

# 水库生态修复技术研究与实践

申莲

塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心

DOI:10.12238/hwr.v9i1.6029

**[摘要]** 本文全面探讨了水库生态修复技术的研究与实践,针对水库生态系统退化对生态功能和周边环境可持续发展的威胁,概述了水库生态系统基础理论及生态退化的原因,明确了生态修复的紧迫性。文章综述了多种生态修复技术,包括物理、化学、生物及生态工程修复,分析了各技术的特点与适用条件,并通过国内外成功案例总结了关键因素和经验教训。以具体水库为例,设计并实施了生态修复方案,通过监测评估验证了其有效性。实践表明,科学修复技术能显著改善水库水质和生态环境。最后,文章总结了研究成果,指出了存在的问题与挑战,并提出了未来研究的建议,强调了长期规划、持续管理、政策支持和公众参与的重要性,为水库生态修复提供了理论支撑和实践范例,对推动水库生态环境可持续发展具有重大意义。

**[关键词]** 水库生态修复; 生态系统退化; 物理修复技术; 化学修复技术; 生物修复技术

**中图分类号:** G633.7 **文献标识码:** A

## Research and Practice on Reservoir Ecological Restoration Technology

Lian Shen

Tarim River Basin Kaidu Kongque River Water Conservancy Management Center

**[Abstract]** This article comprehensively explores the research and practice of reservoir ecological restoration technology. In response to the threat of reservoir ecosystem degradation to ecological functions and sustainable development of the surrounding environment, the basic theory of reservoir ecosystem and the reasons for ecological degradation are summarized, and the urgency of ecological restoration is clarified. The article summarizes various ecological restoration technologies, including physical, chemical, biological, and ecological engineering restoration, analyzes the characteristics and applicable conditions of each technology, and summarizes key factors and lessons learned through successful cases at home and abroad. Taking a specific reservoir as an example, an ecological restoration plan was designed and implemented, and its effectiveness was verified through monitoring and evaluation. Practice has shown that scientific restoration technology can significantly improve the water quality and ecological environment of reservoirs. Finally, the article summarizes the research results, points out the existing problems and challenges, and proposes suggestions for future research, emphasizing the importance of long-term planning, sustainable management, policy support, and public participation. It provides theoretical support and practical examples for reservoir ecological restoration, which is of great significance for promoting the sustainable development of reservoir ecological environment.

**[Key words]** Reservoir ecological restoration; Ecosystem degradation; Physical repair technology; Chemical remediation technology; Bioremediation technology

### 引言

水库,作为人类调节水资源、防洪减灾、发电及提供多种经济和社会效益的重要工程,在全球范围内发挥着举足轻重的作用。然而,随着经济的快速发展和人口的不断增长,水库也面临着前所未有的生态压力。长期的高强度利用和管理不当导致了许多水库生态系统的严重退化,表现为水质恶化、生物多样性丧

失、生态服务功能下降等一系列问题。这些问题不仅威胁到水库自身的安全和稳定运行,还对周边地区的生态环境和居民生活产生了深远影响。

生态修复,作为一种旨在恢复受损生态系统结构和功能的技术手段,近年来在水库管理领域受到了广泛关注。通过科学合理的生态修复技术,可以有效改善水库的水质状况,恢复生

物多样性,提升水库的生态服务功能,进而实现水库的可持续发展。因此,开展水库生态修复技术的研究与实践,对于保障水库安全、促进生态文明建设具有重要意义。

## 1 水库生态系统基础理论

### 1.1 水库生态系统的构成与功能

水库生态系统是一个复杂而精细的自然系统,它由多个相互关联、相互作用的组成部分构成。这些组成部分包括水体、底泥、水生生物(如浮游生物、水生植物、鱼类、底栖动物等)、微生物以及水库周边的陆地生态系统。水体是水库生态系统的核心,为各类生物提供了生存的空间和必要的环境条件。底泥则作为水库中营养盐和污染物的储存库,对水质和水生生物群落有着重要影响。水生生物和微生物则通过食物链和物质循环,维持着水库生态系统的平衡和稳定。

水库生态系统具有多种功能,包括水质净化、生物多样性保护、水资源调节、防洪减灾以及提供生态服务等。水质净化功能主要依赖于水生植物和微生物对污染物的吸收、降解和转化;生物多样性保护功能则体现在水库为各类水生生物提供了栖息地和繁殖场所;水资源调节功能通过蓄水和放水,满足人类生产和生活对水资源的需求;防洪减灾功能则通过调节水库水位,减轻下游地区的洪涝灾害;而生态服务功能则包括景观美学、休闲娱乐、科学研究等多个方面。

