

南汇东滩圈围工程对长江口河势影响的数值模拟分析

顾 杰, 郑宇华

(上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 基于验证的 MIKE21 软件长江口二维潮流数值模型, 计算和重点分析了南汇东滩促淤圈围工程对长江口南槽、北槽和横沙通道的影响。结果表明: 南汇东滩促淤圈围工程束窄了南槽下段河道, 较大幅度地减小了该段的潮流量; 但南槽中段以下河段流速增加幅度较大, 河槽将会刷深, 河势将得到发展; 江亚北槽将会得到发展, 北槽中段泥沙淤积现象将会加剧; 横沙通道涨落潮流量大幅减少, 横沙通道涨落潮流量与南槽涨落潮流量存在非常高的相关性, 这对横沙通道作为航道开发和利用会带来较为不利的影响。

关键词: 长江口; 圈围工程; 河势演变; MIKE21 软件

中图分类号: TV147.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)01-0065-11

DOI: 10.11759/hyxx20160807001

河口地区属于径流与潮流相互作用最剧烈的地区, 具有复杂的动力过程。长江作为我国第一大河, 其河口洋山港又是世界上最大的集装箱港口, 因此一直受到许多研究者的重视。近年来, 随着上海经济的快速发展, 长江口许多重大涉水工程特别是围垦工程的相继实施, 对长江河口地区的水文、泥沙和河道地形等产生了较大的改变。赵恩宝等^[1]通过建立三维潮流、泥沙数学模型计算分析了横沙东滩促淤圈围工程对北槽深水航道的影响, 认为工程实施后北槽中段航道回淤量略有减少, 而下段回淤量略有增加。李林江^[2]等研究认为南汇边滩围垦工程实施后, 南槽喇叭口形状减小, 改变了涨潮流并减小了纳潮量, 提高了南槽的分流比。刘红^[3]等认为南槽上段近期地形冲刷是对长江口深水航道治理工程和南汇促淤圈围工程等引起的落潮动力增强的自适应反馈, 而南槽口外的冲刷过程则是对长江入海泥沙量减少的自适应过程。刘高伟等^[4]分析了南汇南滩的水沙现状和变化特征, 认为南汇南滩水域洪季落潮优势增强、枯季落潮优势减弱的主要原因是东海大桥及周边促淤围垦工程的影响。陈维等^[5]认为在深水航道工程等长江口周边涉水工程的影响下, 北槽深水航道将持续淤积, 南槽河势将得到发展。季岚等^[6]、程海峰等^[7]认为由于位于横沙通道上游的北港主槽和其下游的北槽河势比较稳定, 横沙通道的河槽容积和水深将保持稳定, 未来横沙通道可作为 1 万~3 万 t 级船舶的航道开发。

现有的研究成果, 都是基于长江口深水航道工程、南汇边滩及横沙东滩促淤圈围工程等工程实施后, 对长江河口地区的水文、泥沙和河道地形等发生变化的探索, 而对长江口深水航道淤积机理, 特别是对横沙通道的演变认识尚有不足。本文利用 MIKE21 软件建立长江口二维潮流数学模型, 计算分析了南汇东滩近期促淤圈围工程对长江口河势演变的影响, 为长江口滩涂资源可持续利用、横沙通道开发以及深水航道的维护提供科学依据。

1 南汇东滩促淤圈围工程介绍

南汇东滩促淤圈围一、二期工程促淤总面积为 1.49 万 hm^2 , 其中大治河以北促淤面积为 0.61 万 hm^2 , 大治河以南促淤面积为 0.88 万 hm^2 (见图 1)^[8]。整个促淤区南北向长 23.9~27.3 km, 东西向宽 2.6~9.8 km。工程位于南槽右侧边滩, 南槽是约 70% 船只进出长江口的交通航道, 南槽左侧是九段沙国家生态保护区, 左外侧是北槽深水航道, 工程区上接浦东国际机场和外高桥港区, 下临上海临港新城, 外接洋山深水港, 工程的河势影响和环境影响极为敏感。

收稿日期: 2016-08-07; 修回日期: 2016-11-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2012CB957704)

[Foundation: National Key Basic Research Development Program of China, No.2012CB957704]

作者简介: 顾杰(1961-), 男, 江苏兴化人, 教授, 博士, 主要从事水文、海岸工程和环境工程研究, E-mail: jgu@shou.edu.cn; 郑宇华, 女, 通信作者, 硕士, 电话: 18516587308, E-mail: yuvaz@sina.com

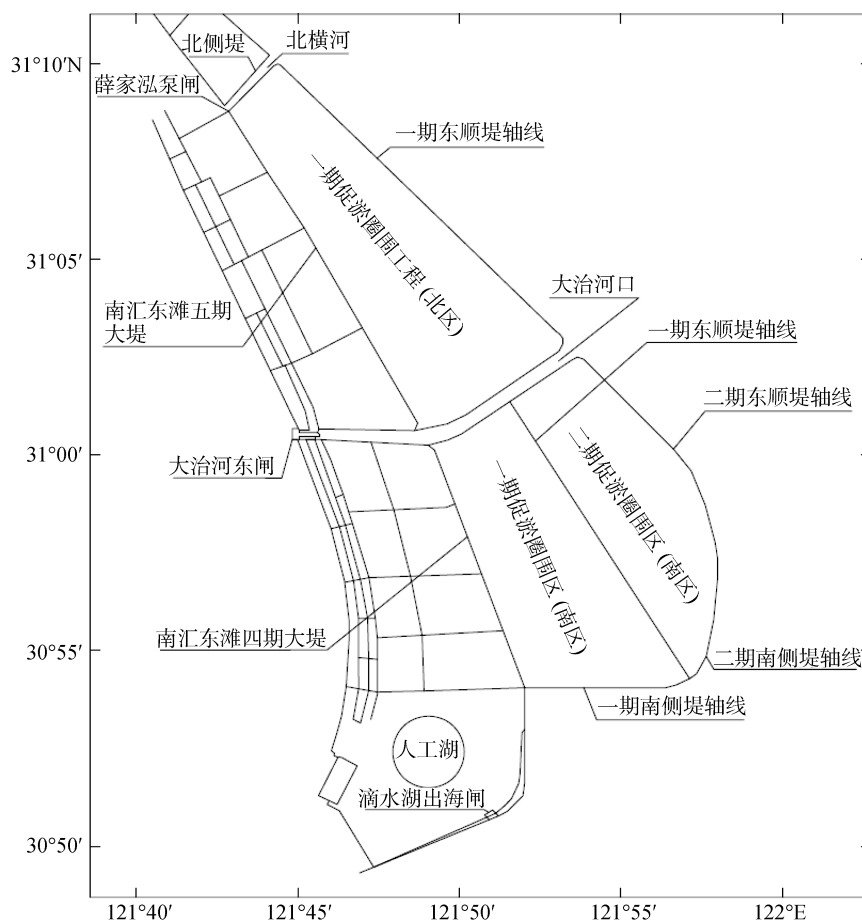


图1 南汇东滩促淤圈围工程示意图^[8]

