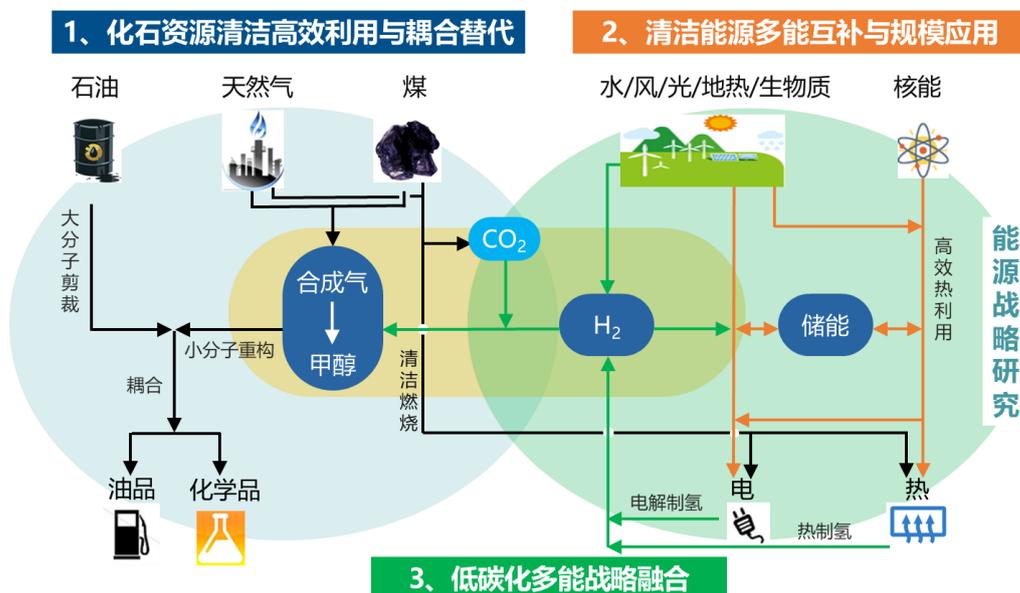




# 洁净能源科技动态监测快报

2020 年第 02 期（总第 04 期）



## 本期看点

- 欧盟发布《欧洲绿色协议》打造全球首个碳中性循环经济体
- 欧盟发布 CCUS 技术进展报告展望未来发展趋势
- ETIP-Bioenergy 评述电力合成燃料对欧洲交通脱碳潜在影响
- DOE 资助 2500 万美元支持天然气运输与转化利用研究
- DOE 资助近 3 亿美元推进可持续交通技术研发
- 欧盟 FCH-JU 投入 9300 万欧元支持氢能和燃料电池研究

# 目 录

2020 年第 02 期 (总第 04 期)

## ◆ 化石资源清洁高效利用

- 欧盟发布 CCUS 技术进展报告展望未来发展趋势 ..... 2
- DOE 资助 2500 万美元支持天然气运输与转化利用研究 ..... 5
- DOE 资助 1500 万美元支持碳利用技术研发 ..... 6

## ◆ 清洁能源多能互补

- 欧盟发布《欧洲绿色协议》打造全球首个碳中和循环经济体 ..... 8
- 欧洲光伏产业协会：未来 5 年欧盟光伏发展前景持续向好 ..... 10
- DOE 资助 7500 万美元开发高产生物能源作物 ..... 13
- DOE 资助近 3 亿美元推进可持续交通技术研发 ..... 14
- 溶剂调谐实现室温快速制备大面积钙钛矿新工艺 ..... 15

## ◆ 低碳化多能融合

- ETIP-BIOENERGY 评述电力合成燃料对欧洲交通脱碳潜在影响 ..... 17
- 欧盟 FCH-JU 投入 9300 万欧元支持氢能和燃料电池研究 ..... 20
- 过渡金属碳化物@铂核壳电催化剂实现万次循环稳定性 ..... 22
- 水系电解质柔性超容展现高能量密度和高安全性 ..... 24

## ◆ 能源战略研究

- 国际可再生能源署展望至 2050 年风能市场发展趋势 ..... 26
- IRENA 分析先进生物液体燃料发展面临的挑战 ..... 30

## 本期概要

欧盟委员会发布《欧洲绿色协议》，涵盖了所有经济部门，阐明了欧洲迈向气候中性循环经济体的八大行动计划：包括提高欧盟 2030 年和 2050 年气候变化目标，提供清洁、可持续及安全的能源，推动各产业向可循环模式发展，加速向可持续智慧交通转变等，以期到 2050 年让欧洲成为全球首个“碳中性”循环经济体，实现社会经济高质量可持续发展。为了确保协议目标实现，欧盟还将从金融和政策框架等方面给予保障，包括撬动欧盟公共和私营部门的投资，将欧盟每年投资在现有水平再追加 2600 亿欧元；将至少 25% 的长期预算用于应对气候变化的行动领域；制定一个“公平转型机制”等。

欧盟委员会联合研究中心发布《碳捕集、利用与封存技术发展报告》，总结了碳捕集、利用与封存 (CCUS) 技术的发展现状和未来趋势：第一代碳捕集技术（如胺基溶剂吸附、富氧燃烧等）已经成熟可以投入商业应用；第二代碳捕集技术正处于研发阶段，将在稍后阶段进行示范；第三代技术则正处于概念设计或早期开发阶段。围绕未来的发展战略，欧盟对碳捕集和利用技术开发设定了系统目标，以推进 CCUS 技术进步和部署，同时系统分析了大规模部署的潜在障碍。

欧洲光伏产业协会 (SolarPower Europe) 发布《2019-2023 年欧盟太阳能光伏市场展望》报告，系统分析了欧盟光伏市场的现状和未来五年的发展形势：2019 年欧盟光伏市场增长强劲，新增光伏装机容量 16.7 GW，较 2018 年 (8.2 GW) 大幅增加 104%，是 2010 年以来增长最强劲的年份。得益于 2019 年的强劲增长，截至 2019 年底欧盟累计光伏装机容量达到了 131.9 GW，同比增长 14%。总体而言，2019 年欧盟各国光伏市场都取得了不同程度增长。其中西班牙、德国、荷兰、法国和波兰是新增装机容量排名前 5 的国家。展望未来，欧盟光伏将持续增长态势，到 2023 年年度新增装机容量有望突破 26 GW，累计装机容量将达到 180.1-276.8 GW。

美国能源部 (DOE) 宣布将资助近 3 亿美元推进先进可持续交通技术研发，由车辆办公室 (VTO)、燃料电池技术办公室 (FCTO) 和生物能源技术办公室 (BETO) 负责招标：其中 VTO 负责分配 1.33 亿美元，重点支持先进电池、先进发动机和燃料等主题研究；FCTO 负责分配 6400 万美元，主要支持涉及氢气生产、存储、运输和使用技术等主题研究；BETO 负责分配 1 亿美元，重点推进低成本生物燃料技术研发。以提升燃烧和运输效率，推动交通部门的低碳转型，减少排放。

欧洲生物能源技术与创新平台 (ETIP-Bioenergy) 发布《2030-2050 年电力合成燃料在欧洲交通系统中的作用》报告：总结分析了电力合成燃料 (E-Fuel) 的主要技术及其进展、环境影响、成本和潜在需求，以及为欧盟实现 2050 年碳中性气候目标潜在的助力作用，为决策者提供重要的科学参考。

欧盟“燃料电池与氢能联合行动计划” (FCH-JU) 发布 2020 年招标公告，拟投入 9300 万欧元支持氢能和燃料电池领域 24 个技术主题的研究：本次资助的主题涵盖氢气生产、储存、加氢站以及在交通和电力领域的应用。

# 化石资源清洁高效利用

## 欧盟发布 CCUS 技术进展报告展望未来发展趋势

2019 年 12 月 18 日, 欧盟委员会联合研究中心在战略能源技术规划(SET-Plan) 信息服务平台发布了更新版的《碳捕集、利用与封存技术发展报告》<sup>1</sup>, 总结了碳捕集、利用与封存(CCUS)技术的现状、发展趋势、目标 and 需求、技术障碍以及到 2050 年的技术经济预测。关键要点如下:

### 一、碳捕集技术

#### 1、技术现状及目标

至今为止, 碳捕集技术主要基于发电来定义。第一代碳捕集技术包括: ①胺基溶剂(燃烧后捕集); ②物理溶剂如聚乙二醇二甲醚法(Selexol)、低温甲醇法(Rectisol)等(燃烧前捕集); ③富氧燃烧。这些技术已经成熟可以投入商业应用, 只是成本较高, 因此相关的改进研发工作正在进行中。与发电相比, 工业过程中的碳排放可能并非来自燃烧, 因而上述第一代碳捕集技术的分类并不适用于工业。综合来看, 可分为基于溶剂的碳捕集、基于吸收剂的碳捕集、基于膜的碳捕集以及高温循环碳捕集等。第二代碳捕集技术处于研发阶段, 将在稍后阶段进行示范; 第三代技术正处于概念设计或早期开发阶段, 两者均侧重于开发更高效、环保和经济的技术。目前碳捕集行业的开发目标如下: 捕集成本低于 15 欧元/吨 CO<sub>2</sub>; 效率损失低于 5%; 到 2050 年碳捕集率达到 90%; 用于溶剂再生和/或获得氧气的能耗达到最小。

当前, 主要碳捕集技术的发展现状如下:

**(1) 基于溶剂的碳捕集。**第一代单乙醇胺(MEA)碳捕集技术的技术成熟度已达到 7-8 级, 溶剂再生的热负荷已经从 5 吉焦/吨 CO<sub>2</sub> 降至 1.8 吉焦/吨 CO<sub>2</sub>, 通过溶剂优化和工艺整合, 进一步的改进仍在中试和示范工厂中测试, 其开发目标为: 开发低成本和无腐蚀性的溶剂, 提高 CO<sub>2</sub> 负载能力, 改进反应动力学, 减少废气排放, 降低溶剂再生的能耗。在较高 CO<sub>2</sub> 浓度时, 物理溶剂的应用效果更好, 其技术成熟度已达到第 8 级。而在较低 CO<sub>2</sub> 浓度情况下, 甲基二乙醇胺(MDEA)是首要选择。第一代碳捕集技术的研究重点是: 提高高温下的 CO<sub>2</sub> 负载能力; 减少吸收热量; 改进溶剂再生条件以在更高压力下进行碳捕集。

**(2) 基于吸附剂的碳捕集。**对于固体吸附剂, 通常将变压吸附或变温吸附用于吸附剂再生, 气体与吸附剂的接触发生在固定床、移动床或流化床中。尤其是对于

<sup>1</sup> Carbon Capture Utilisation and Storage: Technology Development Report.  
[https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118297/jrc118297\\_1.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118297/jrc118297_1.pdf)

天然气电厂，可以利用碳捕集技术获得高纯度的 H<sub>2</sub>。在这种情况下，通常在使用物理溶剂分离 CO<sub>2</sub> 后，利用活性炭变压吸附（技术成熟度为 8 级）获得高纯度的 H<sub>2</sub>。这一策略适合煤气化电厂（如 IGCC）和天然气重整工厂。

**（3）基于膜的碳捕集。** 此类技术利用渗透性材料选择性地从烟气中分离 CO<sub>2</sub>。气体分离涉及物理或化学相互作用和/或表面反应以及选择性运输。通常，膜系统由多级和循环流组成。

**（4）高温循环技术。** 此类技术的成熟度在 4-5 级，是当前研究的重点，欧盟相关项目多集中在化学链燃烧项目（技术成熟度 5 级）以及煤和天然气锅炉项目（技术成熟度为 6 级），钙循环法的技术成熟度已达到 5 级。

欧盟目前资助的相关研究项目为碳捕集技术设定了如下目标：胺基溶剂碳捕集技术成熟度达到 7 级，为工厂规模的部署奠定基础；钙循环碳捕集技术成熟度在“地平线 2020” 框架计划资助期内提升至 7 级；化学链循环的技术成熟度达到 6 级，为中试工厂奠定基础；吸附强化水煤气变换和氢燃气轮机技术成熟度达到 6 级；“地平线 2020” 资助期内溶剂法、吸附剂法、化学链燃烧和钙循环法技术成熟度达到 7 级以后在大规模工厂中部署。

## 2、技术趋势及需求

对于适用于发电和高能耗行业的碳捕集技术，通用的技术趋势及需求如下：第一代、第二代和第三代碳捕集技术的有效集成；综合环境控制系统，如胺排放控制；全负载/部分负载下的灵活性；CO<sub>2</sub> 杂质的影响。

对于每种技术，可以确定以下趋势和需求：

**（1）基于化学/物理溶剂的吸附：** 优化溶剂管理，示范灵活性和可操作性，以及溶剂降解研究；降低溶剂成本以及能源消耗；开发更有效的接触面和更快的循环，以减少设备体积。

**（2）固体吸附剂吸附：** 开发新型吸附材料以改善性能；开发新材料的标准化测试流程；减小设备尺寸以降低成本。

**（3）膜技术：** 开发聚合物膜；竞争吸附、渗透以及 H<sub>2</sub> 与 CO<sub>2</sub> 之间的污染研究；膜特性（接触面积等）研究，以进行有效分离；影响分离过程的 CO<sub>2</sub> 浓度和压力研究；密封、稳定性、机械应力、结垢、水凝结和耐用性研究。

