

· “长江南京以下12.5 m深水航道建设”专栏 (9) ·



## 长江南京以下12.5 m深水航道二期工程 口岸直河段选槽数学模型

王建军, 张明进

(交通运输部天津水运工程科学研究所 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

**摘要:** 采用平面二维潮流泥沙数学模型的技术手段, 配合长江南京以下12.5 m深水航道二期工程口岸直河段选槽专题研究, 选取典型的水沙计算条件, 进行了选槽方案实施前后潮流泥沙运动的对比计算分析及设计航槽内疏浚位置回淤量计算, 为鳊鱼沙河段选槽方案的确定提供科学依据。数学模型计算表明: 方案1具有护滩和增加航道浅区段水流动力的效果, 对周边水域影响较小, 同时考虑航道的可维护性、与交通组织适应性、与沿岸港口的适应性几个方面, 推荐方案1(左右汉单向航道)作为口岸直鳊鱼沙河段12.5 m深水航道选槽方案, 但建议该方案左槽中段航线位置稍向左岸调整, 以适应深槽变化趋势。

**关键词:** 12.5 m深水航道; 鳊鱼沙选槽; 数学模型

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)12-0001-07

### Mathematical model study on choosing flume of 12.5 m deepwater channel phase II project of Kou'an straight reach along Yangtze River downstream Nanjing

WANG Jian-jun, ZHANG Ming-jin

(Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Communications, Tianjin 300456, China)

**Abstract:** Using technical means of 2-dimensional tidal current and sediment mathematical model, with monographic study on choosing flume of 12.5 m deepwater channel phase II project of Kou'an straight reach along Yangtze River downstream Nanjing, selecting typical calculation conditions of water and sediment, the contrast calculation and analysis are conducted of tidal current and sediment movement before and after the choice of flume, along with back silting quantity calculation within the position dredging of the design channel, providing a scientific basis for the scheme determination of choosing flume for Manyusha shoal reach. The calculation of mathematical model indicates that: plan 1 has effect on beach protection and increasing the flow dynamics of the channel shallow section, with less influence on surrounding waters. Considering the maintainability of the channel, adaptability of the traffic organization and adaptability of the coastal ports at the same time, plan 1 is recommended as scheme for choice of flume (unidirectional channel in left and right branch) of 12.5 m deepwater waterway in Kou'an Straight reach Manyusha shoal reach, while in the scheme a slight adjustment to the left bank of the middle route in the left flume is suggested, adapting to the change trend in the deep flume.

**Key words:** 12.5 m deepwater waterway; choice of flume in Manyusha shoal reach; mathematical model

口岸直水道位于长江下游扬中河段左汉, 上起五峰山, 下至十四圩, 全长约46 km。上段(五峰山—高港灯)为中间宽两头窄的弯曲多分汉河型, 长约23 km, 由落成洲将该段分为左右两汉,

收稿日期: 2013-03-11

作者简介: 王建军(1980—), 男, 助理研究员, 主要从事航道工程科研工作。

其中左汊为主汊；下段（高港灯—十四圩）为长顺直段，长约23 km，江中鳊鱼沙心滩将河槽分为左、右两槽，由于鳊鱼沙心滩不稳，主航道经常易位，不利水文年常发生冲滩淤槽，甚至出现主槽易位或边滩下移的现象。这些潜在变化因素对南京以下12.5 m深水航道的顺利贯通存在较大

影响。

口岸直水道现行航道维护尺度标准为10.5/10.8 m（枯季/洪季）× 500 m × 1 050 m（水深 × 航宽 × 弯曲半径，下同），其中鳊鱼沙左槽为上水航道，右槽为下水航道，维护宽度分别为300 m和200 m（图1）。

