

# 汶川地震后陕甘川交界地区重力 应急监测及变化分析\*

祝意青<sup>1,2</sup>, 梁伟锋<sup>2</sup>, 徐云马<sup>2</sup>, 赵云峰<sup>2</sup>, 张四新<sup>2</sup>, 刘 练<sup>2</sup>

(1. 中国科学院大地测量与地球物理研究所大地测量与地球动力学国家重点实验室 湖北 武汉 430077;  
2. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

**摘 要:** 流动重力方便快捷, 能快速获取重力场变化信息。汶川 8.0 级大震后中国地震局立即开展震后重力应急监测, 陕甘川交界地区重力观测显示: ①汶川震后陕甘川交界的沙洲、碧口、青木川地区形成了重力变化大于  $60 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  的局部重力异常区及其伴生的重力变化高梯度带, 重力变化最大值达到  $70 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  多, 重力异常与强余震的空间分布存在密切的联系。②望褒线重力与垂直形变变化活跃, 靠近断裂重力与垂直形变变化剧烈。③利用重力资料对汶川震后地震趋势进行了正确的判定。

**关键词:** 陕甘川交界地区; 重力变化; 垂直形变; 汶川 8.0 级大震; 强余震

**中图分类号:** P315.72+6    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000-811X(2013)04-0001-04

## 0 引言

重力场变化对认识强烈地震“孕育”、发生和发展的深层过程具有独特的优势。流动重力测量反映的是区域重力场的非潮汐变化信息, 地壳内部的物质迁移、地壳构造和地震的形成过程等都可以在重力复测结果中反映出来<sup>[1-8]</sup>。重力场的时空动态变化, 能较好地反映深部物质运移与地壳密度变化等构造活动信息。研究重力场的时空动态演化特征可为进一步探讨现今的地壳构造与强震孕育、发生的相互联系提供一定的根据, 重力场随时间变化与地震的形成和发展有着内在联系。汶川地震前, “中国地壳运动观测网络”曾在南北地震带进行过多期流动重力测量, 观测到震中附近明显的重力异常变化(图1), 并提出了中期预测意见<sup>[9]</sup>, 尤其是地点进行了准确的预测(图2)。预测震中位于四川汶川映秀与北川之间, 是地震主破裂带的中心, 相距仪器测定的震中不到 75 km。张国民教授认为祝意青等对汶川地震发生地点的预测, 是目前国内外对 7 级以上大地震的潜在发生地点中期预测最准确的一次。这些表明, 依据区

域重力场时空变化的分析, 能为判断未来强震、大震的发生地点提供一定的依据。

2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级大震, 断层瞬间破裂长度逾 300 km, 给四川、甘肃、陕西等省市的人民群众生命、财产和重要生命线工程带来了巨大破坏。2008 年 5 月 25 日四川青川 6.4 级强余震发生之后, 汶川 8.0 级大震余震分布有向东北方向继续发展之势, 并于 2008 年 5 月 27 日及 7 月 24 日在陕西兰州境内发生 5.7 级、5.6 及 6.0 级强余震。汶川 8.0 级大震破裂会不会沿青川-勉县大型断裂带继续向北东方向的勉县、汉中一线发展, 或者触发北部文县、康县、略阳弧形活动断裂的地震活动, 是中国地震局、陕西省人民政府、甘肃省人民政府以及当地居民十分关注的问题。为了应对汶川 8.0 级地震破裂沿向北东方向的可能性扩展, 做好本余震活动期乃至今后数十年的地震危险性分析, 中国地震局提出进行汶川 8.0 级大震北部的陕甘川交界地区加密应急重力监测<sup>[10]</sup>。本文以此应急加密重力观测资料为基础, 分析了汶川震后陕甘川交界地区重力场变化及其与地壳构造活动和地震活动的关系, 并对震后地震趋势进行了判定。

\* 收稿日期: 2013-02-06    修回日期: 2013-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(41274083); 地震行业科研专项(201308004, 201208009); 国家重点实验室开放基金项目(SKLGED2013-3-1-E)

