

# 2018年云南墨江M5.9地震前的重力变化<sup>\*</sup>

王青华<sup>1</sup>, 赵云峰<sup>2\*</sup>, 陈兆辉<sup>3</sup>, 刘芳<sup>2</sup>, 祝意青<sup>2</sup>

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054;

3. 中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

**摘要:** 对南北地震带上的绝对重力数据和多期相对重力数据进行平差处理, 获得了2018年9月8日云南墨江M5.9地震前的区域重力场变化图, 分析了区域重力场变化及其与墨江M5.9地震的关系。结果表明: ①2015年9月—2017年9月, 震区周边区域重力场变化呈现明显的四象限分布特征; ②2015年9月—2018年9月, 在重力场变化的时空演化上, 震区附近重力场变化显示出重力正变化→重力正变化扩展→重力零变化的平静期→重力变化呈四象限分布→重力场反向变化→临震前重力零变化的平静期的过程, 反映出地震前震区附近的断层由单个独立活动向多个协同活动的演进过程, 与处于亚失稳状态的断层活动具有一致性; ③地震前重力场四象限变化形态与震源机制显示的压缩区和拉张区一致, 表明地震前震中附近构造应力作用下的物质迁移可能是区域重力场变化的成因。

**关键词:** 墨江M5.9地震; 重力变化; 四象限分布

**中图分类号:** P315.726

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2020)02-0382-06

## 0 引言

继2014年10月7日在川滇菱形块体与密支那一西盟块体或滇西南块体交界附近红河断裂西侧无量山区发生右旋走滑的景谷M6.6地震后(徐锡伟等, 2014), 2018年9月8日云南省普洱市墨江县发生M5.9地震, 震中位于红河断裂带中段和无量山断裂东支(磨黑断裂)之间。

21世纪初以来, 随着国内地震系统相对重力观测的实施和发展, 研究人员在多次地震前发现了有意义的重力前兆变化(祝意青等, 1999, 2005, 2009, 2013, 2017; 王青华等, 2019)。云南地区地震发生前也发现同样的变化(祝意青等, 2010; 张永志等, 1999), 陈兆辉等(2018)利用2014—2017年南北地震带南段重力数据, 着重探讨了云南地区重力场变化与地震间的关系, 发现研究时段内4.5级以上地震多发生在重力场变化的正负异常过渡带和高梯度带附近。

在对近几年南北地震带上相对重力测量数据进行处理后, 尤其将多家单位观测数据进行整体平差计算后, 笔者发现利用从2015年下半年开始

的墨江附近的区域重力场变化可以较好地解释墨江M5.9地震孕震过程中的物质迁移。因此, 本文利用2015年9月至2018年9月4年的多期相对重力观测资料, 系统分析了区域重力场变化及其与墨江M5.9地震的关系。

## 1 重力观测资料选取及处理

中国地震局在2014年地震重力监测网改造完成后, 即开展了每年2期的相对重力观测。2015—2017年, 云南地区地震重力观测由云南省地震局和中国地震局第一监测中心使用CG-5相对重力仪完成。在对测网进行改造后, 从2018年开始云南省内绝大部分相对重力观测由云南省地震局完成, 但在2018年前获得持续观测的个别测点被舍弃, 而新建测点并无观测资料, 因此造成了2018年区域内可利用的重力变化数据减少, 但总体上不影响本文的结果。本文使用资料不仅仅局限于墨江附近地区的相对重力测量数据, 而是将川滇及附近区域采集到的相对重力数据利用公共测点拼接成一张观测网络(图1), 对大范围的重力数据进行平差计算后进行分析。

\* 收稿日期: 2019-05-10.

基金项目: 国家重点研发计划(2018YPC1503305)资助.

✉ 通讯作者: 赵云峰(1983-), 副研究员, 主要从事重力测量与地球动力学研究工作. E-mail: xinxiangi@163.com.

