

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20220849

广阳坝河段连续浅滩—深潭式仿自然生境修复技术研究

林 欢¹, 王 丽^{1,2}, 杨胜发^{1,2}, 孙 章¹, 胡 江^{1,2}, 闫路遥¹, 童思陈^{1,2}

(1. 重庆交通大学河海学院, 重庆 400074; 2. 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074)

摘要: 以长江上游广阳坝河段为例, 通过构建物理模型分析连续浅滩—深潭式仿自然生境修复技术方案实施前后相应河段水深、流场的变化, 讨论生境修复方案对鱼类产卵场、栖息地、越冬活动及航道的影 响。研究表明, 生境修复方案实施后, 试验范围段缓流区的面积大幅增加, 且在丁坝群之间形成了局部缓流, 有利于鱼类的产卵与栖息; 方案的实施对河段航道内船舶通行未造成不利影响。

关键词: 鱼类; 浅滩—深潭; 山区河流; 仿自然生境; 丁坝

中图分类号: TV81; Q958

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)04-0085-03

1 概况

广阳坝河段(图 1)位于长江上游朝天门至涪陵河段, 河段河势蜿蜒, 河流沿线宽窄变化较大, 是典型的山区河流。河段内的广阳坝为高水位期的江心洲, 将河槽分为左右两汉, 左汉为主航槽, 相对宽深, 右汉为副槽, 相对窄浅。三峡蓄水后曾对该河段实施了炸礁等航道整治工程, 改善了河段的航道条件。2012 年之后河道采砂现象十分明显, 且因采砂量大, 造成局部河床滩面破坏, 形成大尺度的采砂坑, 深度达 20 m, 地貌变化较大。同时, 该河段与长江重庆段四大家鱼国家级水产种质资源保护区接壤, 渔业资源丰富, 鱼种较多。浅滩深潭系统能增加河床阻力, 控制河床侵蚀下切, 对河床和岸坡起到稳定作用^[1-4]。目前, 连续浅滩—深潭及相近结构模式已应用于山区河流治

理, 以保护河床稳定, 维持良好河流水生栖息地和生态功能^[5]。因此, 选择广阳坝河段开展连续浅滩—深潭仿自然生境修复模式来改善研究区域鱼类栖息地水流条件, 恢复受损生境。

2 物理模型试验

构建鱼类栖息地物理模型, 本质上是為了最大程度地还原鱼类栖息地的实际效果, 通过物理模型试验及结果分析, 探讨浅滩—深潭生境修复模式对鱼类栖息地修复效果, 以便为实际鱼类栖息地修复工程的开展提供参考。模型试验采用两组试验方案, 每组方案有 3 种水流工况。

2.1 模型构建

物理模型范围为上游铜锣峡中段大磨石(上游航道里程 643.5 km)至下游鱼嘴大桥(上游航道里程 629.5 km), 全长约 14 km。模型进口为铜锣峡, 距广阳岛上端 2 km, 河道顺直水流较急, 在进口处布置多块消能板, 以保证进入模型的流量合理分配与相对稳定。模型为正态模型, 平面比尺 λ_l 、垂直比尺 λ_h 均为 100。模型试验河段沿程水位采用精密水准仪测量, 测量精度为 0.1 mm; 断面流速采用旋浆流速仪测量, 测量精度为 0.1 cm/s; 表面流速利用西南水运工程科学研究所研制的 XKVMS 大范围表面流场测量仪进行观测。

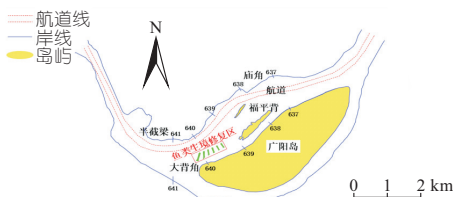


图 1 广阳坝河段鱼类生境修复区位置示意图

Fig. 1 A map of the location of the Guangyangba River section of the fish habitat restoration area

收稿日期: 2022-04-25, 修回日期: 2022-06-27

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51809176); 重庆交通大学研究生科研创新项目(2022S0025)

作者简介: 林欢(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为河流生态保护与修复, E-mail: 1334336110@qq.com

