

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20230291

进鱼口水位变幅条件下鱼道水动力特性试验

黄志文¹, 孟 锐², 周苏芬¹, 刘志雄³, 王志超¹

(1. 江西省水利科学院鄱阳湖流域生态水利技术创新中心, 江西 南昌 330029;

2. 江西省赣抚尾间整治有限公司, 江西 南昌 330009; 3. 长江水利委员会长江科学院, 湖北 武汉 430010)

摘要: 枢纽下游水文情势的改变及运行调度使鱼道进出口水位时刻变化, 鱼道运行不当, 进口水深不足会造成跌水, 妨碍鱼类上溯。采用鱼道整体模型, 分析鱼道进出口不同水位组合下鱼道内水力特性变化特征。结果表明, 受下游进口水位变幅影响, 鱼道池室水动力变化主要集中在进口附近池室, 且越靠近下游, 影响越大。当进口水位降低时, 进口口处出现跌水, 流速出现极大值, 鱼类难以上溯; 进口水位抬升, 流速迅速减缓, 鱼道孔口设计流速为 0.60~1.00 m/s, 鱼道运行出口与进口水深最大落差建议控制为 1.00 m。同时为在鱼道进口形成有效的诱鱼流速, 需根据进口不同水深采取适当补水措施, 补水流量与进口水深存在较好线性关系。

关键词: 竖缝式鱼道; 整体模型; 水力特性; 水位变幅

中图分类号: TV135

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)11-0108-03

口设计及后续鱼道运行提供技术支撑。

1 引言

由于水文情势发生改变或枢纽调度运行, 鱼道进出口水位时刻变化。大量工程运行表明, 鱼道进口口水深较低时, 进口口段发生明显跌落, 甚至出现鱼类难以逾越的跌水。鱼道进口口水深较大时, 进口口流速减缓, 影响下游诱鱼。在鱼道池室内部结构方面, 徐体兵等^[1-2]认为长宽比在 8:8~10.5:8 范围内时, 水流流态较好; 郭维东等^[3-4]认为竖缝相对宽度为 0.15~0.20、底坡为 10% 时水流在池室内能形成较好的适合鱼类洄游的流态; 吕强等^[5]认为当导向角度的范围在 20°~25° 区间内时最有利于鱼类洄游。在鱼道进出口水位方面, 段鸿锋等^[6-7]优化鱼道进口布置, 解决低水位时无较好的诱鱼水力条件的问题并设计多个进口口, 也可以较好的适应大水位变幅情况; 刘小帆等^[8-9]建议鱼道进口增设补水设施, 获得适合鱼类洄游的紊动能分布, 有利于鱼类洄游。然而, 目前关于鱼道整体进出口水位的组合研究较少, 不能指导实际工程中大幅度水位变动运行需要。为此, 本文依托某工程开展进口口水位变幅下鱼道水动力特性研究, 以期类似鱼道进鱼

2 模型设计与制作

2.1 模型设计

模型为几何比尺为 1:10 的正态整体模型, 根据重力相似准则设计。鱼道布置见图 1。

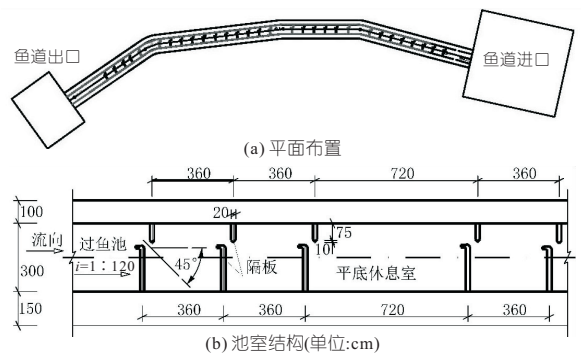


图 1 模型布置

Fig. 1 Model layout

2.2 整体模型试验工况

根据枢纽调度运行方案, 枢纽蓄水期鱼道的设计水位为汛末上游水位 12.00~14.50 m, 下游低水位 7.47~8.54 m ($P=90\%$, 9~10 月); 枯期 (11 月~次年 3 月底) 上游水位 9.50~12.00 m, 下游低水位 4.94~6.42 m ($P=90\%$, 11 月~次

