



# 九段沙北侧输沙对长江口深水航道的影响

胡志锋, 贾晓, 吴华林, 刘高峰  
(上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201)

**摘要:** 为了研究南汇边滩促淤圈围工程对长江口九段沙滩面输沙和南导堤越堤水沙运动带来的影响, 在长江口整体潮流河工模型上, 采用定床输沙物理模型试验方法, 研究了九段沙沿程滩面泥沙起动后的跨槽越堤输移, 根据底沙在北槽的分布分析了促淤圈围工程对北槽航道的影响。研究表明: 无论有无圈围工程, 九段沙的底沙均能够越堤进入长江口深水航道, 但促淤工程使九段沙头部进入北槽航道的泥沙略有减少, 九段沙中部进入北槽航道的泥沙略有增加。

**关键词:** 长江口; 底沙运动; 定床输沙; 跨槽输移

**中图分类号:** TV 142

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2013)11-0095-05

## Impact to Yangtze estuary deepwater channel by sediment transportation of north part of Jiuduansha shoal

HU Zhi-feng, JIA Xiao, WU Hua-lin, LIU Gao-feng

(Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

**Abstract:** In order to study the relationship between Nanhui beach reclamation and beach sedimentation transportation on the top of Jiuduansha shoal as well as sediment transportation crossing the south training dike of the Yangtze estuary deep-water channel engineering, comparative experiments of fixed bed sediment transport before and after the reclamation are made on the Yangtze estuary model. The cross dike sediment transportation along with sediment incipient motion along Jiuduansha shoal is studied, then according to the bottom sediment distribution in the north passage, the influence on the deep-water channel in the north passage caused by the reclamation can be analyzed. The study shows that the bottom sediment of Jiuduansha shoal can be transported crossing the south training dike into the deep-water channel with or without reclamation. When the reclamation is executed, less sediment of the head part of Jiuduansha shoal is transported into the channel in the north passage, but more sediment of the medium part of Jiuduansha shoal is transported into channel.

**Key words:** the Yangtze estuary; bottom sediment transportation; fixed bed sediment transport model; sediment transportation crossing riverbed

长江口深水航道工程位于长江口南港北槽, 整治前维护水深为 7 m, 整治工程从 1998 年开工, 分三期整治连续加深至 8.5, 10.0 和 12.5 m, 工程完工后, 能满足第三、四代集装箱船和 5 万吨级船舶全潮双向通航的要求, 同时兼顾满足第五、六代大型远洋集装箱船和 10 万吨级满载散货船及 20 万吨级减载散货船乘潮通过长江口的要求。目前, 该航道

是长三角地区和长江流域主要入海通道。

自长江口北槽深水航道工程开通以来, 工程周边的边界条件有很大的改变。尤其是随着上海经济和社会的快速发展, 土地资源短缺的矛盾日益突出, 从而促使了横沙东滩、南汇边滩的滩涂开发。该类圈围工程的实施, 使长江口入海口的涨落潮边界产生一定变化。

**收稿日期:** 2013-08-25

**作者简介:** 胡志锋 (1968—), 男, 副研究员, 从事河口海岸工程的研究。

南汇边滩促淤圈围方案位于浦东机场外侧促淤区以南的南汇边滩滩地，滩顶高程-2~-3 m，东临东海，西靠上海浦东新区，北界长江口南槽，总体呈西北—东南走向，圈围工程见图1。

