



澜沧江曼丙滩险整治方案

袁涛峰

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 以澜沧江曼丙滩险整治为依托, 针对峡谷型急流滩险整治易导致滩险本身以及上游滩险水位跌落的问题, 从峡谷滩险比降、流速、流态、消滩指标等方面分析滩险碍航成因, 提出通过炸礁保障航道基本尺度, 采用抛筑整治建筑物缓解整治滩险及上游邻近滩险水位跌落。得出在兼具宽浅-窄深和浅区-深潭相间碍航特征的滩险整治中, 采用窄深形炸礁断面结构和宽顶逆坡潜坝坝体结构可在满足滩险基本航道尺度的前提下减小水位跌落, 对类似滩险的整治具有一定借鉴作用。

关键词: 峡谷型滩险; 急流滩; 窄深型; 宽顶逆坡潜坝

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)12-0104-08

Regulation scheme of Manbing beach risk in Lancang River

YUAN Taofeng

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

Abstract: Based on Manbing beach risk regulation in Lancang River, this paper analyzes the causes of navigation obstruction from the canyon beach risk gradient, flow velocity, flow pattern, and beach risk abatement indicators to deal with water level fall decline in beach risks and upper beach risks caused by canyon-type beach risk regulation. The basic channel dimensions should be protected by reef blasting, and the regulation structure should be abandoned to mitigate the water level fall of beach risk regulation and adjacent upstream beaches. The results show that in the regulation of broad-shallow and narrow-deep, shallow areas and deep pools, the cross-section structure of narrow deep reef blasting and body structure of broad-top adverse slope submerged dam can reduce the water level fall under the premise of meeting the basic channel dimensions of the beach. This provides certain references for future regulation of similar beach risks.

Keywords: canyon-type beach risk; rapids beach; narrow-deep type; broad-top adverse slope submerged dam

曼丙滩险位于澜沧江景洪枢纽下游 40.8 km, 滩险所在河段宽浅-窄深相间, 两岸岸线不顺, 有多处礁石突伸江中, 边界条件复杂。同时, 滩险河床地势高低起伏, 浅区-深潭相间, 滩槽格局明显, 地形条件复杂。本滩兼具“浅、窄、急、险”多种碍航特性, 滩险上段紧邻兼有“弯、险、窄、急”等碍航特征的三道拐滩险, 因此, 本滩的整治是澜沧江Ⅳ级航道建设工程较为复杂的滩险之一, 既要保障单滩整治效果, 又要兼顾减少对上

游滩险带来的不利影响, 尤其是造成上游滩险水位降低、比降增大等问题。目前, 针对峡谷型急流滩险的整治思路主要采用“上疏下抬”的治理措施^[1-3], 即疏浚炸礁结合整治建筑物方式, 而针对滩群河段单滩整治造成的滩群水位跌落影响主要采用“逐段壅水、分段消化”的壅疏结合方法^[4]。

本滩整治过程在借鉴上述治理思路的前提下, 对清礁断面和筑坝壅水坝面结构形式进行研究,

收稿日期: 2023-03-16

作者简介: 袁涛峰 (1982—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计工作。

提出了窄深形清礁断面结构形式和宽顶逆坡潜坝的坝体断面结构形式,

1 滩险概况及碍航特征

1.1 滩险概况

曼丙滩是澜沧江上典型的急流险滩,上接三道拐滩,下临鬼门关滩,是澜沧江Ⅳ级航道建设工程中整治的重难点滩险之一^[5],滩段平面布置

见图 1。滩险在曼丙一、二、四滩有 3 处对称礁石凸嘴,形成卡口,航道宽度不足;在曼丙一滩下口、曼丙三滩左侧有礁石凸嘴形成单侧卡口,航道宽度不足;在曼丙一滩下口,有 1 处过渡段浅区,航道深度不足。除此之外,滩险河段多处流速急、比降陡,同时有泡漩水、剪刀水等不良流态,船舶在此上滩困难。因此,为保障滩段达到Ⅳ级航道建设标准,亟需对滩险进行整治。

