



龙溪口梯级航电枢纽建设对鱼类资源的影响及保护措施

邓 召¹, 赖敏锐², 范 莉², 陈锦文¹, 王 晓¹, 陶利春¹

(1. 四川锦美环保(集团)股份有限公司, 四川成都 610000; 2. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川乐山 614000)

摘要: 当前岷江鱼类资源保护迫在眉睫, 传统渔政规则政策虽然提升了企业被动性渔业治理, 但难以调动企业主动性渔业保护, 而“十年禁渔”为推动渔业绿色循环发展提供了契机。研究基于龙溪口梯级航电枢纽数据, 以山区河流航电枢纽绿色生态建设的重要抓手“保障鱼类繁衍生息”作为核心部分, 采用混合方法探究大力开发水电背景下的鱼类资源保护行为。研究发现: 保障鱼类繁衍生息的实践可显著提升工程的绿色生态水平。作用机制显示龙溪口梯级航电枢纽通过减轻措施和生态工程, 有效提升了鱼类资源的可持续利用和生态健康水平。研究细化了龙溪口梯级航电枢纽对鱼类资源的影响及保护措施, 为企业的绿色生态建设提供了全新的激励因素。

关键词: 龙溪口梯级航电枢纽; 鱼类资源; 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区

中图分类号: TV61; U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0074-06

Impact of Longxikou Cascade Navigation-power Junction construction on fish resources and protection measures

DENG Zhao¹, LAI Minrui², FAN Li², CHEN Jinwen¹, WANG Xiao¹, TAO Lichun¹

(1. Sichuan Jinmei Environmental Protection (Group) Co., Ltd., Chengdu 610000, China;
2. Sichuan Minjiang Port & Shipping & Electricity Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China)

Abstract: Currently, the protection of fish resources in Minjiang River is imminent. Although the traditional fishing rules and policies have improved passive fishery management, it is difficult to mobilize enterprises to take the initiative in fishery protection. The “ten-year fishing ban” provides an opportunity to promote the green cycle of fishery development. Based on the data from the Longxikou Cascade Navigation-power Junction, this paper takes “ensuring the prosperity of fish”, an important way of green ecological construction of navigation-power junctions in mountainous rivers, as the core. The paper also adopts a mixed-method approach to explore fish protection behavior in the context of vigorous hydropower development. It is found that the practice of “ensuring the prosperity of fish” can significantly improve the green ecological level of the project. The mechanism of action shows that the Longxikou Cascade Navigation-power Junction effectively enhances the sustainable use and ecological health of fish resources through mitigation measures and ecological engineering. This paper analyzes the impacts of the Longxikou Cascade Navigation-power Junction on fish resources and protection measures, so as to provide a new incentive factor for the green ecological construction of enterprises.

Keywords: Longxikou Cascade Navigation-power Junction; fish resources; national nature reserve for rare and endemic fish in upper reaches of the Yangtze River

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 邓召 (1997—), 男, 工程师, 从事水利水电工程环境管理。

岷江(龙溪口—合江门段)具有航运、发电、防洪、供水、灌溉、鱼类保护等多种功能, 岷江航电梯级建成后, 将改变鱼类水生生境, 阻隔鱼类交流和基因交流通道, 不利于鱼类的生存和繁衍。为减缓岷江航电梯级对下游鱼类资源的不利影响, 龙溪口梯级航电枢纽承担了岷江航电梯级的生态流量调节和鱼类保护等任务。因此, 开发任务以航运为主, 兼顾减缓对龙溪口下游 8 km 长江上游国家级自然保护区内珍稀特有鱼类既有生境的影响等, 龙溪口梯级航电枢纽与保护区位置关系见图 1。

