

南天山—帕米尔地区近期重力场动态变化特征^{*}

艾力夏提·玉山, 刘代芹, 李 杰, 王晓强, 李 瑞,
阿卜杜塔伊尔·亚森, 李桂荣, 陈 丽, 朱治国

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 利用2014—2016年南天山—帕米尔地区5期流动重力观测资料, 分析该地区半年和一年尺度重力变化特征, 探讨了地震孕育发生与重力场变化特征的关系。结果表明: 南天山—帕米尔地区半年和一年尺度重力变化量分别为 $(10 \sim 20) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 和 $(20 \sim 30) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 重力场变化有明显的分区特征, 塔里木盆地较多表现出重力正值变化, 南天山和帕米尔地区正负值变化交替出现。重力场变化能较好地反映该地区地震孕育和发生过程, 地震发生前, 在震中附近地区的重力变化值出现上升的趋势。在孕震区及附近地区出现重力变化高梯度带, 并伴随有重力变化零线, 且地震多发生在重力变化正值集中区的零线附近。

关键词: 南天山—帕米尔地区; 流动重力; 重力场特征; 地震孕育

中图分类号: P312.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2018)01-0082-08

0 引言

地震前后地下应力应变状态的变化会改变地表重力场的分布, 陈运泰等(1980)研究发现, 1975年海城地震和1976年唐山地震前后的重力场变化不仅是由高程变化所引起, 高程变化无法解释这么大量级的重力场变化分布, 由此提出了地球深部物质迁移的可能性, 并认为地球内部物质迁移导致地壳密度的变化, 从而改变地表重力场分布, 最早提出了“物质运移”的概念用于解释地震前观测到的重力场变化的物理机制。因受到板块运动的作用, 加上地壳物质物理性质的差异性, 不同区域地壳物质受到不同程度的应力作用, 这种因应力状态的变化而引起的地球内部物质运移的重新分布会改变地表重力场的分布格局。由于地球内部的密度不一样, 地壳内物质受到的重力作用也不一样, 这必然引起地壳内部的能量积累的不平衡, 同时在应力作用下的地壳内物质运移在受到阻挡后, 形成挤压、推覆、逆冲与走滑构造, 为地震的孕育和发生创造条件。流动重力测量反映的是区域重力场的非潮汐变化信息, 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, 地表重力场的变化则能较好地反映地壳厚度的差异、地壳密度的变化和深部物质迁移等构造活动信息(陈石等, 2011; 贾民育, 詹洁辉, 2000; 祝意青等, 2001)。系统分析地震前后重力场时空变化特征, 对认识地震的孕育发生规律、捕捉地震前兆、开展中强地震预测的应用研究具有现实意义(祝意青等, 2013)。本文拟利用2014—2016年的流动重力观测资料, 分析南天山—帕米尔地区重力场分布变化及其与地震的关系。

1 测区概况及数据处理

1.1 测区概况

南天山—帕米尔地区位于新疆西南部, 地处于南天山、西昆仑及塔里木盆地3大地质构造单元交汇处, 在印度板块与欧亚板块的俯冲碰撞作用下, 帕米尔的陆内俯冲和变形作用非常强烈(Molnar, 1988)。地质学及GPS研究结果表明欧亚大陆岩石圈深部向帕米尔俯冲至少有200 km, 使帕米尔地区地壳厚度比其它区域平均地壳厚度大2倍(汪素云等, 1992; 楼小挺等, 2007)。南天山地区受

^{*} 收稿日期: 2016-08-28.

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2016D01A062)、震情跟踪定向工作任务(2018010125, 2018010221)、中国地震局三结合课题(CEA-JC/3JH-173106)、国家自然科学基金(41374030, 41474016)、地震科技星火计划(XH16042Y, XH17044)和川滇国家地震监测预报试验场项目(2016CESE0202)联合资助。

到帕米尔高原沿其北缘的帕米尔推覆构造带往北俯冲到欧亚大陆之上的影响,向南俯冲到稳定的塔里木块体北缘之上,该地区现今的缩短速率达到 $19 \sim 20 \text{ mm/a}$ (Abdrakhmatov, 1996; 王琪等, 2000), 相当于印度板块向北移动速率的一半 (Molnar, 1988)。在印度板块向北俯冲的作用下, 西昆仑、帕米尔构造带等地区形成了一系列的向北凸出的弧型推覆构造, 这些弧型推覆构造在东西两侧由正向逆冲渐变为斜冲—走滑大断裂, 显示出东侧右旋、西侧左旋的断层活动特征。弧型推覆构造的东侧、NW 走向的逆断层与斜切天山 NW 向的塔拉斯—费尔干那深大右旋走滑逆冲断裂带、NW 向的西昆仑北缘走滑断裂构造在新疆乌恰地区交汇 (陈杰等, 1997)。这些活动构造特征致使南天山—帕米尔地区成为整个新疆地区构造运动最强烈的地区之一, 该地区经常发生中强地震, 如 1902 年阿图什 8 级地震, 1985 年乌恰 7 级地震, 1998 年阿图什 6.9 级地震, 2008 年乌恰 6.8 级地震等。2013—2016 年在测区内共发生了 5 次 $M_s \geq 5$ 地震 (图 1), 包括 2013 年 3 月阿图什 $M_s 5.1$ 地震、2013 年 12 月柯坪 $M_s 5.3$ 地震、2014 年 7 月麦盖提 $M_s 5.1$ 地震、2015 年 1 月阿图什 $M_s 5.0$ 地震和 2015 年 7 月皮山 $M_s 6.5$ 地震。

