

# 围堰施工对湛江港海域水环境影响模拟

蒋红<sup>a</sup>, 逢勇<sup>a,b</sup>, 罗缙<sup>a</sup>, 王一舒<sup>a</sup>, 王健健<sup>a</sup>

(河海大学 a. 环境学院; b. 浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 南京 210098)

**摘要:** 通过建立二维非稳态水动力模型,对湛江港局部海域潮流进行数值模拟。在潮流模拟验证正确的基础上,建立了悬浮物水质预测模型,预测了工程在水下作业过程中悬浮物浓度对海域水环境的影响,通过模型计算出悬浮物超标的面积等,从而分析了该工程施工对海域水质环境的影响。结果表明:工程围堰施工对周围 200 m 海域范围产生影响,浓度增量基本在 10~400 mg/L 之间,中心最高浓度达到 400 mg/L,影响程度从中心向外递减。

**关键词:** 悬浮物; 海域水质; 海洋污染; 环境影响; 围堰施工; 湛江港

中图分类号: X524

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)04-0165-04

## Simulation of impact of cofferdam construction on water environment of Zhanjiang Bay

JIANG Hong<sup>a</sup>, PANG Yong<sup>a,b</sup>, LUO Jin<sup>a</sup>, WANG Yishu<sup>a</sup>, WANG Jianjian<sup>a</sup>

(a. College of Environment; b. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource

Development on Shallow Lakes of MOE, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Through the establishment of two-dimensional unsteady hydrodynamic model of Zhanjiang port, this paper simulated the current for sea region of Zhanjiang port. Based on the verification of current, it established a suspended model of water quality prediction and forecasted the influences of suspended matter concentration on water environment in process of underwater work. It analyzed the impact of construction of the project on the sea water environment through calculating the area of exceeding the standard of suspended matter. The results show that the impact range of cofferdam construction is around 200 meters of sea field, the increment of concentration is from 10 to 400 mg/L, the highest concentration in center is 400mg/L and the extent of impact decreases from center to outside.

**Key words:** Suspended matter; sea water quality; sea water pollution; sea water environment influence; cofferdam construction; Zhanjiang port

日趋增多的涉水工程施工带来了诸多的环境问题,局部水域悬浮物浓度升高就是其中之一<sup>[1]</sup>。从 20 世纪 50 年代开始,一些研究者便对水体中的风浪、洪水、底层石砾挖掘及水利工程方面的挖掘造成的无机底泥悬浮物给予高度重视,就其对水域环境的影响进行了研究<sup>[2-3]</sup>。在国外的某些区域,无机悬浮物被认为是水域中最为普遍的污染,主要通过增加水体浑浊度所产生的一系列负效应及沉降后的掩埋作用对水体中各生物类群如浮游植物、浮游动物及鱼类等进行生理、行为、繁殖、生长等方面的影响。随着社会经济发展的需要,越来越多水利工程的实施,国内外诸多学者对此也进行了大量的研究

工作<sup>[4-5]</sup>。贾怡然等<sup>[6]</sup>在建立近海悬浮物二维输移扩散数值模型的基础上,就港池疏浚产生的高浓度悬浮泥沙对海域环境的影响进行分析预测,为施工方案的选择提供科学依据;匡良等<sup>[7]</sup>利用 ECOMSED 三维水动力模型,建立了悬浮物输移、扩散预测模型,分析了海阳港码头扩建工程悬浮物对海洋环境的影响;叶健欣等<sup>[8]</sup>模拟湛江港涉海工程施工产生的悬浮物,探讨了底泥悬浮物对工程附近海区近江牡蛎养殖的影响;Bilotta G S 等<sup>[9]</sup>研究了悬浮物浓度对鱼类资源和水生环境的影响,提出了悬浮物监测的方法;CHEN Xiaohong 等<sup>[10]</sup>利用悬浮物输移模型与三维水动力的耦合模型对珠江口悬浮物分布