作者简介: 祝意青(1962-), 男, 湖北浠水人, 研究员, 主要从事重力学与地球动力学及地震预测研究。

E-mail: zhuyq201207@126.com

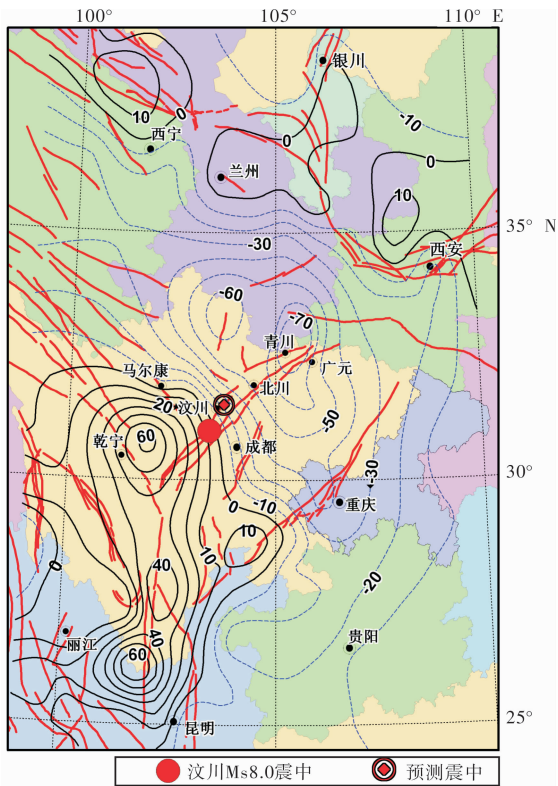


图1 1998 - 2005 年南北带重力变化图(单位:  $10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ )

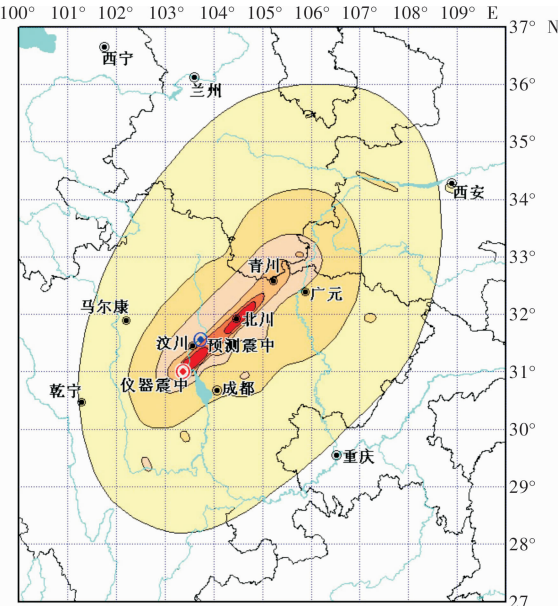


图2 预测震中、仪器震中与烈度分布图

# 1 重力测量及数据处理

此次地震应急监测利用中国地震重力基本网测点、陕甘宁青区域网重力测点、陕西关中地震重力点、中国地壳运动观测网络区域站等测点共计 59 个,新选建筑物点、新建重力点共计 24 个,

组成陕甘川地区重力加密观测网。构成 4 个闭合环,共 86 个测段,单程测线 2 650 km(具体的点位及路线见图 3)。对该重力加密观测网进行定期观测,监测震后该区域的重力变化,为汶川 8.0 级地震北端的地震活动性发展趋势预测提供依据。

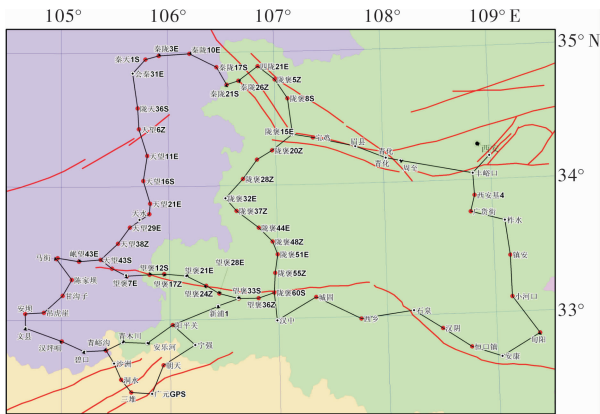


图3 陕甘川交界地区重力观测网及构造略图

观测资料的处理采用中国地震局实用化攻关推广的应用软件(LGADJ)进行,采用经典平差计算方法。数据处理的关键是将西安子午台的绝对重力观测资料与流动重力观测资料相结合,以绝对重力点作为统一起算基准,在此基础上严密、可靠地解算出各流动重力点的变化,从而获得成都地区重力场的动态变化。绝对重力资料处理中作了地球潮汐、光速、局部气压、极移、垂直梯度等改正,相对重力资料处理中作了固体潮、气压、一次项、仪器高等改正。

