

# 采用 GNSS 动态定位获取近海高精度潮位

张健<sup>1</sup>, 张志华<sup>1</sup>, 逢铭新<sup>2</sup>

(1. 青岛市勘察测绘研究院, 山东 青岛 266032; 2. 青岛市国土资源和房屋管理局, 山东 青岛 266032)

**摘要:**基于青岛附近黄海海域的 GNSS 验潮观测数据, 利用 GAMIT TRACK 双差动态定位模块, 解算潮位变化。引入 IGS 组织发布的最终星历参与计算, 获取 GNSS 高精度验潮, 将结果与压力式验潮仪的观测值进行比对。采用 QDCORS 站和上海 IGS 连续跟踪站的数据分别与流动站组成 6 类不同长度的基线组合, 验证模块的作用距离, 使得结果具有更广的适用性。

**关键词:**GNSS 验潮; 双差动态定位; 后处理

**中图分类号:**P228.4 **文献标识码:**B

## 0 引言

近海海底地形测量中, 无论是单波束测深还是多波束测深都需要通过验潮数据进行高程基准的传递。传统的验潮方式有水尺验潮、验潮仪自动观测等多种方式; 目前在测深作业实施中, 压力式自动验潮仪验潮的形式比较常见。传统单站式验潮方式, 往往存在验潮结果作用范围小的局限性, 且有着验潮地点要特定选择、仪器需要专人看管和维修等诸多不便; 多站式验潮方式也同样存在验潮站址要特殊选择、需要多人看护、验潮数据后处理复杂等诸多不利因素。近十几年来, 随着 GNSS 定位技术的不断发展和应用的推广, 国内外不少组织一直探索如何利用 GNSS 进行高精度潮位变化测量, 随着研究的不断深入, 确认了 GNSS 验潮的可行性, 并且认为可以取代传统验潮方式<sup>[1-8]</sup>。

目前 GNSS 验潮的模式分为 PPP(精密单点定位)、PPK(后处理动态定位)和 RTK(实时动态定位)3 种, 以上 3 种作业方式均利用载波相位观测值差分技术进行定位, 精度可达到 10 cm 之内。但是动态 PPP 技术受到精密卫星钟差的精度限制, 不能得到高精度高采样率的海面变化结果, 也不容易滤除随机波浪的影响; PPK 技术作用半径为 80 km, 但是后处理软件有限, 而且目前商用软件存在对周跳

探测修复能力不强、最终高精度结果滞后时间较长等缺点; RTK 技术精度可以达到厘米级, 但是有效作用范围在一般十几千米, 而且无线电信号容易在海上传播时中断, 不能满足长距离大范围定位的需求。

## 1 GNSS 后处理动态方式验潮

### 1.1 TRACK 模块

TRACK(GNSS differential phase kinematic positioning program)是 GAMIT/GLOBK 软件的一个独立模块, 目前的版本为 1.23, 其主要功能是基于载波相位观测值采用双差定位方式进行 GNSS 动态观测数据的处理, 并在处理过程中加入接收机和卫星天线相位中心位置偏差、固体潮及大气延迟等改正, 解算出每个历元流动站的准确的三维坐标。在 TRACK 模块中, 首先利用伪距无电离层组合(PC)观测量差分得到的位置初始值作为先验值。其次是利用 MW-WL 组合求解整周模糊度, 通过“相对秩”算法和 Chi-squared 增量检验分别得到 L1 和 L2 模糊度的固定解; 并对发生周跳的时刻引入新的偏差标记, 然后通过 LC, MW-WL 和电离层延迟约束方式修复周跳, 得到整周模糊度的整数解。最后把未解算的模糊度参数作为常数, 大气延迟参数作为过程噪声处理, 然后利用卡尔曼滤波算法得到最

收稿日期:2013-07-10; 修订日期:2013-07-15; 编辑:王秀元

作者简介:张健(1984—), 男, 山东潍坊人, 助理工程师, 主要从事海洋测绘和城市工程测量方面研究; E-mail: a Zhangjian@sina.com。

终动态定位结果。

通过 TRACK 定位结果,可以得到测站每个历元的三维坐标差及单位权中误差,进而可以得到流动站的运动轨迹;TRACK 模块可以处理大于 100 km 的长基线,其定位的精度可以达到亚厘米级。利用 TRACK 模块进行定位时,只需要基站和流动站的原始观测数据以及 IGS 组织公布的精密星历(表 1),设置内部相关参数后,便可完成单历元三维定位。因此,采用 TRACK 模块进行动态定位,具有操作简便、作用范围广以及定位精度高等优势。