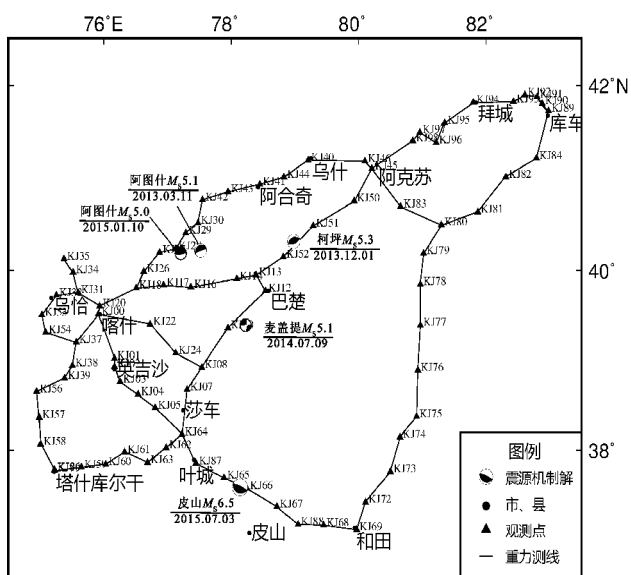


图 1 南疆地区重力网分布图

Fig. 1 Distribution of gravity observation network in Southern Xinjiang area

1.2 数据选取与处理

随着“中国地壳运动观测网络工程”在新疆

地区的开展, 新疆地震局于 2005 年在南天山喀什—伽师及邻近地区建立了由 40 个流动重力监测点构成的重力观测网, 并从 2005 年开始每年至少进行 2 期重复观测 (王晓强等, 2007)。为了更好掌握南天山地区流动重力场变化趋势, 2007 年新疆地震局在原有的喀什—伽师监测网基础上, 把监测范围扩展到乌什、柯坪、阿克苏一带。2013 年再次扩展南疆监测网, 在阿克苏、喀什、和田等地区埋设 35 个流动重力监测点, 形成了覆盖南天山、西昆仑、帕米尔高原以及塔里木盆地部分地区的流动重力观测网络。

本文选取 2014—2016 年新疆地震局观测的 5 期南天山—帕米尔地区流动重力数据, 研究范围包括 ($75^\circ \sim 83^\circ \text{E}$, $37^\circ \sim 42^\circ \text{N}$), 覆盖阿克苏地区、克州地区、喀什地区以及和田部分地区 (图 1), 总面积约 $1.95 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。野外观测均使用 2 台 CG5 型高精度重力仪, 野外记录与计算均采用中国地震局地震研究所提供的掌上电脑程序“重力测量电子记簿系统”, 所有测段自差互差符合规范要求, 即往返测自差小于 $25 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 互差小于 $30 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。平差计算采用中国地震局攻关软件 LGADJ。在平差计算时, 利用库车和塔什库尔干 2 个点的绝对重力值进行约束经典平差, 在平差计算时, 采用降权或粗差剔除等方法对误差比较大的测段进行了优化, 绝对重力资料观测结果以 $(3 \sim 5) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 精度定权 (刘代芹等, 2015)。最终计算结果显示, 各期结果的点值精度为 $(6 \sim 9) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 任意 2 期结果获得的重力变化精度为 $(7 \sim 10) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 解算精度均满足重力场变化研究的需要。基于平差结果, 计算半年尺度和一年尺度的重力变化量, 最后利用 Kriging 插值法对重力变化量数据进行内插计算得到整个研究区重力场变化等值线图。

2 重力场变化特征分析

2.1 重力场变化特征

本文根据平差数据计算结果, 分别绘制了 2014—2016 年的半年尺度和一年尺度重力场变化图像。

2.1.1 半年尺度重力场变化特征

从 2014 年 4—9 月 (图 2a) 的重力场变化图中可以看出, 研究区域重力场呈现出大范围的负值

区域,重力零线分布在喀什、阿合奇附近地区,在塔什库尔干和乌恰地区也出现了小范围的重力零线,在塔里木盆地中部地区表现为重力场正值变化区。在重力场变化的高梯度带和穿过喀什、阿合奇的零线附近(40.2°N, 77.3°E)于2015年1月10日发生了阿图什 $M_s5.0$ 地震。

图2b为2014年9月—2015年4月测区重力场变化图,与图2a对照分析可以看出,重力场变化出现大规模的正负调整变化,这是由2014年7月9日麦盖提 $M_s5.1$ 地震所导致。西昆仑、阿克苏以北地区出现重力正值变化,而南天山西段、塔里木盆地中部等地区重力则呈现负值变化,表明西昆仑地区的地壳密度或地下物质变化相对于西南天山地区有明显的差异性。西昆仑地区以皮山地区为界,其东侧为重力负值变化,西侧为重力正值变化。2015年7月3日皮山 $M_s6.5$ 地震发生在重力高梯度带和零线附近,该地震震中位于西昆仑山地隆起

