



三峡库区上洛碛河段卵石运动规律和 航道治理对策

邓中辉

(长江航运发展研究中心, 湖北 武汉 430014)

摘要: 三峡水库变动回水区上洛碛河段在三峡蓄水运用后, 出现了泥沙回淤问题, 对航道条件造成一定影响。本文根据实测资料, 分析了上洛碛河段的卵石沙波群运动规律, 研究表明: 上洛碛河段的卵石沙波波长为 40~60 m, 波高变化约 0.8~1.6 m。结合物理模型试验研究, 提出了航道整治方案。试验结果表明, 整治方案可有效改善上洛碛河段的通航条件, 航道整治效果良好。

关键词: 三峡水库; 变动回水区; 航道整治; 卵石沙波

中图分类号: U642

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)08-0120-07

Pebble movement law and channel regulation countermeasures in Shangluoqi reach of Three Gorges Reservoir

DENG Zhonghui

(Yangtze River Shipping Development Research Center, Wuhan 430014, China)

Abstract: After the operation of Three Gorges Reservoir, there has been a problem of sediment siltation in Shangluoqi reach in the fluctuating backwater area of Three Gorges Reservoir, which has a certain impact on the channel conditions. Based on the measured data, this paper analyzes the movement law of the pebble sand wave group in Shangluoqi reach. It is found that the length of the pebble sand wave in Shangluoqi reach is 40-60 m, and the wave height changes about 0.8-1.6 m. According to the physical model experiment, the channel regulation scheme is proposed. The regulation results show that this scheme can effectively improve the navigation conditions of Shangluoqi reach, and the channel regulation effect is excellent.

Keywords: Three Gorges Reservoir; fluctuating backwater area; channel regulation; pebble sand wave

三峡水库 175 m 蓄水后, 变动回水区水沙条件和泥沙淤积特性发生了明显改变^[1-3]。上洛碛是变动回水区的航道重点浅滩段, 为过渡段浅滩, 浅滩段一般呈洪淤枯冲规律, 自然情况下冲淤基本平衡^[4-5]。受三峡回水影响, 泥沙易在本河段落淤, 尤其是遭遇不利水文年时, 航槽淤积量较大, 对航道不利^[6-8]。目前航道最小维护尺度为 3.5 m×100 m×800 m(水深×宽度×弯曲半径), 加之航道边界右侧有褡裢石、野鸭梁等礁石, 船舶不宜靠

近, 礁石与浅滩相互影响, 航道尺度不满足 4.5 m 水深要求。目前已有学者针对上洛碛河段水沙条件变化和航道整治开展了部分研究^[9], 但上洛碛河段航道的泥沙回淤问题依然没有根本解决。因此, 本文结合实测资料分析和物理模型试验, 提出了有效改善上洛碛河段航道条件的整治方案。

1 研究区域

上洛碛位于长江上游航道里程 604.5~606.5 km,

收稿日期: 2022-10-22

作者简介: 邓中辉 (1986—), 男, 硕士, 工程师, 从事枢纽通航与航道整治、维护技术研究。

紧邻洛碛镇(图 1)。上洛碛上游是南坪坝,长约 3 km,宽 0.8 km,位于江中偏右岸,将河道分为左右两槽,右槽较顺直。河段中部微弯,碛翅突出江心,伸向右岸,与右岸褡裢石、野鸭梁等

