

# 河湖生态系统健康评价方法研究进展

谭宝明 刘芝端 张骥 郑传喜\*

中交天津航道局有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i8.2787

**[摘要]** 随着人类活动的加剧和水污染问题的日益严重,河流和湖泊生态系统健康的评价已成为生态保护的关键环节。基于此,本文综述了河流和湖泊生态系统健康评价方法的研究进展,对比了物理化学、生物和遥感评价方法的优缺点。同时,分析了我国河湖健康评价的现状和挑战,如复杂的指标体系、数据获取困难以及公众参与不足。为解决这些问题,提出了简化评价方法、加强数据获取和增加公众参与的建议。

**[关键词]** 河湖健康; 生态系统评价; 评价方法; 遥感技术; 公众参与

**中图分类号:** TP7 **文献标识码:** A

## Research progress on health assessment methods of river and lake ecosystems

Baoming Tan Zhiduan Liu Ji Zhang Chuanxi Zheng\*

CCCC TIANJIN DREDGING CO.,LTD

**[Abstract]** With the intensification of human activities and the growing issue of water pollution, the assessment of river and lake ecosystem health has become a crucial aspect of ecological protection. This paper reviews the research progress of assessment methods for river and lake ecosystem health, comparing the advantages and disadvantages of physical and chemical, biological, and remote sensing assessment methods. It also analyzes the current status and challenges of river and lake health assessment in China, such as complex index systems, difficulty in data acquisition, and insufficient public participation. To address these issues, suggestions are made to simplify assessment methods, enhance data acquisition, and increase public participation.

**[Key words]** River-lake health; Ecosystem assessment; Assessment methods; Remote sensing technology; Public participation

河湖生态系统作为淡水生态系统的核心构成,是由生物群落与非生物环境通过物质循环和能量流动耦合形成的复杂动态系统<sup>[1]</sup>。该系统在维系区域生态平衡、净化水质、水资源调节、气候调节、保持生物多样性等方面具有重要作用。然而,在全球气候变化与社会经济快速发展的双重压力下,河湖生态系统正面临严峻挑战。工业点源污染与农业面源污染导致大量有机物、氮、磷和重金属等经径流汇入水体,其输入负荷远超水体的生态承载能力,引发了水体富营养化、生物多样性锐减及生态系统功能退化等一系列问题<sup>[2]</sup>。因此,河湖生态系统健康评价成为了生态环境保护的重要环节,科学、合理、严谨地评价河湖生态系统健康状况,已成为诊断生态问题、制定有效保护与修复措施的核心内容与科学前提。

河湖生态系统健康评价是指对河湖生态系统的健康状况进行综合诊断的过程,旨在通过对河湖生态系统的物理、化学、生物和生态等方面的指标进行监测和分析,构建一套全面反映生态系统结构与功能的指标体系与方法论。河湖生态系统健康评

价的目的是为了更好地了解河湖生态系统,评价结果可以帮助管理者了解河湖生态系统的状况,制定相应的保护措施和恢复计划,确保水资源的可持续利用。同时,它也是监测生态系统对环境变化响应和评价管理效果的重要工具。

当前,河湖生态评价已从单一的水质、生物评价,发展为涵盖河流形态、河岸带状况、水文水资源、水质状况、生物群落结构、栖息地质量及社会服务功能等多准则层的综合体系。相应的评价方法亦日趋多元化,主要包括:现场调查、实验室分析、模型模拟和卫星遥感监测等。不同的评价方法具有不同的优缺点,以及不同的适用范围。

河湖生态系统评价仍面临诸多挑战,如指标体系的普适性与区域适应性有待加强、多要素耦合作用机制尚不清晰、数据缺乏以及评价结果转化效率低等。未来研究需进一步深化多学科、多手段交叉融合,推动从单一要素评价向多要素协同的系统评价范式转变,并探索基于生态系统过程的适应性管理策略,以支撑“美丽河湖”建设。