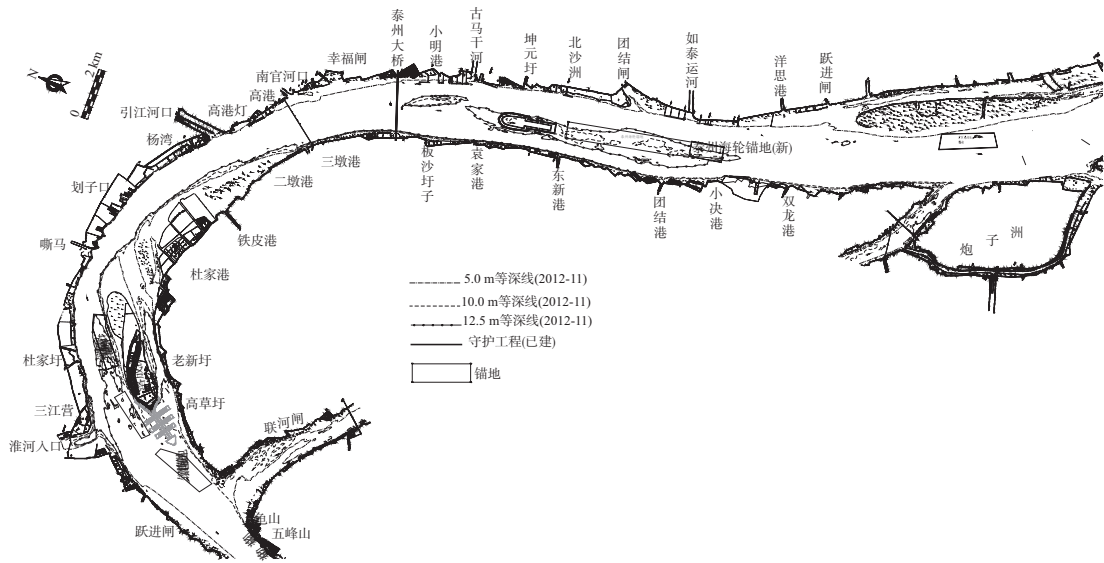


图1 口岸直水道河势

此外，泰州大桥实施以来，桥区下游至鳊鱼沙心滩头部守护工程之间的滩面冲淤相间，桥墩下游东南侧存在淤积带，10 m以上浅区进入左槽上段，同时桥区上游左岸高港边滩南缘尾部淤积下延，影响相邻左槽航道上段北侧水深。因此已建泰州大桥桥区通航要求和限制条件也较为复杂。

鉴于以上情况，有必要对鳊鱼沙河段主航道选槽问题进行专题研究，选择合适的汉道通航方案，探讨工程治理方案和效果，以保证长江南京以下12.5 m深水航道二期工程的顺利实施。为配合口岸直河段选槽专题研究，须开展口岸直河段选槽数学模型研究。本文主要采用数学模型手段，对鳊鱼沙选槽方案效果进行分析，为鳊鱼沙选槽方案的确定提供科学依据。

### 1 鳊鱼沙河段近期河床变化特点

鳊鱼沙河段属顺直河段，河宽（0 m线）一般在2 000 ~ 2 500 m。鳊鱼沙头部（泰州大桥轴线位置）河床断面呈不对称的“W”形态，左槽明显

较右槽宽、深，右槽为主槽，水流动力轴线明显偏右。

2011年1月测图显示，鳊鱼沙沙体上段的沙脊线明显偏左；中段沙脊线由偏左改变为明显偏右（自鳊鱼沙头部守护工程的上端位置开始偏右），左槽明显较右槽宽、深；至鳊鱼沙尾段，沙脊线居中，两槽宽、深相当。

由上可见，鳊鱼沙沙脊横向位置由上而下呈偏左—偏右—居中的变化，沙脊位置的不同所带来的左、右两槽的深、宽对比关系的差异。

从鳊鱼沙心滩滩脊航行基面下水深沿程（起至泰州大桥）变化（图2）可见，鳊鱼沙沙脊高程由2006—2007年单一的沿程升高，变化至2010—2011年沿程呈较为明显的鞍形变化，上段偏左的沙体迎流面较陡，背水面坡度相对较缓；中下段偏右的沙体则迎流面和背水面坡度均相对较缓。至2012年12月，上下沙体间的鞍槽12.5 m等深线已经贯通。

