**【项目名称】**

多源有机废弃物规模化制取生物天然气成套技术

**【提名单位意见】**

该项目针对传统沼气工程向现代生物天然气产业转型升级存在的问题，经过8年的技术攻关，研发了以纤维原料强化水解预处理、基于有效碳氮比调节的多源物料混配、厌氧消化失稳预警调控、大型高浓度反应器先进制造、生物天然气净化提纯等技术为核心的多源有机废弃物规模化制取生物天然气成套技术体系，实现了生物天然气的大规模工业化生产，构建起有机废弃物资源化利用的大容量通道，提高企业盈利能力，充分调动了市场主体参与环保事业的积极性，助力美丽乡村建设、农村人居环境整治、低碳城市建设和绿色产业发展。

成果授权国家发明专利36项，发表论文75篇，制定行业标准2项，登记软件著作1项。成果直接专利转让收益234.46万元；技术转化实现近两年累计新增销售额2.86亿元，新增利润2937万元；成果应用于200余处有机废弃物制取生物天然气工程，总投资约90亿元，年销售生物天然气22亿元、副产品有机肥15亿，年利润6.3亿元，年利税8250万元。成果应用实现年处理各类有机废弃物2400万吨，年产生物天然气8.7亿立方米，折合标煤115.6万吨，年减排COD 120万吨、CO2当量744.6万吨。成果推广项目的建设和运行管理年新增就业岗位4000余个，向布基纳法索等国的多源有机废弃物制取生物天然气技术输出项目既促进当地就业，又解决环境污染，还为当地提供高品位清洁能源，有力提升了我国的国际形象，支撑“一带一路”倡议深化实施。

推荐材料真实有效，填写栏目符合要求。经评审，提名该项目为四川省科技进步一等奖。

**【项目简介】**

我国当前每年约产生近60亿吨有机废弃物，带来巨大的环保压力。有机废弃物可通过沼气发酵利用，然而传统沼气工程由于单体规模小、集约化程度低，存在消纳能力有限、运行不稳定、工程经济性差、沼气利用不充分甚至直接向大气排放等问题，亟需技术升级、产业转型。针对传统沼气工程向现代生物天然气产业转型升级存在的技术瓶颈，本项目研发了多源有机废弃物预处理、规模化高负荷稳定厌氧消化和高效低耗安全净化气体提纯等技术，形成多源有机废弃物规模化制取生物天然气成套技术体系，实现生物天然气的大规模工业化生产，为业主产生较大盈利，充分调动市场主体资源化利用废弃物的积极性。

主要创新点如下：

1. 纤维原料强化水解预处理和基于有效碳氮比调节的多源物料混配技术

针对纤维原料难降解、传统沼气工程原料单一的问题，选育高效的木质素降解菌株*Trametes hirsuta*，木质素分解率达71.49%，有效破坏木质纤维结构屏障，研发高温水热处理强化纤维素解聚技术，通过菌剂和水热预处理提高原料产气率38.1%；构建基于有效碳氮比调节的多源物料混配技术，拓宽原料来源，原料产气率再提高28.2%，总产气率提高50%以上。

1. 厌氧消化失稳预警调控和大型高浓度反应器先进制造技术体系

针对低负荷厌氧消化工程单位投资大、经济性差，而高负荷系统稳定性差的问题，绘制基于氨氮—挥发酸—pH三元体系的厌氧消化抑制区域图，构建包括CH4/CO2、VFA/BA、BA/TA等参数在内的失稳预警指标体系，对中温和高温系统酸化失稳分别提前20和29天预警；研发厌氧消化生物强化和过程调控技术，开发大型高浓度厌氧反应器先进制造和安全管理技术体系，实现年产1000万立方米生物天然气工程安全稳定生产，容积产气率达到2.68 m3/（m3·d），大幅领先于《国家能源局综合司关于请上报生物天然气产业化示范储备项目的通知》中要求的1.2 m3/（m3·d）。

