



长江上游莲石滩复杂滩险的碍航特性 及治理思路

陈希^{1,2}, 许光祥¹, 曾涛²

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 莲石滩是长江上游著名的复杂滩险, 具有浅、险、急等复合碍航特性, 为山区河流典型的复杂滩险。依据详尽的地形及水文实测资料, 分析莲石滩近几十年河床演变规律和洪中枯水流特性, 针对滩险的碍航特性和成滩原因提出了整治思路。研究成果可为这种枯水期水浅、流急、坡陡的互逆型非基岩滩险的治理提供借鉴。

关键词: 长江上游; 莲石滩; 碍航特性; 非基岩; 航道整治

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)02-0100-06

Navigation obstacle character and waterway regulation research on Lianshitan complex rapids reaches of upper Yangtze River

CHEN Xi^{1,2}, XU Guang-xiang¹, ZENG Tao²

(1. College of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Changjiang Chongqing Harbor and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: Lianshitan is a well-known complex rapids in the upper Yangtze River, with the navigation obstacle character of shallow, dangerous and large velocity in the dry season. Riverbed evolution and flow characteristics are analyzed. Based on the navigation obstacle character and navigation hindering causes of Lianshitan, the regulation schemes is proposed. The research results can provide for waterway regulation of the separated type rapids made of non-rock, which is shallow but large velocity and large gradient ratio in the dry season.

Keywords: the upper Yangtze River; Lianshitan; navigation obstacle character; non-rock; waterway regulation

莲石滩位于四川省合江县榕山镇, 枯水期兼有急、浅、险的碍航特征, 是长江上游河段较为著名的复杂滩险, 历史上曾多次对其进行治理, 目前枯水期最小维护尺度仅 3.0 m×60 m×600 m 左右, 为枯水限制性航道, 仅 2010 年就出现了 2 次海损事故。根据《交通运输部水运“十三五”发展规划》《四川省人民政府贯彻国务院关于依托黄金水道推动长江经济带发展指导意见的实施意见》以及《长航系统长江干线航道治理建设十三五期规划》等, 确定莲石滩航道整治工程建设标准为 3.5 m×60 m×800 m(航深×航宽×弯曲半径)。本文通过对

分析莲石滩河段近几十年河床演变、水流特性, 得出了该滩的碍航特征, 并对其成滩原因针对性地提出了治理思路。

1 滩险概况

莲石滩位于长江上游莲石滩水道(长江上游航道里程 834.5 ~ 837.5 km), 滩长约 4.0 km(图 1), 位于钱口石梁下游河道放宽段。莲石滩上游钱口石梁横卧江中与右岸磨盘石相对峙, 水流出钱口石梁卡口段后, 枯水河面宽度逐渐放宽, 由上游的 400 m 放宽至 1 km 左右, 大量卵石在滩

段右侧淤积, 形成一巨大卵石碛(关刀碛) 纵卧江中。关刀碛碛长约 4 km, 碛脑最宽 500 m, 往下逐渐缩窄至 150 m, 中水期形成汉道河段。近年来该河段挖沙采石十分严重, 关刀碛洲体除洲头

