为京津冀及雄安新区地下水污染防治提供技术支撑

课题背景

由中国环境科学研究院承担的水专项白洋淀项目唐河污水库及雄安新区地下水污染防控技术研究及工程示范课题(课题编号 2018ZX07110005)在项目主持单位中国雄安集团有限公司和项目执行负责人王洪杰教授的大力支持下,立足于白洋淀入淀西侧唐河污水库集成了基于"高治-中控-低防"策略的纳污坑塘分类分级治理与修复技术,识别唐河污水库外源和内源污染因素,开展精准的问题诊断研究,解析唐河污水库污染源-底泥-地下水的交互作用和交互机理;针对唐河污水库典型污染特征和生态类型,通过研发适宜的污水库有机物与重金属复合污染底泥治理、地下水污染阻控等关键技术,分区、分类、分级实施唐河污水库地下水污染防控工程和生态修复全过程治理工程,提出雄安新区地下水污染防控与生态修复全过程管理方案,从而为白洋淀流域近中远期水环境精细化治理与修复提供技术基础,并为雄安新区生态环境保护提供技术支撑。

课题邀请项目技术负责人和技术专家对课题阶段性成果进行指导。

为唐河污水库精准诊断与靶向治理提供关键技术支撑

国家《水污染防治行动计划》和《土壤污染防治行动计划》均针对我国在地下水环境保护与污染防治技术体系等方面进行了详细规划。京津冀及雄安新区分布的纳污坑塘造成区域地下水污染,严重威胁到周边居民的身体健康,引起了生态环境部高度关注,多次进行现场调研。雄安新区的开发建设以保护和修复白洋淀生态功能为前提,但是白洋淀长期处于水量少、水质差的状态,而且淀区内纳污坑塘较多,已严重危害到白洋淀的水质安全和生态系统的健康,从而影响到雄安新区的建设及可持续发展。因此,亟待开展雄安新区纳污坑塘的治理修复及地下水污染防控技术研究。

目前,由于对雄安新区及唐河污水库库区周边地下水污染现状不清,库区周边地表水-地下水交互作用不明,同时由于缺少适用于高浓度重金属、有机物污染底泥的处理处置、地下水污染防控和生态修复集成,因而课题组结合"十一五"水专项先后开展的"白洋淀草型富营养化和沼泽化逐级治理技术与工程示范""白洋淀流域污染负荷削减技术与工程示范""白洋淀流域生态需水保障及水生态系统综合调控技术与集成示范"研究研发的关键技术与标志性成果以及国内外技术集成研究成果,以雄安新区典型纳污坑塘区域地下水污染特征和防控要求为导向,结合《水污染防治行动计划》、京津冀协同发展等国家重大战略和计划,拟突破京津冀及雄安新区典型纳污坑塘区域地下水污染防控的共性关键技术,构建了针对京津冀及雄安新区典型纳污坑塘的地下水污染防控技术方案,为白洋淀的水质改善和生态恢复提供保障,为京津冀及雄安新区地下水污染防治提供技术支撑。

