



# 某陆域形成工程水动力与泥沙冲淤 影响数值分析

吴松华

(中交上航局航道建设有限公司, 浙江宁波 315200)

**摘要:** 利用平面二维浅水潮波运动方程和连续方程, 结合潮位站实测资料进行验证, 得出较为符合实际的流场, 对工程附近区域在工程后的水动力和泥沙冲淤影响进行分析。结果表明, 工程完成后, 对附近海域流场基本没有影响, 影响范围仅限于工程周边区域。泥沙冲淤的影响范围为以围填区为中心向北2 km, 向西1.2 km, 向西南2 km的范围内, 最大冲刷0.8 m, 最大淤积3 m。

**关键词:** 泥沙冲淤; 数值分析; 数学模型; 金塘木岙

中图分类号: U 753:P 76

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)07-0019-05

## Numerical analysis of impact of hydrodynamic force and sediment scouring and silting concerning land formation engineering

WU Song-hua

(SDC Waterway Construction Co., Ltd., Ningbo 315200, China)

**Abstract:** Using two-dimensional shallow-water tidal wave motion equation and continuity equation, combining with measured data to verify the trend of points, we obtain the realistic flow field, and then analyze the impact from hydrodynamic force and sediment scouring and silting near the engineering site. The results show that the implementation of the project has little impact on the nearby sea flow field except the engineering-neighborhood area, and the impact scope is northward 2 km centering the reclaimed area, 1.2 km westward, and 2 km southwest. The maximum scouring is 0.8 m and the largest deposition thickness is 3 m.

**Key words:** sediment scouring and silting; numerical analysis; mathematical model; Jintang Muao

金塘岛位于舟山市定海区, 是舟山本岛和大陆之间的连接要道, 天然深水岸线有14.5 km, 岸滩稳定, 具有较好的地理条件。在金塘岛西岸中部海域进行围填海工程建立集装箱物流基地, 对加快推进舟山物流岛及金塘岛开发建设, 加强舟山市与国内外的经济交往、提升整体发展水平, 具有十分重要的意义。

陆域形成工程主要通过围海造地为金塘木岙港区形成7个7万~10万吨级泊位岸线和后方港区

陆域, 围垦面积约0.95 km<sup>2</sup>, 全部为海域围垦, 围堤长度2 765 m, 合同工期18个月。具体位置见图1。海域围填海工程将会改变附近海域的潮流场和流态, 继而引起附近区域泥沙冲淤过程的变化, 影响周边港口、航道等敏感保护目标和海域动力环境。本文采用数值模拟的手段, 预测工程实施后对附近海域水动力环境和泥沙冲淤的影响, 为环境影响评价提供依据。

收稿日期: 2012-02-06

作者简介: 吴松华(1983-), 男, 硕士, 工程师, 从事水利水电工程及港口、海岸与近海工程。



图1 工程位置及水文测站

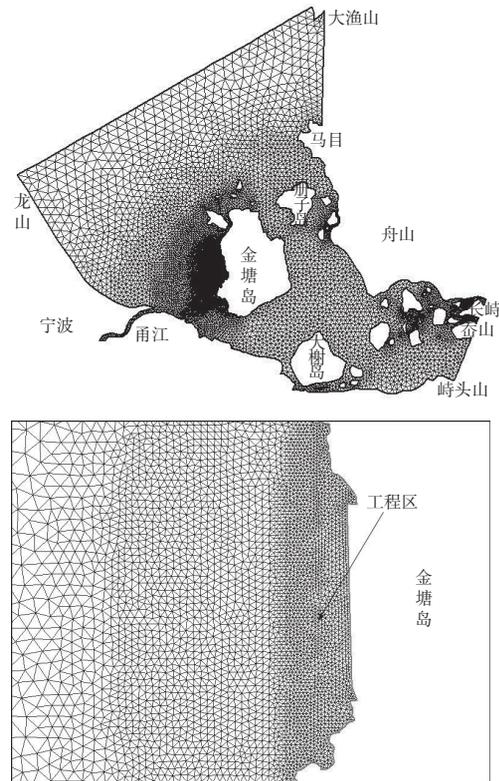


图2 数学模型计算范围及三角形网格布置

## 1 潮流数学模型

### 1.1 计算区域和网格设置

计算区域内潮差较大、潮流流速大，海域内岛屿众多，岸线曲折，水下地形复杂。为保证较好的模拟精度，采用三角形网格计算，建立恒定非均匀流的平面二维有限元数学模型，对工程附近网格作加密处理，网格最小距离40 m，计算时间步长1 s（图2）。