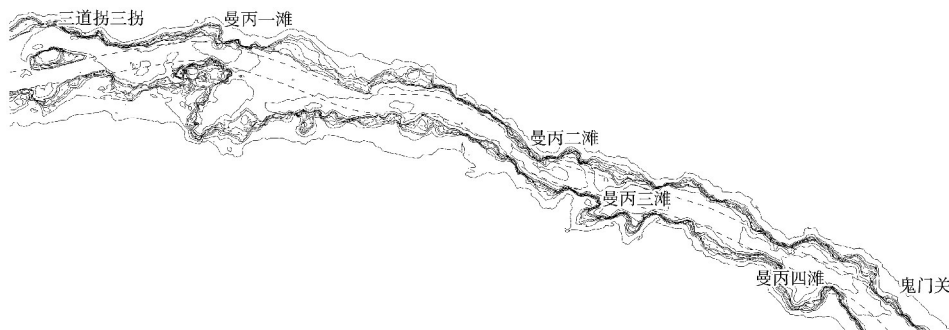


图 1 曼丙滩平面布置

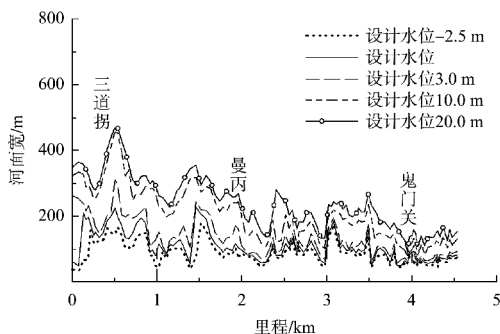
1.2 滩段河势

曼丙滩位于景洪枢纽下游 40.8 km,枯水期上段岩盘水浅,中洪水期滩险两岸岸线不顺,有多处礁石突伸江中,为急流险滩,滩险上游 200 m 为三道拐下游出口,滩险下游 2.2 km 有鬼门关滩险。总体河势上,滩险处在一顺直微弯型河段中段,两岸岸线均为蜿蜒曲折的陡峭山崖,岸线复杂。

河段河宽见图 2a)。由图可知:1) 滩险上接三道拐出口,滩险上段右岸有一礁石乱滩突伸江中,其后为深沱内凹,向下岸线向江中逐渐凸出,岸线总体仍较为杂乱;左岸相对平顺,但是有连续的 3 个岩盘凸向江中,第 1 个凸嘴与右岸乱石堆对峙形成卡口。江面先窄后宽然后再束窄,卡口处最窄,枯水期仅约 40 m。2) 滩险中段岸线相对平顺,右岸有 2 个凸嘴向江中凸出,压缩河道,江面宽度枯水期最小仅约 47 m。3) 滩险下段两岸岸线相对平顺,靠上略宽,向下在滩险出口位置两岸均有凸嘴凸向江中,形成卡口并压缩河道。江面靠上略宽,枯水期有 80 m,卡口处

最窄,仅约 40 m。

河床地形见图 2b)。由图可知:1) 滩险上段江面较为狭窄,水深较大,卡口位置最深达设计水位以下 13 m;向下,右岸乱石堆后为一 6~8 m 深沱,滩险两岸第 2、3 个凸嘴向江中凸出,江中岩盘上最小水深小于 2.0 m,右岸一侧水深相对较深,最大深度靠右岸侧为 13 m。2) 滩险中段靠上河床平缓,水深均在 5 m 以上;向下,在左岸两凸嘴位置为深槽,最大深度分别在设计水位下 20、19 m。3) 滩险下段水深仍较大,靠上相对平缓,水深基本在 6 m 以上,但在卡口和卡口靠后的位置,为一大的深槽,最大深度达设计水位下 30 m。



a) 河宽沿程变化

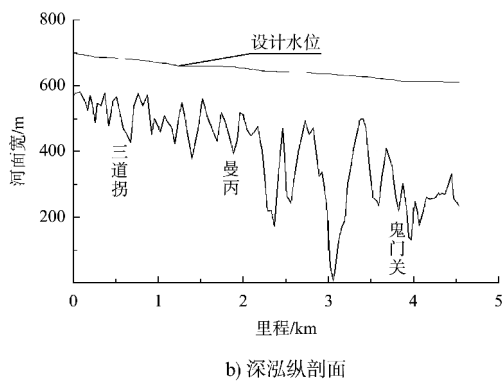


图2 研究河段河势

1.3 滩段航道条件

1.3.1 比降

物理模型试验^[6]表明,该段的局部最大陡比降出现在工程河段,流量 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时为 5.13‰ ,流量为 800 、 $1\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时分别为 4.64‰ 、 4.87‰ ;而工程河段上游的三道拐和下游的鬼门关一拐,在流量 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,约为 4.0‰ ,见图3。

