

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

1. 项目名称

农业农村水污染源生态治理关键技术创建及其在南方的应用

2. 推荐单位意见

污染防治是我国当前三大攻坚战之一，其中农业农村污染治理是当前的重点和难点。湖南省地处长江经济带的核心区，在长江经济带生态环境大保护重大国家战略中肩负着艰巨任务，而作为我国主要的粮食、生猪和水产主产区，农业农村水污染问题突出，给洞庭湖生态环境保护造成了巨大压力。

项目团队历经 10 年研究，系统确定了南方小流域径流氮磷负荷的变化规律与精确估算参数，原创了基于绿狐尾藻湿地的农业农村污水的高效生态处理方法，首次发现绿狐尾藻湿地具备对污水中有机物和氮磷等去除能力强，生物质产量高并可作为优质饲料的特点，率先创建出了以绿狐尾藻湿地处理为核心，包括养殖废水、农村生活污水、农田排水、富营养化水体等农业农村水污染源生态治理技术体系，具有工程建设少、运行简便、成本低、稳定可靠等优势；研发绿狐尾藻生物质饲料生产技术与设备，可用于猪、牛、鸡、鸭等畜禽生态养殖，创建了基于绿狐尾藻湿地的农业农村水污染源生态治理新模式，突破了农业农村水污染水体治理低成本化、生态化和可资源化的技术瓶颈。

项目成果创新性强，总体居于同类研究国际先进水平，其中在规模化养殖废水、农田排水和农村生活污水、富营养化水体的生态治理领域处于国际领先水平，并在南方十省（市、区）得到推广应用，取得突出的生态环境效益，推广应用前景广阔。

我单位认真审核了该项目的申报材料，确认材料真实有效，同意推荐该项目申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖一等奖。

3. 项目简介

农业农村水污染治理是污染防治攻坚战和乡村振兴等重大国家战略任务的重要内容。农业农村污染物源头复杂、总量大、种类多、高度分散且不稳定的特点，实现治理成本适宜，资源有效利用是国内外面临的一大科学与技术难题。项目针对以往治理技术历经十年研究，系统解析了南方小流域的 COD 和氮磷污染物的负荷与环境效应，创建出了一套广泛适合于我国南方，覆盖了农村生活污水、养殖废水、劣质水体的生态治理技术，实现了生态化、低成本化与资源化。取得的主要创新成果如下：

1) 通过长期监测，系统确定了南方小流域径流氮磷负荷的变化规律与精确估算参数。南方典型小流域长达 10 年的高密度观测，首次发现了集水区径流末端氮磷浓度和通量与农田面积占比呈波尔兹曼 S 型函数关系，水质突变点为农田占比 26%~29%，率定了干湿沉降、人口、养殖和农田的 COD 和总氮总磷排放负荷，确

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

定了系统的南方小流域径流氮磷负荷的变化规律与精确估算参数，在国家典型流域面源污染综合治理湖南试点县的实施方案中应用。

2) 原创了基于绿狐尾藻湿地的农业农村污水的高效生态处理方法，系统阐明了其科学原理。首次发现了绿狐尾藻湿地具有高效去除水体有机质（COD）和氮磷的功能，其单位面积的日去除量和总去除率均创国际最高水平；揭示出了绿狐尾藻生长期长、生物量大、耐铵性强（达 20 mmol/L）和氮磷吸收量高、根茎组织泌氧等生物学性能，系统阐明了绿狐尾藻湿地的植物-微生物-底泥高效协同机理；发明了以稻草为基质材料的沼液前端处理技术，阐明了稻草在沼液中激活微生物大幅度去除有机质和铵(>50%)的作用机理，解除了养殖沼液因铵(30~100 mmol/L)等有害物质过高，使湿地植物不能存活的技术障碍。

3) 研发了绿狐尾藻生物质饲料生产技术与设备，实现了资源化利用。发现了绿狐尾藻生物质粗蛋白、粗纤维和矿质营养含量高、氨基酸比率协调优异动物营养特性，研发了绿狐尾藻生物质收获和破碎-脱水一体化的饲料生产技术和设备，确定了猪、鸭饲料的绿狐尾藻生物质适宜添加比例。

4) 创建了基于绿狐尾藻湿地的农业农村水污染源生态治理新模式，推广应用取得显著的社会和生态效益。创建出了规模养殖沼液和农村分散型生活污水的稻草基质前端处理+多级绿狐尾藻湿地生态处理模式、连片农田流失氮磷的绿狐尾藻湿地生态拦截模式、富营养化水体的绿狐尾藻浮框+附着微生物治理模式，确定了三类模式的工程技术参数，集成出了小流域农业农村水污染生态治理技术体系。

