



潮位推算技术在盘锦长航道水深测量中的应用

朱志烨, 贾俊强, 王恒

(中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300202)

摘要: 针对盘锦长航道水深测量中的潮位控制问题, 通过对潮汐理论进行研究, 根据盘锦航道具体情况, 采用基于潮汐调和分析的潮位推算技术, 建立潮位推算模型, 对海上长距离航道进行潮位控制。通过海上定点实测潮位、推算潮位数据比对及不同时间段航道沿线水下地形测量数据比对得出, 2种方法得到的数据资料均满足相关规范要求, 充分表明基于潮汐调和分析的潮位推算技术准确可靠, 能够满足水深测量精度需要, 可以在同类型的长航道水深测量中应用。

关键词: 潮位推算; 调和分析; 自容式验潮仪; 水深测量

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0099-05

Application of tide level calculation technology in bathymetry of long Panjin Channel

ZHU Zhi-ye, JIA Jun-qiang, WANG Heng

(CCCC(Tianjin) Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300202, China)

Abstract: Regarding the issue of tide level control in the bathymetry of the long Panjin Channel, this paper studies the tidal theory and builds a tide level calculation model by a tide level calculation technology based on tidal harmonic analysis according to the specific situation of the Panjin Channel to control the tide level of the long distance offshore channel. By comparing the measured data on the tide level at fixed points at sea with the calculated tide level data and the measured data on the underwater topography along the channel in different time periods, the paper finds that the data obtained by the two methods all meet the requirements of the relevant specifications. The results fully testify to the point that the tide level calculation technology based on tidal harmonic analysis is accurate and reliable, can meet the accuracy needs of bathymetry, and can thus be used in the bathymetry of long channels of the same type.

Keywords: tide level calculation; harmonic analysis; self-contained tide gauge; bathymetry

盘锦港荣兴港区 10 万吨级航道工程测量区域长度超过 37 km, 且远离海岸, 如果采用港区码头前沿设立的验潮站对航道测量数据进行潮位改正, 由于潮位数据变化的延时和基准面本身的差异, 容易造成航道水下地形测量数据产生较大误差, 无法指导航道施工, 进而造成欠挖、超挖等质量问题, 因此潮位控制成为盘锦长距离航道水深测量的关键。

关于海上潮位控制问题, 方国洪等^[1]对潮汐

的相关理论进行了深入研究; JTS 131—2012《水运工程测量规范》^[2]针对工程施工提出了具体要求; 王华原^[3]论述了远距离水位控制关键技术; 王丽华等^[4]根据盐城大丰港区的具体数据, 对潮位推算技术进行论证分析; 卓玉升等^[5]、刘冠伟等^[6]则对于理论深度基准面的确定和验潮数据的采集等具体工作进行了相关研究。本文根据盘锦港航道工程的实际情况, 通过理论分析和外业采集数据, 建立潮位推算模型, 最终经过 2 种方法采集

数据相互验证,解决了盘锦港长距离航道潮位控制问题,为类似工程施工提供参考依据。

1 潮位推算技术基本原理

通过在航道适当位置设置验潮站进行短期验潮,利用调和分析得到航道上短期潮位站各分潮

的常数,从而实现对某一时刻该短期潮位站的潮位预报,再利用余水位的空间相关性,使用码头前沿的长期验潮站的观测数据、调和分析预报值计算出余水位,最后利用计算出的余水位修正潮位需求点的调和分析预报值,从而推算出潮位需求点的准确潮位,具体流程见图 1。