和左缘低滩部分保存相对完整外, 滩体内被挖出 10 m 以上的深坑。左汉为枯水通航主槽, 右汉为一小浩, 枯水分流很少, 不能通航。

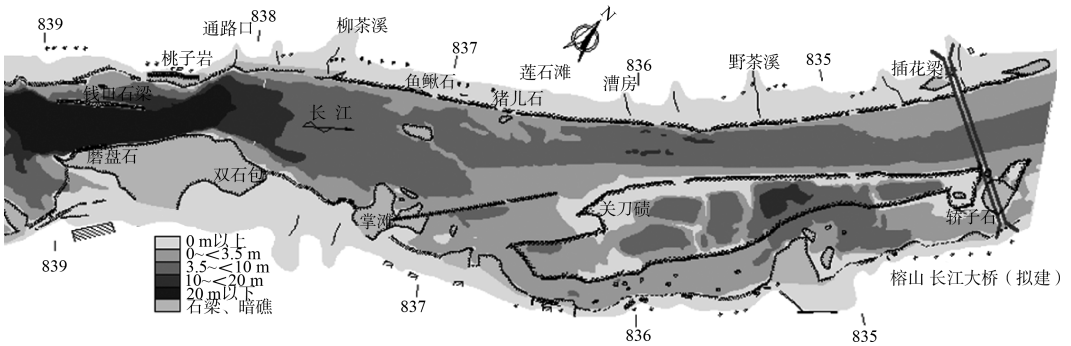


图 1 莲石滩河势

2 航道现状

莲石滩历史上曾为泸渝段枯期著名急流滩险, 滩段上口和中段左岸明暗礁石较多, 有大莲花石、二莲花石、三莲花石与挺心石、子花石等, 大都位于航道边沿, 与右岸关刀碛对峙, 致使航槽最窄处不足 50 m。经长江上游河段零星整治工程、兰叙段航道整治工程、泸渝段航道建设工程后, 左岸岸边礁石除鱼鳅石和猪儿石未进行治理外, 其余礁石基本被切除, 航道有所扩宽; 此外在掌

滩修建顺坝封堵右汉, 束窄左汉河道, 归顺了水流, 加强浅区部位冲刷。

目前枯水期最小维护尺度仅 3.0 m × 60 m × 600 m 左右。水位 3 m 以上时, 上行船舶沿左岸上行出滩; 水位 3 m 以下时, 上行船舶抱关刀碛而上由鱼鳅石右侧上滩, 由于航道弯浅窄加之流速、比降较大, 船舶航行较困难, 实行通航控制。控制河段位于通路口信号台(长江上游航道里程 837.9 km)和漕房信号台(长江上游航道里程 835.8 km)之间(图 2)。

