附表 2

主要完成人合作关系说明

本项目围绕生态环境分区管控开展了系统、深入的合作研究，集成生态环境部与地方财政科技项目成果，由多位科研人员协同完成。本人李庄在研究项目总体设计、技术攻关、创新成果集成与推广应用过程中发挥了核心组织与重要作用，与各完成人通过长期紧密合作，共同取得了本项目研究的系列创新性研究成果。

经协商一致，认定本项目第一完成单位为湖南省生态环境事务中心，第二完成单位为长沙环境保护职业技术学院，第三完成单位为湘潭大学。第一完成人李庄、第三完成人苏维、第七完成人刘洁、第八完成人毛晓茜为湖南省生态环境事务中心专业科研技术人员，第二完成人郑立国、第五完成人杨健、第六完成人王凡、第九完成人曹群为长沙环境保护职业技术学院专业科研教师，第四完成人刘兴旺为湘潭大学环境与资源学院教授。

本人与主要完成人之间的合作经历如下：

2018 年至 2025 年期间，本人与主要完成人共同承担了多项省部级、省生态环境厅的科研项目，其中，在生态环境部预算课题“长江经济带战略影响评价重点问题研究项目‘江湖连通区域水环境质量底线划定技术方法与典型模式研究’”中，本人为项目负责人，郑立国、杨健为主要研究人员，王凡、曹群为参与人员；在“长江经济带战略环境影响评价湖南省‘三线一单’编制项目”中，本人为项目负责人，郑立国、杨健、王凡、刘兴旺、曹群为项目参与成员；在“湖南省经济高质量发展与生态环境高水平保护的实践研究与探索”项目中，本人为项目负责人，郑立国、杨健、刘兴旺、王凡、毛晓茜、苏维、曹群为主要研究人员；在湖南省市场监督管理局 2023 年度第 I 批地方标准制修订项目计划“湖南省生态环境管控单元划定技术规范”项目中，本人为项目负责人，郑立国、杨健、毛晓茜、王凡为参与成员，该项目研究成果为湖南省地方标准《生态环境管控单元划定技术规范》（DB43/T 2886—2023）；在“湖南省生态环境准入清单编制技术指南”项目中，本人为项目负责人，杨健、郑立国、毛晓茜、王凡、刘兴旺、曹群为参与成员，该项目研究成果为《生态环境准入清单编制技术指南》（DB43/T 2887—2023）；在“湖南省“三线一单”信息化管理平台数字化应用项目（一期）”项目中，本人为项目指导，苏维为技术负责；“湖南省重点行业低碳技术调查与应用研究”课题与湘潭大学合作，本人为项目负责人，刘兴旺教授为技术负责，刘洁参与研究。

专著方面，本人与郑立国、苏维、杨健、毛晓茜等合作出版《高质量发展与高水平保护的实践研究与探索》《湖南省生态环境分区管控案例选编》（一）（二）三部专著，将生态环境分区管控各项目的理论研究与创新成果进行了系统总结，并展示了研究成果的实践应用。

论文方面，结合各项目研究成果，本人与郑立国、杨健、刘兴旺、毛晓茜等分别合作发表了多篇高水平学术论文，内容涵盖生态环境分区管控体系构建、水环境质量底线划定、生态环境准入清单编制、生态环境分区管控成果落地应用、钢铁等六大行业企业低碳技术选择与应用等。

计算机软著与专利，本人与苏维等共同开发了生态环境分区管控应用系统的 2 项软著，包括三线一单数据管理与分析应用系统 V1.0、基于大气模型的生态环境分区准入研判分析系统 V1.0。刘兴旺和刘洁等共同获得“一种农用地重金属污染及潜在生态风险的评价方法”发明专利授权，体现了多学科交叉与产学研协同创新的成果。

综上所述，本项目完成人之间通过共同立项、联合研究、合著专著与论文、合作制定标准、共享知识产权等多种形式，建立了长期、稳定、高效的合作关系，为项目成果的持续产出与推广应用提供了坚实保障。

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系和上述说明及汇总表内容的真实性负责。如有不实，自愿退出本年度评审并承担相应责任。

