

绿色化工项目

目录

1.	化学回路煤直接循环技术	3
2.	煤转石墨电池材料工艺	4
3.	从煤中提取关键稀土与石墨材料	5
4.	压力化学回路燃烧与燃气轮发电联合循环系统	6
5.	化学回路氧耦合燃烧 (CLOU) 与农业/林业废弃物负碳机制	7
6.	低排放煤技术研究中心	8
7.	熔盐碳捕集与再生利用	9
8.	ECO ₂ Fuel: 低温电化学 CO ₂ 转化示范系统	11
9.	CarbFix: 碳的矿化封存示范 (日化玄武岩地质封存项目)	12
10.	海水制盐及盐间回收碳酸钠工艺	13
11.	煤炭热裂解制氢与碳捕集系统	14
12.	海洋卤水中锂盐提取与 CO ₂ 应用示范	15
13.	高温电解制氢与盐副产物协同回收技术	16
14.	煤基废气转化甲醇与碳酸盐耦合工艺	17
15.	深海卤水零排放盐化工系统	18
16.	LanzaTech 碳捕获与转化技术	19
17.	Avantium 可再生塑料 PEF (聚乙烯呋喃酸酯)	20
18.	Solugen 生物基过氧化氢与化学品生产	21
19.	MIT-太阳能驱动 CO ₂ 转化系统	22
20.	ETH Zurich-等离子体催化氨合成 (绿色氮肥)	23
21.	生物可降解聚酯单体生物合成	24

22.	光催化塑料升级回收 (PET→高值化学品)	25
23.	TU Delft-微生物电合成醋酸 (利用 CO ₂ 与废水)	26
24.	超临界水气化生物质制氢	27
25.	EPFL-分子筛膜乙醇脱水技术 (生物燃料精制)	28
26.	可再生丁二烯生物合成	29
27.	电化学合成氨 (eRefinery 项目)	30
28.	生物基丙烯酸生产	31
29.	微生物电合成甲烷 (废水处理耦合能源生产)	32
30.	微生物燃料电池处理含盐废水	33

1. 化学回路煤直接循环技术 (Coal Direct Chemical Looping, CDCL)



联系人: Prof. Liang-Shih Fan

联系邮箱: fan.1@osu.edu

由俄亥俄州立大学 L.-S. Fan 教授带领的团队开发了一种用于煤炭燃烧和合成气生产的化学回路流程 (Chemical Looping)。该技术通过在分步装置中循环使用金属氧化物 (如 Fe_2O_3 / Fe_3O_4)，先脱碳过程生成 CO_2 并分离留存，再进行还原生成 H_2 或合成气，同时无需燃烧空气，无需 N_2 稀释。

该流程具备 CO_2 捕集天然集成的优势，不需要额外捕集设施，即可实现高纯度 CO_2 回收，降低排放。团队已在 25 kW 和 250 kW 规模进行示范装置运行，验证了发电与氢气生产的可行性。实验室还在开展不同原料 (天然气、煤、沼气等) 化学回路路径的热力和经济性模拟，探索其商业化潜力。该技术为高碳能源 (尤其煤) 提供了更环保的替代方向，兼顾能源利用与温室气体控制，是煤化工转型和“碳捕集即过程”的典型研究。

2. 煤转石墨电池材料工艺 (Coal-to-Graphite for EV batteries)



联系人: Dr. Edgar Lara-Curzio

联系邮箱: laracurzioe@ornl.gov

橡树岭国家实验室开发了一条将煤转化为高纯石墨的方法, 并作为电动汽车电池与可再生能源存储系统的导电材料。该项目通过热化学处理, 将低质煤转化为微米级或纳米级石墨结构, 适用于导电材料, 替代高成本的天然石墨或人造石墨。

这项研究具有三重意义: 一是增强能源安全与材料供应链的本土化; 二是为煤依赖地区提供新的绿色转型路径; 三是为电子化未来基础设施提供稳定廉价材料来源。ORNL 正在推进试点装置验证工艺参数、物料特性, 并联合工业伙伴探索商业化前景, 意在打造“煤废→高价值石墨”循环链条。

3. 从煤中提取关键稀土与石墨材料 (Coal to Critical Elements)



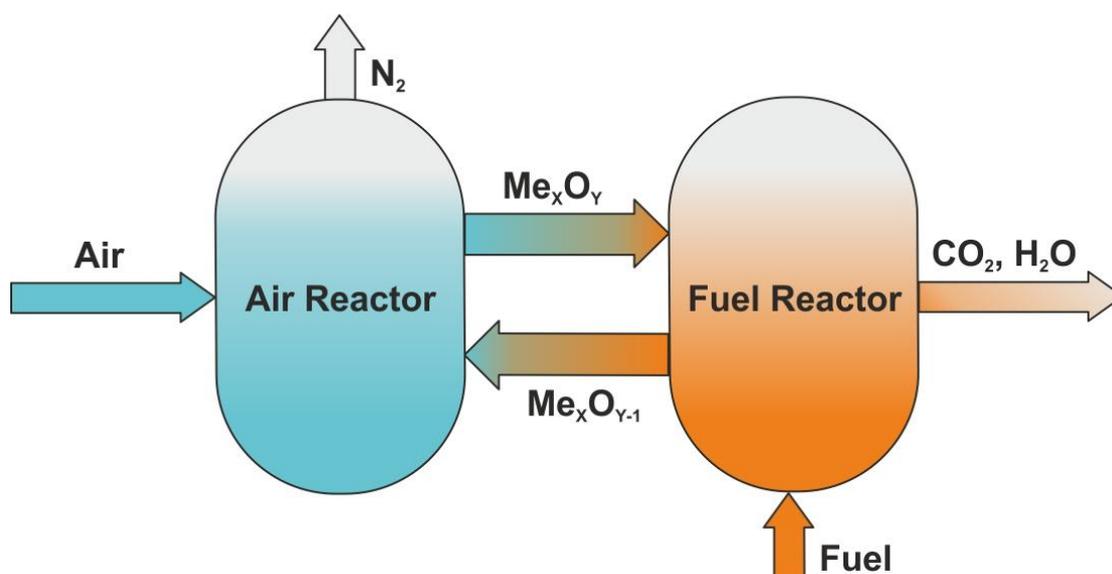
联系人: Prof. Rick Honker

联系邮箱: rick.honaker@uky.edu

肯塔基大学联合能源研究中心 (CAER) 研究团队获得美国能源部 500 万美元资助, 开展“从煤中提炼关键稀土元素、石墨与其他战略材料”的系统研究。项目目标是在煤燃烧与处理副产物中回收出高附加值稀土金属 (如用于风能与电动车电机的钕、镨等)、石墨粉末与其他关键原料。

研究涵盖煤样分析、提取路径设计、整合电化学与溶剂萃取技术、回收效率与纯度优化、多轮试验规模上放等环节。该方法为美国产业提供在煤资源基础上获取高科技材料的创新路径, 以应对国际供应链不稳定与 geopolitics 风险, 同时为传统煤区提供新经济增长点。

4. 压力化学回路燃烧与燃气轮发电联合循环系统 (PCLC Combined Cycle System)



联系人: Prof. Kunlei Liu

联系邮箱: kunlei.liu@uky.edu

这个项目由肯塔基大学 CAER (Center for Applied Energy Research) 团队领导, 开发了一种集压力化学回路燃烧 (Pressurized Chemical Looping Combustion, PCLC) 与燃气轮发电 (Brayton) + 蒸汽循环 (Rankine) 于一体的联合循环系统, 用于高效发电并实现 CO₂ 就地捕集。PCLC 系统由两个反应器构成: 氧化器吸收空气中的氧气进入氧载体; 还原器中煤与氧载体反应生成 CO₂ 富气流及清洁燃气。前者高温高压燃气驱动涡轮发电, 然后热能用于蒸汽循环; 后者排出的富 CO₂ 气体便于捕集与封存。