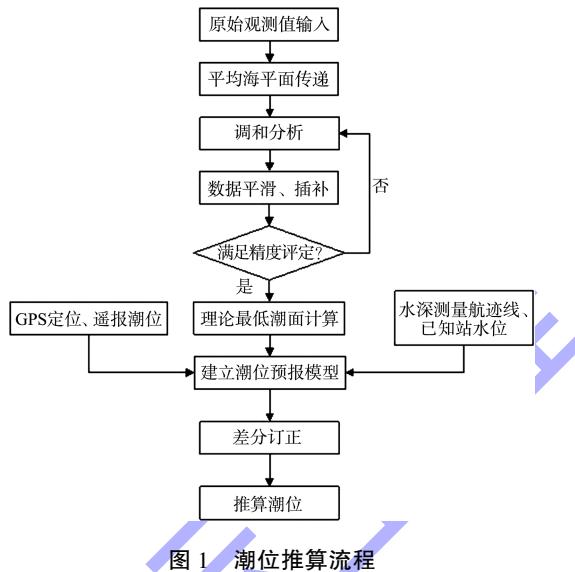


图 1 潮位推算流程

2 外业数据采集

根据航道实际走向,在航道里程 22+000、37+000 两处建立临时验潮站,分别投放 Killer DCX-25 自容式验潮仪,与码头前沿的长期验潮站同步观测,同步采集大气压力、水压力数据。根据 JTS 131—2012《水运工程测量规范》规定,用于推算海上定点水位站水位的推算点应具有 30 d 以上的历

史水位数据。本次同步验潮从 2019 年 11 月 15 日开始,至 2020 年 1 月 15 日结束,共计 62 d, 每 10 min 记录 1 个数据,该数据取 1 min 内的压力平均值。通过数据编辑、剔除数据中的跳点,并对不合理的数据予以纠正,选取精度较好、质量可靠的数据,最终获得 7 135 组数据,可用于潮汐调和分析和潮汐参数的计算。验潮外业数据采集界面见图 2。

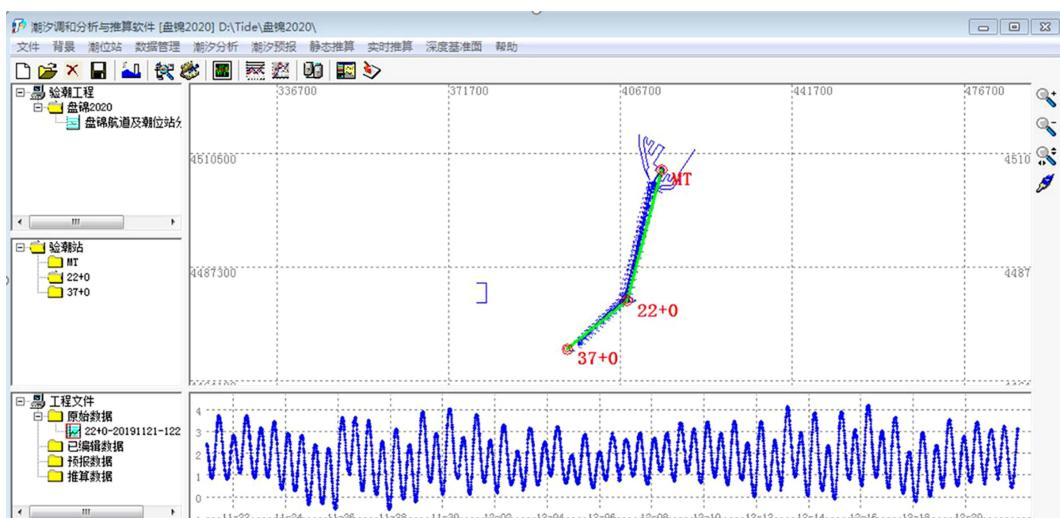


图 2 验潮外业数据采集界面

3 潮位推算模型的建立

3.1 潮汐调和分析

根据物理学有关原理, 任何一种周期性的运动都可以看作多个简谐震动的合成。潮汐变化是一种近似的周期性运动, 可以将其分解为固定的分潮波, 并求得分潮波的振幅和相位。

潮汐调和分析利用最小二乘方法进行计算, 求取 8 个天文潮 O1、Q1、P1、K1、N2、M2、S2、K2 和 3 个浅水分潮 M4、MS4、M6 共计 11 个主要分潮。潮汐最小二乘法分析的原理是取一定长度的潮汐观测序列, 以计算潮高去逼近实测潮高, 使其差的平方和为最小。据此建立线性方程组, 进而求得分潮调和常数。该方法计算比较灵活, 适用于任意分析长度, 并容许潮汐观测序列的不连续, 分析结果精度较高, 亦方便使用计算机进行运算。

