



中国科学院生态环境研究中心
Research Center for Eco-Environmental
Sciences Chinese Academy of Sciences



应用科技成果汇编 水质与水生态安全保障技术

中国科学院生态环境研究中心

生态环境研究中心概况

中国科学院生态环境研究中心（简称“生态环境中心”）前身为1975年经国务院批准建立的中国科学院环境化学研究所，1986年与中国科学院生态研究中心（筹）合并成立，是我国第一个生态环境科学（Eco-Environmental Sciences）综合研究机构。

生态环境中心遵循中国科学院新时期办院方针，面向世界科技前沿，面向国家重大需求，面向国民经济主战场，致力于环境科学、环境工程、生态学和环境生物学等方面的科学与技术创新，为国家环境安全、社会经济可持续发展和生态文明建设做出基础性、战略性和前瞻性重大贡献。研究方向主要包括环境与健康、水污染、区域生态、大气污染、土壤环境、固废处置、环境生物技术和环境纳米技术等。

生态环境中心现有在职职工533人，其中中国科学院院士3名、中国工程院院士2名，研究员139人、副研究员和高级工程师173人。国家基金委杰出青年科学基金获得者23人，国家基金委创新研究群体5个。

生态环境中心现有12个实验室，其中3个国家重点实验室，1个国家工程研究中心，2个中国科学院重点实验室。具有先进的技术支撑系统，主办生态与环境领域11种期刊。

生态环境中心充分发挥在国家生态环境科技创新体系建设中的引领作用，以环保高新技术为依托，通过技术开发、转让、咨询和服务等多种方式与地方政府、企事业单位开展密切合作，努力实施成果转化，取得了显著的社会效益和经济效益，为国家生态环境保护战略决策提供科学依据和有力支撑，为我国环保高新技术产业化提供重要技术源泉。



目 录 CONTENT

1. 饮用水安全保障技术

| | |
|---------------------------------|----|
| 饮用水嗅味识别与控制技术 | 04 |
| 饮用水“贾第鞭毛虫和隐孢子虫”检测系统及产业化技术 | 05 |
| 絮凝-超滤短流程饮用水净化技术 | 07 |
| 饮用水络合吸附除氟技术与成套设备 | 08 |
| 导向型电渗析地下水脱硬除氟技术 | 09 |
| 新型高效除砷吸附材料及其一体化处理装置 | 10 |
| 低维护-短流程分散型水处理技术与装备 | 11 |
| 高效、高安全性二次供水紫外消毒技术 | 12 |
| 供水管网“黄水”问题诊断与控制技术 | 13 |





目 录

CONTENT

2. 污水处理技术

| | |
|-------------------------------|----|
| 工业及园区废水总氮达标升级改造技术 | 14 |
| 基于污染物特征的典型行业废水处理与资源化技术 | 15 |
| 煤化工废水深度处理技术 | 20 |
| 市政污水紫外消毒设备的优化设计和剂量验证 | 21 |
| 工业废水高级氧化效能快速评估及优化技术 | 22 |
| 高盐水有机物的高效氧化削减技术 | 23 |
| 强酸废水中氟氯的去除与资源化技术 | 24 |
| 基于电化学技术的重金属废水处理工艺 | 25 |
| 以厌氧氨氧化为核心的混合生物脱氮技术与装备 | 26 |
| 高浓度有机废水短流程处理的厌氧膜生物反应器技术 | 28 |
| 膜生物反应器-纳滤组合工艺 | 29 |
| 分散型污水的电控膜生物反应器处理技术与装备 | 30 |
| 微冲宝@-现代田园循环：农村人居环境治理的理想模式 ... | 31 |
| 农村污水处理技术和管理模式 | 33 |

3. 水处理材料及药剂

高分子聚合物膜分离材料及其产业化装备 36

高效低温膜蒸馏高盐水处理技术..... 37

高性能反渗透膜制备技术 38

氯损伤反渗透膜的原位修复技术..... 39

污泥深度脱水与热解碳化资源化利用耦合工艺 40

无机高分子絮凝剂及高效絮凝技术 42

4. 河流污染控制及生态修复

旁路离线河流净化器技术 43

排水管网沉积物防控技术 44

基于水生态修复的河湖库生态清淤技术方案咨询 46

河网地区饮用水水源生态湿地构建技术 47

河流治理规划方案制定 48

饮用水嗅味识别与控制技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：以全二维气相色谱-高分辨时间飞行质谱技术与感官气相色谱联用等手段进行饮用水嗅味物质的识别，并以高效活性炭为核心进行嗅味的去除，可解决饮用水的嗅味问题，并降低处理成本。

技术特点/设备参数：

1. 系统化的饮用水嗅味表征方法体系。可基于不同评价目标进行感官评价，实现饮用水嗅味定性、半定量评价；感官闻测与化学分析同步对嗅味物质进行识别，建立嗅味物质筛查数据库，解决了复杂水质条件下关键致嗅物质鉴定的难题。
2. 基于嗅味物质特征的高效去除技术。主要基于活性炭吸附动力学模型利用高效活性炭进行嗅味物质的去除。对于多种嗅味物质造成的嗅味问题，可通过氧化与吸附耦合进行处理。

市场分析：目前我国地表水源嗅味问题频发。有关饮用水嗅味的定性定量表征方法填补空白，具有很好的推广应用前景；在嗅味控制技术方面，本技术具有很强的实用性和先进性，可大幅节省药剂费用。

实际应用案例：

1. 深圳长流陂水厂MIB嗅味问题的控制工程（35万吨/天）
2. 上海新车墩水厂复杂嗅味问题的控制工程（16万吨/天）
3. 上海闵行水厂复杂嗅味问题的控制（20万/天）

合作方式：技术服务。

饮用水“贾第鞭毛虫和隐孢子虫”检测系统及产业化技术

项目成熟阶段

☐实验室研发

☐中试放大

☒成熟应用

概况及应用领域：贾第鞭毛虫和隐孢子虫，简称“两虫”，是广泛存在的水介传播耐氯人畜共患的致病微生物。两虫已被纳入国标成为强制检测指标，但采用方法是美国EPA 1623方法，主要仪器和耗材被美国企业垄断，检测成本高昂，人工识别的主观性和专业性等缺点造成国标方法难以在行业内推广。

中国科学院生态环境研究中心多年来持续对“两虫”检测技术进行研发，已经开发出“滤膜浓缩/密度梯度分离荧光抗体法”两虫检测方法，检测成本仅为美国EPA 1623方法的20%左右。该方法已完成全国供水行业内部测试，2018年被纳入住建部行业标准《城镇供水水质标准检验方法》CJ/T141-2018，同时2019年顺利完成卫健委组织《生活饮用水标准检验方法》GB/T 5750修订所必须的全国验证测试。

技术特点/设备参数/工艺流程：

1. 在浓缩阶段用微孔滤膜替代滤囊，在分离阶段用Percoll-蔗糖替代磁珠，大幅降低了检测耗材成本，此技术步骤替代1623中的滤囊/滤芯过滤，避免了洗脱过程中“两虫”的流失，提高了回收率。
2. 针对低浊度水与高浊度水分别选用滤膜法和沉淀法以代替EPA 1623滤囊/滤芯过滤的方法，既解决了高浊度水成本问题，还提高了高浊水浓缩环节的回收率
3. 依据现有国标，国际产品所需样品量为原水20L，依据新国标，本产品所需样品量为原水10L，出水50L。样品量的大幅度降低也成功大幅降低所需成本
4. 基于人工智能技术的两虫自动识别系统，实现人工智能图像处理自动识别代替人工肉眼识别。彻底解决传统分析方法的费时、效率低、依赖经验等难题，降低两虫识别门槛，提高检测效率

专利和获奖情况：该方法拥有完整的方法发明专利（授权专利号：ZL 201210275179.2），在该专利方法及人工智能技术的基础上。

1. 2021年，中国分析测试协会，中国分析测试协会科学技术奖（BCEIA金奖）；
2. 2021年，中国仪器仪表学会，技术进步一等奖；
3. 2021年，中国仪器仪表行业协会，自主创新
4. 2021年，中国仪器仪表学会，朱良漪分析仪器创新奖

市场分析/应用前景：我国供水行业中的《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）的106项指标全项检测费用约25000元/个样品，其中“两虫”报价约7500元，两项指标检测成本占总体成本的30%。由于“两虫”的高昂的设备和耗材成本以及对检

饮用水“贾第鞭毛虫和隐孢子虫”检测系统及产业化技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

测人员经验的要求，导致目前我国拥有“两虫”检测能力的机构严重稀缺，这也是制约我国“两虫”检测的最大瓶颈。

该整套仪器的推出，可以大幅降低“两虫”检测的硬件投资成本和耗材成本，提高行业检测效率，实现企业的降本增效，从而推动“两虫”检测行业发展。

除重要的经济价值外，本产品为我国大量饮用水检测提供基本工具；为我国从源头到龙头供水安全保障中“两虫”防控提供支持，为遏制“两虫”自来水传播途径提供保障，具有重要的环境价值和社会价值。

示范与应用案例：该法已于2018年纳入我国城镇供水水质标准检验方法，2023年纳入新国标《生活饮用水标准检验方法》GB/T5750-2023。相比于老国标方法GB/T5750-2006，检测成本由2千多元降至500元以内，实现检测成本大幅降低。同时，打破了国外企业在中国长达16年的垄断，导致该上百万进口产品价格大幅下降。截至2023年12月底，本公司已经完成上百套销售设备，已经覆盖全国27个省市自治区，随着我国GB/T5750-2023正式颁布，根据市场反馈该仪器将实现暴发式增长。

合作对象及方式：北京华科仪科技股份有限公司同中国科学院生态环境研究中心展开战略合作，成功开发出两虫检测自动识别系统。该产品可以实现对样品的自动预处理，大幅降低工作量，且设备及其耗材成本远低于进口。



絮凝-超滤短流程饮用水净化技术

项目成熟阶段

☐实验室研发

☐中试放大

☒成熟应用

应用领域及市场分析：膜分离是保障水安全的重要手段，我国是膜法水处理技术应用最广泛的国家，占全球市场的35%。我国膜产业增长率保持10-12%，2025年预计总产值超过5000亿。创建和应用绿色低碳的净水技术，是当前和今后环保领域的重大需求。通用的膜法水处理工艺流程长、运维繁琐且成本高，亟需进行原理、技术、装备和工艺的系统变革与创新。为此，研发低维护、短流程、智能化膜法水处理工程技术体系，成为低耗膜法净水主流技术，市场广阔。

技术特点与工艺流程：与传统超滤膜法净水工艺相比，该技术实现了膜通量与污染物截留双提升，药剂减少 30%，工艺流程缩减 40%。创建的电化学-超滤装配式水厂，实现无/少药剂净水，占地减小 30%，通量提升 20%，成本降低 50%。研究团队也有效支撑了北京等地水厂智能低维运行，处理规模超 100万吨/天。

代表性专利和获奖情况：该技术获得中国授权专利137项（84项发明专利），发表 SCI 论文109篇，制修订行业/团体标准7项，入选水利部成熟适用水利科技成果3项。

1. 基于“三明治”式松散絮体保护层的低压膜水处理技术（ZL201710149970.1），一种电化学-膜分离水处理装置及其处理方法和用途（ZL201710864744.1）。

