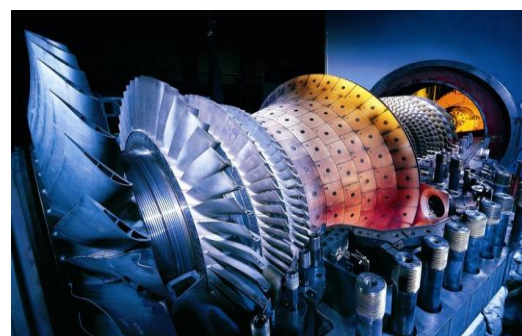


# 先进能源科技动态监测快报



## 本期重点

- 日本发布氢能基本战略加速推进氢能社会构建
- 欧盟研究显示 2050 年化工行业年均可减少 36% 温室气体排放
- DOE 未来 5 年计划投入 4 亿美元推进先进核能技术开发
- 美成立海上风电研发联盟
- 新型硫-硅电池架构有望开辟锂离子电池的新时代

主管：中国科学院文献情报系统学科情报服务协调组

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:**  
赵晏强  
[zhaoyq@whlib.ac.cn](mailto:zhaoyq@whlib.ac.cn)  
郭楷模  
[guokm@whlib.ac.cn](mailto:guokm@whlib.ac.cn)

**电话:**  
027-87197630



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

- 日本发布氢能基本战略加速推进氢能社会构建 .....2  
欧盟联合研究中心：2050年化工行业年均可减排36% .....3

### 项目计划

- DOE未来5年计划投入4亿美元推进先进核能技术开发 .....5  
DOE资助3000万美元支持非常规油气资源开发技术研究 .....6  
DOE资助1850万美元组建海上风电研发联盟 .....7

### 前沿与装备

- 美科学家揭露晶体分解是钙钛矿电池性能衰退关键因素 .....8  
新型硫-硅电池架构有望开辟锂离子电池新时代 .....9  
可变换极性的电解质实现二氧化碳到合成气有效转化 .....10  
垂直石墨烯纳米片结合混合电解质增强超容性能 .....10

## 本期概要

日本经济产业省发布了《氢能基本战略》，明确设定了中期（2030年）、长期（2050年）的氢能发展目标，以加快日本氢能技术、基础设施和政策制度的完善，推进日本迈入氢能社会，实现能源供给多元化以提高能源自给率，削减CO<sub>2</sub>排放以完成日本“巴黎协定”承诺的自主减排目标，保障日本社会经济的可持续发展。本次战略明确提出了实现战略目标的十大行动计划，包括：（1）以低成本方式利用氢能；（2）开发经济高效的氢气存储和输运技术；（3）利用可再生能源电解水制氢；（4）氢能发电商业化应用；（5）推广普及氢燃料电池汽车；（6）利用工业余热进行热解制氢；（7）降低燃料电池成本；（8）新技术的开发；（9）强化国际合作引领国际标准；（10）加强氢能知识科普工作。详见正文。

欧盟联合研究中心（JRC）发布《能源效率和温室气体排放：化工和石化行业的前景》报告指出，化工行业在应对气候变化和实现欧盟能源目标方面发挥着重要作用：创新能源技术不仅能够促进化工行业的发展，还能将行业年均温室气体（GHG）排放量消减7250万吨，相当于2050年温室气体排放量的36%。此外，石化和化工行业每年可节省4%的能源消耗，通过实施这些技术，到2020年工业生产占欧盟国内生产总值的份额将从目前的15%左右增加到20%。为了以具有成本效益的方式实现2050年气候目标，JRC建议采取紧急行动来实现能源联盟一揽子计划中确定的有效方案。

美能源部（DOE）宣布将在未来5年为“核能技术研发创新”项目新提供总额近4亿美元的资助，旨在强化联邦政府研究机构、大学与相关的企业合作，加速新型反应堆系统概念设计和先进核能技术的研究突破，提高新型核电技术的经济效益和安全性。其中，在2018财年将资助3000-6000万美元用于三大主题领域的研究：包括：新型反应堆示范工程，先进反应堆设计开发，优化核电技术的监管/认证审批流程。详见正文。