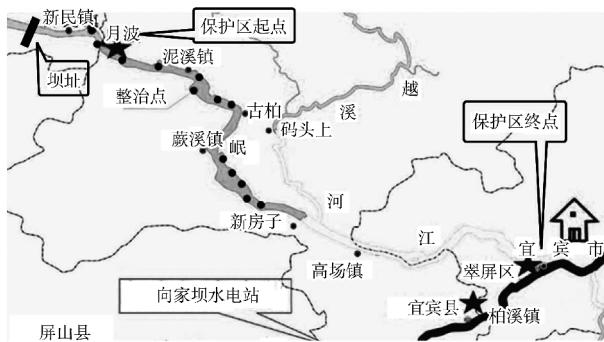


图 1 龙溪口航电枢纽与保护区位置关系

1 鱼类资源现状

岷江是沟通岷江中下游和长江、金沙江鱼类交流的重要通道, 长约 118.9 km, 其中 81 km 属长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区, 鱼类资源丰富。根据现场调查和文献分析^[1-3], 江段目前共记录鱼类 136 种, 其中珍稀保护鱼类 64 种, 见表 1。

调查收集到的渔获物有 5 目 15 科 66 属 88 种。其中, 鲤形目 51 属 66 种, 占种数的 75.00%; 鲇形目 8 属 15 种, 占种数的 17.05%; 鲈形目 5 属 5 种, 占种数的 5.68%; 其余鱊形目、合鳃鱼目各为 1 属 1 种。科一级水平上列前 3 位的依次是鲤科 45 属 55 种, 占 62.50%; 鳊科 4 属 7 种, 占 7.95%; 鳟科 3 属 7 种占 7.95%, 渔获物组成和主要经济鱼类长体重值见表 2、3。

龙溪口航电枢纽库区上游分布 3 处鱼类产卵场, 分别为斗碛子、玉津猪石滩、孝姑猪圈门; 下游分布 8 处鱼类产卵场, 分布见表 4、5。大型

的索饵场与黏性卵产卵场位置基本重叠, 主要大型越冬场位于下游老君碛、黑石包以及霸王滩河段。

表 1 岷江(龙溪口—合江门段)水域珍稀保护鱼类组成

保护级别	记录种
国家 I 级	达氏鲟、中华鲟
国家 II 级	胭脂鱼
四川省级	小眼薄鳅、鳡、重口裂腹鱼、岩原鲤、窑滩间吸鳅、青石爬𬶐、四川吻虾虎鱼、成都鱥、鯿、鲈鲤、侧沟爬岩鳅
列入中国濒危动物红皮书	易危种(VU)胭脂鱼、长薄鳅、岩原鲤
列入 IUCN 红色名录	极危种(CR)青石爬𬶐; 濒危种(EN)白缘; 易危种(VU)胭脂鱼、长薄鳅、方氏鱥、岩原鲤、青鱥、长身鱥、成都鱥、鯿、鲈鲤
长江上游特有鱼类	达氏鲟、短体副鳅、山鳅、双斑副沙鳅、长薄鳅、小眼薄鳅、红唇薄鳅、成都鱥、方氏鱥、峨眉鱥、四川华鱥、高体近红鮈、汪氏近红鮈、黑尾近红鮈、张氏鱥、厚颌鲂、川西鱥、圆口铜鱼、圆筒吻鮈、长鳍吻鮈、裸腹片唇鮈、钝吻棒花鱼、异鳔鱥鮈、裸体异鳔鱥鮈、短身鱥鮈、鲈鲤、四川白甲鱼、华鱥、齐口裂腹鱼、岩原鲤、侧沟爬岩鳅、四川爬岩鳅、窑滩间吸鳅、短身金沙鱥、中华金沙鱥、拟鱥、青石爬𬶐、四川吻虾虎鱼