2. 北京市科学技术进步一等奖，2023；中国环境保护产业协会环境技术进步一等奖，2022。

示范与应用案例：该技术应用至全国33座自来水厂和182处分散式供水工程，包括北京市自来水集团有限责任公司、北京碧水源科技股份有限公司等。



左图：江苏南通芦泾水厂（5万吨/天，全球首座超滤短流程水厂）；中图：北京309水厂（8万吨/天，稳定运行10天，全球最久；中上：水厂实物图；中下：智能控制系统）；右图：北京第九水厂（7万吨/天）

饮用水络合吸附除氟技术与成套设备

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况：该技术系统着眼于地下水除氟的关键过程，以安全价廉的金属氧化物为基础，通过氧化物之间的复配与组成配比优化，充分发挥各功能氧化物的不同功能特性，形成了具有优异吸附性能的新型高效除氟材料。在除氟工艺开发方面，该技术系统针对农村运行管理水平较低的特点，在系统工艺设计方面进行创新，尽可能减少处理单元，确定在不同污染物组合及污染物浓度水平条件下的组合工艺方案；极大的简化了系统运行、材料再生等人工操作，易于在农村地区推广应用。此外，根据不同地区氟污染程度、共存离子存在状况与处理规模，建立可在工程中应用的饮用水除氟工艺应用模式；设计不同吸附剂与除氟工艺运行动态反应器，确定反应器组成、结构及其优化运行模式，形成饮用水除氟成套设备，满足不同类型地区的技术需求。

技术特点：

1. 材料吸附活性高：复合金属氧化物吸附除氟材料对氟吸附容量可达到300 mg/g，远高于普通除氟材料。
2. 材料除污染功能多样化：本材料不仅具有优异除氟效果，而且对水中铁、锰、砷、磷酸盐等也具有优良去除效果，呈现去除目标多样化的特点。
3. 共存离子对除氟效果负面影响小：地下水中常见的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、NOM等对除氟效果无明显影响，硅酸盐、磷酸盐对除氟效果有抑制作用。
4. 运行成本低：与市场上一一般除氟技术相比，本技术能够长期保持除氟效果，且运行（药剂）成本较一般除氟技术低20%至60%以上。
5. 材料安全性高：对吸附材料的理化安全性与毒理学安全性（采用Ames试验、微核试验、小鼠急性经口毒性试验等）进行检测，结果显示：本材料不会溶出影响饮用水感官性状的物质，无有毒有害化学污染物或放射性类物质溶出；材料不具有致突变

活性、急/慢性毒性。

工程应用：该技术已经在河南省兰考县、内蒙古巴彦淖尔市、安徽省亳州市和二连浩特市等地建立除氟示范工程。



河南省兰考县农村饮用水除氟工程 (240 m³/d)

导向型电渗析地下水脱硬除氟技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

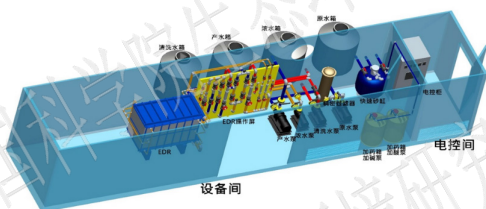
☒ 成熟应用

概况及应用领域：研发出直供型饮用水导向性电渗析技术与整装装备，实现氟化物、硬度、盐度等的低成本选择性去除，适应村镇、海岛苦咸水源的净化处理。

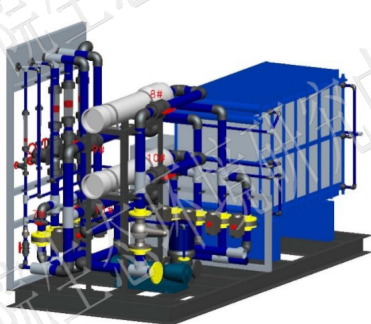
技术特点/设备参数：一般情况下电渗析直接处理成本<0.1度电/吨水，产水率可高达为90%以上，一键启动，无人值守全自动运行，可实现远程监控与管理。

实际应用案例：

1. 2017年，斯里兰卡斯里兰卡阿努阿勒普勒除硬除氟工程（300m³/d）
2. 2019年，陕西咸阳礼泉县除氟工程（800m³/d）



斯里兰卡斯里兰卡阿努阿勒普勒示范工程（300m³/d）



陕西咸阳礼泉县示范工程（800m³/d）

合作方式：技术转让、技术服务。

新型高效除砷吸附材料及其一体化处理装置

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况：通过深入基础研究与系统的中试与生产性试验，设计构建能同时高效去除As(III)与As(V)的新型除砷吸附材料及相关设备装置。该技术操作简单，运行成本低，可同时实现水中砷、铁、锰、磷酸盐、硫化物等污染物的高效去除；建立材料原位再生新方法实现除砷性能高效恢复，已成功应用于城市大规模供水与农村分散式供水等。

技术特点：

1. 材料吸附活性高：As(III)吸附容量可达到120mg/g，As(V) 吸附容量可达到200mg/g。动态吸附实验表明，采用该吸附材料除砷，处理水体积可以为填料体积的3000倍，且处理水中砷含量达到国家相关最新饮用水标准 ($<10\text{ }\mu\text{g/L}$)。该技术不仅具有优异的除砷效果，而且对地下水中常见的铁、锰、磷酸盐等污染物具有良好的去除效果，具有去除目标多样化的特点。

2. 再生方法简便：该技术采用原位再生的方法能够方便地恢复材料吸附除砷活性，并将砷固化在材料内部，不存在常规再生方法产生的二次污染问题。

3. 处理成本低廉：采用的活性组分和载体均为常见且价格低廉的材料。现场试验结果表明，相对于其他除砷技术而言，在达到同样除砷效果的前提下，该技术的综合处理成本降低30~50%，适于不同类型地区使用。

4. 运行管理简单：该技术装置设备使用过程中的正常吸附、反冲洗、材料再生等操作均采用可编程逻辑控制器(PLC)进行控制，自动化程度高，操作简单。

工程应用：

● 2010年在北京市朝阳区完成我国第一座大型除砷水厂 (5000 m^3/d) 建设；

● 2012年在郑州市东周水厂完成我国第一座大型除砷改造工程 (200000 m^3/d) ；

● 2013年在通辽市第三水厂完成地下水除砷及除铁除锰水质提升达标工程 (20000 m^3/d) ；

● 2017年在通辽市河西水厂、通新水厂完成地下水除砷及除铁除锰水质提升达标工程 (5000 m^3/d 、25000 m^3/d) ；

● 2019年完成西藏昌都市宗通卡水利枢纽工程重金属除砷技术专题报告 (50000 m^3/d) ，后续工程拟采用该技术进行除砷处理；

● 2019年在巴彦淖尔市临河、杭后多个农村水厂 (平均2000-3000 m^3/d) ，开展地下水除砷及除铁除锰水质提升达标工程 (共计约22000 m^3/d) ；



我国第一座大型除砷水厂
(北京市, 5000 m^3/d)



我国第一座大型除砷工程改造工程
(郑州市东周水厂, 200000 m^3/d)

低维护—短流程分散型水处理技术与装备

项目成熟阶段

☐实验室研发

☐中试放大

☒成熟应用

概况及应用领域：农村分散型供水点多量小，极易受到天气与用水习惯的影响，水质水量波动大、运行维护繁琐困难，受自然条件、地理环境和交通情况的限制，不能套用城市集中水厂技术方案。采用电化学在线絮凝和氧化技术，替换化学加药单元，免除药剂运输、储存、配制与投加环节，耦合常规/膜分离技术，再辅以装配化和智能控制技术，开发出易维护装配式饮用水水厂，极大减轻运行维护工作量，实现高稳定安全净水，在农村供水工程中应用前景广阔。

技术特点/设备参数/工艺流程：采用电化学-过滤/膜滤净水工艺，与常规净水工艺相比，系统出水水质高且稳定，药耗降低30%，能耗降低30%，运维成本节约40%。

专利和获奖情况：该技术获得中国授权发明专利43项，发表SCI论文109篇，技术荣获北京市科学技术进步一等奖、中国专利优秀奖、中国环境保护产业协会环境技术进步一等奖，入选水利部成熟适用水利科技成果。

1. 一种用于缓解电絮凝中极板钝化的极板排布方法及应用（ZL202210516780.X），一种用于缓解电絮凝中极板钝化的极板修饰方法及应用（202210517527.6）。
2. 北京市科学技术进步一等奖，2023；中国环境保护产业协会环境技术进步一等奖，2022；中国专利优秀奖，2021。

示范与应用案例：



左图：库伦旗三家子学校装配式水厂（100m³/d，农牧地区分散式供水工程）；中图：斯里兰卡梅提哈卡村供水工程（120m³/d，“一带一路”饮用水技术示范）；右图：杭州市临安区楂岭水站（120m³/d，南部山区分散式供水工程）

高效、高安全性二次供水紫外消毒技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域:

在系统研究二次供水紫外消毒效果影响因素的基础上,研发出基于消毒器构型优化设计和运行状态实时监测的高效、高安全性二次供水紫外消毒技术。该技术首先利用计算流体动力学(CFD)模拟对紫外消毒器的结构尺寸和内部布局进行优化设计,使微生物在随水流通过消毒器时被高效灭活;此外,通过安装的三参数紫外智能监测系统,对运行中消毒器的实时紫外剂量进行监测并得到量化的关于灯管输出、套管结垢和水流穿透率的数据,从而精细化指导消毒器的运行维护。该技术可以明显提高紫外消毒器的效率和安全性,目前已成功应用于多个高层小区的二次供水中,可以保障在各种正常或不利条件下的水质安全。

技术特点/设备参数:

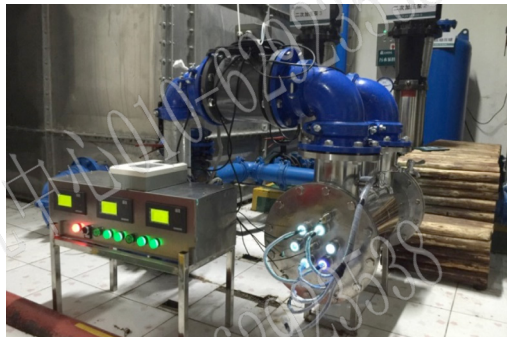
1. 具有优化的消毒器构型,在相同灯管功率下可提供最高的有效紫外剂量和微生物灭活率。
2. 实时监测运行中消毒器的状态,包括灯管输出、套管结垢、水流穿透率以及紫外剂量,并可根据水质水量变化调整消毒器运行方式。

专利和获奖情况:该核心技术已申请1项国家发明专利并授权。

市场分析:我国城市人口密度大,大量的高层建筑需要依赖二次供水提供高区的用水。由于管网和二次供水水箱对余氯消耗,二次供水水质存在较大的微生物风险,紫外消毒是解决这一问题的优选技术之一。相比传统的紫外消毒器,基于本技术开发的紫外消毒系统可以在保证消毒效果的同时降低运行成本,在高层建筑二次供水水质保障上具有良好的应用前景。

实际应用案例:

- 郑州市维也纳森林小区二次供水紫外消毒示范工程(约600户,竣工)
- 郑州市中原新城小区二次供水紫外消毒示范工程(约200户,竣工)
- 郑州市颍河港湾小区二次供水紫外消毒示范工程(约1800户,竣工)



郑州市颍河港湾小区二次供水紫外消毒示范工程
(约1800户)

