



# 施工产生的悬浮泥沙 对附近海域水质影响的定量预测分析

曾小辉, 吴迪, 肖笋

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北武汉430071)

**摘要:** 为了全面地了解珠海港LNG航道附近海域的潮流分布特征, 在查阅有关该海域及其附近海域水文特征的基础上, 结合模拟区附近的测流站、验潮站资料以及有关前期工作资料, 采用数值模拟方法对工程海区及其附近海域的潮流场状况进行了数值模拟计算, 再现了模拟区的潮流运动过程和特征。在海域潮流场进行模拟计算的基础上, 对挖泥施工过程中产生的悬浮物的扩散浓度场进行预测, 以此来分析建设施工期间对附近海域水质的影响。

**关键词:** 潮流; 疏浚; 悬浮物; 输移扩散; 数值模型

中图分类号: TV 139.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)09-0041-04

## Quantitative analysis and prediction of impact from suspended sediment produced during construction on inshore water quality

ZENG Xiao-hui, WU Di, XIAO Sun

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

**Abstract:** This paper focuses on the quantitative analysis and prediction on the impact of suspended sediment to the inshore water quality during Zhuhai port LNG channel dredging and construction process. To fully understand the distribution of inshore tidal current, on the basis of the inspection on the hydrological characteristics of the project sea area and its nearby waters, combining with the data from the test flow and tide gauge stations, as well as information on the preliminary work, this paper uses a numerical simulation method to simulate and calculates the state of tidal current field of the project sea area and its nearby waters, and reproduces its movement and characteristics. On the basis of the simulation of tidal current field, this model will predict the transport and diffusion of the suspension and be used to analyze the impact to the inshore water quality during construction.

**Key words:** tidal current; dredging; suspended solid; transport and diffusion; numerical model

目前我国对海岸带资源的开发及环境保护问题非常重视, 港湾内的航道整治、码头建设、排污管道的铺设等海洋工程都会产生大量的悬浮污染物, 需要了解这些污染物扩散分布情况, 以确定其影响。对上述问题的数值模拟, 人们已建立了大量的二维数值模型和一些三维数值模型<sup>[1-10]</sup>。由于挖泥船疏浚作业产生的悬浮物主要集中在海面附近的水层里, 流场的垂向变化对污染物的

分布影响很小, 因此本文建立了二维悬浮物输移的数学模型。模型考虑了潮流作用下悬浮物的输运, 同时还考虑了悬浮物的沉降和再悬浮机制, 其计算结果显示了污染物对附近海域的影响。

### 1 潮流数学模型的建立及计算方法

建立潮流数学模型的目的是模拟工程建设前后海区的水动力条件变化, 为水质预测和评价提

收稿日期: 2013-02-01

作者简介: 曾小辉(1982—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事环境影响评价和潮流数值模拟。

供基础。

### 1.1 数学模型

分析码头海域流场特征,建立数学模型,确定污染预测计算参数。

本海域的水平尺度远远大于其深度尺度,海水的垂向混合比较充分,因此流场计算采用深度平均二维化浅水潮波方程。即:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Zu)}{\partial x} + \frac{\partial(Zv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + \frac{gu(u^2 + v^2)^{1/2}}{ZC^2} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - A \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + \frac{gv(u^2 + v^2)^{1/2}}{ZC^2} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - A \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3)$$

式中:  $\zeta$ 为潮位;  $Z=\zeta+h$ ,  $h$ 为基面下的水深;  $u$ ,  $v$ 分别为 $x, y$ 方向的流速分量;  $f$ 为柯氏力系数,  $f=2\omega \sin\varphi$ ;  $\varphi$ 为纬度,  $\omega$ 为地球自转速度;  $C$ 为谢才系数,  $C=1/n(\zeta+h)^{1/6}$ ,  $n$ 为糙率系数;  $A$ 为涡动黏性系数。

### 1.2 定解条件

初始条件:

$$\begin{cases} \zeta(x, y, t) |_{t=t_0} = \zeta_0(x, y, t_0) \\ u(x, y, t) |_{t=t_0} = u_0(x, y, t_0) \\ v(x, y, t) |_{t=t_0} = v_0(x, y, t_0) \end{cases} \quad (4)$$

