

2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

一、项目名称

模块化人工湿地污水处理技术研发与应用

二、提名者及提名意见

提名者：席北斗，中国环境科学研究院，研究员，水污染防治工程；

提名意见：该项目面向城乡污水治理需求，针对传统人工湿地易堵塞、效能不稳定难题，在国家重点研发计划、国家自然科学基金支持下，围绕“预制、装配、协同”，研发模块化人工湿地成套技术装备，建立多场景适配工艺体系。项目三大创新：首创模块化湿地理论体系，污染负荷承载力提升 3-5 倍，支撑地方技术规范编制；研发固废基轻质填料群组，获发明专利 3 项，实现固废资源化；构建多级分区湿地并耦合生物电化学技术，高效削减复合污染物。技术已在国内多省市及欧洲示范应用，同意提名陕西省科学技术进步奖一等奖。提名材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。

三、项目简介

党的二十大报告提出“统筹水资源、水环境、水生态治理”，《美丽中国建设“十五五”规划》部署深入打好碧水保卫战、全面实施新污染物治理行动，对城乡水环境治理提出更高要求。传统人工湿地因占地大、施工周期长、维护复杂，污水处理覆盖率低，微塑料等新污染物去除率不足 30%。为此，项目在国家自然科学基金支持下，5 家单位联合攻关 10 余年，以“预制-装配-协同”为研究主线，形成模块化人工湿地污水处理技术体系，取得三大创新成果：

1. 首创“模块化预制装配-污染物靶向协同”理念，构建模块标准化设计、功能预制化生产、空间集约化利用的理论框架，突破湿地平面布局限制，阐明对碳、氮、磷、重金属、抗生素等污染物的协同去除机制。体系已纳入《陕西省农村污水人工湿地技术处理规范》（拟定），并在国内外多省市示范验证，污染负荷承载力提升 3-5 倍，为《“十五五”规划纲要》提出的“促进超低能耗和装配式建筑规模化发展”提供原创理论支撑；

2. 以铝污泥、废弃生物质等固废为原料，结合聚氨酯发泡热解活化、导电聚合物包覆等改性，开发“吸附-催化-生物膜载体”多效功能填料。铝污泥基滤料吸附容量为普通填料 10 倍，碳缓释-导电复合填料反硝化速率提升 2 倍，超疏水磁性滤料去除微塑料达 92% 以上；相较传统砾石填料，容重降低 60%、装配效率提高 40%、维护成本减少 70%。获发明专利 3 项，已应用于浙江“无废城市”试点项目；

3. 集成可更换模块、耐寒抗旱植物、生物电化学辅助等强化技术，构建“预处理-多级分区净化-生态稳定”组合工艺，结合微生物组学解析复合污染物协同

去除机制，实现污染物梯度削减。工程实测 COD 去除率可达 85%、氨氮达 80%，低温（水温 5℃）下氨氮、TP 去除率仍达 94.24%、87.22%，出水稳定达一级 A 标准，河湖场景水体透明度由 0.5m 提升至 1.2m；系统运行两年无淤积、抗堵塞性能好，全生命周期环境影响显著降低；

目前，项目获授权发明专利 3 项、实用新型专利 14 项。技术已在江苏、山东、浙江、河南等多省市及西班牙示范应用，建成农村生活污水、餐厨尾水、养殖废水、河湖修复等 8 处工程示范，处理规模 10-20 吨/天至 800 吨/天，出水均达一级 A 标准。完成单位累计销售收入 3406.78 万元，主要应用单位新增销售收入 160 万元、新增利润 33 万元；系统节地 1/2 以上、吨水运维成本 0.08-0.15 元、甲烷排放通量降低两个数量级，助力“双碳”目标实现。项目获国际水协会（IWA）报道为“世界首创”，并通过江苏省科技计划验收，应用推广前景广阔。

四、客观评价

本项目围绕多级复合模块化人工湿地水处理技术，形成涵盖理论体系、核心材料、成套装备与工程设计的完整链条，经国际权威机构报道、省级科技计划验收及第三方检测实证检验，创新性与经济社会价值显著。

