

· 航道及通航建筑物 ·



嘉陵江利泽水电站竖缝式 鱼道池室水力特性研究*

陈明¹, 张超¹, 姜鹏¹, 黄海津², 尹含归³

(1. 重庆交通大学, 水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074;

2. 重庆交通大学土木工程学院, 重庆 400074; 3. 中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040)

摘要: 针对嘉陵江利泽航运枢纽鱼类洄游问题, 提出应用较为广泛的竖缝式鱼道设计方案, 采用三维水流数学模型, 对比分析4种鱼道布置形式(改变池室宽度、竖缝宽度、改变隔板与导板的尺寸或角度)下池室水力特性。结果表明: 在池室宽度3.0 m、竖缝宽度0.5 m、隔板长度2.1 m、导板长度0.7 m, 且隔板与导板上游侧坡度分别为77°、45°条件下, 池室主流曲率半径较大, 两侧回流区强度较弱, 水流流经休息室后流速较为稳定, 水流衔接更加平顺, 池室及休息室的水流条件符合鱼类上溯要求。研究成果可为类似鱼道工程提供参考。

关键词: 利泽水电站; 竖缝式鱼道; 数值模拟; 池室结构; 水力特性

中图分类号: U643.2; TV135.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)06-0095-09

Hydraulic characteristics of vertical slot fishway pool chamber of Lize Hydropower Station in Jialing River

CHEN Ming¹, ZHANG Chao¹, JIANG Peng¹, HUANG Haijin², YIN Hangui³

(1. Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering of the Ministry of Education,

Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

3. CCCC Second Harbor Engineering Company Ltd., Wuhan 430040, China)

Abstract: Aiming at the problem of fish migration in Lize Shipping Hub of Jialing River, this paper proposes the design scheme of vertical slot fishway which is more widely used, and uses three-dimensional water flow mathematical model to compare and analyze the hydraulic characteristics of four fishway layout types (changing the width of the pool chamber, the width of the vertical slit, and changing the dimensions or angle of the bulkhead and guide plate). The results show that under the conditions of the pool chamber width of 3.0 m, vertical seam width of 0.5 m, the partition length of 2.1 m, the guide plate length of 0.7 m, and upstream slope of 77° and 45° for the partition and the guide plate, the curvature radius of the main flow in the pool chamber is larger, the strength of the reflux zones on both sides is weaker, the flow velocity is more stable after passing through the rest room, and the water flow connection is smoother. The water flow conditions in the pool room and rest room meet the upstream requirements of fish. The research results can provide reference for similar fishway projects.

Keywords: Lize Hydropower Station; vertical slot fishway; numerical simulation; pool chamber structure; hydraulic characteristics

收稿日期: 2024-08-21

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC3206104)

作者简介: 陈明(1983—), 男, 博士后, 教授, 从事通航水力学的教学与研究。

近年来,随着闸坝等水利建筑物的兴起,我国经济在灌溉、航运、发电等方面显著提升,但根据研究表明,由于水利建筑物的阻隔等影响,全球鱼类已经减少约 $1/3$ ^[1]。工程鱼道作为一种能够沟通被阻隔鱼类的过鱼建筑物,按结构形式主要分为池式鱼道和槽式鱼道,而池式鱼道中的竖缝式鱼道具有主流明确、流场结构稳定、消能效果充分、能适应较大水头差等特点,被广泛应用于工程之中^[2]。

鉴于鱼道水流条件的复杂性,目前的研究手段主要以数值模拟为主。如国外学者 Quaranta 等^[3]通过数值模拟研究了6种不同底坡条件下池室水流条件,结果表明:随着坡度增大,竖缝处流速明显变大,低流速回流区范围减小,底坡低于6.67%时产生的流场更适合鱼类上溯。Zhang 等^[4]通过水动力数值模拟分析5种不同流量下竖缝式鱼道的水动力参数、过鱼效率等,得出较高的主流流速不代表鱼类有更大的能量消耗,在洄游过程中鱼类会选择相对较低的速度区上溯。Rajaratnamn 等^[5-7]通过模型试验对18种不同尺寸的竖缝式鱼道进行研究,结果发现:鱼道长度为竖缝宽度的10倍、宽度为8倍时,消能效果较其他尺寸鱼道更优,且存在较大面积的低速回流区,更有助于鱼类休息和调整。Sanagiotto 等^[8]针对同侧竖缝式鱼道进行研究,得出竖缝宽度以及池室形态是影响池室内水流流态的重要因素,且池室形态与水流流速共同影响池室内紊动能的大小。

国内学者陈柏宇等^[9]通过三维数值模拟研究池室结构对鱼道水力特性的影响,结果表明:池室内布置合理位置的圆柱能有效提高过鱼效率。韩雷等^[10]采用数值模拟方法,通过改变隔板与纵向导板在上、下游侧的角度分析池室的水流条件,研究发现:当角度逐渐增大时,池室内主流会靠近池室边壁一侧,水流流速会逐渐减小;相比下游侧,上游侧坡度对水流的影响更大。高柱等^[11]通过数值模拟方法研究4种不同竖缝数量与位置下的鱼道池室结构,得出在结构形式与底坡不变时,流量变化不会影响池室主流形式。李苏等^[12]

