水专项突破湖泊内源污染治理成套技术 为白洋淀内源污染治理试点提供技术支撑

项目及课题概况

白洋淀与大清河流域（雄安新区）水生态环境整治与水安全保障关键技术研究与示范项目（2018ZX07110）是水体污染控制与治理科技重大专项“十三五”在白洋淀和大清河流域部署的重点项目。项目基于白洋淀生态功能定位，支撑雄安新区生态空间构建，围绕白洋淀生态环境治理12项重点工作，部署系列研究任务和示范工程。为了有效提升白洋淀整体水环境水生态质量，项目设置了“白洋淀生态清淤关键技术研究与资源化工程示范”课题（编号2018ZX07110004）（以下简称课题）。

在项目牵头单位中国雄安集团有限公司和项目技术负责人、河北大学王洪杰教授的支持下，课题突破了白洋淀精准生态清淤关键技术、科学清除围堤围埝关键技术、芦苇平衡收割及管护长效机制构建技术和底泥处理处置及资源化利用关键技术4项技术，形成内源污染削减与水动力提升成套技术体系，并在淀区进行了技术验证与工程示范，建设了3项示范工程，为淀区水质达到地表水III–IV标准和雄安新区“无废城市”的建设提供了技术支撑。

研究目标

针对白洋淀底泥污染问题，以支撑精准生态清淤为目标，开展白洋淀底泥调查，勘测水下地形，确定底泥淤积特征、污染现状与污染物迁移转化规律，摸清白洋淀底泥的“源”“汇”特征，评估底泥污染生态风险，构建底泥污染高生态风险分布BIM数据库。针对淀区围埝垦田、围堤养鱼与生境破碎等问题，开展围堤围埝分布、长度、材质与类型等现状的调查，建立围堤围埝空间数据库，绘制围堤围埝分布图，形成科学清除围堤围埝实施方案，并分析围堤围埝清除过程对淀区水质的影响和评估清除围堤围埝对水质净化的贡献率。

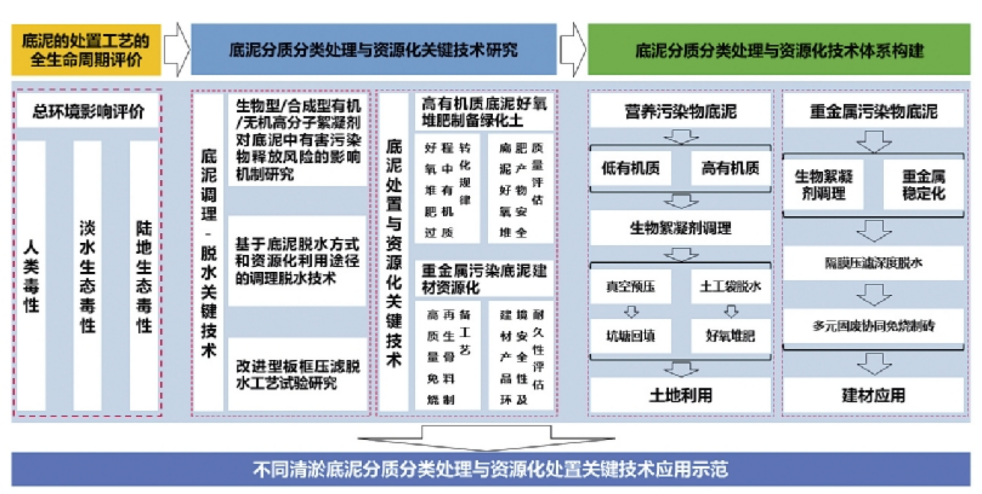
针对白洋淀水体底泥内源污染释放问题，开展基于底泥污染物清除与内源污染控制、水系连通水动力循环优化的精准生态清淤成套技术设计，构建精准生态清淤质量控制与效果评价体系。

通过研究水质与芦苇等水生植物的相互作用规律，建立基于水质的芦苇等水生植物的种植和定量平衡收割模式，开发具有高科技含量和附加值的芦苇等水生植物系列产品生产新技术，形成完善的芦苇等水生植物种、收、用集成技术，并建设可持续资源化处理利用设施及工程示范，构建芦苇等水生植物资源可持续利用的专业化、合作化的模式和政策保障体系。

研究形成适用于白洋淀的内源污染削减与水动力提升成套技术，通过污染清除与底栖生态修复，为淀区水质主要指标COD、NH_3-N和总磷基本达到地表水III–IV标准提供技术支撑。

技术开发

针对白洋淀内源释放污染水质的问题，在开展白洋淀底泥及污染物、芦苇及围堤围埝空间分布调查的基础上，研究污染底泥、芦苇与围堤围埝对淀区水质、水动力的影响，突破白洋淀精准生态清淤、原位生态修复、淀区水动力提升、水生植物平衡收割及高值利用，形成白洋淀内源污染削减与水动力提升成套技术。通过该技术体系的形成和应用，实现淀区内源污染削减、水动力和水环境容量提升，保障白洋淀水生态功能稳定和水质达标，实现目标水域生态系统的弹性恢复。



底泥处理处置及资源化利用关键技术流程图

（1）白洋淀精准生态清淤关键技术

基本原理：针对白洋淀水体淀／塘镶嵌分布以及堤埝围隔的特点，建立白洋淀沉积物氮、磷污染分类标准。根据沉积物TP含量垂向分布与上覆水体富营养状态空间耦合相关关系，提出基于水体单元（类型）清淤范围与深度同时确定方法。构建包括水体连通性、水质（富营养状况）和沉积物（底泥）沉积结构与污染特征清淤区划指标体系，并进行清淤分区。针对白洋淀生境破碎和空间异质化的特点，根据清淤分区，提出分区清淤的实施工艺与工程措施，并建立相应清淤过程的二次污染控制技术体系。通过人工强化启动，利用生态系统的自我恢复能力，协助受损的生态系统逐步恢复到较健康状态。