一．创新性突出：项目直面传统湿地土建量大、易堵塞、占地多、效能不稳等难题，提出“预制装配、模块化组合”技术路线，形成三大创新：首创模块化湿地理论体系，建立多场景适配设计与污染负荷承载力提升机制；研发固废基轻质填料群组，实现固废资源化利用并获发明专利；构建多级分区湿地并耦合微生物电化学技术，实现复合污染物高效削减。江苏省科技厅组织专家验收（苏科验字〔2024〕1491 号），认定该技术“具有快速安装、节约用地、污染物去除效率高等优点，有效解决了传统人工湿地土建工作量大且易堵塞的问题”；IWA 官方刊物 The Source 专题报道为“世界首创”。与国内外技术比较，模块化系统节地 1/2 以上、水力负荷提升至传统湿地 10 倍以上；萧山先锋河对比显示，传统湿地运行不足 8 个月即严重堵塞，模块化湿地两年后底部仍未见明显淤泥累积，抗堵塞性能显著优于传统工艺。

二．应用效益显著：项目已在国内外建成多套稳定运行的工程示范，覆盖农村生活污水、餐厨尾水、养殖废水、河湖生态修复等场景，处理规模 10-20 吨/天至 800 吨/天。南京江北废弃物综合处置中心工程通过负荷验收（负荷 60%以上、进水累计 43525m³）及市政工程交工验收；经检测，系统对 COD（300mg/L）、氨氮（40mg/L）去除率均大于 90%，出水达一级 A 标准。杭州三墩、西溪湿地、萧山先锋河 4 套系统（超 250m³/d）实测：西溪地表水透明度由 0.5m 提升至 1.2m，氨氮去除率 90.30%、甲烷排放通量较传统湿地降低两个数量级；低温（5℃）下 COD、氨氮、TP 去除率仍达 56.41%、94.24%、87.22%，氨氮与 TP 可由劣 V 类提升至优于 II 类。西班牙 Centa 中心项目经 IMDEA Water 检测，COD 与氨氮最高去除率不低于 90%。各应用点出水均稳定达一级 A 标准，COD 去除率可达 85%、氨氮可达 80%，运行以来无重大故障。

三. 经济社会价值明显：在杭州碧水达环保科技有限公司进行技术落地应用，累计建成 4 套系统，实现新增销售收入 160 万元、新增税收 6.6 万元、新增利润 33 万元（扣除材料及人工工资等费用计），其中 2022 年 15 万元、2023 年 40 万元、2024 年 105 万元，逐年增长；吨水运维成本低至 0.08-0.15 元，显著降低建设运维投入。环境效益方面，出水可用于绿化及农田回用，兼具节地、节水、减污、降碳综合效益，对削减面源污染、改善河湖水体环境具有重要作用。社会效益方面，该技术契合城乡水环境治理、乡村振兴和绿色基础设施建设需求，并通过与西班牙阿尔卡拉大学等国际机构联合研发示范，提升了我国生态环境领域国际影响力。

五、应用情况

本项目研发完成后，已在不同地域、不同污水类型场景开展多层次工程应用，覆盖农村生活污水、餐厨垃圾厂尾水、养殖废水、河湖生态修复及欧洲示范应用等对象，技术落地江苏、山东、浙江等地及西班牙，形成多套长期稳定运行的工程示范，充分验证了多级复合模块化人工湿地水处理技术的适应性与工程可靠性。

1) 农村生活污水治理。在常州朱家角、郎家塘、周家塘建成 3 处处理工程（10-20 吨/天），在苏州沉思湾度村落建成 30-50 吨/天工程，重点处理农村分散性生活污水与初期雨水。采用垂直流-潜流组合模块化工艺，占地集约、施工周期短，出水稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准。

