

Experimental Study on the Influence of Adding Pier on the Internal Flow Field of Vertical Slot Fishway

Sifang Feng, Huiling Wu, Wenjie Ren, Junyu Zhou, Mengqi Tian, Xi Mao*

College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an Sichuan
Email: 1048022480@qq.com, *maowhiteknight@163.com

Received: Aug. 14th, 2017; accepted: Aug. 28th, 2017; published: Sep. 6th, 2017

Abstract

The construction of water conservancy projects blocks the continuity of the river, affecting the migration path of fish, leading to the extinction of some migratory fish stocks. At present, the vertical slot fishway constructed in China has alleviated the influence of water conservancy project on water biology, but at the same time there are some disadvantages. The model test of vertical slot fishway of a hydropower station shows that the velocity of the vertical slot is too large, which is close to the critical swimming speed of fish, which leads to the damage of fish. It is necessary to optimize the structure of vertical slot fishway. Adding a pier structure to the vertical joint of the original vertical slot fishway, increasing the resistance of water to achieve better efficiency, by controlling the variable method to determine the best position of the pier, a pier-type vertical slot fishway structure is proposed. Compared with the original structure, the flow rate of the improved model is reduced and the flow is gentle.

Keywords

Vertical Slot Fishway, Pier, Structure, Migration

竖缝式鱼道内部流场受加墩影响的模型试验研究

冯思芳, 武慧铃, 任文杰, 周俊宇, 田梦琦, 毛 熹*

四川农业大学水利水电学院, 四川 雅安
Email: 1048022480@qq.com, *maowhiteknight@163.com

收稿日期: 2017年8月14日; 录用日期: 2017年8月28日; 发布日期: 2017年9月6日

*通讯作者。

摘要

水利工程的修建阻断了河流的连续性,影响了鱼类的洄游路径,导致某些洄游鱼类种群的灭绝。现阶段国内修建的竖缝式鱼道,缓解了水利工程对水生物的影响,但同时存在一些弊端。对某水电站的竖缝式鱼道进行模型试验,数据显示其竖缝处流速过大,接近鱼类的临界游泳速度,导致鱼类受到损伤,有必要对竖缝式鱼道竖缝口流速进行调整控制。在原竖缝式鱼道的竖缝处添加一个墩结构,增大水的阻力,达到更好的消能效果,通过控制变量法确定墩最佳的位置,分析竖缝式鱼道内部流场受加墩的影响。加墩后的模型相比原结构,其流速减小,水流平缓。

关键词

竖缝式鱼道,墩,结构,洄游

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水利工程的修建对上下游水生态环境产生了严重的影响,阻断了洄游鱼类的洄游路径,导致某些鱼类种群的灭绝,而鱼道的出现,缓解了水利工程对水生物的影响。鱼道是供鱼类顺利通过大坝的生态补偿工程,世界上常见的鱼道主要有以下3种:旦尼尔式鱼道、池堰式鱼道、竖缝式鱼道[1]。其中现目前应用最广泛的是竖缝式鱼道[2],但国内对鱼道的修建往往是借鉴国外的经验,国内鱼类不能很好的适应鱼道内的水流流态,特别是竖缝处的流速过大接近鱼类的游泳极限速度,导致过鱼效果并不太理想[3]。以往针对这一问题进行了相关研究,比如毛焘提出具有3级跌坎结构的新型鱼道[4];胡涛等人通过模型试验研究了多折回通道型鱼道的水力特性[5];董志勇研究提出了同侧竖缝式鱼道的不足和改进措施[6];加拿大的 Rajaratnam 等人对竖缝式鱼道形式进行了模型试验,研究了无量纲流量与鱼道池中水深之间的关系[7];法国的 Larinier 研究了竖缝式鱼道的消能效果,认为各级水池内的单位体积消能率宜小于 200 w/m^3 [8]。

2. 试验设备和试验方案

2.1. 试验设备

本试验采用的设备为便捷式流速仪,它采用了特殊的超微功耗设计方案,全数字信号处理技术,使得仪表测量更加稳定可靠,测量精度高,可广泛用于水文、水利、农灌、给排水等需要经常移动测量而且现场又无电源的场合。

2.2. 试验方案

竖缝式鱼道内部流场受加墩影响的模型试验设计两种方案,两种方案只是墩结构的位置发生了变化,其余变量均保持一致。采用控制变量法,使结果更具说服力,并将两种方案的测量数据,与在未加墩的原始模型中测得的数据进行对比,得到最佳墩结构的位置。