该系统预计热效率约达 46–48% (低热值基础)、显著高于传统燃煤设施, 同时避免了复杂的空气分离装置与外加 CO₂ 捕集设备。此外, 采用廉价、高抗磨损的铁基氧载体材料, 提高系统经济性与工业适配性。项目还进行了煤种适应性测试 (多种肯塔基煤)、氧载体稳定性与磨损评估、系统模拟与成本分析。研究成果为煤化工向“高效+低碳+模块集成”方向提供了清晰路径, 并具备向 IGCC 或新一代清洁煤发电系统延伸的潜力。

5. 化学回路氧耦合燃烧 (CLOU) 与农业/林业废弃物负碳机制

联系人: Prof. Kevin Whitty

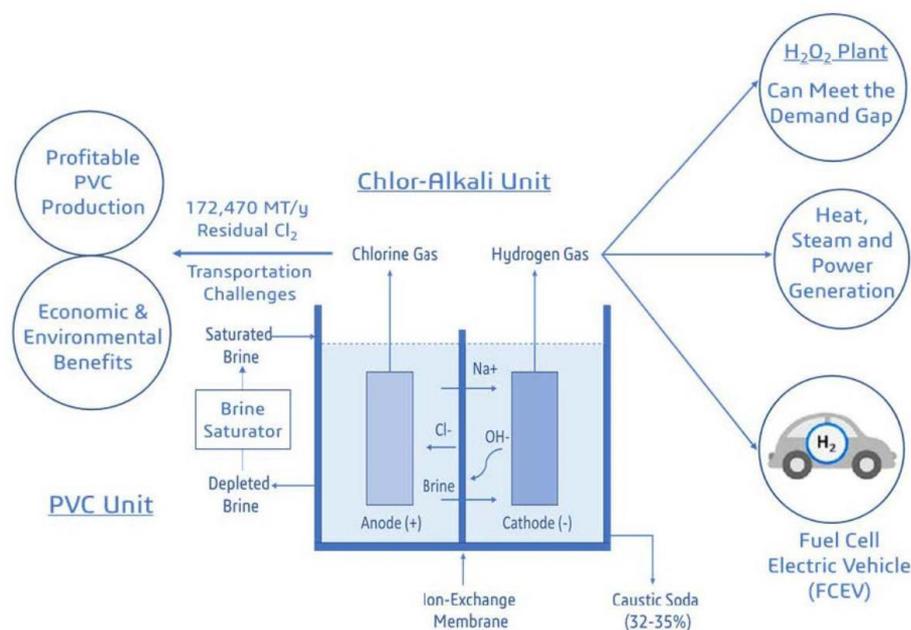
联系邮箱: whitty@che.utah.edu

犹他大学 Kevin Whitty 教授团队长期致力于化学回路燃烧技术 (Chemical Looping Combustion, CLC), 其中一种变体是 CLOU (Chemical Looping with Oxygen Uncoupling), 核心在于氧载体可自行释放 O_2 , 直接参与固体燃料 (如煤炭) 燃烧, 免去生成中间合成气的步骤, 简化流程、提升效率。

团队构建了从 10 kW 实验室系统到 220 kW 热功率级别的 PDU 装置, 支持煤、生物质、农业废弃物等多种碳源的燃料测试; 并开展氧载体材料的研发 (CuO/Cu_2O 系统), 优化循环稳定性、载氧量与反应速率。他们还特别关注负碳潜力: 利用农业废物等生物质与煤的混燃, 结合 CLOU 的 CO_2 内在捕集能力, 可实现净负排放。近年来, 研究还拓展至城市固废燃料, 探讨负净排放燃烧技术在未来能源系统中的角色。

该项目以“燃烧即捕集+负碳资产生成”理念而引人注目, 适合应对能源与气候双重挑战, 技术路径清晰、设备规模多样、燃料兼容性好, 其工程可复制价值高。

6. 低排放煤技术研究中心 (Low Emission Coal Research Centre)



联系人: Prof. Terry Wall

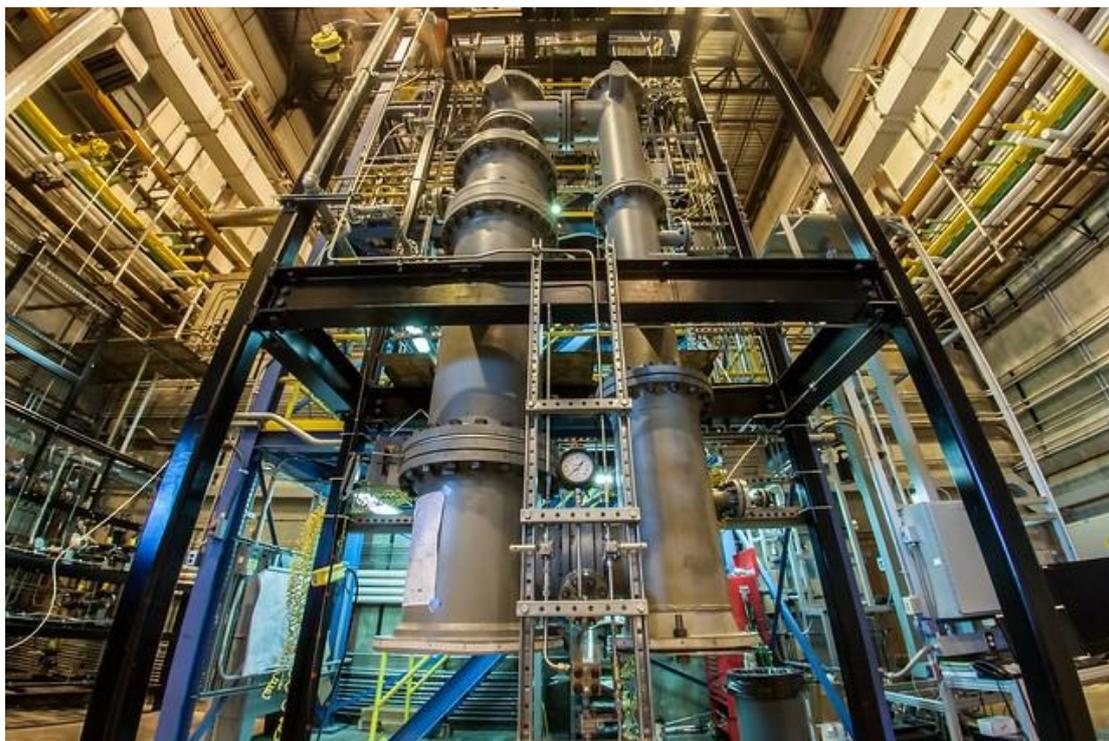
联系邮箱: terry.wall@newcastle.edu.au

澳大利亚纽卡斯尔大学的“低排放煤技术研究中心” (Centre for Innovative Energy Technologies – Low Emission Coal) 专注于煤燃烧、气化与化学回路等燃煤技术的污染减排路径开发。由 Terry Wall 教授领导, 团队研究范围涵盖氧燃、化学回路燃烧、涡流燃烧、湍流条件下煤反应动力学, 以及 CO₂ 捕集系统的联合评估与示范。

该中心不仅进行理论建模与基础燃烧实验, 还与工业示范项目相结合, 推动技术从实验室走向试点实用阶段。例如, 他们参与评估叠氧燃烧 retrofit 的效果, 分析 CO₂ 捕集 retrofit 后的排放与经济成本, 并对煤气化过程中的污染物生成进行系统监控。此外, 团队注重氧载体材料的开发与多级反应器建模, 为化学回路系统提供支撑技术。

该中心的意义在于: 一方面助力传统燃煤行业在低碳转型背景下寻找技术路径; 另一方面形成技术评估、燃烧/气化耦合与 CO₂ 捕集的系统研究模式。作为高校-led 多学科中心, 其科研平台稳定、示范资源丰富, 适合开展国际合作与技术对接。

7. 熔盐碳捕集与再生利用



联系人：Dr. Maria Garcia

联系邮箱：info@upcatalyst.com

MoReCCU 是 UP Catalyst 主导的一个国际化示范项目，旨在利用熔盐技术优化二氧化碳吸收剂（碳酸盐类）的捕集—再生—重复使用循环，推动 CCU（CO₂ 捕集与利用）路径的资源效益与经济可行性。该项目明确提出在循环体系中，碳酸盐（如 Na₂CO₃/K₂CO₃ 混盐）可高效吸收 CO₂ 形成碳酸盐，然后通过加热或电化学方式再生释放 CO₂，在脱附后重新循环使用——目标是让盐碳酸盐重复使用高达百次，显著降低物料消耗与运营成本。项目获得 EIT Manufacturing 区域创新基金（区域创新计划 RIS）资助约 €560K，联合行业专家团队共同推进。