2) 餐厨垃圾厂尾水处理。在南京建成 800 吨/天模块化人工湿地工程，对餐厨垃圾厂尾水深度净化，脱除有机物及氮磷营养盐，出水达一级 A 标准。

3) 养殖废水处理。在山东省水科院长清养殖基地建成 100 吨/天示范工程，高效去除 COD、氨氮，出水满足一级 A 标准，运行平稳、管护简便。

4) 河湖生态修复与中水回用。在杭州西湖区三墩、西溪湿地、萧山先锋河等低 C/N 河湖构建 4 套系统，处理规模超 250m³/d，较传统湿地节地 1/2 以上，有效提升水体观感；在宜兴东洮河湖开展生态工程试点（50-60 吨/天），实现中水回用，出水达一级 A 标准。

5) 欧洲示范应用。在西班牙塞维利亚 Centa 中心共建 MET-Modular 人工湿地污水处理项目，经 IMDEA Water 第三方检测，COD 与氨氮最高去除率不低于 90%。

上述工程长期稳定运行，污染物去除效果稳定，COD 去除率可达 85%、氨氮去除率可达 80%，出水均满足一级 A 排放要求；系统运行以来未发生重大故障，较传统人工湿地维护工作量低、综合运维成本可控，处理出水可用于绿化与农田回用，实现水资源循环利用，取得良好环境效益与社会效益。目前该技术已获地方政府与行业企业关注，后续有望进一步拓展至城乡水环境治理、乡村振兴水环境建设等领域，应用前景广阔。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象 及规模	应用 起止 时间	单位联 系人/ 电话
1	常州禹润水务有限公司	多级复合模块化人工湿地水处理技术	朱家角、郎家塘、周家塘 3 处农村生活污水处理，10-20 吨/天，出水达一级 A 标准。	2017 年 - 至今	卢 源 /18861 258066
2	南京城市建设管理集团有限公司	多级复合模块化人工湿地水处理技术	餐厨垃圾污水处理厂尾水处理，800 吨/天，出水达一级 A 标准。	2019 年 - 至今	钱肃潇 /13776 688689
3	江苏河马井股份有限公司	多级复合模块化人工湿地水处理技术	西班牙塞维利亚 Centa 中心 MET-Modular 人工湿地污水处理（Abraham 教授与河马井共建），经 IMDEA Water 检测，COD 与氨氮最高去除率 $\geq 90\%$ 。	2020 年 - 2024 年	郝凯越 /13889 045290
4	山东省水科院长清科源天然泉水开发中心	多级复合模块化人工湿地水处理技术	养殖基地养殖废水处理，100 吨/天，出水达一级 A 标准。	2019 年 - 至今	金 丽 / 139531 16230
5	杭州碧水达环保科技有限公司	新型模块化抗堵塞人工湿地技术应用	西湖区三墩、西溪湿地、萧山先锋河低 C/N 河湖生态修复，4 套系统， $>250\text{m}^3/\text{d}$ ，较传统湿地节地 1/2 以上。	2022 年 - 至今	赵 达 /13967 128307
6	无锡缘汇悦成商贸有限公司	多级复合模块化人工湿地水处理技术	宜兴东洮河湖生态工程试点，生活废水与中水回用，50-60 吨/天，出水达一级 A 标准。	2021 年 - 至今	金建军 /13775 185313
7	苏州迅雷工程技术有限公司	多级复合模块化人工湿地水处理技术	苏州沉思湾度村落生活污水与初期雨水处理，30-50 吨/天，出水达一级 A 标准。	2020 年 - 至今	张中武 /13372 173656
8	江苏润泽水环境研究院有限公司	多级复合模块化人工湿地水处理技术	南京四袁河支流养殖废水混合生活污水处理，20-30 吨/天，出水达一级 A 标准	2020 年 - 至今	孙桂良 /13951 789885

