

李 盛, 王赵清, 李 砚, 等. 海南岛陆重力场演化特征研究[J]. 华南地震, 2016, 36(2): 70–76. [LI Sheng, WANG Zhaoqing, LI Yan, et al, et al. Study on the Evolution Characteristic of Gravity Field in Hainan Island[J]. South china journal of seismology, 2016, 36(2): 70–76.]

海南岛陆重力场演化特征研究

李 盛, 王赵清, 李 砚, 陈维超
(海南省地震局, 海口 570203)

摘要: 对 2003—2014 年共 18 期海南岛陆流动重力复测资料进行系统整理和处理, 分别从重力场时空变化角度分析了海南岛陆重力场累积变化和重点地区测点重力点值时序变化, 以认识海南岛陆重力场演化特征; 并重点研究了海南陵水近海 2004 年 7 月 9 日 M_L 4.1 级、7 月 30 日 M_L 级 4.3 双震和 2012 年 11 月 5 日万宁近海 M_L 4.1 级地震前后附近地区测点重力点值时序变化, 发现上述地震前后海南岛陆重力场均无异常变化。

关键词: 重力场; 断裂带; 重力点值; 地震; 异常

中图分类号: P315.6

文献标志码: A

文章编号: 1001–8662 (2016) 02–0070–07

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.02.011

Study on the Evolution Characteristic of Gravity Field in Hainan Island

LI Sheng, WANG Zhaoqing, LI Yan, CHEN Weichao
(Earthquake Administration of Hainan province, Haikou 570203, China)

Abstract: The paper processes a total of 18 mobile gravity retest data of Hainan Island from 2003 to 2014, and analyzes the cumulative changes of gravity field and the timing variations of gravity point value of measuring points in key areas from the perspective of time and space changes of gravity field, to recognize the gravity field evolution of Hainan Island. The paper focuses on the timing variations of gravity point value of measuring points before and after the M_L 4.1 earthquake on July 9th, 2004, M_L 4.3 double earthquakes on July 30th, 2004 in Lingshui offshore and M_L 4.1 earthquake on November 5th, 2012 in Wanning offshore, and the results show that there is no abnormal changes of the gravity field of Hainan Island before and after the above earthquakes.

Keywords: Gravity field; Fault zone; Gravity point value; Earthquake; Anomaly

收稿日期: 2015–06–26

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划(XH15034Y)和中国地震局监测、预报、科研三结合课题(152102)

作者简介: 李 盛 (1986–), 男, 工程师, 主要从事地震重力观测分析和地震活动性研究。

E-mail: lishiyuan@163.com.

0 引言

地球重力场是基本的地球物理场之一，它与地球形状和地球内部结构密切相关，地球内部或地表的任何质量改变均可引起地球重力场的改变。进行重复重力测量获取地球重力场及其变化，从中分离地震孕育信息，是获取地震预报所需的前兆信息的重要途径之一^[1]。流动重力测量反映的是区域重力场的非潮汐变化信息，包括构造信息和非构造信息。因而，地壳内部的物质迁移、地壳构造和地震的形成过程等，都可以在流动重力复测结果中反映出来^[2]。而地表重力变化主要由地表观测点的位置变化、地表整体变形运动以及地球内部因构造块体变形运动的密度变化效应引起^[3]。包含了十分丰富的地球变动和地震运动信息。

海南岛陆流动重力测量起步于 2003 年，至 2014 年 12 月(其中 2003—2008 年，每年复测一期，之后均每年复测两期)，已连续进行了 18 期的流动重力复测工作，获取了大量观测资料，为我们的相关研究提供了大量素材。本文笔者对海南岛陆地区的流动重力观测资料进行了较为系统地处理分析研究，总结重力场演化特征，并对震

例进行分析。

1 资料概况

1.1 海南岛陆地区构造概况

海南岛陆地处于东南沿海地震带的西南端，地层发育较齐全，从中元古界长城系列新生界第四系，除缺泥盆系和侏罗系外，其他地层均有分布。主要活动断裂有近东西向、北东向和北西向 3 组断裂带，分别是马袅—铺前、王五—文教断裂带等近东西向活动断裂，琼东南断裂带、文昌—琼海—三亚断裂带等北东向活动断裂和长流—仙沟、铺前—清澜等北西向活动断裂带。从区域新构造分区来讲，海南岛陆可分为两个新构造分区，以王五—文教断裂为界，北部地区和广东雷州半岛为雷琼断陷带，南部为琼中南隆起区。

