

文安 5.1 级地震前后不同时间尺度的重力变化分析*

梁伟锋, 祝意青, 徐云马, 刘 练, 郭树松, 刘 芳

(中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 系统深入地分析了 2005~2009 年华北地区流动重力观测资料, 提取 2006 年河北省文安县 $M_s 5.1$ 地震前后 0.5 a、1 a 等不同时间尺度可靠的重力场动态变化信息, 研究其与地震活动的关系。结果显示: 文安地震孕育阶段, 测区出现较大范围的区域性重力异常, 并产生与地震孕育有关的局部重力异常区及重力变化高梯度带。重力场动态图像较清晰地反映了区域重力场的有序性演化与地震活动。

关键词: 文安 5.1 级地震; 流动重力观测; 重力变化; 重力场

中图分类号: P315.726 文献标识码: A 文章编号: 1000-0666(2012)03-0318-05

0 引言

2006年7月4日11时56分,河北省文安县发生 $M_55.1$ 地震,震中位置(38.9°N , 116.3°E),震源深度19.3 km。地震发生后,震中区周边的北京、天津、山西以及山东济南、淄博、滨州、河北石家庄、保定等大部分地区有明显震感。河北文安县位于北京正南方向,因此北京南部地区的震感比较强烈,但对北京没有造成破坏。

文安地震发生在河北平原强震构造带上。该构造带北起卢龙、滦县,向西南经唐山、宁河、武清、河间、深县、辛集、宁晋、任县、邯郸至磁县,全长 540 km。历史上该构造带记录到 $M_s 6.0$ 以上强震 19 次。在强震构造带的河间至宁河之间,是缺失 6 级以上地震最长的一段,地震能量释放最不充分,文安位于缺震段的中南部。文安 $M_s 5.1$ 地震发生在首都圈南部的文霸流动重力测网区域内(图 1),震中处于测网的中部,河北省地震局保定测量队使用 LCR-G 型重力仪测量,地震前后均积累多期流动重力复测资料。王武星等(2009)分析了 2006 年 7 月 4 日文安 5.1 级地震前后文霸流动重力测网的观测结果,讨论了垂直形变和浅层地下水位变化引起的重力改变,并对重力资料进行了高程校正。苏树朋等(2009,

2010) 和张素灵等 (2009) 对 1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级、2002 年 4 月 22 日邢台 5.4 级、2006 年 7 月 4 日文安 5.1 级 3 次地震震前的部分重力点值和震前 0.5 a 尺度的重力场空间变化进行了分析, 但所用资料截止于 2007 年 9 月 (国家地震局科技监测司, 1986)。本文使用《LGADJ》数据处理系统针对文霸流动重力测网在地震前后的多期流动重力观测资料 (2005.03 ~ 2009.03) 进行了统一标准的处理, 并分析了不同的时间尺度的重力变化, 研究文安地震孕育发生过程中重力场的有序性演化与地震活动。

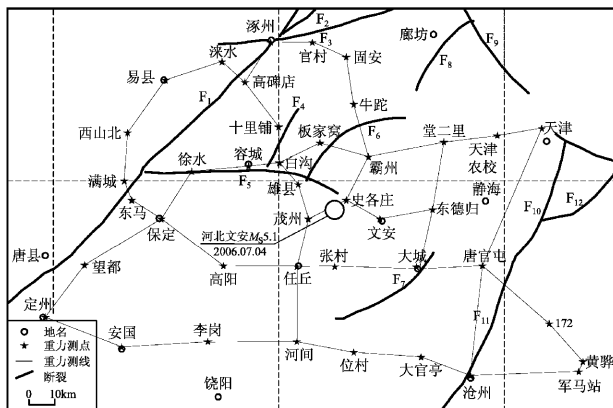


图 1 文霸流动重力测网图

Fig. 1 Flow gravity network in Wenba

* 收稿日期: 2011-10-24.

