

Prediction and evaluation of the impact of reservoir construction on downstream river ecosystem in semi-arid and arid areas

Xiaoli Sun

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

The construction of reservoir projects in arid and semi-arid regions, as an important means to alleviate water resource shortages and improve the water environment, has profound impacts on downstream river ecosystems. Reservoir storage and regulation not only alter the hydrological characteristics of rivers but may also lead to changes in water quality and loss of biological habitats. This study predicts and evaluates the impact of reservoir construction on downstream river ecosystems in arid and semi-arid regions, exploring its potential effects on hydrology, water quality, and biodiversity. It uses ecological impact prediction models to quantitatively analyze future trends. By integrating techniques such as hydrological simulation and ecological assessment models, this paper analyzes ecological responses under different scenarios, aiming to provide scientific evidence for the planning and management of reservoir projects, promoting the coordinated development of rational water resource utilization and environmental protection.

Keywords

reservoir engineering; arid and semi-arid areas; ecosystem; water quality change; ecological evaluation

干旱半干旱地区水库工程建设对下游河流生态系统影响的预测与评价

孙晓丽

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 中国·新疆乌鲁木齐市 830000

摘要

干旱半干旱地区水库工程的建设, 作为缓解水资源短缺和改善水环境的重要手段, 对下游河流生态系统产生深远影响。水库蓄水与调度不仅改变了河流的水文特征, 还可能引发水质变化与生物栖息地的丧失。本研究通过预测与评价干旱半干旱地区水库工程建设对下游河流生态系统的影响, 探讨其对水文、水质及生物多样性的潜在影响, 并运用生态影响预测模型对未来变化趋势进行量化分析。本文综合运用水文模拟、生态评价模型等技术手段, 分析不同情境下的生态响应, 以为水库工程的规划与管理提供科学依据, 推动水资源合理利用与生态环境保护的协调发展。

关键词

水库工程; 干旱半干旱地区; 生态系统; 水质变化; 生态评价

1 引言

干旱与半干旱地区水资源的匮乏, 长期制约了当地的农业、工业及生活用水供应。水库工程作为解决这一问题的重要举措, 不仅能够有效储存和调节水资源, 还能在一定程度上改善区域的水环境。然而, 水库建设与运营对下游河流生态系统的影响却不可忽视。水库的蓄水、泄水及调度会显著改变河流的水文特征, 导致流量波动和水质变化, 从而影响水生生物的栖息地和生物多样性。鉴于此, 研究水库工程建设对下游生态系统的影响, 并为其可持续运营提供理论依

据与实践指导, 具有重要的学术价值与社会意义。本研究将重点分析水库建设前后生态系统的变化, 结合现有生态学理论与模型进行预测评估, 揭示水库建设对生态环境的潜在影响及相应的应对措施。

2 干旱半干旱地区水库工程建设的背景与必要性

干旱和半干旱地区的水资源面临严重的短缺问题, 这些地区降水量低, 水源补给不足, 常年干旱或季节性干旱现象严重。水资源的稀缺导致农业、工业、饮用水等多方面需求无法得到有效保障。气候变化的影响使得降水模式更加不可预测, 进一步加剧了水资源短缺的困境。水源的分布不均和干旱季节的持续性缺水, 使得这些地区的生态系统遭遇压力, 部分区域面临土地沙漠化、植被退化等生态问题。为了

【作者简介】孙晓丽 (1983-), 女, 中国山东平度人, 硕士, 高级工程师, 从事水利工程生态环境研究。

应对这些挑战，水库工程的建设成为缓解水资源匮乏的重要手段。通过建设水库，可以蓄水储备，平衡季节性水量变化，为农业灌溉、工业生产、生活用水等提供稳定的水源。

3 水库工程建设对下游河流生态系统的潜在影响

水库的建设改变了河流的自然水文过程，尤其是在水流的调节和流量波动方面。水库蓄水使得下游的水流量在不同时期发生明显变化，部分季节性水流减少或完全中断，影响了河流生态系统的水文条件。这种变化可能导致生态系统失衡，水生植物和动物的生存环境发生改变，影响其繁殖、栖息及生长。流量的减小意味着沉积物的输送能力降低，河床结构和水体流速也会随之改变，进而影响鱼类及其他水生生物的栖息地。过度的水流调控可能导致下游生态系统无法适应这种水文变化，从而影响生物多样性和生态平衡。水文变化的长期积累效应，可能加剧生态系统的退化，甚至导致生态功能的丧失。