潮位调和分析一般以正点潮位资料来求解分潮调和常数, 在调和分析中, 某时刻 t 潮高实测值的数学方程式为:

$$\zeta_A(t) = \text{MSLA} + F_A(t) + \partial_A(t) \quad (1)$$

$$F_A(t) = \sum_i^m f_i H_i \cos[\delta_i t + (v_0 + u)_i - g_i] \quad (2)$$

式中: MSLA 为推算点的平均海平面; t 为时间, 计算时取 $t = 1, 2, \dots, 24N$ (N 为同步期观测天数); $F_A(t)$ 为推算点 t 时刻的天文预报潮位; $\partial_A(t)$ 为推算点 t 时刻的余水位; i 为分潮的序数, 取 $1, 2, \dots, m$, m 为分潮的总数; f_i 为交点因数; H_i 为分潮振幅; δ_i 为分潮的角速率; g_i 为分潮的迟角; v_0 为天文初相角; u_i 为交点订正角。

式(1)(2)的计算结果显示, 盘锦港码头前沿潮位站和临时潮位站 22+000、37+000 的潮汐性质相似, 均为每日涨落 2 次的规则半日潮, 且各潮位站浅水分潮振幅从码头前沿沿航道方向向外依次递减。此外, 根据最小二乘法计算出潮汐调和常数的同时, 也得到了平均海平面 MSLA。

3.2 多年期平均海平面计算

盘锦港地区以四道沟理论最低潮面为基准起算面, 已通过长期验潮站多年的验潮资料计算出多年期平均海平面, 各基准面之间关系见图 3。

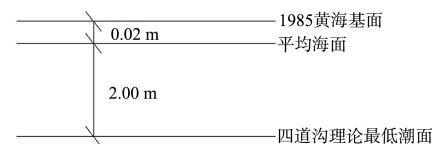


图 3 盘锦港各基准面关系

盘锦港航道工程相关设计资料显示, 本海域潮汐属于规则半日潮, 平均涨潮历时 5 h 左右, 平均落潮历时 7~8 h, 落潮历时大于涨潮历时, 与本次验潮资料相符。

对于沿航道布设的临时验潮站, 如果使用短时间的资料计算平均海平面是不准确的, 但可以假设在外界条件基本相同的海区, 平均海面的日变化、月变化和年变化规律基本上是一致的, 从而可以把长期验潮站的多年期平均海平面通过一定方法联测到短期验潮站。同步改正法正是根据这一原理推算临时验潮站的多年期平均海平面。在盘锦港航道工程中, 利用航道临时验潮点与码头前沿长期验潮站 62 d 的同步观测数据, 首先计算长期验潮站多年期平均海平面与月平均海平面的差值, 即同步改正数, 然后将临时验潮站的月平均海平面加上此同步改正数, 即可求得各短期验潮站的多年期平均海平面。

3.3 理论最低潮面推算

在我国海域, 确定深度基准面均采用理论最低潮面的方法, 一般采用弗拉基米尔法和传递法推算, 其中传递法又可分为直接传递法、潮差比法和曲线比较传递法。根据调和分析结论和盘锦港设计文件等资料, 码头前沿长期验潮站和航道 22+000、37+000 处潮汐性质相似, 弗拉基米尔法和潮差比法均适用于盘锦港航道疏浚工程, 通过选择合理的基准面变化曲线, 可将计算结果归算至多年期平均海平面上。

对于疏浚工程来说, 除了要满足理论要求外, 还应考虑通航安全和经济效益, 一般要求通航保证率达到 95%~100%。

3.4 实时潮位推算

通过潮汐理论可知, 天文潮位:

$$F_B(t) = \sum_i^m f_i H_i \cos[\delta_i t + (v_0 + u)_i - g_i] \quad (3)$$

可以通过潮汐预报得到；余水位具有空间相关性，当 2 个潮位站相近、地形条件一致时，可认为余水位是一致的，即 $\partial_A(t) = \partial_B(t)$ ， $\partial_A(t)$ 可通过长期验潮站的实时观测数据逆推获得；临时验潮站的多年平均海平面 MSLB 也可以通过与长期验潮站同步验潮反算获得。因此，临时验潮站的瞬时潮位信息可通过下式求出：