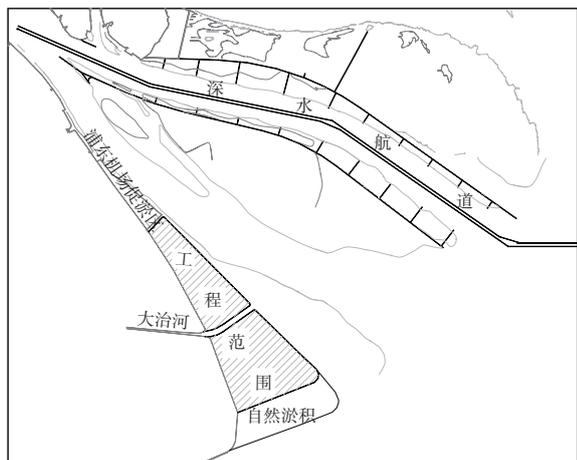


图1 南汇东滩促淤圈围方案位置

由于南汇边滩促淤圈围方案规模庞大，在促淤阶段以及圈围方案实施以后，工程可能导致周边水域水动力条件发生变化。根据经验判断，九段沙滩间带附近的涨潮动力将会一定程度的增强，使滩面流速增大，引起滩地冲刷。

长江口深水航道南侧紧邻九段沙，2008年10月和11月以及2009年4月的现场水沙观测发现，九段沙涨潮越堤流携带一定的泥沙进入北槽<sup>[1-2]</sup>，因此本工程实施后九段沙水沙条件变化是否会促使更多的泥沙越过南导堤进入北槽，进而给深水航道带来不利影响是需要回答的问题。

对于河床形态较为稳定的河槽，目前采用数值模拟手段可以较好地反映泥沙输移路径<sup>[3-4]</sup>。但是鉴于本工程越堤流的数值模拟难度以及长江口深水航道工程的重要性，本研究通过潮流河工模型的定床输沙物理模型试验方法<sup>[5]</sup>，研究了长江口南汇边滩促淤圈围方案实施前后九段沙滩面输沙和南导堤越堤水沙对北槽的影响，重点关注了九段沙滩面泥沙输移路径、越堤泥沙在北槽的主要淤积部位。

### 1 研究手段

研究南汇东滩促淤圈围方案实施对九段沙滩

面泥沙输移路径及泥沙越过南导堤进入北槽后淤积部位的影响，进而判断南汇工程实施后九段沙滩面输沙变化对北槽深水航道的影响。

#### 1.1 模型设计

研究在长江口整体物理模型上进行，模型上至江阴，下至长江口外-30 m等深线，北至苏北嘴，南至杭州湾；平面比尺1:1 000，纵向比尺1:125。

输沙研究采用定床铺沙的手段进行。为全面考虑九段沙输沙对深水航道的影响，在九段沙上、中、下设置3处铺沙区，确定工程前后九段沙各处输沙对深水航道的影响。铺沙区位置见图2。

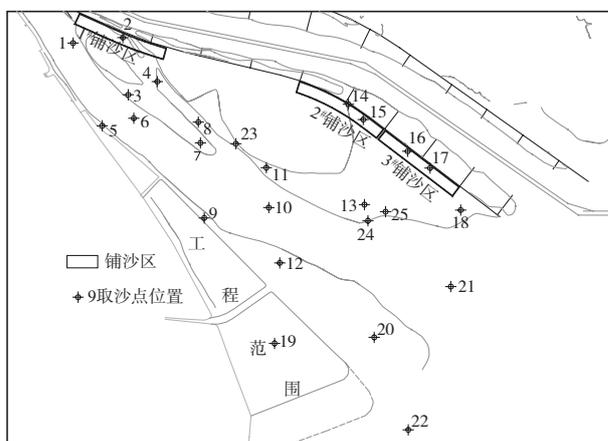


图2 铺沙区和现场取沙位置

为定量研究九段沙越堤泥沙对北槽航道的影响，试验中在航道维护困难段的W3附近设置了集沙盒，集沙盒布置从疏浚单元G到O，布置长度相当于天然17 km，见图3。集沙盒从上游到下游分别编号1~34。

