

新疆天山中部重力场时空变化特征研究^{*}

刘代芹¹, 朱治国¹, 王晓强¹, 李杰^{1,2}, 李桂荣¹, 方伟¹

(1. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国地质大学 空间科技应用研究中心, 湖北 武汉 430070)

摘要: 利用 1987 ~ 2011 年新疆地区的流动重力资料, 对多期数据进行统一起算基准平差计算, 绘制出新疆天山中部地区区域测段差时序变化图、测线重力变化剖面图以及乌鲁木齐地区的重力场变化等值线图, 并结合地震地质构造背景, 分析新疆天山中部重力场变化特征。研究结果显示: 独山子、宁家河测区重力变化较大, 异常变化比较明显; 乌鲁木齐地区相对稳定, 空间分布比较集中, 重力场正负变化区交替出现, 重力场变化不大, 能量正处于积累的过程。

关键词: 新疆天山; 流动重力资料; 重力场变化; Kring 插值法

中图分类号: P315.726

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)04-0506-08

0 引言

新疆位于欧亚地震带中部, 是三山夹两盆的内陆高原区, 历来多发生中强震, 震中大多位于天山两侧及昆仑山地震带上。为了能更好地跟踪地震异常, 分析该区域重力变化特征, 新疆地震局于 20 世纪 90 年代, 在该区域布设了以乌鲁木齐、独山子、呼图壁、宁家河为中心的北疆沿天山一带的重力测线, 并展开了流动重力测量。

地震孕育是一个长期缓慢的过程, 震源体的变化过程也相当复杂, 通过重力异常变化来获取地壳内部的物理机制(地壳密度分布状况、地质构造成因等), 探讨正负重力异常变化梯度带与地震发生的印证关系(贾民育, 1987), 研究不同时空重力场变化特征及其与强震孕育的关系, 再跟踪计算、分析区域重力场动态变化, 获取重力场动态演化及其可能的长中短期异常信息, 最后进行地震危险区地点与强度判定。

1 资料选取及数据处理

新疆地震局利用两台高精度金属弹簧 LCR-G 型重力仪, 于 1987 年 4 月开始对乌鲁木齐、呼图壁、宁家河和独山子测区(图 1)进行每年两期的

流动重力观测, 截至 2011 年 7 月共获得 50 期可靠的重力观测数据, 且对其进行了外界环境干扰因素的排除。野外观测数据均满足重力规范要求: 往返自差小于 $25 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 互差小于 $30 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。室内采用中国地震局实用化攻关推广的应用软件 LGADJ 进行拟稳平差计算, 并统一起算基准, 作了一次项、固体潮及零漂改正处理。在进行平差计算时, 先对多期观测资料计算结果进行统一分析, 合理确定各台仪器的先验方差, 再重新进行平差计算, 以得到最佳解算结果, 计算点值精度为 $(6 \sim 10) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。最后利用 Kring 插值法对重力数据进行内插。

Kring 插值法即空间局部估计或空间局部插值, 其本质是为抽样点进行无偏最优估计, 插值的结果受变异函数模拟精度、样点的分布、邻近样点的选取数(Searching neighborhood)的影响。通过抽样数据建立变异函数理论模型, 并对空间未抽样点或更小尺度上的点进行估计, 得到整个抽样空间某一变量的详细数据, 根据这些数据(包括抽样数据和估计数据两类)在二维平面上绘出重力变化等值线图形(江厚龙等, 2011), 即 Kring 插值图, Kring 插值图能够很直观的反映出重力场的某种属性的空间分布格局, 较好地突出构造因素的重力效应。此外, 由于乌鲁木齐地区重力监测网中的红山点位于该监测网的几何重心, 为了

^{*} 收稿日期: 2012-08-30.

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2012211B56), 新疆维吾尔自治区科学研究与技术开发攻关计划(200741121), 地震科技星火计划项目(XH1030)和新疆地震科学基金(201117)联合资助。

