



中国科学院青岛生物能源与过程研究所

QINGDAO INSTITUTE OF BIOENERGY AND BIOPROCESS TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES



SEI

山东能源研究院

SHANDONG ENERGY INSTITUTE

科技成果汇编

(2024年)



研究所简介

中国科学院青岛生物能源与过程研究所（以下简称“青岛能源所”）是由中国科学院、山东省人民政府、青岛市人民政府于2006年7月启动筹建，2009年11月30日通过共建三方验收并纳入中国科学院“知识创新工程”管理序列的国立科研机构。2019年6月17日，山东省、中科院、青岛市三方签署协议以青岛能源所为依托单位，共同筹建山东能源研究院，支撑国家能源创新体系建设，提升山东省能源科技创新能力，服务能源产业新旧动能转换和高质量发展。依托青岛能源所、山东能源研究院建设的青岛新能源山东省实验室在2020年12月17日挂牌筹建。形成了青岛能源所、山东能源研究院、青岛新能源山东省实验室“三位一体”的发展格局。

青岛能源所坚持创新驱动与需求牵引相结合、原始创新与集成创新并重，聚焦新能源、新生物、新材料、先进储能等领域，开展基础性、战略性、前瞻性和系统集成重大创新研究，突破领域前沿科学难题和核心关键技术，提供重大创新成果和系统解决方案，在满足国家和区域重大需求方面发挥不可替代作用，不断为国家和区域经济社会发展作出重大贡献。

截止2023年底，青岛能源所拥有生物学、化学工程与技术、材料科学与工程三个博士后流动站，生物学、材料科学与工程、化学工程与技术、材料与化工（专业学位）共四个一级学科博士培养点；生物与医药、材料与化工两个专业硕士学位培养点，形成了涵盖生物、化学、化工、材料等领域的学科培养体系。现有双聘院士及顶尖人才

专家 12 人，国家级人才计划专家 18 人，省部级人才计划专家 134 人次。累计发表 SCI 论文 4019 篇。申请专利 2037 件，其中发明专利 1897 件，授权专利 978 件。入选青岛市首批专利质量提高试点单位，2016-2018 年度专利创新能力连续三年位居驻青高校科研机构第一名，2018、2019 年度授权专利数量位居山东省科研机构第一名。2019 年通过《科研组织知识产权管理规范》（GB/T33250-2016）国家标准审核认证，是中国科学院首批、山东省和青岛市首家通过国家标准认证的科研机构。2022 年再次通过知识产权管理体系认证。

青岛能源所高度重视知识产权与科技成果转化工作，以中科院“院地合作三原则”为指导，通过出台成果转化政策（出政策），建设中试与成果熟化平台（建平台）、探索与企业合作模式及成果转化（创模式）、培养知识产权与成果转化专业人才（育人才），联合社会资本设立成果转化基金等重点举措，不断提升服务区域经济社会发展能力。“十四五”以来，共有生物天然气、二代生物柴油、生物基塑化剂、梳枝丁戊橡胶等二十余项重大成果实现转化。科技部评估中心发布《中国科技成果转化 2020 年度报告（高等院校与科研院所篇）》排名：以转让、许可、作价投资三项平均合同金额全国排名第 94 位（共 3450 家）、中科院第 35 位（共 114 家）。2021 年 5 月全国高校院所创新指数排名居全国 48 位。

（数据更新到 2023 年 12 月底）

目录

第一部分 产业化推广成果 1

新生物

01 单细胞拉曼分选系列仪器.....	2
02 掌上式新冠病毒快检仪 (PaGeR)	5
03 微藻合成生物技术与绿色生物制造	6
04 微藻/酿酒酵母高密度发酵生产 ω -7 脂肪酸技术.....	9
05 雨生红球藻及其虾青素的高效规模化生产	11
06 木质纤维素整合生物糖化技术.....	13
07 DHA 藻油的发酵制备技术.....	14
08 雪莲培养物资源创新技术.....	15

新能源

09 农业秸秆等固态废弃物沼气/生物天然气工程.....	16
10 沼气高效提纯精制生物天然气工程.....	19
11 分散型有机废弃物资源化处理模式及设备.....	21
12 ZKBH 悬浮床-固定床组合加氢工艺生产二代生物柴油技术.....	23
13 ZKAH 油脂基生物航煤 (SAF) 产业化技术.....	25
14 高性能聚合物固态锂电池技术.....	27
15 氢能与燃料电池项目	28
16 锂离子电容器项目	29
17 生物质气化合成高品质航空煤油关键技术.....	31
18 大型燃煤电厂生物质直接耦合燃烧发电技术.....	33

19 有机固废热解气化清洁供能技术及设备	35
----------------------------	----

新材料

20 梳枝丁戊橡胶合成与应用技术	37
21 碳酸钙晶须规模化制备与应用技术	38
22 光伏建筑一体化 (BIPV) 技术	40
23 “三高”天然多糖改性制备及应用开发技术	42
24 CO ₂ 釜式发泡聚丙烯 EPP 开发	44
25 高镍梯度锂离子电池正极材料技术	46
26 改性 MBBR 填料在污水处理厂升级改造应用项目	48

第二部分 研发阶段成果

50

新生物

27 巴斯德毕赤酵母高产人源溶菌酶	51
28 微藻循环式光照兼养培养系统	53
29 微生物合成β-榄香烯技术	55
30 高效低能耗发酵生产细菌纤维素技术	57
31 CO ₂ 生物转化与利用技术	59
32 微生物合成法尼烯技术	61
33 橘色藻产类胡萝卜素技术	63
34 产烃葡萄藻贴壁培养技术	64
35 植物组织高效培养与遗传改良技术	65
36 基于磺基化重组水蛭素的抗凝血药物研究	67
37 胶原-蛛丝蛋白复合硬脑膜替代材料的研发	68
38 神经酸及其鞘脂的医药应用	69

39 银杏叶药用成分精制及新型功能产品开发项目	71
40 酶表面展示生产 L(+)-酒石酸项目	73
41 EPA 藻油的发酵制备技术	74

新能源

42 低成本、高安全钠电池技术	75
43 高比容量硅碳负极粘结剂技术项目	77
44 硫化物全固态电池	78
45 面向固体氧化物电池的超薄电解质膜和电池片批量制备	80
46 钙钛矿太阳能电池气体修复技术	82
47 光伏电站生态评估与土地立体化利用技术	83
48 生物质化学链气化生产合成气和绿氢技术	84
49 甲烷二氧化碳干重整技术	86
50 污泥高值化利用技术	87
51 高速服务区小型固废气化技术	88
52 CRH-T 低阶煤多效提质技术及装备	89
53 高效“酯化-转酯化”制备一代生物柴油工艺技术	91
54 高品质 Pt/C 电催化剂批量制备技术	92
55 质子交换膜燃料电池用高性能 Pt/C 催化剂技术	94
56 能源大数据系统建设与应用平台	96
57 基于空间的生命周期评价 (GIS-LCA) 技术	98
58 基于空间的生命周期评价 (GIS-LCA) 平台	99
59 有机氯副产物催化分解技术	101
60 氯化氢混合气的分离纯化技术	102

61 多级仿真干式厌氧发酵项目	103
62 液体有机物储氢项目	105
63 面向能源和化工检测质谱仪器开发项目	106
64 可见波段有机光电探测器	107

新材料

65 高性能丙烯酸酯弹性体合成关键技术	108
66 氢化丁腈橡胶生产技术	109
67 聚酯材料循环利用技术	110
68 高性能中空纤维 CO ₂ 分离膜及沼气纯化工艺开发	111
69 用于渗透汽化醇/水分离的分子筛膜制备及耦合分离工艺的应用开发	112
70 陶瓷透氧膜制高纯氧技术	114
71 高性能 CO ₂ 分离膜及烟气碳捕集技术开发	115
72 基于玉米秸秆制备 MOFs 器件	116
73 限域热转化策略合成 Pd 单原子催化剂技术	118
74 固相种晶生长策略合成 Pd 基双金属催化剂技术	120
75 不饱和醛/酮加氢制备不饱和醇的工艺开发	122
76 甲基烯丙基醇生产的新技术	124
77 快充型锂电负极材料开发技术	126
78 水性流变助剂硅酸镁锂技术	127
79 高纯度碳酸甲乙酯制备技术	129
80 固体废物生产新型生态透水砖技术	130
81 木质素基重金属吸附剂合成技术	132
82 用于室内甲醛污染物常温催化净化的金属氧化物材料的开发	133

83	新型木质纤维绿碳缓冲材料	134
84	木糖渣的综合利用	136
85	纸浆的高值利用技术	138
86	隐血显色猫砂技术	140
87	纤维素甲酸酯的清洁制备与功能性应用	142
88	退役锂电池正极材料的绿色分离和回收利用项目	144
89	铜基分子筛催化剂 CO ₂ 加氢制甲醇项目	146
90	低温固化导电浆料制备及应用技术	147

新生物类科技成果

联系人：李 兴

联系方式：0532-80662796/15247430388

新能源类科技成果

联系人：邱建超

联系方式：0532-80662756/13791917382

联系人：高 威

联系方式：0532-80662756/15610093397

新材料类科技成果

联系人：陈 磊

联系方式：0532-80662756/18766260829

联系人：吕承东

联系方式：0532-80662756/18669423815

第一部分 产业化推广成果



01 单细胞拉曼分选系列仪器

项目负责人：籍月彤

技术联络人：籍月彤

联系方式：0532-80662653

电子邮箱：jiyt@qibebt.ac.cn

关键词：生物、高端仪器

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7)

■ 项目简介

团队开发了单细胞拉曼技术和设备共性技术平台，研制了系列产品：单细胞拉曼分选-测序耦合系统(Raman-Activated single-Cell Sorting; RACS-Seq)、临床单细胞拉曼药敏快检仪(Clinical Antimicrobial Susceptibility Test Ramanometry; CAST-R)、单细胞拉曼表型监测系统(Raman-Activated Phenotyping System; RAPS)、模块式单细胞微液滴分离系统(EasySort)、高通量流式拉曼分选仪(High-throughput RACS: FlowRACS)。

一、单细胞拉曼分选-测序耦合系统(RACS-Seq)

菌群样品之单细胞代谢表型测量（基于单细胞拉曼光谱）、单细胞拉曼分选和单细胞基因组解析的一体化仪器系统。RACS-Seq基于单细胞拉曼光谱技术，不需分离培养、不需荧光探针标记、在单细胞精度直接无损地测量各种代谢相关表型（及其细胞间异质性），进而通过单细胞微液滴光镊拉曼分选与低偏好性核酸扩增技术，完成高覆盖度、与代谢表型相关联的单细胞基因组扩增，从而与下游DNA测序仪对接。

性能指标：

该产品已经针对不同微生物单细胞的表型识别、目的微生物分离、分选等应用方向完成第三代工程样机，样机在典型使用环境中验证可靠性，具备以下性能参数：

1. 可分析的细胞类型：任何显微镜下可见的细胞；
2. 可分选的单细胞大小：直径 > 0.5 μm；
3. 细胞起始量：> 10² CFU/mL；
4. 分选介质：液相（保护细胞活性，分选后的细胞可培养，且可提高测序质量）；
5. 分选速度：2—5个/min（光镊液滴分选）；20—100个/min（流式分选）；
6. 单细胞基因组覆盖度：> 90%（微扩增体系大幅提升覆盖度）。

二、临床单细胞拉曼药敏快检仪 (CAST-R)

CAST-R临床样品的集单细胞精度病原鉴定、药敏性表型测量及耐药基因型（组）解析的一体化装备。基于重水饲喂单细胞拉曼光谱药敏检测技术，不需微生物分离培养而直接鉴定病原种类，并测量基于代谢活性抑制的药敏性表型（及其在细胞之间的异质性），全流程可在三小时内完成，将目前检测时长缩短至原来的1/10。进而，通过单细胞微液滴光镊拉曼

分选与核酸扩增技术 (RAGE-Seq) , 完成低偏好性、高覆盖度、与耐药表型关联的单细胞基因组测序。

性能指标:

该产品已经针对不同临床微生物单细胞的表型识别、耐药微生物分离、分选等应用方向完成第三代工程样机, 样机在典型使用环境中验证可靠性, 具备以下性能参数:

1. 临床样本形式: 尿液、血液、痰液、拭子、组织液等;
2. 病菌起始量: $> 10^4$ CFU/mL;
3. 菌株鉴定准确率: $> 90\%$;
4. 药敏性表型检测时长: < 6 h (不需细菌培养);
5. 检测精度: 单个病菌细胞精度, 对所有临床微生物均适用;
6. 扩展性: 可与单细胞拉曼分选和测序直接对接, 追踪与溯源耐药基因型。

三、高通量流式拉曼分选仪 (FlowRACS)

FlowRACS是基于单细胞拉曼光谱对流动状态的单个细胞进行非标记式、单细胞精度、高通量分选的仪器设备。基于单细胞拉曼光谱技术, FlowRACS不需分离培养、在单细胞精度直接鉴定单细胞种类, 并可测量代谢相关表型及其细胞间异质性; 独创的pDEP-RADS技术, 通过在高速液流中基于介电迟滞来精确捕获和采集单细胞拉曼信号, 克服了单细胞拉曼分选的通量限制, 以及微液滴对于拉曼表型鉴定的影响, 从而完成了单细胞拉曼信号采集与单细胞微液滴的集成。同时, FlowRACS利用全光谱实时判别算法, 实现了活体单细胞超高通量拉曼分选的高度自动化, 为单细胞层面的代谢表型快检、种质资源挖掘和功能机制研究提供了新一代装备解决方案。

性能指标:

该产品完成整机的系统集成, 形成系统级原理样机。样机的性能参数、运行稳定性与可靠性符合市场上同领域仪器要求, 系统级原理样机相对最终产品状态是高技术状态逼真度的, 具备以下性能参数:

1. 可分析的细胞类型: 微生物细胞、人体细胞;
2. 可分选的单细胞大小: 直径 $\geq 5 \mu\text{m}$;
3. 细胞起始量: 不限;
4. 分选介质: 液相 (保护细胞活性, 分选后的细胞可培养, 且可提高测序质量);
5. 分选速度: > 500 个/min;
6. 液相流速: $10-40 \mu\text{L}/\text{min}$; 稳定运行时间: > 2 h。

四、单细胞微液滴分选系统 (EasySort)

EasySort可以将明场/荧光/拉曼显微镜升级为“所见即所分”、保持原位状态与活性的微生物单细胞精准功能分选装置。在显微镜的视野下, EasySort能够通过光镊轻松控制单细胞的移动轨迹, 并通过独有的重力驱动专利技术, 将任何直径大于 $0.5\mu\text{m}$ 的单细胞迅速包裹成单液滴。根据实验目的的不同, 包裹目标细胞的微液滴能够被移取到孔板或者EP管中, 从而对接下游实验。EasySort可以广泛应用于各类单细胞的分离、分选、培养及测序实验中。

性能指标:

该产品已经针对不同微生物单细胞的移动轨迹控制、分离、分选等应用方向完成工程样机, 样机在典型使用环境中验证了可靠性和稳定性, 具备以下性能参数:

1. 可分析的细胞类型: 纯培养样品、环境样品;
2. 可分选的单细胞大小: 直径 > 0.5 μm ;
3. 细胞起始量: > 10^5 - 10^6 CFU/mL;
4. 分选介质: 液相 (保护细胞活性, 分选后的细胞可培养, 且可提高测序质量) ;
5. 分选速度: 1-2个/min; 液相流速: 0-50 pL/min; 分液体积: 65 pL。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权

■ 应用前景

上述拥有自主知识产权的原创仪器装备已经支撑着临床精准用药、生物资源挖掘、环境微生态机制、细胞工厂筛选、工业过程监控等领域。中心通过青岛星赛生物科技有限公司等企业化平台推广原创的单细胞分析装备、耗材、配套设施与技术服务, 服务于工业、健康、环境、海洋、农业、生物安全等产业。

■ 合作方式

项目已成立创业公司“青岛星赛生物科技有限公司”, 推广原创的单细胞分析装备、耗材、配套设施与技术服务, 服务于工业、健康、环境、海洋、农业、生物安全等产业。可开展投资等形式的合作。

02 掌上式新冠病毒快检仪 (PaGeR)

项目负责人：籍月彤

技术联络人：籍月彤

联系方式：0532-80662653

电子邮箱：jiyt@qibebt.ac.cn

关键词：生物、高端仪器

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6)

■ 项目简介

PaGeR整合了病毒核酸检测的全流程，能够实现病毒灭活，恒温扩增以及扩增后的结果检测。使用PaGeR以及配套的新型冠状病毒（2019-nCoV）核酸快速检测试剂盒（RT-LAMP法），可以实现荧光检测或胶体金试纸条的检测，整个过程在1小时内完成，从而满足快速检测的需求。PaGeR基于环介导等温扩增（LAMP）方法实现病毒核酸检测。对海关提供的17位病人的咽拭子样本进行测试，结果表明有15位病人检测成功（阳性）。对55份健康人群的咽拭子样本进行测试，结果全部阴性。PaGeR对新型冠状病毒（COVID-19）N基因阳性质粒的检测灵敏度达到 1 copy/ μ L。

性能指标：

该产品已经完成工程样机，样机在典型使用环境中验证了可靠性和稳定性，具备以下性能参数：

1. 尺寸：23 cm * 11.5 cm * 8.8 cm，重量：0.5 kg；
2. 检测时长：1 h左右；
3. 检测准确度：97.2%；检测灵敏度：88.2%；
5. 检测特异性：100%；
6. 阳性预测值：88.2%；阴性预测值：96.5%。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权

■ 应用前景

居民、海关、医院等场景下快速病毒核酸检测

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让、作价入股

03 微藻合成生物技术与绿色生物制造

项目负责人：段仰凯

技术联络人：段仰凯

联系方式：15863455929

电子邮箱：duanyk@qibebt.ac.cn

关键词：甘油葡糖苷、微藻

技术成熟度：应用研究/产业化 (TRL=8-9)

■ 项目简介

随着经济持续增长、核心人群扩容，中国化妆品行业逐步发展为一个初具规模、极富生机活力的产业，迎来了行业的黄金时代。成分新星-甘油葡糖苷（以下简称GG）的发现与应用，除了能达到与透明质酸等同的保湿效果以外，GG优异的透皮性，有效活性成分可直达皮肤真皮层，发挥抗衰去皱、抗炎舒敏、护发养发、提质亮肤等多种生理功效，广泛应用于护肤养发等产品中，逐渐为品牌方和消费者所接受和追捧。

针对市场上GG多构型、多杂质、非天然、不环保、高成本的问题，青岛中科蓝智生物科技发展有限公司（以下简称中科蓝智）依托中国科学院青岛生物能源与过程研究所（以下简称研究所）的强大科研实力，成功开发国际首创微藻合成高值天然产物甘油葡糖苷先进生物制造技术—SCGP技术（Smart Cyano Glucosylglycerol Polygeneration Technology），实现高品质天然GG产品的量产和销售。

公司立足传统制造业绿色发展的重大科技创新需求，服务于国家“碳达峰、碳中和”的发展战略，面向大健康产业，应用系统生物技术、合成生物技术、过程工程技术，打造高品质天然藻类活性物质的研发生产体系，实现化妆品、食品、保健品和医药产品及原料的绿色生物制造。

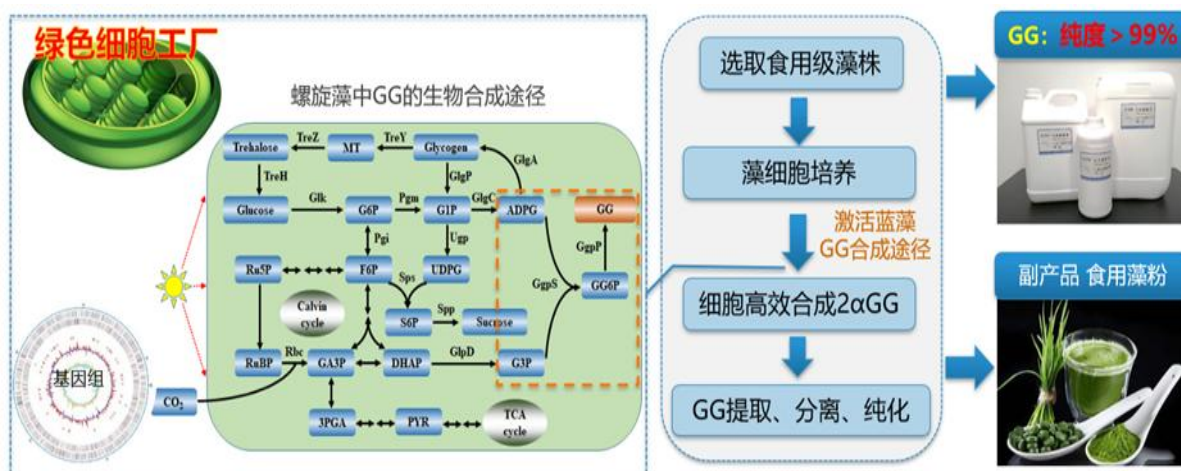


图1 螺旋藻中GG的生物合成途径及生产流程图

性能指标：

中科蓝智生产的GG是由海洋天然藻细胞光合自养合成的高活性多功效2 α GG，分子量254。由研究所的研发团队历时8年研制而成，采用国际首创SCGP生物制造技术，通过细胞无损伤提取等独家专利技术精制，全生产过程环境友好，不使用有机溶剂，纯度可达世界领先水平的99%以上。产品易溶于水，适用pH范围为3.0-11.0，对皮肤及眼睛均无刺激性，不含激素、农残及重金属，可直接应用在保湿水、膏霜、乳液、精华液、凝胶、面膜及护发护发等多个化妆品类目中，且与其他化妆品无不兼容现象。

■ 项目进展

公司2020年首年量产，实现量产阶段的工艺定型、设备定型、产品定型及生产人员的稳定。2021年在节能降耗、提高效率、人员管理、车间管理等方面多措并举，共生产甘油葡糖苷纯品5.7吨，藻粉25.6吨。2021年从4月份开始生产，11月生产结束，全年回收率稳定在92%以上，实现了微藻源甘油葡糖苷的稳定生产。

研发聚焦，下一步将重点攻关二代海水养殖技术和三代工厂化养殖技术的迭代升级、酶法合成技术的战略储备以及螺旋藻综合利用技术的产业化开发。公司将充分利用好研究所科研团队的技术资源，以集成创新思维实现产品应用一代、储备一代、探索一代，保持旺盛的技术生命力，使公司始终处于市场优势地位。



图2 微藻养殖基地设施



图3 精制车间设备

■ 知识产权情况

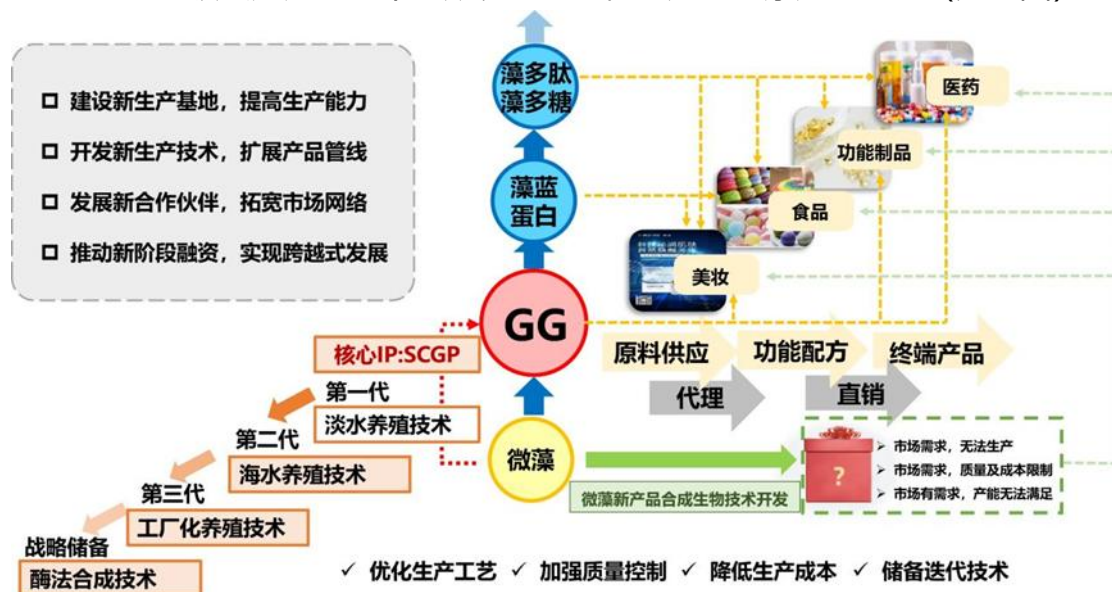
项目研发团队由研究所吕雪峰研究员全程指导，张凯博士领衔，并引进了凌沛学博士、张成武教授等来自知名企业、科研院所的多位科技顾问，带领多人的技术研发团队，已布局38项核心技术专利（其中发明专利31项），已授权12项。

公司2021年8月A轮融资，研究所以26项知识产权作价3200万元入股，占中科蓝智40%的股权，其中50%奖励科研人员，奖励完成后，研究所占中科蓝智20%的股权。

■ 应用前景

目前GG已经广泛应用于面膜、化妆水、面霜、防晒霜、乳液等化妆品中，并积极在功效性食品、母婴类产品等领域拓展应用场景，已取得突破性进展，实现了国产替代。基于中科蓝智GG优异的产品功效和99%以上的高纯度，加上纯天然来源的加持，未来在医药领域有非常巨大的应用潜力和发展空间。

公司面向大健康领域，致力于微藻活性产品开发，在现有技术基础上，以GG为核心，制定横向拓展、纵向深挖、内外延伸的“三位一体”发展战略，以生产技术优化升级、藻粉高值化综合利用、其他微藻源活性产品开发为三大主线，加强功效探索，实现产品在美妆、食品、功能制品、药品领域应用的近中长期发展目标，构建大健康产品生态（见下图）。



■ 合作方式

共同开发、股权融资等

04 微藻/酿酒酵母高密度发酵生产 ω -7 脂肪酸技术

项目负责人: 刘天中

技术联络人: 刘天中

联系方式: 0532-80662735

电子邮箱: liutz@qibebt.ac.cn

关键词: 微藻培养、棕榈油酸 (ω -7)

技术成熟度: 中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

ω -7是一组单不饱和脂肪酸，基本化学结构为 $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_n\text{-CO}_2\text{H}$ ，因其不饱和双键的部位始于碳链末端甲基的第7位，故命名为 ω -7。大量研究证实 ω -7脂肪酸具有改善人体代谢综合症（II型糖尿病的胰岛素抵抗、动脉粥样硬化、肥胖）和抗炎等多种生理功能，用于皮肤护理方面具有优良的皮肤抗皱功能。美国几个大型生物制药公司（Innovix Pharm、Tersus Pharmace）和营养健康企业（Source Naturals、New Chapter、Sibu Beauty），以及丹麦的Pharma Nord公司等都已具有营养健康产品和护肤品等出售，市场需求旺盛。但目前 ω -7主要来源于澳洲坚果、沙棘和鱼油，含量低，资源量严重不足、生产成本低。

一、酿酒酵母高密度发酵

本项目筛选获得了高产油和高产 ω -7酵母菌种，解决了酵母高密度发酵与高油脂积累问题，建立了世界上首个酵母发酵的 ω -7的高效生产技术和压榨提油工艺， ω -7 占总脂的40%以上，含量高、生产成本低。相关技术已申请多个国内发明专利，并获得美、澳、日等国专利授权。



性能指标:

发酵周期8天，细胞密度 $>90\text{g/L}$ ，油脂含量 $>35\%$ ， ω -7 $>45\%$ 。

■ 项目阶段与进展

已完成工艺构建和 500升-5000升发酵中试。

■ 知识产权情况

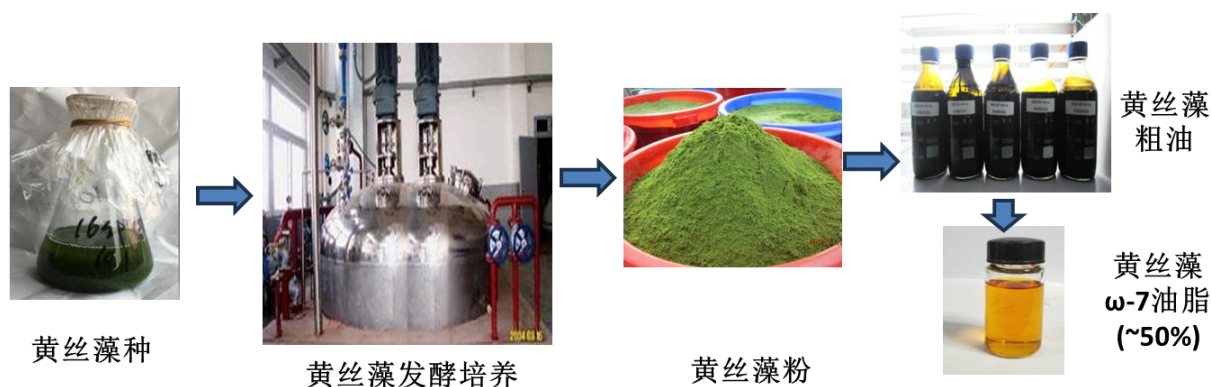
申请发明专利7项，其中国内授权专利1项，美国、澳大利亚和日本授权专利各1项。

■ 应用前景

随着我国人口的快速老龄化，糖尿病、高血脂症等代谢综合征患病人口数量急剧增加， ω -7脂肪酸营养与医药制剂需求强烈。项目技术为国内外首创，按年产200吨 ω -7油脂规模，总投资3800万元，年产值8000万元，投资回收期1年。

二、微藻生产

技术指标：（1）已首次筛选获得了多株高产 ω -7的藻种，已申请了一项发明专利，另一个专利正在申请中，同时拟申请藻种国际专利，具有完全的自主知识产权；（2）已成功开发了具有完全自主知识产权的微藻贴壁培养技术，吨油成本不高于15万元，对鱼油、澳洲坚果油和沙棘油原料成本有明显竞争力。



■ 应用前景

目前仅有两个 ω -7产品通过了IFOS认证，分别为Tersus生物制药公司的Provincial®Purified ω -7和美国InnovixPharma制药公司Innovix Labs Purified OMEGA-7。其原料主要来自鱼油或澳洲坚果油，但这两类原料中的 ω -7都不高，分别只有22%和10%，因此原料成本高。此外，沙棘油中含有的 ω -7可达40%，但成本高达400元/公斤，且资源量有限。

本项目基于我们首次筛选获得的含油量达50—60%， ω -7占总脂50%以上的富 ω -7藻类，通过建立其大规模的培养技术，以及 ω -7分离纯化技术，实现 ω -7的高效低成本生产，从而实现基于棕榈油酸的糖尿病、高血脂等保健或者治疗产品的产业化。

本项目无论从藻种，还是培养技术，均具有完全自主知识产权，项目产业化竞争优势明显。预计纯 ω -7生产成本不高于30万元/吨，按年产100吨 ω -7计，总产值可达2-4亿元，毛利润1.5-3亿元。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

05 雨生红球藻及其虾青素的高效规模化生产

项目负责人：刘天中

技术联络人：刘天中

联系方式：0532-80662735

电子邮箱：liutz@qibebt.ac.cn

关键词：微藻培养、虾青素

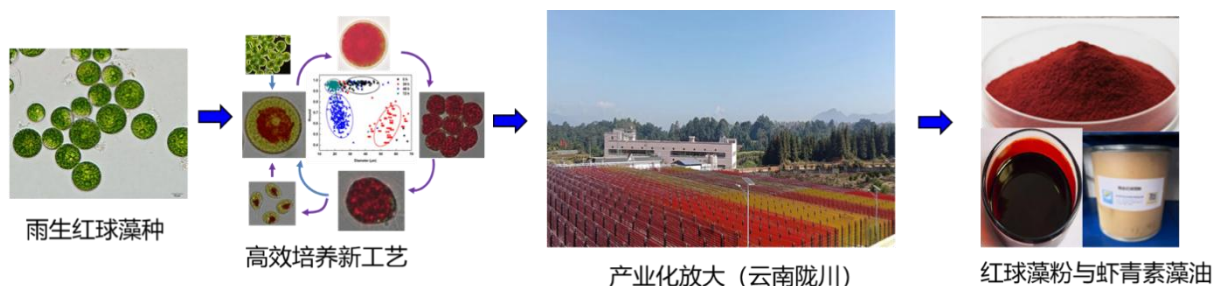
技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

雨生红球藻是最佳的天然虾青素来源，其含量达到3%-5%。虾青素具有优异的抗氧化清除自由基能力、增强免疫力、提高繁殖能力和保护心血管作用以及着色能力。广泛应用于健康保健、日用化妆、医药制剂、色素添加剂和高端饲料等领域。是目前唯一被美国FDA审核许可用于人类直接使用的虾青素产品，于2010年已被我国批准纳入食品新资源产品目录。

性能指标：

- (1) 开发了独有半连续培养技术，生物周期7-10天，较目前技术缩短1倍；
- (2) 开发了新型全生物反应器培养系统，避免了传统开放池培养因易发生严重污染而导致的产能不稳定问题；
- (3) 单位面积产能为800-1100公斤/亩/年，较目前技术提高1倍；
- (4) 红球藻粉生产成本仅约40万元/吨，较目前技术降低50%以上。



■ 知识产权情况

具有自主知识产权。

■ 应用前景

雨生红球藻及虾青素市场处于快速发展中，产品供不应求。目前主要生产商为Cyanotech, Valensa, Fuji, Algatechnologies 等，国内主要有云南爱尔法、白鸥生物等。2013年全球实际总产量约400吨，国内因技术问题还未形成稳定产能。市场供应总体处于“饥饿”状态，缺口很大，发展空间广阔。

本项目开发完成了具有国际先进水平的一步法雨生红球藻培养技术，已完成小试和模块化试验。项目在云南陇川已完成15000平方米规模生产放大与连续生产。计划进一步规模放大，实现100吨雨生红球藻的产业化生产，预计年产值达到2亿元，毛利润1.5-1.6亿元。

■ 合作方式

项目已成立创业公司“云南中科雨虹生物科技有限公司”，可开展投资等形式的合作。

06 木质纤维素整合生物糖化技术

项目负责人：冯银刚

技术联络人：冯银刚

联系方式：0532-80662706

电子邮箱：fengyg@qibebt.ac.cn

关键词：木质纤维素、糖化

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

目前常规木质纤维素糖化方法是添加游离纤维素酶及半纤维素酶系，但纤维素酶生产成本较高，且核心技术掌握在少数国外公司手中，严重限制了木质纤维素的工业化利用。整合生物糖化(CBS)在一个反应器中完成从纤维素降解到可发酵糖的全过程，不依赖于商业化纤维素酶制剂，从而降低成本、简化过程，是最有希望实现木质纤维素工业化应用的技术之一。

技术指标：

通过菌株工程改造及工艺优化，获得热纤梭菌的CBS高效糖化全菌催化剂，糖化效率比野生菌种高5倍以上，并最终建立木质纤维素产糖的一体化CBS工艺吨级示范，可发酵糖含量>80g/L。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权。

■ 应用前景

我国每年的农林废弃物总量约15亿吨，若30%用来生产燃料乙醇，以6吨产1吨乙醇估算，则可形成7500万吨燃料乙醇生产能力，与目前国内成品汽油消耗总量相当。因此，大量可再生木质纤维素类生物质资源的清洁、高效、低成本降解利用是加快发展循环经济，保障国家能源安全和碳减排的一项重要战略任务，具有不与人争粮、不与粮争地的突出优势。本项目开发基于CBS技术的木质纤维素的高效利用工艺能极大降低下游产品的生产成本，简化生产流程，具有广泛的市场前景和可观的经济效益。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