Fig. 1 Schematic diagram of the Nanhui East Tidal Flat reclamation project

2 研究方法

2.1 模型简介

MIKE21 是丹麦水力研究所(DHI)研发的系列水动力学软件之一, 主要模拟河流、湖泊、河口、海洋及海岸的水流、波浪、泥沙及环境变化, 为工程应用、海岸管理及规划提供了正确有效的分析设计环境。Mike 21 Flow Model(FM)子模块属于二维潮流模型, 根据 Boussinesq 假设、静水压力假设、浅水条件和适定边界条件, 通过控制体积法求解不可压缩的雷诺平均 Navier-Stokes 概化的浅水方程^[9]。

2.2 模型计算范围及网格

模型的计算范围西起长江口的潮流界江阴, 东至外海-40 m 等深线, 北至连兴港的北侧, 南至金山区北向东延伸。其跨度为: 东西 280 km, 南北 210 km。模型采用无结构三角形网格, 网格节点数为 13 613 个, 网格单元数为 25 420 个, 网格由外向内包括工程区

域逐渐加密, 模型计算网格如图 2 所示。近海及河道地形数据主要采用 2008~2012 年测量数据。

2.3 参数设置与验证

模型上边界江阴采用实测流量控制, 外海边界采用同济大学提供的东中国海大模型推导的全球潮汐调和常数控制^[10], 陆边界采用不可移滑条件。模型计算时间步长取 0.1~30 s(收敛条件 CFL<1); 水平涡黏性系数(Samagorinsky)取 0.28; 模型采用干湿动边界处理技术, 干点临界水深取 0.005 m, 湿点临界水深取 0.05 m; 底部糙率曼宁数取 0.012 5。选用 2004 年 5 月 5 日 6:00~2004 年 5 月 6 日 6:00 间主河道里 3 个潮位观测点及 3 个流速观测点的实测潮位及流速资料^[11]进行验证, 验证结果见图 3。从图中可以看出, 高桥、共青圩和六涖测点的潮位计算值及 bg0、CS0 和 CS1 测点的流速、流向计算值均与实测值拟合较好(图 3)。因此, 本模型可用于计算分析南汇东滩促淤圈围工程对长江口河势演变的影响。