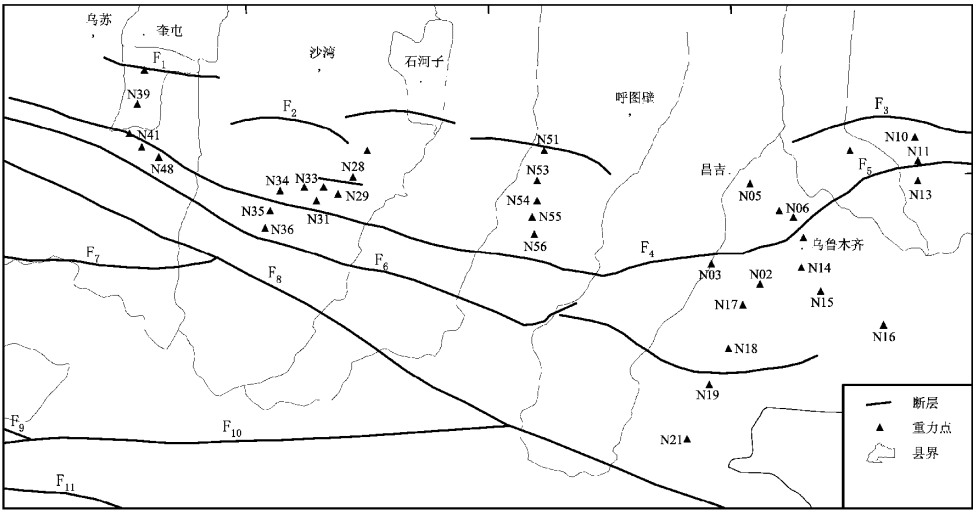


图 1 新疆天山中部重力测点分布图

Fig. 1 Distribution of gravity measuring points in middle part of Tianshan Mountain in Xinjiang

能有效地削弱了各点值的传递误差，提高点值精度，本文解算以该点为起算基准。

2 重力场变化特征分析

2.1 乌鲁木齐及周边地区重力场变化特征

乌鲁木齐测区重力点位的布设基本成网状，根据各期重力点位值的变化，得出乌鲁木齐及周边地区 1987~2001 年和 2001~2011 年长尺度重力场变化等值线分布（图 2）。从图中可以看出，乌鲁木齐及周边区域地壳运动相对活跃，重力变化量相对较大，1987~2001 年重力场变化范围为

$(-60 \sim +70) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，而 2001~2011 年比 1987~2001 年的重力变化相对较小，重力变化范围 $(-60 \sim +20) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

1955~1994 年在乌鲁木齐及附近地区共发生 9 次 $M_s \geq 4.0$ 地震，最大震级为 $M_s 6.6$ ， $M_s \leq 3.9$ 的地震每年发生至少几十次；1987~2001 年该区域发生了 2 次 4 级以上地震（1994 年 11 月 08 日 4.2 级地震，1998 年 7 月 4 日 4.1 级地震），这些 4 级左右地震，主要分布在妖魔山、乌拉泊、西山等断裂上及其交汇处；2001 年之后，在该区域发生了 2 次 4 级以上地震（2002 年 10 月 7 日 4.6 级地震，2007 年 3 月 29 日 4.0 级地震）；最近一段

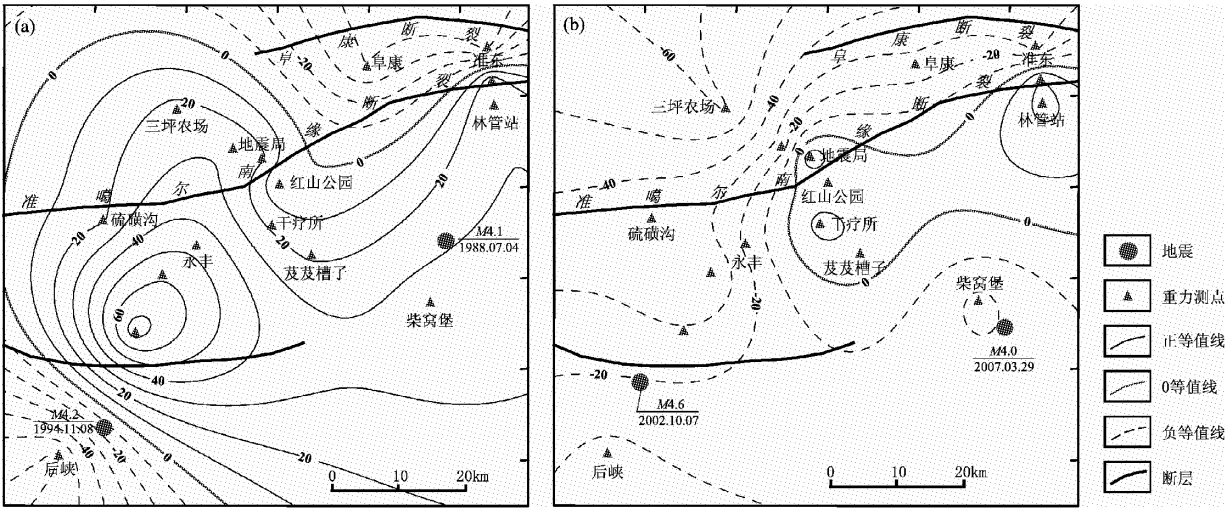


图 2 乌鲁木齐及其周边地区重力场变化等值线图 ($10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

(a) 1987~2001 年; (b) 2001~2011 年

Fig. 2 Isoline map of gravity field change in Urumqi and its surrounding regions

时期内, 乌鲁木齐及周边地区相对稳定, 重力场变化不大, 能量处于积累的过程, 重力变化有一定的规律, 空间分布集中。图 2 也清晰地显示了乌鲁木齐及周边地区重力场正负区交替出现, 正负重力异常变化梯度带的附近是物质增减差异剧烈的地区 (祝意青等, 2003), 因而伴随着相应的重力异常, 能量易于积累, 但目前重力场变化不是很大。

