

我国国家大地网的地壳形变改正探讨

杨少敏¹ 王 琪¹

(1 中国地震局地壳应力研究所武汉科技创新基地, 武汉市洪山侧路 40 号, 430071)

摘 要:以 2000 网为例, 根据 1991~2001 年累积的 GPS 重复观测资料, 利用 GIPSY 软件建立具有 1 115 个测点的地壳运动模型。在此基础上, 采用双三次样条函数数值拟合法, 模拟出 2000 网网点相对西安基准站的地壳形变改正值, 并给出了效果图。

关键词:地壳形变改正; 国家大地网; 模拟

中图法分类号:P227

我国国家大地坐标系从初测至今, 其间地壳形变的影响不容忽视。如拉萨相对西安的运动为 2.61 cm/a , 则 50 年后拉萨的位移量将达到 1.3 m , 已超过了其坐标误差的限值, 使目前提供的西安 80 系大地网点值与目前的实际地面位置明显不一致, 存在 10^{-5} 量级的局部畸变。陈士银^[1] 意识到块体运动(或者说地壳变形)对国家大地网的影响, 根据国家 A、B 级网数据与天文大地网进行对比分析, 确定出我国天文大地网在新疆南部、西藏、青海南部和川西存在显著变形; 陈俊勇^[2] 也提出了有关地壳运动对天文大地网影响的问题, 指出现今国家大地坐标系的坐标值和该点实际位置之间存在矛盾。因此, 对目前使用的国家大地网坐标框架, 必须考虑地壳形变的影响及其改正问题, 至少必须提供地壳形变改正的信息。

1 进行国家大地坐标系改正的工作基础

自 20 世纪 80 年代中期开始, 我国陆续建成了用现代空间定位技术测定的网, 共 2 000 余点, 包括总点数 700 余点的 A、B 级网、500 余点的 I、II 级网、1 000 余点的中国地壳运动观测网。它们具有高精度的三维地心坐标, 其中中国地壳运动观测网络包括 25 个基准站、56 个基本站、1 000 个区域站, 以监测地壳运动服务于地震预测预报服务为主要目标^[3], 同时兼顾大地测量和

国防建设的需要。基准站中武汉、上海、北京、乌鲁木齐和拉萨同时也是国际 IGS 站, 基准站、基本站在全国均匀分布。从 1998~2002 年, 基本网完成了 5 次观测, 区域网 1999 年完成首轮观测, 2001 年复测, 2000、2002 年加测了川滇、青藏地区部分网点约 50~60 个。

地震局采用了 GIPSY/OASIS-II 和 GAM-IT/GLOBK 两种软件对多期重复观测资料进行了处理, 具体见文献[4, 5]。两种软件的处理结果, 即测定地面点位置的精度都达到了 mm 级, 测定地面点运动速率的精度均达到 $1\sim 3\text{ mm/a}$, 长距离基线测定精度也都达到 $10^{-8}\sim 10^{-9}$ 。这些可靠的地壳运动模型为我国大地网的地壳形变改正提供了数据基础。

以上的地壳运动改正模型具有优越的现势性, 但是空间分布比较稀疏, 要对我国的大地网进行地壳形变改正, 必须借助其他的手段进行加密。近年来, 随着大地测量反演理论的发展和日趋成熟, 双三次样条函数插值的应用使得综合利用 GPS 速度模型和地质、地震资料进行约束, 拟合中国大陆内部任意点的运动速度具有较高的置信度^[6~9]。

2 地壳形变改正模型的精度分析

本文利用文献[4]中采用 GIPSY 计算的 1 115 个点的速度解, 采用双三次样条函数进行反演。为了进行精度评定, 从 1 115 个 GPS 测站

中随机抽取 26 个点, 作为检验而不参加建模, 它们在全国均匀分布, 利用剩下的 1 089 个测点进行模拟。比较这 26 个测点的观测速度和模型速度, 其精度指标如表 1 所示。

表 1 中的总拟合差平方和指观测速度与拟合速度各分量之差的平方和; 自由度指待拟合点个数 N 的两倍 (2×26); 模型解析度代表点位速度值的拟合程度, R 值越大, 表示拟合程度越高。 R 由下式计算:

$$R = 1 - \frac{\sum_{m=1}^N (V_{00}^m + V_{\varphi\varphi}^m + 2 V_{\varphi 0}^m)}{\sum_{n=1}^N (V_{00}^n + V_{\varphi\varphi}^n + 2 V_{\varphi 0}^n)}$$

