



# 西江（界首—肇庆） 航道扩能升级工程效果分析

胡勇<sup>1</sup>, 罗敬思<sup>1</sup>, 童朝峰<sup>2</sup>

(1. 广东省交通运输规划研究中心, 广东 广州 510030; 2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 西江界首—肇庆段位于西江航运干线广东段, 河形蜿蜒多变, 局部浅滩和礁石密集。自20世纪90年代以来历经数次整治, 已满足2000吨级船舶通航。2016年实施该航段3000吨级航道扩能升级工程, 对碍航的“四滩”(界首滩、蟠龙滩、新滩和都乐滩)河段采取疏浚、清礁和加密丁坝等工程措施。实测资料及数学模型分析表明, 工程措施使得主槽畅通, 实现全线航道通航水深大于4.5 m; “四滩”河段在不同特征流量下水位总体下降0.20~0.49 m, 水面平均比降仅为0.013‰~0.053‰, 水流流速变化值在-0.23~0.34 m/s, 且大部分河段航槽内水流流向和航槽主轴夹角小于10°, 航道通航条件明显提升, 基本实现3000吨级航道治理目标。研究成果可为该河段进一步扩能升级或类似特征条件的航道整治提供参考。

**关键词:** 西江; 航道整治; 效果分析; 浅滩治理

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)08-0161-07

## Effect analysis of capacity expansion and upgrading project of Xijiang River (Jieshou-Zhaoqing)

HU Yong<sup>1</sup>, LUO Jingsi<sup>1</sup>, TONG Chaofeng<sup>2</sup>

(1. Guangdong Provincial Transport Planning And Research Center, Guangzhou 510030, China;

2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The section of Xijiang from Jieshou to Zhaoqing is located in the Guangdong section of the Xijiang Shipping Main Line. The river shape is winding and varied, with locally dense shoals and reefs. Since the 1990s, after several regulations, it has been able to accommodate ships of 2,000-ton class. The 3,000-ton class waterway expansion and upgrading project was implemented in 2016, taking engineering measures such as dredging, removing the reef, and encrypting spur dike of the “Sitan” section (Jieshou, Panlong, Xintan, and Dule shoals) that obstruct navigation. Analysis of measured data and mathematical models shows that the engineering measures have unblocked the main channel, realizing navigation depth greater than 4.5 m for the entire waterway. The water level of the “Sitan” section has decreased by an overall 0.20–0.49 m under different characteristic flow rates, with an average water surface gradient of only 0.013‰–0.053‰. The change in water flow velocity is between -0.23 and 0.34 m/s, and the angle between the water flow direction and the main axis of the channel in most sections is less than 10°. The navigation conditions of the channel have been significantly improved, and the management goal of 3,000-ton class channel has been basically achieved. The research results can provide references for further capacity expansion and upgrading of the river section or for channel regulation under similar characteristic conditions.

**Keywords:** Xijiang River; waterway regulation; effect analysis; shoals regulation

收稿日期: 2024-11-14

作者简介: 胡勇 (1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事航道整治分析及航道工程咨询相关工作。

西江界首—肇庆段位于西江航运干线中游,起于界首大源冲口,至肇庆大桥止,全长 171 km,见图 1。航道部门于 2007 年对该段航道实施了内河 II 级(2 000 吨级)标准航道整治工程,工程实施后,该段航道通航条件大为改善,全线满足 2 000 吨级航道尺度要求。随着沿岸地区经济的飞速发展,十几年来西江航运干线中游水运量增长 5 倍以上<sup>[1]</sup>,已超过 2 000 吨级航道设计通过能力。为贯

彻落实《国务院关于加快长江等内河水运发展的意见》要求<sup>[2]</sup>,满足西江航道快速增长的货运需要,于 2016 年 2 月—2024 年 6 月实施了西江(界首—肇庆)航道扩能升级工程。该航段的主要碍航滩段集中在界首—都城的“四滩”河段,是航道整治工程的关键段,其碍航特征主要表现为航道水深及航宽不足、流速流态较差,局部区域存在礁石碍航等问题。

