

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2025.02.028

# 水动力学数值模拟在磨刀门水道高桩码头 防洪影响评价中的应用研究

景亚平<sup>1</sup>, 何佩珊<sup>1</sup>, 闫彩<sup>2</sup>

(1. 广州珠江水资源保护科技发展有限公司, 广东 广州 510610;

2. 水利部珠江水利委员会水文水资源局, 广东 广州 510610)

**摘要:** 水动力学数值模拟已经成为研究涉水工程中各类水流问题的重要手段之一, 为了研究其在高桩码头防洪影响评价中的应用, 以广东省西江磨刀门水道上的神湾港码头工程为例, 通过对码头及所在西江下游河道建立二维数学模型, 并对比分析工程前后不同工况下的模拟结果。结果表明: 高桩码头工程建设引起的局部河段水位壅高及流速、流向变化较小, 对工程河段行洪没有产生明显的不利影响; 工程建设对河势、河槽及河道水力轴线的影晌仅限于码头位置局部河段, 没有对磨刀门水道整体的行洪、航运等产生明显影响; 模型计算成果与神湾港码头工程建成运行近20年的实际情况相符。表明水动力学数值模拟在磨刀门水道高桩码头防洪影响评价中具有较好的适用性。

**关键词:** 水动力学数值模拟; 磨刀门水道; 高桩码头; 防洪影响评价

中图分类号: TV131.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2025)02-0205-08

## Application of Hydrodynamic Numerical Simulation in Flood Control Impact Assessment of High-piled Wharf in Modaomen Waterway

JING Yaping<sup>1</sup>, HE Peishan<sup>1</sup>, YAN Cai<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Pearl River Water Resources Protection Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510610, China;

2. Bureau of Hydrology and Water Resources, Pearl River Water Resources Commission,  
Ministry of Water Resources, Guangzhou, Guangdong 510610, China)

**Abstract:** Hydrodynamic numerical simulation has become one of the essential methods for analyzing various water flow problems in hydraulic engineering. To investigate its application in flood control impact assessment for high-pile wharves, this study takes the Shenwan Port Wharf Project on the Modaomen Waterway of the Xijiang River as an example. A two-dimensional mathematical model was established for the wharf and the downstream river reach of the Xijiang River. By comparing and analyzing the simulation results under different conditions before and after the project, it was found that the construction of the high-pile wharf induced minor changes in local water level rise, flow velocity, and flow direction, which are insufficient to cause significant adverse impacts on flood discharge in the project river reach. The influence of the project on river regime, riverbed, and the hydrodynamic axis of the waterway was also limited to the local reach around the wharf and did not have a noticeable impact on the overall flood discharge and navigation of the Modaomen Waterway. The model's computational results align with the actual conditions observed during nearly 20 years of operation of the Shenwan Port Wharf, indicating that hydrodynamic numerical simulation is highly applicable to flood control impact assessments for high-pile wharves on the Modaomen Waterway.

**Keywords:** hydrodynamic numerical simulation; Modaomen waterway; high pile wharf; flood impact assessment

ment

收稿日期: 2024-11-13

修稿日期: 2024-12-19

基金项目: 广东省科技计划项目(2003B1212070031); 珠江流域水环境科学数据平台(2024.1—2026.12)

作者简介: 景亚平(1984—), 男, 高级工程师, 主要从事水文与水资源相关业务咨询、实践及科研工作。E-mail: 392745264@qq.com

近年来,随着全球气候变化加剧导致的极端降雨事件频发,洪涝灾害已成为威胁人类生命财产安全和社会经济发展的重大风险之一<sup>[1]</sup>。根据联合国减灾署(United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR)统计,过去 20 年间,全球范围发生的灾害事件中洪涝灾害约占 44%<sup>[2]</sup>,全球每年因洪灾造成的经济损失超过 400 亿美元,且受灾人口数量呈持续上升趋势。在此背景下,进行科学精准的防洪评价成为优化涉河工程布局、降低灾害风险的重要手段。然而,传统评价方法多依赖历史水文观测数据与经验公式,难以有效模拟复杂地形下的水流运动特征,尤其在城市化进程加快、河道形态异质性变化增强的今天,传统评价方法的局限性愈发显著<sup>[3]</sup>。

目前,计算水动力学数值模拟技术的研究较为成熟,一维、二维数学模型已成为研究河道水动力学变化特性的重要手段之一<sup>[4]</sup>。其中,二维水动力数值模拟技术作为水文学与计算流体力学交叉融合的产物,通过求解二维浅水方程(Shallow Water Equations, SWEs)实现对水流演进过程的动态模拟,能够精确反应洪水淹没范围、流速分布及水位变化等关键参数<sup>[5]</sup>。相较于传统一维模型,二维模型可更真实地反映河道弯曲、漫滩分流、地形起伏等对洪水传播的影响,为防洪评价提供高分辨率的空间决策依据。近年来,随着高性能计算(HPC)与地理信息系统(GIS)技术的突破,该技术已在流域洪水风险图绘制、城市内涝预警及堤防工程优化等领域展现出显著优势<sup>[6-7]</sup>。如:钟黎雨等<sup>[8]</sup>开展了珠江三角洲洪潮数值模拟分析,张永强等<sup>[9]</sup>对胶州湾大桥建设前后湾内泥沙冲淤开展了数值模拟,黄小利等<sup>[10]</sup>对长江叙渝段最不利通航水位进行了数值模拟分析,许栋等<sup>[11]</sup>在海南南渡江下游建立了二维水动力及水生态数值模拟,何杰等<sup>[12]</sup>深入分析了港珠澳大桥对珠江口水域水动力影响的数值模拟。

