

新疆南天山地区重力场动态演化特征

刘代芹, 王晓强, 李杰, 朱治国, 方伟

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要:通过分析南天山地区2005—2008年近8期流动重力测量资料,研究了重力场的时空动态演化特征,提取与地震活动有关的信息,并对重力场变化与构造活动及地震活动的关系进行了探讨。结果表明:重力场变化与构造环境变化有关;地震孕育发生阶段重力场出现一定范围的区域性重力异常;地震往往多发于重力场变化正负值交替的零线附近。

关键词:南天山地区;重力场;流动重力;动态演化;地震活动

中图分类号: P315.72⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)02-0174-05

The Dynamic Evolution Features of Gravity Field in Southern Tianshan Area, Xinjiang

LIU Dai-qin, WANG Xiao-qiang, LI Jie, ZHU Zhi-guo, FANG Wei

(Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China)

Abstract: Through analysing the mobile gravity measurement data of last 8 times from 2005 to 2008 in Southern Tianshan area, Xinjiang Region, the spatial and temporal dynamic evolution characteristics of gravity field in this area are studied, the information related with seismicity is extracted, and relationship among the variation of gravity field, tectonic activity and seismic activity are discussed also. The result shows that the changes of gravitational field relate to the changes of tectonic environment. In the earthquake pregnant stage, some regional anomalies of gravity appear in a certain range. Earthquake often occurs near the zero line of gravity contours.

Key words: Southern Tianshan area; Gravitational field; Mobile gravity; Dynamic evolution; Seismic activity

0 引言

地面重力场的分布特征是地球形状和地球内部介质密度状态的反映。在研究地震与重力变化时,人们所关心的是区域重力场时空动态演化特征与断裂构造活动及地震活动的关系。流动重力测量反映的是区域重力场的非潮汐变化信息,它包括构造变形和非构造变形、区域介质密度变化或地壳内部的物质迁移等综合效应引起的重力变化^[1]。为了研究重力场非潮汐变化的时空特征及其与南天山地区构造活动及地震活动的关系,新疆维吾尔自治区地震

局于2005年初在南天山地区均匀布设了40多个流动重力观测点,每年开展两次南天山地区重力测量,获得了连续4年的高精度重力观测数据。本文利用这些资料分析研究南天山地区重力场时空动态演化特征,探讨地壳重力场变化与地壳运动和构造活动的关系。

1 测区概况及资料处理

测区位于新疆维吾尔自治区西南部的南天山地

收稿日期:2008-11-25

基金项目:新疆维吾尔自治区科学研究与技术开发攻关计划(200741121);新疆地震科学联合基金(200805);地震科学联合基金(A08056)

作者简介:刘代芹(1979-),男(汉族),山东单县人,研究生,主要从事重力测量、大地测量以及地壳形变分析研究工作。

区,建立了由40个流动重力观测点构成的重力监测网,均匀分布在北纬 38.5° — 41.0° ,东经 75.0° — 79.0° 范围内,平均点间距离20~30 km,基本覆盖了南疆伽师及邻近地区(图1)。

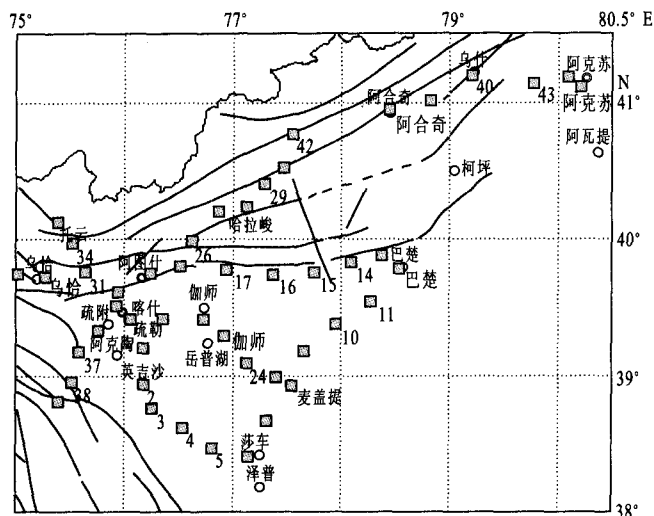


图1 南天山地区流动重力网测点分布图

Fig. 1 Distribution of survey stations of mobile gravity measurement net in southern Tianshan area.

