



长江中游蕲春水道航道整治工程 设计与效果分析

王晓燕¹, 李冬², 毕卫明³

(1. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430040;
2. 长江航道勘察设计院(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430040; 3. 长江南京航道工程局, 江苏 南京 210011)

摘要: 针对长江中游蕲春水道航道存在的碍航问题, 通过对整治工程方案研究, 确定了治理目标和整治原则, 提出了结构设计思路。进一步优化了护底结构、高滩守护工程的结构形式、护岸加固结构以及水下增设鱼巢砖。通过物理模型动床试验研究了航道工程整治效果, 并通过实施后的效果观测验证整治效果良好, 整治工程达到了工程建设目标。

关键词: 蕲春水道; 整治原则; 结构设计; 工程效果评估

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)08-0114-06

Design and effect of Qichun waterway regulation project in middle reaches of the Yangtze River

WANG Xiaoyan¹, LI Dong², BI Weiming³

(1. Changjiang Waterway Planning and Research Institute, Wuhan 430040, China;
2. Changjiang Waterway Survey and Design Institute (Wuhan) Co., Ltd., Wuhan 430040, China;
3. Changjiang Nanjing Waterway Engineering Bureau, Nanjing 210011, China)

Abstract: In view of the navigation obstruction problem of Qichun waterway in the middle reaches of the Yangtze River, this paper studies the regulation project scheme, determines the regulation objectives and principles, and proposes the idea of structural design. In addition, the paper optimizes the bottom protection structure, the structure type of the high beach protection project, the bank protection reinforcement structure, and the underwater addition of fish nest bricks. It also analyzes the waterway project regulation effect through a movable bed test of the physical model and verifies the regulation effect through effect observation after the project is implemented. The regulation project has achieved the construction goals.

Keywords: Qichun waterway; regulation principle; structural design; project effect evaluation

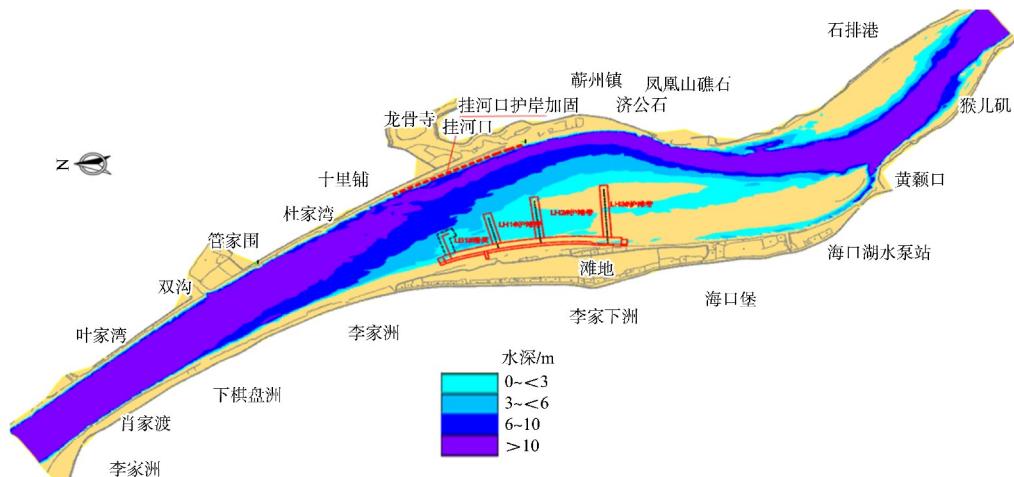
1 工程概况

2016 年 3 月, 交通运输部印发了《水运“十三五”发展规划》, 提出继续加快推进长江干线航道系统治理, 全面缓解通航瓶颈, 进一步提升宜昌—武汉段、武汉—安庆段航道尺度和技术标准^[1]。蕲

春水道作为长江中游重点水道之一, 是长江干线武汉—安庆段航道中承上启下的关键节点^[2], 水道上起下棋盘洲, 下迄黄颡口, 全长约 16 km, 水道内有蕲水、挂河注入, 见图 1。

收稿日期: 2022-10-14

作者简介: 王晓燕 (1970—), 女, 高级工程师, 从事内河航道科研与设计工作。



注: 1. 由长江航道测量中心测绘; 2. 测图时间为 2021 年 11 月; 3. 绘图基面为理论深度基准面。

图 1 蕲春水道河势

2 航道存在问题

与蕲春水道紧邻的上游牯牛沙水道, 在三峡工程蓄水以来, 上下深槽过渡段常突发出浅碍航。在相关部门高度重视下, 牯牛沙水道实施了两期航道整治工程, 抑制牯牛沙边滩的冲刷后退, 增强岸线的稳定性, 稳定滩槽格局, 为蕲春水道提供了稳定的入流条件^[3]。