工艺流程：该技术整体流程为清淤精准分区—精准清淤施工—清淤后底栖生态修复。其中，白洋淀清淤分区工艺流程为：水体富营养与沉积物污染时空差异诊断—建立沉积物营养盐深度分布与水体富营养状况空间耦合相关模型—清淤区划指标体系构建与分区。白洋淀精准清淤施工工艺流程为：基于清淤区生态与区域特性的清淤施工工艺选择—基于下垫面条件与污染分层情况清淤深度精准控制—多维度二次污染强化控制。白洋淀底栖生态修复工艺流程为：底栖生物历史现状演变特征—关键生境影响因子识别与改善—大型沉水植物修复—底栖动物恢复与优化。

（2）底泥处理处置及资源化利用关键技术

基本原理：基于生命周期评价系统，评估了白洋淀疏浚底泥处理处置及资源化利用方式的生态环境影响，开发了底泥分质分类处理处置及资源化利用技术体系；在综合研究底泥絮凝调理对脱水性能、余水水质、风险污染物释放规律的基础上，构建了基于层次分析优化法的底泥絮凝调理方法，实现了底泥高效调理脱水与污染物释放阻控的耦合；针对重金属污染底泥，基于水固界面调控机理（水合、固结、沉淀、络合等），研发了底泥调理—板框压滤脱水—固化制备免烧砖技术工艺，同步实现底泥重金属固化与建材化利用；针对低重金属高营养污染底泥，通过高效预脱水、调节营养比例、生物菌剂强化和好氧发酵等过程将其制备成园林绿化土，解决了生物堆肥效率低、有机质稳定化不彻底等问题。

工艺流程：基于生命周期评价，系统评估白洋淀疏浚底泥处理处置路线的环境影响与综合成本，提出了底泥分类处理处置及资源化利用的工艺技术体系，突破了底泥絮凝—调理脱水技术、底泥制备免烧建材技术和底泥好氧发酵制备园林绿化土等关键技术，构建了底泥调理—真空预压脱水—坑塘回填、底泥调理—板框压滤脱水—固化制备免烧砖和底泥调理—土工管袋脱水—好氧堆肥制备园林绿化土等工艺路线，形成了底泥调理脱水减量同步无害化处理与资源化利用的工艺技术体系。

（3）科学清除围堤围埝关键技术

基本原理：由于白洋淀内存在大量鱼塘、藕塘、道路和台田，将淀区分割为大小各异的封闭水体，在降低淀区的防洪、蓄洪能力的同时，也直接导致淀区景观生态破碎化、水体之间连而不通、通而不畅、畅而不流的现状，造成淀区水动力严重受阻和污染多元化。这项关键技术以恢复淀区水动力、提升淀泊连通性为目标，通过地形数据勘测、高精度模型构建与参数优化、淀区水体交换过程研究，确定合理的清除位置、最佳的拆除深度和最优的拆除顺序；根据效果对比研究，总结归纳围堤围埝合理清除位置的分析方法与围堤围埝清除效果评估原则；提出基于水动力提升的围堤围埝科学清除方案。

工艺流程：该技术工艺流程为：围堤围埝空间分布勘测与污染状况调查—清除围堤围埝对水动力与水质模拟—确定合理拆除位置、最佳拆除深度、最优拆除顺序—拆除效果评估原则。具体如下：首先对白洋淀围堤围埝空间分布进行勘测与污染状况调查，了解围堤围埝的地理信息、用途、污染因素和污染程度；基于水动力模型模拟，根据流场、流速和水位差等相关信息，分析淀区围堤围埝合理清除位置；依据围堤围埝空间分布勘测进行白洋淀水动力模型构建，根据设置不同工况，选择合适的参数，对拆除位置、高度和顺序进行模拟分析；通过多种工况模拟分析效果，确定拆除原则，制定拆除方案；总结归纳围堤围埝合理清除位置的判定方法与清除效果评估原则，支撑淀区水体联通提升与水动力修复。

（4）芦苇平衡收割及管护长效机制构建技术

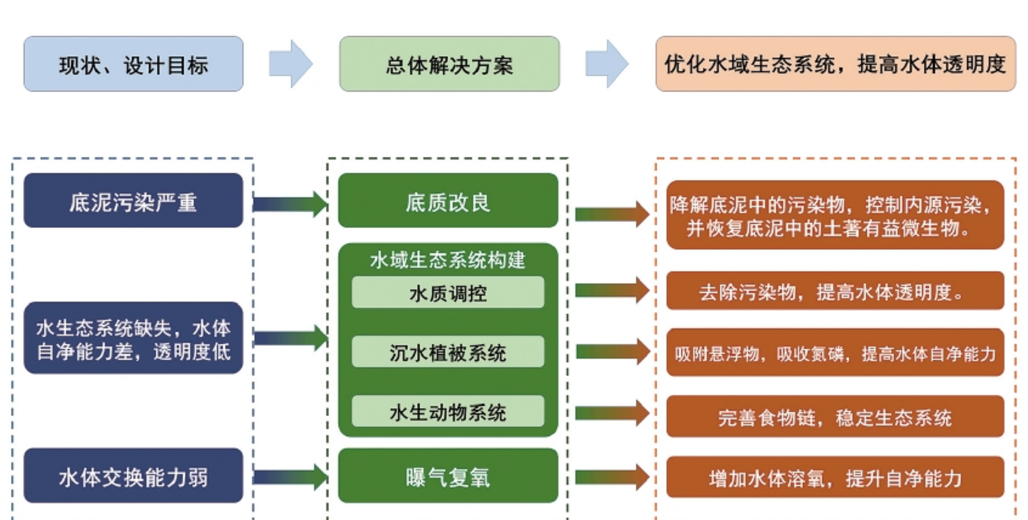
基本原理：白洋淀芦苇等水生植物曾是淀区重要的经济作物，作为可再生天然高分子材料，这些植物不仅含有纤维素、半纤维素和木质素等，可作为建筑装饰等材料，而且在生长过程中吸收水体中N、P营养元素，可有效净化水质。针对目前白洋淀地区因水生植物缺少有效管护产生的生态环境问题，充分研究芦苇等水生植物的生长规律、组成特性、管护现状以及其在白洋淀的分布、产量等，在对水生植物与水质动态关系的研究基础上，结合淀区生态物种结构的改善需求和淀区景观需求，从水生植物的全生命周期角度出发，建立适合淀区水生植物的全链条高值化全综合利用技术体系，重塑白洋淀水生植物的产业链，并基于水生植物的生态意义和经济价值，制定白洋淀水生植物的平衡收割方案，系统研究芦苇等水生植物收割对淀区生态环境的影响，最终实现淀区水生植物的生态和经济的双赢。