对数据的平差计算: 墨江 M5.9 地震震中附近存在思茅、蒙自、昆明、瑞丽等多个绝对重力测点, 近几年进行了多次绝对重力测量。但由于绝对重力观测和区域相对重力观测不同步, 有时两者观测时间相距较长, 因此在经典平差计算中尝试先不使用思茅、蒙自、瑞丽 3 个绝对重力测点上的绝对重力数据进行计算, 再与使用这些绝对重力数据的计算结果进行对比, 发现两者重力场变化基本一致。因此, 本文得到的重力场变化为使用距墨江 M5.9 地震震中较远的绝对重力数据 (昆明、丽江、乡城、泸州、仁和) 控制下得到的经典平差后的结果 (各期平差结果点位精度均优于  $10 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ )。本文主要对墨江 M5.9 地震震中附近  $26^\circ \text{N}$  以南的重力场变化进行分析。绘制重力场变化图前对网格化插值后的区域重力场变化进行了空间范围约为 80 km 的余弦滤波。

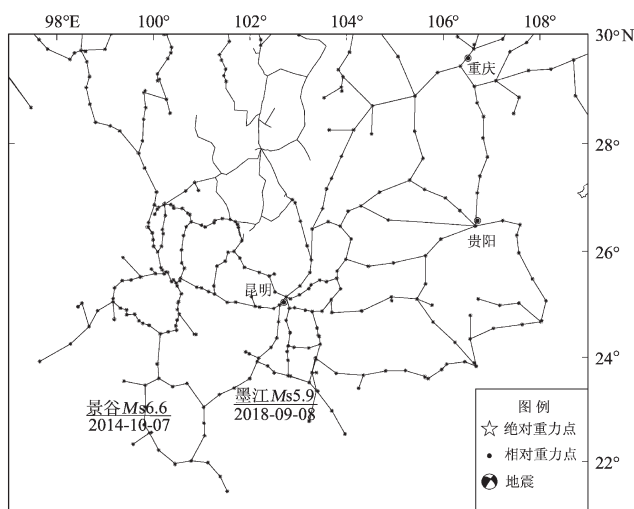


图1 南北地震带南段 2017 年重力测网图及研究区  
Fig. 1 Gravity observation network in south segment of North South seismic belt in 2017 and the study region

## 2 墨江地震前的区域重力场变化

### 2.1 重力场半年变化

研究区相邻两期区域重力场的半年变化图像如图 2 所示。

(1) 2015 年 9 月—2016 年 4 月 (图 2a), 震区周边总重力变化不明显: 在无量山断裂、红河断裂东北的玉溪、峨山、建水附近出现  $30 \times$

$10^{-8} \text{ m/s}^2$  以上的重力变化, 在澜沧江断裂西侧的临沧、澜沧、耿马附近出现  $-20 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$  的重力变化。

(2) 2016 年 4 月—2016 年 9 月 (图 2b), 震区西南的临沧、澜沧一带重力变化为正; 墨江东北部的玉溪附近重力基本无变化。

(3) 2016 年 9 月—2017 年 4 月 (图 2c), 震区附近无明显重力变化, 在曲靖、弥勒、兴义一带为重力负变化, 最大变化低于  $-40 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。

(4) 2017 年 4 月—2017 年 9 月 (图 2d), 震区附近出现较为明显的重力变化: 大致以思茅为中心呈现四象限分布的特征, 墨江、孟连重力正变化超过  $30 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ , 云县附近重力负变化低于  $-20 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。四象限分布形态受无量山断裂、澜沧江断裂控制, 而曲靖附近重力变化与上一期反向, 显示正变化为  $40 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ , 但正变化中心相对于 2017 年 4 月—2017 年 9 月北移, 仅仅小范围集中分布于曲靖附近。

(5) 2017 年 9 月—2018 年 4 月 (图 2e), 震区附近重力场变化再次呈现与上一期反向的准“四象限”分布: 勐腊、云县为正变化, 孟连、建水为负变化, 正变化幅度大于负变化; 曲靖附近小范围重力变化再次与上一期反向, 显示重力场负变化为  $-40 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。

(6) 2018 年 4 月—2018 年 9 月 (图 2f), 临震前震区附近几乎不存在明显的重力变化, 显示出区域重力场时空变化中的局部“硬化”现象。

### 2.2 重力场年变化

研究区相邻两期区域重力场的年变化图像如图 3 所示。

(1) 2015 年 9 月—2016 年 9 月 (图 3a), 震区附近重力场以正变化为主, 玉溪、建水附近的重力正变化大于  $30 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。

(2) 2016 年 9 月—2017 年 9 月 (图 3b), 震区附近重力变化呈现非常明显的四象限分布, 勐腊、云县附近为重力负变化, 墨江、玉溪附近为重力正变化, 但重力变化不大, 正负变化均未超过  $40 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ , 四象限的中心距墨江地震震中约 100 km。