**（4）高温循环系统（化学链燃烧和钙循环）：** 第二代和第三代技术的效率提高；优化固体燃料反应器中的燃料转化过程；需要具有合理反应性和机械稳定性的材料来解决化学反应活性。

**（5）过程和系统改进：** 提升氧气分离效率，降低成本；开发用于高温高压燃烧系统和超临界 CO<sub>2</sub> 系统的材料；优化用于极端温度条件的材料，如用于高温高压下 H<sub>2</sub> 与 CO<sub>2</sub> 分离的材料；改善使用低阶煤的气化炉性能；设计和改进富氢燃气轮机

件以适应较高的燃烧温度和冷却要求。

### 3、大规模部署的障碍

影响碳捕集技术大规模部署的技术障碍主要包括：

- 改善因效率下降导致的附加损失；
- 降低溶剂再生及捕集成本；
- 针对恶劣条件进行材料优化，以提高可用性并降低成本；
- 控制除 CO<sub>2</sub> 以外的排放物，例如胺降解；
- 确定采用 CO<sub>2</sub> 捕集的锅炉和气化炉的最佳运行条件；
- 灵活集成到运行模式中；
- 改善发电循环；
- 进行全面示范，以增强潜在未来投资者和公众的认识和信心。

## 二、碳利用技术

### 1、技术现状及目标

利用 CO<sub>2</sub> 可以合成多种产品，各自的技术进展程度有所不同，如利用 CO<sub>2</sub> 生产尿素已经可以应用于市场，而生产燃料和化学品尚处于开发阶段。催化合成是最先进的碳利用途径，其中电化学和光化学转化的碳排放较低，藻类合成是用于生物燃料生产的新型技术。不同碳利用技术的成熟度如图 1 所示。

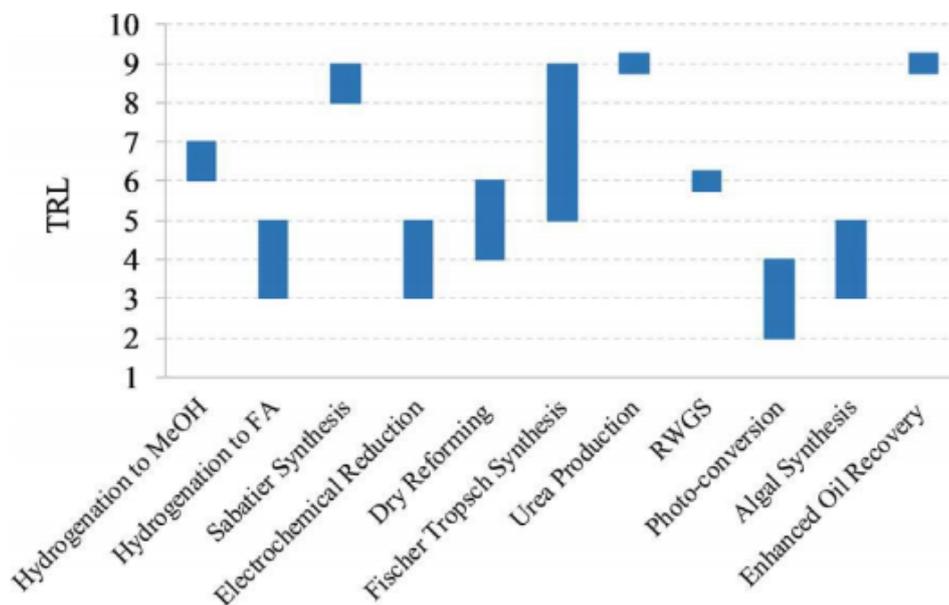


图 1 不同碳利用技术的技术成熟度

欧盟 SET-Plan 设定的碳利用目标为：（1）开发并示范将 CO<sub>2</sub> 转化为轻质烯烃（主要是乙烯和丙烯）的途径（技术成熟度 4 级以上），主要包括利用改进的费托催化剂实现 CO<sub>2</sub> 直接转化，以及将 CO<sub>2</sub> 经甲醇转化为烯烃的间接转化方法；（2）开发和示范将 CO<sub>2</sub> 转化为精细化学品的途径（技术成熟度 6 级以上）；（3）开发和示范将 CO<sub>2</sub> 转化为聚合物的途径（技术成熟度 6 级以上）；（4）开发和示范利用烟气

中捕集的 CO<sub>2</sub> 生产矿物碳酸盐并将其作为水泥添加剂的用途（技术成熟度 6 级以上）。

## 2、技术趋势及需求

- 设计流程和商业模式，以使基于 CO<sub>2</sub> 的产品具有市场竞争力。
- 对使用碳利用技术可以避免的化石燃料消耗量进行评估。
- 评估整个价值链中通过特定途径实现的净减排量。
- 通过使用标准化工具的生命周期评估模型评估整个供应链的碳排放量。
- 通过设计热集成工厂、完善的环境控制系统和灵活运行来优化流程。
- 与其他部门的协同作用，如使用可再生能源（作为零排放能源）和智能电网。
- 根据不同碳利用途径的浓度和杂质需求，确定最佳的 CO<sub>2</sub> 来源。
- 加强碳排放交易监管，避免将碳利用作为套利工具。
- 验证用于缓解气候变化的某些碳利用技术的效率。

## 3、大规模部署的障碍

决定碳利用市场竞争力的主要因素在于 CO<sub>2</sub> 原料的可用性和质量、H<sub>2</sub> 原料（如果需要）的可用性和质量，以及提供 H<sub>2</sub> 的电力成本。一些利用工艺，如德国 sunfire 公司和奥迪公司的燃料合成技术已经得以部署，但其他技术水平仍较低。还需提升市场对碳基产品的认可，相关激励措施极为重要。其他一些间接影响还包括：碳价，将碳利用工厂与可再生能源资源整合，可再生能源投资者对于与碳利用工厂整合的兴趣等。

（岳芳）

## DOE 资助 2500 万美元支持天然气运输与转化利用研究

1 月 3 日，美国能源部（DOE）宣布资助近 2500 万美元，支持 16 个天然气基础设施技术开发项目<sup>2</sup>，旨在开发工具、方法和技术，以经济高效地提高天然气生产、收集、存储和运输基础设施的安全性和效率。本次资助主要聚焦 3 大主题领域，包括：低排放高效率的天然气运输基础设施技术；将火炬气升级为可运输的增值产品的过程优化技术；先进甲烷检测和测量技术的验证。具体内容见表 1。

表 1 天然气基础设施技术开发项目具体内容

主题	具体内容	资助金额 /万美元
低排放高效率的天然气运输基础设施技术	开发、制造和验证一种可现场安装、可远程控制的往复式天然气压缩机的低成本改装套件，以减少排放、提高效率并降低运行成本	149

<sup>2</sup> DOE Awards \$25 Million to Improve Natural Gas Operations. <https://www.energy.gov/articles/doe-awards-25-million-improve-natural-gas-operations>

	开发新型耐腐蚀涂层(金属和聚合物),以保护和修复天然气管道焊缝,减少由于腐蚀引起的天然气泄漏	150
	设计、制造和测试新型低成本天然气泄漏回收压缩机,以回收天然气价值链中的各种泄漏	150
	结合人工智能技术,开发先进的混合电位电化学(MPE)气体传感器,用于检测天然气管道气体成分,并能够区分其他来源(农业或湿地)的甲烷排放	150
	将自修复密封功能与泄漏数字检测技术相结合,用于天然气传输系统中的启动控制器,以减少天然气泄漏	95
	开发缓解甲烷排放系统,以消除井场作业和管道压缩机站的逃逸性天然气排放	150
将火炬气升级为可运输的增值产品的过程优化技术	开发一种将甲烷直接光催化转化为甲醇的模块化系统	100
	开发高度紧凑型微通道质子陶瓷膜反应器将甲烷电催化转化为芳烃(如苯、甲苯、二甲苯)	100
	开发和测试多功能核壳催化剂用于甲烷的热化学氧化偶联反应,以生产芳烃(如苯、甲苯、二甲苯)	100
	开发和测试在中高温下运行的金属单原子催化剂,集成在微型反应器中用于甲烷活化转化氢气和高价值碳氢化合物	100
	开发一种等离子体辅助的甲烷转化工艺,用于生产吡咯和含氮有机化合物	100
	开发一种可在低温和中等压力下运行的基于石墨烯的多功能催化剂,用于将甲烷转化为甲醇等高价值化学品	100
	开发一种可现场运输的模块化熔融催化剂辅助热解装置,该装置可将火炬气转化为氢气,提供过程热和用于生产高价值碳纤维的碳粉	282
	开发一种一步式、使用固体催化剂的模块化热解装置,将火炬气转化为碳纳米产品(如碳纳米颗粒和碳纳米纤维)	300
	开发一种新型低成本模块化系统,利用微波辅助热解将火炬气直接转化为碳纳米材料	300
先进甲烷检测和测量技术的验证	为天然气运营商开发天然气泄漏检测和量化解决方案,包括开发测试协议并在科罗拉多州立大学的甲烷排放技术评估中心进行受控测试,制定现场测试协议并进行现场测试,以及示范运用仿真工具评估解决方案效率的方法	150

(岳芳)

## DOE 资助 1500 万美元支持碳利用技术研发

1月7日,美国能源部(DOE)宣布在“碳利用计划”框架下资助1500万美元支持碳利用技术研发<sup>3</sup>,旨在开发利用电力或其他工业排放的CO<sub>2</sub>为原料生产增值产

<sup>3</sup> U.S. Department of Energy Announces Nearly \$15 Million for Carbon Dioxide Utilization Projects.  
<https://www.energy.gov/fe/articles/us-department-energy-announces-nearly-15-million-carbon-dioxide-utilization-projects>

品的技术，以降低碳捕集成本和减少碳排放。本次资助主要聚焦 3 大主题领域，包括：合成高价值有机产品；合成固体碳产品等无机材料；捕集 CO<sub>2</sub> 用于藻类培养。具体内容见表 1。

表 1 碳利用技术研发项目具体内容

研究主题	具体内容
合成高价值有机产品	该领域将开发新的合成途径和催化剂，以生产特种化学品和聚合物，如有机碳酸盐、羧酸/酯、醛/酮、醇/醚，及其衍生物。设想的转化途径包括：将 CO <sub>2</sub> 添加到石油或天然气衍生中间体（如乙烷、丙烷）中；转化为 C1 中间体，然后用于生成 C2 和增值化合物
合成固体碳产品等无机材料	该领域关注利用 CO <sub>2</sub> 生产固体碳产品的创新技术开发和现场测试，包括生产炭黑、碳纳米管、合成石墨和碳纳米纤维
捕集 CO <sub>2</sub> 用于藻类培养	该领域的研究专注于利用化石燃料产生的烟气等在池塘中或光生物反应器中培养微藻或蓝绿藻，从整体上解决 CO <sub>2</sub> 捕集、调节、输运和转移到藻类介质中的问题。尤其关注如下主题：与藻类生长介质相容的二氧化碳溶剂的配制和测试；耐高碱度藻类的测试；气/液或液/液膜接触器的开发和设计；开发二氧化碳微囊化技术以及基于固体吸附剂的系统，用于藻类对 CO <sub>2</sub> 昼夜或季节波动性需求所需的临时存储

(岳芳)

# 清洁能源多能互补

## 欧盟发布《欧洲绿色协议》打造全球首个碳中性循环经济体

12月19日，欧盟委员会发布《欧洲绿色协议》<sup>4</sup>，涵盖了所有经济领域，阐明了欧洲迈向气候中性循环经济体的行动路线，提出了包括提高欧盟2030和2050年的气候变化目标，提供清洁、可持续及安全的能源，推动各产业向可循环模式发展，实现能源资源的有效利用等八大主题行动计划，以期到2050年让欧洲成为全球首个“碳中性”循环经济体，实现社会经济高质量可持续发展。为了确保协议目标实现，欧盟还将从金融和政策框架等方面给予保障。具体内容如下：

### 一、提高2030和2050年气候目标

主要行动包括：（1）2020年3月之前，欧盟委员会将提出欧洲第一部《气候法案》。该法案将赋予2050年气候中性目标法律约束力，以确保欧盟的所有政策都有助于实现碳中性目标。（2）2020年夏季之前，欧盟委员会将提交一份气候变化影响评估计划，将欧盟2030年的温室气体排放量在1990年的基础上减少50%-55%（之前的目标是40%），2050年实现净零排放的碳中性目标（现有的目标是60%）。（3）2021年6月之前，欧盟委员会将审查并建议修订气候相关政策法规，以实现更高的气候目标，包括《温室气体排放交易体系指令》、《共同分担条例》、《能源效率指令》、《可再生能源指令》等。（4）2021年6月之前，欧盟委员会将修订《能源税指令》，将重点关注环境问题，并使得欧洲议会和欧洲理事会以合格多数票（而不是一致通过）的普通立法程序来通过该领域的提案。（5）2021年之前，欧盟委员会将为特定行业设立碳边界调整机制，以降低碳泄漏的风险。这将确保进口价格更准确地反映其碳含量，是解决欧盟排放交易体系中碳泄漏风险的替代措施。（6）2020-2021年，欧盟委员会将采取新的更具雄心的欧盟气候变化适应战略，强化在气候防护、抢险救灾、恢复力建设等方面的工作力度。