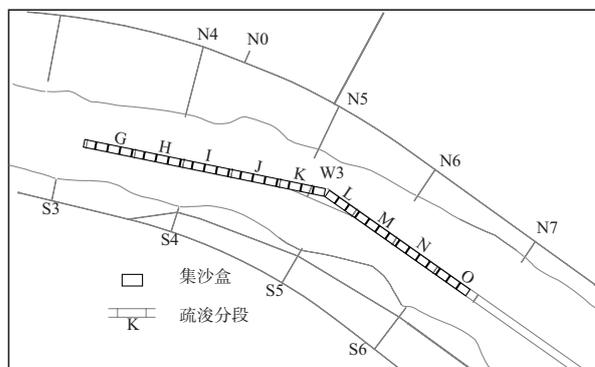


图3 航道集沙盒布置

#### 1.2 模型沙选择

九段沙区域历年粒径资料较少，本次采用

2009年9月在九段沙、南槽和南汇边滩进行的现场床沙取样资料作为模型选沙的依据。九段沙上(包括铺沙区)的底沙中值粒径差异较为明显, 3个铺沙区底沙中值粒径也相差明显, 位于江亚北槽的1#铺沙区底沙中值粒径最大, 为0.198 mm, 位于九段沙的2#铺沙区底沙平均中值粒径为0.035 mm, 位于九段沙尾部的3#铺沙区底沙平均中值粒径为0.044 mm。

试验中模型沙选择以起动相似为主, 兼顾沉降相似。研究采用沙玉清公式计算天然沙起动流速<sup>[6]</sup>:

$$U_c = H^{0.2} \sqrt{1.1 \times \frac{(0.7 - \varepsilon)^4}{d} + 0.43d^{3/4}} \quad (1)$$

式中:  $U_c$ 为起动流速 (m/s);  $\varepsilon$ 为沙的孔隙率;  $H$ 为水深 (m);  $d$ 为泥沙的中值粒径 (mm)。

根据模型流速比尺得出模型沙起动流速, 天然沙孔隙率取0.35, 则各铺沙区模型沙需要满足的起动流速条件见表1。

表1 模型沙要求起动流速

位置	天然沙 (公式计算)		模型沙需要起动流速		起动流速比尺
	水深/m	起动流速/(m·s <sup>-1</sup> )	水深/cm	起动流速/(cm·s <sup>-1</sup> )	
1区	2	0.53	1.6	4.72	11.18
	4	0.61	3.2	5.42	11.18
2区	2	0.82	1.6	7.31	11.18
	4	0.94	3.2	8.40	11.18
3区	2	0.74	1.6	6.63	11.18
	4	0.85	3.2	7.62	11.18

因此可知, 各铺沙区要求模型沙的起动流速较小, 适当选择模型沙极为重要。根据窦国仁起动流速研究成果<sup>[7]</sup>, 密度为1.05 t/m<sup>3</sup>的塑料沙最小起动流速约为5 cm/s, 比较适合作为此次试验的模型沙。通过窦国仁起动流速公式计算, 密度1.05 t/m<sup>3</sup>的塑料沙中, 中值粒径0.25 mm的适用于1#铺沙区, 中值粒径0.50 mm的适用于2#和3#铺沙区。