乌鲁木齐及周边区域的重力场于不同时间段在空间分布上表现出明显的差异性, 在 1987 ~ 2001 年和 2001 ~ 2011 年两个时段, 重力场发生了显著的变化。1987 ~ 2001 年重力场 (图 2a) 主要表现为正值区, 且重力变化的零等值线位于阜康以南、三坪以北, 另一处零等值线分布于后峡和永丰之间, 这表明天山地区重力值目前还处于抬升趋势过程中, 物质在不断流动, 能量不断积累。天山山体及其南北构造的发育都是由印度板块和西伯利亚板块相对运动所造成的, 其结果使天山南北形成了近 SN 向的挤压应力场, 在邻近的两个构造之间, 由于力和能量的传递使地下物质发生了变迁, 进而引起重力变化。

1993 年 2 月 3 日和静 5.7 级地震发生在和静北乌瓦门断裂附近, 此断裂为南天山和中天山的分界性深大断裂, 测区后峡测线与其隔山相望, 震前重力异常变化集中在该测线上, 地壳深度为 30 ~ 40 km, 岩石所处的温度为 700 ~ 850 °C, 这几乎是花岗岩的溶解温度。和静地震的震源深度为 33 km, 在这个深度, 很可能出现软流层或至少使地下物质处于一种不稳定状态 (海力, 1996), 由于 SN 向的挤压力和上地幔物质调整, 使断层区域的地壳物质密度发生变化, 导致重力也随之发生变化。

2001 年之后, 研究区重力场格局出现了新的变化 (图 2b), 这可能与 1993 年 2 月和 1995 年 5 月在该地区分别发生的 5.7、5.8 级地震有关, 地壳能量得以释放, 地震时震源区介质发生的快速破裂或是原断层的失稳, 迫使区域构造应力场调整地表重力场的分布, 重力场出现了大幅度负值区 (刘代芹等, 2009, 2010)。在区域构造应力场减弱的过程中, 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, 随着时间的推移, 应力和能量的积累, 导致了重力场继续向 NE 向增强, 当区域应力场很弱或松弛时, 则

出现了位于红山公园和林管站附近的零等值线。从图 2b 可以看出, 该区域重力变化还处于加剧过程中 (地壳物质相对增加), 物质在不断汇集, 能量也在不断积累, 该区域地震趋势值得关注。

从大尺度重力变化等值线图来看 (图 2), 重力变化有一定的规律, 空间分布较集中, 时常有明显异常产生变化, 重力场正负区交替出现, 因而也将伴随着相应的重力异常, 这也表明了乌鲁木齐及周边地区是中小地震多发区, 地震多发于重力变化正负值交替的零等值线附近, 与近几年发生的多数地震发生的规律基本一致。

2.2 独山子、呼图壁、宁家河测区重力变化特征

在北疆流动重力监测区布设了 3 条流动重力测线 (呼图壁、宁家河、独山子), 其重力点位布设呈线状, 无法构成网型, 且跨距大、测点少, 在最近几年, 由于新疆经济快速发展, 基础建设大规模的改造, 重力点遭到了严重破坏。

重力段差是相邻两测点的重力值之差, 重力段差变化反映的是两个测点重力值变化的差异。研究重力段差变化适合于跨断裂的重力测段, 因为这种测段的重力段差变化中包含着断裂活动引起的断裂几何与物理参数变化的重力效应, 能较好反映出该地区地壳活动趋势、物质的流动以及能量的积累, 可用于地震预报。呼图壁测线横跨霍尔果斯—吐谷鲁断裂带, 宁家河、独山子两条测线均跨越准噶尔南缘断裂, 并且这两条断裂均属逆断层。这 3 条流动重力测线布设的地区多数处于山高路陡且荒芜人烟的地方, 点间高差、重力段差都较大。点位稍微变化, 重力点值就会产生较大变化, 且点位及周围环境常受到洪水、风沙和人为因素损坏, 加之这些地区地质构造十分复杂, 许多构造大小交错, 密集分布, 点值易受微构造运动影响 (张建超, 2002)。我们建立了从 1987 年 4 月至 2011 年 7 月重力数据库, 分别绘制了 3 个测区各测段的重力段差时序变化图和重力变化剖面图, 并结合以测线为中心, 半径 150 km 范围发生的地震, 分析该区域重力变化特征。

2.2.1 测线重力段差时序变化分析

(1) 呼图壁测线

从图 3 可以清楚看到, N51 - N53, N53 - N54, N54 - N56 这 3 条测段近期重力变化量较小, 趋于稳定状态, 而在断裂带两侧的 N53 - N54 与 N54 - N56 两测段重力正负变化交替出现, 在该区域发生

