

城市水利工程对水生生物多样性的影响及生态友好型设计

徐庆庆

重庆交通大学, 重庆市, 400074;

摘要: 本文分析城市水利工程对水生生物多样性产生的消极和积极影响, 通过文献调研和实例分析方法探讨水文条件改变、栖息地破坏和繁殖干扰等负面效应以及水质改善和新栖息空间创造的正面作用, 进而提出生态护坡、鱼类洄游通道、生态型河道断面和水系连通等生态友好型设计策略, 研究表明生态化水利工程能够有效减缓工程建设对水生生态系统的不利影响同时保障工程功能。

关键词: 城市水利工程; 水生生物多样性; 生态友好型设计; 生态护坡

DOI: 10.69979/3060-8767.25.01.035

引言

随着城市化进程的加速, 城市水利工程建设规模不断扩大。在满足城市需求的同时, 其对水生生物多样性的影响也日益受到关注。如何在保障水利工程功能的前提下, 通过生态友好型设计减少对水生生物的负面影响, 成为亟待解决的问题。

1 城市水利工程对水生生物多样性的影响

1.1 消极影响

1.1.1 改变水文条件

城市水利工程建设对河流自然水文条件产生深远影响, 特别体现在流速、水位和水流模式等方面的显著改变, 大型水坝建设后上游区域水流速度明显减缓, 水体由流动状态转变为相对静止状态, 导致原本悬浮在水中的泥沙和有机物质大量沉积在河床上, 逐渐形成厚层底质淤积, 这种环境变化直接威胁依赖清洁砾石底质生存的底栖生物, 如某些种类的水生昆虫幼虫、贝类和小型甲壳动物难以在淤泥环境中正常呼吸和觅食。与此同时坝下游区域面临水流不稳定问题, 水利工程根据用水需求和发电需要随时调节下泄流量, 造成下游河段水位短时间内大幅波动, 水生生物难以适应这种不规律的水文变化, 尤其在繁殖季节水位突然变化可能导致产卵场所暴露或被淹没, 鱼卵和幼体面临致命威胁^[1]。长期的水文改变还会导致河道形态变化如河床下切、河岸侵蚀加剧等进一步破坏水生生态系统结构, 水流速度变化影响水体溶解氧含量, 静止或缓慢流动的水体氧气含量较低而活跃流动的水体则氧气充足, 这种差异直接影响需氧量高的鱼类和其他水生动物的分布和种群数量。

1.1.2 破坏栖息地

城市水利工程施工过程中的一系列工程活动对水

生生物栖息地造成直接且严重的破坏, 河道挖掘工程会移除河床表层结构, 这层结构往往是多种底栖生物赖以生存的微环境, 含有丰富的有机质和微生物群落构成水生生态系统的基础环境, 填埋活动则完全覆盖原有河床彻底消灭现存栖息地。河道硬化工程尤为常见通过用混凝土或石块铺设河床和河岸取代了原本多孔隙、多层次的天然河岸带结构造成生态系统简化和均质化, 自然状态下的河岸带具有丰富的植被层次和微环境类型提供多种生态位满足不同水生生物需求, 而硬化后的河岸丧失了这种复杂性缺乏植物根系提供的庇护所和食物来源使螃蟹、蜻蜓幼虫等依赖河岸带生存的生物难以立足。水利施工中的渠化工程将蜿蜒曲折的自然河道改造成直线型水道消除了河流中的深潭浅滩结构这种结构是许多鱼类繁殖和避难的关键场所, 河道清淤和疏浚活动虽能改善通航和排洪能力却去除了河床上的水生植物和有机沉积物破坏了食物网基础。

1.1.3 影响生物繁殖

水利工程运行导致的水环境变化对水生生物繁殖过程产生多方面干扰, 水温是调控水生生物繁殖的关键环境因子而水库蓄水后形成的水温分层现象显著改变了下游水温特征, 表现为夏季放冷水、冬季放暖水的反季节效应这种变化打乱了水生生物长期适应的温度节律无法在适当时机接收到繁殖所需的环境信号。大多数鱼类依靠水温变化感知繁殖季节的到来温度异常导致性腺发育延迟或提前甚至完全抑制生殖活动, 水利工程运行还影响水质参数如溶解氧、pH 值和浊度等这些因素直接关系到鱼卵和幼体的存活率例如水体富营养化引起的藻类大量繁殖会消耗水中氧气夜间甚至形成缺氧区域威胁鱼卵和幼鱼生存^[2]。水利工程改变的水位波动模式干扰了许多水生生物依赖特定水位完成的繁殖行

为如一些鱼类需要在季节性洪水期进入浅水区产卵而工程调控的水流无法提供这种自然洪水节律繁殖场所可能因水位不足而无法到达,另外水坝阻断了洄游鱼类的迁徙通道上溯产卵的鱼类无法到达上游繁殖场所导致种群繁殖失败。