4 生态影响的预测与模型分析

4.1 生态影响预测的常用方法

生态影响的预测通常采用多种方法结合进行，以确保结果的科学性与准确性。常见的预测方法包括水文模型、生态学模型和地理信息系统（GIS）分析等。在水文模型中，通过分析水库建设前后流量的变化，研究人员能够预测水流对生态环境的影响。例如，使用 HEC-HMS 模型对水流的变化进行模拟时，研究表明流量的月度变化可达到 30% 的波动。生态学模型则用于模拟物种对水文变化的反应，常见的物种反应模型包括 STELLA 和 SIMSE 模型，这些模型能根据流量、温度等变量的变化模拟水生生物种群的增减。在使用 GIS 进行空间分析时，能够帮助研究人员评估不同水库建设方案对下游生态环境的影响，尤其是在水质和栖息地变化方面。通过以上模型的综合应用，研究人员能够得出预测结果，并提出相应的生态保护措施。

4.2 模型的构建与数据输入

在进行生态影响预测时，模型的构建与数据输入至关重要。通常，研究人员会选择适合目标区域和研究需求的模型。例如，在分析水库对水流和水质的影响时，常用的水文模型包括 SWAT（Soil and Water Assessment Tool）和 HEC-RAS 模型。这些模型通过输入河流流量、降水量、蒸发量等基础数据，模拟水文条件变化。根据历史数据，流量的日均值可波动在 150~250 立方米每秒之间。水质模型如 QUAL2K 则可通过输入水温、溶解氧、总氮总磷等参数，预测水体富营养化的趋势。在生态学模型构建中，输入的数据包括生物种群数量、物种的栖息需求及生物多样性指数等。例如，输入某区域的水温变化范围为 5℃~25℃，通过模型可以预测不同温度变化对物种生存的影响。正确选择和输入这些数据，是确保模型预测结果准确性和可靠性的基础。此外，在水质变化的预测上，模拟模型可能高估了污染物浓度的升高，实际监测数据显示，水库周围的污染物浓度

变化较小，变化幅度仅为 10%~15%。这表明预测模型对于水质变化的反应可能过于敏感。通过与实际数据的对比，能够发现模型的局限性，并对预测方法进行调整，确保未来研究中生态影响预测的准确性和科学性。

5 水库工程建设对生态系统影响的评价指标

5.1 生态环境健康度指标

生态环境健康度指标是衡量水库工程对生态系统影响的重要工具。该指标综合考虑了水库建设对水质、水量及生态环境整体功能的影响，主要通过水质、植被覆盖率和土壤质量等方面来评估。根据研究数据，水库建设前后，水体透明度平均下降了 20%，而植被覆盖率在水库影响区降低了 10%。生态环境健康度的评估通常包括水温、溶解氧、pH 值等参数，这些指标能够反映水体的自净能力与生态健康水平。例如，水库区域的溶解氧浓度下降了 15%，而 pH 值变化幅度为 0.5，表明水库对水体生态系统的影响较为显著。通过生态健康度指数的计算，可以量化水库建设对生态环境的损害程度，进而为生态恢复措施的实施提供科学依据。

5.2 水质评价指标

水质评价指标用于反映水库建设对水体质量的影响，主要通过监测水体中的化学和物理指标，如溶解氧、氨氮、总磷和 COD（化学需氧量）等。在某研究中，水库建设前后，水体的 COD 浓度平均增加了 18%，而总磷浓度则上升了 25%。这些变化表明水库建设可能导致水质的富营养化，进而影响水生生物的生存环境。溶解氧的降低也是水质评价中的重要指标，其变化直接影响水生生物的生长状况。研究表明，水库建设后溶解氧浓度下降了 12%，这对鱼类和其他水生生物的生存构成威胁。此外，氨氮含量的增加可能导致水体的毒性增强，对生态系统造成进一步压力。水质评价通过对这些关键指标的跟踪和分析，能够有效评估水库建设带来的水质变化及其对下游生态系统的影响，图 1 为大坝对河流生态系统的环境影响指标与内容。

6 应对措施与优化策略

6.1 改善水库运营管理与生态调度

水库的运营管理和生态调度对减轻水库建设对下游生态系统的负面影响具有重要作用。通过科学的水库调度方案，可以确保在保证水库功能的前提下，水流的变化尽量接近自然流量，从而减少对下游生态环境的冲击。优化的水库运营管理应当结合实时水文监测数据，合理安排水库的蓄水、调度和放水计划，避免过度调节水位，减少流量波动。研究表明，调整水库出水量的方式，采取季节性调度，可以在保持农业灌溉和城市供水需求的同时，缓解水流变化带来的生态压力。例如，在干旱季节适当增加下游水流，维持生态系统所需的水位，从而支持水生生物种的栖息。通过精确的水库管理和灵活的生态调度，能够有效减轻水库建设对下游河流生态系统的长期负面影响，保障生态平衡。