通过 fluent 对竖缝式鱼道进行数值模拟,结果表明:去掉池室尾部导板并在下游增加隔板,池室内的水流流态更加符合鱼道设计要求,且流速分布更加均匀。

本文以嘉陵江利泽枢纽鱼道工程为研究对象,通过改变竖缝宽度、改变隔板与导板的尺寸及角度,分析不同鱼道布置形式下池室内水力特性,选取适合鱼类上溯的设计方案。

1 工程概况

嘉陵江利泽航电枢纽位于重庆市合川区利泽场嘉陵江河段^[13],枢纽上游为武胜县内桐子壕电站,下游为合川区内草街航电枢纽。利泽工程鱼道位于利泽航电枢纽西南侧,工程位置见图1。利泽航运枢纽工程属河床式开发,水库正常蓄水位210.725 m,总库容6.19亿 m^3 ;正常蓄水位时的库容为0.611亿 m^3 。电站额定水头5.4 m,额定单机引用流量393 m^3/s ,电站装机容量74 MW;设计通过船型为500 t船舶。本工程船闸按IV级航道设计,船闸有效尺寸为180 m \times 23 m \times 3.5 m(长 \times 宽 \times 门槛水深),年通过能力为988万 t。渠化航道近430 km,航电枢纽多年平均发电量316.57 GW \cdot h。

嘉陵江利泽航电枢纽附近鱼类多达一百余种,其上、下游鱼类相似度约80%^[14]。这种高相似度说明嘉陵江鱼类交流频繁,洄游鱼类占比较大,而利泽航运枢纽切断了该区域鱼类的交流繁殖,阻碍鱼类上溯,因此利泽鱼道的建设对于该区域鱼类的交流繁殖意义重大。

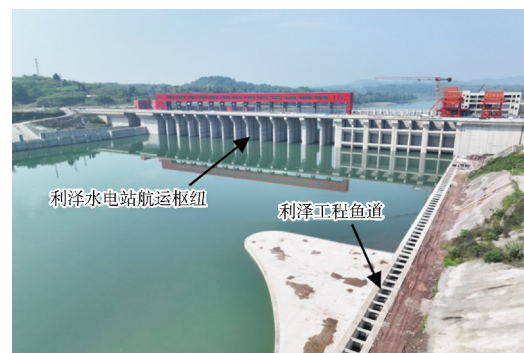


图1 鱼道在枢纽中的布置

Fig. 1 Fishway layout in the hub

2 数学模型

2.1 控制方程

针对鱼道池室内的复杂流态, Barton 等^[15]的研究结果表明:通过 VOF 的 RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型能获得池室内不同时空的水流流态以及流场的准确数据。该湍流模型方程如下。

连续方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_i \quad (2)$$

紊动能 k 方程:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - \rho \varepsilon \quad (3)$$

耗散率 ε 输运方程:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{C_{1\varepsilon}^* \varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

其中:

$$C_{1\varepsilon}^* = C_{1\varepsilon} - \eta(1 - \eta/\eta_0)/(1 + \beta\eta^3) \quad (5)$$

$$\eta = k \sqrt{(2E_{ij} \cdot E_{ij})} / \varepsilon \quad (6)$$

$$E_{ij} = (\partial u_i / \partial x_j + \partial u_j / \partial x_i) / 2 \quad (7)$$

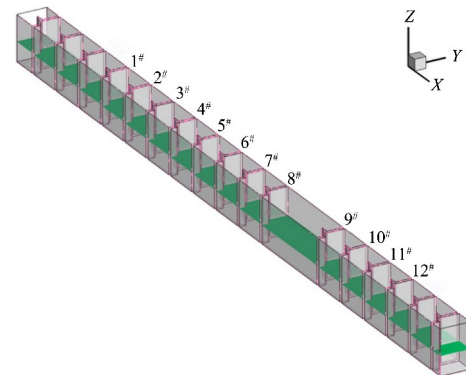
式中: ρ 和 p 分别为体积分加权平均密度和修正压力; μ 为体积分加权平均的分子黏性系数; μ_t 为紊流黏性系数, $\mu_t = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon$; μ_{eff} 为有效黏性系数, $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$; G_k 为由于平均速度梯度引起的紊动能产生项; u_i 为 x_i 方向的速度分量, $i, j = 1, 2, 3$; k 为紊动能; ε 为耗散率; 常数 $C_\mu = 0.0845$, $\alpha_k = \alpha_\varepsilon = 1.39$, $C_{1\varepsilon} = 1.42$, $C_{2\varepsilon} = 1.68$, $\eta_0 = 4.377$, $\beta = 0.012$ 。

处理鱼道自由液面, 本研究采用 Youngs 的 VOF 法。 α_q 为第 q 相流体的容积分数, 如网格单元内仅含有水相, 则 $\alpha_\omega = 1$ (α_ω 为水的容积分数); 如不含有水相, 则 $\alpha_\omega = 0$; 如网格单元为混合单元, 即位于水气两相分界面处, 则 $0 < \alpha_\omega < 1$ 。 α_ω 控制微分方程为:

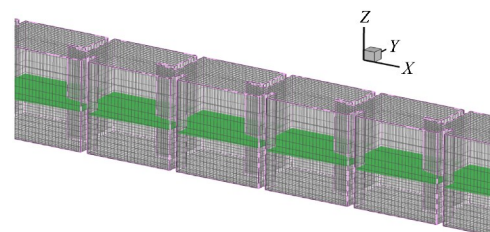
$$\frac{\partial \alpha_\omega}{\partial t} + u_i \frac{\partial \alpha_\omega}{\partial x_i} = 0 \quad (8)$$

2.2 边界条件与网格划分

嘉陵江利泽航电枢纽上下游水位差 5.4 m, 为了同时分析池室与休息室内的水流条件, 并减少上、下游边界对池室内水流条件的影响, 选取包括休息室在内的上游 10 个池室块以及下游 5 个池室块作为模型计算域, 模型计算区域总长 74.30 m, 模型上下游水位差 0.71 m, 初始水深为 2.00 m。借鉴国内对于竖缝式鱼道尺寸的研究成果^[16], 选取池室长 4 m、宽 3 m, 其余尺寸为: 休息室长 10.00 m、宽 3.00 m; 竖缝宽 0.68 m; 隔板长 1.90 m、宽 0.30 m; 纵向导板长 0.73 m, 宽 0.10 m; 导板长 0.70 m、宽 0.30 m; 隔板上、下游侧坡度分别为 75°、90°; 导板上、下游侧坡度分别为 67°、90°; 导向角为 45°; 底坡为 0.95%。鱼道进、出口边界分别采用压力进口边界与压力出口边界, 采用正六面体网格进行划分, 对部分复杂区域以及含有水相区域进行局部加密, 网格数量约为 1.2×10^5 个。计算域与网格模型网格划分见图 2, 池室布置见图 3。



a) 计算区域



b) 网格局部划分

图 2 计算域与网格

Fig. 2 Computational area and grid

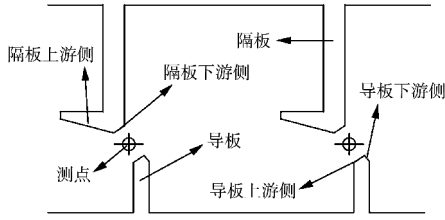


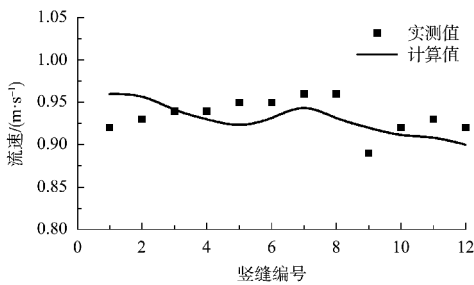
图 3 池室平面
Fig. 3 Pool room plan

2.3 模型验证

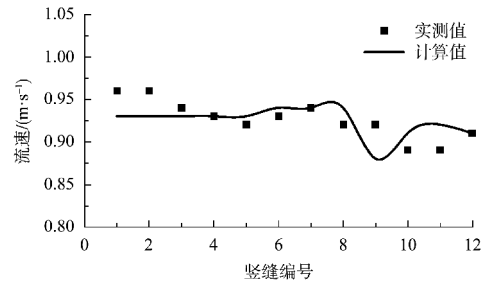
为验证数值计算的合理性，研究选取池室水深 1.25 m 处 1#~12# 竖缝中心的最大流速以及不同水深(0.25、0.75、1.25、1.75 m)处平均流速的实测值与计算值进行对比。物理模型布置见图 4，模型比尺为 1:5。流速采用三维多普勒流速仪 ADV 进行测量。流速实测值与计算值对比如表 1 所示，由表 1 与图 5 可以看出，两者速度最大误差出现在 9# 竖缝处，但沿程变化总体吻合较好，说明该三维紊流数学模型及其数值方法可较好地模拟鱼道池室三维水力特性。



图 4 物理模型布置
Fig. 4 Physical model layout



a) 最大流速实测值与计算值对比



b) 平均流速实测值与计算值对比

图 5 1#~12# 竖缝流速对比

Fig. 5 Velocity comparison of vertical slit 1#~12#

表 1 模型流速实测值与计算值对比
Tab. 1 Comparison between measured and calculated values of model flow velocity