收稿日期:2014-03-11; 修回日期:2014-04-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51179053);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07506-006-05、2012ZX07506-007-01)

作者简介:蒋红(1990-),女,江苏泰州人,硕士研究生,主要研究方向为水资源规划与保护。

进行了模拟,分析了珠江口悬浮物的分布特点以及污染物的来源。

近些年来,随着社会经济的发展,为满足社会发展的需要,基础设施建设从陆域地区延伸到海域,港口码头的扩建、高速公路跨海大桥及航道疏浚等项目的施工,会一定程度扰动底泥,引起局部悬浮物增高,从而给海洋生态环境带来一定的影响。广东电网拟建 500 kV 东海岛输变电工程,工程拟使用铁塔约 100 基,其中 2 座需在湛江港海域上施工,分别为 R9 塔基和 K2 塔基。塔基的施工过程包括塔基施工准备、塔基础围堰、挡土墙施工、灌注桩施工及承台、连梁施工,其中塔基础围堰施工会对局部海域造成扰动,导致悬浮物浓度升高,对海域水环境造成不利影响。因此,本次研究重点为工程围堰施工对水环境的不利影响。本文通过建立二维非稳态模型对工程建设前后海域的水文动力变化及围堰施工悬浮物释放浓度场分布进行模拟,从而预测了施工过程中悬浮物对海域环境造成的影响范围及程度。

1 水动力数值模型

1.1 流体动力学基本方程

连续方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

动量方程:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\frac{p^2}{H}) + \frac{\partial}{\partial y}(\frac{pq}{H}) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp}{C^2 H^2} \sqrt{p^2 + q^2} - \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{xy}) \right] - fq - f_w |W| W_x = 0$$
$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}(\frac{q^2}{H}) + \frac{\partial}{\partial x}(\frac{pq}{H}) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq}{C^2 H^2} \sqrt{p^2 + q^2} - \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{xy}) \right] - fq - f_w |W| W_y = 0$$

式中:  $H$  为水深,  $H = h + \zeta$ ,  $\zeta$ 、 $h$  分别为水位和水深;  $p$ 、 $q$  为  $x$ 、 $y$  方向上的流通通量;  $C$  为谢才系数;  $g$  为重力加速度;  $f$  为科氏力系数;  $\rho$  为水的密度;  $W$ 、 $W_x$ 、 $W_y$  分别为风速及在  $x$ 、 $y$  方向上的分量;  $f_w$  为风阻力系数;  $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{yy}$  为有效剪切力分量。

1.2 计算域和网格设置

模型计算域范围为 a、b、c、d、e、f 6 点以及岸线围成的海域(见图 1),坐标范围为 20°56′41.74″N ~ 21°06′35.60″N, 110°09′54.93″E ~ 110°37′29.41″E。在模型计算时,将模拟区域划分非结构三角形网格(见图 2)。模型共概化了 10 190 个网格,网格主体

部分间距约 200 m; R9 塔基所在浅滩由于河道较窄,河道宽度小于 200 m,所以对该段 1 500 m 长的河道进行局部加密,网格间距约 10 m;在大门涵水道 K2 塔基上下游约 1 500 m 长的河道也进行局部加密,网格间距约 10 m。



图 1 研究区地理位置及率区位置图

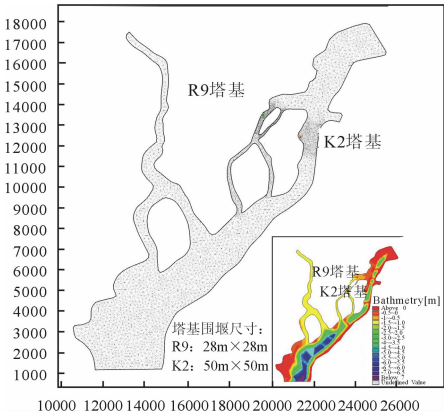


图 2 模型网格划分及模型区域海底三维地形示意图

1.3 模型参数选取

研究区(图 1 中 2 区)属于湛江港海域范围,课题组在湛江港海域内 1 区(图 1)进行了水文、水质同步监测,建立南三河二维非稳态水环境数学模型,并对模型参数进行率定,利用建立的模型预测沉管基槽开挖对海域水环境的影响。研究区(2 区)与 1 区同属湛江港海域,具有相同的水文及泥沙特性。又由于工程性质的相似性,均是模拟工程施工期产生的悬浮物(SS)对海域水环境的影响。因此本模型参考 1 区模拟得到的率定参数结果。

