

# 鱼类增殖站用水量及节水技术探讨

卜慧<sup>1</sup>, 李舒<sup>2</sup>, 杨志虎<sup>3</sup>, 冉龙正<sup>4</sup>

<sup>1</sup>长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

<sup>2</sup>贵州一方工程设计咨询有限责任公司, 贵州 六盘水

<sup>3</sup>云南华电金沙江中游水电开发有限公司梨园发电分公司, 云南 香格里拉

<sup>4</sup>武汉中科瑞华生态科技股份有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年11月18日; 录用日期: 2025年12月9日; 发布日期: 2025年12月26日

## 摘要

鱼类增殖站是缓解水电工程对水生生态影响的核心补偿措施, 但其集约化养殖模式的高耗水特性与水资源刚性约束矛盾日益凸显。本文系统分析了鱼类增殖站从亲本培育到苗种出圃的全过程用水特性, 指出苗种培育环节是耗水主体, 传统流水养殖模式效率低下。针对此问题, 本文构建了以循环水养殖技术为核心, 结合过程优化与智能化管理的综合节水技术体系。结合金沙江梨园水电站鱼类增殖站的工程实例, 详细阐述了其室内循环水养殖系统的构成与节水原理。案例分析表明, 该技术模式可将系统日补水量控制在总水体的15%以内, 复用水率高达94%, 单位鱼苗用水量指标行业领先, 实现了资源节约与环境友好的统一, 可为取水许可审批和用水管理提供参考。最后, 本文对鱼类增殖站节水技术的标准化、智慧化发展前景进行了展望, 旨在为其现代化转型提供理论依据与实践路径。

## 关键词

鱼类增殖站, 用水量, 节水技术, 循环水养殖系统, 水资源管理

# Exploration of Water Consumption and Water-Saving Technologies in Fish Propagation Stations

Hui Bu<sup>1</sup>, Shu Li<sup>2</sup>, Zhihu Yang<sup>3</sup>, Longzheng Ran<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Guizhou Yifang Engineering Design Consulting Co., Ltd., Liupanshui Guizhou

<sup>3</sup>Liyuan Power Generation Branch of Yunnan Huadian Jinsha River Middle Reach Hydropower Development Co., Ltd., Shangri-la Yunnan

<sup>4</sup>Wuhan Zhongke Ruihua Eco-Technology Co., Ltd., Wuhan Hubei

作者简介: 卜慧(1990-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水文水资源方面工作, Email: buhui992116@163.com

文章引用: 卜慧, 李舒, 杨志虎, 冉龙正. 鱼类增殖站用水量及节水技术探讨[J]. 水资源研究, 2025, 14(6): 664-672.

DOI: 10.12677/jwrr.2025.146072

Received: November 18, 2025; accepted: December 9, 2025; published: December 26, 2025

## Abstract

**Fish propagation stations are a core compensatory measure for mitigating the ecological impacts of hydro-power projects. However, the high water consumption characteristics of their intensive farming models increasingly conflict with rigid water resources constraints. This paper systematically analyzes the water usage characteristics throughout the production process in fish propagation stations, from broodstock cultivation to juvenile fish rearing, identifying the fry rearing stage as the primary water consumer, with traditional flow-through farming models being highly inefficient. To address this issue, an integrated water-saving technology system is proposed, centered on Recirculating Aquaculture System (RAS) technology and incorporating process optimization and intelligent management. Using the Liyuan Hydro-power Station Fish Propagation Station on the Jinsha River as a case study, the paper elaborates on the technical composition and water-saving principles of its indoor RAS. Case analysis demonstrates that this technological model can limit daily water replenishment to less than 15% of the total system volume, achieving a water reuse rate of up to 94%, with leading water-use efficiency indicators per unit of fry produced, thereby harmonizing resource conservation with environmental friendliness, and can provide a reference for water abstraction license approval and water use management. Finally, the paper discusses the prospects for the standardization and intellectualization of water-saving technologies in fish propagation stations, aiming to provide a theoretical basis and practical pathway for their modernization.**

