

2019 年国家科技进步奖拟提名项目公示

一、项目名称：多功能复合材料与生物修复协同的水环境改善关键技术研究及应用

二、提名单位：湖北省科技厅

三、项目简介

我国水环境问题依然严峻，污水深度处理和退化水生态系统修复遇到低 C/N 导致脱氮除磷效率低、浊水藻型-清水草型转换困难且不稳定等技术瓶颈，该项目以水质净化、健康生态系统重建和水环境美化为目标，通过研发生物基与非金属矿物基水处理天然材料复合改性技术，创新了物化-生物-生态多元协同的污水深度净化和再生回用工艺，构建功能性材料与-水生生物联合修复模式，形成了多功能复合材料与生物修复协同的水环境改善技术集成体系。

主要创新点如下：

(1) 研发了生物基与非金属矿物基水处理天然材料复合改性技术，确定了最优制备工艺，解决了低温下微生物挂膜难题，实现了天然改性材料的工业化量产。针对人工合成纤维及其制备的活性碳纤维生物活性低、成本高、难以大规模应用等难题，研发“一步法”炭化-活化天然植物活性碳纤维制备技术，提高微生物挂膜效率提高 30%以上，制备成本降低 1/3；研发溶胶-凝胶法、浸渍-提拉法、疏水改性等复合改性制备技术，提高系统抗堵塞性能。

(2) 创新了物化-生物-生态多元协同的污水深度净化和再生回用工艺。针对低碳高氮磷污水常规生物处理效率低的技术瓶颈，研发碳氧靶向调控、生物堵塞物溶脱等方法，成本节省 28.3-38.5%，平均脱氮效率提高 26.7%，人工湿地服务年限延长 2.3 倍。结合创新点 (1) 中的天然材料复合改性技术，研发了物化/生物载体生物膜反应器/膜生物反应器-人工湿地型新材料/生物/生态/电化学交互式工艺，实现污水的再生回用以及生物质能、电能的同步回收。

(3) 构建环保型功能性材料-净化生物协同的水生态系统重建模式。针对污染水体水生态系统自我修复能力弱等难题，研发掺杂碱土负载纳米半导体光催化薄膜复合材料-沉水植物联合修复技术、改性粘土矿物吸附-生物联合原位修复富营养化湖泊沉积物磷技术、底栖动物-水生植物修复技术、特殊底质生态基底改良技术、环境友好型蓝藻水华抑制技术等，实现了水质与底质原位改善、水华防治、沉水植物恢复等技术突破，在杭州西湖等地成功应用，沉水植物盖度达到 32.9%，氮、磷较同期降低 10-15%，水体透明度显著提高。

项目共获授权专利 120 项，其中发明专利 71 项、实用新型 47 项、外观设计 2 项；主编《城市污水再生利用城市杂用水水质》等国家/行业/企业标准 7 项；在 *Water Research*、*Environmental Pollution* 等国际刊物发表 SCI 收录论文 144 篇，出版专著 2 部。获得湖北省技术发明一等奖（2011、2018）、科技进步一等奖（2013）、成果推广一等奖（2015），湖北省发明专利金奖（2018）、中国专利优秀奖（2014、2016、2018）等奖励九项。

通过以上技术创新、集成，形成了工程设计、建设与运营管理一体化水生态工程产业技术创新链和产业集群，发起并成功举办了八届海峡两岸人工湿地研讨会等，累计参会三千余人，带动我国水生态工程技术、水生态修复产业的发展，已在湖北、广东、浙江等 22 个省市自治区规模化应用，仅项目组就规划、设计、建设工程 200 余项，保障了区域用水安全，提升了水生态环境质量，促进了社会经济可持续发展。

四、客观评价

1、专家验收、鉴定

(1) 2010年6月4日,湖北省科学技术厅组织金鉴明院士、茆智院士等专家对项目组承担的“十一五”重大科技攻关项目“湖泊污染控制与水体修复关键技术研究”进行验收,专家组认为:“项目针对当前富营养化湖泊水体存在的普遍性问题,开展以湖滨带生态工程、底泥修复和水生植被重建为重点的系列技术研究,并进行系统集成...达到水环境质量改善、水生态系统重建和功能恢复的目的”。

(2) 2012年10月14日,国家水专项办委托浙江省水专项办组织了“典型南方城市景观湖泊水质改善与水生植被构建技术”课题示范工程第三方评估。杭州西湖风景名胜区环境监测站等单位第三方监测报告显示:“示范区工程实施前没有水生植物,实施后示范湖区初步形成多样化沉水植物群落结构,且能自然更新、扩展;透明度在1年内保持着很高的水平(>1m);沉水植被平均盖度达到32.93%”,“监测期12个月,示范区水质主要指标达到《国家地表水水质标准》(GB3838-2002)IV类标准”。

