

乌东德水电站库尾栖息地水力生境优化调度

樊皓, 张登成

(长江水资源保护科学研究所, 湖北 武汉 430051)

摘要:金沙江乌东德水电站库尾河段是乌东德、白鹤滩水电站栖息地保护体系的重要组成部分,该河段受上游观音岩、金沙以及桐子林等水电站非恒定流下泄影响,河段流速、水深等水力条件变化频繁且复杂,河段栖息地保护功能和效果难以保障。为调控栖息地保护河段水位变幅和流速,改善鱼类产卵适宜的水力生境,采用 MIKE21 进行模拟计算,研究在 3-4 月裂腹鱼类产卵期对上游梯级下泄流量过程和下游乌东德水库运行水位的控制要求。结果表明,从水深适宜度看,在 3-4 月特定流量条件下,乌东德水电站运行水位应在 974.0~974.5 m;为营造较为适宜的流速,裂腹鱼类产卵繁殖期间,乌东德水电站库尾水位应维持在 974.5 m 附近。当上游梯级下泄流量时段内变幅小于 1 600 m³/s,下游乌东德水库库水位保持在 974.0~974.5 m,可控制河段水深在 0.5~1.5 m、流速在 1.5~2.5 m/s 的适宜阈值区间变动。研究可为进一步提升乌东德库尾栖息地保护河段功能及其保护价值提供技术参考。

关键词: 乌东德水电站; 库尾河段; 栖息地; 水力生境; 调度

中图分类号: TV741, X24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2023)05-0018-07

水利水电工程的建设会对河流连通性、水文情势、水温、水质以及河床底质等产生一定程度的影响,而大型河流的开发通常以梯级的方式展开,形成典型的河湖分相格局(陈求稳等,2020),河段鱼类重要栖息生境也随之发生变化。为减缓或降低河流筑坝对鱼类的影响,可采取栖息地保护、过鱼设施、增殖放流等措施。但由于过鱼设施涉及不同学科,融合度不够、运行管理机制不健全等问题,效果有待进一步提升(陈求稳等,2020; Shi et al, 2015); 鱼类增殖放流受部分鱼种繁育技术、规模化养殖技术限制,难以完全达到保护的要求。因此,选择合适的河段或支流作为栖息地或替代生境,是保护鱼类资源相对可靠、有效的途径。鱼类栖息地保护应选择合适的河段或水域,再结合保护对象特征,营造适应的水流条件(杨宇等,2007)。国内栖息地保护河段水域一般遵循“干流开发、支流保护”的原则,如金沙江上游将藏曲、定曲等支流作为栖息地保护河流,金沙江下游将黑水河作为栖息地保护河流。此外,如果无法

找到适宜的支流作为替代生境,也可将干流不受开发影响或受影响程度较弱的河段,甚至是水库的库尾河段作为栖息地保护河段。而然,水库库尾栖息地保护河段,在开发强度较高的水域,尤其是以水电开发为主的流域,一般会受上下游梯级发电调度影响,适宜的水力生境无法保证,进而影响到栖息地保护的效果。

20 世纪 80 年代以来,学者们在微观尺度上对栖息地进行了研究, Kemp 等(1999) 提出功能性栖息地和水力栖息地的基本概念。许多学者通过研究功能性栖息地与水流参数的关系,构建栖息地性能曲线(Scruton et al, 1998; Nykanen et al, 2002; Vilizzi, et al, 2004; Barmuta, 1989), 研究以底质定义的栖息地,测量了流速、水深、含氧量、温度等多种理化数据,分析不同水力条件对河床底质、地形的作用。已有研究表明,鱼类栖息地与水力学条件之间关系密切,如裂腹鱼类在产卵期需要保障适宜的水深、流速等,在受精卵的孵化期则需要相对稳定的水位过程。对于水电站库尾栖息地河段,如何通过上下游联合调度,使得栖息地保护河段在鱼类产卵、繁殖时段水位过程和水深相对稳定,是当下需要研究和解决的问题。

乌东德水电站库尾河段地处金沙江中、下游衔接处,受上游观音岩、金沙以及雅砻江桐子林等电站建设影响,下游河道河流泥沙通量显著改变,河床底质、水力条件、水文情势与天然情况发生了较为显著的变化(王沛芳等,2016)。攀枝花地处金沙江干热河谷,高温、暴晒以及上游梯级调度导致的产卵场水