表 2 岷江(龙溪口—合江门段)水域渔获物组成

目	科	历史记录			本次调查		
		属	种	%	属	种	%
鲟形目	鲟科	1	2	0.7	-	-	-
	匙吻鲟科	1	1	0.7	-	-	-
鳗鲡目	鳗鲡科	1	1	0.7	-	-	-
	亚口鱼科	1	1	0.7	-	-	-
鲤形目	鳅科	8	83	61.9	4	7	7.95
	鲤科	50	12	8.8	45	55	62.50
	平鳍鳅科	4	9	6.7	2	4	4.55
鮀形目	鮀科	1	2	1.5	1	2	2.27
	鱥科	4	3	2.2	3	7	7.95
鮈形目	钝头鮈科	1	10	7.5	1	2	2.27
	鮈科	2	3	2.2	2	3	3.41
鮰形目	鮰科	1	1	0.7	1	1	1.14
	青鱥科	1	1	0.7	1	1	1.14
合鳃鱼目	合鳃鱼科	1	3	2.3	1	1	1.14
	鮈科	2	1	0.7	1	1	1.14
鲈形目	沙塘鳢科	1	1	0.7	1	1	1.14
	虾虎鱼科	1	1	0.7	1	1	1.14
	斗鱼科	1	1	0.7	1	1	1.14
	鳢科	1	1	0.7	1	1	1.14
总计		83	136	100.0	66	88	100.0

表 3 岷江(龙溪口—合江门段)水域主要经济鱼类体长、体重组成

种类	体长/mm		体重/g	
	范围	平均值	范围	平均值
草鱼	240~390	347	680~1 300	1 050
鲢	273~421	362	300~1 320	955
鲤	78~271	126	20~1300	268
鲫	59~173	132	9~138	36
方氏鮰	107~230	180	25~135	80
四川鮰	116~151	130	20~45	40
鮰	149~260	200	40~145	95
南方鮰	160~199	176	20~55	40
黄颡鱼	59~140	78	2~65	37
瓦氏黄颡鱼	89~180	96	10~65	40
光泽黄颡鱼	73~133	100	4~16	10
长吻鮰	75~111	84	5~45	25
粗唇鮰	87~190	93	5~60	30
乌鳢	116~165	123	50	50
长薄鳅	87~212	160	38~90	64
长鳍吻鮈	142~198	177	50~140	80
圆口铜鱼	194~202	198	110~125	117

表 4 岷江(龙溪口—合江门段)产粘沉性卵鱼类产卵场分布

产卵场名称	距乐山大渡河口里程/km	主要产卵鱼类	位于保护区位置
干龙子	84.8	国家级保护鱼类:胭脂鱼 省级保护鱼类:岩原鲤 其它鱼类:南方鮰、鮰、大鳍 鱥、福建纹胸鱥、白缘鱼 央、鲤、鲫等	保护区外
白甲滩	95.6	省级保护鱼类:岩原鲤 其它鱼类:大鳍鱥、白缘鱼 央、宽鳍鱥、马口鱼、唇鱼 骨、鲤、鲫等	保护区实 验区
背时滩	105.6	省级保护鱼类:岩原鲤 其它鱼类:南方鮰、大鳍 鱥、白缘鱼央、宽鳍鱥、马口鱼、 唇鱼骨、白甲鱼	保护区实 验区
南瓜滩	112.3	省级保护鱼类:岩原鲤 其它鱼类:南方鮰、大鳍 鱥、白缘鱼央、宽鳍鱥、马口鱼、 唇鱼骨、白甲鱼	保护区实 验区
霸王滩	118.9	省级保护鱼类:岩原鲤 其它鱼类:南方鮰、大鳍 鱥、白缘鱼央、宽鳍鱥、马口鱼、 唇鱼骨、白甲鱼、鲤、鲫等	保护区实 验区

表 5 岷江(龙溪口—合江门段)产漂流性卵产卵场分布

名称	地理位置	长度/km	规模/万粒	比例/%
蕨溪	南瓜滩—霸王滩	10.3	5 859.8	37.7
古柏	横梁子—古柏	6.9	5 301.0	34.1
月波	箭板河口—白甲滩	8.0	4 396.9	28.2

