



长江上游莲石滩航道生态整治方案

曾 涛, 范鹏朋, 陈 希

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 20 世纪以来, 长江上游频繁的采砂活动造成河道地形变化剧烈, 采砂河段航道内泥沙淤积威胁通航安全。以长江上游莲石滩为例, 在综合分析水沙条件的基础上, 着重分析了洲滩破坏后河道地形及航道条件的变化, 结合外部调研情况, 针对碍航特性提出了治理方案。除通过疏浚、清礁保障航道水深外, 采用筑坝与回填固滩相结合的形式恢复关刀碛心滩高大完整的形态以提高中洪水束水能力, 并采用清礁石料、生态鱼巢砖等构建生态涵养区以营造良好的生境。模型研究表明生态整治方案效果较好, 可为类似滩险的治理提供一定参考。

关键词: 长江上游; 航道生态整治; 莲石滩; 碍航特性

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)09-0141-06

Ecological channel regulation of Lianshitan in upper Yangtze River

ZENG Tao, FAN Peng-peng, CHEN Xi

(Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, Chongqing 401147, China)

Abstract: Since the 20th century, the frequent sand mining activities in the upper Yangtze River have caused dramatic changes in the river topography, and the sediment deposition in the channel of the sand mining reaches has threatened navigation safety. Taking Lianshitan in the upper Yangtze River as an example, this study comprehensively analyzes its water and sediment conditions and focuses on the changes in river topography and channel conditions after the destruction of the islands and bars. Then, it puts forward a regulation scheme according to the navigation-obstructing characteristics and the external investigation. In addition to dredging and reef clearing to ensure the channel depth, damming and shoal consolidation with backfilling are combined to restore the high and complete form of the Guandaoqi central bar and thereby improve the flow-converging capacity for medium floods. Moreover, the reef clearing stone and ecological fish nest bricks are used to build an ecological conservation area and ultimately create a pleasant ecological environment. The model study shows that the proposed ecological regulation scheme is effective and provides a reference for the regulation of similar shoals.

Keywords: the upper Yangtze River; ecological channel regulation; Lianshitan; navigation-obstructing characteristic

20 世纪以来, 长江上游采砂活动频繁, 据统计, 宜宾—涪陵河段因挖采造成河道地形变化量约 3.95 亿 m³[1]; 且采砂活动造成局部过水断面增大、流速减缓从而引起采砂河段泥沙淤积[2], 威胁通航安全; 加之金沙江上游枢纽运行后来沙大量减少[3], 前期破坏的滩面基本无法恢复至原有

形态[4], 甚至残存的洲滩冲刷加剧致使航道条件进一步恶化。为保证通航安全, 开展治理十分必要。本文以长江上游羊石盘—上白沙河段中的莲石滩为例, 结合近年水沙条件及河道地形变化, 针对鱼鳅石段弯窄浅、关刀碛段急浅的碍航特性[5-6], 立足于“绿色发展、生态优先”, 提出生

态航道整治方案，并采用模型验证其整治效果，以期为类似滩险的治理提供参考。

1 滩险概况

莲石滩(长江上游航道里程 838~834 km)是著名的复杂滩险，兼具弯、窄、急、浅等碍航特性，目前航道尺度为 2.9 m×50 m×560 m(水深×航宽×转弯半径)，为枯水期通航控制河段^[7]。上段鱼鳅石暗礁横卧江中，与关刀碛头部水下暗礁部分连

成一片；下段关刀碛心滩纵卧，将河道分为左右两汉，左汉为枯水通航主槽，坡陡流急。江中卵石碛坝关刀碛长约 3 km、最宽处约 500 m，挖沙采石等人为活动使其 80% 以上滩体遭受破坏，见图 1a)；近年心滩进一步冲刷，导致关刀碛中水期末水能力进一步减弱，航槽内出现淤积，且枯水期坡陡流急的现象愈加突出，威胁通航安全，急需进行治理，见图 1b)。