## Keywords

**Fish Propagation Station, Water Consumption, Water-Saving Technology, Recirculating Aquaculture System (RAS), Water Resource Management**

Copyright © 2025 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

水电工程通过改变河流流量、水温及泥沙输移等天然水文情势，对鱼类栖息地造成显著影响。鱼类增殖放流是国际公认的养护水生生物资源、修复水域生态和维护生物多样性的有效手段<sup>[1] [2]</sup>。作为实施这一举措的核心载体，鱼类增殖站通过人工模拟自然生境，完成濒危或经济鱼类的人工繁殖、苗种培育乃至成鱼暂养，最终通过科学放流补充野外种群。

我国自 2005 年起在长江、黄河等主要流域大力推进鱼类增殖站建设<sup>[3] [4]</sup>。金沙江流域叶巴滩、苏洼龙、梨园、阿海、鲁地拉、观音岩等水电站均陆续建成鱼类增殖站，其中叶巴滩鱼类增殖站是国内首个截流前建成的增殖站；雅砻江已建成 4 座鱼类增殖站，包括锦屏·官地增殖站、二滩·桐子林增殖站、两河口·牙根增殖站、雅砻江中游增殖站，共覆盖流域中下游 12 座梯级电站，形成了国内规模最大的水电站鱼类增殖保护体系<sup>[5]</sup>；丹江口鱼类增殖站 2018 年 11 月正式投运，是国内规模最大，放流种类最多的淡水鱼类增殖站；三峡库区及周边布局了多个鱼类增殖站，包括万州区长江上游珍稀鱼类国家级自然保护区增殖放流站、三峡集团合作增殖站等；黄河流域已建成包括苏只、积石峡、羊曲等 10 余座规模化鱼类增殖站，主要分布于青海、宁夏、甘肃、河南及山东等省区，覆盖干流及湟水、姚河、大黑河等支流。重点流域增殖站规模特点见表 1。

随着流域水生态保护需求的持续升级，鱼类增殖站作为水电工程生态补偿的核心设施，其集约化养殖模式

导致单位水体用水需求攀升，部分站点年用水量超过百万立方米。根据《中华人民共和国水法》《水资源管理监督检查办法》要求，此类河道外取水需纳入水电站“三条红线”考核体系，严格执行取水许可审批与计划用水管理。然而，该行业目前面临两大突出问题：一是节水技术适配性不足，传统流水养殖模式能耗高、回用率低；二是用水定额标准缺失，现行渔业用水定额未区分增殖站与水产养殖差异，导致取水许可核发缺乏科学依据。在此背景下，探索鱼类增殖站节水技术、合理确定鱼类增殖站用水量、优化该行业用水管理，已成为当前亟需解决的课题。

**表1. 重点流域鱼类增殖站放流规模及保护物种**

序号	流域	站点名称	年放流规模	保护物种
1		苏洼龙增殖站	75万尾	短须裂腹鱼、四川裂腹鱼等
2		叶巴滩增殖站	施工期38万尾 运行期86万尾	长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼等
3	金沙江	梨园增殖站	22万尾	软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、长丝裂腹鱼等
4		阿海增殖站	18万尾	鲈鲤、短须裂腹鱼、细鳞裂腹鱼等
5		鲁地拉增殖站	42万尾	小裂腹鱼、鲈鲤、短须裂腹鱼等
6		观音岩增殖站	46.5万尾	岩原鲤、圆口铜鱼、长薄鳅等
7	雅砻江	锦屏·官地增殖站	150~200万尾	长须裂腹鱼、短须裂腹鱼、细鳞裂腹鱼等
8		二滩·桐子林增殖站	30~50万尾	短须裂腹鱼
9		两河口·牙根增殖站	20~30万尾	高原鱼类(如厚唇裸重唇鱼)
10		雅砻江中游增殖站	150~200万尾	短须裂腹鱼、厚唇裸重唇鱼等
11	汉江	丹江口鱼类增殖站	325万尾	鲢、鳙、中华倒刺鲃、黄尾密鲴等
12	长江	万州增殖放流站	3000万尾	胭脂鱼、岩原鲤等
13		三峡集团合作增殖站	1200万尾	“四大家鱼”等
14		苏只增殖站	28万尾	黄河裸裂尻鱼、花斑裸鲤、厚唇裸重唇鱼等
15	黄河	积石峡增殖站	30万尾	黄河裸裂尻鱼、极边扁咽齿鱼、花斑裸鲤等
16		羊曲增殖站	28万尾	厚唇裸重唇鱼、极边扁咽齿鱼等

