

远程 GPS验潮方法研究

冯义楷, 李 杰, 杨 龙, 刘焱雄, 周兴华

(国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 提出了基于精密单点定位 (PPP) 技术的远程 GPS 验潮方法, 可有效地弥补现有实时动态 GPS 验潮模式受距离限制的缺陷。分析了影响 GPS 验潮精度的各种因素, 并针对具体的试验区域, 将远程 GPS 验潮方法在不同作用距离下的观测结果与验潮仪的观测结果分析对比, 结果表明基于 PPP 技术的远程潮汐测量方法切实可行, 因此扩大了 GPS 验潮的作用范围, 提高了海洋测绘的作业效率。

关键词: GPS 验潮; RTK; 精密单点定位

中图分类号: P228.4 文献标识码: A 文章编号: 1671-3044(2010)01-0004-03

1 概 述

船载水深测量受到潮汐的影响, 为了将不同时间测量的水深数据最终归化到统一的理论深度基准面, 需要对测量过程中瞬时潮位的影响进行改正。为此, 需要在测区设立验潮站进行潮位观测。常用的验潮设备有水尺、各种自动验潮仪等。

随着 GPS 定位技术的进步及定位设备在海洋测绘领域的广泛应用, 可以采用 GPS 技术进行验潮, 即通过测得一段时间内水面载体 (如测船或浮球) 上的 GPS 天线的系列高程值, 计算得出潮位。国外在 20 世纪 90 年代初首次出现了 GPS 验潮的概念, 并相继开展了船载及浮球的验潮可行性试验, 试验证明 GPS 验潮可以达到厘米级的精度^[1]。1998 年, 美国使用船载 GPS 验潮在河道入口处进行测量, 结果完全满足项目规定的 $\pm 7\text{ m}$ 精度要求, 并正式将其应用于海洋测绘^[2]。在国内, 周丰年等人也于 2000 年 9 月在长江口附近水域, 进行了利用船载 GPS 在无验潮模式下的水下地形测量试验, 结果精度完全满足需求^[3]。

由于现有 GPS 验潮模式主要采用了 GPS RTK 的定位模式, 受到通信链路的影响, 作用的距离非常有限, 通常在 10 km 以内, 致使远离参考站的海域无法采用这种模式。本文根据 GPS 技术的最新进展, 提出了基于 PPP 技术的 GPS 验潮模式, 通过不同距离和不同设备试验, 实地测量论证了精密单点定位技术在海洋测绘中进行验潮工作的可行性, 并利用数据比对结果验证了数据结果的可靠性。

2 基于 PPP 技术 GPS 验潮的基本原理

GPS 精密单点定位 (PPP) 技术利用已知的卫星精密星历和精密卫星钟差, 以单台双频 GPS 接收机采集的非差相位数据作为主要观测值, 通过精确的数学模型和数据处理技术来实现单点精确定位, 其实时的定位精度可达分米级甚至厘米级, 事后定位精度可以达到毫米级。它可利用单台接收机在全球范围内进行静态或动态独立作业, 并且能直接得到高精度的 ITRF 框架坐标^[4]。

采用 GPS RTK 验潮时, 需要在岸边架设参考基准站, 而远程 PPP 验潮无需架设参考基准站 (图 1)。鉴于 PPP 技术需要双频观测值进行电离层延迟消除, 在潮位观测中, GPS 接收机选用双频接收机。船上安置的接收机为流动站, 架设于测船的重心位置, 且与姿态传感器中心位置重合。其大地高和正常高分别为 H_{kn} 、 H_{kg} ; GPS 天线高为 h ; 高程异常为 ξ_k ; 水尺零点的高程为 H_0 , 则流动站观察的瞬时潮位为:

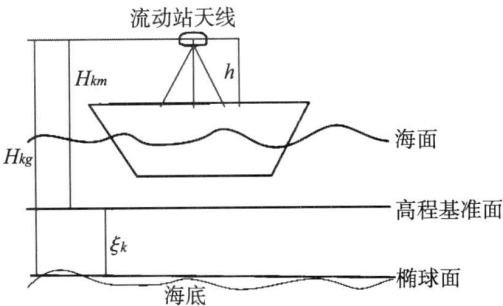


图 1 GPS 验潮方法原理图

$$T = H_{kn} - h - H_0 = H_{kg} - \xi_k - h - H_0 \quad (1)$$

收稿日期: 2009-01-08 修回日期: 2009-05-05

基金项目: 国家自然科学基金 (40745025)。

作者简介: 冯义楷 (1979-) 男, 湖北孝感人, 硕士研究生, 主要从事 GPS 数据处理及应用研究。

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中, H_k 为量测值; H_0 为已知值, 可以借助潮汐表获取; ξ_k 未知, 与地形有关, 并随位置变动。 ξ_k 可以通过两种方式获取: ①在附近的水准点上测量 GPS 大地高, 然后求差; ②利用精细的局部大地水准面模型计算。