区与塔里木盆地过渡地带,西昆仑山前分布多条活动断裂,在塔里木盆地边缘地带分布有泽普隐伏断裂、皮山东南隐伏断裂,此次地震微观震中位于这2条隐伏断裂之间。

通过2015年4月—2015年8月的重力场变化图像(图2c)可以看出,整个测区处于重力正值变化,除了乌恰地区出现重力变化高梯度带以外,其他地区的重力变化量在 $20 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 以内。西南天山地区沿着阿合奇、乌什和阿克苏地区形成了重力零线闭合区域。从南天山—帕米尔地区的重力场变化情况来看,整个区域处于重力变化增强态势。值得注意的是,在乌恰附近出现重力场高值集中区,变化量值达到 $80 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。同时,乌恰高梯度带附近出现重力零线,且其分布形态与该地区构造特征基本一致。

2015年8月—2016年4月的观测资料显示(图2d),在南天山西段、塔里木盆地以及西南天

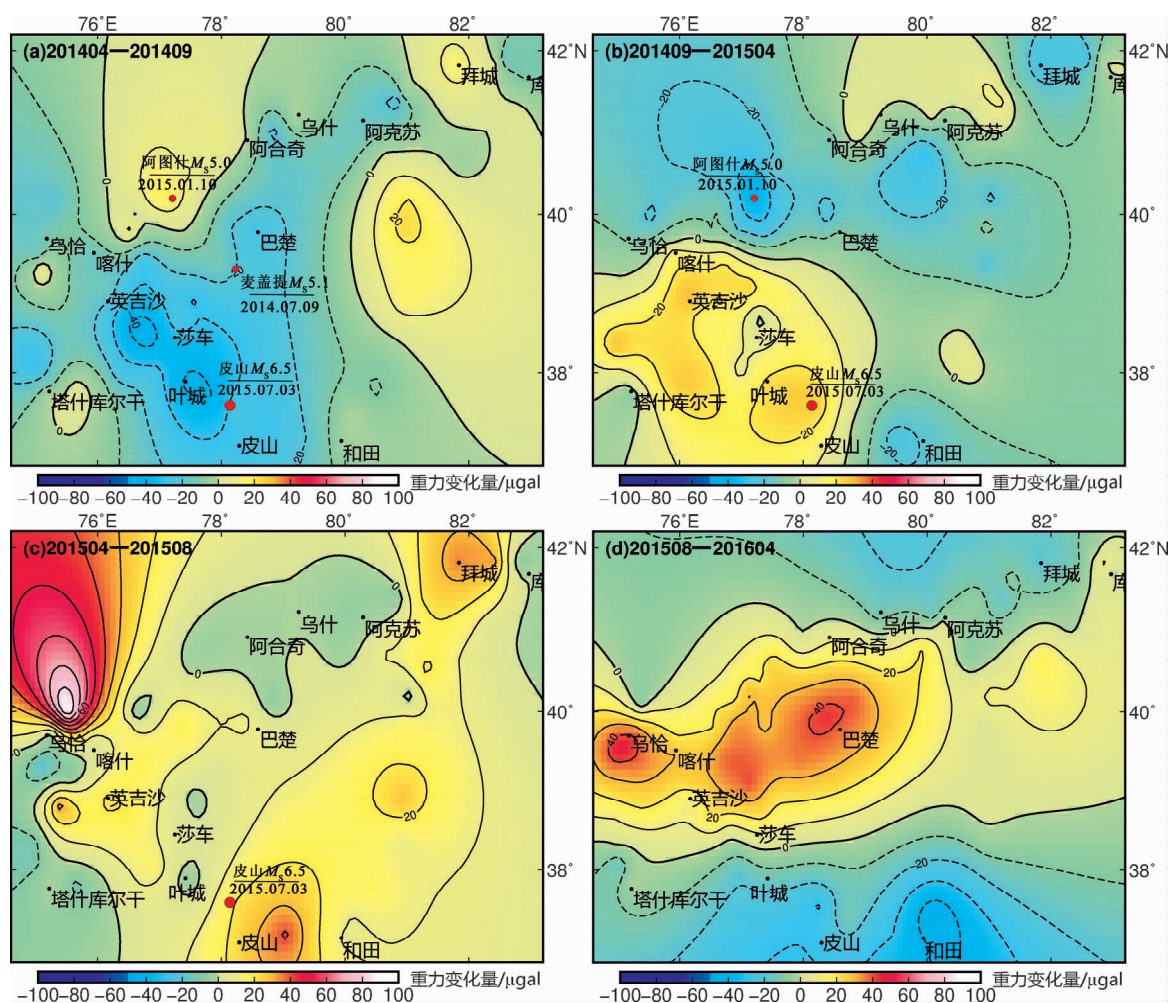


图2 南天山—帕米尔地区半年尺度重力场变化图像

Fig. 2 Gravitational field changes of Southern Tianshan - Pamir area in half year scale

山与西昆仑交汇地区均出现重力正值变化,塔里木盆地南缘及西昆仑其它地区出现重力负值变化。南疆地区重力场以巴楚和乌恰为中心向南北逐步减弱,最后沿着阿克苏、乌什一带,以及塔什库尔干、叶城一带分别出现2条几乎平行的零线。其中零线附近的乌什、阿合奇、乌恰、叶城、和田地区出现重力变化梯度带。虽然在塔吉克斯坦和阿富汗地区发生了几次7级地震,新疆境内乌恰至塔什库尔干地区的重力场异常有一定减弱,但最新重力数据结果显示,该地区重力梯度带依然存在,最大变化量约为 $40 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,这很可能与2016年6月在吉尔吉斯斯坦境内发生的 $M_s 6.7$ 地震有关,该地震震中离乌恰、布伦口出现的异常区的直线距离约150 km。

