

· 物模研究 ·



长江南京以下12.5 m深水航道 一期工程整治效果多水文条件物模研究*

刘高峰, 贾 晓, 吴华林, 郭文华
(上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201)

摘要: 针对太仓至南通河段两个重点碍航河段——通州沙水道和白茆沙水道的碍航特性, 实施长江南京以下12.5 m深水航道一期工程, 目标使12.5 m深水航道从目前的太仓港上延到南通港。通过动床物理模型试验对该一期工程的平面方案在平常水沙2 a和丰水年条件下进行了对比研究。该工程方案的通州沙工程能起到较明显的沙体守护效果, 通州沙顺堤和齿坝能遏制通州沙及狼山沙体左缘的冲刷后退, 并能遏制狼山沙甬沟的冲刷发展, 且狼山沙东水道碍航浅段水深条件有所改善。白茆沙工程亦能起到较明显的沙体守护效果, 能遏制沙头冲刷后退的趋势。该工程对白茆沙头部南侧的小沙包有较明显冲刷作用, 白茆沙南水道进口段有一定程度冲刷, 航行条件改善。对比分析表明方案在1 a丰水条件下对河床的调整趋势与两年平常水沙年条件下的试验结果基本一致, 但工程效果略有减弱, 总体上来说该工程方案在两种水文条件下均可以达到工程建设目标。

关键词: 南京以下12.5 m深水航道; 一期工程; 通白河段; 航道整治; 平常水沙2 a; 丰水年

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)11-0087-08

Physical model study on the first phase project of 12.5 m deep-water navigation channel from Nanjing in the Yangtze River under multi-hydrological conditions

LIU Gao-feng, JIA Xiao, WU Hua-lin, GUO Wen-hua

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

Abstract: In view of two obstacle segments of navigation channel from Taicang to Nantong named TZS (Tongzhou shoal) waterway and BMS (Baimao shoal) waterway, the first phase project of 12.5 m deep-water navigation channel project was designed and now is under building, aiming at extending from Taicang to Nantong port. In order to study project effects, movable bed physical model is designed to optimize the project layout by comparing normal-rainfall-sedimentation-two-years and rich-rainfall-sedimentation-year conditions. TZS sub-project has obvious effect to prevent shoal erosion, training dike and tooth groins can prevent washing back of the left edge of TZS and LSS (Langshan shoal), and the erosion development process of scour channel between TZS and LSS can also be prevented. The navigation condition of deep water channel in the East LSS waterway can be improved. BMS sub-project also has obvious effects to prevent shoal erosion as well as to change the backward trend of shoal caused by erosion. Also, small sand bar locating in south channel of BMS which cause navigation obstruction was also significantly eroded due to the projects, navigation condition of the inlet section of south channel of BMS was also improved. Conclusions can be drawn from the study that no obvious difference can be seen between the tests under normal-rainfall-sedimentation-two-years condition and rich-rainfall-sedimentation-year condition. Overall,

收稿日期: 2013-08-25

*基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50939003); 交通运输部科技项目(2011328A0670); 国家973计划项目(2010CB429002)

作者简介: 刘高峰(1976—), 男, 博士, 副研究员, 从事河口海岸、港口航道工程研究。

the project can achieve the goal of engineering construction.

Key words: 12.5 m deep-water navigation channel from Nanjing; the first phase project; TZS waterway and BMS waterway; channel regulation project; normal-rainfall-sedimentation-two-years; rich-rainfall-sedimentation-year

长江河段航道治理往往采用固定滩体来达到稳定河槽的目的。如1998年开始实施长江口深水航道治理工程，通过分流鱼嘴工程稳定江亚南沙，从而稳定了北槽航道的入口^[1]，2007年实施了新浏河沙护滩和南沙头通道限流潜堤工程，采用护滩工程稳定了新浏河沙、通过潜堤工程限制了南沙头通道水流而增强了宝山北水道动力条件，从而取得了“固滩、限流”的航道治理效果^[2-3]，2012年口岸直河段落成洲采用头部护滩的方式来防止洲头的进一步冲刷后退，从而达到稳定左汉主槽的目的^[4]。

长江南京以下12.5 m深水航道建设工程通过采取整治与疏浚相结合的工程措施，实现12.5 m深水航道延伸至南京，整个工程拟按“整体规划，分期实施，自下而上，先通后畅”的思路，计划分3期组织实施，一期工程将在“十二五”期实施。其中长江南京以下12.5 m深水航道建设一期工程（简称“一期工程”）主要是治理通州沙水道

