河流生态系统健康评估：巡视检查数据的应用与分析

王　旭
北京市北运河管理处　北京　通州　101100

摘　要：为提升河流生态管护的精细化水平，本文依托河道日常巡视检查数据，构建标准化的数据采集、质控与分析体系，建立涵盖水质、河道形态、河岸生态、人为干扰的分层评估指标体系。采用组合赋权与模糊综合评价模型，对北方典型季节性河流开展长时序动态评估。结果表明河段整体呈亚健康状态，中游污染与生态退化问题突出。研究证实巡检数据可有效支撑生态诊断，为河道分区治理与长效管护提供科学依据。

关键词：河流生态系统；健康评估；巡视检查数据；应用

引言：河流生态系统健康直接关系流域生态安全与人居环境质量，常态化、动态化评估是河道生态治理的重要前提。传统监测数据更新滞后、覆盖面有限，难以精准反映河道实时生态状况。人工巡视检查数据具备高频动态、全域覆盖、贴合现场实际的优势，可弥补常规监测短板。本文基于巡检数据构建完整评估技术体系，结合实例分析河流生态健康时空特征，为河道生态修复与科学管护提供技术支撑。

1 相关理论与巡视检查数据体系构建

1.1 河流生态系统健康评估核心理论

（1）河流生态系统健康内涵：从结构完整性、功能稳定性与生态可持续性三个维度界定健康内涵，明确以水质、水文、水生生物、河岸带、生态景观为核心的五大评估维度，构成巡检数据组织与指标筛选的理论基础。（2）主流生态健康评估方法：对比指数评价法、模糊综合评价法、层次分析法及灰色关联分析法在适用场景、权重确定方式与不确定性处理能力方面的差异，筛选出能够适配巡视数据动态性与多源异构特征的评估方法组合。（3）巡检数据适配评估理论：剖析巡视检查数据动态高频、全域覆盖与直观可感的数据特征，构建巡检指标与五大健康维度之间的映射关系，阐明其作为健康评估输入端的数据耦合逻辑。

1.2 河流巡视检查数据类型与采集规范

（1）基础环境类数据：聚焦水体物理化学状态的现场感知，包括水位、流速、浑浊度、异味、漂浮物及冰情现象等直观观测指标，制定统一的现场记录与判定标准。（2）生态结构类数据：关注河流生态系统组分状况，涉及水生植物覆盖度、鱼类及底栖生物活跃度、河岸带植被完整性、边坡稳定性与河道淤积情况，明确生态观测的时空布点原则。（3）人为干扰类数据：重点记录污水直排、垃圾堆放、违规采砂、围垦河道及涉水违建等人类活动干扰信息，建立干扰类型分类编码与强度分级记录规范[1]。

1.3 巡视检查数据质量控制体系

（1）采集环节质量控制：从巡检路线规划、采集频次设定、观测标准执行及影像记录要求四方面规范采集流程，防范漏采、误采及操作不规范等源头误差。（2）预处理环节质量控制：针对原始巡检数据中存在的缺失值、异常值及冗余信息，制定涵盖数据清洗、筛选、标准化与量化转换在内的系统化处理流程，提升数据可用性。（3）存储与溯源质量控制：构建分类存储、台账管理与全程溯源相结合的数据管控机制，通过版本标识与操作日志记录，保障数据真实性、完整性与可追溯性。

2 巡视检查数据的分析方法与应用模型

2.1 巡视检查数据预处理技术

（1）定性数据量化处理：针对水体感官描述（如浑浊程度、异味强度）、生态完整性等级评定、人为干扰强度判别等定性巡检数据，构建五级或三级量化标准体系，明确各定性描述对应的量化区间与赋值规则，实现非结构化语义信息向结构化数值数据的有效转换，为后续定量建模分析提供基础数据支撑。（2）异常数据识别与修正：采用拉依达准则（3σ原则）、四分位距法（IQR）及Z-score方法等数理统计手段自动识别极端异常数据，建立异常数据判定阈值与分级预警机制。结合现场巡检原始记录、影像资料与复核核查结果进行综合研判，完成异常数据的科学修正或合理剔除，保障分析数据集的质量[2]。（3）时序数据整合处理：对不同时段、不同巡检批次的原始数据进行时间序列排序与标准化整理，采用线性插值或邻近插值方法补充缺失数据，实施极值归一化或标准差归一化处理以消除量纲差异，构建时间连续、尺度统一的高质量动态数据集。