本文以西江磨刀门水道神湾港码头工程防洪影响评价为例,拟建立西江下游河道及神湾港码头的二维数学模型,结合历史洪水实测数据验证模型的可靠性,并通过实例分析探讨水动力学数值模拟技术在磨刀门水道高桩码头防洪影响评价中的应用与实际对比,以期类似条件下的工程提供参考。

## 1 二维数学模型原理

二维数学模型是一种用数学方程描述水流在平面二维中发生的运动和变化的模型。该模型一般基

于流体动力学的基本方程(包括:质量守恒、动量守恒和能量守恒等方程),描述水的运动和水面高度变化情况。上述特征使得二维数学模型的模拟结果能够较好地满足防洪影响评价的分析要求,故在河道、河口、海湾的水动力学数值模拟分析中得到广泛应用<sup>[13]</sup>。

### 1.1 基本方程

平面二维数学模型主要用于较为细致地计算工程河段局部的流速和流场形态变化,其基本方程由水流连续性方程和运动方程组成<sup>[14]</sup>:

水流连续性方程:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

水流运动方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial x} + g \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2 h} = v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} + g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2 h} = v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

式中: $x, y, t$  分别为空间、时间坐标; $z$  为水位,  $m$ ;  $M, N$  分别为单宽流量在  $x, y$  方向的分量,  $m^3/s$ ,  $M = hu, N = hv$ ;  $H = h_0 + \eta$ ;  $h$  为水深,  $m$ ,  $h_0$  为初始水深;  $u, v$  分别为垂向平均流速在  $x, y$  方向的分量,  $m/s$ ;  $c$  为谢才系数,  $c = n^{-1} \cdot R^{1/6}$ ;  $n$  为曼宁糙率系数,  $R$  为水力半径,  $m$ ;  $v_t$  为紊动黏性系数;  $g$  为重力加速度。

### 1.2 计算方法

基本方程组采用 ADI 法离散,其主要技术路线为:设  $\Delta t, \Delta x, \Delta y$  分别为时间步长和  $x, y$  方向空间步长,  $k, i, j$  分别为时层数和  $x, y$  的步长数;在  $x-y$  平面上采用交错网格,并给定各变量( $z, u, v, h$ )的计算点;在时间上采用将  $\Delta t$  分成两个半步长,计算采用隐、显格式交替隐、显进行,在  $k \cdot \Delta t(k + 0.5) \cdot \Delta t$  半步长上用隐格式离散连续方程和  $x$  方向上的动量方程,并用追赶法求得  $(k + 0.5) \cdot \Delta t$  时层上的  $z$  和  $u$ ,对  $y$  方向上的动量方程则用显格式离散,并求得  $(k + 0.5) \cdot \Delta t$  时层上的  $v$ ,然后在  $(k + 0.5) \cdot \Delta t(k + 1) \cdot \Delta t$  半步长上用隐格式离散连续方程和  $y$  方向上的动量方程,并用追赶法求得  $(k + 1) \cdot \Delta t$  时层上的  $z$  和  $v$ ,对  $x$  方向上的动量方程则用显格式离散,并求得  $(k + 1) \cdot \Delta t$  时层上的  $u$ 。采用的网格格式如图 1 所示。

经推导,方程(1)~方程(3)在 $k$ 层上 $x$ 向的离散格式整理如下:

$$\text{潮流连续方程: } Au_{i-1,j} + Bz_{i,j} + Cu_{i+1,j} = f \quad (4)$$

$$\text{潮流动量方程: } A_1z_{i-1,j} + B_1u_{i,j} + C_1z_{i+1,j} = f_1 \quad (5)$$

$$A_2z_{i,j+1} + B_2v_{i,j} + C_2z_{i,j+1} = f_2 \quad (6)$$

式中: $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $f$ 、 $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $f_1$ 、 $A_2$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ 、 $f_2$ 等为离散系数。

对离散后的基本方程组采用追赶法进行求解,求解过程可参见参考文献[15-16]。

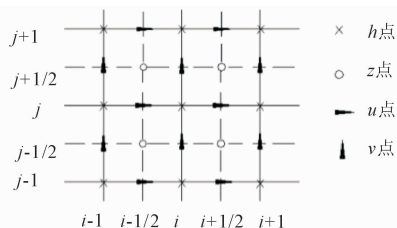


图1 ADI法物理量布置图

## 2 应用分析

### 2.1 研究项目概况

中山市神湾港装卸点码头(简称“神湾港码头”)位于中山市西南部神湾镇磨刀门水道的磨刀门岛西岸,与珠海市斗门区隔江相望。距离中山市城区28 km,距离珠海市城区35 km。