3 影响因素及分析

在实施 GPS 验潮时, 须注意风浪、天线高测量、地区高程异常、仪器垂直测量精度等因素的影响, 本文主要考虑了以下几个方面。

3.1 流动站正常高的确定

GPS 验潮测量模式的关键之一, 就是利用它测量的大地高差信息代替传统的潮汐观测。 GPS 计算的是大地高, 也就是椭球高, 即地面点沿法线至椭球面的距离。而在实际应用中, 海图所用的是正常高系统, 地面点的正常高是地面点沿铅垂线至似大地水准面的距离, 这种高程是通过水准测量来确定的, 因而有必要找出大地高与正常高之间的关系, 即高程异常 (似大地水准面至椭球面间的高差)。目前精确计算 GPS 点的正常高的方法主要有 GPS 水准高程、重力高程和三角高程等方法。在作业中最常用的是 GPS 水准高程。通过绘等值线图法、曲面拟合法等几种 GPS 水准高程即可以确定验潮点的正常高, 此外, 也可以用解析内插法、移动曲面法、地形改正法等求得待定点的正常高。

3.2 船体姿态的影响

船体的姿态会在波浪的影响下不断变化, 而这种变化对 GPS 验潮会产生不小的影响。 Alkan RM 等通过测船的横摇和纵摇的姿态测定试验, 结果它们引起的误差达到了 $5\text{ cm}^{[5]}$ 。这里通过姿态补偿对观测参数进行修正, 从而削弱船姿变化对测量结果的影响。在实际应用中, 一般使用运动参考装置 (motion reference unit MRU) 或者 GPS RTK 技术对船的航向、横摇、纵倾等引起的位置和高程变化进行测定。也可以采用小波变换对潮汐数据进行分离; GPS 验潮后的数据主要包含潮汐数据、波浪数据以及姿态带来的误差和其他弱小的噪声, 根据它们所占有的频率空间的不同, 使用小波去噪方法可以将潮汐数据分离^[6]。

3.3 采样速率和延迟的影响

GPS 定位输出的更新率将直接影响数据的瞬时采样精度和密度, 当前大多数 RTK 方式下的输出率可以高达 20 Hz , 而验潮仪的输出速度和 GPS 差距很大, 此外数据输出的延迟也各不相同。定位数据的定位时刻和潮汐数据的测量时刻的时间差也会造成定位延迟。因此需要在延迟校正中加以修正, 以减少或

消除采样速率的影响, 同时要对数据进行同步处理。

4 试验与精度分析

4.1 试验状况

试验区域选在胶州湾积米崖海域, 试验前期风力较小, 海况比较稳定, 后期风力逐渐增大。为精度分析和比较, 在试验区域附近的控制点上架设了 GPS RTK 基站和通讯链路, 在基站附近的岸边用验潮仪同步采集潮汐数据。在船上将流动站和涌浪滤波器固定, 其中流动站同时接收静态数据, 以便获取用于精密单点定位方法进行处理的数据。整个试验过程中, 船 (流动站) 距基站的距离从最近的 2 km 到最远的 20 km 其中距离到达十几千米后, RTK 信号开始不稳定, 故此时段数据只有 PPP 解算结果。

4.2 数据处理与精度分析

数据采集后, 将 GPS 解算结果与验潮仪所测潮汐进行比对, 其中 RTK 信号稳定的时段结果如图 2 在距离基站较远时只用 PPP 解算的结果如图 3。从图上可以看出两种 GPS 方法的潮位曲线和验潮仪潮位曲线的总体趋势一致性较好, 说明基于 GPS 技术的验潮方法的理论的正确和可行。

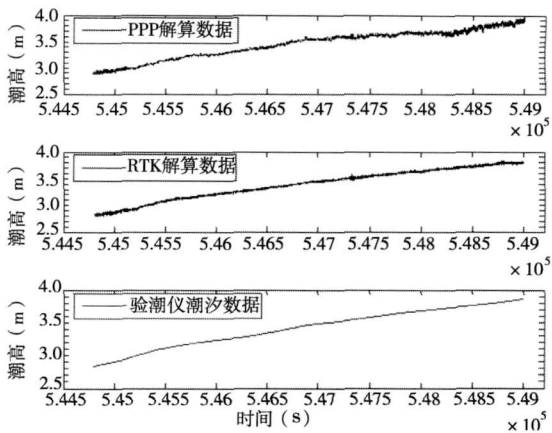


图 2 GPS 验潮潮位与验潮仪验潮值比较图

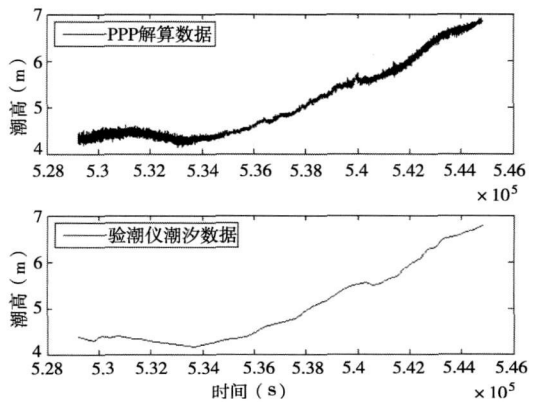


图 3 PPP 验潮潮位与验潮仪验潮值比较图

由于验潮仪的数据采样间隔设定为 5 m 而 GPS 接收机的数据采样率设置为 1 s 因此将 GPS 数据经过改正处理后,需提取出验潮仪验潮时刻的潮位来进行具体比较,比较分析结果见表 1 和图 4

