

2013年7月22日甘肃省岷县—漳县6.6级地震

甘肃省地震局

梅秀苹 张 辉 程建武 张 博 姜佳佳*

摘 要

2013年7月22日甘肃省岷县和漳县交界处发生 M_s 6.6地震,微观震中位于北纬 34.54°N 、 104.21°E ,震源深度20km。宏观震中:北纬 34.5° 、东经 104.2° ,极震区位于岷县梅川镇永光村、文斗村、拉路村、永星村、车路村和茶埠镇的茶埠村等地,烈度为Ⅷ度,烈度区呈椭圆形分布,总体走向北西向。该地震造成95人死亡、2414人受伤,直接经济损失达175.88亿元。

此次地震序列比较发育,余震活动丰富,主震与最大余震震级相差1.0级,主余震能量比为0.9566,结合地震序列 b 值、 h 值和 p 值,综合判定该序列为主震—余震型。1级以上余震全部分布在临潭—宕昌断裂东北侧,且绝大多数余震也分布主震北东一侧,余震区空间展布与极震区长轴方向一致。震源机制解为逆冲兼走滑型,最佳双力偶解节面Ⅰ走向 189° ,倾角 51° ,滑动角 142° ,节面Ⅱ走向 305° ,倾角 61° ,滑动角 46° ,节面Ⅱ为主破裂面,主压应力轴方位北东向。判断此次地震的发震断层是临潭—宕昌断裂。

震中距300km范围内共有59个地震观测台,其中测震台站42个,前兆台站17个,前兆台站中共有38个观测项目。震前共出现17条异常,其中5条测震学异常,12条前兆观测异常,前兆异常数量占观测总数的9.9%。震前甘东南—甘青川交界地区以地震平静为主要活动特征。

震后甘肃地震局立即启动了一级地震响应,现场工作队架设了6个强震动台和6个测震台组成流动台网,强化余震监测。

岷县—漳县6.6级地震发生在中国地震局和甘肃省地震局划定的年度地震重点危险区内,预测地震三要素准确,中期预测正确;依据甘东南地区地震活动、定点前兆的趋势性异常,甘肃省地震局给出了较好的短期预测,取得了一定的社会效益;震后趋势判定正确。

此次地震预测过程中,不同震级档地震平静区(或空区)的嵌套为发震地点

* 参加工作还有:冯建刚、郑卫平、曹玲玲、张煜。

提供了有利判据。主震周围低 b 值范围较小,可以作为缩小危险区范围的重要证据,但应注意如何排除干扰性异常。中等地震平静在甘东南—甘青川交界地区是比较普遍的现象,在以往的震例中,对应率仅达2/7次,因此如何判别这种大范围的平静也是个重要的问题。短期预测阶段,区域地震活动增强、小震群活动和前兆资料的成组同步变化符合本区中强地震预测指标。震后总结发现临震前出现了天水深井电阻率震前的突跳异常和清水水温震前10天的低值异常,地震部门如何增设具有临震预测效能的观测项目是一个值得探索和实验的课题。

前 言

2013年7月22日7时45分,甘肃省岷县和漳县交界处发生6.6级地震。中国地震台网中心测定的微观震中为 34.54°N 、 104.21°E ,宏观震中为北纬 34.5° 、东经 104.2° ,极震区位于岷县梅川镇永光村、文斗村、拉路村、永星村、车路村和茶埠镇的茶埠村等地,烈度为Ⅷ度。该地震的波及面和有感范围很大,甘肃省定西市、天水市、陇南市、甘南藏族自治州和临夏市有强烈震感,兰州市、白银市普遍有震感。据灾害评估,此次地震造成95人死亡,其中:岷县92人、漳县1人、礼县1人、宕昌县1人,2414人受伤。直接经济损失达175.88亿元。

岷县—漳县6.6级地震发生在北西西向东昆仑断裂带与西秦岭北缘断裂带两条左旋走滑断裂带之间的应变传递和构造转换的过渡区部位,是甘肃地区历史强震的主要活动区之一。在震中以东约120km处,曾发生过1654年天水南8级大震,在震中东南约150km处,曾发生过1879年武都8级大震。此次地震震中区附近曾发生1573年震中Ⅸ度和1837年震中Ⅷ度的历史地震,现代发生2003年岷县5.2级和2004年岷县5.0级地震。岷县—漳县6.6级地震发生在中国地震局和甘肃省地震局划定的年度地震重点危险区内,地震三要素预测完全正确;在短期阶段,甘肃省地震局积极开展震情监视和短临跟踪工作,震情工作得到了甘肃省委和省政府的重视,短期预报较为成功,取得了一定的社会效益;震后趋势判定正确。

地震发生后,甘肃省地震局立即启动了一级地震应急响应,成立了应急指挥部,于2013年7月22日08时35分派出第一批地震现场工作队赶赴灾区,开展灾害损失评估、现场震情分析、震情监测、强震观测、地震科学考察等工作。甘肃省委、省政府及时安排部署抢险救灾工作。中国地震局迅速派出了地震现场工作队,携带通讯设备、流动监测仪器等到达地震现场,与甘肃省地震局现场工作组会合,成立了现场工作指挥部,开展了地震监测预报、灾害调查、震灾评估、科学考察、强震观测、震后趋势判定等工作,为政府组织开展抗震救灾工作提供了科学、详实的信息和依据,为灾区社会稳定发挥了积极作用,取得了显著的社会效益。震后,众多的地震工作者围绕此次地震的地震地质构造背景、地震前兆、地壳形变、震源区孕震环境和地质灾害等进行了广泛的研究^[1~20]。

岷县—漳县地震发生在中国地震局和甘肃省地震局划定的年度地震重点危险区内,主要的地震活动性依据为甘东南—甘青川交界地区大范围4级地震平静和小震 b 值空间扫描出现低 b 值区;前兆方面的主要依据是甘东南地区流体化学、电磁的趋势性异常和区域水准以及跨断层形变异常²⁾。短期预测阶段,区域地震活动增强、松潘—平武地区出现了小震群活动

和甘东南地区前兆资料的成组同步变化符合预测指标。而震前出现的前兆异常台站和震群活动并没有指向震源区,且在前兆异常的发展过程中发生了2013年4月20日芦山7.0级地震,因此,震前未做出准确的临震预测,但震后总结发现天水深井电阻率震前出现突跳异常和清水水温震前10天表现为低值异常。建议在今后的监测预报基础建设中,增设类似选点好、观测稳定且能发挥短期效益的观测项目。

本研究报告是在收集有关文献和资料的基础上^{[31~33];1,2)}经过重新整理和分析研究完成的。

一、测震台网及地震基本参数

岷县—漳县6.6级地震震中位于临潭—宕昌断裂附近,图1给出了震中300km范围内的台站分布,除震后架设的6个流动数字测震台外,共有42个测震台。 $\Delta \leq 100\text{km}$ 有测震台5个,岷县台离此次地震震中最近,仅21km,其他4个台站分别是临潭、渭源、武山和舟曲; $100 < \Delta \leq 200\text{km}$ 有12个测震台,包括1个四川地震台网的若尔盖测震台; $200 < \Delta \leq 300\text{km}$ 有25个测震台,台站分布遍布甘肃、四川、青海、陕西和宁夏5省区。由图1可见,震中距200km范围内,甘肃地震台网台站分布均匀。现场工作队成功架设了流动台网中心并正式运行,流动台网中心实时汇聚周边12个地震监测台站(其中6个强震动台,6个测震台)的观测数据(图5),构建了实时自动处理和地震速报系统,具备了现场自动地震速报能力,并通过大屏幕显示为指挥部提供及时地震信息。依甘肃数字地震监测能力以及震后分布密集的流动台站,区内地震监测能力达到 $M_L 1.0$,精度1类(最大方位角间隙 ≤ 90),为准确测定地震参数提供了有利条件。

表1 岷县—漳县6.6级地震基本参数

Table 1 Basic parameters of the $M_s 6.6$ Minxian-Zhangxian earthquake

编号	发震日期	发震时刻	震中位置(°)		震级			震源深度 (km)	震中地名	结果来源
	年.月.日	时:分:秒	φ_N	λ_E	$M(M_s)$	M_L	M_W			
1	2013.07.22	07:45:56	34.54	104.21	6.6	6.8		20	甘肃岷县—漳县	中国地震信息网
2	2013.07.22	07:45:56	34.54	104.24	6.5	6.7		6	甘肃岷县—漳县	甘肃地震台网
3	2013.07.22	07:45:56	34.63	104.36	5.9		6.0	16	中国甘肃	HRV
4	2013.07.22	07:45:59.0	34.50	104.22			6.0	10	中国甘肃	NEIC
5	2013.07.21	23:45:57.0	34.55	104.25			6.0	10	中国甘肃	CSEM
6	2013.07.21	23:45:54.9	34.53	104.21	6.1		6.0	28	中国甘肃	GSR, GSRAS
7	2013.07.21	23:45:57.0	34.50	104.22			6.0	10	中国甘肃	GFZ
8	2013.07.21	23:45:51.5	33.93	104.94			6.0	10	中国西北甘肃	BGS

注:HRV——美国哈佛大学;NEIC——美国国家地震信息中心;CSEM——法国欧洲—地中海地震信息中心(协调世界时(UTC));GSR——俄罗斯科学院地球物理勘测局(协调世界时(UTC));GFZ——德国勘测中心地球科学研究中心(协调世界时(UTC));BGS——英国地质调查局(协调世界时(UTC))。

体区域构造应力变化和构造挤压过程中的一个应力、应变集中区。由于活动的青藏高原不断的隆升和青藏块体推挤作用,区内构造活动强烈,存在多条北东突出的弧形断裂,是在继承原有挤压逆冲构造变形的基础上逐步发展演化而来的,其活动具逆走滑性质、同时有向北东方向推挤的特性(图2)^[24]。区内主要存在4条具有相当规模的活动断裂带,分别为:西秦岭北缘断裂带(F1),临潭—宕昌断裂带(F2),光盖山—迭山断裂带(F3),迭部白龙江断裂带(F4)(图3)。并伴有众多历史强地震活动(图3)。

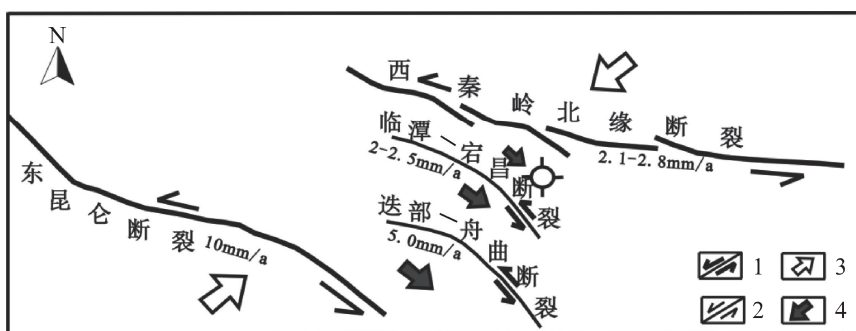


图2 甘东南 NWW 向断裂构造转换关系图^[24]

Fig. 2 NWW-trending fault structural transformation diagram in southeastern Gansu

1. 主要断裂及性质; 2. 过渡转换断裂及性质; 3. 区域挤压应力方向; 4. 断层间块体运动方向



图3 岷县—漳县附近地区主要断裂及历史地震震中分布图^[21]

Fig. 3 Major faults and distribution of historical earthquakes around the Minxian-Zhangxian area

图例说明: 1 正断层; 2 逆断层; 3 走滑断层; 4 全新世断层; 5 晚更新世断层;

6 早中更新世及前第四纪断层; 7 推测及隐伏断层; 8 断裂周边主要地震震中位置

断层编号: F₁. 西秦岭北缘断裂; F₂. 临潭—宕昌断裂; F₂₋₁. 合作断裂段; F₂₋₂. 临潭断裂段;

F₂₋₃. 岷县—宕昌断裂段; F₃. 光盖山—迭山断裂; F₄. 迭部白龙江断裂; F₅. 东昆仑断裂;

F₁₃. 礼县—罗家堡断裂; F₁₄. 礼县—江口断裂

临潭—宕昌断裂带位于青藏高原东北缘,在深部对应一地壳厚度变异带,其厚度西南厚东北薄,由西南面的65km向东北递减至45km左右,莫氏面等值线走向多变,除地壳变异带外,局部隆起和凹陷较多,反映了该区深部构造具有波状起伏的特点^[26]。

重力资料显示,范围在东经102°00′~108°00′、北纬30°40′~35°00′的地区全区以负重力布格异常为背景,重力值由东向西逐步降低。区内局部异常发育,轴向多变强大的重力梯级带横贯全区。临潭—宕昌—成县断裂是研究区内的一条弧形断裂,重力资料显示该断裂各段的走向不一,西段为北西向,成县以东为北东向,凤县、两当一带可能转为东西向。根据资料,西段已发现混杂堆积,东段有基性和超基性岩的分布。临潭—宕昌段为重力梯级带,宕昌—成县段等值线强烈扭曲,成县以东为大小不等、走向不一的局部异常分界线。断裂沿着不同窗口剩余异常的零值线延展。在宕昌—成县段,莫氏面等值线向北西方向扭曲,成县以东为局部隆起和拗陷的分界线^[26]。

2. 发震断层判定

岷县和漳县地处青藏高原东麓与西秦岭陇南山地接壤区。从地貌图分析,震中位于洮河水系与渭河水系分水岭,是一个北西向的构造地貌隆起区,与西秦岭构造带的非均匀隆升活动息息相关。因此认为,该地震的孕育、发生可能是西秦岭构造带最新活动的结果。临潭—宕昌断裂带距地震震中约16km,初步判断是岷县—漳县6.6级地震的发震断裂(图2、图3)。主要依据有:①震源机制解呈逆冲兼走滑破裂特征,与临潭—宕昌断裂走向及活动性质相近;②极震区滑坡和崩塌区域特征显示,在“茶固滩—马家沟—文斗—车路—永光—永星—拉路”一线的北西向带状区域内,有一30km×8km的密集滑坡区,正好位于临潭—宕昌断裂北侧分支断层控制的古近纪盆地中;③Ⅷ度区西北自岷县中寨镇,东南至岷县禾驮乡东南,东北自岷县禾驮乡东北,西南至岷县禾驮乡西南,长轴40km,短轴21km,面积706km²,呈北西向分布;④房屋倒塌、破坏等震害优势分布方向,滑坡、崩塌、震陷等灾害点长轴方向与北西向地质构造大致相同,也与临潭—宕昌断裂走向一致;⑤1573年岷县6.7级地震,1837年岷县—临潭间6级地震,2003年11月13日岷县—临潭间5.2级地震,2004年9月7日岷县5.0级地震的考证、考察表明,这四次地震的孕育、发生均与临潭—宕昌断裂带相关。此次地震虽然没有发现明显的地表破裂,但依据对该断裂带活动特点、野外考察证据和岷县—漳县6.6级地震的震害特征对比结果,综合分析判定临潭—宕昌断裂带为岷县—漳县6.6级地震的孕震和发震断裂^[27]。

3. 构造与历史地震

多种资料分析结果表明,岷县—漳县6.6级地震与临潭—宕昌断裂有关,该断裂属于西秦岭断裂构造中的临潭—岷县—宕昌断层系,为区内一条规模较大的晚更新世—全新世活动断裂带,其西端从合作以西开始,向东经过临潭、岷县至宕昌南东与礼县—罗家堡断裂交会^[25],形成V字形构造,断裂带全长大于250km,由数条规模不等、相互平行或斜列的断裂组合而成,在合作—岷县间,该断裂分为南、北两支,在岷县东南一带又归并为一体,延伸到宕昌以南,断裂总体呈NWW—NW向展布,为一向NE方向突出的弧形,倾向NE,倾角50°~70°,具左旋兼逆断性质^[22]。航卫片上断裂影像清晰,该断裂控制了合作、临潭、宕昌等第三纪盆地的形成、演化及构造变形,其新活动导致断裂沿线山脊、水系、洪积扇被断错,形成断崖、断层垭口、断坎、断陷槽地等^[23]。从历史记载和地表地貌现象分析,该

断裂新活动性强，地震活动水平高，历史上该区曾发生过3次历史强震，分别是839年岷县6~7级、1573年1月20日岷县6¾级和1837年9月10日临洮—岷县6级地震^[21]。现代还发生过2003年11月13日岷县—临潭5.2级和2004年9月7日岷县—卓尼5.0级地震^[22,24]。

三、地震影响场和震害¹⁾

根据该地震的灾区震害调查结果，震区主体宏观震中经纬度为北纬34.5°、东经104.2°。极震区烈度为Ⅷ度(图4)，定西市、陇南市、甘南州、临夏市、天水市等地有强烈震感，兰州市、白银市部分地区有震感。此次地震造成95人死亡，其中，岷县92人遇难，漳县1人遇难，陇南礼县1人遇难，宕昌县1人遇难。地震造成受伤共计2414人，直接经济损失为175.88亿元，属重大地震灾害事件。由于主震震级较大，灾害波及较广。余震较强，又使破坏进一步加重。6.6级地震后90分钟内又发生5.6级强余震，致使震害产生叠加效应。地震造成定西市岷县、漳县和陇南市礼县、宕昌县等多个地区不同程度受灾。震区地处山区，地形起伏明显，山坡陡峭，黄土覆盖较厚，近期降雨导致表层土体松弛，因此引发了滑坡、崩塌、液化、滚石和塌陷等诸多次生灾害。而且地震灾区农居设防薄弱，多数房屋抗震性能较差或不设防，部分民居建在河谷陡坡或山顶，地形放大效应明显，进一步加剧了破坏程度。