竖缝编号	最大流速			平均流速		
	实测值/ (m·s ⁻¹)	计算值/ (m·s ⁻¹)	误差/ %	实测值/ (m·s ⁻¹)	计算值/ (m·s ⁻¹)	误差/ %
1#	0.96	0.93	3.12	0.92	0.96	4.17
2#	0.96	0.93	3.12	0.93	0.96	3.38
3#	0.94	0.93	1.06	0.94	0.94	0.27
4#	0.93	0.93	0.00	0.94	0.93	1.08
5#	0.92	0.93	1.09	0.95	0.92	3.26
6#	0.93	0.94	1.08	0.95	0.93	2.70
7#	0.94	0.94	0.00	0.96	0.95	1.59
8#	0.92	0.94	2.17	0.96	0.93	3.78
9#	0.92	0.88	4.35	0.89	0.92	2.73
10#	0.89	0.91	2.25	0.92	0.91	0.82
11#	0.89	0.92	3.37	0.93	0.91	2.76
12#	0.91	0.91	0.00	0.92	0.90	2.51

3 流速指标

嘉陵江利泽电站鱼类主要以鲤形目为主，其占比达到该区域鱼类种类数的 74.2%；其次是鲇形目以及鲈形目^[17]，由于相同鱼类在不同季节、体长、生活环境等条件下的喜好流速、极限流速有一定差别，而该区域主要鱼类的临界泳速中值为 0.43~1.01 m/s。因此，为尽可能符合该区域鱼类感应流速，须确保池室内水流流速为 0.60~0.90 m/s，同时，为满足消能要求，主流两侧需存在一定范围的回流区，且回流区水流流速应小于 0.20 m/s，否则易导致小型鱼类迷失方向，延长上溯时间^[18]。

4 方案比选

利泽航电枢纽工程鱼道采用同侧竖缝式布置,研究在该布置基础上提出5种池室结构形式,分别对不同的竖缝出流角度、竖缝宽度、竖缝位置以及池室宽度进行水流条件对比分析。各方案具

体结构形式及尺寸变化如表2所示,方案布置见图6。为避免鱼道进、出口流速紊动对中间池室的影响,后续针对流场与流线的研究均以4#~6#竖缝之间的池室为例。

表2 不同方案池室结构尺寸

Tab. 2 Structural dimensions of different pool chambers

设计 方案	长宽尺寸/m						角度尺寸/(°)			
	池室 宽度 D	竖缝 宽度 d	隔板长 L	导板长 L_1	纵向导 板长 L_2	板纵 间距 d_1	隔板上游 侧坡度 α	隔板下游 侧坡度 β	导板上游 侧坡度 α'	导板下游 侧坡度 β'
I	3.0	0.68	1.90	0.70	0.73	0.700	75°	90°	67°	90°
II	3.0	0.68	1.90	0.70	0.70	0.513	77°	45°	45°	60°
III	3.0	0.50	1.85	0.95	0.70	0.513	77°	45°	45°	60°
IV	3.0	0.50	2.10	0.70	0.70	0.513	77°	45°	45°	60°
V	2.5	0.50	2.10	0.70	0.70	0.513	77°	45°	45°	60°

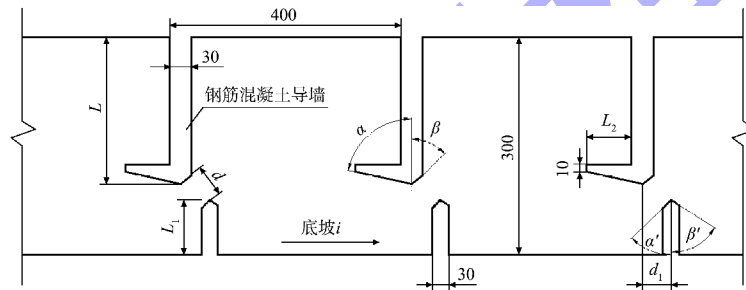


图6 池室方案布置 (单位: cm)

Fig. 6 Layout of pool room (unit: cm)

4.1 池室水流流态

不同结构形式下的池室内流场及流线分布见图7。图7a)、b)结果显示:方案I主流流线呈缓S形,流线较为平顺,但是流经竖缝的高流速带基本直接贯通至下一级隔板,冲击到下级隔板后沿隔板横向流动,在池室内主流两侧形成2个明显回流区,且回流区流速大于0.20 m/s的区域较大,不利于上溯鱼类在冲刺通过隔板竖缝高流速区后进行短暂休息。由此可知,方案I布置形式下的水流条件不符合鱼类上溯。方案II在方案I基础上调整竖缝角度后,虽然切角可以避免鱼类通过竖缝时受到物理伤害,但是根据图7c)、d)可知,其流线、流速与方案I基本相似,不满足于鱼类上溯要求。图7e)、f)的结果显示:方案III在竖缝宽度改变后,曲率半径增大,水流条件略微变好,但由于竖缝位置向池室中部移动,导致主流左偏

过多,使得池室内流线弯曲较大,主流中段已贴近池室左侧边壁,且回流区强度较大,不利于鱼类上溯。方案IV与V均在方案III的基础上将竖缝右移,由图7g)~j)可以看出4#、5#竖缝间池室内流场与流线基本相似,水流条件明显变好,主流流线仍呈S形,池室内流线弯曲但曲率半径大,没有出现急剧扭曲的情况;主流两侧存在回流区,但回流强度较弱,除两岸靠边壁处略大于0.20 m/s外,其余范围回流强度均在0.20 m/s以内。而方案V中5#、6#竖缝间池室宽度变小后,主流流线虽然改变较小,但是水流受到边壁的挤压,导致流场内回流区面积较小且强度较大,不满足鱼类上溯条件。综上所述,方案IV采用的布置形式的水流条件较好,流线曲率半径、回流区面积、回流强度等水流条件均能满足鱼类上溯要求。

