

生境模拟法在黑水河鱼类栖息地保护中的应用

傅菁菁¹, 黄滨¹, 芮建良¹, 谭升魁¹, 赵爽²

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014;

2. 浙江广播电视大学, 浙江 杭州 310030)

摘要: 为了解黑水河鱼类栖息地适宜性状况, 研究行之有效的栖息地保护方案, 采用基于河道内流量增加法(IF-IM)原理的栖息地模拟方法, 使用 RIVER2D 二维水动力学及栖息地模拟软件, 以黑水河干流苏家湾水电站坝址至公德房水电站坝址河段为例, 进行水动力模拟和鱼类栖息地适宜性模拟, 通过加权有效栖息地面积(WUA), 分析适宜物理栖息地的数量、质量和分布情况, 评估研究河段的鱼类栖息地适宜性状况并探究存在的主要问题。结果显示, 公德房库区河段水域面积较大, 大部分河段适宜性指数较高, 有效栖息地面积较大; 减水河段河道内流量较小, 大部分河段水深较浅, 有效栖息地面积小, 需要开展河道生境修复; 在此基础上, 研究了增加生态流量(坝址处多年平均流量的10%、12.5%、15%)条件下的改善效果, 以及固定生态流量(坝址处多年平均流量10%)条件下进行河道整理的改善效果。经比较分析, 提出了黑水河生境修复可采取河道整理为主, 结合优化生态流量的保护方案。

关键词: 生境模拟法; 鱼类栖息地; 黑水河

中图分类号: Q418 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2016)03-0070-06

分布在金沙江下游的鱼类, 绝大多数完成整个生活史全过程或部分过程(如繁殖)依赖于流水生境(张志英和袁野, 2001)。金沙江下游梯级电站的建设将导致流水生境的进一步萎缩, 干流库尾和库区支流甚至支流汇口局部水域成为鱼类赖以繁衍、栖息的重要区域(林俊强等, 2014)。黑水河属金沙江下游白鹤滩水电站库区左岸一级支流, 其河流规模相对较大, 饵料生物、鱼类资源分布在金沙江下游支流相对较为丰富, 河流水质较好, 具备作为支流栖息地保护的条件(张维等, 2014); 但黑水河干流已进行水电开发, 电站大坝已人为改变河流的自然流态, 改变了其水文水力特性, 破坏了河流连续性, 阻断了鱼类的洄游通道, 破坏了输沙平衡, 改变了河道的原有形态等(董哲仁和孙东亚, 2007)。

黑水河发源于昭觉县西部三岗乡马石梁子, 自北向南流经昭觉、普格、宁南3县, 于宁南县东南部葫芦口注入金沙江。黑水河全长173.3 km, 天然落差1931 m, 平均比降1.19%, 流域面积3653 km², 河口多年平均流量80.0 m³/s。流域径流年内分配不均, 汛期主要集中在6-10月, 多年平均流量

128.0 m³/s, 而枯水期(12月至翌年5月)多年平均流量为31.5 m³/s。黑水河干流已有4座电站建成发电, 从上至下为苏家湾、公德房、松新和老木河, 装机容量分别为5、15、20和5.2 MW, 最大坝高分别为5.1、18.0、5.3和5.0 m; 均为引水式开发, 减水河段分别长2.3、4.0、7.2和3.2 km, 各电站均为日调节或径流式电站; 坝址处多年平均流量分别为47.8、48.6、51.6和63.6 m³/s, 各电站按坝址处多年平均流量的10%下泄生态流量。2008年、2011年和2012年对黑水河进行了3次水生生态调查, 共调查到鱼类37种; 其中分布有短体副鳅(*Paracobitis potanini*)、前鳍高原鳅(*Triplophysa anterodorsalis*)、长薄鳅(*Leptobotia elongata*)、张氏蟹(*Hemiculter tchangi*)、长鳍吻鮡(*Rhinogobio ventralis*)、钝吻棒花鱼(*Abbottina obtusirostris*)、短须裂腹鱼(*Schizothorax wangchiachii*)、昆明裂腹鱼(*Schizothorax grahami*)、短身金沙鳅(*Jinshaia abbreviata*)、中华金沙鳅(*Jinshaia sinensis*)和黄石爬鮡(*Euchiloglanis kishinouyei*)共计11种特有鱼类, 多为喜宽谷急流型鱼类。

