

通州沙和白茆沙 12.5 m 深水航道整治方案试验研究

杜德军, 夏云峰, 吴道文, 闻云呈, 徐 华, 张世钊

(南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 以前期数学模型研究为基础, 在已有长江河口段模型中, 对通州沙水道和白茆沙水道深水航道整治一期工程可行性研究比选方案、推荐方案以及初步设计方案进行定、动床物理模型试验研究, 从水动力变化、河床冲淤变化等方面, 分析对比各方案实施后航道整治效果、护滩效果, 以及对河势、防洪和周边的影响。试验研究认为, 各方案实施后规划航道 12.5 m 航道均贯通, 稍加疏浚, 可满足 500 m×12.5 m 的深水航道要求; 相对推荐方案而言, 初设优化方案较优。相关成果已应用于航道工程设计和决策中。

关键词: 长江口深水航道; 通州沙浅滩; 白茆沙浅滩; 整治方案; 模型试验

中图分类号: U617; TV131.61 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2013)05-0001-09

长江口深水航道建设三期工程于 2010 年 3 月通过验收, 2010 年底 12.5 m 深水航道已上延至太仓荡茜口, 但要上达南京港尚有困难。为此交通运输部、江苏省人民政府联合共建长江南京以下深水航道工程。该工程是“十二五”全国内河水运投资规模最大、技术最复杂的重大工程, 也是继长江口深水航道治理工程之后的又一重大水运工程, 在全国水运“十二五”发展中具有举足轻重的示范作用。目前太仓至南通段存在 2 个主要的碍航水道, 即通州沙水道和白茆沙水道。经过一系列前期研究, 通州沙、白茆沙整治的工可阶段研究已完成并通过审查。目前正在初步设计阶段的研究工作。在前期研究的基础上, 通过定动床物理模型试验, 从工程实施后水动力变化、河床冲淤变化、航道条件改善情况和河势稳定等方面, 对工可方案、初设方案等进行优化比选, 为工程设计提供技术支撑。

1 基本情况

1.1 河段概况

通州沙河段属澄通河段, 上起十三圩、下至徐六泾, 全长约 39 km(图 1), 进出口河宽相对较窄(分别约 5.7 和 4.9 km), 中间放宽(最大河宽约 10 km), 为暗沙型多分叉河道, 江中通州沙、狼山沙、新开沙以及铁黄沙等沙体发育。该河段进口段长江被通州沙体分为东、西水道, 东水道是以落潮流为主的长江主流通道, 目前分流比约占 90%, 出口段被自左而右的新开沙、狼山沙和铁黄沙分为新开沙夹槽、狼山沙东、西水道和福山水道, 目前, 狼山沙东水道分流比约占 65%^[1]。

徐六泾河段上承澄通河段, 下接长江南支白茆沙分叉河段, 自浒浦至白茆河口, 全长 15 km。苏通大桥下游附近最窄处约 4.5 km, 其后有所展宽, 至白茆河口-海太汽渡处江面宽为 6.7 km。

白茆河口以下为展宽分叉型河道, 长江在此被崇明岛分隔南北两支, 北支为支叉, 南支为主叉。南支河段的白茆河口至吴淞口, 全长约 60 km, 与南、北港相连。长江主流自徐六泾人工缩窄段进入白茆沙南水道, 分流比约占 65%。

收稿日期: 2013-02-08

基金项目: 交通运输部重大科技专项资助项目(201132874660)

作者简介: 杜德军(1970-), 男, 湖南常德人, 高级工程师, 主要从事河口海岸泥沙工程研究。E-mail: djdu@nhri.cn

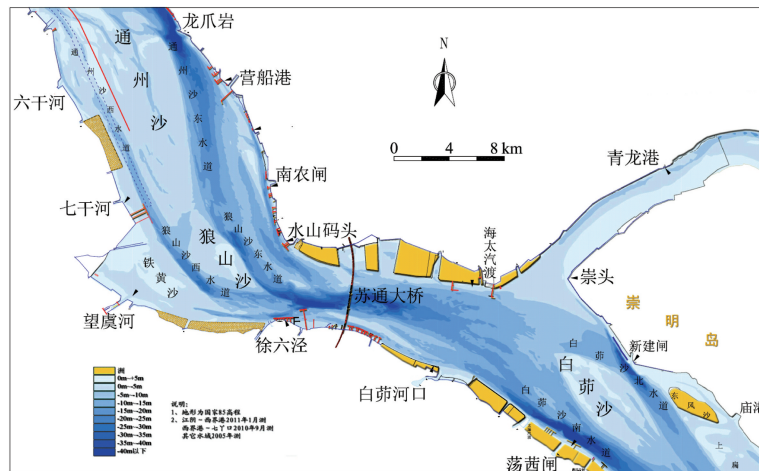


图1 通州沙、白茆沙河段河势

Fig. 1 River regime of Tongzhou shoal and Baimao shoal

1.2 水文泥沙条件

1.2.1 径流 长江下游最后一个水文站大通站距通州沙河段约 460 km, 根据 1950—2011 年来流资料统计, 历年最大流量 92 600 m³/s; 历年最小流量 4 620 m³/s; 多年洪峰平均流量 56 700 m³/s; 多年枯季平均流量 16 700 m³/s. 每年 5—10 月为汛期, 其径流量占年径流总量 70.73%. 多年平均流量 28 200 m³/s; 2003 年三峡水库蓄水前, 年平均流量约 28 620 m³/s, 年径流量 9 025 亿 m³; 三峡蓄水后, 年平均流量约 26 010 m³/s, 年径流量 8 200 亿 m³, 均较蓄水前有所减小.

