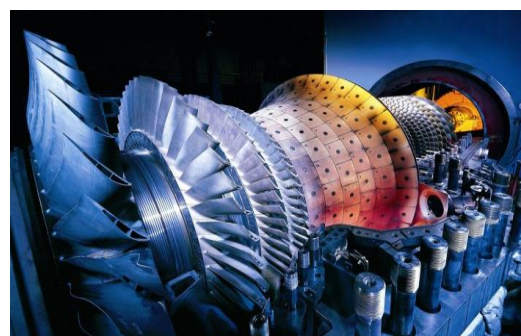


# 先进能源科技动态监测快报



## 本期重点

- IEA：2018 年 OECD 国家原油产量强劲增长
- GWEC：未来五年全球风电预计新增装机超 300 GW
- 欧洲能源研究联盟发布生物能源战略研究与创新议程
- DOE 向 Coal FIRST 计划投入 1 亿美元开发未来燃煤电厂
- 日本部署全球首个 IGFC 示范项目实证研究

主管：中国科学院文献情报系统战略情报服务协调组

主办：中国科学院武汉文献情报中心



**中国科学院武汉文献情报中心**  
Wuhan Library, Chinese Academy of Sciences  
**湖北省科学图书馆**  
Hubei Sciences Library



**《先进能源科技动态监测快报》**

中国科学院武汉文献情报中心

湖北省武汉市武昌区小洪山西 25 号 (430071)

**网址:**

<http://www.whlib.ac.cn>

**联系人:**

郭楷模

[guokm@whlib.ac.cn](mailto:guokm@whlib.ac.cn)

**电话:**

027-87199180



先进能源情报网

<http://energy.whlib.ac.cn>



先进能源科技战略情报研究中心

微信公众号



先进能源情报网微信公众号

**中国科学院文献情报系统先进能源情报网简介**

中国科学院文献情报系统先进能源情报网是在中国科学院文献情报系统学科情报服务协调组的整体组织和指导下,由中国科学院武汉文献情报中心牵头组建,联合中国科学院文献情报系统能源领域相关研究所,共同搭建的情报研究资源共享及协同服务的非营利性情报研究及服务团体。先进能源情报网将汇聚中科院文献情报系统内与领域相关的战略情报研究人员、学科情报人员、研究所科研管理人员、研究所文献情报人员,以及相关的管理和学科专家,通过“协同开展情报研究服务、组合共建情报产品体系、促进情报资源交流共享、提升整体情报保障能力”的工作方式,创新院所协同的情报研究和服务保障模式,促进情报资源的共享、情报需求和情报供给的对接、情报技术方法的合作开发,实现情报能力的扩散和提升,进而对中国科学院各个层面(院层面、所层面、项目团队层面及科研人员层面)的重要情报需求提供坚实保障。

**先进能源情报网成员单位**

成员单位	单位名称
组长单位	武汉文献情报中心
副组长单位 (排名不分先后)	合肥物质科学研究院 大连化学物理研究所 青岛生物能源与过程研究所 广州能源研究所
成员单位 (排名不分先后)	上海高等研究院 山西煤炭化学研究所 上海应用物理研究所 兰州近代物理研究所 广州地球化学研究所 过程工程研究所 电工研究所 工程热物理研究所 武汉岩土力学研究所 武汉物理与数学研究所 苏州纳米技术与纳米仿生研究所 福建物质结构研究所

## 目 录

### 决策参考

IEA: 2018年OECD国家原油产量强劲增长 .....2  
GWEC: 未来五年全球风电预计新增装机超300GW .....4  
欧洲能源研究联盟发布生物能源战略研究与创新议程 .....6

### 项目计划

DOE向Coal FIRST计划投入1亿美元开发未来燃煤电厂 .....10  
DOE资助9500万美元支持小企业研发创新 .....11  
日本部署全球首个IGFC示范项目实证研究 .....12

### 前沿与装备

有机卤盐钝化处理助力钙钛矿太阳能电池效率达到23.32% .....13  
卤素转化-插层反应助力开发高电压高容量水系锂离子电池 .....14  
镍铁双原子催化剂实现二氧化碳的高效稳定还原 .....15  
CuS@CoS<sub>2</sub>双壳正极显著增强储钠性能提升电池性能 .....16

## 本期概要

国际能源署 (IEA) 发布《2018 年石油关键趋势》报告, 系统分析了 2018 年经合组织 (OECD) 石油生产贸易情况: 与 2017 年相比, 2018 年 OECD 国家原油、液化天然气和炼油原料的年总产量增长了 10.3%。2018 年 OECD 国家炼油厂总产量与 2017 年基本持平。与 2017 年相比, OECD 国家的原油、液化天然气和炼油原料进口总量下降了 2.7%。2018 年 OECD 国家的成品油净交货量增长 1.0%, 主要增长动力来自 OECD 美洲国家 (+2.4%) 和欧洲国家 (+0.15%)。与 2017 年相比, 2018 年 OECD 国家的石油总库存量基本保持不变, 为 5.31 亿公吨。

全球风能理事会 (GWEC) 发布《2018 全球风能发展报告》, 回顾了全球风电发展现状并展望了到 2023 年的发展前景: 2018 年全球风电新增装机 51.3 GW, 其中新增陆上风电 48.6 GW, 海上风电 4.5 GW, 使得全球累计装机达到 591 GW。中国是陆上风电新增容量最多的国家, 为 21.2 GW, 累计总装机容量达到 206 GW, 成为全球首个超过 200 GW 的国家。海上风电方面, 中国取得了 1.8 GW 的新增装机容量, 首次领先世界, 紧随其后的是英国 (1.3 GW) 和德国 (0.9 GW) 未来五年, 预计全球风电装机容量年均增幅将达到 2.7%, 共计新增 300 GW 的装机容量。

欧洲能源研究联盟 (EERA) 发布《生物能源战略研究与创新议程》, 确定了到 2030 年及之后的欧洲生物能源研究创新的五大优先计划: (1) 生物质的可持续生产; (2) 生物质热化学加工制备先进生物燃料和生物基产品; (3) 生物质生化加工制备先进生物燃料和生物基产品; (4) 固定式生物能源利用; (5) 生物能源的可持续性、技术经济分析和公众接受度。

美国能源部 (DOE) 宣布向 “Coal FIRST” 计划投入 1 亿美元开发未来先进燃煤电厂, 本次资助重点关注以下领域: (1) 煤燃烧组件; (2) 用于燃煤、间接 SCO<sub>2</sub> 动力循环的单轴轴流压缩机/膨胀机; (3) 用于燃煤、直接 SCO<sub>2</sub> 动力循环的集成燃烧器/膨胀机; (4) 气化炉、气化炉组件和/或空气分离单元; (5) 0 至 50 kW 合成气固体氧化物燃料电池 (SOFC) 模块; (6) 其他组件。旨在开发灵活 (Flexible)、创新 (Innovative)、弹性 (Resilient)、小型 (Small)、变革 (Transformative) 的适用于未来能源系统的先进燃煤电厂, 为美国消费者提供安全、稳定、可靠的近零排放电力。

日本新能源产业技术综合开发机构 (NEDO) 宣布到 2022 财年将累计资助 73.3 亿日元, 用于全球首个煤气化燃料电池联合循环发电 (IGFC) 示范工程实证研究: 从煤炭气化气体对燃料电池的适用性, 发电系统的性能、可用性、可靠性和经济效益几个方面对配备碳捕集系统的 IGFC 发电示范系统进行验证, 旨在项目完成时, 开发出 500 MW 配备碳捕集系统的商用 IGFC 系统。