07 DHA 藻油的发酵制备技术

项目负责人：冯银刚

技术联络人：宋晓金

联系方式：0532-80662706

电子邮箱：fengyg@qibebt.ac.cn

关键词：二十二碳六烯酸、DHA、裂殖壶菌

技术成熟度：中试及产业化（TRL=6-7）

■ 项目简介

二十二碳六烯酸（简称DHA）是一种重要的长链多不饱和脂肪酸，作为人体营养补充剂DHA已有超30年应用历史，长期居营养补充剂排行前列。近年，我国《保健食品原料目录 营养素补充剂》和《特殊医学用途配方食品通则》中大幅提升了DHA的建议摄入量，且对有关肿瘤全营养配方食品配方中以DHA、EPA计的供能比提出了明确规定。通过细胞工厂发酵生产DHA是新兴方向，未来具有广阔的市场发展前景。本项目通过选育高性能的裂殖壶菌菌株并结合以细胞整体代谢状态为内控指标的精细发酵调控工艺，实现了高含量DHA藻油的发酵制备，扩大了DHA藻油在营养食品、特殊膳食和制药等领域的应用范围。

性能指标：

发酵指标达到总油脂产量70g/L以上，油脂中DHA含量65%。

■ 项目阶段与进展

实验室发酵罐中干生物量达到140g/L以上，细胞油脂含量>50%，油脂中DHA含量65%。

建立有成熟的工业化湿法酶解提油技术，无溶剂使用。

掌握完整油脂精炼工艺。

■ 知识产权情况

已发表论文10余篇，申请发明专利5项。

■ 应用前景

受益于营养食品、特殊膳食和制药等领域对于DHA需求的不断增加，DHA油脂的需求量将上升至每年5000-6000吨。因此，通过对DHA藻油关键技术的研究开发，扩大我国DHA行业在营养食品、特殊膳食和制药等高端领域的国际影响力，是我国DHA产业实现“弯道超车”，走上国际化竞争舞台的现实需求。

■ 合作方式

技术服务、技术许可、技术转让、共同开发等

08 雪莲培养物资源创新技术

项目负责人：付春祥

技术联络人：付春祥

联系方式：0532-80662752

电子邮箱：fucx@qibebt.ac.cn

关键词：中草药/细胞发酵/合成生物学

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

名贵中草药植物野生资源供不应求限制了中药现代化的发展，辐射影响功能食品、美妆产品等行业。研发团队长期致力于珍稀濒危中草药植物资源收集、技术创新和种质创制，以期替代野生资源的巨大市场需求。雪莲是国家保护濒危物种，其替代产品——雪莲培养物早在2010年就入录了新资源食品原料，2021年又入录了化妆品原料目录，具有广阔的市场前景。

性能指标：

- (1) 开发了新疆雪莲细胞和发根培养技术，培养周期15天，干物质产量可达20 g/L。
- (2) 建立了新疆雪莲合成生物技术体系，创制了高产紫丁香苷细胞系，主效成分紫丁香苷可提升4倍以上。
- (3) 创制了高产黄酮细胞系，显著优于市场现有产品。
- (4) 建立了名贵中草药植物细胞和发根培养技术平台，具备中草药植物技术研发能力。

■ 项目阶段与进展

目前项目已完成中试测试，已具备工业试水平。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权，授权技术发明专利4项。

■ 应用前景

针对珍稀濒危中草药资源匮乏、物质基础不明和生物转化能力差的现状，研发团队以新疆雪莲为先锋物种，建立了系统的中草药资源创新技术平台，具备了完善的中草药植物细胞和发根培养与改良技术能力。雪莲培养物已经获批入录新资源食品原料和化妆品原料。目前雪莲培养物作为原料的市场价格为每公斤干细胞2万元左右，广泛应用于化妆品、功能食品和保健品领域。同时，研发团队搭建的技术平台可拓展应用于其它名贵中草药植物资源开发。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

09 农业秸秆等固态废弃物沼气/生物天然气工程

项目负责人：郭荣波

技术联络人：郭荣波

联系方式：13791936409

电子邮箱：guorb@qibebt.ac.cn

关键词：能源、生物天然气、农业秸秆

技术成熟度：产业化 (TRL=9)

■ 项目简介

农业秸秆是纤维素生物质，质轻而难水解，纤维素生物质在厌氧发酵过程中，一方面，随着物料逐渐被微生物降解，纤维素结构被破坏，附着微生物和物料木质素含量上升，物料密度逐渐增大，会随着降解的进行，逐渐下沉；另一方面，由于沼气的产生，沼气的微小气泡附着在纤维素物料上，会造成纤维素物料的上升，尤其是新进入罐内的纤维素物料，上浮现象更加明显。基于上述多种因素，农业秸秆厌氧发酵，尤其在高浓度条件下，运行过程中经常出现物料分层现象，严重时造成纤维素物料上浮后脱水，附着的微生物死亡后造成浮渣层结壳，从而造成工程运行中断。因此，消除纤维素物料发酵过程中的分层现象，是保证高浓度厌氧发酵工程稳定、高效运行的必要条件。

本项目依据发酵物料特性，针对秸秆类纤维素生物质发酵过程的气液固三相复杂体系流体力学模型模拟，结合流体力学特征，精准表征和计算发酵体系的流体力学特征，对搅拌机安装位置和角度以及组合方式与物料进出罐体方式进行系统优化，从发酵反应器整体空间结构方面进行传质过程优化设计，综合影响发酵运行的各种因素，集成生物质固态进料系统、高浓度搅拌系统、新型拼装式反应器、沼渣沼液在线分离和保温回流系统，整体设计和制造厌氧反应器，实现从进料到发酵到出料的全方位最优化设计和高度匹配，将技术固化于设备，开发出了高浓度厌氧发酵技术及其配套的整体反应器，提高了厌氧发酵效率、降低了投资和运行能耗，完成了农业秸秆、禽畜粪污等为单一或混合原料的产业化示范工程。

性能指标：

本项目开发生物质高浓度厌氧发酵技术，被院士领衔专家组认定技术水平达到国内领先国际先进，其性能优势体现在：（1）发酵浓度高达10-15%；（2）容积产气率高达1.5-2.2m³/(m³·d)；（3）原料产气率高于450m³/t干物质；（4）彻底解决了秸秆纤维素类物料分层和浮渣结壳的工程难题，秸秆生物质降解率达70%；（5）运行能耗低，与传统沼气工程相比，降低了30-50%；（6）彻底解决了高寒条件下沼气能源效益差，难持续运行的问题，可在高寒地区（零下30-40℃）良好运行；（7）投资低，与传统沼气工程相比降低了30%。开发适合高浓度厌氧发酵的整体反应器，彻底解决了我国沼气工程专业化设备缺乏的现状以及固态进料、高浓度物料搅拌等瓶颈问题。

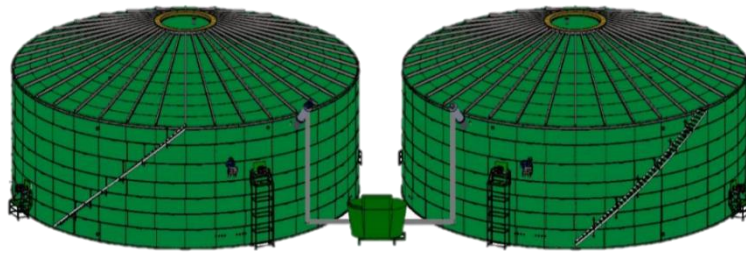


图 1 高浓度厌氧发酵整体反应器

■ 项目进展

本项目通过核心设备的标准化、模块化、系列化，已经实现标准化生产，具备成熟的商业化推广条件，开展规模化生物质天然气产业化项目推广，建设国内领先乃至国际领先的生物天然气工程，为农业秸秆等生物质废弃物处理和分布式清洁能源供给提供产业化解决方案。2018年该研发成果取得了显著的影响力，入选了中国科学院十八大以来重大科技成果展和全国科技周展。本项目已经推广了黑龙江齐齐哈尔产业集群项目、青岛华通南村项目、山东新洁能无棣项目、山东宝力乐陵项目、中节能贵州茅台项目等10余处规模化生物天然气工程项目，累计沼气产能超过8000万方/年，比较有代表性的工程项目为山东无棣项目和黑龙江克东项目，完全采用了本项目开发的技术和设备，其秸秆产气率、反应器容积产气率、能量产出效率等核心运行数据达到了国际领先水平，远高于传统技术，并得到了国家各级政府单位及用户的广泛认可，其中黑龙江克东项目入选《中国沼气行业“双碳”发展报告》封面工程。

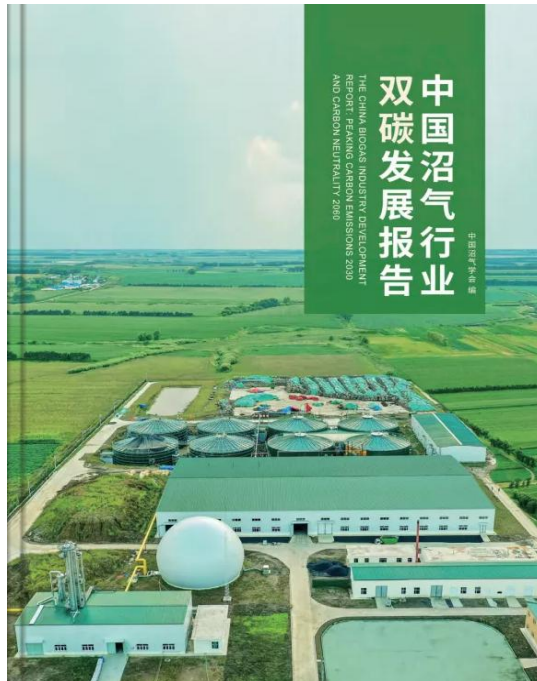


图 2 代表性项目入选《中国沼气行业“双碳”发展报告》封面工程

■ 知识产权情况

已授权与本项目相关专利14项，获山东省装备制造业科技进步奖和创新产品各1项

■ 应用前景

我国明确提出，力争2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和。因此“十四五”时期是碳达峰的关键期和窗口期。作为可再生能源的生物质能源必将迎来空前的发展机遇。而沼气/生物天然气作为生物质能源的主力军，发展前景广阔。2019年12月19日，国家发展改革委、国家能源局、农业农村部等国家十部委联合印发了《关于促进生物天然气产业化发展的指导意见》，标志着生物天然气纳入国家能源发展规划，一个新的战略性新兴产业成形。按照规划，我国到2025年，生物天然气年产量超过100亿立方米，到2030年，生物天然气年产量超过200亿立方米，占国内天然气产量一定比重，仅此市场将对应3000亿的市场机遇。国家支持生物天然气行业发展，市场容量巨大，加之生态环保意义重大，因此农业秸秆、禽畜粪污等农业废弃物制备生物天然气行业迎来重大发展机遇。

■ 合作方式

合作开发、技术入股、、融资、产业推广等

10 沼气高效提纯精制生物天然气工程

项目负责人：郭荣波

技术联络人：罗生军

联系方式：15066833811

电子邮箱：luosj@qibebt.ac.cn

关键词：能源、生物天然气

技术成熟度：产业化 (TRL=9)

■ 项目简介

沼气是一种优质的清洁能源，可通过多种生物质发酵获得。我国有着储量巨大的生物质资源，包括农业、工业和城市固体废弃物，及其他相关产业的副产品等。沼气利用的途径有多种，比如直接利用燃烧供热、热电联产或者提纯净化后作为车载燃气、家庭供热、化工原料等天然气使用。沼气经过提纯净化制备的生物天然气，可以完全替代石化天然气，根据现有技术水平和经济可行性，我国能转化当量生物天然气1200亿立方米，可以大幅降低我国对石化天然气依赖程度。

沼气高效提纯精制生物天然气是沼气提纯净化制备高品质生物天然气、大幅提升甲烷利用品质的技术。目前沼气脱碳的主要工艺包括有机胺吸收法、压力水洗法、膜分离方法、变压吸附法、物理吸收法、深冷分离法等。而本项目开发的沼气加压水洗技术集成了水洗脱碳过程中闪蒸技术的合理有效利用技术、吸收塔解吸塔内部核心部件的开发、同步回收二氧化碳技术、沼气工程的能量集成系统设计和自动化控制系统设计等多个方面进行优化设计和开发。本项目开发的沼气加压水洗技术结合撬装设备的设计理念，可在各种处理规模的沼气工程中加以应用推广。

性能指标：

本项目开发的高效精制生物天然气技术对控制水平要求不高，运行稳定可靠，不存在不可修复的性能衰减可能性，其性能优势体现在：（1）甲烷回收率高达98.5%，完全符合国家标准《GB17820-2012天然气》，在很大程度上拓展了沼气的高值化利用途径；（2）CO₂回收率高达70%；（3）能耗低于0.25kwh/ m³沼气；（4）水做溶剂，循环使用，运行过程无污染；（5）投资和运行成本低，制备的生物天然气价格在0.4-0.5元/m³；（6）设备采用撬装设计，操作维护简便；（7）智能管理，可远程监控；（8）处理规模可大可小，适应于包括大型超大型沼气工程在内的各种规模的沼气工程。

■ 项目进展

本项目通过核心设备的标准化、模块化，已经实现标准化生产，具备成熟的商业化推广条件，可开展沼气高效精致生物天然气产业化示范项目推广，依托科研装备研制和关键技术，

开发和研制了日处理能力2400m³的秸秆生物天然气纯化产业化中试科研装备系统。目前沼气提纯制备生物天然气已实现产业化的日处理规模有3万m³、4万m³、6万m³等多种规模，以满足客户需求。目前已建成的项目包括山东乐陵项目、青岛平度项目、山东无棣项目、黑龙江克东项目等多个项目的落地和运行。经过运行评估，沼气提纯净化的成本在0.4-0.5元/m³，可直接支撑大中型生物天然气企业的正常运行，极大地推动我国生物天然气产业的快速发展。目前已成立产业化公司青岛中科聚能环保科技有限公司。



图1 青岛平度项目沼气提纯系统

■ 知识产权情况

已授权与本项目相关专利4项，获青岛市科技进步奖1项。

■ 应用前景

针对我国沼气提纯精制生物天然气技术水平低、研发力量薄弱、科研装备缺乏、等问题，本项目开发了沼气加压水洗制备生物天然气的技术与装备体系。基于生物天然气的碳负效应等特性和应用广泛的需求，沼气高效提纯精制天然气技术，是沼气纯化提质产业化技术上的一次重大突破，是我国自有知识产权的成果，将实质性推动生物天然气产业的发展。沼气高效提纯精制的天然气完全符合国家标准《生物天然气 GB/T 41328-2022》，可以逐步替代石化天然气，占据一定的市场份额。生物天然气在很大程度上拓展了沼气的高值化利用途径，提高了沼气工程的经济性，并拓展沼气/生物天然气应用领域。

■ 合作方式

合作开发、技术入股、融资、市场开发等

11 分散型有机废弃物资源化处理模式及设备

项目负责人：郭荣波

技术联络人：冯权

联系方式：15269253850

电子邮箱：fengquan@qibebt.ac.cn

关键词：环保类、有机废弃物、有机肥

技术成熟度：产业化 (TRL=9)

■ 项目简介

针对养殖、农业和垃圾分类过程产生的有机废弃物资源化的问题，研究采用“小集中”的处理方式，将一个养殖企业或者周边几个养殖企业产生的养殖废弃物、分类后的生活垃圾、农业废弃物（秸秆）、蘑菇棒有机废弃物等进行集中发酵处理，处理后产生的有机肥在周边进行应用，一方面相对集中的处理了有机废弃物，减少对环境的污染；另一方面产生的有机肥可以在周边进行销售，避免了长距离的运输成本，经济效益相比传统集中处理模式明显，可极大的提高处理有机废弃物的积极性，实现变废为宝。另外，为了提高有机肥的附加值，在有机肥产品中加入功能性的微生物菌剂（促进生长、生物防治），提高有机肥的品质，从而提高有机肥的价值。

为了实现以上所述功能，中国科学院生物能源与过程研究所开展了分散型成套有机废弃物处理成套技术及设备，可彻底将养殖过程产生的污染物去除，将固体废弃物转化为有机肥。成套设备包括脱水、混合、发酵、粉碎、筛分和造粒，其中立式梯级发酵设备是整个过程的核心设备。除了成套设备，还有配套的菌剂、吸水性材料、多孔材料及肥料生产技术。

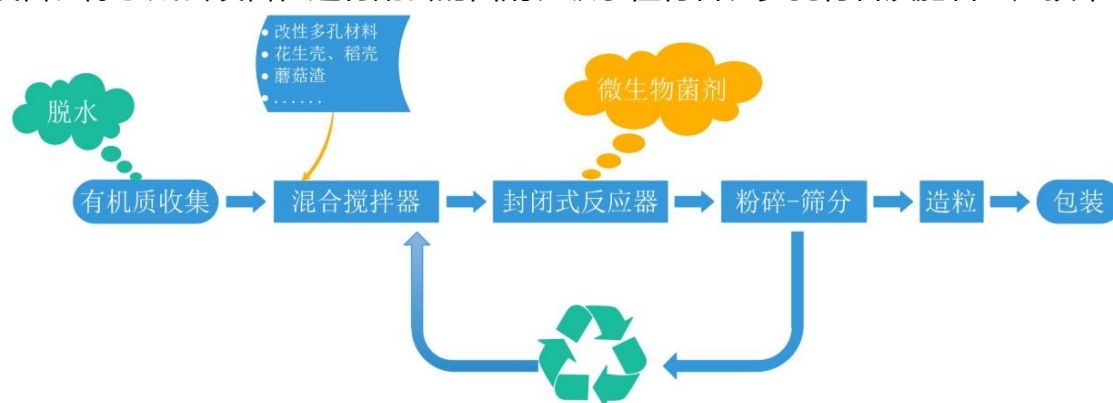


图1 分散型有机废弃物资源化处理模式

性能指标：

养殖过程产生的粪便等混合物经过脱水，将含水率控制在65-75%之间，混入开发的多孔性材料及腐熟菌剂，进入封闭式的反应器就行发酵，发酵后含水率降低到35-45%。发酵过程的温度为60-70℃，发酵腐熟时间在8-10天，处理每吨含水率65%的原料成本约20-30元。

■ 项目进展

目前已在青岛、徐州、嘉兴等地推广项目多个，均已实现稳定运行，每个项目日处理3-5吨含水率75%的养殖废弃物。运行能耗在20-25元/吨（含水率75%），产生的有机肥在周边的销售价格是1200-1500元/吨。有机肥经过化验后完全符合国家的标准，其中氮磷钾的指标高于国家标准。肥料已经用于周边果树、生姜、大葱、红薯等农作物的种植，受到普遍的好评。



图2 项目现场图

■ 知识产权情况

已授权与本项目相关专利7项。

■ 应用前景

在畜禽养殖过程中产生大量的畜禽粪便及废水，如不及时的处理造成会对空气、水及土壤的污染，养殖废水、粪便的处理一直是困扰养殖行业发展的难题。同时养殖废弃物中含有丰富的氮、磷、钾资源，是优质有机肥的重要来源。另一方面，农业生产过程产生大量的秸秆、菌渣、分类后的厨余垃圾等，为综合利用提供了原料来源。同时，近年来我国不断推出利用有机肥代替化肥的利好政策，为有机肥的发展提供了政策上的支持。因此，有机肥的发展迎来了非常巨大的发展空间。

整个成套设备经过经济效益分析，按照每日生产2吨有机肥，可以在2年内实现设备投资回收。

■ 合作方式

技术许可/转让、融资、市场开发等

12 ZKBH 悬浮床-固定床组合加氢工艺生产二代生物柴油技术

项目负责人: 陈松

技术联络人: 陈磊

联系方式: 0532-80662756

电子邮箱: chenlei@qibebt.ac.cn

关键词: 油脂、二代生物柴油、催化加氢

技术成熟度: 产业化 (TRL=9)

■ 项目简介

第二代生物柴油作为生物质能源的重要组成部分，被视为弥补我国化石能源短缺，助力CO₂减排的重要的可再生燃料。目前的商业化生产工艺是以生物油脂为原料，在固定床反应器中利用负载型过渡金属硫化催化剂进行催化加氢脱氧。国际上主流的两个产业化技术（芬兰Neste Oil公司的NExBTL技术和意大利ENI公司的Ecofining技术）均为固定床加氢工艺。该工艺对原料适应性差，很难加工高盐、高酸、高胶质的废弃油脂原料，为了保证装置的长期运行，原料需要严苛的预处理。此外，由于反应过程中产生大量的水，高温高压下会破坏催化剂的结构，导致催化剂失活，使现有产业化装置很难长期运行。

本技术提出的悬浮床-固定床耦合加氢工艺可以很好的解决上述问题。悬浮床加氢具有原料适应性强的特点，可以满足所有油脂原料的要求，原料经过简单脱除机械杂质后即可使用。反应过程中，原料中的胶质可以有效脱除，省去了脱胶预处理环节。此外，油脂原料在该过程能够脱除80%以上的氧原子，生产的水会随着胶质一同分离除去，从而显著降低了后续固定床加氢催化剂的失活速率，而悬浮床加氢过程使用的催化剂为均相催化剂，通常一次性使用，不用考虑催化剂的失活问题。因此，相比于传统的固定床工艺，悬浮床-固定床组合工艺过程简单，原料适应性强，非常适合第二代生物柴油的规模化生产。此外，本技术将管道式反应器与新一代复合三元液态催化剂结合，不仅提高反应效率，更可以用于传统石化炼油厂现有柴油加氢装置的技术转型，实现传统炼油厂的新旧动能转换。

性能指标:

1. 油脂原料转化率≥98%，脱氧率≥98%，柴油组分收率≥75%，和国内外现有技术相比，表现出更加优异的原料适应性（特别是地沟油、酸化油等废弃油脂）和柴油收率，催化剂平均寿命增加约30%-40%。
2. 实现了废弃油脂原料的高效转化，所得产品的密度~0.8 g/cm³，十六烷指数接近100，硫、氮含量均小于5 μg/L，产品各项指标均达到第二代生物柴油出口欧盟标准。

■ 项目进展

2020年7月30日，中国科学院青岛生物能源与过程研究所和河北常青集团石家庄常佑生物能源有限公司，联合开发了沸腾床—固定床连续式加氢工艺生产第二代生物柴油技术，并在常佑生物能源公司20万吨/年规模第二代生物柴油生产装置上实现成功开车。这标志着该技术成为世界上第一个采用液态分子催化体系、成功实现商业化二代生物柴油量产的技术，该技术已被评选为中国科学院2020年第四季度亮点工作。

2021年，研究所通过技术许可的形式和山东东营奥星石油化工有限公司及相关设计单位签署合作协议，预计两年内分三期实现生物质燃料处理能力达到120万吨/年规模。截至2022年底，该技术已在国内授权四家企业，累计规模达200万吨/年。

■ 知识产权情况

2021年10月，该技术通过中国石油和化学工业联合会的科技成果鉴定。

■ 应用前景

1. 该技术是以生产生物质能源为代表的新能源企业的先进技术手段，技术上具有创新性、先进性和示范意义，政策上属于国家鼓励项目，其推动的产业方向也与世界环境保护与二氧化碳减排大趋势相吻合。

2. 该技术的先进性保障了在更低的投资成本下获取更大生产利润的可能性，是企业效益的保证。

3. 作为具有绿色可持续发展可再生新能源属性与自主知识产权创新性的新工艺技术，不仅是中国生物质能源产业链的重要组成部分，也是区域经济新旧动能转换的抓手。

4. 所生产的长碳链烷烃，不仅是最优的二代生物柴油组分，也是生产生物质航空煤油、生物质特种蜡的重要原料，也可作为深加工精细化工企业的原料，因此具有产业联动性，落户于大型化工园区，可以带动生物质化工及精细化学品的产业链发展。

5. 该技术对复杂生物质原料具有超强适应性，可将劣质餐厨废油（含灰、含盐、高氯、高酸）等难处理的废弃油脂高效转化为二代生物柴油。不仅为地沟油/泔水油的无害化处理找到了一条清洁化生产新路，消除废油本身的污染和避免落后技术处理对环境的二次污染，解决了政府多年的困扰。同时，对于保障食品安全、保护人民身体健康和发展循环经济，具有重要意义，蕴含着巨大社会效益。

■ 合作方式

技术许可等

13 ZKAH 油脂基生物航煤 (SAF) 产业化技术

项目负责人: 陈松

技术联络人: 陈磊

联系方式: 0532-80662756

电子邮箱: chensong@qibebt.ac.cn

关键词: 油脂, 生物航煤, 催化加氢

技术成熟度: 产业化 (TRL=9)

■ 项目简介

欧盟已要求起落欧盟机场飞机所使用的航空燃料必须掺混可持续航空燃料 (SAF), 预计2030年使用460万吨SAF; 到2050年需求量达3500万吨。生物航油恐将成为能源行业的“芯片战争”, 发展生物航油技术和产业, 是中国航空业应对欧洲、国际民航组织生物航油政策的有效反制措施。中国民航局深入研究论证SAF在2035年消费占比力争超过10%、2050年接近50%的可行性。

生物航煤生产技术有六种, 包括发酵加氢 (SIP)、低碳醇 (ATJ-SPK)、催化水热裂解 (CHJ)、费托合成 (FT-SPK)、轻质芳烃烷基化 (SPK/A) 和油脂/脂肪酸加氢HEFA。HEFA是目前世界上唯一实现产业化的技术路线。先进且原料适应性高 (特别对餐厨废油UCO) 的二代生物柴油技术及其衍生生物航煤技术尤其为市场和企业所关注。为了实现二代生物柴油的稳定生产, 保障加氢脱氧催化剂不至于快速中毒和失效的原料预处理工艺是关键, 否则高盐、高碘值、高金属的原料将极大地影响加氢装置的稳定运行。另外, 油脂原料加氢过程产生的水和本身的高酸性对固体加氢催化剂的刻蚀会极大地缩短催化剂寿命 (芬兰奈斯特固定床加氢催化剂稳定使用的周期为11个月)。

研发团队在前期生物柴油产业化技术的基础上, 继续着先进生物质能源技术的创新发展和工程化技术迭代, 包括: 第三代均相加氢耦合技术及迭代催化剂 (高活性脱氧剂及高适应性多元复合液态均相催化剂); 过程工艺技术及生物质加氢反应器设计 (单一的低成本低能耗生物柴油-生物航煤联合装置); 生物航煤工艺及催化剂制备技术 (先进复合异构分子筛合成, 高选择性异构剂及高度集成的可灵活生产的SAF生产装置)。其中, 生物航煤催化剂打破了传统“择形催化”及贵金属异构降凝催化在长碳生物蜡方面的技术局限, 其兼具立体三维孔道和线性二维孔道结构配合原位引入的加氢中心, 表现出超强的低温异构性能, 相对活性比现有贵金属异构降凝催化剂高50%, 且在生物航煤选择性和兼产低凝柴油选择性也全面超越。

■ 性能指标

1. 油脂原料转化率 $\geq 98\%$ ，脱氧率 $\geq 98\%$ ，柴油组分收率 $\geq 75\%$ ，和国内外现有技术相比，表现出更加优异的原料适应性（特别是地沟油、酸化油等废弃油脂）和柴油收率，催化剂平均寿命增加约30%-40%。

2. 实现了废弃油脂原料的高效转化，所得产品的密度 $\sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ ，十六烷指数接近100，硫、氮含量均小于5 mg/L，产品各项指标均达到第二代生物柴油出口欧盟标准。

3. 生物航煤产品单程收率 $> 50\%$ ，凝点在 $-45 \sim -65 \text{ }^\circ\text{C}$ ，指标满足ASTM D7566标准。

■ 项目进展

截止2023年底，已与两家能源企业鉴定技术授权协议，生产规模累计20万吨。

■ 应用前景

1. 国际航空运输协会（IATA）预测，2030年生物燃料占航空燃料比例达30%。就我国而言，航煤消费量目前保持每年13%左右的增长速度，远高于国际5%的增长水平，2010年国内航煤消费已达到1800万吨以上。预计2020年中国航空煤油消费量将超过4000万吨，届时生物航煤有可能占到航油总量的30%，生物航煤市场容量将达到1200亿元，市场前景广阔。

2. 该技术是以生产生物质能源为代表的新能源企业的先进技术手段，技术上具有创新性、先进性和示范意义，政策上属于国家鼓励项目，其推动的产业方向也与世界环境保护与二氧化碳减排大趋势相吻合。

3. 作为具有绿色可持续发展可再生新能源属性与自主知识产权创新性的新工艺技术，不仅是中国生物质能源产业链的重要组成部分，也是区域经济新旧动能转换的抓手，特别是在青岛这一新兴港口城市，既有利于企业的发展，又具有积极的示范效应。

4. 该技术对复杂生物质原料具有超强适应性，可将劣质餐厨废油（含灰、含盐、高氯、高酸）等难处理的废弃油脂高效转化为二代生物柴油。不仅为地沟油/泔水油的无害化处理找到了一条清洁化生产新路，消除废油本身的污染和避免落后技术处理对环境的二次污染，解决了政府多年的困扰。同时，对于保障食品安全、保护人民身体健康和发展循环经济，具有重要意义，蕴含着巨大社会效益。

■ 知识产权情况

由中国科学院青岛生物能源与过程研究所相关团队自主开发，具有自主知识产权。

■ 合作方式

技术许可：成套技术一次性技术许可费

技术授权：技术部分授权，针对项目的合作研发与工业化转化

产品计提：按照生产产品的生产量后收费，作为技术研发经费

14 高性能聚合物固态锂电池技术

项目负责人：崔光磊

技术联络人：邱建超

联系方式：0532-80662756

电子邮箱：qiujc@qibebt.ac.cn

关键词：固态锂电池

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=7-8)

■ 项目简介

我国《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》，提出加快固态动力电池技术研发及产业化是“新能源汽车核心技术攻关工程”。针对传统液态锂离子电池主要存在的续航和安全方面的缺陷，面向国家深海装备重大战略需求，研究所固态能源系统技术中心深耕固态锂电池关键技术，历经十几年攻关，国际首创“刚柔并济”聚合物复合固态电解质，秉承“功（率）能（量）兼备”的系统设计理念，开发出具有完全自主知识产权的高比能、高安全、高耐深海压、长使役寿命固态锂电池及深海特种电源系统，率先在马里亚纳海沟实现全海深应用，为国家深海环境探测、科学研究提供了强有力的能源技术支撑，在国际上开创了高比能固态锂电池特种电源系统深海智能装备应用新局面，设了国际一流的固态锂电池研发和生产装备平台，建立了完整的固态锂电池技术体系，形成了具有自主知识产权的关键技术和核心产品。

性能指标：能量密度300-500wh/kg，循环寿命1000+次。

■ 项目阶段与进展

建成了百兆瓦工程化平台，成功研制出“刚柔并济”的高安全、高比能固态锂离子电池，于国内首次实现全深海电源动力应用，已累计为各类深海科考装备用户提供了近百批次固态锂电池电源系统。并进行了电动汽车装车示范，完成1000kWh深海能源基地的制备交付，入选了2020“全球新能源汽车前沿技术”。经中国石油和化学工业联合会成果鉴定，“该项成果创新性强，达到国际领先水平”。10GWh固态锂电池产业化项目，目前已成立创业公司中科深蓝汇泽新能源有限公司，估值3.5亿获知名机构天使轮投资。

■ 知识产权情况

累计申请国家专利90余项。

■ 应用前景

深海装备、无人机、储能电站、电动交通工具等

■ 合作方式

共同开发、市场推广等

15 氢能与燃料电池项目

项目负责人：李晓锦、江河清、郭振

技术联络人：邱建超

联系方式：0532-80662756

电子邮箱：qiujc@qibebt.ac.cn

关键词：电解水、制氢、膜材料、燃料电池、双极板、电堆、热电联供

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=7-8)

■ 项目简介及进展

双碳目标下，国内氢能源具有巨大的发展空间，氢能将主要应用于交通运输、工业、电力、建筑等领域。在“碳达峰碳中和”（3060）的目标导向下，氢能作为一种最清洁无碳的二次能源，凭借着来源丰富、灵活 高效、应用场景广泛等优点，在全球都迎来了巨大的发展机遇。

聚焦绿色规模化制氢和氢气纯化，开发出系列离子传导膜材料及相应中空纤维膜、管状膜、平板膜、催化剂等，用于电解水制氢、工业副产氢提纯等领域，完成10kW级再生燃料电池开发及与太阳能电池联用。在电解海水制氢方面开发了一系列高价阴离子插层、原位刻蚀生长的催化剂，展现出杰出的抗氯离子腐蚀性能。面向氢燃料电池核心键部件双极板国产化的重大产业需求，突破高性能超薄（1.4-1.8mm）柔性石墨双极板关键技术，完成批量化生产工艺开发（年产能20万片），技术指标处于同类产品领先水平。推进燃料电池系统产业化，开发燃料电池电堆（产能10MW），功率不小于50kW、功率密度大于3kW/L。燃料电池系统集成技术，完成特殊领域用大功率发电系统开发和地面联试，开发无人机氢燃料电池可以有效提高无人机的巡航时间3-5倍。在甲醇燃料电池方面，成功研发出千瓦级甲醇燃料电池、便携式甲醇燃料电池（50-100W）并且通过了现场实证。

■ 知识产权情况

累计布局专利及技术秘密10余项。

■ 应用前景

户用燃料电池热电联供系统，氢能汽车（大巴、集卡等），无人机、港口机械等

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

16 锂离子电容器项目

项目负责人： 武建飞

技术联络人： 孙晓林

联系方式： 0532-80662751

电子邮箱： sunxl@qibebt.ac.cn

关键词： 锂离子电容器

技术成熟度： 应用研究/中试 (TRL=7-8)

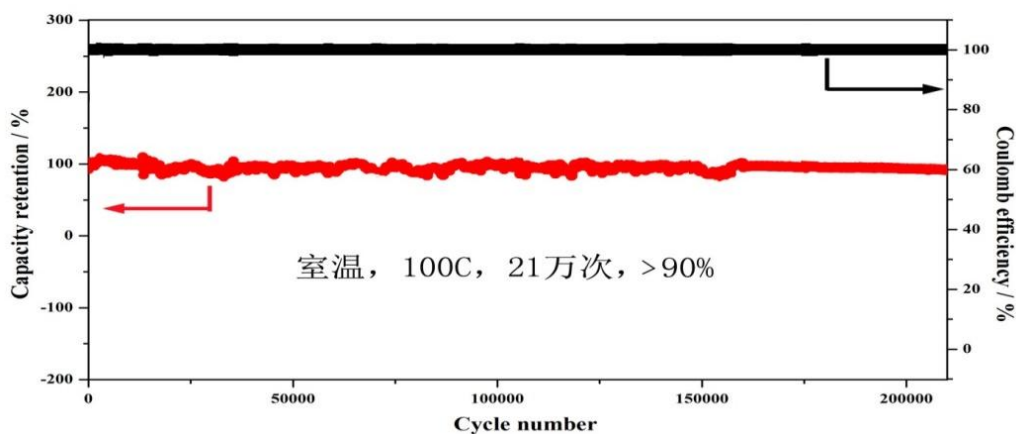
■ 项目简介

电池、电容器作为当前最主要的储能介质，在新能源发展中必不可少，其技术创新对新能源革命也尤为重要。能量密度和功率密度是考察化学电源储存与释电能能力的重要指标，但两者的同时实现是电化学能源存储面临的难题。锂离子电容器兼具了锂电池和超级电容器的优点，具有高功率密度，能够200C充放电；具有50万次的长循环寿命，高出锂电池的100倍；具有高的能量密度，是传统超级电容器的3~5倍。

