

# 水专项支撑河湖大尺度近自然生态修复

## 项目概况

水体污染控制与治理科技重大专项(以下简称水专项)是根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》设立的十六个重大科技专项之一,按照国务院批复的水专项实施方案和重大专项调整要求,“十三五”重点聚焦“京津冀协同发展区域综合调控重点示范”。

在水专项一级标志性成果专家、清华大学教授王凯军和北京市水利科学研究所教授高级工程师孟庆义的指导下,水专项“白洋淀与大清河流域(雄安新区)水生态环境整治与安全保障关键技术研究与示范(2018ZX07110)”项目(以下简称白洋淀项目)技术负责人、河北大学

教授王洪杰和“妫水河世园会及冬奥会水质保障与流域生态修复技术和示范(2017ZX07101004)”独立课题(以下简称妫水河独立课题)负责人、教授高级工程师王利军分别受白洋淀项目牵头单位——中国雄安集团有限公司总经理刘中林和北京市水利规划设计研究院院长沈来新委托,带领由500多位一线科技人员组成的国家级科研团队,围绕京津冀河湖水生态环境保障和水生态修复重大科技需求,针对北方地区城市尾水水质大且水质难以满足地表水环境质量标准、北方湿地生态系统退化、生态景观格局破碎等问题,研发了生态塘群预处理—功能湿地强化污染

削减—近自然湿地生态景观提升成套技术。

技术突破了大尺度近自然湿地构建技术体系,实现了大城市再生水规模化生态利用;突破了“生态塘群—功能湿地—退耕还湿”梯级水质净化技术,实现了尾水补给型河水的水力负荷和污染负荷全控制;突破了“水系连通优化—立地条件改善—微生境营造”近自然生态修复技术,实现退耕、退塘、退渔、退养全面还湿;构建了最大规模的近自然湿地生态系统,为京津冀河湖水体近自然生态修复提供系统解决方案,有效支撑北方河湖水体的大尺度近自然生态修复和水质提升。

## 工程应用

### (1)府河口湿地水质净化工程

府河口湿地水质净化工程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电建生态环境集团有限公司(牵头单位)、中国电建北京勘测设计研究院有限公司、中国电建华东勘测设计研究院有限公司联合体。

工程在府河新区段实施16.3千米的河道清淤和环境整治工程(构建了7块共10.6万平方米河道生态湿地),主要包括河道疏通工程、存量垃圾清运工程、污染底泥治理工程、生态修复工程。在藻类污染的府河、漕河、瀑河三河入淀口建设了府河口水质净化工程,采用“前置沉淀生态塘+潜流湿地+水生植物塘”近自然工艺,主要包括功能湿地工程、生态湿地恢复工程、配套设施及公共工程及智慧湿地工程,建设面积4.23万平方米,处理规模25万立方米/天。湿地出水水质优于地表水环境IV类标准,对于白洋淀水质达标、生态系统恢复、绿色生态空间构建、“苇海荷塘”壮阔景观重现和雄安新区生态文明建设保障有着重要的现实意义和长远意义。



府河口湿地水质净化工程效果图



孝义河河口湿地水质净化工程效果图

### (2)孝义河河口湿地水质净化工程

孝义河河口湿地水质净化工程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第二航务工程勘察设计院有限公司(牵头单位)、北京京水建设集团有限公司、中交天航环保工程有限公司联合体。孝义河新区段实施了6.4千米的河道清淤和环境整治工程,孝义河河口湿地水质净化工程采用“前置沉淀生态塘+潜流湿地+多塘系统”工艺,工程建设面积2.11万平方米,处理规模20万立方米/天。