神湾港码头分“一期工程”和“续建工程”两期实施,现状已建成4个1 000 t级多用途泊位<sup>[17]</sup>(“一期工程”和“续建工程”各有2个1 000 t级多用途泊位),设计件杂货年总吞吐量为23万t,集装箱年吞吐量10万TEU。码头前沿水深超6 m,航道平均水深超12 m(5 000 t级内河驳船可常年通航)。码头港区规划陆域总占地面积约12万m<sup>2</sup>,堆场面积约10万m<sup>2</sup>,后方陆域与码头间通过3座引桥连接,现已升级为国家一类口岸。神湾港码头与磨刀门水道的位置关系如图2所示。



图2 神湾港码头工程位置及磨刀门水道岸线历史变化图

### 2.2 所在河段情况

神湾港码头的建设地点位于中山市神湾镇西南的磨刀口水道,神湾镇之西侧,西江汊流之东岸,为

西江、北江三角洲南部沉积区,与珠海市斗门区隔河相望。磨刀门水道是珠江八大口门中径流量最大的河口,是珠江河口最主要的泄洪和取水通道<sup>[17-18]</sup>。

工程位置河段河面平均宽度约为 500 m,陆域地形较为平坦,高程在  $-0.7\text{ m}\sim 0.4\text{ m}$  之间,种植大量香蕉、水稻,植被较发育,水陆岸坡较缓慢。工程位置河道上游约 7.5 km 处为竹银水文站,下游约 4.3 km 处为竹排沙水位站,下游 17 km 处为灯笼山水文站,均为西北江下游及三角洲平原河网区的国家基本水文测站。其中竹银水文站和竹排沙水位站均位于神湾港码头工程位置上下游 10 km 范围内。

## 2.3 二维数学模型模拟及结果分析

### 2.3.1 防洪设计标准

根据《河道管理范围内建设项目防洪评价报告编制导则》(试行),建设项目防洪影响的水文分析计算条件,一般应采用所在河段的现状防洪或规划防洪标准、工程本身的设计标准等,由于神湾港码头工程所在磨刀岛位置为磨刀门水道的江心洲,现状堤围按抵御 20 年一遇洪潮水位设防(规划提升为 50 年一遇),对岸的樵桑联围按抵御 50 年一遇洪潮水位设防,故进行行洪影响计算时取 300 年、200 年、100 年、50 年及 10 年一遇五种洪水频率组次。表 1、表 2 为《西、北江下游及其三角洲网河河道设计洪潮水面线(试行)》(粤水资[2002]40 号文)的水文分析计算成果<sup>[19]</sup>。

表 1 数学模型上游边界条件(潮水为主洪水相应)

洪水频率 $P/\%$	上游边界不同频率流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$							
	马口	三水	老鸦岗	石嘴	大盛	麻涌	漳澎	泗盛
0.33	27679	9121	1200	1930	2290	266	1738	3726
0.5	27679	9121	1200	1930	2290	266	1738	3726
1	27679	9121	1200	1930	2290	266	1738	3726
2	27679	9121	1200	1930	2290	266	1738	3726
10	27679	9121	1200	1930	2290	266	1738	3726

表 2 数学模型下游边界条件(潮水为主洪水相应)

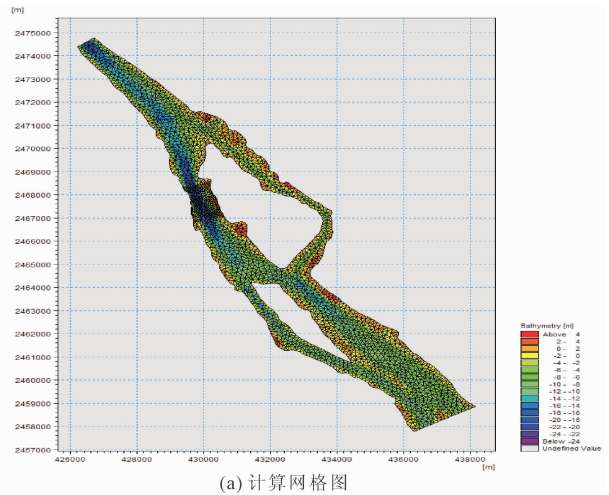
洪水频率 $P/\%$	下游边界相应频率潮位(珠基)/m							
	官冲	西炮台	黄金	灯笼山	横门	万顷沙	南沙	大虎
0.33	3.03	2.66	2.55	2.70	2.85	2.85	2.90	2.57
0.5	2.92	2.60	2.48	2.62	2.77	2.78	2.83	2.52
1	2.76	2.48	2.36	2.48	2.63	2.65	2.69	2.42
2	2.59	2.37	2.23	2.34	2.49	2.52	2.56	2.31
10	2.17	2.09	1.92	1.99	2.15	2.20	2.23	2.05

