

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221249

小水电影响下的南方山区河流适宜生态流量

张 丽¹, 陈婕汝², 万东辉¹, 姚航斌¹, 王凌河¹, 温舒茵¹, 王翠婷¹

(1. 水利部珠江水利委员会珠江水利科学研究所, 广东 广州 510610;

2. 福州大学土木工程学院, 福建 福州 350108)

摘要: 小水电不合理开发、忽视河流生态流量需求等问题给下游河段水文生态带来不利影响,破坏了水生生物的栖息地环境。以广西壮族自治区大环江下湘电站下游河段为例,选择鲤鱼作为目标鱼类,基于鲤鱼流速和水深适宜性曲线,采用生境模拟法模拟分析11个流量工况下研究河段水动力分布特征和鲤鱼质量生境面积分布特征,并运用水文学方法,基于三个评价指标评价最小生态流量的适宜性。结果表明,利用生境模拟法计算的枯水期鲤鱼生存的适宜生态流量为 $9.38\text{ m}^3/\text{s}$ 、最小生态流量为 $6.25\text{ m}^3/\text{s}$,结果合理、适宜,对于保障小水电下游河流生态环境健康具有重要意义。

关键词: 适宜生态流量;生境模拟法;水文学法;小水电影响

中图分类号: TV213.4;X143

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)04-0065-04

1 概况

小水电在满足社会能源需求、优化地方经济发展和调控中小河流水资源等方面发挥了重要作用,但其建设运行也改变了河流天然的水文情势条件,导致下游河段生态流量不足,破坏了鱼类等水生生物的栖息地环境^[1]。近年来,为保护河流生态健康、实现人与自然和谐发展,以推进绿色小水电站建设和改造为目标,以小水电的生态流量为重点,相继开展了小水电建设对河流水文生态影响分析、维持河流生态健康的生态流量、生态流量下泄方案等相关研究^[2]。然而,真正落实生态流量泄放的小水电占比不高。为保护河流生态环境,有必要研究小水电影响下的山区河流适宜生态流量。大环江为柳江支流龙江的一级支流,发源于贵州省荔波县,全长164.8 km,于广西壮族自治区河池市东江镇汇入龙江,总流域面积 $2\,793.84\text{ km}^2$ 。下湘电站为大环江的最末一级电站,为河床式水电站,以发电为主,并兼具防洪等功能,电站总装机10.5 MW,多年平均发电量 $3\,259\times 10^4\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。根据下湘电站对下游河段水文生态影响分析结果,汛期下湘电站对下游河流

水文情势基本无影响,枯水期下游河流天然水文情势改变较明显,影响了鱼类等正常活动。因此,本文采用生境模拟法分析了下湘电站影响下的枯水期生态流量,确定了鲤鱼生存的适宜生态流量及最小生态流量,结果可供参考。

2 研究方法

2.1 生境模拟法

采用生境模拟法,基于生物原则,选择鱼类作为指示物种,建立目标鱼类生境面积与河流流量之间的关系^[3,4]。

2.1.1 目标鱼类适宜性曲线

开展调查并确定目标鱼类,关联生境适宜性指数与目标鱼种生境的影响因子,用0~1之间的数值定义目标鱼类对研究河段生境因子的偏好程度(最适宜生存的条件赋值为1,限制生存的条件赋值为0);根据鱼类对生境因子的偏好程度绘制目标鱼类的生境适宜性曲线^[5]。

2.1.2 水动力模拟

以下湘电站下游第1~6 km的减脱水河段为研究河段,借助Mike软件建立水动力数值模拟模型,共生成32 021个网格、17 282个节点。

收稿日期: 2022-06-15, **修回日期:** 2022-07-15

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科 AB19259015);科技基础资源调查专项项目(2019FY101900)

作者简介: 张丽(1976-),女,高级工程师,研究方向为水生态、水文水资源, E-mail:81761761@qq.com

通讯作者: 万东辉(1980-),男,教授级高级工程师,研究方向为水生态、水文水资源, E-mail:58546813@qq.com

模型上边界选用 2019 年 10~12 月逐日平均流量进行控制,下边界选用相应时间段内逐日平均水位进行控制。模型采用 2019 年 10 月 10~25 日下湘电站下游实测的逐日平均流速资料进行率定,率定结果表明,模拟值与实测值的最大误差为 0.042,精度满足计算要求。