## 2. 鱼类增殖站用水量系统分析

准确评估用水量是实施节水措施的基础。增殖站的用水是一个动态、多环节的复杂系统，需进行精细化解析。

### 2.1. 全过程用水环节分解

#### 2.1.1. 亲本培育与诱导产卵用水

此环节对水质要求最高，亲鱼的性腺正常发育、成熟乃至成功产卵受精，对水温、溶氧、流速甚至水质清澈度都有极高要求。为模拟自然河流的生态水文节律(如涨水刺激)，往往需要维持较高的水流交换率。该环节单位鱼体耗水量未必最大，但对水源的稳定性、低温性(对于冷水鱼)和洁净度要求最为苛刻。

#### 2.1.2. 受精卵孵化与早期仔鱼培育用水

此阶段是鱼类生命周期中对环境波动最敏感、最脆弱的“瓶颈”阶段。胚胎发育和初孵仔鱼的器官形成，要求水体几乎无悬浮物、无毒害物质(如氨氮、亚硝酸盐)、溶氧充足且稳定。任何水质突变都可能导致孵化率骤降或幼苗大规模死亡。因此，此环节通常使用经过精密过滤(如砂滤、膜过滤)和消毒(紫外线、臭氧)的“高质”

水，且换水率控制需极其精准，既要保证水质，又要避免水流对胚胎和仔鱼造成物理冲击。

### 2.1.3. 苗种与鱼种规模化培育用水

此环节是增殖站绝对的水量消耗主体[3]，约占全站总用水量的 70%以上。随着鱼苗快速生长，其摄食量、代谢产物(粪便、氨氮)急剧增加，水体污染负荷呈指数级上升。为维持鱼类生存和生长的基本水质条件(尤其是溶氧和氨氮浓度)，传统的流水池必须依靠巨大的水交换量来稀释污染物。日换水率可达池水容积的 5~20 倍甚至更高。

