

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220885

异侧竖缝式鱼道水力特性的数值模拟

李 洋¹, 韩 雷¹, 田振华¹, 狄高健¹, 李树航¹, 叶昆河²

(1. 黑龙江省水利科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 100050; 2. 黑龙江大学水利电力学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 竖缝式鱼道因其能够适应不同水位变化、消能效果明显、水流流态稳定等特点而逐渐引起水利工程界的重视。通过数值模拟的方法探究了池室长宽比对异侧竖缝式鱼道水力特性的影响, 结果表明, 池室长宽比的变化对单位体积耗散率影响较小; 主流区沿程衰减率先随池室长宽比的增大而增大, 后保持不变。池室长宽比越大, 池室内最大流速越靠近竖缝处; 不同池室长宽比, 池室主流流速与池室最大流速(主流流速沿程变化最大值)比值在一定范围内。池室长宽比 L/B 在 1.00~1.13 之间, 可在鱼道主流区内获得较好的水流流态、较大的回流区及较好的消能效果, 有利于研究区内鱼类的洄游。

关键词: 池室长宽比; 异侧式; 竖缝鱼道; 水力特性

中图分类号: TV131.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)03-0103-05

1 引言

在水利工程建设过程中, 由于人为截断水流, 迫使具有洄游习性的鱼类无法洄游繁衍, 导致鱼类减少甚至灭绝^[1], 因而建立一些过鱼工程帮助鱼类洄游繁衍十分必要。过鱼设施包括鱼闸、升鱼机、集运渔船和鱼道, 目前应用最广的过鱼工程是鱼道, 按照形式可分为槽式鱼道、池室鱼道和特殊形态的鱼道, 池室鱼道主要包括溢流堰式、竖缝式、底孔式^[2,3], 其中竖缝式鱼道能够适用于不同的水位变化, 具有流速、紊动能变化较小的特点, 适用于大多数鱼类洄游^[4,5]。目前, 关于竖缝式鱼道的研究成果较丰富, 但多为同侧竖缝式鱼道, 而关于异侧竖缝式鱼道在整体结构设计和细节优化上的研究较少, 关于实际鱼道工程运用的研究更少。现有关于异侧竖缝式鱼道的研究, 在进行模型试验时, 并未考虑具体区域鱼类的极限流速, 从而针对具体鱼类提出适宜的参数范围。鉴于此, 本文充分考虑具体区域的鱼类极限流速, 通过数值模拟的方法研究池室长宽比对异侧竖缝式鱼道水流结构的影响, 定量分析主流流速沿程轨迹线、主流流速沿程衰减规律、竖缝附近最大流速、回流区分布规律, 给出适合研究区域内的四大家鱼上溯的池室长宽比, 并与已有研究结果进行优劣比

较, 以为鱼道设计提供参考依据。

2 鱼道结构

国内某水利工程设计鱼道总长为 212.00 m, 坡比 $i=1:70$, 为便于计算分析, 以其中 42.00 m 长的鱼道为例进行分析研究。考虑到工程所在区域的鱼类以四大家鱼为主, 感应流速为 0.20 m/s, 极限流速为 1.20 m/s, 因而设计流速采用 1.20 m/s。由文献[6]可知, 当竖缝宽度 b 与池室宽度 B 之比为 0.15~0.20 之间时, 鱼道池室内可获得较为理想的水流流态, 竖缝宽度 $b=0.46$ m, 池室宽度 $B=3.00$ m, $b/B=0.153$ 。长隔板长 2.00 m, 横向导板长 1.00 m, 竖缝相对位置(竖缝中心与较近一侧池室边壁距离与池室宽度 B 的比值)为 0.29。隔板和导板厚均为 0.30 m。以池室长度 L 为研究变量, 其变化范围在 2.00~6.00 m 之间, 每增加 0.10 m 为新的池室长度, 共选取 41 种不同池室长度进行研究, 对应的池室长宽比 L/B 范围为 0.67~2.00, 具体尺寸见图 1。