1.2 海南流动重力测网概况

目前，海南岛陆流动重力测网共有 55 个点，60 个测段。测点在属于地震烈度区划为Ⅷ度设防区的琼北地区分布较为密集，大体呈“田”字形，测段跨越马袅—铺前、王五—文教、长流—仙沟和铺前—清澜等主要活动断裂(图 1)。

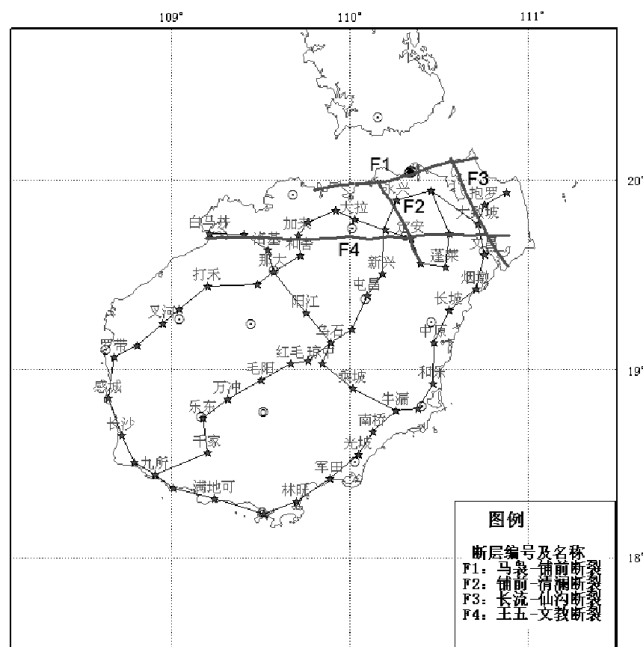


图 1 海南流动重力测网分布图

Fig.1 The distribution map of mobile gravity survey network of Hainan

2 海南岛陆重力场演化特征分析

2003—2009 年，海南岛陆流动重力测量所使

用的仪器是 Lacoste-Rombeg-G 型重力仪；2009—2014 年，测量仪器是 CG-5 型重力仪，上述两台仪器的观测精度均达到 $10 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。观测资料

的计算处理采用中国地震局推广的实用化攻关软件“LGADJ 高精度重力测量资料处理系统”进行,计算过程中对固体潮、气压、仪器高等相关干扰因素项目进行了改正,采用拟稳平差方法进行平差处理,以大致坡、乌石、那大和三亚四个测点

为拟稳点(该 4 个测点分别位于测网的东北部、中部、西部和南部,且 2003 年至 2014 年测点点位均未发生改变)。通过对 18 期观测资料的平差处理,得到各期流动重力观测的点值精度(表 1),均值为 $9.58 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 达到较高水平。

表 1 海南岛陆流动重力测量信息

Table1 The mobile gravity measurement information of Hainan Island

观测时间	仪器型号	点值精度/($\times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
2003-11~2003-12	LCR-G793、LCR-G1003	9.5
2004-11~2004-11	LCR-G793、LCR-G1003	13.3
2005-06~2005-07	LCR-G793、LCR-G1003	9.3
2006-10~2006-11	LCR-G829、LCR-G843	7.0
2007-08~2007-09	LCR-G999、LCR-G1027	9.1
2008-09~2008-10	LCR-G1003、LCR-G1132	12.3
2009-07~2009-08	LCR-G829、LCR-G843	7.5
2009-12~2010-01	LCR-G829、LCR-G843	8.3
2010-04~2010-05	C230、C369	8.0
2010-09~2010-10	C230、C369	8.1
2011-04~2011-05	C230、C369	8.1
2011-09~2011-10	C230、C369	8.3
2012-03~2012-04	C230、C369	9.2
2012-10~2012-11	C230、C369	10.4
2013-04~2013-05	C230、C369、C221	9.5
2013-09~2013-10	C369、C221	9.8
2014-04~2014-05	C369、C221	11.4
2014-09~2014-10	C232、C369	13.4

反映测区重力场变化有两种方式:一是测区重力场的平面变化图,注重区域性、持续性和异常幅度;二是重力点值的时序变化图,注重趋势性、持续性^[9]。这两种方式都能直观的反映测区重力场的时间、空间和强度变化,从图中能较好地分辨出重力场的变化特征。下面从这两个方面探讨海南岛陆重力场演化特征,并结合震例加以分析。

