

郝洪涛, 韦进, 陈兆辉, 等, 2022. 2021年西藏比如6.1级地震前重力变化特征研究. 中国地震, 38(4): 762~771.

2021年西藏比如6.1级地震前 重力变化特征研究

郝洪涛^{1,2)} 韦进^{1,2)} 陈兆辉³⁾ 赵云峰⁴⁾
张新林^{1,2)} 刘少明^{1,2)} 胡敏章^{1,2)}

1) 中国地震局地震研究所地震大地测量重点实验室, 武汉 430071

2) 湖北省地震局, 武汉 430071

3) 中国地震局第一监测中心, 天津 300180

4) 中国地震局第二监测中心, 西安 710054

摘要 利用青藏高原地区2015—2020年期间流动重力观测资料, 研究2021年3月19日比如6.1级地震前重力变化特征, 结果表明: ①本次地震前约3年的重力图像中出现穿过震中区的SN向重力变化梯度带, 其形态和持续时间与现有典型指标一致, 表明重力变化较为清晰地反映了本次地震孕育过程中所引起的重力异常信号; ②实测重力场变化与正断型断层位错引起的重力变化在形态上基本一致, 结合本次比如6.1级地震的震源机制以正断为主, 推测羌塘块体EW向拉伸运动为本次地震的发震背景。

关键词: 比如6.1级地震 重力变化 流动重力

[文章编号] 1001-4683(2022)04-0762-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

据中国地震台网中心测定, 2021年3月19日西藏自治区那曲市比如县境内发生6.1级地震(92.74°N, 31.94°E), 震源深度10km。震后, 美国地质调查局(USGS)、全球地震矩张量计划(GCMT)等研究机构发布的震源机制初步结果表明, 本次地震是一次以正断为主的地震事件。

重力场的时空变化含有丰富的地壳变动信息, 是研究地震孕育与发生过程的重要手段(Barnes, 1966; Hunt, 1970; 陈运泰等, 1980)。近年来, 中国地震局通过地震行业专项“中国综合地球物理场观测”以及中国大陆构造环境监测网络等一系列重大科学工程项目的实施, 建立了范围覆盖中国大陆的地震重力监测网络。利用产出的观测成果, 一些学者对2013年芦山7.0级地震(祝意青等, 2013)、2016年门源6.6级地震(祝意青等, 2016)等一系列中强地震前后

[收稿日期] 2021-04-02 [修定日期] 2021-06-21

[项目类别] 中国地震局地震研究所所长基金(1S201926302、1S20176162)、武汉引力与固体潮国家野外观测研究站开放基金(WHYWZ202103)、国家自然科学基金(41304059)和中国地震局地震行业科研专项(201508009)共同资助

[作者简介] 郝洪涛, 男, 1981年生, 博士, 副研究员, 主要从事流动重力观测技术研究。E-mail: haoht2004@sina.com

胡敏章, 通讯作者, 男, 1985年生, 副研究员, 主要从事重力场及其变化与地震研究。E-mail: huminzhang@126.com

的重力场时空变化特征进行了研究,并在地震预测应用方面取得了较好的应用效果。

在 2021 年比如 6.1 级地震前,中国地震局在西藏那曲市开展过多期流动重力观测,观测到了震中附近明显的重力异常变化,并对此地震作了一定程度的中期预测。2020 年度地震趋势重力研究报告指出,青藏交界地区出现了重力剧烈变化,重力升、降差异达 $100 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 以上,西藏安多、那曲、索县、青海杂多、治多一带(震中位置在 32.44°N , 93.99°E 附近)有 6 级地震发生的可能。可以看出,基于流动重力观测分析做出的中期预测,与 2021 年 3 月 19 日西藏比如 $M_s 6.1$ 地震(92.74°E , 31.94°N)对应较好,尤其在地点的预测上,明确提到西藏那曲。因此,深入分析比如 6.1 级地震震中区及周边地区近年来的流动重力观测资料,进而对此次 6.1 级地震前重力场时空动态演化特征与规律、地震孕育发生过程中的前兆表现有较客观的认识,将有助于青藏地区地震中期预测研究。

1 观测数据与处理

青藏高原地区重力观测是中国大陆地震重力监测的重要组成部分。在 2017 年以前,该地区重力观测主要依托中国大陆构造环境监测网络项目实施,观测周期为 2~3 年一期;2018 年以后,中国地震局依托综合地球物理场观测项目对藏东地区重力观测进行了加密,并将观测周期改为每年一期。

