

一、项目名称

多源有机固废厌氧消化减污降碳协同增效关键技术及应用

二、申报奖种及等级

山东省科技进步奖 二等奖

三、提名者及提名意见

提名者：朱永官院士，工作单位：中国科学院生态环境研究中心；职称职务：中国科学院生态环境研究中心主任，中国科学院院士；学科专业：环境生物学

提名意见：项目面向国家生态文明建设与能源结构调整需求，针对限制厌氧消化工程和生物天然气产业化发展的瓶颈问题，聚焦厌氧消化三沼副产物资源化利用与消纳，围绕厌氧消化效率提高、二氧化碳固定与沼气原位提纯、沼液合成微生物蛋白、沼渣炭化回用等开展技术攻关，在杭州能源环境工程、济南十方固废处理、山东宏达建设工程有限公司等企业得到应用，授权发明专利 20 项，其他类型专利 11 项，发表高水平论文 30 余篇，形成行业/地方技术标准 4 项。项目的成果的应用保证了厌氧消化工程的稳定运行，保障了有机废弃物处理处置能力，改善了生态环境，稳定了能源供给，取得了显著的经济、社会、生态效益，为厌氧消化工程升级转型与可持续高质量发展提供了可复制可推广技术，为我国生态文明建设与能源结构优化提供了有力的技术支撑。

提名该项目为 2025 年度山东省科学技术进步奖二等奖。

四、项目简介

项目属于资源与环境领域。

项目面向国家生态文明建设与能源结构优化需求，聚焦厌氧消化三沼副产物资源化利用与消纳，围绕厌氧消化效率提升、二氧化碳原位固定、沼液合成微生物蛋白、沼渣炭化等开展了一系列技术攻关，取得重大创新如下：

(1) 开发了秸秆微好氧+废弃碱液预处理技术，研制了生物强化代谢调控技术和高固体浓度发酵装备，研发了高固体浓度发酵过程稳定性监测及失稳预警系统，显著提高了底物降解率和容积产气率，减少了沼液产量。

(2) 提出了有机废弃物发酵耦合沼气原位提纯技术，实现了 CO₂ 定向甲烷

化，提高了甲烷总产量，实现了能源最大化产出；开发了新型有机废弃物发酵耦合沼气原位提纯系统装置，进行了工程化研究与优化。

(3) 开发了双盐沉淀技术，解决了畜禽粪污厌氧发酵沼液悬浮物处理难题，开发了沼液培养微生物蛋白技术，利用高效氢氧化菌群将沼液中的氨氮和二氧化碳转化为蛋白质，为沼液资源回收提供了高效高值途径。

(4) 提出高湿沼渣生物干化耦合热解炭化的处理途径，并通过生化转化路径实现热解副产物（气、液组分）的能量回收，实现沼渣减量化、资源化及能源化利用，达到生物质有机碳循环和污染物零排放的目的。

项目成果在在杭州能源环境工程、济南十方固废处理、山东宏达建设工程有限公司等企业得到应用，授权发明专利 20 项，其他类型专利 11 项，发表高水平论文 30 余篇，形成行业/地方技术标准 4 项，取得了显著的经济、社会、生态效益。

五、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	第一完成人是否参与
发明专利	一种绿液预处理增强秸秆产沼气效率的方法	中国	ZL202010548130.4	2022.4.29	证书号：第 5115655 号	山东省科学院能源研究所	许海朋；李岩；华栋梁；陈雷；赵玉晓；金付强；梁晓辉	有效	是
发明专利	厌氧干发酵好氧发酵-厌氧发酵处理干秸秆产沼气的方法	中国	ZL202011550707.1	2024.1.30	证书号：第 6664115 号	山东省科学院能源研究所	赵玉晓；李希越；华栋梁；陈雷；许海朋；李岩；梁晓辉；谢新苹	有效	是
发明专利	利用还原铁粉促进污泥厌氧发酵生产短链脂肪酸的方法	中国	ZL201310257563.4	2015.7.29	证书号：第 1737047 号	同济大学	冯雷雨；罗景阳；杨兰琴；陈银广；李暮	有效	否
发明专利	一种同步实现有机废弃物处理及合成气提质的	中国	ZL201610165748.6	2016.3.22	证书号：第 2868706 号	北京化工大学，南京青合	王雯；刘广青；刘辉；马欣欣	有效	否