该项目创新点及意义：

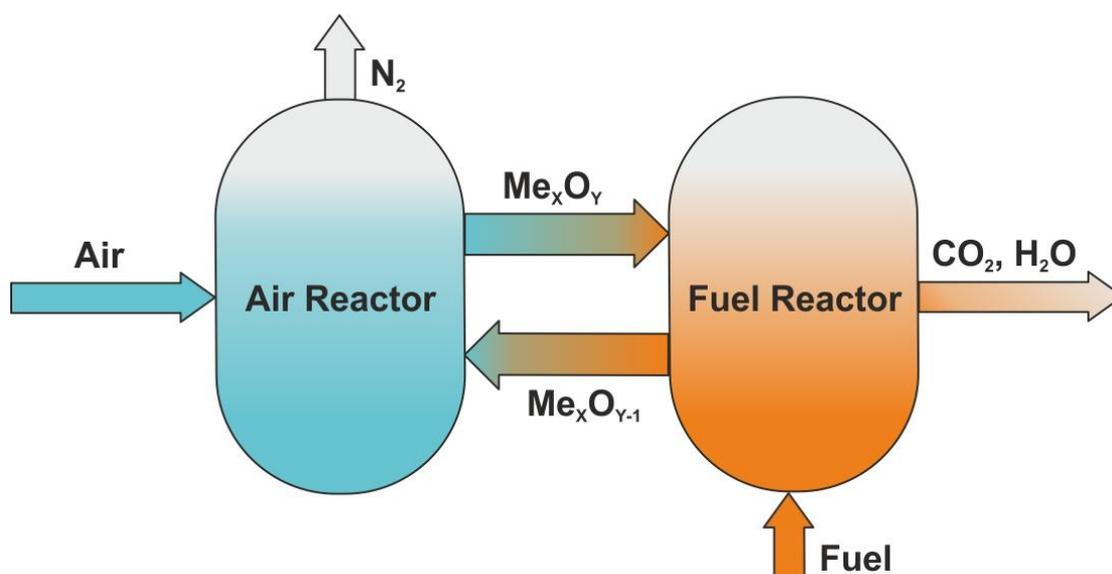
资源高效循环：通过熔盐的化学稳定性和吸收/释放特性，实现盐碳酸盐载体的高耐久再生循环，减少化学品消耗；

能耗与成本控制：再生工艺温和、能耗低，且物料可重复使用，大幅降低长期运营成本；

适配多场景应用：该技术路径适用于发电厂烟气、化工尾气以及直接空气捕集等多种 CO₂ 来源；

工程示范导向：作为区域创新项目，它强调从实验室研发向中试乃至示范工厂的加速转化，对欧盟及全球 CCU 路径具启发意义。

8. ECO₂Fuel: 低温电化学 CO₂ 转化示范系统



联系人: Prof. David S. Holmes

联系邮箱: david.holmes@imdea.org

ECO₂Fuel 是欧盟 Green Deal 资助的 CCU 创新示范项目, 目标是研发和运行世界首个 1 MW 级低温电催化 CO₂ 转化系统, 用于生产经济型 e-fuels (电力合成燃料) 和化工中间体。该系统基于电催化转化原理, 利用水和可再生电力将 CO₂ 在低温条件下还原为高附加值燃料 (如甲醇、甲酸等)。该项目聚焦技术效率提升、系统稳定性、经济可行性与工业规模可扩展性。

项目意义如下:

技术突破: 突破传统高温、高能耗 CO₂ 转化限制, 将电催化操作温度降至工业可行范围;

系统集成示范: 不仅是实验装置, 而是运营级别系统, 具备 1 MW 级别处理能力;

政策与产业响应: 响应欧洲碳中和承诺, 支撑 e-fuels 落地与交通、电力系统长期脱碳;

促进产业合作: 项目融合大学、研究所与工业合作伙伴, 强调产业链协同与政策支持。

9. CarbFix: 碳的矿化封存示范（日化玄武岩地质封存项目）

联系人：Dr. Edda Sif Aradóttir

联系邮箱：edda.sif@carbfix.com

CarbFix 是冰岛创立的示范项目，由 Reykirk Energy、冰岛大学、法国 CNRS 与哥伦比亚大学 Earth Institute 联合发起，自 2007 年起开展基于玄武岩地质矿化的 CO₂ 永久封存研究与运营。其核心技术是将 CO₂ 溶解于水中后注入地下玄武岩层，利用高矿物反应性使 CO₂ 与基岩迅速反应生成碳酸盐矿物，实现固态“矿化封存”。2012 年首次注入试验中，约 200 吨 CO₂ 在 2 年内有 95% 转化为矿物，展示了快速、安全、永久储存能力。自 2014 年起，该技术已运用于 Hellisheiði 地热电厂的烟气处理，成为工业级闭环示范系统。

CarbFix 的创新价值：

永久矿化封存路径：相比传统 CCS，该技术的优势在于 CO₂ 转化为固态矿物，长期不回泄；

示范与产业转化：从试验到工业规模落地，CarbFix 是 CO₂ 地质矿化封存领域的全球领先案例；

跨学科合作典范：融合大学研究、能源企业与地质机构，实现科学—工业—政策三方协同；

广泛适用性：虽针对冰岛玄武岩地质结构，但其方法可推广至世界范围内地质适配区域。

10. 海水制盐及盐间回收碳酸钠工艺 (Salt Electrodialysis and Carbonate Recovery)

联系人: Prof. Ali Eftekhari

联系邮箱: eftekhari@drexel.edu

德雷克塞尔大学的电化学材料与分离技术研究组在 Prof. Ali Eftekhari 的带领下, 开发了一种新型海水制盐与盐之间 CO₂ 捕集/碳酸钠回收路径, 通过电渗析 (electrodialysis, ED) 和电化学驱动去离子技术, 将海水中氯化物与钠分离生成食盐的同时, 捕捉并浓缩溶解的 CO₂, 以碳酸钠形式输出。整个过程可视为“同时提盐又抓 CO₂”的双赢工程路径。

该系统采用多级 ED 模块组合, 配合阴阳离子交换膜和电流控制, 可在不同浓度层中实现选择性离子转移, 并通过 pH 调控将 CO₂ 转化为碳酸盐离子进行分离。实验室规模测试结果表明, 该路径能够实现 ≥90% 的 CO₂ 捕集效率, 同时获得工业级 NaCl 产品。

技术亮点包括:

单步操作合成盐和碳酸盐产品, 节约设备与能耗;

可适配海水、卤水和含盐尾水, 具有广泛适用性;

电渗析模块设计灵活, 便于现场扩容或集成于现有制盐设施;

CO₂ 以碳酸钠形式实现固化与储运, 降低后续储存或利用难度。

该项目不仅为传统盐化工注入绿色元素, 也构建了一个“制盐即抓碳”的概念性蓝图。适用于沿海资源丰富地区, 尤其是那些依赖海水制盐但需兼顾碳减排的国家与产业。团队目前正在寻求中试与产业合作机会。

11. 煤炭热裂解制氢与碳捕集系统 (Coal Pyrolysis-Hydrogen + CO₂ Capture)

联系人: Dr. Yibo Zhang

联系邮箱: yibo.zhang@manchester.ac.uk

曼彻斯特大学气体化与清洁燃料研究所开发了一个以煤炭热裂解为核心的清洁燃料路径: 采用中温热裂解 (约 650–750°C) 将煤炭转化为合成气, 并通过系统设计最大化 H₂ 生成, 同时利用高效吸附模块收集 CO₂, 实现清洁氢气生产与碳捕集耦合。

该工艺包括两个关键模块:

煤热裂解器: 利用惰性气体循环提供裂解热量, 生成含 H₂、CO 和惰性气体混合气;