(3) 2017 年 9 月—2018 年 9 月 (图 3c), 震区附近重力变化呈准四象限分布, 但与上上一年变化完全反向, 变化量值也相近。

(4) 2015 年 9 月—2017 年 9 月 (图 3d), 2



年时间的重力场累积变化显示，墨江地震前区域重力场四象限变化特征比上一年的变化（图 3c）更加显著，除勐腊附近的重力负变化有所弱化外，玉溪、孟连附近的正变化及云县附近的负变化均有所强化，但最大变化仍未超过  $50 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ，无量山断裂两侧重力场差异变化约  $70 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。

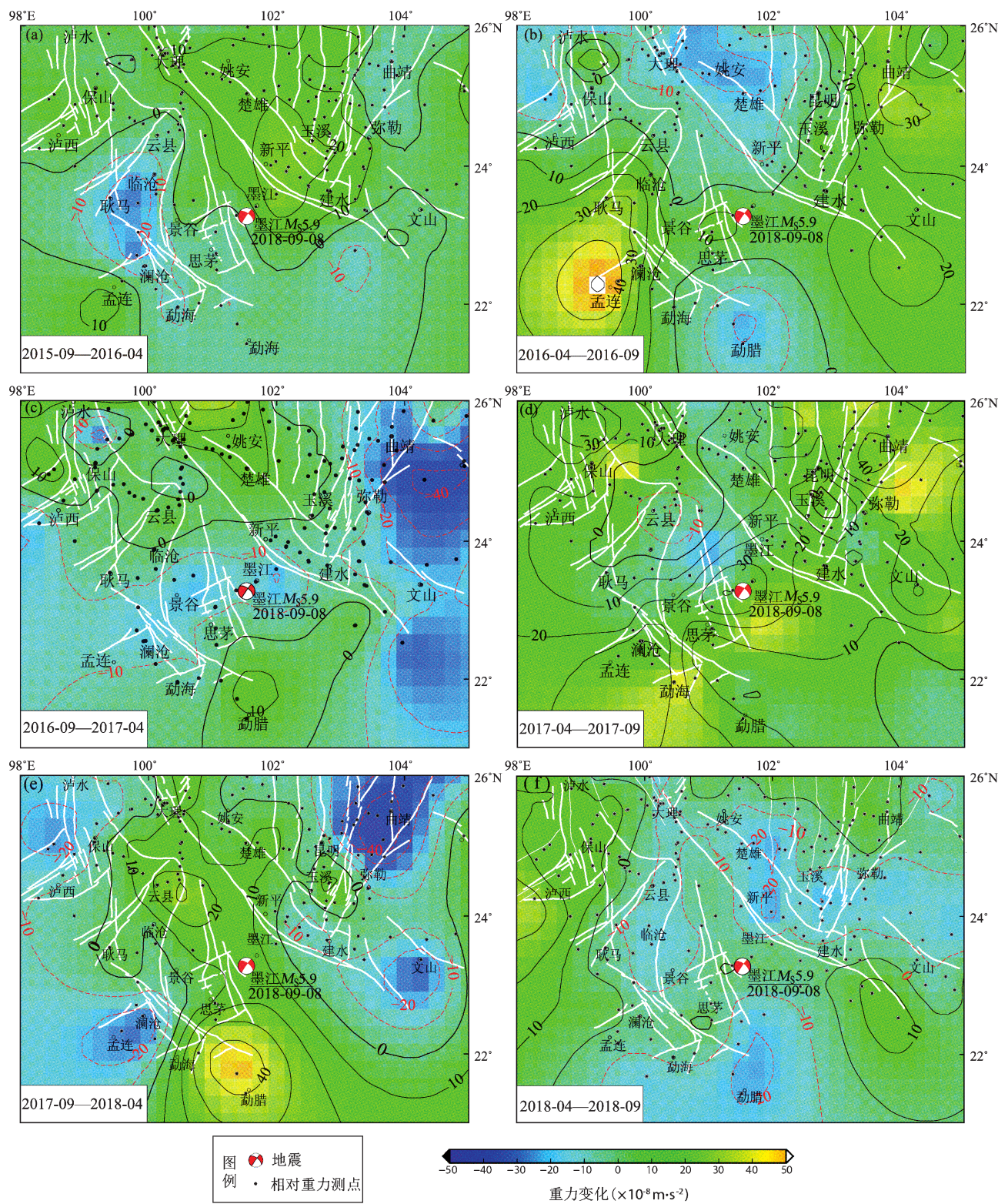


图 2 墨江地震前震区附近重力场半年变化图

Fig. 2 Regional gravity field change in a half-year period before the Mojiang earthquake