表 1 拟合残差特征量统计表

Tab. 1 Goodness of Fit of Model Velocity Field to Geodetic Velocity

总拟合差平方和	自由度	解析度 / %	东西向速率分量的平均偏差 / mm	南北向速率分量的平均偏差 / mm	拟合速率值的平均偏差 / mm	拟合方向的平均偏差 / (°)
5. 70	52	96. 61	0. 22	0. 52	0. 07	- 0. 26

$S_v = \sqrt{s_e^2 v_e^2 + s_n^2 v_n^2 + 2 v_e \circ v_n \circ s_e \circ s_n \circ \text{COV}} / v$

速度方向中误差为:

$$S_A = \sqrt{s_n^2 v_e^2 + s_e^2 v_n^2 - 2 v_e \circ v_n \circ s_e \circ s_n \circ \text{COV}} \circ 180^\circ / 3. 141\ 592\ 6 / v^2$$

其中, s_e 表示东西方向速度分量误差; v_e 表示东西方向速率; s_n 表示南北方向速率分量的误差; v_n 表示南北方向速率; COV 表示 s_e 、 v_e 的相关系数。

图 1(a)显示, 运动速率拟合中误差总体小于 2mm, 其中 60% 的速率拟合中误差小于 1mm, 40% 的速率拟合中误差小于 2mm; 图 1(b)显示, 运动方向拟合中误差总体小于 12°, 其中约 27% 的方向拟合中误差小于 4°, 约 45 % 的方向拟合中误差小于 8°。

3 以 2000 网为例的地壳形变改正

双三次样条函数理论的基础是以转动矢量函数为中介, 将变形区内三维水平应变率分量与三维速度矢量联系起来, 再划分网格, 这就考虑了区域的构造地质背景, 提高了结果的精度^[6]。本文以 2000 网(A、B 级网、I、II 级网和中国地壳运动观测网)为例, 给出 2000 网的地壳形变改正图像(图 2、图 3), 它们均在 ITRF97 坐标框架下。

图 2 反映了中国内陆相对于欧亚板块的水平运动速度, 它和实测的地壳运动模型一致^[4]。

式中, V 为方差-协方差阵; 右上标 m 、 n 分别对应于拟合速度与观测速度。表 1 中后 4 个指标实际是拟合残差的平均值。

$$V_i = \sum_1^N (V_i^{\text{fit}} - V_i^{\text{obs}}) / N$$

其中, 下标 i 分别表示东西、南北向的速率分量、运动速率和运动方向; 上标 fit 指拟合值; obs 指观测值。

表 1 显示, 速率拟合的平均偏差小于 1 mm, 方向拟合的平均偏差为 -0. 26°, 模型的拟合程度(包括运动速率和方向)达到了 96. 61 %。

对拟合中误差进行统计并给出直方图(图 1), 其中, 速率中误差为:

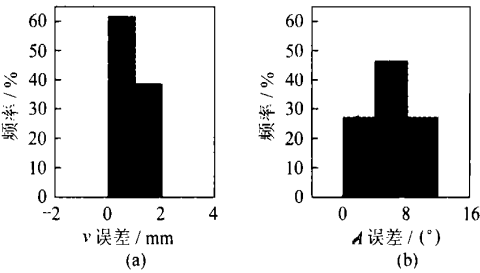


图 1 拟合中误差

Fig. 1 Goodness of Fit of Model Velocity

图 3 反映了中国内陆整体相对于西安的运动趋势、大小和方向。运动方向分异明显, 大约以东经 90°为界, 西部地区以向北偏西方向运动, 东部除青藏地区向北东方向运动以外, 其余地区均向东南方向运动; 运动速率仍然是西部大于东部, 相对于西安基准站, J034 点的运动速率达到了 2. 63cm/a, 40 年后其位移量将超过 1m, 远远偏离了实际位置。

4 结 语

本文提出的对目前的国家大地控制网提供地壳形变改正信息的思路和方法, 其实用性与科学性兼具。具体实施过程中涉及到不同框架下的坐标转换问题: ①目前我国空间网与地面网约有 300 个重合点, 可以选取其中质量可靠的重合点

