



澜沧江景洪以下贺宽下滩整治方案

马李伟

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 基于澜沧江IV级航道建设工程, 以贺宽下滩整治方案为依托, 阐述了滩险特性、水文特征和历史整治情况。针对峡谷段滩险航道尺度不足, 滩段内流速大、比降陡、流态坏, 船舶不能自航上滩的问题, 从滩险流速、比降、上滩水力指标等方面对滩险的碍航特性进行研究, 采用清礁结合筑坝的思路扩大过水断面、壅高断面水位, 减缓流速和比降, 解决了滩险航道尺度不足和船舶不能自航上滩的问题。得出在峡谷急流滩险航道整治中采用“上疏下抬”的治理措施, 能够解决航道尺度不足和船舶自航上滩困难的碍航问题, 为类似滩险的整治提供借鉴。

关键词: 急滩; 上滩指标; 上疏下抬

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)11-0172-06

Regulation plan for Hekuan-rapids downstream Jinghong of Lancang River

MA Li-wei

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

Abstract: On the basis of the four-level waterway construction project of Lancang River and the regulation plan for Hekuan-rapids, this study illustrates the rapids and hydrological characteristics and the historical regulation situation. Due to insufficient waterway length and depth in the rivers, as well as high flow rates, huge gradients, and bad flow patterns in the rapids section, ships cannot go up by themselves. Hence, this paper researches the navigation-obstructing characteristics of rapids from the aspects such as the flow rate, gradient, and rapids-passing hydraulic indexes and combines rock cleaning and damming for a wider water-crossing section and a higher sectional water level. In this way, the flow rate and gradient are reduced, and the above-mentioned problems can be solved. It is concluded that we can adopt the measure of “dredging up and uplifting down” to solve the problem of insufficient waterway length and depth in the rivers and difficulty in ships going up by themselves. The research result provides a reference for similar rapids regulation.

Keywords: rapids; rapids-passing index; dredging up and uplifting down

澜沧江—湄公河流经中、老、缅、泰、柬、越6个国家, 是沿岸各国人民经济、贸易、文化交流的重要黄金水道。随着国家西部战略的实施和大湄公河次区域经济合作的加强, 开展澜沧江IV级航道建设工程是实现澜-湄国际航道上下贯通、打造澜沧江开发开放经济带、推进区域合作和地区一体化建设的需要, 也是促进澜沧江航运持续发展、充分发挥国际水运通道优势、适应澜-

湄国际航运发展和满足流域经济发展的需要^[1]。IV级航道建设工程全长387 km, 根据受枢纽运行影响情况, 分为糯扎渡库区、景洪库区和景洪枢纽以下天然河道3段。其中, 景洪枢纽以下天然河段滩险分布密集, 是整个工程整治的重难点所在, 而贺宽下滩又以流急、比降陡、流态乱, 且边界条件复杂成为该段中一道凶险的中、枯水滩险, 再加之滩段上游紧邻贺宽中滩等峡谷滩群河

收稿日期: 2022-02-18

作者简介: 马李伟(1983—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计工作。

段，单滩整治需要与滩群整治相结合，是工程建设成败的一道关键节点。目前，针对急流滩险，单滩整治方法主要包括扩大泄水断面法、上疏下抬法、改变滩口形态法等^[2]，而滩群整治中需注意单滩整治造成上游邻近滩险的水位跌落等不利影响^[3-5]。在此背景下，本文结合类似急流滩险单滩整治与滩群整治的方法，开展了对贺宽下滩整治方案的研究。

1 滩险概况

1.1 河道概况

贺宽下滩位于景洪枢纽下游 58.9 km，是工程河段内一处凶险的中、枯水险滩，水位越低，滩情越险，素有“滩王”之称，曾经是景洪以下至 243 界碑天然河段中碍航最为严重的滩险之一，见图 1。该滩上游紧邻贺宽中滩，是澜沧江典型的峡谷基岩河段，滩长约 1 300 m，枯水河宽仅约 50 m，中洪水期河宽也仅 60~70 m。滩险下游紧邻南班河口滩，为工程河段最大的溪口滩。河势上，贺宽下滩滩长近 700 m，由上下 2 个大肚子河

