

基于潮汐模型与余水位监控法的海图测量 水位改正及应用

赵宇鹏, 王墉成, 王荣林, 梁亮, 关建启

(交通运输部北海航海保障中心 天津海事测绘中心, 天津 300222)

摘要: 面对近年海图测量逐渐由近海向外延伸的发展现状, 其对水位改正的要求越来越高, 水位改正是海图测量中的一个尤为重要的技术环节, 对保证测量精度起着极其重要作用。实际测量作业中, 在一些潮汐性质变化复杂的海域, 采用传统水位改正方法面临设站数量多、难度大、易丢失、精度难保证等难点。针对测区潮波分布的复杂性与特殊性, 基于 POM 模式, 采用“混合”同化法同化由 T/P 卫星测高数据反演的沿迹潮汐参数构建了高分辨率高精度的潮汐模型, 利用余水位的空间相关性, 称之为基于潮汐模型与余水位监控的水位改正法。通过海图测量实例中基于潮汐模型与余水位监控法的应用, 对测量成果精度进行了分析和验证, 为海图测量在水位改正方法的选择提供了技术支持, 进而对保证测量精度有着重要的现实意义。

关键词: 水位改正; 潮汐模型; 余水位监控; 测量精度

中图分类号: P229

文献标识码: A

文章编号: 1002-3682(2019)04-0304-06

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2019.04.006

引用格式: ZHAO Y P, WANG Y C, WANG R L, et al. Water level correction in chart measurement by using tidal model and residual water level monitoring method[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(4): 304-309. 赵宇鹏, 王墉成, 王荣林, 等. 基于潮汐模型与余水位监控法的海图测量水位改正及应用[J]. 海岸工程, 2019, 38(4): 304-309.

随着国家海洋强国、“一带一路”发展倡议的初步推进, 我国海上运输业呈快速发展趋势, 海图测量范围也由港池航道逐渐向近海外延伸, 对水位改正要求越来越高。水位改正是水深测量实施的重要基础环节之一, 对保证测量成果精度起着决定性的关键作用。

分带法、时差法与最小二乘拟合法等传统水位改正方法采用测区内或邻近验潮站的实测水位数据, 基于某水位变化的时空关系假设内插测深点的水位改正值。除单站以点代面外, 传统水位改正方法都要求至少应用 2 个验潮站, 为保证较高的水位改正精度, 最好能布设配置合理的 3 个或 3 个以上的验潮站, 同时分带法、时差法与最小二乘拟合法等传统方法都要求相邻验潮站间的潮汐性质基本相同^[1-3]。

中国近海海域潮汐变化复杂, 特别是在渤海、黄海存在着多个无潮点, 潮汐类型空间变化较大, 这意味着在测深作业中需设立较密集的短期或临时海上验潮站, 而海上验潮作业难度大、成本高、数据质量难以实时监控。针对测区潮波分布的复杂性与特殊性, 最佳的天文潮位内插方法是高分辨率、高精度的潮汐模型, 利用余水位的空间相关性, 称之为基于潮汐模型与余水位监控的水位改正法^[4-6]。相对于传统水位改正方法, 该方法具有验潮站控制范围大与外推性良好的优点, 在潮汐性质变化复杂的区域具有更明显的优势, 在保证水位改正精度的前提下减少验潮站布设数量具有重要的实际意义。

1 潮汐模型构建

20 世纪末, 以 TOPEX/Poseidon(以下简称 T/P)为代表的卫星高度计资料的广泛应用, 潮汐模式的准

收稿日期: 2019-01-11

作者简介: 赵宇鹏(1986-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事海洋测绘、水文等方面研究。E-mail: zhaoyupeng54862304@163.com

(王佳实 编辑)

确度有了很大提高。^[7]潮汐模型是基于 POM 模式^[8],采用“混合”同化法同化由 T/P 卫星测高数据反演的沿迹潮汐参数所构建,具有高分辨率、高精度的特点。通过精密潮汐模型实现任意点的调和常数查询与定点潮位预报,结合验潮站水位数据可实现定点的水位恢复,由精密潮汐模型、验潮站水位数据与导航信息文件,基于水位推算模块生成水位改正数文件。具体技术路线如图 1 所示。

