



# 汉江狗头湾滩段航道整治工程方案

李求生<sup>1</sup>, 漆炼勇<sup>2</sup>

(1. 湖北省航道工程有限公司, 湖北 武汉 430056; 2. 湖北省港路勘测设计咨询有限公司, 湖北 武汉 430056)

**摘要:** 狗头湾滩段作为汉江中下游重要的通航河段, 在丹江口水库和引江济汉调水工程实施后, 其上游来水历时、流量均发生巨大变化, 水流、泥沙运动和河床变化十分复杂。结合近年实测河道水文、地形资料以及模型试验资料研究狗头湾整治方案, 重点分析了该段浅滩的演变特征、水流与泥沙的运动关系以及碍航特性, 提出整治工程方案。验证结果表明, 整治工程的实施稳定了工程河段洲滩, 束窄了中、枯水河宽, 深槽普遍冲刷且走向稳定, 中、枯水河势得以有效控制和巩固。研究成果可为狗头湾段浅滩和相似河道整治提供参考依据。

**关键词:** 沙质河床; 复式浅滩; 航道整治; 工程方案

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)01-0178-06

## Channel regulation scheme of Goutouwan beach section of Hanjiang River

LI Qiusheng<sup>1</sup>, QI Lianyong<sup>2</sup>

(1. Hubei Waterway Engineering Co., Ltd., Wuhan 430056, China;

2. Hubei Port and Road Reconnaissance Designing and Consulting Co., Ltd., Wuhan 430056, China)

**Abstract:** As an important navigable reach of the middle and lower reaches of Hanjiang River, after the implementation of Danjiangkou Reservoir and the Yangtze River to Hanjiang River water diversion project, the upstream water duration and discharge have undergone great changes, and the changes of water flow, sediment movement and riverbed are very complicated. This paper studies the regulation plan of Goutou Bay based on the measured hydrology, topographic data in recent years and model test data, it focuses on the analysis of the evolution characteristics of the shoal section, the relationship between water flow and sediment movement and the characteristics of navigation-obstructing and proposes the regulation project. The verification results show that the implementation of the regulation project stabilizes the project reach beach, narrows the width of the middle and low water river, the deep trough is generally scoured and tends to be stable, and the middle and low water river regime can be effectively controlled and consolidated. The research results can provide reference channel regulation of Goutou Bay section shoal and similar channel section.

**Keywords:** sandy riverbed; compound shoal; channel regulation; engineering scheme

## 1 工程概况

汉江兴隆—汉川段航道整治工程上起兴隆枢纽坝址、下至汉川水位站, 长 189.7 km, 位于汉江下游河段中下段。丹江口水库调水和引江济汉工程实施后, 狗头湾滩段成为汉江中下游重点碍航浅滩之一<sup>[1]</sup>, 碍航滩段上起泽口下至张港, 全

长 11.0 km, 河道弯曲, 沙质河床, 颗粒较细, 包括 3 个滩点, 属复式浅滩, 航道现行维护尺度为 IV(2) 级航道, 见图 1。

该滩段调水后枯水历时显著增长, 由中水期现状平均年 7.4 个月缩短为调水后的 3.7 个月, 洪水期洪峰对浅滩和主槽产生突发性高强度破坏,

收稿日期: 2023-05-06

作者简介: 李求生 (1978—), 男, 高级工程师, 从事内河航道工程设计及施工管理工作。

尤其是弃水洪峰过后, 缺乏必要的中水历时冲刷航槽和维持航深, 造成该滩段航道尺度不够等碍航现象发生。基于河段现状和通航要求, 该段按Ⅲ(2)级航道标准建设, 通航保证率98%, 设计航道尺度为 $2.4\text{ m}\times 90\text{ m}\times 500\text{ m}$ (水深 $\times$ 双线航宽 $\times$ 弯曲半径)。