段和中间峡谷河段组成，形似“藕节状”，上下宽阔段宽约 200 m，滩中窄槽段长约 170 m，枯水河宽约 60 m；滩险右岸岸线微弯，左岸岸线上下宽阔段内凹，形成两处向左的弯沱，滩险出口处有一处礁石凸嘴向河心突伸，将河宽突然束窄至约 70 m。河床地形上，上下弯沱为深潭，上深槽深泓最大水深约 9 m，下深槽深泓最大水深约 18 m，中间峡谷水浅，航深 2.5~4.0 m；下深槽右岸有礁石岩盘突伸江中，并与左岸礁石凸嘴交相对峙。

受滩段河势及河床地形的影响，滩险上段江面较宽，水流流速相对较缓，至滩险中段进口位置，受地形突然抬升的影响，在进口处有强烈的泡漩水，至滩险中段窄槽段，由于江面狭窄，河床地形高，水流流急、比降陡，根据滩段 2016 年 5 月实测资料，最大表面流速达 4.57 m/s，最大比降 4.8‰，船舶在此不能自航上滩。滩险下段江面突然扩宽，水深大，加之出口处受到两岸岩盘和凸嘴阻流影响，枯水期有较强的横流并形成回流，同时由于右岸岩盘的存在，致使水流流态紊乱。

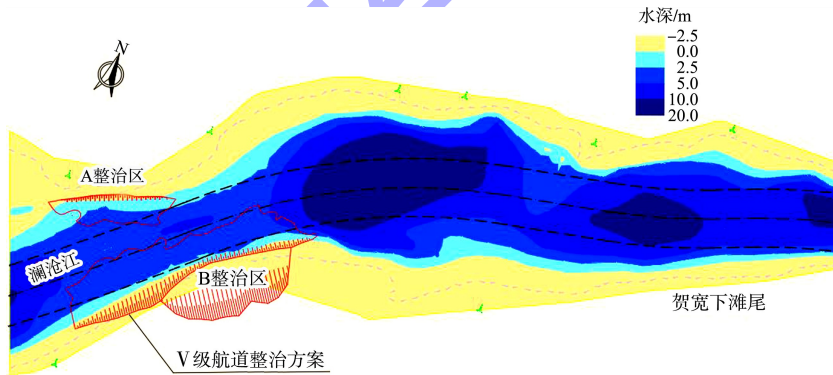


图 1 贺宽下滩河势

1.2 水文泥沙

澜沧江径流以降雨补水为主，兼有部分冰雪融水补给，年内分配不均匀，天然情况下，汛期明显，主要集中在 6—10 月，占径流量 70% 以上。工程河段上游糯扎渡、景洪等枢纽修建以后，受水电站水库蓄水运行影响，径流调节作用明显，年内径流量过程发生巨大变化，很难出现天然情况下的洪枯期，甚至有洪枯倒转的情况。从景洪水文站的资料来看(图 2)，近年平均下泄流量为

1 490 m³/s，较多年平均下泄流量 1 619 m³/s 稍小；景洪装机满发流量 3 330 m³/s，景洪以下来流量多小于该值；该河段 P=95% 对应的设计最小通航流量为 800 m³/s。

根据对工程河段床沙坑测资料进行分析，工程河段河床组成以卵石为主，夹少量泥沙，中值粒径为 37.00 mm，见表 1。同时，上游携带的泥沙随水流的下泄，普遍落淤在下游宽浅、流速相对较小的河段，特别是较大的颗粒推移质容易受