(3) 2013年3月27日,国家水专项办委托浙江省水专项办对项目组承担的“十一五”国家水专项“典型南方城市景观湖泊水质改善与水生植被构建技术”课题进行了验收,专家组认为:“课题研发和集成了高效低耗降氮技术、沉水植物种群筛选与扩繁和植物管护等7项技术,形成了西湖水质改善和水生植被构建集成技术,在西湖综合治理等工程中得到有效应用,可为典型南方城市景观湖泊治理提供技术借鉴”。

2、科技奖励

- 1) 基于不同水质目标的人工湿地生态工程技术研究及应用,湖北省技术发明一等奖,2011;
- 2) 低碳氮比污水与受污染地表水生物-生态协同高效脱氮关键技术及应用,湖北省技术发明一等奖,2018
- 3) 水污染治理与水体修复生态工程关键技术研发与推广,湖北省成果推广一等奖,2015;
- 4) 一种污水处理方法及装置,第十六届中国专利优秀奖,2014;
- 5) 一种用于污水净化与回用的生物生态组合的方法及装置,第十八届中国专利优秀奖,2016;
- 6) 一种补充复合垂直流人工湿地碳源的方法及装置,第二十届中国专利优秀奖、第十届湖北省专利金奖,2018
- 7) 富营养化水体修复机制与水生植被重建生态学研究,湖北省自然科学二等奖,2014;
- 8) 水生态系统修复与水质净化关键技术研发和工程应用,环保部环保科技二等奖,2014。

3、国际同行专家对技术结果的引用与评价

国际水协会(IWA)水污染控制湿地系统专业委员会主席J. Vymazal教授在环境领域顶级期刊ES&T(2011)上发表综述,充分肯定本项目组在人工湿地微生物群落组成方面的研究工作,有助于揭示过去一直被看作“黑箱”的人工湿地净化机理。爱尔兰都柏林大学环工系主任、IWA人工湿地和污泥处理专家委员会委员Yaqian Zhao在Chemical Engineering Journal(2015)上发表论文,肯定项目组关于膜生物反应器与人工湿地的生物-生态型组合工艺净化高浓度污水的效果,可降低堵塞,减少占地面积。Aquaculture Research主编,Aquaculture和Aquacultural Engineering编委E. Rurangwa在Reviews in Aquaculture(2015)上发表综述,肯定项目组人工湿地去除蓝藻水华异味的研究成果。

4、用户对技术效果的评价

(1) 自2009年1月起,项目组将城市景观湖泊水质改善和生态修复技术在杭州西湖综合整治工程中应用。杭州市西湖水域管理处评价:“该技术成果在西湖实施工程中为西湖2011年正式列入《世界遗产名录》做出了重要贡献,也为2016年杭州成功召开G20峰会的水环境保障和水景观美化做出了贡献,具有显著的社会和环境效益”。

(2) 海南省天泰环境技术有限公司作为用户评价项目组研发的“人工湿地增氧、新型碳源材料补充、新型反应人工湿地组合等技术适合海南省农村综合污水处理、水源地保护和水环境治理等工程项目中推广”。“人工湿地污水处理工程项目的投入使用,不但有效处理了生活污水,也避免了对农村居民饮用水的污染”。

(3) 项目组在“东莞生态产业园燕岭人工湿地工程”、“深圳聚龙山湿地生态园工程污水深度处理系统及水工配套工程”中应用“人工湿地施工工艺方法与特殊填料、生物-生

态组合工艺”等相关专利技术，东莞生态产业园循环经济发展促进中心、深圳市建筑工程股份有限公司作为用户评价“这些技术适合应用于污水深度处理，减轻污水处理负荷，同时增加绿化面积，改善人居环境，取得了显著的环境和社会效益”。

五、应用情况

本项目主要技术发明等已规模化应用于湖北、广东、浙江等 22 个省市自治区，已规划、设计、建设工程 200 余项，累计规模达 1161.333 万吨/天，削减 COD 63.583 万吨/年，TN 12.716 万吨/年，TP 0.636 万吨/年，有效改善了区域水生态环境，提升了人居环境质量，保障了居民用水安全和身体健康，实现了污水资源化，促进了区域社会经济可持续发展。

