



# 涡河航道浅滩-深槽生境恢复措施效果研究

林燕清, 胡 飞

(安徽省交通勘察设计院有限公司, 安徽 合肥 230011)

**摘要:** 为了满足绿色发展的需要, 近年来在水运工程建设中常进行生境恢复措施减少对环境的不利影响。目前河道的生境恢复措施主要偏向于岸坡生态建设。根据涡河实际情况, 针对“四大家鱼”、荆涂峡鲤、长吻鲢以及底栖生物, 探究其水深、流速适宜性曲线, 在此基础上建立生境恢复模型, 并提出在河道建立浅滩-深槽交错分布的生境恢复措施。利用生境恢复模型, 研究不同流量条件下浅滩-深槽生境恢复措施的工程效果。结果表明, 浅滩-深槽生境措施实施以后能有效提高鱼类和底栖动物的生境适宜度, 可以扩大其生境适宜区域。

**关键词:** 航道整治; 生境恢复; 浅滩-深槽; 数值模拟

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)01-0161-09

## Effect of restoration measures for shoal-deep trench in Wohe River channel

LIN Yanqing, HU Fei

(Anhui Provincial Communication Survey & Design Institute Co., Ltd., Hefei 230011, China)

**Abstract:** To meet the needs of green development, habitat restoration measures have often been taken in water transport engineering construction in recent years to reduce the adverse impact on the environment. Current river habitat restoration measures are mainly the shore slope ecological construction. According to the actual situation of the Wohe River, this paper aims at the “four major Chinese carps”, Jingtu Gorge carp, leiocassis longirostris and benthic organisms, explores the water depth and the flow velocity suitability curves. Based on the habitat restoration model, the paper puts forward in the river shoal-deep trench staggered distribution of habitat restoration measures, and uses the habitat restoration model to study the engineering effect of shallow-deep trough habitat restoration measures under different flow conditions. The results show that the shallow-deep trench habitat restoration measures can improve the habitat suitability of fish and zoobenthos and expand the habitat suitability area.

**Keywords:** channel regulation; habitat restoration; shoal-deep trench; numerical simulation

生态文明建设、绿色发展是当前国家的大战略方向, 现代水运工程在实施中也需要格外注意工程措施对当地生态环境的负面影响, 但是这种影响往往是难以避免的<sup>[1]</sup>。一般来说, 在整治工程实施后, 河流的水力条件、河床形态及原有的栖息地环境可能会发生改变。所以工程后的生境恢复措施就显得极为重要, 合理的生境恢复措施

可以在一定程度上减少工程给环境带来的不利影响, 重新为生物提供适宜的生存环境, 保护生物多样性。

目前生境恢复相关的研究主要集中于河岸带生境恢复以及湿地生境恢复等方面。在湿地生境恢复方面, 李艳英等<sup>[2]</sup>提出建立浅滩的措施, 浅滩能为生物提供较好的觅食和栖息空间。在河岸

收稿日期: 2023-05-09

作者简介: 林燕清 (1989—), 女, 高级工程师, 从事水运工程设计与咨询。

带生境恢复方面主要是以恢复边滩植被与树木为主<sup>[3]</sup>。近年来,除了恢复植被的生境恢复措施,也有学者提出结合工程措施为水生生物营造适宜的生存环境,如米艳杰等<sup>[4]</sup>充分结合流域开发和生态学观念,提出以修建生态护岸、创造深潭浅滩的方式恢复河流的蜿蜒性以及连续性,进行生境恢复。

本文针对目前水运工程建设中生境恢复存在的不足,以涡河航道为例,针对青鱼、草鱼、鲢、鳙、荆涂峡鲤和长吻鮠共 6 种鱼类以及底栖生物的生境特征,建立涡河航道生境恢复模型,采用数值模拟的方式模拟生境恢复措施前后和不同流量条件下水力特征的变化,并且结合栖息地综合适宜指数以及鱼类和底栖生物综合分析生境恢复措施的效果,探究一种生境恢复效果良好的措施为鱼类以及底栖生物创造适宜生存、繁衍的区域,减少水运工程对生物环境的不利影响,在保证工程需要的同时也可以很好地保护当地生态环境和生物多样性。

## 1 研究区域概况

涡河为淮河第二大支流,是淮北地区跨豫、皖两省的骨干排水河道,安徽境内经亳州市区、涡阳、蒙城至怀远县城附近汇入淮河。本文研究区域为亳州市涡阳县城涡阳闸下涡阳三桥—青阜铁路桥段约 3.3 km 范围航道。本段航道大堤间距 280~500 m,滩地发育,河底高程在 17.4~19.5 m,河槽宽度在 100~150 m,河道弯曲呈连续“S”形。

涡河沿线建设有大寺、涡阳、蒙城节制闸,河道基本渠化。涡阳闸下 20 a 一遇洪水位为 29.61 m;低水位受蒙城闸回水影响,蒙城闸上 98%保证率水位为 23.41 m;蒙城闸上多年平均水位为 24.49 m。涡阳闸多年平均流量 39.4 m<sup>3</sup>/s,径流年内分配不均,汛期径流量占全年径流量的 77.5%。根据监测资料统计,亳州站 1982—2000 年年平均

输沙量为 4.58 万 t,河道含沙量约为 0.1 kg/m<sup>3</sup>;蒙城站年平均输沙量为 8.37 万 t,河道含沙量约为 0.06 kg/m<sup>3</sup>。涡河航道(大寺闸—人淮口段)整治工程对该段航道进行了治理,按Ⅳ级标准底宽 50 m、水深 3.2 m 疏浚航道。