美国能源部（DOE）宣布资助1850万美元以组建“海上风电研发联盟”，以整合公共机构和企业的力量，开展一系列研发活动，包括：领导全国加强对海上风电技术研发、建立一个联盟研发框架、建立并执行协作式研发方法、创建一个世界级的创新中心、建立明确的结构和方法以确定和实施研发活动、通过行业匹配投资实现联邦资金最大化、利用现有的私营和公共部门资源及设施、开发重要的知识产权、最大限度地提高在该资助下执行的研发总量以及建立联盟会员制度，以加快海上风电技术研发突破，测试和验证的管理解决海上风电资源评估、物理场地表征选址、运营和维护以及供应链技术等一系列问题。

加州大学河滨分校 Cengiz S. Ozkan 教授研究团队基于自主开发的硫正极和硅负极新型电池架构制造了高性能锂离子电池：具备了极高的理论比能量密度，达到了1982 Wh/kg，三倍于传统锰酸锂/石墨架构的锂离子电池（605 Wh/kg）；此外，新型硫-硅电极架构电池还具备了高倍率性能和优秀的循环稳定性，在C/50倍率下，循环10次后放电比能量密度可达414 Wh/kg，而当提高循环倍率到C/10、循环250次后，比能量密度仍可维持在350 Wh/kg高水平，且库伦效率高达95%。该项研究通过对锂离子负载量和SEI膜的优化控制，提升了电池的性能，为设计和开发高性能的锂离子电池提供了新途径。

# 日本发布氢能基本战略加速推进氢能社会构建

12月26日，日本经济产业省发布了《氢能基本战略》<sup>1</sup>，明确设定了中期（2030年）、长期（2050年）的氢能发展目标，即到2030年实现氢燃料发电商业化，发电成本控制在17日元/千瓦时，形成年均30万吨氢燃料供给能力，燃料电池汽车发展到80万辆；到2050年，氢燃料发电成本进一步降至12日元/千瓦时，年均氢燃料供应量达到500-1000万吨，燃料电池汽车全面普及，燃油汽车全面停售，以推进日本迈入氢能社会，实现能源供给多元化以提高能源自给率，削减CO<sub>2</sub>排放以完成日本“巴黎协定”承诺的自主减排目标。本次战略明确提出了实现战略目标的十大行动计划，详细内容如下：

### 1、以低成本方式利用氢能

一方面利用海外廉价褐煤并结合碳捕集与封存技术（CCS）来实现低成本制氢；另一方面直接从可再生能源资源丰富、发电成本低廉的国家/地区进口电解水制备的氢燃料；

到2030年建立起商用规模的氢能供应链，年均氢能供应量达到30万吨，氢气零售价降到现有水平的三分之一以下（30日元/Nm<sup>3</sup>）；

到2050年，年均氢能供应量达到500-1000万吨，氢气零售价进一步降到20日元/Nm<sup>3</sup>。

### 2、开发经济高效的氢气存储和输运技术

开发经济、高效和安全的储氢、输氢技术；

采用与液化天然气相同的方法，将氢气直接转换为液体，即在当地制备、冷却液化，再通过船舶海运至日本。

利用甲基环己烷储氢，即利用基于甲苯与甲基环己烷可逆反应的储氢技术，同时积极开发直接利用氨、甲烷等能源载体，以实现低成本、高效率的氢制备和储运。

### 3、利用可再生能源电解水制氢

充分利用日本富余的可再生能源电力，发展电转气（Power-to-gas）技术，即利用风电、光伏发电等剩余电力电解水生成氢，然后输运注入到现有的燃气管道网络；

到2020年，将可再生能源制氢成本降至5万日元/千瓦；到2032年，与进口氢能一起形成完整的商业化氢能供应体系。

### 4、氢能发电商业化应用

<sup>1</sup> 水素基本戦略. <http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002-1.pdf>

