

2013年甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前 地壳形变特征研究

马海萍¹, 武艳强², 杨立明¹, 江在森², 刘晓霞², 张 辉¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

摘要:基于2013年岷县漳县 $M_s6.6$ 地震震源区及其邻区1999年以来的GPS观测资料,通过应变率动态特征分析、多期次GPS剖面分析和基线变形速率的分析讨论了地震的震前变形特征。GPS速度场和块体应变率表明,汶川地震的发生导致了柴达木地块运动与变形状态发生明显调整,但由于西秦岭北缘等深大断裂的存在,岷-秦地块对其响应不明显;GPS连续应变率显示,在汶川地震引起的区域地壳变形调整过程中岷县漳县地震震源区附近的应变积累速率有减缓的迹象;GPS剖面显示,平行于岷县漳县主破裂带的运动分量对汶川地震响应显著,汶川震后表现为剪切变形速率的增强,而垂直于主破裂带的运动分量则对汶川地震响应不明显;震中周边GPS基线变形速率表明,基线伸缩变化率总体呈现NW向拉张、NE向压缩状态,且拉张量明显小于压缩量。上述地壳变形动态特征表明西秦岭北缘断裂及其附近地区的应变积累水平和断层闭锁程度可能处于较高水平,在岷县漳县地震前该区表现出局部“硬化”迹象。

关键词: 岷县漳县 $M_s6.6$ 地震; 地壳剧变; 速度剖面; 应变率; 基线变形速率
中图分类号: P315.725 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2013)04-730-06
DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.04.730

Crustal Deformation before the Minxian-Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake in Gansu

MA Hai-ping¹, WU Yan-qiang², YANG Li-ming¹, JIANG Zai-sen²,
LIU Xiao-xia², ZHANG Hui¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;
2. Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing 100036, China)

Abstract: Using GPS observation data since 1999 in the Lintan-Tanchang fault and the surrounding regions, the deformation characteristics of the region before the Minxian-Zhangxian $M_s6.6$ earthquake are obtained through analysis of the GPS profile, the block strain rate, and the baseline time series. The results from the block strain rate show that the strain accumulation level of the northern margin of the western Qinling fault zone and its nearby faults were promoted by the Wenchuan $M_s8.0$ earthquake. The response of the Wenchuan earthquake on the Lintan-Tanchang fault is obvious in the southern block and not obvious in the northern block, indicating that there is a strong earthquake risk in the boundary area between the two blocks. The results of the GPS profile across the Lintan-

收稿日期:2013-11-22

基金项目:国家十二五科技支撑计划课题(2012BAK19B01);国家自然科学基金项目(41304048)

作者简介:马海萍(1986-),女,青海民和人,硕士研究生,主要从事GPS数据处理与地壳变形分析方面的研究工作. E-mail:lutmhp@163.com

Tanchang fault show that the parallel component response of the Wenchuan earthquake is obvious; however, the vertical component is not obvious. This indicates that there might be a higher level of compressive strain and degree of fault locking in the area. In general, the GPS observation results show that the pre-earthquake deformation characteristics are consistent with the coseismic rupture characteristics of the Minxian-Zhangxian earthquake.

Key words: Minxian-Zhangxian $M_s6.6$ earthquake; Crustal deformation; velocity profile; strain rate; taseline deformation rate

0 引言

2013年7月22日7时45分,甘肃省定西市岷县、漳县交界地区发生了 $M_s6.6$ 地震,根据中国地震台网测定,震中位于(104.2°E, 34.5°N),震源深度约为20 km。此次地震发生在临潭—宕昌断裂带至西秦岭北缘断裂带之间的区域内,距离临潭—宕昌断裂带约9.3 km。临潭—宕昌断裂带位于南北地震带北段,断裂总体走向NW - NWW,为逆冲断裂,略具左旋走滑分量,倾向NE,倾角50°~70°^[1-2]。区内构造较为复杂,由多条规模不等、相互平行或斜列的次级断裂组合而成,属于东昆仑与西秦岭北缘两条深大断裂构造转换的中间过渡区,在构造位置上处于应变积累和转换过渡位置^[3-5]。该断裂的地震活动具有分段性,总体表现为东强西弱的特点,历史上沿断裂发生过1573年岷县6级、1837年卓尼6级、2003年岷县5.2级和2004年岷县—卓尼5.0级等中强地震,近年来该断裂带中小地震频发。

