

文章编号:0559-9350(2019)09-1086-09

## 深水航道整治丁坝群对鱼类生境的影响

常留红<sup>1,2</sup>, 徐斌<sup>1,2</sup>, 张鹏<sup>1,2</sup>, 汤薇<sup>1,2</sup>

(1. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南 长沙 410114;

2. 洞庭湖水环境治理与生态修复 湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** 航道整治丁坝群一定程度上改变了局部水动力条件, 从而对鱼类的生境也产生了影响。依托长江12.5 m深水航道整治工程, 选择仪征水道整治工程为典型河段, 建立二维数值模型, 分析了三种典型工况下整治丁坝群实施前后研究河段的水流特性变化, 基于对鱼类生境需求的调查分析的基础上, 探讨了丁坝群对鱼类产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道的影响及成因, 揭示了潮汐河段航道整治丁坝群对鱼类“三场一通道”的影响规律。研究表明: 丁坝群附近的复杂水流结构及近岸缓流区, 为漂流性鱼类和沉黏性鱼类提供了适宜的产卵场; 丁坝坝后的底层缓流及静水环境, 为鱼类提供了良好的越冬场; 丁坝群独特的水流结构, 将河道内的浮游生物横向输移至坝后富集, 为鱼类觅食提供了丰富的饵料场; 丁坝群建成后世业洲右缘近岸缓流区的范围有明显扩大, 为鱼卵和仔鱼的降河洄游提供了稳定的洄游通道。

**关键词:** 丁坝群; 水流结构; 三场一通道; 鱼类生境; 深水航道

**中图分类号:** TV863; TV865

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13243/j.cnki.slxb.20190207

## 1 研究背景

丁坝群在发挥束水攻沙与航道整治功能的同时, 也改变了丁坝群周围的水动力特性<sup>[1]</sup>, 并在一定程度上影响了鱼类的生境需求<sup>[2-3]</sup>。丁坝群周围的水流特性是决定鱼类生存环境的主要因素之一。因此, 整治建筑物周围的水动力特性成为国内外学者的研究热点问题。在实验研究方面, 蔡喆伟等<sup>[1]</sup>基于丁坝周围水流流速与水深的分布规律开展实验研究, 探讨了坝长与淹没度对丁坝水流力系数的敏感性。彭静等<sup>[4]</sup>针对丁坝间距对坝后回流的强度、尺寸的影响; 也有学者<sup>[5-6]</sup>采用PIV流速测量技术, 研究了水力坡度对流速和涡量的影响。在数值计算方面, 部分学者采用有限体积法建立了二维和三维数学模型, 探讨了丁坝下游回流区长度和宽度的变化及剪切流的沿程变化特征<sup>[7-8]</sup>。不少学者基于三维数值计算, 对丁坝周围的水动力特性和冲淤变化开展研究<sup>[9-10]</sup>, 也有学者对丁坝周围的流场分布和丁坝绕流的水力特性进行分析<sup>[11-13]</sup>; 还要部分学者研究了丁坝附近局部流场、地形冲淤变化以及冲刷坑形态等<sup>[14-16]</sup>。

此外, 鱼类生境对水动力的需求是丁坝群生态整治效果评价的重要依据。不少学者研究表明流速和水深对鱼类的影响较大<sup>[17-19]</sup>。Boavida等学者认为流速和水深对成年鱼类栖息以及成年鱼类产卵具有较大的影响<sup>[20-22]</sup>。Shih等<sup>[23]</sup>采用NETSTARS和TABS-2模拟分析了有无丁坝存在时的水深和流速对鱼类的影响。Magoulick等<sup>[24]</sup>研究了关于捕食风险对底栖鱼类或鱼类和小龙虾组合的生境选择的影响。不少学者对丁坝周围的水流特性和影响鱼类生存条件的因素进行了深入研究, 但研究丁坝群对鱼类生存条件影响的研究尚不多见。

收稿日期: 2019-03-25; 网络首发时间: 2019-09-26

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20190925.1909.004.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402100); 国家自然科学基金项目(51809022); 交通部科技示范工程项目(200703); 湖南省水利科技项目(湘水科计XSKJ2018179-41)

作者简介: 常留红(1979-), 副教授, 博士, 主要从事水工结构及其水动力特性研究。E-mail: claire886@163.com

仪征水道处于感潮河段区域，受潮流作用仪征水道水体营养盐丰富，是长江中下游主要鱼类的重要栖息场所和洄游通道，河道鱼类索饵场的分布与河道水流条件有较大关联。因此，本研究依托仪征水道航道整治丁坝群工程，分析仪征水道在径流作用下丁坝群工程实施后对河道鱼类生存环境的作用机理，揭示潮汐河段航道整治丁坝群对鱼类的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道，即“三场一通道”的影响及成因，为类似航道整治工程对鱼类生态环境的保护和改善提供理论基础。