3 数学模型建立

3.1 网格剖分及边界条件

采用边长为 0.05 m 的规则六面体划分网

收稿日期: 2022-04-30, 修回日期: 2022-06-06

基金项目: 黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2020E117)

作者简介: 李洋(1990-), 男, 工程师, 研究方向为水力学及河流动力学, E-mail: 1562269294@qq.com

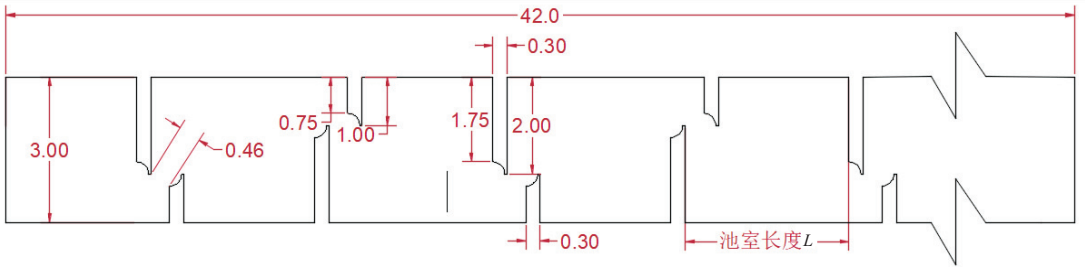


图 1 鱼道尺寸布置(单位:m)

Fig. 1 Fishway layout

格,其中节点 396 120 个,网格 360 267 个。具体剖分情况见图 2。

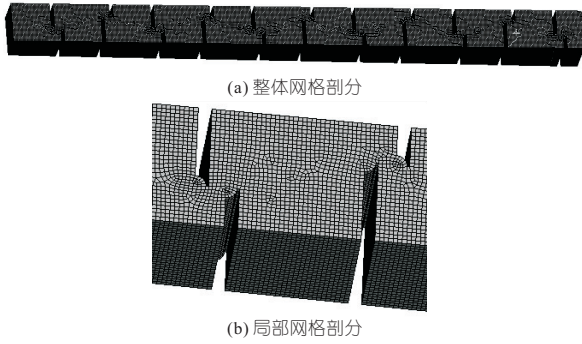


图 2 鱼道网格剖分
Fig. 2 Fishway mesh generation

进口采用流量为边界条件,流量为 0.98 m³/s;出口采用水深为边界条件且设置为压力出口,水深为 2.00 m;边墙及底部设置为无滑移固壁边界。追踪自由液体表面采用 VOF 方法,通过计算水和气的体积分数来表征物体的形态,其控制方程为:

$$a_w + a_a = 1 \quad (1)$$

$$\frac{\partial a_w}{\partial t} + u_i \frac{\partial a_w}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

式中, a_w 为水的体积分数; a_a 为气体的体积分数; t 为时间; u_i 为 i 方向流速; x_i 为 i 方向的坐标。

3.2 基本控制方程

鱼道采用专业软件 Fluent 标准模型并耦合 VOF 模块对水流自由表面进行捕捉^[4,6];其中三维水流模型的控制方程如下。

连续方程为:

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

动量方程为:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu + \mu_t}{\rho} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + g_i \quad (4)$$

κ - ϵ 紊流模型方程为:

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\kappa u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \right) \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right] + G_\kappa - \rho\epsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho\epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\epsilon} G_\kappa}{\kappa} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{\kappa} \quad (6)$$

紊动能 G_κ 为:

$$G_\kappa = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

紊动黏性系数 μ_t 为:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{\kappa^2}{\epsilon} \quad (8)$$

式中, ρ 为水的密度; u_i 、 u_j 均为流速分量; x_i 、 x_j 均为坐标分量; p 为压力; μ 、 μ_t 分别为分子黏性系数和紊动黏性系数; g_i 为重力加速度在 i 方向的分量; κ 为紊动能; ϵ 为紊动能耗散率; G_κ 为平均速度梯度引起的紊动能产生项; $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 、 C_μ 均为模型参数,分别取为 1.44、1.92、1.30。

