



黄河乌龙漩河段航道整治技术试验研究

张绪进¹, 李国旗², 周家俞¹

(1. 重庆交通大学 重庆西南水运科学研究所, 重庆 400016; 2. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

摘要: 乌龙漩为黄河著名的中洪水“急、险”滩险之一, 右岸溪口冲积物堆积, 束窄河床断面, 水陡流急, 下游深槽吸流强烈, 波高浪大, 泡漩强劲, 流态恶劣, 严重碍航, 因此采取切嘴与填槽相结合的措施, 扩大过水断面, 降低流速、比降, 减小河床纵坡, 削弱泡漩强度, 改善通航条件使之满足 V 级航道标准尤其重要。通过理论分析和定床模型方法, 提出采取切嘴与填槽相结合的整治方案。试验表明: 采取切嘴、深槽整治效果较好, 河段流速、比降减小, 泡漩、斜流减弱, 流态明显改善, 改善通航条件, 满足设计要求, 可作为乌龙漩滩的推荐整治方案。

关键词: 碍航; 航道整治; 切嘴; 深槽

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0102-04

Model experiment of waterway regulation technology in Wulongxuan of the Yellow River

ZHANG Xu-jin¹, LI Guo-qi², ZHOU Jia-yu¹

(1. Southwest Waterway Engineering Institute, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China;

2. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Wulongxuan is one of the rapids which are famous for dangerous torrent in the Yellow River during the mid and high level. Due to the alluvial accumulation at the right outlet, which narrows the bed's transverse section and the current turns swift. The downstream deep trough absorbs strongly the water flow, and that results in the huge wave height, strong scroll, severe flow pattern and serious obstruction to navigation. So, the measure which combines spit cutting with trough filling is taken to expand the discharge cross-section, reduce the flow velocity and gradient, decrease the river's longitudinal slope, weaken the scroll, and improve the navigation condition to satisfy the standard of grade V channel which is particularly important and necessary. The experimental result reveals that by the scheme which combines spit cutting with trough filling, the flow velocity and gradient of the river section decrease, the scroll and oblique flow weakens, the flow pattern and navigation condition improve obviously. So, the scheme can be taken as the recommended scheme for Wulongxuan rapids.

Keywords: navigation-obstruction; channel regulation; cutting nozzle; deep groove

1 河段概况

黄河南长滩至沙坡头段为峡谷型山区天然河道, 河道宽度在 80 ~ 200 m, 河道形态弯曲多变, 边界条件较复杂, 河谷横断面形态呈宽阔不对称的“U”型或“W”型, 河型河势受两岸山谷的控制较稳定(图 1)。

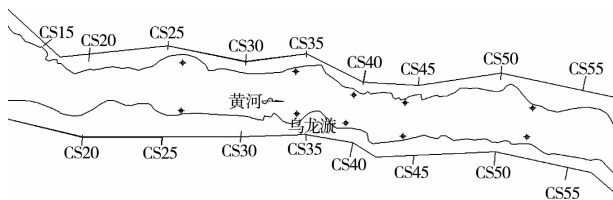


图 1 黄河宁夏中卫市乌龙漩滩河段河势

收稿日期: 2015-08-05

作者简介: 张绪进(1959—), 男, 研究员, 从事水力学及河流动力学、航道整治、泥沙等研究工作。

该滩由于右岸溪沟冲积物滑落形成冲积扇侵占河道, 形成挑流水埂。枯水期水流平缓, 航深富裕, 通航条件良好; 中洪水期, 水陡流急, 波高浪大, 泡漩强劲, 流态恶劣, 严重碍航, 为黄河著名的中、洪水“急、险”滩险之一^[1]。主要碍航原因是滩段河底纵坡降大, 深槽吸流作用明显, 上升水流形成强劲泡漩, 范围大, 分布广, 与急流水舌交织在一起, 流急浪大, 水流十分紊乱, 使得功率较小、操纵性能较差的船舶航行十分困难。该滩整治成功与否是黄河南长滩至沙坡头段航运开发的关键^[2]。

2 模型设计与制作

由于河段河床多为基岩和礁石组成, 河床及河岸相对稳定, 因此按定床模型进行设计。模型范围从滩段上游 1.3 km 起至滩下 1.1 km 止, 全长 2.4 km。考虑到本模型主要研究整治河段的通航水流条件, 必须确保水流结构相似, 因此采用断面板法制作。对变化较大的局部地形, 如深沱、突嘴等, 采用加密断面进行精心制作, 以确保模型与原型的几何相似、重力相似和阻力相似等准则^[3]。模型设计采用几何比尺为 $\lambda_L = 60$ 、 $\lambda_h = 60$ 的大比尺正态定床河工模型, 其他模型比尺参数为 $\lambda_v = 7.75$ 、 $\lambda_q = 27\ 885$ 、 $\lambda_n = 1.98$ 。经模型验证水面线、表面流速、流向、流态试验成果与原型相似性较好, 水流相似程度较好^[4]。因此, 可以在此基础上进行工程前后水流条件及整治方案的试验研究。