该区的地震活动主要集中于南天山地震构造带和帕米尔、西昆仑地震构造带。南天山地震构造带的地震强度大,频率高,震源深度为10~60 km,主要地震断层有托特拱拜孜—阿尔帕雷克断裂及一系列NNW向走滑断层。帕米尔、西昆仑地震构造带以6~7级地震频率高,震源深度为70~300 km为特点,主要的地震断层有卡兹克阿尔特断裂、乌赤别里克山口断裂、塔什库尔干断裂及康西瓦断裂等。据地震活动的统计资料研究,塔里木盆地西段地震活动具有百年周期的特征,目前该地区处于本世纪末期地震活动高潮期。

资料的处理:①采用中国地震局实用化攻关推广的应用软件《LGADJ》进行拟稳平差,统一起算基准,并作了一次项、固体潮及零漂改正;②平差计算时先对多期观测资料计算结果进行整体分析,初步了解各台仪器的观测精度后合理确定各台仪器的先验方差,再重新平差计算,以得到最佳解算结果;③用最小二乘法配置对重力数据进行拟合推估,突出构造因素的重力效应。由于以监测网网形的几何重心位置(喀什地震台)为起算基准,因而有效地削弱了各点值的传递误差,计算点值精度高,精度分布均匀。

2 区域重力场的动态演化特征

观测资料处理中点值变化精度为 $(6\sim10)\times 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。因此研究重力变化图时应重视其相对变化量,这对判断某些部位的重力场变化十分重要。

利用邻近两期数据分别绘制了各时段的重力变化等值线图(图2)。通过分析区域重力场的时空动态演化过程,我们可以得出这样的以下认识。

(1)从多期重力变化等值线图来看,南天山地区重力变化有一定的规律,空间分布比较集中,时常有明显异常变化。重力场往往表现出正负区交替出现,因而伴随着相应的重力异常,这实际也表明了南天山地区是地震多发区。近几年发生的地震多在重力变化正负值交替的零线附近(2008年10月23日阿合奇 $M_s 4.1$ 地震除外)。正负重力异常变化梯度带附近是物质增减差异剧烈的地区,能量易于积累,从而产生地震^[2]。

(2)从图2(a~d)清楚的看出:重力场空间分布比较有规律,均表现为自西向东(或自东向西)逐渐增加的区域性重力变化。图2(a)表明以红旗农场一连(18号点)、伽师、英吉沙连线为界,重力值分布整体呈现出东高西低趋势,西部地区为负值,而东部地区除巴楚附近外,其余均为正值;在梯度密集的哈拉峻地区形成了一个重力高值集中区,其值达到 $50\times 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$,随后在2006年3月22日该地区就发生了 $M_s 4.2$ 地震,位于零线附近(图2(b)),紧跟着后又发生了几个 $M_s 4.5$ 左右地震。2005年10月—2006年4月的观测结果(图2(b))表明,重力变化趋势发生剧烈的反向回跳,即测区西部大范围的重力正值变化,测区东部则表现为大范围的重力负值变化,这可能是伴随着2006年3月22日后的一系列4.5级左右地震的发生和能量的释放,引发区域构造应力场调整引起的地表重力变化。变化幅度接近 $70\times 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。在2005—2006年期间,巴楚地区的重力值变化异常是由于在距离测点20 m处新建了1栋4层教学楼从而引起的地表面载荷变化所致,故不能用于异常判定^[2]。2006年4—10月观测的数据(图2(c))结果与2005年10月—2006年4月(图2(b))相似,即重力变化等值线仍然出现西高东低的趋势,并且在正负转换交替过程于2006年6月8日在零线附近又发生了 $M_s 4.5$ 地震。地震的发生往往引起地表物质密度的变化,物质的迁移,构造应力的变化将调整地面重力的均衡,因而在2006年10月—2007年4月(图2(d))又出现了重力场西低东高的趋势,随后在重力值的零线附近