收稿日期: 2021-09-15 修回日期: 2023-08-18

基金项目: 中国三峡建设管理有限公司公司科研项目(合同编号: JG/18011B)。

作者简介: 黄银兰, 1988 年生, 女, 硕士, 工程师, 研究方向为景观生态评价。E-mail: hyl_03@163.com

通信作者: 樊皓, 1985 年生, 男, 高级工程师, 主要从事水资源保护研究。E-mail: fanhaohu@163.com

域水陆边界频繁变化,在一定程度上影响了江段分布的齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)、短须裂腹鱼(*Schizothorax wangchiachii*)等产粘沉性卵鱼类产卵、繁殖,也影响了该河段作为鱼类栖息地的效果。究其原因,上游观音岩、金沙等水电梯级的调度导致其下游河段流量日内、日间变化达1 600 m³/s以上,导致乌东德库尾河段水位变化幅度大,水陆边界频繁变化,不能提供鱼类偏爱的稳定的水位过程和水深要求。为此,本文拟通过研究梯级联合调度,以营造相对稳定的水位过程和适宜的流速,改善栖息地保护效果。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

攀枝花河段位于金沙江中下游,雅砻江在此汇入。汇入前干流河段多年平均流量1 870 m³/s(攀枝花水文站),汇入后为3 790 m³/s(三堆子水文站)。河段建设有观音岩、金沙、银江(在建)、乌东德等多个水电梯级(图1)。观音岩水电站为周调节;金沙、银江水电站均为日调节,在枯水时段(3月)和平水时段(4月、11月),受电网调度影响,电站下泄流量日内变幅较大;乌东德为季调节水库,水库7月按防洪限制水位952 m运行,8月初开始蓄水,逐步蓄水至正常蓄水位975 m,9月以后维持高水位方式运行,直至次年6月底消落至防洪限制水位或死水位。上下游各梯级调节能力不一,导致河段水文情势复杂多变。

乌东德库区支流龙川江、尘河、勐果河、鲢鱼河等均存在开发利用程度高、水质差、流量小甚至存在断流现象等问题,不具备作为替代生境的条件;而库尾攀枝花河段具有较复杂的流水生境,急缓流、滩涂潭交错分布。因此乌东德水电站环境影响报告书选择将库尾变动回水区江段作为齐口裂腹鱼、重口裂腹鱼和短须裂腹鱼等长江上游特有鱼类的栖息地保护河段,并为库区喜缓流和静水生境但需流水刺激产卵的鱼类提供适宜的水生生境。通过实地勘测,从生境适宜性、建设条件、管理维护、外部制约因素、场址代表性等5个方面进行综合分析,选择位于雅砻江汇口以下9 km的大沙坝边滩作为微观改造的适宜区域。该

区域现状为废弃采砂区,滩地面积约3.11万m²。滩地底质以砾石为主,中部分布有数个采砂坑,边滩水深较浅,流速较大。通过设置挑沙潜堤、降低边滩淤砂速度,丰富水流多样性进行局部修复,塑造产卵场,营造适宜的底质和水流条件。



图1 研究江段水系与开发现状示意

Fig.1 Water system and development status of the investigated river section

1.2 栖息地水力生境需求分析

鱼类繁殖需要依靠某种特定的水力学条件,如四大家鱼产卵的发生和水位的涨落有较显著的相关性;裂腹鱼喜栖息于急缓流交界处,其产卵场分布于水流相对较急的沙砾地质区域,适当的流速能刺激鱼类产卵,同时提供鱼类发育需要的溶氧。陈求稳(2016)针对鱼类栖息地保护和生态流量需求以及生态调度进行了系统性的阐述;Han等(2013)通过鱼类生态水力学物理模型实验理论与方法以确定鱼类对关键水动力指标的喜好;陈明千等(2013)研究指出,流速、水深等用来描述鱼类产卵场水利生境具有很好的代表性;韩仕清等(2016)提出,齐口裂腹鱼、重口裂腹鱼等鱼类产卵繁殖流速一般介于1.5~2.5 m/s较适宜,水深介于0.5~1.5 m较适宜。裂腹鱼类成鱼繁殖所需的生境条件(樊皓等,2016)如表1。

1.3 研究方法

基于对裂腹鱼类适宜的水力生境参数分析,结合栖息地保护河段所在区域水电梯级开发情况,构建数学模型,确定联合调度条件下的适宜水力参数营造研究方法。模拟计算区域以金沙水电站坝址为上边界,以拉鲊水位站为下边界,采用MIKE21进行

