# 洋口港区烂沙洋北水道航道开挖可行性研究

# 曲红玲,尤 薇,马洪亮

(江苏省交通规划设计院股份有限公司,江苏省水运工程技术研究中心,江苏南京 211100)

摘要:为满足洋口港区发展需求,应对船舶大型化趋势,开展了烂沙洋北水道自然水深航道浚深的可行性研究。依据现场实测风速、潮流、波浪、泥沙等资料,进行了工程海域气象、水文、地貌等自然条件的综合分析,建立 了辐射沙脊群洋口港区二维波浪潮流泥沙数学模型,对航道开挖方案实施后的潮流、泥沙进行了数值模拟,并 预报了航道开挖后的常年回淤量和大风天的淤强分布。计算结果表明,航道开挖前后海区内潮流场变化不大, 疏浚段流速略有变化;航道开挖后的常年回淤量小于 700 万 m<sup>3</sup>,一次大风过程航道内不会发生骤淤碍航。因 此,初步论证了烂沙洋北水道航道开挖是可行的。

**关 键 词:**辐射沙洲;航道开挖;潮流;泥沙淤积;数值模拟 中图分类号:U657.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-640X(2014)01-0070-08

南通港洋口港区位于如东县海岸外辐射沙洲潮汐通道黄沙洋主槽与烂沙洋深槽汇合处。近年来,洋口

港区开发步伐明显加快,烂沙洋北水道一期工程已于 2010年底前建成,航道利用自然水深可满足10万t级 油轮减载后双向乘潮通航。随着洋口港区西太阳沙 LNG接收站建成投产,众多大型能源、仓储、物流等项 目拟落户洋口港区,大型LNG运输船到港频率日益增 多。为满足洋口港区发展需求,应对船舶大型化趋势, 满足到港LNG船"少乘潮以至不乘潮"的要求,根据港 区总体规划急需开展烂沙洋北水道自然水深航道浚深 的可行性研究。



1 自然条件

# 1.1 潮汐和潮流

辐射沙洲区是一特殊的潮汐环境,潮波和潮流分布对沙脊群的作用,一直为学者们所关注。20世纪80 年代,一些研究者依据全国海岸带综合调查的水文资料,并结合部分潮波数值计算成果,认为南黄海两大潮 波系统在琼港附近辐合,强潮流促使岸外沙脊发育是构成沙脊辐射状分布的重要因素<sup>[1-4]</sup>。

西太阳沙海域的潮汐属规则半日潮。据 1996 年 10 月至 1997 年 10 月实测资料统计,潮位特征值(当地理论基面)为:最高高潮位 8.42 m,最低低潮位 0.21 m,平均高潮位 6.07 m,平均低潮位 1.46 m,平均潮差 4.61 m,最大潮差 8.08 m,最小潮差 1.79 m,平均海面 3.93 m。

根据 1992-08-22—1992-09-15 和 2003-04-19—2003-04-25 现场实测大、中、小潮全潮资料分析,本海区潮流属规则半日潮流,前后两个半潮的涨落潮历时和涨落潮流速基本一致;潮流最大流速出现在半潮位附近,呈明显驻波性质;不同水域的测点,涨落潮流历时与强弱、余流的大小与方向、优势流、优势沙的方向等