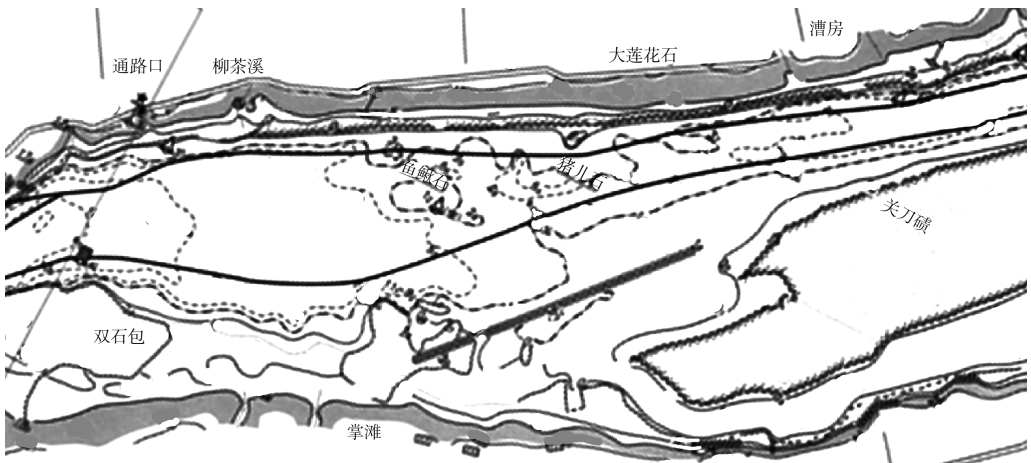


图 2 莲石滩控制河段

3 河床演变及碍航特性

3.1 河床演变

本文共收集了 1992 年 12 月、2007 年 1 月、2015 年 3 月的枯水期测图资料以及 2015 年 9 月、

2015 年 10 月的中、洪水期测图资料对该滩年际、年内河床演变情况进行分析。

1) 深泓变化。

莲石滩近几十年来总体河势稳定, 深泓除在猪

儿石浅区部位年际小幅摆动外,其余部位较为稳定。

2) 洲滩、深槽演变。

莲石滩河段内的洲滩主要为右岸的关刀碛... 1992年以来主要的变化表现为因左岸岸边部分明暗礁石被切除后,

左岸零星的0 m等深线消失;2015年关刀碛心滩滩体被挖出深坑,最大挖深超过10 m;中下段左缘0 m等深线呈狭长型分布。而3.5 m水深线整体变化不大,鱼鳅石右侧始终有一带状浅埂(水深<3.5 m)斜横主槽,且多年走向和位置基本不变,其左侧3.5 m水深线虽能贯通,但宽度狭窄不能满足通航要求(图3)。

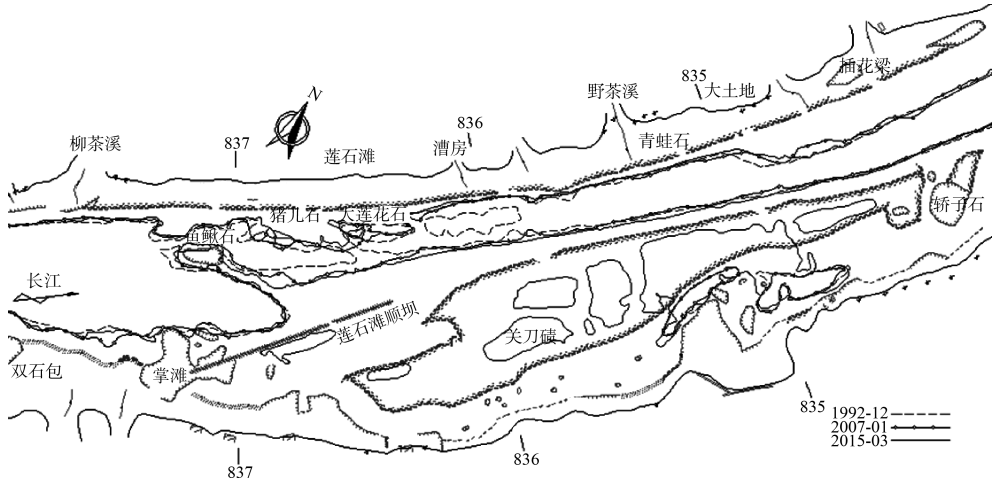
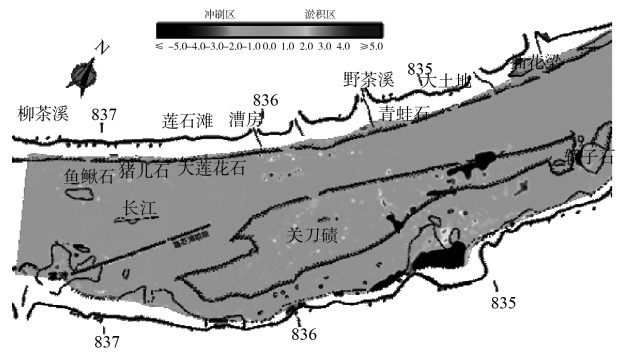