### 二、提供清洁、可负担和安全的能源

主要行动包括：（1）2019年底之前，欧盟各成员国需要提交修订后的《能源与气候法案》。欧盟委员会将在2020年6月之前对上述各国的《能源与气候法案》进行评估，以确保其满足《欧洲绿色协议》内容要求。（2）2020年年中，欧盟委员会将提出科学经济可行的可再生能源并网集成解决方案；（3）针对欧盟各成员国能源普及和基础设施发展不平衡问题进行统筹考虑和规划，欧盟委员会将在2020年制定指导方针，以协助成员国改善能源基础设施、解决能源贫困问题，确保人人享有可

<sup>4</sup> The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people's health and quality of life, caring for nature, and leaving no one behind. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_19\\_6691](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_6691)

负担清洁能源，保证公平转型。（4）2020年，欧盟将提出《能源基础设施的法规框架》，促进创新技术和基础设施的部署，例如智能电网、氢网络、CCUS、储能等

### **三、推动各个行业向清洁循环经济模式发展**

主要行动包括：（1）2020年3月之前，欧盟将提出《欧盟产业战略》，以应对绿色和数字化转型的双重挑战；提出《循环经济行动计划》，将包括“可持续产品”政策，着重关注纺织、建筑、电子和塑料等资源密集型行业。（2）从2020年开始，欧盟委员会将鼓励企业生产消费者使用气候中性的环保可循环利用的产品。（3）2020年10月，欧盟委员会将推进《电池战略行动计划》及相关的立法。（4）2020年之前，欧盟委员会将支持关键行业优先发展清洁突破性技术，如绿色产氢、燃料电池、CCUS等。（5）积极拥抱数字技术，欧盟委员会将探索措施，以确保人工智能、5G、云计算以及物联网等数字技术最大程度地发挥应对气候变化和保护环境的积极影响。

### **四、发展高能效建筑**

主要行动包括：（1）欧盟和成员国应该积极推进公共和私人建筑的翻新工作，应对能效和能耗双提升的挑战；（2）2020年，欧盟将对成员国的建筑长期翻新政策进行评估，以确保欧盟各国的建筑向高能效方向发展；（3）委员会提议与建筑行业各利益相关者合作，在2020年提出一项新的装修倡议，确保翻新和新建建筑的能效达标。

### **五、加速向可持续智慧交通转变**

主要行动包括：（1）2020年之前，欧盟委员会将通过一项《可持续智能交通战略》，推动交通部门的脱碳进程。（2）大力发展新型多式联运，实现各种运输方式的合理分工和有机衔接，充分发挥交通运输效能，降低能耗、减少排放。（3）2021年之前，欧盟委员会将修订《联合运输指令》；审查《替代燃料基础设施指令》和《跨欧洲交通运输网规则》；建议为内燃机车制定更严格的空气污染物排放标准。（4）将数字技术引入交通行业，构建智能交通系统，实现交通工具高效安全运行，减少拥堵和排放。

### **六、打造公平、健康和环保的食品系统**

主要行动包括：（1）2020年春季之前，欧盟委员会将提出《从农场到餐桌战略》，推动食品价值链绿色化发展。（2）2020-2021年，欧盟委员会将参照《欧洲绿色协议》和《从农场到餐桌战略》的内容，审查国家战略计划草案。（3）2021年之前，欧盟委员会将采取包括立法在内的措施，大幅减少化学农药的使用和风险，以及化肥和抗生素的使用。（4）欧盟对2021-2027年《共同农业政策》提案建议，至少40%的共同农业政策总预算和至少30%的海上渔业经费用于应对气候变化。

### **七、保护生态系统和生物多样性**

主要行动包括：（1）2020年3月之前，欧盟委员会提出《欧盟生物多样性战

略》。(2) 2020 年之前，基于《欧盟生物多样性战略》制定《森林战略》开展可持续的植树造林和恢复退化的森林，以帮助增加二氧化碳的吸收捕集。(3) 从 2020 年开始，欧盟委员会将采取监管和其他方面的措施，支持无森林砍伐和打造退耕还林的价值链。(4) 发展“蓝色经济”，改善对水源和海洋资源的利用，减轻欧盟对陆地资源的依赖。

## 八、构建零污染的无害环境

主要行动包括：(1) 2021 年之前，欧盟委员会将通过一项《水、空气和土壤零污染行动计划》，更好地监控、报告、预防和补救来自空气、水、土壤的污染。(2) 审查欧盟针对大型工业设施污染采取的措施，研究如何使其与气候、能源和循环经济政策完全一致，同时满足世卫组织要求。(3) 2020 年夏季之前，欧盟委员会通过一项《可持续发展的化学品战略》，以确保无毒环境。

除了上述 8 大行动计划，欧盟还指出需要大量的投资才能实现《欧洲绿色协议》中设定的各项目标。如要实现 2030 年气候和能源目标，预计欧盟每年需追加 2600 亿欧元的投资，约占 2018 年欧盟 GDP 的 1.5%，这需要充分撬动欧盟公共和私营部门的投资，为此欧盟委员会将在 2020 年初提出《可持续欧洲投资计划》。此外欧盟计划将至少 25% 的长期预算用于应对气候变化的行动领域；欧洲投资银行也将提供进一步资助。再则为了使私营部门更好地参与这一绿色转型，欧盟委员会将在 2020 年提出《绿色融资战略》。另外由于各欧盟成员国发展的程度不一样，为了确保转型过程的公平性，欧盟将制定一个“公平转型机制”。

(周斌 郭楷模)

## 欧洲光伏产业协会：未来 5 年欧盟光伏发展前景持续向好

12 月 10 日，欧洲光伏产业协会 (SolarPower Europe) 发布《2019-2023 年欧盟太阳能光伏市场展望》报告<sup>5</sup>，对欧盟光伏市场的现状和未来五年的发展情况进行了展望分析，关键要点如下：

2019 年欧盟光伏市场增长强劲，新增光伏装机容量 16.7 GW，较 2018 年 (8.2 GW) 大幅增加 104%，是 2010 年以来增长最强劲的年份。尽管 2010 年欧盟光伏市场在第一次太阳能安装热潮中也出现 104% 的年度增幅，但新增装机量低于今年的水平，为 13.4 GW。2019 年强劲增长的主要原因包括：首先，太阳能成本持续下滑，经济竞争力日益凸显。如今，在某些市场，太阳能发电的成本已经比传统化石能源发电成本低；而且随着成本下降曲线，其会以比任何其他技术快得多的速度持续下降，太阳能发电的经济竞争力会继续提高。另一个主要原因是今年是欧盟成员国完成其 2020 年可再生能源目标的最后期限。欧盟国家已经开始准备致力于实现清洁能

<sup>5</sup> EU Market Outlook 2019-2023. <http://www.solarpowereurope.org/strong-global-solar-market-outlook/>

源一揽子计划规定的到 2030 年 32%的可再生能源目标。再则，欧盟民众对于发展太阳能的认可度比较高，由于太阳能是欧盟公民中最受欢迎的发电来源，也是最灵活、易于安装、成本最低的扩大可再生能源份额的手段，各国政府越来越多地在其气候战略中采用太阳能。得益于 2019 年新增装机容量的增长，截至 2019 年底欧盟累计太阳能装机容量达到了 131.9 GW，较去年（115.2 GW）增长了 14%。

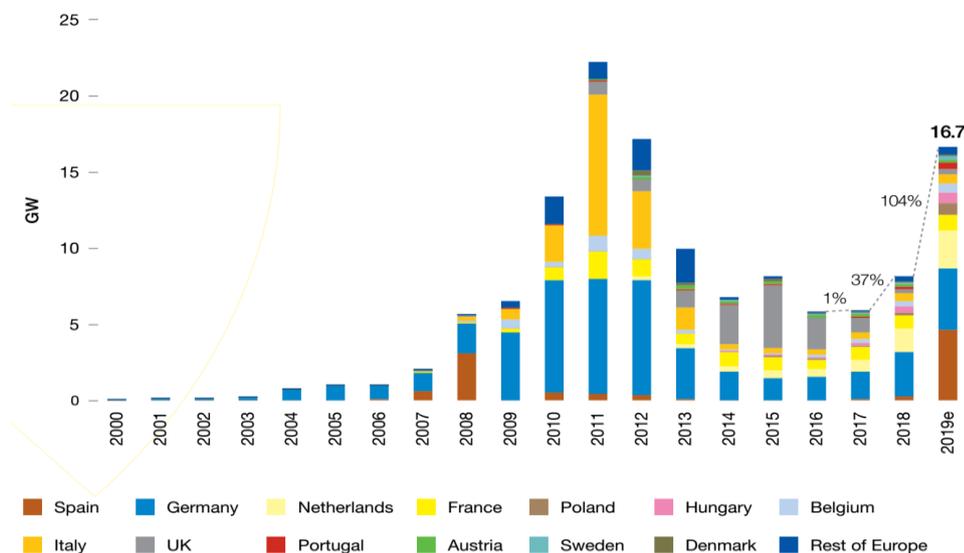


图 1 2000-2019 年欧盟成员国新增太阳能光伏装机容量变化态势（单位：GW）

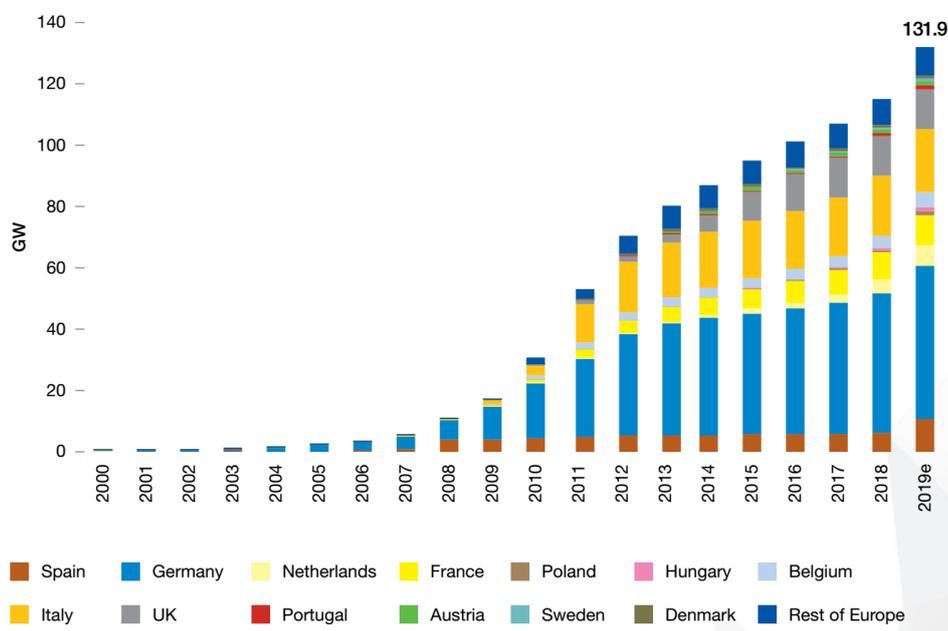


图 2 2000-2019 年欧盟成员国累计太阳能光伏装机容量变化态势（单位：GW）

总体而言，2019 年欧盟各国光伏市场都取得了不同程度的增长，28 个成员国中有 26 个国家的太阳能光伏新增装机容量比去年多。其中西班牙、德国、荷兰、法国和波兰是新增装机容量排名前 5 的国家。排名第一的是西班牙，新增装机容量最多，为 4.7 GW，是该国时隔 11 年后再次回归欧洲大陆新增太阳能装机容量市场的顶点。

德国以 4 GW 新增装机紧随其后，排名第二。而荷兰（2.5 GW）、法国（1.1 GW）和波兰（784 MW）则分别排名 3 至 5 位。上述五个国家新增装机容量之和占欧盟新增装机总量的四分之三以上。而当放眼前 10 大市场（新增装机之和达到 15.6 GW），占比数值将进一步增至 93%，是 2018 年同期十个国家新增装机总量（7.5 GW）的两倍以上；而其他 18 个成员国装机总量之和相对较少。