## 2 研究河段概况

仪征水道是南京以下河段 12.5 m 深水航道治理的难点，也是长江口深水航道进一步向上延伸的关键控制河段之一。仪征水道上起三江口，下迄瓜州，全长 31 km，为微弯分汊河型。以十二圩为界，上段为顺直微弯段，近百年来受进口三江口、礁板矶一对节点控制，河道稳定少变。下段为微弯分汊段，江中世业洲将水道分为左右两汊：右汊为主汊，河道弯曲，平均河宽约 1450 m；左汊为支汊，呈顺直型，平均河宽约 880 m。世业洲右汊为主汊，分流比约 58%，也是现行通航主航道所在；左汊为地方小轮航道。

**2.1 工程概况** 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程位于南通市—南京市之间，全长约 227 km，自下而上整治仪征、口岸直、和畅洲、仪征 4 个重点碍航水道，仪征水道整治工程，位于镇江市世业洲西侧，丁坝群由头部潜堤、头部潜堤南北侧丁坝(SR1、SR2、SL1、SL2)、右缘丁坝(Y1、Y2、Y3)组成，共形成堤身长度 5.19 km。工程地理位置如图 1 所示。



图 1 工程地理位置示意图

**2.2 研究河段生态环境现状** 研究河段河道水流特性变化复杂，相比中上游河段水流条件较缓，仪征水道鱼类江湖定居性偏多，以淡水鱼类为主，不做长距离洄游，游泳能力相对江海洄游性鱼类较弱。因此鱼类的种群组成与中上游河段有较大差别，喜流性鱼类相比缓流或静水性鱼类较少，并且主要以洄游性、生活在在中下层水域的淡水鱼类为主。本江段没有集中性大规模的漂流性鱼类产卵场，多为洲滩、岸边河湾缓流水草丰富的产黏性卵的产卵场(如鲤鱼、鲫鱼等在)，以及在沙质洲滩上产沉性卵的产卵场。但研究河段仍存在有部分产漂流性鱼卵的非洄游性鱼类。在 2013 年 7 月对研究河段进行了调查，仪征江段共采集到幼鱼渔获物 27 种，分别隶属于 6 目 9 科 25 属，以江河定居性、中下层为主，食性多为杂食或肉食性，其中刀鲚作为长江主要经济性鱼类由于过度捕捞，刀鲚正在逐年减少，同时其为洄游型鱼类，研究刀鲚能够在考虑三场的情况下，也能研究洄游通道的主要路线，所以本文选取刀鲚作为整治丁坝群工程对鱼类生境影响的代表性鱼类。

**2.3 工程后鱼类及其他生物监测范围及布置** 生态堤身布设于仪征水道世业洲右汊 Y2#，从丁坝根部向外约 200 m 的位置，其余两个丁坝和 Y2# 后半段位置均为传统抛石丁坝。在 A3 点位即 Y2# 生态堤身位置设置了坝体内部点位(A3 坝内)和坝体外部后方点位(A3 坝外)的采集(图 2)，并分别在施工完成后 1 个月(2017 年 3 月产卵期)、9 个月(2017 年 12 月洄游期)、14 个月(2018 年 5 月产卵期)，通过渔获物调查和彼得森采泥器等方法对生态堤身建成后的鱼类种类、数量、组成以及完整性，沉积物、底栖生物和浮游生物浓度，进行了第一次、第二次和第三次监测。

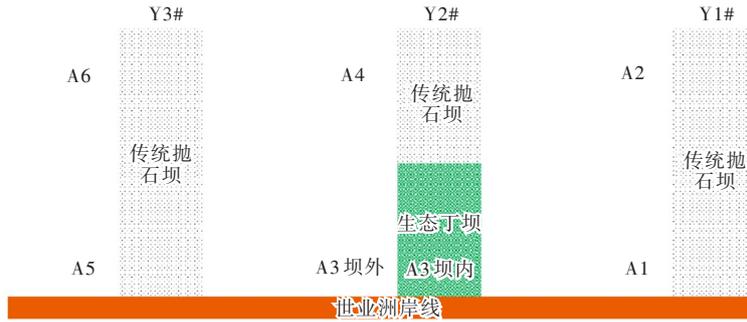


图2 生态堤身研究区域示意图

### 3 数值模型建立与验证

**3.1 控制方程** MIKE 21的控制方程为二维浅水方程，属于平面二维自由表面流模型，忽略了垂向水流加速度，以垂向平均水流要素为研究对象。当垂直尺度远小于水平尺度时，因流速、水深等水力参数沿水平方向的变化要比垂直方向的变化大得多，故忽略沿水深积分三维流动的控制方程，并取平均水深，可得到沿平均水深的二维浅水流动质量和动量守恒控制方程组。

