

长江南京以下12.5 m深水航道一期工程 总平面方案优化

闻云呈, 夏云峰, 吴道文, 杜德军, 徐 华, 张世钊
(南京水利科学研究院, 交通运输部港口航道泥沙重点实验室, 江苏南京 210024)

摘要: 通州沙、白茆沙河段受径流和潮汐的共同作用, 水沙动力复杂, 河床冲淤多变。通州沙、白茆沙是长江南京以下12.5 m深水航道上延南京首先碰到的2个重点碍航浅滩。在工程河段水沙特性研究的基础上, 利用数模、物模试验对工程方案平面布置、通州沙潜堤齿坝高程、通州沙中水道过渡段高程以及白茆沙齿坝高程进行优化并形成优化推荐方案。研究表明, 优化推荐方案的实施在一定程度上遏制了通州沙、狼山沙冲刷后退的趋势, 有利于白茆沙的稳定, 稳定两汉分流, 形成南北水道稳定的分汊格局。

关键词: 总平面方案; 齿坝; 过渡段; 优化

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)02-0202-11

Optimization on general layout scheme of 12.5 m deepwater channel phase I project from Nanjing down the Yangtze River

WEN Yun-cheng, XIA Yun-feng, WU Dao-wen, DU De-jun, XU Hua, ZHANG Shi-zhao

(Key Lab of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of the Ministry of Transportation and Communications,
Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: The river reach of Tongzhou shoal and Baimao shoal is influenced by both river discharge and tide. The hydrodynamics is complicated and river bed is active in siltation and erosion. Tongzhou shoal and Baimao shoal are two major obstacle shoals of the 12.5 m deepwater channel extending up to Nanjing in the Yangtze River. Based on hydrodynamic research results of the engineering river reaches, numerical and physical models are used to study the overall plain plan, tooth groin elevation of submerged dike for Tongzhou shoal and Baimao shoal, middle channel transition section elevation of Tongzhou shoal, and the suggested optimization plan. It is concluded that the optimization suggested plan can control the erosion and backward trend of Tongzhou shoal and Langshan shoal, stabilize the discharge diversion of the two branches, and form the bifurcation layout of north and south channels.

Keywords: general layout scheme; tooth groins; transition section; optimization

长江口12.5 m深水航道2010年底已上延至太仓荡茜口, 若要上延至南京, 目前有多个碍航浅滩, 其中通州沙、白茆沙是上延南京首先碰到的2个重点碍航浅滩, 严重制约了长江下游黄金水道所发挥的效益, 通州沙、白茆沙水道海轮深水航道碍航浅滩段的整治迫在眉睫。南京水利科学研

究院于20世纪90年代就开展了“三沙”河段的河床演变及碍航特性分析, 提出通州沙、白茆沙深水航道整治方案, 形成了预可报告, 并通过专家评审^[1]。2007—2008年, 根据三沙河段近期演变分析, 利用数模、物模对整治方案进行研究, 经历了方案初选、方案优化、总体方案形成3个不

收稿日期: 2012-12-30

作者简介: 闻云呈(1979—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事河口海岸泥沙研究。

同的阶段。考虑到总体方案整治工程的复杂性, 依据总体规划、分步实施的整治思路, 先期实施条件成熟、起关键作用的控制工程。为此2009—2011年上半年, 主要围绕单个工程以及相应组合工程的效果及影响进行了研究。2011年9月以来, 针对地形的冲淤调整以及由此带来的方案效果及影响的调整, 根据最新实测水沙、地形资料对方案进行比选优化, 并对优化推荐方案进行了潮流泥沙数模计算、定动床物理模型试验研究, 为工程设计提供技术支撑。

1 自然条件

1.1 河道概况

工程河段上起南通任港、下迄太仓浏河口, 全长约76 km, 由通州沙水道和白茆沙水道经徐六泾河段连接而成藕节状, 上接南通水道, 下连长江口南支河段的宝山水道。该河段属于弯曲多分汊河道, 包括澄通河段下段和南北支河段。

通州沙河段上起十三圩, 下至徐六泾, 全长约39 km。进出口江面宽相对较窄, 中间放宽, 最大河宽约9.4 km。徐六泾河段由徐六泾至白茆河口, 全长15 km。江面宽由进口徐六泾处约4.7 km,

逐步展宽至白茆河口处7.5 km, 其间苏通大桥飞架南北。

白茆河口以下为展宽分汊型河道, 长江在此被崇明岛分南北两支, 北支为支汊, 南支为主汊。白茆河口至吴淞口, 全长约60 km, 与南、北港相连。白茆口以下江面展宽到10.0 km, 到七丫口处江面略微收缩, 七丫口以下又逐渐放宽, 至吴淞口江面宽度达17.0 km。白茆沙为水下暗沙, 在七丫口附近和白茆沙北水道汇合后进入长江南支下段, 多汊分流后进入南、北港入海。

1.2 水沙条件

一年当中, 最大流量一般出现在7—8月, 最小流量一般在1—2月。径流在年内分配不均匀, 5—10月为汛期, 其径流量占年径流总量70.47%、沙量占87.24%, 表明汛期水量、沙量比较集中, 沙量集中程度大于水量。

工程河段悬沙中值粒径范围为0.001~0.025 mm。河床质分析表明, 本河段底沙主要是细沙, 床沙粒径分布为: 主槽床沙较粗, 中值粒径 $d_{50}=0.13\sim 0.25$ mm, 江心沙滩上底沙较细, d_{50} 一般在0.1 mm左右, 大通站径流、输沙总量变化见图1。