为模拟研究区域水动力,水量模型输入条件采用实测资料,具体为:①降雨资料采用湛江市区实测逐日降雨量资料;②风场资料采用湛江市区实测逐日风速、风向资料;③模型开边界由硇洲港实测逐日潮汐资料推算得到的(其中,ab 边界已点源形式放入模型;cd 边界处为大坝,将其概化为固壁边界)数据。

在水深率定平均误差约4%、流速率定平均误差约22%的结果下,参数率定结果为:①涡粘系数:水平涡粘系数采用 Smagorinsky 公式。率定得到 Smagorinsky 系数  $C_s$  为 0.28;②底床摩擦力:底床的摩擦力采用曼宁系数。湛江港浅滩处水深较浅,航道深槽处水深较深。率定得到浅滩处曼宁系数介于  $20 \sim 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  之间,深槽曼宁系数介于  $40 \sim 60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  之间;③风应力系数:率定得到的风应力系数  $\gamma_a^2$  在 0.001 ~ 0.002 之间。

表1 工程建设前后塔基周围部分点位流速变化统计表 m, m/s

| 与塔基位置距离 |     | R9 塔基 |        |       |        | K2 塔基 |        |       |        |
|---------|-----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|         |     | 上游 50 | 上游 100 | 下游 50 | 下游 100 | 上游 50 | 上游 100 | 下游 50 | 下游 100 |
| 大潮涨潮    | 工程前 | 0.73  | 0.69   | 0.76  | 0.72   | 0.45  | 0.47   | 0.47  | 0.48   |
|         | 工程后 | 0.61  | 0.59   | 0.23  | 0.23   | 0.40  | 0.41   | 0.17  | 0.19   |
| 大潮落潮    | 工程前 | 0.62  | 0.61   | 0.58  | 0.60   | 0.40  | 0.42   | 0.40  | 0.37   |
|         | 工程后 | 0.50  | 0.50   | 0.17  | 0.19   | 0.16  | 0.18   | 0.15  | 0.15   |

2 悬浮物预测模型

2.1 运动方程

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + u \frac{\partial c_i}{\partial x} + v \frac{\partial c_i}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \varepsilon_x \frac{\partial c_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \varepsilon_y \frac{\partial c_i}{\partial y} \right) + K_i c_i + S_i$$

式中:  $c_i$  为污染物浓度;  $u$ 、 $v$  为  $x$ 、 $y$  方向上的流速分量;  $\varepsilon_x$ 、 $\varepsilon_y$  为  $x$ 、 $y$  向上的扩散系数;  $K_i$  为污染物降解系数;  $S_i$  为污染物底泥释放项。

初始条件:  $c_k(x,y,0) = c_k^0(x,y)$

边界条件:

- (1) 岸边界:  $\frac{\partial c_k}{\partial n} = 0$ ;
- (2) 水边界: 入流边界  $c = c_{\text{进}}$ ; 出流边界:  $\frac{\partial c_k}{\partial S} = 0$

2.2 参数选取

污染源资料采用湛江市海洋渔业环境监测站提供的陆源入海排口及邻近海域监测的排污口调查资料。率定得到 SS 沉降系数为  $0.12\text{d}^{-1}$ , 率定结果平均误差约 20%。