## 2 试验研究

### 2.1 研究方案

3个研究方案为无工程、促淤方案、圈围方案。无工程即工程前的状况; 促淤方案即在各围

区留有纳潮口门, 方案布置见图4; 圈围方案在促淤方案的基础上外侧围堤全部出水, 工程位置与促淤方案相同。

### 2.2 底沙输移路径

研究中根据模型山塑料沙的迹线, 绘制了3个铺沙区域的泥沙各自的输移路径和主要淤积区域, 见图5。

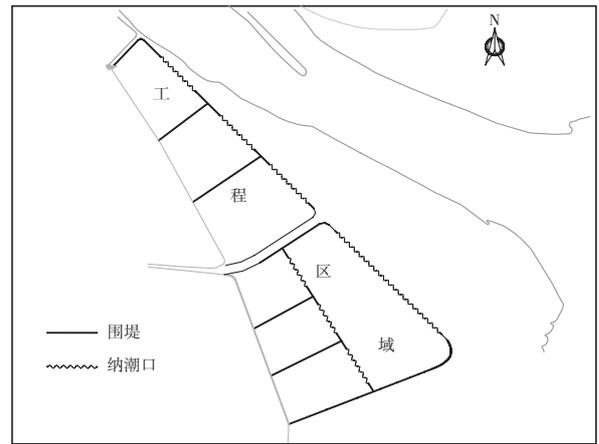


图4 一期促淤方案布置

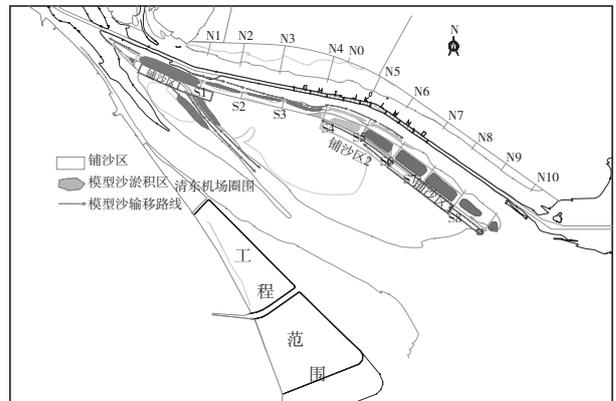


图5 九段沙不同铺沙区域的泥沙输移路径及主要淤积区域

由试验观察到的泥沙输移路径可以看出, 九段沙头部的铺沙区域, 泥沙起动后较为容易进入北槽航道内; 其他两个区域泥沙进入北槽后, 普遍淤积于坝田内, 对W3段航槽的影响相对较小。

### 2.3 北槽中段航槽内的集沙总量

为研究不同工况下各铺沙区底沙对北槽航道的影 响, 在北槽航道维护量较大的W3附近收集进入航道的底沙。

在铺沙区铺沙200 kg, 试验后称量统计在航道内收集到的模型沙总量, 则进入北槽航道的底沙总量结果见图6。

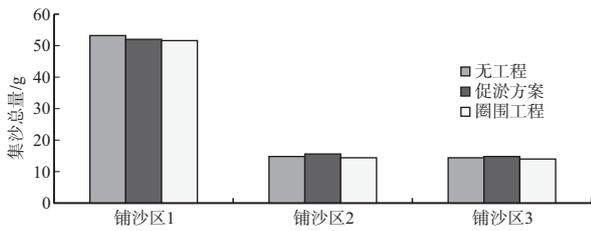


图6 各铺沙区北槽航道集沙总量

从图6可见，3个铺沙区进入W3附近北槽航道的底沙总量有如下特点：

1#铺沙区横跨了江亚北槽，区内是涨潮优势，涨急流速约1.3 m/s。铺沙区底沙可随涨潮水流越过南导堤进入北槽，输移路径距W3附近的北槽航道较近，进入航道的机会较多，因此航道内收集的沙量多于另外两个铺沙区。

2#铺沙区位于南导堤加高工程南侧，该处流场动力呈涨潮优势，但由于位于九段沙中部，涨

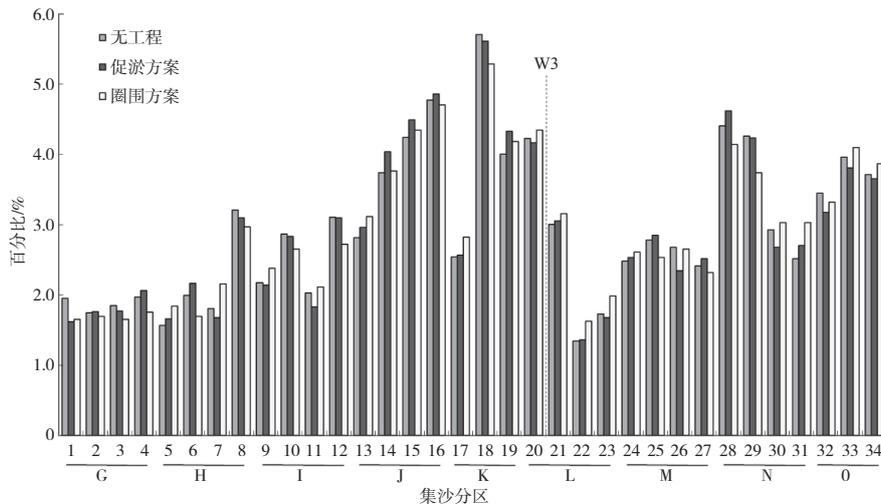
落急流速是3个铺沙区中最小的，不到0.8 m/s。底沙越过南导堤后，还要越过隔堤或者绕过隔堤头部才有可能进入W3附近北槽航道，因此2#铺沙区内的铺沙进入北槽航道较少。