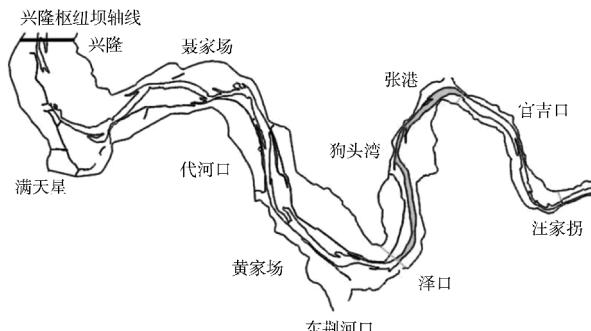


图1 狗头湾滩段地理位置

## 1.1 浅滩演变特征

### 1.1.1 河段演变概况

根据水文实测资料, 狗头湾滩段河道主支汊比较稳定, 但不同年份及水期的江心滩长度和位置不稳定。1959年以来, 除1977年深泓在孙家拐处提前进入左汊外, 其它年份均在狗头湾处分汊, 其中1988、2015、2016、2017年走右汊, 1969、

1977、2005年走左汊, 1959年走河流中部。每年主流通航汊道不同导致左、右汊道内深槽不连续, 在汊道中部形成滩点, 在汊道出口处主流所处位置不同, 或沿岸下行, 或从右汊过渡至凹岸, 在东西村处形成浅滩。

### 1.1.2 河床演变分析

狗头湾河段河床主要由粉砂、细砂等组成, 砂性土的抗冲稳定性差, 对洲滩的稳定不利。航道范围内浅层为松散的粉砂和粉细砂, 抗剪强度较低, 泥沙起动流速较低, 属于易冲刷地层。下层为淤泥质粉质黏土和粉质黏土, 其内聚力大, 抗冲刷能力较强。

根据2015年9月汛后地形图和2016年12月、2017年10月枯水测图对狗头湾近3 a河段河床平面、横向和纵向等变化进行重点分析。

1) 平面形态变化。该滩段沿江已有堤防控制, 水流顶冲部位建有护岸, 河床横向发展受限且河面展宽不大, 因而平面形态变化不大。

在狗头湾处(断面CS<sub>41</sub>~CS<sub>42</sub>及CS<sub>45</sub>附近)和张港处(断面CS<sub>48</sub>)深泓摆动幅度较大, 狗头湾摆动最大幅度为215 m, 东西村为180 m, 张港渡口为400 m, 其余河段深泓线走势较为稳定, 见图2。

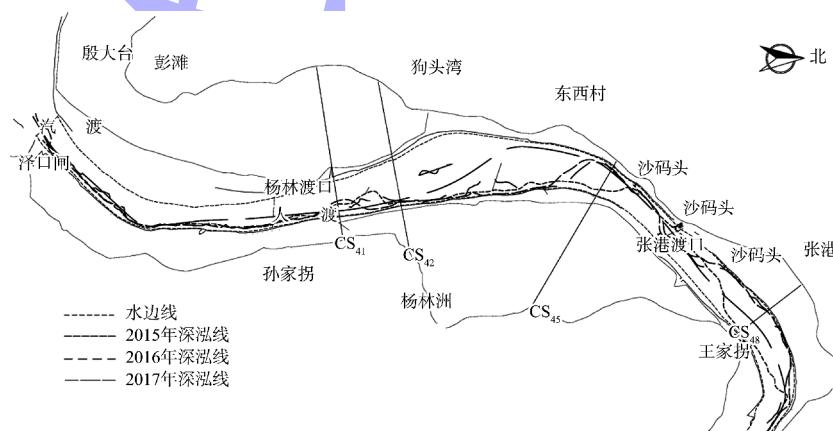


图2 深泓线平面叠合

狗头湾滩段历年碍航部位主要为狗头湾、东西村及张港滩点, 位于本河段中游及下游。

比较近3 a测图可知, 狗头湾滩点上段深槽发育, 下端深槽萎缩, 河心滩发育, 滩长由3 300 m缩至2 200 m; 东西村滩点深槽变化较小, 总体以

发育为主, 滩长由1 000 m缩至780 m; 下游张港滩点变化较大, 2015年9月—2016年12月约200 m滩长消失, 2016年12月—2017年10月滩长又增至1 000 m。