工艺流程：这项技术的关键在于实现白洋淀芦苇的生态平衡和产业平衡，在对白洋淀地区水生植物分布和动态变化分析的基础上，调研水生植物分布现状，并对水生植物对白洋淀水质的影响进行动态分析，分析演变规律，指导水生植物的平衡收割；根据雄安新区的建设目标，在芦苇现状调研和水生植物水质关系动态分析工作的基础上，兼顾水生植物高值化、产业化利用技术创新需求，建立并完善了基于氮磷吸收释放平衡与水质改善的芦苇平衡收割试点方案，提升淀区水质及生态环境；研发具有高科技含量及附加值的系列水生植物产品，通过高值化技术一产业应用集成，推动水生植物的收割管护，实现环境效益与经济效益的双赢。

（5）针对中低污染水域的本土微生物原位生态修复技术

基本原理：以白洋淀本土微生物作为先导，通过改良底泥环境，改善水体水质，为后续水生动植物系统的恢复提供前提，从而重建完整、健康的水生态系统，实现泥水共治，营造“水清、水美、水活”的水体。

工艺流程：包括本土微生物底质改良、本土微生物水质调控、沉水植被构建、水生动物生态系统构建和曝气复氧过程。通过投撒白洋淀本土微生物底质改良型复合菌剂，恢复底泥的有益微生物系统，可在不破坏水体底泥自然环境的条件下对底泥进行修复，减少底泥内源污染，并且改善底泥微生态，使底泥中有害微生物减少，有益微生物种类和丰度增多。通过适时适量地投加白洋淀本土微生物水质调控型复合菌剂，迅速改善水体内的微生物环境，改善水体水质、提升水体透明度，促进水生态系统的健康稳定。通过构建沉水植被系统、曝气复氧和丰富完善水体的食物链，利用生态系统的物质循环流来进一步修复水体。



本土微生物引导的原位生态修复技术路线图

技术创新

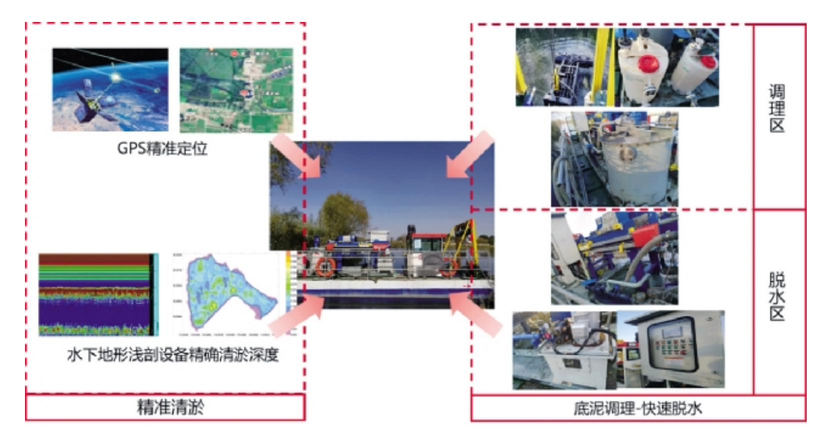
目前，对于湿地系统的内源污染治理，清淤、水生植物收割、水系联通和生态修复等水环境修复技术在国内外都有一定的应用。但是在白洋淀这种底泥淤积严重、沼泽化趋势明显、水动力阻隔严重的大型湿地进行内源污染综合整治还尚不多见。该成套技术从重污染底泥清除、中低污染水域原位生态修复、清淤后底泥处理处置及资源化、芦苇平衡收割、围堤围埝拆除水动力提升等多角度进行突破，通过确定淀区内源污染清单和污染物空间分布特征，开展分区、分质、分阶段生态清淤，控制存量污染持续削减；开展清淤后底泥余水处理处置，控制清淤工程不造成二次污染；针对中低污染水域，开展本土微生物引导的原位生态修复，构建一定污染负荷下的水生态自净化体系；开展分区考虑、因埝施策的围堤围埝科学清除，控制重要阻水点逐步清除，提升淀区水动力；开展芦苇平衡收割，控制内源性污染持续富集；开展底泥和芦苇资源化利用，控制生态治理工程可持续发展。