鳊鱼沙沙体自上而下呈低—高一低—高一低

的变化。目前的鳊鱼沙头部守护工程的位置自鳊鱼沙心滩滩脊鞍槽处开始向下游发展, 即鳊鱼沙头部守护工程处在一个迎水坡的坡面上, 且位置明显偏右。

图3显示了鳊鱼沙河段沙脊线与左右槽12.5 m等深线位置变化。由图3和前述演变分析可知: 河道内左右两槽主次不同, 沙脊线平面变化也是由右向左过渡, 因此在鳊鱼沙心滩滩脊鞍槽段必然存在一定的由右而左的斜向水流运动。目前已经实施的鳊鱼沙守护工程正位于这一斜向水流位置。

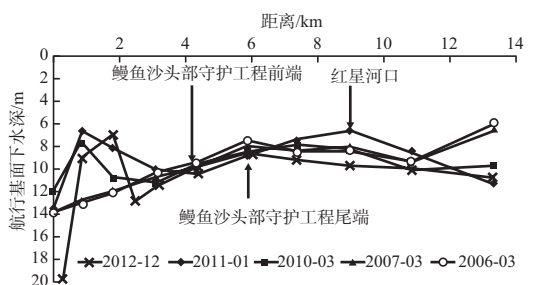


图2 鳊鱼沙心滩滩脊航行基面下水深沿程 (起自泰州大桥) 变化情况

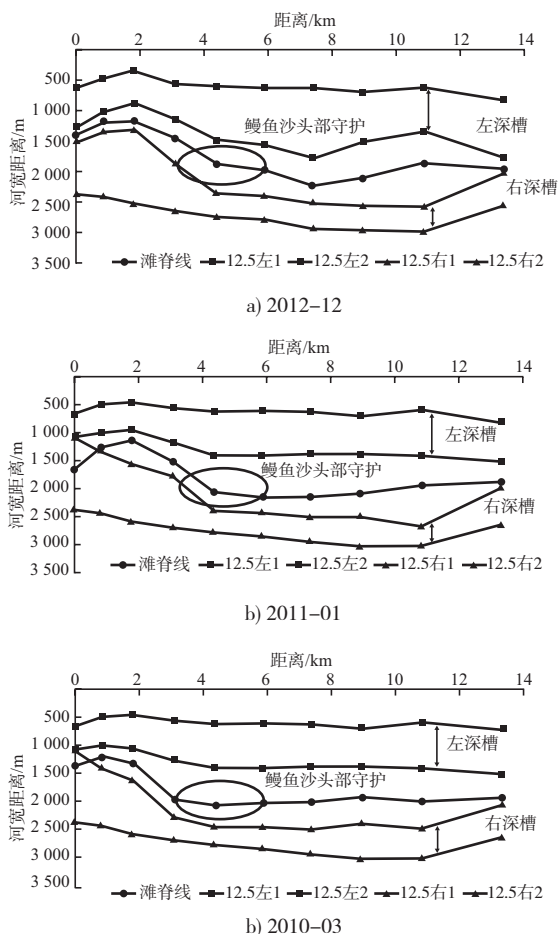


图3 鳊鱼沙河段滩脊及 12.5 m 水深 (起自泰州大桥) 变化

## 2 选槽原则及总体布置思路<sup>[1-4]</sup>

### 1) 航道选槽原则。

针对口岸直鳊鱼沙河段河床演变、港口发展和航道现状, 结合 12.5 m 深水航道建设工程的总体目标, 口岸直鳊鱼沙河段主航道选槽的原则如下: ①符合《长江口综合整治开发规划》和《长江干线航道发展规划》等规划的要求, 尽量满足沿岸产业布局和港口群发展的要求; ②选择水深及动力条件优良、河势稳定的河道作为主通道, 以尽量减少基建和维护疏浚工程量; ③重视通航要求, 保证航行安全; ④充分考虑与上下游拟建 12.5 m 深水航道的平顺衔接。