### 2.1.4. 配套与辅助用水

包括设施清洗、工具消毒、实验室分析、绿化景观及生活用水等。这部分用水虽占比通常小于 10%，但通过管理优化同样可挖掘可观节水潜力。

**设施清洗用水：**定期清刷养殖池壁、排水渠、滤网等附着的生物膜和污物，多使用高压水枪，用水强度大但时段集中。

**工具与场地消毒用水：**配制消毒液及冲洗用水。

**实验室与分析用水：**水质化验、病理检测等。

## 2.2. 用水量影响因素量化分析

增殖站的总用水量(TWC)并非固定值，而是多个变量的函数，可表示为：

$$TWC = f(N, S, T, F, WQ, M)$$

其中：

**N**(养殖生物数量与规格)：放流规模直接决定用水基数。

**S**(养殖物种的生态习性)：冷水性鱼类(如鲑鳟鱼、裂腹鱼)通常比暖水性鱼类(如鲤、鲫)需要更高的溶氧和更快的流速，单位用水量更大。

**T**(水温)：水温升高，鱼类代谢加快，耗氧率增加，饵料投喂增多，导致水质恶化加速，需提高换水率。

**F**(投饵策略与饵料系数)：过量投饵或饵料系数高，会导致残饵和粪便增多，增加水体有机负荷。

**WQ**(水源水质)：水源本底的氨氮、悬浮物含量高，则处理难度大，或需要更多新水进行稀释。

**M**(运营管理模式)：员工的节水意识、操作规程的精细化程度、设备维护水平等软性因素至关重要。

## 2.3. 传统模式下的水资源利用效率评估

传统流水式增殖站的水资源利用效率极低，其本质是“以水量换质量”。绝大部分注入系统的水，在完成短暂的“载体”功能(携带氧气、稀释废物)后，即作为废水被排掉，水的利用是“一次性”的。这种模式下的水利用效率指标，如“单位鱼产量耗水量”或“水资源生产力”(单位用水所生产的鱼苗尾数)，通常处于很低的水平。它不仅造成了水资源的浪费，也意味着水中蕴含的能量(势能、热能)和营养物质(氮、磷、钾)未被有效利用就直接排入环境，是一种典型的线性经济模式。

## 3. 鱼类增殖站节水技术探讨

针对上述高耗水问题，现代鱼类增殖站的节水技术应从“减量化、再循环、资源化”三个原则构建综合技术体系，该体系以循环水养殖系统为核心，辅以生态化处理技术和精细化管理措施(见图 1)。其核心层次包括：

- 1) 过程节水层(减量化)：通过优化池体结构(如锥底池)、采用高压水枪清洗、实行水资源梯级利用等管理措施，从源头减少不必要的浪费。
- 2) 循环利用层(再循环)：以 RAS 技术为核心，通过物理过滤、生物净化、消毒杀菌等单元工艺，实现养殖用水的内部循环和重复利用，大幅降低新水补充量。

3) 生态回用层(资源化): 利用人工湿地、生态塘等对无法循环的尾水进行深度净化, 使其达到回用于绿化、灌溉或环境补水的标准, 实现水资源的闭环管理[5]。



图1. 鱼类增殖站综合节水技术体系框架图

### 3.1. 技术体系构成

#### 3.1.1. 循环水养殖系统

循环水养殖系统(RAS)是节水技术的核心, 其原理是将养殖池排出的废水经多级处理后, 重新回用于养殖过程, 实现养殖水体的闭环循环[6]。一套完整的 RAS 通常包括以下关键单元:

物理过滤单元: 采用转盘式微孔过滤器等设备, 高效去除水体中残饵、粪便等固体悬浮物, 减轻后续处理负荷。

生物净化单元: 利用湿式生物球过滤器、自动雨淋曝气式生物球过滤器等构建生物膜系统, 通过硝化细菌等微生物的作用, 将有毒的氨氮、亚硝酸盐转化为毒性较低的硝酸盐, 这是水质稳定的关键。

消毒杀菌单元: 配备紫外线处理设备, 杀灭水中病原微生物, 有效控制病害传播, 减少因鱼病治疗导致的换水。

增氧与温控单元: 由气泵、增氧气石等组成的增氧系统可大幅提高溶氧效率; 热泵型水冷暖机能为不同生长阶段的鱼类提供恒定的最佳水温, 减少环境应激。这两者共同为高密度养殖创造了稳定环境, 间接提升了水资源承载力。

智能化控制系统: 由电控柜、流量及液位传感器等组成的电气控制系统, 能实现对水位、流量、水质关键参数的自动监测与设备的联动控制, 实现按需补水、精准运行, 从管理层面杜绝浪费。

RAS 技术的应用, 能将系统的日补水量降至总水体的 10%~20%, 从根本上改变了传统流水养殖的耗水模式。

#### 3.1.2. 生态化节水与尾水资源化利用技术

对于不具备完全封闭 RAS 条件或处理低标准尾水的场合, 可采用生态化技术。

人工湿地技术: 将养殖尾水引流至人工构建的湿地系统, 利用“土壤 - 植物 - 微生物”的协同作用, 对氮、磷等营养物质进行深度净化。处理后的出水可用于站区绿化、道路冲洗或景观补水, 实现水资源的梯级利用和近零排放。