## 2 典型鱼类适宜曲线

### 2.1 栖息地

引入栖息地适宜度指数的概念评价栖息地的等级,该指数范围介于 0~1,其中 0 代表完全不适宜目标物种的栖息地状况,1 代表最适宜目标物种的栖息地状况。首先建立一个基本假设,即生物出现最频繁的区域就是其最高品质的栖息地,通过观察监测采集数据可以求得目标物种栖息地环境变量不同范围内的适宜度指数,进而绘制出栖息地适宜度指数曲线<sup>[5]</sup>。建立涡河典型航段二维水动力学模型,模拟栖息地流速、水深等环境参数的时空分布。栖息地环境模拟可以得出每一个面积单元的水深、流速,这些值在栖息地适宜度指数曲线上对应一个栖息地适宜度指数。因此,栖息地模拟的环境参数依据栖息地适宜度指数标准进行筛选与赋值,最终可以得到每一个环境参数对应的栖息地适宜度指数空间分布图。

### 2.2 研究区域典型鱼类适宜曲线

本文重点研究鱼类产卵期的环境流量,参考有关文献建立适宜性标准。目前已有研究主要考虑“四大家鱼”产卵期的流速、水深和河道特征指标适宜性特征。根据易伯鲁<sup>[6]</sup>、易雨君等<sup>[7]</sup>的研究,“四大家鱼”中除了青鱼外都属于中上层鱼,因此本文假设“四大家鱼”水深偏好为 3~5 m 水深,适宜性曲线见图 1。根据王晓清等<sup>[8]</sup>、张耀光等<sup>[9]</sup>、孟钰等<sup>[10]</sup>对长吻鮠繁殖的研究,将产卵期的水力参数定为浅滩水深大于 0.7 m、流速为 0.35~0.65 m/s,且持续时间应不小于 7 d,其适宜性曲线见图 2。徐震等<sup>[11]</sup>分析总结鲤科鱼类的

生活习性, 建立鲤科鱼类适宜性曲线, 本文参考其研究结果, 适宜性曲线见图 3。另外, 已有研究表明<sup>[12]</sup>, 河流中底栖动物物种多样性往往与水深呈负相关性。当水深为 0.16~0.50 m 时, 底栖动物的丰度和密度一般最高。本文归纳了大型底栖生物的生物适宜性曲线, 见图 4。