**3.2 模型范围及网格划分** 为了较好地满足水流运动相似，本数学模型计算范围上迄三江口，下至六圩河口，模拟河段全长约40 km，见图3。模型采用仪征水道二期整治工程实施前2015年11月实测地形，地形测图比例均为1:10000。

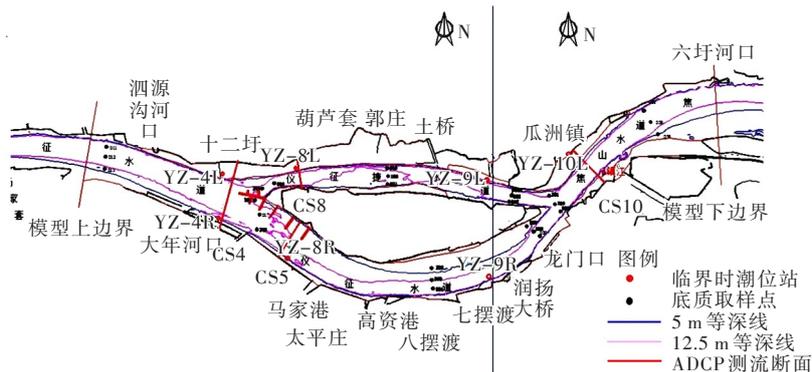


图3 模型计算范围

二维平面网格为非结构网格，模型网格节点总数为42 320个，单元总数为83 295个。河道主槽内网格尺寸在45 ~ 65 m之间，边滩区域网格稀疏，在65 ~ 80 m之间不等。工程区域内网格进行了加密，以模拟出整治丁坝形状，网格最小尺寸为10 m。工程区局部网格示意图见图4。

**3.3 模型参数选择** 模型底床糙率为0.020 ~ 0.028，边滩糙率为0.028 ~ 0.03。对于仪征水道南北两岸岸滩及世业洲南侧边滩，考虑生长有植被，糙率加大至0.035，世业洲北侧面糙率加大至0.033，与前期二维长河段平面数学模型相一致。考虑到河段范围较大，给模型引入科氏力。时间步长取为 $\Delta t = 30$  s。

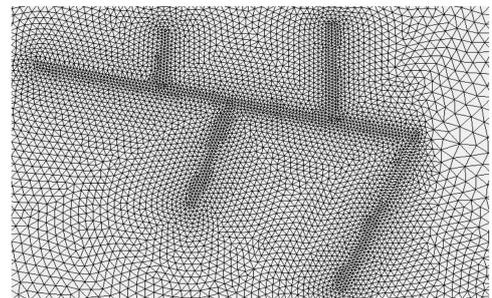


图4 工程区局部网格示意图

**3.4 模型验证** 采用2014年8月洪季大潮实测水文资料对模型进行验证，计算时上游进口边界由稳定时刻实测流量控制，下游出口边界由稳定时刻实测水位控制，计算河段内的已建桥梁作为固有边界考虑。仪征水道内布置的水文测量断面和水位测站，其位置如图3所示。数学模型验证计算内容包括汉道分流比、沿程测站水位、断面流速分布。

水文测验在模型范围内河道两侧共布置了7个临时水位站、4条测流断面，涵盖了各个汉道，以

及分流口和汇流口，验算结果见图5、图6和表1。

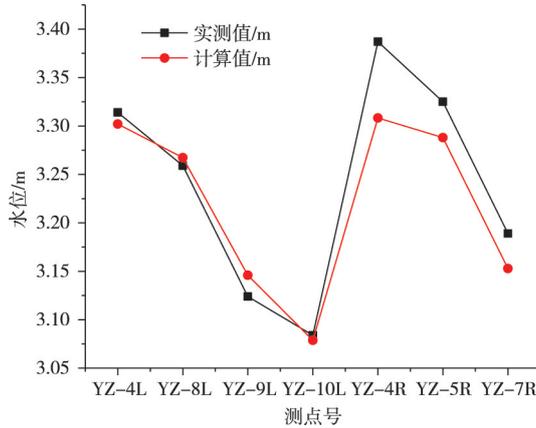


图5 水位验证结果

表1 世业洲左右汉道分流比验证

测量日期	位置	流量/(m <sup>3</sup> /s)	实测分流比/%	计算分流比/%	偏差/%
2014年8月	世业洲左汉	34000	40.2	40.7	-0.5
	世业洲右汉		59.8	59.3	0.5

