

## 三峡工程对长江口南汇边滩近期演变影响初步预测

刘曙光, 郁微微, 匡翠萍, 孙波

(同济大学 土木工程学院水利工程系, 上海 200092)

**摘要:** 利用 DELFT3D 模型建立了长江口二维泥沙数学模型, 通过实测水文泥沙资料对模型进行了验证. 在此基础上, 分别将上游洪、枯季流量概化和外海典型潮波组合, 建立了长期冲淤模型. 通过 10 年实测地形资料对模型进行的验证, 显示该模型较好地模拟了长江口水沙运动以及长期冲淤演变过程. 考虑三峡工程蓄水后上游来水来沙的变化, 对近期南汇边滩的演变趋势给出预测, 结果显示: 三峡工程实施之后的 5~20 年, 南汇边滩发育基本稳定, 上游来沙量的减少不会造成大幅度冲刷, 边滩整体继续向东南方向演变.

**关键词:** 南汇边滩; 三峡工程; 冲淤模型; 数值模拟

**中图分类号:** TV 148+.3

**文献标识码:** A

### Preliminary Prediction on Recent Topography Evolution of Nanhui Tidal Flat in Yangtze Estuary due to Three Gorges Project

LIU Shuguang, YU Weiwei, KUANG Cuiping, SUN Bo

(Department of Hydraulic Engineering, College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** A 2D numerical model is built to simulate the sediment transport process in the Yangtze estuary by DELFT3D model at first. Then a morphological model is built with generalized flux process in the flood and dry seasons combined with the variation of tidal ranges at outer sea for a long-period simulation of the evolution of tidal flat. The model is validated through the surveyed data and the simulation result presents a good agreement with the real measured value. Further more, a prediction of the evolution process of Nanhui tidal flat is given under the impact of the Three Gorges Project. In general, there's still a stable development of Nanhui tidal flat and expanding to the southeast without significant erosion caused by the reduction of water-sediment from the upstream in the next 5 to 20 years after the Three Gorge reservoir's operation.

**Key words:** Nanhui tidal flat; the three gorges project;

morphological model; numerical simulation

长江口是我国第一大河口, 地形复杂多变, 其水动力条件既受到上游径流影响, 又受外海潮波影响<sup>[1]</sup>. 长江入海泥沙量是维持长江口沿岸整体稳定的基础. 研究表明大通站近 50 多年来的泥沙量整体呈波动下降的趋势, 而且随着三峡大坝的蓄水, 将进一步减少. 许多学者<sup>[2-7]</sup>针对三峡工程影响下长江口的水动力条件变化、泥沙运动及滩槽冲淤等方面做过研究. 如陈吉余等<sup>[2]</sup>讨论了三峡水库修建后长江口入海径流年内分配及含沙量变化, 及其对河口三角洲岸滩侵蚀等的影响. 冯卫兵<sup>[5]</sup>等分析发现上游来沙量与南汇边滩的冲淤变化存在良好线性关系, 从而预测了三峡工程对长江口内外岸滩的影响. 陈立等<sup>[6]</sup>分析得到大通站输沙量中 70% 来自宜昌上游河道, 三峡建库后, 在不考虑沿程冲刷恢复的条件下, 通过大通站的输沙量较建库前将减少 40%. 泥沙减少将使河口地区滩涂淤长趋于减缓, 甚至出现由淤积转冲刷的可能. 因此有必要分析掌握滩涂的演变规律, 为上海市潜在土地资源可持续利用的决策提供依据.

南汇边滩位于长江口和杭州湾海岸交汇处, 是涨落潮水流的缓和地区, 涨潮流携带大量泥沙上滩, 在缓流区落淤, 促使滩地发育. 但近几年来, 受围滩造地、建堤护岸, 以及上游三峡与南水北调工程等一系列人类活动的影响, 南汇边滩的泥沙运移以及潮滩的地形发生较大变化. 多年以来, 对南汇嘴潮滩的动力沉积、地貌演变以及泥沙交换等方面做过的一系列研究<sup>[8-16]</sup>, 涉及到南汇嘴附近水域的历史变迁、滩槽泥沙交换、滩面泥沙运移等. 如陈沈良等<sup>[16]</sup>对长江口南汇东滩的淤涨演变进行分析, 从滩坡平衡原理可计算潮滩水平扩展趋势, 计算得到南汇潮滩堆积速率为

