

GPS 精密定位中的海潮位移改正

郑 磊¹ 伍吉仓¹ 王解先¹ 顾国华²

(1 同济大学测量与国土信息工程系, 上海市四平路 1239 号, 200092)

(2 中国地震局分析预报中心, 北京市复兴路 63 号, 100036)

摘要: 根据海洋负荷潮理论, 利用 NAO99b 全球海潮模型, 计算了中国部分 IGS 站的海潮位移改正, 并将海潮位移改正应用到 GPS 数据处理当中。在 GAMIT 软件的解算过程中, 分别按加入和不加入海潮位移改正, 对 GPS 基线分量和测站坐标分别进行了计算和比较分析。结果表明, 海潮位移改正无论是对 GPS 基线分量还是对测站坐标, 都有一定的影响。

关键词: GPS; 海潮位移改正; 全球海潮模型

中图法分类号: P229.2; P228.42

1992 年 T/P 卫星的发射成功、高精度测高数据的获取为全球海潮模型的研究奠定了坚实的基础。目前, 全球海潮模型已明显优于 20 世纪 80 年代的 Schwiderski 模型, 而由此计算的海潮位移改正也更加精确。20 世纪 80 年代初, 许厚泽院士就提出了用球谐函数展式和褶积方法研究海潮改正的问题^[1]。由于 IERS Standards (1992) 中的海潮位移改正模型仅包括几个中国测站, 远不能满足中国区域空间大地测量网精度的需要, 而顾及这一项改正已是国内大地测量界的共识。

为此, 本文利用目前较新的 NAO99b 全球海潮模型计算中国部分 IGS 站的海潮位移改正。

1 海潮位移改正模型

在球坐标系中, 海潮对测站位移的影响可用褶积积分来表示^[1]:

$$(\varphi, \lambda, t) = \int \rho H(\varphi', \lambda', t) G(\theta, A) ds' \quad (1)$$

式中, ρ 为海水密度; (φ, λ) 和 (φ', λ') 分别为测站和负荷点的球坐标; A, θ 为测站到负荷点的方位角和极距; ds' 为负荷面元; H 为瞬时潮高; G 为格林函数。其中,

$$H = [\Delta_r \Delta_\varphi \Delta_\lambda]^T,$$

$$G = \begin{bmatrix} u(\theta) \\ v(\theta)\cos A \\ v(\theta)\sin A \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $\Delta_r, \Delta_\varphi, \Delta_\lambda$ 为海潮负荷引起的测站垂直方向、南北方向和东西方向的改正。垂直和水平方向的格林函数 G 分别为:

$$G(\theta)_{\text{垂直}} = \frac{kR}{g} \sum_{n=0}^{\infty} h_n' P_n(\cos \theta) \quad (3)$$
$$G(\theta)_{\text{水平}} = \frac{kR}{g} \sum_{n=0}^{\infty} l_n' \frac{\partial}{\partial \theta} P_n(\cos \theta)$$

式中, k 为引力常数; R 为地球半径; g 为重力常数; h_n' 和 l_n' 为 n 阶负荷勒夫数, 其值可依据地球内部结构模型求解。

2 计算结果和分析讨论

根据式(1)和式(3), 笔者采用 NAO99b 全球海潮模型, 计算了海潮中 11 个主要潮波分量 ($M_2, N_2, S_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_f, M_m, S_{sa}$) 引起的中国 IGS 站中北京、昆明、拉萨、上海、武汉和乌鲁木齐的海潮位移改正的振幅和相位。NAO99b 全球海潮模型由日本国家天文台提供, 这个模型主要包括 16 个短周期(周日和半日)潮波分量和 5 个长周期潮波分量, 网格间距为 0.5° 。在计算中, 取小于 10° 为近区, 大于 10° 为远区, 格林函数利用由 1066A 地球模型得到的结果。表 1

表1 海潮位移改正(NAO99b海潮模型,1066A格林函数)