#### 3.1.3. 过程优化与精细化管理技术

水资源梯级利用: 根据亲本培育、孵化、苗种培育等环节对水质要求的不同, 实行分质供水和循环利用, 如将高标准环节的排放水用于低标准环节, 最大限度提高单方水的利用效率。

节水型设施与操作规范: 智能化控制系统通过传感器网络实时监测水质参数, 实现精准补水与能耗优化。采用高压水枪清洗养殖池, 推广滴灌绿化, 并制定严格的用水管理制度, 提升全员节水意识。

### 3.2. 综合效益评估

**经济效益：**节水技术虽初始投资较高，但长期运营中可通过节约水费、排污费、降低饵料系数和提高成活率等方式，可在几年内收回投资，具有显著的全生命周期成本优势。

**生态效益：**节水技术能减少新水取用量和废水排放量，极大缓解当地水资源的压力，并从根本上消除氮磷污染风险，实现与环境的和谐共存。

**社会效益：**提升增殖站的科技形象与抗风险能力(如应对干旱)，为社会提供更稳定、优质的苗种，增强公共增殖放流项目的效果和公信力。

## 4. 典型案例

梨园水电站鱼类增殖放流站是根据《梨园水电站环境影响报告书》及其批复要求，为缓解梯级电站建设运行后对河段内原有鱼类种群、数量的影响，保护金沙江鱼类资源，因此开展珍稀鱼类增殖放流工作而建设运行的重要水生生物保护措施。梨园水电站鱼类增殖站建设地点位于云南省丽江市玉龙县，场地分布高程约为1717~1773 m，总占地面积约56亩(见图2)，于2015年3月建成并投入运行，2014年首次举办鱼类增殖放流活动，2016~2017年繁育成功软刺裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、长丝裂腹鱼并完成放流任务，截止2024年已开展放流活动11次，累计放流213.5万尾国家珍稀保护、金沙江流域特有鱼类。



图2. 梨园水电站鱼类增殖站

### 4.1. 节水技术体系构成

梨园水电站鱼类增殖站运行流程为：在增殖站内，捕获收集亲鱼后，对其驯养培育，再催产、孵化车间内完成人工孵化鱼苗，再移到培育池内进行苗种培育和放流前过渡，最后运输到放流点进行放流(见图3)。

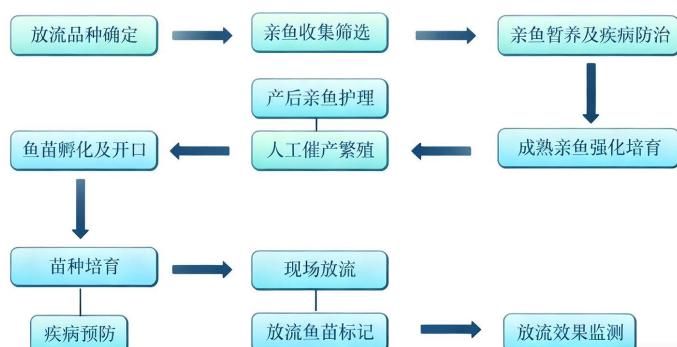


图3. 梨园水电站鱼类增殖站运行流程图

梨园水电站鱼类增殖站是实践上述综合节水技术体系的典范，节水技术核心是其高度集成化的 RAS，共三套循环水养殖处理系统，车间 4 个，其中催产车间与鱼苗车间共用 1 套循环水系统，鱼种车间与亲鱼车间各 1 套，蓄水池 2 个，室外防疫隔离池 2 个，室外活饵池 2 个，室外亲鱼池 2 个，养殖设施容积共计 2270.09 m<sup>3</sup>。该系统将第 3 章所述的技术单元进行了工程化集成：