收稿日期: 2013-05-10

作者简介:曲红玲(1980-),女,湖北钟祥人,工程师,博士,主要从事水流、泥沙数值模拟研究。E-mail: hlqu@nhri.cn

存在明显差异。西太阳沙北侧的烂沙洋深槽表现出落潮水道性质,而南水道在一定程度上表现出涨潮水道 性质;黄沙洋与烂沙洋水道之间存在频繁的潮量交换。

#### 1.2 波 浪

本海区常浪向为 N 向,次常浪向为 NNW 向,出现频率分别为 19.60% 和 10.51%。强浪向为 N, NNE, NE 和 ENE 向, *H*<sub>13%</sub> ≥1.3 m 的波高出现频率分别为 0.80%, 0.63%, 0.20% 和 0.24%, *H*<sub>13%</sub> ≥1.6 m 的波高出现频率分别为 0.20%, 0.16%, 0.12% 和 0.20%。工程海域形成大浪的主要天气过程为寒潮和台风(含热带风暴,强热带风暴)。由于西太阳沙外围沙洲高潮时淹没、低潮时出露,工程区海域的波浪强度也随潮位高低而不同,高潮位时波浪较大,低潮位时外围沙洲掩护作用明显,波浪强度明显减弱,寒潮、台风期间的大浪过程更是如此。

# 1.3 悬 沙

根据 2003 年 4 月 19 至 25 日现场实测结果,本海区悬沙粒径为 0.007~0.065 mm,悬沙平均中值粒径 为 0.016 mm;大、中、小潮含沙量的平面分布总体上表现为外海水体含沙量较小,自外向内呈递增变化。大、中、小潮涨潮潮段含沙量分别为 0.339,0.277 和 0.094 kg/m<sup>3</sup>,落潮潮段含沙量分别为 0.361,0.288 和 0.105 kg/m<sup>3</sup>,落潮潮段含沙量略大于涨潮潮段含沙量。

## 1.4 底 质

根据 2003 年现场 399 个底质取样资料分析,本海区底质主要以黏土质粉砂、粉砂、砂质粉砂、粉砂质砂、 细砂和中砂组成。底质中值粒径约介于 0.007~0.258 mm 之间,其中粒径小于 0.1 mm 的泥沙主要分布在 烂沙洋及黄沙洋的各个深槽内,太阳沙、西太阳沙及岸滩等水深较浅区域泥沙颗粒较粗,但在岸滩中潮位以 上部分,底质泥沙均呈相对较细分布。

2 二维潮流泥沙数学模型

#### 2.1 二维潮流运动基本方程

波浪作用下的二维浅水方程包括以下3个方程:

水流连续方程: 
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (H+\xi)u}{\partial x} + \frac{\partial (H+\xi)v}{\partial y} = 0$$
 (1)

$$x \, \bar{\rho} \bar{\rho} \bar{d} \pm \bar{f} \bar{\mathcal{H}} : \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho(H+\xi)} (\tau_x^s - \tau_x^b) + T_x + \lambda \Delta u \tag{2}$$

$$y \, \bar{j} \, \bar{j$$

式中:  $\tau_x^s$ ,  $\tau_y^s$  分别为风对海面的剪切应力在 x 和 y 方向的分量,  $\tau_x^s = \rho_a C_w | W - U | (w_x - u); \tau_y^s = \rho_a C_w | W - U | (w_y - v); | W - U | = <math>\sqrt{(w_x - u)^2 + (w_y - v)^2}; \rho_a$  为空气密度;  $\lambda$  为涡动黏滞系数;  $C_w$  为风对波动水面的剪切系数,通常对于开敞海域的中等风和强风来讲,取 0.002 6 就可以保证良好的计算结果<sup>[5]</sup>, 但是对于微风而言,需要使用更小的系数; W 为海面上空 10 m 处 10 min 风速的平均值<sup>[6]</sup>;  $w_x$ ,  $w_y$  分别为风速 W 在 x 和 y 方向的分量;  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}; T_x = -\frac{1}{\rho H} \left( \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right); T_y = -\frac{1}{\rho H} \left( \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right); S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{yx} & S_{yy} \end{pmatrix}$ 为波浪辐射应力;  $\tau_x^b$  和  $\tau_y^b$  为波浪潮流共同作用下的 x 和 y 方向的底部剪切应力,采用下式计算:

$$\begin{aligned} \tau_x^b &= \frac{\rho g u \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2} + \frac{\pi \rho}{8} f_w u_w \sqrt{u^2 + v^2} + \sqrt{2} \ \frac{B\rho}{\pi} \frac{\rho}{C^2} f_w u_w \sqrt{u^2 + v^2} \\ \tau_y^b &= \frac{\rho g v \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2} + \frac{\pi \rho}{8} f_w v_w \sqrt{u^2 + v^2} + \sqrt{2} \ \frac{B\rho}{\pi} \frac{\rho}{C^2} f_w v_w \sqrt{u^2 + v^2} \end{aligned}$$

