

海河流域典型城市水环境整治的关键技术集成与示范应用

郑 兴 灿

(国家城市给水排水工程技术研究中心,天津 300074)

摘要 针对海河流域许多城市面临的“水资源量少、水体污染重、水生态平衡破坏、缺乏技术支撑”等共性水环境问题,选择处于海河流域下游、水资源极度匮乏、境内水环境问题突出、境外来水污染严重的天津滨海新区及其上游地带的天津中心城区、北京主城区和廊坊中心城区,开展了海河流域城市水污染控制与资源化利用的关键技术研究和工程示范应用,初步形成了包含工业节水控源减排、污水处理厂升级改造、污水再生利用与雨水利用、城市景观水体功能恢复、滨海盐碱湿地保护与修复、小城镇水污染控制等方面关键技术的技术集成体系与工程技术方案,为海河流域典型城市有效消减水污染负荷、改善城市水体水质和保障水环境安全提供了技术支撑。

关键词 城市水环境 工业园区 污水再生利用 景观水体 盐碱湿地 海河流域 水专项

海河流域在我国国民经济发展中占有十分重要的位置,中共中央制定“十一五”规划建议时就明确提出,以京津冀为代表的环渤海地区要增强城市群的整体竞争力,以特大城市和大城市为龙头,形成城市群并推进天津滨海新区等条件较好地区的开发开放,带动区域经济发展。随着海河流域城市群经济社会的高速发展和城市化进程的加快,许多城市的水环境问题日益突出,境内及周边水体受到不同程度的污染或水质富营养化,水体水质总体上呈持续恶化的趋势,地表水资源极为短缺,大部分河道长时间断流干涸,主要污染物排放量居高不下,“有河皆枯、有水皆污”现象普遍存在。为此,国家“水专项”在“十一五”期间组织实施了“海河流域典型城市水环境整治关键技术研究及工程示范”项目及 10 个课题的技术研究与集成应用。

1 研究目标与主要内容

项目针对天津滨海新区与中心城区、廊坊中心城区、北京中心城区的水污染状况和水环境特征,结合区域内国家及地方相关规划的制订和依托工程的建设运行,以有机污染控制和污水再生利用为重点、兼顾营养物削减与水环境质量改善,开展城市水污染控制与资源化技术的开发研究和综合示范,包括滨海工业园区产业布局优化与节水控源减排技术研

究、北方城市污水除磷脱氮与污泥减量化技术研究、城市污水多等级再生利用及水质安全保障技术研究、缺水城市缓流景观水体功能恢复与水质改善技术研究、滨海盐碱退化湿地修复与高盐景观水体水质改善技术研究、海河流域缺水城市水环境问题诊断和总体控制技术研究,重点突破北方地区典型缺水城市与工业园区节水减排关键技术、再生水资源开发利用与安全保障技术、季节性雨水污染控制与综合利用技术、缺水城市景观水系统功能恢复与生态修复、北方高盐滨海地区退化湿地修复与生态景观构建技术及工程方案,建立和完善典型城市的地方性技术标准,提升典型城市的水环境决策、监管、研发、规划和建设能力,促进城市水污染控制与水环境治理产业的发展。

2 总体技术路线及研究思路

项目针对海河流域京津冀典型城市的水环境污染现状和水环境治理中存在的突出问题,结合国家水污染物排放总量消减目标、示范城市的水污染控制与水环境质量改善目标,以消减污染负荷(降低 COD、氨氮、总氮、总磷排放总量)、控制水污染趋势、改善区域水环境质量为关键技术经济指标,重点突出城市水环境质量改善和水资源高效循环利用的科技需求导向,重视工程技术和非工程技术措施的紧密结合,系统分析研究海河流域城市水环境的时空变化特征、影响因

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07314-010)。

素、控制途径和可行技术方案,重点开展产业水污染、城市水污染,非常规水资源(再生水、雨水、浅层微咸地下水)开发利用,水功能恢复与生态景观建设等方面的关键技术研究与技术集成应用,在示范区域开展综合示范,突破海河流域城市水环境污染控制与综合整治的关键技术,初步建立起适合海河流域京津冀典型城市的水污染防治管理技术体系和工程技术体系,形成可行的工艺技术方案和工程实施方案。