根据现有关于地震孕育过程中重力场变化时空范围的研究结果(胡敏章等,2019),6 级地震引起的重力异常变化,其空间范围可达 200km 以上,持续时间为 1~3 年。为获得完整的重力异常时空分布特征,本文将研究区范围选取为 $27^\circ \text{N} \sim 37^\circ \text{N}$ 、 $87^\circ \text{E} \sim 97^\circ \text{E}$ 、SN 向和 EW 向各约 1000km 的地区(图 1),在构造分区上涵盖了拉萨块体、羌塘块体、巴颜喀拉块体等。

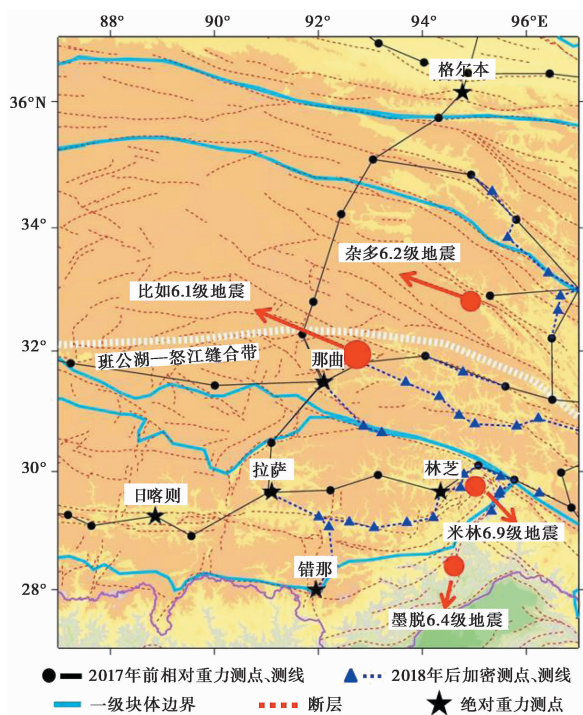


图 1 重力观测概况



在观测资料的时间范围方面,选取了 2015—2020 年 5 年时间,利用期间多个项目获取的相对重力观测数据,共组成 5 期观测成果,资料概况如表 1 所示。在绝对重力观测资料方面,综合利用了 2013 年以来由中国大陆构造环境监测网络项目和综合地球物理场项目获取的绝对重力观测成果,资料概况如表 2 所示。自 2015 年以来,研究区内共发生 4 次 6 级以上地震,分别为 2016 年 10 月 17 日杂多 6.2 级、2017 年 11 月 18 日米林 6.9 级、2019 年 4 月 24 日墨脱 6.3 级以及 2021 年 3 月 19 日比如 6.1 级地震。

表 1 相对重力观测资料概况

期次	观测时间	仪器型号	格值系数	数据来源
1	2015 年 7—9 月	BURRIS-B052	1.000031	中国大陆构造环境监测网络(自然资源部第一大地测量队、中国地震局第二监测中心)
		BURRIS-B070	0.999917	
		BURRIS-B075	0.999987	
		BURRIS-B051	0.999912	
		BURRIS-B085	1.000031	
		LCR-G920	0.999797	
		BURRIS-B054	1.000181	
		BURRIS-B057	1.000501	
2	2017 年 7—9 月	BURRIS-B070	0.999917	中国大陆构造环境监测网络(自然资源部第一大地测量队),综合地球物理场观测(中国地震局第二监测中心)
		BURRIS-B085	1.000116	
		LCR-G922	1.000656	
		BURRIS-B101	0.999726	
		BURRIS-B105	0.999724	
3	2018 年 8—9 月	CG5-C1229	0.999234	综合地球物理场观测(中国地震局第一监测中心、中国地震局第二监测中心)
		CG5-C1235	0.999898	
		CG5-C1427	1.000044	
		CG5-C216	1.001502	
		BURRIS-B086	0.999931	
		BURRIS-B101	0.999469	
		BURRIS-B105	0.999548	
		BURRIS-B115	0.999572	
4	2019 年 6—10 月	CG5-C1229	0.999225	综合地球物理场观测(中国地震局第一监测中心)
		CG5-C1235	0.999931	
		CG5-C1427	1.000079	
		CG5-C207	0.990215	
		BURRIS-B086	0.999931	
		BURRIS-B101	0.999469	
5	2020 年 5—9 月	CG5-C1071	1.000015	中国大陆构造环境监测网络(自然资源部第一大地测量队),综合地区物理场(湖北省地震局、中国地震局第二监测中心)
		CG5-C1073	0.999954	
		CG5-C1074	1.000522	
		CG5-C1075	0.999847	
		CG5-C1076	1.000090	
		CG5-C1077	1.000760	
		BURRIS-B086	0.999936	
		BURRIS-B101	0.999456	
		BURRIS-B105	0.999561	
		BURRIS-B115	0.999220	
		CG6-090	0.999873	
		CG6-093	1.001026	
		CG6-236	0.999885	
		CG6-238	1.000118	