礁石形成浅窄弯槽,为枯水期著名的弯浅险槽。2013—2014 年及 2014—2015 年均对上洛碛碛翅处进行了维护疏浚。

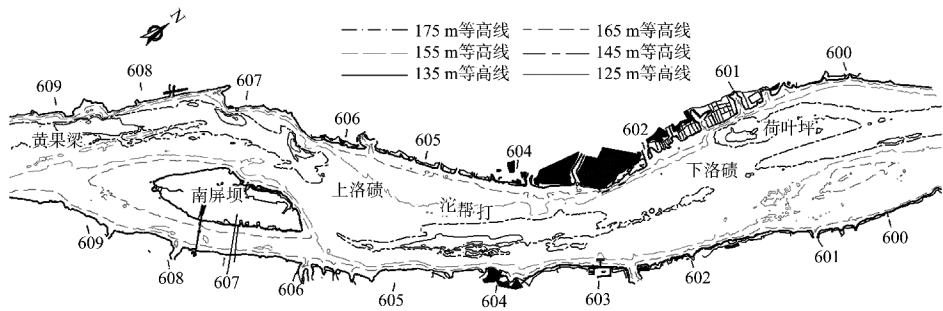
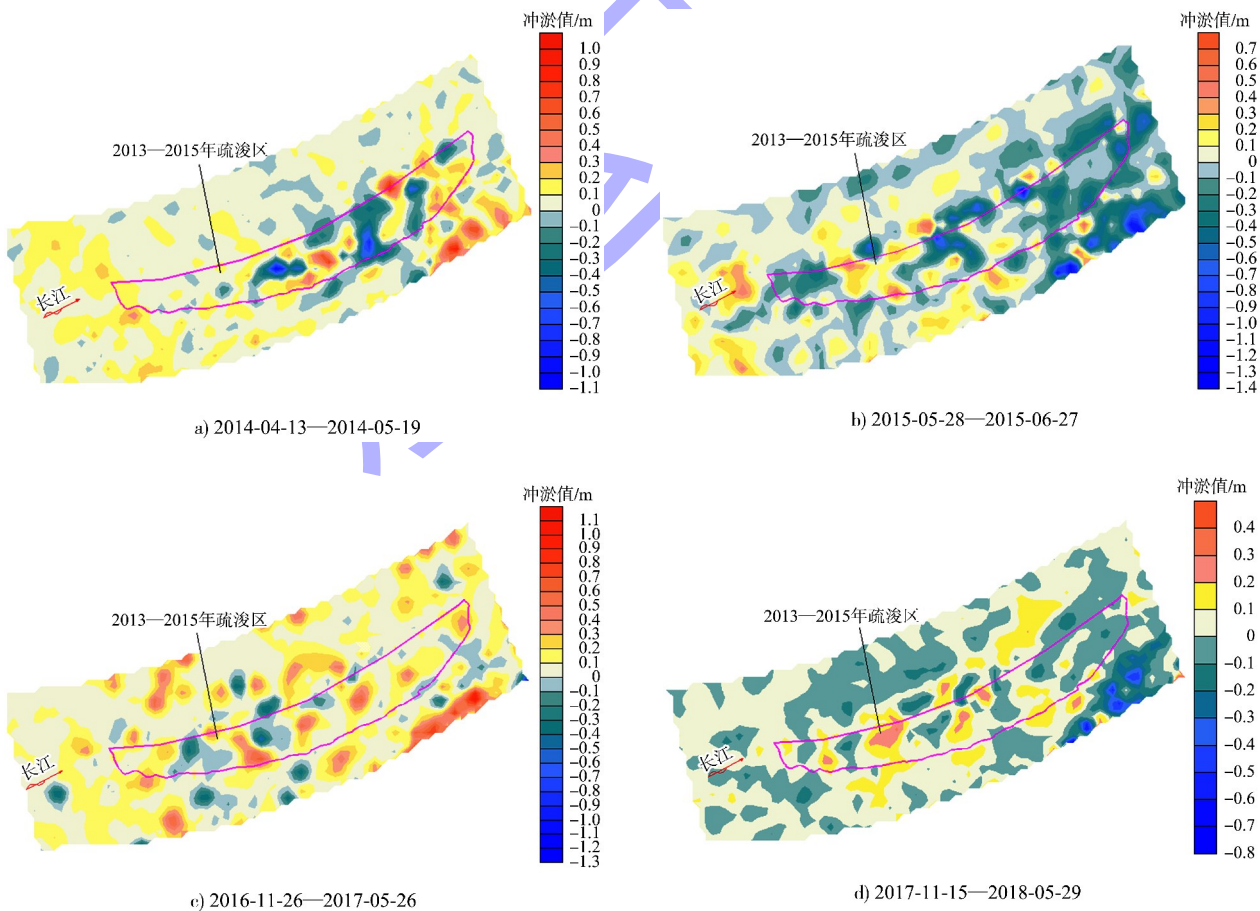