各期资料的平差精度较高。重力点值的平均精度均优于  $10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ ,观测资料可靠。

# 2 重力场变化分析

图 4 为陕甘川交界 2008 年 9 - 12 月的重力变化等值线图。可以看出,整个区域以正值重力变化为主,仅在柞水 - 安康一线附近为弱小的负值变化。重力变化自东向西逐渐增大,并在陕甘川交界的沙洲、碧口、青木川地区形成重力变化大于  $60 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  的局部重力异常区及其伴生的重力变化高梯度带,重力变化最大值达到  $70 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  多。沙洲、碧口、青木川局部重力异常区的长轴方向为北东东向与青川 ~ 勉县大型断裂带走向基本一致。四川省广元市青川县、陕西省汉中市宁强县交界自 2008 年 5 月 27 日以来连续发生 4 次 5 级以上,2 次 6 级以上地震,这 6 次地震均发生在震后重力变化显著的沙洲、碧口、青木川局部重力异常区内。观测区域内其他地区由于远离

汶川地震的龙门山断裂带, 受断裂活动影响较弱, 重力变化平缓, 重力变化范围在  $10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  以内, 属于正常变化范围。青木川 - 沙洲 - 碧口间重力变化明显, 可能是汶川地震后引起地下介质中应力重新排列, 区域应力场处于调整阶段, 并在青木川 - 沙洲 - 碧口间产生局部应力集中引起的重力异常变化。

进一步分析认为, 局部重力异常与余震的空间分布有较密切的关系, 6 次余震都发生局部异常区内。由于重力异常变化主要集中在陕甘川交界的沙洲、碧口、青木川地区, 并没有继续北东方向继续发展, 未来的强余震仍主要监视陕甘川交界的沙洲、碧口、青木川地区, 并加强该地区的流动重力监测。

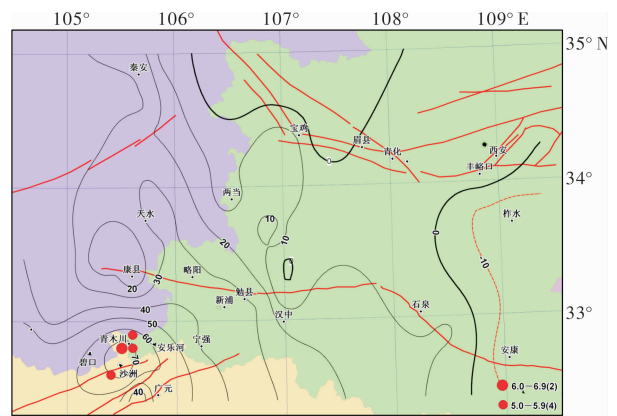


图4 川甘陕交界重力变化等值线图(2008 年9月-12月)  
(单位:  $10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ )

### 3 重力剖面变化分析

2008 年5月12日汶川大地震后, 中国地震局第二监测中心迅速组织力量对望子关 - 褒河进行了 230 km 的水准测量。该段水准测量由 2 个小组 (每个小组 8 个作业人员), 工作了近 50 d 完成 (由于震后余震不断, 水准测量不易闭合, 进行了大量的返工)。考虑到流动重力的方便快速, 2008 年6月26-28日又在此水准路线上由一个重力作业组 (4 个作业人员), 工作了 3 d 就完成了望子关 - 褒河的重力剖面测量 (图 5)。

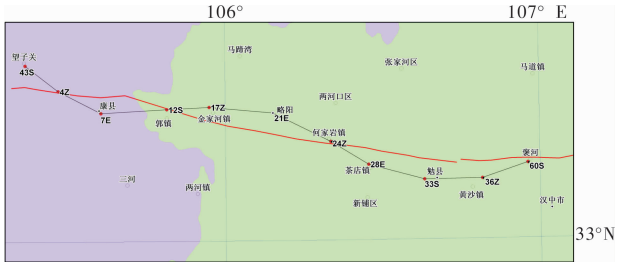


图5 望褒线重力监测路线图

为了较好地反映重力剖面的动态变化, 我们收集整理了 2007 年“十五”项目所获取的重力数据, 以及该次应急重力测量数据, 以望子关为起算基准点进行处理分析。结果如图 6 所示。