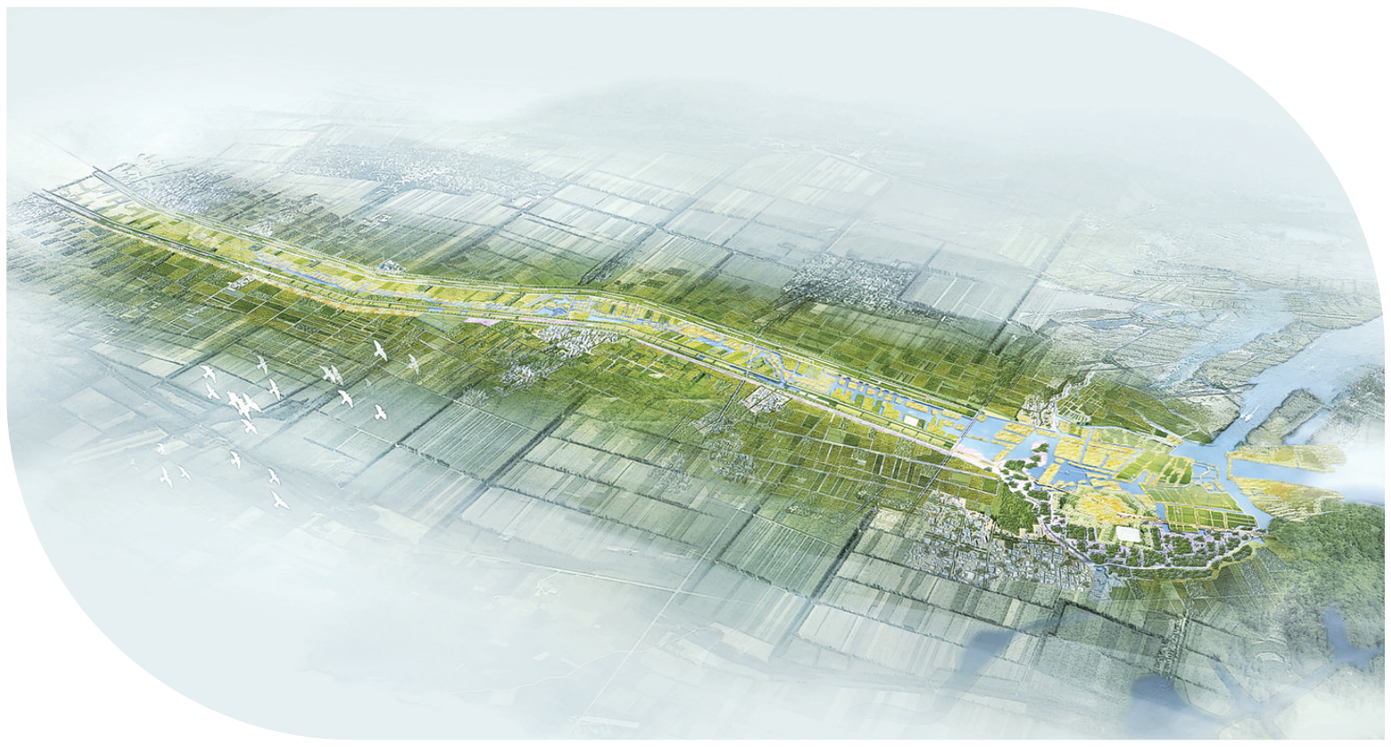
课题通过对雄安新区纳污坑塘"余水-底泥-土壤-地下水"不同介质中"多要素"指标的同步系统监测,识别主要的污染类型和污染特征;基于污染物与微生物群落响应关系的分子诊断以及同位素溯源技术,形成雄安新区纳污坑塘污染问题污染精准诊断方法体系;在此基础上,通过地表水-地下水交互作用模拟技术,研究典型污染物在污染源-底泥-地下水中的迁移转化规律,提出地表水-地下水交互作用下水文地球化学关键过程和污染物环境行为与环境效应,构建基于污染源-底泥-地下水交互作用的地下水污染风险评估与污染防控技术体系。上述研究工作的开展为唐河污水库精准诊断与靶向治理提供关键技术支撑。