表1 裂腹鱼成鱼繁殖所需的生境条件

Tab.1 Habitat conditions required for Schizothoracinae spawning

鱼类名称	栖息地及产卵场底质特征	偏爱水温/°C	偏爱水深/m	偏爱流速/m·s ⁻¹	产卵月份
齐口裂腹鱼	栖息于急缓流交界处,产卵场位于砂石急流区	10~15	0.5~1.5	1.5~2.5	集中产卵期为3~4月
短须裂腹鱼		15~20	0.5~1.5	1.5~2.5	

模拟计算,重点对大沙坝位置进行网格细化。模型

计算原理如下:

(1)连续性方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

(2)动量方程:

$$\frac{\partial h \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{u} \bar{v}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (2h \nu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \nu_t (\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x})) + f \bar{v} h - g h \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + u_s S \quad (2)$$

$$\frac{\partial h \bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u} \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}^2}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (h \nu_t (\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x})) + \frac{\partial}{\partial y} (2h \nu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}) - f \bar{u} h - g h \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + v_s S \quad (3)$$

式中: h 为总水深; \bar{u} 、 \bar{v} 分别为流速在深度上的平均值, $h \bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz$, $h \bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz$; τ_{bx} 、 τ_{by} 为 x 、 y 方向的底面摩擦力; f 为柯氏力系数; g 为重力加速度; η 为水面高程; ρ 为水的密度; ρ_0 为(淡)水的参考密度; p_a 为大气压强; t 为时间; S 为源汇项的流量, u_s 、 v_s 分别为源汇处的流速。

研究江段为金沙江中、下游衔接段,该栖息地保护河段主要保护鱼类为齐口裂腹鱼、短须裂腹鱼等产粘沉性卵鱼类,其主要产卵时段分布在3-4月。因此,选择3-4月的不同来流情况和乌东德不同运行水位进行组合计算。分析在现状、乌东德按正常蓄水位975 m调度运行后,栖息地保护河段生境变化情况,确定乌东德水电站上游来流与水库运行水位的最优组合,保障产卵场位置有效水力生境。

2 结果与分析

2.1 栖息地水力生境现状

2.1.1 河段水文站实测数据 现状情况下,乌东德库尾江段受上游观音岩、金沙以及雅砻江桐子林电站非恒定流下泄影响。据统计,一般情况下,3-4月份河段日均流量1 810 m³/s,日内最小流量与最大流量间相

差199~1 910 m³/s。根据三堆子水文站实测数据,现状情况下(乌东德未蓄水、银江)三堆子断面日变幅在0.12~3.43 m。即在上游观音岩、金沙、桐子林等电站调节情况下,在枯水、平水时段三堆子断面日内最大水位变幅达3.43 m,平均日变幅为1.72 m,如图2。

2.1.2 大沙坝人工产卵场分析 大沙坝人工产卵场位于三堆子水文站下游约5 km位置,所在水域流速为1.4~2.7 m/s,水深为0.1~1.2 m,部分时段水深难以满足裂腹鱼类产卵繁殖较适宜的水力生境条件,且受上游非恒定流下泄影响,河段流速、水深波动幅度较大,栖息地保护效果受到一定程度的影响。

2.2 梯级联合调度方案

2.2.1 乌东德水库运行水位 根据乌东德水电站运行调度规则,裂腹鱼类产卵时段(3-4月),库水位基本维持在973~975 m运行。据三堆子水文站实测流量统计,3-4月份该河段流量为940~3 710 m³/s。乌东德坝前水位自973.0 m起,按0.5 m为步长递增至975 m。

据统计,3月至4月上旬,上游来流一般小于2 500 m³/s,当库水位在974.0 m以下,乌东德水库回水不涉及产卵场所在河段。因此,该水位下运行时,通过水库调蓄无法改变河段栖息地水力生境条件。

