

# 闸坝工程对河流生态系统影响机制分析

李少华

(北京市北运河管理处,北京 101100)

**【摘要】** 河流生态系统影响评价是闸坝工程运行管理工作的重要内容之一,本文在综述闸坝工程对河流生态系统的影响效应和闸坝控制型河流生态评价方法的基础上,建议运行闸坝工程的决策者通过采取优化河流生态系统的综合管理、连通河流上下游水系、恢复河岸缓冲带栖息地的适宜性、精确估算河流生态需水量等措施,最大限度地减轻对河流生态系统造成的负效应,不断提升河流生态系统的水体净化能力,最终达到满足流域生态文明建设中功能需求的目标。

**【关键词】** 闸坝工程;水文变异;水系连通;河流生态系统

中图分类号: X522

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2020)01-034-05

## Analysis of impact mechanism of dam regulation on river ecosystem

LI Shaohua

(Beijing North Canal Management Office, Beijing 101100, China)

**Abstract:** River ecosystem impact assessment is one of the important contents of dam project and management. Based on the review of the impact effect of dam project on river ecosystem and dam control type river ecosystem assessment methods, this paper suggests that the decision makers of dam management should optimize the comprehensive management of river ecosystem, connect the upstream and downstream river systems, restore the suitability of riparian buffer zone habitat, accurately estimate the river ecological water demand and other measures, minimize the negative effect on river ecosystem, continuously improve the water purification capacity of river ecosystem, and finally meet the functional requirements in the river basin ecological civilization construction.

**Key words:** dam project; hydrological variation; water system connectivity; river ecosystem

河道闸坝工程的调度运行,对径流过程的控制作用非常明显,与此同时,其带来的供水、防洪以及发电等方面效益也越来越大。尤其是城市内河,对城镇建成区的排水除涝、维持生态基流、涵养生态资源、构建水体景观和推进城市生态文明建设意义重大<sup>[1]</sup>。在当前全面消除黑臭和劣V类水体、大力建设海绵城市的

关键阶段,河道闸坝优化运行的作用极其重要。现在的内河闸坝大多采用常规的方法进行调度,缺少智慧化科学的管理方式和顶层设计,生态治河理念普及度不够,水工建筑物的风景绿化品质较差,导致其在水环境、水生态和水安全上的弊端日趋明显,负面胁迫效应也接踵而至。

收稿日期: 2019-05-24

作者简介: 李少华(1992—),男,硕士,主要从事水务管理工作。

目前关于闸坝工程对河流水质、水量的环境影响与优化调控研究较多,并逐渐向生态水利方向转变。左其亭等<sup>[2]</sup>分析了闸坝调度过程在河流水质和水生态指标变化中的作用;董克宝<sup>[3]</sup>模拟了闸坝联合调控情景下水量与水源分配的变化,并提出优化河流型湿地景观用水的措施;姜翠玲等<sup>[4]</sup>通过综述水文情势与栖息地生物响应机理、水利工程生态效应和生态需水量的估算方法,评估了闸坝工程对河流生态系统的影响程度,并展望了我国生态水利的发展趋势。鉴于此,本文通过分析闸坝调度对河流生态系统的作用效果,探讨闸坝控制型河流生态系统的综合评价体系和影响效应机制,总结降低闸坝工程引发河流生态风险的管控对策,以期能够促进我国闸坝工程管理水平的提高。

## 1 闸坝工程生态环境效应的内涵机制

### 1.1 闸坝工程影响机制的层级划分

根据闸坝工程对河流生态系统的影响效应类型,可以分为正效应和负效应。两者之间的影响力此消彼长。其中,正效应主要包括增加局部流域的防洪效益、强化水资源的可调控性、提升水源的供给能力和巩固旱灾防御的基础设施;负效应主要包括威胁流域的生态安全、破坏河流自然的水生态过程、减少河流湿地的水源补给量、弱化雨洪资源的生态作用和丧失原有蓄滞洪(涝)区的调节功能。