3 关键技术与集成应用成果

3.1 滨海工业园区节水控源减排技术与工程示范

针对滨海工业园区存在的产业布局不够合理、污染负荷增加、园区集中污水处理厂运行不稳定、水资源需求与供给矛盾等方面的问题,从园区规划布局、企业源头控制及监管、污水收集输送、综合强化处理和开源节流等方面进行了系统研究,提出了“布局优化、源头控制、过程削减、末端治理、循环利用”相结合的总体技术路线与技术方法,突破冶金工业园非常规多水源深度处理与循环利用技术、高含盐难降解综合化工园区废水生物强化深度处理技术,形成冶金工业园区节水减排和化工园区控源减排的集成技术方案,建立了天津荣程联合钢铁集团有限公司污水循环利用示范工程和临港工业园区高含盐难降解综合废水处理示范工程。

天津荣程联合钢铁集团有限公司污水循环利用工程,针对滨海缺水高盐碱地区的水质特点,以研究开发的规模化国产微滤(CMF)—反渗透(RO)深度处理系统为核心单元,集成生态净化系统、二级强化生物处理系统和物化处理系统,构建了冶金工业园区节水减排工艺技术路线及集成方案,包括双膜水处理系统工程化与稳定运行控制、RO浓水达标排放与减量化、分质供水与串联利用保障、非常规水源循环供水高浓缩倍数药剂体系构建等关键技术。利用企业废水、蓄积雨水、周边地区工业废水、生活污水等非常规水源为原水水源,生产提供的再生水全部替代新水用量,用于冶金园区的生产使用,工程示范园区年节水可达到1 000万 m^3 以上,年COD削减量8 300 t以上,为缺水高盐碱地区钢铁企业解决用水瓶颈问

题创立了节水示范。

天津临港工业园区高含盐难降解综合废水处理示范工程,针对化工园区污水水质成分复杂、水质波动大、难降解有机物含量高,传统处理工艺不能确保达标的难题,重点突破高含盐难降解综合化工废水耐盐微生物菌群培养及新型载体强化技术、化工废水气浮—Fenton试剂氧化强化预处理去毒技术、生物活性预警多方式生物标记技术、烧碱生产高含盐工艺废水清洁生产技术。在临港化工园区建立污染源分类收集、分类输送预处理、分类排放管理的新模式与监管机制,实现对“两高一难”问题的解决;废水处理示范工程规模1万 m^3/d ,通过气浮—调节池—水解酸化池—A/O(生物强化)—沉淀池工艺流程,保证了各项指标稳定达标排放。示范工程运行后,年COD减排2 058 t,园区内万元工业增加值水耗约15.2 m^3 ,万元工业增加值COD排放量平均4.8 kg。

3.2 北方城市污水处理厂提标改造技术与工程示范

针对我国城市污水处理中存在的碳氮比(BOD_5/TN)低、惰性悬浮固体含量(SS/BOD_5)高、冬季水温偏低、提标建设土地缺乏等难题,对城市污水处理厂提标建设的主要环节和关键技术进行了技术集成研究,基于“强化前置防护、碳源高效利用、氮磷高效去除、水质安全保障”的原则,强调惰性悬浮固体的削减,提高活性污泥活性和系统运行稳定性,研究提出了以回流污泥反硝化改良 A^2/O (多点进水、多种运行模式)工艺及其变型为核心单元,并集成新型格栅(超细格栅)、高效初沉发酵、悬浮填料强化硝化、化学协同除磷、机械过滤(转盘过滤器、滤布滤池)等新技术新设备的城市污水处理厂一级A提标建设集成技术,在全国各地的数百座污水处理厂得到不同程度的工程应用,取得显著成效。

北京高碑店污水处理厂升级改造工程,针对强化生物脱氮除磷工艺中碳源缺乏等关键问题,将原有生物曝气池改造成 A^2/O 工艺,设置预缺氧段消除回流污泥中硝酸盐对厌氧区的影响,在初沉池中通过污泥循环泵进行初沉污泥的循环,提高污泥停留时间,水解产生厌氧释磷所需的易降

解有机物,提高生物除磷效果。改造部分初沉池作为厌氧池,增加生物段反应时间。在曝气池末端设计脱氧区,减少内回流对反硝化区的影响。北京高碑店污水处理厂 25 万 m^3/d 规模升级改造示范工程,出水由二级标准提高到一级 B 标准,在进水 BOD_5/TN 较低但大于 3 时,可以实现出水氮磷达到一级 B 标准,减少了排入河道的污染物质,提高了城市河湖水体水质,出水氨氮稳定达到 $\leq 1 \text{ mg/L}$,为华能北京电厂及城市景观再生水利用提供了水质保障。