震源机制结果表明此次地震的破裂方式为略带走滑分量的逆冲型破裂(<http://www.globalcmt.org/>)。震前该区积累了丰富的GPS连续和流动观测资料,对其进行震前地壳变形的分析有利于认识此次地震的孕育特征。本文基于该区1999年以来的GPS流动观测资料、汶川同震位移资料和2010年以来的GPS连续观测资料,通过对岷县漳县地震震源区的GPS速度场、应变率场、速度剖面和基线变形速率的分析,识别此次地震的震前变形动态特征,同时分析汶川地震对此次地震孕育的可能影响,研究结果为认识此次地震的孕震机理可提供基础资料。

1 岷县漳县地震前GPS流动资料分析

1.1 GPS速度场和应变率分析

利用1999年以来的多期GPS观测数据,经GAMIT/GLOBK软件和QOCA软件处理^[6-8],得到了研究区在汶川地震前后1999 - 2007期和2009 - 2011期GPS速度场,具体处理策略可参阅文献[9]。在获得ITRF2005参考框架速度场的基础上,选择稳定的华南地块作为参考基准进行变换。图1给出了两期速度场分布。看出岷县漳县震

源区及其附近GPS运动的方向和大小均存在显著差异。利用图1中的两期数据,采用REHSM模型计算了华南、巴颜喀拉、柴达木、祁连山和岷—秦等地块的应变率(限于篇幅,表1仅给出与此次地震相关的两个块体的应变率结果)^[10-11]。

为了保证覆盖大部分发震断层,表1中柴达木地块东边界的选择到接近华南地块西边界处。表1结果表明,位于岷县、漳县断裂北侧的岷—秦地块两期主张应变率变化不大,主压应变率稍有减小;位于该断裂以南的柴达木地块则表现出显著的差异变形特征,主应变率方向维持稳定,但主张应变率、主压应变率均显著增大,特别是最大剪应变率增大更为明显。上述结果表明,汶川地震发生后柴达木地块受其影响明显,而由于深大断裂的存在,岷—秦地块对其响应不明显。该变形特征预示着分布于二者边界地区的西秦岭北缘断裂及其附近断裂(比如临潭—宕昌断裂带)存在强震危险^[12]。

利用与图1对应的GPS数据,图2采用最小二乘配置方法解算得到了研究区域的GPS主应变率场结果^[13]。结果表明,汶川地震前后区域应变积累速度存在显著差异,主要表现为巴颜喀拉地块和柴达木地块北东向挤压和南东向拉张的显著增强、华南地块西部挤压变形的显著增强。在调整过程中岷—秦地块应变积累速度维持稳定,特别是岷县漳县地震震源区附近的应变积累速率有减缓的迹象。上述现象表明,岷县漳县震源区附近在震前已经积累了较高的应变能且表现出一定的“硬化”迹象,在另一个角度揭示了震源区附近的断裂带处于强闭锁状态。

1.2 GPS速度场剖面分析

根据文献[14]、表1和图2结果可知,汶川地震对柴达木地块东部地区影响显著。下面对该地区GPS速度场进行剖面分析。剖面范围为图1中黑色虚线框,该GPS剖面跨越了岷县漳县地震的主破裂带及位于其南北两端的临潭—宕昌断裂带、迭部—白龙江断裂带、光盖山—迭山北麓断裂带和西秦岭北缘断裂带。为了分析汶川地震对该区的影响^[15],图3还给出了汶川地震同震位移在该区的剖面投影结果,投影范围相同,数据来源于文献[16]。