蕲春水道浅区位于左侧深槽进口段, 其形成主要与李家洲边滩头部低矮, 束窄水流的程度减弱有关。近年来, 李家洲边滩头部冲刷后退, 滩体相对散乱, 滩上窜沟的出现导致左槽进口河道展宽, 左槽浅区水流动力相对减弱。洪水时水流容易取直, 冲刷李家洲边滩头部, 使泥沙淤积在左侧深槽入口, 浅区基本遵循涨淤落冲的变化规律。若遇不利水文年, 汛期淤积的泥沙冲刷不及时, 浅区容易形成浅包。三峡蓄水后沙量减少, 中水时间延长, 边滩冲刷后不易恢复, 退水时间缩短, 浅区退水期冲刷不及时, 进一步加剧了浅区航道条件向不利方向发展的趋势^[4]。

3 整治原则和方案

3.1 治理目标

在已有河势控制的基础上, 采取工程措施守护航道关键洲滩, 维持目前相对较好的航道条件,

抑制滩槽形态向不利方向转变, 确保水道航道尺度达到 $6.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1050\text{ m}$ (深度×宽度×弯曲半径)的规划尺度标准。

3.2 整治原则

根据水道碍航特性、河床演变特点与趋势, 结合整治目标、河势控制规划及外部环境, 确定工程的航道整治原则为:

1) 统筹兼顾。紧密结合河道治理规划, 依托已实施的河势控制工程, 充分考虑防洪、水利、港口码头、生态环境等方面的影响及两岸经济社会发展需要, 合理布置工程。

2) 因势利导。充分利用河道有利条件和稳定的河势格局, 遵循水流泥沙的运动规律和水道的演变特点, 对航道条件影响不利的因素进行必要控制或调整, 引导河道向有利的方向发展。

3) 固滩稳槽。蕲春水道的航道条件与李家洲边滩的稳定密切相关, 李家洲边滩作为航道的右边界, 若持续冲刷后退, 则对左侧航道的控制作用减弱, 使得主航槽水流动力条件减弱, 输沙能力降低, 产生浅区。随着三峡水库的运行, 上游来沙量逐渐减少, 若边滩冲刷消失, 很难再恢复。因此工程重点是守护李家洲边滩, 稳定当前滩槽格局, 防止航道条件向不利方向发展。

4) 生态环保。充分结合生态环境现状, 优化

工程布局、规模，选取传统的天然材料和高降解、低污染的人工材料，广泛采取满足生态修复功能的生态护岸等多种生态工程结构，采用符合生态环保要求的成熟施工技术和工艺，避免、补偿、缓解以及最大限度地降低工程对环境的影响。

3.3 整治方案

1) 李家洲边滩守护工程：在李家洲边滩垂直水流布置 1 道潜坝 (LB1[#]) 和 3 道护滩带 (LH1[#] ~ LH3[#])，以守护边滩，防止继续冲刷，见图 2。

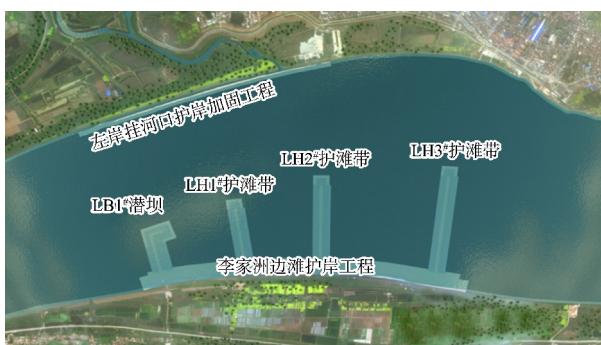


图 2 平面布置

2) 李家洲边滩护岸工程(潜坝及护滩带根部高滩守护)：采用斜坡式结构形式，上、下游均设 100 m 衔接段。护岸结构由滩面防护、平台和水下护底组成。平台以下为水下护底，平台以上为滩面防护。根据环保要求，在上游衔接段水下设鱼巢砖。

3) 左岸挂河口护岸加固工程采用抛石结构。

4 结构设计

4.1 结构设计思路

蕲春水道航道整治工程建筑物类型主要包括潜坝、护滩工程、高滩守护工程和护岸加固工程。工程可行性研究阶段，护滩(底)带的护底结构主要采用 D 型系混凝土块软体排护底，抛石压载、抛投透水框架或抛石边缘处理；高滩守护工程水下护底结构主要采用 D 型系混凝土块软体排护底，抛石镇脚，陆上设置铺石枯水平台，坡面结构包括黄沙、无纺布和碎石组成的反滤层以及钢丝网格护面；护岸加固主要采用抛石的方式。根据设