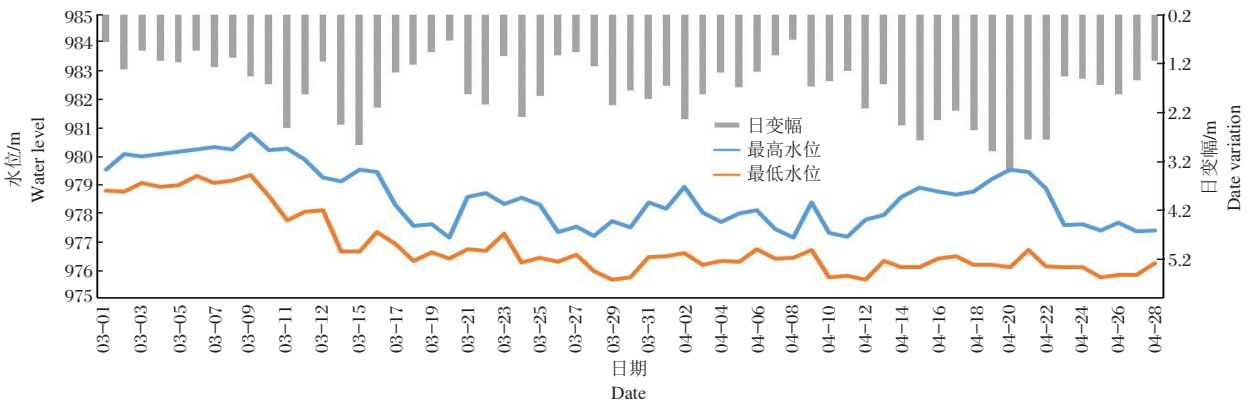


图2 三堆子水文站实测逐时水位过程及水位变幅

Fig.2 Measured hourly water level and variation at Sanduizi hydrographic station

(1) 水深变化

基于表1中关于鱼类适宜水深的阈值,结合河段水深实际情况,将水深适宜区间细分为<0.3、0.3~0.5、0.5~1.0、1.0~1.5、1.5~2.0、2.0~3.0 m等。

当库水位在974.0 m以上运行时,水库回水涉及产卵场所在河段。受乌东德水电站回水顶托,上游非恒定流下泄影响有所缓解。大沙坝产卵场日内(24 h以内)所有时段水深均集中在0.5~1.5 m区间及

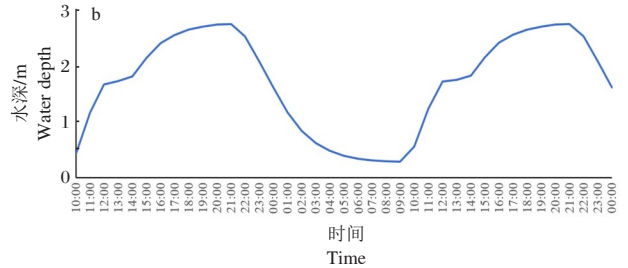
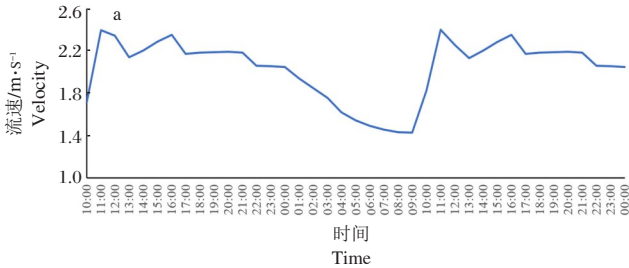


图3 现状库尾大沙坝段流速、水深日内变化

Fig.3 Diurnal variation of velocity and water depth in the Dashaba section

当库水位在975 m时,产卵场所在水域水深日内全时段在1.0 m以上。其中28%的时段河段水深在1.0~1.5 m,32%的时段在1.5~2.0 m,40%的时段在2.0~3.0 m(图5)。水位日内变幅控制在1.5 m以内。

因此,从水深适宜度来看,在3~4月特定的流量条件下,乌东德水电站运行水位应在974.0~974.5 m。

(2) 流速变化

基于表1中关于鱼类适宜流速的阈值,结合河段流速实际情况以及河流缓流、较缓流、较急流、急流划分,将水深适宜区间细分为<0.3、0.3~0.5、0.5~1.0、1.0~1.5、1.5~2.0、2.0~2.5 m/s等。库水位处于974.0~974.5 m时,大沙坝河段最大流速由现状的2.4 m/s减小至2.1 m/s,最小流速在1.0 m/s以上,是裂腹鱼类产卵较偏爱的流速环境。随着库水位进一步抬升至975 m左右时,河段流速进一步减小,日内流速在0.9~1.5 m/s(表2)。

