

与时间,实现数据全生命周期可追溯。

3.5 权限管理与可视化模块

分级权限管理:基于用户角色(基层操作人员、县级审核员、市级管理员等)分配不同操作权限,保障数据访问与操作的安全性,避免越权操作。

数据可视化:提供数据趋势分析、整编成果可视化图表(如水位变化曲线、流量过程线、要素对比图等),支持用户直观查看数据规律、核查整编合理性,同时支持图表导出,用于报告制作。

4 应用案例分析

4.1 测站概况

选取某省基层水文测站(以下简称“X测站”)作为应用案例。X测站位于平原河网区域,主要监测水位、流量、雨量3类水文要素,现有工作人员2名,此前采用人工整编方式,每月需完成约1.2万条原始数据的整理、计算与报表编制,工作周期约7-10天/月,且易因数据量大出现计算错误。

4.2 系统应用过程

前期准备:完成系统部署、传感器与数据采集终端对接、测站人员操作培训,配置符合X测站实际的整编方案,明确数据采集频率、校核阈值、审核流程等。

系统试运行:202X年X月-X月,在X测站试运行水文资料在线整编系统,对比应用前后的整编流程、工作时长与数据差错率。

效果评估:从工作效率、数据质量、操作便捷性三个维度,对系统应用效果进行量化与定性分析。

4.3 应用成效对比

4.3.1 工作效率显著提升

系统应用前,X测站每月需人工完成原始数据录入、计算、报表编制、纸质汇交等全流程,耗时7-10天;应用后,数据自动采集、智能校核、在线整编、一键汇交全流程自动化,每月整编耗时缩短至1-2天,工作效率提升约80%以上,工作人员可将更多时间投入到数据核查、业务分析等核心工作中,大幅减轻重复劳动。

4.3.2 数据质量大幅提升

系统应用前,人工整编因计算失误、逻辑判断偏差等,每月数据差错率约3%-5%;应用后,智能校核算法与多级审核机制有效规避异常数据,数据差错率降至0.1%以下,数据准确性与完整性显著提升,为上级部门决策提供可靠数据支撑。

4.3.3 操作便捷性提升

系统界面简洁,操作流程贴合基层人员习惯,无需专业技术背景即可快速上手;移动端支持随时随地查看数据、处理审核任务,打破时间与空间限制,进一步提升业务灵

活性。

5 存在问题与优化建议

5.1 存在问题

传感器兼容性有待完善:部分老旧测站的传感器型号较老,与系统数据采集终端的兼容性不足,需额外适配设备,增加了前期部署成本。

偏远测站通信稳定性不足:少数偏远基层测站4G/5G信号覆盖差,数据传输易出现中断、延迟,影响数据实时性。

人员数字化能力参差不齐:部分基层测站老员工对数字化系统操作熟练度不足,影响系统功能的充分发挥。

5.2 优化建议

拓展传感器适配范围:研发通用型数据采集适配器,支持更多老旧传感器接入,降低测站设备改造成本;同时,联合传感器厂商优化设备兼容性,从源头保障数据接入顺畅。

强化通信保障机制:针对信号差的偏远测站,配备卫星通信备用模块,实现4G/5G与卫星通信自动切换,保障数据传输稳定;同时,优化系统数据断点续传功能,避免数据丢失。

开展针对性培训:编制通俗易懂的操作手册,开展“一对一”实操培训与线上答疑,针对老员工设置简化操作模式,提升全员数字化操作能力;建立长效培训机制,定期组织系统功能更新培训,保障人员能力与系统发展同步。

6 结语

本文围绕基层水文测站水文资料整编的痛点需求,设计构建了水文资料在线整编系统,明确了系统架构、核心功能模块,并通过实际测站应用案例验证了系统的有效性。研究表明,该系统通过数据自动采集、智能校核、在线整编与快速汇交,有效解决了传统人工整编效率低、误差大、传递慢等问题,大幅提升了基层水文资料整编工作的质量与效率,是基层水文业务数字化转型的重要实践。