**循环水养殖：**养殖废水→转盘式微孔过滤器(物理过滤)→生物球过滤器(生物净化)→紫外线设备(消毒)→热泵机组(温度调节)→气石增氧(气体交换)→回流至养殖池。整个流程在密闭的管道和培育缸/孵化器中进行。

**智能化管控：**通过电气控制系统与传感器网络，系统实现了对液位、流量、温度的自动监控与调节，确保了水处理过程的高效、稳定运行，实现了精准补水。

**生态化回用：**由于系统蒸发损失部分水量，如果长期闭式循环，将导致水体盐类离子上升，改变养殖环境，不利于鱼苗、鱼种培养，因此，需排掉部分养殖水，控制循环水的盐度；另一方面由于系统老化，设备净化功能下降，为保持水质也需排出部分水。鱼类增殖站污水全部回收利用作为绿化用水，从而减少绿化用水新鲜水取用量。

## 4.2. 用水量与节水效益

梨园水电站鱼类增殖站取用新水主要用于循环水系统补水和清洗、室外池的流水养殖以及生产工具、养殖缸、养殖池的清洗。对梨园水电站鱼类增殖站需水进行统计分析(见表 2)可知，年需水量约为 12.57 万 m<sup>3</sup>，日均需水量约 344.4 m<sup>3</sup>/d，与水平衡测试期间(取用新水约 337.9 m<sup>3</sup>/d)用水量成果相差不大。

**表 2. 梨园水电站鱼类增殖站需水分析**

车间	用水类型	次数(单天、月)	单次排水量、换水量(m <sup>3</sup> )	一年用水量(m <sup>3</sup> )	合计(m <sup>3</sup> )
催产孵化 车间(鱼苗 培育车间)	滚筒过滤器反冲洗装置	72 次/天	0.3	7884	
	转盘过滤器反冲洗装置	72 次/天	0.4	10,512	
	生物过滤球	底排 10 天一次(清洗 1 次/月)	底排 20 (冲洗 30)	1080	
	清洗基坑	4 次/月	10	480	23,016
	清洗完补水量	4 次/月	40	1920	
	养殖缸底排	2 次/月	10	240	
亲鱼培育 车间	丰年虫孵化用水	5 次/天	2	900	
	滚筒过滤器反冲洗装置	72 次/天	0.3	7884	
	转盘过滤器反冲洗装置	72 次/天	0.4	10,512	
	生物过滤球	底排 10 天一次(清洗 1 次/月)	20	1080	22,836
	清洗基坑	4 次/月	10	480	
	清洗完补水量	4 次/月	50	2400	
鱼种培育 车间	养殖缸底排	2 次/月	20	480	
	滚筒过滤器反冲洗装置	72 次/天	0.3	7884	
	转盘过滤器反冲洗装置	72 次/天	0.4	10,512	
	清洗生物过滤球	底排 10 天一次(清洗 1 次/月)	20	1080	22,116
	清洗基坑	4 次/月	10	480	
	清洗完补水量	4 次/月	40	1920	
	养殖缸底排	2 次/月	10	240	

续表

	亲鱼培育池 1	365 天	3.5 m <sup>3</sup> /h	30,660	
室外池		12 次	210	2520	52,290
	亲鱼培育池 2	210 天	3.5 m <sup>3</sup> /h	17,640	
		7 次	210	1470	
生产区域	生产工具清洗	365 次(不定期)	5	1825	5425
	养殖缸、养殖池刷洗	180 次(不定期)	20	3600	
	合计				125,683

根据梨园水电站水平衡测试,鱼类增殖站取用新水约 337.9 m<sup>3</sup>/d,日循环水量约 5584.8 m<sup>3</sup>,复用水率较高,约 94%。另外,养殖设施容积共计 2270.09 m<sup>3</sup>,日交换率约 15%。根据梨园水电站鱼类增殖站管理单位经验,鱼类增殖站循环水养殖一般是 15%~20% 日交换率。与阿海、李家岩等鱼类增殖站每万尾用水量相比(见表 3),梨园水电站鱼类增殖站用水水平较为先进。

