

# 岷江航道干龙子滩整治方案研究

周玉洁<sup>1</sup>, 余祥<sup>2</sup>, 于丽伟<sup>1</sup>, 谢玉杰<sup>1</sup>

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017; 2. 四川省水利水电勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

**摘要:** 干龙子滩为岷江干流龙溪口枢纽以下的天然航道, 需通过航道整治达到内河Ⅲ-(3)级航道标准。该滩为典型的分汊型急流浅滩, 流速比降均较大, 船舶无法自航上滩, 考虑该滩险各级流量时的碍航特点, 分析该滩险各级流量时的碍航特点采取有效措施, 优化疏浚布置, 选址适宜的整治高度, 改善通航水流条件, 实现船舶自航上滩。

**关键词:** 航道整治; 分汊型急流浅滩; 疏浚布置; 整治高度

**中图分类号:** U617      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0097—03

岷江是长江上游的一级支流, 干流全长 735km, 流域面积 135881km<sup>2</sup>。岷江下游龙溪口枢纽至河口宜宾段航道 81km 规划为内河Ⅲ-(3)级航道, 建设标准为保证率为 95% 时达到航道尺度: 2.4×60×500m (水深×直线段宽度×弯曲半径)<sup>[1]</sup>。干龙子滩距离上游龙溪口枢纽约 4km, 距岷江河口里程为 78km~74km。

## 1 滩段特性

干龙子滩为分汊急流浅滩, 该滩位于河道转弯处, 水流由西流至此经半径约 1.2km 的弯道顺时针转 80° 流至东南向。该滩上段及下段均为单一河道, 水深条件较好, 滩中部河道扩宽, 滩中有一江心洲将河道一分为

二。左汊左岸在历史上修建有一长顺坝与左汊内的低矮心滩相连, 右汊上口现有上世纪 70 年代修筑的 1 座锁坝。

### 1.1 河床演变

该河段深泓基本稳定, 近年来平面变化较小, 深泓均走左汊, 贴左岸深槽。对比分析 2010 年 04 月及 2017 年 4 月两次测图, 7 年时间, 全滩段大部分冲淤变化在 0.2m 以内, 仅在左汊出口位置 K75 附近有约长 200m 宽 50m 的冲刷, 最大冲刷深度为 1.33m, 在右汊入口堵坝坝后 200m 范围内有约长 200m 宽 200m 的淤积, 最大淤积深度为 2.95m。总体来讲, 年际间深泓线的变化规律一致, 横向摆动幅度较小, 年际变化河床冲淤变化表现为基本平衡、河势基本稳定。

(2) 本文对锚机齿轮箱进行轻量化分析, 对齿轮箱中材料过多冗余的材料结构进行改进, 通过有限元分析得到轻量化后的齿轮箱的最大应力和位移满足使用要求。

(3) 通过对轻量化后的齿轮箱进行分析, 本文设计的齿轮箱仍有优化空间, 该方法对类似问题具有一定借鉴意义。

## 参考文献:

- [1] 陈琳, 杨龙霞. 船舶甲板机械领域国际国内标准化综合研究 [J]. 船舶标准化工程师, 2019, 52(03): 8-14.
- [2] 王靖. 渔船结构优化设计研究 [A]. 中国水产学会. 2014 年中国水产学会学术年会论文摘要集 [C]. 中国水产学会: 中国水产学会, 2014: 1.
- [3] 李曦. 液压锚绞机墙架有限元分析及设计优化 [J]. 船舶工程, 2016, 38(S2): 89-92.
- [4] 史阳阳. 基于刚柔耦合的锚绞机结构优化设计及试验

研究 [D]. 南京理工大学, 2016.

[5] 张建, 唐文献, 邱允明, 高超, 苏世杰, 魏月庭. 锚机机架结构优化设计 [J]. 船舶工程, 2013, 35(01): 32-34+98.

[6] 谢健, 刘孟云. 甲板机械轻量化设计技术研究 [J]. 中国水运 (下半月), 2019, 19(11): 7-8.

[7] 韩忠华, 许晨舟, 乔建领, 等. 基于代理模型的高效全局气动优化设计方法研究进展 [J]. 航空学报, 2020, 41(05): 30-70.