中国科学院半导体研究所 Jingbi You 课题组采用有机卤盐碘化苯乙铵 (PEAI) 对含有甲脒、甲胺混合阳离子的钙钛矿薄膜进行钝化处理: 该工艺有效抑制了薄膜表面缺陷, 提升了电流密度, 更是获得了逼近理论极限的开路电压值, 进而获得高达 23.32% 的认证效率值, 为迄今为止文献报道的效率最高值。

### IEA：2018 年 OECD 国家原油产量强劲增长

4 月 19 日，国际能源署（IEA）发布《2018 石油关键趋势》报告<sup>1</sup>，从石油生产、炼油、贸易和库存等几个方面对 2018 年经合组织（OECD）国家的石油生产贸易情况进行了系统分析，主要内容如下：

#### 1、石油产量

与 2017 年相比，2018 年 OECD 国家原油、液化天然气和炼油原料的年度总产量增长了 10.3%，年初时月度总产量更是达到了创记录的超过 1 亿吨，并且整个 2018 年都保持了这一高水平生产能力。产量增长的动力来自所有的 OECD 国家，其中 OECD 美洲地区增长最为强劲，同比增长 12.2%，其次是 OECD 欧洲地区（+0.6%）和 OECD 亚洲大洋洲地区（+2.5%）。

2018 年，OECD 美洲地区产量在 OECD 总产量占比最高，达到 85%；其次是欧洲地区（14.1%）和亚洲大洋洲地区（1.4%）。

美国产量在 2018 年第三季度创下历史新高，与 2017 年相比，2018 年总产量同比增长 17.1%，即增加了 1.05 亿吨。同期，加拿大的年产量也强劲增长了 1900 万吨（+8.1%），而墨西哥的产量继续下滑态势，减少了 690 万吨（-6.3%）。

由于大陆架上的多个新项目于 2017 年底上线投产，英国年度产量显著增长 480 万吨（+10.1%），成为 OECD 欧洲地区增长最为强劲的国家。2017 年年中因现场储罐泄漏而关闭的 Vald'Agri 地区相关石油生产设施重新启用，使得意大利产量也显著增长 12.6%，达到 70 万吨。同期，挪威产量下降了 6.2%，抵消了意大利的增长，下降主要原因是 2018 年有几个油田处于维护状态造成成熟油田的自然产量下降。

由于新的液化天然气项目上线投产和凝析油产量增加，澳大利亚原油产量增长了 60 万吨（+4.4%）。受此驱动，同期 OECD 亚洲大洋洲地区的产量也有所增长。

#### 2、炼油总产量

2018 年 OECD 炼油厂总产量与 2017 年基本持平。就地区而言，OECD 美洲地区小幅增长 0.6%，但被 OECD 欧洲地区的（-1.5%）和亚洲大洋洲（-0.4%）的产量减少所抵消。

就 OECD 美洲地区而言，美国是整个地区增长最为显著的国家，主要原因是美国的中间馏分油产量大幅增加（+1.9%），因此美国也是美洲地区增长的主要贡献力量。同期，由于受到 2018 年下半年 Madero 炼油厂的维护延长的影响，墨西哥炼油大幅减少 19.7%，成为美洲地区降幅最大的国家。

在 OECD 欧洲地区，炼油产量下降幅度最大的是德国（-4.4%），主要是因为

<sup>1</sup> Key Oil Trends 2018. <https://www.iea.org/newsroom/news/2019/april/key-oil-trends-2018.html>

2018 年 9 月拜仁炼油厂爆炸导致最后一个季度的产量下降。在法国，由于 2018 年第二季度维护的增加，产量也出现了大幅下降（-5.9%）。总体而言，OECD 欧洲地区所有国家的产量均有所下降。

受到定期维护计划和北海道炼油厂的计划外停工影响，日本产量大幅减少 800 万吨（-4.9%）。韩国（400 万，+2.5%）和澳大利亚（300 万，+12.6%）的增长则在一定程度上部分抵消日本的下降。但总体而言，OECD 亚洲大洋洲地区产量还是出现了小幅下降。

### 3、石油贸易

与 2017 年相比，OECD 国家的原油、液化天然气和炼油原料进口总量下降了 2.7%。OECD 欧洲地区进口下降幅度最大（-3.0%），其次是美洲（-2.7%）和亚洲大洋洲地区（-2.0%）。

OECD 从伊朗和俄罗斯进口的原油、液化天然气和炼油原料总量分别大幅下降 41.6%和 9.8%，然而从美国进口数量则增长了 55.1%。从沙特阿拉伯的进口量也下降了 2.8%，但沙特仍超越俄罗斯成为了 2018 年 OECD 的最大进口来源国（2017 年是俄罗斯）。

与 2017 年相比，2018 年个别 OECD 国家的石油相关总产品进口总量增加了 3.1%。其中 OECD 美洲（+11.0%）和 OECD 亚洲大洋洲（+6.1%）的进口量均出现增长，而 OECD 欧洲则出现微弱下降（-0.5%）。

总体而言，OECD 仍然是成品油的净出口国，但 2018 年的出口量与 2017 年基本持平。2018 年原油、液化天然气和炼油原料出口增长了 13.3%，其中最大的出口量目的地是美国和远东地区。

### 4、石油净交货量

与 2017 年相比，2018 年 OECD 的成品油净交货量增长 1.0%，主要增长动力来自 OECD 美洲（+2.4%）和欧洲（+0.15%）的增长，同期 OECD 亚洲大洋洲的净交货量有所下降（-1.6%）。其 OECD 美洲地区的增长主要归因于异常寒冷的冬季导致汽油/柴油的净交货量增加（+4.8%），其中最显著的增长来自美国（+5.1%）和加拿大（+3.8%）。OECD 亚洲大洋洲经历了与 OECD 美洲相似的趋势，其中汽油/柴油净交货量增幅最大（+1.5%），同期石脑油净交货量下降幅度最大（-5.5%）。汽油/柴油净交货量增长主要是受到由澳大利亚增长（+6.9%）的推动，而韩国（-5.4%）和日本（-5.5%）则是造成该地区石脑油需求下降的原因。

OECD 欧洲净交货量的上升趋势是由于对总煤油（+4.3%）的需求增加所致，英国（+3.8%）和法国（+3.7%）出现了显著增长。整体而言，整个 OECD 对煤油需求总量都出现了不同程度的增加，使 OECD 整体净输出量增长 2.6%。

### 5、石油库存

与 2017 年相比,2018 年 OECD 的石油总库存量基本保持不变,为 5.31 亿公吨。具体而言, OECD 美洲国家库存增加 1%, 欧洲减少 1.2%, 亚洲大洋洲减少 1.0%, 此消彼长使得总库存量基本没有变化。

就 OECD 美洲而言,石油库存增加主要原因是初级产品(+170 万吨)和二级产品(+60 万吨)的增加,导致总量增加了 230 万公吨。OECD 欧洲的石油库存减少了 220 万公吨,主要是由于成品油库存大幅下降 260 万吨。由于韩国原油、液化天然气和炼油原料库存大量减少了 310 万吨,使得 OECD 亚洲大洋洲的石油库存显著减少 110 万吨。

(廖明月 郭楷模)