表 2 绝对重力观测数据概况

台站名	观测时间	仪器型号	精度/(10 ⁻⁸ m · s ⁻²)	数据来源
拉萨	2013 年 7 月	FG5-214	2.70	中国大陆构造环境监测网络(自然资源部第一大地测量队、中国科学院精密测量研究院),中国地震局综合地区物理场观测(湖北省地震局、中国地震局第一监测中心、中国地震局第二监测中心)
	2015 年 9 月	FG5-214	2.13	
	2018 年 5 月	FG5-214	1.39	
	2019 年 6 月	A10-048	3.71	
	2020 年 8 月	FG5X-246	1.07	
那曲	2013 年 7 月	FG5-214	2.10	
	2015 年 9 月	FG5-214	3.67	
	2018 年 4 月	FG5-214	1.83	
	2019 年 6 月	A10-048	2.40	
	2020 年 8 月	FG5X-246	0.47	
日喀则	2013 年 7 月	FG5-214	2.60	
	2016 年 6 月	FG5-214	2.67	
	2018 年 5 月	FG5-214	3.85	
	2019 年 6 月	A10-048	3.79	
	2020 年 9 月	FG5X-246	0.56	
格尔木	2013 年 7 月	FG5-214	2.70	
	2015 年 9 月	FG5-214	4.92	
	2018 年 4 月	FG5-214	1.68	
	2019 年 9 月	A10-028	3.34	
	2020 年 8 月	FG5X-259	1.29	
林芝	2018 年 8 月	A10-048	3.04	
	2019 年 6 月	A10-048	4.42	
	2020 年 8 月	FG5X-259	0.60	
错那	2018 年 8 月	A10-048	1.92	
	2019 年 6 月	A10-048	1.95	

在数据处理过程中,首先利用绝对重力观测结果构建起算基准和控制点。绝对重力观测数据处理进行了固体潮、海潮负荷、陆地水负荷、气压、极移、垂直梯度等改正,并基于经典负荷理论(Farrell,1972)与 GLDAS 水文模型(Rodell et al,2004)进行了水负荷效应改正,以减弱或消除水负荷重力效应。最后,根据各期相对重力观测前后两期的绝对重力观测值,采用式(1)所示线性拟合的方法模拟绝对重力基准点重力值随时间的变化,再根据相对重力观测时间内插或外推至相对重力观测时刻,作为相对重力观测数据处理的基准和控制点。

$$g_t = at + b \tag{1}$$

式中, t 为观测时间, g_t 为 t 时刻重力值, a 、 b 为线性拟合参数。

相对重力观测数据的处理同样进行了进行了固体潮、气压、仪器高等改正。为减弱相对重力仪器格值系数误差影响,计算过程中采用绝对重力基准对格值系数进行了整体解算,计算软件采用中国地震局流动重力数据处理通用软件 LGADJ(刘绍府等,1991)。最终各期观测数据平差点值精度均优于 $15\times10^{-8}\text{m/s}^2$ 。



2 结果分析

重力场动态变化一般采用差分动态变化和累积动态变化两种表现形式。差分图像(图2)为相邻两期观测期间的变化结果(半年尺度),可突出不同时期重力场动态演化的差异信息;累积图像(图3)是以2015年观测为基准的变化结果,侧重于显示较长时间内的累积效应。