河中突出地形如礁石凸嘴、支流冲积扇等阻挡落淤而成滩。而贺宽下滩为礁石河段，滩险在清礁

后水流畅通，流速急，因此，上游泥沙难以落淤，不会重新成滩。

表 1 工程河段床沙级配

| d/mm | 床沙级配/% | | | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1#坑 | | | 2#坑 | | | 1#坑综合 | 2#坑综合 | 31#坑综合 |
| | 表层 | 中层 | 底层 | 表层 | 中层 | 底层 | | | |
| 200 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 128 | 95.01 | 91.22 | 90.91 | 85.70 | 94.76 | 88.14 | 92.24 | 89.13 | 90.68 |
| 64 | 75.82 | 63.68 | 65.79 | 60.76 | 72.09 | 63.14 | 68.09 | 64.84 | 66.46 |
| 16 | 36.28 | 26.85 | 29.41 | 31.74 | 40.67 | 34.77 | 30.61 | 35.31 | 32.98 |
| 1 | 13.46 | 16.74 | 21.02 | 12.79 | 15.78 | 12.12 | 17.32 | 13.47 | 15.39 |
| d_{50} | 26.70 | 43.40 | 40.70 | 42.20 | 28.70 | 37.50 | 37.30 | 36.60 | 37.00 |

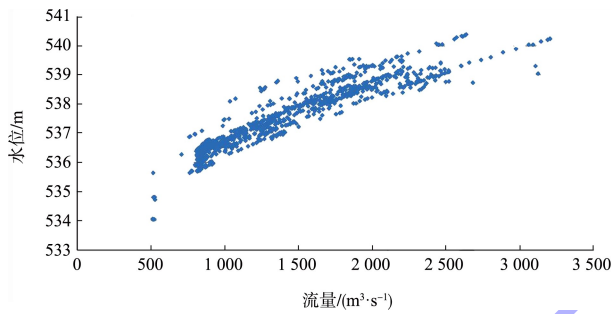


图 2 景洪电站下泄流量与坝下水位关系

1.3 历史整治情况

贺宽下滩在 1960 年曾整治过一次，但是收效不大；70 年代初，对该滩采取切除窄槽左岸乱石堆、平整左岸回旋段岸线、顺清右岸岸线及水下河床并在右岸冲沟内建固防工程的方式进行了治理，达到初通机动船的目的；1994—1997 年进行了第 3 次整治，采取切除窄槽左岸，清理河床的方式进行治理，使航道初步达到 VI 级航道标准；2003 年，在澜沧江 V 级航道一期工程中进行了第 4 次整治，针对本滩流速大、比降陡、水深不足的问题，采取切除窄槽左岸 3~4 m，保留右岸滩头凸嘴，清除部分边滩和整治线内水位下不足 2.0 m 的部分。整治后，航道条件稍有改善。

窄槽左岸下游 250 m 处的突嘴切除工程曾数次计划实施，但几次施工均未切除，其原因是该突嘴起到壅水作用，在左岸制造缓流区，减小窄槽段的落差，利于船舶“搭跳”上滩。若清除该突嘴，水流会更陡更急，船舶不能“搭跳”上滩。在澜沧江 V 级航道一期工程中仍保留了左岸凸嘴，以期对窄槽有一定壅水作用。

历经以上整治之后，航道水深达到了 V 级航道尺度的要求，滩险水流、比降有所减缓，航道条件明显好转，依靠“搭跳”的方式，枯水期能够自航上滩，基本达到了预期的整治目标。然而整个滩险比降陡、流速大的碍航情况未得到根本改善，卡口位置处中洪水期成滩，多数上行船不能自航过滩，这也是本次 IV 级航道整治需要解决的主要问题。

2 碍航特征

2.1 流速与流态

鉴于工程河段在贺宽下滩窄槽段突然束窄，河床地形高，水深浅，造成窄槽位置流速大。中枯水期，河心最大流速均在 5 m/s 左右。在设计最低通航流量 800 m³/s 时，河心流速为 4.97 m/s，最大流速出现在 1 000 m³/s 时，为 5.32 m/s；随着流量增加，流速逐渐减小，流量在 1 160~2 225 m³/s 时，流速在 5 m/s 左右；此后，随着流量增加，流速又逐渐增加，流量 2 800 m³/s 时，流速 5.28 m/s，见图 3。