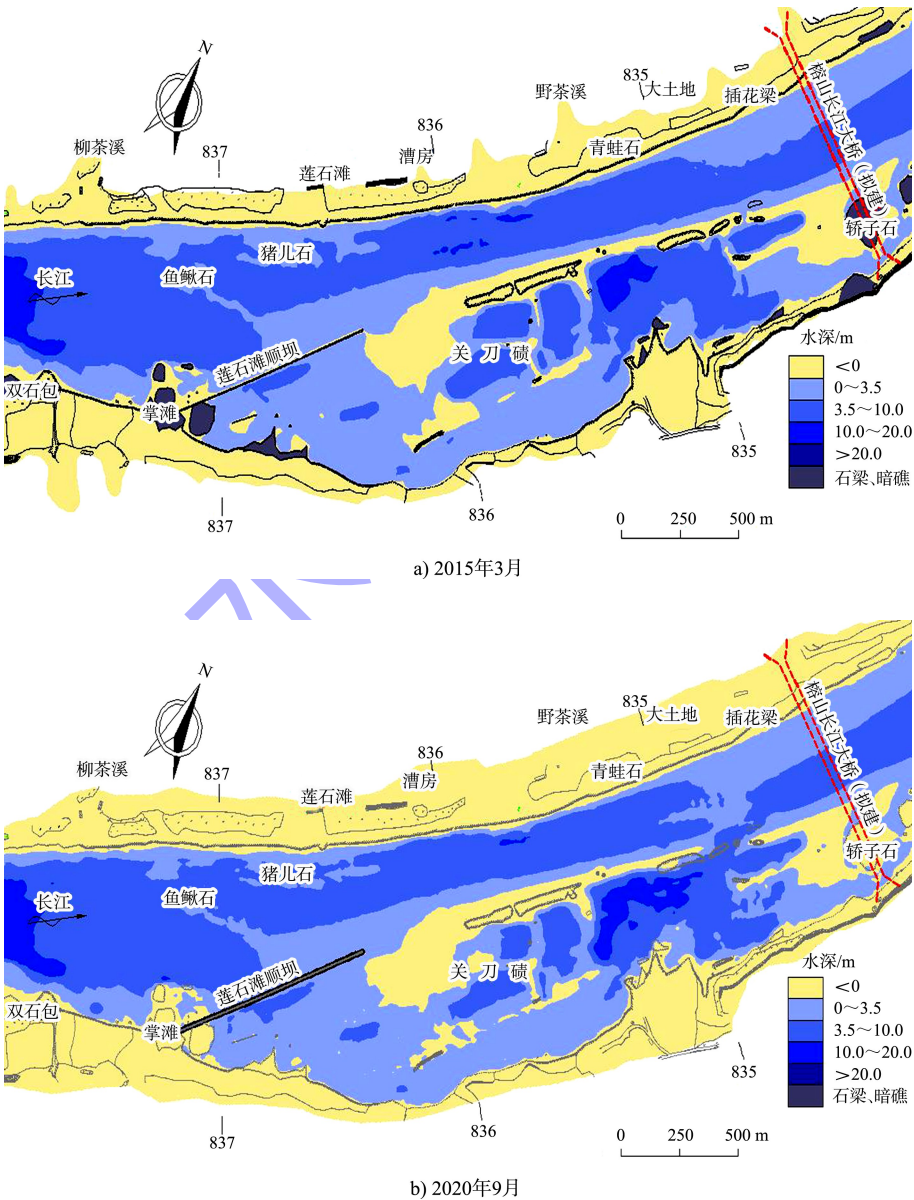


图 1 莲石滩河势

2 朱沱水文站近年水沙特性

朱沱水文站位于莲石滩下游约 30 km 处，其

间无支流汇入，该站资料丰富，以此为控制站分析莲石滩近年水沙特性。如图 2 所示，从近十余

年朱沱水文站年径流量、年输沙量累计变化过程来看,金沙江等上游枢纽运行前后年径流量累计过程呈直线分布,表示年径流量未受蓄水影响,多年来没有明显增加或减小,在多年平均值附近波动;而年输沙量累计过程线在 2012 年 10 月向家坝下闸蓄水后明显变缓,年均输沙量较蓄水前多年平均值减小 86%左右。

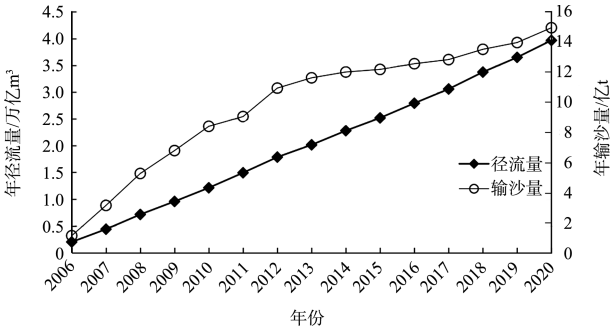


图 2 朱沱水文站累计年径流量、输沙量变化过程

3 莲石滩河床演变

由图 3 莲石滩近年 0 m 等深线变化可看出:2007 年关刀碛心滩高大完整;随后遭受大肆开挖,2015 年心滩 0 m 等深线仅剩左缘部位且下段有 6 m 长的小豁口;心滩破坏后其稳定性大幅降低,近几年心滩冲刷加剧,2020 年下段缺口冲刷至 180 m。