基金项目：地震行业科研重点专项“多种地球物理场动态图像与强震预测试验”（201008007）资助。

1 不同时间尺度的重力变化

1.1 0.5 a 尺度的重力变化

参考已有的研究成果，季节变化、地下水位变化等因素对重力变化的影响为：地下水位每变化（上升或下降）1 m，重力变化在 $(1.4 \sim 1.5) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 之间，且基本呈线性函数关系（何志堂等，2009）。根据国土资源部2010年5月发布的《我国主要城市和地区地下水水情通报》^①，2008~2009年度华北地区的地下水位基本保持稳定，升降幅度在0.5 m以内，对重力变化的影响小于 $1 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，所以地下水位变化对重力变化的影响可以忽略。

(1) 震前相邻两期的的重力变化

震前以0.5 a尺度相邻两期的的重力变化表明，在2005.03~2005.09期间（图2a，图中带数字的线条为重力变化等值线，数值表示重力变化数值，单位为 $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，实线为重力正值变化，虚线为重力负值变化，以下所有图相同），震中附近重力变化平缓，在震中西部有 $-10 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的重力负值区；但在2005.09~2006.05期间（图2b），在震中附近的易县到文安县之间形成1个北东向的重力变化高梯度带，最小重力差值高达 $90 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，靠近震中附近重力急剧增加，在文安和任丘之间形成1个重力变化正值高值区，最大重力变化值高达 $70 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。此为地震孕育期，是地震前断层处于闭锁状态，能量积累阶段，地下物质变化剧烈，重力变化相应强烈。

(2) 地震期间相邻两期的重力变化

在地震发生的2006.05~2006.12期间（图2c），重力场的变化格局发生了改变，2005.09~2006.05期间北负南正的重力变化格局变为了东负西正，图2b所示文安和任丘之间重力正值变化高值区变为负值，地震发生在重力变化零值线附近。地震发生的过程中释放能量，重力变化变小。

(3) 震后相邻两期的重力变化

地震发生后的2006.12~2007.03期间（图2d），文安地震震中东西两侧重力变化反向，以震中为界，2006.05~2006.12期间“东负西正”的格局变为了“东正西负”，震中处的重力变化仍在零值线附近，此属于震后调整阶段。

