

刘代芹、李杰、王晓强等, 2011, 利用重力资料与 GPS 数据研究伽师及邻区近期地壳运动特征, 中国地震, 27 (2), 182 ~ 191。

# 利用重力资料与 GPS 数据研究伽师及邻区近期地壳运动特征

刘代芹<sup>1)</sup> 李杰<sup>1 3)</sup> 王晓强<sup>1)</sup> 李辉<sup>2)</sup> 朱治国<sup>1)</sup> 李桂荣<sup>1)</sup>

1) 新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐市北京南路 42 号 830011

2) 中国地震局地震研究所, 武汉 430071

3) 中国地质大学(武汉), 武汉 430070

**摘要** 利用重力资料和 GPS 数据研究伽师及邻近地区地壳运动特征, 首先对 2005 ~ 2009 年该区域流动重力观测资料进行平差计算, 绘制出以 1 年为尺度的重力场变化的等值线图。分析表明, 伽师及邻近地区近年来重力场变化相对活跃, 且有一定的规律, 最大重力异常值达到  $150 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。其次, 利用 2005 ~ 2009 年该区域 GPS 数据在统一框架下进行重新解算, 并利用理论计算得到该地区每年的面膨胀值。研究表明, 该区域地壳面压缩、面膨胀交替出现, 正负交界处往往是剪应变值增大的地区, 即地震孕育区。最后探讨了重力与 GPS (面膨胀) 二者在地壳形变、地球动力之间的响应关系。研究表明, 震前伽师及邻区重力值主要显示正变化, 震后则呈现出大面积负值区域, 说明压缩(面收缩)和向北扩张(面膨胀)作用交替进行, 这与 GPS 计算出的面膨胀结果是一致的。

**关键词:** 重力场 GPS 动态演化 地震活动

[文章编号] 1001-4683(2011)02-0182-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

众所周知, 新疆伽师及邻区是内陆地区的中强震高发区。近些年来, 国内众多科研人员利用重力测量、GPS 技术、合成孔径雷达干涉测量(InSAR)、甚长基线干涉测量(VLBI)、卫星激光测距(SLR)等在地震多发区的伽师及邻区开展了大规模的研究。如重力方面: 祝意青等(2003)研究了新疆地区重力变化与伽师 6.8 级地震, 王晓强等(2007)对伽师及其邻近地区重力场动态演化特征做了初步分析; GPS 方面: 王琪等(2000)用 GPS 研究了南天山(伽师)地区现今地壳变形, 党亚民等(2002)用 GPS 资料分析了南天山地区的地壳变形特征, 王晓强等(2002)进行了新疆伽师及邻区现今地壳形变的 GPS 监测与研究, 张永志等(2004)利

[收稿日期] 2011-03-10

[项目类别] 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)、地震科学联合基金(A08056)、新疆天山中段强震危险区跟踪专题、新疆地震科学基金(201117、201116)联合资助

[作者简介] 刘代芹, 男, 1979 年生, 工程师, 硕士, 主要从事重力测量、大地测量以及地壳形变分析研究工作。

E-mail: xjdjldq@126.com

用 GPS 观测资料研究了新疆伽师地区的水平变形特征,李杰等(2004)研究了乌恰-伽师地区 GPS 地壳运动监测网;此外,乔学军等(2007)进行了新疆伽师强震群的 InSAR 观测研究。上述都只是采取了单一的观测手段对伽师及邻区的地壳运动特征加以研究。目前,国际上有关利用重力测量来研究重力场变化和预测地震的文献并不多,Shigeo 等(1999)利用绝对和相对重力测量对 1997 年 3 月伊豆半岛地震群前后重力的变化进行了研究;Yoshiyuki 等(2001)用绝对重力仪观测到了  $M_s 6.1$  地震的同震位错引起的大约  $-6.0 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  的重力变化;Han 等(2006)利用 GRACE 重力卫星数据给出了 2004 年 12 月印尼 9.1 级大地震的  $30 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  的同震重力变化以及 2004 年相对于 2003 年的  $10 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  的地震前兆重力变化,其结果与用地震模型预测的重力变化相当(邢乐林等,2010)。但目前极少有学者同时利用重力和 GPS 观测成果相结合研究伽师及邻近地区的地壳运动特征。鉴于近几年来该区域地壳运动很活跃,新疆地震局于 2005 年在该区域布设了流动重力监测网,这为研究该区域重力场变化特征提供了大量宝贵的数据。作者认为,采取多种手段相结合的方法实时去跟踪研究地壳运动特征,才能有效地、准确地获取研究区域内地壳运动的本质特征及其与地震活动的关系,为地震预测提供更准确、快速的科学依据。因此我们在伽师及邻区建立了高精度、高时空分辨率的区域性地形变监测体系,其主要目的是通过该网监视伽师及邻区各地震带现今构造运动和块体变形,为该区中强震预测提供区域性地壳运动学和动力学背景数据。因为利用重力测量和 GPS 技术能有效快速地获取活断层的物质迁移,监测构造变形引起的地表运动,揭示伽师及邻近地区的地壳运动背景,对中长期地震预测以及提供区域性地壳动力学背景数据,均具有重要的科学意义。

