

# 长江口北槽深水航道工程对 周边滩涂冲淤影响研究

杜景龙<sup>1, 2</sup>, 杨世伦<sup>1</sup>

(1. 华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062; 2. 苏州科技学院城市与环境学系, 江苏 苏州 215011)

**摘要:** 采用长江口深水航道治理一、二期工程实施前后的地形资料, 在 GIS 软件及相关的统计分析软件的支持下, 分析治理工程对九段沙 (包括江亚南沙) 和横沙东滩冲淤演变的影响。结果表明: 工程建设 6 年来两岸滩涂面积增长了 97 km<sup>2</sup>, 其中横沙东滩优先采取了促淤工程, 淤积规模较大, 滩地面积累计增长了 46 km<sup>2</sup>, 是工程前的 1.68 倍; 九段沙的淤积主要是受整治工程南导堤的影响, 其中九段上沙及江亚南沙淤积最为强烈, 工程后的面积分别是工程前的 1.83 倍和 2.34 倍。

**关键词:** 九段沙; 江亚南沙; 横沙东滩; 北槽; 深水航道工程; 冲淤演变

中图分类号: P736.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2007)03-0390-05

长江口深水航道治理工程采用“一次规划, 分期建设, 分期见效”的原则, 治理工程分三期实施, 一期工程航道水深达到 8.5 m, 二期工程航道水深 10.0 m, 三期工程航道水深 12.5 m。一期工程于 1998 年 1 月 27 日开工, 2000 年 7 月 20 日通过交通部组织的交工验收; 二期工程于 2004 年 1 月开始建设, 2005 年 11 月竣工; 三期工程尚未启动。图 1 是北槽深水航道工程示意图, 其主体工程包括以下四个方面: (1) 南、北导堤工程: 北导堤 49.2 km, 南导堤 48.077 km, 堤顶高程 2 m; (2) 分流口工程: 潜堤 3.2 km, 南线堤 1.6 km; (3) 丁坝工程: 丁坝 19 座, 其中北导堤丁坝 10 座, 合计长度 17.883 km, 南导堤丁坝 9 座, 合计长度 13.819 km; (4) 疏浚工程: 疏浚长度为 83.85 km 的人工开挖航槽, 依靠疏浚工程达到水深 12.5 m、底宽 350 m 的双向航道。经过一、二期工程的建设, 北槽南北两侧形成了长约 60 km 的人工大堤及多条束水丁坝, 疏浚长度达 60 余 km, 水深 10 m 的高速航路已基本形成。

## 1 资料与研究方法

通过历史资料和现场采样数据, 采用 GIS 和 DEM 相结合的方法, 对研究区地形的历史演变及

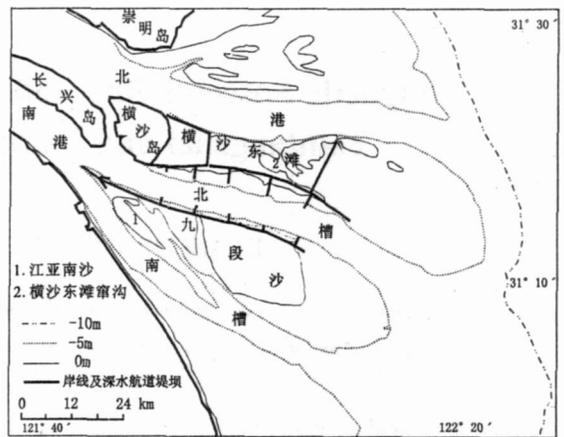


图 1 北槽深水航道工程示意图

Fig 1 The sketch of Deep Water Channel Project at North Passage of the Yangtze River

北槽深水航道工程建设以来的地形变化进行分析, 进而分析整治工程对周边滩涂冲淤的影响。收集了 1977~2004 年研究区不同比例尺范围的水下地形图 8 幅, 在 GIS 软件的支持下对图形资料的数字化和高程数据的录入、编辑和订正, 利用 Kriging 插值技术建立不同时期的 DEM 库, 从 DEM 库中生成等深线; 利用 GIS 的空间分析功能进行滩涂面积的计算; 等深线形态变化采用图层的配准和叠加技术进行定量、定性分析<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2006-02-12 修订日期: 2006-07-11