2) 纵向变形。深泓纵向变形表现为2015—

2016 年基本下切。2016 年 12 月深泓与 2015 年 9 月相比平均高程下切 0.95 m, 最大下切深度为 6.41 m; 2016—2017 年有冲有淤, 总体变化不大, 深泓线

略有抬高。2017 年 10 月深泓与 2016 年 12 月相比平均高程抬高 0.14 m, 最大下切深度为 3.33 m, 最大抬高高度为 4.76 m, 见图 3。

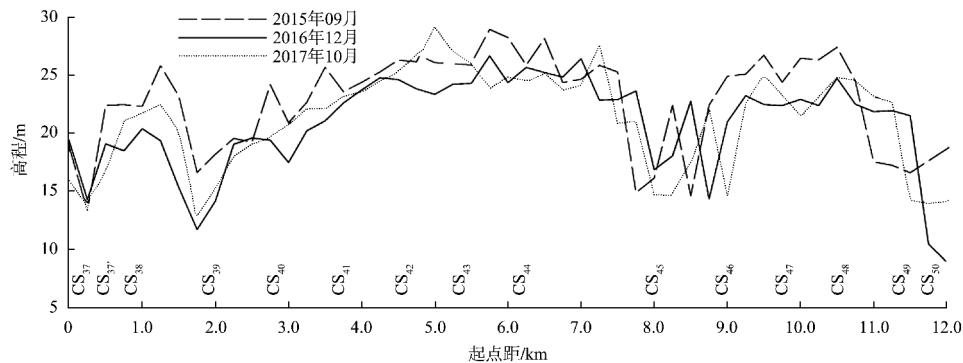


图 3 深泓线纵断面叠合

3) 横向变形。从横断面叠合来看, 上游枢纽建成以来各断面中水宽度有展有缩, 2016 年 12 月中水河宽较 2015 年 9 月平均缩窄 14.19 m,  $CS_{43}$  断面河宽缩窄达 249.61 m, 其余断面变化较小。2017 年 10 月中水河宽较 2016 年 12 月平均展宽增加 13.15 m, 河宽变化不大, 过水断面缩小约  $51\text{ m}^2$ , 从河相关系数看, 河相系数增大。总体而言, 滩段横向变形变化不大, 仅局部断面变化明显, 断面形态基本不变, 见图 4。

4) 冲淤变化。全河段有冲有淤, 深槽冲刷, 边滩淤积, 总体以淤积为主, 其中在狗头湾左岸

( $CS_{42} \sim CS_{44}$  断面) 处边滩淤积最厚, 达 5 m。深槽以冲刷为主, 冲刷深度一般为 0~2 m, 最大冲刷深度达 3 m, 平均冲淤强度为  $1.7\text{ m}^3/(\text{月} \cdot \text{m})$ , 见图 5。