官厅水库八号桥水源净化湿地工程效果图

### (3)官厅水库八号桥水源净化湿地工程

官厅水库八号桥水源净化湿地工程的建设单位为北京市官厅水库管理处,工程设计和技术支持单位为北京市水利规划设计研究院和北京市水利科学研究所。工程在河北省怀来县官厅水库八号桥永定河入河口,利用长约3.5千米、宽约700米的河道及滩地,建设近自然复合功能湿地示范项目,建设面积约2.1万平方米,处理8.6万~26.0万立方米/天上游来水。常温期COD、氨和磷平均去除率分别达到15.7%、64.1%和75.6%;低温期(水温低于15℃)湿地系统持续稳定运行,氨和磷削减率分别达到50.4%和64.4%,有效破解了北方地区近自然湿地越冬运行难题。

## 技术开发

针对城市尾水不能满足流域地表水环境质量要求、河道和湿地水质净化能力低下、水体生态系统脆弱等问题,水专项研发了生态塘群预处理—功能湿地强化污染削减—近自然湿地生态景观提升成套技术,主要包括尾水补给型河道水质提升技术、生态塘群预处理技术、功能湿地污染强化削减技术、近自然湿地低温强化技术和近自然湿地生态修复技术(具体技术流程见图1)。

基于水环境质量和水生态安全需求,分析河流水体环境容量;根据河道沉积物污染特征,明确河道底泥环保清淤范围和方式;结合“斑块—廊道—基质”生态河道重塑理念,构建河道湿地系统;筛选生态护岸措施,构建河道生态护岸系统。

根据上游来水污染特征,设置“生态滞留塘+潜流湿地”配置的湿地缓冲区,沉淀生态塘有效削减来水中的悬浮物,并通过生态塘的好氧、兼性和厌氧微生物改善水质;潜流湿地通过基质(碎石、钢渣和沸石)拦截、植物吸收和微生物降解,高效去除水中的氮磷等污染物。

根据湿地生态环境特征,依据深潭—浅滩—沟渠—生态岛等的复合生态景观设计,规划和优化入淀湿地空间格局;根据入淀湿地地形进行水力模拟,优化上游来水引入湿地的路径和湿地内部的水系连通,强化湿地水动力过程对污染物的去除;通过基底微地形整理和立地条件改善,促进水动力优化、生态系统恢复和污染物削减;通过湿地植物、动物和微生物优化,修复或者重构脆弱湿地的生态系统,形成近自然湿地水质净化和生态修复关键技术。

### (1)近自然湿地生态修复和水质净化关键技术

**基本原理:**利用基质固定、植物吸收和微生物降解,强化城市尾水中污染物的去除;优化近自然湿地的空间格局,形成深潭、浅滩、沟渠和生态岛等复合生态景观格局;集成本地水生态与水动力的联合模拟,优化近自然湿地的水系连通;合理配置湿地植物、动物和微生物,修复脆弱湿地的生态系统;实施藻类近自然湿地和木栅退耕还湿湿地建设。

**工艺流程:**城市尾水由河道引入前置生态塘群进行预处理,经过植物强化拦截去除水中颗粒性污染物,经过微生物水解,提升有机物的可生化性;生态塘群预处理后,出水进入河口功能湿地,经过基质(碎石、钢渣和沸石)拦截、植物吸收和微生物降解,强化去除水中主要污染物;功能湿地处理后,出水进入近自然湿地,经过深潭、浅滩、沟渠、生态岛等近自然生态系统的深度净化,实现河道、湿地和淀泊水质的互通互融。生态塘群预处理—功能湿地污染强化削减—近自然湿地生态景观提升工艺流程如图2所示。

### (2)低温河道近自然湿地氮磷削减关键技术

**基本原理:**综合运用物理、化学、生物等净化原理,实现北方低温水体氮磷削减率达到30%的预期目标。利用河道滩地、顺延河流形态,结合自然湿地形态和生物多样性特征,建成以塘为主体的多形态近自然人工湿地系统,通过延长水流路径、促进水位变动、构建深潭—浅滩格局等措施强化物理净水作用。借鉴生物脱氮除磷原理,集成植物滤网截留净化、多生境控碳脱氮、底质调节缓释除磷、地温—冰盖协同增温保温等技术,形成低温河道近自然梯级湿地氮磷削减关键技术。