表 1 IGS 后处理星历产品及精度

GNSS 卫星 星历(轨道)	精度 (cm)	滞后时间	更新时间	采样间隔
广播星历	~100	实时	daily	2hours
超快速星历	~5	实时	at 03,09,15,21 UTC	15min
超快速星历	~3	3~9hours	at 03,09,15,21 UTC	15min
快速星历	~2.5	17~41hours	at 17 UTC daily	15min
最终星历	~2.5	12~18days	every Thursday	15min

### 1.2 GNSS 验潮

船载 GNSS 验潮基本思想是利用载波相位差分技术进行高精度定位,获得精确的船载 GNSS 接收机天线相位中心的瞬时三维坐标,并结合其在船体坐标系(vessel frame system, VFS)下的坐标、海面相对 VFS 原点的垂直距离,获得海面的瞬时高程,并根据高程的变化,结合一定的几何关系,获得瞬时海面高程,从而达到验潮的目的。

如图 1 所示,参考站(基准站)、流动站天线相位中心的正常高为:

$$H_m^r = h^r + h^o \quad H_m^k = h^k + T \quad (1)$$

当参考站和流动站间距离不是很远(如 30 km 之内)时,公式(2,3)成立:

$$\xi = H_g^r - H_g^k - H_m^k \quad (2)$$

$$H_m^k = H_g^k - \xi = H_g^k - H_g^r + h^r + h^o \quad (3)$$

于是潮位值:

$$T = H_m^k - H^k \quad (4)$$

其中:参考站的天线高为  $h^r$ ,流动站的天线高为  $h^k$ (GNSS 天线相位中心到船体吃水面的垂直距离);已知点的正常高为  $h^o$ ;参考站 GNSS 天线处的正常高和大地高分别为  $H_m^r, H_g^r$ ;高程异常为  $\xi$ ;流动站 GNSS 天线相位中心的正常高和大地高分别为  $H_m^k, H_g^k$ ;GNSS 观测得到的瞬时潮位为  $T$ 。

GNSS 验潮能够直接获取瞬时海面高度的变

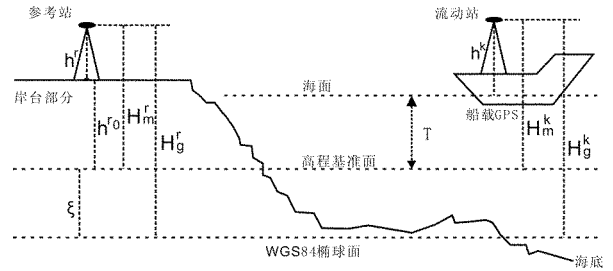


图 1 GNSS 验潮原理图

化,虽然克服了传统验潮方式作用范围小或不能在偏远地区进行验潮的缺陷和潮汐模型误差的影响,但是瞬时海面变化包含有长周期潮位变化、中长周期的潮波和海浪的变化以及短周期的船体操纵引起的船体上下起伏变化;潮位项为长周期项,周期最小也大于 1 h;涌浪影响为短波项,周期 10~60 s。为了消除这个影响,需要采用滤波等方式。潮位提取的方法有滑动平均法、傅里叶变换法、门限滤波法等多种。线性波浪理论认为,波浪过程是具有零均值的弱平稳过程,在海洋观测数据处理中,常采用“滑动平均”(moving average)方法将数据分解成波浪信号和潮位、潮流信号。滑动平均值法虽然是最简单的滤波方法,但是它的处理效果明显,也能够最大限度的保留潮位变化的物理过程。

## 2 GNSS 验潮方案及结果分析

在 GNSS 潮位观测中,GNSS 接收机选用双频接收机。在岸边已知控制点上架设基准站。流动站则尽量架设于测船的重心位置,且与姿态传感器中心位置重合,基准站与流动站的采样率要保持一致。测量开始前,应当严格量测基准站的天线高以及流动站 GNSS 天线在船体坐标系下的坐标。在 GNSS 在航潮位测量的同时,还进行了传统的潮位站潮位观测,用于对后续 GNSS 潮位测量成果的评定。