未来,需进一步优化传感器兼容性、强化通信保障、提升人员数字化能力,同时结合人工智能、数字孪生等技术,探索更智能的水文数据整编与分析方法,推动水文资料整编工作向更高水平发展,为水资源管理、防汛抗旱、水利工程建设等提供更加精准、及时的数据支撑。

参考文献

- [1] 谢谷良,曾薰媛,陈玉斌.水文监测资料在线汇交系统简述[J].人民珠江,2024,45(S2):139-141.
- [2] 陈才明,潘忠斌,李琼.水文资料在线整编系统研究与探索[J].水利信息化,2019,(02):34-37.
- [3] 季克强,蔡云华,李自顺,等.云南省水文资料在线整编标准化建设与实践研究[J].中国标准化,2025,(21):164-170.

Tailwater Weir Height Sensitivity Analysis for Fish Attraction and Collection Facilities in Tailrace Channels

Wenjie Cao¹ Mirezhat Tursun Maimaiti*

XinJiang Hydropower Survey Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

This study optimized the design of a fish attraction and collection facility in the tailrace of a water conservancy project in Xinjiang. It investigated the impact of tailwater weir height on flow field characteristics and fish upstream migration behavior, aiming to achieve an optimal balance between ecological benefits and engineering operations. The RNG $k-\epsilon$ turbulence model was employed to construct a full-terrain 1:1 three-dimensional physical model. Numerical simulations were conducted for four tailwater weir height schemes (0m, 0.3m, 0.5m, and 0.8m), systematically analyzing their effects on key hydraulic parameters such as flow velocity distribution and water level variations. The results show that without a tailwater weir, the average flow velocity within the system was 0.85 m/s, which, while meeting fish passage requirements, resulted in insufficient fish collection efficiency. Installing a 0.3m tailwater weir created a stable fish attraction channel with a width of 5m and a flow velocity of 0.80 m/s, while causing only a minimal water level rise of 0.03m, thus having the least impact on the power generation head. In contrast, the 0.5m and 0.8m tailwater weirs led to excessively high flow velocities within the system (1.1~1.76 m/s) and significantly raised water levels by 0.15~0.42m, which are unfavorable for fish upstream migration. By proposing the optimal scheme for this project, which balances the migratory needs of fish species such as *Schizothorax* with the economic operation of the power station, this study provides an important theoretical basis and technical support for the refined design of ecological compensation facilities in water conservancy projects.

Keywords

Fishways Design; Solid modeling; Numerical simulation of flow field; Scheme comparison and selection.

尾水渠集诱鱼设施尾水坎高度敏感性分析

曹文洁 米热扎提·吐尔逊买买提*

新疆水利水电勘察设计院有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

本研究优化了新疆某水利枢纽尾水渠集诱鱼设施设计, 探究尾水坎高度对流场特性与鱼类上溯行为的影响, 寻求生态效益与工程运行的最佳平衡点。采用RNG $k-\epsilon$ 湍流模型, 构建1:1全地形三维实体模型, 对0m、0.3m、0.5m和0.8m四种尾水坎高度方案进行数值模拟, 系统分析其对流速分布、水位变化等关键水力参数的影响。研究表明无尾水坎时系统内平均流速0.85m/s, 虽满足鱼类通过性但集鱼效率不足; 设置0.3m尾水坎可形成宽5m、流速0.80 m/s的稳定诱鱼通道, 且仅使水位上升0.03m, 对发电水头影响最小; 而0.5m和0.8m尾水坎则导致系统内流速过高1.1~1.76 m/s, 并显著抬升水位0.15~0.42m, 不利鱼类上溯。通过提出适合本工程的最优方案, 兼顾裂腹鱼等洄游习性需求与电站经济运行, 为水利工程生态补偿设施的精细化设计提供了重要理论依据和技术支撑。