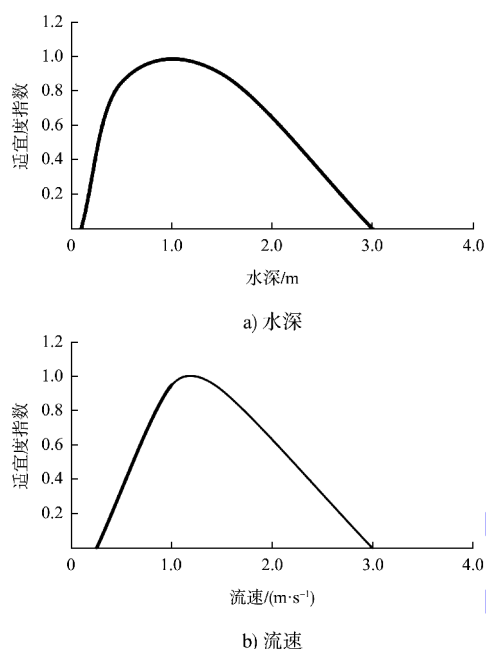


图 1 “四大家鱼”水深、流速适宜性曲线

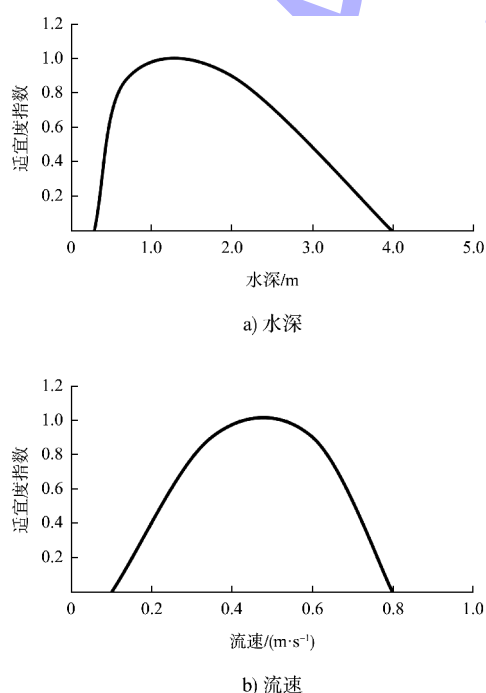


图 2 长吻鲇水深、流速适宜性曲线

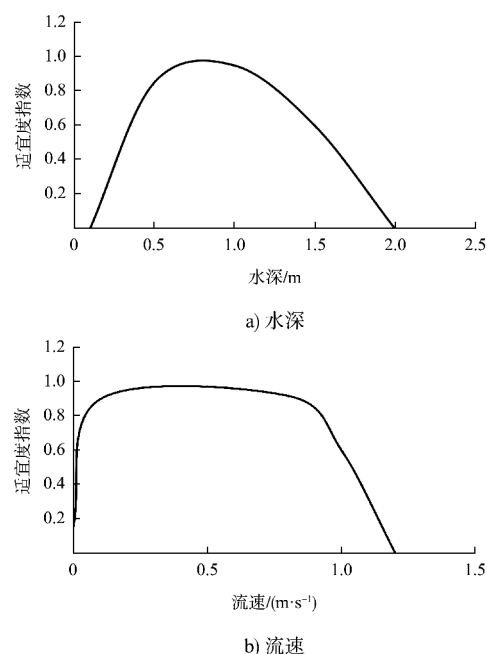


图 3 鲤水深、流速适宜性曲线

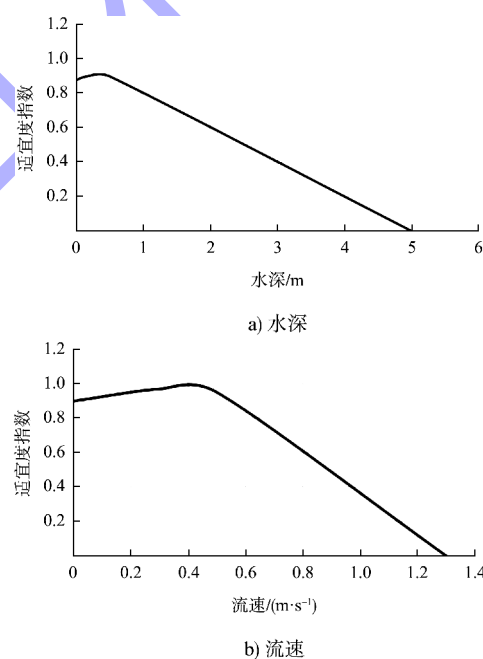


图 4 底栖生物水深、流速适宜性曲线

### 3 模型的建立

#### 3.1 数学模型

在获得涡河各种重要鱼类的生境适应性曲线后, 基于 Delft 3D 软件建立浅滩-深槽生境恢复模型。本文主要利用其中的 Flow 模块对鱼类、底栖生物生境恢复进行模拟研究。基于 Delft 3D 建立目标航段结构化网格, 网格沿流向有 218 个单元,

垂直于流向有 46 个单元。在航道的两侧边坡对网格进行加密, 经过加密后的网格间距在 5 m 左右。

### 3.2 模拟条件

为了探究不同流量条件下生境恢复措施实行前后流速与水深的差异, 总结得到普遍规律, 选择多年平均流量和重现期 10 a 的流量作为控制变量进行研究。涡阳闸下多年平均流量为  $39.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , 重现期 10 a 的洪水流量为  $1\,880 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

### 3.3 浅滩-深槽生境恢复措施

生境恢复措施采取浅滩-深槽措施, 该措施通过对航道地形进行一定程度的修改达到布置的目的。这里的浅滩-深槽与常见真实河道中的浅滩-深槽存在一定的区别, 野外真实的浅滩-深槽是在河道中心部位间隔出现, 出现明显的水面起伏。本文布设生境恢复措施的原则是不影响航道中船舶的航行。因此工程措施限制在河岸开展, 浅滩-深槽的主要目的是实现水力条件的时空变化。在航道的右侧进行一定程度的处理, 把地形调整成浅滩、深槽交替形式。浅滩和深潭布置在河道顺直段右岸中部位置, 沿河流方向长度为 110 m, 垂直流向宽度为 65 m, 布置了 3 处深潭和 4 处浅滩, 浅滩和深潭在相互衔接区域做了约 1:5 的过渡处理, 以使两者过渡不会出现地形突变, 见图 5。浅滩表面堆积卵石颗粒, 以防止冲刷; 深潭部分采用绞吸式挖泥船沿等高线和设计尺寸施工而成。

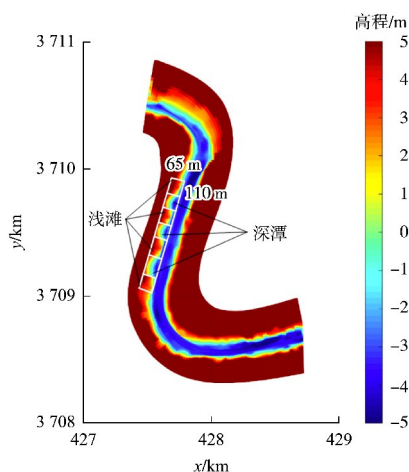


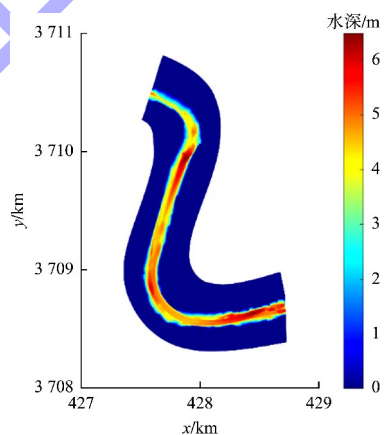
图5 浅滩-深槽生物生境恢复措施

## 4 研究结果

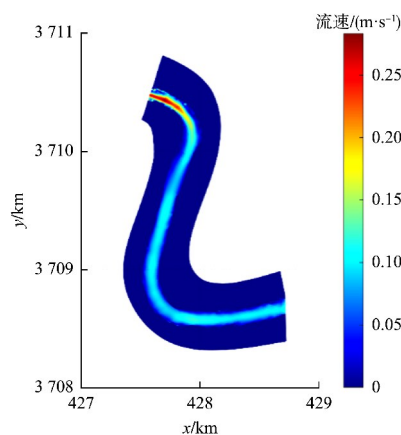
### 4.1 无生境恢复措施

#### 4.1.1 多年平均流量条件

在多年平均流量条件下水深平均在 3~5 m, 流速分布在 0.1 m/s 左右, 在进口处能达到 0.3 m/s, 见图 6。这样的水深和流速对于“四大家鱼”来说太小, 两者的适宜水深范围和流速范围仅限于进口的有限范围内。对于鲤来说, 河中心水深适宜范围有限, 仅在河岸两侧的边坡区域存在适宜水深和流速, 因此在沿河岸两侧边坡生境适宜度相对较高。而长吻鮠由于适宜水深大于鲤, 适宜流速与鲤较为接近, 表现在沿河中心线附近生境适宜度较高。相比于前述各种鱼类的生境, 此时的水深范围适宜于底栖生物生长, 而且整体流速偏小, 从而相比于其他鱼类, 河流大部分区域针对底栖生物都有着较高的生境适宜度, 尤其是在岸坡区域适宜度比河中心更高, 见图 7。