过 3 次 5 级以上地震，且这 3 次地震基本上都发生在重力场反向回跳的转折线附近。呼图壁测线重力异常变化最大出现在 2006 年，位于 N51 - N53 测段，这可能是由于 N51 点位于红山水库边缘上方，2005 年 10 月水库未蓄水，由于 N51 点重力值比 N53 点变化大，导致 2005 年 10 月各测段的重力段差绝对值减小，在 2006 年观测时水库已有一定的蓄水量，我们推断该测段本期重力绝对值较上期明显增大的原因是由蓄水量的明显变化所引起的，应属于观测环境变化引发的异常变化。

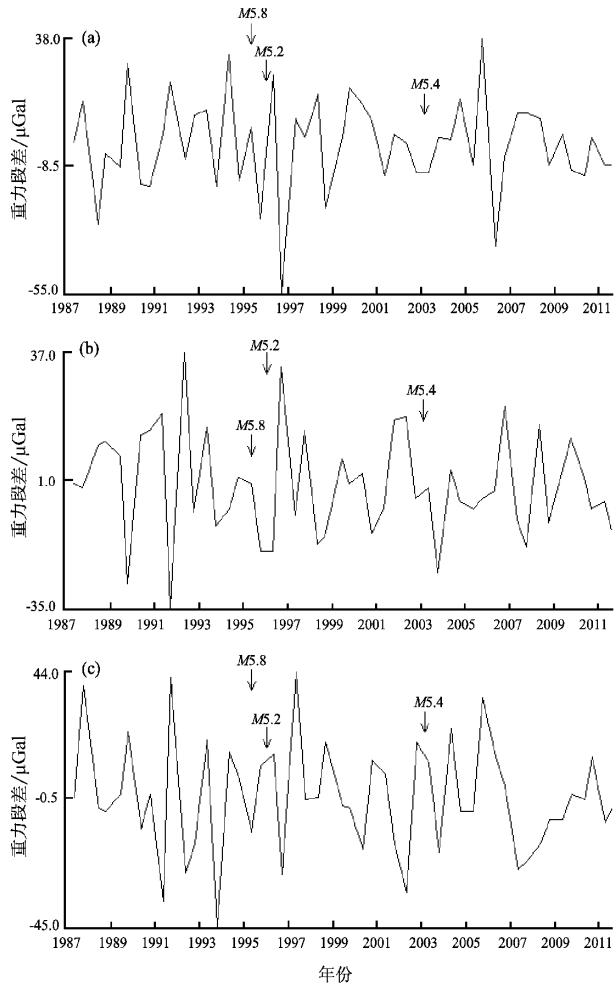


图 3 呼图壁测线重力段差时序变化图

(a) N51 - N53; (b) N53 - N54; (c) N54 - N56

Fig. 3 The time-series curve of gravity difference in Hutubi measuring line

(2) 宁家河测线

从图 4 可以看出，在 1996 ~ 1997 年，N30 - N33 和 N33 - N34 测段最大变化幅度分别为 $\pm 95 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 、 $\pm 187 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。在观测期间，笔

者排除了外界环境干扰因素进行综合分析，这可能与 1995 年乌苏 5.8 级地震，1996 年 5.2 级地震有密切关系。在 2003 年第 2 期重力观测之前，笔者针对测段 N33 - N34、N34 - N35、N35 - N36 的多年观测结果进行了分析研究，由于当时重力异常量级较小 ($-39 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)，再结合乌鲁木齐各观测异常变化，认为：乌鲁木齐地区和北疆地区重力监测范围内地壳构造运动有渐趋活跃的趋势，因此，不排除有小于 5.0 级地震发生的可能性，并预测乌鲁木齐地区和北疆地区发生 $M_s \geq 5.0$ 地震的概率小于 0.5。之后，2002 年 10 月 6 日和 2003 年 2 月 24 日乌鲁木齐西南分别发生了 4.8 级和 4.6 级地震，2 月 14 日在石河子 N30 - N33 测段附近分别发生了 5.0 级和 5.4 级地震，实际发生地震和预测地震结果比较吻合，石河子地区预测地震震级较实际偏小，其原因可能是当时测得的重力异常量级较小，理论上这不会反映出短期内有大于 5.0 级的地震发生，只能认为是一种趋势变化处于某一阶段过程，这种误差，笔者认为这是由于该区地壳内部构造活动速率加大，如果施测周期缩短，有可能捕捉到临震前量级较大的异常信息。

N30 - N33 测段位于准噶尔南缘断裂带附近，开始观测后不到 1 个月，2002 年 10 月 7 日乌鲁木齐西南方发生了 $M_s 4.6$ 地震，该地震位于博格达断裂带西端和准噶尔南缘断裂东端，笔者认为 N30 - N33、N33 - N34 两段异常与该地震有必然的联系，这是因为乌鲁木齐地区自 1987 年以来未发生 5 级以上地震，构造活动一直比较平稳，2000 年下半年开始，重力有明显的趋势性变化，即重力变化正负交替出现，历时近两年，变化幅度达 $+60 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，呈现出地壳下部物质密度聚积，应力增加的过程。而从 2002 年上半年至 9 月份，反向变化达 $-47 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，这是一个应力释放过程，可以看出，应力聚积是一个较长的阶段，而释放则较为短暂，由于能量释放过快，造成了地下构造物质受力不均，应力失衡而引发了此次地震。另外，从图 4b 可以看出，N30 - N33 测段对其周围地区地震的反映较为敏感，如对 1995 年乌苏 5.8 级地震，1996 年 5.2 级地震均有不同程度的反映，这两个地震是一个应力释放过程，由于距震中稍远，而震级又偏小，因此重力变化幅度不是太大。