图 1 上洛碛滩段

2 上洛碛卵石冲淤规律

2015—2018 年消落期和汛期时段,上洛碛碛翅疏浚区内河床地形变化表现出较为明显的沙波

运动,沙波波长为 40~60 m,波高变化约 0.8~1.6 m。局部零星区域最大冲淤深度超过 1 m,见图 2、3。



注：冲刷为负值，淤积为正值。

图 2 上洛碛冲淤变化

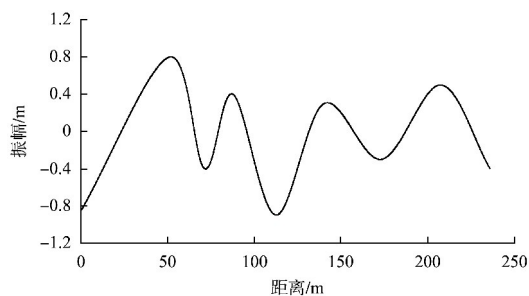


图3 2014-04-13—2014-05-19
上洛碛典型沙波波形

由2015年10月—2017年11月疏浚区内冲淤量变化可知,2016年汛末上洛碛疏浚区河床整体表现出相对明显的冲刷状态。截至2017年11月,年际间疏浚区内推移质冲刷总量约2 004 m³,整体接近冲淤平衡,见图4。

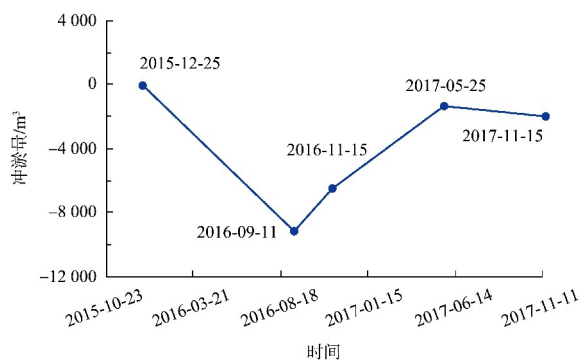


图4 2015-12-25—2017-11-15 上洛碛疏浚区年际间冲淤量变化

3 上洛碛航道整治方案

3.1 碍航特性

上洛碛河段受上游南屏坝及其左侧纵卧河心的黄果珠、黄果梁、白鹤梁等的挤压,主流贴左岸而下;左岸上黔滩礁石突嘴挑流强劲,主流由左穿越南屏坝岛尾过渡到下游的右岸,虽南屏坝中下段的左缘存在大背龙、麻儿角等礁石挑流,由于其位于相对较缓的水域,挑流作用弱于上黔滩突嘴。受上黔滩突嘴挑流作用的影响,其下存在高大的上洛碛边滩,当高水期水流趋直时,上洛碛边滩头部的低矮滩体将因水流动力相对较弱而产生泥沙淤积,淤积体侵入航槽导致碍航。在三峡工程施工期^[10]上洛碛航道整治工程前,由于汛期泥沙淤积侵占航槽使得船舶只能座弯(贴南屏坝洲尾)航行,航道弯曲、狭窄,航行安全隐患大。

3.2 整治方案

针对洛碛滩段的碍航特性,结合上洛碛卵石冲淤规律,提出治理思路为:调顺上洛碛主航道,解决航道尺度不足问题,改善船舶航行条件,消除通行控制河段^[11-13]。采取的治理措施为:疏浚上洛碛浅滩不满足规划尺度要求的浅区,使浅滩部位航道达到设计水深,并布置整治建筑物,归顺水流,束窄河道,调整断面流速分布,加大航槽内流速,增加水流对浅滩过渡段的冲刷强度,确保挖槽稳定。

根据洛碛滩段航道治理思路,进行多方案物理模型试验研究,并提出优选方案。该方案考虑疏浚上洛碛至设计水位以下4.7 m,对上洛碛右岸原有1[#]、2[#]、4[#]丁坝进行加高延长,坝顶高程为设计水位以上3.5 m。因原有3[#]丁坝位于2[#]丁坝掩护范围内,可不进行处理。治理方案平面布置见图5。