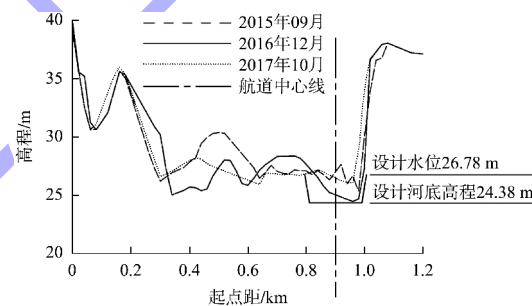


图 4  $CS_{43}$  横断面叠合

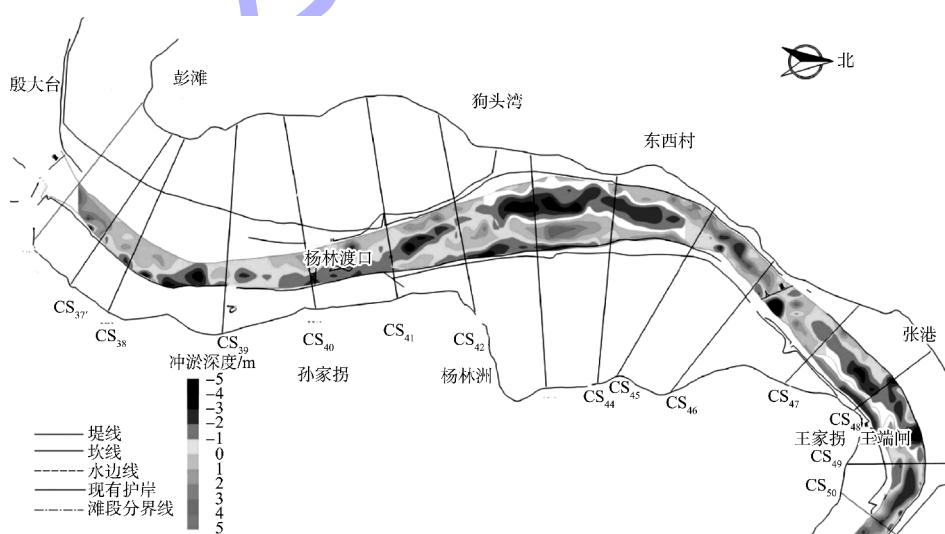


图 5 冲淤平面分布年际变化

综上所述, 狗头湾滩段近年来河势平面变化主要表现为主流在江心洲持续走右汊, 在东西村过渡段上下移动, 在出口处(王家拐)左右摆动。横向变形受两岸岸坡的影响, 总体变化不大; 纵向变形有冲有切, 总体变化不大。滩段受上游弯道水流分散和下游弯道壅水的影响, 泥沙在河流中部淤积形成江心洲, 引发深泓左右移动, 造成该滩段枯水期滩点航宽、水深不足; 冲淤年际变化遵循洪淤枯冲的规律<sup>[2]</sup>。南水北调中线工程调水后, 汉江中下游中水流量、历时均大幅减小, 造床能力减弱。因此在未来一段时期内, 随着汉江枯水流量历时的延长, 河床断面形态和河势总体上不会发生大的变化。

## 1.2 碍航特性

1) 滩段为顺直河段加一个弯道, 主要特点为江心洲的存在导致河流分汊、流路多变、水流冲刷力不足产生碍航。

2) 滩段在洪水期受上游泽口弯道和下游张港弯道的影响, 河道入口段水流在河道逐渐缩窄, 自上而下流速递增, 泥沙在凸岸落淤、凹岸冲刷。中部直线段受江心洲的影响, 水流沿主导河汊下行, 右汊冲刷, 心滩和左汊淤积碍航。

3) 中枯水期受水流坐弯变横趋势的影响, 流路在中部江心洲变化较大。若当年洪水期淤积不足时, 将江心洲部分冲开, 主流转向左汊; 若当年洪水期淤积严重, 枯水期时间较短, 主流无法冲开江心洲, 则继续沿右汊下行。出口弯道段水

流回归凹岸并持续冲刷, 泥沙在凸岸洪水期产生深槽内落淤。表现为深泓左右摆动频繁, 枯水期航宽、水深不足碍航<sup>[3]</sup>。

## 2 整治方案及效果

针对狗头滩河床演变规律及碍航特性, 结合航道治理工程, 确立狗头滩汊道浅滩的整治思路: 1) 因势利导。根据河床演变规律, 顺其河势确定整治线在河槽中的位置, 并尽可能与现有中枯水航槽走向一致。2) 固滩护岸与低水整治。考虑到本河段防洪的重要性, 整治工程设计要以防洪安全为原则, 实行低水整治, 固滩护岸、束水归槽、稳定河势。