现场调查本土植物优势物种

重污染底泥治理现场工程实验

地下水原位修复实验

地下水勘察井土柱资料编录



唐河污水库鸟瞰

构建纳污坑塘评估与治理分类分级技术体系

面向区域纳污坑塘整治重大需求,课题研发了地下水典型污染物防控关键技术,建立"高治-中控-低防"的纳污坑塘分类分级技术体系,为地下水区域风险管控提供技术支撑。

课题组在项目主持单位中国雄安集团有限公司和项目执行负责人、技术负责人王洪杰教授的大力支持下,以唐河污水库为切入点,对雄安新区纳污坑塘进行了全面的调研和评估,成套技术已应用于唐河污水库及其周边地下水污染问题的精细诊断。以唐河污水库为例,构建了污水库周边土壤-地下水系统"多介质-多要素"监测-检测体系,对土壤-地下水中非生物(营养盐、无机元素和有机污染物等)与生物(细菌、古菌等微生物)多要素开展了系统的分析测试,获得了五大类371种指标,合计5万余个监测数据,弥补了现有监测信息不全、生物信息几乎为空白的不足,为唐河污水库污染问题的识别提供了基础数据支撑。基于构建的风险防控指标体系,建立了适用于唐河污水库风险防控的"分级-分时"指标体系,优化后的风险防控多要素监测指标从300余项减少至100项以内。基于新型分子诊断技术体系,揭示了唐河污水库周边地下水多要素组成特征及其相互作用方式,实现了对污染问题的精细化诊断。这一技术已经成功应用于唐河污水库污染问题诊断,为唐河污水库二期治理功能的研究提供了重要支撑。

课题组采取纳污坑塘分类分级地下水污染风险评估技术和基于多要素的污染问题精细诊断技术,对唐河污水库及周边水土现状进行了科学评估。

京津冀地区典型纳污坑塘长期储存污水,形成重污染底泥层,使得纳污坑塘地下水污染问题不同于普通工业或农业场地。相比地表水污染,地下水污染的影响范围更广、安全风险更大、治理控制更难、资金投入更多、修复时间更长,而人们对其现状的了解以及危害程度的认识却相当薄弱。因此,急需建立多要素监测体系和数值模拟平台,对雄安新区地下水水质现状进行调查和模拟,为雄安新区地下水污染的防治提供重要的基础性数据。明确不同区域的地下水污染风险概率及污染风险程度是对地下水污染风险评价的主要目的,同时也可以测度地下水污染承载范围,因此,这一平台是地下水调查与评价的有效工具,并且可以为地下水质量评估及治理措施提供决策支持。

针对纳污坑塘的特殊性,考虑底泥层的持续污染问题,本课题耦合了包气带与饱水带数值模拟技术,建立了底泥-包气带-饱和含水层数值模拟模型,研发了纳污坑塘分类分级地下水污染风险评估技术,解决了底泥对污染物的富集与释放、污染物的穿透与截留过程难以模拟的问题,实现了污染物在底泥-包气带-饱和含水层中运移的全过程模拟,为地下水污染风险评估提供基础。

针对纳污坑塘污染时间长,污染物种类多,污染范围广的特点,课题组开发了高风险区水土共治的原位修复技术。

地下水砷污染阻控和修复技术体系

在严重污染区,设置P&T井群和地面处理池,抽出的高砷水,用高效的铁改性生物炭粉末和掺锰药剂联合处理后回灌,在污染羽下游设置PRB,控制其进一步扩散;在低浓度污染区,实施含水层渡铁技术,原位处理污染的地下水。研发了聚合物包覆过硫酸铵微胶囊,利用这种多孔纳米缓释材料用于调控地下水的氧化还原环境,可显著改善由于介质非均质导致的局部化学反应不充分和砷去除效率低的问题,比传统药剂注入修复的除砷效率提高70%。

植物-微生物-土壤重金属三维阻控与长效修复技术

针对纳污坑塘轻度污染土壤中典型重金属污染物(As、Cd、Pb等)垂向溶移和纵向迁移风险问题,课题创新提出了植物-微生物-土壤重金属三维阻控技术,实现了轻度污染土壤中As、Cr、Cd等典型重金属的生物有效性降低30%以上,修复成本比传统一阻控技术降低20%以上。

以火山岩和聚醚多孔材料为基料,经α纳米铁和生物炭表面纳米化涂层,制备了高效吸附重金属的α纳米铁基三维生物炭阻控材料,其阻控Cd和Pb的效能比芦苇生物炭提升10倍以上,安全再生利用率达到100%,使重金属轻度污染土壤交换水水质整体提升1个等级,突破了生物炭长效阻控及安全再生利用关键技术瓶颈,解决了一维生物炭长效阻控易失活及生态安全风险问题。

