



澜沧江曼厅大沙坝水道无名洲滩 采砂影响及对策

毕 竟¹, 马李伟¹, 马永全², 李梁喜²

(1. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147; 2. 云南省港航投资建设有限责任公司, 云南 昆明 650051)

摘要: 以澜沧江Ⅳ级航道建设工程曼厅大沙坝无名洲整治方案为依托, 阐述了滩险概况及碍航特征。针对采砂对弯道浅滩河段航道条件和航道整治的影响, 从水位、流速、比降、消滩指标等方面分析了采砂前后航道条件和原推荐方案预期效果的变化, 认为采砂对疏浚航槽的稳定和船舶自航上滩均会带来不利。提出了通过调整整治建筑物守护滩槽、束水攻沙、调整水面和比降分布等措施, 以达到改善航道上滩水力条件和维持疏浚后航槽稳定的目的。得出结论: 1) 采砂对浅滩河段航道条件和航道整治均会造成不利影响。2) 为保障航道条件和航道整治效果, 需要调整整治建筑布置形式, 解决新出现的碍航问题。

关键词: 航道整治; 航道条件; 消滩指标; 采砂

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)12-0120-08

Influence and countermeasures of sand mining in Wumingzhou shoal of Lancang River Mantingdashaba waterway

BI Jing¹, MA Li-wei¹, MA Yong-quan², LI Liang-xi²

(1. Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, Chongqing 401147, China;

2. Yunnan Port and Channel Investment Construction Co., Ltd., Kunming 650051, China)

Abstract: Based on the Mantingdashaba Wumingzhou regulation scheme of the Lancang River class IV waterway construction project, this paper expounds the general situation of waterway hazards and the characteristics of navigation obstruction. Considering the impact of sand mining on the waterway conditions and waterway regulation in the bend shoal reach, the changes of channel conditions before and after sand mining and the expected effect of the original recommended scheme are analyzed from the aspects of water level, velocity, gradient, beach elimination index, etc. It is believed that sand mining will bring adverse effects on the stability of dredging navigation channel and the ship's self-propulsion on shoal the beach. Some measures are proposed, such as adjusting the regulation buildings to guard the navigation channel, harnessing water to attack sand, adjusting water surface and gradient distribution, etc., in order to improve the hydraulic condition of the waterway and maintain the stability of the navigation channel after dredging. The conclusions are as follows: 1) Sand mining will have adverse effects on the waterway conditions and waterway regulation of the shoal reach. 2) To ensure the waterway conditions and the effect of waterway regulation, it is necessary to adjust the layout of regulation buildings to solve the new problems of navigation obstruction.

Keywords: waterway regulation; waterway condition; parameter of rapids abating; sand mining

收稿日期: 2022-04-13

作者简介: 毕竟(1985—), 男, 工程师, 从事港口与航道工程设计工作。

澜沧江 244 界碑至临沧港Ⅳ级航道建设工程,是澜沧江从现有的Ⅴ级航道提升至Ⅳ级航道的航道等级提升工程。工程建设内容包含航道整治、码头、航标、VHF(甚高频)通信系统工程等,其中航道整治对 43 个滩险进行综合治理^[1],而曼厅大沙坝是其中治理难度和建设规模最大的一个滩险。该滩原为游荡型浅滩,历史上经过多次整治,现为枯水期弯道浅滩。Ⅳ级航道建设过程中,采取疏浚与筑坝相结合的工程措施,对浅区进行疏浚,同时抛筑丁坝、顺坝等整治建筑物束水攻沙,保障疏浚后航槽的稳定。建设工程于 2016 年启动,原施工图推荐方案在充分分析滩险河演变化及碍航特征的情况下,通过物理模型对方案进行优化,提出了科学合理的推荐方案。然而,由于人工采砂的原因,曼厅大沙坝无名洲滩段地形发生了变化,边滩大幅后退和挖深,河段边界条件改变,由此引发原施工图推荐方案是否能够达到预期整治效果的疑问。近几十年来,极端自然条件与人类活动严重影响河床变形,人类活动导致的扰动往往会加速改变自然的过程和趋势,使得河道调整的时间尺度缩短^[2]。针对采砂对航道条件的影响,过往的研究表明需要通过新一轮的整治才能满足通航要求^[3-6],笔者通过研究滩险在采砂前后水面线、流速、比降、船舶上滩能力等指标的变化,分析了采砂对航道条件的影响,同时采用模型研究的手段提出保障整治效果的对策措施,为后续类似问题的