同时,以枯水期多年平均流量为代表性流量,设置低流量(0.50、1.56、3.13、4.69 m³/s)、中流量(6.25、9.38、12.50 m³/s)、高流量(15.63、23.45、31.26、56.00 m³/s)共 11 个流量工况,采用模型模拟不同流量工况下河流水动力分布特征和目标鱼类质量生境面积分布特征。

2.1.3 生境模拟

采用改进的生境面积计算方法,利用软件筛选和分析满足目标鱼类生境适宜条件的流速、水深生境因子的河道网格,提取不同流量工况下目标鱼类各质量级别的生境面积,得到生境面积随流量变化的关系曲线,以曲线的最高点作为目标鱼类生存的适宜生态流量,曲线的转折点作为目标鱼类的最小生态流量。

2.2 生态流量适宜性评价

参考国家和水利部关于生态流量适宜性评价的相关技术文件,基于河流流量变化、发生时间和持续时间,建立了月生态流量满足度、月均生态流量比率和生态流量综合评价指标,评价最小生态流量的适宜性。

(1)月生态流量满足度。统计河流在天然流量状态下流量过程满足生态流量的天数占总天数的比值,其值越接近 1,表明天然流量越能满足河流生态流量需求。

(2)月均生态流量比率。生态流量计算值与多年月平均实测流量中值的比值,比值越接近 1,则代表生态流量值越接近天然流量。

(3)生态流量综合评价指标。采用几何平均值法将月生态流量满足度与月均生态流量比率指标综合计算作为生态流量综合指标,其值越接近 1,则天然流量越能满足生态流量下泄要求,且下泄的生态流量能满足维持河流生态健康所需水量。

3 小水电影响下的南方山区河流适宜生态流量分析

3.1 目标鱼类及其适宜生境标准

根据《广西鱼志》、《珠江流域广西主要江河鱼类资源调查与研究》等资料及下湘电站下游区域鱼市的走访调查,大环江流域共有鱼种 57 种,隶

属 6 目 15 科 56 种,其中鲤科鱼类数量占比最大(70.2%);鲤科分为 8 个亚科,其中鲤亚科的鲤鱼为流域内的优势种。因此,选择鲤鱼为目标鱼类。

由于鲤鱼的产卵期一般在汛期,故主要研究非产卵期的栖息地适宜性。根据下湘电站对下游水文影响的特点,选取流速、水深作为鲤鱼栖息地影响研究的主要生境因子,参考有关鲤鱼非产卵期的流速、水深适宜性的相关成果^[6],采用单变量格式绘制鲤鱼流速和水深的适宜性曲线,鲤鱼流速适宜范围为 0.07~0.70 m/s,其中最适宜范围为 0.2~0.6 m/s(图 1(a));水深适宜范围为 0.7~2.2 m,其中最适宜范围为 1.0~1.5 m(图 1(b))。

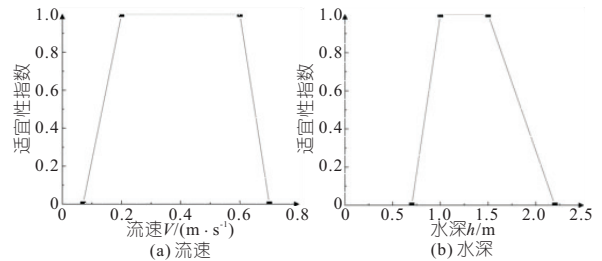


图 1 鲤鱼非产卵期流速、水深适宜性曲线

Fig. 1 Suitability curves of velocity and water depth during carp non-spawning period

3.2 流速和水深模拟结果分析

3.2.1 流速模拟结果及空间分布特征分析

结合鲤鱼流速适宜性曲线分析低流量(0.50~4.69 m³/s)、中流量(6.25~12.50 m³/s)、高流量(15.63~56.00 m³/s)11 个不同流量工况下河段流速分布特征,部分典型流量工况下研究河段流速分布见图 2。