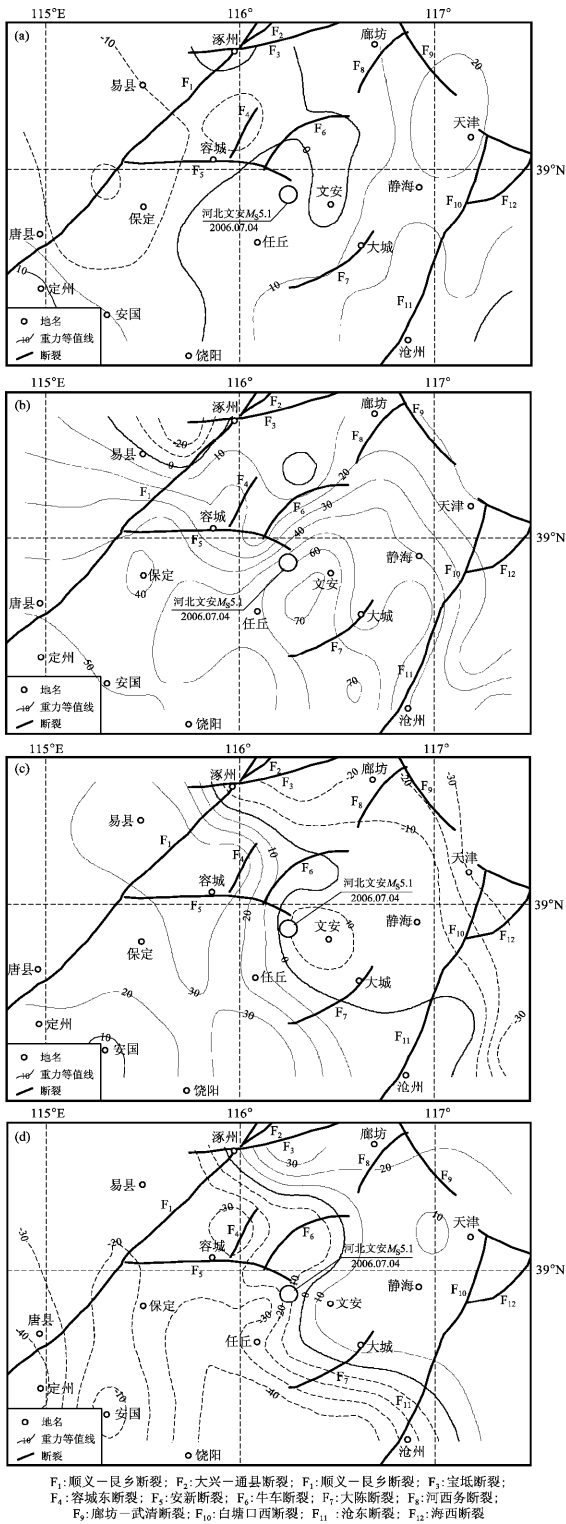


图2 文安 $M_{5.1}$ 地震前后0.5 a尺度的重力变化
(a) 2005.03~2005.09; (b) 2005.09~2006.05;
(c) 2006.05~2006.12; (d) 2006.12~2007.03
Fig. 2 Gravity variation in half a year scale before and after Wen'an $M_{5.1}$ earthquake

① 国土资源部:2010. 我国主要城市和地区地下水水情通报.

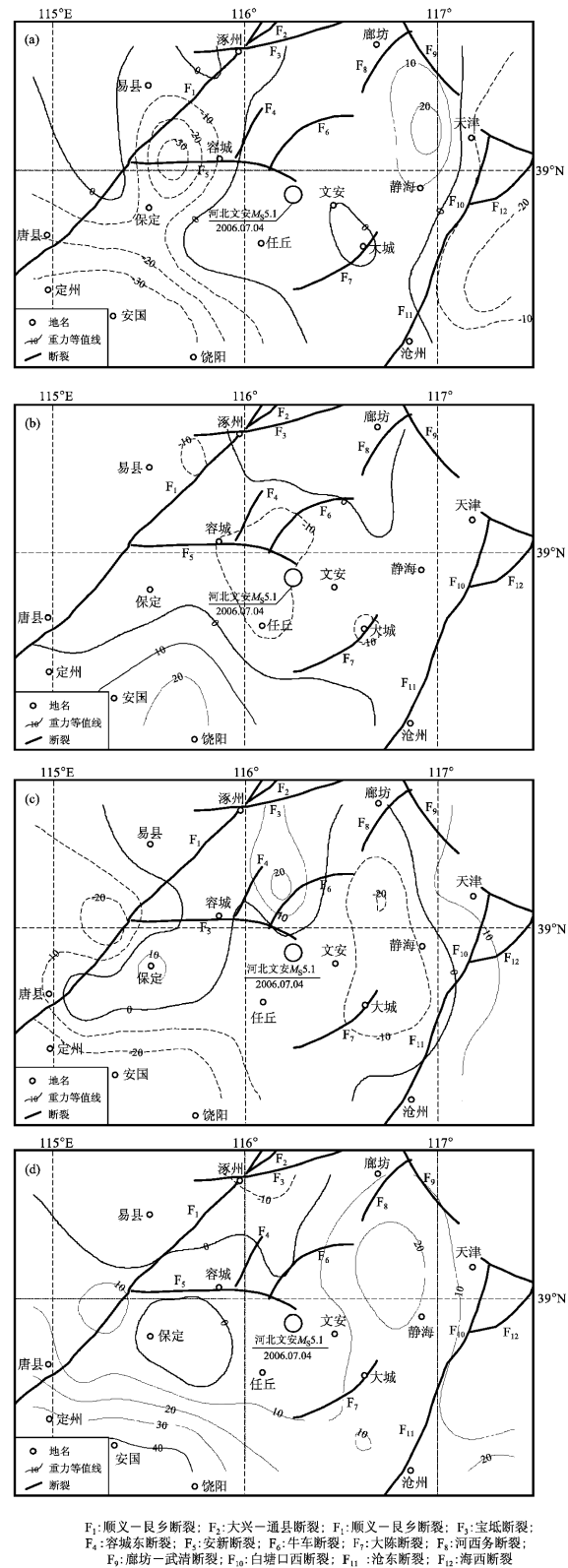


图3 文安 $M_{5.1}$ 地震后 0.5 a 尺度的重力变化
(a) 2007.03 ~ 2007.09; (b) 2007.09 ~ 2008.03;
(c) 2008.03 ~ 2008.11; (d) 2008.11 ~ 2009.03
Fig. 3 Gravity variation in half a year scale
after Wen'an $M_{5.1}$ earthquake

