

长江口外潮汐精细化模型研究与精度分析

季凯敏¹, 路川藤²

(1. 上海海事测绘中心, 上海 200090; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要:长江口外海上测量除受风浪影响较大外, 最重要的问题是潮位控制非常困难。文中简要阐述了开展长江口外潮汐精细化模型研究的方法, 介绍了利用潮汐精细化模型对长江口外航路任意点进行潮汐预报的方法, 并通过实测数据进行了精度分析, 提出了建议。

关键词:潮汐模型; 余水位; 潮汐预报

中图分类号: P714

文献标志码: A

文章编号: 1003-2029(2019)05-0064-04

港口与航路是水上交通系统中彼此独立而又密切联系的两个关键要素。沿海通航水域中的航路是船舶进出沿海港口水域(包括港口锚地、码头及泊位水域、进出口航道等)的航行路线, 开展航路测量是全国沿海船舶航路规划的一项重要工作。

长江口外测区的测量, 除受风浪影响较大外, 最重要的问题是潮位控制非常困难。由于测区东北侧无长期潮位站, 只能抛设定点潮位站, 抛设成本高、风险大。根据经验, 定点潮位站抛设时长超过 3 个月时, 就很难正常起出。不仅如此, 定点潮位站还存在验潮零点经常变动、海水盐度难以精确测定等问题, 影响潮位改正的精度。

近年来, 随着潮位数值模拟技术的发展^[1-2], 无验潮海区潮汐模型的精度得到了极大提高, 为了解决长江口外测区潮位控制的难题, 有必要引入潮汐模型。本文介绍了开展长江口外潮汐精细化模型研究的方法, 并研究了基于余水位^[3-4]控制的水位推算, 结合定点站历史资料和附近长期站实测资料, 来模拟推算测区内任一点任意时刻的潮位, 并与实测数据计较进行了精度分析。

数值模拟系统、苏北辐射沙洲模型等数学模型, 有较好的模拟精度^[5-7]。长江口外潮汐精细化模型研究建立在南科院数值模拟系统的基础上, 结合测区定点站历史资料和附近长期站实测资料, 建立大范围的二维潮流数学模型, 预报推算测区内任意点任意时刻的潮位, 同时通过余水位控制进行潮位订正, 提高推算精度。技术路线图如图 1 所示。

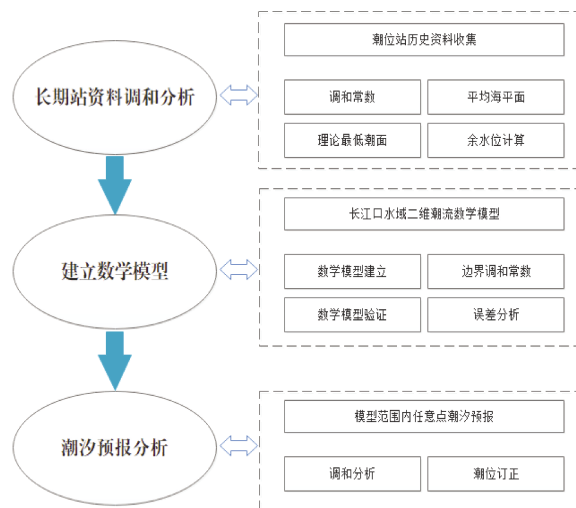


图 1 技术路线图

1 潮汐精细化模型研究

1.1 技术路线

南京水利科学研究院开发了 CJK3D 河口海岸

1.2 研究过程

1.2.1 长期站资料调和与分析 上海海事测绘中心在长江口外有 6 个长期站资料, 分别为吕四、洋口港、大戢山、鸡骨礁、绿华、连兴港。其中, 连兴港为 1 a 资料, 其他潮位站为 5 a 资料。潮位站位置如



图 2 长江口外长期站位置示意图

图2所示。

潮汐调和分析的目的是根据潮汐观测资料计算各个分潮的调和常数,用于率定数学模型,确定模型边界处的调和常数。

调和分析分潮的选择很重要。分潮选取的原则为:相邻的两个分潮角速度差 $>360/N$, N 为资料长度。本文基于绿华山站 2017 年实测潮汐资料对不同数量分潮调和和分析结果对比,表 1 为不同数量分潮调和和分析误差对比。

表 1 2017 年绿华站不同数量分潮调和和分析误差对比
单位: %

名称	13 个分潮	64 个分潮	170 个分潮
$\leq 0.10\text{ m}$	53.21	62.43	64.03
$\leq 0.20\text{ m}$	84.38	89.22	89.28
$\leq 0.30\text{ m}$	95.62	96.79	96.85

由图 2 和表 1 可知,对于长期潮位站,171 个分潮调和和分析精度明显高于 64 个和 13 个,并且分潮越多,调和和分析精度越高。本次研究调和和常数选用 171 个分潮。

1.2.2 数学模型的建立 本次数值模拟采用南京水利科学研究院编制的《南科院河口海岸潮流泥沙数值模拟系统》(NHRI_RECO_CS V2012.1)。数学模型采用嵌套模型计算方式。

