

新疆地区现今地壳运动

党亚民¹ 陈俊勇² 张燕平³

(1 中国测绘科学研究院, 北京市北太平路 16 号, 100039)

(2 国家测绘局, 北京市百万庄, 100830)

(3 国家基础地理信息中心, 北京市海淀区紫竹院百胜村 1 号, 100044)

摘要: 根据 1995~2002 年期间国家测绘局在我国新疆和南天山地区进行的多期 GPS 形变监测和地球动力学领域的合作研究获得的 GPS 观测资料, 并结合中亚、天山地区的 GPS 连续跟踪站以及全球连续跟踪站数据, 利用 GAM IT/GLOBK 软件对这些数据进行了分析处理, 获得了较为详尽和准确的我国新疆和天山地区的地壳运动特征, 并据此研究了塔里木块体和天山地区板内运动规律。

关键词: GPS; 地壳形变; 应变

中图法分类号: P227.1; P228.42

印度板块最早(约 5 千万年前)以 10cm/a 的速率和欧亚板块发生强烈碰撞, 随后印度板块的碰撞速度降到 5cm/a , 这种碰撞使青藏高原抬升并产生北向推挤作用^[1]。在过去 2~3 千万年里, 这种碰撞也使位于中亚地区的天山地区的构造运动被激活, 从而使天山地区成为研究内陆板块形变和地球动力学机制的一个非常理想的场所。与此形成鲜明对比的却是与天山毗邻的塔里木块体, 和分别位于它两侧的青藏高原和天山地区活跃的构造运动不同, 该块体在过去长期的构造运动中保持了非常小的内部变形。因此, 对塔里木块体和中亚天山地区地壳运动和地球动力学机制的研究一直是地球科学家关注的一个热点。另外, 对天山和塔里木现今地壳运动的研究也可以深化对天山造山运动的重新认识, 例如过去对天山的造山运动的估计时间大约在 5 千万年前, 但如果天山南北向的缩短速率为 20mm/a , 则天山造山运动则可能推迟到约 1 千万年前^[2]。

新疆天山地区是我国最主要的地震活动区之一。地震是地壳内部突然错动的结果, 是地球内部构造失稳的表现形式。以东起库尔勒、西至乌恰的南天山地区地震带为例, 该地震带位于喜马拉雅碰撞带西端帕米尔弧束区的东北侧, 是天山褶皱带、帕米尔弧形带构造和塔里木块体的交接地带。其构造运动的复杂和活跃使得该地区成为

一个板内强震活动十分活跃的地区。许多地区都发生过 7 级以上的地震, 其中阿图什 1902 年 8 级地震, 乌恰 1955、1974、1985 年的几次 7 级地震都位于南天山的西段与帕米尔交汇的地区, 1949 年库车 7 级地震位于南天山地震带的东段, 中强地震更为频繁^[3]。利用高精度 GPS 监测技术, 可以对新疆塔里木块体和天山地区的现今地壳运动做定量分析, 从而更好地了解该地区的构造运动特点, 进而为研究该地区的地震发生规律和地球动力学机制提供高精度和高时空分辨率的地壳运动背景。

1 新疆和天山地区的 GPS 观测与数据处理

新疆 GPS 地壳形变监测网建于 1995 年, 到 2000 年, 国家测绘局先后组织了 6 期观测。布测该监测网的主要目的是通过对该监测网的观测和数据分析, 研究新疆塔里木块体和中亚天山地区的地壳运动特征, 为新疆和中亚地区各项地学研究以及新疆地震高发区的地球动力学机制研究提供高精度的地壳运动分布图像。

