文章编号:1672-3031(2020)03-0204-08

基于坝下流场模拟的集鱼系统进口位置选择研究

甄婉月,王晓松,穆祥鹏,曹 平
(中国水利水电科学研究院 水力学研究所,北京 100038)

摘要: 集鱼系统进口位置的合理选择决定着鱼类能否顺利发现并进入集鱼系统,关系着过鱼设施的运行效果。为选择大坝过鱼设施集鱼系统进口位置,本文以长江流域某水力枢纽工程为例,对坝下尾水河道2.83 km范围内水流流场进行了二维数值模拟,以当地鱼类上溯洄游流速的偏好范围为评判指标,分析了不同发电工况下适宜鱼类上溯的水域范围,并针对不同发电工况给出了集鱼系统进口的适宜布置区域,可为过鱼设施集鱼系统的布置提供依据。研究结果表明:左右岸电站发电机组下泄流量比为1∶0和2∶1时,模拟区域适合鱼类上溯洄游区域的占比较大,这两种工况下,集鱼系统进口应布置在坝下右岸;其他工况下,适合鱼类上溯洄游区域难达坝下,集鱼系统进口或集运鱼船应布置在坝下稍远区域,以保证集鱼系统在不同工况下的集鱼效率。

关键词: 坝下流场;集鱼系统;数值模拟;洄游;喜爱流速
中图分类号: TV133 **文献标识码:** A **doi:** 10.13244/j.cnki.jiwhr.2020.03.006

1 研究背景

过鱼设施是在水闸、水坝或天然障碍处为鱼类上溯洄游而设置的建筑物,是一种重要的生态保护措施。水利工程中的过鱼设施主要有鱼道、鱼闸以及升鱼机等。考虑到工程造价和鱼类游泳能力等因素,中高坝一般采用鱼闸或者升鱼机,而低坝一般采用鱼道。目前,世界范围内已建的过鱼设施许多过鱼效果并不理想[1],主要是因为两类水流障碍的存在[2-5],一是过鱼设施内部的水流障碍,如流速超过鱼类的游泳能力或者不利流态致使鱼类迷失方向等;二是集鱼系统进口附近的水流障碍,主要是指集鱼系统进口附近的复杂水流使鱼类无法顺利找到进口。目前关于过鱼设施的研究主要集中于其内部的水力条件,而集鱼系统进口位置的选择、布置形式及水流条件等方面的研究还不多见。

集鱼系统是过鱼设施的重要组成部分,其目的是收集洄游鱼类,使其利用过鱼设施过坝。如果鱼类不能顺利发现并进入集鱼系统进口,即使过鱼设施内部有良好的过鱼条件,也无法保证其过鱼效率。因此,集鱼系统进口位置的选择和布置型式对于过鱼设施是十分重要的。集鱼系统可分为移动式集鱼系统和固定式集鱼系统。移动式集鱼系统是指可以根据目标鱼类群集位置而移动的集鱼系统,主要是指具有自航能力的集鱼船[6]。这类集鱼系统具有移动性强、可以适应电站运行工况变化等优点。1970年,苏联在马内奇河枢纽上进行了集鱼船试验[7]。华盛顿州的贝克坝工程也利用集鱼船在库区内进行集鱼[8-9]。Raymond等人在哥伦比亚河上对大鳞麻哈鱼(Chinook Salmon)等进行了集鱼船试验[10]。新疆阿勒泰地区的冲乎尔水电站采用水流和灯光诱鱼相结合的集鱼船,对保护当地鱼类起到了至关重要的作用[11]。集鱼船适用于水流平缓的区域,因此多针对幼鱼降河行为布置在坝上库区,且受船体吃水深度所限,只适用于表层活动的鱼类,对于喜深水活动的鱼类,其诱集效果不佳。固定式集鱼系统,顾名思义,其集鱼平台位置是固定的,可以和鱼道、升鱼机、鱼闸等传统过鱼设施相结合,适用范围广,但集鱼效果易受电站运行工况的影响,其布置必须考虑水利枢纽的运

收稿日期:2019-12-20
基金项目:国家重点研发计划重点专项(2016YFC0502207);中国水科院科研专项(HY0145B372016);中国水科院成果转化基金专项(HY1003A082016)
作者简介:甄婉月(1994-),硕士生,主要从事生态水力学研究。E-mail:2570931818@qq.com
通讯作者:王晓松(1962-),博士,教授级高级工程师,主要从事河流生态与治理研究。E-mail:wangxs@iwhr.com