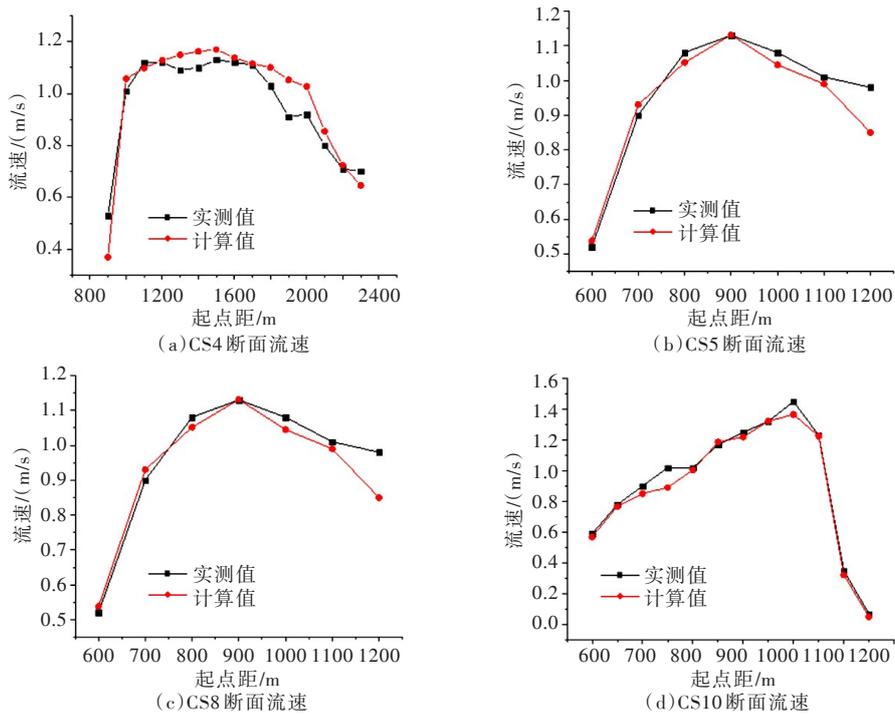


图6 流速验证结果

**3.5 研究工况** 在研究航道整治工程对鱼类生境影响时，应该选取河道鱼类密集产卵期的洪季流量条件以分析对鱼类繁殖、早期发育和育幼的影响，选取枯季径流量条件以分析对越冬活动的影响，同时考虑到每年洪季鱼类繁殖季节之后，研究河段是幼鱼的重要肥育场所，应该选取多年平均流量条件以分析对幼鱼肥育的影响。因此，整治工程研究河段模型上游来流条件为大通站的多年平均洪峰流量约 57 500 m<sup>3</sup>/s、多年平均流量 28 700 m<sup>3</sup>/s 和枯季平均流量 16 500 m<sup>3</sup>/s。

#### 4 对鱼类“三场一通道”的影响分析

**4.1 鱼类产卵场及早期发育影响** 受气温、水流条件的影响，研究河段鱼类的产卵季节多为夏季，

故分析洪峰流量条件下整治丁坝群工程对两种类型产卵场以及鱼类早期发育的影响。

4.1.1 对产沉黏性卵鱼类产卵场的影响 产沉黏性鱼卵的鱼类多生活在中下层水域，喜在岸滩静水区或水流较弱的环境下生活(流速小于 $0.3 \sim 0.8 \text{ m/s}$ )，繁殖季节鱼卵附着在水草的茎干、枝叶上，或砂质河床或洲滩上产卵吸附。因此，重点分析岸滩附近水流条件的改变，以讨论整治丁坝工程对产沉黏性卵鱼类产卵场的影响。

由图7—12所示，工程前后现有产卵场附近流速等值线基本重合，可见丁坝群工程对已有产卵场的影响较小。同时可以看出工程后Y1~Y3处都形成一定的挑流，流速等值线向河槽偏移。其次，世业洲丁坝群建成后增大了SL2和Y1~Y3坝后岸滩缓流区的范围，其中SL2后的缓流区变化较为明显。

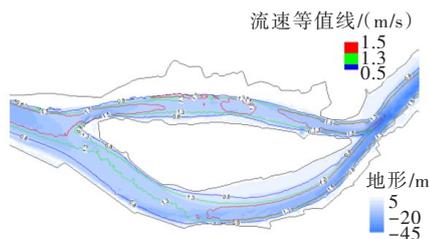


图7 工程前流速等值线图

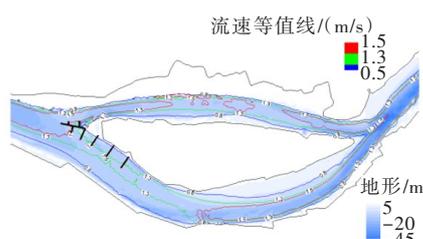


图8 工程后流速等值线图

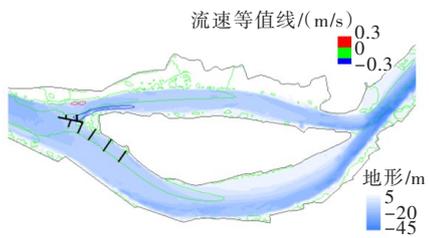


图9 工程前后流速差值等值线图

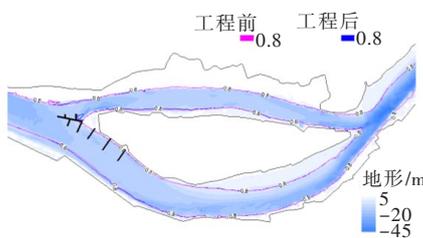


图10 工程前后0.8m/s流速等值线变化图

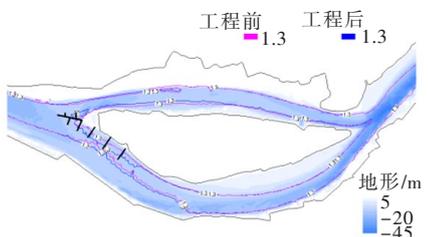


图11 工程前后1.3m/s流速等值线变化图

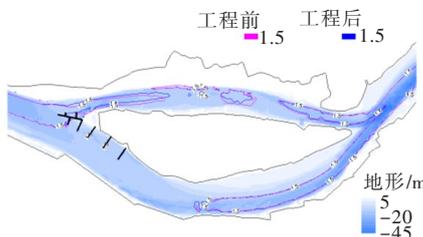


图12 工程前后1.5m/s流速等值线变化图

4.1.2 对产漂流性卵鱼类产卵场的影响 产漂流性卵鱼类多生活在河道表层水体中，喜流水环境，在产卵季节寻找合适的水流环境进行产卵，如河床急剧变化区段(如坝头附近)，需一定程度的水动力条件改变(如泡漩水)可以刺激排卵。因此，选取河道表层位置的水流特性来分析整治丁坝工程对漂流性鱼类的影响。