供水管网“黄水”问题诊断与控制技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：针对供水管网频发“黄水”而引发用户对自来水大量投诉的行业难题，经过长期研究和实践，揭示了多种不同情形下管网“黄水”的发生机理，建立了不同类型管网“黄水”的诊断方法，构建了应对管网“黄水”的控制技术体系，能有效降低用户对管网水质的投诉，实现龙头水稳定达标和高品质要求。

技术特点：1) 管网“黄水”产生原因的诊断方法。可根据管网“黄水”的发生规律、管网管材、管垢特征、水源和出厂水特征等对管网“黄水”的发生原因进行准确分析诊断；2) 管网“黄水”全过程协同控制技术。基于管网“黄水”产生原因的诊断，提出有针对性的控制技术方案，主要通过关键风险因子识别、关键水质指标监测和源-厂-网协同调控，提高饮用水管网输配过程的水质稳定性。

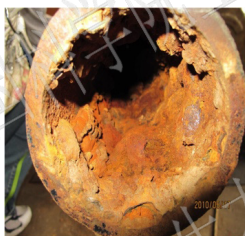
专利和获奖情况：获授权国家发明专利10余件；获中国科学院杰出科技成就奖和中国城镇供水排水协会特等奖。

市场分析/应用前景：我国城镇供水管网已达100余万公里，铸铁管和钢管等铁质管材是主力管材，铁管腐蚀是供水管网“黄水”的直接原因，但诱发“黄水”的原因却非常复杂，如管网水力条件改变、水源水质变化和处理工艺的改变等；另外，湖库水源和地下水源中常见的锰/铁元素以及铝/铁类混凝剂在出厂水中的残余均可在管网中周期性累积和释放，导致管网“黄水”的频繁发生。因此，对管网“黄水”的诊断方法和控制技术具有很好的推广应用前景。

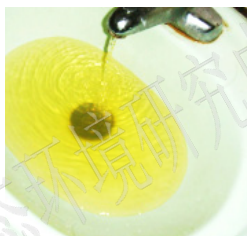
示范与应用案例：

1. 北京市南水北调水源切换的管网敏感区识别与“黄水”控制
2. 深圳市水库水源季节性供水管网“黄水”的原因诊断与控制
3. 珠海市水库水源季节性管网“黄水”原因诊断与水厂高效控锰

合作对象及方式：自来水公司，水务管理部门，小区物业；技术服务



基于管垢稳定性识别的“黄水”控制（北京）



粉末活性炭催化氧化除锰（珠海）

工业及园区废水总氮达标升级改造技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：该技术主要利用碳源精细化分配原理在原有污水处理系统基础上进行系统总氮脱除能力提升，主要应用于焦化、印染、生物发酵、生物制药等产生高总氮工业废水的处理。

技术特点/设备参数：

1. 最大限度利用现有设施，减少改造成本；
2. 利用碳源分配原理，充分利用原水碳源，降低运行成本；
3. 进行原有污水处理系统土著细菌驯化和脱氮潜能挖掘，无需投加功能菌种。

市场分析：2020年之前我国工业污水排放的主要考核指标是COD和氨氮。随着国家对环保要求的提高，总氮逐渐被纳入污水排放考核指标。许多企业采用新建设施、投加功能菌种和外加碳源的方式保障排水总氮达标，但是上述措施投资成本高、污泥产量大并显著增加了污水处理运行成本。本技术基于碳源精细分配和土著微生物驯化的原理，最大限度利用原污水处理设施空间及污水自身碳源，针对不同工业企业污水特征及原有污水处理工艺提供个性化的系统改造和运行方案，可显著降低改造和运行成本，具有广泛的应用前景。

实际应用案例：

1. 2019年石家庄东华金龙化工有限公司废水总氮脱除提标改造工程（800m³/d）
2. 2019年山西省运城河津市污水处理厂总氮提标改造工程（34000 m³/d）



河津市污水处理厂总氮提标改造工程（34000m³/d）

合作方式：技术服务。

基于污染物特征的典型行业废水处理与资源化技术

制药废水高效处理技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：发酵类制药废水有机物浓度高且有极强的生物抑制性，其高效安全处理一直是制约制药行业绿色发展的难题。为实现抗生素源头控制，发明强化水解预处理技术，实现废水中抗生素效价的选择性去除。进一步开发了“强化水解预处理+生物调控+氧化吸附末端保障技术”和“强化水解-厌氧膜生物反应器技术”等，实现工程应用，不仅解决了高浓度抗生素抑制水处理微生物的难题，还有效控制了抗生素耐药基因的富集，为制药行业绿色发展提供保障。

技术特点/设备参数/工艺流程：该技术以制药废水常规污染物和抗生素耐药性协同控制为目标，建立了以强化水解预处理实现抗生素源头控制结合生化处理的的技术路线，四环素类素和大环内酯类等抗生素去除率>99%，耐药基因削减>80%。针对废水中的蛋白颗粒、残留抗生素、有机负荷和抗生素水解产物等影响废水生化处理效率的关键因子，构建了针对性“强化水解预处理+生物调控+氧化吸附末端保障技术”，保证生化出水COD和总氮达标排放，吨水处理成本降低84%，开发“强化水解-厌氧膜生物反应器”工艺，厌氧处理有机负荷达到10 g·COD/L/d，出水无耐药基因检出。

专利和获奖情况：获得授权发明专利5项，成果入选《制药工业蓝皮书2020》（绿色制药篇）、中国生态环境标准《制药工业污染防治可行技术指南》（2023），入选世卫组织《水、卫生、耐药性技术导则》（2020）制药领域典型案例。

市场分析/应用前景：该成果构建了抗生素生产废水的成套处理工艺，实现了常规污染物与抗生素和抗药基因的协同控制，适用于高浓度发酵类抗生素生产废水处理系统的改造和新建，在保证废水稳定达标排放的同时大幅降低企业处理成本。

示范与应用案例：上述技术成果应用于土霉素、红霉素等6项发酵类抗生素制药废水处理工程。与常规工艺相比，处理负荷可以提升一倍以上，综合成本可降低60%以上，并实现了抗生素的去除和耐药基因的削减。

合作对象及方式：技术转让、技术服务



石家庄和邢台某土霉素生产废水处理系统
(800 m³/d, 1000 m³/d)

基于污染物特征的典型行业废水处理与资源化技术

抗生素菌渣无害化与资源化技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：我国发酵类抗生素原料药企业在生产过程中每年产生的近千万吨菌渣，被纳入危险废物进行管控，抗生素菌渣的处置利用问题已成为严重制约行业可持续健康发展的瓶颈。该技术针对抗生素菌渣中残留药物活性成分所致无害资源化利用难的问题，以青霉素、头孢菌素和红霉素等典型大宗抗生素菌渣为研究对象，基于这三类抗生素的药效官能团易水解的特性，开发了强化水解处理技术为核心的抗生素菌渣无害化处理关键工艺技术及装备，实现了菌渣中红霉素、头孢菌素、青霉素高效去除，形成了可在行业推广应用的抗生素菌渣无害资源化系统解决方案和技术路线，和行业合作建立了万吨级抗生素菌渣无害资源化与过程污染控制示范工程。

技术特点/设备参数/工艺流程：该技术针对抗生素菌渣中残留药物活性成分所致无害资源化利用难的问题，以青霉素、头孢菌素和红霉素等典型大宗抗生素菌渣为研究对象，基于这三类抗生素的药效官能团易水解的特性，开发了以通过调节温度、pH和添加催化剂的水热处理技术为核心的抗生素菌渣无害化处理关键工艺技术及装备，解决了抗生素菌渣处理成本高等严重制约行业可持续健康发展的瓶颈问题。

该技术对青霉素、头孢菌素菌渣抗生素残留去除率达到100%，红霉素菌渣抗生素残留去除率大于99%。每吨处理成本低于250元，处理后菌渣可用做有机肥回田。

专利和获奖情况：获得授权发明专利两项。

市场分析/应用前景：该技术成果对抗生素菌渣进行无害化处理，每吨处理成本低于200元，相比焚烧处理，每年可为行业减少处置费用超过20亿元，且该技术设备设施运行高效、稳定，无有毒有害物质产生。该技术成果形成了可在行业推广应用的抗生素菌渣无害资源化系统解决方案和技术路线，解决了制约抗生素行业发展多年的菌渣合理、安全无害资源化处置利用问题，为实现抗生素菌渣环境安全风险管控提供了技术支撑，引领了抗生素制药行业抗生素菌渣无害资源化的发展方向。

示范与应用案例：项目进行了菌渣高温热水解无害化处理工艺条件优化和现场工程示范，已成功示范应用于红霉素、青霉素和头孢菌素等菌渣处理工程，年处理抗生素菌渣近30万吨，将抗生素菌渣无害资源化生产的有机肥用于发酵生产过程中所需原料作物和薰衣草等观赏植物的种植。对支撑企业发展、提升行业影响力和竞争力具有显著的促进作用。

合作对象及方式：技术转让、技术服务

基于污染物特征的典型行业废水处理与资源化技术

基于声场强化的油泥处理技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☒ 中试放大

☐ 成熟应用

概况及应用领域：针对常规油泥处理技术存在运行成本高、工艺适应性差的特点，将声场强化分离技术与热洗工艺有机结合用于油田油泥资源化和无害化。

技术特点/设备参数：以超声辅助化学清洗进行油和泥的分离，最终实现原油的回收和污泥的无害化。已形成成套装置。

专利和获奖情况：目前，该技术已经获得授权发明专利3项

市场分析：我国每年产生含油污泥量大约在300万吨左右。目前仅有少量的含油污泥得到处理，大部分都被就地堆放，亟待处理。该油泥处理技术不仅解决了油泥的环境污染问题，同时也为油田回收大量原油，取得了明显的社会效益和经济效益。

实际应用案例：冀东油田开展含油污泥示范工程（100m³/d）。

合作方式：技术转让、技术开发、技术服务。



冀东油田含油污泥示范工程（100m³/d）

基于污染物特征的典型行业废水处理与资源化技术

基于原位氧化吸附的COD深度去除技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：随着废水排放标准的提高，多数企业都面临废水处理系统提标改造的压力。生物处理后废水中残留的有机物大部分为亲水性小分子，常用的混凝、臭氧和活性炭等存在效果差和处理成本高等问题。本技术通过原位氧化获得大量新生低聚合态多核羟基铁和大比表面积羟基铁氧化物，可通过铁-羧基络合、电中和强化吸附等机制高效去除水中亲水性有机物。本技术可对现有处理工艺进行简单的改造，具有反应速度快、反应条件温和、投资少、运行操作简单等优点，已经在焦化、皮革、制药等18项行业废水或工业园区废水的提标工程中成功应用，保障工业废水的低成本达标排放。

技术特点/设备参数/工艺流程：对现有设施改动小；操作维护简单；反应pH：5-7；反应时间：5-10分钟；投药量低污泥产量少，运行成本低。

专利和获奖情况：已经授权发明专利一项，并获得2016年中国石油和化学工业联合会技术发明奖等奖励。

市场分析/应用前景：随着国家污染排放标准的提高，许多行业面临提标改造的压力。传统的深度处理技术存在着运行成本过高或无法满足废水的排放要求等问题。本技术只需要对现有处理工艺进行简单的改造即可，具有处理效果稳定，运行成本低等优势，在煤化工、化工、皮革、制药、造纸等废水深度处理上有广阔的应用前景。

示范与应用案例：已经在焦化、皮革、制药等18项行业废水或工业园区废水的提

标工程中成功应用，总处理规模达到7200万m³/年，运行成本约为芬顿氧化的30%，实现了工业废水的低成本达标排放。

合作对象及方式：技术转让、技术服务



石家庄某土霉素生产废水处理系统 (1000 m³ /d)