### 1.2 控制方程

采用平面二维的浅水潮波运动方程和连续方程：

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial U(h+z)}{\partial x} + \frac{\partial V(h+z)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\tau_{bx}}{\rho(h+z)} = A_x \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{\tau_{by}}{\rho(h+z)} = A_y \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

式中： $z$ 为潮位(m)； $U, V$ 为 $x, y$ 方向上的垂线平均流速分量(m/s)； $h$ 为水深(m)； $t$ 为时间(s)； $c$ 为谢才系数， $c = \frac{1}{n} H^{\frac{1}{6}}$ ， $n$ 为糙率系数，全水深 $H=h+z$ ； $f$ 为柯氏系数， $f=2w \sin \varphi$ ， $w$ 为地转角速度， $\varphi$ 为纬度； $g$ 为重力加速度； $\tau_{bx}, \tau_{by}$ 为 $x, y$ 方向底床阻力， $(\tau_{bx}, \tau_{by}) = \frac{\rho g(U, V) \sqrt{U^2 + V^2}}{c^2}$ ； $A_x, A_y$ 为涡动黏滞系数( $m^2/s$ )。对上述方程进行离散化处理，并采用相应的边界条件可求解<sup>[1]</sup>。其中开边界条件采用主要分潮的调和常数预报潮位过程控制，分段给定。

### 1.3 码头、栈桥桩基概化方法

由于码头桩基及栈桥桩基对水流的影响在数模中较难概化，本次计算采用局部加糙处理，即通过加大码头群桩区海底糙率的办法来模拟桩基对水流的作用，经公式计算<sup>[2]</sup>可得到本工程群桩区的海底糙率约为0.05~0.07。

### 1.4 模型验证

采用2011年2月18—19日的大潮资料和2月26—27日的小潮资料，对1个潮位站（金塘站）和6个潮流站分别进行大、小潮潮位和流速、流向验证（验证点具体位置见图1）。限于篇幅，仅列

出小潮时几个代表点的验证结果（图3，4），动态流场仅列出工程附近小潮涨急流矢图（图5）。

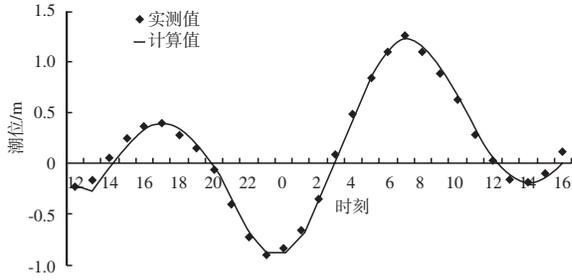
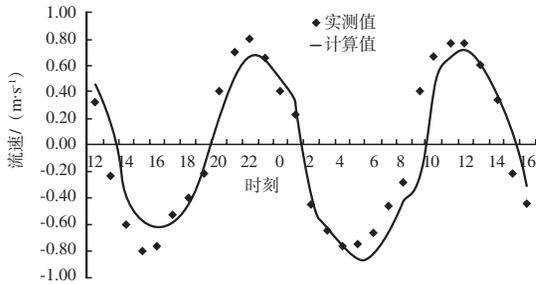
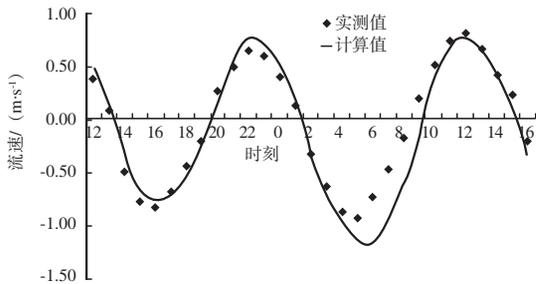