关键词

鱼道设计; 实体建模; 流场数值模拟; 方案比选

1 引言

随着全球水电工程的快速发展, 水利枢纽对河流生态系统的扰动问题日益凸显, 尤其对洄游性鱼类的影响已成为生态水利领域的关键挑战。尾水渠集诱鱼设施作为连接工程运行与生态保护的核心纽带, 其流场特性直接决定鱼类上溯效率与生存安全。然而, 集诱鱼设施的布置位置与形式往往会直接影响集诱鱼效率, 因此设计前需充分了解工程区域流场, 选择合适的设计方案^[1]。随着流体数值模拟理论及计算技术的飞速发展, 流场数值模拟以其自身众多优点被广泛运用到实际工程设计中。例如, 贾召文等^[2]为进一步优

【基金项目】新疆最大装机高海拔水电站工程设计关键技术研究(项目编号: SLSJY-研2422)。

【作者简介】曹文洁(1989—), 女, 中国江苏南通人, 硕士, 副高级工程师, 从事水利水电规划、环境保护及水土保持研究。

【通讯作者】米热扎提·吐尔逊买买提(1996—), 男, 维吾尔族, 中国新疆伊犁人, 硕士, 工程师, 从事水利工程、流场数值计算与分析研究。

化西藏扎拉水电站鱼道池室流场结构,通过模型试验结合三维数值模拟技术分析了不同底坡条件下池室流场结构、流速分布、紊动能等水力特性。李国岭等^[3]采用数值模拟的方法,研究了同侧竖缝式鱼道不同转角 α ($90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$)的转弯段池室流场分布规律,并对不同转角池室提出了系统的优化措施。唐焯林等^[4]为减缓铜街子水电站阻隔影响,基于鱼类资源调查、鱼类游泳能力测试和流场数值模拟等前期研究,确定了过鱼对象和季节、鱼道流速和结构尺寸设计、鱼道进口布置。

本文以某水利枢纽工程尾水渠集诱鱼设施设计为依据,通过流场数值模拟的方法,对电站集诱鱼设施的最佳设计方案进行分析研究。

2 工程概况

水电站位于新疆配有四台机组发电,单台机组发电流量为 $22.54\text{m}^3/\text{s}$,不同时期四台机组运行情况视库水位及来流量而定。本设计初步提供发 187.389m 桩号布置诱鱼系统,在该位置处进行具体方案比选。经调查当地河流鱼类适合上溯流速范围为 $0.4\sim 1.2\text{m}/\text{s}$ 。其中, $0\sim 0.4\text{m}/\text{s}$ 的流速分布区域鱼类不易定位主流,为方向感较弱区,不宜作为过鱼通道; $0.4\sim 0.8\text{m}/\text{s}$ 的流速分布区域,为鱼类喜好流速区域,可以较为轻松的上溯,为最优过鱼通道区域; $0.8\sim 1.2\text{m}/\text{s}$ 流速分布区,虽同样在过鱼对象喜好流速范围内,但鱼类上溯时需要耗费较多的能量,为辅助过鱼通道;大于 $1.2\text{m}/\text{s}$ 流速区,流速大于过鱼对象的临界流速,该区域不可作为过鱼通道,为流速障碍区^[5-7]。

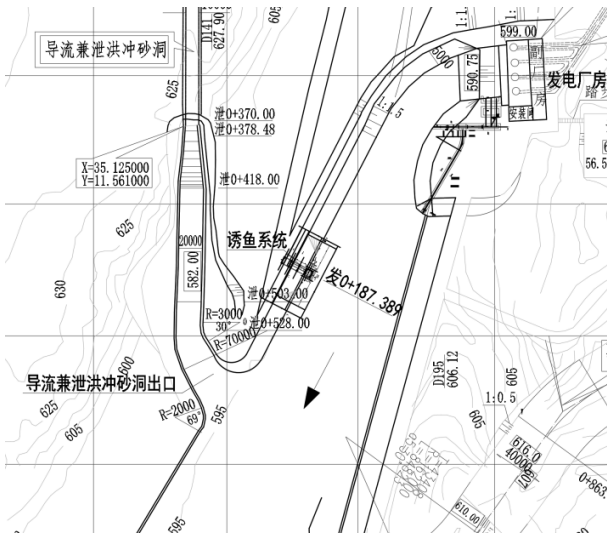


图 2-1 尾水渠诱鱼系统布置图 (1:1000)