收稿日期: 2023-03-01, 修回日期: 2023-04-20

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFC3202603); 江西省水利厅科技项目(重大)(202124ZDKT18)

作者简介: 黄志文(1979-), 男, 硕士、教授级高级工程师, 研究方向为水力学及河流动力学, E-mail: zw_huang626@

年 3 月)。因此,结合鱼道进出口高程选取不同进出口水位组合作为典型试验工况,见表 1。

表 1 整体模型典型试验工况

Tab. 1 Overall model test condition

工 况	鱼道进口 水深/m	鱼道出口 水深/m	备注
1	2.5	3.5	鱼道出口高程 11.00 m;进口高程 6.50 m
2	2.0	2.5	
3	2.5	2.0	
4	2.0	2.0	
5	1.5	2.0	

3 进鱼口水位变幅条件下鱼道水动力特性

3.1 下泄流量

鱼道泄流能力见图 2。由图 2 可知,当鱼道出口水深 1.00~4.00 m 时,鱼道下泄流量为 0.25~1.03 m³/s。

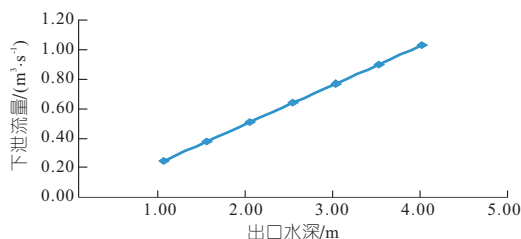


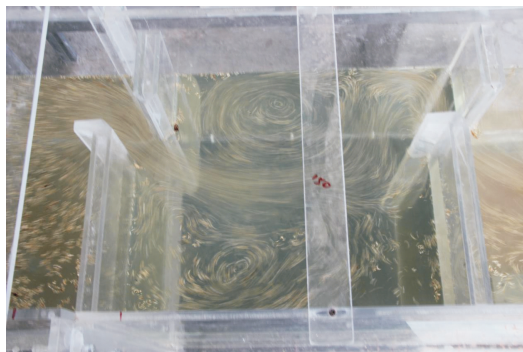
图 2 鱼道泄流能力

Fig. 2 Fish road discharge ability

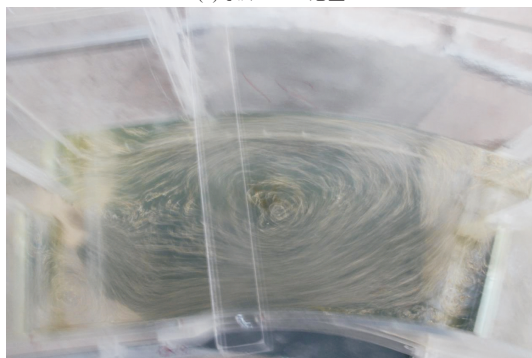
3.2 流态

在鱼道沿程水深基本相同时,各池室及休息室内的流态基本相同。水流进入第一级竖缝隔板时,由正向进流调整为向左侧(较窄隔板侧)进流,水流在隔板前水位稍有壅高,并在竖缝处形成明显跌落,水流经竖缝调整后,主要顺竖缝向右以 45°角进入第一级池室,并在进入池室后,由于惯性作用,主流并未扩散,继续流向右侧,但主流并未直接冲击右侧侧墙,主流在到达池室中间断面部位时,受下一级竖缝的影响,水流又逐渐流向左侧,主流在池室内的形态主要呈“S”型。池室两侧边墙附近水流为弱回流,较宽隔板上下游较小范围内为流速较小或呈静水状态。不同水深竖缝式鱼道池室部位流态见图 3。

进口水位降低,鱼道水深变化主要集中在鱼道进口部位段,水流有明显冲击右侧边墙的现象,且在下一级竖缝前形成较急的急弯水流,不利于鱼类洄游上溯。鱼道进口水深增大时,水流流速明显变缓,进口段流速可能会小于 0.2 m/s,会影响诱鱼效果。



(a) 水深 3.00 m 池室



(b) 水深 1.50 m 弯道休息室

图 3 鱼道池室流态

Fig. 3 Fish pond chamber flow state

3.3 鱼道沿程水深

试验表明,控制鱼道进出口水深,沿程水深基本一致。上、下级池室内水位差基本与池室底板坡度相同。鱼道出口水位不变、鱼道进口水位降低时,池室水深变化主要集中在鱼道进口附近区域,且越靠近下游,池室间水深变化越大,水深跌落越快;下游进口水位抬升时,池室水深变化则主要集中在鱼道进口附近区域,见图 4。