自 1998 年起, 国家测绘局通过国际合作在我国新疆南天山地区建立了另一个高精度 GPS 地形变监测网, 并于 1998 年 8 月对该网进行了首期

观测, 共观测了 35 个监测点, 其中包括 18 个主站(包括 3 个连续运行站)和 17 个辅站。2000 年 7~8 月间, 对天山 GPS 形变监测网进行了第二期观测, 总共获得了 33 个站的观测数据, 其中包括 16 个主站和 17 个辅站。与首期观测的策略类似, 在观测期间有 3 个主站做连续观测。同时, 由于其中 4 个主点和 3 个辅点的标志在复测前被破坏, 所以在二期观测前对这些点进行了恢复并重新观测。天山 GPS 形变监测网第三期观测于 2002 年 8 月份进行, 和前两期观测类似, 尽管有些点位被破坏, 但通过增加主站和辅站的联测时间对这些站都进行了测站“恢复”观测^[4]。

GPS 数据处理采用了 GAMIT/GLOBK 软件, 具体步骤如下:

1) 对每天的 GPS 相位观测值利用 GAMIT 软件解算出各个测站的坐标、大气延迟以及轨道参数等^[4], 在数据处理中还包括了位于中亚和天山地区的 10 个 IGS 观测站数据; 另对被破坏的测站进行了“主站恢复”解算。

2) 利用第一步解算的站坐标、卫星轨道和其他参数及其协方差阵, 将其视作“准观测值”利用卡尔曼滤波方法估计一组统一的站坐标和速度场。在这一步解算中, 部分全球站数据也被纳入到统一解算中, 同时形成每期独立的解文件。

3) 进一步利用 GLOBK 软件包定义参考框架。本文以欧亚块体定义参考框架, 并选取了欧亚板块(主要是西欧地区)全球站数据和中亚地区较为稳定的点作为实现参考框架的依据。天山网相对于欧亚板块的速度场结果见图 1。

图 2 是从 1995 年到 2002 年整个南天山地区和塔里木块体 GPS 形变监测网联合解算的速度场结果。图 2 中的地形变速率结果和图 1 相同, 都是相对于欧亚板块的一个速度场结果。

2 塔里木块体的运动特征分析

上面对天山和新疆塔里木块体运动速度场的解算, 获得了该地区相对于欧亚板块的运动速率。从图 1 可见, 塔里木块体各 GPS 监测点的速率有较好的一致性, 这也说明了塔里木块体是一个稳定的运动块体。为了定量地分析塔里木块体和新疆天山地区地壳运动之间的内在关系, 可通过解算表征板块或块体间相对运动关系的欧拉矢量来确定塔里木块体相对于欧亚板块的运动关系。根据板块运动理论, 每个板块服从欧拉定律^[5]:

$$V_p = \Omega \times r$$

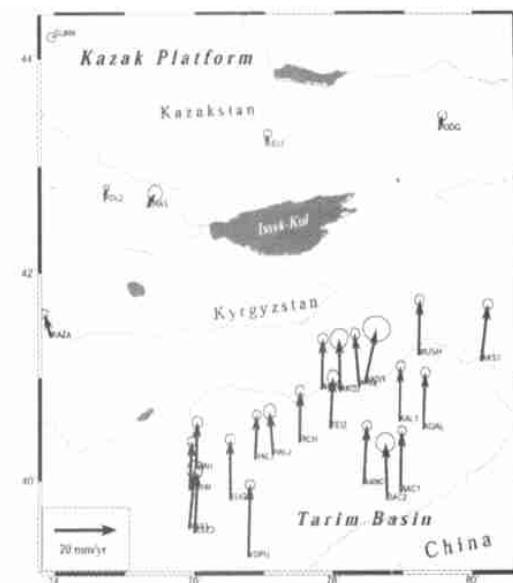


图 1 1998~2002 年新疆南天山地区 GPS 地形变速率(相对于欧亚板块)

Fig. 1 GPS Determined Velocities and Their 95% Confidence Ellipses in Southern Tianshan with Respect to the Eurasia Plate (1998~2002)

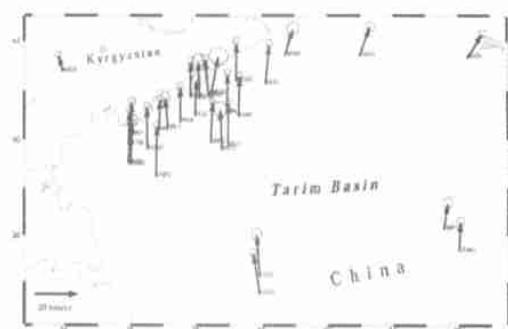


图 2 1995~2002 年新疆地区 GPS 地形变速率(相对于欧亚板块)