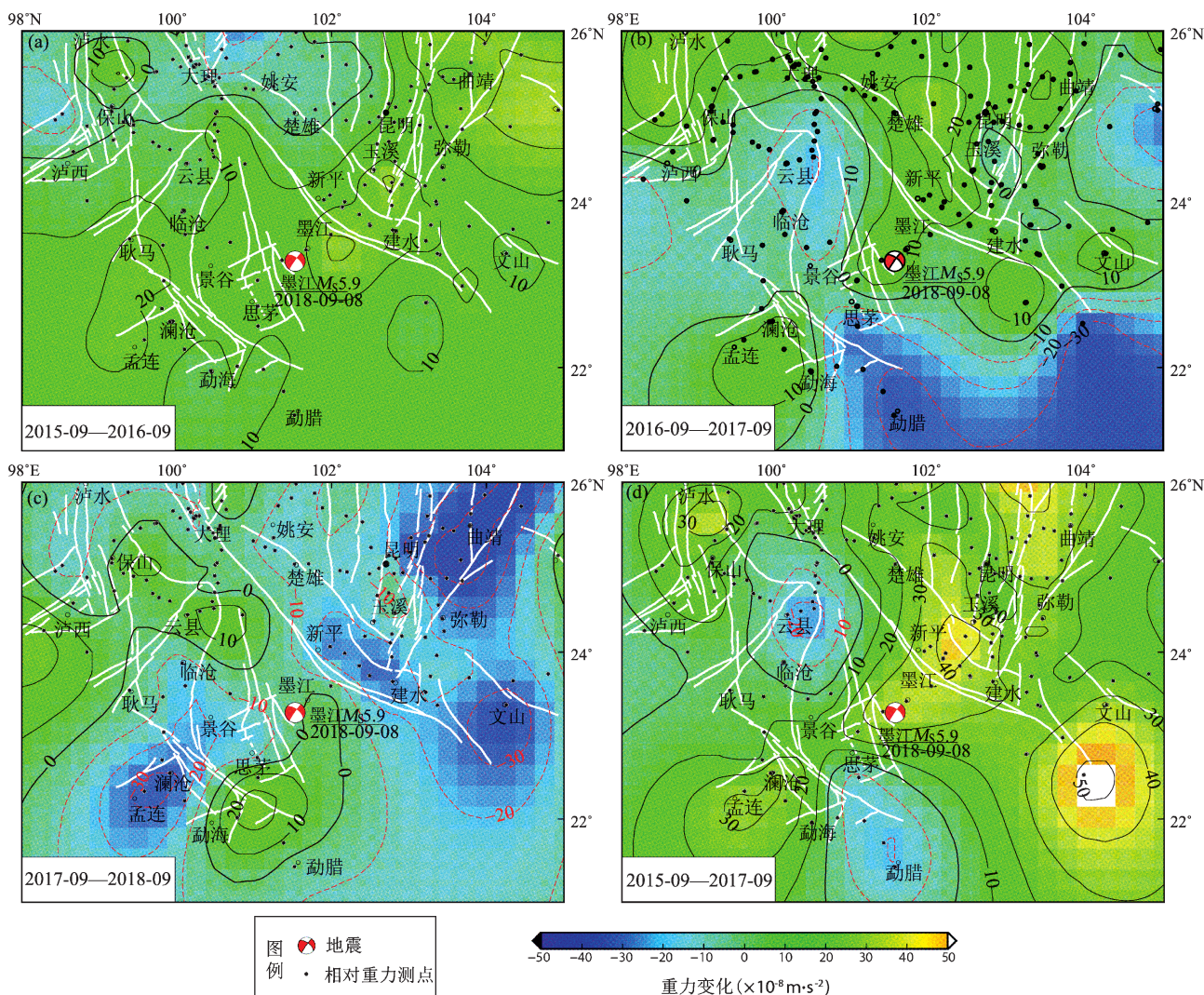


图3 墨江地震前重力场年变化图

Fig. 3 Regional gravity field in an annual period change before the Mojiang earthquake

### 3 重力变化与墨江 M5.9 地震

通过以上分析可以发现，墨江 M5.9 地震前的重力变化在时间上呈阶段性、空间上呈扩展性，具体表现为：2015 年 9 月—2016 年 4 月，震区附近重力变化较微弱；2016 年 4 月—2016 年 9 月，澜沧江断裂西南侧的临沧、澜沧附近出现大于  $30 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$  的重力正变化；2016 年 9 月—2017 年 4 月，震区附近基本不存在可识别的重力变化，即该时间段内重力场零变化，可视为重力场变化的“平静期”；2017 年 4 月—2017 年 9 月，墨江 M5.9 地震前重力场变化主要特征为重力变化呈现准四象限分布；2017 年 9 月—2018 年 4 月，重力场变化与上一期反向，也呈准四象限分布形态；2018