吸附分离装置: 通过温压 swing 吸附 (PSA/TSA) 方式, 分离 H₂ 并高纯度捕获 CO₂。

实验结果显示, H₂ 产率可达煤基质量的 25%, CO₂ 捕集率超过 90%, 同时具备模块化与快速启动性能。系统能与现有高炉、煤气化设施兼容, 以“小改造 + 碳减排”路径推进升级。

该项目意义在于:

为“煤 → 氢 + CO₂ 捕集”模块化绿色路径提供可靠工程验证;

可缓解煤炭依赖地区的能源结构调整负担;

技术适配灵活, 便于配套燃煤发电或柴油替代能源系统。

团队正推进位于国家试验平台的中试设备运行, 计划与煤化工企业合作实施示范。

12. 海洋卤水中锂盐提取与 CO₂ 应用示范

联系人： Dr. Lucia Gonzalez

联系邮箱： lucia.gonzalez@ua.es

阿利坎特大学盐湖资源与绿色化学研究组开展了一项创新项目，致力于从海洋卤水和盐湖水中联合提取锂盐与 CO₂ 捕集利用。该项目通过层析分离技术，从高矿物质含量的天然卤水中回收锂离子（如 LiCl, Li₂CO₃），并同步捕获溶解 CO₂，将 CO₂ 转化成矿化形式或与锂盐形成稳定复合盐混合物。

技术路径如下：

预处理：使用预处理膜或深床吸附材料去除 Mg²⁺、Ca²⁺ 等干扰离子；

锂回收：采用离子交换或液-液萃取技术，分离锂离子；

CO₂ 捕集利用：通过 pH 调节使 CO₂ 转化为碳酸盐，与锂离子共同析出形成可用的锂碳酸盐 / 碳酸锂产物。

这一路径有以下绿色意涵：

将锂资源采掘与 CO₂ 捕集高效结合；

利用自然卤水资源，减少传统矿石开采与环境压力；

实现资源的协同提取与碳减排合一。

实验室级别研究结果已经表明锂提取效率与 CO₂ 转换率均优于单一提取路径，团队计划构建位于地中海盐湖的中试装置，以验证技术稳定性与系统完整性。

13. 高温电解制氢与盐副产物协同回收技术

联系人： Dr. Michael Lawson

联系邮箱： michael.lawson@mit.edu

麻省理工学院能源转换与材料工程实验室开发了一种高温固体氧化物电解（SOEC）技术，可在 700–850°C 条件下高效分解水生成氢气，同时从盐水或卤水中回收高纯副产盐（如 NaCl、KCl）。该系统利用可再生电力（风能/光伏）为电解提供热能与电能双驱动，大幅降低能耗。

工艺流程包括：

高温电解单元：固体氧化物膜（YSZ、ScSZ）作为电解质，实现水蒸气的高效分解；

盐分离单元：利用高温蒸发-结晶工艺，将原料液中的溶解盐析出，形成工业级盐产品；

热能回收：尾气热量经换热器回收供给预热段，提升整体热效率。

实验数据显示，该技术在连续运行 1000 小时后，氢气产率稳定，副产盐纯度可达 99.5%。

该项目为盐化工与氢能产业的协同发展提供了新路径，尤其适合沿海或盐湖地区的可再生能源+化工联合体。

14. 煤基废气转化甲醇与碳酸盐耦合工艺



联系人： Prof. Elena Torres

联系邮箱： elena.torres@upm.es

马德里理工大学的化学过程强化研究组开发了一种将燃煤电厂烟气转化为甲醇与碳酸盐双产品的工艺。该系统集成 CO₂ 捕集、氢气合成、甲醇合成及碳酸盐结晶四个环节，在能源与物料利用效率方面表现优异。

技术路径：

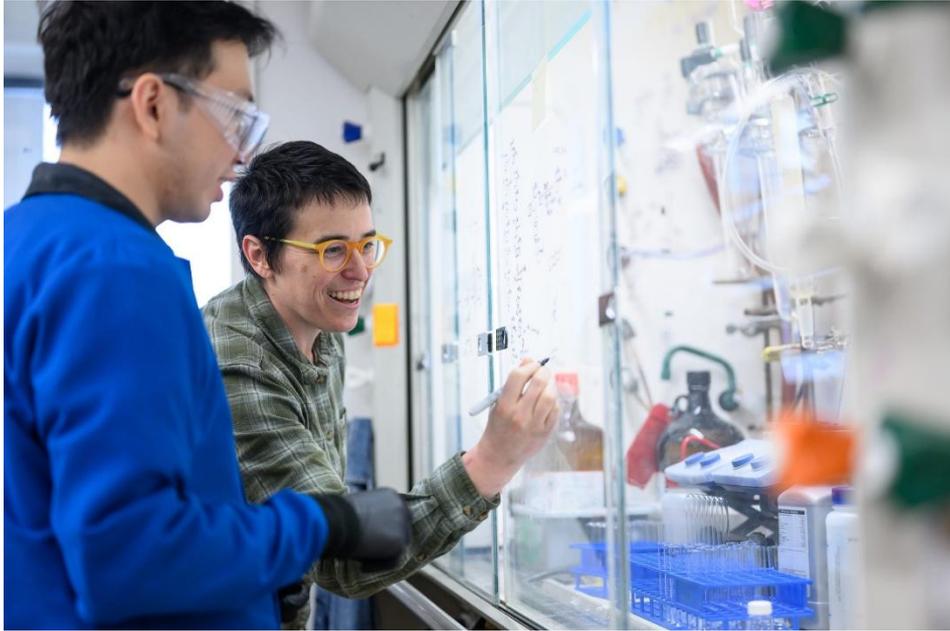
CO₂ 捕集：采用胺基功能化固体吸附剂，在较低能耗下高选择性捕集烟气中的 CO₂；

甲醇合成：利用可再生电力驱动的水电解制氢，将 H₂ 与捕集的 CO₂ 在 Cu-ZnO-Al₂O₃ 催化剂上反应生成甲醇；

碳酸盐副产：未进入甲醇合成的 CO₂ 部分与碱性溶液反应生成工业级碳酸钠或碳酸钾。

中试数据显示，系统 CO₂ 转化率可达 85%，甲醇产率和碳酸盐产率均具备商业化潜力。该工艺不仅实现煤化工低碳化，还为传统煤电行业提供了增值副产物的新方向。

15. 深海卤水零排放盐化工系统



联系人： Dr. Sofia Marin

联系邮箱： sofia.marin@uq.edu.au

昆士兰大学的海洋资源与循环化工实验室研发了一种面向深海卤水的零液体排放（ZLD）盐化工系统，可在不造成海洋污染的前提下，高效提取多种盐类（ NaCl 、 MgCl_2 、 K_2SO_4 ）并同步回收淡水。

核心技术包括：

深海卤水抽取与预处理：通过多级过滤和膜分离去除有机物与悬浮颗粒；

多效蒸发结晶：利用低品位热能驱动结晶过程，将不同盐类分步析出；

淡水回收：反渗透（RO）与蒸馏结合，实现 $\geq 95\%$ 的淡水回收率；

零排放闭环：固体废物经过处理后用于建筑或其他工业用途，实现全流程资源化。

该系统已在澳大利亚近海搭建 1:10 中试平台，运行结果显示， NaCl 纯度可达 99.7%，淡水产量可满足附近小型社区日常用水需求。项目展示了海洋盐化工的可持续发展可能性，同时避免了卤水排放带来的生态风险。

16. LanzaTech 碳捕获与转化技术



联系人：Dr. Jennifer Holmgren

联系邮箱：info@lanzatech.com

LanzaTech 是一家领先的碳捕获和利用 (CCU) 技术公司，专注于将工业废气（如钢厂、化工厂排放的 CO 和 CO₂）转化为可持续燃料和化学品。其专利的生物发酵技术利用特殊微生物将废气直接转化为乙醇、航空燃油等高附加值产品，实现碳循环经济。目前，LanzaTech 已与全球多家企业（如首钢集团、维珍航空）合作，年减排二氧化碳达数十万吨。该项目不仅减少工业碳排放，还推动废弃资源的高效利用，曾获《时代》杂志“全球最佳发明”奖项。未来计划拓展至塑料单体（如乙烯）的绿色合成领域。

