

冯建林,李德庆,檀玉娟,等.甘东南重力、 b 值异常与岷县—漳县 $M6.6$ 地震关系探讨[J].地震工程学报,2018,40(4):802-807.
doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.802

FENG Jianlin, LI Deqing, TAN Yujuan, et al. Relationship Between the Gravity and b -value Anomalies in Southeast Gansu and the Minxian—Zhangxian $M6.6$ Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(4): 802-807. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.802

甘东南重力、 b 值异常与岷县—漳县 $M6.6$ 地震关系探讨

冯建林, 李德庆, 檀玉娟, 秦建增, 谢汝一, 刘冬阳

(中国地震局地球物理勘探中心, 河南 郑州 450002)

摘要: 利用甘东南测网 2010—2014 年的流动重力观测数据, 分析 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县—漳县 $M6.6$ 地震前后 1 a 尺度的重力场变化, 并结合地震 b 值图像和 GNSS 结果进一步分析甘东南重力、 b 值异常与岷县—漳县 $M6.6$ 地震的关系, 结果表明: (1) 测区重力异常经历了由“区域重力负值变化→持续负值变化→转折上升正变化—发震→震后恢复变化”的时空演化过程; (2) 岷县—漳县 $M6.6$ 地震前后 b 值曲线出现“低值—高值—回落发震”的变化特征; (3) 岷县—漳县 $M6.6$ 地震发生在重力变化高梯度带上、“0”等值线附近和低 b 值区域。

关键词: 重力异常; b 值异常; 岷县—漳县 $M6.6$ 地震; 甘东南

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)04-0802-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.802

Relationship Between the Gravity and b -value Anomalies in Southeast Gansu and the Minxian—Zhangxian $M6.6$ Earthquake

FENG Jianlin, LI Deqing, TAN Yujuan, QIN Jianzeng, XIE Ruyi, LIU Dongyang

(Geophysical Exploration Center, China Earthquake Administration, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: In this paper, the gravity changes of one year scale before and after the Minxian—Zhangxian $M6.6$ earthquake on July 22, 2013 are analyzed using the mobile gravity observation data from 2010 to 2014 in southeast Gansu network, and then the relationship between the gravity and b -value anomalies in southeast Gansu and the Minxian—Zhangxian $M6.6$ earthquake is discussed considering the b -value image and global navigation satellite systems result. The results indicate the following: (1) The gravity anomaly in the study area underwent a spatiotemporal evolution from regional negative gravity change to constant negative change, positive change of turn and increase, earthquake occurrence, and then recovery after the earthquake; (2) before and after the Minxian—Zhangxian $M6.6$ earthquake, the b -value curve shows characteristics of low value-high value-reduction and shock; (3) the Minxian—Zhangxian $M6.6$ earthquake occurred in

收稿日期: 2017-12-05

基金项目: 中国地震局震情跟踪合同制项目(2016010216、2017010201); 中国地震局地震行业专项(201508009-08)

第一作者简介: 冯建林(1977—), 男, 高级工程师, 主要从事重力测量与数据分析研究。E-mail: dfdqwl@163.com。

通信作者: 李德庆(1965—), 男, 高级工程师, 主要从事重力数据分析处理研究。

a high gradient zone of gravity change near the "0" contour line and the low *b*-value region.

Keywords: gravity anomaly; *b*-value anomaly; Minxian M6.6 earthquake; southeast Gansu

0 引言

甘东南地区位于南北地震带北段,其构造特征较复杂,历史上曾发生过 1654 年天水 8 级、1789 年武都 8 级和 1920 年海原 8.5 级等破坏性地震(图 1),且近几年也频频发生中强地震。

M7.0 地震后发生的又一次强烈地震,此次地震共造成了 95 人遇难,1 366 人受伤,并造成了很大的经济损失。在这几次地震前后,一些科研人员对南北地震带及邻区已进行了很多有价值的科学反思与总结^[2-13],并取得了许多有价值的研究成果。

本文利用甘东南重力测网资料和甘肃测震台网的地震观测资料,获得 M6.6 地震前甘东南及邻区的重力场变化和地震 *b* 值图像,分析震前异常特征,获得了重力场变化、地震 *b* 值异常与岷县—漳县 M6.6 地震的关系。