本文以某水电站鱼道为原型，将模型实验和理论分析相结合，采用重力相似准则[9]以 1:6 的比尺建立鱼道模型，分别依据加墩前和两种改进方案的鱼池中主流路径和回流路径的走向，布设测点。并用小威龙依次对各测点进行测量。最终将所得的数据进行分析整理，对比两个方案和原始鱼道模型流速的变化，得出结论。

3. 原始鱼道模型试验

实验以某水电站为原型，其具体的尺寸及形状如图 1(a)所示(单位：m)，用 1:6 的比例进行缩放，则模型的尺寸示意图如图 1(b)所示(单位：m)。本试验取中间四个水池为研究对象。

图 2 是原始鱼道的模型第三级水池的流速试图。

图 2 中各测点的分布如下：测点(1)至(9)布置在主流上，测点(10)到(15)，测点(16)到(18)分别布置在两个旋涡上。

表 1 为图 2 中各测点位置的流速(单位：m/s)。由于篇幅原因，只列出第三级水池的实验数据，另外本文所有数据已通过相似原理[9]把模型中的所有实测资料还原成原型。

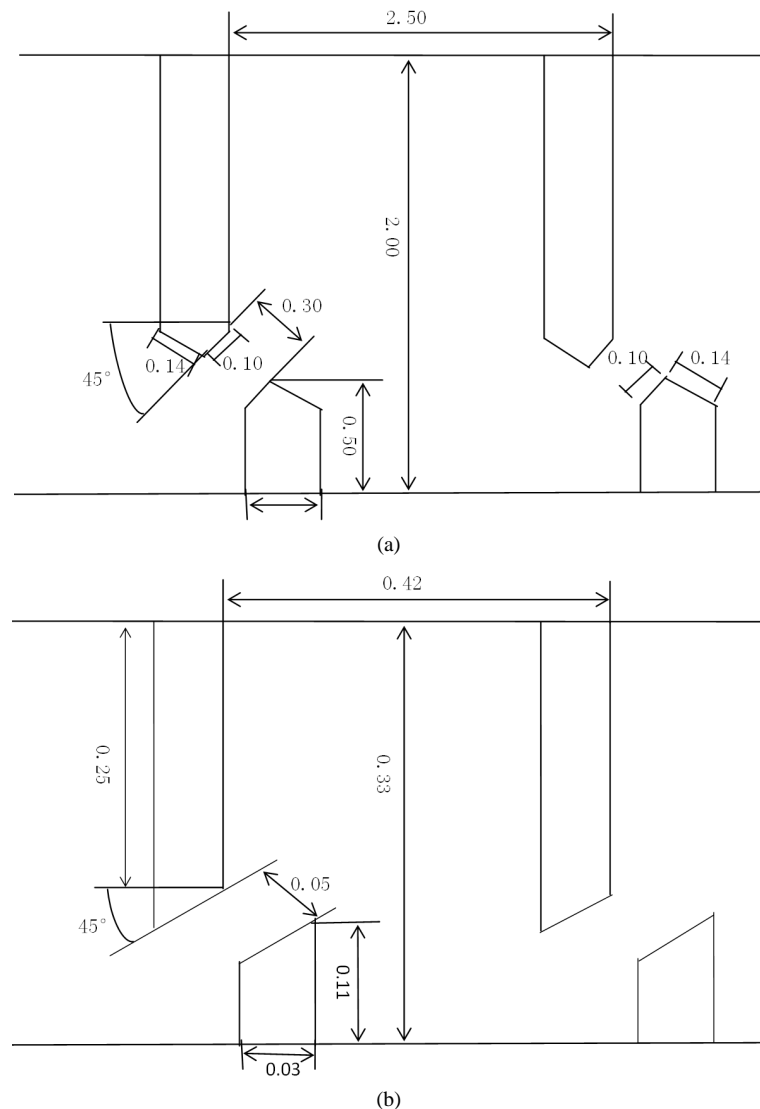


Figure 1. (a) The diagram of the fishway; (b)The diagram of the model
图 1. (a)鱼道尺寸示意图；(b)鱼道模型尺寸示意图