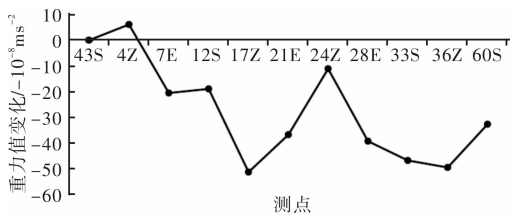


图6 2007 年3月-2008 年6月望褒线重力剖面变化图

望子关 - 略阳 - 褒河重力剖面变化较大。2008 年6月相对于2007 年3月, 甘肃望子关 (43S) - 康县 (7E) 缓慢下降, 陕西郭镇 (12S) - 金家河镇 (17E) 快速下降, 重力变化达  $-51 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ , 金家河镇 (17E) - 略阳 (21E) - 何家岩镇 (24Z) 快速上升, 何家岩镇 (24Z) - 茶店镇 (28E) 快速下降后, 茶店镇 (28E) - 褒河 (60S) 重力变化平缓。

值得提出的是, 陕西郭镇 - 略阳 - 茶店镇地段重力变化较为剧烈, 尤其是跨略阳 - 洋县断裂的郭镇 (12S) - 金家河镇 (17E) 及何家岩镇 (24Z) - 茶店镇 (28E) 重力快速下降分别为  $-32 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$  和  $-28 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ , 重力段差变化较大。这主要是汶川地震引起的同震重力变化。

我们也处理获得了望褒线水准剖面变化, 图 6 为相应的垂直形变速率及地形剖面图。可以看出, 2008 年6月相对于2006 年5-6月汶川震后期间, 甘肃望子关 - 康县缓慢下降, 康县 - 陕西金家河镇快速下降, 年速率达 12 mm/a 以上。金家河镇 - 略阳 - 何家岩镇快速上升, 何家岩镇 - 褒河水准变化平缓<sup>[11]</sup>。

对比图 6 与图 7, 汶川震后期间重力与水准变化具有较好的一致性。究竟这种重力变化与垂直

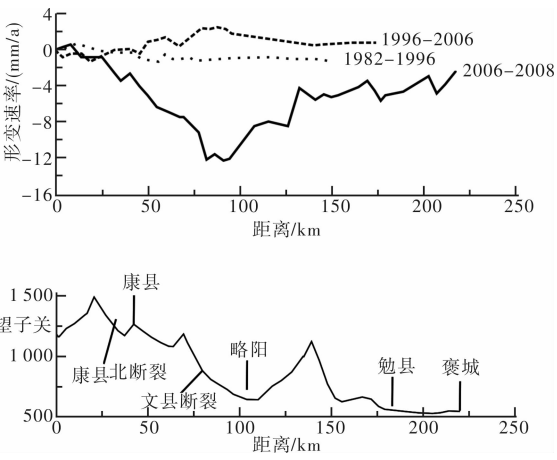


图7 2006 -2008 年望褒线水准变化速率图

差异运动特征有多少是由汶川地震引起的? 有多少是由正常构造运动引起的? 目前还不得而知, 不过汶川地震引起的同震重力与垂直运动变化所反映的断裂带的构造活动还是有重要的强震孕育背景指示意义。

## 4 结语

强烈地震常常以其猝不及防的突发性和巨大的破坏力给社会经济发展、人类生存安全和社会稳定以及社会功能带来严重的危害。这在当今人的生命第一、以人为本地建设更高水平的小康社会的形式下更突现了防震减灾的重要性、紧迫性和其特殊地位。地震预报是减轻地震灾害最有效最直接的方法之一, 因此分析总结强震前后的观测资料就显得特别重要。重力观测是主要观测地表或空间重力场的时间变化, 利用重力测量技术监测研究地壳运动及其与地震孕育发生过程的关系, 受到国内外地学界的重视。已有研究表明<sup>[7-9]</sup>, 根据重力变化异常区的范围和幅度、重力异常变化梯度的大小及其特征, 可以研究地震的趋向及其未来强震可能分布的地点和震级。而且流动重力方便快捷, 它能快速获取震后区域重力场的变化, 这对于震后形势快速判断及预测是非常重要的。

