



重庆三角碛复杂滩群碍航特性及治理方案

朱代臣¹, 熊 波², 何艳军¹

(1. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147; 2. 长江武汉航道局, 湖北 武汉 430011)

摘要: 重庆三角碛滩群外部环境复杂, 存在山区河道及水库的双重特性, 滩性复杂, 碍航严重。通过分析重庆主城区三角碛复杂滩群的演变规律、碍航特性, 提出滩群治理思路, 并结合模型试验, 进行多方案的比选和方案优化, 采用方案 1 鱼骨坝的长顺坝作为最终治理方案, 布局合理, 工程投资少。

关键词: 三角碛滩群; 河床演变; 碍航特性; 治理方案

中图分类号: U 617 **文献标志码:** **文章编号:** 1002-4972(2016)01-0139-07

Navigation-obstructing characteristics and regulation plan of Sanjiaoqi beach group in Chongqing

ZHU Dai-chen¹, XIONG Bo², HE Yan-jun¹

(1. Changjiang Chongqing Harbor and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China;
2. Changjiang Wuhan Waterway Bureau, Wuhan 430011, China)

Abstract: Sanjiaoqi beach group in Chongqing is with complex external environments and presence of dual characters of mountainous river and reservoir. It is also characterized with complex beach features and faces serious navigation-obstructing problem. Based on the analysis of the river bed evolution laws and navigation-obstructing characteristics, we present the regulation thought. Combining with the model testing methods, we carry out multiple-scheme comparison and optimization, and select the scheme 1, fish-bone dike, as the final regulation scheme, which is characterized by reasonable layout and less cost.

Keywords: Sanjiaoqi beach group; riverbed evolution; navigation-obstructing characteristic; regulation plan

长江上游朝天门以上河段目前航道等级为Ⅲ级, 最小航道维护尺度为 2.7 m × 50 m × 560 m (水深 × 航宽 × 弯曲半径)。按照交通运输部《长江干线航道总体规划纲要》(交规划发〔2009〕35 号)要求, 至 2020 年, 长江上游重庆主城区的九龙坡至朝天门河段航道等级为Ⅰ级, 航道尺度达到 3.5 m × 150 m × 1 000 m。可见, 现行航道尺度与规划尺度有很大的差距, 必须通过工程措施拓宽航槽、加深航道水深, 才能满足规划尺度要求。以规划航道尺度为标准进行航道条件核查,

九龙坡至朝天门河段存在胡家滩、砖灶子、三角碛、铜元局及猪儿碛 5 个碍航滩段, 其中三角碛滩段是最复杂的滩群, 包括鼓鼓碛、蕉芭滩和三角碛三处且断且连的滩段, 滩性复杂, 碍航严重, 整治难度大。文章对九龙坡至朝天门河段展开数学模型和物理模型试验研究, 并重点进行三角碛复杂滩群的水流特性和治理方案试验。在河床演变、碍航特性分析的基础上, 结合物理模型试验成果, 就三角碛复杂滩群的治理方案进行研究。

收稿日期: 2015-10-30
作者简介: 朱代臣 (1981—), 女, 工程师, 从事港口与航道工程科研与设计工作。

1 河道概况

三角碛滩群河段位于长江上游重庆主城区, 长江上游航道里程 670~674 km, 下距嘉陵江、长江交汇口 11 km。本河段属于典型的川江山区河道, 平面形态上呈现“S”型弯曲和鱼腹状(图 1), 洪水河宽 600~1 300 m。入口深槽居右, 左岸鼓鼓碛边滩, 右岸舀鱼背、千斤岩岩壁。过千斤岩河段放宽, 右侧是九堆子大型边滩, 受采砂等人类活动影响, 边滩呈凹凸不平的散乱状。九堆子分河道为左右汉: 左汉为中枯水主航槽, 受九堆子挤压向左弯曲, 且受分汉段水流放宽影响中部航槽内形成蕉芭滩浅区(鸡心碛); 右汉在低水期呈尖潭或倒套, 3 m 水位过流, 九堆子边滩约在 6 m 水位全部过流。左汉下段有江心潜碛三角碛, 目前三角碛右(南)槽为主航槽, 北槽也曾作为主槽, 是九龙坡港区水域。整个三角碛滩群出口段向右弯曲, 右岸白鹤梁、大梁礁石凸嘴与左岸和尚山对峙, 收窄河宽。

