

同侧导竖式鱼道水力特性试验研究

刘志雄,岳汉生,王 猛

(长江科学院 水力学研究所,武汉 430010)

摘要:以某水电站鱼道体型为研究基础,通过1:10鱼道局部模型,对同侧竖缝式池室的水力特性进行了试验研究,得到了过鱼池室流态、流速分布以及适合目标鱼类上溯的路径等,并对隔板型式、竖缝宽度以及池室长度等进行了分析论证。试验结果表明,该隔板型式、池室尺寸以及池底坡度的同侧导竖式鱼道参数设计基本合理,比较适合需要保护的4大家鱼洄游上溯。通过活鱼试验,验证了鱼类上溯喜好的水力条件等。

关键词:鱼道;洄游;同侧导竖式;池室;流速

中图分类号:S956.3

文献标志码:A

文章编号:1001-5485(2013)08-0113-04

1 研究背景

目前我国水资源的治理和开发进入了新的阶段,在我国的大江大河上修建了越来越多的大坝以及其他阻隔建筑物等,阻断了原河流的连续性,改变了河流固有的自然特性,闸坝上下游的水环境与水生态环境条件产生较大变化。一般而言,闸坝修建后,鱼类栖息地环境质量、水位、流量、水温等环境因素的变化将会对鱼类习性产生较大影响,阻断水生动物(主要是鱼类)的迁移,可能会直接导致某些溯河回游鱼类种群的灭绝。阻隔作用与污染作用不同,它具有非连续性的特点,具有一处阻断、完全隔绝的特征^[1]。因此,如何更有效地恢复河流的连通性,协调好大坝建设与生态环境的关系,研究河流生态修复,成为水生态领域和水利工程的迫切需求,而鱼道作为一种保护生物资源的工程措施,以其本身固有的特点,基本能满足人们恢复水生态系统的要求^[2]。

一般来说,鱼道的隔板型式可大致分为堰流式、孔口式、竖缝式等。1908年比利时学者丹尼尔(G. Denil)设计并建造了世界上第一座鱼道,在1946年加拿大Fraser河鬼门(Hell's Gate)峡建成第一座竖缝式鱼道起,至1947年共建成了6座竖缝式鱼道和1座堰式鱼道。竖缝式鱼道在我国采用较多,如江苏的斗龙港鱼道、瓜州闸鱼道、利民河鱼道,安徽的裕溪闸鱼道,浙江的七里垅鱼道等。竖缝式鱼道的优点是能适应不同水深的鱼类洄游,水位的变化,鱼类不受水位变化的影响,因此在各型鱼道中备受推崇^[3]。

2 模型布置及运行工况

2.1 模型布置

本鱼道在下游设置2个进鱼口,以适应下游水位5.2 m变幅的要求。低水位进鱼口(定义为第一进鱼口)进口底板高程为171.80 m,适应下游水位为173.30~175.90 m;高水位进鱼口(定义为第二进鱼口)进口底板高程为174.40 m,适应下游水位为175.90~178.50 m。低水位时开启节制闸门,关闭挡水闸门,鱼道的水流从低水位进鱼口出流;下游水位高于低水位进鱼口工作水位时,节制闸门关闭,挡水闸门开启,水流从高水位进鱼口出流。

原型中单个过鱼池净宽2.0 m,长2.6 m,底坡2.0%,每间隔10个隔板设置一个长5.2 m的平底休息池。过鱼池及休息池隔板采用同侧导竖式,隔板厚20 cm,竖缝宽度为40 cm,设计最小水深为1.5 m。模型按重力相似准则进行设计,模型比尺为1:10,主要模拟了原型鱼道底板高程171.80~176.58 m段(包括第一进鱼口及第二进鱼口),其中,完整池室约90个,休息池10个。模型包括上游量水堰、水库以及下游水池等,模型长度约40 m,宽度约1.2 m。模型布置见图1。

