

· 模型试验 ·



长江上游斗笠子滩航道整治工程试验研究*

刘勇, 王涛, 解中柱, 刘丽莎

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 通过模型试验分析斗笠子滩水流、泥沙运动特征, 并对航道整治方案进行研究, 提出了推荐方案。推荐方案工程实施后, 整治效果良好, 航道水流条件明显改善, 船舶过滩能力增强, 基本满足千吨级船舶自航上滩要求, 表明对枯水卵石急滩实施“下抬上疏”的治理方案是行之有效的。

关键词: 卵石急滩; 航道整治; 模型试验

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)10-0047-05

Experimental research on waterway regulation project of Doulizhi shallow in the upper Yangtze River

LIU Yong, WANG Tao, XIE Zhong-zhu, LIU Li-sha

(Changjiang Chongqing Harbour and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: Based on the physical model, we analyze the feature of flow and sediment movement and study regulation scheme. After project implementation, this plan has an immediate effect on basis of surveying the practical ability of beach passing of ship. It can clearly be seen it is very effective to implement the scheme that the gravel rapid should be dredged at the upstream and reclaimed at the downstream on the dry rapids.

Key words: gravel rapid; waterway regulation; physical model test

斗笠子河段位于重庆至泸州之间, 是典型的枯水严重碍航急流滩, 在新中国成立后, 曾多次对其实施整治, 但效果甚微^[1], 直接制约着长江上游经济发展。

1 河道概况

斗笠子滩位于宜昌上游811.0 km, 曾是兰叙段航道中唯一配有绞滩设施的枯水急滩。该滩下游河段向左弯曲, 在弯段顶部有巨大的称杆碛卵石坝, 碛坝将河流分为左右两汉, 右汉为主航槽, 左汉为副槽。称杆碛之下河面缩窄。滩内左岸有兔脑壳石梁与零乱基岩夹卵石组成的金堆子, 右岸是庙角碛江心洲。中洪水期, 水流漫过庙角碛, 河面放宽, 上游来的卵石在此大量沉积。水

位开始退落后, 河段发生冲刷。当庙角碛开始露出水面时, 碛边流速变缓, 淤积的卵石不能全部冲走, 在庙角碛中部(已建顺坝坝头对面)形成水下碛翅, 在主航槽中, 有潜伏礁石。进入枯水期后, 由于右岸和左岸兔脑壳石梁相对峙, 束水挑流, 使流速加大形成滩舌急流。同时出现水埂、泡漩等碍航流态。当水位降到设计水位上1 m左右时成滩, 水位越枯, 滩势越汹。由于本滩枯水水势汹涌, 船舶过滩困难, 上水船舶行至滩口下方, 因右岸庙角碛水浅不能靠近, 遇河中急流阻挡不能前进时, 需借助右岸施绞设施上滩^[1-8]。

本滩1987年在左岸兔脑壳头部建丁坝一道, 以增大主航槽中水流量, 在兔脑壳石梁尾部建顺坝一道, 调整滩口比降。疏浚和清炸右岸下游突

收稿日期: 2012-07-26

*基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAB05B02); 西部交通建设科技项目(2009328746042)

作者简介: 刘勇(1984—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事港航工程设计与研究工作。

嘴，整治后能够满足船舶自航上滩要求。但经过3个水文年后疏浚区卵石回淤，滩势变得更汹，船舶上行十分吃力。对于下水船舶，过滩时由于河中水乱流急，操作困难，稍有不慎，靠左极易在金堆子触礁，靠右则极易在庙角碛擦浅（图1）。

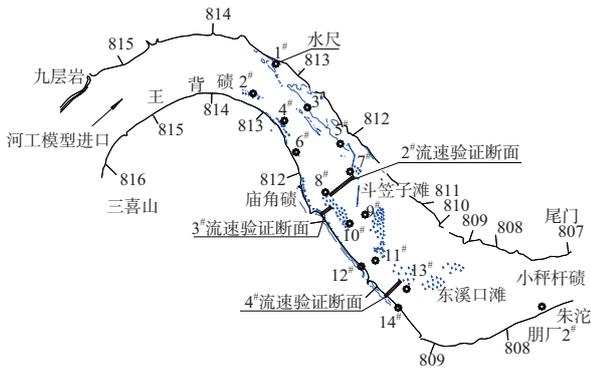


图1 斗笠子河段平面示意

2 物理模型设计

针对斗笠子滩枯水流速的碍航特征及碍航成因，选取物理模型范围上起三喜山（航道里程816 km），下迄小秤杆碛（航道里程807 km），全长9 km，模型平面比尺为100，垂直比尺为100，糙率比尺为2.15，其比尺满足自相似律（表1），模型沙采用天然砂。通过洪、中、枯三级典型流量对模型进行了水位、流速、流向验证，模型与原型基本相似。