项目突破了农业农村水污染治理高效生态化、低成本化和资源化三方面的技术瓶颈，处理效果均优于相应技术的现行国家标准；已经南方十省市推广并应用并取得显著的社会和生态效益。项目获国家授权专利 13 件、在国际权威期刊发表论文 113 余篇（SCI 收录 53 篇，JCR 分区在一、二区论文有 27 篇，占总 SCI 论文 50%以上），主要技术和模式纳入《国家重点环境保护实用技术名录》。第三方评价认为项目达国际领先水平。

4. 客观评价

本报奖成果为多个研究项目核心技术的综合，得到专家和业界的高度评价。主要包括：

1、技术应用检测报告

依托中国科学院亚热带农业生态研究所研发的南方农业农村水污染源生态治理关键技术，在 2016-2017 年国家发改委和农业部联合启动的农业环境突出问题治理专项：“桃源县典型流域农业面源污染综合治理试点项目”（项目总经费 3750.04 万元）和“华容县典型流域农业面源污染综合治理试点项目”（项目总经费 4000.00 万元），对养殖废水、生活污水、农区地表径流氮磷污染、水产养殖水体以及小流域总出水等处理效果分别达到或优于 GB18596-2001、GB18918-2002 一级 B 类、GB18918-2002 一级 A 类、GB18918-2002 一级 A 类和 GB3838-2002 的 IV 类标准。

2、验收意见

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

中国科学院重点部署项目“亚热带丘陵区流域农业氮磷污染源头防控体系研究与示范（KZZD-EW-11）”的专家组验收意见认为：构建了分散居民生活污水、养殖污水、富营养化水体和小流域氮磷治理技术模式，并得到广泛的示范推广应用；“农村分散型污水治理技术示范（KFZD-SW-307）”的专家组验收意见认为：从湿地植物物种筛选、种植技术、物种生态风险等方面研究成果具有独创性，达到国际先进水平。

3、鉴定结论

2014 年 12 月湖南省农学会评价“南方农村水体污染绿狐尾藻生态治理技术”：创新性强，生态治理效果好，推广应用前景广阔；在规模化养殖废水、农田排水和农村生活污水、富营养化水体的生态治理领域处于国际领先水平。

4、国内外同行学术性肯定

在研期间，项目组成员在国内外期刊上共发表了 113 篇学术价值较高的研究论文，其中 53 篇 SCI 收录论文（JCR 分区的一、二区论文 27 篇），一级学报论文 21 篇，表明本项目技术成果得到了学术界同行的充分认可与肯定。

5、项目技术成果得到了国家、省内有关部门的认可与支持

由项目主持人执笔完成的“中科院专家关于深入研发推广农业、农村水环境污染生态治理技术体系的建议”被《中国科学院专报信息》采用（2014 年 186 期）。本项目核心技术“农村污染水体绿狐尾藻生态治理技术”已纳入中国环保保护产业协会《2015 年国家重点环境保护实用技术名录》（中环协〔2015〕62 号）。本技术成果为湖南省人民政府《湖南省改善农村人居环境建设美丽乡村工作意见》和《湖南省贯彻落实〈水污染防治计划行动〉实施方案（2016~2020 年）》提供了重要的技术支撑。

第一完成人受聘“湖南省第一届科技创新战略咨询专家委员会委员”，为制定相关政策提供专家咨询。项目第一完成单位被湖南省农业农村厅（原农委）确定为国家发改委、农业部“典型流域农业面源污染综合治理”（2016 年）和“农业环境突出问题治理专项”（2017 年）湖南项目的唯一技术依托单位，已经在湖南省实施的多个试点县。项目建立的长沙示范区（包括长沙金井镇湘丰村、白沙镇葛家山村、锡福村）承担国家发改委、农业部、水利部下发的“生态清洁型小流域示范建设”、“国家示范农业产业强镇”和湖南省“农村综合性改革试点村”项目，这些示范都成为乡村环境整治、农村综合性改革、宜居乡村的区域样板。