通讯作者: 王丽(1986-), 女, 博士、副教授、硕导, 研究方向为河流生态保护与修复, E-mail: syauwangli@126.com

2.2 试验水流条件

为研究鱼类栖息地修复方案对鱼类生境的影响,选取河段鱼类产卵盛期(5~6月)流量分析对鱼类繁殖的影响,选取河段鱼类觅食高峰期(7~8月)流量分析对鱼类索饵、肥育的影响,选取河段枯水期(12月至次年2月)流量分析对鱼类越冬的影响。因此,试验选取广阳坝河段上游朱沱站12、6、8月的多年平均流量作为水流控制变量(表1)。

表 1 物理模型试验水流条件

Tab. 1 The physical model tests the flow conditions

时段	朱沱流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	鱼嘴水位/m (吴淞高程)	试验流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
12月(越冬期)	4 500	156.55	0.004 5
6月(产卵期)	13 500	162.55	0.013 5
8月(捕食期)	22 100	166.55	0.022 1

2.3 生境修复方案

对广阳坝河段区域进行实地调研,发现大背角与福平背之间存在大量鱼群,因此将大背角下游1 km范围作为鱼类栖息地的修复区,通过构建6个生态丁坝,结合大背角天然的横埂型石梁地貌来构建连续型浅滩—深潭式的鱼类栖息地。

由所测鱼群活动资料,确定坝体间隔约120 m(模型中坝体间距为1.2 m)。根据已有流场及广阳坝河段地形条件,结合试验区域上下游地形高程,确定丁坝高程为165 m。由于坝头靠近河流中心,水流较急,承受的水压力较大,并且产生螺旋流一类的不良流态会对坝头以下坝体产生冲刷,可能会对坝体产生一定程度的破坏,甚至造成坝头处部分塌落。为保持坝头相对稳定,采用放缓坝头坡度(放坡取1:3),坝根处设置岩石河岸等防护措施。浅滩—深潭仿自然生境修复布置参数见表2。

表 2 浅滩—深潭仿自然生境修复布置参数

Tab. 2 Shoal-deep pool bionic habitat restoration layout parameters

编号	坝根中心位置	坝头中心位置	中轴线长度/m
#1	29°33'39"N, 106°41'22"E	29°33'46"N, 106°41'25"E	249.45
#2	29°33'41"N, 106°41'29"E	29°33'47"N, 106°41'28"E	196.91
#3	29°33'44"N, 106°41'33"E	29°33'49"N, 106°41'32"E	161.11
#4	29°33'46"N, 106°41'39"E	29°33'51"N, 106°41'38"E	154.44
#5	29°33'49"N, 106°41'44"E	29°33'52"N, 106°41'42"E	143.70
#6	29°33'51"N, 106°41'49"E	29°33'55"N, 106°41'46"E	147.12