## **GWEC: 未来五年全球风电预计新增装机超 300 GW**

4 月 3 日,全球风能理事会(GWEC)发布《2018 年全球风能发展报告》<sup>2</sup>指出,2018 年全球风电产业呈现出强劲增长态势,新增装机容量 51.3 GW,使得累计装机达到 591 GW。未来五年(2019-2023 年),在三大驱动因素(风电行业不断变化的商业模式、新兴市场的企业电力采购需求、风能在能源转型中的价值日益受到重视)的推动下,全球风电市场将继续保持强劲增长势头,预计在此期间将新增 300 GW 以上的装机容量。报告系统分析了 2018 年全球风电市场发展现状并展望了未来的发展态势。主要内容如下:

### **一、2018 年全球风能市场保持强劲增长**

2018 年,全球风电新增装机容量为 51.3 GW,大部分增长来自陆上风电,为 46.8 GW。其中,中国是陆上风电新增容量最多的国家,为 21.2 GW,累计总装机容量达到 206 GW,成为全球首个超过 200 GW 的国家;美国以 7.6 GW 的新增装机容量位列第二,其累计装机容量达到 96 GW;德国(2.4 GW)、印度(2.2 GW)和巴西(1.9 GW)分别位列陆上风电新增装机容量排行榜的第三、四、五位。由于受到德国和英国新增风电装机容量减少的影响,欧洲陆上风电新增容量有所下降。同期印度的陆上风电也出现了下降,其 2018 年新增陆上风电容量比 2017 年(4 GW)下降 2 GW。

海上风电方面,2018 年全球新增装机容量与 2017 年持平为 4.5 GW,累计装机总量已达 23 GW,占全球风电装机总量的 4%。中国以 1.8 GW 的新增装机容量首次领先世界,紧随其后的是英国(1.3 GW)和德国(0.9 GW)。美国正在推进海上风电发展,印度也在 2018 年宣布开放海上风电市场,欧洲将和亚洲继续共同引领全球海上风电发展。海上风电技术正朝着提高效率和降低成本的方向发展,平准化度电成本(LCOE)将进一步下降。

### **二、全球风电市场发展的驱动因素**

<sup>2</sup> Global Wind Report 2018.  
<https://gwec.net/global-wind-report-2018/>

**1、能源转型期间不断变化的商业模式。**风电市场参与者正改变其商业模式，传统参与者在核心业务以外，还通过投资充电站、收购零售经销商或收购能源贸易公司扩大业务范围。数字技术的引入使新的市场参与者能够以全新的商业模式进入市场，而不局限于传统的风能资产采购。还有一些参与者更加关注可再生能源解决方案。这些变化与能源系统转型紧密联系。风电价格下降和竞争压力增大使行业寻求传统商业模式之外的新增长点，如海上风电市场、电网和基础设施、集成和配电，以及提高电气化程度等。风能不再是一个利基行业，已经发展为us流能源解决方案。

**2、新兴市场的企业电力采购需求。**企业通过购电协议（PPA）直接购买电力的模式已经成熟，企业采购成为政府目标和电力需求之外的驱动力量。目前大部分风电 PPA 都发生在北美和北欧的大型企业，2018 年 60% 的风能企业采购交易发生在北美市场，未来几年新兴市场以及小型、本地企业的采购需求将成为风电发展的驱动力之一，而这需要相应的市场监管和政府支持。

**3、注重风能为能源系统和市场带来的价值将为风能产业提供更多机遇。**能源转型的一个关键特点是更加注重能源的价值，如能源产出、整合及供需匹配。2018 年，开发融合风能的新型综合能源系统解决方案成为风电发展的一大驱动力，如寻求更多且更稳定的风电输出，以及改善与市场需求的匹配能力。风能的成本竞争力、易于部署和可扩展性使其成为新型混合能源系统的理想选择。此外，复杂管理系统以及能源市场的数字化发展提高了能源系统的管理水平，因而推动了风能和太阳能等波动性可再生能源份额的增加。

### 三、未来五年全球风电市场展望

**1、全球风电市场前景光明。**未来五年，预计全球风电装机容量年均增幅将达到 2.7%，共计新增超过 300 GW 的装机容量。近期，政府支持（竞拍和招标项目、可再生能源发展目标）仍将是风电发展主要驱动力。另外，风电成本的降低让其竞争力得以不断提升，企业购电双边协议的签署也越来越多。许多市场正重新评估其能源需求和市场设计，风电灵活且规模易于扩大的特性使其成为新解决方案的组成部分。

**2、新兴市场及海上风电在全球市场份额将扩大。**海上风电在未来五年将成为真正的全球市场，其产能将大幅增长，尤其是在亚洲。预计北美第一批大型海上风电设施将在 2022 或 2023 年建成投入运营。海上风电占新增风电的份额将从目前的 8% 增至 22%。由于非洲政府积极推广风能等可再生能源，非洲将保持风电装机的稳定增长；印度将通过拍卖增加风电装机容量；澳大利亚和新西兰将致力于降低风电发电成本，同时开发先进商业模式；欧洲作为成熟的风电市场，随着政府继续进行拍卖和招标，陆上风电市场将保持稳定增长；政府的大规模拍卖将推动拉丁美洲风电部署，实施生产税收抵免（PTC）和可再生能源配额（RPS）等措施将继续促进美国



风电市场发展；而中国未来两年风电新增装机容量很大程度上取决于国家能源局现有批准项目的发展情况。

（岳芳 郭楷模）

## 欧洲能源研究联盟发布生物能源战略研究与创新议程

近期，欧洲能源研究联盟（EERA）发布《生物能源战略研究与创新议程》<sup>3</sup>，确定了到 2030 年及之后的欧洲生物能源研究创新优先事项，旨在最大程度发挥生物能源在能源脱碳中的作用，加速推进战略能源技术规划（SET-Plan）实施，促进能源系统转型。该议程共提出了 5 个优先开展的研究领域子计划：生物质可持续生产；生物质热化学转化制备生物燃料和生物基产品；生物质生化转化制备生物燃料和生物基产品；固定式生物能源利用；生物能源的可持续性、技术经济分析和公众生物能源知识普及。在本次发布的议程中仅介绍了前 4 个子计划，第 5 个子计划将在之后发布的版本中阐述。前 4 个子计划的具体内容如下：

### 一、生物质可持续生产

本领域的研究重点是最大限度扩大生物质转化工厂生物质资源来源，提供安全和灵活的供应，提升原料质量，降低环境影响和原料成本。将重点针对四种类型生物质：林业生物质、农业生物质、藻类生物质和生物质废弃物。

#### 1、林业生物质

（1）提高林业生物质产量：培育多样性树木和新型物种；扩展知识并使用新的管理实践和策略；改进采伐和运输技术；开发林业可持续管理方法。

（2）开发支持生物质市场供应的工具：分析供需因素及其相互关系；运输和物流数字化转型以提高林业生物质生产的经济效应。

（3）通过经济、人文和社会科学推动林业部门的发展：调整激励措施和法规；欧洲林业系统的案例研究及利用。

#### 2、农业生物质

（1）提高对农业生物质的了解：增加对粮食作物和残留物利用的认识；增加对木质纤维素作物的认识；增加生物精炼系统中使用豆类作物的知识；设计和优化集成不同作物的创新系统。

（2）优化原料供应系统和物流链：改善作物光合作用；设计合适的植物特性和环境性能；开发生物能源种植系统模型；优化供应链和物流。

（3）评估生物质农业生产系统和公共政策的影响：生物能源生产整个价值链的生命周期分析（LCA）；分析认证计划和政策框架的影响；生物能源系统部署方案和案例研究分析。

<sup>3</sup> Strategic Research and Innovation Agenda.  
<http://www.eera-bioenergy.eu/wp-content/uploads/pdf/EERABioenergySRIA2020.pdf>

