

中国科学院A类战略性先导科技专项

# 变革性洁净能源关键技术与示范

Transformational Technologies  
for Clean Energy and Demonstration

## 研究发展动态

2020年第3期（总第9期）

基于单原子催化的5万吨/年乙烯  
制正丙醇工业装置成功投产



中国科学院大连化学物理研究所

中国科学院武汉文献情报中心

## 专项研发进展

- 全球最大规模二氧化碳加氢制甲醇工业试验装置实现稳定运行并通过考核评估.....1
- “纳米金催化甲基丙烯醛一步法氧化酯化制甲基丙烯酸甲酯(MMA)新工艺”通过科技成果鉴定.....2
- 基于单原子催化的5万吨/年乙烯制正丙醇工业装置成功投产.....4
- 超高温液下长轴熔盐泵制造完成.....5
- 国内首套10MWth氨气轮机样机的核心部件加工与组装完成.....6
- 上海应物所与广州供电局签署氢能战略合作协议.....7
- 国际首套熔盐加热驱动的百千瓦级大功率热声发电系统建成.....7

## 专项过程管理

- 洁净能源先导专项完成2020年度中期检查交流.....8
- 专项办组织到“燃煤工业锅炉高效低氮燃烧技术及示范”等9个示范工程建设现场实地考察 .....9

## 国内视点

- 《新能源汽车产业发展规划》为新能源汽车发展指明方向.....11
- 中美合作研发新型快充黑磷锂电池.....13
- 武汉大学开发新型人工光合作用催化剂.....15
- 热敏性晶体材料助力热化学电池创造相对卡诺循环效率纪录.....16

## 国际瞭望

IEA发布最新能源技术展望评估实现净零排放的技术方案.....	19
BP能源展望2050：可再生能源引领转型 氢能作用日益凸显.....	27
美国能源部发布实现低成本生物燃料的综合战略.....	32
DOE投入1.22亿美元启动煤炭提取稀土等原材料多年期计划.....	38
法国公布国家氢能战略未来十年投入70亿欧元打造氢能经济.....	39
小分子有机太阳能电池转换效率突破15%创造世界纪录.....	41
德科学家首次实现太空环境钙钛矿和有机太阳能电池性能测试.....	43

## 专项研发进展

### 全球最大规模二氧化碳加氢制甲醇工业试验装置实现稳定运行 并通过考核评估

全球首套 5000 吨/年二氧化碳加氢制甲醇工业试验装置于 2020 年 7 月在中海油海洋石油富岛有限公司一次开车成功并实现稳定运行，该装置采用中国科学院上海高等研究院自主研发的纳米限域非贵金属催化剂及其核心技术。由中国成达工程有限公司进行工程设计、海洋石油富岛有限公司进行建设及运行。



该技术通过中国石油和化学工业联合会组织的专家组现场考核及技术评估。专家组一致认为该技术为我国大规模二氧化碳资源化利用解决了核心问题，与国内外同类技术相比，主要技术指标先进，先进的技术指标为大规模工业应用奠定了良好基础，建议加快项目产业

化进程。该技术近期可与我国富氢行业（丙烷脱氢、乙烷裂解、焦炉煤气和氯碱）相结合，实现低成本绿色甲醇的合成，带动我国传统产业的转型升级；中长期随着电解制氢技术进步与成本降低，可与可再生能源/核能制氢相衔接，实现碳负性的甲醇合成，推动形成循环、持续的绿色清洁能源生态。

[中国科学院上海高等研究院 王慧]

## **“纳米金催化甲基丙烯醛一步法氧化酯化制甲基丙烯酸甲酯（MMA）新工艺”通过科技成果鉴定**

中科院大连化物所、青岛三力本诺新材料股份有限公司、清华大学化学工程系合作开发的“纳米金催化甲基丙烯醛一步法氧化酯化制甲基丙烯酸甲酯（MMA）新工艺”于2020年7月27日在盘锦通过了中国石油和化学工业联合会组织的72小时满负荷连续稳定运行考核和科技成果鉴定。专家一致认为：该成果属于国内首创，总体上达到国际先进水平，同意通过鉴定，并建议加快示范工程建设和推广应用。

MMA是一种重要的化工原料，是有机玻璃、涂料、润滑油添加剂等材料的基础原料。我国MMA年需求量近百万吨，实际产量约70万吨/年，缺口部分依赖进口，特别是高端MMA产品完全依赖进口。目前国内MMA人均消费量只有日本、美国的约1/5，未来市场需求量很大。

“纳米金催化甲基丙烯醛一步法氧化酯化制MMA新工艺”技术由大连化物所黄家辉研究员、吕强助理研究员带领团队历时6年持续研发试验，并与青岛三力本诺新材料股份有限公司、清华大学化学工程系紧密合作和攻关，于2019年8月在大连化物所盘锦产业技术研究院启动千吨级中试装置建设。考核结果表明：甲基丙烯醛转化率



93.2%，MMA 选择性 96.9%，各项指标达到了预期目标。



“甲基丙烯醛一步法氧化酯化制 MMA 新工艺”具有流程短、反应条件温和、无有毒物质排放、转化率和选择性高等优点，与“乙烯氢甲酰化制丙醛”、“丙醛甲醛羟醛缩合制甲基丙烯醛”工艺结合，可以形成乙烯三步法合成 MMA 新工艺。基于近期乙烯、合成气、甲醇等原料价格，该新工艺具有很好的利润空间。同时，该项目开拓了

MMA 合成的新途径,将有效弥补我国 MMA 生产工艺水平落后现状,具有很好的应用前景。

[中国科学院大连化学物理研究所 黄家辉]

## 基于单原子催化的 5 万吨/年乙烯制正丙醇工业装置成功投产

2020 年 8 月 26 日,由中国科学院大连化学物理研究所(以下简称“大连化物所”)提供关键技术的具有完全自主知识产权的“5 万吨/年乙烯氢甲酰化生产正丙醇工业化装置”实现全流程一次投产成功。这一新成果不仅极大提升了我国高端正丙醇自主供应能力,同时该装置是多相氢甲酰化反应首次实现工业应用,破解了困扰催化界 80 多年的均相催化多相化难题。



乙烯多相氢甲酰化及其加氢制正丙醇工业装置

该技术由大连化物所丁云杰研究员、严丽研究员团队自主研发,创造性地采用了具有原始创新性的单原子催化的烯烃多相氢甲酰化技术,催化剂上的贵金属无流失,且原子利用率接近 100%;催化剂与反应体系分离简单,大大降低反应成本;产品杂质少纯度高,通过在工程化中的节能设计,反应中大量的低品位热量得到了高效利用。



生产的醛可以进一步转化成为醇、酸和酯等，是增塑剂、洗涤剂、表面活性剂或医药和香料等高附加值精细化学品的主要原料。

[中国科学院大连化学物理研究所 严丽]

## 超高温液下长轴熔盐泵制造完成

超高温液下长轴熔盐泵是超高温熔盐储能示范装置的核心关键设备，驱动超高温熔盐储热介质循环运行。该泵工作温度 700℃，液下深度 12 米，轴长 16 米，泵总长达到 17.4 米，工作介质为氯化物熔盐，是世界上首台氯化物熔盐超长液下高温熔盐泵。

该泵从 2018 年开始研制，历经方案设计、初步设计、关键技术研发、施工设计、制造和常温水力性能测试，于 2020 年 10 月顺利完成工厂制造。



[中国科学院上海应用物理研究所 曹云]



## 国内首套 10MWth 氦气轮机样机的核心部件加工与组装完成

国内首套 10MWth 氦气轮机样机的核心部件加工与组装完成, 整体缸体气密性及水压试验已顺利完成, 整体转子已开展动平衡测试。将于 2021 年与高温熔盐蓄热装置结合进行运行调试, 此项工作为未来氦气轮机的商业推广将奠定坚实基础。



10MWth 氦气轮机本体及转子

[中国科学院上海高等研究院 张靖焯]

## 上海应物所与广州供电局签署氢能战略合作协议

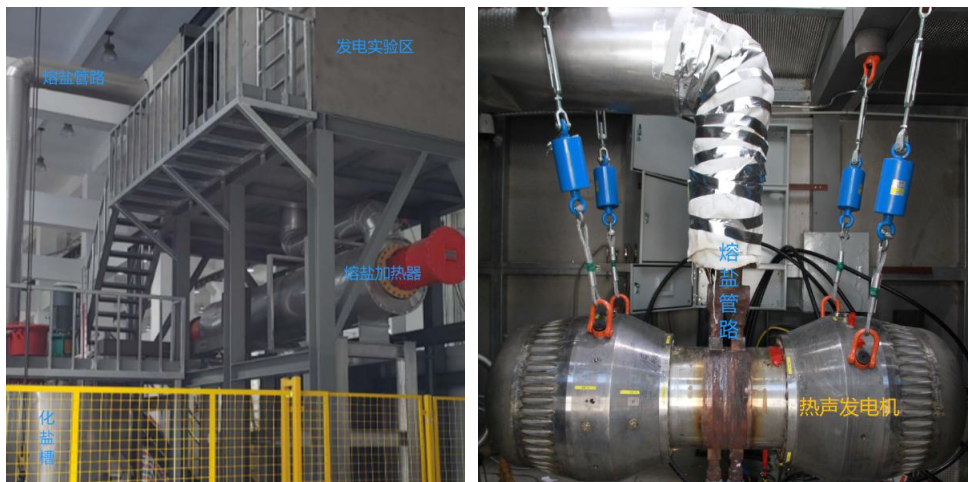
近期，中国科学院上海应用物理研究所（上海应物所）与中国南方电网公司广州供电局有限公司（广州供电局）正式签订了战略合作协议。双方将加强在高温电解制氢、高温燃料电池、固态储氢、能源互联网等领域的广泛合作，共同推进氢能等清洁能源技术的发展和产业布局。



[中国科学院上海应用物理研究所 关成志]

## 国际首套熔盐加热驱动的百千瓦级大功率热声发电系统建成

针对我国装备动力续航时间短等问题，北京理化所创新性地提出将热声发电与核热相结合的技术路线，通过采用机械调相、气浮支撑、同轴对置等自主专利设计，突破了低振动、超紧凑、高效率大功率热声发电的核心关键技术，攻克了高精度加工装配的难题，已建设完成国际首套熔盐加热驱动的百千瓦级大功率热声发电系统，初步验证了项目技术方案的可行性，预计年底发电量达到 60kWe 以上。



熔盐加热发电系统（左）和实验区的热声发电机（右）

[中国科学院理化技术研究所 胡剑英]

## 专项过程管理

### 洁净能源先导专项完成 2020 年度中期检查交流

根据专项总体工作安排,洁净能源先导专项办于 2020 年 7 月 4 日组织各项目陆续完成了 2020 年度中期检查交流。根据院重任局及专项总体组要求,此次交流结合财政部绩效评价问题整改及院中期检查评审展开。

专项办组织 9 个项目所属的课题、子课题对归档材料内容不一致、程序不规范问题等问题进行自查,并在 2020 年年中检查交流会上,专门汇报各自绩效评价自查整改的情况。7 月 4 日-17 日,九个项目分别组织完成了年中检查交流会,会议组织情况如下:

项目号	项目名称	时间	形式及地点
项目 1	战略研究与专项总体	7 月 16 日 (下午)	视频会议
项目 2	合成气下游及耦合转化利用	7 月 17 日	视频会议
项目 3	甲醇下游及耦合转化利用	7 月 16 日 (上午)	视频会议
项目 4	高效清洁燃烧关键技术与示范	7 月 8 日	视频会议
项目 5	张家口黄帝城小镇 100%可再生能源示范	7 月 10 日	视频会议
项目 6	可再生能源关键技术与示范	7 月 6 日	视频会议
项目 7	大规模储能关键技术与应用示范	7 月 11 日 (下午)	视频会议
项目 8	核能非电综合利用	7 月 4 日	视频会议
项目 9	可再生能源制氢/液体燃料关键技术与应用	7 月 11 (上午)	现场+视频 (六安)

7 月 24 日,专项通过线上方式组织召开了洁净能源专项 2020 年年中工作交流会及总体组会。会议传达了先导专项中期检查的有关

要求，听取并讨论了九个项目 2020 年度工作进展、组织管理工作、中期亮点成果、绩效评价自查整改情况、中期检查自查情况、问题与举措、下步工作计划和提请审议事项等内容，讨论了专项实施和管理的若干事项，并针对专项中期检查评审，明确了专项下一步重点工作。