a) 水深



b) 平均流速

图6 多年平均流量条件下的水深和平均流速分布

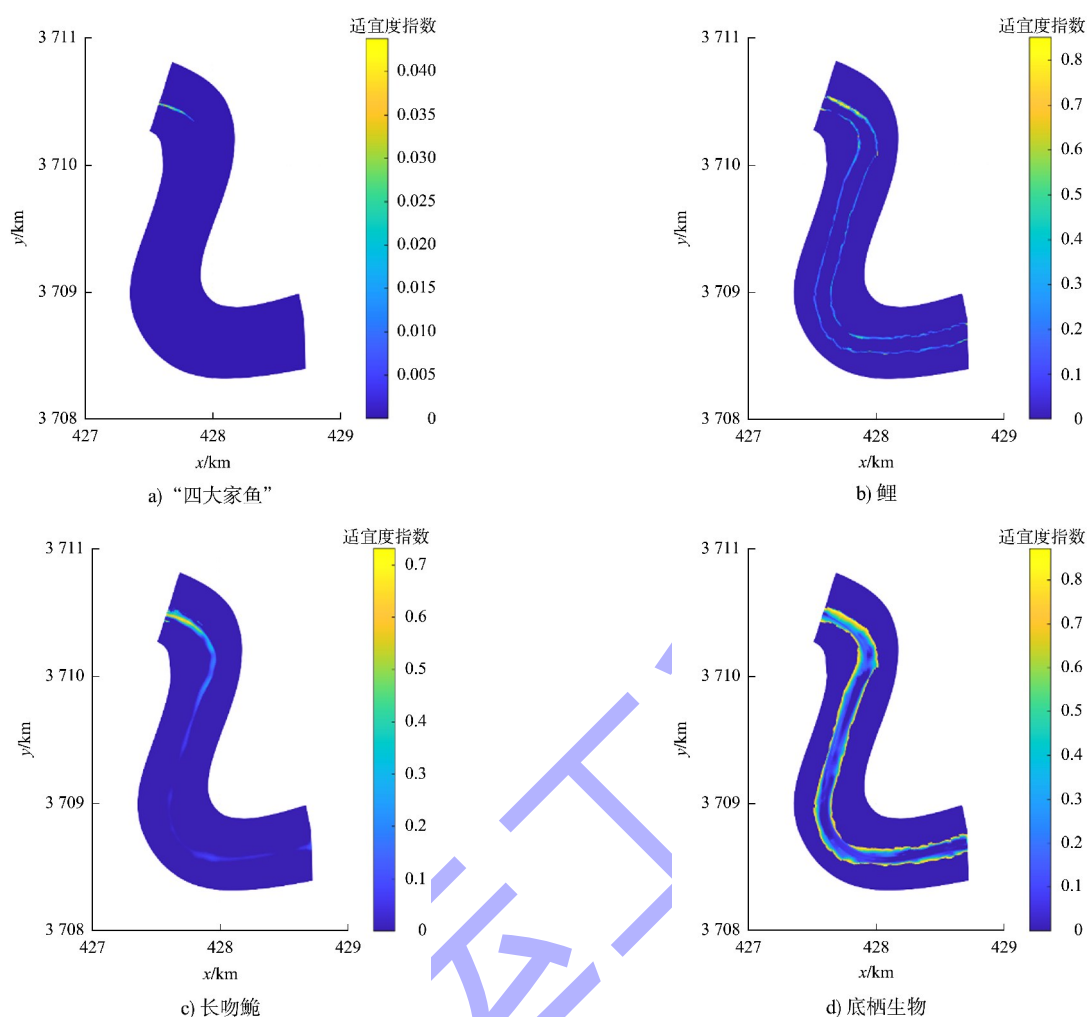


图 7 多年平均流量下栖息地综合适宜度指数

#### 4.1.2 重现期为 10 a 的流量条件

随着流量的增加,水深流速也随之增加,“四大家鱼”的适宜度指数均维持在较高水平,而鲤、长吻鲇和底栖生物河中心区域的适宜度指数有一定幅度降低。但是随着流量增加,水位不断增加,

岸坡区域淹没范围增大,相比多年平均流量条件下,重现期 10 a 时流量对应水深、平均流速分布见图 8。鲤、长吻鲇和底栖生物的河岸适宜范围有一定幅度的扩大,尤其是鲤和长吻鲇增加较为明显,见图 9。