1.2.2 潮汐及潮流 长江口为中等强度潮汐河口, 属非正规半日潮. 据徐六泾站 1985—2006 年潮位资料统计, 最大潮差 4.01 m, 最小潮差 0 m, 平均高潮位 2.07 m (85 国家高程基准, 下同), 平均低潮位约 0.03 m. 在径流与河床边界条件阻滞下, 潮波变形明显, 涨落潮历时不对称, 涨潮历时约 4 h, 落潮历时约 8 h. 长江口潮流界随径流强弱和潮差大小等因素的变化而变动, 枯季潮流界可上溯到镇江附近, 洪季潮流界下移至通州沙河段进口附近. 通州沙河段处于长江河口段, 潮流作用相对较强, 潮流运动总体呈现往复流特性, 落潮流为塑造河床的主要动力, 流速最大可达 2.5 m/s 以上.

1.2.3 泥沙 工程河段泥沙主要是流域来沙, 根据上游大通站 1951—2011 年资料统计分析^[7,10], 历年最大含沙量为 3.24 kg/m³, 历年最小含沙量为 0.016 kg/m³, 多年平均含沙量为 0.428 kg/m³, 长江水体含沙量与流量有关, 洪、枯季多年平均含沙量分别约为 0.530 kg/m³ 和 0.182 kg/m³. 汛期水量、沙量比较集中, 其中沙量占 87.65%, 表明沙量集中程度大于水量^[2-3].

三峡水库蓄水前 (1986—2002 年) 年均输沙量为 3.43 亿 t, 蓄水后 (2003—2010 年) 年均输沙量约 1.52 亿 t, 大通输沙量明显下降. 徐六泾站涨、落潮水体平均含沙量也呈现逐年减小趋势, 蓄水前后含沙量减少约 50%. 河床底沙为粉细沙, 中值粒径约为 0.10~0.25 mm, 深槽较粗, 滩面较细; 悬沙中值粒径约为 0.01 mm.

1.3 整治原则及目标

依据航道规划、建设条件、货运量预测等分析, 本工程将建成 12.5 m 水深航道, 航道宽度不小于 500 m, 满足 5 万 t 级集装箱船 (实载吃水 ≤ 11.5 m) 全潮, 5 万 t 级散货船、油船满载乘潮双向通航; 兼顾 10 万 t 级及以上海轮减载乘潮通航^[4-5].

通州沙水道宽度相对较为宽阔, 且水道两侧为可冲易动的水下暗沙, 1998 年以来通州沙下段及狼山沙的左缘不断冲刷崩退, 深泓也随之右摆, 沙洲崩退导致河道总体展宽, 水流分散, 泥沙在东水道南农闸一带淤积, 形成碍航浅滩, 为三沙河段碍航瓶颈之一. 随狼山沙受冲后退, 2004 年以来狼山沙东水道深槽明显淤浅, -10 m 心滩发育, 航道条件已向不利方向发展, 迫切需要在通州沙—狼山沙左缘实施守护工程, 防止通州沙

及狼山沙的冲刷后退,减少左岸浅滩向西淤长的空间,同时减少通州沙与狼山沙的漫滩分流量,归顺主槽水流,改善航道条件,以达到 12.5 m 水深要求。

由于落潮主流出徐六泾节点后南偏,加之近年来长江流域来沙减少,白茆沙沙头持续冲刷后退,北水道逐渐衰退,至 2011 年,沙头-5 m 等高线累计后退约 3.5 km,北水道进口-10 m 深槽中断约 4 km. 沙头的持续冲刷后退也导致南水道进口段不断展宽淤浅,航道水深由 16 m 左右逐渐减小至 13 ~ 14 m,航道条件已有向不利方向发展趋势,有必要尽早采取工程措施对起关键控制作用的白茆沙头部进行保护处理,以维持现在较为有利的水深条件,为 12.5 m 深水航道建设奠定良好基础^[6]。

1.4 通州沙、白茆沙深水航道整治方案

自 20 世纪 90 年代开始,夏云峰等就开始对三沙(福姜沙、通州沙和白茆沙)深水航道整治进行研究^[1,7-8]。在深水航道整治一期工程可行性研究过程中,通过前期数学模型大量比选研究,选取推荐方案进行定床及动床物理模型试验研究. 主要方案有工可比选方案、初步设计比选方案及初步设计推荐方案,分别称作方案 1,2 和 3^[3,5-6],各方案均包括通州沙整治工程、白茆沙整治工程、航道疏浚工程及新建闸护岸工程等,见图 2. 方案具体布置见表 1.