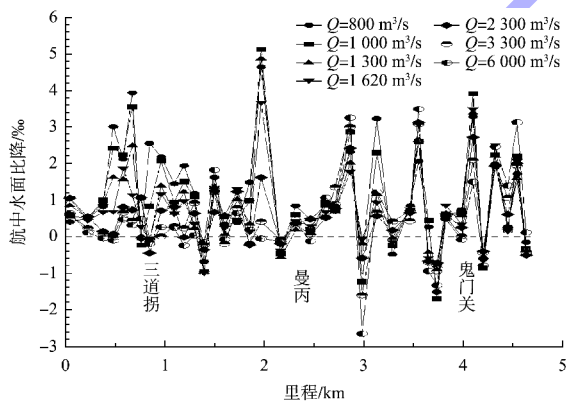


图3 航中线比降沿程变化

1.3.2 流速

如图4所示,从统计的航槽测点各级流量下的最大流速 v_{\max} 和平均流速 v_{mean} 沿程变化情况来看,三道拐段中、枯水流量较大,流量大于 $1\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 时最大流速达 3.9 m/s ,但流量大于 $3\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 后最大流速一般不大于 3.0 m/s ;曼丙和鬼门关段流速沿程变化极不均匀,流速基本随流量增大而增大,中、枯水流量一般不超过 3.5 m/s ,洪水流速可超过 4.0 m/s 。从平均流速看,三道拐段也是枯水流量最大,曼丙和鬼门关流量越大流速则越大。

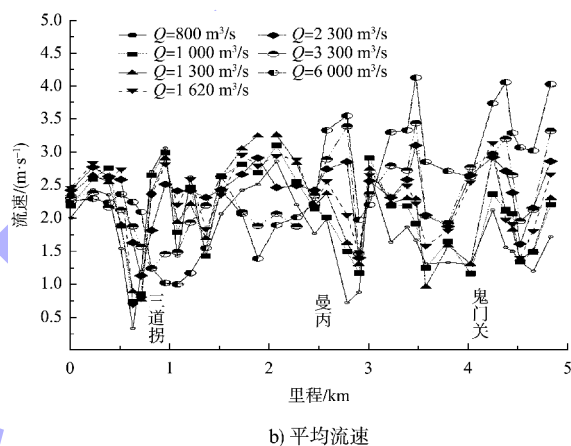
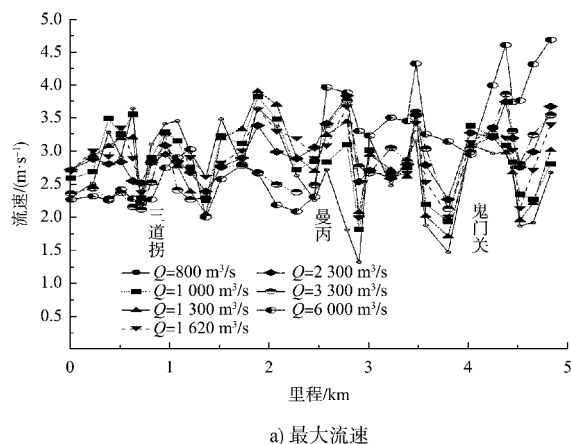


图4 航槽测点各级流量下流速沿程变化

1.3.3 流态

该段各级流量水流极乱,泡漩汹涌且分布密集,多处出现明显跌水,水面波浪起伏,流向不稳多变,紊动强烈,回流、横流、剪刀水等随处可见。

1.3.4 消滩指标

工程河段在曼丙进口段枯水形成急滩,其它各处均不成急滩。该滩属于枯水急滩,中水 $Q=1\,620\text{ m}^3/\text{s}$ 消滩,见图5。根据IV级航道资料,500吨级代表船舶自航上滩的水力指标见表1,流速 v 与比降 J 之间基本呈抛物线关系。为方便分析,将其合为一个综合指标 E ,见式(1),并与上滩指标允许值 E_c 相比,如 $E < E_c$,则滩段消滩,船舶可自航上滩。

$$E = v^2 / 2g + 0.0877 \quad (1)$$

式中: g 为重力加速度。

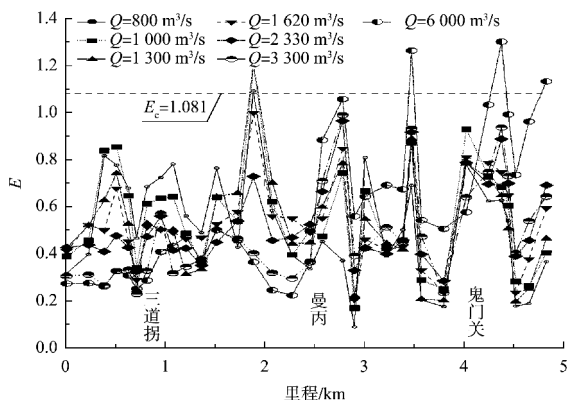


图 5 各级流量下消滩指标沿程变化

表 1 代表船型消滩水力指标

$J/\%$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$v/(m \cdot s^{-1})$	4.5	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.3	3.0	2.7