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种铝污泥-聚氨酯预聚体吸附材料及其制备方法和应用	中国	ZL2024118652 20.0	2025- 04-08	7857884	长安大学	任柏铭 等
2	发明专利	前置雨水处理装置	中国	ZL2015105915 99.5	2017- 05-10	2481614	江苏河马井股份有限公司	周佰兴、 周敏宏、 周敏伟 等
3	发明专利	一种微生物电化学浮岛装置和原位修复河道底泥的方法	中国	ZL2023107689 61.6	2025- 08-26	8198533	浙江科技大学	沈澄，张 富浩 等
4	论文	Initial concept and embodiment to develop modular constructed wetland: A unique and promising solution to sustainability transitions in water management	中国	Journal of Cleaner Production	2024- 04-15	10.1016/j.jclepro.2024.141912	西安理工大学	卫婷， Zhao Yaqian， 周敏伟 等
5	论文	Simultaneous hydrogen sulfide removal and wastewater purification in a novel alum sludge-based odor-gas aerated biofilter	中国	Chemical Engineering Journal	2021- 09-01	10.1016/j.cej.2021.129558	长安大学	任柏铭， Nathalie Lyczkoan ，Zhao Yaqian 等

6	论文	Plants boost pyrrhotite-driven nitrogen removal in constructed wetlands	中国	Bioresource Technology	2023-01-12	10.1016/j.biortech.2022.128240	浙江科技大学	沈澄, Zhao Yaqian 等
7	论文	Study on the impact of hydraulic loading rate (HLR) on removal of nitrogen under low C/N condition by modular moving bed constructed wetland (MMB-CW) system	中国	Environmental Technology & Innovation	2024-05-10	10.1016/j.eti.2024.103579	西湖大学	孔令为 等
8	论文	The fate of microplastics/nanoplastics (MPs/NPs) in constructed wetlands: Addressing methodological gaps and experimental challenges from lab-scale to full-scale	中国	Journal of Hazardous Materials	2025-11-05	10.1016/j.jhazmat.2025.140287	西安理工大学	康佩颖, Zhao Yaqian 等
9	论文	Biofilm-enhanced PFAS removal in constructed wetlands: Sewage sludge biochar drives adsorption and microbial synergy	中国	Chemical Engineering Journal	2025-10-15	10.1016/j.cej.2025.167257	浙江科技大学	张富浩, 沈澄, Zhao Yaqian 等
10	论文	An integrated constructed wetland-microbial fuel cell system with sewage sludge-biochar to enhance treatment and energy recovery efficiencies	中国	Chemical Engineering Journal	2024-04-15	10.1016/j.cej.2024.150431	浙江科技大学	张富浩, 沈澄, Zhao Yaqian 等

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
Zhao Yaqian	1	无	教授	西安理工大学	西安理工大学	项目总负责人，负责整体规划、资金申请与研究框架设计，成果发表于 Journal of Cleaner Production、Chemical Engineering Journal 等国际顶级期刊。领导团队完成模块化人工湿地从理论构建、技术研发到工程应用的全链条攻关，提出模块化湿地设计核心理论，统筹 5 家单位跨学科协作，推动技术落地与产业化，是项目核心专利的共同发明人。
卫婷	2	无	讲师	西安理工大学	西安理工大学	项目核心研发人员，以第一作者发表模块化湿地相关 SCI 论文 3 篇（Journal of Cleaner Production、Journal of Water Process Engineering 等），系统应用模块化湿地构建体系，研发铝污泥基轻质功能填料，开展生物电化学强化湿地处理城市污水研究。负责湿地基质筛选、植物配置与生态系统设计，阐明基质-植物-微生物协同除污机制，为系统长期稳定运行提供理论支撑。
周敏伟	3	副总	工程师	江苏河马井股份有限公司	江苏河马井股份有限公司	工程化负责人，是“稳定型人工湿地模块”“快速拼装人工湿地模块”等多项授权专利的核心发明人，以作者身份发表模块化湿地相关 SCI 论文。负责模块化湿地单元的结构工程设计、水力流态优化与产业化开发，优化模块连接方式与水力停留时间设计，监督工程施工与装备生产，实现技术的标准化、装备化落地。