项目创新性体现在三方面：

原料颠覆：以钢厂、化工厂的废碳替代粮食或石油原料；

工艺突破：专有生物反应器实现气体连续发酵，转化效率达 90%以上；

产品扩展：已开发出从乙醇到丙酮、异丙醇等 9 种化学品的技术路线。

17. Avantium 可再生塑料 PEF (聚乙烯呋喃酸酯)

联系人: Tom van Aken

联系邮箱: contact@avantium.com

荷兰 Avantium 公司开发的 YXY®技术平台, 通过催化工艺将植物糖分转化为 100%生物基塑料 PEF (聚乙烯呋喃酸酯)。其核心突破在于:

原料选择: 使用非粮作物 (如小麦秸秆、木薯) 提取的果糖, 避免粮食竞争;

化学创新: 专利固体酸催化剂将果糖高效转化为 FDCA (呋喃二甲酸), 纯度达 99.9%;

性能优势: PEF 的氧气阻隔性比 PET 高 10 倍, 可延长食品保质期 30%以上。

2023 年, Avantium 在荷兰 Delfzijl 建成全球首座 PEF 商业化工厂 (年产能 5 万吨), 产品已被联合利华、嘉士伯用于食品包装。生命周期评估 (LCA) 显示, PEF 的碳足迹仅为 PET 的 1/3。

项目亮点包括:

闭环设计: 废 PEF 可通过化学回收重新转化为单体;

政策支持: 获欧盟"创新基金"2.5 亿欧元资助;

战略合作: 与巴斯夫共同开发 PEF 纤维应用。

预计到 2030 年, PEF 将替代全球 10%的 PET 市场 (约 800 万吨/年)。

18. Solugen 生物基过氧化氢与化学品生产

联系人: Sean Hunt

联系邮箱: tech@solugen.com

Solugen 通过融合合成生物学与电化学, 开发出全球首个"碳负"化学品生产平台。其核心技术包括:

专有酶催化剂: 基因改造的锰过氧化物酶可在常温常压下将葡萄糖转化为高纯度过氧化氢, 比传统蒽醌法节能 85%;

模块化反应器: Bioforge™工厂采用 AI 控制的连续流系统, 占地仅为传统化工厂的 1/10。

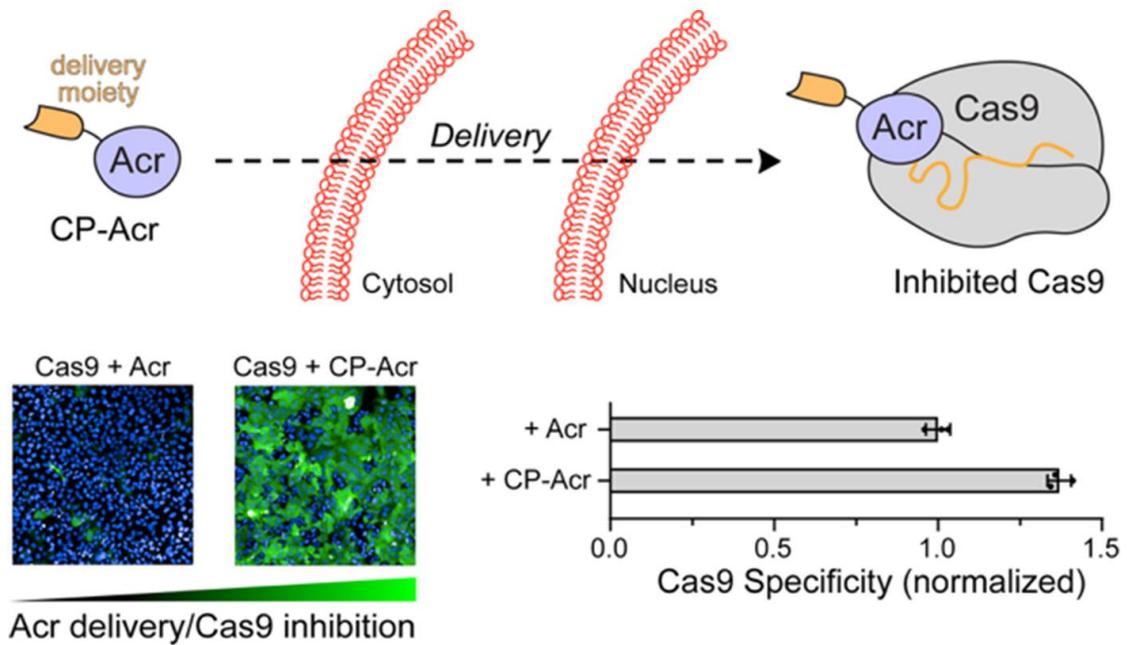
2022 年投产的休斯顿工厂年产 1 万吨过氧化氢和有机酸 (如葡糖酸), 用于水处理、电子清洗等领域。与石油基工艺相比:

碳排放: 每吨产品净吸收 0.5 吨 CO₂ (通过原料种植实现);

成本优势: 生产成本比市场均价低 20%。

项目已获美国能源部 3100 万美元资助, 并与 Cargill 合作开发农业用可降解螯合剂。Solugen 计划 2025 年前在亚洲建设第二座 Bioforge™, 目标取代全球 15% 的过硫酸盐市场。

19. MIT-太阳能驱动 CO₂转化系统



联系人：Prof. Yogesh Surendranath

联系邮箱：yogi@mit.edu

麻省理工学院开发的电催化系统利用仿生叶绿素材料（Mn-卟啉配合物）将 CO₂和水直接转化为乙烯、乙醇等 C₂+化学品。其核心技术突破包括：

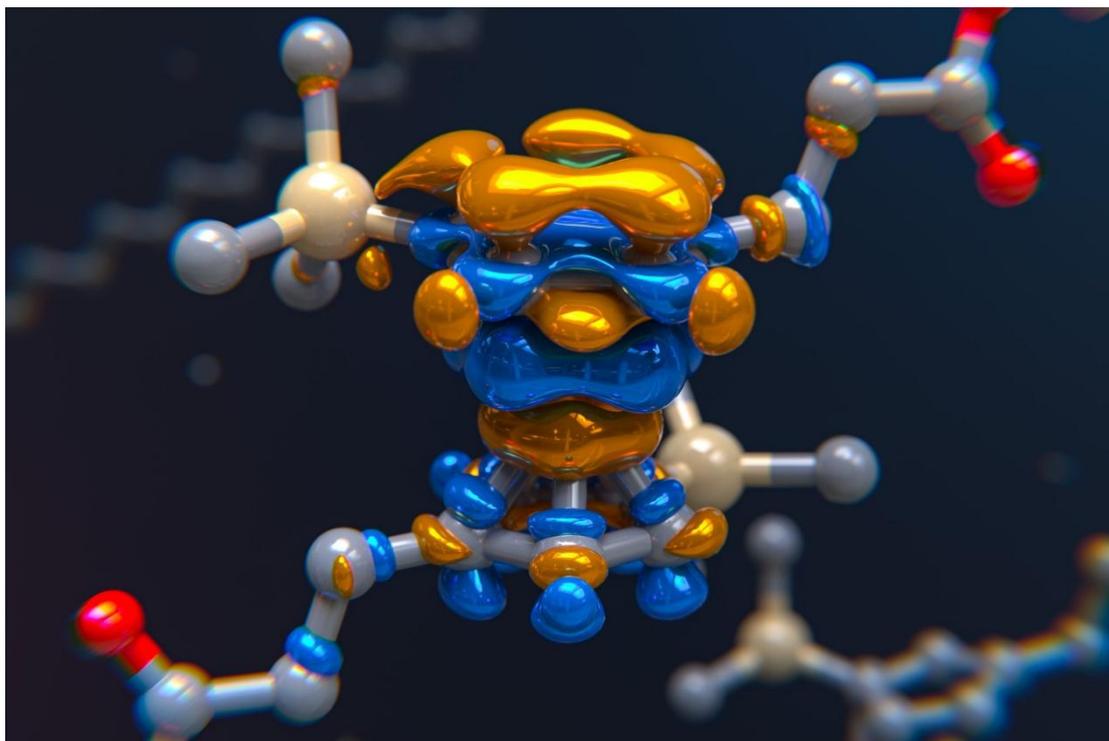
光电极设计：钙钛矿量子点/铜纳米线复合电极实现 22%的光能转化效率（Nature, 2023）；