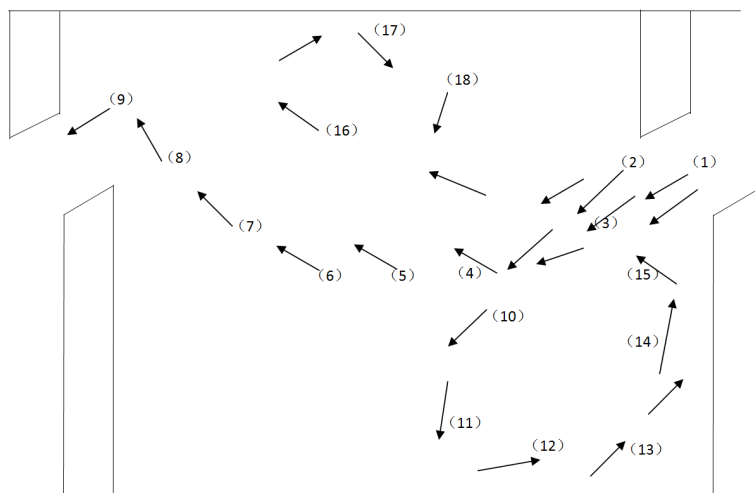


Figure 2. The velocity map of the original model

图 2. 原始鱼道流速图

Table 1. Velocity of Figure 2

表 1. 图 2 中测点位置的流速

测点编号	对应流速(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
(1)	0.55
(2)	0.77
(3)	0.51
(4)	0.52
(5)	0.53
(6)	0.46
(7)	0.50
(8)	0.49
(9)	0.31
(10)	0.19
(11)	0.12
(12)	0.21
(13)	0.12
(14)	0.09
(15)	0.10
(16)	0.10
(17)	0.19
(18)	0.14
主流测点(1)~(9)的平均流速	0.52

水流通通过竖缝口，根据水流的连续性方程： $Q = V \cdot A$ ，速度增大，然后断面扩大，流速减少，由于壁的阻挡作用，主流两侧形成大小不一的旋涡，随后主流流入下一级水流，以同样的形式进行运动。

4. 优化设计方案

由试验分析可知,原始鱼道的消能主要是通过竖缝处的束窄作用,形成较大的旋涡,达到消能的目的,但消能设施的数量较少,消能效果并不太明显,导致鱼道中的流速过大,从图 2 来看,原始鱼道中产生的旋涡范围较大,使得水流流态比较紊乱。本文通过在竖缝处附近增加墩结构,使消能更充分。墩结构的不同位置对流速的影响也有较大的不同,所以针对墩结构的位置设计两种不同的方案,分别将主流路径最高点处(方案一)和墩结构放置在竖缝口处(方案二),测量主流流速的变化。

4.1. 方案一模型试验

方案一将墩结构布置在主流路径最高点处。

图 3 为方案一鱼道模型第三级水池的流速图。

图 3 中各测点的分布图如下,测点(1)至(13)布置在主流 1 上,测点(14)至(20)布置在主流 2 上,测点(21)至(24),测点(25)至(28)、测点(29)至(32)分别布置在三个旋涡上。

表 2 给出了图 3 中各测点位置的流速(流速单位为 m/s)。

4.2. 方案二模型实验

方案二将墩结构布置在竖缝口处。

图 4 为方案二鱼道模型第三级水池的流速图。

图 4 中各测点的分布如下:测点(1)至(12)布置在主流 1 上,测点(13)至(18)布置在主流 2 上,测点(19)至(20),测点(21)至(25)分别布置在两个旋涡上。

表 3 给出了图 4 中各测点位置的流速(流速单位为 m/s)。

5. 实验结果分析

水流通过竖缝处后,由于墩结构的阻挡作用,在墩前再次壅高,随后分为两股主流,发生跌水。主流 1 路径较长,主要沿着边壁流动,流速较小,在下一个竖缝处与主流 2 汇集,一起流入下一级水池,