(3) 独山子测线

从独山子测线的 4 条测段可以看出,重力变化正负交替出现(图 5)。在 2006 年上半年, N38 - N39 测段出现重力异常现象,下半年复测后重力段差变化值 ($-28 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) 接近异常临界值 ($\pm 30 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), 同时其相邻 2 条测段 N39 - N41 和 N41 - N47 的段差变化值分别为 $+46 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 和 $-48 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 在 2006 年第 2 期复测中出现异常现象。从 2008 年 4 月至 2009 年 4 月前 3 期观测数据可以看出,在与独山子测线相应的区域重力场也出现有序的变化,具有一定的规律性。但在 2009 年 4 月至 2009 年 8 月期间, N38 - N39 测段变化趋势则出现转折,重力段差变化值出现了大幅度抬升,这说明该区域断裂活动迹象明显。2011 年 7 月重力测量结果显示,独山子地区重力测线出现两段重力异常测段 N39 - N41 和 N41 - N47,

重力段差变化量分别为 $+40 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 和 $-68 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 异常值远远超过了异常临界值, 与此测段相邻的 N47 - N48 测段重力段差变化量接近异常临界值。

结合上两期观测结果发现 N39 - N41 测段重力段差变化量由负变为正, 段差值增大, 即北盘重力变化为正值 ($+40 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), 证明该区域地壳内部形变运动明显受到周围板块的强烈影响, 从而使地下物质不断挤压而堆积, 物质密度不断增大, 能量也在不断汇集。N41 - N47 测段重力段差变化连续几年出现异常变化, 变化量由正值变为负值, 段差值减小, 即南盘重力变化为负值 ($-68 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), 证明该地区地壳物质在不断迁移, 物质密度在不断亏损, 结合以往的观测结果和重力异常变化量分析, 该地区物质运动出现了明显的加剧。1987 ~ 2011 年在该区域发生 7 次 5