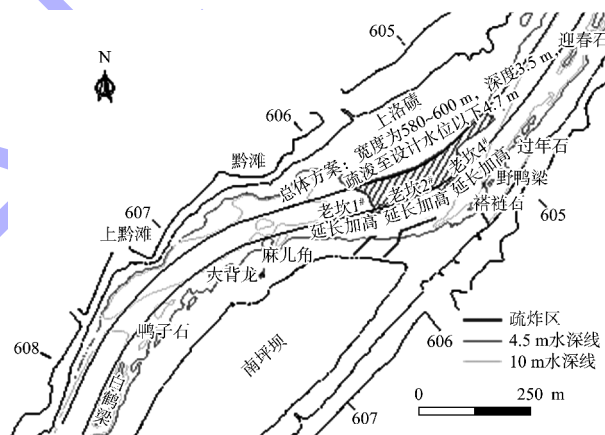


图5 上洛碛滩段治理方案平面布置

分别选取 $Q=4\ 500$ 、 $8\ 800$ (设计水位以上3.5 m对应的消落期上包线流量)、 $11\ 300$ (设计水位以上3.5 m对应的消落期下包线流量)、 $19\ 965$ 、 $44\ 100\text{ m}^3/\text{s}$ 共5级典型流量,对整治工程前后的沿程水位、比降、整体流场、航槽流速变化等水流条件进行对比试验研究。选取 $Q=4\ 500$ 、 $11\ 300$ 、 $44\ 100\text{ m}^3/\text{s}$ 共3级典型流量,对整治工程后的船模航行条件进行试验研究,综合分析该方案的整治效果。

4 整治效果

4.1 水位变化

上洛碛滩段各级特征流量下工程前后水位差

值变化见图6, 当 $Q \leq 11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 受右岸整治建筑物影响, 工程疏浚区上游河段水位壅高, 各级流量下的最大壅水位置均位于滩段进口处的黔滩附近(606.1 km); $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时最大水位壅高值为0.12 m; $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时最大水位壅高值0.16 m; $Q=8\,800\text{ m}^3/\text{s}$ (设计水位以上3.5 m消落期上包线对应流量)壅水高度有所减小, 最大壅水值0.09 m, 疏浚区末端水位略有下降, 降幅在0.07 m以内。由于该滩段为中低水整治, 因此整治工程对洪水期($Q \geq 19\,965\text{ m}^3/\text{s}$)的水位影响很小, 工程前后水位变化幅度均在0.03 m以内。

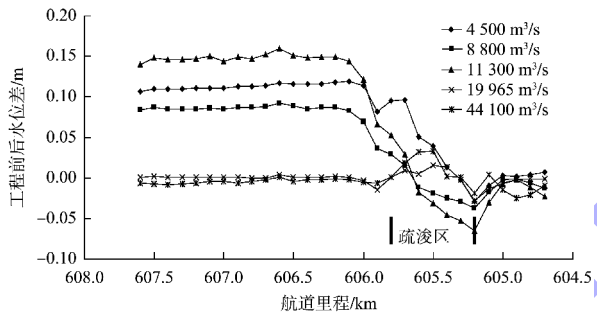
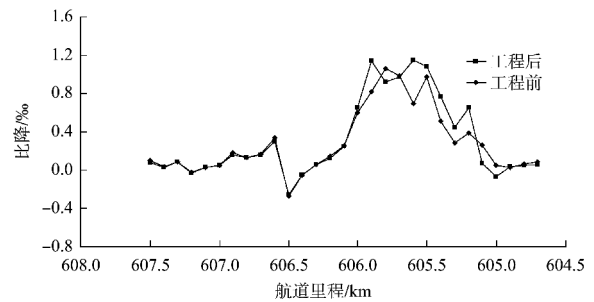