收稿日期: 2009-03-13

基金项目: 上海市 908 资助项目(PJ4); “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2008BAJ08B14); 科技部科技基础性工作专项重点研究项目资助(2007FY110300-03)

作者简介: 刘曙光(1962—), 男, 教授, 工学博士, 主要研究方向为水文和海岸工程. E-mail: liusgliu@tongji.edu.cn  
匡翠萍(1966—), 女, 教授, 工学博士, 主要研究方向为河口海岸工程. E-mail: cpkuang@tongji.edu.cn

4.5 cm · a<sup>-1</sup>, 淤涨速率 40~50 m · a<sup>-1</sup>. 本文采用 DELFT3D 模型, 对三峡工程影响下, 未来 20 年南汇边滩冲淤变化进行预测.

## 1 计算模型

Delft3D 模型是目前国际上较为先进的水流、泥沙、水质模型之一, 具有计算二维和三维水流、水质、生态、动床泥沙等诸多功能. 曾用于许多国家河口治理的研究, 获得了国际水利界的认同<sup>[13]</sup>.

正交曲线坐标系中的平面二维水流运动方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta) u \sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta) v \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \cdot \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - fv = -\frac{1}{\rho \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} - gu \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{(d + \zeta)^{4/3}} + F_{\xi} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{v}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \cdot \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + fu = -\frac{1}{\rho \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} - gv \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{(d + \zeta)^{4/3}} + F_{\eta} \quad (3)$$

二维悬沙对流扩散方程如

$$\frac{\partial hc^l}{\partial t} + \frac{\partial huc^l}{\partial x} + \frac{\partial hvc^l}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ h \epsilon_{s,x} \frac{\partial c^l}{\partial x} \right\} - \frac{\partial}{\partial y} \left\{ h \epsilon_{s,y} \frac{\partial c^l}{\partial y} \right\} = F_s^l \quad (4)$$

其中:  $\xi, \eta$  分别为平面曲线坐标;  $\zeta$  为水位;  $d$  为基准面以下水深;  $\sqrt{G_{\xi\xi}}, \sqrt{G_{\eta\eta}}$  分别为  $\xi, \eta$  方向的坐标变换系数;  $u, v$  分别为  $\xi, \eta$  方向的流速;  $\rho$  为水的密度;  $P_{\xi}, P_{\eta}$  分别为  $\xi, \eta$  方向压力梯度;  $f$  为科氏力系数;  $F_{\xi}, F_{\eta}$  分别为  $\xi, \eta$  方向的紊动通量;  $c$  为含沙量,  $\epsilon_{s,x}, \epsilon_{s,y}$  分别为  $\xi, \eta$  方向的涡粘系数;  $F_s^l$  为源项;  $l$  表示不同地区砂质泥沙和淤泥质泥沙的选择. 对于长江口这种以粘性细颗粒泥沙为主的地区, 采用全淤泥质模式来计算, 泥沙侵蚀率和泥沙沉积率使用 Partheniades<sup>[17]</sup> 和 Krone<sup>[18]</sup> 方程来模拟.

$$F_s^l = E^l - D^l \quad (5)$$

$$E^l = M^l S(\tau_{cw}, \tau_{cr,e}^l) \quad (6)$$

$$D^l = w_s^l c_b^l S(\tau_{cw}, \tau_{cr,d}^l) \quad (7)$$

其中:  $E^l$  表示冲刷泥沙通量;  $M^l$  是冲刷系数;  $D^l$  表示淤积通量;  $w_s^l$  表示泥沙沉降速度;  $c_b^l$  表示近底层平均泥沙浓度. 而  $S(\tau_{cw}, \tau_{cr,e}^l)$  和  $S(\tau_{cw}, \tau_{cr,d}^l)$  分别表示为

$$S(\tau_{cw}, \tau_{cr,e}^l) = \begin{cases} \frac{\tau_{cw}}{\tau_{cr,e}^l} - 1 & \tau_{cw} > \tau_{cr,e}^l \\ 0 & \tau_{cw} \leq \tau_{cr,e}^l \end{cases} \quad (8)$$

$$S(\tau_{cw}, \tau_{cr,d}^l) = \begin{cases} 1 - \frac{\tau_{cw}}{\tau_{cr,d}^l} & \tau_{cw} < \tau_{cr,d}^l \\ 0 & \tau_{cw} \geq \tau_{cr,d}^l \end{cases} \quad (9)$$

式中:  $\tau_{cr,e}^l, \tau_{cr,d}^l$  分别表示泥沙冲刷及沉积临界切应力;  $\tau_{cw}$  表示床面切应力.