院重大任务局、专项监理部及监理组专家、专项总体组、各项目负责人、专项办及各项目承担单位科研管理骨干等参加了相关会议。

[中国科学院大连化学物理研究所 王春]

## 专项办组织到“燃煤工业锅炉高效低氮燃烧技术及示范”等 9 个示范工程建设现场实地考察

根据专项总体工作安排，专项办于 7 月-9 月先后组织总体组专家、监理专家、项目负责人等到专项支持的 9 个任务的示范工程建设现场实地考察。具体考察情况如下：

序号	所属项目	任务名称	单位	负责人	地点	调研时间	参加人员
1	四	燃煤工业锅炉高效低氮燃烧技术及示范	工程热	李诗媛	山东兖州	7 月 2 日	张宇、迟成
2	四	散煤低 NO <sub>x</sub> 解耦燃烧技术	过程所	刘新华	山东兖州	7 月 2 日	张宇、迟成
3	九	可再生能源 SPE 电解水关键技术与氢燃料电池应用关键技术研究及示范	大化所	邵志刚	安徽六安	7 月 11 日	吕雪峰、迟成
4	八	核能非电综合利用	应物所	王建强	甘肃武威	7 月 13 日-15 日	张宇、李婉君



5	四	燃煤工业窑炉低NO <sub>x</sub> 燃烧技术及示范	工程热	任强强	宁夏中卫	7月16日	张宇、李婉君
6	三	甲醇氧化制亚硝酸甲酯成套关键技术	大化所	高进	河南濮阳	9月22日	迟成、刘振宇、叶茂
7	六	高效率低成本太阳能电池器件及其关键材料研究	电工所	王文静	江苏泰兴	9月26日	迟成、汪丛伟、周卫征
8	六	城镇化区域生物天然气综合利用与分布式供能工业化示范	青能所	郭荣波	黑龙江克东	9月27日	吕雪峰、王春、李敬
9	三	甲醇为原料制备碳酸二甲酯新技术及工业示范	过程所	成卫国	广东惠州	10月24日	迟成、朱文良

通过此次实地考察，多数任务的示范工程建设进度按照任务书计划进行，但部分任务因受疫情及市场影响导致工程进度滞后，相关任务负责人及承担单位把落实合作企业、配套经费、示范用地、审批手续等作为头等要事，并采取相应的举措保障相关任务顺利实现目标。

[中国科学院大连化学物理研究所 王春]

## 国内视点

### 《新能源汽车产业发展规划》为新能源汽车发展指明方向

10月9日，国务院召开常务会议<sup>1</sup>，通过了《新能源汽车产业发展规划》（以下简称规划），为新能源汽车产业的未来发展指明了方向。会议提出了四个关键发展方向，以引导新能源汽车产业有序发展。具体包括：

**1、加大关键技术攻关**，鼓励车用操作系统、动力电池等开发创新。支持新能源汽车与能源、交通、信息通信等产业深度融合，推动电动化与网联化、智能化技术互融协同发展，推进标准对接和数据共享。

**2、加强充换电、加氢等基础设施建设**，加快形成快充为主的高速公路和城乡公共充电网络。对作为公共设施的充电桩建设给予财政支持。鼓励开展换电模式应用。

**3、鼓励加强新能源汽车领域国际合作。**

**4、加大对公共服务领域使用新能源汽车的政策支持。**2021年起，国家生态文明试验区、大气污染防治重点区域新增或更新公交、出租、物流配送等公共领域车辆，新能源汽车比例不低于80%。

《规划》对新能源汽车从电池到充换电等一条产业链都做了部署，提出充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，强化企业在技术路线选择等方面的主体地位，更好发挥政府在标准法规制定、质量安全监管等方面作用。《规划》旨在引导新能源汽车产业的有序发展，推动建立全国统一市场，提高产业集中度和市场竞争力。

2019年12月，工信部发布《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》（征求意见稿）<sup>2</sup>。从公布的内容看，《规划》提到的四大发展方向与征求意见稿基本一致。征求意见稿提出，经过15年努力，中国新能源汽车核心技术达到国际领先，纯电动汽车成为主流，燃料电池

<sup>1</sup> 今天的国务院常务会定了这三件大事. [http://www.gov.cn/xinwen/2020-10/09/content\\_5550008.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-10/09/content_5550008.htm)

<sup>2</sup> 对《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》（征求意见稿）公开征求意见. <http://www.mii.gov.cn/n1278117/n1648113/c7553623/content.html>

车实现商业化应用，高度自动驾驶智能网联汽车趋于普及。针对未来15年新能源车的发展规模、不同类型新能源车如何共存、换电技术，以及新能源汽车与交通、基础设施的融合等均作出了规划，关键点包括：

(1) 至2035年，国内公共领域用车将实现全面电动化。

(2) 至2035年，燃料电池汽车可实现商业化应用。

(3) 至2025年，新能源汽车新车销量占比达25%左右。

(4) 至2025年，智能网联汽车新车销量占比达到30%。

(5) 至2025年，实现纯电动乘用车新车平均电耗降至12.0千瓦时/百公里，插电式混合动力（含增程式）乘用车新车平均油耗至2.0升/百公里。

(6) 提高技术创新能力是下阶段新能源汽车产业发展的重要目标之一，届时将推动深化“三纵三横”的研发布局。

(7) 未来将构建新型产业生态，加快车载操作系统产业化应用。

(8) 下阶段将推动构建产业协同发展新格局，具体措施包括推动新能源汽车与能源、交通、信息通信融合发展，同时还将加强标准对接与数据共享。

(9) 为给新能源汽车营造良好的使用环境，下一阶段将加快推动换电、加氢、信息通信与道路交通等基础设施建设。

(10) 非运营车辆充电服务将享受居民生活电价。

需要注意的是，规划要点与征求意见稿相比，有一个明显修改，是“2021年起，国家生态文明试验区、大气污染防治重点区域新增或更新公交、出租、物流配送等公共领域车辆，新能源汽车比例不低于80%”，在征求意见稿中是“全部”。当前我国有四个国家生态文明试验区，分别为：福建、江西、贵州、海南。大气污染防治重点区域主要指京津冀、长江三角洲、珠江三角洲地区，以及辽宁中部、山东、武汉及其周边、长株潭、成渝、海峡西岸、山西中北部、陕西关中、

甘宁、新疆乌鲁木齐城市群，共涉及 19 个省、自治区、直辖市，面积约 132.56 万平方公里，占国土面积的 13.81%。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳]

## 中美合作研发新型快充黑磷锂电池

电动汽车是实现交通领域脱碳的重要技术，但由于充电时间较长阻碍了市场推广，开发具有快速充电能力的大容量锂离子电池一直是该行业的重要目标。中国科学技术大学季恒星教授研究组与美国加州大学洛杉矶分校、中国科学院化学研究所等机构基于黑磷材料合作开发了新型锂离子电池负极复合材料，研发的黑磷锂电池充电 9 分钟可以充入 80% 电量，2000 次循环之后依然有 90% 的电荷容量，为开发快充、高能量密度锂离子电池做出了重要推动。

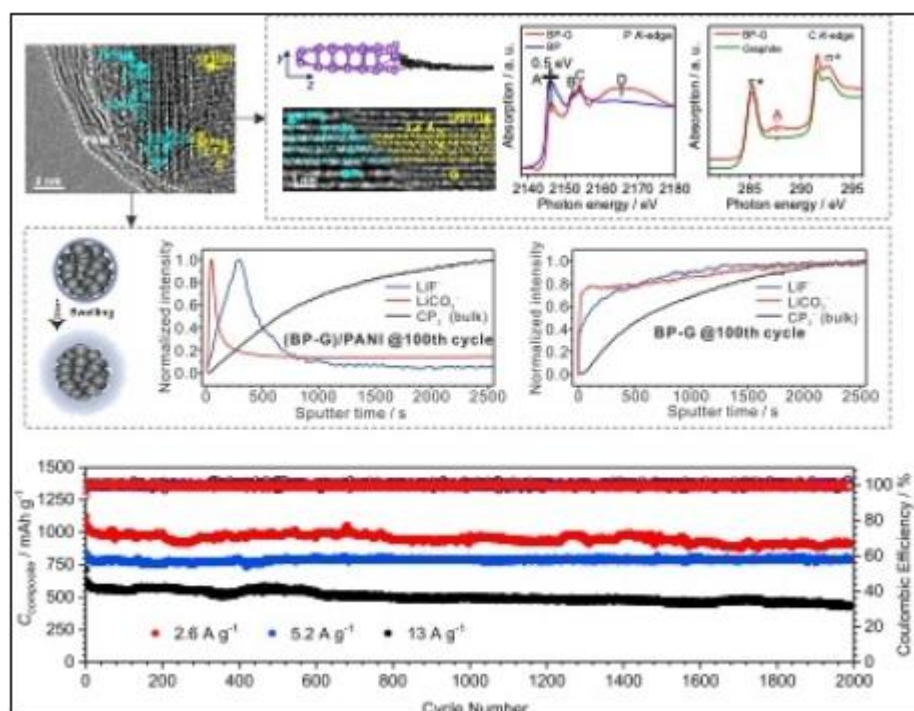


图 1 黑磷复合负极材料结构和储锂性能

黑磷是常见的白磷材料的同素异形体，具备特殊的层状结构，理论上有很强的离子传导能力及电荷容量，是一种极具潜力的快充电池材料。现有技术中，黑磷的结构很容易从边缘开始出现结构破坏问题，



导致实际性能远低于理论值。研究团队采用高能球磨的办法获得了黑磷纳米片与石墨纳米片并肩平行排列且通过碳-磷共价键连接的复合材料，使锂离子能够在复合材料内高效穿梭；更进一步通过聚苯胺包覆优化固态电解质界面膜，使锂离子能够快速进入复合材料（图 1）。复合材料在压实密度达到  $1.49 \text{ g/cm}^3$  的条件下可在  $13 \text{ A/g}$  的电流密度下实现近  $500 \text{ mAh/g}$ （复合材料）的可逆质量容量，并稳定循环达 2000 次。电化学原位 X-射线吸收谱和飞行时间二次离子质谱测试结果分别表明：碳-磷共价键的形成是提高黑磷电化学反应能力的关键；聚苯胺经电解液溶剂溶胀形成富含有机组分的固态电解质界面膜，是提高锂离子进入复合材料颗粒能力的关键。研究人员采用常规的工艺路线和技术参数将黑磷复合材料做成电极片。实验室测量结果表明，电极片充电 9 分钟即可恢复约 80% 的电量，2000 次循环后仍可保持 90% 的容量。如果能够实现这款材料的大规模生产，找到匹配的正极材料及其他辅助材料，并针对电芯结构、热管理和析锂防护等进行优化设计，将有望获得能量密度达 350 瓦时/千克并具备快充能力的锂离子电池，使电动汽车的行驶里程接近 1000 千米。

该项研究利用黑磷材料制备了黑磷纳米片与石墨纳米片并肩平行排列且通过碳-磷共价键连接的复合材料，基于材料的电极片具备优异的性能，在 9 分钟内充入 80% 的电量，2000 次循环之后依然有 90% 的电荷容量。该研究对优选电极材料体系并通过界面设计挖掘电极性能潜力具有重要的借鉴，有望推动锂离子电池的包括能量密度、功率密度和循环寿命在内的综合性能指标的进步。相关研究成果发表在《*Science*》<sup>3</sup>。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据网易号新闻编辑]

文章来源：<https://dy.163.com/article/FOJ4NMGJ0511CTRH.html>

<sup>3</sup> Hongchang Jin, Sen Xin, Chenghao Chuan, et al. Black phosphorus composites with engineered interfaces for high-rate high-capacity lithium storage. *Science*, 2020, DOI: 10.1126/science.aav5842

## 武汉大学开发新型人工光合作用催化剂

通过人工光合作用将二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）还原成有利用价值的化学产品，不仅能够为能源危机提供新的解决方案，而且能够有效减少生态环境中  $\text{CO}_2$  的含量。然而，人工直接光还原  $\text{CO}_2$  的效率目前很难超过植物（全光谱下 0.5%-5%），且往往需要牺牲剂的辅助，而不是像植物一样释放出氧气。武汉大学邓鹤翔教授、咎菱教授团队联合上海科技大学的寺崎治（Osamu Terasaki）教授团队，将二氧化钛（ $\text{TiO}_2$ ）置于金属有机框架（MOF）的介孔（2-50 nm）孔道中，构筑了  $\text{TiO}_2$ -in-MOF “分子隔间”（molecular compartment），实现了单波长光还原  $\text{CO}_2$  等当量释放  $\text{O}_2$ ，表观量子产率达到 11.3%，拓展出了新型的高量子产率人工光合作用催化剂。