2.2 运行工况

本文主要介绍利用鱼道第一进鱼口进鱼时的成果,主要运行工况为上游水位为191.73 m、下游水位分别为173.30 m(进鱼口水深1.5 m,定义为工况1)和175.90 m(进鱼口水深4.10 m,定义为工况2)。

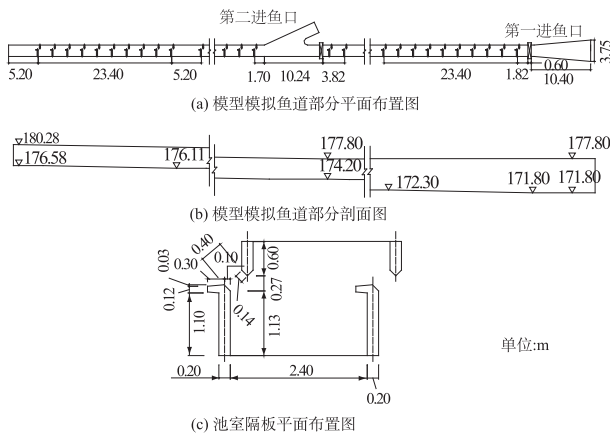


图1 模型模拟部分及单个池室布置图

Fig.1 Layout of the model and a single pool room

3 试验研究成果

3.1 流态

工况1条件下,上游水库水位平稳,无明显波动。水流进入第一级竖缝隔板时,由正向进流调整为左侧(较窄隔板侧)进流,水流在隔板前壅高,并在竖缝处形成明显的跌落;水流经竖缝调整后,向右以 45° 进入第一级池室,由于惯性作用继续流向右侧,但未直接冲击右侧侧墙;主流在到达池室中间断面时,受下一级竖缝的影响,逐渐流向左侧,在池室内呈“S”形,两侧边墙附近的水流为弱回流,右侧宽隔板上下游小范围内的流速较小或呈静水状态。以下其他各级池室的水流流态与第一级池室基本相同。水流出最后一级池室,流向鱼道进口时,在最后一级左侧窄隔板导流下,鱼道进口水流流向右侧,顺右侧而行,左侧为弱回流形态。整个池室内水流较为平稳,流态良好。各部位水流基本形态见图2。

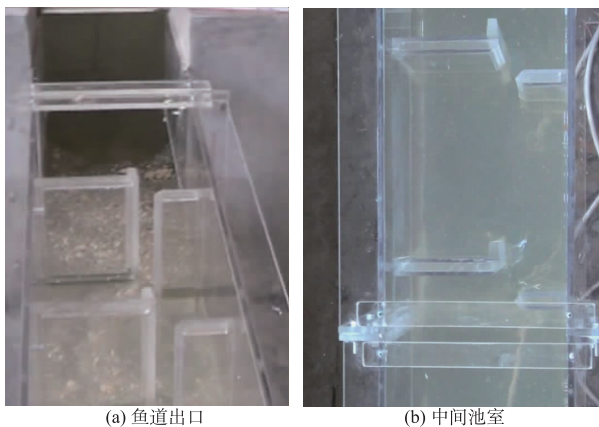


图2 工况1条件下鱼道各部位流态

Fig.2 Flow patterns at the outlet and in the fishway in working condition 1

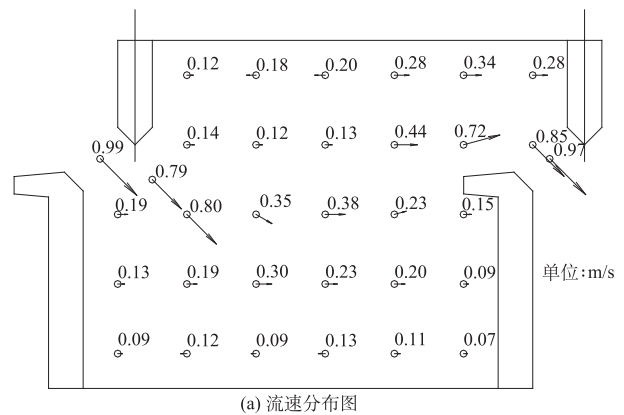
工况2条件下,下游水位升高后,第二进口以下的鱼道池室水深沿程逐渐增加,竖缝处的过水面积增大,流速逐渐变缓,池室内的主流形态仍呈“S”形。但池室的水流较顺直,行程缩短。水流经第一进口时,仍沿右侧下行,但左侧的回流面积增大,鱼道第二进口及其他池室的流态与工况1基本类同。