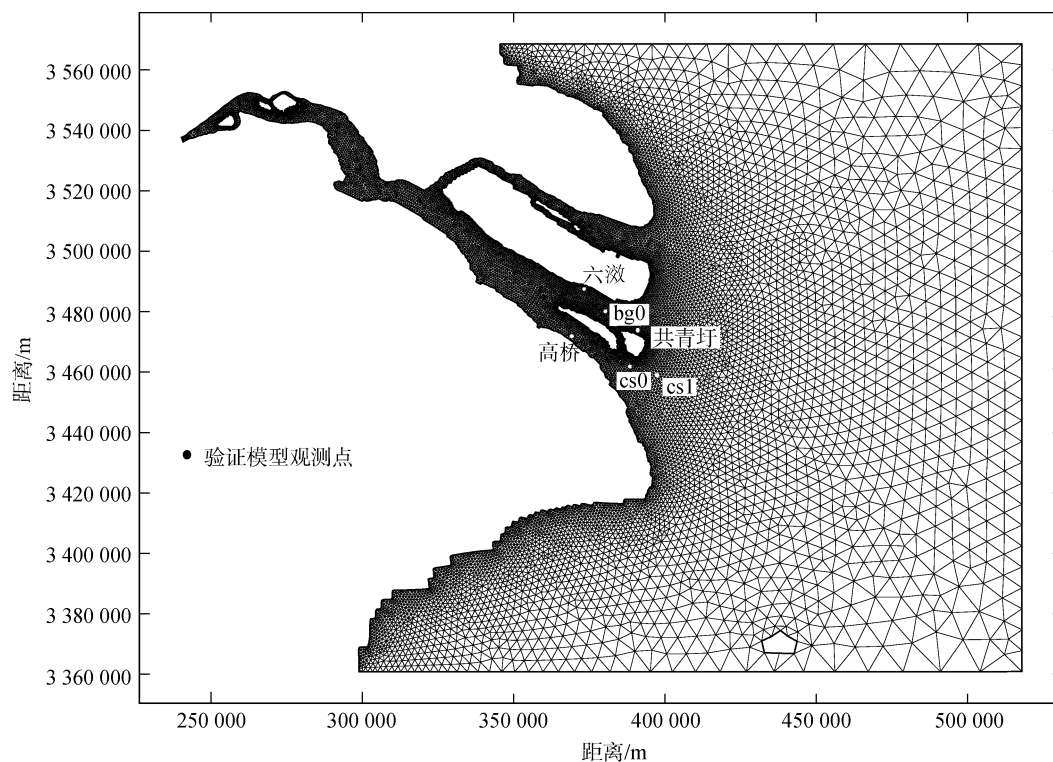


图 2 模型计算网格
Fig. 2 Computational grid

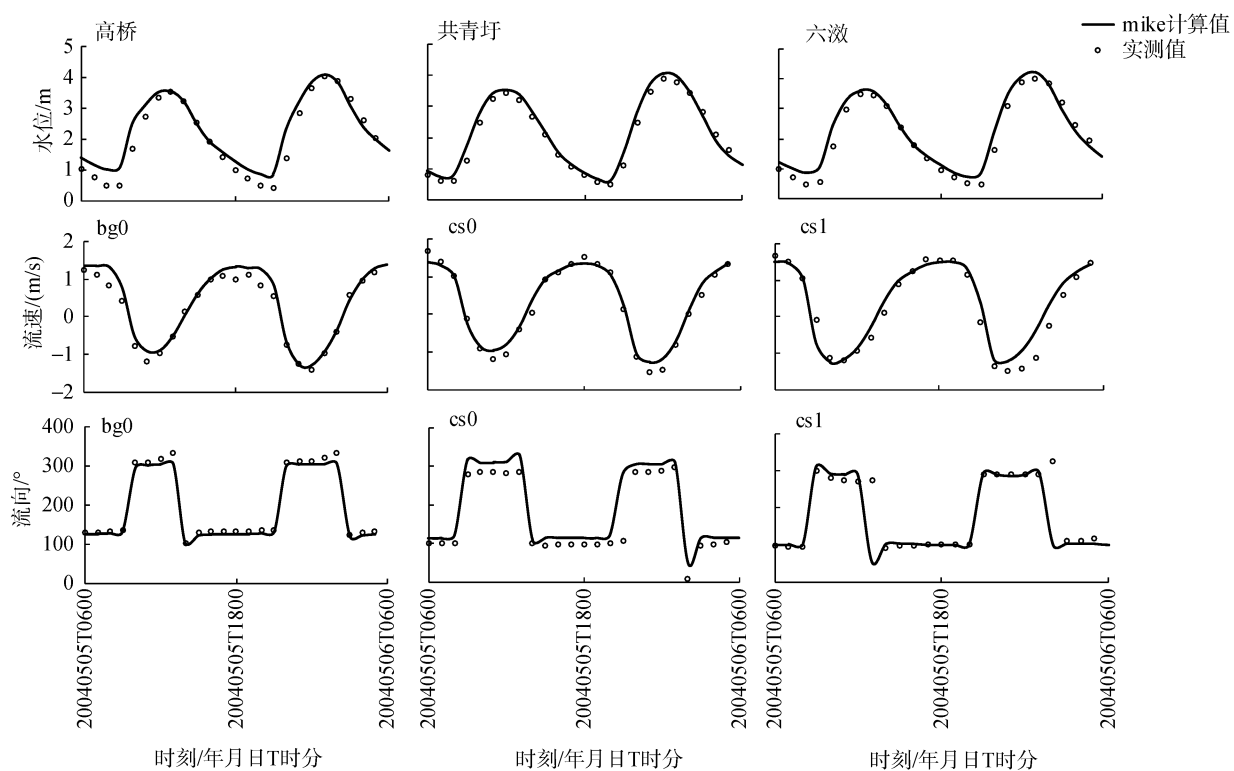


图 3 潮位、流速和流向验证

Fig. 3 Comparison of measured and computed tidal level, current velocity magnitude, and current direction data

3 计算结果与分析

为分析南汇东滩促淤圈围工程对长江口河势演变产生的影响,本研究共设定了 4 个方案进行模拟计算,分别是枯季工程前、枯季工程后、洪季工程前和洪季工程后。枯季模拟计算时间设定为 2004 年 1~4 月,上边界流量取概率为 50%的 $16\,300\text{ m}^3/\text{s}$;洪季模拟计算时间设定为 2004 年 6~9 月,上边界流量取

概率为 50%的 $39\,600\text{ m}^3/\text{s}$ ^[10]。主要河道中设置潮位、流速、流向观测点及流量观测断面(如图 4),为叙述方便,下文所述北槽上段为北槽观测断面 1(BC1)~断面 2(BC2),北槽中段为观测断面 2~断面 3(BC3),北槽下段为观测断面 3~断面 4(BC4);南槽上段为观测断面 1(NC1)~断面 2(NC2),南槽中段为观测断面 2~断面 3(NC3),南槽下段为观测断面 3~断面 4(NC4)。

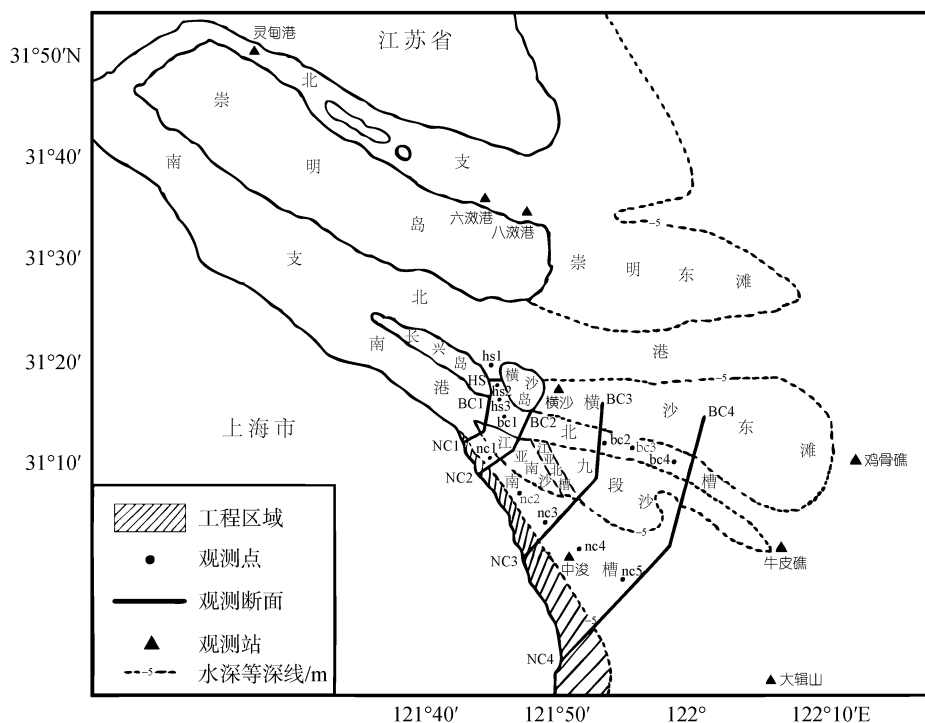


图 4 工程区域及各观测点、观测断面分布示意图

Fig. 4 Schematic diagram of engineering area, observation points, and observation sections

3.1 各汊道洪、枯季最大流速的变化

最大流速表征挟沙能力的大小,根据模拟计算结果(表 1),各汊道分析如下:

1) 横沙通道涨落潮最大流速出现了较大幅度的减小,最大流速减小程度枯季大于洪季、涨潮流大于落潮流,涨潮流最大流速减小程度为 8.42%,落潮流最大流速减小程度为 3.22%;显然,工程对横沙通道水力影响较为显著,涨落潮最大动能显著减小。

2) 北槽上中下 4 个观测点洪、枯季涨落潮最大流速变化都很接近。洪、枯季落潮流流速上段增加,下段减小,但增大和减小程度都小于 1.0%;洪枯季涨潮时,最大流速均出现了一定程度的减小,特别在北槽中段,洪季涨潮流最大流速减小程度都超过 3.0%,而北槽深水航道中段回淤量一直比较大,涨

潮流最大流速的减小说明北槽中段的回淤量会有增加的趋势。

3) 南槽沿程 5 个观测点,涨落潮最大流速变化不一。观测点 nc1 洪、枯季涨落潮最大流速减小程度落潮流大于涨潮流,落潮最大流速减小程度达 4.37%。而北槽观测点 bc1 落潮流最大流速是增加的,且断面 BC1 比 NC1 断面平均水深要深 2 m 左右,显然,工程后会有更多的泥沙从北槽走。

观测点 nc2 洪、枯季涨落潮最大流速增加较为明显,增加程度落潮流枯季大于洪季,涨潮流洪季大于枯季,增加最大的为 10.44%,增加最小的也达 6.69%。从流向上看,落潮流沿河槽走;而涨潮时,流向指向北槽,显然,工程后南槽中段增大的流速对上段并没有产生动力上的影响。

表 1 洪、枯季工程前后落、涨潮流最大流速及总流速的变化率

Tab. 1 Maximum ebb and flood velocity magnitudes and total accumulated current velocity change ratios caused by the project during the flood and dry seasons

汉道	观测点	最大流速工程前后变化率/%				总流速工程前后变化率/%			
		洪季		枯季		洪季		枯季	
		落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮
横沙通道	hs1	-1.90	-7.38	-1.72	-8.42	-2.84	-9.23	-4.80	-8.83
	hs2	-2.25	-7.50	-3.22	-8.23	-6.21	-10.47	-5.13	-7.27
	hs3	-1.86	-6.36	-1.55	-3.96	-1.37	-8.26	-1.91	-6.65
北槽	bc1	0.70	-0.93	0.28	-1.16	0.93	-5.21	0.15	-4.10
	bc2	0.36	-3.86	0.08	-3.08	-0.75	-5.11	-1.98	-3.57
	bc3	0.22	-4.07	-0.06	-3.45	-1.08	-4.61	-2.22	-3.24
	bc4	-0.17	-2.71	-0.80	-2.08	-1.19	-2.36	-2.11	-1.24
南槽	nc1	-3.73	-1.87	-4.37	-1.75	-3.80	-1.73	-4.29	-3.31
	nc2	9.98	9.78	10.44	6.69	6.14	6.63	7.06	5.56
	nc3	5.33	-0.75	5.62	-4.93	2.60	-2.78	2.30	-1.95
	nc4	3.02	1.27	3.18	1.18	2.63	2.87	2.30	2.55
	nc5	0.93	-3.00	0.53	-2.30	-1.77	-3.98	-3.06	-1.50

注：“-”代表流速变小

观测点 nc3 洪、枯季最大流速变化表现为落潮流增大涨潮流减小，洪、枯季落潮流最大流速增大程度基本接近，为 5.4%左右，且落潮流沿着主槽走；涨潮流最大流速减小程度枯季大于洪季，枯季为 4.93%，洪季仅为 0.75%，涨潮流流向指向北槽。

观测点 nc4 洪、枯季涨落潮最大流速都是增加的，增加程度落潮流大于涨潮流。落潮流流速变化洪枯季为 3.0%左右，落潮流仍沿着主槽走；涨潮流流速变化洪枯季为略大于 1.0%，涨潮流流向仍然指向北槽。

观测点 nc5 洪枯季最大流速变化落潮流增大涨潮流减小，但落潮流最大流速增加程度小于 0.93%，而涨潮流最大流速减小程度大于 2%，流向与上述 3 个观测点一致。

由此可以判断，工程后，落潮流将使南槽河段从中段至下段河槽河势得到发展；而涨潮流指向北槽，主要沿江亚北槽流向北槽，江亚北槽将会得到发展，江亚南沙与九段沙在一定程度上会受到侵蚀；水历经江亚北槽进入北槽后，北槽中段涨潮流将会受到抑制，对北槽中段以下河段会产生较为不利的影响。

3.2 各汉道洪、枯季涨落潮总流速的变化

观测点流速的累加值表征该点单宽总动量的大小，根据模拟计算结果(表 1)，各汉道分析如下：

1) 横沙通道涨落潮总流速出现了较大幅度的减小，减小程度洪季大于枯季、涨潮流大于落潮流。洪

季涨、落潮总流速减小程度最大分别为 10.45%和 6.21%；枯季涨、落潮总流速减小程度最大分别为 8.83%和 5.13%。显然，横沙通道洪、枯季涨落潮总动量大幅减小，对泥沙输运将会产生不利的影响。

2) 观测点 bc1 总流速变化为涨潮流减小、落潮流增加，涨潮流总流速洪、枯季减小程度大于 4.0%，而落潮流总流速增大程度小于 1.0%。北槽其余 3 个观测点洪、枯季涨落潮总流速都出现了一定程度的减小，总流速减小程度涨潮流洪季大于枯季、落潮流枯季大于洪季。其中，洪季涨、落潮流总流速减小程度最大分别为 5.11%和 1.12%，枯季涨、落潮流总流速减小程度最大分别为 3.57%和 2.22%，且涨、落潮总流速减小程度都较显著。显然，工程对北槽全河段的影响都是不利的，尤其对北槽中段以下河段的影响较为显著。

3) 南槽沿程 5 个观测点，洪、枯季涨落潮总流速变化不一。观测点 nc1 洪、枯季涨落潮总流速都有所减小，减小程度大于 1.73%；观测点 nc2 洪、枯季涨落潮总流速都出现了较大程度的增加，增加程度大于 5.0%；观测点 nc3 洪、枯季总流速落潮流增加、涨潮流减小，落潮流总流速增加程度大于 2.30%，涨潮流总流速减小程度小于 2.78%；观测点 nc4 洪、枯季涨落潮总流速都出现了一定程度的增加，总流速增加程度洪季大于枯季、落潮流大于涨潮流，落潮流总流速增加程度最大为 2.87%，涨潮流总流速增