1.4 滩段碍航特征

曼丙滩由一滩至四滩共 4 个滩点组成。

1) 曼丙一滩两岸突嘴对峙，航槽弯曲狭窄，枯水河宽仅 45 m。中枯水水流湍急，流速最大达 3.9 m/s；跌水显著，比降最大达 5.13‰；流态杂乱，右侧斜卧石梁，中洪水横流强烈；消滩指标最大达到 1.21，为对口型中枯水危险滩。该滩枯水成滩， $Q=1\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 滩势最汹，中水 $Q=1\,620\text{ m}^3/\text{s}$ 消滩。

2) 曼丙二滩左岸石嘴突出，右岸参差不平，航槽狭窄，枯水最窄处河宽不到 50 m。中洪水水流湍急，流速最大约 3.9 m/s，但比降相对不大，一般不大于 3‰；消滩指标最大为 1.06，基本不成急滩；另有不良流态，因此为突嘴型中枯水窄险滩。

3) 曼丙三滩左岸礁石突嘴伸入河心，两侧岸线参差不平，枯水河宽约 75 m。河面相对较宽，水深相对较大，流速和比降均不大，消滩指标也非急滩，因此为突嘴型险滩。

4) 曼丙四滩两岸突嘴对峙，航槽狭窄，枯水河宽不足 50 m。最大流速 3.6 m/s，最大比降 3.1‰，最大消滩指标 0.93，不成急滩；另有不良流态，因此为对口型窄险滩。

总体而言，曼丙滩关键碍航因素以航道尺度

不足和险为主，仅曼丙一滩为急滩。平面形态主要包括弯、窄、对口突嘴、单口突嘴等滩。

2 单滩整治及对上游滩险的影响

2.1 整治思路

根据以上滩险概况和碍航特征分析，曼丙滩碍航的因素主要有 3 个：1) 航槽弯、窄、浅；2) 突嘴、明暗礁产生险恶流态；3) 流速大、比降陡而急。针对以上碍航成因，确定单滩整治思路为：以清礁为主确保航道基本尺度满足建设要求，即 $2.5\text{ m} \times 50\text{ m} \times 330\text{ m}$ (航深×航宽×弯曲半径)，局部辅以整治建筑物调整水流，兼顾改善流态。

2.2 整治方案

根据滩险成因及碍航情况，工程方案布置为：1) 布置 $P_1 \sim P_9$ 共 9 个炸礁区，并于 P_1 、 P_2 、 P_5 、 P_7 较窄河段炸礁区设置 A、B 两条炸礁控制线，其间距约 10 m。A 基线按照航槽边线布置(方案 1)，B 基线离航槽约 10 m(方案 2)，再设置 3.5、4.5、5.5 m 3 个炸深工况，以优化合适的炸深和炸宽。2) 方案 1、2 均在曼丙四滩下游布置 P_1 、 P_2 两条潜坝，并设置 -4、-6、-7 m 3 个顶高程工况，以优化合适的潜坝数量和高程。两种整治方案的清礁效果见表 2，消滩指标变化见图 6，两方案流场对比见图 7。

筑坝方面分析表明，两方案潜坝高程 -4 m 和 -6 m 均会引起坝顶明显跌水，最终采用坝顶高程 -7 m。通过炸礁对水面跌落的分析认为，该段整治对水位的影响较大，水位变化一般在 -0.4 m 左右，曼丙一滩上游变化约 -0.7 m，而通过有、无潜坝对沿程水位的影响分析认为，潜坝的壅水作用十分微弱，可不修潜坝。