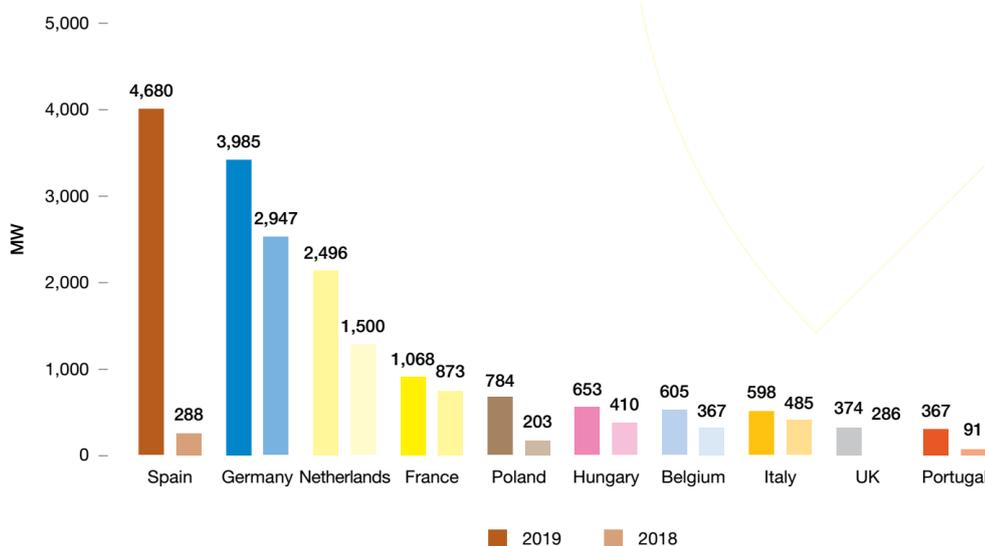


图 3 2018-2019 年太阳能光伏新增装机容量排名前 10 位国家发展态势（单位：MW）

报告通过情景模拟（高增长情景、中间情景和低增长情景）对未来五年欧盟光伏市场发展做出展望：预计 2020 年欧盟光伏市场年度新增装机容量不少于 11.4 GW，有望突破 20 GW，累计装机容量将达到 141.3-164.8 GW 之间（不同情景预测结果不同）；到 2023 年，年度新增装机容量则有望突破 26 GW，累计装机容量将达到 180.1-276.8 GW。但无论哪种模拟情景，预计到 2023 年欧盟光伏市场仍将一片欣欣向荣。就具体国家而言，到 2023 年新增装机容量（相比 2019 水平）排名不会有太大变动，预计届时排名前五的国家依次为德国（预计新增 12-34 GW），西班牙（13.2-26.6 GW）、荷兰（12.1-23.9 GW）、法国（9.6-19.1 GW）和意大利（5.4-15.5 GW），届时上述五个国家新增装机容量之和有望达到 52.4-119.2 GW。

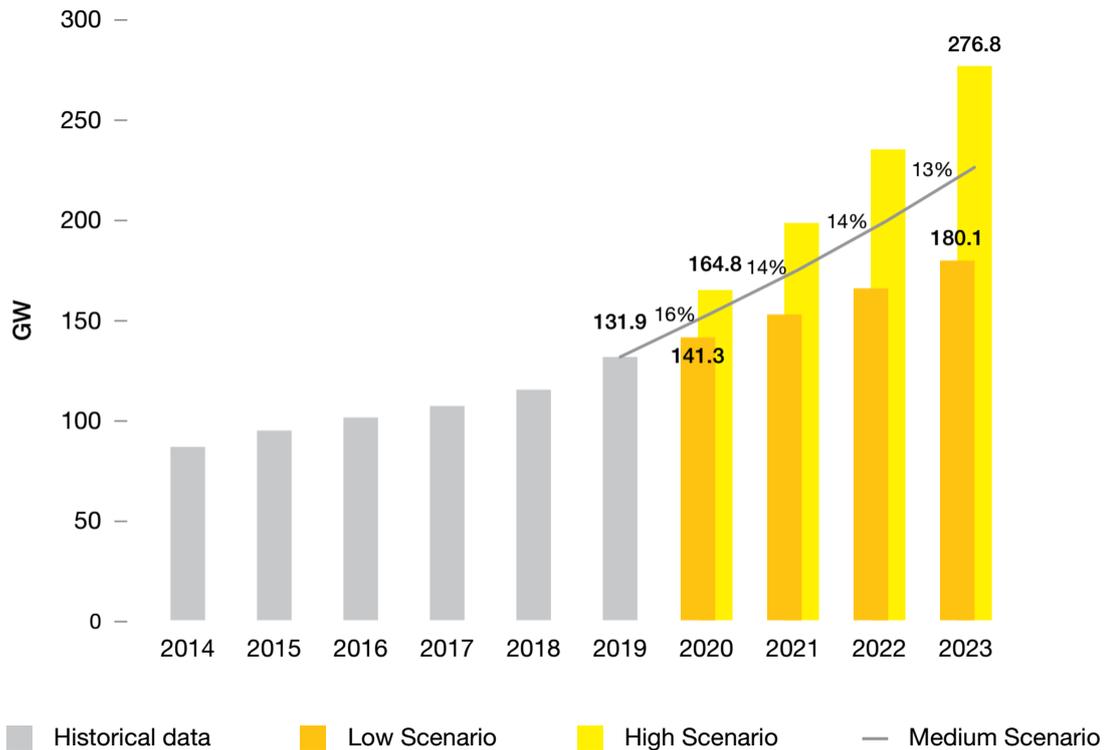


图 4 到 2023 年不同情景下欧盟光伏累计装机容量发展趋势预测（单位：GW）

（郭楷模）

## DOE 资助 7500 万美元开发高产生物能源作物

1 月 10 日，美国能源部（DOE）宣布将在未来五年资助 7500 万美元，支持开发适应恶劣环境和变化的可持续生物能源作物<sup>6</sup>。本次资助主要聚焦 2 大主题领域，包括：不断变化的环境下生物能源作物产量的分子机制研究；微生物和微生物群落增强植物产量和活力的系统生物学研究。具体内容如下：

**1、通过系统级研究以增强对不断变化的环境下生物能源作物产量的分子机制的理解。** 主要包括：物候学的遗传操纵，以增强生物能源作物适应特定环境条件的能力；有助于将光合作用产物分配到各种植物组织以优化生物量的过程；研究影响植物生产力的基础过程的遗传和生理机制，如资源（水、养分、光照）利用效率、碳氮代谢与生物量分配、特定环境条件的适应性、物候学等；利用遗传多样性和比较基因组学来确定赋予植物性状的关键表位/基因/等位基因，并优化作物物种。

**2、利用系统生物学研究微生物和微生物群落（如细菌、真菌、固氮菌、内生菌、病毒）在增强植物产量和活力方面的作用。** 主要包括：植物相关微生物组组成和动力学对生物能源作物适应性和产量的影响；微生物对土壤的影响，特别是在作物生长过程中；植物基因型与根际微生物群落之间形成特定相互作用的基因组基础，以

<sup>6</sup> Department of Energy to Provide \$75 Million for Bioenergy Crops Research. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-provide-75-million-bioenergy-crops-research>

及微生物与植物的互惠关系随时间和环境的变化；植物对共生者和病原体的区分，以及利用有益群落缓解植物的非生物胁迫；控制生物能源作物地下系统碳输入和输出的机制。

(岳芳)

## DOE 资助近 3 亿美元推进可持续交通技术研发

1 月 23 日，美国能源部（DOE）宣布资助近 3 亿美元推进先进可持续交通技术研发<sup>7</sup>，由车辆办公室（VTO）、燃料电池技术办公室（FCTO）和生物能源技术办公室（BETO）负责招标。其中 VTO 负责分配 1.33 亿美元，重点支持先进电池、先进发动机和燃料等主题研究；FCTO 负责分配 6400 万美元，主要支持涉及氢气生产、存储、运输和使用技术等主题研究；BETO 负责分配 1 亿美元，重点推进低成本生物燃料技术研发。以提升燃烧和运输效率，推动交通部门的低碳转型，减少排放。具体内容参见表 1。

表 1 DOE 可持续交通技术研发项目具体内容

资助机构	技术主题	具体内容
车辆办公室	电池和电气化	包括使用硅基负极的锂离子电池；不使用重稀土材料的低成本电力牵引驱动系统等
	先进内燃机和燃料	包括减少铂族金属的含量，以实现经济高效的汽油和柴油发动机后处理；提高中型和重型车辆天然气和丙烷发动机效率；可直接应用于农业和/或其他越野车辆的节能越野技术；二冲程对置活塞发动机的研发等
	材料技术	主要是轻质和高性能的纤维增强聚合物复合材料等
	节能运输系统	提高运输系统的效率；实现车辆和基础设施的连接；通过交通运输提高出行能力、负担能力和能源效率等
	技术集成	气态燃料技术示范；新型车辆的替代燃料概念验证；电动汽车和充电社区合作伙伴；其他开放主题等
	运输和能源分析	包括共享单车、滑板车等形式的个人出行，中重型车辆的电气化及基础设施，电燃料和电网服务，人员和货物的其他流动等
燃料电池技术办公室	电解装置制造研发	降低催化剂用量，提升催化剂层沉积速率，提高多孔传输层的耐用性，大面积双极板制造，组件处理、质量控制、现场诊断等工艺开发等
	用于压缩氢气和天然气储罐的先进碳纤维	与东丽 T700S 相比，利用新研发的碳纤维制成的 250 bar 压缩天然气罐的建模成本至少降低 10%
	重型应用的燃	对于膜材料，需满足特定区域质子电阻、氢氧气体交换、电阻等技

<sup>7</sup> Department of Energy Announces Nearly \$300 Million for Sustainable Transportation Research. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-nearly-300-million-sustainable-transportation-research>

料电池研发	术指标；对于电池的国产化生产，需满足高耐久性、高效率、系统成本、铂系金属用量等技术指标
新兴用途开发	包括炼钢市场研发，海上、数据中心等新场景应用，以及新兴氢技术的培训和劳动力开发
生物能源技术办公室	用于规模化生产放大工艺
生物经济	对城市固体废物进行先进分级和净化处理，提高转化效率；优化社区的湿有机废物；利用微藻协同处理废水等
藻类生物产品	在藻类培养及预处理系统中运用并优化直接捕获技术；改善藻类生物质质量，并开发藻类燃料和副产品等
高效木质加热器	新型家用木质加热器设计，改进炉灶自动化以优化燃烧控制，通过热电模块集成发电，改进催化剂技术以减少排放
城市和郊区废物的生物动力和产品	利用有机废物进行生物发电，废塑料制品等

(廖明月 万勇 姜山 郭楷模)

## 溶剂调谐实现室温快速制备大面积钙钛矿新工艺

目前高效率的有机无机杂化钙钛矿太阳能电池主要是基于混合阳离子阴离子钙钛矿吸光材料（如同时含有甲胺  $MA^+$  和甲脒  $FA^+$  两种阳离子），然而含有  $FA^+$  钙钛矿材料稳定较差，非常容易发生相变。如当环境潮湿时，黑色的  $\alpha$  相甲脒碘化铅 ( $FAPbI_3$ ) 钙钛矿很容易转化为黄色的  $\delta$  相（一种六角形的非钙钛矿晶相），从而导致器件性能衰退。因此如何抑制上述材料的相转变对改善器件稳定性和推动钙钛矿太阳能电池商业化意义重大。

韩国国立蔚山科学技术研究院的 Sang Il Seok 教授课题组利用二氯亚甲基联胺 ( $MDACl_2$ ) 作为添加剂对混合阳离子钙钛矿进行掺杂改性，在保持  $FAPbI_3$  禁带宽度（即保持光吸收特性）前提下，有效地抑制了上述材料的相转变，从而显著改善了电池器件稳定性，在高达 85% 湿度环境下存放 70 小时后仍可维持 90% 以上的初始转换效率，且在  $150^\circ C$  高温环境下加热 20 小时依旧可以保持 90% 的初始效率。相比  $FA^+$ ，二氯亚甲基联胺离子 ( $MDA^{2+}$ ) 含有更多的氢原子，因此  $MDA^{2+}$  可以形成更多的氢碘键 (H-I)，

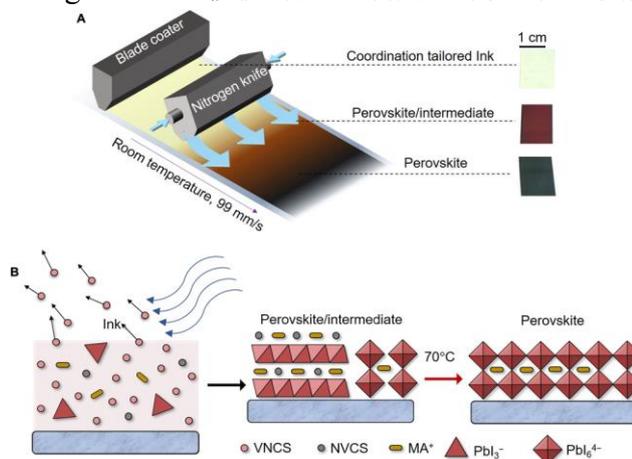


图 1 配位调谐溶剂用于室温大面积制备钙钛矿薄膜

从而有效地稳定住 FAPbI<sub>3</sub> 钙钛矿  $\alpha$  相结构。为此研究人员在 FAPbI<sub>3</sub> 前驱体中加入微量的 MDACl<sub>2</sub> 并通过旋涂和退火处理制备了 MDACl<sub>2</sub> 掺杂改性的钙钛矿薄膜 FAPbI<sub>3</sub>-MDACl<sub>2</sub>，同时制备纯相的 FAPbI<sub>3</sub> 用于对比研究。紫外可见光谱显示，掺杂改性的 FAPbI<sub>3</sub>-MDACl<sub>2</sub> 薄膜带隙宽度为 1.47 eV，与原始的 FAPbI<sub>3</sub> 带隙宽度（1.45 eV）基本一致，这能够保证材料的光吸收特性不发生变化。X 射线衍射测试结果显示，FAPbI<sub>3</sub>-MDACl<sub>2</sub> 和 FAPbI<sub>3</sub> 均是单一的  $\alpha$  相结构。电化学性能表征结果显示，基于 FAPbI<sub>3</sub>-MDACl<sub>2</sub> 薄膜钙钛矿太阳能电池获得了 24.66% 的转换效率（权威机构认证效率为 23.7%），高于没有 MDACl<sub>2</sub> 掺杂的薄膜电池效率 23.05%，主要原因是 MDACl<sub>2</sub> 引入拓宽了钙钛矿光谱响应范围。