MOF 因具有可分子定制化的周期性排列的孔道，可用于容纳多种功能纳米材料而受到广泛关注。研究团队从材料的合成角度出发，创造性的探索了在介观尺度上（2-50 纳米），无机半导体纳米颗粒和 MOF 孔道界面的分子定制，实现了单波长光（350 nm）驱动下  $\text{CO}_2$  还原 11.3% 的表观量子产率，并观察到等当量  $\text{O}_2$  的释放。此分子定制界面的构筑类似于叶绿体中光催化基元的局域化，所设计出的多种“分子隔间”（I 型和 II 型）能够实现  $\text{TiO}_2$  纳米颗粒化学环境的精准定制，从而大幅提高光生电子的分离和利用。 $\text{CO}_2$  光还原实验表明， $\text{TiO}_2$  与 MOF 骨架所构筑的三维有序结构（ $\text{TiO}_2$ -in-MOF），有利于  $\text{TiO}_2$  和 MOF 之间电子传输的最大化，其光催化活性远高于同尺寸的  $\text{TiO}_2$  纳米颗粒及 MOFs 表面负载的  $\text{TiO}_2$ ，充分展示了“分子隔间”的结构优越性。研究表明在 II 型隔间中的  $\text{TiO}_2$  比 I 型隔间中的  $\text{TiO}_2$  催化性能高 44 倍，揭示了介孔微环境对催化活性的影响。值得一提的是，半导体纳米材料与 MOF 在其孔道中的精确排布并未破坏 MOF 的局域有序结构。两种材料特性的高效协同，将能拓展出一系列新型的人工光合作用催化剂。

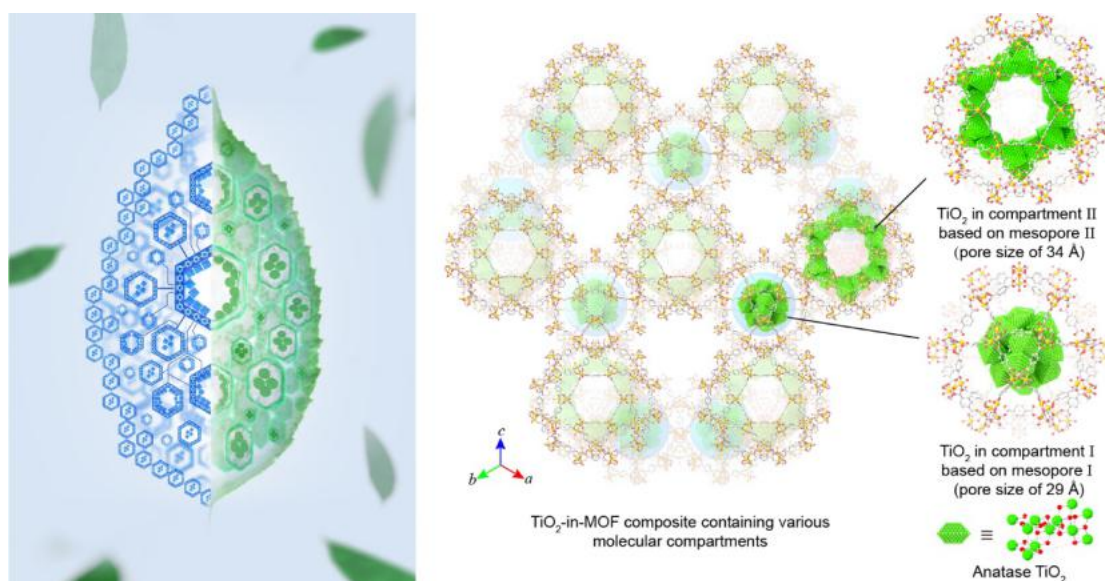


图 1 TiO<sub>2</sub> 纳米颗粒在 MOF 不同介孔孔道中的精确定制

该项研究探究了 MOF 介孔孔道定制 TiO<sub>2</sub> 生长的理论机制，构筑了 TiO<sub>2</sub>-in-MOF “分子隔间”，实现了半导体纳米材料在 MOF 中的无损填充，构建的新型人工光合作用催化剂在单波长光驱动下 CO<sub>2</sub> 还原表观量子产率达到 11.3%，有望推动在光吸收波长范围以及量子产率上的更大突破。相关研究成果发表在《*Nature*》<sup>4</sup>。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据武汉大学新闻编辑]

## 热敏性晶体材料助力热化学电池创造相对卡诺循环效率纪录

低品位热能 (<100℃) 广泛存在于自然环境 (如太阳光热、地热、人体热量等) 和工业生产过程中 (如工业废热)，但由于缺乏经济高效的回收技术，该部分能源大部分被废弃了。水系热化学电池被认为是一种低成本、易于规模化生产的热电转换技术，在低品位热能回收利用方面应用潜力巨大。然而由于影响热电转化性能三参数 (塞贝克系数、电导率或热导率) 实现同时协同优化面临困境，使得该电池技术一直难以突破，应用受到限制。

由华中科技大学 Jun Zhou 教授牵头的联合研究团队利用热敏性

<sup>4</sup> Zhuo Jiang, Xiaohui Xu, Yanhang Ma, et al. Filling metal-organic framework mesopores with TiO<sub>2</sub> for CO<sub>2</sub> photoreduction. *Nature*, 2020, DOI: 10.1038/s41586-020-2738-2

晶体材料诱导形成稳定可持续离子浓度梯度，实现了塞贝克系数和热导率的同时协同优化，进而获得了 11.1% 的相对卡诺循环效率，是迄今为止报道的热化学电池中的最高值（先前报道的最高效率为 ~3.95%），让该电池技术向商业化应用迈出了关键一步。热化学电池主要是由冷热电极和电解质组成，依托两个电极温差以及电解质离子浓度差来工作（电极温差和离子浓度差是决定塞贝克系数关键因素）。但在封闭系统下离子浓度梯度是热力学非平衡态，会自发地通过扩散作用过度到离子均匀分布的热力学平衡态，因此稳定状态下离子浓度梯度基本归零，意味最终热化学电池只能依托温度梯度来维持工作，

这必然会削弱电池性能。为此，研究人员向传统的热化学电池电解质中加入了含有胍阳离子（ $\text{Gdm}^+$ ）添加剂，其能够与靠近热化学电池顶部冷电极 4 价的亚铁氰根离子  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$  具备强烈的电子耦合从

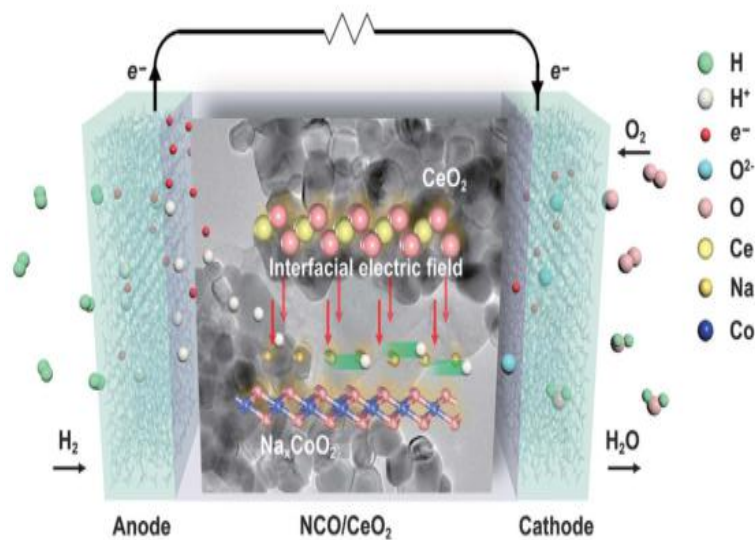


图1 基于异质结  $\text{NCO}/\text{CeO}_2$  质子传导材料的燃料电池结构示意图

而形成晶体材料，相关测试发现该晶体材料具有低的晶格能以及高的溶解熵，展现出优异的溶解度温敏性，使得该材料沉淀到底部的热电极时很容易重新溶解，这意味热电极一端会保持一个高  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$  浓度状态，而冷电极一端保持高  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$  浓度状态，形成稳定浓度梯度差，让氧化还原电对持续稳定（即实现可逆的氧化-还原）工作。随后研究人员对比研究了  $\text{Gdm}^+$  添加剂对电池性能影响，电化学测试结果显示，50 K 的温度梯度下，亚铁氰根离子浓差可达 47 倍，



相应塞贝克系数从不含  $Gdm^+$  添加剂体系的 1.4 mV/K 提升至 3.73 mV/K。且随着运行时间增加无  $Gdm^+$  添加剂热化学电池热导率系数会大幅攀升，从 0.67 W/mK 增加到 1.64 W/mK，这会导致电池性能衰退；相反，含有  $Gdm^+$  添加剂电池器件热导率系数始终保持在一个稳定数值，为 0.4 W/mK，意味着电池具备了长程稳定性。进一步功率密度测试显示，含有  $Gdm^+$  添加剂电池的器件功率密度可达 6.86 W/m<sup>2</sup>，相对卡诺循环效率高达 11.1%，近 19 倍于无添加剂器件，创造了热化学电池相对卡诺循环效率纪录。最后研究人员还开发了由 20 个单元组成的热化学电池模块，获得了 96 mW 的输出功率，成功驱动了多种商业化电子器件（如电风扇、LED 灯泡等），展现出强劲的商业化应用潜力。

该项研究创造性地利用热敏性晶体材料诱导形成稳定可持续离子浓度梯度，从而实现了对热化学电池的塞贝克系数和热导率同时优化，获得了创纪录的相对卡诺循环效率纪录，并利用基于新设计的电池模块成功驱动了多种商业化电子器件，展现出了广阔的商业应用前景。相关研究成果发表在《*Science*》<sup>5</sup>。

[中科院武汉文献情报中心 郭楷模]

文章来源：<http://kfy.whu.edu.cn/info/1003/2233.htm>

<sup>5</sup> Boyang Yu, Jiangjiang Duan<sup>1</sup>, Hengjiang Cong, et al. Thermosensitive crystallization–boosted liquid thermocells for low-grade heat harvesting. *Science*, 2020, DOI: 10.1126/science.abd6749

## 国际瞭望

### IEA 发布最新能源技术展望评估实现净零排放的技术方案

9月10日，国际能源署（IEA）发布《能源技术展望 2020》报告<sup>6</sup>指出，要实现能源转型和气候目标，全球需要大力开发和部署电气化、碳捕集、利用和封存（CCUS）、氢能和生物能等清洁能源技术，尤其针对重工业和长途运输等难以减排的行业。报告基于上述四类技术，系统评估了促进重工业和长途运输部门减排的新兴技术需求及现状，以寻求在确保能源系统弹性和安全性的同时实现全球能源净零排放的可行方案。报告要点如下：

#### 一、实现净零排放的技术需求

根据 IEA 可持续发展情景的分析，到 2070 年能源部门要实现净零排放，就必须进行根本性的技术变革。除能效和可再生能源作为核心支柱外，还包括：终端部门广泛电气化；CCUS；氢能及相关燃料；生物能。具体来看：①电气化：电力在终端能源需求中占比将从目前的 1/5 上升到 2070 年的近 50%，为累计碳减排贡献近 1/5。②CCUS：CCUS 技术能减少化石燃料发电厂在发电和工业中的碳排放，产生负排放，并在长期内生产碳中性燃料。③氢能及相关燃料：到 2070 年，全球氢产量将增长 7 倍达到 5.2 亿吨，氢能在终端能源需求中占比将达 13%。④生物能：到 2070 年，可持续生物能在一次能源需求中占比将翻一番达到 20%，其通常与 CCUS 技术结合用于交通运输部门以及发电和供热领域，生物能将贡献 12% 的累计碳减排量。

#### 二、难以实现净零排放行业的新兴技术需求与现状

##### 1、重工业

化工、钢铁和水泥三大重工业占工业能源消耗的一半以上，约占工业直接 CO<sub>2</sub> 排放量的 80%。到 2070 年，重工业排放需减少 90%。近期内，化工、钢铁和水泥行业已出现有助于减少碳排放量的新兴技

<sup>6</sup> Energy Technology Perspectives 2020. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>

