

岷江下游易冲蚀边滩段 航道治理动床模型试验研究

李欢¹, 邓涯^{2,3}, 马爱兴^{2,3}

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017;
2. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;
3. 南京水利科学研究院港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 山区冲积性河流在河道宽阔段易形成滩槽交错的河势, 在汛期因主流取直而冲蚀边滩, 导致大量泥沙进入河槽引起航道淤浅, 一直是航道工程中重点关注的问题。本文借助于岷江下游新开河滩群河工物理模型, 对其中背时滩~令牌石滩段的水沙输移特征、航道整治工程前后输沙路线和河床冲淤特性进行了分析, 从避开边滩泥沙落淤区的角度, 对下段令牌石滩段的航槽布置方案进行了优化, 研究成果支撑了本段航道工程的设计, 也可为其他类似滩段航道整治工程提供技术借鉴。

关键词: 岷江; 冲蚀边滩; 航道整治; 动床模型

中图分类号: U617.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0079—03

岷江是四川省“一横两纵”水运进出川的主通道之一, 根据规划, 岷江干流(乐山至宜宾段)162km 航道采取“上段渠化、下段航道整治”措施, 即建设老木孔、东风岩、犍为和龙溪口四座梯级, 渠化航道81km, 整治龙溪口枢纽至宜宾段航道81km, 将通航标准提高至III级。

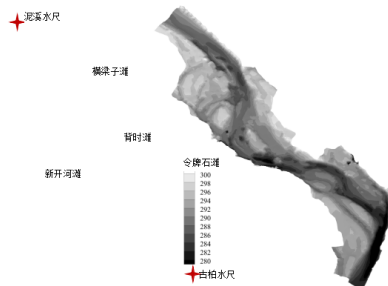


图1 新开河滩群段河势图

岷江龙溪口枢纽至宜宾81km 航段, 总落差44.3m, 平均比降0.55‰, 共有滩险28处, 碍航较为严重的有新开河滩、霸王滩、铜锣湾滩等3个滩群, 尤以新开河滩群最为复杂。新开河滩群位于河口上游约53km处, 四滩并存, 严重阻碍了岷江航运的升级扩能, 需通过航道整治达到规划III级(航深2.4m、航宽60m、弯曲半径500m, 通航保证率95%)。本文采用河工物理模型试验研究了新开河滩群下段易冲蚀边滩段航道整治方案实施后对输沙路线、边滩冲淤特性的改变, 以及对下游令牌石滩段航道布置的影响, 在此基础上对整治方案进行了优化调整。

1 研究河段概况

新开河滩群段全长10km, 河段内自上而下分布有横梁子、新开河、背时滩、令牌石4个滩险, 该段河势特征为单一河槽与汊流相间的宽浅型河道, 水流分散是滩险水深不足的根本原因, 枯水面宽150~350m, 滩群段河势见图1。

新开河滩群上述四个边滩交错分布、航槽多次左右偏转, 水沙动力条件均较为复杂。其中, 背时滩~令牌石滩段左侧边滩一直未有效防护, 洪水期主流冲蚀滩头, 将大量泥沙经滩面径直带入令牌石滩河槽当中, 汛末极易导致航槽淤积而出浅, 图2。

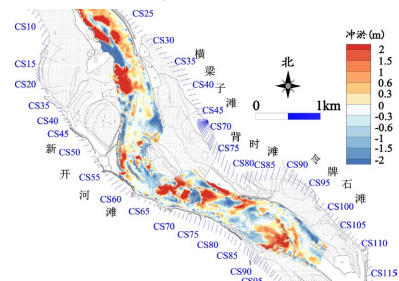


图2 2017.04~2020.12 工程河段河床天然冲淤

自岷江上游紫坪铺电站和支流大渡河上瀑布沟电站修建后, 工程河段来沙量大幅减少, 汛期(6~9月)平均含沙量由紫坪铺蓄水前的0.795kg/m³, 减少至0.213kg/m³, 河床组成也明显粗化, 多为卵砾石, 河槽内粒径在0.5~14.8cm, 中径在4.7~8.0cm, 不均匀系数2.35。

2 河工动床模型建立与验证

2.1 模型建立

工程河段悬移质输沙量较小，河床演变以推移质造床为主。因此，动床模型以推移质运动进行设计。物理模型范围全长约 10km，采用正态模型，平面和垂直比尺均为 100。定床阶段采用洪中枯三级实测水文资料对沿程水位、断面流速进行了验证，精度符合相关规范要求。

动床模型试验采用比重 $1.42t/m^3$ 精制水洗煤，通过一系列试算，在原型水深 2.4 ~ 8.0m（设计流量及最大通航流量下对应的水深）时，泥沙粒径比尺在 21.54~22.26 间（平均 21.96），相应的起动流速比尺在 9.92~10.03，平均值为 9.98，与水流流速比尺 $a_v=10$ 基本一致。因而，最终确定粒径比尺 $a_d=21.96$ ，模型沙中径 $d_{50}=2.91mm$ ，以保证配制的煤粉模型沙满足起动相似。