2 施工期对鱼类的影响

2.1 施工噪声对鱼类的影响

施工期噪声主要来自各种机械在水中作业, 工程开挖、爆破、围堰施工过程中的石料抛投, 其中以爆破时的噪声最大。主要施工机械在不同距离处的噪声级达到最近水面的震动值为 80.0~101.0 dB(A), 而主要经济鱼类鲤鱼和草鱼临界等效噪声级和震动级分别约为 83.9 和 84.4 dB(A)^[4]。根据资料分析, 中华鮰从安静环境进入噪声环境时回避倾向更强, 而当长时间处于噪声环境时, 对噪声反应敏感性下降, 而对爆炸声(频率 500~5 500 Hz, 声强 36~72 dB)则出现回避现象^[5-7]。研究结果表明: 水下常见的噪声声级高于大多数常见鱼类的阈值, 噪声刺激下鱼类会出现听力损失和短期回避行为, 而高强度的噪声持续作用可能对鱼类造成不可逆的伤害^[8-9]。施工期主要施工机械在不同距离处的噪声值见表 6。

表 6 施工机械在不同距离处的噪声值

施工机械	噪声峰值/ dB(A)	不同距离处的噪声值/dB(A)						
		10 m	20 m	40 m	60 m	80 m	100 m	150 m
打夯机	105.0	74.0	67.0	61.0	57.0	55.0	53.0	49.0
运输车辆	96.0	60.0	54.0	50.0	44.5	42.0	40.0	36.5
挖掘机	103.0	69.0	62.0	59.0	57.0	53.0	49.0	45.0
								43.0

2.2 悬浮物对鱼类的影响

水上抛石、疏浚等施工作业会造成施工点水域悬浮物浓度增加, 引起水体浑浊^[10], 悬浮物将随水流向下游扩张。根据渔业水质标准要求, 悬浮物浓度增量大于 10 mg/L, 将对鱼类生长造成影响; 大于 150 mg/L 时, 可能对水生生物的呼吸器官产生直接的伤害。通过数学模型(1)计算, 工程涉水施工悬浮物浓度增量会对施工点区域周边 450 m 内鱼类产生影响, 甚至部分鱼卵、仔鱼等会因高浓度的含沙量而死亡。

$$L_{DF,i} = 0.5 S_{DF,i} W_{f,i} A_D \quad (1)$$

式中: $L_{DF,i}$ 为鱼卵、仔鱼死亡量; $S_{DF,i}$ 为浮游动植物因涉水施工的相对损失率的模拟值; $W_{f,i}$ 为施工区鱼卵、仔鱼实测密度; A_D 为施工范围内超标悬浮物影响面积。

2.3 护岸、护滩对鱼类的影响

库区防护工程施工导致局部区域河床地形地貌发生改变, 如抛石增加河床的糙度, 所用的石块、混凝土排等形成水下障碍体, 其下将产生局部湍流的尾流, 形成人工鱼礁的效应, 可为洄游性鱼类提供临时避让场所, 也为一些底栖鱼类提供适宜栖息活动的环境。

2.4 施工导流对鱼类的影响

龙溪口航电枢纽采用三期导流方式^[11], 导流期间闸址附近河床束窄, 鱼类上溯洄游受到影响。施工将造成围堰河段内鱼类误捕或死亡。

3 营运期对鱼类的影响

3.1 闸坝阻隔对鱼类的影响

工程蓄水后由于闸坝阻隔效应, 原有沿天然河道分布的鱼类从区域分布变为点状分布, 库区与坝下形成相互隔离的异质种群, 威胁鱼类种群的生存和繁衍, 危及物种长期生存, 导致种群灭绝的概率增加^[12]。

3.2 水质变化对鱼类的影响

库区防护工程建成后水文条件改变, 各指标满足 III 类水标准, 甚至达到 II 类水标准, 经预测 $\text{NH}_3\text{-N}$ 较库前改善 13.5%~44.3%。鱼类栖息、活动空间增大, 鱼类总资源量和渔获量将升高。

