



长江下游太平洲捷水道数学模型方案比较分析

沈磊, 李有为, 岳志远, 王领元

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 太平洲捷水道位于扬中市, 是镇江港优化港口布局 and 实现可持续发展的重要依托。目前航道条件受河道演变影响, 太平洲捷水道上段的航道条件还不稳定, 部分航段内弯曲半径不足, 航道条件较差, 存在出浅、碍航的可能, 需抓住有利时机, 固滩守槽, 改善太平洲捷水道航道条件。利用数学模型手段, 初步探讨了太平洲捷水道航道整治工程方案。

关键词: 太平洲捷水道; 数学模型; 航道整治; 方案研究

中图分类号: U 612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)12-0074-05

Comparison and analysis of schemes by mathematical model on Taipingzhou shortcut waterway

SHEN Lei, LI You-wei, YUE Zhi-yuan, WANG Ling-yuan

(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: Taipingzhou shortcut waterway is located in Yangzhong city, which is the important reliance for Zhenjiang port to realize port layout optimization and sustainable development. Currently, under the influence of bed evolution, the waterway condition at the upper reaches of Taipingzhou shortcut waterway is unstable, and several channel is lack of bending radius, thus there may exists shallow and navigation obstruction. So, we need to seize the favorable opportunity to improve the waterway condition of Taipingzhou shortcut. Using the mathematical model, we discuss the waterway regulation project plan for Taipingzhou short waterway.

Keywords: Taipingzhou shortcut waterway; mathematical model; waterway regulation; scheme research

1 河道概况

扬中河段上起五峰山下至鹅鼻嘴, 上承镇扬河段, 下接澄通河段。扬中河段被太平洲分为左、右两汉, 其中左汉为主汉, 长约 44 km^[1]; 右汉 (即为太平洲捷水道, 也叫夹江, 见图 1) 为支汉, 长约 43.9 km。太平洲洲体 (扬中市) 是长江下游最大的江心洲。

太平洲捷水道自太平洲上口至太平洲下口, 河道宽度 400 ~ 800 m, 平均河宽约为 573 m。河道蜿蜒曲折, 中段有分叉, 汉道窄浅。河道除上、下游相对顺直外, 中间由 4 个弯道组成, 即大路弯道、兴隆弯道、姚桥弯道和九曲河弯道, 其中兴隆弯道为中间放宽的小炮沙分叉河道, 其它 3 个河弯为单一的弯曲河道。

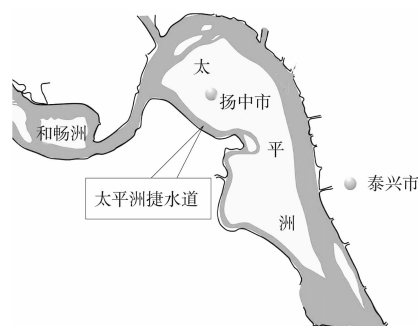


图 1 太平洲捷水道地理位置

太平洲捷水道两岸为镇江港的扬中港区, 扬中港区是镇江港优化港口布局 and 实现可持续发展的重要依托, 是扬中市经济和临港产业发展的重要支撑, 是落实国家水运战略、打造长江流域黄金水道的需要。

收稿日期: 2014-10-08

作者简介: 沈磊 (1986—), 男, 工程师, 从事航道工程整治设计工作。

2 碍航特性及存在的问题

太平洲捷水道上下游水深相差较大, 进口段水深 2~3 m, 中段水深一般为 10~20 m, 下段水深 7~10 m。可以看出, 水道 upper 段为该水道的浅险河段, 水道的主要碍航浅滩也位于此处, 分别为太平洲进口浅滩和扬中大桥下游边滩。其中, 太平洲进口浅滩头部有向河道中央发展的趋势, 扬中大桥下游边滩的上角有逐渐向桥区航道中央延伸的趋势。小泡沙汉道段碍航问题主要体现为航宽和弯曲半径偏小、航道条件较差。受进口航道条件影响, 大型船舶无法从该水道上游通过, 必须从下水口进入港区装卸货后再从下水口进入长江主航道, 严重影响航运效率。

