



汉江碾盘山—陈家集段航道整治模型试验

徐俊锋, 程小兵, 平克军

(交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456)

摘要: 汉江碾盘山枢纽—陈家集航段内泥沙较细、滩槽高差小、航槽变化频繁, 中枯水期均有碍航现象出现。通过研究, 采用了统筹兼顾、因势利导、固滩护岸、中低水整治相结合的整治原则。根据河床变化特点, 优选多组工程方案后, 航槽稳定, 大大改善了汉江通航条件, 试验研究达到了预期效果。

关键词: 汉江; 航道; 整治; 试验

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)04-0150-07

Experimental study on waterway regulation for Nianpanshan-Chenjiaji reach of Hanjiang river

XU Jun-feng, CHENG Xiao-bing, PING Ke-jun

(Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

Abstract: The Nianpanshan-Chenjiaji reach of Hanjiang river is characterized by fine sand, small of riffle-pool difference, and frequent variation of navigation channel, and navigation-obstruction exists in both dry and flood seasons. Based on the research, we adhere to the regulation principle of integral consideration, making the best use of situation, flats stabilization & bank protection, and middle-water & low-water combined regulation. According to the variation characteristics of the river bed, we chose several engineering schemes, by which the navigation channel kept stable and the navigation condition was improved greatly. The experimental research achieved the perspective effect.

Keywords: Hanjiang river; channel; renovation; experiment

1 河段概况

汉江是长江中游最大支流, 发源于陕西省秦岭南麓, 有北、中、南 3 个源头, 以北源沮水为最长。汉江干流自陕西汉中以下 1 376 km 为通航河段, 其中陕西境内汉中至白河通航里程 518 km, 湖北境内白河至河口通航里程 858 km。研究河段位于汉江中游与下游交界段, 处于襄樊至蔡甸河段内, 目前航道等级为 IV 级航道。碾盘山至陈家集河段整治后拟达 III 级航道标准, 通航 1 000 吨级驳船组成的船队, 其建设标准如下: 设计航道尺度为 2.4 m × 90 m × 500 m, 设计船队尺度为 167 m × 21.6 m × 2.0 m, 设计船队队型为一顶四驳双排双列, 通航保证率为 98%。

1.1 滩群分布

研究河段上起汉江碾盘山枢纽(沿山头坝址), 下至陈家集, 全长约 17 km(图 1), 河段内有柯直滩、玉皇阁两个滩段。柯直滩滩段上起沿山头, 下至皇庄大桥, 滩段长 7.7 km, 上段顺直, 下段弯曲。柯直滩滩段内主要滩点有二圣庙、直河口。柯直滩属散乱型浅滩, 兼有分汊、弯道型浅滩特点。20 世纪 90 年代整治前, 沿山头节点上、下游放宽河段由于两汊并存, 主支汊交替等原因, 造成航道频繁变化; 整治后河床的横向调整变化受到抑制, 航道条件趋好。但由于整治标准低、工程控制力度弱等, 沿山头至二圣庙段仍是重点碍航滩段, 以浅、窄碍航为主。玉皇阁滩段