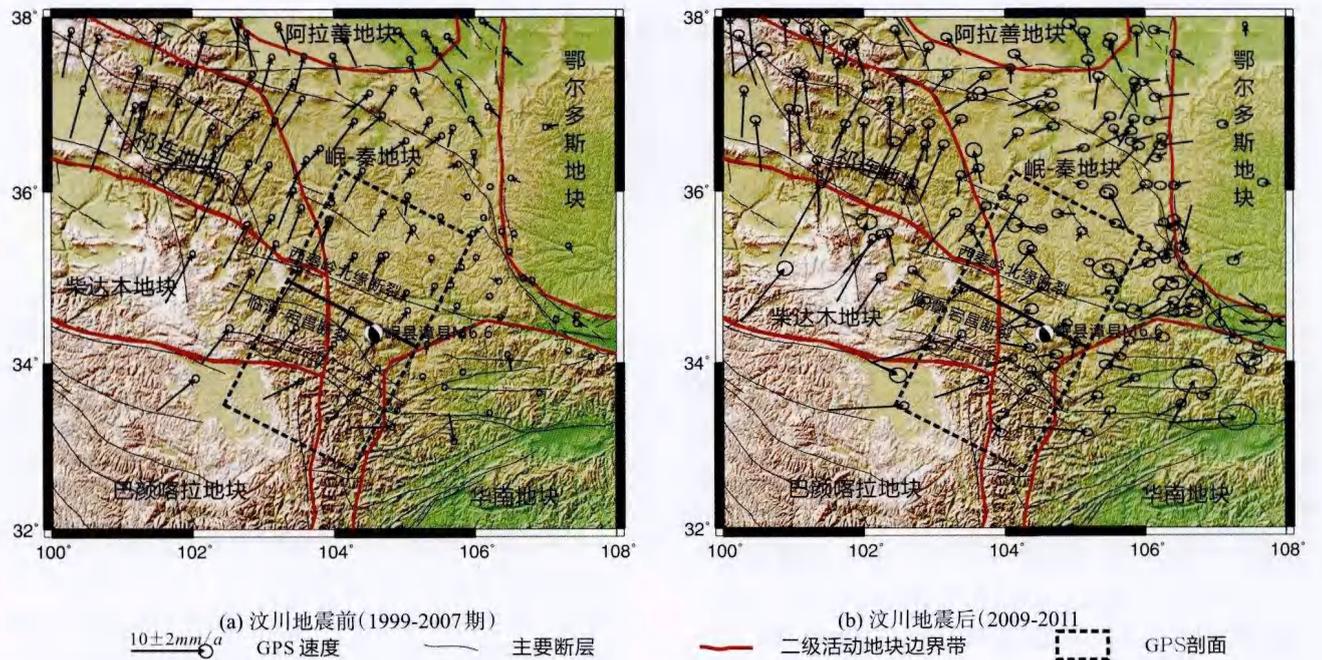


图1 研究区GPS速度场结果
Fig.1 Results of GPS velocity field in the study area

表1 REHSM模型计算的岷县漳县地震附近区域块体的应变率参数

Table 1 Strain rate results in blocks near the Minxian Zhangxian earthquake calculated by REHSM model

地块名	计算时段	$\epsilon_1/(10^{-8} \cdot a^{-1})$	$\epsilon_2/(10^{-8} \cdot a^{-1})$	$\gamma_{max}/(10^{-8} \cdot a^{-1})$	$A\epsilon_1/(\circ)$
岷-秦	1999-2007	0.76±0.17	-1.46±0.20	2.21±0.24	158.95±3.41
	2009-2011	0.55±0.21	-1.05±0.32	1.59±0.35	163.76±6.61
柴达木	1999-2007	0.54±0.32	-1.46±0.25	2.00±0.38	147.71±5.42
	2009-2011	2.07±0.57	-2.02±0.51	4.08±0.77	146.01±5.21