锂离子电容器由于技术复杂、成本高等原因，截止到目前，关键产业技术及高性能原材料技术基本掌握在国外企业的手中。美国Maxwell独家掌握了干法电极技术，并具备锂离子电容器单体生产能力。日本可乐丽和日本电子ACT公司分别掌握了活性炭和纳米门炭技术；日本嘉娜宝公司、日本吴羽化学、日本ATEC公司等掌握着硬炭负极材料的技术。中车青岛四方车辆研究所有限公司是国内唯一具备锂离子电容器开发、量产能力和条件的企业，但是关键电极不具备自主生产能力，仍需进口。

性能指标：

参数	样品	参数	样品
电压(V)	3.8	能量密度	> 14Wh/kg
容量 (F)	2200F	功率密度	8kW/kg
F (mΩ)	2092.5	寿命	>20 万
内阻 (kHz)	2.9mΩ	低温-20℃	容量保持 80%以上



■ 项目阶段与进展

已经建成了年产30万米电极的中试车间，形成了高性能正负极核心材料制备技术、可控工业化预嵌锂技术及可控的穿孔集流体设计技术，成功研制出柔软性好、面密度高的碳基电极。该电极已经在中车产线上进行了验证，性能可媲美国际产品，下一步将助力中车四方所在青岛地铁2/3线储能系统的应用与改造，推动锂离子电容器在轨道交通领域的扩大应用。目前已成立产业化公司青岛中科源本新能源有限公司。

■ 知识产权情况

累计申请专利及布局技术秘密十余项。

■ 应用前景

轨道交通、电动车、港口码头装备能量回收等。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

17 生物质气化成高品质航空煤油关键技术

项目负责人：吴晋沪

技术联络人：吴晋沪

联系方式：0532-80662761

电子邮箱：wujh@qibebt.ac.cn

关键词：生物质、绿色高品质航油

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

航空业是唯一完全依赖液体燃料的交通领域。生物质是唯一可转化为液体燃料的可再生能源。发展绿色航油制备技术是我国保障能源安全、优化能源结构的重大需求，对促进我国航空产业升级、应对气候变化和“双碳目标”具有重要意义。

为了实现以上所述目标，研究所针对现有生物航油制备技术中存在的原料种类复杂、成本高、所得油品组分不全等问题，提出生物质气化经低碳烯烃制备高品质航空煤油创新解决方案。本技术主要特点包括：通过开发高效洁净生物质化学链气化及调制净化技术，实现不用纯氧气化制合成气，降低合成气制备成本；研制具有自主知识产权高效合成气制航空煤油催化剂，选择合成气经低碳烃及低碳烃齐聚方式实现产物碳数可控和组成定向调节（定向调控产物碳数分布及芳烃、环烷烃等族组成），突破传统合成气FT合成过程中产物受ASF分布限制、组成以链烃为主等特点，解决航油生产的选择性及组分要求等问题。本技术路线原料适应性广、无需空分，成本低，全组分产品可提高调和比例甚至独立使用，大幅提升航空碳减排能力，具有良好的社会效益，有望为生物质洁净能源利用、绿色替代航油及航空业碳减排带来变革性变化。

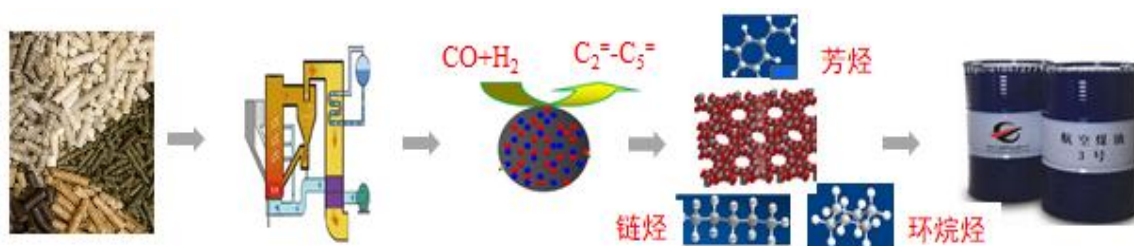


图1 生物质气化成高品质航油技术路线

性能指标：

本技术采用生物质气化技术先将生物质转化为合成气（ $\text{CO}+\text{H}_2$ ），再对合成气进行定向转化制备高品质航油。生物质气化技术对生物质种类适应性广，秸秆、棉秆、木屑等农林废弃物皆可作本技术制备航油的原料。生物质转化制航油过程常需加氢制备烃类产物，本技术生物质气化为产氢过程。因此，本技术具有原料适应性广、产品选择性和品质高、无需外建

氢源等特点。本技术可实现8-12吨生物质产一吨航油，航油成本约为6000-8000元/吨，航空生物燃料在生产使用全过程中，CO₂排放量仅为0.5 t/t~1.8 t/t，相较于化石航油的3.15 t/t，可实现碳减排1.35-2.65 t/t，可为航空公司大幅消减碳税。

■ 项目阶段与进展

目前技术已完成实验室验证，油品检测含有航油所需全组分；催化剂、氧载体等关键材料已完成放大制备和百公斤级生产，已建成百吨/年级航油制备中试系统，并将于近期进行百吨级中试验证。

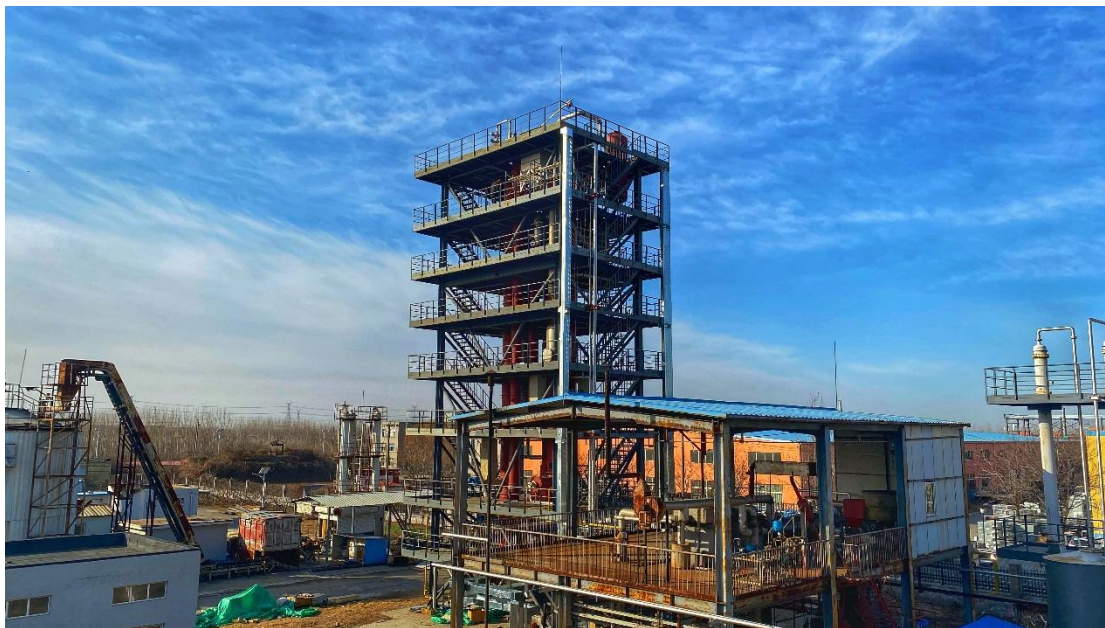


图 2 生物质气化经低碳烯烃制高品质航油中试系统

■ 知识产权情况

申请与该技术相关的专利6项。

■ 应用前景

本技术可实现生物质到高品质航油直接制备，可在生物质固体废弃物利用，新型生物航油标准制订，新型生物航油制备等领域开展广泛合作。

整个成套设备经过经济效益分析，按照年产1000吨生物航油计算，可以在5-7年内实现投资回收。

■ 合作方式

技术许可/转让

18 大型燃煤电厂生物质直接耦合燃烧发电技术

项目负责人: 吴晋沪

技术联络人: 陈天举

联系方式: 0532-80662761

电子邮箱: wujh@qibebt.ac.cn

关键词: 生物质、发电、耦合燃烧

技术成熟度: 应用研究/产业化 (TRL=9)

■ 项目简介

以清洁可再生的生物质燃料替代燃煤电厂的5%-100%的煤，支持燃煤电厂低碳绿色发展，可充分利用现有燃煤电厂的基础设施、人力资源等，发展高效率（与新建典型30MW生物质电厂相比（下同），是1.5-1.8倍）、高电能质量（与风光的电能完全不同）、低建设成本（1/3-1/5）、低运维成本（约为1/10）、低补贴政策依赖、可大规模发展（英国Drax电厂已经实现4台660MW燃煤机组100%生物质燃料的改造，生物质装机容量合计2640MW，2020年供电量141亿度）的生物质能电汽暖多联供。提高现有燃煤机组的运行负荷和利用，提升国有资产利用效能及经济效益。消耗生物质燃料，惠及乡镇地方经济及民生。

为了实现以上所述功能，研究所开展了生物质直接耦合煤燃烧发电技术，依托现有燃煤电厂，新增以生物质的物料存储、物料处理和物料输送为框架的生物质耦合发电系统，实现生物质耦合中低比例5%-40%，中高比例50-100%的混合量。系统采用单元模块化设计，可根据电厂情况不断提高比例，最终实现100%生物质燃料替代煤，成为100%纯生物质发电项目。

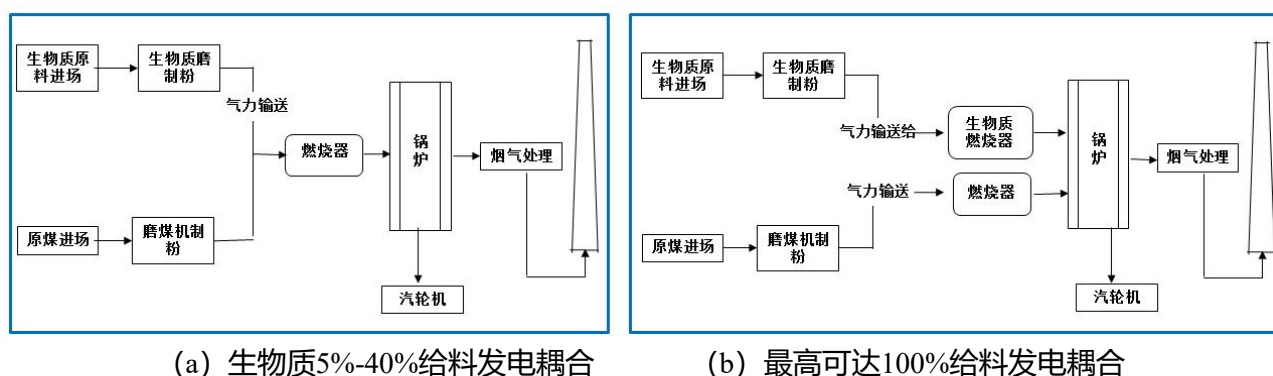


图1 生物质与煤耦合发电模式

性能指标:

针对我国煤电比例高、碳排放总量大的问题，突破燃煤电厂对煤燃料的依赖，掌握大型燃煤电厂生物质耦合燃烧系统的原料预处理标准化、原料制粉、物料输送及系统安全规则、燃烧模拟等技术，完成600MW以上机组中低比例（5%-10%）生物质耦合燃烧发电工程应用。

■ 项目阶段与进展

与合作企业北京格林奔科能源科技有限公司致力于引进工业智能物料输送、大型燃煤电厂风粉均衡原理燃烧优化、大型燃煤电厂生物质直燃耦合发电等方面先进技术、产品和方案的国产化。提出完整、可行的生物质耦合发电技术方案，已落实关键设备生产厂家。

■ 应用前景

燃煤电厂燃烧清洁可再生的生物质燃料，分步递进式降低对化石燃料的依赖，最终变为清洁可再生的生物质发电项目；少改动甚至不改动锅炉本体及主要辅机、汽轮机、接入系统等，充分发挥现有场地、人员的作用，以逐步燃料替换的方式实现高排放的燃煤电厂到低排放的生物质电厂的转变。

■ 合作方式

技术许可、转让、技术服务等

19 有机固废热解气化清洁供能技术及设备

项目负责人：吴晋沪

技术联络人：赵瑞东、秦建光

联系方式：0532-80662763

电子邮箱：zhaord@qibebt.ac.cn

关键词：有机固废、供能

技术成熟度：产业化 (TRL=8-9)

■ 项目简介

针对农林废弃物、生活垃圾、造纸及制药等过程产生的有机废弃物资源化问题，采用“热解气化”的处理方式，可将一个乡镇产生的秸秆、垃圾或企业产生的造纸废渣、中药渣等有机固废等进行集中热转化处理，处理后产生的燃气可以作为居民炊事用气，也可经废热锅炉转化为蒸汽给周边地区供暖或为企业供蒸汽，同时还能产生生物炭和提取液，用于土壤改良等。

为实现以上功能，研究所开展了有机固废热解气化清洁供能技术及设备，可将有机固废转化为燃气/蒸汽、生物炭/炭基肥或电力。通过该技术一方面集中处理了有机废弃物，减少对环境的污染、长距离运输成本及高昂的固废处置费；另一方面产生的燃气或蒸汽可以解决周边居民或企业的用能需求，产生的生物炭及经加工后可作为有机肥在当地进行销售，实现变废为宝。

成套设备包括破碎筛分、热解气化、气液分离、燃气低氮燃烧等过程，其中固废热解气化设备是整个过程的核心设备，该设备具有占地面积小、投资节省、操作简单等优点。下面以农作物秸秆为例，介绍有机固废热解气化清洁供能工艺流程。

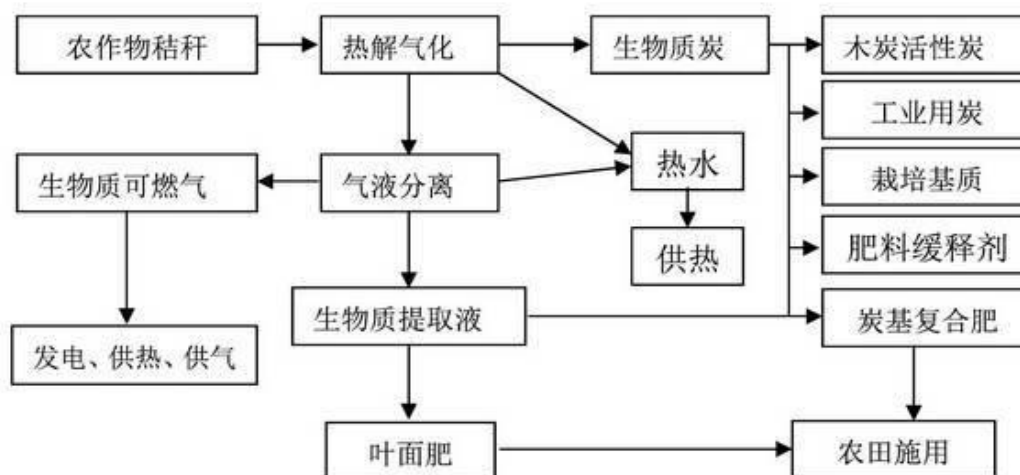


图1 有机固废热解气化清洁供能工艺流程

性能指标：

有机固废经过破碎筛分后晾干或烘干脱水，将含水率控制在35%以下即可进入热解气化炉，热解气化炉的气化效率达到80%以上，燃气热值达到6000kJ/Nm³以上，氮氧化物排放低于50mg/Nm³，吨蒸汽成本100-150元（具体看原料成本），相比天然气供热，用能成本可降低60%以上。

■ 项目阶段与进展

目前整热解气化中试设备已经在现场稳定运行2年多，日处理3-4吨有机固废，产生物炭0.8-1吨，产生的燃气热值达到6000 kJ/Nm³以上。在济南一酿酒企业已顺利投产运行的热解气化产业化设备，日处理农林固废60-70吨，每天可产生蒸汽240吨以上。经测算，该设备的蒸汽成本比天然气供热节省一半左右。



图2 热解气化中试设备（左）及产业化设备（右）

■ 应用前景

大力发展有机固废热解气化清洁供能技术应用前景十分广阔，可为当地带来明显的经济、环保和社会效益，主要包括：

- (1) 有机固废转化为高品质的能源产品可有效解决或缓解部分地区能源短缺问题，节约化石资源的利用，减少污染物的排放，助力实现双碳目标；
- (2) 生物炭基肥的持续使用，可有效改变土壤组成和结构，提高保水保肥能力，逐步修复功能退化的土壤；
- (3) 高品质燃气、热能的使用，有利于促进新农村建设，提高居民生活质量和健康水平，同时为社会提供大量劳动就业机会。

■ 合作方式

技术许可/转让等

20 梳枝丁戊橡胶合成与应用技术

项目负责人：王庆刚

技术联络人：王亮

联系方式：0532-80662754

电子邮箱：wangliang@qibebt.ac.cn

关键词：梳枝丁戊橡胶、应用技术

技术成熟度：产业化示范 (TRL=7-8)

■ 项目简介

梳枝丁戊橡胶是由丁二烯和异戊二烯单体通过选择性催化聚合制备的一种高性能合成橡胶材料，因其微观结构上具有独特的“树枝状”结构，使其具有高抗湿滑性和低压缩生热性，是替代国家“卡脖子”材料溶聚丁苯橡胶用于制造高性能轮胎的理想胶料之一。这也极有可能成为我国自主研发的第一类大综合成橡胶新材料，有望形成变革性技术产品，颠覆性创新解决国家明确的“卡脖子”溶聚丁苯橡胶难题。

性能指标：

该技术催化聚合生产全成本小于4000元/吨；硫化后橡胶的拉伸强度 ≥ 18 Mpa、断裂伸长率 $\geq 400\%$ ；在高性能胎面用胶中应用可以提高轮胎抗湿滑性20%以上，在带束层用胶中应用可以提高钢丝黏连性30%以上。

■ 项目进展

完成了国际首次铁系梳枝丁戊橡胶万吨级产业化试验，正在编制3万吨/年成套技术工艺包；完成了国际首次3.5万条铁系枝化丁戊橡胶轮胎制造工业化示范，抗湿滑安全性达到欧盟新标签法最高级—A级标准，绿色节油性能显著优于溶聚丁苯橡胶，正在进行百万条轮胎/年的应用示范。

■ 知识产权情况

具有独立完整的自主知识产权

■ 应用前景

经调研分析，未来5-10年内的梳枝丁戊橡胶在高性能轮胎、润滑油和运动鞋底等市场需求总量预估在数十万吨/年左右，综合毛利润为0.3万元/吨，毛收益数十亿/年，有望创造一项数百亿的产业链，具有广阔的市场前景。

■ 合作方式

生产技术：技术许可；**应用技术：**共同开发

21 碳酸钙晶须规模化制备与应用技术

项目负责人：黄青山

技术联络人：黄青山

联系方式：0532-58782864

电子邮箱：huangqs@qibebt.ac.cn

关键词：碳酸钙晶须材料

技术成熟度：中试 (TRL=6-7)

■ 项目简介

碳酸钙晶须是纳米碳酸钙的升级换代产品。与纳米碳酸钙相比，碳酸钙晶须除具有纳米碳酸钙粒度细的优点外，而且分散性好，形貌趋于针状，具有很好的增强和增韧功能，是碳酸钙家族的“高端产品”。作为一种以单晶形式生长的、具有较大长径比（长度20~30 μm，直径0.5~1.0 μm，等效球直径约为1.96~3.56 μm）、短纤维类无机绿色环保材料，其原子排列高度有序，晶体内部几乎无缺陷，其密度、机械强度都接近完整晶体的理论值，具有强度高、模量高、耐磨、耐热（800 °C之前不分解）、隔热和阻燃性好等优良特性，不仅可以改善制品的加工流动性和提高表面光滑性，还可以提高其力学性能，常作为填料被广泛应用于树脂、塑料、橡胶、涂料和高级纸张等高分子复合材料和功能材料的增强补韧。

性能指标：

本项目提出了创新性的碳酸钙晶须合成新工艺，即利用最简单的原料(石灰石即CaO和CO₂)，不加任何晶型控制剂，仅在水的辅助作用下即合成了高质量的碳酸钙晶须；此外，反应结晶后的清洁废水由于不含其它杂质，可以不经任何处理直接进行循环利用，实现废水的“零排放”。该方法工艺简单、成本低廉，在实验室小试合成的碳酸钙晶须具有以下特点：

1. 纯度>98%;
2. 直径0.8~1.5 μm，长径比为15.1~30.2;
3. 密度>2.80 g/cm³;
4. 相变温度450 °C。

■ 项目阶段与进展

本项目已完成碳酸钙晶须小试受控条件下所有操作条件的优化，其中包括温度（50~90 °C）、pH（7~11）、搅拌速度（50~250 r/min）、CO₂的曝气速率、Ca(OH)₂浓度及预热与否等条件变化对碳酸钙晶须纯度、直径和长径比的影响规律，获得了高质量碳酸钙晶须。在中试车间分别设计和加工了内环流（>200 L）和外环流气升式反应器(>450 L)热模装置，以期进行碳酸钙晶须的中试示范研究和典型高分子应用示范，已完成相关装置在中试车间的初步安装，基本具备中试示范和工业应用的条件。

■ 知识产权情况

本项目从生产工艺到生产装备均为自主研发，具有完全知识产权，关键设备及关键工艺均已申请专利保护。

■ 应用前景

碳酸钙晶须应用较为广泛，不仅被作为填料广泛应用于树脂、塑料和橡胶等高分子复合材料和功能材料的增强补韧，还因为具备较佳的隔热、耐热和耐摩擦功能，被应用于摩擦材料（汽车刹车片、刹车衬里和离合器片等）的耐磨。此外，由于碳酸钙晶须原料来源广泛、性能优良、无毒且价格低廉，也被应用于涂料、沥青、高级纸张、人造骨骼、高性能水泥等领域，具有极高的应用价值。与同类材料相比，碳酸钙晶须（>0.6 万元/吨）原料来源广，价格比玻璃纤维低（约0.6~1.0 万元/吨），本项目的碳酸钙晶须制备工艺简单、成本低，比目前研究和应用较多的钛酸钾晶须（>5.0 万元/吨）和SiC晶须（约1.5 万元/吨）更有经济性，是一种十分理想的、应用前景良好的复合材料及功能材料的填料。若以高性能的碳酸钙晶须代替纳米碳酸钙并以与纳米碳酸钙相同的价格（2300~2800 元/吨）出售，可取得显著的经济效益。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

22 光伏建筑一体化（BIPV）技术

项目负责人：张国华

技术联络人：康旺泉

联系方式：13998607613

电子邮箱：kangwq@qibebt.ac.cn

关键词：建筑光伏一体化、装配式、集成设计 **技术成熟度：**中试及产业化

■ 项目简介

目前光伏与建筑相结合上，技术成熟的主要是BAPV的形式，在BAPV形式中光伏与建筑是分离的，导致重复施工、光伏系统功能单一、建筑整体风格不协调等；现阶段光伏建筑一体化技术（BIPV）体系尚不完善，其规模化发展应用面临诸多问题，首先，传统光伏电站组件无法满足建筑对建材强度、荷载、防火、色彩等要求的问题，缺少多色彩、多材质、多透度的光伏建材；其次，缺乏标准化的光伏建材检测技术和相关工程技术标准；此外，目前BIPV整体上墙造价相对较高，影响大规模推广。

团队主要面向建筑增量与存量市场，聚焦保障能源安全、促进能源转型和引领能源革命等重大需求，以促进实现我国“双碳”大战略目标为导向，以完善能源技术创新体系为重点，以光伏建筑一体化领域的“短板”技术攻关和“前瞻性”技术创新为主线，围绕光伏建筑一体化、低碳节能等领域，构建国内领先的研发平台、创新平台和交流合作平台。打造发电与节能低碳零碳建筑系统解决方案，使建筑由耗能建筑变为产能建筑，城市由能源消耗者变为能源提供者。



图1 传统BAPV产品（左）及光伏建筑一体化（BIPV）产品（右）

技术指标：

(1) 高性能多样化光伏组件工。轻质化、高效化、多彩化的高性能光伏组件，光电转化效率达到20%以上，防火性能达到A级，满足建筑四性要求。

(2) 新型保温装饰一体化光伏构件。可以装配式安装、工厂化生产的建材产品，施工简便，成本整体上墙造价控制在1500元/m²以内，比现行幕墙安装体系降低造价30%以上。

(3) BIPV智慧零碳建筑集成系统设计。集合建筑节能设计、智慧能源管控系统、光储直柔系统，为建设低碳、零碳建筑、低碳园区提供系统解决方案。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权。

■ 应用前景

目前，我国既有建筑面积 600 亿平方米左右，如果按照 1：6 比例安装光伏计算，可以安装 100 亿平方米光伏，大概拥有 1500GW 装机规模。同时，我国每年建筑竣工面积约 20 亿平方米，其中 5% 的面积用于安装 BIPV 产品，装机量就能达到 20GW，约等于一座三峡工程的装机量。目前市场规模 400 亿左右，2025 年预计 1000 亿以上市场规模。据统计，在海外 BIPV 光伏装机市场排名前七的国家中，2030 年计划新增累计达 722.32GW，约等于 32490 亿的市场。仅以七大海外市场，平均每年光伏装机新增总量将达到 70GW 以上，约等于 3150 亿市场。

■ 合作方式

技术入股、技术转让

23 “三高”天然多糖改性制备及应用开发技术

项目负责人： 宫瑞英

技术联络人： 宫瑞英

联系方式： 15092091571

电子邮箱： gongry@qibebt.ac.cn

关键词： 天然改性多糖、日化、洗护

技术成熟度： 应用研究/产业化 (TRL=8-9)

■ 项目简介

2021年是《化妆品监督管理条例》实施的第一年，这对日化行业的方方面面产生颠覆性的改变，尤其是新原料或成工厂竞争焦点。化妆品原料既是安全的核心，也是技术创新的核心。本项目开发的改性天然多糖类化合物是系列天然可再生可降解的绿色资源，研究团队以来源广泛、可再生的瓜尔胶、淀粉、田菁、罗望子、皂荚豆胶等天然植物多糖为基材，经过改性修饰，既保留了天然多糖无毒副作用和可生物降解的优点，又赋予了其优异的增稠、调理、柔顺等性能，主要应用附加值高的日化产品的调理增稠以及香精包埋。近年来，国内天然多糖类产品正以年均20%的速度增长，2020年国内需求量可达到1000万吨，多个多糖品种净利润甚至高于10~20万/吨，市场容量市值将超万亿美元，市场发展潜力巨大，多糖原料产业一直处于高附加发展行业，国内拥有高精端的生产企业数量少之又少。

在上述开发的改性不同天然植物多糖基础上，根据各改性多糖的特性，本项目进一步进行生产效益和社会效益较高的日化领域中的应用开发，致力于解决该领域内发展过程中的一些关键技术问题，打造技术创新型的研发公司。利用改性天然多糖进行适当的配合，开发了所有工业化表活中最具可持续发展的谷氨酸表活洗护系列，解决了氨基酸洗护行业中存在着氨基酸表活增稠难、去污力差、泡沫不丰富、调料性差等等制约行业发展的主要技术瓶颈。我们洗护的成分主要有三类：植物活性多糖、氨基酸表面活性剂体系、功效营养体系。完全没有硫酸酯钠（S系列）、硅油柔润剂系列、聚季铵盐调理剂系列、控油调脂成分、去屑剂等成分，合成类增稠剂系列，无需护发素。实现行业新突破。

性能指标：

本团队开发出的改性天然植物多糖系列产品，核心工艺是完全自主的知识产权，部分产品的开发和应用为国内外首创。由于不同多天改性产品应用不同，根据应用环境，配合不同性能指标产品通过权威部门的测试和广大客户试用，得到一致好评，其技术和质量指标达到或超过国际先进水平。通过分子结构设计及工艺条件优化开发的新产品完全可以替代国外进口产品，应用广泛，价格优势明显，具有广阔的市场前景。

■ 项目进展

多糖原材料及后续应用开发均已完成中试，实现目标产品试用评价。

■ 知识产权情况

相关专利正在申报当中

■ 应用前景

本项目研究成果包括从原材料到终端产品，根据企业需求选择其中运营产品。

①牙膏专用改性多糖：开发技术成熟。添加量1.2%，成本~5万，预售15万，参考2020年，国内牙膏销售市场64万吨，整个国内市场具有牙膏专用改性多糖有年可替代用量~8000吨的潜在市场，潜在专用市场利润价值达近亿。

②专用多糖牙膏和氨基酸牙膏：开发技术成熟。参考国内市场份额占据高于20%的云南白药牙膏，其年销售额达50亿元以上，潜在专用市场利润价值达几亿。

③氨基酸系列洗护产品专用改性多糖：技术开发成熟。参考智研咨询发布的《2021-2027年中国洗发水产业发展态势及投资决策建议报告》数据显示：2014年以来中国洗发水进口数量呈不断上升趋势，2018年中国洗发水进口数量为36821吨，较上年增加8459吨，同比增长29.82%；2019年中国洗发水进口数量为46358吨，较上年增加9536吨，同比增长25.9%。中国洗发水出口数量要高于进口数量，2018年中国洗发水出口数量58426吨，较上年增加660吨，同比增长1.14%；2019年中国洗发水出口数量62133吨，较上年增加3708吨，同比增长6.35%。

根据上述统计数据，结合进口数量、出口数量、本土消费中国洗发水市场布局每年在几十万吨以上，以此估计，按添加量1~2%，成本~4万，保守预售~15万，氨基酸洗发液、洗面奶、沐浴露系列产品专用改性多糖年需求量潜在在~2000吨左右，潜在专用市场利润价值达几千万元。

④氨基酸洗发液、洗面奶、沐浴露产品：2014-2019年中国洗发水进口金额呈稳步增长趋势，2018年中国洗发水进口金额为26535万美元，较上年增加8210万美元，同比增长44.80%；2019年中国洗发水进口金额为33708万美元，较上年增加7174万美元，同比增长27.04%。2019年中国洗发水出口金额为13432万美元，较上年增加711万美元，同比增长5.59%。

本项目中的氨基酸洗发液、洗面奶、沐浴露产品可以细分普通、中端、高端及特殊功效系列化产品，从上边统计的数字信息看，在不包含洗面奶、沐浴露情况下，仅洗发水潜在专用市场利润价值达几亿，甚至十几亿元。

■ 合作方式

技术许可/转让等

24 CO₂釜式发泡聚丙烯 EPP 开发

项目负责人: 宫瑞英

技术联络人: 宫瑞英

联系方式: 0532-80662701

电子邮箱: gongry@qibebt.ac.cn

关键词: 聚丙烯发泡珠粒

技术成熟度: 中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

发泡塑料是通过物理或者化学的方式使塑料内部产生微孔结构而得到的一类塑料，它具有质轻、隔热、缓冲、绝缘、防腐、价格低廉等优点，已广泛应用于军工、汽车、建筑、儿童玩具、食品包装、家用电器等领域。聚合物发泡材料种类繁多，其中应用最广泛的是聚苯乙烯 (PS)、聚氨酯 (PU) 和聚乙烯 (PE) 发泡材料。但这些塑料泡沫存在着难回收、对人体有害的物质残留、低耐热性或低力学性能等问题。而聚丙烯发泡材料与其他发泡材料制品相比，具有优良的耐热性和机械强度，以及大大优于发泡PS、发泡PE的环境友好性；同时由于聚丙烯分子链上含有 α 氢及大量不稳定的叔碳原子，在光照作用下容易发生分子链降解反应，这使材料具备自然光降解的特性。正是基于聚丙烯泡沫塑料不但具有优异的力学性能和热性能，而且具有可回收、可降解等优异的环保性能，发泡聚丙烯成为了一种极具市场前景的新型环保泡沫塑料，更是未来有潜力替代PS发泡材料的材料之一。在国务院发布的《中国制造2025》中，对于新材料产业总体规划中高分子材料发展重点方向之一就是发泡聚丙烯的生产技术及应用。

发泡聚丙烯珠粒(expanded polypropylene, EPP)材料近几年来异军突起，成为发泡聚丙烯家族中未来市场需求潜力巨大、附加值高的新材料。EPP是以聚丙烯为主体，二氧化碳作发泡剂，通过反应釜发泡而制得的初级形态倍率的泡沫珠粒，初级发泡EPP可通过二次发泡、三次发泡等多次发泡，进一步模塑工艺成型制备形状复杂的低密度制品。目前，珠粒发泡制品是同时实现非常低的密度(达到聚合物密度的百分之二)和一个相对自由形状的唯一选择。EPP不仅能够满足节能环保领域对低能耗、可回收应用的需求，能够突破现有其它主流发泡材料的应用瓶颈，而且有利于实现功能化，应用于超轻、超刚材料，阻燃材料，隔热、导热、磁、电(阻、导)等领域。

性能指标:

EPP发泡珠粒主要技术指标

倍率		低倍率	高倍率
产品名称		13-20 倍 EPP	25-45 倍 EPP
主要性能指	密度 (g/cm ³)	0.06-0.05	0.04-0.02

压缩强(MPa)	10%	0.31-0.20	0.14-0.06
	25%	0.40-0.25	0.20-0.08
	50%	0.53-0.33	0.29-0.14
压缩永久形变% (25%)		7-8	8-10
拉伸强度(MPa)		0.85-0.61	0.52-0.35
拉伸延伸率%		17-20	16-20
燃烧速率 mm/min		30-60	65-80
热传导 W/m·k		0.036-0.034	0.033-0.030
浮力 N/ m ³		9022-9089	9218-9414
吸水率 %		0.03	0.03

■ 项目阶段与进展

EPP开发应用成果已完成抗回缩、高强度发泡母粒的配方优化设计、关键制备装置、发泡制备工艺、模塑成型工艺调试改造；开发适用于EPP生产的成套生产线，包括水下切粒机、高压发泡釜、二发设备、模压设备等。EPP材料新制备方法的实施并已建成年产1500吨一条产业化示范线，并开始陆续与下游应用企业开展合作。

■ 知识产权情况

与青岛中科瑞邦新材料科技有限公司共同申请专利2项，知识产权分配比例为青岛中科瑞邦新材料科技有限公司占60%，青岛生物能源与过程研究所占40%。

■ 应用前景

EPP是近年发展起来的一种新型的轻量化泡沫材料，因其具有绿色环保、可回收利用、缓冲性能优良等特性，与目前应用最成熟的EPS（易对环境造成污染和破坏，如“白色污染”）相比具有更好的发展前景。国家在出台政策（《产业结构调整指导目录（2019年本）》将以氯氟烃化合物作为发泡剂的EPS生产线列入了淘汰类）限制EPS行业发展的同时，为鼓励发展EPP材料，在《中国制造2025》、《新材料产业发展指南》中均将EPP列入重点领域技术新材料部分，为EPP产业发展提供了有力的政策保障。

EPP在轻质泡沫材料的传统部分应用领域里对EPS具有较强的替代性，尤其是包装领域，对EPS外包装和内包装潜力替代总量约43万吨；在海运冷藏集装箱、家居垫材等复合材料领域（与聚氨酯形成复合材料）内具有15万吨的市场潜力；在建筑领域及新型的军工领域具有更大的市场的潜力。近期来看，EPP潜在市场需求总量将超过60万吨；长期来看，如果在建筑领域能够实现对EPS替代的突破，EPP将增加百万吨级潜力市场。