1 资料 and 计算方法

对甘东南测网 2010—2014 年的重力观测资料按以下步骤进行处理:(1)以兰州、天水、平凉三个绝对点为控制基准,实测标定重力仪的一次项格值系数,以消除仪器格值系数变化带来的误差^[14];(2)平差计算时,先对多期重力观测资料的计算结果进行整体分析,初步了解各台仪器的观测精度,合理确定其先验方差,再重新进行平差计算,以得到最佳合理解算结果^[5,8];(3)使用 GDPAS-MRG 软件将该地区重力资料进行整体平差计算,获得基于绝对控制“解算”下的甘东南测网的重力场变化结果;(4)用最小二乘配置对重力观测数据进行拟合推估,采用 Kriging 方法对重力数据变化值进行网格化,对不规则离散重力点数数据进行最佳拟合,并通过矩阵滤波^[10-11],最后获得 2013 年 M6.6 地震前后重力场变化图像。

b 值计算方法:甘肃东南部位于甘肃测震台网监测能力相对较高的区域,根据冯建林等^[13]的研究成果,从研究区域 $M_L2.0$ 地震的震级—频度关系来看,地震 *b* 值的拟合结果为 0.97 ± 0.02 ,因此在计算 *b* 值时取最小完整性震级(M_C)为 $M_L2.0$;利用甘肃区域测震台网 1990 年 1 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日的地震目录资料,根据古登堡—里克特公式: $\log N = a - bM$,采用最大似然法计算得到 2013 年 M6.6 地震前后附近地区的地震 *b* 值。

2 2010 年以来的重力场变化与 1990 年以来的 *b* 值变化

2.1 1 a 尺度的重力场变化

对 2010 年以来的甘东南测网重力资料进行 1 a 尺度重力场变化分析(图 2)。从图 2 可以看出:

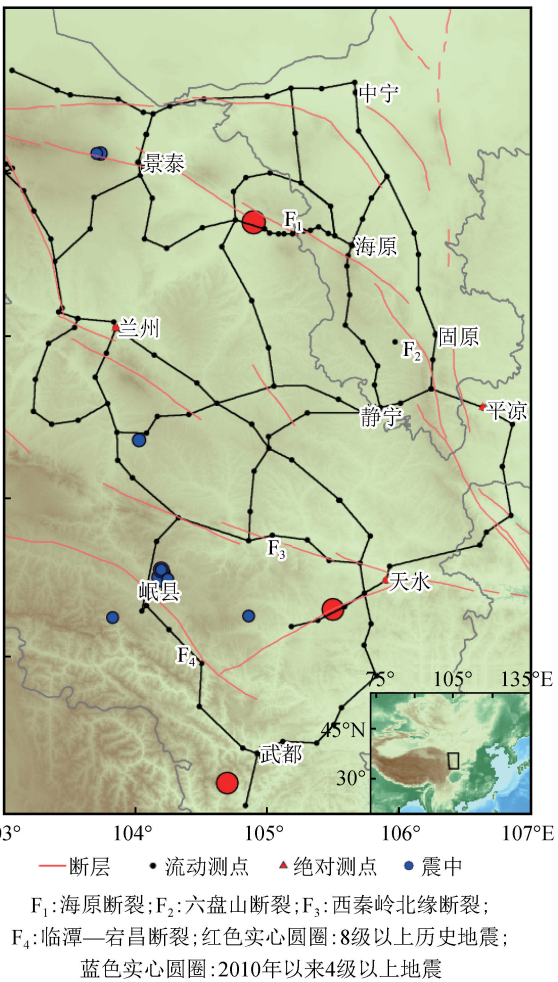


图 1 甘肃东南重力测网与构造略图

Fig.1 Gravity network and tectonic sketch in southeastern Gansu

2013 年 7 月 22 日在甘肃岷县—漳县发生 M6.6 地震,震中位于甘肃东南地区的临潭—宕昌断裂的中东段,该断裂是这次地震的发震构造^[1]。临潭—宕昌断裂作为甘东南构造转换和变形传递过程中的一条重要断裂,由多条规模不等、相互平行或斜接的次级断裂组合而成。