三峡工程 175 m 试验性蓄水后, 回水上溯到重庆主城河段, 三角碛滩段从此开始受到蓄水影响, 在 175 m 蓄水期和消落前期处于库区状态, 消落后期至汛后退水前期仍呈天然状态。九龙滩水尺水位资料分析结果表明, 当坝前水位消落至 163 m 以下时, 九龙滩水尺基本不受坝前水位影响, 坝前水位抬升至 167 m 左右, 九龙滩又开始受到坝前壅水影响, 流速减缓, 水面放宽。

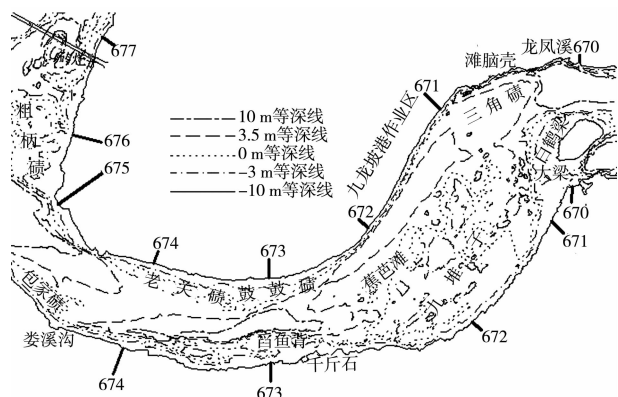


图 1 三角碛滩群河势

2 河床演变特点

1) 受三峡水库蓄水影响以前, 受来沙量减少以及采砂影响, 三角碛河段略有冲刷。

长期以来对于长江上游山区天然河道的河床演变总体认识为年际冲淤基本平衡, 河床总体稳定, 但 20 世纪 90 年代以来, 金沙江及岷江等支流陆续修建水利枢纽, 而且流域内水土保持加强, 长江上游来沙量呈现明显减少的趋势。朱沱站 1991—2002 年和 2003—2007 年分别较 1990 年以前的年均输沙量减少 7.3% 和 43.0%^[1], 相关研究均通过冲淤数据分析得出重庆主城区河段 90 年代以来总体呈现冲刷态势^[1-3]。三角碛浅滩段年际有冲有淤, 2003—2007 年总共冲刷了 56 万 m³^[2], 从每年的航道测图分析来看, 本滩段沙量的减少主要归于采砂和维护性疏浚。自然状态下, 三角碛滩群段年内遵循汛期淤积、中枯水期冲刷的规律, 汛末至年底则是主要的冲刷期。

2) 受蓄水影响以后, 走沙期缩短, 抵消了来沙减少引起的冲刷, 三角碛河段呈微淤状态。

根据近几年原型观测分析可以发现, 三角碛河段地形变化比较凌乱, 特别是九堆子滩面和航槽边缘, 有冲有淤, 冲淤幅度一般在 2 m 以内, 没有出现大面积成片淤积现象。三角碛河段 2009—2011 年消落期较 2007 年 3 月的淤积量分别为 10.9 万、16.6 万、9.9 万 m³, 说明河段内没有明显的累积性淤积。仅某些多沙年份消落前期航道内出现局部淤积, 如 2013 年 2 月蕉芭滩出现了约长 80 m、宽 60 m 的浅包, 影响消落期航道尺度, 从而实施了维护性疏浚^[4-5]。

根据相关研究, 汛末流量 14 500~6 000 m³/s 时为主要走沙期, 流量 6 000~3 000 m³/s 时是次要走沙期, 当流量小于 3 000 m³/s 时走沙基本停止。据此统计三角碛滩段走沙历时, 三峡 175 m 蓄水后, 三角碛水道主要走沙天数平均减少 17.1%, 次要走沙天数减少约 68.8%。可见, 三峡 175 m 试验性蓄水后三角碛河段走沙期天数大幅减少, 这将导致汛期淤积泥沙在汛后和消落期得不到完全冲刷, 但由于蓄水后来沙量仍持续减