1. 高效、低耗、安全的生物天然气净化提纯技术

针对干法化学脱硫产生大量危废，甲烷催化燃烧脱氧存在安全风险，高压变压吸附脱碳运行能耗高的问题，研发两段式生物脱硫技术，避免危废产生；研发甲烷低温起活直接催化脱氧技术，将起活温度从400℃降至270℃，提高脱氧过程安全性；研制高吸附量和高分离因子的CO2专用吸附剂，优化变压吸附步序，操作压力从0.6 MPa降至0.2-0.4 MPa，脱碳能耗从0.09 kWh/m3降至0.05 kWh/m3。

成果授权发明专利36项，发表论文75篇，制定行业标准2项，登记软件著作1项，研发菌剂和催化剂产品6种。成果应用于四川、贵州、重庆、湖南、江苏、浙江、布基纳法索等200余处有机废弃物制取生物天然气工程，年处理秸秆、畜禽粪污、工业糟渣、市政垃圾等各类有机废弃物2400万吨，年产生物天然气8.7亿立方米，折合标煤115.6万吨，年减排COD 120万吨、CO2当量744.6万吨，支撑畜禽养殖能力5000万头猪当量,缓解畜禽产品短缺。本成果直接专利转让收益为234.46万元；技术转化实现近两年累计新增销售额2.86亿元，新增利润2937万元；技术应用实现年销售生物天然气22亿元，副产品有机肥15亿，年利润6.3亿元，年利税8250万元。技术转化企业已成为生物天然气行业的领军企业。

**【客观评价】**

1. 国家相关部门正式作出的技术检测报告

1.1 有机废弃物高负荷厌氧消化容积产气率检测报告

本成果高负荷厌氧发酵失稳预警与调控技术应用于年处理10万吨酒糟、年产1000万立方米生物天然气工程，经农业部沼气产品及设备质量监督检验测试中心检测，容积产气率达到2.7477 m3/（m3·d），远大于设计值1.37 m3/（m3·d），也高于《国家能源局综合司关于请上报生物天然气产业化示范储备项目的通知》1.2 m3/（m3·d）的要求。

1.2 生物天然气品质检测报告

本成果两段式生物脱硫、低温起活催化脱氧、低压变压吸附脱碳技术应用于大丰粪污生物天然气项目，经中科检测技术服务有限公司检测，生物天然气品质符合《车用压缩天然气》(GB 18047-2000)的要求；应用于首创厨余垃圾生物天然气项目，经宁波市产品质量检验研究院检测，生物天然气产品符合《天然气》(GB 17820-2018)的要求。

2. 项目验收意见

2.1由中国林业科学研究院副院长储富祥研究员任组长的课题验收专家组，对国家科技支撑计划课题“混合原料高产生物燃气技术集成与示范”（2011BAD15B03）进行了验收，形成了验收意见：选育了一批厌氧发酵功能菌株，开发了原料预处理与生物燃气发酵微生物功能制剂4种；通过畜禽粪便、农作物秸秆与有机废弃物等三大类68种主要原料配比产气性能研究，建立1套不同原料的配伍表，编制1个生物燃气工程工艺设计软件；优化设计出适于多种原料的混合发酵工艺2套；提高了混合原料发酵效率，为多原料混合生物燃气工程建设提供设计依据。

2.2 由东北农业大学李文哲教授任组长的课题验收专家组，对国家科技支撑计划课题“车用生物燃气技术集成研究与模式示范”（2015BAD21B01）进行了验收，形成了验收意见：开发了易腐有机废弃物高负荷厌氧发酵工艺、沼气生物脱硫工艺、开发车用生物燃气生产的安全控制系统，建设了20000 m3/d的车用生物燃气示范工程，生物燃气经过纯化后达到《车用压缩天然气》(GB18047-2000)标准，构建了车用生物燃气纯化应用模式。