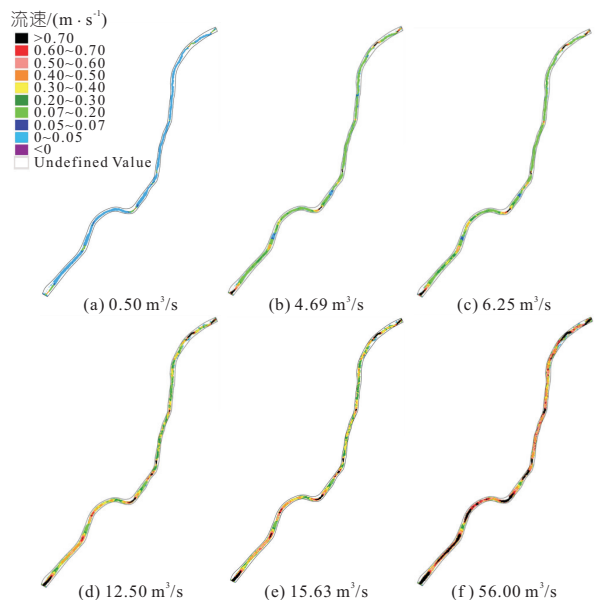


图 2 部分典型流量工况下研究河段流速分布
Fig. 2 Velocity distribution of studied reach under some typical flow conditions

由图 2 可知:①低流量工况。当流量分别为 0.50、1.56 m³/s 时,流速分布在 0~0.2 m/s 区间(图 2(a)),鲤鱼的流速适宜性为 0,流速限制鲤鱼生存;当流量分别为 3.13、4.69 m³/s 时,部分河段如河流凹岸流速相对偏大,其余河段流速分布在 0.07~0.20 m/s 区间(图 2(b)),鲤鱼的流速适宜性在 0~1 区间内分布,适宜鲤鱼生存。②中流量工况。当流量为 6.25、9.38 m³/s 时,河段流速进一步增加,基本分布在 0.07~0.30、0.2~0.5 m/s 区间(图 2(c)),鲤鱼的流速适宜性为 1,最适宜目标鱼类生存;当流量为 12.5 m³/s 时,河段流速分布在 0.3~0.5 m/s 区间的面积增加(图 2(d)),最适宜鲤鱼生存的流速生境面积进一步增加。③高流量工况。当流量分别为 15.63、23.45 m³/s 时,下游河段流速多分布在 0.3~0.6 m/s 区间,上游河段流速分布在 0.2~0.5 m/s 区间(图 2(e)),最适宜鲤鱼生存。当流量增至 31.26、56.00 m³/s 时,研究河段流速大于 0.7 m/s 的面积明显增多(图 2(f)),不适宜鲤鱼生存。

3.2.2 水深模拟结果及空间分布特征分析

结合鲤鱼流速适宜性曲线分析低流量(0.50~4.69 m³/s)、中流量(6.25~12.50 m³/s)、高流量(15.63~56.00 m³/s)11 个不同流量工况下河段水深分布特征,部分典型流量工况下研究河段水深分布见图 3。由图 3 可知:①低流量工况。当流量为 0.50 m³/s 时,河流主河槽水深较大(图 3(a)),不适宜鲤鱼生存。随着流量增至 4.69 m³/s,上游河段大部分水深大于 4.5 m(图 3(b)),不

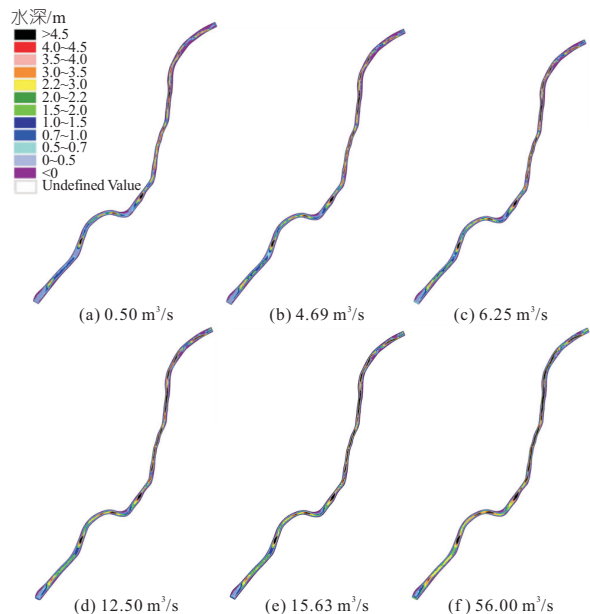


图 3 部分典型流量工况下研究河段水深分布
Fig. 3 Water depth distribution of studied reach under some typical flow conditions