少,在一定程度上抵消了走沙期缩短可能引起的累积性淤积,以至于受蓄水影响以来三角碛河段没有出现明显的累积性淤积。

3 碍航特性及成因分析

3.1 碍航特性

1) 整个滩段均表现出水深、航宽不足。

从图1可见,鼓鼓碛滩段3.5 m等深线不贯通,上下深槽交错,过渡段最小水深约3 m;蕉芭滩3.5 m等深线几乎不贯通,局部最小水深不足1 m;蕉芭滩与三角碛之间3.5 m等深线贯通,但150 m航宽欠缺;三角碛3.5 m等深线均不贯通,水深不足1 m占有较大范围。鼓鼓碛、蕉芭滩、三角碛浅区且断且连,相互影响,均为卵石浅滩,其中鼓鼓碛水深略显不足,蕉芭滩至三角碛段航宽稍小,碍航程度较弱,三角碛碍航严重。试验性蓄水后2012、2013年分别对三角碛右槽、鼓鼓碛碛翅和蕉芭滩实施了维护性疏浚,疏浚实施后,当年效果较好,航道条件改善,但次年回淤明显。

2) 三角碛航槽弯曲半径不足。

目前三角碛主航槽右槽弯曲半径只有600 m,不满足规划I级航道弯曲半径1 000 m的标准,需要通过工程措施调整航槽走向方能满足弯曲半径要求。

3.2 滩险成因

1) 鼓鼓碛滩段: 舀鱼背深沱最大水深超过30 m,吸流作用强烈;上游粗柄碛尾主流靠左,然后经老关碛、鼓鼓碛向右岸舀鱼背深沱过渡,形成滩面斜流。深沱吸流和滩面斜流的共同作用,导致鼓鼓碛滩缘流速缓,输沙强度弱,形成伸入航槽的滩体。

2) 蕉芭滩滩段: 舀鱼背深沱向下游延伸的千斤岩尖潭为九堆子左汊入口段,与航槽呈约30°的夹角。枯水位左汊不过流时,来流受九堆子所阻突然挑出,水流过分弯曲使得环流过强,横向输沙强度过大,加之尖潭吸流作用,泥沙在凸岸一侧堆积形成浅区。因此,千斤岩尖潭的存在是形成蕉芭滩出浅的关键原因。

3) 三角碛滩段: 三角碛滩险成因十分复杂,影响因素众多。中洪水河面宽阔是滩险的主要成因,水流分散,洪、中水主流不一致,水流难以集中冲刷航槽,易出浅碍航。

从图1可以看出: 九堆子在中、枯水滩缘参差不齐、凸凹不平的特点十分突出,过流宽度时窄时宽,连续性较差。滩面石包、水凼散乱其间,高低大小不一,且窞沟纵横,杂乱无章。滩面最高高程达173 m,最低不到156 m,主窞沟最低点低于151 m。这都体现了九堆子边滩的散乱和不完整,而边滩的散乱不完整是形成浅滩的重要原因。

窞沟水流于三角碛滩尾与航槽主流碰撞消能,减弱水流能量。位于白鹤梁上游的窞沟是九堆子的主要窞沟,中水流速较大,最大时近2 m/s。窞出水流与航槽呈45°~60°的大角度交汇(图2)^[6],碰撞掺混激烈,大量消耗水流能量,削弱输沙能力。