■ 合作方式

技术许可、转让等

25 高镍梯度锂离子电池正极材料技术

项目负责人：黄青山

技术联络人：黄青山

联系方式：0532-58782864

电子邮箱：huangqs@qibebt.ac.cn

关键词：新材料、三元梯度正极材料

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=5-7)

■ 项目简介

正极材料是锂离子电池的瓶颈，占电池总成本30%以上。消费者对电池的续航能力要求越来越高，高镍化是提升三元正极材料比容量的核心方案，但高镍化后的材料存在安全性能差、循环寿命短及表面碱性高等问题，而使高镍三元材料梯度化是除单晶外另一条有望一次性解决上述三种问题的可行技术路线。

高镍梯度三元正极材料是指从二次颗粒核心到表面，镍元素含量逐渐减少而钴和锰元素含量逐渐增多的一种材料设计，该方案既可以利用表面含量较高的锰元素稳定材料结构、提高其安全性能，又可以充分发挥核心高镍材料的高比容优势和循环性能，还可以降低材料表面的碱性，实现“一石三鸟”的目的。

性能指标：

本项目制备的梯度NCM811镍含量大幅提高，同时钴含量相应大幅降低，锂源采用碳酸锂而非氢氧化锂，可显著减少生产成本。其具有以下特点：

1. 本项目采用共沉淀-固相烧结法制备高镍梯度三元正极材料；
2. 前驱体振实密度高达1.9811 g/cm³以上（正极材料振实密度≥2.2 g/cm³）；
3. 在未进行任何商业包覆和掺杂的条件下，1 C倍率下放电比容量最高达194.7 mAh/g；
4. 充放电循环寿命较高(1C, 670圈循环后容量保持率>80%)；包覆掺杂后，可实现>1500圈循环。

■ 项目阶段与进展

该项目已完成在20 L反应釜中试规模的工艺条件探索，并将其放大应用到2 m³的反应结晶器；研发了高效的旋转烧结炉，可保证烧结产品质量的一致性。实现了从前驱体制备到烧结及商品化材料包覆和掺杂工艺的优化，完成了高镍三元正极梯度材料从工艺到生产装备的研发，满足了梯度材料的规模化生产示范，现可进行对外合作。

■ 知识产权情况

本项目从生产工艺到生产装备均为自主研发，具有完全知识产权，关键设备及关键工艺均已申请专利保护。

■ 应用前景

全球市场插电式混合动力、纯电动汽车已开始步入应用普及的发展阶段，预计至2050年，全球将有4400万辆纯电动汽车。储能锂电池现在仍处于起步阶段，受益于家庭储能、电信基站、风能、太阳能等新兴能源储能需求，2020年储能类市场达1140亿元。锂电池正极材料保持高速增长，并逐渐向三元材料等高能量密度材料发展，电动汽车用锂离子动力电池已成为市场和研发的热点。本项目研发的高比容、高安全性的高镍梯度三元正极材料在动力电池领域将有望逐步扩大市场份额，取代磷酸铁锂等传统锂电池。

■ 合作方式

技术许可/转让

26 改性 MBBR 填料在污水处理厂升级改造应用项目

项目负责人：郭荣波

技术联络人：冯权

联系方式：15269253850

电子邮箱：fengquan@qibebt.ac.cn

关键词：环保类、MBBR、污水

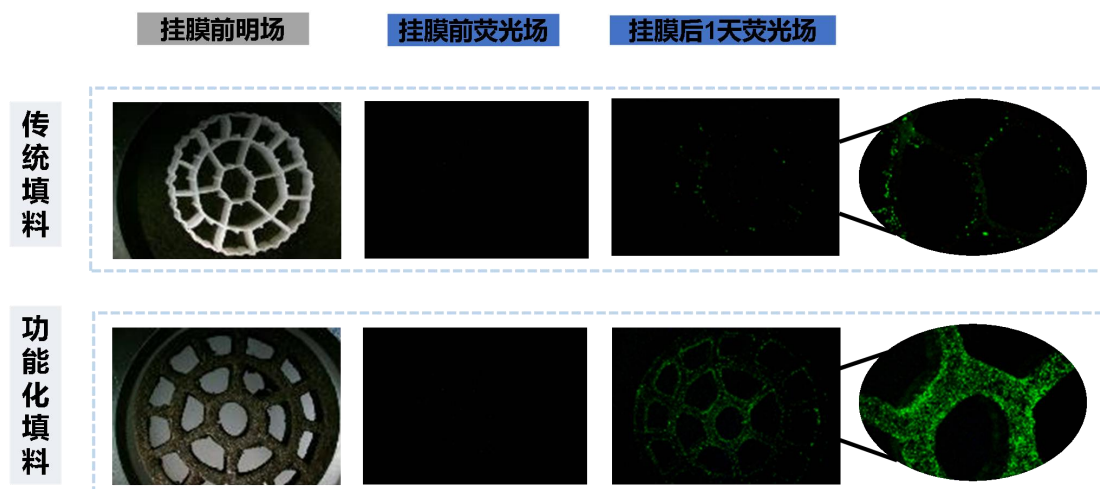
技术成熟度：产业化 (TRL=9)

项目简介

移动床生物膜反应器 (Moving Bed Biofilm Reactor, 简称 MBBR) 是一种高效的污水生物处理工艺。该技术兼具活性污泥法和生物接触氧化法的特点, 利用悬浮填料与污水的充分接触, 对污染物进行去除。MBBR 工艺耐冲击负荷能力强, 运行性能稳定, 适用于 A2O、氧化沟、SBR、AB 等多种工艺的升级改造。与固定床生物膜法相比, MBBR 工艺在容积负荷大幅提高的同时, 对进水 SS 和有机负荷无特殊要求, 能够克服固定床工艺生物膜过厚过重以及悬浮载体支架垮塌的问题。

悬浮填料是 MBBR 工艺的关键, 然而, 目前市场上所用的悬浮填料, 主要以高密度聚乙烯 (HDPE) 材质制成, 其表面光滑疏水, 不利于生物膜的快速富集, 尤其是冬季低温及有毒物质冲击的情况下, 挂膜速度会被延迟, 从而延长工程调试的时间, 减缓项目实施的进度。本研究采用创新性的技术形式和独特的配方, 对传统的塑料材质填料进行处理, 选用特殊粒度的粉末进行表面改性, 获得了粗糙的填料表面, 且能够实现任意无机粉末材料的固定化, 具备一周内快速挂膜的特点, 提高 MBBR 项目启动速度, 加快了工程化应用进程。

性能指标: 挂膜周期缩短至 3-7 天, 比表面积达到 $800-1200\text{m}^2/\text{m}^3$, COD 容积负荷达到 $1.2-2.0\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。



传统填料和改性填料对微生物吸附速度对比

■ 项目阶段与进展

目前项目已经完成中试，已经建立MBBR填料生产和改性设备。

■ 知识产权情况

已授权与本项目相关专利5项。

■ 应用前景

新型MBBR填料与传统污泥工艺的兼容性强，适用于传统污水处理厂的原位改造和新建，具备节省占地、降低运行成本、提高污染物负荷的能力。该工艺能够应用于市政污水处理、工业污水处理、微污染水处理、村镇点源污水处理、污泥硝化液处理、水务管理等多个领域，具有广阔的应用前景。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

第二部分 研发阶段成果



27 巴斯德毕赤酵母高产人源溶菌酶

项目负责人： 王士安、李福利

技术联络人： 王士安

联系方式： 0532-80662682

电子邮箱： wangsa@qibebt.ac.cn

关键词： 溶菌酶、药用蛋白、抗菌

技术成熟度： 实验室阶段 (TRL=3-4)

■ 项目简介

溶菌酶作为天然抗菌物质之一，可在一定范围内替代抗生素，并且不易产生耐药性，在医药、食品、畜牧等领域具有广阔的应用前景。天然溶菌酶存在于家禽蛋清和人体多种组织内，获取方式包括提取分离和基因工程表达等。人源溶菌酶属于人体的内源性抑菌酶，能够被人体和动物消化吸收，能够开发为药物，并且人源溶菌酶溶菌活性比鸡源溶菌酶高3倍，热稳定性也高于鸡源溶菌酶，但是不能通过提取分离有效获得。利用巴斯德毕赤酵母蛋白表达系统合成人源溶菌酶具有产业化潜力。医用溶菌酶要求氨基酸序列与人源版本完全一致，本项目针对此需求，建立巴斯德毕赤酵母表达人源溶菌酶技术。

性能指标：

50升发酵罐人源溶菌酶产量达到5 g/L。

■ 项目阶段与进展

建立了较为完善的巴斯德毕赤酵母蛋白表达平台，发展了高通量筛选方法，建成表达人源溶菌酶的菌株突变体库，人源溶菌酶产量达到了3 g/L。

■ 应用前景

人溶菌酶即可用作医药，也可用于食品、畜牧养殖、科学研究等。

(1) 在医药行业，可生产含有溶菌酶成分的药物，如重组溶菌酶喷雾、含片，用于治疗咽炎、疱疹等症状；溶菌酶可以作为医用钛合金植入物的抑菌剂，防止钛合金在植入患者体内被细菌感染而导致植入失败；溶菌酶也可用作诊断剂，作为人和动物病理变化发生和发展的指标。

(2) 在食品工业领域，溶菌酶可作为天然防腐剂抑制许多腐败生物生长，延长食品保质期和增强食品安全性，可以替代化学防腐剂。溶菌酶可以在蔬果类、水产类、肉类、奶类及其他加工食品中进行广泛应用。

(3) 在畜牧养殖业溶菌酶可作为防腐剂、抑菌剂添加到动物饲料中，在提高饲料保质期的同时，可防治某些传染性疾病，改善动物肠道，防止有害菌体的入侵，缓解动物腹泻。

(4) 在生物工程溶菌酶可用于分解细胞壁，制备原生质体；用于微生物分类和育种；可作为研究蛋白质功能结构的模式蛋白等。溶菌酶已成为细胞工程和基因工程中至关重要的工具酶之一。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

28 微藻循环式光照兼养培养系统

项目负责人：李福利

技术联络人：范勇

联系方式：0532-80662656

电子邮箱：fanyong@qibebt.ac.cn

关键词：微藻、兼养、固碳、高附加值产品 技术成熟度：实验室小试（TRL=5）

■ 项目简介

微藻作为单细胞的光合生物，在培养方式上具有自养、异养、兼养等培养方式。对不同的微藻种类，商业化生产使用不同的模式。通过目前的验证，绝大多数微藻都可以不同程度的实现兼养培养，兼养培养具备着光自养和异养的优势，可实现有机碳源和无机碳源有效利用的培养方法，有助于实现微藻光合固碳和微生物发酵高效生产的双重目标，但是现阶段的培养普遍由于反应器无法提供足够光源以及无菌操作不易实现等问题，始终无法实现兼养培养的规模放大。

针对以上问题，开发微藻循环光照兼养培养系统。对不同微藻，模拟并建立循环系统参数，使微藻在系统中利用有机碳以及循环过程产生的短周期光照，可实现常规持续光照条件下相同甚至更好的生长效率。在培养工艺上，使用发酵罐连接密闭的管路系统，外接管路系统的体积较小易于灭菌。放大至百升或者吨级后，在无菌操作、照明设备和管路成本上的投入上可控，较好的克服污染和成本的问题。该系统可帮助今后实现兼养培养的规模化放大。

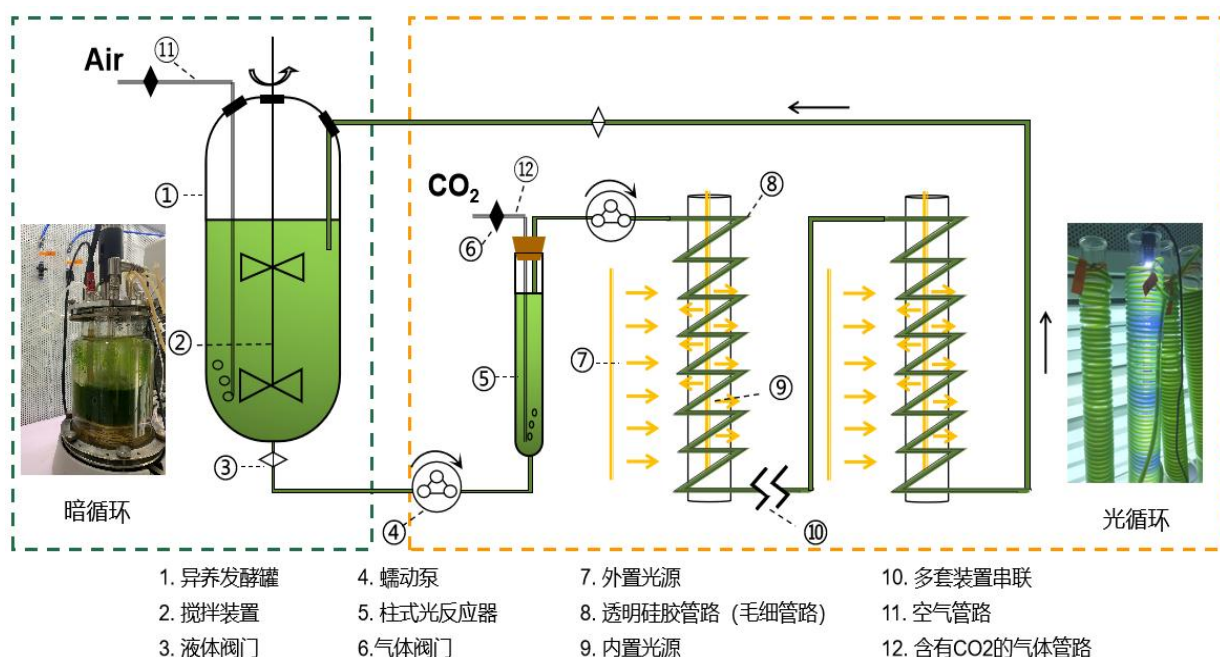


图1. 微藻循环式光照兼养系统的培养装置基本示意图

■ 项目阶段与进展

通过对三种微藻（微拟球藻、三角褐指藻、麦卡藻）在系统培养过程中的生化分析和组学分析，建立不同微藻的匹配性培养方案，涉及循环流速，循环系统体积比，光照强度调节，有机碳源补充方式等，实现在5 L级培养装置中，单批次培养周期（10天）的生物量积累相较于自养条件下提高10~15倍，并细化了规模放大的方案。

■ 知识产权情况

已申请相关专利3项，授权2项。

■ 应用前景

在微藻种质资源的开发过程中，人们不断发现微藻的经济价值，微藻含有着丰富的油脂、蛋白质、多糖和色素等代谢产物。在生产过程中，微藻的兼养培养适用于大多数藻种的培养，可提高产率5~20倍不等。但兼养培养工艺中透光性和杂菌污染问题，限制生产投入。本兼养培养系统，基于微藻自身对于光照能量需求机制出发进行设计，可实现微藻高密度兼养培养，并具有规模放大的可行性。

■ 合作方式

共同开发、技术转让

29 微生物合成β-榄香烯技术

项目负责人: 张海波

技术联络人: 张海波

联系方式: 0532-58568203

电子邮箱: zhanghb@qibebt.ac.cn

关键词: 微生物发酵、β-榄香烯、吉玛烯 A

技术成熟度: 应用研究 (TRL=5-6)

■ 项目简介

β-榄香烯 (β-elemene, C₁₅H₂₄) 是从我国传统中药温郁金中提取的国家二类抗肿瘤药物, 具有低毒、广谱和可破血脑屏障等优异特性, 并对213种疾病存在高相关性潜在治疗效果。目前, 临床使用的榄香烯均从植物中提取, 由于其提取分离工艺极为复杂, 且大多为β-, γ-, δ-榄香烯混合物, 导致其价格昂贵, 严重限制了榄香烯类抗癌药物的推广和应用。化学合成方法受原料来源、产品得率、污染排放等因素制约已逐渐被生物合成取代。然而, 天然萜烯合酶因其催化效率低、产物专一性差等问题阻碍了其在工业中应用。针对以上情况, 本项目从合成生物学改造与关键工艺优化两方面入手展开研究, 利用人工智能、生物计算和酶生物催化等技术, 获得了催化效率和专一性提高的吉玛烯A (β-榄香烯前体) 合酶, 并构建了具有自主知识产权的高产β-榄香烯的大肠杆菌工程菌株。随后, 通过发酵控制优化, 实现了目标产物β-榄香烯的高效合成, 5 L发酵罐产量达到32.43 g/L, 为目前全球报道微生物合成β-榄香烯的最高产量。

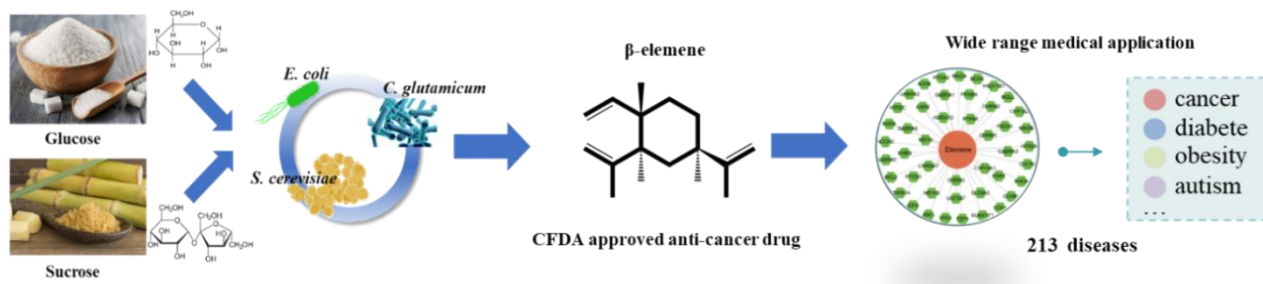


图1 微生物发酵合成β-榄香烯

性能指标:

本项目以廉价的可再生糖为原料, 优选大肠杆菌为宿主合成β-榄香烯, 在5 L发酵罐发酵产量达到32.43 g/L, 为目前全球报道微生物合成β-榄香烯的最高产量。

■ 项目阶段与进展

针对萜烯合酶资源缺乏、天然萜烯合酶催化效率低/产物专一性差等问题, 开展以下研究: (1) 通过数据库搜索、序列比对、分子模拟等寻找潜在的萜烯合酶基因, 合成候选基

因，构建代谢通路，并进行发酵验证；（2）通过生物计算、分子对接、关键氨基酸位点预测与改造、菌株构建与发酵验证，获得催化效率和产物专一性提高的萜烯合酶，并通过代谢网络调控、细胞工厂性能提升等手段，进一步获得高产菌株。（3）优化发酵控制，开发发酵分离耦合及产品分离纯化等关键技术。目前已获得 β -榄香烯高产菌株，完成小试水平生产验证，产量达到32.43 g/L。

■ 知识产权情况

本研究组已申请相关专利1件（202310188576.4）。

■ 应用前景

本项目实施后可实现微生物发酵合成 β -榄香烯的工业化生产，显著降低 β -榄香烯类药物的生产成本，降低能耗和三废污染；拓宽 β -榄香烯类药物的应用范围，提高其普及率和市场占有率，为国民健康提供可靠保障；可为医药企业带来发展机遇，提高我省在相关领域的竞争力；以本项目为带动，引领相关产业技术升级革新，增加企业利润，促进地方经济发展。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让等

30 高效低能耗发酵生产细菌纤维素技术

项目负责人：张海波

技术联络人：张海波

联系方式：0532-58568203

电子邮箱：zhanghb@qibebt.ac.cn

关键词：细菌纤维素、高效低能耗发酵

技术成熟度：应用研究（TRL=6-7）

■ 项目简介

细菌纤维素是重要的塑料替代品，也是重要的食品原料。针对细菌纤维素的生产对椰子水依赖性强、生产成本低、生产效率低等问题，研究采用合成生物学技术改造获得了不依赖椰子水的高产细菌纤维素的木葡糖醋酸杆菌工程菌株，结合酸性、低温等特殊发酵条件，实现了以廉价可再生糖为原料通过高效低能耗的发酵方法来生产细菌纤维素。该生产方法打破了传统生产方式对特定原料的高度依赖，有效降低能量消耗，提高产品产率。一方面能节约能源与资源，降低碳排放，符合国家“双碳”战略；另一方面能够简化生产步骤和提高生产效率，有利于降低成本和提高产品的市场竞争力。

为了实现上述目标，中国科学院生物过程与能源研究所开展了菌株代谢工程改造方面的研究，开发了多种适用于高效低能耗发酵的细菌纤维素高产菌株；通过对发酵条件的控制，建立了稳定可重复的非高温高压灭菌的生产细菌纤维素的发酵方法。该方法操作简单，无需昂贵仪器设备，细菌纤维素产量是传统发酵方式的5倍。

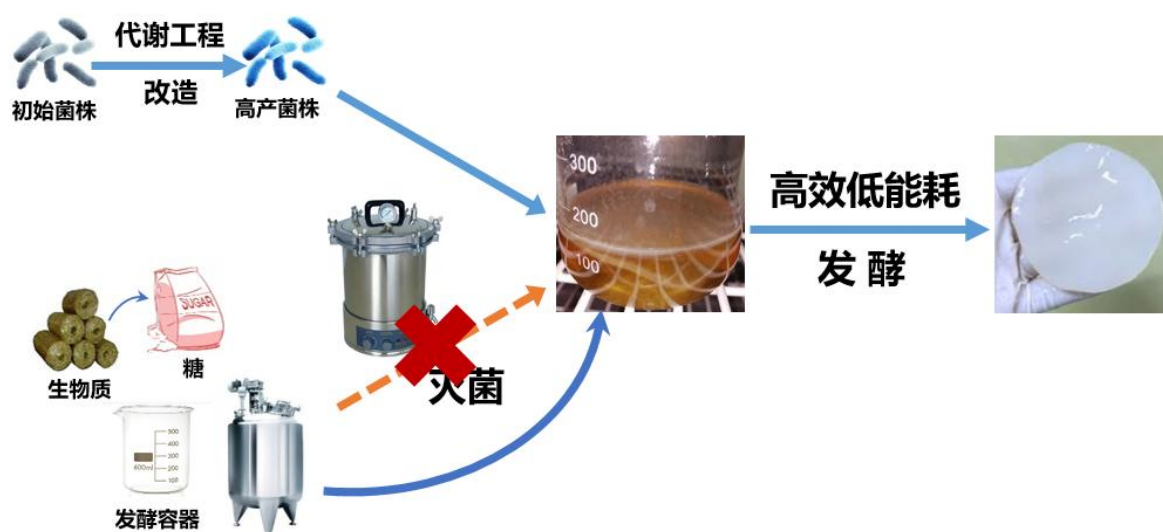


图1 高效低能耗发酵生产细菌纤维素

性能指标:

以葡萄糖、果糖、蔗糖等为碳源，培养基和发酵容器无需高温高压灭菌，按 10%接种量接种，静态发酵 7 天，细菌纤维素产量可达到 768 g/L（湿重），仅剩余少量发酵液，成本约为 2000 元/吨。

■ 项目阶段与进展

利用合成生物学技术进行菌株改造，获得能利用价格更为低廉的碳源/氮源来合成细菌纤维素的菌株；结合特殊发酵条件，建立高效低能耗的发酵方法来生产细菌纤维素；通过组学技术和反向基因工程解析突变菌株的分子机制，同时利用基因编辑等手段构建稳定遗传的工程菌株；实现在 1 L 体系的高效低能耗发酵。后续拟引入自动化设备，建立发酵示范间。

■ 知识产权情况

本课题组申请相关专利 4 件：202310098260.6, 202211496088.1, 202210263860.9, 202210276843.9。

■ 应用前景

目前细菌纤维素较多应用于食品（饮料、果冻、冰激凌、香肠、罐头、烘焙、仿生食品等）和化妆品（面膜、护发膜、磨砂膏、纳米乳液等）行业。此外，细菌纤维素及其复合材料还在替代塑料、医用材料、柔性电磁材料、污水处理等领域有广泛的应用前景。已有研究表明细菌纤维素的复合材料具有与石化基塑料相匹敌的性质以及良好的可降解性。商品化细菌纤维素的生产原料主要是椰子水，而椰子依赖从越南等东南亚国家进口，导致成本居高不下，且细菌纤维素产业的生产效率不高。本项目能够显著提高细菌纤维素的产量，降低生产成本和能耗，有望推动细菌纤维素产业的技术革新和促进细菌纤维素的广泛化、高值化利用，带动相关产业的发展，预期能创造良好的社会、经济和生态效益。

■ 合作方式

共同开发、技术许可等

31 CO₂生物转化与利用技术

项目负责人：李福利

技术联络人：吕明

联系方式：0532-80662655

电子邮箱：lifl@qibebt.ac.cn

关键词：生物乙醇、工业富碳气体

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=6-7)

■ 项目简介

在钢铁、煤化工、石油炼厂等工业生产过程中，产生大量富碳尾气，主要成分为氢气、一氧化碳和二氧化碳，通过直接燃烧排放，产生的热值不高，容易造成资源浪费和无效碳排放。通过生物发酵法，可以将工业富碳气体进行生物转化和精馏得到生物燃料乙醇，直接用于车用燃料，从而可避免当前以玉米粮食为原料生产燃料乙醇的技术路线，降低对土地的依赖，真正实现了“不与人争粮、不与粮争地”的产业发展要求，减排CO₂，服务“碳中和”的目标，符合我国国情。本项目采用合成气发酵梭菌分子改造的先进技术，深入开展高效转化合成气细胞催化剂创制，气液双相发酵系统中试研究，构建高产乙醇菌株，在国内率先形成具有自主知识产权的合成气发酵产燃料乙醇的成套技术。该项目的实施能够减少工业尾气燃烧带来的污染物排放，显著减排CO₂，产出燃料乙醇，为工业尾气的高值化利用提供了一条新途径，有利于提高工业企业综合利用效益和循环经济发展，同时也为我国燃料乙醇生产原料的多元化开辟一条新的技术路径。为我国实现“碳中和”目标提供了新发展路径，具有明显的社会效应和经济效益。

工业富碳气体制乙醇技术路线具有如下优势：（1）菌株的生长和发酵产醇，对于气体中CO和H₂的比例要求不严格；（2）微生物对于气体中的杂质，尤其是容易导致金属催化剂中毒的H₂S、重金属等，不敏感；（3）反应条件温和（<40℃），无化学催化的高温反应环境。因此，生物发酵装置可以“直接串联”到煤化工和钢铁化工企业尾气装置，形成耦合连用，提高合成气的利用效率和附加值，大幅度降低尾气直接排放。

性能指标：

按照生物乙醇国家标准生产，品质优良、性能稳定。

(1) 乙醇浓度不低于50 g/L，产物专一性达到90%以上。

(2) 乙醇发酵产率达到20~40 g/L/d、工业富碳尾气有效成分的利用率>80%。

■ 项目阶段与进展

中试验证阶段。

■ 知识产权情况

本项目具有完全知识产权，关键设备及关键工艺均已申请专利保护。

■ 应用前景

当前，在全球碳减排大背景下，能源行业进入后石油时代，急迫需要开发新型能源。为减排CO₂而需要提升煤化工相关行业CO价值，使得依赖于石油的能源模式正在向碳一气体转变。发展化学、生物、以及二者偶联技术，实现碳一气体在常温、常压条件下绿色制造，生产液体燃料及平台化学品，是未来经济可持续发展的关键。我国在能源消耗和CO₂排放巨大，利用生物产业的优势和转型契机，开展碳一绿色生物制造，实现新旧动能转换，是我国经济社会高质量发展的奠定重要基石。利用丰富的工业富碳尾气，可以生产1000万吨燃料乙醇，副产150万吨蛋白饲料，产值超过700亿，减排CO₂超2000万吨，经济价值和社会生态效益显著。

积极应对气候变化是当今世界大势所趋，越来越多的国家、地方政府和企业通过碳中和等气候行动强化减碳力度，“碳中和”催生了新一轮能源技术和产业革命，气候政策也在加速调整和转变。也是我国引领未来全球产业高地和可持续发展方式的重大战略决策。跟踪研究碳中和国际行动，对推动我国绿色低碳高质量发展，特别是对实现我国政府宣示的“碳达峰、碳中和”目标，具有重要意义。随着我国碳达峰、碳中和的目标得以设定，以碳交易市场建设为核心的碳减排产业链，例如提供碳捕捉、减排的技术、设备和服务的企业、造林绿化企业、可再生能源发电企业都将面临更大的市场机遇。

■ 合作方式

共同开发、技术许可等

32 微生物合成法尼烯技术

项目负责人：张海波

技术联络人：张海波

联系方式：0532-58568203

电子邮箱：zhanghb@qibebt.ac.cn

关键词：微生物、法尼烯

技术成熟度：小试 (TRL=6-7)

■ 项目简介

法尼烯 (Farnesene, $C_{15}H_{24}$) 是一种无环倍半萜烯，在能源化工、医药和保健品等领域有重要的应用前景。在能源化工方面，法尼烯衍生物的能量密度远高于3号航空煤油，可作为燃油助剂显著提高其性能，有效延长航程、增加载弹量，具有重要的军事意义和战略意义。在医药生产中，法尼烯可以作为生产维生素E侧链（异植物醇）的中间体，可实现维生素E (VE) 生产工艺的创新性变革（侧链异植物醇合成由11步缩短至3步）。此外， β -法尼烯是主要的蚜虫报警外激素，可以用于新型农药的创制。法尼烯的化学合成方法受原料来源、产品得率、污染排放等因素制约已被生物合成全面取代。目前该产品被美国合成生物学先驱 J.D.Keasling 主导的 Amyris 公司垄断，其以酿酒酵母为宿主连续式发酵产率达到 8.67 g/L/d，但发酵周期长达 360 小时，且对我国实行技术封锁。而我国在法尼烯生物合成领域尚属空白，产品完全依赖进口，严重制约了相关产业的发展，亟待突破。

性能指标：

本项目优选大肠杆菌为宿主合成法尼烯，发酵产率达到了 7.68 g/L/d，产量达到 35 g/L。

■ 项目阶段与进展

本项目针对限速酶效率低、代谢紊乱、代谢流不平衡、代谢产物对宿主细胞毒性大等关键技术难题，从合成生物学改造与关键工艺优化两方面入手展开研究：（1）筛选不同来源的法尼烯合成酶、异戊烯焦磷酸 (IPP) 合成酶及法尼烯焦磷酸 (FPP) 合成酶，优化合成途径的关键元件，提高合成效率。（2）高通量筛选和半理性设计定向进化限速酶 3-羟基-3-甲基戊二酸单酰辅酶 A 还原酶、甲羟戊酸激酶、异戊烯焦磷酸异构酶；核糖体结合位点及不同强度的启动子精确调节基因表达强度，进行代谢网络调控，调节法尼烯合成途径的代谢流平衡。（3）优化发酵条件，研究法尼烯分离过程规律开发发酵分离耦合法合成法尼烯及分离的关键技术。并通过 RBS 精准调控代谢途径等合成生物学代谢调控方法改造并获得法尼烯高产菌株，产量达到 35 g/L。

■ 知识产权情况：

本课题组拥有知识产权，申请专利ZL 202010366859X; 2020103681170。

■ 应用前景

本项目实施后可实现微生物发酵合成法尼烯的国产化自主生产，有效打破目前国外厂商的技术垄断和独家供货的局面，保障国内相关行业的供应链安全；带动下游维生素E生产企业发展，降低成本，提高竞争力，并可为其他企业带来发展机遇，提高我省在相关领域的竞争力；以本项目为带动，引领相关产业技术升级革新，增加企业利润，促进地方经济发展。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

33 橘色藻产类胡萝卜素技术

项目负责人：刘天中

技术联络人：刘天中

联系方式：0532-80662735

电子邮箱：liutz@qibebt.ac.cn

关键词：微藻培养、类胡萝卜素

技术成熟度：中试及产业化（TRL=6-7）

■ 项目简介

目前类胡萝卜素的生产主要是利用盐藻来生产。但由于盐藻的培养依赖于高盐度的海水进行开放池培养、生长速度极慢、产量低、成本高，且培养采收后的高盐度废水的排放对环境造成严重污染。本项目基于我们筛选获得的橘色藻，建立了基于贴壁培养的橘色藻高效培养生产类胡萝卜素技术。项目技术不依赖于海水，只需要淡水即可进行，从而解决了大规模生产条件下的废水排放问题。

技术指标：

在单层贴壁培养下，类胡萝卜素产率可达 $67.7 \text{ mg/m}^2 \text{ d}$ ，明显高于传统的盐藻开放池培养类胡萝卜素。

■ 应用前景

利用微藻生产的类胡萝卜素具有产率高、品质好、纯天然等优点，已成为保健类胡萝卜素生产的重要方向。本项目具有明显的产率和成本优势，是生物类胡萝卜素生产技术的发展方向，具有极大的产业化开放前景。

■ 合作方式

委托开发、技术入股、技术转让

34 产烃葡萄藻贴壁培养技术

项目负责人：刘天中

技术联络人：刘天中

联系方式：0532-80662735

电子邮箱：liutz@qibebt.ac.cn

关键词：微藻培养技术

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

葡萄藻是目前唯一具有合成高含量脂肪烃和油脂的微藻，是微藻生物最为重试的优质藻种。但由于其极慢的生长速率，导致不能实现高效大大规模培养，失去了作为能源生产的藻种潜力。目前国内外有众多研究试图从培养工艺、培养基组成以及培养条件优化来解决和提高葡萄藻的生产速率，但这些改善都非常有限。本项目基于我们发明的具有完全自主知识产权的微藻贴壁培养方法和基于光强稀释的微藻贴壁培养反应器设计新原理，研究开发了葡萄藻的高效贴壁培养技术。结果表明，葡萄藻的反应器贴壁培养，其面积产率可达40-60g/m²/d，为目前传统液体培养的5倍以上，具有极大的产业化开放前景。

技术指标：

百平方米级葡萄藻培养中试系统，室外条件下面积产率 > 30g/m²/d，总油含量 > 35%。

■ 合作方式

委托开发、技术入股、技术转让

35 植物组织高效培养与遗传改良技术

项目负责人：付春祥

技术联络人：付春祥

联系方式：0532-80662736

电子邮箱：fucx@qibebt.ac.cn

关键词：组培技术、遗传改良

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

植物组织培养技术可以对多种植物进行脱毒和快繁，高效稳定的遗传转化体系是改良植物性状和研究植物基因功能过程中不可或缺的基础技术。在各种植物中，草类遗传背景复杂、进化高级，建立其组培和遗传转化体系较为困难。我们建立的植物组织培养和高效遗传转化平台可以对柳枝稷（能源草）和苜蓿（牧草）等的进行脱毒和遗传转化，该体系时间周期短，可在4-6月内完成整个过程；转化效率高，其中柳枝稷和苜蓿的转化效率可以达到80%以上；可以利用不同的选择标记，实现多个基因的共同导入，是利用生物技术改良植物性状的优秀平台。同时，我们建立了重要中草药如雪莲的组培苗快繁、悬浮细胞培养体系和毛状根快繁体系，利用悬浮细胞培养体系和毛状根生产其有效成分，可以大大缩短了雪莲药用成份的生产周期，逾越乐雪莲生长环境和生长速度的限制，为中草药的开发和利用提供了新的思路。通过不断积累，我们在牧草、能源草及中草药等植物组培和遗传转化方面积累了丰富的经验，具备建立各种植物的高效遗传转化平台的能力。