## 1 地质构造背景

本区构造上主要由塔里木板块和青藏板块构成,这两大板块以北西走向的康西瓦大断裂(缝合线)为界,在两大板块内部又分成若干次级构造单元(图 1)。由于受喜马拉雅构造运动的影响,区内新构造运动非常强烈。环盆地的高山均是新构造时期急剧隆起的,至今仍在不断抬升,印度板块向北推挤是区内新构造运动的动力学原因(邓起东等,2000;沈军等,2006;张培震等,1996)。比如 1985 年乌恰发生的 7.4 级地震形成的逆掩断层地震破裂带,一次性向北水平逆冲距离达 1.4m 之多(冯先岳,1991)。

新疆的乌恰、伽师、巴楚等地区位于天山褶皱带、帕米尔弧形构造和塔里木块体等 3 个构造单元的交接地带,是印度板块向中亚大陆楔入最深、受板块动力作用最强烈的地区之一。该区域现代地壳运动异常强烈,中强度地震频繁发生。自 1996 年以来连续发生多次 6 级以上的强震,地震的发生是南天山最新构造运动的结果,也是南天山的最新构造运动的最重要特征。南天山的最新构造活动以逆冲运动为主,主要分布在山前和山间盆地的边缘,其主要逆冲构造有库车推覆构造和柯坪推覆构造(徐锡伟等,2006;吴传勇等,2006)。

## 2 重力资料处理情况及重力场变化特征

### 2.1 重力资料的处理情况

为了更好地监测伽师及邻区重力场变化特征,新疆地震局于 2005 年 4 月开始在该地区布设了 40 余个重力点,关于同年进行了观测,截至 2009 年 8 月共获得了 10 期可靠的重

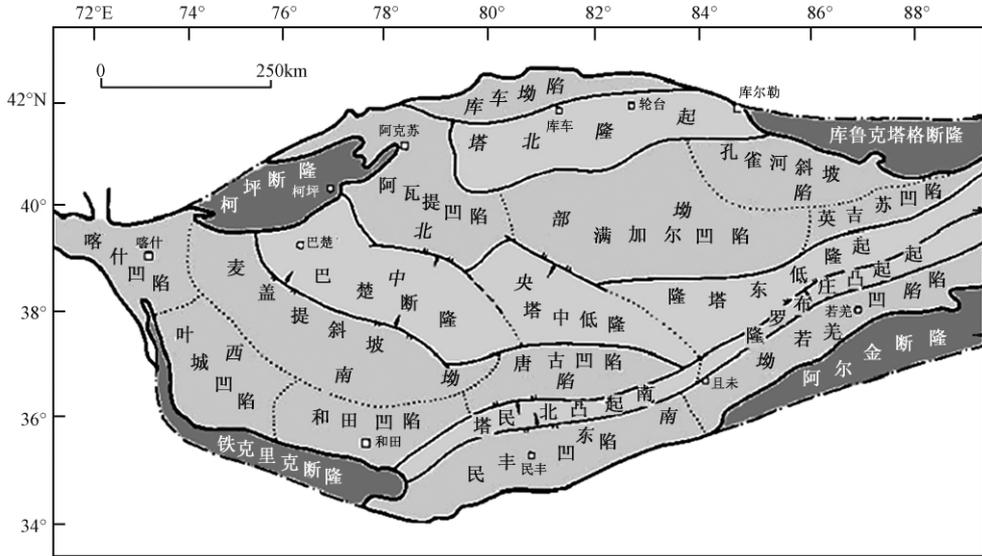


图1 伽师及邻近地区构造区划图

力观测数据。野外所采集数据的各项精度指标均符合重力测量规范要求,室内处理采用了中国地震局地震研究所李辉等人编制的《LGADJ》软件进行拟稳平差,统一起算基准,并作了一次项、固体潮及零漂改正等。平差计算时,先对多期观测资料计算结果进行整体分析,在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,计算点值精度为  $(4 \sim 10) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。其次,采用 Surfer 软件作出了该区域重力场时空变化分布图,利用最小二乘配置的原理对其进行了网格内插,其精度统计结果为:平均残差  $0.512 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  标准偏差  $3.258 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。与其他内插方法相比,最小二乘配置方法插值精度较高,说明配置法用于局部重力变化网格化是可行的。