到 2030 年实现氢能发电商业化，发电容量达到 1GW，发电成本控制在 17 日元/千瓦时以内，形成年均 30 万吨氢燃料供给能力；

到 2050 年，氢能发电成本进一步降至 12 日元/千瓦时以下，达到与液化天然气发电相当的价格竞争力，形成年均 500-1000 万吨氢燃料供给能力，发电容量增至 15-30 GW。

## 5、推广普及氢燃料电池汽车

燃料电池汽车保有量：2020 年要达到 4 万台，2025 年要达到 20 万台，2030 年要达到 80 万台

加氢站部署规模：2020 年要达 160 个，2025 年要达到 320 个，2030 年要增加到 900 个，到 2050 年逐步替代加油站；

燃料电池公交车保有量：2020 年要达到 100 台，2030 年要达到 1200 台；

燃料电池铲车保有量：2020 年要达 500 台，2030 年要增加到 10000 台。

## 6、利用工业余热进行热解制氢

将工业生产过程中产生的废热作为热源用于直接热解水制氢，一方面提升热利用率，一方面减少催化电解水中贵金属催化剂的使用，降低制氢成本。

## 7、降低燃料电池成本

为了普及推广氢燃料，需要进一步削减家用燃料电池成本，即到 2019 年质子交换膜燃料电池(PEFC)价格达到 80 万日元，到 2021 年固体氧化物燃料电池(SOFC)价格达到 100 万日元；

## 8、新技术的开发

为实现战略提出的 2050 年的目标，必须开发新型高效、廉价的氢气制造、运输技术以及高效、稳定的燃料电池技术。

## 9、强化国际合作引领国际标准

积极开展国际合作，引领氢能燃料技术标准化制定，抢占技术制高点。

## 10、加强氢能知识科普工作和地区合作

在日本民间开展广泛的氢能知识科普工作，提高普通市民对于燃料电池与氢能的相关认识，并打消人们对氢能抱有不安的情绪，提高社会对氢能的接受度；

促进日本各地区的议会、民间组织之间的燃料电池汽车和氢能的相关信息进行及时共享和发布，增进普通市民对于燃料电池与氢能的理解和认识。

(郭楷模)

## 欧盟联合研究中心：2050 年化工行业年均可减排 36%

12 月 21 日，欧盟联合研究中心(JRC)发布《能源效率和温室气体排放：化工

和石化行业的前景》报告指出<sup>2</sup>，化工行业在应对气候变化和实现欧盟能源目标方面发挥着重要作用，新兴能源技术的广泛使用，可以为该行业减少大量的碳排放。基于对燃料价格、温室气体排放量以及热电联产和碳捕集与封存等技术的投资回报率模型分析显示，创新能源技术能够在促进该行业发展的同时，每年减少温室气体（GHG）排放量 7250 万吨，相当于 2050 年温室气体排放量的 36%。此外，石化和化工行业每年可节省 4% 的能源消耗。通过实施这些技术，到 2020 年工业生产占欧盟国内生产总值的份额将从目前的 15% 左右增加到 20%。为了以具有成本效益的方式实现 2050 年气候目标，需要采取紧急行动来实现能源联盟一揽子计划中确定的有效方案。报告主要结论如下：

(1) 不同情景下获得的结果非常相似，表明能够实现所有潜在的节能减排效益。采用最好的创新技术将意味着到 2050 年每年可减排 7250 万吨二氧化碳当量和节能 225 PJ（5.4 百万吨油当量）。根据这些数据，本研究中包含产品的总能耗将在 2013 年至 2050 年间增加 39.2%，达到 5515 PJ（131.7 百万吨油当量）；而温室气体排放量将减少 14.7%，到 2050 年将达到 1.29 亿吨二氧化碳。