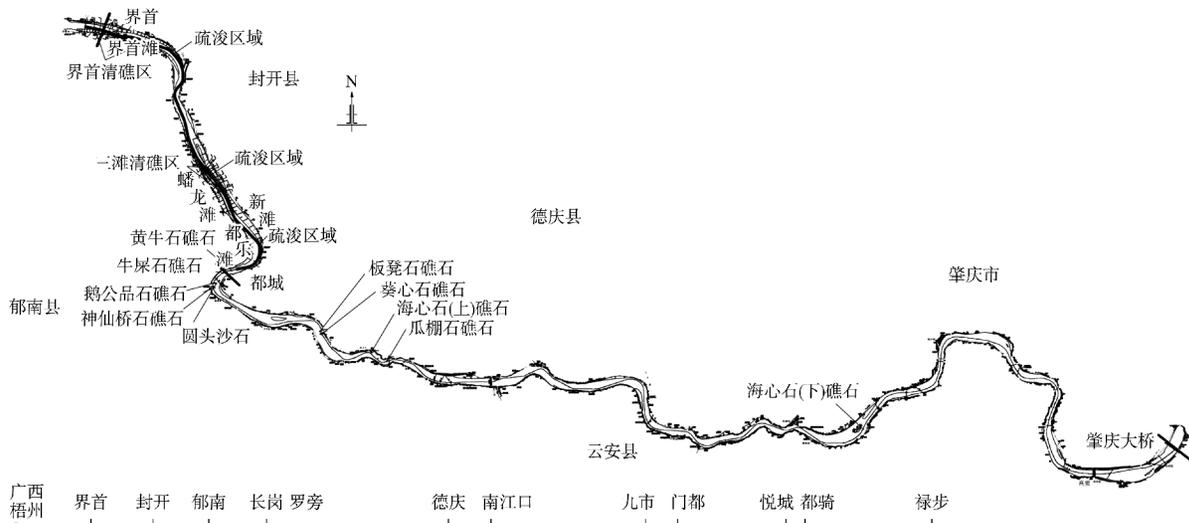


图 1 西江界首—肇庆段航道

Fig. 1 Waterway of Xijiang River from Jieshou to Zhaoqing

许多专家学者对碍航滩段的整治进行了大量的研究,何艳军等<sup>[3-4]</sup>认为对于碍航不严重的浅滩仅通过疏浚方式即可达到整治目的,并通过物模试验研究了长江九龙滩航道整治方案优化及效果分析;钟亮等<sup>[5]</sup>基于二维水流泥沙数学模型,开展对长江上游段胡家滩航道的整治方案优化研究,结果表明,通过采用“筑坝、疏浚和炸礁”相结合的方法开展浅滩整治效果明显;许光祥等<sup>[6]</sup>通过应用河工模型试验研究手段,以澜沧江曼厅大沙坝河段的无名洲浅滩为例,提出滩势转移整治方法在山区急浅滩河流中的应用;李求生等<sup>[7]</sup>根据实测的水文、地形以及模型试验等资料,研究提出汉江狗头湾滩段航道整治方案,结果表明,整治工程稳定了工程河段洲滩,束窄了河宽,有效控制了中、枯水河势。目前,对于西江航运干线中游航道整治的研究相对较少,早期的研究主要集中在西江航运干线上游,刘临雄等<sup>[8]</sup>研究了

西江长洲水利枢纽—界首河段的整治方案,结果表明,采用疏浚炸礁、回填深槽、调顺航线等工程措施后,航道整治效果明显。

西江(界首—肇庆)航道扩能升级工程结合河流特性、浅滩成因及近年河床演变发展规律,对主要的碍航滩段(“四滩”河段)综合采取疏浚、清礁、筑坝相结合的方式实施整治。本文通过实测资料及数学模型分析整治方案实施后的效果,以期为整治河段进一步扩能升级或类似特征条件的航道整治提供参考。

## 1 河床演变及碍航特征

西江界首—肇庆河段以河形蜿蜒多变,河床上礁、石、砂共存为主要特征,河段受潮流动力作用较弱,河流动力是塑造河床的主要动力<sup>[9]</sup>。根据西江梧州水文站多年观测资料,“四滩”河段多年平均高、低水位差较大,且径流量年内分配