基于无生态风险、有观赏价值、可长效提取原则,筛查了典型纳污坑塘中76种优势植物的重金属提取效能,经试验筛选出黄菖蒲和黄秋英两种长效安全提取典型重金属的景观植物;基于功能微生物相互作用机制,原创构建了植物根区重金属形态转化功能微生物协同调控模型,使功能微生物的丰度提升1个数量级,实现了生物炭三维阻控-功能微生物协同调控-植物长效提取的安全修复。

针对高污染、复合型重金属污染底泥,采用含铁物质,黏土矿物、碱性物质等按照一定比例复配制备复合稳定剂,通过响应面设计,调控pH、稳定时间、投加方式等参数,创新性实现了对阳离子(Cu、Zn、Pb、Cd)及阴离子(As)复合重金属的同步高效去除,为富砷复合重金属污染底泥提供了一种环境友好、高效可靠、价廉易得的复合稳定剂修复技术。

采用超积累东南景天为修复材料,以超高浓度重金属复合污染土壤为研究对象,东南景天对重金属的富集浓度呈现为Zn > Cd > Cu > Pb > As,东南景天对Cd、Zn具有超积累能力,显著提高了超高浓度Cu和Pb胁迫下土壤微生物群落的多样性,为超高复合重金属污染土壤提供了一套廉价、生态、高效的植物-微生物联合修复技术,对实际修复工程的应用具有现实指导意义。

底泥原位减量与安全处理技术

针对唐河污水库底泥以粉质粘土为主,渗透系数低,常规板框压滤脱水难,且受到有机物与重金属复合污染,本课题创新开发了底泥的原位电动力学脱水和重金属修复技术。重金属与带正电的水分子在电场的作用下向阴极移动。流入导水管的电极,通过泵吸,将导水管内的水抽出,实现了污泥脱水与重金属的协同去除,底泥的脱水效率提升1倍,创新研发的塑料电极,代替传统的贵金属,成本仅为传统电极的1/20。为了克服塑料电极电阻大、热损耗高的难点,开发了低压精准实时程控电源系统,运行成本比传统电动力脱水技术降低了20%。

基于多要素的污染问题精细诊断技术

针对纳污坑塘污水来源复杂、污染变化趋势不明,现有环境质量标准不能满足纳污坑塘风险管控的要求等问题,课题提出了基于精细诊断的纳污坑塘风险防控技术。

传统指标体系仍停留在污染程度的表观评价层面,不能反映微生物驱动的污染物动态变化。本课题将微生物-污染物响应纳入风险防治指标体系的构建,可实现风险的精准识别,推动风险防控从外因驱动向内因驱动的转变。

传统化学分子诊断难以识别污染来源、明确污染趋势。针对纳污坑塘的存量污染,将化学分子诊断与微生物分子诊断、同位素分子诊断相耦合,推动污染问题的诊断从污染现状层面转向污染来源与污染趋势的综合解析。

纳污坑塘来源复杂,现有质量标准的监测体系不适用风险防控的要求。基于多要素-多介质的监测-检测体系可有效解决现有监测指标不全面、监测体系不健全、基础信息不匹配的问题,有效弥补现有标准的不足。

应该说,课题采用纳污坑塘分类分级地下水污染风险评估技术和基于多要素的污染问题精细诊断技术,科学地对典型纳污坑塘水土现状进行了评估,有力支撑了生态环境治理工作。

本版撰稿:刘晓星

本报地址:北京市东城区广渠门内大街16号 邮编:100062 电话:67194786(总编室) 67113790(广告部) 67113791(发行部) 广告经营许可证:京东工商广字第8048号 年价:390元 月价:32.50元 零售:每份1.50元 人民日报印刷厂印