Tab.1 Ocean Tidal Displacement Corrections

测站名	潮波分量	注释	测站位置	U分量 振幅/m	EW分量 振幅/m	NS分量 振幅/m	U分量 相位/(°)	EW分量 相位/(°)	NS分量 相位/(°)
上海	M_2			0.008 16	0.002 60	0.003 98	-146.4	-160.2	-31.7
	S_2			0.002 99	0.000 86	0.001 62	-95.0	-114.5	-7.5
	N_2		IGS	0.001 90	0.000 66	0.000 73	-170.0	-178.4	-48.8
	K_2		GPS站	0.000 86	0.000 26	0.000 46	-100.4	-119.7	-13.3
	K_1	NAO99b 1066A模型	PADI	0.007 38	0.002 58	0.001 74	-100.3	-117.6	126.4
	O_1	2001-12-16 17:21	TANG	0.005 71	0.001 79	0.001 38	-117.6	-141.3	96.7
	P_1		经度/纬度:	0.002 43	0.000 84	0.000 56	-103.0	-119.6	122.0
	Q_1		21.200 4	0.001 13	0.000 34	0.000 29	-129.3	-156.9	83.4
	M_f		31.099 6	0.000 07	0.000 07	0.000 01	-157.2	-27.5	84.7
	M_m			0.000 08	0.000 03	0.000 01	-149.8	-80.3	58.7
	S_{sa}			0.000 10	0.000 02	0.000 01	-174.2	-161.3	11.0
	M_2			0.000 23	0.000 70	0.000 44	-2.9	-156.5	141.1
	S_2			0.000 45	0.000 26	0.000 13	40.4	-161.9	132.5
	N_2		IGS	0.000 05	0.000 17	0.000 12	-69.8	-167.9	119.6
乌鲁木齐	K_2		GPS站	0.000 13	0.000 07	0.000 04	35.1	-170.6	120.0
	K_1	NAO99b 1066A模型	RADI	0.001 11	0.000 50	0.000 07	-122.0	-23.8	33.5
	O_1	2001-12-16 17:21	TANG	0.001 34	0.000 33	0.000 16	-115.4	-33.5	60.7
	P_1		经度/纬度:	0.000 37	0.000 16	0.000 02	-120.5	-25.7	32.7
	Q_1		87.600 7	0.000 32	0.000 06	0.000 05	-121.4	-29.1	44.7
	M_f		43.807 9	0.000 15	0.000 04	0.000 05	17.5	-35.3	-177.1
	M_m			0.000 08	0.000 02	0.000 02	6.0	-82.0	176.1
	S_{sa}			0.000 07	0.000 01	0.000 02	-0.2	-161.1	177.0

注:垂直分量向上为正,水平分量向西/向南为正。

给出了上海和乌鲁木齐两个测站的海潮位移改正。

在GPS数据解算中,对加入和不加入海潮位移改正进行计算和比较分析。首先对上海、武汉和乌鲁木齐3个IGS站2001年020天和031天(1月20日和1月31日,这两天分别为两个周日潮和半日潮比较明显的日期)这两天的单天观测数据分别按加入与不加入海潮改正用GAMIT软件(Release 10.04)进行了计算。在计算中,利用IGS提供的精密星历,并对乌鲁木齐站坐标加强约束按每2h一次进行基线求解。图1是这两天上海-乌鲁木齐的基线分量变化以及相应日期上海站的海潮改正的理论值对比,图中横坐标单位为h,1代表N方向,2代表E方向,3代表U方向。

从图1可以看出,海潮改正对基线分量的影响在一天中具有一定的周期性,这跟海潮本身的周期性运动一致;而且基线分量的变化与理论值有相似的周日或半日周期和相近的振幅。如果当基线中包含的是沿海和内陆的两个测站时,测站间的跨度越大,这种周期性就会越明显;而如果都是远离海洋的两个内陆测站组成的基线,这种周期性就会表现出一定的波动。其原因可能是,虽然海潮改正对测站都有影响,而且对基线分量的影响也并不只是两个测站上海潮改正简单的线性叠加。但如果沿海与内陆的两个测站间跨度较大,即基线长度较长时,海潮改正的影响对沿海测站相对来说要大得

多,从而占据了主导地位,而对内陆测站的影响却几乎可以忽略。那么,海潮改正对基线分量的影响就近似地表现为对沿海测站的影响。反之,如果当两个测站都位于内陆时,海潮改正对它们的影响之间的相对差别较小,故不会表现为接近于对其中某个测站的影响,而是它们的非线性叠加。

另外,笔者还对上述6个IGS站2001年020~050天(1月20日至2月19日)为期1个月的观测数据分别按加入与不加入海潮改正用GAMIT软件进行了计算。在计算中,同样利用IGS提供的精密星历,但是固定乌鲁木齐站坐标进行基线求解。图2给出了上海-乌鲁木齐、上海-武汉和乌鲁木齐-武汉的基线分量之差的变化(图中横向连续曲线,单位为mm,横坐标为年积日DOY(day of year))和计算误差(图中纵向短线,单位为cm;图中1mm相当于2cm的误差,误差大小为 2σ),上海-乌鲁木齐基线分量变化的月平均数值列于表2(2d平差结果)。