不均。分析该河段 2003—2014 年的地形测图可知, 全河段河势基本稳定, 河床地形变化较小, 仅局部河段(“四滩”河段)存在河床调整以适应内外部条件变化。其中界首河段位于上游白沙角微弯和下游江口大弯道的连接过渡段, 该过渡段长直宽阔, 界首浅滩正处于两弯交接位置, 水流流速、流态及输沙散乱。受江口弯道壅水及上游枢纽下泄水流顶托的影响, 该河段水动力较弱, 容易淤积造成水浅碍航; 蟠龙滩、新滩和都乐滩(简称“三滩”)为江口反 S 形连续弯道与都乐弯道的连接段上游, 由于连接段过于长直宽阔, 水面宽度达 1 000~1 200 m, 洪水期后上游来沙容易在河段落淤形成边滩、沙洲和浅滩, 水浅碍航; 此外, “四滩”河段内礁石群密布, 分布有数十处碍航礁石(图 1), 无法满足 3 000 吨级航道水深及航宽要求。

## 2 整治工程概况

### 2.1 整治思路

整治工程总体思路为: 通过疏浚及清礁等整治措施提高航槽水深, 以加密布置丁坝等方式进一步调整洪、枯季水流动力轴线, 必要时辅以规整边滩、保护洲滩和岸坡节点等工程措施, 全面实现 3 000 吨级航道通航要求。

### 2.2 整治方案

基于整治思路, 西江(界首—肇庆)3 000 吨级航道扩能升级工程在原 2 000 吨级航道整治工程基础上, 对“四滩”河段进一步实施整治:

1) 界首滩整治方案。对碍航滩段采取疏浚、清礁等措施使达到设计尺度; 在河道转弯段两侧各加密新建 1 座丁坝, 以调整水动力轴线, 控制或减少回淤; 同时保留原已有封闭礁石区的整治建筑物, 改善通航水流条件, 见图 2a)。

2) “三滩”段整治方案。对碍航滩段采取疏浚使达到设计尺度, 通过提高已有的丁坝高度、在局部浅滩加密新建 3 座丁坝以及加长 1 座丁坝等措施, 见图 2b), 使枯水期水流提早归槽, 削弱潮水顶托作用, 进而提高水流的挟沙能力, 减少航道维护性疏浚时间<sup>[10]</sup>。

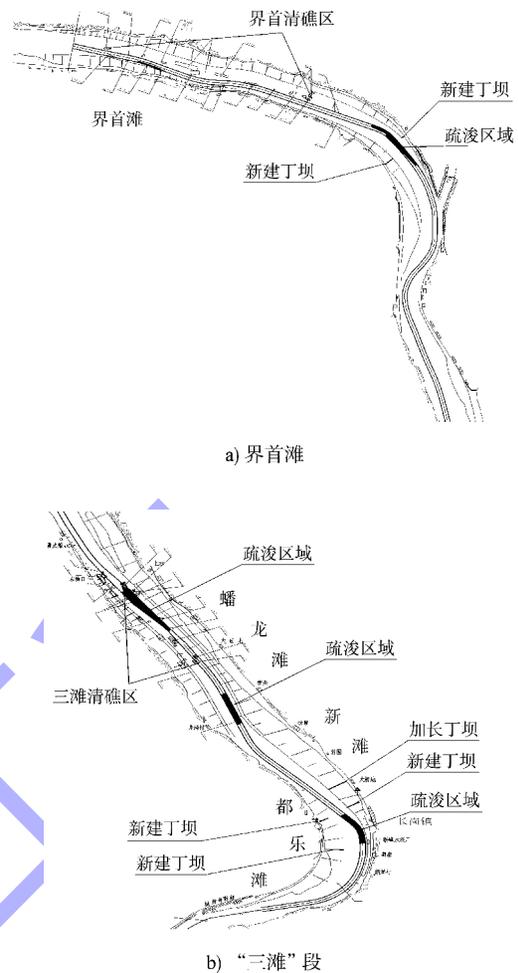


图 2 西江“四滩”河段整治方案  
Fig. 2 Regulation scheme for “Sitan” section of Xijiang River

## 3 研究方法

为分析工程前后的水流变化情况, 更加科学合理评价航道整治效果, 建立西江界首—肇庆河段水流数学模型, 并进行率定、验证; 通过模型计算, 分析整治河段工程前后各级别流量下的水位、流速、水面比降及局部流态的变化, 评价整治工程是否达到预期目标。