### 2) 总体布置思路。

①在《长江口综合整治开发规划》和《长江干线航道发展规划》等规划的基础上开展航道治理; ②工程总体布置应尽量满足沿岸产业布局和港口群的需要, 同时兼顾已建和在建涉水工程和设施的需要; ③采取疏浚与整治相结合的手段实现 12.5 m 深水航道贯通; ④整治目标为维持鳊鱼沙沙体的稳定、遏制不利变化、改善航道条件, 整治原则为固滩、稳槽; ⑤航道应尽量布置在深槽沿线以减小工程量, 航道轴线应尽量顺直, 转向角不宜过大, 两次转弯间的直线段长度须满足航行要求, 应充分重视泰州大桥桥区的通航安全; ⑥航道轴线应考虑与上下游拟建 12.5 m 深水航道平顺衔接。

## 3 选槽方案介绍

根据鳊鱼沙河段河床变化特点, 结合自然水深情况及航道选槽原则和治理工程总体布置思路, 考虑布置左右汉单向、左汉双向 (右汉维持现状) 和右汉双向 (左汉维持现状) 3 组方案。

### 1) 方案 1。

整治建筑物 (高程以 1985 国家高程基准面计) 目的是控制主流、守护心滩、适当冲刷右槽下段浅段, 稳定左右两槽。

鳊鱼沙上段 (一期守护工程以上) 采用护滩工程方案, 护滩区域长度 3.0 km, 宽度 300 m, 护滩厚度 1 m。鳊鱼沙下段 (一期守护工程以下) 采用护滩带工程和导堤丁坝整治工程相结合, 其

中：①护滩区域长2.0 km，宽度300 m，厚度1 m。  
 ②导堤高程：上游0.6 km范围-9 m渐变至-4 m，中段2.0 km范围-4 m，下游0.6 km由-4 m渐变至-7 m。  
 ③导堤右侧5条丁坝由上游至下游长度分别为150，250，300，250，150 m，丁坝高程由坝根-4 m渐变至坝头-7 m。

航道左、右两槽单向通航。航道设计深度12.5 m，最小航道宽度230 m。

选槽方案1平面布置见图4。

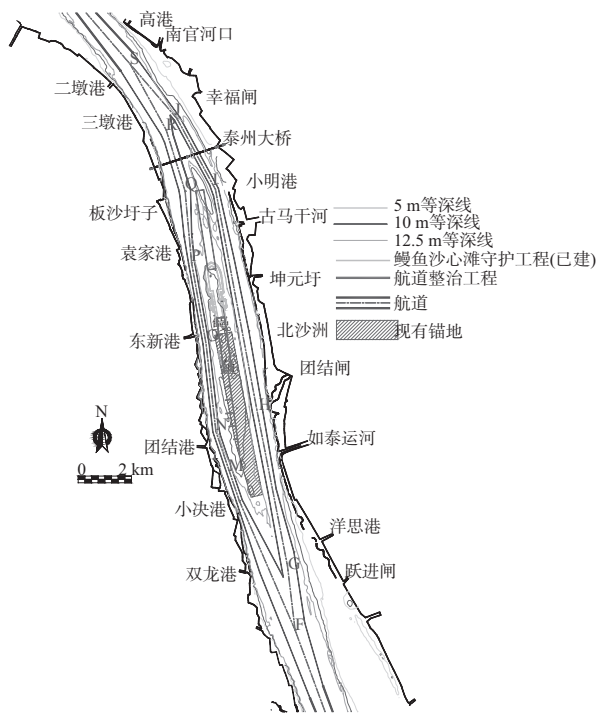


图4 鳊鱼沙选槽方案1平面布置

2) 方案2。

整治建筑物目的是守护心滩，稳定左右两槽。鳊鱼沙采用护滩工程方案，上游（一期守护工程以上）护滩区域长度3.0 km，宽度300 m，护滩厚度为1 m。下游（一期守护工程以下）护滩区域长度5.2 km，宽度300 m，护滩厚度1 m。目的是守护心滩，稳定左右两槽。