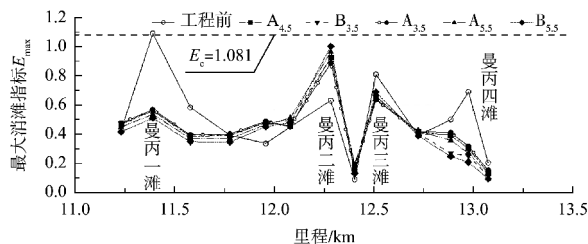


图 6 消滩指标变化

表 2 曼丙滩单滩清礁整治效果

方案	基线	炸深/m	水位变化	最大流速变化	最大比降变化	最大消滩指标
1	A 控制线沿航槽边线布置	3.5	曼丙四滩—三滩降落 0.2~0.3 m, 三拐—曼丙一滩降落 0.6~0.8 m	曼丙四滩减小 0.77 m/s, 曼丙三滩减小 0.19 m/s, 曼丙二滩增加 0.75 m/s, 曼丙一滩减小 0.91 m/s	曼丙四滩比降从 2‰降至 1‰; 曼丙三滩从 3‰降至 2‰; 曼丙二滩变化不大; 曼丙一滩从 4.6‰降至 1.3‰	曼丙四滩减小 0.37; 曼丙三滩减小 0.17; 曼丙二滩增加 0.26; 曼丙一滩减小 0.52
		4.5	与炸深 3.5 m 相差不大	曼丙四滩减小 0.83 m/s, 曼丙三滩减小 0.19 m/s, 曼丙二滩增加 0.82 m/s, 曼丙一滩减小 0.91 m/s。	同炸深 3.5 m	曼丙四滩减小 0.39; 曼丙三滩减小 0.15; 曼丙二滩增加 0.30; 曼丙一滩减小 0.52
		5.5	与炸深 3.5 m 相差不大	曼丙四滩减小 0.94 m/s, 曼丙三滩减小 0.27 m/s, 曼丙二滩增加 0.91 m/s, 曼丙一滩减小 0.91 m/s	同炸深 3.5 m	曼丙四滩减小 0.42; 曼丙三滩减小 0.17; 曼丙二滩增加 0.34; 曼丙一滩减小 0.52
2	B 控制线距离航槽边线 10 m	3.5	较方案 1 炸深 3.5 m, 水面进一步降落 0.05~0.07 m	曼丙四滩减小 1.02 m/s, 曼丙三滩减小 0.22 m/s, 曼丙二滩增加 0.92 m/s, 曼丙一滩减小 0.91 m/s	曼丙四滩比降从 2‰降到 1‰; 曼丙三滩从 3‰降低至 2‰; 曼丙二滩变化不大; 曼丙一滩从 4.6‰降至 1.3‰	曼丙四滩减小 0.44; 曼丙三滩减小 0.16; 曼丙二滩增加 0.29; 曼丙一滩减小 0.52
		5.5	较方 1 炸深 5.5 m, 水面进一步降落 0.05~0.16 m	最大流速, 曼丙四滩减小 1.14 m/s, 曼丙三滩减小 0.16 m/s, 曼丙二滩增加 0.93 m/s, 曼丙一滩减小 0.91 m/s。	同炸深 3.5 m	曼丙四滩减小 0.48; 曼丙三滩减小 0.12; 曼丙二滩增加 0.37; 曼丙一滩减小 0.52



图 7 曼丙滩段清礁 3.5 m 深度下流场

综上, 经过对滩险清礁和筑坝对滩险水位、流速、比降、消滩指标和流态等多个方面的影响分析。

1) 方案 1。水位方面, 不同清礁方案对滩段内的水位降落影响差别不大, 每炸深 1 m 水面降落约 0.02~0.03 m, 敏感性低; 流速方面, 曼丙一滩减幅较大, 曼丙二滩增幅较大, 曼丙三滩变

化不大, 曼丙四滩减小明显; 比降方面, 明显减小, 但是炸深和炸宽对其影响不大; 消滩指标方面, 各工况消滩指标均满足要求, 其中曼丙四滩、一滩改善最为明显, 消滩指标大幅降低, 曼丙三滩也有一定减小, 但曼丙二滩有所增加。整治后, 曼丙各滩均达到航道尺度要求, 曼丙一、三、四

滩流速、比降、消滩指标均减小，一滩急滩消失，二滩虽然消滩指标增加但满足上滩要求。 P_1 、 P_2 潜坝的壅水作用甚微。

2) 方案 2。水位方面，炸礁造成的水位降低较方案 1 更强；流速方面，变化趋势与方案 1 一致，变化值更大；比降方面，与方案 1 基本一致，变化值相差不大；消滩指标方面，变化趋势与方案 1 基本一致，变化值略大。整治后，曼丙各滩均达到航道尺度的要求，曼丙一、三、四滩流速、比降、消滩指标均减小，一滩急滩消失，二滩虽然消滩指标增加但满足上滩要求。 P_1 、 P_2 潜坝的壅水作用甚微。