选择性控制：通过脉冲电位调节使乙烯选择性达 81%（传统方法<35%）；

系统集成：模块化反应器可适配工业烟道气（含 NO_x/SO₂杂质）。

项目已完成 10 升/小时规模中试，每公斤乙烯生产成本较石油路线降低 40%。获美国能源部 ARPA-E 计划 250 万美元资助，正与 Shell 合作建设兆瓦级示范装置。

20. ETH Zurich-等离子体催化氨合成（绿色氮肥）



联系人：Prof. Javier Pérez-Ramírez

联系邮箱：jpr@chem.ethz.ch

苏黎世联邦理工学院开发的非热等离子体-催化协同系统，在常压条件下将 N_2 和 H_2O 直接合成氨，彻底替代传统 Haber-Bosch 工艺。关键技术特征：

能量创新：微波等离子体激发氮分子裂解（能耗仅 12 kWh/kg- NH_3 ，比传统工艺低 60%）；

催化剂突破： $Fe_3Mo_3C@$ 石墨烯催化剂在 200°C 下实现 85% 氮转化率（Science, 2022）；

可再生能源耦合：可直接使用风电/光伏产生的波动性电力。

项目已获欧盟 Horizon 2020 计划 530 万欧元支持，正在挪威 Yara 公司开展吨级/日示范。

21. 生物可降解聚酯单体生物合成

联系人: Prof. Jay Keasling

联系邮箱: keasling@berkeley.edu

通过改造大肠杆菌代谢途径, 直接从葡萄糖生产 PDO (1,3-丙二醇)、FDCA 等聚酯关键单体:

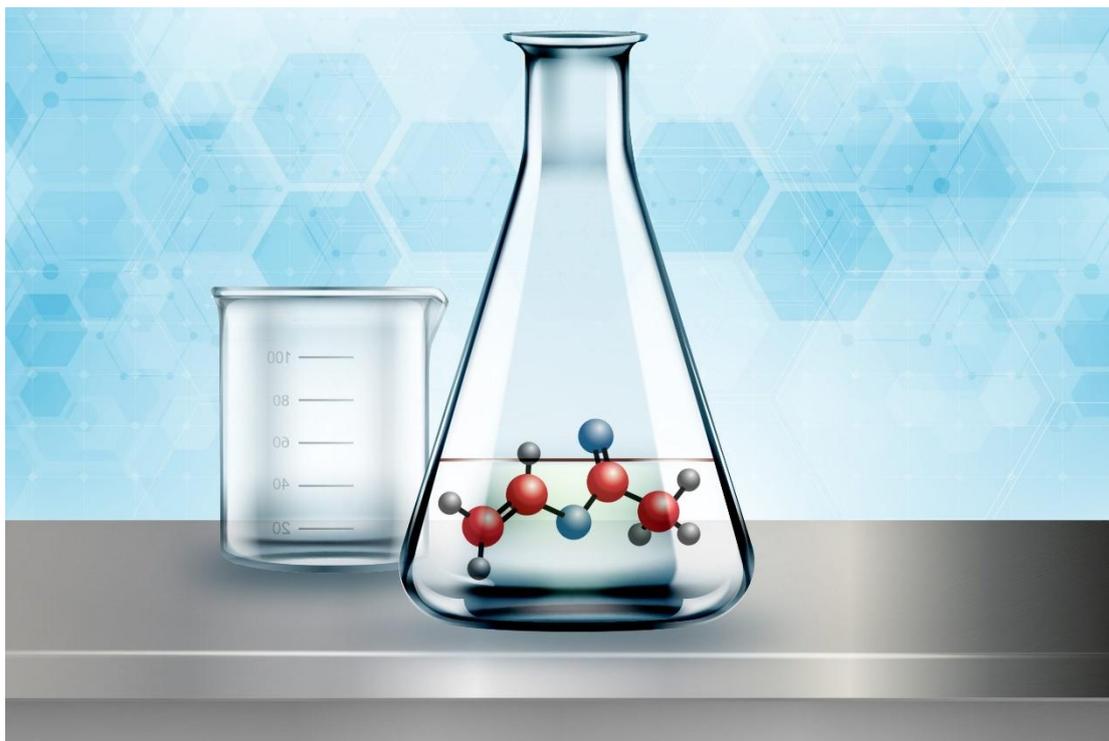
途径设计: 引入来自克雷伯菌的甘油脱水酶模块, 使 PDO 产率达 135 g/L (代谢工程顶级期刊 *Metab. Eng.*, 2023);

分离创新: 膜渗透汽化技术降低下游处理能耗 40%;

材料性能: 所得 PEF 塑料抗拉强度达 85 MPa (优于石油基 PET)。

项目获美国 NSF 生物技术中心 200 万美元资助, 与 Genomatica 公司合作推进 20 吨/年发酵验证。技术许可通过 UC Berkeley 知识产权办公室进行。

22. 光催化塑料升级回收 (PET→高值化学品)



联系人: Prof. Erwin Reisner

联系邮箱: reisner@ch.cam.ac.uk

剑桥大学开发了一种仿生光催化系统, 在常温常压下将废弃 PET 塑料转化为对苯二甲酸和乙二醇的同时, 还能产出氢气。核心技术突破包括:

催化剂设计: 酞菁钴/碳氮量子点复合催化剂在可见光下实现 PET 降解率>95% (Nature Catalysis, 2023);

反应机制: 通过质子耦合电子转移 (PCET) 过程避免强酸/碱的使用;

能量效率: 太阳能-化学能转化效率达 8.7% (同类技术通常<3%)。

项目已建成每天处理 5 公斤塑料的示范装置, 并与联合利华签订技术开发协议。获英国工程与物理科学研究委员会 (EPSRC) 180 万英镑资助。

23. TU Delft-微生物电合成醋酸（利用 CO₂与废水）

联系人： Prof. David Strik

联系邮箱： d.b.strik@tudelft.nl

代尔夫特理工大学开发的微生物电合成（MES）系统，利用厌氧微生物（如 *Clostridium ljungdahlii*）将工业废气中的 CO₂和废水中的有机质同步转化为高纯度醋酸：

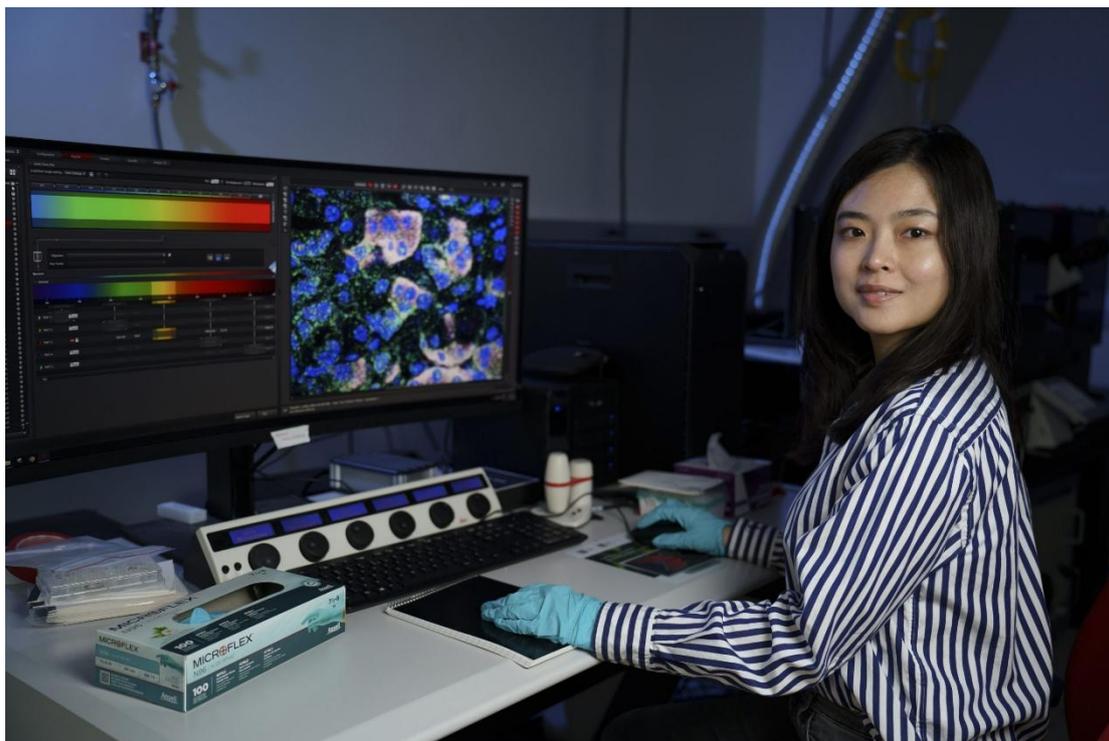
反应器创新： 三维石墨烯阳极使电流密度提升至 15 A/m²（传统方法<5 A/m²）；