行条件。鱼类只有感应并被集鱼系统进口的水流吸引，才能进入并利用过鱼设施进行洄游。对于此类过鱼设施，集鱼系统进口位置的选择是至关重要的，它关乎过鱼设施的过鱼效果[12-13]乃至成败。目前，对于固定式集鱼系统，其进口布置的原则是保证进口靠近经常有水流下泄、鱼类经常聚集的区域。例如，丰满大坝升鱼机的集鱼系统分别布置在尾水的两侧，同时设置了多个集鱼系统进口[14]。帕兰河上游Yacyreta大坝在其电站厂房的两侧分别布置了鱼道，集鱼系统进口均面向发电机组尾水[15]。浙江楠溪江拦河闸鱼道集鱼系统进口与电站的出水口并列布置[16]。安大略湖格兰德河上的2座丹尼尔式鱼道，其集鱼系统进口位置紧靠溢流堰[17]。上述集鱼系统进口位置均布置在鱼类能够顺利上溯可达的水域，且尽量利用下泄水流对鱼类的吸引作用。尽管目前国内外对于鱼道进口位置的选择已有一些设计指导原则，如合理利用尾水、兼顾鱼类游泳能力等，但由于电站下游河道水力条件差异较大，因此需要采用适宜的技术对坝下河道流场进行分析，结合鱼类游泳行为特性，确定不同发电工况下鱼类可能的群集区域或能够顺利到达的地点，此项研究工作对于集鱼系统进口位置的选择和洄游期的电站机组运行调度具有现实意义。

本文以长江流域某高坝工程为例，通过HEC-RAS软件二维模块，模拟该江段主要鱼类洄游期4～6月的坝下流场，并根据典型鱼类洄游喜爱流速范围，分析电站最佳机组运行方式及下泄流量分配比例，得出相应洄游月份鱼类喜爱聚集的区域，提出集鱼系统进口位置选择的建议，为集鱼系统布置以及考虑鱼类过坝的生态调度提供科学依据。

2　研究区域概况

以位于长江干流的某高坝工程为对象，该工程以发电为主，同时兼有灌溉、防洪以及拦沙等功能，主要由混凝土重力坝、左岸坝后厂房以及右岸地下厂房所组成。重力坝最大坝高162 m，左右岸厂房各布置4台机组，单机发电流量为800 m^3/s。水库为峡谷型水库，正常蓄水位为380 m，死水位为370 m，上下游水位差约为86 m，调节库容为9.03亿m^3。枯水期12月到次年4月，电站各月的多年平均出力范围约为2153.7～2455.3 MW；5～6月的多年平均出力大于3300 MW。

调查显示，此江段的典型洄游鱼类主要为圆口铜鱼、裂腹鱼以及胭脂鱼等，主要的洄游期为4～6月，适宜鱼类上溯洄游的流速范围约为0.1～0.7 m/s，临界游速为1.0 m/s左右。为弱化工程对此江段洄游鱼类的不利影响，拟建高坝过鱼设施，如升鱼机或集运鱼船等。

3　数值模拟

鱼类行为响应是鱼类对环境变化的外在反应，如游动行为、位置转移的方式等。鱼类行为的产生是外界环境刺激的结果，而洄游鱼类的群集效应则是鱼类对于坝下水力条件的直接反应。集鱼系统进口位置的选择工作，属于水工设施布置范畴，针对坝下近3 km的河道范围开展水力学分析。二维模拟就足以满足本研究的要求，因此采用HEC-RAS软件的二维模块进行坝下流场模拟。HEC-RAS软件是由美国陆军工程兵团（USACE）WES开发的一款适用于一维和二维河道水力计算的软件。HEC-RAS软件二维模块水力控制方程为浅水方程（SWE），其向量表达形式如下：

$$\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{\partial F}{\partial x}+\frac{\partial G}{\partial y}=S \tag{1}$$

$$U=\begin{pmatrix}h\\hu\\hv\end{pmatrix};\ F=\begin{pmatrix}hu\\hu^2+\frac{1}{2}gh^2\\huv\end{pmatrix};\ G=\begin{pmatrix}hv\\huv\\hv^2+\frac{1}{2}gh^2\end{pmatrix};\ S=S_0+S_f=\begin{pmatrix}0\\ghS_{0x}\\ghS_{0y}\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}0\\-ghS_{fx}\\-ghS_{fy}\end{pmatrix} \tag{2}$$

$$S_{0x}=-\frac{Z}{x};\ S_{0y}=-\frac{Z}{y};\ S_{fx}=\frac{n^2u\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}};\ S_{fx}=\frac{n^2v\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}} \tag{3}$$