床面泥沙的交换将导致床面高程的变化, 在忽略推移质输沙的情况下, 床面变化直接决定于泥沙的淤积通量和起悬通量, 可以表示为

$$(1 - \epsilon_{por}) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} = T_d \quad (10)$$

其中:  $S_x, S_y$  分别为  $x, y$  输沙分量;  $z_b$  为河床高程;  $\epsilon_{por}$  为河床孔隙率, 取 0.4;  $T_d = D - E$ ,  $D$  和  $E$  分别为床面泥沙淤积或者冲刷率.

## 2 计算范围及网格

数学模型的计算范围: 上游边界采用扭曲水道一直延伸到潮区界, 以减少计算时上边界条件带来的扰动, 东至外海 - 40 m 等深线, 北至连兴港的北侧, 南至南汇嘴杭州湾北部. 包括南北支、南北港和南北槽在内的整个长江口海域. 网格东西向的长度约为 240 km, 南北向的宽度约为 230 km. 水流泥沙模型采用正交曲线网格坐标, 并在南汇嘴等研究区域加密, 网格最小间距为 70 m, 总网格数为 514 × 360 个, 见图 1.

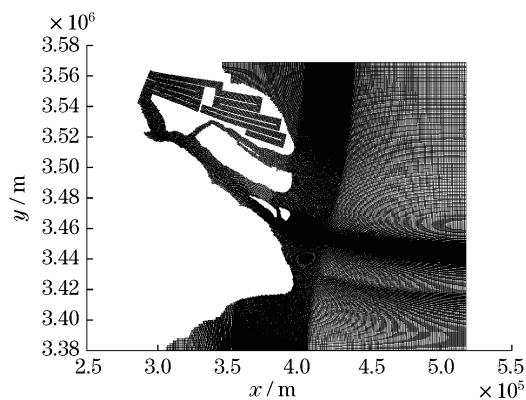


图1 水流泥沙计算网格图

Fig.1 Meshes for simulation domain

### 3 模型验证

模型上游边界采用实测流量过程线,下游边界给定8个分潮调和常数.曼宁系数取值范围在0.01~0.02之间.模型上边界采用验证时段的月平均含沙量为 $0.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,下边界为长江口口外边界,含沙量比较低,采用 $0.03 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .初始含沙量取为0.对于长江口,悬浮泥沙主要以细颗粒为主,其悬沙中值粒径为 $0.008 \text{ mm}$ .取悬沙絮凝沉速为 $0.0004 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;泥沙湿密度为 $1600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;干密度为 $2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;冲刷系数为 $M$ 为 $0.0005 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;冲刷临界切应力取值为 $0.5 \sim 0.7 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ;临界沉积切应力取值为 $0.10 \sim 0.25 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ;计算时间步长为 $60 \text{ s}$ .部分测站布置见图2.

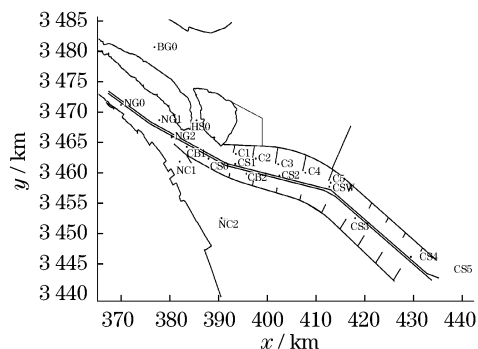


图2 部分测站布置图

Fig.2 Layout of some observation stations

采用2002年3月2日到9日长江口部分水文站水位实测资料以及2002年3月5日到6日流速实测资料进行潮流验证,如图3所示.含沙量验证资料采用2004年5月5日到6日实测含沙量,见图4.从水位、流速及含沙量验证结果来看,计算值和实测值拟合较好.