其中: u,, v, 为波浪底质点速度,无浪时其值为零; B为波浪潮流相互影响系数, B=0.359; f, 为波浪底部摩阻

系数,取为:

$$f_{\rm w} = \begin{cases} \exp\left[-5.977 + 5.213\left(\frac{a_{\rm b}}{\gamma_{*}}\right)^{-0.194}\right] &, 1.47 < \frac{a_{\rm b}}{\gamma_{*}} < 300 \\ 0.32 &, \frac{a_{\rm b}}{\gamma_{*}} \le 1.47 \end{cases}$$

其中: $\gamma_*$ 为床面粗糙尺度, $\gamma_* = 120 d_{50}$ ; $a_b$ 为床面附近水质点的振幅。

#### 2.2 悬沙浓度控制方程

泥沙运动以悬移质为主时,采用考虑沉降和再悬浮的对流扩散方程:

$$\frac{\partial HS}{\partial t} + \frac{\partial HSu}{\partial x} + \frac{\partial HSv}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( H\varepsilon_t \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( H\varepsilon_t \frac{\partial S}{\partial y} \right) + S_{\rm m} \tag{4}$$

泥沙沉降和再悬浮的公式如下:

沉降时:
$$S_{\rm D} = \omega S_{\rm b} \left( 1 - \frac{\tau_{\rm b}}{\tau_{\rm ed}} \right), \tau_{\rm ed} > \tau_{\rm b};$$
 再悬浮时: $S_{\rm E} = \begin{cases} E(e^{\alpha \sqrt{\tau_{\rm b}} - \tau_{\rm ee}}), (软底床) \\ E\left(\frac{\tau_{\rm b}}{\tau_{\rm ee}} - 1\right)^n, (硬底床), \tau_{\rm b} > \tau_{\rm ee} \end{cases}$ 

其中: S 为泥沙浓度, $S_m$  为底边界泥沙通量; $\tau_b$  为瞬时床底剪切应力, $\tau_{ed}$  为淤积临界剪切应力, $\tau_{ee}$  为侵蚀临 界剪切应力; $\varepsilon_i$  为泥沙扩散系数;E 为控制侵蚀速度的比例因子; $\alpha$  为软底床的侵蚀系数;n 为硬底床的侵蚀 指数; $\omega$  为泥沙沉降速度; $S_b$ 为泥沙近底浓度。

# 2.3 悬移质引起的海床演变方程

已有研究表明,洋口港区地形冲淤变化主要由悬移质输移引起。由于流速引起的泥沙输移远大于泥沙 自然扩散,因此在计算海床演变方程中,泥沙扩散系数 $\varepsilon_i$ 项可以不考虑<sup>[7]</sup>, $\eta$ 为由悬沙造成河床淤积或冲刷 的厚度, $\gamma_s$ 为泥沙的干密度。

悬沙运动方程为: 
$$\frac{\partial HS}{\partial t} + \frac{\partial HSu}{\partial x} + \frac{\partial HSv}{\partial y} + S_{\rm m} = 0$$
 (5)

海床变形方程为: 
$$\gamma_s \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial HS}{\partial t} + \frac{\partial HSu}{\partial x} + \frac{\partial HSv}{\partial y} = 0$$
 (6)