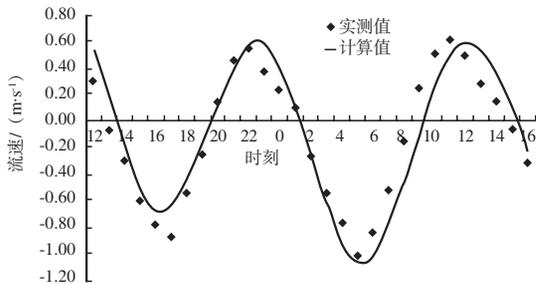
图3 2011-02-26—2011-02-27金塘站小潮潮位验证结果



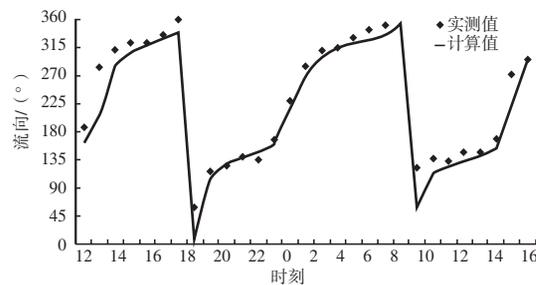
a) C1站小潮流速验证



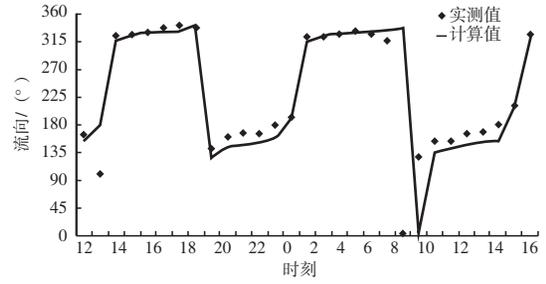
b) C2站小潮流速验证



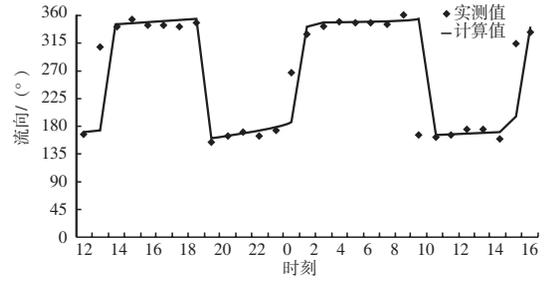
c) C3站小潮流速验证



d) C1站小潮流向验证



e) C2站小潮流向验证



f) C3站小潮流向验证

图4 2011-02-26—2011-02-27小潮流流验证结果

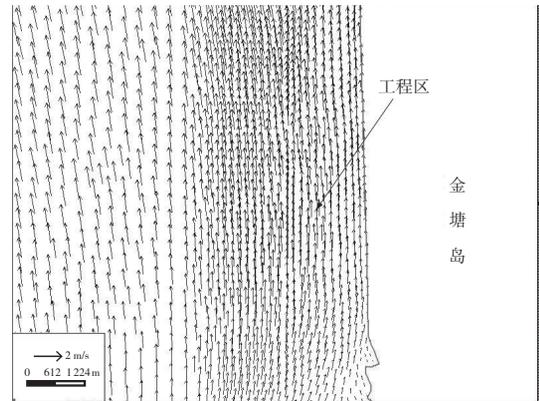


图5 工程前小潮涨急流矢图

大、小潮的潮位和潮流模拟结果与实测过程线吻合很好，总体相对误差小于10%。模拟的流场结果反映了该区域的潮流基本规律，为进一步模拟工程后水动力与泥沙冲淤变化打下了良好的基础。

## 2 工程后水动力变化分析

### 2.1 流场变化

对比工程前后的流场，工程建成后对大范围的流场基本没有影响，影响仅限于紧邻工程区附近的海域且变化不明显。以大潮为例，涨潮时，除很小一部分涨潮流因围填区西南角阻挡发生转向外，大部分涨潮流均沿着顺直的堤线自南向北流动；落潮时相反，除很小一部分涨潮流被围填

区西北角阻挡外,大部分落潮流均沿着顺直的堤线自北向南流动。

## 2.2 流速变化

图6着重对比工程附近区域工程前后的全潮平均流速,可看出,工程实施后,围填区紧贴西侧围堤附近出现一小片流速增大区,其全潮平均流速增大值为0.02 m/s;该区域以外及泊位附近,则出现面积相对较大的一片流速减小区域,且该区域向北延伸至岛杵山附近,向南则延伸至大浦口山嘴附近,其值约为0.01~0.1 m/s,流速减小最大值出现在泊位附近,其值约为0.05~0.1 m/s;泊位以西因过流量增加的影响,出现一小块流速增大区域,其全潮平均流速增大至约为0.01~0.02 m/s。

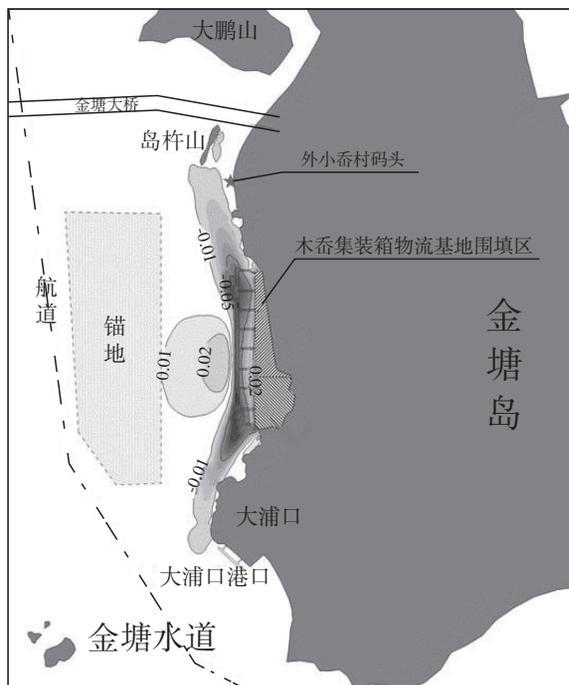


图6 工程后全潮平均流速变化分布(单位:m/s)