通过二维数学模型计算可以了解工程局部河段不同工况下的水位及流场变化情况,以此判断其对堤防安全可能造成的影响。

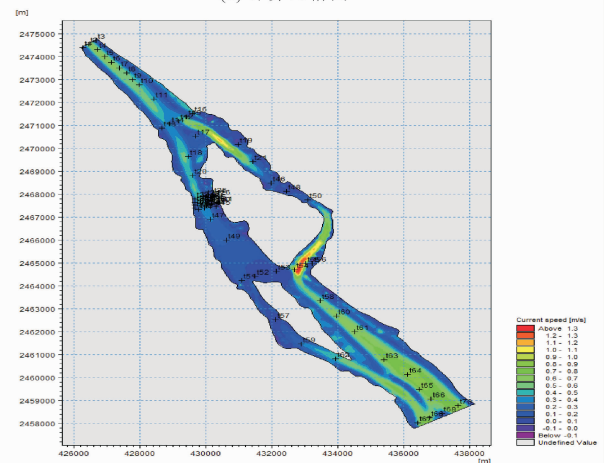
### 2.3.2 模拟条件与参数选取

#### (1) 研究范围及网格布置

二维数学模型计算需要有一个上边界,一个下边界。模型上边界位于拟建神湾港一期码头改造升级工程上游约 7.5 km 断面处(近竹银水文站),下边界位于拟建码头下游约 17 km 断面处(近灯笼山水文站),模拟河道长约 24.5 km。采用三角网格对计算区域进行剖分,节点数为 16 535 个,网格数 31 344 个,网格尺寸最大为  $50\text{ m}\times 50\text{ m}$ 。二维数学模型计算网格剖分图,详见图 3。



(a) 计算网格图



(b) 计算采样点分布图

图 3 二维数学模型计算网格及计算采样点分布图

#### (2) 边界条件

二维数学模型上、下边界条件从表 1、表 2 计算成果采集。

#### (3) 建模地形资料

二维数学模型河道地形资料采用为 2017 年实测 1:1000 河道地形图。

#### (4) 模型参数选取及工程概化

糙率表示河道光滑程度,其值大小与河道形状、

河床组成、河岸类型、河道植被情况等诸多河流地形因素有关,在水力学数值模拟计算时不可缺少<sup>[20]</sup>。由于缺乏工程附近的测流资料,工程区域糙率参照以往研究,取值 0.023 ~ 0.028。

### (5) 模型率定及验证

为验证模型计算的适用性,采用工程所在珠江三角洲网河区主要站点 1999 年 7 月(简称“99.7”)同步实测的水文资料对模型糙率进行率定,表 3 给出了网河计算范围内主要站点的率定和验证结果。由表中模拟成果和实测数据对比可见,计算范围内主要站点水位的计算值与实测值之间的误差均小于 0.1 m,与实测值吻合程度良好。模型计算成果误差符合技术规程规定的精度要求,故本模型可用于工程方案所在河段的二维数值模拟计算。

(6) 码头实体概化。要模拟码头引桥、平台、系靠船墩桩簇等局部范围内的阻力问题,合理概化是计算成果好坏的关键。如果概化合理,与实际情况相符合,则计算成果就能较精确地反映工程的实际阻水束流作用。考虑引桥、码头平台的布置和基桩桩簇密集布置情况,为安全起见,按最不利影响将大堤外码头区域按照全实心不透水形式概化模拟。

### 2.3.3 模拟成果分析

#### (1) 壅水和行洪影响分析

神湾港码头的下部结构(排架、基桩、桩帽等)占用了河道有效过流面积,增大了局部水流阻力,阻挡、阻滞了水流,对河道行洪产生阻水作用,从而壅高行洪水位,对河道行洪造成一定程度的影响。为定量评价神湾港码头工程对所在河道行洪的影响情况,根据二维数学模型计算成果,统计在不同设计洪潮频率下,工程前、后上下游临近河道断面的水位变化,可求得设计水文组合条件( $P=0.33\%$ 、 $0.5\%$ 、

$1\%$ 、 $2\%$ 、 $10\%$ )下,神湾港码头兴建前、后,工程所在河段典型断面的洪潮水位及其变化值(工程后减工程前)模拟成果详见表 4。统计工程建设后,计算工况下磨刀门水道及上下游典型断面水位变化的最大值详见表 5。

由表 4、表 5 可以看出,五种计算频率水文组合条件下,神湾港码头建成后对比建成前,工程位置上游区域与码头所在断面附近河段的水位受工程壅水所致略有上升;对于工程下游河段,则表现为局部水位稍有掉落,但整体变化不大。总体来说,码头建设运行导致的工程河段水位壅高值变化较小,符合技术规程,对磨刀门水道的行洪安全影响较小。