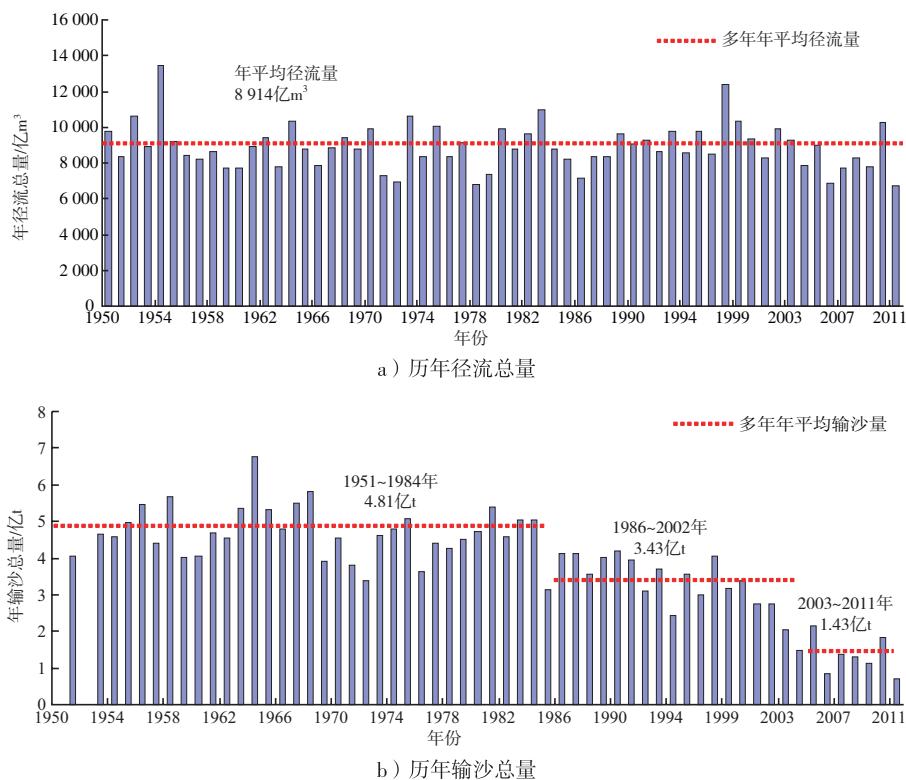


图1 1951—2009年大通站径流、输沙总量

1.3 碍航特性

随着上游总体河势逐渐趋稳,徐六泾节点作用逐渐加强,太仓—南通河段将长期维持通州沙东水道→狼山沙东水道→白茆沙南水道为主航道的分汊格局,河床演变主要表现为各汊道内河床及洲滩的局部调整。从航道变化趋势看,太仓—南通河段内局部洲滩仍处在较剧烈变化之中,随着通州沙及狼山沙左缘不断崩退,通州沙东水道河道展宽淤浅,新开沙沙体冲淤变化频繁;白茆沙头受冲持续后退,白茆小沙下沙体冲失,南水道进口展宽,河床向宽浅型发展,并且北水道进口10 m等深线断开范围加大,加上北支盐水倒灌影响,北水道有所衰退。这些不稳定因素导致局部河势仍未完全稳定,同时造成局部航道条件难于稳定,太仓—南通河段航道条件正在向不利方向发展。为了防止狼山沙左缘以及白茆沙沙头的冲刷后退,对其进行控制守护并遏制其想不利方向发展是非常必要和紧迫的。

2 整治方案研究

2.1 整治原则及思路

根据本工程所在河势自然条件和工程目标定位,参考相关工程的经验,航道治理工程指导思想为“固滩,稳槽,导流,增深”。具体为:守护洲滩关键部位,调整工程区域流态;增强浅区动力,形成有利于深水航道建设和维护的深泓,

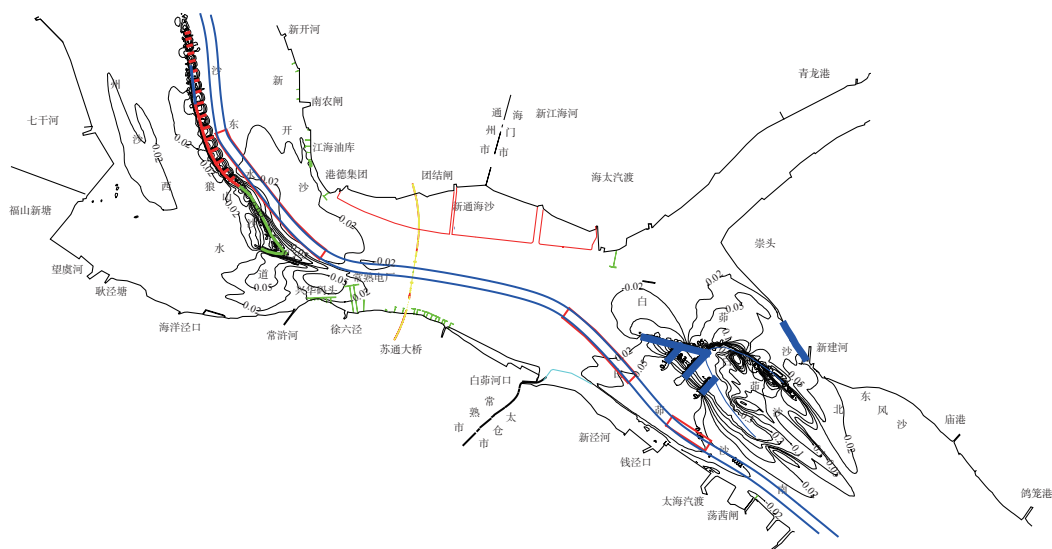
为深水航道建设提供稳定、安全的保障条件。

本次研究利用江阴利港至长江南支六效、北支连兴港为边界的二维非平衡、非均匀潮流泥沙数学模型以及上起江阴利港下至南支吴淞口、北支青龙港为边界的长河段整体物理模型(水平比尺1:655,垂直比尺1:100)为研究平台。同时利用三沙河段最新实测地形资料对模型进行翻新、改建,并利用三沙河段多次实测水沙资料对模型进行率定和验证,验证结果满足规程、规范要求。