2.3 施工期悬浮物源强

R9、K2 两个塔基及铁塔的施工采用钻孔灌注桩, 钻孔将产生一定的钻渣, 钻渣均运回陆地, 但建设期间工程搅动浅海海底泥沙会产生一定量的泥沙悬浮物。类比同类工程, 塔基施工水下开挖和压桩在无防护措施(一般围堰防护)时 SS 排放量约为  $1.33 \text{ kg/s}$ , 在有防护措施时(钢管围堰防护)SS 排

1.4 水动力模拟结果

通过二维非稳态模型对研究区域进行模拟, 工程建设前后海域大潮流场模拟结果显示: 工程建设前后海域流场整体基本不变, 但塔基对附近局部水流起到一定的分流作用, 影响范围约为  $50 \sim 100 \text{ m}$ , 工程建设后塔基上游局部水流流速略有减小约 10% ~ 20%, 下游局部水流流速明显减小约 50% ~ 70%。工程建设前后塔基周围部分点位流速变化结果见表 1。

放量约为  $0.40 \text{ kg/s}$ 。

2.4 预测悬浮物浓度增量分布

由于湛江港域 1 区(图 1)处南三河沉管工程正在施工, 施工过程中, 本课题组对施工期围堰施工源强通过施工期基槽周边区域纵向双排 23 个点位的 SS 进行实时监测, 并推算出中心源强高达  $400 \text{ mg/L}$  以上, 研究区 2 区与 1 区同属于湛江港海域, 底泥特征基本一致, 因此, 模拟本工程围堰施工源强采用与 1 区相同源强。

研究模拟工程施工期间连续 15 d 的 SS 浓度增量场(见图 3), 结果表明工程施工期间对水体会产生一定影响, 影响范围约为  $200 \text{ m}$ 。工程施工期间 SS 浓度增量由塔基中心向外递减, 浓度增量值基本在  $10 \sim 400 \text{ mg/L}$  之间, 中心最高浓度达到  $400 \text{ mg/L}$  以上, 并统计计算得到 SS 增量超过  $10 \text{ mg/L}$ , 水域面积结果见表 3。

表3 施工期 SS 增量超过 10mg/L 水域面积统计结果 h, m<sup>2</sup>

| 施工时间 | R9 塔基处水质<br>超标水域面积 | K2 塔基处水质<br>超标水域面积 |
|------|--------------------|--------------------|
| 12   | 4800               | 6600               |
| 24   | 6200               | 10800              |
| 48   | 11400              | 23900              |
| 120  | 9800               | 24700              |
| 240  | 6500               | 14900              |
| 360  | 9000               | 18400              |