处理提供参考。

1 滩险概况及碍航特征

曼厅大沙坝上起橄榄坝渡口,下至三道拐峡谷,全长 9 km,滩险平面上呈藕节状,由 3 个连续的大肚子河段组成,上段无名洲、中段曼厅洲、下段曼龙洲,见图 1。受采砂影响最为严重的是河段进口段的无名洲滩,滩险长约 3 km,为一弯曲河段,左岸为凸岸,有无名洲洲滩,洲滩原顶部高程在 524 m。在Ⅳ级航道建设过程中,碍航问题主要有两个方面:一是航道内部分位置不满足Ⅳ级航道尺度要求;二是无名洲边滩有所破坏,良好的滩槽格局向不利方向发展。针对以上碍航问题,Ⅳ级航道原施工图采用疏浚浅区、守护无名洲洲滩的方案进行治理,保障航道尺度满足要求,同时航槽能够保障稳定。但是,从 2016 年 4 月项目启动至 2019 年 3 月,3 年时间无名洲边滩出现了大幅的变化,主要体现在以下 4 个方面:1)采砂坑波及整个无名洲边滩,范围长达 1 270 m、最宽达 340 m,普遍采深在 5~10 m,局部采深达到 10~15 m,见图 2;2)断面形态发生极大变化,采砂后深泓向左摆动普遍超过 200 m,最大达到 370 m,深泓降低大多超过 5 m,最大降低达 12.6 m;3)无名洲上段航槽出现 0.2~1.0 m 的普遍淤积,对航槽稳定不利;4)边滩首部突嘴和后侧平台出现 2~5 m 的抬升,应该为采砂的临时堆积体。

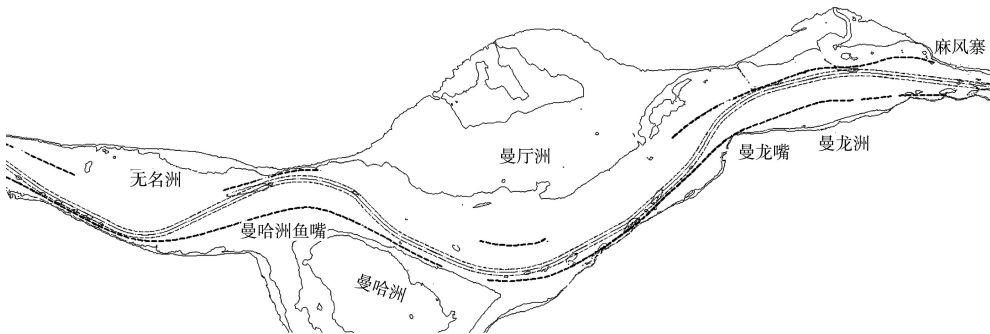


图 1 曼厅大沙坝河势

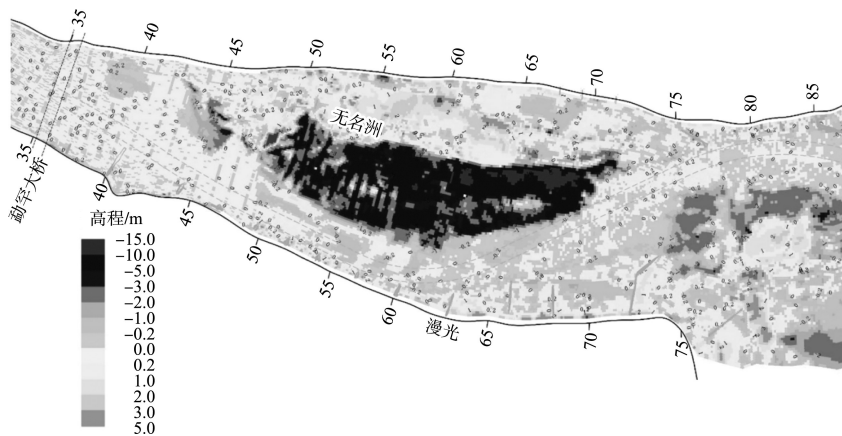


图 2 2016 年 4 月—2019 年 3 月 无名洲河段河床变化

2 原推荐方案及预期整治效果

无名洲滩段为弯道沙卵石浅滩，原推荐方案通过疏浚与筑坝相结合的方式进行治理。整治水位采用两级控制，对应的整治流量为 1 620、2 330 m³/s，水位分别为设计最低通航水位以上 1 m(中水位)和 2 m(高水位)，中水位整治线宽度取 200~250 m、高水位整治线宽度取 260~310 m。无名洲工程具体布置为(图 3)：1) 按照航道尺度要求的基本尺度布置无名洲疏浚区，疏浚宽度

