

青藏高原东缘重力观测及对芦山 $M7.0$ 地震的反映^①

梁伟锋, 刘 芳, 徐云马, 祝意青, 郭树松, 赵云峰, 刘 练

(中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

摘 要:介绍了青藏高原东缘地区相对重力与绝对重力的观测情况,系统分析了该区域 2010 以来的区域重力场变化及其与 2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震发生的关系。结果表明:(1)芦山 7.0 级地震前青藏高原东缘重力变化剧烈,芦山地震发生在沿龙门山断裂带南段的重力变化高梯度带的转弯部位;(2)芦山地震距 2008 年汶川地震不到 100 km,芦山震中及汶川地震震中均处于重力变化四象限中心,表明汶川地震震后恢复调整变化对芦山地震具有促进作用;(3)基于流动重力异常变化在芦山 7.0 级地震前做过一定程度的中期预测,尤其是地点预测。

关键词:青藏高原东缘;重力测量;重力变化;芦山地震;中期预测

中图分类号: P315.726 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0844(2013)02-0266-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.02.0266

Gravity Observation in the Eastern Margin of Qinghai—Tibetan Plateau and Reflect to the Lushan $M7.0$ Earthquake

LIANG Wei-feng, LIU Fang, XU Yun-ma, ZHU Yi-qing,

GUO Shu-song, ZHAO Yun-feng, LIU Lian

(Second Monitoring Center, China Earthquake Administration, Xi'an Shanxi 710054, China)

Abstract: With the introduction of observation on relative gravity and absolute gravity in the eastern Qinghai—Tibet Plateau, gravity field change of the eastern margin of Tibetan Plateau since 2010 and the reflection on the $M7.0$ earthquake which occurred on April 20, 2013 in Lushan, Sichuan were systematically analyzed. The results showed that: (1) Before the Lushan 7.0 earthquake, the gravity of the eastern margin of Tibetan Plateau changed drastically, and the Lushan earthquake occurred in the turning site of the high gradient zone of gravity variation which was along the southern section of Longmenshan fault zone. (2) The Lushan earthquake in 2013 was less than 100 km from the 2008 Wenchuan earthquake in terms of location, moreover, Lushan and Wenchuan were at the four-quadrant center of gravity change, which indicated that the restoration and change after Wenchuan earthquake had a promoting effect on the Lushan earthquake. (3) A certain medium-term prediction based on the anomaly change of mobile gravity was made before the Lushan $M7.0$ earthquake, especially the location prediction.

Key words: The eastern margin of Qinghai—Tibetan plateau; Gravity observation; Gravity change; Lushan earthquake; Medium-term prediction

0 引言

青藏高原东缘是青藏块体与华北块体、华南块

体相互作用的交汇地区,在青藏块体持续隆升并向 N、E 向扩展的过程中,与刚性的华北块体和华南块

^① 收稿日期:2013-06-07

基金项目:国家自然科学基金(41274083);地震行业专项(201208009)

作者简介:梁伟锋(1968—),男(汉族),高级工程师,主要从事重力监测及数据分析处理研究。E-mail: lwfbx@163.com

体相互碰撞挤压,在这里形成了强烈的构造变形和一系列活动断裂,是我国地壳差异运动最显著、强震最为活跃的地区之一。近年来青藏高原东缘地震频繁,国内外众多学者已从活动断层与新构造运动、区域重力场时空变化特征、区域壳—幔结构、综合地球物理探测及强震孕育的动力学背景等方面做了大量研究,特别是对 2008 年发生在龙门山地震带中段的汶川 8.0 级大震进行了一系列认真的科学总结和反思工作^[1-8]。

重力场变化对认识强地震孕育、发生和发展的深层过程具有独特的优势。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。重力场随时间变化与地震的形成和发展有着内在联系^[9]。近年来,通过定点重力连续观测或定期流动重力重复观测,捕捉到与震源变化有关的重力前兆信息的研究不断得到证实^[10-14]。中国地震局从 1983 年引进拉科斯特—隆贝格(Lacoste—Remberg)大地型(LCR—G)高精度重力仪用于地震监测以来,已为地震预报提供了许多宝贵的观测资料,如 1996 丽江 7.0 级地震、2001 年昆仑山口西 8.1 级地震、2003 年新疆伽师 6.8 级地震、2008 年新疆于田 7.3 级地震和 2010 年青海玉树 7.1 级等多次地震前后的重力场变化都有一定反映,重力变化的幅度和范围也与地震的等级和震源的深浅有较好的对应关系。在汶川地震前,通过地表流动重力测量发现龙门山 1998—2008 年累积重力变化幅差最大约 $100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$,大震前存在明显的区域性重力场变化^[5-6]。本文对 2010 年以来青藏高原东缘地区的重力观测资料进行分析,并讨论重力场变化与 2013 年四川芦山 7.0 级地震的关系。