（1）建立多指标清淤区划指标体系

生态清淤的技术链条为水体景观单元识别—沉积物污染蓄积评价—沉积物氮磷释放对水质影响定量—清淤区划指标体系构建与分质分区。底泥污染层厚度、污染物的蓄积以及对上覆水体具有实质性污染或已对生物产生生态风险是清淤必要性的主要判据。在白洋淀污染底泥空间分布和分区分质的基础上，区别于传统的以沉积物氮磷浓度值为判断依据，该技术综合考虑上覆水体水质达标程度、底泥污染贡献（或生态风险）以及多水源受水区水力停留时间，建立了综合考虑沉积物组成结构、典型污染物蓄积及污染潜势和底栖生物状况底泥污染的涵盖10类50个指标的评价体系。综合计算了白洋淀不同水体单元清淤指数或清淤等级，形成了分区分质分阶段的科学清淤规划方案。

（2）突破高有机质清淤底泥处理处置技术

基于生命周期评价系统评估底泥处理处置及资源化的环境影响，提出了不同污染类型底泥分质、分类处理及资源化利用的工艺路线，实现了底泥高效资源化与风险控制；提出了基于层次分析优化法的底泥调理脱水方法，研发了纳米羟基铝和有机高分子调理剂联合调理技术和清淤底泥余水絮凝沉淀净化处理技术，实现了底泥高效脱水与污染物释放阻控的耦合，即在保证底泥高效脱水的同时，阻控底泥孔隙水中有机质、磷酸盐、氨氮和重金属等风险物质的释放；通过深度脱水前处理，降低发酵辅料投配率，加快底泥发酵速率，结合营养调配、生物菌剂强化、工艺调控等方式，实现了底泥中有机质的高效稳定化与污染物安全转化。



淤泥浓缩—固化—脱水集成化清淤船

（3）打造本土微生物引导的原位生态修复技术

通过筛选保藏于国家菌种保藏中心的白洋淀本土微生物资源库功能型菌株，复配底质改良和水质调控菌剂，搭配白洋淀本土沉水植被和水生动物，构建一定污染负荷下的水生态自净化体系，使水质指标长期稳定达到地表水III–IV类标准，水体微生物结构得到优化，有益菌群增加，有害菌群减少。白洋淀本土微生物制备菌剂，微生物基因可溯源，可避免外来物种生态风险。该技术针对性强，适用性广，可用于白洋淀养殖围堰、水深不超过3米的淀区开阔水域以及存在一定耐污沉水植被水域。

（4）构建多参数淀区阻水点判定与效果评估方法

通过实地勘测的白洋淀空间分布结构图与淀区地形数据库，构建了淀区高度精细化与全地形地貌结合的多工况水动力数学模型，提出了“农田、稻田整体高埝地势区域合理概化，围堤围埝与重要水流通道局部加密”的模型概化处理原则，优化了白洋淀不同区域糙率设置取值。考虑了不同补水路径工况条件下，围堤围埝拆除对水动力提升的效果。通过模拟结果研究分析，提出了基于流场、流速、水位差、滞（活）水区面积变化和水体交换能力等参数条件下，淀区阻水点判定原则，从而确定清除位置、高度与顺序；总结了基于流线分布变化、滞（活）水区面积变化、拆除区流速变化、流场分布变化、水体交换能力变化等参数条件下打通阻水点的效果评估原则。对于白洋淀乃至该领域未来治理提供研究经验，弥补白洋淀复杂空间格局下水动力修复与淀泊联通性提升相关工作的研究空白。

（5）提出芦苇平衡收割及管护长效机制

针对因芦苇收割减少而产生的芦苇退化、氮磷循环失衡等问题，在淀区芦苇和水质间关系的动态分析工作基础上，结合淀区景观需求和现有芦苇资源化利用方式，依据白洋淀芦苇的特点设计了“统一处理、分级利用”的全链条技术路线，制定了芦苇收割—储运技术规范，开发了“初级产品＋高值产品”的芦苇资源化利用技术体系。改进了芦苇粉碎装置，提高了芦苇粉生产效率，对芦苇初级产品（芦苇基生物质复配颗粒等）进行了技术提升，开发了具有阻燃功能的温控电热苇编品以及芦苇基木塑制品等高值产品，并开展了工程示范和产业化推广，取得良好经济效益。

（6）集成淤泥浓缩—固化—脱水一体化清淤装备

“淤泥浓缩—固化—脱水集成化清淤船”装备将GPS定位、水下地形探测功能集于一身，可对清淤点精准定位，精确控制底泥清淤深度和清淤范围，积极应对复杂多变的水下地形条件；实现了在清淤船上做到清淤—淤泥调理—浓缩—固化—脱水等技术链条的一体化集成，改变了将淤泥通过管道输送系统输送到岸上堆场后再进一步浓缩、脱水的传统做法，在提高淤泥脱水率的同时节约占地、降低脱水底泥的处理处置成本。该装备可满足河道、开阔水面、鱼塘等不同环境的疏浚需求，使用情况良好，有较好应用前景。

（7）研究底泥与水生植物资源化利用

针对清淤底泥的资源化处置，通过调节原料配比，以压制成型为主要工艺，研发免烧砖制备工艺。产品强度达到C7.5–C15级别，成本控制在30元/m^2以下。利用清淤底泥代替黏土生产建筑材料，不仅变废为宝，解决其污染问题，而且在很大程度上缓解了建材工业与农业争土的矛盾，具有保护自然资源、实现可持续发展的作用，有望成为我国未来清淤底泥资源化利用的重要发展方向。

为了进一步提升芦苇的经济价值，通过简单的层层组装方法及工艺条件，制备了具有优异阻燃性能的芦苇编织品。将芦苇编织品与温控插件以及PU材质产品进行包封，制备出一面为芦苇编织品，一面为PU材料，且具有阻燃功能的温控电热苇编品。其所用原料安全环保，工艺简单，反应条件温和，具有相对较高的极限氧指数，耐水性能好，应用前景广阔。