术，这些技术处于不同的发展阶段，其现状、需求和趋势如表 1、表 2 和表 3 所示（TRL 代表技术成熟度）。

**表 1 化工部门主要新兴技术现状、需求及趋势**

领域	技术	TRL/可用时间/对 净零排放重要性	部署情况
CCUS	化学吸附	11/现在/非常重要	<b>氨</b> ：马来西亚、印度等地许多商业氨工厂利用 CCUS 捕集 CO <sub>2</sub> ，一些用于提高石油采收率（EOR）
		9/现在/非常重要	<b>甲醇</b> ：巴西、巴林等地的商业煤基工厂将碳捕集作为生产流程的一部分
		7/2025 年/非常重要	<b>高价值化学品</b> ：中国石化位于河南的石化厂 2015 年起利用 CCUS（120 万吨/年）提高石油采收率，并计划将碳捕集能力提升至 50 万吨/年
	物理吸附	9/现在/非常重要	<b>氨</b> ：捕集技术已作为生产流程的一部分广泛用于商业制氨工厂，一些项目将捕集的 CO <sub>2</sub> 用于 EOR
		7/2023 年/非常重要	<b>甲醇</b> ：美国计划 2020 年投产甲醇工厂工业规模碳捕集项目，用于 EOR；
		8/现在/非常重要	<b>甲醇</b> ：新疆敦华石油甲醇工厂碳捕集项目（10 万吨/年）于 2016 年投运
		7/2025 年/非常重要	<b>高价值化学品</b> ：延长石油在榆林煤制化学品工厂投产碳捕集（5 万吨/年），正在靖边建设更多大规模项目（36 万吨/年），并通过 EOR 实现二氧化碳的封存
		波动性可 再生能源 电解制氢	8/2025 年/非常重要
7/2025 年/重要	<b>甲醇</b> ：冰岛 George Olah 试点（4000 吨/年）2011 年投产，日本三井化学（100 吨/年）2009 年投产，德国 Carbon2Chem 项目 2018 年使用电解制氢和钢铁厂 CO <sub>2</sub> 生产甲醇，还有两个电解制氢项目 2019 年获资助		
直接 电气 化	甲烷热解 制甲醇	6/2030 年/中等重要	巴斯夫公司正在德国利用电加热甲烷生产氢气进行试点，计划到 2030 年实现工厂规模生产
	蒸汽裂解 装置电气 化	3/待定/中等重要	2019 年，六家大型石化公司共同发起“未来裂解联盟”采用可再生能源运行石脑油或蒸汽裂解装置
生物 能 化	生物质气 化	5/待定/低重要	<b>氨</b> ：通过生物质气化生产氨的技术经济评估已完成，但其在经济上尚不可行
		8/待定/低重要	<b>甲醇</b> ：加拿大 2016 年投产首个废物制甲醇商业工厂，荷兰 2020 年投产 BioMCN 设施，瑞典计划生物甲醇预商业项目
	乙醇脱水 制乙烯	5-9/现在/中等重要	巴西、印度等地的商业工厂使用发酵生产乙醇，生产规模分别为 20 万吨/年和 17.5 万吨/年
	木质素基 生产苯、甲 苯和混合	6/2030 年/中等重要	荷兰成功进行 BioBTX 技术的中试测试；比利时和德国的八个合作伙伴于 2018 年发起的 ALIGN 项目旨在提升三种木质素提取工艺

	二甲苯 (BTX)		
替代燃料	甲醇生产 BTX	7/2030年/低重要	三个试点工厂于2013年投产,几个商业规模的示范项目正在开发中,主要集中在中国
	汽油催化 裂化	9/现在/低重要	第一个商业工厂(4万吨/年)正在韩国运行

表2 钢铁部门主要新兴技术现状、需求及趋势

领域	技术	TRL/可用时间/对 净零排放重要性	部署情况
CCUS	高炉: 废气富氢和/或CO <sub>2</sub> 的去除(利用或封存)	5/2030年/非常重要	日本 COURSE 50 项目已完成实验测试, 计划到 2030 年实现商业规模; 通过真空变压吸收对炉顶煤气进行循环利用已在欧盟 ULCOS 项目实验高炉中被证实; 安塞乐米塔尔正在法国敦刻尔克钢厂 IGAR 试点项目进行进一步概念开发, 2017 年成功完成实验室测试并计划在 2025-2027 年完成工业规模示范, 2019 年启动的 3D 项目将测试高炉气体的胺基碳捕集, 计划到 2021 年中试, 2025 年达到工业规模; ROGESA 试点项目正在德国高炉中测试富氢焦炉煤气, 计划 2020 年投运; STEPWISE 项目正在瑞典试点将高炉煤气脱碳(14 吨/天)用于发电
	高炉: 废气转化为燃料	8/现在/中等重要	兰扎科技与首钢集团和唐明 2018 年在中国建成首个商业工厂, 年产 3000 万升乙醇, 第二个乙醇工厂(8000 万升/年)计划建在比利时根特, 将于 2021 年初完工; 欧洲 FReSMe 项目正试点钢铁废气转化为甲醇(1 吨/天)
	高炉: 废气转化为化学品	7/2025 年/中等重要	2018 年启动的德国 Carbon2Chem 试点工厂利用钢铁废气生产氨和甲醇, 计划到 2025 年建成工业规模工厂; 欧洲 Carbon4PUR 项目正试点将钢铁废气转化为聚氨酯泡沫和涂料(20 吨/年)
	直接还原铁: 天然气碳捕集	9/现在/非常重要	墨西哥两家工厂 2008 年投运, 捕集排放 CO <sub>2</sub> 的 5%用于饮料行业, 正计划扩大捕集能力; 阿布扎比工厂 2018 年起投运碳捕集(80 万吨/年)用于 EOR; 委内瑞拉 Finmet 商业工厂胺基碳捕集 CO <sub>2</sub> 纯度接近 100%
	熔融还原: CCUS	7/2023 年/非常重要	ULCOS 开发的 Hisarna 试点正在荷兰艾默伊登塔塔钢铁厂运营(年产 6 万吨钢, CCS 未实施); 预计 2023-2027 年印度将建成一座示范规模工厂(50 万吨/年); 2027-2033 年荷兰将建成一座工业规模工厂(150 万吨/年); FINEX 工厂正进行胺基碳捕集的初步测试
氢能	高炉: 电解氢混合	7/2025 年/中等重要	蒂森克虏伯 2019 年起在德国一座高炉中测试氢气替代一部分煤
	直接还原铁: 天然气与高比例电氢混合	7/2030 年/重要	1990 年代特诺恩在墨西哥测试了混入 90%的氢气; 萨尔茨吉特正在德国进行兆瓦级电解槽示范和可行性研究, 以将氢气直接还原铁整合到现有工厂中; 蒂森克虏伯正计划在 2020 年代中期前建设使用氢气的商业化直接还原钢铁厂



	直接还原铁：仅基于电解氢	5/2030年/非常重要	HYBRIT 项目中试工厂 2020 年 8 月在瑞典投运，计划到 2025 年建成示范工厂（1 吨/年）；安赛乐米塔尔主导的汉堡试点工厂将于 2030 年建成
	熔融还原：氢气等离子体还原	4/待定/中等重要	奥地利 SuSteel 项目正将 100 g 规模反应器升级至 50 kg 批量运行，计划 2020 年投运；犹他大学正开发闪速炼铁技术，并调试了一个小型试点反应器
	辅助过程：氢用于高温热	5/2025年/重要	2020 年初 Ovako 和 Linde 在瑞典成功试验用氢气为炼钢供热；挪威的工业园 2020 年签署协议利用氢气替代化石燃料炼钢
直接电气化	电解：低温碱性	4/待定/中等重要	Siderwin 项目将利用 ULCOWIN 电解工艺在 2020 年底前开发一个试点工厂
	电解：高温熔融氧化物	4/待定/低重要	麻省理工学院的研究促成了波士顿金属公司成立，并于 2014 年投产第一个原型电解槽，目前正建设中试工厂
生物能	高炉：热处理生物质	7/2025年/中等重要	Torero 合作项目使用生物质部分替代安赛乐米塔尔在比利时根特工厂的煤炭，大规模示范将于 2020 年底投运
	高炉：木炭	10/现在/中等重要	木炭目前在商业上被用来替代高炉的部分煤（主要在巴西）

表 3 水泥部门主要新兴技术现状、需求及趋势

领域	技术	TRL/可用时间/对净零排放重要性	部署情况
CCU S	化学吸附（部分捕集率<20%）	8/现在/中等重要	德克萨斯州 Capitol Aggregates 商业水泥厂 2014 年投运，碳捕集率 15%（7.5 吨/年）
	化学吸附（完全捕集）	7/2024/非常重要	兰扎科技与首钢集团和唐明 2018 年在中国建成首个商业工厂，年产 3000 万升乙醇，第二个乙醇工厂（8000 万升/年）计划建在比利时根特，将于 2021 年初完工；欧洲 FReSMe 项目正试点钢铁废气转化为甲醇（1 吨/天）
	钙循环	7/2025/非常重要	台湾水泥公司 2017 年起在工厂进行测试，成功完成中试规模试验，计划 2025 年实现商业规模（45 万吨/年）运行；CEMCAP 项目在德国完成中试示范；CLEANKER 项目在意大利进行商业前改造示范（130 万吨/年），计划 2020 年启动
	富氧燃烧	6/2030年/重要	丹麦预分解窑成功完成试点；四家欧洲水泥生产商 2019 年底发起联合研究，计划在德国建造半工业富氧燃烧试验设施
	新型物理吸附（使用二氧化硅或基于有机物吸附）	6/2035年/重要	加拿大 CO2MENT 项目 2019 年试验将 CO <sub>2</sub> 用于低碳燃料和混凝土；2020 年初，几家公司宣布进行联合研究，以评估美国科罗拉多州 Holcim Portland 水泥厂碳捕集商业设施（72.5 万吨/年）的设计和成本

	直接分离	6/2030 年/重要	2019 年, LEILAC 项目在比利时海德堡水泥厂成功进行了中试示范, 目标是在 2025 年进行大规模示范 (10 万吨/年)
	其它捕集技术	4-5/待定/中等重要	已经进行了一些其他技术 (膜分离、冷冻氨等) 的实验室和小规模试验, 但仍处于相对早期开发阶段
	在混凝土和其他惰性碳酸盐材料中固定/矿化二氧化碳	9/现在/中等重要	多个商业规模工厂使用 CO <sub>2</sub> 生产骨料或混凝土固化; 2016 年, 中材国际和 CNBM 在中国完成了一个利用 CO <sub>2</sub> 生产沉淀碳酸钡 (5 万吨/年) 的项目; 海德堡能源公司和亚琛工业大学的 CO <sub>2</sub> Min 项目验证了橄榄石和玄武岩吸收 CO <sub>2</sub> 的能力; 法国 FastCarb 项目正研究再生混凝土骨料的加速碳化, 目前处于实验室规模
替 代 原 料	煅烧粘土	9/现在/重要	目前在有限几个国家低比例使用, 由古巴、印度和瑞士研究人员合作开发; 中国正开发一种大型闪速煅烧炉, 将大大提高煅烧粘土的能效, 目前已建成两条 300 吨/天的生产线
	硅酸钙碳化	8/现在/中等重要	Solidia Technologies 于 2014 年在美国的拉法基 (Lafarge) 工厂首次投产, 现在在匈牙利的另一家工厂投运
	硅酸镁	3/待定/中等重要	研发仍主要在大学实验室进行
	碱活化粘合剂 (地质聚合物)	9/待定/中等重要	一些水泥已经商业化, 但主要用于非结构应用, 例如 CEMEX 在瑞士开发的 Vertua Ultra Zero; 其他处于早期开发阶段
直 接 电 气 化	直接电气化	4/待定/中等重要	瑞典 CemZero 项目 2017 年的可行性研究显示了水泥窑电气化的技术可行性, 目前正在探索建立一个试验工厂; 2018 年在挪威启动的 ELSE 项目表明了分解炉电气化的技术可行性
	光热发电直接加热	6/待定/中等重要	法国 SOLPART 项目于 2019 年完成中试测试, 计划到 2025 年开设一家部分使用太阳能发电加热的水泥厂; 2019 年美国初创企业 Heliogen 在莫哈韦沙漠的试验设施中证明了利用光热发电产生 1000°C 以上热量的可能性; 保罗·谢勒学院、苏黎世联邦理工学院和拉法基·霍尔西姆正进行一项在窑炉中使用光热发电的研究
氢 能	氢气的部分使用	4/待定/中等重要	矿物制品协会已获资助在进行英国物理试验将氢和生物质在窑炉中混合, 计划在 2021 年完成
	碳酸钙脱碳	3/待定/中等重要	基于电解槽制氢的概念已通过麻省理工学院实验室规模的测试得到验证
技 术 性 能	先进磨削	6-9/现在/中等重要	各种技术处于不同发展阶段, 有些接近商业化水平