计原则及航道整治工程经验，确定以下设计思路：

1) 工程水下护底区域河床为粉细砂，呈松散状，无黏聚力，抗冲刷能力极差，在水流作用下极易冲刷。李家洲边滩潜坝和护滩带根岸存在窜沟，在退水过程中，水流归顺作用以及水流动力增大。特别是工程实施后，在整治建筑物附近引起的流场变化更加剧了河床的局部冲深，影响结构的稳定及安全。护底结构应有良好的排水性、保沙性，具有适应河床冲刷变形的能力；强度应满足施工铺放时的受力要求，且在水流作用下保持稳定；在保持结构稳定的基础上护底加工、运输、沉放尽可能提高施工效率。因而优化护底结构，由 D 型系混凝土块软体排优化为混凝土联锁软体排，施工机械化程度高、方便快捷，较大幅度地提高施工效率(图 3)。



a) D型系混凝土块软体排



b) 圆形联锁软体排



c) 方形联锁软体排

图 3 D 型系混凝土块软体排与联锁软体排

2) 将 23 cm 厚的钢丝网格护面调整为三维加筋垫。三维加筋垫可减少滩面开挖破坏后引起的土质蠕变和流变, 减少土方开挖量, 降低护面结构荷载和不均匀沉降, 有利于水土保持, 减少弃土占地。

3) 取消盲沟和明沟, 截流沟调整为铺石, 枯水平台铺石调整为抛石面层理平。

4) 近岸侧高程较高、地形平缓、流速平缓, 结构强度可适当减弱, 将高滩守护工程水下抛石结构厚度由统一的 1.0 m, 调整为 0.8 m, 仅在排边抛石厚 1.0 m。

5) 对护岸加固工程设计进行细化, 不同部位采用不同的结构强度。对于坡比大于 1:2.5 的部位先按照 1:2.5 的坡比进行抛石补坡, 坡脚外抛石宽度和厚度按照不同部位采用不同强度进行加固, 最外围 10 m 宽范围内的抛石适当加厚, 确保堤防的稳定和安全, 见图 4。

6) 水下增设鱼巢砖, 高滩守护工程上游衔接段, 水深较深, 适合鱼类产卵。根据环保的要求, 在该区域建设鱼巢砖, 为鱼类生存繁衍提供优良的栖息环境。

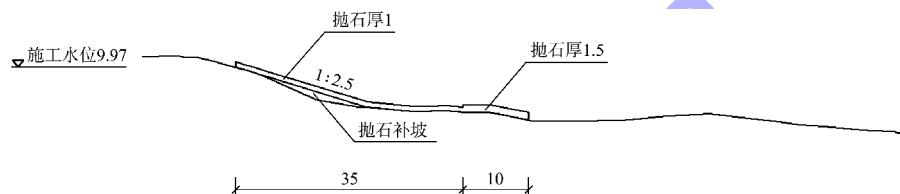


图 4 护岸加固 (单位: m)