技术指标：

- 1、柳枝稷高效脱毒和快繁技术：
 - 脱毒率：100%；周期：6-8个月
 - 快繁方法：茎节（Node）直接再生法，既可以保证足够多数量的组织材料，有能够保持原有材料的优良特性。
- 2、柳枝稷高效组培与遗传改良技术：
 - 转化效率：>90%；转化周期：3-4个月
 - 工作效率：约5000株/每人/每年；>100基因载体/每人/每年
 - 多基因转化技术：可以同时导入6个不同基因
- 3、紫花苜蓿组织培养和高效遗传转化技术：
 - 转化效率：>80%；转化周期：4-6个月
 - 工作效率：约1000株/每人/每年；>50基因载体/每人/每年
 - 多基因转化技术：可以同时导入4个不同基因
- 4、草坪草组织培养和高效遗传转化技术：

- 转化效率：>30%；转化周期：4-6个月
- 工作效率：约400株/每人/每年；>10基因载体/每人/每年

5、重要中草药雪莲的组培苗快繁、悬浮细胞培养体系-、毛状根培养技术和有效成分生产、提取分离纯化及鉴定技术

- 组培苗再生周期：4-6个月
- 悬浮细胞系生长周期：12天
- 毛状根培养周期：32天
- 诱导子可以提高悬浮细胞系有效成分含量，其黄酮类物质是对照组的2.4倍
- 一个生长周期内，毛状根的生物量能够达到接种量的16倍，其有效成分紫丁香甙含量能够达到野生雪莲的83倍。

■ 应用前景

本平台可以提供牧草（豆科苜蓿和禾本科高羊茅等）、能源草（柳枝稷和芒草）、草坪草（结缕草）和粮食作物（玉米、大豆）、中草药（雪莲、百合）等的组织快繁和遗传转化服务。

■ 合作方式

合作开发、技术转让

36 基于磺基化重组水蛭素的抗凝血药物研究

项目负责人：年锐

技术联络人：年锐

联系方式：0532-58782963

电子邮箱：nianrui@qibebt.ac.cn

关键词：抗凝血药物

技术成熟度：实验室小试（TRL=5）

■ 项目简介

现阶段，临床主要用肝素来对血栓相关疾病进行治疗，然而肝素引起的出血及炎症等并发症也在困扰着相关人群。水蛭素是一种从水蛭唾液腺中分泌出来的64~67个氨基酸组成的小分子天然蛋白，有多个亚型，能够特异性的与凝血酶结合，从而不可逆的抑制凝血酶的功能，是一种在医疗领域具有广泛应用前景的抗凝血剂，拥有取代肝素的巨大潜力。

由于从天然水蛭直接获取水蛭素的效率太低，目前通过生物工程的手段获得重组水蛭素是一种有效的替代方案。然而因为生物工程宿主缺少磺基化酶，重组水蛭素63位的酪氨酸缺少磺基化。与天然水蛭素相比，这种氨基酸修饰的缺失导致了重组水蛭素抗凝血活性的降低。目前国际上在售的重组水蛭素产品均为未修饰的蛋白产物，相关产品在国内则几乎为空白。

■ 项目阶段与进展

针对于这一现状，为了获得较高活性的重组水蛭素，申请人通过改造宿主菌，实现了I型重组水蛭素的原位磺基化。这种磺基化后的重组水蛭素与未修饰的水蛭素相比，抗凝血活性提升了2~3倍，有效活性可达到在售肝素的~4.5倍。同时，我们也实现了重组水蛭素无柱体系的快速纯化方法。团队也结合丝素蛋白材料制成了水蛭素可注射缓释凝胶，进一步拓展水蛭素的应用范围。

■ 知识产权情况

目前，相关结果已发表SCI一篇，申请专利一项。

■ 应用前景

随着中国老龄化的加剧和人民生活质量的提高，中风、心脏病、动脉栓塞等一系列疾病的病发率在逐年攀升，市场对于抗血栓相关药物的需求也在逐步升高。另一方面，由于PCI（冠脉支架）手术、器官移植手术以及髌关节或膝关节置换手术等在全国各地医院广泛开展，抗血栓药物的应用亦愈发广泛。目前，新冠肺炎正在肆虐全球，研究结果显示新冠患者也出现了高发性的血栓，这提示我们，抗血栓药物在提高患者存活率、促进患者复健等方面也会有卓越疗效。

■ 合作方式

共同开发、技术转让

37 胶原-蛛丝蛋白复合硬脑膜替代材料的研发

项目负责人：年锐

技术联络人：年锐

联系方式：0532-58782963

电子邮箱：nianrui@qibebt.ac.cn

关键词：新材料

技术成熟度：实验室小试（TRL=5）

■ 项目简介

因疾病、外伤与手术等原因导致的硬脑膜较大缺损，难以依靠人体自身的愈合能力完全修复。利用组织工程学手段，合成、获取能够填补硬脑膜缺损区域、临时替代硬脑膜功能并引导硬脑膜修复再生的生物医用材料，成为了最合理的可行性方案。

胶原蛋白作为组织工程材料中最具潜力和竞争力的生物材料之一，已被广泛的研究报道。与其他材料蛋白相比，胶原蛋白在生物相容性、生物活性及体内可降解性等方面有着无可比拟的优势。研究人员曾尝试将纯化后的胶原蛋白制备成可应用于组织修复的填充材料以及眼角膜等组织的替代材料。然而，纯胶原蛋白制成的材料强度较差，并且在嵌入生物体后降解速度过快，这些特性很大程度上限制了胶原蛋白的应用范围。

■ 项目阶段与进展

负责人利用重组蛋白表达技术及蛋白微观结构控制方法，批量获取了水溶性蛛丝蛋白。通过复合蛛丝蛋白，并从分子层面操控蛋白的组装方式，负责人所在研究组获得了强化型的胶原蛋白复合膜，其抗拉伸、抗破坏能力以及稳定性得到了显著提升了，目前干态抗拉力可达170 Mpa，湿态抗拉力可接近20 Mpa，其相关材料性能已经基本满足了硬脑膜替代材料的要求。

■ 知识产权情况

已申请专利一项。

■ 应用前景

组织工程材料在促进损伤修复及重建器官功能方面有着重要的应用价值，是未来医学中一项重要的研究和发展方向。胶原蛋白具备的生物活性、生物相容性及体内可降解性等诸多优势使其在组织工程学领域备受关注。强化型的胶原蛋白材料可以应用于包括脑膜缺损后修复等多种场合中。

■ 合作方式

共同开发、技术转让

38 神经酸及其鞘脂的医药应用

项目负责人：李福利

技术联络人：范勇

联系方式：0532-58782963

电子邮箱：fanyong@qibebt.ac.cn

关键词：围术期神经认知障碍、阿尔兹海默症、脱髓鞘疾病

技术成熟度：实验室小试 (TRL=4-5)

■ 项目简介

神经酸作为一种超长链单不饱和脂肪酸，在神经系统中有着重要的结构功能。在研究退行性疾病的过程中，发现神经系统中神经酸的含量和其在膜脂中的比例，与多种疾病的发展相关。明确神经酸在神经发育和退行性疾病中的结构机制和代谢机制，对今后的临床和大健康食品开发具有重要作用。本团队一直致力于研究微生物（包括微藻和酵母）产生神经酸的研究（Li F et al., US 17046672, 2020; Xu F et al., 2018, Front Plant Sci; Fan Y et al., 2018, Appl Microbiol Biotechnol; Fan Y et al., 2018, Algal Research; Yuan C et al., 2011, Biotechnol for Biofuel）。并持续关注神经酸的生理功能；例如，最近已经揭示了神经酸对中风康复阶段的治疗作用（神经酸在修复脑缺血再灌注损伤中的应用，CN 202210094160.1, 2022），以及在脊柱损伤治疗方面的作用（产神经酸的微藻在制备治疗脊髓损伤的产品中的应用，CN 202111617739.3, 2022）。进一步对神经酸的应用机制进行阐述，为目前包括阿尔兹海默症、围术期神经认知障碍等临床研究提供了思路。

性能指标：

神经酸的生产在中试条件下神经酸产量达17 g/L。

■ 项目阶段与进展

神经酸的生产已完成中试放大验证；神经酸功效验证处于动物实验阶段，目前同中国中医科学院合作神经酸用于脑卒中康复期治疗的方案；同齐鲁医院合作进行神经酸与围术期神经认知障碍临床研究工作；同暨南大学基础医学实验中心开展了神经酸在间充质干细胞转化过程中的作用研究；同康复大学合作研究神经酸用于脊柱损伤康复治疗作用的研究。

■ 应用前景

部分植物来源的神经酸已经作为新资源食品应用于功能性食品的添加。目前神经酸在食用油，婴幼儿及老年奶粉添加方面有巨大的潜力可以开发，目前可以作为DHA、EPA、亚

麻酸之外最重要的功能性脂肪酸添加剂。另外在医药领域可以作为特医食品用于脊柱损伤, 脑卒中等疾病康复治疗的营养补充剂进行推广。

■ 合作方式

共同开发、技术许可

39 银杏叶药用成分精制及新型功能产品开发项目

项目负责人：法芸

技术联络人：法芸

联系方式：0532-58788206

电子邮箱：fayun@qibebt.ac.cn

关键词：银杏叶、银杏内酯、绿色、连续分离、功能产品 **技术成熟度：**实验室小试

■ 项目简介

银杏叶提取物是心脑血管疾病的有效药物，主要药用成为银杏黄酮类、萜内脂类、银杏酸类。萜内脂类（白果内酯、银杏内酯A/B/C等）的药用功效为心脑血管疾病、脑缺血和老年痴呆等疾病，防止血栓；银杏内酯B药用价值更高。银杏叶制剂的开发始于1970年左右开始。德国Schwabe公司首次开发EGB761及其制剂金纳多，是欧美的畅销保健品。目前国内外开发出的银杏叶药物已达40余种，如：金纳多、天佑宁、银杏酮酯等，应用于心脑血管疾病的治疗。国内所占市场份额较大的产品主要有扬子江药业的依康宁片、上海信谊百路达药业的百路达、康恩贝集团的天保宁片、深圳海王的银可络片、贵州益佰银杏达莫注射液、以三九万荣和北京双鹤为主生产的舒血宁注射液等。2004年，康缘药业研发的银杏二萜内酯原料及其葡胺注射液（含GA、GB、GK）上市。目前市面上缺少多种剂型的银杏内酯制剂，尤其是单体银杏内酯注射剂和口服剂。

关于药用银杏内酯A/B的下游生产较少，目前市场上有两种药用银杏内酯注射液，江苏康缘药业股份有限公司的银杏二萜内酯葡胺注射液，主要成分为银杏内酯A、银杏内酯B、银杏内酯K等；成都百裕制药股份有限公司的银杏内酯注射液，主要成分有白果内酯、银杏内酯A/B/C。银杏内酯B单体制剂据研究显示，具有更优的抗病功效，但目前市面上没有可售的银杏内酯B类药用产品。

从行业格局来看，在其他很多细分行业不景气的背景下，银杏保健品成为了香饽饽，越来越多的企业跨界进入银杏保健品市场，市场容量扩充、消费人群增多，整个银杏保健品市场竞争更加激烈。银杏产业将向专业化、科学化、精细化的方向发展。

问题：①提取技术落后，质控达不到国际标准；②产品开发创新十分滞后；③产业零散，上不了规模。急需解决问题：创新工艺，提高质量，研发新药，加快保健品等新领域开发，提高总体经济效益。

性能指标：

银杏内酯纯度不低于98%；新型剂型银杏内酯功能产品对心脑血管疾病有效。

■ 项目阶段与进展

开展了绿色精准溶剂开发和连续逆流色谱分离工艺优化，生产出纯度大于98%的银杏内酯产品和功能产品试样，期待合作。

■ 知识产权情况

已申请发明专利2项，1项技术秘密。

■ 应用前景

该技术可以应用于银杏叶生物资源的开发领域，应用于心脑血管疾病的诊疗领域。可能与药用企业、银杏内酯试剂生产厂家合作，还可以开展相关中间产品和最终产品的技术服务。

■ 合作方式

技术许可、技术服务

40 酶表面展示生产 L(+)-酒石酸项目

项目负责人：冯银刚

技术联络人：冯银刚

联系方式：0532-80662706

电子邮箱：fengyg@qibebt.ac.cn

关键词：L(+)-酒石酸、大肠杆菌

技术成熟度：实验室小试 (TRL=5)

■ 项目简介

酒石酸是重要的化工和食品添加剂原料，L(+)型酒石酸是合成化学品和药物时重要的手性合成子和手性选择剂。传统上L(+)-酒石酸是葡萄酒产业的副产品，受到自然资源和季节的影响。通过微生物的顺式环氧琥珀酸水解酶（CESH）可以制备高对映体纯度的手性酒石酸，在上世纪90年代就已经实现了产业化。虽然CESH是最早得到应用的工业酶之一（可追溯到上世纪70年代），但CESH本身稳定性较低，目前产业应用上仍然多使用诺卡氏菌或红球菌等在胞内天然产生CESH的微生物进行酒石酸生产，其催化效率受到细菌细胞膜通透性的影响，故而催化效率并不理想。本项目采用表面展示顺式环氧琥珀酸水解酶的重组大肠杆菌生产L(+)-酒石酸，不但克服解决了天然产CESH细菌或重组大肠杆菌的胞内CESH通透性较低的问题，也不存在纯化的重组酶稳定性不足且制备成本高的问题。

性能指标：

大肠杆菌表面展示CESH酶活大于70,000 U每升；

大肠杆菌全细胞催化剂在4摄氏度放置14天，活性保持90%以上；

大肠杆菌全细胞催化剂3次重复使用后酶活保持75%。

■ 项目阶段与进展

在摇瓶小试情况下，表面展示菌株能够稳定获得CESH酶活大于70,000 U每升，大于采用大肠杆菌胞内过表达CESH所能达到的酶活数。菌株具有较高的稳定性和重复使用性能。

■ 知识产权情况

本技术已获得发明专利授权（专利号：202210273760.4）。

■ 应用前景

本技术适合于采用酶法/全细胞方法生产L(+)-酒石酸的企业的技术升级。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

41 EPA 藻油的发酵制备技术

项目负责人：冯银刚

技术联络人：宋晓金

联系方式：0532-80662706

电子邮箱：fengyg@qibebt.ac.cn

关键词：二十碳五烯酸、EPA、裂殖壶菌

技术成熟度：小试 (TRL=5)

■ 项目简介

二十碳五烯酸(EPA)是人体常用的几种 Ω -3脂肪酸之一，并且人体不能自主合成。EPA能降低人体血液中甘油三酯、总胆固醇含量，改善血液循环，降低血液粘度，具有扩张和软化血管的功效，能有效地防止动脉粥样硬化性疾病和血栓性疾病。本项目以能生产DHA油脂的工业菌株为基础，通过代谢工程手段强化了其EPA合成能力，开发了利用生物发酵法制备EPA藻油的技术工艺。EPA的产率较传统的自养藻类培养获取方式有了显著提高。

性能指标：

藻油中EPA含量10%，DHA含量40%。

■ 项目阶段与进展

实验室发酵罐中干生物量达到120g/L以上，油脂产量60g/L，藻油中EPA含量10%，DHA含量40%。

建立有成熟的工业化湿法酶解提油技术，无溶剂使用。

掌握完整油脂精炼工艺。

■ 知识产权情况

已发表论文1篇，申请发明专利1项。

■ 应用前景

随着国内消费者健康意识的增强及购买力的提高，国内EPA需求有很大的空间。同时，高含量的EPA油脂已被批准用作辅助降血脂的药物。而本课题开发的发酵法制备EPA藻油技术，显著提高了EPA的生产效率和产品质量，节省了海洋渔业资源，推动了EPA生产行业的优化升级。对拓展EPA在营养食品、特殊膳食和制药等领域的应用，具有重大意义。本项目裂殖壶菌产EPA的含量指标仍有很大提升空间，可以与企业或投资者联合共同开发。

■ 合作方式

共同开发、技术许可等

42 低成本、高安全钠电池技术

项目负责人：崔光磊

联络人：邱建超

联系方式：0532-80662756

电子邮箱：qiujc@qibebt.ac.cn

关键词：钠电池

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=7-8)

■ 项目简介

到2025年，新型储能装机规模达3000万千瓦以上，新型储能在推动能源领域双碳目标中发挥重要作用。我国《“十四五”新型储能发展实施方案》及《关于加快推动新型储能发展的指导意见》中，提出加快钠离子电池等技术研发及规模化试验示范。钠在地壳中储量丰富，价格便宜，同时钠离子电池能提供与锂离子电池相当的能量密度、更高的功率密度以及更长的循环寿命，使得钠电池在新能源汽车、大规模储能领域具有广泛的应用前景。面向国家新能源利用及资源有效利用的重大战略需求，固态能源系统技术中心深耕低成本、高安全钠电池关键技术，建设了国际一流的钠电池系统研发、智能化制造和批量生产平台，形成了具有自主知识产权的关键材料，如低沉本抗腐蚀水系电解质及本征安全的聚合物钠离子固态电解质，硼/铝基高稳定钠盐及阻燃添加剂等。。秉持“物美价廉、安全可靠”的工艺设计理念，打造出低成本**水系钠离子电池**和高安全、长寿命**固态电池**电芯及系统，为国家新能源产业发展及随之而来的能源系统革新提供强有力的储能技术支撑。



性能指标：

1. 水系钠电池：<0.5 元/Wh，能量密度70 Wh/kg，寿命2000+次。
2. 固态钠电池：<1.0 元/Wh，能量密度200 Wh/kg，寿命2000+次。

■ 项目阶段与进展

建成了智能工程化平台，成功研制出低成本、高安全及长使役寿命钠电池及电源系统，可批量生产钠电固/液电解质、功能隔膜及电极等核心材料。

■ 知识产权情况

累计申请国家专利10余项。

应用前景

低速电动车、启停电源、电动车辆/船舶、储能电站、用户侧储能等。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

43 高比容量硅碳负极粘结剂技术项目

项目负责人：崔光磊

技术联络人：张焕瑞

联系方式：0532-58782871

电子邮箱：zhanghr@qibebt.ac.cn

关键词：硅碳负极、粘结剂

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

目前，硅碳负极粘结剂技术是高比能锂电池技术发展的重要组成部分，是主流锂电池厂商高度重视、力求突破的关键核心技术。高性能粘结剂有助于维持硅碳负极在循环过程中的结构完整性，维持负极界面的稳定性，抑制整体电极的过度膨胀，因此能够大幅提升硅碳负极的循环性能、倍率性能等。目前，市场上的硅碳负极粘结剂主要针对低硅含量的负极体系，对更高硅含量的负极（比容量 ≥ 400 mAh/g）电化学性能的提升方面存在严重不足，制约了高比能锂电池单体的研制进程，威胁我国在锂电池行业的国际优势地位。

■ 项目阶段与进展

开发了非导电和导电水系粘结剂，在硅碳450、硅碳600电极中展现了优异的电化学性能，在循环稳定性（0.5 C下，硅碳600循环寿命达600圈）和（或）倍率性能方面优于目前市面上的粘结剂产品。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权

■ 应用前景

当前，在锂电池各行业呈现低端产能过剩、利润减薄的背景下，应用于高比容量硅碳负极的粘结剂产品仍然供不应求，产品利润几乎没有受到低端产能过剩的影响。由于发展高比能锂电池技术仍是未来几十年内各锂电池厂商逐鹿的关键技术，硅碳电极粘结剂的市场份额仍将呈现逐年快速扩张的趋势，未来市场容量巨大。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

44 硫化物全固态电池

项目负责人: 武建飞

联络人: 高静

联系方式: 0532-80662751

电子邮箱: gaojing1@qibebt.ac.cn

关键词: 硫化物全固态电池

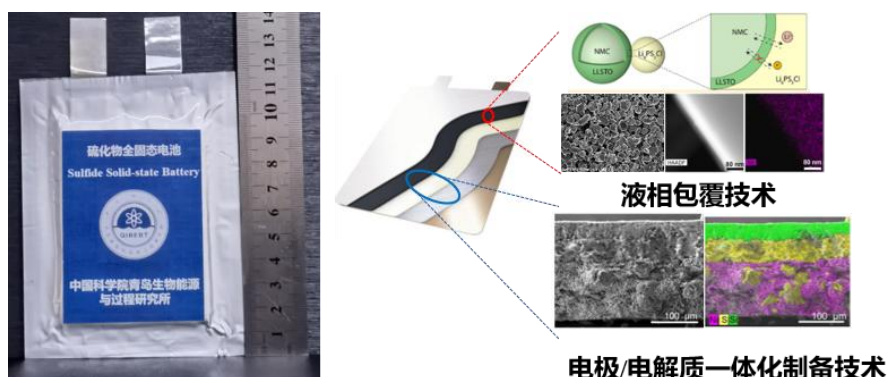
技术成熟度: 应用研究 (TRL=5)

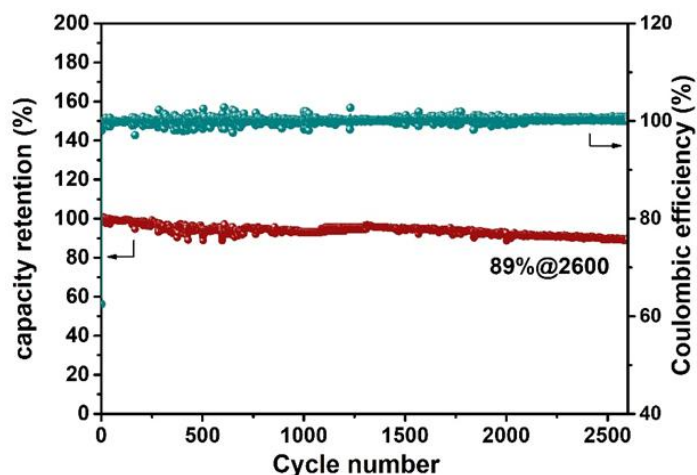
■ 项目简介

传统锂离子电池受电池材料和结构等因素的制约，能量密度已达到理论极限。并且，有机电解液锂离子电池存在易燃、易爆等安全隐患，严重限制了新能源汽车的广泛普及与发展。全固态锂电池相比于液态锂离子电池主要具有如下优势：（1）安全性能高，不易燃和热力学稳定（2）非活性物质含量少，能量密度高。（3）充电速度快，当以大功率充电时，发热的风险较小（4）高低温下均可正常传导锂离子，工作温度范围宽（5）工艺简单。硫化物电解质是目前综合性能最优的固体电解质。开展硫化物全固态锂电池研究，可真正实现锂电池的高性能、循环寿命和高安全性，推动锂电池的实用化进程。

性能指标:

指标	参数
电压/(V)	3.6
可逆容量/(mAh/g)	150 (0.1C)
倍率	10 C
低温	-30°C, 容量保持 64%
寿命	>2600





■ 项目阶段与进展

开发了多种体系硫化物固体电解质，目前已建成公斤级硫化物电解质批量制备中试线一条，研发的多体系硫化物电解质的室温离子电导率达到 10^{-3} - 10^{-2} S cm^{-1} ，材料性能稳定，目前能够实现公斤级稳定制备，为发展高性能全固态锂电池奠定了良好的基础。

搭建了全固态电池小试制备线，研制的高电压、长寿命软包全固态锂离子电池在常温 0.5C 倍率下循环 1000 次循环，容量保持 92%，电池仍在继续测试中（丰田公司设定标准 1500 次循环，容量保持 80%），4C 倍率下放电能力。-20°C、0.1C 放电，容量保持率为室温下的 68%。率先在国内实现了软包硫化物全固态电池的循环寿命的重大突破，性能居国内领先。

■ 知识产权情况

累计申请专利及技术秘密二十余项。

■ 应用前景

3C电子、新能源车用动力电池等领域

■ 合作方式

共同开发 技术许可/转让 作价入股等

45 面向固体氧化物电池的超薄电解质膜和电池片批量制备

项目负责人：江河清

技术联络人：江河清

联系方式：0532-80662716

电子邮箱：jianghq@qibebt.ac.cn

关键词：固体氧化物燃料电池、热电联供、固体氧化物电解池、电解水制氢、电解质膜

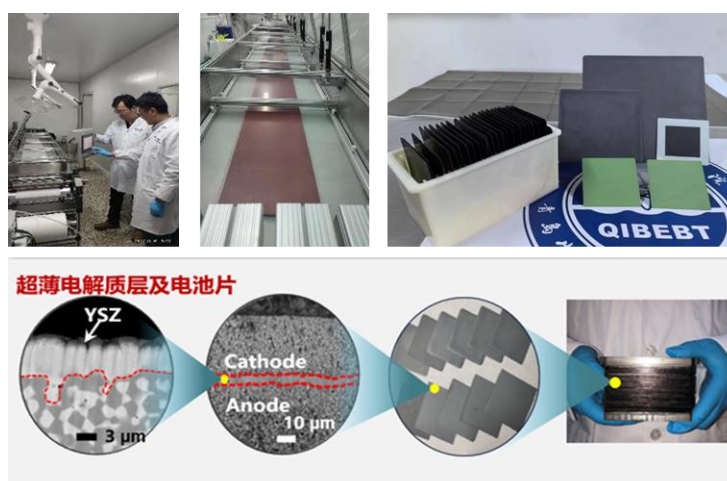
技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

固体氧化物燃料电池 (SOFC) 和电解池 (SOEC) 可以在中高温 (600-900 °C) 下实现高效率氢-电、电-氢相互转化的能源器件，SOEC-SOFC 是效率最高的“电氢电”氢储能技术路线，电价较低的“弃水”“弃风”“弃光”场合有很好的经济性。电池片和电堆是 SOC 系统的核心部件，但是由于电堆结构复杂、电池片制备工艺技术难度大，占系统成本的 60% 以上。开发先进电池片制备工艺技术，提高电池性能、降低生产成本是本领域的研发热点。

■ 项目阶段与进展

采用自主研发的“连续流延-界面反应诱导”技术，成功将电解质膜的厚度由 20 μm 降低到 3 μm 以下，解决了传统制备方法存在的工艺繁琐、膜层厚度大、强度差等问题，进一步实现从纽扣到 15 cm * 15 cm 大尺寸 YSZ 基电池的可控批量制备，其中包括膜面积、电解质厚度、面比电阻、机械强度等指标均达到国内先进水平。



■ 知识产权情况

一种具有氧化物薄层的多层陶瓷膜制备方法，国内授权发明专利CN2022/091517；欧洲专利，PCT/CN2022/091517

一种具有电解质薄层的固体氧化物半电池制备方法，2022115311031

■ 应用前景

利用可再生能源如太阳能、风能、水能等电解水产氢
炼化厂、核电站、热电厂等具有丰富废热资源场合实现热电连供

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

46 钙钛矿太阳能电池气体修复技术

项目负责人：逢淑平

技术联络人：邱建超

联系方式：0532-80662756

电子邮箱：qiujc@qibebt.ac.cn

关键词：钙钛矿

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=6-7)

■ 项目简介

发展以光伏为代表的清洁能源是最终实现碳中和目标的主要途径。目前商业化主流的晶硅电池的成本控制已经接近极限，以钙钛矿电池为代表的第三代光伏技术有望进一步实现光伏产业的降本增效，降低光伏技术的度电成本，推动光伏产业的大规模应用。研究所固态能源系统技术中心自2012年开始钙钛矿太阳能电池研究，于2015年提出“气体修复”制备大面积钙钛矿薄膜制备方案，于2020年发展出针对目前主流钙钛矿材料体系的“气体修复”技术，并开发出具有完全自主知识产权的气体修复制备大面积钙钛矿薄膜技术路线，并完成了相关设备研发。该技术多次被《Science》和《中国科学·化学》等杂志亮点报道，被认为是钙钛矿太阳能电池大规模制备的理想技术手段，已在多家钙钛矿企业成功应用。

性能指标：钙钛矿表面粗糙度6 nm，组件效率19%

■ 项目阶段与进展

通过持续的研究投入，实现了对主流钙钛矿材料体系的全面覆盖，申请相关专利5项目。先后开发了三代配套气体修复设备，搭建了小面积组件平台，形成一条具有完整知识产权的钙钛矿产业化技术路线。基于气体修复平台，实现了12 cm²组件光电转换效率达到19%。

■ 知识产权情况

在钙钛矿材料体系、制备技术、钝化技术等方面累计申请国家专利13项，发表研究论文50余篇。

■ 应用前景

大型地面电站、分布式、BAPV、BIPV、柔性可穿戴器件等

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让、作价入股等

47 光伏电站生态评估与土地立体化利用技术

项目负责人：汪辉

技术联络人：汪辉

联系方式：0532-80662739

电子邮箱：wanghai@qibebt.ac.cn

关键词：光伏生态评估、光伏农业

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

已建立起光伏电站生态评估机制与生态要素数据模型，能够对太阳能开发的气候、生态、环境效应进行风险评估；同时，利用光伏的绿色能源供体以及空间效应，与土地类型及农（渔）业相结合，进行土地生态空间布局优化，实现光伏与土地及农业的深度耦合，打造区域土地上“1+1≥2”的方舱经济体系。

技术指标：

光伏电站建设风险评估；光伏农业耦合设计方案（实现1+1≥2），光伏电站区域土地生态效益提升10%、经济效益提升10%以上。

■ 应用前景

目前我国风能、太阳能已经开始跨入大规模开发利用阶段。大面积光伏发电将改变局部辐射条件和地表能量平衡，同时可能导致生物量和生物多样性发生变化。另外，为了缓解我国土地资源紧张和目前弃光限电状况，国家出台了一系列关于“光伏+”的复合项目要求。因此，光伏生态评估以及以光伏农业为核心的“光伏+”模式已经成为光伏落地的前提和标配。

■ 合作方式

技术服务、合作开发

48 生物质化学链气化生产合成气和绿氢技术

项目负责人：吴晋沪

技术联络人：吴晋沪

联系方式：0532-80662761

电子邮箱：wujh@qibebt.ac.cn

关键词：生物质、合成气、绿氢

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=6-7)

■ 项目简介

针对新型生物质化学链气化工艺过程的关键技术问题，本项目研制兼具载氧、载热和焦油催化裂解/重整的多功能复合型氧载体，开发双流化床生物质气化系统，实现系统能量集成优化，解决目前生物质气化技术燃气热值低和焦油含量高的难点问题，以较低成本制取高热值低焦油燃气/合成气；还可利用免空分生物质定向气化制取高纯氢气技术，在制氢的同时将产物进行零能耗原位分离，实现可持续、高效生产绿氢。

性能指标：

生物质气化燃气/合成气热值 $\geq 10\text{MJ}/\text{Nm}^3$ ，燃气中焦油含量 $\leq 2\text{g}/\text{Nm}^3$ ；中试装置规模为千吨级/年生物质处理量(约0.6MWth)，年产百万立方燃料电池用高纯氢。

■ 项目阶段与进展

目前技术已完成实验室验证，载氧体等关键材料已完成放大制备和百公斤级生产，开展了公斤级/小时小型双流化床生物质化学链气化装置和冷热态实验，在此基础上建成了百公斤级/小时生物质化学链气化中试系统，完成了中试装置的仪表测控系统、冷态床料循环流动特性、热态单机和联动调试，正在进行热态中试运行验证试验和工艺优化。



■ 知识产权情况

项目从生产工艺到生产装备均为自主研发，申请与该技术相关的专利4项。

■ 应用前景

本技术以较低成本制取高热值低焦油燃气/合成气/绿氢，系统效率高，能耗低，推动生物质大规模高效利用。

■ 合作方式

共同开发、技术许可

49 甲烷二氧化碳干重整技术

项目负责人：吴晋沪

技术联络人：何涛

联系方式：0532-80662764

电子邮箱：hetao@qibebt.ac.cn

关键词：甲烷、二氧化碳、干重整

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=5-6)

■ 项目简介

甲烷干重整 ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$, DRM) 作为一种典型的 CO_2 利用 (CCU) 技术被广泛研究, 对减少 CO_2 排放和实现我国双碳目标具有十分重要的意义。干重整技术可应用于焦炉气、煤/生物质热转化过程、工业尾气中的 CH_4 、 CO_2 的转化利用等领域。

中国科学院青岛生物能源与过程研究所针对干重整技术难点, 开发了新型DR-2催化剂, 稳定性评价1000小时, 该体系在保持高甲烷、二氧化碳转化率的同时, 具有优异的抗积碳性能。

性能指标:

甲烷转化率 99%, 合成气氢碳比1。

■ 项目阶段与进展

目前该技术已完成实验室评价阶段, 完成千小时稳定性评价及再生评价, 下一步将开展催化剂放大成型工作。

■ 知识产权情况

申请与该技术相关的专利2项。

■ 应用前景

干重整技术可应用于煤层气、富 CO_2 天然气、焦炉气、煤/生物质热转化过程气体中 CH_4 、 CO_2 的转化利用等领域。

■ 合作方式

共同开发、技术许可

50 污泥高值化利用技术

项目负责人：吴晋沪

技术联络人：李洪荣

联系方式：0532-80662764

电子邮箱：lihr@qibebt.ac.cn

关键词：污泥、脱水

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=7-8)

■ 项目简介

污泥种类比较多，简单从来源分类可分为市政污泥和工业污泥。污泥如果处置不当就会对环境造成危害，选择正确的处理方式，可把大部分污泥加以利用，变废为宝。

由于污泥处置不规范已经造成多起重大恶性事件。所以国家对污泥的处置出台了许多规范性的东西，污泥的违法处置已经于2013年列入刑法。

本技术是在已经成熟完善的蒸汽烘干技术基础上开发的又一污泥脱水新方法。该技术通过高温高压对污泥进行水热加热，在污泥加热过程中污泥中含有的水分不相变，极大地降低了污泥加热的能耗。水热后的污泥通过简单压滤可将水分降至35%以下，该技术方案成功之后，污泥脱水能耗可降至蒸汽烘干能耗的二分之一以下，极具推广价值。

性能指标：

污泥去除每吨水能耗<0.6吨蒸汽。

■ 项目阶段与进展

该项目目前已做完初步水热验证，证明水热之后污泥压滤脱水变得容易，达到预期。

■ 知识产权情况

拥有自主知识产权，已提交相关发明专利。

■ 应用前景

该技术的应用领域主要用于各种污泥的脱水，其低能耗的特点决定了该技术一旦成熟，将会产生百亿级别的市场。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

51 高速服务区小型固废气化技术

项目负责人：吴晋沪

技术联络人：李洪荣

联系方式：0532-80662761

电子邮箱：lihr@qibebt.ac.cn

关键词：高速服务区垃圾固废处置

技术成熟度：中试及产业化（TRL=6-7）

■ 项目简介

高速服务区是一个人流密集的特殊极小区域，每天能够产生2~3吨生活垃圾及200公斤以上市政污泥。这些固废外运处置费用每吨要800元以上，对高速服务区来说，既是一种环境污染，也是一个经济负担。高速服务区产生的固废含有不低于1400大卡的低位热值，而高速服务区要向过路旅客提供服务，本身也需要能源提供。如果找到一种方案，处理了垃圾的同时又合理的利用垃圾中的热值，是一举两得的事情。

本项目就是专门针对高速服务区的固废垃圾处置做的研发。该系统可以在高效环保的处置固废垃圾的同时，为服务区提供高温热水或蒸汽。

性能指标：

以3吨/天的垃圾处理量为例，利用烟气中的余热产生蒸汽或者热水供应给热用户，供应量依据垃圾入炉热值的不同而不同。最低供应量为130kg/h饱和蒸汽，或者720kg/h高温热水（150℃）。