## 2、长途运输部门

2019年，交通运输占全球终端能源消费近30%，占能源部门直接CO<sub>2</sub>排放总量的23%。到2070年，卡车运输领域，电力和氢气将成为的主要动力来源；海运领域，生物燃料、氢和氨将提供超过80%的燃料需求；航空领域，生物燃料和合成燃料将占燃料需求的四分之三。近期内，重型卡车、海运和航空领域正利用各种新兴技术来提高能源效率，其现状、需求和趋势如表4、表5和表6所示。

**表4 重型卡车部门主要新兴技术现状、需求及趋势**

领域	技术	碳减排方法	TRL/可用时间/对净零排放重要性	部署情况
系统和物流效率	高炉：废气富氢和/或CO <sub>2</sub> 的去除（利用或封存）	减少空气阻力	8-9/现在-2025年/中等偏低重要	日本 Energy ITS 于 2018 年示范联网和自动驾驶汽车（CAV）技术；2011 年加州 PATH 计划；2014 年美国国家能源技术实验室进行智能卡车示范；2016 年欧洲开展卡车队列挑战；2017 年欧盟 SARTRE 项目示范车间通讯（V2V）技术
	自动驾驶卡车	能源和燃料利用率	5-8/2025-2035/重要	Plus.ai 于 2019 年在美国进行了一次自动卡车旅行；2020 年，Einride 为自动驾驶卡车招募远程操作员
能效	锂离子电池	电气化	5-9/现在-2050年/重要	汽车锂离子电池（镍锰钴、镍锰铝）以及公交车和卡车锂离子电池（磷酸铁锂）技术正不断改进；其他新兴技术如固态锂金属电池，可能使电动汽车在中长期内具有商业可行性
	质子交换膜燃料电池	氢	7-9/现在-2030年/重要	美国能源部通过其国家实验室与丰田、巴拉德和现代一起，在质子交换膜的基础和应用研究以及商业化方面处于领先地位
替代燃料和动力系统	ED95 发动机	燃料转换	8-9/现在/重要	斯堪尼亚率先推出了可以使用95%乙醇的压燃式发动机；瑞典有数百辆此类卡车在运行
	电动重型卡车	电气化	8-9/现在/重要	2019 年全球累计交付电动重型卡车超过 23000 辆，95%以上在中国；比亚迪、康明斯、戴姆勒、荷兰 Emoss 和扶桑是最早的电动重型卡车制造商；特斯拉的半自动卡车将很快上市
	燃料电池重型卡车	氢	8-9/现在/重要	戴姆勒、日产、丰田、现代、斯堪尼亚、大众和标致雪铁龙正开发燃料电池卡

				车；初创企业 Nikola 已经获得了大量投资，并获得许多中型卡车订单；联邦快递和 UPS 正在测试增程版燃料电池车；欧洲 h2Share 项目示范了几辆超过 12 吨的重型卡车
替代燃料基础设施	大功率充电装置	电气化	5-6/现在-2030/重要	特斯拉正开发超快充原型(1.2-2 兆瓦)；戴姆勒正研制一款功率高达 3 兆瓦的充电桩
	加氢站	氢	9/现在/重要	2019 年全球有超过 400 个加氢站为道路车辆提供氢气，其中大部分位于日本、德国、美国和中国；许多 70 兆帕加氢站正在建设中
	电动道路系统	电气化	6-9/现在/重要	西门子已在瑞典和德国的高速公路上建造了电动汽车高速公路示范系统，总长超过 30 公里；道路输电和传感设计正在测试中

表 5 海运部门主要新兴技术现状、需求及趋势

领域	技术	碳减排方法	TRL/可用时间/对净零排放重要性	部署情况
远洋船	氨燃料内燃机	燃料转换	4-5/2022/2030 年 / 重要	全球领先的造船商最近合作开发了一种氨内燃机深海油轮，将于 2030 年实现商业化；各造船厂已宣布开发使用氨内燃机大型船舶；曼恩能源和瓦锡兰公司分别宣布开发氨燃料发动机，预计将于 2023 年投入运行
	氢燃料内燃机	燃料转换	4-5/2025/2030 年 / 重要	现代重工计划在 2022 年前开发出大型氢内燃机；日本海上航运零排放路线图的目标是到 2030 年实现氢燃料内燃机大型船舶商业化
中短途船舶	氨燃料电池	燃料转换	4-5/2030 年/重要	欧盟 ShipFC 项目计划开发一艘 2 兆瓦氨动力燃料电池船，并于 2023 年投入使用
	氢燃料电池	燃料转换	7/2020 年/重要	几艘氢燃料电池船大型原型已经完成测试；欧盟“地平线 2020”旗舰项目正在两艘小型船舶上示范技术可行性
	氢燃料内燃机	燃料转换	8/2020 年/重要	2017 年一艘同时燃烧氢气和柴油的船 Hydroville 开始运营；贝赫公司(BeHydro)宣布计划从 2020 年开始开发 0.8-2.8 兆瓦的氢内燃机
	纯电动动力系统	燃料转换	8/2020 年/重要	北欧国家正在率先开发纯电动船舶，可行驶几百公里；到 2022 年，挪威将有 80 艘纯电动渡轮
停泊时使用岸	岸电	燃料转换	9/2020 年/中等重要	全球有 80 多个港口（主要在欧洲）配备用于岸电的基础设施；越来越多船舶配备



电				了岸电设备
风力辅助推进	轻帆	能源效率	7-8/2020年/中等重要	一些公司正在商业化,并在新造和现有船上安装轻帆
	弗莱特纳旋翼/帆	能源效率	8/2020年/重要	一些公司正将这些技术商业化,配备该技术的船正在运行测试阶段

表6 航空部门主要新兴技术现状、需求及趋势

领域	技术	碳减排方法	TRL/可用时间/对净零排放重要性	部署情况
发动机	超高涵道比(UHBR)发动机	燃料转换	5/2030-2035/重要	罗尔斯-罗伊斯公司超级风扇(UltraFan)的地面测试将于2021年开始,节油潜力达到25%;制造商与空客在欧盟Clean Sky 2计划下合作开发UHBR发动机,将于2030年面世
	开式转子发动机	燃料转换	5/2035年/重要	GE36开式转子发动机20世纪80年代就进行了示范;2017年,赛峰(SAFRAN)对一个示范模型进行了地面测试,计划于2030年上市
机身	氢燃料电池	燃料转换	3/待定/中等重要	波音公司和美国国家航空航天局在2013年之前进行了小规模原型试飞,空客公司在2019年进行了试飞;尽管概念已经得到验证,两家制造商均未明确大型机身建造计划
替代动力系统	混合动力飞机	燃料转换	4-5/待定/中等重要	空客公司和罗尔斯-罗伊斯公司正在E-fanx项目中开发一种混合动力飞机原型,计划到2021年进行试飞;莱特电气计划在2030年推出一架186座的短程飞机;小型混合动力飞机(Cassio和Ecopulse)已经完成飞行试验
	纯电动飞机	燃料转换	3/待定/中等重要	2019年加拿大一架装有电池和电动发动机的九座水上飞机进行了首次飞行(航程约为160公里),开创了短距离小型电池电动飞机的先河
	燃料电池飞机	燃料转换	3/待定/中等重要	德国航天中心在2016年测试了一架燃料电池驱动的四座滑翔机;波音公司在2008年测试了一个燃料电池飞机原型;目前还没有宣布大型燃料电池飞机的计划

[中科院武汉文献情报中心 汤匀 岳芳]

## BP 能源展望 2050：可再生能源引领转型 氢能作用日益凸显

9月14日，英国石油公司（BP）发布《世界能源展望 2020》报告<sup>7</sup>，基于三种预测情景（快速转型、净零排放和一切照旧），对至2050年的全球能源供需、碳排放、投资进行了预测。报告指出，未来30年全球能源需求增速将低于过去20年，能源需求增长将完全来自新兴经济体，能源消耗和碳排放地区差异将缩小，可再生能源的飞速增长将引领能源低碳转型，氢能也将发挥越来越重要的作用。关键点如下：

### 一、能源转型的全球背景

到2050年，全球GDP将持续增长但增速放缓。受疫情影响，2018-2050年全球GDP年均增速约为2.6%，远低于过去20年的平均水平。到2050年，世界人口将增加20亿以上达到约96亿人。发展中经济体将占世界经济增长的80%以上，中国和印度贡献了约一半的增长。预计在未来30年内，城市化进程将相对较快的国家将占全球GDP增长的一半以上，而2018年仅占三分之一。

经济发展将导致能源需求增长，但增速低于过去20年。快速转型情景（0.3%）和净零排放情景（0.3%）中，2018-2050年一次能源的年平均增速显著低于过去20年（2.0%）。一切照旧情景中一次能源需求年增长（0.7%）比其他两种情景更快、更持久，表明能效增长更慢。

疫情对经济活动和能源需求具有持续性影响。快速转型情景中，全球GDP水平将在2025年和2050年分别降低约2.5%和3%。印度、巴西和非洲的经济结构最易受到疫情影响。疫情对石油需求影响最为明显，2025年和2050年分别减少300万桶/天和200万桶/天。如果疫情进一步扩大，可能会造成更大的经济损失：导致全球GDP水平到2025年和2050年分别降低4%和近10%；到2050年能源需求与石

<sup>7</sup> Energy Outlook 2020 edition. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook>

油需求将分别下降 8%和 500 万桶/天。

## 二、部门能源消费预测

所有部门的能源消费均有所增长，但增速减缓。2018 年，工业能源需求占全球 45%，非燃烧用能占 5%，其余用于建筑（29%）和交通（21%）。快速转型情景中，到 2050 年交通、工业和建筑部门一次能源需求增速相比 21 世纪前 20 年有所放缓，工业和建筑部门最为明显，交通部门能源需求增长将占总增量近 60%。净零排放情景中，到 2050 年电力和氢能的需求进一步增加，尤其在交通和工业领域。一切照旧情景中，到 2050 年交通、工业和建筑部门一次能源需求量都将大幅增加，但增幅低于过去 20 年。

工业部门能源消费向发展中经济体和低碳能源转变。到 2050 年，一切照旧情境下工业部门一次能源需求将增长约 15%（年均增速 0.5%），远低于过去 20 年增速；其他两种情景下能源需求相对稳定。三种情景下，工业能源需求增长都集中在新兴国家（中国以外），尤其是印度、亚洲其他国家和非洲，这是因为能源和劳动力密集型工业活动越来越多地从发达国家转移到了发展中国家。三种情景下，到 2050 年工业部门煤炭使用量都急剧下降，在快速转型情景和净零排放情景中更为明显，取而代之的是电力、生物质和氢的份额不断增加。

发展中国家生活水平的提高将促使建筑部门用电量增加。随着生活水平的提高，照明和电器需求增多，促使建筑部门用电量大幅增加，发展中国家尤为明显。快速转型和净零排放情景下，亚洲和非洲发展中国家建筑用能显著增加，但被发达国家建筑能源消费的大幅下降抵消，因此两种情景下建筑总年均能源消费将上升 0.2%或 0.1%。日益增加的用电量挤占了石油、天然气和煤炭的需求份额，到 2050 年，建筑部门对石油的需求已基本为零，对天然气的需求将下降 50%或 90%。

交通运输能源消费增长放缓，石油消耗在 2020 年代中后期达到

**顶峰。**三种情景下，客运和商业运输能源需求强劲增长，但被效率提升所抵消，尤其是乘用车、卡车和航空。交通运输部门一次能源需求增长完全来自发展中国家，发达国家基本持平。到 2050 年，石油在运输部门终端能耗占比从 2018 年的 90% 下降至约 80%（一切照旧情景）或 40%（快速转型情景）或 20%（净零排放情景）。相反，电力、氢能、生物燃料和天然气所占能耗份额增加。在快速转型情景和净零排放情景中，电力在终端能源消耗中占比将增至 30% 或 40%。

### 三、地区能源需求预测

**全球能源需求增长将完全来自新兴经济体。**三种情景下，到 2050 年新兴国家约占能源需求的 70% 左右（2008 年约为 50%）。发达国家能源消费下降的主要原因是能效提高节约的能源超过了能源需求增长。新兴经济体的能源消耗增长由印度和其他亚洲国家引领，两国能源需求增长之和超过快速转型和净零排放情景中全球能源需求总增长，是一切照旧情景下全球总增长的 60%。中国能源需求增长急剧放缓，由于能效加速提升以及经济结构从高耗能产业持续转移，到 2050 年中国在快速转型和净零排放情景中能源需求已回到 2018 年水平。尽管如此，三种情景下中国仍然是最大的能源市场，到 2050 年将占世界能源需求的 20% 以上，几乎是印度的两倍。