注:表中 ϵ_1 为主张应变率; ϵ_2 为主压应变率; γ_{max} 为最大剪应变率; $A\epsilon_1$ 为主张应变率方位角。

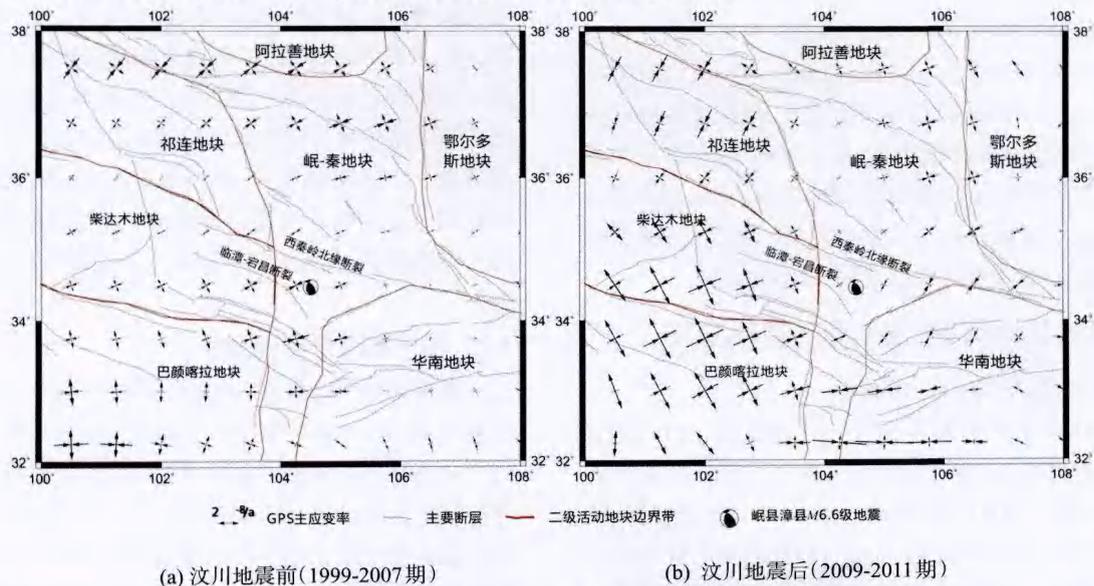


图2 研究区GPS主应变率结果
Fig.2 Results of GPS principal strain rates in the study area

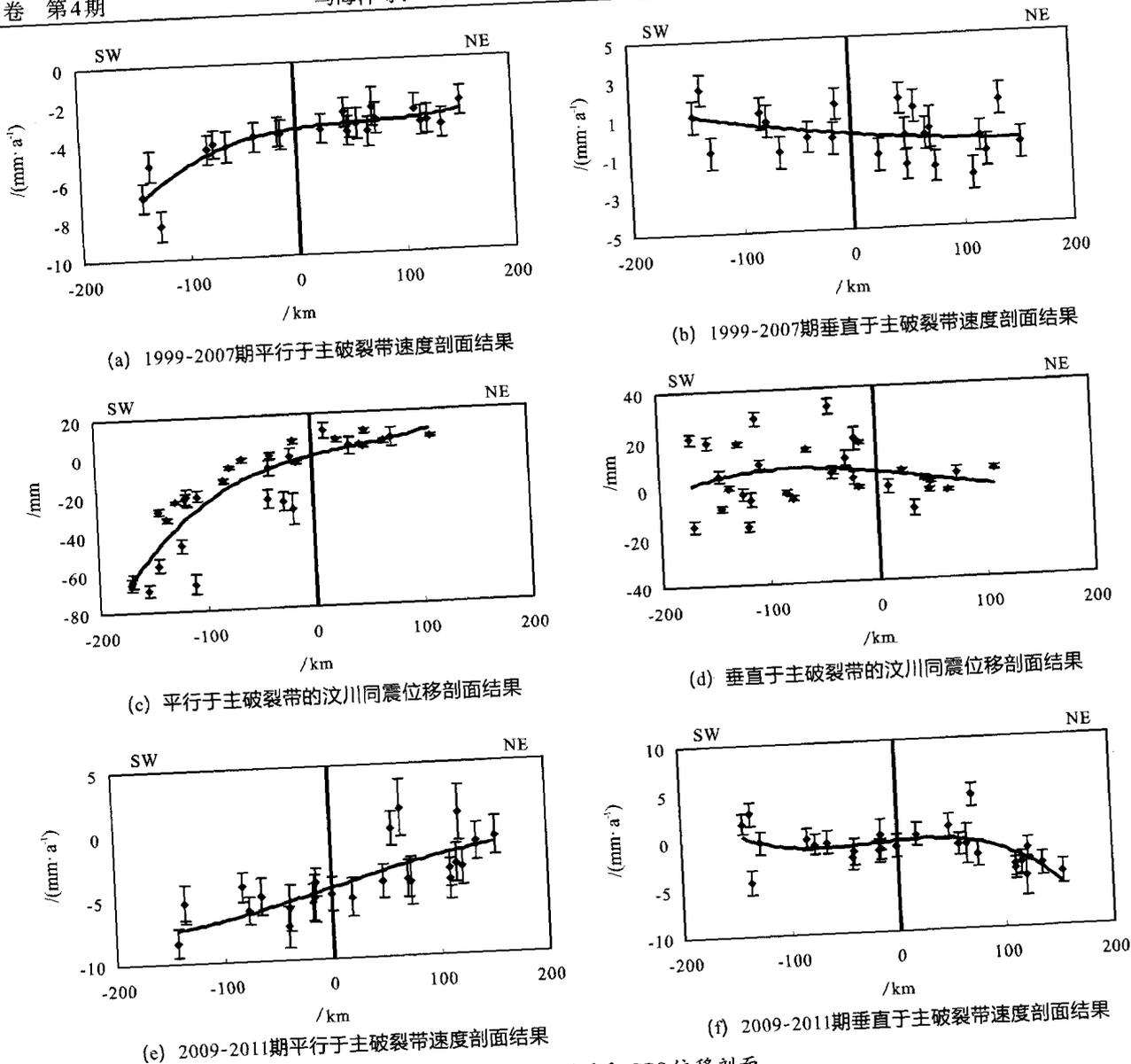


图3 GPS速度剖面和GPS位移剖面

Fig.3 Results of GPS velocity and displacement profile

图3(a)表明岷县漳县地震的主破裂带两侧存在显著的应变积累,主破裂带处于闭锁状态,位于主破裂带南侧0~100 km处的变形速率为1.9 mm/a;图3(b)表明岷县漳县地震主破裂带北、南两侧存在垂直于主破裂带方向的、由南向北的横向挤压缩短作用;图3(c)表明汶川地震产生的同震位移分布在岷县漳县震源区存在显著差异,其左旋增强影响显著;图3(d)表明汶川地震产生的挤压增强影响不是很明显;图3(e)表明南侧2009-2011期的左旋剪切变形相对于1999-2007期结果有所增强,其中,位于主破裂带南侧0~100 km处的变形速率为2.3 mm/a,此变形速率的增大可能反映了该区域处于汶川大震影响后的恢复阶段;图3(f)表明岷县漳县地震主破裂带北、南两侧均存在垂直于主破裂带方向的、由南向北的横向挤压缩短作用,但是至主破裂带附近变形显著变小,2009-