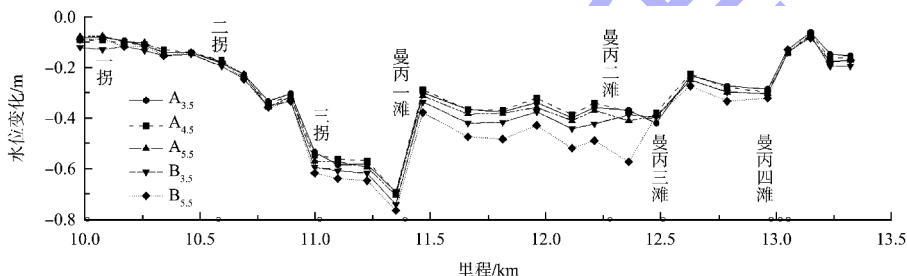


图 8 曼丙滩段炸深、炸宽对航中水位的影响

3 滩险综合治理思路及方案

3.1 治理思路及适用条件

曼丙炸礁将引起水面大幅跌落，不仅局部水深不足，且会形成新的急滩，局部通航条件恶化严重，需采用壅水措施以改善通航条件，而前述方案中采用常规的清礁区下游布置潜坝的方式壅水效果微弱，并不能有效缓解因炸礁而造成的水位跌落。为此，在保障曼丙滩航道尺度的基本前提下，提出滩险整治的综合治理思路：1) 通过炸礁以保障航道的基本尺度；2) 尽量减少滩与滩之间的相互影响，整治后水面降落不宜大于 0.5 m；3) 尽量改善急滩、险滩航槽内的不良流态。

因河段滩性复杂，滩点密集，滩险之间相互影响较为明显，各方面因素难以全面考虑。方案优化时如各因素之间发生矛盾，拟采用以下优先顺序：1) 确保基本航道尺度和上滩基本水流条件；2) 限制相互影响，主要限制水面跌落；3) 扩大整治效果。

2.3 对上游滩险的影响

炸礁对上游滩险的最大不利影响在于其引起的水位跌落问题。根据研究，两方案均会引起曼丙滩和滩险上游三道拐水位的大幅降落。不同炸深情况下，三道拐一拐至三拐的水位跌落一般在 0.8~0.1 m，见图 8。相较而言，B 控制线对水位的跌落影响更大，而炸礁 A 控制线炸深 3.5 m 即可满足船舶自航上滩要求且有一定富余，炸深炸宽的增加将进一步恶化上游通航条件。因此，该滩段选择满足基本航道尺度的炸礁方式即可达到整治目的，即： $P_1 \sim P_8$ 炸礁区均紧贴航槽线布置控制线，炸深 3.5 m。

该整治思路适用于复杂滩群的整治，尤其是下游滩险对上游滩险水位、流速、比降造成不利影响时。

3.2 整治方案

根据整治思路，并针对单滩整治方案所存在的问题，采用炸礁的方式保障航道基本尺度，通过抛筑整治建筑物壅高水位，以减少炸礁所带来的曼丙滩和上游邻近滩险水位跌落问题。经过对炸礁深度、坝体位置和结构形式等多次优化调整后，曼丙滩险整治方案布置如下：1) 按基本航槽宽度布置 $P_1 \sim P_9$ 共 9 个炸礁区，炸深均为 3.5 m；2) 在炸礁 P_1/P_2 区、 P_5/P_6 区和 P_8/P_9 区上半段河底设置 P_1 、 P_4 和 P_5 宽顶逆坡潜坝，坝顶宽 50 m，上端高程 -8.0 m、下端高程 -7 m，顶部沿流向纵坡约 2%；3) 于炸礁 P_1/P_2 区下游右侧宽阔处修筑 P_2 、 P_3 两道丁坝，坝头距航槽边分别为 30、35 m，坝顶高程 0 m。 $P_1 \sim P_5$ 坝的主要目的在于壅高上游水位。整治方案平面布置见图 9。