5. 推广应用情况

项目自 2008 年起，采取研究与示范和应用推广并举的措施，在我国南方广泛推广，对 20 个主要应用单位的统计结果表明，在湖南、湖北、浙江和广东推广应用到 325 个治理工程，总合同经费超过 13.8 亿元。主要生态环境效益：治理养殖污染总规模为 430.2 万头猪当量，生活污水治理工程覆盖 42.9 万农户，治理河道总长 173.7 公里，治理区农田控制面积 172.4 万亩，近三年 COD、总氮和总磷累计减排量分别达 2.1 万 t、3761.5 t、314.5 t。

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

主要应用单位情况表

单位名称	应用的技术	应用情况	应用的起止时间	应用单位联系人/电话
桃源县农业农村局农业资源与环境保护管理站	以绿狐尾藻湿地技术为主的养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术和农村水污染综合治理技术	近 4 年内有效治理的农田生态拦截面积累计为 30 万亩，治理养殖污染总规模为 35 万头猪当量（含畜禽水产），生活污水治理覆盖农户 8000 户；污染物减排量累计达到：COD 9091.6 t、总氮 1749.5 t、总磷 81.1 t。	2015-2019 年	刘洋/ 13317365933
长沙县农业农村局农业资源与环境保护管理站	以绿狐尾藻湿地技术为主的养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术和农村水污染综合治理技术	近 4 年内有效治理的农田生态拦截面积累计达 40 万亩，治理养殖污染总规模为 25 万头猪当量（含畜禽水产），生活污水治理覆盖农户 6300 户；污染物减排量累计达到：COD 4585.9 t、总氮 626.4 t、总磷 82.0 t。	2015-2019 年	戴金鹏 /13808476825
衡阳县农业农村局农业环境监测管理站	以绿狐尾藻湿地技术为主的养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术和农村水污染综合治理技术	近 4 年内有效治理的农田生态拦截面积累计为 16 万亩，治理养殖污染总规模为 5 万头猪当量（含畜禽水产），生活污水治理覆盖农户 5000 户；污染物减排量累计达到：COD 1413.1 t、总氮 251.6 t、总磷 27.9 t。	2015-2019 年	刘康星 /13973415242
大长江环境工程技术有限责任公司	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、农村水污染综合治理技术、河道生态治理技术	项目工程 23 项，合同经费 1.8 亿元，节约工程与运行费约 2000 万元，本项目整体技术在本公司正式应用 5 年以上。	2014-2019 年	朱小娇/ 13886480627
湖南厚霖生态环保有限公司	绿狐尾藻湿地污染源生态治理技术	项目工程 11 项，合同经费 8400 万元，节约工程与运行费 1500 和 260 万元，本项目整体技术在本公司正式应用 2 年以上。	2017-2019 年	夏雪玲 /13908498561
湖南艾布鲁环保科技股份有限公司	农业面源污染综合治理技术	项目工程 13 项，合同经费 1.8 亿元，本项目整体技术在本公司正式应用 2 年以上。	2017-2019 年	胡志鑫 /18670032739
环江毛南族自治县农业农村局	农村污水综合生态治理技术和养殖废水生态治理技术	有效治理养殖污染总规模为 12 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 6490 户；本项目整体技术在本公司正式应用 5 年以上。	2014-2019 年	覃善计 /0778-8826310
浙江中科院应用技术研究院	河道污染水体生态治理技术和养殖废水生态治理技术	项目工程 59 个，其中，河道治理工程 52 个，养殖场废水处理工程 7 个，本项目整体技术在本单位正式应用 5 年以上。	2014-2019 年	陈秋荣 /13705734180
中科美大（深圳）生态环境科技有限公司	绿狐尾藻-微生物膜和绿狐尾藻根孔技术和养殖废水生态治理技术	项目工程 2 项，河道治理工程 1 个，养殖场废水处理工程 1 个合同经费 3800 万元，本项目整体技术正式应用 3 年。	2017-2019 年	郑超大/ 15342491039
广东环粤环保科技有限公司	农村生活污水和养殖废水生态治理技术	项目工程 41 个，其中，农村生活污水的综合治理工程 15 个，养殖场废水处理工程 26 个，合	2017-2019 年	齐兰贵 /13702247766