和白茆沙水道的局部碍航浅段。一期工程的建设目标是将12.5 m深水航道从目前的太仓港上延到南通港。前期利用物理模型研究了一期工程在平常水沙2 a条件下的工程效果，研究结果表明一期工程可以达到工程建设目标^[5]。但是由于该研究仅仅是在平常水沙2 a条件下的结果，如果一期工程遇到丰水年，是否也能达到同样的工程效果？需要进一步开展研究来回答，本文采用物理模型对比研究了一期工程在平常水沙2 a和丰水年条件下的综合整治效果。

1 研究手段

本研究在长江口整体物理模型上开展，厅内建有当今世界上最大的整体河工模型——长江口模型（图1），模型水平比尺1:1 000，垂直比尺1:125，模型地形做到利港。模型上游边界位于距江阴400 km的安徽省大通，此处为长江河口的潮区界。利港至大通用扭曲水道相联，使模型上潮波传播与原型相似。

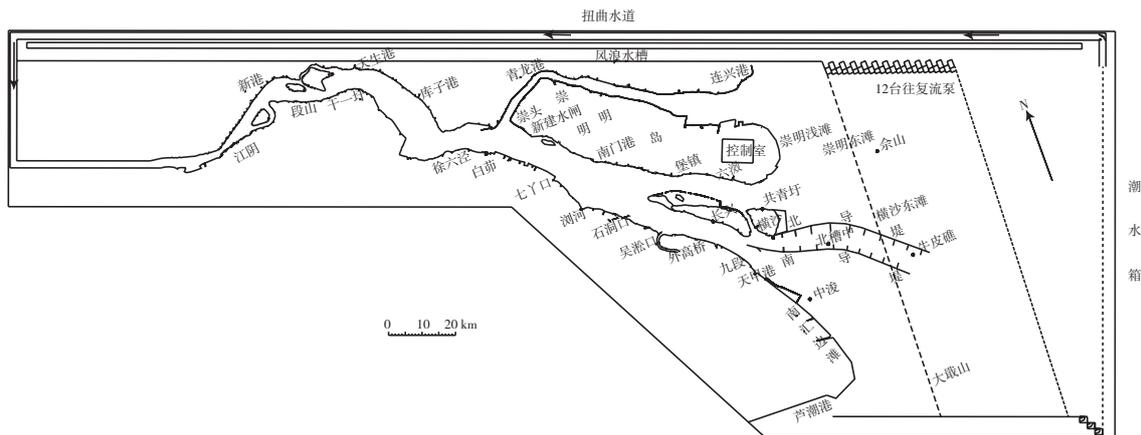


图1 长江口整体物理模型

1.1 模型选沙

通白河段涵盖通州沙、徐六泾及白茆沙3个河段，根据2010—2011年多次水文测量的床沙采样资料，较为普遍的规律是边滩泥沙略细，主槽泥沙略粗，取通白河段天然床沙的代表粒径为0.140 mm。经比选，本次试验采用泡桐木粉作为

模型沙，中值粒径取0.30 mm。通过水槽试验发现该模型沙满足起动相似的要求，即满足推移质运动相似的要求。

1.2 模型的验证

2011年10月12日—13日期间在工程附近开展了一次水文测验资料。在本模型上开展这批实测

水文资料定床水流验证工作, 验证结果良好^[5]。

1.3 动床冲淤验证

本次地形验证主要是反演通白河段 2010 年 9 月—2011 年 10 月期间的冲淤变化。通州沙—白茆沙河段 2010 年 9 月—2011 年 10 月期间河床的主要冲淤变化趋势验证结果良好^[5], 模型精度满足《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》要求。