底物扩展： 可处理含酚类、重金属的复杂废水；

经济性： 生产成本较传统发酵法降低 62%（Bioresource Technology, 2024）。

项目已与荷兰化工企业 Nouryon 合作建立 10 立方米规模试点，每年可转化 50 吨 CO₂。技术获欧盟“生命计划”（LIFE Programme）资助，实验室提供技术培训服务。

24. 超临界水气化生物质制氢



联系人：Prof. Yukihiro Matsumura

联系邮箱：matsumura@sys.t.u-tokyo.ac.jp

东京大学开发的连续流超临界水（374°C, 22.1 MPa）反应器，可将湿生物质（如藻类、餐厨垃圾）直接转化为高纯氢：

工艺优势：无需干燥预处理，含水率>90%的原料可直接处理；

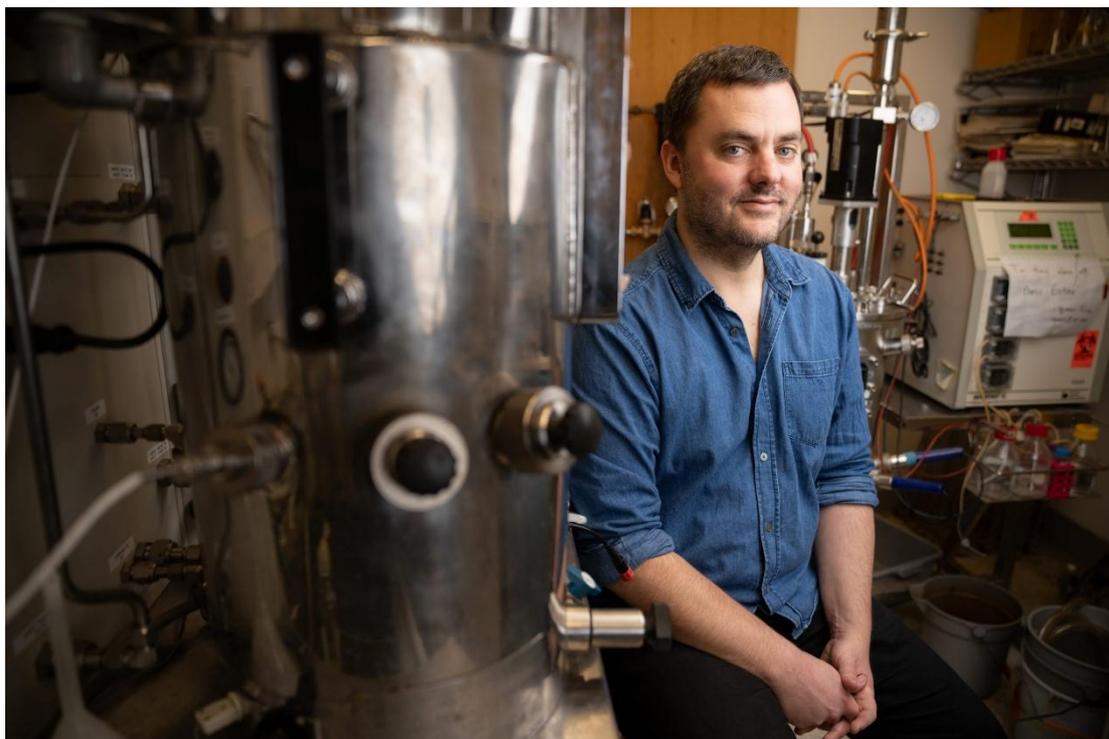
催化剂：自修复型 Ni-TiO₂ 催化剂使氢气产率达 12 mmol/g-biomass；

系统集成：余热回收使能量效率达 78%（国际氢能期刊 IJHE, 2023）。

项目在日本福岛建成 1 吨/天的示范工厂，获日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）

35 亿日元支持。技术许可通过东京大学创新平台（Todai TLO）进行。

25. EPFL-分子筛膜乙醇脱水技术（生物燃料精制）



联系人：Prof. Kumar Varoon Agrawal

联系邮箱：kumar.agrawal@epfl.ch

瑞士洛桑联邦理工学院开发了具有原子级孔道调控的 MFI 型分子筛膜，可实现生物发酵乙醇一步法脱水至燃料级（99.5%+）：

膜结构创新：取向生长的 2 nm 厚度沸石膜使通量达 $10 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ （传统聚合物膜 $< 1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ ）；

能耗对比：比共沸精馏节能 70%；

稳定性：在含乙酸等杂质的发酵液中连续运行 1000 小时无衰减 (Science Advances, 2023)。

项目获瑞士能源办公室 200 万瑞郎资助，与 Clariant 公司合作开发工业级膜组件。

26. 可再生丁二烯生物合成



联系人：Prof. Kechun Zhang

联系邮箱：kzhang@umn.edu

通过改造谷氨酸棒状杆菌代谢途径，从木糖直接合成轮胎工业关键原料——丁二烯：

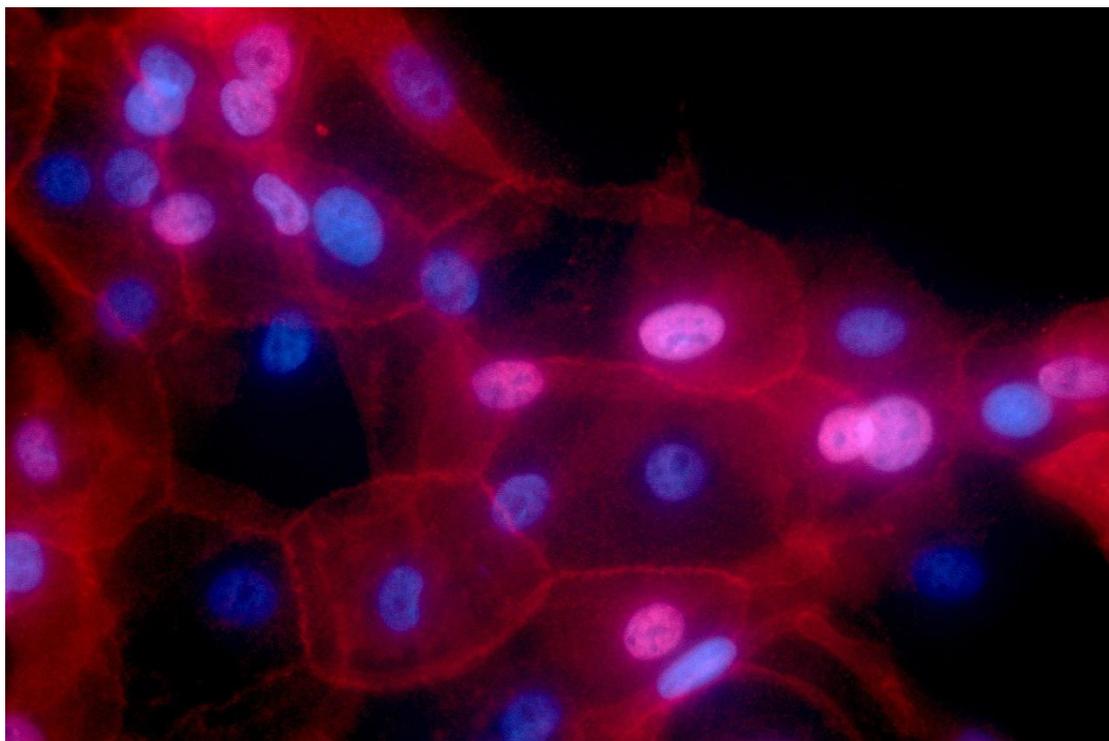
途径设计：引入植物来源的 4-羟基丁酸脱羧酶模块，使碳转化率提升至 28%（代谢工程顶级期刊 *Metab. Eng.*, 2024）；