加程度最小为 2.30%。显然, 观测点 nc2~nc4 河段, 由于涨落潮单宽总动量净增加较大, 河段将出现持续的冲刷。观测点 nc5 洪、枯季涨落潮总流速都有所减小, 且减小程度大于 1.5%, 而观测点 nc5 设置在南汇东滩促淤圈围工程河段深槽中, 河段缩窄后, 观测点 nc5 洪、枯季涨落潮总流速理应增加, 显然, 观测点 nc5 河段高流速区发生了改变, 即观测点 nc5 河段水下深槽位置将发生改变。

3.3 围垦工程对河道流量的影响

在南汇东滩促淤围垦工程影响下, 由于南槽纳潮量减小了, 各汊道观测断面的流量变化如下。

1) 表 2 和表 3 分别为模拟计算得到的南槽主要观测断面工程前后洪、枯季涨落潮流量变化情况。落潮时, 水流从断面 NC1 流至 NC4 时工程后流量都减小了, 但水流至各断面流量变化有些差异。水流从断面 NC1 流至 NC2 时, 流量是减小的, 说明工程后由北槽流入南槽的水变少了; 水流从断面 NC2 流至 NC3 时, 流量是增加的, 但洪枯季绝对增加量工程

前后基本相同, 说明水从北槽流进南槽的量维持不变; 从断面 NC3 流至 NC4 时, 流量也是增加的, 但工程后增加程度变小了, 这与北槽断面 NC3 流量变小有一定关系, 且洪、枯季由北槽进入南槽的水基本相同。进一步分析南槽各断面流量之比及它们的关系曲线(如图 5), 工程后南槽洪枯季沿程断面流量之比几乎是一条直线, 说明南槽沿程容积与流量关系变化趋于一个常数, 即北槽沿程进入南槽多少水量是由南槽容积大小决定的, 这对南槽的河势发展较为有利, 而对北槽的河势发展应该是不利的, 因为北槽沿程都在向南槽“贡献”一定的河势动力。涨潮时, 枯季由于径流动力弱, 涨潮量远大于洪季涨潮量(表 3), 但水流从断面 NC4 流至 NC1 时, 沿程流量变化也都是减小的, 说明南槽沿程都有水进入北槽, 而工程后, 洪、枯季沿程断面流量之比变小了, 说明由南槽进入北槽的水量减小了。由图 5 可知, 由南槽进入北槽的水, 主要是通过江亚北槽进入北槽, 北槽中下段河势处于较为不利的形势。

表 2 南槽各断面落潮流流量及其变化

Tab. 2 Ebb flow rate and change at selected cross-sections in the South Passage

观测断面	流量/($\times 10^7 \text{m}^3/\text{s}$)				工程前后流量变化率/%		相邻两断面间流量比			
	洪季		枯季		洪季	枯季	洪季		枯季	
	前	后	前	后			前	后	前	后
NC1	4.63	4.48	3.64	3.50	3.28	3.77				
							1.01	1.03	0.99	1.01
NC2	4.57	4.34	3.67	3.45	5.07	5.78				
							0.90	0.90	0.88	0.88
NC3	5.08	4.84	4.15	3.94	4.71	5.02				
							0.74	0.79	0.69	0.75
NC4	6.86	6.11	6.00	5.28	10.92	12.10				

注: “前”表示“工程前”, “后”表示“工程后”。(表 3、表 4、表 5、表 6 同)

表 3 南槽各断面涨潮流流量及其变化

Tab. 3 Flood flow rate and change at selected cross-sections in the South Passage

观测断面	流量/($\times 10^7 \text{m}^3/\text{s}$)				工程前后流量变化率/%		相邻两断面间流量比			
	洪季		枯季		洪季	枯季	洪季		枯季	
	前	后	前	后			前	后	前	后
NC1	1.26	1.26	1.89	1.85	0.46	2.19				
							1.13	1.07	1.18	1.12
NC2	1.42	1.34	2.23	2.07	6.03	7.31				
							1.90	1.85	1.70	1.68
NC3	2.70	2.48	3.78	3.48	8.45	8.09				
							2.04	1.91	1.80	1.71
NC4	5.52	4.72	6.82	5.94	14.40	12.94				

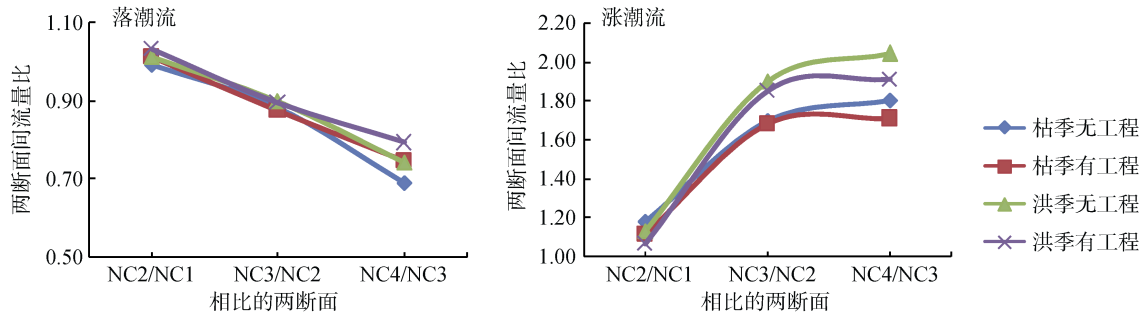


图 5 南槽工程前后沿程相邻两断面洪、枯季落、涨潮流量比

Fig. 5 Flow rate ratios at two adjacent cross-sections in the South Passage during the dry and flood seasons, before and after the project

2) 北槽沿程 4 个断面洪、枯季涨、落潮工程前后流量变化有较大的差异(表 4、表 5)。落潮时, 断面 BC1 和 BC2 流量略有增加, 断面 BC1 流量增加, 主要是南港进入北槽的水分流比增加了, 断面 BC2 流量增加, 则是北港和横沙通道共同增加流入的水; 断面 BC3 和 BC4 流量略有减少, 减少的流量主要进入了南槽; 断面 BC1 与 BC2、断面 BC3 与 BC4 工程前后断面间的流量比值洪、枯季完全相同(图 6), 比