3#铺沙区位于W3附近北槽航道右下方，在南导堤南侧涨潮沟上，呈涨潮优势，区内涨急流速最大约1.3 m/s。铺沙区的泥沙在涨潮流作用下，需要越过南导堤和隔堤才可能进入W3附近北槽航道，因此航道内收集沙量也较少。

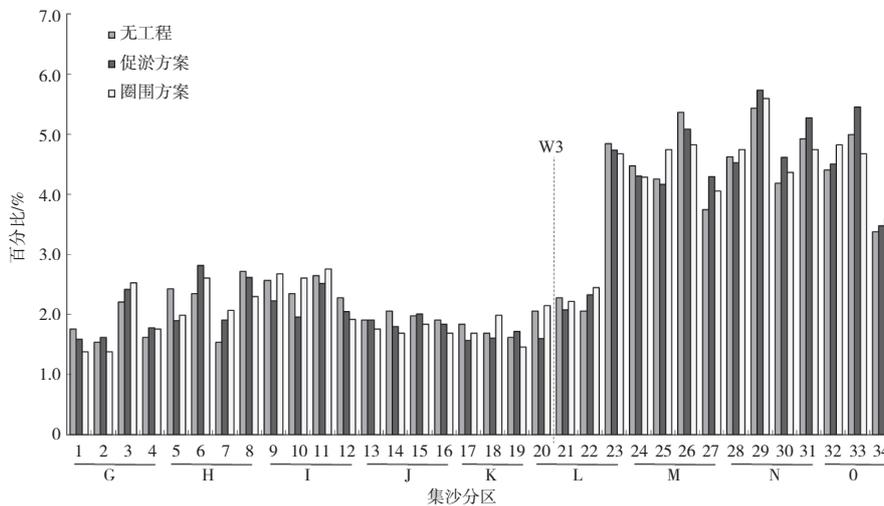
综上，促淤方案使1#铺沙区（九段沙头部）泥沙进入北槽航道总量减少2%左右；对2#和3#铺沙区（九段沙中部）泥沙进入北槽航道的总量有所增加，增加幅度为3%~4%，圈围方案进入北槽航道的泥沙总量略有减少。