基金项目: 上海市重大攻关项目 (04DZ12049)、华东师范大学河口海岸国家重点实验室开放基金 (200508)、国家自然科学基金项目 (40576043) 资助。

作者简介: 杜景龙 (1968-), 男, 黑龙江大庆人, 博士, 副教授, 从事海岸动力地貌及地理信息系统方面的研究。E-mail: juyue@163.com

## 2 结果与讨论

### 2.1 滩地冲淤的历史演变

表 1 计算出了研究区各滩地的面积, 根据表 1 的数据绘制出了各滩地面积变化趋势曲线图 (图 2), 根据上述图、表, 可得出如下三个重要结论:

表 1 九段沙与横沙东滩滩地面积的历年变化 (km<sup>2</sup>)

Table 1 Annual change of the area within 0m isobath in Jiuduansha Shoal and Hengsha East Shoal (km<sup>2</sup>)

年代	横沙东滩	九段沙	江亚南沙	小计
1977	59.60	75.38	134.98	
1983	65.27	81.43	146.70	
1994	70.95	117.36	3.91	192.22
1996	68.91	114.79	5.51	189.21
1998	67.55	117.60	6.68	191.83
2000	86.43	128.40	11.76	226.59
2004	113.58	158.10	16.40	288.08

1) 横沙东滩 1990年代中期以前一直处于相对稳定状态, 滩地面积的变幅不大, 而九段沙则持续淤长。1977~1994年, 横沙东滩的面积总共增加了约 11 km<sup>2</sup>, 年均增长 0.65 km<sup>2</sup>/a; 九段沙 1977和 1994年的面积分别为 75.38 km<sup>2</sup>和 117.36 km<sup>2</sup>, 增长速率为 2.47 km<sup>2</sup>/a 是横沙东滩的 4倍。横沙东滩与九段沙淤积强度的差异主要是由其两侧河槽的性质不同所致: 横沙东滩位于长江口北港和北槽两个主汊道之间, 两侧河槽传入的潮波存在明显的位相差, 由位相差产生横比降, 在横比降的作用下产生漫过浅滩的横向水流, 再加上横沙东滩大部分区域处于强破波带影响范围内, 不利于泥沙的沉积, 从而造成横沙浅滩滩面物质粗化、多年来滩面地形难以淤高, 滩地面积变幅不大。与横沙东滩相比, 九段沙两侧的北槽和南槽水沙的分配相对均匀, 两侧潮波的位相差较小, 过滩水流的动力相对较弱, 有利于泥沙在滩面沉积<sup>[2,3]</sup>。

2) 1990年代中期以来, 九段沙与横沙东滩遭受不同程度的侵蚀, 长江来沙是上述滩地得以存在和发展的物质基础。研究表明, 上游来沙减少到一定水平时, 河口地区将可能由堆积延伸转为侵蚀后退或淤积速率减弱<sup>[4-6]</sup>。1994~1998年横沙东滩滩地面积减少了 3.4 km<sup>2</sup>, 九段沙基本持平。我们认为这种淤积减弱的趋势主要受长江输沙率进入 1990年代以来持续减少的影响: 1991~2000年长江输沙率为 3.371 × 10<sup>8</sup> t/a 比 1980年代减少约 1/4

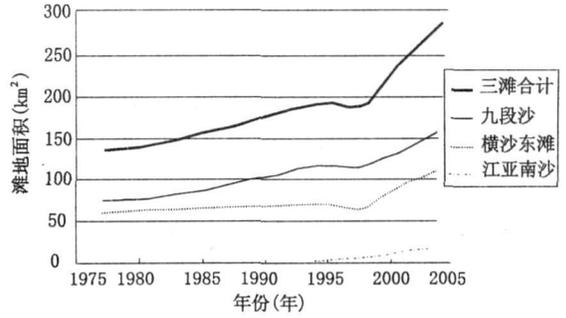


图 2 九段沙与横沙东滩滩地面积变化曲线

Fig 2 Change of the area within 0m isobath in Jiuduansha Shoal and Hengsha East Shoal