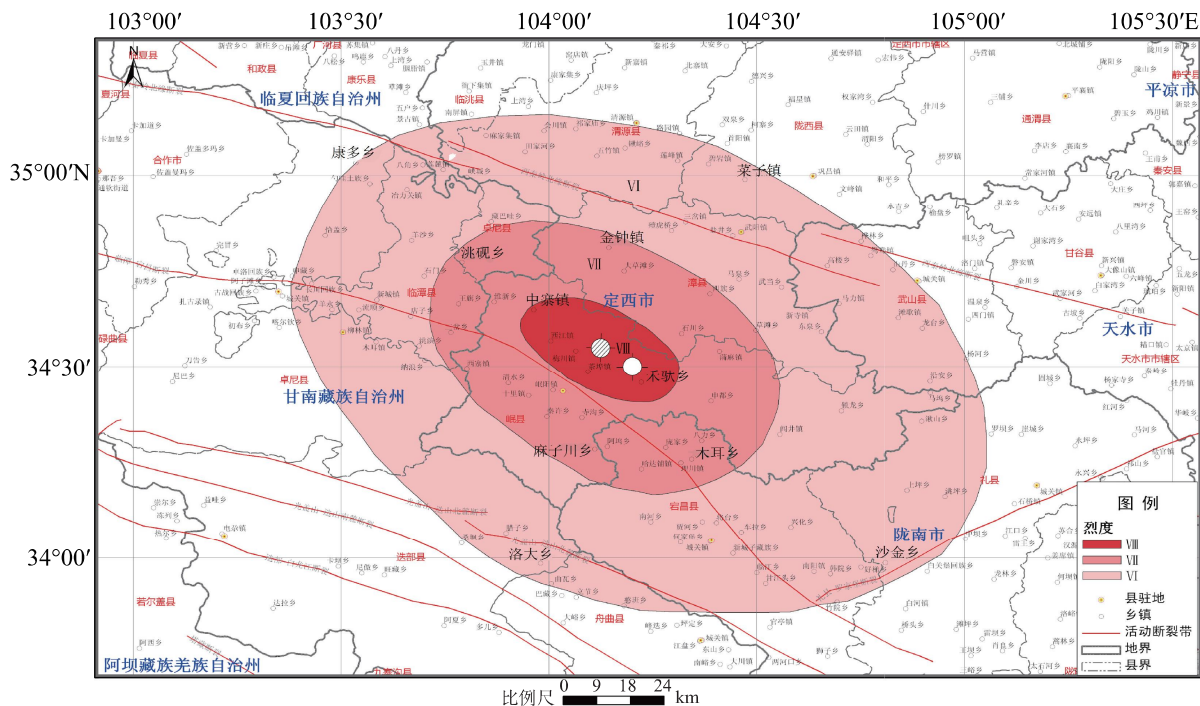


图4 岷县—漳县6.6级地震烈度图¹⁾

Fig. 4 Seismic intensity map of the $M_{6.6}$ Minxian-Zhangxian earthquake¹⁾

灾区建筑物的结构类型主要可分为土木结构、砖木结构、砖混结构及框架结构。此次地震倒塌房屋以土木结构和老旧砖木结构类型房屋为主。受灾区域包括定西市岷县、漳县、临洮县、渭源县、陇西县，甘南州临潭县、卓尼县、迭部县、舟曲县，陇南市宕昌县、礼县，临夏州康乐县和天水市武山县。此次现场工作中按《地震现场工作 第3部分 调查规范》(GB 18208.3—2011)，将建筑物破坏分为五个破坏等级：毁坏、严重破坏、中等破坏、轻微破坏、基本完好。

Ⅷ度区西北自岷县中寨镇，东南至岷县禾驮乡东南，东北自岷县禾驮乡东北，西南至岷县禾驮乡西南，长轴为40km，短轴为21km，面积706km²。极灾区梅川镇永光村、文斗村、拉路村、永星村、车路村和茶埠镇的茶埠村土木结构房屋破坏比较重，倒塌和严重破坏率超过90%。梅川镇、禾驮乡位于山上的房屋震害严重，土墙承重的房屋全部倒塌或严重破坏，但砖混结构农房及砖墙承重木屋顶农房只要抗震构造措施到位，在地震作用下的表现良好，其结构基本完好；梅川镇、禾驮乡位于山下的房屋震害较轻。

Ⅶ度区西北自卓尼县洮砚乡，东南至宕昌县木耳乡，东北自漳县金钟镇，西南至岷县麻子川乡，长轴为87km，短轴为59km，面积3640km²。土木结构房屋严重破坏和毁坏率达35%，10%的砖木结构房屋遭到严重破坏，砖混结构房屋也有6%受到严重破坏。岷县城区震害轻微，城市供水、供电、供热等基础设施基本完好，少量房屋出现轻微裂缝；

Ⅵ度区西北自卓尼县康多乡，东南至礼县沙金乡，东北自陇西县菜子镇，西南至迭部县洛大乡，长轴为161km，短轴为127km，面积12086km²。近10%左右的土木结构房屋遭受严重破坏和毁坏，个别砖木结构房屋遭到破坏，砖混结构房屋良好。

甘肃强震动台网共63个台站成功获取了此次地震记录，其中记录烈度值达到Ⅷ度的1个台站，Ⅶ度的1个台站，Ⅵ度的6个台站，Ⅴ度的6个台站。表2列出了Ⅵ度以上区域的7个台的强震记录，获取记录最近的强震台为岷县台，震中距18km，图5是岷县台记录的岷县—漳县6.6级地震峰值加速度值。

此外，现场工作队还成功架设了6个流动强震动台（图6）。

表2 甘肃强震动台网岷县—漳县6.6级地震峰值加速度

Table 2 Peak Acceleration of the M_s 6.6 Minxian-Zhangxian earthquake recorded by Gansu Strong Vibration Network

序号	台站名	东西/Gal	南北/Gal	垂直/Gal
1	岷县	160.7	172.5	78.4
2	宕昌	70.5	73.1	49.7
3	冶力关	35.8	29.4	13.6
4	山场村	48.6	47.0	19.2
5	暖湾村	25.9	31.0	18.4
6	武山台	24.3	23.5	20.4
7	腊子口	58.8	60.8	45.1

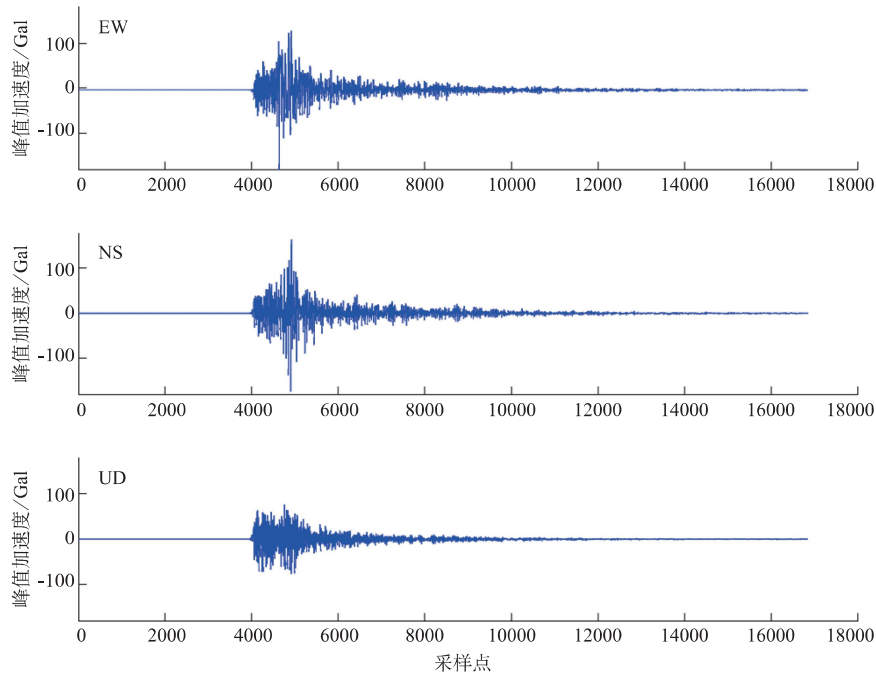


图 5 岷县台记录的岷县—漳县 6.6 级地震强震动

Fig. 5 Peak Acceleration record of the M_s 6.6 Minxian-Zhangxian earthquake in Minxian station

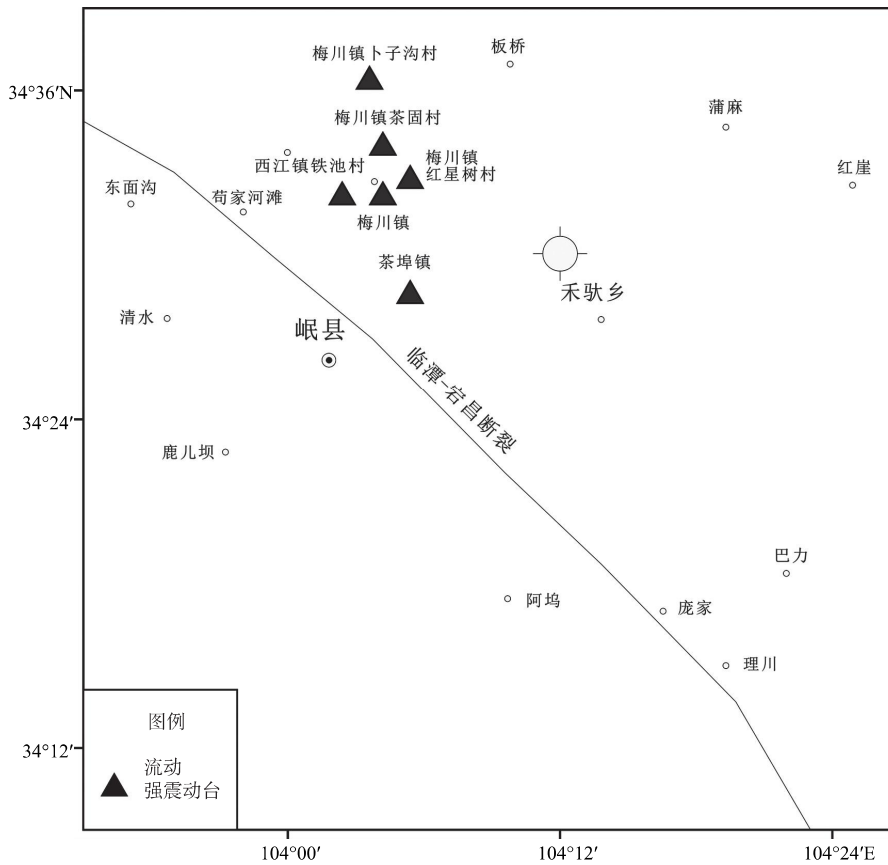


图 6 岷县—漳县 6.6 级地震后布设的流动强震动台站

Fig. 6 Distribution of temporary strong motion stations after the M_s 6.6 Minxian-Zhangxian earthquake

四、地震序列

据甘肃省地震台网目录, 2013年7月22日岷县—漳县6.6级地震前, 没有观测到前震, 主震发生后, 余震活动丰富。截至2013年10月31日, 共监测到 $M \geq 2.0$ 级余震48次, 其中2.0~2.9级35次, 3.0~3.9级10次, 4.0~4.9级2次, 5.0~5.9级1次。最大余震为主震后约一个半小时发生的 $M_s 5.6$, 最大余震与主震相差1.0级, 序列震级衰减相对稳定。

表3 岷县—漳县6.6级地震序列目录 ($M_s \geq 3.0$ 级)

Table 3 Catalogue of the $M_s 6.6$ Minxian-Zhangxian earthquake sequence ($M_s \geq 3.0$)

编号	发震日期	发震时刻	震中位置 ($^{\circ}$)		级 M_s	深度 (km)	震中地名	结果来源
	年.月.日	时:分:秒	φ_N	λ_E				
1	2013.07.22	07:45:56	34.54	104.21	6.6	20	甘肃岷县	中国地震台网
2	2013.07.22	07:54:09	34.53	104.21	3.5	6	甘肃岷县	甘肃地震台网
3	2013.07.22	08:06:40	34.54	104.26	3.0	6	甘肃岷县	甘肃地震台网
4	2013.07.22	08:09:43	34.55	104.23	3.8	7	甘肃岷县	甘肃地震台网
5	2013.07.22	08:16:45	34.53	104.25	3.4	7	甘肃岷县	甘肃地震台网
6	2013.07.22	09:12:36	34.55	104.20	5.6	14	甘肃岷县	中国地震台网
7	2013.07.22	09:23:29	34.57	104.20	3.2	7	甘肃岷县	甘肃地震台网
8	2013.07.22	15:28:08	34.55	104.20	3.7	6	甘肃岷县	甘肃地震台网
9	2013.07.22	16:46:47	34.55	104.22	3.0	7	甘肃岷县	甘肃地震台网
10	2013.07.28	23:26:24	34.55	104.20	4.1	10	甘肃岷县	甘肃地震台网
11	2013.08.08	12:42:46	34.56	104.20	3.3	6	甘肃岷县	甘肃地震台网
12	2013.08.17	12:55:10	34.53	104.26	3.5	7	甘肃岷县	甘肃地震台网
13	2013.09.26	21:34:01	34.55	104.23	3.0	6	甘肃岷县	甘肃地震台网
14	2013.10.20	18:03:35	34.49	104.25	4.1	7	甘肃岷县	甘肃地震台网

从地震序列分布图中(图7)可以看出, 2级以上余震全部分布在临潭—宕昌断裂东北侧, 绝大多数余震也分布在主震北东一侧。

此次序列M-T图(图8)可以看出, 2级余震主要发生在地震后5天内, 主要为2.0~2.9级地震活动。从序列频度图(图9)中也可以看出, 余震密集活动之后, 序列衰减较快。

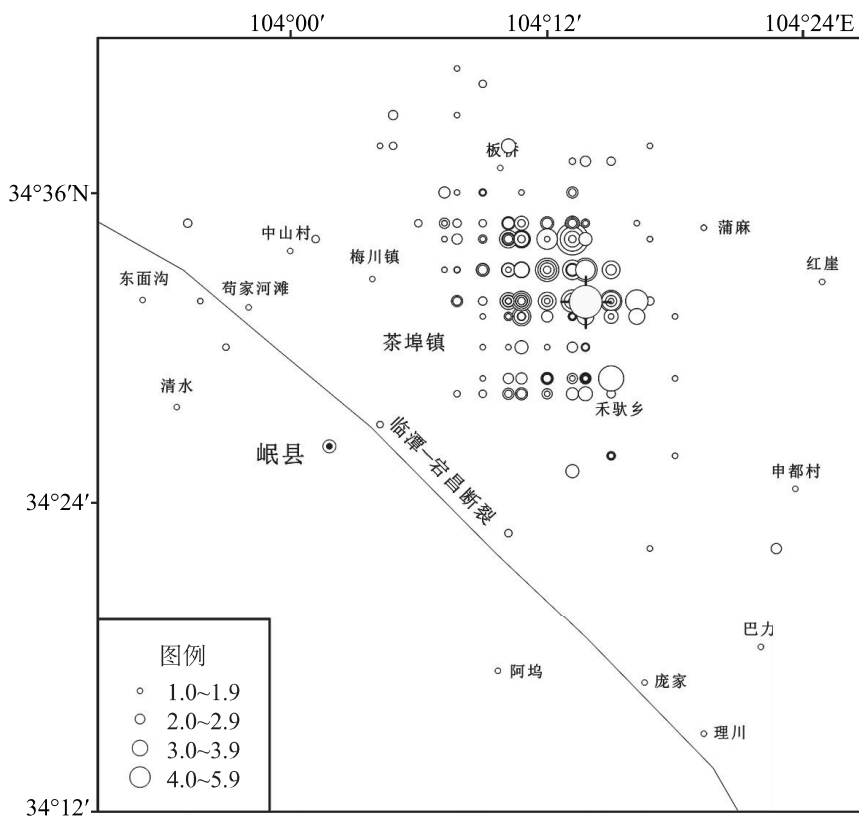


图7 岷县—漳县 6.6 地震序列分布

Fig. 7 Distribution of the M_s 6.6 Minxian-Zhangxian earthquake sequence

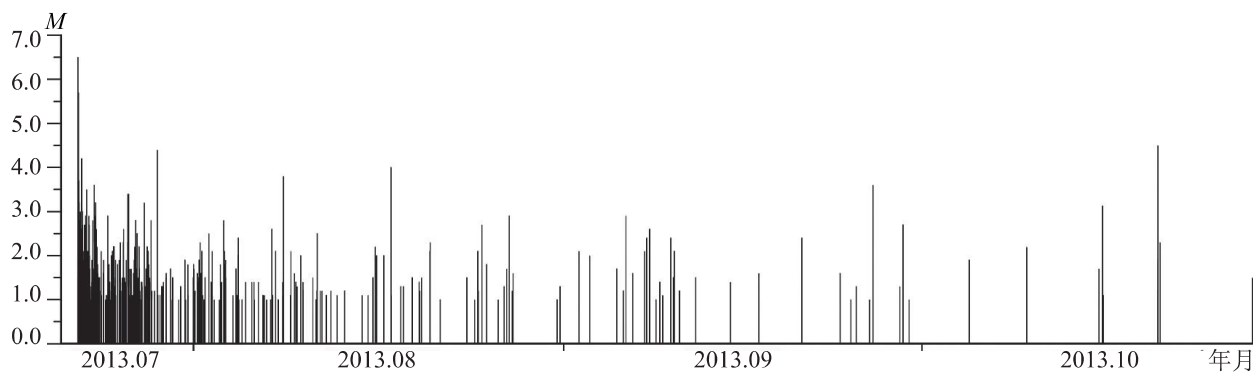


图8 岷县—漳县 6.6 级地震 1.0 级以上序列 M-T 图

Fig. 8 M-T diagram of the M_s 6.6 Minxian-Zhangxian earthquake sequence ($M_L \geq 1.0$)

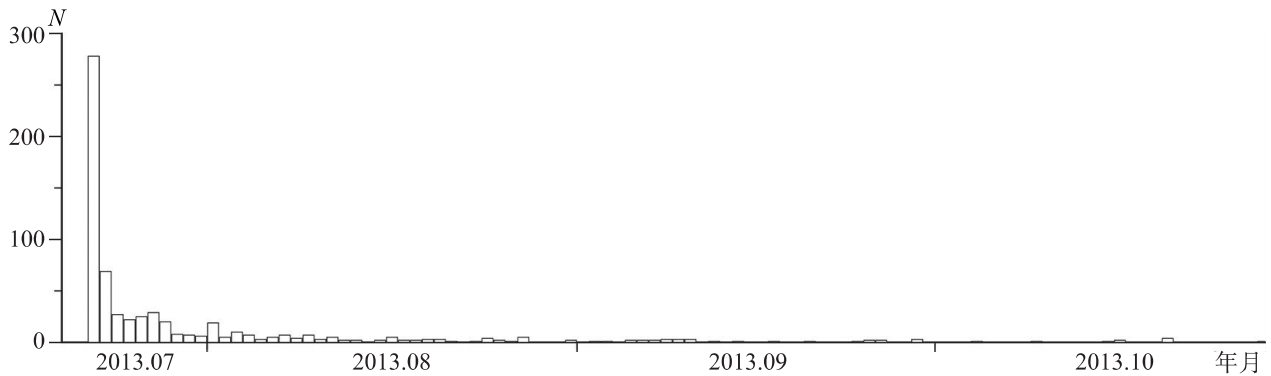


图9 岷县—漳县6.6级地震1.0级以上序列频度图

Fig. 9 N-T diagram of the $M_s6.6$ Minxian-Zhangxian earthquake sequence ($M_L \geq 1.0$)