■ 项目阶段与进展

已完成系统的总体布置、流化床气化炉设计等，进展达到80%。

初步应用正在跟相关企业对接。

■ 知识产权情况

计划在项目实施过程中申请专利2项。

■ 应用前景

该技术可应用于小型的有机固废处置。目前的应用对象包含高速服务区垃圾处理、自产微量固废的企业。以某省高速集团下辖130多个高速服务区计，每个服务区配置1套装置，可形成3亿以上的产值，减排CO₂约46470吨/年。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

52 CRH-T 低阶煤多效提质技术及装备

项目负责人：褚腊林

技术联络人：秦建光、张国华

联系方式：0532-80662635/2763

电子邮箱：qinjg/zhanggh@qibebt.ac.cn

关键词：低阶煤、提质

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

低阶煤一体化综合提质技术（以下简称“CHT提质技术”）通过水热耦合轻度热解工艺模拟地幔成煤条件快速提升低阶煤的煤化程度。CHT提质技术首先以4-5MPa蒸汽为动力，使低阶煤中的水以液态形式从毛细孔道中挤出，实现低阶煤非蒸发脱水、脱灰、脱氧及初级缩聚；将非蒸发脱水与热能梯度利用技术相结合，实现节能化低阶煤“四脱”（脱水/灰/硫/氧）初级提质。低阶煤再经轻度热解技术脱除活性官能团和亲水官能团，有效减少低阶煤的反应活性和亲水性，同时低阶煤发生缩聚提升密度和硬度，实现低阶煤“四防”（防自燃/回潮/粉化/堵塞）深度综合提质。经过“四脱四防”综合提质后，低阶煤的煤化程度明显提高，主要指标均接近优质烟煤。



工艺路线简图

CHT提质技术解决了既往非蒸发提质技术中反应器堵塞、运输粉尘多、成品易自燃等方面存在的问题。“四脱”提质的核心设备-高压脱水反应器采用高效蒸汽分布器、柔性辅助出料、新型气液分离器等专利技术，保证反应器汽、液、固分离可靠，出料通畅。“四防”提质产生的副产品（煤气和焦油）可根据项目需要用于系统自供热（电）或产品外供。脱除的低阶煤水分经亚临界氧化技术处理后，可以实现废水零排放。

性能指标：

非蒸发脱水提质过程能耗低（约为气流干燥工艺的1/4），无空气或烟气传热载体，安全生产、环境保护和产成品品质显著提升，水热脱水后低阶煤平均水分<8%。主产品提质低阶煤为块状，热值较原低阶煤提升约60%，体积缩小20%以上，成品主要指标均接近优质烟煤，热值可达5000 kcal/kg以上。提质低阶煤能效与烟煤相近，与使用低阶煤原煤相比，提质低阶煤作为动力煤可节约低阶煤资源30%左右，用户运输量减半。

■ 项目阶段与进展

CHT提质及主要配套技术经过多年研发，现已完成百吨级低阶煤中试验证、十万吨级快速卸料模拟试验及技术工艺包设计，为低阶煤的规模化、高值化利用提供了坚实的科学基础和技术储备，可进入十万吨级中试及工程示范阶段。



百吨级低阶煤提质中试装置

十万吨级快速卸料装置

■ 应用前景

CHT提质技术有望为低阶煤清洁高效利用，大幅度减少碳排放，开创一个先进的技术路线，市场前景广阔。提质后的低阶煤不仅是优质的动力煤，还适合作为水煤浆、粉（块）煤气化、高炉喷吹等煤化工用煤，可以与航天炉、清华炉、鲁奇炉等气化炉配合开展煤化工项目。

此外，对于低阶煤提质副产的高阶煤气，研究所还开发了合成气生物转化制备燃料乙醇技术和30MW燃气轮机煤气发电机组成套设备技术，合成气制乙醇技术可将低阶煤提质过程中产生的煤气转化为燃料乙醇和饲料蛋白，燃气轮机发电技术可将煤气转化成电力和工业蒸汽，实现副产煤气的高效利用。

■ 合作方式

技术许可/转让等

53 高效“酯化-转酯化”制备一代生物柴油工艺技术

项目负责人：李广慈

技术联络人：陈磊

联系方式：0532-80662757

电子邮箱：lixb@qibebt.ac.cn

关键词：生物柴油、地沟油

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

该项目以地沟油等废弃油脂及其他植物油为原料进行生物柴油生产，具有工艺简捷，运行稳定，产品优良等特点。特别对于地沟油等废弃油脂，一方面实现其资源化利用，减缓地沟油等对环境及人体健康的危害，另一方面可以大大降低生物柴油的生产成本，促进生物柴油工业的发展。

高温甘油酯化反应使油脂原料中游离脂肪酸与甘油反应生成相应的甘油酯混合物，与传统的酯化脱酸工艺相比其技术优势及创新点主要在于：

(1) 无催化剂使用，省去了酯化反应后催化剂分离的操作，直接可进行碱催化转酯化反应操作，简化了流程。

(2) 高温条件下酯化副产物水迅速从反应体系中脱离，促进了平衡的右相移动，可使原料酸值降低到极低的水平，有利于后续碱催化转酯化反应的进行。

(3) 酯化产物单一，均为甘油酯混合物（传统工艺为甘油酯和甲酯混合物），后续碱催化转酯化反应参数易于控制选择。

性能指标：

生产的生物柴油品质优良、性能稳定，符合相关国家标准。

■ 应用前景

生物柴油具有可再生、清洁和安全优势，因而对我国农业结构调整、能源安全和生态环境综合治理有十分重大的意义。我国正面临石油资源不足的挑战，进口原油占总消耗量的50%，而且随着经济的快速发展，对燃料能源的需求也会越来越大。

我国每年从餐饮业中产生的地沟油约有2000多万吨，全国每年废弃或闲置的动植物油总计在1亿吨左右，因此，生物柴油生产具有很丰富的原料资源。纵观整个工艺，甘油及甲醇等在实际生产中可以高效回收以循环利用，从而大大降低了生产成本。

■ 合作方式：

技术转让、技术入股



平度基地生物柴油中试系统

54 高品质 Pt/C 电催化剂批量制备技术

项目负责人：王光辉

技术联络人：王光辉

联系方式：0532-58782895

电子邮箱：wanggh@qibebt.ac.cn

关键词：燃料电池、Pt/C 催化剂

技术成熟度：中试 (TRL=6-7)

■ 项目简介

质子交换膜燃料电池 (Proton exchange membrane fuel cells, PEMFCs) 是氢能高效利用的重要途径, 原理就是氢与氧结合生成水, 同时将化学能转化为电能和热能, 该过程不受卡诺循环效应的限制, 理论效率可达90%以上, 而且是碳零排放的过程, 已然成为当前最具发展前景的新能源技术之一。自“十四五”新能源汽车重大科技专项启动以来, 在国家的推动下, 燃料电池技术取得了一定的进展, 但关键材料 (例如, Pt/C催化剂) 对外依赖度高, 产业化水平滞后, 总体技术水平落后于美、日、韩等国家, 严重限制了国内燃料电池商业化的推广进程。

本项目首先实现了碳载体的批量制备, 后通过温和、易于放大的工艺, 制备了活性和稳定性均优于商业Pt/C (Johnson Matthey) 的催化剂产品。该产品可应用于质子交换膜燃料电池、电解水、工业加氢等领域, 具有自主知识产权, 有效打破国际垄断控制, 解决国内Pt/C工业化生产规模小、“卡脖子”等问题, 为我国铂基催化剂工业带来新的活力, 同时也将推动PEM燃料电池在我国的工业化进程, 助力“双碳”目标的实现。

性能指标：

碳载体比表面积在200-1000m²/g范围内可调, Pt纳米颗粒尺寸在3-5nm之间, 负载量在10-60wt%范围内可调。另外, 合成工艺可以实现Pt基合金的定制, 使Pt基催化剂的比质量活性达到1A/mg@0.9V, 20000次循环后, 活性衰减<40%。

■ 项目阶段与进展

催化剂已完成百克级别的制备, 其形貌、结构等参数可控, 实现了产品批次间的稳定性控制, 未来将进一步提高产量, 并进行车用电堆的应用评价。

■ 知识产权情况

本项目从碳材料到生产到催化剂的合成工艺均为自主研发, 具有完全知识产权, 关键材料及关键工艺均已申请专利保护。

■ 应用前景

随着燃料电池技术的不断成熟，相关产品已经逐步进入商业化的应用阶段，在交通领域逐步应用于汽车、船舶、轨道交通等。截止到2020年我国累计销售氢燃料电池车3896辆，尽管在成本、耐久性等方面仍然存在短板，但整体水平已逐步与国际接轨。具体而言，PEM燃料电池随着终端应用的逐步推广，膜电极、双极板、质子交换膜等已初具国产的能力，但生产规模较小，在“双碳”的目标下燃料电池在我国发展前景十分广阔，因此高品质的Pt/C催化剂也势必具有广阔的市场前景。

■ 合作方式

共同开发、技术转让

55 质子交换膜燃料电池用高性能 Pt/C 催化剂技术

项目负责人：梁汉璞

技术联络人：王西龙

联系方式：0532-80662638

电子邮箱：lianghp@qibebt.ac.cn

关键词：氢能、燃料电池

技术成熟度：小试

■ 项目简介

质子交换膜燃料电池（Proton exchange membrane fuel cells, PEMFCs），是一种将燃料（H₂）和氧化剂（O₂）中的化学能通过电极反应直接转化为电能的发电装置，其具有能量效率高、功率密度大、无腐蚀和环境污染等诸多优势，已然成为当前最具发展前景的新能源技术之一。现阶段 PEMFCs 商业化应用仍然面临诸多问题，比较突出的是电池阴极的氧气还原反应动力学反应速率缓慢，极化过电位大造成了电池输出功率和效率的大幅降低。贵金属铂是目前应用最广泛也是最有效的氧还原催化剂，但其价格昂贵、利用率低和稳定性差的短板严重限制了燃料电池的商业化推广进程，同时优异Pt/C催化剂的制造技术迄今还掌握在国外先进国家手中。

本项目通过温和、简易的构筑方法，制得了氧还原催化活性和稳定性均显著优于商业Pt/C的商品化铂基氧还原催化剂产品。产品可应用于质子交换膜燃料电池、电催化析氢等领域，形成自主知识产权，打破国际垄断控制，为国产铂基电催化剂工业带来广阔的市场和显著的经济效益，同时也将推动质子交换膜燃料电池在我国的工业化进程，解决能源危机。

性能指标：

本项目生产的铂基催化剂具有比质量活性为0.50 A/mgPt@0.9V，耐久性0.6~1.1 V ≥15000次循环，活性衰减≤40%的性能指标。

■ 项目阶段与进展

催化剂实现了实验室小批量试制，形貌、结构和性能可以得到很好地控制和重复合成，后期考虑中试合成评价及在燃料电池中的应用前景评价。

■ 知识产权情况

申请国家发明专利过程中

■ 应用前景

氢燃料电池属于国家重点发展的战略性新兴产业，但还处于起步阶段，当前燃料电池汽车推广运营规模小，参与企业不多，核心材料如质子交换膜、催化剂等仍需进口。2020年9月，

五部门发布了《关于开展燃料电池汽车示范应用的通知》，该《通知》明确了支持燃料电池汽车关键核心技术突破和产业化应用，提出争取用4年左右时间，逐步实现关键核心技术突破，构建完整的燃料电池汽车产业链，为燃料电池汽车规模化产业化发展奠定坚实基础，因此燃料电池在中国乃至世界的发展前景均十分广阔，优异的催化剂产品也必定具有广阔的市场前景。

本项目的实施，可以实现对现阶段市场上广泛销售的国外Pt/C催化剂的国产化替代，能够为燃料电池国产化进程提供一种很好地催化剂选择，因此该项目成果有着广阔的市场前景和巨大的经济效益。

■ 合作方式

共同开发、技术转让

56 能源大数据系统建设与应用平台

项目负责人： 田亚峻

技术联络人： 王娜娜

联系方式： 0532-80662790

电子邮箱： tianyajun@qibebt.ac.cn

关键词： 数据管理 数据空间化

技术成熟度： 开发研究/中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

能源大数据系统建设与应用平台是一个基于空间管理能源大数据，并支持科学研究和应用开发的技术平台。通过在线编辑、数据导入、接口推送等统一管理各项目数据及权限，通过简单配置实现地理信息数据可视化。云数据库+丰富的配置项+通用后台接口，支撑面向配置的二次开发，大幅降低项目开发成本。



图1 能源大数据系统建设与应用平台

性能指标：

- 无需部署数据库，直接通过在线数据中台管理数据
- 主数据库mongo，同时支持同步到postgis和ElasticSearch.甚至同步到其它系统
- 丰富、通用的HTTP协议数据交换接口,支持精细的权限控制
- 实用的地理空间数据编辑器，支持点、线、面的在线编辑及导入(支持csv,xls,xlsx,geojson,geojsonl,shp,kml七种文件格式)。
- 自由配置空间数据可视化分析图层
- 灵活配置数据结构、数据录入表单、数据校验规则等，更好地支持“面向配置”的前端页面开发
- 通用、独立的小应用组件库



图2 六大功能特征

■ 项目阶段与进展

基于能源大数据系统建设与应用平台，已建成泛能源大数据互联互通系统，实现了能源的生产、输配、转化、消费等环节的时空数据展示，可为开展泛能源大数据的关联、抽提和分析提供支持。系统具备数据聚合、热力图、网格图、覆盖区域和空间聚类等空间属性，系统支持地图上测距、测面积、自主画圆、任意绘制区域、行政区域数据抽提等功能，并根据权限，可实现地图导出。



图3 泛能源大数据互联互通系统

■ 知识产权情况

该项目已申请软件著作权

■ 应用前景

应用于能源领域，推动产业发展创新，为能源开发、消费和规划提供数据服务，尤其是能源的生产、输配、转化、消费等环节的时空数据，为支持科学研究与具体应用，提供能源状况判别及预测。对能源规划、综合能源决策、跨部门协同管理、个性化的公众信息服务等需求提供服务。

■ 合作方式

技术许可/转让等

57 基于空间的生命周期评价 (GIS-LCA) 技术

项目负责人: 田亚峻

技术联络人: 王娜娜

联系方式: 0532-80662790

电子邮箱: tianyajun @qibebt.ac.cn

关键词: 数据管理 数据空间化

技术成熟度: 中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

空间的生命周期评价 (GIS-LCA) 技术提高了生命周期清单数据(LCI)的空间分辨率和生命周期影响评价(LCIA)的靶向性, 突破了LCA方法的局限性, 更好地识别和绘制对环境影响的空间特征。GIS-LCA方法论, 创建了GIS与LCA全面融合技术, 并完成了实验验证, 显著改善分析结果、评价的准确性、精确性; 该融合技术实现了产品-企业-园区-区域等多尺度兼容, 在选择目标对象、边界定义和影响评价等方面具备适应性和灵活性, 建模效率提高约40%, 能适合我国空间异质性特征突出的国情, 可为碳足迹、环境影响等精细化管理、精准化治理提供技术支撑, 为“双碳”战略实施奠定基础。

性能指标:

- 空间化数据挖掘、空间度量与空间网格分析功能建立地理参考系统
- 空间上集成技术系统、环境系统与社会系统
- 建立空间化的数据清单

■ 项目阶段与进展

本项目的GIS-LCA首次建立了具有通用性的GIS-LCA方法论框架和技术, 并通过“GIS-LCA技术”科技成果评价会, 评价委员会一致认为该成果技术难度大, 创新性强, 取得了良好的经济效益和社会效益, 整体达到了国际领先水平。

■ 知识产权情况

该项目已申请软件著作权和专利

■ 应用前景

GIS-LCA方法适用于任何目标的全生命周期碳足迹, 具有通用性, 还可拓展于环境足迹、水足迹等其他足迹的精确核算以及不同足迹的关联分析。GIS-LCA方法可助力政府、区域、产业、行业、企业、产品、服务、金融、交易等开展碳足迹精细化管理与标识、识别碳减排责任以及制定碳减排策略等, 为我国乃至全球碳达峰、碳中和研究与行动部署提供科学的理论与方法支撑。

■ 合作方式

技术许可、技术服务等

58 基于空间的生命周期评价 (GIS-LCA) 平台

项目负责人：田亚峻

技术联络人：王娜娜

联系方式：0532-80662790

电子邮箱：tianyajun @qibebt.ac.cn

关键词：数据管理 数据空间化

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

GIS-LCA是基本流数据和相应的特征化因子进行空间映射与乘积计算，反映空间分布的环境影响信息的技术平台，突破了传统LCA识别环境足迹空间特征的准确性、效率和通用性方面的固有局限性。GIS-LCA框架中，地理信息模块与传统LCA框架的四个模块（目标和范围定义、清单分析、影响评价和解释）有机耦合，通过在清单分析模块中嵌入研究团队开发的多流多节点 (MFMN) 模型，建立生命周期链条的空间物质/能量平衡矩阵以及对应的空间碳足迹流平衡矩阵，可高效、准确地实现生命周期数据的空间化关联与聚合。



图1 GIS-LCA 生命周期评价技术与工具平台

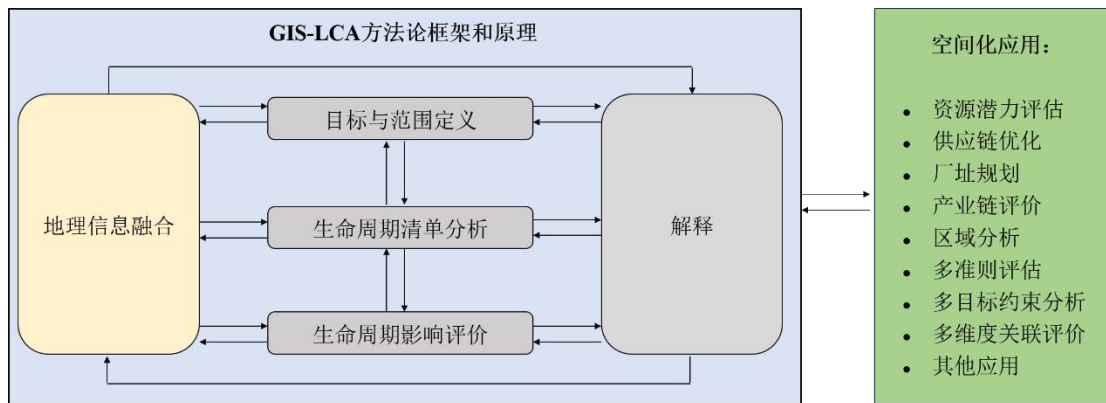


图 2 GIS-LCA 方法论框架和原理

性能指标:

- 响应时间 < 500ms
- 允许多用户同时在线操作
- 支持并发量超过200
- 流数据支持1百万条以上
- 过程数据支持1百万条以上
- 页面加载速度小于3s
- exchange数据支持1亿条

■ 项目阶段与进展

平台主要功能已开发完成，目前处于项目优化阶段。

■ 知识产权情况

该项目已申请软件著作权和专利

■ 应用前景

应用于产品、企业、园区、城市等层面碳足迹核算，推动产业发展创新，精确实现产品绿色设计与评价、产品环境足迹和碳足迹核算；通过物质流、能量流、信息流、价值流，反应一个园区/城市的四流一体模型，通过调整物质流和能量流实现园区/城市的智慧治理，打造智慧园区/城市。对企业的绿色供应链优化、园区综合能源决策、碳减排管理等需求提供服务。

■ 合作方式

技术许可、技术服务等

59 有机氯副产物催化分解技术

项目负责人：安增建

技术联络人：安增建

联系方式：15092254236

电子邮箱：anzj@qibebt.ac.cn

关键词：有机氯 副产物 分解

技术成熟度：小试

■ 项目简介

氯化工生产过程经常伴随过氯代副产物，比如氯丙烯制备过程副产的各种过氯代产物（俗称：D,D-混剂），这些物质不但化学性质稳定，且伴随刺激性气味，附加值低，处理难度高，污染环境并存在安全隐患。采用焚化工艺设备投入大，运行费用高，并伴随废酸产生。采用催化分解技术可以实现有机氯废弃物的高效分解，设备体积小、效率高，运行费用低，可以有效克服现有焚化技术存在的问题，实现有机氯副产物的清洁处理。

性能指标：

以氯丙烯工艺副产的D,D-混剂为处理对象，在常压、固定床反应器中可以在常压、低温（约300℃）的反应条件下实现D,D-混剂的有效分解，单程转化率97%左右。与现有的焚烧法相比，工艺简单、无安全隐患，几乎无三废污染。另外，催化剂制成本低廉，活性高，可以为有机氯副产物的回收处理提供一条经济环保的技术路线。

■ 项目阶段与进展

工艺路线已打通，小试实验已完成。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权

■ 应用前景

有机氯副产物是氯化工生产过程中难以避免的过度氯代副产品，量大且处理困难。以D,D-混剂为例，丙烯氯化法生产3-氯丙烯过程中，3-氯丙烯的收率一般在80%左右，而副产物D,D-混剂约20%。2022年，国内仅D,D-混剂产量已超过50万吨，其它氯化工行业伴生的有机氯副产物高达百万吨，这些副产物消化处理成为企业难题，不但造成资源浪费和环保压力，安全隐患也不容忽视。因此，有机氯副产物处理已成为很多氯化工企业面临的紧迫问题。

本技术在常压、固定床反应器中，以有机氯副产物为处理对象，在催化剂作用下可以实现有效分解处理，从根本上解决了有机氯副产物处理问题，是一条清洁合成路线。

■ 合作方式

技术许可/转让等

60 氯化氢混合气的分离纯化技术

项目负责人：安增建

技术联络人：安增建

联系方式：15092254236

电子邮箱：anzj@qibebt.ac.cn

关键词：氯化氢 混合气 分离 纯化

技术成熟度：中试

■ 项目简介

氯气是重要的基础原料，但其使用过程中会伴产氯化氢副产物，且产生的氯化氢都含有一定量杂质或原料。由于缺乏有效的处理手段，多数企业采用水吸收制盐酸或碱中和的方式进行处理。随着环保要求日益严格，现有工艺不但成本高，且难以处理大量废酸，氯化氢的处理问题已成为行业共性难题。本技术采用具有选择吸附功能的吸附材料，可以在常压、室温条件下，实现氯化氢从混合气体中的分离及纯化，并结合催化氧化技术可以将氯化氢转化为氯气，实现氯气资源的闭合循环，避免废盐酸的处理问题，实现氯资源的情节利用。可以处理的氯化氢混合气包括：氯化氢-丙烯，氯化氢-乙烷，氯化氢-氟化氢，氯化氢-五氟化磷，氯化氢-硫化氢等各种体系。

性能指标：

本技术以丙烯-氯化氢的混合气为原料，在常压、常温条件下可以实现丙烯与氯化氢的完全分离，丙烯分离后纯度约99.5%，可以实现直接循环套用，分离后氯化氢在常压、380°C条件下经催化氧化反应转变为氯气，单程转化率可达80%以上。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权

■ 应用前景

氯化氢尾气是常见的化工产物，危险性高，附加值低，处理费用高。2022年，国内废盐酸产量已达1200万吨以上，庞大的产量对资源和环境造成巨大压力，已成为制约行业发展的核心技术。实现氯化氢气体的有效分离，并转变为化工循环使用的氯气，是行业发展的迫切需要，应用潜力巨大。

■ 合作方式

技术许可/转让等

61 多级仿真干式厌氧发酵项目

项目负责人：郭荣波

技术联络人：郭荣波

联系方式：13791936409

电子邮箱：guorb@qibebt.ac.cn

关键词：多级、厌氧发酵、沼氣/生物天然气、复杂生物质

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

项目属于沼氣（生物天然气）工程技术。沼氣技术的核心是厌氧发酵，厌氧发酵是一个多种微生物参与的生物化学过程，按照厌氧发酵的一般理论，生物质首先被水解菌水解为大分子有机物，进而被产酸菌分解为小分子有机酸，继而被产乙酸菌转化为分子量更小的乙酸，最后由产甲烷菌分解为甲烷和二氧化碳。目前国内外行业内，普遍采用全混式单级（单相）厌氧发酵反应器技术，生物质的全部降解过程均发生在同一反应器中，发酵效率低，发酵周期长达几十天，从而限制了工程的经济效益。常规沼氣厌氧发酵体系可看做一个混沌的“黑箱”体系，不同功能的微生物在同一个密闭空间进行不同的生物反应过程。然而不同功能微生物有其各自最优的生长条件，在同一个密闭空间中各种微生物难以处于各自最优生长条件，相互之间也存在一定干扰，缺乏“秩序”，从而限制了厌氧发酵效率及稳定性。从厌氧发酵的阶段理论出发，本项目开发出了多级仿真干式厌氧发酵技术，在充分解析各种厌氧微生物的功能和生理特点的基础上，模拟多级发酵原理，通过发酵反应器的特殊结构设计，以及微生物驯化和生物强化，将厌氧发酵分割成几个不同发酵阶段的发酵单元，不同功能阶段的微生物富集于最适宜的生长条件下，从而发展出高效快速的多级仿真干式厌氧发酵技术，大幅提升厌氧发酵整体效率和稳定性，并可以根据不同物料和不同发酵条件对发酵效率的影响，可以便捷地确认发酵级数。另外，通过多级发酵，不同物料各自的发酵限速步骤也得以在不同发酵单元中提速，从而可以实现多元发酵物料的高速、稳定一体化处理。

性能指标：

该技术适用于各种复杂生物质废弃物，并可实现复杂物料的无分选一体化进料和高效处理，突破了传统沼氣技术的原料限制；发酵工艺采用干式发酵，发酵浓度达到25%以上，容积产气率达3.5 v/v·d以上；物料产气率达500m³/t干物质以上；模块化的反应器结构可以灵活调整工程规模和搅拌工艺，便于灵活推广；整体技术指标实际已处于国内外领先水平。

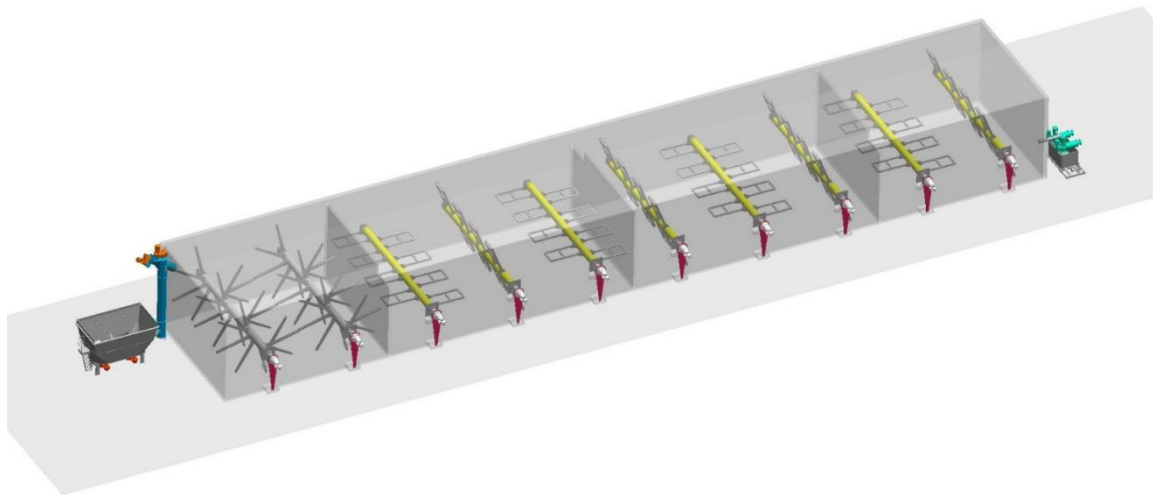


图1 多级仿真干式厌氧发酵反应器

■ 项目阶段与进展

目前项目已完成中试研发，研制出了50m³中试反应器，并与中广核环保产业有限公司合作，进行了中试产业化运行验证，物料产气率达500m³/t干物质以上，容积产气率达3.5v/v·d以上，综合运行水平已处于国内外领先水平，同时，本项目已规划建设规模化产业示范工程。



图2 多级仿真干式厌氧发酵中试现场

■ 知识产权情况

已授权专利4件，正申请专利1件。（与该技术相关的专利、软著或技术秘密等情况）

■ 应用前景

基于本项目的技术先进性和易推广性，本项目可为农业农村区域各种生物质废弃物、各种应用场景提供普适性、革命性的全链条技术和装备解决方案，推动我国生物天然气产业快速普及和高质量发展。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

62 液体有机物储氢项目

项目负责人：王建军

技术联络人：张国华

联系方式：80662636

电子邮箱：wangjj@qibebt.ac.cn

关键词：液体有机物、甲基环己烷、脱氢催化剂 **技术成熟度：**中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

项目针对工业用氢在储运环节的规模化、稳定化、低成本、跨时空等需求，充分发挥山东氯碱副产氢、有机液体（甲苯）的资源优势，选择LOHC技术中的“甲苯 \rightleftharpoons 甲基环己烷”路线，针对该储氢体系产业化应用中MCH脱氢成本较高的关键问题，开展复合载体型镍基双金属催化剂的脱氢活性研究，考察载体表面修饰和活性金属化学状态的调控机制并实现批量制备；自主设计和应用高效脱氢反应器，解决MCH脱氢速率快、脱氢程度高、副反应要求高等问题；搭建30Nm³/h氢气储脱量的中试验证装置，通过调试与工艺优化为MCH高效脱氢工艺放大提供设计依据；在已有万吨级甲苯加氢装置的基础上，联合示范方开展千吨级MCH脱氢（300Nm³/h氢气储脱量）的项目，建设全国首台套跨地域长距离储运氢示范工程。同时，针对可再生能源配储的电解制氢难以就近建设合成氨、合成甲醇等化工项目的政策壁垒，开发基于电催化反应原理的MCH储氢原型装置，探索解决绿氢消纳和储运的新路径。

性能指标：

MCH转化效率 $\geq 95\%$ ，脱氢电耗 $\leq 12\text{kWh/kg}\cdot\text{H}_2$ ，脱氢催化剂单程寿命 $\geq 7000\text{h}$

■ 项目阶段与进展

已完成小试，正联合相关高校和企业开展中试验证

■ 知识产权情况

形成发明专利及工艺包8项

■ 应用前景

副产氢高价值利用、精细化工氢气供应、绿电制氢储运消纳、中日MCH氢能供应链

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

63 面向能源和化工检测质谱仪器开发项目

项目负责人: 孙晓岩

技术联络人: 吕丁丁

联系方式: 0532-58568211

电子邮箱: sunxy@qibebt.ac.cn

关键词: 能源、生物、质谱仪

技术成熟度: 研发阶段 (TRL=5-6)

■ 项目简介

质谱分析方法是国际公认的分析标准中不可或缺的重要组成部分。四极杆和离子阱质谱技术可以选择性地传递特定质荷比的离子，实现离子的分离和检测，可以在不同的工作模式下运行，如单杆质谱、多杆质谱、串联四极杆质谱等，以适应不同的分析需求，可以广泛应用于催化反应，工业合成等领域。目前此类四极杆质谱大多数产品为外国公司垄断，自主开发针对不同应用场景所需的国产四极杆质谱仪器具有广阔的市场应用前景。我们根据国内外质谱仪开发的研究基础，开发了具有自主知识产权的离子源和四极杆质量分析器。并且由于四极杆具有高灵敏度，可以检测样品中的微量物质，达到毫克到纳克的范围内，是痕量、多元素分析的最佳技术，广泛应用于地球科学、环境科学、生命科学、材料科学、半导体工业以及公安侦探等领域。

性能指标:

分辨率1000-2000，灵敏度fg级别，质量范围50-2000 amu，扫描速度15000 amu/s。

■ 项目阶段与进展

目前已经自主研发多套质谱仪，包括多离子源-四极杆质谱，激光溅射超声分子束源-飞行时间质谱、基于电喷雾的离子阱质谱装置等。目前正在进一步开发超高分辨率质谱仪。

■ 知识产权情况

获得论文5-10篇，专利5-10个。

■ 应用前景

质谱技术具有分辨率和灵敏度高、响应速度快、定性能力强，以及通用性好等优点，在化工、环境、食品等众多领域得到了广泛应用。四极杆质谱可以用电喷雾ESI源，大气压化学电离APCI等离子源，针对不同体系选用不同的离子源，结合四极杆或离子阱质谱灵敏度高，工作模式丰富等优势，在催化反应监控或者工业污染物检测有着广泛的应用前景。

■ 合作方式

共同开发、技术许可

64 可见波段有机光电探测器

项目负责人： 包西昌

技术联络人： 包西昌

联系方式： 18963021560

电子邮箱： baexc@qibebt.ac.cn

关键词： 有机光电探测器、探测成像

技术成熟度： TRL=6-7

■ 项目简介

光电探测器广泛应用于军事和国民经济领域，例如成像、遥感、通信和医疗监测等。相较于传统无机探测器，有机光电探测器具有（1）可溶液加工，（2）成本低，（3）可集成柔性穿戴电子器件，（4）探测波长范围可调等优点，具有极大的发展潜力和应用前景。本项目基于经典光敏材料，设计开发了新型PIN结构有机光电探测器，能够实现超低噪声电流和高响应度，探测能力媲美于商业化的硅探测器。目前正基于材料性质和器件性能，正积极推进推动宽光谱响应材料和器件、大面阵成像器件的开发。

性能指标：

400-700 nm的可见光范围响应 $>0.3 \text{ A/W}$

探测器的暗电流密度 $< 10^{-10} \text{ A cm}^{-2}$,

器件的探测率 $> 10^{14} \text{ Jones}$

■ 项目阶段与进展

本项目已完成了高探测率的有机光电探测器设计与样品制备，实现了可见光范围内媲美传统硅探测器的探测性能。

■ 知识产权情况

已申请相关专利

■ 应用前景

在低成本可视化探测成像技术、生物医疗监测等领域具有潜在优势

■ 合作方式

共同开发、技术转让

65 高性能丙烯酸酯弹性体合成关键技术

项目负责人：王庆刚

技术联络人：王亮

联系方式：0532-80662754

电子邮箱：wangliang@qibebt.ac.cn

关键词：丙烯酸酯弹性体、合成技术

技术成熟度：中试放大研究 (TRL=4-5)

■ 项目简介

高性能丙烯酸酯弹性体是由丙烯酸酯类单体通过嵌段聚合制备的一种高性能热塑性弹性体材料，具有优异的透光性、耐候性和抗氧化性，是国际上公认的“第五代合成橡胶”，在航空航天、国防军工和汽车零部件等领域需求明确。中国市场约为5万吨/年，售价>8万元/吨，且市场份额正在迅速增长。目前全球高性能丙烯酸酯弹性体被日本可乐丽公司一家垄断，是国家潜在的“卡脖子”技术材料之一。

性能指标：

高性能丙烯酸酯热塑性弹性体的分子量在5万-15万g/mol，分子量分布在1.1-1.6；300%定伸强度 (MPa)：≥2.00，拉伸强度 (MPa)：≥5.00；聚合总成本小于5000元/吨。

■ 项目进展

发展具有自主知识产权的高性能丙烯酸酯热塑性弹性体高效合成方法与技术，实现其微观结构精准调控构筑，完成高性能丙烯酸酯热塑性弹性体的小试技术放大验证，产品性能与国外进口产品基本持平，正在进行高性能丙烯酸酯热塑性弹性体的中试放大技术研究。