### 3.1 模型建立

平面二维水流数学模型上游边界位置为界首, 下游边界为肇庆高要水文站断面, 总长 171 km。整个计算区域内布置网格 3 485×108, 沿河宽方向网格步长 15~20 m, 沿河道方向网格步长 15~50 m, 见图 3。考虑到工程整治段主要集中在“四滩”区域, 对该工程区域采取局部加密处理, 加密区网格步长小于 20 m, 以便更准确模拟工程实施效果<sup>[11]</sup>。

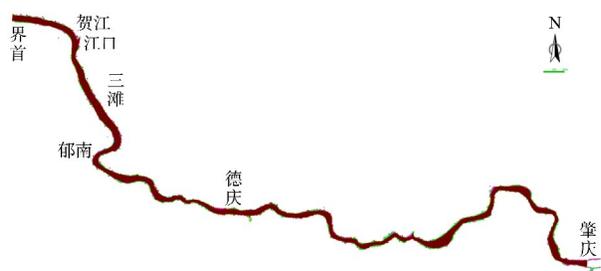
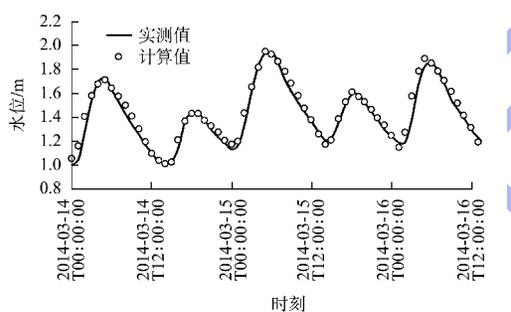


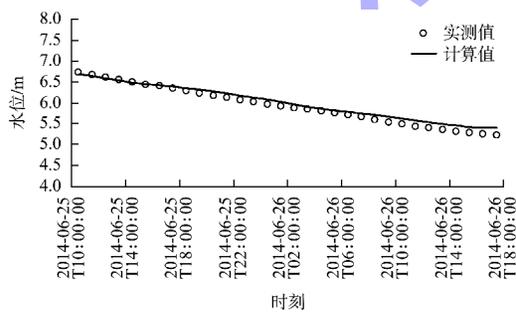
图3 西江(界首—肇庆)二维水流数学模型范围与网格  
Fig.3 Scope and grid of two-dimensional flow mathematical model of Xijiang River (Jieshou-Zhaoqing)

### 3.2 模型验证

模型验证采用2014年3月枯季和2014年6月洪季的水文测量资料及水文验证期间同期地形,内容包括洪、枯季流量下沿程水位、沿程各断面流速分布验证。从图4、5可见,二维水流模型计算的水位过程、断面流速和流量值与德庆站实测值基本吻合,表明该模型基本反应了河道水流的真实运动情况,可进行各工况计算。



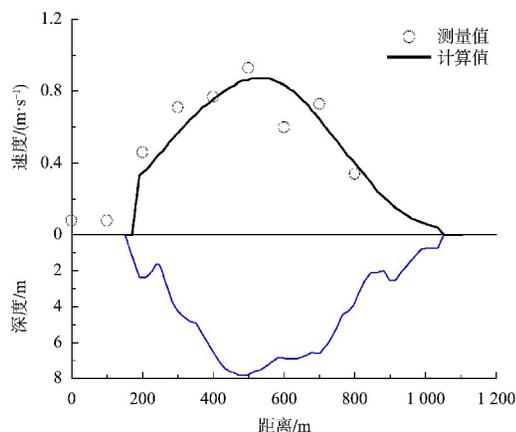
a) 枯季



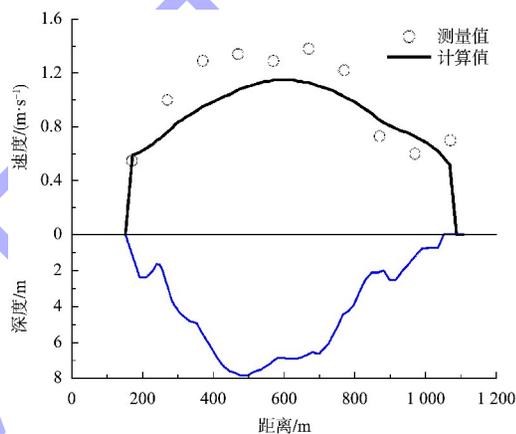
b) 洪季

图4 西江枯、洪季水位验证

Fig.4 Verification of water level at Deqing Station during dry and flood seasons of Xijiang River