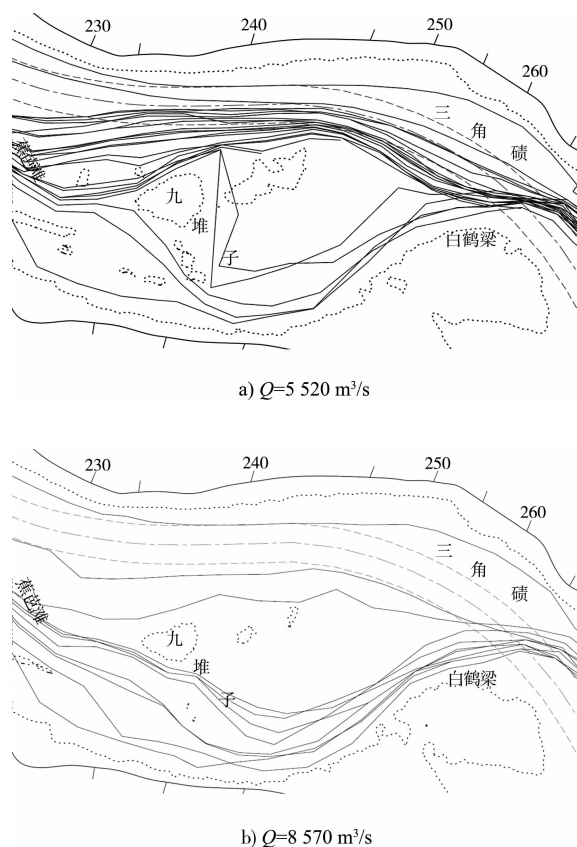


图2 九堆子河段浮标迹线

三角碛滩尾横轴环流，减缓了碛面泥沙的输移。三角碛浅碛与龙凤溪深沱的过渡段地形较陡，三角碛底流在惯性作用下脱离河床，形成横轴环流，底部流速流向上游，放缓了底沙输移。

成滩因素主要与河道形态有关，因为在蓄水以后河道形态没有改变，所以三角碛滩性在蓄水前后不会发生改变，反而因冲刷时间缩短、泥沙淤积因素增加，导致浅滩碍航程度增加。加之水位消落期间航槽砂卵石呈现上冲下淤、时走时停的“沙包”运动特性，容易在过渡段浅区停留，因此三角碛滩段出现碍航的危险性增加，碍航时间由整个枯水期集中至消落期中后期的3—5月。

4 整治方案

4.1 治理思路

结合码头建设和港口作业水深的需要，采取筑坝、浅区疏浚和碍航礁石炸除等措施对不满足规划尺度3.5 m×150 m×1 000 m要求的航道进行系统治理，归顺岸线，调整水流流路，拓宽航槽，改善流态，构筑微弯河型。

4.2 航槽选取

现有航槽主要依托现有深槽，上段靠右岸走舀鱼背深槽，到千斤岩过渡至左岸，沿岸下至三角碛再向右偏转走三角碛右槽，在右槽内呈现入槽右弯出槽左弯的“S”形态。对于设计航槽的选取：中段九堆子边滩分河道为左右汉，但右汉要在3 m以上水位才过流，若要开挖右汉，工程量巨大，只能选择左汉；三角碛潜碛段左右槽都过流，左槽是九龙坡港区水域，右槽是目前的主航槽，通过一定的工程措施，左、右槽都有条件作为设计主航槽。因此，整治方案设计首先从航槽选取的角度，设计2类方案进行比选：一是三角碛段航槽依托左槽，二是三角碛段航槽依托右槽。