3. 科技查新报告

经中国科学院上海科技查新咨询中心检索查新、整体对比分析和评价，得出如下结论：未见到有与该项目创新点相同的文献报道，项目具有新颖性。

4. 学术性评价

关于厌氧消化有效碳氮比调控和失稳预警研究的两篇论文“Effects of feedstock ratio and organic loading rate on the anaerobic mesophilic co-digestion of rice straw and cow manure”、“Instability diagnosis and syntrophic acetate oxidation during thermophilic digestion of vegetable waste”被厌氧消化领域国际著名机构丹麦技术大学、瑞典林雪平大学、美国加州大学戴维斯分校引用。

5. 专利、软著、标准情况

该项目共获得国家授权发明专利36件，软件著作权1项，行业标准2件。

6. 论文情况

该项目在研发过程中，发表相关论文75篇，其中代表性论著10篇见其它附件3.1-3.10。

7. 媒体报道

2016年12月24日，采用本成果建设运行的大丰粪污资源化利用项目，作为优秀案例，被CCTV13《焦点访谈》栏目报道。

2017年6月27日，采用本成果建设运行的枫树湾畜禽粪污资源化利用项目，在CCTV1《晚间新闻》栏目报道的“全国畜禽养殖废弃物资源化利用会议”中作为典型案例介绍。

采用本成果建设运行的国家发改委和生态环境部联合重点督办项目“洱海流域多源有机废弃物制取生物天然气工程”，近年来被CCTV 2、CCTV 10、CCTV 13的多个栏目报道。

2018年4月25日，采用本成果建设的乐山井研畜禽粪污资源化利用整县推进项目，被《国际能源网》、《燃气网》等多家主流媒体同时报道。

**【推广应用情况】**

该项目整合川内生物天然气领域的优势科研和技术转化推广单位，通过8年的研发和应用推广，在四川、云南、贵州、重庆、湖南、浙江、江苏、宁夏、德国、布基纳法索等省市和国家建设200余处有机废弃物制取生物天然气工程，有机废弃物原料涵盖秸秆、畜禽粪污、工业糟渣、餐厨垃圾、市政污泥等，年处理各类有机废弃物2400万吨，年产生物天然气8.7亿立方米，折合标煤115.6万吨，年减排COD 120万吨、CO2当量744.6万吨；解决1000余个规模畜禽养殖场每年2100万吨粪污处理难题，支撑了5000万头猪当量的畜禽养殖能力，促进我国养殖业健康可持续发展，缓解畜禽产品短缺。

成都中科能源环保有限公司、成都德通环境工程有限公司作为该项目成套技术的核心推广单位，在国内外建设了100余座生物天然气工程，已经成为我国生物天然气领域的高新技术领军企业，市场占有率超过40%。在国家发改委和生态环境部联合重点督办项目“洱海流域57000 Nm3/d多源有机废弃物制取生物天然气工程”中，成都中科能源环保有限公司应用本成果成功中标；在世行贷款全球招标项目“宁波60000 Nm3/d厨余垃圾沼气提纯生产生物天然气项目”中，成都中科能源环保有限公司应用本成果，击败国际领先的加拿大XEBEC公司，成功中标；在盖茨基金全球招标项目“布基纳法索瓦加杜古多源废弃物生物天然气工程”中，成都德通环境工程有限公司和中国科学院成都生物研究所组成联合体应用本成果成功中标。四川省农村能源办公室作为该成果核心推广单位，指导建设乐山井研年产576万立方米生物天然气工程，引领了四川生物天然气产业发展。乐山勤力农业开发公司、成都思科明瑞环保工程公司作为多源有机废弃物高负荷厌氧消化成套技术的核心推广单位，在川内建成100余座大型工程，成长为川内具有重要影响力的高新技术企业。成果直接专利转让收益234.46万元；技术转化实现近两年累计新增销售额2.86亿元，新增利润2937万元；成果应用于200余处有机废弃物制取生物天然气工程，总投资约90亿元，年处理各类有机废弃物2400万吨，年产生物天然气8.7亿立方米，折合标煤115.6万吨，年减排COD 120万吨、CO2当量744.6万吨。成果转化应用企业年销售生物天然气22亿元、副产品有机肥15亿，年利润6.3亿元，年利税8250万元。成果推广项目的建设和运行管理年新增就业岗位4000余个，向布基纳法索等国的多源有机废弃物制取生物天然气技术输出项目既促进当地就业，又解决环境污染，还为当地提供高品位清洁能源，有力提升了我国的国际形象，支撑“一带一路”倡议深化实施。