2011期与1999-2007期结果差别不大。以上结果反映出临潭-宕昌断裂带至西秦岭北缘断裂带之间区域内的断裂在汶川地震前后一直处于闭锁状态,该结果与M7专项工作组在《中国大陆大地震中-长期危险性研究》给出的结论一致^[7]。而汶川地震的发生可能使得岷县漳县震源区及其附近的断裂带的应变积累处于增强状态。

总体而言,1999-2007期GPS速度资料表明岷县漳县震源区及其附近地区的变形背景为挤压兼少量左旋剪切。汶川地震同震位移结果表明,巴颜喀拉块体东部向NE向运动引起了柴达木地块运动与变形调整,表现为柴达木块体向NE向运动增强;由于西秦岭北缘等深大断裂的阻挡,岷-秦块体对汶川地震响应不明显,因此汶川地震促进了西秦岭北缘及其附近断裂带(比如临潭-宕昌断裂带)的应变积累水平,有利于该区强震孕育。2009-

2011期结果与汶川地震同震影响具有继承性,表现为岷县漳县主破裂带南侧块体对汶川地震响应明显而北侧响应不明显,这也表明了二者边界地区存在强震孕育危险^[18]。

中国大陆构造环境监测网络的连续站于2010年6月份陆续开始试运行,由于该观测网络验收到岷县漳县地震时间较短,对于其中包含的动态变化尚不能确定包含多大成分的地壳变形信息,因此下面重点对基线变形速率进行分析。