式中：各向量中，h为水深；u，v分别为x，y方向上的流速分量；S_{0x}，S_{0y}分别为x，y方向上的底坡；S_{fx}，S_{fy}分别为x，y方向上的摩阻坡度；Z为河床高程；n为糙率系数；g为重力加速度。

依据计算目的，并考虑边界条件的确定，计算区域范围涵盖左岸坝后厂房尾水出口、右岸地下厂房尾水出口及其下游2.83 km河长范围内的河道，如图1所示。河道地形数据由实测散点数据后处理而成。

流量和水位分别作为上、下游边界条件。流量为2014～2018年鱼类洄游期(4～6月)各月的多年平均流量(Q)，水位由此工程下游水文站的水位流量关系推求。研究区域内的河床糙率采用0.035。

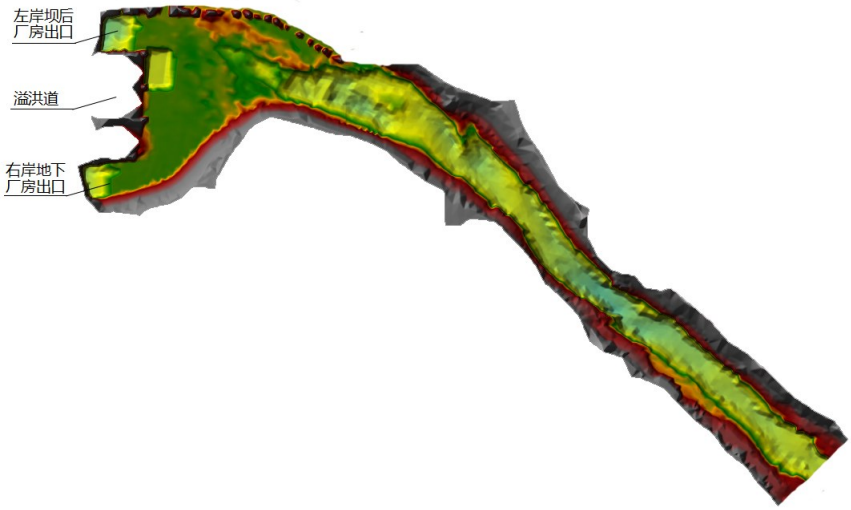


图1　坝下2.83km河道模拟计算区域

为寻求适合的集鱼系统进口位置，针对鱼类主要洄游期(4～6月)不同的发电工况，进行坝下二维流场模拟，工况如表1所示。洄游期的每个月份都分别模拟5种发电工况，其左岸发电机组下泄流量(Q_1)与右岸发电机组下泄流量(Q_2)的比分别为1∶0、0∶1、1∶2、2∶1、1∶1，分别以工况1～5进行编号。

表1　各种工况下左、右岸厂房的流量分配(4～6月)

月份	Q	工况1		工况2		工况3		工况4		工况5	
		$Q1$=Q	$Q2$=0	$Q1$=0	$Q2$=Q	$Q1$=Q	$Q2$=Q	$Q1$=Q	$Q2$=Q	$Q1$=Q	$Q2$=Q
4	2770	2770	0	0	2770	923.33	1846.67	1846.67	923.33	1385	1385
5	2840	2840	0	0	2840	946.67	1893.33	1893.33	946.67	1420	1420
6	4970	4970	0	0	4970	1656.67	3313.33	3313.33	1656.67	2485	2485

4　结果与分析

4.1　坝下河段流场分析　熊锋[18]通过水流诱鱼实验，指出同等条件下水位变化对诱鱼效果影响不大，而流速是诱鱼集鱼的主要影响因素。由于此工程左右岸均有电站厂房，机组不同的运行方式将导致坝下近区流场发生显著变化，从而影响鱼类洄游和群集区域的分布。故本文只关注各个工况下流速场的模拟结果。通过对本工程所处江段典型洄游鱼类栖息地水流环境及游泳能力调查，可知流速0.1～0.7 m/s的水域是鱼类易于上溯和群集区域，集鱼系统进口位置则应在该水域范围内选择。