2.1.2 一年尺度重力场变化特征

2013年9月—2014年9月的重力场变化图显示(图3a),重力场分布格局较清晰,南天山地区

重力场处于不断减小的变化过程,即为负值区域,根据重力场变化机理,表明了南天山地区受到了青藏高原、西昆仑构造应力的推挤,山体正处于不断隆升的过程,这与利用InSAR和水准资料研究的结果一致(乔学军,郭利民,2007;王晓强等,2009;艾力夏提·玉山等,2015)。从重力零线的分布情况来看,在阿合奇以西地区重力变化呈现出小范围的闭合的零线区域,在和田和库车中间呈现出重力零线区域,2015年1—7月在该区域重力零线附近曾发生了2次5级以上中强地震,即2015年1月10日阿图什 $M_s 5.0$ 和2015年7月3日皮山 $M_s 6.5$ 地震。

从2014年9月—2015年8月的重力场变化图(图3b)可以看出,与图3a相比,该时段重力场出现了大面积的调整过程,且重力零线基本上沿着南天山、昆仑山山体和塔里木盆地边缘分布,表明该地区重力变化的机理与构造分布特征基本一致。

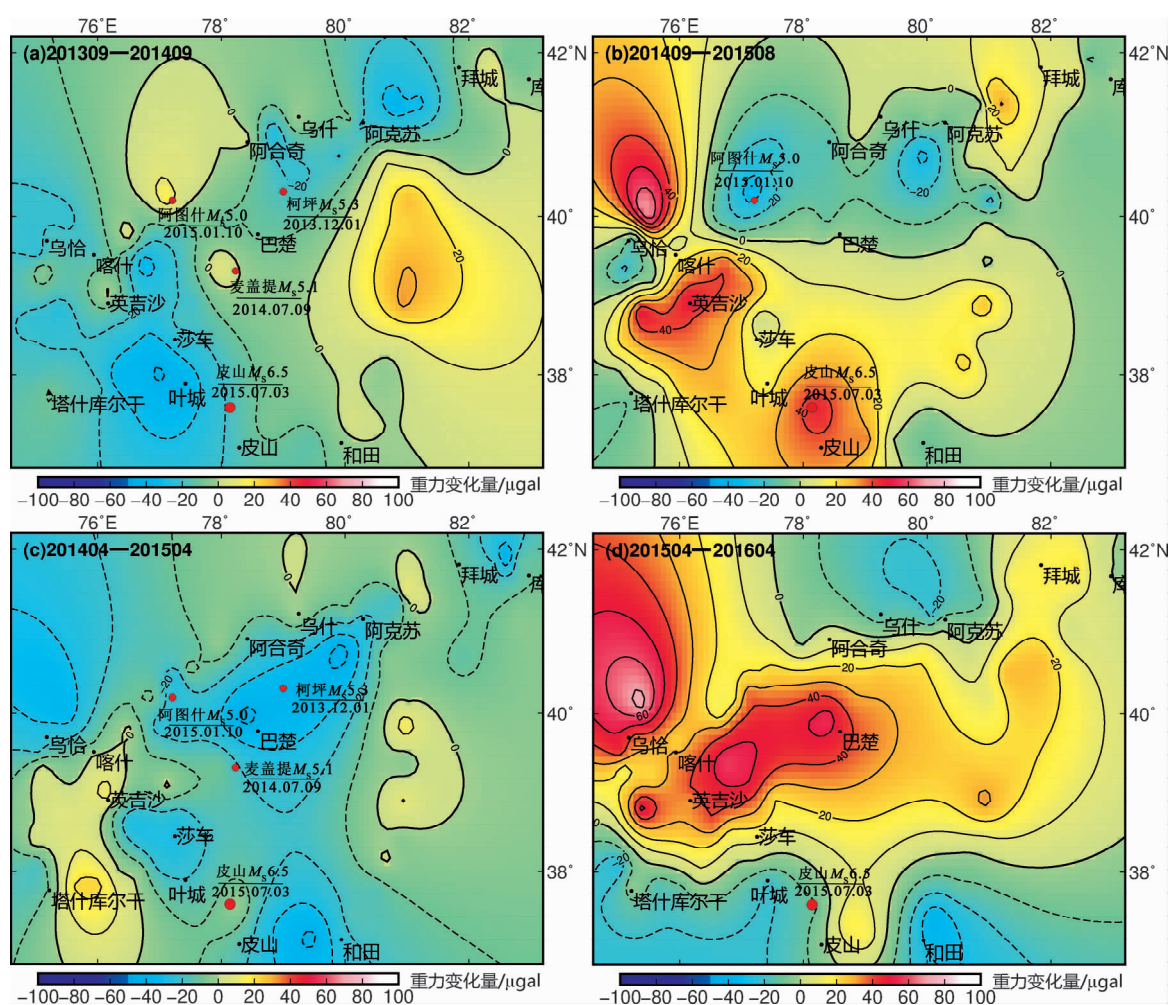


图3 南天山—帕米尔地区一年尺度重力场变化图像

Fig. 3 Gravitational field changes of Southern Tianshan – Pamir area in one-year scale

