

基于多目标优化的城市河道生态治理方案比选研究

魏 刚

保定市水利水电勘测设计院 河北 保定 071051

摘要: 文章聚焦城市河道生态治理方案比选, 构建涵盖生态、工程、经济等多维度的多目标体系并量化指标。采用组合权重法确定权重, 运用改进型TOPSIS模型决策。构建典型方案库并参数化表达。以保定市府河东关桥段为例, 应用多目标评价体系筛选方案, 经比选确定全要素综合治理方案三最优, 制定实施路径与保障措施, 为城市河道生态治理提供科学参考。

关键词: 城市河道; 生态治理; 多目标优化; 方案比选

引言: 城市河道作为城市生态与文化的重要载体, 其生态治理意义重大。然而, 当前部分城市河道面临水体污染、生态退化、防洪能力不足等诸多问题, 传统单一治理模式难以满足多元需求。在此背景下, 基于多目标优化开展城市河道生态治理方案比选研究, 综合考虑生态、工程、经济等多方面因素, 筛选出最优治理方案, 对实现城市河道生态、经济、社会效益共赢具有关键作用。

1 城市河道生态治理的多目标体系构建

1.1 目标维度分析

1.1.1 生态目标

城市河道生态目标核心是恢复水体自然属性与生态系统完整性, 打造自我循环、稳定可持续的水生态环境。重点聚焦水体质量改善, 确保COD、氨氮等指标达到地表水Ⅲ类及以上标准, 消除黑臭现象, 提升水体溶解氧含量与自净能力。同时修复河道岸线生态功能, 摒弃硬质化护岸的单一防护模式, 推广生态护岸技术, 构建水陆交错带植被群落, 为鱼类、鸟类等生物提供栖息、繁殖场所, 提升生物多样性^[1]。另外, 需维持河道合理生态流量, 保障水生生态系统正常运转, 减少人类活动对河道生态廊道的破坏, 实现“水清、岸绿、景美、生物兴”的生态愿景。

1.1.2 工程目标

城市河道生态治理工程目标以安全性、稳定性和长效性为核心, 兼顾生态适配性与工程可行性。首先需强化河道防洪排涝能力, 根据城市防洪标准优化河道断面设计, 清淤疏浚河道行洪通道, 拆除侵占河道的违章建筑, 提升河道过流能力, 防范极端降雨引发的内涝灾害。其次, 保障工程结构安全, 生态护岸、清淤、截污等工程需符合水利工程技术规范, 抵御水流冲刷、风浪侵蚀等自然影响, 确保工程使用寿命达到设计要求。同

时, 工程建设需与生态目标协同, 避免过度工程化改造, 减少对原有生态环境的扰动, 实现工程功能与生态效益的统一, 为河道生态系统稳定提供坚实工程支撑。

1.1.3 经济目标

城市河道生态治理经济目标注重投入产出平衡, 实现短期治理成本可控与长期经济收益最大化。短期需合理控制工程投资, 优化方案设计以降低建设成本, 避免盲目追求高端技术导致的资金浪费, 同时做好资金统筹规划, 提高资金使用效率。长期来看, 需通过生态治理带动周边区域经济增值, 提升沿岸土地利用价值、房地产溢价及商业活力, 催生生态旅游、休闲康养等产业, 创造就业岗位, 增加地方财政收入。此外需降低后期运维成本, 采用低成本、易操作的运维技术与模式, 减少水体监测、植被养护、设备维修等长期投入, 实现生态治理与经济良性循环。

1.2 指标量化方法

城市河道生态治理指标量化需遵循科学性、可操作性、系统性原则, 结合各目标维度特性选取适宜方法, 确保指标数据精准可比对。生态目标指标采用监测法与评级法量化, 水体质量指标通过定期采样监测获取COD、氨氮等具体数值, 生物多样性指标采用样线法、样方法统计物种数量与密度, 生态流量指标结合水文监测数据与流域水资源分配方案核算。工程目标指标采用实测法与规范对照法, 防洪能力指标通过水力计算获取过流能力、防洪标准等数值, 工程稳定性指标对照水利工程规范评定结构安全等级。经济目标指标采用成本收益法, 建设成本按工程量清单核算, 长期收益通过周边土地增值、产业营收等数据估算。社会目标指标采用问卷调查法与统计法, 居民满意度通过问卷调查量化, 公共服务能力指标统计滨水设施覆盖率、使用频次等数据, 实现各维度指标的标准化、量化表达。