华北地区的地壳介质处于一致性较好的统一的应力场中：最大压应力主轴方位为北东东—南西西向，最小压应力主轴方位为北北西—南南东向，而且都接近于水平向；两个最大剪切应力方向分别为北北东—南南西和北西西—南东东向。受近东西向水平挤压力为主的作用，震后相邻两期（2007.03 ~ 2007.09、2007.09 ~ 2008.03、2008.03 ~ 2008.11、2008.11 ~ 2009.03）（图2）的重力变化表现为持续调整阶段，随着能量的释放结束，地下物质的运动趋于平静，重力变化由缓慢的调整也逐渐变为平静，慢慢恢复到地震前的状态：2007.03 ~ 2007.09 期间（图3a），重力变化负值区西移，在易县—保定—饶阳一线形成一南北条带状的重力变化负值区，重力负值变化最大 $-30 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，震中附近及其它地区重力变化平缓；2007.09 ~ 2008.03 期间（图3b），2007.03 ~ 2007.09 期间的南北条带状的重力变化负值区消失，安国—饶阳附近由上期的负值重力变化最大转为正值最大，震中附近有 $-10 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的重力变化；2008.03 ~ 2008.11（图3c）和 2008.11 ~ 2009.03（图3d）期间，震中附近重力变化趋于平静，接近震前的变化水平。

1.2 1 a 尺度的重力变化

(1) 震前相邻两年的的重力变化

从震前相邻两年的重力变化可看出，2004.03 ~ 2005.03 期间（图4a），属于震前能量积累，震中附近重力变化平稳；而地震发生前的 2005.03 ~ 2006.05 期间（图4b），震中附近的地下物质变化剧烈，能量积累加剧，重力变化也急剧增加，在容城—文安之间形成了一北东向的重力变化密集带，北负南正，最大最小重力差值高达 $90 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，震中在该重力变化密集带的法线方向靠近高值区。

(2) 地震期间相邻两年的的重力变化

地震期间相邻两年（2006.05 ~ 2007.03）（图5）的重力变化可看出，文安 5.1 级地震使得震源区地下的能量予以释放，其结果在重力变化上的反映是：上期重力变化的高值区变为了重力变化低值区，震中附近的重力变化由震前的 $60 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 变为 $-20 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，变化高达 $80 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，震中以南区这种重力变化更加明显。

(3) 震后相邻两年的重力变化

震后相邻两年的重力变化（2007.03 ~ 2008.03、2008.03 ~ 2009.03）（图 6）表现为震后恢复阶段，重力负值变化区由南转向东西两侧，继而转为平缓；震中区附近的重力变化则保持持续平静。

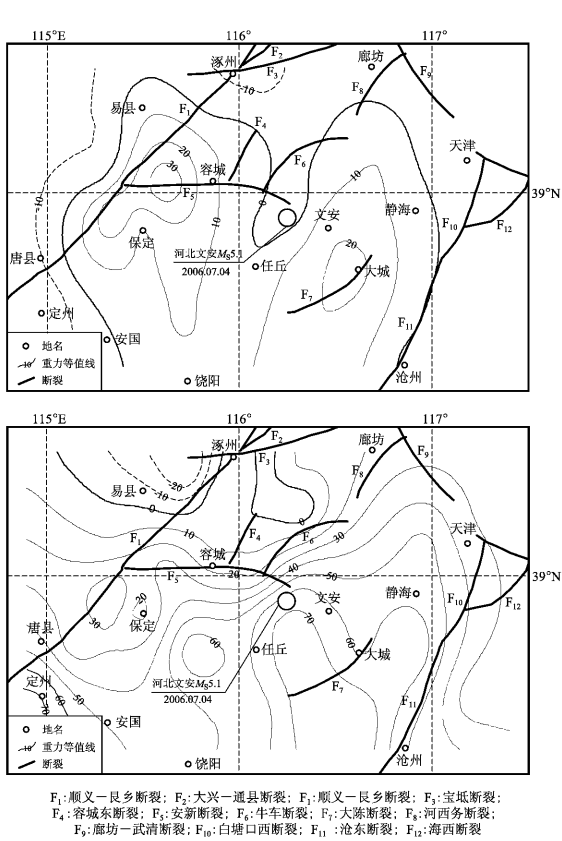


图 4 文安 $M_55.1$ 地震前 1 a 尺度的重力变化
(a) 2004.03 ~ 2005.03; (b) 2005.03 ~ 2006.05
Fig. 4 Gravity variation in one year scale before Wen'an $M_55.1$ earthquake