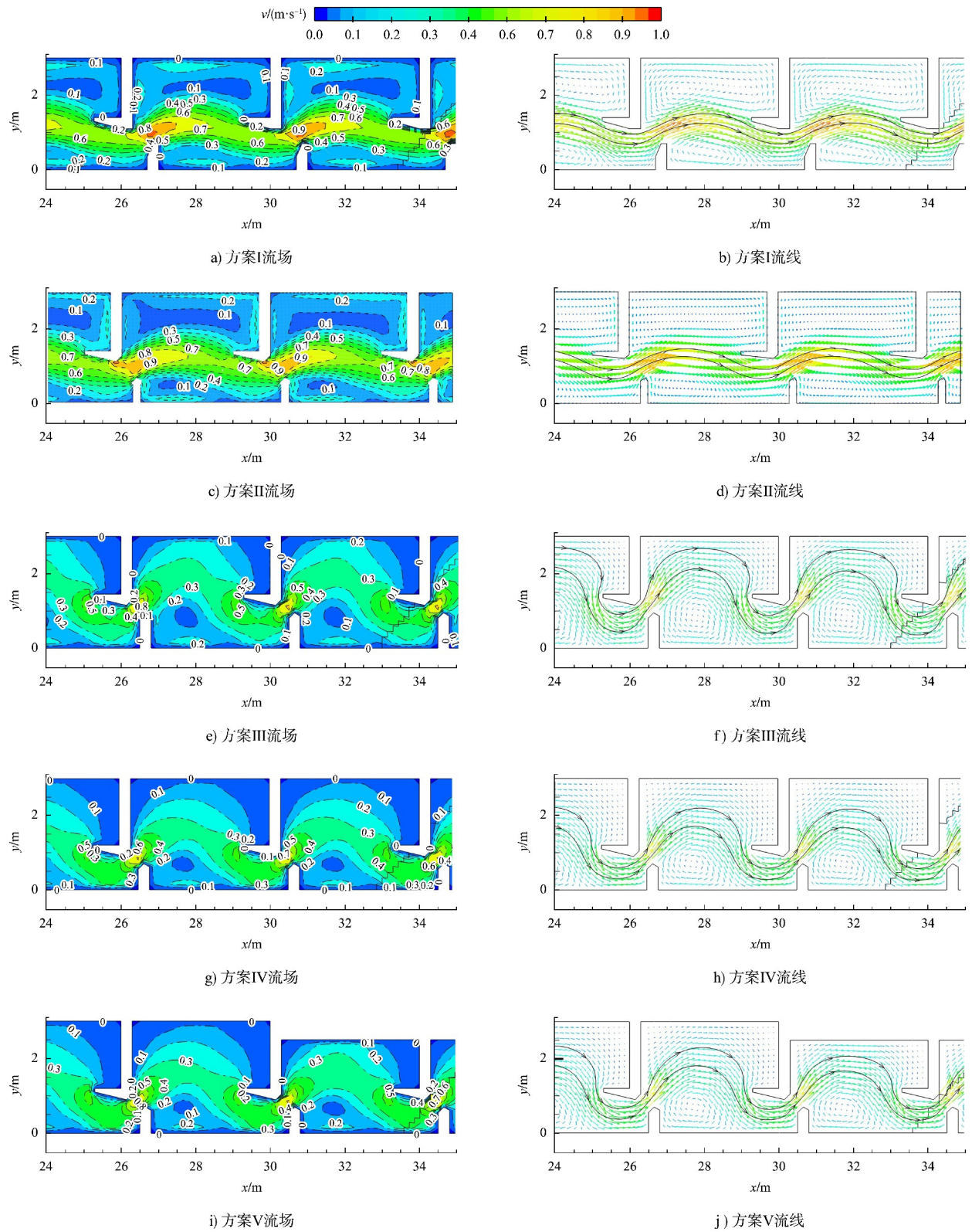


图 7 不同方案池室内距池底 1.25 m 流场和流线

Fig. 7 Flow field and streamline at a distance of 1.25 m from pool bottom under different schemes

4.2 竖缝处流速

通过对比各方案竖缝处的流速，得出流速对比见图 8，方案 I~III，改变出流角度对竖缝平均流速与最大流速均有一定的优化，且对平均流速

的优化较好，但是改变竖缝宽度对流速优化效果更加明显；方案 III~IV，竖缝位置的改变不仅能减小竖缝流速，还会影响休息室后竖缝最大流速的变幅，使得流速分布更加均匀。方案 IV~V，