边界条件: 外海边界采用中国海洋大学 chinatide 程序预报水位, 上边界采用崖门、鸡啼门、磨刀门实测潮位过程线; 陆地固边界为法线方向的速度为0。

### 1.3 计算范围及网格布置

#### 1.3.1 计算范围

数值模拟计算区域如图1所示, 上边界取自珠江口西部四大口门出口的控制水文站, 即崖门官冲站、虎跳门西炮台站、鸡啼门黄金站、磨刀门灯笼山站; 下边界取至外海-60 m等深线; 模型研究范围包括: 黄茅海水域、鸡啼门水域、磨刀门水域。模型研究区域宽约120 km, 长约150 km, 控制水域面积约13 847 km<sup>2</sup>。

#### 1.3.2 网格布置

采用正交曲线网格对计算域进行剖分。大区域内网格剖分成166×136(图2); 小区域内网格剖分成330×262, 工程区网格进行局部加密, 尺度控制在10 m左右。计算时间步长为60 s。

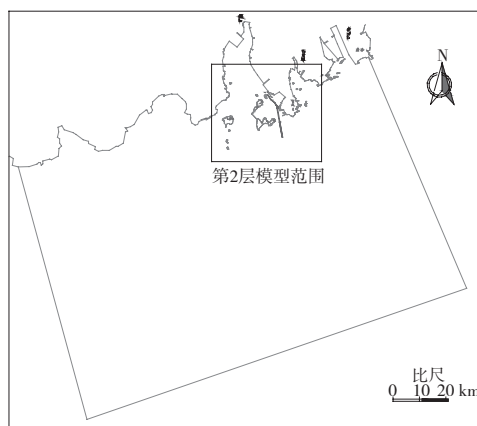


图1 模型计算区域

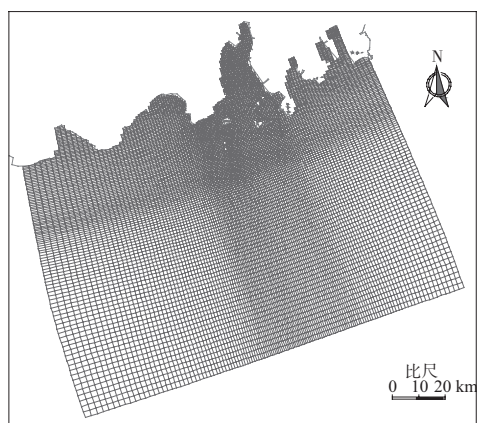


图2 计算网格图

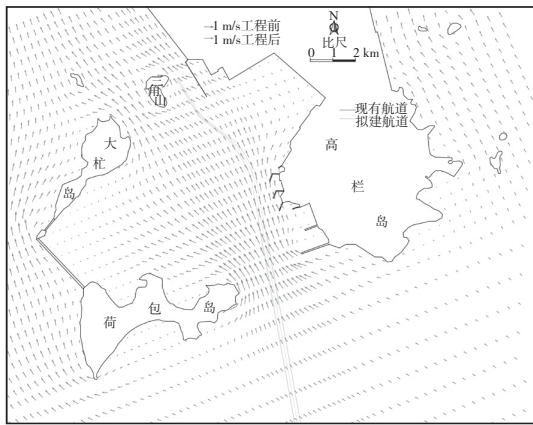
### 1.4 模型验证

本文通过与黄茅海海域海流及潮位实测资料比较, 验证所建潮流模型的模拟精度。根据工程海域的潮位、流速及流向过程线验证情况, 不论是潮位过程还是高、低潮位值, 计算与实测均符合良好; 从测点实测流速与计算流速过程对比, 流速大小很接近, 流向的模拟值与实测值亦较为一致, 说明计算的潮流与实测值吻合较好<sup>[1]</sup>。