**全球能源消耗和碳排放量的地区差异缩小。**2018 年，发达国家人均能源消费是新兴经济体的 3 倍多，美国是印度的 12 倍。快速转型情景下，到 2050 年发达经济体和新兴经济体能源消耗差异缩小；然而发达国家人均能源消费仍为新兴经济体的 2 倍多。其他两种情景也呈现相同趋势。快速转型情景下，人均碳排放差异显著减小，主要原因是人均能源消费减少，以及发达经济体和新兴经济体燃料使用平均碳强度的改善程度大致相同。

**到 2050 年，全球仍存在严重的能源不平衡状态。**2018 年，全球石油产量近 3/4 进行了国际贸易，天然气产量约 1/4 进行了国际贸易；

中国 70%的石油和 40%以上的天然气消费来自进口，印度则分别为 80%和 50%。快速转型情景中，由于石油需求下降 50%，到 2050 年中国油气净进口量略有下降；印度则由于煤改气等导致油气净进口量增加一倍以上。油气出口将继续由中东和俄罗斯主导；美国油气出口将在 2030 年代达峰，之后随着致密油和非传统油气产量下降而下降。

#### 四、分品种能源供需预测

**可再生能源将引领能源结构向低碳转型。**快速转型和净零排放情景中，可再生能源（不包括水电）增长均超过 10 倍，其在一次能源中占比将从 2018 年的 5%上升至 2050 年的约 40%或 60%；一切照旧情景中也占一次能源需求总增长的 90%。风能和太阳能将推动可再生能源发电快速增长，到 2050 年成本分别下降 30%和 65%（快速转型）或 35%和 70%（净零排放）。

**化石能源在一次能源占比从 2018 年的近 85%下降到 2050 年的约 40%（快速转型情景）或约 20%（净零排放情景）。**煤炭消费下降最为突出，在快速转型和净零排放情景中到 2050 年降幅超过 80%；天然气前景最为持久，到 2050 年其消费量在快速转型情景下与 2018 年基本持平，净零排放情景下降低 40%，一切照旧情景下增加 35%；到 2050 年，石油需求在快速转型和净零排放情景下分别下降 50%和 80%，在一切照旧情景下比 2018 年水平略有下降。

**随着世界向低碳能源转型，氢能将扮演越来越重要的角色。**随着技术发展、成本下降以及碳价上涨，氢能将在 2035-2050 年显著增长。到 2050 年，氢能在终端能源消费中约占 7%（快速转型）或 16%（净零排放）。氢为工业过程高温供热具有特殊优势，到 2050 年将占工业终端能源消费的 10%左右（快速转型）或 18%（净零排放）；氢在交通中主要用于长途运输，到 2050 年约 7%（快速转型）或 10%（净零排放）的车公里数由氢能驱动。快速转型情景中，中国和发达经济体中氢的使用最为明显；净零排放情景中，氢气的使用范围更广，在



印度和亚洲其他发展中国家也有显著增长。

## 五、能源相关碳排放预测

**快速转型和净零排放情景中碳排放量显著下降。**受疫情影响，能源相关碳排放量短期内急剧下降。快速转型情景下，到 2050 年能源相关碳排放将比 2018 年下降约 70%至略高于 90 亿吨；净零排放情景则将下降 95%以上达到 150 亿吨左右。一切照旧情景下，能源相关碳排放下降幅度有限，到 2050 年仅下降 10%左右。快速转型情景下，到 2050 年交通部门将是碳排放最大来源（约占 1/3），工业和电力部门各占约 1/4。净零排放情景下，电力部门的负排放（主要来自生物质发电结合 CCUS）将抵消一部分工业和交通排放。

**低碳转型将使全球能源系统发生根本变化。**快速转型和净零排放情景中，到 2050 年全球化石燃料使用量下降 50%或 70%，油气消费将下降 1/3 或 2/3。2050 年，电力将占终端能源消费的 50%（快速转型）或 60%（净零排放）。到 2050 年，氢气将占终端能源消费的 7%（快速转型）或 16%（净零排放）。传统化石能源消费减少还导致生物能的作用日益增强。到 2050 年，生物能源约占一次能源的 7%（快速转型）或 10%（净零排放）。

## 六、能源相关投资预测

**能源转型要求投资方式发生重大转变。**快速转型和净零排放情景中，风能和太阳能发电厂投资将显著增加，2020-2050 年期间年均投资 5000-7500 亿美元，比 2013-2018 年的投资水平高两到三倍；一切照旧情景中为 3000-4000 亿美元。净零排放情景中，风能和太阳能投资呈现驼峰状，后半段预测期内可能出现供应链产能过剩问题。快速转型和净零排放情景中，石油和天然气需求的显著下降，上游投资步伐也相应迅速放缓。

**石油和天然气新生产设施仍需大量投资。**如果石油生产商未来 30 年只投资于维护现有（棕地）设施，以及完成已获批项目，石油

产量年均将下降 4%以上，到 2050 年全球石油供应将降至 2500 万桶/天，天然气产量年均降幅为 4.5%，难以满足三种情景下的需求水平。到 2050 年仍需对油气上游新生产设施进行大量投资，预计约为 9-20 万亿美元。净零排放情景中，到 2035 年需投入数万亿美元的石油投资以确保充足供应，但 2035-2050 年需求下降速度超过产量的自然下降速度，意味着到 2050 年部分投资设施可能无法被充分利用。

[中科院武汉文献情报中心 汤匀 岳芳]

## 美国能源部发布实现低成本生物燃料的综合战略

8 月 2 日，美国能源部生物能源技术办公室（BETO）发布了《实现低成本生物燃料的综合战略》<sup>8</sup>报告，提出降低生物燃料成本的五个关键战略，以实现 2 美元/加仑汽油当量的成本目标。主要战略包括：开发高效生物炼油；改进工艺设计：利用现有基础设施；降低原料成本；开发高价值产品。同时，报告针对上述五方面提出了关键的研发需求。报告要点如下：

### 一、实现低成本生物燃料的关键战略

**1、开发原子效率高的生物炼油厂以最大化原料利用率。**利用生物炼油厂原料的所有成分并采用有效的转化策略，提高各种先进燃料和产品生产策略的经济可行性。

**2、强化工艺设计以降低资本和运营成本。**通过改进工艺集成或新颖的加工路线来降低设施资本成本和运营成本，以提高盈利能力。

**3、利用现有基础设施。**与其他加工设施集成并重复利用设备，以降低资本和运营成本。同时，利用石油精炼行业可用的设备和加工基础设施，降低反应器、催化剂和相关工艺升级的支出。

**4、降低原料成本。**利用废物和低品质原料以大大降低原料成本。其他降低原料成本的策略包括：原料生产和利用多样化；使用综合园

<sup>8</sup> Integrated Strategies to Enable Low-Cost Biofuels.

<https://www.energy.gov/eere/bioenergy/downloads/integrated-strategies-enable-lower-cost-biofuels>

林管理策略；减少转换材料在收获、收集和储存期间的损失；增强供应系统集约化。

**5、开发具有短期市场影响的高价值生物质产品。**开发高价值生物衍生燃料和化学品可以加速从研发到市场的过渡。主要策略包括：研究具有目标性能的燃料以提高效率并降低总燃料消耗成本；利用生物质的优势，例如含氧燃料和产品；开发可与当前燃料一起使用并增强石油基掺混油性能的产品；开发航空和海运燃料。

## 二、关键领域研发需求

### 1、提高原子效率

**(1) 木质素改性用于生物化学转化过程：开发木质素降解和改性的综合策略，以最大限度提高产品生产的碳利用率。**开发灵活的有机体可将各种降解产物改性为最终产品。集成降解与改性过程以提高产率、降低成本。

**(2) 木质素改性用于生物化学转化过程：探索木质素改性的替代策略，包括化学催化转化为燃料和化学品。**考虑多种木质素改性策略以及一系列潜在产品。开发针对特定产品的低成本耐用催化剂。开发低成本转化方法，将残余固体分馏生产多种最终产品。

**(3) 对来自不同过程废物流的沼气进行提纯净化：将废物碳转化为增值副产品和燃料。**了解废物沼气和其他不可冷凝碳流的生物改性的成分和净化要求。通过代谢工程提高微生物稳定性并提高产量。开发反应器输运模型，以提高基质的有效质量传递并优化用于生物转化的反应器设计。

**(4) 不同工艺的催化升级：提高增值副产品的催化剂选择性。**了解选择性和相关分离工艺的限制，以满足所需副产品的纯度要求。对于水相碳的热催化或生物提质，开发能够耐受并转化一系列抑制性有机物（尤其是在较高浓度下）的催化剂。将实验研究与建模相结合，以提高对反应机理、催化剂设计和工艺限制的全面理解，从而提高产

量。

## 2、强化工艺设计

**(1) 生物化学转化过程的生物质降解：优化生物质降解过程。**利用过程仿真、基础研究和计算模型来确定新型生物质降解和水解产物调节操作的最佳条件。探索在碳水化合物和木质素加工的集成过程中最大化与下游操作的协同作用。

**(2) 生物化学转化过程中高效转化和产品回收的协同作用：提高生物化学衍生中间体转化、分离和改性的产量并最小化成本。**寻求加快生物代谢工程的策略，以实现糖/木质素的生物转化，以及改进催化剂和反应条件，以高选择性、高产量快速将中间体转化为最终产品。降低中间体和最终产品的分离和净化成本。

**(3) 混合水热液化转化过程的高效综合方法：最大限度地提高不同最终产品的碳利用率。**通过提高水相碳的回收率来提高整体水热液化产量。继续开发分离策略，以改善油品质量，从而降低加氢处理的成本和/或实现水热液化生产的中间体的炼油厂整合。确定潜在的副产品开发机会。

**(4) 热化学转化过程的原料多样化：设计利用低成本/低品质原料的策略。**了解高矿物质含量的低成本原料对转化率和产量的影响，并在催化快速热解过程中设计有效的缓解策略。对不同原料进行系统实验分析，以了解成分对催化快速热解的影响。探索通过对操作单元进行组合来强化过程。使用更小型模块化系统生产低成本催化快速热解中间体，并使用集中式设施和/或通过炼油厂整合来降低资本成本。

**(5) 热化学转化过程中催化剂的功能和稳定性：通过基础研究和开发提高催化剂性能。**开发催化剂以提高气流床和固定床系统中催化快速热解油的产量和品质。增加在线时间，减少再生时间，并减少催化剂成本和固定床系统中的贵金属负载。通过反应器建模以有效利用催化剂并扩大工艺规模。整合计算模型和实验，以开发功能强大的

催化剂，最大限度地提高产量，并改善油品质量。

**(6) 热化学转化过程的副产品开发：开发高质量副产品。**从催化快速热解油中开发副产品，如酚醛树脂。利用催化快速热解油中的含氧化合物开发由于成本和工艺限制而未能开发或商业化的其他产品。通过生物和催化途径探索合成气中的其他副产物。

**(7) 在所有转换过程中共用和利用现有工业基础设施：调查通过工业共生降低资本成本和运营成本的机会。**最大限度地利用现有工业设施，包括炼油设施、废水处理和锅炉系统。此外，生物炼油厂可按符合工业共生的方式布局，以便利用附近的现有设施。

### 3、整合炼油设施

**(1) 开发适用于生物质衍生中间体和石油的新型催化剂。**设计催化剂以提高生物质衍生中间体的产量和燃料品质，从而提高炼油厂的性能和利润率。

**(2) 了解原料对生物油成分的影响和与石油原料的共加工性。**了解原料对生物油/生物原油组分的影响，以确定与石油原料的共加工性。

**(3) 开发新方法解决由于生物质衍生中间体中的碱金属和其他杂质引起的催化剂失活。**炼油厂整合的一个主要不确定性是引入炼油厂不常见的成分，包括氧化剂和碱金属。了解这些成分对炼油厂运营的影响，开发缓解方法以降低风险。

**(4) 开发预测能力，基于生物质衍生中间体和石油燃料品质来调整运行条件。**了解生物质衍生中间体对炼油厂转化的影响，以降低风险和不确定性，并促进将生物质衍生中间体应用于现有的石油精炼基础设施。

**(5) 准确测定联合加工燃料中的生物碳含量。**开发并验证用于评估燃料产品中生物碳含量的准确、可靠且经济的方法，以促进炼油厂的生物燃料联合加工。

**(6) 通过成分分析准确评估生物油的质量和稳定性。**由于羰基和酸的缩合反应，生物油/生物原油可能会随时间发生反应，这些反应将会增加粘度。需确定这些生物中间体的变化过程，开发稳定油品的方法，以在炼油厂进行联合加工之前进行运输和储存。

#### **4、降低原料成本**

**(1) 降低农场生物质供应成本：通过特定能源作物和低成本、低品质生物质资源来增加生物质原料供应。**通过基础研究和供应系统建模来确定合适的能源作物和生物质废物源，以降低生物质原料的净获取成本。寻求降低收获和收集成本的策略，以及下游预处理和混合方法，以提供满足条件的低成本原料。