表 3 模型计算范围网河水位率定结果(“99.7”)

站名	实测 /m	模型计算/m	差值 /m	站名	实测 /m	模型计算/m	差值 /m
马口	6.01	6.0103	0.0003	南头	2.71	2.7121	0.0021
甘竹	3.68	3.6804	0.0004	海尾	2.59	2.5811	-0.0089
天河	3.50	3.5035	0.0035	黄沙沥	1.87	1.8746	0.0046
潮莲	2.70	2.6991	-0.0009	横门	1.63	1.6300	0.0000
北街	2.79	2.8141	0.0241	上横	1.83	1.8120	-0.0180
江门	2.80	2.7998	-0.0002	石仔沙	3.75	3.7470	-0.0030
石咀	1.41	1.4147	0.0047	三洪奇水闸	2.77	2.7557	-0.0143
官冲	1.41	1.4100	0.0000	霞石	2.46	2.4528	-0.0072
西炮台	1.43	1.4300	0.0000	勒流	2.78	2.7751	-0.0049
百顷	2.28	2.2802	0.0002	三围	2.38	2.3461	-0.0339
竹洲头	1.71	1.6816	-0.0284	亭角	1.71	1.6846	-0.0254
白蕉站	1.48	1.4646	-0.0154	鱼窝头	1.91	1.9179	0.0079
黄金	1.30	1.3000	0.0000	容奇	2.36	2.3651	0.0051
大敖	2.19	2.1922	0.0022	黄沙	1.76	1.7295	-0.0305
竹银	1.56	1.5636	0.0036	浮标厂	1.79	1.7314	-0.0586
灯笼山	1.31	1.3100	0.0000	大虎	1.52	1.5200	0.0000
三水	5.72	5.7185	-0.0015	泗盛围	1.59	1.5272	-0.0628

表 4 二维数学模型模拟工程前后的水位变化值统计表(部分)

取样点编号	里程 /m	水位/m										备注
		$P=0.33\%$		$P=0.5\%$		$P=1\%$		$P=2\%$		$P=10\%$		
		$h_0$	$h_1 - h_0$	$h_0$	$h_1 - h_0$	$h_0$	$h_1 - h_0$	$h_0$	$h_1 - h_0$	$h_0$	$h_1 - h_0$	
2	...	2.837	0.000	2.757	0.000	2.628	0.000	2.498	0.000	2.179	0.000	竹银水文站位置
4	420	2.734	0.000	2.657	0.001	2.533	0.001	2.408	0.002	2.103	0.003	工程位置上游区域
20	...	1.691	0.021	1.636	0.022	1.549	0.022	1.463	0.021	1.262	0.019	点 22 ~ 45 区间为工程位置
22	7554	1.521	0.016	1.467	0.016	1.380	0.017	1.299	0.016	1.113	0.000	
45	...	1.528	0.008	1.426	0.010	1.404	0.027	1.396	-0.005	1.258	-0.004	
66	23884	2.547	-0.007	2.472	-0.006	2.343	-0.006	2.213	-0.005	1.897	-0.003	工程位置下游区域
67	...	2.671	0.004	2.591	0.004	2.451	0.005	2.312	0.007	1.965	0.011	灯笼山水文站位置

注:表中变化值皆为工程后 - 工程前, $h_0$ 指工程前, $h_1$ 指工程后。

表 5 工程后水位变化最大值统计表

计算工况	$P=0.33\%$	$P=0.5\%$	$P=1\%$	$P=2\%$	$P=10\%$
水位壅高最大值/m	0.031	0.028	0.026	0.026	0.024
水位跌落最大值/m	-0.007	-0.006	-0.006	-0.008	-0.006

注:表中变化值皆为工程后-工程前的绝对值。

## (2) 河势影响分析

河势影响分析主要包括河道水动力变化、滩槽和河岸变化、动力轴线变化等。由于神湾港码头建设导致工程附近过水断面缩窄、阻力增大,从而引起工程附近水域水动力发生变化。为研究工程建设对河势稳定的影响,在工程上、下游 10 km 范围内布置了 67 个流速采样点,采样点布置详见图 3。采样点工程前后的流速、流态变化模拟计算结果详见表 6、表 7。根据模型计算成果绘制工程断面上下游附近河道在神湾港码头建设前后的流场对比图(仅列 1%、10%),详见图 4—图 5。

由表 6、表 7、图 4、图 5 可见,工程后神湾港码头

所在河段典型断面的局部流速有所增加,码头上、下游的流速有所减小。在  $P=0.33\%$  洪潮水位条件下,若以  $0.1\text{ m/s}$  的流速增幅为限,流速变化部位局限于码头平台至其上下游约 200 m 范围以内,流速减小  $0.1\text{ m/s}$  的范围局限于码头上游 10 m 至其下游约 340 m 范围以内;流向变幅相对较大(大于  $5^\circ$ )的点均位于码头附近 150 m 范围内。由此可知,神湾港码头的建设、运行对河道水流流速、流向的影响范围较小。即在不同计算工况下,神湾港码头建设对河道流态的影响因水文条件的不同在量上有所差别,但基本特性不会改变。在工程附近河段,流向基本平顺。神湾港码头工程建设后,从水流平面流态来看,除码头附近外,河道的整体水流流态没有产生明显的变化,即拟建工程对河道的整体水流流态没有产生明显影响,对上、下游河道主流区以及主航道影响不大。