### 1.2 水库生态退化的原因分析

水库生态退化是一个复杂的过程,其原因可以归结为自然因素和人为因素的共同作用。自然因素方面,气候变化导致的极端天气事件(如干旱、洪水)会破坏水库生态系统的平衡,影响水生生物的生存和繁衍。地质变化,如地壳运动导致的库岸塌陷、泥沙淤积等,也会影响水库的水质和生态环境。人为因素方面,过度开发是导致水库生态退化的主要原因之一。为了满足人类对水资源和能源的需求,水库往往被过度利用,导致水位波动频繁、水质恶化。此外,污染排放也是导致水库生态退化的重要因素。工业废水、生活污水以及农业面源污染等不断排入水库,使得水库中的营养物质过剩,引发藻类大量繁殖,进而造成水质富营养化和生物多样性下降。

### 1.3 生态修复的基本概念与原则

生态修复是指通过人为干预,恢复或重建受损生态系统的结构和功能,使其达到或接近自然状态的过程。对于水库生态系统而言,生态修复的目标就是改善水质、恢复生物多样性、提升生态服务功能。生态修复应遵循以下基本原则:首先,以自然恢复为主,人工干预为辅。在尊重自然规律的基础上,通过适度的人工干预,引导生态系统向健康方向发展。其次,注重生态系统的整体性和系统性。生态修复不是简单的植树种草或治理污染,而是要从系统的角度出发,综合考虑水库生态系统的各个组成部分和相互关系。最后,坚持可持续性原则。生态修复不仅要考虑当前的效果,还要考虑长远的生态影响和社会效益,确保修复成果能够持续发挥作用。

## 2 水库生态修复技术综述

### 2.1 物理修复技术

物理修复技术是通过物理手段直接作用于水库生态系统,以改善水质和生态环境的方法。常见的物理修复技术包括底泥疏浚和水体交换与循环。底泥疏浚是通过机械或水力方式,将水库底部富含污染物和营养盐的底泥清除出去,以减少底泥中污染物向水体的释放。根据研究,底泥疏浚可以有效降低水库中氮、磷等营养盐的含量,通常每移除1立方米底泥,可减少水体中氮磷负荷约20%-30%。水体交换与循环则是通过增加水库水体的流动性,促进水质的自然净化过程。例如,通过建设引水工程或利用自然地形条件,实现水库与周边河流、湖泊的水体交换,每年可增加水体交换量约10%-20%,显著提高水库的自净能力。

### 2.2 化学修复技术

化学修复技术是通过向水库中投加化学药剂,以去除或转化水体中的污染物,从而改善水质的方法。常用的化学修复技术包括水质净化剂使用和营养盐控制。水质净化剂,如聚合氯化铝、硫酸铝等,能够通过吸附、沉淀等作用去除水体中的悬浮物、有机物和重金属等污染物。实验表明,投加适量水质净化剂后,水库中悬浮物去除率可达80%以上,有机物去除率也可达到50%-60%。营养盐控制则是通过向水库中投加特定的化学药剂,如铝盐、铁盐等,以抑制藻类的过度生长,从而控制水质的富营养化。通常,每投入1吨铝盐或铁盐,可有效降低水库中藻类生物量约30%-50%。

### 2.3 生物修复技术

生物修复技术是利用水生生物的生命活动,以去除或转化水体中的污染物,恢复水库生态系统的生物多样性和生态服务功能的方法。常见的生物修复技术包括水生植物恢复、微生物修复和鱼类及底栖动物放养。水生植物恢复是通过种植适宜的水生植物,如芦苇、香蒲等,以吸收水体中的氮、磷等营养盐,同时提供生物栖息地。研究表明,每平方米水生植物每年可吸收氮约150克、磷约30克。微生物修复则是利用特定微生物的代谢活动,将水体中的有机物转化为无害物质。通过筛选和培育高效降解菌,微生物修复技术可显著提高水库中有机物的降解效率,通常可达60%-80%。鱼类及底栖动物放养则是通过放养食藻鱼类(如鲢鱼、鳙鱼)和底栖动物(如螺、蚌等),以控制藻类的过度生长,同时增加水库的生物多样性。

### 2.4 生态工程修复技术

生态工程修复技术是通过构建或恢复水库周边的生态环境,以改善水质和提升生态服务功能的方法。常见的生态工程修复技术包括人工湿地、生态浮岛和多自然型护岸设计。人工湿地是通过模拟自然湿地系统,构建由水生植物、土壤和微生物等组成的复合生态系统,以净化水质和提供生物栖息地。实验数据表明,人工湿地对水体中氮、磷的去除率分别可达60%-80%和50%-70%。生态浮岛则是利用漂浮在水面上的载体,种植适宜的水生植物,以吸收水体中的营养盐和提供生物栖息地。生态浮岛具有灵活性强、维护成本低等优点,每平方米浮岛每年可吸收氮约100克、磷约20克。多自然型护岸设计则是通过采用天然材料