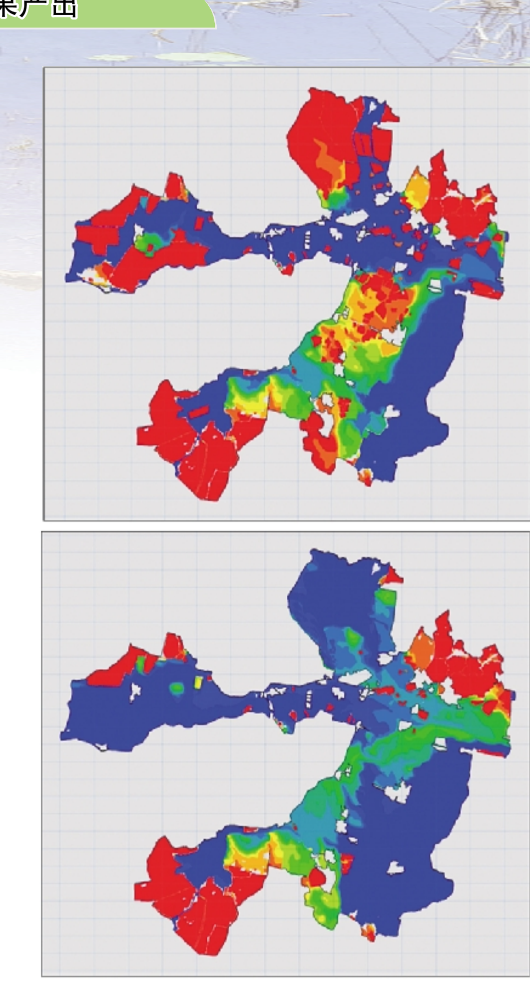
基于设计蒲绒功能化技术，赋予蒲绒阻燃及保健等功能；结合天然发泡乳胶的高弹性，设计在乳胶中加入蒲绒制备枕芯，从而进一步强化枕芯的功能作用，增强蒲绒功能枕芯的应用价值。制作出了兼具乳胶的高回弹性和抗菌性，以及蒲绒的安神、保健功能的多功能保健枕芯。

针对白洋淀景区室外栈道的需求，开发了芦苇木塑制品。作为一种新型环保型复合材料产品，该制品兼具了木材与塑料的特性，具有优异的防水、防潮性能，能够很好地解决传统木质产品在潮湿和多水环境中吸水受潮后腐烂、膨胀变形等问题。芦苇木塑材料可塑性强，具有优异的力学性能，环保性能优异，安装简单、施工便捷，在具备环境效益的同时带来了显著的经济效益。

成果产出

以底泥污染物清除与内源污染控制、水系联通水动力循环优化为目的，在全面系统跨尺度开展精细化内源污染分布、赋存形态、迁移转化研究的基础之上，突破集成了内源污染负荷削减与水动力提升成套技术体系，实现了白洋淀水质的持续好转。

一是明确了淀区内源污染重点区域和污染类型，形成了生态清淤规划与实施系列关键技术，支撑淀区科学清淤。面向白洋淀生态修复的需求，围绕“一重点、三协同和五控制”的框架，以“内源污染负荷的存量核算与水质演化关系”的科学判断为重点，重存量、重演化、重分质，通过确定淀区143个淀泊的内源污染清单和污染物空间分布特征，明确了白洋淀内源污染重点区域和污染类型；构建了包括水体连通性、水质和底泥沉积结构与污染特征三个层次10项指标的白洋淀清淤区划指标体系，计算了基于水体功能单元的清淤指数，支撑了优先清淤范围规划；以“精准清淤—同步减容—生态转运”为一体化目标，针对白洋淀清淤底泥理化特性，优选出了适用可行的快速脱水药剂和高有机质清淤底泥脱水—好氧发酵—园林利用技术；针对清淤后底栖修复构建了白洋淀淀区底栖生态修复方案；研发清淤后底泥余水高效处理处置技术，控制清淤工程不造成二次污染；基于白洋淀生态清淤关键技术，开展分区分质分阶段生态清淤，控制存量污染持续削减；开展分区考虑、因埝施策的阻水点清除，提升淀区水环境容量；开展芦苇平衡收割，控制内源性污染持续富集；开展清淤底泥和芦苇资源化利用，控制生态治理工程可持续发展，编制完成《白洋淀精准生态清淤设计技术方案》。通过该技术体系的形成和应用，实现白洋淀水质的提升，为淀区水质主要指标COD、NH_3-N和总磷基本达到地表水III–IV标准提供技术支撑。成套技术在白洋淀南刘庄地区和采蒲台地区（共1.71 km^2）开展了工程示范，共清除污染污泥约25万m^3，削减有机质1.0万T、氨氮18.3T、总氮725T、总磷291T，示范区水体中COD、氨氮、总磷等指标稳定在III–IV类之间。


白洋淀淀区阻水点拆除前后水体交换能力对比图

二是形成了淀区地形数据库，构建了淀区高度精细化与全地形地貌结合的多工况水动力数学模型。针对淀区内存在大量无序的围堤围埝，造成淀区水面破碎化严重、水体联通性差、水动力弱化，使水环境恶化、水生态退化等问题，研究模拟了围堤围埝清除前后效果，总结了基于淀区水动力优化提升的围堤围埝科学清除关键技术，支撑了实现淀通、河畅、沟连、水清的目的。对白洋淀空间分布结构的地理信息、结构尺寸、用途类型与水下地形进行调查，绘制了白洋淀空间分布结构图，形成了由近60万个高程点组成的淀区地形数据库，绘图精度1:2000，填补了白洋淀该成果方面的空白。构建了淀区高度精细化与全地形地貌结合的多工况水动力数学模型，模型具有防洪生态双重模拟、多源补水多种工况、网格剖分详细精准、模型概化因地制宜、流向流场表达清晰等特点。经反复试验，提出了“农田、稻田整体高埝地势区域合理概化，围堤围埝与重要水流通道局部加密”的模型概化处理原则。