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

		同经费合计 1.36 亿, 本项目整体技术在本公司正式应用 3 年以上。		
湖南泰谷生态工程有限公司	以绿狐尾藻湿地技术为主的农村污水综合生态治理技术	项目工程 12 项, 合同经费 8600 万元, 本项目整体技术在本公司正式应用 4 年以上。	2015-2019 年	邵明刚 /15388029135
湖南省园林建设有限公司	以绿狐尾藻湿地技术为主的农村污水综合生态治理技术	项目工程 8 项, 合同经费 1.23 亿元, 本项目整体技术在本公司正式应用 4 年以上。	2016-2019 年	朱红 /0731-8474177
益阳市资阳区农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	近 3 年治理农田面积 20 万亩, 治理养殖污染总规模为 5 万头猪当量, 生活污水治理覆盖农户 4000 户; 污染物减排量近三年累计达到: COD 1547.9 t、总氮 229.0 t、总磷 26.5 t。	2013-2019 年	张国政 /17363734880
益阳市南县农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	近 3 年治理农田面积 21 万亩, 治理养殖污染总规模为 2 万头猪当量, 生活污水治理覆盖农户 5500 户; 污染物减排量近三年累计达到: COD 1565.7 t、总氮 264.2 t、总磷 28.2 t。	2013-2019 年	竺传松 /13973695510
汉寿县农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	近 3 年治理农田面积 15 万亩, 治理养殖污染总规模为 6 万头猪当量, 生活污水治理覆盖农户 5300 户; 污染物减排量近三年累计达到: COD 1348.4 t、总氮 238.4 t、总磷 27.3 t。	2013-2019 年	童德保 /13317365933
浏阳市农业环境保护站	绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	近 3 年治理农田面积 16 万亩, 治理养殖污染总规模为 1.5 万头猪当量, 生活污水治理覆盖农户 4000 户; 污染物减排量近三年累计达到: COD 1106.9 t、总氮 201.4 t、总磷 21.5 t。	2013-2019 年	周庆甦/ 13974964376
赫山区农业农村局农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	近 3 年治理农田面积 2.2 万亩, 治理养殖污染总规模为 1.3 万头猪当量, 生活污水治理覆盖农户 4000 户; 污染物减排量近三年累计达到: COD 558.9 t、总氮 201.0 t、总磷 20.0 t。	2015-2019 年	隆志芳 /13487689936
浙江宝仔农业发展有限公司	绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	富营养化水体治理 100 余处, 治理河道 46 条, 总长度约 160 km。整体技术正式应用 3 年以上。	2015-2019 年	孙菊英 /13989520101
湖北中科恒清生态工程有限公司	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	项目工程 8 项, 合同经费 3005 万元, 节约工程与运行费约 521 万元, 整体技术正式应用 2 年以上。	2017-2019 年	吴燕琼/ 18772856789
湖南中彩生态环境科技有限公司	绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	项目工程 15 项, 合同经费 1.57 亿元, 节约工程与运行费约 2685 万元, 整体技术正式应用 2 年以	2016-2019 年	唐千一/ 18673107323

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

		上。		
嘉兴市五丰牧业有限公司	绿狐尾藻治理河道污染水体和养殖废水技术	河道治理工程 37 个，共计治理 29.1 公里河道黑臭水体；养殖场废水处理工程 6 个，治理养殖污染总规模为 10.8 万头。	2014-2019 年	蔡丽阳 /13905737383

6. 主要知识产权和标准规范等目录

- (1) 吴金水, 肖润林, 李裕元、刘锋, 张树楠, 李红芳, 何阳, 白志辉. 一种养猪场废水污染减控方法. 2014 年 12 月 17 日授权, 专利号: 201310313436.1
- (2) 刘锋, 吴金水, 李红芳, 肖润林, 王迪, 张雄. 一种人工湿地和渗滤系统组合深度处理农村污水方法及装置. 发明专利, 2018 年 2 月 2 日授权, 专利号: 201510866359.1
- (3) 庄绪亮, 徐圣君, 庄国强, 白志辉, 孙海曙. 修复富营养化水体的装置. 发明专利, 2016 年 12 月 07 日授权, 专利号: 201510081226.3
- (4) 肖润林, 吴金水, 刘锋, 张树楠, 李红芳. 一种养猪场废弃污染物的处理方法. 2014 年 1 月 15 日授权, 专利号: 201210393851.8.
- (5) 李裕元, 刘锋, 吴金水, 肖润林. 一种利用稻草处理养猪场废水的方法. 发明专利, 2015 年 3 月 4 日授权, 专利号: 201310310314561.4
- (6) 吴金水, 李裕元, 肖润林, 刘锋. 一种平原河网区面源污染治理的方法. 发明专利, 2014 年 8 月 27 日授权, 专利号: 201310312559.3.
- (7) 肖润林, 吴金水, 刘锋, 李裕元、张树楠, 李红芳, 蔡立阳、何阳, 白志辉. 一种养猪场废弃污染物的处理方法. 发明专利, 2015 年 1 月 14 日授权, 专利号: 201310313504.4
- (8) 肖润林, 吴金水, 刘锋, 李红芳, 何阳, 张树楠, 李裕元. 一种丘陵零散养殖区废弃污染物的减控方法. 发明专利. 2014 年 12 月 17 日授权, 专利号: 201310414068X
- (9) 李裕元, 吴金水, 刘锋, 肖润林. 一种生态沟处理面源污染物的方法. 发明专利, 2014 年 9 月 10 日授权, 专利号: 201310314544.0.
- (10) 刘新亮, 刘锋, 肖润林, 曾冠军, 王毅, 李红芳, 吴金水. 一种绿狐尾藻青贮饲料的制备方法. 发明专利, 2019 年 11 月 15 日授权, 专利号: ZL 201610568220.3