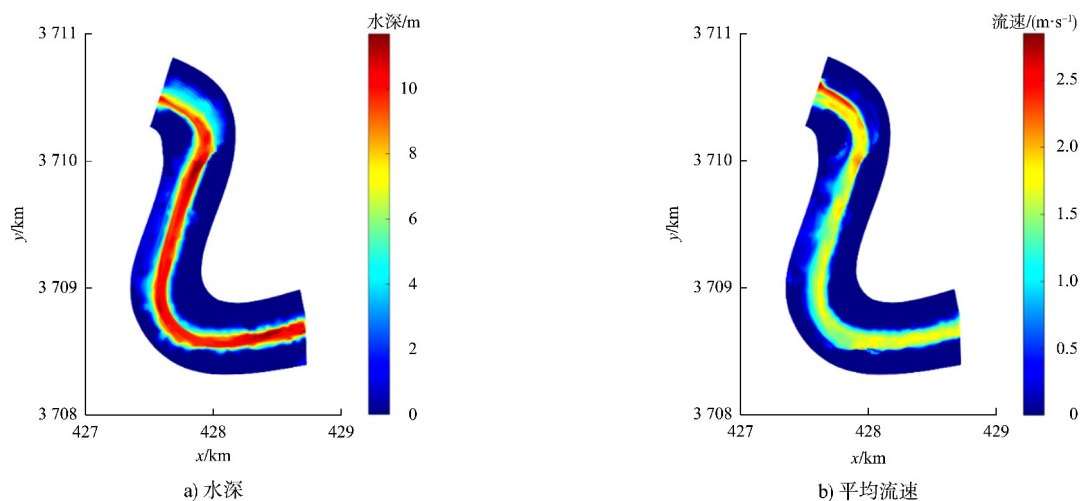


图 8 重现期 10 a 流量下的水深和平均流速分布



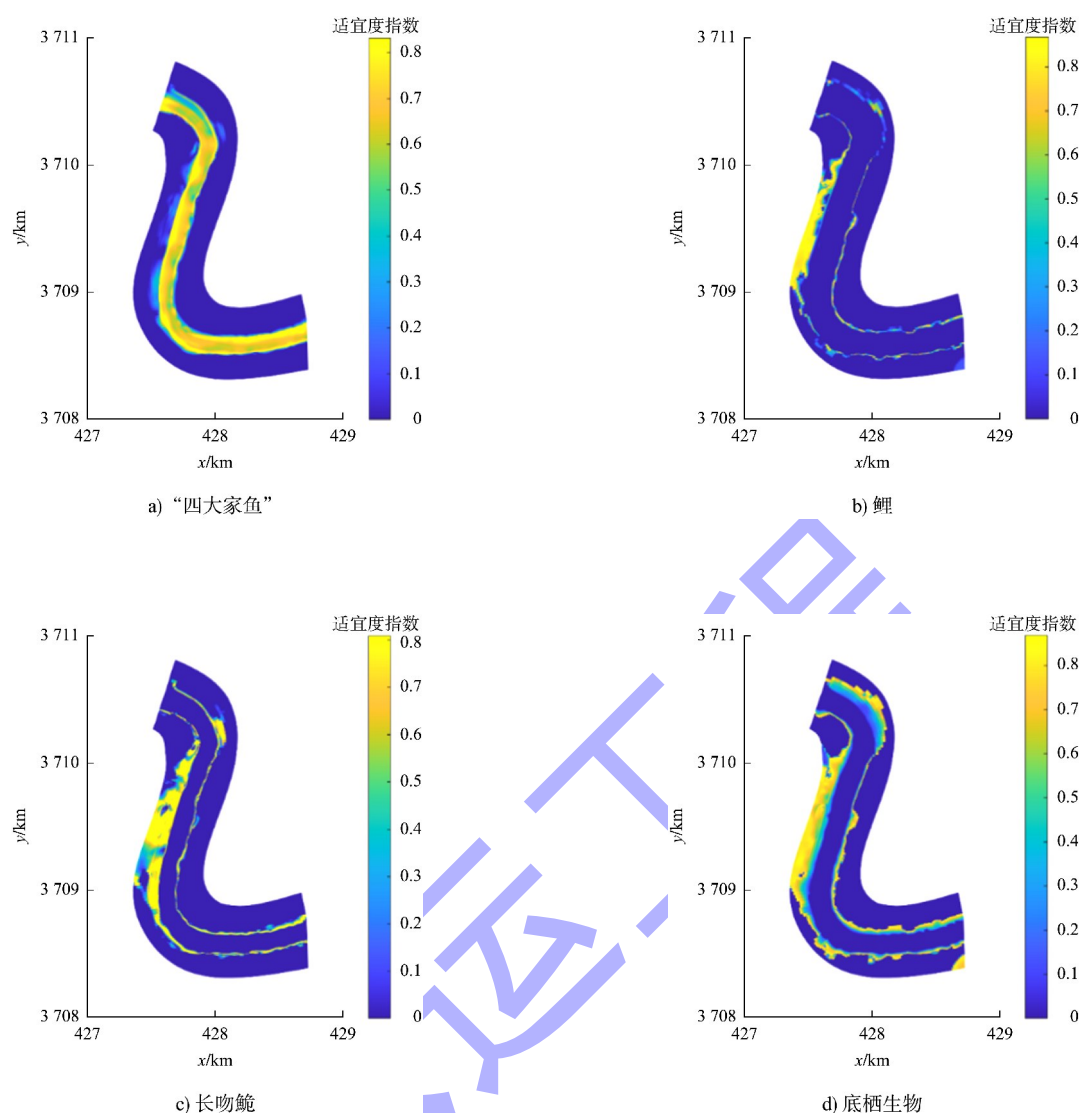


图9 重现期 10 a 流量下栖息地综合适宜度指数

## 4.2 基于浅滩-深槽生境恢复措施

### 4.2.1 多年平均流量条件

涡河典型航道在使用浅滩-深槽生境恢复措施时多年平均流量条件下的水深和水深平均流速分布见图 10。由于浅滩和深槽对地形产生扰动，因此在模拟结果上措施的影响清晰可辨，其中 3 处深槽在水面形态形成内凹区域，对应浅滩在水面形态呈现 3 处突出区域。这些内凹区域相当于增加了坡面与水流接触面积，使得浅水区域增加，同时由于过水断面增加，流速有所降低。在多年

平均流量条件下采取浅滩-深槽生境恢复措施后水深平均在 3~5 m，与前述没有措施相比区别不大，由于河道过水断面增加，流速稍有减小，但是并不显著。对比图 7 与 11 可以看出，在多年平均流量条件下，鲤和底栖生物的生境适宜区域有了较为明显增加；对比“四大家鱼”和长吻鮠，这两种鱼类的生境适宜区域和生境适宜度指数没有显著发生变化，这一变化主要是由深槽区域增加的浅水区域所引起。