迭代计算的各项残差值均为 10^{-5} ,时间步长设置 0.01 s。

3.3 模型验证

为验证数学模型参数设置的合理性和网格剖分的正确性,以有机玻璃为材料,制作 10 组比尺为 1:5 的隔板物理模型。其糙率为 0.009(对应原型糙率为 0.012),与实际混凝土工程糙率略有不同。考虑到鱼道中竖缝附近流速最大,水头损失较大,池室边壁影响较小,可忽略糙率不同带来的影响。以第 4、5 个隔板之间的池室左下角为原点,选取沿着水流方向距离原点 0.90 m 处为测量断面,在断面上等距离选取 21 个点(测量流速位置对应原型水面以下 0.10 m 处)测量流速(流速通过无线旋浆流速仪测定),具体测点布置见图 3,对比物理模型实际测量结果与数值模拟结果可知,选取断面 21 个测量点流速拟合误差在 0.92%~8.30% 范围内,说明数值模拟参数设置正确,网格剖分合理。在此基础上,对 41 种长宽比的鱼道进行数值模拟计算,为简洁起见,本文只

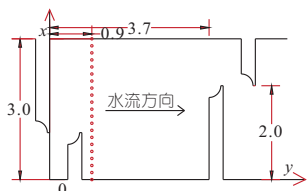


图 3 测点分布(单位:m)

Fig. 3 Distribution of measuring point

选取具有代表性的模拟结果进行分析说明。

4 池室水力特性分析

4.1 池室流态分析

竖缝式鱼道池室内存在两种流态,即由于竖缝射流而出现的位于池室中间位置的主流区流态和主流区两侧的回流区流态,两侧回流区流速方向与主流区流速方向相反,主流区是鱼类在上溯过程中的主要通道,因而主流弯曲程度对鱼类的洄游影响较大。根据计算结果(图 4),当 $L/B \leq 0.97$ 时(L 为池室长, B 为池室宽),相邻池室主流区流态衔接处弯曲程度较大,曲率半径较小,扭曲明显,在隔板竖缝处的主流方向变化剧烈,单个池室主流区流态呈一斜线型,相邻池室流区流态呈现 Z 型。主要是因为池室长宽比较小时,竖缝射流并未在池室中充分消散便迅速进入下一竖缝。当 $L/B > 0.97$ 时,单个池室主流区流态呈半抛物线型,相邻池室呈现 S 型,池室长宽比(L/B)越大,S 型越明显,这与文献[2]的结论一致;当 $L/B \geq 1.13$ 时,主流区出现贴壁流现象,鱼类在上溯过程中会受伤,因而在设计时池室长宽比 L/B 宜小于 1.13。从相邻池室主流区衔接处弯曲程度及避免出现贴壁流现象,在设计过程中,池

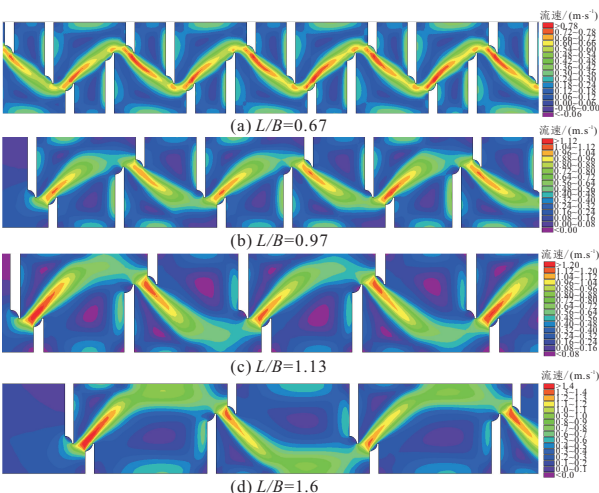


图 4 不同池室长宽比下流速分布图

Fig. 4 Velocity distribution under different chamber length width ratio

室长宽比 L/B 宜在 0.97~1.13 之间。

4.2 池室最大流速分布与流速沿程衰减规律

池室最大流速是决定过鱼效果的关键参数之一,通常出现在竖缝附近(图 3),其不能超过鱼类的极限流速^[7],具体位置和大小取决于池室结构设计。池室的最大流速也影响鱼道消能效果,消能效果通常以单位水体消能率 E 作为衡量指标^[6]:

$$E = \rho b \bar{U}^3 / [2B(L - d)\varphi^3] \quad (9)$$

式中, ρ 为水密度,取为 $1\,000\text{ kg/m}^3$; b 为竖缝宽度,取为 0.46 m ; \bar{U} 为各池室最大流速平均值; B 为池室宽度,取为 3.00 m ; L 为池室长度,根据池室长宽比确定; d 为隔板厚度,取为 0.30 m ; φ 为流速系数,取为 0.80 。

图 5 为不同池室长宽比最大流速与单位水体消能率变化规律。由图 5(a)可知,池室最大流速随着池室长宽比的增大而增大,当 $0.67 \leq L/B \leq 1.23$ 时,流速增长较快,池室长宽比每增大 0.10,最大流速增加 0.086 m/s ; 当 $1.23 < L/B \leq 2.00$ 时,流速增长较慢,池室长宽比每增大 0.10,最大流速仅增加 0.017 m/s 。由图 5(b)可知,单位水体消能率随着池室长宽比的增大先增后减,在池室长宽比 $L/B = 1.23$ 时,单位水体消能率最大。主要是因为当 $L/B \leq 1.23$ 时,虽然池室长度逐渐增大,但池室最大流速增加更快; 当 $L/B > 1.23$ 时,池室长度逐渐增大,但主流区水体与池室边壁接触,出现了贴壁流现象,消能效果较好,因而池室最大流速增加较慢,单位水体消能率逐渐减小。

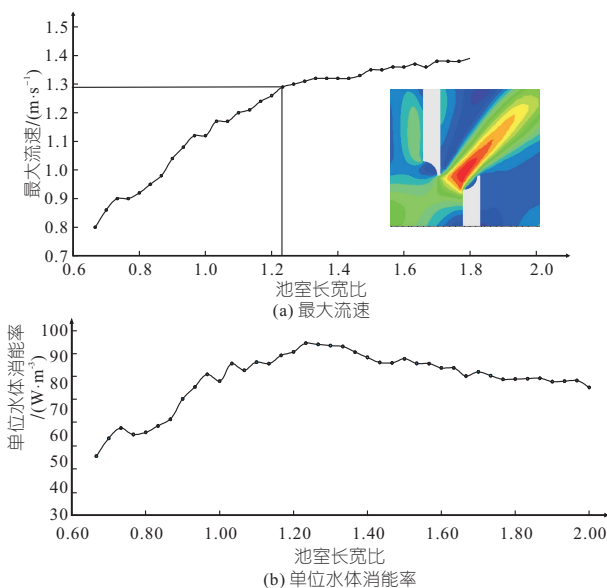


图 5 不同池室长宽比最大流速变化和单位水体消能率
Fig. 5 Maximum velocity variation and energy dissipation rate per unit water body in different length width ratios

分析不同池室长宽比下的主流区流速沿程衰

减率 $(1-U_{\min}/U_{\max})$,具体变化规律见表 1,其中 U_{\min} 为池室主流流速沿程变化的波谷值, U_{\max} 为池室主流流速沿程变化的波峰值^[8]。由表 1 可知,当 $L/B < 1.00$ 时,主流区流速沿程衰减率随池室长宽比的增大而增大;当 $L/B \geq 1.00$ 时,衰减率基本保持不变。主要是因为池室长宽比较小时,竖缝射流未与池室水体充分扩散便迅速进入下一竖缝,使得流速降低较小;池室长宽比较大时,竖缝射流与池室水体较充分混合,使得流速在池室中央明显降低。