气体萃取：专利的在线膜分离系统使产物浓度达 45 g/L；

经济性：预估生产成本\$1.2/kg（石油基路线约\$1.5/kg）。

项目获美国农业部生物精炼资助计划（BRDI）320 万美元支持，与固特异轮胎开展中试合作。

27. 电化学合成氨 (eRefinery 项目)



联系人: Prof. Thomas Jaramillo

联系邮箱: jaramillo@stanford.edu

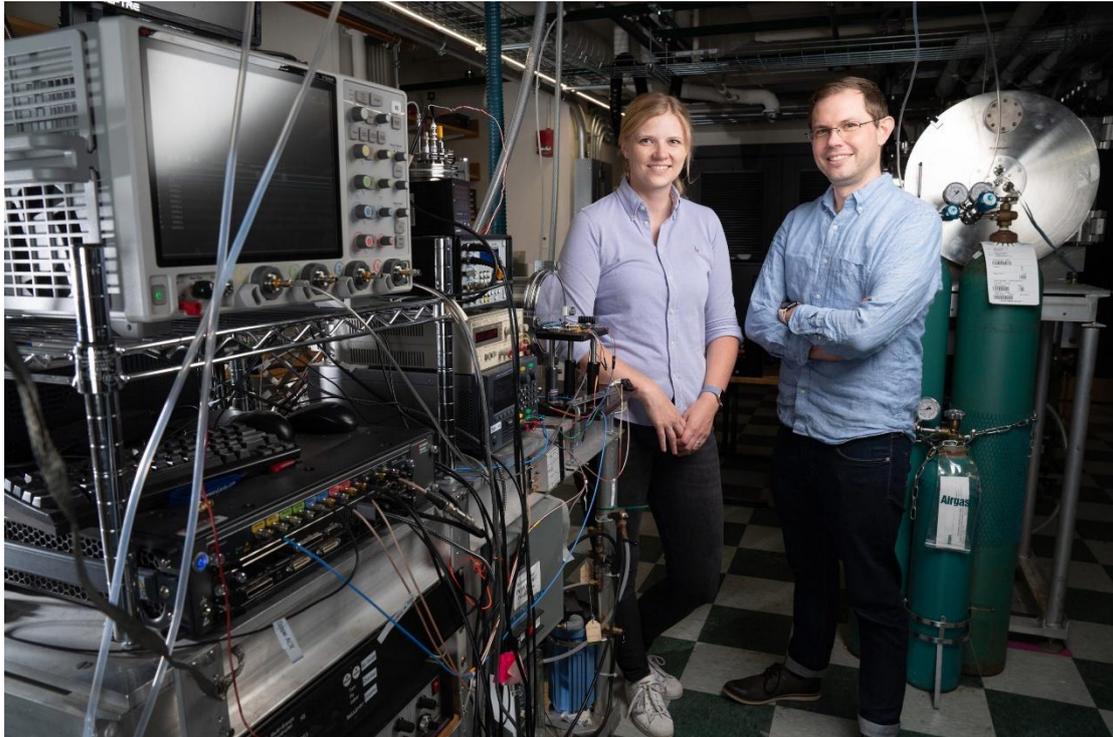
斯坦福大学开发的电化学氮还原 (NRR) 系统利用可再生电力在常温常压下将 N_2 和 H_2O 直接合成氨, 突破传统 Haber-Bosch 工艺的高温高压限制。核心技术包括:

催化剂创新: Fe-Mo 双原子催化剂使法拉第效率达 60% (Science, 2022);

反应器设计: 气扩散电极 (GDE) 结构实现氨产率 $>1 \times 10^{-7} \text{ mol/cm}^2 \cdot \text{s}$;

系统集成: 与光伏耦合时整体能效达 15%。

28. 生物基丙烯酸生产



联系人：Prof. Volker Sieber（工业生物技术中心）

联系邮箱：volker.sieber@tum.de

TUM 开发的微生物-化学级联工艺，通过以下步骤从木质纤维素生产丙烯酸：

生物转化：工程化酵母将木糖转化为 3-羟基丙酸（3-HP），效价达 120 g/L；

催化脱水：新型钨基催化剂使 3-HP→丙烯酸转化率>99%

纯化创新：分子印迹聚合物吸附剂降低能耗 30%。

项目已获欧盟“生物基产业联合计划”（BBIJU）1700 万欧元资助，与巴斯夫合作推进 10 吨/日中试。

29. 微生物电合成甲烷（废水处理耦合能源生产）



联系人：Prof. David Sinton

联系邮箱：sinton@mie.utoronto.ca

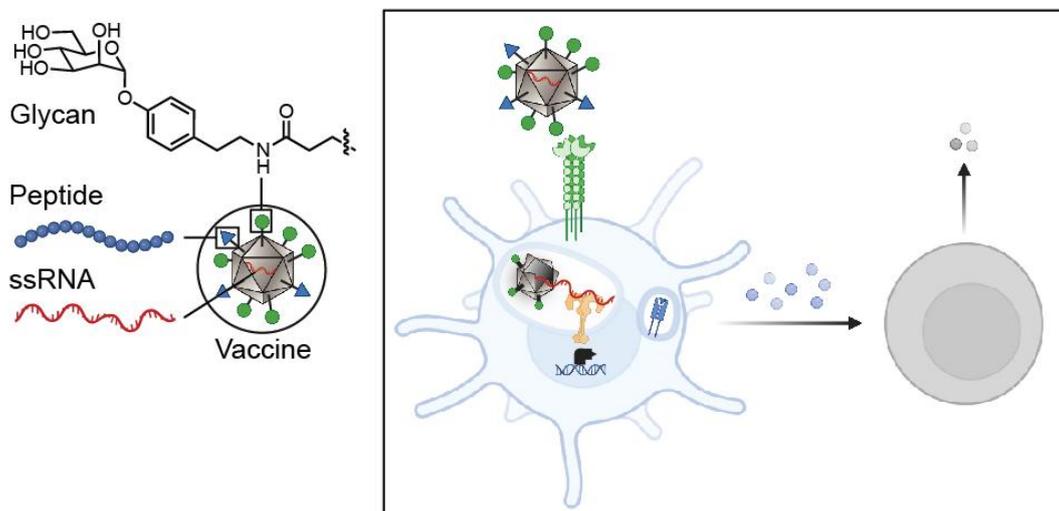
多伦多大学开发的微生物电解系统（MES）利用产甲烷菌（如 Methanobacterium）将污水处理厂有机废物（COD>2000 mg/L）转化为高纯度甲烷（CH₄纯度>95%），同时实现废水净化。关键技术突破包括：

电极设计：三维石墨烯-镍泡沫阴极使甲烷产率提升至 1.2 L/L·d（传统厌氧消化仅 0.3 L/L·d）；

能量平衡：系统净能量输出达 2.5 kWh/m³废水，较传统处理工艺节能 40%；

菌群调控：通过电位控制（-0.8 V vs. SHE）选择性富集电活性产甲烷菌群。

30. 微生物燃料电池处理含盐废水



联系人: Prof. Ioannis Ieropoulos

联系邮箱: ioie@dtu.dk

利用嗜盐菌(如 Halomonas)构建的微生物燃料电池(MFC)可同时处理高盐废水(盐度>5%)

并发电:

性能指标: 盐度耐受性达 8%, 功率密度 4.2 W/m^2 (常规 MFC $<1 \text{ W/m}^2$);

应用场景: 适用于海鲜加工、印染行业废水;

经济性: 每立方米废水处理成本较反渗透法降低 55%。

项目获欧盟 EIT Climate-KIC 200 万欧元资助, 正在西班牙海鲜企业 Grupo Nueva Pescanova 进行工程验证。