收稿日期: 2014-06-11

作者简介: 徐俊锋(1983—), 男, 博士, 助理研究员, 从事港航工程、水利工程研究。

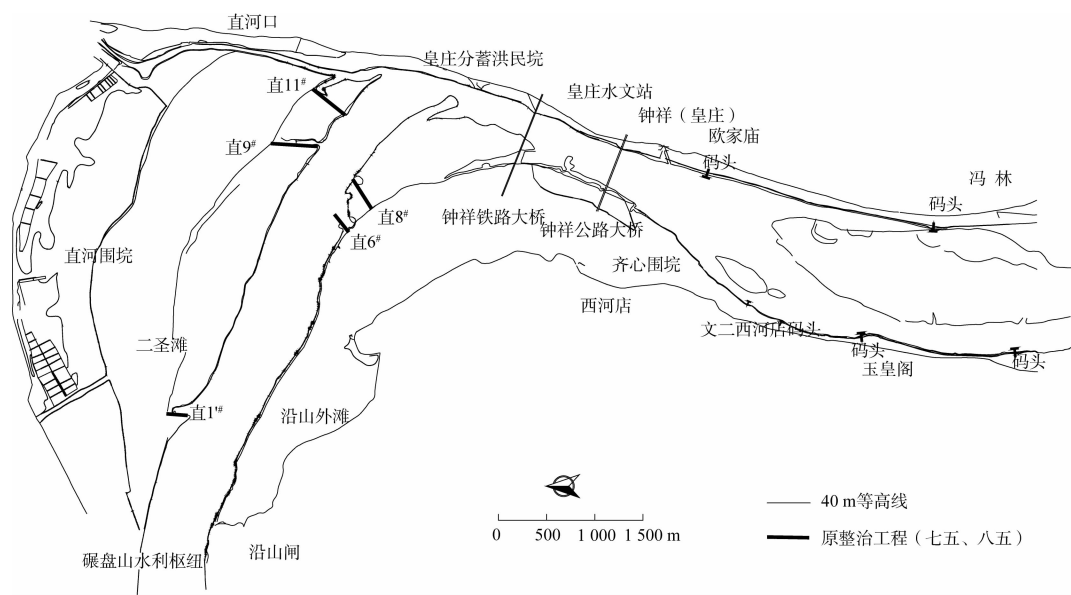


图 1 研究河段河势

上起皇庄，下至陈家集，全长 8.7 km，河段内有滩点 3 个：西河店、玉皇阁、王家集。玉皇阁滩段为散乱型、过渡段、放宽型浅滩，河段内不规则地分布着不同形式的滩体，无稳定深槽，水流分散，流路曲折。该滩的主要特点是洲滩消长、航道多变、深泓频繁摆动、水流分散。

1.2 水水泥沙

研究河段内有皇庄水文站，其间无大的支流汇入，可作为本河段水水泥沙分析的基本站。汉江径流年际间变化较大，年径流变差系数 C_v 值为 0.39 ~ 0.54。皇庄站最大年径流量 1 060 亿 m^3 (1964 年)，最小年径流量 182 亿 m^3 (1999 年)，相差 5.82 倍。最新河道河床质取样资料显示，碾盘山至陈家集河段河床和边滩中值粒径均较小。河床的物质组成为中细沙，河床的抗冲性较弱，易冲。

2 河演特点及整治原则

2.1 河演特点

研究河段位于丹江口大坝下游，由于水库蓄水排清、消峰调度影响，又因河床宽浅、主流摇摆不定，洲滩变化剧烈，与稳定平原河流有很大

的不同，研究河段历史及近期地形资料分析总结其特点如下：

- 1) 研究河段由两个反向的弯道河段构成，上弯道为急弯、下弯道为缓弯，两弯道段河宽大、洲滩发育，两弯道间河宽收束、河道狭窄，河段内洲滩的演变很大程度受制于河床的基本形态特征。
- 2) 河床的物质组成为中细沙，河床的抗冲性较弱，易冲。
- 3) 大水年河床冲淤变化大，小水年河床变化小。
- 4) 受研究河段进口宽浅、分汊、深泓多变的影响，直河口畸形弯道上段洲滩变化较大，凸岸边滩也随之淤涨不定，航道条件较差；已建整治工程对弯道进口主流变动有较好的限制作用，但工程较弱，洲滩变化仍存在一定空间。
- 5) 直河口弯道畸形发展趋势明显，局部贴岸槽水深大、宽度窄，对航道条件的改善和船舶航行不利。
- 6) 玉皇阁河段则位于上、下弯道的过渡段稍下，下弯道的进口放宽段。河段内规模不等的滩体密布、流路多变、深泓迁徙范围大，是研究河