[8] 李坚. 代理模型近似技术研究及其在结构可靠度分析中的应用 [D]. 上海: 上海交通大学, 2013.

[9] 刘浩雪. 基于响应面法的集装箱船优化设计研究 [D]. 天津: 天津大学, 2008.

[10] X. Li, H. Qiu, Z. Chen, et al. A local Kriging approximation method using MPP for reliability-based design optimization [J]. Computers & Structures, 2016, 162: 102-115.

## 1.2 平面形态

干龙子滩右汊相对较直，水浅、流急、比降大；左汊为相对较弯曲，是现行主航道；江心洲较为完整，平面形态头大尾小，头部地形扁平，尾部微微隆起，江心洲长约1307m，洲面最宽处约512m，洲面高程超过设计水位以上1.5m。右汊入口处有上世纪六十年代修筑堵坝，整治建筑物年久失修，其导水、束水功能逐年衰弱。

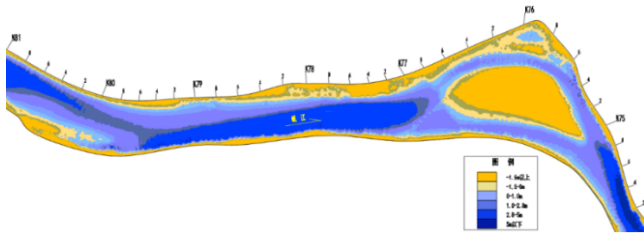


图1 干龙子滩段水深图

设计流量  $Q=900\text{m}^3/\text{s}$  时：滩段上游单一河道（K81+000-K77+000）河宽约155~495m，水深最深值为3.0~13.47m；滩中段分汊河道（K77+000-K75+000）河宽约236~419m，水深最深值为2.1~5.44m；滩中段分汊河道（K77+000-K75+000）河宽约155~403m，水深最深值为4.99~20.00m。

滩中段分汊河道河道展宽，水深较浅，流速比降较大，特别是该滩入口处断面最深点仅为2.10m（K76+400），即使是断面最深点，也小于航道所需水深2.40m，现有航槽水深仅能保证约1.1m。该滩右汊较左汊宽浅，宽度最大为左汊的1.56倍（K76+000）。

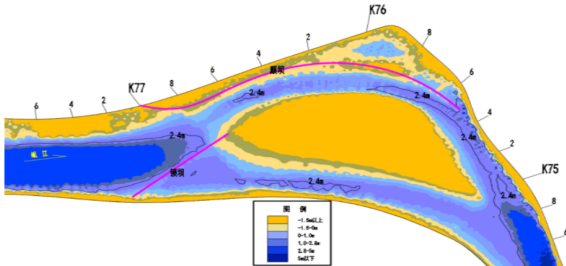


图2 干龙子滩分汊河段平面图

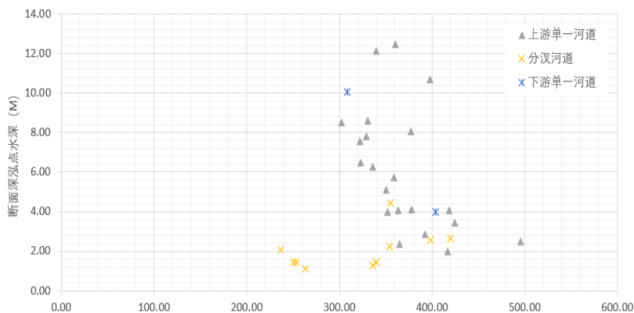


图3 干龙子滩段河宽及水深 ( $Q=900\text{m}^3/\text{s}$ )

## 1.3 水流特征

根据实际调查，滩段现行碍航特征为流速比降较

大，船舶上滩困难，根据实测流速流向资料及计算成果，各工况下流速最大值均出现在分汊河段：实测流量  $Q=1040\text{m}^3/\text{s}$  时，滩段内最大流速为3.72m/s（K76+200），该段比降为2.4‰。在该比降和流速组合值下，设计船型有效推力小于航行阻力，船舶无法自航上滩。