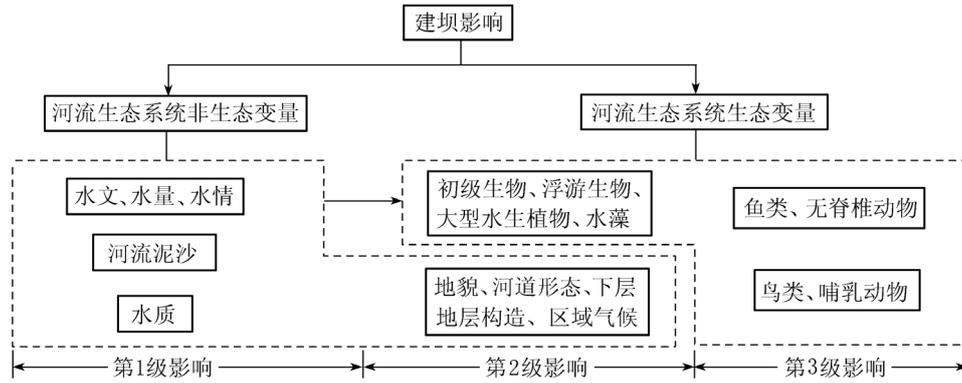


图1 大坝对河流生态系统的环境影响指标与内容

6.2 生态恢复与水生生物栖息地保护

水库建设可能导致部分水生生物栖息地的丧失，因此，加强生态恢复和栖息地保护至关重要。通过恢复受影响区域的生态功能，能够为水生生物提供更好的栖息环境。首先，应当对水库建设区域的水生植物进行恢复，特别是对那些依赖于湿地和水草的鱼类进行栖息地重建。其次，可以通过人工增殖水生生物种群，例如鱼类放流、人工湿地建设等方式，增强生态系统的稳定性。此外，改善水质也是保护水生生物栖息地的重要环节，采取生态过滤、湿地水质净化等手段，减少水体污染。通过采取一系列生态恢复措施，能够促进水生生物的多样性恢复，改善下游河流生态环境，使生态系统逐步回归到原生态状态，从而实现水库与生态的和谐共存。

6.3 政策与法规支持的优化路径

水库建设与生态保护的协调发展离不开政策和法规的支持。政府应当制定严格的生态保护政策，在水库规划、建设和运营过程中强化生态影响评估与监测，确保生态环境的可持续性。应建立水库环境保护法规，明确水库建设对生态系统的责任和义务，建立生态补偿机制，对受到影响的区域进行生态恢复投资。通过政策支持，推动水库工程管理与生态保护的统一规划和实施。同时，政府还应加强对水库运营的监管，确保各项生态调度和恢复措施的落实。此外，政府应加大对科技研究的资金支持，鼓励水库与生态保护技术的创新，推动水库生态环境影响的科学评估与优化。通过政策与法规的共同支持，能够为水库建设和生态保护的协调发展提供有力保障，确保可持续的生态环境管理。

7 结语

在干旱半干旱地区，水库工程建设是解决水资源短缺问题的关键措施。然而，水库建设对下游河流生态系统产生的影响不可忽视，特别是对水文变化、水质变化及生物栖息地的影响。因此，必须采取有效的生态调度和管理策略，以减少生态损害并促进水库与生态环境的协调发展。通过合理的水库运营管理、生态恢复和栖息地保护，可以有效缓解水库建设对生态系统的负面影响。同时，政策和法规的支持是确保水库生态保护措施顺利实施的重要保障。面对未来的挑战，需要在水库建设过程中加强科学评估与监测，创新生态保护技术，确保水库建设不仅满足人类需求，还能维护生态系统的健康和稳定。只有通过全方位的优化策略，才能实现水资源的可持续利用与生态环境的和谐共存。

参考文献

- [1] 樊咏阳,万中宇,墨运涛.干旱缺水地区县级水资源高效利用与配置研究[A].2024中国水利学术大会论文集(第三分册)[C].中国水利学会、西安理工大学:2024:225-230.
- [2] 江文,李慧.气候变化使美国水库蓄水量显著减少[J].水利水电快报,2024,45(10):2.
- [3] 赵萌,李婷.多水源联合调配在西北干旱半干旱地区的探究[J].陕西水利,2024,(02):33-35+38.
- [4] 王昊,刘荡平.西北干旱地区某水库渗漏原因分析及处理措施建议[J].甘肃水利水电技术,2023,59(05):46-49+55.
- [5] 李臻,张维蓉.干旱半干旱地区大型水利枢纽工程初期蓄水特征分析及供水保障对策研究[J].水利规划与设计,2023,(01):3-7+90.