2 岷县漳县地震前GPS连续资料分析

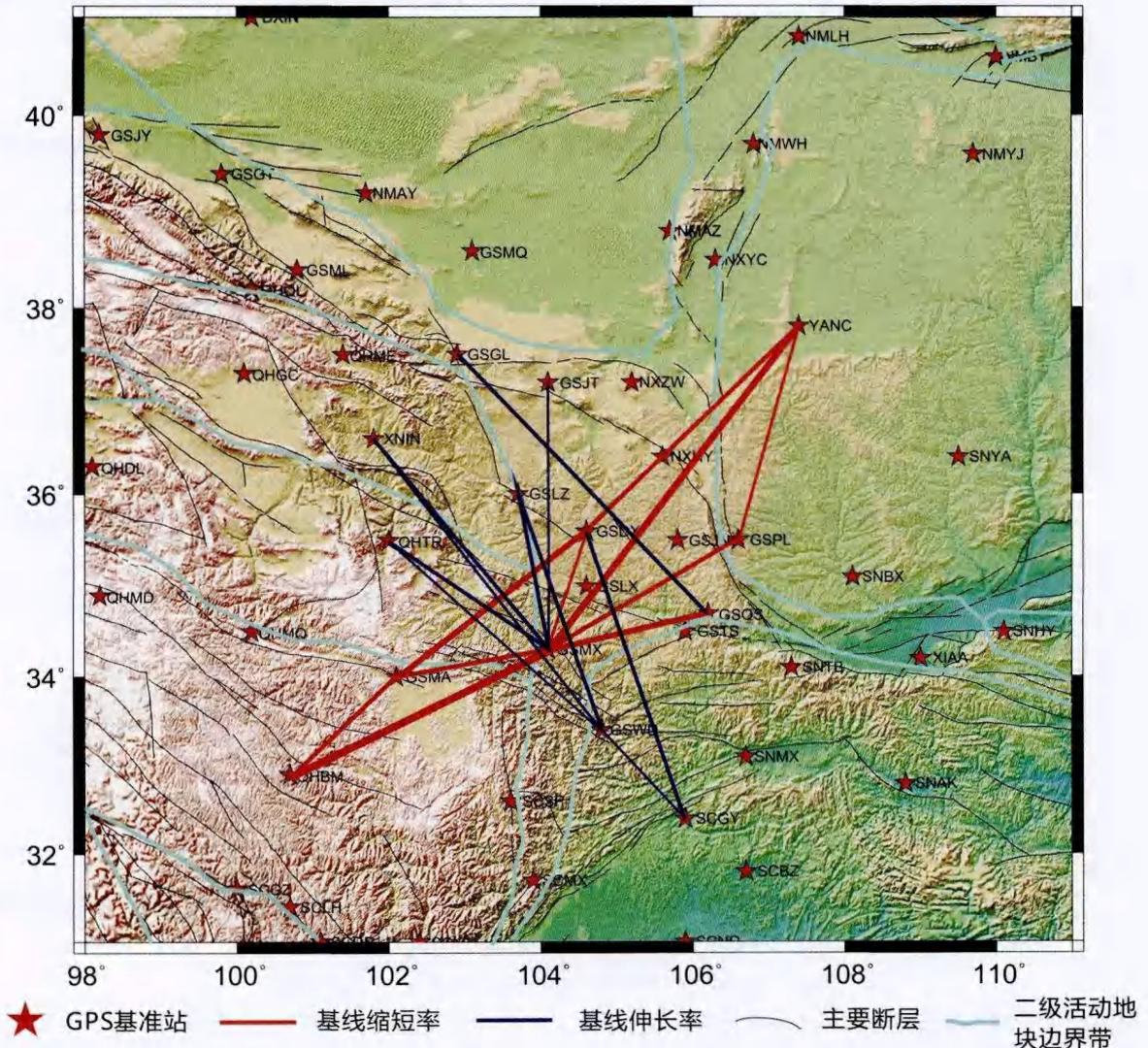


图4 岷县漳县地震震中周边GPS站站间基线伸缩变化率示意图
Fig.4 The baseline Shrinkage ratio between every two GPS stations in Minxian-Zhangxian epicenter surrounding area

表2 GPS基线年变化率计算结果
Table 2 Annual variation ratio of GPS baseline

基线	走向	状态	速率 /(mm·a ⁻¹)	误差 /mm	基线	走向	状态	速率 /(mm·a ⁻¹)	误差 /mm
GSDX-GSMA	NE	缩短	-3.80	0.05	GSMX-QHTR	NW	伸长	1.14	0.15
GSMX-YANC	NE	缩短	-4.13	0.05	GSMX-XNIN	NW	伸长	0.93	0.07
GSDX-YANC	NE	缩短	-3.24	0.04	GSMX-GSLZ	NNW	伸长	1.09	0.06
GSMX-GSPL	NE	缩短	-3.26	0.04	QHTR-GSWD	NW	伸长	0.32	0.17
GSMX-GSDX	NNE	缩短	-0.65	0.04	SCGY-GSWD	NW	伸长	0.11	0.11
GSMX-GSQS	NNE	缩短	-3.62	0.05	GSDX-SCGY	NNW	伸长	1.08	0.07
GSMX-QHBM	NE	缩短	-5.90	0.05	GSWD-XNIN	NW	伸长	0.52	0.10
YANC-GSPL	NNE	缩短	-0.78	0.06	GSWD-GSLZ	NW	伸长	1.33	0.09
QHBM-GSMA	NE	缩短	-2.66	0.07	GSQS-GSGL	NW	伸长	1.41	0.05
GSMX-GSMA	NW	缩短	-2.99	-0.05	GSMX-GSJT	SN	伸长	0.15	0.06

站间基线时间序列反映了站间的相对运动,且受参考框架等影响较小^[19-20]。图4为岷县漳县地震震中周边GPS站间基线的伸缩情况,其中红线代表基线处于缩短状态,蓝线代表基线处于伸长状态,线条的粗细代表了伸缩变形量的大小。表2给出了图4中GPS基线变化的统计结果。图4和表2表明,震中周边区域的基线伸缩变化率总体呈现NW向伸长、NE向缩短特征,且伸长量明显小于缩短量。另外,基线伸缩变化率还反映出巴颜喀拉块体、岷—秦块体和鄂尔多斯块体都存在着内部变形,如QHBM-GSMA、GSDX-GSMX和YANC-GSPL。位于临潭—宕昌断裂带以北的基线GSDX-GSMX反映了岷—秦块体内部的相对变形,相对于其他基线结果该基线的缩短速率较小,约为 -0.65 mm/a ,表明该断裂带以北地区的地壳变形幅度小于南部,结果与前文的分析结果一致。上述结果主要反映了汶川地震后该区地壳变形状态,由于采用连续观测方式,其可靠程度更高。

3 认识与讨论

(1) 1999年以来块体应变率结果表明,汶川地震前后位于临潭—宕昌断裂南侧的柴达木地块的应变状态存在显著变化,其中2009-2011期结果相对于1999-2007期的主张应变率和主压应变率均显著增大,而位于断裂带北侧的岷—秦块体除主压应变率有所降低外其他参数变化不明显。据此可知汶川地震的发生导致了柴达木地块运动与变形状态发生明显调整,但由于西秦岭北缘等深大断裂的存在,岷—秦地块对其响应不明显。该变形特征预示着分布于二者边界地区的相关断裂带对变形分布具有较为明显的阻隔作用,该区存在强震孕育危险。

