

戴家洲河段航道整治工程对“四大家鱼”产卵场的影响

杜蕴慧¹, 曾小辉², 谢文星³, 班璇⁴

(1. 环境保护部环境工程评估中心, 北京 100012; 2. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430079;
3. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北 武汉 430079;
4. 中国科学院测量与地球物理研究所湖北省环境与灾害监测与评估重点实验室, 湖北 武汉 430077)

摘要:“四大家鱼”的产卵、繁殖与水文、水力学条件密切相关。以长江黄石段“四大家鱼”产卵场为例, 采用河道平面二维数学模型预测分析不同特征流量下戴家洲河段航道整治工程实施后对本江段流态、水位、流速等水文变化的影响, 进而研究航道整治工程对“四大家鱼”产卵场的影响。研究表明, 航道整治工程实施后, 最枯流量下, 3道潜丁坝均在水面 2.5 m 以下, 不会对鱼类产生阻隔; 潜丁坝区域从洪峰开始上涨到最高时, 流速最大变化为 $-0.038 \sim -0.05$ m/s, 占产卵流速 4.2% ~ 15.2%; 水位变化 3 ~ 5 mm。工程运行后基本不改变“四大家鱼”适宜产卵流速, 基本不会影响“四大家鱼”现有产卵场所需的产卵水文条件。

关键词:航道整治; 四大家鱼; 产卵场; 流速; 二维数学模型

中图分类号: X826, TV863 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)06-0052-06

草鱼、青鱼、鲢、鳙是我国著名的经济鱼类, 也是优良的养殖品种, 被称为“四大家鱼”。长江是“四大家鱼”主要的栖息繁殖地, 长江干流及湘江、汉江和赣江等支流, 都有其产卵场分布。每年 5-8 月, 水温上升到 18℃ 以上时, 如发生涨水, 家鱼便集中在产卵场繁殖。“四大家鱼”的产卵、繁殖与水文、水力学条件密切相关。水文情势的改变和水流条件的变化会导致家鱼产卵环境、刺激家鱼产卵的水流信号发生改变, 对“四大家鱼”的繁殖产生影响。Zhang Guohua 等 (1998) 采用系统重构分析方法对影响四大家鱼产卵的生态水文指标进行了分析, 认为适度的初始水位、初始流量、较大流量日增长率、较高的水位日增长率及较长时间的水位上涨同四大家鱼的产卵行为密切相关。李翀等 (2006) 对长江中游四大家鱼发江的生态水文因子进行了系统分析, 认为产卵场所处江段每年 5-6 月的总涨水日数是决定四大家鱼苗发江量多寡的一个重要环境因子。

航道整治是用整治建筑物调整和控制水流, 稳定有利河势, 以改善航道航行条件。广义的航道整治包括炸礁、疏浚和裁弯取直等。谷利华等 (2010)、戚正满等 (2012) 研究认为, 航道整治流场

影响主要集中在工程区域, 主航道流速变化较小, 其他水域流速变化不明显。关于航道整治对“四大家鱼”产卵场的影响尚未见报道。本研究以黄石“四大家鱼”产卵场为例, 采用河道平面二维数学模型, 预测分析戴家洲航道整治工程实施后该江段水流特性的变化, 研究航道整治工程对黄石“四大家鱼”产卵场的影响。

1 研究区域概况及工程介绍

1.1 研究区概况

戴家洲河段由巴河水道和戴家洲水道组成, 位于湖北省长江中游, 上起鄂城, 下迄廻风矶, 全长约 34 km, 是长江中游重点碍航河段之一。鄂城-巴河口段为巴河水道, 长约 14 km, 河流基本顺直, 河道中段靠近右岸侧为池湖港心滩, 将巴河水道分为两槽, 左侧巴河通天槽为多年稳定的主航槽, 右侧池湖港航槽近年来已逐渐淤塞萎缩; 巴河口-廻风矶段为戴家洲水道, 长约 20 km。戴家洲水道为微弯分汊河道, 左汊圆水道长 20 km, 弯曲半径 9 km, 右汊直水道长 16 km, 弯曲半径 15 km。