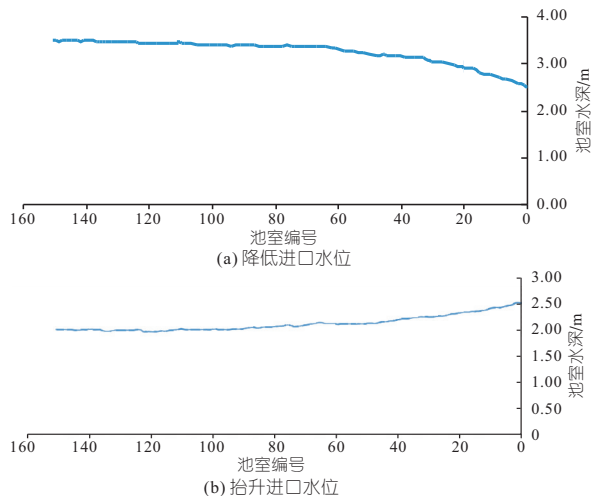


图 4 池室沿程水线

Fig. 4 The pool chamber water surface line

3.4 流速分布

3.4.1 池室流速分布

鱼道出口水深 3.50 m、进口水深 2.50 m 时,

池室竖缝测点最大底流速 1.07 m/s,池室内主流流速 0.40~0.70 m/s,主流流速变化比较顺畅,两侧边墙及隔板下游附近流速均小于 0.20 m/s,表现为回流或静水状态,且该区域面积均较大,适合鱼群洄游上溯。当鱼道出口及进口水深均降至 2.00、1.00 m 时,池室竖缝测点最大流速略有减小,约为 0.80 m/s,池室内主流流速 0.30~0.60 m/s(图 5)。当鱼道出口水深 2.00 m,进口水深 2.50 m 时,池室竖缝测点最大流速有所减小,约为 0.50 m/s,池室内主流流速 0.30~0.60 m/s。

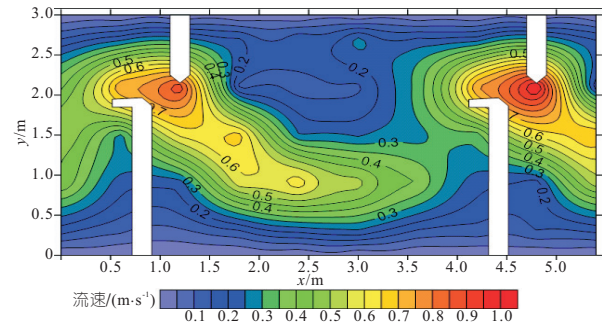


图 5 池室水深 1.00 m、流量 0.38 m³/s 时,池室底流速分布

Fig. 5 Distribution of flow velocity at the bottom of the pool chamber at a depth of 1.00 m and a flow rate of 0.38 m³/s

3.4.2 鱼道竖缝流速

鱼道出口水深与进口水深相差 1.00 m 时,竖缝流速最大。当鱼道出口水深为 3.50 m、进口池室水深为 2.50 m 时,孔口最大流速为 1.07 m/s;考虑本鱼道孔口设计流速为 0.60~1.00 m/s,出口水深为 3.50 m,建议进口水深不小于 2.50 m,且控制出口与进口水深差为 1.00 m。另外,在鱼道进口一定范围难以形成有效的诱鱼流速及诱鱼流态,需设置补水设施。

3.4.3 补水试验

不同补水流量下鱼道进鱼口附近形成的诱鱼流速场见图 6。

补水流量为 10 m³/s、对应进口水深 2.50 m 时,鱼道进口流速大于 0.5 m/s 范围集中在补水渠正下游约宽 3 m,长 17 m 的条形带状区域;补水流量增加为 15 m³/s 时,范围逐渐往下游增大形成半径约 18 m,弧长为 7 m 的一扇形区域;补水流量增加为 20 m³/s 时,范围扩大至弧长为 10 m 一扇形区,在补水渠下游形成一条流速大于 1 m/s 的流速带,补水流量和进鱼口水深存在较好线性关系。

