长江上游九龙坡—朝天门河段航道整治工程效果分析

何艳军

（长江重庆航运工程勘察设计院，重庆 401147）

摘要：三峡工程 175 m 蓄水运行后，长江上游九龙坡—朝天门河段航道尺度不满足规划要求，消落期泥沙上冲下淤、冲刷不及时等造成航道出浅碍航。为提高工程河段航道尺度、遏制航道条件的不利发展，于 2016—2020 年对该河段进行航道整治。工程完工后通过定期观测，对整治效果进行分析。结果表明：工程河段河势稳定，航道尺度大幅提升，遏制了不利发展趋势，航道条件得到有效改善，实现了航道整治目标。

关键词：九龙坡—朝天门河段；航道整治；效果分析；重庆主城区

中图分类号：U617　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2025)02-0164-08

Effect analysis of channel regulation project from Jiulongpo to Chaotianmen in upper reaches of the Yangtze River

HE Yanjun

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

Abstract: After the 175 m water storage operation of the Three Gorges project, the scale of Jiulongpo to Chaotianmen reach cannot meet planning requirements. During the sedimentation period, the sediment is washed up and down, and the erosion is not timely, causing shallow navigation obstruction in the channel. The channel regulation of this reach is carried out from 2016 to 2020 to improve the channel scale of the engineering reach and curb the adverse development of channel conditions. After the completion of the project, the improvement effect is analyzed through regular observation. The results show that the river regime in the engineering reach is stable, the scale of the channel is significantly improved, and the unfavorable development trend is curbed, resulting in effective improvement of the channel conditions, achieving the goal of channel regulation.

Keywords: reach from Jiulongpo to Chaotianmen; channel regulation; effect analysis; main urban area of Chongqing

长江上游九龙坡—朝天门河段(简称“九朝河段”)位于重庆市主城区，九朝河段航道整治工程是交通运输部“十三五”跨“十二五”内河水运重点建设工程，也是三峡后规划和重庆市地方水运建设的重点工程[1]。

九朝河段属于长江上游干流的重要航段，上起胡家滩新港、下至朝天门，上游航道里程 659~681 km，全长约 22 km，地处川南丘陵地带，地势相对较缓，总体走向北偏东，整体呈弯曲河道的平面形态，嘉陵江在工程末端汇入长江，河势见

收稿日期：2024-04-28

作者简介：何艳军（1980—），女，硕士，高级工程师，从事港口、航道工程的设计与研究。

水运工程

图 1。工程实施前，九朝河段航道等级为Ⅲ级，最小航道维护尺寸为 2.7 m×50 m×560 m(航深×航宽×弯曲半径,下同)。长江上游九朝河段航道整治工程建设标准航道等级为Ⅰ级，航道尺寸为 3.5 m×150 m×1 000 m，水深保证率 98%，于 2016 年 1 月正式开工，2020 年 6 月全面交工并投入试运行，2023 年 6 月通过竣工验收。

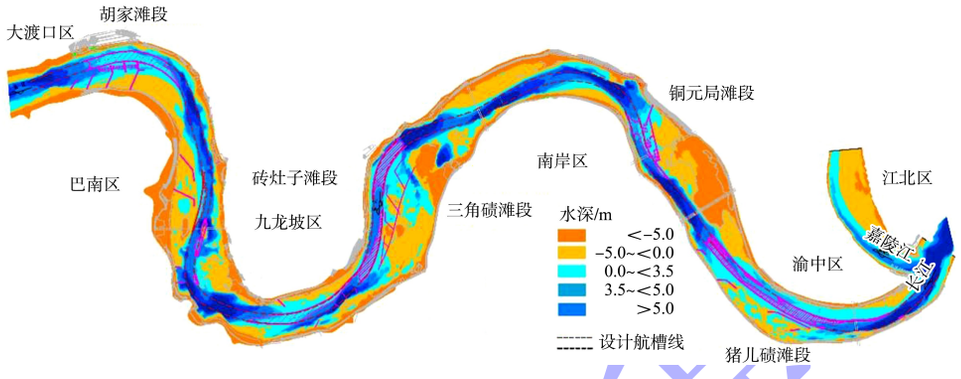

图 1　九朝河段河势

Fig. 1　River regime from Jiulongpo to Chaotianmen

1　河床演变及碍航特性

1.1　河道特性

九朝河段由胡家滩、李家沱、谢家碛、猪儿碛 4 个大弯道组成，各弯道转弯均较急，胡家滩、李家沱弯道中心角不足 90°，谢家碛和猪儿碛弯道中心角不到 120°。各弯道摆幅差异不大，约 4.8 km。左右岸边石嘴、石梁众多，大小礁石随处可见，地形十分复杂。河床大多由基岩、卵石或卵石夹沙组成[2]，两岸建有滨江路和 7 座跨江桥梁，河势稳定。