7. 主要完成人情况

姓名	排名	职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
吴金水	1	/	研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	项目的主要设计人, 提出农业农村水污染源头生态治理的总体思路, 指导和创建关键技术并推广应用, 本项目专利、论文的主要完成人。
庄绪亮	2	副书记	研究员	中国科学院	中国科学院	指导和创建富营养化河道水

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

				生态环境研究中心	生态环境研究中心	体修复技术并推广应用，建立了消除农村型黑臭水体的系统技术方案，本项目 1 项专利的第一完成人。
李裕元	3	/	研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	发明了地表径流氮磷污染生态沟渠拦截技术，养殖废水稻草处理技术及绿狐尾藻湿地资源化利用技术，本项目 6 项专利的主要完成人。
肖润林	4	副站长	研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	发明不同规模养殖场排放废水生态治理及绿狐尾藻资源化利用技术，本项目 9 项专利的主要完成人。
刘锋	5	副站长	研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	研发了农村分散式生活污水和养殖废水等组合生态治理技术，本项目 9 项专利的主要完成人。
陈秋荣	6	院长	研究员	浙江中科院应用技术研究院	浙江中科院应用技术研究院	协助本项目富营养化河道和养殖废水治理技术在浙江示范应用。
徐圣君	7	/	副研究员	中国科学院生态环境研究中心	中国科学院生态环境研究中心	研发了富营养化河道水体技术并推广应用，本项目 1 项专利的主要完成人。
刘新亮	8	/	副研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	研发了绿狐尾藻生物质饲料生产技术，本项目 1 项专利的第一完成人。
王毅	9	/	副研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	研究确定了南方小流域径流氮磷负荷的变化规律与精确估算参数，以第一作者发表相关科技论文 4 篇。
罗沛	10	/	助理研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	研究绿狐尾藻湿地的植物-微生物-底泥高效协同机理，以第一作者发表相关科技论文 5 篇。
夏雪玲	11	总经理	经济师	湖南厚霖生态环保有限公司	湖南厚霖生态环保有限公司	作为主要人员，参与湖南省科技项目开展了农村水体污染绿狐尾藻生态治理技术研究及示范推广。
韩增	12	/	助理工程师	湖南省园林建设有限公司	湖南省园林建设有限公司	研究了南方小流域径流氮磷负荷的变化规律，在湖南省推广本项目整体技术 5 年。

8. 主要完成单位情况

单位名称	排名	对本项目的贡献
中国科学院亚热带农业生态	1	负责项目总体设计、研究思路、技术路线制定和实施方案制定落实，统筹参加单位任务分工，并组织开展项目总结和成果凝练，对本项目技术研发和应用方面的主要贡献体现在如下方