岷县—漳县地震是南北地震带及邻区继 2008 年汶川 M8.0、2010 年玉树 M7.1 和 2013 年芦山

(1) 201004—201104 期间[图 2(a)]:重力场呈现大面积负值变化,重力变化在 $0\sim-50\text{ }\mu\text{gal}$,反映

的是震前区域性重力场变化,地震前两年岷县及邻区附近无明显重力异常;

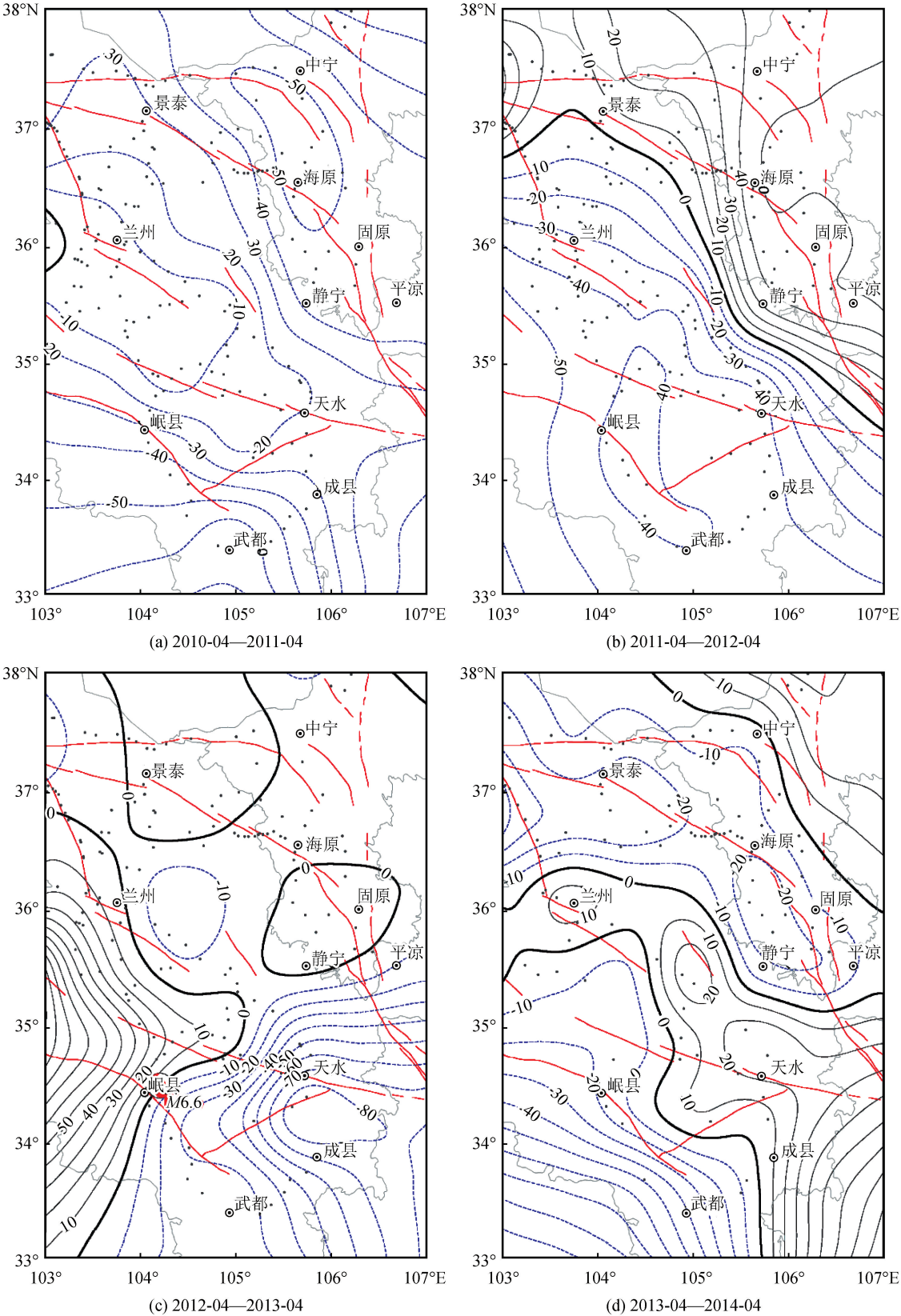


图 2 甘东南测网 1a 尺度重力场变化图(单位: μgal)