岷县—漳县6.6级地震序列参数计算选取震级下限 $M_L 1.0$ ，计算结果： b 值为 0.65（图 10）， h 值为 1.6（图 11）， p 值为 1.4（图 12），主震与最大余震震级相差 1.0 级，主余震能量比为 0.9566，显示序列在主震发生后衰减正常，综合判定此次地震序列为主震—余震型。

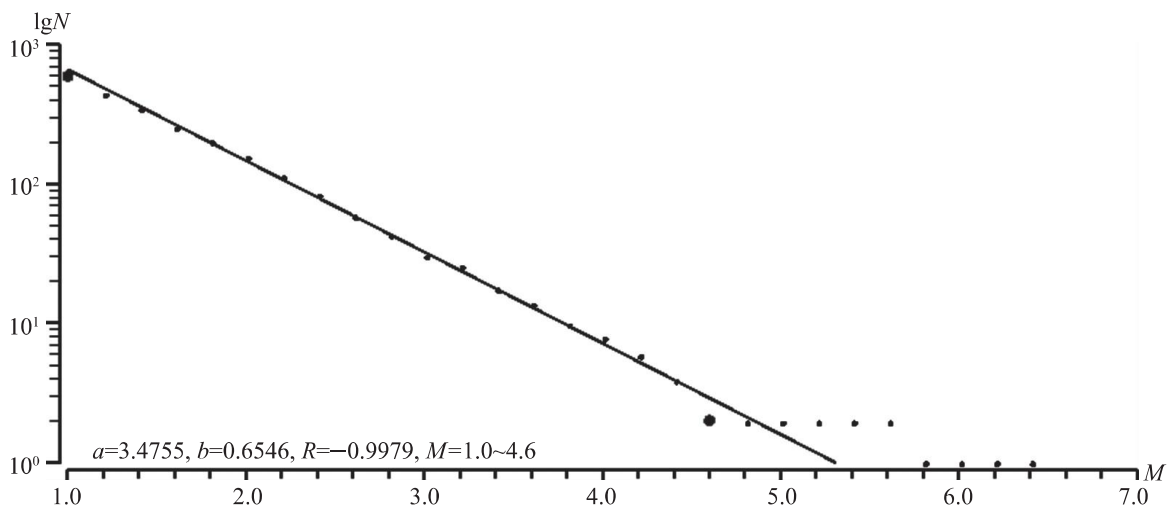


图10 岷县—漳县6.6级地震序列 b 值拟合曲线

Fig. 10 b -value fitting curve of the $M_s6.6$ Minxian-Zhangxian earthquake sequence

五、震源参数和地震破裂面

岷县—漳县6.6级地震后，国内外一些地震科研机构很快确定了此次地震的震源机制解（表4）和矩张量解（表5）。由表4可以看出，不同的研究机构测定的震源机制解结果基本一致，本文采用表4编号1的结果对震源性质进行分析。

表4 岷县—漳县6.6级地震震源机制解

Table 4 Focal mechanism solutions of the M_s 6.6 Minxian-Zhangxian earthquake

序号	节面 I (°)			节面 II (°)			P 轴 (°)		T 轴 (°)		N(B)轴 (°)		X 轴 (°)		Y 轴 (°)		结果来源
	走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1	189	51	142	305	61	46	65	6	163	52	330	38					张辉
2	304	64	56	181	41	139	58	13	168	57	320	30					刘旭宙
3	196	50	152	304	69	43	66	11	167	45	325	43					HRV
4	180	47	120	320	51	62	69	2	164	68	339	21					地球所
5	311	66	47	198	48	147	71	11	174	49	332	39					USGS
6	188	59	142	300	58	37	244	1	154	48	335	42					地质所

此次地震震源机制解反映出地震破裂方式为逆冲兼走滑（表4，图13），最佳双力偶解节面 I 走向 189° ，倾角 51° ，滑动角 142° ；节面 II 走向 305° ，倾角 61° ，滑动角 46° ，矩震级 M_w 6.1。节面 II 走向为 NW—SE 向，与其附近的临潭—宕昌断裂的走向一致；倾角 61° 和滑动角 46° 表现出左旋走滑的特性，与临潭—宕昌断裂的性质相符合。余震分布在位于临潭—宕昌断裂附近（图7），且位于断裂的东北部，呈 NW 向带状分布。宏观震中位置及烈度分布、震源机制解和余震分布特征反映出了震源构造的性质。因此我们判定此次地震的发震构造为临潭—宕昌断裂，节面 II 为本次主震的断层面。

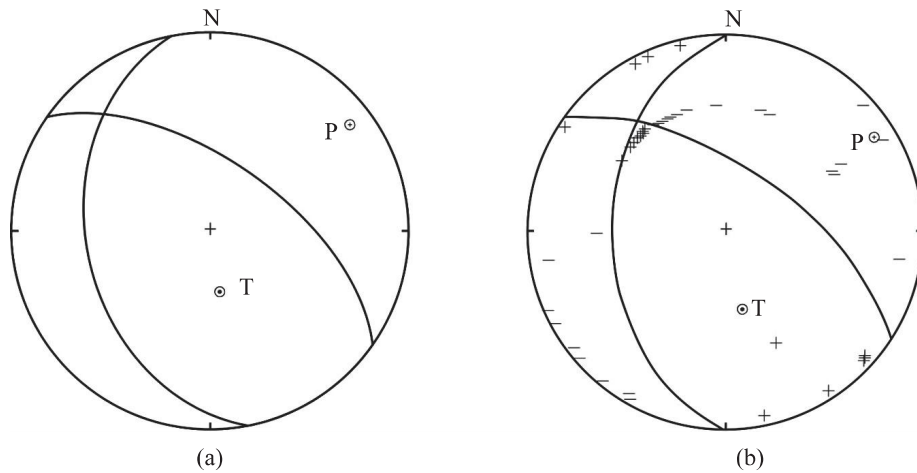


图 13 岷县—漳县 6.6 级地震震源机制解

Fig. 13 Focal mechanism solutions of the M_s 6.6 Minxian-zhangxian earthquake

(a) 甘肃区域台网宽频带波形反演; (b) 49 个 P 波初动符号解

表 5 岷县—漳县 6.6 级地震矩张量解

Table 5 Moment tensor solution of the M_s 6.6 Minxian-zhangxian earthquake

编号	节面 I ($^{\circ}$)			节面 II ($^{\circ}$)			矩张量						地震矩 M_0	矩震级 M_w	结果 来源
	走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	M_{xx}	M_{yy}	M_{zz}	M_{xy}	M_{yz}	M_{zx}			
1	196	50	152	304	69	43	0.613	0.441	-1.05	-0.469	0.02	0.687	1.1×10^{25}	6.1	HRV
2	311	66	47	198	48	147	4.33	2.90	-7.23	-2.94	1.62	3.44	7.9×10^{24}	5.9	USGS

六、地震前兆观测台网及前兆异常

震中附近地区的前兆观测台站及观测项目分布见图 14，地震发生在临潭—宕昌断裂附近，除了震中西部缺少台站以外，其余的台站分布相对较为均匀。

在震中 300km 的范围内，共有 17 个前兆观测台站，主要的观测有：①形变类：地倾斜、钻孔应变、洞体应变等；②电磁类：地电阻率、自然电位、电场、低频电磁扰动等；③地下流体类：水位、水温、水氡、气氡等主要观测项目。此次地震前出现了 5 个异常项目 12 条异常（表 6）。其中 $\Delta \leq 100\text{km}$ 有异常 2 条，占区内观测总数的 14%， $100 < \Delta \leq 200\text{km}$ 范围有异常 8 条，占区内观测总数的 6%， $200 < \Delta \leq 300\text{km}$ 范围内有异常 2 条，占区内观测总数的 3%。

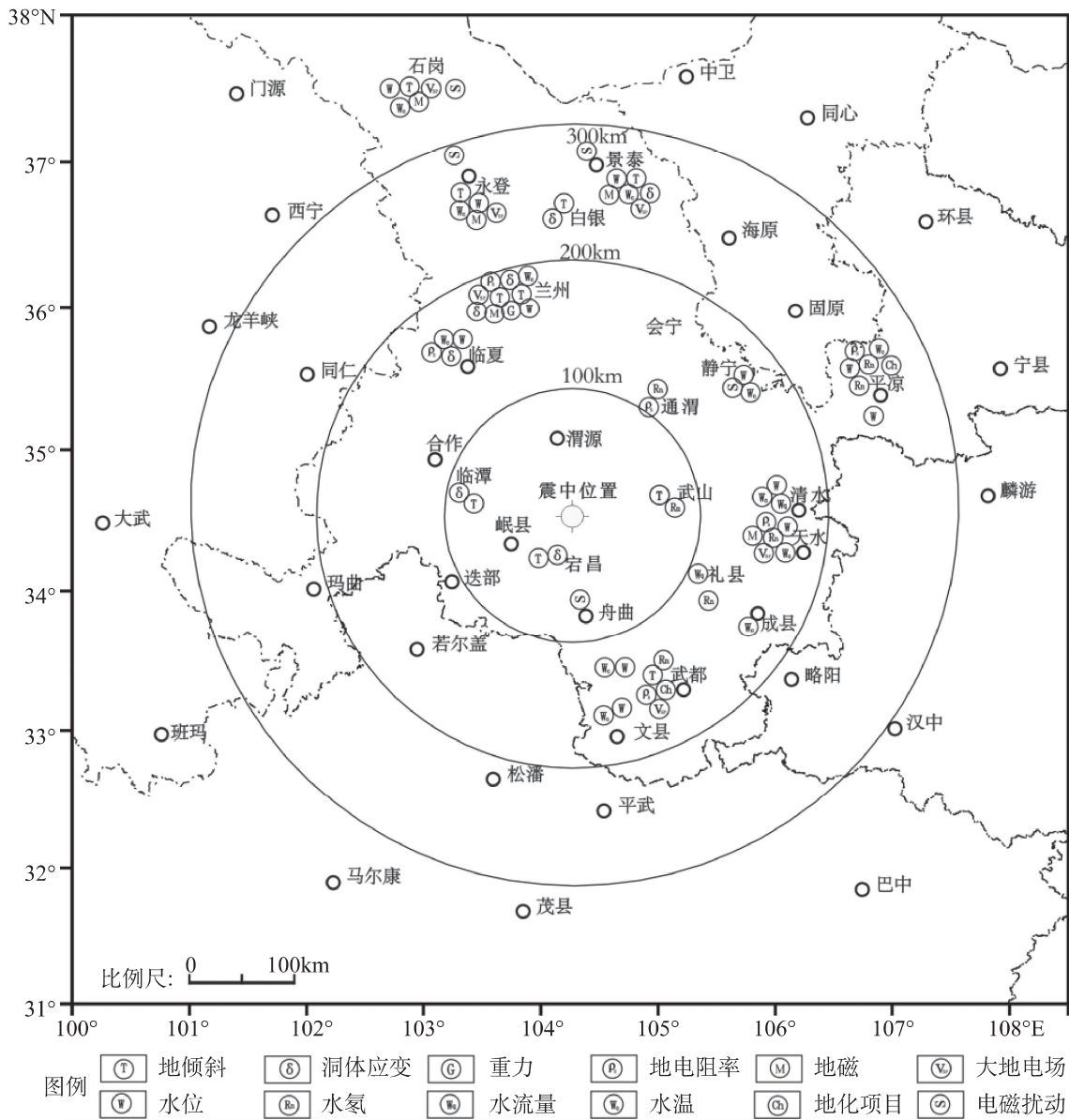


图 14 岷县—漳县 6.6 级地震附近地区的地震台站及观测项目分布

Fig. 14 Distribution of precursory monitoring stations before the M_s 6.6 Minxian-Zhangxian earthquake

表 6 岷县—漳县 6.6 级地震前兆异常登记表
Table 6 Table of precursory anomaly of the $M_{\geq 6.6}$ Minxian-Zhangxian earthquake

序号	异常项目	台站 (测点)	分析方法	异常判据	震前异常 起止时间	震后变化	最大幅度	震中距 (km)	异常类别 及可靠性	图号	异常特点 及备注
1	地震平静	33°~37°N 100°~108°E	$M \geq 6.0$ 级地震 空间分布	$M \geq 6.0$ 级地 震异常平静	1936.08~ 2013.07	地震发生 在空区内		震中周围	L_1	15a	震前震中周围约 350km $M \geq 6.0$ 级 地震异常平静
2	地震平静	32°~39°N 96°~104°E	$M \geq 5.0$ 级地震 空间分布及 M-t 图	$M \geq 5.0$ 级地 震异常平静	2001.07~ 2013.07	地震发生 在空区边		震中周围	L_1	15b	震前震中周围 $M \geq 5.0$ 级地震异 常平静
3	地震平静	31°~39°N 98°~108°E	$M \geq 3.5$ 级地震 空间分布	$M \geq 3.5$ 级地 震异常平静	2011.11~ 2013.07	地震发生 在空区内		震中周围	M_1	16	震前震中周围 $M \geq 3.5$ 级地震异 常平静
4	震群	33°N, 100°E	$M \geq 2.0$ 级地震 空间分布及 M-t 图	$M \geq 2.0$ 级地 震震群活动	2013.06.04~ 2013.08	恢复正常		170	S_1	17	2.0 级地震震群 活动
5	地震 b 值	34°~35°N 103.5°~ 104.5°E	$M \geq 2.0$ 级地震 b 值空间扫描	低 b 值	2012.10~	低 b 值 仍持续		震中周围	M_1	18	震前震中周围约 80km 范围内低 b 值
6	流量	清水李沟	日值、去趋势	打破正常趋势	2012.04~07	未恢复	26‰/L	179	可靠 M	21	正常背景上上升
7	水温	清水温泉	日值 (整点值)	改变正常趋势	2013.07.12~	2013.09.20 基本恢复	0.005°C	185	可靠 M	29	震前出现下降 (震后总结)
8	水氡	天水花牛	旬均值和日值	测值升高	2013.04~08	基本恢复	6.52Bq/L	150	S_1	26	测值加速上升 (震前)
9	水氡	武山 1 号泉	旬均值	改变原有趋势	2010.10~	未恢复	72.3Bq/L	68	M_1	22a	快速下降后转折 变化 (震前)

续表

序号	异常项目	台站(测点)	分析方法	异常判据	震前异常起止时间	震后变化	最大幅度	震中距(km)	异常类别及可靠性	图号	异常特点及备注
10	水氡	武山22号井	旬均值	改变原有趋势	2010.10~	未恢复	24.1Bq/L	69	M ₁	22b	快速下降后转折变化(震前)
11	水氡	武都殿沟	旬均值	趋势下降	2011.05~	未恢复	327Bq/L	140	M ₁	23	多年趋势下降(震前)
12	水氡	北山1号泉	日值	破年变	2012.10~ 2013.04	恢复		254	M ₂	24a	年变持续时间加长(震前)
13	水氡	北山2号泉	日值	测值偏高	2013.02	未恢复	2.6Bq/L	254	S ₁	24b	测值加速上升(震前)
14	水氡	通渭温泉	旬均值	测值升高 加速下降	2011.01~ 2013.02 2013.02~	未恢复	17.2Bq/L	120	M ₂ S ₂	25	快速上升—转折下降(震前)
15	电阻率	天水深井	日值(整点值)	改变正常趋势和振荡	2013.06.12~	基本恢复	2.6%	156	可靠S	27 28	下降和振荡(震前)
16	电阻率	临夏	日值、矩平	打破正常趋势	2013.05.01~	基本恢复	3.1%	126	一般M	19	低值(震后总结)
17	电阻率	武都	日值、矩平	打破正常趋势	2010.01.01~	基本恢复	6.8%	146	一般M	20	趋势性高值(震后总结)

1. 地震学异常

1) 地震背景空区

甘东南地区自1936年2月7日康乐6⁺级、8月1日天水6.0级地震后,未发生6级以上地震,平静时间达到了77年。2001年7月17日兴海5.0级地震后甘青川交界地区出现大范围的5.0级地震平静,2003年11月13日岷县5.2级、2004年9月7日岷县5.0级地震发生在平静区边缘,2013年岷县—漳县6.6级地震发生在5级地震平静区的边缘(图15)。

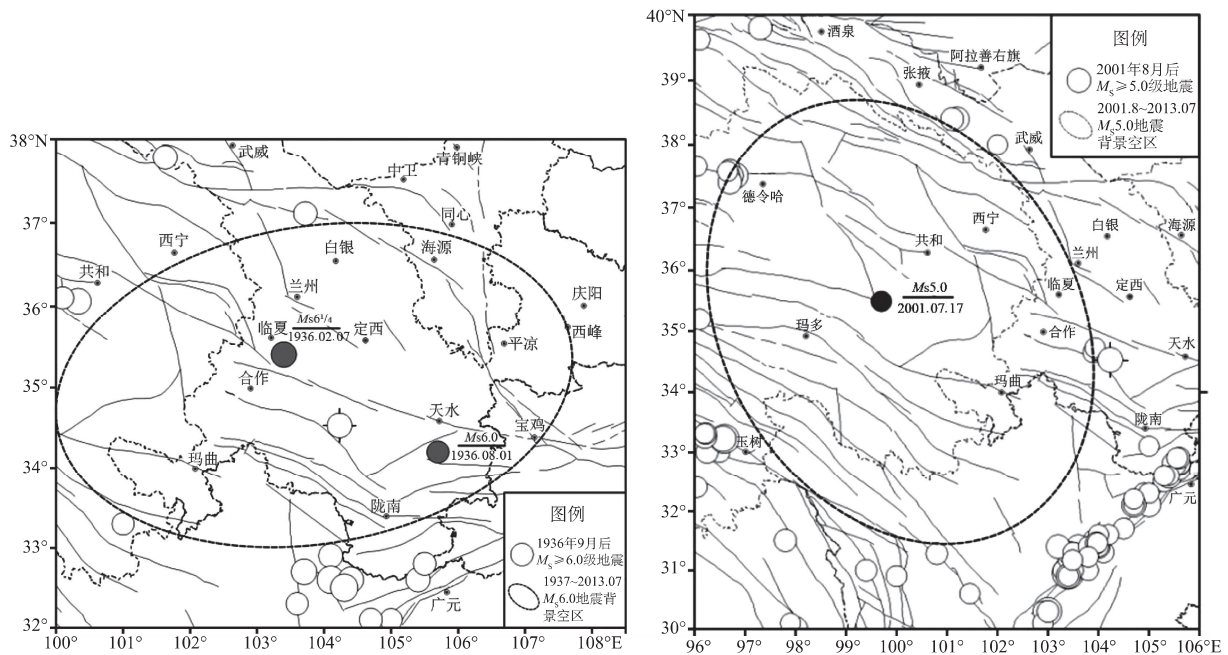


图15 甘东南地区6、5级地震背景空区

Fig. 15 Background gap of $M_s 5$ and $M_s 6$ earthquakes in southeast Gansu province