3.3 航运对鱼类的影响

随着航道等级提升至 III 级, 常年通航 500 吨级船舶及 1 000 吨级船队, 航运繁忙使噪声污染源增多, 大马力船舶的高噪声等影响对鱼类产生持续刺激作用, 鱼类行为反应和生理机能可能受到影响, 船舶噪声衰减预测结果见图 2。

营运期间船舶机舱油污水和生活污水若直接排入岷江, 会对水质造成破坏, 影响江段鱼类的水生生境。巷道内船舶数量和吨位增加导致船舶

搁浅或碰撞事故增加, 可能引起油污、有毒有害污水的泄漏, 对鱼类产生严重影响。

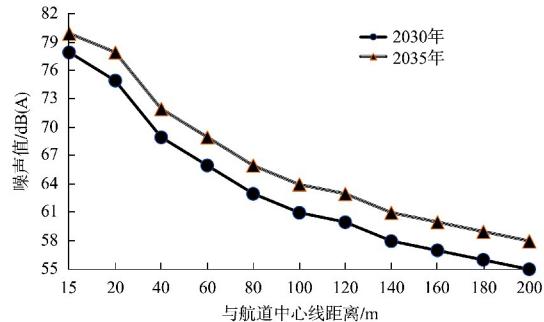


图 2 航道船舶噪声衰减预测

3.4 对鱼类“三场”的影响

大坝建成后库区斗碛子、玉津猪石滩、孝姑猪圈门将被淹没, 产卵条件消失, 但静缓流水域增大, 岸线延长将使产卵场在龙溪口库区扩大, 总体产生有利影响。在平、枯水期和洪水期非敞泄期间, 由于闸坝阻隔影响, 激流粘沉性产卵类群的繁殖群体及部分前期成熟的产漂流性卵的亲鱼无法全部上溯到原有产卵场繁殖, 对下游保护区鱼类资源的补充有一定影响。在岷江下游航电梯级联合生态调度敞泄期, 由于大坝完全敞泄, 河流恢复天然状态, 坝上下游原有漂流性鱼类产卵场都将得到恢复, 这一时期影响较小, 但由于洪峰来临前成熟亲鱼上溯受大坝阻隔影响, 产卵规模将受到影响。

4 影响减缓及鱼类资源保护措施

4.1 优化闸址布置

龙溪口梯级航电枢纽选取水生态、环境风险、社会环境等因子, 从环境保护角度反复论证 3 个坝址布置方案, 选取对长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区影响相对较小、方便布置过鱼设施、发生风险事故较低的中闸址方案^[13], 尽可能减缓项目建设对鱼类资源的不良影响(表 7)。

表 7 阀址布置方案比选

环境要素	上闸址	中闸址	下闸址	环境比选
水土保持	土石方开挖 3 635.46 万 m^3 , 施工扰动面积大, 开挖高边坡较多	土石方开挖 3 409.03 万 m^3 , 施工扰动面积相对小, 开挖高边坡较少	土石方开挖 3 547.56 万 m^3 , 开挖面积相对大, 施工扰动面积较大	中闸址优
水生生态	坝址距下游长江上游国家级鱼类自然保护区边界仅 9.6 km, 下游 8.4 km 有支流龙溪河汇入, 对保护区影响相对小。过鱼设施布置相对困难	坝址距下游长江上游国家级鱼类自然保护区边界仅 8 km, 下游 6.8 km 有支流龙溪河汇入, 对保护区影响相对小, 方便布置过鱼设施	闸址距下游长江上游国家级鱼类自然保护区边界仅 1.5 km, 枢纽布置及工程施工对保护区影响较大, 不方便布置过鱼设施, 对保护区水文情势影响相对较大	上、中闸址优
社会环境	淹没区避开新民镇, 社会环境影响较小	淹没区避开新民镇, 社会环境影响较小	新民镇常年位于库区正常蓄水位之下, 浸没影响十分突出, 社会环境影响较大	上、中闸址优
环境风险	船闸布置顺直, 航道视野开阔, 发生风险事故概率较低	船闸布置顺直, 航道视野开阔, 发生风险事故概率较低	进入船闸河段弯曲, 航道视野狭窄, 发生风险事故概率较高	上、中闸址优