闸坝工程对河流生态系统的影响主要体现在非生态变量因子及生态变量因子两个方面。其中,非生态变量是指河流湿地的基本特征,生态变量是指生物初级生产力及高级食物链组分,两者是相互关联、相互影响的。根据具体的反映过程和作用时间,可将其划分为3个效应层级,具体指标类别见表1。从闸坝工程建设开始,就对河流非生物环境要素产生作用,第一层级影响所产生的变化又为第二层级影响做铺垫,对地形地貌和初级生产力产生效应,对更高食物链上的生物发生作用,即对第三层级产生影响。这种互馈作用过程的复杂程度,从第一层级到第三层级是逐渐增加的。最终,第三层级作为闸坝工程对河流生态系统综合作

用的结果,将会直接反映河流环境面临的风险水平。

表1 闸坝工程对河流生态系统的影响层级划分

类别	第一层级	第二层级	第三层级	
	非生态变量因子		生态变量因子	
闸坝影响	水文	水域岸线	水体微生物	无脊椎动物
	水力	洪泛区	初级生物	鱼类
	水量	蓄滞洪(涝)区	水生植物	鸟类
	水质	三角洲地貌	河岸带植被	两栖类
	泥沙	栖息地生境	植物群落	哺乳动物

### 1.2 闸坝工程影响机制的核心内容

闸坝工程运行后,彻底改变了河流的年径流量及其年内分配比例,毗邻区域的地貌结构、河流下游的水质水量条件也会随之变化,将直接或间接地影响河流沿岸的水生态环境,并使水生生物群落的结构、类型和生活力发生变化,导致河流生态系统中各要素的演变程度存在差异。与此同时,控水作用也会引起河道水文情势逐渐单一化,使河流上下游之间的径流过程更具有可控性,对河水流速、河道流量和过水断面产生显著影响,最终导致河流生态系统的功能有效性和河流湿地的结构稳定性均不断降低。

闸坝工程带来河岸区域经济质量发展和沿岸居民高品质生活的同时,也造成河流部分原有生态功能的丧失,主要表现为河岸线形态、水质水量状况、生物群落等方面的变化<sup>[5]</sup>。闸坝工程生态机制研究主要包括建设前的生态环境影响评价和运行后的综合效应评估,主要包含以下内容:

- a. 闸坝工程导致河流的水势变化平缓,其对维持河流湿地生态系统完整性的作用机理,并提出河道生态需水量的阈值范围。
- b. 以不同组分的保护与修复为目标,制定出河流恢复可持续性径流的技术准则。
- c. 研究河道水工建筑物对天然河流生态景观造成的破坏以及产生的环境协调性问题,为增强河流廊道景观魅力提供美学基础。
- d. 基于河流缓冲带的生境特点,有效实施相应的水生态系统重构策略。

### 1.3 闸坝工程影响机制的评估体系

闸坝工程主要通过改变自然水文特征来影响河流湿地缓冲带和水生态管控边界,其对河流生态系统的影响效应机制分析框架见图1。通过以河流尺度的水文及水生态效应评估为基础,在河段尺度筛选重点闸坝站点对其进行综合分析。其中,闸坝调度对河流生态效应的评估体系可以分为3类:

a. 水文-水生态评估体系。主要通过采取定量或半定量方法,评估闸坝运行对各水文指标的影响以及水文指标与生态指标之间的定性关系,进而简化评价闸坝对河流生态环境的影响机理。

b. 水文效应评估体系。首先运用归一化分析方法和典型赋值模型计算闸坝对水文情势的影响级别,再统计逐月水文数据,筛选过水断面极值流速的出现时间和年内径流量变化的关键节点,最终综合评估闸坝工程的影响效应。

c. 生态水文模型评估体系。通过建立以河流水文和湿地生态指标为基础的流域本底资料数据库,利用耦合水动力模型进行数值分析,结合样地调查验证,评估闸坝调度后,河流湿地生态系统中动物、植物和微生物等指标的变化情景。