2.1 重力场空间变化

从重力场累积变化分析。2003 年 11 月至 2010 年 5 月海南岛陆琼西北少数地区重力场呈负变化,其中变化最大的测点是白马井,达到 $-73.8 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,而其余呈负变化测点的重力变幅均在 $40 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 以内;除此之外,岛陆其他地区均呈正变化(图 2a,图中虚线代表负变化,实线代表正变化,下同),重力场累积变化较大的地区集中于琼东南地区。而 2010 年 5 月至 2014 年 5 月期间,海南岛陆重力场变化则总体较为平缓(图 2b),均小于 $50 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,且大部分地区重力场变化未达

到 $30 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,其中琼中北地区重力场呈正变化,琼南地区则呈负变化,显示出长趋势重力场交替、动态变化的特征。表现形式包括增加、减小、迁移、反转等多种现象,反映出网区构造活动的普遍性和复杂性^[9]。根据重力变化所展现的正重力变化一般反映地表沉降或地下物质增多或其迭加效应,而负重力变化一般反映地表隆升或地下物质减少或其迭加效应的理论^[9],2003 年 11 月至 2010 年 5 月海南岛陆物质流动的总方向为从西向东流动,而 2010 年 5 月至 2014 年 5 月海南岛陆物质流动的总方向为从南向北流动,这些变化是重力场变化的内在反映。

2.2 重力点值时序变化

重力点值的时序变化能较好地反映测点处重力的变化趋势。海南北部和东部是地震活动相对活跃地区,海南岛陆及近海所发中强地震大部分集中于上述两区域。下面以海南北部的重力点值时序变化为例进行分析,至于海南东部的重力点

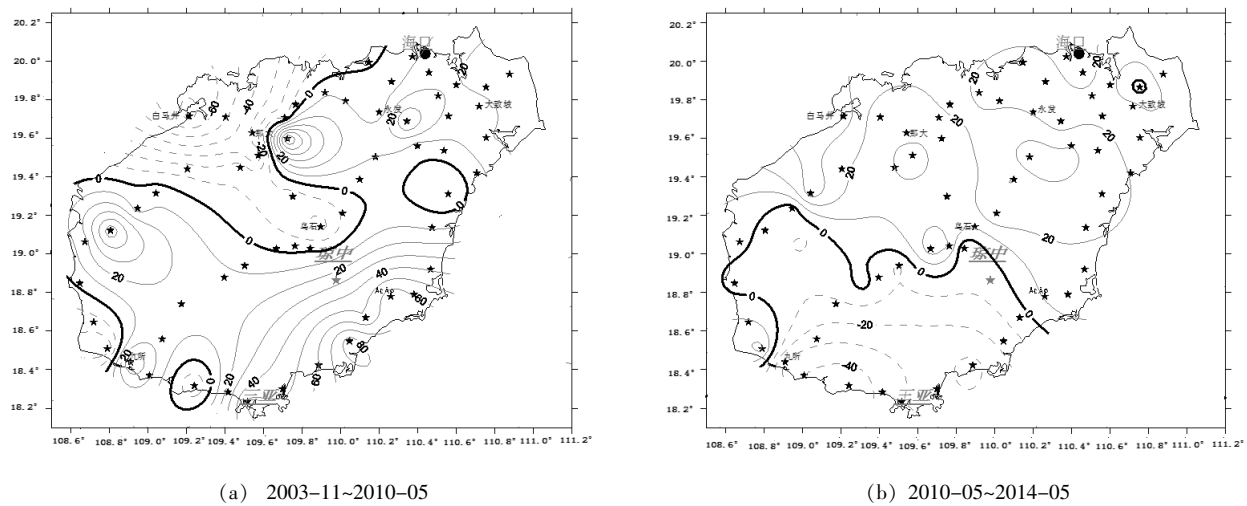


图 2 海南岛陆重力变化等值线图(单位: $\times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Fig.2 Isoline map of gravity field change in Hainan Island (unit: $\times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

值时序变化则将在下面的震例分析中研究。
定安、三门坡测点位于王五-文教断裂带上,大致坡、文昌和抱罗,则位于王五-文教断裂和马袅-铺前断裂带附近(图 1), 上述各点均位于雷琼断陷带新构造分区上。从图 3 中可看出, 各点的重力值变化协同性较好, 变化趋势基本一致, 反映了海南北部地区重力场变化较为均匀, 地壳运动、物质迁移和密度重新分布较为有序稳定, 无重大差异性变化。