齐口裂腹鱼、重口裂腹鱼等鱼类产卵繁殖流速一般介于1.5~2.5 m/s较适宜。因此,为营造较为适宜的流速,在裂腹鱼类产卵繁殖期间,乌东德水电站库水位应维持在974.5 m附近较为适宜。

(3) 乌东德水电站库水位运行方案

乌东德库尾栖息地保护河段受上游观音岩、金沙以及雅砻江桐子林水电站非恒定流下泄影响,河段水力生境参数变化剧烈。经计算分析,乌东德水电站库水位在3月下旬至4月上旬维持974.0~974.5 m高水位运行,可以营造较为适宜的栖息地水力生境条件。若乌东德水电站运行水位超过974.5 m,大沙坝产卵场位置水深则超过了适宜的阈值范围。

以上(图3)。从不同水深区间分布时长占总统计时长比例的热点图(图4)可以看出,库水位达到974.0 m及以上时,0.5~1.0 m、1.0~1.5 m为该水位运行期间水深分布时长较为密集的区域,其中28%的时段在0.5~1.0 m之间,56%的时段在1.0~1.5 m。产卵场位置最小水深从无水库调节的0.2 m增加至0.5 m,且稳定维持在0.5 m以上;水位日内变幅基本可控制在1.5 m以内。

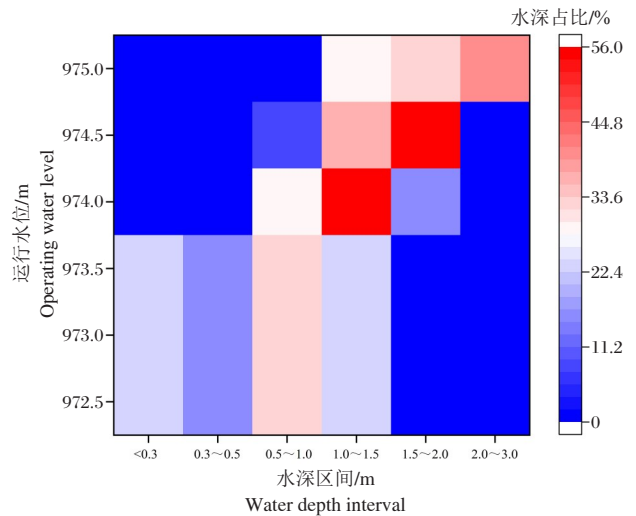


图4 大沙坝段日内水深区间分布

Fig.4 Diurnal distribution of water depth range

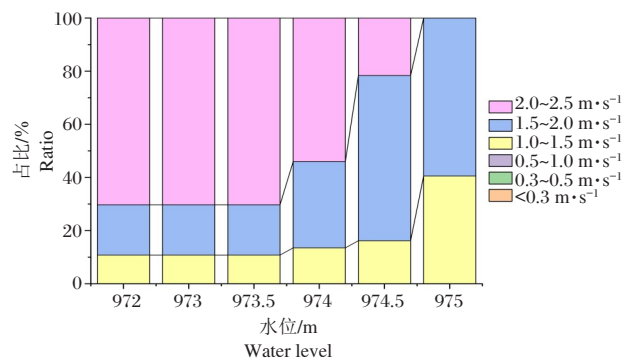


图5 大沙坝段日内流速分区统计

Fig.5 Variation of velocity and water depth with water level at Wudongde hydropower station

表2 乌东德水电站不同水位条件下库尾河段水深、流速

Tab.2 Water depth and velocity of reservoir tailwater for different water levels at Wudongde hydropower station

乌东德坝前水位/m	产卵场位置流速/m·s ⁻¹	产卵场位置水深/m
973.0	1.4~2.7	0.2~1.8
973.5	1.4~2.7	0.2~1.8
974.0	1.3~2.1	0.5~1.6
974.5	1.1~1.9	0.5~1.8
975.0	0.9~1.5	0.8~2.1

2.2.2 上游梯级下泄流量 根据鱼类习性特征,齐口裂腹鱼、短须裂腹鱼等集中繁殖期在3月下旬至4月上旬,孵化时间约10 d。在此期间,栖息地保护河段同样需要保持相对稳定的水位过程。而栖息地保护河段稳定的水位过程同时受上游来流和下游乌东德运行水位的影响,即在控制下游乌东德水电站运行水位的同时,也需要控制上游下泄流量。据三堆子近10 a实测流量统计,在观音岩、金沙、桐子林等电站正常运行情况下,3月下旬至4月上旬日均流量为940~2 500 m³/s,瞬时流量为902~2 750 m³/s。根据各电站生态流量泄放要求,乌东德库尾河段最小来流量为902 m³/s。