$$\zeta_B(t) = \text{MSLB} + F_B(t) + \partial_A(t) \quad (4)$$

推算出航道临时验潮站的潮位数据以后，根据测量船实时位置，按照距离线性内插计算出测量实时潮位，对水下地形测量数据进行改正，获得准确的水下地形情况。

3.5 精度验证

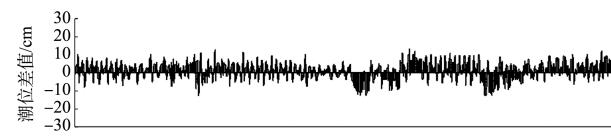
为保证盘锦航道工程的顺利实施，在工程的后续阶段又采集数据对潮位推算数据进行验证。使用盘锦港码头前沿验潮站的潮位数据对临时验潮站 22+000 和 37+000 处的潮位进行推算，将推算数据与实测数据进行比对，精度评估公式为：

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum VV}{n-1}} \quad (5)$$

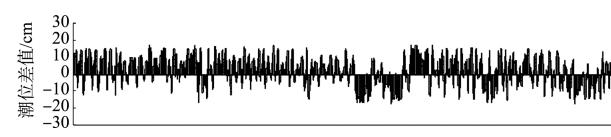
式中： M 为潮位推算中误差； V 为潮位推算误差（推算潮位与实测潮位之差值）； n 为样本个数。

统计结果表明，潮位推算中误差呈正态分布，其中临时验潮站 22+000 处中误差为 $\pm 6.25 \text{ cm}$ ，37+000 处中误差为 $\pm 9.54 \text{ cm}$ ，见图 4；差值小于 0.1 m 的占比 88%，差值小于 0.2 m 的占比 95%，差值小于 0.3 m 的占比 100%，见图 5，满足 JTS 131—2012《水运工程测量规范》中推算水位与

观测水位比对限差要求，因此推算潮位可用于本工程的水深测量。



a) 22+000 处



b) 37+000 处

图 4 推算潮位与实测潮位差值分布

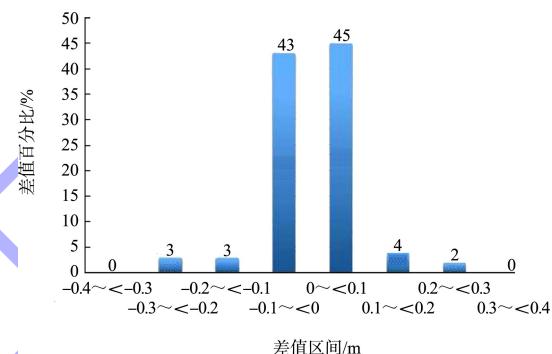


图 5 推算潮位与实测潮位差值百分比分布

4 长航道水深测量

潮位推算模型建立后，在盘锦航道测量过程中使用推算潮位对测量数据进行改正，每次测量成果均进行数据比对，见图 6。满足规范要求，即小于 20 m 水深区域，图中 1 mm 范围内水深点的深度比对互差 $\leq 0.4 \text{ m}$ ；大于 20 m 水深区域，图中 1 mm 范围内水深点的深度比对互差 $\leq 0.02H$ ，也证明了潮位推算技术的适用性和正确性。

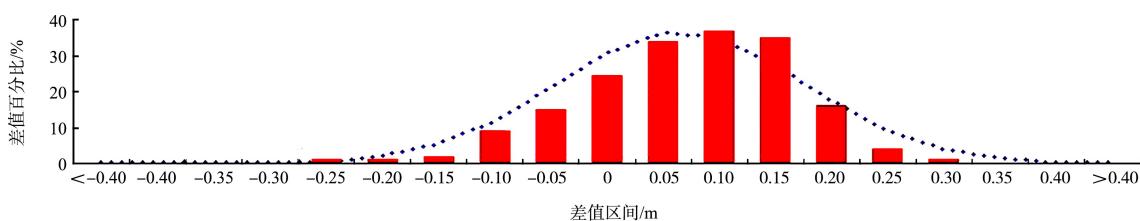


图 6 测深精度检查结果

5 结语

1) 测量数据显示，开阔海域潮位推算技术精度较高，可以满足长航道水深测量和疏浚施工的

需要，在以后的工程施工中会得到越来越多的应用。

2) 潮汐推算模型的建立离不开 30 d 以上的验

潮数据, 验潮过程中要注意验潮仪易损坏、零点漂移、海水密度选择等问题。

3) 长航道水深测量过程中要做好数据比对, 防止较大误差数据的产生。

参考文献:

- [1] 方国洪, 郑文振, 陈宗镛, 等.潮汐和潮流的分析和预报[M].北京: 海洋出版社, 1986.
- [2] 中交天津航道局有限公司.水运工程测量规范: JTS 131—2012[S].北京: 人民交通出版社, 2012.