2) 3.5级地震空区

此次地震前,在甘东南地区存在大范围的3.5级以上地震活动平静过程,平静主要分为两个时段:①自2008年3月5日东乡 $M 4.1$ 地震至2011年2月23日迭部3.9级地震(图16a),3.5级地震平静时间持续31个月;2011年2月23日迭部3.9级地震打破平静后,至2011年11月2日岷县4.5级地震,先后发生了4次3.5级以上地震。②2011年11月2日岷县4.5级地震后,至2013年7月22日岷县—漳县6.6级地震发生,该平静又持续了21个月(图16b),岷县—漳县6.6级地震发生在空区内部。

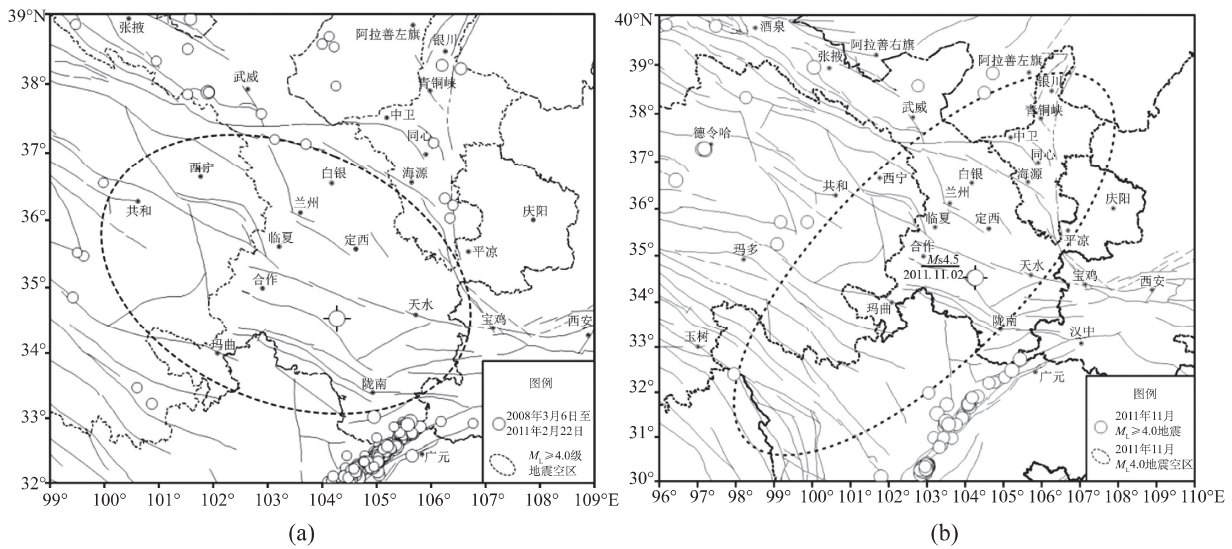


图 16 岷县—漳县 6.6 级地震前甘青川交界地区 $M_L \geq 4.0$ 级地震空区

Fig. 16 Gap in the border region of Gansu, Qinghai and Sichuan province before the $M_S 6.6$ Minxian-zhangxian earthquake

(a) 2008. 03. 06~2011. 02. 22; (b) 2011. 11. 03~2013. 07. 21

3) 震群活动

此次地震前，2013 年 6 月 4 日至 7 月 16 日在松潘—平武地区出现 2 级震群活动，共发生 11 次 2 级以上地震，其中以 4~8 日活动为主，发生了 10 次地震（图 17）。

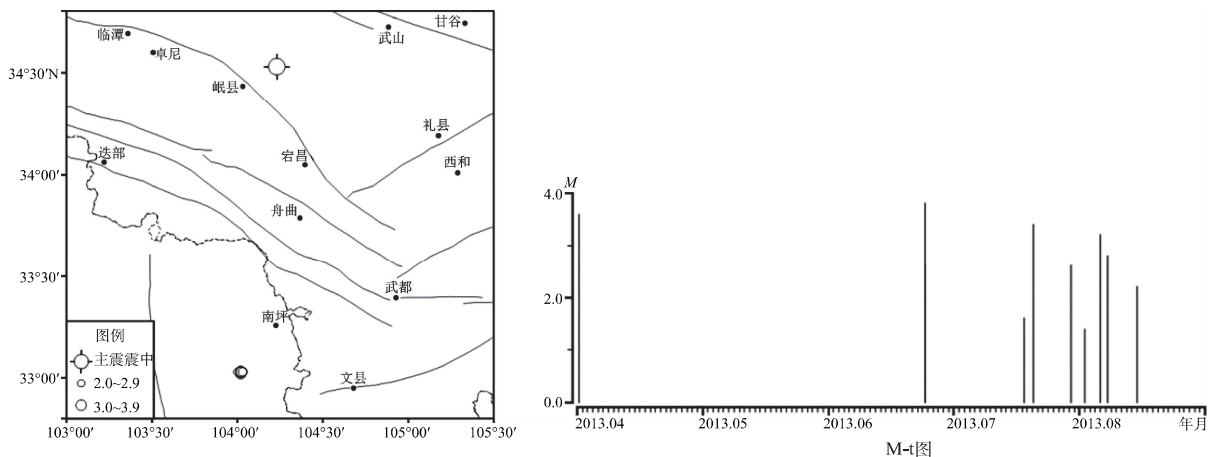


图 17 2013 年 6~7 月松潘—平武震群及 M-t 图

Fig. 17 Distribution of earthquake swarm occurred in Songpan-Pingwu and its M-t diagram

4) 地震 b 值异常

2013 年度甘肃省地震趋势研究报告中明确提出甘东南地区有两个 b 值较低的区域，分别为：西秦岭北缘断裂的西段、迭部—白龙江断裂的中西段，应高度关注这两个低 b 值区，

是未来发生中强地震的可能区域²⁾。2013年7月22日甘肃岷县—漳县6.6级地震发生在2013年度会商提出的西秦岭西段低 b 值区内(图18)。

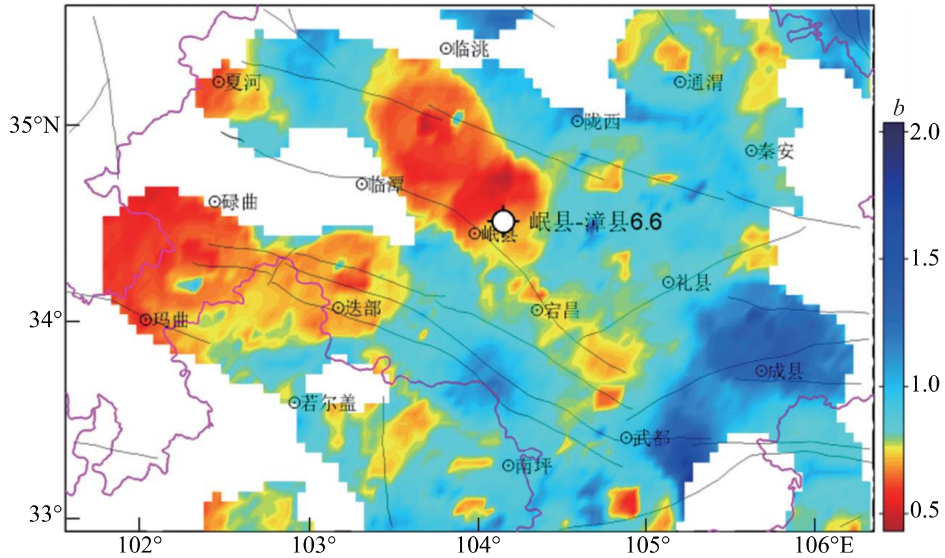


图18 甘东南地区地震 b 值空间分布图

Fig. 18 Distribution of b -value of southeast Gansu province

2. 前兆观测项目异常

岷县—漳县6.6级地震震中300km范围内定点前兆共有17个台站前兆观测,包括形变、电磁和地下流体等主要观测项目,此次地震前出现了5个异常项目12条异常(图19至图30)。下面按照中期、短期到短临的顺序对典型异常特征分析如下。

1) 中期异常

(1) 临夏电阻率。

临夏电阻率观测始于1981年,年变清楚,2004、2009年分别进行电极更换和外线路改造,目前大部分外线路仍为裸线,2009~2011年测值受南供电极处进行粮油市场基建施工、西供电极处有砖厂挖土和私人楼房施工等环境影响。异常分析认为,2011年以来测值年变化基本清晰,但2013年开始快速下降,矩平残差结果也表明5月初开始的快速下降形成低于均值线的凹槽形态,9月转折回返(图19)。

(2) 武都电阻率NW道。

武都电阻率观测始于1991年,其NW道年变化比较清晰,对2003年岷县5.2级、2004年岷县5.0级、2006年文县5.0级地震均有较明显的反映,表现为破年变低值异常和振荡。但2009年开始的兰渝铁路施工、2013年4月移动电极等对其观测造成较大影响。

2006年开始出现趋势性上升,2008年4月加速上升,汶川地震后上升趋势有所转折,2010年再次出现趋势性上升,2013年4月因移动电极造成阶降;其矩平残差曲线表现出明显的趋势性上升和高值异常(图20)。

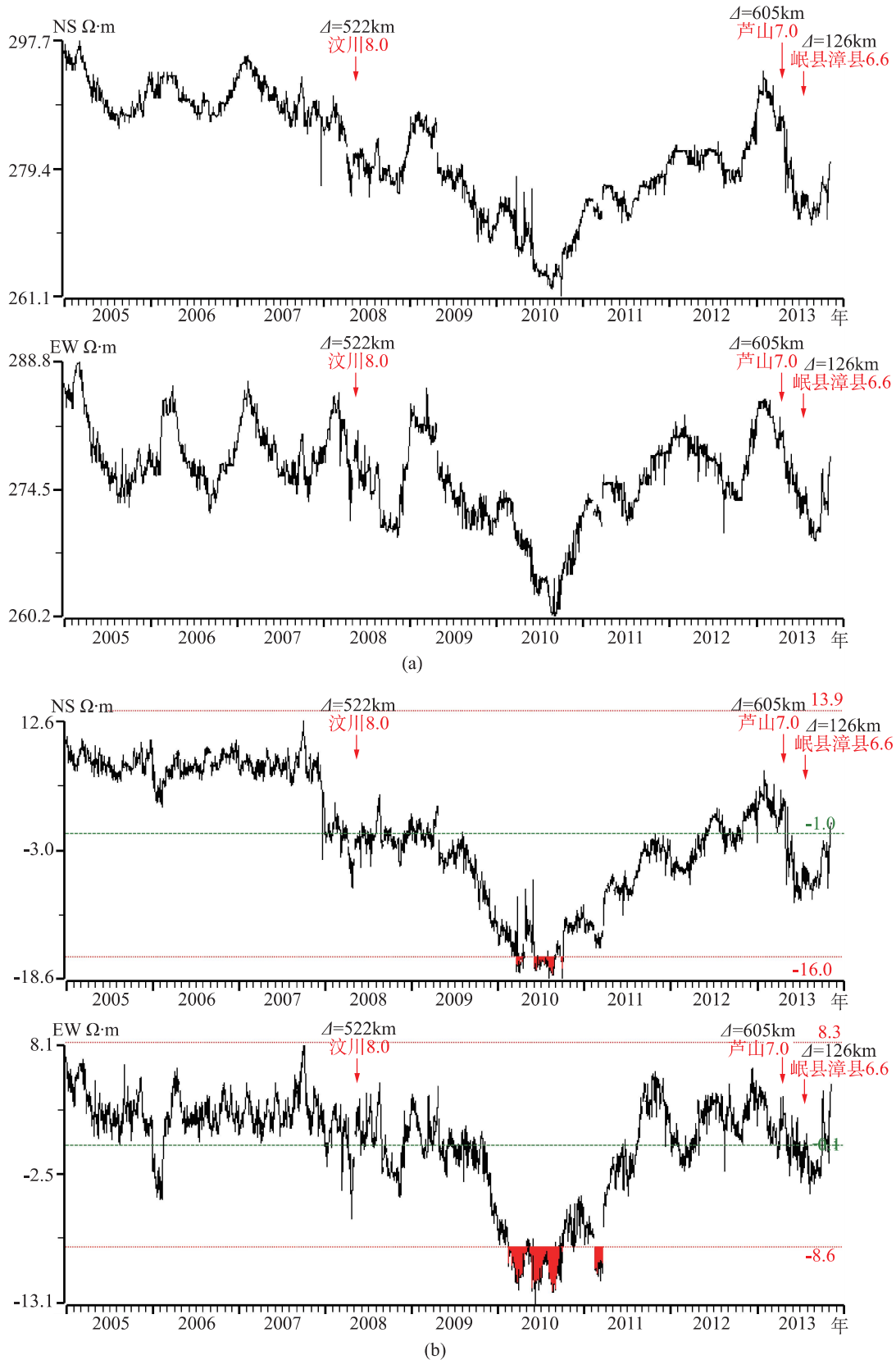


图 19 临夏电阻率日均值及其矩平残差曲线

Fig. 19 Curve of daily mean and residual value of apparent resistivity at the Linxia station

(a) 日均值曲线; (b) 矩平残差曲线



图 20 武都电阻率 NW 道日均值及其矩平残差曲线

Fig. 20 Curve of daily mean and residual value of apparent resistivity at the Wudu station

(3) 清水李沟流量。

2012 年 4~7 月观测资料出现明显的高值，总体上升幅度达到 26s（每天观测为流满 1L 水需要的时间）（图 21）。2013 年以来在正常趋势下降背景下出现了高值振荡变化，随后发生了岷县—漳县地震。

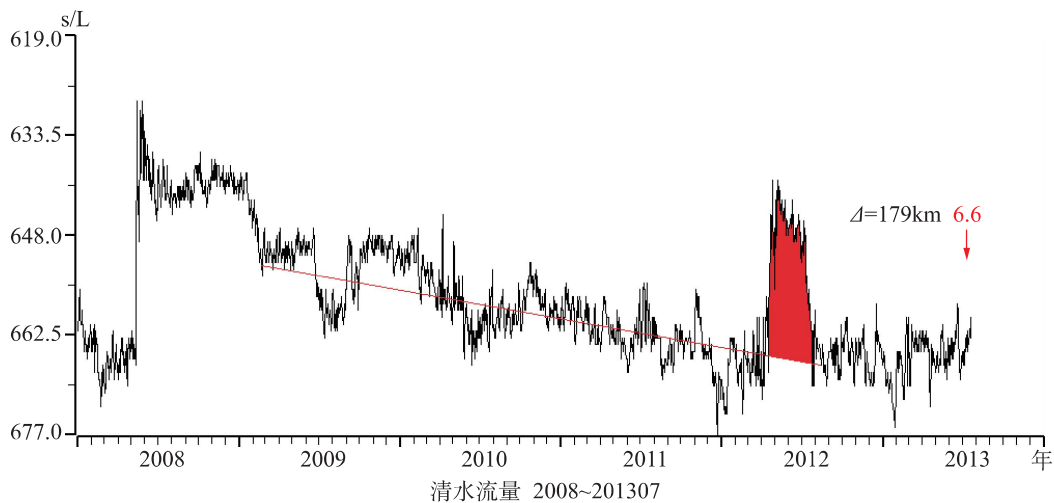


图 21 清水李沟流量日值观测曲线

Fig. 21 Curve of daily mean value of water level at the Qingshui Ligou station

(4) 武山1号泉和22号井水氡。

武山1号泉距离震中68km。从旬均值来看(图22),在相对平稳变化的背景下2010年10月出现趋势下降变化,2012年3月达到最低点后出现快速转折上升,6月达到最高值,之后转平,在转平平稳变化过程中发生了6.6级地震,震后出现了明显的高值震后效应,9月份震后效应结束,测值又回到震前的变化水平。异常出现距离发震34个月。

武山22号井距离震中68km,距离武山1号泉仅有50m左右,所以它们在震前的异常特征非常相似,也是在2010年10月份开始出现趋势下降,不同的是1号泉在下降过程中的波动很快结束后又回到低值状态,而22号井回返波动较长时间后出现了快速的下降,2012年3月转折后两者的变化相同,同样也出现了震后效应。异常出现在震前34个月。

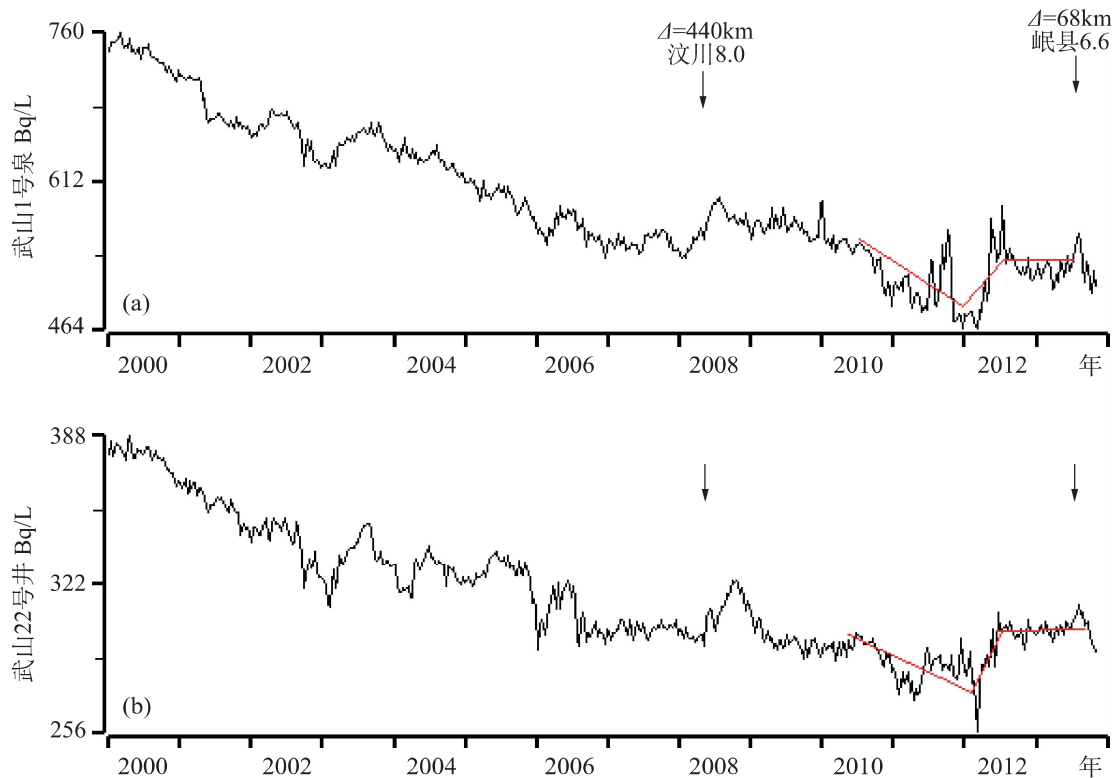


图22 武山1号泉和22号井水氡旬均值异常曲线

Fig. 22 Curve of 10-day mean value of radon content at 1# spring and 2# well at the Wushan station