适宜鲤鱼生存;中下游河段主河槽水深基本分布在 1.0~3.5 m 区间内,适宜鲤鱼生存。②中流量工况。当流量为 6.25 m³/s 时,除部分深潭,下游河段主河槽水深基本分布在 1.5~3.5 m 区间(图 3(c)),适宜鲤鱼生存的水深生境面积有所减小。当流量为 12.5 m³/s 时,上游河段主河槽大部分水深大于 4.5 m,不适宜鲤鱼生存的生境面积增加;下游约有 1/2 河段的水深大于 2.2 m(图 3(d)),不适宜鲤鱼生存。③高流量工况。当流量为 15.63 m³/s 时,适宜鲤鱼生存的水深生境和浅滩逐渐减少(图 3(e))。当流量为 23.45 m³/s 时,部分原适宜鲤鱼生存的水深生境消失。当流量为 56.00 m³/s 时,上游河段水深大于 4.5 m,不适宜鲤鱼生存,深潭—浅滩交替生境减少,下游河段水深基本分布在 1.0~4.5 m 区间(图 3(f)),适宜鲤鱼生存。

3.3 生境面积模拟结果分析

结合鲤鱼的适宜性曲线和研究河段水力模拟结果,模拟分析 11 个不同流量工况下鲤鱼各级别的质量生境面积分布特征,11 个不同流量工况下高中低等质量和总适宜生境面积(即高中低等质量生境面积的总和)随流量的变化情况见图 4。由图 4 可知,当流量为 0.50 m³/s 时,研究河段内仅有 609 m² 生境面积能提供给鲤鱼低质量的生活场所;随流量的增加,河道内流速、水深逐步增加,河段内适宜鲤鱼生存的总适宜生境面积亦随之上升。当流量为 4.69 m³/s 时,低等质量生境面积达到峰值,生境面积为 20 291 m²;当流量为 6.25 m³/s 时,高等质量生境面积达到峰值,生境面积为 17 178 m²,且鲤鱼的总适宜生境面积—流量关系曲线出现转折。当流量为 9.38 m³/s 时,总适宜生境面积和中等质量生境面积达到峰值,分别为 72 546、45 369 m²。在流量为 9.38 m³/s 的基础上增加或降低流量,鲤鱼生存的总适宜生境面积均会减小,说明对于鱼类的生长与繁殖,河段流量并非越大越好。

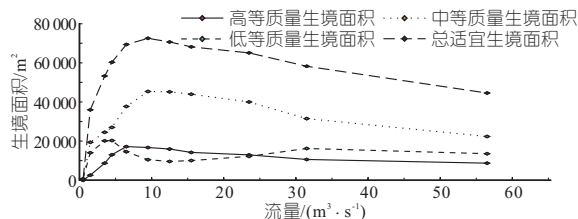


图 4 鲤鱼各级别质量生境面积随流量变化关系曲线
Fig. 4 Relationship curve between carp mass habitat area at all levels and flow change

3.4 生境模拟法生态流量及分析评价

3.4.1 生态流量结果

由鲤鱼总适宜生境面积随流量变化的关系曲线(图 4)可知,当流量为 $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,鲤鱼的总适宜生境面积—流量关系曲线出现转折,总适宜生境面积为 $69\,396 \text{ m}^2$;当流量为 $9.38 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,鲤鱼总适宜生境面积达到峰值 $72\,546 \text{ m}^2$ 。因此,鲤鱼生存的适宜生态流量为 $9.38 \text{ m}^3/\text{s}$,最小生态流量为 $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