4.2 结构方案设计

结构设计以 LH1# 护滩带为例, 其护滩带长 680 m, 结构见图 5。

1) 护底结构: 采用混凝土联锁软体排进行护底, 护底宽 140 m, 头部设 90 m 余排。

2) 纵轴线压载: 纵轴线设抛石棱体厚 1.5 m。根部窜沟区域抛石棱体适当加厚, 与近岸侧和河心侧的抛石棱体平顺衔接。

3) 边缘处理: 在头部余排边缘采用抛石结构, 抛石厚 1.5 m, 其余上、下游侧排边缘设透水框架。

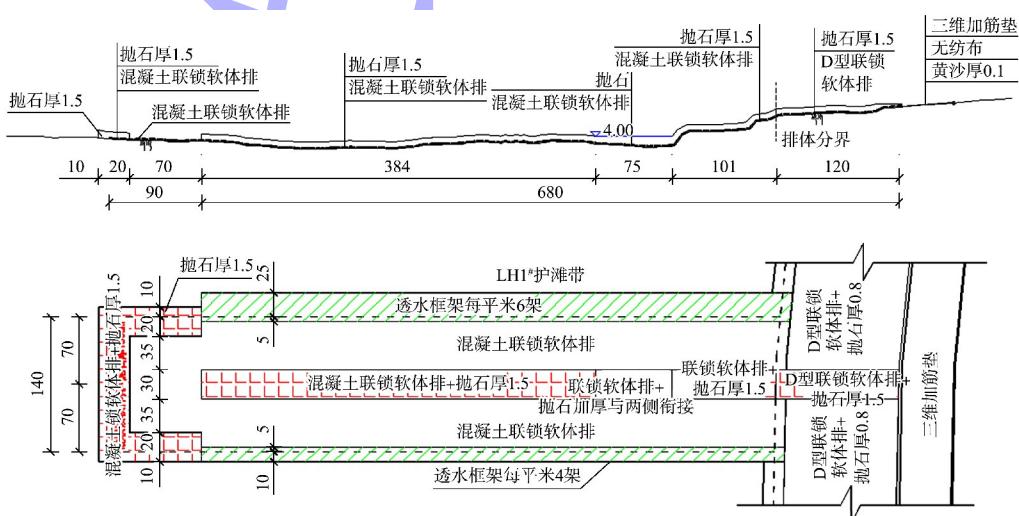


图 5 LH1# 护滩带 (单位: m)

5 工程效果评估

5.1 物理模型研究

在新的水沙条件下和地形下, 开展长江中游蕲

春水道航道整治工程物理模型动床试验研究^[5]。于 2017 年 6 月测绘, 采用 2016 年为典型大水年, 对方案进行了研究。

在三峡水库进入 175 m 正常蓄水运用后，随着水库优化调度工作的开展，汛期对中小洪水进行调度，汛末蓄水时间提前，对长江中下游河段河床演变影响较大。蕲春河段遇到大水年份，对其洲滩演变和航道条件的影响更为明显。汉口水文站 2016 年径流量相对较大，约为 7 487 亿 m^3 ，来沙量仅 0.68 亿 t，洪峰流量较大、持续时间较长，水流造床作用较强，汛后 9 月份，蕲春水道李家洲边滩头部冲刷后退较多，头部窜沟发展连通，不利于李家洲边滩头部的完整性，左侧深槽进口宽浅化发展，不利于航道稳定，因此，选择 2016 年作为典型年进行试验。

从典型年试验成果来看，设计方案对试验河段沿程水位和断面流速分布及流态的影响较小，可有效抑制李家洲边滩窜沟冲刷发展、边滩冲刷后退和河心心滩的淤积下延，有利于维持蕲春水道当前良好的滩槽格局和航道条件，不会对防洪和堤防安全产生不利影响。方案实施后达到维持边滩完整、稳定滩槽格局的治理目的。

在典型年的基础上对设计方案做了系列年试验：

试验地形：2017 年 6 月地形。试验水沙条件：与河演趋势预测试验水沙条件相同。

设计方案实施后，从试验河段沿程水位变化情况来看，对水流干扰作用较小，仅在试验初期，工程区的水位壅高约 0.03 m，经过一个水文年的冲淤变形调整，与试验初期相比，水位壅高值减小至 0.01 m。10 a 系列年内，无论是中、枯水流量还是洪水流量，对试验河段沿程水位影响较小，工程前后相同流量下水位变化较小，不会对防洪和堤防安全产生不利影响。对试验河段水流流速、流态的干扰作用较小，仅在试验初期对流速分布略有影响，且影响范围仅限于工程局部区域附近。

与试验初期相比设计方案实施后，李家洲边滩头部窜沟分流比呈逐年减小趋势。窜沟分流比减小 6%，对抑制李家洲边滩头部冲刷后退、防止窜沟发展而影响本水道航道条件的稳定起到重要作用，见表 1。

表 1 设计方案系列年试验李家洲边滩窜沟分流比变化
模型预测

水文年	月份	流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	分流比/%		工程 前后 变化值
			方案 整治前	方案 整治后	
第 1 年(2012)	1(初始数据) 12	11 603 11 923	27.0 28.2	27.0 25.9	-2.3
第 2 年(2013)	12	10 711	28.6	25.5	-3.1
第 3 年(2014)	12	13 238	28.7	25.3	-3.4
第 4 年(2015)	12	14 944	29.9	25.0	-4.9
第 5 年(2016)	12	13 900	31.6	23.8	-7.8
第 6 年(2017)	12	11 923	32.0	22.8	-9.2
第 7 年(2018)	12	10 711	32.4	22.6	-9.8
第 8 年(2019)	12	13 238	32.7	22.4	-10.3
第 9 年(2020)	12	14 944	32.9	22.2	-10.7
第 10 年(2021)	12	13 900	34.2	21.0	-13.2