**【主要知识产权目录】**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 授权号 | 授权日期 |
| 发明专利 | 一种沼气发酵过程的调控方法 | ZL201310440319.1 | 2015-04-15 |
| 发明专利 | 填埋气生产压缩天然气的预处理装置和方法 | ZL201510519155.0 | 2018-03-20 |
| 行业标准 | 沼气工程钢制焊接发酵罐技术条件 | NY/T3439-2019 | 2019-01-17 |
| 发明专利 | 酸化沼气发酵系统恢复产气的复合生物制剂及其制备方法 | ZL201310442836.2 | 2015-07-15 |
| 发明专利 | 一种秸秆沼气制备耦合发电余热利用的系统 | ZL201510444179.4 | 2017-06-27 |
| 发明专利 | 固态原料沼气发酵装置 | ZL201510255364.9 | 2016-08-17 |
| 发明专利 | 一株脱硫红细菌及其应用 | ZL201610997397.5 | 2019-06-14 |
| 发明专利 | 垃圾填埋气催化脱氧装置和方法 | ZL201510520677.2 | 2017-11-21 |
| 计算机软件著作权 | 酒糟厌氧发酵失稳预警调控云管理系统 | 2018SR015989 | 2017-09-20 |
| 行业标准 | 沼气工程安全管理规范 | NY/T3437-2019 | 2019-01-17 |