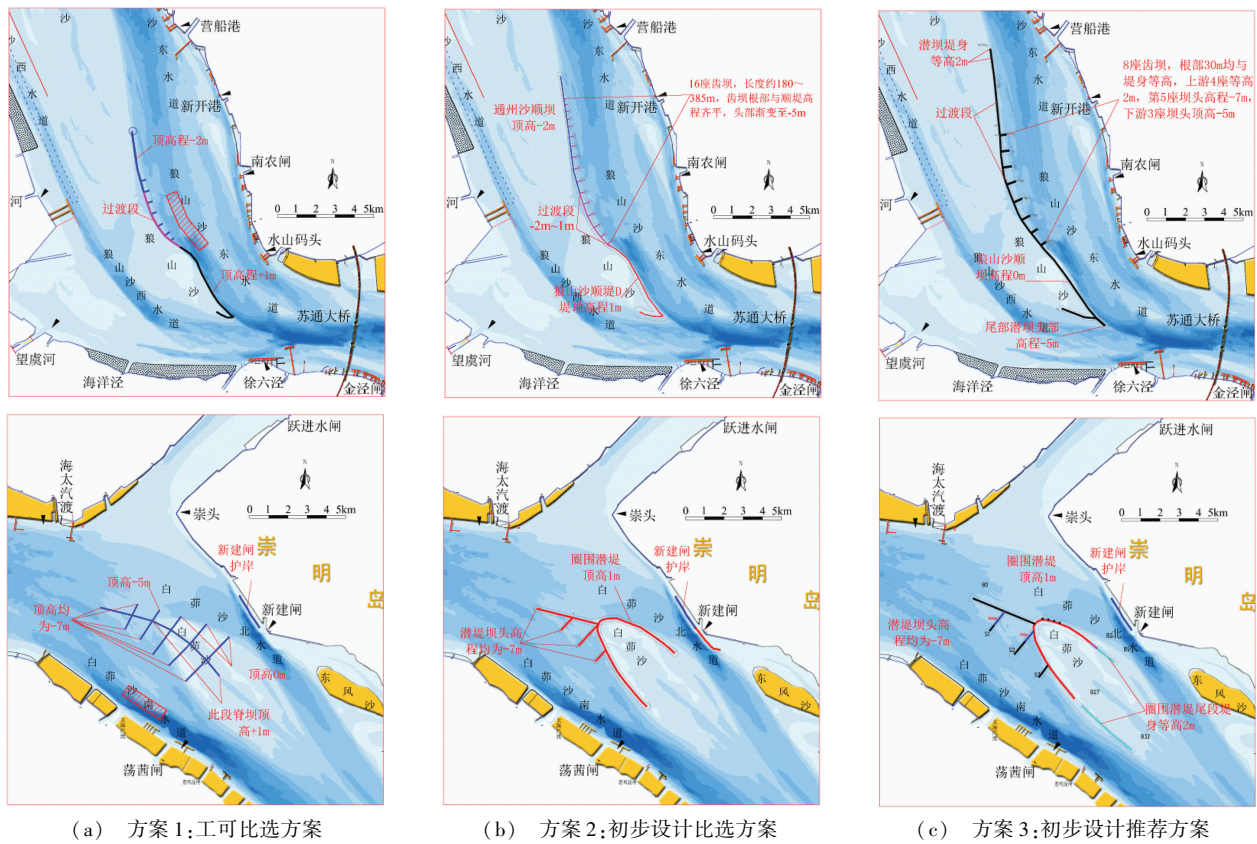


图 2 通州沙、白茆沙深水航道整治方案

Fig. 2 Deepwater channel regulation schemes of Tongzhou shoal and Baimao shoal

表1 3种方案布置说明

Tab. 1 Layout instructions of three schemes

位置	方案1(工可方案)	方案2(初设比选方案)	方案3(初设推荐方案)
通州沙	通州沙潜堤沿-5~-7 m等高线布置,顶高为-2 m;狼山沙潜堤沿-2 m等高线布置,顶高为1 m;两工程间用圆滑曲线平顺衔接.整治工程总长度约为12.4 km. 潜堤左侧布置7道齿坝,长度分别为293,318,291,300,293,317和205 m,根部高程与潜堤相同,头部高程为-5 m.	通州沙潜堤沿-5 m等高线布置,长6.2 km,高程-2.0 m;狼山沙顺堤基本沿-2 m等高线布置,长5.6 km,高程+1.0 m;之间用圆滑曲线平顺衔接. 潜堤左侧布置16道短齿坝.长度约180~385 m,齿坝根部与顺堤高程齐平,头部渐变至-5 m.齿坝间距约300~600 m.	通州沙潜堤沿2~5 m等深线布置,长5.8 km,高程-2.0 m;狼山沙潜堤沿2 m等深线布置,长6.3 km,高程0 m;两潜堤之间用过渡段衔接,长4.8 km. 潜堤左侧布置8道齿坝,长度约330~500 m,根部与潜堤齐平,上游五道齿坝坝头为-7.0 m,下游三道齿坝坝头为-5.0 m;狼山沙尾部潜堤长度600 m,高程0~-5.0 m.
白茆沙	鱼骨坝方案.脊坝坝头上延至规划分流口位置,坝头顶高程-7m,2#刺坝衔接处-尾部顶程1m,脊坝总长7.5 km,两侧布置长1 470~3 245 m的5组10道刺坝,根部与相连的脊坝高程相同,北侧刺坝头部高程依次为-7,-5,0,0和0 m;南侧刺坝头部高程均为-7 m; 对崇明岛右缘新建闸处长约2 km的岸段进行护岸加固	潜堤+圈围方案.圈围潜堤沿-5 m等高线布置,顶高1 m;长8.96 km.头部潜堤顶高程-7m,尾部与圈围潜堤相接,顶高程1m,长3.32 km.南侧布置3道齿坝,分别长896,1 540和774 m,坝头顶高均为-7m,坝根与潜堤连接处等高,间距约1 200 m. 对崇明岛右缘新建闸处长约2 km的岸段进行护岸加固.	潜堤+圈围方案.圈围潜堤沿2 m等深线布置,南堤、北堤分别长8.56和4.89km,上段顶高+1.0,下段等高2 m;头部潜堤长3.5 km,高程1.0~-7.0 m;南侧3道齿坝,根部与头部潜堤和圈围潜堤齐平;北侧4道长100 m的护堤坝,堤身高度2~3 m. 对崇明岛右缘新建闸处长2 km的岸段进行护岸加固,并延长新建闸上游4#丁坝.