1 青藏高原东缘的重力观测与数据处理

青藏高原东缘的重力观测始于上世纪 80 年代后期。甘肃、陕西、宁夏、四川和云南等省地震局分别在本省内建立了地震监测网,中国地震局第二监测中心在河西走廊和祁连山地区建立了河西流动重力观测网,利用 LCR—G 型重力仪器进行相对重力观测。但各区域重力网监测区域有限,主要是围绕我国主要地震构造带建立的,单个区域网的覆盖面积一般小于十万平方公里($3^\circ \times 3^\circ$),反映重力变化全貌的能力不足,难以追踪大范围的重力变化及空间迁移过程,给地震危险区和震级的判定带来困难。

1998 年由 中国地震局 牵头,国家测绘局、总参测绘局和教育部参加的“中国地壳运动观测网络”进

行首期重力基本网联测,其范围覆盖全国,联测了中国大陆地区的 23 个基准站(绝对重力测量点)、56 个基本站和 300 多个过渡点,共完成近 400 个测点。其后又分别于 2000 年、2002 年、2005 年、2008 年进行了 4 次重力测量。2012 年“中国地壳运动观测网络”在青藏高原东缘进行了第 6 次重力测量。该网虽然覆盖范围广,但点距大(100~200 km),复测周期长(2~3 年),在一定程度上能反映全国的重力场变化趋势,但由于时空分辨能力不足,不能完整地给出强震活动引起的重力场变化图像。

2010 年中国地震局启动了地震行业科研重点专项“中国综合地球物理场观测——青藏高原东缘地区”重力场变化加密监测网,对已有的地震流动重力监测网进行成场成网优化改造,把云南、四川、甘肃、宁夏、河西和陕西等 6 个区域重力网连接在一起,形成点距为 60~80 km 的高分辨率监测网(图 1),共有绝对重力点 10 个,相对重力测点 400 个,并分别于 2010、2011、2012 年对该重力优化监测网进行了三期相对和绝对重力观测。利用 FG5 进行绝对重力测量,精度优于 $5 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$;利用 2~3 台 LCR—G、Burriss 和 CG—5 等高精度相对重力仪器

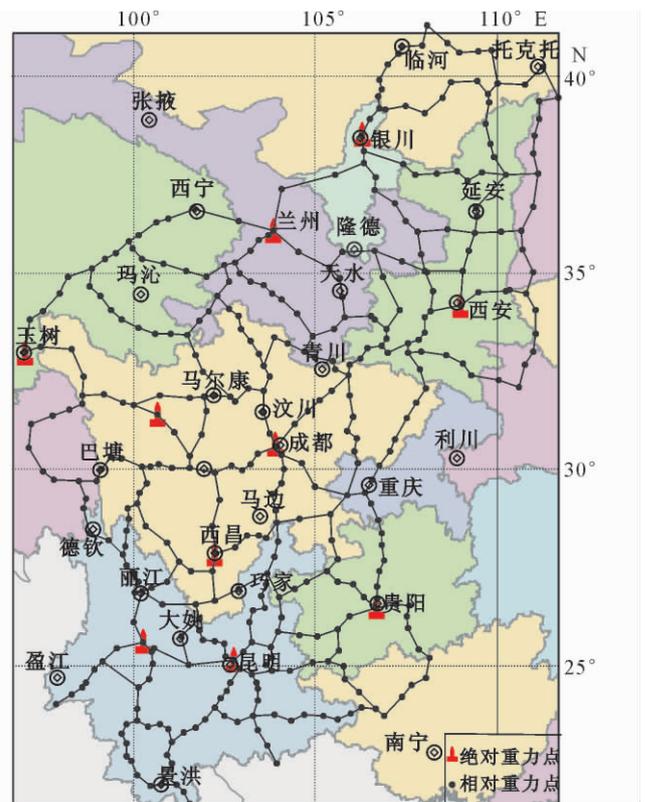


图 1 青藏高原东缘重力场变化加密监测网测点测线图

Fig. 1 The gravity monitoring network covering the eastern margin of the Qinghai—Tibet Plateau.