### 3、藻类生物质

(1) 菌株（生物多样性筛选或菌株基因工程）：选择和优化能够提高总体过程效率的菌株；用于工业生产的高产量菌株的选择和优化；用于工业户外生产的抗污染菌株的选择和优化。

(2) 微藻照明和收集过程的创新：低成本和低能耗收集；开发用于大规模生产的强化光生物反应器；开发从气体和液体排放物中生产微藻。

(3) 海藻种植创新：开发先进培养基材；开发自动化收集系统；开发稳定的存储和物流链。

(4) 系统集成：开发从气体和液体排放物中生产微藻；有价值副产品的联合回收；开发流程模型，与整个生产链的经济和 LCA 模型相结合。

### 4、生物质废弃物

(1) 增加从生物质废弃物获取能源的可能性：改进废弃物原料准备；扩大废弃物原料的使用；项目规划和工程。

(2) 反应机理及相关环境影响研究：生物、化学和物理机理及其相互作用研究；计量需求及新型数字工具开发；废弃物转化对气候、水、空气质量、气味、土壤的正面及负面影响研究。

(3) 开展废弃物利用的社会和市场推广的相关研究：经济风险和新型商业模式分析；实施废弃物转化技术的社会障碍和激励措施研究。

## 二、生物质热化学转化制备生物燃料和生物基产品

本领域研究重点是提高效率、降低温室气体排放和成本，重点关注开发一次热化学转化工艺、下游加工工艺以及先进生物燃料和中间体价值链。

### 1、生物质热化学工艺开发

(1) 生物质气化：改善气化炉性能；提高原料灵活性；优化产品气体成分用于下游加工；开发创新气化工艺。

(2) 生物质热解：改进工艺性能以提高生物质原油质量；扩展原材料来源，开发更廉价的低质量原材料；开发新模型以促进工艺机理研究。

(3) 生物质碳化：提高固体生物能源载体质量；扩展原材料来源，处理低质量原料；采用热/蒸汽处理工艺开发新的高附加值产品。

(4) 生物质水热处理：基本机理研究；优化反应器和工艺，扩大规模；开发水热工艺的通用/标准数据分析报告方法。

### 2、下游产品加工

(1) 气体净化：优化单个气体净化工艺；开发集成气体净化系统；改进取样、测量和控制技术。

(2) 气体调节和提纯及产品回收：生物质调节/提纯工艺的改进，或开发更耐

污染物的替代工艺；改进催化剂/吸附剂再生过程，开发废催化剂/吸附剂利用和再循环工艺；开发产品分离方法。

(3) 生物质原油净化、调节和提质：生物质原油净化与调节；开发和测试高效液体提纯催化剂；开发废水处理和利用技术，包括副产品回收。

(4) 固体产品调节和提纯：生物焦的分离/纯化和表征；生物焦提纯（如活化、致密化等）和利用的评估。

### **3、先进生物燃料和中间体价值链**

(1) 基于气化的先进生物燃料生产：优化基于气化的生物燃料生产系统；开发用于商业生物燃料的化学品/材料联合生产技术；利用可再生氢气和生物质碳捕集开发基于气化的集成生物燃料生产技术。

(2) 基于热解的生物油和先进生物燃料生产：整体系统优化和验证；燃料和化学品联合生产；集成优化。

(3) 基于热/蒸汽处理的固体生物能载体生产：开发集成非能源联产品的智能系统设计；通过集成优化系统设计。

### **三、生物质生化转化制备生物燃料和生物基产品**

本领域研究重点是生产先进生物燃料的生化及化学工艺和技术，以及从木质纤维素生物质中生产沼气、合成气、氢气等生物基产品。

#### **1、细胞工厂和酶**

(1) 新型酶和酶性能：开发用于生物基化学合成和生物燃料合成的酶；生物木质素解聚；提高用于木质纤维素生物质预处理的半纤维素酶的效率。

(2) 提高微生物和藻类细胞工厂现有生化途径的效率：非偶联生长和发酵；提高辅助代谢途径的通量；开发用于将合成气转化为液体生物燃料和其他生物基产品的工程微生物菌株；研究用于人工光合作用的微生物和酶。

(3) 通过新的途径开发新型微生物系统，包括联合生物加工微生物和混合培养物的设计：木质纤维素水解发酵制备燃料；作为新型生物燃料平台的乙醇的联合生物加工生产；用非常规酵母提高替代柴油和喷气燃料的长链脂肪酸生产过程的碳转化效率。

#### **2、原料制备、解构和分馏**

(1) 提高现有生物质分馏技术的效率：提高当前生物燃料工厂的转化率和能源效率，最大限度地减少木质纤维素生物质预处理对环境的影响；藻类分馏。

(2) 开发新型分馏技术，包括合成气及其他气体的净化：开发生物质分馏的新破坏性方法；开发用于沼气净化和提纯的固体材料。

#### **3、生物化学和/或化学转化制备先进生物燃料和生物产品**

(1) 提高乙醇、高级醇、脂肪酸、碳氢化合物和氢气的生物过程效率：提高工

业酵母和细菌对木质纤维素水解液中抑制物的耐受性；生物过程集约化。

(2) 提高(生物)催化剂将生物产品提纯为先进生物燃料的效率：生物质水解产物的直接催化提纯以生产烃类生物燃料；从发酵液中催化提纯制备生物制品。

(3) 提高从合成气、 $H_2$  和/或  $CO_2$  发酵到生物燃料和/或生物能载体生产的碳转化效率：用于气体发酵的新型生物反应器；提高原料合成气中氢和  $CO$  发酵细菌的发酵速率和耐受性；藻类或细菌生产生物氢或生物甲烷。

(4) 测流回收：通过生物和/或化学转化回收生物燃料植物中的半纤维素；通过生物和/或化学转化回收生物燃料植物中的木质素；其他生物精炼测流回收。

(5) 基于生物化学的生物精炼集成：开发原位产品回收 (ISPR) 技术；开发生物化学生物炼油厂 LCA 子模型；将侧流生物强化技术与先进的生物燃料工厂整合或改造现有的能源和/或工业工厂。

#### **四、固定式生物能源利用**

本领域研究重点是开发高效、灵活、可负担、环保的热、电、冷联产系统，涵盖从小型住宅到大型电厂所有规模。

##### **1、住宅/家庭供暖和制冷，包括微型热电联产 (CHP)**

(1) 住宅可再生能源供暖和制冷：用户/客户行为及需求；开发家用木材加热器；集成生物能的综合能源系统。

(2) 生物质微型 CHP：定制燃料；零排放建筑的 CHP 技术；新型集成/混合/联合能源系统，如智能热电网中的多燃料生物 CHP。

(3) 生物质冷热电联产 (CCHP)：采用低成本载体提高经济效益；低成本废热发电和制冷的新技术路线；为住宅建筑提供经济有效的供暖和制冷分配。

(4) 排放：开发新的或优化现有 CCHP 降低排放的主要和次要措施，以减少  $NO_x$ 、 $SO_x$  和颗粒物；开发经济有效的测量和诊断技术。

##### **2、中大型热电冷联产 (CHCP)**

(1) 通过灵活性促进能源系统脱碳：改进 CHCP 性能提高灵活性；灵活的 CHCP 用于发电、供热和制冷；生物质燃烧混合系统和生物碳捕集、利用与封存。

(2) 数字化和先进运行：中型 CHCP (1-20 MW) 的智能运行和全自动控制；将供热厂升级为热电联产；先进的排放和空气污染控制。

(3) 低质燃料和循环经济：灵活的固体和液体生物燃料处理、储存和供料；循环经济和固体残留物管理。

##### **3、大型化石燃料电厂和生物炼制能源岛的转型**

(1) 大型化石燃料电厂转型：发电厂全面改造；灵活高效运营。

(2) 用于加热和发电的生物精炼厂残渣加工：将生物精炼厂残留物提纯为能源载体以及用于加热和发电；通过一次生物精炼工艺改善残留物质量。

(3) 生物炼制能源岛的系统 and 工厂设计：将现有的发电厂和 CHP 整合到生物精炼和更大的工业环境中；通过一次生物精炼工艺改善残留物质量。

(岳芳 郭楷模)