(a) 武山1号泉; (b) 武山22号井

(5) 武都殿沟水氡。

武都殿沟水氡距离震中140km。从图23可以看出武都殿沟水氡由于汶川地震的震后效应导致其在汶川地震后出现了快速的下降变化,下降到2009年底时测值达到了震前的水平,之后呈转平的正常变化。但2011年5月开始出现了快速的下降变化直至地震发生。由于该测值在下降过程中也会出现波动过程,所以虽然目前从曲线形态来看,似乎出现了转折变化,但时间太短,还无法对其后续趋势做出较为准确的判断。异常出现在震前28个月。

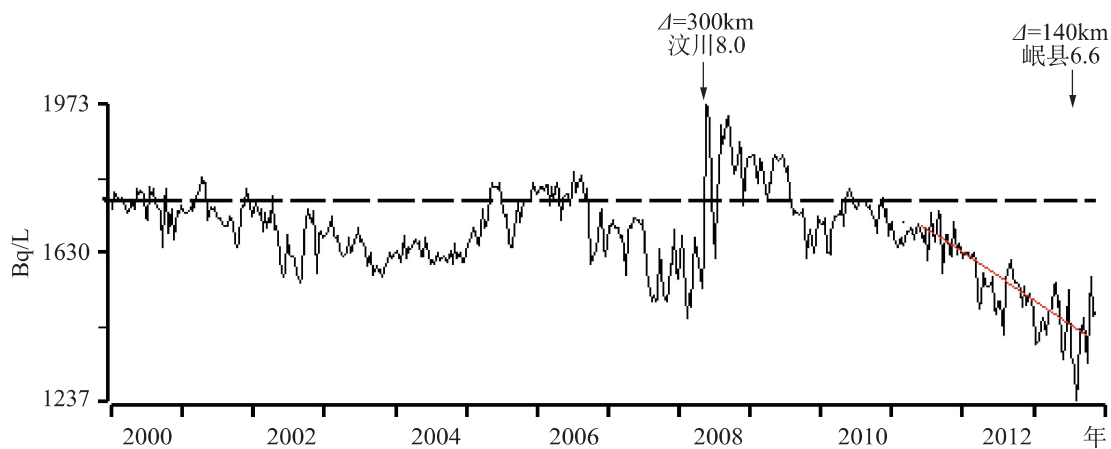


图 23 武都殿沟水氡旬均值趋势异常曲线图

Fig. 23 Curve of 10-day mean value of radon content at the Wudu Diangou station

(6) 北山 1 号泉水氡。

北山 1 号泉距震中 254km。从图 24 可以看出，其 2012 年以前的年变并不很完整，基本呈夏高冬低的年变形态。但 2012 年 10 月开始出现下降速率增大的异常变化，11 月开始破年变转平，一直持续到 2013 年 3 月 18 日标定启用新 K 值 (K 值改变引起的台阶变化在图中已消除) 后测值恢复正常年变。异常出现在震前 8 个月，持续时间 6 个月。

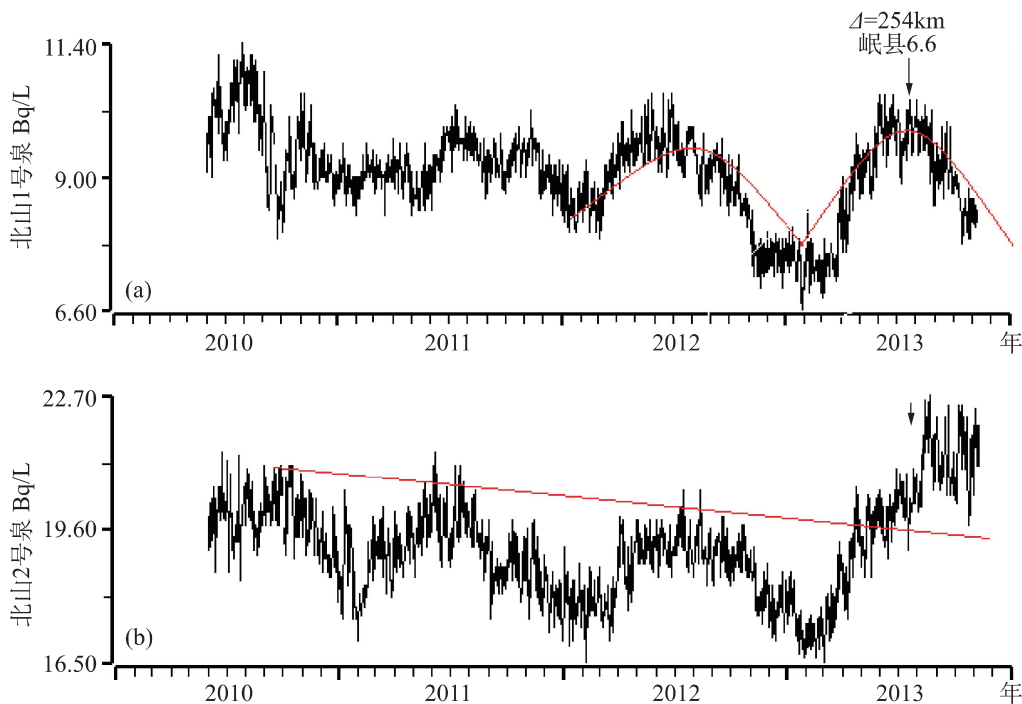


图 24 平凉北山 1 号泉水氡 (a) 中期异常和北山 2 号泉 (b) 短期异常曲线图

Fig. 24 Curve of 10-day mean value of radon content at 1[#] and 2[#] spring at the Pingliang station

(a) 北山 1 号泉; (b) 北山 2 号泉

(7) 通渭水氡。

通渭温泉水氡距离震中 120km。从旬均值曲线可以看出，曲线在平稳变化的背景下 2011 年 1 月开始出现快速的转折上升变化，7 月份达到最高值后又转折缓慢下降。异常出现在震前 31 个月。由于该测点受抽水的影响很大，其异常的信度比较低（图 25）。

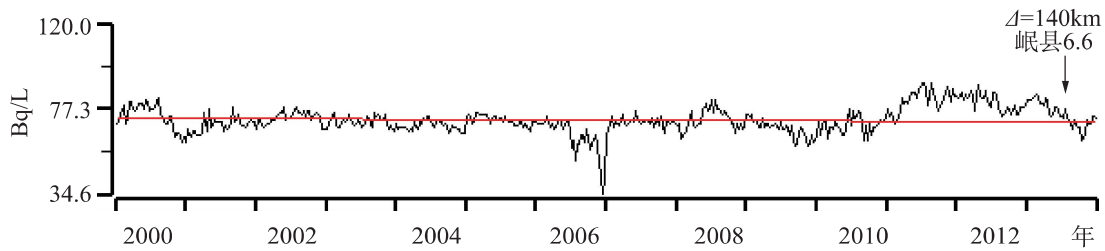


图 25 通渭温泉水氡旬均值异常曲线图

Fig. 25 Curve of 10-day mean value of radon content at the Tongwei Wenquan station

2) 短期异常

(1) 天水花牛水氡。

天水花牛水氡距离震中 150km。从旬均值曲线可以看出（图 26b），其正常背景为变化速率较为恒定的下降变化，而趋势速率改变的高值过程为异常。如汶川 8.0 级地震前出现了

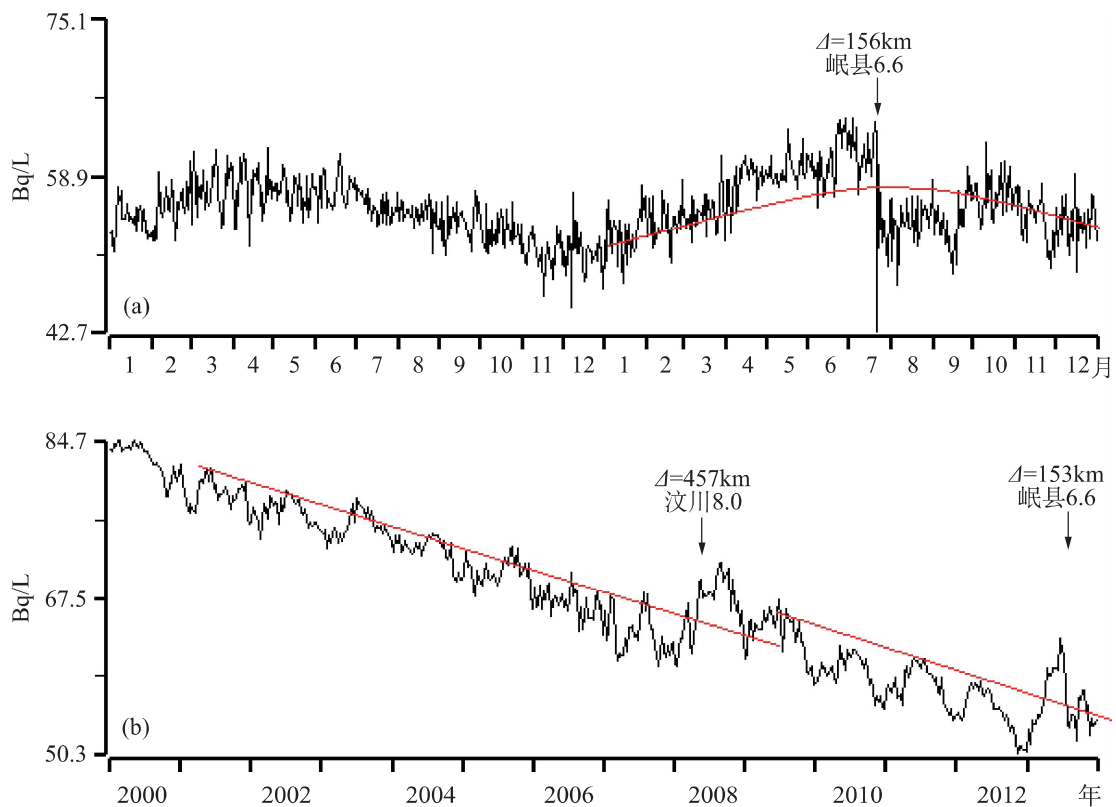


图 26 天水花牛水氡日值 (a) 和旬均值 (b) 异常曲线图

Fig. 26 Curve of (a) daily and (b) 10-day mean value of radon content at the Tianshui Huaniu station

明显的高值异常，汶川地震后曲线按一新的速率下降，但 2013 年 4 月开始又出现了测值偏高的短期异常变化，这种变化一直持续到地震发生，震后测值基本恢复（图 26a）。异常持续时间为 3 个月。

(2) 北山 2 号泉水氡。

北山 2 号泉水氡距离震中 254km。从图 24b 可以看出 2010 年以来，成逐年下降的趋势，并且年初上升比较缓慢。而 2013 年 2 月份转折上升后上升速率快于正常年份，并且 4 月份测值已经达到正常年份的最高值，高值异常持续到地震发生。震后的 8 月 3 日开始，测值又出现大幅上升的变化，截至目前没有结束。异常出现在震前 6 个月。

(3) 通渭水氡。

从图 25 可以明显地看出，通渭水氡在趋势下降速率缓慢的背景下，2013 年 2 月开始出现下降速率明显加快的短期异常变化，地震发生后异常并没有结束。短期异常出现在震前 6 个月。由于该点受抽水的影响严重，异常信度不高。

3) 短临异常

(1) 天水深井电阻率。

天水深井电阻率观测始于 2011 年 11 月。自正式观测以来，一直比较平稳，测值变化很小。2013 年 4 月 10 日整点值曲线开始出现小幅振荡，18 日开始大幅度振荡，20 日发生芦山 7.0 级地震，震前最大幅度为 4.4%（图 27），日均值曲线也表现为短时间的大幅度振荡；

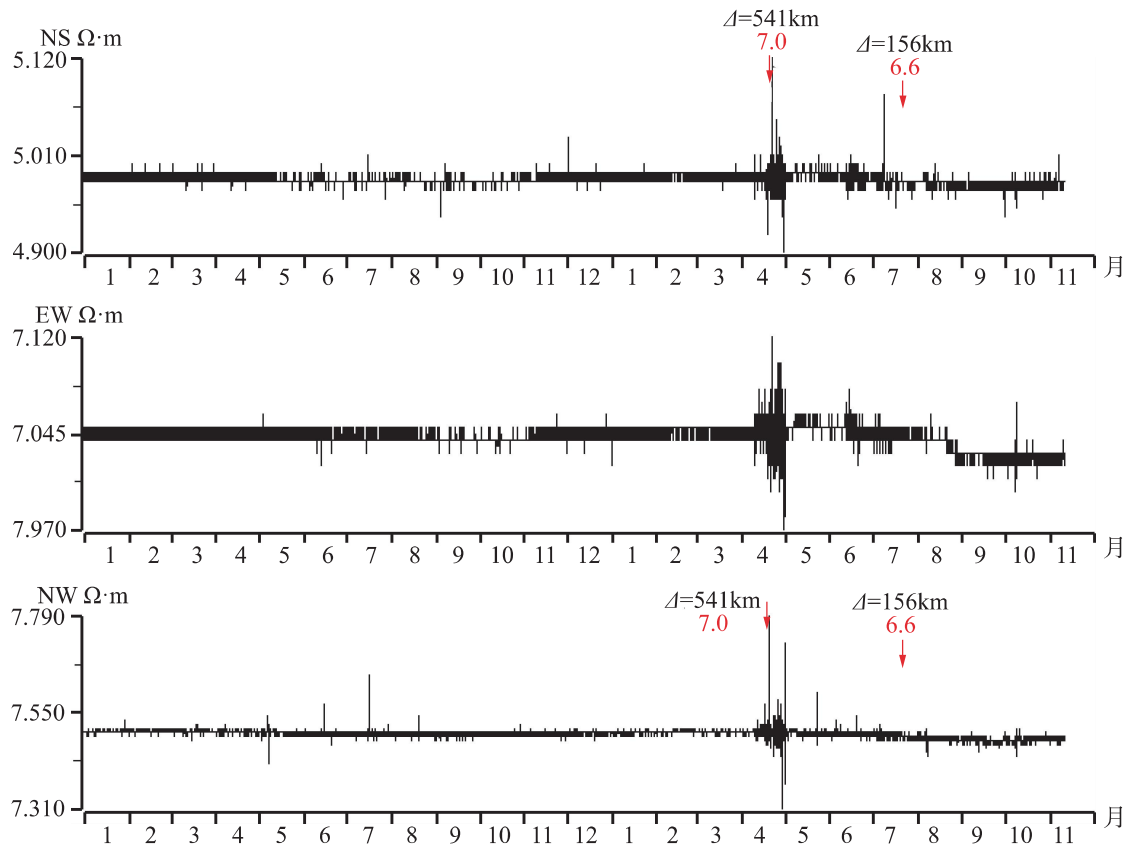


图 27 天水深井电阻率日均值曲线

Fig. 27 Curve of daily mean value of the deep-well geoelectrical resistivity at the Tianhui station

6 月 12 日整点值曲线再次出现小幅振荡, 15 日至 7 月 8 日间歇性出现大幅度振荡, 其中 NS 道 7 月 8 日显著性突跳, EW 道振荡最为明显, 7 月 22 日发生岷县—漳县 6.6 级地震, 震前最大幅度为 2.6%, 日均值曲线则表现为 6 月 20 日开始的快速下降和振荡 (图 28)。

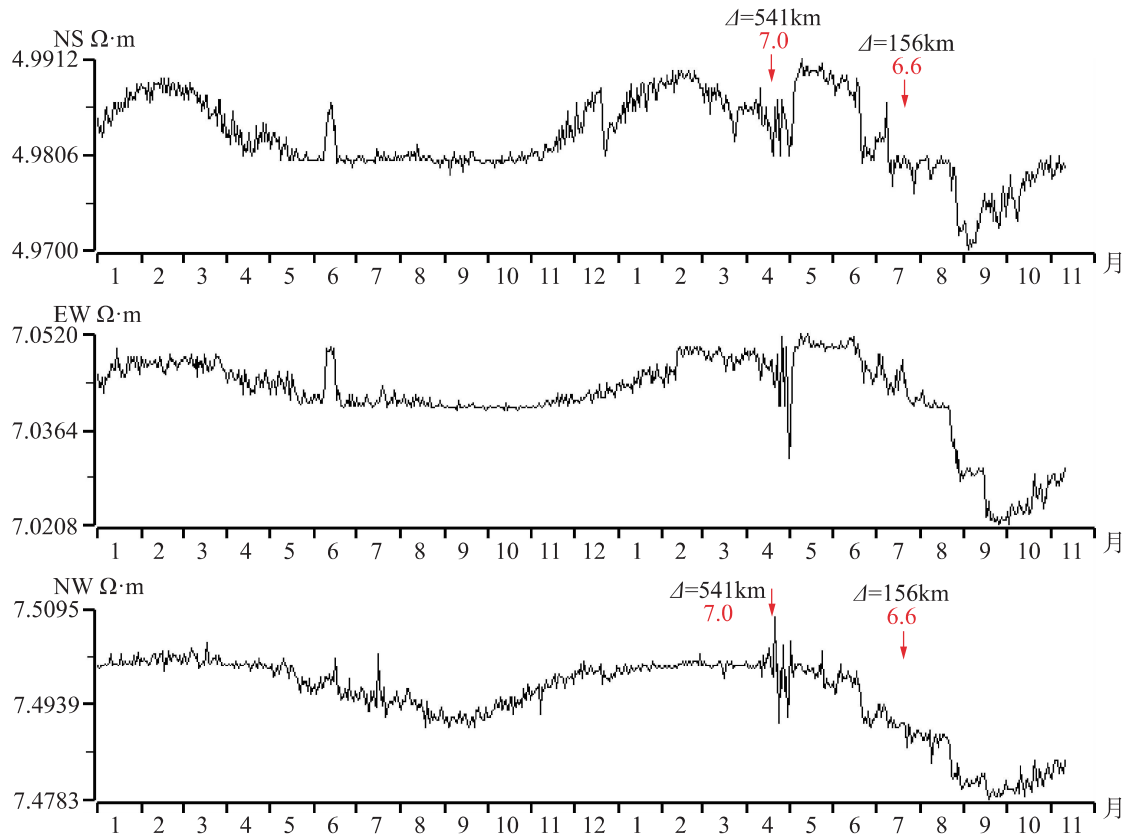


图 28 天水深井电阻率整点值曲线

Fig. 28 Curve of hourly mean value of the deep-well geoelectrical resistivity at the Tianhui station