基于污染物特征的典型行业废水处理与资源化技术

基于旁路晶种原位预制的含氟废水超净排放处理技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☒ 中试放大

☐ 成熟应用

概况及应用领域：该技术主要针对煤化工、采矿、半导体等行业废水中氟离子的深度去除。针对工业废水中氟离子的消减，加钙盐形成氟化钙（ CaF_2 ）沉淀是最常见的处理方法，但实际工程应用中经常发现氟离子浓度较低时（ $\leq 50\text{mg/L}$ ），氟化钙形成困难，出水氟离子浓度难达标，此时需要外加大量絮凝剂保障出水达标，这就导致了处理成本高、污泥产量大的问题。课题组开发了一种基于晶核微界面诱导快速结晶的低含氟废水处理新技术，研制了旁路晶核原位预制和投加设备，解决了常规除氟工艺由于氟化钙成核能垒高导致的结晶难、投药量大问题，实现了含氟废水的经济、稳定处理。

技术特点/设备参数：基于晶核微界面诱导快速结晶的低含氟废水处理新技术可以将氟离子稳定降低至约 15 mg/L ，之后再采用纳米絮凝剂实现氟离子深度去除，出水氟离子可以稳定达到 $1\text{-}1.5\text{ mg/L}$ ，技术投药量少、污泥产量少，操作维护简单，运行成本低。

市场分析：随着国家污染排放标准的提高，许多行业面临废水氟离子纳入考核指标或提标的压力。传统的氟化钙沉淀法或铝盐吸附法存在着运行成本高、污泥产量大的问题。本技术解决了常规除氟工艺由于氟化钙成核能垒高导致的结晶难、投药量大问题，实现了含氟废水的经济、稳定处理。

实际应用案例：2020年石家庄某煤制气废水深度除氟工程（ $4800\text{m}^3/\text{d}$ ）



煤化工废水深度处理技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☒ 中试放大

☐ 成熟应用

概况及应用领域：目前国内外煤化工主要成品有煤制油、煤制甲醇、煤制二甲醚、煤制天然气等。产生的废水的主流生化处理工艺为不同形式的A/O，O/A/O，A₂/O等，泥水回流比为2-5，HRT普遍大于60-72h。因对水质有机组分的不了解及工艺设计、运行中存在的问题，现行的生物处理基本都需借助大量水的稀释来满足生化工艺的进水要求。如何减少稀释水用量及满足排放标准成为煤化工企业急需解决的重大难题。在有机物组成分析的基础上，针对煤化工废水中的特定有机组成，开发出了以厌氧定向氧化和基于C/N/碱度平衡的好氧生物种群调控为核心的生物处理技术。

技术特点/设备参数：工程运行表明，经定向调控的微生物处理工艺可满足的高浓度煤化工废水处理的需要。以生物处理出水为前提，在深入研究水处理过程中有机污染物与颗粒物微界面相互作用机制的基础上，研发出原位氧化吸附废水技术。该技术利用氧化形成的新生态过渡金属水解产物比面积大、电荷中和能力强的特点，对水中有机物进行高效吸附，可对废水中残留有机污染物的深度净化，与高级氧化技术组合可满足达标排放的要求。

处理水量：700 m³/d；

进水水质：COD 4500-5500 mg/L，氨氮 100-150mg/L，总氮 280-350mg/L；

出水水质：COD<150 mg/L，氨氮<10 mg/L；

合作方式：技术开发、技术服务。



中试现场及示范工程

市政污水紫外消毒设备的优化设计和剂量验证

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：紫外线消毒具有杀灭广谱、绿色、无副产物和占地面积小等优势，广泛应用于空气、水和物表消毒，然而技术瓶颈在于能耗较高和可靠性较差。

研究团队基于光场准确测定和流体动力学（CFD）模拟，准确评估不同光源布设、反应器腔体内水流态、内壁反射等影响，形成消毒设备优化设计技术。掌握国际通用的生物剂量验证技术并自主研发“探头-模型”剂量验证技术，准确评估紫外消毒器辐射剂量，指导设备运行维护。本成果可以提高紫外消毒设备的消毒效率和可靠性，已为国内外多家企业及科研单位开展服务。

技术特点：

1. 紫外消毒器优化设计技术（光场模拟）经过国际唯一的光场（剂量率分布）光电测试探头—荧光微探头的验证，具有较高的准确性。荧光微探头测试准确性获国际紫外线协会认可，为国际多个反应器设计模型提供验证数据。

2. 基于国际通用的生物剂量验证技术和自主研发的“探头-模型”剂量验证技术相结合，可有效提高剂量验证结果准确性，且可应用于多数场景的紫外消毒设备剂量验证，提高紫外消毒可靠性

应用前景：紫外消毒技术效能和可靠性将成为产品竞争力的关键，需要光源、设备优化、背景水质和目标病原微生物的相互协同，以达到高效和高可靠性。因此根据实际水质，优化光源参数、光源布设、进出水口位置等是提高产品效能的关键。进而不同实际运行条件下开展剂量验证，获取权威的第三方剂量验证报告，确保实际消毒的可靠性。

典型应用案例：

● 2023年为佛山柯维光电股份有限公司提供UV消毒器（38100 m³/d）优化设计和剂量验证服务；

● 2023年为浙江钻邦水处理设备有限公司提供UV消毒器（720 m³/d）优化设计和剂量验证服务；

● 2023年为安吉尔饮水产业集团有限公司提供UV-LED消毒器（15 m³/d）剂量验证服务。

合作方式：技术服务。



污水紫外消毒剂量验证现场（上图）和研发的饮用水消毒设备（浙江临安花戏水厂，下图）

工业废水高级氧化效能快速评估及优化技术

污水处理技术

项目成熟阶段

□实验室研发

□中试放大

■成熟应用

概况及应用领域：高级氧化（光化学）工艺（AOPs）能够高效降解水中难降解有机污染物，逐步应用于饮用水/污水/工业废水的深度处理，代表了目前水深度处理的重要发展方向。难点在于如何快速评估工艺及参数并开发高效反应器。

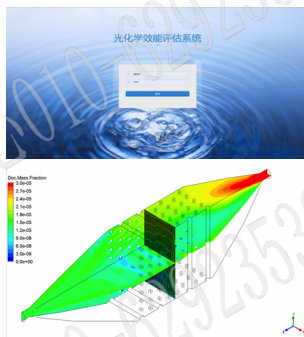
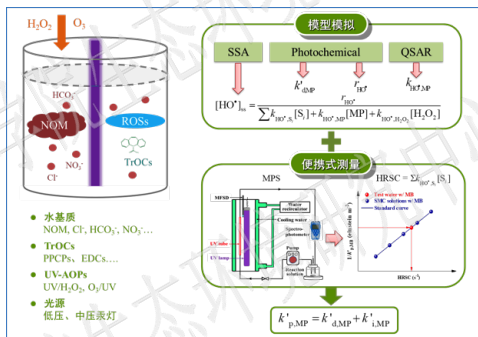
提出背景水质“整体”氧化反应容量概念，研发基于模型模拟的“归一法”和“放大法”实现紫外高级氧化工艺效能快速评估，指导工艺和参数选择，进而基于光场场匹配原理优化设计工业反应器。该技术获国家发明专利（ZL 202111136694.8）。

技术特点：

1. 提出水质“整体”氧化反应容量概念，研发基于内标法的测定方法，开发便携测定仪器，解决了实际水成分复杂，分析难度较大的问题。
2. 归一法和放大法基于模型模拟（包括光化学、自由基浓度稳态近似、定量构效关系模型和放大模型），输入测定的水质氧化反应容量，实现实际水体中新污染物降解速率和能耗的准确快速预测。
3. 基于不同条件下的CFD模拟结果，对现场紫外高级氧化系统进行结构尺寸及工艺参数的优化设计，保障现场工艺的高效应用。

市场分析/应用前景：AOPs是一种高效去除有机污染物的技术，目前国内外均缺乏设计、评估和监控技术。本技术成果，可降低饮用水/市政污水/工业废水处理的工艺运行能耗，提升运行可靠性。

实际应用案例：浙江省东阳市横店东溪水厂、山东省龙口市海岱污水处理厂、我国东部某石化纺丝废水（约1000m³/d）以及西北某煤化工高盐废水（约10000m³/d）的紫外高级氧化处理工艺参数、装置构型优化中。



高级氧化效能评估原理图（左）、工程软件（右上）、优化结果（右下）

高盐水有机物的高效氧化削减技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：某些行业的高盐废水在资源化利用或零排放过程中需要削减有机物总量（TOC或COD）。目前高盐水中有机物的有效削减是技术难题。我们开发了高盐水有机物的高效选择氧化技术，可实现高盐条件下水中有机物的选择性氧化转化。该技术去除有机物的效果远优于目前的臭氧催化氧化，适用于含盐浓水的深度净化处理。该技术已经成功应用于高含盐水TOC氧化削减的实际工程中。

技术特点/设备参数/工艺流程：

1. TOC削减75%以上。
2. 出水有机物削减效果稳定。

专利和获奖情况：该技术已授权2项发明专利。

应用案例：目前，该项技术已经用于平煤集团下属某化工企业120 t/h的废水深度处理工程中。该含盐废水（含盐量6%-8%）作为下游氯碱企业的原料，要求TOC不高于5 mg/L。原废水经过活性炭和大孔树脂吸附后TOC只能达到20 mg/L，不满足下游氯碱生产的要求。常规臭氧催化氧化效果不佳，且出水TOC不稳定。采用选择氧化对现有氧化工艺改进后，出水TOC稳定低于5 mg/L，满足氯碱生产要求，目前已经平稳运行了半年以上。



某化工厂高盐废水的三级串联选择氧化

强酸废水中氟氯的去除与资源化技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☒ 中试放大

☐ 成熟应用

概况及应用领域：强酸废水的资源化是我国亟需解决的重大行业环保难题之一，高氟、氯强酸废水是其中极其难解决的一类。当前强酸性工业含氟氯废水的处理主要采用石灰中和法，渣量大，渣无出路，堆存风险极高，另外产生大量高盐废水、氯离子无出路。针对上述问题，研发了强酸废水中氟氯的去除与资源化技术，可将强酸废水中的氟和氯进行选择脱除并资源化利用，将净化后的稀酸进行回用，解决渣量大和产生大量高盐废水的难题。

除氯技术应用领域：铅、锌、铜等有色金属冶炼行业污酸废水、离子交换树脂再生酸性废水、磷酸生产行业高酸性废水、其他含硫酸和氯离子的体系。

除氟技术应用领域：铅、锌、铜等有色金属冶炼行业污酸废水、其他含硫酸和氟化物的体系。

技术特点/设备参数/工艺流程：

1. 除氯技术特点：①仅需加热条件即可除氯：通过热活化药剂产生氧化性自由基；②强酸条件强化除氯过程： H^+ 催化除氯剂分解，加速 Cl_2 逸出；③不引入杂质：投加的除氯剂最终转化为 H_2SO_4 ；④ Cl_2 可资源化： Cl^- 以 Cl_2 形式开路，实现资源化。

2. 除氟技术特点：①在强酸条件下，将氟离子浓度降低至50mg/L以下；②氟渣产生量较石灰中和法减量达96%；③氟渣可回收用于防水剂或水泥缓凝剂，进行资源化利用。