4.3 定床物模研究

根据以上治理思路和航槽选取思路，模型试验进行了多组方案的试验研究，按照航槽的走向分2类。

1) I类方案：三角碛段航槽依托左槽。表1列出了其中较典型的2组方案：方案I-1和方案I-2（图3、表1）。

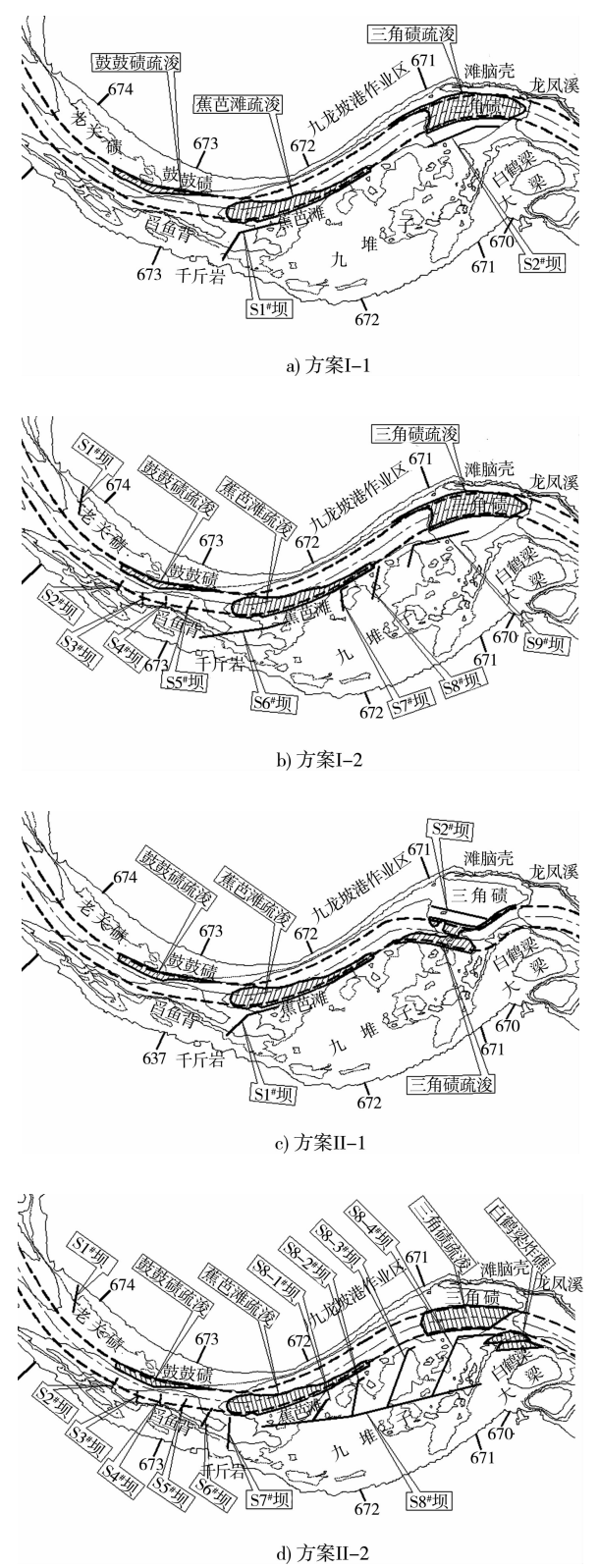


图3 定床模型方案

表 1 定床模型试验方案		
方案	方案描述	效果
方案 I-1	①航槽沿左岸穿三角碛中央而下, 摒弃现有航槽; ②疏浚航槽内鼓鼓碛、蕉芭滩、三角碛 3 处浅区; ③千斤岩尖潭入口筑丁顺坝 1 条和三角碛右槽筑顺坝 1 条	①枯水航槽水位普遍降落, 不满足 3.5 m 航深要求; ②蕉芭滩中段流速增值过大, 表面流速增值达 1.2 m/s, 而鼓鼓碛段基本无增加
方案 I-2	①航槽布置及疏浚同方案 I-1; ②老关碛首布置下挑丁坝 1 条; ③布置舀鱼背深槽潜坝 4 条, 千斤岩顺坝 1 条, 九堆子滩缘丁坝 2 条; 三角碛上段右侧丁顺坝 1 条	①枯水航槽流速增值合理, 中水稍超标
方案 II-1	①依托现有航槽, 三角碛走现右侧弯曲航槽; ②疏浚航槽内 3 处浅区; ③布置丁顺坝 1 条和顺坝 1 条	①航槽连续弯曲, 不利于安全行船; ②在蕉芭滩、三角碛上段存在航槽流速增值过大, 形成了新的急滩
方案 II-2	①航槽平顺微弯, 三角碛段尽可能靠近右侧枯水航槽, 擦白鹤梁边缘而下; ②疏浚航槽内浅区, 切除白鹤梁礁石前端; ③鼓鼓碛筑丁坝 1 条, 潜坝 5 条, 千斤岩尖潭入口筑丁坝 1 条, 九堆子上布置鱼骨坝	①航槽流速增值合理; ②拦截窜沟水流作用明显, 在中水以下水流平顺, 流态良好, 洪水流态也得到改善