## 项目计划

### DOE 向 Coal FIRST 计划投入 1 亿美元开发未来燃煤电厂

4 月 12 日，美国能源部 (DOE) 宣布向 “Coal FIRST” 计划投入 1 亿美元<sup>4</sup>，旨在开发未来先进煤电厂，为美国消费者提供安全、稳定、可靠的近零排放电力。DOE 于去年 11 月公布了 “Coal FIRST” 计划<sup>5</sup>，目的是开发灵活 (Flexible)、创新 (Innovative)、弹性 (Resilient)、小型 (Small)、变革 (Transformative) 的适用于未来能源系统的先进燃煤电厂。此类电厂将具备如下特点：(1) 能够灵活运行以满足电网需求；(2) 使用创新的先进组件，提高效率，减少排放；(3) 为美国提供灵活的电力；(4) 比目前的传统公用事业规模燃煤电厂的规模小；(5) 改变煤电技术的设计和制造方式。“Coal FIRST” 计划及本次资助详情如下：

#### 一、“Coal FIRST” 计划

“Coal FIRST” 计划开发超越当今最先进的新型煤炭发电技术，使燃煤发电厂更适应现代化的电网。该计划将把电厂关键组件的研发与现有技术整合到先进的系统中。通过技术创新和设计及制造方法的改进，开发超越目前公用事业规模发电厂性能的新型先进燃煤发电原型系统。“Coal FIRST” 计划所设想的未来先进煤电机组将具备如下特征：

- 1、整体效率高（满负荷时为 40% (HHV) 以上，在需求负荷内效率降低尽可能少）；
- 2、体积小（单位面积约为 50 至 350 MW），可最大限度利用高质量、低成本的车间制造的优势，降低现场施工成本，并缩短项目周期；
- 3、近零排放，可选择考虑不排放或少量排放二氧化碳（排放水平等于或低于天然气发电技术）的设计，或者在不进行重大电厂改造的情况下进行碳捕集改造；
- 4、高爬坡率和最小载荷，可适用于 2050 年高比例可再生能源发电的情况；
- 5、集成热量或其他能量存储（如化学品生产）技术，以提高运行效率并降低设备损坏几率；
- 6、最大限度地减少用水量；

<sup>4</sup> Department of Energy Announces \$100M in Investments in Coal FIRST.  
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-100m-investments-coal-first>

<sup>5</sup> Energy Department Announces Intent to Fund Research that Advances the Coal Plants of the Future.  
<https://www.energy.gov/fe/articles/energy-department-announces-intent-fund-research-advances-coal-plants-future>

- 7、通过利用先进工艺和模块化设计的方法，缩短电厂设计、构造和调试时间；
- 8、增强维护功能，包括通过监控和诊断技术的进步减少维护，并最大限度地减少强制停机；
- 9、与煤炭提质或联合发电等技术整合；
- 10、可进行天然气混合燃烧。

基于上述目标，“Coal FIRST”计划将重点关注以下关键领域：（1）煤和天然气联合循环；（2）间接超临界二氧化碳（SCO<sub>2</sub>）循环；（3）先进超超临界蒸汽发电；（4）具有或不具有多联产（加压、氧吹和/或空气吹）的整体气化联合循环；（5）富氧燃烧系统（加压、空气、流化床或悬浮床）；（6）多联产概念；（6）直接合成气/热解气 SCO<sub>2</sub> 循环。

## 二、本次资助情况

本次资助的目的是开发“Coal FIRST”计划的未来燃煤电厂所需的关键组件，也可能包括开发相应的先进制造技术及工艺，具体资助公告将于今年8月或9月发布。本次资助主要关注的关键组件如下：

- 1、煤燃烧组件，如加压流化床燃烧、分级模块燃烧、加压富氧燃烧、化学循环燃烧、先进超超临界锅炉和用于 SCO<sub>2</sub> 动力循环的燃烧加热器；
- 2、用于燃煤、间接 SCO<sub>2</sub> 动力循环的单轴轴流压缩机/膨胀机；
- 3、用于燃煤、直接 SCO<sub>2</sub> 动力循环的集成燃烧器/膨胀机，带有内部叶片冷却；
- 4、气化炉、气化炉组件和/或空气分离单元；
- 5、10 至 50 kW 合成气固体氧化物燃料电池（SOFC）模块；
- 6、其他组件，如传感器、控制器、储能装置、多联产装置、合成气发动机、先进底循环。

此外，DOE 还宣布已经在“Coal FIRST”计划下选定了 13 个项目，总计资助 195 万美元进行未来燃煤电厂的概念设计，获得资助的机构为：8 Rivers Capital 公司、阿勒格尼科技公司、Barr 工程公司、CONSOL 宾夕法尼亚煤炭公司、Constantem 科技公司、Echogen 电力系统公司、美国电力研究院、Hydrogen Energy California 公司、Nexant 公司、华盛顿大学、Wormser Energy Solutions 公司。

（岳芳 编译）

## DOE 资助 9500 万美元支持小企业研发创新

4月15日，美国能源部(DOE)宣布在“小企业创新研究与技术转让(SBIR/STTR)”计划框架下启动2019财年的第二阶段第一批研发资助项目<sup>6</sup>，即向全美21个州遴选

---

<sup>6</sup> Department of Energy Announces \$95 Million for Small Business Research and Development Grants.  
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-95-million-small-business-research-and-development-grants-0>

出的 74 个中小企业资助 9500 万美元开展高性能计算、基础能源科学、生物与环境研究、核物理等四个主题领域的第二阶段研发创新工作，以开发通过第一阶段验证的技术的原型和工艺，推进美国科学技术的创新和技术成果转化，创造新的就业机会，增强经济竞争力。具体的研究内容参见表 1。

表 1 2019 财年 SBIR/STTR 计划第二阶段第一批资助项目主要研究内容

主题	研究内容	资助金额/ 万美元
高性能计算	<ul style="list-style-type: none"> <li>•光子存储子系统输入/输出接口</li> <li>•网络测量和拥塞分析</li> <li>•用于物联网的无缝跨技术通信平台</li> </ul>	1663
基础能源研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>•原子级光滑表面作为先进中子超镜的基板</li> <li>•超快电子显微镜聚焦系统的优化</li> <li>•用于暖通与空调（HVAC）的高性能膜式换热器</li> </ul>	4674
生物与环境	<ul style="list-style-type: none"> <li>•基于光热调制的先进红外显微镜，用于细胞内的代谢和化学过程的亚细微表征</li> <li>•开发高速纳米级二次离子质谱分析技术</li> <li>•用于大气和云研究的机载微波辐射计分析</li> </ul>	1769
核物理	<ul style="list-style-type: none"> <li>•辐射强化红外焦平面阵列</li> <li>•用于极化电子束产生的精确和超稳定激光偏振控制</li> <li>•用于核物理的低成本数据采集同步</li> </ul>	1404