Fig.2 Gravity change of one yer scale in southeastern Gansu (Unit: μgal)

(2) 201104—201204 期间[图 2(b)]:重力场表现为自 SW 向 NE 由负向正逐渐增加的变化,重力变化在 $-40 \sim 50 \mu\text{gal}$,重力变化等值线走向基本上沿海原断裂展布,并沿断裂构造线形成重力变化高梯度带,较好地反映了重力变化受区域应力场作用和深大断裂活动的控制^[8],岷县及邻区附近重力场仍持续负值变化;

(3) 201204—201304 期间[图 2(c)]:甘东南地区出现显著重力差异运动,以岷县为界,以西重力场出现转折,呈加速上升(正)变化;以东重力场仍持续负值变化,重力差异变化达 $110 \mu\text{gal}$,并沿岷县—静宁形成重力变化高梯度带,2013 年 7 月 22 日 M6.6 地震就发生在重力变化高梯度带上、“0”等值线附近^[11];

(4) 201304—201404 期间[图 2(d)]:重力场变化与上期变化相反,表现为岷县—漳县 M6.6 地震后的恢复调整变化,岷县以西重力场由上期的

$30 \mu\text{gal}$ 转为 $-30 \mu\text{gal}$ 的变化,岷县以东重力场由上期的 $-70 \mu\text{gal}$ 转为 $20 \mu\text{gal}$ 的变化。

2.2 1990 年以来的 b 值变化

利用最大似然法对岷县—漳县 M6.6 地震前后的 b 值进行时间扫描,得到该地震前后的变化(图 3)。由图 3 可以看出:1990—2005 年 b 值在 $0.7 \sim 1.2$ 间波动,2006 年开始出现低 b 值异常,这种现象持续了近三年的时间,此后呈上升态势,出现高值异常,到 2012 年开始下降,震后 b 值再次恢复波动区间水平;岷县—漳县 M6.6 地震前 b 值曲线变化表现为:正常波动—低值—高值—回落—发震—正常的变化态势,这与刘艳辉等^[9]利用青藏高原南缘及邻区资料对汶川地震和芦山地震前后的 b 值统计结果基本一致。岩石试验研究结果也表明^[15-16]:当大理石板含有单个较大尺度的障碍体时,在受压破裂前 b 值会出现下降—回升—下降的变化,这也说明较低的 b 值与该区域相对较快的地壳应力积累和较强的地震活动相对应。

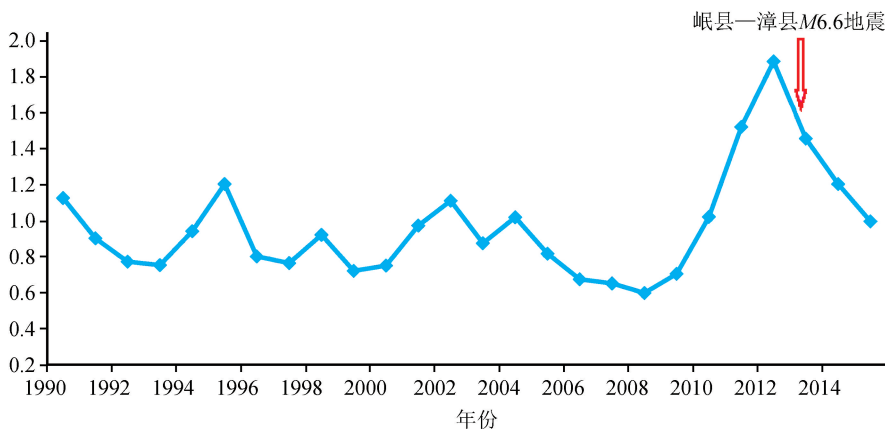


图 3 岷县—漳县地震前后的 b 值变化图

Fig.3 Variation of b -value with time before and after the Minxian—Zhangxian earthquake

1 a 尺度重力场图像较好地反映了岷县—漳县 M6.6 地震震中附近的重力变化,是一个由“区域重力负值变化→持续负值变化→转折上升正变化—发震→震后恢复变化”的时空演化过程;该地震前后 b 值曲线也出现了“低值—高值—回落发震”的变化特征。