依据水文计算的水位流量关系及实测地形资料，分析了设计水位至设计水位以上1.5m，4种代表工况时，滩中段分汊河段（K77+000-K75+000）断面过水面积及断面平均流速：最大断面平均流速出现在设计流量  $Q=900\text{m}^3/\text{s}$  时，断面平均流速为1.36~3.89m/s，最大断面平均流速3.89m/s出现在分汊河段入口处（K76+800），随着流量加大，水位抬高，过水断面面积加大，流速降低。水位抬高0.5m， $Q=1270\text{m}^3/\text{s}$  时，断面平均流速最大值降低至2.91m/s（K76+800），水位继续抬高至设计水位以上1.0m， $Q=1760\text{m}^3/\text{s}$  时，断面平均流速最大值降低至2.64m/s（K76+200），流速最大点向下游移动约600m；水位抬高至设计水位以上1.0m， $Q=2310\text{m}^3/\text{s}$  时，断面平均流速最大值继续降低，为2.58m/s（K76+200）。

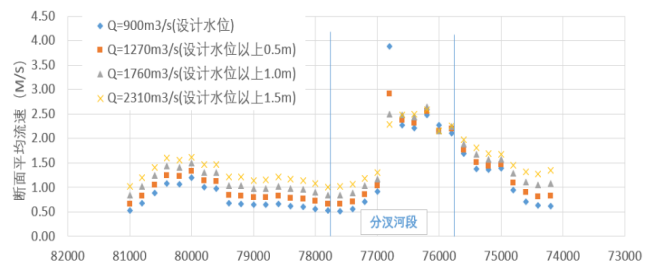


图4 干龙子滩段平均流速

因此，干龙子滩段重点在设计流量时因水浅、流速比降大而碍航，整治措施应增大设计水深，减小流速及比降，使得水流条件满足船舶上滩要求。计算得到设计船型1000t级单机驳上滩指标见下表<sup>[2]</sup>。

表1 1000t级船舶自航上滩水力指标表

比降 (%)	0.5	1	2	3	4
流速 (m/s)	3.9	3.8	3.5	3.2	3.0

## 2 整治方案研究

### 2.1 航路选择

针对该滩分汊河道的平面特征，首先选择主通航河道：由于①右汊水深小于左汊水深，②右汊为凹岸非控制性河岸，③右汊航道长度(2.8km)小于左汊(2.2km)，比降更大，④且历史上均行船均选择左汊为主航道，目前上下行船舶均沿左汊航行，因此此次设计选择左汊为主航道。结合现有船舶航线及地形水流条件，参照类似航道布置<sup>[3]</sup>设计航槽中心线：下行船舶出龙溪口枢纽船闸后，沿右侧深槽进入干龙子滩，沿干龙子滩左岸坝坝

整治线规划走左汊，顺坝结束后继续沿左侧主导河岸规划整治线至下游左岸深槽结束。

## 2.2 方案布置

针对该滩设计水深不足的浅滩平面特征，沿设计航宽范围内不满足设计水深的区域布置疏浚，疏浚至 2.8m 水深（本次取富裕水深为  $0.4\text{m}=0.3$  III 级航道富裕水深  $+0.1$  卵石和岩石质河床富裕水深）。

针对该滩水流流速大，比降大的急滩水流特征，且滩段为微弯河道，在疏浚满足设计航道尺度 60m 航宽的基础上，左右各加宽 10m，将分汊河段左汊的疏浚区域宽度增加至 80m，由于较低流量时（设计流量  $Q=900\text{m}^3/\text{s}$ ）流速较大，因此重点开挖设计水位以下河床，且分汊进口处（K76+800）断面平均流速最大，因此将航槽内的疏浚区域布置为喇叭口，在分汊入口处加大开挖宽度<sup>[4]</sup>，与上游深槽平顺衔接。布置航槽内疏浚工程后， $Q=900\text{m}^3/\text{s}$  时，滩段内最大平均横向流速由  $3.89\text{m/s}$ （K76+800）降低至  $1.89\text{m/s}$ （K76+300）。随着流量加大，水位抬高，航槽内疏浚对流速的影响变小，且流速最大值出现下移，因此对左汊中段右岸布置切咀工程，切至设计水位，拓宽设计水位以上过水面积，调顺左汊的右岸岸线，布置了疏浚和切咀工程后， $Q=2310\text{m}^3/\text{s}$  时，滩段内最大平均横向流速由  $2.62\text{m/s}$ （K76+300）降低至  $2.27\text{m/s}$ （K76+300）。