a) 枯季



b) 洪季

图5 西江枯、洪季典型断面流速验证

Fig.5 Verification of flow velocity in typical cross-sections during dry and flood seasons of Xijiang River

### 3.3 模型计算工况

水流条件计算分析采用的地形资料包括3种工况,分别为扩能升级前工况、扩能升级后设计工况和实际工况。计算流量考虑最低通航保证率流量、多年平均流量和20 a一遇洪水流量、典型枯季流量过程;下游高要水位考虑恒定过程和非恒定过程,流量和水位计算边界见表1。为便于分析各工况下的水位和流速等参数,在西江(界首—肇庆)航道内选取53个特征点,其中“四滩”整治区段选取34个特征点。

表 1 计算流量边界及下游水位边界

Tab. 1 Calculation flow boundary and downstream water level boundary

组次	工况	梧州流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	外江/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	内江/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	桂江/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	贺江/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	高要水位/m	备注
1	枯水	1 128	840	240	48	74	0.41 (2010-03-17 水位, 非恒定过程最低水位)	98%保证率
2		1 128	840	240	48	74	0.41	98%保证率
3	中水	6 374	3 639	2 200	535	344	1.83	多年平均流量
4	洪水	48 500	28 356	13 344	6 800	2 622	13.64	20 a 一遇洪水

4 工程治理效果

1) 主槽实现了全线畅通。从图 6 可知, 相较于工程实施前“四滩”河段存在的浅(水深不足)、窄(航宽不足)碍航情况, 工程实施后, 在最低通

航保证流量下, “四滩”河段全线达到 3 000 吨级航道通航尺度要求(水深大于 4.5 m、航宽大于 90 m), 整治工程使得航道畅通的效果明显。

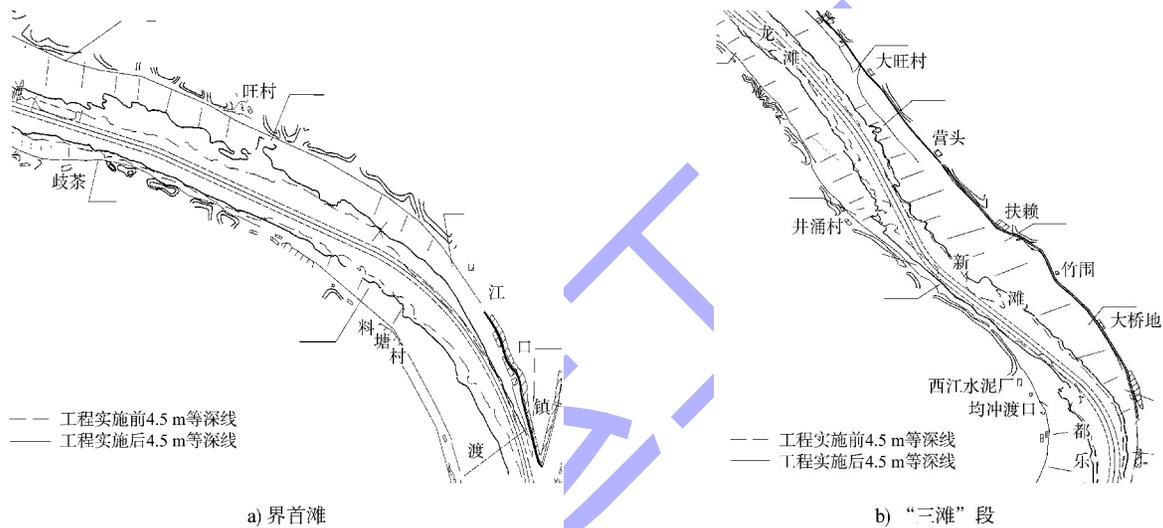
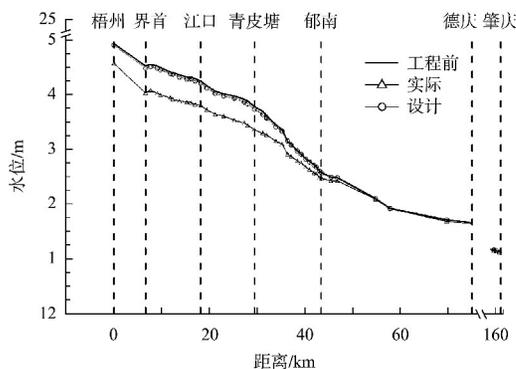