2.2 模型验证

动床物理模型以 2017 年 4 月为起始地形，经过 2017 年 4 月 ~ 2020 年 12 月水沙过程作用后，对 2020 年 12 月枯水地形进行了各断面冲淤验证（见图 3）。结果表明工程河段模拟的河槽主要冲淤部位与原型基本一致，全河段冲淤总量接近，断面冲淤变幅与原型也较为符合，基本反映了工程河段河床冲淤变化，可进行工程方案的冲淤试验研究。

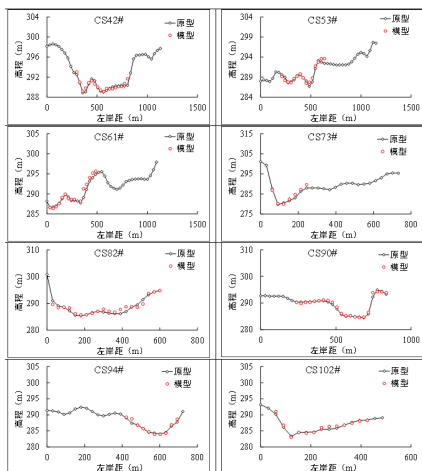


图 3 模型断面冲淤验证

3 工程前自然冲淤变化

3.1 研究工况

研究工况选择主要考虑对工程河段航道挖槽回淤影响具有代表性和不利性的年份，结合紫坪铺电站运行以来实际发生的水沙条件，选择 2020 年水沙条件作为大水大沙典型年，选择 2013 年作为中水中沙年典型年，并以 2020 年、2013 年和小水小沙的 2015 年作为“丰-平-枯”组合系列水文年。

3.2 自然冲淤演变

工程前自然演变试验在 2017 年 4 月地形的基础上施放了大水大沙年（2020 年）水沙过程，水文过程作用后，工程河段冲淤变化见图 4。

由图 4 可知，背时滩和令牌石弯道段（5#、6# 和 7# 区），汛期主流取直，直冲右侧滩地，整体表现为滩头冲刷，中下段滩面、滩沿与滩尾淤积，而弯道河槽内基本表现为冲刷。其中，背时滩段 5# 和令牌石弯道中心段 6# 区表现为冲刷，总量分别为 -1.72 万方和 -1.71 万方，平均冲深 -0.14m 和 -0.14m；相应地，5# 区和 6# 区航槽内也整体冲刷，冲刷总量分别为 -0.42 万方、-1.13 万方，平均淤厚 -0.12m 和 -0.22m。由于令牌石滩右侧滩面冲刷，导致一部分泥沙顺沿滩沿向下输移进入航槽，一部分滩尾深坑内淤积泥沙越过老坝进入航道，导致令牌石弯道下段航槽内出现淤积，该段河道冲淤总量在 0.39 万方，平均淤厚 0.04m，航槽内冲淤总量 0.30 万方、平均淤厚 0.07m。

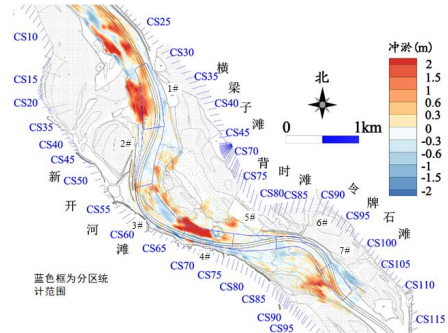


图 4 大水大沙年作用后河床自然冲淤变化

4 工程后冲淤变化与航线调整

4.1 航道整治方案

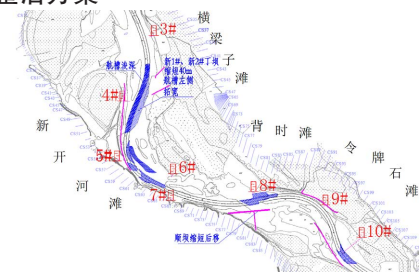


图 5 背时滩~令牌石滩段航道整治方案

在前期定床模型试验研究中，基于通航水流条件优化确定了航道整治方案，背时滩~令牌石滩段工程内容主要为在右侧边滩滩头、滩尾各修建一条顺坝，对滩头和滩尾两处出浅段进行疏浚和左岸护岸，见图 5。

4.2 工程后河床冲淤特性

在大水大沙年（2020）作用条件下，滩头顺坝一方面阻止了滩头的侵蚀，在顺坝后形成淤积，守护了滩头，但另一方面也改变了由背时滩至令牌石滩泥沙的输移路

线：在工程前水流直冲滩面，在滩尾部采砂坑内淤积，而工程后滩面基本为淤积，而上游底部输移推移质泥沙在滩头顺坝控导下顺滩沿向下，导致工程后较大淤积出现在滩唇下游和补顺坝坝前，淤积厚度在 1.0 ~ 1.5m；令牌石滩下段的 7# 区河床冲淤总量由工程前的 0.39 万方大幅增加至 1.83 万方，平均淤厚也由 0.04m 增至 0.16m，淤积范围基本覆盖整个航槽范围，航槽内淤积厚度在 0.6 ~ 1.5m，回淤较为明显，整体上淤积厚度的峰值出现在航右线附近，航道右半幅出浅长度范围接近 600m，出浅区厚度在 0.3 ~ 1.0m（见图 6）。