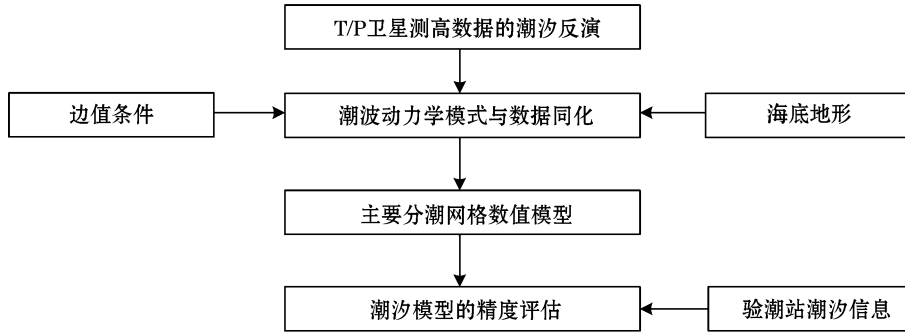


图 1 模型推算技术路线示意图

Fig.1 Technical route for model calculation

2 水位推算的原理和精度评估

2.1 水位推算的基本原理

从海域上任一点长期平均海面起算的瞬时水位 $h(t)_{MSL}$ 可表达为

$$h(t)_{MSL} = \hat{T}'(t)_{MSL} + R(t), \tag{1}$$

式中: $\hat{T}'(t)_{MSL}$ 为从长期平均海面起算的天文潮位, $R(t)$ 为余水位。采用潮汐模型内插天文潮位,利用余水位的空间相关性由验潮站传递余水位,达到增大验潮站的有效控制范围,实现大范围的水位控制,称为基于潮汐模型与余水位监控的水位改正法^[9]。

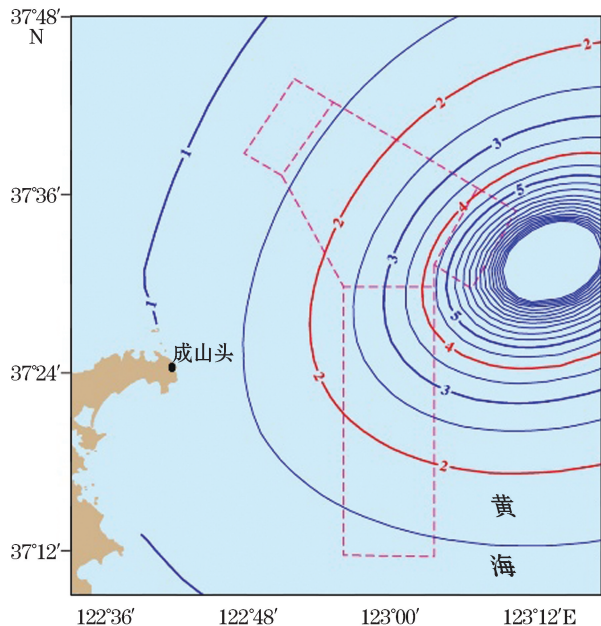
2.2 水位推算的精度评估

利用测区内及邻近的长期验潮站历史数据与实测的短期验潮数据,对基于潮汐模型与余水位监控的水位改正法的精度进行评估。评估方法:利用余水位监控站(A站)和验证站(B站)两验潮站进行数据分析,由A站基于潮汐模型与余水位监控的水位改正法传递B站的水位数据,与B站的实测水位相比较,统计精度指标。

3 应用实例

3.1 成山角水域定线制测量水位改正

成山角船舶定线制海域位于北黄海成山头外海,受北黄海 M2 无潮点和渤海海峡 K1 无潮点的综合影响,潮汐性质较复杂,区域性变化明显。图 2 为测区及附近水域的潮汐类型数等值线图。



注:图中数字代表潮汐类型值($0 < F \leq 0.5$ 为半日潮, $0.5 < F \leq 2$ 为不正规半日潮, $2 < F \leq 4$ 为不正规日潮, $F > 4$ 为正规日潮);红色虚线代表测区