## 2.2 重力场时空变化特征分析

通过对 2005 ~ 2009 年该区域流动重力观测资料进行平差计算,作出以 1 年为尺度的重力场的等值线图(图 2),并对其进行仔细深入地分析。研究表明,伽师及邻区近年来重力场变化相对活跃,最大重力累计异常到达  $150 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,重力变化呈一定的规律,出现东正(负)西负(正)的格局,空间分布比较集中,有明显异常变化。从绘制的等值线图可以清晰地看出,重力场的变化往往正负区交替出现,这实际也表明了该地区是地震多发区。研究表明,地震的孕育与发生,都将伴随着重力异常,且地震往往发生在重力场变化高梯度带以及重力场反向回跳的转折线附近(祝意青等 2003;刘代芹等 2009)。此结果与近几年发生的多数地震基本对应,正负重力异常变化梯度带的附近是物质密度增减剧烈的地区,能量易于积累。重力场变化规律与区域应力-应变场微动态活动有关,重力场变化反映出应力场引起的重力源兆变化特征,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,也有同作用下局部断裂活动的结果。分析比较重力场变化与测区的构造活动关系可以看出,2005 ~ 2009 年整个测区重力场相对变化较剧烈,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。近年来发生的多次强震都是在此梯度带附近发生。利用重力资料对本区构造活动进行研究,能较全面地认识该地区的地质构造活动背景及其与地震的关系。

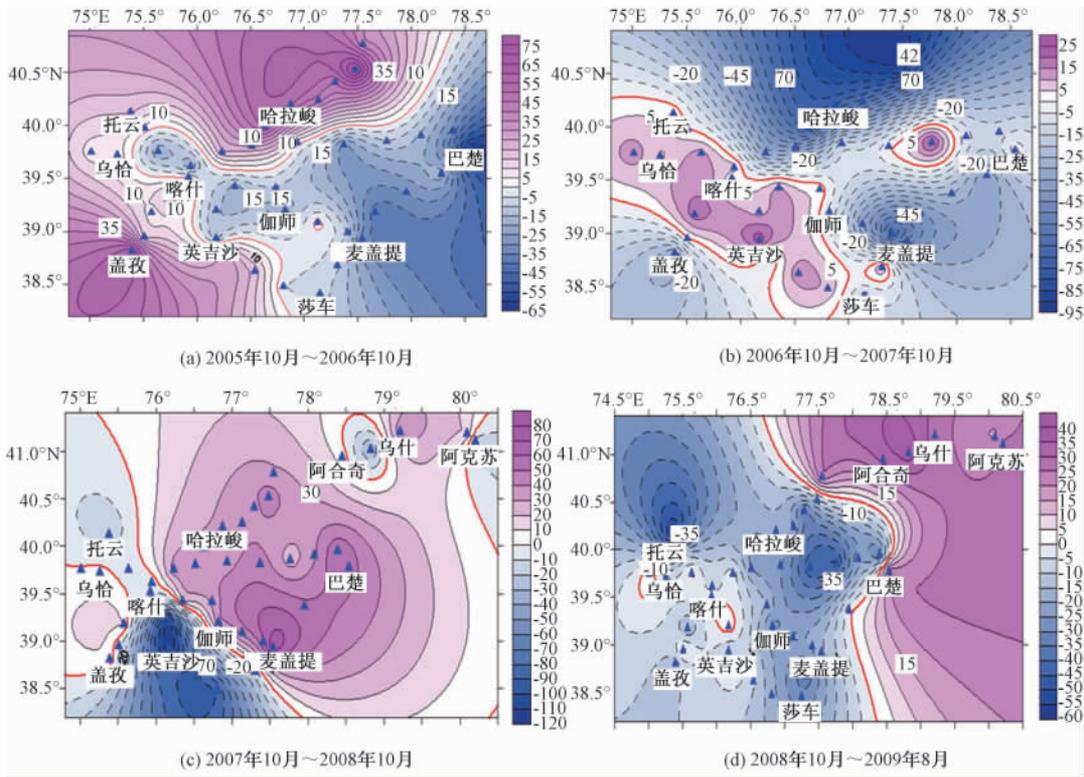


图 2 伽师及邻近地区重力变化等值线图

### 3 GPS 数据计算方法及形变场特征

中强地震一般是由于地壳形变(应力)积累到一定阶段后地壳突发破裂导致的地质灾害。全球板块相互作用的结果引起某些区域或局部性构造块体产生强烈的变形,在地壳表面呈现一种移动与变形的现象,大地测量可直接监测到这种可能引发地震活动的自然过程及其空间分布(王晓强等 2002、2005;党亚民等 2001),从而为研究与正确认识地壳运动及变形的成因与物理机制提供不可多得的基础资料。