表1 斗笠子滩定床河工模型的各项比尺

比尺名称	符号	比尺	比尺名称	符号	比尺
平面比尺	λ_l	100	糙率比尺	λ_n	2.15
垂直比尺	λ_h	100	粒径比尺	λ_d	16.43
流速比尺	λ_v	10	推移质输沙率比尺	λ_{sb}	205
起流速比尺	λ_{v0}	10	冲淤时间比尺	$\lambda_{t_{sb}}$	120
流量比尺	λ_Q	10^5	干容重比尺	λ_{γ_0}	2.4

3 斗笠子河段水流、泥沙运动特征

3.1 水流运动特征

在模型中共施放了2 230、3 250、4 430、8 500、20 600 m³/s共5级流量，对工程河段流速和水位进行分析。

1) 水流动力轴线枯水弯曲，洪水趋直。当来流为2 230~8 500 m³/s时，水流动力轴线一般由斗笠子滩上段深槽，通过庙角碛边滩，沿主航槽以及庙角碛碛尾，到达黄石龙深槽，斗笠子滩段

枯水期水流动力轴线为弯曲形状。随着流量的增加，斗笠子滩的水流动力轴线逐渐右移，庙角碛碛尾的动力轴线逐渐向金堆子方向移动，洪水期的水流动力轴线逐渐趋直。

2) 洪水期存在弯道环流。

工程河段由2个连续的弯道组成，滩段上游为王背碛弯道，滩段出口为东溪口弯道。从物理模型定床洪水输沙试验来看，在模型进口三喜山处开始全河段加沙，当推移质运动到九层岩处（弯顶略靠上），可以清楚观察到底沙在弯道的环流作用下，左岸的推移质发生异岸输移，输移到右岸王背碛。洪水期，斗笠子滩段处于王背碛弯道和东溪口弯道的过渡段，当泥沙输移到庙角碛碛尾时，可观察到推移质不再向黄石龙深槽输移，在东溪口弯道环流的作用下，推移质输移到金堆子边滩。由于王背碛和东溪口的弯道环流，直接影响洪水期推移质的输移路线。

3) 比降随着流量的减小而增加。

实测5级流量的滩口水尺水位、比降变化见表2。从表中可以看出，斗笠子滩从设计流量 $Q=2\ 230\text{ m}^3/\text{s}$ 增加到洪水流量 $Q=20\ 600\text{ m}^3/\text{s}$ 时，滩口水尺之间的比降由2.10‰减小到0.25‰。说明工程河段的比降随流量的增加而减小，该滩具有越枯越汹的特征。

表2 各级流量滩口水位的比降

流量/(m ³ ·s ⁻¹)	水位差/m	比降/‰
2 230	1.17	2.10
3 250	1.04	1.86
4 430	1.02	1.81
8 500	0.62	1.11
20 600	0.14	0.25

3.2 推移质运动特征

1) 洪水期推移质输沙带。

在洪水期，模型中推移质泥沙从九层岩（航道里程815 km）全断面加入，在其向下游的输移的过程中，受弯道环流作用的影响，逐渐聚集到弯道凸岸，于弯顶王背碛（航道里程813 km）下游形成一条输沙带向下输移。在弯道顶点的凹岸深槽未发现泥沙输移（图2）。

水流经过弯道后，由缩窄段到庙角碛放宽

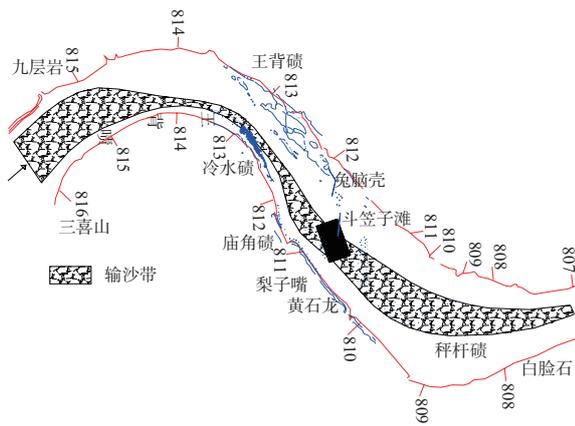


图2 输沙带位置

段,洪水走直,主流位于弯道深槽至已建兔脑壳顺坝一带;在右岸冷家碛—庙角碛碛尾形成扩散水流。小部分泥沙沿主流带右边缘,穿过庙角碛滩面向下输移到庙角碛碛翅—碛尾一带,大部分泥沙由于扩散水流从弯道凸岸经过右岸副槽进口输移到庙角碛右碛翅,由于副槽的弯道环流作用,泥沙经过庙角碛滩面,输移到庙角碛左岸边缘的碛翅处。输移到庙角碛碛翅的泥沙在洪水主流带的作用下,经过主航槽输移到斗笠子滩。泥沙经过碛尾时,由于梨子嘴—黄石龙的缓流区无法带走泥沙,庙角碛向下发展的趋势。