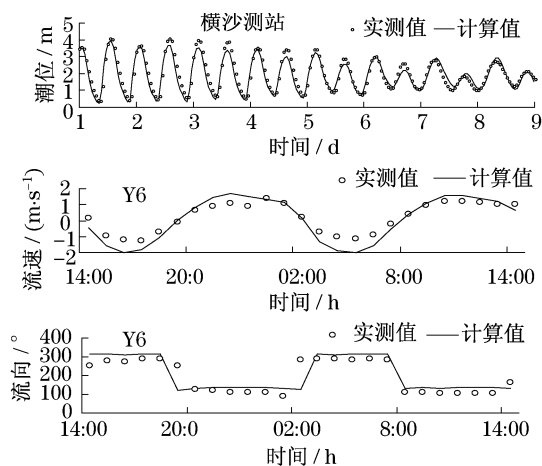


图3 部分测站潮位水流验证图

Fig.3 Validation results of water level and velocity

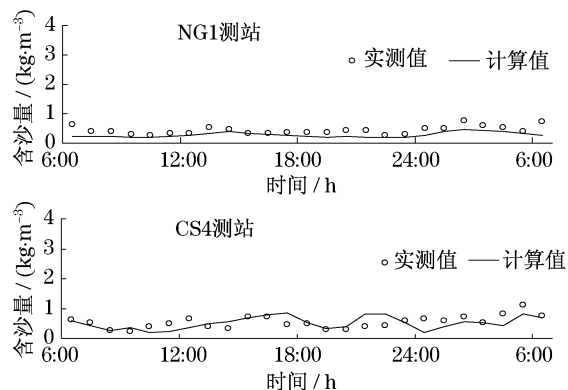


图4 部分含沙量验证图

Fig.4 Validation result of sediment concentration

冲淤计算由于模拟的时间较长,模型的上、下边界都采用概化的水文条件,见表1~2,其他参数与含沙量验证计算一致.采用1983—1984年间实测南北支、南北港以及南北槽的海图地形,作为初始计算地形,采用1994—1995年间的实测地形作为验证地形,对1984—1994年间长江口地形冲淤进行验证.

表1 上游边界流量

Tab.1 Flow discharge at upstream

洪枯季节	1984—1994 年平均流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	上游含沙量/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	下游潮位 边界条件
枯季(1—3月)	13 717	0.115	大潮、中潮、小潮
过渡期(4—6月)	31 524	0.378	大潮、中潮、小潮
洪季(7—9月)	42 494	0.817	大潮、中潮、小潮
过渡期(10—12月)	21 815	0.359	大潮、中潮、小潮

\*其中上游含沙量根据1956—1985年月平均含沙量资料统计得到.

表2 外边界潮波条件

Tab.2 Tidal range condition for outer sea

潮型	典型潮差/m			
	左上角	右上角	右下角	左下角
大潮	6.08	3.41	3.33	3.85
中潮	4.08	2.51	2.38	2.42
小潮	1.88	1.46	1.41	1.24

长江口整体冲淤验证结果如图5所示.计算的冲淤分布和实测值比较接近,可见模型能够比较真实地模拟1984—1994年10年间长江口的冲淤情况.但是局部验证结果在量上还有一定差距,这可能是由于验证时间比较长,而本模型是用概化的水文条件进行模拟,无法考虑特大洪水等突发情况对造床作用的影响.据统计,在1983、1988、1992和1995年都曾发生过特大洪水,而洪水往往造成大冲淤,这在模型中无法体现,故对模拟结果会有一定影响.南汇断面布置如图6所示,图7为S4断面验证结果,可见计算值和实

测值拟合较好,模型具有较好的模拟精度.