第一完成人签名：李庄

主要完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/排名	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	共同立项并已验收结题的政府类科技项目	李庄/1、郑立国/2、杨健/3、王凡/5、曹群/6	2018.5-2019.1	生态环境部财政预算课题“长江经济带战略影响评价重点问题研究项目‘江湖连通区域水环境质量底线划定技术方法与典型模式研究’”验收报告	附件 7-1-1	
2	共同立项并已验收结题的政府类科技项目	李庄/1、郑立国/2、杨健/3、王凡/4、刘兴旺/5、曹群/6	2018.1-2019.11	湖南省生态环境厅预算课题“长江经济带战略环境影响评价湖南省‘三线一单’编制项目”验收报告	附件 7-1-2	
3	共同立项并已验收结题的政府类科技项目	李庄/1、郑立国/2、杨健/3、刘兴旺/4、王凡/5、毛晓茜/6、苏维/7、曹群/8	2020.12-2022.12	湖南省环保科研预算课题“湖南省经济高质量发展与生态环境高水平保护的实践研究与探索”验收报告	附件 7-1-3	
4	共同立项并已验收结题的政府类科技项目	李庄/1、郑立国/2、杨健/3、毛晓茜/5、王凡/6	2023.1-2023.12	湖南省市场监督管理局 2023 年度第 1 批地方标准制修订项目计划“湖南省生态环境管控单元划定技术规范”项目成果验收	附件 7-1-6	
5	共同立项并已验收结题的政府类科技项目	李庄/1、杨健/4、郑立国/5、毛晓茜/8、王凡/9、刘兴旺/13、曹群/15	2023.1-2023.12	湖南省市场监督管理局 2023 年度第 1 批地方标准制修订项目计划“湖南省生态环境准入清单编制技术指南”项目成果验收	附件 7-1-6	
6	共同立项并已验收结题的政府类科技项目	苏维/1、李庄/2	2019.10-2020.3	湖南省生态环境厅财政预算课题“湖南省“三线一单”信息化管理平台数字化应用项目（一期）”验收报告	附件 7-1-4	
7	共同立项并已验收结题的政府类科技项目	李庄/1、刘兴旺/2、刘洁/7	2021.12-2022.4	湖南省生态环境厅低碳发展专项资金“湖南省重点行业低碳技术调查与应用研究”验收报告	附件 7-1-5	
8	共同参与制订标准规范	李庄/1、郑立国/2、杨健/3、毛晓茜/5、王凡/6	2022-2023	生态环境管控单元划定技术规范（DB43T 2886—2023）	附件 1-1	
9	共同参与制订标准规范	李庄/1、杨健/4、郑立国/5、毛晓茜/8、王凡/9、刘兴旺/13、曹群/15	2022-2023	生态环境准入清单编制技术指南（DB43T 2887—2023）	附件 1-2	
10	共同知识产权	刘兴旺/1、刘洁/2	20204-2023.8	一种农用地重金属污染及潜在生态风险的评价方法（证书号第 6237759 号）	附件 1-3	
11	共同知识产权	苏维/1、李庄/2、毛晓茜/5	2021.9-2022.3	“三线一单”数据管理与分析应用系统 V1.0（证书号：软著登字第 11371310 号）	附件 1-4	
12	专著合著	李庄/主编，郑立国、苏维、杨健、毛晓茜等参编	2022	高质量发展与高水平保护的实践研究与探索：湖南省生态环境分区管控体系构建[M].武汉:武汉理工大学出版社,2022.ISBN 978-7-5629-6634-0.	附件 1-5	
13	专著合著	李庄/主编，郑立国、苏维、杨健、毛晓茜等参编	2022	湖南省生态环境分区管控案例选编(一)[M].武汉:武汉理工大学出版社,2022.ISBN 978-7-5629-6633-3.	附件 1-6	
14	论文合著	李庄/1、毛晓茜/4	2022.1	李庄,黄懿,刘帆,毛晓茜等.生态环境分区管控体系落地应用的实践研究与探讨——以湖南省为例[J].环境影响评价,2022,44(01):13-19.	附件 1-7	
15	论文合著	李庄/1、郑立国/2、杨健/3、毛晓茜/4	2022.8	李庄*,郑立国,杨健,毛晓茜等.高标准构建生态环境分区管控体系助力湖南经济高质量健康有序发展[J].环境保护,2022,50(16):60-64.	附件 1-8	
16	论文合著	李庄/1、杨健/3、郑立国/4	2022.11	李庄*,刘帆,杨健,郑立国等.生态环境准入清单编制实践应用与探讨——以湖南省为例[J].环境工程技术学报,2022 第 6 期.	附件 1-9	
17	论文合著	郑立国/1、李庄/2、杨健/3、毛晓茜/4	2021.9	郑立国,李庄*,杨健,毛晓茜等.基于水环境质量底线汇水单元划分的实践研究[J].环境科学与技术,2021,44（9）：213-219.	附件 1-10	
18	论文合著	李庄/1、刘兴旺/5	2022.6	李庄,许友静,易文杰等.钢铁企业低碳技术评价选择与应用[J].环境科学研究,2022,35(06):1538-1546.	附件 7-6-3	
19	共同知识产权	李庄/1、苏维/2	2025.6	基于大气模型的生态环境分区准入研判分析系统 V1.0(软著登字第 15606152 号)	附件 7-6-1	
20	专著合著	李庄/主编，郑立国、苏维、杨健、毛晓茜等参编	2024	湖南省生态环境分区管控案例选编(二)[M].武汉:武汉理工大学出版社,2024.ISBN 978-7-5629-7052-1.	附件 7-6-2	