左槽双向通航，基本沿现有航道布置。保证最小航道宽度320 m，航道设计深度12.5 m。

3) 方案3。

整治建筑物目的是控制主流、守护心滩、适当冲刷右槽下段浅段，稳定左右两槽。

鳊鱼沙上段（一期守护工程以上）采用护滩

工程方案，护滩区域长度3.0 km，宽度300 m，护滩厚度1 m。鳊鱼沙下段（一期守护工程以下）采用护滩带工程和导堤丁坝整治工程相结合，其中：①护滩区域长2.0 km，宽度300 m，厚度1 m。  
 ②导堤高程：上游0.6 km范围-9 m渐变至-3 m，中段2.0 km范围-3 m，下游0.6 km由-3 m渐变至-7 m。  
 ③导堤右侧5条丁坝由上游至下游长度分别为150，250，300，250，150 m，丁坝高程由坝根-3 m渐变至坝头-5 m。

4 选槽方案工程效果和影响分析

4.1 数学模型介绍

采用河流水流泥沙数值模拟软件TK-2DC<sup>[5-8]</sup>进行了潮流泥沙数学模型的计算研究。

1) 计算网格。

计算网格为正交曲线网格，计算网格节点总数39 964，最小间距为10 m。

2) 计算范围。

上游：镇扬河段和畅洲两汉下游汇合口；下游：江阴鹅鼻嘴。

3) 计算条件。

①建模地形资料：2011年11月1:10 000测图地形。

②潮流模型率定验证资料：枯水，2010年3月和2011年1月两次地形与水文同步数据验证；中水，2010年10月9日—10月10日和2006年6月27日—6月28日，中水水文验证，相应长江流量分别为34 300 m<sup>3</sup>/s和42 000 m<sup>3</sup>/s；洪水，2007年8月1日—8月2日，长江流量54 500 m<sup>3</sup>/s，淮河流量6 500 m<sup>3</sup>/s。

③水流模型计算水文条件：模型上游边界采用大通流量控制，采用28 700 m<sup>3</sup>/s（多年平均流量）流量进行计算，下游边界采用一维数学模型提供。

④泥沙模型率定验证资料：2009年5月—2010年3月的地形冲淤变化。

⑤泥沙模型计算水文条件：2010年水文条件（三峡高水运行以来流量较大的年份）。

4) 验证情况。

率定和验证的内容包括潮位过程、流速过

程、汊道分流比等方面, 结果符合规程的要求, 能较真实地模拟口岸直河段的流场, 可以满足工程计算的需要。

#### 4.2 方案效果分析

##### 1) 平面流速变化。

图5给出了方案1实施前后落潮平稳期平面流

速变化等值线。

从3个选槽方案实施前后落潮平稳期平面流速变化可以看出, 方案实施后, 工程掩护范围内鳊鱼沙滩体流速有所减小。方案1和方案3在尾部实施潜堤加丁坝整治工程方案, 与方案2相比, 掩护区内滩面流速减小幅度有所增加, 且右槽下段