从图2中同样可以看出一定的周期性,尤其在垂直(U)方向的周期性较为明显。表2(2d平差结果)的数据则说明一个月的海潮改正的平均值很小(其中,N方向的月平均改正值为-0.1mm,E方向为-0.4mm,U方向为1.1mm),所以对长时间连续观测的测站来说,海潮改正对基线分量的影响不大,对于短基线来说,甚至可以忽略。与海潮改正对基线影响的周日变化规律类似(图1),对于上海-乌鲁木

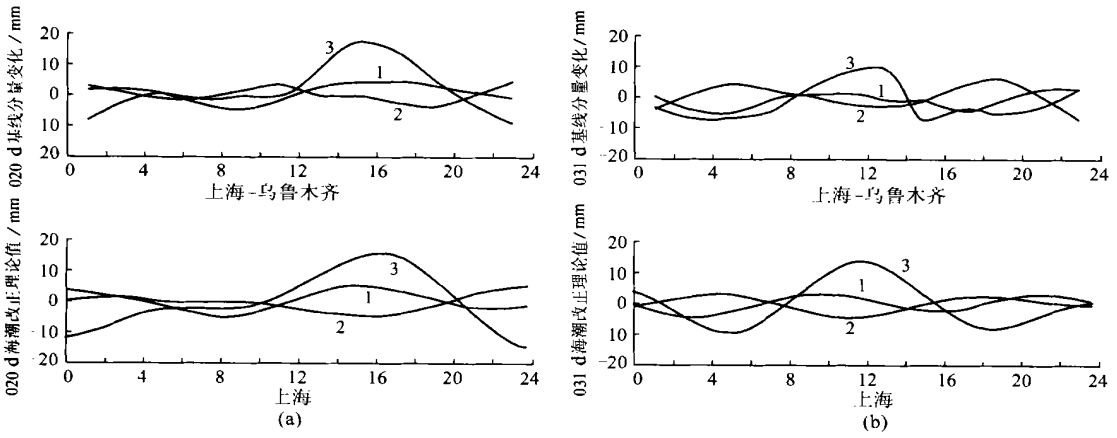


图 1 一天中基线分量变化和海潮改正理论值的比较

Fig. 1 Comparison of Differences of Baseline Components and Theoretical Ocean Tidal Displacement Corrections in a Day

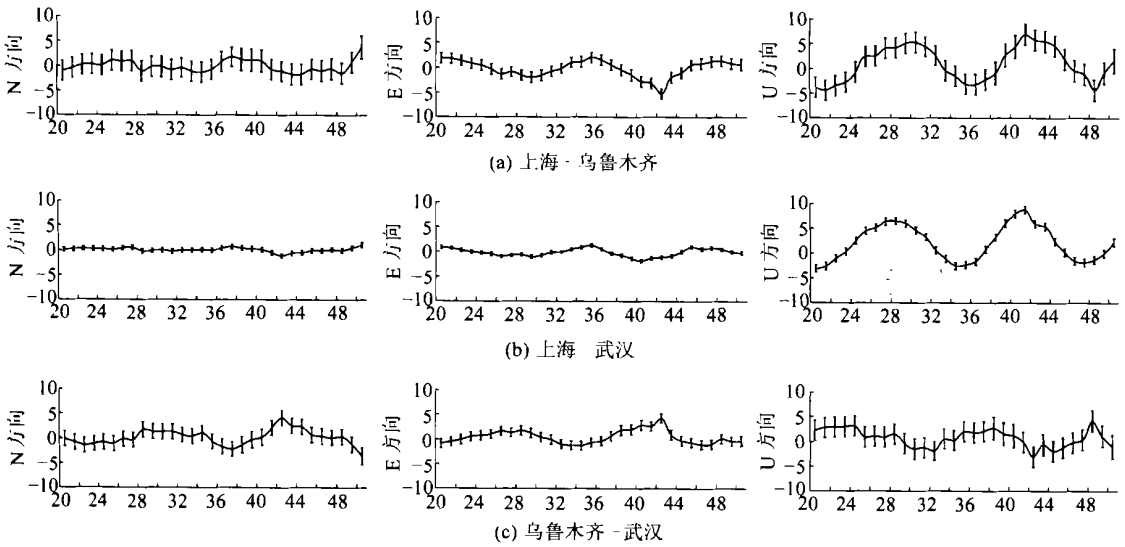


图 2 一个月中加入海潮改正前后基线分量的变化

Fig. 2 Differences Between Baseline Components Computed With and Without Ocean Tidal Displacement Corrections in a Month