#### 3.1 计算地应变的方法

计算应变时,假定地球介质(地壳)是连续、均匀的弹性体并且可发生小形变;通过建立协方差函数模型,通过解算,获得连续速度场整体模型后,运用最小二乘方法由 GPS 站点观测位移(运动速率)获得水平位移速度场空间分布函数,从而由位移与应变的偏导关系获得应变场的空间分布。据统计,解算误差对其解算结果的影响因子达到 0.01,其解算相对精度为  $0.05 \times 10^{-8}$ 。具体过程如下:

首先,建立邻近点间相对形变量与地壳应变张量的线性关系

$$U = AT$$

$U$  是邻近点相对形变量(位移增量)向量,  $T$  是应变张量,  $A$  为转换系数矩阵。即

$$\begin{bmatrix} du_x \\ du_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_{ij} & \Delta y_{ij} & 0 & \Delta y_{ij} \\ 0 & \Delta x_{ij} & \Delta y_{ij} & -\Delta y_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中  $du_x$ 、 $du_y$  为变形体内两监测点间的位移增量,  $\Delta x_{ij}$  和  $\Delta y_{ij}$  分别为两监测点间的坐标增量,  $\varepsilon_x$ 、 $\varepsilon_y$ 、 $\varepsilon_{xy}$  为应变状态分量,  $\omega$  为变形体的转动量。

在上述应变参数被确定后,就可以求出

$$\text{最大剪应变 } \gamma_{\max} = \varepsilon_x - \varepsilon_y$$

$$\text{面应变(面膨胀)} \Delta = \varepsilon_x + \varepsilon_y$$

$$\text{最大主应变 } \varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y + \gamma_{\max}}{2}$$

$$\text{最小主应变 } \varepsilon_2 = \frac{(\varepsilon_x + \varepsilon_y - \gamma_{\max})}{2}$$

$$\text{最大主应变方位角: } \alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y} \right)$$

### 3.2 利用面膨胀进行分析

图3是2004~2009年伽师及邻区面膨胀分布图。

通过2004~2009年研究区连续5期的面膨胀变化,我们可以看到在塔里木盆地西南及以南地区基本上以面膨胀为主,体现出印度块体向北推挤青藏高原造成帕米尔地区呈现出东西向拉张趋势及西昆仑地区以隆升膨胀为主。尤其在2007~2008年于田7.3级地震发生前,其面膨胀值为最大,显示了于田地震略带走滑的正断层发震机制,断层两侧拉张产生地震,造成了2007~2008年该地区面膨胀值大幅度上升。研究区西侧的喀什拗陷区位于帕米尔东北侧、塔拉斯-费尔干纳断裂以东,在南天山与塔里木盆地结合带的西段,塔里木盆地的西北部。在受到塔里木刚性块体、帕米尔弧的向北推挤过程中遇到南天山的逆冲推覆作用,该地区基本上体现出以南北向压性应变为主,整体呈现出收缩特征,这在连续几年的面膨胀变化过程中表现出很好的一致性。塔里木盆地东北侧(82°~84°E)的库车拗陷在受到塔里木刚性块体顺时针旋转挤推南天山,南天山南侧反向逆冲,使得该地区产生褶皱挤压变形。从面膨胀值连续几年为负来看,契合了该地区以压性应变为主要应变特征的分布趋势。塔里木块体内部面膨胀值基本上为零,显示出作为刚性块体,比起其南北边界上的天山和青藏高原来说,其本身的构造活动性相对较弱,内部很少出现压缩或者拉张,这与有历史记载以来塔里木地块内部没有发生过强震,岩石圈强度较好,具有较高的介质密度,构造基底结构单一相一致。对近几年在研究区发生的地震进行分析,2005年2月15日乌什以北发生 $M_s 6.2$ 地震,陈荣华等的(2005)研究表明,该地震由NNW向挤压应力作用下的NEE走向的倾滑逆断层错动引发的,断层逆冲,形成两盘相向位移减小,造成地区面积收缩,这与我们在该地区计算得到的面膨胀为负的结果基本一致。2008年3月21日于田南发生的 $M_s 7.3$ 地