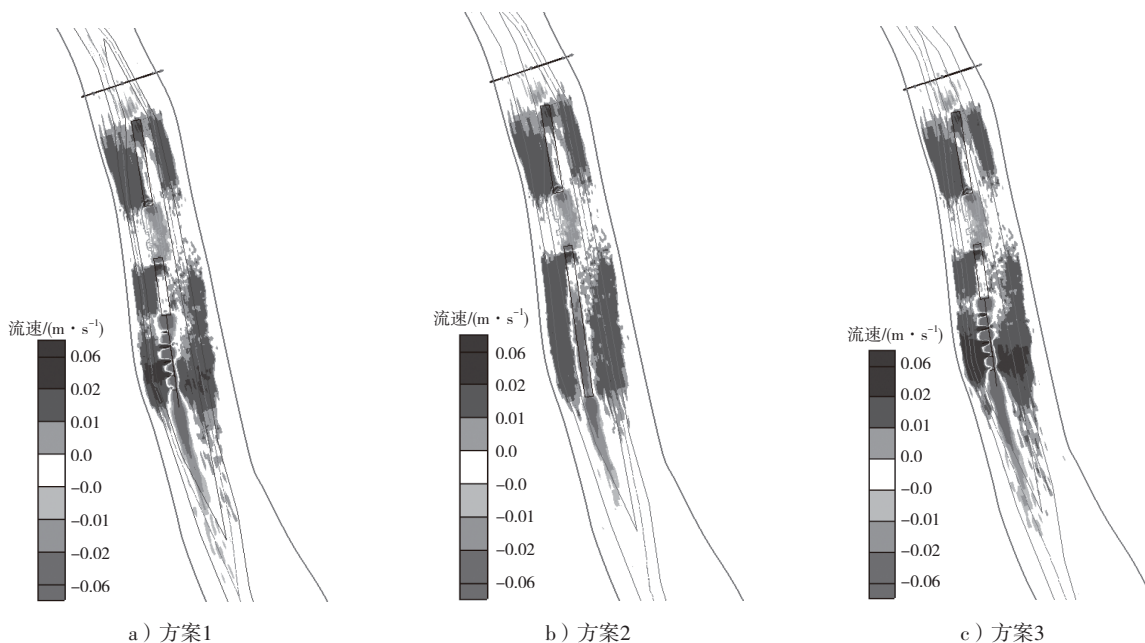


图5 工程方案实施前后平面流速变化等值线 ( $Q=28700\text{ m}^3/\text{s}$ )

浅区位置流速增幅也相对较大。方案1实施以后,  $28700\text{ m}^3/\text{s}$ 流量下, 右槽下段设计航槽内浅区流速增幅在 $0.02\sim 0.03\text{ m/s}$ , 心滩滩面工程区附近流速最大减幅在 $0.07\text{ m/s}$ 左右; 方案2实施后, 右槽下段设计航槽内浅区流速增幅在 $0.01\sim 0.02\text{ m/s}$ , 心滩滩面工程区附近流速最大减幅在 $0.04\text{ m/s}$ 左右; 方案3实施后, 右槽下段设计航槽内浅区流速增幅在 $0.03\sim 0.04\text{ m/s}$ , 心滩滩面工程区附近流速最大减幅达 $0.1\text{ m/s}$ 左右。

从增加航道浅区段水流动力的效果看, 3个方案实施后, 右槽下段设计航槽内浅区流速稍有增加, 但增幅均不明显; 从护滩效果来看, 3个方案心滩滩面流速均有所降低, 方案1和方案3对鳊鱼沙下段的护滩效果略好于方案2。

##### 2) 河床冲淤变化。

图6a) 给出了选槽方案1实施后河床冲淤变化情况。

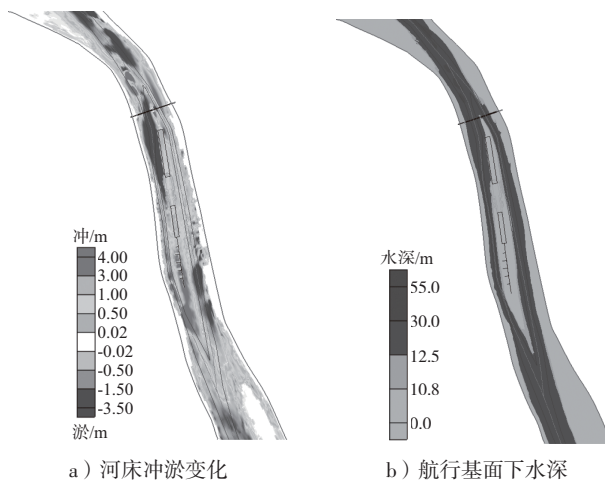


图6 工程方案1实施后河床冲淤变化图和航行基面下水深 (2010典型年后)

从2010大水年后河床冲淤变化来看, 方案1实施后, 桥区上游高港边滩疏淤区域有所回淤, 淤积厚度在 $1.0\text{ m}$ 左右; 桥区下游左槽上段一期守护工程左侧有所淤积, 淤积厚度 $1.0\text{ m}$ 左右; 左槽下