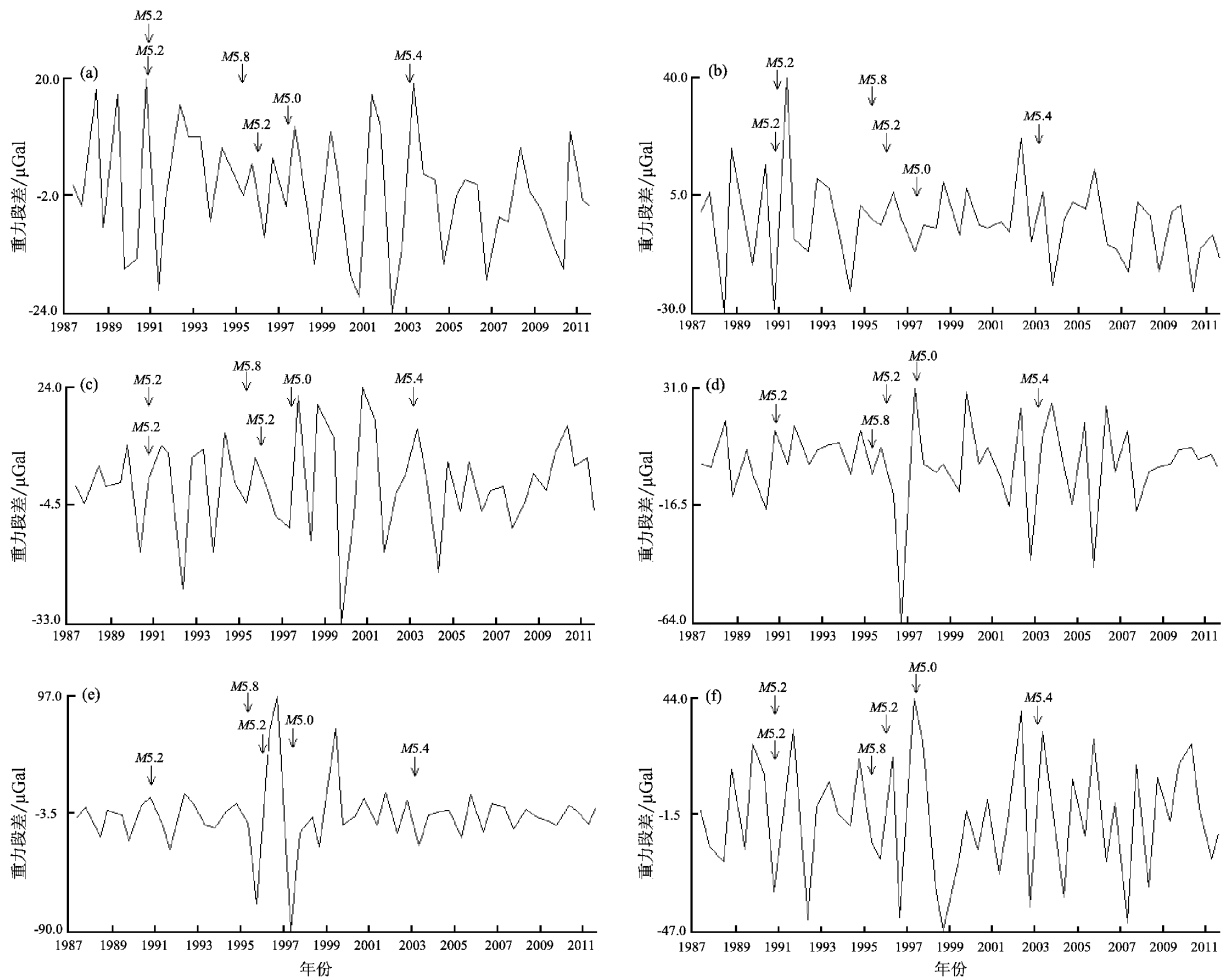


图 4 宁家河测线重力段差时序变化图

(a) N27 - N28; (b) N28 - N29; (c) N29 - N30; (d) N30 - N33; (e) N33 - N34; (f) N34 - N36

Fig. 4 The time-series curve of gravity difference in Ningjiahe measuring line

级以上地震，在时间序列上，在该区域的大部分地震发生前，重力段差和重力测点所呈现的重力变化值先是增强，然后反向减弱，在反向过程中发震，与祝意青等（2003）研究结果基本一致，而且该监测区自 2009 年以来并未发生 4 级以上的地震，根据最新观测结果及以往预测经验，地震一般发生在重力变化梯度带或段差变化转折部位，因此笔者认为此测区非常值得关注。2011 年 11 月 1 日距离重力测线 170 km 处（43.6°N，82.4°E）发生了尼勒克—巩留 6.0 级地震，这与我们重力测量分析结果非常吻合。

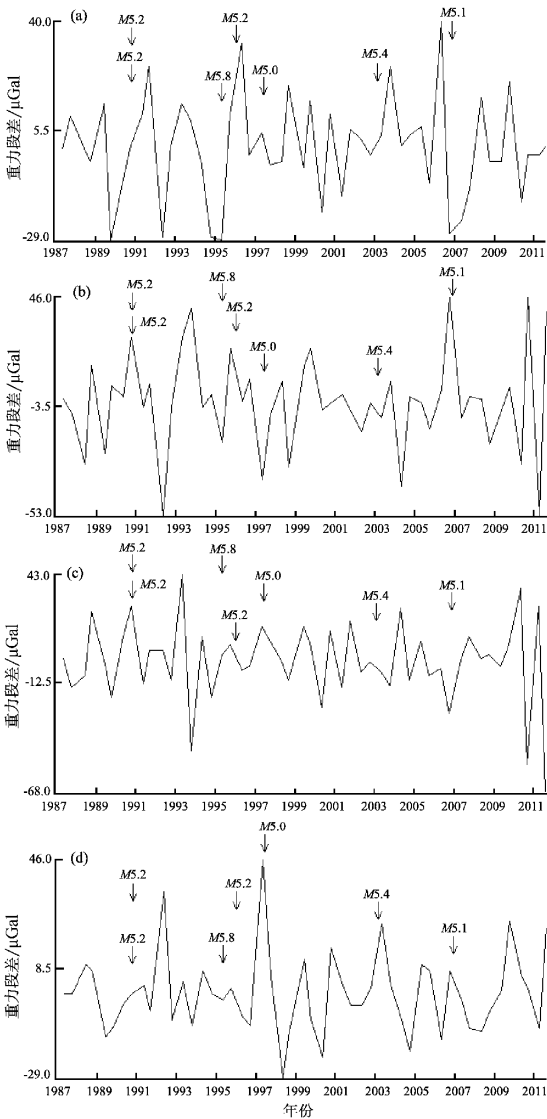


图 5 独山子测线重力线差时序变化图

(a) N38 - N39; (b) N39 - N41; (c) N41 - N47;
(d) N47 - N48

Fig. 5 The time-series curve of gravity difference in Dushanzi measuring line

2.2.2 重力剖面变化分析

重力场只能反映较大范围的趋势性变化，而重力剖面变化则能较好地反映各个测线（段）的实际变化情况（祝意青等，2003），为了能进一步认识北疆测区的流动重力变化趋势，较好地分析该区域地震活动与重力变化之间的响应关系，为地震中长期预报提供可靠的资料，笔者分别绘制了该测区的 3 条测线剖面图，为了能清晰地对比各点的重力变化趋势，将每个测区分成了两个时间段 1987 ~ 2001 年和 2001 ~ 2011 年分别进行分析。