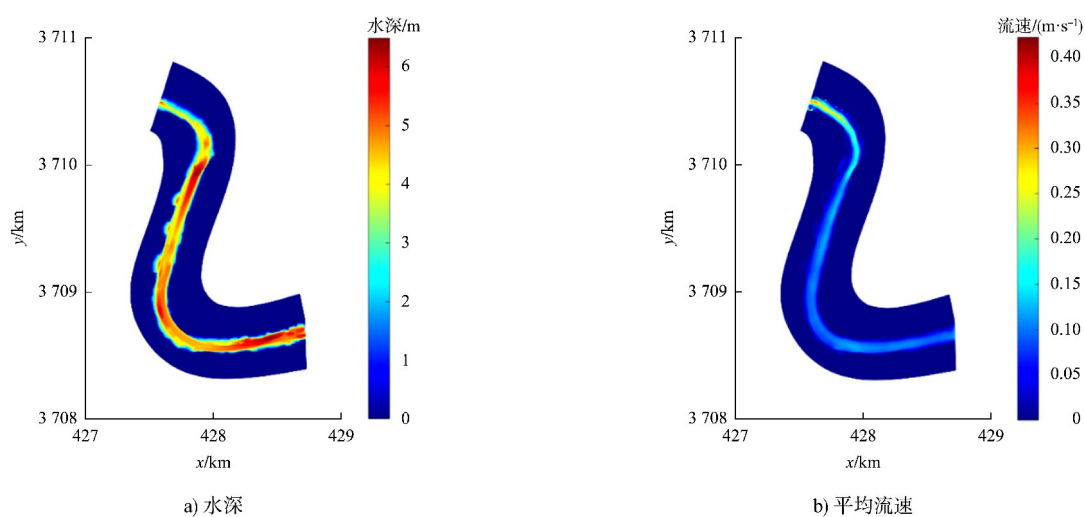


图 10 多年平均流量条件下的水深和平均流速分布

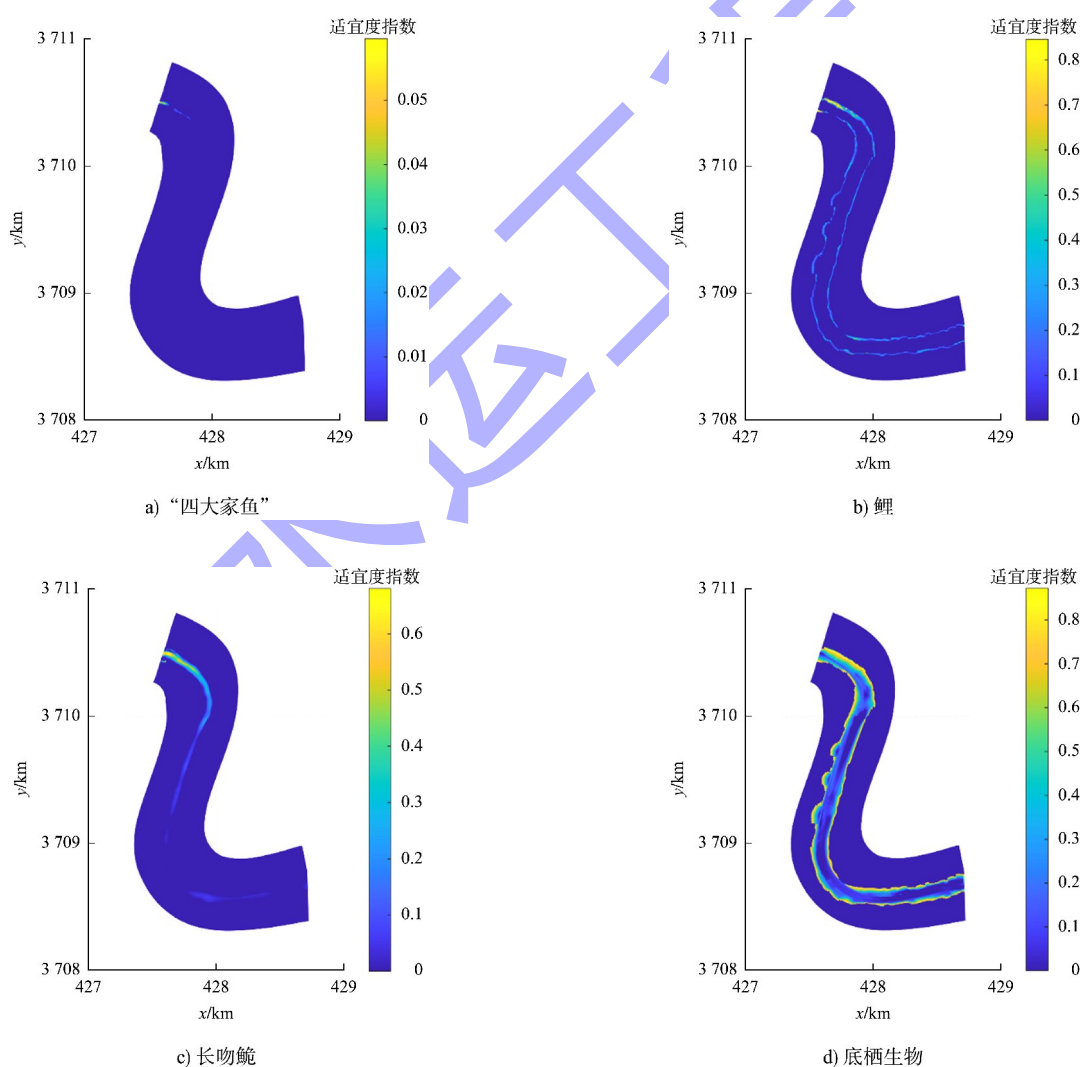


图 11 多年平均流量下采取浅滩-深槽生境恢复措施栖息地综合适宜度指数

#### 4.2.2 重现期为 10 a 的流量条件

重现期 10 a 时流量下, 采取浅滩-深槽生境恢复措施对应水深、平均流速分布见图 12, 采

取浅滩-深槽生境恢复措施栖息地综合适宜度指数见图 13。通过对比图 9 和 13 可以看出, “四大家鱼”的整体适宜度指数有了明显提升, 这是由

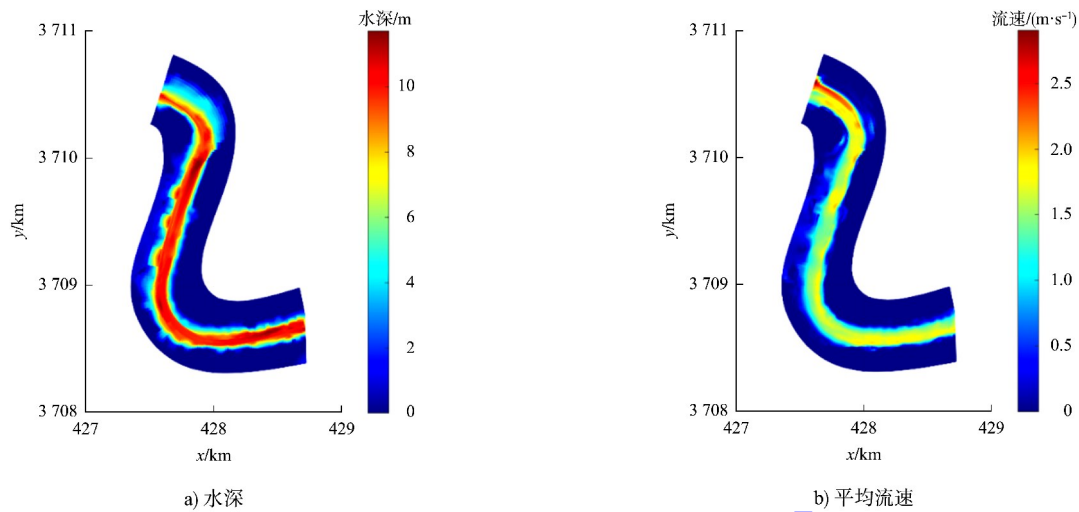


图 12 重现期 10 a 流量条件下的水深和平均流速分布

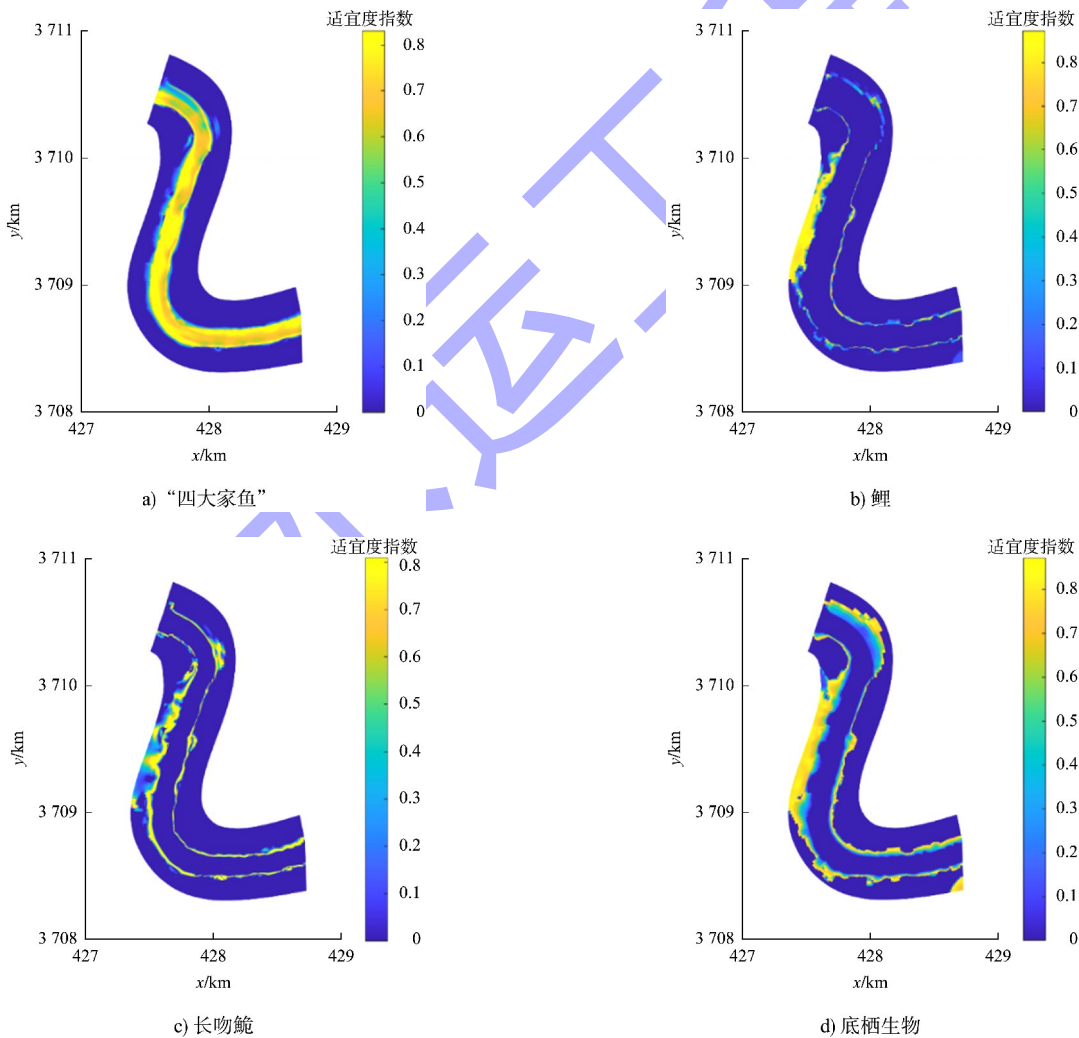


图 13 重现期 10 a 流量下采取浅滩-深槽生境恢复措施栖息地综合适宜度指数

于在相同水位条件下，浅滩-深槽增加了过流面积，流速相对无措施时有所减小，使得“四大家

鱼”的生境适宜度指数有一定程度提高。鲤的生境适宜区域没有明显发生变化，依然在靠近岸坡



高地部分。底栖动物相比无措施时生境适宜度指数大于0.5的区域有所减小,但是生境适宜度指数有所增加,这是由于深槽区域水深增加,这些大水深区域对底栖生物的生境适宜度指数有所降低。相比无措施时,由于深槽区域流速所降低,长吻鮠对于该区域的流速适宜性有所降低,所以长吻鮠的生境适宜度指数大于0.5的区域有所减小。

## 5 结论

1) 采取浅滩-深槽生境恢复措施后,主流区坡面与水流接触面积增大,在多年平均流量条件下水深流速几乎不变,随着流量的增大,浅滩-深槽交错的设置使主流区流速有所降低。