由此可得河床变形方程的另一种形式: $\gamma_{s} \frac{\partial \eta}{\partial t} = S_{m}$ 。

## 2.4 定解条件

(1)初始条件 初始时刻给定水位为常数,流速场为零。

(2)边界条件 固边界条件:水流固壁边界的法向方向流速满足不可入边界条件,其法向流速为0;开边 界条件:即水域边界条件,本次研究中开边界采用潮位控制,边界处潮位过程采用 MIKE21 自带的 global 软 件生成后调试得到。

(3)动边界 模型中考虑了动边界内网格节点的干湿变化。采用 h<sub>dry</sub>, h<sub>flood</sub>和 h<sub>wet</sub>三个参数判定网格节 点干湿状态,确定潮滩处网格单元是否露滩和是否参与计算;通常 h<sub>dry</sub> <h<sub>flood</sub> <h<sub>wet</sub>。

# 2.5 数值求解方法

采用有限体积法(Finite Volume Method)求解数学模型。从各个物理量在有限大小的控制体积中守恒的 原理出发,其离散方程要求因变量的积分守恒对任意一组控制体积都得到满足,自然对于整个计算区域也得 到满足,这是有限体积法最大的优点<sup>[8]</sup>,其方程离散及求解过程请参考文献[9]。

模型计算网格为三角网格,采用显式格式离散方程。

3 潮流泥沙数学模型验证

# 3.1 潮流模型验证

为准确模拟工程区域水动力和泥沙运动,模型计算范围取东西长约105 km,南北宽约41 km,该计算域





Fig. 4 Verification of velocity and flow direction during neap tide

## 3.2 含沙量验证

在潮流场验证良好的基础上,对洋口港工程区域实测含沙量过程进行验证,泥沙参数主要取值如下:本海区悬沙平均中值粒径为0.016 mm,泥沙沉降速度为0.08 cm/s;按照沙玉清的经验公式计算临界淤积剪切应力,按照张瑞谨的经验公式计算临界冲刷切应力;港区的海床分为两层:上层为软底床,即泥沙最新落淤的床层。软泥的干密度为100~400 kg/m<sup>3</sup>,具体数值取决于各自的环境,同时和新淤积泥沙的湿重度也有密不可分的关系<sup>[11]</sup>,而硬泥则是由底质粒径按照公式  $\gamma_d = 1$  750 ×  $d^{0.183}$  计算<sup>[12]</sup>;床层间的泥沙转换率取为



0.01 kg/(m<sup>2</sup>·s)。图 5 为部分测点小潮含沙量验证,经统计,一个潮周期内各测点平均含沙量计算值与实测值的误差基本满足《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》(JTS/T 231-2-2010)中误差小于 30% 的要求。

Fig. 5 Verification of sediment concentration during neap tide

#### 3.3 地形验证

采用 2009 年 4 月至 2010 年 4 月实测水下地形为模型验证地形。图 6 为洋口港区烂沙洋北水道航槽内 实测和计算的对应一年内的淤积分布图,航槽内实测年淤积量为 361.45 万 m<sup>3</sup>,年平均淤积厚度为 0.34 m。 模型计算的航槽内年淤积量约为 312.2 万 m<sup>3</sup>,平均淤积厚度为 0.3 m,计算平均冲淤厚度与实测值误差为 13.6%,满足规程中计算与实测平均冲淤厚度偏差小于 30% 的要求。



Fig. 6 Verification of topographic change of the northern Lanshayang tidal channel

# 4 航道方案工程前后潮流特性分析

二期航道需进行疏浚增深,工可阶段布置2个方案;为研究工程建设后航道附近流场变化,沿航道轴线 布置36个采样点(图7),各采样点涨落潮时最大横流流速见表1。

方案 1(一期航道轴线的延伸):航道口门  $A_0$  点设置在 20 m 等深线附近(15 万 t 级油轮开始乘潮进港 处)。船舶由口门  $A_0$  点,按一期工程航道延伸方向进港,船舶按航向 274°航行 32.6 km 至  $A_1$  点,转航向 281°航行约 5.7 km 至港池水域前沿的  $A_2$  点。航道全长约 38.2 km。