引入青岛市连续运行基准站系统(QDCORS)数据和上海(SHAO)IGS 连续跟踪站的数据分别与流动站组成 2 km, 15 km, 50 km, 100 km, 150 km, 500 km 等 6 类不同长度的基线组合;验证模块的作用距离,在每种基线组合下,利用 IGS 组织发布的精密星历,计算一组潮位变化结果。将不同基线长度下解算结果与验潮仪记录值进行比对,分析基线长短对动态定位的影响,使得结果具有更广的适用性。

为确保结果的精确性和可靠性,分析了 2 个海

域的 GNSS 观测数据,这些数据分别由基准站和流动站的观测数据组成,采样间隔为 1s。将得到的 GNSS 验潮结果与自动验潮仪结果进行比较,说明 GNSS 潮位计算的可行性和适应性。

### 2.1 双差动态定位解算

为达到理想的观测效果,GNSS 测量开始要进行至少 5 min 的初始化,然后开始记录数据。由于 TRACK 采用双差相对定位模式,仅能解算出每个历元流动站对于基站的相对位置,因此,为了比较不同基线下验潮结果是否一致,采用 GAMIT/GLOBK 将各个基站数据与 IGS 连续跟踪站中 BJFS, DAEJ, SHAO, WUHN 等站一起处理,得到各个基站在 ITRF2005 框架下的坐标,将基站坐标统一到相同基准下;并从结果文件中提取出各个站的大气延迟参数形成 TRACK 可读取的大气延迟文件,以提高动态定位的精度。采用 TRACK 进行双差动态定位,得到流动站 ITRF2005 框架下相对于基站的大地坐标,并将结果转换到以基站为原点的站心坐标系下。

在每种基线组合下,采用 IGS 发布的最终星历,采用 TRACK 模块分别对数据进行处理,得到定位结果。如图 2 所示,基线长度为 2 km 时的成果图,其中上图时间跨度为 3 h,下图对截取上图 10 min 数据结果的详细描述。

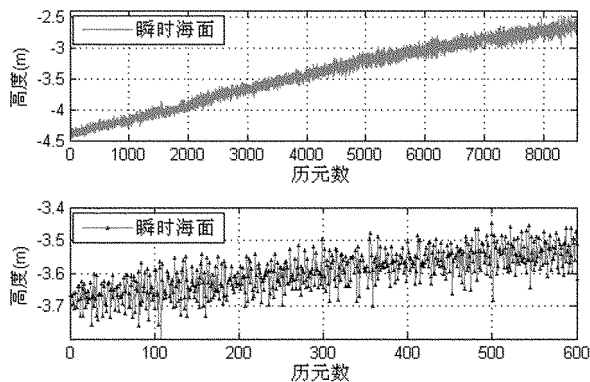


图2 原始 GNSS 验潮结果

### 2.2 GNSS 验潮潮位提取

在上一节中得到了各个历元的瞬时海面高度值,但是这些值含有波浪影响。采用“滑动平均”方法对各个历元的瞬时海面高度值进行滤波,分离出波浪、潮流和潮位等信号,提取 GNSS 验潮的潮位数据(图 3)。

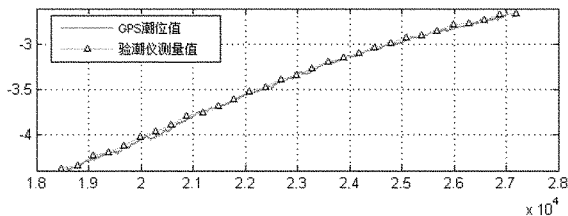


图3 滤波后潮位及与验潮仪结果的比较

### 2.3 结果统计

对 GNSS 验潮结果和验潮仪得到的潮位值求差比对,并统计互差结果。其中 CAL 表示验潮仪观测值,IGS 表示根据最终星历计算的潮位变化结果。通过分析得到:GNSS 验潮得到的潮位变化与验潮仪观测到的变化趋势基本一致,但随着基线距离的增加,结果的一致性减弱(表 2)。

表 2 滤波后潮位与验潮仪结果比对统计

基线/ km	互差 类型	最大值/ m	最小值/ m	平均值/ m	RMSE/ m
002	CAL-IGS	0.0462	-0.0188	0.0158	0.0149
015	CAL-IGS	0.0439	-0.0701	-0.0201	0.0289
050	CAL-IGS	0.0505	-0.0596	-0.0183	0.0260
100	CAL-IGS	0.1053	-0.0314	-0.0315	0.0366
150	CAL-IGS	0.0284	-0.0946	-0.0334	0.0374
500	CAL-IGS	0.0073	-0.1489	-0.0556	0.0390