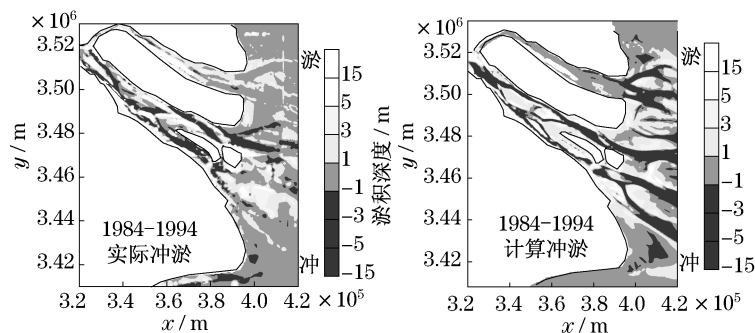


图5 1984—1994 长江口冲淤验证结果

Fig.5 Validation of bed evolution in Yangtze estuary in 1984—1994

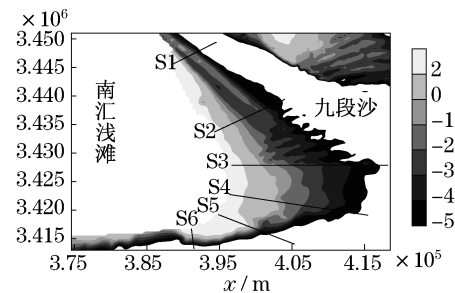


图6 南汇浅滩断面布置图

Fig.6 Layout of cross-section in Nanhui tidal flat

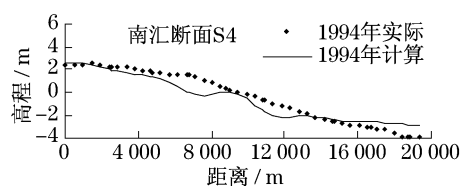


图7 1984—1994 南汇边滩断面验证图

Fig.7 Validation of bed level along cross-section S4 of Nanhui Tidal flat

#### 4 三峡工程对南汇边滩岸滩演变影响

李从先等<sup>[2]</sup>在分析三峡工程建成后对长江口输沙量的影响时指出,在进入长江口地区的泥沙来源中,三峡的出库泥沙居首位,其次为中、下游支流提供的泥沙,坝下侵蚀提供的泥沙居第三位.近50年来长江入海径流量呈波动下降的趋势,自20世纪80年代末90年代初开始呈现减少趋势.2000年,大通站年输沙量只有3.39亿t;2001年,更是减少到

2.76亿t;2003年三峡水库蓄水;2004年仅1.47亿t,约为1951—2000年50年输沙量均值(4.24亿t)的1/3.对比历年输沙量、径流量和含沙量关系,可以看出输沙量和含沙量的大幅度减小,一方面是由于三峡工程运行后,水库拦截大部分泥沙,如2004年;另一方面可能由于枯水年,上游来水量减小导致输沙量大幅度降低,如2006年只有0.85亿t.

为了更加真实地了解三峡工程实施以后,对长江口岸滩尤其是南汇边滩的影响情况,本文的上游边界采用三峡工程蓄水后2003—2007年的大通实测季节平均流量和含沙量来概化,其他边界条件和参数与验证模型一致.

##### 4.1 南汇浅滩平面变化

图8为南汇边滩0, -2, -5 m等深线变化图.为了更好地分析等深线的变化情况,将南汇地区分成南汇东滩(南汇沙嘴北部)、南汇沙嘴附近和南汇南滩进行说明.