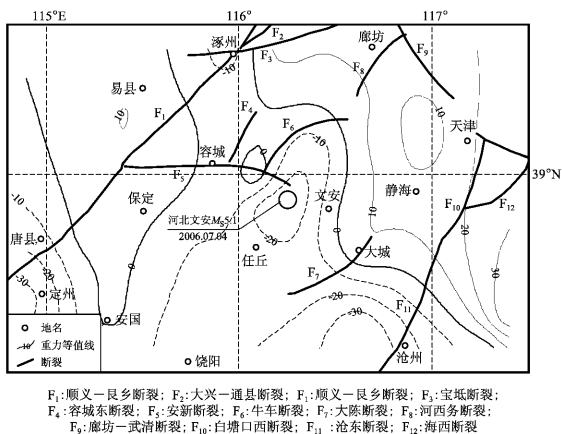


图 5 文安 $M_55.1$ 地震期间 1 a 尺度的重力变化
Fig. 5 Gravity variation in one year scale during Wen'an $M_55.1$ earthquake

1.3 较长时段的重力变化

为了进一步分析文安及周边地区较长趋势的重力变化，了解重力变化的累计量，我们绘制了 2005 ~ 2009 年较长时期的重力变化等值线图（图 7）。

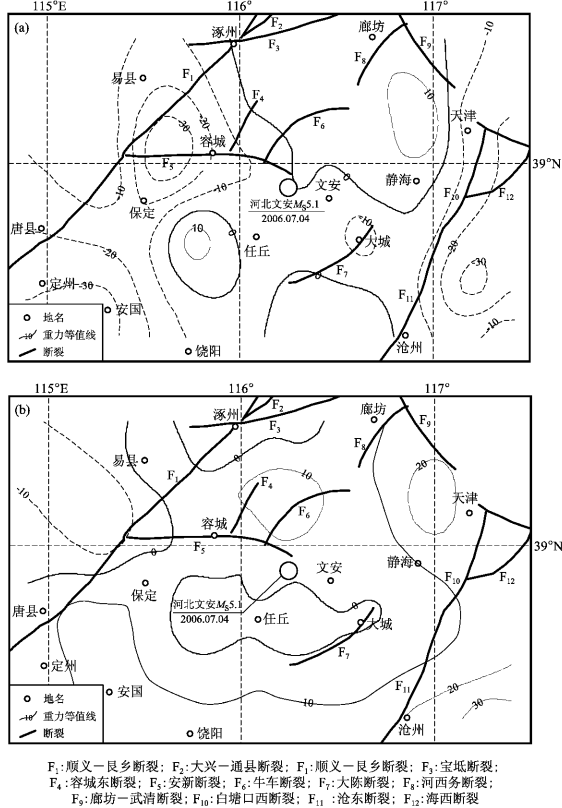


图 6 文安 $M_55.1$ 地震后 1 a 尺度的重力变化
(a) 2007.03 ~ 2008.03; (b) 2008.03 ~ 2009.03
Fig. 6 Gravity variation in one year scale after Wen'an $M_55.1$ earthquake

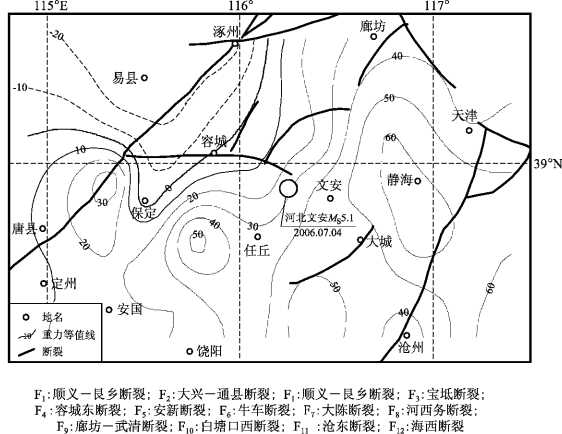


图 7 文安 $M_55.1$ 地震后相对于 2005 年的重力变化
Fig. 7 Gravity variation after Wen'an $M_55.1$ earthquake relative to that in 2005