2 模型概况及试验条件

模型试验在已有的长江河口段模型中进行,模型上起江阴水道天生港,下至长江南支吴淞口附近,北支青龙港下约8 km.模型水平比尺为655,垂直比尺100(图3).模型长约270 m,相当于原体176 km.本次试验前,根据最新实测的地形及水文资料对模型进行了更新和验证,验证内容为水动力和河床冲淤.验证结果满足有关规程、规范要求^[9-10].

根据试验研究目的,通过实测水文资料及河床冲淤变化分析,确定5个定床试验水文条件:洪季大潮、枯季大潮、平均流量大潮、97 风暴潮和98 洪水大潮;3个动床试验水文条件:1个2005 平常水沙年、1个2010 丰水年和3个连续水文年(2009—2011年)^[3].

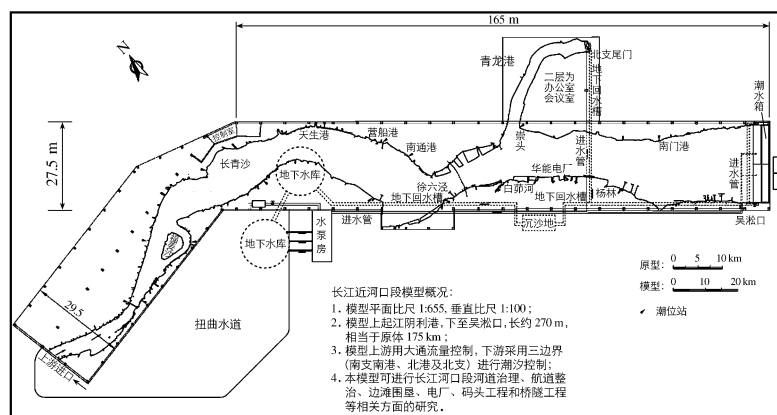


图3 长江河口段模型布置示意图

Fig. 3 Model layout for Yangtze estuary section

3 现有试验方案的整治效果比较

3.1 潮位变化

模型试验结果表明,潮位变化主要在工程区局部河段,通州沙河段沿岸高潮位壅水一般约1 cm,低潮位壅水一般约2 cm;望虞河口高潮位变化不大,低潮位壅水在1 cm以内.白茆河口附近高潮位抬高一般在2 cm以内,白茆沙南北水道高潮位变化不大,低潮位降低一般在1~3 cm,浪港口以下潮位基本不变.3种方案实施后对潮位的影响相差不大.

3.2 流速变化

通州沙河段为暗沙型多分汊河道,江中有通州沙、狼山沙、新开沙以及铁黄沙等沙体,而通州沙沙体上有五千河对开斜向窠沟和左缘姚港对开窠沟发育,通州沙及狼山沙沙体间有萎缩的狼山沙中水道,工程河段水流复杂^[2-3,11].

落潮初期,通州沙西水道上段来流较强,不断有落潮水流经潜堤头部进入通州沙东水道,落急和落潮后期,该越滩水流不明显.各工程方案中,方案3对水流的拦阻作用明显,方案1由于潜堤头部短,对水流的拦阻作用稍弱.可见,为减少自通州沙沙体进入东水道的水流的阻碍作用,上段潜堤高程不宜过高.

通州沙东水道的航道浅区位于南农闸以及水山码头附近.涨、落潮时,均有水流自东水道通过狼山沙中水道进入西水道,工程实施后,位于过渡区的通州沙顺坝对越堤流均存在一定的阻碍作用,会增加航槽附近的流速,有利于航槽水深.方案1、2和3中水道附近顺坝顶高程分别为-1.2,-1.2和-0.7 m,3种方案实施后东水道出口处碍航段航槽流速增幅分别为0.05,0.05和0.07 m/s,流速均有增加,但方案3狼山沙中水道附近潜堤高程较其他方案高约0.5 m,流速增幅稍大,对航槽水深维护有利.