50 m，疏浚底部高程为设计最低通航水位下 2.8 m，疏浚边坡 1:3，底坡采用平坡，施工超深 0.6 m、超宽 4 m，疏浚工程量 6.85 万 m³；2) 左岸布置由 W1 顺坝和 W2~W5 丁坝组成的梳齿坝，高程采用坝头为设计最低通航水位以上 1 m、拐点和坝根为设计最低通航水位以上 2 m 的两级控制；3) 右岸布置 W6 丁顺坝，坝头高程为设计最低通航水位以上 1 m、拐点高程为设计最低通航水位以上 2 m，坝根接已建的 24[#]坝。

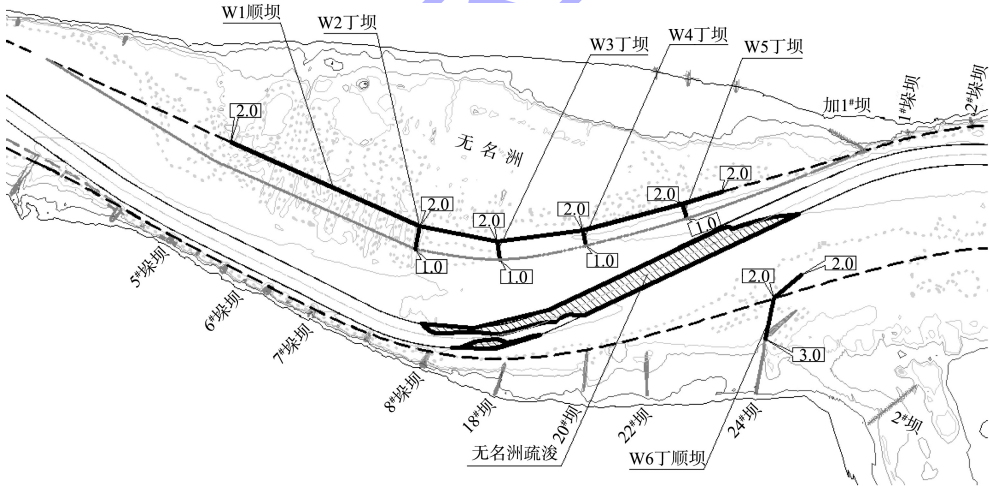


图 3 无名洲原施工推荐方案 (单位: m)

根据模型研究结论，通过以上整治后无名洲滩段航道尺度达到Ⅳ级航道要求，布置整治建筑物后滩槽格局得以稳定，并起到了束水攻沙的作用，疏浚后的航槽保持稳定。

3 采砂影响

3.1 对现有航道条件的影响

3.1.1 对航槽水位的影响

根据实测水文资料，比较采砂前后的水位，

认为其变化规律为采砂坑下段各级流量水位微有升高，采砂坑上段中、枯水水位明显下降，洪水位变化不大，而凸嘴上段则出现不同程度的升高(可能是突嘴地形有所抬升和推进)。各级流量下水位变化见图 4，突嘴附近水面降落最大，800 m³/s 时最大为 0.35 m，1 620 m³/s 时最大为 0.19 m，洪水基本没有降落。在凸嘴上游，枯水、中水水位升高约 0.15~0.20 m，洪水升高约 0.30 m。