(2) 到 2050 年，节能 225 PJ 和减排 7250 万吨二氧化碳相当于没有技术改进状况下能源消耗和温室气体排放量的 4% 和 36%。对于节能而言，由于大部分能耗都储存在其产品中，化工和石化行业在能源密集型行业中是独一无二的。在 2013-2050 年期间，从原材料到最终产品的生产过程的能源消耗在总能耗中占比从 73% 上升到 77%。225 PJ 的边际改善是由于新技术对非能源消耗的影响不大，而其占总能耗的 77%。在这项研究中，尽管不能直接提供所需的原料，但大约 50 个可行的创新技术能够减少化工生产过程中的电力、热能或蒸汽消耗。在 225 PJ 的节能量中，16% 是来源于原料的节能，而其余的 84%（2050 年为 189 PJ）是来自于电力或燃料的节能。在非能源消耗方面，唯一的重大变化是用更可持续的替代技术替代化石原料，如电解水制氢或由生物质技术生产化工产品。

(3) 在一定程度上为减少温室气体排放量贡献最大的化学产品是硝酸和己二酸，其减排潜力分别在 75% 和 90% 以上。这些子产品的共同特点是会产生一种具有全球变暖潜力的污染物排放，即一氧化二氮。乙烯、氯气、氨气和氢气等其他化学物质的减排潜力较低（乙烯为 27%，氯为 31%，氨为 54%，氢为 75%），但是依然起着重要的作用，毕竟它们覆盖了全部 26 种化工产品的 33%。

(4) 对于节能减排的技术，化工和石化行业过于多元化和复杂化。化学工业已经大量安装了热电联产（CHP）设施，预计还将安装新的 CHP 机组，总装机容量为 2750 MW。新的 CHP 预计将用于己二酸、苯、乙苯、二氯乙烯、氯乙烯单体、PVC-S 和 PVC-E 七种产品的生产过程。

---

<sup>2</sup>The chemical industry can achieve a 36% reduction in annual greenhouse gas emissions by 2050, study shows <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC105767/kj-na-28471-enn.pdf>

(5) 碳捕集与封存 (CCS) 技术预计将用于三个高纯度二氧化碳来源的子行业中。但是由于二氧化碳通常在尿素生产中被消耗, 因此该技术仅适用于未与尿素生产相结合的行业。在氢工业中, 约有 70% 的设施安装了 CCS 装置, 而在环氧乙烷行业则为 80%。

(吴勘)

## 项目计划

### DOE 未来 5 年计划投入 4 亿美元推进先进核能技术开发

12 月 7 日, 美能源部 (DOE) 宣布将在未来 5 年为“核能技术研发创新”项目提供总额达 4 亿美元 (最终金额视国会批准情况而定) 的资助<sup>3</sup>, 旨在强化联邦政府研究机构、大学与相关企业合作, 加速新型反应堆系统概念设计和先进核能技术的研究突破, 推进美国先进核能产业发展, 提高新型核电技术的经济效益和安全性。其中, 在 2018 财年将资助 3000-6000 万美元用于先进核能技术研发<sup>4</sup>, 推进新概念反应堆型设计开发以及配套核电技术。资助内容包括提高现有技术水准的创新性技术研究、改进先进反应堆部署时间的方法、提高支持这些核技术的核产品、服务和能力, 以及解决可能会阻碍将这些技术引入市场的监管问题。资助项目将着重关注三大主题领域, 具体内容如下:

#### (1) 新型反应堆示范工程

为众多核能开发项目提供资助机会, 改善现有反应堆的运行, 或部署新的创新设计。为一个或多个可能在 2020 年代中后期部署的先进反应堆项目提供支持, 对任何先进的反应堆设计或技术开放资助, 并确保这些设计或技术具有合理的计划以实现其目标。包括开展新型反应堆的示范工程, 进行试验和分析, 以解决新型反应堆技术认证和许可问题; 对示范堆核电站运行情况进行 24 小时监测观察; 对示范堆核电站开展全生命周期的计算机仿真模拟, 对示范堆技术进行评估; 用于核部件和全面装置的先进制造及建造技术以及尝试将核电并入微电网、非电力和混合应用中的技术。

#### (2) 先进反应堆设计开发

促进国内核反应堆设计的技术创新并提高竞争力。项目招标的范围非常广泛, 允许美国工业界的利益相关者请求政府支持其概念和想法, 以提高先进反应堆设计的技术能力和商业化潜力。包括各种技术类型 (钠冷堆、熔盐堆、超临界水堆等) 的小型模块化反应堆设计; 对现有反应堆系统、关键部件和结构等进行重新设计以