3) 受 1998年以来的北槽深水航道工程建设的影响, 九段沙与横沙东滩的淤长速度显著增强。三角洲岸滩冲淤转化的临界输沙率是判断岸滩由淤长过程向侵蚀过程转变的重要指标, 据研究长江口前沿 0m 以上滩涂区域的冲淤转化的临界输沙率在 2.5 × 10<sup>8</sup> t/a~3.0 × 10<sup>8</sup> t/a<sup>[7]</sup>。表 2 是长江大通站近年的输沙率, 2001年以来的长江大通站的输沙率已介于滩涂区域的冲淤转化临界输沙率范围内<sup>[8]</sup>, 在此情况下, 九段沙与横沙东滩应该受侵蚀而面积减少。而表 1 的计算结果表明, 2000年和 2004年滩地的面积比 1998年都有大幅度的增加, 显然北槽深水航道工程使九段沙与横沙东滩的冲淤形势发生了逆转。

表 2 长江大通站近年的输沙率统计表

Table 2 The mean annual sediment supply at Datong Station of the Yangtze River in recent years

时间(年)	2000	2001	2002	2003
输沙率 (10 <sup>8</sup> t/a)	3.39	2.76	2.75	2.06

### 2.2 工程影响分析

#### 2.2.1 水动力条件的变化

长江口是三级分汊四口入海的分汊形河口, 动力条件较复杂: 波浪以风浪为主, 据位于研究区最近的引水船测波资料, 常浪和强浪向均为 NE 向, 全年平均波高 0.9 m, 最大波高由台风引起, 波高可达 7.0 m; 波浪进入浅水区后, 常发生破碎, 形成宽阔的破波带, 破波水深约 1.5 m。长江口是中等强度的潮汐河口, 口内潮流为往复流, 落潮流速大于涨潮流速<sup>[9]</sup>。

北槽深水航道双导堤工程的阻水、破波作用,

① 杨世伦. 长江口前沿滩涂近期冲淤演变及围海造地潜力研究. 上海市房屋土地资源管理局资助课题, 2002

使附近区域的水动力条件发生了一定程度的改变: 南北导堤阻挡了九段沙、横沙东滩与北槽的水沙交换, 使得在其掩护段内, 九段沙和横沙东滩滩面水位抬高, 流速减小, 流向与导堤走向一致, 形成沿堤流, 有利于泥沙沿堤坝淤积; 南(北)导堤阻挡了北槽内北(南)向风浪对九段沙(横沙东滩)滩面的侵蚀作用, 波浪经过导堤而破碎消能, 有利于泥沙的淤积; 与南北导堤相连的丁坝在其两侧形成缓流区, 涨落潮流携带的泥沙易于在此淤积<sup>[10, 11]</sup>。

2.2.2 横沙东滩

受工程的影响, 横沙东滩的冲淤变化分两个阶段, 一是 1998年初到 2000年 5月完工的深水航道北导堤工程, 该工程使白条子沙与横沙东滩窄沟之间的浅水区域淤积加剧; 另一阶段是与深水航道二期工程同期建设的横沙东滩成陆及促淤工程, 该工程使得横沙东滩全面淤长, 整个横沙东滩基本连为一体, 成陆效应显著增强。

北导堤建在横沙东滩南缘, 起到堵汉、拦沙、导流的作用, 受北导堤的阻挡, 北槽进口段雍水, 水位抬高, 而北港几乎没有变化, 因此横沙东滩滩面水

位横比降得以调整, 涨落潮时滩面流速都有所减小, 形成了有利于泥沙沉积的环境。图 3为整治工程前后横沙东滩与九段沙冲淤形势图。由图 3可见, 整治工程后横沙东滩窄沟以西滩面明显淤长, 1998~ 2002年累计增长了 16 km<sup>2</sup>, 平均每年增长约 4 km<sup>2</sup>, 为历史上增长最快的时期。

成陆区工程紧邻横沙岛东缘, 由北侧堤、东侧堤、南侧堤三座堤坝圈围而成, 堤坝设计标高为吴淞基面 + 4 m, 其中北侧堤和东侧堤的长度为 6 7 4 5 km, 南侧堤为北导堤西端 8 km 堤坝的加高段, 整个成陆区圈围范围的面积约 36 0 km<sup>2</sup>。促淤区护滩潜堤南起北导堤 N5 丁坝根部附近, 呈北偏东方向纵贯横沙浅滩的中部, 全长约 8 0 km, 设计标高南半部分为吴淞基面 + 2 m, 北部 4 km 为吴淞基面 + 1 m。如图 3所示, 成陆及促淤工程后横沙东滩显著淤积, 原横沙窄沟以西 0 m 以上的滩面已连为一体, 面积从 2002年的 44. 82 km<sup>2</sup> 上升到 2004年的 83. 57 km<sup>2</sup>, 面积增长了近一倍, 再加上原横沙浅滩, 总面积超过 110 km<sup>2</sup>。