专利和获奖情况：除氟技术获得2项国家发明专利授权，除氯技术专利获得1项国家发明专利授权和1项实用新型专利授权

示范与应用案例：除氯技术在广西、河北、四川、河南冶金和磷酸生产相关企业完成了中试放大试验。部分公司已完成200m³/d规模的废酸脱氯再生工程方案设计，相关设备完成选型。

除氟技术在广西、河南冶金相关企业完成了中试放大试验。

合作对象及方式：技术开发、技术服务



除氯中试装置



除氟中试装置

基于电化学技术的重金属废水处理工艺

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况：在深入研究水处理过程中电极反应及作用机制的基础上，提出了基于电极感应及粒子响应的复极感应电化学净水原理，发明了通过电感应电转化高效产生氧化还原、凝聚吸附活性物种的关键技术，开发出系列电极材料和电化学反应器，建立了能满足不同水质特点的电化学水处理工艺，解决了若干废水治理技术难题。发明了Al13原位产生和利用的复极感应电絮凝水处理技术、基于强化电子转移机制的系列电极及电氧化还原净水技术、强化 $\cdot\text{OH}$ 高效生成的感应电芬顿水处理技术，建立了基于感应电化学过程的水处理组合工艺。针对不同的水处理目标，以本项目发明的复极感应电化学技术为核心，开发出重金属废水、难降解有机工业废水处理等组合新工艺以及系列净水设备。

技术特点：

1. 进水指标宽，抗冲击能力强，出水水质稳定；
2. 实现模块化、工艺单元灵活组合，易自动控制；
3. 占地面积小，集成度高，运行可靠，操作维护简单。

适用范围：冶炼、电镀等企业的重金属废水处理；焦化、炼油、煤化工等企业的难降解有机废水处理。

工程应用：该成果已在浙江、福建、山东、包头等地电镀厂进行工程示范。



电镀重金属废水处理设备

以厌氧氨氧化为核心的混合生物脱氮技术与装备

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☒ 中试放大

☐ 成熟应用

概况及应用领域：针对污水高效、低碳低成本脱氮技术需求，研发了以厌氧氨氧化为核心的混合生物脱氮技术、厌氧氨氧化细菌的原位富集技术、厌氧氨氧化在线恢复技术等。通过耦合亚硝化-厌氧氨氧化、部分反硝化-厌氧氨氧化、短程硝化-反硝化等脱氮工艺，针对不同COD/TN比、污染物浓度等污水类型，形成多参数监测与调控策略，开发了配套的智能化控制技术与装备。

该新型工艺技术主要应用于高氨氮、低C/N比废水的脱氮处理，如：剩余污泥厌氧消化液、畜禽养殖污水、垃圾渗滤液、农副食品加工、氮肥、制革、制药等行业废水。同时，适用于低浓度污水的脱氮处理，如生活污水。

技术特点/设备参数/工艺流程：同常规的部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺相比，该混合生物脱氮工艺具有如下特点：①提升了工艺的韧性和稳定性。可充分利用原水中COD和处理过程中产生的 NO_3^- -N，提升厌氧氨氧化在脱氮中的贡献；②丰富了 NO_2^- -N供给途径。厌氧氨氧化所需底物 NO_2^- -N可由部分亚硝化和部分反硝化两种方式提供；③拓展了厌氧氨氧化工艺的应用范围。常规部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺对污水中COD的要求很严格，该混合生物脱氮工艺可满足高COD浓度、高氨氮浓度和低碳氮比废水的处理需求；④基于硝酸盐和曝气联合调控的PLC控制，可实现工艺的高度自动化运行，脱氮效率高。

专利和获奖情况：本技术已获得授权发明专利8项、软件著作权2项。技术支撑了2018年国家科学技术进步二等奖项目“畜禽粪便污染监测核算方法和减排增效关键技术研发与应用”。

示范与应用案例：该技术成功应用于河北某生猪养殖废水处理，实现了污水生物脱氮方式从传统硝化反硝化向厌氧氨氧化为主导的方式转化。出水COD、 NH_4^+ -N浓度满足《畜禽养殖业污染物排放标准GB18596-2001》，总氮平均去除率为83.5%，厌氧氨氧化的脱氮贡献率为77%，厌氧氨氧化菌*Candidatus Brocadia*平均丰度为2.43%，污水处理能耗从 1.93 kW h/m^3 降至 0.9 kW h/m^3 ，实现了外加碳源零投加，大幅度降低了猪场厌氧消化液处理成本。开发了以厌氧氨氧化为核心的一体化污水处理装备，并配套在线监测与智能化控制系统，实现污水高效低耗处理。

利用猪场厌氧消化液实现了工程规模厌氧氨氧化细菌的高效富集，池容超过 1000 m^3 ，脱氮负荷为 $0.60 \text{ kgN}/(\text{m}^3 \text{ d})$ 、厌氧氨氧化细菌活性为 $0.41 \text{ kgN}/(\text{kgMLSS d})$ ，总氮去除率为92%。

以厌氧氨氧化为核心的混合生物脱氮技术与装备

合作对象及方式：方案咨询、技术服务、技术开发



以厌氧氨氧化为核心的混合生物脱氮技术工艺设计、示范工程、一体化装备与菌种富集

高浓度有机废水短流程处理的厌氧膜生物反应器技术

项目成熟阶段

□实验室研发

■中试放大

□成熟应用

技术原理及应用领域：厌氧膜生物反应器(anaerobic membrane bioreactors, AnMBR)是膜与厌氧消化的有机结合，膜分离不仅取代了传统的三相分离器，而且改变了传统厌氧消化工艺的微生物保留、污染物截留和产气释放等关键工艺特征，大大提高了厌氧消化的效率和稳定性。膜分离截留效率远高于三相分离器，不仅可直接截留厌氧污泥，还能够截留大颗粒污染物(TSS)，进一步提高了厌氧消化的污染物去除效果。因此同传统厌氧消化工艺相比，AnMBR具有COD去除率高、出水水质好和保留厌氧生物等优势。

该新型工艺技术主要应用于各类高浓度有机废水的短流程达标处理，如：农副食品加工业，垃圾转运站渗滤液和包装印刷等高浓度工业废水。

技术特点：针对传统厌氧消化工艺处理高浓度有机废水存在的甲烷菌流失、酸化崩溃和出水COD浓度难以达到接管排放要求的难点，该工艺采用两相厌氧消化方式控制酸化风险，通过耦合厌氧消化和膜分离技术减少甲烷菌流失、提高出水水质，从而形成了高活性



两相厌氧管式膜生物反应器技术工艺流程图

产甲烷菌，高COD去除率，出水COD浓度一步达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中的间接排放标准的两相厌氧管式膜生物反应器技术。

示范与应用：两相厌氧管式膜生物反应器技术已成功应用于中国航天员科研训练中心的密闭生态循环系统试验平台的废水处理系统，用于“绿航星际—4人180天受控生态生保系统集成试验”，各项技术指标均达到或优于设计指标。

同时，该技术也应用于经济日报社等党政大报的印刷废水处理，并成功缩短原有处理流程，实现达标排放，受到中国报业协会印刷工作委员会和北京市其他相关单位的支持和好评。



两相厌氧管式膜生物反应器应用于“绿航星际—4人180天受控生态生保系统集成试验”

膜生物反应器-纳滤组合工艺

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☒ 中试放大

☐ 成熟应用

技术原理及应用领域：MBR-NF双膜工艺是工业废水深度处理与回用的有效方法之一。膜生物反应器（MBR）的生物降解和过滤作用大大降低了废水中的有机物浓度，为纳滤（NF）提供了良好的前处理条件。而纳滤膜对微污染有机物和多价离子的高效去除能力使其可以深度处理废水，出水水质满足回用要求。相较其它工艺（如MBR-RO工艺），MBR-NF组合工艺具有出水水质好、能耗低、设备集约化程度高、水回收率高、等独特优势。适用于高浓度、难降解有机工业废水的处理与回用。

技术特点：基于浓水回流的MBR-NF抗生素制药废水处理与回用工艺，其主要创新点在于将NF工艺直接应用于好氧生物处理工艺（MBR）之后，并部分回流NF浓水至MBR池，大大提高了水回收率。通过浓水回流，浓水中的污染物质可以在MBR池进一步得到降解。该技术缩短了好氧生物处理时间，提高了水回收率，减少了NF浓水的排放量，水质达到了《城市污水再生利用工业用水水质》（GB/T 19923-2005）标准，实现了抗生素制药废水的达标排放和回用。

工艺流程：MBR进水取自制药厂污水处理站厌氧单元出水，经MBR处理后进入NF装置进行深度处理。NF浓水回流至MBR，使MBR-NF系统水回收率维持在90%左右，NF出水根据要求直接排放或回用。

示范与应用：在无锡某制药公司完成了MBR-NF组合工艺中试研究，设计处理规模1.0 m³/d，水回收率可达90%以上，产水水质优异，TOC5.5mg/L，脱盐率60%以上，满足回用要求，同时NF浓水回流对MBR系统的活性污泥性能没有显著影响。该工艺所开发的NF技术正在无锡某制药公司进行日处理规模300m³的示范工程研究，示范效果良好。



MBR-NF系统



膜组件

MBR-NF组合工艺中试现场

分散型污水的电控膜生物反应器处理技术与装备

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况：近年来有关农村生活污水与养殖废水、城市垃圾中转站渗滤液以及石油、化工、造纸、医药、食品、纺织等行业产生的高浓度有机废水造成的水环境污染问题引起了人们的广泛关注。针对分散型污水区域分散、处理规模小、技术管理力量薄弱、水质水量变化大、适宜分散治理等特点，研究了微生物活性和膜分离过程与电场作用的响应机制，将电催化、微生物代谢及膜过滤耦合为一体，开发了一种高效率、低能耗、低运行成本、运行稳定的电控膜生物反应器处理技术与装备。而且在厌氧条件下，该技术不仅满足废水治理的净化要求还可以产生清洁能源沼气，实现了高浓度有机废水的无害化、资源化、能源化处理，极大地提高了污水的利用率，实现了资源的良性循环。

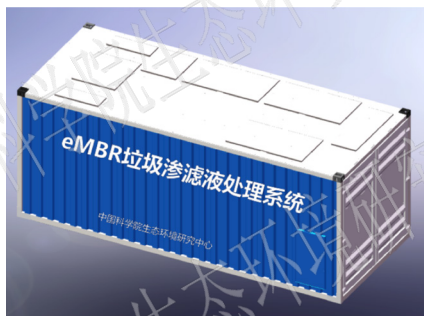
技术特点：

- 1.膜污染轻，膜通量较普通膜生物反应器高约20%以上，且电场控制膜污染还具备原位控制、自动化程度高、普适性好的优点；
- 2.电场激活、增强酶的活性，增加了COD的去除速率；
- 3.无需外加药剂便可以达到较好的除磷效果；
- 4.占地面积省，装备系统占地较常规膜生物反应器减小约20%以上。