4.2 全过程环境管理及风险控制

龙溪口航电枢纽成立环境保护工作管理和监督机构, 加强工程的监控与管理, 管理体系见图 3。针对因龙溪口航电枢纽建设和运营造成的珍稀鱼类意外伤害事故进行渔政管理, 制定相应的应急预案, 划定专项资金, 配备运输设备、增氧设备和捕捞工具, 应急救护流程见图 4。

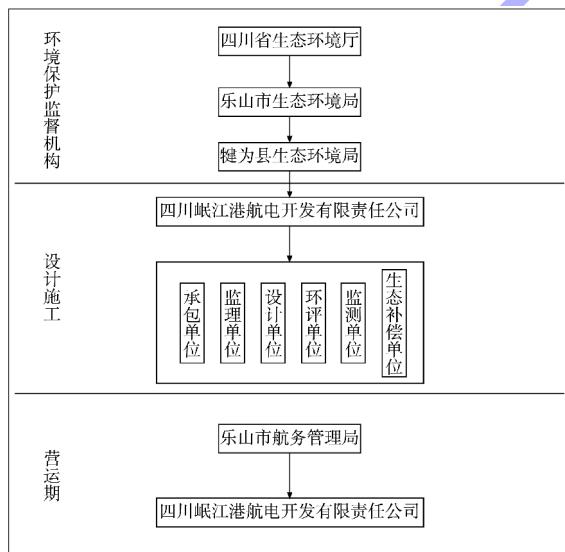


图 3 环境保护管理体系

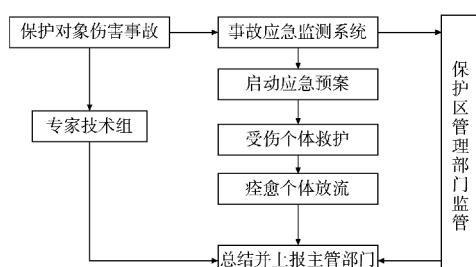


图 4 珍稀鱼类救护流程

4.3 实施生态工程

岷江下游每年的 3—7 月是主要珍稀、特有鱼类及大多数重要经济鱼类的繁殖期, 为降低施工对鱼类繁殖的影响, 工程涉水施工安排在 11 月至次年 1 月枯水期进行。施工围绕生态优先的原则, 实现航道疏浚土生态化利用, 营造鱼类栖息和产卵场所; 依托建筑物增加生态鱼巢砖结构, 马边河等鱼类主要栖息地安放人工鱼巢, 人工模拟天然情况下鱼类奢好的水生生境; 减少天然建材, 增加异形混凝土构件的使用, 增加河床覆盖面积, 促进鱼类的繁衍生息; 为减缓工程大坝阻隔影响, 建设以仿自然通道(图 5)为主、船闸为辅的过鱼设施。



图 5 仿自然通道

4.4 增殖放流与鱼类监测

对鱼类资源影响的补偿措施主要为鱼类人工种群建立及增殖放流。1) 放流种类: 达氏鲟、胭脂鱼、白甲鱼等 13 种保护物种的野生亲本人工繁殖子一代, 放流规格根据苗种生长、苗种来源、水生生态环境状况调整; 2) 放流数量及周期: 根

据鱼类资源分布情况, 近期放流 56.4 万尾, 周期暂定 20 a, 后期进行相应的调整, 并制定长期的放流计划; 3) 放流地点: 根据育苗特点及水文情况, 选取犍为航电枢纽业主营地河口进行放流; 4) 建立标志和遗传档案: 所有物种的人工增殖放流进行部分或全部标志/标记, 便于进行放流效果监测^[14]。环境监测单位连续 5 a 对保护鱼类, 特别是珍稀特有鱼类组成的变化、资源量变动及鱼类产卵场变化进行监测。