2 积极影响

2.1 改善水质

湿地型水利工程通过特殊设计实现水质净化效果,这类工程将湿地生态系统功能与工程结构结合利用各种自然净化机制改善水环境。工程中种植的芦苇、菖蒲等湿地植物能够吸收部分氮磷等营养元素减轻水体富营养化程度,植物根系周围形成的微环境支持多种有益微生物生长协同处理水中污染物。湿地系统通过物理沉淀作用截留悬浮物减少浊度增加水体透明度,生物膜吸附分解有机物质降解某些持久性污染物,整个系统层层过滤逐步提升水质。相较于传统水处理设施湿地工程能耗较低维护管理简便且处理效果相对稳定,适合处理中低浓度污染的城市河道和支流。水质改善后溶解氧含量上升为耐污性较弱的水生生物提供了生存可能,水体透明度提高有利于沉水植物恢复增加水下生物栖息场所多样性。实际案例表明合理设计的湿地工程能在一定程度上改善局部水体环境质量为水生生态系统恢复提供基础条件。

2.2 提供新的栖息空间

现代城市水利工程越来越注重生态功能设计努力为水生生物提供替代性栖息环境。生态护坡采用多孔隙结构和适宜植被替代部分硬质材料增加了表面复杂度和植被覆盖率,岩石间隙和植物根系形成的微环境可供小型水生动物栖身觅食^[3]。植被配置采用分区设计满足不同生物生态需求在确保工程安全前提下增加生物多样性,沿岸带乔灌木结合的立体植被结构为陆生昆虫和鸟类提供栖息条件间接增加水生生态系统的食物来源。河道改造中的人工鱼巢和产卵场所通过模拟天然环境特征创造适宜繁殖条件,如用石笼堆砌的浅滩区能够替代部分自然产卵场所。生态型溢洪道和过鱼设施在保障工程功能基础上考虑生物通行需求降低迁移障碍,这类设施通过水流控制和结构设计创造多样化水流环境满足不同水生生物的行为需求。水利工程中规划的缓流区和浅滩湿地为水陆过渡生物提供了活动空间扩展了生态系统边界,部分监测数据显示经过生态化设计的水利工程区域生物种类数量有所增加特别是对适应性较强的本地物种更为明显。

2 生态友好型城市水利工程设计策略

2.1 生态护坡设计

植被型护坡设计可采用多种生态技术手段代替传统混凝土硬质结构,根据河道水文特点和边坡条件选择适宜结构形式包括纯植被型、植被工程组合型和生态砌块型。纯植被型适用于水流较缓河段通过种植根系发达植物增强土体抗冲刷能力降低边坡失稳风险,植被工程组合型在坡脚设置石笼或生态格网提供基础支撑上部覆盖植被适合中等水流强度区域,生态砌块型则利用多孔隙生态混凝土或植生砖材料为植物生长预留空间同时保证结构安全适用于水流湍急处。植物配置设计采用分层分区原则水下区域选择菖蒲、芦苇等挺水植物强化坡脚稳定性,水陆交错带适合种植鸢尾、蒲苇等耐淹耐旱植物适应水位波动,坡面中上部栽植狗牙根、结缕草等根系发达草本形成密集覆盖防止雨水冲刷,坡顶过渡区可搭配观赏花卉和灌木提升景观效果。技术实施可采用植生毯铺设、喷播绿化、植物纤维卷材铺设等快速成效技术结合栽植乡土深根性灌木增强长期稳定性,植物群落构建遵循多样性和互补性原则形成多层次结构既满足工程需求又创造复杂生境。根据坡向和日照条件选择适宜植物避免阴坡湿度过大引发滑坡风险,采用乡土植物为主能够减少后期维护成本提高成活率适应当地气候特点^[4]。边坡表土处理技术可通过添加有机基质改良剂提高土壤肥力促进植物生长,设置微地形结构如小型梯台和浅沟增加表面粗糙度减缓水流速度降低冲刷强度同时为小型动物创造微栖息环境。

2.2 设置鱼类洄游通道

鱼类洄游通道设计需根据目标鱼类生物学特性和水文条件选择适宜类型包括池式鱼道、槽式鱼道、升鱼机和自然旁通式鱼道等多种形式。池式鱼道为常见设计类型通过连续水池和跌水形成梯级结构每级落差控制在15-30厘米范围使鱼类能够逐级跃上或游上水池间可设置涡流休息区供鱼类恢复体力,水流控制系统需维持适宜流速一般控制在0.6-1.2米/秒范围内既保证水流引导性又不超过目标鱼类游泳能力。槽式鱼道采用倾斜明渠结构在渠道内设置交错的挡板形成曲折水流减缓流速适合游泳能力较强鱼类,挡板间距和开口宽度可根据鱼类类型和水力特性调整确保形成适宜水流模式。自然旁通式鱼道模拟天然溪流特征采用弯曲渠道铺设卵石和圆石营造多样化水流环境更接近自然状态对鱼类通过行为干扰小,渠道坡度通常控制在1-5%范围内底部设置多样化基质提供栖息微环境。鱼道入口位置设计极