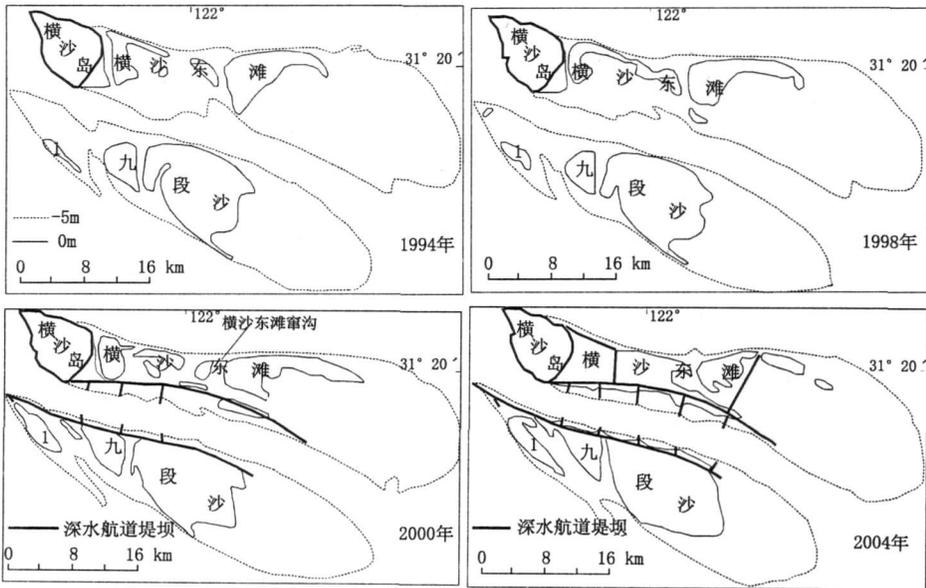


图 3 工程前后的九段沙与横沙东滩冲淤形势图

Fig 3 Siltation of Jiudiansha Shoal and Hengsha East Shoal before and after the project

横沙东滩的快速淤长一方面是由于工程使该区域的水动力条件减弱, 过境泥沙大量淤积, 另一方面是人工吹泥上滩的结果。在成陆区, 由于围堤高程较高, 在平均高潮位以上, 围堤区已成为封闭的区域, 流速为零, 再加上本区域原来滩面较高, 在吹填土方促淤下, 实际上该区域已经先期成陆。

成陆区以东为横沙东滩的促淤区, 由于其三面环堤为一半封闭的浅水区, 高潮位时部分涨潮流从东、南两个方向越过堤坝流速大大降低, 落潮时落潮流从西、北两个方向进入促淤区, 受南侧的北导堤和东侧的护滩潜堤的阻挡, 水位抬升, 流速亦相应减缓, 形成一个有利于泥沙沉积的良好环境。同时长

江口深水航道治理二期工程疏浚土方采用了吹泥上滩的方式,大量的疏浚土方吹填上滩,人为加快了横沙东滩的淤积速度。

### 2.2.3 九段沙

北槽深水航道工程南导堤及其相连的丁坝是对九段沙冲淤产生较大影响的人工工程,南导堤修建在九段沙北缘(见图3),其对九段沙冲淤的影响主要体现在以下3个方面:

(1) 南导堤削弱了九段沙与北槽的水沙交换,涨潮流受南导堤的阻挡,动力减弱,泥沙滞留和淤积在堤坝的南缘,使江亚南沙和九段沙上沙发生强烈淤积。如表3所示,工程前的1994~1998年,各沙洲的淤积速率都不高,上沙还出现了微弱的冲刷;1998~2000年,受工程影响,淤积明显加快,九段上沙面积增长了12.0 km<sup>2</sup>,与工程前相比几乎翻了一倍,中下沙也有所淤长,面积扩大了8.83 km<sup>2</sup>;2000~2004年九段沙在新的动力条件下处于大淤后的恢复和调整期,淤积速率有所下降,中下沙已处于冲淤平衡状态;(2) 南导堤阻挡了长江口北向风浪对滩面的作用,波浪经过导堤而破碎消能,有利于泥沙的淤积。如图3所示,在堤坝的北侧,由于堤坝的消浪作用,沿堤坝形成了一长条状淤积带;(3) 与南导堤相连的丁坝不仅起到束狭北槽航道,增加航道水流速度的作用,同时在丁坝两侧形成缓流区,涨落潮流携带的泥沙易于在此淤积,在丁坝前后形成了半椭圆状淤积体。

表3 九段沙0 m线内面积的近年变化(km<sup>2</sup>)

Table 4 The area (km<sup>2</sup>) of Jiuduansha tidal island within 0m isobath in recent years

年代	中下沙	上沙	江亚南沙
1994	100.80	16.56	4.56
1998	103.20	14.40	6.68
2000	104.20	20.80	11.76
2004	126.30	31.85	16.40

### 2.2.4 江亚南沙

江亚南沙1986~1992年间从长江口南边滩切割下来,并随着新南槽的发育而向北并入九段沙。北槽深水航道工程对江亚南沙的影响体现在两个方面,一是工程后江亚南沙的淤积速率明显增大,二是江亚南沙的沙头得以稳固。

从淤积速率来看,江亚南沙是九段沙系统当中受工程影响最显著的个沙洲:工程前1998年江亚南沙面积为6.68 km<sup>2</sup>,工程后的2004年面积增加

到15.6 km<sup>2</sup>,是工程前的2.3倍。从阶段上看,1998~2000年一期工程建设时期淤积速率最快,达3.59 km<sup>2</sup>/a,一期工程后淤积强度减弱,2000~2004年面积共增加1.75 km<sup>2</sup>,与工程前的淤积速率基本相当,1994~1998年淤积量为2.12 km<sup>2</sup>,这表明在新动力条件下,江亚南沙已处于稳定状态。

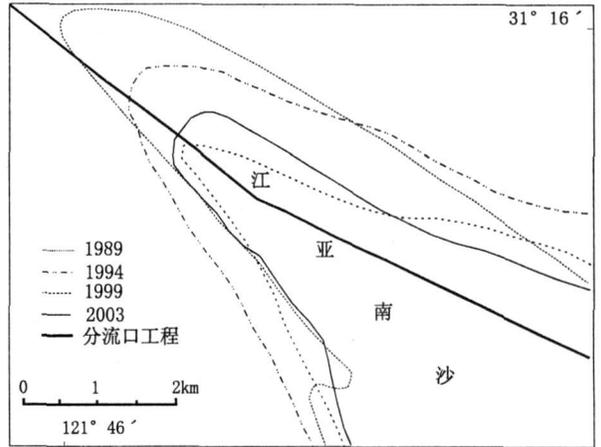


图4 江亚南沙沙头的移动规律

Fig 4 The shift of the head of Jiangyanan shoal

位于江亚南沙上呈西北东南走向的深水航道分流口工程起到固定江亚南沙沙头作用。计算结果表明,分流口工程建设前,江亚南沙上沙头在落潮流作用下持续后退:1989~1994年下移约1 km,1994~1999年下移800 m,1999~2003年形势发生变化,上移150 m(图4)。实际上,分流口工程抢在1998、1999年大洪水前建成,对稳定南北槽分流口、保持南北槽河势的稳定起至关重要作用。

## 3 结 语

1) 北槽深水航道工程打通了航道拦门沙,保障了长江“黄金水道”的畅通,同时也加快了其周边滩地的淤积速度,工程建设6年来两岸滩涂面积增长了约97 km<sup>2</sup>,淤积速率达16.17 km<sup>2</sup>/a,远远大于工程建设前2.71 km<sup>2</sup>/a的淤积速率。

2) 九段沙和江亚南沙淤积形势的变化主要是受深水航道南导堤的影响。南导堤对北向风浪的阻挡使得在堤坝的外沿形成一个长条状淤积带,九段沙滩体略向北偏移;南导堤对涨潮流的阻挡使得江亚南沙和九段沙淤积速率加快,而且淤积的速率是江亚南沙最大,九段上沙次之,九段中下沙最小:1998~2004年,江亚南沙和九段上沙的面积分别扩大了2.35倍和1.83倍,九段中下沙滩地面积