天津东郊污水处理厂提标改造示范工程,针对天津市大型城市污水处理厂存在设计规模大、含氮量高、碳氮比低、冬季气温低、含高比例工业废水、改造升级土地面积有限等问题,结合北方地区存在大量类似需要提标改造的大型污水处理厂,以天津市污水处理厂升级改造为研究对象,进行了污水处理厂分段进水、同步硝化反硝化脱氮除磷、悬浮填料/固定填料复合、污泥系统滤出液处理等方面的技术开发与集成应用。针对天津东郊污水处理厂水质特性和运行特点,以分段进水多级 A/O 工艺、机械曝气—空气曝气组合技术为核心,进行技术集成,将其应用于 40 万 m^3/d 规模的污水处理厂升级改造工程。通过分段进水与溶解氧控制技术相结合,利用污水中原有有机物进行脱氮除磷,提高了碳源利用率和生物脱氮效果。自 2011 年 12 月正式运行以来,出水由二级排放标准直接提升到一级 A 标准。

3.3 城市污水规模化再生利用技术与工程示范

针对北方大型缺水城市的再生水利用需求,以开发多样化的城市污水再生处理工艺技术路线和提高再生水水质安全保障为目标,系统研究常规工艺的优化组合技术、强化生物处理除磷脱氮技术、混凝沉淀过滤技术、微滤纳滤与反渗透技术的工程化应用模式及集成技术方案,进行不同过滤处理技术的评价与比选,特别是浸没式微滤(SMF)、连续微滤(CMF)、超滤、臭氧氧化、MBR 技术设备的开发与集成应用,形成了污水再生处理与再生水利用途径密切关联的集成技术方案,初步形成了从再生水生产工艺、输配管线到典型用水的城市再生水安全保障技术体系。在天津、

北京、廊坊等城市建立了污水再生处理及利用的系列示范工程。

天津纪庄子再生水厂改扩建示范工程,集成了浸没式微滤(SMF)+部分 RO+臭氧氧化工艺流程,对原 5 万 m^3/d 水厂进行改造,增加 2 万 m^3/d 处理能力,使再生水供水能力达到 7 万 m^3/d ,并明显提高水质,SMF 膜系统建设成本和单位水量运行成本比纪庄子现有 CMF 系统降低 30% 以上。工程内容包括进水提升泵池、混合反应沉淀池、加氯、加药、臭氧发生间、工业区和生活区送水泵房等,以国产化 SMF 技术改造原有砂滤池、净水区改扩建,增加臭氧接触池、反渗透系统。示范工程为热电厂、供热行业、景观和城市杂用提供优质再生水,年节水 2 555 万 m^3 。

纪庄子再生水厂改扩建工程完工后,为陈塘庄热电厂提供再生水作为 $2 \times 300 \text{ MW}$ 机组的循环冷却水补给水源,供水能力 2.4 万 m^3/d ,持续运行时间占总运行时间的 96.6%,再生水利用(循环冷却水)工程采用敞开式循环冷却水系统,热水经过冷却塔或冷却池与空气直接接触冷却变为冷水,再返回系统循环使用。这是国内再生水首次直接用作电厂循环冷却水补充水源,只是调整缓蚀阻垢药剂的添加量,在中试研究基础上提供满足缓蚀阻垢要求的循环冷却水最佳浓缩倍数等关键参数,提高了浓缩倍数。采用纪庄子再生水为供热站提供锅炉供热补充水源,设计补水量 15 m^3/h ,总供热能力 105 m^3/h ,设计供热面积 810 万 m^2 ,持续运行时间占总运行时间的 98.2%。

天津空港物流加工区再生水厂示范工程,采用新型淹没复合式膜生物反应器—生物接触氧化、高效一体式 MBR 工艺进行再生水生产,设计能力 3 万 m^3/d 。与传统的再生水处理法相比,一体式膜生物反应器在占地面积及费用上具有明显的优势,再生水处理工程总投资较低,处理成本不处于劣势,但设备的一次性投资略高。该再生水厂为我国 MBR 大规模应用提供了先例,标志着基于国产化膜组件的膜生物反应器工艺进入大规模工程应用阶段,发挥了很好的示范作用,每年可节约自来水 1 100 万 m^3 。单位水量投资造价 1 700 元/ m^3 ,单位水量处理成本 2.1 元/ m^3 ,相对较低。