从图 4 中的 3.5 m 等深线可看出:鱼鳅石暗礁左侧 3.5 m 等深线贯通,但宽度仅 20 m 左右,暗礁与关刀碛水下暗礁连成一片,该部位 3.5 m 等深线常年不贯通。关刀碛心滩开挖后,中洪水期束水能力减弱,且心滩左缘下段近年冲刷明显,滩体内深坑与下深槽 3.5 m 等深线相连;航槽内出现明显淤积,2020 年大土地一线 3.5 m 等深线断开长度约 385 m,航槽内最小水深约 3.3 m,较 2015 年减小 0.4 m。

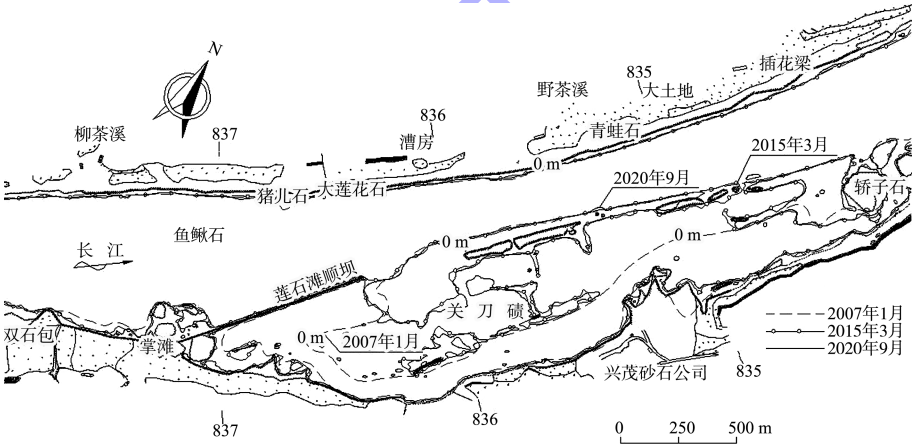


图 3 莲石滩近年 0 m 等深线变化

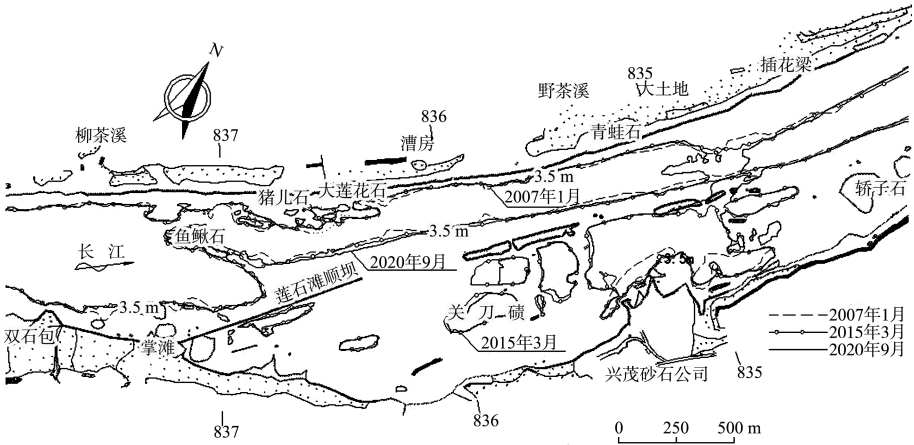


图 4 莲石滩近年 3.5 m 等深线变化

从图 5 中的 2015—2020 年河床冲淤变化可看出，位于推移质输沙带卵石停留区的关刀碛心滩上段局部淤积较明显。关刀碛心滩下段左缘缺口近年冲刷加剧，形成了一长 300 m、宽 60 m、