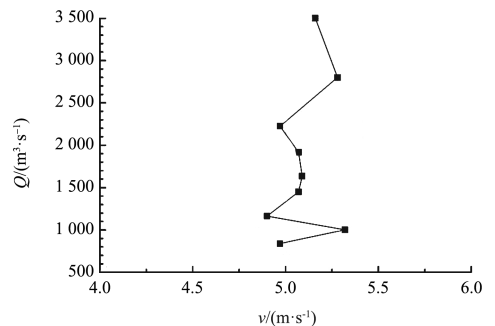


图 3 整治前河心流速变化

滩中狭窄段中枯水宽约 60 m，下游出口放宽至约 200 m，同时下深槽水深 18.6 m，加之滩下河势受右岸礁石岩盘影响向左岸偏约 25°，因此滩下形成剪刀水，各级流量下直冲出口凸嘴，水流紊乱，斜流强。

2.2 比降

贺宽下滩为上下深槽之间的横梗型急流滩险，上下深槽宽度大、水深，中间横梗宽度小、水浅，因此滩险在横向和纵向均有较大的起伏，中枯水流量时出口有明显的水位跌落。跌水段在设计最低通航流量 800 m³/s 时比降最陡，左岸为 13.8‰，右岸为 6.8‰，见图 4，随着流量的增加，比降逐渐减小，流量大于 1 918 m³/s 时，比降小于 4‰。

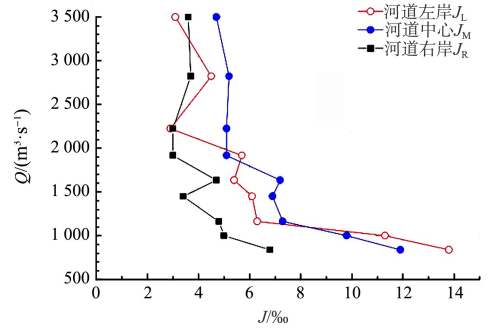


图 4 整治前滩段比降

2.3 上滩能力

为研究船舶在工程河段的上滩能力，引入上滩水力指标参数，根据研究，澜沧江 IV 级航道 500 吨级船舶水力指标^[6]见表 2。

表 2 500 吨级船舶自航上滩水力指标计算参数

| 比降 $J/\text{‰}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 流速 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ | 4.40 | 4.25 | 4.10 | 3.95 | 3.80 | 3.65 | 3.50 | 3.35 | 3.20 |

经拟合得到水力指标 $E = v^2/2g + 0.00689J = 1.02$ ，当 E 值大于 1.02 时表示不能自航上滩，反之则表示可自航上滩。

根据贺宽下滩的水流特性，参考目前船舶选择的航行线路，船舶中、枯水期上行至贺宽下滩脚时，循右岸沱区缓流上行，至窄槽段，与右岸保持适当距离上行通过。由于本滩流速急、比降陡，船舶经过此处时不能自航上滩，通过分析， E 值在设计最低通航水位下时最高，为 2.07；之后随着流量的增加，滩情逐渐减弱，至流量 2 225 m³/s 时， E 值减小为 1.04。此后，随着流量的继续增加， E 值又逐渐增大，当流量达到 3 500 m³/s 时， E 值达到 1.52，见图 5。

