

水利工程对河流生态系统结构与功能的影响研究

倪晓冉

泰安市河湖管理保护服务中心，山东 泰安 271000

DOI:10.61369/WCEST.2024090001

摘要： 本论文围绕水利工程对河流生态系统结构与功能的影响展开深入研究。通过梳理水利工程的建设与运行特点，从河流物理形态、生物群落组成、物质循环和能量流动等维度，分析水利工程对河流生态系统结构的改变，探讨其在水资源调节、生物栖息地维持等功能上的正负效应。研究表明，水利工程在带来巨大社会效益的同时，不可避免地对河流生态系统造成扰动，需要采取科学合理的生态修复与补偿措施，以实现水利工程效益与生态保护的平衡。

关键词： 水利工程；河流生态系统；生态结构；生态功能；生态修复

Research on the Impact of Water Conservancy Projects on the Structure and Function of River Ecosystems

Ni Xiaoran

Tai'an River and Lake Management and Protection Service Center, Tai'an, Shandong 271000

Abstract： This paper conducts in-depth research on the impact of water conservancy projects on the structure and function of river ecosystems. By analyzing the construction and operation characteristics of water conservancy projects, this paper explores the changes in river ecosystem structure caused by water conservancy projects from the perspectives of river physical morphology, biological community composition, material circulation, and energy flow. Additionally, it discusses the positive and negative effects of these projects on water resource regulation, biological habitat maintenance, and other functions. The research indicates that while water conservancy projects bring significant social and economic benefits, they also inevitably disturb river ecosystems. Therefore, scientific and reasonable ecological restoration and compensation measures are necessary to achieve a balance between the benefits of water conservancy projects and ecological protection.

Keywords： water conservancy projects; river ecosystems; ecological structure; ecological function; ecological restoration

引言

水利工程作为人类改造自然、利用水资源的重要基础设施，在防洪、发电、灌溉、供水等领域发挥着不可替代的作用^[1]。从古至今，水利工程的建设和发展深刻影响着人类社会的进程。以中国为例，截至 2023 年底，全国已建成各类水库 9.88 万座，总库容达 9412 亿立方米，这些水利工程为保障国家水安全、促进经济发展做出了卓越贡献。然而，随着全球范围内水利工程建设规模的不断扩大，其对河流生态系统的负面影响逐渐显现。河流生态系统是一个复杂的动态系统，由生物群落与非生物环境相互作用构成，具有独特的结构与功能。水利工程的建设与运行，改变了河流的自然水文过程、河道形态等，进而对河流生态系统的结构与功能产生多方面的影响。深入研究水利工程对河流生态系统结构与功能的影响，对于合理规划水利工程建设、实现生态保护与工程效益的协调发展具有重要的理论与现实意义。当前，国内外学者在该领域已开展诸多研究，但仍需进一步结合不同区域河流生态系统特点，深入剖析水利工程影响的内在机制，为生态友好型水利工程建设提供更具针对性的理论支撑。

一、水利工程对河流生态系统结构的影响

（一）河流物理形态改变

水利工程的修建，尤其是大坝的建设，极大地改变了河流的物理形态。大坝拦截河水，形成库区，使河流流速减缓，水位抬

升，原本连续的河流被分割成不连续的水体。这种改变导致河道纵向连续性遭到破坏，阻断了鱼类等水生生物的洄游通道，影响其正常的繁殖、觅食等活动。相关研究数据显示，全球约 60% 的大型河流因水利工程建设导致鱼类洄游通道被阻断。同时，水库蓄水改变了河流水沙运动规律，大量泥沙在库区沉积，下游河道

泥沙含量减少，引发河道冲刷、河岸崩塌等问题，河道形态也随之发生改变。例如，长江三峡大坝建成后，库区上游水位上升，淹没了大量陆地，形成了长达 600 余公里的巨型水库；而下游河道因泥沙减少出现冲刷下切现象，部分河段河床高程降低，据监测，自三峡工程运行以来，宜昌至湖口段河床平均下切深度达 2 – 3 米，导致河岸防护压力增大，部分岸坡稳定性降低^[2]。此外，水库的存在还改变了河道的横向形态，水库蓄水后，水位波动范围扩大，使得库岸侵蚀加剧，岸线形态发生改变。