开展黑水河生境修复、恢复其适宜鱼类栖息的生境条件是支流栖息地保护的基础, 而河流栖息地评估作为生境修复中的关键环节, 也受到越来越多的关注(赵进勇等, 2008)。在众多的评估方法中, 栖息地模拟法通过模拟生物行为随环境因子的相应关系来判断生境适宜性, 相比传统的水文水力学和

收稿日期: 2015-08-15

基金项目: 浙江省自然科学基金(编号: LQ14G030020)。

作者简介: 傅菁菁, 1976年生, 女, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事环境水力学方面研究。E-mail: fu_jj@ecidi.com

河流地貌法, 评价方法显得更为全面和客观。本文通过水动力学模型和鱼类信息模型的耦合, 建立黑水河的二维物理栖息地模型, 旨在保护黑水河的鱼类栖息地, 保证河流的连通性, 恢复适宜鱼类生境的生境条件, 对增殖金沙江下游鱼类资源、维护河流生物多样性具有重要意义, 并可为河道生境修复规划方案的制定提供基础数据。

1 评估方法与模型

河道内流量增加法 (instream flow incremental methodology, IFIM) 是生境模拟法中应用最早也较广泛的方法, 通过水力生态模型建立鱼类适宜栖息地的数量、质量与流量之间的关系, 评价流量变化对鱼类栖息地的影响, 并通过调节流量以改善生态环境 (Romas, 1998)。在 IFIM 的基础上, Bovee (1982) 提出了一维栖息地模拟模型 PHABSIM, 模拟流量与适宜栖息地面积的定量关系。随着计算机功能的不断增强, 更精准、更复杂的二维和三维栖息地模拟模型逐步被应用于河段生态流量计算, 其中深度平均的二维有限元栖息地模型 River2D 被广泛应用。本文以 HEC-RAS 一维水动力学模拟结果作为边界条件, 采用 River2D 进行二维水动力学模拟和鱼类栖息地模拟。

1.1 河道内流量增量法 (IFIM)

河道内流量增加法 (IFIM) 由美国鱼类和野生动物服务中心于 20 世纪 70 年代提出, 该方法通过结合水力学模型和生物信息模型, 建立不同流态和特征物种有效栖息地之间的关系 (Xu et al, 1998; 王晓刚和严忠民, 2008)。IFIM 法假设水深、流速、基质和覆盖物是流量变化对物种数量和分布造成影响的主要因素, 本文仅考虑受电站调度影响的水深和流速 2 项。调查分析指示物种对水深、流速等的适应要求, 通过绘制水深、流速等环境参数与喜好 (用 0~1 表示) 的适宜性曲线, 计算目标物种的鱼类适宜栖息地面积 (weighted usable area, WUA):

$$WUA = \sum_{i=1}^n CSI_i \times A_i \quad (1)$$

$$CSI_i = f(V_i, D_i, C_i) \quad (2)$$

$$CSI_i = V_i D_i C_i \quad (2-1)$$

$$CSI_i = (V_i D_i C_i)^{\frac{1}{3}} \quad (2-2)$$

$$CSI_i = \min(V_i D_i C_i) \quad (2-3)$$

式中: n 为单元个数; A_i 为计算单元的面积; CSI_i 为计算单元的综合栖息地适宜性指数, 由 V_i , D_i , C_i 即流速、水深、河道指数 (包括底质和覆盖物

状况) 适宜性值组合而成, 三者是表征河流物理栖息地最具代表性的变量。 CSI_i 有 3 种默认方式: 式 (2-1) 将三者相乘, 体现了影响因子的综合作用; 式 (2-2) 的几何平均值法考虑各影响因子间的补偿影响; 式 (2-3) 考虑 3 个影响因素中的最不利值。本文考虑水深和流速的共同影响, 暂不考虑地质和覆盖物等因素, 由 V_i 和 D_i 两者的乘积作为综合适宜性指数 CSI_i 。