2) II类方案: 三角碛段航槽依托右槽。表 1 列出了其中较典型的 2 组方案: 方案II-1 和方案II-2。

方案布置主要包括疏浚、炸礁和筑坝。其中疏浚是依据航槽布置, 对航槽内不满足规划水深的浅区疏浚, 两类方案都有; 炸礁是方案 II-2 因三角碛航槽偏右微弯而需要对航槽边缘的白鹤梁礁石进行部分切除; 多组方案的形成主要是从维持航槽稳定和调整水流条件方面考虑而采取的不同筑坝方案。筑坝稳槽和调整水流主要从 3 个方面考虑: 1) 鼓鼓碛伸出较开的主要原因是舀鱼背深沱吸流、老关碛滩面横流, 因此在深沱抛石筑潜坝以减缓深沱吸流, 在有筑坝条件的岸边筑丁坝调整滩面流向, 由于鼓鼓碛滩段航深略有不足, 碍航不严重, 适当整治即可。2) 蕉芭滩出浅的关键原因是千斤岩尖潭的存在, 所以方案设计思路是封堵尖潭, 减弱扫弯水强度。3) 三角碛成滩原因较为复杂, 总体分析认为是河道宽阔、九堆子边滩散乱不完整、右汊水流与主流碰撞掺混、碛尾横轴环流的综合作用。拟采用丁、顺坝等整治建筑物或参照散乱浅滩进行整治, 改善九堆子滩缘不规则特性, 控制窜沟水流。

通过两类、多组方案的定床物模试验, 得出以下主要认识^[6]: 1) 鼓鼓碛采用左岸丁坝结合舀鱼背深槽布置多条潜坝, 在一定程度上改善了入口斜流, 调整了舀鱼背深沱断面流速分布, 航槽平均流速增加, 增强了入口过渡段浅区以及鼓鼓碛边滩的冲刷能力; 2) 受千斤岩尖潭影响, 千斤岩至蕉芭滩一带枯水期天然状态下斜流较强, 在尖潭入口布置丁坝对消除横流和增大蕉芭滩航槽冲刷的效果最好; 3) 在九堆子边滩筑鱼骨坝不但可以改善九堆子滩缘不规则特性, 控制窜沟水流, 还能够促进坝田淤积、航槽冲刷, 提高边滩完整性, 构筑微弯河型。蕉芭滩和三角碛疏浚配合鱼骨坝的合理布局有望彻底改善三角碛的碍航情况。