3 重力变化分析

岷县—漳县 M6.6 地震发生在临潭—宕昌断裂带上,震中位于西秦岭北缘断裂和东昆仑断裂两条大型走滑断裂带之间,区域构造的主要动力来源于青藏高原向北东的扩展^[1,17],重力变化也表现为自 SW 向 NE 由负向正的重力变化[图 2(b)],即沿 GNSS 水平运动的方向重力增加,说明重力变化受

地下致密作用(密度增加)比地表隆升作用更占优势地位^[18]。

图 4(a)是根据 GPS 速度场计算得到的 2012—2013 面膨胀率分布。面膨胀率反映地壳膨胀或者压缩状态,正值表示拉伸,负值表示压缩。从甘东南测网重力变化与面膨胀率对照图上可以看出:重力变化高梯度带也是面膨胀率变化过渡带地区,2013 年岷县—漳县 M6.6 地震发生在武都及岷县北的两个面收缩率峰值之间的过渡地带附近。

图 4(b)给出了岷县—漳县 M6.6 地震前 b 值的空间扫描与重力变化对照结果(图中不同颜色代表 b 值的高低)。由图可以看出:该区域的地震 b 值介于 $0.40 \sim 1.80$ 之间,并存在两个明显的低 b 值区域,即临潭—宕昌断裂与西秦岭北缘断裂之间及白

龙江断裂带西段。岷县—漳县 M6.6 地震就发生在临潭—宕昌断裂与西秦岭北缘断裂之间的低 b 值区域。低 b 值区域反映该处的断裂已处于较高的应力积累状态,高应力应变和深部壳、幔物质运移作用会

引起地表重力变化效应,从而形成重力变化高梯度带,而重力变化高梯度带又是物质密度增加与减少的过渡地带,剧烈差异运动易产生剪切应力而首先破裂,从而发生了此次地震^[6,8]。

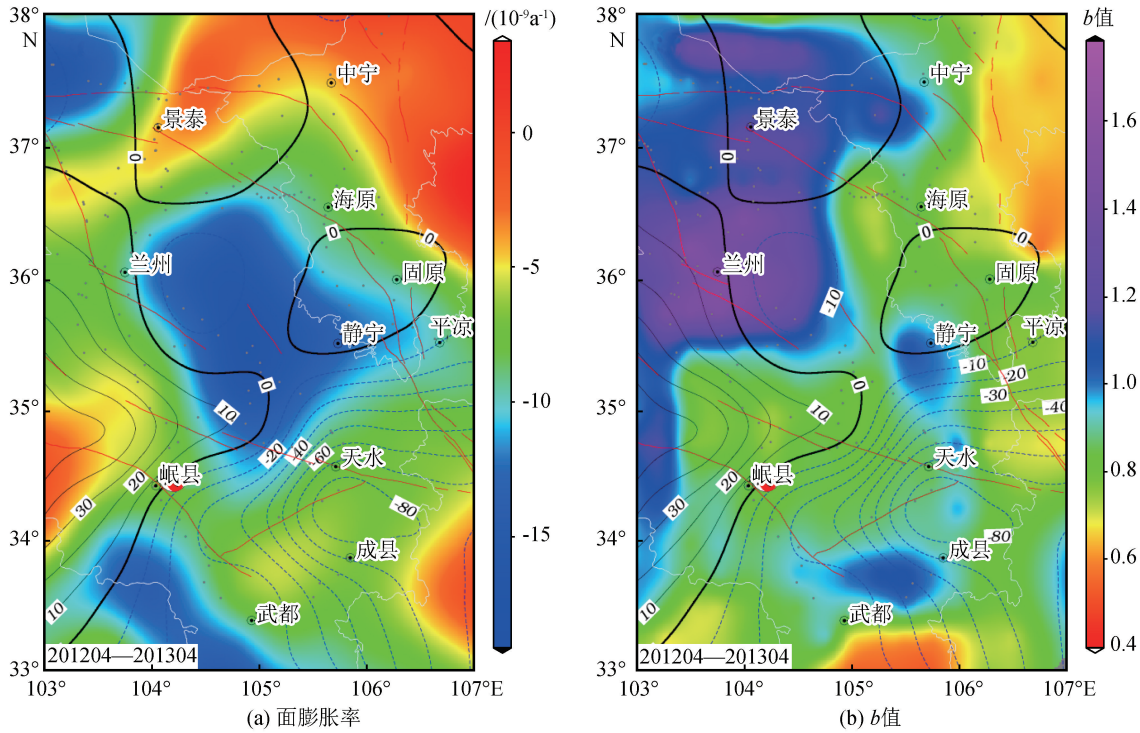


图 4 甘东南测网重力变化(等值线表示,单位:μgal)与面膨胀率和 b 值(色标表示)对照图
Fig.4 Comparison among gravity change, surface expansion rates, and b -value in southeastern Gansu