(1) 汶川震后陕甘川交界地区重力异常变化主要集中在陕甘川交界的沙洲、碧口、青木川地区, 并没有继续北东方向继续发展, 未来的强余震仍主要监视陕甘川交界的沙洲、碧口、青木川地区, 应加强该地区的流动重力监测。

(2) 重力异常与强余震的空间分布存在密切的联系, 汶川大震强余震均发生在震后重力变化显

著的沙洲、碧口、青木川局部重力异常区内。

(3) 重力与水准变化具有较好的一致性, 较好的反映了同震重力与垂直运动变化所引起断裂构造活动。

**致谢** 本文研究过程中与陕西省地震局邵辉成研究员进行了多次有益的讨论, 审稿专家为本文进一步完善提出了合理化建议, 在此一并表示感谢。

## 参考文献:

- [1] 陈运泰, 顾浩鼎, 卢造勋. 1975 年海城地震和 1976 年唐山地震前后的重力变化[J]. 地震学报, 1980, 2(1): 21-31.
- [2] 孙和平. 重力场的时间变化与地球动力学[J]. 中国科学院院刊, 2004, 19(3): 189-193.
- [3] 许厚泽. 重力观测在中国地壳运动观测网络中的作用[J]. 大地测量与地球动力学, 2003, 23(3): 1-3.
- [4] 王勇, 张为民, 詹金刚, 等. 重复绝对重力测量观测的滇西地区和拉萨点的重力变化及其意义[J]. 地球物理学报, 2004, 47(1): 95-100.
- [5] 徐建桥, 周江存, 罗少聪, 等. 武汉台重力长期变化特征研究[J]. 科学通报, 2008, 53(5): 583-588.
- [6] 申文斌, 刘任莉. 利用超导重力数据探测内核超速旋转的研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(1): 72-76.
- [7] Kuo J T, Zheng J H, Song S H. Determination of earthquake epicentroids by inversion of gravity variation data in the BTITZ region, China[J]. Tectonophysics, 1999, 312(2): 267-281.
- [8] 祝意青, 梁伟锋, 湛飞并, 等. 中国大陆重力场动态变化研究[J]. 地球物理学报, 2012, 55(3): 804-813.
- [9] 祝意青, 梁伟锋, 徐云马. 重力资料对 2008 年汶川 Ms8.0 地震的中期预测[J]. 国际地震动态, 2008(7): 36-39.
- [10] 梁伟锋, 祝意青, 刘练, 等. 汶川 8.0 级地震后川甘陕交界地区的重力变化[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(5): 18-21.
- [11] 张四新, 张希, 王双绪, 等. 汶川 8.0 级地震前后地壳垂直形变分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2008, 28(6): 43-46.

# Gravity Emergency Monitor and Variation Analysis in the Boundary of Shaan-Gan-Chuan after Wenchuan Earthquake

Zhu Yiqing<sup>1, 2</sup>, Liang Weifeng<sup>2</sup>, Xu Yunma<sup>2</sup>, Zhao Yunfeng<sup>2</sup>, Zhang Sixin<sup>2</sup> and Liu Lian<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geodesy and Earth's Dynamics, Institute of Geodesy and Geophysics, CAS, Wuhan 430077, China; 2. Second Monitoring Center, China Earthquake Administration, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Gravity field change can be quickly obtained by convenient and efficient mobile gravity observation. CEA launched emergency monitor of post-seismic gravity after Wenchuan Ms8.0 earthquake, and the gravity observation in the boundary of Shaan-Gan-Chuan indicates: ① there are regional gravity abnormal area and accompanied high gradient zone of gravity change in the area of Shazhou, Bikou and Qingmuchuan in the boundary. Gravity change is larger than 60 gal and the maximum larger than  $70 \times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$ . These show that there is a close association between gravity anomaly and the space distribution of strong aftershock. ② there exists obvious change in gravity and vertical deformation in the line of Wang-Bao, and the change in the area near faults is acute. ③ a correct judgment had been made based on the gravity data for the earthquake trend after Wenchuan earthquake.

**Key words:** boundary of Shaan-Gan-Chuan; gravity change; vertical deformation; Wenchuan Ms8.0 earthquake; strong aftershock