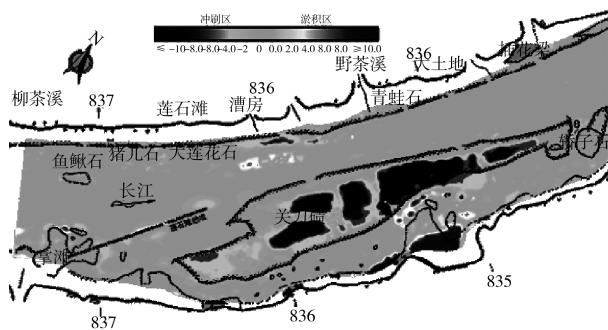
图3 莲石滩 3.5 m 等深线变化

3) 河床冲淤变化。

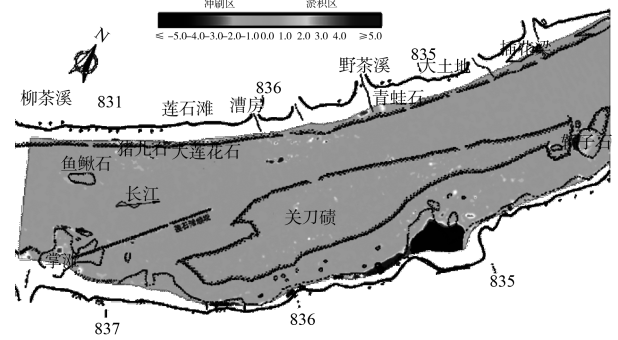
从莲石滩 2015 年与 2007 年枯水期河床冲淤变化来看,整个河段主槽部位略有冲刷。中段右岸岸边因受采沙临时堆沙影响,岸线向河心方向推出;关刀碛滩体内受挖沙采石影响,滩面高程降低超过 10 m,左侧滩缘部位相对变化较小。而主航槽内鱼鳅石浅区部位冲淤较小,略有冲刷;漕房部位河心有零星淤积,局部淤积强度超过 3.0 m;野茶溪下游航槽内略淤积,最大淤厚在 0.5 m 左右。从莲石滩 2015 年年内河床冲淤变化来看,除挖沙采石关刀碛滩体高程变化十分明显外,滩段整体上呈现较弱的洪淤枯冲特性(图 4)。



b) 2015-03—2015-09



a) 2007-03—2015-03



c) 2015-09—2015-10

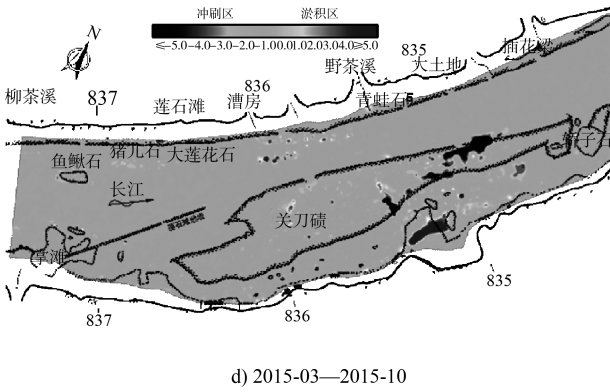


图 4 莲石滩年际、年内冲淤变化对比

4) 小结。

除人为因素外, 近几十年莲石滩岸线固定, 洲滩、深槽与深泓位置稳定, 整体冲淤变化较小。年内河床演变规律不甚明显, 主槽仅呈现微弱的洪淤枯冲特性。鱼鳅石浅区 3.5 m 水深线十分敏感, 微小的冲淤变化会明显影响 3.5 m 水深线的范围。受挖沙采石影响近年右岸及大刀碛中下段滩体高程变化十分明显。

3.2 水流特性

1) 流速、流向。

从莲石滩实测表面流速流向来看, 枯水期整个滩段内除上浅区部位流线稍有束窄外, 其余部位

流线较为顺直。主流循江心而下进入滩段, 上浅区部位平均流速约 1.7 m/s, 随着顺坝坝体和关刀碛滩体的侵入, 河面束窄流速急剧增大, 大莲花石—青蛙石一线流速多在 3.5 m/s 左右, 靠关刀碛碛翘浅水区域枯水期流速也在 3.0 m/s 左右; 局部最大流速达 3.9 m/s。下段随着河面的逐渐展宽, 流速有所减小。中水期部分水流漫过莲石滩顺坝从右汊而下, 主流仍保持在左汊内。但由于副汊的分流, 该水位下大莲花石附近流速较枯水期略有减小, 最大流速出现在滩段下口插花梁附近约 3.6 m/s。汛期关刀碛心滩上开始过流, 但主流仍靠近左岸岸边, 此时左汊内平均流速约 3.0 m/s, 大莲花石和插花梁附近最大流速仍保持在 3.6 m/s 左右。