3 整治原则及整治参数

乌龙漩滩河面较窄, 岸线凹凸不平, 河床纵坡大, 溪口滩凸出, 挑流作用明显, 斜流强劲、泡漩汹涌、流态恶劣, 船舶航行十分困难。拟定其整治原则为“采取切嘴与填槽相结合的措施, 扩大过水断面, 降低流速、比降, 减小河床纵坡, 削弱泡漩强度, 改善通航条件”^[4]。

依据工程河段实际通航情况, 按规划的内河

V 级航道标准进行建设; 据该滩上游相关水文站(安宁渡水文站)多年资料统计, 设计水位(流量)按《内河通航标准》应取 95% 通航保证率时的相应水位, 其设计水位为 1 267.29 m(相应流量 $Q = 368\text{ m}^3/\text{s}$)。

4 试验成果及分析

4.1 工程前水流条件

由于右岸溪沟冲积扇侵占河床, 形成挑流水埂, 加之下游深槽吸流, 流速、比降大, 泡漩强劲, 流态恶劣。为更深入地了解工程河段水流情况, 模型针对典型流量水流条件进行了观测和分析。

当 $Q = 368\text{ m}^3/\text{s}$ (设计流量)时, 河宽多在 100 m 以上, 滩段流速多在 1.5 m/s 左右, 滩口水面局部比降为 0.15‰, 通航条件良好; 在 $Q = 1\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 滩段流速增大至 2.83 m/s, 比降增大至 0.82‰, 溪口处挑流逐渐增强, 泡漩显现, 但强度不大^[5]; 在 $Q = 2\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ (洪水流量)时, 全河段流速明显增大, 多在 3.5 m/s 以上, 其中滩段流速普遍超过 4.0 m/s, 最大水面比降为 1.11‰, 水陡流急, 波高浪大, 泡漩强劲, 急流和泡漩相互交织, 通航水流条件甚差(表 1)。

表 1 天然情况下乌龙漩滩泡漩高度			
流量/ (m^3/s)	泡漩高度/m		
	位置 1	位置 2	位置 3
1 000	0.26(CS38 右)	0.19(CS40 右)	0.20(CS41 右)
2 000	0.71(CS38 右)	0.57(CS40 右)	0.51(CS41 右)
3 000	1.04(CS39 右)	1.21(CS41 右)	0.56(CS42 右)

随着流量进一步增加, 滩势进一步恶化, 流速迅速增大, 船舶无法航行, 且滩段河底纵坡降大, 深槽吸流作用明显, 水流形成强劲泡漩, 范围大、分布广, 与急流水舌交织在一起, 严重威胁航行安全^[5]。

4.2 整治工程方案布置及成果

根据工程河段情况和拟定的整治原则, 试验先后进行了 3 个方案的对比分析研究, 各方案工程布置情况^[6]见图 3。

方案 1：对右岸溪口突嘴进行切除，切嘴基线长约 73.5 m。基线基本平行于航槽中心线，切嘴底高程为 1 265.69 m，纵、横坡均为 0，切嘴边坡为 1:1。弃渣用于抛填深槽，填槽高程不超过 1 256 m（图 3a））。

方案 2：对方案 1 进行了优化，即切嘴基线顺时针旋转 5°，其余切嘴底高程、边坡、底坡等均同方案 1，同时滩下深槽抛填高程增加 5 m，以观测不同填槽高程对泡漩强度的影响（图 3b））。

方案 3：考虑挖、填方量平衡，宜布置 2 条潜坝，轴线基本与水流方向垂直，长度分别为 42 m 和 68 m，两潜坝间距为 55 m，坝顶高程为 1 259 m，潜坝顶宽 4 m，前后坡比均为 1:2（图 3c））。