年 4 月—2018 年 9 月，临震前再次出现重力场零变化的“平静期”。

该区域流动重力观测完成于 2018 年 9 月 7 日，观测完的第二天，即 9 月 8 日发生墨江 M5.9 地震。由此可以看出，在地震前 3 年内，在震区附近无量山断裂、红河断裂、澜沧江断裂构造活动控制下，区域重力场变化呈现重力正变化→重力正变化扩展→重力零变化的平静期→重力变化呈四象限分布→重力场反向变化→临震前重力零变化的平静期的演化过程。在 2015 年 9 月—2017 年 9 月 2 年的重力场变化中，墨江 M5.9 地震震中靠近四象限正负异常区中心。

已有震例研究表明（祝意青等，2013，2015，2017），重力异常变化的持续时间、幅值和空间范围与地震震级密切相关。重力观测资料积累的时

间越长,越有利于判断发震震级,重力异常幅值越大、持续时间越长,对应的震级越大。重力长期累积变化和短期变化对地震异常同样重要。5 级地震相邻 2 期或 1 年尺度的重力变化明显,累积变化不明显;6 级强震相邻 2 期重力变化显著,2 年累积变化更为显著(祝意青等,2013,2017)。墨江 M5.9 地震前 1 年尺度的重力变化明显,2 年的累积变化更为显著。

## 4 结论与讨论

本文通过对 2018 年云南墨江 M5.9 地震前区域重力场变化分析,得到以下结论:

(1) 2018 年墨江 M5.9 地震前 3 年至震前 1 年,云南地区的重力场资料较好地显示了该地震的前兆变化。地震前重力场变化呈现较为明显的四象限分布,且震中靠近四象限中心处,四象限的分布特点明显受区域内大的活动断裂控制。

(2) 2015 年 9 月—2016 年 4 月,玉溪、建水附近出现高于  $20 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$  的重力异常变化,2016 年 4 月—2016 年 9 月,明显的重力变化转至临沧、澜沧附近,重力异常变化大于  $20 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ;2016 年 9 月—2017 年 4 月,震区附近重力场未见明显的变化;2017 年 4 月—2017 年 9 月,震区附近重力场出现明显的四象限变化特征,显示出在断裂控制下的重力场变化特征由出现单个异常区向多个异常区同时显现的特征,反映出断层带活动由单个断层孤立活动转向多个断层协同活动的发展过程。墨江 M5.9 地震前的重力变化与发震断裂的失稳变化过程有较好的一致性(马瑾,郭彦双,2014;宋春燕等,2018;徐晓枫等,2017;徐立等,2019)。

2008 年 8 月 30 日和 2009 年 7 月 9 日,墨江 M5.9 地震震中西北的攀枝花、姚安附近分别发生 M6.1、M6.0 地震,祝意青等(2010)对这 2 次地震前重力场变化进行了分析。此后,申重阳等(2011)使用更大空间范围的数据对姚安 M6.0 地震前的重力场变化进行了计算分析,发现在姚安地震前半年(2008 年 10 月—2009 年 2 月)区域重力场呈四象限变化,且其四象限变化形态与震源机制显示的压缩区和拉张区一致。墨江 M5.9 地震前的四象限重力场变化特征与该次地震震源机制

所显示的压缩区和拉张区也一致,表明震前震区附近构造应力作用下的物质迁移可能是区域重力场变化的成因。

由本文分析可知,墨江 M5.9 地震前观测到的重力场变化最大值未超过  $50 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ,但 2015 年 9 月—2017 年 9 月这 2 年的累积重力变化正负差异达 70  $\mu\text{gal}$ ,显示了较明显的震前重力场变化特征,且研究区域已有的震例研究表明,相当震级的地震发生前重力场变化与墨江 M5.9 地震前重力变化量也相当(祝意青等,2005)。