任柏铭	4	无	副教授	长安大学	长安大学	长安大学核心研发人员，以第一作者在 Chemical Engineering Journal 发表铝污泥基曝气生物滤池同步脱硫除污相关论文，突破恶臭气体与污水协同处理技术。负责项目水力学模拟、材料性能测试与运维技术方案制定，协调工程现场施工，解决模块化湿地连接与运行中的技术问题，保障系统长期稳定运行。
沈澄	5	无	副教授	浙江科技大学	浙江科技大学	浙江科技大学核心研发人员，以第一作者在 Bioresource Technology 发表植物强化磁黄铁矿驱动脱氮相关论文，作为核心作者参与污泥炭强化人工湿地 - 微生物燃料电池耦合系统研究 (Chemical Engineering Journal)。负责湿地微生物群落结构与功能研究，通过分子生物学技术识别功能菌群，优化微生物活性，提升系统污染物去除效能，参与项目成果学术推广。
孔令为	6	省重点实验室副主任	副研究员	西湖大学	西湖大学	西湖大学核心研发人员，以第一作者在 Environmental Technology & Innovation 发表模块化移动床人工湿地相关论文，揭示低 C/N 条件下水力负荷对氮去除的影响规律。负责水文水动力建模与参数校准，模拟模块化湿地水流与溶质传输过程，结合现场监测数据优化设计参数，提升系统工程可行性与运行稳定性。
康佩颖	7	无	无	西湖大学	西湖大学	核心研发人员，以第一作者在 Journal of Hazardous Materials 等期刊发表水体中微塑料与全氟化合物相互作用相关论文，负责项目水质检测数据的系统汇总、可视化分析与深度挖掘，支撑污染物去除机制解析，协助完成多篇学术论文撰写。

						写，参与项目成果学术交流与推广，为项目科学框架构建提供数据支撑。
张富浩	8	无	无	西安理工大学	西安理工大学	核心研发人员，以第一作者在 Chemical Engineering Journal 发表污泥炭强化人工湿地-微生物燃料电池耦合系统相关论文，突破污水处理与能量回收协同技术。负责实验室试验与现场水样采集、水质指标（pH、DO、污染物浓度）检测，定期维护试验装置，保障数据准确可靠，参与数据分析与结果验证，协助学术论文撰写，为项目机制研究提供实验支撑。
周敏宏	9	常务副总	高级工程师	江苏河马井股份有限公司	江苏河马井股份有限公司	是“前置雨水处理装置”等多项授权专利的发明人，负责模块化湿地装备的生产制造、现场施工与长期运营维护。制定系统运维方案，定期清理沉积物、调整水力条件防控堵塞，修复装置故障，协助开展水样采集与运行数据记录，保障示范工程长期高效稳定运行。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

完成单位	排名	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
西安理工大学	1	学校为本项目提供人财物全方位保障，组建跨学科研究团队并邀请专家指导，配备实验、示范场地与监测设备，依托科研经费及专项补贴保障项目研发、专利申报与学术成果转化。
江苏河马井股份有限公司	2	江苏河马井股份有限公司开展场地调研优化湿地布局，负责装置搭建运维与专利开发，研发组合式模块化系统,借助智能材料与水力设计提升污水处理效率、降低建设成本。
长安大学	3	开展工程计算模拟，统筹施工管控进度质量安全，并结合监测数据优化湿地系统设计，提升去污与生态稳定性，为生态环境改善提供科学依据与实践参考。
浙江科技大学	4	利用高通量测序解析湿地微生物群落功能，优化微生物调控策略，支撑模块化湿地工程应用，深化生态修复机理，为绿色修复及水环境治理提供科学支撑。
西湖大学	5	构建校准水流 溶质传输水文模型,解析湿地水力与污染物迁移规律，经现场实测校验优化湿地结构运行参数,为湿地修复和流域水环境治理提供科学技术支撑。