段最不稳定的滩段,因洲滩不稳、多汉争流,航道条件差。

2.2 滩险碍航特点

碾盘山至陈家集河段航道有 3 处碍航问题,即:二圣庙宽浅段的水深不足、直河口弯道的航宽不足和西河店过渡段水深不足。对二圣庙宽浅段来说,由于枯水期河面宽阔,且河型顺直、水流分散,洪水期泥沙淤积,在落水期来不及冲刷,枯水期成为碍航浅滩;直河口弯道主要是由于目前受丹江口水库清水下泄的影响,河段正处于调整阶段,弯曲段主流移位,心、边滩的消长不定,流路多变、航槽不稳,由此造成本滩段航宽不足;西河店过渡段水深不足的主要原因是在主流从左岸过渡段到右岸的过程中,河道放宽,加之下游玉皇阁心滩滩头稳定性差,过渡段宽浅,主流摆动。

2.3 整治原则

从碾盘山至陈家集河段 2005 年 4 月、2007 年 10 月、2011 年 5 月和 2012 年 11 月 4 套地形测图分析知,河段总体表现为冲刷态势,但由于河床宽浅,航道水深及航宽仍达不到 III 级航道要求,且由于宽浅河道深泓摆动较大、航槽变化不定,需辅以一定的整治措施,束水冲沙,维护航道稳定,改善航道条件。因此,本研究确定碾盘山至陈家集河段整治原则为:统筹兼顾、因势利导、固滩护岸、中低水整治相结合。

3 模型试验

3.1 验证试验

模型验证试验共进行了 2 组,根据比尺分析和验证结果,最终确定动床模型的几何比尺为 $\lambda_L=300$ 和 $\lambda_h=100$ 。河床变形冲淤时间比尺为 350,含沙量比尺为 0.14,其它比尺按照相关公式^[1-4]进行调整。经综合考虑,选取过渡段航槽内级配作为模型床沙铺沙原始级配,在直河口凸岸边滩适当加粗,模型悬沙级配的选择采用设计单位提供的悬沙级配作为模型设计依据 ($d_{50}=0.041\text{ mm}$)。

各级流量下沿程各水尺水位偏差均在 $\pm 0.05\text{ m}$ 以内。模型各横断面流速分布与实测基本一致,绝大部分测点流速偏差在 $\pm 0.02\text{ m/s}$ 以内。在进行流速分布验证的同时,对模型流量进行闭合验证,以校验模型流量精度。实际流量与模型断面闭合流量情况表明,枯水和中水流量闭合结果最大偏差不超过 4%。模型流量相似性良好^[5-6]。模型与原型沿程累积冲淤量分布比较见图 2,在不同区间的累积冲淤量比较结果见表 1。从表 1 可知,各区间河段的累积冲淤量均遵循了和原型同冲或同淤的特性,且各区间河段模型和原型冲淤量较接近,全河段天然冲淤总量误差为 14.72%,模型冲淤总量与原型基本接近。

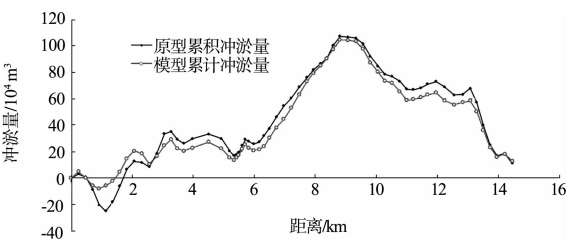


图2 2011 年 5 月—2012 年 11 月模型与原型沿程
累积冲淤量分布比较

表 1 2011 年 5 月—2012 年 11 月模型与原型各区间
累积冲淤量对比

河段范围	断面范围	河段冲淤量/(10 ⁴ m ³)		偏差/ %
		原型	模型	
直河口滩段	C. S. 08 ~ C. S. 34	27.912	22.900	-17.96
桥区河段	C. S. 34 ~ C. S. 42	40.824	40.300	-1.28
玉皇阁滩段	C. S. 42 ~ C. S. 55	8.095	8.600	6.23
陈家集河段	C. S. 55 ~ C. S. 71	-65.674	-59.000	-10.16
合计	C. S. 08 ~ C. S. 71	11.158	12.800	14.72