大模型为东中国海模型,北边界至烟台港,南边界至台湾岛,东侧边界至韩国南侧。我国近岸地区采用最新海图信息,外海采用美国国家海洋和大气管理局(NOAA)全球海洋水深数据。整个模型采用三角形网格作为计算单元,网格总数为 10 万多个,最小网格边长约为 800 m,最大网格边长约为 24 352 m。

长江口精细模型北侧边界至大丰港,南侧边界至绿华山,东侧边界为大丰港外约 200 km。模型网

格总数约为 5 万多个,最小网格边长 500 m,最大网格边长 7 376 m。模型地形均修正至 85 高程。东海模型网格和长江口精细模型网格如图 3 所示。

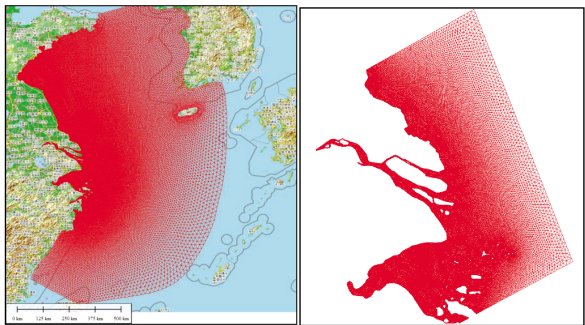


图 3 东中国海模型网格示意图和长江口精细模型网格示意图

东中国海模型边界由全球潮汐预报软件 Naotest 模型提供,Naotest 潮汐边界由 23 个天分分潮的调和和常数计算,长江口精细模型边界条件由东中国海模型提供,大模型和精细模型计算时间均为 2017 年一整年时间。由于本次研究对象为长江口外航路的潮汐预报,因此长江径流量对本次研究影响较小,长江上游流量采用多年平均流量。

1.2.3 数学模型的验证 为了提高模型预测能力,在模型建立过程中采用了数据同化技术,即在考虑数据时空分布以及观测场和背景场误差的基础上,在数值模型的动态运行过程中融合新的观测数据的方法。它是在过程模型的动态框架内,通过数据同化算法不断融合时空上离散分布的不同来源和不同分辨率的直接或间接观测信息来自动调整模型轨迹,以改善动态模型状态的估计精度。

本次研究根据计算值与长期站实测数据的吻合度,修正了数学模型的计算参数,以提高模型潮汐预测模拟能力。

研究过程中验证了鸡骨礁站、吕四港、洋口港 2017 年潮位数据。图 4 为鸡骨礁站数据同化前后对比。由图 5 可知,3 个潮位站计算值和实测值吻合较好。由表 2 可知,3 个验证站平均高潮位误差基本在 0.10 m 之内,平均低潮位误差洋口站偏差较大。

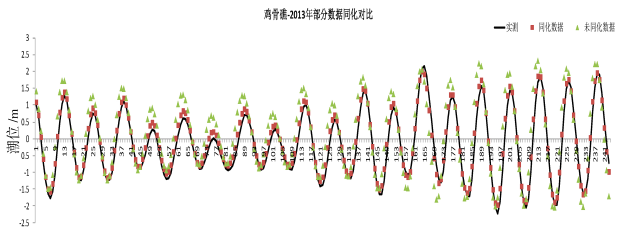


图 4 鸡骨礁站数据同化前后对比

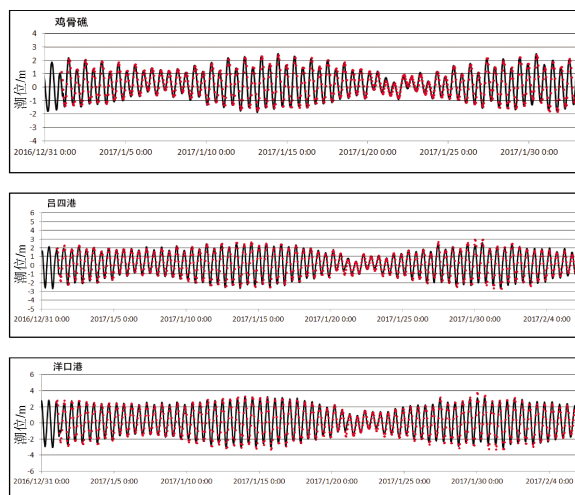


图5 各站潮位验证(实线为计算值)

表2 同化后精度对比(2017年数据)

单位: %

名称	鸡骨礁		吕四港		洋口港	
	未同化	同化后	未同化	同化后	未同化	同化后
≤ 0.15 m/s	83.74	96.94	56.28	65.73	48.09	61.65
≤ 0.20 m/s	93.57	99.65	68.61	77.87	59.43	71.62
≤ 0.30 m/s	99.35	99.98	85.76	94.48	76.43	90.29

各潮位站平均高潮位和平均低潮位误差统计见表3~表4。

表3 各潮位站平均高潮位误差统计

单位: m

名称	鸡骨礁	吕四港	洋口港
实测平均值	1.61	1.96	2.54
计算平均值	1.61	2.02	2.44
偏差	0.00	0.07	-0.10

表4 各潮位站平均低潮位误差统计

单位: m

名称	鸡骨礁	吕四港	洋口港
实测平均值	-0.91	-1.59	-2.19
计算平均值	-1.00	-1.47	-1.93
偏差	-0.10	0.13	0.26