的增长不足 20%。

3) 横沙东滩的近期的冲淤变化分两个阶段, 一是 1998年初到 2000年 5月完工的深水航道北导堤工程, 该阶段横沙东滩面积累计增长 18.88 km<sup>2</sup>; 另一阶段是横沙东滩成陆及促淤工程, 该工程使得横沙东滩全面淤长, 面积增加 27.15 km<sup>2</sup>, 整个横沙东滩基本连为一体, 成陆效应显著增强。

4) 笔者认为, 对于九段沙和横沙东滩冲淤演变尚有三方面工作要进一步观测与研究: 三期工程全部建成后滩地状况如何; 在长江来沙减少背景下, 九段沙和横沙东滩演变趋势如何; 在资源保护与生态保持上如何寻求一个最佳的平衡点。

### 参考文献:

- [1] 赵庚星, 张万清, 李玉环, 等. GIS支持下的黄河口近期淤、蚀动态研究 [J]. 地理科学, 1999, 19(5): 442~445
- [2] 沈金山, 朱金妹, 张新琴. 长江口拦门沙的成因和演变 [J]. 海洋与湖沼, 1983, 14(6): 582~590
- [3] 徐海根. 上海市海岛资源综合调查报告——潮间带沉积地貌 [M]. 上海: 上海市科学技术出版社, 1996 72~87
- [4] Shi-lun Yang, Qing-ying Zhao, Igor M. Belkin. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze river and the influences of human activities [J]. Journal of Hydrology, 2002, 263(3): 56~71
- [5] 杨世伦, 贺松林, 谢文辉. 长江口九段沙的形成演变及其与南北槽发育的关系 [J]. 海洋工程, 1998, 16(4): 55~65.
- [6] 师长兴. 黄河河口延伸与下游淤积关系研究中的问题分析 [J]. 地理科学, 2005, 25(2): 183~190
- [7] 吴华林, 沈焕庭, 胡 辉, 等. GIS支持下的长江口拦门沙泥沙冲淤定量计算 [J]. 海洋学报, 2002, 24(2): 126~132
- [8] 施少华, 林承坤, 杨桂山. 长江中下游河道岸线的整治与开发利用 [J]. 地理科学, 2002, 22(6): 700~705
- [9] 恽才兴. 长江河口潮滩冲淤和滩槽泥沙交换 [J]. 泥沙研究, 1983, 94(4): 43~52
- [10] 赵庆英, 杨世伦, 朱 骏. 河口河槽季节性冲淤变化及其对河流来水来沙响应的统计分析——以长江口南槽为例 [J]. 地理科学, 2003, 23(1): 112~118.
- [11] 李茂田, 丁 霞, 陈中原. 40年来长江九江河段河道演变及其趋势预测 [J]. 地理科学, 2004, 24(1): 76~80

## Influence of Deep-Water Channel Project at North Passage of the Yangtze River on Erosion and Accumulation of Hengsha East Shoal and Jiuduansha Shoal

DU Jing-Long<sup>1,2</sup>, YANG Shi-Lun<sup>1</sup>

(1. State Key Lab of Estuarine & Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062;

2. City and Environment Department, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215011)

**Abstract** Based on the topographic maps drawn before and after the deep-water channel project of north passage and supported by the GIS software and correlative Stat Software, this paper has described the influence of the regulation project on Jiuduansha Shoal and Hengsha East Shoal. The results show that the area of the shoals around the dykes has increased about 97 km<sup>2</sup> since 1998. Hengsha East Shoal has increased about 46 km<sup>2</sup> and become 1.68 times larger than before. The area of Jiuduansha Shoal and Jiangyanansha Shoal has also increased greatly. They are 1.83 times and 2.34 times larger than those in 1998 respectively. The sudden accumulation of Jiuduansha Shoal and Jiangyanansha Shoal attributes to the south bank of the project at the same time that of Hengsha East Shoal to the north bank of the project and the siltation-promoting project.

**Key words** Jiuduansha Shoal, Jiangyanansha Shoal, Hengsha East Shoal, north passage, deep-water channel, erosion-accretion cycle