最大冲深 7 m 的冲刷坑，枯水期主槽分流减小、冲刷不足，而中水期心滩的束水冲沙能力也大幅减弱，导致大土地一线淤积厚度多在 0.5 m 左右。

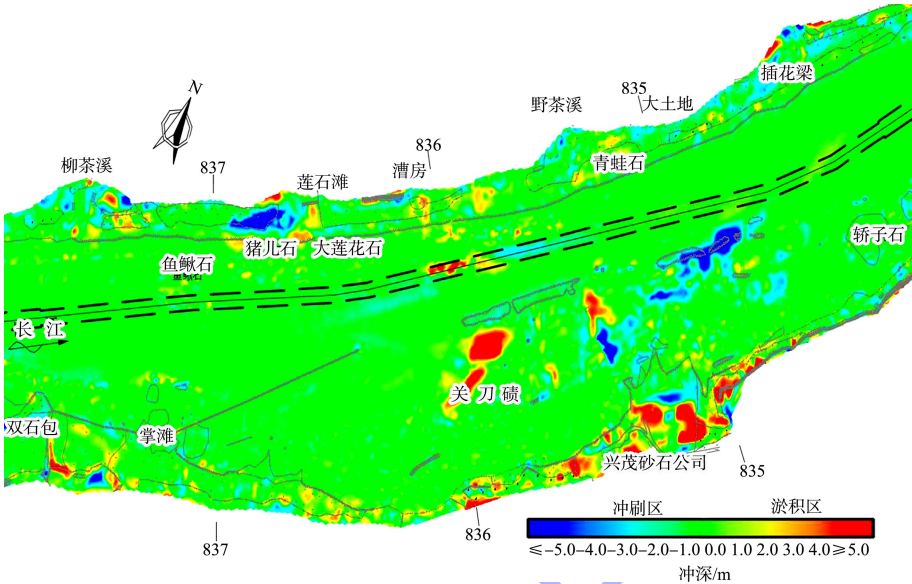


图 5 2015—2020 年莲石滩河床冲淤变化

4 碍航特性及滩险成因

莲石滩上段由于鱼鳅石暗礁潜于江中与关刀碛水下暗碛部分连成一片，3.5 m 等深线年间不能贯通，航道既弯又浅。中水控制较弱、流速分布均匀无法集中冲刷是鱼鳅石段出浅的主要原因。

下段受关刀碛心滩挤压，主航槽无狭窄且明显的深槽，枯水期过水断面面积较小，比降、流速均较大，船舶上水较困难，河槽窄浅是关刀碛段成为枯水急滩的关键原因。此外，关刀碛心滩受挖沙采石影响滩体破坏严重，形成串沟分流，近年串沟冲刷发育，致使大土地一线主槽内 3.5 m 等深线断开，航道出浅碍航。因此，心滩破坏且中水期冲沙能力减弱、主槽枯水期冲刷不足是出口段出浅的主要原因。

5 航道生态整治方案

5.1 建设标准

莲石滩位于长江上游宜宾—重庆河段中段，根据水运发展趋势、航道规划、代表船型及环境保护的需要，确定航道整治的标准为：航道尺度

3.5 m×50.0 m×800.0 m，通航保证率 98%，设计代表船型：2 000 吨级货船和 150 TEU 集装箱船。

5.2 治理思路

鱼鳅石浅区的治理思路为“疏槽维稳”，即开挖鱼鳅石暗礁及浅区、满足建设标准的要求；同时筑坝束水攻沙、维持航槽稳定。

关刀碛急浅段的治理思路为“扩枯稳中”，即扩大过水断面、满足航道水深和减小枯水流速；并采取措施修复心滩、稳定中水流速，延长泥沙冲刷历时。

关刀碛右汊历史产卵场近年鱼类产卵繁殖和栖息洄游活动并不集中，因此，莲石滩的治理方案需兼顾生态修复和生境营造的需要。此外，大量开挖的疏浚土和清礁石料可再利用，以避免渣石转运、上岸对环境的不利影响。

5.3 整治方案

- 1) 为满足航道尺度及改变局部底流结构，疏清鱼鳅石浅区至设计水位下 4 m，基线长约 737 m；
- 2) 为扩大泄水枯水期过水断面、减缓流速、调整比降、改善通航水流条件，疏浚关刀碛碛翅