基于以上整治思路, 确定本工程的整治水位为设计水位以上 1.2 m 即 28.12 m, 整治流量 815 m<sup>3</sup>/s, 整治线宽 230 m。选定右汊为主航道, 在狗头湾滩段中段布置狗 1#、3#、5# 丁坝, 主要作用是堵塞左汊, 稳定江心洲; 接着布置狗 7#、9# 丁坝, 作用是控制过渡段, 使水流归槽; 同时在右岸布置护岸 1 处即狗 P<sub>2</sub>。在出口处布置狗 2#、4#、6#、8# 丁坝, 主要作用为促淤保滩、稳定左岸边滩移; 同时在左岸布置护岸 1 处与原有护岸相连接<sup>[4]</sup>, 即狗 P<sub>1</sub>。

滩段共布置 9 条丁坝, 总长 2 588.5 m。其中左岸 5 条, 长 1 770.1 m; 右岸 4 条, 长 818.4 m。新建护岸 2 处, 分别长 2 930、3 224 m。工程平面布置见图 6。

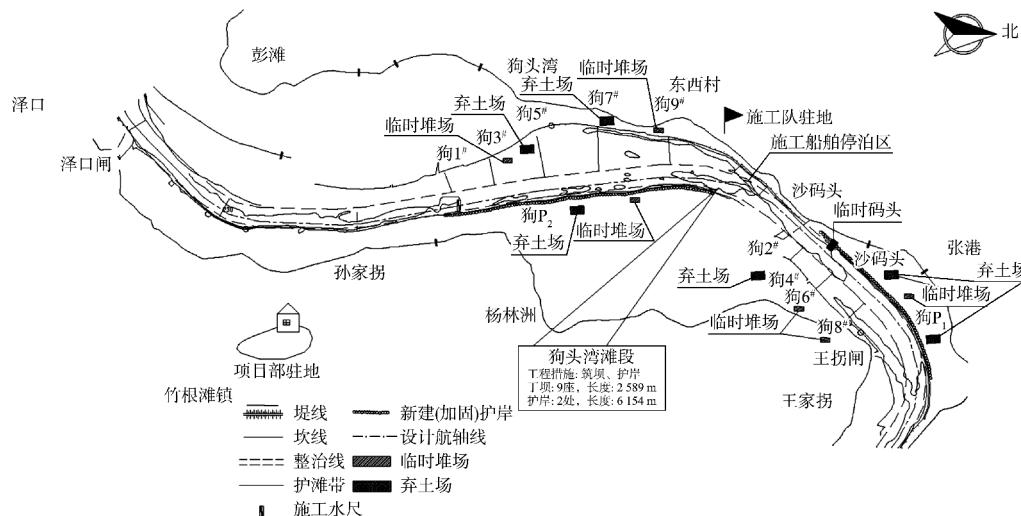


图 6 拟定方案工程平面布置

### 3 整治工程方案效果论证

#### 3.1 冲淤厚度及水面线变化

为研究兴隆枢纽建设后坝下冲刷及水位降落情况,进行了兴隆—汉川 1 897 km 河段一维水沙数学模型研究。采用一维水沙数学模型,计算并分析在兴隆枢纽、兴隆—汉川段航道整治工程陆续实施后的新水沙条件下,汉江兴隆坝下游河段河床沿程冲淤及航道水面线变化情况。根据文献[5],深泓线高程变化有抬高也有降低,河床有冲有淤。本河段深泓冲淤厚度及水面线变化工程后 5 a 的成果见表 1。由表可知,工程实施后,狗头湾滩段水面线有一定降落,总体来说,水面线降落幅度在 0.80 m 左右。