Fig. 2 GPS Determined Velocities and Their 95% Confidence Ellipses in Xinjiang with Respect to the Eurasia Plate (1995~2002)

式中, V_p 表示板块各测站的水平速度矢量; Ω 表示板块运动欧拉矢量; r 表示各测站的位置矢量。

本研究中, 笔者选取了位于塔里木块体的 KUZH、QEMO、QMFU、KUCH、AKS1、HTFU、HTZH、AQAL、BAC1、SANC、SUGO、KSZD 等 12 个点, 确定了塔里木块体相对于欧亚板块运动的欧拉矢量, 计算结果表明了塔里木块体相对于欧亚板块的欧拉运动矢量的极位置在北纬 $36.5^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$, 东经 $99.2^{\circ} \pm 1.1^{\circ}$, 旋转速率为 $0.525^{\circ} \pm 0.030^{\circ}/\text{Ma}$ (见图 3)。

图 4 是在去掉塔里木块体整体运动后(由欧拉矢量解算获得)的测站速率残差量, 这些速率残差值很好地反映了板内形变边界的形变特征。由

图4的解算结果可以看出,塔里木块体边界和天山地区南缘的地壳运动有较好的一致性,说明塔里木块体和天山南缘的边界碰撞已经较好地融合在一起。但天山地区南缘相对于塔里木块体仍有类似走滑的运动特征,这也从另一个侧面说明塔里木块体独立的右旋运动仍未停止。

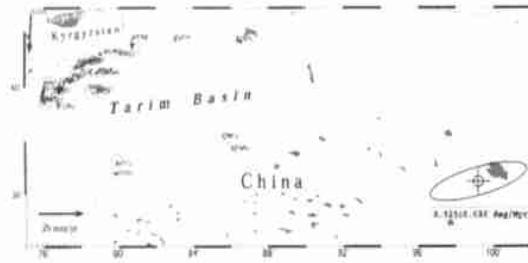


图3 塔里木块体(相对于欧亚板块)运动欧拉矢量

Fig. 3 Tarim Plate Euler Vector and 95% Confidence Ellipse with Respect to the Eurasia Plate



图4 去掉塔里木块体整体运动后(欧拉矢量)
的测站速率残差矢量

Fig. 4 Residual Vectors Between the Euler Vector
Predicted and GPS Determined Velocity Vectors

3 结语

印度板块和欧亚板块的碰撞不仅直接主导了青藏高原的隆升运动,同时也对整个中亚地区的构造运动产生了强烈影响。印度板块对欧亚板块碰撞导致亚洲大陆强烈的挤压变形,通过刚性的塔里木块体传到中亚天山地区,成为天山造山运动的一个主导因素。这种挤压在天山地区的直接后果除了天山山体的隆升,还包括天山地壳的南北向缩短,以及强烈而频繁的地震活动。早期中亚地区的GPS研究结果表明^[2],哈萨克到离中国边界最近的GPS监测点的缩短量为 $(13 \pm 2)\text{mm/a}$,从而推断出整个天山地区的南北向缩短速率大约为 20mm/a 。本文以欧亚板块为

参考,根据最新的实测资料获得的速率结果也表明,天山地区的缩短速率在 $(15 \sim 19)\text{mm/a}$ 之间,最南端的一个监测点岳普(YOPU)更是达到了 $(20.9 \pm 0.6)\text{mm/a}$,所以早期 20mm/a 的预测是比较合理的。