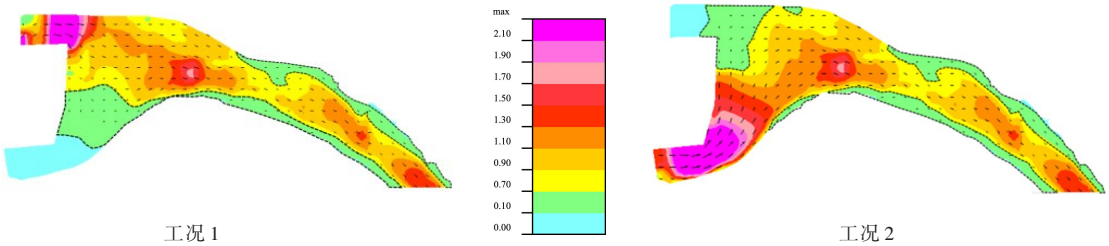
图2给出的是部分工况下的坝下流场计算结果。工况1和工况4条件下的坝下河道流速场分布类

似，其适合鱼类上溯的流速范围主要分布在左右两岸，且相对较长，右岸适宜上溯区域可连续贯通至坝下，而且适合鱼类上溯的水域范围较大，集鱼系统进口可供选择的位置较多；工况2、3、5条件下的坝下河道流场分布类似，适合鱼类上溯的流速范围也主要分布在左右两岸，但相对较短且不连续，可能对鱼类顺利上溯至坝下产生一定不利影响。各工况下4～6月适合鱼类上溯的流速范围占比如图3所示。由图3可见，4月份时，工况1和工况4的占比分别为30.6%和30.1%，工况2、3、5的占比分别为27.7%、27.8%和27.3%；5月份时，工况1和工况4的占比分别为27.3%和30.1%，工况2、3、5的占比分别为25.0%、25.3%和25.5%；6月份时，工况1和工况4的占比分别为16.9%和15.3%，工况2、3、5的占比分别为13.2%、13.6%和13.7%。

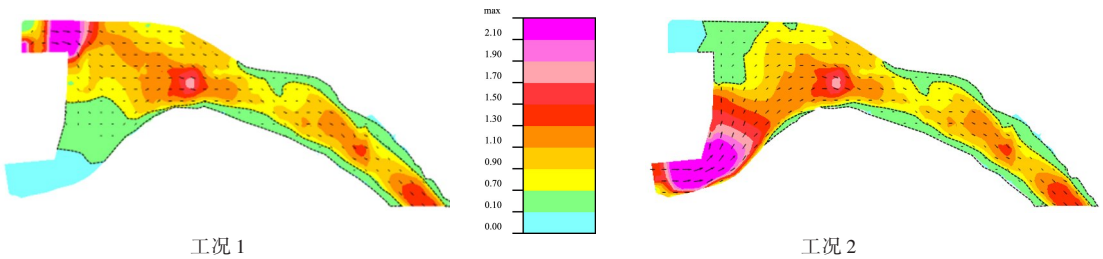
上述结果表明，工况1和工况4(即仅左岸电站机组发电出力，下泄当月流量的全部，右岸电站停发和左岸电站下泄流量与右岸电站下泄流量比例为2∶1两种工况)的坝下2.83 km范围内适宜鱼类上溯区域线路长并能够贯通至坝下右岸，且适合鱼类上溯流速范围占比也是最大的，因此可供集鱼系统进口选择的位置较多。而工况2、3、5条件下，坝下2.83 km范围内适合鱼类上溯流速范围占比相对较小，且适宜鱼类上溯区域线路相对较短且不连续。

综合分析以上5种集鱼工况的坝下流场分布可知，河道主流流速均为1.3 m/s以上，超过了鱼类的临界游泳能力，而河道两岸均存在适合此江段鱼类上溯的区域，即图2中由虚线所围成的带状区域。工况1和工况4条件下，右岸适合鱼类上溯的带状区域可贯通至坝下，但左岸带状区域最上游距离坝下较远，距离坝下约1 km；工况2、3、5条件下，左右岸适于鱼类上溯的带状区域最上游距离坝下较远，分别距离坝下约700 m和1 km。可见左岸下泄流量大于右岸时，坝下形成的流场更有利于鱼类上溯以及群集。此外，同一工况类型下，下泄流量较小的月份，其坝下所形成的适合鱼类上溯的流速范围占比更大。