方案 2(轴线北偏,减少疏浚工程量):考虑建设疏浚工程量、并与现有 LNG 内锚地保持一定安全距离要



(b) 采样点布置

图 7 航道方案和采样点布置

Fig. 7 Layout of two schemes and their measuring points

表1 航道方案大潮最大横流比较

Tab. 1 The maximum values of transverse flow during spring tide

(m/s)

	方案1			方案2			方案 1			方案2	
测点	涨潮	落潮									
HD1-4	0.24	0.24	HD2-4	0.24	0.25	HD1-14	0.37	0.29	HD2-14	0.38	0.29
HD1-5	0.25	0.26	HD2-5	0.25	0.27	HD1-15	0.40	0.31	HD2-15	0.40	0.32
HD1-6	0.28	0.28	HD2-6	0.28	0.29	HD1-16	0.41	0.32	HD2-16	0.42	0.33
HD1-7	0.30	0.30	HD2-7	0.30	0.30	HD1-17	0.42	0.33	HD2-17	0.45	0.34
HD1-8	0.32	0.32	HD2-8	0.32	0.32	HD1-18	0.43	0.33	HD2-18	0.46	0.35
HD1-9	0.33	0.33	HD2-9	0.38	0.30	HD1-19	0.44	0.34	HD2-19	0.48	0.36
HD1-10	0.37	0.32	HD2-10	0.38	0.31	HD1-20	0.42	0.33	HD2-20	0.50	0.37
HD1-11	0.36	0.31	HD2-11	0.38	0.31	HD1-21	0.41	0.31	HD2-21	0.48	0.35
HD1-12	0.35	0.31	HD2-12	0.37	0.30	HD1-22	0.39	0.29	HD2-22	0.38	0.28
HD1-13	0.35	0.28	HD2-13	0.37	0.29						

分析工程前后航道内流速及横流情况,可以得到以下主要结论:

(1)工程方案实施后,航道疏浚段内涨潮流速变化略有减小;落潮流速略有增加,其中,方案1落潮流平均流速最大增幅为0.05 m/s,方案2 落潮平均流速最大增幅为0.03 m/s,体现了一定的落潮归流特点。

(2)工程方案实施后,2个方案港池内涨落潮平均流速呈减小趋势,且落潮平均流速减小幅度略大于涨 潮平均流速的减小幅度,最大减幅均为0.03 m/s。

(3)方案1航道开挖段的最大横流流速为0.44 m/s(HD1-19),方案2航道开挖段的最大横流流速为0.50 m/s(HD2-20);由于外海旋转流特征明显,因此航道非开挖段测点的横流较大。

5 航道方案回淤计算分析

## 5.1 常风天泥沙回淤计算

采用2003年4月水文验证中的大潮、中潮和小潮组 合潮型作为潮位边界,采用西太阳沙测波站-12m等深 线处平均潮位有效波高为0.41m的波高验证推算相应的 平均波浪场。为定量分析航道沿程的泥沙淤积情况,分 别对航道方案1、2进行了分段统计分析,见图8和表2。



Tab. 2 Annual siltation in dredging sections of two schemes 淤积量/ 疏浚深度/ 回淤强度/ 疏浚深度/ 回淤强度/ 淤积量/ 分 段 分 段  $(10^4 \, m^3 \, \cdot \, a^{-1})$  $(\,10^4\,m^3\,\,\cdot\,\,a^{-1}\,)$  $(m \cdot a^{-1})$  $(m \cdot a^{-1})$ m m 1 - 133.9 2 - 11.04 1.06 36.4 0.61 0.65 1 - 22.55 0.82 40.2 2 - 22.56 0.79 38.5 1 - 33.14 0.94 45.1 2 - 33.14 0.91 44.1 1 - 43.66 0.99 47.8 2 - 43.66 0.95 45.7 1 - 54.04 1.01 46.0 2 - 53.95 1.02 47.7 4.201.19 63.3 2 - 63.91 1.19 62.3 1 - 61 - 72 - 74.01 1.37 72.8 3.57 1.26 65.3 1 - 83.78 1.40 73.9 2 - 83.42 1.14 59.2 1 - 92 - 93.80 1.32 70.8 3.71 1.01 52.8 1 - 103.85 1.26 67.3 2 - 103.83 1.06 55.2 1 - 113.52 1.09 58.0 2 - 113.15 0.79 40.8 22.4 1 - 122.45 0.93 49 7 2 - 121.11 0.55 1 - 130.80 0.49 24.4 693.2 570.4 平 均 3.14 1.03 平 均 3.09 0.94 (年回淤总量) (年回淤总量)