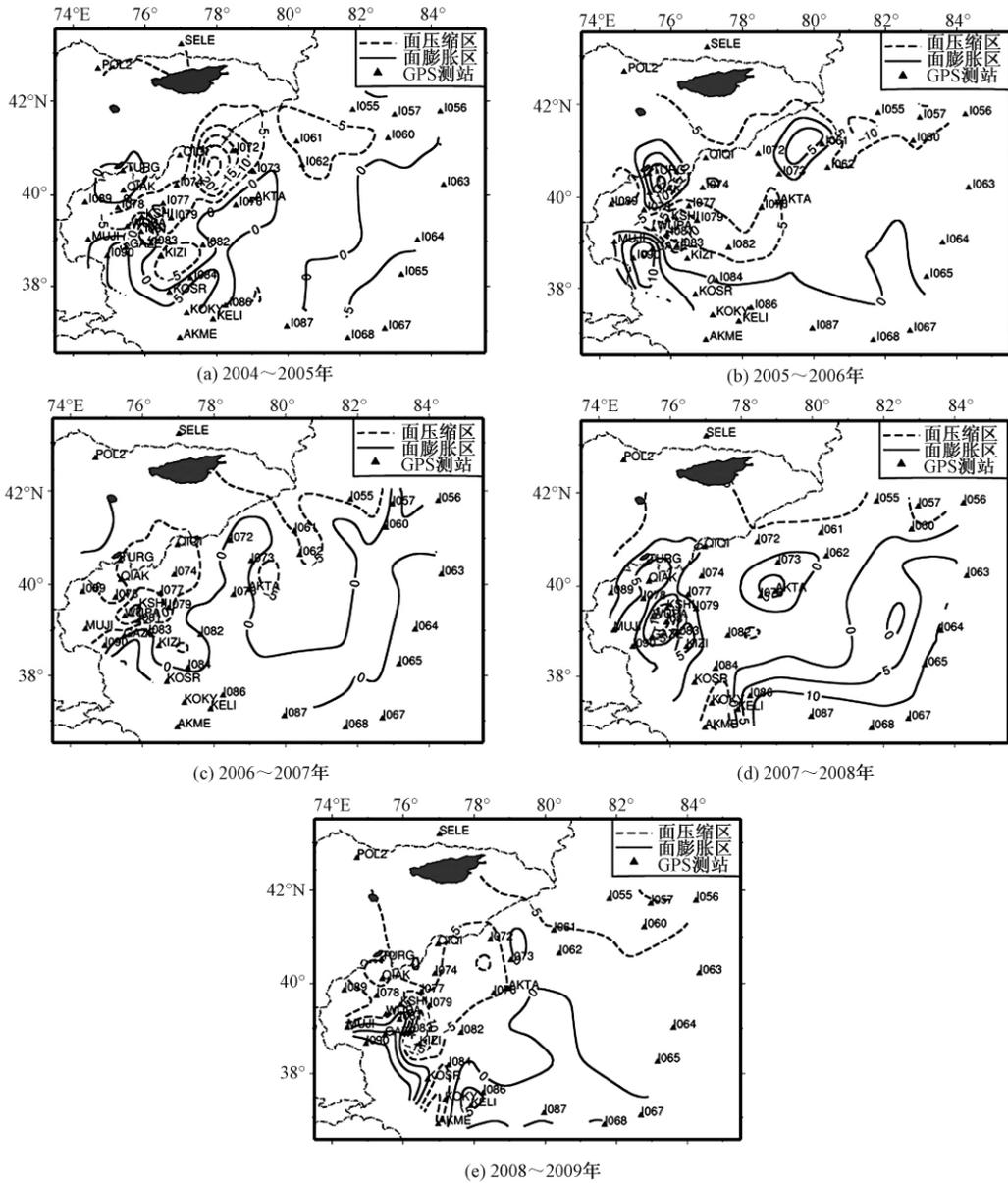


图3 2004~2009年伽师及邻近地区面膨胀分布图

震震中位于靠近西昆仑山区边缘的阿尔金地震带与康西瓦断裂带的交汇部位,Shen 等 (2001) 给出的巨大的阿尔金左旋走滑断裂在昆仑山山前造成的滑动速率为  $9 \pm 2 \text{ mm/a}$ , 断层两侧的持续性拉张活动与我们在该地区计算出的面膨胀值始终为正保持一致。同年 10 月 5 日在乌恰西,吉尔吉斯斯坦与中国边境交界部位上发生了  $M_s 6.8$  地震,该地震是在南北向应力作用下,迫使卡兹克阿尔特断裂带发生了破裂(李志海等 2008)。从 2007~2008 年、2008~2009 年面膨胀分布可以看出,在第 1 个时间段(2007~2008)地震发生的东南侧为膨胀拉张分布,而西侧为收缩挤压分布,地震沿逆断层发生后,张性特征随后在该地区消