3.2 池室沿程水深

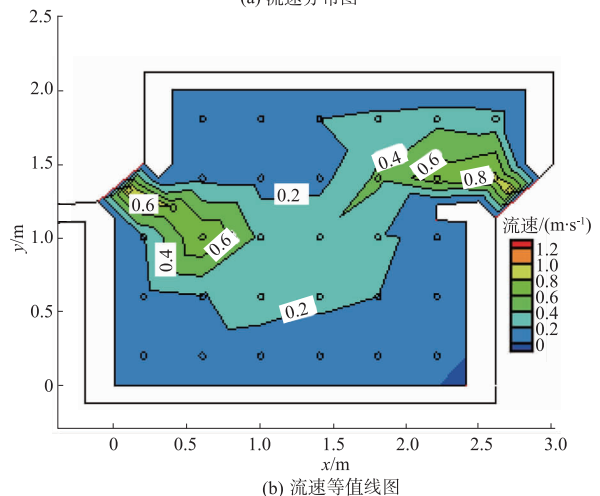
在各个池室内均布置了水位测点,对鱼道沿程水深进行观测并分别计算各级池室的水位差。试验结果表明,工况1条件下,沿程池室水深可维持在1.50 m左右,上下级池室的水位差均为0.05 m,与池室底板坡度2%相近,休息池内水深略小,为1.48 m。工况2条件下,下游水位抬升后,第一进鱼口处水深为4.10 m,向上游沿程逐渐减小,至模型上游鱼道出口时水深变为1.61 m,上下级池室内水位差在上游段基本为0.05 m,至下游段后逐渐减小。

3.3 流速

工况1和2两种条件下池室的表面流速矢量及流速等值线分布见图3和图4。



(a) 流速分布图



(b) 流速等值线图

图3 工况1池室内表面流速分布及等值线图

Fig.3 Velocity distribution and contours on pool surface in working condition 1

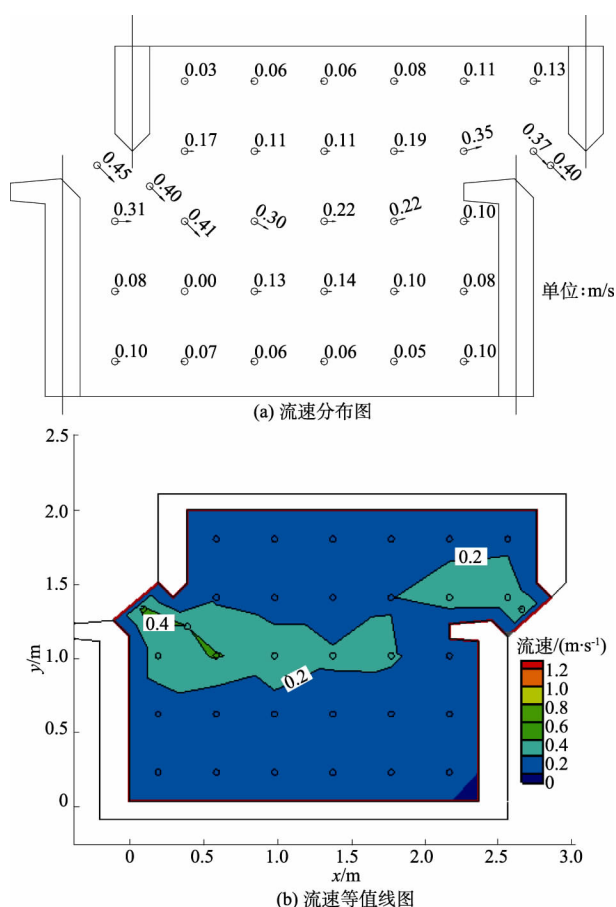


图4 工况2(水深4.1 m)池室表面流速分布及等值线图

Fig.4 Velocity distribution and contours on pool surface in working condition 2 (water depth 4.1 m)