在白茆沙河段,工程实施后,白茆沙沙体上涨潮流受护滩导堤影响,流速一般不大,约0.5 m/s.北水道涨潮主流偏北,北导堤附近涨潮流速较小.北导堤尾部涨潮流有一定绕流,但流速较小;南水道护滩导堤尾部流速相对较大,导堤头部附近涨潮主流偏南.白茆沙南北水道的涨落潮流速都有不同程度的增加,北水道南侧邻近白茆沙侧流速增加较为明显,槽中流速增幅稍小,落潮平均流速的增幅一般在0.10 m/s左右,涨潮流速的增幅约0.05 m/s;南水道邻近工程区落潮平均流速可增加0.1~0.15 m/s.落潮初期北水道靠导堤侧落潮流速较大,有沿堤流存在.方案3在北侧布置4道短齿坝,具有一定的护滩作用.

3.3 分流比变化

工程实施后,通州沙东水道上段涨潮分流比略有增加且增幅为0.1%,落潮分流比略有减小且减幅约为0.3%~0.5%;通州沙七干河断面,通州沙东水道涨、落潮分流比均有所减小,减幅约为0.3%~0.5%.涨落潮时,均有水流由东水道经狼山沙中水道进入西水道,涨、落潮分流比分别约为4.0%~5.0%和5.0%~6.0%(图4),方案1和2实施后,该分流比减小0.5%左右,方案3实施后,该分流比减小0.7%左右,这对维护航槽水深有利^[9].

工程实施后,白茆沙北水道的涨潮分流比增加1.2%~1.5%,落潮分流比增加1.2%~1.3%;相应地,白茆沙南水道涨落潮的分流比分别减小1.2%~1.5%和1.2%~1.3%.与方案1和2相比,方案3实施后,白茆沙北水道涨落潮分流比增幅略大,增幅约为0.1%~0.2%.

3.4 工程实施后冲淤变化分析

3种方案实施后引起的河床冲淤变化见图5.