**(2) 开发土地综合管理方式：通过可持续的生产方式提高种植者的盈利能力，同时整合高产量能源作物以提高生物质利用率。**利用计算模型和研究来最大化种植者的盈利能力和生物质生产的可持续性。发展高效生态系统服务的认证量化，根据景观布置、土壤特性、田地几何形状以及农民提供生态系统服务的补偿机制而开发，从而提高长期可持续性，减少原料生产所需的分配成本。

**(3) 提高生物质产量稳定性：开发新的策略和技术，以减少收获、收集和储存期间原材料的损失。**利用基础研究和供应系统建模确定技术和方法，最大限度地将收获的碳原料输送到生物炼油厂。基于各种生物质的收获特性进行优化以开发供应系统，使成本最小化，同时最大限度地提高供应稳定性。

**(4) 量化原料的规模经济性。**由于价格、可变性和不确定性随需求的增加而增加，需要确定原料的规模经济性。在增加生物炼油厂规模和数量的情况下，需要考虑需求的增加。需要对原料进行分析，以根据生物炼油厂数量来量化价格和风险，表征特定区域和路径的原料经济可用性，并提供降低原料交付成本的策略。

**(5) 最大化已交付生物质的价值：确定和开发技术和策略，利**



用生物质储存和预处理方法从已弃用或不利于转化的生物质组分中获取价值。通过基础研究、供应系统建模和市场分析明确副产品、技术和市场，以抵消碳损失成本。在权衡成本时，确定在预处理过程中产生的生物质组织和组分在其他市场中具有较高的相对价值。

**(6) 原料品质分级：制定分级标准以使原料价值与品质相关联。**通过基础研究、供应系统建模和市场分析确定各种原料品质属性对成本和产量的影响，以及市场应用所需的品质特性。开发商业生物质分级系统，并探索利用现有商品原料处理基础设施的途径。

## 5、开发具有市场影响力的产品

**(1) 燃料和发动机的协同优化：增强对燃料/性能关系的理解，以提高各种发动机的效率。**目前的工作主要集中在火花点火发动机上，确定有助于提高整体效率的性能，生物质混合燃料可以帮助实现此类改进。未来应扩展到中型和重型发动机的性能改进，这将有助于将生物质转化策略扩展至生产具有市场影响力的混合燃料。

**(2) 航空燃料：通过整合高性能生物基航空燃料来提高发动机效率。**开发替代航空燃料，以备将来在现有燃烧硬件设备中使用。探索研发替代航空燃料（如含氧成分）和发动机燃烧系统的共同优化，以增强燃料系统/发动机的可接受性并改善飞机性能。

**(3) 高性能生物产品：利用生物质独特的化学性质生产性能优越的材料和化学品。**通过基础研发和第一性原理计算分析了解结构-性能的关系，以识别具有理想性能的产品。鉴于生物质具备生产性能优越的化学品和产品的潜力，从经济性角度探索可行的路径和产品。

**(4) 废物转化为能源：开发将废物流转化为增值产品和燃料的方法。**了解用于水热液化和生物废物转化为能源的策略（例如厌氧消化技术）。了解区域废物的规模效应和混合效应，通过模块化降低资本成本、利用水热液化水相碳以及炼油厂共同加工水热液化生物原油等方法以降低成本。

[中科院武汉文献情报中心 岳芳]

## DOE 投入 1.22 亿美元启动煤炭提取稀土等原材料多年期计划

9月22日,美国能源部(DOE)宣布资助1.22亿美元启动“煤炭、稀土和关键原材料(CORE-CM)”多年期(2021-2023)研发计划<sup>9</sup>,旨在整合国家实验室、高校和私营企业研究力量,开展联合攻关开发从煤炭及其副产品高效经济地提取回收稀土、锂等高价关键原材料的先进技术,以确保美国关键原材料的供应安全,同时充分挖掘自然资源的经济价值。该多年期计划将聚焦六大主题,具体内容如下:

### 1、盆地关键矿物资源评估

对含有煤炭、稀土元素和其他关键矿物资源的盆地开展资源评估和物理特性描述,进而综合利用旧数据和新数据开发地质分析模型,以为后续的资源开发奠定知识基础。

### 2、开发矿产废弃物再利用技术

针对矿产资源加工和利用过程中产生大量的废弃物(如尾矿、煤矸石、废石、废土等),发展相关的处理加工技术,如经过选矿、冶金等再加工处理,从中进一步回收高价值的组分(如稀土元素、碳基产品等)。开展相关的研发计划来弥补目前矿产废弃物加工再利用技术存在的知识和技术差距,以解决该技术应用存在的挑战。

### 3、围绕基础设施、工业和商业发展状况设计盆地开发战略

系统评估含有丰富矿产关键原材料盆地的区域基础设施、工业和商业发展现状和潜力(如基础设施需求、经济发展挑战和供应链缺口)并制定战略,以更好地指导盆地丰富的矿物资源开发利用来促进当地就业和经济社会发展。

### 4、盆地资源开发利用技术评估、开发和现场测试

<sup>9</sup> Department of Energy Announces \$122 Million for Regional Initiative to Produce Rare Earth Elements and Critical Minerals.  
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-122-million-regional-initiative-produce-rare-earth-elements-and>

开发一系列的盆地资源开发利用技术评估、开发和现场测试，包括：（1）盆地煤炭、稀土等矿物资源可持续开采技术开发；（2）稀土、锂、镍等关键矿物资源的高效分离纯化工艺；（3）将煤炭、稀土等矿物资源转化为高价值中间产品和最终产品的技术；（4）对上述技术进行实地测试，推进其商业化应用进程。

### 5、建设技术创新中心

创建一个由公私合作共同运营的技术创新中心，为新开发的矿产资源开发利用技术提供一个实验室规模的验证平台，以验证其技术经济性，减少技术市场化面临的潜在风险，加速推进新技术的商用进程。

### 6、面向利益相关方的知识宣传和教育

针对盆地资源开发利用的各利益相关方，开展必要的知识宣传和教育活动，如对盆地开发商宣传盆地经济发展最佳实践，对技术人员、中等技能工人和科学、技术、工程和数学（STEM）专业人员开展盆地资源开发利用技术的教育和培训工作，以更好地推动盆地经济发展。

[中科院武汉文献情报中心 郭楷模]

## 法国公布国家氢能战略未来十年投入 70 亿欧元打造氢能经济

9月8日，法国生态转型与团结部发布《法国发展无碳氢能的国家战略》<sup>10</sup>，计划到2030年投入70亿欧元发展绿色氢能，促进工业和交通等部门脱碳，助力法国打造更具竞争力的低碳经济。此次发布的国家氢能战略是法国在9月3日推出的《国家经济复苏计划》中“生态转型”的重要举措之一，该复苏计划将在“生态转型”方面投入300亿欧元，发展绿色交通、清洁能源技术创新、建筑节能翻新、农业转型和循环经济、生物多样性等，可再生和低碳氢的绿色技术是清洁能源技术创新的主要方向。

<sup>10</sup> Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France.  
<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/DP%20-%20Stratégie%20nationale%20pour%20le%20développement%20de%20l%27hydrogène%20décarboné%20en%20France.pdf>

## 一、国家氢能战略目标

法国国家氢能战略主要有三大目标：（1）到 2030 年新建 6.5 吉瓦的电解制氢装置；（2）发展氢能交通，尤其是用于重型车辆，到 2030 年减少 600 万吨 CO<sub>2</sub> 排放；（3）提升工业部门竞争力，促进就业，到 2030 年通过发展氢能直接或间接创造 5-15 万个就业岗位。

## 二、国家氢能战略优先事项

根据法国国家氢能战略，未来将投入 34 亿欧元重点实施三大优先事项：

### 1、通过打造法国的电解制氢行业促进工业脱碳（18.36 亿欧元）

（1）促进法国电解制氢行业的兴起。法国明确了到 2030 年新建 6.5 吉瓦电解槽的目标，提出开发高效的电解制氢项目，并扩展至工业规模以实现盈利。例如，2021 年开始，法国将启动一个关于氢能的欧洲共同利益重要项目（IPCEI），涉及在法国开发吉瓦级规模的电解槽，以及开发其他重要部件的工业化，如燃料电池、储氢罐等，法国政府将为上述举措投入 15 亿欧元资金。

（2）通过氢能替代化石燃料促进工业脱碳。氢能将在炼油、化工（生产氨和甲醇等）、电子和食品等行业发挥脱碳潜力，为通过发展氢能加速法国工业脱碳，该战略提出如下方向：使电解制氢更加可靠；适应及开发工业流程；支持氢能解决方案（投资和设施运营）。该战略进一步指出，将为具备竞争力的电解槽建立法规、税收等机制。

### 2、开发无碳氢能交通（9.18 亿欧元）

（1）开发以氢为燃料的大型车辆。将开发氢动力轻型商用车辆、重型货车、公交车、垃圾车、火车等。例如，2020 年底前将启动一个开发或改进氢能生产、运输、应用（交通或发电）相关组件和系统的项目。到 2023 年，该项目将投入 3.5 亿欧元以实施示范。

（2）开发大型区域项目。该战略建议在地区层面上开发氢能在工业和交通部门的应用。例如，2020 年底前将发起“区域氢中心”项目，

将工业供应商和区域应用集合起来，部署区域大规模氢能生态系统，以最大化规模经济。到 2023 年，该项目将投入 2.75 亿欧元。

### 3、支持绿氢技术的研究、创新和开发（6.46 亿欧元）

**（1）研究与创新。**该战略确定了氢能的新用途，如通过氢能促进能源系统中对可再生能源的部署；将无碳氢用于工业脱碳（如钢铁、化工等）；将氢能用于未来交通，尤其是航空和海运；建立未来的氢能基础设施，在天然气网中注入氢以促进天然气行业脱碳。为此，战略提出继续支持氢能技术研发，保持国际领先地位，支持创新以促进新技术的产业化。例如，2020 年底前法国的“氢能应用”优先研究计划将支持开发下一代氢能技术（涉及燃料电池、储氢罐、材料、电解槽等）。该计划将获得 6500 万欧元的资助。

**（2）发展专业技能。**将进行技能建设，以支持地区氢能使用。包括对氢能汽车运行技术人员、质量-安全-环境管理人员、消防员、工程师和研究人员的技能培训和人才培养。例如，2021 年起将投入 3000 万欧元支持此类技术和职业教育培训。

[中科院武汉文献情报中心 岳芳]

## 小分子有机太阳能电池转换效率突破 15% 创造世界纪录

有机太阳能电池具备轻量化、低成本和高机械柔韧性等优点，相比硬基底太阳能电池具备更加广阔的应用空间，获得了研究人员的广泛关注。其中，基于全小分子体系的有机太阳能电池比聚合物太阳能电池具备更好的稳定性和重复性，具有更加良好的应用前景，然而目前该体系的有机电池效率低于后者，距离商用效率指标（15%）还有距离，需要进一步优化改进。

由美国华盛顿大学 Alex K.-Y. Jen 教授课题组牵头的国际联合研究团将高结晶度的有机小分子受体（4TIC）作为附加受体加入到小分子二元混合活性层材料中形成了三元的活性层，得益于 4TIC 受体的高结晶性，三元混合受体薄膜结晶性显著增