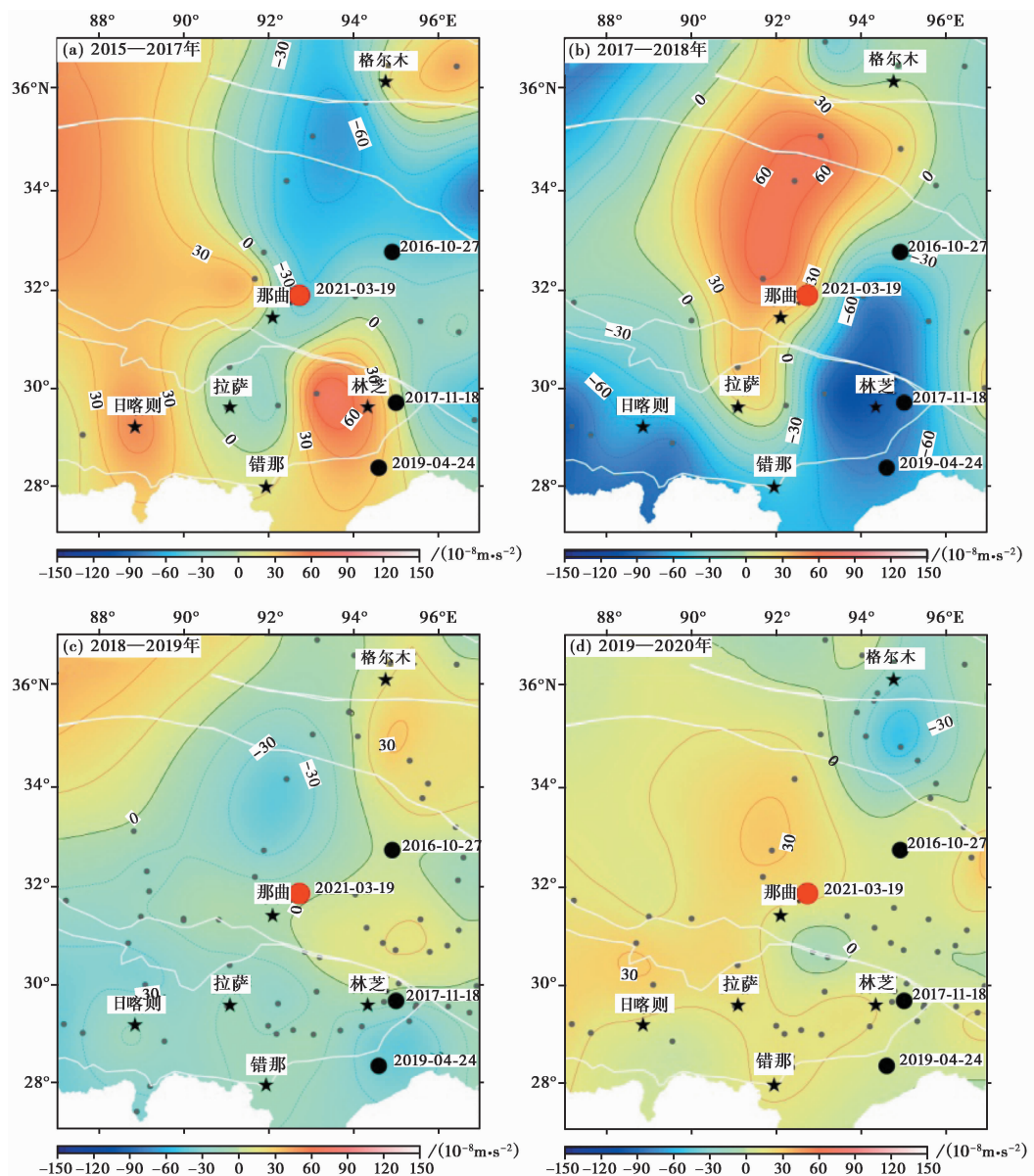


图2 差分重力变化

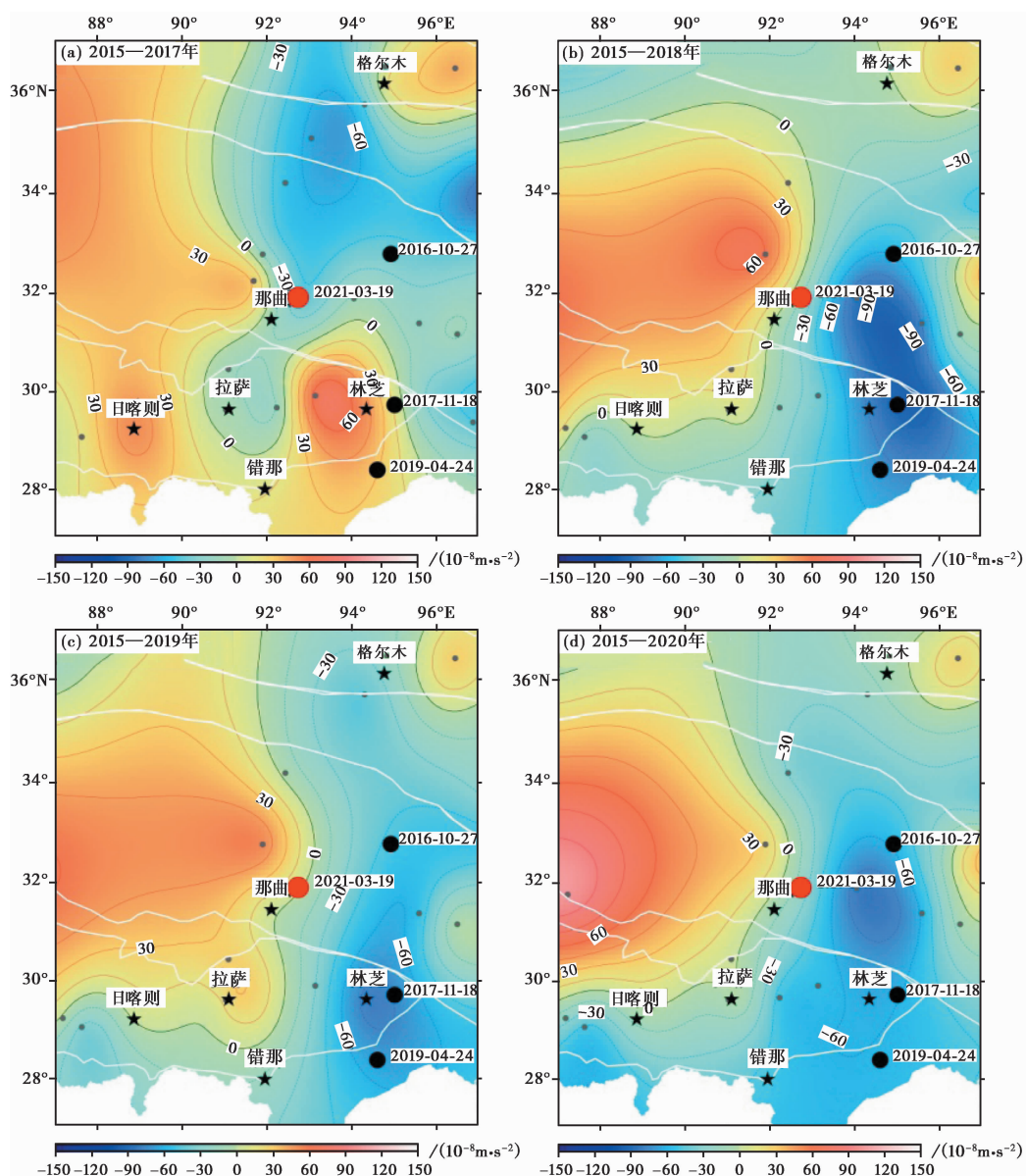


图3 累积重力变化

2.1 差分变化

由图 2 可知,各时段差分重力变化在空间分布形态和量级上均存在较大差异。在空间分布形态上,各时段变化主要表现为 EW 向差异变化,而块体边界南北两侧的差异变化并不显著。在变化量级上,2015—2017 年、2017—2018 年 2 个时段变化较为剧烈,而 2018—2019 年、2019—2020 年 2 个时段则较为平缓。

(1) 2015—2017 年时段。除南部拉萨块体呈正负相间分布外,北部羌塘块体和柴达木块体整体呈自西向东、由正向负的态势;本时段内发生了 2016 年 10 月 17 日杂多 6.2 级地

震,震中北部的高值负变化(最大量级约 $70 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$)可能是此次地震震后调整效应的反映。拉萨块体东部地区呈现显著的局部正变化区(最大量级约 $60 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 以上),并在林芝东侧地区形成SN向差异变化梯度带,0值线两侧正负变化中心差异变化约 $100 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,空间跨度约350km。2017年11月18日米林6.9级地震的发震位置位于该梯度带和0值线上。2021年比如6.1级地震位于那曲地区自西向东由正向负的重力变化高梯度带转弯处附近,重力差异变化约 $70 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。