2.3 震例分析

2003 年以来海南岛陆及近海共发生 3 次 M_L 4.0 以上地震, 分别是 2004 年 7 月 9 日、7 月 30 日陵水近海 M_L 4.1 和 M_L 4.3 双震以及 2012 年 11 月 5 日万宁近海 M_L 4.1 地震。研究地震前后海南岛陆和震中附近地区重力场变化特征, 对于认识海南岛陆重力场变化与地震的关系, 建立海南岛陆重力场变化预测地震的指标体系具有重要作用。

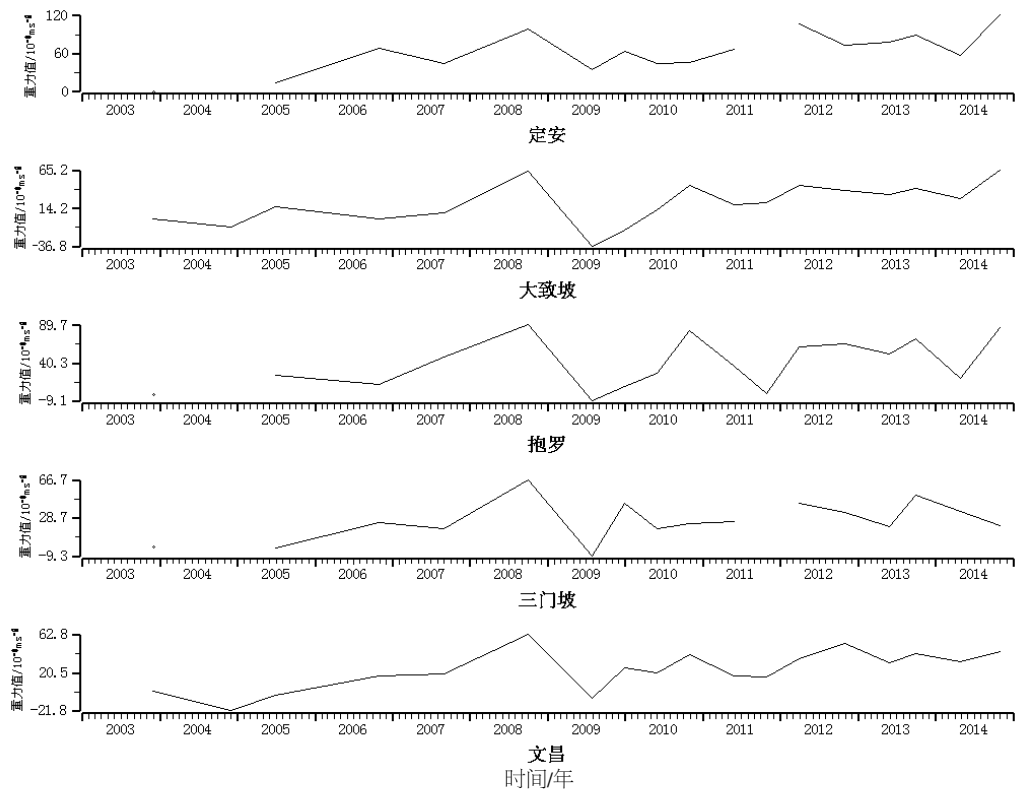
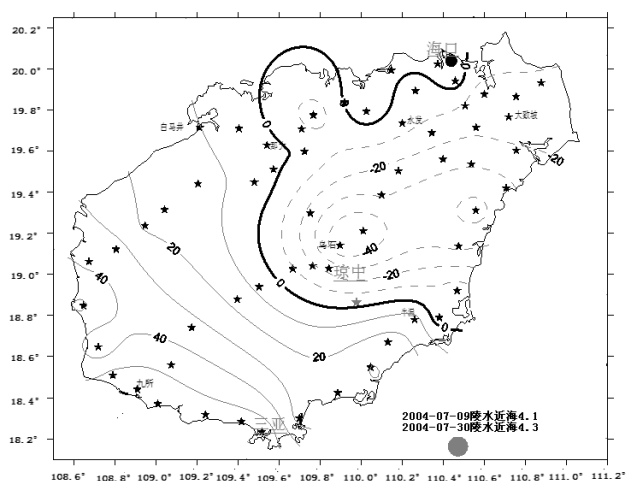