一线和马边附近形成重力正负变化高梯度带,2012 年 6 月盐源 5.7 级地震发生在变化异常区伴生的重力变化高梯度带上,2012 年 9 月彝良 5.7 级地震发生在重力变化异常区汇集区附近;其四,滇西南地区重力变化梯级带明显,玉树南—巴塘—西昌—线西南重力正值变化,在西南部盈江附近形成一重力变化梯级带,2011 年 3 月 10 日的盈江 5.8 级地震就发生在该重力变化梯级带上。

(2) 2011—2012 年(图 2(b)),该时段内青藏高原东缘重力场总体呈自西向东由负向正的趋势性变化,表现为区域应力场的增强。仔细分析重力变化具有以下认识:①与 2010—2011 年(图 2(a))的重力变化相比较,川西地区重力变化剧烈,青藏块体向东南方向的持续运动受到华南块体的阻挡,致使地壳内部物质重新分布,重力场由上期西宁、兰州—青川、汶川—成都、眉山自北向南的正值变化条带转为负值变化,并沿龙门山断裂带方向在青川—芦山—线形成了重力变化高梯度带,芦山地震就发生在沿龙门山断裂带南段的重力变化高梯度带的转弯部位;②川滇交界东部重力场变化也较剧烈,并在康定、西昌、巧家一带沿断裂构造出现重力变化梯度带,在梯度带的两侧分别发生 2012 年盐源 5.7 和彝良 5.7 级地震;③滇西南地区梯级带明显,但重力变化与上期反向,这是 2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震的震后调整的反映。

2.2 2 年尺度的重力变化

2010—2012 年期间(图 3),重力变化具有以下特征:①重力变化总体态势为自西向东由负向正的趋势性变化,川西出现大范围的重力负异常区,四川盆地出现范围较小的局部重力变化正异常区,并沿龙门山断裂在青川—芦山—线出现重力正负变化高梯度带,芦山 7.0 级地震发生在重力变化高梯度带的龙门山断裂南段;②在川滇交界东部的西昌、巧家附近重力变化也较剧烈,并形成四象限变化特征,该地区连续发生了 2012 年盐源 5.7 级和彝良 5.7 级地震;③滇西地区重力变化不明显,这是 2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震前后重力正负反向变化的相互抵消结果,反映了盈江 5.8 级地震之后该区域的重力变化已经逐渐恢复。

3 重力变化对于芦山 7.0 地震的预测

2012 年 11 月,中国地震局第二监测中心根据四川省地震监测网数据和 2010—2012 年的综合地球物理场观测项目——青藏东缘重力场的多期流动

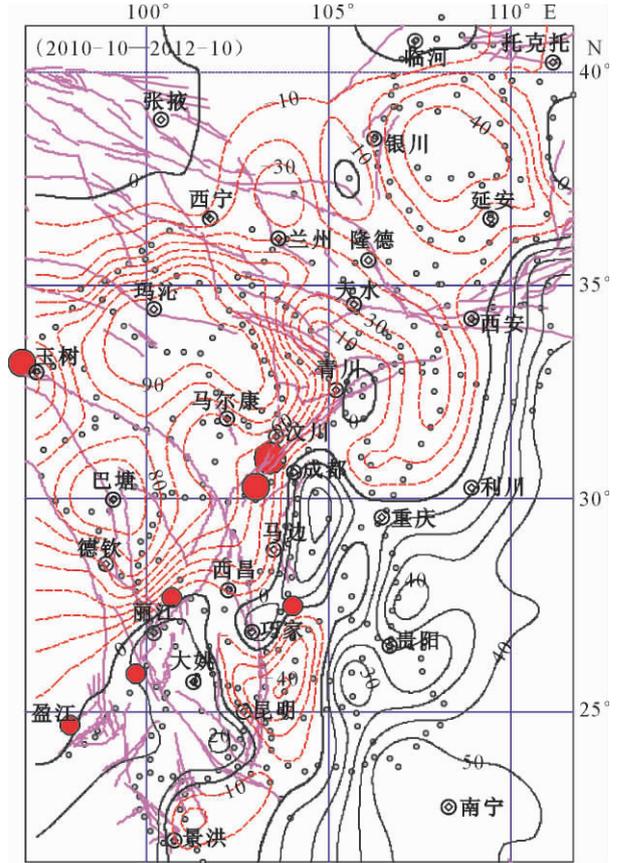


图 3 青藏高原东缘地区二年尺度重力场变化图 (单位: 10^{-8} ms^{-2})