鱼道的水流在工况1条件下,沿程池室的水流条件及流速分布基本相同,竖缝处流速在1.0 m/s左右,池室中间主流流速为0.4~0.8 m/s,两侧及隔板下游附近流速均小于0.3 m/s,呈回流或静水状态。

鱼道的水流在工况2条件下,两进口间的池室沿程水深逐渐增加,过水断面面积沿程逐渐增大,平均流速沿程逐渐减小。池室最大水深(4.1 m)处的竖缝流速在0.40 m/s左右,池室的流速也相应逐渐减小,但主流流速仍大于0.20 m/s。

根据杨军^[1]的研究结果,体长20~30 cm的鱼类,其感应流速为0.2~0.3 m/s,喜爱流速为0.5~0.8 m/s,通过孔口的极限流速为1.0~1.2 m/s。模型试验观测的池室水力条件基本能满足通过4大家鱼(人工饲养的青鱼、草鱼、鲢鱼、鳙鱼)的上溯要求。

3.4 活鱼试验

为了观测活鱼对本文鱼道型式的适应性,模型中进行了活鱼试验。活鱼选择了2条青色鲫鱼(1#鲫鱼长9.0 cm、宽2.5 cm;2#鲫鱼长6.0 cm、宽

1.5 cm)以及近10条红色杂交鲫鱼(长度均在10.0 cm左右)。

工况1条件下,2条青色鲫鱼表现出了较大的差异。1#鲫鱼在进入池室后,能较快地找到主流及竖缝位置,迎流上溯,较迅速地穿过竖缝,进入上一级池室,之后沿鱼道左侧窄隔板流速较小区域上溯,并偶有停顿,然后再沿竖缝通过进入更上一级池室。1#鲫鱼在每上溯5~6级池室后会停留休息。2#鲫鱼在进入池室后,也能沿主流经竖缝上溯,但因体力相对较弱,没能顺利上溯,且有被竖缝水流冲至下游的现象发生。

考虑到鱼类有群体活动的特性,故选择了10条红色杂交鲫鱼作为研究对象,以观察鱼类的群体活动特性。试验工况选择工况2。该工况下,杂交鲫鱼在1#青色鲫鱼的带动下,能顺利地找到主流及竖缝位置,一起较快地上溯,即使是较小体型鲫鱼,也能跟着较快地顺利上溯。在模型中每3 min上溯距离约10 m。另外,该鱼类均喜欢沿鱼道底部上溯,活鱼试验时鱼类在池室中的上溯形态见图5。

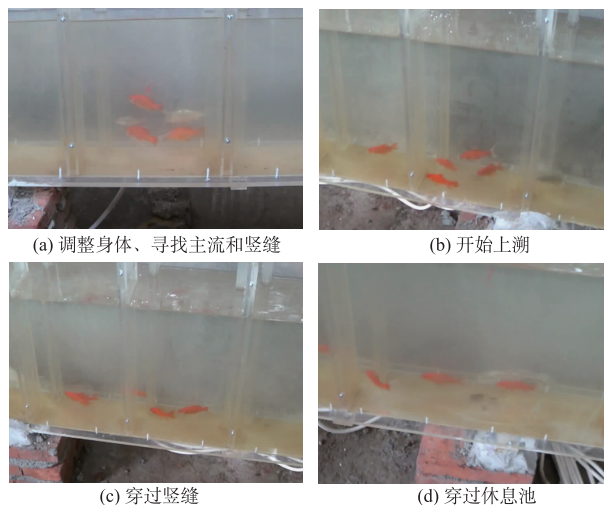


图5 鱼类在池室中上溯形态

Fig.5 Upstream steps of fish in the pool

4 结论及建议

(1) 导竖式隔板型鱼道中,水流顺竖缝向右以45°进入下级池室,池室水流呈“S”形。主流两侧为弱回流,宽隔板上下游较小范围的流速较小或呈静水状态。整个池室水流较为平稳,流态良好,主流与静水(或弱回流)分布区域合适,比较适合鱼类洄游上溯。