2 多目标优化模型与方法

2.1 权重确定方法

权重确定是多目标优化的核心，需结合城市河道治理需求，采用主观与客观相结合的方法，确保权重分配科学合理。主客观权重法选用层次分析法（AHP），通过构建递阶层次结构，邀请水利工程、生态学、经济学等领域专家对各目标及指标进行两两比较打分，构建判断矩阵，经一致性检验后计算各指标权重，充分体现专家经验与决策意图。客观权重法采用熵权法，基于各指标实测数据的离散程度确定权重，离散程度越高，指标对评价结果的影响越大，权重值越高，避免主观臆断带来的偏差。最后采用组合权重法，将层次分析法与熵权法得到的权重进行加权融合，兼顾主观经验与客观数据特性，消除单一方法的局限性，为多目标决策提供精准的权重支撑。

2.2 多目标决策模型

结合城市河道生态治理多目标、多约束的特性，选用改进型逼近理想解排序法（TOPSIS）构建多目标决策模型，实现各治理方案的综合评价与排序。首先对量化后的指标数据进行标准化处理，消除量纲差异与正负向指标影响，构建标准化决策矩阵。随后基于组合权重确定加权标准化矩阵，明确各指标在评价体系中的重要程度^[2]。接着计算各方案与正理想解、负理想解的欧氏距离，正理想解代表各指标最优值组合，负理想解代表各指标最劣值组合，通过距离反映方案与最优状态的贴近程度。最后计算相对贴近度，根据贴近度大小对各治理方案进行排序，贴近度越接近1，方案综合效益越优，为决策人员选择最优治理方案提供量化依据，同时可通过模型灵活调整目标权重，适配不同治理场景需求。

2.3 模型验证与灵敏度分析

模型验证与灵敏度分析是保障多目标决策模型可靠性的关键环节。模型验证采用历史数据回溯法，选取已完成治理的城市河道案例，将该案例的实测数据代入构建的多目标决策模型，对比模型评价结果与实际治理效果，若两者偏差在可接受范围内（通常小于10%），则验证模型具有良好的适用性与准确性。灵敏度分析采用单因素扰动法，逐一调整各目标指标的权重（扰动幅度控制在 $\pm 10\% \sim \pm 20\%$ ），观察各方案相对贴近度的变化幅度与方案排序的稳定性。若权重调整后方案排序无显著变化，说明模型稳定性强；若排序发生波动，则重点分析波动较大的指标，优化权重分配或模型参数，确保模型在实际应用中能够应对参数变化，为河道治理方案决策提供稳健支撑。

3 城市河道生态治理典型方案库构建

3.1 方案分类与设计原则

3.1.1 工程措施

工程措施方案围绕生态修复、防洪排涝、污染控制三大核心分类设计，遵循生态优先、因地制宜、技术适配原则。生态修复类方案包括生态护岸工程（植草混凝土护岸、格宾石笼护岸、植物软质护岸等）、水体净化工程（人工湿地、生态浮岛、沉水植物群落构建等）、河道清淤工程。防洪排涝类方案包括河道拓宽疏浚、堤防加固、雨水调蓄池建设、排涝泵站升级等，结合城市防洪标准与河道地形条件优化设计。污染控制类方案包括截污纳管工程、初期雨水治理工程（雨水花园、植草沟等），从源头削减入河污染物。各工程方案需结合河道实际情况组合应用，避免单一工程措施的局限性，实现生态、工程目标协同落地。

3.1.2 管理措施

管理措施方案作为工程措施的补充，聚焦长效治理与风险防控，遵循系统性、常态化、精细化原则，分为监管、运维、宣传三大类。监管类方案包括建立河道水质实时监测系统，布设监测站点，实现水质数据实时上传与异常预警；完善河道管控法规体系，明确各部门监管职责，严厉打击侵占河道、超标排污等违法行为；推行“河长制”精细化管理，落实各级河长职责，建立常态化巡查机制。运维类方案包括制定生态设施养护规程，定期对生态浮岛、人工湿地、滨水植被等进行养护；建立运维专项资金保障机制，组建专业运维团队^[3]。宣传类方案包括开展生态科普进社区、进校园活动，利用新媒体平台宣传河道保护知识，引导居民参与河道治理与保护，构建“政府主导、企业参与、公众共治”的长效管理格局。

3.2 方案参数化表达

方案参数化表达需将各类治理方案转化为可量化、可对比的参数指标，为多目标优化模型提供数据支撑，核心围绕技术、经济、生态三大维度构建参数体系。技术参数方面，工程措施明确建设规模、技术标准（如防洪等级、水质净化效率）、施工周期等；管理措施明确监测站点数量、巡查频次、运维团队规模、宣传覆盖人数等。经济参数方面，核算各方案的建设成本、运维成本、收益指标（周边土地增值预估、旅游营收测算），明确投资回收期、资金筹措方式等。生态参数方面，量化各方案的生态效益（如水体COD去除率、生物物种增加量、生态流量保障率）、生态影响。通过参数化梳理，形成标准化方案库，实现各方案的精准比对与灵活

