

“十二五”水专项东江项目第4课题成果报道

集成流域水环境管控技术 筑牢供水安全屏障



低碳尾水生态砾间湿地脱氮除磷集成技术



生态塘初雨净化技术

研究成果

课题针对饮用水水源供水的高营养盐及特征毒害污染物等风险管控问题,构建了流域风险源识别、水污染应急决策、水质安全保障管理等多层次风险管理体系,集成了调水工程的水质风险与生态保障防控技术,研发了污水处理厂

点源、乡村面源、工业园区及河道水系等污染控制技术,突破了南方地区高速发展城市人工湿地水质改善关键技术,进行10项工程示范,为实现供水水质稳定达到地表水Ⅱ类目标提供了技术支持和效果示范。

水质安全保障管理体系

在全面调查分析供水工程流域内污染源、道路交通、工程布局、水文特征等方面基础上,通过风险源诊断与系统评估,确定了流域污染源风险由大至小依次为污水溢流、垃圾填埋场、污水处理厂和工业企业,水库流域污染源风险由大至小依次为交通事故、截污工程溢流和工业企业,形成了流域风险源动态数据库。优化了供水工程水质监测断面,调整水质监测参数,建立供水工程水质监测系统,实现水质实时监控,并编

写了供水水质管理实施方案、供水水质监控系统运行管理方案等。针对流域水质风险和藻华风险,在GIS的空间数据管理和模型分析功能的基础上,研发了供水工程水质风险预测预警模型、水库藻华时空分布的短期和长期预测模型,开发出了供水工程水质管理信息与风险控制辅助决策系统。制定了供水工程水质风险控制等管理策略,实现供水工程水质风险的有效管控,减轻水质风险发生的机率。

水质风险控制技术集成

针对供水工程来水有机物和氮磷营养盐偏高、水库存在发生藻华的风险问题,研发了调水工程多级快滤吸附氧化水质风险应急技术、水库富藻区营养盐攫取与生态原位修复技术等两项水质风险控制技术,有效消除供水工程水库水质存在的水质安全风险。

1. 调水工程多级快滤吸附氧化水质风险应急技术

针对供水工程来水有机物、氮磷营养盐及藻类密度偏高引起的潜在突发性水华风险问题,开发了快滤、吸附和氧化的三级去藻组合工艺方案。研制出精度范围为0.5~20μm的多级袋式过滤系统,高效、快速、持久地对来水中不同粒径范围的悬浮颗粒物、胶体和藻细胞分级去除;研发了具有高效脱氮除磷去藻效果的自然曝气内循环式生物模块反应器,进一步削减水体氮磷营养盐含量;优化了臭氧工艺反应器结构设计参数,提高了水气接触面积和臭氧反应效率,强化了臭氧对有机污染物、氨氮的降解能力;形成了“多级快滤+强化氧化+深

度吸附”水质风险应急处理集成技术,出水水质COD_{Mn}≤4mg/L、BOD₅≤3mg/L、NH₃-N≤0.5mg/L、叶绿素≤10μg/L,主要指标稳定达到地表水Ⅱ类标准,综合富营养指数控制在Ⅱ类中营养水平,实现了调水工程水华风险高效、快速控制及水质达到地表水Ⅱ类的目标。

这项技术应用于水库来水风险应急处理示范工程,处理规模2000m³/d,出水COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、DO、pH等指标达到《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》Ⅱ类标准,较传统技术占地面积减少30%~40%、建设成本降低15%~20%。

2. 水库富藻区营养盐攫取与生态系统原位修复技术

针对水库营养盐偏高、藻华易发的风险问题,研发了活性覆盖材料、水生植物修复专利技术,结合生态软隔离带专利技术,集成“边坡营养盐拦截—底质内源覆盖—水生植物攫取—食物网调控”的水质改善与生态原位修复技术。通过在库岸区构建有隔离槽和植物带的生态软隔离

坡面,利用软性骨料和植物根系固土护坡,实现对边坡面源污染的拦截;设计“多介质立体化”原位处理工艺,研究不同覆盖材料对底质氮磷释放及重金属吸收的影响,筛选出危害小、再生率高的环境协调型覆盖材料(沸石、椰壳活性炭、沙砾);挑选具有强吸收能力的水生植物物种,重建以沉水、挺水、浮叶植物及复合生态浮床为核心的植物群落,削减水体氮磷营养盐含量,抑制藻类光合作用,降低藻华暴发风险;利用食物网生态调控技术,构建以浮游动物、大型底栖动物、肉食性鱼类为核心的动物群落,对富藻区水生食物网进行生物操纵,达到改善水质、维持