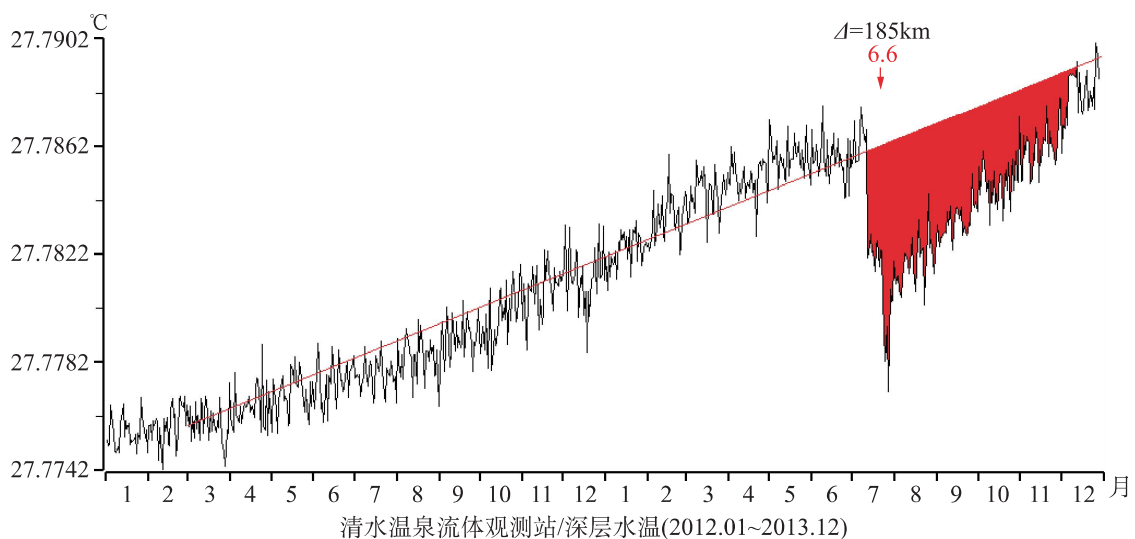


图 29 清水温泉水温日均值观测曲线

Fig. 29 Curve of daily mean value of water temperature at the Qingshui station

(3) 清水温泉水温。

清水温泉水温观测资料多年来比较稳定,整体呈上升趋势,震前10天日均值出现下降(整点值不明显),下降幅度为 0.005°C (图29),显示出震前短临异常。

七、地震前兆异常特征分析

综上所述,岷县—漳县6.6级地震前兆异常主要特征如下:

1. 震兆异常特征

岷县—漳县6.6级地震前,甘东南地区出现长达77年的6级和近9年的5级地震平静,均属长期背景异常。长时间的5、6级地震平静区为未来强震的发生提供了地点依据。震前中期阶段,甘肃、青海和四川交界地区自2008年开始出现了3.5级以上地震活动的平静—活动—平静的过程。第一次平静从2008年3月开始,持续了31个月。第二次平静发生在主震前21个月,两次平静区的长轴方向有所改变,从北西西向转为了北东向。2012年10月开始主震震中周围80km范围出现了低 b 值异常,震后低 b 值依然持续。但6.6级地震直接打破平静发生在平静区和低 b 值内部,因此中等地震的平静和小震低 b 值区进一步提供了地点的信息并缩小了危险区的范围。短临阶段,在震前50天震中以南170km处的松潘—平武地区出现2.0级以上震群活动,但震群发生地点并不是未来主震的位置。

不同震级档地震平静区(或空区)的嵌套为发震地点提供了有利判据。主震周围低 b 值范围较小,可以作为缩小危险区范围的强有力证据,但在同一时段内,甘东南地区的迭部—白龙江断裂的中西段也存在低 b 值异常,属干扰性异常。1970年有小震记录以来甘东南—甘青川地区超过1年以上的 $M_L \geq 4.0$ 级地震平静有7次,其中有2次对应地震。分别是1987年迭部5.8级地震前曾出现持续17个月的平静和2003年岷县5.2级地震前存在24个月的平静²⁾。因此如何判别这种大范围的平静也是个重要的问题。

2. 定点前兆异常特征

从异常的空间分布来看,主要分布在西秦岭北缘断裂带上及以北地区,南部有武都电阻率和武都殿沟水氡(图30)。异常的分布特征同时受到监测台站分布的影响。异常种类以地下流体异常为主。中期异常以电阻率和水氡等趋势异常为主,短期异常以地下流体异常为主,临震异常为天水深井电阻率突跳、振荡和清水水温突跳异常。

从异常的项次比来看,异常观测项数占总观测项数的比例较低,异常种类以地下流体变化为主,主要异常表现为上升、下降和转折性的变化,电磁学科主要表现为低值和振荡异常。与2003年岷县5.2级地震的前兆异常相比,异常台项没有明显增多,仅多了两个。时间进程上,定点前兆以中期异常为主要特征,短期异常具有一定的成组性,值得一提的是,此次地震前出现了甘肃地区中强地震前鲜见的临震异常,但临震异常并未出现在震源区。震前出现多项地下流体破年变、改变趋势或高值异常,但异常地点集中在震中北东方向的西秦岭北缘断裂至六盘山断裂一带,因此,这些前兆异常的出现对于地点预测的指示作用也不强。

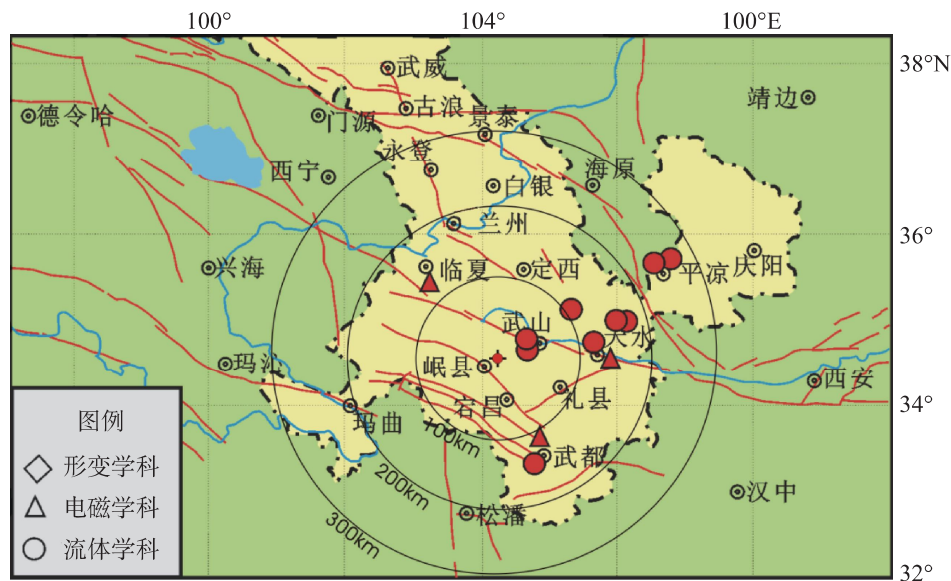


图 30 岷县—漳县 6.6 级地震前兆异常分布图

Fig. 30 Distribution of precursory anomalies stations in Gansu province before the M_s 6.6 Minxian-Zhangxian earthquake

八、震前预测和震后响应

1. 震前预测

1) 中期预测

2013年甘肃岷县—漳县6.6级地震发生在中国地震局和甘肃局的年度重点危险区内部，该地震中期预测正确（图31）。震前，甘肃省地震局采取了一系列的工作措施，加强震情监视和短临跟踪工作。2013年年初，甘肃省地震局向甘肃省人民政府上报了《关于2013年全省地震趋势和进一步做好防震减灾工作的意见》，并转发各市、自治州人民政府和省政府有关部门贯彻执行。同时，按照中国地震局的统一安排部署，制定了《2013年度地震重点危险区协作工作区震情跟踪工作方案》，组织召开了西北地区地震重点危险区震情跟踪工作交流会。

2) 短期预测

该地震短期预测方面跟踪工作主要集中在4月20日芦山地震以后，及时向省政府领导汇报震情跟踪判定意见，及时召开南北地震带北段强震研讨会，强化了震情跟踪和研判工作。

(1) 及时向省政府领导汇报震情，及时召开强震趋势研讨会。

4月20日四川芦山7.0级地震的当晚，省政府领导专程到省地震局了解芦山地震相关情况和对甘肃省的影响。甘肃省地震局汇报了该次地震将会对地处南北地震带北段的甘肃，尤其是甘肃中东部地区产生重大影响，并给出南北地震带北段1~3年存在发生7级以上地

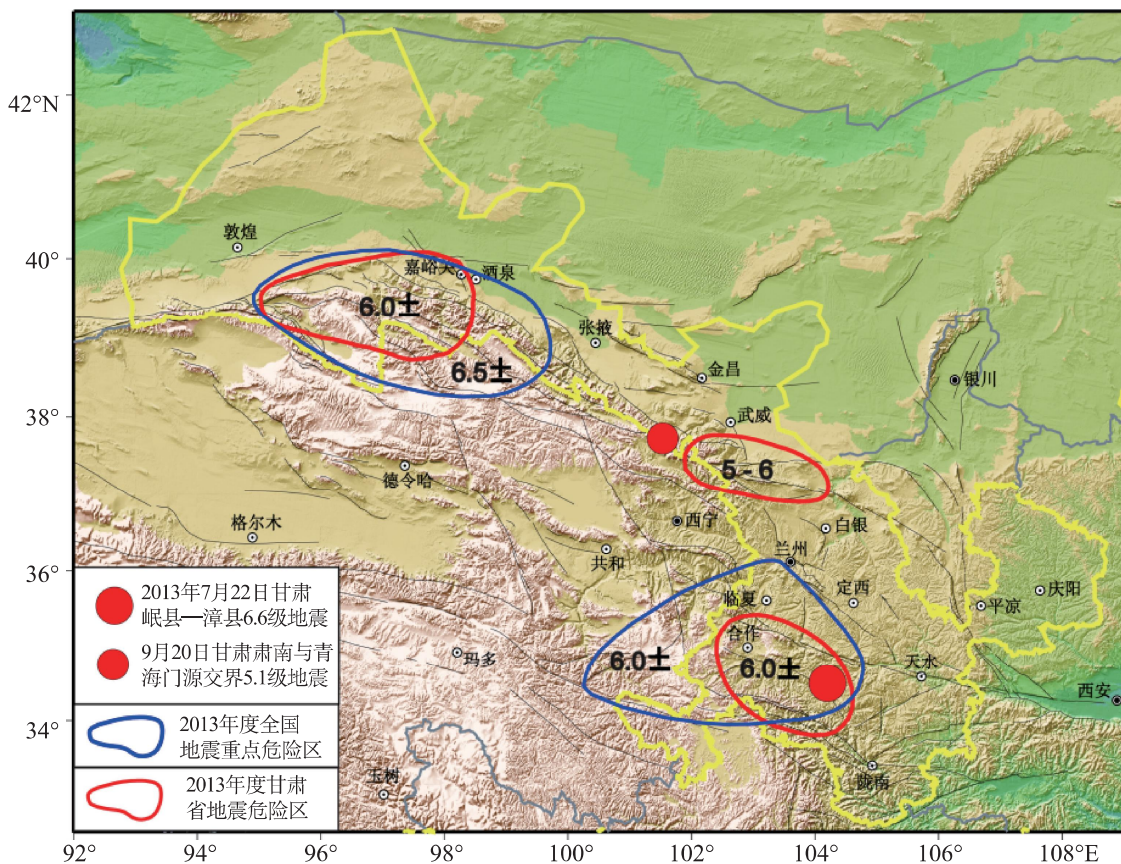


图 31 2013 年度全国和甘肃省地震危险区

Fig. 31 Earthquake prediction on emphatic dangerous zone in Gansu

震的可能性较大等意见。随后，甘肃省地震局于4月22日召开专题会议，安排震情跟踪和地震应急工作。

5月13日组织全国相关学科、西北五省区、二测中心专家在兰州召开南北地震带北段强震趋势及危险性研讨会，分析研究了芦山7.0级地震对南北地震带北段地区的可能影响，确定了未来1~3年震情趋势。会议结论意见为“芦山7.0级地震后，未来1~3年南北地震带北段地区发生7级地震的可能性增大，危险地区为甘东南—甘青川交界及附近地区；祁连山中西段地区存在发生6~7级地震的可能”。会后，甘肃省地震局积极开展震情监视和短临跟踪工作，召开突出震情专题会议、临时和紧急会商会等，组织开展现场异常落实，谨慎处置各类短临预报意见，加强甘东南地区震情跟踪工作；按照“内紧外松”的原则，密切跟踪天水深井地电阻率等前兆资料的发展变化。及时报送震情信息，分管省长批示并密传年度重点危险区涉及市州的市州长，加强震情跟踪和应急准备工作

6月份以后，甘肃及边邻地区的地震活动出现了明显的增强态势。6月4日，九寨沟与平武交界发生3级震群活动，省内发生了6月21日天祝—门源交界3.1级、6月24日肃北3.4级等地震。对这些突出的地震活动事件，甘肃省地震局均组织召开紧急会商会，并及时将震情信息和会商结论意见报送省委省政府。据统计，6月1~26日期间，甘肃省地震局报送省政府各类震情信息达9次，分管副省长批复2次，要求加强震情监视监测工作。在此基

础上,6月27日,甘肃省领导在我局上报省政府月会商意见([2013]甘震预字第38号)上批示,责成相关市(州)地震部门加强监测预警,在不形成恐慌心理的前提下,注意加强防震工作,尤其应重视在一些中小学开展防震演练,以增强防震意识和自救能力(附件二)。天水、临夏州、定西等市县地震局及相关部门根据批示精神,进一步加强震情监视和应急准备工作。

2013年甘肃岷县—漳县6.6级地震短期预报较为成功,取得了一定的社会效益,但未做出准确的临震预测,6.6级地震前甘东南地区定点前兆观测资料存在趋势性异常,短临的异常虽然出现了一些(震后总结发现天水深井电阻率和清水水温临震前存在异常),但由于这些资料积累的时间不长以及对临震前一些资料的异常变化认识不足,未能做出临震预报,还需要继续加强分析临震前异常变化规律和经验总结。

(2) 天水中心地震台短临预报卡的处置。

岷县—漳县6.6级地震前,天水中心地震台填报了短临卡片,其主要依据是天水深井地电阻率和其他部分前兆观测。实际上,由于天水深井地电阻率在芦山地震前有较好的异常表现,因此,芦山地震后一直作为甘肃省地震局预报中心重点跟踪的测项。但由于该台经过深井技术改造,新资料的产出仅有1.5年左右的时间,积累的震例只有一次;而岷县—漳县6.6级地震前出现变化的时段恰逢省内降雨较多,在异常的认定上专家们有不同的认识。

同时,天水地震台及其下属子台2008年以来填报了14次预报卡,2013年以来省局共收到了13张预报卡,合计27张预报卡中,仅有本次预报卡在超过预报期限14天后发生了岷县—漳县6.6地震。因此,台站预报卡的准确度较低的事实是客观存在的,而这又反过来影响了专家们对该预报卡的信度和判断。因此,如何处置地震台站预报卡,是一个值得深思和需要认真对待的问题。

2. 震后应急和地震趋势判定

2013年甘肃岷县—漳县6.6级地震发生后,甘肃省地震局立即启动了一级地震应急响应,应急工作人员立即到岗开展工作,由省地震局16人组成的第一批现场工作队员从兰州出发赶赴灾区,开展灾害损失评估、现场震情分析、震情监测、强震观测、地震科学考察等工作。甘肃省委、省政府及时安排部署抢险救灾工作,省委书记立即带领甘肃省抗震救灾指挥部主要领导及相关成员单位抵达甘肃省地震局抗震救灾指挥中心,开展灾区减灾救援工作部署。中国地震局迅速派出了地震现场工作队,携带通讯设备、流动监测仪器等到达地震现场,与甘肃省地震局现场工作组会合,成立了现场工作指挥部,开展了地震监测预报、灾害调查、震灾评估、科学考察、强震观测、震后趋势判定等工作,为政府组织开展抗震救灾工作提供了科学、详实的信息和依据,为灾区社会稳定发挥了积极作用,取得了显著的社会效益。

甘肃省地震局分析预报人员密切跟踪序列的发展变化,对余震序列进行跟踪分析,结合区域历史地震活动规律及邻区余震序列特征,震后1小时给出“原震区未来12小时发生更大地震的可能性较小”的结论,7月22日下午又召开了加密会商会,会商结论为“该地震为主余型的可能性较大,原震区未来24小时发生更大地震的可能性较小”。甘肃省地震局对该地震类型和震后趋势都给出了准确的判定意见。

九、结论与讨论

1. 结论

(1) 岷县—漳县 6.6 级地震发生在青藏高原东北缘地区, 东昆仑断裂带与西秦岭北缘断裂带两条左旋走滑断裂带之间的过渡区, 发震构造为临潭—宕昌断裂。地震发生在甘青川交界地区大范围、长时间 5 级平静区的边缘, 震前中期阶段, 以中等地震平静和小震低 b 值为主要活动特征, 短临阶段, 震中周围出现小震群活动。研究区域范围内的前兆观测资料中, 中期前兆异常以地下流体和地电阻率为主, 短期异常主要有 3 个流体异常, 震后总结发现临震前变化主要有天水深井电阻率震前的突跳异常和清水水温震前 10 天的低值异常。