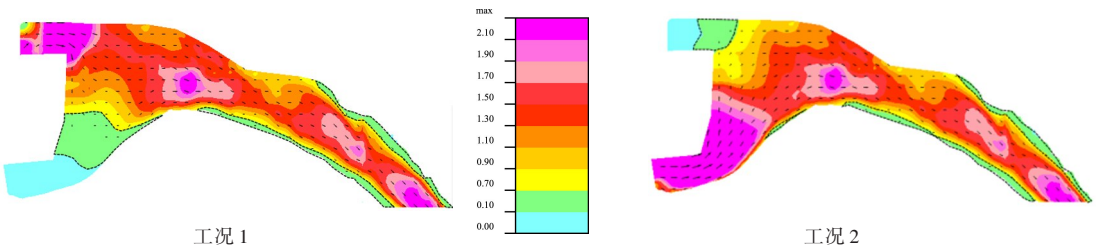
从适合鱼类上溯洄游的角度来看，在4～6月的典型洄游期，电站尽量按照工况1和工况4的方式



(a) 4月坝下流场模拟



(b) 5月坝下流场模拟



(c) 6月坝下流场模拟

图2　工况1和工况2的坝下流场

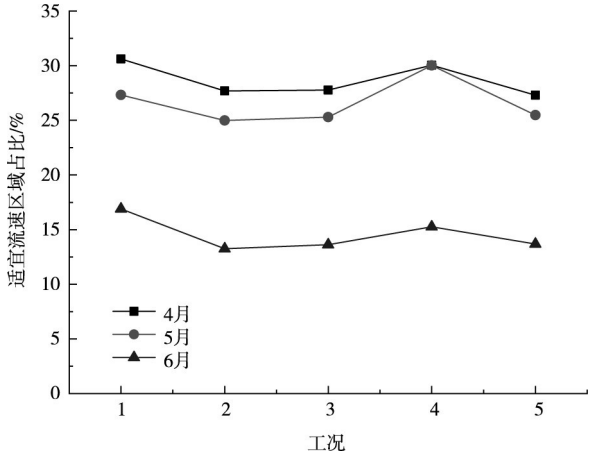


图3　4～6月坝下2.83km范围内适合鱼类上溯流速范围占比

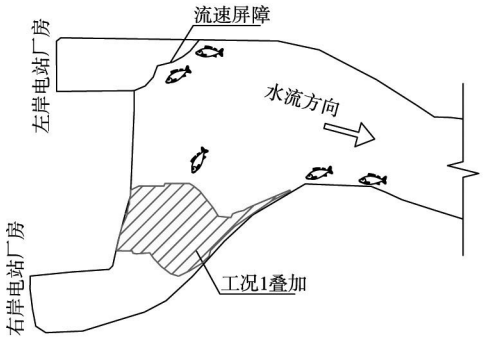
运行，则更利于鱼类上溯至坝前。但是从集鱼系统进口布置的角度来看，则需要综合工况1～5的流场分析结果，选择出适合不同电站运行工况的布置位置，以兼顾不同电站运行条件下的集鱼工作。

4.2　适宜集鱼系统进口位置分析

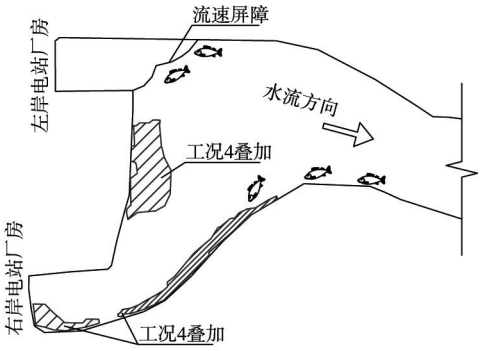
4.2.1　*工况1和4条件下的进口位置选择*　由于河道主流的流速较大，岸边的水流流速较低，洄游鱼类通常选择沿着岸边进行上溯洄游。