值不变河段容积大小在这里起了主要作用; 断面 BC2~BC3, 两断面的流量比工程后洪枯季都是增大的, 说明断面 BC2~BC3 河段工程后流量增加量变小了, 即工程后该河段有更多的水通过江亚北槽进入了南槽。涨潮时, 尽管工程后涨潮流量有所减小(表 5), 但工程前后枯季与枯季、洪季与洪季涨潮流量沿程变化率及各断面之间的比值基本相同(图 6), 显然, 北槽沿程各断面之间涨潮流量存在一个确定的关系,

表 4 北槽各断面落潮流流量及其变化

Tab. 4 Ebb flow rate and change at selected cross-sections in the North Passage

观测断面	流量/($\times 10^7 \text{m}^3/\text{s}$)				工程前后流量变化率/%		相邻两断面间流量比			
	洪季		枯季		洪季	枯季	洪季		枯季	
	前	后	前	后			前	后	前	后
BC1	3.80	3.87	3.02	3.06	-1.78	-1.11				
							0.71	0.71	0.69	0.69
BC2	5.35	5.43	4.37	4.40	-1.48	-0.65				
							0.90	0.93	0.86	0.89
BC3	5.92	5.87	5.08	4.96	0.98	2.33				
							0.77	0.78	0.74	0.74
BC4	7.66	7.55	6.89	6.75	1.36	2.05				

表 5 北槽各断面涨潮流流量及其变化

Tab. 5 Flood flow rate and change at selected cross-sections in the North Passage

观测断面	流量/($\times 10^7 \text{m}^3/\text{s}$)				工程前后流量变化率/%		相邻两断面间流量比			
	洪季		枯季		洪季	枯季	洪季		枯季	
	前	后	前	后			前	后	前	后
BC1	2.41	2.31	3.00	2.90	4.00	3.27				
							0.76	0.75	0.77	0.76
BC2	3.18	3.08	3.90	3.82	3.21	1.98				
							1.06	1.06	1.10	1.10
BC3	3.00	2.90	3.54	3.46	3.54	2.25				
							0.53	0.51	0.52	0.51
BC4	5.71	5.65	6.80	6.76	1.16	0.54				

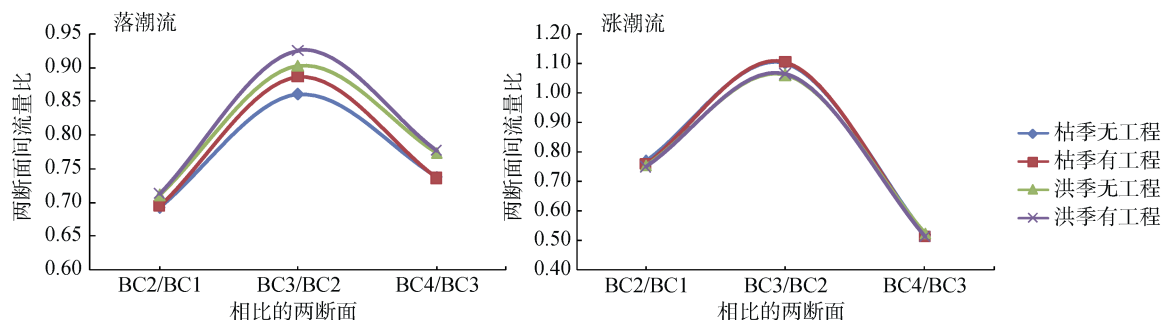


图 6 北槽工程前后沿程相邻两断面洪、枯季落、涨潮流流量比

Fig. 6 Flow rate ratios at two adjacent cross-sections in the North Passage during the flood and dry seasons, before and after the project

若某一断面流量发生较大的改变,沿程流量都会随之调整。从断面 BC4~BC3,流量是减小的,减小的流量主要通过横沙东滩浅滩流入北港;从断面 BC3~BC2,流量是增加的,增加的流量由南槽的涨潮流通过江亚北槽进入北槽;从断面 BC2~BC1,流量是减小的,减小的流量主要通过横沙通道流向北港。北槽沿程流量的减小与增加显然由北槽沿程容积与流量关系控制了,而江亚北槽在平衡北槽沿程容积与流量关系中扮演了重要的角色,南槽、江亚北

槽、北槽中上段和横沙通道构成了较强的河系关系,这对北槽中下段河段会产生不利的影响。

3) 南汇东滩促淤圈围工程对北槽流量的影响最大不超过 4.0%(表 4、表 5),对横沙通道涨潮流流量的影响却接近 9.0%,对落潮流流量的影响也超过 5.0%(表 6),虽然横沙通道与北槽直接连通,与南槽的联系隔着北槽,但南汇东滩促淤围垦工程对横沙通道的水流影响更大,显然,横沙通道水流与南槽水流存在联系。

表 6 横沙通道工程前后洪、枯季观测断面流量统计结果

Tab. 6 Statistical results of the flow rate at selected cross-sections in Hengsha Passage during the flood and dry seasons, before and after the project

汉道	观测断面	洪季流量/($\times 10^7 \text{m}^3/\text{s}$)				枯季流量/($\times 10^7 \text{m}^3/\text{s}$)				工程前后流量变化率/%			
		落潮流		涨潮流		落潮流		涨潮流		洪季		枯季	
		前	后	前	后	前	后	前	后	落潮	涨潮	落潮	涨潮
横沙通道	HS	1.57	1.5	1.02	9.28	1.42	1.34	1.28	1.19	4.64	8.85	5.14	7.33

为了分析横沙通道流量与南槽、北槽流量相关程度,用断面 HS、NC3、BC3 作为分析对象,将计算时段两个月的潮周期里的流量按涨落潮各自累加,得到潮周期涨落潮流量过程(如图 7),再利用这个流量过程分析它们的相关性。图 8、图 9 分别是断面 HS 与 NC3、BC3 涨落潮流量关系散点图,从图中可以看出,HS 与 NC3 比 HS 与 BC3 在流量上有更好的相关性。通过计算得到:落潮时,HS 与 NC3 的相关系数为 0.957,与 BC3 的相关系数为 0.872;涨潮时,两者分别为 0.988 和 0.93。可以看出,HS 流量与 NC3 流量相关系数更大,特别是涨潮流流量两者相关系数接近于 1.0,显然,断面 HS 流量与 NC3 流量有着更紧密的联系,这个联系正是通过江亚北槽构成的。由于北港输沙量较南港输沙量大两倍左右,而横沙通道直接贯通了北港和北槽之间的水沙交换^[5],因