丁坝在水中的结构型式与坝头相似，因此在整治丁坝群工程实施后，河道的流场结构由工程前单一的平顺型转变为复杂的急缓交错型。在头部潜堤北侧及南侧坝后，水流结构均变得较为复杂，同时洪季落急流条件下丁坝仍淹没，坝区附近出现翻坝流、泡漩流等复杂的水流结构，水体垂向交换强烈。此外，工程前部潜堤北侧流速在 $0.8 \sim 1.2 \text{ m/s}$ ，而在工程后坝头和坝后急缓流差异明显，坝头在 $1.2 \text{ m/s}$ 以上，坝后则基本在 $0.3 \sim 0.8 \text{ m/s}$ 。

而对于多数漂流性鱼类，如鳊鱼、贝氏鲮及长江四大家鱼，一般在丰水期河水流速达 $1 \sim 1.5 \text{ m/s}$ 以上，便会形成鱼类产卵高峰，因此整治丁坝群工程实施后在头部潜堤会形成适合漂流性鱼类产卵的水流环境。潜在区位置示意图见图13。

4.1.3 对鱼类早期发育的影响 鱼类的早期发育主要是指受精后的胚胎期、仔鱼期和稚鱼期，此阶段也是鱼类死亡率较高的时期。在鱼类早期发育阶段，鱼类不具备游泳能力，仅能随水流在河道水体中漂流，因此较缓的水流环境或静水区可以为鱼类的早期发育提供良好的场所。

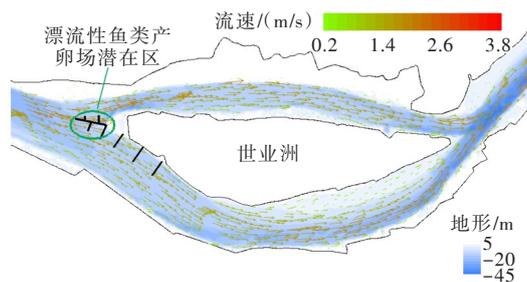


图 13 漂流性鱼类产卵场潜在区位置

通过上文 3.1.1 和 3.1.2 节可知，对于产沉黏性卵和产漂流性卵鱼类的胚后发育阶段(仔鱼和稚鱼)，整治丁坝群实施后在坝后河道表层和中下层均能够为其提供较缓的水流环境(0.3 ~ 0.5 m/s)，以避免其被流速较大的洪季流带至下游河口区，如头部潜堤南北侧丁坝群及 Y1(见图 7—9)。

#### 4.2 鱼类索饵场、越冬场及洄游通道的影响

4.2.1 工程前后对鱼类索饵场的影响 鱼类的食性随着生长期的改变而发生变化，多数鱼类在早期发育阶段(仔鱼)由于消化系统未发育完善以浮游生物为食，随着进入幼鱼和成鱼阶段食性开始出现差异。调查结果表明：在仪征水道鱼类组成中以杂食性和肉食性为主，各占 39.66%和 34.48%，前者多捕食水中藻类、原生动物和其他有机质，后者多以鱼、虾为食。

水体中食物链最高位置的鱼类饵料来源多种多样，但水体中初级生产力的浮游生物在整个食物链中占据重要作用，既是鱼类早期发育阶段的直接饵料来源，又间接影响着成鱼的生长和发育，而浮游生物浓度及分布又与河道的水流环境密切相关。

根据仪征水道浮游生物浓度和分布的调查结果，在 6 月份河道内浮游生物的浓度明显低于 10 月份，因此选取多年平均流量条件，以分析整治丁坝群工程对鱼类索饵场的影响，具体讨论对浮游生物(以浮游植物为例)的影响。

图 14 和图 15 给出了整治丁坝群工程实施后多年平均流量和枯季平均流量条件下对鱼类索饵场影响的示意图，从图中可以看出整治丁坝群工程实施后，丁坝附近复杂的三维水流结构，可以把来流部分导入坝后，进而将来流中所携带浓度较高的浮游植物和河道内有机质在坝后的缓流区进行富集，如 SL1 和 SL2 坝。

此外，丁坝群坝后较弱的水流环境可以为浮游植物的富集和繁殖提供良好的水流环境，如图所示坝后水流流速基本在 0.3 m/s 以下。因此，在整治丁坝工程实施后世业洲头部潜堤北侧丁坝坝后和世业洲右缘 Y1/Y2 坝后可以为鱼类索饵场营造适合的水流环境。

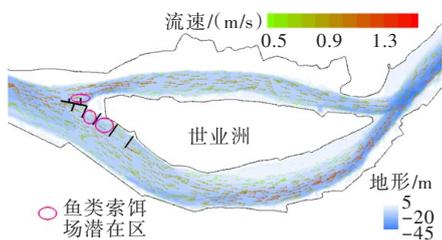


图 14 多年平均流量流场图(工程后)