（岳芳 编译）

## 日本部署全球首个 IGFC 示范项目实证研究

4 月 17 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布到 2022 财年将累计资助 73.3 亿日元，用于开展“煤气化燃料电池联合循环发电（IGFC）实证项目”第三阶段研究工作，即开展全球首个 IGFC 示范工程实证研究<sup>7</sup>。该示范工程项目将从煤炭气化气体对燃料电池的适用性，发电系统的性能、可用性、可靠性和经济效益几个方面对配备碳捕集系统的 IGFC 发电示范系统进行验证，目标是在项目完成时，开发出 500 MW 配备碳捕集系统的商用 IGFC 系统，并且在该商用 IGFC 系统中的 CO<sub>2</sub> 捕集率要达到 90%，大幅降低煤炭火力发电 CO<sub>2</sub> 排放量，同时净热效率要达到 47%。

**编者按：**NEDO“煤气化燃料电池联合循环发电（IGFC）实证事业”于 2012 年启动，分为三个阶段：

**第一阶段：吹氧整体煤气化联合循环发电（IGCC）示范系统设计、建设和实证研究。**于 2012 年启动，在大崎电站内建设了向煤气化炉供应氧气，实施燃气轮机与蒸汽涡轮联合发电的吹氧 IGCC 验证试验设施，发电规模达 170 MW。设施于 2015

<sup>7</sup> 世界初、石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業に着手。  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101103.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101103.html)

年开始试运行，2018 年完成实证研究实验。

**第二阶段：配备碳捕集的 IGCC 示范系统设计、建设和实证研究。**于 2016 年开始，将从煤炭发电系统的性能、可用性、可靠性和经济效益几个方面对增加配备 CO<sub>2</sub> 捕集设备的吹氧 IGCC 进行验证。旨在将 CO<sub>2</sub> 捕集率提高到 90%，大幅降低煤炭火力发电 CO<sub>2</sub> 排放量。

**第三阶段：配备碳捕集的 IGFC 发电系统设计、建设和实证研究。**于 2018 年启动，增加燃料电池联合发电单元，旨在 2025 年左右开发大型商业化 IGFC 技术，目标是使净热效率达到 55%，单位 CO<sub>2</sub> 排放量减少到 590 gCO<sub>2</sub>/kWh 左右。

(陈梦石 郭楷模)

## 前沿与装备

### 有机卤盐钝化处理助力钙钛矿太阳能电池效率达到 23.32%

钙钛矿太阳能电池效率在短短十年内从 3.8% 蹿升到了 20% 以上，媲美晶硅电池几十年的发展成绩，并且相比晶硅电池，钙钛矿太阳能电池成本更低、制备工艺更简单，成为了最具发展潜力的新一代薄膜光伏技术。但想要进一步接近甚至超越晶硅电池性能，钙钛矿太阳能电池的效率还需要进一步提升。中国科学院半导体研究所 Jingbi You 教授课题组采用有机卤盐碘化苯乙铵 (PEAI) 对含有甲脒、甲胺混合阳离子的钙钛矿薄膜进行钝化处理，有效抑制了薄膜表面缺陷，提升了电流密度，更获得了逼近理论极限的开路电压值，进而获得了高达 23.32% 的认证效率值，是当前文献报道的最高值。研究人员首先采用两步旋涂法在涂覆二氧化锡的透明导电玻璃上制备了甲脒、甲胺双阳离子混合的钙钛矿薄膜甲脒甲胺碘化铅 (FA<sub>1-x</sub>MA<sub>x</sub>PbI<sub>3</sub>) 薄膜。由于采用液相法来制备，不可避免形成多晶薄膜，从而形成大量的晶界和晶粒缺陷，引起部分载流子复合损失，影响器件性能。因此研究人员随后配置了有机卤盐碘化苯乙铵 (PEAI) 溶液，仍然采用旋涂工艺在钙钛矿薄膜 FA<sub>1-x</sub>MA<sub>x</sub>PbI<sub>3</sub> 表面进行旋涂形成一层很薄的 PEA I 薄膜。对经过和未经过 PEA I 旋涂处理的 FA<sub>1-x</sub>MA<sub>x</sub>PbI<sub>3</sub> 薄膜进行掠入射 X 射线衍射表征，结果显示两种薄膜的特征衍射峰基本一致，唯一的差别是 PEA I 处理的薄膜出现了一个新衍射峰，对比晶格常数可知，新衍射峰对应的是 PEA I 的晶相，表明 PEA I 处理不会引起原始 FA<sub>1-x</sub>MA<sub>x</sub>PbI<sub>3</sub> 薄膜的晶相变化，即保持了其原有的良好光电物理特性。原子力显微镜测试显示，PEAI 处理后 FA<sub>1-x</sub>MA<sub>x</sub>PbI<sub>3</sub> 薄膜表面粗糙度从未处理前的 32 nm 减少到了 24 nm，意味着 PEA I 很好地填充了晶界缝隙（因为晶界缝隙和晶粒的高度差最大，但处理后变小了）。稳态光致发光谱表征结果发现，PEAI 处理后的薄膜光谱强度显著增强，意味着薄膜的非辐射复合得到了有效的抑制。接着研究人员分别以经过和未经过 PEA I 旋涂处



理的  $\text{FA}_{1-x}\text{MA}_x\text{PbI}_3$  薄膜为光敏层组装成完整的电池器件，进行光电性能对比测试研究。实验结果显示，采用 PEAI 处理的  $\text{FA}_{1-x}\text{MA}_x\text{PbI}_3$  薄膜电池器件的短路电流密度和开路电压都显著提升，其中电流密度增加到  $23.4 \text{ mA/cm}^2$ ，开路电压更是达到了惊人的  $1.18 \text{ V}$ （达到了理论极限的 94.4%），均优于未经过 PEAI 处理电池器件，进而获得高达 23.32% 的转换效率值，通过了美国国家可再生能源实验室的认证，为迄今为止文献报道的效率最高值。进一步的稳定性测试显示，PEAI 处理的  $\text{FA}_{1-x}\text{MA}_x\text{PbI}_3$  薄膜电池器件可以在  $85^\circ\text{C}$  的一个模拟太阳能辐照下连续稳定工作 500 小时，表现出良好的稳定性。该项研究通过采用有机卤盐对混合阳离子钙钛矿薄膜进行表面钝化处理，有效地减少了薄膜缺陷进而抑制了载流子非辐射的复合损失，获得了超高电流和电压值，创造了迄今为止文献报道的钙钛矿太阳电池最高效率值。相关研究成果发表在《*Nature Photonics*》<sup>8</sup>。