表 1 主流区最大流速沿程衰减率

Tab.1 Maximum velocity attenuation ratio along the main flow area

池室长宽比	$(1-U_{\min}/U_{\max})$	池室长宽比	$(1-U_{\min}/U_{\max})$
0.67	0.24	0.90	0.46
0.70	0.29	0.93	0.49
0.73	0.34	0.97	0.51
0.77	0.36	1.00	0.54
0.80	0.38	1.03	0.54
0.83	0.41	1.07	0.54
0.87	0.43		

注:池室长宽比 $L/B \geq 1.0$ 后,沿程衰减率不再变化,因而后面部分未列出。

本次设计流速为 1.20 m/s,因而池室内最大流速不宜大于 1.20 m/s,即池室长宽比 L/B 宜小于 1.13;考虑到主流流速沿程衰减率,池室长宽比 L/B 不宜小于 1.00;随着池室长宽比的变化,单位水体消能率先增大再减小,但均小于 100 W/m^3 ,可忽略其对池室水力特性的影响。

4.3 主流流速沿程变化与主流轨迹

以上游隔板与右侧池室边界交点为原点,在不同池室长宽比下,垂直水流方向上每隔 0.1 m 选取一个横断面,每个断面选取 40 个等距离的点进行流速分析,对每个断面的最大流速进行连接,即得到主流流速沿程变化曲线,见图 6(a);对每个断面的最大流速的位置进行连接,即得到主流轨迹线,见图 6(b)。

由图 6(a)可知:①不同池室长宽比,主流流速沿程变化曲线略有不同,当 $L/B < 1.17$ 时,主流流速先增大,后逐渐降低,即将进入下一竖缝时,流速快速增加,即出现一次波峰和一次波谷;当 $L/B \geq 1.17$ 时,主流流速先增大,后逐渐降低,距离选取原点 2 m 处,主流流速出现第一次波谷,随后主流流速又开始增加,并再次减小且出现第二次波谷,在进入下一竖缝前迅速增加,即出现两次波峰和两次波谷。与第一次出现的波谷相比,第二次出现的波谷流更小,这与董志勇等^[2]在 $L/B = 1.50$ 时,前半池主流流速逐渐减小,后半