失;在第2个时间段(2008~2009),恢复成大的构造背景下以挤压缩短为主要特征的分布。

在总的南北向挤压构造环境的影响下,南天山地区主要表现出山体两侧收缩为主,塔里木盆地基本不发生变化,西昆仑以横向拉张膨胀为主要特征。但不同时间段,某些地域其膨胀收缩仍有交替变化的现象,但都以服从天山地区主要是缩短变形这一大的环境背景。这些正负交汇且剪应变值增大的地区,应该是值得我们非常关注的区域。从图3可以清楚地看出,研究区域内地壳运动非常剧烈,面压缩区和面膨胀区交替出现,表明天山现今仍存在着持续的变形、褶皱及造山条件。

#### 4 重力场变化与构造动力环境(GPS)内在关系

新疆南天山地区环境应力场特征(GPS)表明,该区域剪应力平均值偏高,这是因印度洋板块对亚欧板块的碰撞作用,使塔里木盆地受到强烈挤压,这种挤压在西段尤为强烈,以右旋错动为主,并是导致塔里木盆地周边震源错动活动的主要因素(牛安福等,2003)。2008年10月5日乌恰西6.8级地震前,伽师及邻区重力值主要显示正变化,震后呈现出大面积负值区域,可能说明压缩(面收缩)和向北扩张(面膨胀)作用交替进行。

重力场与构造应力场内在关系的理论研究(向文等,1999)表明,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时空变化,重力场变化能反映区域应力场的微动态活动。

伽师强震群所处的喀什凹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。塔里木盆地周边震源断错活动的主要原因,从大的构造背景看,该地区处于印度洋板块与欧亚板块碰撞的西北端,是中国大陆受板块运动作用最强烈的地区之一,也是地震活动最强烈的地区之一,其区域构造应力场活动必然受制于两大亚板块的共同作用。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,当印度板块与欧亚板块活动加强时,区域构造应力场也相对增强,地壳中的物质迁移将出现有序分布,相应的区域重力场也会出现有序变化。通过GPS结果分析发现,乌恰地区是天山断块强烈隆起区与帕米尔、西昆仑强烈断块隆起区的结合部位,是近EW向、NW向、NE向及帕米尔以及北弧形断裂带交汇处,破裂机制、构造应力场分析等几方面都说明这里是地壳非常复杂的变形区。

从重力变化等值线图(图2)和由GPS计算所得伽师及邻近地区的面膨胀图(图3)分析,等值线(图2(a))反映出该区域重力变化高梯度带主要集中在阿合奇地区,且变化值为 $60 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,而面膨胀图(3(a))表明该区域压缩区集中在阿合奇附近,最大值为 $-25 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,其余地区基本上为膨胀区,变化量较小,基本上在 $0 \sim 8 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 范围之内。图2(b)反映出该区域大部分地区重力变化为负值区,且变化量不大,与图3(b)的结果基本上是一致的,该区域有 $\frac{2}{3}$ 的地区表现为膨胀区,变化量比较小,基本上在 $15 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 左右。等值线图(2(c))表现出该区域负值梯度带主要集中在英吉沙、麦盖提附近,重力变化最大值为 $-90 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ;在喀什、乌恰附近则出现了重力场变化的转折零线,而在阿合奇附近也出现了小范围的负值区,但变化量较小,这可能与2008年10月5日在乌恰西发生的6.8级、2009年2月20日柯坪5.2级、4月19日阿合奇5.5级地震有关。图3(c)表明,即在喀什、乌恰附近出现了量级为 $5 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 面膨胀区,其余地区基本上为面收缩区,最