4.4 方案设计与动床试验效果

通过对定床物模试验成果进行分析, 提出三角碛滩群治理的 2 个方案, 并对这 2 个方案进行动床模型试验研究, 以检验其束水冲槽的效果。

4.4.1 方案设计

1) 方案 1 (图 4): 基于方案 I-2 优化, 结合其它方案优点。

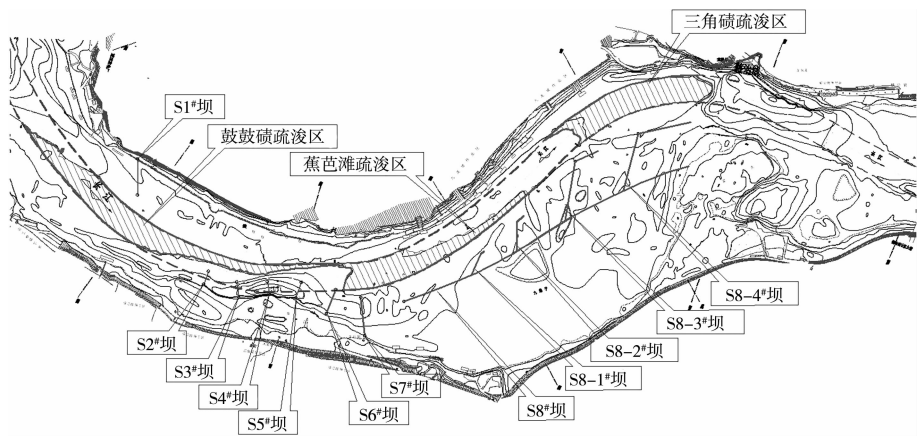


图 4 方案 1 布置

①设计航槽在鼓鼓碛段紧靠右侧舀鱼背布置，后沿左岸穿三角碛中央而下，摈弃现有枯水右侧弯曲航槽。

②根据航槽布置有三处航槽内浅水区需要疏浚，即鼓鼓碛、蕉芭滩滩和三角碛疏浚区。

③为维持航槽疏浚后的稳定，在鼓鼓碛左岸进口筑丁坝 1 条冲刷航槽；右岸舀鱼背深槽内筑潜坝 5 条，减弱深沱吸流，增大航槽左侧分流量；在千斤岩筑潜丁坝 1 条，减弱扫弯水强度，但考虑右岸有战备码头，因此丁坝保持与码头 100 m 垂直距离，略上挑，留足码头进出通道，坝体高程控制在设计水位上 0 m^[7]，防止坝下游回淤；九

堆子上布置鱼骨坝（1 条顺河势曲线长顺坝，4 条齿坝）1 座，改善九堆子滩缘不规则特性，控制窜沟水流，提高散乱边滩完整性。

2) 方案 2（图 5）：基于方案 II-2 优化，结合其它方案优点。

方案 2 与方案 1 的主要区别：①三角碛潜碛段航槽走向偏右，靠近原右深槽；②方案 2 因航槽偏右需要炸除部分白鹤梁礁石，拓宽航槽，既可引导窜沟水流而调整窜沟水流方向，也可增大过水面积而减缓窜沟水流强度，继而改善流态，减小水流交汇能耗；③因三角碛段航槽偏右布置，鱼骨齿坝随之整体向右偏转。

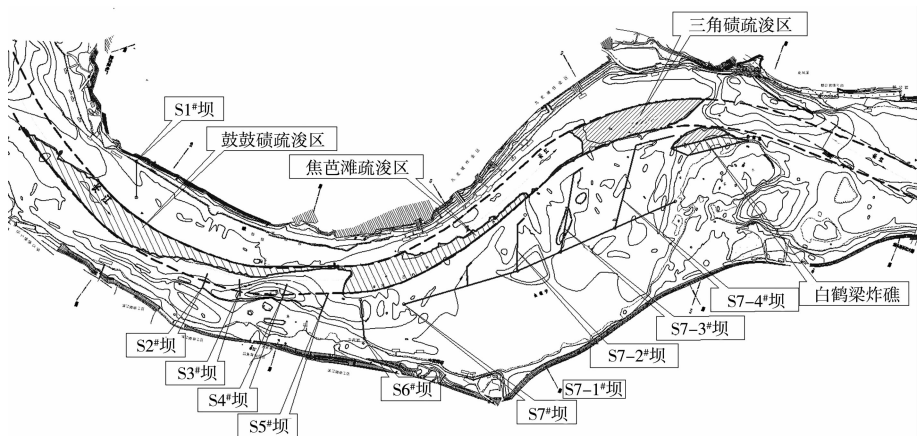


图 5 方案 2 布置

4.4.2 动床物模试验效果

动床物模试验研究表明，以上 2 个方案具有如下相同的冲淤特性^[8]：1) 消落期冲刷主槽

汛期淤沙的速度明显加快，起冲时间提前；2) 消落期主槽冲刷强度增加，汛期淤沙残存量明显减小，九龙滩左侧沿岸淤积带在工程前有 20 ~ 30 m

宽残留在设计航槽内,而工程后全部退出航槽,淤积厚度也减小了1 m左右;3)蕉芭滩、三角碛航槽汛末存在大量淤积,但消落期均能全部冲走,航槽保持稳定,但消落期在鼓鼓碛边滩疏浚区出现少量的带状淤积;4)坝田区淤积量明显增多,九堆子边滩工程后因鱼骨坝的修筑,淤积量明显增大,这对浅滩整治是有利的;5)舀鱼背相对的鼓鼓碛边滩疏浚区存在少量的回淤,但系列年3年内并没有明显的累积性淤高。