图 3 重力点值时序变化图

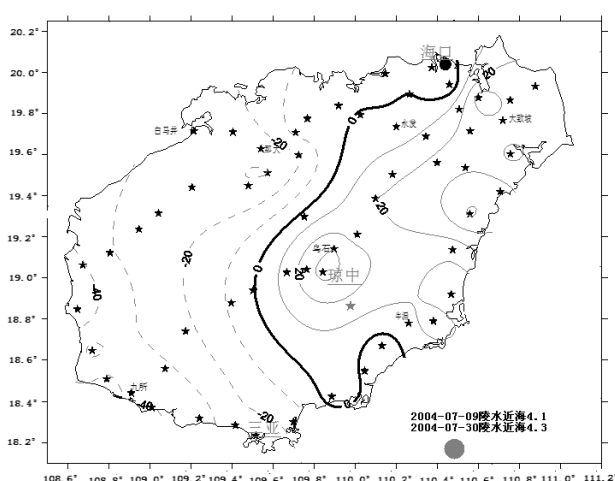
Fig.3 Timing variations map of gravity point value

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^[7]。从 2003 年 11 月至 2004 年 11 月海南岛陆重力场差分变化(图 4a)分析来看,陵水近海 M_L 4.1 (110.48°E, 18.12°N)和 M_L 4.3(110.48°E, 18.62°N)双震震中附近地区不存在重力场变化高梯度区,也不在重力场正负异常变化的零线附近;而从 2004 年 11 月至 2005 年 6 月重力场差分变化(图 4b)来看,整个海南岛陆重力场变化较为平缓,震中附近地区重力场变化无异常。进一步对震中附近测点的点值时序变化(图 5)进行分析,万宁(震中距 76.0 km)、牛漏(震中距 77.8 km)、光坡(震中距 66.9 km)、军田(震中距 72 km)和林旺(震中距 84.8 km)在 2003 年 11 月至 2004 年 11 月间的重力变化分别是 $14.7 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 、 $30.6 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 、

$24.4 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 和 $25.8 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 上述各测点的重力变化只有牛漏超出了中国地震局 1998 年《地震重力测量规范》中规定的异常下限 $30 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 但结合 2003 年和 2004 年流动重力观测的点值精度(分别是 $9.5 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 和 $13.3 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)来看,异常判定的下限应为 $34.6 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 因此在 2003 年 11 月至 2004 年 11 月期间震中附近地区的测点重力变化均未达到异常的阈值。需要说明的是陵水近海 M_L 4.1 和 M_L 4.3 双震地震发生时刻正好处于两期流动重力观测之间,利用 2003 和 2004 年两期流动重力测量结果进行重力场空间变化分析和重力点值时序变化分析并不能完全客观反应陵水双震之前的重力场变化情况,这对认识陵水双震与重力场变化的内在关系具有一定的局限性,但就目前对既有资料的分析来看,陵水近海 M_L 4.1 和 M_L 4.3 双震前后海南岛陆重力场无异常变化。



(a) 2003-11~2004-11



(b) 2004-11~2005-06

图 4 海南岛陆重力变化等值线图(单位: $\times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$)Fig.4 Isolines map of gravity field change in Hainan Island(unit: $\times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

2012 年 11 月 5 日万宁近海发生 M_L 4.1 地震 (110.95°E, 18.62°N), 从半年尺度的重力场变化(图 5a 和 5b)来看,震前和震后海南岛陆重力场变化均较小,震中附近地区的重力场变化无异常。从震中附近地区测点的重力点值时序变化(图 6)来看,万宁(震中距 64.0 km)、牛漏(震中距 75.3 km)、光坡(震中距 96.2 km)等测点重力值变化在 2011 年至 2013 年期间各半年变化均在 $20 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 以内。因此,万宁近海 M_L 4.1 地震震前震后海南岛陆重力场无异常变化。

3 结语

地震大都发生在活动板块的边界或活动断裂带上,已有研究表明,与地震发生有关的重力场变化是分布在地壳所有深度上的地下流体变化的响应^[8-10]。由于流动重力观测主要反映的是深部地下流体运移变迁的信息,因此干扰较少,资料信度较高。本文主要从重力场时空变化的角度,分析研究了海南岛陆重力场演化特征:

(1) 无论是半年或一年尺度的差分变化分析,

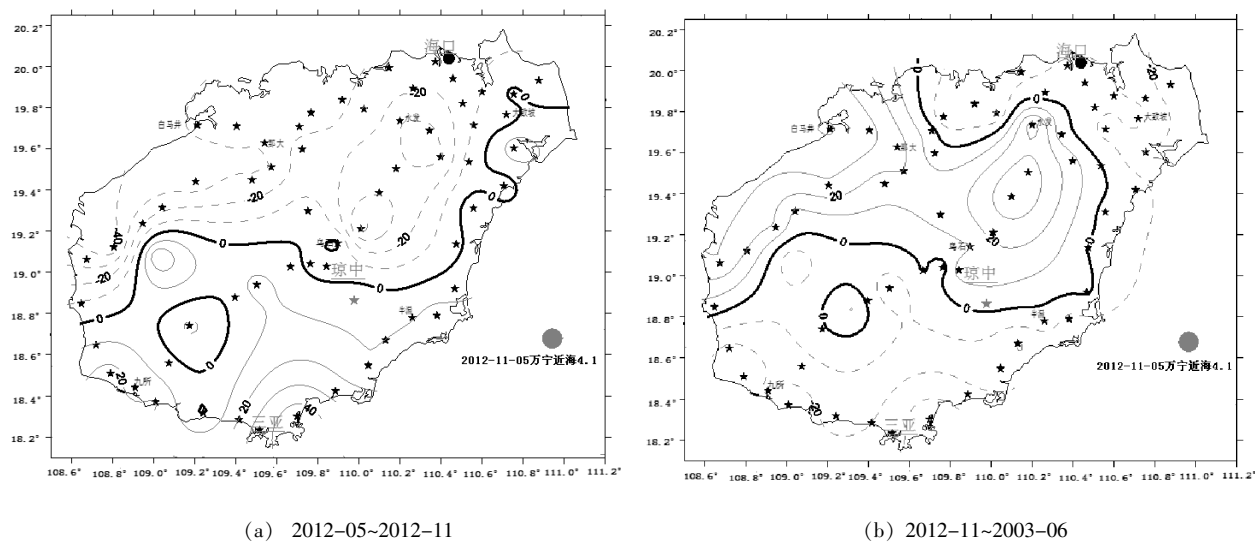


图 5 海南岛陆重力变化等值线图(单位: $\times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
Fig.5 Isolines map of gravity field change in Hainan Island (unit: $\times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