该项研究通过在甲脒碘化铅钙钛矿前驱体中加入微量的二氯亚甲基联胺，在保障初始光吸收特性前提下，有效地稳定甲脒碘化铅  $\alpha$  相结构，避免其向  $\delta$  相发生转变导致光敏特性消失，从而显著改善了薄膜及其器件环境稳定性，在高达 85% 湿度环境下存放 70 小时后仍可维持 90% 以上的初始转换效率，且在 150°C 高温环境下加热 20 小时依旧可以保持 90% 的初始效率，表现出优异的抗热、湿度稳定性，让钙钛矿太阳能电池更接近商业化。相关研究成果发表在《*Science*》<sup>8</sup>。

（郭楷模）

---

<sup>8</sup> Hanul Min, Maengsuk Kim, Seung-Un Le, et al. Efficient, stable solar cells by using inherent bandgap of  $\alpha$ -phase formamidinium lead iodide. *Science*, 2019, DOI: 10.1126/science.aay7044.

# 低碳化多能融合

## ETIP-Bioenergy 评述电力合成燃料对欧洲交通脱碳潜在影响

近期，欧洲生物能源技术与创新平台（ETIP-Bioenergy）发布了题为《2030-2050年电力合成燃料在欧洲交通系统中的作用》<sup>9</sup>报告，总结分析了电力合成燃料（E-Fuel）的主要技术及其进展、环境影响、成本和潜在需求，以及为欧盟实现 2050 年碳中性气候目标潜在的助力作用，为决策者提供重要的科学参考。报告主要内容如下：

### 一、E-Fuel 的概念及主要技术

E-fuel 是由可再生电力制氢的“绿色氢气”与从集中来源（如工厂排放的烟气）或从空气中捕获的 CO<sub>2</sub> 合成制备的燃料，当前具备应用潜力的电力合成燃料主要有甲烷、氢气等气体燃料和氨、甲醇、二甲醚、汽油、柴油、航空燃油等液体燃料。E-fuel 相关的主要技术包括：（1）原料相关技术，如电解制氢技术、碳捕集技术；（2）E-fuel 制备技术，如甲烷化（制甲烷）、醇烃类液体燃料合成（制甲醇、二甲醚、液态烃等）、费托合成（制汽油、柴油、航空燃油）等，如图 1 所示。

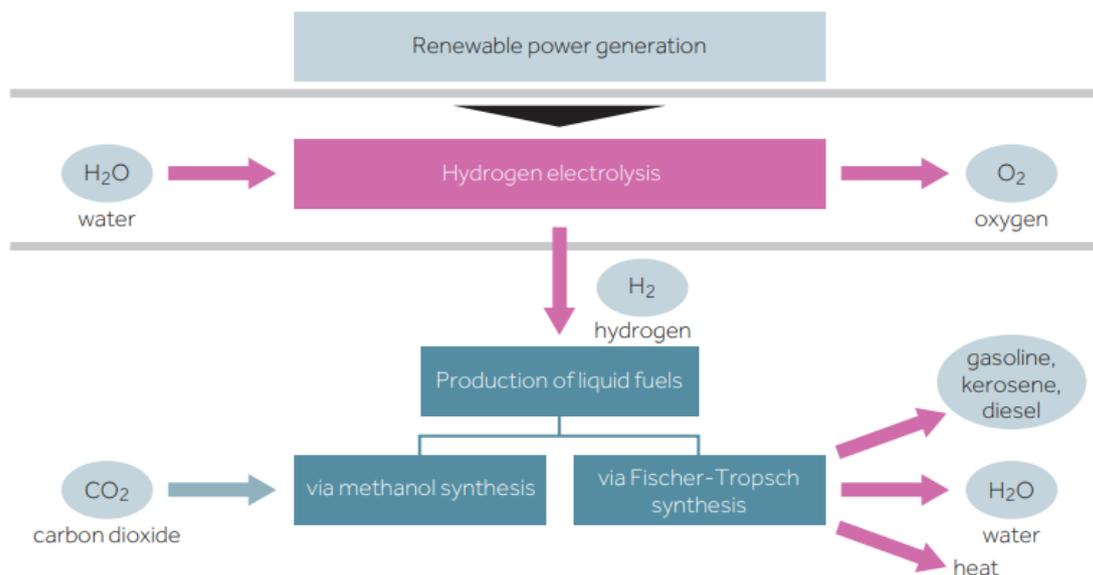


图 1 电力合成燃料的主要生产路线

### 二、E-Fuel 成本及需求趋势

目前 E-Fuel 的成本相对较高（7 欧元/升，不含税，下同），但随着规模化生产、效率提升及可再生能源电力成本下降，预计到 2050 年 E-Fuel 的成本将降至 1-3 欧元/升，比化石燃料成本高 1-3 倍。E-Fuel 成本中最主要的部分是电力成本和转换过程成本，如图 2 所示。

<sup>9</sup> A look into the role of e-fuels in the transport system in Europe (2030–2050).

[http://www.etipbioenergy.eu/images/Concawe\\_A%20look%20into%20efuels%20in%20transport%20system\\_Oct19.pdf](http://www.etipbioenergy.eu/images/Concawe_A%20look%20into%20efuels%20in%20transport%20system_Oct19.pdf)

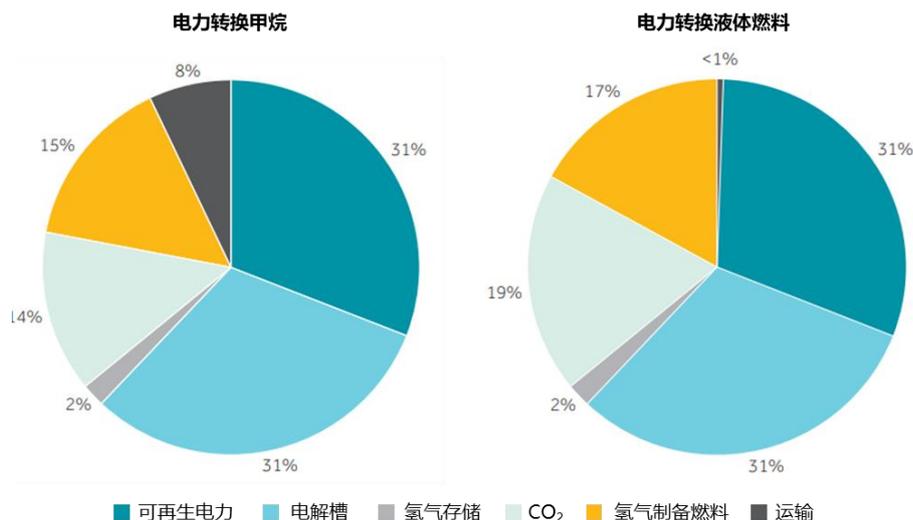


图 2 E-fuel 的成本构成

短期内（到 2030 年），E-Fuel 在交通运输行业不会占据主要地位，长期而言（到 2050 年）则会在交通燃料领域占据一席之地。预计到 2050 年，交通行业对 E-Fuel 的需求可能达到 5000-10000 吨油当量/年，最高可占所有燃料需求的 30%，主要应用领域包括航空、海运和远程公路运输。

### 三、E-Fuel 的优势及劣势

#### 1、优势

- 与同等的化石燃料相比，E-fuel 可显著减少 CO<sub>2</sub> 排放，为降低欧洲碳排放提供了具有前景的补充方案。
- E-fuel 的碳减排潜力约为 85%-96%（基于油井到油箱）或 70%（基于生命周期）。
- 与电力相比，E-fuel 具有更高的能量密度，因此可以在航空和航运等难以电气化的部门中应用。
- 与电力相比，液态 E-fuel 更容易进行存储和运输，可以长期保存在大型固定式存储设施中，也可储存在油箱中运输，这可以弥补季节性供应波动并有助于增强能源安全性（图 3）。
- 现有基础设施可以继续用于 E-fuel 的运输和存储，如天然气运输网络、液体燃料管道、加油站、储能设施等。
- 某些 E-fuel 可以立即用于汽车，而无需对发动机设计进行任何重大更改。液体 E-fuel 是减少现有车辆和新式车辆碳排放的一种替代技术。
- 将甲烷添加到天然气中，以及将液态 E-fuel 添加到常规化石燃料中，如果符合相应的使用规格，则可能达到高混合比。
- 由于具备良好的燃烧特性，E-fuel 可能会对环境空气质量产生积极影响。

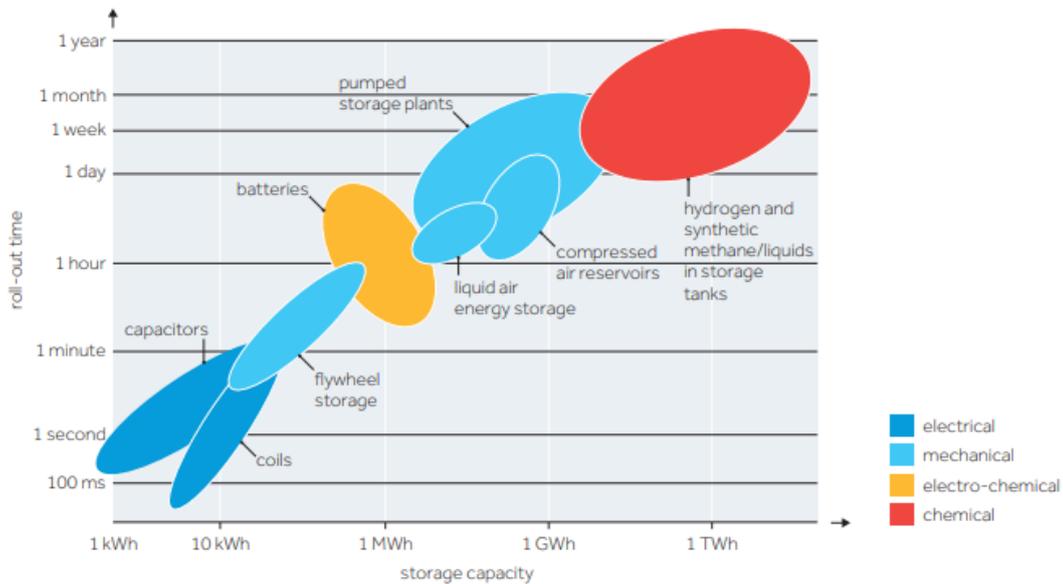


图 3 不同储能方式的性能指标

## 2、劣势

•生产 E-fuel 过程中固有的热力学转化损失将导致需要新建大量可再生能源发电厂。电动汽车的总体效率比使用 E-fuel 的汽车高 4-6 倍，如电动汽车的总体效率约为 69%，燃料电池汽车的总效率约为 26%-35%，液体 E-fuel 汽车的效率约为 13%-15%（图 4），这意味着消耗 1 兆焦可再生能源仅有 0.13-0.15 兆焦可为车辆提供动力。

•目前 E-fuel 生产技术仍处于示范阶段，要克服商业化挑战需要比当前示范规模（德国正进行的示范项目生产规模为 1 桶/天）扩大十万倍。

•部署 E-fuel 技术需要大量资本密集型设备。

•可再生能源是低碳 E-fuel 有助于减少温室气体排放的先决条件。因此，需要大量增加可再生能源发电量。

•与传统化石燃料相比，E-fuel 的生产成本仍然很高。

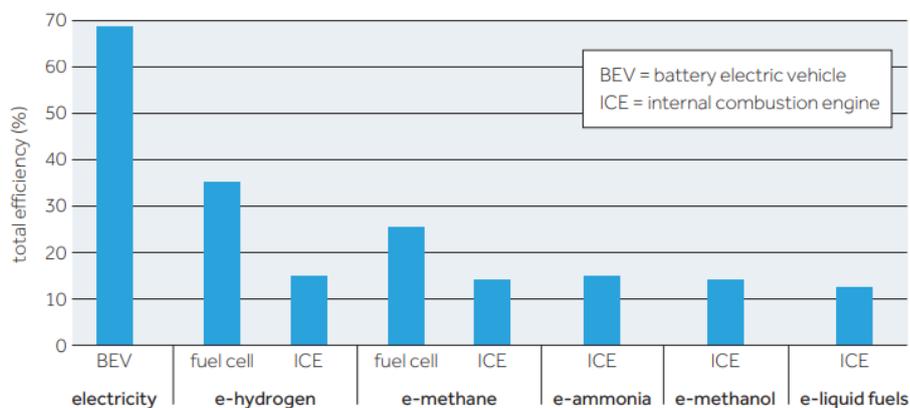


图 4 使用 E-fuel 的汽车与其他汽车的总效率对比

#### 四、实现 E-fuel 大规模部署的关键因素

1、技术开发和规模扩大。将当前技术从示范规模扩大至商业化生产需要对新价值链的关键设备进行技术开发并扩大规模，如电解槽、碳捕集系统、合成反应器和 E-fuel 转换设备。