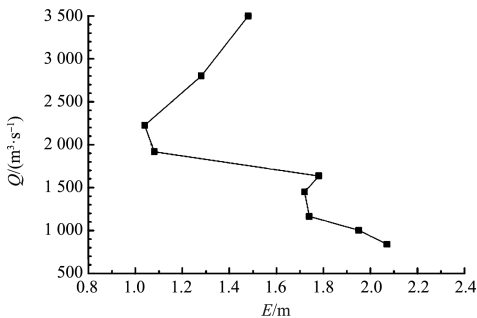


图 5 各级流量下水力指标变化

2.4 碍航特征

通过前述分析，贺宽下滩的碍航特征主要包

括：1)窄槽段航道尺度不满足 IV 级航道要求。航道水深小，一般在 2.5~4.0 m；航道宽度稍有不足。2)窄槽段水流流速急、比降陡，船舶自航上滩难度大。滩险窄槽段在中、枯水期河心流速均在 5 m/s 左右，设计最低通航流量下滩情最汹， E 值达到 2.07，之后随着流量的增加滩情减弱，至 2 225 m³/s 时， E 值减小为 1.04，但之后随着流量继续增加，上滩阻力复又增加，当流量达 3 500 m³/s 时， E 值达 1.52。3)滩险下游深沱位置航线弯曲，沱内流态差。窄槽段下游河势右偏约 25°，滩下形成剪刀水，主流直冲左岸滩险出口凸嘴，水流紊乱，中枯水斜流较强。

3 整治方案研究

3.1 整治思路及关键技术

针对贺宽下滩航道尺度不足，流速急、比降陡、船舶上滩困难和滩险下游流态紊乱的碍航问题，本次整治思路采用清礁结合筑坝的方式。1)对窄槽段进行开挖，保障航道尺度满足 IV 级航道要求；2)通过清礁扩大窄槽段河道过水水流面积，减小水流流速和比降，降低船舶自航上滩难度；3)通过布置整治建筑物调整滩险下游水流流态，改善通航水流条件；4)在通过开挖保障贺宽

下滩航道尺度和改善船舶自航上滩条件的同时，兼顾整治对上游邻近滩险水位跌落带来的不利影响，采取筑坝的措施，适当缓解开挖导致的跌水。

滩险整治的难度在于不但要使贺宽下滩航道尺度满足要求、航道条件达到自航上滩的目标，同时还需减小对上、下游滩险的不利影响。整治关键技术在于：1)清礁范围、清礁断面形式和清

礁底部高程的确定；2)整治建筑物的布置位置和顶部高程的确定，在达到改善贺宽下滩通航条件的同时，需兼顾减小上游水位跌落幅度的目标。

3.2 方案布置及优化过程

根据整治思路，采用“上疏下拾”的整治措施进行方案的布置，并采用物理模型对方案进行了优化调整。方案优化过程见表3，方案布置见图6。

表3 方案布置及优化情况

| 方案 | 整治思路 | 方案布置 | 整治效果 | 存在的不足 |
|------|---|--|--|--|
| 初步方案 | 清礁宽度按照航道尺度要求加宽,加大清礁深度以扩大过流面积,增加自航上滩能力;在下游深槽布置潜坝壅高水位 | 1)按照 50 m 航道宽度对窄槽区进行清礁,清礁底部高程为设计最低通航水位下 5.0 m; 2)在滩险下游深潭位置布置 1 道潜坝,坝顶高程为设计最低通航水位下 7.0 m | 1) 航道尺度满足 IV 级航道要求; 2) 各级流量下航行阻力均有所减小,整治效果明显,其中最低通航水位下减小至 0.81 | 1) 当来流量大于 2 800 m ³ /s 时,上滩条件无明显改善; 2) 设计最低通航流量下,导致贺宽中滩出口水位跌落达 0.85 m,贺宽上滩滩口处上滩水力指标 E 由工程前 1.42 增加至 1.78,恶化上游邻近滩险滩情; 3) 潜坝壅水效果不佳,同时对通航条件无明显改善; 4) 滩险下游剪刀水等不良流态基本无改善 |
| 优化 1 | 开挖槽底向两侧扩挖,增加枯水期过水面积;优化下游整治建筑物方案,壅高上游水位,改善水流流态 | 1) 航槽左侧向外开挖 10 m,开挖底部高程为设计最低通航水位下 3 m,航槽右侧向外开挖 10 m,开挖底部高程为设计最低通航水位 0 m; 2) 调整潜坝位置及高程,将原深潭位置布置的 1 道潜坝调整为 2 道,潜坝高程由设计水位下 7.0 m 调整为设计水位下 4.8 m; 3) 在左岸深沱布置 1 道下挑丁坝 D5,调整主流流向 | 1) 航道尺度满足 IV 级航道尺度要求; 2) 各级流量下航行阻力均有减小,流量 2 225 m ³ /s (20 a 一遇洪水水位) 以下基本满足自航上滩; 3) 设计最低通航流量下,贺宽中滩出口处水位跌落由 0.85 m 减小至 0.27 m,滩险出口 2 道潜坝的壅水效果良好; 4) 下挑丁坝对滩险出口斜流调整良好,水流条件改善明显 | 1) 潜坝坝顶高程较高,不利于枯水期潜坝坝顶的航行安全; 2) 窄槽段右岸岸坡稳定性较差,不宜开展清礁施工 |
| 优化 2 | 开挖槽底向左侧扩挖,增加过水面积;优化潜坝壅水方案 | 1) 由航槽两侧开挖变为向左侧单侧开挖,宽度由 10 m 增加至 25 m,底部高程由设计低水位下 3.0 m 增加至 3.4 m; 2) 取消出口 2 处潜坝,在邻近 D5 丁坝上游布置 D4 丁潜坝,丁坝坝头在设计最低通航水位上 1.6 m,然后过渡到航槽内设计最低通航水位下 6.0 m 布置潜坝; 3) D5 坝方案不变 | 1) 航道尺度满足 IV 级航道要求; 2) 各级流量下滩段的航行阻力与方案优化 1 相近,基本满足滩段自航上滩,单滩整治效果明显; 3) D4 丁潜坝壅水效果明显,较初步方案,设计最低通航流量下的水位跌落值由 0.85 m 降低至 0.40 m; 4) 滩险下游岸线更为平顺,水流条件改善更优 | 相较于方案优化 1, D4 丁潜坝壅水效果相对不足,上游的水位跌落值由 0.27 m 增加至 0.40 m,壅水效果不及方案优化 1,但整体上仍能保障贺宽中、上滩险航道尺度满足要求 |

