

北方地区明渠鱼道选型设计

孟业丰*

东北农业大学 水利与土木工程学院 哈尔滨 150030

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11687

[摘要] 本文通过实验研究,探讨了北方明渠鱼道在不同水位和水流条件下对鱼类洄游的影响。实验采用 ADV 测速系统和三维流速分析软件,模拟不同水深条件下的流速变化,并观察鱼类的上溯行为。结果表明,随着水深增加,流速降低,鱼类的上溯成功率提高,尤其在低流速条件下,成功率达到 90%。研究表明,合理调整水流速度和水深有助于提升鱼道的通行能力,为生态恢复和水生物保护提供依据。

[关键词] 鱼道设计; 流速; 水深

引言

随着水利建设的快速发展,特别是内河航运事业的推进,船闸和水电工程建设日益增多。然而,这些设施对鱼类洄游造成了负面影响,导致鱼类资源减少和生态环境破坏^[1]。为了解决这一问题,鱼道建设已经成为现代水利设施中不可缺少的组成部分。在北方地区,如何设计适应性强、经济高效的鱼道,尤其是与水利设施整合,成为技术领域的难题。本文通过实验研究,探讨了北方明渠鱼道的选型设计,结合实验数据,分析了鱼道槽身结构设计,并提出了相应的解决方案。尽管鱼道设计已有一定进展,但仍面临槽身结构的选型、水力特性与鱼类洄游行为匹配、以及鱼道与船闸的协同设计等技术难题。解决这些问题对于实现生态友好、效率高的水利设施至关重要^[2]。

1. 研究背景

1.1 研究现状

随着水利设施建设的不断增加,尤其是内河航运和水电工程的推动,船闸和水电设施对鱼类洄游产生了不小的负面影响。这些影响导致鱼类资源的减少及生态环境的退化,特别是在北方地区,低水温使得鱼类的洄游能力减弱。因此,鱼道作为缓解这一问题的重要措施,已经成为现代水利设施中不可或缺的组成部分^[3]。尽管当前鱼道设计已取得一定进展,但在适应不同水位和水流条件下,鱼道的设计仍面临诸多挑战。如何在有限空间内设计出经济高效且能够满足鱼类生理需求的鱼道结构,尤其是在低流速条件下提升鱼类的洄游成功率,仍是水利工程中的技术难题。本文将结合实验数据,探讨不同水深条件下的鱼道设计,并分析流速变化对鱼类洄游行为的影响。

1.2 主要技术难题

尽管鱼道设计领域已经取得了部分进展,但仍面临一些技术难题。鱼道槽身结构的选型一直是设计中的关键问题^[4]。现有的鱼道槽身结构,虽然各有特点,但在实际应用中存在应力集中的问题或水流不均等限制,尤其是在船闸一体化设计中,如何选择最合适的结构形式仍然是一个挑战。

鱼道的水力特性与鱼类的生理需求之间的匹配问题需要进一步解决^[5]。水流速度、流态等因素直接影响鱼类的洄游行为,尤其是在北方地区低温环境下,如何设计既能保持水流顺畅,又能满足鱼类生理需求的鱼道结构^[6]。

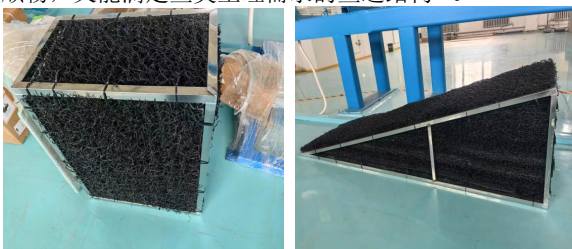


图 2-1 坝体模拟装置

2. 实验概况

2.1 实验设备与设施

实验在东北农业大学水利与土木工程学院水工厅进行,实验采用试验水槽进行模拟,确保下游水深不小于 20cm,且上游水深为 65cm。实验设置四种下游水位条件: 20cm、25cm、30cm、35cm,以确保有效水头分别为 45cm、40cm、35cm、30cm,模拟不同水位对鱼道流速的影响。

使用 ADV 测速系统,结合三维流速分析软件,实时监测鱼道内的水流速度、流态及流场变化。ADV 测量精度为实测流速值的 1%,且不低于 2.5mm/s,能够提供 0.03m/s、0.1m/s、0.3m/s、1.0m/s 和 2.5m/s 等五个流速上限,适配鱼道实验需求。