(2)2017—2018年时段。相比前一时段,本时段内正负变化区分布明显集中,变化量级也明显增强。研究区中部地区呈高值正变化,最大量级为 $60 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$;拉萨块体内部相比上一时段呈反向变化特征,块体东部的林芝地区和日喀则地区转为高值负变化,其中林芝地区最大量级达 $90 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 以上,可能反映2017年米林6.9级地震的震后调整效应。格尔木、那曲、拉萨一线形成规模较大的NE向梯度带(正负变化中心区之间最大差异变化达 $150 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 以上,空间跨度约450km),而2021年比如6.1级地震位于该梯度带上和0值线附近。

(3)2018—2019年时段。本时段重力变化趋于平缓,重力变化一般在 $30 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 以内。在本时段内发生了2019年4月24日墨脱6.3级地震,但在震中附近地区并无重力测点覆盖。虽然重力变化并不显著,但从重力变化的空间分布态势看,格尔木至那曲一线东西两侧地区发生了正负变化反向,比如6.1级地震位于自西向东、由负转正的趋势变化0值线附近。

(4)2019—2020年时段。除格尔木南部呈局部负变化外(最大量级约 $45 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$),研究区南部羌塘块体和拉萨块体基本呈相对分散的低值正变化。

2.2 累积变化

重力变化格局整体表现出较为明显的继承性,各时段图像的空间分布形态仍以EW向差异变化为主。

(1)2015—2017年时段。同上述差分变化。

(2)2015—2018年时段。重力场变化整体呈自西向东、由正向负的趋势性变化,正负变化交界地区形成规模较大的SN向梯度带;那曲西北部正变化中心区(最大量级约 $60 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$)至那曲东部负变化中心区(最大量级约 $90 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$)差异变化达 $150 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,空间跨度约450km。2021年比如6.1级地震位于梯度带和0值线上。

(3)2015—2019年时段。重力场变化整体空间分布态势与前一时段相似;那曲西北部地区正变化有所减弱,正变化极值区向西迁移;林芝北部地区负变化略减弱。比如6.1级地震仍位于大致呈SN向的梯度上,但在震中地区,梯度带发生了较为明显的转弯现象。

(4)2015—2020年时段。重力变化仍维持自西向东、由正向负整体态势;相比前一时段,重力正变化区范围有所扩大,东部负变化极值区量级为 $75 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 左右,梯度带两侧正负变化中心区差异变化约 $105 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,空间跨度约300km。比如6.1级地震仍位于梯度带上。

2.3 重力场变化与地震关系

地表重力场变化与地震活动密切相关。申重阳等(2020)、祝意青等(2018、2020)对中国大陆近期的主要强震研究认为,与区域构造分布一致的重力场变化通常是构造活动因素

的反映,强震往往发生在与构造分布一致的梯度带和正负转换带上,而重力场演化过程中的转折变化、等值线翻转则可能是临震前的前兆异常特征。祝意青等(2020)、胡敏章等(2019)进一步研究了重力异常变化与地震预测三要素的特征指标,指出与构造活动有关的重力变化高梯度带转弯部位和趋势异常中出现局部异常区是重力典型的典型形态,6 级地震对应的异常量级为 $70 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 以上,异常范围为 200km 以上,持续时间为 1~3 年。

通过上述重力场变化分析过程可发现:①此次比如 6.1 级地震震前约 3 年的差分 and 累积图像中,出现了穿过比如地震震中区的近 SN 向重力变化梯度带,并随着时间推移,在震中地区梯度带发生转弯;2017 年 11 月 18 日米林 6.9 级地震位于 2015—2017 年时段图像中林芝东侧的 SN 向梯度带上;②比如 6.1 级地震震中西北部和东部通常呈现局部正负变化极值区特征,正负变化中心区差异变化最大达 $150 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 以上,临震前一期累积变化图像中最大差异变化约 $105 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$;③在异常范围上,比如 6.1 级地震震中附近重力梯度带两侧正负异常中心区的跨度为 300~450km,米林 6.9 级地震前梯度带两侧正负异常中心区的距离约 300km。

结合上述分析认为,2021 年比如 6.1 级地震前约 3 年,重力场变化开始出现与地震孕育相关的重力异常特征,异常形态和持续时间与现有特征指标均保持一致。在异常范围和量级上,本文结果相比现有特征指标略偏大,其原因可能包括以下因素:①重力变化结果中包含了 2017 年 11 月 18 日米林 6.9 级的同震和震后效应,从而对重力异常范围和变化量级产生影响;②西藏地区自然环境恶劣、交通不便,对重力观测中仪器性能、观测实施均会带来一定影响,从而导致观测数据的实际精度有所降低。加之该地区测点稀少,测网空间分辨率达 100km 以上(韩宇飞等,2020),观测信息的空间密度不足,不能较好地捕捉到孕震过程中出现的完整前兆信息。但考虑到地震孕育和发生过程的复杂性以及现有的认识水平,通过分析仍不难得出,重力场时空变化特征对于研究强震的孕育和发生规律,尤其是地点判定,无疑具有重要的参考作用。