北京清河再生水厂示范工程的深度处理核心单元为超滤与臭氧氧化,超滤膜系统运行时预处理单元出水从配水槽通过进水管和进水控制阀进入膜池。膜浸没在膜池的进水中,并由透过液泵将进水泵房出水负压抽吸过膜壁。超滤膜+O₃再生水深度处理技术主要针对难降解COD和胶体及微量有毒有机污染物高的二级处理出水,通过膜单元的过滤作用截留水中绝大部分颗粒物、病原微生物及部分大分子有机物,臭氧处理单元进一步氧化水中残留的有毒有害有机物质以保证出水色、嗅及有机物达到再生水水质要求。该组合处理技术可以起到“多级屏障”的作用,对二级水中的毒害微生物、有机物等进行多层次的去除,出水除总氮外,其他指标均可以达到地表水体IV类的标准,能够很好地保障再生水的水质及回用的安全。示范工程实际运行水量6万~7万m³/d,主要出水水质指标达到地表水IV类,为奥林匹克公园、圆明园、清河等提供了高品质再生水。

3.4 缺水城市景观水体功能恢复与水质改善技术及工程示范

针对城市景观水体水源缺乏、水体流动性差、置换周期长、水质易污染、水环境极易恶化的问题,以“水流顺畅、水景秀美、生态宜居、人水和谐”为核心目标,基于引水循环、水质处理、植被维护、功能恢复等方法,结合再生水、雨水利用为主的景观补水方式,开展集水量调控、生态净化、景观构建于一体的景观水体水质保障技术集成研究,形成景观水体水质改善及长期保持的多级复合流人工湿地异位修复技术、景观水体化学—微生物—水生植物复合强化净化与藻类过度生长控制技术、大型缓流景观水体流态优化及人工湿地旁路生态修复技术、城市雨水渗透及净化技术,并完成了3个示范工程的建设与运行优化。

天津梅江会展中心生态园水环境改善示范工程,梅江景观湖水面面积42万m²,水量约147万m³,工程内容包括:景观湖、景观河道、循环泵站建设,实现水体循环;建设景观化人工湿地生态工程,去除湖水中悬浮物、有机污染物、氮、磷,对补水进行深度处理;湖、河岸带水生植被建设,增加生物多样性,营造自然的滨湖景色。通过梅江生态居住区景

观水体流态优化、水质模型构建、运行调控、生态塘等物理—生物生态相结合的原位技术与人工湿地的旁路生态修复技术的多项水质改善关键技术的集成与示范,结果表明,示范工程对COD、TN和TP的去除率较好,TN基本保持在1.5mg/L以下,TP基本满足IV类水标准。有效解决了生态型居住区封闭、缓流及多种水资源补水的景观水体水质不稳定,易造成水体富营养化、藻类过度生长的问题,为生态型居住区复杂景观水体水质改善提供了技术支持和借鉴。

天津市外环河水环境改善示范工程,针对传统人工湿地运行效果不稳定、脱氮效果一般、填料易堵及冬季处理效果差的缺点,通过多组分复合流人工湿地、人工湿地管网曝气、人工湿地冰盖保温、喷泉/曝气新型装置研发等多项关键技术的集成,形成适合于征地方便地区的景观水体水质改善及长期保持多级复合流人工湿地异位修复技术。示范工程总占地面积48亩(1亩≈667m²),有效处理面积1.7m²,植物20余种;外环河水通过水泵提水及自流入示范区,进入水量调节池并通过曝气处理,进入潜流湿地处理系统,处理量4000~8000m³/d。示范工程技术应用后,对冬季(11月~2月)COD去除率可达69%,植物生长期(3月~10月)可达78%~93%,全年平均85%以上;冬季TP去除70%~83%,全年平均70%以上。示范工程在进水水质劣于原设计进水指标的条件下,出水中COD、TN、TP和DO浓度仍达到《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)IV类水体的要求。

3.5 滨海盐碱退化湿地修复与高盐景观水体水质改善技术及示范

针对天然水资源短缺和水体污染以及咸化问题导致滨海城市湿地及其生态系统退化加剧、水环境质量恶化问题,在水体咸化背景下,将水污染物削减、水环境质量改善和水生态修复作为一个整体系统加以考虑,开展以再生水、雨水等非常规水源为主要生态用水水源的滨海城市健康水系构建与维护技术体系研究,初步形成滨海盐碱地区以非常规水源为主要补给水源的湿地修复与水环境改善的技术体系,在天津滨海新区建立了一批示范工程。