图 6 工程前后“四滩”段航槽水深对比

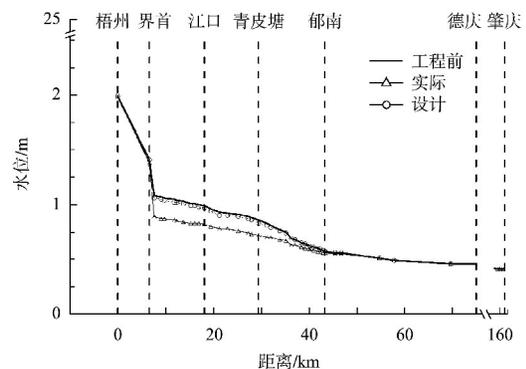
Fig. 6 Comparison of water depth in navigation channel of “Sitan” section before and after the project

2) “四滩”河段水位总体下降。从图 7 可知, 从工程实施前的 2015 年至实施后的 2020 年, 由于河床下切, 在设计最低通航保证率为 98% 的流量、多年平均流量和 20 a 一遇洪水流量下泄时, 西江中游界首—肇庆河段水位总体下降, 下降最

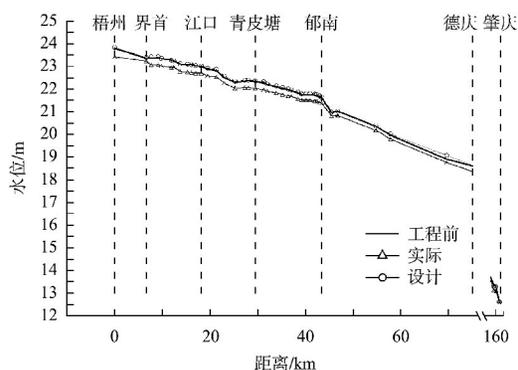
多的河段为本次航道整治工程主要段即“四滩”河段, 水位最大下降量分别为 0.20、0.49、0.33 m (工程后采用的设计最低通航水位已根据工程实施后情况进行修正)。



a) 最小通航保证流量( $1\ 128\ \text{m}^3/\text{s}$ )



b) 多年平均流量( $6\ 371\ \text{m}^3/\text{s}$ )



c) 20a一遇洪水流量(48 500 m<sup>3</sup>/s)

图7 不同特征流量下工程前后河段航槽沿程水位对比  
Fig.7 Comparison of water levels along navigation channel of the river section under different characteristic flow rates before and after the project

3) “四滩”河段水面比降更趋于平缓。对比各工况条件下工程前后水面比降可知，工程实施后，

在不同特征流量下，“四滩”河段水面平均比降仅为 0.013‰~0.053‰；在多年平均及以下流量条件下，“四滩”河段除界首段水面比降有所增加，其他各段水面比降基本减小；在 20 a 一遇洪水流量下，界首段和过渡段水面比降增加，“三滩”段水面比降减小，见表 2。

4) 航道轴线与水动力轴线适应度较好。在多年平均流量下，对比整治工程前，工程后河段实际水动力轴线部分发生了改变，主要集中在界首滩、江口镇段和都乐滩段位置，动力轴线更加趋直，并更加偏于河道中心，其他段水动力轴线基本和航道轴线保持一致，见图 8。在不同特征流量下，工程后整治河段水动力轴线显示出低水坐弯、高水趋直的变化规律。