#### 2.4 北槽中段航槽内集沙量的沿程分布

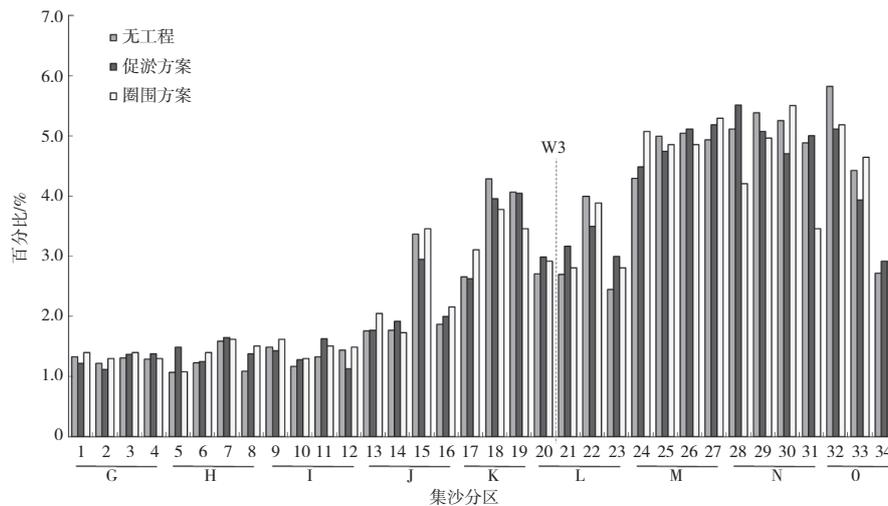
各铺沙区各方案下航道内集沙分布见图7。



a) 铺沙区1



b) 铺沙区2



e) 铺沙区3

图7 集沙分布

1#铺沙区各方案的集沙总量大于其余铺沙区, 在集沙分布上, W3上游的集沙分布大于下游, 集沙分布最集中的区域在J,K以及N疏浚单元, 这与泥沙沿航道从上游向下游的输移路径相吻合。

2#铺沙区各方案的集沙分布集中在W3下游的M,H,O疏浚单元, 但W3上游也有部分泥沙进入。

3#铺沙区各方案集沙分布集中在W3下游的M,H,O疏浚单元和W3上游的K疏浚单元, 与其它铺沙区的明显不同是: W3上游的G-I疏浚单元集沙明显较少, 这与该区域泥沙输移路径长且经过九段沙高滩地有关。

从各方案的集沙结果可以看出, 不同方案间的集沙分布基本相似, 试验表明南汇东滩工程对W3附近航道的回淤影响不明显。

### 3 结论

本文以南汇边滩促淤圈围工程为切入点, 在长江口整体模型中, 选择九段沙滩面典型的3个区域进行作为铺沙区域, 在特征水文条件下进行了定床输沙试验, 研究了圈围工程不同阶段引起的九段沙滩面泥沙输移变化以及其对深水航道的影响。试验研究得到以下结论:

1) 九段沙北侧滩面泥沙起动后跨槽输移对W3附近北槽航道的影响大于其它两个铺沙区, 九段沙中下段对W3附近北槽航道的影响均较小。

2) 促淤方案使九段沙头部泥沙进入北槽航

道总量减少2%左右; 对2#和3#铺沙区(九段沙中部)泥沙进入北槽航道的总量有所增加, 增加幅度为3%~4%。

3) 需要指出的是, 本铺沙试验仅模拟了底沙而未模拟悬沙, 所以本试验结果中未能反映工程对悬沙输移的影响, 另外由于现有的技术手段限制, 模型中未能增加波浪影响因素, 所以未能考虑大风天风浪掀沙情况下工程对铺沙区输沙变化影响, 因此, 模型预报和实际情况可能存在一定的偏差。

### 参考文献:

- [1] 刘猛, 吴华林, 李为华, 等. 长江口深水航道工程南导堤越堤水沙运动观测研究[J]. 海洋工程, 2011(2): 129-134.
- [2] 刘猛, 吴华林, 李为华, 等. 长江口北槽南导堤越堤输沙运动的时空变化特征研究[J]. 海洋学报: 2013(2): 161-167.
- [3] 李芳君, 黄其山. 潮汐河口推移质输沙数学模型[J]. 泥沙研究, 1990(2): 71-76.
- [4] 刘高峰. 长江口水沙运动及三维泥沙模型研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [5] 张植堂. 定床泥沙示踪试验述评及示踪沙设计示例[J]. 人民长江, 1984(4): 1-9.
- [6] 赵苏磊, 马睿, 郑军, 等. 泥沙起动流速公式在天然河流中的验证[J]. 人民黄河, 2012(2): 42-46.
- [7] 窦国仁. 再论泥沙起动流速[J]. 泥沙研究, 1999(6): 1-9.