构建了淀区阻水点判定与阻水点打通效果的评估原则，支撑白洋淀水体联通。根据模拟结果分析，总结了基于多参数条件下淀区阻水点的判定原则，从而确定清除位置、高度与顺序；归纳了以水体联通格局优化为目标、多参数评估打通阻水点效果原则。根据研究成果，编制了《白洋淀典型示范区围堤围埝科学清除实施方案》，提出了阻水区围堤围埝科学清除实施原则，即围堤围埝拆除深度根据“科学模拟，兼顾生态，因地制宜，分区考虑”原则进行；围堤围埝拆除顺序按照“先内后外，先顺后垂，由远及近，因埝施策”组织实施；围堤围埝拆除工艺遵循“清表彻底，轻挖慢放，防护到位，跟踪监测”开展施工，同时采取工程措施减少二次污染，确保工程实施效果。

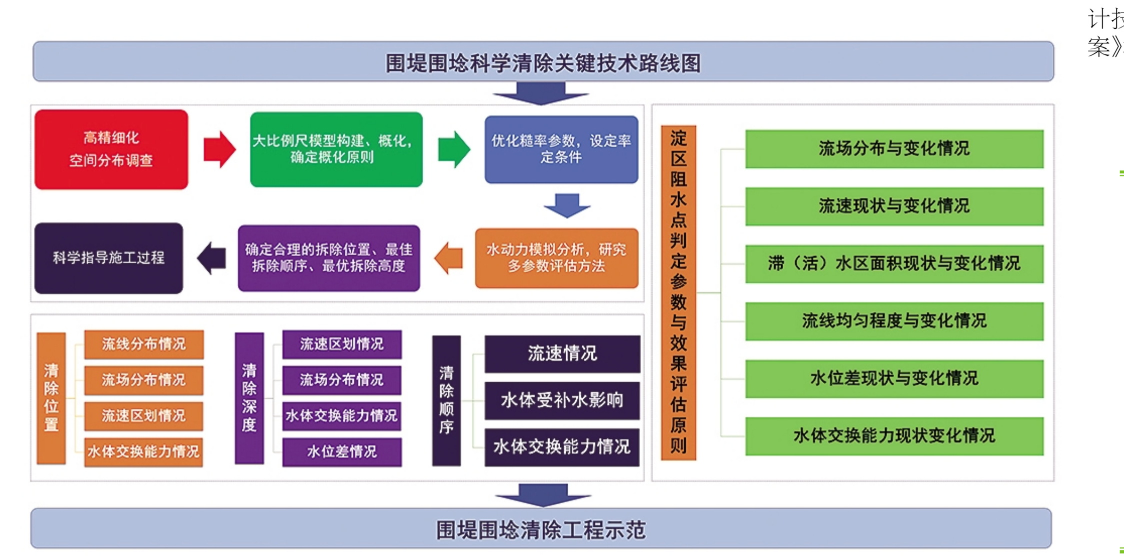
依托该研究成果，受河北雄安新区管理委员会公共服务局委托，牵头编制了《白洋淀内部水流通道疏浚（百淀联通）试点工程预可行性研究报告》《藻苲淀水系疏通工程》和《淀区枣林庄开卡除埝》项目建议书。同时牵头申报立项和编制了河北省地方标准——《淀泊污染塘围堤围埝清除技术规程》，准确模拟了围堤围埝清除后淀泊联通修复与水动力提升效果，为雄安新区—白洋淀百淀联通、水系疏通、开卡除埝和围堤围埝科学清除等相关工作提供了强有力的技术支撑。

三是建立了完善芦苇平衡收割方案，开发了系列高科技含量及附加值的芦苇产品生产技术。针对因芦苇收割减少而产生的芦苇退化、氮磷循环失衡等问题，充分调研芦苇生长收割利用现状，在淀区芦苇和水质间关系的动态分析工作基础上，结合淀区景观需求和现有芦苇资源化利用方式，制定了白洋淀芦苇平衡收割实施方案，依托安新县芦苇试验性平衡收割项目（2019年）和雄县芦苇平衡收割项目（2020年），支撑淀区芦苇收割4.2万亩；收割区域水体透明度提升，总氮和COD等污染物的浓度均低于未收割区（下降约20%），芦苇收割对淀区水体水质的改善起到了重要促进作用。

创新了基于芦苇产业链的“收割—存储—初级产品—高值产品”的系列芦苇高值化利用关键技术。依据白洋淀芦苇的特点，设计了“统一处理、分级利用”的全链条技术路线，制定了芦苇收割—储运技术规范，改进了芦苇粉碎装置，提高了芦苇粉生产效率，对芦苇初级产品进行了改进，开发了具有阻燃功能的温控电热苇编品，芦苇基木塑制品、芦苇基可降解薄膜等高值产品，开展了工程示范进行产业化推广，取得良好经济效益。芦苇基木塑制品等相关产品已经在白洋淀廊道修复和圈头湿地公园建设中应用。

与地方政府合作建立了芦苇长效管护机制，通过提升芦苇的经济价值，带动芦苇管护及收割积极性，改善淀区水质，形成良性生态循环，实现生态和经济的双赢，推动雄安新区“无废城市”的建设。