4.5 实施生态调度

根据《岷江 (乐山—宜宾段) 航电规划报告》和《岷江高等级航道建设方案》, 龙溪口航电枢纽需合理调控上游梯级的生态下泄流量、鱼类繁殖期模拟洪峰, 形成河流不同类型生境的连接。为综合满足岷江下游航运、生态环保等方面的需求, 岷江下游梯级以龙溪口梯级航电枢纽为中心联合成立岷江下游流域管理中心, 并进行联合生态流量调度研究^[15]。龙溪口水库承担反调节任务, 生态调度重点为日调度, 保持下游生态敏感目标一日内水位、流量的稳定。

5 结论

1) 岷江 (龙溪口—合江门段) 鱼类种类数量减少, 渔获物产量下降, 个体小型化, 珍稀特有鱼类种类数量显著下降。
2) 龙溪口梯级航电枢纽的建设破坏了部分鱼类的生境, 对鱼类资源产生了较为严重的不利影响。
3) 龙溪口梯级航电枢纽通过优化工程设计、全过程环境管理及实施生态工程, 有效减缓工程对鱼类资源的不利影响, 达到保护鱼类资源的目标。
4) 为进一步论证对鱼类资源的影响, 建议长期进行鱼类监测、建立科普宣传基地、开展船闸辅助过鱼等相关科学的研究, 有效保护鱼类资源。

参考文献:

- [1] 吕浩, 田辉伍, 段辛斌, 等. 岷江下游干流段鱼类资源现状及其多样性分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(1): 88-96.
- [2] 吕浩, 田辉伍, 申绍伟, 等. 岷江下游产漂流性卵鱼类早期资源现状 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 586-593.
- [3] 颜涛, 黄颖颖, 严俊刚, 等. 岷江鱼类资源调查与分析 [J]. 家畜生态学报, 2022, 43(11): 43-47.
- [4] 聂丽娜. 沱江四桥建设对长江上游国家级自然保护区鱼类资源的影响及保护措施 [J]. 环境影响评价, 2017, 39(5): 48-52.
- [5] 姚金忠, 曹继学. 中华鲟保育车间噪声频谱特性分析及降噪措施应用 [J]. 噪声与振动控制, 2022, 42(3): 192-195, 214.
- [6] 邹巧林. 中华鲟幼鱼听觉阈值及噪声刺激对其阈值影响研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [7] 刘锰. 脂肪鱼的听觉阈值及噪声对其影响的研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- [8] 邢彬彬. 鱼类听觉能力研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- [9] 刘丹, 李文杰, 杜洪波, 等. 航道噪声对鱼类影响初步分析 [J]. 人民长江, 2021, 52(9): 58-64.
- [10] 马一, 程铁军. 航道整治工程对水域生态环境影响分析与对策 [J]. 水运工程, 2014(11): 115-119.
- [11] 童文辉, 田亚军. 航电枢纽布置与建筑物的设计方法 [J]. 珠江水运, 2015(11): 56-57.
- [12] 易雨君, 王兆印. 大坝对长江流域洄游鱼类的影响 [J]. 水利水电技术, 2009, 40(1): 29-33.
- [13] 程艳, 吴礼国, 李泳龙. 龙溪口航电枢纽施工明渠临时通航条件 [J]. 水运工程, 2023(S1): 63-67, 74.
- [14] 张雪, 郭艳娜, 张虎成. 水电站鱼类人工增殖放流标记方法研究概述 [J]. 环境科学与管理, 2013, 38(12): 127-130.
- [15] 陈栋为, 夏豪, 陈国柱, 等. 岷江下游航电梯级生态流量协同造峰调度研究 [J]. 人民长江, 2017, 48(20): 35-38, 44.

(本文编辑 赵娟)