由表2可见,从各分段的疏浚深度及相应的回淤强度来看,疏浚深度越大,泥沙回淤强度也越大。

# 5.2 大风天泥沙回淤估算

采用水文验证中的大潮潮型作为潮位边界,波浪按照10年一遇不利风向的风速进行推算,其中9级风按SSE向风作用6h、风速为22.73 m/s;10级风按NNE向风作用6h、风速为26.48 m/s。

大风天气时水体紊动强烈,挟带泥沙粒径大于常风天悬沙平均粒径。实测资料显示,6级风作用下,水体底层悬沙中值粒径为0.09 mm 左右,水体表层中值粒径为0.016 mm,因此本次计算中考虑泥沙的粒径分组,即采用0.016 和0.090 mm 两种中值粒径,泥沙沉速分别取为0.8 和4.0 mm/s,泥沙干密度分别为821 和1 126 kg/m<sup>3</sup>。计算结果表明,一场10级风作用下,航道分段最大回淤强度小于30 cm。

需要补充说明的是:由于本次研究缺少大风天泥沙实测资料,无法开展大风天泥沙回淤验证,模拟结果 与实际是有区别的,泥沙物理过程的一些参数选取决定了淤积强度的大小。

# 6 结 语

本文采用洋口港区海域大范围二维潮流泥沙数学模型开展工程区域潮流场和航道回淤研究,计算结果 表明:航道开挖方案实施后,海区内潮流场变化不大,航道内涨、落潮流速变化幅度小于0.05 m/s;方案1 和 2 航道开挖段的最大横流流速分别为0.44 和0.50 m/s;方案1 实施后,航道疏浚段内回淤强度最大值为 1.40 m/a,平均回淤强度为1.03 m/a,回淤总量为693.2 万 m<sup>3</sup>/a;方案2 实施后,航道内回淤强度最大值为 1.26 m/a,平均回淤强度为0.94 m/a,回淤总量为570.4 万 m<sup>3</sup>/a;一次10 级大风过程航道内分段最大淤积 强度小于30 cm。因此,初步论证了烂沙洋北水道航道开挖是可行的,且方案2 优于方案1。