<sup>3</sup>Secretary of Energy Rick Perry Announces \$30 Million Investment in Advanced Nuclear Technology.  
<https://energy.gov/articles/secretary-energy-rick-perry-announces-30-million-investment-advanced-nuclear-technology>

<sup>4</sup>U.S. Industry Opportunities for Advanced Nuclear Technology Development Department of Energy.  
<https://www.grants.gov/web/grants/search-grants.html?keywords=DE-FOA-0001817>



提升反应堆的性能和经济性；运行检查和监测能力；可能影响运营效率的程序、流程和方法；能提升先进核反应堆设计性能的动态对流技术研发；先进传感器、控制系统开发；核电站辅助设施和支持系统开发；开发新型的核电站运营模式，提升核电站的运行效率。

### (3) 优化核电技术的监管/认证审批流程

通过与美国核能监管委员会（NRC）合作，对现有核电站的监管条例、申请、认证、审批流程进行优化，提升效率，节约时间；审核时事报告或论文，以及其他侧重于获得认证和许可批准的工作；帮助美国工业界将能力和专业技能整合到一起，以应对与监管环境相关的挑战和机遇；与监管机构进行交流，建立适当的程序以确保监管机构接受美国先进的反应堆设计和技术能力。

随后四年将提供类似的资助方式。其中新型反应堆示范工程主题下单个研究项目资助金额不少于 1000 万美元，但不多于 4000 万；先进反应堆设计开发主题下单个研究项目资助金额不少于 500 万美元，但不多于 1000 万；优化核电技术的监管/认证审批流程主题下单个研究项目资助金额不少于 5 万美元，但不多于 50 万；预计 5 年的资助总金额将达到 4 亿美元。

(吴勳 郭楷模)

## DOE 资助 3000 万美元支持非常规油气资源开发技术研究

1 月 3 日，美能源部（DOE）宣布资助 3000 万美元用于支持非常规油气资源开发关键技术研究<sup>5</sup>，旨在开发经济、高效、安全可靠的非常规油气资源开发技术（如油气藏形数值模拟技术、无害化水力压裂技术、先进钻井技术等），以更好地了解油气形成储藏机理、油气储层和流体相互作用机制，完善水平钻井等相关技术，降低开采风险，提升油气采收率，实现以环境友好的方式最大化美国丰富的非常规油气资源经济价值，维持美国非常规油气资源开发技术的全球领先地位。本次资助将遴选六大研究项目，具体内容参见表 1。

表 1 非常规油气资源开发技术研究项目具体内容

承担机构	研究内容	资助金额/万美元
C-克里特技术有限责任公司	针对极端的钻井环境开发六方氮化硼增强的多功能水泥复合材料，以防止在极端高温、高压和高腐蚀性开采环境下油气的泄漏发生，减少油井生产过程中的风险，改善环境和工人安全，提升油气采收率 and 经济效益	150
德斯普兰斯天然气技术研究	开发新型的无害化水力压裂技术，并在德克萨斯州西部二叠盆地特拉华盆地油气井进行现场的技术试验，评估新技术的经济	800

<sup>5</sup> Department of Energy to Invest \$30 Million to Boost Unconventional Oil and Natural Gas Recovery. <https://energy.gov/articles/department-energy-invest-30-million-boost-unconventional-oil-and-natural-gas-recovery>

所	性和环保性	
伊格尔福特页岩实验室	开展油藏体积改造、油田断裂构造分布特征及形成机制和采收率提升的技术和知识研究，让现有的垂直井的水力压裂技术操作人员能够更好选择重复压裂的候选场址，并设计相应的重复压裂处理方案	800
科罗拉多矿业学院	将开发和验证新型的管道涂层技术，以减少对水合物的过多处理步骤，以防止水合物在海底石油管道发生沉积，避免海上石油泄漏，改善深水油田作业安全性	150
路易斯安那大学拉斐特分校	完善塔斯卡卢萨海洋页岩（富液页岩）物理、化学特性方面的理论知识，提升对该富液页岩认知，实现以安全、环境友好地方式开发该富液页岩，同时提升产量	360
弗吉尼亚理工大学	调查和分析弗吉尼亚西南部诺拉气田新兴非常规油气藏的多种开发生产潜力，对阿巴拉契亚中部寒武纪地层的地质构造和潜在深部油层物理特性进行表征，评估在休伦湖页岩中的采用新型完井策略的潜在益处，以实现对上述地区非常规油气资源的安全经济高效开发	800