2、满负荷连续运行。为了以可管理且经济高效的方式运行，尽管可再生能源电力供应可能是间歇性的，但 E-fuel 设施必须具有持续长期满负荷运行能力。

3、可负担的可再生能源电力。由于 E-fuel 的能源转换损失较大，电力是 E-fuel 成本的决定性因素，因此，获得可持续且可负担的可再生能源电力对于 E-fuel 生产设施的经济运行至关重要。

4、进口 E-fuel 可能成为一个重要因素。可以利用可再生能源资源丰富的地区生产的电力进行 E-fuel 的生产，这可能对 E-fuel 的生产成本产生积极影响，从电价低的地区进口 E-fuel 可以降低 20%-50% 的成本。

5、政策框架。欧盟和国家层面的决策者需要建立适当的监管框架，以鼓励和支持投资，促进私人公司进行 E-fuel 技术的商业投资。

#### 五、发展 E-fuel 的机遇

1、将排放 CO<sub>2</sub> 的工厂组成生产 E-fuel 的产业集群。例如，某些行业（能源密集型工业，如炼油、钢铁、水泥或沼气）的工业过程可能会持续排放大量 CO<sub>2</sub>。欧盟的一家概念性炼油厂每年需要 300 万吨 CO<sub>2</sub> 才能生产 100 万吨 E-fuel，其中约 15% 的 CO<sub>2</sub> 由炼油厂内产生，85% 则需进口。预计从大型工厂排放源排放的 CO<sub>2</sub> 将足以满足 E-fuel 的生产需求。

2、行业和原始设备制造商之间的联盟将为 E-fuel 发展提供重大机遇。奥迪等一些原始设备制造商正在探索一种 E-fuel 战略，以为其车辆提供燃料。

3、商业模式可以考虑从具有大量廉价可再生能源的地区进口 E-fuel。

（章奇 岳芳）

### 欧盟 FCH-JU 投入 9300 万欧元支持氢能和燃料电池研究

1 月 14 日，欧盟“燃料电池与氢能联合行动计划”（FCH-JU）发布 2020 年招标公告，拟投入 9300 万欧元支持氢能和燃料电池领域 24 个技术主题的研究<sup>10</sup>。本次资助的主题涵盖氢气生产、储存、加氢站以及在交通和电力领域的应用，具体包括：

1、枯竭气田和其他地质库中可再生氢气的地下存储。研究在枯竭气田和其他类型地质库中大规模储存可再生氢气的可行性，并对地下储存可再生氢气进行技术经济评估。

2、开发车用储氢罐。开发和验证一种新型 70 兆帕车用储氢罐系统，可以集成

<sup>10</sup> 2020 CALL FOR PROPOSALS LAUNCHED: €93 MILLION AVAILABLE FOR 24 TOPICS.  
<https://www.fch.europa.eu/news/2020-call-proposals-launched-%E2%82%AC93-million-available-24-topics>

在不适用于传统 IV 型储氢罐的轻型车辆上。

**3、开发车载液态储氢罐。**通过设计研究以及示范试验，评估将液态氢用于重型汽车的可行性。

**4、用于重型汽车的燃料电池标准模块。**确定该模块的尺寸、连接方式、接口和通用测试程序的标准。

**5、区域客运交通燃料电池客车的示范。**示范燃料电池客车原型，包括长途客车和城际运输客车。

**6、液氢作为船用燃料的示范。**开发一种基于液氢的船舶动力系统原型，包括氢气加注概念技术，可最大程度减少氢气的损失、泄漏和蒸发，并具备扩大规模的潜力。

**7、通过创新设计和简化管理框架扩展燃料电池列车的应用。**开发燃料电池列车原型，包括创新原型设计和制造，以及将燃料电池列车推向市场的规范框架。

**8、大规模加氢站用新型氢气压缩机技术的规模扩大和示范。**通过标准化设计以扩大该压缩机技术的规模，示范并验证创新低噪声压缩机系统的可用性和寿命。

**9、开发催化剂以提高液体有机氢载体的经济可行性。**通过优化催化剂或开发新型催化剂，以降低液体有机氢载体技术的系统成本。

**10、结合可再生能源制热和发电的高效固体氧化物电解制氢。**将固体氧化物电解槽（SOE）与光热发电或热电联产集成，以提高系统能效和可持续性。

**11、SOE 的诊断与控制。**开发用于 SOE 的监测、诊断和控制技术，以延长系统寿命并增加动态运行可用性。

**12、燃料灵活的固定式固体氧化物燃料电池（SOFC）。**开发并示范固定式 SOFC 系统，该系统能够使用多种燃料混合物，具有高发电效率、长寿命，并能够达到常规燃料电池系统的成本水平。

**13、重型卡车燃料电池电堆的耐用性和寿命。**探索该类电堆组件的耐用性和老化问题，开发并验证更耐用的电堆。

**14、海上可再生氢气生产的电解槽模块。**开发和测试海上电解槽模块(>1 兆瓦)，考虑与海上环境相关的所有因素，包括海水淡化和净化、高盐度环境运行、对氢气输出加压以确保管道运输至海岸、高效利用可再生能源电力、现场运输和调试、易于操作和维护等。

**15、小型盐穴中可再生氢气存储的循环测试。**研究利用盐穴进行氢气循环存储的可行性，进行中试规模的示范，包括兆瓦级电解槽和基础设施设备。

**16、示范用于工业中电力合成为其他能源载体（Power-to-X）市场的大规模共电解装置。**开发、制造、调试和运行基于 SOE 的工业规模共电解系统。

**17、将燃料电池作为数据中心的主要供电设备。**示范用于城区数据中心供电的

燃料电池系统，开发将燃料电池集成到建筑物的解决方案，除可为数据中心供电外还可用于建筑物或区域供热。

**18、利用高温质子传导陶瓷材料实现高效灵活运行。**综合采用材料科学、反应器设计和多尺度建模方法，显著提高材料性能，并进行反应器概念设计和验证。

**19、利用可再生能源和氢气实现岛屿脱碳（“氢岛”）。**示范在岛屿上利用可再生能源电力制氢，并进行氢气运输、存储和分配，通过跨部门协作管理季节性能源和氢气生产/需求的平衡，将氢气用于所有终端用能部门。

**20、克服部署多燃料加氢站的技术和行政障碍。**开发在欧盟多种燃料环境中部署氢气的指南，通过清晰、透明和科学的方法克服技术和行政障碍。

**21、船用氢基燃料。**开发将氢基燃料用于船舶的监管框架，明确并正确管理从设计到运行层面的风险。

**22、开发氢能及燃料电池产品的生态设计准则。**该设计准则涵盖制造、组装、成本、拆解、回收、再利用等多个方面，并考虑整个生命周期的环境影响。

**23、开发和验证氢能及燃料电池产品的现有和新型回收技术。**确定和评估各种物理、化学和热过程，以优化总体材料回收率。采取全生命周期方法以明确解决方案的生命周期可持续性影响。在回收结束时对材料进行分析，标记可在新产品中重复使用的材料以及在其他领域中进行再利用的材料。

**24、氢能及燃料电池系统生命周期可持续性评估指南。**建立一个方法框架，阐明要求并指导如何对氢能及燃料电池技术和应用进行生命周期可持续性评估，并提供与竞争技术进行公平比较的框架。

（岳芳）

## 过渡金属碳化物@铂核壳电催化剂实现万次循环稳定性

受益于尺寸、壳层厚度、表面形貌和组成可控特性，贵金属基核壳结构电催化剂催化性能得到了大幅提升，且可以显著减少贵金属用量以降低成本，从而表现出强劲的工业应用潜力。然而，目前广泛采用的核壳结构电催化剂受限于材料本身特性（主要采用双金属）导致结构不稳定，其在电催化循环过程中会出现金属元素的扩散、迁移和析出，从而导致催化性能逐步衰退，因此设计开发结构稳定的核壳结构电催化剂成为了该领域的研究热点。

麻省理工学院 Yuriy Román-Leshkov 教授课题组牵头的国际联合研究团队设计制备了一种以过渡金属碳化物钛钨碳为核芯、原子级厚度金属铂（Pt）为壳的核壳结构电催化剂，获得了比商用 Pt 催化剂更优的面积比活性，且得益于核芯材料和 Pt 壳的强键合作用，新核壳电催化剂可以稳定循环上万次，显著优于商用 Pt 催化剂，表现出了广阔的商业化应用潜力。过渡金属碳化物（TMCs）具备优异的热稳定性、化

学稳定性、出色的导电性和低成本，以及固有的与贵金属强键合作用，被视为是理想的核芯材料。为此研究人员利用高温自组装方法合成了以过渡金属碳化物钛钨碳（TiWC）为核芯、以 Pt 金属薄膜为壳的核壳结构电催化剂 TiWC@Pt，通过反应物浓度调控，制备出了部分 Pt 壳覆盖和完全 Pt 壳覆盖的两种核壳结构电催化剂。采用原位电感耦合等离子体质谱扫描（SFC-ICP-MS）测试研究上述 TiWC@Pt 催化剂的元素组分和结构稳定性，对比没有壳层保护的裸露 TiWC 纳米颗粒发现，裸露 TiWC 大约在 0.6 V 开始出现 W 金属氧化，同时伴随严重的 W 溶解；类似情况也出现在了部分 Pt 壳覆盖的 Pt/TiWC 样品中，只是 W 金属溶解程度要弱一些。但 Pt 壳完全覆盖的 TiWC@Pt 催化剂几乎没有溶解，表明完整、均匀的 Pt 外壳完全覆盖是提高核壳结构稳定性的关键所在。进一步通过加速应力和扫描透射电镜测试研究其结构和成分演变，部分 Pt 壳覆盖的催化剂颗粒出现 TiWC 核芯的溶解现象，而具有完全 Pt 壳覆盖的催化剂纳米颗粒表现出优异的稳定性，在循环期间始终保持完整的核壳结构，且没有出现元素扩散析出，印证了只有完全 Pt 壳覆盖才能有效保护核芯避免溶解。此外，完整覆盖的核壳催化剂纳米颗粒之间也没有出现团聚，主要是因为核芯 TiWC 和 Pt 保护壳之间强烈的键合作用赋予了其极高的抗团聚能力。最后利用旋转电极法对比研究 Pt 壳完全覆盖的 TiWC@Pt 和商用 Pt/C 催化剂的电催化性能和稳定性，实验结果显示 TiWC@Pt 面积比活性达到了  $0.69 \text{ mA/cm}^2_{\text{Pt}}$ ，优于 Pt/C 催化性能（ $0.47 \text{ mA/cm}^2_{\text{Pt}}$ ）；且 10000 余次循环后发现，Pt/C 催化剂的催化活性面积减少了 19%，面积比活性下降 22%；相比之下，TiWC@Pt 的催化活性面积仅损失了 9%，面积比活性只减少 14%，显著优于商用 Pt/C，表现出优异催化性能和稳定性。