# 参考文献:

- [1] 李成治, 李本川. 苏北沿海暗沙成因的研究[J]. 海洋与湖沼, 1981, 12(4): 321-331. (LI Cheng-zhi, LI Beng-chuan. Studies on the formation of Subei sand cays[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 1981, 12(4): 321-331. (in Chinese))
- [2] 夏东兴, 刘振夏. 潮流脊的形成机制和发育条件[J]. 海洋学报, 1984, 6(3): 361-367. (XIA Dong-xin, LIU Zheng-xia. The formation mechanism and development condition of tidal ridge[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1984, 6(3): 361-367. (in Chinese))
- [3] 朱大奎,傅命佐. 江苏岸外辐射沙洲的初步研究[M]//江苏省海岸带东沙滩综合调查文集. 北京:海洋出版社,1986: 28-32. (ZHU Da-kui, FU Ming-zuo. A preliminary study on Jiangsu offshore radial sand ridge[M]//Report on a Comprehensive Curvey of Dongsha Bank of Jiangsu Coastal Zone. Beijing: China Ocean Press, 1986: 28-32. (in Chinese))
- [4] 黄易畅,王文清. 江苏沿岸辐射状沙脊群的动力机制探讨[J]. 海洋学报, 1987, 9(2): 209-215. (HUANG Yi-chang, WANG Wen-qing. Study on dynamic mechanism of the radial sand ridges along the coast of Jiangsu[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1987, 9(2):209-215. (in Chinese))
- [5] 左书华. 岛群海域环境下淤泥质海床泥沙运动规律研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011. (ZUO Shu-hua. Study on sediment movement of muddy seabed in archipelago waters[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011. (in Chinese))
- [6] 邱大洪. 工程水文学[M]. 北京:人民交通出版社, 1999. (QIU Da-hong. Engineering hydrology[M]. Beijing: China Communications Press, 1999. (in Chinese))
- [7] 温洪涌. 海岸泥沙输移的数值模拟及其应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2008. (WEN Hong-yong. Numerical simulation of sediment transport in coastal area and its application[D]. Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese))
- [8] 邱兆山. 有限体积法及其在近岸潮流计算中的应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2003. (QIU Zhao-shan. Finite volume method and its application of tidal flow simulation[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2003. (in Chinese))
- [9] 吕洪波. 基于有限体积法二维水流模型系统及其应用[D]. 天津: 天津大学, 2009. (LV Hong-bo. Study on the system of the planar-flow model based on finite volume method and its application [D]. Tianjin: Tianjin University, 2009. (in Chinese))
- [10] 王仙美, 翟剑峰, 朱志夏, 等. 南通港洋口港区烂沙洋北水道二期航道工程二维潮流泥沙数模研究报告[R]. 南京: 江 苏省水运工程技术研究中心, 2013. (WANG Xian-mei, ZAI Jian-feng, ZHU Zhi-xia, et al. The 2-D tidal current and sediment numerical research report of the second phase navigation project using the north water channel of Lanshayang of Yangkou port[R]. Nanjing: Water Transport Engineering Research Center of Jiangsu Province, 2013. (in Chinese))
- [11] 韩其为,王玉成,向熙珑. 淤积物的初期干容重[J]. 泥沙研究, 1981(1): 1-13. (HAN Qi-wei, WANG Yu-cheng, XIANG Xi-long. Initial specific weight of deposites[J]. Journal of Sediment Research, 1981(1): 1-13. (in Chinese))
- [12] 罗肇森. 潮汐通道口拦门沙航道的淤积计算[J]. 海洋工程, 1992(3): 32-40. (LUO Zhao-sen. Prediction of sedimentation for the navigation channel of a tidal inlet with mouth bar[J]. The Ocean Engineering, 1992(3): 32-40. (in Chinese))

# Feasibility studies of waterway excavation in the northern Lanshayang tidal channel in Yangkou port area

QU Hong-ling, YOU Wei, MA Hong-liang

(Jiangsu Provincial Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Water Transport Engineering Research Center of Jiangsu Province, Nanjing 211100, China)

**Abstract**: On the basis of field data about wind, tidal current, wave and sediment, the natural conditions including meteorological, hydrological, and geomorphological conditions of the coastal area near the Yangkou port in the radial sand ridges are analyzed. A 2-D wave-tidal current-sediment mathematical model is established and used to simulate the changes in tidal current and sediment after the waterway excavation and to predict the annual siltation volume and the silting-up distribution under the strong-wind weather conditions. The analysis results show that the influence of the waterway excavation on tidal current field is not significant, except a slight variation of the current speed along the dredged section. The annual siltation volume is less than 7 million m<sup>3</sup>, and the sudden siltation will not happen under the strong-wind weather conditions. Therefore, the feasibility of the waterway excavation in the northern Lanshayang tidal channel preliminarily proved would be available.

Key words: radial sand ridges; waterway excavation; tidal current; sediment silting-up; numerical simulation