工程河段洪水期推移质主要输移路线为:王背碛边滩→冷家碛边滩→庙角碛副槽进口→庙角碛滩面→庙角碛右边碛翅→主航槽→斗笠子滩。小部分泥沙从弯道深槽至已建兔脑壳顺坝一带直线输移。

2) 枯水期推移质输移路线。

在14 000 m³/s流量以下,庙角碛碛首以上的流速减缓,上游很少有泥沙输移到庙角碛碛翅。在中枯水期,水流主要输移洪水期在庙角碛碛翅处淤积的泥沙。其输移线路为滩口上游沿庙角碛碛翅输移到碛尾,经过中枯水主流带输移到金堆子边滩。

通过以上分析,总结斗笠子滩卵石运动规律为:卵石运动不是全河床分布,而是有明显的输沙带;不管洪水期还是中枯水期,对于卵石急滩主航槽来说,均以异岸输移为主;洪水期推移质输移路线经过主航槽,并产生一定淤积,枯水期水流归槽冲刷洪水期淤积的推移质;洪水期和枯水期的推移质输移路线方向不一。

4 整治工程设计方案试验及方案比选

4.1 方案1(庙角碛疏浚+支汊疏浚)

方案1主要沿用1960年、1987年、1996年曾经施工过的方案(图3)。沿庙角碛边滩挖槽,挖槽深度:设计水位下3 m,开挖边坡为1:3,在庙角碛支汊进行疏浚。

该方案实施后,有利于改善斗笠子滩的航行水流条件,但没改变水流的冲刷强度,庙角碛挖槽区出现回淤,缓流区航深难以维持,并且支汊疏浚区域也易于回淤,分流效果无法长期体现。

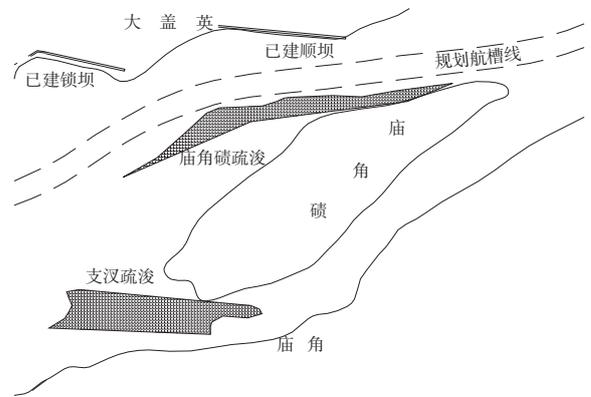


图3 方案1

4.2 方案2(庙角碛疏浚+丁坝分沙)

方案2(图4)在方案1庙角碛疏浚方案的基础上,再结合头部设置丁坝。希望通过丁坝分沙,减少庙角碛挖槽处的回淤。

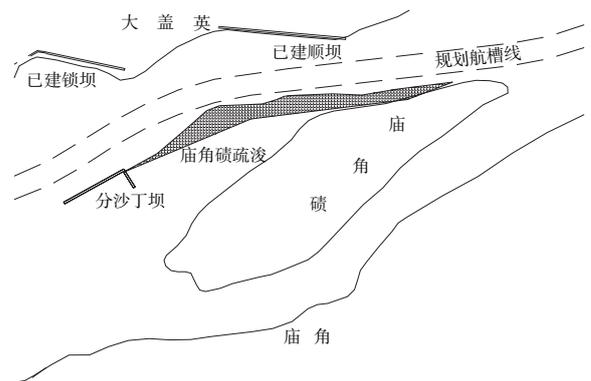


图4 方案2

从该方案的定床输沙来看,丁坝对中洪水的主流影响较小,同时对其输沙带也影响不大。在流量Q=20 600 m³/s和8 500 m³/s时,输沙带与方案1一样通过庙角碛疏浚区域。方案2布置的丁坝对中洪水分沙的效果不明显,庙角碛疏浚后与方案1基本一样,仍然会回淤。

4.3 方案3 (移顺坝+滩口炸礁+滩口下游180 m处炸礁)

方案3 (图5) 工程布置为:

1) 改建顺坝。顺坝自坝根1/3处向左岸旋转, 坝头左移25 m。原顺坝区域河床高程为设计水位下4 m。筑坝长度200 m, 坝顶宽度为3 m, 两侧放坡1:1.5。

2) 滩口炸礁。在滩口处炸礁, 炸礁高程为设计水位下5 m。炸礁边缘与周围地形平顺连接。

3) 滩口下游180 m处炸礁。以滩口下游180 m为中心炸礁, 炸礁高程为设计水位下4 m。炸礁边缘与周围地形平顺连接。

方案3实施后, 枯水期庙角碛碛翅处冲刷泥沙能力有所下降。在 $Q=2\ 230\ m^3/s$ 时, 工程实施前, 在庙角碛能带走所有泥沙, 但在方案3工程实施后, 在庙角碛处有一定淤积。在 $Q=4\ 300\ m^3/s$ 时, 方案3在庙角碛碛尾的淤积量是无工程的2倍。

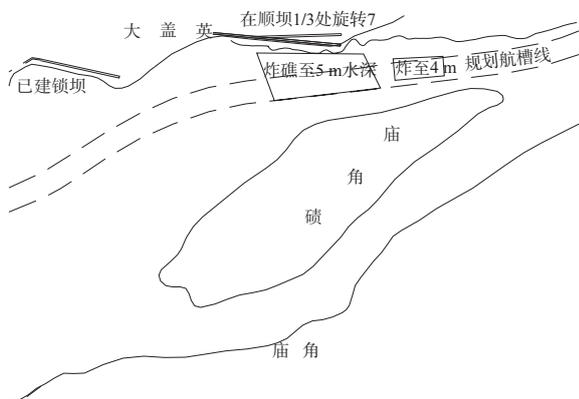


图5 方案3

4.4 方案4 (移顺坝+滩口炸礁+滩口180 m炸礁+导尾坝)

方案4 (图6) 工程布置:

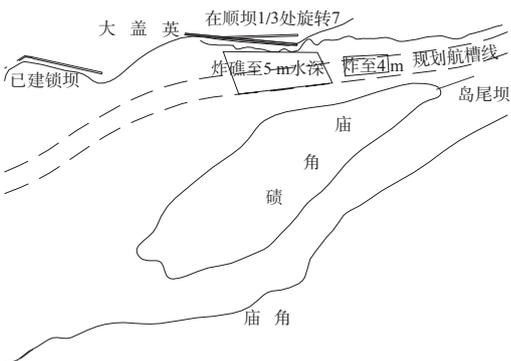


图6 方案4

1) 旋转已建顺坝、滩口处炸礁和滩口下游180 m炸礁同方案3。

2) 修筑岛尾坝。在庙角碛碛尾筑岛尾坝, 坝顶高程198.5 m (平坡), 筑坝长度100 m, 顶宽度为3 m, 两侧放坡1:1.5。

该方案实施后, 全面改善了斗笠子滩的水流条件, 从船模试验和水流最不利比降流速组合来看, 能满足船舶自航上滩。该方案实施后, 在庙角碛碛翅和碛尾附近有少量的泥沙淤积。

4.5 方案5 (移顺坝+滩口炸礁+滩口180 m处炸礁+岛尾坝+分沙坝)

方案5 (图7) 是在方案4基础上, 通过优化, 在碛首布置2条分沙坝。

1) 旋转已建顺坝, 滩口处炸礁, 滩口下游180 m炸礁, 岛尾坝同方案4。

2) 修建分沙坝。通过优化, 在庙角碛修建2条分沙坝, 第1条坝长度为165 m, 第2条坝长度为150 m, 坝高程200.0 m, 顶宽度为3 m, 两侧放坡1:1.5。

布置分沙坝后, 只是改变庙角碛碛翅局部的淤积量, 洪水期工程河段泥沙主要输移路线以及庙角碛碛翅的淤积并没有得到实质性的改变。中洪水期, 船舶抱碛上行。在碛首布置分沙坝, 对中洪水期的船舶上行有一定影响。