河段梯级均以发电为主,电站出力受电网调度影响较大,且基本同频。根据上文计算,当上游来流量小于2 500 m³/s,乌东德水库水位维持在974.0~974.5 m运行时,乌东德水电站回水可影响大沙坝水域。在乌东德水库运行水位基本确定的情况下,3月下旬至4月上旬鱼类繁殖期间,若电网调度要求各梯级电站加大下泄,最大下泄流量应不高于3 700 m³/s;同时,为避免3月下旬至4月上旬时段内日际、日内水位变幅过大,时段内最大流量与最小流量差应不大于1 600 m³/s,以营造较适宜的水力生境。

3 讨论

乌东德水电站工程前期论证过程中,基于江段主要鱼类繁殖习性,结合库区江段干支流水文、水质特征,从宏观上选择乌东德水电站库尾作为栖息地保护河段。库尾河段地处金沙江中、下游衔接处,在观音岩、金沙、雅砻江桐子林以及乌东德等电站的共同影响下,河段水文情势、水动力条件发生明显改变。江段水位变幅大,严重影响了河段作为栖息地的功能。国内现有生态调度技术大都是针对坝下河段鱼类保护开展,如对于产粘沉性卵鱼类实施基荷

运行保障坝下河段水位的稳定,以满足受精卵孵化和仔幼鱼发育的需求;针对产漂流性卵鱼类通过人造洪峰以营造适宜的流量涨落过程,刺激其产卵繁殖,而针对库尾河段的水力生境条件营造尚未有较为深入的研究。

在鱼类水力生境指标方面,研究发现,水深、流速等水力参数是影响产粘沉性卵鱼类的主要因素,明确了水深0.5~1.5 m、流速1.5~2.5 m/s的参数阈值(韩仕清等,2016),但对于维持水深、流速的方法未有深入研究。对受非恒定流影响的乌东德库尾河段来说,控制如此稳定的水深和流速是难以实现的。为此,针对这一特殊情况,本文通过筛选、甄别齐口裂腹鱼、短须裂腹鱼等保护对象产卵繁殖对水深、流速等的水力参数,明确水力参数适宜的变化区间,并通过调控下游水库水位,以达到缓解因上游非恒定流下泄而导致栖息地保护河段剧烈的水位变化的目的,同时考虑保护对象产卵繁殖对流速、水位的需求,对上游梯级下泄流量及过程、下游梯级运行水位提出量化的要求,明确梯级联调的原则,形成了以保护库尾栖息地为主要目的生态调度方案。

此外,本文通过对上游不同流量和下游乌东德水库运行水位进行多工况分析,并对水深、流速分区间进行统计,找出不同运行水位水深、流速集中分布的区间,可以形象地表现河段水深、流速分布的时空差异。通过更精细化的分区间统计方法,为后续水库精准调度运行提供一定的参考。但在实际运行调度过程中,依然存在以下几个问题:

(1)现阶段乌东德水库按965 m水位控制运行,在获得生态环境主管部门环境影响报告书批复以后,方可按975 m正常蓄水位运行。即本文提出的通过高水位运行缓解非恒定流下泄影响的方案短期之内无法实现。在此期间,可通过开展库尾栖息地保护河段的水文、水温以及鱼类早期资源监测,进一步明确保护对象繁殖对水深、流速等的需求及响应关系,为后续实施上下游梯级精准联合调度,营造有效水力生境提供指导。

(2)上游观音岩、金沙、桐子林、乌东德等水电站分属不同的运行管理单位,电站均以发电为主,观音岩、金沙、桐子林等电站调峰基本同频,在没有乌东德高水位运行调节的情况下,乌东德库尾栖息地保护河段剧烈的水位变化还将持续。在生态优先、绿色发展的基本原则下,在乌东德水电站解决运行水位问题的前提下,如何构建协调机制,协调好乌东德库尾栖息地保护与发电经济效益的关系,是我们今后需要深入研究的课题。