2 整治方案

2.1 方案的介绍

通州沙和白茆沙河段工程方案筑堤总长约 41 km, 其中通州沙水道整治工程堤长约 20 km, 白茆沙水道整治工程堤长约 21 km。工程方案的布置见图 2。

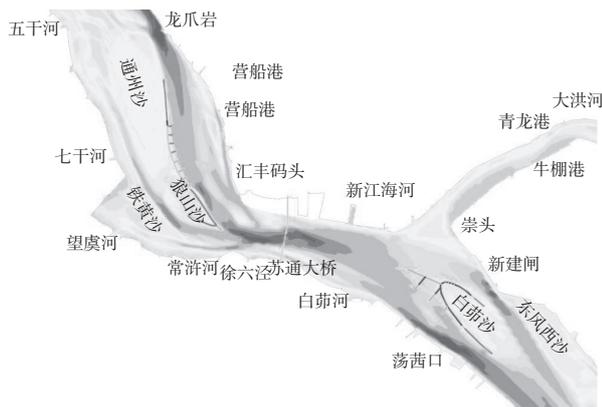


图 2 工程方案平面布置

2.2 试验说明

2.2.1 地形和边界条件

方案试验的初始地形: 天生港—杨林采用 2011 年 10 月地形, 北支采用 2010 年 4 月地形, 南支其他河段基本采用 2010 年 2 月地形, 南港北槽采用 2011 年 2 月地形。

动床范围自姚港(上游)至浏河口(下游), 北支自崇头至青龙港; 其余河段为采用三角块加糙的水泥面定床。

2.2.2 水沙条件

为了研究方案实施后河床的调整情况, 拟分别采用平常水沙年 2 a 和丰水年水沙条件开展试验。平常水沙年 2 a 代表工程实施后最可能出现的河床冲淤变化的水沙条件, 丰水年代表工程实施

后可能出现的导致河床短期发生剧烈冲淤变化的水沙条件。根据近年来上游来水来沙特点, 选用 2005 年水文年作为平常水沙年较为合适^[4]。而 2010 年为近 10 多年里长江径流量最大年份, 也是三峡水库蓄水后的第 1 个大水年, 因此选用 2010 年水文年作为丰水年较为合适。

2.2.3 分析指标

为了统计关心区域的冲淤量, 选取了通州沙 5 m 以浅、狼山沙 5 m 以浅、狼山沙甬沟、徐六泾河段 10 m 以深、白茆沙头部、白茆沙沙体 5 m 以浅、白茆沙南侧沙体区域和白茆沙南北水道共 9 个代表区域来统计冲淤量。统计区域的具体位置见图 3。

3 本底试验结果

为了把握“通白”工程的实施效果, 先期开展了没有整治工程条件下河床自然演变趋势的试验。图 4 是本底方案 2 个水文年后“通白”河段河床的地形冲淤情况。

由图 4 可见, 在以 2011 年 10 月天然地形为初始地形、经历 2 个平常水沙年的条件下, “通白”河段的河床变化如下:

1) 通州沙河段沙体变化: 通州沙沙体和狼山沙沙体滩顶部位基本冲淤平衡。通州沙沙体左缘出现较大幅度的淤涨, 而狼山沙左缘继续冲刷后退。

2) 通州沙河段水道变化: 通州沙东水道有冲刷加深的趋势, 大部分区域冲刷幅度在 0.2~0.5 m, 局部冲刷幅度达 1 m 以上。狼山沙甬沟 5 m 线略有展宽, 狼山沙甬沟呈现继续冲刷发展的趋势。

3) 通州沙河段航道变化: 狼山沙东水道近 1 km 的部分 12.5 m 航道宽度仅 500 m 左右, 有些年份宽度更窄, 该区域即为碍航浅段。本底方案中该航道碍航浅段有进一步向不利方向发展的趋势。