适用范围：分散型污水处理工程，包括城市垃圾中转站渗滤液、农村分散污水、工业高浓度有机废水。

工程应用：

- 2019年扬州市邗江区瓜洲镇垃圾中转站渗滤液处理项目（5 t/d）；
- 2020年扬州经济技术开发区新建垃圾中转站渗滤液处理项目（50 t/d）。



电控膜生物反应器及一体化污水处理装备

微冲宝®-现代田园循环：农村人居环境治理的理想模式

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

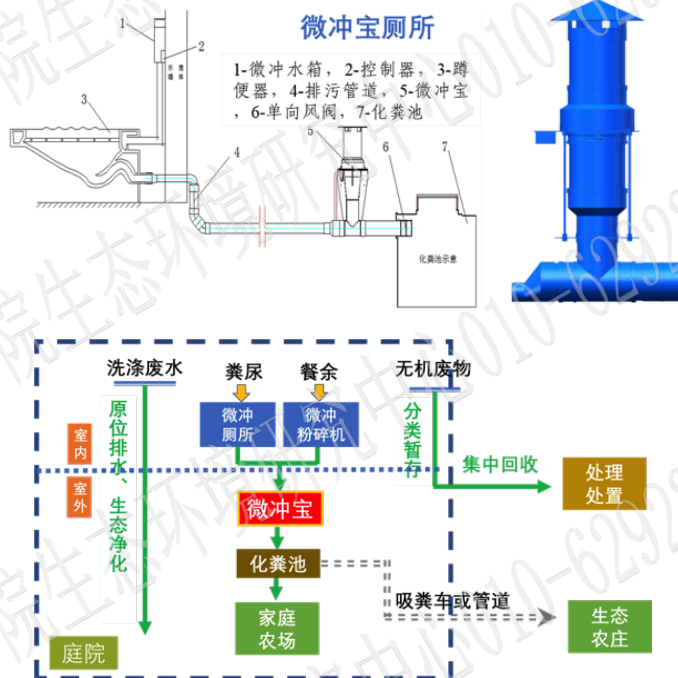
☒ 中试放大

☐ 成熟应用

概况：重新发明微冲宝®管道排污厕所，厕所用水量 ≤ 1.5 升/次。微冲宝®-现代田园循环系统集成源头分离分类、生产生活协同、就近就地处理利用技术，适用于农村改厕、污水和垃圾治理，建设成本降低80%，运行成本降低90%。人均节水10吨/年，再生肥料以氮磷钾计6公斤/年，二氧化碳减排160公斤/年。

建设成本：5000元/户（改厕与厕所粪污治理）~15000元/户（厕所、污水和垃圾协同治理）

运行成本：30元/户/年（改厕与厕所粪污治理）~90元/户/年（厕所、污水和垃圾协同治理）



专利和获奖情况：

- 欧洲发明专利：PCT/CN2021/096083
- 中国发明专利：202011395303.X，202011384928.6，202010251604.9，202010633242.X，202021864182.4，202020221826.1

微冲宝@-现代田园循环：农村人居环境治理的理想模式

● 第二十四届中能国际高新技术成果交易会 CHINA HI-TECH FAIR 2022（优秀产品奖）

示范与应用案例：该项技术已经在国内江苏如皋，江苏灌南，新疆塔城，西藏加查，江西上犹等地区安装使用，工程应用超过3年，处理效果安全稳定。

适用范围：广泛适应各种地理气候条件，在高海拔、干旱和寒冷气候下应用的优势更加显著。系统运行不会因人口波动产生显著影响。

合作方式：项目合作、产品代理、专利授权等



用水量 ≤ 1.5 升/次，耗电量 ~ 3 度/户/年

农村污水处理技术和管理模式

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：农村污水的特点是分散、排放不稳定、区域差异大，而且农村经济承受能力弱，污水处理方面的专业技术人员严重缺乏，这就使得农村污水处理具有特殊性。此外，目前许多已建成的村庄污水处理设施难以正常发挥功效，主要是缺乏相应的长效运营机制。因此，在技术和管理模式上，农村污水处理均不同于城镇污水处理。

经过多年的研究与实践，开发出真空源分离生态排水技术、室外真空排导技术、生物强化化粪池、跌水充氧一体化生物膜反应器、立体循环一体化氧化沟、太阳能驱动污水处理技术与设备、生态过滤、生物填料强化垂直流人工湿地、畜禽养殖资源化处置与种养一体循环利用技术、复合式生物除臭技术、农村污水处理设施远程监管与信息系统等一系列技术与设备，可用于不同类型与规模的农村污水收集、处理与监管，包括单户污水处理和村落污水处理。

针对农村污水处理设施运营管理困难等问题，编制了《村庄污水处理设施技术规程》等标准与指南，已由国家住房和城乡建设部发布实施。通过在江苏省常熟市开展的县域污水综合治理示范区的建设，总结出“统一管理、统一规划、统一建设、统一运行”的新模式。

技术特点/设备参数：

1. 各项技术与设备具有创新性和实用性，可根据不同区域的条件与要求进行优化集成，形成适合于当地的特色农村污水处理技术集成系统，达到相应的排放或回用的水质要求；

2. 设备简单，运行管理简便，通过程序控制自动运行，处理效果稳定；



真空便器



真空泵站



中转沼气站



就地农业利用系统

真空源分离系统（江苏常熟）



单户污水处理设施，
0.5m³/d（浙江余杭）



村落污水处理工程，
200m³/d（江苏常熟）

农村污水处理技术和管理模式



太阳能板



污水处理设施

太阳能驱动污水处理设施, $0.5\text{m}^3/\text{d}$ (浙江余杭)



3. 适于分散住户的户用污水处理设备可实现污水就地处理与利用, 降低污水收集成本;

4. 不便于架设常规电源及运行费用缺乏的地区可采用太阳能驱动, 减少污水处理设施对常规电源的依赖;

立体循环一体化氧化沟改变了传统氧化沟的平面循环的方式, 占地面积可减少约50%左右, 且沉淀区与氧化沟主沟合建, 无需污泥回流

设备, 节省投资和能耗, 适用于污水量大于 $30\text{m}^3/\text{d}$ 的村落污水处理;

真空源分离生态排水技术由真空排水单元和重力排水单元组成, 对生活污水和垃圾中轻重污染成分进行分类收集、分别处理和资源化利用;

室外真空排导技术是用真空设备使排水管道内产生一定真空度, 利用空气压差输送污水的排水系统, 管道设置灵活, 无水力坡度及埋深要求, 适用于传统重力排水管道无法铺设的地方;

集约化畜禽养殖粪污资源化处置与种养一体循环利用技术采取粪肥还田、制造有机肥等方法, 对畜禽养殖废弃物进行综合利用以及采取种植和养殖相结合的方式消纳利用畜禽养殖废弃物, 促进畜禽粪便、污水等废弃物就地就近利用;

农村污水处理设施远程监管与信息系统借助物联网和移动通信技术, 实现对农村分散污水处理设施的远程实时监管与信息管理的。

专利和专著: 目前已获得授权发明专利12项。编写出版了《村庄整治技术手册-排



左: 条垛式堆肥

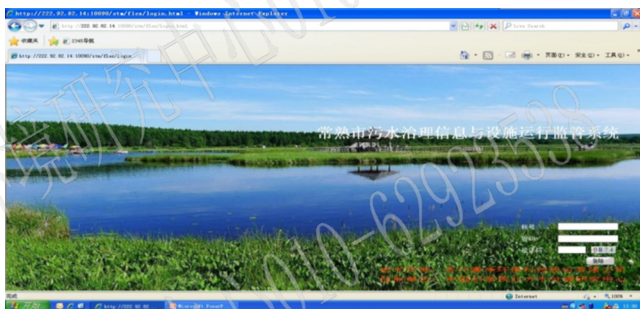


右: 翻堆机工作中

猪场污水处理和堆肥工程 (北京)

农村污水处理技术和管理模式

水设施与污水处理》；编辑出版了《村庄污水处理案例集》和《村庄污水处理案例集（续一）》；编制东北、华北、西北、东南、西南、中南6地区的《农村生活污水处理技术指南》，并由国家住建部发布；编写了《村庄污水处理设施技术规程》



常熟市农村污水处理设施远程监管与信息系统登录界面

（CJJ/T163-2011）和《户用生活污水处理装置》（CJ/T441-2013）；编制《县域污水综合治理指南（常熟模式）》、《重点镇污水处理设施运行效果评价方法》（征求意见稿）、《县（市）/域污水综合治理技术指南》（建议稿）。

市场分析：我国有60多万个行政村和250多万个自然村，由于长期实行的城乡二元结构，导致城乡公共资源配置严重不均衡，目前村庄污水处理率仅为8%。大量未经处理的农村污水直接进入周边环境，既是农村区域水体污染的重要污染源，也是潜在的传染病病源。随着新农村建设的发展，农村的生活水平显著提高，但与此同时，农村污水污染负荷已经接近城市污水和工业废水污染排放总和。随着国家“水十条”的实施，农村污水治理将是今后的重点之一，因此，农村污水治理的市场前景是广阔的，效益规模是巨大的。

实际应用案例：已在浙江、江苏、云南等地的农村污水处理工程中得到应用。特别是在江苏省常熟市开展的“县域村镇污水治理综合示范区”中得到大规模的应用。

合作方式：技术转让、技术开发、技术服务。

产业化所需条件：产业化推广平台



与农村水污染治理相关的出版物

高分子聚合物膜分离材料及其产业化装备

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况：膜技术被公认为是21世纪水处理领域的高新技术，随着“可持续发展”观念的不断增强，国家对水资源的综合利用、工业废水排放，以及水回用技术提出了更高的要求，可以预见，膜分离技术将越来越显示其重要性，成为未来给水安全净化、废水回用处理工程领域的首选技术，也是未来水质净化处理的发展方向 and 必然趋势。我国的膜技术市场中大多数膜材料始终被国外企业所垄断，水处理技术公司缺乏膜材料定价的话语权，因此高分子聚合物膜分离材料产业化技术与装备在国内环保行业具有巨大的应用前景和市场潜力。

技术特点：

- (1) 可生产工业级高品质中空纤维型、平板型滤膜；
- (2) 高分子滤膜生产装备完全PLC控制、技术参数精确；
- (3) 滤膜孔径分布集中、力学性能较好，具有较长使用寿命；
- (4) 该成套技术可实现从材料到组件制备技术、生产装备等整条产业链服务。

应用前景：

目前中国膜市场已经成为全球市场中的重要部分，随着并购、联盟以及许可协议等，中国膜市场变化迅速而复杂。中国膜产业借助于国内基础设施建设快速发展的机会，水处理配套产业得到长足进步，但尚未形成整体优势，整个产业发展比较分散，还没有形成一批具有国际影响力的膜厂商和工程公司。中国膜产业界的某些著名企业已经引入了风险投资、产业投资等战略投资，加速整合市场、技术、资本以及人力资源等，背靠中国巨大的市场需求空间，高分子聚合物膜分离材料产业化技术与装备具有巨大的应用前景和市场潜力。

示范与应用：

目前，该项技术已经在国内的江苏旌凯环保科技有限公司、江苏金山环保科技股份有限公司、山东京鲁水务集团、北京博天环境等环保公司实现了成套技术的产业化示范。



中空纤维膜生产线



平板膜生产线

高效低温膜蒸馏高盐水处理技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况：膜蒸馏技术是一种采用疏水性微孔膜的新型膜脱盐技术，该技术常压脱盐，操作运行方便；可处理高浓度盐溶液，产水率远远高于其它膜分离技术。膜蒸馏脱盐技术分离效率高、环境友好，且便于与其它净化处理过程耦合与集成，在水的淡化、化学物质回收、高盐废水处理及回用等领域具有巨大应用前景。

技术特点：

- (1) 常压进行，设备构造简单，操作运行方便；
- (2) 仅有水蒸汽能透过膜孔，产水水质纯净；
- (3) 可处理高浓度盐溶液，产水率远高于其它脱盐技术；
- (4) 可利用工业废/余热以及太阳能、地热等绿色热源。