(1) 呼图壁测线

该测线位于呼图壁县境内，目前只保存 4 个监测点（图 6），即 N51、N53、N54 和 N56。1987 ~ 2001 年，各测点重力变化逐渐增大，由北向南呈抬升趋势，尤其 N56 点重力变化急剧上升，变化最大值为 $+44 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。1987 ~ 2001 年该区域（半径 150 km 内）曾发生 3 次 5 级以上地震，即 1996 年 1 月 9 日 5.2 级地震（震中位置：43.80°N，85.58°E）、1995 年 5 月 2 日 5.8 级地震（震中位置：43.78°N，84.73°E）和 1991 年 6 月 6 日 5.2 级地震（震中位置：42.68°N，87.25°E）。

该区 2001 ~ 2011 年总的重力变化趋势与 1987 ~ 2001 年相反，除了 N51 点，其余 3 个监测点重力变化趋势由北向南急剧下降，下降最大的监测点为 N56，下降值为 $-54 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，2003 年 2 月 14 日发生 5.4 级地震（震中位置：44.01°N，85.87°E）。

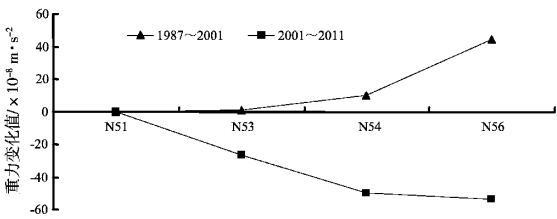


图 6 呼图壁测线重力变化剖面图
Fig. 6 Profiles of gravity variation in Hutubi measuring line

(2) 宁家河测线

该测线位于沙湾县境内，目前只保存有 8 个监测点（图 7），即 N27、N28、N29、N30、N31、N33、N34 和 N35。1987 ~ 2001 年各监测点除 N28、N34 和 N36 点的重力变化为正值外，其余各点均为负值，且从 N29 点起，重力由北向南缓慢抬升，

1987~2001 年在该区域（半径 150 km 内）发生 5 次 5 级以上地震，即 1996 年 1 月 9 日 5.2 级地震（震中位置：43.80°N, 85.58°E）、1995 年 5 月 2 日 5.8 级地震（震中位置：43.78°N, 84.73°E）、1990 年 10 月 25 日 5.2 级地震（震中位置：44.13°N, 83.95°E）、1990 年 10 月 25 日 5.2 级地震（震中位置：44.23°N, 83.90°E）、1997 年 6 月 4 日 5.0 级地震（震中位置：43.32°N, 84.25°E）。

2001~2011 年重力总体变化与 1987~2001 年相比，变化趋势基本一致，只是在量级上有一定的增大，除了 N27 点外，各监测点重力变化趋势都在下降，变化最大的点为 N29，相对变化值为 $-97 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。该期重力变化从 N29 点发生了转折，重力变化由北向南大幅度抬升，2003 年 2 月 14 日发生 5.4 级地震（震中位置：44.01°N, 85.87°E），目前该区域重力变化量在不断累积，能量也在不断汇集。

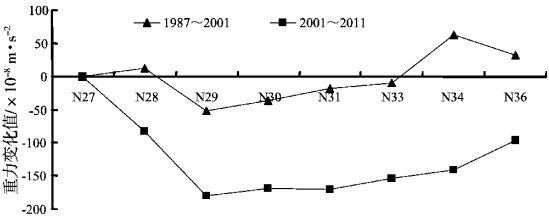


图 7 宁家河测线重力变化剖面图
Fig. 7 Profiles of gravity variation in Ningjiahe measuring line

(3) 独山子测线

该测线位于乌苏县境内，目前只保存了 5 个监测点（图 8），即 N38, N39, N41, N47 和 N48。1987~2001 年，各监测点重力相对变化比较平稳，除了 N39 点重力变化为正值外，其余各点相对 N38 点为负值变化，且变化不大。1987~2001 年在该区（半径 150 km 内）发生 5 次 5 级以上地震，即 1996 年 1 月 9 日 5.2 级地震（震中位置：43.80°N, 85.58°E）、1995 年 5 月 2 日 5.8 级地震（震中位置：43.78°N, 84.73°E）、1990 年 10 月 25 日 5.2 级地震（震中位置：44.13°N, 83.95°E）、1990 年 10 月 25 日 5.2 级地震（震中位置：44.23°N, 83.90°E）、1997 年 6 月 4 日 5.0 级地震（震中位置：43.32°N, 84.25°E）。

2001~2011 年重力总体变化趋势与 1987~2001 年相比，各监测点重力变化除了 N39 点变化

为正值外，其余各点均为负值，重力由北向南急剧下降，且相对变化最大的点为 N47，相对变化值为 $-134 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。2003 年 2 月 14 日发生 5.4 级地震（震中位置：44.01°N, 85.87°E）、2006 年 11 月 23 日发生 5.1 级地震（震中位置：44.26°N, 83.46°E）。从图 8 可以看出，重力变化量相对较大，且相对 2001 年，各监测点重力都在下降。