2) 流速分布。

关刀碛断面位于心滩中段, 断面形态呈“W”形, 枯水期流速沿河宽方向呈现三角形分布, 流速较大部位与水深较大部位基本重合; 受关刀碛碛翘约束该断面枯水河宽仅 300 m 左右, 过水断面面积较小, 断面平均流速超过 3.4 m/s。而中水期水流漫过关刀碛心滩而下, 该断面过水面积激增, 断面流速明显下降 (图 5)。

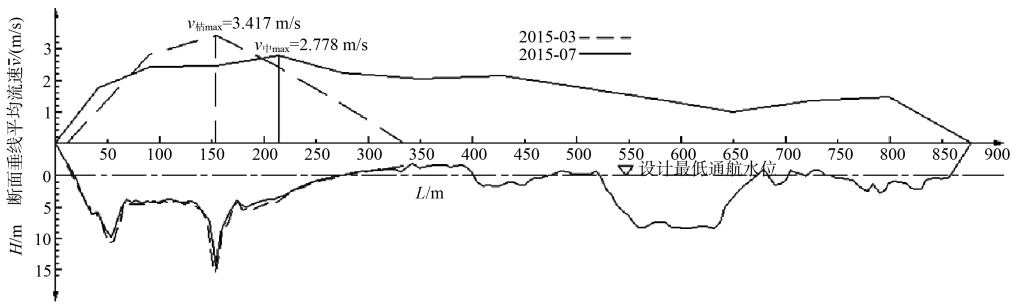


图 5 关刀碛断面流速分布

3) 比降。

从莲石滩实测河心比降来看, 枯水期大莲花石附近河心比降较大, 平均约 1.0‰, 局部接近 4.0‰; 大莲花石以下至插花梁一线约 2 km 长河段河心比降均较大。而中水期整个滩段河心比降较枯水期明显减小。