表 6 二维数学模型模拟工程前后采样点流速变化表(部分)

取样点 编号	流速/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )									
	$P=0.33\%$		$P=0.5\%$		$P=1\%$		$P=2\%$		$P=10\%$	
	$f_0$	$f_1-f_0$	$f_0$	$f_1-f_0$	$f_0$	$f_1-f_0$	$f_0$	$f_1-f_0$	$f_0$	$f_1-f_0$
2	0.077	-0.002	0.061	-0.002	0.061	-0.002	0.053	-0.002	0.049	0.000
4	0.069	0.002	0.067	0.002	0.062	0.003	0.063	0.002	0.072	0.003
20	0.100	-0.010	0.103	-0.010	0.106	-0.011	0.105	-0.011	0.091	-0.009
22	0.013	0.001	0.011	0.001	0.025	-0.001	0.044	-0.002	0.087	-0.002
45	0.030	0.002	0.054	0.002	0.091	0.002	0.125	0.002	0.204	0.003
66	0.305	-0.010	0.343	-0.010	0.402	-0.010	0.460	-0.010	0.597	-0.010
67	0.175	-0.006	0.209	-0.006	0.259	-0.006	0.308	-0.006	0.423	-0.006

注:表中变化值皆为工程后-工程前; $f_0$ 指工程前, $f_1$ 指工程后。

表 7 二维数学模型模拟工程前后采样点流向变化表(部分)

取样点 编号	流向/( $^\circ$ )									
	$P=0.33\%$		$P=0.5\%$		$P=1\%$		$P=2\%$		$P=10\%$	
	$f_0$	$f_1-f_0$	$f_0$	$f_1-f_0$	$f_0$	$f_1-f_0$	$f_0$	$f_1-f_0$	$f_0$	$f_1-f_0$
2	166.770	2.700	177.210	2.300	186.770	3.530	204.770	2.680	241.950	1.480
4	194.840	0.340	207.280	-0.940	212.990	-0.890	227.910	-2.430	258.800	-1.510
20	187.750	0.200	189.790	0.000	191.720	0.800	195.050	0.470	200.150	0.960
22	159.750	-0.200	233.680	-6.020	289.090	-3.760	303.260	-1.540	310.650	-0.570
45	342.540	-1.140	327.780	-0.270	323.070	0.090	322.870	0.020	324.010	-0.320
66	341.680	-1.040	341.820	-0.730	341.810	-0.460	341.670	-0.290	341.110	-0.040
67	344.980	-2.290	344.980	-1.560	344.710	-0.960	344.270	-0.580	343.400	-0.150

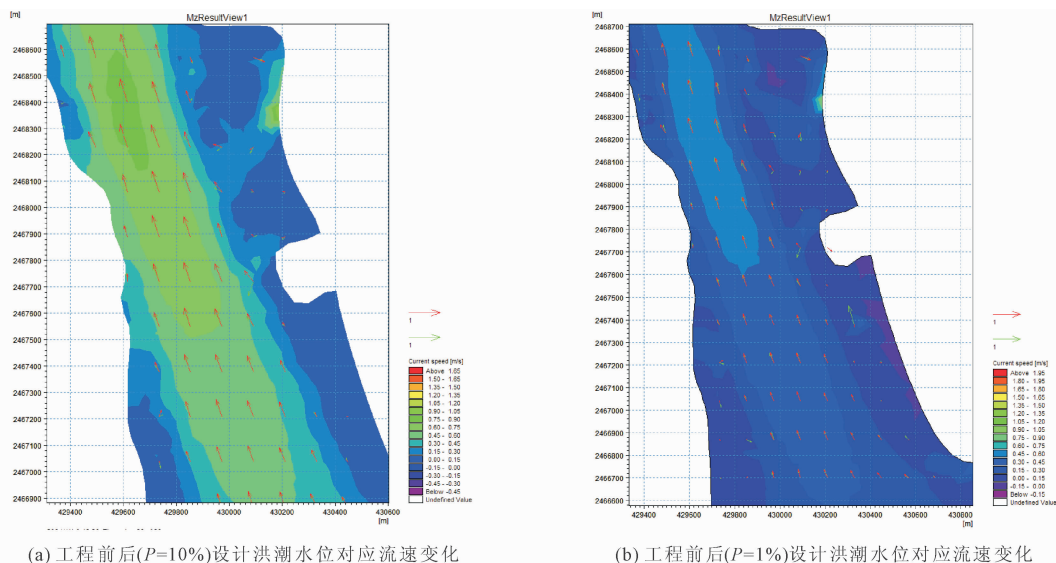
注:表中变化值皆为工程后-工程前; $f_0$ 指工程前, $f_1$ 指工程后。