研究表明^①, 黄石四大家鱼产卵场位于距离武穴市 90 km 左右的戴家洲洲头-道士袱江段, 产卵场长度 25 km (图 1)。

收稿日期: 2013-09-01

基金项目: 长江科学院开放研究基金 (CKWV2012315/KY); 国家自然科学基金青年基金 (51109195)。

作者简介: 杜蕴慧, 1972 年生, 女, 高级工程师, 主要从事环境影响评价的技术管理工作。E-mail: duyunhui@acee.org.cn

① 水利部中国科学院水工程生态研究所. 2012. 武穴江段四大家鱼产卵场调查报告.

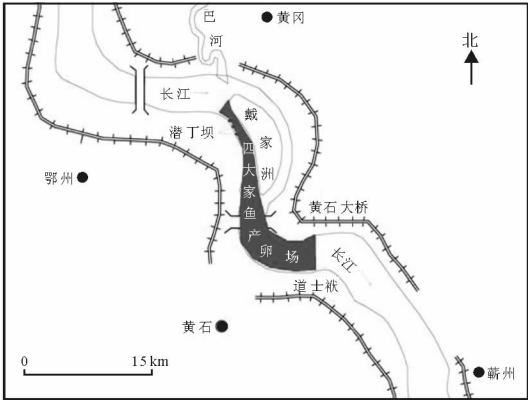


图1 工程及产卵场位置示意

Fig.1 The location of the project and the “four carps” spawning grounds at Huangshi section of the Yangtze River

1.2 工程介绍

航道整治工程位于戴家洲水道直水道。工程建设方案由直港中上段低水潜丁坝工程(位置见图1)、戴家洲右缘中上段护岸工程组成。潜丁坝主要功能是保持目前有利的滩槽格局,改善直港航道条件;戴家洲右缘中上段护岸工程主要功能为控制目前有利岸线边界形态。护岸工程基本采取沿河段抛石方式。直水道布置3条潜丁坝,工程长度分别为179、225和296 m,坝顶宽3 m,3道潜丁坝之间距离依次为560 m、660 m。坝头高程为7.84 m(黄海基面,下同),距坝头100 m至坝根处高程为9.09 m。各坝坝顶纵向坡度1:400。坝体迎水坡1:2.0,背水坡1:2.5,坝头轴线向外侧边坡为1:5。坝身为全抛石结构。典型断面图见图2。