附件 2

主要完成人合作关系说明

本项目采取“企业牵头、多单位协同”的合作模式，由湖南仁和环境科技有限公司（第 1 完成单位）牵头，联合中国环境科学研究院（第 2 完成单位）、上海城投环境（集团）有限公司（第 3 完成单位）、湖南大学（第 4 完成单位）、北京时代桃源环境科技股份有限公司（第 5 完成单位）、长沙雷邦环保科技有限公司（第 6 完成单位）及湖南农业大学（第 7 完成单位）共同开展技术攻关。项目围绕厨余垃圾复杂组分精准分质与高效回收、全组分梯级转化与多元高值利用、全过程智慧管控与多能源协同优化三大创新方向，发挥各完成单位在技术研发、装备制造、工程应用及运营管理等方面的优势，形成多学科交叉、技术协同创新和成果共享的合作机制，推动关键技术研发与规模化工程应用。

易志刚（第 1 完成人，高级工程师，湖南仁和环境科技有限公司）

作为项目主要组织者和技术路线制定者，负责项目总体设计、技术集成与工程示范，统筹厨余垃圾高效分质预处理、全组分梯级资源化利用及全过程智慧运营等关键技术的研发与应用。重点参与厨余垃圾有机质回收、油脂梯级分离、浆液强化水解制碳源、沼气脱硫及园区综合能源优化等技术研发，对创新点一、二、三作出重要贡献。与彭 3、李 9 共同完成主要知识产权 1；与彭 3、祖 5 共同完成主要知识产权 2、7、8；与祖 5 共同完成主要知识产权 3、5；与彭 3 共同完成主要知识产权 4。

杨天学（第 2 完成人，研究员，中国环境科学研究院）

围绕厨余垃圾高值与能源化利用，开展有机固废制备复合吸附材料和高效厌氧生物转化技术研究。通过赤泥—沼渣共热解成型颗粒复合材料和开发快速加热装置及加热方法，一方面实现了有机固废的资源化利用，另一方面提高了有机固废资源化过程中的能源转化效率。相关研究与项目创新点二中的有机固废高值转化及能源化利用技术相衔接，对创新点二作出重要贡献。与易 1、彭 3 共同完成论文《赤泥与沼渣制备颗粒复合材料及其对氨氮的吸附效果研究》的发表；与李 10 共同完成主要知识产权 6。

彭星（第 3 完成人，高级工程师，湖南仁和环境科技有限公司）

参与厨余垃圾分质回收、浆液高值转化及园区智慧能源管理等关键技术研发，

重点开展复合药剂强化水解制碳源、沼气生物脱硫与综合能源协同优化等技术研究，推动厨余垃圾碳资源回收、能源循环利用及相关技术的工程化应用。参与研发强化餐厨垃圾水解制备碳源的复合药剂、双载体固定化脱硫菌微球以及含分布式光伏和电动汽车的综合能源系统优化方法，对创新点二、三作出重要贡献，并参与创新点一相关技术集成。与易 1、李 9 共同完成主要知识产权 1；与易 1、祖 5 共同完成主要知识产权 2、7、8；与易 1 共同完成主要知识产权 4。