注:坝顶高程165 m,坝顶宽25 m,按1:3放坡。

3 结果与分析

3.1 生境修复方案建设前后水深变化

图2统计了鱼类栖息地修复方案实施前后设计水位下广阳坝河段试验范围内(航道里程641~638 km)水深的变化情况。由图2可知:①枯水

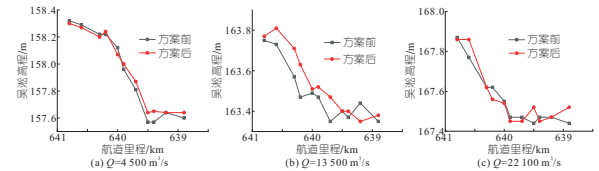


图 2 沿程水位变化图

Fig. 2 Change in the water level along the way

期时($Q=4\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$),丁坝群为非淹没状态(图2(a))。试验范围段沿程水位总体呈上升趋势,试验前后沿程水位走势比较一致,未出现骤升、骤降等情况。由于建坝后过流面积减小,方案实施后试验范围段沿程水位普遍高于方案实施前,在河段中游(航道里程639.5~639.7 km)最为明显。原因为冬季方案实施后水深增加,扩大了鱼类在河道底部越冬场所的面积,有利于鱼类的越冬行为。②当流量增加到 $13\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,丁坝群为非淹没状态(图2(b))。试验范围段沿程水位总体呈上升趋势,最大升高约0.16 m;试验前后沿程水位走势差距较大,河段上游到中下游(航道里程641.0~639.4 km)试验后水位均高于试验前。方案实施后,水深高频率波动,有利于河段鱼类的产卵与鱼卵的孵化。③洪水期($Q=22\ 100\ \text{m}^3/\text{s}$),丁坝群为淹没状态(图2(c))。试验范围段沿程水位总体呈上升趋势。方案实施后,沿程水位变化规律不明显,最大升高约0.08 m(航道里程640.7~639.5 km),最大降低约0.06 m(航道里程640.2 km),其余沿程范围略有升降,但变幅不大。试验前后水位的变化对河段鱼类的影响不大。

3.2 生境修复方案建设前后流速变化

图3为方案后流速分布图。由图3可知,生境修复方案实施前,试验区河段水流流速大部分

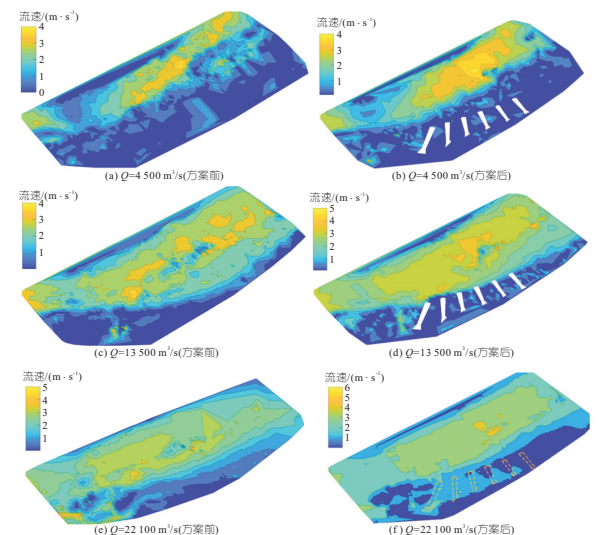


图 3 方案前流速分布图

Fig. 3 Pre-scheme flow rate map

高于 1.2 m/s, 缓流区面积较小, 不满足河段大部分鱼类的栖息流速条件。方案实施后, 由于丁坝的阻水作用, 在水流动能转化为势能的过程中动能减小, 河段水流的整体流速明显减小, 缓流区面积增大, 丁坝群之间的流速大幅度下降, 在深潭中形成许多局部缓流区, 在坝头附近流速有所增大; 同时修复区下游流速低于 1.2 m/s 的缓流区面积增大, 扩大了鱼类栖息场所的范围。

3.3 生境修复方案建设前后流场变化

图 4 为方案后流场图。分析生境修复区的表面流场, 发现生境修复方案建设后, 丁坝群之间形成了回流区, 并在坝头位置出现扰流且水流条件较为复杂。水流绕过丁坝时, 流线变得集中, 流速增大, 在坝头位置流线被挤压, 流线曲率变大, 并在丁坝群之间形成了一些漩涡。

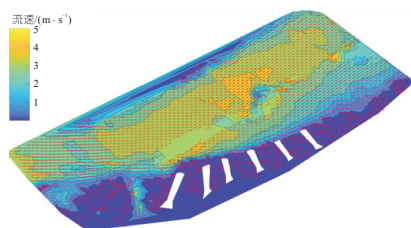


图 4 方案后流场图 ($Q=13\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$)

Fig. 4 Scenario post-flow field plot ($Q=13\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$)

3.4 生境修复方案对鱼类和航道的影响

3.4.1 生境修复方案对鱼类产卵场的影响

(1) 对产漂流性卵鱼类产卵场的影响。产漂流性卵的鱼类多属于河道中的表层鱼类, 我国的四大家鱼就属于典型的产漂流性鱼卵的鱼类。研究发现, 四大家鱼产卵的最佳流速范围为 0.7~1.2 m/s^[6]。修复方案实施后, 丁坝的存在, 使试验范围内水流流速基本低于 1.2 m/s, 满足产漂流性鱼卵的鱼类的产卵流速条件; 且丁坝群之间和坝头位置的局部流场变得较为复杂, 有助于漂流性鱼卵的受精与孵化。