## 2.4 防洪影响评价分析

### 2.4.1 建设项目对河道行洪的影响评价

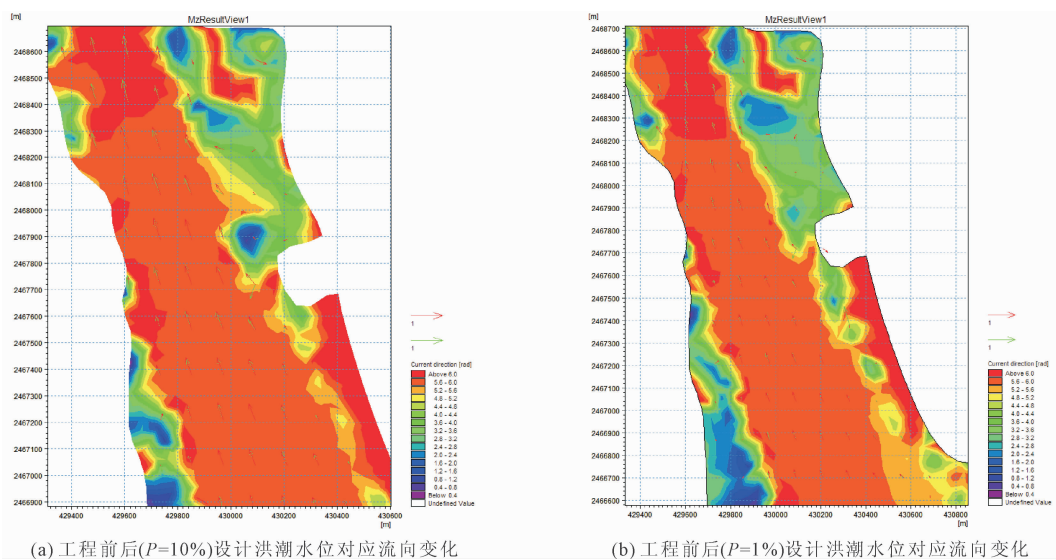
神湾港码头工程所在磨刀门水道磨刀岛段右汉

代表断面河宽约 700 m,河段主槽平均深度达 21 m,经计算求得的工程平均阻水比为 3.62%。根据 2.3.3 节二维数学模型模拟成果分析可知,在  $P=$



注:图中红色箭线代表工程前的流速变化,绿色箭线代表工程后的流速变化;图片底色表征模拟河段不同区域的流速值,参见各图图例,详见附图1。

图 4 工程前后设计洪水水位对应流速变化对比图



注:图中红色箭线代表工程前的流向变化,绿色箭线代表工程后的流向变化;图片底色表征模拟河段不同区域的流向值,参见各图图例,详见附图2。

图 5 工程前后设计洪水水位对应流向变化对比图

0.33%、0.5%、1%、2%、10% 五种设计频率洪水水位条件下,工程实施后对上游洪水水位最大抬高值在 0.031 m 以内,水位壅高值较小。可见,工程建设运行对磨刀门水道的行洪安全影响较小。

#### 2.4.2 防洪及河势影响分析

由 2.3.3 节二维数学模型模拟的成果分析可知,神湾港码头建设对工程附近的分流比、动力轴线影响较小,除了对码头工程附近局部河段的流速、流态有较小影响外,对河道上下游整体流速、流态、滩槽格局影响甚小。可以认为,工程建设对所在河道整体防洪及河势稳定的影响较小。

(1) 神湾港码头工程建成后,除码头工程位置后方及下游附近流态变化稍大外,河道整体流态没有明显变化。流速变化区域局限于码头平台至其上下游约 200 m 范围以内,流向变幅稍大(大于  $5^\circ$ )的区域均位于码头附近 150 m 范围内,流态总体变化较小。

(2) 工程建成后,神湾港码头前沿及上下游流速有所降低,河道主槽流速基本不变,河道水动力轴线基本保持不变,工程对磨刀门水道河道动力轴线的影影响甚微。

(3) 神湾港码头工程建成后,会导致磨刀门水道工程位置处的局部河道流速、流态发生微小变化,

其对河槽变化的影响局限在码头工程上游 10 m ~ 下游 340 m 范围内,主要表现为码头前沿流速减小引起局部淤积、码头下游局部淤积,码头后方与堤防之间减小淤积或发生冲刷。

#### 2.4.3 对国家基本水文测站的影响分析

由 2.3.3 节二维数学模型模拟的成果分析可知,神湾港码头工程建设后,5 ~ 300 年一遇设计洪潮水位条件下,码头上游磨刀门水道水位壅高最大值约 0.031 m,0.01 m 以上的壅水距离约 6.5 km,且主要影响范围集中于工程位置上游河道,因此神湾港码头建设引起的水位变化值极小,且影响范围有限,不会导致上游 7.5 km 处竹银水文站和下游 4.3 km 处的竹排沙水位站水位发生变化。因此,拟建工程实施对上游竹银水文站和下游竹排沙水位站的水位变化影响较小。在各洪水频率下,流速流向影响局限在码头工程上游 10 m ~ 下游 340 m 范围内,竹银水文站和竹排沙水位站均不在流速流向影响范围内。