4 结语

本文主要分析了甘肃岷县—漳县 M6.6 地震前后重力与 b 值异常特征,获得如下认识:

(1) 1 a 尺度重力场图像较好地反映了此次地震震中附近的重力变化,是一个由“区域重力负值变化→持续负值变化→转折上升正变化—发震→震后恢复变化”的时空演化过程。

(2) 此次地震前后 b 值曲线出现“低值—高值—回落发震”的变化特征。

(3) 此次地震发生在重力变化高梯度带上、“0”等值线附近和低 b 值区域,类似的变化特征也出现在汶川地震和芦山地震前后^[5-9]。

参考文献(References)

[1] 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): 753-760.
HE Wengui,ZHENG Wenjun,WANG Aiguo,et al.New Activities of Lintan—Dangchagn Fault and Its Relations to Minx-

ian—Zhangxian M_s6.6 Earthquake[J].China Earthquake Engineering Journal,2013,35(4):753-760.
[2] 邓起东.关于四川汶川 8.0 级地震的思考[J].地震地质,2008, 30(4):811-823.
DENG Qidong.Some Thoughts on the M_s8.0 Wenchuan, Sichuan Earthquake[J].Seismology and Geology,2008,37(1): 319-328.
[3] 张培震,徐锡伟,闻学泽,等.2008 年汶川 8.0 级地震发震断裂的滑动速率、复发周期和构造成因[J].地球物理学报,2008,51 (4):1066-1073.
ZHANG Peizhen,XU Xiwei,WEN Xueze,et al.Slip Rates and Recurrence Intervals of the Longmenshan Active Fault Zone, and Tectonic Implications for the Mechanism of the May 12 Wenchuan Earthquake,2008,Sichuan,China[J].Chinese J Geophysics,2008,51(4):1066-1073.
[4] 陈运泰,杨智娴,张勇,等.从汶川地震到芦山地震[J].中国科学,2013,43(6):1064-1072.
CHEN Yuntai,YANG Zhixian,ZHANG Yong,et al.From 2008 Wenchuan Earthquake to 2013 Lushan Earthquake[J]. Chinese J Geophysics,2013,43(6):1064-1072.
[5] 祝意青,徐云马,吕弋培,等.龙门山断裂带重力变化与汶川 8.0 级地震关系研究[J].地球物理学报,2009,52(10):2538-2546.
ZHU Yiqing,XU Yunma,LÜ Yipei,et al.Relations Between Gravi-