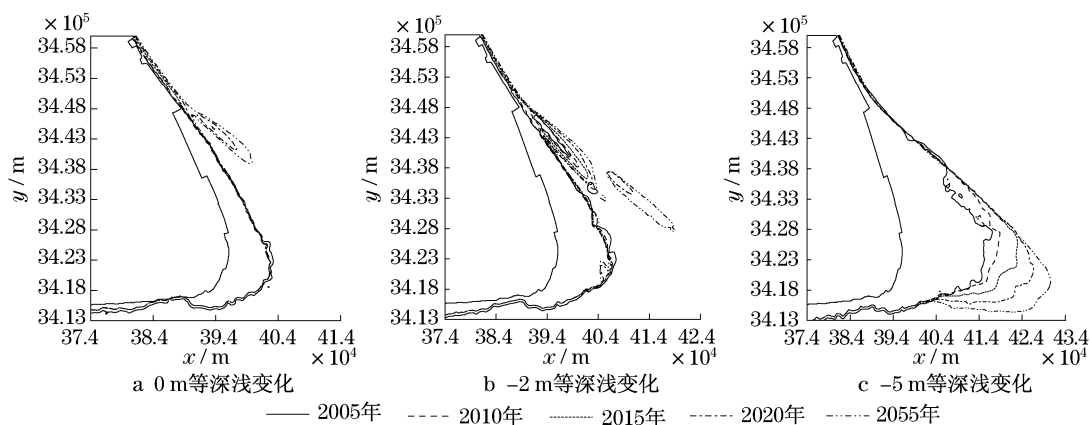


图8 南汇边滩等深线变化

Fig.8 Variation of isobaths of Nanhui tidal flat

2005—2010年,南汇东滩等深线略向外推进.北部-2 m等深线向外突出,呈舌状;南汇沙嘴附近,-5 m等深线向外扩展了3 km左右,而-2 m等深线略有蚀退;南汇南滩相对稳定.2010—2015年,南汇东滩0,-2和-5 m等深线都略微推进;南汇沙嘴附近,0,-2 m等深线有冲有淤,-5 m等深线淤涨;南汇南滩0,-2,-5 m等深线不冲不淤,保持相对稳定.2015—2020年,南汇东滩0 m等深线,-2 m等深线和-5 m等深线稳定推进;-2 m等深线舌状地形继续发展,向东南推进;南汇沙嘴附近,0 m等深线有冲有淤,-2 m等深线略有侵蚀,-5 m等深线继续淤涨;南汇南滩保持相对稳定.2020—2025年,南汇边滩发展趋势跟前5年比较接近,整体淤积速度比较稳定,-5 m等深线继续外推.

根据以上分析,可以看到南汇边滩不同地区、不同时段冲淤变化不尽相同.南汇东滩北部主要表现为冲淤稳定略有淤张的趋势,2005—2015年略有淤积,没冒沙条状沙体淤涨并向岸靠拢,2015年以后趋于稳定,保持平衡;南汇沙嘴0 m等深线有冲有淤,基本平衡,-2 m等深线略有冲刷,-5 m等深线2005—2025年持续向外推进,年淤积速度在1 km左右;南汇南滩在2005—2010年略有冲刷,2010年以后冲淤平衡.

#### 4.2 南汇浅滩断面变化

图9为部分断面在未来5~20年地形变化的计算结果.以S1,S3断面为例.

从S1断面来看:断面地形有冲有淤.近岸处由于围垦工程的实施,维持4 m高程不变;在离岸2~4 km处,普遍发生淤积;在离岸4 km以外地区,发生冲刷,2005—2010年每年最大冲刷厚度在0.1 m左右,并且最大冲刷集中在离岸4.2 km左右处,而以后15年最大冲刷区域逐渐往外推移,冲刷速率逐渐加快.由于S1断面外侧接近南槽,可见三峡工程建成以后,上游来水来沙减小使得南槽入口处产生冲刷.

表3 南汇边滩总体冲淤变化计算表

Tab.3 Changes of coastal evolution of Nanhui tidal flat

时段/年	淤积量/m <sup>3</sup>	冲刷量/m <sup>3</sup>	淤积面积/m <sup>2</sup>	冲刷面积/m <sup>2</sup>	淤积厚度/m	冲刷厚度/m
2005—2010	1.67×10 <sup>8</sup>	4.61×10 <sup>8</sup>	4.00×10 <sup>8</sup>	6.73×10 <sup>8</sup>	0.335	0.685
2010—2015	3.85×10 <sup>8</sup>	6.24×10 <sup>7</sup>	8.86×10 <sup>8</sup>	3.04×10 <sup>8</sup>	0.435	0.205
2015—2020	4.35×10 <sup>8</sup>	7.21×10 <sup>7</sup>	8.93×10 <sup>8</sup>	2.98×10 <sup>8</sup>	0.488	0.242
2020—2025	4.20×10 <sup>8</sup>	9.08×10 <sup>7</sup>	8.38×10 <sup>8</sup>	3.52×10 <sup>8</sup>	0.502	0.258
时段/年	净冲淤沙量/m <sup>3</sup>	净冲淤厚度/m	淤积面积/%	冲刷面积/%	年均冲淤量/(m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	年均冲淤厚度/(m·a <sup>-1</sup> )
2005—2010	-2.93×10 <sup>8</sup>	-0.250	42.61	57.39	-5.88×10 <sup>7</sup>	-0.050
2010—2015	3.23×10 <sup>8</sup>	0.271	74.43	25.57	6.46×10 <sup>7</sup>	0.054
2015—2020	3.63×10 <sup>8</sup>	0.305	74.99	25.01	7.26×10 <sup>7</sup>	0.061
2020—2025	3.29×10 <sup>8</sup>	0.277	70.41	29.59	6.59×10 <sup>7</sup>	0.055