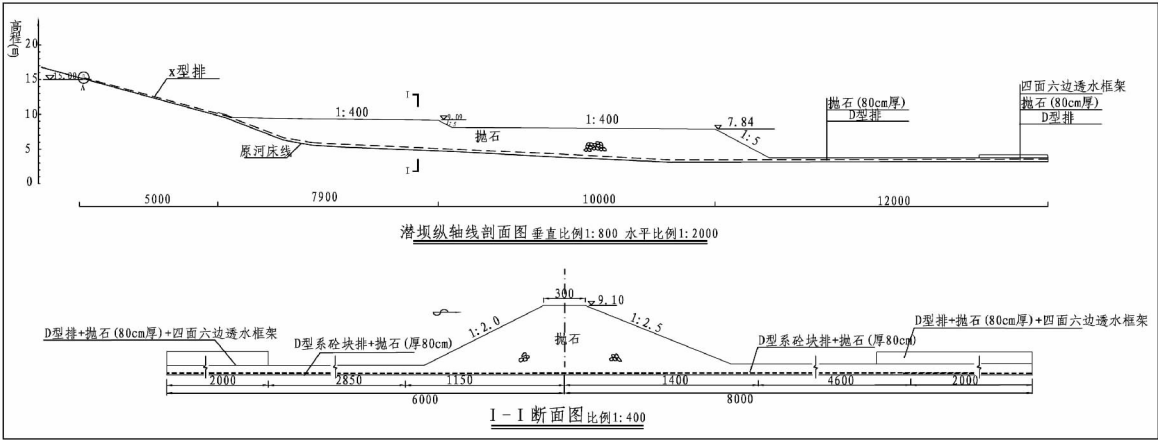


图2 潜丁坝典型断面示意

Fig.2 A typical cross-section diagram of the submerged spur dike

2 研究方法

根据航道整治工程实施方案,采用河道平面二维水流数学模型,计算分析航道整治工程对河道水位及流场的影响。该模型已在多个长江航道整治工程中充分利用(戚正满等,2012),模型的精度满足计算要求。

2.1 模型基本原理

针对河道形态及水流特征,采用水深平均的平面二维浅水数学模型,其基本方程为:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\begin{aligned} &\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v + \frac{g u (u^2 + v^2)^{1/2}}{HC^2} \\ &+ g \frac{\partial \xi}{\partial x} - A_x \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - f u + \frac{g v (u^2 + v^2)^{1/2}}{HC^2}$$

$$+ g \frac{\partial \xi}{\partial y} - A_y \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \tag{3}$$

式中: ξ 为水位,即基面至水面的垂直距离; $H = \xi + h$, h 为基面下的水深; u 、 v 分别为 x 、 y 方向的垂线流速分量; f 为柯氏力系数, $f = 2\omega \sin \varphi$; φ 为纬度, ω 为地球自转速度; C 为谢才系数, $C = 1/n(\xi + h)^{1/6}$, n 为糙率系数; A_x 、 A_y 为涡动粘性系数。

2.2 模型率定与验证

计算范围选取自观音阁至廻风矶下游约2500 m处,模型全长约36 m,包括池湖港心滩、戴家洲及长江的汉道。图3给出了水文测验断面布置示意,沿程布置4个水文断面,对左、右岸水位、断面流速分布等进行观测。

平面二维数模计算网格采用河势贴体分块正交曲线网格形式,总体网格数为500×60,网格间距10~100 m。河道糙率系数,河槽一般为0.02~0.023,滩地一般为0.025~0.032。