注：2017—2021 年流量采用 2012—2016 年水文数据。

从设计方案实施后 10 a 试验中河床地形变化情况来看，与无工程情况相比，河段的主要冲淤变化表现在李家洲边滩段。即使遇到不利的大水年份，左槽进口航道内也未出现浅包。

总体来看，设计方案实施后，起到了稳定蕲春水道现有相对较好航道条件的作用，6.0 m 深航槽均能上下贯通，最小宽度维持在 330 m 以上，满足航道规划尺度要求。

5.2 工程效果评价

工程于 2017 年 11 月 8 日正式开工，2020 年 6 月 19 日完成全部施工任务，2020 年 7 月 2 日完成全部单位工程交工。整治工程实施后，达到了工程建设目标，整治效果良好。

工程实际效果与模型预测效果对比见表 2，在航道尺度和建筑物冲淤变化方面，工程实际效果与模型预测效果比较接近^[6]。

表2 实际效果与预期效果对比

分类	模型预测效果	工程实际效果	评价
航道尺度	边滩进口段宽度:试验第1年为680 m, 第2年为670 m, 第5年650 m, 第10年为650 m 心滩尾部宽度:试验第1年为340 m, 第2年为360 m, 第5年350 m, 第10年为340 m	边滩进口段宽度:2020年为880 m, 2021年为820 m 心滩尾部宽度:2020年为440 m, 2021年为440 m	略有出入
	建筑物冲淤	工程实施后, 河段的主要冲淤变化表现在李家洲边滩段。试验第1年以后, 串沟4.5 m等深线在串沟中部断开长度约410 m, 河心心滩尾部淤积下延得到遏制, 心滩左侧主航槽进口淤积展宽的趋势得到缓解, 航槽内航深有所加深, 航深基本在7.0 m以上	
		工程实施后, 李家洲边滩守护工程区域大部分淤积, 上段滩体淤积长高, 淤积幅度达1~2 m以上。李家洲边滩头部串沟淤积, 基本淤至4.5 m以上, 左侧航槽整体冲刷, 航深有所加深, 航深基本在7.6 m以上	冲刷区域预测基本一致, 深度略有差别

1) 整治工程实施后, 李家洲洲头低滩得到守护, 遏制了李家洲边滩头部的冲刷和串沟的发展。

工程实施前, 李家洲边滩头部冲刷后退。李家洲边滩头部出现两个深坑并相互连接形成一条串沟, 滩头被切割分散, 滩头形态趋于散乱。工程实施后, 在李家洲边滩守护工程的作用下, 滩型得到很好的守护, 滩体守护区大部分呈淤积状态, 初步遏制被串沟切割分散的不利变化趋势。

2) 整治工程实施后, 右槽得到了进一步限制, 巩固了左汊的主汊地位, 遏止了航道条件的不利变化趋势。

工程实施前, 李家洲边滩头部冲刷后退, 滩面串沟冲刷, 滩型趋于散乱, 右槽也在逐年发展, 致使弯道段进口处河道水流归槽能力减弱, 浅区航道条件下降, 存在不利变化趋势。工程实施后, 李家洲边滩得到守护, 滩体守护区大部分呈淤积状态, 束窄了水流, 使左汊中上段整体冲刷, 左汊入流条件得到加强, 挂河口浅区6 m航槽拓宽, 改善了浅区航道条件。

6 结语

1) 从整治工程实施后的工程效果看, 长江中游蕲春水道航道整治工程的整治思路正确、方案布置合理, 工程后航道整治效果初步显现, 滩槽格局基本稳定。

2) 李家洲边滩守护工程、左岸挂河口护岸加固工程、李家洲边滩护岸工程实施后建筑物总体保持稳定。

3) 整治工程实施后, 守护李家洲边滩, 改善浅区水流动力, 稳定关键部位的高滩岸线, 初步遏制了航道条件的不利变化趋势, 达到建设目标, 工程效果良好。

参考文献:

- [1] 交通运输部. 长江干线航道总体规划纲要[R]. 北京: 交通运输部, 2009.
- [2] 国家发展和改革委员会综合运输研究所. 长江宜昌至安庆段航道整治模型试验研究成果总报告[R]. 北京: 国家发展和改革委员会综合运输研究所, 2015.
- [3] 长江航道规划设计研究院. 长江中游蕲春水道航道整治工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2016.
- [4] 长江航道规划设计研究院. 长江中游蕲春水道航道整治工程初步设计报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2017.
- [5] 长江航道规划设计研究院. 长江中游蕲春水道航道整治工程初步设计阶段动床物理模型试验研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2017.
- [6] 长江航道规划设计研究院. 长江中游蕲春水道航道整治工程效果分析报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2021.

(本文编辑 赵娟)