本文系统梳理了河湖生态系统健康评价的主要方法体系,深入剖析了物理化学指标法、生物完整性指数法及遥感评价法等主流技术的原理、优缺点与适用边界。在此基础上,文章进一步归纳了当前评价实践中存在的核心挑战,如指标体系复杂、数据获取困难及动态评价能力不足等,并针对性地提出了未来研究方向与优化路径,以期深化河湖健康评价理论研究与提升管理实践的科学性提供决策参考。

## 1 河湖生态系统健康评价研究进展

目前,河湖生态系统评价已形成多元化的方法学体系。国内外学者已发展出包括指标体系法、指示物种法、预测模型法及生物完整性指数法在内的多种评价路径。这些方法各有侧重点,如指标体系法侧重于对河湖生态系统各项物理、化学和生物指标的监测与评价,而生物完整性指数法则侧重于通过生物群落的结构和功能来反映生态系统的健康状况。

在国外,以北美、欧盟及澳大利亚为代表的发达国家已构建了较为成熟的评价框架。河湖生态系统健康方面的研究较为成熟,形成了完善的调查评价方法,这些方法均强调通过评价水生生物的群落特征及其与水质、水文等环境因子的相互作用,来系统衡量河湖生态系统的健康状况<sup>[3]</sup>。

相较而言,我国相关研究虽起步较晚,但发展迅速,已初步建立起国家层面的技术体系与标准。2020年8月,水利部印发的《河湖健康评价指南(试行)》从生态系统的结构完整性、抗扰动弹性、社会服务功能可持续性三个方面建立河湖健康评价指标体系与评价方法。中国科学院南京地理与湖泊研究所牵头的团队联合多家科研院所和高校,共同编制了《水生态健康评价技术指南》(GB/T 43476-2023),这一国家标准将于2024年4月1日开始实施<sup>[4]</sup>。

### 1.1 河湖生态系统健康评价理论体系研究进展

河湖生态系统健康评价作为一个跨学科的研究领域,涉及生态学、环境科学、水资源管理以及地理学等多学科知识体系。随着人类对生态环境的日益关注,该领域的研究不断深入,推动了评价理念的演进。

早期的河湖健康评价多集中于单一生物指标或物理化学指标的分析,侧重于评价水体的污染程度和生态系统的受损程度。然而,随着人们对生态系统服务功能认识的提升,当前的评价理念已经从单纯的自然属性拓展到社会经济属性,强调人、自然与资源的协调发展。因此,评价目标不再局限于河湖自然生态的恢复与保护,而是更加关注其对人类社会的益处,如水质安全、生物多样性维护、休闲娱乐和文化价值等。

河湖健康评价的理念和实践起源于欧美等发达国家,并随着全球水资源的短缺和环境问题的加剧而不断发展。美国、欧盟、澳大利亚和加拿大等国家和地区均形成了以“河流健康”为目标的评价方法。1972年,美国环保署颁布了《清洁水法》,旨在通过控制点源污染物的排放来解决水污染问题。尽管美国在控制点源污染方面取得了显著进展,但面源污染的控制仍然面临巨大挑战,导致其远未实现“恢复并保持水体的化学、物理

及生物的完整性”的目标<sup>[5]</sup>。欧盟则于2000年颁布了《水框架指令》,提出了流域水环境综合管理理念,旨在促进所有水域达到良好状态,实现水资源的可持续利用。澳大利亚则开发了澳大利亚河流评价系统(AusRivAS),该系统分为地理评价物理和化学指标、生物评价大型无脊椎动物指标两部分,为河流健康评价提供了标准化工具。