	系统装置及方法					力能源科技有限公司			
发明专利	促进畜禽粪污厌氧发酵沼液混凝沉淀的方法	中国	ZL202210376144.1	2023.2.21	证书号: 第5745819号	山东省科学院能源研究所	赵玉晓; 华栋梁; 郑祥; 陈雷; 张荣芳; 许海朋; 李岩; 李天津; 谢新苹; 杨双霞	有效	是
发明专利	一种基于颗粒污泥短程硝化-厌氧氨氧化体系耦合硫自养反硝化菌的沼液处理方法	中国	ZL202110965363.9		证书号: 第6403287号	杭州能源环境工程有限公司	杜睿; 潘智衡; 官亚斌; 谭婧; 朱永健; 宋波; 詹偶如; 蓝天	有效	否
发明专利	用于市政污泥高效生物干化的微生物菌剂	中国	ZL201810333031.7	2020.7.28	证书号: 第3905030号	山东省科学院能源研究所	华栋梁; 张晓东; 梁晓辉; 赵玉晓; 李岩; 牧辉; 金付强; 许海朋	有效	是
发明专利	木醋液能源化利用的方法	中国	ZL201911215842.8	2021.1.19	证书号: 第4209779号	山东省科学院能源研究所	李岩; 华栋梁; 范庆文; 许海朋; 赵玉晓; 陈雷; 赵保峰; 金付强	有效	是
SCI 论文	Improvement of biofuel recovery from food waste by integration of anaerobic digestion, digestate pyrolysis and syngas biomethanation under mesophilic and thermophili	美国	Journal of Cleaner Production	2020.2.24	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120594	北京化工大学, 美国加州大学戴维斯分校	Ziyi Yang, Yang Liu, Jie Zhang, Kaiwei Mao, Malikahon Kurbonova, Guangqing Liu, Ruihong Zhang, Wen	有效	否

	c conditions						Wang		
SCI 论文	In-situ microbial protein production by using nitrogen extracted from multifunctional bio-electrochemical system	英国	Journal of Environmental Management	2023.9.24	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119050	北京化工大学, 希腊帕特雷大学, 希腊西马其顿大学	Q. Zhu, X. Li, Zh. Nie, Y. Wang, T. Dang, V. G. Papadakis, M. A. Goula, W. Wang, Z. Yang	有效	否

六、主要完成人情况表（姓名、国籍、身份证号、排名、技术职称、工作单位、二级单位、完成单位、参加本项目的起止时间、对本项目技术创造性贡献、曾获省级以上科技奖励情况）

1. 姓名：赵玉晓；国籍：中国；排名：1/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2014年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点1、创新点2、创新点3做出了重要贡献。主要体现在参与了木质纤维素类原料预处理技术研发，为主开发了沼液双盐沉淀悬浮物去除技术。曾获奖励情况：基于有机固废质能转换的产业化关键技术体系构建与清洁供能示范证书编号：JB2019-2-43-R09，2019年山东省科学技术进步奖二等奖，排名9。

2. 姓名：李岩；国籍：中国；排名：2/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2014年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点1、创新点4做出了重要贡献。主要体现在木质纤维素类原料预处理及代谢调控，为主开发了沼渣基炭材料制备及副产废液资源化循环利用技术。曾获奖励情况：循环农业系统中废弃物综合利用关键技术集成及应用，证书编号：JB2014-3-32-R06，2014年山东省科学技术进步奖三等奖，排名6；基于有机固废质能转换的产业化关键技术体系构建与清洁供能示范证书编号：JB2019-2-43-R08，2019年山东省科学技术进步奖二等奖，排名8。

3. 姓名：王雯；国籍：中国；排名：3/10；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：中国科学院生态环境研究中心；二级单位：中国科学院环境生物技术重点实验室；完成单位：北京化工大学；参加本项目的起止时间：2020年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点2、创新点3做出了重要贡献。主要体现在为主开发了二氧化碳生物转化与沼气原位提纯技术，为主开发了沼液培养微生物蛋白技术。曾获奖励情况：无。

4. 姓名：许海朋；国籍：中国；排名：4/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2014年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点1、创新点3做出了重要贡献。主要体现在为主开发了绿液秸秆预处理技术，参与开发了沼液双盐沉淀去除悬浮物技术。曾获奖励情况：循环农业系统中废弃物综合利用关键技术集成及应用，证书编号：JB2014-3-32-R04，2014年山东省科学技术进步奖三等奖，排名4。。

5. 姓名：华栋梁；国籍：中国；排名：5/10；技术职称：研究员；行政职务：科研管理部副部长；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2014年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点1、创新点4做出了重要贡献。主要体现在参与开发高固体浓度厌氧发酵技术，参与开发了热解废水资源化利用技术。曾获奖励情况：基于有机固废质能转换的产业化关键技术体系构建与清洁供能示范，证书编号：JB2019-2-43-R01，2019年山东省科学技术进步奖二等奖，排名1；基于酸性土壤改良的农林废弃物处理关键技术体系与应用，证书编号：JB2020-2-65-3，2020年山东省科学技术进步奖二等奖，排名3。

6. 姓名：陈雷；国籍：中国；排名：6/10；技术职称：副研究员；行政职务：研究室主任；工作单位：山东省科学院能源研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院能源研究所；参加本项目的起止时间：2014年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点3、创新点4做出了重要贡献。主要体现在参与沼渣热解炭化技术开发。曾获奖励情况：循环农业系统中废弃物综合利用关键技术集成及应用，证书编号：JB2014-3-32-R03，2014年山东省科学技术进步奖三等奖，排名3；基于有机固废质能转换的产业化关键技术体系构建与清洁供能示