(2) 各工况下竖缝附近的最大流速均未超过1.2 m/s,主流流速变化也比较顺畅,池室的小流速

区和静水区的面积均比较大,适合 4 大家鱼鱼群洄游上溯。在设计工况下,沿程池室内水深基本相同,上下级池室内水位差恒定,且与池室底板坡度相同,鱼道隔板的尺寸及竖缝型式均满足要求。

(3) 活鱼试验表明,在有鱼群(多条鱼)进入池室时,体型大于 $6.0\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ (体长 \times 体宽)的鱼类能顺利地找到主流及竖缝位置,克服模型最大竖缝流速(约 0.4 m/s),较顺利地进行洄游上溯,在 3 min 内能上溯近 10 m 的距离。

综上所述,鱼道池室流态良好,流速分布合理,竖缝最大流速满足要求。本鱼道采用同侧导竖式的隔板型式,池宽 2.0 m ,单池长 2.6 m ,竖缝宽度 0.4 m ,池底坡度 2% 等参数设计基本合理。本次模型试验成果,可供体长为 $20\sim 30\text{ cm}$ 的 4 大家鱼保护鱼类的相关工程鱼道建设作为参考。

参考文献:

[1] 杨军严. 初探水利水电工程阻隔作用对水生动物资源

及水生态环境影响与对策[J]. 西北水力发电,2006,22(4):80-82. (YANG Jun-yan. Discussion on Obstruction of Hydraulic Engineering on Aquatic Resources and Aquatic Ecology and the Countermeasures[J]. Journal of Northwest Hydroelectric Power,2006,22(4):80-82. (in Chinese))

[2] 刘志雄,周 赤,黄明海. 鱼道应用现状和研究发展[J]. 长江科学院院报,2010,27(4):28-35. (LIU Zhi-xiong, ZHOU Chi, HUANG Ming-hai. Situation and Development of Fishway Research and Application[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010,27(4):28-35. (in Chinese))

[3] 南京水利科学研究所. 鱼道[M]. 北京:电力工业出版社,1982. (Nanjing Hydraulic Research Institute. Fishway[M]. Beijing: Electric Power Industry Press, 1982. (in Chinese))

(编辑:黄 玲)

Hydraulic Characteristics of Vertical Cross-set Slots Fishway with Deflecting Block

LIU Zhi-xiong, YUE Han-sheng, WANG Meng

(Hydraulics Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: The hydraulic characteristics in the pool of vertical cross-set slots fishway with deflecting block were researched through 1:10 partial fishway model test. The hydraulic factors such as flow regime, velocity distribution in the pool and the suitable upstream path for targeted fishes were observed, and the baffle shape, slot width and pool length were analyzed. The results verified the rationality of the baffle type, pool size, and parameters of the fishway. Through live fish experiment, we get the physiological characteristics and hydraulic conditions favorable for the breeding migration of four major Chinese carps.

Key words: fishway; migration; vertical cross-set slots fishway with deflecting block; pool room; flow velocity

(上接第 112 页)

characteristics influenced by artificial macrophytes, but quantitative research on the interaction among natural macrophytes, water flow and sediment resuspension is required; ②quantitative research findings on the interaction among macrophyte growth under conventional or extreme hydrological events, water flow and sediment resuspension are inadequate; ③quantitative research on the interaction among natural macrophyte communities, water flow and sediment resuspension remains to be promoted.

Key words: macrophytes; water flow; sediment resuspension; interaction