## 3 工程后泥沙冲淤分析<sup>[3]</sup>

海岸工程的实施使得海域水动力条件产生了变化,具体体现在海域流场的调整和海床的冲淤变化。泥沙运动所导致的床面冲淤变化,是一个极为复杂的物理过程,分析计算难度极大。本文分析工程实施后导致的附近海床面冲淤变化的预测方法,主要通过定床潮流计算得到的水流要素,采用半经验半理论的途径进行估算和预测。

根据海床变形方程,可建立如下冲淤模式

$$\frac{\partial z}{\partial t} \rho g = k\omega(s - s^*) \quad (4)$$

式中: $k$ 为沉降几率; $\omega$ 为泥沙沉降速度(m/s); $s$ 为含沙量( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); $s^*$ 为水流挟沙力; $\rho$ 为泥沙干密度, $\rho=175(d_{50})^{0.183}$ ;  $d_{50}$ 为悬沙中径。在工程之前,可认为海床处于相对冲淤平衡状态,即 $\frac{\partial z}{\partial t} = 0$ ,  $s=s^*$ 。工程后假设来沙条件不变,由于工程引起水流条件的改变,必然引起挟沙能力的相对变化,造成海床的冲淤变化,其单位时间的冲淤强度可由上式差分求得,即

$$p = \frac{k\omega(s_{后} - s^*)}{\rho g} \quad (5)$$

把水流挟沙力公式代入上式可得

$$p = \frac{k\omega s_{前} \left[ 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \right]}{\rho g} \quad (6)$$

当 $p=0$ 时可认为得到冲淤极限平衡状态,从而可求的达到冲淤平衡时的水深

$$h_2 = \left( \frac{q_2}{q_1} \right)^a h_1 \quad (7)$$

式中: $a=2/3$ ,  $q_1=v_1 h_1$ ,  $q_2=v_2 h_2$ ,水流要素可用定床潮流计算得到。

根据数学模型计算的工程前后的流场变化结合以上的冲淤计算方法,并应用2011年2月14日—2月28日的工程前后全潮流场计算结果,采用工程前后平均流速作为泥沙模型 $v_1$ 和 $v_2$ ,并考虑金塘岛工程附近区域的泥沙特性确定计算公式中的有关参数后,可以计算得到工程后工程附近的年冲淤量和达到极限冲淤平衡时的水深变化(图7,8)。

综合涨落潮流速比较结果,图7显示,围填海工程建成后,淤积区域沿着工程堤线南北分布,且主要影响区域分布在泊位南北端附近,最大影响范围向北到岛杵山附近水域,其年淤积量约为0.06 m,向南到大浦口西北侧水域,其年淤积量约为0.05 m。堤线北端向西侧500 m范围内年淤积量约为0.1~0.4 m。堤线南端向西600 m范围年淤积量约为0.1~0.5 m。冲刷区域主要有3个,一部分分布在堤线附近并向外延伸50 m区域内,年冲刷量在0.2 m以内;另一冲刷区域在距离堤线西侧500~1 000 m范围内,其量值范围约为0.05~0.1 m;最后一部分在工程区域南侧向陆凹陷的水域内,其最大年冲刷

量约为0.3 m。

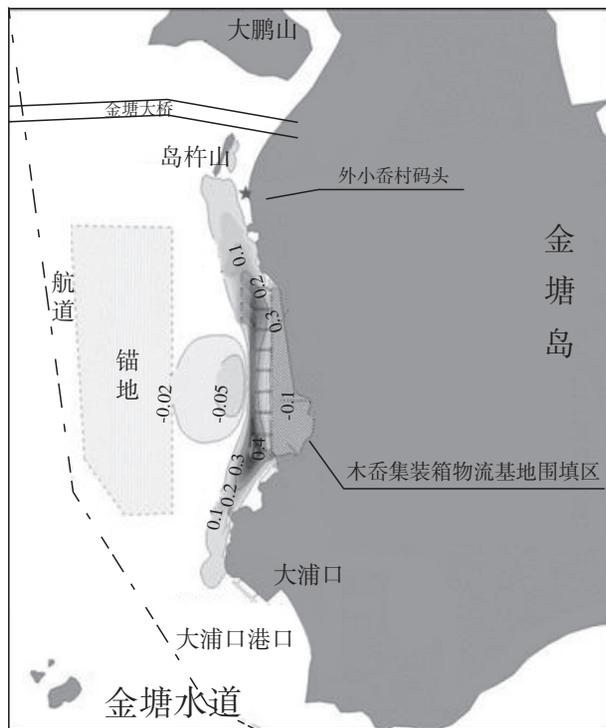


图7 工程后工程附近年冲淤量分布情况 (单位: m)