3.2 试验方案 1

方案 1 试验水文条件为 1991 年 4 月—1992 年 3 月代表水文年概化过程。本方案初步设计在直河口滩段布置新建丁坝 5 座、延长老丁坝 2 座、新建护滩带 1 条、新建护岸 2 处、加固护岸 1 处、弯道填槽 1 处。在玉皇阁滩段新建丁坝 10 座、新建护滩带 3 条、新建护岸 2 处、加固护岸 1 处。方案布置见图 3。

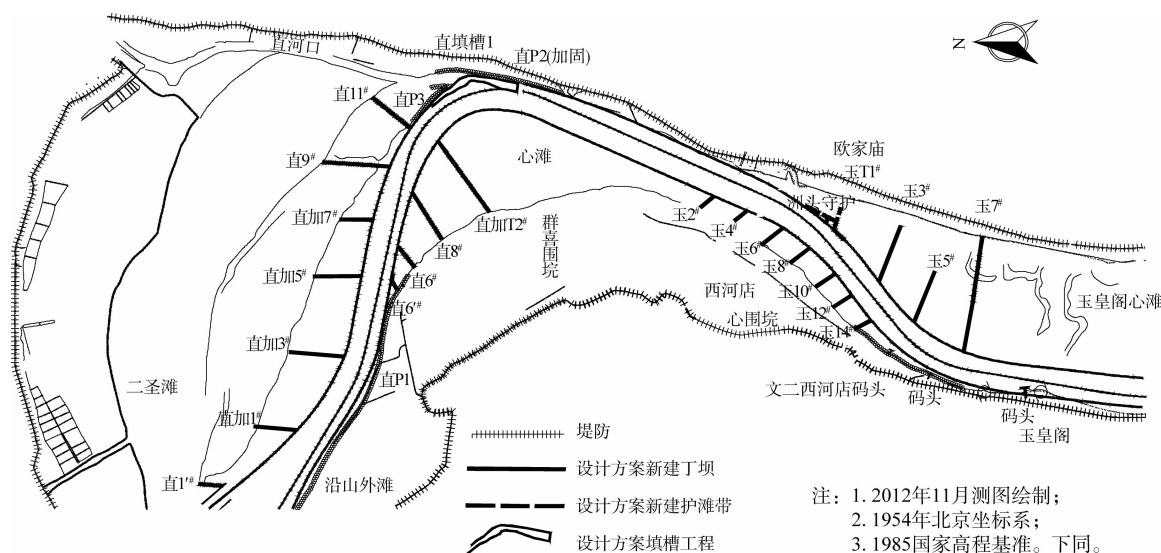


图3 方案1平面布置

从该方案的整治效果看,经1991年代表水文年后,整治工程在实施初期对水位有一定壅高,在经历1个水文年后,枯水流量下水位下降0.45 m左右;洪水期水位较定床试验水位偏低,中洪水流量下水位最大壅高值在0.05 m以下。枢纽口门区航道淤积明显,对船舶进出枢纽船闸影响较大;直河口河段整治丁坝布置基本合理,航槽水深基本满足要求,航槽左侧丁坝坝田淤积明显,右侧直6[#]坝受水流冲击较强,坝上游冲刷幅度较大,水下护底范围需扩大;直河口弯道段在填槽作用下,深槽部位存在一定淤积,凸岸边滩冲刷,弯道航槽水深和航宽均有所改善;玉皇阁过渡段在整治工程施工后,2.4 m等深线贯通,但部分河段航宽仍不足90 m,左侧丁坝群均存在坝头冲刷坑,且冲刷坑尺度较大,对丁坝稳定不利。

3.3 试验方案2

本方案布置依据方案1试验结果调整优化而成,试验水文条件仍为1991年4月—1992年3月代表水文年概化过程。

在直河口河段,结合以前整治工程延长,左侧仍布置5条丁坝,玉皇阁河段左侧布置5条护滩带和丁坝,右侧布置5条丁坝,玉皇阁心滩头部布置梳齿护滩带。该方案与方案1区别在于加高直6[#]和直6[#]坝高0.5 m,直加T2[#]沿整治线加