3 重力场变化机理探讨

引起地表重力场变化的因素复杂多样,一般在去除大气、水负荷等环境效应后,主要反映地壳垂直运动、地下物质分布变化等与构造运动相关的因素。本文在数据处理中考虑了大气效应改正,并采用对起算基准进行改正的方式予以消除或减弱水负荷效应的影响,在此基础上提取了由构造因素引起的重力变化信息。

地壳垂直运动监测长期以来主要依靠水准观测获取。西藏地区已有的水准观测主要是 1951—1969 年、1976—1984 年、1991—1999 年完成实施的 3 期全国性水准测量(董鸿闻等,2002),但其时间范围与本文重力数据相差较大。近年来,高精度 GPS 观测在地壳垂直运动研究中得到了越来越广泛的应用(刘经南等,2002;顾国华,2005;Liang et al,2013;赵斌等,2014)。其中,Liang 等(2013)基于西藏地区 1998—2013 年期间 GNSS 观测数据获得的三维地壳运动背景显示,青藏高原地区地表垂直运动的量级一般在 $\pm 5 \text{ mm/a}$ 以内,折合重力变化最大约为 $1.5 \mu \text{ Gal/a}$,不足以引起数十微伽的重力变化,因此地壳垂直形变不是引起重力场变化的主要原因。

在排除地壳垂直运动影响因素后,重力场变化主要反映地壳深部介质密度变化效应和

物质运动过程(申重阳等,2009)。本文研究区位于青藏高原腹地,地壳物质在印度板块的北向推挤作用下发生大规模侧向挤出,具有大规模物质运移的背景。已有研究认为,在羌塘块体内部,由于东部物质快速向东和南东方向运移牵引着西部物质不连续地向东运移,在拉伸过程中造成一系列共轭走滑断裂和近SN向正断裂(李海兵等,2021)。2021年比如6.1地震位于班公湖—怒江缝合带与亚东—谷露SN向正断层带北向延伸的交汇部位,而震源机制解也显示以正断为主。根据位错理论模拟的断层运动重力效应表明,正断型断层运动引起的地表重力变化表现为以断层为边界的正负两侧分布(Okubo,1992;谈洪波等,2008),其空间分布特征与本文所显示的实测重力变化的形态(2017—2018年、2015—2020年等)相符,且实测重力变化的正负转换带(0值线)与亚东—谷露SN向正断层带的走向基本一致。因此,可推测此次比如6.1地震正是羌塘块体内部EW向拉伸运动作用的体现,而实测重力变化则较好地反映了这一构造运动背景所引起的质量分布变化。

4 结论

地表重力场变化包含有丰富的地壳变动信息,是认识地震孕育和发生规律以及进行地震预测研究的重要手段。本文基于青藏高原地区2015—2020年期间5期地表流动重力观测资料,获取了该地区近期重力场变化图像,并对重力场变化与2021年比如6.1级地震的关系进行了研究,主要获得以下结论:

(1)比如6.1级地震前约3年的重力图像出现穿过震中区的SN向重力变化梯度带和局部异常,其形态和持续时间与现有典型指标一致,表明重力变化较为清晰地反映了此次地震孕育过程中所引起的重力异常信号。

(2)地表垂直位移因素不是引起重力变化的主要因素。实测重力场变化与正断型断层位错引起的重力变化在形态上基本一致,结合比如6.1级地震的震源机制以正断为主,推测羌塘块体EW向拉张运动为此次地震的发震背景,而实测重力变化则较好地反映了这一构造运动背景所引起的质量分布变化。

(3)流动重力资料对2021年比如6.1级强震震中地点的判定,进一步证实了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。在观测信息空间密度严重不足的青藏高原腹地,能有效地进行强震地点预测实属不易。强震易发生在重力变化正、负异常区过渡的高梯度带上和0值线附近,而此次比如6.1级强震就发生在重力差异运动剧烈的梯度带上和0值线附近。