航道跨河建筑物限制较多, 总计有跨江大桥 4 座, 其中扬中一桥通航净高不小于 10 m, 其他 3 座桥通航净高不小于 18 m。受大桥的通航净高高度的制约, 一些较大型船舶无法进入该水道通行, 限制了该水道通航船舶大型化的发展。

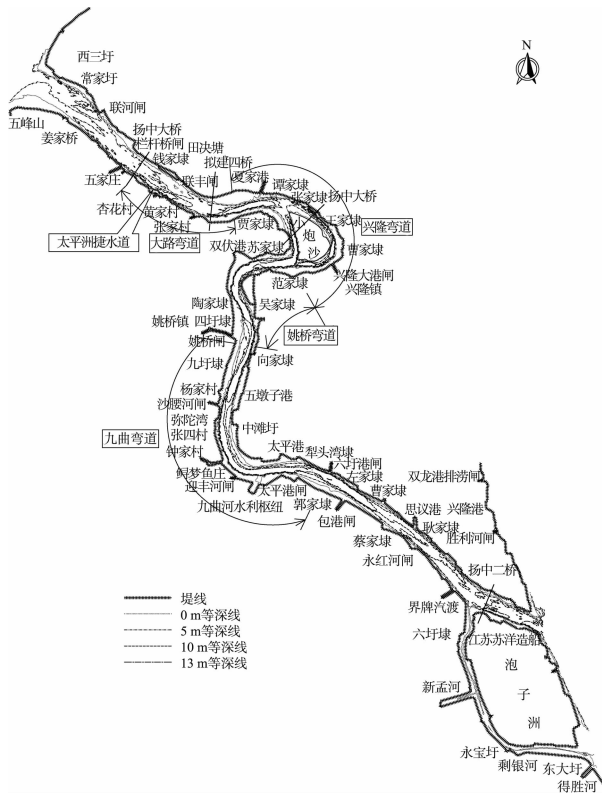


图 2 太平洲捷水道河势

3 数学模型的建立

基于非结构网格系统建立了非恒定浅水二维

水流数学模型^[2]。基本控制方程采用浅水二维动力学方程, 可以表述为如下的守恒形式:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} = \frac{\partial \tilde{\mathbf{F}}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{\mathbf{G}}}{\partial y} + \mathbf{S} \quad (1)$$

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \\ hc_k \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} hu \\ hu^2 + gh^2/2 \\ huv \\ huc_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + gh^2/2 \\ hvc_k \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\tilde{\mathbf{F}} = \begin{bmatrix} 0 \\ \nu_t h (\partial u / \partial x) \\ \nu_t h (\partial v / \partial x) \\ \varepsilon_c h (\partial c_k / \partial x) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\tilde{\mathbf{G}} = \begin{bmatrix} 0 \\ \nu_t h (\partial u / \partial y) \\ \nu_t h (\partial v / \partial y) \\ \varepsilon_c h (\partial c_k / \partial y) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(S_{bx} - S_{fx}) \\ gh(S_{by} - S_{fy}) \\ \alpha_{sk} \omega_{sk} (S_k - S_{sk}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: t 为时间; x 和 y 为空间坐标; h 为水深; u 和 v 为 x 和 y 方向的水流流速; c 为垂向平均总含沙量; c_k 为第 k 组泥沙深度平均含沙量; g 为重力加速度, 取 9.8 m/s^2 ; \mathbf{U} 为守恒量向量; \mathbf{F} 和 \mathbf{G} 为 x 和 y 方向的通量向量; $\tilde{\mathbf{F}}$ 和 $\tilde{\mathbf{G}}$ 为 x 和 y 方向的扩散项向量; \mathbf{S} 为源项向量; z_b 为河床高程; $S_{bx} = -\partial z_b / \partial x$ 和 $S_{by} = \partial z_b / \partial y$ 分别为 x 和 y 方向的地形坡度, S_{fx} 和 S_{fy} 分别为 x 和 y 方向的阻力坡度, n 为 Manning 糙率系数, 其中:

$$S_{fx} = n^2 u \sqrt{(u^2 + v^2)} / h^{4/3} \quad (8)$$

$$S_{fy} = n^2 v \sqrt{(u^2 + v^2)} / h^{4/3} \quad (9)$$

4 航道整治方案效果预测

根据太平洲捷水道建设标准及航道存在的主要问题, 结合今后的发展趋势, 确定太平洲捷水道航道整治工程的治理思路为: 在已有河势控制工程的基础上, 通过对航道条件起关键控制作用的洲滩的守护, 稳定滩槽格局, 维持相对有利的航道条件, 实现近期航道建设标准; 在先期工程的基础上, 配合切滩和疏浚措施, 视河床的调整变化, 适时实施后续工程, 最终实现远期航道建设标准。

4.1 方案说明

方案1: 太平洲捷水道进口右岸5道护滩带工程(带勾头), 泰州大桥下游800m处左岸4道护滩带和航槽疏浚工程, 小炮沙洲头鱼骨坝工程, 小炮沙洲尾右岸切滩及护岸工程, 太平洲捷水道出口段及凹岸五区段护岸及护岸加固工程。

方案2: 太平洲捷水道进口右岸5道右岸护滩带工程(梳齿型), 泰州大桥下游800m处左岸4道护滩带和航槽疏浚工程, 小炮沙洲头分流鱼嘴工程, 小炮沙洲尾右岸切滩及护岸工程, 太平洲捷水道出口段及凹岸五区段护岸及护岸加固工程。

4.2 潮位变化

工程前后2种水文过程下的潮(水)位特征值变化情况见图3。整体来看, 工程对水道潮位影响幅度不大, 均在0.01m以内, 2套方案对潮位的影响基本一致。工程区域潮位变化以壅高为主, 枯水高潮期最大壅高约0.007m, 位于曹家埭附近, 护滩带工程上游, 洪水大潮期最大壅水0.006m、低潮位壅高约0.002m。

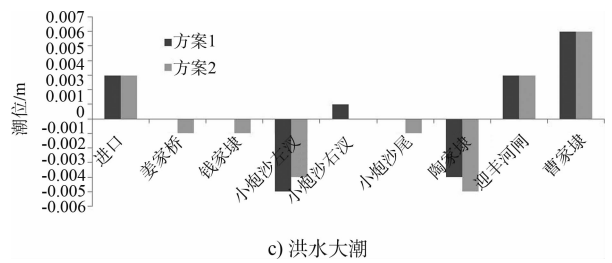
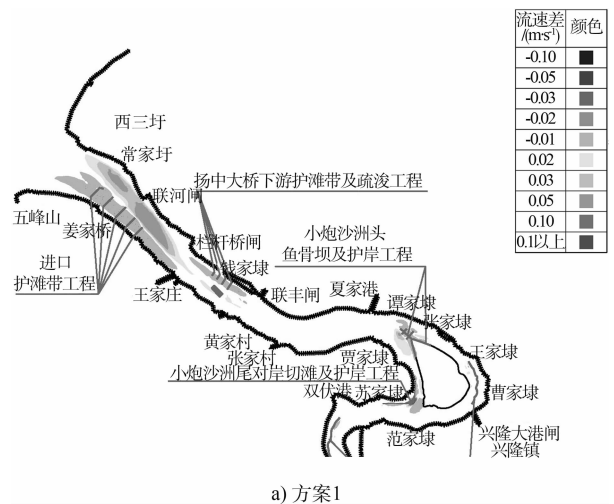