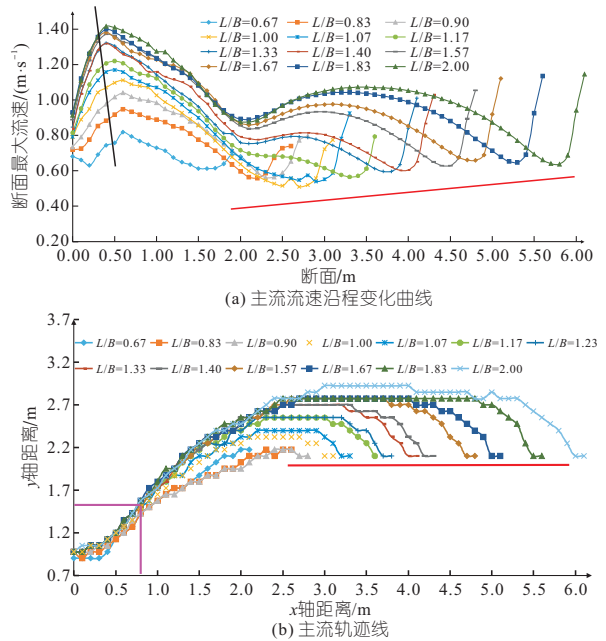


图 6 主流流速沿程变化曲线和主流轨迹线

Fig.6 Variation curve of main flow velocity and main flow trajectory

池主流流速逐渐增加不同,主要是因为本文鱼道设计时增设了横向隔板,主流区又出现了较大范围贴壁流现象。主流刚贴壁时,流速便出现第一次波谷,贴壁中间位置流速出现波峰,之后水流到达下一竖缝前,逐渐降低,使得池室主流流速整体发生改变。②随着池室长宽比的增大,池室主流流速波峰处流速先明显增加后趋于不变,波谷流速先缓慢增加后趋于不变(保持在 0.64 m/s 左右,见图 6(a)中右侧斜线部分),这与同侧竖缝式鱼道得到的逐步减小趋势^[9]相反。③池室最大流速并未出现在竖缝处,而是偏下游一些,这与文献^[10]结论一致,因而池室最大流速要比竖缝处流速略大,且池室长宽比越大,池室最大流速(池室主流流速沿程最大值)位置越靠近竖缝处,主要是池室长宽比越大,进入下一竖缝前水流越平稳,进入竖缝时流速迅速增加,因而位置靠近竖缝处。④池室主流流速与池室最大流速比值均在 0.55~1.00 之间,因此测量出竖缝附近池室最大流速,便知道主流流速沿程分布情况,进而确定主流流速是否符合鱼类上溯。

由图 6(b)可知:①沿着水流方向距离原点 0.80 m 范围内,不同池室长宽比,池室最大流速的位置基本不变,超出该范围,池室长宽比越大,最大流速的位置越偏离水流入口边壁(即 x 轴)。主要是因为距离竖缝较近时,竖缝位置射流效果相同,但当距离竖缝越远,竖缝射流作用越弱,随着池室长宽比的增加,池室后半程越远离竖缝,因而主流不会迅速进入下一竖缝,而是在池室内充

分扩散。②当 $L/B=0.90$ 时,主流轨迹出现平行于池室边壁的情况,随着池室长宽比的增加,主流轨迹随之延长,流速轨迹越向水流入口对面池室边壁靠拢。主流轨迹平行池室边壁部分的长度随着池室长宽比的增加而增加, L/B 从 0.90 增至 2.00 时,平行池室边壁部分的长度由 0.60 m 增加到 2.70 m。分析可知,当 $L/B \geq 1.13$,主流区出现贴壁流现象,平行池室边壁的主流轨迹越长,鱼类在上溯过程中受伤的概率越大。

4.4 回流区水力特性分析

回流区的面积分布、最大流速分布影响着鱼类的短暂休息和上溯效果^[7],因此有必要分析回流区的水力特性。表 2(表 2 中, $A_{左}$ 、 $A_{右}$ 分别为左、右侧回流区面积; $V_{左}$ 、 $V_{右}$ 分别为左、右侧回流区最大流速)为不同池室长宽比两侧回流区分布规律和最大流速分布规律。由图 4、表 2 可知:①池室内部存在两个回流区,即靠近上游隔板回流区(简称左侧回流区)和靠近下游隔板回流区(简称右侧回流区)。随着 L/B 的增大,左侧回流区面积($A_{左}$)逐渐减小,右侧回流区面积($A_{右}$)逐渐增大,当 $L/B=0.93$ 时,两侧回流区大小相当。②对于不同池室长宽比,其左右两侧回流区的最大流速都在逐渐增大,左侧回流区最大流速($V_{左}$)为 0.27 m/s,右侧回流区最大流速($V_{右}$)为 0.38 m/s。

表 2 不同池室长宽比的回流区参数

Tab.2 Reflux zone parameters of different cell length width ratio

池室长宽比(L/B)	$A_{左} / m^2$	$V_{左} / (m \cdot s^{-1})$	$A_{右} / m^2$	$V_{右} / (m \cdot s^{-1})$	$A_{左} / A_{右}$
0.67	2.55	0.17	1.19	0.23	2.14
0.73	2.45	0.19	1.43	0.20	1.71
0.77	2.48	0.22	1.61	0.16	1.54
0.80	2.51	0.22	1.83	0.25	1.37
0.87	2.57	0.23	2.01	0.22	1.28
0.93	2.48	0.26	2.43	0.24	1.02
1.00	2.13	0.23	3.10	0.22	0.69
1.07	1.73	0.24	3.59	0.27	0.48
1.13	1.73	0.27	4.16	0.34	0.42
1.20	1.63	0.30	4.56	0.36	0.36
1.27	1.65	0.27	5.02	0.36	0.33
1.33	1.42	0.24	5.06	0.36	0.28
1.40	1.45	0.26	5.42	0.36	0.27
1.47	1.47	0.25	5.60	0.37	0.26
1.53	1.43	0.25	6.13	0.36	0.23
1.60	1.43	0.23	6.47	0.36	0.22
1.67	1.38	0.23	6.88	0.37	0.20
1.73	1.38	0.25	7.45	0.37	0.19
1.80	1.39	0.26	7.94	0.37	0.18
1.87	1.35	0.27	8.05	0.37	0.17
1.93	1.60	0.26	9.21	0.37	0.17
2.00	1.52	0.27	9.26	0.38	0.16