池室宽度的减小使得竖缝处流速增大,从而加大鱼类上溯难度。综上所述,方案IV的流速相对较

低,最大流速均约 0.80 m/s,且流速分布较为均匀,水流流速较符合鱼类上溯要求。

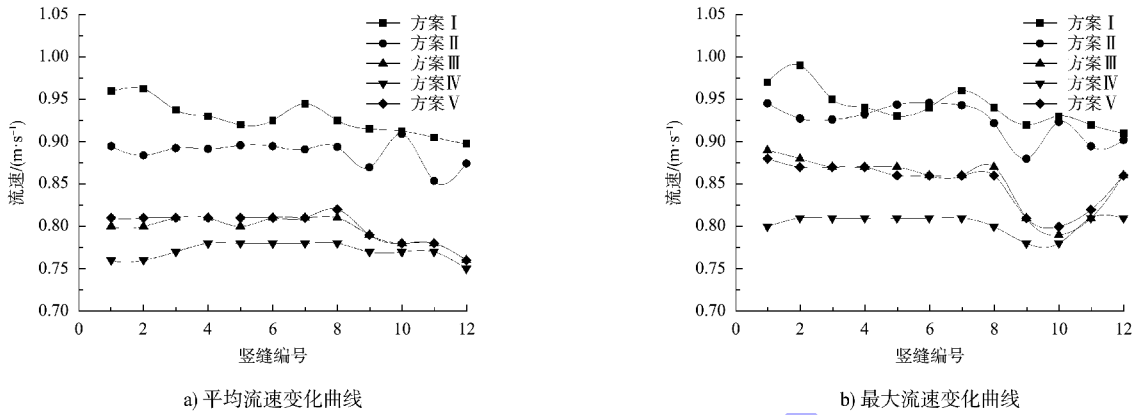
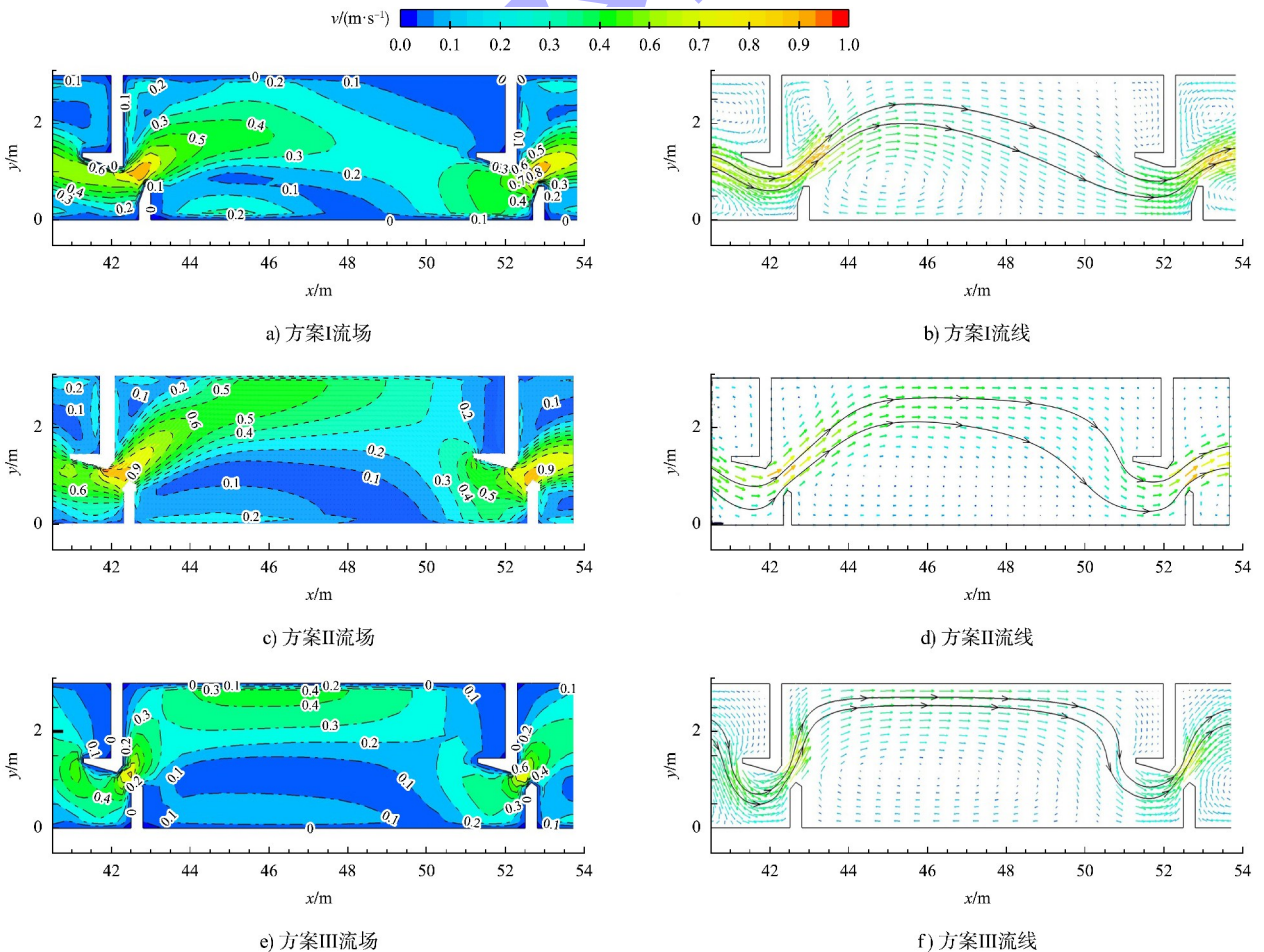