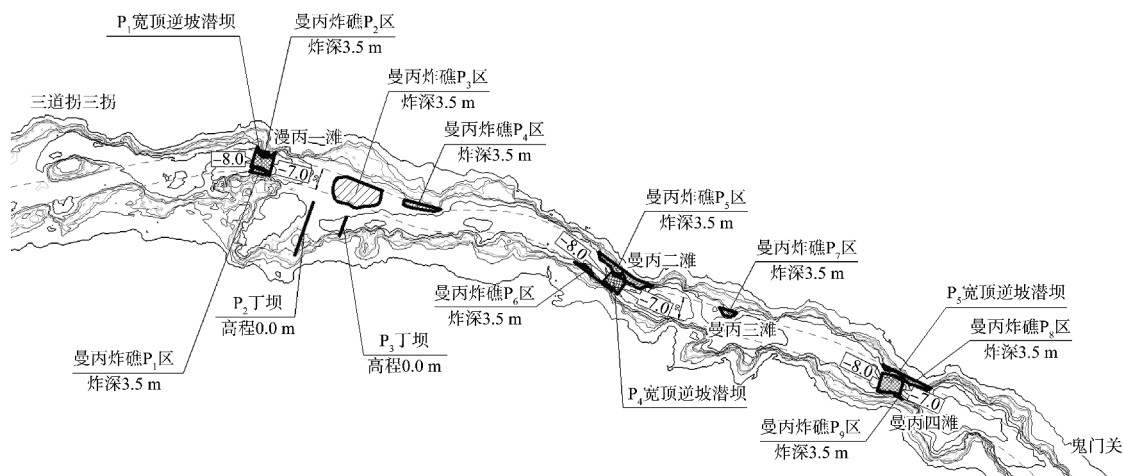


图9 曼丙滩险整治方案平面布置

3.3 整治效果

3.3.1 航道尺度

按照整治方案,炸礁宽度以航槽两侧边线为控制线,保障了最小 50 m 航宽要求;航道水深方面,炸礁底部高程为设计最低通航水位以下 3.5 m,而从炸礁的水面跌落情况来看,炸礁后滩险河段最大水面跌落约为 0.5 m,即炸礁最小水深 3.0 m 可满足最小 2.5 m 水深要求,同时较基本尺度有 0.5 m 富余,符合船舶在峡谷河段动吃水要求,保障船舶的航行安全;最小弯曲半径方面,滩险河段总体顺直微弯,转弯半径均满足最小 330 m 要求。综上,经过整治后,滩险河段满足基本航道尺度要求。

3.3.2 水位变化

根据本滩设计最小通航流量下的水面降落情况来看,方案优化完成后,最大水面降落出现在一拐首,降落值约 0.5 m。同时, P_1 、 P_4 、 P_5 宽顶逆坡潜坝后的 P_2 、 P_3 丁坝壅水后,对缓解炸礁带来的水面跌落有明显效果,尤其是曼丙一滩头部壅水达 0.8 m,三道拐一拐位置壅水 0.4 m,见图 10。从整个河段设计最小通航流量水面降落来看,各处炸礁区均能满足 2.5 m 的航深要求。

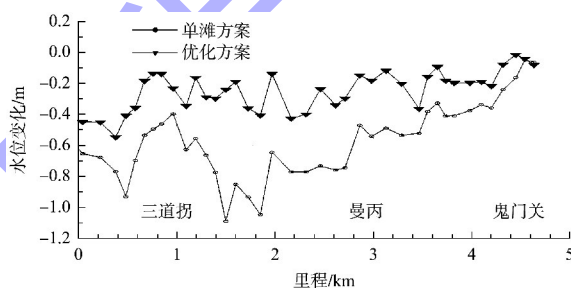
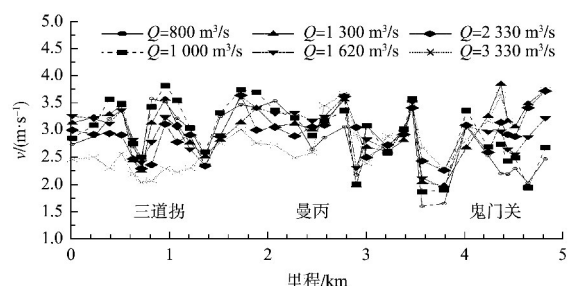