1.2 River2D 模型

River2D 是由加拿大 Alberta 大学研制开发的深度平均二维有限元模拟程序, 用来进行水动力模拟和鱼类栖息地模拟, 其水力模拟基于由质量守恒方程和 x 、 y 方向动量守恒方程组成的二维圣维南方程组 (英晓明, 2006)。相对传统一维模型, 其对局部流态模拟更为准确, 可提供精确的栖息地适宜性及有效面积模拟; 同时, River2D 可用于整体评价外, 还适用于微观生境的评价。River2D 软件由 R2D_Bed、R2D_Ice、R2D_Mesh、River2D 共计 4 个模块组成, 分别用于地形处理、网络生成、河流覆冰模拟及水力与栖息地模拟。

River2D 软件中包含的鱼类栖息地模块, 基于天然栖息地模拟系统 PHABSIM 的权重可利用栖地面积 (WUA), 采用三角形无结构网格, 其可视化系统可以用来显示水动力模拟和鱼类栖息地模拟的结果。HEC-RAS 为美国陆军工程兵团水文工程中心开发的河道水面线计算程序, 其恒定流水面线的计算基于一维能量方程, 采用逐步推法, 逐断面迭代进行推求 (Chou & Chuang, 2011); 由 HEC-RAS 求解得到的断面水面线作为 River2D 各河段模拟的下游水位边界条件。

1.3 鱼类适宜性指数

鱼类作为河流生态系统中的最高级生物, 对环境变化最为敏感, 加之与人类的密切关系, 常作为目标物种 (王庆国等, 2009)。鱼类栖息地模型通过栖息地适宜性标准 (habitat suitability criteria, HSC) 量化目标物种特定生命阶段对栖息地不同物理变量 (流速、水深) 的喜好程度, 用来表示某物理变量与目标鱼种的出现频率, 适宜性指数介于 0~1 之间; 1 代表最适宜状况, 0 代表不适合该物种生活, 值越大表示适宜性越好, 即该物种出现频率就越高。

鱼类栖息地适宜性指数确定方法有二元格式、单变量曲线方法和多变量曲线方法 3 种。在使用二元格式的情况下, 适宜性只有 0 和 1, 即该区域只有适宜物种生存和不适宜生存 2 种状态; 单变量格式

单独确立每个变量的适宜性,即每一个物理影响因子的适宜性值为0~1之间任何值,且各变量的适宜性无相关性;单变量曲线是目前普遍使用的适宜性曲线。多变量格式综合考虑几个变量在同一个计算单元中的适宜性,实质上是确定多个物理影响因子之间的相关性并将其表现为 n 维变量函数的格式。

本文采用单变量法,单独考虑鱼类对河流水深和流速的适宜性。目前,黑水河分布鱼类相对应的水力适宜性研究资料还较缺乏,本文参考已有文献

中出现的鲤科和平鳍鳅科鱼类适宜性研究结果(张文鸽等,2008;王庆国等,2009;杨志峰等,2010;谭燕平等,2011;Chou & Chuang, 2011),建立了黑水河特征河段鱼类流速与水深适宜性指数曲线(图1);其中,图1-a为流速适宜性曲线,图1-b为水深适宜性曲线。需要说明的是,已有文献提出的鱼类对流速、水深适宜性指数也较粗略;本文提出的适宜性指数曲线代表的是整个研究河段的鱼类,比较宽泛,尚有待考证。

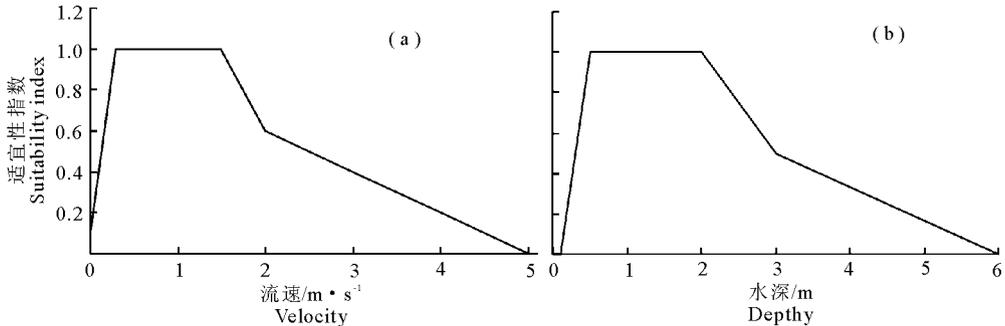


图1 黑水河鱼类流速适宜性指数(a)与水深适宜性指数(b)