（二）生物群落组成变化

河流物理形态的改变，直接影响了生物群落的组成。一方面，大坝的阻隔使得一些洄游性鱼类无法完成繁殖等生命活动，导致其种群数量急剧减少，甚至濒临灭绝。例如，中华鲟是长江中典型的洄游性鱼类，三峡大坝的建设严重阻碍了其洄游产卵，其种群数量从 20 世纪 80 年代的约 2176 尾下降至 2020 年的不足 20 尾，生存状况岌岌可危。另一方面，水库的形成改变了水体的理化性质，如水温、溶解氧等，适合静水生存的生物物种逐渐增多，而适应流水环境的生物物种则受到抑制。研究发现，水库中浮游植物的生物量通常比自然河流高出 2 – 5 倍，而底栖动物的种类和数量则因水流条件改变而显著减少。此外，水利工程建设过程中对河岸带植被的破坏，也减少了陆生生物的栖息地，影响了陆地生物与河流生态系统的物质与能量交换，进一步改变了生物群落结构^[3]。以某大型水电站建设为例，工程施工导致周边 10 公里范围内的河岸带植被覆盖率从原来的 70% 下降至 30%，许多依赖河岸植被生存的鸟类、两栖动物数量明显减少。

（三）生态系统空间格局调整

水利工程的存在使得河流生态系统的空间格局发生显著调整。水库形成后，库区与下游河道在生态环境上出现明显差异，形成了不同的生态单元。库区以静水生态系统为主，具有独特的浮游生物、底栖生物群落；而下游河道由于水文过程改变，其生态系统特征也与未建坝前大不相同。同时，水利工程建设还会改变周边地区的土地利用方式，如水库周边的灌溉农田、城市建设用地的增加等，这些变化进一步影响了河流生态系统与周边生态系统的相互关系，改变了生态系统的空间格局^[4]。以美国科罗拉多河为例，格伦峡谷大坝建成后，库区形成了大面积的人工水体生态系统，而下游河道由于水量减少，河岸植被退化，沙漠化趋势加剧，原本连续的河流生态系统被割裂为多个独立的生态斑块，生态系统的连通性和完整性遭到严重破坏。此外，水利工程引发的土地利用变化还会导致生态系统服务功能的空间分布发生改变，如水库周边区域的水资源供给功能增强，但下游地区的洪水调蓄和生物栖息地功能则明显减弱。

二、水利工程对河流生态系统功能的影响

（一）水资源调节功能的强化与弱化

水利工程在水资源调节方面具有重要作用。水库可以在洪水期蓄水，削减洪峰，减轻下游洪水灾害；在枯水期放水，补充下游河道水量，保障供水与生态用水需求，强化了水资源的时间分

配调节功能。例如，黄河小浪底水库自建成以来，通过科学调度，有效调节了黄河的水沙过程，使下游河道主槽最小过流能力从不足 2000 立方米 / 秒提高到 4000 立方米 / 秒以上，极大地提升了黄河下游的防洪能力。然而，过度的水资源调节也可能带来负面影响。例如，一些地区为了满足农业灌溉、工业用水等需求，过度利用水库蓄水，导致下游河道长期处于低流量状态，影响了河流的自净能力和生态系统健康，弱化了河流原本的生态调节功能。据统计，全球约 30% 的河流因过度取水和水库蓄水，出现了断流或生态基流不足的现象。此外，水库蓄水改变了局部地区的水循环过程，可能引发区域气候、土壤湿度等方面的变化。研究表明，大型水库蓄水后，库区周边地区空气湿度增加，年平均气温升高 0.5 – 1℃，对周边生态环境和农业生产产生一定影响^[5]。