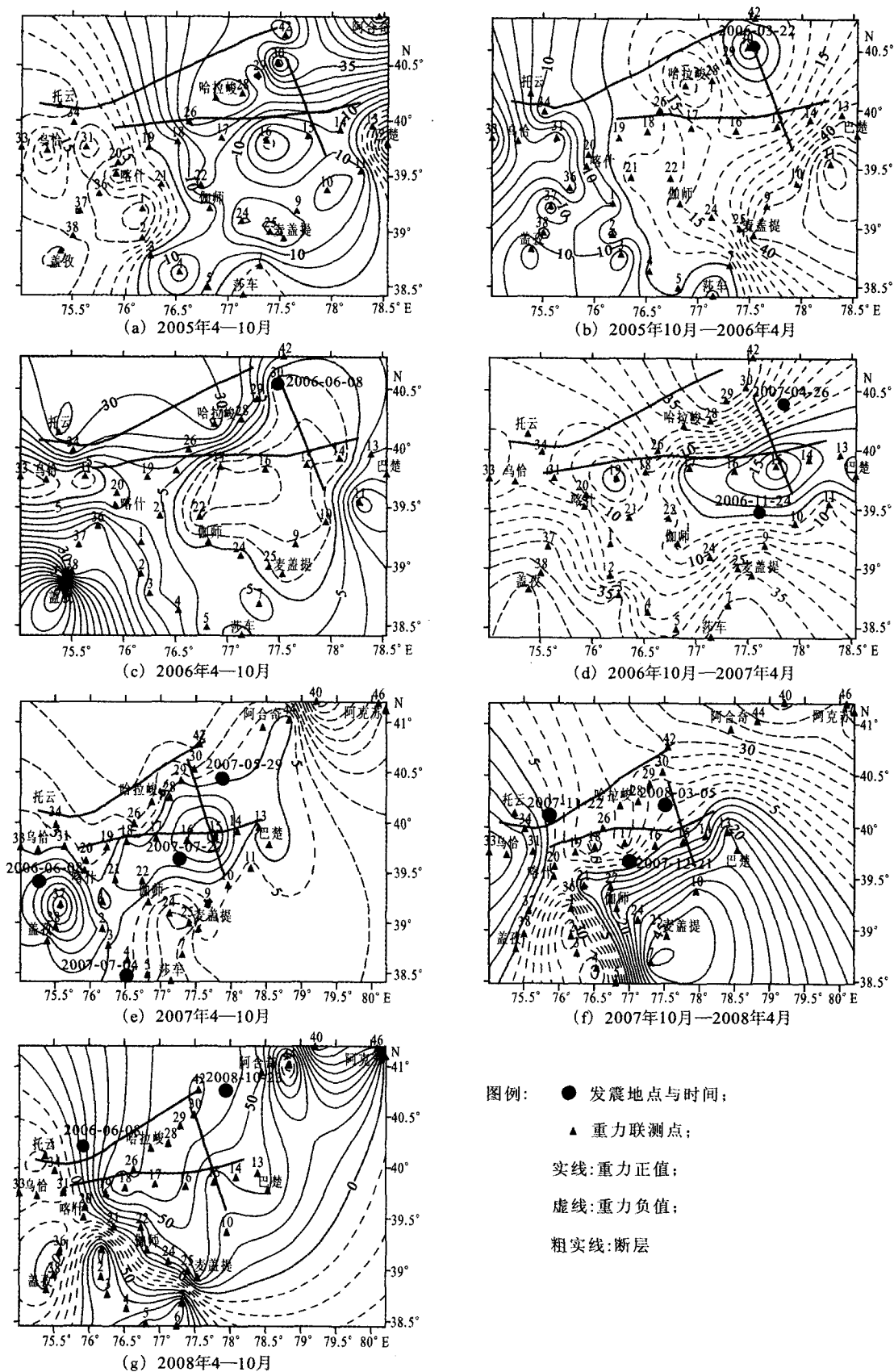


图2 南天山地区分时段重力变化等值线图

Fig. 2 Isoline maps of gravity change in different time intervals in southern Tianshan area.