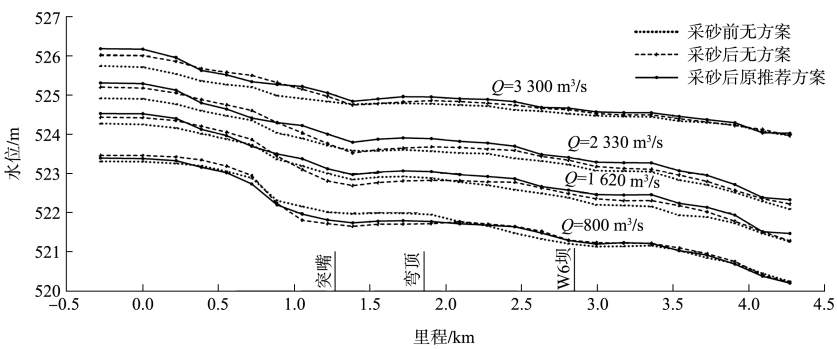


图 4 采砂前后水位变化

3.1.2 对流速的影响

对比采砂前后的主流流线可以看出, 在无名滩下段(疏浚区)枯水、中水主流摆动明显, 长约

900 m, 最大横向摆幅(宽)约 200 m, 对航槽稳定不利, 见图 5。

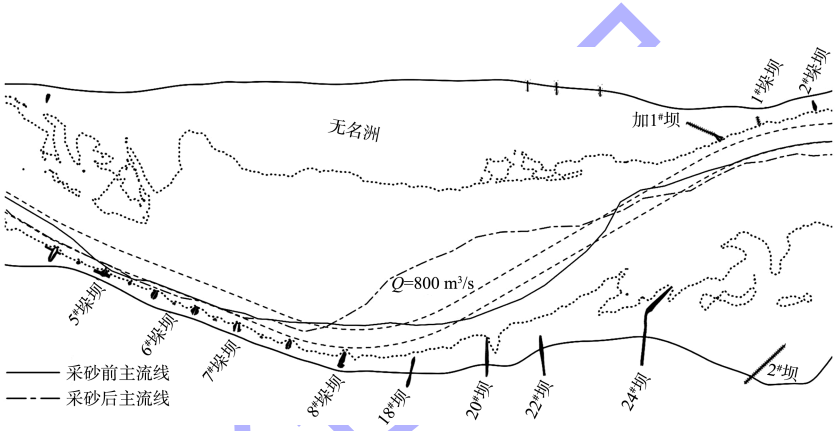


图 5 采砂前后主流流线变化

对比采砂前后航槽测点平均流速, 枯水时, 采砂后突嘴上游流速明显增加, 增幅 0.3~0.6 m/s; 突嘴至弯顶间变化不大, 而弯顶至 W6 坝之间流速大幅下降, 最大减小了 1.69 m/s; W6 坝下游流速微有减小, 减小值一般为 0.1~0.2 m/s, 见图 6。

流量下比降均不大。采砂后由于突嘴下游水面降落, 其上游水面抬升, 引起比降增加。采砂前最大比降为 3.45‰, 采砂后最大比降增加至 4.26‰, 增幅为 0.81‰, 增加了船舶上行难度。

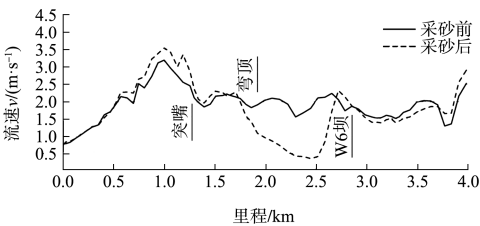
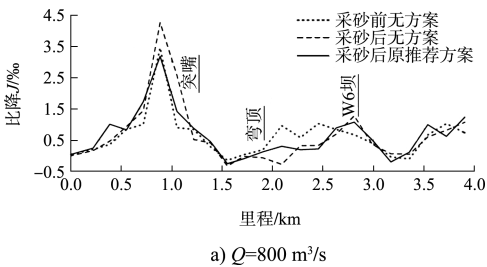


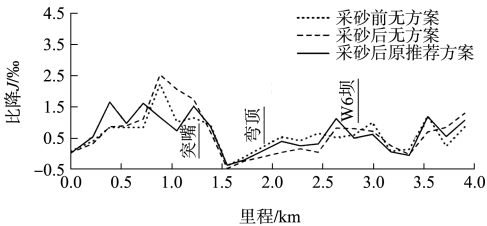
图 6 采砂前后 $Q=800\text{ m}^3/\text{s}$ 航槽内平均流速变化

3.1.3 对比降的影响

对比各级流向下采砂前后的水面比降(图 7)可以看出, 滩段内有一处陡比降位于突嘴上口, 对通航可能存在影响, 主要体现在枯水期, 其它



a) $Q=800\text{ m}^3/\text{s}$



b) $Q=1\ 620\text{ m}^3/\text{s}$

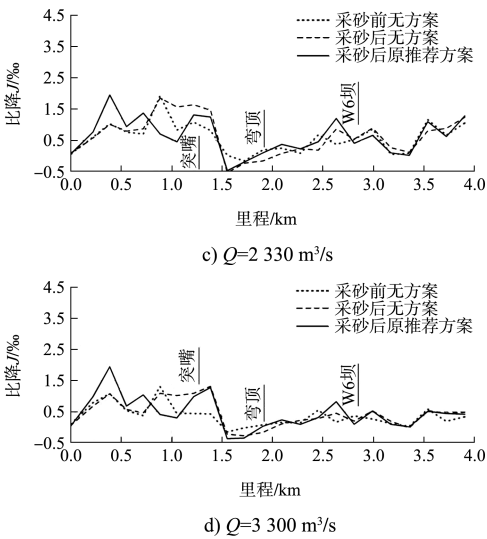


图 7 采砂前后水面比降对比

3.1.4 对船舶上滩能力的影响

根据已有研究成果，500 t 代表船舶自航上滩的条件可用下式表达^[7]：

$$E = v + 0.15J < E_c \tag{1}$$

式中： E 为消滩指标； v 为表面流速 (m/s)； J 为水位比降 (%)；系数 0.15 为比降的当量流速，表示 1‰ 的比降产生的坡降阻力与 0.15 m/s 的流速形成的水流阻力相当； E_c 为自航上滩的临界值， $E_c = 4.4$ 。如果式 (1) 成立，则滩段消滩，船舶可自航上滩；否则滩段成滩，船舶不能自航上滩。