(2) 此次地震发生在中国地震局和甘肃省地震局划定的年度地震重点危险区内, 地震三要素准确, 中期预测正确。年度预测的主要依据是甘东南—甘青川交界地区大范围不同震级档的地震平静和小震低 b 值异常, 同时, 甘东南地区存在流体化学、电磁的趋势性异常和区域水准以及跨断层形变异常²⁾。在短期预测方面, 松潘—平武地区出现了小震群活动, 甘东南地区前兆资料的成组同步变化, 均符合我局短期预报方案中的主要判定指标^[31~33]。值得一提的是, 6.6 级地震前出现了天水深井电阻率和清水水温的临震变化, 建议在今后的监测预报基础建设中增设类似这样选点好、观测稳定且能发挥临门一脚的观测项目。

(3) 此次地震前短期强化跟踪工作主要集中在 4 月 20 日芦山地震之后, 因此, 此次地震与汶川和芦山地震之间也存在一定的关联关系。主要表现在: ①16 世纪以来, 龙门山断裂带及其附近地区共发生 6 次 7 级以上地震, 这一地区发生 7 级以上地震后 1~5 年在唐古拉地区、柴达木地块、甘东南—甘青川交界和鄂尔多斯块体西北缘均有 6 级以上地震响应。1713 年叠溪 7.0 级地震后间隔 5 年发生了 1718 年通渭 7½ 级地震, 1933 年叠溪 7½ 级地震后间隔 3 年发生了 1936 年康乐 6¾ 级地震和天水 6.0 级地震。2008 年汶川 8.0 级地震后 3 年内, 柴达木地块和唐古拉地区相继发生响应地震。2013 年岷县—漳县地震分别与 2008 年汶川 8.0 级地震和 2013 年芦山 7.0 级地震间隔了 5 年 2 个月和 3 个月的时间。②芦山 7.0 级地震与汶川地震二者有发震构造上的联系, 但是两次相对独立的地震事件^[8]。汶川地震明显地改变了区域地震的应力场^[9], 从 Toda et al. ^[30] 的研究结果来看, 汶川地震在一定程度上提高了临潭—宕昌断裂带附近的地震发生率, 即该区的地震活动水平受到汶川地震的影响将会有所升高, 岷县漳县地震正是发生在该断裂带附近地区。

2. 讨论

岷县—漳县 6.6 级地震震中 300km 范围内的前兆观测资料中, 中期前兆异常以地下流体和地电阻率为主, 异常时间出现在 2012 年 8 月以后, 短期异常主要有 3 个流体异常。从异常的特征来分析, 中短期异常可能反映了南北地震带中北段的整体构造活动特征。异常出现后发生了 2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级和 7 月 22 日岷县—漳县 6.6 级成组地震活动, 也就是说甘东南地区的中短期异常可能是 2 次强震孕育过程的产物, 岷县—漳县 6.6 级地震前的中短期异常可能不能排除与芦山 7.0 级地震的震后效应有关, 这也给预测过程的决策工作带来了较多的困难。而震后总结发现天水深井电阻率临震突跳和清水温泉水温震前 10 天的下降则是岷县—漳县 6.6 级地震可能的短临异常。

参 考 文 献

- [1] 郑文俊、袁道阳、何文贵等, 甘肃东南地区构造活动与2013年岷县—漳县 $M_s6.6$ 地震孕震机制 [J], 地球物理学报, 2013, 56 (12): 4058~4071
- [2] 何文贵、郑文俊、王爱国等, 临潭—宕昌断裂新活动特征与岷县漳县 $M_s6.6$ 地震关系研究 [J], 地震工程学报, 2013, 35 (4): 751~760
- [3] 郑文俊、闵伟、何文贵等, 2013年甘肃岷县漳县6.6级地震震害分布特征及发震构造分析 [J], 地震地质, 2013, 35 (3): 604~615
- [4] 张希、李心然、唐红涛, 青藏块体东北缘断层形变综合指标异常与岷县漳县6.6级等强震关系 [J], 地震研究, 2014, 37 (4): 572~577
- [5] 唐九安、沈旭章、高安泰, 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 [J], 大地测量与地球动力学, 2014, 34 (6): 14~19
- [6] 范莹莹、杜学彬、谭大诚等, 芦山 $M_s7.0$ 与岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前甘肃地区部分台站地电场变化 [J], 地震, 2015, 35 (1): 100~111
- [7] 曹玲玲、王宗礼、李春燕, 岷县漳县6.6级地震前天水花牛水氡异常可靠性研究 [J], 地震工程学报, 2013, 35 (4): 800~807
- [8] 祝意青、赵云峰、李铁明等, 2013年甘肃岷县漳县6.6级地震前后重力场动态变化 [J], 地震地质, 2014, 36 (3): 667~676
- [9] 冯建刚、张辉、杨萍, 2013年岷县漳县6.6级地震前地震 b 值异常特征研究 [J], 地震, 2016, 36 (1): 32~37
- [10] 杨兴悦、王燕、王建荣等, 甘东南地下流体异常与甘肃岷县6.6级地震关系探讨 [J], 地震工程学报, 2013, 35 (4): 808~815
- [11] 姜振海、翟伟、王小娟, 甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震与甘肃形变异常情况探讨 [J], 地震工程学报, 2013, 35 (3): 549~556
- [12] 朱爽、周伟, 甘肃岷县漳县6.6级地震前后区域地壳形变分析 [J], 地震工程学报, 2015, 37 (3): 731~738
- [13] 马海萍、武艳强、杨立明等, 2013年甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前地壳形变特征研究 [J], 地震工程学报, 2013, 35 (4): 730~736
- [14] 李翠芹、沈旭章, 岷县漳县 $M_s6.6$ 地震震源地地壳速度结构特征初步研究 [J], 地震工程学报, 2013, 35 (3): 448~454
- [15] 张辉、张浪平、冯建刚, 2013年7月22日岷县漳县6.6级地震序列震源机制解及其特征分析 [J], 地震, 2014, 34 (4): 110~117
- [16] 孙蒙、王卫民、王洵等, 2013年7月22日甘肃岷县—漳县 $M_s6.6$ 地震震源破裂过程 [J], 地球物理学报, 2015, 58 (6): 1909~1918
- [17] 赵凌强、詹艳、赵国泽等, 基于深部电性结构特征的2013年甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震孕震环境探讨 [J], 地震地质, 2015, 37 (2): 541~554
- [18] 谭毅培、曹井泉、陈继锋等, 2013年甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震余震序列时域衰减特征分析 [J], 地球物理学报, 2015, 58 (9): 3222~3231
- [19] 冯红武、张元生、刘旭宙等, 2013年甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震及其余震序列重定位 [J], 地震工程学报, 2013, 35 (3): 443~447
- [20] 陈冠、孟兴民、乔良等, “7·22”岷县漳县地震地质灾害分布、特征及与影响因子间关系分析 [J],

- 工程地质学报, 2013, 21 (5): 750~760
- [21] 郑文俊、雷中生、袁道阳等, 1837年甘肃岷县北6级地震考证与发震构造分析 [J], 地震, 2007, 27 (1): 120~130
- [22] 郑文俊、刘小凤、赵广堃等, 2003年11月13日甘肃岷县 M_s 5.2地震基本特征 [J], 西北地震学报, 2005, 27 (1): 61~65
- [23] 何文贵、周志宇、马尔曼等, 岷县—卓尼5.0级地震的基本特征和地质背景研究 [J], 地震研究, 2006, 29 (4): 373~378
- [24] 郑文俊、雷中生、袁道阳等, 1573年甘肃岷县地震史料考证与发震构造探讨 [J], 中国地震, 2007, 23 (1): 75~83
- [25] 滕瑞增、金瑶全、李西侯等, 西秦岭北缘断裂带新活动特征 [J], 西北地震学报, 1994, 16 (2): 85~90
- [26] 梁桂培、李渭娟、姚政生, 南北地震带中断深部构造与地震 [J], 内陆地震, 1996, 10 (1): 15~22
- [27] 董治平、程建武、张博等, 2013年7月22日甘肃省岷县漳县6.6级地震概述 [J], 国际地震动态, 2014, (待刊)
- [28] 杜方、龙锋、阮祥等, 四川芦山7.0级地震及其与汶川8.0级地震的关系 [J], 地球物理学报, 2013, 56 (12): 1772~1783
- [29] 万永革、沈正康、盛书中等, 2008年汶川大地震对周围断层的影响, 地震学报, 2009, 31 (12): 128~139
- [30] Toda S, Lin J, Meghraoui M et al., 12 May 2008 $M=7.9$ Wenchuan, China, earthquake calculated to increase failure stress and seismicity rate on three major fault systems, Geophys. Res. Lett., 2008, 35, L17305, doi: 10.1029/2008gl034903
- [31] 杨立明、刘小凤, 祁连山地震带地震短期综合预报方案研究 [J], 西北地震学报, 2006, 28 (3): 193~203
- [32] 杨立明、张勇、张富芳, 甘东南甘青川交界地区中强地震前中等地震活动共性特征研究 [J], 高原地震, 2002, 14 (3): 1~8
- [33] 杨立明、王兰民, 民乐—山丹6.1级地震短期预报的科学总结 [J], 西北地震学报, 2004, 26 (1): 1~9

参 考 资 料

- 1) 甘肃省地震局、中国地震局地震现场指挥部, 2013年7月22日甘肃岷县漳县6.6级地震灾害损失评估报告, 2013年7月28日
- 2) 甘肃省地震局, 2013年度甘肃省震情趋势研究报告, 2012年11月

Minxian-Zhangxian Earthquake of the M_s 6.6 on July 22, 2013 in Gansu Province

Abstract

Earthquake of the M_s 6.6 occurred in Minxian and Zhangxian county of Gansu province on July 22, 2013. Macroseismic epicenter: 34.5°N , 104.2°E . The meizoseismal area was located in Yanguang, Wendou, Lalu, Yongxing and Chelu Village of Meichuan town and Chabu Village of Chabu town in Minxian county. The intensity at the epicenter was VIII. Meizoseismal area was irregular oval-shaped with major axis in NW direction. 95 people were killed, 2414 people were injured and the direct economic loss was 175.88 million Yuan.

The earthquake sequence belonged to mainshock–aftershock type. Aftershocks with magnitude $M \geq 1.0$ distributed northeast to the Lintan-Dangchang fault and the main shock as the almost same direction of the major axis of the meizoseismal area. This event is a thrust-strike. Nodal plane II was the main rupture surface and the P axis of axis compressive stress was in NE direction. The seismogenic structure was the Lintan-Dangchang fault.

Within the distance of 300km from the epicenter, there were 59 seismic stations, 42 of them with seismometric observations and 17 with other precursory observations. Six strong-motion earthquake observation instruments and six seismometric stations were set up in the epicenter area after the main shock. There were 17 anomalies before the earthquake. 12 of them were precursory anomalies, 5 of them were seismic anomalies. The main characteristic of the seismic activity was quiet in southeast Gansu province and the border region of Gansu, Qinghai and Sichuan province before the main shock.

The M_s 6.6 earthquakes occurred in the seismically dangerous area in Gansu province as specified by China Earthquake Administrator and Earthquake Administrator of Gansu Province in 2013. The medium term prediction of the three elements of the earthquake and the judgment of post-event tendency were correct while the short term prediction of this event was relatively successful and good social benefits had been obtained.

报 告 附 件

附件一：

附表 1 6.6 级地震固定前兆观测台(点)与观测项目汇总表

序号	台站(点) 名称	经纬度(°)		测项	资料 类别	震中距 Δ /km	备注
		φ_N	λ_E				
1	岷县	34.44	104.03	测震		21	
2	宕昌	34.00	104.39	地倾斜(连通管)	I	55	DSQ型水管仪
				地倾斜(连通管)	I		DSQ型水管仪
				应变NS(伸缩)	I		SS-Y钢瓦棒伸缩仪
				应变EW(伸缩)	I		SS-Y钢瓦棒伸缩仪
3	武山	34.64	105.05	测震	I	64	
				氦(气氦)	I		SD-3A
				氦(水氦)	I		FD-125
				地倾斜NS(钻孔)	I		垂直摆
				地倾斜EW(钻孔)	I		垂直摆
4	渭源	35.14	104.21	测震		66	
5	临潭	34.69	103.35	测震		80	
6	舟曲	33.81	104.38	测震		84	
				地磁Z	I		
				地磁H	I		
				地磁D	I		
				地磁F	I		
				电磁扰动NS	I		DCRD-1
				电磁扰动EW	I		DCRD-1
7	礼县	34.1	105.9	流量	I	102	量筒、量杯、秒表容器
8	迭部	34.06	103.21	测震		102	
9	通渭	28.08	104.25	地电阻率	I	120	ZD8M
				自然电位	I		ZD8M
				水氦	I		FD-125

续表

序号	台站(点) 名称	经纬度(°)		测项	资料 类别	震中距 Δ/km	备注
		φ_N	λ_E				
10	两水	33.42	104.85	应变 NS (钻孔)	I	130	RZB-2 分量式钻孔应变仪
				应变 EW (钻孔)	I		RZB-2 分量式钻孔应变仪
				应变 NW (钻孔)	I		RZB-2 分量式钻孔应变仪
				应变 NE (钻孔)	I		RZB-2 分量式钻孔应变仪
				地倾斜 NS 向 (摆式)	I		CZB-2A
				地倾斜 EW 向 (摆式)	I		CZB-2A
				水温	I		SZW-1A
			水位	I		LN-3A	
11	天水中心台	34.48	105.9	测震		137	
				地电场 (长极距)	I		ZD9A-II
				地电场 (短极距)	I		ZD9A-II
				绝对磁偏角	I		Mag-01H 地磁经纬仪
				地磁 Z	I		GM-4 型和 FHD-2
				地磁 H	I		GM-4 型和 FHD-2
				地磁 D	I		GM-4 型和 FHD-2
				水温	I		SZW-1A
				水位	I		LN-3A
				水氡	I		FD-125
			地电阻率	I		ZD8B	

续表

序号	台站(点) 名称	经纬度(°)		测项	资料 类别	震中距 Δ/km	备注
		φ_N	λ_E				
12	陇南中心台	33.39	104.93	测震	I	146	
				水氡	I		FD-125
				水位	I		LN-3A
				水温	I		SZW-1A
				溢出气汞			RG-BQZ
				地倾斜(连通管)	II		DSQ型水管仪
				地倾斜(连通管)	II		DSQ型水管仪
				地倾斜NS(摆式)	I		宽频带倾斜仪【VP】
				地倾斜EW(摆式)	I		宽频带倾斜仪【VP】
				应变NS(伸缩)	I		SS-Y 钢瓦棒伸缩仪
				应变EW(伸缩)	I		SS-Y 钢瓦棒伸缩仪
			地电阻率	I		ZD8BMI	
13	会宁	35.70	105.06	测震		150	
14	临夏台	35.63	103.29	测震		154	
				应变NS(钻孔)	I		YRY-4 分量式钻孔应变仪
				应变EW(钻孔)	I		YRY-4 分量式钻孔应变仪
				应变NW(钻孔)	I		YRY-4 分量式钻孔应变仪
				应变NE(钻孔)	I		YRY-4 分量式钻孔应变仪
				地倾斜NS向(摆式)	I		CZB-2A
				地倾斜EW向(摆式)	I		CZB-2A
				水位	I		LN-3A
				水温	I		SZW-1A
				地电阻率	I		ZD8BMI
15	若尔盖	33.58	102.96	测震		157	
16	成县	33.74	105.73	测震		166	

续表

序号	台站(点) 名称	经纬度(°)		测项	资料 类别	震中距 Δ/km	备注
		φ_N	λ_E				
17	兰州十里店	36.08	103.76	测震		170	
				地倾斜(连通管)	I		DSQ型水管仪
				地倾斜(连通管)	I		DSQ型水管仪
				应变NS(伸缩)	I		SS-Y钢瓦棒伸缩仪
				应变EW(伸缩)	I		SS-Y钢瓦棒伸缩仪
				地倾斜NS向(摆式)	I		SSQ-2I石英水平摆
				地倾斜EW向(摆式)	I		SSQ-2I石英水平摆
				重力	I		PET相对重力仪
18	合作台	35.59	102.54	测震		173	
				地磁Z	I		GM-4型
				地磁H	I		GM-4型
				地磁D	I		GM-4型
				地磁F	I		GSM-90F1
19	静宁	35.33	106.35	测震		175	
				应变NS(钻孔)	I		RZB-2分量式钻孔应变仪
				应变EW(钻孔)	I		RZB-2分量式钻孔应变仪
				应变NW(钻孔)	I		RZB-2分量式钻孔应变仪
		应变NE(钻孔)	I	RZB-2分量式钻孔应变仪			
		35.31	106.45	电磁扰动NS	I		DCRD-1
				电磁扰动EW	I		DCRD-1
20	清水台	34.75	106.10	水位	I	177	LN-3A
				水温	I		SZW-1A
				泉水流量	I		量杯、秒表
21	刘家峡	36.08	103.75	测震		177	
				应变NS(钻孔)	I		RZB-2分量式钻孔应变仪
				应变EW(钻孔)	I		RZB-2分量式钻孔应变仪
				应变NW(钻孔)	I		RZB-2分量式钻孔应变仪
				应变NE(钻孔)	I		RZB-2分量式钻孔应变仪

续表

序号	台站(点) 名称	经纬度(°)		测项	资料 类别	震中距 Δ/km	备注
		φ_N	λ_E				
22	文县	32.95	104.67	测震		181	
23	张家川	35.00	106.21	测震		188	
24	玛曲	33.98	102.07	测震		205	
25	西吉	35.98	105.73	测震		213	
26	松潘	32.65	103.59	测震		217	
27	白银	36.59	104.09	测震		222	
				地倾斜(连通管)	I		DSQ型水管仪
				地倾斜(连通管)	I		DSQ型水管仪
				应变NS(伸缩)	I		SS-Y钢瓦棒伸缩仪
				应变EW(伸缩)	I		SS-Y钢瓦棒伸缩仪
28	泾源	35.48	106.30	测震		223	
29	略阳	33.33	106.15	测震		225	
30	同仁	35.52	101.99	测震		230	
31	青川	32.59	105.23	测震		237	
32	平武	32.40	104.33	测震		240	
33	陇县	34.89	106.85	测震		243	
34	华隆	36.10	102.26	测震		245	
35	固原	36.01	106.27	测震		250	
36	平凉中心台	35.56	106.71	测震		252	
				溶解气汞	I		RG-BS测汞仪
				地电场(长极距)	I		ZD9A-II
				地电场(短极距)	I		ZD9A-II
				地电阻率	I		ZD8BM
				水位	I		LN-3A
				水温	I		SZW-1A
				氦(水氦)	I		FD-125
				氦(气氦)	I		SD-3A

