

“三水统筹”支撑永定河生态廊道构建

水专项“永定河流域水质目标综合管理示范研究”课题进展综述

编者按

“永定河、出西山，碧水环绕北京湾，卢沟渡、摆渡船，渡走春秋渡秦汉……”，这首脍炙人口的《卢沟谣》让永定河承载的千年历史文明变迁犹如画卷般徐徐展开。

为整体提升流域水生态环境质量，发挥永定河生态保障和供水、防洪等功能，2018年水体污染控制与治理科技重大专项(以下简称“水专项”)设置了“永定河流域水质目标综合管理示范研究”项目(2018ZX07111-002)。本课题针对永定河流域水生态环境问题的复杂性和艰巨性，在充分集成“十一五”和“十二五”期间水质目标管理技术体系的基础上，系统识别了永定河流域水生态环境退化问题的成因，从水生态功能分区及“三水统筹”目标制定、高时空分辨率污染源清单构建、排污许可和排放标准、资源环境承载力评估和预警、水质水量联合生态补偿等角度开展了关键技术研发，形成系列标志性成果，为永定河流域“十四五”水生态环境保护提供强有力的管理支撑。

关注1

揭示流域水生态环境演变趋势，识别水生态退化问题成因，支撑流域水生态环境目标制定

开展永定河综合治理与生态修复工作是党中央国务院作出的关于推动京津冀协同发展重大战略决策内容之一。

课题深入调查了永定河流域水资源量、水质、水生态、土地开发利用现状及其变化情况，研究区流域面积达4.7万平方公里。通过对流域近20个水文站60余年的数据分析表明，流域径流量持续降低。

在水环境方面，课题针对主要国控、省控断面开展近15年主要断面水质的历史变化趋势分析，并针对典型河段与水库水质状况，开展现状调研。得益于国家对流域水环境问题的重视与“水专项”水污染治理与生态修复工程实施，流域水环境整体趋好，在“十三五”期间，永定河流域山区除个别国控断面存在总磷、氟化物等污染物超标，约70%水体符合地表水Ⅲ类及以上水质标准。

课题对全流域水生态状况进行调研取样，并对流域水生态状况进行评价。根据历史文献记载，永定河流域共有鱼类75种，而2019年夏、秋两季鱼类调查共发现36种，仅占历史记录的48%。

课题利用近40年典型年份的遥感数据，

分析流域土地利用动态变化。结果表明，流域森林覆盖率为21.74%，河湖、湿地覆盖率为1.25%；流域土地利用变化的总趋势是耕地向草地、林地和建设用地的转移，林地向草地、耕地的转移。

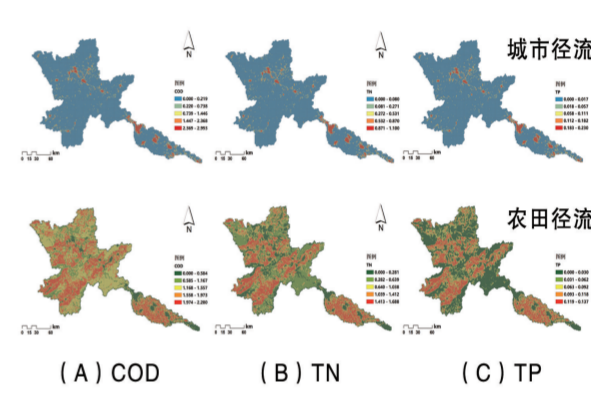
对水生态系统进行有效的健康评估并识别主要退化因子是制定水生态保护目标与水生态系统治理修复的前提。课题在“三水”调查的基础上，构建基于底栖动物生物完整性指数(B-IBI)评价指标体系。评价结果表明，永定河流域水生态健康状况堪忧，健康与较好状态河流占比不足50%；丰水期健康程度(占比49%)优于平水期(占比36%)，在空间上，官厅水库至三家店段评价结果多为“较好”和“一般”状况，“差”和“较差”状况主要分布在上游洋河和下游天津段。为评估气候要素与人类活动对流域水生态系统退化的贡献，课题采用水量平衡分析法，与基于Budyko假设的互补关系权重因子法分析气候要素和人类活动对1957年~2017年径流变化的影响，结果表明人类活动干扰引起的下垫面变化与人类活动取水对地表地下水量的剧烈干扰是永定河流域径流下降的主要驱动因素。

关注3

构建流域污染源动态清单，形成流域排放标准和固定源排污许可管理技术体系

流域水生态环境保护目标确定，“划重点”完成，但目标非“坐而论道”就能达成。

课题综合考虑工业点源、污水处理厂设施、集约化畜禽养殖企业，以及农村生活、农业种植业、分散畜禽养殖与城市径流等面源污染，构建永定河流域近10年高时空分辨率污染源清单；并结合《永定河流域主要水污染物排放标准》草案，针对流域水环境质量改善关键因子和重点区域，提出进一步收紧排放限值的要求并增加管控措施，并开展依据流域标准的许可排放量核算，预测对水环境质量改善的作用。同时，支撑编制完成