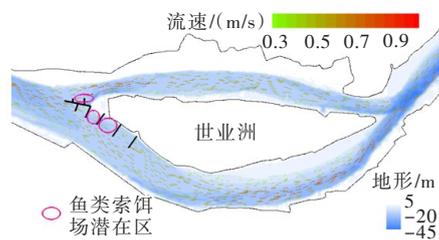


图 15 枯季平均流量流场图(工程后)

4.2.2 工程前后对鱼类越冬活动的影响 进入冬季之后，随着气温的逐渐降低，鱼类开始由温度较低中上层水域逐渐沉入温度相对较高的底层水域，在主槽当中寻找水流较缓的河底卵石或块砾石间进行越冬活动，以减少对抗水流游动对身体储存脂肪的消耗。因此，选取枯季平均流量下底层水体的计算结果，分析整治丁坝工程对鱼类越冬活动的影响。

从图 16—18 中可以看出整治工程前除福中水道外主槽流速基本在 0.5 ~ 0.8 m/s 之间，福中水道在 0.8 m/s 以上，而在整治丁坝群工程后坝后流速的衰减幅度基本在 0.2 ~ 0.4 m/s，福左缘丁坝 FL4# 和双涧沙左侧丁坝群坝后流速的衰减幅度则在 0.4 m/s 以上。因此，从水流环境的角度可以看出相比工程

前，丁坝群工程后坝后区可以为鱼类越冬提供良好所需的缓流或静水环境，同时结合 3.2.1 节可知坝后也有利于浮游生物的富集，间接的为鱼类越冬提供较为充足的饵料来源。

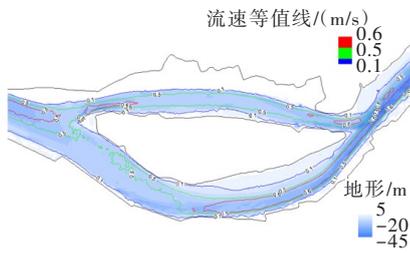


图 16 工程前流速等值线图

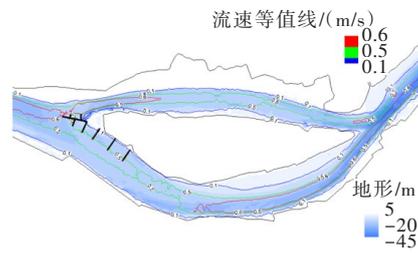


图 17 工程后流速等值线图

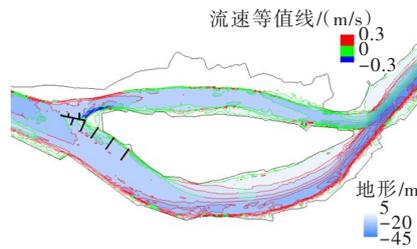


图 18 流速差值等值线图

4.2.3 对鱼类洄游通道的影响 仪征水道是诸多鱼类洄游的过路通道，在每年繁殖季节亲鱼经研究河段上溯洄游，后鱼卵或仔鱼随水流再经研究河段降河洄游。由于洄游性鱼类亲鱼的游泳能力较强，而整治丁坝群工程在河道断面上并未形成物理阻隔，对亲鱼的上溯洄游影响较弱。

因此，对鱼类洄游通道的影响主要是对无游泳能力或较弱的鱼卵或仔鱼的降河洄游，降河洄游通道一般在水流较缓、浮游生物浓度较高的近岸区，以提高存活率。分析所选取的径潮流条件为鱼类繁殖季节的洪季大潮。

由图 19—20 所示，从近岸流线的变化可以看出，丁坝群对仔鱼降河洄游的影响主要出现在世业洲右缘丁坝 Y2/Y3 坝头附近，受 Y2 的挑流作用近岸流流向河道方向有所偏移，在水体表层漂流的鱼卵和仔鱼存在有被水流带离近岸区的风险，但短暂偏离近岸后，受坝后回流影响又带至下游近岸区。但从 1.3 m/s 流速等值线的变化可以看出，丁坝群工程后世业洲右缘近岸缓流区的范围有明显扩大，对鱼卵和仔鱼的降河洄游有利。