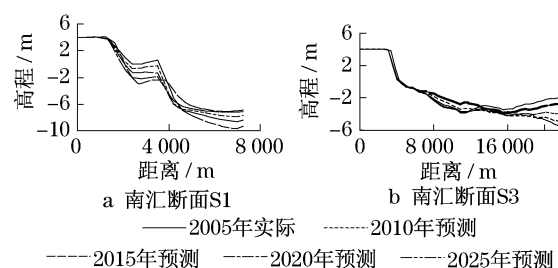


图9 2005—2025年南汇边滩断面地形变化图

Fig.9 Evolution of bed level along cross-section S1 & S3 in Nanhui Tidal land in 2005~2025

从S3断面来看,断面有冲有淤,浅滩外围深水处不断淤高.近岸6 km以内,基本不发生冲淤;在离岸6~12 km处,略有冲刷但逐渐减缓;在离岸12~16 km处,这个区段逐渐由冲刷向淤积过渡;在离岸16 km以外,普遍发生淤积,并且沿断面离岸线越远,淤积幅度越大.2005—2010年最大淤高在0.5 m左右,2010—2015年最大淤高在1 m左右,2015—2020年最大淤高在1 m左右,2020—2025年最大淤高在0.8 m左右,淤积速率最大发生在2010—2020年之间.S3断面位于南汇浅滩最中段,从断面冲淤来看,2005年以后未来20年,-5 m等深线继续向外扩张,浅滩面积会继续变大.

#### 4.3 南汇浅滩冲淤变化

表3为南汇浅滩整体冲淤计算值,计算外边界取-5 m等深线.2005—2010年,累计淤积厚度0.34 m,累计冲刷厚度0.68 m,南汇边滩整体略有冲刷;2010—2015年,南汇边滩整体表现为淤积,5年净冲淤厚度0.27 m,累计净淤积沙量3.2亿m<sup>3</sup>,年均淤积厚度0.054 m;2015—2020年,南汇边滩继续淤积,净冲淤厚度0.30 m,累计净淤积沙量3.6亿m<sup>3</sup>,年均淤积厚度0.061 m;2020—2025年,淤积速率略有减缓,净冲淤厚度0.28 m,累计净淤积沙量3.3亿m<sup>3</sup>,年均淤积厚度0.055 m.

## 5 结语

南汇边滩是长江口南岸边滩的重要组成部分,也是长江流域来沙沉积的主要场所,其冲淤变化与流域来水来沙、汉道分水沙以及河口主槽摆动等多种因素有关.采用 DELFT3D 模型建立了长江口水流泥沙冲淤演变模型,并采用实测资料对模型进行验证.在此基础上,对三峡工程影响下南汇边滩近期演变进行预测.根据模拟结果,三峡工程实施后的 5~20 年,南汇边滩发育基本稳定,上游来沙量的减少不会造成南汇边滩的大幅度冲刷,边滩整体继续向东南方向发展.尤其是 2005—2015 年,三峡工程刚蓄水 10 年内,地形对上游来水来沙的突变比较敏感,南汇边滩北部南槽入口处附近,略有冲刷;2015 之后的 10 年,地形、流场和含沙量达到了一定的平衡,边滩将继续以稳定的速率向东南方向推进.