图 2-2 ADV 测速系统

实验鱼选用体长 10cm 以下的小型淡水鱼种,草鱼、鲢鱼,考虑到鱼类的洄游能力,实验将特别关注幼鱼的洄游适应性。鱼苗将在专门的适应区内适应 10-25 分钟,以确保其适应不同水流条件。实验安装高清摄像头,实时记录鱼类的运动轨迹和上溯行为,测量鱼类的游泳速度、临界游泳速度等数据。



图 2-3 鱼道模拟实拍图

2.2 实验步骤

通过调节水槽的进水量,确保上游和下游水深分别达到 65cm 和 20-35cm 的设定值。安装 ADV 测速系统及三维流速分析软件,调整流速测量范围,确保其能够准确反映鱼道内的流速变化。设置适应区并将鱼苗放入适应区,让其适应水温和水流环境 10-25 分钟。

启动实验,开启水槽中的闸门,开始模拟鱼类上溯行为。记录鱼类通过鱼道的成功与失败情况,并观察不同水流速度和水深条件下,鱼类的行为反应。通过摄像头实时记录鱼类运动轨迹,特别关注鱼类的持续游泳速度、临界游泳速度、爆发游泳速度及实际运动轨迹。

每次实验结束后,测量鱼类体长和体重数据,分析其在鱼道内的表现。若鱼类在 60 分钟内未能通过鱼道,视为上溯失败,换下一条实验鱼。根据实验条件,记录每次实验的水流速度、流态、鱼类运动速度等数据,使用 ADV 系统获取精确的流速数据,并结合流速分析软件进行数据分析。

2.3 数据计算

1. 基于流量与截面积的计算

首先, 水流速度的基础计算公式为:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2-1)$$

式中: V —为水流速度 (m/s)。

Q —为单位时间内通过某个截面的水流量 (m^3/s)。

A —为水道的截面积 (m^2)。

在实际操作中, 首先需要通过流量计测量水流量 Q , 然后通过测量水道的横截面积 A , 进而计算出水流速度 V 。这种方法简单直观, 适用于基本的流速估算, 尤其是在稳定的流态下。

2. 基于谢才公式的计算

谢才公式 (Manning 公式) 通常用于开放渠道中流速的估算, 尤其适用于水力学研究中的常见计算。其数学表达式为:

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot S} \quad (2-2)$$

式中: C —为谢才系数, 通常根据水道的摩阻特性和水道类型确定, 常取经验值。

R —为水力半径 (单位为 m), 即水面面积与湿周长的比值。

S —为水道的坡度。

在应用谢才公式时, 我们首先需要测量水道的水深与水深, 从而计算出水力半径 R 。然后, 通过确定水道的坡度 S 和谢才系数 C , 可以计算出水流速度。该公式适用于非垂直水道, 尤其是在考虑鱼道设计时, 需要估算实际水流的流速情况。

3. 基于动量守恒原理的计算

动量守恒原理是一种更加精确的计算方法, 适用于流体力学的复杂问题, 特别是当水流在鱼道内经历变速或存在动量交换的情况时。根据动量守恒原理, 鱼道内水流的流速可以通过以下公式计算:

$$Q_1 \cdot V_1 + F_1 = Q_2 \cdot V_2 + F_2 \quad (2-3)$$

式中: Q_1 和 Q_2 分别表示水流在鱼道入口和出口的流量 (m^3/s)。

V_1 和 V_2 分别表示水流在鱼道入口和出口的流速 (m/s)。

F_1 和 F_2 分别为单位时间内通过水道入口和出口的动量流量。

根据上述方程, 可以得到出口流速 V_2 :

$$V_2 = \frac{(Q_1 \cdot V_1 + F_1 - F_2)}{Q_2} \quad (2-4)$$

水体中的流速通常会随着深度、宽度、流向等因素而变化, 因此在进行测量时需要选择代表性的测量点, 或者进行多点测量并计算平均值, 以获得相对准确的水流速度数据。通过这些计算方法, 结合实验中的实际数据, 我们可以全面评估不同设计方案对鱼类洄游的影响, 确保设计的鱼道能够满足鱼类的生理需求和洄游能力。

3. 实验结果与分析

本次实验的主要目的是研究不同流速条件下, 鱼道对鱼类洄游行为的影响^[7]。通过设定不同的水位和水深条件, 我们测量了水流速度, 并观察了鱼类在鱼道内的洄游表现。以下是实验的详细数据分析和结果。