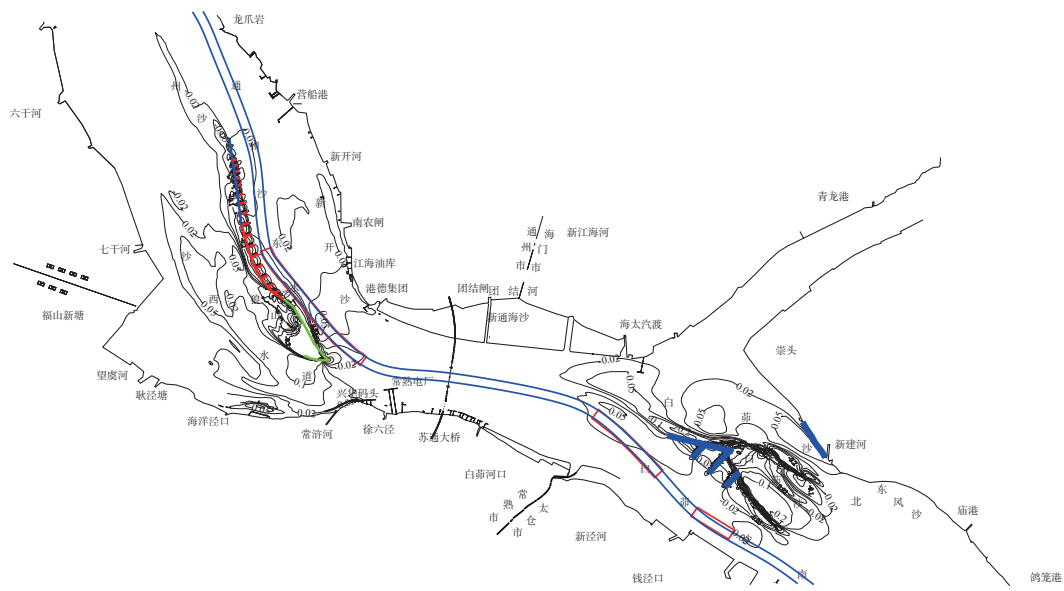
2.2 整治方案优化

2.2.1 平面布置优化

工可方案主要包含通州沙和白茆沙两部分工程,其中通州沙、狼山沙沙体左缘建潜导堤15.3 km,齿坝16道;白茆沙头部前缘建3.3 km长潜导堤,在其南侧建3道齿坝;并在白茆沙头部建8.9 km长圈围潜堤;对新建闸处2 km长护岸进行抛石加固。工可方案实施后,通州沙东水道、狼山沙东水道以及白茆沙南水道中上段流速略有增加,但通州沙碍航浅区航槽内流速增加的幅度较小,工程掩护区内流速减小明显,狼山沙潜堤尾部涨潮流速增加较大,局部冲坑明显;白茆沙中段碍航浅区航槽内河床冲刷较小,南侧齿坝边缘冲刷较大,为此需要在原工可方案的基础上对其平面布置进行优化调整^[2],工可方案实施后流速变化见图2。



a) 涨潮



b) 落潮

图2 工可方案实施后涨落潮流速变化

从最新地形冲淤变化来看, 通州沙—狼山沙左缘潜堤沿线主要冲刷部位集中在狼山沙左缘5~10 m 滩坡, 5 m 以上滩坡较为稳定, 故潜堤和齿坝的布置原则可不作调整, 其轴线位置与工可方案相同。同时前期研究表明通州沙整治建筑物实施后, 建筑物上游将发生壅水, 导致堤头附近出现绕流现象, 壅水程度与潜堤及齿坝顶高程相关, 即潜堤和齿坝顶高程越高, 壅水程度越强; 同时通州沙中水道水沙交换复杂, 通州沙潜堤过渡段高程直接影响其拦截水量、沙量的效果; 白茆沙南侧齿坝长度及高程直接影响白茆沙南水道

碍航浅区的整治效果以及南侧齿坝自身翻滚水流强度; 为此本次方案的布设在数模研究的基础上对潜堤高程、齿坝顶数量(16条减小为8条)及高程进行了调整; 同时考虑到狼山尾部局部冲刷坑较大, 故在潜堤头部主堤与超前护底之间增设500 m过渡段, 优化后总平面方案见图3。通州沙方案: 高程为-2.0 m, 过渡段, 高程0.0 m, 滩面高程高于0.0 m时护滩, 根部与顺堤齐平, 头部高程-5.0 m。白茆沙方案: 堤身高度2 m, 高程1.0 m, 过渡段, 高程与顺堤平, 根部高程与顺堤齐平。

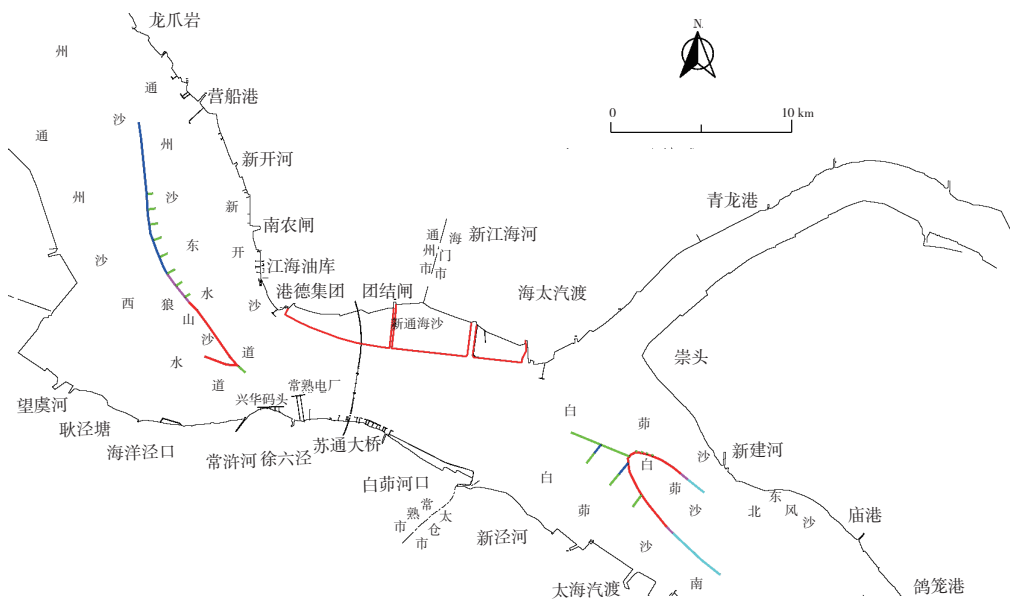


图3 工可优化方案平面布置

2.2.2 通州沙中水道潜堤高程优化

通州沙中水道甬沟潜堤高程及坡度的设置对于甬沟封堵程度、东水道潮量增幅和甬沟附近滩面护滩效果影响明显。本文在平面方案优化的基

础上,假定过渡段的长度(约4.8 km)不变,对过渡段的高程布设(-2、-1、0、1)以及4.8 km斜坡过渡段5个方案进行研究,不同高程方案断面高程如下,各方案高程变化见图4。