河段平面呈现宽窄不一的典型山区河流特征。由图 1、2 可见，枯水河宽最窄处仅 150 m，最宽处近 1 050 m，比值达 7 倍；洪水河宽最窄处位于月亮碛段，约 460 m，最宽处位于三角碛段，约 1 360 m，比值近 3 倍。宽阔段常形成江心洲，中洪水时成为分汊河段。图 2 中显示多处出现航深 3.5 m 的河宽不足 150 m，合计长度约 4.6 km(里程 659~681 km)，超过统计河段的 20%。

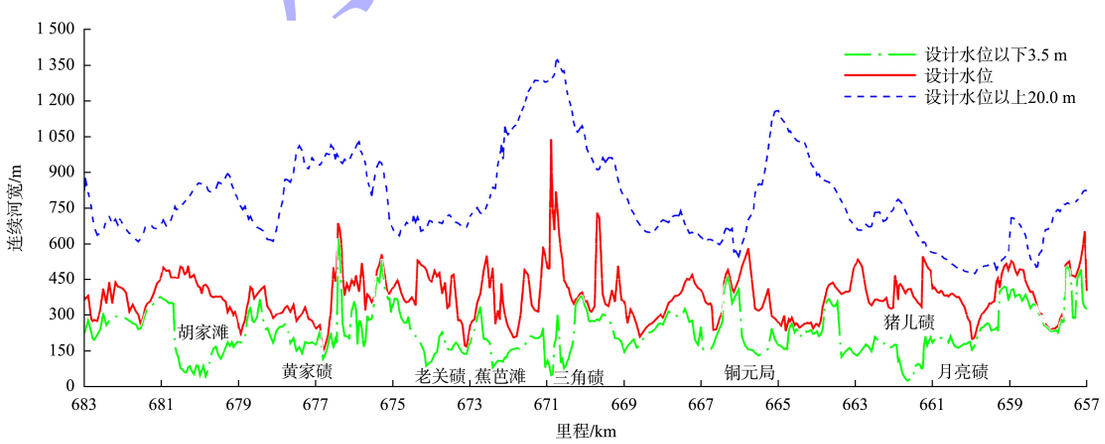

图 2　九朝河段整治前河宽沿程变化

Fig. 2　River width changes along distance from Jiulongpo to Chaotianmen before regulation

河段纵向上也呈现典型的高低不平、滩槽相间的山区河流特征[3]。深泓频繁起伏、滩槽频频相间(图 3)，河段深泓最低约 122 m，最高近 164 m，相差达 42 m，平均每 2. 6 km 出现 1 处深沱。在胡家滩、砖灶子、老关碛、三角碛、铜元局、猪儿碛等浅段之后，依次出现骆公子、李家沱、舀鱼背、龙凤溪、王爷庙、玄坛庙等深沱，这种滩沱相间的河道形态极大地减弱了相邻浅滩的相互影响，也有利于减弱浅滩整治带来的相互影响。

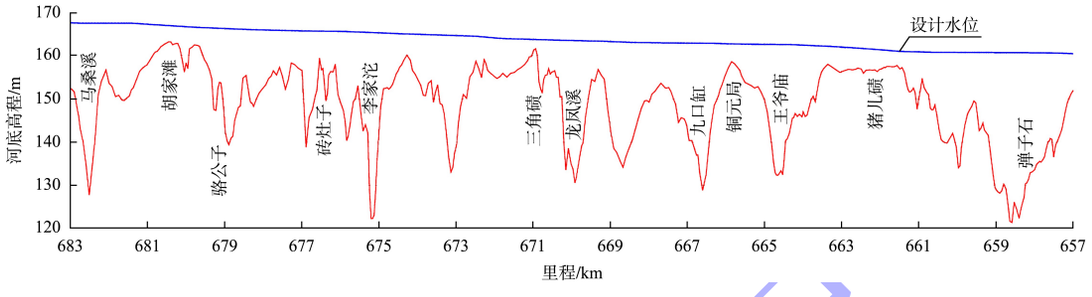

图 3　九朝河段整治前深泓纵剖面

Fig. 3　Deep channel longitudinal profile from Jiulongpo to Chaotianmen before regulation