Fig.1 Fish velocity suitability index (a) and water depth suitability index (b) in Heishui River

2 生境模拟

2.1 模拟工况

考虑到公德房为黑水河干流已建梯级中最高的大坝,且其库尾与上游苏家湾发电尾水衔接,苏家湾坝址至公德房坝址河段能更好地反映减水河段和库区生境的特点,因此本文以黑水河干流苏家湾坝址至公德房坝址约3.1 km河段为例,进行生境模拟。苏家湾坝址至公德房坝址河段按照河道内流量特征可分为苏家湾减水河段和公德房库区2个段,其中苏家湾减水河段长约2.3 km,河道内流量主要为苏家湾坝址处下泄的生态流量,即4.8 m³/s;苏家湾发电尾水下泄的公德房库区长约0.8 km,主要受公德房水库顶托影响。各河段流量工况如表1所示。

表1 模拟河段流量工况

Tab.1 Flow conditions for the habitat simulation study

模拟区域	河长/ km	丰水期 (9月)流量/ m ³ · s ⁻¹	枯水期 (1月)流量/ m ³ · s ⁻¹	产卵期 (5月)流量/ m ³ · s ⁻¹
苏家湾减水河段	2.3	4.8	4.8	4.8
公德房库区河段	0.8	111.3	23.6	24.0

2.2 模型参数

曼宁系数是河流模拟中最重要的参数,直观反映河渠的粗糙程度。黑水河为较典型的山区河流,

底质多为卵石和中砾,粒径为20~200 mm。将模拟的河道区按照主河道、侧槽/砾石浅滩赋予不同的 n 值(王晓刚和严忠民,2008);其中主河道曼宁系数取0.035~0.040,侧槽/砾石浅滩曼宁系数取0.04。RIVER2D中使用有效粗糙高度 k_s 代替曼宁系数 n ,相比于 n , k_s 考虑了水深对河床阻力的影响,两者的换算关系(英晓明,2006)如下:

$$n = R^{1/6} [\log_{10} (12.2R/k_s)] \quad (3)$$

式中: R 为水力半径;根据 n 的取值, k_s 的取值为0.25~0.70。

RIVER2D由于其二维特性,需要模拟河段的河床地形数据。本研究实测了44个典型河床断面,并采用局部河床断面概化和假设的方式形成河流河床文件。二维模型采用约束Delauney三角剖分格式,网格密度根据地形数据和模型计算结果调整,网格间距0.5~10.0 m。边界条件上游采用流量边界,下游采用水位边界,河岸边界采用动边界方式。苏家湾减水河段模拟的水位边界由HEC-RAS计算确定,并用大断面流速和水位实测资料进行参数率定;公德房水电站库区模拟的水位边界按照其正常蓄水位确定。

3 结果与讨论

3.1 不同河段栖息地的适宜性模拟

苏家湾减水河段在4.8 m³/s生态流量情况下

的水域总面积为 3.15 hm^2 ; 其中适宜性较差水域面积为 1.51 hm^2 、有效栖息地面积 (WUA) 为 0.83 hm^2 ; 适宜性一般的水域面积为 1.23 hm^2 , 适宜性较好的水域面积为 0.41 hm^2 。公德房库区水域面积相对较大, 枯水期 (1 月) 和鱼类产卵期 (5 月) 水域总面积均为 5.71 hm^2 , WUA 均为 1.80 hm^2 ; 其中适宜性较差的水域面积均为 3.12 hm^2 , 适宜性一