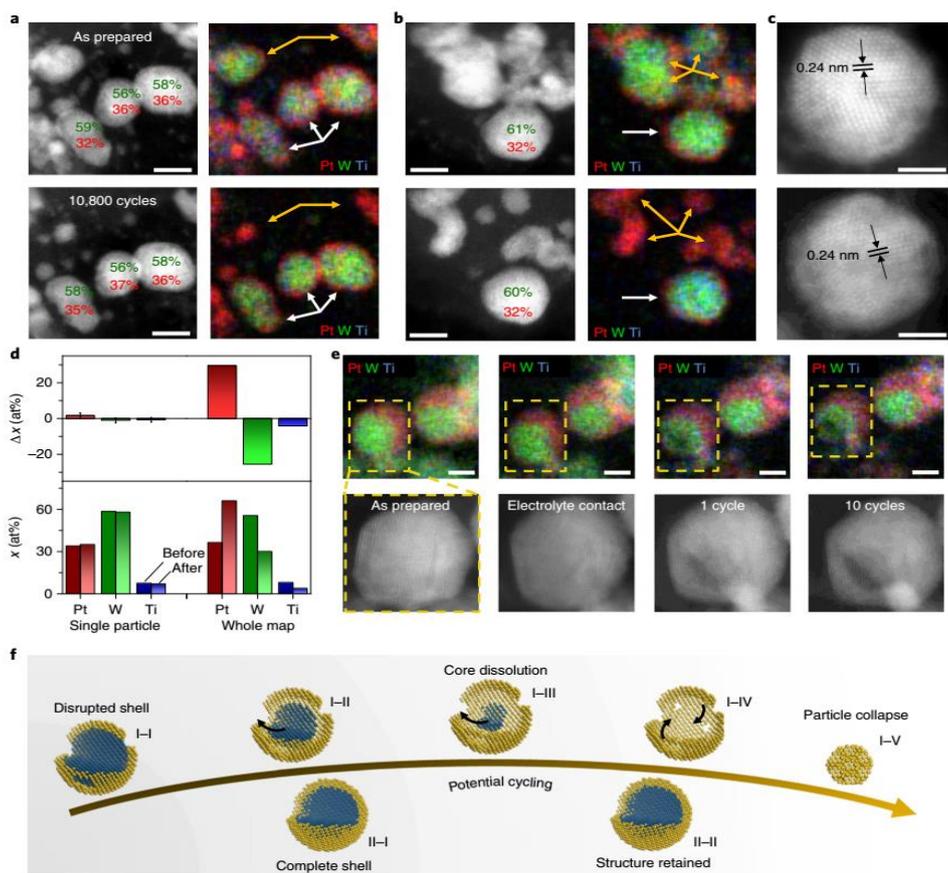


图 1 核壳结构电催化剂 TiWC@Pt 微结构表征及其催化循环过程结构演变示意图

该项研究设计制备了一种新型的过渡金属碳化物为核芯、铂金属薄膜为壳的核壳结构电催化剂，得益于过渡金属碳化物核芯优异的热化学稳定性以及核与壳之间的强键合作用，显著提升了催化剂催化活性和结构稳定性，获得了优于商用 Pt/C 催化剂的催化性能，具备了超万次的循环稳定性，展现出强劲的商业化应用潜力，有助于推进众多催化相关能源转换技术的进步和应用。相关研究成果发表在《*Nature Materials*》<sup>11</sup>。

(郭楷模)

## 水系电解质柔性超容展现高能量密度和高安全性

随着柔性可穿戴电子器件的快速发展，人们对柔性储能器件的需求逐步增加。而柔性超级电容器（超容）作为一类便携式能量存储设备也受到了许多研究者的关注。然而当前商用的柔性超容能量密度较低（小于 10 Wh/kg）无法满足高能量密度的实际需求，且主要采用易燃的有机电解质存在安全隐患，因此开发具有高能量密度高安全性的柔性超容成为了研究前沿热点。水系电解质体系能够有效克服有机电解质安全隐患，但由于电极厚度难以做厚使得能量密度受到限制。

<sup>11</sup> Daniel Göhl, Aaron Garg, Paul Paciok, et al. Engineering stable electrocatalysts by synergistic stabilization between carbide cores and Pt shells. *Nature Materials*. Mater. 2019. DOI: 10.1038/s41563-019-0555-5

香港理工大学 Zijian Zheng 教授课题组设计制备了一种三维多孔柔性超容电极材料，具备了高载量、高导电性、高机械柔韧性特性，基于该电极超容获得了高达  $2.91 \text{ F/cm}^2$  面积比电容和  $11.3 \text{ Wh/kg}$  能量密度，达到了商业化水平。研究人员首先

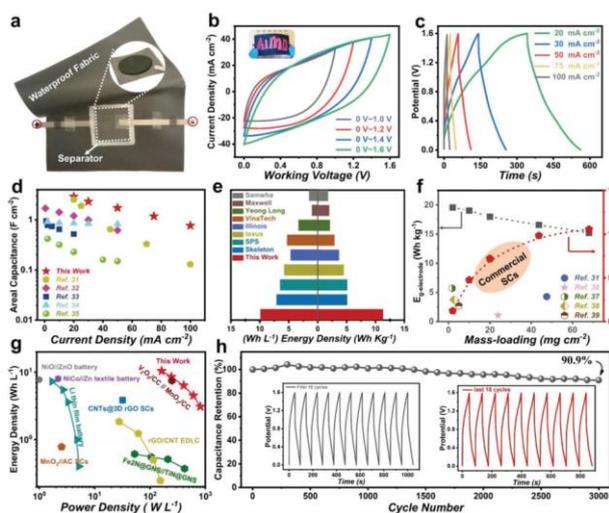


图 1 CNT-rGO 电极超容器件及电化学性能表征

利用水浴反应方法制备了碳纳米管 (CNT)，扫描电镜显示 CNT 的长度在  $5\text{-}15 \mu\text{m}$  之间。同时利用双氧水和水合肼对二维石墨烯氧化物进行处理获得了二维还原石墨烯 (rGO) 纳米片。接着利用简单的真空抽滤方法将一维 CNT 和二维的 rGO 纳米片混合在一起，在碳布骨架上制备出了一种由一维/二维单元杂化形成的三多孔网络材料 CNT-rGO，扫描电镜显示，上述材料厚度达到了数十微米，远厚于传统的柔性电极厚度（一般为几个微米），一维 CNT 和二维 rGO 均匀交联在一起彼此之间存在一系列微孔，平均孔径为  $2\text{-}20 \text{ nm}$ ，活性物质载量高达  $35 \text{ mg/cm}^2$ ，从而获得了优异导电性，且其独特的一维和二维组成单元为离子传输提供了快速通道，三维多孔框架确保电解质和电极充分接触，有助于电容性能提升。随后研究人员以制备的三多孔网络材料 CNT-rGO 为电极，配合水系电解质制备了超容器件并进行了电化学性能测试。实验结果显示，在  $20 \text{ mA/cm}^2$  放电电流密度下，CNT-rGO 为电极的超容质量和面积比电容分别为  $29.6 \text{ F/g}$  和  $26.9 \text{ F/cm}^2$ ，且在  $184 \text{ W/kg}$  输出功率条件下，器件获得了  $11.3 \text{ Wh/kg}$  质量比能量密度和  $9.93 \text{ Wh/L}$  体积比能量密度，是当前文献报道的水系电解质柔性超容最优值，且已达到商业化超容和水系电池的水准了。最后对器件稳定性和柔韧性进行了测试，发现器件经过 3000 余次的循环后，器件仍可保持近 91% 的初始电容量；经过 4000 余次反复弯曲后，仍可保持 98% 的初始容量，表现出了优异的循环稳定性和机械柔韧性。有潜力应用于柔性可穿戴电子设备领域。

该项研究精心制备了一种新型一维和三维碳材料组成的三维多孔柔性电极材料，得益于碳材料的高导电性和独特三维架构，基于该柔性电极水系电解质超容展现出了高比电容、长循环寿命和高稳定性等特性，为柔性可穿戴电子器件储能提供了新的技术方案。相关研究成果发表在《Advanced Materials》<sup>12</sup>。

(郭楷模)

<sup>12</sup> Jian Shang, Qiyao Huang, Lei Wang, et al. Soft Hybrid Scaffold (SHS) Strategy for Realization of Ultrahigh Energy Density of Wearable Aqueous Supercapacitors, *Advanced Materials*, 2019, DOI: 10.1002/adma.201907088

# 能源战略研究

## 国际可再生能源署展望至 2050 年风能市场发展趋势

近日，国际可再生能源署（IRENA）发布《风能的未来：部署、投资、技术、并网和社会经济影响》<sup>13</sup>报告，分析预测了未来 30 年全球风能市场的发展趋势。报告强调了部署风能对实现全球能源转型和气候目标的重要性，预测了到 2050 年风能的部署、成本、投资、技术等方面的发展趋势，并提出加速风能部署进程需建立全面的政策框架。主要内容如下：

### 一、发展风能将为环境和社会发展带来极大效益

• **风能对于全球能源转型至关重要。** IRENA 的分析显示，要实现《巴黎气候协定》既定的气候目标，要求从现在到 2050 年期间能源相关的碳排放每年需要减少 3.5%。加快可再生能源开发利用，结合深度电气化以及提高能效，可实现 90% 以上的能源相关碳减排量。到 2050 年，可再生能源在发电结构中占比将达 86%，风能和太阳能将引领全球电力行业转型，届时风电将满足 1/3 以上（35%）的电力需求，成为主要的发电来源，风电的部署将贡献《巴黎气候协定》既定气候目标所需碳减排量的 27%（近 63 亿吨 CO<sub>2</sub>）。

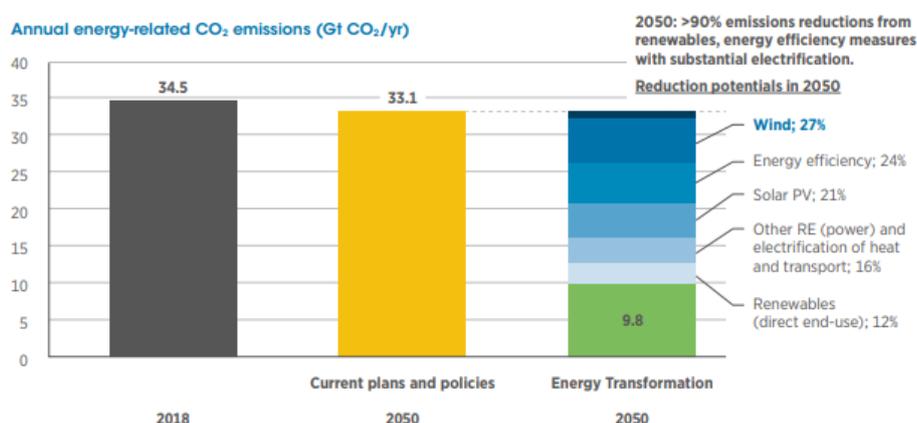


图 1 不同可再生能源对于降低能源相关碳排放的贡献（单位：10 亿吨/每年）

• **风能产业发展可以带来社会经济效益。** 2018 年全球风电产业提供了 116 万个工作岗位，预计到 2030 年这一数字将攀升至 374 万人，到 2050 年该产业的雇员将超过 600 万人。但这需要全面的政策框架给予支持，特别要关注工业、劳工、金融、教育和技能政策。

### 二、未来风能市场趋势

<sup>13</sup> Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. <https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>

•未来 30 年内需大幅增加风电装机容量，才能实现能源转型。风能是仅次于水力发电的领先可再生能源技术，截至 2018 年底，全球风电装机容量已达 564 GW。而要实现气候目标，要求到 2030 年全球陆上风电装机容量要比 2018 年的水平（542 GW）增加 2 倍达到 1787 GW，到 2050 年则需要增加到十倍达到 5044 GW。对于海上风电，到 2030 年总装机容量则需要从 2018 年的 23 GW 增至 228 GW，到 2050 年则要达到近 1000 GW。

•风电行业需加速增长才能满足未来 30 年的大规模增长。2018 年全球陆上风电新增装机容量为 45 GW，到 2030 年陆上风电装机容量年增速将接近 150 GW/年，到 2050 年则将增至 200 GW/年。海上风电增速更快，到 2050 年将从 2018 年的 4.5 GW/年提升至 45 GW/年。

•以中国为主导的亚洲地区将继续引领全球风电装机容量增长。2018 年，中国超过欧洲成为全球最大陆上风电市场，装机容量占全球约 1/3。展望未来，亚洲地区（主要是中国）将继续主导陆上风电行业，到 2050 年亚洲装机容量将占全球装机总容量的一半以上（其中中国装机容量将超过 2000 GW，印度则将超过 300 GW），北美和欧洲将分别以 23%和 10%位列二、三位。亚洲还将主导全球海上风电装机，到 2030 年装机总量将达到 126 GW，到 2050 年则将达到 613 GW，其中中国到 2030 和 2050 年分别将达 56 GW 和 382 GW。北美将是另一个新兴海上风电市场，装机容量将从目前的不到 1 GW 增长至 2030 年的近 23 GW，到 2050 年则将进一步增至 164 GW。



图 2 到 2050 年全球陆上风电装机容量分布（单位：GW）



图 3 到 2050 年全球海上风电装机容量分布（单位：GW）

•**规模经济、更具竞争力的供应链和技术进步将继续推进风电成本的下降。**在全球范围内，陆上风电项目的全球加权平均总装机成本在未来 30 年将继续大幅下降，与 2018 年的平均 1497 美元/千瓦相比，到 2030 年陆上风电平均装机成本将下降至 800-1350 美元/千瓦，到 2050 年则将降至 650-1000 美元/千瓦。对于海上风电项目，全球加权平均总装机成本将在未来几十年内进一步下降，到 2030 年将达到 1700-3200 美元/千瓦，到 2050 年将达到 1400-2800 美元/千瓦。陆上风电的平准化度电成本（LCOE）已经具有与化石燃料竞争的能力，并且随着装机成本和性能的不断改善将进一步下降。到 2030 年，陆上风电的 LCOE 将从 2018 年的 0.06 美元/千瓦时下降至 0.03-0.05 美元/千瓦时，到 2050 年则将达到 0.02-0.03 美元/千瓦时。海上风电的 LCOE 已经在某些欧洲市场具有竞争力（例如在德国和荷兰实行零补贴拍卖，法国实行较低价拍卖），而在其他欧洲市场（尤其是英国）即将进入竞争市场。到 2030 年，海上风电将在世界其他市场中具备竞争力，其 LCOE 将从 2018 年的平均 0.13 美元/千瓦时降至 0.05-0.09 美元/千瓦时，到 2050 年将降至 0.03-0.07 美元/千瓦时。