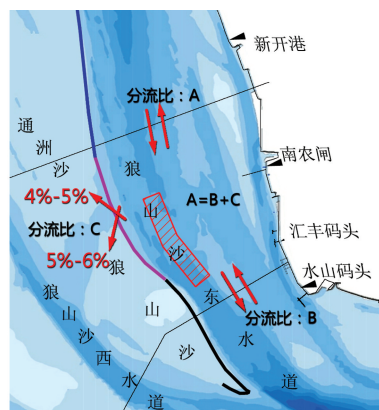


图4 狼山沙中水道附近分流情况

Fig. 4 Discharge rate near the middle channel of Langshansha shoal

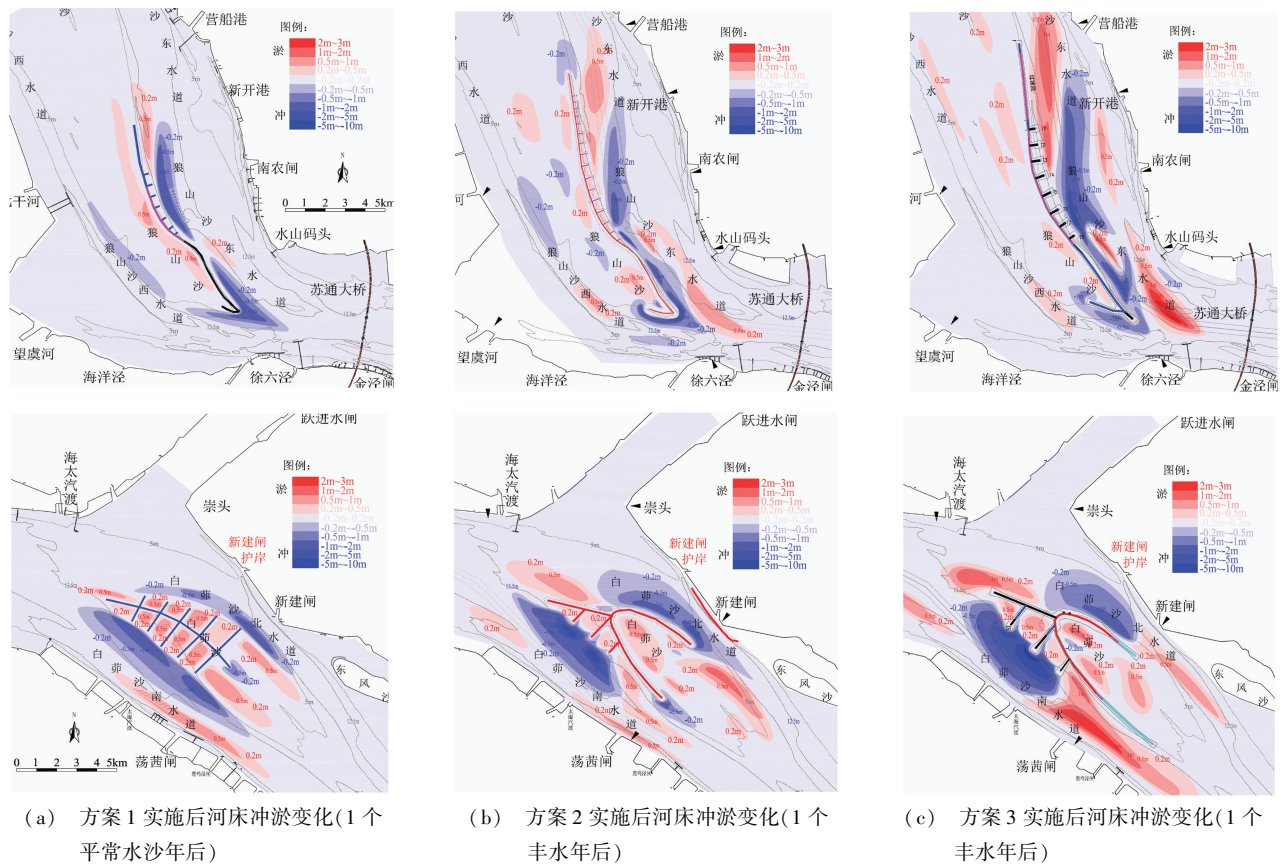


图5 3种方案实施后引起的河床冲淤变化

Fig.5 Changes in riverbed erosion and deposition caused by three schemes

3.4.1 通州沙河段冲淤变化分析 由图5可见,各方案实施后工程附近冲淤没有明显的差别.通州沙东水道营船港、新开港主槽淤积;其左侧往下游至水山码头以上的主槽冲刷明显;由于水动力有所减弱,狼山沙东水道水山码头至出口段淤积,范围包括狼山沙东水道左侧10m等深线心滩、出口以及徐六泾进口段主槽,其中10m等深线心滩淤积0.2~0.5m,由于涨潮流受阻,东水道出口处深槽淤积可达3m以上.由于潜堤工程阻隔自东水道至西水道的涨落潮水流,东水道南农闸段和水山码头段航道浅区略有冲刷,方案1和2冲深为0.5~1.0m,方案3冲刷可达1.0m左右.

通州沙潜堤头部局部略有冲刷;方案1和2狼山沙尾部冲刷明显,最大冲刷3m以上,而方案3由于狼山沙尾部潜堤的护滩作用,工程只是在潜堤两侧略有冲刷,其中以左侧冲刷较为明显,幅度可达1~2m,右侧冲刷0.5~1.0m.

通州沙沙体邻近整治工程附近有冲有淤,以淤积为主,通州沙西水道冲淤相间,最大冲淤幅度一般在0.5m内.

3.4.2 白茆沙河段冲淤变化分析 两工程方案实施后,白茆沙南水道进口及中部均出现冲刷,规划的12.5m航槽大部冲刷为0.2~2.5m,局部稍有淤积;冲刷比较明显的区域在三道齿坝南侧、规划12.5m航槽北侧的区域,冲深可达3m,其中以S2齿坝南侧冲刷最为明显,局部冲刷坑深度可超过5m.受工程后水动力减弱的影响,以及上游冲刷泥沙搬运至此,白茆沙南水道出口段淤积明显,最大淤厚可达5m以上,好在该段航道水深一般超过18m,不会对12.5m航槽造成明显影响.

受白茆沙潜堤阻流影响,白茆沙北水道进口段略有淤积,最大淤厚约0.5m,因为工程后水动力增强,白茆沙北水道中部冲刷较为明显,最大冲刷3m以上.北水道水流出北侧围堤后向南侧扩散,加之北水道中部

冲刷的泥沙下移,北水道出口段同样出现较为明显的淤积区,最大淤厚可达2~3 m。

3.5 工程整治效果对比分析

3种方案的整治效果比较见表2。由表可见,①通州沙的护滩效果,方案3较优、方案1较差;白茆沙的护滩效果,方案1较优,方案2和3差别不大,总体上方案3较优;②碍航浅区流速改善:南农闸附近航道浅区,实施方案3后流速增幅比实施方案1和2的大,对维护航道水深有利,方案3相对较优;③碍航浅区疏浚回淤量:方案3年回淤率较低,方案1和2年回淤率稍高,方案3相对较优;④周边影响基本相当。