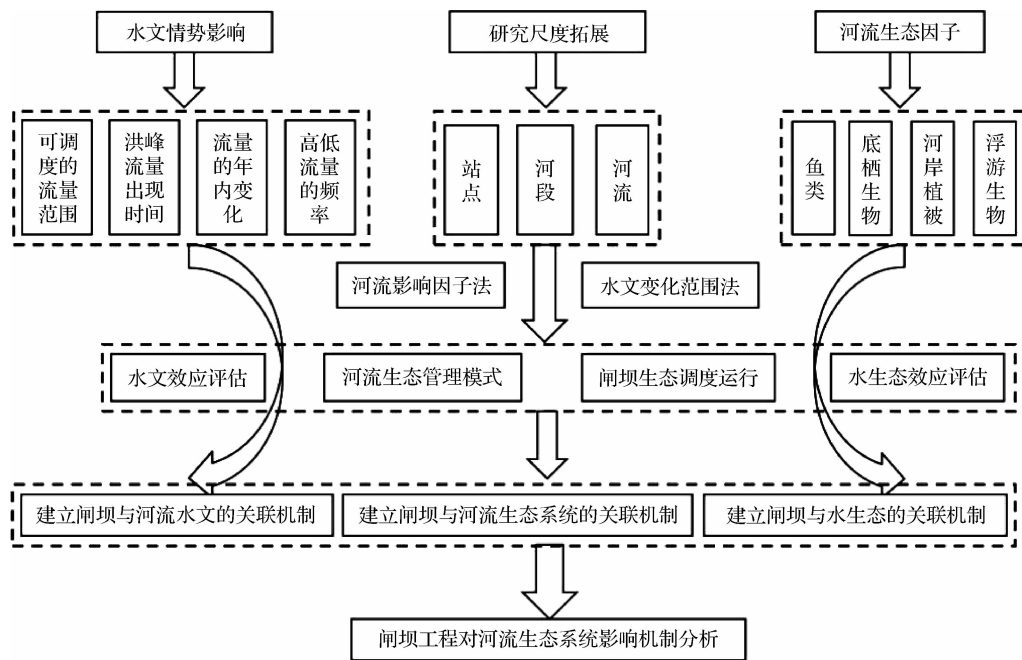


图1 闸坝工程对河流生态系统影响机制分析框架

## 2 闸坝控制型河流生态系统综合评价

闸坝工程建设导致出现流域水循环短路、洪泛区生态过程中断及河流生态系统孤立等问题,使人们不断地进行深刻反思,促进了河流生态系统综合评价的普及应用,并逐步推广包含水质、水量、水环境、生物群落等指标的水生态管理新理念。然而,由于不同河段在水资源紧缺程度、开发利用率、水体污染类型和人类活动扰动方式等方面存在差异,故需要进行河岸线形态、栖息地生境、河道断面监测和水生生物种类等多项

指标的定期野外调查和长期连续监测,致使河流生态系统综合评价成为一项重要但复杂的工作。

### 2.1 河流生态系统综合评价的构成

闸坝工程的生态环境效应是一个涉及流域生态安全和社会经济等领域的耦合系统,需要客观、全面地分析影响过程,并统筹水生态系统完整性的基本要求<sup>[6]</sup>。河流生态系统综合评价不同于开工建设前的环境影响评价和水工程的后期评估,它是针对已建成的闸坝工程,从人居环境、水生生物、自然规律、经济发展、水系景观等方面,建立一套量化生态环境质量和人类干扰

程度的评价标准,主要包括评价指标和评价方法。

## 2.2 河流生态系统综合评价的指标

河流生态系统综合评价指标主要是基于具体河段而提出的指标体系,并在其所能揭示的流域特征基础上,根据综合性、典型性和可操作性选出评价指标体系,主要包括河流生境指标、水环境指标、生物指标和人水和谐度指标四大类别<sup>[7]</sup>。其中,河流生境指标主要包括河岸缓冲带植被覆盖度、河流湿地现存率、河流底质结构、堤坡渗透稳定性、流域水系连通性和河岸线蜿蜒度;水环境指标主要包括年际间径流量变化率、八大离子浓度、水质达标率、水温、水深、基流保证率、水体浑浊度和溶解氧;生物指标主要包括乡土水生动植物存活状况、流域生物多样性指数、鱼类种数、水生植物丰富度和无脊椎动物优势度;人水和谐度指标主要包括流域土地利用、景观破碎化指数、防洪工程完善率、雨洪安全系数、供水保证率、水资源利用率和生态用水所占比例。