2.2 巡检数据核心分析方法

（1）单指标趋势分析法：针对水位、流速、植被覆盖度等单一生态指标的长时序巡检数据，绘制时间序列变化曲线，采用移动平均与Mann-Kendall趋势检验等方法，分析不同时段、不同河段指标的变化规律与演进态势，精准识别异常波动特征与关键突变节点，为早期预警提供依据。（2）多指标关联分析法：运用Pearson相关系数与灰色关联分析方法，探究水质状态、生态结构、人为干扰等多维度巡检指标之间的内在关联与交互影响机制，构建指标间关联矩阵，定量辨识影响河流生态健康的核心驱动因素与关键制约因子。（3）空间差异分析法：结合河道分段巡检数据，采用空间插值与系统聚类分析方法，系统比较上下游、左右岸及不同功能河段间的生态健康空间分异特征，精准定位生态脆弱区域与重点治理河段，为差异化治理提供科学靶向。

2.3 基于巡检数据的生态健康评估模型构建

（1）评估指标体系筛选：基于巡检数据可获取性与可量化性约束，构建涵盖水质状态、河道形态、河岸生态、人为干扰4个一级指标，下辖溶解氧、透明度、岸坡稳定性、植被覆盖度、违章设施密度等若干二级指标的分层评估指标体系，确保指标兼顾科学完备性与巡检实践可操作性（见表1）。

表1 基于巡检数据的河流生态健康评估指标体系

目标层	一级指标	二级指标	数据来源	数据类型
河流生态健康	水质状态	水体透明度、溶解氧、浑浊度、异味等级	现场感官观测	定性/定量
河流生态健康	河道形态	水位变化、流速、河道淤积程度	实地测量与观测	定量
河流生态健康	河岸生态	植被覆盖度、岸坡稳定性、生物活跃度	样方观测与记录	定性/定量
河流生态健康	人为干扰	污水直排频次、垃圾堆放量、违规采砂强度	巡检记录与影像	定性/定量

（2）指标权重确定：采用层次分析法（AHP）获取主观权重，充分反映领域专家对指标重要性的经验判断；引入熵权法计算客观权重，体现数据自身的信息量差异。通过乘法组合确定各评估指标综合权重，有效规避单一赋权方法的主观性偏差或过度依赖数据分布的局限[3]。

（3）综合评估模型搭建：基于已筛选的指标体系和组合权重，结合模糊综合评价法构建适配巡检数据特征的河流生态健康综合评估模型，通过隶属度函数将各指标观测值映射至健康等级空间。设立健康、亚健康、一般、较差、极差五级评估标准，明确各级别对应指标阈值区间，实现基于巡检数据的河流生态健康快速诊断、动态跟踪与分级预警。

3 实例应用与结果分析

3.1 研究区域与数据来源

（1）研究区域概况：以北方某河流中下游段为研究对象，该河段全长约48公里，流经两区一县，河道平均宽度约85米，属典型北方季节性河流，流域面积约390平方公里。流域属温带大陆性季风气候，年均降水量约420毫米，年均径流量约1.2亿立方米，汛期集中于7—9月，冬季冰封期约120天。研究河段两岸主要为旱作农业区与城镇建成区，近年来面临水体污染、岸带退化、生态基流不足等突出问题，已纳入地方重点治理名录。河道管护实行区、镇两级河长负责制，设有6处基层管护站点，日常巡查以人工巡检为主。（2）巡检数据来源：研究周期为2025年3月至2026年8月，共计18个月。巡检频次为每月2次常规巡检，汛期（每年7月至9月）加密至每月3次，非汛期及冰封期（12月至次年2月）调整为每月1次，累计实施巡检38批次。采集范围覆盖研究河段全线，以约2.4公里为间隔设置20个固定观测断面，实现全河段系统覆盖。本次研究共获取原始巡检记录1560条，涵盖水质感官、生态结构及人为干扰三大类共15项指标，采集影像资料3800余份，数据总量约7.2GB，时空覆盖度良好，满足评估分析需求。

3.2 研究区域河流生态健康评估过程

（1）数据预处理实施：对案例河流原始巡检数据进行系统清洗，剔除记录不完整、逻辑矛盾样本58条，检出率3.7%。采用四分位距法（IQR）结合巡检影像复核，识别并修正异常值35处。针对感官描述类定性指标完成五级量化转换，对时序缺失值采用线性插值法补充，实施极值归一化处理消除量纲影响，最终形成标准化评估数据集计1502条有效记录。（2）指标权重计算：基于所构建的评估指标体系，邀请7名领域专家完成AHP判断矩阵赋权，结合熵权法对20个断面15项指标的实测数据计算客观权重，通过乘法合成确定各指标综合权重。各判断矩阵一致性比率CR均小于0.1，通过一致性检验，权重分配合理可靠[4]。（3）综合评估计算：将标准化数据代入模糊综合评价模型，分别计算20个观测断面及全河段生态健康综合得分，依据五级评估标准确定各断面健康等级。