发生了2006年11月24日的 $M_s4.0$ 、2007年4月26日的 $M_s4.3$ 、2007年5月29日的 $M_s4.1$ 等一系列地震。

从图2(e~f)可以看出,重力等值线图格局不再是由西向东或由东向西逐渐增强,发生了一定的变化,我们认为这是由于在2006年11月—2007年7月发生了5次4级以上地震,这些地震的孕育与发生大大改变了地壳的介质密度的变化和地壳深部物质的迁移,然后地壳物质再次受板块运动的推挤,使介质密度汇集,能量积累,区域重力异常值将重新出现新的空间格局(图2(e,f)),然后在汇集的能量到达一定的程度时,将在零线附近释放(图2(g))。2008年10月5日在乌恰西侧发生的 $M_s7.1$ 地震正好印证了这一观点。值得一提的是,从图2(g)可以清楚的看出在喀什、伽师、麦盖提连线附近出现了一个高值梯度集中区,排除外界干扰因素,重力异常仍然存在,值得关注。

相比较而言,2005年4月—2007年4月等值线图更规律一些,特别是研究区的中部,西侧地区重力负—正值变化,东侧重力正—负值变化,分区变化格局比较明显。从等值线图在时域上的变化可看出区域重力场增强—减弱—增强的过程,对应了南天山地区这4年期间地震活动活跃—平静—活跃的变化。我们推测这种活动可能反映区域应力场的加强—松弛—加强的过程。

3 重力场变化与构造和地震的关系讨论

(1) 重力场变化与构造活动的关系

地震活动与现今地质构造,特别是第四纪以来新构造活动关系密切。而地质构造与深部构造之间有着密切的联系,甚至受深部构造控制^[3]。重力场变化包含了大量的构造活动信息,既有区域应力场作用下深大断裂活动,也有震源应力场作用下局部断裂活动的结果^[5]。伽师—巴楚地区位于帕米尔弧形构造东北侧,南北两侧同时受到印度板块和欧亚板块的挤压,是受力较强烈的地区,容易积累大地震的能量。分析比较重力场变化与测区的构造活动关系,可以看出:2005—2008年整个测区重力场相对变化较剧烈,重力场出现异常,年变化量都在 $30 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 以上。新疆南部重力场变化较显著的梯度带走向与柯坪断裂和南天山断裂构造活跃带走向基本一致,并在构造单元的边缘出现重力等值线形态的转折和密集,形成高梯度带。

(2) 重力场变化与区域应力场的关系

重力变化与构造应力之间有着密切的联系,当区域构造应力场发生强弱变化时,重力场图像也会随之出现变化。重力场变化能反映区域应力场的微动态活动。印度板块对欧亚板块的挤压是伽师及帕米尔一带强烈构造变动的主要动力源。伽师强震群所处的喀什坳陷受帕米尔向北推挤、天山向南逆冲以及塔里木顺时针旋转及陆内俯冲作用,是一个主要受挤压活动而变形强烈的地区^[4]。当印度板块与欧亚板块活动加强时,在区域构造应力场增强的过程中,地壳中的物质迁移出现有序性分布,相应的区域重力场也出现有序变化。如2005年4—10月和2006年10月—2007年4月两时段,以西部受西昆仑—帕米尔高原应力场增强为主体的作用下,区域重力场出现西降东升的有序性变化。2005年10月—2006年10月随着在该区一系列4级以上地震的发生,西昆仑—帕米尔高原应力场发生反向调整,区域重力场也随之出现西升东降的反向变化。当区域应力场很弱或松弛时,则出现较为分散的重力变化图像。该地区重力场在区域应力场增强的情况下均出现东升西降(或西升东降)的有序性变化,因此它可能是传递东西部构造信息的良好通道。