4) 急滩通航水力指标 (消滩指标)^[1]。

根据代表船舶的推力和阻力^[2-3]分析计算, 初

步得到叙泸段^[4-5] 2 000 t 货船自航上滩的水力指标 (表 1)。为方便分析, 将流速 v 、比降指标 J 合为一个综合指标 E ^[6], 则

$$E = v + 0.628J \tag{1}$$

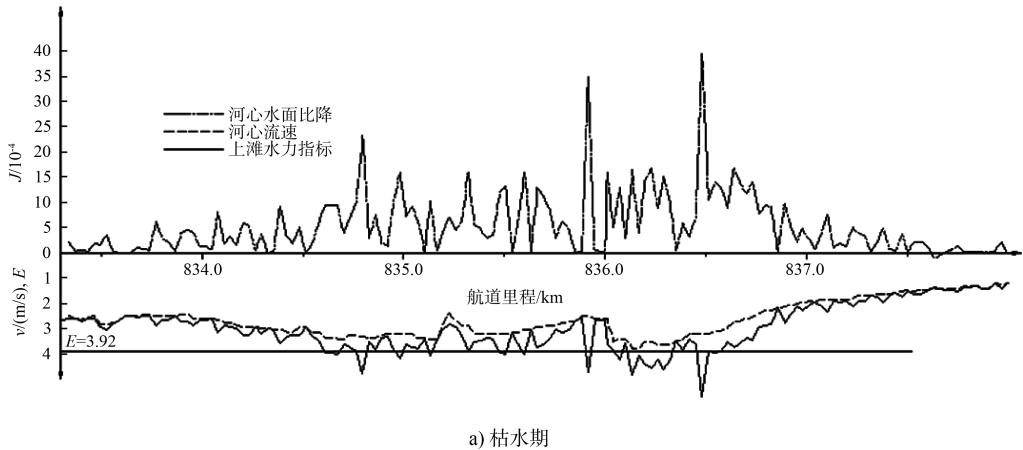
当临界指标 $E_c = 3.92$ 时, $E < E_c$ 。

表 1 代表船型消滩水力指标

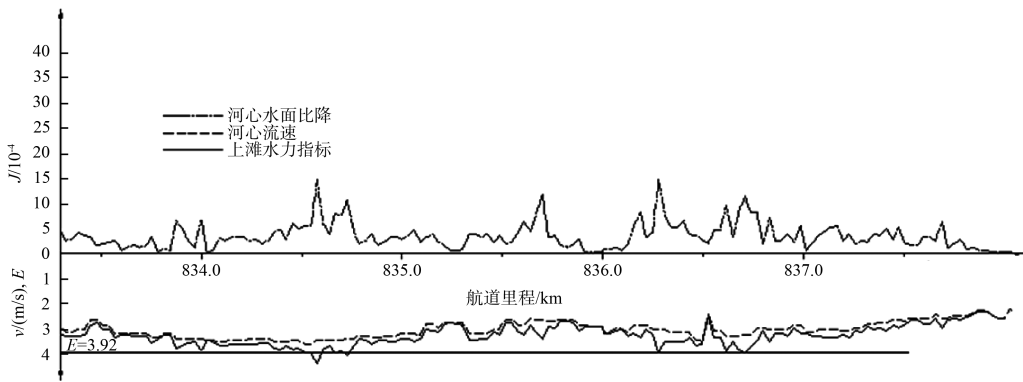
坡降/‰	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
流速/(m/s)	3.92	3.64	3.3	2.98	2.65	2.34	2.06

图 6a) 可看出全河段明显存在两段, 以猪儿石 (长江上游航道里程 836.6 km) 分界, 上段 $E < 3.92$, 不成急滩; 下段受关刀碛挤压河道较窄, 枯水期过水断面面积有限, 河道收缩段流速、比降均较大, 在枯水大多出现 $E > 3.92$, 特别是大连

花石上下游局部水力指标高达 5.7 成为急滩。而随着水位上涨(图 6b)), 关刀碛心滩漫水后河道骤然变宽, 原河道收缩段流速、比降均明显减小; 中水位期仅下段插花梁附近有局部点位超过上滩水力指标, 其余部位均能满足船舶自航上滩要求。



a) 枯水期



b) 中水期

图 6 莲石滩流速、比降分布

3.3 碍航特性及滩险成因

关刀碛卵石碛坝将河道分为左右两汊: 左汊较顺直, 为通航主汊; 右汊较弯曲, 枯水期基本不过流。汛期主流取直沿左汊和关刀碛顶部下泄, 输移的泥沙粒径较大, 泥沙淤积量相对较多, 而右汊输沙量相对较小。汛后随着上游来流的减少, 水流逐渐归槽; 在关刀碛头部由于河面较宽, 枯水期冲刷流量较小, 不能将汛期淤积体全部带走, 关刀碛水下暗碛部分伸入甚开与江心鱼鳅石暗礁连成一片, 致使该段航道即弯又浅。目前, 鱼鳅石浅区部位 3.5 m 等深线年际间不能贯通, 近年能维持在 3.2 m 左右。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, 该滩约在水位 0.5 m 消滩。

中段受关刀碛心滩滩缘挤压, 河道束窄明显, 整个滩段内无明显的深槽, 枯水期河宽狭窄, 最窄处仅约 260 m, 水浅流急; 加之心滩滩缘伸入较开, 上游壅水明显, 造成中段河心比降也较大, 船舶上水十分困难。但关刀碛心滩滩面较为低平, 随着水位的上涨, 泄水断面急剧增大, 流速迅速减小, 致使该段冲刷历时较短。因此形成了该滩枯水期水深较小, 水流流速、比降又较大的互离型滩险。关刀碛急滩段枯水期, 坡降也陡不能满足船舶自航上滩要求; 仅 2010 年就出现了 2 次海