段和右槽上段呈普遍冲刷的良好趋势，航道条件较好，右槽下段疏浚区域回淤厚度在1.0 m左右。一期工程上游和下游守护工程区淤积厚度在0.5 m左右，下游丁坝工程区周围淤厚度在3.0~4.0 m。方案2实施后，桥区上游高港边滩疏浚区域淤积厚度在3.0 m左右，桥区下游左槽上段一期守护工程左侧淤积厚度1.0 m左右，左槽下段呈普遍冲刷的良好趋势，航道条件较好。一期工程上游守护工程区淤积厚度在0.5 m左右，下游守护工程区上段淤厚在0.5 m左右、下段淤厚在3.0 m左右。方案3实施后，桥区下游右槽中上段呈普遍冲刷的良好趋势，右槽下段疏浚区域回淤厚度在1.0 m左右。一期工程上游和下游守护工程区淤积厚度在0.5 m左右，下游丁坝工程区周围淤厚在3.0~4.0 m。

3) 航槽内回淤情况及航道条件变化。

表1给出了各方案疏浚量和回淤量计算统计情况，图6b)给出了选槽方案1实施后经过2010年水

表1 各方案疏浚量和回淤量计算统计情况

选槽方案	位置	疏浚量/万m <sup>3</sup>	回淤量/万m <sup>3</sup>	回淤率/%
方案1	高港边滩	6.4	2.5	39
	右槽下段	5.5	1.4	25
方案2	高港边滩	19.3	16.7	87
方案3	右槽上段	11.8	0	0
	右槽下段	20.0	8.2	41

文过程后航行基面下水深情况。

方案1经历2010年水文过程后，桥区上游高港边滩和桥下右槽下段疏浚位置均有所回淤，回淤量分别为2.5万m<sup>3</sup>和1.4万m<sup>3</sup>，分别占疏浚量的39%和25%，总回淤量为3.9万m<sup>3</sup>。2010年大水年后，规划航线内12.5 m水深不能贯通，主要不足之处为两处疏浚回淤位置及左槽中段。其中，左槽中段河槽满足12.5 m水深河宽较大，现有航槽略向左偏就可以满足规划航道尺度要求。

方案2经历2010年水文过程后，桥上高港边滩疏浚位置有所回淤，回淤量为16.7万m<sup>3</sup>，占疏浚量的87%，维护12.5 m水深航道标准比较困难。2010年大水年后，规划航线内12.5 m水深不能贯通，桥区上游高港边滩疏浚部位回淤严重，桥区下游左槽中段航宽也略有不足。

方案3经历2010年水文过程后，右槽上段疏浚位置冲刷，航道条件较好；右槽下段疏浚位置有所回淤，回淤量为8.2万m<sup>3</sup>，占疏浚量的41%。2010年大水年后，规划航线内12.5 m水深不能贯通，右槽下段局部区域航宽不足。