集鱼系统进口的布置原则认为其应该尽可能接近鱼类溯河洄游能够到达的最远位置，以减少过鱼设施的工程量。从图2中工况1的流场分布可以看出，左岸适于上溯的带状区域不连续，可能对鱼类顺利上溯至坝下产生一定不利影响，而右岸的区域连续，相比左岸而言，鱼类更容易沿其上溯至更远距离。因此，右岸相比于左岸更适合鱼类上溯，集鱼系统进口更适于布置在坝下右岸。

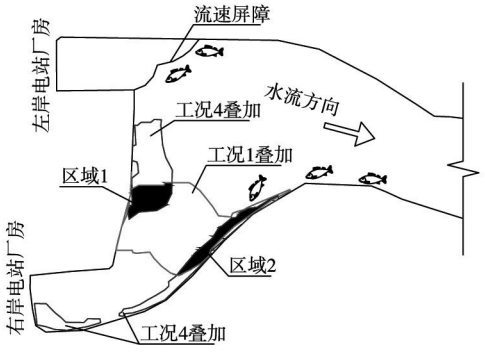
将工况1和工况4坝下流场模拟结果中适合鱼类上溯洄游的流速范围叠加，如图4(a)和图4(b)所



(a) 4～6月工况1叠加



(b) 4～6月工况4叠加



(c) 4～6月工况1和工况4叠加

图4　工况1和4条件下适合集鱼系统进口布置区域平面图

示，图中阴影区域分别为4～6月工况1、工况4下适合鱼类上溯洄游的区域。将上述两个阴影区域再次进行叠加可得到最终适合鱼类上溯的区域，即图4(c)中的区域1和区域2，在该区域内，可以根据工程布置情况，设置升鱼机等高坝过鱼设施的集鱼系统。由于左岸电站厂房尾水区域流速较高，超过了此江段鱼类的临界游泳能力，从而产生了流速屏障。借助于该流速屏障的隔离和导引作用，鱼类会更容易聚集在右岸适于鱼类上溯的流速范围内，从而起到较好的集诱鱼效果。

4.2.2　工况2、3、5条件下的进口位置选择　工况2、3、5条件下的鱼类适宜上溯区域占比较小，其坝下河道两岸适于鱼类上溯的区域均不再连续且显著缩小。图5(a)—(c)中的阴影区域分别为4～6月工况2、工况3、工况5下适合鱼类上溯洄游的区域。将上述阴影区域进行叠加，可得到工况2、3、5下适合鱼类上溯的区域，即图5(d)中的区域3和区域4。由图5(d)可见，适于鱼类上溯区域均位于坝下稍远地带，两区域分别距离坝下700 m、1 km左右，可在该区域内设置升鱼机等高坝过鱼设施的集鱼系统，也可以在该区域内设置集运鱼船，来解决工况2、3、5条件下的鱼类过坝问题。