王巍（第 4 完成人，高级工程师，上海城投环境（集团）有限公司）

负责有机固废处理全过程数字化调度及园区智慧管控相关技术的研究与应用，构建有机固废全流程数字化调度场景，集成不少于 2000 项安全底数信息，支持不少于 200 名用户同时在线，信息上报及时率达到 98%。参与建设固废园区多模块联动一体化数字化内控管理平台、“数据中心”中枢管理系统及碳排放监测与数字化碳管理平台，以及厨余垃圾渣相生物转化为乙醇等高值化产品。相关工作为厨余垃圾处理园区智慧化、低碳化、资源化运行提供技术支撑，对创新点三作出重要贡献。相关合作主要体现在数字化管控平台的建设、集成及工程应用；与周 11 共同参与上海市科委科研项目《湿垃圾厌氧沼渣生物转化制备高阶化学品关键技术与示范》立项；与易 1 合作完成应用示范。

祖柱（第 5 完成人，高级工程师，湖南仁和环境科技有限公司）

参与厨余垃圾高效预处理、智慧收运与资源化利用技术的研发及工程应用，重点负责智慧收运系统建设、厨余垃圾固液分离与浆料除渣技术研究，推动收运信息化监管、预处理装备优化及工程运行管理。参与沼气脱硫、园区综合能源优化和厨余垃圾生物转化自动化装备等技术研发，对创新点一、二、三作出重要贡献。与易 1、彭 3 共同完成主要知识产权 2、7、8；与易 1 共同完成主要知识产权 3、5。

卢艳娟（第 6 完成人，高级工程师，北京时代桃源环境科技股份有限公司）

围绕厨余垃圾复杂组分高效分质分离与资源化处理，开展预处理关键装备及相关工艺的研发与应用。重点参与防缠绕反向退刀破袋技术研发，通过动刀轨迹控制、浮动定刀与冲击让位结构优化，降低柔性杂质缠绕、硬质物料卡堵及设备磨损风险；并围绕破碎制浆、多级除砂和高负荷厌氧转化等技术开展装备集成与工程应用，对创新点一作出直接贡献，并为创新点二相关工艺提供装备技术支撑。

与易 1 合作完成应用示范。

陈耀宁（第 7 完成人，教授，湖南大学）

围绕厨余垃圾分选残余物的高值材料化利用，参与功能生物炭制备、表面改性及污染物吸附性能研究，重点开展生物炭孔隙结构、界面性质与吸附性能之间关联关系的分析，为水洗—冻干协同预处理、生物炭复合改性及功能吸附材料优化提供研究支持。相关工作与创新点二（1）分选大杂热解及功能生物炭制备技术相衔接，推动厨余垃圾固相组分向高附加值功能材料转化。与易 1 共同发表论文《Improved humification and Cr(VI) immobilization by CaO_2 and Fe_3O_4 during composting》。

雷灿（第 8 完成人，高级工程师，长沙雷邦环保科技有限公司）

围绕厨余垃圾分离固渣高效生物转化与低氮损失腐殖化，开展高温好氧菌种培育、发酵供氧调节及自动化菌剂投加等技术与装备研究。重点研发厨余垃圾发酵高温好氧菌种培育装置，通过菌种培养、气液混合和供氧调控，提高菌液培养效率与发酵过程稳定性，为固渣强化好氧腐殖化及养分高效保留提供技术支撑，对创新点二（3）作出重要贡献。与易 1 合作完成应用示范。

李盼宋（第 9 完成人，中级工程师，湖南仁和环境科技有限公司）

围绕厨余垃圾浆液有机质高效转化及碳资源回收，参与复合药剂强化水解制碳源技术研发，重点开展浆液有机质水解、挥发性脂肪酸富集与碳源产品利用等相关研究，推动厨余垃圾有机碳资源定向转化及污水处理外加碳源替代技术的应用，为创新点二（2）分质浆液多路径碳转化提供技术支撑。与易 1、彭 3 共同完成主要知识产权 1。

李东阳（第 10 完成人，副研究员，中国环境科学研究院）

围绕厨余垃圾有机质高效能源化利用，针对有机固废热处理过程中能源转化效率低的技术瓶颈，开发有机固废快速加热装置及加热方法，为有机固废高效能源化利用及工程运行优化提供技术支撑。相关研究与项目创新点二中的有机固废高值化利用技术相衔接，对创新点二提供支持。与杨 2 共同完成主要知识产权 6。