4 结论

a. 受进鱼口水位变幅影响,鱼道池室水深变化主要集中在进口附近池室,越靠近下游,影响越大。

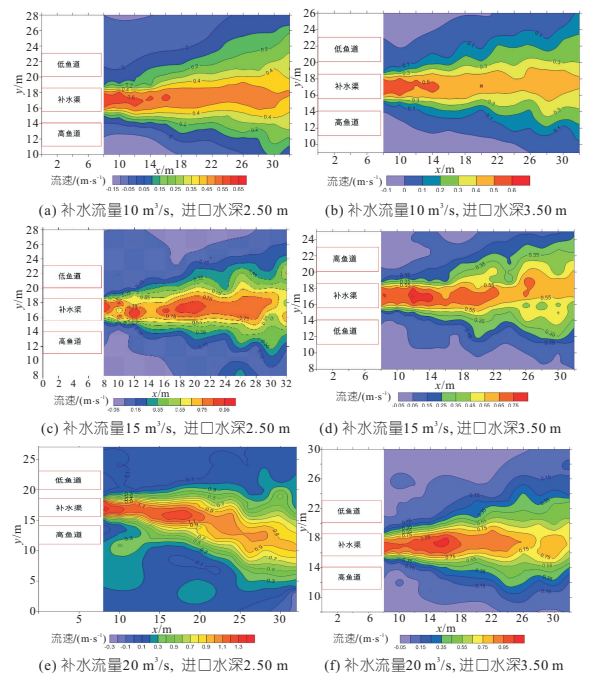


图 6 鱼道进口补水流场

Fig. 6 Import water supply field

b. 鱼道孔口设计流速为 0.60~1.00 m/s 时,本工程运行建议鱼道进出口水深最大落差控制为 1.00 m。

c. 为形成良好的 0.5 m/s 以上的诱鱼流速,建议根据不同进口水深采取适当补水措施,补水流量和进鱼口水深存在较好线性关系。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 曹庆磊,杨文俊,陈辉.同侧竖缝式鱼道水力特性的数值模拟[J].长江科学院院报,2010,27(7):26-30.
- [3] 郭维东,孙磊,高宇,等.同侧竖缝式鱼道水力特性研究[J].水电能源科学,2012,30(3):81-83.
- [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] 吕强,孙双科,边永欢.双侧竖缝式鱼道水力特性研究[J].水生生态学杂志,2016,37(4):55-62.
- [6] 段鸿锋,孙治才,赵绍熙,等.高水位变幅鱼道进口布置水力学试验研究[J].水电能源科学,2020,38(1):116-118,173.
- [7] 苏加林.丰满重建工程过鱼设施方案设计优化[J].水利水电技术,2019,50(10):98-103.
- [8] 刘小帆,安瑞冬,李嘉,等.齐口裂腹鱼对大坝下游流态的响应及近坝区上溯路线预测[J].水电能源科学,2020,38(1):112-115,138.
- [9] 贺新娟,白冰,孙万光,等.鱼道进口补水消能数值模拟研究[J].水资源与水工程学报,2022,33(3):131-142.

回流现象越明显,且在近右岸形成回流最大流速区。

c. 交汇角为 150°时,干流水体强顶托作用使支流基本处于回流状态,靠近交汇口处回流流速最大,且对支流中间断面的水流结构影响最大。

参考文献:

[1] 王平, 胡恬, 郭秀吉, 等. 交汇角度对黄河上游高含沙交汇区淤堵影响的试验研究 [J]. 工程科学与技术, 2017, 49(3): 44-53.

[2] 余真真, 朱海, 毛颂平, 等. 黄河干支流交汇河段污染物传输模拟研究 [J]. 人民黄河, 2022, 44(4):100-106.

[3] 刘德富, 杨正健, 纪道斌, 等. 三峡水库支流水华机理及其调控技术研究进展 [J]. 水利学报, 2016, 47(3): 443-454.

[4] 张涛. 非对称型河流交汇区水流结构与污染物输运规律研究 [D]. 西安:西安理工大学, 2021.

[5] YUAN S Y, TANG H W, XIAO Y, et al. Turbulent flow structure at a 90-degree open channel con-

fluence: Accounting for the distortion of the shear layer [J]. Journal of hydro-environment research, 2016, 12:130-147.