5) 白茆沙河段: 白茆沙沙头继续冲刷后退, 南北支分叉口附近深槽冲淤基本平衡, 白茆沙沙头南侧浅区进一步淤积。

6) 白茆沙沙体: 白茆沙沙体头部及两翼继续冲刷后退, 冲刷幅度约 0.5~1.0 m。

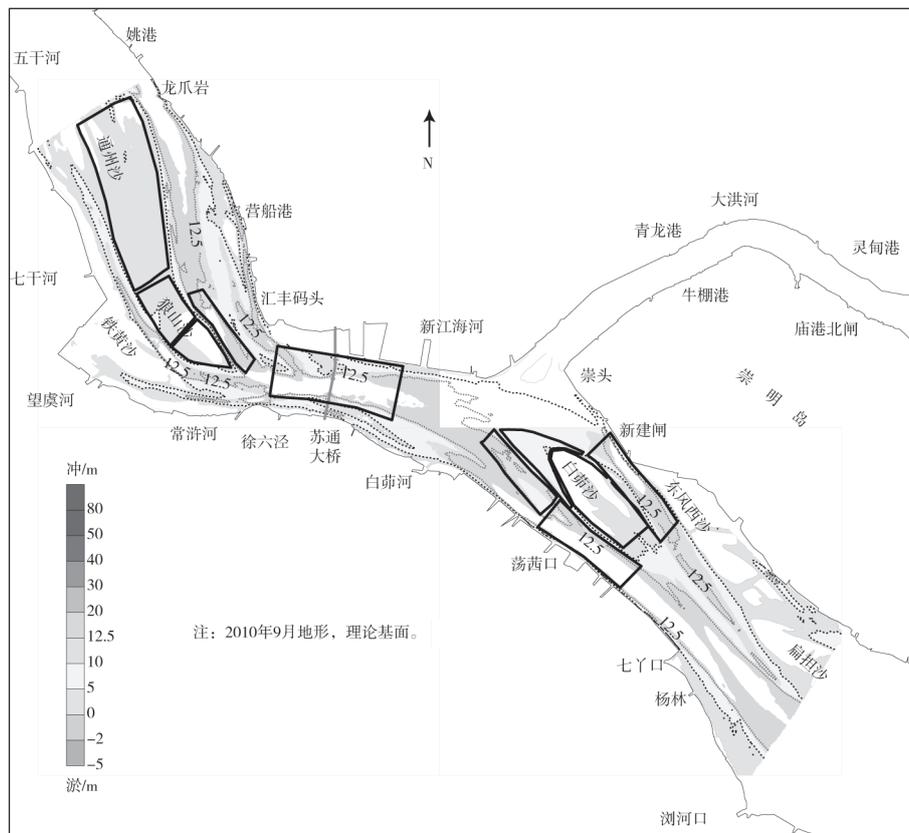


图3 冲淤统计范围

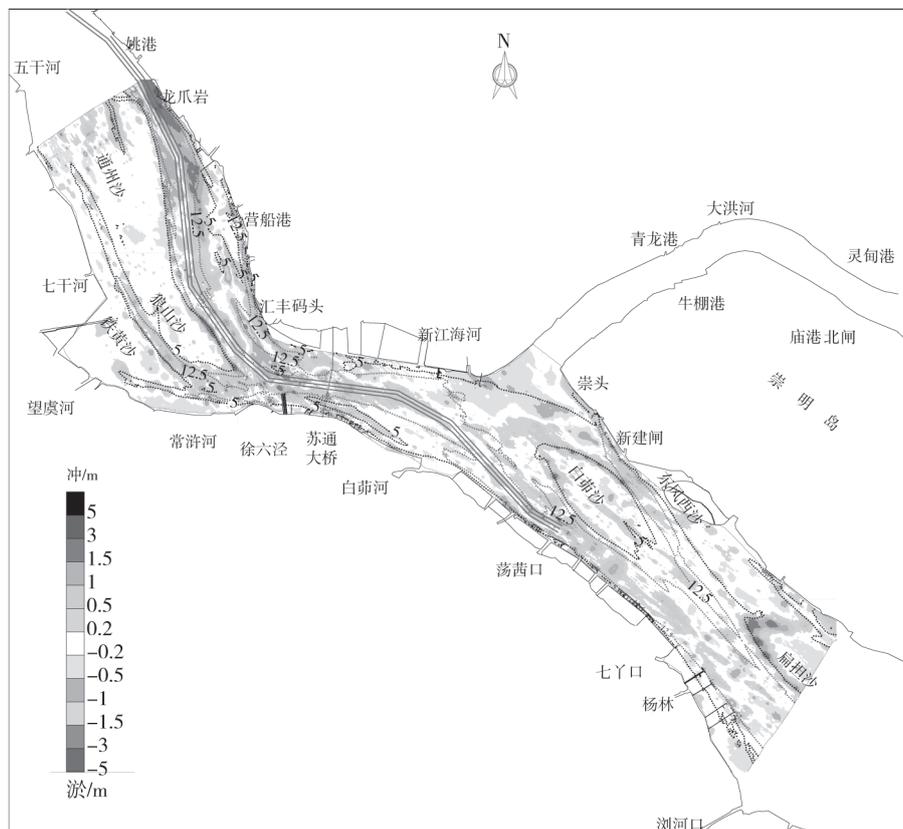


图4 本底方案平水平沙2 a后地形冲淤情况

7) 白茆沙南北水道: 南水道进口小沙包有所淤积, 小沙包以南主槽略有冲刷, 这一趋势会恶化该段航道航宽不足的状态, 北水道中下段淤积而南水道中下段略有冲刷。白茆沙河段继续呈现“南强北弱”的分流格局, 沙头南侧的小沙包进一步淤涨, 不利于白茆沙南水道的航道稳定。