大量级为  $-20 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ; 图 2 (d) 表现出该区域重力场出现了大范围的负值区, 但变化量级都比较小, 这可能与 2008 年 10 月 5 日在乌恰西发生的 6.8 级地震有关, 地壳物质不断往 NE 向推移。这种现象与图 3 (d) 反映出的结果基本上是一致的, 即该区域出现了大范围的面膨胀区, 且变化量在  $15 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  左右。以上分析表明, 重力等值线图 2 (a ~ d) 和面膨胀图 3 (a ~ d) 反映出的地壳运动现象基本上是一致的。当物质不断汇集, 密度不断增大, 重力变化表现为正值时, 从面应变中分析, 该区域正处于压缩区 (面收缩)。当物质不断扩散, 局部区域的密度将不断减小, 该区域便处于扩张区 (面膨胀)。虽然在量级变化大小上有时并不一致, 但从利用二者共同研究地壳活动趋势上还是比较可观的。

## 5 认识与讨论

本文利用重力资料与 GPS 数据对伽师及邻近地区近期地壳运动特征作了剖析, 从不同角度、不同时间段分析了该区域的重力场、面膨胀变化特征, 并利用重力资料与 GPS 数据探索二者之间的响应关系。分析研究认为:

(1) 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, 或重力场变化的零线附近, 异常中心对应的震中的位置不是很远。以 1 年为尺度的重力变化图像较好地反映了重力场随时空的变化, 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, 使得该处地壳重力和地表的空间位置发生了变化。

(2) 通过 GPS 资料计算所得该区域面膨胀可以看出, 中强地震往往发生在面收缩和面膨胀交替变换的邻近区, 即此处物质交替变换最剧烈, 地壳能量将得到释放, 可能诱发地震。

(3) 从观测时间上可以清楚地看到, GPS 数据反映出的面应变和流动重力资料计算出的重力场变化, 在时间尺度上, GPS 基本上可提前一年获得地壳运动变化的信息, 这可能是由于 GPS 与流动重力在观测时间、观测点位、空间尺度不统一造成的, GPS 观测空间尺度 ( $74.3^\circ \sim 84.5^\circ \text{E}$ ,  $36.5^\circ \sim 42.0^\circ \text{N}$ ) 要比重力的研究区域 ( $75^\circ \sim 79^\circ \text{E}$ ,  $38.5^\circ \sim 41.0^\circ \text{N}$ ) 相对较大。

为了能更好地得出二者之间在量化上存在的关系, 将在以后的工作中不断总结经验, 深入分析, 以便更准确、更清晰地利用二者之间的关系研究伽师及邻近地区的地壳运动特征。

## 6 展望

新疆地域广阔, 而重力、GPS 监测点相对稀少, 流动重力每年观测 2 期, GPS 每年观测一期, 观测数据较少, 重力观测与 GPS 实测的时间基准并不同一, 更重要的一点是, 重力点位与 GPS 观测点并不重合, 而且点与点之间相离较远, 这都不利于利用现有的资料 (重力、GPS) 获得重力与 GPS 在量级上的相关性。目前中国地震局、总参测绘局、中国科学院、中国测绘局、中国气象局和教育部等正共建国家重大科技基础设施“陆态网络”, 该项工程在新疆架设了 32 个连续跟踪站, 近百余个区域站, 并同时连续跟踪站上布设 4 个连续重力观测站。这样与原有的连续观测站 (乌鲁木齐、乌什、塔什库尔干) 同时进行监测, 虽然对面积辽阔的新疆来讲, 点位还是比较稀少, 但在一定程度上, 还是能较好地实时跟踪研究伽师及邻近地区的地壳运动变化特征, 并且获得的一部分重力资料和 GPS 数据在时间、地点、空

间尺度将统一,以利于探索二者(重力、GPS)之间在地壳内部(中、下地壳和上地幔)的响应关系,并为地壳运动及动力学、地震预测提供基础数据,较好地为社会减灾和国民经济建设服务。