根据以上指标，对本滩各级流量下船舶上滩能力进行了分析，在突嘴及其附近河段，各级流量 E_{\max} 均明显增加，最大增加值在 0.8~1.1，见图 8。除洪水期流量 3 300 m³/s 外，其它 3 级流量均出现了 $E_{\max} > 4.4$ 的情况，船舶上行难度增加。

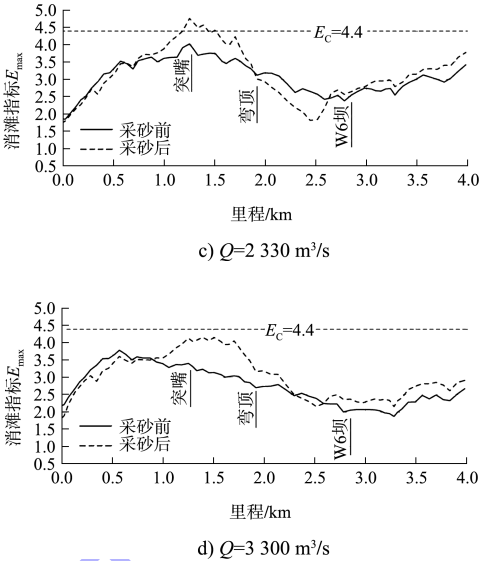
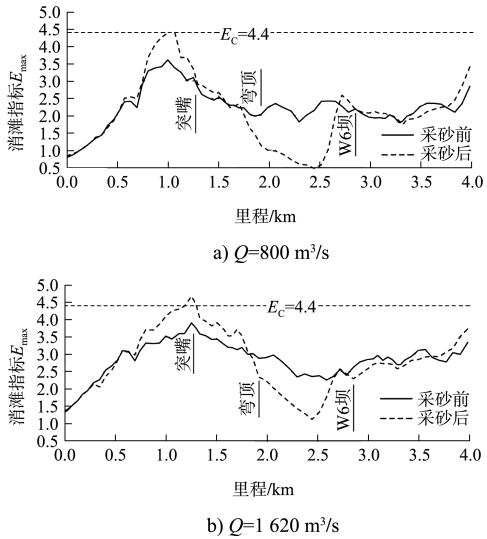


图 8 采砂前后航槽消滩指标变化

3.1.5 小结

分析采砂前后水位、流速、比降和船舶上滩能力等可知，总体上采砂对航道条件带来了一定的不利影响，主要体现在两个方面：一是弯顶下段，就是需要疏浚的浅区位置，由于设计航槽内的流速大幅下降，造成该段河床底沙输移能力不足，致使对航道深度的保持和疏浚后航槽的稳定性不利；二是突嘴卡口位置流速和比降均有明显的增加，造成消滩指标数值超过自航上滩的临界值，即船舶上行难度增加。

3.2 对原推荐方案的影响

目前，由于采砂造成地形的大幅变化，预期整治效果未定，因此在施工前对原方案在采砂后地形下的整治效果进行分析，以确定原整治方案是否可行或者需要采取的措施。从模型研究成果来看，采砂后地形条件下，原推荐方案整治效果如下：

- 1) 水面方面。原施工推荐方案对卡口水位抬升仍有效果，水面具有明显的变化，见图 4。变化规律主要体现在突嘴之上水位降落、之下则水位升高。上部水面最大降落值各级流量差异不大，为 0.16~0.20 m；上段采砂坑升高最大是两级整治流量，最大升高值为 0.31、0.28 m；枯水和洪水流量水位升高不大，最大为 0.16 m。
- 2) 流速方面。原推荐方案仍有一定的整治效

果, 尤其体现在无名洲下段的束水和上游的壅水作用。枯水期, 弯顶下段航槽流速增加, 最大增幅达到 0.90 m/s, 但对突嘴上游的流速影响不大。中水期, 弯顶下段航槽流速增加也较为明显, 最大增值达 0.73 m/s, 且对突嘴上游壅水作用明显, 最大流速减小了约 0.50 m/s。虽然工程后航槽内的流速增加明显, 对航槽稳定有利, 但比采砂前的流速还是小了许多, 同时, 对比采砂前、后原推荐方案的流速, 在无名洲下段, 采砂后航槽均速小于采砂前较多, 远未达到采砂前的整治效果, 见图 9。