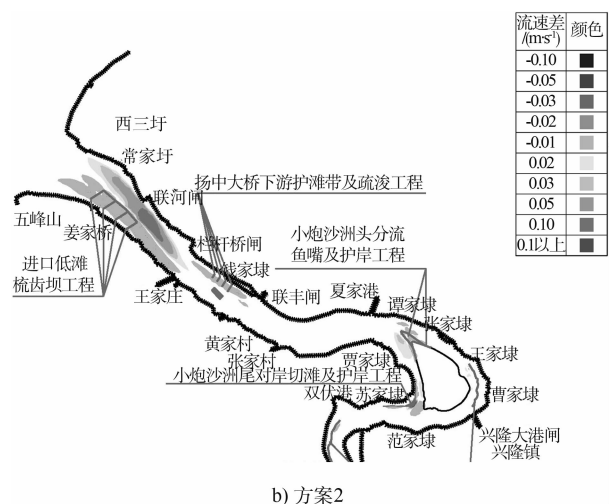
图3 工程区域沿程潮位变化

4.3 流速变化

在涨急时刻, 相比方案1, 方案2进口段近岸护滩带根部上半部分出现0.01~0.03 m/s的流速增加, 除此之外的护滩带滩面流速减小0.01 m/s, 河道主槽的流速增加0.02 m/s左右; 小炮沙洲头的流速变化区域主要集中在工程区, 变化幅度约0.01 m/s (图4)。

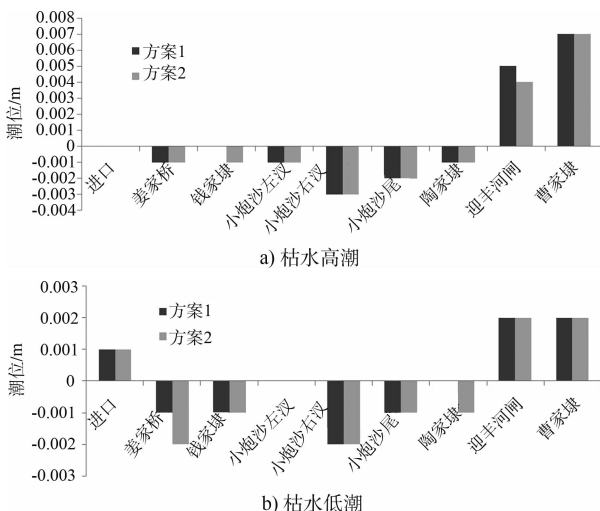


a) 方案1



b) 方案2

图4 涨急时刻方案1、方案2与工程前流速差值

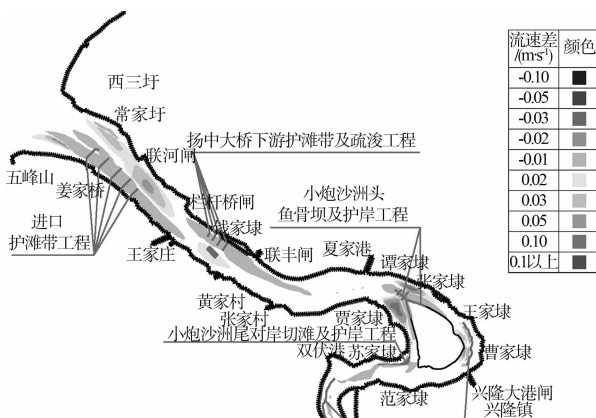


在落急时刻, 相比方案 1, 方案 2 进口段近岸护滩带根部上半部分出现 0.01 ~ 0.03 m/s 的流速增加, 除此之外的护滩带滩面流速减小 0.01 m/s, 河道主槽的流速增加 0.01 m/s 左右; 小炮沙洲头的流速变化范围和幅度比涨急时刻大, 工程区流速比方案 1 增大 0.03 m/s 左右, 左右汉流速则减小了 0.01 m/s。可见方案 2 对小炮沙洲头水流的调整幅度弱于方案 1, 原因在于鱼骨坝两道刺坝比分流鱼嘴长, 挑流作用大于鱼嘴, 对洲体左缘上段的遮护区域较大, 同时鱼骨坝对洲头低滩的水流扰动较大, 流速减缓效果要大于鱼嘴, 进而导致方案 1 在小炮沙洲头附近的水流调整效果大于方案 2 (图 5)。