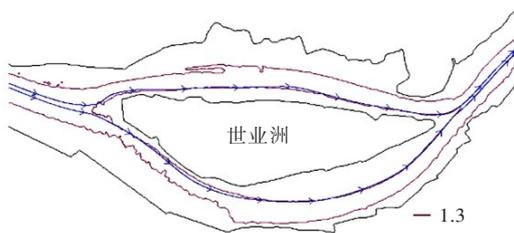


图 19 工程前 1.3m/s 流速等值线及流线图

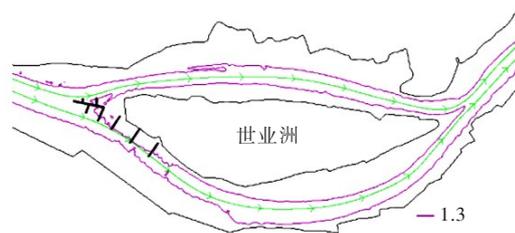


图 20 工程后 1.3m/s 流速等值线及流线图

### 4.3 工程后鱼类监测数据分析

4.3.1 鱼类数量变化 由调查报告可知，第二次调查比第一次调查多了 1 种鱼，第三次则多聚集了 3 种鱼。此外，相对第一次调查，第二次调查报告中生态丁坝周围鱼类捕获数量增加了 42 尾，即增长了 52.5%，第三次调查调查报告中生态丁坝相周围鱼类捕获数量增加了 110 尾，即增长了 138.75%。经过“产卵—洄游—产卵”的一个周期，鱼类数量明显增长，正好验证了数值计算的 1.3 m/s 缓流区和 0.2 ~ 0.4 m/s 静流区的作用，说明以后生态丁坝周围将具有较好的生态效果。

4.3.2 鱼类组成 三次调查中鲢所占的比重都是最大的，达到了 70% 左右，前两次渔获物尾数是鲢和黄颡鱼所占比重较大，第三次调查报告显示兴凯鱚所占比重较大，数值分析产卵场的优化在章节 4.3.1 中三次调查报告得以体现，显示鱼类的种类在增多，兴凯鱚是前两次调查中没有出现的鱼类，

说明丁坝改善了鱼类的生存环境,适应于多种鱼类的生存。

根据鱼类种类及组成的实际数据监测分析,丁坝区对于鱼类的生境确实产生了良性的作用,与数模计算的丁坝对于工程区鱼类生境的改善具有同样的定性结论。

4.3.3 鱼类密度 由三次调查报告可知,生态堤身的单位时间鱼类数量显著高于其他样点,单位时间检测到的数量传统丁坝和普通江底之间差异不大。说明生态堤身附近,鱼类数量相对较多,相对传统丁坝和离岸等距的普通江段具有一定的集鱼效果。生态坝体前产生的上升流可以促进上下层水体的交换,扩大营养盐和基础饵料的分布水平,易于诱集各层鱼类形成渔场。

## 5 结论

通过二维数值计算分析仪征水道整治丁坝群周围的水流结构,结合丁坝群周围的沉积物、底栖生物和鱼类的监测结果,分析丁坝群对鱼类生存环境的影响,得到如下主要结论:

(1)工程后在世业洲头部潜堤及北侧丁坝群附近形成复杂的水流结构(翻坝流和泡漩流),坝头流速也增至 1.5 m/s 以上,形成适合漂流性鱼类产卵的水流环境。

(2)丁坝的修建扩大了近岸缓流区的范围,在头部潜堤北侧丁坝 SL2 和世业洲右缘丁坝 Y1—Y3 坝后的岸滩,营造出了适合沉黏性鱼类产卵的水流环境。

(3)由于工程实施后丁坝群可以把来流部分导入坝后区,将其所携带浓度较高的浮游植物在坝后的缓流区进行富集,同时坝后的缓流区可以为浮游植物的繁殖提供良好的水流条件,从而为鱼类在坝后栖息和索饵提供适宜的水流环境。

(4)整治丁坝群一定程度上能为鱼类、底栖生物等提供栖息和庇护场所,增加底栖动物的多样性和鱼类的丰富度。丁坝群周围的河流健康状态得以优化,同时丁坝群对鱼类“三场一通道”产生了一定的积极的作用,保障了鱼类的自然生存空间。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 蔡喆伟,夏云峰,徐华,等.深水航道整治中新型结构淹没丁坝水动力特性研究[J].水利水运工程学报,2018(3): 16-23.
- [ 2 ] 刘明洋,李永,王锐,等.生态丁坝在齐口裂腹鱼产卵场修复中的应用[J].四川大学学报(工程科学版),2014,46(3): 37-43.
- [ 3 ] SÁNCHEZ-CABALLERO C A, BORGES-SOUZA J M, CRUZ-AGÜERO G D L, et al. Links between fish community structure and habitat complexity of a rocky reef in the Gulf of California threatened by development: Implications for mitigation measures[J]. Ocean & Coastal Management, 2017, 137: 96-106.
- [ 4 ] 彭静,河原能久.丁坝群近体流动结构的可视化实验研究[J].水利学报,2000(3): 44-47.
- [ 5 ] 顾杰,郑宇华.水力坡度对淹没单丁坝近区水流结构的影响[J].水利水运工程学报,2017(2): 75-81.
- [ 6 ] 刘易庄,蒋昌波,邓斌,等.淹没双丁坝间水流结构特性 PIV 试验[J].水利水电科技进展,2015,35(6): 26-30, 46.
- [ 7 ] 刘玉玲,周孝德,杨国丽.基于 WENO 格式的天然河道丁坝群二维水流数值模拟[J].水动力学研究与进展(A 辑),2010,25(1): 93-98.
- [ 8 ] 李子龙,寇军,张景新.明渠条件下单丁坝绕流特征的数值模拟[J].计算力学学报,2016,33(2): 245-251.
- [ 9 ] 邢岩,姜伯乐,马殿光.适用于中小河流受损岸坡修复的楔形丁坝群水力特性初探[J].长江科学院院报,2018,35(9): 80-85, 97.
- [ 10 ] 孙志林,於刚节,许丹,等.正态曲面丁坝三维水流数值模拟[J].浙江大学学报(工学版),2016,50(7): 1247-1251.
- [ 11 ] 杨兰,李国栋,李奇龙,等.丁坝群附近流场及局部冲刷的三维数值模拟[J].水动力学研究与进展(A 辑),2016,31(3): 372-378.
- [ 12 ] 魏文礼,洪云飞,邵世鹏,等.梯形断面明渠丁坝绕流水力特性三维数值模拟[J].应用力学学报,2015,