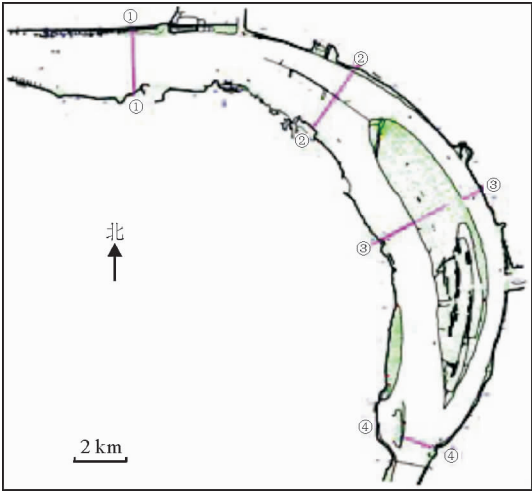


图3 模型范围水文断面示意

Fig. 3 Distribution of hydrological cross sections in model area

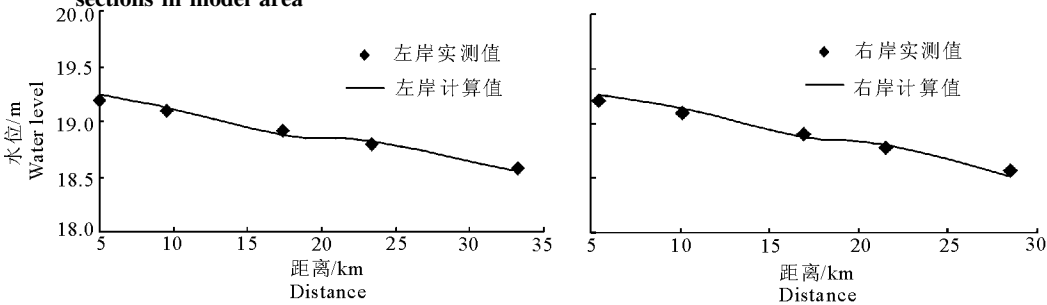


图4 水位计算与实测比较

Fig. 4 Comparison of calculated and measured water level

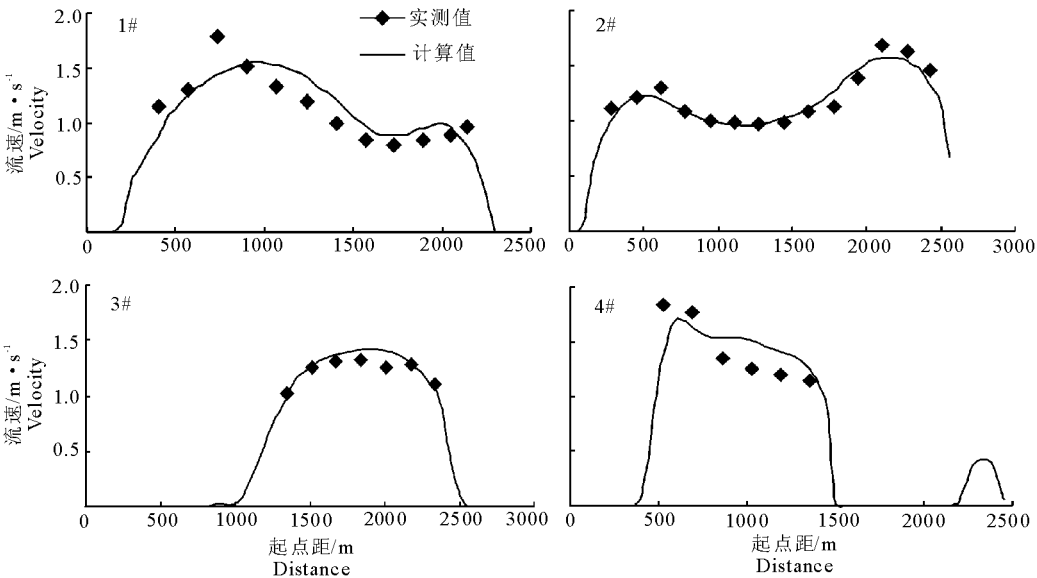


图5 流速计算与实测比较

Fig. 5 Comparison of calculated and measured flow velocity

3.1 整治工程对流速的影响

图7给出了工程前后流速大小的变化等值线。整治工程实施后,由于整治工程缩窄河道过流面积,

图4给出了流量 $35\,846\text{ m}^3/\text{s}$ 时戴家洲河段左岸及右岸水面线计算值与实测值的比较。可见,计算值与实测值的偏差均小于 4 cm 。

图5给出了流量 $35\,846\text{ m}^3/\text{s}$ 时断面流速分布计算与实测的比较。流速的计算值与实测值基本一致,两者的误差一般小于 0.15 m/s ,其最大误差一般不超过 0.25 m/s 。

3 结果与分析

统计2011年三峡蓄水 175 m 后汉口水文站流量,枯水期最小流量发生在2012年1月6日,为 $9\,870\text{ m}^3/\text{s}$;2011-2012年6-7月流量过程线见图6。确定“四大家鱼”产卵洪峰过程起始流量 $23\,300\text{ m}^3/\text{s}$,最高流量 $50\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。

挤压水流,使主河道成为流速增大区,不同流量下主槽内流速增加 $0.01\sim 0.03\text{ m/s}$;由于坝体阻水绕流,水流扩散,坝体周边流速减小,特别是坝体上下

游和各坝体之间成为流速减小区,1#潜丁坝上游、1#~3#潜丁坝之间及3#潜丁坝流速减小0.04~0.1 m/s;但坝头和坝体附近由于受水流顶冲流速增加,3个坝体表面流速增加0.02~0.05 m/s。工程对计算河段的整体流场影响不大,流速的变化范围主要集中在工程局部区域。