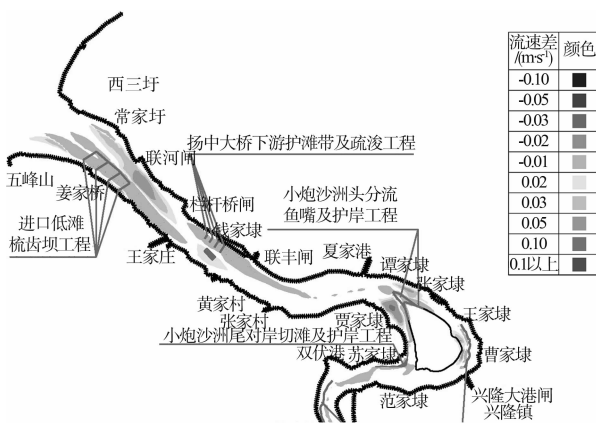
(表 1)可知, 工程主要影响到太平洲汉道和小炮沙洲头的分流比, 对落成洲、禄安洲等汉道的分流比基本不产生影响。枯水期方案 1、方案 2 使得太平洲右汉分流比分别减小 0.21%、0.33%, 小炮沙右汉分流比分别减小 0.20%、0.30%; 洪水期方案 1、方案 2 太平洲右汉分流比减小幅度减弱, 分别为 0.09%、0.18%, 小炮沙右汉分流比分别减小 0.37%、0.34%。由于洪水时小炮沙洲体过水, 导致无工程条件下小炮沙右汉分流比由枯水期的 74.1% 大幅下降至 58.21%。

表 1 典型断面有无工程条件下分流比变化 %

水文条件	汉道名称	无工程	方案 1	方案 2
枯水中潮 (16 200 m ³ /s)	太平洲右汉	9.28	-0.21	-0.33
	小炮沙右汉	74.10	-0.20	-0.30
	落成洲右汉	20.55	0.00	0.00
落急时刻	太平洲右汉	9.65	0.00	0.00
	太平洲右汉	11.58	-0.09	-0.18
	小炮沙右汉	58.21	-0.37	-0.34
洪水大潮 (85 400 m ³ /s)	落成洲右汉	23.18	0.00	0.00
	落成洲右汉	23.18	0.00	0.00
	禄安洲右汉	10.12	0.00	0.00



a) 方案 1



b) 方案 2

图 5 落急时刻方案 1、方案 2 与工程前流速差值

4.4 分流比变化

由典型断面有无工程条件下分流比变化

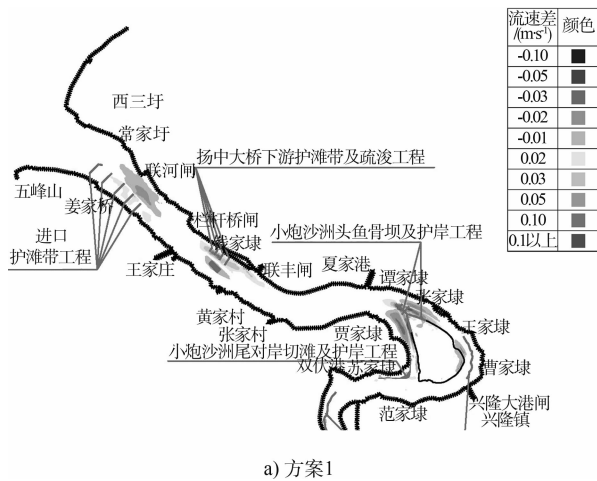
4.5 冲淤变化

动床采用 2010 年典型年水沙过程计算, 由图 6 可知, 在工程区域普遍发生 1 ~ 2 m 的淤积, 而对应的河槽则出现 1 m 左右的冲刷, 小炮沙洲头 2 套方案下均淤积 0.5 ~ 2 m, 两汉上段冲刷 0.5 m 左右, 方案 1 洲头的淤积范围略大于方案 2。上述情况说明工程淤滩守槽、对航道条件的持续改善是有效果的。