**【主要完成人情况表】**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 李东 | 排名 | 1 |
| 行政职务 | 项目组主任 | 技术职称 | 副研究员 |
| 工作单位 | 中国科学院成都生物研究所 | 完成单位 | 中国科学院成都生物研究所 |
| 对本项目技术创造性贡献：  该项目整体技术研发总负责人，国家自然科学基金面上项目“沼气发酵系统酸化预警及调控机制研究”负责人，国家科技支撑计划课题“混合原料高产生物燃气技术集成与示范”、“车用生物燃气技术集成研究与模式示范”主要完成人。对主要科技创新点1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.1做出实质性贡献。旁证材料：必备附件1.1，其它附件1.1、1.2、1.4、1.6、3.1、3.2、3.3、3.4、3.5、3.10 | | | |
| 姓名 | 刘晓风 | 排名 | 2 |
| 行政职务 | / | 技术职称 | 研究员 |
| 工作单位 | 中国科学院成都生物研究所 | 完成单位 | 中国科学院成都生物研究所 |
| 对本项目技术创造性贡献：  国家科技支撑计划课题“混合原料高产生物燃气技术集成与示范”负责人。对主要科技创新点1.1、1.3、2.1、2.2、3.1做出实质性贡献。旁证材料：必备附件1.1，其它附件1.1、1.2、3.1、3.2、3.5、3.9、3.10 | | | |
| 姓名 | 周一民 | 排名 | 3 |
| 行政职务 | 总工 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位 | 成都中科能源环保有限公司 | 完成单位 | 成都中科能源环保有限公司 |
| 对该项目技术创造性贡献：  国家科技支撑计划课题“车用生物燃气技术集成研究与模式示范”主要完成人。对主要科技创新点3.1、3.2、3.3做出实质性贡献，具体包括两段生物脱硫、低温起活催化脱氧、低压变压吸附脱碳。旁证材料：必备附件1.2，其它附件1.5、3.10 | | | |
| 姓名 | 李江 | 排名 | 4 |
| 行政职务 | / | 技术职称 | 助理研究员 |
| 工作单位 | 农业部沼气科学研究所 | 完成单位 | 农业部沼气科学研究所 |
| 对该项目技术创造性贡献：  对主要科技创新点1.1、2.4做出实质性贡献，具体为秸秆菌-酶生物预处理。旁证材料：必备附件1.3，其它附件1.3、1.7、3.6、3.7 | | | |
| 姓名 | 黄如一 | 排名 | 5 |
| 行政职务 | 副主任 | 技术职称 | 工程师 |
| 工作单位 | 四川省农村能源办公室 | 完成单位 | 四川省农村能源办公室 |
| 对该项目技术创造性贡献：  对主要科技创新点2.4做出实质性贡献，具体负责利用计算流体动力学数值方法（CFD），模拟构建罐内流场形态图形，辅助设计适于固态物料的厌氧反应器。  旁证材料：其它附件3.8 | | | |
| 姓名 | 梅自力 | 排名 | 6 |
| 行政职务 | / | 技术职称 | 研究员 |
| 工作单位 | 农业部沼气科学研究所 | 完成单位 | 农业部沼气科学研究所 |
| 对该项目技术创造性贡献：  对主要科技创新点2.4做出实质性贡献，具体包括大型厌氧反应器先进制造和安全管理。旁证材料：必备附件1.3，其它附件1.3、1.7、3.8 | | | |
| 姓名 | 冉毅 | 排名 | 7 |
| 行政职务 | 常务副主任 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位 | 农业部沼气科学研究所 | 完成单位 | 农业部沼气科学研究所 |
| 对该项目技术创造性贡献：  对主要科技创新点2.1、2.2做出实质性贡献，具体包括高负荷厌氧消化失稳预警、生物强化和过程调控，在成果的应用推广过程中起到核心作用。  旁证材料：其它附件3.1、3.5 | | | |
| 姓名 | 陈少航 | 排名 | 8 |
| 行政职务 | 总经理 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位 | 成都思科明瑞环境工程有限公司 | 完成单位 | 成都思科明瑞环境工程有限公司 |
| 对该项目技术创造性贡献：  对主要科技创造点1.3和2.2作出实质性贡献，在成果的应用推广过程中起到核心作用。旁证材料：必备附件2.8 | | | |
| 姓名 | 王晓辉 | 排名 | 9 |
| 行政职务 | 总经理 | 技术职称 | 工程师 |
| 工作单位 | 成都德通环境工程有限公司 | 完成单位 | 成都德通环境工程有限公司 |
| 对该项目技术创造性贡献：  对主要科技创造点1.3和2.2作出实质性贡献，在成果的应用推广过程中起到核心作用。旁证材料：必备附件2.1、2.6、4.2。 | | | |
| 姓名 | 佘强 | 排名 | 10 |
| 行政职务 | 总经理 | 技术职称 | 工程师 |
| 工作单位 | 乐山勤力农业开发有限公司 | 完成单位 | 乐山勤力农业开发有限公司 |
| 对该项目技术创造性贡献：  对主要科技创造点1.3和2.2作出实质性贡献，在成果的应用推广过程中起到核心作用。旁证材料：必备附件2.7。 | | | |