相较于国际研究,我国在河湖健康方面的研究起步较晚,先后经历了水污染控制、水环境质量改善和生态修复阶段。上世纪70年代,我国工业发展刚刚起步,水污染控制主要以工业企业点源污染治理为主。随着我国经济快速发展,污染问题日趋严重,水污染治理任务加重,治理范围由点上升至面。直至2015年,我国环境治理目标实现了质的飞跃,正式将流域污染综合治理与管控提升至战略高度,提出了“山水林田湖草是生命共同体”,各要素之间存在交互关系,揭示了各生态要素间相互制约、相互影响的内在关联。在统筹山水林田湖草系统治理的基础上,争取尽早实现“全方位、全地域、全过程开展生态文明建设”,例如,“河长制”、“湖长制”“一河(湖)一策”是我国近年来推行的河湖管理新模式,强调河流湖泊的管理和保护应由地方行政长官负主要责任,以加强河湖生态系统的有效管理和保护。此外,针对不同流域、不同地区、不同类型的水体,我国也制定了一系列生态环境保护和修复的政策和标准,如2020年颁发的《河湖健康评价技术导则SL/T793-2020》,完善了河湖生态良好的指标体系,包括水文、化学、生物和形态结构完整性相关指标<sup>[6]</sup>。

### 1.2 河湖生态系统健康评价方法研究进展

在河湖生态系统评价方法上,国内外学者们也积极探索了多种评价模型和方法。例如,预测模型法、生物完整性指数法<sup>[7]</sup>、综合分析法等都在河湖生态系统健康评价中得到了广泛应用。

预测模型法通常使用统计或机器学习方法来建立模型,以预测河湖生态系统的状态或趋势。马正华等人利用BP(Back Propagation)神经网络模型预测了入湖河道与太湖水质相互关系,为太湖流域水生态治理与健康提供了支持。Xu等以鄱阳湖为研究对象,应用Transformer神经网络模型检验了模型在湖泊水位预测中的性能,探究了长江对湖泊水位波动的影响,结果表明,该变压器模型在模拟鄱阳湖湖水位变化方面表现良好,能够反映鄱阳湖水位时序变化特征。董哲仁等从生态系统结构、功能和过程出发,提出了3流4D连通性生态模型,能够系统、全面地描述河湖水系连通性的生态学机理。

生物完整性指数法(P-IBI)是以生物群落为核心的评价方法,通过评价物种组成、丰度及功能结构等,综合反映生态系统的健康状态。该方法通常涉及对浮游生物、底栖动物、鱼类等关键类群的系统调查与指数计算。Ge等采用冗余分析(RDA)方法探究了抚仙湖浮游生物P-IBI与环境驱动因子的关联,表明水温、pH、氨氮和溶解氧对浮游生物完整性指数及其所选指标有显著影响,P-IBI能够有效反映抚仙湖生态系统健康状况的时空变化<sup>[8]</sup>。

综合分析法是一种整体性评价框架,其核心在于对河湖生态系统的物理结构、水文情势、水质状况及生物群落等多维度信息进行集成分析,以获得对生态系统完整性的全面认知。该方法强调跨要素的协同与整合,旨在克服单一维度评价的局限性。例如,陈凯等对洱海灌区的污染负荷进行了综合评价,精准识别出COD主要源于地表径流,而氮、磷则主要来自农田面源污染,这一发现为实施精准的污染源截断策略提供了关键的科学依据。

除了以上这些方法,还有一些其他的方法也在河湖生态系统评价中得到了应用,例如遥感、地理信息系统(GIS)、机器学习等。这些技术的应用,可以提供更为准确、全面和及时的数据和信息,从而更好地支持河湖生态系统评价工作的开展。

### 1.3 我国河湖生态系统健康评价应用实践研究进展

在应用实践层面,河湖生态系统健康评价已在我国得到广泛部署与实施。例如,在长江经济带、黄河流域等重点流域和区域和城市河湖都开展了大规模的河湖生态系统健康评价工作。这些评价成果不仅精准评价了流域内河湖生态系统的健康状况,更为后续的生态保护规划与修复工程提供了关键的科学依据和决策支撑<sup>[9]</sup>。