4.3 方案比选

从浅区水流条件的改善、航道的可维护性、与交通组织适应性、与沿岸港口的适应性几个方面比较3种方案的优劣(表2)。

表2 选槽方案综合比选情况

选槽方案	工程效果	航道可维护性	与交通组织适应性	与沿岸港口发展适应性
方案1	①右槽下段设计航槽内浅区流速增幅0.02~0.03 m/s ②心滩滩面工程区附近流速减幅在0.07 m/s左右	①方案1中高港边滩疏浚量和回淤量均较小，航道易维护 ②泰州大桥中墩下游出现淤积体，方案1维持左槽航道现状，受淤积体影响较小	①维持现有通航格局 ②对两汉港区船舶靠泊和调头作业的影响较小 ③泰州大桥桥区通航方式基本与现状航道一致	两汉均开通12.5 m深水航道，能兼顾两岸码头建设的需要
方案2	①右槽下段设计航槽内浅区流速增幅0.01~0.02 m/s ②心滩滩面工程区附近流速减幅在0.04 m/s左右	①高港边滩疏浚量和回淤量均较大，航道维护难度较大 ②方案2拓宽泰州大桥下左槽局部航道，受墩下淤积体影响较大	①左汉双向通航(右汉维持现状)，航路趋于复杂，改变通航格局 ②对左岸码头作业及靠离泊船舶影响较大 ③泰州大桥左汉通航孔的船流密度将明显增加，通航状况更加复杂	右汉航道维持现状，无法为码头升级扩建创造条件
方案3	①右槽下段设计航槽内浅区流速增幅0.03~0.04 m/s ②心滩滩面工程区附近流速减幅达0.1 m/s左右	右汉双向通航，高港边滩对航道影响较小，但右槽下段浅区疏浚量和回淤量均较大，航道维护难度较大	①右汉双向通航(左汉维持现状)，航路趋于复杂，改变通航格局 ②对右岸码头作业及靠离泊船舶影响较大 ③泰州大桥右汉通航孔的船流密度将明显增加，通航状况更加复杂	左汉航道维持现状，无法为码头升级扩建创造条件

## 5 结语

1) 方案1基本维持现有航道格局, 无需对两汉分流比及河势做较大调整, 有利于河道稳定, 深水航道建设和维护难度相对较小。

2) 3个选槽方案均具有护滩和增加航道浅区段水流动力的效果, 对周边水域均不存在明显影响。

3) 两汉均开通12.5 m深水航道, 能兼顾两岸码头建设的需要, 对两岸临港发展较为有利, 能平衡城市之间临港经济发展, 与港口发展适应性较好。

4) 方案1的疏浚基建工程量和年维护量均小于其他2个方案。

综合计算效果, 同时考虑航道的可维护性、与交通组织适应性和与沿岸港口的适应性几个方面来综合比较3种方案, 数学模型推荐方案1(左右汉单向航道)作为鳊鱼沙河段12.5 m深水航道选槽方案, 但建议该方案左槽中段航线位置稍向左岸调整, 适应深槽变化趋势。

## 参考文献:

- [1] 王建军, 张明进, 李旺生. 长江南京以下12.5 m深水航道二期工程口岸直河段选槽专题数学模型研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2013.
- [2] 李旺生. 长江中下游航道整治技术问题的几点思考[J]. 水道港口, 2007(6): 418-424.
- [3] 陈晓云. 长江南京以下深水航道治理对策及建设思路研究[J]. 水运工程, 2011(12): 99-105.
- [4] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 长江南京以下12.5 m深水航道二期口岸直河段选槽专题研究[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2012.
- [5] 张华庆. 河道及河口海岸水泥泥沙数学模型研究与应用[D]. 南京: 河海大学, 1998.
- [6] 王建军. 河道二维水沙数学模型并行计算技术研究[J]. 水道港口, 2009, 30(3): 222-225.
- [7] 张明进. 长江中游戴家洲河段航道整治工程数值模拟研究[J]. 水道港口, 2008(3): 194-198.
- [8] 张明进. 浅谈数值模拟技术在长江中下游航道整治中的应用[J]. 水道港口, 2010(2): 102-106.

(本文编辑 武亚庆)

## [ 本刊快讯 ]

### 中交集团科技期刊管理工作会在北京召开

2013年12月13日, 中国交通建设集团有限公司科技部在北京中交集团大厦召开集团主管科技期刊管理工作会, 集团科技部王武勤总经理、田俊峰副总经理出席会议, 会议由邓新安处长主持。

会议主要议程: 王武勤就集团科技期刊管理、改革等当前热点问题发表讲话; 《水运工程》、《港工技术》、《中国港湾建设》、《公路》杂志先后汇报期刊基本面、2013年工作情况和对期刊改革的意见建议; 邓新安解读国家新闻出版行业改革政策和介绍最新调研情况; 会议交流讨论; 田俊峰对会议进行总结及部署2014年期刊重点工作。

会议高度评价科技期刊在新时期发挥的技术支撑作用, 对期刊长期不懈的努力和取得的成绩表示肯定。与会期刊感谢集团主管以来所给予的重视和支持, 对期刊改革和做好2014年工作充满信心。