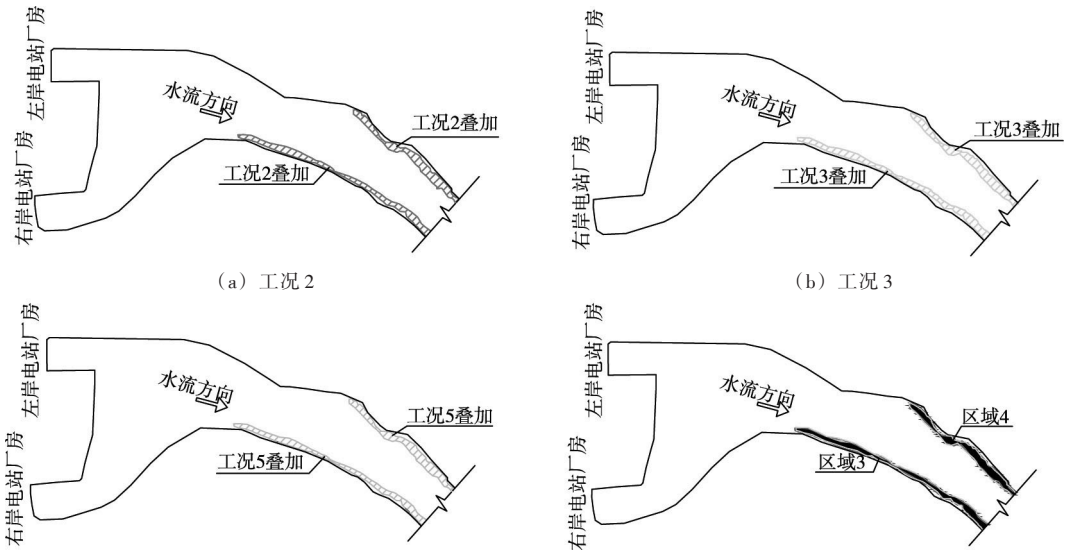


图5　工况2、3、5条件下适合集鱼系统进口布置区域平面图

由上述分析可知，工况1和4条件下右岸更适合鱼类进行上溯洄游，因此高坝过鱼设施(如升鱼机)的集鱼系统进口更适合设置在靠近坝下的区域1和区域2内。在工况2、3、5条件下，在距离坝下稍远的区域3和区域4内可布置集鱼系统进口或集运鱼船。按照上述布置方案，在工况1和4条件下，可开启区域1内集鱼系统进口，也可同时启动区域3和区域4内集鱼系统进口及集运鱼船；在工况2、3、5条件下，只开启区域3和区域4内集鱼系统进口。

此外，区域1内的流速范围较小，约为0.1 m/s，如果集鱼系统进口的下泄水流的流速也较低，则鱼类可能被流速较大的河道主流或尾水吸引而难以发现集鱼系统进口。因此，除了为集鱼系统进口选择适合的布置位置外，为集鱼系统设置诱鱼水流也是提高鱼类进入集鱼系统效率的重要措施。

5　结论

本文以某高坝工程为例，使用HEC-RAS软件二维模块，针对主要洄游期4～6月份坝下2.83 km范围河道，开展了平面二维流场模拟，结合此江段主要洄游鱼类的喜爱上溯流速范围，分析了洄游期不同发电工况下适合鱼类上溯和群集的水域范围，提出适合鱼类上溯的电站流量分配方式以及过鱼设施集鱼系统进口和集鱼船的布置建议。主要结论如下：

(1)从鱼类洄游角度考虑，左、右岸电站厂房的下泄流量存在最优分配方式，分别为左岸电站下泄流量为当月下泄流量的全部，右岸电站关机和左岸电站与右岸电站下泄流量比为2:1。在这两种流量分配方式下，适合鱼类上溯的流速范围占比较大，且右岸附近适合鱼类上溯洄游区域可贯通至坝下，可供选择集鱼系统进口位置的范围较大。

(2)工况1和4条件下，左岸适于洄游的带状区域不连续，可能对鱼类顺利上溯至坝下产生一定不利影响，而右岸的区域连续，鱼类可以较为容易的沿其上溯至更远距离。右岸相比于左岸更适合鱼类上溯洄游，集鱼系统进口应在坝下右岸布置。工况2、3、5条件下，适于鱼类上溯区域均位于坝下稍远地带，可以在该区域设置集鱼系统进口或者集运鱼船，来解决鱼类过坝问题。

(3)按照上述布置方案，工况1和4条件下，可开启区域1和区域2内集鱼系统进口，以及区域3和区域4内集鱼系统进口及集运鱼船。工况2、3、5条件下，只开启区域3和区域4内集鱼系统进口。

参　考　文　献：

[1] BATES K, WHILEY A J. Fishway Guidelines for Washington State: Draft[M]. Washington Department of Fish and Wildlife, 2000.

[2] ZHENG J X, HAN D J, HU W B, et al. Fish swimming performance related to fishway design[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3(5): 104-110.

[3] PEAKE S, MCKINLEY R S, SCRUTON D A. Swimming performance of various freshwater Newfoundland salmonids relative to habitat selection and fishway design[J]. Journal of Fish Biology, 1997, 51(4): 710-723.

[4] 石小涛，陈求稳，黄应平，等. 鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法[J]. 生态学报，2011，31(22):6967-6972.

[5] MU X, ZHEN W, LI X, et al. A study of the impact of different flow velocities and light colors at the entrance of a fish collection system on the upstream swimming behavior of Juvenile Grass Carp[J]. Water, 2019, 11(2): 322.

[6] 王猛，马卫忠，赵谊，等. 集运鱼系统发展及相关技术问题探讨[J]. 水力发电，2017，43(2)：6-9.

[7] 我院参加330工程运集鱼船试验站工作取得成果[Z]. 武汉水利电力学院学报，1979(2)：108.