齐和上海武汉的基线分量而言,周期性同样存在;而对于乌鲁木齐-武汉的基线分量来说,这种周期性就不再那么明显,而是表现出很大的波动性。

因此,在 GPS 数据处理的过程中,海潮改正对基线分量的影响程度跟所用资料时间的长短、基线长短和包含沿海测站多少等有关。一般情况下,在跨度较大的沿海和内陆的 GPS 联测中,海潮改正的影响会达到 mm 级以上。

为了考察海潮改正对测站坐标的影响,笔者还利用 GPS 网平差软件对上述用 GAMIT 解算的一个月(020~050天)的基线结果进行整体平差来求解 6 个 IGS 站的站坐标。考虑到海潮改正的周

期性,分别使用了 2d(020、021 天)、15d(020~034 天)和 31d(020~050 天)的基线结果进行平差计算。在平差过程中,仍然固定乌鲁木齐站的坐标,利用 IGS 所提供的乌鲁木齐站坐标来平差计算其他 5 个测站的坐标,将在加入海潮改正前后的站坐标之差分别列于表 2(15d 平差结果和 31d 平差结果)。

从表 2 可以看出,随着所用解算数据资料时间的增加,海潮改正对测站坐标的影响逐渐减小。对于 2d 的基线平差结果,坐标分量差超过 1mm 的比例占 60%;对于 15d 的基线平差结果,坐标分量差超过 1mm 的比例减小到 33.3%;而对于 31d 的基线平差结果,效果则更明显,坐标分量的差别更小,

表2 2d、15d 和 31d 平差结果的坐标分量差

Tab. 2 Two-day, 15-day and 31-day Data Adjustment Results

坐标分量差	0.0~0.5mm/‰	0.5~1.0mm/‰	1.0~2.0mm/‰	2.0mm 以上/‰	
2d 平差结果	ΔX	20.0	6.7	6.7	0.0
	ΔY	6.7	0.0	0.0	26.7
	ΔZ	6.7	0.0	13.3	13.3
	总计	33.4	6.7	20.0	40.0
15d 平差结果	ΔX	33.3	0.0	0.0	0.0
	ΔY	13.3	6.7	13.3	0.0
	ΔZ	20.0	13.3	0.0	0.0
	总计	66.6	20.0	13.3	0.0
31d 平差结果	ΔX	20.0	13.3	0.0	0.0
	ΔY	20.0	6.7	6.7	0.0
	ΔZ	13.3	20.0	0.0	0.0
	总计	53.3	40.0	6.7	0.0

绝大部分都控制在 1mm 之内。如果所用资料的时间更长,那么在加入海潮改正前后的坐标分量的差别就可以忽略不计。另外,基本上所有的 X 坐标分量的差别都比较小。因此,对于长时间连续观测的测站(如 IGS 站)来说,海潮改正对最后定位结果的影响并不大。这是由于海洋潮汐自身活动的周期性,从长时间来看,海潮的影响会相互抵消很大一部分,这跟海潮改正对基线分量影响的规律也是一致的。但是对连续观测时间不超过一个月的 GPS 测站来说,海潮的影响则不能相互抵消。这样,为了获得更精确的定位结果,还是应该在 GPS 数据解算中考虑海潮改正的影响。

3 结 语

综上所述,海潮改正无论是对 GPS 基线分量还是对测站坐标,都有一定的影响。对于短时间的 GPS 观测数据处理,这种影响会比较明显,其量级一般在 mm 级以上;但对于长时间来说,那么海潮改正的影响在量级上不大。总的来说,由于目前 GPS 在参考架的建立、测定地壳垂直运动以及地震的监测方面起着越来越重要的作用,因