- 至设计水位下 3.5 m, 基线长约 2 262 m;
- 3) 为束水攻沙、维持挖槽稳定, 在右岸掌滩石盘上游抛筑丁坝 2 道, 整治水位均为 2.5 m, 上丁坝长 230 m(勾头段 40 m), 下丁坝长 135 m(勾头段 20 m);
- 4) 治理区域滩面低矮、滩貌凌乱、碛坝散乱、坑包遍布, 为将其恢复成原本完整、高大的形态以保证心滩中水流量对主流的导控作用, 同时促进原生生境的修复, 拟在心滩建设鱼骨坝群, 并采用疏浚土回填固滩。鱼骨坝群包括江心顺坝 1 道和刺坝 3 道, 其中江心顺坝长 1 353 m, 1[#]刺坝长 235 m, 2[#]刺坝长 154 m, 3[#]刺坝长 196 m(勾头长 87 m)。利用疏浚土回填关刀碛心滩中下段左侧深坑, 固滩区面积约 5.3 万 m²。
- 5) 采用清礁石料在关刀碛右汉中下段、石梁下游抛筑 1 道浅埂, 并在浅埂和已建莲石滩顺坝坝后采用生态鱼巢砖构建生态涵养区, 增加水流多样性, 构造浅滩深槽型良好生境。

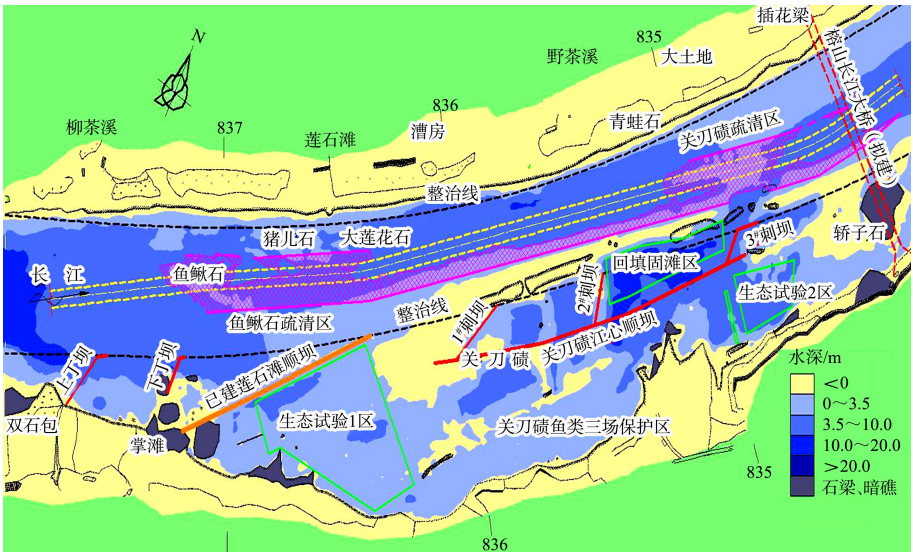


图 6 莲石滩生态航道治理方案

5.4 整治效果研究

5.4.1 数学模型

5.4.1.1 模型原理及验证

鉴于河道边界较复杂, 采用平均水深有限元法平面二维水流泥沙数学模型进行整治效果和生态水力学试验研究。模型范围为菜坝—梁石子, 含赤水河口 1.5 km。基于不可压雷诺应力平均、Boussinesq 假设和静水压力分布, 建立了水流模型。工程河段泥沙主要包括卵石推移质, 采用 Van-Rijn 泥沙模型。主要针对 2020 年 9 月、2015 年 3 月实测资料进行模型验证, 内容包括水位、流速分布、浮标流向、冲淤量及部位、典型横断面变化等。

5.4.1.2 水流阶段

1) 整治后枯水期航中线水位总体降落, 随流量增大水位降幅减小, 局部略有增加。鱼鳅石浅

区最大降幅和平均降幅分别为 0.27、0.20 m、关刀碛段分别为 0.17、0.07 m。

2) 枯水期浅区流速增大、急流段流速减小, 浅区流速平均增幅约 0.2 m/s, 急流区流速平均减幅约 0.18 m/s。

3) 整治后急流段消滩判数均小于成滩临界值, 急滩消滩。

4) 数模浮标迹线走向与航槽边界总体一致, 水流流向与航槽边界夹角较小, 航槽内水流流态较好。

5.4.1.3 冲淤分析

1) 典型年(2012 年)。整治前主槽内冲淤相间且冲淤变化幅度不大, 关刀碛下段出现不连通的淤积带, 平均宽度约 20.0 m, 平均厚度约 0.5 m。

整治后鱼鳅石浅区呈现冲刷趋势, 最大冲深

0.5 m; 关刀碛疏浚区基本不出现回淤, 疏浚及挖槽区总体较为稳定, 航道尺度满足建设目标的要求。关刀碛心滩在鱼骨坝群的作用下, 普遍淤积在 0.5 m 左右。