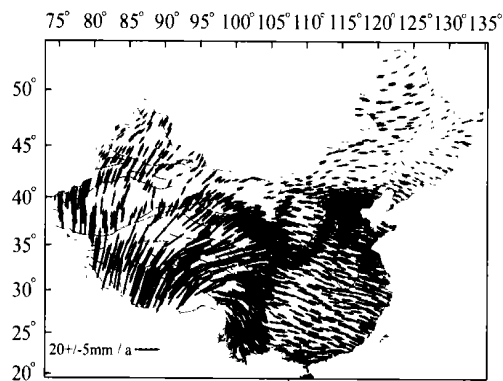


图 2 2000 网相对欧亚板块的地壳运动图像

Fig. 2 Velocity Field Relative to Eurasia Plate of 2000 Net

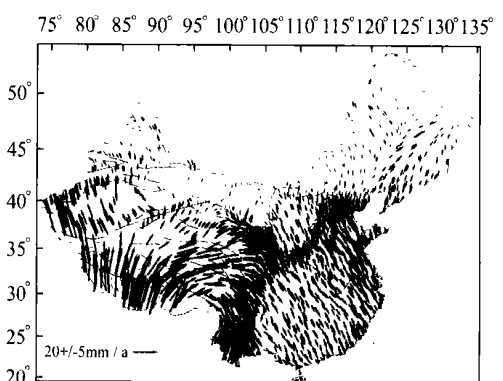


图 3 2000 网相对西安(108.985 62°E, 34.178 24°N)的地壳运动图像

Fig. 3 Velocity Field Relative to Xi'an of 2000 Net

求出转换参数;②地面网与空间网的联合平差目前正在进行中^[10],将来可以获得地面网的地心坐标和新 80 坐标。随着 2000 国家 GPS 大地控制网成果的使用,其拟合精度将会更高,结果将更可靠。

参 考 文 献

1 陈士银, 罗卫西, 孙文福. 关于全国天文大地网局部变形的分析. 测绘科技通讯, 1996(2): 11 ~ 15
2 陈俊勇. 改善和更新我国大地坐标系的思考. 测绘通报, 1996(6): 2 ~ 4
3 王 琪. 中国大陆现今地壳研究. 地震学报, 2003, 25 (5): 541 ~ 547
4 Wang Q, Zhang P Z, Jeffrey T F, et al. Present-Day Crustal Deformation in China Constrained by Global Position System Measurements. Science, 2001, 294: 574 ~ 577
5 王 敏, 沈正康, 牛之俊. 中国大陆现今地壳运动与构造变形. 中国科学(D 辑), 2003, 33(增刊): 21 ~ 32

6 杨少敏. 双三次样条函数拟合法和中国大陆构造形变场研究: [学位论文]. 武汉: 中国地震局地震研究所, 2002
7 杨少敏 王 琪. 昆仑山 8.1 级地震前中国大陆的构造应变背景. 大地测量与地球动力学, 2003, 23(3): 61 ~ 65
8 Holt E W, Chamot-Rooke N, Le Pichon X. Velocity Field in Asia Inferred from Quaternary Fault Slip Rates and Global Positioning System Observations. Geophys. J. Res., 2000. 105
9 Haines A F, Jackson J A, Holt W E, et al. Representing Distributed Deformation by Continuous Velocity Fields. Sci. Rep. 98/ 5. Inst. of Geol. and Nucl. Sci., New Zealand, 1998
10 顾旦生, 张 莉. 我国大地坐标系发展目标. 测绘通报, 2003(3): 1 ~ 4

第一作者简介: 杨少敏, 助理研究员, 硕士。现主要从事 GPS 数据分析、地壳形变与地球动力学研究。
E-mail: whgpsyang@163.com

Crustal Deformation Corrections of National Geodetic Networks

YANG Shaomin¹ WANG Qi¹

(1 Science and Technology Innovation Base, The Institute of Crustal Dynamics
CSB, 40 Hongsan Road, Wuhan 430071, China)

Abstract: This paper illustrates the crustal deformation corrections of national geodetic networks and advanceds their conception and process, and simulates the horizontal velocity about 2000 net.
Key words: crustal deformation corrections; national geodetic network; simulation

About the first author: YANG Shaomin, associate engineer, master. Her major research orientations are GPS data analysis crustal deformation and geodynamics.
E mail: whgpsyang@163.com

(责任编辑: 平子)