(3) 重力场变化与地震活动的关系

地震是震源区介质发生的快速破裂错动或是原断层的失稳。在地震的孕育过程中,由于地壳内部应力的长期作用导致活动性断层产生蠕动变化,这种蠕动变化以地面形变和物质质量变化表现出来,地壳介质密度也可能发生不同程度的变化,地壳和上地幔还可能存在物质的迁移等变化,因此所有的变化都将导致重力场的变化,并且应该通过地表的重力测量反映出来^[1,5]。

地震从孕育到发生的过程中主要表现为重力场空间分布的有序性变化和局部重力异常区及伴生的重力变化高梯度带的出现,重力点值随时间的演化^[6-7]。伽师及邻近地区应变场应力方位在整体上为南北向,且压应力占主导地位,并伴随着剪切应力,这与地震资料反映出来的区域应力场特征是相吻合的^[8]。通过分析2005—2008年南天山地区的重力场演化过程可以发现,该地区重力场变化的形态异常,重力变化空间梯度较大,测区内因而有5级以上的强震发生。南天山地区重力点值对区内所发生的中等以上地震和区外强震有一定程度的反应。如2006年3月22日 $M_s4.2(40.54^\circ \text{ N}, 77.54^\circ \text{ E})$ 地震前,震中出现明显的重力异常变化,震后反向恢

复。

4 结论与探讨

对南天山地区重力观测资料进行了重新统一起算基准点(喀什地震台)的平差计算,利用相邻两期的重力变化获得了南天山地区重力场时空动态变化图像。

(1) 相邻两期的重力场动态变化较好地反映了半年尺度的重力变化,对于以多震、强震为特征的南天山地区,重力变化的确很大,时常见明显异常变化。这表明获得的结果反映出来的南天山地区重力场变化是可靠的。

(2) 地震孕育阶段,南天山地区重力场出现较大范围的区域重力异常,并产生与地震孕育相关的局部重力异常。

(3) 地震发生前,重力场先是增强,然后反向减弱,在反向过程中往往发生地震。

(4) 重力场有规律的变化与区域应力—应变场微动态活动及地震活动有关。

汶川地震告戒我们,地震前兆太复杂了,本文针对南天山地区重力场的变化与地震关系方面作出了初步的认识和结论,在以后的工作中,还需要长期积累连续的、宝贵的重力资料,并希望配以绝对重力观

测,并待后续更大、更多的地震事件去检验。

[参考文献]

- [1] 胡斌,祝意青,田勤俭,等. 关中地区重力场及其时空动态演化特征[J]. 中国地震, 2006, 22(2): 172-181.
- [2] 王晓强,李杰,朱治国,等. 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, 2007, 21(3): 213-217.
- [3] 祝意青,胡斌,朱桂芝,等. 河西地区重力场及其动态演化特征[J]. 大地测量与地球动力学, 2003, 23(4): 44-48.
- [4] 赵瑞斌,李军,沈军. 喀什坳陷北缘活动断裂与古地震初步研究[J]. 地震学报, 2000, 22(3): 327-331.
- [5] 祝意青,胡斌,李辉,等. 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, 2003, 23(3): 66-69.
- [6] 秦建增,李清林,冯建林,等. 太原 $M_L 5.0$ 级地震前后的重力场变化[J]. 华北地震科学, 2004, 22(2): 40-44.
- [7] 李子涛,梁放. 海城4.0级地震前后重力场变化特征探讨[J]. 华北地震研究, 2003, 19(3): 45-51.
- [8] 王晓强,王琪,程瑞忠,等. 新疆伽师及邻近地区现今地壳变形的GPS监测与研究[J]. 西北地震学报, 2002, 24(3): 199-207.
- [9] 史丽艳,朱传庆,杨书江,等. 新疆乌什地震带断裂研究的综合地球物理方法[J]. 西北地震学报, 2007, 29(2): 156-160.
- [10] 唐新功,陈永顺,严良俊,等. 应用布格重力异常研究太行山地区地壳密度结构[J]. 西北地震学报, 2008, 30(4): 305-309.
- [11] 王筱荣,李志海. 新疆中强震预报的探讨[J]. 西北地震学报, 2008, 30(2): 132-138.