•**风电技术持续进步使得风力涡轮机尺寸逐渐增大，有助于装机容量的增加。**陆上风电的风力涡轮机规模将继续保持增长势头，从 2018 年的平均 2.6 MW 增加到 2025 年的 4-5 MW。对于海上风电，目前最大的涡轮机规模约为 9.5 MW，预计 2025 年投产的项目将包括额定功率为 12 MW 及以上的涡轮机，未来 10-20 年内将通过技术研发提高到 15-20 MW。由于风力涡轮机技术改进以及轮毂高度和叶片直径增加，风机容量因子逐渐增加。就陆上风电场而言，全球加权平均容因子将从 2018 年的 34% 上升至 2030 年的 30%-55%，到 2050 年则将增至 32%-58%。海上风电场将取得更大进展，从 2018 年的平均 43% 增至 2030 年的 36%-58%，到 2050 年增至 43%-60%。

•**风力涡轮机基座的发展是加快部署海上风电的关键因素。**浮动式风力涡轮机是一种有可能“改写规则”的技术，可以有效地利用深水域中丰富的风电资源，有助于海上风电市场的快速发展。预计到 2030 年，全球浮动式海上风电装机容量将达 5-30 GW，到 2050 年浮动式海上风电将占全球海上风电装机容量的 5%-15%。

•**未来几十年加速全球风电装机容量增长需持续扩大风能投资。**到 2030 年，全球陆上风电年均投资需比 2018 年(670 亿美元/年)增加一倍以上至 1460 亿美元/年，2030-2050 年间则需达到 2110 亿美元/年。对于海上风电，与 2018 年的投资水平(194 亿美元/年)相比，到 2030 年全球年均投资需要增加至三倍(610 亿美元/年)，到 2050 年则需增加四倍以上达到 1000 亿美元/年。

•**需增加风电高比例并网的解决方案方面的研究投入。**风能和太阳能资源的波动性要求电力系统的运行方式发生重大变化，随着电力系统中波动性可再生能源占比的增加，需要采取足够的措施来保持电网的稳定性和可靠性。通过技术解决方案，如运用适当的系统灵活性措施(储能等)和对电网进行扩建和加固，以及改善市场条件和商业模式，有助于在未来电网中提升风电份额。为有效管理大规模波动性可再生能源，必须在能源系统的所有部门灵活利用能源，包括从发电到输配电系统、储能以及日益增加的灵活需求领域(需求侧管理和部门的交叉融合)。要实现整合 60%的波动性可再生能源(其中 35%来自风电)，到 2050 年对电网和储能方面的投资需要比 2018 年水平(2970 亿美元/年)增加 1/4 以上，达到 3740 亿美元/年。

### 三、加速风能部署的障碍和政策框架

#### 1、加速部署风能面临的主要障碍

加速部署风能将面临多方面障碍，包括：(1)技术障碍，如电网连接和集成的挑战、缺乏基础设施、技术成熟度和性能不足、恶劣的海上环境；(2)经济和市场障碍，如初始资金成本高且投资回收期长、有限的融资渠道、海上风电供应链不成熟、政策变化对收益的影响、碳排放及空气污染排放监管成本不明确；(3)监管、政策及社会障碍，如复杂/过时的监管框架、财政政策支持不足、缺乏相关标准和质量控制措施、缺乏熟练的专业人员、缺乏长期稳定的政策目标和协调良好的政策组合、风力涡轮机部件(如叶片)的运输困难；(4)环境障碍，如对海洋生物和物种的影响、景观影响、雷达干扰、噪声、土地用途、公众反对等。

#### 2、建立全面的政策框架

针对上述障碍，报告提出应制定三类政策以建立全面的政策框架，包括：部署政策、融合政策和扶持政策。具体建议如下：

(1) **部署政策。**主要包括如下建议：设定长期、明确和稳定的风力发电目标以吸引投资；确保政策的长期稳定；调整政策以适应不断变化的市场状况；可采取可再生能源拍卖制度；促进形成风能项目集群以降低成本；推进成本相对较低的近海项目部署；降低融资成本，不仅要考虑用于降低碳排放的经济高效部署策略，而且还应明确考虑将其作为可再生能源政策的一部分，以减轻可再生能源投资增长带来的障碍；简化审批流程，避免建设周期和交付时间过长，以及市场风险和运营风险；促进和扩大企业对风电项目的采购。

**(2) 融合政策。**这方面政策主要包括三种类型：①系统集成政策，包括：采用系统性方法，将支持技术、市场设计、商业模式和系统运行方面的创新结合起来；支持分布式能源的部署；改善现有基础设施，并建立高压电网或超级电网将电力输送到其他地区以避免对风电的削减；通过先进的天气预报降低风力发电的不确定性。②社会融合政策，从风电开发的早期阶段就吸引当地社区参与，并推广社区所有制模式。③研发政策，包括建立研发策略和机构；促进竞争环境，降低能源成本，并提供有针对性的公共研发资金支持。

**(3) 扶持政策。**这方面政策主要包括四种类型：①产业政策，包括：提升消费者意识；进行有针对性的公共投资，以支持对风能等可再生能源的使用，并创造更多的就业机会；通过本国风电产业的发展最大程度地创造价值。②财政政策，包括：通过碳价和其他措施（包括绿色债券）以实现公平转型；部署可持续的金融计划和方案，以扩大财政来源，促进部门多元化，为中长期的能源转型提供资金。③教育和技能政策，支持教育和技能培训，以满足风电产业所需职业和技能要求。④劳动力市场与社会和环境保护政策，包括：促进就业服务（人员招聘、员工福利、在职培训等）；部署社会保护措施以减轻妇女和其他弱势群体的负担；精心选择风电场地点（人口较少的地区），采用具有夜间照明和带传感器的涡轮转速控制的设备，减少并避免对生物的重大损害；以大多数利益相关者可接受的适当方式处理和管理本地影响。

（许丹霞 岳芳）

## IRENA 分析先进生物液体燃料发展面临的挑战

11月20日，国际可再生能源署（IRENA）发布《先进生物燃料：所受阻碍》<sup>14</sup>报告，调查分析了目前先进生物液体燃料发展面临的障碍。报告基于对行业主管和决策者的调查，指出了先进生物液体燃料在快速促进交通脱碳方面的潜力，分析了先进生物液体燃料的投资障碍和促进其发展的途径，并为决策者提出了建议。主要内容如下：

**生物液体燃料是快速实现碳减排的重要选择，但其面临投资下降的严峻挑战。**生物液体燃料可直接使用燃料分配基础设施，并可应用于各种交通工具而无需做出改造，因而可以迅速应用以实现减排效果。同时，生物液体燃料也是航空、船运及重型卡车化石燃料的实用替代选择。根据 IRENA 的预测，到 2050 年生物液体燃料消费量需大幅增长，从 2016 年的 1300 亿升增加至 2050 年的近 6500 亿升。这意味着除了巴西、欧洲及美国等现有市场外，还需要在非洲、亚洲及南美洲发展新的增长性市场。第一代生物燃料的投资已经达到连续两年新增产能超过 150 亿升，但自

<sup>14</sup> Advanced biofuels: What holds them back? <https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Advanced-biofuels-What-holds-them-back>

2011 年以来，对先进生物燃料的投资一直呈下降趋势。

• **监管不确定性是最主要的阻碍。**由于交通运输生物燃料的监管框架在不断变化，过去十年来投资活动一直停滞不前，尤其是在欧洲。2009 年以来出现了三次重要立法，包括可再生能源指令（2009）、间接土地利用变化指令（2015）和修订的可再生能源指令（2018）。每次立法均经过 2-3 年的讨论，在颁布后各成员国又需要将欧盟立法转变为国家立法。频繁的变动使得难以预测市场的未来，因而影响了投资决策。项目开发人员需要在未来 5-12 年的假设基础上，对原料和燃料市场做出决策，尤其是要使新技术达到商业成熟还需要时间。尽管如此，调查显示欧盟修订的可再生能源指令（将于 2021 年生效）将鼓励投资者的信心。美国《能源独立与安全法案》制定的可再生燃料标准为生物燃料公司的运营提供了更可预测的框架（从 2009 年到 2022 年），使美国成为全球生物燃料领先国家，产量占全球近一半。但对修改或取消《能源独立与安全法案》的尝试，以及美国国家环保局（EPA）针对可再生燃料标准的各方面法律程序及某些豁免权的规定，都给未来市场带来了不确定性。

• **与其他可再生能源相比，创造有利于先进生物燃料的投资环境需要更为细微和多方面的监管。**先进生物燃料的产业规模仍然很小，不考虑利用废物生产生物柴油的生产商，只有大约 30 家公司进行先进生物燃料生产。这一产业也相当分散，因为不同公司掌握了不同的转化工艺，但生物燃料主要分为两类：混入汽油的纤维素乙醇和基于加氢处理植物油的可直接使用生物燃料（drop-in biofuels）。可直接使用生物燃料是交通运输行业脱碳的关键要素，可用于重型卡车、船运和航空领域的脱碳，加氢处理植物油生产技术为其提供了一种行之有效的途径。目前加氢处理植物油已经实现了大规模生产和商业化，但其长期业务扩展受到了废油和脂肪基原料的限制。因此，需要加强基于废料的原料收集，同时还需种植油料能源作物以开发可持续替代品，以及寻求先进燃料的木质纤维素转化途径。在生产木质纤维素乙醇和采用热化学途径（热解和费-托法）的工业领域中，当今运行的许多设备都是此类设备中的首创，通常产生于初创企业中。因此，代表这些技术途径的许多项目发起人都对其设施融资和可靠运营感到担忧。

• **推广先进生物燃料的方法众多。**技术中立的燃料标准受到大多数行业高管的欢迎，如美国加利福尼亚州和巴西的标准。加州经验成为了一个正面案例，该州立法造就了行业的持续稳定性，提升了项目开发商的信心。此外，它还明确促进了运输业燃料的来源多样化，以致大幅增加了对乙醇、可再生柴油、生物甲烷和电力的使用。基于碳中性燃料的政策为先进生物燃料提供了公平竞争的环境，更直接的基于税收或义务的监管体系也可能有效，尤其是对于刚开始推广先进生物燃料的国家。由于采取对生物燃料免税、对化石燃料征收高额碳税和能源税等措施，使得到 2017 年生物能源在瑞典交通运输行业的份额达到 20%。

• **运输部门的脱碳应该同时采用几种燃料替代方案，而不是只采用一种总揽式的方案。**行业代表对运输部门的脱碳提出了平衡的看法，并对电动汽车、生物甲烷和生物液体燃料的重要性提出了不同的看法。大多数看法认为，先进生物燃料的总份额将保持相对较小的水平。航空代表着先进生物燃料的新兴市场，但行业对其未来的市场份额持悲观看法。

• **除非监管机构针对纤维素乙醇制定特殊的促销措施，否则在衰减的市场中，将面临来自第一代乙醇生产商不平衡的成本竞争。**由纤维素原料制成的乙醇是标准燃料乙醇，目前主要与汽油混合使用。由于传统发动机效率提升和道路运输日益电气化，未来化石燃料的消耗将下降，因此应推进乙醇需求应逐步与化石燃料消耗脱钩。对此，监管机构应促进高乙醇混合和灵活燃料汽车。然而，要确保纤维素乙醇生产的可持续需求，就需要采取列入强制性燃料清单或单独定价等方法。

• **当前的补贴水平以及融资成本和可获得性也是重要障碍。**先进生物燃料转化技术非常接近商业化。在运营的炼油厂正在示范许多创新的工艺概念，大规模部署先进生物燃料已经做好了技术准备。但是，对这些选定技术的直接支持，尤其是对使用木质纤维素和热化学途径进行的首个预商业化项目的风险融资至关重要。

• **行业内对估算温室气体排放、土地利用变化和间接土地利用变化方法的准确性和可靠性表示怀疑。**需要更加一致的认证体系以验证其产品的可持续性。引入可持续性标准及认证方案是一种积极的进展，推动了先进生物燃料的市场。但是，政府和媒体对先进生物燃料的总体了解并不深入。

• **决策者应制定明确的最佳实践政策，以长期支持先进生物燃料的部署。**应确定足够高的目标以激励用户将先进生物燃料作为燃料选择。当前生物燃料主要市场以外的各国政府可以在谨慎考虑已知的障碍基础上，制定大胆、长期有效的政策以促进先进生物燃料的可持续增长，从而避免过去的错误。

（徐基太 岳芳）



## 《洁净能源科技动态监测快报》

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心

联系地址：武汉市武昌区小洪山西 25 号 (430071)

联系人：陈伟 郭楷模 岳芳

联系电话：(027) 87199180

电子邮件：[energy@whlib.ac.cn](mailto:energy@whlib.ac.cn)