水质改善技术集成

供水工程流域径污比小,即使污水处理厂尾水全部达标处理后排入水体,河流水体中氮磷浓度仍然超标,尾水必须深度处理,而且工业园区排水导致尾水中特征污染物浓度升高,不能满足高品质饮用水水质要求;流域降水集中,初雨污染负荷高,是雨季污染负荷的重要来源;乡村面源污染空间上较为分散,给污染控制带来了困难;流域还分布有较多的垃圾填埋场,垃圾渗滤液对河流水质造成威胁。针对上述问题,研发了低碳尾水生态砾间湿地脱氮除磷集成技术、受污染河道生态塘渠旁路水质修复技术、乡村面源污染控制与库塘修复技术、气膜吸收介孔炭吸附垃圾渗滤液处理技术、工业园区尾水优先控制污染物高级氧化控制技术等多项水质改善技术。

1. 低碳尾水生态砾间湿地脱氮除磷集成技术

针对目前流域污水处理厂尾水氮磷浓度过高影响其生态回用的问题,研发了以牡蛎壳、水厂污泥和粉煤灰等废物为原料的Ca-Al-Fe活性组分的高效除磷功能填料(磷吸附容量>3.0mg/g),这种填料能显著提高尾水中磷的去除效果;构建以亲水性能好、吸附能力强的内置式陶粒填料为骨架的生态强化砾间床,发挥“多孔填料—微生物”协同拦截、降解、吸收污染物的作用,解决了低碳源条件下微生物成膜难、挂膜量低、运行效果不稳定等问题;通过优化流程和湿地池填料布局,形成了低碳尾水生态砾间湿地脱氮除磷集成技术。这项技术较传统人工湿地水力负荷提高两倍,建设成本降低约

生态稳定、增加生物多样性的效果。这项技术应用于水库富藻区氮磷营养盐攫取与水质改善技术示范工程,建设面积1万平方米。经过生态修复的水体COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP等主要指标达到《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》Ⅱ类标准,沉水植物覆盖率达90%,有效地降低了水体中藻类(尤其是蓝藻)和藻毒素含量,鱼类和大型底栖动物的多样性增加,修复后的生态系统物质循环和能量流动模式(ECOPATH软件模拟)向成熟方向发展,食物网结构趋于完善,原位生态修复效果显著。这项技术解决了水库藻华易发、内源释放难控、水质多变等问题。

20%~25%,对尾水中COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TP的平均去除率分别达到65%、68%、65%、62%,满足了生态回用水对污水处理厂出水水质的要求。

这个技术应用于两项示范工程:(1)污水处理厂低碳尾水强化脱氮除磷示范工程,处理规模为2.5万m³/d,出水水质COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、DO、TP等指标达到地表水Ⅲ类标准,作为河道水质改善的生态补水。

(2)受污染河道深度处理集成技术示范工程,处理规模8000m³/d,出水COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TP等指标稳定达到地表水Ⅳ类标准。

2. 受污染河道生态塘渠旁路水质修复技术

针对受污染河道初雨污染负荷高、河道环境容量小等问题,提出了分散控制与就地处理相结合的河流初雨“集”、“蓄”、“滞”、“净”的源头控制污染模式。首先建立符合流域实际情况的河流初雨收集计算模型,确定初期降雨收集量;然后根据河流流向和沿岸地形构建初雨沉淀塘和折流式旁路河道,实现塘“蓄”和河“滞”,并在塘河中和周边空间分别种植多层次水生植物群落和陆生植物群落,对收集来的初期雨水进行原位高效持续生态净化。这样,就形成了受污染河道前置滞留塘渠及旁路河道水质修复技术,较之传统治理技术建设成本降低约30%~40%,对初雨中COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TP的平均去除率分别达到52%、51%、85%、65%。

这项技术应用于支流初雨收集、处置及河道原位修复综合示范工程,处理入库初期雨水,

最大处理规模1.6万m³/d,并建成1.66公里的河道原位生态净化系统,出水COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TP等指标稳定达到地表水Ⅳ类标准。

3. 乡村面源污染控制与库塘修复技术

针对乡村面源污染物不同来源,研发了不同的处理工艺。对于乡村家庭散排污水,采用强化化粪池—固定化微生物处理工艺,重点是突破了水厂污泥新型基质填料的制备,这种填料能使污水中SS、COD_{Cr}、TN、TP去除率达80%以上,并且实现了水厂污泥的资源化;针对乡村农田、养殖等各类面源污染,采用立体化、多层次复合净化生态浮床和库塘水质修复综合处理工艺,最大程度发挥各要素之间的协同作用,形成“悬挂填料+水生植物+水生动物”复合微型污染净化处理单元,构建了“生境再造—生态育养”的河湖生态恢复技术体系,实现区内水系COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N等的污染负荷降低50%,库塘物种数量、植被覆盖情况均有较大幅度提高,提升了水体自净能力,实现库塘截污变清流的过程控制,使其逐步由纳污湖转变为具有生态修复和调节功能的景观湖,实现了水质可利用,流域面源“户分散—村集中—塘停留—河湖净化”的多尺度防控模式成效初显。