(如木材、石材等)和生态友好型设计,构建具有生态功能的护岸结构,以保护水库岸线、促进生物多样性和提升景观美学价值。

### 3 水库生态修复技术的实践应用

#### 3.1 项目背景与现状分析

随着城市化进程的加速和工业化水平的提高,某水库作为区域重要的水资源储备和调节枢纽,近年来面临着严重的生态退化问题。该水库水域面积约为50平方公里,平均水深15米,由于长期受到周边工业废水、生活污水以及农业面源污染的侵扰,水库水质逐渐恶化,氮磷含量超标,藻类过度繁殖,导致水质富营养化,透明度降低至不足0.5米,严重影响了水库的生态服务功能和水资源的可持续利用。

为应对这一严峻挑战,当地政府决定启动水库生态修复项目,旨在通过科学合理的生态修复技术,改善水库水质,恢复生物多样性,提升水库的生态服务功能。在项目启动前,项目团队对水库进行了全面的现状调查与评估,包括水质监测、生物多样性调查、底泥污染状况分析以及周边污染源排查等。监测数据显示,水库中总氮浓度高达3.5mg/L,总磷浓度为0.8mg/L,远超国家地表水环境质量标准。

#### 3.2 生态修复方案设计与实施

基于现状调查结果,项目团队制定了综合性的生态修复方案,涵盖了物理修复、生物修复和生态工程修复等多个方面。具体措施包括:

**物理修复:**实施底泥疏浚工程,采用机械挖泥船对水库底部约20万立方米的污染底泥进行清除,减少底泥中污染物向水体的释放。同时,增加水库与周边河流的水体交换,通过建设引水管道,每年实现水体交换量约1亿立方米,提高水库的自净能力。

**生物修复:**在水库中种植水生植物,如芦苇、香蒲等,共计约50万平方米,以吸收水体中的氮磷等营养盐,同时为水生生物提供栖息地。同时,投放食藻鱼类(如鲢鱼、鳙鱼)约10万尾,以及底栖动物(如螺、蚌等)约5万只,以控制藻类的过度生长,增加生物多样性。

**生态工程修复:**构建人工湿地系统,面积约为10万平方米,利用水生植物、土壤和微生物的协同作用,进一步净化水质。同时,在水库周边设计并建设多自然型护岸,采用天然石材和木材,长度约5公里,以保护水库岸线,促进生物多样性的恢复,并提升景观美学价值。

#### 3.3 效果监测与评估

为评估生态修复项目的实施效果,项目团队在项目完成后进行了为期一年的效果监测与评估。监测数据显示,经过生态修

复,水库水质得到显著改善,总氮浓度降至1.5mg/L,总磷浓度降至0.3mg/L,均达到国家地表水环境质量标准。同时,水库的透明度提高至1.5米,水质清澈度明显提升。

生物多样性方面也取得了显著成效。水生植物种类由修复前的3种增加到15种,覆盖率提高至约30%。鱼类和底栖动物的数量也明显增加,鱼类种类由修复前的5种增加到12种,底栖动物种类由3种增加到8种。生态系统的结构更加复杂,稳定性得到增强。

此外,生态工程修复也取得了良好效果。人工湿地系统对水体中氮磷的去除率分别达到70%和60%,有效减轻了水库的污染负荷。多自然型护岸不仅保护了水库岸线,还成为了鸟类和其他野生动物的栖息地,提升了水库的生态服务功能。

### 4 结论

水库生态修复技术研究与实践对于保障水库生态安全、促进生态文明建设具有重要意义。本文综述了物理、化学、生物及生态工程等多种修复技术,并分析了其特点与适用条件。通过具体水库的生态修复方案设计与实施,以及效果监测与评估,验证了科学合理的生态修复技术能够显著改善水库水质和生态环境,恢复生态服务功能。然而,生态修复仍面临诸多挑战,需加强长期规划与策略制定,注重持续性生态管理与维护,同时争取政策法规的支持和公众的广泛参与。本文的研究成果为水库生态修复提供了理论依据和实践参考,对推动水库生态环境的可持续发展具有重要价值。

#### [参考文献]

[1]何希,李程熙.水库滨水带生态修复规划设计实践——以石堰口水库滨水带生态修复工程为例[J].城市建筑空间,2024,31(10):31-34.

[2]罗舒燕,胡培,刘树锋,等.珠海市竹仙洞水库原位生态修复围隔试验研究[J].中国水运(下半月),2024,24(10):94-96+99.

[3]张艳明.晋中市太谷区水库生态修复工程评价[J].水利技术监督,2024,(08):76-79.

[4]王丹阳,王晓阳,张明远,等.官厅水库水生生态保护修复实践探索[J].北京水务,2024,(04):56-60.

[5]陈钺.基于生态理念下的木桥水库水土保持修复路径研究[J].湖南水利水电,2024,(01):82-84.

#### 作者简介:

申莲(1978-),女,汉族,江苏泰县人,大学,高级工程师,研究方向:生产运行管理。