范证书编号：JB2019-2-43-R03，2019年山东省科学技术进步奖二等奖，排名3；基于原位脱氧的生物物质热转化定向产物生成调控机制研究，证书编号：ZR2021-2-35-R03，2021年山东省自然科学奖二等奖，排名3；农业生物物质热化学转化关键技术及应用，证书编号：JB2022-2-64-R04，2022年山东省科学技术进步奖三等奖，排名4。

7. 姓名：冯雷雨；国籍：中国；排名：7/10；技术职称：副教授；行政职务：无；工作单位：同济大学；二级单位：环境学院与工程学院；完成单位：同济大学；参加本项目的起止时间：2019年1月1日-2023年12月31日；具体贡献：对创新点1做出了重要贡献。主要体现在参与难降解木质纤维素原料的代谢调控研究，并通过外源物添加进行生物强化机理分析。曾获奖励情况：无。

8. 姓名：宋波；国籍：中国；排名：8/10；技术职称：工程师；行政职务：副总经理；工作单位：杭州能源环境工程有限公司；二级单位：无；完成单位：杭州能源环境工程有限公司；参加本项目的起止时间：2016年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点3做出了重要贡献。主要体现在参与沼液中营养成分的分析和处理利用技术研究和放大应用。曾获奖励情况：无。

9. 姓名：顾业明；国籍：中国；排名：9/10；技术职称：高级工程师；行政职务：总经理；工作单位：济南十方固废处理有限公司；完成单位：济南十方固废处理有限公司；参加本项目的起止时间：2019年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点1、创新点2做出了重要贡献。主要体现在参与参与高固体浓度厌氧发酵技术与失稳预警技术工程化应用试验。曾获奖励情况：无。

10. 姓名：魏祥圣；国籍：中国；排名：10/10；技术职称：高级工程师；行政职务：董事长；工作单位：山东爱福地生物股份有限公司；二级单位：无；完成单位：山东爱福地生物股份有限公司；参加本项目的起止时间：2019年1月1日-2024年12月31日；具体贡献：对创新点3、创新点4做出了重要贡献。主要体现在参与利用沼液氨氮生产微生物蛋白及炭基材料推广应用研究。曾获奖励情况：无。

七、主要完成单位情况表（单位名称、排名、对本项目科技创新和推广应用情况的贡献）

1. 山东省科学院能源研究所：排名1，开发了秸秆微好氧+废弃碱液预处理技术，

研制了生物强化代谢调控技术和高固体浓度发酵装备,研发了高固体浓度发酵过程稳定性监测及失稳预警系统;开发了双盐沉淀技术,解决了畜禽粪污厌氧发酵沼液悬浮物处理难题;提出高湿沼渣生物干化耦合热解炭化的处理途径,并通过生化转化路径实现热解副产物(气、液组分)的能量回收,实现沼渣减量化、资源化及能源化利用,达到生物质有机碳循环和污染物零排放的目的。

2. 北京化工大学: 排名 2, 提出了有机废弃物发酵耦合沼气原位提纯技术, 实现了 CO₂ 定向甲烷化, 提高了甲烷总产量, 实现了能源最大化产出; 开发了沼液培养微生物蛋白技术, 利用高效氢氧化菌群将沼液中的氨氮和二氧化碳转化为蛋白质, 为沼液资源回收提供了高效高值途径。

3. 杭州能源环境工程有限公司: 排名 3, 针对多源有机废弃物的规模化处理进行了应用, 在运行过程中不断积累经验、改进升级, 打通了减量化、资源化和能源化利用的有机废弃物全链条处理工艺, 最终建立了稳定高效的厌氧消化调控工艺和成套装备, 进一步提升了废弃物的处理能力和产气效率, 并提出可行的沼液沼渣新型利用途径。

4. 同济大学: 排名 4, 开发有机废弃物的水解酸化过程调控技术, 通过外源物质添加改善功能性微生物的代谢活性, 实现有机酸定向高效转化, 为项目技术推广应用提供了重要理论依据和技术支撑。

5. 济南十方固废处理有限公司: 排名 5, 参与研制了一种同时实现有机废弃物处理与沼气提纯的装置, 在反应器内部实现沼气的原位提纯; 为高固体浓度厌氧消化、失稳预警及沼液悬浮物絮凝沉淀等关键技术提供工程应用条件, 并在工程运行过程中配合开展工艺优化与参数调整, 在技术的推广过程中发挥了重要作用。

6. 山东爱福地生物股份有限公司: 排名 6, 完成了沼液蛋白规模化生产的系统集成与工艺放大。在技术推广应用方面, 公司积极拓展沼渣基碳材料的多领域应用, 通过技术创新与工程实践相结合, 建立了从技术研发到产业化应用的完整链条。

7. 山东双鹤机械制造股份有限公司: 排名 7, 公司发挥在环保装备研发与制造领域的核心优势, 参与研制了厌氧消化工程全产业链条中原料高效预处理系统、高固体浓度发酵反应器、沼液固体悬浮物智能絮凝装置及沼渣生物干化设备等系列装备, 对核心装备研发做出了突出贡献, 并对系统装备在沼气工程中进行推广应用, 为项目提供了可靠的技术装备支撑。