- 32(2): 294–298, 357 .
- [ 13 ] 魏文礼, 郭扬扬, 张泽伟, 等 . 60°弯道丁坝水流水力特性数值模拟研究[J] . 水力发电学报, 2017, 36(9): 91–99 .
- [ 14 ] 宁健, 李国栋, 马森 . 丁坝绕流流场及局部冲刷三维数值模拟研究[J] . 水动力学研究与进展(A辑), 2017, 32(1): 46–53 .
- [ 15 ] MORITA A, KANDA KEIICHI, KISHIHARA M . Study on Local Scour around Spur Dikes in the Akashi River [C]//Proceedings 3rd International Conference on Scour and Erosion, Amsterdam, 2006: 482–487 .
- [ 16 ] 张立, 孙忠克, 徐东坡 . 丁坝局部冲刷坑形态演变及冲刷平衡临界条件[J] . 水利学报, 2017, 48(5): 545–550 .
- [ 17 ] 诸葛亦斯, 刘德富, 谭红武 . 鱼类栖息地流速适宜性曲线实验方法[J] . 水利学报, 2013, 44(S1): 1–7 .
- [ 18 ] HAYES J W, JOWETT I G . Microhabitat models of large drift-feeding brown trout in three New Zealand rivers [J] . North American Journal of Fisheries Management, 1994, 14(4): 710–725 .
- [ 19 ] BIGGS B J F, GORING D G . Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form[J] . Journal of Phycology, 1998, 34(4): 598–607 .
- [ 20 ] BOAVIDA I, DIAS V, FERREIRA M T, et al . Univariate functions versus fuzzy logic: Implications for fish habitat modeling[J] . Ecological Engineering, 2014, 71: 533–538 .
- [ 21 ] PASHA M F K, YEASMIN D, RENTCH J W . Dam-lake operation to optimize fish habitat[J] . Environmental Processes, 2015, 2(4): 631–645 .
- [ 22 ] 陈明千, 脱友才, 李嘉, 等 . 鱼类产卵场水力生境指标体系初步研究[J] . 水利学报, 2013, 44(11): 1303–1308 .
- [ 23 ] SHIH S S, LEE H Y, CHEN C C . Model-based evaluations of spur dikes for fish habitat improvement: A case study of endemic species *Varicorhinus barbatulus* (Cyprinidae) and *Hemimyzon formosanum* (Homalopteridae) in Lanyang River, Taiwan[J] . Ecological Engineering, 2008, 34(2): 127–136 .
- [ 24 ] MAGOULICK D D . Effects of predation risk on habitat selection by water column fish, benthic fish and crayfish in stream pools[J] . Ecological Engineering, 2004, 527(1): 209–221 .

## The influence of spur dikes for deep-water channel regulation on fish habitat

CHANG Liuhong<sup>1, 2</sup>, XU Bin<sup>1, 2</sup>, ZHANG Peng<sup>1, 2</sup>, TANG Wei<sup>1, 2</sup>

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2. Key Laboratory of Dongting Lake Aquatic Eco-Environmental Control and Restoration of Hunan Province, Changsha 410114, China)

**Abstract:** The spur dikes in waterway regulation have changed the local hydrodynamic conditions to a certain extent, thus affecting the habitat of fish. Relying on the Yangtze River 12.5m deep-water channel regulation project, the Yizheng waterway regulation project is selected as a typical river section, and a two-dimensional numerical model is established. The flow characteristics of the river section before and after the implementation of the regulation spur dikes under three typical conditions are analyzed. Based on the investigation and analysis of fish habitat requirements, the effects of spur dikes on fish spawning grounds, bait grounds, wintering grounds and migration channels are discussed. The influence and cause of formation of spur dikes in tidal river channel regulation on “three fields and one channel” of fish are revealed. The results show that the complex flow structure near the spur dikes and the slow-flow area near the shore provide suitable spawning grounds for drifting fish and sinking sticky fish; the slow-flow and still-water environment behind the spur dikes provide good wintering grounds for fish; and the unique flow structure of spur dikes transports plankton in the river channel laterally to the back of the spur dikes and enriches them, providing abundant bait for fish to forage. After the completion of spur dikes, the area of slow-flow zone near the right edge of Shiyezhou has obviously expanded, which provides a stable migration channel for fish eggs and larvae.

**Keywords:** spur dikes; flow structure; three games and one channel; habitat of fish; deep-water channel  
(责任编辑: 杨 虹)