## 参考文献:

- 陈兆辉,王同庆,刘金钊,等.2018. 南北地震带南段近期重力场变化与指标量分析[J].地震研究,41(3):480-486.
- 马瑾,郭彦双.2014. 失稳断层加速协同化的实验室证据和地震实例[J].地震地质,36(3):547-561.
- 申重阳,谈洪波,郝洪涛,等.2011. 2009 年姚安  $M_s 6.0$  地震重力场前兆变化机理[J].大地测量与地球动力学,31(2):17-23.
- 宋春燕,马瑾,王海涛,等.2018. 强震前断裂失稳阶段及失稳部位的特征研究——以新疆南天山西段为例[J].地球物理学报,41(2):604-615.
- 王青华,冯建林,檀玉娟,等.2019. 2018 年兴文 5.7 级地震和 2019 年珙县 5.3 级地震前重力场变化[J].地震研究,42(3):393-397.
- 徐立,何万平,周红伟,等.2019. 福建重力场演变特征与仙游  $M_L 5.9$  级地震研究[J].华南地震,39(1):76-85.
- 徐锡伟,程佳,许冲,等.2014. 青藏高原块体运动模型与地震活动主体地区讨论:鲁甸和景谷地震的启示[J].地震地质,36(4):1116-1134.
- 徐晓枫,王惠琳,胡久常,等.2017. 铺前一清澜断裂带附近地震的重定位及其构造意义的初步分析[J].华南地震,37(2):10-16.
- 张永志,梁伟锋,祝意青,等.1999. 丽江 7.0 级地震过程的重力变化与小波分析[J].地震工程学报,19(2):149-155.
- 祝意青,付广裕,梁伟锋,等.2015. 鲁甸  $M_s 6.5$ 、芦山  $M_s 7.0$ 、汶川  $M_s 8.0$  地震前区域重力场时变[J].地震地质,37(1):319-330.
- 祝意青,郭树松,刘芳.2010. 攀枝花 6.1、姚安 6.0 级地震前后区域重力场变化[J].大地测量与地球动力学,30(4):8-11.
- 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].大地测量与地球动力学,19(1):71-77.
- 祝意青,胡斌,朱桂芝,等.2005. 民乐 6.1 级、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,25(1):24-29.
- 祝意青,梁伟锋,赵云峰.2017. 2017 年四川九寨沟  $M_s 7.0$  地震前区域重力场变化[J].地球物理学报,60(10):4124-4131.
- 祝意青,闻学泽,孙和平,等.2013. 2013 年四川芦山  $M_s 7.0$  地震前的重力变化[J].地球物理学报,56(6):1887-1894.
- 祝意青,徐云马,吕弋培,等.2009. 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,52(10):2538-2546.



## Gravity Field Change Before the 2018 Mojiang M5.9 Earthquake, Yunnan

WANG Qinghua<sup>1</sup>, ZHAO Yunfeng<sup>2</sup>, CHEN Zhaohui<sup>3</sup>, LIU Fang<sup>2</sup>, ZHU Yiqing<sup>2</sup>

(1. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

(2. The Second Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

(3. The First Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, Tianjin 300180, China)

### Abstract

The Mojiang M5.9 earthquake occurred in Yunnan province on September 8, 2018, near the middle zone of the right – lateral strike – slip Honghe fault and the east branch (Mohei fault) of the left – lateral strike – slip Wuliangshan fault. We processed multi – period relative gravity data in North – South Seismic Belt based on the constraints of absolute gravity data, and got high precision regional gravity field changes before the Mojiang M5.9. The results indicate: ①Between September 2015 and September 2017, regional gravity field changes near surrounding earthquake zone exhibits distinct four-quadrant distribution characteristics, controlled by the Honghe fault, the Wuliangshan fault, and the Lancangjiang fault. The maximum gravity change is less than  $50 \times 10^{-8} \text{m/s}^{-2}$  and the difference change is about  $70 \times 10^{-8} \text{m/s}^{-2}$  in different quadrant. ②During the two years, on the space – time evolution of half – year scale change about the gravity field, the gravity field change shows a special process before the M5.9 earthquake, which is positive gravity change at one place, then positive gravity change at another place, then zero gravity field change in the region, then four – quadrant distribution gravity field change, and then reverse gravity field change and zero gravity field change at last. The process inhibits fault activity evolution that is from independent activity a single fault to collaborative activity of multiple faults and is consistent with faults activity in a sub – instability state. ③The four quadrant characteristics of gravity field before the earthquake is consistent with compression zone and stretch zone displayed by the focal mechanism, we deduce the source of regional gravity field change may be mass migration under tectonic stress.

**Keywords:** Mojiang M5.9 earthquake; gravity change; four-quadrant distribution