1. 2　河床演变

九朝河段为山区河流，河岸组成较为坚硬，河床变形主要以推移质运动为主，悬移质几乎不参加造床[4]。三峡水库 2008 年蓄水前河床演变主要受长江来水、来沙条件以及嘉陵江与长江汇流情况的影响，工程河段流速较大，河床年际冲淤基本平衡，年内冲淤演变较为明显，浅滩演变遵循“洪淤枯冲”的规律，深槽表现为“洪冲枯淤”[5]。

三峡水库蓄水后，九朝河段成为三峡水库的变动回水区，开始受到坝前水位影响[6]。工程河段属于山区型河道，河床平面形态与河势稳定，泥沙整体年际冲淤变化不明显，水沙运动规律在汛期继续保持天然冲淤规律，汛后中枯水期受到水库蓄水和消落影响，流速减缓、冲刷流量减小，年内汛期淤积泥沙得不到完全冲刷，以局部悬移质淤积为主，卵砾石推移质淤积量较小，但集中在宽浅河段的枯水航槽，对消落期通航条件产生了较大的影响，加上消落期随着坝前水位的逐渐消落，并伴有水位消落过程的不稳定性，主航槽内呈现上冲下淤、时走时停的推移质“沙包”运动形态，淤积在主航道靠自身水流条件不能完全冲刷，逐渐在主航槽内形成累积性淤积[7]。

1. 3　碍航特性

1）不满足规划航道尺度要求。按照规划的 3. 5 m×150 m×1 000 m 进行核查，九朝河段水深低于 3. 5 m，有效航行宽度不足 150 m 的滩段主要有胡家滩、砖灶子(含砖灶子、黄家碛等)、三角碛(含鼓鼓碛、蕉芭滩、三角碛等)、铜元局、猪儿碛 5 个滩段，其航道里程及滩段范围见表 1。

表 1　九朝河段主要碍航滩段

Tab. 1　Main obstructed beaches from Jiulongpo to Chaotianmen

滩段名称		滩脊里程/km	滩段里程范围/km	滩段长度/m	滩险类型
胡家滩		680. 22	680. 70~679. 33	1 370	浅滩
砖灶子	黄家碛	677. 35	677. 74~676. 68	1 060	浅滩
	砖灶子	676. 81	676. 85~676. 45	400	急险滩
三角碛	鼓鼓碛	673. 19	674. 50~672. 73	800	浅滩
	蕉芭滩	672. 49	672. 64~671. 58	1 060	浅滩
	三角碛	670. 64	671. 05~670. 40	650	浅滩
铜元局		665. 51	666. 03~665. 17	860	浅滩
猪儿碛		661. 64	663. 47~661. 00	2 470	浅滩

注：浅滩是指水深不足 3. 5 m、连续宽度不满足规划航宽 150 m 的河段，其长度即为滩段范围；滩脊是指航宽最窄处。

2）各浅区有进一步恶化的趋势。整治前，九朝河段航道条件已在向不利方向发展：消落期水流归槽，在宽浅河段的枯水航槽冲刷力度不够，由于蓄水之后水位抬高，原先不存在泥沙淤积的部位产生了淤积现象，但是消落期并未完全冲刷[8]，留有小范围的淤积体，或蓄水后汛期淤积泥沙走

沙期推后，消落期河道中运行下移的“沙包”在区段内落淤，导致航道不断缩窄，水深不够，航道条件有不断恶化的趋势，船舶易搁浅。

2　整治工程概况

2.1　整治目标

九朝河段工程整治目标是通过采取筑坝、疏浚和清礁相结合，改善航道条件，提高航道尺度，确保航道达到 3.5 m×150 m×1 000 m 的规划目标[9]。

2.2　整治原则

1）因势利导：充分利用河道有利条件，综合考虑河势、河床特征及水沙运动规律，结合规划航道尺度要求，确定效果好、投资省的航道整治方案。

2）统筹兼顾：工程本着“生态优先，绿色发展”的理念，工程方案的布置不对生态环境造成负面影响；工程方案兼顾港口、码头的作业等外部条件对整治工程实施可能性的影响；整治建筑物的布置及结构与周边环境相协调；充分考虑各滩段整治后相互之间的影响。