**工艺流程:**以溪流和岛屿湿地、鱼鳞湿地串联构成自然输水渠道和沉沙区,结合沉水植物滤网构建,强化物理截留沉降、植物富碳补给、微生物富集作用。出水自流进入由生物塘、单元表流湿地、潜流湿地等不同湿地形态优化组合的水质净化区,综合发挥植物—微生物等的协同脱氮、抑藻控碳作用净化来水。实施以人工引导为主的水生植物群落构建,配置分泌小分子有机物能力强、氮磷吸附效率高、拦截吸附能力强、时间生态位互补的沉水植物群落,构建沉水植物生态滤网,同时配置兼具水质净化与景观提升的挺水植物。构建短程硝化反硝化潜流湿地深度净化区,强化对含氮污染物的净化效果;布设新型缓释除磷填料,强化表流湿地底质对磷的吸附效果。优化取水方式,并配合水位调控措施,形成冰下运行方式;局部实施冷季型水生植物配置、耐低温生物菌群强化和保温基质材料配置措施,强化低温期稳定运行效果。截留沉降—富碳补给—生物富集和抑藻控碳—生物富集—强化脱氮工艺过程如图3所示。

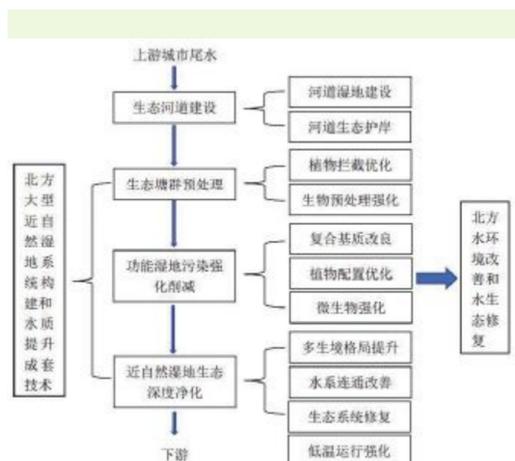


图1 成套技术流程图



图2 近自然湿地生态修复和水质净化关键技术流程图

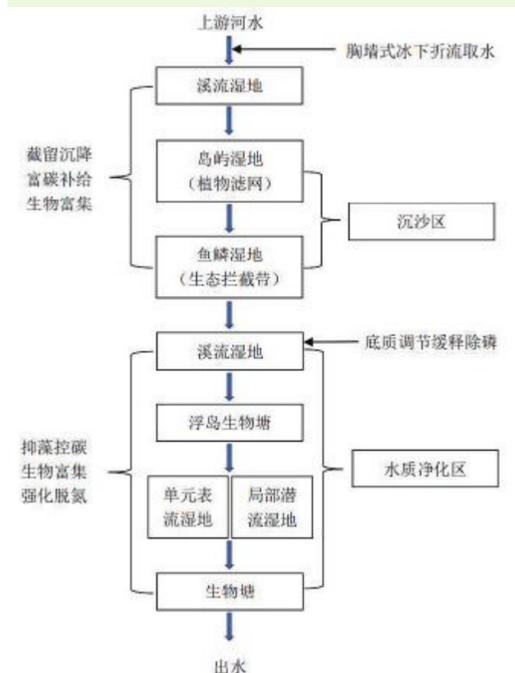


图3 低温河道近自然湿地氮磷削减关键技术流程图

### 本项目技术来源

水专项白洋淀项目和妫水河独立课题技术完成单位:河北大学、北京林业大学、河北工业大学、中国人民大学、中国雄安集团生态建设投资有限公司、中电建水环境治理技术有限公司、北京市水利规划设计研究院、北京市水利科学研究所、中国雄安集团有限公司。

感谢国家水专项管理办公室、河北省生态环境厅和雄安新区生态环境局的全力支持!