## 2.3 河流生态系统综合评价的方法

根据对河流健康概念的不同理解,在河流生态系统综合评价中常用的方法主要有5种:单指标评价法、多指标评价法、模糊评价法、健康指数法和综合指标评价法<sup>[8]</sup>。其中,单指标评价法是指根据河流生态系统中的重要、特有或敏感等物种的类型和数量,判断河流生态系统的风险水平;多指标评价法是指通过对比观测河段与参照河段的一系列特征因子,并对其单独进行科学打分和加权累加,进而对河流的受干扰情况进行系统评价;模糊评价法是指通过运用数学中模糊关系合成的基本原理,将一些边界不清晰且不易量化的因子量化,然后进行综合评价的方法;健康指数法是指通过实测、评估或问卷调查而获取各项指标的现状值,并将其按照统一的方法进行量化,然后根据指数模型加权计算出河流的健康值;综合指标评价法是指依据选定的关键指标是否达标,进行不同的等级排序,同时与简单数学运算相结合,进行评估河流的健康情况。

## 3 闸坝控制型河流生态风险管控的保障机制

### 3.1 河流生态系统的综合管理

从生态系统的角度开展流域环境管理是未来可持

续发展的主要趋势,通过基于河流生态系统整体性的理念,结合不同时空层次的差异性和特殊性,体现出组分间的不可分割特征,综合开展流域规划、治理、开发和保护工作<sup>[9]</sup>。首先,河流生态系统具有非对称性特点,与其所处的行政区划、上下游及左右岸等地域性要素具有直接关系。其次,“水”作为构成河流生态系统的关键性要素,对于维持组分完整、水系连通和生境质量具有决定作用。鉴于此,应当从系统层面对河流现状和风险因素进行评估,加强不同空间尺度拓展,并在制度设计和措施优化中充分考虑流域综合协调性,因地制宜地提出河流生态保护和修复方案,并适当采用经济和法律手段来解决环境与发展之间的矛盾。

### 3.2 贯通河流上下游

河流上下游水系连通具有增加水量调蓄、保障生物迁徙路线通畅、净化水土资源环境的优点,目前主要从水文、生态、地貌和景观等方面对其进行描述。由于其对社会经济发展也发挥着重要作用,河流水系连通则具有自然属性和社会属性的双重特性,并且其连通性机制主要表现为横向、纵向、垂向和时间上的连通性<sup>[10]</sup>。其中,河流水系横向连通性是指主河槽与滩地、河岸缓冲带之间的相互连通,闸坝工程将会减小滩地淹没概率,减弱水动力条件及洪水能力,降低水土养分交换和生物扩散能力,从而造成河流横向连通性降低;水系纵向连通性是指生物、元素和能量在河流纵向上的通畅程度,闸坝工程使得河道基流量显著减小,导致水沙、水热和水量失衡,阻断生物上下游交流路径,打破了河流生态完整性;水系垂向连通性是指地表河水、土壤水库和沿河地下水之间的水分、物质及生物的可运移能力,与地表水-地下水循环条件、河流底泥类型、水体交换强度等因素有直接关联;水系时间连通性是指河流水量、流速、径流和生物分布等指标随着季节性的动态变化过程,主要分为洪水季节和枯水季节,但是闸坝工程的调度运行使河流水系连通的时间维度变得具有人为可控性,逐渐丧失了自然波动性的特点。

### 3.3 河岸缓冲带的栖息地适宜性恢复

栖息地是河流湿地生态系统的重要组成部分,是

保障水生态系统完整性的重要条件,可以直接反映出闸坝控制型河流面临的风险状况。河岸缓冲带栖息地的恢复措施主要有增加河滩地面积、推广应用生态护坡和构建廊道景观。其中,生态护坡在改善河流水生态系统稳定中起到重要的作用,通过减少河岸的硬化处理,并栽种适生植物,形成河流生态廊道,增加河岸缓冲带栖息地生境多样性,进而改善鱼类洄游、底栖生物繁殖和植物群落生长所必要的生态环境类型<sup>[11]</sup>。另外,不同生境条件的镶嵌排列,也有利于形成不同的生物群落,增加物种丰富度和生物多样性指数,最终能够提升河流生态系统的自净能力和抗生态风险水平。同时,河岸带也能够为居民提供良好的休闲娱乐场所,满足人们亲水需求,增加居民的幸福度指数,进而促进保护河流生态系统的积极性。