天津经济技术开发区西区人工湿地工程,天津开发区西区总面积 48 km²,主要废水来源为制药、精细化工企业,污水处理厂一级 B 达标排放出水排入景观河道后,再由人工湿地实现对西区景观河道水质的离线净化,处理规模 1.5 万 m³/d,最大处理能力 5 万 m³/d。人工湿地项目由预处理、湿地、景观塘(湖)等单元组成,其中预处理、湿地单元为净化核心,景观塘(湖)为调蓄枢纽。潜流湿地 3.3 万 m²,表流湿地 50 万 m²。以人工湿地为核心的高盐水体净化系统水质处理效果良好,系统出水达到预期要求,景观水体水质得到明显改善,TN 小于 2 mg/L,TP 小于 0.35 mg/L,叶绿素 a 小于 8 mg/m³,生物多样性香农-韦纳指数大于 2。

天津空港物流加工区是天津港保税区的扩展区,总用地 55 km²,一期开发 23.5 km²,划分为保税仓储加工区、高新技术工业区、商务中介服务区和商住生活配套区等功能区。空港加工区景观河湖水系主要是利用现有天然沟渠、池塘和湿地,规划建设集给水系统、雨水系统、污水系统、再生水系统及生态河、湖系统、地下水系统等于一体的生态水系。工程内容包括雨水入河净化系统、生态化改造河道 20 km、整建湖泊 30 万 m²、3 m³/s 泵站以及再生水回用配套工程。示范工程出水:TN、TP、叶绿素 a 年均值不超过 2 mg/L、0.35 mg/L、8 mg/L,生物多样性指数大于 2。雨水利用能力超过 5 万 m³/d,年利用规模 100 万 m³以上,年削减 COD 800t 以上。

滨海高新工业区生态水系构建规划性示范,针对滨海高新工业区水资源匮乏、景观水体缓流/滞流、水体易咸化的特点,结合区域水环境和景观环境建设,规划污水处理和再生及雨洪水综合利用系统、城市管网最优配置系统,以及滨海高新区水系统构建方案。规划工程规模:污水处理与合建再生水处理工程,1 万 m³/d 的污水处理厂,5 000 m³/d 再生水厂,集中水面>50 hm²,潜流湿地>5 hm²。该规划方案已经在滨海高新工业区的开发建设中实施。

中新天津生态城水系构建规划性示范,针对中新生态城水资源匮乏、景观水体缓流/滞流特点,结合区域水环境和景观环境建设,研究污水处理和再

生和雨洪水综合利用系统构建技术、城市管网最优配置技术;形成整个中新生态城 30 km² 范围内的水系统构建方案,具体包括排水系统、河、海、湖、湿地等多要素的连通与优化。规划方案已经在天津生态城区开发建设中得以实施。

3.6 廊坊市非常规水源城市景观水系利用技术集成与综合示范

针对廊坊市地表水缺乏、河渠污染严重、水景观功能丧失等境问题,开展城市污水再生与景观水系利用、城市径流污染控制与雨水利用、浅层微咸地下水景观水系利用、景观水体生态强化净化等关键技术研究,初步建立综合利用再生水、雨水和浅层地下水等非常规水源,集污染负荷削减、水生态修复、景观与调蓄等多功能于一体的城市水系构建技术体系,解决了景观水体缺乏有效补给水源、非常规水源补给面临富营养化和色度、雨水径流对景观水体污染及雨水有效利用问题,提升了水体自净和水质保持能力,完成八干渠非常规水源景观水体水质保持与改善示范工程,建设八干渠再生水补给、大皮营渠浅层地下水补给、两条河渠雨水季节性利用工程。

廊坊市八干渠/大皮营渠非常规水源城市景观生态水系利用示范工程,针对廊坊市地表水严重缺乏、景观功能差的状况,利用再生水、浅层地下水和雨水为补给水源,结合坝、闸进行水位和蓄水量的调节,以水质为目标进行换水周期的调控,采取不同季节不同补水频次和补水量的间歇性补给方式,实现非常规水源优化利用,修复河渠生态与景观基本功能。示范河渠总长约 9 km,常水位下蓄水量 17 万 m³,再生水最大补水量 3.5 万 m³/d,浅层地下水最大补水量 200 m³/h。