- ty Variation of Longmenshan Fault Zone and Wenchuan $M_{8.0}$ Earthquakes[J]. Chinese J Geophysics, 2009, 52(10): 2538-2546.
- [6] 申重阳, 李辉, 孙少安, 等. 重力场动态变化与汶川 $M_{8.0}$ 地震孕育过程[J]. 地球物理学报, 2009, 52(10): 2547-2557.
- SHEN Chongyang, LI Hui, SUN Shaoan, et al. Dynamic Variations of Gravity and the Preparation Process of the Wenchuan $M_{8.0}$ Earthquake[J]. Chinese J Geophysics, 2009, 52(10): 2547-2557.
- [7] 梁伟锋, 刘芳, 徐去马, 等. 青藏高原东缘重力观测及对芦山 $M_{7.0}$ 地震的反映[J]. 地震工程学报, 2013, 35(2): 266-270.
- LIANG Weifeng, LIU Fang, XÜ Quma, et al. Gravity Observation in the Eastern Margin of Qinghai—Tibetan Plateau and Reflect to the Lunshan $M_{7.0}$ Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(2): 266-270.
- [8] 祝意青, 付广裕, 梁伟锋, 等. 鲁甸 $M_{6.5}$ 、芦山 $M_{7.0}$ 、汶川 $M_{8.0}$ 地震前区域重力场时变[J]. 地震地质, 2015, 37(1): 319-328.
- ZHU Yiqing, FU Gangyu, LIANG Weifeng, et al. Earthquake Predictions: Spatial-temporal Gravity Changes Before the Lushan $M_{6.5}$, Lushan $M_{7.0}$ and Wenchuan $M_{8.0}$ Earthquakes[J]. Seismology and Geology, 2015, 37(1): 319-328.
- [9] 刘艳辉, 赵根模, 吴中海, 等. 青藏高原东南缘及邻区近年来地震 b 值特征[J]. 地质通报, 2015, 34(1): 1756-1765.
- LIU Yanhui, ZHAO Genmo, WU Zhonghai, et al. An Analysis of b -value Characteristics of Earthquake on the Southeastern Margin of the Tibetan Plateau and Its Neighboring Areas[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(1): 1756-1765.
- [10] 祝意青, 刘芳, 郭树松. 2010年玉树 $M_{7.1}$ 地震前的重力变化[J]. 大地测量与地球动力学, 2011, 31(1): 1-4.
- ZHU Yiqing, LIU Fang, GUO Shusong. Gravity Changes Before Yushu $M_{7.0}$ Earthquake[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011, 31(1): 1-4.
- [11] 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): 667-674.
- ZHU Yiqing, ZHAO Yunfeng, LI Tieming, et al. Dynamic Variation of Gravity Field Before and after the Minxian—Zhangxian $M_{6.6}$ Earthquake[J]. Seismology and Geology, 2014, 36(3): 667-674.
- [12] 郝洪涛, 李辉, 张志坚. 岷县—漳县 6.6 级地震前后重力场变化[J]. 大地测量与地球动力学, 2014, 34(3): 43-47.
- HAO Hongtao, LI Hui, ZHANG Zhijian. Variation of Gravity-field Before and after Minxian—Zhangxian $M_{6.6}$ Earthquake[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2014, 34(3): 43-47.
- [13] 冯建刚, 张辉, 杨萍. 2013年甘肃岷县漳县 6.6 级地震前地震 b 值异常特征研究[J]. 中国地震, 2016, 36(1): 32-36.
- FENG Jiangang, ZHANG Hui, YANG Ping. Analysis on Earthquake b -value Abnormity of the Gansu Minxian—Zhangxian $M_{6.6}$ Earthquake in 2013[J]. Earthquake Research in China, 2016, 36(1): 32-36.
- [14] 梁伟锋, 刘芳, 祝意青, 等. 重力仪一次项系数对重力场动态变化的影响研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2015, 35(5): 882-886.
- LIANG Weifeng, LIU Fang, ZHU Yiqing, et al. Research on the Effect of One Degree Term of Chromatic Polynomial of Gravimeter on Gravity Dynamic Change[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2015, 35(5): 882-886.
- [15] SCHOLZ C H. The Frequency-magnitude Relation to Microfracturing in Rock and Its Relation to Earthquakes[J]. Bull Seism Soc Am, 1968, 58: 399-415.
- [16] 梅世蓉, 冯德益, 张国民, 等. 中国地震预报概论[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- MEI Shirong, FENG Deyi, ZHANG Guomin, et al. Introduction to Earthquake Prediction in China[M]. Beijing: Seismological Press, 1993.
- [17] 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 $M_{6.6}$ 级地震震前机制[J]. 地球物理学报, 2013, 56(12): 4058-4071.
- ZHENG Wenjun, YUAN Daoyang, HE Wengui, et al. Geometric Pattern and Active Tectonics in Southeastern Gansu Province: Discussion on Seismogenic Mechanism of the Minxian—Zhangxian $M_{6.6}$ Earthquake on July 22, 2013[J]. Chinese J Geophysics, 2013, 56(12): 4058-4071.
- [18] 祝意青, 李铁明, 郝明, 等. 2016年青海门源 $M_{6.4}$ 地震前重力变化[J]. 地球物理学报, 2016, 59(10): 3744-3752.
- ZHU Yiqing, LI Tieming, HAO Ming, et al. Gravity Changes Before the Menyuan, Qinghai $M_{6.4}$ Earthquake of 2016[J]. Chinese J Geophysics, 2016, 59(10): 3744-3752.