图 8 不同方案 1#~12# 竖缝流速对比
Fig. 8 Velocity comparison of vertical slit from 1#-12# under different schemes

4.3 休息室流态

各方案休息室流态对比见图 9, 结果表明; 方案 I 与 II 流态略有不同, 但总体而言两者休息室流态都较差, 主流占据区域较大, 回流区强度也较大, 仅有少部分回流区流速小于 0.20 m/s, 该水流条件不适合鱼类在此休息。方案 II、III、IV

由于休息室隔板竖缝出流角度较大, 导致主流偏向左侧, 一直沿左岸下泄至池尾转向右侧竖缝, 休息室两端流线弯曲但曲率半径大, 中段流线较为平顺, 没有出现急剧扭曲的情况, 主流流速较小, 在池室右侧形成较大范围的回流区, 流速基本在 0.10~0.20 m/s, 利于鱼类在此休息。



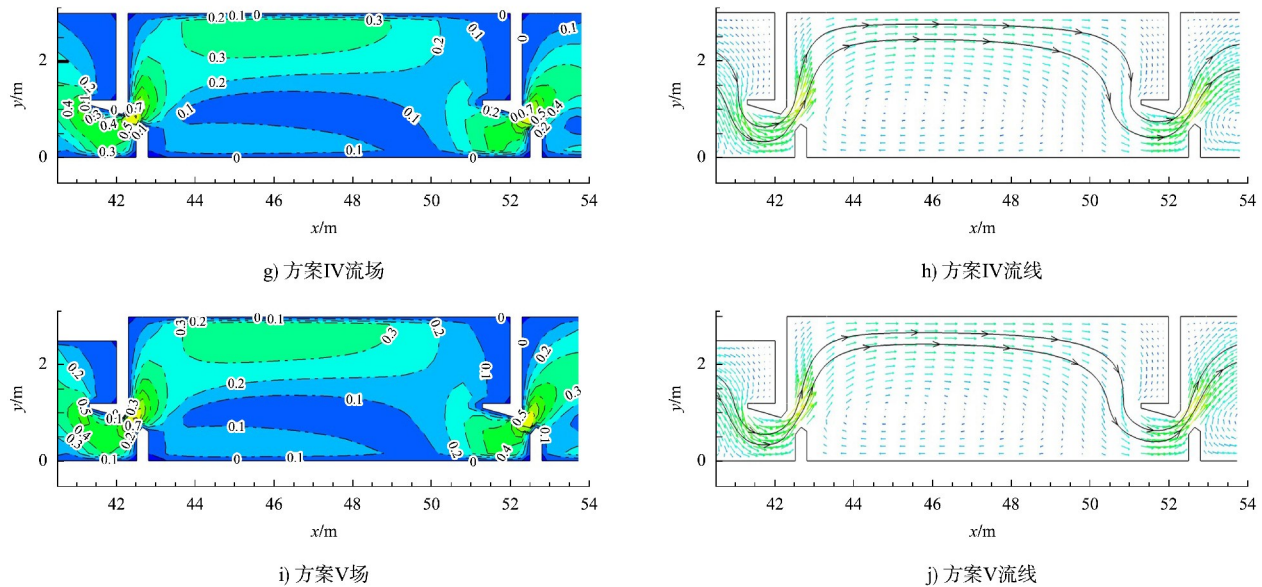


图9 休息室池室内距池底 1.25 m 流场和流线

Fig. 9 Flow field and streamline at a distance of 1.25 m from pool bottom in lounge pool

5 结论

1) 通过对比 4 种嘉陵江利泽鱼道结构型式下水流条件, 提出较为符合鱼类上溯及休息的竖缝式鱼道结构形式: 休息室长 10.0 m、宽 3.0 m; 池室长 4.0 m、宽 3.0 m; 竖缝宽 0.5 m; 隔板长 2.1 m、宽 0.3 m; 纵向导板长 0.7 m、宽 0.1 m; 导板长 0.7 m、宽 0.3 m; 隔板上、下游侧坡度分别为 77° 、 45° ; 导板上、下游侧坡度分别为 45° 、 60° ; 导向角为 45° ; 底坡为 0.95%。

2) 通过分析不同布置形式下竖缝式鱼道池室内水流条件得出, 在不影响主流流线形态的情况下, 增加鱼道宽度能有效增大回流区面积、降低回流区强度、减小竖缝处流速, 对满足鱼类上溯要求有较大的促进作用。

3) 休息室竖缝宽度为 0.5 m 且隔板竖缝出流角度较大时, 休息室内水流条件较好, 能明显观测到主流偏向休息室左侧, 在右侧形成较大范围的回流区, 回流速度约 0.10 m/s, 可供鱼类在休息室内休息调整。

参考文献:

[1] Unesco. UN World water development report [R]. Paris: Water for People and Water for Life, 2003.