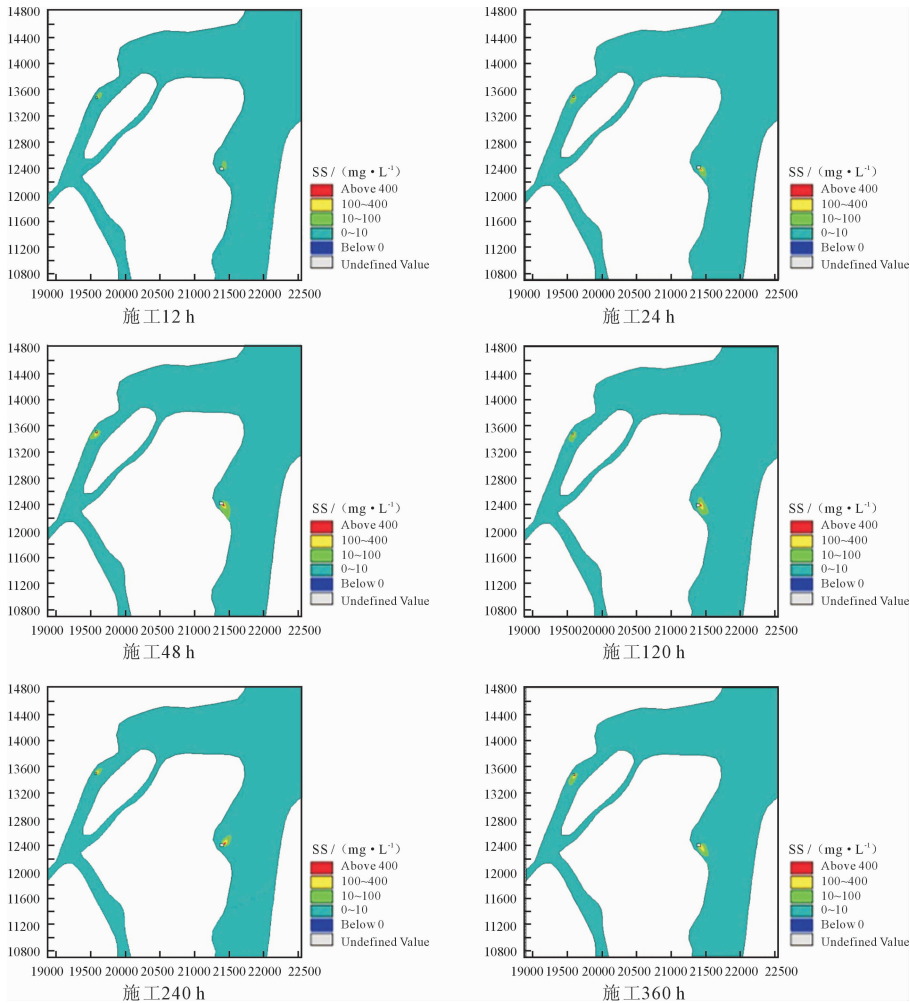


图3 工程施工期 SS 浓度增量场模拟图

3 结 语

本文通过对工程研究区域建立二维非稳态水环境数学模型,在潮流模拟验证正确的基础上,预测了工程在水下作业过程中产生的 SS 对海域环境影响的范围及程度。预测得到工程施工由塔基中心向外,浓度增量基本在 10 ~ 400 mg/L 之间,中心最高浓度达到 400 mg/L,影响范围约为 200 m。在施工期间内,海域局部范围内浮游植物、浮游动物及鱼类会受到一定程度的影响<sup>[11-12]</sup>。

参考文献:

[1] 范学平,曾德付. 沿江施工产生悬浮物对环境影响分析[J]. 交通环保,2004,25(6): 10-12.

[2] 白雪梅,徐兆礼. 底泥悬浮物对水生生物的影响[J]. 上海水产大学学报,2000,9(1): 65-68.

[3] 车宏宇. 营口港扩建工程悬浮物对海域环境影响分析[J]. 气象与环境学报,2006,22(2): 48-50.

[4] 吴斌斌. 湛江港宝满码头疏浚物吹填工程对海域水环境的影响[J]. 科技传播,2010(24): 22-23.

[5] 江毓武,方秦华,张璐平. 海洋工程对海域水动力影响评估——数值模型解决方案[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2004,43(21): 263-268.

[6] 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): 3-5+40.

[7] 匡良,姜安刚,杨毅,等. 海阳港码头扩建工程悬浮物对海洋环境影响预测研究[J]. 中国水运(学术版),2007,7(2): 67-70.

[8] 叶健欣,杨锋,李兰涛,等. 湛江港区底泥悬浮物对近江牡蛎的毒害效应[J]. 广东海洋大学学报,2010,30(6): 91-94.

[9] Bilotta G S, Brazier R E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota[J]. Water Research, 2008, 42(12): 2849-2861.

[10] Chen Xiaohong, Chen Y, Lai G. Modeling of the transport of suspended solids in the Estuary of Zhujiang River[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 2: 013.

[11] 徐兆礼,张凤英,陈渊泉. 悬浮物和冲击波造成的渔业资源损失量估计[J]. 水产学报,2006,30(6): 778-784.

[12] 王超,张伶. 航道疏浚对珠江口附近海洋生态环境影响及预防措施[J]. 海洋环境科学,2001,20(4): 58-60+66.