(2) 对产粘性卵鱼类产卵场的影响。产粘性卵的鱼类属于河道中的中下层鱼类, 如鲤鱼、鲫鱼等。卵具有粘性, 一般附着在河道中的石块、水草、木头上。与漂流性卵相比, 粘性卵受精与孵化需要的流速更低, 约为 0.3~0.8 m/s, 所以产粘性卵鱼类产卵场内需要较为稳定的水流条件。修复方案实施后, 生境修复区的流速比方案实施前相应减小, 丁坝群之间的流速大部分处于 0.3~0.8 m/s 之间, 有利于粘性鱼卵的生存; 但在坝头位置, 由于坝头与坝后位置流速差异较大, 会产生复杂的水流条件, 可能会对粘性鱼卵生存造成不利影响。

3.4.2 生境修复方案对鱼类栖息地的影响

(1) 对鱼类觅食的影响。修建丁坝会改变生境修复区河道底部原过水断面形态和河段的水流结构, 并在丁坝群之间的深潭中产生回流, 这些回流区是河道易淤积泥沙的场所, 同时也是水中营养物质易富集的地方。研究^[7]表明, 在一定范围内淤积量与流量呈正相关, 而潮差会影响淤积的强度, 潮差增大, 坝间的回流强度将增加, 淤积强度也增加。同时大流量条件有利于刚孵化的仔鱼扩散到营养物质更丰富的区域, 有助于鱼类快速生长与繁育。生境修复方案实施后, 试验河段的水流流速减小, 缓流区面积增加, 并在丁坝群之间的深潭中产生有利于营养物质淤积的回流区, 为鱼类觅食修复了适宜的水流条件。

(2) 对鱼类越冬的影响。鱼类属于变温动物, 冬季河段水温较低, 会间接影响鱼体的温度, 降低鱼类的新陈代谢, 水温过低将会对鱼类产生不利影响。生境修复方案实施后, 河段下游的水位上升, 使冬季河底水温较高的区域面积增加, 扩大了河段鱼类越冬场的范围。同时丁坝之间的深潭也成为鱼类理想的越冬场所。丁坝群增加了流域的缓流区面积, 也为鱼类越冬提供了较好的水流条件。

3.4.3 生境修复方案对航道的影响

方案实施后, 枯水期航槽整体水位增幅不大, 主要增幅在河段中游, 增幅最大在河段中下游, 约为 0.08 m。航槽中部不良流态消失, 改善了船舶的航行条件。河段中下游航槽流速较方案实施前有所增加, 最大增幅为 0.8 m/s, 但整体流速不大, 且流速分布均匀, 不影响船舶通行。当流量增大, 方案的实施对河段中下游航槽水位影响较大, 最大增幅约为 0.16 m, 中游河段航槽流速有所增加, 整体增幅约 0.5 m/s, 下游航槽出现雍水现象, 造成船舶上行困难; 试验范围整体航槽流态平顺, 未产生不利于船舶通行的不良流态, 因此对航道船舶的通行影响不大。

4 结论

通过构建物理模型分析了长江上游广阳坝河段实施连续浅滩—深潭式仿自然生境修复方案前后水深、流场的变化对鱼类产卵场、栖息地、越冬活动及航道的影响。研究结果可为类似工程提供借鉴。

参考文献:

- [1] LOFTHOUSE C, ROBERT A. Riffle-pool sequences and meander morphology[J]. *Geomorphology*, 2008, 99(1-4): 214-223.

c. 流域水深、流速与降雨量相关,降雨量越大,水深、流速越大,冲刷越显著。

参考文献:

[1] 李威. 江西省无资料地区暴雨山洪灾害识别与风险预警[D]. 南昌:南昌大学,2020.

[2] FUENTES-PÉREZ J F, QUARESMA A L, PINHEIRO A, et al. OpenFOAM vs FLOW-3D: A comparative study of vertical slot fishway modelling [J]. Ecological engineering: The journal of ecotechnology, 2022, 174: 106446-1-106446-7.

[3] 李火坤,曾智超,邓冰梅,等. 堤防决口封堵的水力学特性[J]. 水利水运工程学报,2017(3):8-15.