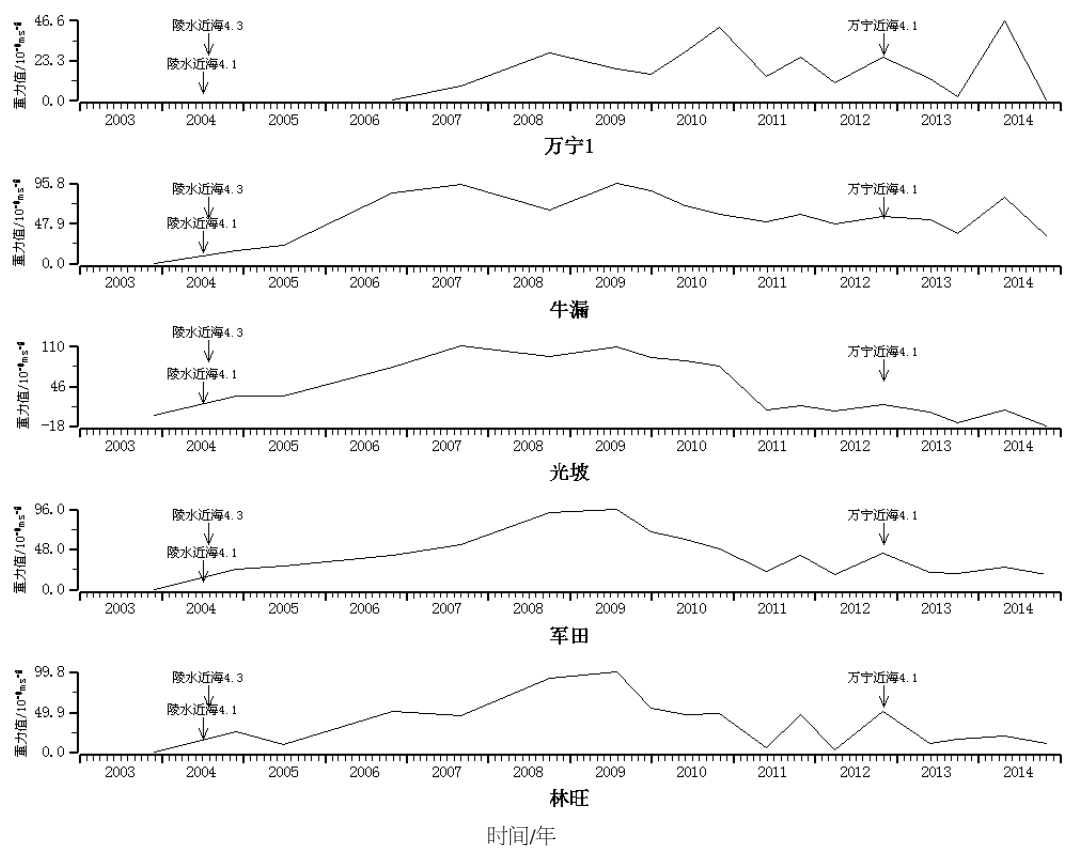


图 6 重力点值时序变化图
Fig.6 Timing variations map of gravity point value

还是长时间的累积变化分析,海南岛陆重力场正负变化区域成片成群分布,呈交替、动态变化。尤其是属于雷琼断陷带的琼北地区,尽管 2003 年以来各测点重力变化幅度有所差异,但相邻两期重力场变化方向几乎一致。

(2) 对于海南岛陆近海 M_L 4.5 以下地震,在震前和震后海南岛陆重力场无明显异常变化。大量研究表明,重力场变化对 M_s 5.0 以上地震有较好的反应^[11-14],2003 年以来海南岛陆及近海所发生的 3 次 M_L 4.0 以上地震均位于近海海域之中,而

重力测量均在岛陆,测点与震中的距离均在 60 km 以上,且所发生地震震级均在 M_L 4.0~4.5 之间,因此上述认识是客观且具有说服力的。对于海南岛陆 M_L 4.0 以上地震前后重力场是否存在异常变化,因目前尚无震例,所以暂时无法给出明确的认识和论据。

此外,琼北地区与雷州半岛同属于雷琼断陷带,地质构造具有相似性。未来可考虑两地跨海联测,丰富观测资料,这对于两地的重力场特征分析和震情研判都大有裨益。

参考文献:

- [1] 祝意青,王庆量,徐马云.我国流动重力监测预报发展的思考[J].国际地震动态,2008 (9): 20-25.
- [2] 管泽霖,宁津生.地球形状及外部重力场[M].北京:测绘出版社,1981.
- [3] 丁国瑜,卢演俦.对我国板内运动状况的初步探讨[J].科学通报,1986, 31 (18): 1 412-1 415.
- [4] 许仪西,杨捷,张永固,等.福建东南沿海重力场演变特征及其与地震的关系[J].华南地震 2009, 29 (3): 79-84.
- [5] 贾民育,邢灿飞,孙少安.滇西重力变化的二维图象及其与 5 级(M_s)以上地震的关系[J].地壳形变与地震,1995, 15 (3): 9-19.
- [6] 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.
- [7] 祝意青,李辉,朱桂芝,等.青藏块体东北缘重力场演化与地震活动[J].地震学报,2004, 26 (增刊): 71-78.
- [8] 顾功叙, Kuo J T, 刘克人,等.中国京津唐张地区时间上连续的重力变化与地震的孕育和发生[J].科学通报,1997, 42 (18): 1 919-1 930.
- [9] 刘克人,刘瑞法,郑金涵,等.1991-1997 年首都圈重力变化与地震预测[J].地震地磁观测与研究,1998, 19 (1A): 100-106.
- [10] 郑金涵,宋合胜,刘克人,等.利用重力资料反演京津唐张地区震质中[J].地震学报,2003, 25 (4): 422-431.
- [11] 祝意青,胡斌,朱桂芝,等.民乐 6.1、岷县 5.2 级地震前区域重力场变化[J].大地测量与地球动力学,2005, 25 (1): 24-29.
- [12] 祝意青,胡斌,张永志.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,1999, 19 (1): 71-77.
- [13] 祝意青,陈兵,张希,等.景泰 5.9 级地震前后的重力变化研究[J].中国地震,2001, 17 (4): 356-363.
- [14] 苏树鹏,张纳莉,史彦华,等.华北地区重力场变化特征研究[J].华北地震科学,2010, 28 (1): 52-58.