般和较好的水域面积合计均为 2.59 hm^2 ; 丰水期水域总面积为 6.29 hm^2 , 入库流量的加大对库区栖息地适宜性起到一定的改善作用, WUA 为 2.13 hm^2 , 其中适宜性较差水域面积为 2.36 hm^2 , 适宜性一般和较好的水域面积合计为 3.93 hm^2 。苏家湾坝址至公德房坝址河段栖息地适宜性模拟结果如表 2 和图 2 所示。

表 2 河道栖息地适宜性模拟结果

Tab. 2 Simulation results for river habitat suitability

指 标	CSI	苏家湾减水河段			
		公德房库区河段/ hm^2			
		(全年)/ hm^2	丰水期(9月)	枯水期(1月)	产卵期(5月)
模拟水域总面积		3.15	6.29	5.71	5.71
适宜性较差水域面积	≤ 0.2	1.51	2.36	3.12	3.12
适宜性一般水域面积	$0.2 \sim 0.6$	1.23	2.88	1.40	1.41
适宜性较好水域面积	≥ 0.6	0.41	1.05	1.19	1.18
有效栖息地面积		0.83	2.13	1.80	1.80

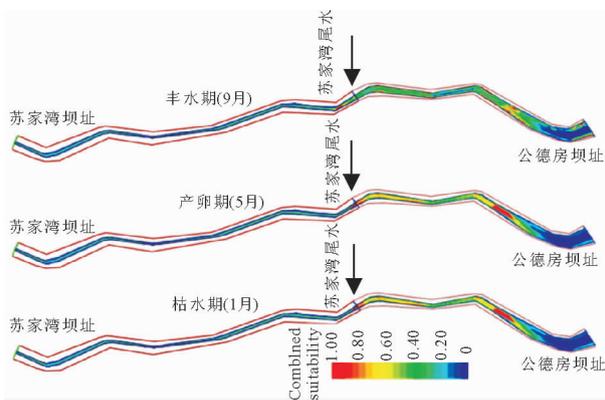


图 2 河道栖息地适宜性分布

Fig. 2 Distribution of habitat suitability

苏家湾减水河段和公德房库区河长分别占模拟河段的 74% 和 26%, 有效栖息地面积 (WUA) 分别占模拟河段有效栖息地总面积的 28% 和 72%。虽然公德房库区坝前水域水深大, 导致局部区域鱼类栖息地的适宜性较差, 由于其为河道型水库, 库区大部分河段的水深和流速条件仍具有较高的鱼类栖息地适宜性, 且库区水域面积大, 因此有效栖息地面积较大; 苏家湾减水河段由于河道内水量小, 河道仍维持了天然径流情况较宽的河床条件, 水深大多较浅 (约 60% 小于 0.5 m 、约 80% 小于 0.6 m), 该河段栖息地适宜性指数总体较低, 有效栖息地面积较小。

3.2 生态流量优化措施

目前黑水河已有 4 座电站建成发电, 均为引水式开发, 各梯级均为河道型水库, 库区可以为鱼类提供适宜的栖息生境; 尽管各梯级均有生态流量的下泄, 但径流条件较天然情况显著改变, 减水河段河道内流量较天然大幅减小, 保持天然地貌特征的现状河床过宽, 尽管水域面积仍较大, 但存在水流速度过

缓、水深偏小等问题, 导致相应的鱼类栖息地适宜性较差, 需要开展河道生境的修复, 可以采取河道整理、生态流量优化等措施。

本文以苏家湾减水河段典型断面进行不同生态流量条件 (坝址处多年平均流量的 10%、12.5%、15%)、坝址处多年平均流量 10% 的生态流量条件下进行河道整理等方案进行对比。根据不同方案典型断面的水力参数的对比 (表 3), 坝址处下泄生态流量从多年平均流量的 10% 提高至 15%, 各梯级减水河段最大水深和平均水深等参数改善有限。坝址处下泄多年平均流量 10% 情况下, 采取河道修复、主河槽重塑等措施后, 减水河段最大水深、平均水深水力参数均优于仅增加生态流量至坝址处多年平均流量 15% 的情况, 改善效果相对更为明显。因此, 黑水河河道生境修复可采取河道治理为主, 结合优化生态流量的措施。

表 3 不同方案典型断面水力参数对比

Tab. 3 Comparison of hydraulic parameters in typical river sections under different optimization schemes