六、主要知识产权和标准规范等目录

| 知识产权 (标准) 类别 | 知识产权 (标准)具 体名称 | 国家 (地区) | 授权号 (标准 编号) | 授权(标 准发布) 日期 | 证书编号 (标准批 准发布部 门) | 权利人 (标准 起草单 位) | 发明人 (标准 起草 人) | 发明专利 (标准)有 效状态 |
|--------------------|--------------------------|------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| 发明专利 | 一种用于污水净化和回用的生物生态组合的方法及装置 | 中国 | ZL 2008101 97242.9 | 2011年2 月2日 | 735883 | 中国科学院水生生物研究所 | 吴振斌、肖恩荣、贺锋、成水平 | 有效 |
| 发明专利 | 一种光催化还原和沉水植物联合处理沉积物磷的方法 | 中国 | ZL 2011102 21158.8 | 2012年12 月12日 | 1100808 | 中国科学院水生生物研究所 | 吴振斌、贺锋、张义、夏世斌、周巧红、徐栋 | 有效 |
| 发明专利 | 一种生物质基阴离子交换纤维的制备方法 | 中国 | ZL 2013101 06082.3 | 2014年10 月1日 | 1489381 | 武汉理工大学 | 夏世斌、陈卓 | 有效 |
| 发明专利 | 一种补充复合垂直流人工湿地碳源的方法及装置 | 中国 | ZL 2008102 46308.9 | 2012年02 月01日 | 905146 | 中国科学院水生生物研究所 | 吴振斌、贺锋、余丽华、徐栋 | 有效 |
| 发明专利 | 一种缓流再生水河道生态修复的方法 | 中国 | ZL 2012104 30627.1 | 2013年11 月13日 | 1305000 | 同济大学 | 成水平、钟非、吴娟、向东方、严媛媛、周琪 | 有效 |
| 发明专利 | 一种固定化好养反硝化细菌的制备方法 | 中国 | ZL 2013 1042320 8.X | 2015.10.2 8 | 1830540 | 中国科学院水生生物研究所 | 吴振斌；张雪琪；周巧红；贺锋；徐栋 | 有效 |
| 发明专利 | 一种硬底质富营养化湖泊的生态修复方法 | 中国 | ZL 2014100 13861.3 | 2015年8 月12日 | 1750929 | 中国科学院水生生物研究所 | 吴振斌、张义、贺锋、夏世斌、徐栋、周巧红、张垚磊 | 有效 |

| | | | | | | | | |
|------|--------------------------|----|--------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|----|
| 发明专利 | 一种用于污水净化并同步持续产电的方法及装置 | 中国 | ZL 2013104 54037.7 | 2014年12 月03日 | 1533221 | 中国科学院水生生物研究所 | 吴振斌、肖恩荣、贺锋、徐栋、周巧红 | 有效 |
| 发明专利 | 一种利用人工湿地进行污水处理方法中使用的湿地填料 | 中国 | ZL 2008101 41960.4 | 2011年05 月18日 | 780727 | 深圳市环境科学研究院、深圳市碧园环保技术有限公司 | 杨立君、彭立新、王永秀、雷志洪、谷理明、刘志刚、陆武 | 有效 |
| 国家标准 | 城市污水再生利用城市杂用水水质 | 中国 | GB/T 18920-2 002 | 2002年12 月20日 | 中华人民共和国、国家质量监督检验检疫总局 | 中国市政工程中南设计研究院 | 张怀宇、李树苑、杨文进、张小平、魏桂珍、张赐承 | 现行 |

七、主要完成人情况表

| 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 |
|-----|----|------|-------|--------------------|--------------------|--|
| 吴振斌 | 1 | 无 | 研究员 | 中国科学院水生生物研究所 | 中国科学院水生生物研究所 | 项目总负责人，全面主持项目工作，提出总体方案，对第1、2、3项创新技术做出了重要贡献 |
| 贺 锋 | 2 | 处长 | 研究员 | 中国科学院水生生物研究所 | 中国科学院水生生物研究所 | 对第1、3项技术创新点做出了重要贡献 |
| 成水平 | 3 | 无 | 教授 | 同济大学 | 同济大学 | 对第2、3项技术创新点做出了重要贡献 |
| 夏世斌 | 4 | 无 | 教授 | 武汉理工大学 | 武汉理工大学 | 对第1、2项技术创新点做出了重要贡献 |
| 雷志洪 | 5 | 无 | 教授级高工 | 深圳市碧园环保技术有限公司 | 深圳市碧园环保技术有限公司 | 对第2、3项技术创新点做出了重要贡献 |
| 李树苑 | 6 | 院长 | 教授级高工 | 中国市政工程中南设计研究总院有限公司 | 中国市政工程中南设计研究总院有限公司 | 对第2项技术创新点做出了重要贡献 |
| 周巧红 | 7 | 无 | 研究员 | 中国科学院水生生物研究所 | 中国科学院水生生物研究所 | 对第1、3项技术创新点做出了重要贡献 |
| 徐 栋 | 8 | 无 | 副研究员 | 中国科学院水生生物研究所 | 中国科学院水生生物研究所 | 对第2项技术创新点做出了重要贡献 |
| 肖恩荣 | 9 | 无 | 副研究员 | 中国科学院水生生物研究所 | 中国科学院水生生物研究所 | 对第2项技术创新点做出了重要贡献 |
| 刘碧云 | 1 | 无 | 副研 | 中国科学院 | 中国科学院 | 对第3项技术创新点 |