在乌恰附近地区出现重力变化集中区,变化量达到 $50 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。另外,塔什库尔干附近区域重力场也出现了重力正值集中区,零线从塔什库尔干往北通过乌恰再往西延伸,而且重力演化过程基本与图 2d 一致,在南天山西段重力场变化出现了一个小范围的四象限分布,且重力场正负交替出现将南天山地区切割为 4 部分(图 3b)。重力场变化说明乌恰、喀什以东地区和和田、阿克苏以西地区地壳物质不断运移而集中,地壳密度不断增加,即重力正值变化的盆地区域地壳密度变大。根据研究经验表明(申重阳等, 2010; 祝意青等, 2013; 梁伟锋等, 2012), 2 个相邻时段内的重力场变化出现梯度变化(图 3a、b), 往往是发生中强地震的前兆异常信息体现, 而皮山 $M_s 6.5$ 地震则恰恰发生在该地区。

2014 年 4 月—2015 年 4 月的重力场变化图(图 3c) 显示, 整个研究区重力场呈现大范围的负值变化, 即重力场处于不断减小的变化过程, 仅巴楚和塔什库尔干附近呈现重力正值变化。巴楚、塔什库尔干、塔里木盆地中部地区出现小范围的重力变化正值闭合区, 我们认为在巴楚地区出现的重力变化是由该地区的 KJ52 观测点的位置以及其周围环境变化所引起。

从 2015 年 4 月—2016 年 4 月的重力场变化图(图 3d) 中可以看出, 该时间段内的重力场变化与该区域的背景趋势变化基本一致, 即山区为重力负值区, 盆地为重力正值区。从整个区域的重力场分布情况来看, 除了和田和塔什库尔干地区出现重力负值以外, 其他区域均为重力正值变化, 塔里木盆地重力场正值变化是该地区地壳形变的背景趋势。因塔里木盆地受到帕米尔高原的俯冲作用, 同时也在北边遇到南天山地区的阻挡, 一直处于下沉趋势, 其密度也随之不断增加, 从而出现重力场正值变化。而在乌恰地区出现了重力正值高梯度带, 这很可能与 2016 年 6 月在该区域附近的吉尔吉斯斯坦境内发生的几次 5 级和 6 级地震有关。

2.2 重力剖面变化分析

重力场分布反映的是较大范围地区的趋势性变化, 而重力剖面变化则能较好地反映沿着某几条测段或测线的实际变化情况(祝意青等, 2003)。2014 年新疆地震局将原来的覆盖喀什—阿克苏地区重力网扩展到西昆仑和塔里木盆地等地区, 从 2014 年 9 月开始对其进行了观测, 因此, 为了更

好地分析南天山—帕米尔地区重力变化趋势与特征, 以 2014 年 9 月观测数据为基准, 分别绘制了塔什库尔干—布伦口—乌恰(图 4 中的测线 a)、喀什—托帕—巴音库鲁提(测线 b)、阿克苏—乌什—阿合奇—喀什—乌恰(测线 c)、喀什—英吉沙—泽普—叶城—皮山—和田(测线 d) 4 条重力剖面变化图。

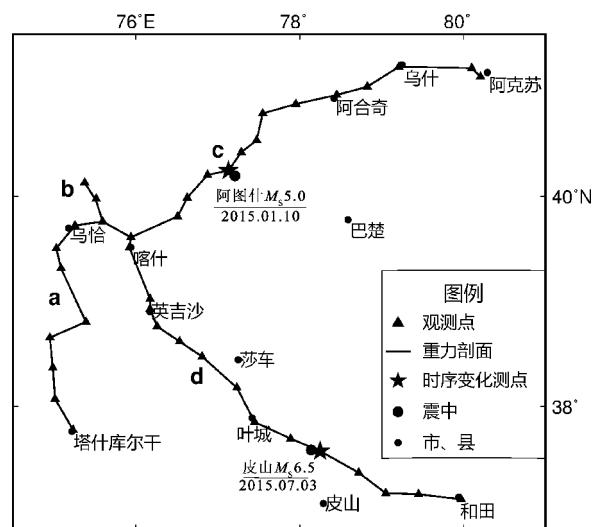


图 4 重力剖面及时间序列测点分布图

Fig. 4 Distribution map of gravity profile and measuring points of time sequence

从塔什库尔干—布伦口—乌恰的重力变化剖面图(图 5a) 中可以看到, 该区 2015 年 4 月重力变化不是很大, 到 2015 年 8 月和 2016 年 4 月, KJ39 出现不断上升, 总变化量达到 $60 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 从剖面曲线来看, 塔什库尔干至布伦口地区重力变化主要以正值变化为主, 2015 年 8 月和 2016 年 4 月的变化曲线基本一致。

喀什—托帕—巴音库鲁提重力变化剖面图(图 5b) 表明, 2015 年 4 月该测线的重力变化为负值, 于 2015 年 8 月开始转为正值变化, 尤其是 2015 年 8 月托帕和巴音库鲁提地区发生大幅度的重力反向变化, 最大变化量达 $80 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 形成了重力变化高梯度带。喀什至托帕测段重力变化比较小。该测线是一条沿着费尔干纳断裂布设的测线。测点的中误差远远低于异常值, 说明该地区地下物质运移较活跃。