勾头200 m,去掉玉2[#]和玉14[#],在玉4[#]和玉12[#]头部增加勾头,长度分别为100 m和270 m。具体布置见图4。方案2调整目的在于二圣庙过渡段增加浅滩冲刷历时和强度;弯道段引导水流冲刷凸岸滩边,减少水流切割凸岸边滩中部历时,防止凹岸心滩发育;下游理顺水流,降低坝头局部冲刷强度。

从该方案整治效果来看,经1991年代表水文年后:二圣庙过渡段航道冲刷好于方案1,主要原因在于加高过渡段右侧两个丁坝后,过渡段中水流流速有所增加,冲刷历时延长。直河口弯道段进口存在局部航宽不足,主要原因在于上游直6[#]挑流后,水流自直9[#]开始过渡至航道左侧,贴岸下行,在长期枯水作用下,右侧凸岸淤积,导致航道宽度不足;直河口弯道在枯水期凸岸边滩冲刷有限,在大洪水期有所冲刷,但在落水期泥沙回淤较快,分析原因在于在2012年11月地形下,碾盘山近坝段地形淤积较大,在泄水冲刷初期,近坝段冲刷严重,大量泥沙随水流下移,在弯道淤积,需要较长时间持续水流搬运,但概化的1991年属中水年,经丹江口水库调节后,大水历时不足,弯道冲刷不足。对于西河店过渡段,在方案2布置下,航道水深条件良好,航槽断面形态也相对均匀,整治方案基本合理。

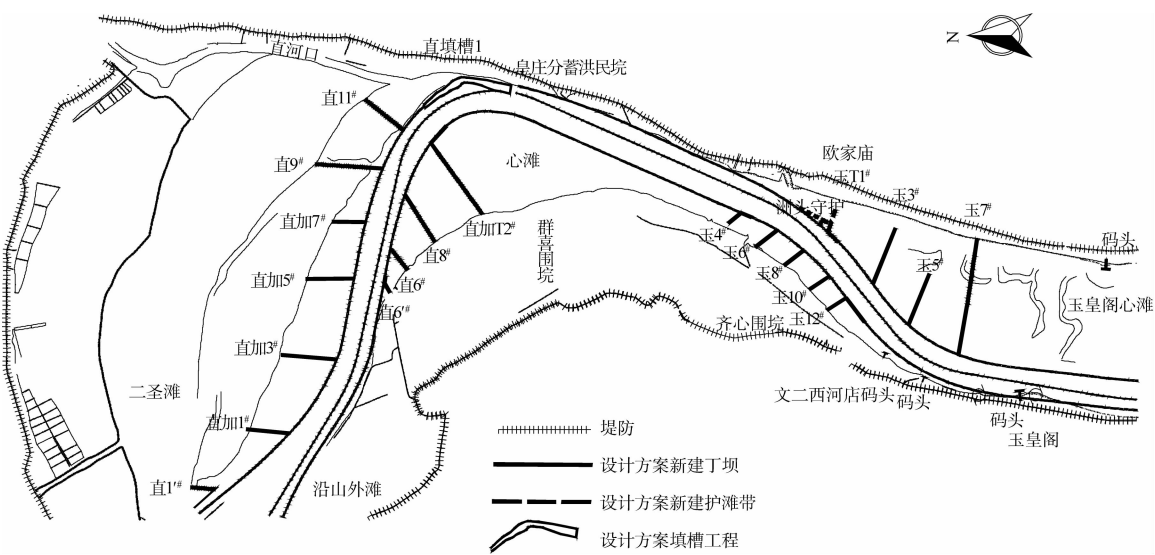


图4 方案2平面布置

3.4 试验方案3

本方案工程布置依据方案2试验结果，调整优化形成方案3。试验水文条件为1991年4月—1992年3月代表水文年概化过程。

在直河口河段，结合以前整治工程延长，左侧仍布置5条丁坝，玉皇阁河段左侧布置5条护滩带和丁坝，右侧布置5条丁坝，玉皇阁心滩头部

布置梳齿护滩带。方案3与方案2区别在于直6[#]丁坝勾头向左侧微调，直6[#]坝高恢复至设计水位上1.0 m，凸岸边滩进行切滩。方案布置见图5。进行调整的目的在于改善二圣庙过渡段的冲刷强度，降低直9[#]坝坝头冲刷，调整水流入弯角度，改善过渡段和弯道淤积。