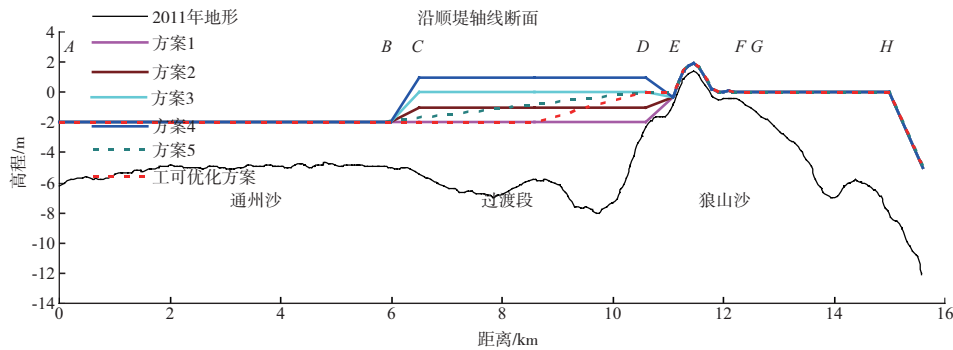
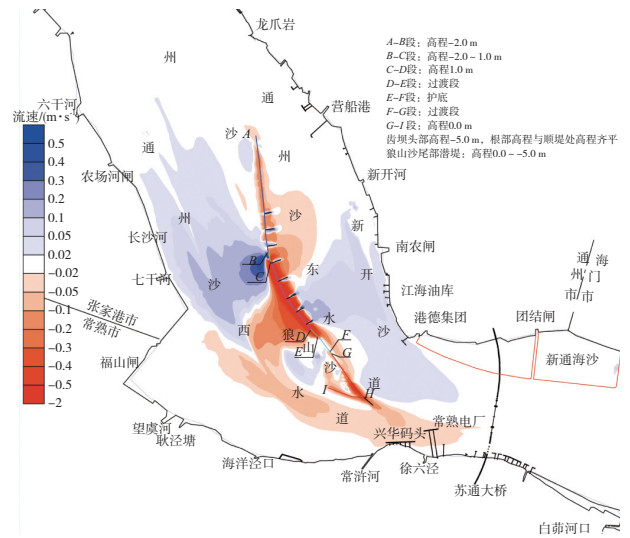


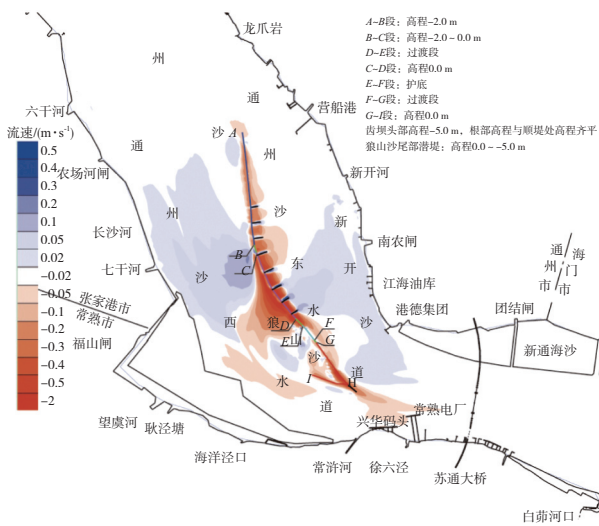
图4 各方案沿程高程变化

研究表明,各方案实施后通州沙东水道下段碍航浅区附近流速略有增加,且随着过渡段高程的抬升而略有增加;方案1、方案2实施后,狼山沙东水道内流速变化较小,方案3、方案4实施后,随着通州沙、狼山沙过渡段高程的抬高,通州沙中水道被阻隔水流从过渡段的上端点附近进入通州沙滩面及西水道,堤身附近滩面流速增加明显,各水文条件下各方案实施后流速变化见图5~6,航槽流速变化见图7。

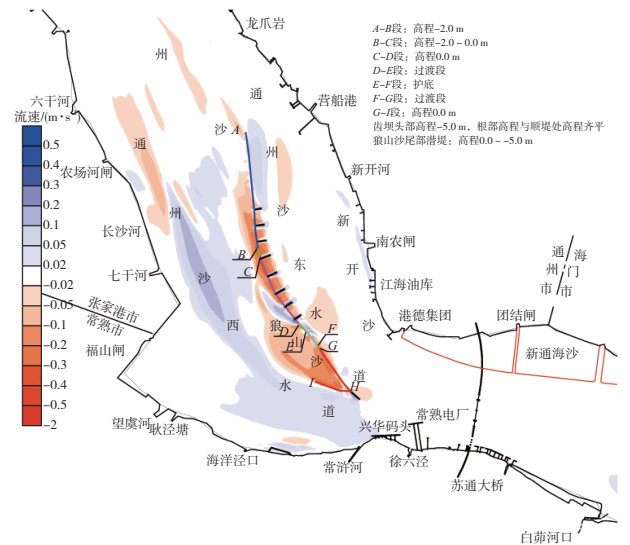
涨潮条件下,方案1、方案2实施后通州沙东水道碍航浅区流速变化较小,狼山沙西水道内流速略有增加;方案3、4实施后,通州沙东水道碍航浅区流速变化较小,碍航浅区下段流速略



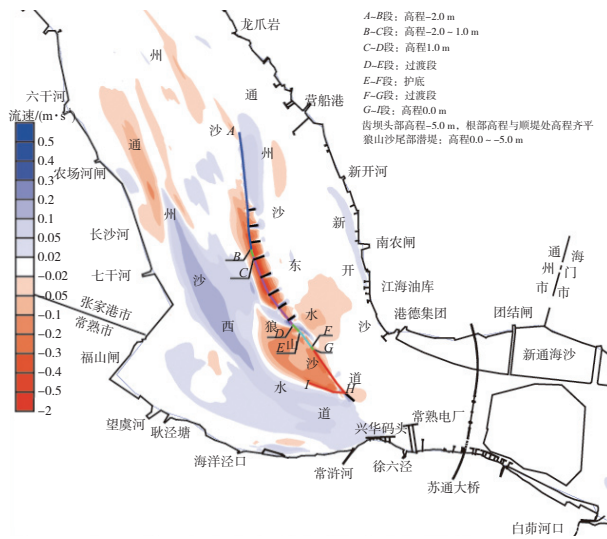
b) 方案4
图5 洪季大潮方案3、4实施后落潮流速变化 (过渡段高程0, 1 m)



a) 方案3



a) 方案3



b) 方案4

图6 枯季大潮方案3、4实施后涨潮流速变化 (过渡段高程0, 1 m)

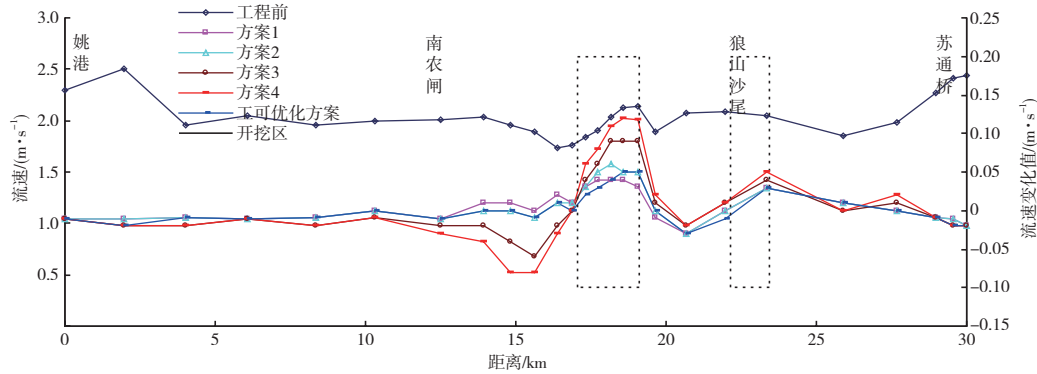


图7 航槽沿程落潮流速变化 (98高程)