3.2 整治工程对水位的影响

图8为不同水流条件下整治工程前后戴家洲河

段水位变化。工程实施后,水位的变化主要集中于拟建整治建筑物附近,对于单一整治建筑物,一般在其上游水位壅高,在整治建筑物附近及其下游局部范围水位降低;多个整治建筑物共同作用时会产生叠加影响。不同流量下丁坝上游河段水位壅高最大值为3~10 mm;1#~3#丁坝之间局部水位雍高1~3 mm,3#丁坝下游局部水位降低1 mm;戴家洲圆水道水位壅高1 mm。航道整治对水位影响较小。

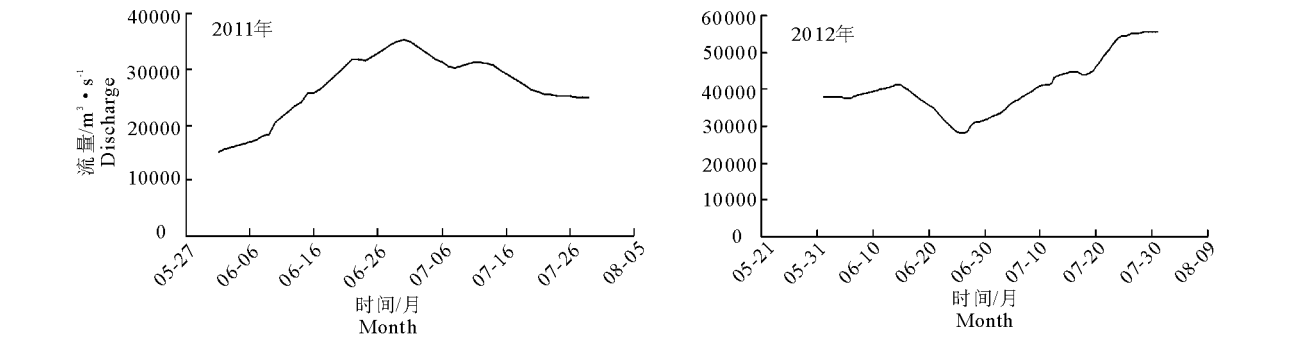


图6 2011-2012年6-7月份流量变化过程
Fig. 6 Flow changes in June and July of 2011 and 2012

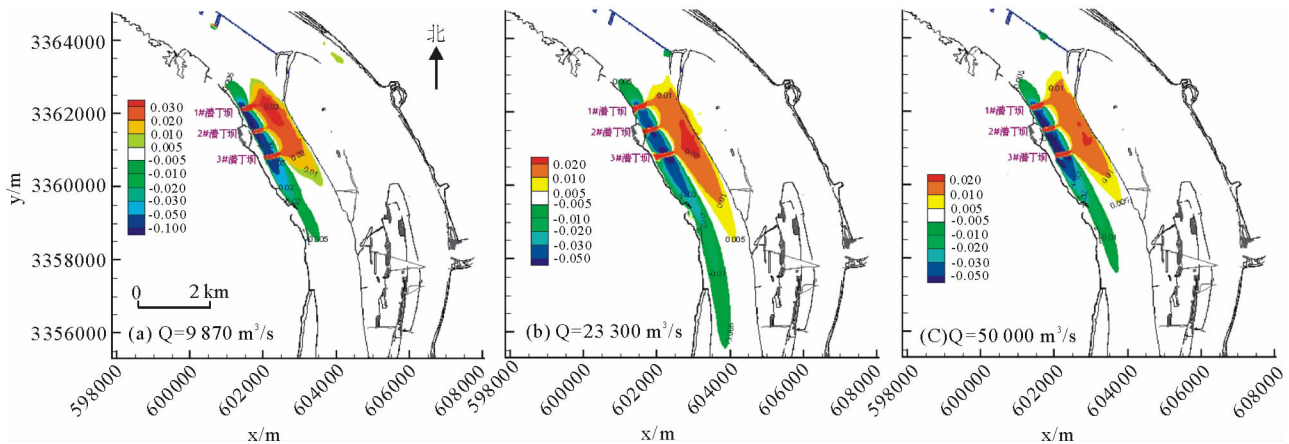


图7 不同流量下流速变化等值线
Fig. 7 Flow velocity variation contour under different flow conditions

