in Qinghai, Yushu and Delingha Geothermal Observation Wells[J]. Chinese J Geophys, 2012,55(4):1261-1268.(in Chinese)
- [17] 赵栋,易立新,王广才,等.地下水位中地震前兆信息提取方法研究[J].地震工程学报,2013,35(2):334-341.
ZHAO Dong, YI Li-xin, WANG Guang-cai, et al. Research on the Technology of Extracting Earthquake Precursor Information from Groundwater Level[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013,35(2):334-341.(in Chinese)