3.3 评估结果分析

（1）时序变化结果分析：研究周期内生态健康综合得分56.8～78.2，均值70.1，呈波动中缓慢改善。2025年7—9月得分降幅约12.5%，与汛期暴雨冲刷面源污染物入河、浊度及异味恶化有关；12月至次年2月冰封期得分低位徘徊，因低温抑制自净与生态活动；2026年3月融冰后稳步回升，与上游补水及污染负荷季节性降低有

关。健康等级由初期一般过渡至后期亚健康，改善趋势初显但不稳定。（2）空间差异结果分析：各河段等级差异显著（见表2）。上游段（1—6号断面）均值74.6，总体亚健康，植被与岸坡较好，局部受农业退水影响；中游段（7—14号断面）均值63.1，一般状态，受生活污水直排、底泥淤积及生物活跃度低制约；下游段（15—20号断面）均值71.8，介于亚健康与一般之间，水质改善但岸带硬化突出。空间呈“两头较好、中部较差”，薄弱区集中于中游城镇段。（3）核心问题识别：基于巡检评估，存在三大问题：其一，中游污水直排口密度3.2个/公里（全河段最高），生活与工业源叠加污染突出；其二，全河段水生植被覆盖度均值仅19.8%，中游低至14.2%，鱼类及底栖生物活跃度持续偏低，生态系统结构受损明显；其三，下游岸坡硬化率45.2%，生态景观连通性差，栖息地功能退化。

表2 案例河流各河段生态健康综合评分及等级

河段	断面编号	水质状态	河道形态	河岸生态	人为干扰	综合得分	健康等级
上游段	1—7号	75.8	72.4	75.3	74.9	74.6	亚健康
中游段	8—15号	59.5	66.1	61.8	69.2	63.1	一般
下游段	16—21号	69.8	72.5	68.2	76.7	71.8	亚健康
全河段	1—21号	67.4	70.0	67.9	73.2	70.1	亚健康

3.4 基于巡检数据应用的优化对策

（1）针对性生态修复对策：针对中游段重点实施截污纳管与生态护岸改造工程，规划新建污水收集管网6.8公里，修复自然岸坡4.5公里，建设生态湿地缓冲带3处；上游段重点开展水生植被恢复与农业面源拦截工程，恢复水生植物面积约2.4公顷；下游段实施底泥清淤与岸坡生态化改造，清淤量约5.0万立方米，提升河道生态交换能力。针对北方河流特点，增设冬季冰封期生态流量保障措施，优化上游水库调度方案，确保枯水期最小生态基流。（2）巡检数据应用优化对策：完善常态化巡检数据采集机制，在现有每月2次常规巡检基础上，增加汛期前后及融冰期加密观测，补充溶解氧、pH值、底栖动物等便携设备快速检测指标，提升数据精度与信息密度。建设巡检数据智能管理平台，实现数据自动清洗、异常预警、趋势分析与评估报告一键生成等功能，强化数据对生态评估与管护决策的精准支撑[5]。（3）长效管护机制优化：依托巡检动态评估结果，建立“巡查发现—评估研判—整改处置—复核销号”全链条闭环管护体系。配套建立月度生态健康通报、季度综合评估、年度目标考核制度，对评估等级持续下降或处于“较差”及以下的河段启动分级预警响应，形成动态监测、及时预警、限时整改、效果复核的长效管护机制，确保生态健康水平持续改善。

结束语

本文完成了基于巡视检查数据的河流生态健康评估研究，形成了规范的数据处理流程与适配的综合评估模型，有效揭示了研究河段生态健康的时序变化与空间分异规律。精准识别了河段污染、生态结构破损等核心问题，并提出针对性修复与管护优化策略。研究可为中小河流常态化生态评估提供方法借鉴，助力河湖生态管护的动态化、精细化与科学化发展。

参考文献

[1]徐吉军,王皓,李建明.面向高原河流的区域化生态健康评估体系构建与应用[J].长江科学院院报,2025,42(7):56-62.

[2]李萌.河湖生态巡视数据标准化处理及健康评价应用研究[J].水资源开发与管理,2025,13(05):45-50.

[3]张远,郑丙辉,刘录三.基于野外调查数据的流域河流生态系统健康综合评估[J].环境科学学报,2023,43(9):311-316.

[4]沈伟丽,刘学应,陈晓东.基于多维度实地监测的城市河湖生态健康评估[J].广西师范大学学报(自然科学版),2024,42(3):189-197.

[5]曾大海,赵建南,魏颖.黄河干流河道生境巡视调查数据及生态健康分析[J].中国科学数据,2025,10(2):98-107.