图 2 测区及附近的潮汐类型数等值线图

Fig.2 Contour lines of the tidal type numbers in and around the survey area

由图2可见,测区邻近半日分潮的无潮点,潮汐类型在较短距离内由不规则半日潮类型变化至全日潮类型。若采用分区法、时差法或最小二乘拟合法等传统水位改正方法,相邻验潮站应满足潮汐类型相似的要求,这意味着测区及周边需密集布设海上临时验潮站,且测区水深30~70 m,布设难度与工作量均大。鉴于基于潮汐模型与余水位监控的水位改正法对潮汐类型无限制的特点,使其成为本测区水位控制的更合适选择。采用该方法由岸上成山角站实现了1 660 km²扫测区域的水位控制^[10]。成定北站、成定中站和成定南站于2012年在此区域实施测量项目时所布设,在本次测量中作为历史验潮站进行精度验证,东南角站和马他角站为本次测量所布设,作为实测验潮站进行精度验证,精度验证结果如表1所示。由表1可见,推算精度基本满足《水运工程测量规范》(JTS 131-2012)^[11]中的要求。

表1 历史验潮站和实测验潮站精度验证

Table 1 Accuracy verification at historical tide station and observed tide station

站 点	起止时间	误差分布/cm					中误差 /cm	样本数 /个
		≤10	≤20	≤30	最小值	最大值		
成定北站	2012-09-11—20	88.0%	100.0%	100.0%	-13.0	15.4	7.6	1 257
成定中站	2012-09-11—23	81.4%	100.0%	100.0%	-16.3	19.0	9.4	1 669
成定南站	2012-09-11—21	100.0%	100.0%	100.0%	-8.1	9.2	3.5	2 927
东南角站	2013-03-23—04-10	86.2%	100.0%	100.0%	-16.8	19.6	6.4	2 593
马他角站	2013-04-01—05-05	88.7%	99.9%	100.0%	-8.3	22.9	6.3	8 828

3.2 成山角及附近港口航道测量水位改正

测区位处潮波变化较复杂的烟台至成山角及附近海域,特别是成山角东侧部分测区临近主要半日分潮的无潮点,振幅与迟角的变化较快,在几十 km 内潮汐类型变化较大。通过对长期验潮站潮位数据进行调和和分析计算其潮汐形态数,本次所测海域潮汐类型分为规则半日潮和不规则半日潮。基于测量海域的潮波复杂性以及传统方法的局限性,本次潮位控制采用了基于潮汐模型与余水位监控的水位改正法。测量中共布设验潮站5处,其中岸上验潮站3处、海上定点站2处。各验潮站位置及潮汐类型见表2。其中威海内港站和成山头站为长期验潮站,工作稳定,作为本次测量基准站;马他角站和另外2处海上定点站为本次测量所布设实测站,同时作为验证潮位推算精度的验证站,各验潮站站点位置如图3所示。

表2 验潮站点位置坐标及潮汐类型

Table 2 The coordinates and Tidal types at the site of tide station

验潮站	E	N	潮汐类型	备 注
威海内港站	121°11'47"	37°26'36"	规则半日潮	实测岸上长期验潮站
成山头站	122°40'34"	37°22'41"	不规则半日潮	实测岸上长期验潮站
马他角站	122°37'30"	37°11'50"	不规则半日潮	实测岸上短期验潮站
海上定点1#站	121°44'10"	37°53'52"	规则半日潮	实测海上定点站
海上定点2#站	122°22'45"	38°04'10"	不规则半日潮	实测海上定点站