应用前景：

该技术在高盐废水回用处理，实现“零”排放，减少环境污染负荷，大幅度提高水资源利用率方面展现了广阔的产业化和工业化应用发展前景，尤其该技术的产业化及工业化应用可有效解决制约我国水环境污染治理、节能减排、区域社会经济可持续发展的高盐废水达标排放问题。

示范与应用：

目前，该项技术已经在国内的多家公司，对不同的工业高浓度废水进行了示范应用，如内蒙达拉特旗火电厂反渗透浓盐水、山东铝业公司氧化铝生产过程的碱性浓水、甘肃金川电解镍生产过程的高浓度硫酸钠废水、中石化环氧氯丙烷生产过程的高浓度氯化钙废水、山东染料厂的高盐度高色度废水、吉林糠醛厂的高浓缩酸性糠醛废水、北京大兴电子荧光屏酸性高磷废水、印钞厂酸性电镀废水等。



低温膜蒸馏组件膜



蒸馏高盐水处理中试现场

高性能反渗透膜制备技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☒ 中试放大

☐ 成熟应用

概况及应用领域：反渗透（RO）技术主要应用在海水淡化、污水回用、工业废水零排放以及家用净水等领域，是水脱盐、回用与净化的核心材料。国产RO膜普遍存在水通量低、稳定性差、抗污染和耐氯能力差的问题。我们开发了新型RO膜制备方法，实现了RO膜水通量及水-盐选择性、化学稳定性、耐氯性和小分子有机污染物去除的同步增强，方法简单可放大，为工业规模的反渗透膜性能提升提供了可靠技术。

技术特点/设备参数/工艺流程：

1. RO膜水通量较进口膜提高0.5-2倍，同时脱盐率相当，提高了RO膜的水-盐选择性分离效果。
2. 具有较好的耐酸碱性和耐氯性，在膜清洗和氯消毒条件下稳定性较商品膜显著提升。
3. 对苯并噻唑、1,4-二氧六环等小分子中性有机物有更好的去除效果，对TOC有更好的截留去除能力。
4. 可降低运行压力或减少膜组件数量。
5. 技术简单，对现有RO膜生产线简单改造，或对商品RO膜膜片或组件直接改性。

专利和获奖情况：该技术已授权6项发明专利。

应用案例：目前，该项技术已经在广东某地进行了连续实验验证，膜组件六个月连续运行结果表明，其耐氯、通量、脱盐率稳定。相同压力下，比国外某主流高通量海淡膜水通量提高近一倍，出水电导率下降90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，相同产水量时，运行压力下降三分之一。



商品RO膜改性组件中试运行测试

氯损伤反渗透膜的原位修复技术

项目成熟阶段

☐实验室研发

☒中试放大

☐成熟应用

概况及应用领域：反渗透（RO）是海水/苦咸水淡化、污水再生及工业高盐水深度浓缩的核心组件。RO膜在长期运行过程中存在不可逆污染、氧化及机械损伤等问题，我国每年废弃的RO膜组件数量巨大，达到百万只以上，填埋或焚烧处置存在资源浪费和环境污染问题，受损RO膜的修复有迫切的市场需求。针对氯消毒导致的反渗透膜通量、截留率受损问题，开发了氯损伤RO膜的原位修复技术，能实现氯损膜水处理性能的有效恢复。该技术可大幅延长目前海水淡化、电厂水脱盐、电子行业纯水、工业废水深度处理及零排放系统中RO膜的寿命。

技术特点/设备参数/工艺流程：

1. 修复后RO膜的水通量可恢复至初始水平，脱盐率可恢复初始值的98%及以上。
2. 多次循环氯损伤-修复测试，膜修复效果稳定。
3. 修复方法简单，可对商品RO膜组件进行原位的直接修复。

专利和获奖情况：该技术已授权2项发明专利。

应用案例：目前，该项技术已经在广东某地进行了电厂反渗透膜的氯损伤修复测试。结果表明，膜修复后通量恢复90%以上，脱盐率恢复95%，寿命延长50%。单支膜组件的修复费用低于100元。



广东某电厂RO膜原位清洗修复

污泥深度脱水与热解碳化资源化利用耦合工艺

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：污泥深度脱水是污泥减量化的重要手段，是提高污泥资源化利用效率的重要前提。针对传统污泥深度脱水工艺减量化程度低、处理处置综合成本高、无法满足污泥不同资源化要求等问题，本技术研发了基于水解聚合形态精确调控的纳米羟基铝复合调理剂、高炉渣基聚合铝硅纳米絮凝调理剂、三元水滑石功能调理材料、镁凝胶复合调理剂等系列污泥调理药剂，强化污泥结合水释放，实现污泥脱水效能改善；建立污泥化学调理-深度脱水与资源化利用耦合技术，通过高锰酸盐/高炉渣水滑石调理改善污泥的脱水性能，同时利用调理剂中过渡金属的催化作用，提升污泥热解碳的比表面积，并同步削减热解碳中毒性溶解性产物，制备的复合污泥碳基吸附材料可用于污水深度处理、垃圾渗滤液处理、污泥深度脱，突破了传统污泥碳化工艺干化能耗高、污泥碳品质低、系统运行稳定性差等问题。

技术特点/设备参数/工艺流程：

1. 技术具有污泥脱水率高、调理剂用量少、对泥饼和滤液pH影响小的优点，有利于污泥后续资源化利用。污泥经强化脱水药剂调理后，采用隔膜压滤脱水，泥饼含水率稳定降至60%以下。相比常规调理方式(无机金属盐和石灰)，污泥深度脱水系统的处理能力提升20~30%，脱滤液pH值呈中性，污泥干固增量降低70%以上。

2. 与国内外传统污泥“干化-热解碳化”工艺相比，本工艺的吨泥（80%含水率计）投资降低 20%左右，热解碳化运行能耗低、工艺稳定性好，工艺直接运行成本降低 30%以上。

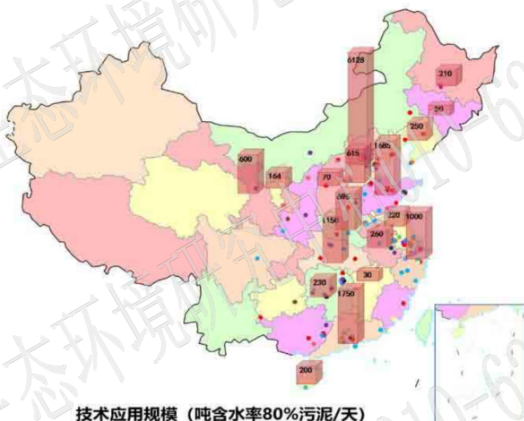
3. 复合污泥碳产品品质更高，在污水深度处理、垃圾渗滤液处理和污泥深度脱水中展现出良好的应用性能。

专利和获奖情况：华夏建设科学技术一等奖（2021）、湖北省科技进步二等奖（2022）、中国产学研合作创新成果二等奖（2020）

示范与应用案例：

1. 污泥调理药剂与脱水技术推广情况：成功研发出纳米羟基铝复合调理剂、高炉渣基聚合铝硅复合调理剂和水滑石、改性壳聚糖聚合物、镁凝胶复合调理剂等系列的污泥调理药剂与材料及其生产工艺，应用于我国山东、河北、宁夏、天津等地建立12个新型污泥调理剂生产基地，年生产药剂规模57万吨。

■成熟应用



无机高分子絮凝剂及高效絮凝技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：研究揭示了铝水解聚合过程中絮凝剂优势形态（ Al_{13} ）生成与转化的动力学机制，建立了精准加碱微界面调控方法，创建了具有高浓度纳米 Al_{13} 的无机高分子絮凝剂生产工艺；发现天然有机质中氧碳比高、电负性强的分子是三卤甲烷等致癌消毒副产物的主要前驱物，建立基于高正电荷 Al_{13} 絮凝剂选择性去除消毒副产物前驱物的强化混凝技术，该技术可显著提高了水体消毒副产物前驱物的去除效果。

技术特点：

1. 材料优势形态 Al_{13} 含量高：较传统絮凝剂生产工艺，显著提升了絮凝剂优势形态 Al_{13} 含量，其含量可达90%以上，显著提高絮凝剂的电中和能力，降低絮凝剂的投加量。
2. 显著提升污染物处理效率：本技术生产的高分子絮凝剂，较传统铁、铝药剂可显著提升天然有机物的去除效果达30%以上，有效控制消毒副产物的生成，提高饮用水的安全性。

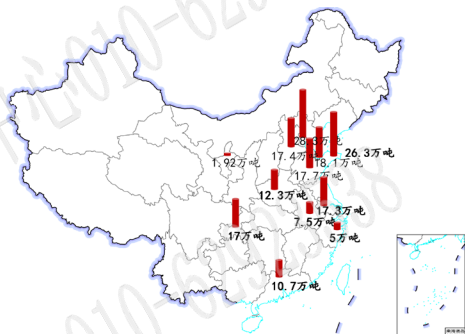
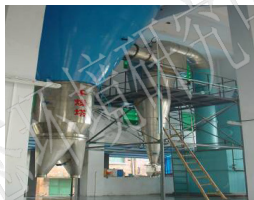
专利和获奖情况：

1. 无机高分子絮凝剂及高效絮凝技术，国家科学技术进步奖二等奖，2004年

市场分析：随着水资源受到越来越多化学合成物和微生物等物质的污染，水体污染物呈现多样化、复杂化特点，传统絮凝剂在去除有机质细微悬浮物、微污染有机物等去除效果十分有限，已难以适应日渐复杂的水体。本技术通过优势混凝形态的分子设计，开发基于功能化絮凝剂的优化混凝核心技术，可提高污染物去除效果同时降低运行成本，在水处理领域具有良好的应用前景。

示范与应用案例：

技术成果主导我国高品质絮凝剂生产工艺：在天津、山东等地建成12座无机高分子絮凝剂生产厂（年产>60万吨），产品用于北京等地36个供水企业（792万 m^3 /日）。



旁路离线河流净化器技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

技术原理及应用领域：“旁路离线河流净化器”技术，是基于支流与主河道形成回路的特征，通过工程技术措施，将一部分主河道的水引入支流，把支流作为主河道的旁路离线水质净化系统，既可离线处理外来客水，又可在线处理自身河道河水。依据调蓄、滞留、净化和自然河道仿拟的原理，因地制宜，通过优化组合不同离线-在线生物/生态技术，构建旁路离线河流净化器技术与系统，强化河流自净功能，逐步恢复河流水质和生态功能。本项技术适合非常规水源补给河流的生态治理与修复。

技术特点：“旁路离线河流净化器关键技术及系统”可系统集成在线、离线河流水质净化技术的优点，以塘-湿地组合水质净化技术为主，以拟自然河道技术、滨岸植被缓冲带技术、河道内沉水植物群落重建技术等为辅。结合生态工程技术、环境工程技术和水利工程技术手段，该系统对于氨氮浓度15-20mg/L及以下的污染河流特别有效。

工艺流程：该技术与系统主要由塘-湿地组合水质净化技术与系统、高效复合潜流人工湿地技术、拟自然河道技术、滨岸植被缓冲带技术、河道内沉水植物群落重建关键技术等组成。

示范与应用：基于“旁路离线河流净化器”关键技术，构建了龙道河污染控制与生态治理综合示范区。该示范区位于北京市顺义区后沙峪镇，控制流域面积为26.40 km²，河段长度为10.14 km，其中龙道河为8.74 km。温榆河水通过引水渠进入罗马湖塘-湿地系统和拟自然河道河段，水质得到净化后回流至温榆河，对温榆河水进行稀释净化，改善温榆河水质。