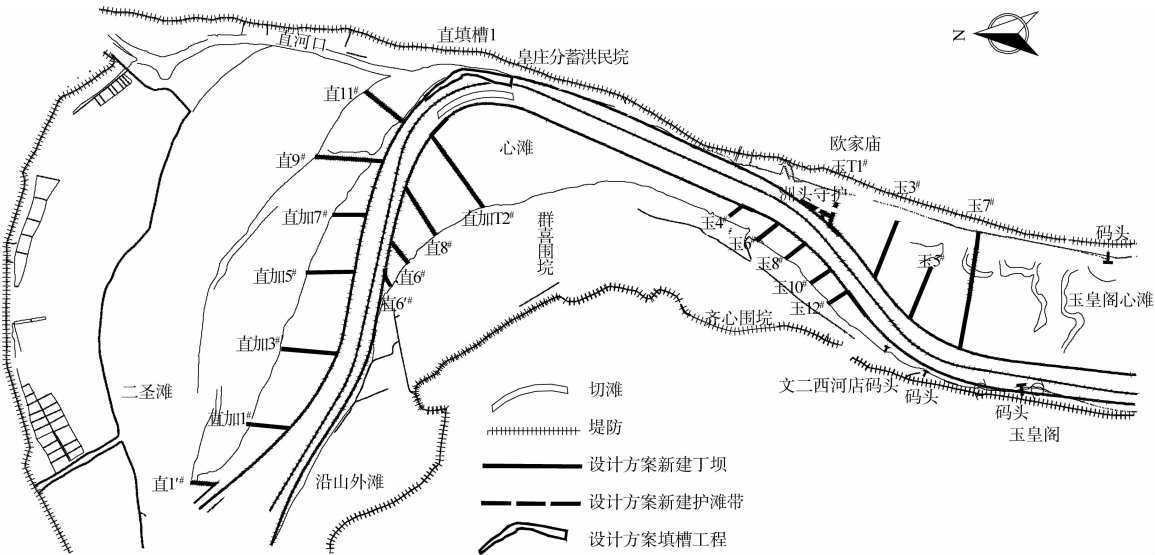


图5 方案3平面布置

方案3试验表明，在整治工程施工后，能较好起到缩窄枯水河宽、束水冲沙作用，整治工程系列丁坝及护滩带坝田多表现为淤积，整治线内浅滩冲刷，航槽水深明显增加，沿程水深满足设

计要求。在系列年初期，由于碾盘山枢纽近坝段冲刷幅度较大，在二圣庙过渡段至直河口弯道间均在局部淤积。在枢纽建设初期，遇大水后流量陡降或枢纽建设后持续低水条件下，二圣庙过渡

段和直河口弯道可能存在水深不足情况, 须辅以局部疏浚才能确保航道畅通。在近坝段基本冲淤平衡后, 上游下泄清水情况下, 二圣庙过渡段和弯道段水深能够满足要求。在一般水文年条件下, 整治工程实施后, 直河口凸岸边滩基本稳定, 冲淤幅度不大, 但在大水年后, 由于主流取直, 滩尾存在一定冲刷, 但不影响该段航道条件。西河店过渡段在不同水文年下航道条件均较好, 整治工程较好地起到了归顺水流、束水冲沙的作用。玉皇阁右汊在中低水年航道条件较好, 玉皇阁边滩基本稳定, 右岸岸线无明显冲刷。在大水年下, 玉皇阁右岸凸嘴挑流, 心滩中部右缘冲刷, 导致该段河道宽浅, 大水年后枯水水深不足, 仍需对本处方案做优化调整, 稳定玉皇阁心滩, 稳定航