2) 采取浅滩-深槽生境恢复措施与无措施相比,在多年平均流量条件下,鲤和底栖生物的生境适宜区域增加,但其余两种鱼类适宜区域及指数均无变化。由于过水断面增加,流速降低,“四大家鱼”适宜度指数增加,鲤的适宜区域无变化,但底栖动物适宜度指数大于0.5以及长吻鮠适宜度指数大于0.5的区域均有所减小。

3) 随着上游流量的变化,鱼类和底栖生物的生境适宜区域也在发生变化,浅滩-深槽生境措施施行后能有效的提高鱼类和底栖动物的生境适宜度,在一定程度上可以扩大其生境适宜区域。

4) 对于航道工程,采取浅滩-深槽生境恢复措施,扩大水生生物生境适宜区域,能有效降低工程建设对生态环境的影响。

## 参考文献:

- [1] 王思莹,杨文俊,黄明海,等.我国鱼类洄游通道和生境恢复技术研究现状分析[J].长江科学院院报,2017,34(8):11-17.
- [2] 李艳英,田杰,刘红磊,等.鸬鹚类水鸟的生境需求选择与生境恢复策略[J].湿地科学与管理,2020,16(4):23-26.
- [3] 李海涛.简述生态廊道设计中如何提高生境恢复能力[J].热带林业,2020,48(1):40-43.
- [4] 米艳杰,何春光,王隽媛,等.河流地貌多样性修复技术研究[J].水利水电技术,2010,41(10):15-17,30.
- [5] 孙志毅.基于栖息地生态适宜度指数模型的河流鱼类生境模拟分析[J].水利规划与设计,2020(6):86-90,94.
- [6] 易伯鲁.淡水鱼类资源的繁殖保护[J].中国水产,1958(12):15-16.
- [7] 易雨君,张尚弘.长江四大家鱼产卵场栖息地适宜度模拟[J].应用基础与工程科学学报,2011,19(S1):123-129.
- [8] 王晓清,莫艳秀,钟蕾,等.长吻鮠性周期变化的组织学研究[J].淡水渔业,2005(4):18-20.
- [9] 张耀光,何学福,蒲德永.长吻鮠胚胎和胚后发育与温度的关系[J].水产学报,1991(2):172-176.