表 1 GPS 验潮潮位与验潮仪验潮值的结果比较

	最大互差 (m)	最小互差 (m)	平均差 (m)	RMS (m)	比测点数 (个)
RTK	0.055	-0.034	-0.017	0.026	24
PPP	0.112	-0.142	0.003	0.057	39

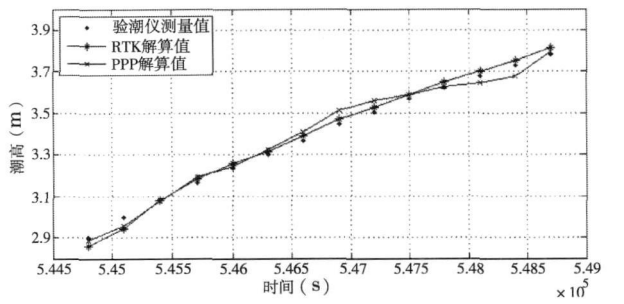


图 4 选取数据比较图

对比结果表明,使用 GPS 方法所得潮位与验潮仪潮位的平均差值为 5 mm 相互之间的符合性较好。和 PPP 方法相比,RTK 方法的一致性略好,其主要原因是 PPP 采用了 JPL 的预报钟差,由 5 m 间隔的钟差内插每秒钟的钟差也不够准确,但此结果已基本满足远程海洋测绘中对潮位的需求。

5 结论及展望

相对于传统的潮汐测量方法,GPS 验潮具有方便、简单、快捷等特点。通过试验和分析表明,基于 PPP 技术的验潮结果与潮汐观测符合较好,其

平均误差只有 5 mm 可以满足比例尺小于 1 : 2 000 的水深测量精度要求。同 GPS RTK 结果比对发现,GPS RTK 验潮结果在 5 km 以内范围的精度略高,5 km ~ 10 km 之内的精度相当,10 km 以外的区域没有 RTK 差分信号,GPS RTK 方式无法工作。

由于 GPS RTK 方法验潮的核心是 GPS 双差技术,受到解算技术和通讯链路的限制,这种方式作用范围非常有限,只能适合于近海和江河地区。而利用精密单点定位技术进行潮汐测量,完全克服了距离的限制。虽然目前受到卫星钟差精度的影响,PPP 验潮在精度和实时性等方面仍然存在不足,但是,随着 GPS 技术进步和 PPP 研究的深入,PPP 验潮精度也将进一步提高,使其更加适合远程高精度的海洋潮汐测量。

参考文献:

[1] Ming Yang Chang fan Lo Real Time Kinematic GPS Positioning for Centimeter Level Ocean Surface Monitoring [J]. Proc Natl Sci Counç ROC (A), 2002 24 (1): 79 ~ 851.

[2] Brian F Shannon Fran M Woodward GPS TIDES [S/OJ. 1999 Http://www. thsoa. org/Pdf/h99/.

[3] 周丰年,田 淳.利用 GPS 在无验潮模式下进行江河水下地形测量[J]. 测绘通报, 2004 (5): 28 ~ 30

[4] 刘经南 叶世榕. GPS 非差相位精密单点定位技术探讨 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2002 (6): 234 ~ 239

[5] Alkan RM The Role of Pitch and Roll Effects on the Short Instantaneous Sea Level Height Determination with GPS [S/OJ. 2001 Http://www. thsoa. org/ Pdf/ h01/.

[6] 阳凡林,赵建虎. GPS 验潮中波浪的误差分析和消除 [J]. 海洋测绘, 2003 (3): 1 ~ 4

GPS Tide Observing Method Based on the Precise Point Positioning

FENG Yi-kai LI Jie YANG Long LIU Yan-xiong ZHOU Xing-hua
(The First Institute of Oceanography SOA Qingdao Shandong 266061)

Abstract In this paper in order to enrich the tidal data collection approaches and widen the application of GPS in tide observation a new approach built on GPS PPP technology has been proposed to make up the deficiency of RTK application in tide observation. The factors that affect the tidal results have been analyzed in this paper. Also in the experimental sites the comparison of multiple results obtained using the new approach with varying operational distances and observational data from tide stations has been studied in details. The compared result has proved the feasibility of our method in practical observation with higher accuracy. Therefore this approach greatly extends the effective distance of GPS in tide observation and improves the operational efficiency in marine surveying and mapping.

Key words GPS tide observing RTK PPP