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

研究所		面：1) 通过长期监测，系统确定了南方小流域径流氮磷负荷的变化规律与精确估算参数，在国家典型流域面源污染综合治理湖南试点县的实施方案中应用；2) 首次发现了绿狐尾藻高效吸收氮磷、生物质产量高并可作为优质饲料的特点，组织联合研究了绿狐尾藻水体湿地高效去除水体污染物的生物学和生态学机理；3) 发明了以稻草为基质材料的养殖沼液前端处理技术；4) 组织创建了农村分散式生活水体、集水区和连片农田面源污染和富营养化水体简易高效生态治理技术；5) 组织开展了项目成果示范与推广工作。
中国科学院生态环境研究中心	2	对本项目技术研发和应用方面的贡献主要体现在如下方面：1) 阐明了绿狐尾藻耐受并高效同化黑臭水体中铵根离子的分子机制、以及促进水体氨氧化和反硝化过程功能微生物快速脱氮的分子机制；2) 首次构建植物（绿狐尾藻、美人蕉为主）-微生物（高效脱氮菌剂红球菌、多粘类芽孢杆菌）系统修复富营养化河道水体技术，实现规模化推广应用，并在广东开展了示范与推广应用；3) 开发出针对农村黑臭水体成因的治理方法，构建了农村黑臭水体治理技术体系。
浙江中科院应用技术创新研究院	3	对本项目技术推广应用方面的贡献主要体现在如下方面：1) 通过合作申请科研项目协助研发以绿狐尾藻为核心的富营养化河道、规模化养殖废水治理技术；2) 种植狐尾藻种苗资源，开展绿狐尾藻资源化利用技术模式研发应用；3) 推动本项目整体技术在浙江省已经正式应用五年以上。
湖南厚霖生态环保有限公司	4	对本项目技术研发和应用方面的贡献主要体现在如下方面：1) 协作研发农村污水绿狐尾藻湿地治理技术，充实了本项目整体技术体系；2) 应用本项目技术在湖南省典型流域农业面源污染综合治理试点、洞庭湖生态环境专项整治、集镇污水处理、村镇生活污水净化示范、重点流域水污染防治河湖水域生态保护修复等方面建立多项治理工程。

9. 完成人合作关系说明

庄绪亮为项目第二完成人，作为项目合作单位的团队负责人，与第一完成人的科研团队合作时间为 2010 年 11 月 1 日至 2019 年 1 月 1 日，主要合作方式为指导团队成员共同申报执行科技项目和申请专利、发表论文等，近年来合作研究成果发表在 *Bioresource Technology*、*Frontier in Microbiology* 等国际知名期刊。

李裕元为项目第三完成人，从 2008 年开始，主要合作方式为参加第一完成人主持的科研项目，协助第一完成开展本项目整体技术的研发与推广应用，共同申请专利、发表论文等，与第一完成人共同获授权国家发明专利 6 项。

肖润林为项目第四完成人，从 2008 年开始，主要合作方式为为参加第一完成人主持的科研项目，协助第一完成开展本项目整体技术的研发与推广应用，共同申请专利、发表论文等，与第一完成人共同获授权国家发明专利 9 项。

申报 2020 年度湖南省科学技术进步奖公示

刘锋为项目第五完成人，从 2010 年开始，主要合作方式为参加第一完成人主持的科研项目，协助第一完成人开展本项目整体技术的研发与示范工作，申请专利、发表论文等，与第一完成人共同获授权国家发明专利 9 项。

陈秋荣为项目第六完成人，从 2014 年开始，主要合作方式为与第一完成人共同申报完成中国科学院科技服务网络计划项目“水环境治理与生态修复多技术综合集成与示范应用”(KFJ-EW-STS-100)，协助本项目河道污染水体生态治理技术和养殖废水生态处理技术等浙江省推广应用。

徐圣君为项目第七完成人，从 2011 年开始，主要合作方式为参加第一完成人主持的科研项目，合作发表科技论文等，近年来合作研究成果发表在 *Frontier in Microbiology* 期刊。

刘新亮为项目第八完成人，从 2011 年开始，主要合作方式是合作方式为参加第一完成人主持的科研项目，共同申请专利、发表论文等，与第一完成人共同获授权国家发明专利 1 项。

王毅为项目第九完成人，从 2011 年开始，主要合作方式是合作方式为参加第一完成人主持的科研项目，合作发表科技论文等，近年来合作研究成果发表在 *Agriculture, Ecosystems & Environment*、环境科学等期刊。

罗沛为项目第十完成人，从 2015 年开始，主要合作方式是合作方式为参加第一完成人主持的科研项目，合作发表科技论文等，近年来合作研究成果发表在 *Bioresource Technology*、环境科学等期刊。

夏雪玲为项目第十一完成人，从 2014 年开始，主要合作方式为协助第一完成人开展农村污水综合生态治理技术、面源污染生态防控技术研发，并在湖南省进行推广应用；与第四完成人作为共同项目负责人，获批 2015 年战略性新兴产业科技攻关与重大成果转化项目“农村水体污染绿狐尾藻生态治理技术研究及示范推广”(2015GK1014)。

韩增为项目第十二完成人，从 2015 年开始，主要合作方式是合作方式为参加第一完成人主持的科研项目，合作发表科技论文等，近年来合作研究成果发表在 *Environmental Science and Pollution Research*、环境科学等期刊。