表1 洪枯季大潮各方案越滩流比较

洪枯	方案	总越堤流		往东水道		往西水道	
		封堵效果/%	增幅/%	封堵效果/%	增幅/%	封堵效果/%	增幅/%
洪季	方案1	-1.99		-10.50		-2.77	
	方案2	-7.27	4.50	-17.40	2.80	-10.97	2.17
	方案5	-10.21	2.94	-20.36	2.96	-17.70	6.73
	方案3	-46.30	36.09	-43.40	23.04	-43.47	25.77
枯季	方案4	-70.27	23.97	-47.30	3.90	-81.06	37.58
	方案1	-5.65		-2.24		-8.09	
	方案2	-24.53	18.31	-17.04	9.15	-29.86	6.36
	方案5	-32.49	7.96	-21.86	4.82	-40.75	10.89
	方案3	-58.76	26.27	-24.66	15.80	-83.07	42.32
	方案4	-81.43	22.67	-62.94	38.29	-94.60	11.54

小。综合考虑各方面影响, 从固滩稳槽、导流增深的整治目的出发, 本次通州沙中水道过渡段的高程宜为0 m, 结构采用斜坡式。

2.2.3 通州沙护堤短齿坝优化

围绕“固滩稳槽、导流增深”的整治原则,

有减小, 狼山沙西水道内流速有所增加且一般在0.05~0.1 m/s以内, 通州沙潜堤头部左缘流速略有增加(表1)。

从航槽流速变化分析可知, 过渡段高程较高时, 由于窄沟段大部分水流被封堵, 部分水流从过渡段上段进入通州沙西水道, 西水道滩面局部流速增加幅度较大, 同时狼山沙西水道、上游堤身西侧滩面、新开沙滩面均随高程抬升影响程度加大; 从通州沙中水道窄沟段流量封堵效果来说, -1~0 m高程这一段封堵效果较好, -1~0 m这一段高程的拦截量为30%~35%; 从过渡段齐平、斜坡两种结构形式来看, 齐平过渡段的结构形式易于施工, 但斜坡的结构形式堤身自上而下逐渐抬高, 工程对周边尤其是上游的滩面影响相对较

对通州沙短丁坝高程进行了必选研究, 主要包括齿坝头部高程-5 m, 尾部与通州沙潜堤高程一致; 齿坝头部高程-7 m, 尾部与通州沙潜堤高程一致; 齿坝等高3 m; 上游5个齿坝头部高程-7 m, 下游3个头部高程-5 m, 尾部与通州沙潜堤高程一

致等4种方案，单纯齿坝引起的流速变化见图8。

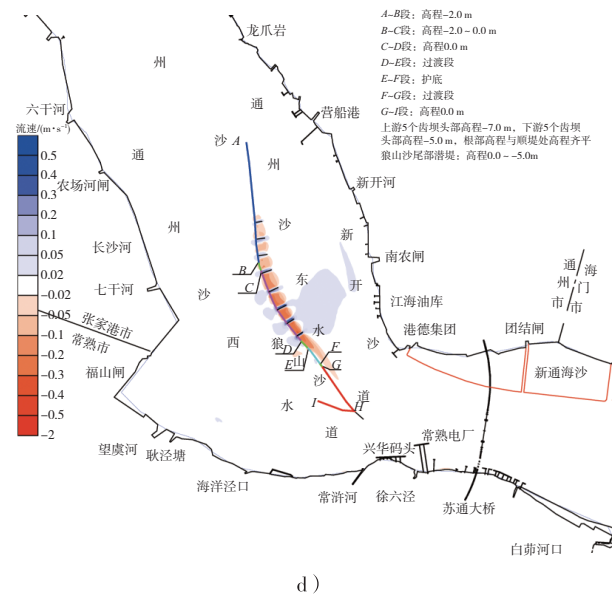
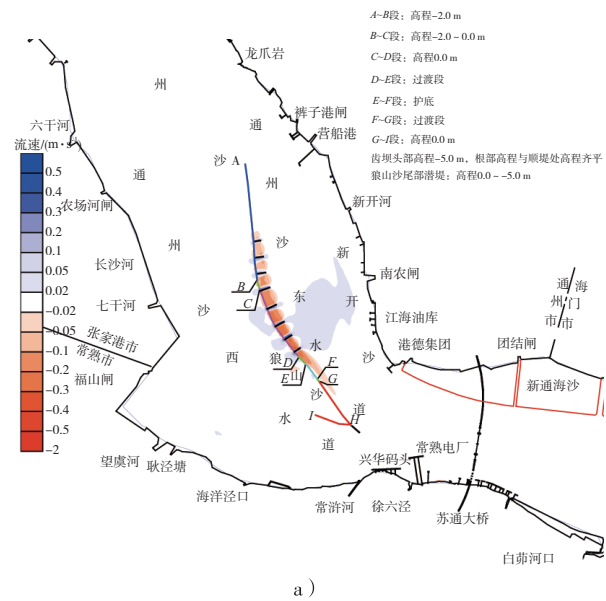
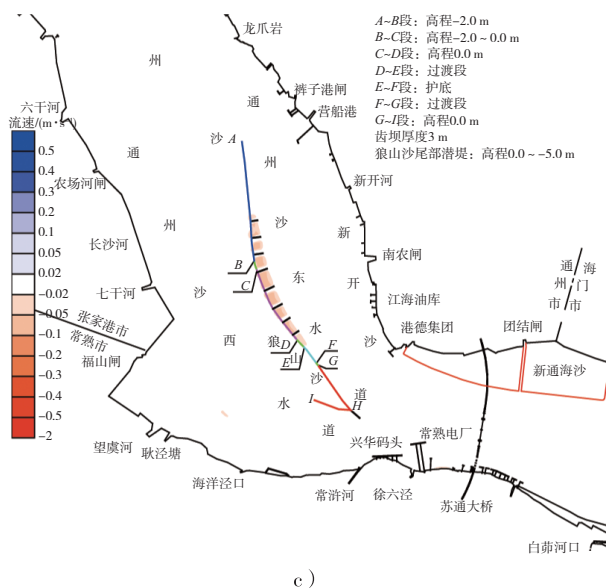
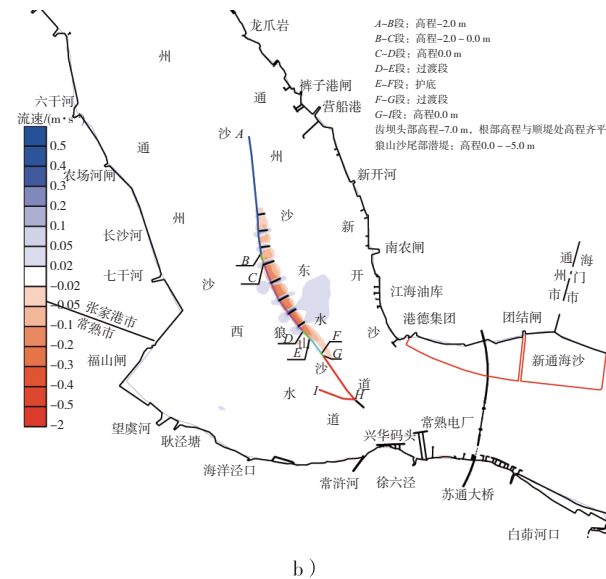