3）筑坝、疏浚和清礁相结合：采用疏浚和清礁提高航道尺度，合理布置航槽和整治建筑物，充分利用现有深槽，发挥整治建筑物束水导流、防止泥沙回淤的作用；部分深沱采用潜坝等结构“填槽”以调整断面形态及流速，从而达到稳定疏浚航槽的作用。

2.3　整治工程方案

整治工程方案主要由 3 部分组成[10]：1）对不满足规划航道尺度的浅区实施疏浚工程，疏浚底高程为设计最低通航水位下 4.0～4.1 m，疏浚工程量约 226 万 m^3；2）对猪儿碛滩段的龙碛子、鸡翅膀、玄坛庙及砖灶子滩段的砖灶子和鱼鳅石礁石实施清礁工程，清礁底高程为设计最低通航水位下 4.0～4.5 m，清礁工程量约 15.4 万 m^3；3）为改善航槽水流条件，维持航槽疏浚后的稳定，实施整治建筑物工程，共新建 26 座坝体，加高原有 2 座丁坝，坝体总长约 9 495 m。

3　整治效果分析

3.1　河道变化

3.1.1　河势

工程在各滩段主要边滩上修建整治建筑物，起到了良好的固滩守槽的作用，各主要边滩被稳固下来，保持滩体的完整和稳定，从而较好地保持了九朝河段的总体河势和滩槽格局。

3.1.2　深泓

工程前胡家滩浅区受倒钩碛边滩影响，深泓存在从右向左的过渡，三角碛浅区深泓靠右。工程后胡家滩滩段深泓线较工程前向左偏移、三角碛浅区深泓线较工程前向左偏移、猪儿碛浅区深泓线较工程前向右偏移，主要是上述区域为挖槽区，设计考虑对天然条件下枯水期弯窄浅险的胡家滩、三角碛、猪儿碛航槽进行局部改槽，采取拓宽航槽、加大弯曲半径等措施，提高航道尺度。工程后，深泓线出现局部偏移符合设计要求，偏移的方向和位置正是挖槽后的新航槽走向。2020 年以来的测图显示，工程完工后试运行期以来，工程河段主流和深泓线总体稳定。

3.1.3　深槽变化

工程前在胡家滩、老关碛、蕉芭滩、三角碛、铜元局、龙碛子、猪儿碛等浅区 5 m 等深线均断开。工程后各滩段 5 m 深槽均有所展宽、顺直，砖灶子、三角碛滩段航槽内 5 m 等深线贯通，仅胡家滩、铜元局、猪儿碛 5 m 等深线内存在局部零星浅区，但均满足设计通航水深 3.5 m 要求。2020—2023 年试运行期间 5 m 等深线总体变化较小，仅三角碛疏浚区左岸在 2020 年汛期大洪水下有一定淤积，向河心最大展宽约 127 m，至 2023 年 1 月，经过 2 个年际间的冲刷，5 m 等深线宽度达 222 m。

水运工程

3.1.4 冲淤变化

2015 年 9 月(工程前)与 2020 年 9 月(试运行期开始)全河段地形图对比(图 4)，工程河段河势及岸线稳定，胡家滩、黄家碛、鼓鼓碛、蕉芭滩、三角碛、谢家碛、铜元局、猪儿碛和龙碛子等浅碛或边滩局部区域显示为“冲刷”，上述区域主要是工程疏浚区或炸礁区，一般冲刷深度 1.5~2.5 m，最大冲刷深度 4 m，冲刷深度与设计疏挖深度基本一致；倒钩碛、黄家碛、老关碛、九堆子、珊瑚坝、老鹳碛等边滩局部区域显示为淤积，上述区域主要是整治建筑物抛筑区域，淤积高度与坝体设计高度基本一致，说明工程前对河段的河势及冲淤规律的认识是正确的。2020 年工程河段汛期遭遇特大洪水，汛后在三角碛左岸边滩、九堆子坝田区域、王爷庙深槽右岸等局部区域出现淤积，淤积幅度 0.5~3.0 m，淤积带位于航槽边缘，不影响航道尺度。