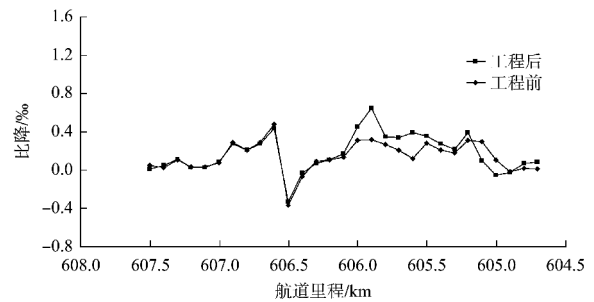
图6 各特征流量下右岸筑坝方案工程前后水位差

4.2 比降变化

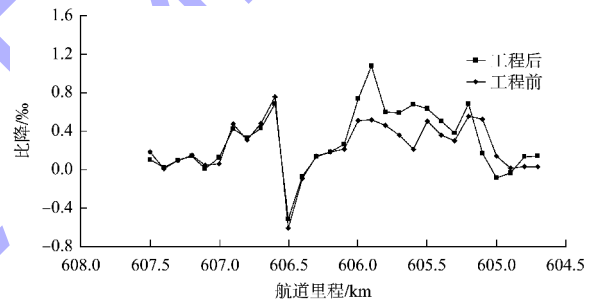
研究河段各级特征流量下, 工程前后河心局部比降变化见图7。1) $Q \leq 11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 因右岸受丁(顺)坝束水作用明显, 工程疏浚区河段局部比降均有所增大, 其中 $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时最大增幅为0.46‰、工程后局部最大比降为1.15‰; $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时比降增大幅度一般在0.2‰~0.5‰, 最大增幅为0.55‰, 工程后疏浚区局部最大比降为1.07‰; $Q=8\,800\text{ m}^3/\text{s}$ (设计水位上3.5 m消落期上包线对应流量)时, 比降增大幅度为0.1‰~0.3‰, 最大增幅为0.33‰, 工程后疏浚区局部最大比降为0.65‰。2) $Q \leq 11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 工程疏浚区以上河段因水位壅高, 河心局部比降总体略有减小, 各级流量下减小幅度在0.05‰以内。3) 整治工程对洪水期($Q \geq 19\,965\text{ m}^3/\text{s}$)的比降变化影响较小, 工程前后河心局部比降变化幅度在0.1‰以内。



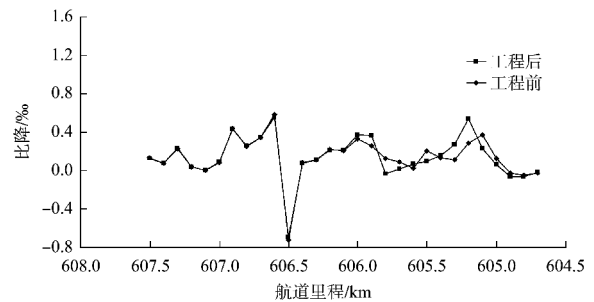
a) $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$



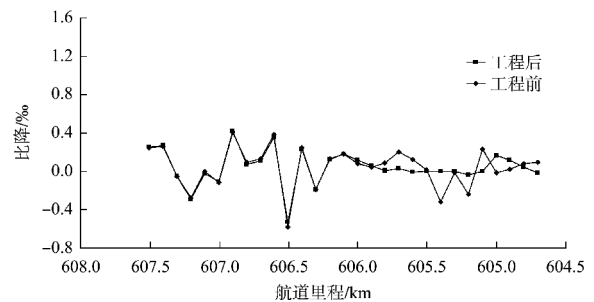
b) $Q=8\,800\text{ m}^3/\text{s}$



c) $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$



d) $Q=19\,965\text{ m}^3/\text{s}$



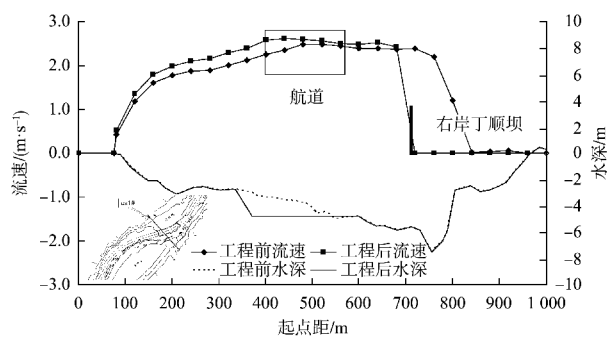
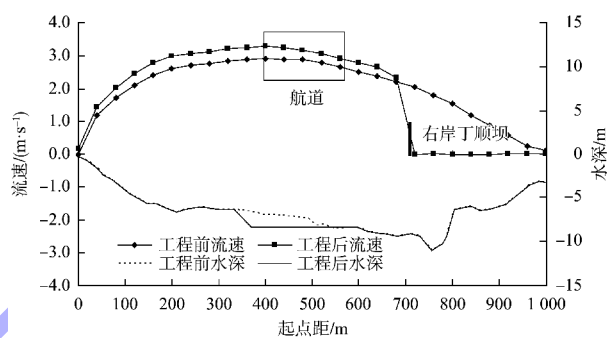
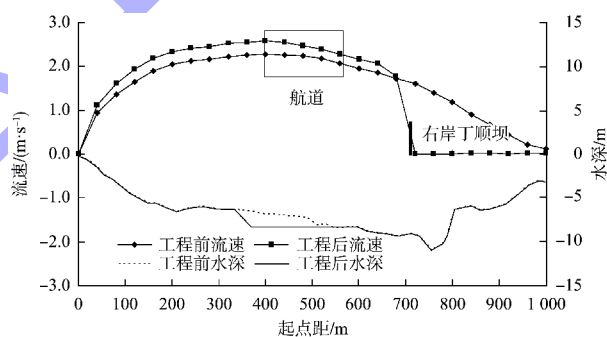
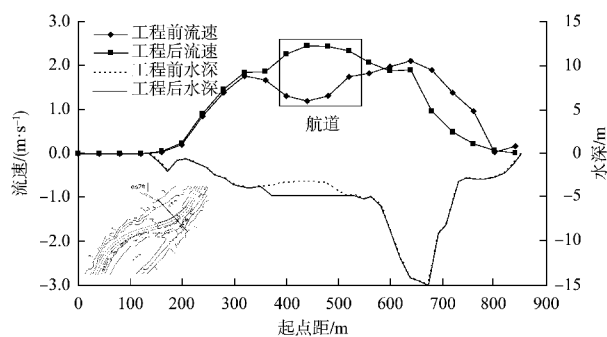
e) $Q=44\,100\text{ m}^3/\text{s}$