图8 单纯齿坝引起的流速变化



从单纯齿坝引起的流速变化可以看出，齿坝主要起到了护滩的作用，同时通州沙碍航浅区的流速也略有改善。头部-5 m以及头部-7 m方案实施后，碍航浅区流速增加的幅度、范围大均较等高3 m方案大，等高3 m方案对碍航浅区的流速增加效果不明显；研究表明，通州沙碍航浅区的流速增加主要是下面3条齿坝的作用，为此上游、下游齿坝头部高程不一致的布置形式是比较合适的。

2.2.4 白茆沙齿坝优化

前期研究表明，白茆沙南侧第二根齿坝对白茆沙南水道航槽内流速的调整作用较大，同时齿坝两侧的翻滚水流作用较强，为了优化均衡齿坝工程强度，以达到平顺工程局部流场、减小水流对建筑物及局部河床的冲刷影响，本文在工可优化方案的基础上，通过将南侧第1根齿坝齐平段延长至1.3 km；第2根齿坝头部-7 m，坝根与潜堤高程一致，中间过渡；第2根齿坝头部-7 m，齐平段有0.8 km减小至0.4 km；第2根齿坝头部-7 m，齐平段有0.8 km减小至0.6 km；第3根齿坝缩短0.3 km等5个不同方案进行比选研究，各方案实施后流速变化见图9，各方案实施后航槽最大流速变化见图10。