当总适宜生境面积达到峰值时,中高等质量生境面积均占主导地位,此时河道内适宜目标鱼类生存的总适宜生境面积及质量均达到最佳状态。

3.4.2 生态流量对比分析

对比分析最枯月平均流量法、Tennant 法和生境模拟法计算的枯水期生态流量(表 1),发现 Tennant 法 10%生态流量值最小,生境模拟法计算的最小生态流量均大于最枯月平均流量法及 Tennant 法 30%的计算结果,生境模拟法计算的 1 月(翌年)、2 月(翌年)、12 月的适宜生态流量稍大于 Tennant 法 60%的生态流量。

表 1 枯水期生态流量结果对比

Tab. 1 Comparison of ecological flow results in dry season

月份	最枯月 平均流 量法	m^3/s				
		Tennant 法			生境模拟法	
		10%	30%	60%	最小生 态流量	适宜生 态流量
10 月	6.2	2.60	7.80	15.63	6.25	9.38
11 月	4.7	2.03	6.09	12.18	6.25	9.38
12 月	4.8	1.10	3.30	6.60	6.25	9.38
1 月(翌年)	3.8	0.91	2.73	5.46	6.25	9.38
2 月(翌年)	3.7	1.14	3.42	6.84	6.25	9.38
3 月(翌年)	3.9	1.60	4.80	9.60	6.25	9.38

从整体上看,生境模拟法计算的适宜生态流量及最小生态流量均在两种水文学法计算分析的生态流量范围内,说明生境模拟法计算的枯水期生态流量结果合理。

3.4.3 生态流量适宜性评价

根据月均生态流量满足度计算结果,整个枯水期最小生态流量的满足度较高,基本大于 0.8,天然来水能满足最小生态流量 $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 的需求。由月均生态流量比率计算结果可知,10 月月均生态流量比率较低,主要原因为 10 月天然来水流量较大;其余月份月均生态流量比率主要分布

在 0.65~0.85 区间,天然流量与生态流量有一定的偏差但总体较接近。生态流量综合评价指标评价结果表明,枯水期各月份的综合指标为“极佳”或“佳”,未出现“极差”与“差”等较低等级。

因此,综合三个指标的计算结果,生境模拟法计算的枯水期最小生态流量适宜。

4 结 论

a. 低流量工况下河流的流速和水深基本适宜鲤鱼生存;中流量工况下河流流速最适宜目标鱼类生存,而水深不适宜鲤鱼生存;高流量工况下河流流速和水深不适宜鲤鱼生存。

b. 采用改进的生境面积计算方法,模拟得到鲤鱼总适宜生境面积随流量变化的关系曲线,确定鲤鱼生存的适宜生态流量为 $9.38 \text{ m}^3/\text{s}$,最小生态流量为 $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 。运用水文学方法和评价指标进行对比分析和评价,生境模拟法计算的枯水期鲤鱼生存的适宜生态流量和最小生态流量是合理且适宜的。

c. 本文仅针对目标鱼类非产卵期开展生态流量研究,未来将开展目标鱼类不同生育期对河流生态流量的需求研究。

参 考 文 献:

[1] 金连根,方兵,宋毅.生态绿色小水电发展现状及建议[J].浙江水利科技,2014(2):73-76.
 [2] 付浩龙,李亚龙.关于加快长江流域农村水电绿色发展的思考[J].人民长江,2020,51(增刊2):37-40.
 [3] MA LEJUN, WANG HUAN, QI CHANGJUN, et al. Characteristics and adaptability assessment of commonly used ecological flow methods in water storage and hydropower projects, the case of Chinese river basins[J]. Water, 2019, 11(10): 1-15.
 [4] 傅菁菁,黄滨,芮建良,等.生境模拟法在黑水河鱼类栖息地保护中的应用[J].水生态学杂志,2016,37(3):70-75.
 [5] 张陵蕾,吴宇雷,张志广,等.基于鱼类栖息地生态水文特征的生态流量过程研究[J].水电能源科学,2015,33(3):10-13.
 [6] 张志广,谭奇林,钟治国,等.基于鱼类生境需求的生态流量过程研究[J].水力发电,2016,42(4):13-17.

(下转第 64 页)