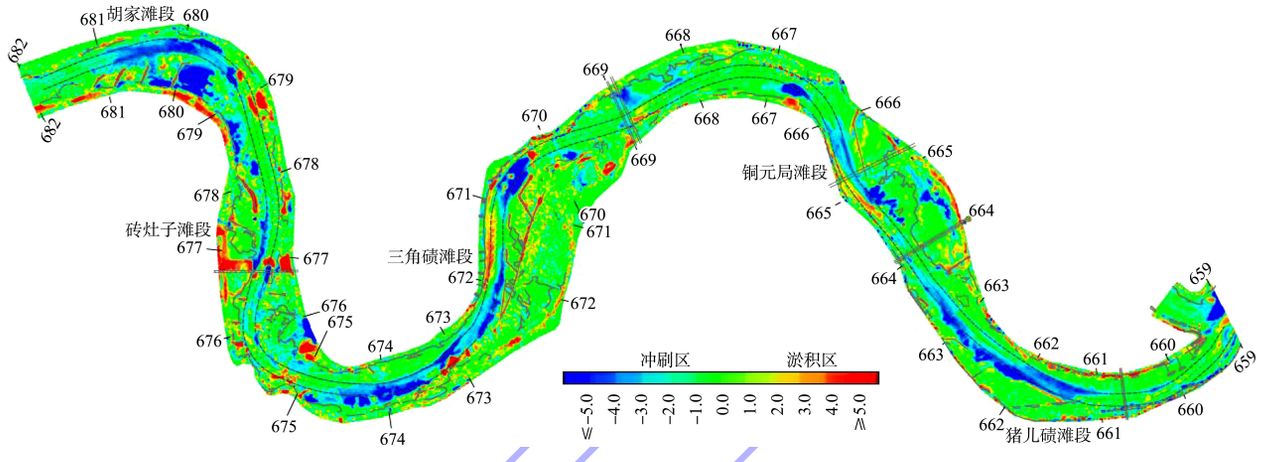

图 4 2015 年 9 月—2020 年 9 月九朝河段冲淤对比

Fig. 4 Comparison of erosion and deposition from Jiulongpo to Chaotianmen in September 2015 to September 2020

2020 年 9 月(试运行期开始)与 2021 年 4 月全河段地形图对比(图 5)，工程河段年内冲淤总体基本平衡，局部边滩及整治建筑物区域呈现点状淤积，说明边滩和整治建筑物区域淤积态势良好；三角碛航槽左侧 2020 年大洪水淤积区域在消落期逐渐冲刷；铜元局航槽右侧冲刷明显，局部冲刷幅度 0.5~1.5 m，说明修建的齿丁坝与水流的共同作用，冲刷航槽作用明显。

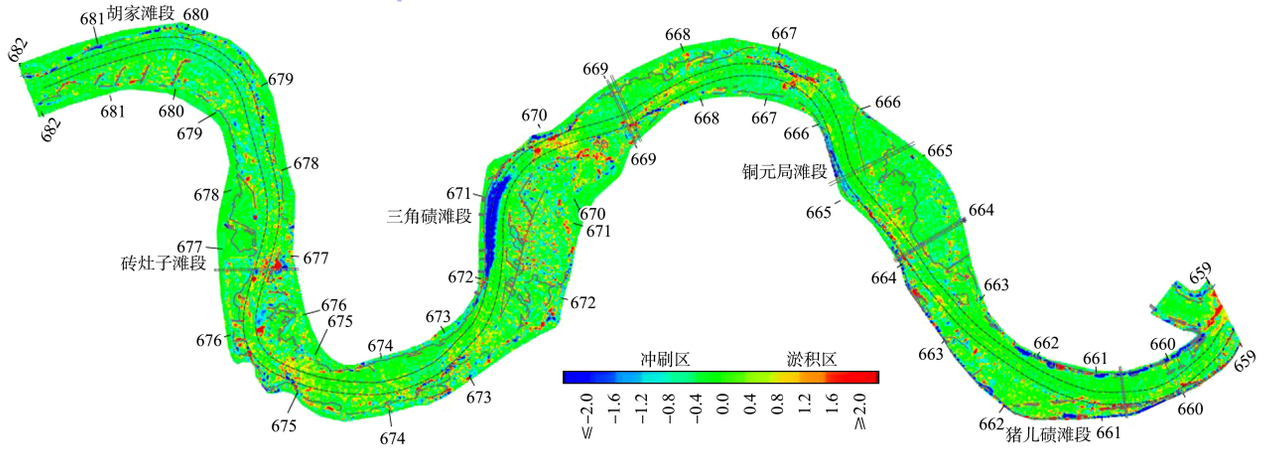

图 5 2020 年 9 月—2021 年 4 月九朝河段冲淤对比

Fig. 5 Comparison of erosion and deposition from Jiulongpo to Chaotianmen in September 2020 to April 2021