2) 系列年(2011—2020 年)。整治前浅区部位洪淤枯冲, 年内变化较小; 各年年初至汛期淤积形态较接近, 均表现为鱼鳅石和关刀碛下段浅区约有 0.5 m 的淤积体; 汛期至年末微冲。

整治后第 1 年年末, 莲石滩心滩鱼骨坝群坝田区有所回淤; 鱼鳅石浅区呈现冲刷趋势, 局部最大冲深 1 m; 关刀碛疏浚区基本不出现淤积, 疏浚及挖槽区总体较为稳定。第 3 年和第 10 年年末冲淤规律与第 1 年年末基本一致。

5.4.1.4 生态水力学试验

基于前述模型及研究成果, 以 4 大家鱼水动力指标为基础开展了生态水力学试验研究, 指标主要包括流速适宜度 V 、水深适宜度 H 、栖息地适宜度 HIS 、微生物适宜性面积 WUA 。

1) V 分布及其变化。整治前 V 值较大区域位于滩段进口和右侧关刀碛附近, 一般大于 0.8, 较适合鱼类产卵繁殖; 整治后关刀碛附近 V 值略有减小, 但关刀碛右汊生态工程区 V 值有所增加, 整体来看, 整治后 V 值较大区域有所增加。

2) H 分布及其变化。整治前后 H 分布较为接近, 全河段内 $H > 0.8$ 的范围较大, 鱼类产卵繁殖具有良好的水深条件。

3) HIS 分布及其变化。整治后 HIS 值有所增加, 主要出现在右汊和整治建筑物坝后区域。

4) WUA 变化。整治后, 中、枯水期 WUA 与工程前较为接近, 随流量增大 WUA 略有减小。

5.4.2 物理模型

5.4.2.1 模型建立及验证

采用 1:100 正态模型以及卵石推移质局部动床模型开展了试验研究。模型主要对 2020 年 9 月中水进行检验, 同时对 2015 年 3 月实测的枯水进行了补充检验; 经过定床水位、大断面流速及浮标流向的检验, 模型与原型的水流条件达到相似; 经动床水位、流速的相似性检验, 原型与模型的

流速分布以及中水水位吻合较好, 枯水水位的偏差也不大, 满足阻力相似的枯水弗劳德数仅偏差 8.42%。

5.4.2.2 定床研究成果

1) 整治后航道尺度满足建设标准的要求;

2) 鱼鳅石和关刀碛下段浅区航道内流速增值在 0.2~0.6 m/s, 对浅区航深稳定有利;

3) 急流段滩势明显减缓、基本消滩, 中、枯水期消滩指标较整治前减小 0.4~0.6, 各级流量下船模均能自航上滩;

4) 特大洪水下, 水位升高在 0.1 m 以内, 流速变化在 ± 0.10 m/s 以内, 不会明显影响河段的防洪安全。

5.4.2.3 动床研究成果

整治前, 河段总体表现为洪淤枯冲, 全年冲淤变化不大; 鱼鳅石及关刀碛下段浅区均呈现淤积, 普遍淤积厚度分别为 0~0.2 m、0.2~0.5 m; 关刀碛心滩上段局部淤积明显, 而其左侧下段滩缘则有一定冲刷, 缺口存在展宽的可能, 对关刀碛下段浅区不利。

整治后, 典型年年末航道尺度满足建设目标的要求; 鱼鳅石浅区普遍冲刷 0.5~1.0 m, 关刀碛疏浚区未见淤积; 关刀碛鱼骨坝群促淤作用明显, 特别是 3# 刺坝, 坝田普遍淤厚 1~2 m、局部淤厚 3~5 m, 且连片性较好, 有利于心滩高大形态的恢复。

5.4.3 小结

工程实施后整治效果较好。鱼鳅石浅区水流增速恰当, 关刀碛急滩上滩指标基本满足船舶自航上滩要求, 各级流量船模均能自航上滩。无论典型年还是系列年年末, 航道尺度均能满足 3.5 m×50.0 m×800.0 m 的建设目标要求。关刀碛心滩回填固滩区冲淤变化较小, 鱼骨坝坝田区有所回淤, 对恢复原有滩貌、稳定河势、避免串沟等具有明显作用。最适宜 4 大家鱼产卵繁殖的区域位置以及水流动力轴线变化不大, 栖息地适宜度较整治前有所提高, 除高水位期略有减小外、微生物适宜性面积与整治前接近。

(下转第 165 页)