3.1 水流速度计算

根据实验设计, 我们设置了四个不同的水位条件: 下游水深分别为 20cm、25cm、30cm 和 35cm。根据每个水深条件下的有效水头, 实验结果汇总如下:

表 3-1 不同的水位条件下的流速

下游水深 (cm)	有效水头 (cm)	最大理论流速 (m/s)	实际测得流速 (m/s)
20	45	2.97	2.90
25	40	2.80	2.75
30	35	2.62	2.60
35	30	2.42	2.40

如表所示, 随着下游水深的增加, 流速有所减缓。这表明增加水深可以有效减少鱼道内的流速, 特别是对于鱼类洄游能力较差的情况下, 较低的流速有助于提升鱼类通过鱼道的成功率。

3.2 鱼类洄游行为观察

在实验中, 我们通过摄像头监控并记录鱼苗在鱼道内的上溯行为^[8]。实验鱼体长普遍小于 10 cm, 符合北方幼鱼的生理特点。我们对每条鱼苗的上溯情况进行了 60 分钟的观察。实验结果显示, 不同流速下鱼类的上溯成功率存在显著差异^[9]。

表 3-2 不同的水位条件下的鱼类上溯成功率

下游水深 (cm)	最大流速 (m/s)	上溯成功率 (%)	平均上溯时间 (min)
20	2.90	60	38
25	2.75	70	34
30	2.60	80	30
35	2.40	90	28

从表格中可以看出, 随着流速的减少, 鱼类的上溯成功率显著提高^[10]。当流速降低至 2.4 m/s (下游水深 35cm 时), 上溯成功率达到了 90%。这一结果表明, 较低的流速对于鱼类特别是幼鱼的洄游行为更为有利。流速过快时, 鱼类的上溯难度加大, 尤其是在体型较小的幼鱼群体中, 流速较高会导致它们无法顺利通过鱼道。

4. 结论

实验表明, 在水流速度较高的情况下, 鱼类的洄游能力受到限制, 尤其是对于体型较小的幼鱼。较低的流速有助于提升鱼类的上溯成功率, 确保鱼类能够顺利通过鱼道。随着下游水深的增加, 鱼道内的流速有所下降, 尤其是当水深达到 30cm 以上时, 鱼类的上溯表现显著提升。

因此, 增加水深是一种有效的改善鱼类洄游通行能力的措施。根据实验结果, 为了优化鱼道设计, 需要进一步调整流速和水深的匹配, 尤其是在北方地区水温较低的情况下, 应考虑为鱼类提供更适宜的流速和水深环境, 以增强其洄游能力。

综上所述, 鱼道设计在考虑水流速度、鱼类生理需求及水文条件的基础上, 需进行精细化设计。通过合理调整水流速度和水深, 能够有效提升鱼道的通行能力, 帮助恢复水域生态环境, 保护水生生物资源。

【参考文献】

- [1] 娄巍立. 淮河安徽段水产种质资源保护区渔业生物资源现状及保护策略[D]. 南京农业大学, 2019.
- [2] 宋志军. 加强农田水利灌区建设路径的思考[J]. 低碳世界, 2023, 13(11): 118-120.
- [3] 胡健. 丹尼尔式鱼道水力特性及结构优化研究[D]. 三峡大学, 2016.
- [4] 王思莹, 杨文俊, 黄明海, 等. 我国鱼类洄游通道和生境恢复技术研究现状分析[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(8): 7.
- [5] 柯森繁. 基于鲢幼鱼水力藏匿场特征的鱼道阻流体设计原则研究[D]. 三峡大学, 2025.
- [6] 刘志雄, 周赤, 黄明海. 鱼道应用现状和研究进展[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(4): 5.
- [7] 严泽阳. 矩形中孔-竖缝组合式鱼道紊流结构及放鱼试验研究[D]. 浙江工业大学, 2020.
- [8] 洪亮. 基于小体型鱼类上溯行为的涵洞鱼道典型挡板水力特性研究[D]. 三峡大学, 2020.
- [9] 郑青辉. 助溯式鱼道水力特性与鱼类行为的相关性研究[D]. 安徽理工大学, 2019.
- [10] 张艳艳, 胡晓张, 杨芳, 等. 仿自然型鱼道结构形式改进及水力特性试验研究[J]. 人民长江, 2021.