## 技术创新

在污水人工湿地处理技术领域,我国在基质和植物配置、微生物结构优化、构筑物结构设计与工艺运行管理等方面的技术水平与国外基本相当;但在退耕、退塘、退渔、退养还湿等领域的起步较晚,相应成熟的湿地修复技术较少,较国外发达地区基本完成近自然湿地生态修复差距较大。本成套技术在理论基础和实际应用方面取得的重大进展体现在以下几个方面。

(1)突破了大尺度近自然湿地构建技术体系,实现了大城市再生水规模化生态利用。突破了城市尾水生态塘群预处理—功能湿地强化污染削减—近自然湿地生态景观提升一体化湿地构建技术体系,首次累计建设了京津冀地区8万平方千米大规模近自然湿地系统,实现了每年2亿立方米以上城市尾水的全收集、全处理和全补给,出水水质达到地表水IV类以上标准,可支撑600万以上人口城市再生水的生态利用。

(2)突破了“生态塘群—功能湿地—退耕还湿”梯级水质净化技术,实现了尾水补给型河水的水力负荷和污染负荷全控制。研发了河道生态斑块水质净化技术,筛选出格宾石笼雷诺护垫和松木桩生态护岸模式,水生植物及微生物丰度提高20%~40%,使得狭窄型河道水质净化能力提升10%以上;优化了前置生态塘植物配置,颗粒性污染物去除效率提高50%以上;有机物质解率达到了25%以上;系统优化了分区分级湿地基质级配,提出了湿地基质缓释长效除磷技术,实现溶解性磷削减50%以上;建立了“挺水+沉水”和“冷季+暖季”本土植物复合配置模式,首次突破底栖动物传质促进技术,水生植物生长速率提升30%以上;突破了地温—冰盖协同增温保温技术,降低生物温度胁迫,实现低温期(水温低于10℃)氮磷削减率20%以上。

(3)突破了“水系连通优化—立地条件改善—微生境营造”近自然生态修复技术,实现退耕、退塘、退渔、退养全面还湿。首次联合运用ENVI、ArcGIS和Fragstats遥感解译和统计分析,筛选出连接度、斑块内聚力、破碎化、分离度4项近自然湿地生态水文连通评价指标,

建立了北方大型湿地近自然生态水文连通模式,实现沟渠、生态塘、植物塘、生态岛等生态景观格局优化;首次集成了水环境、水生态与Delta3D水动力的联合模拟,确定了府河和孝义河河口湿地水质净化工程的引水方案,湿地水文连通性提高30%以上、水体污染削减30%以上;营造良好的水生动物和鸟类等的栖息地,连通河流—湿地—淀泊生态系统,首次发现了成群小天鹅、疣鼻天鹅、鸿雁等国家二级野生保护鸟类,实现了破碎化湿地蓝绿生态风貌的恢复。

(4)构建了最大规模的近自然湿地生态系统,促进入淀湿地和白洋淀淀区的互通互融。针对大量尾水补给、入淀湿地生态系统退化、水质净化功能低下等问题,突破沼泽化和农田化湿地污染评估与清除、水系联通、水动力优化、动植物和微生物生态修复等技术,形成基于“水系联通+微地形整理+本土物种利用和生态修复”的近自然湿地生态深度净化关键技术,经济有效地提升入淀湿地的水质净化功能,并促使入淀湿地逐步形成良好的自然生态系统。

## 工程成效

同时,湿地和淀泊作为京津冀河流生态廊道的关键生态节点,其水环境质量提升和水生态稳定为流域河流生态廊道的构建提供了重要支撑。河道和湿地生态修复工程通过水质净化,减少了污水深度处理和水体环境合理的投入,保障了生态健康前提下的区域可持续发展。

此外,生态环境的改善也为附近居民带来了良好的滨水自然游憩空间,有利于

于河流、湿地和淀泊的生态旅游开发;府河口湿地已获批河北省生态环境教育基地,成为华北区域展示、宣传、教育、科研为一体的重要湿地科普宣教基地和生态文明教育基地,也成为华北地区优良的鸟类栖息地、白洋淀游客的网红打卡地,逐步促进全社会共同参与生态环境保护的良好风尚。

(本版内容由本报记者陈彬整理)