5. 工业园区尾水优先控制污染物高级氧化控制技术

针对流域内规模化的工业园区排水导致尾水中环境雌激素、多溴联苯醚、壬基酚、双酚A等特征污染物超标问题,开发出了工业园区尾水优先控制污染物高级氧化控制技术。利用活性焦发达的中孔孔隙结构及良好的吸附性能,并结合O₃的强氧化性对尾水邻苯二甲酸酯类环境雌激素进行深度处理,实现邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二乙酯、邻苯二甲酸二甲酯等去除率达到90%以上。组合并优化H₂O₂/UV+H₂O₂/O₃两级高级氧化工艺,对尾水中四溴双酚A、双酚A、十溴联苯醚等持久性污染物的去除率均达到80%以上;在园区尾水中持久性污染物水平突然升至很高的恶劣条件下,提出了用纳米零价铁复合材料(M)与H₂O₂/UV+H₂O₂/O₃两级高级氧化联合应急处理方案,更有效去除尾水中持久性污染物,降低其对生态环境的风险。

这个技术应用于两项示范工程:(1)农村污水深度处理示范工程,处理规模100m³/d,SS、COD_{Cr}、TN、TP去除率80%以上。

(2)多功能生态塘河湖生态恢复工程示范工程,示范区内水质COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N等浓度降低50%,逐渐由纳污湖转变成成为生态修复和调节功能的景观湖。

4. 气膜吸收介孔炭吸附垃圾渗滤液处理技术

在“十一五”水专项垃圾渗滤液脱氮和提高可生化性研究的基础上,采用基于疏水性聚四氟乙烯中空纤维膜的气膜吸收技术,突破了垃圾渗滤液中高浓度氨氮的分离工艺,实现氨氮的资源化;采用介孔活性焦吸附方式,解决

了有机物的深度去除的难题,避免了“双膜法”处理垃圾渗滤液所带来的浓水回灌问题;进一步优化工艺流程,形成了基于膜吸收、多级A/O生化处理、介孔活性焦吸附的垃圾渗滤液处理集成技术。

这项技术应用于垃圾渗滤液处理示范工程,处理规模50m³/d,已稳定运行两年,出水水质COD_{Cr}去除率高于95%,NH₃-N去除率高于98%,TP去除率高于95%,达到了《生活垃圾填埋场污染物控制标准(GB16889-2008)》表2标准,其工程投资约为6万~7万元/t,运行成本为40~50元/t。

5. 工业园区尾水优先控制污染物高级氧化控制技术

针对流域内规模化的工业园区排水导致尾水中环境雌激素、多溴联苯醚、壬基酚、双酚A等特征污染物超标问题,开发出了工业园区尾水优先控制污染物高级氧化控制技术。利用活性焦发达的中孔孔隙结构及良好的吸附性能,并结合O₃的强氧化性对尾水邻苯二甲酸酯类环境雌激素进行深度处理,实现邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二乙酯、邻苯二甲酸二甲酯等去除率达到90%以上。组合并优化H₂O₂/UV+H₂O₂/O₃两级高级氧化工艺,对尾水中四溴双酚A、双酚A、十溴联苯醚等持久性污染物的去除率均达到80%以上;在园区尾水中持久性污染物水平突然升至很高的恶劣条件下,提出了用纳米零价铁复合材料(M)与H₂O₂/UV+H₂O₂/O₃两级高级氧化联合应急处理方案,更有效去除尾水中持久性污染物,降低其对生态环境的风险。

这项技术应用于两项示范工程:(1)污水处理厂尾水内分泌干扰物控制示范工程:处理规模为2000m³/d,出水水质邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸(2-乙基)酯等指标达到《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》的集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值。

(2)工业园区污水处理厂尾水深度处理示范工程:工程规模500m³/d,出水水质四溴双酚A、双酚A、十溴联苯醚等特征污染物的去除率均达到80%以上。



受污染河道前置滞留塘渠及旁路河道水质修复技术



水库富藻区氮磷营养盐攫取与水质改善技术示范工程

推广应用

这个课题开发的水质改善技术在苏州宝带桥—澹台湖景区水环境整治提升工程得到推广应用;生态修复已在鄂州市洋澜湖(修复面积4.2万平方米)、遵义市菁湖下湖区(修复面积5万平方米)得到推广应用,已完成的生态修复工程至今清澈见底,

水草、游鱼清晰可见,无藻华爆发;农村生活污水治理技术在肇庆市怀集县、清远清城区、阳山县等美丽乡村建设工程得到推广应用;垃圾渗滤液处理技术在长安镇红花坑垃圾渗滤液处理工程得到推广应用。

刘佑华