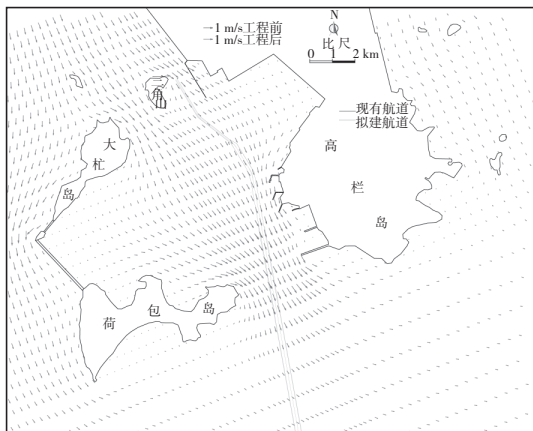
### 1.5 工程前后潮流场变化分析

图3给出了工程前后涨、落急时刻流速对比。

工程仅对部分航道进行浚深, 不修建任何码头、防波堤等挡水建筑物, 对潮流的流态影响不大, 流速流向变化不明显。工程实施后, 对涨、



a) 涨急流态



b) 落急流态

图3 工程前后潮流场对比

落潮流态进行了对比分析, 发现工程附近流态有微小调整。主要集中在航道的上段, 其他工程区域流态变化甚微, 周边流态较为平顺。

本工程实施后, 流速会受到一定的影响, 局部流态会有相应调整, 但影响区域及影响值均不大, 对周边水域流速、流态的影响微小。

## 2 悬浮泥沙扩散影响预测

悬浮泥沙入海后, 在海洋水动力的作用下扩散、输运和沉降, 形成悬浮泥沙浓度场, 对海域环境产生影响。通过预测求得悬沙扩散的浓度场后, 即可依据海水水质标准, 评价其对周围环境的影响程度。

### 2.1 疏浚悬浮泥沙扩散预测模式

预测施工产生的泥沙对水环境的污染影响可采用以下运动方程式计算:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial c}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial c}{\partial x} \right) = Q + Q_B \quad (5)$$

式中:  $u, v$ 为流速, 由前述流场模拟结果提供;  $c$ 为悬沙浓度 (mg/L);  $D_x, D_y$ 分别是 $x$ 和 $y$ 方向上的水平涡动扩散系数;  $K_x = 5.93 \sqrt{g H |U|} / C$ ,  $K_y = 5.93 \sqrt{g H |V|} / C$ ;  $Q$ 为悬沙点源源强;  $Q_B$ 为悬沙海底垂直通量, 包括沉降和再悬浮两项。

有关悬浮泥沙海底垂直通量 $Q_B$ 的计算, 按下式计算:

$$Q_B = -s\omega(1-R) \quad (6)$$

式中:  $s$ 为床面处悬沙浓度;  $\omega$ 为泥沙颗粒沉降速率;  $R$ 为沉降泥沙的再悬浮率。

沉降速度采用stocks公式计算:

$$\omega_0 = \frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_0 \gamma} g D_{50}^2 \quad (7)$$

式中:  $D_{50}$ 为悬沙中值粒径;  $\gamma$ 取为0.013 77。主航道悬沙中值粒径取为0.004 mm。

再悬浮率 $R$ , 由C.G.Uchirin经验式给出, 即:

$$R = \begin{cases} \frac{\alpha D_{50}}{\beta + D_{50}} (u_n - u_{nor}) & u_n \geq u_{nor} \\ 0 & u_n < u_{nor} \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $\alpha, \beta$ 为C.G.Uchirin经验系数;  $D_{50}$ 为中值粒径;  $U_n$ 和 $U_{nor}$ 分别为摩擦速度和临界摩擦速度:

$$U_n = \frac{\sqrt{g(u^2 + v^2)}}{C_b} \quad (9)$$

$$U_{nor} = 0.04 \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \sqrt{g D_{50}} \quad (10)$$

式中:  $\rho_s, \rho_w$ 分别为泥沙和海水密度;  $C_b$ 为摩擦系数。

### 2.2 初始条件和边界条件

初始条件:  $c(x, y, 0) = 0$  (11)

边界条件: 在海岸边界上, 物流不能穿越边界, 即:

$$\frac{\partial c}{\partial n} = 0 \quad (12)$$

在开边界上, 流出时满足边界条件

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_n \frac{\partial c}{\partial n} = 0 \quad (13)$$

流入时, 各边界上浓度为已知值

$$c = c_0(x, y) \quad (14)$$

模型仅计算增量影响, 取 $c_0 = 0$ 。

### 2.3 悬浮泥沙源强

航道全长为9 539 m。施工按配备2条4 500 m<sup>3</sup>耙吸式挖泥船考虑, 航道疏浚总量406万m<sup>3</sup>, 其中施工期回淤96万m<sup>3</sup>。航道开挖基本上属于移动式点源, 本工程的施工船舶采用4 500 m<sup>3</sup>耙吸式挖泥

船, 作业点附近悬浮物浓度为700~1 000 mg/L, 挖泥作业悬浮物源强按最大估算, 约为7.5 kg/s。

### 2.4 悬浮泥沙扩散预测结果

本研究按照挖泥船对工程海域各节点顺序开挖进行模拟, 疏浚源强为移动点源。悬浮物浓度增量计算的时间步长为60 s, 计算步数为各个节点开挖的步数的总和。每个节点的开挖步数为: 开挖步数=疏浚量/挖泥船效率。各节点浓度增量指的是整个疏浚过程中该节点上的最高的瞬时浓度。浓度增量等值线是各点最高瞬时浓度的连线<sup>[10]</sup>。