4 工程效果分析

4.1 河床总体变化

工程方案实施 2 个平水平沙年后的地形冲淤见图 5, 工程方案实施丰水年后地形冲淤见图 6。2 种水文条件下方案的冲淤量和净冲淤厚度统计结果见表 1, 统计区域划分情况见图 3。

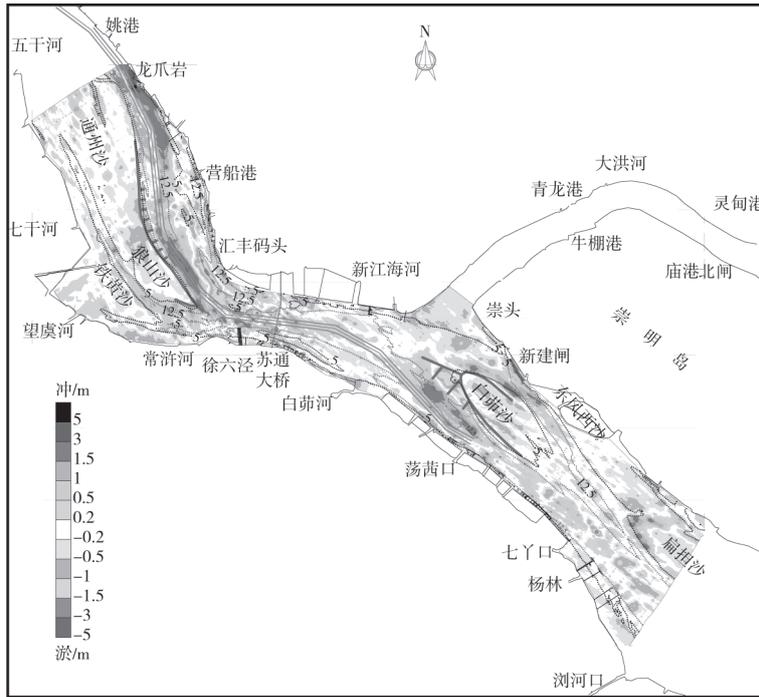


图 5 工程方案平水平沙 2 a 后地形冲淤情况

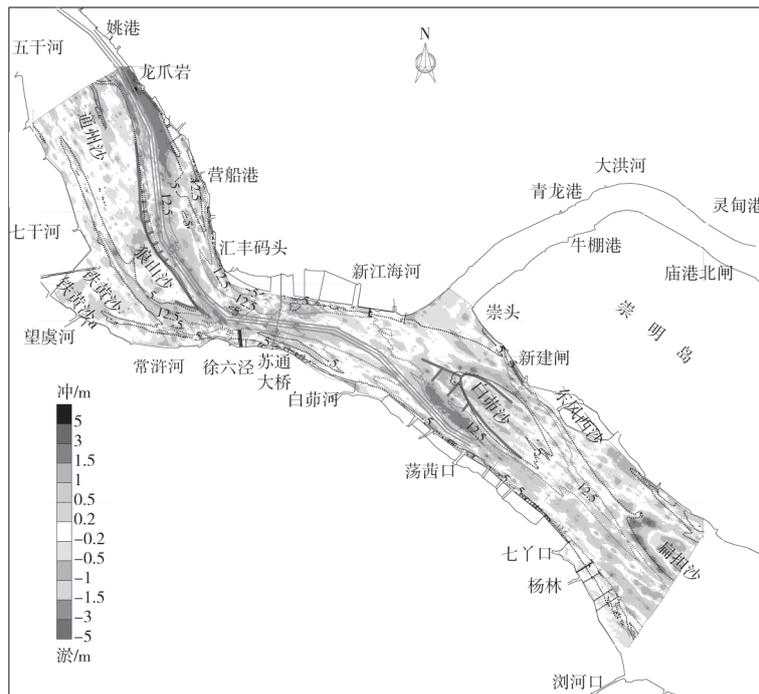


图 6 工程方案丰水年 1 a 后地形冲淤情况

表1 通白河段统计区域的冲淤量和净冲淤厚度的不同水沙年对比

方案	效果	位置	冲刷量/万m ³	淤积量/万m ³	净冲淤/万m ³	净冲淤厚度/m
本底	守护效果	通州沙5 m以浅	329.1	-506.0	-176.9	-0.04
		狼山沙5 m以浅	112.5	-37.4	75.1	0.12
		白茆沙5 m以浅	553.3	-101.9	451.4	0.24
	封堵效果	白茆沙头部	362.8	-56.3	306.5	0.42
		狼山沙窄沟	171.9	-32.5	139.4	0.15
		狼山沙东水道8 m以深	100.3	-230.3	-130.0	-0.14
	治理效果	白茆沙浅区段	33.1	-261.2	-228.1	-0.27
		白茆沙北水道8 m以深	496.5	-206.3	290.2	0.20
		白茆沙南水道8 m以深	673.4	-91.1	582.3	0.45
	周边影响	徐六泾区域	1 141.0	-658.8	482.2	0.17
平常水沙2 a	守护效果	通州沙5 m以浅	380.2	-571.7	-191.5	-0.04
		狼山沙5 m以浅	30.1	-114.8	-84.7	-0.14
		白茆沙5 m以浅	12.1	-638.5	-626.4	-0.33
	封堵效果	白茆沙头部	129.6	-352.9	-223.3	-0.30
		狼山沙窄沟	9.1	-386.5	-377.4	-0.42
		狼山沙东水道8 m以深	1 060.6	-14.1	1 046.5	1.16
	治理效果	白茆沙浅区段	1 008.8	0.0	1 008.8	1.18
		白茆沙北水道8 m以深	822.1	-59.0	763.1	0.53
		白茆沙南水道8 m以深	674.9	-84.5	590.4	0.46