■ 知识产权情况

具有独立完整的自主知识产权

■ 应用前景

该技术有望打破国外对高性能丙烯酸酯弹性体的技术封锁，促进化工材料产业转型升级，服务国家“双碳”战略工业流程再造实施，有望创造一项数百亿元/年的弹性体新材料产业链。

■ 合作方式

生产技术：技术许可/共同开发

66 氢化丁腈橡胶生产技术

项目负责人：王庆刚

技术联络人：王亮

联系方式：0532-80662754

电子邮箱：wangliang@qibebt.ac.cn

关键词：氢化丁腈橡胶、应用技术

技术成熟度：中试放大示范 (TRL=4-5)

■ 项目简介

氢化丁腈橡胶是对丁腈橡胶选择性加氢得到的一种高度饱和的弹性体橡胶，其具有优异的耐油、耐高温、抗氧化等特性，是最好的高温密封材料之一，在航空航天、国防军工等领域需求明确。氢化丁腈在中国市场需求约为3.0千吨/年，市场规模1.0亿美元以上，且年需求量以15%的速度迅速增长。但我国氢化丁腈橡胶几乎被日本瑞翁和阿朗新科两家公司完全垄断，是国家“卡脖子”技术材料。

性能指标：

溶聚氢化丁腈橡胶的分子量在5万-15万之间可调控，丙烯腈的插入率在10-45%之间可调控；氢化度>90%；催化聚合全成本4000元/吨。

■ 项目进展

发展具有自主知识产权的类交替氢化丁腈橡胶高效制备方法与技术，实现其微观结构和氢化度精准调控；解决从实验室技术到工程化小试技术的若干匹配问题，完成类交替氢化丁腈橡胶弹性体的小试技术放大验证，正在进行中试放大和百吨级工艺软件包编制研究。

■ 知识产权情况

具有独立自主的完整知识产权。

■ 应用前景

对标目前10亿元/年、被国外垄断的国内氢化丁腈橡胶市场，发展自主知识产权的类交替氢化丁腈橡胶高效合成方法和技术，不仅可以促进化工材料产业转型升级，服务国家“双碳”战略工业流程再造实施，同时也有望创造一项数十亿元/年的橡胶新材料产业。

■ 合作方式

技术许可、合作研究

67 聚酯材料循环利用技术

项目负责人：王庆刚

技术联络人：徐广强

联系方式：0532-80662754

电子邮箱：xu_gq@qibebt.ac.cn

关键词：聚酯塑料、循环利用、降解

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=4)

■ 项目简介

随着塑料循环经济的不断推进，“塑料禁令”的呼声不断高涨，材料行业的可持续发展面临新的挑战。同时，废旧塑料的回收利用是碳减排的重要路径之一，同时兼具污染物减排的协同效益，无疑是实现碳达峰和碳中和不可或缺的方式。本技术可以在温和条件下实现聚酯废弃物材料定向解聚、分级醇解及再聚合等回收利用，显著降低聚酯材料的生产成本，具有重要的工业化应用前景。

性能指标：

高效温和实现了PET、PLA、PBAT、PBS、PCL和PC等多种聚酯废弃物材料的解聚和再聚合，小分子和再聚合材料均满足应用要求。

■ 项目阶段与进展

完成了实验室技术和小试技术突破，正在进行中试放大关键技术研究，拟进行技术许可或者合作研究。

■ 知识产权情况

独立自主的完整知识产权。

■ 应用前景

该技术可以使国家塑料废弃物资源化能源化利用比例大幅提升，聚酯材料的生产成本显著下降，城市塑料垃圾填埋量大幅降低，塑料污染得到有效控制，具有很好的经济社会效益，为可持续发展的国家重大需求提供支持。

■ 合作方式

技术许可、合作研究

68 高性能中空纤维 CO₂ 分离膜及沼气纯化工工艺开发

项目负责人：江河清

技术联络人：江河清

联系方式：0532-80662716

电子邮箱：jianghq@qibebt.ac.cn

关键词：分离膜、沼气、中空纤维膜

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

作为我国生态能源结构的重要组成部分，沼气经纯化后即为生物燃气是代表性的双向清洁过程。沼气的主要成分是甲烷(CH₄, 55%~65%)和二氧化碳(CO₂, 30%~40%)，CO₂作为沼气的伴生气必须进行脱除。与传统分离方法相比，膜分离技术具有设备体积小、能耗低、操作维修便捷、模块化、易撬装等优点，更为重要的是膜分离技术容易规模化放大，且分离过程中无需添加额外的有害化学物质。但目前沼气纯化膜、膜组件及相关分离工艺主要从国外进口。

开发了新型中空纤维CO₂分离膜及沼气纯化工工艺，经分离后所获得的产品气甲烷浓度不低于95%，甲烷回收率不低于92%。与传统纯化方法相比，所开发的膜分离技术无需大量水或化学吸收剂，操作压力低，对外部环境依赖度低。此外，膜分离装置为模块化撬装系统，在气源枯竭或需要另外选址时，容易搬迁移动。

性能指标：

以进料组成为54%CH₄、44.7%CO₂、0.3%O₂、1%N₂的垃圾填埋场沼气为例，经过2级膜处理后，甲烷浓度可以达到96.4%，CO₂、O₂、N₂含量则分别降低到1.62%、0.19%、0.76%，完全符合车用压缩天然气或管网天然气的技术指标。

■ 项目阶段与进展

目前已形成沼气纯化用分离膜的专利技术；建立一套沼气纯化性能评价系统已运行1年；所开发的中空纤维膜在沼气纯化模拟气环境中，单级膜工况下，产品气的甲烷纯度可高达98%，符合车用压缩天然气或管网天然气的技术指标。

■ 应用前景

以产沼气 400Nm³/h 的垃圾填埋场为例，进行投资预算及效益分析：（1）工程规模：每天产沼气体积为：9600 Nm³/d，纯化后压缩天然气（CNG）为：5520 Nm³/d （2）投资预算及效益分析：见右图

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

序号	项目	单价	
1	投资成本		
1.1	前处理单元	132	万元
1.2	膜组件	83	万元
1.3	CNG 压缩机	70	万元
1.4	CNG 储气瓶组	40	万元
1.5	仪表及控制、电气、安装及其他费用等	250	万元
	合计	575	万元
2	操作成本 (操作时间 8000h/a)		
2.1	脱硫剂	2.25	万元/年
2.2	沼气压缩机	35.84	万元/年
2.3	空冷器风机	2.24	万元/年
2.4	膜组件更换费用	16.5	万元/年
2.5	CNG 压缩机	16.8	万元/年
2.6	设备折旧	41.5	万元/年
2.7	人员费用	50	万元/年
2.8	合计	165	万元/年
2.9	操作成本/Nm ³ 原料气	0.52	元
3	回收价值		
	CNG	552	万元/年
	(230 Nm ³ /h, 3 元/m ³)		
4	年利润	386.88	万元
5	投资回收期	1.5	年

69 用于渗透汽化醇/水分离的分子筛膜制备及耦合分离工艺的应用开发

项目负责人：江河清

技术联络人：江河清

联系方式：0532-80662716

电子邮箱：jianghq@qibebt.ac.cn

关键词：分子筛膜、无水乙醇、渗透汽化

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

工业上用于乙醇脱水制取无水乙醇的技术主要有精馏法、吸附法和渗透汽化法。由于乙醇和水能够形成共沸混合物，用传统精馏很难将其分离，需引入第三组分进行萃取精馏或共沸精馏，能耗高，投资大，容易造成污染。变压吸附技术可以解决这一问题，但是吸附剂再生过程中能耗也较高。渗透汽化技术的出现大大简化了这一脱水过程，有效降低了能耗、减少投资、并且无需再生过程，为乙醇脱水（以及其他有机溶剂脱水过程）提供了更为经济可靠的选择。

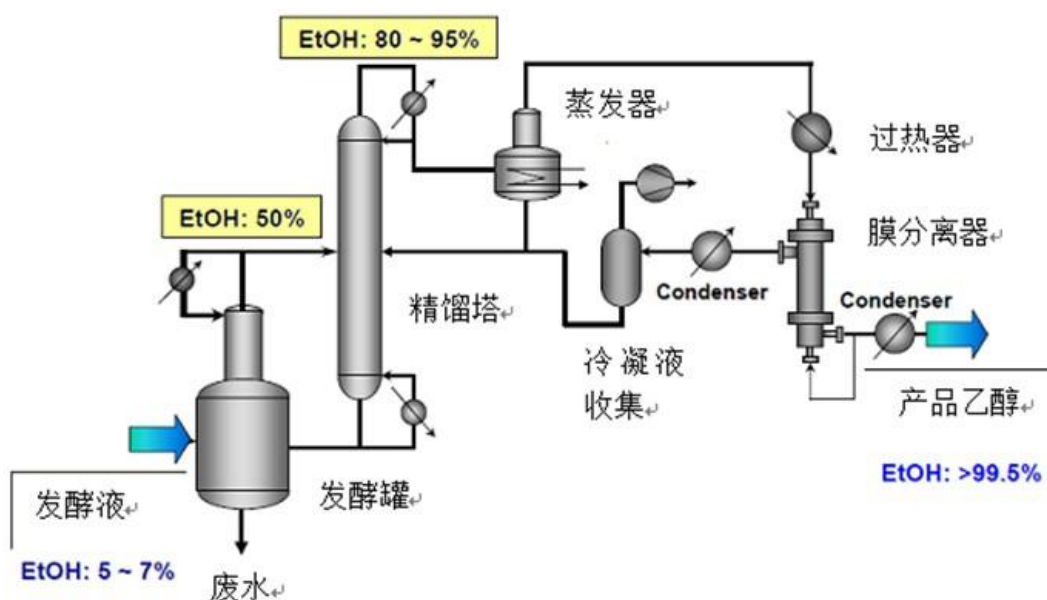


图1 分子

筛膜用于生物乙醇脱水制无水乙醇的工艺流程图

性能指标：

经耦合分离工艺生产的乙醇纯度 > 99.5%，乙醇损失率低至~1%，相较于传统精馏过程节能 50%-70%。

■ 项目阶段与进展

开发的分子筛膜具有高通量、高稳定性等优点，已成功用于渗透汽化工艺生产无水乙醇。根据客户实际需求，可定制设计整体分离解决方案并提供整体分离设备，单套设备年处理能力可达十万吨以上。相关技术、工艺和装备主要面向有机溶剂（乙醇、四氢呋喃、甲醇、NMP、二氯甲烷等）的深度脱水。

■ 应用前景

低品质有机溶剂的提浓制备电子级溶剂和高端化学试剂；
工业生产的废水、废气、废料中有价值溶剂的分离、回收、浓缩；
与生物乙醇制备技术结合，降低生产成本。

■ 合作方式

合作开发、技术许可/转让

70 陶瓷透氧膜制高纯氧技术

项目负责人：江河清

技术联络人：江河清

联系方式：0532-80662716

电子邮箱：jianghq@qibebt.ac.cn

关键词：纯氧、陶瓷透氧膜、材料、膜

技术成熟度：产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

目前工业制备氧气通常采用变压吸附和低温冷凝方法，但这两种方法存在设备成本高、耗能大等缺点。相比之下，陶瓷透氧膜制氧技术无需添加化学品，工艺简单、设备成本低、经济效益高。与深冷制氧技术相比，陶瓷透氧膜技术的制氧成本可减少约三分之一。根据氧气应用场景，陶瓷透氧膜制氧规模可通过模块化结构易调整，特别适合于医院、实验室等小规模用氧环境，提供安全、可靠、便捷、相对廉价的高纯度氧气。此外，透氧膜材料无需外加电路即可实现氧传递，传导是以晶格振动形式进行，理论上选择性为100%，可低成本一步制备超纯氧（纯度>99.999%），可用作电子气体，应用于半导体生产过程中的反应性喷镀气和化学气相沉积气等。

■ 性能指标：

陶瓷透氧膜具有氧纯度高、透氧量高、机械强度高，耐震动、韧性高，密封性好和稳定性好等特点。相对于传统制氧技术，该项新技术具有以下特点：氧气纯度范围99.99%至99.9999%，膜长度可根据实际需要制备0.2-1.0米，膜厚根据实际需要制备0.1-1.0毫米，膜机械强度大于200MPa，氧气纯度符合GB/T 14599-2008 纯氧、高纯氧和超纯氧。

■ 应用前景

2021年全球工业氧气市场规模大约为2490亿元，预计2028年将达到3837亿元，2022-2028期间年复合增长率CAGR为6.3%。气体的分销分为三种模式：管道气体、液化气体和气瓶。其中，针对小规模用氧环境的气瓶，复合年增长率约为8.2%，预计2026年将达到228亿元，年复合增长率为7.1%。

■ 合作方式

共同开发、技术转让



图1. 高纯氧制备样机

71 高性能 CO₂ 分离膜及烟气碳捕集技术开发

项目负责人：江河清

技术联络人：江河清

联系方式：0532-80662716

电子邮箱：jianghq@qibebt.ac.cn

关键词：材料、膜、碳捕集

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=7-8)

■ 项目简介

化石燃料燃烧后产生的烟道气以及水泥、化肥、冶金及炼化等过程产生的尾气，其主要成分为二氧化碳和氮气。因此烟气碳捕集技术是实现“碳中和”的重要路径之一。

与传统分离方法相比，膜分离技术具有设备体积小、能耗低、操作维修便捷、模块化、易撬装等优点，更为重要的是膜分离技术容易规模化放大，且分离过程中无需添加额外的有害化学物质。

开发了新型平板及中空纤维CO₂分离膜，其在湿气工作环境下可实现稳定运行。建立了批次稳定制膜技术以及多工艺耦合CO₂脱除工艺，形成了高效烟气碳捕集技术。CO₂捕集率≥90%，能耗≤3.2 GJ/tCO₂以下，且无溶剂耗损，解决了目前CO₂捕集高能耗、高成本的难题。

■ 知识产权情况

累计布局专利8项。

■ 应用前景

可应用于电力、钢铁、水泥、冶金、化工、印染等难减排行业尾气碳捕集，为碳减排提供节能降耗的技术路径。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

72 基于玉米秸秆制备 MOFs 器件

项目负责人：王光辉

技术联络人：李德昌

联系方式：0532-58568205

电子邮箱：lidc@qibebt.ac.cn

关键词：玉米秸秆、MOFs、吸附、催化

技术成熟度：应用研究/中试 (TRL=6-7)

■ 项目简介

金属有机框架材料(Metal-Organic Frameworks, MOFs)是一种新型多孔纳米材料,具有高比表面积、高孔隙率和易修饰改性等特点。近年来,MOFs材料在污染物吸附、多相催化、气体分离等领域中倍受关注,其性能优势和工业化应用得到了广泛论证。然而,MOFs通常是以粉末形式存在,为了便于分离回收,工业上通常会借助高压或添加粘结剂等方式,将粉末材料进行成型。这一过程会极大地影响传质和活性位点的暴露,从而抑制其本征性能的发揮。本项目以废弃的玉米秸秆为基底,制备了MOFs/秸秆成型材料,进一步开发出了一体化、可放大的MOFs/秸秆器件。器件中MOFs的种类可以根据应用要求进行调变,MOFs的含量易于调节,器件的形状和尺寸可以定制。相比于传统的MOFs成型材料,该材料具有更快的传质速率,更高的活性位暴露程度,使MOFs的本征性能得以充分发挥。

性能指标:

以承载有UiO-66的MOFs器件去除水体中的磷酸盐为例,器件中的UiO-66对P的吸附量高达 $269.7\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。连续流测试结果显示,初始P浓度为3ppm的污水以 $800\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 的高通量流过串联器件后,出水中的P浓度满足国家污水排放标准。

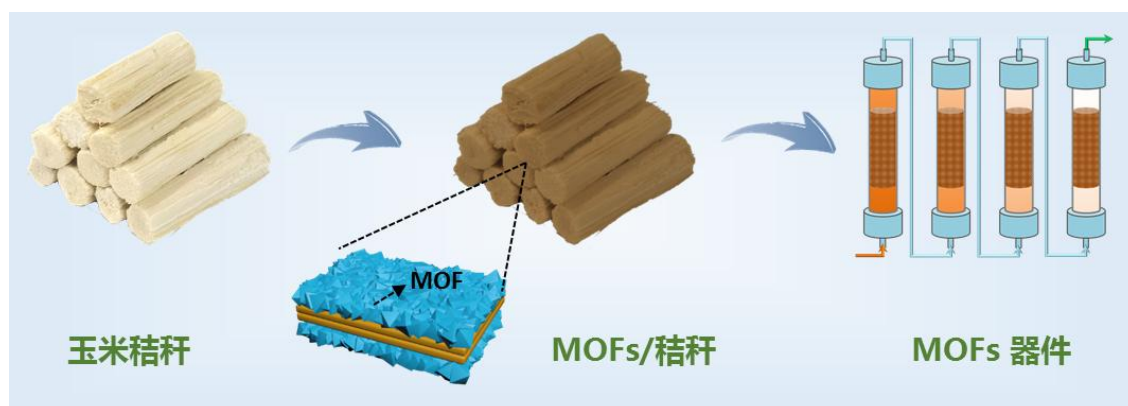


图1 MOFs/秸秆器件制备示意图

■ 项目阶段与进展

该项目已完成吸附器件的小批量制备,实现了对形貌、结构和性能的可控定制。

■ 知识产权情况

申请国家发明专利过程中

■ 应用前景

我国是一个玉米种植大国，每年会产生近3亿吨废弃玉米秸秆，其不当处理加剧了环境污染和资源浪费。对玉米秸秆进行增值利用，开展“以废治废，以废治污”不仅可以产生直接经济效益，还可以节省治污开支，故而受到政府部门的重视和政策支持。因此，以玉米秸秆为原料制备用于吸附、催化等领域的成型器件，将会有非常巨大的发展空间。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

73 限域热转化策略合成 Pd 单原子催化剂技术

项目负责人: 王光辉

技术联络人: 王光辉

联系方式: 0532-58782895

电子邮箱: wanggh@qibebt.ac.cn

关键词: 碳载 Pd 单原子、催化

技术成熟度: 完成小试 (TRL=5-6)

■ 项目简介

氮掺杂碳载金属单原子催化剂被广泛应用于多相催化、环境治理等领域。碳载体独特的物理化学性质能够实现金属单原子的高效负载，同时氮原子的掺杂可以修饰单原子的配位环境，提高催化性能。然而，在碳载单原子催化剂合成过程中，大量单原子被嵌入到碳基底或微孔孔道中，使其失去活性。另外，传统的合成方法会造成金属的流失。为了提高金属原子利用率，提高催化剂性能，同时降低合成成本，开发新的合成策略，制备具有介孔孔道的氮掺杂碳负载金属单原子催化剂具有重要意义。

本项目开发了一种限域热转化策略合成了氮掺杂介孔碳球负载的Pd单原子催化剂。此策略首先合成了以金属纳米簇为核、介孔聚合物为壳的核-壳型介孔聚合物球，随后经限域热转化过程将其转化为氮掺杂介孔碳球负载的单原子催化剂。由于金属的热转化过程发生在氮掺杂介孔碳球的内部，因此避免了金属的损失。从材料合成的角度来看，该合成过程简单易操作，具有放大生产的潜力，可以成功制备出具有高孔隙度、高氮含量的Pd单原子催化剂。所得催化剂中的介孔结构有利于反应传质和活性位点的暴露，同时丰富的氮物种可以作为锚定位点捕获和稳定金属原子。该策略具有普适性，可以合成含其他金属的氮原子催化剂。

性能指标:

催化剂单原子负载量为1wt%，N含量为9.3wt%，比表面积为 $595\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ，孔体积为 $0.46\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ ；在喹啉加氢反应中，4MPa 氢气和 140°C 下反应9h，转化率和选择性均可达到99%以上。

■ 项目阶段与进展

此项目已完成催化剂的合成、表征及放大生产，具有继续放大的潜力。

■ 知识产权情况

已申请专利保护。

■ 应用前景

单原子催化剂具有较高的原子利用效率和独特的催化性能，在多相催化领域受到了广泛的关注，被认为是多相催化和均相催化之间的桥梁。氮掺杂碳负载的单原子催化剂中，碳载体由于具有比表面积大、孔隙率大、稳定性高等优点，能够最大限度负载、分散和暴露金属原子；碳载体中掺杂N原子可以有效地调控单原子周围的配位环境，可以提高催化反应的活性、选择性和稳定性。因此在有机物降解、选择性加氢、氧化、光催化、电催化、重整反应等方面有着巨大的应用潜力。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

74 固相种晶生长策略合成 Pd 基双金属催化剂技术

项目负责人: 王光辉

技术联络人: 王光辉

联系方式: 0532-58782895

电子邮箱: wanggh@qibebt.ac.cn

关键词: 碳载 Pd 单原子、催化

技术成熟度: 完成小试 (TRL=5-6)

■ 项目简介

负载型双金属纳米催化剂是多相催化领域中一类重要的催化剂。浸渍法是制备负载型金属催化剂最常用的方法,该方法操作简单,但可控性差,得到的双金属纳米粒子尺寸较大、粒径分布广、合金程度低,从而导致催化性能差、金属利用率低。液相中的种晶生长法可以实现对双金属纳米粒子尺寸、形貌和组成的精确调控;但是,通过胶体沉积的方法将其负载到载体上时,通常会出现金属纳米颗粒分布不均匀,部分区域团聚的现象,并且金属纳米粒子与载体间的相互作用较弱,也导致催化剂的稳定性差。为了提高双金属催化剂性能,同时降低合成成本,开发新的合成策略实现负载型双金属催化剂的高效、可控制备具有重要意义。

本项目开发了一种通用的固相种晶生长策略合成Pd基双金属催化剂。此策略将液相中的种晶生长法成功运用到固相中,实现双金属在载体上的固相种晶生长。获得的负载型双金属纳米粒子尺寸均一、组成可控,在载体上分布均匀。此策略操作简易、过程简单、易于放大、同时具有普适性,可以合成包括PdAu、PdRu、PdCo、PdNi、PdZn、PdAg、PdCu等多种Pd基双金属纳米催化剂。此外,该策略得到的催化剂载体具有珊瑚状结构,易于成型,有很好的工业应用前景。

性能指标:

双金属催化剂Pd金属负载量为2.0wt%,第二元金属负载量可调,N含量为8.6wt%。在甲酸分解制氢反应中,1.5M甲酸和60°C下反应TOF值为5035h⁻¹,成型后仍可达3684h⁻¹。

■ 项目阶段与进展

此项目已完成催化剂的合成、表征及放大生产,具有继续放大的潜力。

■ 知识产权情况

已申请专利保护。

■ 应用前景

双金属催化剂是多相催化中一类重要的催化剂,通常以合金或金属间化合物等形式负载于各类载体。与对应的单金属相比,双金属催化剂可以通过调整其组成、形貌和尺寸等额外

的自由度修饰金属纳米粒子的几何结构和电子性质，进而调节催化活性和稳定性，因此在电化学、生物物质转化和产氢等催化过程等方面有着巨大的应用潜力。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

75 不饱和醛/酮加氢制备不饱和醇的工艺开发

项目负责人：王光辉

技术联络人：潘政宜

联系方式：0532-58568205

电子邮箱：panzhengyi@qibebt.ac.cn

关键词：不饱和醛/酮、加氢、不饱和醇

技术成熟度：完成小试 (TRL=5-6)

■ 项目简介

不饱和醇是生产药物、香料、染料、化妆品等精细化工产品的重要原材料。目前工业上不饱和醇的生产通常采用 NaBH_4 直接还原不饱和醛/酮的工艺得到。虽然该工艺能获得较高的不饱和醇产率，但催化剂生产成本高，且产物难分离。以 H_2 为氢源的加氢技术虽然反应速率快，但存在不饱和醇产物选择性差的问题。与 H_2 为氢源的直接加氢技术相比，以低级醇为氢源的转移加氢技术，具有不饱和醇的选择性高、产品易分离的优点，但是反应速率慢的问题一直未得到有效解决，导致生产能力低，严重制约其工业化进展。如何提高转移加氢的生产能力，是该领域亟需解决的一个问题。

本工艺以不饱和醛/酮为原料，以廉价的低级醇为氢源，在自主开发的新型催化剂作用下，实现转移加氢制备不饱和醇。该过程中，催化剂具有很高的稳定性及选择性。另外，通过与直接加氢过程进行耦合，可以极大提高不饱和醇的生产能力，且选择性始终高于98%以上。与单纯的 H_2 或低级醇为氢源的加氢技术相比，本工艺具有以下优点：反应温度低，运行过程中的能耗低；产品选择性高，不需要进一步的分离提纯，降低了产品纯化的成本；催化剂具有高稳定性，溶剂可以循环利用，进一步降低了运行成本；生产能力强，工业化应用潜力巨大。

性能指标：

利用本工艺所制备的不饱和醇产品纯度可达98%以上，可直接用作下游产品的商用原料。

■ 项目阶段与进展

本项目已经初步实现了催化剂以及加氢产品的公斤级生产，下一步需要进一步的完善放大实验的参数，形成工艺包，并寻求企业合作。

■ 知识产权情况

已申请相关专利。

■ 应用前景

不饱和醇是重要的有机化工原料，在生产树脂、合成纤维、香料、增塑剂、药物、化妆品和染料等领域具有广泛的应用价值。不饱和醇可以由不饱和醛/酮制备，且相关市场调研表明不饱和醇的市场价格往往高于相应的不饱和醛/酮。以肉桂醛为例，我国肉桂醛产量居世界首位，然而大部分却以初级品供应市场，附加值低。将肉桂醛转化为肉桂醇，是提高肉桂醛产业附加值的有效途径。另外，由石油和煤化工产生的混合C4组分，未得到有效利用，大部分被用作低品位燃料。目前，由混合C4组分生产甲基丙烯醛的工艺已实现工业化，进一步将甲基丙烯醛转化为高端有机中间体“碳四醇”，这是该产业未来发展升级的可行方向。所以，由不饱和醛/酮生产相应的不饱和醇具有十分可观的市场前景。本工艺开发的高效稳定催化剂以及耦合转移加氢和直接加氢过程，可以实现不饱和醇的高效、高选择性合成，具有广阔的产业化应用前景和经济效益。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

76 甲基烯丙基醇生产的新技术

项目负责人：徐国强

技术联络人：徐国强

联系方式：0532-80662726

电子邮箱：xugq@qibebt.ac.cn

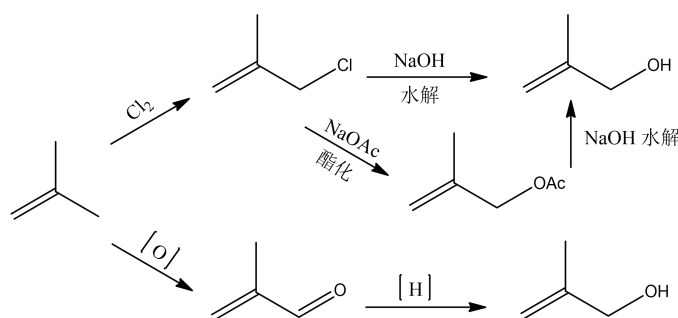
关键词：甲基烯丙基醇

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=5-6)

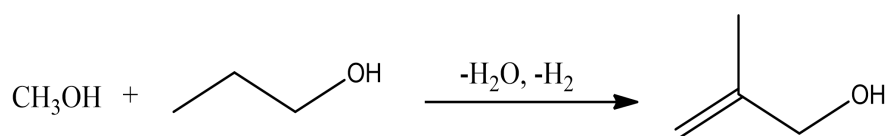
■ 项目简介

甲基烯丙基醇（异丁烯醇）是重要的有机中间体，广泛应用于聚合物单体、表面活性剂、合成树脂添加剂、聚羧酸高效减水剂、医药、农药、香精香料、涂料、食品添加剂等领域。目前国内甲基烯丙基醇大规模用于生产甲基烯丙醇聚氧乙烯醚，后者是新一代聚羧酸高效减水剂的重要原料。

现有的甲基烯丙基醇生产工艺主要采用甲基烯丙基氯的直接水解法，一般存在碱、水或者有机溶剂用量较大和回收困难等问题，生产成本低、收率低、能耗高、污染大。另外报道的酯化-水解两步法和氧化-还原两步法均存在工艺复杂，流程长，选择性低等弊端。



该新技术由甲醇和丙醇直接制得甲基烯丙基醇。



性能指标：

前期研究表明，在固定床连续反应器上，280-350 °C常压条件下反应，丙醇单程转化率高于40%；甲基烯丙基醇的选择性高于85%；其余产物主要为异丁醇和丙醛，异丁醇、甲基烯丙基醇和丙醛的总选择性高于95%。

反应速率、产物选择性等工艺指标仍可进一步优化。相比于目前的生产工艺，该项新技术的特点主要体现在：

1. 反应原料廉价易得；
2. 反应工艺简单，避免强碱或氧化剂、还原剂的使用；
3. 产物分布可由催化剂和反应条件进行调控。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让

77 快充型锂电负极材料开发技术

项目负责人： 武建飞

技术联络人： 王坤

联系方式： 0532-80662743

电子邮箱： wang_kun@qibebt.ac.cn

关键词： 快充碳负极

技术成熟度： 中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

安全性和高成本是动力锂离子电池发展的瓶颈。锂离子电池主要由正极、负极和电解质（包括隔膜）三部分组成，负极材料角度看，随着对于缩短充电时间的迫切需求，能够提供较高快充能力的人造石墨逐渐成为市场的主流，能够提供更高能量密度的硅碳材料也逐渐得到推广应用，但是无论是人造石墨或者硅碳负极材料，随着动力电池能量密度的不断提升在进一步提升快充倍率性能方面均有较大的局限性。在传统负极性能日渐不能满足动力市场需求的背景之下，软/硬碳等快充负极材料由于其特殊的储锂机理、具有优异的安全性、倍率特性、低温电化学性能而备受关注，特别是针对10C以上大电流充放电应用时。考虑到软/硬碳类负极材料其低温性能和倍率性能远优于现有石墨类负极材料，与石墨类材料混合使用可以大幅度改善石墨复合负极材料的倍率性能，但是由于制备工艺以及成本上的原因，目前只有日韩企业有相关软/硬碳等负极的制备以及应用报道，在我国还没有的得到大规模的应用，头部电池材料厂家只有相应的技术储备也没有相应的产业化商品推出。

软/硬碳等负极材料在制备过程中不需要高温石墨化处理，可以通过原料筛选及预处理工艺、造孔及表面修饰技术充分利用缺陷改善锂离子在碳材料中的快速传输性能，有望开发出兼具高容量、高首效、高倍率、低成本等突出特性的动力锂离子电池用碳负极材料。因此本项目开发出使用焦类作为原料的兼具高功率高容量特性的动力锂离子电池用软硬碳负极材料，通过对制备工艺的优化改善电化学性能并提高材料首次效率，可以开发出比容量300-500mAh/g系列负极材料产品，具有超快充(>10C)、超长寿命及优异的低温特性，可以广泛的用于12V/48V启动电源、混合动力汽车、超快充3C类电池、锂离子混合电容、低温电池以及军事特种电池等领域。

■ 合作方式

共同开发、技术许可/转让等

78 水性流变助剂硅酸镁锂技术

项目负责人：宫瑞英

技术联络人：宫瑞英

联系方式：0532- 80662701

电子邮箱：gongry@qibebt.ac.cn

关键词：醋酸镁锂

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7)

■ 项目简介

硅酸镁锂是在美国加州Hector地区矿山首次被发现，中文译名又称锂皂石、锂镁皂石、锂蒙脱石或锂皂石。它的特殊晶体结构和化学组成决定其具有奇特的性能，即：高的膨胀性、触变性、附加电解作用、有机胶附加作用、粘度改变和增稠性能等。硅酸镁锂产品为松散、极白、细腻，油脂光泽的片状或细粒粉末状物质，应用领域十分广泛。

硅酸镁锂被广泛应用在涂料、制药、化妆品、精细陶瓷、造纸、食品、石油开采、洗涤用品、橡胶、塑料等行业，用作保护胶体、稳定剂、增稠剂、悬浮剂、粘度调节剂、触变剂、分散剂、吸附剂等等。本项目通过化学合成方法，制得了水膨胀性、胶凝性及透明性优异的商品化高端硅酸镁锂产品。产品可应用于水性涂料、化妆品、清洁用品、医药等领域，形成自主知识产权，打破国际垄断控制，为硅酸镁锂工业带来广阔的市场和显著的经济效益，同时也将推动全国水性涂料、化妆品、牙膏等的向前发展，适应日益严格的环保要求。

性能指标：

本项目生产的锂皂石具有纳米微晶结构，在水中分散形成纳米无色透明触变性凝胶，白色粉末；无味、无毒、无刺激性；不溶与水、油和乙醇。浸水溶胀，在较低固含量下能形成高透明度、高粘度的胶体。其有以下特点：

本技术采用水热合成方法（200℃左右）于3-5 h内合成制得锂皂石，其一水热温度不是特别高，对反应釜耐压要求不高；其二反应时间短，工艺周期短；其三工艺操作相对简单，产品重现性好。

- 产品透光率达99.5%以上。
- 水化分散速度快，凝胶粘度高
- 改性产品不会产生后增稠情况
- 卫生安全性：锂皂石凝胶不刺激皮肤和眼睛,Pb、As、Hg、Cd等有毒元素含量远低于相关标准限量,具有很好的卫生安全性。
- 技术指标符合以下规定：粘度（2.5%分散液）： ≥ 3500 mpa.s、pH（2.5%分散液）：9-10.5、透光透过率（1%分散液）： $>99.5\%$

■ 应用前景

目前硅酸镁锂在国际上发展速度很快，随着国外硅酸镁锂厂家纷纷抢滩中国大陆及国内封装厂家规模技术跨越式提升，在未来3年中，国内在硅酸镁锂行业的投资将达到几十亿元人民币，国外在中国用于硅酸镁锂的投资将达到2000万美元，发展前景十分广阔。随着本项目的实施，中国大陆将成为世界硅酸镁锂的一个中心，对该项目产品的需求将急剧膨胀，因此该项目成果有着广阔的市场前景和巨大的经济效益。随着日化增稠剂产品的要求越来越高，配方日益精细化，生产效率和产品质量的提高，未来硅酸镁锂的应用发展潜力巨大，前景广阔。

高透明度硅酸镁锂商品的市场价约为120-250元/公斤，价格高昂，而且市场需求量大，因此本项目经济效益显著。随着本项目的顺利实施，我们将硅酸镁锂的制造工艺方面的研究工作方面的空白，形成具有自主知识产权的硅酸镁锂的生产技术，具有可观的经济社会效益。

目前，以水性多彩涂料及、水性漆、油田领域为例，每年需求量约几千吨，产值约几十亿元，且95%以上集中在一家Laponite国内代理商手中。自2010年兴起，所需硅酸镁锂量每年都以接近50-100%的速度增长，因此本项目经济效益显著。

■ 合作方式

共同开发、技术转让

79 高纯度碳酸甲乙酯制备技术

项目负责人：李广慈

技术联络人：李广慈

联系方式：0532-80662757

电子邮箱：lixb@qibebt.ac.cn

关键词：催化剂、碳酸甲乙酯

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

现有工艺中存在的催化剂对原料要求高，反应时间过长，转化率不理想，产品分离纯化难度大等产业化关键技术问题。与现有方法相比，本项目技术优势在于：

(1) 以DMC和DEC为原料进行酯交换反应，避免了产物中共沸体系的形成，产品分离提纯简单。

(2) 催化剂活性高，反应时间短，选择性高，产品经简单蒸馏处理即可得到能够满足锂离子电池电解液的纯度要求的EMC产品。

(3) 精馏分离获得的低沸点的原料DMC、高沸点原料DEC均可重复利用；固体超强碱催化剂经分离后可回收重复利用。

性能指标：

常压条件下催化DMC和DEC转酯化合成EMC，反应时间1-3 h，反应产物中EMC为唯一产物，经过蒸馏提纯，EMC的纯度 > 99.95%，单程收率 > 50%。