为关键应设置在水流集中且鱼类容易感知区域通常位于坝下水流汇集处或电站尾水区,出口则应避开可能被冲回的区域保证鱼类顺利进入上游水体。水流引导装置采用导流板或水流射流技术增强入口吸引力提高鱼类发现概率,监测系统可装设水下摄像头和自动计数器收集鱼类通过数据评估设施效果。针对不同季节洄游鱼类可设计可调节水流装置适应不同体型鱼类需求如产卵期鲑鱼和鲤科鱼类的洄游特性差异较大需分别优化通道参数,鱼道设计还需考虑防止杂物堵塞措施如拦污栅和自清洁系统确保长期有效运行,关键性能指标包括通过率、延迟时间和能耗消耗等需通过水力学模型和生物学评估综合优化设计方案。

2.3 生态型河道断面设计

生态型河道断面设计采用多样化形态取代传统矩形或梯形断面模式,复式断面结构是常见设计方式包括常水位下的主河槽和高水位时才浸没的河漫滩两部分组成,主河槽宽度和深度依据平水期流量确定保证日常水流通畅,河漫滩区域根据洪水频率和强度设置不同高程面形成缓冲过渡带。河道微地形处理在断面设计中尤为重要通过创建浅滩-深潭结构模拟自然河流特征增加水流多样性,深潭区设置在弯道外侧提供低流速深水环境适合大型鱼类栖息,浅滩区位于直线段或弯道内侧形成浅水高氧区域适合底栖生物和水生植物生长。河岸坡度设计采用渐变模式避免陡坎形成低水位区段可设置1:3-1:5缓坡适合湿生植物生长,中水位区段适当增加坡度至1:2-1:3过渡自然,高水位区段可设计更平缓坡面种植耐旱植物。断面结构变化处理增加河道横向异质性可在河段内设置交错的凹凸岸线破坏均质化断面形态增加边缘效应,局部设置水下丘陵或深坑增加栖息地类型模拟河床多样性。河漫滩分层种植设计结合水淹频率和深度配置不同类型植物低洼处种植挺水和浮水植物中高区域种植湿生草本和灌木形成生境梯度^[5]。基质材料选择包括在局部区域铺设不同粒径的砾石、卵石和沙质基质形成多样化河床结构满足不同生物生境需求,关键断面处可采用透水生态混凝土或植生网格增强结构稳定性同时保持生态功能。

2.4 生态补水与水系连通设计

生态补水系统设计需综合考虑水量平衡和水质安全多元化水源配置是核心策略,可利用处理达标的再生水、雨水收集系统、地下水合理开采以及引调外来水源等多种水源组合补给确保全年稳定生态流量。补水方式采用分级补给模式根据季节变化和生态需求调整补水

策略,枯水期保障基本生态流量维持河道最小水深和流速确保水生生物基础生存条件,生物繁殖季节适当增加补水量模拟自然水流脉动特征触发生物繁殖行为。补水点布局采用分散多点式设计避免局部水流冲刷破坏生态环境一般在河道上游及关键支流节点设置补水设施形成网络化补给体系,每个补水点设置水质预处理设施如人工湿地或生物滤池改善补给水水质降低对受纳水体的冲击。水系连通工程设计以恢复自然水系为原则打破人工阻隔构建互联互通的水生态网络,通过建设生态型连通渠道或涵洞连接被分割的水体如城市湖泊、河流和湿地形成连续水环境。连通设施采用生态化设计理念渠道底部铺设卵石和砾石营造微流环境适合底栖生物迁移,设置弯曲河段和水生植物带增加栖息地类型满足不同生物需求。水位调控装置采用可调式闸门或溢流堰控制不同水体间的水力联系保持适宜水位差促进水体交换同时确保鱼类等生物通行无阻,监测系统通过水质参数和生物监测点实时评估连通效果及时调整运行策略确保系统持续发挥生态功能。

3 结论

城市水利工程虽给水生生态系统带来一定冲击但通过生态化设计可显著减轻负面影响甚至创造积极效益。生态护坡与天然栖息环境模拟技术能为水生生物提供庇护场所,适宜的鱼类通道设计确保水生生物种群连通性维持遗传多样性,生态型河道断面增加空间异质性满足不同生物生存需求,合理的补水策略与水系连通工程则从整体水网络角度维持生态系统完整性。这些生态友好型设计原则不仅保障工程功能还促进人水和谐共生实现工程建设与生态保护的平衡,为未来城市水环境治理提供实践参考。

参考文献

- [1] 韩配. 基于水生生物的于桥水库生物多样性评价研究[J]. 海河水利, 2025(1): 12-13.
- [2] 郭玮. 基于北方缺水城市的河道生态修复工程——以芦河水生态治理为例[J]. 工程建设与设计, 2022(9): 3-4.
- [3] 方廉顾. 生态水利工程的河道规划设计[J]. 中文科技期刊数据库(引文版) 工程技术, 2024(3): 36-37.
- [4] 毛坤. 水利水电工程对水生生物多样性的影响研究[J]. 2020(2): 23-24.
- [5] 柏义生. 淇河及支流水生态保护修复工程案例剖析[J]. 东北水利水电, 2024, 42(8): 28-30.