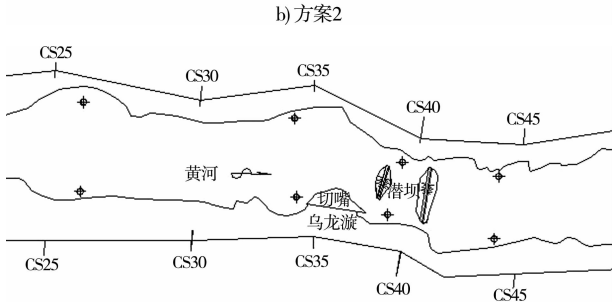
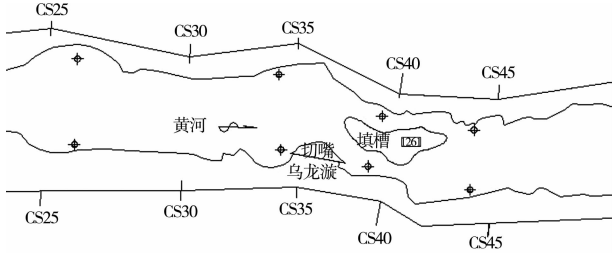
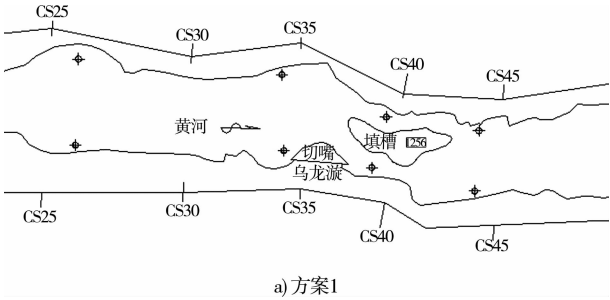


图 3 黄河乌龙漩河段布置方案

为判断分析各个方案的整治效果，试验共实施了 3 级流量($Q=1\,000、2\,000、3\,000\text{ m}^3/\text{s}$)下整治工程前后河段部分断面流速分布、水面比降、局部流态及泡漩高度等研究试验，并进行对比分析，最终选出推荐方案(表 2~4)。

表 2 上水航线部分断面流速分布

断面号	天然流速			方案 1			方案 2			方案 3		
	1 000 m ³ /s	2 000 m ³ /s	3 000 m ³ /s	1 000 m ³ /s	2 000 m ³ /s	3 000 m ³ /s	1 000 m ³ /s	2 000 m ³ /s	3 000 m ³ /s	1 000 m ³ /s	2 000 m ³ /s	3 000 m ³ /s
CS30	2.54	3.66	4.33	2.71	3.64	4.46	2.65	3.61	4.44	2.62	4.07	3.60
CS32	1.77	3.28	3.47	2.19	3.20	3.56	1.49	3.14	3.54	1.91	3.17	3.61
CS34	2.52	3.51	3.91	1.70	3.07	3.65	1.16	3.04	3.50	1.60	3.09	3.00
CS36	2.39	3.44	4.03	1.68	3.37	3.98	1.91	3.21	3.29	1.74	3.61	3.98
CS38	2.56	3.94	4.70	1.82	3.48	4.18	2.34	3.41	4.15	2.20	3.47	3.83
CS40	1.26	2.14	3.22	1.51	1.25	4.19	1.87	1.56	4.31	1.50	1.27	4.13
CS42	0.98	2.21	2.94	1.00	0.93	2.23	1.15	1.25	2.15	1.12	2.73	4.10
CS44	1.20	2.43	3.29	1.10	1.35	3.48	1.39	1.63	3.80	1.16	2.75	3.50

表 3 乌龙漩各个整治方案泡漩高度

流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	天然情况			方案 1			方案 2		方案 3	
	位置 1	位置 2	位置 3	位置 1	位置 2	位置 3	位置 1	位置 2	位置 1	位置 2
1 000	0.26 (CS38 右)	0.19 (CS40 右)	0.20 (CS41 右)	0.15 (CS39 右)	0.13 (CS40 右)	0.15 (CS41 右)	0.157 (CS38 左)		0.18 (CS38 左) 0.24 (CS41 右)	
2 000	0.71 (CS38 右)	0.57 (CS40 右)	0.51 (CS41 右)	0.44 (CS36 左)	0.36 (CS37 左)	0.37 (CS42 右)	0.404 (CS36 左)	0.314 (CS41 右)	0.50 (CS36 左)	0.27 (CS41 右)
3 000	1.04 (CS39 右)	1.21 (CS41 右)	0.56 (CS42 右)	0.37 (CS35 左)	0.53 (CS36 左)	0.62 (CS40 右)	0.434 (CS37 左)	0.484 (CS41 右)	0.48 (CS38 左)	0.53 (CS40 右)