表 2 各工况条件下工程前后水面比降对比

Tab.2 Comparison of water surface gradient under various conditions before and after the project

流量	河段	位置	距离/km	比降/10 <sup>-5</sup>			
				工程前	工程后设计效果	工程后实际效果	工程后整段效果
1 128 m <sup>3</sup> /s 非恒定水位	界首段	中源—竹洲塘	10.32	2.04	2.04	2.22	
	过渡段	竹洲塘—青皮塘(ZP8)	12.93	0.94	0.85	0.77	1.30
	“三滩”段	青皮塘(ZP8)—龙湾	14.99	1.74	1.66	1.13	
1 128 m <sup>3</sup> /s 恒定水位	界首段	中源—竹洲塘	10.32	3.97	4.17	5.33	
	过渡段	竹洲塘—青皮塘(ZP8)	12.93	1.11	1.19	0.85	2.10
	“三滩”段	青皮塘(ZP8)—龙湾	14.99	1.97	1.82	1.06	
多年平均 流量	界首段	中源—竹洲塘	10.32	2.71	2.81	2.71	
	过渡段	竹洲塘—青皮塘(ZP8)	12.93	4.78	4.86	4.61	5.30
20 a 一遇 洪水流量	界首段	中源—竹洲塘	10.32	3.20	3.49	5.04	
	过渡段	竹洲塘—青皮塘(ZP8)	12.93	5.63	5.63	5.71	4.70
	“三滩”段	青皮塘(ZP8)—龙湾	14.99	5.07	5.22	4.61	

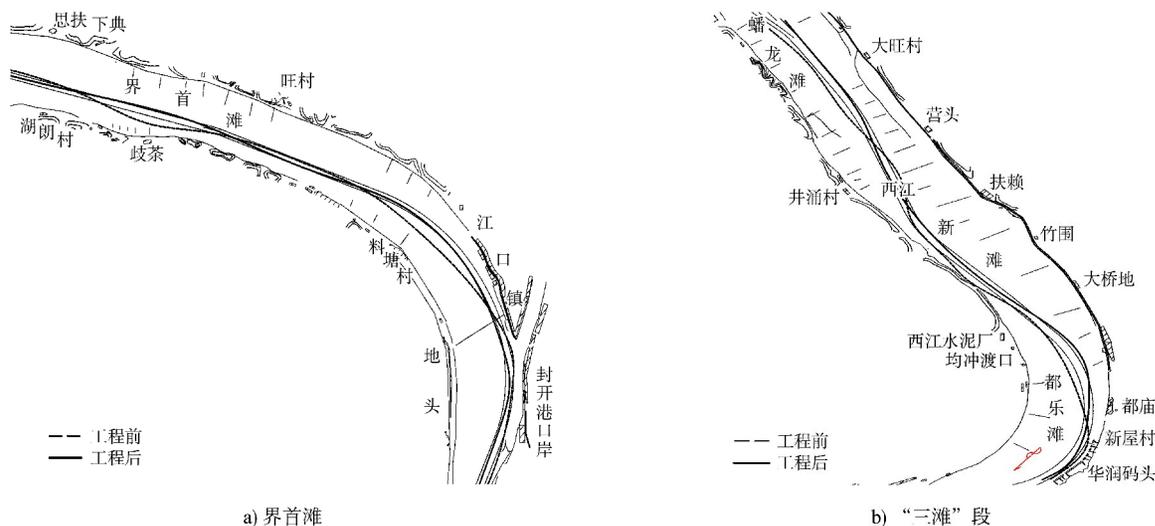


图 8 多年平均流量下工程前后“四滩”段水流动力轴线变化

Fig.8 Changes in hydrodynamic axis of “Sitan” section under the average annual flow rate for many years before and after the project

5) “四滩”河段的流速、流态得到改善。分析不同特征流量下“四滩”河段流场可知,工程后枯水流量主要集中在两岸丁坝之间的整治线内,整治线内水流在丁坝的作用下流速较大,坝田内有局部回流;多年平均流量下大部分丁坝被淹,整治线内水流在丁坝的作用下流速较大,坝田内回流强度减弱甚至消失;洪水流量下所有丁坝被淹,水流基本沿着河道中心轴线走向,比较均匀,已完全没有回流。此外,在各特征流量下,大部分河段航槽内水流流向和航槽主轴夹角基本重合,其他位置夹角基本小于 $10^{\circ}$ 。