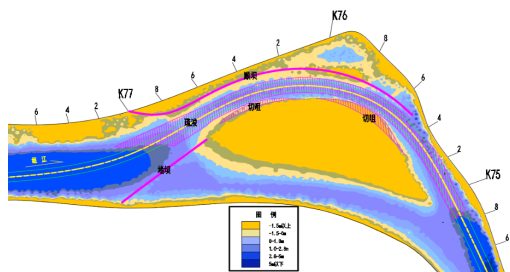


图5 千龙子滩分汊河段整治方案布置图

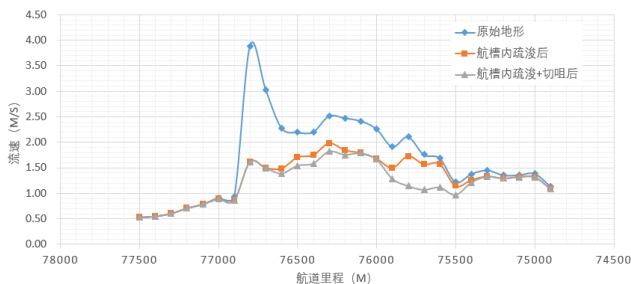


图6 千龙子滩段工程后流速分布

由于滩段内堵坝及顺坝修建年代久远，年久失修，因此对两座整治建筑物进行修补，两座建筑物在历年整治效果均较好，但由于先航道等级提升，航道尺度增加，因此对两座整治建筑物的坝位及布置沿用原坝轴线，仅对坝顶高程进行分析。顺坝坝后基本不过水，仅在坝田

内因采砂形成倒套。考虑抬高坝顶高度对过水断面影响较小，为稳定该顺坝，并在流量加大时仍调顺水流，将顺坝坝顶高程抬高至设计水位以上 1.5m。考虑堵坝高程对过流面积及流速、比降影响较大，因此分析了堵坝两个整治高度分别为两种（设计水位以上 0.5m 及设计水位以上 1.0m）情况对河道的影响。当整治高度为设计水位以上 1.0m 时，由于江心洲顶高程超过设计水位以上 1.0m，因此在流量  $1760\text{m}^3/\text{s}$  时，仅靠左汊过流，最大平均流速达到  $3.99\text{m/s}$ ，流速过大，船舶上滩困难。若坝顶高程继续加高，流速将更大，因此堵坝整治高度取设计水位以上 0.5m。

## 2.3 整治效果

针对以上整治方案：①航槽内布置 80m 宽的喇叭口疏浚工程至设计水位以下 2.8m；②在左汊右岸布置两处切咀工程且至设计水位；③修补原左岸顺坝，整治高度为设计水位以上 1.5m；④修补右汊堵坝，整治高度为设计水位以上 0.5m。进行了数值模拟，得出整治后该滩各级水流条件下的流速与比降组合值，设计船型有效推力均大于航行阻力，满足设计船舶自航上滩水流条件。

## 3 结论

（1）由于该滩分汊型急流险滩的特性，结合滩段平面、水流特征及船舶习惯航线，选址左汊为主汊，并针对各级流量的碍航特点，采取工程措施减小流速及比降。

（2）分析该滩险各级流量时的碍航特点，针对性的采取有效措施，优化疏浚布置及疏浚尺度，选址适宜的整治高度，达到合理的流速比降组合。

（3）就该滩险的整治方案进行数学模拟，按该方案整治后，整治后航槽流态较好，满足船舶自航上滩要求。

## 参考文献：

- [1] 四川省交通勘察设计研究院. 岷江（龙溪口枢纽至宜宾合江门）航道整治一期工程初步设计 [R]. 成都：四川省交通运输厅交通勘察设计研究院，2019.
- [2] 李顺超，张有林，何熙，谢玉杰. 岷江下段航道典型滩险整治技术 [J]. 水运工程，2020(4):89-94.
- [3] 谢玉杰，周家渝. 嘉陵江八字脑滩群航道整治模型试验研究 [J]. 中国水运，2016(16):254-256.
- [4] 王常红，程小兵，李少希. 汉江下游马口滩航道整治 [J]. 水运工程，2012(2):103-107.