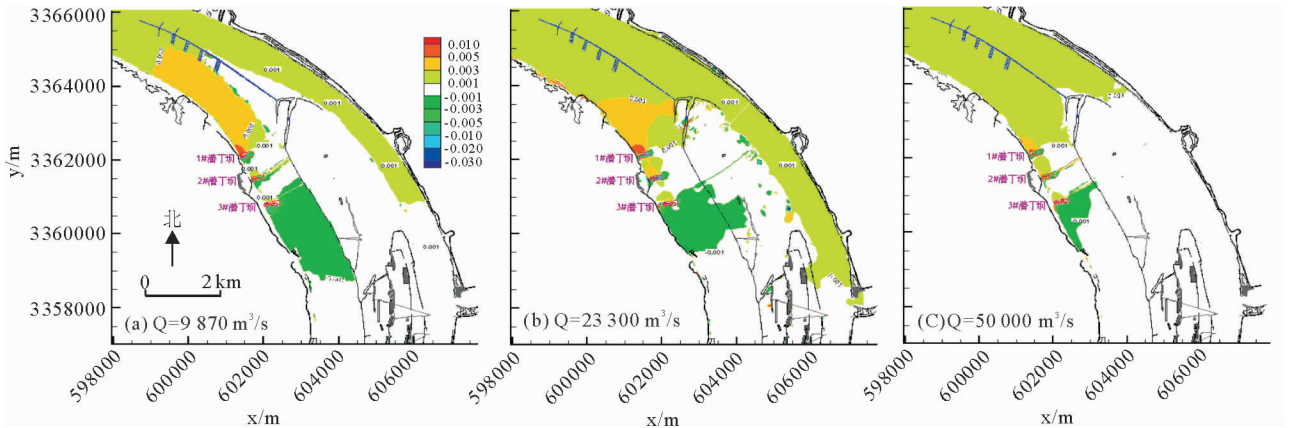


图8 不同流量下水位变化等值线
Fig. 8 Water level variation contour under different flow conditions

4 讨论

形成“四大家鱼”产卵场的河道的特点为:①江岸有较大的矶头伸入江面,②江心多沙洲,③河床急剧弯曲,引起水文条件的变化,刺激亲鱼产卵。当下泄水流受到复杂地形的阻挡时会形成泡漩水面,鱼卵就可随流上下翻腾,这是鱼卵在吸水膨胀的过程中最为适宜繁育条件。除河床特征外,促使“四大家鱼”产卵的条件还要具备水温条件(如 18°C 以上)及河流涨水的刺激。江河涨水包含流量加大、水位上升、流速加快、透明度减小以及流态紊乱等系列水文变化过程。在上述河床特征河段,诸水文因素改变明显时便形成产卵场。本研究,在流量 $23\,300$ 和 $50\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,工程区水位变幅不大,一般为 $3\sim 5\text{ mm}$,基本不改变工程江段的水域面积。在三峡水库蓄水 175 m 、最枯流量 $9\,870\text{ m}^3/\text{s}$ 下,3道潜丁坝处的水位为 11.85 m ,比潜丁坝设计高程 9.09 m 高出 2.76 m ,潜丁坝全部在水下,不露出,不会对近岸水流产生阻隔影响。最枯流量下,3个潜丁坝之间的流态更为复杂紊乱,在丁坝后方产生涡旋流而形成的回水区,有利于“泡漩水”形成,有利于卵的受精和正常孵化。此外,潜丁坝局部流速的变化,导致其附近河床冲淤变化,流速变化形成的冲坑与淤积,形成深潭与水下沙丘交替分布,为底栖鱼类营造良好的索饵与栖息环境,也为鱼类提供良好的越冬条件。潜丁坝坝体及周边石块可兼具人工鱼礁的作用,为部分小型鱼类提供主要栖息、索饵和产卵环境。