[6] CHENG Z Y, CONSTANTINESCU G. Near-and far-field structure of shallow mixing layers between parallel streams [J]. Journal of fluid mechanics, 2020, 904:A21.

[7] CHENG Z Y, CONSTANTINESCU G. Shallow mixing layers between non-parallel streams in a flat-bed wide channel [J]. Journal of fluid mechanics, 2021, 916:A41.

[8] 王协康, 王宪业, 卢伟真, 等. 明渠水流交汇区流动特征试验研究 [J]. 四川大学学报(工程科学版), 2006(2): 1-5.

[9] 刘同宦, 郭炜, 詹磊. 90°支流入汇区域时均流速分布特征试验研究 [J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 485-489.

[10] 隋斌. 明渠弯道交汇水流水力特性的大涡模拟与实验研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2017.

Experimental Study on Hydrodynamic Characteristics of Open Channel Tributary Intersection Area Based on PIV Technology

WU Fei¹, BAI Feng-peng^{2,3}, CHEN Xue-ni⁴, LIU Rui-fen¹, YANG Zhong-hua⁴, WANG Chao^{2,3}, YIN Wei^{2,3}
 (1. College of Civil Engineering and Environment, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 2. Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, China; 3. Key Laboratory of Ecological Regulation of Non-point Source Pollution in Lake and Reservoir Water Sources, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430051, China; 4. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Under the condition of low flow ratio, the flow structure of the inlet area of tributaries is very complicated. Based on physical model test and PIV particle image velocimetry technology, the average velocity distribution and three-dimensional velocity spatial distribution of open channel tributaries under different intersection conditions were observed, and the variation law of the flow field of tributaries was analyzed. The results show that when the confluence is relatively small, the surface water of the tributaries will have reverse reflux phenomenon to varying degrees due to the top supporting effect of the main stream water, while the bottom water flows downstream to the main stream, and there is a relatively obvious oblique mixing interface. With the increase of the confluence ratio, the influence of the main stream on the flow structure of the left bank of the tributary decreases gradually. When the intersection angle is 30° and 90°, the water flow structure near the right bank section is most affected by the water top support of the main flow. When the intersection angle is 150°, the tributaries are basically in reverse reflux state, and the maximum reflux velocity area is formed at the intersection. The results can provide theoretical support for the study of frequent bloom caused by nutrient enrichment in tributaries of reservoir area.

Key words: PIV; confluence of main stream and tributary stream; change of flow field; hydraulic characteristics

 (上接第 110 页)

Hydrodynamic Characteristics Test of Fish Channel Under Condition of Fish Inlet Water Level Variation

HUANG Zhi-wen¹, MENG Rui², ZHOU Su-fen¹, LIU Zhi-xiong³, WANG Zhi-chao¹

(1. Poyang Lake Basin Ecological Water Conservancy Technology Innovation Center, Jiangxi Province Institute of Water Conservancy and Science, Nanchang 330029, China; 2. Jiangxi Ganfu River Renovation Co., LTD., Nanchang 330009, China; 3. Changjiang River Scientific Research Institute of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: The change of hydrological situation and the operation scheduling of the downstream of the hub make the water level at the inlet and outlet of the fish channel change at all time, and the fish channel is running improperly. The insufficient inlet water depth will cause water drop and hinder the backtracking of fish. The integrated model was used to analyze the hydraulic characteristics under different water level combinations at the inlet and outlet of the fishing channel. The results show that the hydrodynamic changes of the fish tunnel tank chamber are mainly concentrated in the pool chamber near the inlet, and the greater the influence is closer to the downstream. When the inlet water level decreases, the water drops at the inlet and it is difficult for fish to trace; When the inlet water level rises, the inlet velocity slows down rapidly. In view of the design inlet flow velocity is 0.60 m/s-1.00 m/s, the maximum drop between the outlet of the fish channel and the inlet water depth is recommended to be controlled at 1.00 m. At the same time, appropriate water replenishment measures should be taken according to the water depth of the inlet to form effective lure flow rate at the inlet, and there is a good linear relationship between the supplementary water flow and the inlet water depth.

Key words: vertical slot fishway; integrated model; hydraulic characteristics; water level amplitude