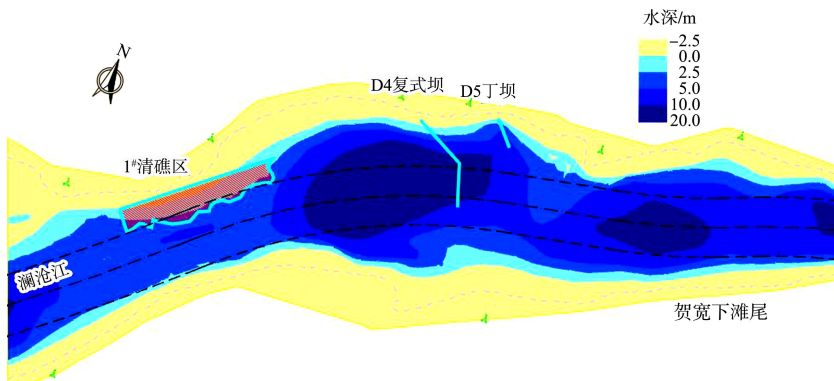


图6 贺宽下滩整治方案

3.3 整治效果

为验证整治的效果，采用物理模型对整治前

后的流速、比降、上滩指标等进行对比，见表 4。

表 4 整治前后工程效果对比

| 指标 | 流速 | 比降 | 上滩水力指标 | 流态 |
|-----|---|---|--|--|
| 整治前 | 流量 800 m ³ /s 时，流速 4.97 m/s；流量 1 000 m ³ /s 时流速最大，为 5.32 m/s；流量 1 000~2 200 m ³ /s 时，流速在 5 m/s 左右；此后流速增加，至 2 800 m ³ /s 时，流速 5.28 m/s | 枯水期比降最大，流量 800 m ³ /s 时，左岸比降 13.8‰，右岸比降 6.8‰ | 流量 800 m ³ /s 时滩情最汹，E 值达 2.07；之后随着流量增加而减小，至 2 200 m ³ /s 时，E 值减小至 1.04；随着流量的进一步增加航槽流速增加，上滩阻力增大，至 3 500 m ³ /s 时，E 值达 1.52 | 滩险出口形成剪刀水，导致各级流量下主流直接冲击左岸凸嘴，水流紊乱，中枯水斜流较强 |
| 整治后 | 流量 800 m ³ /s 时，流速减小至 4.2 m/s；流量 1 000 m ³ /s 时，流速 4.1 m/s；流量 11 450 m ³ /s 时流速最大，为 4.3 m/s 左右；此后流速减小 | 流量 800 m ³ /s 时，河心比降减小至 1.9‰ | 当流量小于 2 800 m ³ /s 时，E 值均小于 1.0；流量超过 2 800 m ³ /s 后，E 值超过 1.0 | 滩险出口水流流速减缓，剪刀水等不良流态得到有效的治理，通航水流条件明显改善 |