“四大家鱼”产卵的适宜流速为 $0.33\sim 0.90\text{ m/s}$ (张杰和范北林,2010)。流量 $23\,300\text{ m}^3/\text{s}$

时,流速最大变化占产卵流速 $15.2\%\sim 5.6\%$;流量 $50\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,流速最大变化占产卵流速 $11.5\%\sim 4.2\%$ 。“四大家鱼”在江水上涨时产卵,由于潜丁坝区域从洪峰开始上涨到最高时流速变化范围在 $-0.038\sim -0.05\text{ m/s}$,工程实施后丁坝区附近的流速在 1.5 m/s 以内,流速改变很小,满足“四大家鱼”产卵的流速要求。

我国尚未有长江中下游河段的人工鱼礁及人工鱼巢相关资料和技术规范,潜丁坝的设计目前只是满足了长江航道整治尺度的要求以及“四大家鱼”产卵的生境要求,下一步还应结合人工鱼礁的生态要求,开展坝体结构仿生设计,使之具备人工鱼礁的生态效果。

参考文献

- 谷利华,岳红艳,张杰. 2010. 长江石首段航道整治工程行洪影响研究[J]. 人民长江, 41(8):5-8.
- 李翀,彭静,廖文根. 2006. 长江中游四大家鱼发江生态水文因子分析及生态水文目标确定[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 4(3):170-176.
- 戚定满,顾峰峰,孔令双,赵德招. 2012. 长江口深水航道整治工程影响数值模拟[J]. 水运工程, (2):90-96.
- 张杰,范北林. 2010. 三峡工程对四大家鱼典型产卵场环境影响分析[J]. 人民长江, 41(3):56-58.
- Zhang Guohua, Chang Jianbo, Shu Guangfu. 1998. Applications of factorcriteria system reconstruction analysis in the reproduction research on grass carp, black carp, silver carp and bighead in the Yangtze River[J]. Int J General System, 29(3):419-428.

(责任编辑 张俊友)

Influence of Daijiazhou River Waterway Regulation Project on the Four Major Chinese Carps Spawning Grounds

DU Yun-hui¹, ZENG Xiao-hui², XIE Wen-xing³, BAN xuan⁴

(1. Appraisal Center for Environment & Engineering Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, P. R. China;

2. CCCC Second Harbor Consultants Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430077, P. R. China;

3. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences. Wuhan 430079, P. R. China;

4. Key laboratory for environment and disaster monitoring and evaluation, Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430077, P. R. China)

Abstract: The spawning and propagation of the four major Chinese carps are closely related with the hydrological and hydraulic conditions of the river. The aim of the present study was to evaluate the impact of Daijiazhou River waterway project on the spawning grounds of four carps. The investigation was made on the spawning grounds at Huangshi section of the Yangtze River. The flow regime, the water level, the flow velocity and other hydrological conditions of this section were simulated and predicted by using the two-dimensional hydrodynamic model. The results showed that three spur dikes would not block the fish after the waterway regulation, as they were 2.5 m below the surface under the low flows; the submerged spur dikes would not affect the required flow velocity of the four carps during the spawning time, as the largest change of the current was $-0.038 - -0.05$ m/s during the peak flows which only accounted for 4.2% – 15.2% of the spawning velocity, the water level change was just 3 – 5 mm. In conclusion, the project would not affect the hydrological conditions for the four carps spawning grounds.

Key words: waterway regulation; the four major Chinese carps; spawning ground; flow velocity; two-dimensional hydrodynamic model