（郭楷模）

## DOE 资助 1850 万美元组建海上风电研发联盟

12月12日，美国能源部（DOE）宣布向“海上风电研发联盟”资助1850万美元<sup>6</sup>，旨在强化公私合作加快海上风电技术研发突破，解决海上风电资源评估、物理场地表征选址、运营和维护以及供应链技术等一系列问题。美国正在利用新兴海上风电市场的动力，推出首个商业化海上风电项目 Block Island 风电场以及在沿海地区的其他项目。DOE 将选择一个管理者来协调联盟开展合作研发活动，该联盟包括海上风能产业的成员，利用研究成果进一步推进技术进步。此外，还将分配额外的200万美元用于 DOE 国家实验室的研究，以支持联盟的研发活动。具体内容如下：

- 领导全国加强对海上风电技术研发、测试和验证的管理，根据《国家海上风电战略 2016》来应对美国特有的海上风电挑战；
- 建立一个联盟研发框架，吸引成员和研发合作伙伴参与联盟，以达到或超过联邦提供的资金；
- 建立并执行协作式研发方法，通过成员资格确定研究需求的优先级，以解决在减少美国海上风电开发成本和风险方面影响很大的技术挑战；
- 创建一个世界级的创新中心，汇聚一个强大的私营和公共实体成员团体，共同投资海上风电技术创新的研究、开发和示范。申请人将通过承诺书确定最初的联盟成员资格，并允许在资助机会公告(FOA)申请中没有提到的新成员加入；
- 建立明确的结构和方法以确定和实施研发活动，鼓励广泛的利益相关者参与，

<sup>6</sup>Secretary of Energy Rick Perry Announces \$18.5 Million for Offshore Wind Research.  
<https://www.energy.gov/articles/secretary-energy-rick-perry-announces-185-million-offshore-wind-research>

包括学术界、国家实验室、研究人员、咨询公司以及非政府组织等。预计联盟管理者将通过竞争性请求实行由联盟成员和能源效率与可再生能源局（EERE）决定的大多数研究议程；