因此,神湾港码头工程的建设、运行基本不会对竹银水文站和竹排沙水位站水文监测河段及水文测站(断面)的控制特性、水文测验设施设备、测验方案、水文数据资料及测验工作环境等产生影响。

## 3 结 论

本文的研究目的旨在通过水动力学数值模拟分析高桩码头建设对磨刀门水道的水动力影响。通过选用非结构网格对计算水域进行剖分,建立了西江下游河道及神湾港码头的二维数学模型。利用软件模拟工程前后的水动力变化情况,并与工程区域磨刀门水道的实际情况进行对比分析可知具有较好的模拟效果。模型计算结果表明:

(1) 五种设计频率洪潮水位条件下,码头建设运行后对上游洪水水位最大抬高值在 0.031 m 以内,水位壅高值较小,对河道的行洪安全影响较小。

(2) 在各计算频率洪潮水位条件下,神湾港码头建设后对磨刀门水道流速、流向的影响集中在工程附近水域,其最大变化范围在工程上游 10 m ~ 下游 340 m 以内。工程建成后,码头上下游流速有所降低,河道主槽流速基本不变,河道水动力轴线基本保持不变,工程建设对磨刀门水道磨刀岛段的流速、流态和动力轴线影响甚微。

#### 参考文献:

[1] 王 鑫. 不规则地形上浅水动力学数值模型研究[D]. 武汉:武汉大学,2010.  
[2] 黄远东,杨志强,许 冲. 灾害造成的人类损失

(2000—2019)[J]. 中国应急管理,2023(8):46-51.

- [3] Zain Syed, Prince Mahmood, Sajjad Haider, et al. Assessing the utility of hydrological modeling over complex conditions of the Chitral basin Pakistan [J]. J. Water Clim. Chang, 2023(10):251-256.  
[4] 王素云. 基于 MIKE21 FM 的河道洪水数值模拟研究[D]. 郑州:华北水利水电大学,2019.  
[5] 申言霞,周 琦,段艳华,等. 基于多重网格的地表水文与二维水动力动态双向耦合模型研究[J]. 水利学报,2023,54(3):302-310.  
[6] 张 明. 分汊河道航道整治工程中平面二维数学模型的应用[D]. 武汉:长江科学院,2008.  
[7] 宋 雄,李大成,马 黎,等. 二维水动力模型在无资料河段水位流量关系分析中的应用[J]. 水力发电, 2022,48(4):17-23.  
[8] 钟黎雨,余 超. 基于 MIKE 模型的珠江三角洲洪潮数值模拟分析[J]. 人民珠江,2023,44(S2):151-157.  
[9] 张永强,张菀君,迟万清,等. 胶州湾大桥建设前后湾内泥沙冲淤数值模拟[J]. 应用海洋学学报,2020(39):368-376.  
[10] 黄小利,郭志学,陈日东. 基于日调节非恒定流影响的长江叙渝段最不利通航水位数值模拟[J]. 水电能源科学,2016,34(12):78-82.  
[11] 许 栋,王 迪,及春宁,等. 海南南渡江下游二维水动力及水生态数值模拟[J]. 环境科学研究,2017,30(2):214-223.  
[12] 何 杰,辛文杰,贾雨少. 港珠澳大桥对珠江口水域水动力影响的数值模拟[J]. 水利水运工程学报, 2012(2):84-90.  
[13] 王俊杰. Mike 21 在梁济运河长沟船闸防洪影响评价中的应用研究[D]. 济南:山东大学,2009.  
[14] 王小旭. 二维流模型在西关水库溃坝分析中的应用[J]. 水科学与工程技术,2021(3):60-64.  
[15] 王光磊. 二维水动力模型在老哈河铁路桥防洪影响评价中的应用研究[D]. 吉林:吉林大学,2016.  
[16] Wang Zhili, Geng Yanfen. Two-dimensional shallow water equations with porosity and their numerical scheme on unstructured grids[J]. Water Science and Engineering, 2013,6(1):95-109.  
[17] 刘红梅,欧苗生. 为货畅其流打好基础中山兴建神湾港[J]. 珠江水运,2002(3):30.  
[18] 杨 昊,欧素英,傅林曦,等. 珠江磨刀门河口日均水位变化及影响因子辨识[J]. 水利学报. 2020,51(7):869-880.  
[19] 水利部珠江水利委员会. 西、北江及三角洲主要控制水文站设计洪水成果及水位-流量关系复核报告[R]. 广州:水利部珠江水利委员会,2009.  
[20] 孟天翔. 基于 Mike Flood 的清原县海阳河小流域山洪数值模拟[D]. 大连:大连理工大学,2017.