### 参考文献:

- [1] 徐祖信,华祖林.长江口南支三维水动力及污染物输送数值模拟[J].同济大学学报:自然版,2003,31(2):239.  
XU Zuxin, HUA Zulin. Numerical simulation of three-dimension flow and pollutant transportation in the South Branch of Changjiang Estuary [J]. Tongji University Natural Science, 2003, 31(2): 239.
- [2] 陈吉余,徐海根.三峡工程对长江河口的影响[J].长江流域资源与环境.1995,4(3):242.  
CHEN Jiyu, XU Haigen. Impacts of the Three Gorges Project on the Yangtze Estuary [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1995, 4(3): 242.
- [3] 李从先,杨守业,范代读,等.三峡大坝建成后长江输沙量的减少及其对长江三角洲的影响[J].第四纪研究,2004,24(5):495.  
LI Congxian, YANG Shouye, FAN Daidu, et al. The change in Yangtze River suspended load and its impact on the Delta after completion of Three Gorges Dam [J]. Quaternary Sciences, 2004, 23(5): 495.
- [4] 刘瑞玉,罗秉征.三峡工程对河口及邻近海域生态与环境的影响[C].长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究论文集.北京:科学出版社,1987:116.  
LIU Ruiyu, LUO Bingzheng. Influence of the Three Gorges Project on ecosystem and environment of the Yangtze River estuary and its surrounding sea [C]//Proceedings of Study on Influence of the Three Gorges Project in the Yangtze River on Ecosystem and Environment and Countermeasures. Beijing: Science Press, 1987: 116.
- [5] 冯卫兵,王义刚.三峡工程对长江口岸的影响[J].河海大学学报,1995,23(5):14.  
FENG Weibing, WANG Yigang. Influence of Three Gorges Project on Yangtze River Mouth waterside foreland [J]. Journal of Hohai University, 1995, 23(5): 14.
- [6] 陈立,吴门伍,张俊勇.三峡工程蓄水运用对长江口径流来沙的影响[J].长江流域资源与环境,2003,12(1):50.  
CHEN Li, WU Menwu, ZHANG Junyong. Effect of the Three Gorges Project on sediment transportation of the Yangtze Estuary [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2003, 12(1): 50.
- [7] 杨世伦,朱骏,赵庆英.长江供沙量减少对水下三角洲发育影响的初步研究——近期证据分析和未来趋势估计[J].海洋学报,2003,25(5):27.  
YANG Shilun, ZHU Jun, ZHAO Qingying. A preliminary study on the influence of Yangtze River sediment supply on subaqueous delta——evidences in late 20th century and an expectation for the coming decades [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(5): 27.
- [8] SU Jilan, WANG Kangshan. The Yangtze River plume and suspended sediment transport in Hangzhou Bay [J]. Continental Shelf Research, 1989, 9(1): 93.
- [9] 付桂,李九发,应铭,等.长江河口南汇嘴潮滩近期演变分析[J].海洋通报,2007,26(1):105.  
FU Gui, LI Jiufa, YING Ming, et al. Analysis on recent topography evolution of Nanhuizui flat in Yangtze Estuary [J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(2): 105.
- [10] 向卫华,李九发,徐海根,等.上海市南汇南滩近期演变特征分析[J].华东师范大学学报:自然科学版,2003,3:49.  
XIANG Weihua, LI Jiufa, XU Haigen, et al. The characteristics of topography change on Nanhui Nan Shoal, Shanghai [J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2003, 3: 49.
- [11] 虞志英,楼飞.长江口南汇嘴近岸海床近期演变分析——兼论长江流域来沙量变化的影响[J].海洋学报,2004,26(3):47.  
YU Zhiying, LOU Fei. The evolvement characteristics of Nanhui foreland in the Yangtze River Estuary, China [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(3): 47.
- [12] 恽才兴.长江口潮滩冲淤和滩槽泥沙交换[J].泥沙研究,1983,4:43.  
YUN Caixing. Evolution of tidal flat and sediment exchange between shoal and deep Channel [J]. Sediment Research, 1983, 4: 43.
- [13] 李九发.长江河口南汇滩泥沙输移规律探讨[J].海洋学报,1990,12(1):75.  
LI Jiufa. Analysis on sediment transport of Nanhui tidal flat in the Yangtze River Estuary [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1990, 12(1): 75.
- [14] 陈吉余.上海市海岸带和海涂资源综合调查报告[R].上海:上海科学技术出版社,1988:74.  
CHEN Jiyu. Report of compositive investigation on resources of coastal zone and sea beach belonged to Shanghai [R]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1988: 74.
- [15] 茅志昌,李九发,吴华林.上海市滩涂促淤围垦研究[J].泥沙研究,2003,2:77.  
MAO Zhichang, LI Jiufa, WU Hualin. Study on siltation and reclamation of tidal flat in Shanghai [J]. Journal of Sediment Research, 2003, 2: 77.
- [16] 陈沈良,谷国传,虞志英.长江口南汇东滩淤涨演变分析[J].长江流域资源与环境,2002,11(3):239.  
CHEN Shenliang, GU Guochuan, YU Zhiying. Mudflat evolution in the Nanhui east front, Yangtze Estuary [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002, 11(3): 239.
- [17] Partheniades E. Erosion and deposition of cohesive soils [J]. Hydraulics Divisions, ASCE, 1965, 91(1): 105.
- [18] Krone R B. Flume studies of the transport of sediment in estuarial shoaling processes [M]. Berkeley: University of California, 1962.