永定河流域2018年城市径流和农田径流COD、TN、TP的污染物高分辨率空间分配示意图

《流域水污染物排放标准制订技术导则》(HJ915.3-2020)，首次为指



永定河流域水生态环境调研与采样

官厅水库调研采样

关注4

构建永定河流域水环境承载力评估和优化调控技术体系，为流域综合调控提供指导

由于流域水资源严重不足、多方利益不同诉求使得人工干扰的复杂性及不确定性因素增多。课题提出永定河流域水环境承载力的刻画指标并研发流域全分布式水文水质模型、土地利用变化模型和分布式SD和多主体等模型，实现了日-月-年时空尺度的水资源和水环境承载力模型构建与多情景模拟。

课题构建永定河流域分布式水模型及官厅水库三维水质过

程模型。模拟结果表明，土壤墒情主要由流域降雨、气温和土层特性、人为灌溉等条件决定，永定河流域的土壤墒情空间变化差异较大；农业灌溉抽水对浅层和深层地下水的影响较为明显，工业和生活用水也在局部空间影响强度较大，此3项用水是地下水变化的主要驱动力。

针对永定河流域水资源超载严重、水环境承载力不足等现状，课题对重点城市(北京、天津、张家

口)水资源承载力进行分析预测。若维持现状情景，不采取任何改善措施，区域水资源供需差额将持续增大，水资源承载能力持续下降。对污染源结构进行分析，发现永定河张家口段的总磷污染物主要来源是农村生活源和农业种植源，且上游的农村生活污染较为严重。通过4个维度的动态调控，表明产业结构优化将带来更佳的环境效益。课题通过四维调控模型模拟结果，提出流域产业结构调整方案，可为流域综合调控提供有力指导。

课题基于多主体模型构建人一水耦合模拟平台，从规模、结构、格局和技术4个维度以重点城市张家

关注2

构建流域水生态环境保护目标体系，全力支撑流域精细化水质目标管理

针对永定河流域水生态环境问题的复杂性和艰巨性，课题组确定了面(流域)-线(水系、河段)-点(控制节点)尺度的流域水生态保护目标制定技术思路：在流域尺度上，基于水热(降水、积温)和地貌类型进行流域水生态分区；在线型水系尺度上，根据河道流态进行河流分类，基于对常年有水和季节性有水河道水质的分析确定流域各河段主导生态功能及主要物种保护目标；在河段尺度上，根据保护目标的生境要求、主导水资源利用功能，制定与流域水生态恢复相衔接的具体控制单元和典型控制节点的水质目标、生态流量，并从水陆耦合的联动思路着手，确定流域沿岸带生态空间管控要求，确定流域、河道生态保护的管控方案，制定生态水量保障、水环境改善及生境和植被修复对策。

在流域尺度上，课题综合考虑流域自然环境特征，依据宏观水热格局的相似性与空间异质性，采用“自上而下”的分区方法进行流域水生态分区。基于大尺度水热格局，将永定河流域划分为2个一级生态区；基于宏观地形地貌和植被类型，划分为7个二级生态区。

在水系尺度上，识别永定河流域不同等级河流的流态情况，针对线性河道，根据水文动态，划分为常年有水、季节性有水和干涸断流

三大类；针对有水河道，根据水文、水质和生物特征，进一步开展河流生态分类，识别生物-环境的响应关系。根据未来永定河河道水量和水质的提升梯度，制定渐进改善的沉水植物与鱼类恢复物种目标。根据沉水植物物种与地表水水质等级之间的对应关系，确定耐污种-中等耐污种-清洁种的修复目标；根据鱼类对生境的适应特征，选取4种代表性山区鱼类和6种代表性平原鱼类作为鱼类保护与恢复目标。

在河段尺度上，制定永定河流域京津冀区域各河段水质目标，并将各河段水质目标落实到流域控制单元与国控、省控监测断面。根据水质目标，官厅水库库区及官厅水库峡段水质目标为Ⅲ类，洋河与桑干河干流水质目标为Ⅳ类，其支流以Ⅲ类为主，三家店以下主要为Ⅳ类。对于干涸河道，提出了“以绿代水”修复目标。

水生态保护与水质目标的实现，都需要充足的生态流量为保障。课题采用水文水力法与生物栖息地法确定响水堡站、石匣里站、官厅水库站等14个主要控制节点的生态基流、基本生态需水量、目标生态需水量。并由点(控制节点)及线(水系)至面(流域)，最终确定永定河流域基本生态需水量为2.24亿m³/年，目标生态需水量为5.28亿m³/年。

在水生态分析基础上，课题根据气候、地貌、区域生态系统状况等差异，分析生态功能重要性和生态系统敏感性，确定二级生态区的重要主导生态功能——防风固沙、水源涵养、农产品生产和人居保障。在生态空间管控方面，根据生态区的主导生态功能，系统划定了永定河水系河流沿岸带生态保护红线，同时可作为区域生态保护红线的增补对象。