同时,评价结果正逐步转化为具体的治理行动。各地政府依据评价结果制定了一系列靶向性强的生态保护与修复政策,有效推动了河湖生态系统结构与功能的改善。

## 2 河湖生态系统健康评价方法

### 2.1 物理化学评价法

物理化学评价法是河湖生态系统健康评价的常用方法之一。这种方法通过检测水体中的物理指标(如温度、色度、浊度、径流量、蓄水量等)和化学指标(如pH、溶解氧、氨氮、总磷、总氮等),评价水体的污染程度和生态系统的健康状况。AusRivAS地理评价将理化指标分为控制变量和响应变量。控制变量主要包括流域特征、水文、土地使用、平台通道特征、具体位置、水化学;响应变量主要包括储蓄特征、横截面、洪泛区特征、入流植被和有机质、自然及生境评价、物理形态和床型、河岸植被、现场观察、底物、平台通道特征。物理化学评价法具有快速、客观、可量化等优点,但也存在无法反映生态系统的整体情况和变化趋势的局限性。

### 2.2 基于生物指标的评价方法

生物评价法是一种以水生生物为指示器的评价方法,其核心在于通过测量和分析生物群落的结构与功能特征,来综合评价河湖生态系统的健康状况。生物指标包括浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼类等。常用的生物评价法包括生物丰度指数、生物多样性指数、水生生物质量指数等<sup>[10]</sup>。生物评价法能够反映生态系统的整体情况和变化趋势,但需要耗费较长时间和大量人力物力资源进行调查和实验。

### 2.3 基于GIS和卫星遥感的评价方法

地理信息系统与遥感技术的集成应用,为河湖生态系统健康评价提供了强大的空间分析工具。GIS凭借其卓越的空间数据

管理、分析与可视化能力,能够将多源异构数据(如遥感影像、地面观测数据及其他环境因子)进行有效集成。在此基础上,通过叠加分析、缓冲区分析等空间建模方法,可对河湖生态系统的健康状况进行定量化、空间化的综合评价。

遥感技术通过卫星或高空飞行器获取大范围地表信息,可以用于监测河湖的水质、水量、土地利用变化等。例如,利用遥感图像可以分析水体面积的变化、叶绿素浓度、悬浮物浓度等。遥感评价法能够快速获取大范围区域内的生态信息,同时结合GIS等技术手段,实现生态数据的空间分析和可视化表达。遥感评价法具有高效、客观、全面等优点,但需要具备一定的遥感图像处理和分析能力。

### 2.4 基于数学模型的评价方法

数学模型以其简洁性、模拟结果的精确性以及应用上的可操作性,在河湖生态系统健康评价中扮演着至关重要的角色。该方法通过构建数学模型,将遥感数据、地面观测数据以及其他环境因素数据相结合,对河湖生态系统的健康状况进行定量分析。例如,可以采用模糊数学模型、人工神经网络模型等对河湖生态系统进行综合评价。

### 2.5 综合评价法

综合评价法是通过整合物化和生物完整性指标构建的能够全面表征河湖生态系统综合健康状况的评价框架,其核心优势在于生态整体性视角,能够系统反映生态系统的多维特征,为流域尺度的河湖生态系统健康评价提供科学依据,进而优化河湖管理策略。然而,该方法的效能高度依赖于指标体系的构建,所选指标对外界干扰的响应敏感性及其长期稳定性仍需进一步验证。

物理化学评价法以其操作简便、结果可量化的特点,适用于水体污染状况的快速筛查与常规监测,但其局限性在于无法揭示生态系统的整体结构与功能动态,亦难评价水生生物的生存状态。生物评价法则能有效弥补上述不足,通过指示生物或群落结构变化反映生态系统的整体健康现状与演变趋势,特别适用于长期生态监测。但其缺点是周期长、成本高,且在分析、计算过程易引入主观性。遥感评价法凭借其宏观、高效、客观的优势,在大范围生态信息获取与空间格局分析中具有不可替代的作用。然而,该方法的应用受限于数据精度、数量及分辨率,且对专业解译能力要求较高,通常需与其他方法结合使用以提升评价的准确性。