从表 2 中看出,基线长度 2 km 时 GNSS 验潮(最终星历结果)得到的潮位变化与验潮仪观测到的变化趋势一致,这两种验潮方式得到的潮位变化结果之间最大差距在 5 cm 以内,互差均方根误差(RMSE)小于 2 cm。基线长度为 15 km,50 km,100 km,150 km,500 km 时互差平均值分别为 2.01 cm,1.83 cm,3.15 cm,3.34 cm,5.56 cm。通过分析互差的均方根误差,得出随着基线距离的增加 GNSS 验潮的精度不断降低。基线距离在 150 km 之内时,互差最大值在 10 cm 以内,而 500 km 长基线时,互差达到了 14 cm;通过分析各个基线组合结果的时间序列发现,150 km 长度以内中短基线结果仅是发生个别点的跳跃,使得互差个别值变大,结果仍具有可信度;而 500 km 基线时,互差则呈现阶段跳跃,大大降低了 GNSS 验潮的精度。

### 3 结语

验证了采用 GNSS 双差动态定位验潮的可行性,对不同基线长度的 GNSS 验潮结果做了分析,得

出:

(1)通过 TRACK 定位结果与自动验潮仪结果的比对,采用 IGS 最终星历可以得到高精度的 GNSS 潮位。

(2)短基线时的验潮结果与验潮仪观测值结果互差的均方根误差为 1.5 cm,中距离基线的互差结果也在 5 cm 之内。在 150 km 以内,TRACK 模块计算的潮位能够满足传统海洋工程对潮汐精度的需要。

(3)GAMIT/GLOBK 是目前代码开放并广泛应用的程序,其 TRACK 模块成功应用于潮位测量,进一步拓宽了 GAMIT/GLOBK 的应用。

## 参考文献:

# Offshore Tide Observation Based On GNSS Kinematic Positioning

ZHANG Jian<sup>1</sup>, ZHANG Zhihua<sup>1</sup>, PANG Mingxin<sup>2</sup>

(1. Qingdao Geotechnical Investigation and Surveying Research Institute, Qingdao, Shandong, China, 266032; 2. Qingdao Bureau of Land and Resources and house Management, Qingdao, Shandong, China, 266032)

**Abstract:** Based on GNSS differential phase kinematic positioning program of GAMIT TRACK, tide variation is calculated using GNSS observation data of yellow sea near Qingdao. IGS final ephemeris is involved to achieve GNSS high-precision ocean tide observation, which is compared with recorded values of pressure tide gauge after. The observation data of QDCORS sites and SHAO of IGS sites is combined with a kinematic site to form six kinds of baselines of different length, which are used to verify the operating distance of track program.

**Key words:** GNSS tide observing; double-difference kinematic positioning; PPK

- [1] 赵建虎. 现代海洋测绘[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2008.
- [2] 欧阳永忠, 陆秀平, 孙纪章, 等. GPS 测高技术 在无验潮水深测量中的应用[J]. 海洋测绘, 2005, 25(1): 6-13.
- [3] 赵建虎, 王胜平, 张红梅, 等. 基于 GPS PPK/PPP 的长距离潮位测量[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, (9): 34-37.
- [4] 冯义楷, 李杰, 杨龙, 等. 远程 GPS 验潮方法研究[J]. 海洋测绘, 2010, 30(1): 4-6.
- [5] 刘焱雄, 周兴华, 张卫红, 等. 改进沿海 RBN/DGPS 系统的方法[J]. 测绘通报, 2006, (7): 13-15.
- [6] 苏小宁, 孟国杰, 胡丛玮, 等. 基于 TRACK 进行 GPS 单历元定位[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(3): 100-103.
- [7] T. A. Herring, R. W. King, S. C. McClusky. GAMIT Reference Manual GPS Analysis at MIT Release 10. 3 [EB/OL]. <http://www-GPSg.mit.edu/~simon/gtgk/docs.htm>, 2009. 7.
- [8] 李国华, 王汉西. 测绘数据外业采集项目的管理组织方法探讨[J]. 山东国土资源, 2011, 27(3): 38-40.