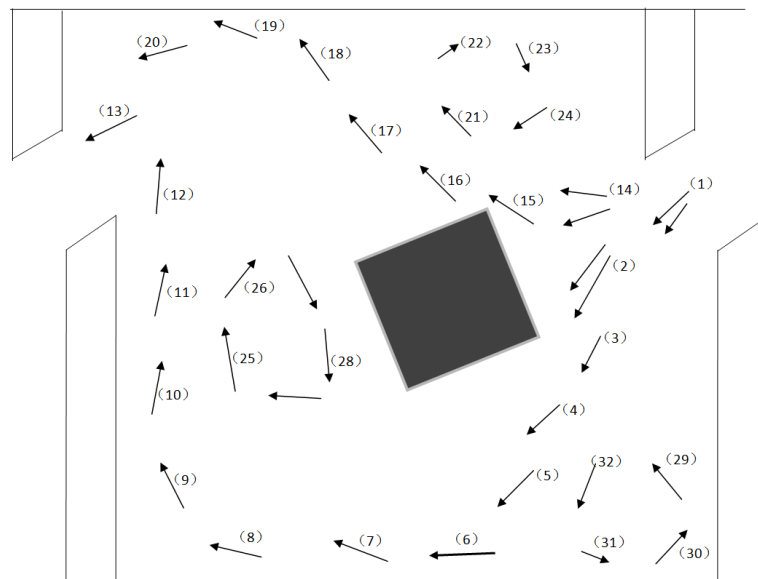


Figure 3. The velocity map of plan a

图 3. 方案一的流速图

Table 2. Velocity of Figure 3
表 2. 图 3 中各测点位置的流速

测点编号	对应流速(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
(1)	0.54
(2)	0.35
(3)	0.34
(4)	0.43
(5)	0.37
(6)	0.35
(7)	0.40
(8)	0.34
(9)	0.24
(10)	0.27
(11)	0.25
(12)	0.19
(13)	0.26
(14)	0.61
(15)	0.29
(16)	0.48
(17)	0.34
(18)	0.28
(19)	0.17
(20)	0.20
(21)	0.32
(22)	0.10
(23)	0.09
(24)	0.12
(25)	0.06
(26)	0.07
(27)	0.08
(28)	0.09
(29)	0.08
(30)	0.17
(31)	0.13
(32)	0.19
主流 1 测点(1)~(13)的平均流速	0.33
主流 2 测点(14)~(20)的平均流速	0.33

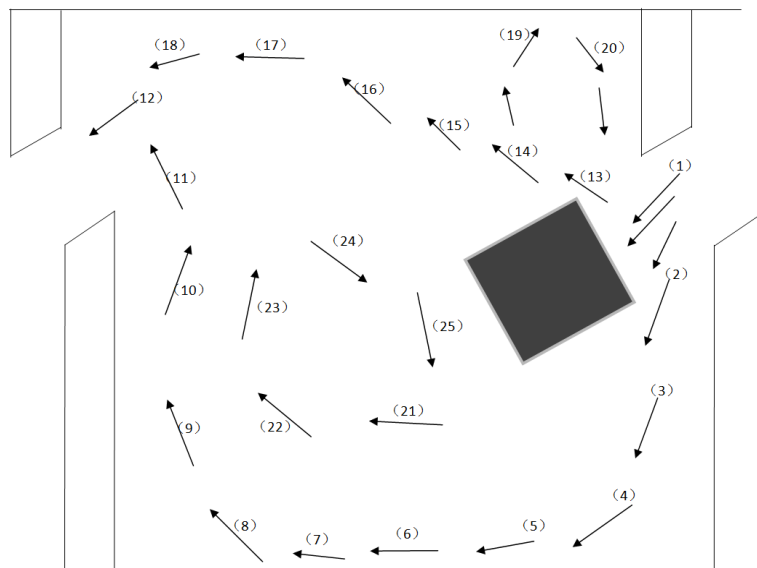


Figure 4. The velocity map of plan b

图 4. 方案二的流速图

Table 3. Velocity of Figure 4

表 3. 图 4 中各测点位置的流速

测点编号	对应流速(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
(1)	0.50
(2)	0.44
(3)	0.36
(4)	0.26
(5)	0.30
(6)	0.31
(7)	0.25
(8)	0.18
(9)	0.17
(10)	0.17
(11)	0.09
(12)	0.26
(13)	0.41
(14)	0.51
(15)	0.39
(16)	0.29
(17)	0.15
(18)	0.18
(19)	0.05
(20)	0.06
(21)	0.03
(22)	0.04
(23)	0.06
(24)	0.04
(25)	0.04
主流 1 测点(1)~(12)的平均流速	0.27
主流 2 测点(13)~(18)的平均流速	0.32

水流就这样发生重复性的周期运动。

从表 1、表 2 和表 3 对比可得,原始鱼道主流的平均速度为 0.52 m/s;方案一(墩结构布置在主流路径最高点,其主流 1 和主流 2 测点的平均流速分别为 0.33 m/s、0.33 m/s,与原始鱼道相比,其平均流速分别降低了 36.54%、36.54%;方案二(墩结构布置在竖缝口处),其主流 1 和主流 2 测点的平均流速分别为 0.27 m/s、0.32 m/s,与原始鱼道相比,其平均流速分别降低了 48.08%、38.46%。

水流刚进入竖缝处时,断面缩小,流速增加;通过竖缝处后,断面突然增大,根据水流连续性方程,流量不变,流速相应减小。在原始模型的基础上添加墩结构,使得水流在通过竖缝口后与墩结构发生碰撞,达到二次消能的效果,使得竖缝流速降低。就流速而言,优化后的鱼道更有利于鱼类洄游。