各整治工程在一定程度上遏制了狼山沙、白茆沙沙头的冲刷后退,有利于河势、航槽稳定。综合来说,方案3的整治效果略优,方案2次之,方案1的整治效果稍差。

表2 方案整治效果比较

Tab.2 Comparison of improvement effects of various schemes

	方案1	方案2	方案3
潮位变化	①对潮位影响没有明显差别。高潮位变化主要在工程区域附近且一般在1~2 cm,低潮位壅水位于龙爪岩至白茆河之间,壅水一般在2 cm以内,白茆河以下低潮位略有降低。		
流速变化	②通州沙、狼山沙沙体上流速减小0.05~0.2 m/s,白茆沙沙体上流速减小0.1~0.4 m/s;白茆沙南、北水道内流速增加约0.15 m/s。 新开港附近航槽流速减小0.03 m/s, 新开港附近航槽流速减小0.04 m/s, 新开港附近航槽流速减小0.05 m/s, 出口处碍航浅区流速增加约0.05 m/s. 出口处碍航浅区流速增加约0.05 m/s. 出口处碍航浅区流速增加约0.07 m/s.		
分流比变化	③通州沙东西水道分流比变化一般在0.2%以内,各方案差别不大;白茆沙北水道分流比变化一般都在1.0%~1.2%以内,方案3略大0.1%~0.2%。		
护滩效果	5 m等深线以上通州沙、狼山沙、白茆沙分别淤积300万m ³ 、100万m ³ 和360万m ³ 。	5 m等深线以上通州沙、狼山沙、白茆沙分别淤积350万m ³ 、100万m ³ 和320万m ³ 。	5 m等深线以上通州沙、狼山沙、白茆沙分别淤积380万m ³ 、85万m ³ 和320万m ³ 。狼山沙尾部潜堤护滩作用明显。
航道整治效果	④工程在一定程度上遏制了狼山沙、白茆沙沙头的冲刷后退,有利于河势、航槽稳定。		
	航道疏浚区年回淤率60%	航道疏浚区年回淤率55%	航道疏浚区年回淤率52%。

注:①②③④不分栏,代表各方案的整治效果相同。

4 关于方案优化的几点思考

(1)对于通州沙整治潜堤的平面布置 现有优化方案的平面布置基本可行。方案3左侧采用8道短丁坝,较方案2的丁坝有所减少,并适当前伸是可行的。因为在通州沙东水道南农闸碍航浅段,在东水道分流比较方案1和2有所减小的情况下,航道浅段中的流速增加幅度与方案1和2基本一致,有利于维持航槽浅区的水深。

(2)关于通州沙潜堤上段的布置 通州沙河段的现存两碍航浅区,分别位于狼山沙头部和尾部附近、南农闸和水山码头附近。工程整治的一个目的是尽量增加东水道的分流或增加航槽的流速以维护开挖后的航道。通州沙潜堤工程头部会阻碍越滩流,减小通州沙东水道的分流比,因此,该段潜堤的布置原则为:通州沙头部潜堤高程不宜太高,考虑护滩作用及与通州沙头部潜堤工程的衔接,可采用0.5~1.0 m等高护底。

(3)关于狼山沙中水道段的潜堤高程 试验表明,狼山沙中水道在中潮位时分流较为明显,均有水流经东水道进入西水道,该段潜堤工程的顶高程不宜过低,至少在0~1.0 m间,这可减少该水道的分流,适当增加航道第二个浅段的流速。试验表明,该段潜堤提高0.5 m后,规划航槽中浅段的流速可增加0.02 m/s。

(4)关于狼山沙尾部潜堤 方案3在狼山沙尾部增加了一道600 m长潜堤,尾端高程-5 m。潜堤的分流效果不明显,但可明显减小涨潮流对狼山沙尾部的冲刷,护滩效果明显。

(5)关于白茆沙整治工程 方案1采用鱼刺坝方案,方案2和3采用刺坝加圈围潜堤的方案。试验结果表明,鱼刺坝方案的护滩效果较好;方案3的圈围潜堤尾部下延后,可加强白茆沙沙体中下段的防护,护滩作用较方案2要好,不过会增加南水道下段的淤积,由于该段水深在18 m以上,不会对12.5 m深水航道造成明

显影响,方案可行。

(6)工程方案综合影响 工程后沿岸潮位雍高在 2 cm 以内,影响范围在工程区局部范围内,工程后分流比调整较小,仅在 1% 左右。通州沙、狼山沙及白茆沙冲刷后退趋势得到一定遏制,工程有利于河势稳定,对防洪影响较小。

工程后新开沙夹槽内流速变化较小,狼山沙西水道流速略有增加,白茆沙北水道分流比有所增加,白茆小沙夹槽内流速变化较小,整治工程对地方专用航道及江轮航道无明显不利影响。工程后,苏通大桥主通航孔上下主流与桥轴线法向夹角略有减小,工程不会恶化苏通大桥桥区附近的通航环境。

5 结 语

(1)模型试验结果表明,3 个方案各自实施后,总体上河床冲淤变化基本一致,通州沙、狼山沙和白茆沙滩地在工程后有所淤积,均起到了固滩的效果,遏制了通州沙、狼山沙及白茆沙冲刷后退的趋势,有利于通州沙、狼山沙和白茆沙沙体的稳定。从护滩效果和航道整治效果来看,方案 3 较优。

(2)目前通州沙、白茆沙水道水深条件相对较好,只是在通州沙水道南农闸以下和白茆沙水道太海汽渡附近航道内局部水深不足 12.5 m。试验结果表明,3 个方案各自实施经过一个平常年(2005)或者丰水年(2010)后,规划航道内 12.5 m 航槽是贯通的,但局部航宽不足 500 m,稍加疏浚,可满足 500 m×12.5 m 的航道要求。

(3)建议与问题。试验表明,狼山沙左缘及尾部、白茆沙南侧潜堤头部冲刷较严重,建议加强护底;整治工程实施后,狼山沙东水道心滩、新开沙仍较为活跃,建议加强水沙、地形的动态监测,根据新开沙变化,结合河段整治规划,为稳定河势及航槽,应加快航道整治后续工程的研究。