从阿克苏—乌什—阿合奇—喀什—乌恰测线的重力变化剖面图(图 5c) 中可以看到, 2015 年 4 月和 8 月的重力变化曲线基本一致, 喀什、乌恰和

乌什地区重力场变化接近于零。到2016年4月该测线以阿合奇为界，阿克苏—阿合奇为负值变化，阿合奇—乌恰为正值变化。从整个剖面曲线来看，阿合奇地区是重力变化正负值变化的过渡带。2016年4月乌什—乌恰地区出现了 $30 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的正值变化。

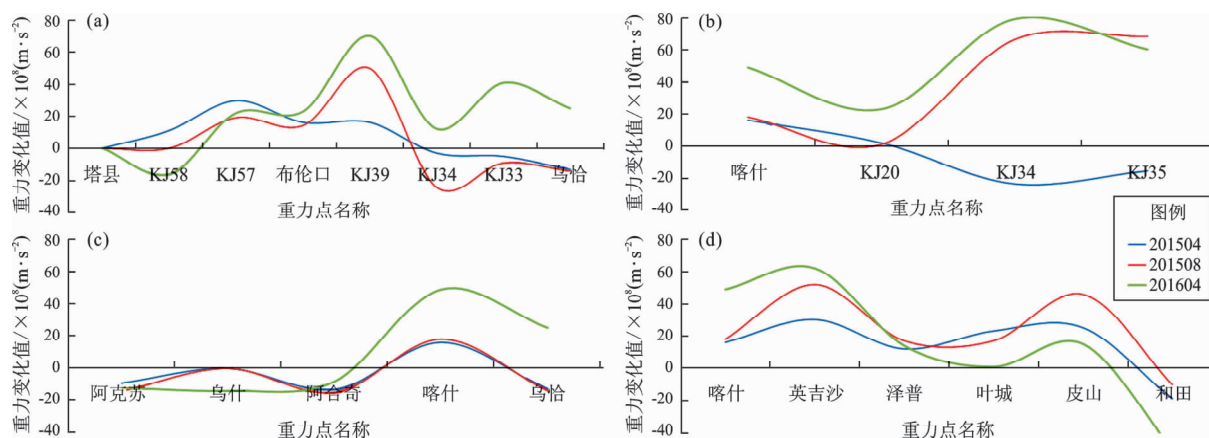


图5 南天山—帕米尔地区塔什库尔干—布伦口—乌恰 (a)、喀什—托帕—巴音库鲁提 (b)、阿克苏—乌什—阿合奇—喀什—乌恰 (c) 及喀什—英吉沙—泽普—叶城—皮山—和田 (d) 重力剖面变化图
Fig. 5 Gravity profile changes of Taxkorgan – Bulunkou – Wuqia (a), Kashgar – Tuopa – Bayinkuluti (b), Akesu – Wushi – Aheqi – Kashgar (c), Kashgar – Yecheng – Zepu – Yecheng – Pishan – Hetian (d) area

2.3 重力变化时序分析

本文在地震多发的皮山和阿图什地区中选择2个观测点 (图4)，进行了重力变化与震例的对比分析。其中皮山以2013年9月观测的重力值为基准，阿图什以2008年4月的观测值为基准，分别画出了重力变化时间序列图 (图6)，图6中菱形点为对应时间的重力变化值，误差线代表观测值的精度。

皮山测点 KJ66 为“地壳运动观测网络”一期工程流动 GNSS 观测墩子，阿图什测点 KJ28 位于南天山西段的山前地带，埋在基岩上的水泥墩子。这2个测点自建点以来周围环境没有变化，其重力观测值比较可靠。其中，皮山测点与2015年皮山地震震中直线距离在10 km 以内，从图6a 可以看出，2015年7月3日皮山 $M_s 6.5$ 地震发生前，该点位重力值呈现上升趋势。阿图什地区从2008年以来发生了5次 $M_s \geq 5$ 地震，阿图什测点和这5次地震在同一个构造带上，其中2011年8月11日阿图什 $M_s 5.8$ 和2013年3月11日 $M_s 5.2$ 以及2015年1月10日 $M_s 5.0$ 地震发生前，阿图什测点重力值呈现上升—下降—上升趋势，地震发生在第二次上升过程中，其余2次地震发生在重力值下降过程中。

从喀什—英吉沙—泽普—叶城—皮山—和田重力变化剖面图 (图5d) 中可以看到，该测线整体重力变化不是很大，泽普、叶城等地区重力变化较小，在泽普地区重力场正负交替出现。另外，英吉沙和皮山重力变化比较明显，重力最大变化量到达 $30 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

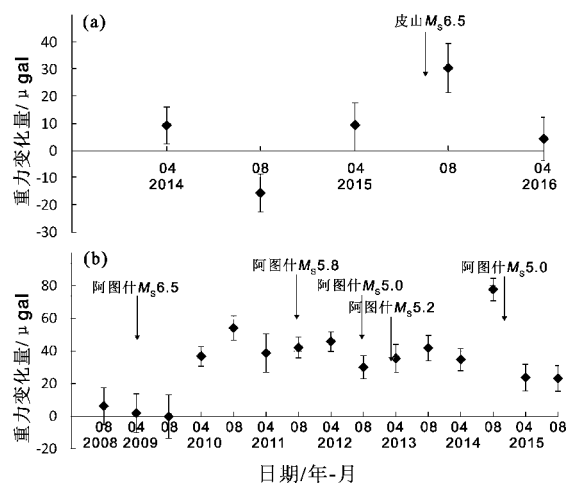


图6 皮山 (a) 和阿图什 (b) 测点重力变化时序图

Fig. 6 Time series changes of gravity of Pishan (a) and Atushi (b) measuring points