3) 比降方面。原推荐方案仍有一定的整治效果, 由于突嘴段水位上落下降, 局部比降明显减缓。枯水期从工程前的 4.26‰降到了 3.18‰, 降幅 1.08‰, 基本恢复到采砂前无方案情况; 中水从工程前的 2.54‰降到了 1.53‰, 降幅 1.01‰, 已经小于采砂前无方案情况, 见图 7。

4) 船舶航行条件方面。除洪水期外, 其它 3 级流量在突嘴段的上滩指标均有减小, 最大降幅为 0.42~0.84。因此, 由于整治工程的壅水作用, 突嘴段流速和比降减小, 上滩难度明显降低。

综上, 在采砂后的地形条件下, 原推荐方案仍具有一定的整治效果, 但远未达到采砂前原推荐方案的整治作用, 原推荐方案可行性较差, 无名滩卡口船舶上行难度增加, 无名滩下段疏浚后航槽的稳定性堪忧。鉴于此, 由于采砂造成的影响, 工程正式实施前必须对原推荐整治方案进行优化。

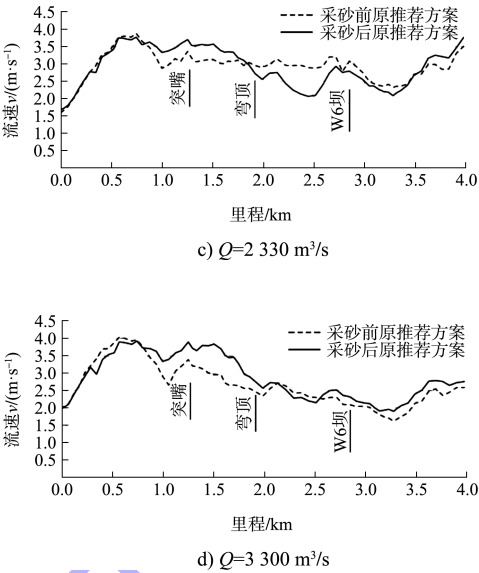
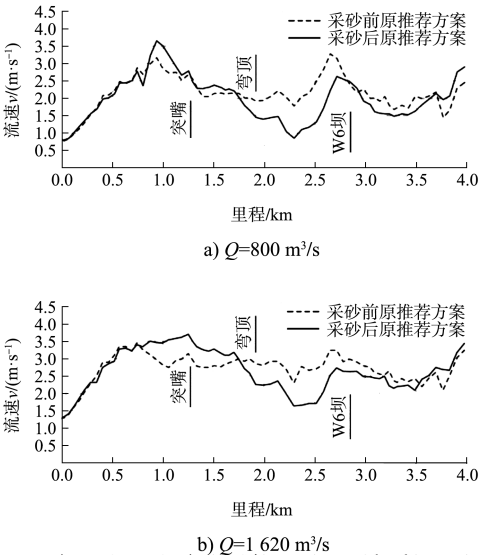


图 9 原推荐方案采砂前、后航槽平均流速的变化

4 对策措施

针对采砂所造成的疏浚区航槽稳定性堪忧、无名滩卡口船舶上行难度大等问题, 通过模型试验等方法, 从本滩浅滩碍航的角度, 采用工程措施提高无名滩下段航槽流速, 尽量增加航槽的稳定性, 同时尽量壅高卡口以下水位, 缓解船舶在此上行的难度。

方案优化的思路是将原整治方案 W1~W5 组成的梳齿坝改为丁坝群, 其中两级整治线宽度、整治水位不变, 坝头位置差异不大。通过模型试验优化后, 整治方案具体工程布置为(图 10): 1)取消原 W1 顺坝和 W2~W5 丁坝组成的梳齿坝; 2)在原 W1 顺坝坝根位置抛筑 W1 丁顺坝, 采用两级整治水位, 坝头在设计最低通航水位上 1 m、坝根 2 m; 3)在原 W2、W3、W4 和 W5 位置附近先抛筑垫层, 其上抛筑 W3、W4、W5、W7 共 4 道丁坝, 垫层顶高为设计最低通航水位下 3.0 m, W3~W5 均采用 3 级整治水位, W3 坝头设计最低通航水位下 2.5 m, 中间设计最低通航水位上 1.0 m、根部 2.0 m, W4 和 W5 坝头设计最低通航水位 0 m, 中间设计最低通航水位上 1.0 m、根部 2.0 m, W7 采用两级整治水位, 头部设计最低通航水位上 1.0 m、根部 2.0 m, W2 为纯垫层; 4)右岸 W6 方案不变。