（谢帅 郭楷模）

## 卤素转化-插层反应助力开发高电压大容量水系锂离子电池

高盐度水溶液（Water-in-salt, WIS）电解液的应用能够将水系电解质的锂离子电池电压窗口提升到  $3\text{V}$  以上，为实现新型高电压水系锂离子电池提供了有利保证，成为了电池研究领域的热点。然而常见的氧化物正极材料锂离子的嵌入容量有限使得 WIS 电解液锂离子电池很难获得高能量密度，成为该类水系电池发展的一大障碍。马里兰大学帕克分校的 Chunsheng Wang 教授课题组牵头的国际联合研究团队设计了一种具有卤素转化-插层反应机制的复合正极材料，该反应机制既结合了转化反应的高能量密度，同时又结合了插层机理良好反应可逆性，因此在与 WIS 电解液结合使用的情况下，获得了高电压高能量密度的水系锂离子电池。研究人员首先利用卤素阴离子的氧化还原和石墨插层反应，设计制备了含有溴、氯（ $\text{Br}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ ）双卤素阴离子的石墨复合正极  $(\text{LiBr})_{0.5}(\text{LiCl})_{0.5}\text{-graphite}$  (LBC-G)。接着利用三电极体系研究了 LBC-G 复合电极的电化学行为，循环伏安曲线和充放电曲线结果表明该复合电极中有两个不同电压范围的反应： $4.0\text{-}4.2\text{V}$  电压区间对应  $\text{Br}^-$  离子氧化插层反应， $4.2\text{-}4.5\text{V}$  为  $\text{Cl}^-$  氧化插层反应。在  $0.2\text{C}$  ( $80\text{mA/g}$ ) 放电电流下，电极总容量可达  $243\text{mAh/g}$ （基于电极总质量，包括粘结剂），230 次循环后容量保留率为 82%，且平均库伦效率接近 100%。为了探究该电极电化学反应机理，研究人员利用原位拉曼光谱探测卤素离子嵌入石墨的反应机理，当充电状态为 0%-50% 时，在  $242 \text{ cm}^{-1}$  处出现了拉曼特征峰，对应于  $\text{Br-Br}$  链振动；进一步充电后拉曼谱出现了  $\text{BrCl}$  插层物分子的特征峰  $310 \text{ cm}^{-1}$ 。随着充电电压升高至  $4.5\text{V}$ ， $\text{BrCl}$  的特征峰强度也不断增大。值得注意的是，在  $3.2\text{V}\text{-}4.5\text{V}$  的充放电期间，未检测到自由的  $\text{Br}_2$  或  $\text{BrCl}$  分子振动

<sup>8</sup> Qi Jiang, Yang Zhao, Xingwang Zhang, et al. Surface passivation of perovskite film for efficient solar cells. *Nature Photonics*, 2019, Published: 01 April 2019

峰，这表明所有卤素都嵌入石墨结构中，而不是吸附在石墨表面。放电后，拉曼光谱恢复至原来的样子，证明了 LCC-G 电极反应的可逆性。而原位 X 射线吸收近边结构 (XANES) 光谱则揭示了卤素离子在 LBC-G 正极中发生了氧化还原反应。上述的结果表明了卤素离子是以转化-插层反应机制实现了在石墨电极晶格中的可逆嵌入和脱嵌。随后以 LBC-G 为正极，和 WiS 水系电解质、石墨负极组装成完整电池器件进行电化学性能测试。在 0.2C 平均电压为 4.1V 时可获得 460Wh/kg (正极和负极的总质量) 稳定放电容量，比当前的非水系锂电池都高。且在 150 个循环后仍可保持初始容量的 74%，平均库伦效率为 99.8%，展现出了高电压、高容量、高循环稳定性诸多优点。该项研究设计制备了一种可以在石墨电极中进行卤素转化-插层反应的复合电极，同时结合高盐度的水系电解质，获得了高电压高能量密度水系锂离子电池，电池具有固有安全性和环境不敏感性，能够有效避免传统锂离子电池易燃易爆的风险，成为锂离子电池的有力替代电池技术选项。相关研究成果发表在《Nature》<sup>9</sup>。

(谢帅 郭楷模)

## 镍铁双原子催化剂实现二氧化碳的高效稳定还原

相比传统的载体型催化剂，单原子催化剂具有更加充分暴露的催化活性位点、更高的原子利用率和选择性，在氧还原、光催化制氢以及 CO<sub>2</sub> 还原等催化化学领域都具有广泛应用，是目前催化领域的研究热点之一。然而，单原子催化剂位点对某一个反应高选择性决定了其对其他反应的低选择性，因此单一金属类型单原子催化剂难以满足复杂催化反应需求，需要开发多元金属原子催化剂。澳大利亚新南威尔士大学 Chuan Zhao 教授课题组利用离子交换法制备了镍-铁(Ni-Fe)双原子催化剂，得益于双原子多元活性位点，其对 CO<sub>2</sub> 还原中间产物具备了良好的选择性，从而实现了 CO<sub>2</sub> 的高效催化还原。研究人员以沸石-咪唑盐骨架作为模板，将其与镍酸锌、镍酸铁、正己烷溶液进行混合，利用离子交换反应将铁原子 (Fe) 和镍原子 (Ni) 负载于沸石-咪唑盐骨架上，最后经过退火处理，去除无用的有机成分，形成了负载于多孔碳基底的氮配位 Ni-Fe 双原子催化剂 (Ni/Fe-N-C)。扫描电镜测试显示，Fe、Ni 原子均匀分散在多孔碳的基底上，原子粒径在 50~100 nm 之间。高角环形暗场扫描透射电镜表征显示，Fe、Ni 原子并非以单原子分散状态存在，而是形成 Ni-Fe 双原子位点。为了对比研究，研究人员采用同样的方法制备了氮配位的 Fe、Ni 单原子催化剂 Ni-N-C 和 Fe-N-C。随后将 Ni/Fe-N-C、Ni-N-C 和 Fe-N-C 作为电极置于 CO<sub>2</sub> 饱和的碳酸氢钾 (KHCO<sub>3</sub>) 溶液电解质测试其 CO<sub>2</sub> 催化性能。从-0.6 V 到-1.0 V 电压区间，双原子催化剂 Ni/Fe-N-C 表现出最高的总电流密度，电位在-1.0 V 时，电流

<sup>9</sup> ChongyinYang, Ji Chen, Xiao Ji, et al. Aqueous Li-ion battery enabled by halogen conversion–intercalation chemistry in graphite. *Nature*, 2019, DOI:10.1038/s41586-019-1175-6

密度为  $23.7 \text{ mA cm}^{-2}$ , 显著优于单原子催化剂 Fe-N-C 和 Ni-N-C。在 Ar 饱和的  $\text{KHCO}_3$  电解质中测试, 发现只能观测到很小的电流密度和较高起始电位, 表明 Ni/Fe-N-C 的催化活性源于  $\text{CO}_2$  还原。从 -0.4 到 -1.0 V, Ni/Fe-N-C 在整个电压窗口中的催化性能都优于 Fe-N-C 和 Ni-N-C, 且电位在 -0.7 V 时获得最大法拉第效率 (98%), 此时电流密度为  $7.4 \text{ mA cm}^{-2}$ , 分别比 Ni-N-C 和 Fe-N-C 高 1.5 和 4.6 倍。而且 Ni/Fe-N-C 的电流密度随着施加电压的增加而急剧增加, 电位在 -1.0 V 时达到  $19.7 \text{ mA cm}^{-2}$ , 是相同电压下 Ni-N-C 的两倍。对于 Ni/Fe-N-C、Ni-N-C 和 Fe-N-C, 在 -1.0V 的电压下计算得到的转化频率 (TOF) 分别为 7682、3690 和  $813 \text{ h}^{-1}$ , 表明双原子催化剂具备更强催化活性。催化稳定性测试显示, 在连续催化 30 小时后, CO 法拉第效率依旧保持 99% 的初始值, 电流密度为  $8 \text{ mA cm}^{-2}$ 。密度泛函理论研究表明, 在双原子催化剂中相邻的 Ni-Fe 中心不仅起协同增强催化作用, 而且在吸附  $\text{CO}_2$  时, 双金属氮位点经历了结构变化演变成 CO 吸附位点, 随后降低了形成中间体  $\text{COOH}^*$  和  $\text{CO}^*$  解吸的能垒, 从而保持对  $\text{CO}_2$  还原的高活性。该项研究精心设计制备了双原子催化剂, 充分利用了单原子催化剂高暴露催化位点、高原子利用率, 同时整合了不同单原子催化活性和高选择性, 从而实现了对  $\text{CO}_2$  协同增强的催化还原, 为设计高效的原子级催化剂开辟了新思路。相关研究成果发表在《*Angewandte Chemie International Edition*》<sup>10</sup>。