此,南汇东滩促淤圈围工程对横沙通道会产生较大的影响,特别对横沙通道作为航道开发与利用会带来极为不利的影响。

4 结论

本文利用 MIKE21 建立的长江口二维潮流数值模型,分析了南汇东滩促淤圈围工程对长江口南槽、北槽和横沙通道的影响,得到的结论主要如下:

1) 南汇东滩促淤圈围工程束窄了南槽下段河道,改变了南槽河道边界,较大幅度地减小了南槽涨落潮流量,增加了南槽中段以下河段的流速。南槽河势的改变对横沙通道、北槽流速及流量都产生了较大的影响,横沙通道洪枯季涨落潮流速与流量减小都较大,北槽减小次之。

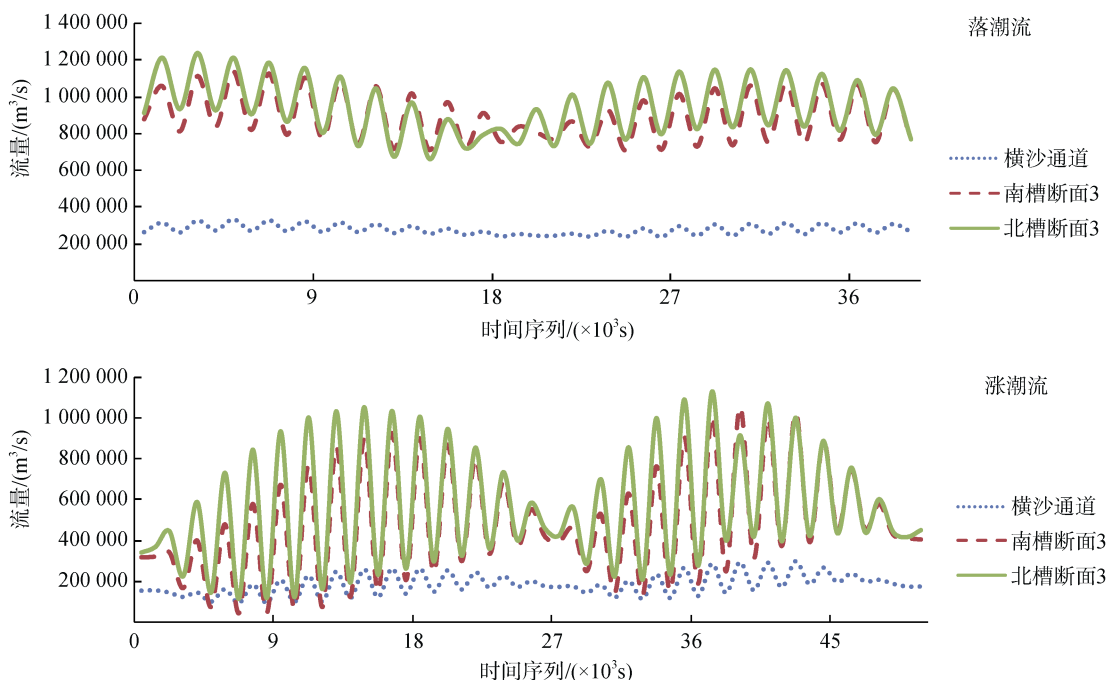


图 7 横沙通道、南槽断面 3 和北槽断面 3 落、涨潮周期里累积流量过程

Fig. 7 Time history of cumulative flood and ebb flow rates at selected cross-sections in the Hengsha, South, and North Passages

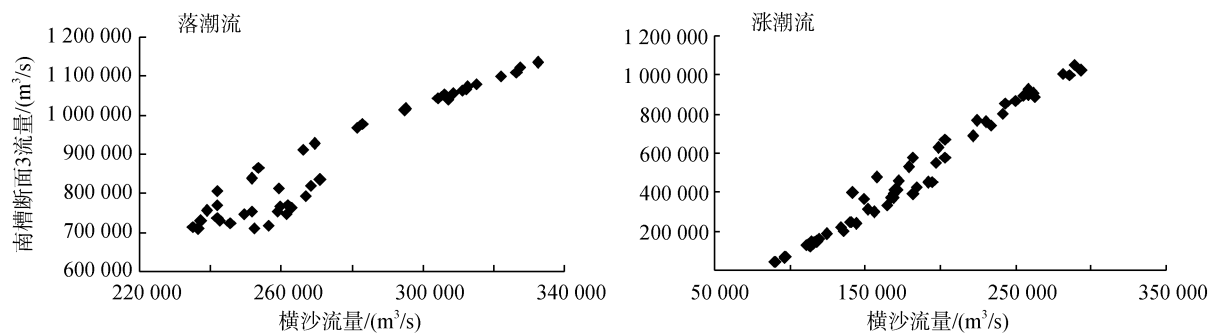


图 8 横沙通道与南槽断面 3 落、涨潮流量关系散点图

Fig. 8 Scatter diagram of the relationship between flood and ebb flow rates at selected cross-sections in the Hengsha and South Passages

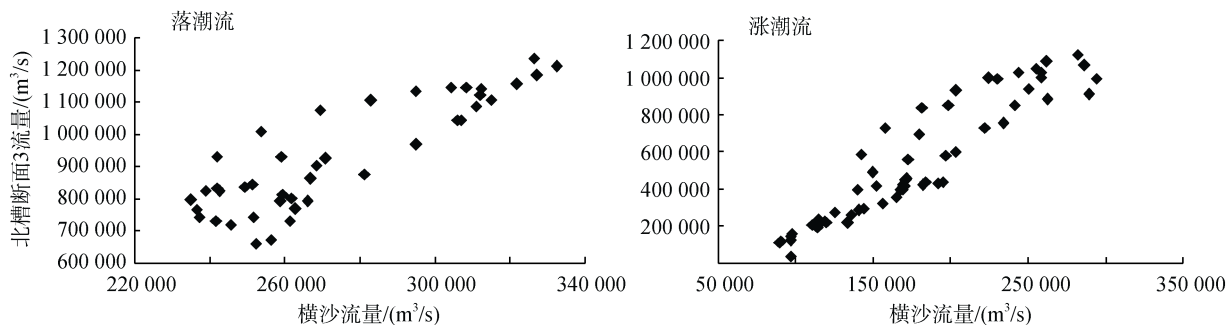


图 9 横沙通道与北槽断面 3 落、涨潮流量关系散点图

Fig. 9 Scatter diagram of the relationship between flood and ebb flow rates at selected cross-sections in the Hengsha and North Passages