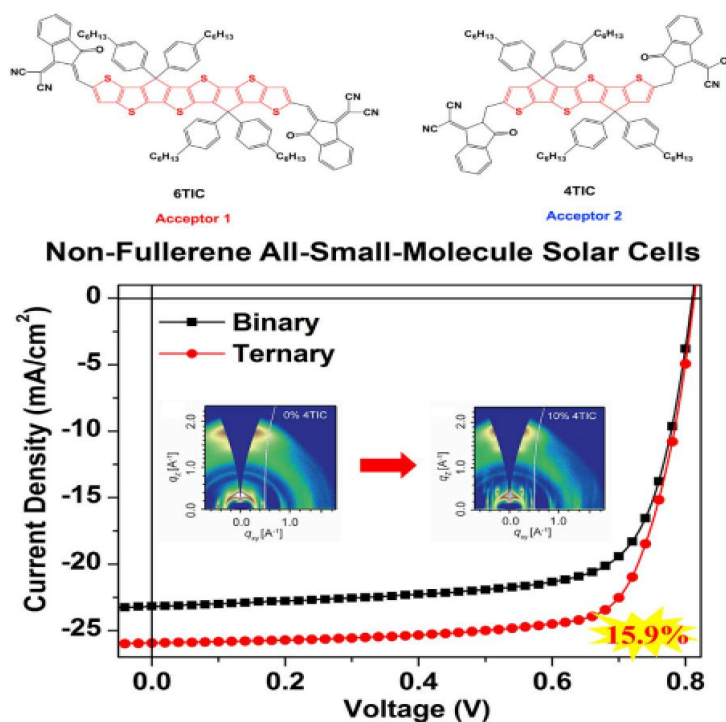


图 1 基于二元/三元小分子活性层钙钛矿电池电压-电流曲线

强，从而增强了载流子的抽取效率并有效抑制了复合，进而增强了电池性能，获得了高达 15.88%（认证效率 15.5%），创下了小分子体系有机太阳能电池效率世界纪录。相关研究表明小分子体系有机太阳能电池性能受限主要原因是活性层材料结晶形貌较难控制导致光吸收和复合损失较多。为此研究人员基于前期工作开发的高性能混合二元活性层材料卟啉/6TIC 基础上，往上述材料中加入高结晶性的小分子 4TIC 作为附加的受体材料，形成了三元的活性层材料卟啉/6TIC/4TIC，以期实现对活性层材料形貌的优化调控。扫描电镜显示三元活性层薄膜呈现出择优取向，这有利于载流子快速传输；X 射线衍射表征显示相比无 4TIC，含有 4TIC 的三元活性层薄膜的结晶性显著增强，同样有利于载流子的传输，抑制复合损失。进一步通过瞬态吸收（TA）谱测试发现，三元混合活性层薄膜的载流子的寿命得到了延长，载流子的抽取和传输效率得到改善，意味着载流子的复合得到了有效的抑制。随后研究人员分别以二元和三元小分子活性层组装了有机太阳电



池器件进行对比研究，结果显示无 4TCI 附件受体的二元活性层太阳能电池的光电转换效率为 13.54%，而含有 4TCI 的三元活性层电池效率增加到了 15.88%，认证效率为 15.5%，创造了小分子体系有机太阳能电池效率世界纪录，突破了 15%商用的效率指标，为有机太阳能电池迈向商用奠定了关键技术基础。

该项研究通过向二元活性层材料中添加高结晶性附加受体材料，实现了对活性层薄膜结晶性和形貌优化，从而增强了载流子抽取和传输效率，抑制了复合损失，进而提升了电池器件性能，获得了创纪录的 15.88%的转换效率，将有机太阳能电池向规模化应用推进了一大步。相关研究成果发表在《*Joule*》<sup>11</sup>。

[中科院武汉文献情报中心 郭楷模]

## 德科学家首次实现太空环境钙钛矿和有机太阳能电池性能测试

自 1959 年人类首次成功发射太阳能驱动卫星以来，卫星太阳能电池一直采用硬基板的晶硅太阳能电池，然而其质量较大导致质量能量密度较小（仅为 1-3 W/g），且材料和制备成本较高。相比之下，新生代有机和钙钛矿等薄膜太阳能电池制备成本低廉，且具备轻量化和良好的机械柔韧性，因此其质量能量密度远高于晶硅电池（两者分别可达 10 W/g 和 29 W/g），具备了在太空领域的应用潜力。

德国慕尼黑工业大学 Peter Muller-Buschbaum 教授研究团队实现全球首次在太空环境条件对钙钛矿太阳能电池、有机太阳能电池的性能和能源输出情况的研究，即在亚轨道火箭飞行过程中对上述两种电池的电化学性能进行原位表征测试，结果显示钙钛矿、有机太阳能电池的功率分别达到 14 mW/cm<sup>2</sup> 和 7 mW/cm<sup>2</sup>，证明上述薄膜太阳能电池在漫射辐射环境中也可以有效运行，应用于卫星火箭等太空设备不仅可以减少设备质量提升性能，还能够降低成本，展现出了广阔的太空领域应

<sup>11</sup> Li Nian, Yuanyuan Kan, Ke Gao, et al. Approaching 16% Efficiency in All-Small-Molecule Organic Solar Cells Based on Ternary Strategy with a Highly Crystalline Acceptor. *Joule*, DOI: 10.1016/j.joule.2020.08.011

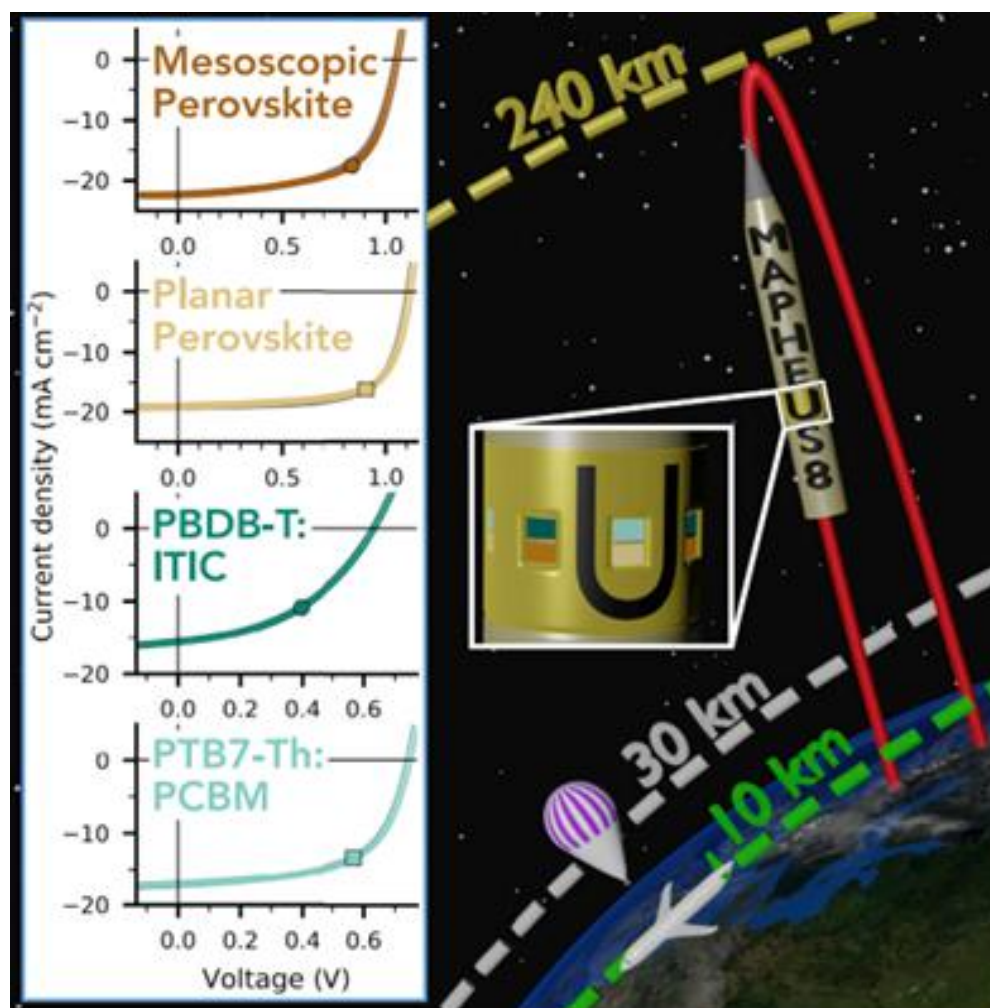


图 14 种类型钙钛矿电池电压-电流曲线及其在火箭上的摆放位置示意图

用潜力。尽管已经有很多工作模拟太空环境对有机太阳电池、钙钛矿太阳电池开展测试研究，但模拟环境与真实环境存在差异，太空环境具备微重力、强紫外、宇宙辐照、高温差等多因素环境特性，模拟环境一般采用控制变量法，即只能模拟其中一些环境条件，无法完全模拟真实环境。为此，研究人员设计制备了 4 种太阳电池，其中 2 种钙钛矿太阳电池分别为平板型和多孔型；另外 2 种是有机太阳电池，分别为正向结构和反向结构。随后将其置于代号为“MAPHEUS-8”的火箭系统，成功将钙钛矿电池和有机太阳电池送入到太空环境中，并开展了一系列性能测试。为了确保实验科学性，研究人员将制备的样品均匀缠绕分散在火箭系统周身，即电池部位分为 8 个独立部分，8 个对称排列的舱口分别有 2 个模块，8 个舱口以方位角对称分布，成

45°角，确保每个电池样品获得同等机会的辐照条件。整个火箭升空为三个阶段，阶段一为上升过程中，阳光直射有效载荷的一侧；阶段二为缓慢角度漂移后有效载荷与太阳辐射方向一致；阶段三下降过程中阳光直射再次出现。电化学性能测试显示，在第一阶段，4种电池均表现出优秀的光电性能，最高电流密度超过 20 mA/cm<sup>2</sup>；其中2类钙钛矿太阳电池质量比功率密度超过 14 mW/cm<sup>2</sup>，而2类有机太阳电池功率密度达到了 7.5 mW/cm<sup>2</sup>，远远高于传统晶硅电池。意味着采用上述太阳电池可以大幅减少火箭整体质量，对火箭太空飞行任务意义重大。二阶段，火箭飞行姿态与太阳光照平行，意味着电池无法获得太阳光直接辐照只能获得漫射辐射。第三阶段，火箭与太阳光形成一定夹角，部分电池器件得到显著的阳光直接辐照，部分只获得漫射辐射。但无论是第二还是第三阶段，电池都表现出了光电性质，只是有所差异。相比而言，传统晶硅太阳电池在没有直射光时便停止工作，而上述薄膜电池具有用于深空探索的潜力。

该项研究首次将钙钛矿电池、有机太阳电池送入太空环境并成功实现了性能测试研究，发现上述两种电池在太阳光直射和漫射辐射环境下均表现出良好的光电转换性能，由于具备低成本和轻量化特性，有助于太空设备的瘦身和性能提升，对太空探索事业发展意义重大。下一步研究人员将致力于提升电池寿命、长期稳定性，以满足在太空中的长期使用需求。相关研究成果发表在《*Joule*》<sup>12</sup>。

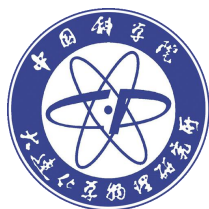
[中科院武汉文献情报中心 郭楷模]

<sup>12</sup> Lennart K. Reb, Michael Böhmer, Benjamin Predeschly, et al. Perovskite and Organic Solar Cells on a Rocket Flight. *Joule*, 2020, DOI: 10.1016/j.joule.2020.07.004

## 版权及合理使用声明

---

《变革性洁净能源关键技术与示范研究发展动态》（简称《洁净能源专项动态》）由中国科学院A类战略性先导科技专项资助、中国科学院大连化学物理研究所和中国科学院武汉文献情报中心合办，洁净能源先导专项管理办公室负责编辑出版。《洁净能源专项动态》反映中国科学院“变革性洁净能源关键技术与示范”A类战略性先导科技专项的研究成果以及国际发展动态。《洁净能源专项动态》遵守国家知识产权法的规定，保护知识产权，保障著作权人的合法权益，并要求参阅人员及研究人员认真遵守中国版权法的有关规定，严禁将《洁净能源专项动态》用于任何商业或其他营利性用途。未经中国科学院大连化学物理研究所同意，用于读者个人学习、研究目的的单篇信息报道稿件的使用，应注明版权信息和信息来源。未经中国科学院大连化学物理研究所允许，院内外各单位不能以任何方式整期转载、链接或发布相关内容。任何单位要链接、整期发布或转载《洁净能源专项动态》内容，应向中国科学院大连化学物理研究所发送正式的需求函，说明其用途，征得同意，并中国科学院大连化学物理研究所签订协议。欢迎对《洁净能源专项动态》提出意见与建议。



### 中国科学院大连化学物理研究所

---

地址：大连市中山路457号  
电话：0411-84379960



### 中国科学院武汉文献情报中心

---

地址：武汉市武昌区小洪山西25号  
电话：027-87199180