3 重力变化与地震的关系

区域构造运动以及应力状态的变化是导致地震发生原因之一，地震孕育和发生跟地壳深部构造有密切的关系。地壳内部物质运移会改变地壳密度，

从而引起地表重力场的变化,这种变化在一定程度上可以反映地壳内部能量积累以及应力变化情况,而对这种地壳内部物质运移、密度变化、能量和应力状态的变化等对于判断震情具有重要意义(陈石等,2011;王杰,2014)。通过分析南天山—帕米尔地区重力场变化特征和 $M_s \geq 5$ 地震关系,发现在中强地震前后,部分震源区及附近重力场出现不同程度的异常变化。2014 年 7 月 9 日麦盖提 $M_s 5.1$ 地震前,在震区及其附近出现重力正值高梯度带,并伴随有零线出现,而震后,该区域重力场出现负值,但梯度带依然存在,零线有向北收缩的现象,但零线和梯度带的存在在某种程度上说明该地区应力没得到充分释放,存在发生地震的可能。2015 年 1 月 10 日在零线附近的重力场正值变化区发生了阿图什 $M_s 5.0$ 地震。2015 年 7 月 3 日皮山地震发生前,震区出现了小范围的重力变化集中区,零线在和田、皮山之间穿过,其两边均出现重力变化梯度带,皮山一带为正值变化,和田一带为负值区。2015 年 8 月的观测结果显示(图 2c、图 3b),乌恰至塔什库尔干一带出现重力变化高梯度带,梯度带最高值达到 $80 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,乌恰地区位于南天山、西昆仑以及塔里木盆地 3 个构造单元的交汇处,构造运动强烈并比较复杂,出现如此大量级的重力异常说明该区域应力状态发生了较大变化,笔者认为,乌恰至塔什库尔干测线出现的重力异常与 2015 年 10 月 26 日阿富汗兴都库什 $M_s 7.8$ (36.5°N , 70.8°E) 和 2015 年 12 月 7 日塔吉克斯坦 $M_s 7.4$ 地址 (38.2°N , 72.9°E) 有关。这 2 次地震都发生在帕米尔俯冲带上,其中阿富汗兴都库什 $M_s 7.8$ 地震震中离重力异常区约 400 km,塔吉克斯坦 $M_s 7.4$ 地震震中离塔什库尔干和乌恰之间出现的重力异常区约 170 km。虽然异常区附近发生了几次地震,但 2016 年 4 月的观测结果显示,乌恰地区还存在 $40 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的异常区,随后于 2016 年 6 月在异常区附近的吉尔吉斯斯坦境内发生了 2 次 $M_s \geq 5$ 地震。说明乌恰地区的重力变化对地震孕育的反映是比较明显的。

通过分析南天山—帕米尔地区近几年重力场变化过程和震例可以发现,该地区地震孕育发生与重力场变化有一定的关系,在地震孕育过程中,随着区域构造应力状态的变化,重力场图像也随之出现时空变化。发震前,在震中附近区域出现重力变化高梯度带,并伴随有零线出现,地震多发生在零线附近的高梯度带上。此结果与其它研究人员对地震

前后重力场变化特征的研究结果基本一致(申重阳等,2009;祝意青等,1996,2009)。从重力值随时间的变化情况来看,大部分地震发生前,在孕震区会出现重力值上升的趋势。在地震孕育或发震前,震源区及其周边地区应力失衡继续增加,震源区中应力积累最大或剪切作用最明显地区首先发生错动或破裂,从而引起地震,重力变化上升和下降的过渡带,既重力变化零线附近地带,易于应力积累和剪切作用的产生。因此,重力场变化异常对于中强地震的预测分析有着重要的意义。

4 结论

本文利用 2014—2016 年南天山—帕米尔地区流动重力观测资料,以区域重力场、测线剖面、测点时间序列变化等不同方式对研究区进行了重力变化特征分析,结合区域内发生的历史地震,探讨了地震孕育发生与重力变化之间的关系,研究结果表明:

(1) 南天山—帕米尔地区以构造运动十分活跃、地震频发等特征已成为了诸多研究人员关注的地区之一,半年和一年尺度重力场变化图像显示,南天山—帕米尔地区除了部分地区出现局部重力异常之外,整体区域在半年时间重力变化量在 $(10 \sim 20) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,而一年尺度重力变化量在 $(20 \sim 30) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

(2) 南天山—帕米尔地区重力场变化有一定的分区特征,即南天山褶皱带、塔里木盆地、帕米尔高原 3 个构造区在重力变化图像上显示出不同的变化特征,塔里木盆地较多出现重力正值变化,南天山和帕米尔地区正负值交替出现,这种变化特征说明了塔里木刚性块体下沉所导致地壳密度不断增加趋势,虽然南天山和帕米尔地区受到印度板块和欧亚板块的挤压,地壳形变以隆升为主,但该地区活动断裂数量多、规模大,而断裂运动会引起断裂带及周围的形变和物质变迁,说明断层运动对南天山和帕米尔地区重力场

(3) 重力场变化、重力剖面变化及震例显示,南天山—帕米尔地区重力场分布对地震孕育过程有较好的反映,一般来说,地震多发生在重力变化梯度带,尤其是正值变化梯度带的零线附近。重力变化零线是重力正负重力变化的过渡带,是物质增减差异剧烈的地区,能量易于积累,从而容易发生地震。从重力值随时间的变化情况来看,大部分地震发生前孕震区重力变化值出现上升的趋势。

感谢野外工作人员辛苦工作得到的观测数据,感谢评审老师以及编辑老师给予的宝贵意见和细心审阅!