模拟施工15个潮汐周期内所产生的悬沙输运和扩散, 模拟时段与小区二维水动力相同。输出每小时的浓度场, 统计各计算网格点在模拟期间内的悬沙增量最大值并绘制等值线(简称悬沙增量浓度包络线), 并统计悬沙各浓度增量最大包络面积, 结果见表1。图4为悬沙增量浓度包络线。

模拟结果表明, 疏浚产生的悬沙高浓度区主要集中在航道上端疏浚点附近。疏浚时悬沙浓度超1,2类海水水质标准的最大面积为12.3 km<sup>2</sup>, 超3类海水水质标准的最大面积为0.54 km<sup>2</sup>, 超4类海水水质标准的最大面积为0.03 km<sup>2</sup>。

航道疏浚对周边海域的水质环境影响并不大, 超1,2类水质标准的区域在航道两侧1 000 m范

围以内, 不会对崖门口经济鱼类繁育场保护区产生污染影响, 施工悬浮物对水环境的影响将随着工程施工的结束而消失。

### 3 结论

本文建立的潮流模型能够较客观地再现模拟区的潮流运动过程, 所建潮流模型的模拟精度能够满足水环境影响预测的要求; 采用移动点源对珠海港高栏港区航道工程施工期悬浮泥沙的输移扩散进行数值模拟, 开挖过程中产生的悬浮物对海水水质的影响主要集中在航道两侧狭长的区域, 不会对附近的崖门口经济鱼类繁育场保护区产生污染影响。可以用这个模型计算施工作业对水环境影响, 为工程设计提供可靠的依据。

### 参考文献:

- [1] 武汉水利电力学院. 河流动力学[M]. 北京: 中国工业出版社, 1960.
- [2] 沙玉清. 泥沙运动学引论[M]. 北京: 中国工业出版社, 1965.
- [3] 曹文洪, 舒安平. 潮流和波浪作用下悬移质挟沙能力研究述评[J]. 泥沙研究, 1999 (5): 74-80.
- [4] 窦国仁. 潮汐水流中的悬沙运动及冲淤计算[J]. 水利学报, 1963(4): 13-24.
- [5] 贾怡然, 孙英兰, 张学庆. 港池疏浚过程悬浮物影响预测研究及应用[J]. 港工技术, 2007 (3): 3-5.
- [6] 许金电, 江毓武. 港湾三维水动力和污染物扩散数值模型[J]. 台湾海峡, 2003 (22): 85-91.
- [7] 叶乃虎, 陈文龙, 梁志宏, 等. 沙湾特大桥二维潮流数学模型研究[J]. 人民珠江, 2006 (3): 22-24.
- [8] 罗家海, 潘南明, 汪道明. 汕头港湾附近水域潮流特征和污染物扩散的数值计算[J]. 海洋环境科学, 1996, 15(3): 22-28.
- [9] 徐宏明. 疏浚土扩散数学模型及其应用[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(2): 34-37.
- [10] 李铁军, 孙英兰, 刘伟峰, 等. 胶州湾泛亚码头疏浚方案优选及悬浮物影响预测[J]. 海洋湖沼通报, 2007 (7): 144-149.
- [11] 吴迪, 曾小辉. 珠海港高栏港区LNG航道疏浚工程环境影响报告书[R]. 武汉: 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 2013.

表1 疏浚挖泥悬沙污染增量包络线面积

浓度增量/(mg · L <sup>-1</sup> )	航道疏浚/km <sup>2</sup>
≥10	12.30
≥100	0.54
≥150	0.03

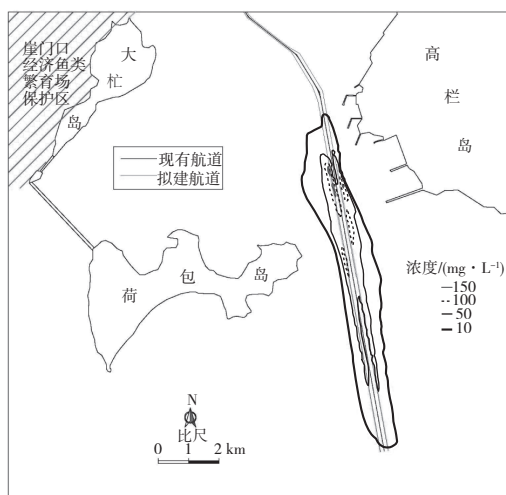


图4 悬沙增量浓度包络线

( 本文编辑 武亚庆 )