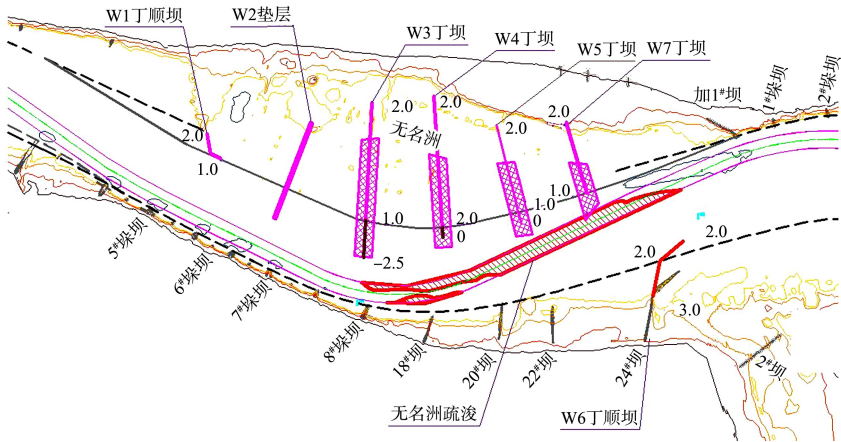


图 10 无名洲滩险整治方案布置 (单位: m)

分析表明方案实施后无名滩滩形能得到有效控制、保障良好的滩槽格局。模型研究表明,采砂后推荐方案(即采砂后修改方案 4)实施后,卡口位置水位明显提高、流速减小、水面比降显著降低、船舶在该处的上滩难度明显减小,见图 11。另一方面,根据模型试验采砂后推荐方案实测的流速表明,方案实施后,除洪水期外,疏浚区航槽内流速最大增加达 0.8 m/s,与采砂前原推荐方案整治效果相当,同时突嘴位置的流速也大幅减小至采砂前原推荐方案附近。以上方案实施后,航槽内船舶能实现自航上滩,同时疏浚后航槽保持稳定,基本达到了采砂前方案的整治效果。目前,该工程整治方案已经基本实施完成,从现场的实际效果来看,枯水期,流量在 1 000 m³/s 左右时, W2、W3 整治建筑物(卡口位置)水流流速明显减缓,船舶上滩难度减小,而疏浚区受 W3~W7 丁坝群的作用,流速有所增加,有利于疏浚后航槽的稳定。

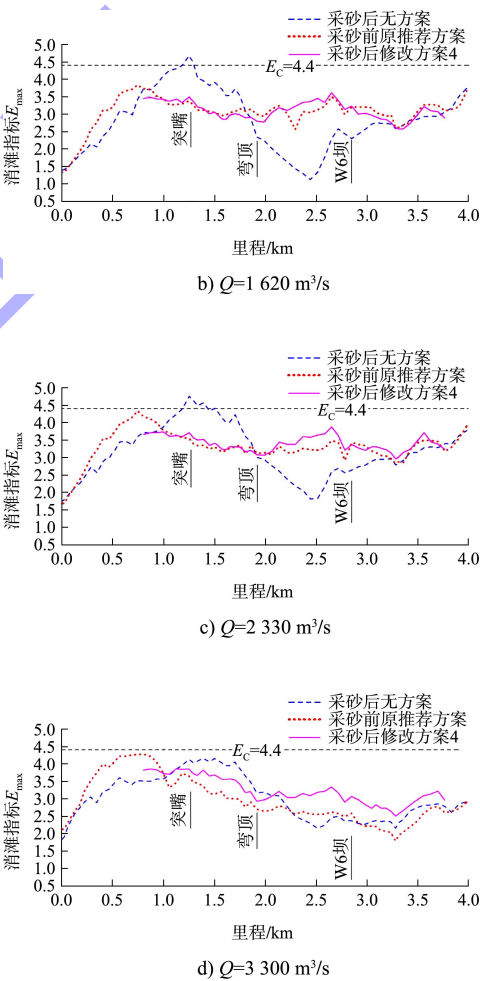
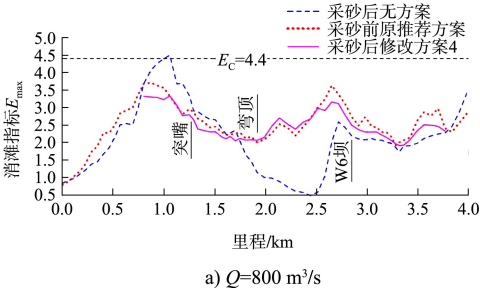