2021 年 4 月—2022 年 10 月全河段地形图对比，工程持续试运行，经历 2021、2022 年 2 届洪水，工程河段内冲淤变化较小，设计航槽及洲滩均保持稳定。航槽内无显著冲淤变化，最大淤积厚度约 1. 3 m，主要集中在铜元局滩段出口的王爷庙深槽，其他位置总体冲淤幅度在 0. 5 m 以内。整治建筑物所在的边滩区域保持稳定。

2022 年 10 月—2023 年 1 月全河段地形图对比，工程河段在 2022 年汛期反枯及三峡蓄水期保持稳定，航槽内无显著冲淤变化，仅整治建筑物所在的边滩略有淤积。在胡家滩丁坝、丁顺坝、三角碛九堆子鱼骨坝等坝体的坝根三角区呈局部淤积状态，最大淤积厚度约 2. 5 m。工程持续试运行表明，工程实施后，工程河段河势保持稳定，碛坝边滩等部位局部淤积，疏浚航槽区域基本无回淤。

3. 2　航道条件变化

3. 2. 1　航道尺度

按照设计航道 3. 5 m×150 m×1 000 m 对工程实施前后九朝河段航道尺度的变化开展对比，见表 2。

表 2　九朝河段航道尺度变化

Tab. 2　Channel scale variation from Jiulongpo to Chaotianmen

滩段名称	3. 5 m 航槽最小宽度/m		3. 5 m 等深线贯通情况	
	整治前	整治后	整治前	整治后
胡家滩	70	185	断开约 110 m	全线贯通且航宽大于 150 m
砖灶子	95	185	贯通,但局部航宽不满足 150 m	全线贯通且航宽大于 150 m
三角碛	25	192	贯通,但约 3 km 航槽的航宽不满足 150 m	全线贯通且航宽大于 150 m
铜元局	125	200	贯通,但局部航宽不满足 150 m	全线贯通且航宽大于 150 m
猪儿碛	90	162	断开约 550 m	全线贯通且航宽大于 150 m

3. 2. 2　流速

对工程实施前后九朝河段 2015 年 4 月与 2021 年 4 月实测流速流向开展对比，见表 3。

表 3　九朝河段流速变化

Tab. 3　Flow velocity variation from Jiulongpo to Chaotianmen

滩段名称	平均流速/(m·s^{-1})		最大流速/(m·s^{-1})		流线分布	
	整治前	整治后	整治前	整治后	整治前	整治后
胡家滩	2. 49	2. 10	3. 26	2. 82	流速分布不均匀,进口流速较大	流线集中归槽,分布均匀顺直,与航槽相对平行
砖灶子	2. 53	2. 12	3. 23	2. 84	流速分布不均匀,局部比降较大	流线集中、顺直
三角碛	3. 00	2. 00	3. 88	2. 77	航槽狭窄,流速分布不均匀	流线集中、顺直,且与航槽相对平行
铜元局	2. 85	1. 50	3. 85	2. 52	横流强烈,挤压主流	流线集中、顺直
猪儿碛	3. 00	1. 72	3. 77	2. 15	流速分布不均匀,流线频繁交叉	流线集中归槽,分布均匀顺直,与航槽相对平行

3. 2. 3　实船适航试验

工程试运行期，为检验九朝河段航道条件，组织设计代表船型(3 000 吨级干散货船)开展实船适航试验，试验时间为 2021-05-11，羊角滩水位为 4. 05 m，基本达到限制水位[11]。整治前后各滩段实际航行情况如下。

1）胡家滩滩段整治前在青岩子水位 7 m 以上时，由倒钩碛上行横驶区，上行船舶需要在该水域过河；在青岩子水位 2. 5 m 以下时，上骆公子—胡家滩 2#浮标约 1 km 河段受航道、通视条件限制及水流影响，会船困难，为通航条件受限制河段，上行船在西流沱以下等让，且倒钩碛 1#浮标—2#浮标约 600 m 处为严禁会船水域。整治前枯水期胡家滩浅滩航道较窄，内托水较强，下行船舶需要注意吊向，上行船舶靠右岸上行，胡家滩滩脑附近注意防止吸浅，弯曲半径较小，河道弯、窄，水流急。整治后航道变宽、水流变缓、加深，航槽向左开新槽，弯曲半径加大，船舶在该河段