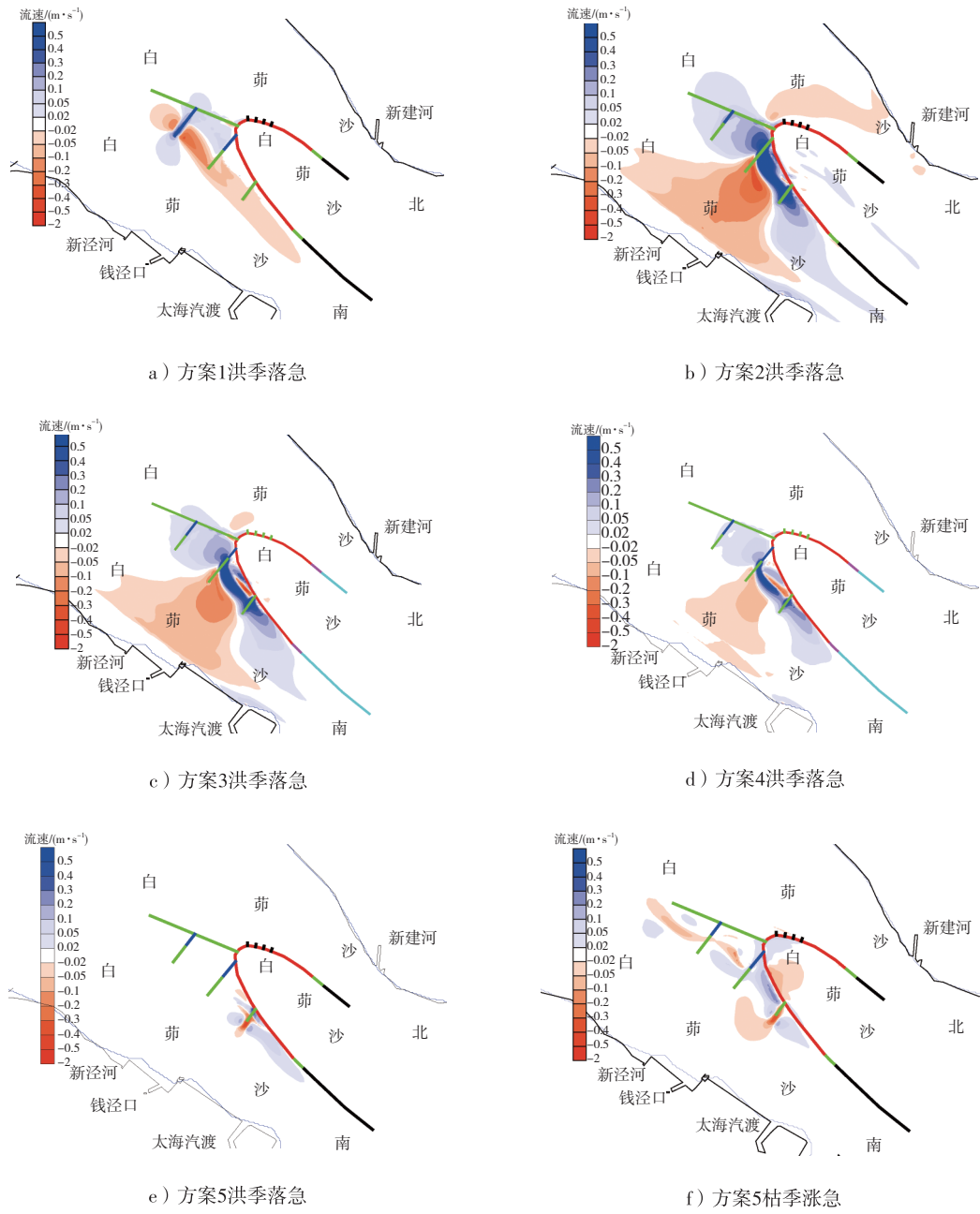


图9 各方案实施后流速变化

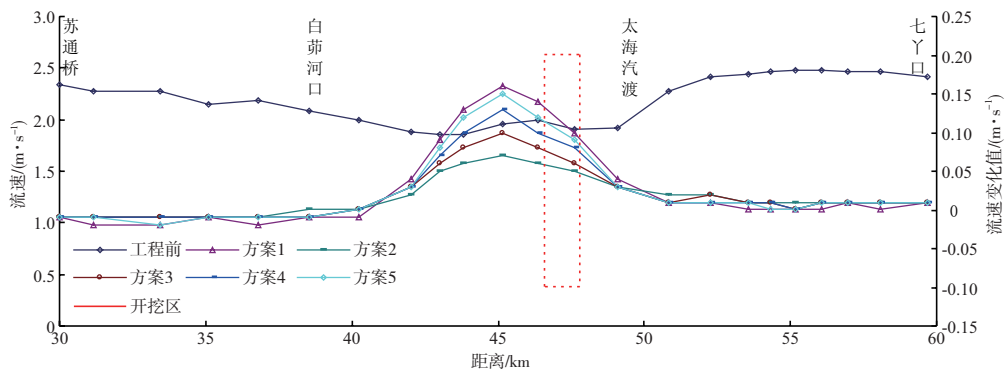


图10 各方案洪枯季涨落潮沿程最大流速变化

相对基础方案，方案一实施后，随着第1条齿坝齐平段长度的增加，第1根齿坝的右缘（白茆沙南水道航槽内）流速略有增加，第1条齿坝头部增加约0.05 m/s，坝根附近流速则有所增加；但从2011年10月地形可以看出，第1根齿坝坝头附近实际地形高程一般在-12~-14 m，而当第1根齿坝高程全部为-2.9 m时，堤身抬高了约10 m，齿坝头部的流速相对较大，局部冲刷坑也相对较大，不利于齿坝局部的稳定。

方案2、3、4实施后，随着南侧第2条齿坝高程的渐变（降低）白茆沙南水道航槽内流速减小较大，减小的幅度一般在0.05~0.15 m/s，护滩效果略有减弱；涨潮条件下，白茆沙南水道钱泾口以上流速略有减小，以下则略有增加。

方案5实施后流速的变化仅限于工程区域附近，由于第3条齿坝略有缩短，护滩效果略有减弱，白茆沙南水道航槽内流速基本无变化。

综合分析上述组次效果不难看出，单独对白茆沙护滩工程南侧的某一座齿坝进行优化难以达到理想的效果，因此需要将3座齿坝作为一个整体进行考虑，如前所述，S1齿坝高程过高导致局部翻堤流明显，S2齿坝齐平段过短则削弱南水道水流动力，而齿坝S3的实施对南侧堤线及白茆沙滩面守护有利，并能与上游侧齿坝S1、S2坝头形成较平顺相连接，应予以保留。为此，考虑适当增加S1齿坝齐平段长度、减少S2齿坝齐平段长度、维持S3齿坝长度，以平顺齿坝区整体流场。为此本次方案将第1条齿坝的齐平段调整为0.9 km，第2条齿坝齐平段调整为0.7 km，第3条齿坝不变^[3]。

3 整治工程效果及影响分析

在通州沙潜堤高程以及护滩齿坝高程、通州沙中水道过渡段长度、白茆沙齿坝等比选优化的基础上，形成了优化推荐方案，方案布置见图11，数

模计算流速变化见图12，物模试验平常年引起的冲淤变化见图13。

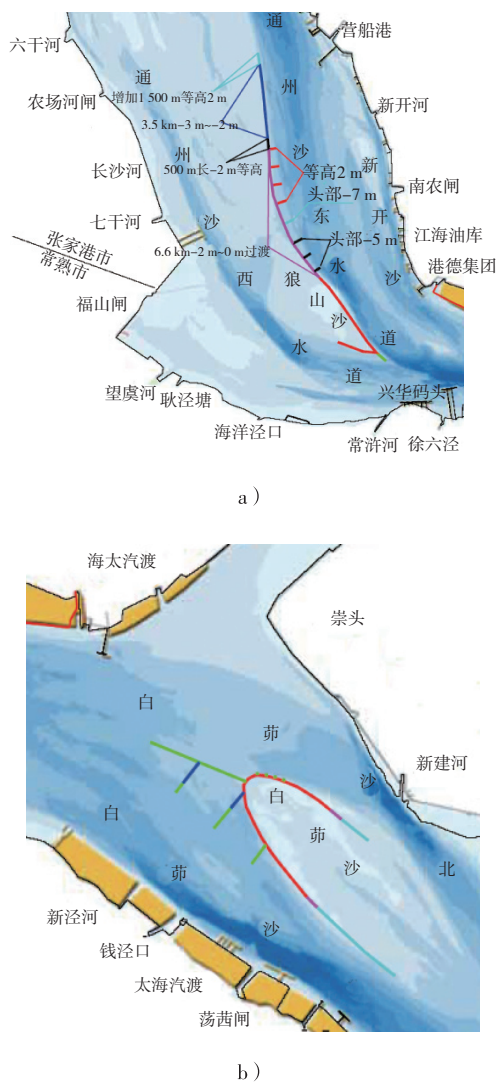


图11 优化推荐方案布置

研究表明^[4]，优化推荐方案实施对望虞河引排以及沿江口门防洪排涝影响较小。通州沙下段碍航浅区流速增加一般在0.06~0.08 m/s；狼山沙潜堤掩护区范围内流速有所减小且减小的幅度一般在0.05~0.2 m/s，狼沙滩面上流速变化很小，狼山沙东水道航槽内流速有所增加且一般在0.02 m/s以内。白茆沙南水道进口碍航浅区附近流速增加一般在0.05~0.15 m/s，狼山沙东水道分流比略有减小，白茆沙北水道分流比变化一般在