由图7可以看出,4年尺度的重力变化总体趋势表现为:测区西北的易县地区有重力负值变化,测区东南部的天津、静海、文安、任丘等有大范围重力正值变化,并在河北任丘及天津静海地区形成 $(50 \sim 60) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的重力变化异常区,重力变化等值线主要为北东向,与唐县—涿州断裂带走向基本一致。据周海涛等(2010)的研究,天津、静海、文安、任丘等地区由于大量开采地下水,形成地面下降,引起地层压密效应,造成地面重力增加。

2 结论

从文安 $M_s 5.1$ 地震前后不同时间尺度的重力变化来看,在地震孕育阶段,由于能累积,地下物质活动剧烈,震前1a内重力值出现正值急剧变化,在震中附近形成重力变化高梯度带;地震后由于能量的释放,震前震中附近的重力变化高值区变成重力变化低值区,随着震源区附近的应力应变的释放调整,重力变化趋于平静。

文安 $M_s 5.1$ 地震发生在重力变化高梯度带的零值线附近,青藏块体东北缘几次地震也都发生在重力变化零值线附近,甘肃、滇西地区重力场异常变化形态与地震的关系也有这种规律,这是由于在正负重力异常变化梯度带的零线附近,是

物质密度增加与减少的过渡地带,该处产生的物质增减差异运动剧烈,能量易于聚集,从而诱发地震(祝意青等,1999,2001;徐云马等,2008;梁伟锋等,2004)。

参考文献:

- 国家地震局科技监测司. 1986. 文安—霸县地壳隆起的研究[M]. 北京:地震出版社.
- 何志堂,闫会杰,雷鹏,等. 2009. 地下水变化对大地原点重力影响的估算[J]. 测绘标准化,27(1):39-41.
- 梁伟锋,祝意青,徐云马,等. 2004. 民乐 $M_s 6.1$ 地震前的重力变化研究[J]. 地震研究,27(4):334-338.
- 苏树朋,史彦华,王顺昌,等. 2010. 文安5.1级地震前的一些前兆异常[J]. 华北地震科学,26(3):10-12.
- 苏树朋,张跃刚. 2009. 河北省文霸网流动重力观测对网区及周边地震的反应[J]. 西北地震学报,31(1):91-96.
- 王武星,石耀霖,张晶,等. 2009. 河北文安5.1级地震前后重力场动态变化[J]. 地震,29(2):40-46.
- 徐云马,祝意青,程宏宾. 2008. 1998-2004年滇西地区重力场演化与 $M_s \geq 6.0$ 地震[J]. 大地测量与地球动力学,28(2):51-55.
- 张素灵,赵京轶,王建芳,等. 2009. 2006年文安5.1级地震的烈度异常区初探[J]. 中国地震,25(1):24-30.
- 周海涛,郭良迁,薄万举,等. 2010. 天津地区地壳垂向形变(GPS)与文安地震[J]. 大地测量与地球动力学,30(5):32-37.
- 祝意青,陈兵,张希,等. 2001. 景泰5.9级地震前后的重力变化研究[J]. 中国地震,17(4):356-363.
- 祝意青,胡斌,张永志. 1999. 永登5.8级地震前后的重力场动态图像特征研究[J]. 地壳形变与地震,19(1):71-77.

Gravity Variation in Different Time Scales before and after the Wen'an $M_s 5.1$ Earthquake

LIANG Wei-feng, ZHU Yi-qing, XU Yun-ma, LIU Lian, GUO Shu-song, LIU fang
(Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, Shannxi, China)

Abstract

Analyzing the mobile gravity observational data in North China from 2005 and 2009 systematically and deeply, we derived dynamic variation of the regional gravity field in different time scales before and after Wen'an $M_s 5.1$ earthquake, and studied the relationship between gravity anomaly variation and seismic activity. The result showed that there existed regional gravity anomaly in a wide range in the survey area during the preparation of Wen'an $M_s 5.1$ earthquake, and there were local gravity anomaly area and high gradient zone of gravity variation referential to the earthquake preparation. The dynamic image of gravity field clearly reflected the evolution orderly and seismic activity of regional gravity field.

Key words: Wen'an $M_s 5.1$ earthquake; mobile gravity observation; gravity variation; gravity field