续表

序号	台站(点) 名称	经纬度(°)		测项	资料 类别	震中距 Δ/km	备注
		φ_N	λ_E				
37	海原			测震		260	
				应变 NS (钻孔)	I		RZB-2 分量式钻孔应变仪
				应变 EW (钻孔)	I		RZB-2 分量式钻孔应变仪
				应变 NW (钻孔)	I		RZB-2 分量式钻孔应变仪
				应变 NE (钻孔)	I		RZB-2 分量式钻孔应变仪
38	英鸽台	39.97	103.37	测震		267	
				地倾斜 NS 向 (摆式)	I		CZB-2A
				地倾斜 EW 向 (摆式)	I		CZB-2A
				体应变	I		TJ-II 体积式钻孔应变
				地磁 Z	I		GM-4 型
				地磁 H	I		GM-4 型
				地磁 D	I		GM-4 型
				水位	I		LN-3A
				水温	I		SZW-1A
39	乐都	36.49	102.38	测震		273	
40	芦阳台	37.05	104.15	水位	I	280	LN-3A
				水温	I		SZW-1A
				地磁 Z	I		GM-4 型
				地磁 H	I		GM-4 型
				地磁 D	I		GM-4 型
41	太白	34.07	107.30	测震		288	

续表

序号	台站(点) 名称	经纬度(°)		测项	资料 类别	震中距 Δ/km	备注
		φ_N	λ_E				
42	寺滩综合台	37.23	103.87	地倾斜 NS 向(摆式)	I	298	CZB-2A
				地倾斜 EW 向(摆式)	I		CZB-2A
				体应变	I		TJ-II 体积式钻孔应变
				电磁扰动 NS	I		DCRD-1
				电磁扰动 EW	I		DCRD-1
				地电场(长极距)	I		ZD9A-II
				地电场(短极距)	I		ZD9A-II
				地磁 Z	I		GM-4 型
				地磁 H	I		GM-4 型
				地磁 D	I		GM-4 型
				$0 < \Delta \leq 100\text{km}$	$100 < \Delta \leq 200\text{km}$	$200 < \Delta \leq 300\text{km}$	总数
测项数 N				15	29	27	38
台项数 n				19	79	55	153
测震单项台数 a				3	7	12	22
水平摆单项台数 b				0	0	0	0
电磁单项台数 c				0	0	0	0
流体单项台数 d				0	0	0	0
综合台站数 e				2	7	4	13
综合台中有测震项目的台站数 f				0	6	4	10
测震台总数 $a+f$				3	13	16	32
台站总数 $a+b+c+d+e$				5	20	20	45
备注							

续表

序号	台站(点)名称	测项	资料类别	震中距 Δ /km	按震中距 Δ 范围进行异常统计														
					$0 < \Delta \leq 100\text{km}$					$100 < \Delta \leq 200\text{km}$					$200 < \Delta \leq 300\text{km}$				
					L	M	S	I	U	L	M	S	I	U	L	M	S	I	U
7	天水中心台	地电场(长极距)		137						—	—	—	—						
		地电场(短极距)								—	—	—	—						
		地电阻率								—	—	√	—						
		绝对磁偏角								—	—	—	—						
		地磁 Z								—	—	—	—						
		地磁 H								—	—	—	—						
		地磁 D								—	—	—	—						
		水温								—	—	—	—						
		水位								—	—	—	—						
		水氡								—	—	√	—						
8	陇南中心台	水氡		146						—	√	—	—						
		水位								—	—	—	—						
		水温								—	—	—	—						
		溢出气汞								—	—	—	—						
		地倾斜(连通管)								—	—	—	—						
		地倾斜(连通管)								—	—	—	—						
		地倾斜 NS(摆式)								—	—	—	—						
		地倾斜 EW(摆式)								—	—	—	—						
		应变 NS(伸缩)								—	—	—	—						
		应变 EW(伸缩)								—	—	—	—						
地电阻率							—	√	—	—									

续表

序号	台站(点) 名称	测项	资料 类别	震中距 Δ /km	按震中距 Δ 范围进行异常统计														
					$0 < \Delta \leq 100\text{km}$					$100 < \Delta \leq 200\text{km}$					$200 < \Delta \leq 300\text{km}$				
					L	M	S	I	U	L	M	S	I	U	L	M	S	I	U
9	临夏	应变 NS (钻孔)		154						—	—	—	—						
		应变 EW (钻孔)								—	—	—	—						
		应变 NW (钻孔)								—	—	—	—						
		应变 NE (钻孔)								—	—	—	—						
		地倾斜 NS (摆式)								—	—	—	—						
		地倾斜 EW (摆式)								—	—	—	—						
		水位								—	—	—	—						
		水温								—	—	—	—						
		地电阻率								—	√	—	—						
10	兰州十里店	地倾斜 (连通管)		170						—	—	—	—						
		地倾斜 (连通管)								—	—	—	—						
		应变 NS (伸缩)								—	—	—	—						
		应变 EW (伸缩)								—	—	—	—						
		地倾斜 NS (摆式)								—	—	—	—						
		地倾斜 EW (摆式)								—	—	—	—						
		重力								—	—	—	—						
11	合作	地磁 Z		173						—	—	—	—						
		地磁 H								—	—	—	—						
		地磁 D								—	—	—	—						
		地磁 F								—	—	—	—						
12	静宁	应变 NS (钻孔)		175						—	—	—	—						
		应变 EW (钻孔)								—	—	—	—						
		应变 NW (钻孔)								—	—	—	—						
		应变 NE (钻孔)								—	—	—	—						
		电磁扰动 NS								—	—	—	—						
		电磁扰动 EW								—	—	—	—						
13	清水台	水位		177						—	—	—	—						
		水温								—	√	—	—						
		泉水流量								—	√	—	—						

续表

序号	台站(点) 名称	测项	资料 类别	震中距 Δ /km	按震中距 Δ 范围进行异常统计														
					$0 < \Delta \leq 100\text{km}$					$100 < \Delta \leq 200\text{km}$					$200 < \Delta \leq 300\text{km}$				
					L	M	S	I	U	L	M	S	I	U	L	M	S	I	U
14	刘家峡	应变 NS (钻孔)		177						—	—	—	—						
		应变 EW (钻孔)							—	—	—	—							
		应变 NW (钻孔)							—	—	—	—							
		应变 NE (钻孔)							—	—	—	—							
15	白银	地倾斜 (连通管)		222											—	—	—	—	
		地倾斜 (连通管)												—	—	—	—		
		应变 NS (伸缩)												—	—	—	—		
		应变 EW (伸缩)												—	—	—	—		
16	平凉中心台	溶解气汞		252											—	—	—	—	
		地电场 (长极距)												—	—	—	—		
		地电场 (短极距)												—	—	—	—		
		地电阻率												—	—	—	—		
		水位												—	—	—	—		
		水温												—	—	—	—		
		氡 (水氡)												—	—	√	—		
		氡 (气氡)												—	—	—	√		
17	海原	应变 NS (钻孔)		260											—	—	—	—	
		应变 EW (钻孔)												—	—	—	—		
		应变 NW (钻孔)												—	—	—	—		
		应变 NE (钻孔)												—	—	—	—		
18	英鸽	地倾斜 NS (摆式)		267											—	—	—	—	
		地倾斜 EW (摆式)												—	—	—	—		
		体应变												—	—	—	—		
		地磁 Z												—	—	—	—		
		地磁 H												—	—	—	—		
		地磁 D												—	—	—	—		
		水位												—	—	—	—		
		水温												—	—	—	—		

续表

序号	台站(点) 名称	测项	资料 类别	震中距 Δ /km	按震中距 Δ 范围进行异常统计																
					$0 < \Delta \leq 100$ km					$100 < \Delta \leq 200$ km					$200 < \Delta \leq 300$ km						
					L	M	S	I	U	L	M	S	I	U	L	M	S	I	U		
19	芦阳	水位		280												—	—	—	—		
		水温															—	—	—	—	
		地磁 Z															—	—	—	—	
		地磁 H															—	—	—	—	
		地磁 D															—	—	—	—	
20	寺滩	地倾斜 NS (摆式)		298												—	—	—	—		
		地倾斜 EW (摆式)															—	—	—	—	
		体应变															—	—	—	—	
		电磁扰动 NS															—	—	—	—	
		电磁扰动 EW															—	—	—	—	
		地电场 (长极距)															—	—	—	—	
		地电场 (短极距)															—	—	—	—	
		地磁 Z															—	—	—	—	
		地磁 H															—	—	—	—	
		地磁 D															—	—	—	—	
分类 统计	台项	异常台项数			0	2	0	0		0	6	2	0		0	0	1	1			
		台项总数			17	17	17	17		66	66	66	66		40	40	40	40			
		异常台项百分比/%				0	12	0	0		0	9	3	0		0	0	3	3		
	观测台站 (点)	异常台站数				0	1	0	0		0	5	1	0		0	0	1	1		
		台站总数				3	3	3	3		11	11	11	11		6	6	6	6		
		异常台站百分比/%				0	33	0	0		0	45	9	0		0	0	17	17		
	测项总数 (71)					15					29					27					
观测台站总数 (20)					3					11					6						
备注																					

附表3 地震参数表

序号	数据项中文名	填入项	备注
1	地震编号		
2	主震编号		
3	发震日期	2013年7月22日	
4	发震时刻	07时45分56秒	
5	震中纬度	34.54	单位: (°)
6	震中经度	104.21	单位: (°)
7	震源深度 h	20	单位: km
8	地震震级 M (面波震级 M_s)	6.6	
9	近震震级 M_L		
10	体波震级 M_b		
11	矩震级 M_w	6.0	
12	震中烈度	VIII	
13	宏观震中纬度	34.5	单位: (°)
14	宏观震中经度	104.2	单位: (°)
15	宏观震源深度		
16	地名编号	748400 748300	
17	地名	甘肃省岷县漳县	

注: 地震震级 M 指 GB 17740—1999 规定的地震震级。

附表4 地震构造背景

序号	数据项中文名	填入项	备注
1	地震编号		
2	主震编号		
3	大地构造单元编号		
4	地壳构造	地处青藏高原东麓与西秦岭陇南山地接壤区, 与西秦岭构造带的非均匀隆升活动息息相关	
5	深部构造		
6	区域水平摆场		
7	震中附近地质构造	西秦岭北缘断裂带、礼县—罗家堡断裂、光盖山—迭山断裂	

续表

序号	数据项中文名	填入项	备注
8	主震断层活动性	区内北东突出的弧形断裂具逆走滑性质、有向北东方向推挤的特性	
9	孕震构造	临潭—宕昌断裂	
10	发震构造	临潭—宕昌断裂	
11	发震断层	临潭—宕昌断裂	

附表5 震害统计表

序号	数据项中文名	填入项	备注
1	地震编号		
2	主震编号		
3	宏观震中	岷县梅川镇和茶埠镇	
4	等震线形态	呈椭圆形分布,长轴走向北西向	
5	极震区面积	706	单位: km ²
6	极震区长轴(直径)	40	单位: km
7	极震区短轴(直径)	21	单位: km
8	有感面积		
9	有感范围	定西市、陇南市、甘南州、临夏市、天水市等地有强烈震感,兰州市、白银市部分地区有感	
10	主震地裂缝		
11	其他地表破坏	滑坡、崩塌、液化、滚石和塌陷	
12	其他重大破坏	房屋墙塌顶塌、市县交通基础设施毁损、防洪河堤供水系统损坏	
13	伤亡总人数	2509	单位: 人
14	死亡总人数	95	单位: 人
15	房屋破坏总间数	1461318	单位: 间
16	房屋破坏面积	36532938	单位: m ²
17	直接经济损失	1758800	单位: 万元
18	间接经济损失		
19	经济损失总额		

附表 6 6.6 级地震序列

序号	数据项中文名	填入项	备注
1	地震编号		
2	主震编号		
3	前震类别	3	1. 有前震序列; 2. 单个前震; 3. 无前震
4	前震开始时间		
5	最大前震震级		
6	次大前震震级		
7	前震序列 b 值		
8	前震序列 h 值		
9	前震与主震的最近距离		
10	最大余震发生时间	2013 年 7 月 22 日	
11	最大余震震级	5.6	
12	次大余震震级	4.1	
13	余震序列 b 值	0.65	
14	余震序列 h 值	1.6	
15	余震序列 p 值	1.4	
16	$E_{\text{主}}/E_{\text{总}}$	0.9566	
17	地震序列号		
18	地震序列类型	1	1. 主震余震型; 2. 震群型; 3. 孤立型
19	余震分布形态	大致与临潭—宕昌断裂走向相同, 呈北西向分布	

附表 7 6.6 级地震震源机制解

序号	数据项中文名	填入项	备注
1	地震编号		
2	主震编号		
3	节面 I : 走向	189	单位: ($^{\circ}$)
4	节面 I : 倾角	51	单位: ($^{\circ}$)
5	节面 I : 滑动角	142	单位: ($^{\circ}$)

续表

序号	数据项中文名	填入项	备注
6	节面Ⅱ：走向	305	单位：(°)
7	节面Ⅱ：倾角	61	单位：(°)
8	节面Ⅱ：滑动角	46	单位：(°)
9	P轴：方位	65	单位：(°)
10	P轴：仰角	6	单位：(°)
11	T轴：方位	163	单位：(°)
12	T轴：仰角	52	单位：(°)
13	N(B)轴：方位	330	单位：(°)
14	N(B)轴：仰角	38	单位：(°)
15	X轴：方位		
16	X轴：仰角		
17	Y轴：方位		
18	Y轴：仰角		
19	使用初动符号总数		
20	矛盾符号比		
21	方法	CAP	
22	资料来源	甘肃省地震局	
23	测定人	甘肃省地震局	
24	主破裂面	节面Ⅱ	
25	断层错动方式	逆冲兼走滑	

附表8 6.6级地震矩张量解

序号	数据项中文名	填入项	备注
1	地震编号		
2	主震编号		
3	节面Ⅰ：走向	196	单位：(°)
4	节面Ⅰ：倾角	50	单位：(°)
5	节面Ⅰ：滑动角	152	单位：(°)
6	节面Ⅱ：走向	304	单位：(°)
7	节面Ⅱ：倾角	69	单位：(°)
8	节面Ⅱ：滑动角	43	单位：(°)

续表

序号	数据项中文名	填入项	备注
9	矩张量: M_{rr}	0.613e+25	单位: N·m
10	矩张量: M_{tt}	0.441e+25	单位: N·m
11	矩张量: M_{pp}	-1.05e+25	单位: N·m
12	矩张量: M_{rt}	-0.469e+25	单位: N·m
13	矩张量: M_{rp}	0.02e+25	单位: N·m
14	矩张量: M_{tp}	0.687e+25	单位: N·m
15	地震矩 M_0	1.1e+25	单位: N·m
16	矩震级 M_w	6.1	
17	使用地震台站数		
18	使用地震波形数		
19	分析方法	最佳拟合双力偶	
20	资料来源	美国哈佛大学	
21	分析波段		
22	测定人	美国哈佛大学	
23	主破裂面	节面 II	
24	断层错动方式	逆冲兼走滑	

附表 9 历史地震情况记录

序号	数据项中文名	填入项	备注
1	地震编号		
2	主震编号		
3	历史地震统计范围	岷县漳县地震附近 (34.10°~34.85°N, 103.62°~104.72°E)	
4	历史地震统计开始时间	1573 年	
5	历史地震统计结束时间	2016 年	
6	历史地震最大震级	6.75	
7	历史最大地震	1573 年 1 月 20 日岷县 6.75 级地震	
8	历史地震最高烈度		
9	历史最高烈度地震	1573 年 1 月 20 日岷县 6.75 级地震	
10	$M_s \geq 6$ 级历史地震次数	2	单位: 次
11	$M_s \geq 5$ 级历史地震次数	4	单位: 次

附件二：甘肃省人民政府分管副省长在震情会商意见上的批示

请将此件密传王锐、陈青、曹晓明、汪海舟、马学礼、李志勤、蒋泽元、张智华、柯鹏、祁锡伟、甘州市长阅。

秘密★一个月

震 情

甘肃省地震局 中国地震局兰州地震研究所 2013年6月26日

在不能成恐慌心理的前提下，注意加强防震知识普及，尤其重视在中小学开展防震知识普及。

一、地震活动概况

据甘肃地震台网测定，本月（2013年5月30日-6月26日）甘肃及边邻地区发生2级以上地震47次。省内最大地震为6月24日肃北（北纬39.4°，东经95.5°）3.4级。

二、前兆异常情况

1、流体学科

(1) 嘉峪关气氡：2012年3月下旬开始快速上升，测值为历史最高，超过无地震对应的2010年，未发现干扰，2013年1月基本恢复正常年变。4月下旬以来出现较大波动变化，6月7日达最高值。

(2) 武山1号泉水氡、22号井水氡：2013年初以来仍表现为低值异常，目前略有转折变化。

(3) 武都殿沟水氡：2012年3月中旬、6月18日、7月18日、7月22日快速下降，与强降雨有关。2013年1月上旬下降为仪器故障。低值异常仍在持续。

(4) 清水流量：2012年4月中旬快速上升，5月初转折下降，7月底恢复，未发现干扰，异常对应有效时段还可持续一段时间。

2、电磁学科

(1) 临夏电阻率：NS、EW两道于2012年3月转折下降，9月中旬转折上升，年变形态明显。2013年低值异常基本恢复，尚无地震对应，需继续跟踪。近期的快速下降与降雨有关。

(2) 嘉峪关电位：2010年11月中旬开始破年变性快速上升，2011年7月中旬开始转缓；2012年2月底转折下降，6月再次转平，波动较大。2013年3月以来持续高值变化，趋于正常年变。

(3) 通渭电阻率：EW道、EW(短)道于2008年出现负相关和反向趋势变化，2010年再次转折；两道于2012年8月初出现破年变低值异常。2013年1月下旬EW(短)

印刷组长、副组长、信委处、机要组天水、陇南、定西、白银、岷县、徽县、成县、武都、武成。

甘肃局 6.27