## 参考文献

- 陈荣华、张永仙、薛艳 2005 2005 年 2 月 15 日新疆乌什 6.2 级地震前的测震学异常,内陆地震, **19**(3) 203~206。
- 邓起东、冯先岳、张培震等 2000 天山活动构造,北京:地震出版社。
- 党亚民、晁定波、许才军等 2001 利用 GPS 形变资料确定地壳形变的应变特征,测绘科学, **26**(3) 11~13。
- 党亚民、陈俊勇、张燕平等 2002 利用 GPS 资料分析南天山地区的地壳形变特征,长江大学学报, **27**(4) 13~15。
- 冯先岳 1991 地震断错地貌,内陆地震, **5**(1) 17~26。
- 李杰、王晓强、王琪等 2004 乌恰伽师地区 GPS 地壳运动监测网研究,内陆地震, **18**(3) 34~39。
- 李志海、龙鹏伟、马宏生 2008 2008 年 10 月 5 日新疆乌恰 6.8 级地震发震构造与地震序列分析,内陆地震, **22**(4) 355~360。
- 刘代芹、王晓强、李杰等 2009 新疆南天山地区重力场动态演化特征,西北地震学报, **31**(2) 174~178。
- 牛安福、王琪、江在森等 2003 伽师地震与区域断层活动研究,大地测量与地球动力学, **23**(1) 17~21。
- 乔学军、郭利民 2007 新疆伽师强震群的 InSAR 观测研究,大地测量与地球动力学, **27**(1) 7~13。
- 沈军、陈建波、王翠等 2006 2003 年 2 月 24 日新疆巴楚-伽师 6.8 级地震发震构造,地震地质, **28**(2) 205~212。
- 王琪、丁国瑜、乔学军等 2000 用 GPS 研究南天山(伽师)地区现今地壳变形,地震学报, **22**(3) 263~270。
- 王晓强、王琪、程瑞忠等 2002 新疆伽师及邻近地区现今地壳形变的 GPS 监测与研究,西北地震学报, **24**(3) 199~207。
- 王晓强、李杰、王琪等 2005 天山现今地壳运动的形变场分析,大地测量与地球动力学, **25**(3) 63~68。
- 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,内陆地震, **21**(3) 213~217。
- 吴传勇、沈军、陈建波等 2006 新疆南天山库车凹陷晚第四纪以来地壳缩短速率的初步研究,地震地质, **28**(2) 279~288。
- 向文、李辉 1999 重力场与构造应力场内关系的理论研究,地壳形变与地震, **19**(1) 32~36。
- 邢乐林、李辉、周新等 2010 GRACE 卫星重力观测在强震监测中的应用及分析,大地测量与地球动力学, **30**(4) 51~53。
- 徐锡伟、张先康、冉勇康等 2006 南天山地区巴楚——伽师地震( $M_s6.8$ )发震构造初步研究,地震地质, **28**(2) 161~178。
- 张培震、邓启东、杨晓平等 1996 天山的晚新生代构造变形及其地球动力学问题,中国地震, **12**(2) 127~140。
- 张永志、孙和平、王卫东 2004 利用 GPS 观测研究新疆伽师地区的水平变形特征,地震研究, **27**(2) 179~1183。
- 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,大地测量与地球动力学, **23**(3) 66~69。
- Han S C, Shum C K 2006 Crustal dilatation observed by GRACE after the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, Science, **313** 658~662。
- Shen Z K, Wang M, Li Y, et al 2001 Crustal deformation along the Altyn Tagh fault system, western China, from GPS, J Geophys Res, **106** 30607~30622。
- Shigeo Y, Gaku S, Shuhei O, et al 1999 Absolute gravity change associated with the March 1997 earthquake swarm in the Izu Peninsula, Japan, Earth Planets Space, **51** 3~12。
- Yoshiyuki T, Shuhei O 2001 First detection of absolute gravity change caused by earthquake, Geophys Res Lett, **28**(15) 2929~2981。

## Characteristics of recent crustal movements in Jiashi and its neighboring regions on the basis of gravity and GPS data

Liu Daiqin<sup>1)</sup> Li Jie<sup>1,3)</sup> Wang Xiaoqiang<sup>1)</sup> Li Hui<sup>2)</sup> Zhu Zhiguo<sup>1)</sup> Li Guirong<sup>1)</sup>

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

2) Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China

3) China University of Geosciences, Wuhan 430070, China

**Abstract** The paper studies the characteristics of crustal movement in Jiashi and its neighboring regions on the basis of gravity and GPS data. The adjustment calculation was done using the 2005 ~ 2009 gravity observation data flow and one-year gravity field variation scale images were drawn. The analysis reveals that the gravity field variations in the region is relatively active and follow certain patterns with the maximum cumulative gravity anomaly reaching  $150 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . The paper then recalculates the GPS data of 2005 ~ 2009 in the region under a unified framework and obtains the annual surface expansion in the region by theoretical calculation. The result shows that the regional crustal surface compression and surface expansion have an alternating pattern and the positive and negative junction is the increase area of shear strain, often the earthquake preparation area. Finally the paper discusses the correspondent relationship between gravity and GPS (surface expansion) in crustal deformation and geodynamics. The study shows that there are positive variations of gravity in Jiashi and its neighboring regions before a quake and negative ones in large areas after a quake. This can result from the alternation of indentation (surface contraction) and northward expansion (surface expansion) and is consistent with surface expansion by GPS calculation.

**Key words:** Gravitational field GPS Dynamic evolution Seismic activity