调用。

4 案例研究：城市河道生态治理方案比选

4.1 研究区域概况

本次案例选取保定市府河东关桥段，该河段位于保定市区中心区域，全长约2.8公里，是府河文化景观带的重要组成部分，兼具生态、文化、景观多重功能。研究区域现状存在诸多问题：水体自净能力弱，受周边生活污水、初期雨水影响，部分时段出现轻度黑臭，水质维持在地表水Ⅳ类；岸线以硬质混凝土护岸为主，生态功能退化，生物多样性匮乏；河道部分断面狭窄，行洪能力不足，汛期易出现积水；沿岸景观与历史文化融合度低，公共服务设施不完善。该河段治理需兼顾生态修复、防洪安全、文化传承与经济增值多重目标，治理难度较大，具有典型的北方城市核心区河道治理特征，其方案比选结果对同类城市河道治理具有重要参考价值。

4.2 多目标评价体系应用

基于前文构建的多目标评价体系，结合府河东关桥段实际需求，筛选12项核心指标应用于评价，涵盖生态（水体COD去除率、生物多样性提升率、植被覆盖率）、工程（防洪标准、工程稳定性）、经济（建设成本、运维成本、周边土地增值率）、社会（居民满意度、公共设施覆盖率、文化传承度、科普宣传覆盖率）四大维度。通过实地监测、资料收集、专家调研获取各指标数据，采用层次分析法与熵权法组合确定权重，其中生态目标权重0.35、工程目标0.25、经济目标0.20、社会目标0.20。将3套候选治理方案（方案一：生态修复为主+简易截污；方案二：工程防洪+生态护岸+截污纳管；方案三：全要素综合治理+文化融合）的参数代入TOPSIS模型，开展多目标综合评价。

4.3 方案比选结果分析

经TOPSIS模型计算，3套候选方案的相对贴近度分别为：方案一0.50、方案二0.68、方案三0.82，方案三综合效益最优，确定为最优治理方案。方案一因仅侧重生态修复与简易截污，防洪能力未得到有效提升，且缺乏文化融合与公共设施配套，社会、工程目标达成度低，综合表现一般。方案二兼顾防洪、生态与污染控制，核心目标达成度较好，但在文化传承与经济增值方面发力不足，与府河东关桥段的文化定位适配度不高。方案三采用全要素综合治理模式，工程上实施河道清淤、堤防加固，防洪标准提升至20年一遇；生态上构建复合生态

护岸、人工湿地与沉水植物群落，预计COD去除率达80%，植被覆盖率提升至65%；经济上联动周边文旅资源，预估土地增值率12%；社会上打造文化主题滨水景观，完善公共设施，居民满意度预估达85%，各目标协同最优。

4.4 实施路径与保障措施

方案三实施分三阶段推进：第一阶段（1—6个月）完成前期调研、设计与招投标，同步开展截污纳管工程，铺设管网2.5公里，实现雨污分流；第二阶段（7—18个月）实施河道清淤（清淤量约4万立方米）、生态护岸建设（长度2.8公里）、人工湿地与生态浮岛构建，同步进行堤防加固与河道拓宽；第三阶段（19—24个月）完善滨水公共设施、文化景观打造与生态科普设施建设，开展植被养护与系统调试，实现工程竣工交付^[4]。保障措施方面，组织上成立由政府牵头，水利、生态环境、文旅等部门协同的专项工作组，明确职责分工；资金上采用政府财政拨款与社会资本合作（PPP）模式，保障建设与运维资金；技术上聘请专业团队全程指导，建立施工质量管控体系；监管上搭建实时监测平台，加强施工期生态管控与后期常态化运维；宣传上开展府河文化节、生态科普展等活动，引导公众参与，确保治理方案落地见效，实现河段生态、经济、社会效益共赢。

结束语

本文通过构建城市河道生态治理多目标体系与模型，结合实际案例开展方案比选研究，成功筛选出最优治理方案并制定实施策略。研究表明，多目标优化方法能有效平衡各目标关系，为城市河道生态治理提供科学决策依据。未来可进一步拓展研究区域与指标维度，持续优化模型算法，以更好地适应不同城市河道的治理需求，推动城市河道生态治理工作迈向新台阶。

参考文献

- [1]陈勇,唐雨语,梁瑶瑶.城市河道生态治理及修复措施浅析[J].水利技术监督,2024(3):260-262,281.
- [2]李庆.城市河道生态治理对策与研究[J].水利技术监督,2023(9):42-45.
- [3]刘静民.探析城市河道生态治理及修复措施[J].清洗世界,2023,39(2):113-115.
- [4]武昀鹏.城市河道生态治理与绿地规划改造设计研究[J].居业,2024(6):136-138.