损事故,目前为枯水限制性航道(图7)。枯水河槽窄浅是关刀碛成为枯水急滩的关键原因,该滩枯水成滩,最涌水位2.5 m,消滩水位约3.0 m。

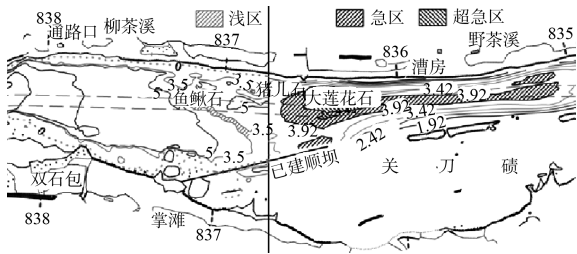


图7 莲石滩上浅下急碍航滩段特性

4 治理思路

综合考虑河床演变、滩险特性及碍航程度、成滩原因等,确定莲石滩的整治思路:

1) 对于上段浅区部位,其碍航成因较为明显,主要是因河道放宽,主流分散,造成航槽部位冲刷不足而出浅;所以基本的治理思路为“疏槽维稳”:疏炸鱼鳅石暗礁及浅区,保障航道规划尺度,同时筑坝束水攻沙,以维持航槽长期稳定。

2) 对于下段枯水期坡陡流急,但水深又相对较小的碍航问题,其治理思路为“扩枯稳中”。关刀碛虽是急滩,但是因中洪水河面宽阔,主槽输沙能力较弱,航槽几乎无富裕水深,在扩大过水断面减小枯水流速的同时,应采取相应措施稳定中水流速,不应使中水流速明显减小而减弱输沙能力。

依据2013年8月交通运输部航务管理局批复的《长江干线水富至江阴河段设计最低通航水位计算与分析(2013—2017年)》计算成果,采用工程河段沿程航行基面比降,推求出莲石滩(长江上游航道里程837.2 km)的设计最低通航为204.463 m(85国家高程基准)水位。采用经验取值法、平滩水位法、第二造床流量法和模型试验研究等方法进行计算、分析并结合长江上游的整治经验,

建议整治水位为设计最低通航水位上2.5 m。采用优良河段平滩河宽参照法、水力学法和输沙平衡法分析计算,建议本滩的整治线宽度取值为400 m左右。

5 结语

1) 除人为因素外,近几十年,莲石滩岸线固定,洲滩、深槽与深泓位置稳定,整体冲淤变化较小;年内河床仅呈现微弱的洪淤枯冲特性;鱼鳅石浅区3.5 m水深线十分敏感;受挖沙采石影响2015年年内右岸及关刀碛中下段滩体高程变化十分明显。

2) 鱼鳅石浅区部位近年能维持在3.2 m左右,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。关刀碛急滩段枯水期河宽狭窄,水浅流急,坡降陡不能满足船舶自航上滩要求。

3) 针对鱼鳅石浅滩整治思路是“疏槽维稳”;针对关刀碛急滩整治思路是“扩枯稳中”。

参考文献:

- [1] 曹民雄,蔡国正,唐存本.消滩水力指标研究[J].水运工程,2007(8):78-81.
- [2] 曹民雄,李花白,陆宏健.消滩水力指标的确定方法讨论[J].人民长江,2004,35(11):35-37.
- [3] 曹民雄.消滩水力指标确定方法[J].交通运输工程学报,2006,6(4):80-83.
- [4] 杨胜发,赵晓马,王涵.长江上游卵石急滩消滩水力指标研究[J].水运工程,2007(8):78-81.
- [5] 胡小庆.长江宜宾—重庆河段急滩消滩水力指标研究[J].水运工程,2012(10):77-80.
- [6] 许光祥,曾锋.急滩消滩水力指标的合理表达式[J].水运工程,2010(11):103-106.

(本文编辑 王聰)