周涛（第 11 完成人，副教授，同济大学）

围绕厨余垃圾浆液惰性杂质去除、生化活性预测及碳资源转化，开展智能预处理与资源化过程优化研究。构建基于图神经网络的有机固废生化活性预测模型，

建立化学键特征峰、有机碳含量及分子量与生化活性的关联关系，模型预测损失率低于 10%，为预处理工艺参数优化提供前馈指导；参与浆液碳源回收技术及碳源提取智能调控装备研制。研发基于文丘里式颗粒收集器的餐饮垃圾浆液惰性物颗粒收集方法，为浆液精细化除杂与后续资源化处理提供技术支撑，对创新点一、二及创新点二相关技术作出贡献。与王 4 共同完成上海市科委科研项目《湿垃圾厌氧沼渣生物转化制备高阶化学品关键技术与示范》。

罗伟（第 12 完成人，讲师，湖南农业大学）

围绕厨余垃圾收转运过程中容易产生臭气逸散的行业痛点，开展智慧收运相关系统和设备的研发应用。重点参与密闭式餐厨垃圾收运系统的开发，为智慧收运提供技术支撑，相关研究与创新点三（1）餐厨垃圾智慧收运与主动安全监管系统技术相衔接，促进厨余垃圾高效收运。与易 1、祖 5 共同授权发明专利《一种密闭式餐厨垃圾收运系统》。

主要完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	共同知识产权	易志刚 1、彭星 3、李盼宋 9	2023.7-2025.12	一种适用于强化餐厨垃圾水解制备碳源的复合药剂及方法（知识产权 1）	附件 1-1
2	共同知识产权	易志刚 1、彭星 3、祖柱 5	2022.7-2025.5	一种双载体固定化脱硫菌微球及其制备方法和应用（知识产权 2）	附件 1-2
3	共同知识产权	易志刚 1、祖柱 5	2020.7-2022.3	一种桶装凝固油脂卸料装置（知识产权 3）	附件 1-3
4	共同知识产权	易志刚 1、彭星 3	2022.8-2024.1	一种餐厨垃圾发酵沼液除臭装置及方法（知识产权 4）	附件 1-4
5	共同知识产权	易志刚 1、祖柱 5	2020.12-2022.9	一种与餐厨垃圾收运车配套用卸料仓（知识产权 5）	附件 1-5
6	共同知识产权	杨天学 2、李东阳 10	2021.3-2021.9	一种有机固废快速加热装置及加热方法（知识产权 6）	附件 1-6
7	共同知识产权	易志刚 1、彭星 3、祖柱 5	2022.5-2024.11	含分布式光伏和电动汽车的综合能源系统优化方法与系统（知识产权 7）	附件 1-7
8	共同知识产权	易志刚 1、彭星 3、祖柱 5	2022.4-2023.8	一种餐厨垃圾蝇蛆养殖方法及自动化装置（知识产权 8）	附件 1-8
9	共同知识产权	易志刚 1、陈耀宁 7	2024.7-2024.9	Improved humification and Cr(VI) immobilization by CaO_2 and Fe_3O_4 during composting	附件 7-1

10	共同知识产权	杨天学 2、易志刚 1、彭星 3	2024.4-2025.2	赤泥与沼渣制备颗粒复合材料及其对氨氮的吸附效果研究	附件 7-2
11	共同知识产权	易志刚 1、祖柱 5、罗伟 12	2021.4-2025.2	一种密闭式餐厨垃圾收运系统	附件 7-3
12	科技项目	周涛 11、王巍 4	2024.10-2025.12	湿垃圾厌氧沼渣生物转化制备高阶化学品关键技术与示范	附件 7-4
13	应用证明	卢艳娟 6、易志刚 1	2013.1-2025.12	厨余垃圾全链条高值化利用与智慧管控关键技术与装备应用与示范	附件 3-1
14	应用证明	易志刚 1、王巍 4	2013.1-2025.12	厨余垃圾全链条高值化利用与智慧管控关键技术与装备应用与示范	附件 3-2
15	应用证明	易志刚 1、雷灿 8	2013.1-2025.12	厨余垃圾全链条高值化利用与智慧管控关键技术与装备应用与示范	附件 3-3