道水深。

3.5 试验方案 4

本方案在方案 3 基础上优化而成, 主要优化部位有两处。一处是在玉皇阁心滩中部右侧增加一条护滩带玉 7[#], 主要目的保护玉皇阁心滩中部边滩, 防止右岸凸嘴挑流冲刷边滩, 稳定航槽水深; 另一处则将玉 12[#]丁坝勾头长度缩短 70 m, 主要原因是玉皇阁头部过渡段从多年冲淤情况看, 目前方案冲刷幅度较大, 水深条件良好, 但玉 12[#]勾头近岸有取水闸, 取水闸口有淤积情况, 且勾头可能加剧右岸凸嘴挑流, 通过缩短丁坝挑流程度, 在维持过渡段航槽稳定的同时, 尽量降低取水闸口淤积, 减弱凸嘴挑流, 维持航道整体的水深连贯。方案布置见图 6。

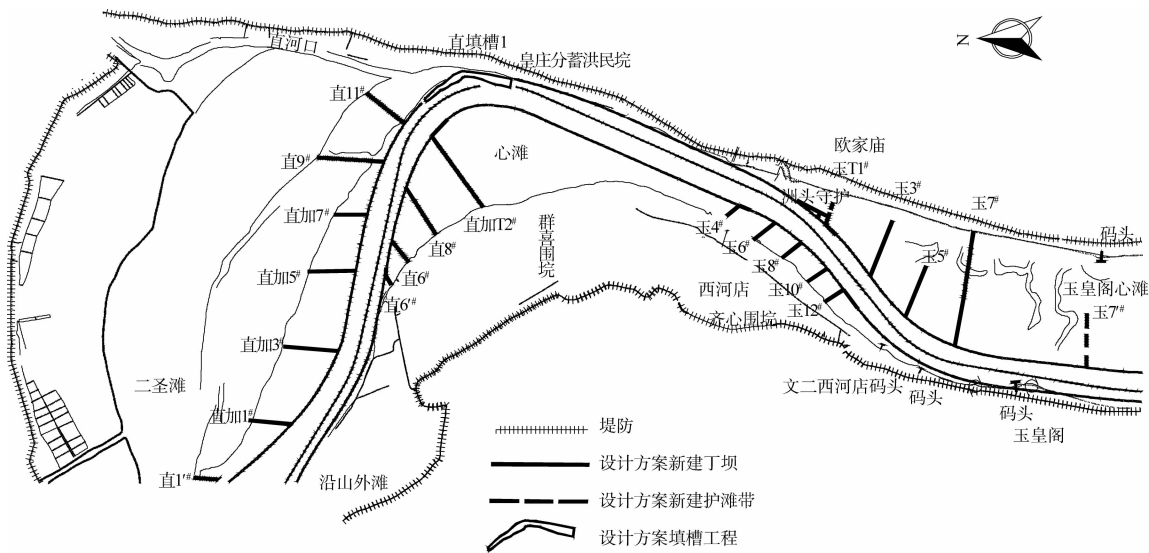


图 6 方案 4 平面布置

试验效果表明, 直河口河段整治方案能够解决二圣庙过渡段由于河段宽浅带来的水浅问题, 整治方案缩窄了河宽, 稳定了主流, 抑制了河道深泓摆动, 过渡段水深有明显增加。除枢纽下引航道口门区及下游 1.6 km 范围内航道水深不满足要求, 下游二圣庙过渡段至直河口弯道段, 航槽水深均在 2.4 m 以上, 2.4 m 水深最小宽度超过 105 m。直河口弯道段在上游整治工程和弯道填槽方案配合下, 凸岸边滩冲刷, 弯道航宽明显增加, 改善了弯道航宽不足的问题。凸岸边滩滩边和滩尾在大水年下存在局部冲刷, 但对航道水

深维持无明显影响。西河店过渡段通过布置整治工程集中水流, 避免由于河道放宽带来的宽浅问题, 整治方案在不同水文年下效果良好, 在大水年下, 右岸丁坝群坝田有一定冲刷, 但不影响丁坝本身稳定, 也不影响航道过渡段航道条件, 玉皇阁心滩整体稳定, 整治工程实施后, 头部稳定性进一步增加, 水流能够平顺稳定自上游的左深槽过渡至下游右深槽。玉皇阁中部护滩带效果明显, 在大水年下, 护滩带能较好保护边滩, 在边滩稳定条件下, 玉皇阁右汊航道条件较好。