表 4 右岸断面比降

水尺 编号	整治前			方案 1			方案 2			方案 3		
	1 000 m ³ /s	2 000 m ³ /s	3 000 m ³ /s	1 000 m ³ /s	2 000 m ³ /s	3 000 m ³ /s	1 000 m ³ /s	2 000 m ³ /s	3 000 m ³ /s	1 000 m ³ /s	2 000 m ³ /s	3 000 m ³ /s
CS26 ~ CS34	0. 896	1. 522	1. 646	1. 007	1. 735	2. 216	0. 951	2. 172	2. 888	0. 795	1. 563	1. 959
CS34 ~ CS39	-0. 361	-1. 074	-1. 344	-1. 230	-3. 066	-5. 770	-1. 025	-1. 541	-3. 361	-1. 049	-3. 287	-5. 525
CS39 ~ CS44	-0. 864	-1. 550	-2. 455	-0. 477	-1. 273	-1. 455	-0. 477	-1. 159	-1. 432	-0. 341	-0. 955	-1. 409
CS44 ~ CS52	0. 654	0. 855	2. 350	0. 541	1. 618	2. 657	0. 516	1. 555	2. 615	0. 590	1. 724	2. 700

4.3 试验成果及分析

各方案整治的宗旨是一致的, 即对溪口堆积物切除, 从而使溪口河面增宽、挑流水埂减弱, 使溪口下游深槽段河床纵坡变缓, 流速、比降减少, 在靠右侧的回流、泡漩范围缩小, 强度进一步降低。

方案 1: 当 $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 上水航线流速减小 $0.02\sim1.28\text{ m/s}$, 滩口段比降增大 1.99% , 泡漩最大高度由工程前 0.71 m 减小至 0.36 m , 最大回流流速由天然的 1.81 m/s 减小至 1.15 m/s 。

方案 2: 实施后, 相同流量情况下, 最大流速较方案 1 进一步减小, 比降减缓 1.525% ; 同时由于深槽抛填高程有所增加, 河床纵坡进一步减小, 吸流作用减弱, 回流范围缩窄, 泡漩高度减小, 缓流区增大, 减轻了上水航行的难度, 最大泡漩高度由 0.44 m 降至 0.31 m 。其原因是切嘴基线顺时针旋转 5° , 滩段流速横向分布重新调整, 剪刀水减弱; 深槽段主流增宽, 右岸回流范围减弱, 形成缓流区, 船舶上行选择水流较平缓的缓水区, 减小上行难度, 上行“搭跳”过滩条件明显改善。

方案 3: 整治后溪口斜流减弱, 流速、比降减小, 总体改善情况与方案 2 相近, 唯受潜坝阻水影响, 潜坝区域流态略差, 水面波动较明显, 不利船舶上行。

综合各方案情况可知: 方案 2 较方案 1 填槽工程量增加较大, 投资增加较多; 整治后滩段回流、泡漩较方案 1 大为改善, 船舶上行难度减小, 下行安全隐患基本消除, 强度降低。从航道条件改善和船舶航行安全的角度看, 方案 2 流态优于

方案 1, 因此确定方案 2 作为该滩河段的推荐整治方案^[2]。

5 结语

乌龙漩滩河段为黄河典型的山区型河流, 河道窄深, 河床及边界基本为基岩, 抗冲性好, 河型河势稳定。其滩险形成主要为溪口冲淤积物淤积于河口形成滩槽相连、泡漩汹涌的险滩, 通过物理模型试验对比分析可知: 采用切嘴+填槽相结合的整治措施是切实有效的^[7]。通过工程措施, 减小了溪口滩挑流作用及河床纵比降, 调整水流流态, 降低泡漩高度, 方便船舶安全通过滩险, 可为类似滩险整治提供参考。

参考文献:

[1] 杜宗伟, 周家俞. 黄河乌龙漩航道整治模型试验报告[R]. 重庆: 重庆西南水运工程科学研究所, 2013.

[2] 李家世, 刘晓帆, 周家俞. 黄河中卫段复合型滩险整治技术[J]. 水运工程, 2015(5): 133-138.

[3] 何进朝, 母德伟. 嘉陵江土湾滩航道整治模型试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2012(4): 210-214.

[4] 杨祥飞. 山区河流弯曲分汊浅滩整治技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.

[5] 张绪进, 费晓昕. 北江白石窑水利枢纽坝下变动回水区航道整治试验研究[J]. 水运工程, 2013(4): 146-150.

[6] 张琰琰, 王平义. 黄河什川吊桥滩河段航道整治方案研究[J]. 水运工程, 2014(3): 125-129.

[7] 曾亚东. 淮河淮滨至三河尖航道整治工程研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2009.

(本文编辑 郭雪珍)