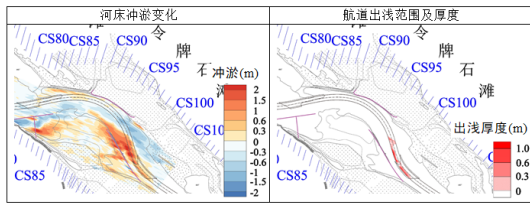


图 6 大水大沙年令牌石滩段河床冲淤变化及航道出浅厚度

4.3 航道整治方案优化及效果

针对令牌石滩下段大水大沙年后航槽出浅范围较大的情况，结合 2012~2020 年该处天然河床冲淤变化特征、模型试验成果以及该河段的滩槽格局，对设计航线进行了局部优化，在设计航线基础上左移半幅航道（30m），航槽开挖底高与设计方案一致，优化后航槽仍旧布置于 286m 河槽线范围内，航线布置见图 7。

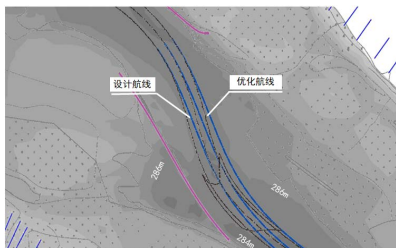


图 7 令牌石滩段航线优化方案示意图

为比选设计航线与优化航线，对 2012 ~ 2020 年航线范围内的天然冲淤情况和动床模型工程前大水大沙年后冲淤情况进行了统计，见图 8。

由于优化后航线与设计航线均位于该河段河槽中，因此在 2012 ~ 2017 年以中枯水年（1 个大水年、3 个中水年和 1 个小水年）作用为主的天然河床冲淤中，两个航线的航槽内均表现为冲刷，冲刷总量也较为接近。但在 2017 ~ 2020 年以大水年（1 个中水年和 3 个大水年）作用为主的天然河床冲淤中，两个航线的航槽内均表现为总体淤积，优化航线内淤积总量（0.79 万方）相比设计航线内（1.44 万方）减少明显。相似的规律也出现在模型试验上，在经过单个大水年（2020 年）作用后，设计航线内总体为淤积，总量在 0.43 万方，而优化航线内体现为冲刷，总量为 -0.27 万方。

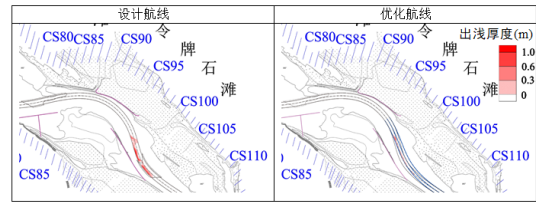


图 8 大水大沙年后令牌石下段航线优化后航槽出浅情况

在大水大沙年后，优化航线范围内航槽出浅范围及厚度相比设计航线有明显减小，出浅范围仅在航右线附近，长度在 550m 左右，出浅区厚度均在 0.3m 以下。可见，相比设计航线，航线优化后该段航槽稳定性有所提高，推荐采用优化航线布置于令牌石滩下段。

5 结语

(1) 工程前背时滩 ~ 令牌石滩段右侧边滩受汛期水流冲击，滩头冲蚀、滩尾淤积，部分泥沙越过老坝进入河槽，同时另一部分泥沙顺沿滩沿进入航槽，在令牌石滩下段航槽偏转位置淤积。

(2) 滩头顺坝一方面削弱了主流、抑制了滩头冲蚀，另一方面也将原越过滩面向下的输沙路径调整为顺沿滩沿向下，导致工程后滩唇下游和顺坝坝前大量淤积，邻近的航槽内回淤明显。

(3) 从避开工程后右侧边滩泥沙落淤区的角度，对令牌石滩段下游航线进行了左移 30m 的优化，优化后航槽内淤积问题改善明显，仅右边线出浅，厚度小于 0.3m。

参考文献：

- [1] 交通运输部，《水运工程模拟试验技术规范》（JTS/T 231-2021）。
- [2] 李昌华，金德春．《河工模型试验》[M]．人民交通出版社，1981 年．
- [3] 长江水利委员会水文局．《岷江（龙溪口枢纽至合江门）航道整治工程水文资料分析报告》[R]．2012 年 6 月．
- [4] 南京水利科学研究院，《岷江（龙溪口枢纽至宜宾合江门）航道整治一期工程新开河滩群物理模型试验研究报告》[R]．2021 年 11 月．
- [5] 四川省交通勘察设计研究院有限公司，《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》（报批稿）[R]．2019 年 12 月．

基金项目：四川省科技计划项目（2022YFS0467），中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金（Y220011；Y221012；Y221013；Y222011）