3 模型构建及工况设置

3.1 控制理论方程

数值模拟采用 RNGk- ϵ 湍流模型, Yakhot 和 Orszag 提出来的 RNGk- ϵ 湍流模型是一种改进的 k- ϵ 模型,相

比于标准 k- ϵ 模型对有旋流等复杂流动模拟效果欠缺, RNGk- ϵ 在其 ϵ 方程中增加一项,考虑了小尺度涡对湍流的影响作用,同时提高了高速流动的准确性,尤其是对强剪切区域紊流、急变流、强旋流的数值计算。RNGk- ϵ 湍流模型自诞生以来经过无数学者加以修正,其准确性也被众多学者所证实^[8-11]。

3.2 算例模型构建

考虑没有天然河道底部地形数据,电站尾水渠底部衬砌,两岸护坡全长在 550m 左右,基本满足计算要求,因此,按照原设计混凝土渠道结构尺寸,建立了 1:1 的三维实体模型。计算中共设置 5 块网格块,其中网格块 1 为单台电机出水洞位置,2~5 沿上下游方向顺接。发电机组出水洞位置及诱鱼系统位置局部加密,保证出水量精确和诱鱼系统结构模拟准确。尾水渠区域适当放宽网格大小,降低计算成本。总体网格的大小为 $0.10\text{m}\sim 0.80\text{m}$,总网格数量 440 万左右。通过 X 轴定义模型进出口附近区域及诱鱼系统处监测断面,监测模型进出口和诱鱼系统处实时流量和流速等水力参数。

3.3 工况设置

由于不同时期电站发电站机组运行数量不同,本次计算模拟选取典型工况,即一台机运行工况,在此基础上设置尾水渠流场数值模拟方案,工况是一台机发电 ($20.52\text{m}^3/\text{s}$),上游水位 591.6m ,下游水位 591.2m 。具体方案设置如下表所示:

表 2.2-1 计算方案设置表

方案	内容
1	仅诱鱼系统
2	导流挡板关 15 度,尾水坎高度 0.3m
3	导流挡板关 15 度,尾水坎高度 0.5m
4	导流挡板关 15 度,尾水坎高度 0.8m

注:导流挡板关 15 度,即导流挡板与水流期初平行,关导流挡板是将其靠近渠道岸坡。尾水坎一端紧靠诱鱼系统,另一侧端紧靠岸坡,总长 73.6m 。尾水坎高度从该断面渠道河床底部算起。

4 电站尾水流场三维数值模拟

方案一至方案四数值模拟计算工况为一台大机组发电,流量 $20.52\text{m}^3/\text{s}$ 。分别数值模拟不同尾水坎高度条件时的流场情况。水流方向从左向右、从上向下。

为方便观察水流流速分布规律,图中流速云图跨度取 $0\sim 3.00\text{m}/\text{s}$ 。1# 机组发电情况下,在尾水反坡出口右侧区域水流流速较大,约为 $2.25\text{m}/\text{s}$ 左右。弧形拐弯区域内主流偏向右岸,主流与左岸边坡之间无回流,前半段渠道宽度不变、主流不扩散、水深不变,流速约为 $1.50\text{m}/\text{s}$ 左右;后半段由于渠道突然变宽、主流扩散、水深减小,流速约为 $2.00\text{m}/\text{s}$ 左右。水流在流出弧形拐弯区域后主流逐渐扩散,流速逐渐变小。下游河道整体流速偏低,顺河向水流流速逐渐降低,流态平缓。在有尾水坎作用时,水流流出弧形拐弯区域后,