可以顺利完成上下水会船。船舶行驶更为轻松，且整个过程航速保持平稳，船舶在设计航道内具有良好的操纵性能。

2）砖灶子滩段整治前全年有粗柄碛上行横驶区、九堆子上行横驶区，上行船舶需要在李家沱大桥水域过河；在龙凤溪水位 2~10 m 时，鱼鳅石—黄家碛约 500 m 河段受航道、通视条件限制及水流影响，会船困难，为通航条件受限制河段，上行船在鱼鳅石以下等让，且何家滩、青岩子、砖灶子 3 处为严禁会船水域。整治前砖灶子和鱼鳅石礁石横卧江中，且位于李家沱大桥下方，桥区水流湍急、水势紊乱，船舶上行困难，且一旦操作不当容易发生触礁等风险。整治后改变了原航道通航条件，在当天相对较低的水位条件下航道水流较平稳，船舶易控制，航行平稳，操作性能良好。

3）三角碛滩段整治前在龙凤溪水位 8 m 以上时，有大梁上行横驶区，在水位 6~8 m 时，有九堆子上行横驶区，在水位 6 m 以下时，有鸡心碛上行横驶区，上行船舶需要在上述水域过河；在龙凤溪水位 4 m 以下时，回回石—九堆子 2#浮标约 1.3 km 河段受航道、通视条件限制及水流影响，会船困难，为控制河段，该水域由信号台指挥船舶通行；在龙凤溪水位 3 m 以下时，九堆子 3#浮标—蕉芭滩浮标约 1 km 河段受航道、通视条件限制及水流影响，会船困难，为通航条件受限制河段，上行船在黄家碛以上等让，且大梁红浮、三角碛 1#浮标—2#浮标、九堆子 2#浮标、舀鱼背为严禁会船水域。整治前，该区域航道弯急、航道窄、水流快、上下水船舶通过时均需要满舵通行，船舶的操作难度较高。整治后开通三角碛左侧新槽，航道加宽，水深加大，弯曲半径大幅增加，航道条件趋近于一般航道，解决了三角碛滩段弯曲、狭窄、水流急的状况。船舶在原控制河段航行较为顺畅，且明显感觉到行驶比整治前轻松，船舶更易控制，上水行驶时水流明显没有整治前水流急，不用信号台指挥也能安全通过该河段，船舶轻松上滩。

4）铜元局滩段整治前全年有珊瑚坝船舶上行横驶区，上行船舶须在菜园坝大桥水域过河；羊角滩水位在 8 m 以下时，王爷庙—苏家坝 1 km 河段受航道及水流影响，会船困难，为通航条件受限制河段，上行船在石板坡大桥以下等让，且王爷庙、苏家坝 2 处为严禁会船水域。整治前航槽弯曲，主流偏右，流态乱，流速急，船舶上行困难，往往需要顶推等助拖方式才能上行，且在该处行驶时，频繁用舵，操纵应小心谨慎，防止操纵不当出现事故。整治后船舶在原通航条件受限制河段航行较为顺畅，虽然当天的最大流速也较快，但船舶仍能保持匀速上行，且由于谢家碛、珊瑚坝碛翅等均疏浚一部分，航道加宽，水深加大，船舶轻松上滩，且整个过程航行平稳、性能良好，但在低水位期，由于两岸边界固定，水流集中在航槽内，水流流速仍较大，在船舶通行过程中仍须保持上下水控制通行。

5）猪儿碛滩段整治前船舶上水流急，下水浅、险、弯。在水位 10 m 以下有储奇门和黄桷渡 2 处船舶上行横驶区，上行船舶需在该水域内过河；在羊角滩水位 4 m 以下时，有约 1 km（猪儿碛 2#浮标—猪儿碛 4#浮标）浅区河段受航道及水流影响，会船困难，为通航条件受限制河段，上行船在猪儿碛 1#浮标下等让，且鸡翅膀、猪儿石 2 处为严禁会船水域。整治前，左岸进口龙碛子占据大片水域，水浅，向外挤水，附近流态较乱，船舶不敢靠近。鸡翅膀等礁石附近流态较乱，流速较急，低水位期航槽束窄，船舶上行困难，常常需要助拖。整治后航道加宽，水深加大，船舶在原通航条件受限制河段航行顺畅，不影响船舶会船也无需等让，且由于鸡翅膀前端已炸除，水流较整治前有较大改善，船舶轻松上滩。整个过程航速保持平稳，舵角等参数都在正常合理范围内，船舶在设计航槽内操纵性能良好。