[8] JAMES A C. Feasibility of Reintroduction of Anadromous Fish Above or Within the Hells Canyon Complex[M]. Idaho: Idaho Power Company, 2001: 3-5, 17.

[9] 郭坚，童碧云，王旭航，等. 集鱼船在水电工程应用的问题与建议[J]. 水力发电，2017，43(5)：1-4.

[10] RAYMOND, HOWARD L. Effects of dams and impoundments on migrations of Juvenile Chinook Salmon and Steelhead from the Snake River, 1966 to 1975[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1979, 108(6): 505-529.

[11] 吴天祥. 冲乎尔水电站集运鱼系统设计方案及实施[J]. 广西水利水电，2016(2)：88-89，92.

[12] WILLIAMS J G, ARMSTRONG G, KATOPODIS C, et al. Thinking like a fish: a key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions[J]. River Research & Applications, 2012, 28(4): 407-417.

[13] 曹庆磊，杨文俊，周良景. 国内外过鱼设施研究综述[J]. 长江科学院院报，2010，27(5)：39-43.

[14] 刘浩，臧海燕，王兴隆，等.丰满大坝过鱼设施金属结构设备布置与设计[J]. 东北水利水电，2019，37(10)：7-9，16.

[15] OLDANI N O, BAIGÚN C R M. Performance of a fishway system in a major South American dam on the Parana River (Argentina-Paraguay)[J]. River Research & Applications, 2002, 18(2): 171-183.

[16] 史斌，王斌，徐岗，等. 浙江楠溪江拦河闸鱼道进口布置优化研究[J]. 人民长江，2011，42(1)：69-71.

[17] BUNT C M. Fishway entrance modifications enhance fish attraction[J]. Fisheries Management & Ecology, 2010, 8(2): 95-105.

[18] 熊锋. 增强船闸过鱼能力的水流诱鱼试验研究及数值模拟[D]. 宜昌：三峡大学，2015.

Study on the optimal positioning of fish collection system based on numerical simulation of reservoir downstream

ZHEN Wanyue, WANG Xiaosong, MU Xiangpeng, CAO Ping

(*Department of Hydraulics, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing* 100038, *China*)

Abstract: The suitable design of the entrance position of fish collection system can gurantee that the fish finds and enters into the fish collection system, which is crucial to the function implementation fishpass facility. For guiding the optimal layout of the entrance location of the fish collection system, a hydropower project in the Yangtze River Basin was taken as an example, and 2-D numerical simulation was carried out for the flow field within 2.83km of the tailrace channel. Taking the preference range of the upstream migration velocity of local fish as an indicator, the area suitable for fish upstream under different power generation conditions was analyzed, and the suitable layout area of entrance was given for different power generation conditions, which can provide a basis for the arrangement of fish collection system of fishpass facility. The results show that when the discharge ratio under the power plant on the left and right bank is 1:0 and 2:1, the proportion of the simulated area suitable for fish upstream migration is larger. In these two cases, the entrance of the fish collection system should be arranged near the mainstem of the river to the right bank. In other cases, it is difficult for fish to reach the dam in suitable zone, and the entrance of the fish collection system or the fish barging shall be arranged in the far area of reservoir downstream to ensure the fish collection fulfillment.

Keywords: flow field of reservoir downstream; fish collection system; numerical simulation; migration; preference velocity

（责任编辑：李福田）

论文摘要编写要点

1.摘要是论文内容不加注释和评论的简短陈述，应包含正文的要点，具有独立性和自含性，让读者不阅读全文就能了解论文的基本内容，以判断有无必要阅读全文，也可供二次文摘采用。

2.摘要应说明研究工作的目的、方法与手段、结果和结论，要尽量简短，尽可能省略课题的背景信息。

3.摘要中的内容应在正文中出现，不能对正文进行补充和修改。

4.摘要中不用图、表、非公用共知的符号和术语，不能引用文献；缩写名称在第一次出现时要有全称（包括中文和英文）。

5.摘要中不要多列数据，出现的应该是最重要的、最关键数据。

6.中文摘要一般200字左右，中英文摘要应基本对照，不能因为某些内容不好翻译就略去。

7.关键词是为了文献标引工作，是从论文中选取出来用以表示全文主题内容信息的单词或术语，一般为3~8个词，尽量用规范词。

《中国水利水电科学研究院学报》编辑部