对比不同特征流量下工程前、后的流速变化表明,在枯季流量情况下,工程后流速大部分小于工程前流速,在多年平均流量和20 a一遇洪水流量下,工程后流速与工程前相比有增有减,以流速减少居多。工程后水流流速发生变化的河段主要集中在“四滩”整治河段,其在最低通航流量、多年平均流量及20 a一遇洪水流量下流速变化值分别为 $-0.15 \sim 0.13$  m/s、 $-0.23 \sim 0.34$  m/s、 $-0.07 \sim 0.21$  m/s。

## 5 结语

1) 通过对“四滩”河段碍航特性分析,认为特定的平面形态(如滩段处于弯段交接位置,连接段过于长直宽阔等)是该河段容易出现浅滩碍航的主要原因。此外,该河段大多为砂质河床,局部存在礁石碍航,无法满足3 000吨级航道水深及航宽要求。

2) 从整治工程实施后的工程效果看,西江(界首—肇庆)航道扩能升级工程的整治思路正确、整治方案布置合理,工程后航道主槽实现全线畅通,“四滩”河段航道轴线走向与主流流向基本一致,动力轴线趋直并更加偏于河道中心,水面比降更趋于平缓,航槽内流速流态较整治前得到改善,航道通航条件明显提升,全面实现了3 000吨级航道治理目标。

## 参考文献:

- [1] 李露露,姚海元,武哲宇,等.西江航运堵点分析及对策[J].水运工程,2024(7):18-23,41.  
LI L L, YAO H Y, WU Z Y, et al. Analysis and solutions on blockage points of Xijiang shipping [J]. Port &

waterway engineering, 2024(7): 18-23, 41.

- [2] 国务院.关于加快长江等内河水运发展的意见[A].北京:国务院,2011.  
The State Council. Opinions on accelerating the development of inland water transport in the Yangtze River and other regions [A]. Beijing: The State Council, 2011.
- [3] 何艳军.长江上游九龙滩航道整治方案及效果分析[J].水运工程,2022(8):121-128.  
HE Y J. Waterway regulation scheme of Jiulongtan beach in upper reaches of the Yangtze River and effect analysis [J]. Port & waterway engineering, 2022(8): 121-128.
- [4] 何艳军,马李伟,何旭,等.单纯疏浚技术在长江上游卵石浅滩整治中的应用[J].水道港口,2013,34(3):239-242.  
HE Y J, MA L W, HE X, et al. Application of simple dredging technology in regulating pebble shoals in Upper Yangtze River [J]. Journal of waterway and harbor, 2013, 34(3): 239-242.
- [5] 钟亮,许光祥,周鑫靖.长江上游胡家滩航道整治数值模拟研究[J].水运工程,2015(5):153-160.  
ZHONG L, XU G X, ZHOU X J. Numerical simulation of Hujiatan waterway regulation in upper reaches of the Yangtze River [J]. Port & waterway engineering, 2015(5): 153-160.
- [6] 许光祥,陈沁芷,蒋孜伟,等.滩势转移法在澜沧江急浅滩整治中的应用[J].水运工程,2024(9):99-104.  
XU G X, CHEN Q Z, JIANG Z W, et al. Application of beach potential transfer method in regulation of Lancang River rapid shoal [J]. Port & waterway engineering, 2024(9): 99-104.
- [7] 李求生,漆炼勇.汉江狗头湾滩段航道整治工程方案[J].水运工程,2024(1):178-183.  
LI Q S, QI L Y. Channel regulation scheme of Goutouwan beach section of Hanjiang River [J]. Port & waterway engineering, 2024(1): 178-183.
- [8] 刘临雄,李俊娜,黄文辉.西江长洲水利枢纽至界首河段航道碍航分析及整治措施[J].水运工程,2020(7):158-163,174.  
LIU L X, LI J N, HUANG W H. Analysis of channel obstruction from Changzhou water control project to Jieshou reach and its regulation measures [J]. Port & waterway engineering, 2020(7): 158-163, 174.