此,这种影响还是不要忽略,在 GPS 数据处理中顾及海潮改正的影响,以便提高观测精度和解算结果的稳定性和可靠性。

参 考 文 献

- 1 许厚泽,毛伟建. 中国大陆的海洋负荷潮汐改正模型. 中国科学 B 辑, 1998, 9: 984~994
- 2 McCarthy D D. IERS Conventions. IERS Technical Note 21, Observatoire de Paris 1996
- 3 Scherneck H G. A Parameterized Solid Earth Tide Model and Ocean Tide Loading Effects for Global Geodetic Baseline Measurements. Geophys. J. Int., 1991, 106: 677~694
- 4 McCarthy D D. IERS Standards. IERS Technical Note 13, Observatoire de Paris 1992
- 5 中国科学院测量与地球物理研究所. 见: 固体潮论文集(第一集). 北京: 测绘出版社, 1988
- 6 周旭华,吴斌,朱耀仲,等. 中国地壳运动网络的海潮位移改正. 中国科学院测量与地球物理研究所大地测量开放研究实验室, 2001

第一作者简介: 郑昱 博士生。现主要从事 GPS 广域差分方面的研究。

E-mail: yizheng-77@yahoo.com.cn

Ocean Tidal Displacement Corrections in GPS Precision Positioning

ZHENG Yi¹ WU Jicang¹ WANG Jiexian¹ GU Guohua²

(1 Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, 1 239 Siping Road, Shanghai, China, 200092)

(2 Center for Analysis and Prediction, CSB, 63 Fuxing Road, Beijing, China, 100036)

Abstract: Based on the theory of ocean loading tide, by using NAO99b global ocean tide model, the ocean tidal displacement corrections for some IGS stations in China are calculated.

(下转第 421 页)

程。

3) 本文给出了监测点位在全球板块运动模型中的位移速率以及在欧亚板块框架下青藏高原北部地区现今运动和变形的图像(更能反映我国大陆内部地壳运动的监测点位移速率),从中可以得出,由于印度板块的向北会聚的正向推力造成新疆地区地壳缩短,其侧向挤压力导致地壳拉伸。因此新疆块体被动北移的同时,表现为南北缩短与东西拉伸。

参 考 文 献

1 李毓麟. 高精度静态 GPS 定位技术研究论文集. 北京: 测绘出版社, 1996

2 李毓麟, 刘经南, 葛茂荣, 等. 中国国家 A 级 GPS 网的

数据处理和精度评估. 测绘学报, 1996, 25(2)

3 顾国华, 牛红叶, 孟国杰. 中国地壳运动观测网络 GPS 数据处理进展. 高精度 GPS 观测资料处理、解释研讨会, 武汉, 2001

4 黄立人. GPS 观测结果变形分析的参考框架及其合理性. 测绘学报, 2001(1)

5 魏子卿. 中国大陆大尺度现代地壳运动. 高精度 GPS 观测资料处理、解释研讨会, 武汉, 2001

6 秘金钟, 李毓麟, 张 鹏. 基于“网络工程” GPS 联测资料分析我国在欧亚板块中的运动规律. 测绘科学, 2002 (2)

第一作者简介: 蒋志浩, 工程师。现主要从事 GPS 数据处理与成果分析的研究工作。

E-mail: zhjiang@nsdi.gov.cn

Analysis of Crustal Movement in Northern Qinghai-Tibet Plateau Based on Multiple GPS Data in Xinjiang

JIANG Zhihao¹ ZHANG Peng¹ LI Yulin² BI Jirzhong²

(1 National Geomatics Center of China, 1 Bai sheng cun Zizhuyuan, Beijing, China, 100044)

(2 Chinese Academic of Surveying and Mapping, 16 Beitaiping Road, Beijing China, 100039)

Abstract: The network layout, site choice, observation project and data-processing method are introduced, and the method of result processing and analysis with five times observation is demonstrated by GPS technology, plate conformation and movement in Xinjiang area are studied.

Key words: Xinjiang; monitoring network; crustal movement

About the first author: JIANG Zhihao, engineer. He is engaged in GPS data processing and result analysis.

E-mail: zhjiang@nsdi.gov.cn

(责任编辑: 平子)

(上接第 408 页)

These corrections are also applied to GPS data processing. The GPS baseline components and station coordinates computed by the GAMIT software with and without these corrections are computed, compared and analyzed. The results show that the ocean tidal displacement corrections have effects both on GPS baseline components and on station coordinates. To short time GPS data processing, the corrections are more than 1mm; but to long time processing, the corrections have little effects.

Key words: GPS; ocean tidal displacement corrections; global ocean tide model

About the first author: ZHENG Yi Ph. D candidate. His research orientation is GPS WAAS.

E-mail: yizheng-77@yahoo.com.cn

(责任编辑: 晓晨)