(2) 最小二乘配置法得到的GPS主应变率场结果表明,汶川地震引起的调整过程中岷—秦地块应变积累速度维持稳定,特别是岷县漳县地震震源区附近的应变积累速率存在减缓的迹象。该结果主要反映了岷县漳县震源区附近在震前已经积累了较高的应变能且表现出一定的“硬化”迹象,在另一个角度揭示了震源区附近的断裂带处于强闭锁状态。

(3) 多期次GPS剖面结果表明,垂直于岷县漳县主破裂带的运动分量和平行于岷县漳县主破裂带的运动分量表现出明显差异特征,后者对汶川地震响应显著,汶川震后表现为剪切变形速率的增强;而前者则对汶川地震响应不明显。通过对汶川地震的分析认为,处于巨大地震同震位移场中不变带的区域可能预示着该区存在较强的应变积累和闭锁程度。本文中剖面分析的结果表明漳县岷县孕震区域的地壳变形符合上述特征。

(4) 岷县漳县地震震中周边GPS基线变化速率结

果表明,震中周边区域的基线伸缩变化率总体呈现NW向拉张、NE向压缩的状态,且拉张量明显小于压缩量。该结果主要反映了汶川地震后该区地壳变形状态,包含汶川地震引起的粘弹性松弛、块体运动调整等影响。

致谢 部分数据来源于中国地震局第一监测中心。中国地震局第一监测中心的占伟博士、朱爽硕士、甘肃省地震局董治平研究员、中国地震局第二监测中心的郝明博士、福建省地震局王紫燕工程师和中国地震局台网中心的赵静硕士为完成本文提供了帮助,在此一并表示感谢。

参考文献(References)

- [1] 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. HE Wen-gui, ZHOU zhi-yu, MA Er-man, et al. Basic Features and Geological Background of the Minxian-Zhuoni $M5.0$ Earthquake on Sep. 7, 2004 [J]. Journal of Seismological Research, 2006, 29(4): 373-378.(in Chinese)
- [2] 袁道阳,何文贵,刘小凤,等. 10余年来甘肃省中强地震的发震构造特征[J]. 西北地震学报, 2006, 28(3): 235-241. YUAN Dao-yang, HE Wen-gui, LIU Xiao-feng, et al. The Characteristics of Seismogenic Structure of Middle-strong Earthquakes in Recent 10 Years, Gansu Province [J]. Northwestern Seismological Journal, 2006, 28(3): 235-241.(in Chinese)
- [3] 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. ZHENG Wen-jun, LEI Zhong-sheng, YUAN Dao-yang, et al. Structural Research on the 1837 Northern Minxian $M6$ Earthquake in Gansu Province and its Causative Structure [J]. Earthquake, 2007, 27(1): 120-130.(in Chinese)
- [4] 杨立明,王振亚,郑卫平,等. 青藏高原北部地区7级以上地震孕育演化特征及其应用研究[J]. 西北地震学报, 2000, 22(2): 147-153. YANG Li-ming, WANG Zheng-ya, ZHENG Wei-ping, et al. The Features of Evolution of $M_s \geq 7.0$ Earthquakes in Northern Part Area of The Qinghai-Xizang Plateau and Their Application [J]. Northwestern Seismological Journal, 2000, 22(2): 147-153.(in Chinese)
- [5] 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. ZHENG Wen-jun, LEI Zhong-shen, YUAN Dao-yang, et al. Textual Research on the Historical Data of the 1573 AD Minxian Earthquake in Gansu Province and Discussion on Its Seismogenic Structure [J]. Earthquake Research in China, 2007, 23(1): 75-83.(in Chinese)
- [6] Herring T A, King R W, McClusky S C. GAMIT Reference