(上接第 76 页)

3 案例分析

天津南港工业区某吹填造陆项目吹填泥浆浓度 S_v 约为 30%, 经测量土颗粒密度 ρ_s 为 2.74 g/cm^3 , 水密度 ρ 为 1.00 g/cm^3 , 吹填流量 Q 为 1 万 m^3/h , 取粒径 d 为 0.05 mm 的颗粒, 拟建薄壁堰上游堰高 P_1 为 1.5 m, H 为 0.05 m, 水流自由流出且无收缩, 土颗粒流径 L 为 800 m。

根据式(1)(2)计算可得理论颗粒沉降速度: $\omega_0 = 0.367 \text{ mm/s}$; 根据式(3)计算可得实际颗粒沉降速度: $\omega = 0.074 \text{ mm/s}$; 根据式(4)计算土颗粒下沉至溢流堰顶以下的时间: $t = 676.99 \text{ s}$; 根据式(5)计算可得留住土颗粒所需的泄水流速: $v_0 = 1.182 \text{ m/s}$; 根据式(7)计算可得堰上总水头: $H_0 = 0.192 \text{ m}$; 根据式(8)计算可得行近流速水头的流量系数: $m_0 = 0.418$; 将以上数据代入式(9)计算可得薄壁堰过水宽度: $B = 17.75 \text{ m}$ 。

分析显示: 当薄壁堰泄水口的过水净宽度为 17.75 m 时, 可以使粒径为 0.05 mm 的土颗粒完成沉淀过程, 并留在取砂区内, 粒径更小的土颗粒会通过泄水口排出。在本工程实施过程中设置了可调节净宽(15~25 m)的薄壁堰, 用于吹填强度和流径发生变化时动态调整吹填区内泥浆流速, 以达到准确控制细颗粒流失的目的。

- [3] 王华原.疏浚工程中远距离水位控制关键技术[C]//中国疏浚协会.中国第五届国际疏浚技术发展会议论文集.北京:[出版者不详], 2017: 49-57.
- [4] 王丽华, 万军.疏浚工程中基于余水位订正的沿海远距离潮位推算方法[J].水运工程, 2017(7): 73-77.
- [5] 卓玉生, 王岩.理论最低潮面确定方法探讨[J].港工技术, 2021, 58(3): 42-47.
- [6] 刘冠伟, 武文博.压力式验潮仪在航道水深测量中的应用[J].水运工程, 2019(S2): 95-99.

(本文编辑 王传瑜)

4 结论

- 1) 对于具有特定粒径范围的土颗粒需求的吹填造陆项目, 可通过公式计算得出薄壁堰式泄水口所需要的临界宽度, 作为泄水口设置和施工的参考依据。
- 2) 吹填区堆积是动态的过程, 计算过程中的流速、堰高等参数也可作为变量进行模拟计算, 便于工程实施过程中动态控制。泄水口设置应留有冗余, 在吹填区堆积导致上游堰高减小或流径变短时对应调整泥浆流速。
- 3) 本计算方法针对不同类型的泄水口堰体结构, 可通过替换不同类型堰体的流量公式来计算相关参数, 具有较广的适用范围。

参考文献:

- [1] 李铭志, 何炎平, 诸葛玮, 等.泥沙颗粒沉降速度计算方法比较分析[J].水运工程, 2014(6): 6-9.
- [2] 曹志先, 胡鹏, 李薇, 等.泥沙运动力学 [M].北京: 中国水利水电出版社, 2021: 32-43.
- [3] 詹咏, 王惠明, 曾小为.泥沙沉降速度研究进展及其影响因素分析[J].人民长江, 2001, 32(2): 23-24, 41.
- [4] 杨艳, 陈一华, 黄宏亮, 等.水力分析与计算 [M].北京: 中国水利水电出版社, 2016: 180-203.

(本文编辑 赵娟)