参考文献:

- 艾力夏提·玉山,乔学军,王晓强,等. 2015. 基于 InSAR 技术的喀什—乌恰交汇区地壳垂直形变特征分析[J]. 震灾防御技术, 10 (增刊1): 732–738.
- 陈杰,曲国胜,胡军,等. 1997. 帕米尔北缘弧形推覆构造带东段的基本特征与现代地震活动[J]. 地震地质, 19(4): 301–312.
- 陈石,王谦身,祝意青,等. 2011. 汶川 $M_s 8.0$ 震前区域重力场变化与震中研究[J]. 地球物理进展, 26(4): 1147–1156.
- 陈运泰,顾浩鼎,卢造勋. 1980. 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, 2(1): 21–31.
- 贾民育,詹洁辉. 2000. 中国地震重力监测体系的结构与能力[J]. 地震学报, 22(4): 360–367.
- 梁伟锋,祝意青,徐云马,等. 2012. 文安 5.1 级地震前后不同时间尺度的重力变化分析[J]. 地震研究, 35(3): 318–323.
- 刘代芹,李杰,王晓强,等. 2015. 北天山中段近期重力场变化特征研究[J]. 地震工程学报, 37(4): 1001–1006.
- 楼小挺,刁桂苓,叶国扬,等. 2007. 帕米尔—兴都库什地区中源地震的空间分布和震源机制解特征[J]. 地球物理学报, 50(5): 1448–1455.
- 乔学军,郭利民. 2007. 新疆伽师强震群的 InSAR 观测研究[J]. 大地测量与地球动力学, 27(1): 7–12.
- 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[J]. 地球物理学报, 52(12): 2547–2557.
- 申重阳,李辉,孙少安,等. 2010. 2008 年于田 $M_s 7.3$ 地震前重力场动态变化特征分析[J]. 大地测量与地球动力学, 30(4): 1–9.
- 汪素云,时振梁,环文林. 1992. 1980 年 2 月 14 日新疆叶城地震一次破坏性的中源地震[J]. 地震学报, 14(2): 137–143.
- 王杰. 2014. 南北地震带中段三层次构造模式及地震前兆监测[D]. 北京: 中国地质大学, 1–10.
- 王琪,丁国瑜,乔学军,等. 2000. 用 GPS 研究南天山(伽师)地区现今地壳形变[J]. 地震学报, 22(3): 263–270.
- 王晓强,李杰,朱治国,等. 2007. 伽师及其邻近地区重力场动态演化特征初步分析[J]. 内陆地震, 21(3): 213–217.
- 王晓强,路星,刘斌,等. 2009. 新疆地区现今地壳垂直运动及地震活动研究[J]. 大地测量与地球动力学, 29(6): 22–31.
- 祝意青,胡斌,李辉,等. 2003. 新疆地区重力变化与伽师 6.8 级地震[J]. 大地测量与地球动力学, 23(3): 66–69.
- 祝意青,江在森,陈兵,等. 2001. 南北地震带和青藏块体东部重力变化演化与地震特征[J]. 中国地震, 17(1): 56–69.
- 祝意青,闻学泽,孙和平,等. 2013. 2013 年四川庐山 $M_s 7.0$ 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,吕戈培,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(12): 2538–2546.
- 祝意青. 1996. 北祁连地区震前重力场变化特征[J]. 地壳形变与地震, 16(2): 58–62.
- Abdrakhmatov K Y. 1996. Relatively recent construction of the TienShan inferred from GPS measurements of present-day crustal deformation rates[J]. Nature, 384(6608): 450–453.
- Molnar P. 1988. Continental tectonics in the aftermath of plate tectonics [J]. Nature, 335(6186): 131–137.

Study on Dynamic Variation Characteristics of Gravitational Field in Southern Tianshan-Pamir Region

AILIXIATI · Yushan, LIU Daiqin, LI Jie, WANG Xiaoqiang, LI Rui,

ABUDUTAYIER · Yassen, LI Guirong, CHEN Li, ZHU Zhiguo

(Earthquake Agency of Xinjiang Uyghur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract

Using 5 periods of mobile gravity data from 2014 to 2015, we analyzed the gravitational change characteristics of southern Tianshan-Pamir region in the half and one-year scales, and discussed the relationships between seismic activities and gravitational field changes. The result shows that, the half and one-year scales of gravitational changes in southern Tianshan-Pamir region reached $(10 \sim 20) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ and $(20 \sim 30) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ respectively. Gravitational changes show obvious different features in different regions, the Tarim basin shows the positive gravity changes, while the southern Tianshan-Pamir region shows positive and negative gravity changes interactively. Gravitational changes could reflect the gestation and occurrence of strong earthquakes, and the gravity change values increased in epicenter area before earthquake. The gravitational change high gradient zones and gravitational change with zero line occurred in seismogenic zone and its surrounding area, and earthquakes mostly occur in the high positive gradient zones close to the gravitational change zero lines.

Keywords: southern Tianshan-Pamir region; mobile gravity; gravitational field; earthquake preparation