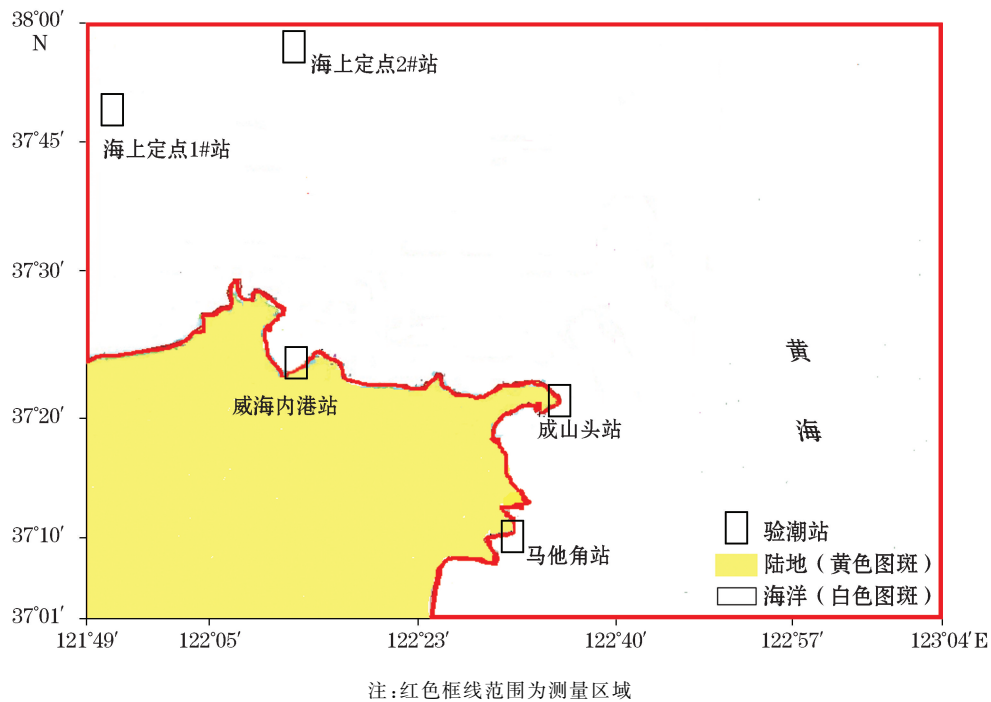


图 3 验潮站位置示意图

Fig.3 Sketch map of the tidal station

表 3 实测验潮站精度验证

Table 3 Accuracy verification at observed tide station

基准站	推算站	同步时间	误差分布/cm		
			≤10	≤20	≤30
			潮位	潮位	潮位
成山头站	马他角站	2017-07-10—10-04	11 397 个	13 239 个	13 252 个
			86%	99.9%	100%
威海内港站	海上定点 1# 站	2015-07-17—08-17	4 404 个	4 611 个	4 611 个
			95.3%	100%	100%
威海内港站	海上定点 2# 站	2017-08-07—09-03	3 393 个	3 887 个	3 887 个
成山头站			87.3%	100%	100%

采用潮汐模型对马他角站和 2 处海上定点站进行潮位推算并与其实测数据相比较,精度验证如表 3 所示。由表 4 可见,通过实测站数据验证,推算精度基本满足《水运工程测量规范》(JTS 131—2012)^[11] 中的要求。

本次测量水位改正选择在此区域构建了高分辨率高精度的潮汐模型,采用基于余水位订正的水位推算方法,以岸上长期验潮站威海内港站和成山头站为基准站使用潮汐模型结合测量航迹文件进行走航式水位改正。此方法成功克服了测区面积大、测区水深较深、测区潮汐类型变化较快等困难,消除了深度基准面的阶梯跳跃性变化,实现了由岸上验潮站进行整个测区的水位改正推算任务。

表 4 潮位推算精度要求^[11]Table 4 Accuracy requirements for tide level calculation^[11]

实测值与推算值差值/cm	所占区间
≤10	≥80%
≤20	≥95%
≤30	100%

4 结 语

中国近海海域潮汐变化复杂,特别是在黄渤海海域存在着多个无潮点,在实地开展测量时,测量区域远离岸边、测量水深较深,空间跨度较大,潮汐类型变化快,海上验潮站布设难度大,易造成验潮仪丢失,从而影响到潮汐数据的采集获取和测量工程的精度。

本文根据测量工程实例,采用基于潮汐模型与余水位监控的水位改正法以达到减少布设验潮站站位数、增大验潮站的有效控制范围的目的,实现了大范围的水位控制。在成果精度上,充分利用历史验潮站和实测验潮站数据资料对模型水位推算精度进行验证,满足了相关规范要求。通过以上论述,相对于传统水位改正方法,该水位方法具有验潮站控制范围大与外推性良好的优点,在临近无潮点的潮汐性质变化快速的区域具有较高的推广应用和借鉴价值,对保障潮汐数据的完整性和保证水深测量精度都有着重要意义。

参考文献(References):