基于永定河流域水质目标保护技术体系的构建，目前课题组已提交科技专报《精准打好碧水保卫战：关于细分北方缺水河流生态系统类型和劣V类水质等级的建议》1份，助力精准打好碧水保卫战。

关注5

完善流域水量水质生态补偿机制，支撑流域生态补偿机制加快形成与落地实施

生态补偿制度是生态文明制度的重要组成部分，是实现绿色高质量发展的有效路径。从2009年在新安江流域开展流域跨界生态补偿试点至今，生态环境部累计投入资金超过40亿元，取得了较好的成效。通过对国内外流域生态补偿案例的分析，发现我国生态补偿仍然存在以年度跨界断面水质补偿为主、博弈远多于共赢等问题，不利于流域长效生态补偿机制的形成。

永定河是北京的母亲河，流域水资源短缺，同时存在氟化物、总氮等浓度超标。永定河流域跨界断面生态补偿需要同时考虑水量

和水质，构建流域跨界水量水质生态补偿模型。课题通过实地调研永定河流域的水资源、水环境、产业结构和社会经济状况等，深入分析永定河流域跨界断面的水质、水量变化；通过与当地环保局、水利局等相关部门座谈，充分了解管理部门的需求，提出了基于跨界断面的水量、污染物及水质基系数的流域跨界水量水质生态补偿模型。基于不同情景下进行永定河跨界水量水质生态补偿核算结果表明，水量补偿远高于水质补偿，以2017年为例，水量补偿约为水质补偿的5.8倍，从一个侧面证明了永定河流域水质水量补偿的必

要性和重要性。

为了实现流域生态补偿的共赢和长效，一方面应建立流域综合生态补偿规划，寻求共赢点，预留弹性谈判空间和多层次流程回路，消除分歧点；另一方面委托第三方编制流域综合生态补偿规划，并纳入流域上下游相关各方的五年规划和年度计划，实现与相关规划的有效衔接，保障流域生态综合补偿的资金投入和项目支持。

生态补偿资金投向是生态补偿成效的关键所在。课题以张家口市为例，通过构建流域生态补偿资金分配模型，测算了各区县不同行业的节水潜力和减排潜力，结合

地区综合补偿系数(综合水源涵养、社会经济、生态支撑等因素)，明确了生态补偿资金的区域和行业分配比例。宣化区、涿鹿县和怀来县的农田灌溉节水以及涿鹿县的污水处理厂提质增效是生态补偿资金的最优先使用方向。

基于永定河流域跨界水质水量生态补偿模型和基于共赢的流域生态补偿长效机制的研究成果，课题形成2020年全国政协提案《关于完善永定河流域生态补偿机制的建议》1份和科技专报《建立和完善流域生态综合补偿机制的建议》1份，将有助于加快永定河流域生态补偿机制的加快形成和落地实施。

关注6

研发流域水质目标管理决策云平台，提升流域水环境智慧决策管理水平

为增强科研成果对流域水环境智慧决策管理的技术支撑，助力永定河恢复成为“流动的河、绿色的河、清洁的河、安全的河”，课题自主研发了“流域水质目标管理决策云平台”(以下简称“平台”)。

平台功能主要包括水生态环境问题识别、水生态保护目标、污染源清单、排污许可管理与承载力监测预警、模型信息查询和系统管理等模块。平台采用信息化标准管理方法，集数据采集、存储、管理、查询、分析、自然地理展示为一

体，综合气象、水文、水质、污染源等多元数据，实现空间数据和专题数据采集、入库和成图，形成统一的空间数据和专题数据云图，构建流域水质目标管理“一张图”。通过集成水动力模型、水质演化模型、水资源-水环境承载力监测预警与产业结构优化调控模型，可实现实时监测预警预报，为水资源调度与产业结构优化决策提供建议。

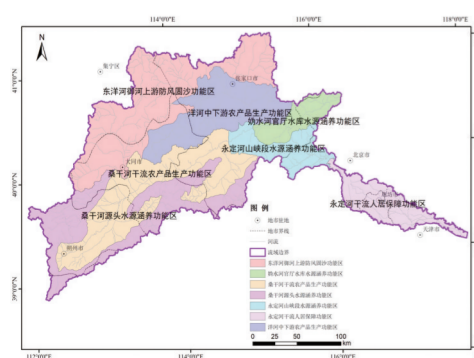
平台将建成基于大数据、信息共享和人工智能的监管和决策辅助体系，提供可视化的流域水资源

调度、水环境质量监测、污染源清单展示、排污许可管理、承载力监测预警等决策支持服务，实现流域水质目标管理自动化、数字化、协同化、智能化、科学化并全面提升水质目标管理效率与效益。

“水清清、月圆圆，万古卢沟佑安澜”，希望通过科技创新助力工程治理修复与管理决策，尽



快治愈这条“生病”的母亲河，让流淌了百万年的永定河文明继续传承不息。
刘晓星



永定河流域二级生态区主导生态功能