龙道河污染控制与生态治理综合示范区平面布置示意图

排水管网沉积物防控技术

项目成熟阶段

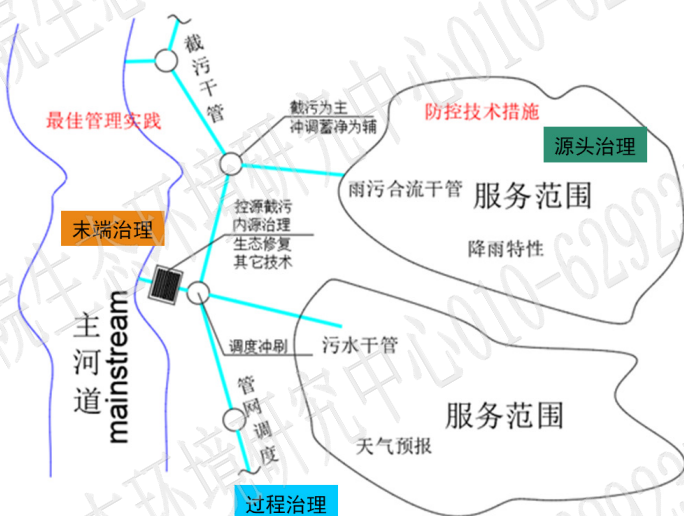
☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：不同于传统以面源和排口治理为主的溢流污染截留控制技术，溢流污染防控“截冲调蓄净一体化”关键技术针对河流污染源的形势变化，以排水管网过程运行调控的防控为主，前端强调拦截，体现源头减量，过程中以“冲、调”为技术关键，末端以“蓄、净”为突破点。根据管网特征确定源头减量的幅度，开展清管行动和低水位运行，减少了合流制管网污染源和峰值水量负荷；针对管道底泥沉积量的季节变化规律，提出了管网底泥冲洗策略，优化运行调控；针对管网系统水力特征，优化了管网冲刷流速，建议了配套工程措施；针对溢流污染浓度高峰，明确了截污前30钟溢流即可有效控制溢流污染。针对末端形成的溢流，以砾石截留结合生态的方法实现净化。

技术特点/设备参数/工艺流程：合流制管网溢流污染特性及防控关键技术的节点，在强调源头截污的基础上，包括六个单元技术：①多种管道的管道底泥沉降缓解技术，②旱季基于管网调度的管道底泥沉降控制技术，③雨季基于天气预报的管道底泥冲洗技术，④截流井构型优化，⑤溢流污染截流净化技术，和⑥排口砾石沟消能和强化沉淀净化技术，整体技术达到悬浮性固体SS污染物去除率>50%，溢流入河COD去除率>30%。



专利和获奖情况：北京市水利学会科学技术进步二等奖（2/11）

排水管网沉积物防控技术

示范与应用案例:

1. 北京市沙河水库库区排污口合流制管网溢流污染防控关键技术为截冲掏调蓄净一体化技术,体现为“源头截污减量,过程冲掏底泥预防,末端调蓄净削减溢流污染”;基于天气预报和BMP,强化预防,生态拦截悬浮态污染物入库,提升溢流污染的削减效果。沙河示范区合流制溢流污染削减的“截冲掏调蓄净一体化”技术,对库区26处排污口的24处(92.31%)实施了设施处理。

2. 长江大保护驻点科技帮扶中,在驻点城市南昌开展第二次生态环境督查突出问题“污水处理厂进水浓度低”综合整治,支撑了基于从住宅单元-化粪池-排水泵站-污水处理厂全过程污染物浓度排查技术的建立,支撑了南昌城市排水管网大改造。

3. 支撑了北京市地方标准《合流制管网溢流一级强化处理污染物排放标准》(建议稿)制订。

合作对象及方式: 方案咨询、技术服务、技术开发



基于水生态修复的河湖库生态清淤技术方案咨询

项目成熟阶段

☐ 实验室研发☐ 中试放大☒ 成熟应用

概况及应用领域：生态清淤技术是维护河湖库生态环境健康的重要举措，技术核心为通过清除污染淤泥、恢复水生植物、修复底栖生境等手段，可有效改善上覆水质、恢复水生态系统功能和保护生物多样性。生态清淤技术的应用可解决河湖库淤积萎缩问题，恢复通流能力和水系连通性，增加湖库的调蓄容积，提升生态水域空间，复苏河湖库水生态功能。技术方案咨询贯穿生态清淤工程全过程。

技术特点/工艺流程：技术组成包括内源污染定量监测、清淤分区和实施、底栖生态修复、清淤效果评估4个部分。

1. 内源污染定量监测：水体与沉积物污染时空差异诊断→沉积物-水界面污染物释放通量识别→沉积物污染深度与水体污染状态耦合模拟

2. 清淤分区和实施工艺：清淤区划指标体系构建与空间分区→基于清淤区域生态状况的施工工艺选择→基于下垫面与污染分层的清淤深度控制

3. 底栖生态修复工艺：底栖生物时间序列演变特征→关键生境影响因子识别与改善→大型沉水植物修复→底栖生境恢复与优化

4. 清淤效果评估：生态清淤施工前监测→施工中监测→施工后监测（水质、沉积物、水生态）

清淤区域平面定位精度控制于 $\pm 20\text{ cm}$ 和清淤挖深精度控制于 $\pm 5\text{ cm}$ ；清淤后营养盐释放通量减少50%以上，清淤扰动范围控制在30 m以内；清淤区域生态修复后水质提升明显，生物多样性逐步恢复。

专利和专著情况：获得授权发明专利2项，出版《环境工程学报》-河湖库环保清淤工程关键技术和典型案例专题，制定地标1项。

示范与应用案例：

1. 白洋淀生态清淤试点项目示范工程。工程共清除底泥 25万 m^3 ，去除总氮725 t，总磷291 t。

2. 太湖流域长荡湖（金坛）生态清淤工程。工程实施面积共计 20.7 km^2 。

合作方式：技术服务、技术咨询



白洋淀南刘庄示范工程实施前



白洋淀南刘庄示范工程实施后

河网地区饮用水源生态湿地构建技术

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

☒ 成熟应用

概况及应用领域：河网地区饮用水源生态湿地构建技术是通过在自来水厂前端构建规模化仿自然生态湿地，以环境友好的手段来较大幅度提升自来水厂进水水质的技术。该项技术在实现水厂水源水主要水质指标提升的基础上，还具备生物多样性改善、清新空气、景观美化等多项生态服务功能，成为建设该类型湿地地区的城市名片。

技术特点/设备参数：该成果主要运用湿地根孔生态净化区的构建和受污染源水净化湿地水力调控等多项关键技术。在根孔构建上运用人工强化与诱导相结合，构筑根孔与自然根孔相结合的“双强化”的方法，在沟壕-植物床系统的构建上则通过水力梯度和竖向设计，卡口（半堵头）、堵头水量输配控制等人工水力调控来强化水陆交错带的边缘净化效应，独创地通过预处理区-根孔生态净化区-深度净化区的有机串联，大沟、小沟、植物床组成有机并联体，来联合净化水质。

专利和获奖情况：支撑该成果的技术已获得三项授权发明专利。成果获得2011年度国家住房和城乡建设部“中国人居环境范例奖”、2012年度联合国人居署迪拜国际改善居住环境最佳范例奖之“全球百佳范例”奖。

市场分析：该项技术适用于以微污染河网作为源水，饮用水安全受到威胁的地区。该技术可在一定程度上抑制水厂源水水质进一步恶化的趋势，净化水质，为地区的饮用水安全提供长久对策。具有此类需求的地区为数众多，该项技术具有广阔的市场应用前景。

实际应用案例：目前该成果在嘉兴地区的石臼漾水厂、贯泾港水厂，海宁的第三水厂、第二水厂的前端进行了技术实际运用，推广总面积达9400余亩，日处理总水量约130万吨，服务人口约300万。

合作方式：技术服务、专利实施许可。

产业化所需条件：每个地区

的水文、水质、地质、河湖状况以及主要污染源等存在差异，生态水源湿地的产业化构建、推广需要建立在因地制宜、具体情况具体分析的基础上，才能达到各个实际建造的湿地的参数与效果的双项最优。



浙江嘉兴石臼漾水源生态湿地技术示范地

河流治理规划方案制定

项目成熟阶段

☐ 实验室研发

☐ 中试放大

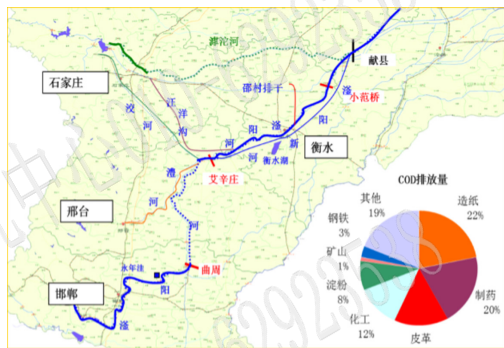
☒ 成熟应用

概况及应用领域：河流治理战略方案是指为实现河流生态完整性恢复和生态功能保障这一河流治理核心期望目标，基于河流水污染发展过程和症状诊断结果，从全局的、长远的观点出发研究受损河流治理和生态修复的战略方向、战略目标、战略重点和战略规划，进而明确河流水污染现状与治理战略目标之间的差距，并为弥补这个差距而提出即将采取的策略和总体性行动谋划。河流治理战略方案是未来一段时间之内河流治理的总体谋划和纲领，一般具有几个基本特点：（1）目标明确、（2）渐进实施、（3）可执行性良好、（4）灵活性好。

从河流治理战略方案的内涵和基本特点可以看出，在战略方案制定的战略目标方面，要坚持河流生态服务功能优先原则，在河流问题诊断评估中坚持生态完整性的综合评价原则，在目标任务布局方面坚持特征目标分期达近原则，而在流域污染控制方面，坚持基于水质目标的流域污染减排原则。该成果可广泛应用于污染河流治理领域。

技术流程：首先，应从流域河流水污染治理的重大需求出发，基于河流生态系统基本组成要素和流域驱动因子分析，系统诊断和表征河流水环境问题；其次，贯彻河流生态系统功能保障为首要原则，以保障河流水资源安全和水生态健康的水质评价和河流指示种评估为基础，界定河流污染类型及其主要目标水质；再次，从约束性水质指标达标差距和区域社会经济发展的阶段性两个方面，提出流域水污染治理的阶段划分时间序列，结合河流水功能和水生态目标要求，提出“十二五”和“十三五”期间的目标任务要求，制定河流治理路线图；然后，根据不同污染类型和污染状况，划定河流治理重点控制单元，并提出对应的重点任务布局；最后，选择流域典型重污染河流，给出相应的河流污染负荷减排方案。

示范与应用：基于该成果，已完成《海河流域河流治理战略方案》、《滏阳河（邢台段）重污染河流水质改善方案》、《龙景湖污染治理方案》等方案的编制。



邢台河流治理方案

中国科学院生态环境研究中心科技开发处

地址：北京市海淀区双清路18号

电话：86-10-62923538 62849178

邮箱：std@rcees.ac.cn

邮编：100085

传真：86-10-62923538

网址：<http://www.rcees.ac.cn>

应用科技成果汇编

水质与水生态安全保障技术