2) 南槽中段以下河段洪枯季涨落潮流速增加幅度较大, 南槽中段以下河槽将会刷深, 河势将得到发展。 3) 江亚南沙和九段沙会受到一定程度的侵蚀,

江亚北槽会得到发展,而江亚北槽的发展,在一定程度上会减小北槽中段的流速及流量,对北槽中段河势发展较为不利。

4) 横沙通道流量和南槽流量存在非常高的相关性,工程后因横沙通道水流流速与流量减小都较大,未来对横沙通道作为航道开发和利用会带来较为不利的影响。

参考文献:

- [1] 赵宝恩,王大伟,曹慧江. 横沙东滩促淤圈围工程对长江口北槽深水航道的影响[J]. 中国港湾建设, 2015, 35(9): 14-19.
Zhao Baoen, Wang Dawei, Cao Huijiang. Influence of Hengsha east shoal siltation and reclamation project on north passage of Yangtze estuary deepwater channel [J]. China Harbour Engineering, 2015, 35(9): 14-19.
- [2] 李林江, 朱建荣. 长江口南汇边滩围垦工程对流场和盐水入侵的影响[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2015, 2015(4): 77-86.
Li Linjiang, Zhu Jianrong. Impacts of the reclamation project of Nanhui tidal flat on the currents and saltwater intrusion in the Changjiang estuary [J]. Journal of East China Normal University, 2015, 2015(4): 77-86.
- [3] 刘红, 应铭, 张华, 等. 工程条件下长江口南槽自适应过程[C]//中国海洋工程学会. 第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(中). 北京: 海洋出版社, 2011: 1135-1142.
Liu Hong, Ying Ming, Zhang Hua, et al. Adaptive process of the South channel of the Changjiang Estuary under engineering conditions [C]//China Ocean Engineering Society. Proceedings of the fifteenth China Marine (Offshore) Engineering Symposium. Beijing: Ocean Press, 2011: 1135-1142.
- [4] 刘高伟, 程和琴, 李九发, 等. 近期长江河口南汇南滩水域水沙变化特征[J]. 海洋科学, 2015, 39(10): 108-115.
Liu Gaowei, Cheng Heqin, Li Jiufa. Recent variations in tidal current and suspended sediment concentration in the Nanhui south Shoal of the Changjiang Estuary [J].

- Marine Sciences, 2015, 39(10): 108-115.
- [5] 陈维, 匡翠萍, 顾杰, 等. 南沙头通道及横沙通道对长江口深水航道的影响分析[J]. 海洋科学, 2013, 37(4): 75-80.
Chen Wei, Kuang Cuiping, Gu Jie, et al. Influences of the Nanshatou Passage and the Hengsha Passage on sediment deposition in deepwater navigation channel of the Changjiang River Estuary[J]. Marine Sciences, 2013, 37(4): 75-80.
- [6] 季岚, 龚鸿锋, 楼飞. 长江口横沙通道通航功能定位的初步研究[J]. 水运工程, 2010, 12(448): 104-108.
Ji Lan, Gong Hongfeng, Lou Fei. Preliminary study on navigation function orientation of Hengsha Passage at Yangtze Estuary [J]. Port & Waterway Engineering, 2010, 12(448): 104-108.
- [7] 程海峰, 刘杰, 赵德招. 横沙通道近期河床演变及趋势分析[J]. 水道港口, 2010, 31(5): 365-369.
Cheng Haifeng, Liu Jie, Zhao Dezhao. Analysis of river bed evolution and prediction of its trend for Hengsha Passage[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2010, 31(5): 365-369.
- [8] 林发永. 南汇东滩促淤圈围工程区域排涝方案研究[J]. 水利规划与设计, 2013, 11: 14-17.
Lin Fayong. Nanhui Dongtan enclosure area and drainage engineering research program[J]. Water Resources Planning and Design, 2013, 11: 14-17.
- [9] DHI. Mike 21&Mike 3 flow model hydrodynamic and transport module scientific documentation[M]. Hørsholm: DHI Water & Environment, 2009.
- [10] 陈维. 长江口海平面上升与水动力响应关系的研究[D]. 上海: 同济大学, 2015.
Chen Wei. Study on the relationship between the sea level rise in the Yangtze Estuary and the dynamic response of the water[D]. Shanghai: Tongji University, 2015.
- [11] 孙波. 三峡与南水北调工程对长江口盐水楔影响的数值研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
Sun Bo. Numerical study on the influence of the Three Gorges Project and the south to North Water Transfer Project on the Yangtze River Estuary salt water wedge [D]. Shanghai: Tongji University, 2006.

Numerical analysis of the impact of the Nanhui East Tidal Flat reclamation project on river regime evolution in the Yangtze Estuary

GU Jie, ZHENG Yu-hua

(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: Aug. 7, 2016

Key words: the Yangtze Estuary; reclamation project; river regime evolution; MIKE21 model

Abstract: To study the impact of the Nanhui East Tidal Flat reclamation project on river regime evolution in the Yangtze Estuary, a two-dimensional tidal flow numerical model of the estuary was established based on the MIKE21 model. The model was calibrated with field data and the analysis focused on the North, South, and Hengsha Passages. The numerical results show that after the reclamation project the tidal discharge greatly decreases and the velocity significantly increases in the South Passage due to a reduction in river width. This results in river bed scour and the river regime developing downstream from the middle of the South Passage. Although the Jiangya North Passage will be developed, the sedimentation in the middle of the North Passage will be intensified. The tidal discharge in the Hengsha Passage shows a high correlation with that in the South Passage and dramatically decreases. This may have a negative effect on the development and utilization of the Hengsha Passage as a navigation channel. These research results present significant scientific guidelines on both unpredictable problems in river regime control and the reclamation project itself.

(本文编辑: 刘珊珊)