一般两侧回流区面积相差不大,鱼类可在两侧回流区内休息^[7],考虑到回流区流速不能超过鱼类的感应流速,否则鱼类难以持续上溯,池室长宽比 L/B 宜小于 1.13。

5 结论

a. 不同池室长宽比下,单位水体消能率均较小;池室长宽比越大,池室内最大流速越靠近竖缝处;主流流速沿程与池室最大流速(主流流速沿程最大值)的比值均在 0.55~1 之间。

b. 当 $0.97 < L/B < 1.13$ 时,竖缝两侧相邻池室主流区流态衔接处弯曲程度较小,且不会出现主流贴壁现象;当 $1.0 \leq L/B < 1.13$ 时,主流流速沿程衰减率最大,且池室最大流速小于设计流速。

c. 综合考虑,当 $1.0 \leq L/B < 1.13$ 时,最适合研究区内鱼类上溯洄游,这与同侧竖缝式鱼道池室长宽比 L/B 宜在 1.0~1.31 范围内可获得良好的流态有一定差异。

参考文献:

[1] 王珪,杨文俊,陈辉.生态水工建筑物——鱼道的建设及研究进展[J].人民长江,2013,44(9):88-92.

[2] 董志勇,冯玉平,ALAN ERVINE.异侧竖缝式鱼道水力特性及放鱼试验研究[J].水力发电学报,2008,27(6):126-130.

[3] 董志勇,江录兵,毛斌,等.异侧布置竖缝式鱼道紊流结构试验研究[J].水生生态学杂志,2021,42(1):129-136.

[4] 张国强,孙双科.竖缝宽度对竖缝式鱼道水流结构的影响[J].水力发电学报,2012,31(1):151-156.

[5] RAJARATNAM N, KATOPPODIS C, SOLANKI S. New designs for vertical slot fishways[J]. Canadian journal of civil engineering, 1992, 19: 402-414.

[6] 张羽,张凌峰,杜庆君,等.异侧竖缝宽度对鱼道水流结构的影响研究[J].水力发电,2020,46(9):37-42.

[7] 赵彬如,戴会超,戎贵文,等.竖缝位置对竖缝式鱼道水力特性的影响[J].水利水电科技进展,2017,37(5):69-73,83.

[8] 李秀萍,周济人,傅朝康,等.竖缝宽度对双侧竖缝式鱼道水力特性的影响研究[J].中国农村水利水电,2020(6):188-192.

[9] 徐体兵,孙双科.竖缝式鱼道水流结构的数值模拟[J].水利学报,2009,40(11):1386-1391.

[10] 曹庆磊,杨文俊,陈辉.异侧竖缝式鱼道水力特性试验研究[J].河海大学学报(自然科学版),2010,38(6):698-703.

由表 3 可知,各模型下预测值与实际值之间误差均相对较小,表明机器学习算法应用于水库排沙预测有效,在一定程度上可实现综合考虑不同影响因素的水库排沙预测。其中,RF 算法模型的平均绝对误差 M_{MAE} 为 2.974,均方根误差 R_{RMSE} 为 4.886 均最小,同时结合其决定系数 R^2 最高,表明针对万家寨水库排沙预测过程,在现有数据条件下,RF 算法模型预测精度优于其他三种算法模型。