另外,由表 1、表 2 和表 3 可知,原始鱼道的主流最大流速为 0.77 m/s,最小流速为 0.31 m/s,两者相差 0.46 m/s;方案一(墩结构布置在主流路径的最高点),其主流 1 的最大流速为 0.54 m/s,最小流速为 0.19 m/s,两者相差 0.35 m/s,主流 2 的最大流速为 0.61 m/s,最小流速为 0.17 m/s,两者相差 0.44 m/s;方案二(墩结构布置在竖缝口处),其主流 1 最大流速为 0.50 m/s,最小流速 0.09 m/s,两者相差 0.41 m/s,主流 2 的最大流速为 0.51 m/s,最小流速为 0.15 m/s,两者相差 0.36 m/s。对比可得,优化方案中的水流流态变化较平缓。墩结构的增加,将原来的一条主流分流,变成两条主流,使得能量分散,另外鱼池内主流路径变长,流态也更平缓。

而且,优化鱼道中旋涡的范围较小,水流流态比较平缓。另外比较方案一和方案二,由图 3 和图 4 可知,方案二(墩结构布置在竖缝口处),其主流 1 沿着边壁流动,形成的旋涡非常小可忽略不计,主流 2 沿着边壁向上游回流,形成第一个旋涡,其主流 1 和主流 2 包围的区域在墩结构后形成第二个旋涡。但方案一(墩结构布置在主流路径的最高点)中,主流 1 会沿着边壁向上流回流,形成旋涡,相比方案二(墩结构布置在竖缝口处)增加了旋涡的范围,使得水流流态相对来说紊乱一些。因此方案二(墩结构布置在竖缝口处)更适宜鱼类洄游。

6. 结论

本文通过研究竖缝式鱼道内部流场受加墩的影响,可以得到以下几点结论:

- 1) 优化鱼道相比原始鱼道,利用墩的挡水作用,达到二次消能的目的,其主流上的平均流速降低了 35% 以上,使得消能效果更加充分。
- 2) 相比方案一(墩结构布置在主流路径的最高点),在竖缝口处布置墩结构(方案二),其旋涡范围较小,水流流态更加平缓,更有利于鱼类洄游。
- 3) 方案二(在竖缝口处布置墩结构)主流 1 上流速变化幅度(0.41 m/s)和主流 2 上流速变化幅度(0.36 m/s)都比原始鱼道的主流流速的变化幅度(0.46 m/s)小,可见,优化方案的水流比原始鱼道更加平缓。

综上所述,就鱼道流速的影响而言,将墩结构布置在竖缝口处的鱼道,其消能效果更好。通过以上简单分析,在竖缝处优化鱼道比原始鱼道的流速小,确实更适宜鱼类洄游,但是本实验并没有进行过鱼实验,对鱼类洄游的真实情况并没有具体反映出来,今后也将继续研究,进一步完善实验。

基金项目

四川省教育厅自然科学项目(035Z1994);大学生创新训练计划四川省级重点项目(04054693, 04070066)。

参考文献 (References)

- [1] 毛熹,脱友才,安瑞冬,等. 结构变化对鱼道水力学特性的影响[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2012, 44(3): 13-18.
- [2] 张湘隆. 竖缝式鱼道设计与研究[J]. 水电站设计, 2014(1): 97-99.

- [3] 李昌刚, 丁磊, 吴海林. 对鱼道设计常见问题的文献综述[J]. 灾害与防治工程, 2009(2): 19-23.
- [4] 毛熹, 李嘉, 易文敏, 等. 鱼道结构优化研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2011(S1): 57-62.
- [5] 胡涛, 王均星, 周建烽, 等. 多折回通道型同侧竖缝式鱼道竖缝流速特性研究[J]. 中国农村水利水电, 2015(7): 153-155.
- [6] 董志勇, 冯玉平, Ervine, A. 同侧竖缝式鱼道水利特性及放鱼试验研究[J]. 水利水电学院, 2008, 27(6): 121-125.
- [7] Rajaratnam, N., Katopodis, C. and Solanski, S. (1992) New Designs for Vertical Slot Fishway. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **19**, 402-414. <https://doi.org/10.1139/192-049>
- [8] Larinier, M., Travade, F. and Porcher, J.P. (2002) Fishways: Biological Basis, Design Criteria and Monitoring. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, **364**, 208.
- [9] 吴持恭. 水力学[M]. 下册. 北京: 高等教育出版社, 2008.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org