■ 应用前景

本项目生产的可作为锂离子电池电解液的高纯碳酸甲乙酯，具有很大的市场空间和投资空间。

以建设年产3000吨碳酸甲乙酯项目为例，总体规划需占地面积256平方米，投资500-600万元，需要的主要设备包括：反应釜（5吨/釜×2）配18米高回流塔，精馏塔（10吨/釜×6）配32米高精馏塔。产品市场销售价格在18000-20000元/吨，利润为4000-5000元/吨，投资回报期约为1年。

■ 合作方式：

技术转让、技术入股



80 固体废物生产新型生态透水砖技术

项目负责人：陈磊

技术联络人：陈磊

联系方式：0532-80662756

电子邮箱：chenlei@qibebt.ac.cn

关键词：透水砖

技术成熟度：产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

本项目以石墨尾矿等固体废物为主要原料，以页岩代替粘土作为塑化剂提高成型工艺性能，在配料中加入炉渣，利用炉渣残余碳燃烧产生的热量，实现砖体的烧结，从而制备生态透水砖。这一方面研制的生态透水砖具有透水、保水、美化、硬化等多项功能，对城市大气调节、地表植被生长、地下水保护，城市生态环境改善，建设海绵城市具有重大意义；另外，可解决固体废物对环境的污染的问题。



本项目创新之处在于：1、原料中以闲置资源--页岩代替粘土，不仅节约土地，还提高了透水砖的生产工艺性能和产品性能。2、以炉渣为原料，利用炉渣中残留碳燃烧产生的热量，实现砖体的烧结，无需外加热源，增加了固体废物用量，节约了能源。本产品的优势在于：环保、无污染、生产工艺简单、成本低，具有较好的社会、经济和环境效益。

性能指标：

中试产品经山东省建材质量检测中心检测，所制备产品的性能如下所示：

透水性：产品透水系数26-28 mm/s，大于国标规定的10 mm/s。

保水性：该产品的保水量通常状态下约为10L/m²。下雨时它大量吸收并保存水份，在太阳的照射下可以慢慢蒸发，以达到降低地表温度之功能。

安全性：该产品具有超强防滑性，即使在下雨时其防滑值在60BPN以上。同时本产品的辐射性很低，符合国家绿色建材标准。因此人们走在上面更加安全，也不容易感到疲劳。

噪音：该产品为多孔结构，可以大量吸收噪音，是理想的吸音材料，可应用于机场、地铁等场所。

耐磨强度高、耐风化：该产品抗压强度达到30MPa以上，适合停车场、普通车道的使用。它的耐寒性也达到国家标准，抗冻值-25℃，即使在寒冷的地方，本产品品质不会改变。除此之外，瓷质透水砖还具有耐风化性，即使遇到强酸或强碱，品质也不会改变。

施工方便性：该产品施工采用柔性铺装法，即平整基础，压实，然后铺实，铺砂刮平，再铺砖，最后填缝即可。其施工方便、快捷、成本低。

■ 应用前景

住房城乡建设部部长陈政高在全国海绵城市建设培训班上表示，建设海绵城市是党中央、国务院的重大决策。陈政高部长表示，城市中出现的地下水位下降、逢大雨必涝、山水林田消失、城市养护成本增加以及对气象造成影响等问题，都可以通过海绵城市建设得到有效缓解。据其估算：“海绵城市建设投资约为每平方公里1亿元到1.5亿元，这是一个巨大的投资空间。在《国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见》（国办发〔2015〕75号）中提出了具体工作目标：到2020年，城市建成区20%以上的面积达到目标要求；到2030年，城市建成区80%以上的面积达到目标要求。目前，国内使用的地面铺装材料有水泥砌块、粘土红砖、耐火砖、大理石、陶瓷广场砖等。这些材料的主要缺点，一是不具备透水性，雨天易积水、妨碍交通，一旦有强降雨增加了排水管网的负荷，同时造成天然淡水资源的浪费；二是许多材料强度低、易破碎、寿命短，一旦损坏给人满目疮痍的感觉。

而环保陶瓷生态砖是一种新型环保建材。它具有透水、保水性、降噪、美化等多项功能。对城市大气调节、地下水资源保护，对整个城市的生态环境具有重大意义。正是由于上述优点，在日本、欧洲等发达国家，具有透水、保水等功能的环保生态砖被广泛采用。近来，日本、欧洲等国家环保生态砖的品种类也不断增加，除用于人行道、车行道、公园、绿地、停车场等地面的铺设外，像游泳馆、浴场、室内卫生间、以及楼房顶部等等都有应用。据我们了解目前已经或正在使用环保陶瓷生态砖的建设项目有北京西城区人行道、玉泉营、上海外滩人行道、金陵东路和威海路、石家庄裕华区、珠海市拾贝街小区、厦门厦禾路人行道大修工程等。北京水利科学研究所副所长丁月元及该所透水路面工程专家周子昌分析认为，北京市透水路面市场暗含商机400亿元。若考虑到公园、人行道、小区等的需求，以及国内发达大中城市的需求。环保陶瓷生态砖的需求量是相当巨大的。而我国最近四五年才有相关产品的生产，年产量远远满足不了市场的需求。

由于其他厂家的生产成本较高，且由于主原料的有限性，限制了其推广应用。而采用本项目技术生产的产品，由于采用石墨尾矿、炉渣等固体废物为主要原料，原料储量大，因此生产成本低；再加上国家环保政策的优惠，该产品有明显的价格竞争优势，并可扩大环保陶瓷生态砖的应用，扩大市场。因此，本产品具有良好的市场前景。

■ 合作方式

共同开发、技术转让

81 木质素基重金属吸附剂合成技术

项目负责人：冯德鑫

技术联络人：冯德鑫

联系方式：0532-80662681

电子邮箱：fengdx@qibebt.ac.cn

关键词：吸附剂、木质素

技术成熟度：产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

虽然以工业木质素为原料在实验室水平已成功制备出一系列具有吸附效率较高、吸附性能较好、可再生等优点的木质素基吸附剂，但木质素基吸附剂对重金属离子的吸附容量还有较大的提升空间。此外，现有技术制备的木质素类吸附剂常表现出广谱吸附性，因而对重金属离子的吸附选择性较差。针对上述问题，本项目开发了吸附性能优越的广谱性木质素基羧酸类吸附剂及高效高选择性木质素基胺类螯合吸附剂，其饱和吸附量均优于商业离子交换树脂。

性能指标：

木质素基广谱性吸附剂对水中常见重金属离子的饱和吸附量均达到1.0 mmol/g以上，高于现有商业离子交换树脂；高选择性木质素基多胺类螯合重金属吸附剂对水中常见重金属离子的饱和吸附量均达到1.0 mmol/g，并对Cu、Co等金属离子选择吸附率高达90%以上。

■ 应用前景

木质素基吸附剂的合成成本约4000元/吨，远低于现有商业离子交换树脂市场售价。

■ 合作方式

共同开发、技术转让

82 用于室内甲醛污染物常温催化净化的金属氧化物材料的开发

项目负责人：李广慈

技术联络人：李广慈

联系方式：0532-80662757

电子邮箱：lixb@qibebt.ac.cn

关键词：材料、催化剂、甲醛

技术成熟度：产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

空气中甲醛污染的净化技术归纳起来主要有：吸附法、光催化氧化法和常温催化氧化法等。其中常温催化氧化技术因其能耗低（常温下的零能耗）、净化效率高、无二次污染等优点，被认为是最具应用前景的净化技术。

本项目开发的室内甲醛常温催化氧化材料可作为大规模室内及室外气体净化装置生产的核心部件，它的生产成本较低，体积小，对工作环境要求低，环境适应能力强，因此极具推广应用价值。利用该催化材料生产的净化装置，可广泛应用于家用、车载以及大型的公共场所等密闭空间，有效地去除低浓度的甲醛气体，因此，该催化材料的应用能够有助于气体净化产业的发展，为企业新产品的开发、上市提供新的技术保障，创造新的利税增长点。

性能指标：

对室内低浓度甲醛 (<2 ppm)的高效去除 (去除率>95%)

■ 应用前景

近年来,随着人们生活水平的提高,装修业日益兴起,室内空气污染问题日趋严重。据有关国际组织调查,全世界每年有280万人直接或间接死于装修污染,世界上30%的新建和重修的建筑物存在有害于健康的室内空气污染。因此,如何提高室内空气品质,保证居民身体健康,已经引起了有关部门的高度重视和全国人民的普遍关注。随着我国环境治理、节能减排力度的逐渐加大,公民对环境问题诉求的日益强烈,空气净化技术的开发与应用将在环保产业担当关键的角色,因此针对室内空气污染物的催化净化技术的产业化应用前景广阔,市场潜力巨大,经济效益可观。

■ 合作方式

合作开发、技术转让

83 新型木质纤维绿碳缓冲材料

项目负责人：李滨

技术联络人：刘超

联系方式：150 5421 2955

电子邮箱：libin@qibebt.ac.cn

关键词：植物纤维、木质纤维素、泡沫材料、多孔材料、缓冲、包装、吸音、隔热保温

技术成熟度：实验室小试 (TRL=3-4)

■ 项目简介

具有高孔隙率、低密度、轻质的多孔材料在包装、建筑、医疗卫生、化工、汽车、航天、军工等领域具有广泛的应用前景。根据Global market Insights (GMI) 调研报告，至2025年，软质泡沫塑料市值将超过650亿美元。但石油基泡沫塑料存在原料不可再生，生产能耗高、碳排放高，产品不可生物降解等问题，造成了严重的白色污染，已成为全人类可持续生存和发展的痛点。

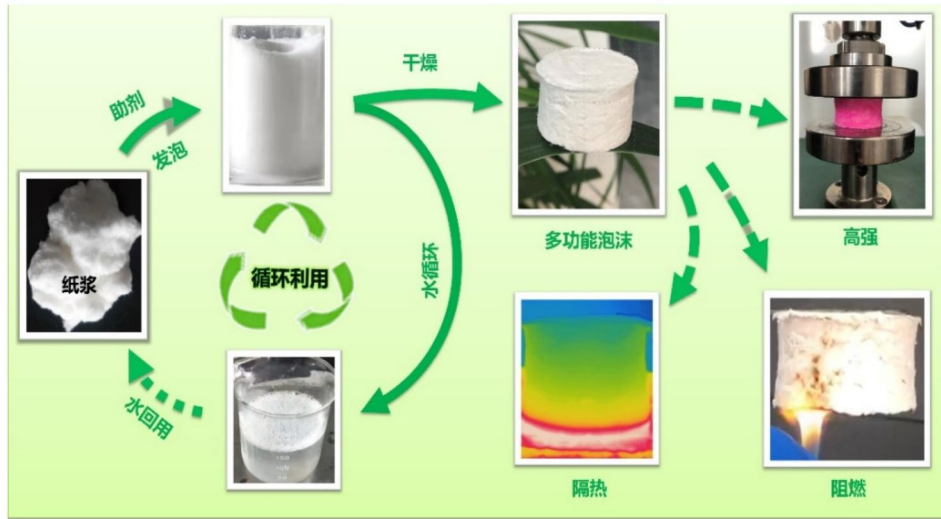
因此，我国于2008年发布了限塑令，并于2020年升级为禁塑令。欧盟的环境保护产品认证 (CEP) 与美国的《洁净竞争法案》已竖起环境保护税壁垒，对进入欧美市场的非绿色产品征收高额关税；2023年11月15日，中美两国发表关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明，决心终结塑料污染。而且，苹果、索尼等众多头部企业已开始使用100%可生物降解包装材料，约三分之一欧洲最大的上市公司已承诺到2050年实现净零碳排放。这一趋势是可持续包装材料需求不断增长的关键驱动因素之一，因为企业在其产品中使用优秀的可持续包装有助于实现碳中和。所以，利用可再生、可生物降解的天然木质纤维资源制备多孔材料已成为近年来的研究热点。

研究所建立了具有自主知识产权的仿生交联-湿法成型新技术，开发出系列木质纤维绿碳缓冲材料新产品。这是一种新型木质纤维绿碳环保材料，以天然木质纤维（纸浆、秸秆、蔗渣、竹粉等）为原料，成型机理是，利用生物表面活性剂在木质纤维分散液中发泡，阻止纤维絮聚，形成均匀的多孔结构，滤水干燥后制得泡沫材料。该新型木质纤维绿碳缓冲材料有望替代石化基泡沫塑料用于绿色包装、绿色建筑、车用吸音等领域，其推广应用有助于碳减排，乡村振兴，消除白色污染。相关成果曾被中国科技网和科技日报等报导，曾入围2022年的全国低碳日成果推介活动，获2023年第八届中国创新挑战赛优秀奖。

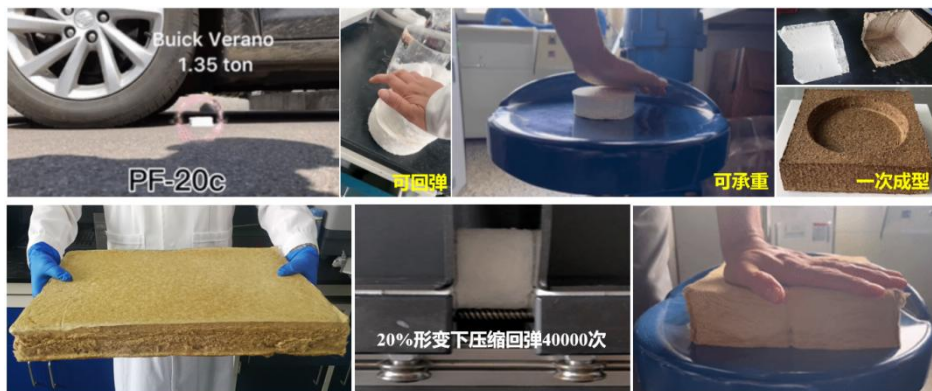
性能指标：

材料制备是在常温常压下发泡，过程清洁、能耗低，易于放大应用；产品可实现功能性定制化加工，可生物降解，成本200-400元/立方米（取决于配方）。该木质纤维绿碳缓冲材料密度低（~20-100 mg/cm³），机械强度高（10%应变下的压缩强度可达~500 kPa），且具

有良好的隔热性（导热系数~0.06 W/(m·K)）和广谱吸音性，与普通商业用防火矿棉、多孔无机材料和泡沫玻璃产品相当。据估算，如果用该木质纤维缓冲材料逐步替代EPS泡沫100万吨，预期可实现产值160亿元，减少碳排放约330万吨。该技术灵活度高，易于放大应用。原材料成本：~200-400 元/立方米（取决于配方，也可用本色纸浆、废纸浆等）。



纸浆泡沫制备与性能示意图



■ 知识产权情况:

已授权中国发明专利4项，申请技术秘密保护1件。

■ 应用前景:

有望替代石油基塑料泡沫用于缓冲包装、隔热、吸音等领域，是一种环保新材料。与无机材料复合可直接喷涂于建筑物外墙表面用作保温层，或用于装饰墙等。

■ 合作方式:

合作研发、技术许可等

84 木糖渣的综合利用

项目负责人：李滨

技术联络人：于光

联系方式：139 6972 4681

电子邮箱：libin@qibebt.ac.cn

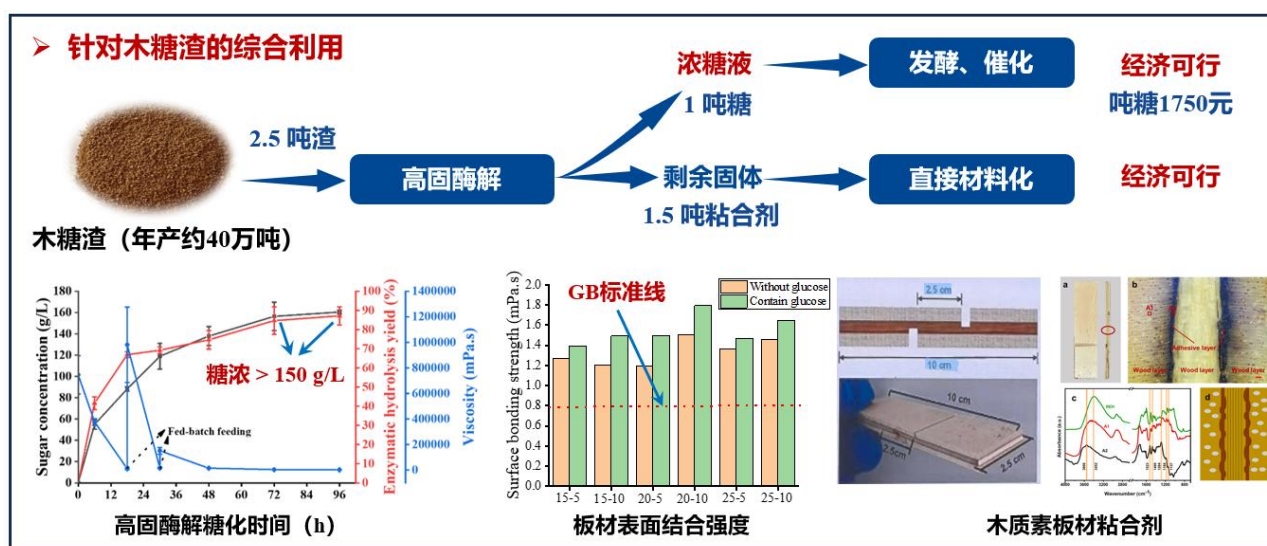
关键词：木糖渣、高浓酶解、木质素基生物粘合剂

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7)

项目简介

木糖渣是木糖企业用玉米芯为原料提取木糖后剩余的有机固体残渣，我国年产量约40万吨，其主要成分为纤维素（约60-65%）和木质素（约25%）。作为木糖企业的工业废料，目前尚未得到妥善有效利用。常规利用方式主要包括燃烧、培养基质、饲料等，没有充分发挥原料的利用价值。

中国科学院青岛生物能源与过程研究所系统集成工程中心针对木糖渣的原料特性，建立了木糖渣高固酶解新工艺，可以实现低成本高固酶解糖化，糖液满足生物ABE发酵和催化转化的要求。同时，酶解残余物用于制备木质素基板材生物粘合剂，其应用性能超过国标要求，属于生物环保无醛胶。该技术2.5吨木糖渣可产1吨葡萄糖（浓糖液，含1吨干基葡萄糖），并联产板材生物粘合剂1.5吨，且浓糖液（吨糖成本<2000元）和板材生物粘合剂均具有经济可行性。



性能指标：

高固酶解糖化葡萄糖浓度 > 150 g/L，所得胶黏剂性能超过国标要求（板材表面结合强度干强和湿强均 > 0.7 MPa，GB/T 17657-2022），生产过程不产生任何废弃物。

■ 项目阶段与进展

项目已完成实验室技术开发和中试验证，具备推广条件。

■ 知识产权情况

已授权相关中国发明专利3项。

■ 应用前景

该技术也可应用于玉米秸秆、麦秆、蔗渣、木粉、竹粉等农林剩余物，助力农林剩余物规模化转化和利用的国家重大需求；适合与蔗糖厂、木糖厂等相关企业合作，促进产业升级，助力企业绿色、低碳和高质量发展。

■ 合作方式

技术许可、技术转让、合作开发

85 纸浆的高值利用技术

项目负责人：李滨

技术联络人：吴美燕

联系方式：150 6683 6983

电子邮箱：wumy@qibebt.ac.cn

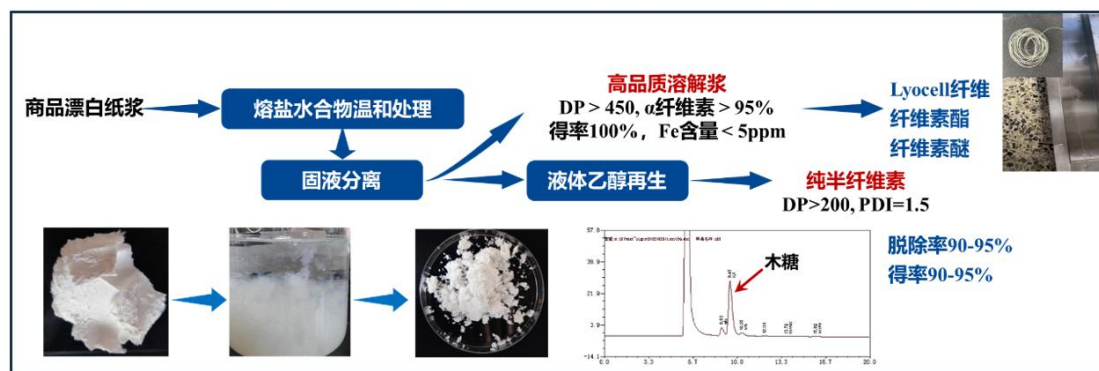
关键词：纸浆、半纤维素、溶解浆、低聚木糖、木糖、纤维素衍生化

技术成熟度：小试（TRL=5）

■ 项目简介

溶解浆是一种高纯纤维素化学浆，纤维素含量高（ α -纤维素 $>90\%$ ），主要用于制备纺织用粘胶纤维（Viscose）和Lyocell纤维（例如，天丝），也可用于对纤维素进行酯化、醚化改性，生产高附加值纤维素衍生产品。我国溶解浆年需求量约400万吨，但对外依存度高（已从2018年的64%上升到2022年的89%），且国产溶解浆品质较低、价格较高，亟需加强自主生产高品质溶解浆的能力，促进产业升级。另一方面，目前市场上尚无高聚合度半纤维素纯品，不利于半纤维素的市场推广和高值利用。

中国科学院青岛生物能源与过程研究所系统集成工程中心用商品漂白纸浆为原料，建立了熔盐水合物绿色溶剂选择性分离半纤维素和纤维素的新技术。



熔盐水合物溶剂绿色分离纸浆中半纤维素和纤维素示意图

■ 性能指标：

该技术可以在温和条件下（20-60°C）高选择性溶解纸浆中的半纤维素，而纤维素不溶；固液分离后，溶解的半纤维素可以在乙醇中再生，得到纯度为100%的半纤维素产品，其聚合度（DP） >200 （PDI=1.5），半纤维素脱除率 $>90\%$ ，得率90%，可用于生产高纯低聚木糖、木糖等半纤维素基高值产品；同时，未溶解的纤维素经清洗后为高品质溶解浆，其得率100%，DP >450 ， α -纤维素 $>95\%$ ，Fe含量 <5 ppm，满足生产Lyocell纤维的要求，也可用于

纤维素的酯化、醚化改性等。此外，熔盐水合物易于回收回用，整个处理过程绿色、清洁、可持续。该技术处理 1 吨纸浆，可联产 0.8 吨溶解浆和 0.16 吨半纤维素，具有经济可行性。

■ 项目阶段与进展

项目已完成实验室技术开发，具备放大应用和推广条件。

■ 知识产权情况

具有完全自主知识产权，已申请相关中国发明专利 2 项；申请技术秘密保护 1 件。

■ 应用前景

该技术可以使商品漂白纸浆升级为溶解浆，并联产高聚合度高纯半纤维素，有利于纤维素和半纤维素的进一步高值利用，应用前景广阔；纤维素可用来生产粘胶纤维、Lyocell 纤维用于纺织服装，也可用于生产纤维素酯、纤维素醚等高附加值产品；所得半纤维素可以用于制备低聚木糖、木糖等功能糖产品。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让

86 隐血显色猫砂技术

项目负责人：李滨

技术联络人：吴美燕

联系方式：150 6683 6983

电子邮箱：wumy@qibebt.ac.cn

关键词：猫砂、木质纤维、显色

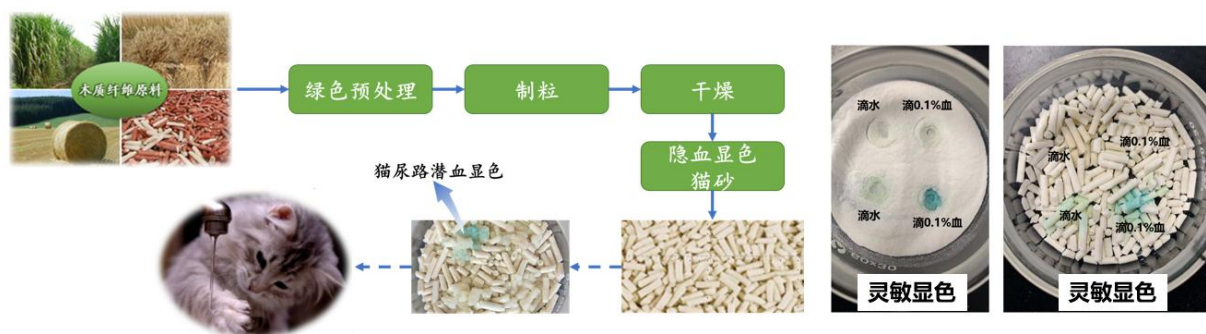
技术成熟度：小试（TRL=5）

■ 项目简介

当下，家庭宠物“汪星人”和“喵星人”开始逐渐成为人们精神的慰藉和生活中的伴侣，也是许多家庭中的重要成员，这直接引发了宠物用品行业的井喷式增长。2023年中国宠物消费市场规模已达近3000亿元，中国成为全球第二大宠物市场。

猫砂作为猫掩埋粪便和尿液的产品，其销售量在宠物用品中名列前茅。在兼顾高效与安全性能的基础上，持续开发高附加值的功能性猫砂不仅可以为猫咪提供舒适的环境、降低患病概率，同时可以提升人们的饲养体验与幸福感，还可以拓展宠物用品产业链，具有重要的意义。

中国科学院青岛生物能源与过程研究所系统集成工程中心开发了一种以木质纤维生物质为原料、可检测猫泌尿系统疾病的功能性生物基猫砂，可实现猫咪泌尿系统疾病的迅速、即时检测，为家庭宠物身体自检提供了一个特异性高、操作简便、成本低廉和安全的方法。



生物基猫砂的制备流程图

■ 性能指标：

本项目制备的猫砂检测灵敏度高，可检测猫尿液中血液最低浓度为 0.001%，且显色时间小于 3 秒，显色持久性大于 15 天。

■ 项目阶段与进展

项目已完成实验室技术开发，具备放大应用和推广条件。

■ 知识产权情况

具有完全自主知识产权，已授权相关中国发明专利 1 项。

■ 应用前景

猫砂颗粒结构简单、安全环保、吸水性好、使用方便，在饲主家庭自检中具有广阔的应用前景。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让

87 纤维素甲酸酯的清洁制备与功能性应用

项目负责人：李滨

技术联络人：李滨

联系方式：0532-80662725

电子邮箱：libin@qibebt.ac.cn

关键词：纤维素、纤维素甲酸酯

技术成熟度：小试 (TRL=5)

项目简介

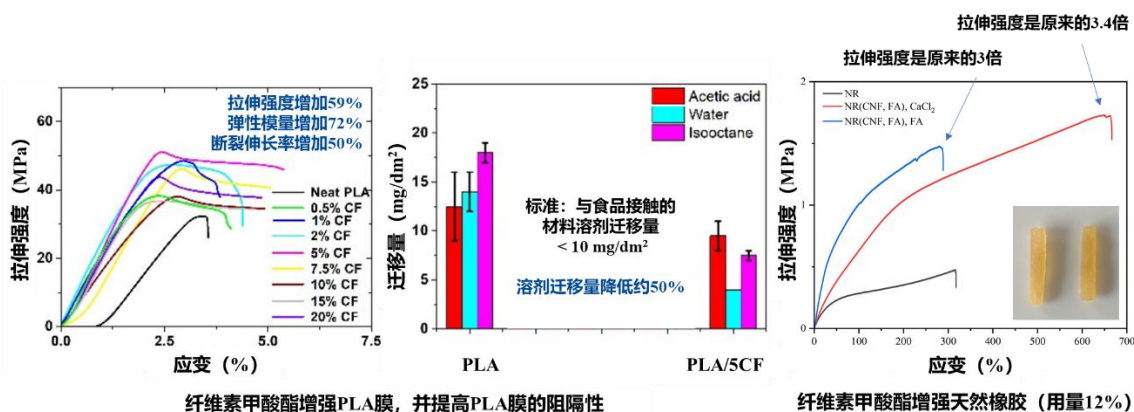
纤维素酯（例如，纤维素醋酸酯、纤维素硝酸酯等）是纤维素的一类高值衍生产品，在化工、涂料、薄膜、水处理和高品质塑料等领域有广泛的应用。2021年全球纤维素酯市场规模大约为651亿元，预计2028年将达到878亿元。此外，新型天然纤维素纤维的提取与研发已被列于2022年《全球工程前沿》中的环境与轻纺工程领域TOP10工程研究前沿。

纤维素甲酸酯是由纤维素的羟基和甲酸发生酯化反应而制备得到的一种纤维素酯化产品，通常需要高温和催化剂，且反应得率低 (<40%)，产品聚合度低 (<200)，因而限制了其工业化应用。

研究所系统集成工程中心建立了一种绿色溶剂体系下室温常压高效制备纤维素甲酸酯的新技术。



纤维素与甲酸酯化反应示意



纤维素甲酸酯应用效果

性能指标：

该技术过程绿色清洁，制备的纤维素甲酸酯得率高（100%）、酯化取代度高（>1.2）、聚合度可调（>400-500），且易于放大量产。每吨纤维素甲酸酯的成本可以控制在0.8~1.2万元/吨（取决于纤维素原料），可用于制备高品质纤维素甲酸酯膜（拉伸强度>100 MPa，阻隔性与玻璃纸原纸相当），纺丝制备纤维素长丝，或用于橡胶、塑料等聚合物增强加填。

■ 项目阶段与进展

项目已完成实验室技术开发，具备放大应用和推广条件。

■ 知识产权情况

已授权相关中国发明专利12项。

■ 应用前景

纤维素甲酸酯由于其特殊的表面性质，使其易于进一步被衍生化，在构建异质膜器件、皮克林乳液、功能性薄膜、丝线，以及橡胶、塑料加填等领域具有广阔的应用前景。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

88 退役锂电池正极材料的绿色分离和回收利用项目

项目负责人：法芸

技术联络人：法芸

联系方式：0532-58788206

电子邮箱：fayun@qibebt.ac.cn

关键词：退役锂电池正极材料回收

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=6-7)

■ 项目简介

本项目退役三元锂电池正极材料为研究对象，采用湿法冶金手段，研制了高选择性吸附材料，提出自循环连续吸附提锂关键技术，开发了连续吸附分离装备和工艺，得到锂盐纯度99%，效率比传统技术提高30%以上，回收率分别为锂96%，钴99%，镍98%，锰97%，综合回收率98.5%。集成技术路线环境友好，实现了低碳自循环零排放，整体工艺技术性能超过国家《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业规范条件及公告管理暂行办法》。实现了电池正极材料中各元素循环利用，大大提高了资源利用效率。



性能指标：

锂盐纯度 99% 钴、镍、锰综合回收率 98.5%

■ 项目阶段与进展

针对传统火法工艺提取废旧锂电池中有价金属造成的烟气大、能耗高等环境问题，开发了全湿法工艺路线；此工艺在实验室阶段实现了关键技术的突破即高选择性分离材料的开发：实现锂钴镍锰同时分离，分离度均大于1.5，远优于现有选择性最好的商品化材料，同时完成连续吸附分离装备和工艺开发：得到硫酸盐纯度达99%，效率较间歇分离提高30%以上；实现低碳自循环零排放的环境友好目标。

在效率提高方面：连续分离设备产率较间歇式分离提高4倍以上，溶剂消耗量较之少8倍，上样浓度、柱负载能力分别提升6倍和2倍，分离成本大规模降低。

■ 知识产权情况

申请国家发明专利3项，技术秘密1项

■ 应用前景

新型电池企业、储能电站、电动交通工具等

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

89 铜基分子筛催化剂 CO₂加氢制甲醇项目

项目负责人：杨晓波

技术联络人：郎巧霖

联系方式：0532-58568208

电子邮箱：langql@qibebt.ac.cn

关键词：分子筛催化剂、CO₂资源化利用 **技术成熟度：**工艺设计（TRL=5-6）

■ 项目简介

CO₂催化还原是其大规模资源化利用不可或缺的关键技术，也是提高化石能源利用效率、实现CO₂减排的前沿课题。使用Cu/ZnO/Al₂O₃催化CO₂加氢制甲醇的工艺相对成熟，但与合成气制甲醇技术相比在能耗和经济性上还不具有竞争力。本项目利用分子筛晶体骨架在原子水平上构筑局域Cu结构开发新型催化剂，将所设计的多核铜原子结构通过酸性介质中结晶植入分子筛骨架中，设计制备了具有高CO₂转化率、高甲醇选择性和长寿命的新型分子筛催化剂，获得更高的甲醇时空产率，降低单位能耗、提高了经济性。CO₂催化加氢制甲醇可视作将能源贮存在CO₂中的一种方法。所得到的甲醇既可用作燃料，也可用作化工原料生产烯烃、芳烃等化学品，是作为新能源载体“液态阳光”的首选。

性能指标：

甲醇时空产率0.8 kg/kg_{cat}/h，单位能源产品CO₂减排>90%。

■ 项目阶段与进展

已通过实验室研究与开发，初步完成1000吨工艺流程设计。寻求工业部门合作进行中试验证。

■ 知识产权情况

具有自主知识产权

■ 应用前景

应用于工业CO₂富集回收以及可再生能源贮存场景，演示CO₂大规模资源化利用以及可再生能源以液体燃料形式贮存运输的优势。

■ 合作方式

共同开发、技术许可、技术转让、技术服务等

90 低温固化导电浆料制备及应用技术

项目负责人：包西昌

技术联络人：包西昌

联系方式：18963021560

电子邮箱：baoxc@qibebt.ac.cn

关键词：导电浆料、新型粘结剂

技术成熟度：中试及产业化 (TRL=7-8)

■ 项目简介

导电浆料作为重要的电子功能材料，广泛应用于太阳能电池、电子元器件、柔性印刷电路等工业领域。其中低温导电浆料作为关键的互联封装材料，助推太阳能电池高密度、高柔性、多功能、高集成和高可靠发展。现有的太阳能电池用低温导电浆料主要是由导电金属粉、玻璃粉、有机载体组成。有机载体对浆料性能起着非常重要的影响，会影响印刷烧结后的线型饱满性，其中粘结剂为有机载体的重要功能组分。

本项目基于新型粘结剂的设计，开发出性能优异的有机载体，并研制出新型导电浆料，使其具有优异的电学性能和耐候性，平衡剪切强度与柔韧性，以解决传统导电浆料电阻偏大、填充较差等问题。

性能指标：

- 1、银含量 >60%，电导率高于1.25kS/mm；
- 2、固化后与TCO层接触良好；
- 3、固化后较为致密，孔隙率少。

■ 项目阶段与进展

本项目已完成新型粘结剂的设计合成，导电浆料的配方定型以及性能分析，具备产业化放大的能力。

■ 应用前景

低温导电浆料，基于新型粘结剂和填料的合理配置，具有优异的电性能和可靠性，适配先进光伏组件，适用于HJT电池、叠瓦电池等。新型粘结剂的设计以及配方的开发，有望成为新型高密度、柔性组件的关键。

■ 合作方式

共同开发、技术转让