**【主要完成单位及创新推广贡献】**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 单位名称 | 中国科学院成都生物研究所 | 排名 | 1 |
| 创新推广贡献：  中国科学院成都生物研究所作为项目成果的主创完成单位，在国家自然科学基金面上项目“沼气发酵系统酸化预警及调控机制研究”、国家科技支撑计划课题“混合原料高产生物燃气技术集成与示范”的牵头单位、国家科技支撑计划课题“车用生物燃气技术集成研究与模式示范”、四川省科技计划项目“非洲农村地区人畜粪便无害化处理与能源化利用技术”的支持下，负责项目成果的总体设计、研发、示范和应用推广，负责主要科技创新点1.1、1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.1的研究工作。授权发明专利14项，发表论文30篇，开发计算机软件著作权1项。  中国科学院成都生物研究所作为项目的牵头单位，联合农业部沼气科学研究所、成都中科能环有限公司、四川省农村能源办公室、成都德通环境工程有限公司、乐山勤力农业开发有限公司、成都思科明瑞环境工程有限公司等四川省内生物天然气领域的优势单位，组成技术研发、成果转化、应用推广联合体，对本项目形成的“多源有机废弃物规模化制取生物天然气成套技术”进行应用推广，该成果应用在四川、云南、贵州、重庆、湖南、浙江、江苏、宁夏、广东、布基纳法索等200余处有机废弃物制取生物天然气工程，年处理秸秆、畜禽粪污、垃圾污泥、工业酒糟等各类有机废弃物2400万吨，年产生物天然气8.7亿立方米，折合标煤115.6万吨，年减排COD 120万吨、CO2当量744.6万吨。 | | | |
| 单位名称 | 农业部沼气科学研究所 | 排名 | 2 |
| 创新推广贡献：  农业部沼气科学研究所作为主要科技创新点2.4的主要完成单位，负责开发规模化高浓度物料厌氧反应器先进制造和安全管理技术体系。授权发明专利1项，实用新型2项，发表论文6篇，制定行业标准2项。农业部沼气科学研究所作为项目成果的主要转化单位，利用本项目技术设计了包括年产420万立方米的岳阳枫树湾生物天然气工程。 | | | |
| 单位名称 | 成都中科能源环保有限公司 | 排名 | 3 |
| 创新推广贡献：  成都中科能源环保有限公司作为主要科技创新点2.2、3.2、3.3的完成单位，在国家科技支撑计划课题“车用生物燃气技术集成研究与模式示范”的支持下，负责研发富含油脂原料厌氧发酵复合菌剂、低温起活催化脱氧技术和低压变压吸附脱碳技术。授权发明专利6项。成都中科能源环保有限公司作为项目成果的主要转化和应用推广单位，利用本项目成果技术建设70余座涵盖粪污、垃圾原料的生物天然气工程，通过工程实施，促进了本项目成果的推广。 | | | |
| 单位名称 | 成都德通环境工程有限公司 | 排名 | 4 |
| 创新推广贡献：  成都德通环境工程有限公司对主要科技创造点1.3和2.2作出实质性贡献。作为项目成果的主要转化和应用推广单位，利用本项目成果技术建设40余座涵盖秸秆、粪污、垃圾等原料的生物天然气工程，通过工程实施，促进了本项目成果在国内外的推广，为我国绿色“一带一路”倡议做出贡献。 | | | |
| 单位名称 | 乐山勤力农业开发有限公司 | 排名 | 5 |
| 创新推广贡献：  乐山勤力农业开发有限公司对主要科技创造点1.3和2.2作出实质性贡献。作为项目成果的主要转化和应用推广单位，利用本项目成果技术建设60余座涵盖秸秆、粪污、垃圾等原料的生物天然气工程，通过工程实施，促进了本项目成果在国内外的推广。 | | | |
| 单位名称 | 成都思科明瑞环境工程有限公司 | 排名 | 6 |
| 创新推广贡献：  成都思科明瑞环境工程有限公司对主要科技创造点1.3和2.2作出实质性贡献。作为项目成果的主要转化和应用推广单位，利用本项目成果技术建设40余座涵盖秸秆、粪污、垃圾等原料的生物天然气工程，通过工程实施，促进了本项目成果在国内外的推广。 | | | |
| 单位名称 | 四川省农村能源办公室 | 排名 | 7 |
| 创新推广贡献：  四川省农村能源办公室是从事全省的沼气和生物天然气行业的研究、推广、管理工作，在本项目中主要承担了科技创新和应用推广两方面工作：作为主要科技创新点2.4的主要完成单位。作为项目成果的主要推广应用单位，充分发挥本单位作为全省生物天然气工程主管部门的优势，积极推广应用项目成果，在省内已建成和在建生物天然气工程项目中应用成果技术，显著提高了工程的运行稳定性和产气效率，并形成了良好的试点示范效应。 | | | |