生态清淤和围堤围埝清除示范工程实施前后效果对比图



科学清除围堤围埝关键技术流程图

工程应用

（1）白洋淀生态清淤示范工程和围堤围埝清除示范工程

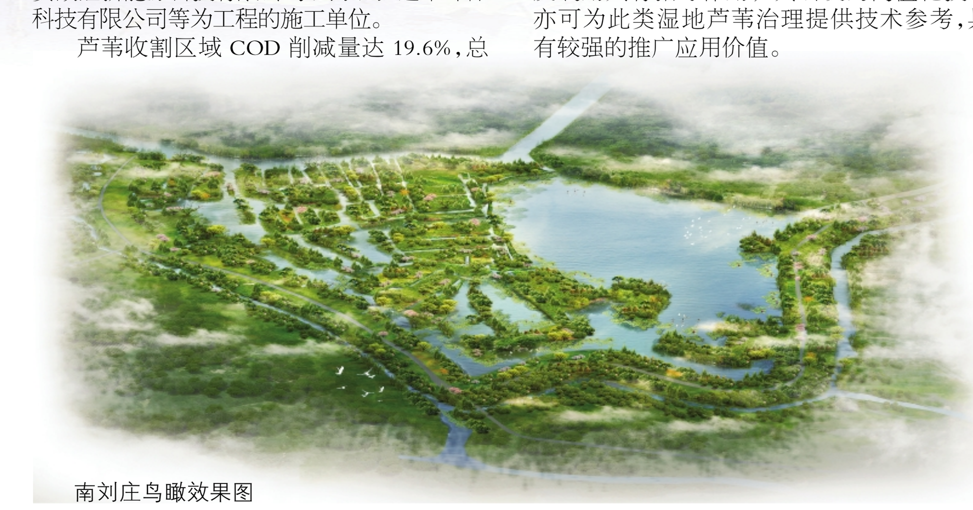
白洋淀生态清淤示范工程和围堤围埝清除示范工程依托项目为“白洋淀内源污染治理试点项目”，建设单位为中国雄安集团生态建设投资有限公司，工程总承包单位为中交天津航道局有限公司、中交水运规划设计院有限公司联合体。

工程在南刘庄（1.12 km^2）和采蒲台（0.59 km^2）共清除污染污泥约25万m^3，削减有机质1.0万吨、氨氮18.3吨、总氮725吨、总磷291吨。围堤围埝清除示范工程共计拆除土方23.06万m^3。拆除后，堤埝土方全部用于坑塘修复等景观生态工程。工程还相应增加淀区行洪量，南刘庄试点区可增加白洋淀蓄水容积14万m^3，采蒲台试点区可增加白洋淀蓄水容积11.11万m^3，一定程度上增强淀区防洪能力。工程实施后，下游断面监测点位的主要水质指标均稳定在III–IV类之间。工程示范提出了精准诊断、分类施策的治理技术模式，评估了不同工程模式的适用性和环境影响，为淀区大范围的内源污染治理提供了技术支撑。

（2）芦苇资源化利用示范工程

芦苇资源化利用示范工程依托项目主要依托安新县“芦苇、水草平衡收割及综合利用项目”和雄县“芦苇试验性平衡收割项目”，建立白洋淀水生植物可持续资源化利用工程示范区，主要包括水生植物存储区，芦苇初级产品（如燃料块、芦苇粉等）、芦苇等水生植物高附加值系列产品（如多功能阻燃纤维板、恒温可控电热苇编织品等）的生产示范区。示范工程承担单位为河北大学，中冶节能环保责任有限公司、河北雄安碳汇新能源科技有限公司、河北弘之木环保科技有限公司等为工程的施工单位。

芦苇收割区域COD削减量达19.6%，总氮削减量达24.3%，总磷削减量达20.7%，表明示范工程实施后效果良好，芦苇收割区域的水质得以改善。芦苇基产品生产状况良好，新增产值达1520万元，表明芦苇基产品具有良好的市场需求，产品示范工程运行稳定。该示范工程对芦苇管护技术进行了示范，收割方案得到政府采用，实现了芦苇生态管护及高值化资源利用，对白洋淀全域芦苇的收割及利用具有指导作用，其研发的高值化技术亦可为此类湿地芦苇治理提供技术参考，具有较强的推广应用价值。


南刘庄鸟瞰效果图

工程示范成效

内源污染削减与水动力提升成套技术针对白洋淀水生系统污染严重、淀区底泥淤塞的问题，研究底泥污染迁移转化规律，并对污染进行生态风险评估，进一步耦合集成精准生态清淤方案，实现污染负荷的削减和淀区水动力的提高，为白洋淀淀区生态空间扩容提供了技术支持。研究成果支撑了白洋淀生态清淤示范工程、围堤围埝清除示范工程和芦苇资源化利用示范工程的方案制定和顺利开展。工程示范水质主要指标达到地表水III–IV标准，有效改善了示范区水质。成套技术中各关键技术有机组合，实现工程区内源污染的负荷削减、底栖生态环境修复和水动力提升，从而改善淀区水质，保障白洋淀地区水环境安全和水生态健康。

成套技术的推广有利于政府推行白洋淀生态安全保障机制，有效降低淀区污染事件的发生概率；通过科学清除围堤围埝和清淤资源化工程，可有效提高淀区湖泊水质及流域生态环境质量，从而提高周边人民群众生活质量，推动雄安新区建设，对保证雄安新区社会经济活动正常有序开展、社会稳定，具有十分重要的社会效益。