- [2] 张国强, 孙双科. 竖缝宽度对竖缝式鱼道水流结构的影响[J]. 水力发电报, 2012, 31(1): 151-156.
ZHANG G Q, SUN S K. Effect of slot width on the flow structure of vertical slot fishway [J]. Journal of hydroelectric engineering, 2012, 31(1): 151-156.
- [3] QUARANTA E, KATOPODIS C, COMOGLIO C. Effects of bed slope on the flow field of vertical slot fishways[J]. River research and applications, 2019, 35(6): 656-668.
- [4] ZHANG D, XU Y H, DENG J, et al. Relationships among the fish passage efficiency, fish swimming behavior, and hydraulic properties in a vertical-slot fishway[J]. Fisheries management and ecology, 2024, 31(3): e12681.
- [5] RAJARATNAM N, VAN DER VINNE G, KATOPODIS C. Hydraulics of vertical slot fishways [J]. Journal of hydraulic engineering, 1986, 112(10): 909-927.
- [6] RAJARATNAM N, KATOPODIS C, SOLANKI S. New designs for vertical slot fishways [J]. Canadian journal of civil engineering, 1992, 19(3): 402-414.
- [7] WU S, RAJARATNAM N, KATOPODIS C. Structure of flow in vertical slot fishway [J]. Journal of hydraulic engineering, 1999, 125(4): 351-360.
- [8] Sanagiotta G D, Coletti Z J, Marques G M. Velocity and hydraulic turbulence on a vertical slot fishway [C]// Hydropower 2006 International Symposium Book. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do

- Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre/RS, 2006: 2315-2323.
- [9] 陈柏宇,袁浩,何小泷,等.池室结构对竖缝式鱼道水力特性的影响[J].长江科学院院报,2023,40(12):81-87.
CHEN B Y, YUAN H, HE X L, et al. Effect of pool chamber structure on hydraulic characteristics of vertical slot fishway [J]. Journal of Yangtze River scientific research institute, 2023, 40(12): 81-87.
- [10] 韩雷,吕春玮,王正君,等.墩头角度对竖缝式鱼道水力特性的影响[J].长江科学院院报,2024,41(6):84-90,97.
HAN L, LUY C W, WANG Z J, et al. Influence of pier head angle on hydraulic characteristics of vertical slot fishway[J]. Journal of Yangtze River scientific research institute, 2024, 41(6): 84-90, 97.
- [11] 高柱,戴会超,郭卓敏,等.隔板型式对竖缝式鱼道水力特性的影响研究[J].水利水电技术,2014,45(10):37-41.
GAO Z, DAI H C, GUO Z M, et al. Study on impact from baffle type on hydraulic characteristics of vertical-slot fishway [J]. Water resources and hydropower engineering, 2014, 45(10): 37-41.
- [12] 李苏,魏炳乾,黄磊,等.竖缝式鱼道水动力特性优化研究[J].水电能源科学,2021,39(6):116-118,143.
LI S, WEI B Q, HUANG L, et al. Optimization of hydrodynamic characteristics of vertical slot fishway[J]. Water resources and power, 2021, 39(6): 116-118, 143.
- [13] 陈明,刘原,段黎明,等.嘉陵江利泽航电枢纽工程鱼道进口水流条件数值模拟[J].水运工程,2022(12):152-157,163.
CHEN M, LIU Y, DUAN L M, et al. Numerical simulation of flow conditions near fish way entrance of Lize project in the Jialingjiang River [J]. Port & waterway engineering, 2022(12): 152-157, 163.
- [14] 曾燊.嘉陵江干流鱼类群落生态结构分析[J].长江流域资源与环境,2012,21(7):850-857.
ZENG Y. Studies on ecological structure of fish community in Jialing River [J]. Resources and environment in the Yangtze basin, 2012, 21 (7): 850-857.
- [15] BARTON A F, KELLER R J. 3D Free surface model for a vertical slot fishway [C]//Inland Waters: Research, Engineering and Management v. 2. Proceedings of the 30th IAHR World Congress, AUTH, Thessaloniki: [s. n.], 2003: 409-416.
- [16] 陈柏宇.竖缝式鱼道三维水力特性研究[D].重庆:重庆交通大学,2023.
CHEN B Y. Investigations of three-dimensional flow characteristics in vertical slot fishway [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2023.
- [17] 陈思源.水利工程开发对环境影响评价研究:以利泽水利工程为例[D].重庆:重庆交通大学,2021.
CHEN S Y. Environmental impact assessment of water conservancy project development: taking lize water conservancy project as an example [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2021.
- [18] 水利水电工程鱼道设计导则:SL 609—2013[S].北京:中国水利水电出版社,2013.
Guideline for fishway in water conservancy and hydropower project: SL 609 - 2013 [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2013.

(本文编辑 赵娟)

著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

《水运工程》编辑部