| | | | | | | |
|--|---|--|-----|---------|---------|---------|
| | 0 | | 研究员 | 水生生物研究所 | 水生生物研究所 | 做出了重要贡献 |
|--|---|--|-----|---------|---------|---------|

八、主要完成单位及创新推广贡献

1、中国科学院水生生物研究所：该成果的主创完成单位，创新性成果 1、2、3 的负责完成单位，全面负责技术成果的研发、示范和推广。主持研发了高效好氧反硝化菌包埋技术、电化学辅助的生物-生态协同反硝化工艺、碳氧靶向调控的脱氮除磷强化技术、固磷材料与沉水植物协同的底泥原位修复技术、强化生物净化功能的水生态系统重建方法等，集形成了该项整体性成果，并在杭州西湖等地组织开展综合示范和推广。

2、武汉理工大学：创新性成果 1 和 2 的主要完成单位，研发“一步法”炭化-活化天然植物活性碳纤维制备技术等，并实现了天然改性材料的工业化量产。在创新性成果 1 的研发和应用过程中发挥了重要作用。

3、同济大学：创新性成果 2 和 3 的主要完成单位，研发了缓流、浅流河道原位生态修复技术、底栖动物-水生植物联合修复技术等，在创新性成果 3 的研发和应用过程中发挥了重要作用。

4、中国市政工程中南设计研究总院有限公司：创新性成果 2 的主要完成和实施单位，研发了物化-生物协同的污水再生利用工艺、污水节能降耗和生物质能回技术。在创新成果 2 的应用推广过程中做出了重要贡献。

5、深圳市碧园环保技术有限公司：创新性成果 2、3 的主要实施单位之一，将研发的片状载体微生物床、复合改性基质填料应用于东莞燕岭人工湿地工程中，在创新成果 2、3 的市场推广过程中做出了重要贡献。

九、完成人合作关系说明

第二完成人贺锋研究员与第一完成人吴振斌研究员从 1996 年初至今，一直在同一个科研团队工作，共同参加了主要科研项目申请立项实施、技术研发、工程应用推广等。

第三完成人成水平教授 1991 年至 2010 年与第一完成人吴振斌研究员一直在同一个科研团队工作，其到同济大学任职后一直保持密切的合作关系。合作完成国家“十一五”国家水专项等项目，共同进行技术研发及推广应用。

第四完成人夏世斌教授 2006 年至 2009 年在水生所从事博士后研究，合作导师即第一完成人吴振斌研究员，此后一直参加吴振斌主持的十一五、十二五水专项等科研项目，参加吴振斌为主任的武汉市水环境工程技术研究中心的工作，共同进行技术研发及推广应用。

第五完成人雷志洪教授级高级工程师与第一完成人吴振斌研究员从 1986 年至 1994 年同在水生所第六研究室工作，此后，共同实施国内外科研项目、技术研发及推广应用，共同获第十六届中国专利优秀奖等。

第六完成人李树苑教授级高级工程师从 1990 年代起与第一完成人吴振斌研究员合作研究，参加吴振斌为主任的武汉市水环境工程技术研究中心的工作，协助第一完成人进行技术研发和工程应用，共同获湖北省成果推广奖等奖励。

第七完成人周巧红研究员从 2000 年至今，与第一完成人吴振斌研究员一直在同一个科研团队工作，共同参加了主要科研项目申请立项实施、技术研发、工程应用推广等。

第八完成人徐栋副研究员从 2003 年至今，与第一完成人吴振斌研究员一直在同一个科研团队工作，共同参加了主要科研项目申请立项实施、技术研发、工程应用推广等。

第九完成人肖恩荣副研究员从 2004 年至今，与第一完成人吴振斌研究员一直在同一个科研团队工作，共同参加了主要科研项目申请立项实施、技术研发、工程应用推广等。

第十完成人刘碧云副研究员从 2007 年至今，与第一完成人吴振斌研究员一直在同一个科研团队工作，共同参加了主要科研项目申请立项实施、技术研发、工程应用推广等。