**【完成人合作关系说明】**

本研究成果涉及到7个单位的10名人员，由第一完成人（李东）负责项目总体设计、部署任务、明确分工，分别从纤维原料强化水解预处理、多源物料混配、厌氧消化失稳预警调控、大型高浓度反应器先进制造、高效低耗安全的生物天然气净化提纯等方面攻克关键技术，集成多源有机废弃物规模化制取生物天然气成套技术，进行技术转化和应用推广。成果由第一完成人汇总，现将各完成人的合作关系情况从第一完成人角度进行简要说明如下。

李东和刘晓风作为中科院成都生物所固废资源化利用团队核心成员，主持了国家自然科学基金面上项目“沼气发酵系统酸化预警及调控机制研究”、国家科技支撑计划课题“混合原料高产生物燃气技术集成与示范”、四川省科技计划项目“非洲农村地区人畜粪便无害化处理与能源化利用技术合作”，合作研发了木质纤维原料水热预处理、多源物料有效碳氮比调节、厌氧消化失稳预警、生物强化、过程调控技术。李东和成都中科能环公司周一民共同参与了国家科技支撑计划课题“车用生物燃气技术集成研究与模式示范”，合作研发了两段生物脱硫、低温起活催化脱氧和低压变压吸附脱碳技术。李江在生物所期间参与了“混合原料高产生物燃气技术集成与示范”课题，合作研发了木质纤维原料生物预处理技术；后来在农业部沼气科学研究所期间，与梅自力合作研发了固态原料厌氧消化装置，并制定了特大型厌氧反应器制造和安全管理技术标准。沼气所冉毅参与了厌氧消化失稳预警和过程调控技术研发和推广。四川省农村能源办公室黄如一利用计算流体动力学数值模拟方法，协助梅自力开发了大型高浓度厌氧反应器，并协助李东和周一民在四川推广多源有机废弃物规模化制取生物天然气成套技术。李东于2015年和2017年分别与乐山勤力公司技术负责人佘强和成都思科明瑞公司技术负责人陈少航就混合原料高负荷厌氧消化制备生物燃气技术进行合作，由佘强和陈少航负责推广本成果技术。2015年，李东与成都德通环境公司技术负责人王晓辉签订专利技术“一种沼气发酵过程的调控系统”转让协议，共同推广厌氧消化失稳预警和过程调控技术；同年，刘晓风与王晓辉签订“布基纳法索市政有机垃圾处理沼气工程(比尔盖茨基金项目)”技术服务协议，2016年李东赴布基纳法索负责利用多源有机废弃物高负荷厌氧消化技术开展工艺优化和工程调试运行。

完成人合作关系情况汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 |
| 1 | 共同知识产权 | 1、2 | 2013年-至今 | 发明专利 | 必备附件 1.1 |
| 2 | 共同知识产权 | 1、3 | 2013年-至今 | 发明专利 | 必备附件 1.2 |
| 3 | 论文合著 | 1、2、3 | 2013年-至今 | 中文论文 | 其它附件 3.10 |
| 4 | 论文合著 | 1、2、7 | 2015年-至今 | SCI论文 | 其它附件 3.1 |
| 5 | 论文合著 | 1、2、4、6 | 2013年-至今 | SCI论文 | 其它附件 3.4 |
| 6 | 论文合著 | 2、4 | 2012-至今 | SCI论文 | 其它附件 3.6 |
| 7 | 论文合著 | 5、6 | 2015年-至今 | SCI论文 | 其它附件 3.8 |
| 8 | 共同知识产权 | 4、6 | 2013年-至今 | 发明专利 | 其它附件 1.3 |
| 9 | 共同参与制定标准 | 4、6 | 2013年-至今 | 行业标准 | 其它附件 1.7 |
| 10 | 产业合作 | 1、9 | 2015年-至今 | 专利技术转让应用 | 必备附件 2.1 |
| 11 | 产业合作 | 2、9 | 2015年-至今 | 国外工程技术服务 | 必备附件 4.2 |
| 12 | 产业合作 | 1、10 | 2015年-至今 | 生物燃气工程 | 必备附件 2.7 |
| 13 | 产业合作 | 1、8 | 2017年-至今 | 生物燃气工程 | 必备附件 2.8 |