值得注意的是,我国《河湖健康评估技术导则SL/T793-2020》明确将河湖社会服务功能作为评价目标,并将河湖公众满意度作为基本评价指标,用以全面、综合评价河湖健康状况。

## 3 河湖生态系统健康评价存在问题 and 解决方法

### 3.1 存在问题

尽管我国在河湖生态系统健康评价领域已取得显著进展,但相较于发达国家,相关研究起步较晚,仍在评价体系、方法学、数据基础及社会参与层面面临诸多挑战。

(1) 现有评价方法将河湖生态系统拆分成水质、沉积物、生

物以及生态服务功能等独立部分,像拼图一样简单相加。这种做法无法反映各要素之间相互影响的“连锁反应”和“反馈机制”,比如水质变差如何连锁导致生物减少和水体自净能力下降。过度依赖COD、物种数量等“症状”指标,而无法深入诊断系统整体的“健康状况”和“恢复能力”,比如单一物种的变化可能掩盖了整个食物网的崩溃风险。河湖健康评价需从“要素拼图”转向“系统画像”,通过揭示要素间的响应关系,才能为生态保护提供精准导航。

(2) 现有指标体系过于复杂,影响了评价的效率和实用性。

《河湖健康评价指南(试行)》评价指标层4个,指标层20个,具体指标几百个,包括水文、水质、生物多样性、社会服务功能等多个方面的信息,涵盖了河湖健康的各个方面,虽然评价全面,但所需数据过于繁多,不利于工作的开展。

(3) 当前多数评价方法侧重于对特定时间断面的健康状况进行“快照式”评价,缺乏对生态系统长期变化趋势和动态过程的刻画。例如,一些评价方法主要关注历史数据,而忽略了实时监测和动态变化。加上气候变化和其他客观因素影响,分析结果并未反映真实健康状况。

(4) 数据量大也增加了数据处理的难度,可能导致数据错误或遗漏,从而影响评价结果的准确性。同时,我国已有数据零散且不连续,监测评价技术方法的研究成果积累不足,这限制了评价方法的准确性和科学性。在河湖生态系统健康评价中,通常需要对各个指标进行赋分,以量化河湖的健康状况。然而,赋分方法的选择和制定可能存在主观性和不确定性,这可能导致评价结果的偏差。

(5) 社会参与机制不健全影响了评价结果的公信力与认同感。河湖健康评价不仅是技术过程,也应是社会共识的形成过程。然而,当前公众参与渠道有限,参与度普遍不高,且在问卷调查等环节中,公众反馈的质量和严谨性难以保证。这导致评价结果可能偏离公众的实际感受与诉求,削弱了评价成果的社会认同度和在管理实践中的指导价值。

### 3.2 解决办法

为提升评价准确性与全面性,需强化社会经济因素研究,完善指标体系,加强实时监测,提高数据质量,建立科学动态评价体系,并关注复合污染影响。

(1) 构建一个从静态到动态、从孤立到系统的综合评价框架。运用网络分析法和PSR模型解析要素间的内在关联,引入SWAT模型和贝叶斯网络进行动态模拟与预测,通过“空天地一体化”监测网络与大数据分析,挖掘系统深层规律,将评价结果与“河湖长制”等管理机制深度融合,实现从科学评价到有效治理的闭环。

(2) 简化评价方法。现有的河湖生态系统健康评价方法有些复杂,需要进一步简化和优化,以提高评价的效率和准确性。同时,可以引入新的评价方法和技术,以提高评价的精度和可靠性。同时,加强跨学科合作,整合生态学、环境科学、水利工程、社会学等多个学科的知识和技术,以简便的方法,提高评价方法