- Manual. GPS Analysis at MIT. Release 10.4.[J] Massachusetts Institute Technology, 2010. <http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgc/index.htm>(last accessed 2011 October 5).
- [7] Herring T A, King R W, McClusky S C. GLOBK Reference Manual. Global Kalman filter VLBI and GPS Analysis Program. Release 10.4[J]. Massachusetts Institute Technology, 2010. <http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgc/index.htm> (last accessed 2011 October 5).
- [8] Dong D, Hering T A, King R W. Estimating Regional Deformation from a Combination of Space and Terrestrial Geodetic Data[J]. J. Geophys. Res. 1998, 72, 200-214.
- [9] 武艳强, 江在森, 王敏, 等. GPS监测的芦山7.0级地震前应变积累及同震位移场初步结果[J]. 科学通报, 2013, 58, (20): 1910-1916.
WU Yan-qiang, JIANG Zai-sen, WANG Ming Preliminary Results of the Co-seismic Displacement and Pre-seismic Strain Accumulation of the Lushan $M_s7.0$ earthquake reflected by the GPS Surveying[J]. Chin Sci Bull, 2013, 58,(20):1910-1916.(in Chinese)
- [10] 李延兴, 杨国华, 李智, 等. 中国大陆活动地块的运动与应变状态[J]. 中国科学: D辑, 2003, 33(增刊): 65-81.
LI Yan-xing, YANG Guo-hua, LI Zhi, et al. The Movement and Strain State of Active Blocks in Chinese Mainland[J]. Chinese Science: D Series, 2003, 33 (S):65-81.(in Chinese)
- [11] 李延兴, 黄斌, 胡新康, 等. 板内块体的刚性弹塑性运动模型与中国大陆主要块体的应变状态[J]. 地震学报, 2001, 23(6):565-572.
LI Yan-xing, HUANG Cheng, HU Xing-kang et al. The Rigid and Elastic-Plastic Model of the Blocks in Intra-Plate and Strain Status of Principal Blocks in the Continent of China [J]. Acta Seismologica Sinica, 2001, 23(6):565-572.(in Chinese)
- [12] 王双绪, 张希, 祝意青, 等. 南北地震带北段强震形变异常特征与预测指标研究[J]. 西北地震学报, 2012, 34(2):105-113.
WANG Shuang-xu, ZHANG Xi, ZHU Yi-qing, et al. The Anomaly Characteristics of Deformation and Prediction Index Research of Northern Section of North-south Seismic Zone [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, (2):105-113. (in Chinese)
- [13] Wu Y Q, Jiang Z S, Yang G H, et al. Comparison of GPS Strain Rate Computing Methods and Their Reliability[J]. Geophys J Int, 2011(185):703-717 doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.04976.x.
- [14] 武艳强, 江在森, 杨国华, 等. 南北地震带北段近期地壳变形特征研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2012, 39(9): 1045-1048.
WU Yan-qiang, JIANG Zai-sen, YANG Guo-hua et al. Deformation Characteristics of North Section of North-South Seismic Zone in Recent Period[J]. Journal of Wuhan University Linatural science, 2012, 39(9):1045-1048.(in Chinese)
- [15] 杨立明, 程建武. 昆仑山口西8.1级地震孕育演化的阶段性初步研究[J]. 西北地震学报, 2003, 25(1): 35-39.
YANG Li-ming, CHENG Jian-wu The Preliminary Study on the Stage Division for the Pregnancy and Evolution of West to Kunlunmountain Pass $M_s8.1$ Earthquake [J]. Northwestern Seismological Journal, 2003, 25(1):35-39.(in Chinese)
- [16] Wang Q, Qiao X J, Lan Q G, et al. Rupture of Deep Faults in the 2008 Wenchuan Earthquake and Uplift of the Longmen Shan[J]. Nature Geoscience. 2011, 4(9):634-640.
- [17] M7 专项工作组. 中国大陆大地震中一长期危险性研究 [M]. 北京:地震出版社, 2012.
Working Group of $M7$ Study on the Mid- to Long-term Potential of Large Earthquakes on the Chinese Continent [M]. Beijing: Earthquake Publishing House, 2012.(in Chinese)
- [18] 王双绪, 蒋锋云, 李宁, 等. 岷县漳县6.6级地震前区域地壳运动变形背景与断层形变异常特征[J]. 地震工程学报, 2013, 35(3):503-512.
WANG Shuang-xu, JIANG Feng-yun, LI Ning, et al. Regional Crustal Movement Background and Cross-fault Deformation Anomaly Characteristics Prior to the Minxian-Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 503-511. (in Chinese)
- [19] 张风霜, 武艳强. 中国大陆内部GPS连续观测站基线分析 [J]. 地震研究, 2011, 34(3):337-343.
ZHANG Feng-shuang, WU Yan-qiang. Baselines Analysis of GPS Continuous Observation Stations in Chinese Mainland [J]. Journal of Seismological Research, 2011, 34(3):337-343. (in Chinese)
- [20] 江在森, 杨国华, 方颖, 等. 利用GPS观测结果研究地壳运动分布动态及其与强震关系[J]. 国际地震动态, 2007, (7): 32-42.
JIANG Zai-sen, YANG Guo-hua, FANG Yin, et al. Study on the Relations Between Distribution of Crustal Movement and Strong Earthquakes Using GPS Survey [J]. Recent Developments in World Seismology, 2007, (7):32-42.(in Chinese)