### 3.4 河流生态需水量的精确估算

生态需水量是指河流维持基本生态功能所需的水资源量,是实现生态调度目标的基础,也是保障河流生态系统健康的有效措施,可以将其划分为河道基流需水量、水面蒸散发需水量、深层渗漏需水量、水质自净需水量、水盐平衡需水量、冲淤输沙需水量和洪水脉冲需水量<sup>[12]</sup>。但是,河流生态需水量的精确估算并不是将各部分生态需水量进行数学相加,因为可能在一定的范围内,水量能够部分或全部地满足多项功能。目前采取的常用估算方法如下:

- a. 按照历史水文观测资料的数据比例,估算维持或恢复河流栖息地的生态需水量。
- b. 模仿自然河流的径流模式,将径流变化程度最小化的闸坝流量列为生态需水量。
- c. 建立河道断面湿周-流量关系曲线,根据斜率法或曲率法计算生态需水量。
- d. 在河流湿地生态学监测数据的基础上,根据经验值确定最适宜的需水量。

## 4 结 论

闸坝工程对河流生态系统的影响作用具有持久性和累积效应,必须有效运用闸坝工程的生态调度模式,

将其对生态环境的不利影响降到最低。通过实施闸坝系统性的调度措施,既能提高上游的存蓄能力,又能保证下游的河流生态需水量,最大限度地恢复河流水系的连通性,为流域内水环境-水资源-水生态的防洪、治污和景观联合调度提供支撑。同时,要不断完善涉水法律法规体系、公众参与机制和环境公益诉讼制度,加大宣传力度和营造良好氛围。然而,闸坝工程对河流景观文化和天然美学功能的负效应,不易量化表达,并且补救措施的可操作性较差。总之,提升河道空间品质和落实沿岸韧性规划是河流生态管控的发展趋势,并且随着监测数据的积累,河流生态系统评价的完善性和可靠性将不断提高,有效地促使我国进入基于流域环境质量和河流生态健康的水生态文明建设新阶段。◆

### 参考文献

- [1] 林俊强,陈凯麒,曹晓红,等. 河流生态修复的顶层设计思考[J]. 水利学报,2018,49(4):483-491.
- [2] 左其亭,刘静,窦明. 闸坝调控对河流水生态环境影响特征分析[J]. 水科学进展,2016,27(3):439-447.
- [3] 董克宝. 河流型湿地景观环境用水闸坝联合调度研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [4] 姜翠玲,王俊. 我国生态水利研究进展[J]. 水利水电科技进展,2015,35(5):168-175.
- [5] 尚淑丽,顾正华,曹晓萌. 水利工程生态环境效应研究综述[J]. 水利水电科技进展,2014,34(1):14-19,48.
- [6] 王业耀,阴琨,杨琦,等. 河流水生态环境质量评价方法研究与应用进展[J]. 中国环境监测,2014,30(4):1-9.
- [7] 张杰,王晓青. 河流健康评价指标体系研究[J]. 环境科学与管理,2017,42(5):180-184.
- [8] 冯文娟,李海英,徐力刚,等. 河流健康评价:内涵、指标、方法与尺度问题探讨[J]. 灌溉排水学报,2015,34(3):34-39.
- [9] 彭文启. 新时期水生态系统保护与修复的新思路[J]. 中国水利,2019(17):25-30.
- [10] 方佳佳,王烜,孙涛,等. 河流连通性及其对生态水文过程影响研究进展[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(2):19-26.
- [11] 吴东海. 生态水利设计理念在河道治理中的应用[J]. 水利建设与管理,2017,37(11):61-64.
- [12] 刘悦忆,朱金峰,赵建世. 河流生态流量研究发展历程与前沿[J]. 水力发电学报,2016,35(12):23-34.