2 长江口外航路潮汐预报

2.1 任意点潮汐预报流程

利用潮汐精细化模型对长江口外航路任意点进行潮汐预报分4步:一是提取任意点潮位过程,时间长度取决于数学模型计算时段的长度,本次研

究选取时段长度为1a,即2017年;二是利用余水位方法进行潮位订正;三是任意点计算调和常数;四是任意点的潮汐预报(流程见图6)。

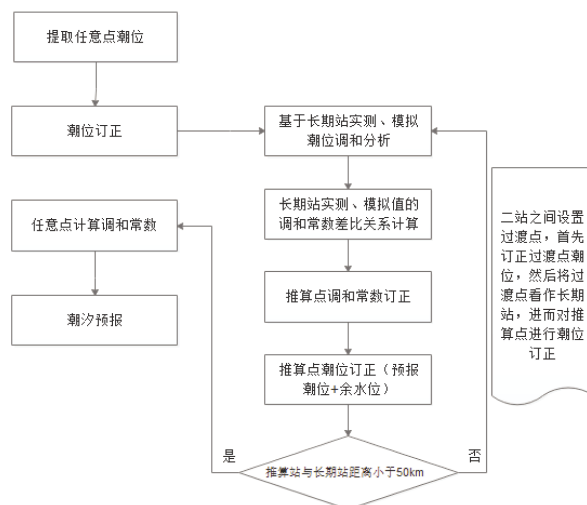


图6 任意点进行潮汐预报流程

2.2 数据验证

由于外航路缺少实测潮位资料,因此根据鸡骨礁站和绿华山站2017年潮位实测资料,在二潮位站之间设置一个过渡点1,采用鸡骨礁站调和常数差比关系(实测与数学模型)通过过渡点1(如图7所示)订正绿华山站数学模型计算潮位,并与绿华山站实测资料进行对比,模拟任意点潮汐预报精度。表5为绿华山数学模型潮位订正值与实测值对比。

由表可知,订正后的潮位过程,误差明显减小。

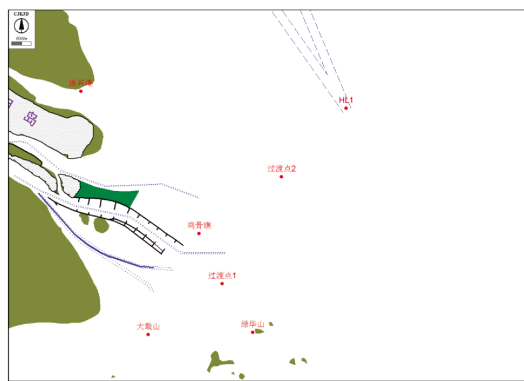


图7 模拟过程站点位置示意图

表5 绿华山站误差统计

名称	订正前误差/%	订正后误差/%
≤ 0.10 m	56.48	66.20
≤ 0.20 m	83.23	90.47
≤ 0.30 m	90.62	94.51
均方差	0.13	0.10

3 结论与展望

(1) 通过嵌套数学模型方式,建立长江口精细模型,并采用2017年实测潮位验证,数学模型计算误差较小,采用数据同化技术后,可降低各潮位站的计算误差。

(2) 基于数学模型计算结果,提出了模型中任意点潮位订正方法,该方法可有效地订正数学模型潮位计算值的精度。

(3) 实际潮位受气象等多种因素干扰,下一步应开展气象潮研究,将气象预报加入到模型中,以提高预报精度。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 刘庆东,俞成明,许军. 粤东船舶定线制测量中水位控制的实施[J]. 海洋测绘,2015,35(6):41-43.
- [3] 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.
- [4] 边志刚,王冬,许军. 渤海海峡及附近水域水位控制的组织与实施[J]. 海洋测绘,2017,37(3):45-48.
- [5] 刘鹏飞,路川藤,罗小峰,等. 基于数学模型的长江潮流界变化特性[J]. 科学技术与工程,2018,18(3):346-353.
- [6] 林岩,路川藤,连云港旗台防波堤工程二维潮流泥沙数值模拟[J]. 水运工程,2014(4):30-34,39.
- [7] 路川藤,罗小峰,徐群,等. 基于非结构网格的长江口横沙东滩新陆域数值模拟[J]. 水利水电技术,2017,48(9):72-76,125.

Research and Precision Analysis on the Tide Model Outside the Yangtze River Estuary

Ji Kai-min¹, LU Chuan-teng²

1. Shanghai Maritime Surveying and Mapping Center, Shanghai 200090, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China

Abstract: In addition to the large impact of wind and waves, the most important problem in the measurement off the Yangtze River estuary is extreme difficulty in tidal level control. This paper briefly expounds the research method of the tide model outside the Yangtze River estuary, and introduces the tidal forecasting of arbitrary points of the course outside the Yangtze River estuary by using the model. Through the precision analysis on measured data, some suggestions are proposed to give some reference.

Key words: tide model; residual water level; tidal forecast