室内环境和可控水质使养殖生产完全不受外界气候和季节变化影响,为珍稀鱼类提供了稳定的生长条件,提高了苗种的成活率、质量和放流成活率。智能化管理降低了人工成本和操作风险。由于绝大部分水在系统内循环,仅有少量废水需要处理,且废水全部回用于绿化,有效避免了对金沙江干流水体的负面影响。梨园增殖站的实践充分证明,先进的节水技术不仅是资源约束下的被动选择,更是提升增殖站运营水平、确保生态补偿目标高质量实现的主动路径。

**表 3. 每放流万尾鱼用水量情况对比表**

水电站	梨园	阿海	李家岩
放流量(万尾/a)	22	18.4	18
用水量(万 m <sup>3</sup> /a)	12.57	14.77	18.49
每万尾用水量(万 m <sup>3</sup> /万尾)	0.57	0.80	1.03

## 5. 结论及展望

鱼类增殖站从高耗水传统模式向节水型现代化模式转型,是必然趋势。系统分析表明,其节水潜力巨大,关键在于转变观念,构建以循环水养殖系统为核心,耦合生态处理与精细化管理的综合节水技术体系,同步实现显著的经济、生态和社会效益。

展望未来,鱼类增殖站节水技术的发展建议从以下几方面深入推進[7]-[9]:

**技术标准化与模块化:** 加快制定适用于不同流域、不同鱼种的增殖站节水技术规范与用水定额标准,推动 RAS 等关键技术的标准化和模块化设计,以降低建设和运维成本。

**智慧化升级:** 深度融合物联网、大数据和人工智能技术,构建能够实现水质预测、病害预警、精准投喂和节能优化的“智慧增殖站”管理平台。

**政策与机制创新:** 加强取水许可管理与节水技术的政策联动,对采用先进节水技术的增殖站给予激励。探索“合同节水”等市场化模式,解决技改资金瓶颈。

通过技术、管理与政策的协同创新,必将推动我国鱼类增殖站全面迈向节水、高效、智慧的绿色发展新阶段,更好地服务于国家水生态保护战略。

## 基金项目

长江水利委员会水文局科技创新基金(SWJ-CJX23Y03)。

## 参考文献

- [1] 陈凯麒, 芮建良. 中国水电环境影响评价的十年回顾与展望[J]. 环境保护, 2012(22): 21-24.
- [2] TIMMONS, M. B., VINCI, B. J. Recirculating aquaculture. 5th Edition. Ithaca Publishing Company LLC, 2022.
- [3] 单婕, 薛联芳, 周祥林. 水电工程鱼类增殖放流站设计浅析[J]. 水力发电, 2015, 41(12): 10-12+24.
- [4] 张东亚, 牛天祥. 水电工程鱼类增殖放流站工艺设计[J]. 西北水电, 2010(4): 9-13.
- [5] 陈云华. 雅砻江锦屏大河湾水生生态环境保护研究[J]. 水力发电, 2012, 38(10): 5-7+56.
- [6] MARTINS, C. I. M., EDING, E. H., VERDEGEM, M. C. J. et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. Aquacultural Engineering, 2010, 43(3): 83-93.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>
- [7] BADIOLA, M., BASURKO, O. C., PIEDRAHITA, R. et al. Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review. Aquacultural Engineering, 2018, 81: 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.03.003>
- [8] 单婕, 顾洪宾, 薛联芳. 鱼类增殖放流站运行管理若干问题探讨[J]. 水力发电, 2016, 42(12): 10-12.
- [9] 梁晓华, 刘杰, 雷卫东. 广西水电工程配套鱼类增殖站建设及管理模式探讨[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(4): 14-18.