图7 各特征流量下右岸筑坝方案工程前后河心局部比降沿程变化

4.3 流速变化

1) $Q \leq 11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 受右侧凹岸整治建筑物影响, 与工程前相比, 水流自麻儿角附近开始左偏, 水流与航线夹角减小, 工程区航道内水流相对平顺。工程区下游附近 (605.2 km) 河段水流流向较工程前略向右偏, 至 3[#]丁坝下游约 500 m 处水流流态与工程前基本一致。各级流量下工程前后航道内水流最大偏角均出现在疏挖区上游 (606.2 km) 附近, 且随着流量的增大, 偏角逐渐减小, $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 最大偏角为 22° , $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 最大偏角为 16° 。2) $Q \leq 11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 因整治建筑物束窄影响, 工程区河段流速明显增加, $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时主流流速 $2.5 \sim 3.0\text{ m/s}$, 较工程前增加约 21%, $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时主流流速 $3.1 \sim 3.3\text{ m/s}$, 较工程前增加约 15%, $Q=8\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 工程河段主流流速 $2.4 \sim 2.6\text{ m/s}$, 较工程前增加约 14%。3) 整治工程对洪水期 ($Q \geq 19\,965\text{ m}^3/\text{s}$) 流场变化影响较小, 工程前后河道流场基本一致。4) 研究河段内涉水设施主要为位于 606.9 km 附近南坪坝左岸侧的取水趸船, 该设施距项目整治工程区相对较远, 整治工程对其影响较小。

图 8 为工程区代表断面流速分布对比。1[#]断面, $Q \leq 11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时因右岸丁顺坝束窄作用, 断面过流宽度较工程前明显减小, 丁顺坝以左断面流速普遍增加; $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 断面流速增加幅度一般在 $0.10 \sim 0.30\text{ m/s}$, 疏浚区流速增幅相对较大; $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 断面流速增加幅度相对均匀, 一般在 $0.30 \sim 0.40\text{ m/s}$; $Q=8\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 断面流速分布及增加趋势与 $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时基本一致, 但幅度略有减小, 一般在 $0.20 \sim 0.30\text{ m/s}$ 。

a) $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 1[#]断面b) $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 1[#]断面c) $Q=8\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 1[#]断面d) $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 2[#]断面