Fig. 3 Contours of the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau (Unit: 10^{-8} ms^{-2}).

重力观测资料,曾向有关部门提出了 2013 年度的地震预测意见:宝兴、天全、康定、泸定、石棉一带重力差异运动较大,达 $100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 以上,并沿龙门山断裂带南段和马尔康断裂带形成重力变化高梯度带,认为该地区具有发生 6 级以上强震的危险性。

芦山地震前,中国地震局第二监测中心重力研究室根据在四川开展过的多期流动重力观测,根据不同时空尺度区域重力场动态变化特征的研究分析认为,龙门山断裂南段及其附近存在明显的重力异常变化,并对本次芦山 7.0 级地震作了一定程度的中期预测,在中国地震局第二监测中心 2013 年度地震趋势会商重力专题中具体提出如下预测意见:

发震时间:2013 年;

发震地点:川西宝兴、天全、康定、泸定、石棉一带(以 30.2°N , 102.2°E 为中心,半径 100 km 范围内);

震级:6 级左右。

可以看出,重力资料对 2013 年 4 月 20 日四川

芦山县发生的 $M_s 7.0$ 地震(30.3°N , 103.0°E)的中期预测是比较准确的,尤其是地点的预测,预测震中离中国地震台网测定的芦山 7.0 级地震震中相距不到 80 km 。

4 讨论

地震大都发生在活动板块的边界或活动断裂带上,2013年4月20日四川芦山 $M_s 7.0$ 地震发生在NE向龙门山断裂带南段。沿活动断裂带由于其差异运动强烈而构造变形非连续性最强,最有利于应力的高度积累而孕育强震。本文主要从重力场动态变化的角度分析研究芦山 $M_s 7.0$ 地震前的重力场动态变化图像,获得的主要认识有:

(1) 2013年芦山地震前,2008年汶川 8.0 级震中附近出现了新的地震孕育发生的四象限重力变化特征,这可能既是汶川震后恢复调整的反映,又是芦山地震前的前兆表现,汶川 8.0 级地震的恢复调整对芦山 7.0 级地震孕育发生具有一定的促进作用。

(2) 青藏高原东缘重力资料对芦山 7.0 级地震有较好的重力前兆反映。2013年芦山地震前震中区及其附近出现明显的大范围区域性重力异常变化及其伴生的重力变化高梯度带,芦山地震发生重力变化梯度带的转弯部位。

(3) 重力资料对汶川 8.0 级地震和芦山 7.0 级地震较为准确的中期预测再次证实流动重力能较好地捕捉到强震孕育发生过程中的重力前兆信息,区域重力场观测对未来强震震中位置的判定具有独到的优势。当然,如何实现由中期地震预测到短临甚至临震预测尚有许多工作值得我们去认真总结和深入研究。

致谢:向参加每次青藏高原东缘重力观测的同志们致以崇高的敬意,正是他们艰苦的工作才获得了重力场变化数据并保证了后期数据分析的可靠性,也才使得应用重力数据进行地震预测有现在的成果。

[参考文献]

[1] 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 Y Q, Xu Y M, Lv G P, et al. Relations between Gravity Variation of Longmenshan Fault Zone and Wenchuan $M_s 8.0$ Earthquake[J]. Chinese J. Geophys., 2009, 52(10): 2538-2546.

[2] 楼海,王椿镛,吕智勇,等. 2008年汶川 $M_s 8.0$ 级地震的深部

构造环境——远震P波接收函数和布格重力异常的联合解释[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2008, 38(10): 1207-1220.
Lou H, Wang C Y, Lv Z Y, et al. Deep Tectonic Condition of the $M_s 8.0$ Wenchuan Earthquake of Sichuan, China[J]. Science in China (Series D), 2008, 38(10): 1207-1220.