- [10] 孟钰,张翔,夏军,等.水文变异下淮河长吻鮠生境变化与适宜流量组合推荐[J].水利学报,2016,47(5):626-634.
- [11] 徐震,赵进勇,李庆国,等.玉符河干流生态适宜流量与生态补水效应分析[J].中国农村水利水电,2018(6):79-83,87.
- [12] 段学花,王兆印,程东升.典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性[J].生态学报,2007(4):1664-1672.

(本文编辑 王璁)

(上接第160页)

- [3] 袁鹰,方晓敏,廖乐康.高坝洲升船机防撞梁设计[J].湖北水力发电,2001(4):18-20.
- [4] 赵亚楠,张莉,冯宇.升船机防撞装置的设计[J].起重运输机械,2016(6):32-33.
- [5] 方晓敏,王可,于庆奎.三峡升船机防撞装置设计与研究[J].人民长江,2021,52(S1):181-183.
- [6] 金辽,廖乐康,王可,等.升船机双塑性钢梁防撞装置设计研究[J].水电与新能源,2021,35(7):27-30.
- [7] 王新,胡亚安.向家坝升船机船厢防撞系统实船撞击试验[J].水力发电学报,2019,38(1):12-19.
- [8] 王新,胡亚安,黄群,等.升船机船厢防撞装置工作特性原型观测[J].水运工程,2016(12):204-208.
- [9] 上田茂.けい留中の大型タシカーの衝突力[R].东京:港湾技术研究所,1980.
- [10] ZHANG S M. Probability and mechanics of ship collision and grounding[M]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2019.
- [11] 高明.规则波作用下系泊船舶撞击能量综合分析与建议的计算[R].南京:南京水利科学研究院,1990.

(本文编辑 王传瑜)