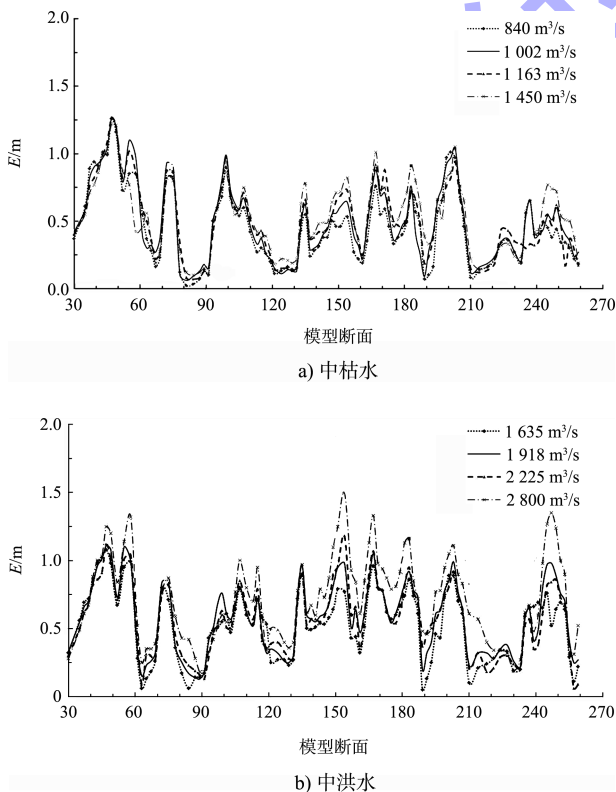
通过对滩险整治前后流速、比降、上滩能力、流态等几个方面的对比分析可知，整治后贺宽下滩航道条件得到大幅改善，流速、比降减小，出口水流流态明显改善，流量 2 800 m³/s 以下时，船舶均能自航上滩，见图 7。考虑到近 3 年 P=5% 流量为 2 225 m³/s，可作为最高整治通航流量，因此可以得出，经过整治，航道尺度满足 IV 级航道标准，航道条件大幅改善，各级流量下均基本满足船舶自航上滩的要求，达到预期的整治效果。

4 结论

- 1) 工程河段滩险碍航的原因首先在于尺度不满足要求，其次是流速、比降大，流态紊乱，不满足船舶自航上滩要求。整治措施为“上疏下拾”。
- 2) 通过清礁提高航道尺度，同时扩大过流面积，减小流速和比降，提高船舶自航上滩能力。
- 3) 通过筑坝减缓水流流速，改善出口流态，同时达到壅高上游水位，缓解因清礁而引起的上游水位跌落问题，尽量减小对邻近滩险的不利影响。
- 4) 整治过程中，要兼顾滩险附近的外部条件和整治建筑物本身对航行安全的影响。

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] 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.
- [3] 马宪浩. 澜沧江西瓜滩至勐宋滩滩群航道整治方案[J]. 水运工程, 2019(6): 87-92.
- [4] 王敏. 澜沧江贺宽滩急流滩群整治技术试验研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.
- [5] 赵志舟, 赵世强, 许光祥. 山区河流滩群河段的碍航特征与整治原则分析[J]. 水利水运工程学报, 2013(2): 39-44.
- [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贺宽滩段航道整治物理模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2018. (本文编辑 王传瑜)



注：断面 230~260 为贺宽下滩险卡口所在位置。

图 7 水力指标沿程变化