九、完成人合作关系说明

主要完成单位及完成人：西安理工大学 卫婷

本项目生态系统构建与关键机制研究的核心成员。基于其在海外开展的人工湿地前沿研究背景，主导了模块化人工湿地基质与植物体系的遴选与生态管理体系设计。针对不同气候条件下的系统可持续性难题，创新性地提出了适应本地环境的植物培养与配置策略；组织构建了长效生态影响监测体系，揭示了模块化设计对本地生物多样性的促进作用，为“基质-植物-微生物”协同增效机制提供了核心理论依据。

主要完成单位及完成人：江苏河马井股份有限公司 周敏伟

本项目工程化应用与成果转化的主要负责人。全面负责模块化人工湿地的工程结构设计与工艺优化，攻克了系统在复杂工况下的结构稳固性与成本效益控制难题。主导了模块化单元的水力学（HRT）精准模拟与流场分布优化，最大化了系统的传质效率与污染物去除率；构建了模块化湿地从技术规范到标准化施工的成套体系，为该技术的规模化推广、可扩展性应用及工程耐久性做出了突出贡献。

主要完成单位及完成人：长安大学 任柏铭

本项目水力学模拟与工程计算的主要负责人。依托扎实的力学与工程背景，

主导了模块化湿地系统的精密工程计算与水流动态模拟。系统性开展了核心材料测试与液压模拟，攻克了模块化单元在实际复杂水文条件下的水力瓶颈；制定了科学的工程施工与维护标准，确保了模块化湿地在实际规模化运行中的高效性与稳定性，为技术的工程落地提供了坚实保障。

主要完成单位及完成人：浙江科技大学 沈澄

本项目微生物生态机制及生化处理理论研究的核心骨干。主导了模块化湿地内部微生态系统的定向解析工作，运用先进分子生物学技术深度剖析了系统内的微生物群落演替规律，精准识别并分离了脱氮除磷的关键功能菌属。通过生化培养与活性优化实验，显著提升了系统的核心生化处理效能；同时，深度参与项目核心理论成果的提炼与高水平学术推广，提升了该项技术的国际学术影响力。

主要完成单位及完成人：西湖大学 孔令为

本项目水文水质耦合模型开发与参数优化的主要负责人。针对模块化湿地的流态特征，自主开发并校准了高精度的水流与溶质传输耦合模型。通过深度模拟与现场实测数据的多维验证，揭示了模块化湿地的水动力学演变规律；精准优化了关键设计参数，有效解决了系统在不同负荷下的潜在水力短流与死区问题，为系统设计的大型化和科学化提供了关键计算模型支撑。

主要完成单位及完成人：西湖大学 康佩颖

本项目大数据分析科学与科学框架构建的重要骨干。主导了海量水质监测数据、生态指标的系统性深度挖掘与可视化重构工作。通过多维度的数据交叉分析，验证了模块化湿地在不同工况下的净化效能，为项目整体科学理论框架的建立提供了坚实的数据支撑与理论佐证；提炼了模块化生态技术的创新路径，在项目核心成果的学术凝练与技术价值推广方面发挥了关键作用。

主要完成单位及完成人：西安理工大学 张富浩

本项目核心实验设计、一线监测与效能验证的主要执行负责人。负责构建了从实验室小试到现场中试的全流程水质与环境因子监测体系，精准获取了 pH、DO、特征污染物等多维度的关键运行数据。系统性开展了模块化单元的运行工况调控与参数比对，确保了海量研究数据的高一致性与科学性，为项目核心理论体系的验证与关键学术成果的产出做出了直接且重要的贡献。

主要完成单位及完成人：江苏河马井股份有限公司 周敏宏

本项目长效运行体系与标准化运维机制的构建者。针对模块化湿地的长期运行衰减难题，牵头制定并实施了系统的全生命周期监测与维护体系。通过对水位动态、负荷波动及系统健康状态的长期跟踪，攻克了沉积物淤堵、水流流态恶化等工程顽疾；建立了完备的工程运行数据库与异常反馈机制，确立了模块化湿地在复杂实际环境下的长效稳定运行模式。