水力参数	10%	12.5%	15%	10%
	坝址处 流量	坝址处 流量	坝址处 流量	坝址处流量 + 河床治理
最大水深/ m	0.37	0.41	0.44	0.62
平均水深/ m	0.22	0.25	0.27	0.32
平均流速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1.49	1.56	1.64	1.78
水面宽度/ m	15.6	16.6	17.5	9.2

3.3 黑水河典型断面生境修复措施

对黑水河各梯级电站减水河段进行梳理和河床治理, 束窄主河床, 增加河道内流速和水深, 提高减水河段鱼类栖息地的适宜性, 减水河段典型断面修

复方案如图3。在河道生境修复过程中,考虑满足鱼类产卵、索饵和越冬等不同的生境需求,也为减水

河段营造多样的水生生境,梳理和河床治理的同时应塑造一些深潭和浅滩区。

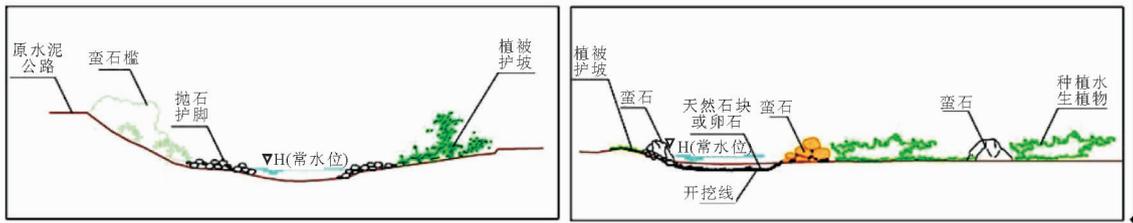


图3 黑水河减水河段2种典型断面修复示意

Fig.3 Sketch map of habitat restoration scheme for two typical river sections in the reduced water segments of Heishui River

4 结语

(1) 本文采用基于 IFIM 原理的栖息地模拟方法,使用 RIVER2D 二维水动力学及栖息地模拟软件,以黑水河苏家湾坝址至公德房坝址河段为例,进行了栖息地模拟,分析了各流量工况时适宜栖息地的数量、质量和空间分布情况。

(2) 公德房库区水域面积大,大部分河段栖息地适宜性指数较高,适宜栖息的区域面积较大。苏家湾减水河段,由于河道内水量小、河床较宽、水深较浅,河段栖息地适宜性指数总体较低,有效栖息地面积较小。根据模拟结果,建议减水河段可采取治理为主,结合优化生态流量的措施,提高河道水深,改善河道内水流条件,以增强河段内鱼类栖息地的适宜性。

(3) 栖息地适宜性指数是生境模拟准确性的关键,本文采用已有文献提出的其他河段鱼类对流速、水深适宜性指数较粗略,为使计算结果更准确,还需对目标河段水生生物的适宜性条件进行更深入的研究。为提高模型精度,除细化模拟河段的地形、水文数据监测外,还应对模拟河段进行实地生物取样调查,对比实际鱼类分布场与模型结果的吻合程度。

参考文献

- 董哲仁,孙东亚,2007. 生态水利工程原理与技术[M]. 北京:中国水利水电出版社.
- 林俊强,彭期冬,任杰,等,2014. 赤水河与金沙江下游河段鱼类生境条件的相似性分析[J]. 淡水渔业, 44(6): 93 - 99.
- 谭燕平,王玉蓉,李嘉,等,2011. 雅砻江锦屏大河湾减水河段中鱼类栖息地模拟研究[J]. 水电能源科学, 29(3): 40 - 43.
- 王庆国,李嘉,李克锋,等,2009. 减水河段水力生态修复措施的改善效果分析[J]. 水利学报, 39(6): 756 - 761.