2个方案不同的冲淤效果在于:方案2三角碛段左侧汛期残留的沿岸淤积带宽度较方案1略宽,主要因为方案1航槽偏左,九堆子左侧齿坝也随之左移,中、枯水河槽得到进一步缩窄,冲刷能力得到加强。

4.5 方案比选

对方案1与方案2进行对比分析。从方案的试验效果看,两方案滩段绝大多数断面航槽流速增值较为合理,汛后及消落期基本能够把汛期淤积在航槽的泥沙完全冲刷,航槽总体保持稳定,仅在鼓鼓碛航槽边缘存在少量的回淤,但量不大,且不存在累积性淤积,可考虑在航道维护中根据需要实施维护性疏浚。两方案在拦截窄沟水流方面作用都很明显,在中水以下水流平顺,流态良好,洪水流态也都得到改善。方案1鱼骨坝的长顺坝采用顺应河势的曲线形,坝体平面形态更美观,且方案1三角碛航槽依托左槽布置减少了白鹤梁较大区域的炸礁,节省了工程投资。因此,在整体整治效果都能够保证的条件下,推荐投资更省的方案1作为三角碛复杂滩群的治理方案。

5 结语

三角碛滩群段碍航问题突出,滩险成因复杂。三角碛滩群不满足规划Ⅰ级航道尺度标准的部位包括鼓鼓碛、蕉芭滩和三角碛,均表现出水深和航宽不足,三角碛还存在弯曲半径小的问题。鼓

鼓碛位于入口弯道凸岸,滩面斜流和舀鱼背深沱吸流导致鼓鼓碛伸入航槽;九堆子边滩3 m水位以下滩面基本不过流,头部千斤岩尖潭的存在是形成蕉芭滩出浅的关键原因;三角碛滩段成滩的主要成因则是中洪水河面宽阔、主流不一致。通过疏浚鼓鼓碛、蕉芭滩伸入航槽的浅区、开挖三角碛浅碛,同时在鼓鼓碛布置一条丁坝、舀鱼背深沱和千斤岩尖潭布置多条潜坝,在九堆子散乱边滩布置鱼骨坝,能够对三角碛滩群实现良好整治,改善航槽水流条件,保持航槽稳定性,达到规划航道尺度标准。

参考文献:

- [1] 刘德春,樊琪虹,李俊.三峡水库影响前重庆主城区河段河床演变分析[J].水文,2009,29(3):42-76.
- [2] 长江水利委员会水文局.2008年度三峡水库进出库水沙特性、水库淤积及坝下游河道冲刷分析[R].武汉:长江水利委员会水文局,2009.
- [3] 唐荣婕、陈立,杨阳,等.三峡水库变动回水区三角碛浅滩冲淤与碍航特性分析[J].水运工程,2015(1):110-114.
- [4] 长江重庆航运工程勘察设计院.三峡工程试验性蓄水以来(2008—2013年度)三峡库区航道泥沙原型观测总结分析[R].重庆:长江重庆航运工程勘察设计院,2014.
- [5] 王涛,张璠,刘天云,等.三峡水库变动回水区三角碛河段消落期维护疏浚方案[J].水运工程,2015(1):120-125.
- [6] 重庆交通大学.长江上游九龙坡至朝天门航道整治工程模型试验研究报告(定床部分)[R].重庆:重庆交通大学,2013.
- [7] 长江重庆航运工程勘察设计院.三峡库区175 m运用初期设计最低通航水位计算与分析[R].重庆:长江重庆航运工程勘察设计院,2010.
- [8] 重庆交通大学.长江上游九龙坡至朝天门航道整治工程模型试验研究报告(动床部分)[R].重庆:重庆交通大学,2014.

(本文编辑 郭雪珍)