	周边影响	徐六泾区域	893.4	-760.0	133.4	0.05
丰水年	守护效果	通州沙5 m以浅	595.5	-606.7	-11.2	0.00
		狼山沙5 m以浅	44.0	-85.8	-41.8	-0.07
		白茆沙5 m以浅	12.1	-731.8	-719.7	-0.38
	封堵效果	白茆沙头部	145.4	-298.8	-153.4	-0.21
		狼山沙窄沟	16.0	-304.3	-288.3	-0.32
		狼山沙东水道8 m以深	581.6	-11.3	570.3	0.63
	治理效果	白茆沙浅区段	1 002.0	-2.4	999.6	1.17
		白茆沙北水道8 m以深	520.2	-175.6	344.6	0.24
		白茆沙南水道8 m以深	939.4	-93.2	846.2	0.65
	周边影响	徐六泾区域	935.3	-854.1	81.2	0.03

注：正值表示冲刷，负值表示淤积。

根据以上图表可知，在丰水年条件下，方案实施后仍可达到工程设计拟达到的主要目的，能够在洪水条件下有效守护滩体，并对航道困难段有一定的调整作用。

4.2 沙体守护效果

由图6可见：在丰水年1 a的水文条件下，地形冲淤趋势基本一致，通州沙顺堤和齿坝基本已经把通州沙左缘和狼山沙左缘守护住，不再出现冲刷后退的趋势。需要注意的是，在狼山沙左缘第8条齿坝下游位置处，模型中发现水流顶冲作用

增强，此处有一定的冲刷现象。通州沙和狼山沙滩面总体上冲淤平衡，但没有明显的淤积。

由表1可知：和平水平沙2 a试验结果相比，一期工程方案的通州沙沙体5 m以浅区域受冲刷幅度增强，平均净冲淤厚度由平水平沙2 a的淤积0.06 m和0.04 m转为基本冲淤平衡。一期工程方案的狼山沙5 m以浅区域平均净冲淤厚度由平水平沙2 a的淤积0.14 m减弱转为淤积0.07 m。

和平水平沙2 a相比，一期工程方案在丰水年条件下白茆沙沙体5 m以浅区域淤积增加而冲刷量

基本不变, 一期工程方案平均净冲淤厚度由平水平沙 2 a 的净淤积量分别为 0.33 m 转变为丰水年的净淤积 0.38 m, 一期工程方案均对白茆沙均达到了良好守护效果。一期工程方案的白茆沙头部平均净冲淤厚度由平水平沙 2 a 的净淤积 0.30 m 变为净淤积 0.21 m。由此可见, 一期工程方案在 2 种水文条件下均对白茆沙沙体守护起到良好效果。