4　结语

1）工程实施后，在各滩段主要边滩上修建整治建筑物起到良好的固滩守槽的作用，各主要边滩被稳固下来，保持滩体的完整和稳定，从而保持了重庆主城区河段的滩槽格局。

2）对于受三峡蓄水、外部环境等复杂因素影响的河段，为提高航道尺度和通过能力，遏制航道条件的不利变化，采取因势利导、统筹兼顾、整疏结合的治理思路是合理、正确的。

3）工程实施后，三角碛、胡家滩滩段开挖了左侧平顺的航槽，猪儿碛、铜元局、砖灶子通过疏浚和炸礁拓宽了原有航槽，工程河段最小航道尺寸由整治前的 2.7 m×50 m×560 m 变为 3.5 m×150 m×1 000 m，完成从Ⅲ级航道至Ⅰ级航道的蜕变，整治效果显著。

4）为充分释放三峡库区、重庆主城区航道通过能力，在本工程基础上持续维护长江干线航道水深，下阶段仍需要加强观测、分析和研究。

参考文献：

[1] 长江重庆航运工程勘察设计院. 长江上游九龙坡—朝天门河段航道建设工程工程可行性研究报告[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2014.
Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River. Feasibility study report on the channel construction project from Jiulongpo to Chaotianmen in the upper reaches of the Yangtze River[R]. Chongqing: Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, 2014.

[2] 刘德春, 李龙成, 程平, 等. 重庆主城区河段河床边界条件研究[J]. 人民长江, 2007(9): 132-135.
LIU D C, LI L C, CHENG P, et al. Research on the boundary conditions of riverbeds in the main urban area of Chongqing[J]. Yangtze River, 2007(9): 132-135.

[3] 刘怀湘, 陆永军, 左利钦, 等. 三峡变动回水区重点河段演变分析[J]. 水利水运工程学报, 2011(4): 32-38.
LIU H X, LU Y J, ZUO L Q, et al. Fluvial morphology study on key channels of the Three Gorges fluctuating back water area [J]. Hydro-science and engineering, 2011(4): 32-38.

[4] 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.
ZHAO Z Z, ZHAO S Q, XU G X. Analysis of navigation hindering characteristics and regulation principle of shoal group reaches of mountain rivers[J]. Hydro-science and engineering, 2013(2): 39-44.

[5] 许全喜, 袁晶, 董炳江. 长江泥沙变化及河床冲淤研究[J]. 长江技术经济, 2019, 3(3): 58-68.
XU Q X, YUAN J, DONG B J. Sediment change and river bed erosion and deposition in the Yangtze River[J]. Technology and economy of Changjiang, 2019, 3(3): 58-68.

[6] 何艳军, 张璠. 三峡水库变动回水区泥沙冲淤特性分析[J]. 水道港口, 2010, 31(5): 473-477.
HE Y J, ZHANG F. Characteristics of scouring and deposition in fluctuating backwater region of the Three Gorges reservoir [J]. Journal of waterway and harbor, 2010, 31(5): 473-477.

[7] 胡春宏. 三峡水库 175m 试验性蓄水十年泥沙冲淤变化分析[J]. 水利水电技术, 2019, 50(8): 18-26.
HU C H. Analysis on sediment scouring and silting variation of Three Gorges Reservoir since 175 m trial impoundment for past ten years[J]. Water resources and hydropower engineering, 2019, 50(8): 18-26.

[8] 陈贤祎. 新水沙条件下三峡水库重庆河段泥沙淤积与航道整治研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2009.
CHEN X Y. The sedimentation and regulation of the Chongqing reach of the Three Gorges Reservoir under the condition of newseiries of water and seniment [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2009.

[9] 长江重庆航运工程勘察设计院. 长江上游九龙坡—朝天门河段航道建设工程初步设计[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2015.
Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River. Preliminary design of the channel construction project from Jiulongpo to Chaotianmen in the upper reaches of the Yangtze River[R]. Chongqing: Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, 2015.

（下转第 224 页）

水运工程