参 考 文 献:

- [1] 夏云峰,曹民雄,陈雄波. 长江下游三沙(福姜沙、通州沙、白茆沙)水道演变分析及深水航道整治设想[J]. 泥沙研究, 2001(6): 57-61. (XIA Yun-feng, CAO Ming-xiong, CHEN Xiong-bo. Formation analysis and regulation plan for dredging channel of the Three Sand Shoals (Fujiang Sand Shoal, Tongzhou Shoal and Baimao Shoal) on the lower Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 2001(6): 57-61. (in Chinese))
- [2] 闻云呈,夏云峰,吴道文,等. 长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程总平面方案优化[J]. 水运工程, 2013(3): 1-10. (WEN Yun-cheng, XIA Yun-feng, WU Dao-wen, et al. Optimization on general layout scheme of 12.5 m deepwater channel phase I project from Nanjing down the Yangtze River[J]. Port & Waterway Engineering, 2013(3): 1-10. (in Chinese))
- [3] 杜德军,夏云峰,吴道文,等. 长江南京以下 12.5 米深水航道建设一期工程(太仓-南通段)潮流泥沙物理模型试验研究报告[R]. 南京:南京水利科学研究院, 2011. (DU De-jun, XIA Yun-feng, WU Dao-wen, et al. Physical model experiment study report of tidal current and sediment on 12.5 m deepwater channel regulation (from Taicang to Nantong section) in the lower reaches of the Yangtze River downstream Nanjing[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [4] JTJ 312-2003, 航道整治工程技术规范[S]. (JTJ 312-2003, Technical specification of regulation works for waterway engineerings[S]. (in Chinese))
- [5] 长江航道规划设计研究院. 长江南京以下 12.5 米深水航道(太仓-南通段)建设工程工程可行性研究报告[R]. 武汉:长江航道规划设计研究院, 2011. (Changjiang Waterway Planning Design and Research Institute. Project feasibility study report on 12.5 m deepwater channel regulation (from Taicang to Nantong section) in the lower reaches of the Yangtze River downstream Nanjing[R]. Wuhan: Changjiang Waterway Planning Design and Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [6] 闻云呈,夏云峰,吴道文,等. 通州沙、白茆沙水道洲滩关键性控制工程潮流泥沙物理模型试验研究报告[R]. 南京:南京水利科学研究院, 2009. (WEN Yun-cheng, XIA Yun-feng, WU Dao-wen, et al. Physical model experiment study report of tidal current and sediment on key control engineering of the river beach in Tongzhou Shoal waterway and Baimao Shoal waterway [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2009. (in Chinese))

- [7] 张幸农. 长江南京以下河段深水航道整治基本原则与思路[J]. 水利水运工程学报, 2009(4): 128-133. (ZHANG Xin-nong. Basic principles and thoughts on deep waterway regulation in the lower reaches of the Yangtze River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2009(4): 128-133. (in Chinese))
- [8] 马麟卿, 袁文志, 赵晓冬, 等. 长江南通河段整治工程模型试验研究[J]. 水利水运科学研究, 1996(3): 199-208. (MA Lin-qing, YUAN Wen-zhi, ZHAO Xiao-dong, et al. Model test study on regulation project in Nantong section of Changjiang River[J]. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 1996(3): 199-208. (in Chinese))
- [9] 李昌华, 金德春. 河工模型试验[M]. 北京: 人民交通出版社, 1981. (LI Chang-hua, JIN De-chun. Model test of river engineering[M]. Beijing: China Communication Press, 1981. (in Chinese))
- [10] JTS/T 231-2-2010, 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程[S]. (JTS/T 231-2-2010, Technical code for simulation of tidal current and sediment of estuary and coast[S]. (in Chinese))
- [11] 杨芳丽, 陈飞, 付中敏, 等. 长江“南京-南通”河段演变及碍航特性分析[J]. 人民长江, 2011, 42(21): 15-18. (YANG Fang-li, CHEN Fei, FU Zhong-min, et al. Study on river evolution of Nanjing-Nantong section of Yangtze River and its navigation-obstructing characteristics[J]. Yangtze River, 2011, 42(21): 15-18. (in Chinese))

Experimental studies on 12.5 m deep waterway regulation of Tongzhou shoal and Baimao shoal

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

(State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Key Laboratory of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of the Ministry of Transport, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: On the basis of preliminary numerical simulation studies, movable and immovable bed experiments of the Yangtze estuary have been taken as the alternative schemes, the recommended schemes and the preliminary design schemes. Waterway regulation effects, beach protection and the influences of the regulation works upon river regime, flood control, and ambient environment are analyzed and compared from aspects of hydrodynamic changes and riverbed scour-and-fill process. The research results show that the requirements of 500 m × 12.5 m deep waterway can be met through a little dredging operation, and that the preliminary design schemes are relatively reasonable. The related research achievements have been applied to the waterway regulation engineering design and the decision-making of the waterway regulation.

Key words: Yangtze estuary deep waterway; Tongzhou shoal; Baimao shoal; regulation scheme; physical model experiments