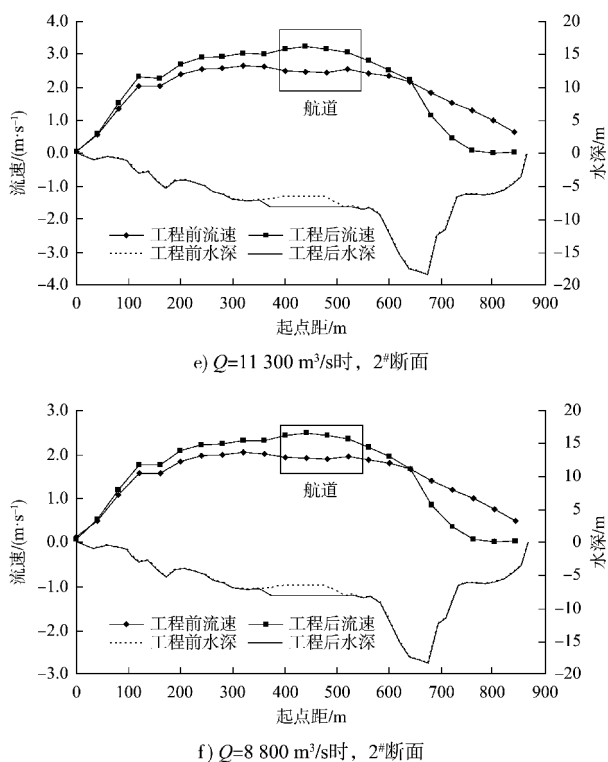


图8 右岸筑坝方案工程区代表断面流速分布对比

2[#]断面受右岸整治建筑物影响, 整治线以内的断面流速普遍增加, 且增加幅度明显大于1[#]断面。

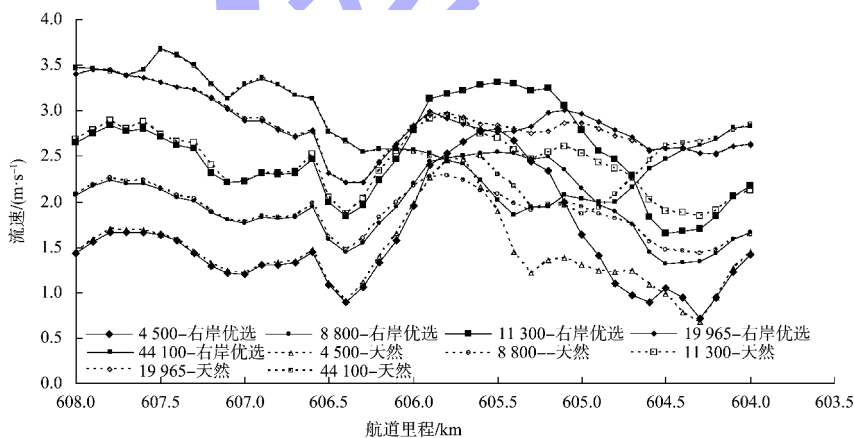


图9 右岸筑坝方案工程前后设计航中线流速沿程变化

5 结论

1) 整治方案实施后, 设计水位下浅滩疏浚区水位变幅较小, 工程区及附近河段水位有所壅高, 设计水位对应4500 m³/s流量下最大水位壅高值0.12 m, 改善了河段的通航水深条件, 航道水深满足设计要求。

2) 整治方案实施后, 挖槽区流速较工程前均有所增加。右岸筑坝方案 $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ (设计水

由于该断面位于3[#]丁坝下游附近, 受其掩护影响, 整治线以外的断面流速明显减小。 $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 整治线以内的流速增加幅度为0.40~1.20 m/s, 其中航中线附近流速增幅最大, 断面流速分布形式由工程前的M形调整为抛物线型; $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 断面流速增加幅度0.30~0.70 m/s, 同样是航中线附近流速增幅最大; $Q=8\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 断面流速分布及工程前后变化趋势与 $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时基本一致, 但幅度略有减小, 航中线附近流速最大增幅为0.57 m/s。

设计航中线流速沿程变化见图9。1) $Q\leq 11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 右岸整治建筑物的布置, 使航槽疏挖区流速明显增大; 其中 $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时航槽流速增幅10%~80%, 工程后航槽流速2.3~2.8 m/s; $Q=11\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时航槽流速增幅15%~28%, 工程航槽流速3.1~3.3 m/s; $Q=8\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 工程航槽流速2.4~2.5 m/s, 流速增幅15%~28%。

2) 整治工程对洪水期($Q\geq 19\,965\text{ m}^3/\text{s}$)航槽流速影响较小, 工程前后航道内流速无明显变化。

位以上3.5 m对应消落期下包线流量)时流速增幅15%~28%; $Q=4\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 时增幅达到10%~80%。整治水位对应流量下航槽流速增幅不小于15%, 且航槽内流速大于推移质泥沙起动流速。因此, 右岸筑坝工程实施后有利于挖槽稳定性。

3) 整治方案实施后, 浅滩段水力条件(流速-比降组合)满足设计船舶自航上滩水力指标的要求。因此, 工程实施后改善了浅滩水流条件。

参考文献:

- [1] 苏丽,王涛,刘陈,等.三峡库区上洛碛河段消落期维护疏浚方案[J].水运工程,2016(7):158-164.
- [2] 袁晶,许全喜,童辉.三峡水库蓄水运用以来库区泥沙淤积特性研究[J].水力发电学报,2013,32(2):139-145,174.
- [3] 肖毅,杨胜发,王涛,等.三峡水库蓄水初期库区航道条件分析[J].水运工程,2019(11):92-99,138.
- [4] 傅华,罗宏,黄超.三峡工程变动回水区上洛碛滩航道整治[J].水运工程,2005(6):53-56.
- [5] 苏丽,刘辛愉,汪剑桥,等.三峡水库变动回水区洛碛河段年内冲淤变化过程[J].水运工程,2018(4):115-121.
- [6] 刘洁,杨胜发,沈颖.长江上游水沙变化对三峡水库泥沙淤积的影响[J].泥沙研究,2019,44(6):33-39.
- [7] 肖毅,李文杰,杨胜发,等.长江上游卵石输移运动规律研究及数值模拟[J].水运工程,2019(2):93-100.
- [8] 邱喜,尹崇清.三峡水库运行后重庆河段泥沙淤积影响研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2008,27(6):1146-1150.
- [9] 雷淳宇,王誉寰.长江上游红灯碛滩采砂活动对航道维护的影响及治理措施[J].水运工程,2022(2):119-124,146.
- [10] 姚仕明,胡呈维,渠庚.三峡水库下游河道演变与生态治理研究进展[J].长江科学院院报,2021,38(10):16-26.
- [11] 郭磊城,朱磊,陈语,等.河口航道治理中导堤丁坝工程措施的影响探讨[J].泥沙研究,2021,46(4):54-59.
- [12] 喻紫竹.重庆长江航道广阳岛右汉段消落带治理措施[J].水运工程,2022(S2):95-98,118.
- [13] 杨琳,刘红,封学军,等.长江口南槽航道治理工程生态健康模糊评价[J].人民长江,2022,53(9):31-36,42.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 27 页)

参考文献:

- [1] 李泉源,汪承志,王多银.船舶撞击力对架空直立式码头主要构件影响程度分析[J].中国水运(下半月),2013,13(9):285-287.
- [2] 朱瑞虎,王宁,王启明,等.基于模态应变能的高桩码头桩基损伤识别研究[J].水道港口,2021,42(4):504-509,537.
- [3] 孙熙平,王元战,赵炳皓.环境激励下高桩码头模态参数识别及损伤诊断[J].海洋工程,2013,31(5):62-67.
- [4] SU J B, LUAN S L, ZHANG L M, et al. Partitioned genetic algorithm strategy for optimal sensor placement based on structure features of a high-piled wharf [J]. Structural control and health monitoring, 2018(11):1-12.
- [5] 葛浩,黄坤耀,朱鹏宇.高桩码头在船舶撞击力作用下的应变监测研究[J].水运工程,2015(1):63-69.
- [6] 刘强,倪天宇,王承强,等.船舶撞击力作用下高桩码头桩基承载力的试验[J].港口科技,2015(2):10-12,22.
- [7] 王元战,孙艺,黄长虹.高桩码头钢筋混凝土构件抗力随时间变化模型研究[C]//中国土木工程学会港口工程分会.港口工程分会技术交流文集.北京:人民交通出版社,2005:203-212.
- [8] 陈晓攀.船舶撞击作用下大水位差架空直立式码头桩身时变可靠度分析[D].重庆:重庆交通大学,2011.
- [9] 叶列平,林旭川,曲哲,等.基于广义结构刚度的构件重要性评价方法[J].建筑科学与工程学报,2010,27(1):1-6,20.
- [10] 周志华.机器学习 Machine learning[M].北京:清华大学出版社,2018.
- [11] CORTES C, VAPNIK V. Support-vector networks [J]. Machine learning, 1995, 20(3):273-297.
- [12] 赵洪波,冯夏庭.位移反分析的进化支持向量机研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(10):1618-1622.
- [13] PLATT J C. Microsoft research technical report: Sequential minimal optimization: a fast algorithm for training support vector machines [R/OL]. (1998-4-21) [2022-05-10]. <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/tr-98-14.pdf>.
- [14] SCHOLKOPF B, SUNG K K, BURGESS C J C, et al. Comparing support vector machines with Gaussian kernels to radial basis function classifiers [J]. IEEE transactions on signal processing, 1997, 45(11):2758-2765.

(本文编辑 赵娟)