[4] 张为,陈和春,尤美婷,等. 基于 FLOW-3D 软件的块体水垫塘消能机理数值模拟[J]. 水电能源科学, 2015,33(4):103-106,84.

[5] 周末,覃光华,胡静,等. 西南山区不同雨强下的坡面泥沙输移变化试验研究[J]. 水电能源科学, 2022, 40(2):46-48.

[6] 葛金金,杨加智,詹美礼,等. 坡度与降雨强度对坡面侵蚀产沙过程影响的试验研究[J]. 水电能源科学, 2015,33(2):101-104.

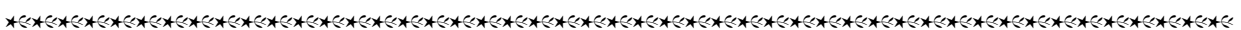
Numerical Simulation Study of Flash Flood Disaster Processes in Small Watersheds in Ungauged Areas

XU Fu-gang^{1,2}, ZENG Jia-xin¹, HU Wen-long¹, ZHONG Qian-you¹, XU Xiao-hua²

(1. School of Infrastructure Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China;
 2. Jiangxi Province Institute of Water Conservancy and Science, Nanchang 330029, China)

Abstract: In order to reveal the process and mechanism of outbreak of flash floods and causing disasters in ungauged areas, a numerical model of the transport of loose bodies under heavy rainfall floods was established in the Xiangxi River subbasin of Zhangshu City, Jiangxi Province. The process of heavy rainfall and the law of sediment transport were analyzed. The results show that for the river, the flow velocity is higher at the high terrain, slope drop change and the confluence area, and for the area with gentle slope and large catchment area, the increase of flow velocity at the confluence point is especially significant compared with other areas; The local water accumulation at the beginning of the basin, surface runoff occurs in a short period of time, and the gathered water scours out several gullies, and sediment is mostly deposited at the downstream outlet; The water depth and flow velocity of the basin are related to the rainfall. The greater the rainfall, the greater the water depth and flow velocity is, the more significant the scouring situation is. This study has positive significance for flash flood warning in the region.

Key words: ungauged areas; small watersheds; flash floods; sediment transport; numerical simulation



(上接第 87 页)

[2] CARLING P A, ORR H G. Morphology of riffle-pool sequences in the River Severn, England [J]. Earth surface processes & landforms, 2015, 25(4): 369-384.

[3] 徐江,王兆印. 山区河流阶梯—深潭的发育及其稳定河床的作用[J]. 泥沙研究, 2003(5):21-27.

[4] 余国安,王兆印,张康,等. 人工阶梯—深潭改善下切河流水生栖息地及生态的作用[J]. 水利学报, 2008(2): 162-167.

[5] WARD J V. Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation [J]. Biological conservation, 1998, 83(3):269-278.

[6] 陈永柏,廖文根,彭期冬,等. 四大家鱼产卵水文水动力特性研究综述[J]. 水生态学杂志, 2009, 30(2):130-133.

[7] 张功瑾,杨明金,王任超,等. 长江口水沙条件对丁坝群坝田淤积的影响研究[J]. 水文, 2020, 40(6): 24-30,50.

Study on Restoration Technology of Continuous Pool-riffle Type in the Guangyangba River Section to Imitate Natural Habitat

LIN Huan¹, WANG Li^{1,2}, YANG Sheng-fa^{1,2}, SUN Zhang², HU Jiang^{1,2}, YAN Lu-yao¹, TONG Si-chen^{1,2}

(1. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;
 2. National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Chongqing 400074, China)

Abstract: Taking the upper reaches of the Yangtze River at Guangyang Dam as an example, a physical model was constructed to analyze the changes of water depth and flow field in the corresponding river section before and after the implementation of the continuous pool-riffle type natural habitat restoration technology scheme. And then the effects of the habitat restoration scheme on fish spawning grounds, habitats, overwintering activities and waterways were discussed. The study show that after the implementation of the habitat restoration scheme, the area of the slow flow area in the test reach increased significantly, and a local slow flow was formed between the group of spur-dike, which was conducive to fish spawning and habitat; The implementation of the scheme did not adversely affect the vessel traffic in the channel of the river.

Key words: fish; pool-riffle; mountain river; imitation of natural habitat; spur dike