成果推广

精准生态清淤技术应用推广，坚持“科学、安全、有效、审慎”的原则，在试点工程的基础上，按照断面水质达标优先，淀区水质、水动力、水生态协同治理的原则，加强白洋淀内源污染治理。基于白洋淀科学清淤决策支持系统，大数据智慧领航，确定重点清淤范围。建立弹性修复机制，制订分区修复计划，针对污染严重区域采用工程治理措施，其他区域采用生态治理措施，确保治理精准科学，制定白洋淀内源污染全面治理方案。严格按照达到国家地表水环境质量III类水质的目标要求，明确清淤范围和技术路线，细化工程措施，科学实施生态清淤工程。成果凝练形成了“白洋淀科学清淤决策支持系统”。研究成果除了支撑了本项目示范工程外，还支撑了浙江义乌《双江湖水质保障与淤泥疏浚综合工程实施可行性方案》的编制工作，并应用于河南驻马店市平舆县河道底泥清淤与污泥处理处置工程和坪山河老河道清淤底泥资源化利用项目。

围堤围埝科学清除技术应用推广，以恢复淀区水动力、提升淀泊联通性为目标，从整个淀区的全局分析了围堤围埝对淀区的作用和影响，针对性地提出处理措施，并应用于示范工程，为全淀区分类、分布开展围堤围埝处理提供了扎实的理论和实践依据，也为整个淀区的水安全、水生态提供了充分的技术保障。围堤围埝科学清除关键技术除支撑了本课题示范工程之外，同时还支撑了《白洋淀生态清淤扩大试点工程》《雄安新区引黄补淀通道水系疏通工程》《白洋淀生态清淤三期》《白洋淀蒸发及渗漏量分析报告》《淀区枣林庄闸前开卡除埝项目》《藻苲淀水系疏通工程》和《河北雄安新区白洋淀淀区农用地调查报告》等相关工作。根据白洋淀围堤围埝空间分布及水下地形图，合理确定除埝和水系连通路线，优化水动力循环，提升水质。牵头编制了《白洋淀内部水流通道疏浚（百淀联通）试点工程预可行性研究报告》，持续为白洋淀水动力提升与淀泊联通性修复提供技术支撑。

淀区芦苇可持续资源化利用技术应用推广，厘清了白洋淀芦苇生物量、芦苇分布、芦苇种植与水质改善的关系，突破了“收割—初级产品—高价值产品”的芦苇高值化利用关键技术，为实现科学合理布局芦苇平衡收割利用产业链、实现生态效益和经济效益双赢提供了科技支撑。开发了系列环境友好型创新产品，其中，“低烟芦苇基生物质复配颗粒”每吨芦苇可生产0.8吨颗粒，成本不超过800元，与天然气相比单位热值价格更低，芦苇与千年秀林的林业废弃物可复配作为雄安新区民用和工业锅炉的环保型新能源；“芦苇基可降解树木支撑架”芦苇含量达40%，成本约为7000元每吨，与目前市场中应用的PP产品价格持平，可应用于雄安新区百万亩森林种植；“芦苇基阻燃木塑板材”具有耐水、防腐、阻燃的性质，寿命达20年以上，可完全替代防腐木，可广泛应用于新区绿化、栈道、廊架、卫生用品等景观及生活设施建设，实现芦苇规模化增值利用。

支撑“十三五”科技专项标志性成果

课题针对白洋淀水质目标要求高、生态系统完整性和水系联通性差等问题，在污染源解析和生态风险评估的基础上，耦合集成了白洋淀内源污染削减与水动力提升成套技术。研发精准生态清淤技术，结合淀区下垫面及底泥污染现状，通过工程示范的实施和科学试验，优化清淤施工方法，有效控制清淤风险，评估清淤效果，制定了一套适合白洋淀生态治理的技术标准体系和实施规程，提供了分区、分质、分阶段的清淤、底泥处理处置与水生态修复策略，为全面开展白洋淀内源污染治理夯实了基础；构建了淀区全地形地貌多工况水动力水质模型，形成多情境科学清除围堤围埝的工作策略，成果应用于白洋淀内源治理试点项目，支撑淀区水质改善和水动力恢复；建立了完善芦苇平衡收割方案，开发了系列高科技含量及附加值的芦苇产品生产技术，与地方政府合作建立了芦苇长效管护机制，通过提升芦苇的经济价值，实现生态和经济的双赢，推动雄安新区“无废城市”的建设。

课题成果形成的《白洋淀精准生态清淤设计技术方案》《典型围堤围埝科学清除实施方案》和《芦苇平衡收割实施方案》有助于辅助政府推行白洋淀生态安全保障机制，有效降低淀区污染事件的发生概率；通过科学清除围堤围埝、清淤及水生植物资源化利用工程建设，可有效提高淀区水动力提升、淀泊联通性修复、湖泊水质及流域生态环境质量，从而提高周边人民群众生活质量，推动雄安新区建设，对保证雄安新区社会经济活动正常有序开展、社会稳定，具有十分重要的环境意义和社会效益。成果强有力地支撑了《京津冀区域水污染控制与治理成套技术综合调控示范》标志性成果报告中“白洋淀—大清河生态廊道贯通综合示范”章节下“集成白洋淀水质保障与生态修复技术，修复一片淀泊”一节的编制。

（本文由陈彬、高长安、张美一、李源整理）

◎本项目技术来源

水专项白洋淀项目和白洋淀生态清淤关键技术研究与资源化工程示范课题技术完成单位：河北大学、中国科学院生态环境研究中心、北京师范大学、中国地质大学（武汉）、河北省水利科学研究院、中交（天津）生态环保设计研究院有限公司、中国雄安集团生态建设投资有限公司和中国成套设备进出口集团有限公司。

◎致谢

感谢国家水专项管理办公室、河北省生态环境厅、雄安新区党工委、管委会，三县政府、新区生态环境局、公共服务局、农业农村局、改革发展局、雄安集团及其生态建设公司等单位在白洋淀项目及课题实施中的大力支持。