表 1 最低通航流量下狗头湾滩段深泓冲淤厚度及水面线变化

断面编号	距离/km	深泓冲淤厚度/m	水位降落/m
CS <sub>17</sub>	53.12	1.67	0.90
CS <sub>18</sub>	54.98	2.43	0.90
CS <sub>19</sub>	56.73	2.12	0.81
CS <sub>20</sub>	58.54	0.83	0.61

数学模型水位验证资料采用 2019 年兴隆枢纽出库流量及狗头湾河段内断面观测资料,共选取洪、中、枯水 3 级流量作为验证工况,选取的日期应保证前后几天内流量和水位较稳定。经验证,计算值与实测值的误差绝对值不大于 0.05 m。数学模型验证研究工况及水位验证结果见表 2。

表 2 数学模型验证研究工况及水位验证结果

测点 编号	坝下 距离/km	$Q=352 \text{ m}^3/\text{s}$			$Q=1 300 \text{ m}^3/\text{s}$			$Q=2 750 \text{ m}^3/\text{s}$		
		实测值	计算值	差值	实测值	计算值	差值	实测值	计算值	差值
CS <sub>17</sub>	53.12	29.71	29.75	-0.04	31.10	31.07	0.03	36.22	36.27	-0.05
CS <sub>20</sub>	58.54	29.05	29.07	-0.02	30.45	30.43	0.02	35.56	35.52	0.04

#### 3.2 工程后航槽冲刷效果

##### 3.2.1 流速估算

按照水流平面中的均匀流条件流量法估算,并根据实际观测丁坝头部附近流速较大的情况,首先计算丁坝断面天然情况下的累计流量分布;再将丁坝所阻挡的天然流量以三角形分布形式迭加于丁坝孔口过水断面,丁坝头部迭加的单宽流量最大,至对岸为零,之间呈直线规律递减<sup>[6]</sup>。根据合成的流量分布可求得丁坝断面各流带的平均流速,丁坝头部附近及航槽内的流速亦相应按下列公式求得:

$$v_h = Q_h / A \quad (1)$$

$$v_f = K v_h \quad (2)$$

式中:  $v_h$ 、 $v_f$  为航槽范围内或坝头附近区域的平均流速和最大流速, m/s;  $Q_h$  为通过航槽或坝头附近区域的流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $A_h$  为航槽或坝头附近区域的过水面积,  $\text{m}^2$ ;  $K$  为大于 1 的系数, 一般可取  $K=1.2$ 。

##### 3.2.2 航槽冲刷深度估算

修建丁坝后的断面流量将重新分布,航槽部分流量将有所增加,其水深也将相应增大,其冲刷深度可采用以下公式估算:

$$B_2 = B_1 \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^{y_1} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^{y_2} \quad (3)$$

式中:  $B_1$ 、 $B_2$  分别为建丁坝前、后的航槽宽度, m;  $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为建丁坝前、后过水断面上通过航槽部分的流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $H_1$  为建丁坝前航槽范围内平均水深, m;  $H_2$  为建丁坝后航槽范围内平均水深, m;  $y_1$ 、 $y_2$  为指数, 与  $v/v_h$  有关;  $v$  为工程后航槽平均流速, m/s;  $v_e$  为止动流速, m/s, 计算公式为:

$$v_e = 3.83 d^{\frac{1}{3}} H_1^{\frac{1}{6}} \quad (4)$$

式中:  $d$  为泥沙中值粒径, m。

航槽冲刷平均深度  $\Delta H = H_2 - H_1$ 。

##### 3.2.3 计算结果及验证分析

为估算工程后航槽冲刷效果,分别选择典型

丁坝断面按照水流平面中采用的均匀流条件流量法进行设计水位下的效果估算, 计算结果见表3。由表可知, 工程前航槽流速均小于1.0 m/s, 工程后航槽流速较工程前有所增加, 均小于1.5 m/s,

设计水位下航槽平均水深为2.41~3.61 m, 狗1#丁坝所在断面工程前航槽内平均水深2.26 m, 工程后航宽90 m航槽内平均水深达到2.41 m, 满足Ⅲ级航道标准水深2.4 m的要求, 工程方案可行。