4 结 论

a. 利用万家寨水沙系列数据,基于不同机器学习算法,建立综合考虑入库流量、入库含沙量、出库流量、坝前水位、坝前水位差、累计淤积量影响的水库排沙预测模型。

b. 不同机器学习算法模型得到的预测出库含沙量与实际出库含沙量的分布情况基本一致,预测出库含沙量与实际出库含沙量之间相关性良

好,各模型决定系数 R^2 均在 0.88 以上。

c. 基于 RF 算法所建立模型决定系数 R^2 最高为 0.9349,且平均绝对误差 M_{MAE} 为 2.974,均方根误差 R_{RMSE} 为 4.886 均最小,表明相对于其他模型,RF 算法模型在水库排沙预测方面具有更高的准确性和精度。

参 考 文 献:

[1] 王梦雅,刘丽冰,熊桂龙,等. 面向袋式除尘器的大数据挖掘 XGBoost 优化算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(7): 159-167.

[2] 周鑫,谢晖,付山,等. 基于 KNN 算法的中心带孔圆板拉深—翻孔变形方式的研究[J]. 锻压技术, 2021, 46(7): 53-59.

[3] 刘泉声,王栋,朱元广,等. 支持向量回归算法在地应力场反演中的应用[J]. 岩土力学, 2020, 41(增刊 1): 319-328.

[4] 吴芳,李映雪,张缘园,等. 基于机器学习算法的冬小麦不同生育时期生物量高光谱估算[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(2): 217-224.

Research on Sand Discharge Prediction of Wanjiashai Reservoir Based on Machine Learning Algorithms

YAN Xiao-fei^{1,2}, GUO Xiu-ji^{1,2}, SUN Long-fei^{1,2}

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China;
2. Key Laboratory of Lower Yellow River Channel and Estuary Regulation, MWR, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In order to overcome the difficult problem of establishing multi-factor and non-linear complex relationship of reservoir sand discharge and achieve its accurate prediction, four machine learning algorithms including XGBoost, KNN, SVR and RF were used to predict and analyze the sand content of reservoir outflow based on the series data of Wanjiashai reservoir from 2002 to 2020, respectively. The results show that the use of machine learning algorithms can effectively realize the reservoir discharge prediction considering different influencing factors. The applicability of different machine learning algorithms in reservoir discharge prediction varies. In comparison, the highest coefficient of determination R^2 of the reservoir discharge prediction model based on RF algorithm is 0.9349, and the corresponding average absolute error and root mean square error are the smallest, which are 2.974 and 4.886, respectively. The prediction effect of the RF algorithm is better than the other three algorithms. The proposed method can provide a theoretical basis for accurate prediction of reservoir sand discharge and optimization of scheduling scheme.

Key words: reservoir sand discharge; sand content; machine learning algorithm; prediction model

(上接第 107 页)

Numerical Simulation of Hydraulic Characteristics of Different Side Vertical Seam Fishway

LI Yang¹, HAN Lei¹, TIAN Zhen-hua¹, DI Gao-jian¹, LI Shu-hang¹, YE Kun-he²

(1. Heilongjiang Province Hydraulic Research Institute, Harbin 100050, China;
2. School of Water Conservancy and Electric Power, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

Abstract: Vertical seam fishway has gradually attracted the attention of hydraulic engineering field because it can adapt to large amplitude water level, obvious energy dissipation effect and stable flow pattern. In this paper, the influence of the length width ratio of the pond on the hydraulic characteristics of the opposite side vertical slit fishway was studied by numerical simulation. The results show that the change of the length width ratio of the pond has little impact on the dissipation rate per unit volume; The attenuation along the main flow area first increases with the increase of the length width ratio of the pond, and then remains unchanged. The larger the length width ratio of the chamber is, the closer the maximum velocity in the chamber is to the vertical joint; The ratio of the main flow velocity to the maximum flow velocity (the maximum variation of the main flow velocity along the way) is within a certain range. The length width ratio of the pond is between 1.00-1.13, which can obtain better water flow pattern, larger reflux area and better water quality in the mainstream area of the fishway.

Key words: aspect ratio of pond chamber; opposite side type; vertical seam fishway; hydraulic characteristics