4.3 甬沟封堵效果

由一期工程方案在 1 个丰水年条件下的冲淤

(图 6) 对比和表 1 可知: 一期工程方案的狼山沙甬沟平均净冲淤厚度由 2 个平水平沙年的净淤积 0.42 m, 转变为丰水年净淤积 0.32 m, 可见在丰水年条件下狼山沙甬沟的封堵效果略逊于 2 个平常水沙年。

4.4 航道治理效果

根据试验数据统计, 天然水深、平常水沙年 2 a 和丰水年情况下一期工程方案从龙爪岩至南门河段航道沿程的航道范围内, 平均水深分布见图 7。

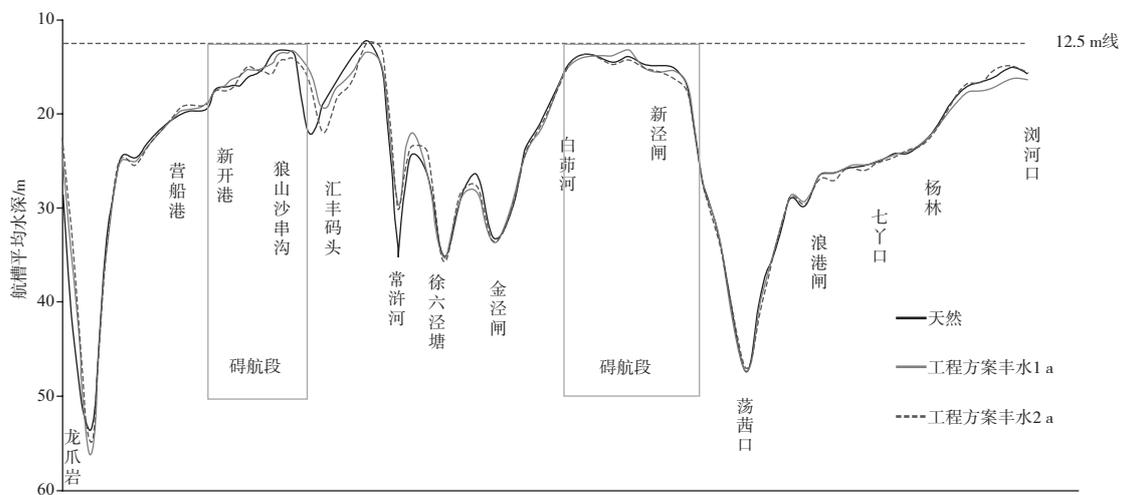


图 7 平常水沙年 2 a 和丰水年 1 a 后航道范围内平均水深沿程分布 (理论基面)

由图 7 可见, 丰水 1 a 后“通白”河段主要碍航段位于狼山沙东水道和白茆河—新泾闸河段处的 2 个浅区段, 通白河段的 2 个碍航浅段和狼山沙东水道在一期工程方案的航道平均水深均有一定程度的增加, 和平常水沙年 2 a 情况相比, 主要碍航段的水深增加的幅度略小。

4.5 丰水年与平水年结果分析总结

由图 5~7 以及表 1 对比可知, 一期工程方案在丰水年水沙条件下, 河床地形的调整和平常水沙年 2 a 的河床冲淤在趋势和性质上总体基本一致, 主要表现在:

- 1) 工程实施后, 均能抑制通州沙沙体、狼山沙沙体的冲蚀及崩退;
- 2) 狼山沙甬沟不再冲刷发展;
- 3) 徐六泾河段基本稳定;
- 4) 白茆沙工程 3 个梳齿坝坝田区域有明显淤积, 白茆沙滩面出现明显淤积;
- 5) 白茆沙工程 3 个梳齿坝对应的小沙包区域冲刷幅度较大;
- 6) 白茆沙南水道出现较为明

显的冲刷。

图 8 分别为在不同水沙条件下工程对河床地形调整的差异, 图中数值为丰水年 1 a 后的水深减去平水平沙 2 a 后的水深值。

由图 8 分析可知, 两平面方案在不同水沙条件下的工程功能体现幅度有差异, 主要有以下几点:

- 1) 在丰水年条件下, 通州沙河段出现较为明显的滩地冲刷加剧现象, 主要表现在通州沙、狼山沙滩面较平水年冲刷幅度较大, 由原来的略有淤积转为冲淤平衡或轻微冲刷, 另外新开沙沙头位置出现较大冲刷。
- 2) 在丰水年条件下, 狼山沙甬沟位置工程封堵效果减弱。在平水平沙 2 a 年条件下, 甬沟位置平均淤高 0.42 m, 而丰水 1 a 条件下, 甬沟位置平均淤高仅为 0.32 m。
- 3) 丰水年条件下, 齿坝间坝田区域的淤积强度相对减弱。
- 4) 丰水年条件下, 工程对航道的增深效果稍弱于其在平水平沙 2 a 条件下的增深效果。

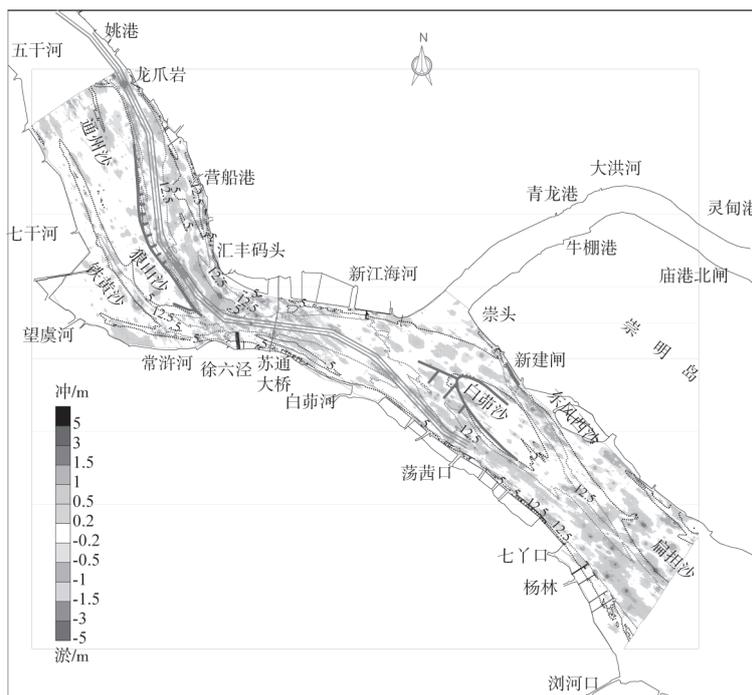


图8 一期工程方案在两种水沙条件下冲淤差异

5 结论

一期工程方案在丰水1 a条件下对河床的调整趋势与平常水沙2 a条件下的试验结果基本一致,均能达到预期的航道整治效果,主要表现在以下几个方面:

1) 一期工程方案的通州沙工程能起到较明显的沙体守护效果,通州沙顺堤和齿坝能遏制通州沙及狼山沙沙体左缘的冲刷后退,并能遏制狼山沙甬沟的冲刷发展,且狼山沙东水道碍航浅段水深条件有所改善。

2) 一期工程方案的白茆沙工程亦能起到较明显的沙体守护效果,能遏制沙头冲刷后退的趋势。该工程对白茆沙头部南侧的小沙包有较明显冲刷作用,白茆沙南水道进口段有一定程度冲刷,航行条件改善。

3) 丰水1 a的工程效果(如甬沟封堵效果及航

道增深效果等)略逊于平常水沙2 a的工程效果。

参考文献:

- [1] 刘杰, 乐嘉海, 胡志峰, 等. 长江口深水航道治理一期工程实施对北槽拦门沙的影响[J]. 海洋工程, 2003(2): 58-64
- [2] 谈泽炜, 范期锦, 高敏, 等. 长江口航道治理研究新进展[C]//第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集.北京:中国海洋工程学会, 2009: 891-900.
- [3] 高敏, 顾峰峰, 范期锦. 长江口航道治理研究中数、物模技术的应用[J]. 水运工程, 2011(11):166-180.
- [4] 贾晓, 伍文俊, 吴华林, 等. 长江中下游洲滩守护工程概化模型试验研究[J]. 水运工程, 2012(2): 123-127.
- [5] 刘高峰, 贾晓, 吴华林, 等. 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程整治物模试验效果[J]. 水运工程, 2011(5): 11-18.

(本文编辑 武亚庆)