(刘竞 郭楷模)

## CuS@CoS<sub>2</sub> 双壳正极显著增强储钠性能提升电池性能

钠具有与锂相似的物理化学性质, 且钠资源丰富、价格低廉, 所以钠离子电池被认为在大规模储能领域中具有广阔的应用前景, 引起了广泛关注。研发高性能、稳定的储钠材料是钠离子电池得以实际应用的关键。新加坡南洋理工大学 Xiong Wen Lou 教授课题组利用模板-硫化-刻蚀-硫化的多步化学反应设计制备了一种中空双壳纳米盒子正极材料, 应用于钠离子电池, 电极独特的几何结构克服了传统钠离子电池电极体积易于膨胀和导电性差问题, 显著提升了电池倍率性能和循环寿命。研究人员首先以氧化铜 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 纳米立方体作为模板, 制备出了氢氧化钴 ( $\text{Co}(\text{OH})_2$ ) 纳米片包覆的核壳结构纳米立方体  $\text{Cu}_2\text{O}@ \text{Co}(\text{OH})_2$ 。扫描电镜表征清晰显示, 相比初始状态  $\text{Cu}_2\text{O}$  光滑的表面, 覆盖  $\text{Co}(\text{OH})_2$  纳米片后表面发生了显著变化, 其表面由明显的纳米片覆盖, 意味表面积增长, 且二维结构纳米片有助于离子的快速传输。接着将其置于硫化钠溶液进行硫化处理, 以获得  $\text{Cu}_2\text{O}@ \text{CuS}@ \text{Co}(\text{OH})_2$  核壳结构纳米立方体, 随后将上述硫化的立方体置于硫酸钠溶液对内部的  $\text{Cu}_2\text{O}$  进行刻蚀处理, 以形成中空的  $\text{CuS}@ \text{Co}(\text{OH})_2$ 。透射电镜表征清晰显示, 经过上述处理后确实形成了

<sup>10</sup> Wenhao Ren, Xin Tan, Wanfeng Yang, et al. Isolated Diatomic Ni-Fe Metal-Nitrogen Sites for Synergistic Electroreduction of  $\text{CO}_2$ . *Angewandte Chemie International Edition*, 2019, DOI: 10.1002/anie.201901575

中空的结构。最后通过溶剂热方法对  $\text{CuS@Co(OH)}_2$  进行硫化处理，获得了中空双壳的纳米立方盒子  $\text{CuS@CoS}_2$ 。为了对比研究，研究人员也单独制备了中空单壳的  $\text{CuS}$  和  $\text{CoS}_2$  纳米立方体，分别将上述制备的三种中空纳米立方体作为电极应用于钠离子电池并进行电化学测试，结果显示在  $0.1\text{A/g}$  的电流下进行恒电流循环时，基于  $\text{CuS@CoS}_2$  电极的钠离子电池获得了高达  $625\text{ mAh/g}$  的放电比容量，比单壳的  $\text{CuS}$  和  $\text{CoS}_2$  电极电池性能都要高。研究人员进一步在  $0.2$ 、 $0.3$ 、 $0.5$ 、 $1$  和  $2\text{A/g}$  等一系列不同放电电流下测试  $\text{CuS@CoS}_2$  电极的钠离子电池电化学性能，电池分别获得了  $570$ 、 $535$ 、 $483$ 、 $416$  和  $360\text{mAh/g}$  放电比容量，而在高达  $5\text{ A/g}$  放电电流下，电池仍旧可以获得高达  $304\text{ mAh/g}$  放电比容量，展现出优异的高倍率性能。且电池在  $0.5\text{ A/g}$  电流下稳定循环  $500$  余次后，仍可获得  $79\%$  的初始容量，表现出优秀的循环稳定性。研究人员指出， $\text{CuS@CoS}_2$  电极电池性能改善主要原因来自其独特的几何结构，具体而言：首先中空的结构能够有效地缓解充放电循环过程中电极材料的应力，避免电极发生脆裂；其次表面的  $\text{CoS}_2$  纳米片为钠离子的传输提供了快速通道；再则内部的  $\text{CuS}$  壳则改善了电极导电性；上述多重改善效应叠加提升了电池性能。该项研究利用模板刻蚀方法，精心设计制备了一种中空双壳纳米立方盒子复合电极，其独特的几何结构增强了钠离子传输，克服了电极充放电过程的体积膨胀问题，显著增强了电池倍率性能和循环稳定性，为设计开发高性能的钠离子电池提供了新技术路径。相关研究成果发表在《*Angewandte Chemie International Edition*》<sup>11</sup>。

(周斌 郭楷模)

---

<sup>11</sup> Yongjin Fang, Bu Yuan Guan, Deyan Luan, et al. Elegant Synthesis of  $\text{CuS@CoS}_2$  Double - Shelled Nanoboxes with Enhanced Sodium Storage Propertie. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2019, 58, 1-6.

## 中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心

中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心是服务国家和中科院能源决策管理、科技创新、产业发展的专业情报研究机构，历年来承担和参与了多项国家级、中科院、省部级能源科技战略规划和重要科技计划研究。中心的主要产品包括《先进能源发展报告》、《先进能源动态监测快报》（半月刊）、《能源与科技参考》及各类深度能源情报研究分析报告，主要研究方向包括能源科技领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大成果工程应用、重要科技政策与管理研究。

	研究内容	特色产品
战略规划研究	开展科技政策与科研管理、发展战略与规划研究等相关服务，为科技决策机构和管理部门提供信息支撑。	先进能源发展报告：科技引领能源 国际能源战略与新能源技术进展 金融危机背景下的能源战略 世界能源强国能源科技创新体系分析报告 美国能源科技计划管理机制及启示 .....
领域态势分析	开展特定领域或专题的发展动态调研与跟踪、发展趋势研究与分析，为研究机构、企业的科研项目提供情报服务。	核电技术国际发展态势分析报告 太阳能热发电技术国际发展态势分析报告 智能电网国际发展态势分析报告 规模化电力储能技术国际发展态势分析报告 高端洁净煤发电技术国际发展态势分析报告 .....
技术路线研究	开展产品、成果、专利或标准的情报研究，分析相关行业的现状及发展趋势，为企业发展与决策提供参考。	国际能源领域技术路线图解析 低阶煤热解/气化/循环流化床专利态势分析 新型煤气化技术发展报告 太阳能技术新突破：钙钛矿太阳电池 我国能源互联网发展重要战略问题研究 .....

编辑出版：中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心

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

电话：（027）87199180

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

微信公众号：CASEnergy