图 11 滩槽最大消滩指标沿程变化

5 结论

1)采砂破坏原有的滩槽格局,致使航道疏浚区航槽稳定堪忧,航槽内出现淤浅。



2)采砂对原航道条件造成不利影响,引起航槽内流速、比降等分布变化,由此造成滩段局部的上滩困难。

3)采砂后航道条件的变化造成原有航道整治方案失去效果,整治建筑物功能得不到有效发挥。

4)针对采砂造成的不利影响,采用优化整治建筑物的布置形式、稳定滩槽格局、调整流速和水面分布等措施,能够基本恢复原有的航道整治效果,并保障滩险的通航条件。

参考文献:

[1] 长江重庆航运工程勘察设计院.澜沧江 244 界碑至临沧港四级航道建设工程施工图设计[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2018.

[2] 赵维阳, 杨云平, 张华庆, 等. 三峡大坝下游近坝段沙质河床形态调整及洲滩联动演变关系[J]. 水科学进展, 2020, 31(6): 862-874.

[3] 赵佳源, 张春泽, 谢灵运, 等. 东江中游采砂对航道整治的影响[J]. 水运工程, 2021(6): 104-109, 114.

[4] 邓晓丽, 李文全, 海涛, 等. 长江中游武穴水道航道整治与采砂方案试验研究[J]. 水运工程, 2012(8): 125-129, 135.

[5] 牛万芬, 陈明栋, 黄海津. 江河采砂对航道条件的影响及对策[J]. 水运工程, 2016(8): 106-111.

[6] 许乐华, 裴金林, 李赞. 长江澄通河段采砂对航道及通航安全的影响[J]. 水运工程, 2014(4): 111-115, 120.

[7] 重庆交通大学. 澜沧江 244 界碑至临沧港四级航道建设工程曼厅大沙坝无名洲滩段方案优化物理模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 71 页)

由对比结果可看出,随着防波堤长度减小,1#泊位的年(连续)可作业时间随之减少,但减小幅度不大;但由于防波堤堤头附近天然水深较大(8~10 m),该段防波堤造价占比巨大,防波堤长度缩减后,其总造价大幅下降。当防波堤建设长度为 521 m 时,虽然其年连续可作业时间距离目标略差(少 1 d),但造价成功控制在 1 亿元以内。最终确定 521 m 的防波堤建设方案为工程的推荐方案。

5 结语

1)结合粤东地区某码头高程,根据波浪数值模拟的研究成果,建立波浪观测点与码头前沿的波要素转换关系,得到码头前沿的波浪统计数据。对于尚未开展专题研究的前期工程,也可根据规范推荐的波浪折算系数,粗略地建立转换关系。

2)通过码头前沿的波浪统计数据与设计船型的作业标准对比,得出相应船型的年(连续)可作业时间,为防波堤设计长度的比选提供关键数据,并根据业主提出的控制指标,完成防波堤方案的优化设计。

3)近年来随着我国沿海岸线趋近饱和以及国家发展政策的调整,港口的选址逐渐考虑自然条件相对恶劣的区域,防波堤的建设发挥着越来越关键的作用。本文通过深入研究及探讨年可作业

时间这项关键指标,以期为类似项目的优化设计及方案决策提供参考。

参考文献:

[1] 中交四航局港湾工程设计院有限公司.潮州港金狮湾港区潮州亚太燃油仓储有限公司公共通用码头(配送基地)项目工程可行性研究报告[R].广州: 中交四航局港湾工程设计院有限公司, 2020.

[2] 查恩尧, 李静怡, 黎维祥, 等.防波堤建设必要性的一种新型研究思路[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(10): 169-171.

[3] 吴昕炜, 刘文白, 刘特成.波浪在近岸水域传播变形特性数值模拟研究[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(33): 126-131.

[4] 张军, 孙亚斌, 钟雄华.国内外港口工作可作业时间分析方法[J]. 中国港湾建设, 2021, 41(4): 15-18.

[5] 宋伟华, 张军, 张勇, 等.码头可作业率的全过程分析法[J]. 水运工程, 2021(2): 44-47.

[6] 沈文君, 许可, 陈汉宝, 等.波浪对某沿海码头作业天数影响分析研究[J]. 水道港口, 2020, 41(5): 545-549, 563.

[7] 河海大学. 潮州港益海码头项目波浪整体数学模型计算报告[R]. 南京: 河海大学, 2019.

[8] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014. (本文编辑 王璁)