- 通过行业匹配投资实现联邦资金最大化，为在各种各样的利益相关方之间进行协作提供充分的财务和合同机制，从联盟的研发活动中获得最大的行业利益；

- 利用现有的私营和公共部门资源及设施，如工业实验室、大学中心、测试设施、国家实验室和其他政府投资来执行联盟的研发活动，预计联盟将不资助研发设施的建设或扩建；

- 开发重要的知识产权，以促进海上风电产业技术进步，并为联盟成员提供授权机会；

- 通过传播研发成果，促进海上风电行业的快速技术转移，最终促进商业应用的创新；

- 最大限度地提高在该资助下执行的研发总量，维持在 EERE 授予的联盟管理基金的 10% 以内；

- 建立联盟会员制度，快速开始运作，并在 EERE 资助的前六个月内迅速开始优先研究工作；

- 确保 EERE 作为联盟的正式成员。

（吴勘 郭楷模）

## 前沿与装备

### 美科学家揭露晶体分解是钙钛矿电池性能衰退关键因素

有机-无机杂化钙钛矿太阳能电池凭借着出色的光电转换效率引起了科学家的广泛关注。然而，稳定性差阻碍了该电池技术走向商业化，因此探明钙钛矿性能衰退机制，不断提高电池稳定性是当前的研究热点。德克萨斯大学奥斯汀分校 Keji Lai 教授课题组联合美国可再生能源实验室研究人员，首次利用量化微波阻抗成像技术对基于卤素钙钛矿电池的性能衰减开展研究，结果显示卤素钙钛矿薄膜降解始于晶体晶粒分解，而并非晶粒间晶界。研究人员首先利用旋涂法在手套箱内制备了甲基胺铅碘（MAPbI<sub>3</sub>）钙钛矿薄膜，并通过对前驱体浓度和制备条件调控获得了两种不同晶粒大小的钙钛矿薄膜，随后将钙钛矿薄膜分别组装成完整的电池器件，并用聚甲基丙烯酸甲酯有机涂层进行封装以隔绝外界空气的腐蚀。电流-电压曲线测试结果显示，基于大、小晶粒 MAPbI<sub>3</sub> 钙钛矿薄膜光电转换效率依次为 17.69% 和 13.1%。为了揭示两种薄膜电池性能差异，研究人员对大、小晶粒钙钛矿薄膜进行了微波阻抗成像表征（MIM）。在没有光照的情况下，两种薄膜都没有 MIM 图谱呈现；但外加 100 mW cm<sup>-2</sup> 光强度 532nm 激光照射后，大晶粒钙钛矿薄膜呈现出强烈的 MIM

图谱信号,但小晶粒钙钛矿薄膜信号则要弱很多。随后将 MIM 和原子力显微镜(AFM)结合对两种钙钛矿薄膜表面的光电导进行成像研究,结果显示大晶粒钙钛矿薄膜的光电导率是小晶粒的 5-6 倍(薄膜不同区域略有波动)。时间相关的光致发光图谱(TRPL)表征显示,大晶粒钙钛矿薄膜光生载流子寿命是 280 纳秒,是小晶粒的 3 倍多(80 纳秒)。X 射线衍射跟踪发现,大晶粒钙钛矿薄膜的特征衍射峰  $14^\circ$  和  $28.3^\circ$  (分别对应(110)和(220)晶面)的峰强度远高于小晶粒,即大晶粒钙钛矿薄膜结晶度更高。而大晶粒钙钛矿薄膜更高的光电导就是来源于薄膜晶粒更好的结晶度和长的载流子寿命。随后对两种薄膜晶界(即晶粒之间的缝隙)进行同样的光电导研究,结果显示两种薄膜不同区域的微波信号基本上是均匀分布,也即晶界微结构不会引起薄膜内部发生强烈的光响应空间变化,对薄膜的光电导基本没有影响。而局域的光电导空间演化研究发现,随着薄膜暴露在空气中的时间推移,钙钛矿薄膜光电导逐步减弱,但减弱是从晶粒表面开始并非晶界,也即薄膜降解始于晶粒的分解,而不是晶粒间的晶界。该项研究首次利用微波成像技术实现了对钙钛矿薄膜纳米尺度的光电导成像观察,系统地研究了晶粒、晶界对钙钛矿薄膜降解作用机理,为改善钙钛矿电池稳定性问题提供了重要的科学理论参考。相关研究成果发表在《*Nature Communications*》<sup>7</sup>。

(李明月 郭楷模)

## 新型硫-硅电池架构有望开辟锂离子电池新时代

锂离子电池是目前应用最为广泛的储能技术之一,然而其性能已经难以满足电子设备和电动汽车的快速发展需求,因此开发出更高能量密度、更快充电速度和更长寿命的新型锂离子电池成为了本领域的研究热点。加州大学河滨分校 Cengiz S. Ozkan 教授研究团队基于自主开发的硫正极和硅负极新型电池架构制造了高性能锂离子电池,其理论比能量密度高达 1982 Wh/kg,远高于传统锰酸锂/石墨架构的锂离子电池(605 Wh/kg)。研究人员首先将锂金属箔覆盖在硅负极表面,然后与硫正极结合形成电池骨架,随后往两个电极之间填充电解质组装成完整的硫-硅架构锂离子电池(SSFC)。扫描电镜表征显示,未经过充放电循环的电池硅负极和硫正极呈现疏松的多孔状表面形貌;与之形成鲜明对比的是经过充放电循环后,硅负极和硫正极表明空隙大幅减少,这是循环过程中电极膨胀活性材料填充和固态电解质膜形成的结果,即发生了锂离子的嵌入/脱嵌。恒电流循环测试结果显示,在 C/50 倍率下,初始的放电比能量密度为 100 Wh/kg,循环 10 次后便上升至 414 Wh/kg,性能提升主要是由于循环次数增多使得更多的锂离子能够参与到嵌入/脱嵌反应中,也即电极可以存储更多的锂离子,与此同时新的电极架构很好地实现了对固态电解质膜的有效