廊坊市八干渠景观水体水质改善与保持示范工程,河渠长约 2 km,水体面积约 2.8 hm²,总体技术方案包括复合型生态浮岛、生态护岸、曝气增氧等生态修复与生态强化净化工程的建设,同时结合截污控源、底泥清淤等达到改善景观水体水质的目的。通过构建水生植物—生态草—生态护岸—水体扰动/增氧协调作用的复合型生态系统,有效提升水体的自净能力,防止藻类过度繁殖,保持水体景观功能,同时减少以再生水为补给水源的景观水体换水

频次。

廊坊市大皮营渠基于景观生态利用的雨水收集与处理示范工程,以雨水径流源头—过程—终端污染削减与减排控制策略为导向,采用截污、减排与资源利用相结合的“绿色”雨水系统模式,将道路雨水旋流沉砂与土壤快速渗滤技术、植被浅沟与雨水生物滞留/渗蓄技术、多功能渗渠与吸附渗井以及排水管道末端颗粒物拦截技术等进行集成与工程应用,示范工程服务汇水面积约 2 hm²,设施建于大皮营渠约 1.5 km 的滨水道路一侧绿化带内。

3.7 城市水环境问题诊断与污染结构辨识技术研究

对源解析模型 CMB 进行优化改进,考虑到水体污染源针对性强,指示性强的特点,将原模型中“源”的概念由污染产生方式的抽象源调整为河道中具体的污染源。将同位素识别技术引用到“源解析”技术领域,利用同位素的相对稳定性特征,通过水分子与污染物质来源对比,对河道采取“CF”箱式结构解析,辅助判断水体中污染物来源,实现“源解析”技术的突破。

以天津市北塘排污河为研究实例,进行调查采样,获得排污河中“源”与“汇”的水质数据,进行“源解析”技术研究。调查共发现排污河沿岸排放口 54 个,其中有流水排放 12 个。选定 COD、TP、Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、Cr 作为主要指标,建立所检测排放源的污染物特征成分谱。以排污河水质数据为例,开发了基于改进 CMB 模型的河流污染源解析技术。以河道中实际污染源代替原模型中抽象源,以 COD、TP、Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、Cr 等指标作为分析因子。利用改进模型和排放源水样同位素测定,对北塘排污河主要污染源贡献率进行了分析。

3.8 城市水体污染控制与治理技术标准的研究与编制

针对海河流域典型缺水城市水污染控制工程技术体系不完善和重要技术标准缺乏的状况,以城市水环境规划、污水处理升级改造技术、非常规水源水利用及水环境水质改善等技术为重点开展

技术总结和系统评估,分别依据不同技术的适用性和性能特征,结合海河流域特点,初步建立了典型缺水城市的水污染控制工程规划、设计及运行维护技术指南体系,以指导工程实施过程中的技术决策、工艺方案确定、工程设计以及运行维护。通过示范工程的跟踪监测和技术成果的初步评估,形成海河流域典型城市水污染治理工程技术经济评估方法,在工业园区产业布局与节水减排、污水处理厂工艺设计运行、污水再生利用与安全保障、污泥处理处置、城市景观水体功能恢复与水质保持、小城镇水环境综合整治等方面形成技术指南。编制了《天津市地方水环境质量标准》、《天津市地方污染物排放标准》(修订)、《天津市地方沉积物标准》等 5 个标准草案。

4 结语

本项目重点突破了北方缺水地区特大型城市与工业园区节水减排关键技术、多等级再生水资源开发利用与安全保障技术、季节性雨水污染控制与利用技术、缺水城市景观水系统功能恢复与生态修复技术、滨海高盐地区退化湿地修复与生态景观构建技术,形成关键技术(点)58 项,建立各类示范工程 26 项、基地与平台 33 个,研发关键技术设备 18 台(套),申报发明专利 63 项,发表论文近 300 篇,编制技术指南和标准文稿 10 部,培养了一大批技术骨干、研究生和一线运行管理人员,为海河流域水污染控制设施的工程建设和优化运行提供了基础依据和技术支撑。

致谢:国家城市给水排水工程技术研究中心、天津市环境保护科学研究院、中国科学院生态环境研究中心、北京城市排水集团有限责任公司、天津市市政工程设计研究院、天津创业环保股份有限公司、北京市水利科学研究所等单位作为课题牵头单位参与完成本项目的课题研究和工程示范。

✉ 通讯处:300074 天津市气象台路 99 号

电话:(022)23545369

E-mail:necw@vip.sina.com

收稿日期:2013-02-07