- 王庆国,李嘉,李克锋,等,2009. 减水河段水力生态修复措施的改善效果分析[J]. 水利学报, 39(6): 756 - 761.
- 王晓刚,严忠民,2008. 河道汇流口水利特征对鱼类栖息地的影响[J]. 天津大学学报, 41(2): 204 - 208.
- 杨志峰,于世伟,陈贺,等,2010. 基于栖息地突变分析的春汛期生态需水阈值模型[J]. 水科学进展, (4): 567 - 574.
- 英晓明,2006. 基于 IFIM 方法的河流生态环境模拟研究[D]. 南京:河海大学.
- 张维,刘飞,林鹏程,等,2014. 金沙江下游鱼类栖息地评估和保护优先级研究[J]. 长江流域资源与环境, 23(4): 496 - 503.
- 张文鸽,黄强,蒋晓辉,2008. 基于物理栖息地模拟的河道内生态流量研究[J]. 水科学进展, 19(2): 192 - 197.
- 张志英,袁野,2001. 溪洛渡水利工程对长江上游珍稀特有鱼类的影响探讨[J]. 淡水渔业, 31(2): 62 - 63.
- 赵进勇,董哲仁,孙亚东,2008. 河流生物栖息地评估研究进展[J]. 科技导报, 26(17): 82 - 88.
- Bovee K D, 1982. Guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology[R]. Washington D C: USDI Fish and Wildlife Service.
- Chou W, Chuang M, 2011. Habitat evaluation using suitability index and habitat type diversity: a case study involving a shallow forest stream in central Taiwan[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 172(1): 689 - 704.
- Chou W, M Chuang, 2011. Habitat evaluation using suitability index and habitat type diversity: a case study involving a shallow forest stream in central Taiwan[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 172(1): 689 - 704.
- Rhomas B H, 1998. The Future of Habitat Modeling and Instream Flow Assessment Techniques[J]. Regulated Rivers; Research and Management, 14(2): 405 - 420.
- Xu Z X, Lamb B L, Bartholow J M, et al, 1998. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology[R]. US Geological Survey; Biological Resources Division Information and Technology.

Application of Habitat Simulation to Fishery Habitat Protection in Heishui River

FU Jing-jing¹, HUANG Bin¹, RUI Jian-liang¹, TAN Sheng-kui¹, ZHAO Shuang²

(1. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 310014, P. R. China;

2. Zhejiang Radio & Television University, Hangzhou 310030, P. R. China)

Abstract: Heishui River is an important tributary of the lower Jinsha River with abundant fishery resources. However, exploitation of hydropower on the river has changed the natural flow regime and interrupted river continuity, resulting in habitat loss and the need for habitat conservation. Habitat evaluation is crucial for effective habitat restoration. To study fish habitat suitability and develop an effective habitat conservation program for Heishui River, a hydrodynamic and fish habitat suitability simulation was run from the dam at Sujiawan to Gongdefang hydropower station. The habitat and hydrodynamic simulation was based on the instream flow incremental methodology (IFIM), combined with the River2D Hydrodynamic Model. The quantity, quality and distribution of suitable physical habitat were then analyzed and the weighted usable area (WUA) and fish habitat suitability in the study area was evaluated and the main problems were identified. It is 3.1 km from Sujiawan dam to Gongdefang hydropower station, including the Sujiawan reduced water segment (2.3 km) and the open water of Gongdefang Reservoir (0.8 km). Results indicate the total water surface area in Gongdefang reservoir was 5.71 hm² during the dry season (January) and fish spawning period (May), and the Weighted Usable Area (WUA) was 1.80 hm². During the wet season, the total water area was 6.29 hm² and the WUA was 2.13 hm². The total water area of the Sujiawan reduced water segment was 3.15 hm² under the condition of ecological flow (4.8 m³/s) and the WUA was 0.83 hm². The water area in Gongdefang reservoir is large, the suitability index was high in most reaches, and the effective habitat area was large. The instream flow in the Sujiawan reduced water segment was small, mostly shallow, and the suitable habitat area was small, indicating a need for habitat restoration. Based on the results, two habitat restoration schemes in the Sujiawan reduced water segment were simulated; ecological flow increases amounting to 10%, 12.5% and 15% of the average annual flow at the dam; increasing the average annual flow by 10% and using riverway treatment. After comparing the results, we suggest the riverway treatment be given priority, combined with ecological flow optimization.

Key words: habitat simulation method; fish habitat conservation; Heishui River