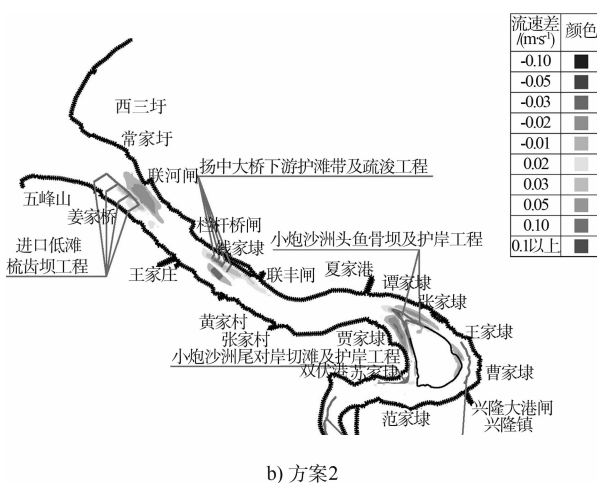
4.6 航道条件变化

夹江水道航道条件起始地形对应的航深均满足各段的整治要求, 但经过 2010 年典型水沙年之后, 无工程条件下扬中大桥以上 5 m 航宽最窄处仅 180 m, 太平洲左汉 6 m 航宽仅 80 m, 航道条件逐渐变差。工程实施后, 固滩守槽, 浅区水流条件得以改善, 航槽缓慢冲刷, 典型年末前面两处浅区 5 m 航宽方案 1 和方案 2 分别增加至 205、201 m, 6 m 航宽分别增加至 104、102 m (表 2),

均达到整治标准。可见，工程的实施能有效改善本水道的航道条件，而且方案1的效果要好于方案2。



a) 方案1



b) 方案2

图6 方案1、方案2与无工程情况下相对冲淤

表2 典型年末各工况最窄航宽

分段	位置	宽度/m			
		起始地形	无工程	方案1	方案2
扬中大桥以上	联合闸处	227	180	205	201
扬中大桥—小炮沙	黄家村处	209	338	338	338
小炮沙左汊	张家埭处	118	80	104	102
小炮沙右汊	右汊中部	186	172	162	162
小炮沙—扬中二桥	陶家埭弯道处	276	268	262	262
扬中二桥以下	夹江出口处	349	361	406	406

4.7 结论

从潮位改变效果来看，2套工程方案对河道的影响较小，枯洪期2套方案对水位的最大壅高影响均是0.007 m，不会影响到本河道的防洪。从流速改变效果来看，方案2近岸段流速增加，可能对岸线有一定影响，而且对小炮沙洲头低滩的控制力度较方案1弱。从分流比改变效果来看，2套方案均使太平洲右汊分流比降低，不会减弱太平洲左汊主江的分流比。从冲淤变化来看，方案1淤滩守槽作用范围大于方案2。从航道条件变化来看，典型年末方案1航道条件好于方案2。综上，方案1的整体效果要好于方案2。

5 结语

本文利用数学模型对两套整治工程方案进行了比较分析。总体上来看，天然状态下航道条件有恶化趋势，在实施整治工程后，2套方案对航道恶化趋势均有所遏制。2套方案对河道整体影响不大，仅在局部区域实施了整治工程，对局部碍航卡点有明显效果，航道条件均得到明显改善。在方案之间分析对比后得出，方案1的整体效果优于方案2。

当前，太平洲捷水道的航道条件处于一个相对较好时期，因此，需抓住太平洲捷水道内航道条件较好的有利时机，巩固和发展太平洲水道内较好的滩槽格局，进一步改善浅区航道条件。

参考文献：

[1] 茆长胜. 长江下游扬中夹江(太平洲捷水道航道治理初探[C])//第三届全国河道治理与生态修复技术交流研讨专刊, 2011: 217-223.

[2] 岳志远, 曹志先, 李有为. 基于非结构网格的非恒定浅水二维有限体积数学模型研究[J]. 水动力学研究与进展: A辑, 2011, 26(3): 359-367.

(本文编辑 武亚庆)