[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 P Z, Xu X W, Wen X Z, et al. Slip Rate 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. Geophys., 2008, 51(4): 1066-1073.

[4] 江在森,方颖,武艳强,等. 汶川 8.0 级地震前区域地壳活动与变形动态过程. [J]地球物理学报, 2009, 52(2): 505-518.
Jiang Z S, Fang Y, Wu Y Q, et al. The Dynamic Process of Regional Crustal Movement and Deformation before Wenchuan $M_s 8.0$ Earthquake[J]. Chinese J. Geophys., 2009, 52(2): 505-518.

[5] 祝意青,梁伟锋,徐云马. 汶川 $M_s 8.0$ 地震前后的重力场动态变化[J]. 地震学报, 2010, 32(6): 633-640.
Zhu Y Q, Liang W F, Xu Y M, et al. Dynamic Variation of Gravity Field Before and After Wenchuan $M_s 8.0$ Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica., 2010, 32(6): 633-640.

[6] Zhu Y Q, Zhan F B, Zhou J C, et al. Gravity Measurements and Their Variations before the 2008 Wenchuan Earthquake[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2010, 100(5B): 2815-2824.

[7] 滕吉文,白登海,杨辉,等. 2008汶川 $M_s 8.0$ 地震发生的深层过程和动力学响应[J]. 地球物理学报, 2008, 51(5): 1385-1402.
Teng J W, Bai D H, Yang H, et al. Deep Processes and Dynamic Responses Associated with the Wenchuan $M_s 8.0$ Earthquake of 2008[J]. Chinese J. Geophys., 2008, 51(5): 1385-1402.

[8] Hubbard J, Shaw J H. Uplift of the Longmen Shan and Tibetan Plateau, and the 2008 Wenchuan ($M_s = 7.9$) Earthquake[J]. Nature, 2009, 458: 194-197.

[9] 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.
Chen Y T, Gu H D, Lu Z X. Variations of Gravity Before and After Haicheng Earthquake, 1975 and Tangshan Earthquake, 1976[J]. Acta Seismologica Sinica, 1980, 2(1): 21-31.

[10] 张永志,梁伟锋,祝意青. 丽江 7.0 级地震过程的重力变化与小波分析[J]. 西北地震学报, 1999, 21(2): 149-155.
Zhang Y Z, Liang W F, Zhu Y Q. The Relationship between Wavelet Transformation Results of Gravity Variation and the Lijiang $M_s 7.0$ earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 1999, 21(2): 149-155.

[11] 孟夏,孟万辉,徐敬文,等. 流动重力测量结果及其与地震的关系[J]. 西北地震学报, 2001, 23(1): 74-77.
Meng X, Meng W H, Xu J W, et al. Mobile Gravity Meas-

- urement Results and Their Relation to Earthquakes [J]. Northwestern Seismological Journal, 2001, 23(1):74-77.
- [12] 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.
Xu H Z. Function of Gravimetry in CMONOC[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2003, 23(3):1-3.
- [13] 李辉, 申重阳, 孙少安, 等. 中国大陆近期重力场动态变化图像[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(3):1-10.
Li H, Shen C Y, Sun S A, et al. Dynamic Gravity Change in Recent Years in China Continent[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2009, 29(3):1-10.
- [14] 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.
Zhu Y Q, Liang W F, Zhan F B, et al. Study on Dynamic Change of Gravity Field in China Continent[J]. Chinese J. Geophys., 2012, 55(3):804-813.

更名启示

经中华人民共和国新闻出版总署 2012 年 6 月批准,《西北地震学报》从 2013 年起更名为《地震工程学报》,更名后的《地震工程学报》主管部门是中国地震局,新闻出版行业属地管辖为甘肃省新闻出版局,主办单位是中国地震局兰州地震研究所、清华大学、中国地震学会、中国土木工程学会,中国地震局兰州地震研究所为主要主办单位。

《地震工程学报》刊物启用 CN62-1208/P 国内连续出版物号,国际刊号:ISSN 1000-0844,国内邮发:54-28,国外发行:Q674,定价:30 元(季刊,全年 120 元)。英文刊名为 China Earthquake Engineering Journal,简称 CEEJ。