（二）物质循环与能量流动的改变

水利工程对河流生态系统的物质循环和能量流动产生重要影响。在物质循环方面，大坝拦截泥沙，使得下游河道泥沙含量减少，影响了营养物质的输送与分配。同时，水库内水体的滞留时间延长，促进了水体中营养物质的积累，可能引发水体富营养化问题。例如，太湖流域的一些水库由于营养物质积累，蓝藻水华频繁爆发，严重影响了水质和水生生态系统。在能量流动方面，河流流速的改变影响了水生生物对能量的获取与利用。例如，流水环境中鱼类通过捕食游动获取能量，而在水库静水环境中，鱼类的能量获取方式和食物来源发生变化，能量流动途径也随之改变^[6]。此外，水利工程建设对河岸带植被的破坏，减少了陆地向河流输入的有机物质，影响了河流生态系统的能量来源。研究发现，河岸带植被破坏后，河流生态系统中有机物质的输入量可减少 30% – 50%，进而影响整个生态系统的能量流动和食物网结构。

（三）生物栖息地维持功能的变化

水利工程建设改变了河流生态系统的生物栖息地维持功能。水库形成后，为一些水生生物提供了新的栖息地，但这些栖息地与自然河流栖息地在生态特征上存在差异。例如，水库水温分层现象明显，影响了鱼类的生存环境；水库的库岸带由于水位涨落频繁，植被生长受到限制，影响了陆生生物与水生生物的过渡栖息地功能。而对于下游河道，由于流量、水位等变化，原有的河滩、湿地等栖息地面积减少或消失，许多依赖这些栖息地生存的生物面临生存威胁。以珠江流域为例，随着流域内水利工程的不断建设，下游河口湿地面积减少了约 40%，导致大量候鸟栖息地丧失，生物多样性受到严重威胁^[7]。此外，水利工程建设过程中的施工活动，如开挖、填土等，也会直接破坏生物栖息地，影响生物的生存与繁衍。施工产生的噪音、震动以及废弃物排放等，还会对周边生物的生存环境造成干扰和污染，进一步加剧栖息地的退化。

三、水利工程生态影响的应对策略

（一）科学规划与设计

在水利工程规划设计阶段，需以河流生态系统完整性为核心

导向,遵循生态优先原则开展系统性布局。通过构建多学科协同的规划框架,科学论证工程选址与规模,从源头上降低对河流生态系统的扰动。以大坝工程为例,可通过设置鱼道、鱼梯等过鱼设施,构建鱼类洄游的“生命通道”;优化水库调度方案,模拟自然水文节律,确保下游河道生态基流稳定。美国埃尔瓦河大坝拆除工程提供了成功范例,通过恢复自然河道形态,鲑鱼种群数量在数年内实现显著增长,印证了生态修复的可行性。

在工程设计环节,应强化生态功能与工程结构的有机融合。采用生态护坡、生态护岸等新型技术手段,构建水陆交错带生态缓冲系统。例如,生态护坡可运用植物根系固土与土工合成材料相结合的复合技术,既保障边坡结构稳定,又为水生生物、两栖动物及昆虫营造多样化栖息地,激活生态系统自组织修复能力,维护流域生态廊道的空间连通性^[8]。

（二）生态修复与补偿

针对已建成并对河流生态系统产生负面影响的水利工程,需系统推进生态修复与补偿体系建设。在生物资源修复层面,通过科学规划人工增殖放流,精准补充因工程建设锐减的鱼类种群;同步实施河滩湿地生态修复工程,重构水生生物栖息网络,优化栖息地生态功能。以长江流域“十年禁渔”政策与增殖放流协同实施为例,该举措已显著促进刀鱼、四大家鱼等物种资源量回升,展现出生态修复组合拳的显著成效。