表3 航槽流速分布及冲刷效果估算

断面	流速/(m·s <sup>-1</sup> )		流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		面积/m <sup>2</sup>	最大流速/(m·s <sup>-1</sup> )	平均水深/m		平均冲深/m
	工程前	工程后	工程前	工程后			工程前	工程后	
狗1#	0.87	1.01	176.75	205.16	203.2	1.21	2.26	2.41	0.38
狗2#	0.82	1.48	120.09	216.12	145.9	1.78	1.62	2.52	0.86
狗5#	0.83	1.40	130.43	219.13	156.6	1.68	1.74	2.55	0.69
狗8#	0.91	1.21	247.00	328.72	270.7	1.46	3.01	3.61	0.17

采用2019年狗头湾滩段部分断面与估算模型相近工况下的复测数据验证航槽流速及冲刷效果, 见表4。由表可知, 实际工程后航槽流速、流量与估算结果相比均有所增大, 航槽断面变化不大, 航槽平均水深与冲深较估算结果均有所增加, 满足航道实际使用要求, 工程方案可行性得到验证。

表4 航槽流速分布及冲刷效果测量结果

丁坝断面	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	面积/m <sup>2</sup>	最大流速/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	平均水深/m	平均冲深/m
狗1#	1.31	292.79	223.5	1.55	2.48	0.43
狗2#	1.48	232.06	156.8	1.78	2.54	0.88
狗5#	1.45	238.24	164.3	1.73	2.55	0.71
狗8#	1.32	362.47	274.6	1.57	3.62	0.23

#### 4 结语

1) 狗头湾滩段属蜿蜒型河段, 平面变化主要表现为凹冲凸淤, 若凹岸控制性程度较高, 水流长期贴岸冲刷, 则易在弯顶下游形成窄深型断面。因而此类滩型可通过在弯顶布置填槽工程限制流速横向分布和凹岸河床下切, 展宽弯道断面, 增大河道弯曲半径。

2) 整治工程的实施稳定了工程河段洲滩, 束窄了中、枯水河宽, 深槽普遍冲刷且走向稳定, 中、枯水河势得以有效控制和巩固。方案中丁坝群作用显著, 控制了过流携沙能力和航槽冲刷程度, 保障航道范围内无淤积, 无泥沙质浅点碍航,

航槽断面稳定。

3) 航道整治工程中应根据河势、河床构成、冲淤特点等因地制宜选取合适的工程方案。如沙质河床复式浅滩的治理应根据河流的特点找准主流、合理布置整治建筑物、采取束水攻沙的工程方案, 在达到航道整治目的同时又可降低工程的建设成本。

#### 参考文献:

- [1] 湖北省港路勘测设计咨询有限公司. 汉江下游航道整治工程(兴隆至汉川段)狗头湾滩段初步设计书[R]. 武汉: 湖北省港路勘测设计咨询有限公司, 2012.
- [2] 冯源, 陈立, 周银军, 等. 近坝段年内交替型分汊河段河床调整特点[J]. 泥沙研究, 2012(5): 8-15.
- [3] 南京水利科学研究院. 吴道文, 夏云峰. 长江下游南京至江阴河段河床演变分析及航道整治技术研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2006.
- [4] 张清, 江恩惠, 曹永涛. 浅谈游荡性河道整治局部工程布局之优化[C]//第十八届全国水动力学研讨会文集. 北京: 海洋出版社, 2004: 789-794.
- [5] 武汉大学水利水电学院. 汉江下游航道整治工程(兴隆至汉川段)一维水沙数学模型计算分析报告[R]. 武汉: 武汉大学水利水电学院, 2017.
- [6] 闫金祥, 乐培九. 汉道浅滩整治水力计算方法[J]. 水道港口, 1991(2): 38-43.

(本文编辑 王传瑜)