图8为工程后冲淤达到一定平衡时(约3~4 a)工程附近水深的变化分布情况。相对于年冲淤量的分布,其冲淤变化的范围有明显的增加,在量值上较年冲淤量也有相应的改变。淤积区域沿着工程堤线南北分布,且主要淤积区域分布在泊位及堤线南北端附近,主要影响范围向北到岛杵山附近水域,冲淤平衡时淤积量约为0.3 m,向南到大浦口附近水域,淤积量值约为0.25 m。冲淤达到平衡时,大浦口山嘴北侧由于水深较大,山嘴北约为300 m处在冲淤平衡时淤积量最大,量值约为3 m;距离工程堤线北端向西600 m内淤积量约为0.2~1.8 m。冲刷主要分布在3个区域,一部分在距离堤线50 m内沿堤线南北分布,其值在0.8 m以内;另一冲刷区域在距离堤线西侧500~1 000 m范围内,其量值范围约为0.2~0.4 m;最后一部分在工程区域南侧向陆凹陷的水域内,冲淤平衡时最大冲刷量约为0.6 m左右。

#### 4 结论

运用二维数值模型计算分析得到,离工程区

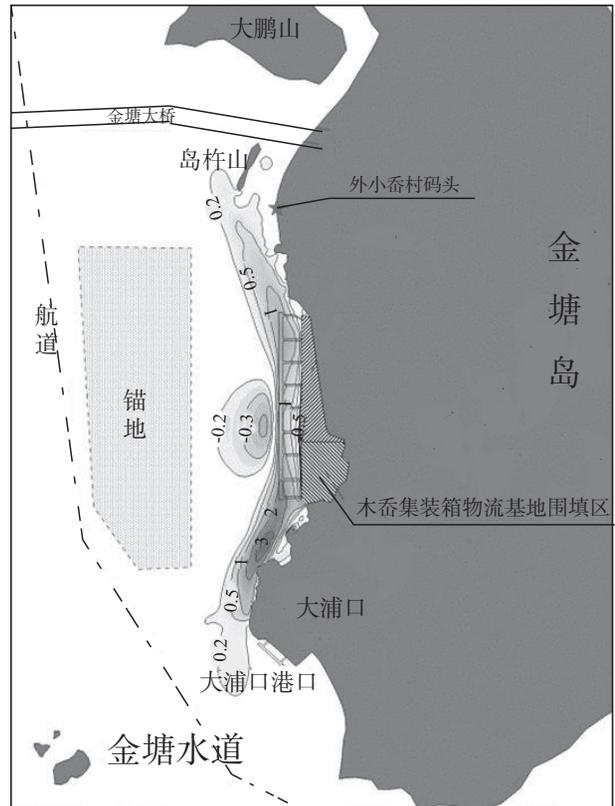


图8 工程后工程附近达到冲淤平衡时水深变化分布情况 (单位: m)

域越远,涨落潮流的流速变化越小,工程影响主要集中在工程堤线附近水域。工程建设后对附近水域涨落潮流的影响基本上局限在以围区为中心,往北2.5 km,往南2.5 km,往西1.5 km的范围内。

工程对附近海域泥沙冲淤的影响范围集中在工程附近,以围填区为中心外向北2 km,向西1.2 km,向西南2 km的范围内,水域约在3~4a后重新达到冲淤平衡。最大淤积区距离大浦口山嘴北侧约为300 m处,最大约为3 m,最大冲刷区距离堤线50 m内沿堤线南北分布,其值在0.8 m以内。

#### 参考文献:

- [1] 吴松华,姚炎明,周大成,等. 开挖过程中悬浮泥沙输移扩散的数值模拟[J]. 港工技术, 2011(2): 1-4.
- [2] 罗肇森,孙梅秀. 河工模型中几种人工糙率的计算[J]. 水利水运工程学报, 1981(2): 70-81.
- [3] JTJ/ T 233—1998 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规范[S].

(本文编辑 武亚庆)