- [1] SUN H, HUANG C H, JIANG H Y, et al. Water level correction at salient sea areas of tidal duration inequality between flood and ebb tide[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2014, 28(6): 17-20. 孙昊, 黄辰虎, 蒋红燕, 等. 涨落潮历时时间不等显著海区的水位改正问题[J]. *海洋测绘*, 2014, 28(6): 17-20.
- [2] Marine Assurance Naval Command. Specification for hydrographic survey: GB 12327-1998[S]. Beijing: China Standards Press, 1999. 海军司令部航海保证部. 海道测量规范: GB 12327-1998[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [3] MENG D R, TIAN G Y, LIU Y C, et al. Ocean tides[M]. Beijing: Ocean Tides Publishing House, 1993. 孟德润, 田光耀, 刘雁春. 海洋潮汐学[M]. 北京: 海潮出版社, 1993.
- [4] LIU L, LI, B S, LI D, et al. Sea level forecasting based on corrected residual sea level[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2012, 32(2): 11-14. 刘雷, 李宝森, 李冬, 等. 基于余水位订正的海洋潮位推算关键技术研究[J]. *海洋测绘*, 2012, 32(2): 11-14.
- [5] ZHUANG Z, ZHANG X, ZHANG X K, et al. Tidal Correction research based on satellite altimetry data and analysis of regional sea level change[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2014, 30(4): 27-31. 庄智, 张霞, 张旭凯, 等. 基于卫星测高数据自身的潮汐校正及区域海平面变化分析[J]. *地理与地理信息科学*, 2014, 30(4): 27-31.
- [6] LIU H B, PAN G F, YING Y K, et al. A water level correction method based on ocean tide dynamic model[J]. *Journal of Marine Science*, 2014, 32(2): 35-39. 刘洪博, 潘国富, 应元康, 等. 基于海洋潮汐动力模型的水位改正方法研究[J]. *海洋学研究*, 2014, 32(2): 35-39.
- [7] ZHAO Q, HOU G F, TANG Z H, et al. Accuracy assessment of seven numerical models on simulating tides in the coastal area of Zhejiang[J]. *Advances in Marine Science*, 2018, 36(2): 310-320. 赵强, 侯国锋, 汤志华, 等. 基于潮汐模型与余水位监控法的实例分析[J]. *海洋科学进展*, 2018, 36(2): 310-320.
- [8] KOJI M, TAKASHI T, M O. Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: a global model and a regional model around Japan[J]. *Journal of Oceanography*, 2000, 56(5): 567-581.
- [9] XU J, BAO J Y, LIU Y C, et al. A regional tide model around China developed by POM and blending assimilation method[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2008, 28(6): 15-17. 许军, 暴景阳, 刘雁春, 等. 基于POM模式与blending同化法建立中国近海潮汐模型[J]. *海洋测绘*, 2008, 28(6): 15-17.
- [10] LIU L, DONG Y L, QU M, et al. Example analysis based on tide model and residual water level monitoring method[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2015, 35(4): 36-39. 刘雷, 董玉磊, 曲萌, 等. 基于潮汐模型与余水位监控法的实例分析[J]. *海洋测绘*, 2015, 35(4): 36-39.
- [11] Water Transport Bureau of the Ministry of Transport of the People's Republic of China. Standards for surveying water transportation engineering: JTS 131-2012[S]. Beijing: People's Transportation Press, 2013. 交通运输部水运局. 水运工程测量规范: JTS 131-2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.

Water Level Correction in Chart Measurement by Using Tidal Model and Residual Water Level Monitoring Method

ZHAO Yu-peng, WANG Yong-cheng, WANG Rong-lin, LIANG Liang, GUAN Jian-qi

(*Tianjin Hydrographic Center, Beihai Navigation Support Center,
Ministry of Transport, Tianjin 300222, China*)

Abstract: The chart measurement expands gradually beyond offshore in recent years so that the requirement for water level correction becomes increasingly higher. The water level correction is a particularly important technical link in chart measurement and plays an extremely important role in ensuring the measurement accuracy. In the practical measurements, the traditional water correction methods have faced to the difficulties such as large number of stations designed, hardly to operate, low accuracy, easily to lose, and so on, particularly in the areas where tidal property changes complicatedly. On account of the complexity and particularity of the tidal wave distribution, a water level correction method which is based on tidal model and residual water level monitoring is proposed, in which the tidal model has high resolution and is established based on the POM model and by using “hybrid” assimilation method to assimilate the tidal parameters inverted from the altimeter data measured by T/P satellite. In addition, the spatial correlation of the residual water level is also used for the method. By applying this method in an example of practical chart measurement, the accuracy of the measurement is analyzed and verified. This method can provide a technical support for the water level correction in the chart measurement and has a great significance for ensuring the measurement accuracy.

Key words: water level correction; tidal model; residual water level monitoring; measurement accuracy

Received: January 11, 2019