综合比较5个方案的整治效果和工程量, 方案4在多个方面具有优势, 作为推荐方案。

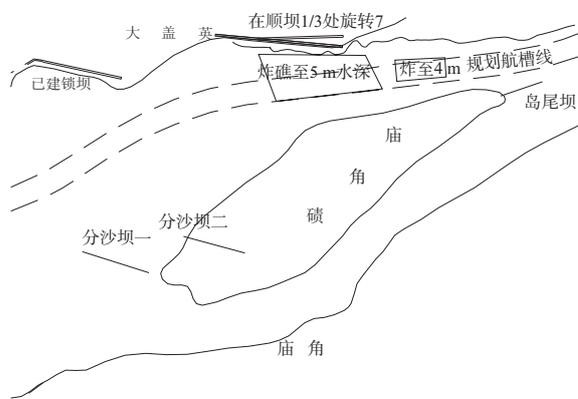


图7 方案5

5 整治效果分析

按照推荐方案4, 斗笠子滩航道整治工程于2005年10月25日开始进行疏浚施工, 此后依次进

行了裸爆、钻爆、清渣、筑坝等施工工艺,于2006年4月15日完成施工。实际完成工程量:疏浚 $9\,900\text{ m}^3$ 、裸爆 $2\,900\text{ m}^3$ 、钻爆 $11\,136\text{ m}^3$ 、清渣 $22\,950\text{ m}^3$ 、坝体抛石 $6\,850\text{ m}^3$ 、C20混凝土坝面 49 m^3 、浆砌条石 $1\,236\text{ m}^3$ 、坝根开挖 32 m^3 、坝根回填 17 m^3 、移坝 $2\,924\text{ m}^3$ 。整治后,比降有所减低,效果见表3。

表3 斗笠子滩整治前后航道条件变化

测量时间	测时水位/m	最大流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大比降/ ‰	航线上最大流速 与比降组合/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\times\text{‰}$)
2006-04	0.71	3.62	2.8	3.04×0.86
2006-10	4.00	4.09	1.4	3.17×0.78
2007-02	0.66	3.72	4.8	3.00×1.72
2003-04	0.88	4.41	8.2	3.35×2.15

注:测时水位以设计最低通航水位为零点。

从方案4工程实施前2003年4月24日测图知,滩段最大流速达 4.11 m/s (测时水位为设计水位上 0.88 m),局部最大比降达 8.2‰ (计算长度为 30 m),出现水埂,航线上最大流速比降组合为 $3.35\text{ m/s}\times 2.15\text{‰}$ (表3)。到本方案工程基本实施完时,于2006年4月17日测图知(测时水位为设计水位上 0.71 m),比降明显减小,局部最大比降为 2.8‰ (计算长度为 39 m),位于兔脑壳下挑丁顺坝坝头对出的航槽中。设计载重 800 t 的贵华2#自航驳满载上水用时 18 min 行程 2.1 km 顺利上滩,航线上最大流速与比降组合为 $3.04\text{ m/s}\times 0.86\text{‰}$ 。

通过三级水位下流速流向及比降资料统计,航线上最大流速比降组合为 $3.00\text{ m/s}\times 1.72\text{‰}$,能够满足千吨级船舶自航上滩要求。可见,斗笠子滩实施治理工程后,航道条件有较大程度改善。

6 结语

1) 研究整治方案前,必须了解险滩水流、泥沙运动规律,分析历史整治过程和取得经成功

经验和失败教训,斗笠子滩历史上层多次整治维护,本次研究借助历史整治经验,回顾分析探索整治思路和整治方案。

2) 斗笠子滩卵石运动规律为:卵石运动不是全河床分布,而是有明显的输沙带;不管洪水期还是中枯水期,对于卵石急滩主航槽来说,都以异岸输移为主;洪水期推移质输移路线经过主航槽,并产生一定淤积,枯水期水流归槽冲刷洪水期淤积的推移质;洪水期和枯水期的推移质输移路线方向不一。

3) 卵石急滩以调节急滩比降为主;确定整治工程方案时既要考虑标准船队自航上滩,又要考虑航槽稳定。

4) 对于斗笠子这样的急流滩险整治,采用上游疏浚与下游建坝壅水制造缓流的整治措施是行之有效的。

参考文献:

- [1] 余俊华,解中柱.叙渝段典型卵石急滩整治技术研究报告[R].长江重庆航运工程勘察设计院,2008.
- [2] 傅华,黄超.川江青岩子滩航道整治方案及效果分析[J].水运工程,2004(9):31-33.
- [3] 长江航道局.航道工程手册[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [4] JTJ 312—1998 航道整治工程技术规范[S].
- [5] 长江航道局.川江航道整治[M].北京:人民交通出版社,1998.
- [6] 钱宁,张仁,周志德.河床演变学[M].北京:科学出版社,1987.
- [7] Rakoczi L. Movement of Gravel Bed Load in Sharp River Bends[C]//第二次河流泥沙国际学术讨论会论文集.北京:水利电力出版社,1983:1 084-1 097.
- [8] 杨胜发,黄超.长江宜宾至重庆段航道治理关键技术研究[R].长江重庆航运工程勘察设计院,重庆交通大学,2007.

(本文编辑 郭雪珍)