在水资源调控方面,需建立动态化生态补水机制,通过精准调度水库下泄流量,保障下游河道生态基流需求,有效缓解断流、水体萎缩等问题,提升河流生态系统自我修复能力^[9]。同时,构建多元化生态补偿机制,通过财政转移支付、生态税征收、绿色金融工具等手段,对受损生态环境实施系统性修复,并对因工程建设产生利益损失的群体给予合理补偿。这种市场化与行政化相结合的补偿模式,既能确保生态保护者获得可持续收益,又能激发全社会参与生态保护的内生动力,最终实现生态效益与经济效益的动态平衡。

（三）加强监测与管理

构建系统完备的河流生态系统动态监测体系,针对水利工程

全生命周期实施多维度生态指标的长期追踪。借助大数据分析与模型模拟技术,量化评估水利工程对河流生态系统的影响程度,为工程优化调度和生态修复策略制定提供科学依据。监测体系应覆盖水文情势、水质参数、生物多样性、栖息地结构等核心要素,综合运用卫星遥感、无人机航测、物联网水质在线监测等先进技术手段,实现数据采集的高精度与实时性^[10]。

在工程运行管理层面,需建立动态适应性调度机制,通过科学制定水位调控、流量分配方案,在保障防洪、供水等核心功能的同时,将生态影响降至最低限度。同步推进制度体系建设,完善《水法》《环境保护法》等相关法规,明确水利工程建设与运营主体的生态保护权责清单,强化生态补偿、环境影响后评价等制度执行,对违规行为实施分级分类处罚,构建“监测-评估-管控-修复”的全链条生态保护体系。

四、结束语

水利工程对河流生态系统结构与功能的影响是复杂而多面的。尽管水利工程在防洪、发电、灌溉等方面带来了巨大的社会效益,但不可否认其对河流生态系统造成了一定程度的破坏。河流生态系统结构的改变,包括物理形态、生物群落组成和空间格局的变化,直接影响了其功能的正常发挥,如水资源调节、物质循环与能量流动、生物栖息地维持等功能都受到不同程度的影响。为了实现水利工程效益与生态保护的平衡,我们需要采取科学规划与设计、生态修复与补偿、加强监测与管理等一系列措施。未来,随着人们对生态环境保护的重视程度不断提高,以及生态水利工程技术的不断发展,我们有理由相信,在保障水利工程发挥重要作用的同时,能够更好地保护河流生态系统的健康与稳定,实现人与自然的和谐共生。同时,还需要进一步加强跨学科研究,深入探索水利工程与河流生态系统相互作用的内在机制,为全球水资源可持续利用和生态环境保护提供更科学、更有效的解决方案。

参考文献

- [1] 张连刚; 谢宇. 生态水利规划对水环境产生的积极影响 [J]. 水利技术监督, 2023(09).
- [2] 张晶; 于子铨; 董哲仁; 赵进勇; 彭文启. 河流地貌单元研究综述 [J]. 水生态学杂志, 2021(05).
- [3] 唐超. 浅谈生态理念在淡水涌整治工程中的应用 [J]. 广东水利水电, 2020(04).
- [4] 王宏涛; 董哲仁; 赵进勇; 张晶. 蜿蜒型河流地貌异质性及生态学意义研究进展 [J]. 水资源保护, 2015(06).
- [5] 董哲仁; 张爱静; 张晶. 河流生态状况分级系统及其应用 [J]. 水利学报, 2013(10).
- [6] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性 [J]. 水利学报, 2003(11).
- [7] 曾国雄; 赵国荣; 张伟. 疏勒河流域水生态补偿机制探索 [J]. 中国水利, 2015(20).
- [8] 于鲁冀; 朱桂香; 樊万选. 构建河南矿产资源开发生态补偿机制研究 [J]. 河南科学, 2009(09).
- [9] 庾莉萍. 水资源保护生态补偿机制的思考 [J]. 资源与人居环境, 2008(02).
- [10] 庾晋. 水资源保护生态补偿机制的思考 [J]. 防灾博览, 2008(01).