的科学性和全面性。

(3) 降低数据获取难度,提升自动化获取数据水平,并基于先进算法评价结果。目前,诸多水质化学指标、生物指标很难在线获得,应加大相关传感器开发力度。引入实时监测技术,如遥感、物联网等,以获取河湖生态系统的动态变化数据。这有助于更全面地了解河湖的健康状况,特别是在气候变化和其他客观因素的影响下。加强数据分析和分析能力,采用先进的数据分析方法,如机器学习、大数据分析等,以提高数据处理的效率和准确性。同时,建立数据共享平台,促进数据的交流和共享。

(4) 提高公众参与度。通过宣传教育、社区参与等方式,让公众了解河湖生态系统的组成和功能,认识到保护河湖生态系统的重要性,从而积极参与到河湖生态系统保护中来。鼓励公众参与调查问卷的填写,提供反馈意见,以提高评价结果的社会认可度和实用性。

## 4 结论

河湖生态系统健康评价是生态环境保护与管理的关键环节,对维护区域生态平衡和实现水资源可持续利用具有重要意义。本文综述了近年来河湖生态系统健康评价方法的研究进展,分析了物理化学评价法、生物评价法、遥感评价法等多种方法的原理、优缺点和应用情况,并对比了不同方法的差异和优劣。目前,我国河湖生态系统健康评价研究取得了一定进展,但仍面临一些挑战,如指标体系复杂、数据获取难度大、公众参与不足等。未来,应进一步简化评价方法,提高数据获取能力,加强公众参与,完善指标体系,并建立动态评价体系,以实现更准确、更全面地评价河湖生态系统健康状况,为河湖生态保护和修复提供科学依据。通过不断探索和完善河湖生态系统健康评价方法,我们可以更好地保护河湖生态系统,促进人与自然和谐共生,实现可持续发展目标。

### [参考文献]

[1] GRZYBOWSKI M, GLINSKA-LEWCZUK K, BURANDT P, et al. Ecological health assessment of the multitrophic river-lake system—recommendations for effective lake management[J]. 2020, 660-661.

[2] LI Y, CHEN H, TENG Y. Source apportionment and source-oriented risk assessment of heavy metals in the sediments of an urban river-lake system[J]. Science of The Total Environment, 2020, 737: 140310.

[3] POIKANE S, SALAS HERRERO F, KELLY M G, et al. European aquatic ecological assessment methods: A critical review of their sensitivity to key pressures[J]. Science of The Total Environment, 2020, 740: 140075.

[4] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 水生态健康评价技术指南: GB/T 43476-2023[S/OL]. 北京: 中国标准出版社, (2023.12.28)[2025.10.10]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=043CCE35129D8CEEF7A3D32AAAB78FB>.

[5] 王锦东, 苏海磊, 李会仙, 等. 典型流域生态完整性评价和

应用研究进展[J].环境工程,2022,40(10):233-241.

[6]中华人民共和国水利部.河湖健康评估技术导则:SL/T793-2020[S/OL].北京:中国标准出版社,(2020.6.5)[2025.10.10].<https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=D006D30A71617BDBE05397BE0A0A0BC2>.

[7]WANG S,ZHANG P,ZHANG D,et al.Evaluation and comparison of the benthic and microbial indices of biotic integrity for urban lakes based on environmental DNA and its management implications[J].Journal of Environmental Management,2023,341:118026.

[8]GE Y,GU X,ZENG Q,et al.Development and testing of a planktonic index of biotic integrity(P-IBI)for Lake Fuxian, China [J].Environmental Science and Pollution Research,2023,30(48):

105873-105884.

[9]中华人民共和国水利部.河湖生态保护与修复规划导则:SL/T 709-2015 [S/OL].北京:中国标准出版社,(2015.06.02)[2025.10.10].<https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F14C5BBB19E05397BE0A0AB44A>.

[10]LIU D,WANG X,ZHANG Y-L,et al.A Landscape Connectivity Approach for Determining Minimum Ecological Lake Level: Implications for Lake Restoration[J/OL]2019,11:2237.

#### 作者简介:

谭宝明(1995--),男,云南省丽江市人,工学学士,工程师,主要从事水利工程项目建设。

#### \*通讯作者:

郑传喜。