从图3的塔里木块体相对于欧亚板块的欧拉运动矢量结果以及图4各测站的水平速度残差矢量可以看出,塔里木块体仍然保持其刚性特征。另外,经过长期构造运动,塔里木块体北缘和天山南缘的碰撞已经有了较好的融合性,但内陆板块碰撞边缘的地壳运动和构造活动要比预想的复杂得多。从图4的速度残差结果也可看出,塔里木块体仍然保持着其独立的刚性右旋运动特征,受天山山体阻隔,加上周围其他构造单元的共同作用,其边界区域必然会出现复杂的构造活动。如果能在塔里木块体西缘和南端有更多的监测点分布,必然可以加深对该地区复杂的构造运动的了解。

致谢:本文的野外数据是陕西测绘局一大队和国家基础地理信息中心的同仁共同努力的结果,在此向他们的辛勤劳动表示感谢。在数据处理和数据分析中,得到了美国麻省理工学院B. Hager教授、T. Herring教授和R. King博士的指导,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- Neil E A, Houseman G A. Geodynamics of the Tarim Basin and the Tianshan in Central Asia Tectonics 1997, 16(4)
- Abdrakhmatov K. Relatively Recent Construction of the Tien Shan Inferred from GPS Measurements of Present-day Crustal Deformation Rates. Nature, 1996, 384
- 胥颐, 刘福田, 刘建华, 等. 天山地震带的地壳结构与强震构造环境. 地球物理学报, 2000(2)
- McClusky S. Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, J. Geophys. Res., 2000, 105: 5 695 ~ 5 719
- 金双根, 朱文耀. 太平洋板块运动和形变及其边缘现今相对运动. 大地测量与地球动力学, 2002(2)
- Wessel P, Smith W H S. Free Software Helps Map and Display Data. Eos Trans. 1991, 72

第一作者简介: 党亚民, 博士, 研究员。现主要从事GPS和地球动力学领域的研究工作。

E-mail: dangym@casn.ac.cn

Present-day Crustal Deformation in Xinjiang

DANG Yamin¹ CHEN Junyong² ZHANG Yanping³

(1 Chinese Academy of Surveying and Mapping 16 Beitaiping Road, Beijing, China, 100039)

(2 State Bureau of Surveying and Mapping, Baiwanzhuang, Beijing, China, 100081)

(3 National Geomatic Center of China, 1 Baishengcun, Zizhuyuan, Beijing, China, 100081)

Abstract: We present a preliminary determination of crustal deformation based primarily on GPS measurements we made in Xinjiang from 1995 to 2002, combined with the data of continuous GPS data in Central Asia. The results show that the sites on the southern border of the Tianshan move at (15~19)mm/a to the NNE relative to the stable Eurasia plate. This rate increases to (20.9±0.6)mm/a at Yopurga, our southernmost site in the Tarim basin, located 35km to the southeast of the range front. A preliminary GPS Eurasia-Tarim Basin Euler vector of $36.5^\circ \pm 0.5^\circ$ N, $99.2^\circ \pm 1.1^\circ$ E, $0.525^\circ \pm 0.030^\circ$ /Ma is determined.

Key words: GPS; crustal deformation; strain

About the first author: DANG Yamin, Ph.D., researcher. He is concentrated on the study in GPS & Geodynamics.

E-mail: dangym@casm.ac.cn

(上接第 82 页)

Applications of GPS to Current Crust Movements and Monitoring Seismic Precursors

WU Yun¹ SUN Jianzhong¹ QIAO Xuejun¹ WANG Hui¹

(1 Institute of Seismology CSB 40 Hongshan Road, Wuhan, China, 430071)

Abstract: In accordance with GPS data produced from “Crust Movement Observation Network of China”, the current motion and deformation of the blocks and their boundaries in the continent of China are computed and analyzed, using “inverse DDA of a block system in the sphere coordinate”. And making wavelet transformation for the observational sequences of GPS continuously tracing stations, we investigated approaches abstracting precursory information from the continuously observational sequences of GPS with analysis of earthquake events occurred.

Key words: GPS; current crust movement; earthquake precursors; earthquake forecast

About the first author: WU Yun, researcher. He is engaged in the research on geodesy, geodynamics and earthquake forecast.

E-mail: wuyun@public.wh.hb.cn