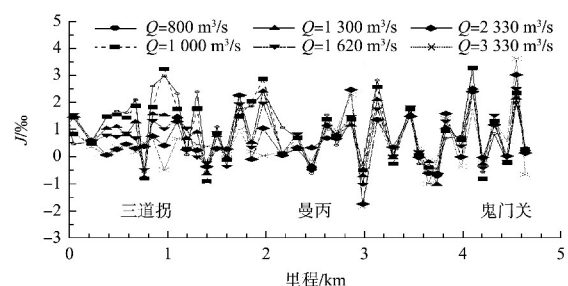
图10 方案优化前后水位变化

3.3.3 整治效果

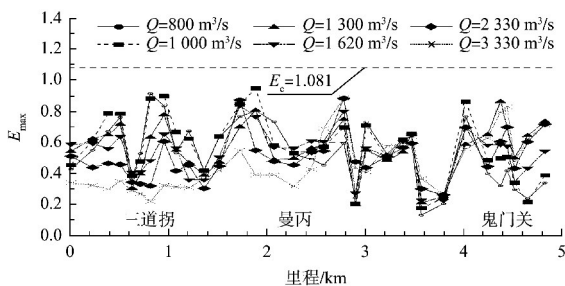
优化方案各级流量下参数沿程变化如图 11 所示。



a) 航槽最大流速



b) 航中水面比降



c) 航槽最大消滩指标

图 11 优化方案各级流量下参数沿程变化

1) 流速方面, 方案优化后滩段内未出现明显急流, 与整治前类似, 中枯水流量下流速较大, 但是均不大于 3.8 m/s。滩险上段最大流速出现在 1 000 m³/s 流量下, 为 3.8 m/s, 滩段最大流速出现在曼丙头部 1 000 m³/s 流量下, 为 3.7 m/s。此后随着流量的增加, 滩段内流速逐渐减小。2) 比降方面, 各级流量超过 4‰ 的局部陡比降消失, 特别是曼丙首部的最大比降从方案前的 4.87‰ 降至 2.85‰。3) 各级流量最大消滩指标为 0.96, 小于临界指标 1.081 约 0.12, 船舶上滩条件明显改善。

4 结论

1) 针对兼具宽浅-窄深和浅区-深潭相间碍航特征滩险, 采用窄深形清礁断面结构形式比宽浅形对水位跌落的影响更小。

2) 采用传统的深槽抛筑潜坝对壅高水位影响有限。

3) 在狭窄处采用宽顶逆坡潜坝壅水效果较好。

4) 针对该类滩险的治理, 在保障基本航道尺度的前提下, 减小水位跌落是关键。

5) 本研究既解决了单滩兼具宽浅-窄深和浅区-深潭相间特征的复杂碍航问题, 又缓解了对上游滩险的不利影响, 同时使得河段航道尺度提升至Ⅳ级航道的建设标准。曼丙滩的治理思路可为后续类似滩险航道等级提升整治提供借鉴。

参考文献:

- [1] 马李伟. 澜沧江景洪以下贺宽下滩整治方案[J]. 水运工程, 2022(11): 172-177.
- [2] 曾涛, 张文, 张晓琴. 长江上游急流滩险整治思路分析[J]. 水运工程, 2014(1): 128-133.
- [3] 曹民雄. 山区河流急流滩险航道整治技术研究[D]. 南京: 南京水利科学研究院, 2005.
- [4] 马宪浩. 澜沧江西瓜滩至勐宋滩群航道整治方案[J]. 水运工程, 2019(6): 87-92.
- [5] 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.
- [6] 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河段物理模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2017.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 103 页)

- [4] 胡优, 李清平. 湘江航道浅滩水深时空特征分析及应对措施研究[J]. 中国水运(上半月), 2021(6): 116-119.
- [5] 刘方舟, 乾东岳, 普晓刚, 等. 洞庭湖草尾河航道碍航特性分析[J]. 中国水运(上半月), 2022(9): 119-121.
- [6] 姚静, 李云良, 李梦凡, 等. 地形变化对鄱阳湖枯水的影响[J]. 湖泊科学, 2017, 29(4): 955-964.
- [7] 杨进生, 黄定军, 冯宁, 等. 双港至褚溪河口湖区Ⅲ级航道整治工程初步设计[R]. 南昌: 江西省航务勘察设计院, 2018.
- [8] 唐蔚, 周千凯, 周乐序, 等. 艳洲枢纽下游设计最低通航水位论证[J]. 水运工程, 2022(11): 128-132.
- [9] 余文钧, 朱博渊. 鸭绿江八道沟—云峰大坝段设计最低通航水位研究[J]. 水运工程, 2021(8): 134-138.
- [10] 李有为. 长江干线宜昌—浏河口段—维河网水流数学模型[J]. 水运工程, 2022(3): 111-117, 128.
- [11] 陈界仁, 吕婷婷, 唐立模, 等. 饶河鄱阳湖湖区航道整治疏浚方案研究[J]. 水运工程, 2018(11): 126-130, 155.

(本文编辑 王传瑜)