4 结语

1) 研究河段具有宽浅散乱和弯曲性河段的特点。目前受丹江口水库清水下泄的影响,河段仍处于调整阶段,心、边滩的消长不定、过渡段上提下挫、航槽不稳是该河段形成碍航的主要原因。丹江口调水工程运行后,长期看,研究河段河床仍将处于冲刷态势,浅滩洪淤枯冲、深槽洪冲枯淤的变化规律也不会改变,在无整治工程情况下,河道的展宽或冲深仍将继续。

2) 方案1试验结果表明:枢纽口门区航道淤积明显,对船舶进出枢纽船闸影响较大;航槽左侧丁坝坝田淤积明显,右侧直6[#]坝受水流冲击较强,坝上游冲刷幅度较大,水下护底范围需扩大;直河口的深槽部位存在一定淤积,凸岸边滩冲刷,弯道航槽水深和航宽均有所改善;玉皇阁过渡段在整治工程施工后,部分河段航宽仍不足90 m,左侧丁坝群均存在坝头冲刷坑,且冲刷坑尺度较大,对丁坝稳定不利。

3) 方案2试验结果表明:方案的局部调整对全河段水位影响有限,高水水位变化与方案1一致。调整后全河段航槽2.4 m等深线贯通,航道条件有改善,仍有部分河段航宽不足。二圣庙过渡段获得了更长的冲刷历时,过渡段水深增加,航宽增加,西河店过渡段的方案调整则较好地改善了过渡段水深不足的问题,进口和出口右侧的勾头较好地引导归顺水流作用使得河段过渡段全线航槽贯通,中间丁坝头部局部冲刷有所改善,冲刷坑减小。

4) 方案3试验结果表明:整治建筑物的布置使得过渡段流速增加,过渡段冲刷明显,航槽水深明显增加。整治线宽度和整治水位基本合理,航槽冲刷走向和深度基本满足设计要求。二圣庙至直河口弯道段在部分流量级下水深不足,主要原因在于近坝段初期冲刷量大,泥沙在过渡段淤

积较多,需一定水流条件搬运至下游。

5) 方案4试验结果表明:直河口弯道段在上游整治工程和弯道填槽方案配合下,凸岸边滩冲刷,弯道航宽明显增加,改善了弯道航宽不足问题。西河店过渡段通过布置整治工程集中水流,避免由于河道放宽带来的宽浅问题。玉皇阁心滩整体稳定,整治工程实施后,头部稳定性进一步增加,水流能够平顺稳定自上游的左深槽过渡至下游右深槽。玉皇阁中部护滩带效果明显,在边滩稳定条件下,玉皇阁右汊航道条件较好。

6) 针对4个方案的试验结果,从试验效果、工程适应性等方面综合考虑,建议将方案4作为工可研阶段的推荐方案。

7) 碾盘山枢纽下游航道口门区水流条件和泥沙淤积情况均较差,无法满足船舶正常进出船闸要求。建议管理部门针对碾盘山枢纽船闸布置对枢纽建设单位提出研究要求,对船闸与下游航道衔接问题开展专题研究工作。

参考文献:

- [1] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1986.
- [2] 张瑞瑾.河流泥沙动力学[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [3] 韩其为,何明民.泥沙起动规律及起动流速[M].北京:科学出版社,1999.
- [4] 中国水利学会泥沙专业委员会.泥沙手册[M].北京:中国环境科学出版社,1989.
- [5] 徐俊锋,程小兵,平克军.汉江碾盘山至陈家集段航道整治工程河工模型试验研究(定床报告)[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究院,2014.
- [6] 程小兵,徐俊锋,平克军.汉江碾盘山至陈家集段航道整治工程河工模型试验研究(动床报告)[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究院,2014.

(本文编辑 武亚庆)