参考文献

- 陈运泰,顾浩鼎,卢造勋,1980. 1975年海城地震与1976年唐山地震前后的重力变化. 地震学报,2(1):21~31.
- 董鸿闻,顾旦生,李国智,等,2002. 中国大陆现今地壳垂直运动研究. 测绘学报,31(2):100~103.
- 顾国华,2005. GPS观测得到的中国大陆地壳垂直运动. 地震,25(3):1~8.
- 韩宇飞,汪健,徐如刚,等,2020. 陆态网络重力测网的分形特征与地震监测能力分析. 中国地震,36(4):879~887.
- 胡敏章,郝洪涛,李辉,等,2019. 地震分析预报的重力变化异常指标分析. 中国地震,35(3):417~430.
- 李海兵,潘家伟,孙知明,等,2021. 大陆构造变形与地震活动——以青藏高原为例. 地质学报,95(1):194~213.
- 刘经南,姚宜斌,施闯,等,2002. 中国大陆现今垂直形变特征的初步探讨. 大地测量与地球动力学,22(3):1~5.
- 刘绍府,刘冬至,李辉,1991. 高精度重力测量平差及其软件. 地震,(4):57~66.

- 申重阳,李辉,孙少安,等,2009. 重力场动态变化与汶川 M_s 8.0 地震孕育过程. 地球物理学报, **52**(10):2547~2557.
- 申重阳,祝意青,胡敏章,等,2020. 中国大陆重力场时变监测与强震预测. 中国地震, **36**(4):729~743.
- 谈洪波,申重阳,李辉,2008. 断层位错引起的地表重力变化特征研究. 大地测量与地球动力学, **28**(4):54~62.
- 赵斌,聂兆生,黄勇,等,2014. 大规模 GPS 揭示的华北地区现今垂直运动. 大地测量与地球动力学, **34**(5):35~39.
- 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. 地球物理学报, **56**(6):1887~1894.
- 祝意青,李铁明,郝明,等,2016. 2016 年青海门源 M_s 6.4 地震前重力变化. 地球物理学报, **59**(10):3744~3752.
- 祝意青,申重阳,张国庆,等,2018. 我国流动重力监测预报发展之再思考. 大地测量与地球动力学, **38**(5):441~446.
- 祝意青,申重阳,刘芳,等,2020. 重力观测地震预测应用研究. 中国地震, **36**(4):708~717.
- Barnes D F,1966. Gravity changes during the Alaska earthquake. J Geophys Res, **71**(2):451~456.
- Farrell W E,1972. Deformation of the Earth by surface loads. Rev Geophys, **10**(3):761~797.
- Hunt T M,1970. Gravity changes associated with the 1968 Inangahua earthquake. New Zeal J Geol Geophys, **13**(4):1050~1051.
- Liang S M,Gan W J,Shen C Z, et al,2013. Three-dimensional velocity field of present-day crustal motion of the Tibetan Plateau derived from GPS measurements. J Geophys Res Solid Earth, **118**(10):2013JB010503.
- Okubo S,1992. Gravity and potential changes due to shear and tensile faults in a half-space. J. Geophys. Res., **97**(B5):7137~7144.
- Rodell M,Houser P R,Jambor U, et al,2004. The global land data assimilation system. Bulletin of the American Meteor Soc, **85**(3):381~394.

Study on Gravity Variation before the 2021 Biru 6.1 Earthquake in Tibet Plateau

Hao Hongtao^{1,2)}, Wei Jin^{1,2)}, Chen Zhaohui³⁾, Zhao Yunfeng⁴⁾, Zhang Xinlin^{1,2)}, Liu Shaoming^{1,2)}, Hu Minzhang^{1,2)}

1) Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China

2) Hubei Earthquake Agency, Wuhan 430071, China

3) The First Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China

4) The Second Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China

Abstract By using mobile gravity observation data in the Tibet Plateau during 2015–2020, the gravity variation characteristics before the Biru 6.1 earthquake on March 19, 2021 was studied. The results show that: ① the high gradient zone along North-South direction, which is across the epicenter and in consistent with the typical gravity anomaly characteristics, has been observed in the gravity variation images of about 3 years before the earthquake. This indicates that the sign of gravity anomaly caused by the earthquake preparation has been detected. ② The observed gravity variations are basically consistent with the gravity variations caused by the dislocation of a normal fault. Considering the focal mechanism of this earthquake is mainly normal fault, the East-West stretching movement of Qiangtang block may be the background of this earthquake occurrence.

Keywords: The Biru 6.1 earthquake; Gravity variation; Mobile gravity