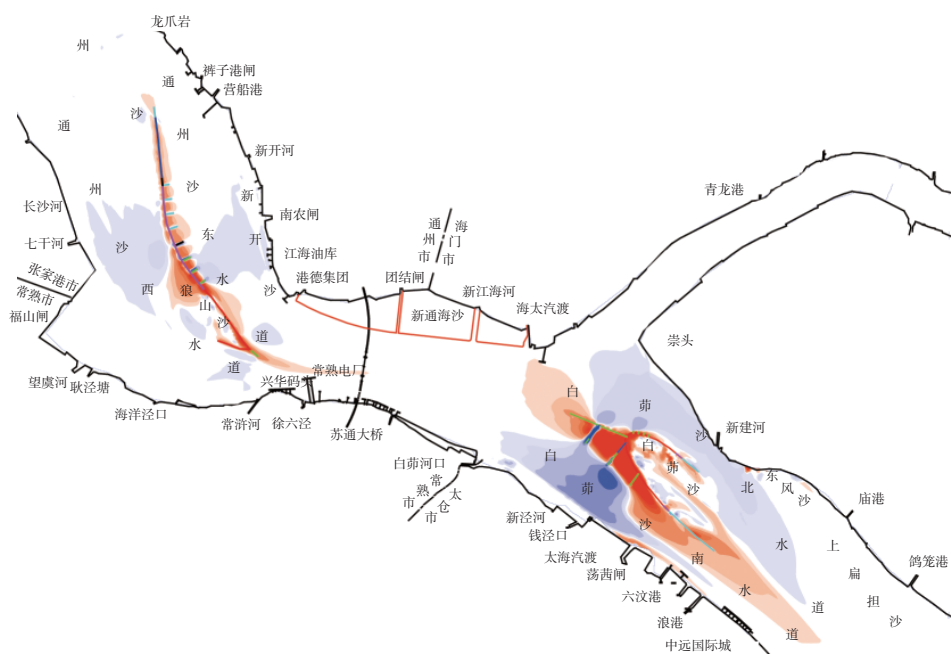


图12 落急流速变化

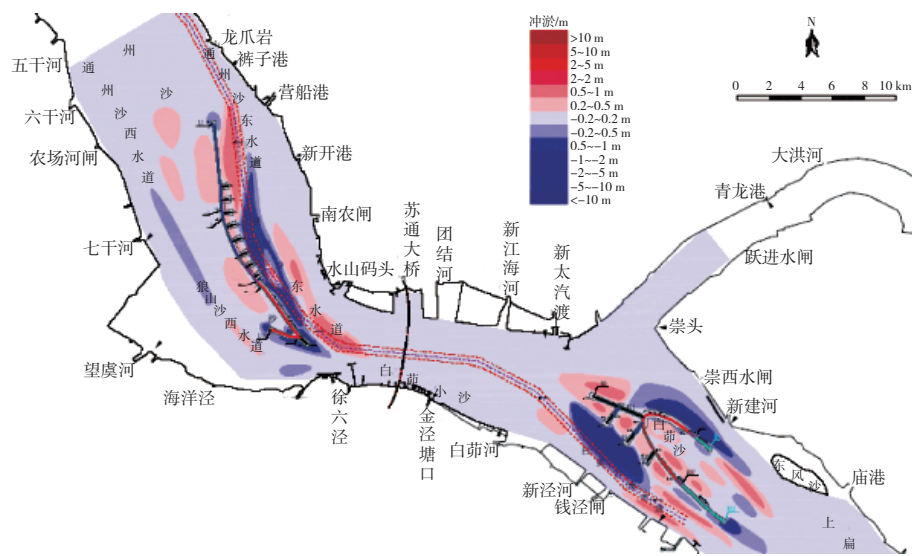


图13 平常年引起的冲淤变化

1.0%~1.2%，南支分流比变化很小，南北港分流比无变化。

工程的实施在一定程度上遏制了通州沙、狼山沙冲刷后退的趋势，有利于白茆沙的稳定，稳定两汉分流，形成南北水道稳定的分汉格局。随着南水道进口南侧齿坝间槽宽收缩，有利于近航槽沙包冲刷和航道的调顺，白茆沙南水道航槽可基本满足12.5 m × 500 m的要求。

4 结语

1) 通州沙、白茆沙水道位于长江河口段，为弯曲分汉河型，受上游径流和下游潮流影响，水动力及通航环境复杂，工程河段参与造床作用的泥沙主要为底沙，悬沙中的床沙质也参与造床作用。

2) 工程河段总体河势渐趋稳定，但局部河势仍处于变化之中。随着通州沙及狼山沙左缘不断

崩退，通州沙东水道河道展宽淤浅，新开沙沙体冲淤变化频繁；白茆沙头受冲持续后退，白茆小沙下沙体冲失，南水道进口展宽，河床向宽浅型发展。为了防止狼山沙左缘以及白茆沙沙头的冲刷后退，对其进行控制守护并遏制其想不利方向发展是非常必要和紧迫的。

3) 通州沙、白茆沙重点部位守护工程的实施，遏制了通州沙、狼山沙冲刷后退的趋势，有利于白茆沙的稳定，稳定两汉分流，形成南北水道稳定的分汊格局，为长江口12.5 m深水航道的上延奠定了基础。

参考文献：

- [1] 夏云峰, 吴道文. 长江下游三沙(福姜沙、通州沙、白茆沙)水道海轮深水航道整治工程预可行性研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2002.
- [2] 闻云呈, 夏云峰. 长江南京以下12.5 m深水航道建设工程一期工程(太仓—南通段)数模研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2012.
- [3] 徐元, 张华. 长江南京以下12.5 m深水航道建设工程一期工程(太仓—南通段)初步设计报告[R]. 上海: 上海航道勘察设计研究院有限公司院, 2012.
- [4] 夏云峰, 杜德军. 长江南京以下12.5 m深水航道建设工程一期工程(太仓—南通段)定动床物模研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2012.

(本文编辑 郭雪珍)

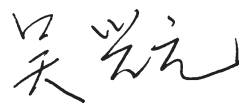
《水运工程》优秀论文评选

评委点评：

长江南京以下12.5 m深水航道一期工程河段上起南通任港、下迄太仓浏河口，全长约76 km，通州沙、白茆沙是长江南京以下12.5 m深水航道上延南京首先碰到的两个重点碍航浅滩，严重制约了长江下游黄金水道。

论文在工程河段水沙特性研究的基础上，利用数模、物模试验对工程方案平面布置、通州沙潜堤齿坝高程、通州沙中水道过渡段高程以及白茆沙齿坝高程进行优化并形成优化方案，为工程设计提供技术支撑。

该论文结合工程模拟、对比各方案的实施效果，具有较强的针对性和实用性，文章论据充分，具有指导意义和参考价值。



2014年12月

评委简历：



吴兴元，教授级高工，中交上海航道局有限公司副总经理兼总工程师，一级注册建造师，享受国务院津贴专家。

主持、参与完成了“离岸深水港建设关键技术与工程应用”、“洋山深水港工程建设关键技术”等几十项课题和研发项目，多项成果获国家科技进步、水运建设行业协会科技进步等奖项；在国家核心期刊及国内外学术会议发表论文多篇。