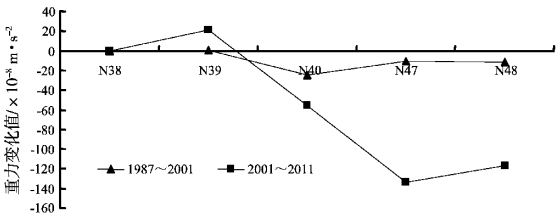


图 8 独山子测线重力变化剖面图
Fig. 8 Profiles of gravity variation in Dushanzi measuring line

整体分析北天山测区 3 条测线剖面图，可以看出，上述 3 条测线重力变化均为负值，1987~2001 年与 2001~2011 年两时段内同点位重力变化相比，变化较大值分别为宁家河测线的 N29 点（ $-97 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ），独山子测线的 N47 点（ $-134 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ），说明该区能量正处于积累的过程，物质密度不断减小，地壳在不断隆起，挤压应力不断增强，目前该区域地壳变化相对活跃，于 2011 年 11 月 1 日发生了尼勒克—巩留 6.0 级地震。

3 结论与讨论

地震从孕育到发生是一个从应力积累到能量释放的过程，在地震孕育过程中，随着震源区应力的不断积累，使得地壳内部的物质发生迁移，致使地壳内部密度发生变化（祝意青等，2009），从而使得该处地表的重力值发生变化，主要表现为重力场空间分布的有序性变化、局部重力异常区及伴生的重力变化高梯度带的出现以及重力点值随时间的“突变演化”。

(1) 独山子和宁家河 2 条测线重力变化较大，且重力变化均为负值，说明两测区地壳在不断隆升，物质密度在不断减少。

(2) 根据流动重力结果分析，在空间分布上，地震发生前，重力场变化均出现于活动断层走向基本一致的高梯度带，或重力场变化的零等值线

附近;在时间序列上,地震发生前,重力段差和点值变化较多存在增强,然后反向减弱,往往在反向过程中发生地震。

重力场空间变化对强震发生地点的预测具有重要指示作用(祝意青等,2010),其时间变化与地震的形成与发展存在内在的联系,而且这种变化与震源物理密切相关,它的异常直接反映震源体的地壳变形和介质密度(质量)的变化,因此重力场的变化信息中负载着地震信息。

参考文献:

- 海力.1996.乌鲁木齐地区重力非潮汐变化及其与地震活动的关系[J].地壳形变与地震,16(4):71-78.
- 贾民育.1987.地震重力变化的判定问题[J].地壳形变与地震,7

(1):23-26.

- 江厚龙,刘国顺,杨夏孟,等.2011.精准农业中不同取样间距下Kriging插值精度对比研究[J].土壤通报,42(4):879-885.
- 刘代芹,王晓强,李杰,等.2009.新疆南天山地区重力场及其动态演化特征[J].西北地震学报,31(2):174-178.
- 刘代芹,王晓强,李杰,等.2010.2009年阿合奇 $M_s5.5$ 、阿图什 $M_s5.0$ 地震前后重力场变化分析[J].内陆地震,24(2):144-148.
- 张健超.2002.天山地区流动重力复测资料前兆异常识别判据、地震预报指标及效能评价[J].内陆地震,16(4):306-316.
- 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,梁伟锋,徐云马,等.2010.汶川 $M_s8.0$ 地震前后的重力场动态变化[J].地震学报,32(6):633-640.
- 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.

Research on the Temporal-Spatial Variation Characteristic of Gravity Field in the Central Tianshan, Xinjiang

LIU Dai-qin¹, ZHU Zhi-guo¹, WANG Xiao-qiang¹, LI Jie^{1,2}, LI Gui-rong¹, FANG Wei¹

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

(2. Center for Space Science and Applied Research, China University of Geoscience, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract

Using adjustment calculation with the uniform starting datum on the 50 terms of mobile gravity data from 1987 to 2011 in Xinjiang, we obtained the isoline map of gravity field in Urumqi and its surrounding areas, time-series curve of gravity difference of different measuring segment, profiles of gravity variation in three measuring line in the central Tianshan, Xinjiang. Combined with seismogeology tectonic background, we analyzed the gravity field variations of the central Tianshan in Xinjiang. The results showed that the spatial distribution of gravity was more centralized and the positive gravity variation areas alternated with the negative ones in Urumqi and its surrounding area. There was little change in the gravity field and the energy was in accumulation, which indicated that Urumqi and its surrounding areas were the medium and small earthquake-prone areas. The gravity was negative which varied largely in Dushanzi and Ningjiahe measuring area, which showed that crust was uplifting and the material density decreased continuously in these two measuring areas.

Key words: Tianshan Mountain in Xinjiang; mobile gravity data; gravity field variation; Kring interpolation method