(3)本文仅从流速、水深两要素进行分析计算,影响鱼类产卵、繁殖的水力要素还包括湿周率、过水断面面积、水面宽度等。要营造各要素适宜的水力生境需要开展更加深入和精细的研究。此外,本文以营造大沙坝产卵场河段的水力生境为目的,为鱼类繁殖创造有利条件,但鱼类完成整个生活史还需要适宜的栖息、索饵和越冬等条件,对水文条件和水力生境具有更加复杂多样的需求,这也将是今后需要深入研究的课题。

参考文献

- 陈求稳,张建云,莫康乐,等,2020. 水电工程水生态环境效应评价方法与调控措施[J]. 水科学进展,35(5):793-810.
- 杨宇,乔晔,2007. 河流鱼类栖息地水力学条件表征与评述[J]. 河海大学学报(自然科学版),35(2):125-130.
- 王沛芳,王超,候俊,等,2016. 梯级水电开发中生态保护分析与生态水头理念及确定原则[J]. 水利水电科技进展,36(5):1-7.
- 陈求稳,2016. 生态水力学及其在水利工程生态环境效应模拟调控中的应用[J]. 水利学报,47(3):413-423.
- 陈明千,脱友才,李嘉,等,2013. 鱼类产卵场水利生境指标体系初步研究[J]. 水利学报,44(11):1303-1308.
- 韩仕清,李永,梁瑞峰,等,2016. 基于鱼类产卵场水力学与生态水文特征的生态流量过程研究[J]. 水电能源科学,34(6):9-13.
- 樊皓,闫峰陵,2016. 基于生态水力学法的金沙水电站最小下泄流量计算[J]. 水文,36(3):40-43.
- Barmuta L A, 1989. Habitat patchiness and macrobenthic community structure in an upland stream in Temperate Victoria Australia[J]. *Freshwater Biology*, 21(2):223-236
- Han R, Chen Q, Li R, et al, 2013. Investigation on *Spinibarbus hollandi* behaviors to flow conditions by laboratory physical model and numerical simulations[J]. *Ecohydrology*, 6(4): 586-597.
- Kemp J L, Harper D M, Crosa G A, 1999. Use of functional habitats to link ecology with morphology and hydrology in river rehabilitation[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 9(1):159-178
- Nykanen M, Huusko A, 2002. Suitability criteria for spawning habitat of riverine European grayling[J]. *Journal of Fish Biology*, 60(5):1351-1354.
- Scruton D A, Heggenes J, Valentin S, et al, 1998. Field sampling design and spatial scale in habitat-hydraulic modeling comparison of three models [J]. *Fisheries Management and Ecology*, 1998, 5(3):225-240.
- Shi X, Kynard B, Liu D, et al, 2015. Development of fish passage in China[J]. *Fisheries*, 40(4): 161-169.
- Vilizzi L, Copp G H, Roussel J M, 2004. Assessing variation in suitability curves and electivity profiles in temporal studies of fish habitat use[J]. *River Research and Applications*, 20(5):605-618.

(责任编辑 郑金秀)

Optimization of Hydraulic Conditions in the Tailwater Habitat of Wudongde Hydropower Station

FAN Hao, ZHANG Deng-cheng

(Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, P.R. China)

Abstract: The tailwater flowing from Wudongde hydropower station is an important part of the habitat protection system of Wudongde and Baihetan hydropower stations and it is affected by variable discharges from upstream hydropower stations, particularly in March and April. Hydraulic conditions of the tailwater reach, including velocity and water depth, frequently change, producing complex effects on habitat quality and complicating habitat protection. In this study, we analyzed changes in the hydraulic parameters in tailwaters from Wudongde hydropower station using the curvilinear flow model MIKE21. The results were then used to explore appropriate threshold ranges of water depth and velocity necessary to trigger spawning of Schizothoracinae species during March and April, to be obtained by coordinating the operation of upstream and downstream reservoirs. The average daily water flow at Sanduizi hydrographic station was in the range 940–2 500 m³/s from late March to late April. Conditions for spawning and breeding of Schizothoracinae species include a water depth range of 0.5–1.5 m and a flow velocity range of 1.5–2.5 m/s. This, in turn, requires a daily variation of downstream cascade discharge < 1 600 m³/s, and a water level range in Wudongde reservoir of 974.0–974.5 m. This study provides technical guidance for improving habitat function and value in the reservoir tailwater reach of Wudongde hydropower station.

Key words: Wudongde hydropower station; reservoir tailwater reach; habitat; hydraulic habitat; regulation