<sup>7</sup> Zhaodong Chu, Mengjin Yang, Philip Schulz, et al. Impact of grain boundaries on efficiency and stability of organic-inorganic trihalide perovskites. *Nature Communications*, 2017, doi:10.1038/s41467-017-02331-4

控制也是电池性能提升的重要因素。而当提高循环倍率到C/10、循环250次后，比能量密度仍可维持在350 Wh/kg高水平，且库伦效率高达95%，展现出优秀的循环稳定性。该项研究设计开发了新型的硫-硅电极架构的锂离子电池器件，实现了对锂离子负载量和SEI膜的优化控制，提升了电池的能量密度，增强了电池的倍率性能和循环寿命，为设计和开发高性能的锂离子电池提供了新途径。相关研究工作发表在《*Nature Communications*》上<sup>8</sup>。

（李明月 郭楷模）

## 可变换极性的电解质实现二氧化碳到合成气有效转化

碳捕集与封存技术（CCS）是减少温室气体排放、减缓全球变暖趋势的关键技术手段之一。它意义重大，但是成本高昂限制了该技术的发展。爱达荷国家实验室 Aaron D. Wilson 教授课题组基于可变极性溶剂开发了全新的绿色转化工艺，能够有效地捕集二氧化碳（CO<sub>2</sub>）并转化成合成气。该绿色转化工艺使用了可变换极性的溶剂环己基哌啉（SPS），该 SPS 暴露于化学试剂时可以转换极性。在电化学电池中，SPS 和 CO<sub>2</sub> 反应形成碳酸氢离子（HCO<sup>3-</sup>）从而将 CO<sub>2</sub> 固定在溶液中，即实现了 CO<sub>2</sub> 的捕获，而阳极发生水氧化，释放出 O<sub>2</sub> 气体和氢离子，然后通过膜迁移到阴极。氢离子与 HCO<sup>3-</sup> 反应，并释放 CO<sub>2</sub> 用于电化学还原和形成合成气。在释放 CO<sub>2</sub> 过程中，SPS 极性转换为非水溶性形式，从而允许该溶剂实现回收和再利用。产氢效率测试显示，单独使用 SPS 时电解质电导率不足，生成的氢气过多，合成气比例不足。当引入硫酸钾时，电解质电导率提高了 47%，可以有效地生产合成气。在不添加 CO<sub>2</sub> 的情况下，聚合物电解质膜电池在反应过程中会使靠近阴极的 CO<sub>2</sub> 浓度逐步减少，即电解质确实实现了 CO<sub>2</sub> 的有效溶解固定。从 CO<sub>2</sub> 中回收碳的传统方法需要高温高压，因为在较低温度下，CO<sub>2</sub> 在水中的溶解度较低。与传统工艺不同，基于 SPS 的工艺在 25 ℃ 和 1 个标准大气压压力下即可实现 CO<sub>2</sub> 的有效捕集和转化，且首次实现了 CO<sub>2</sub> 到 CO 高达 70% 的转化率。该项研究将 CO<sub>2</sub> 捕集和转化两个领域的技术有效地整合，首次证明可以直接从捕集的 CO<sub>2</sub> 中生产出合成气，这对于推动碳捕集技术应用，减少全球 CO<sub>2</sub> 排放、应对气候变化具有重要意义。相关研究工作发表在《*Green Chemistry*》上<sup>9</sup>。

（朱好婷 郭楷模）

## 垂直石墨烯纳米片结合混合电解质增强超容性能

<sup>8</sup> Rachel Ye, Jeffrey Bell, Daisy Patino, et al. Advanced Sulfur-Silicon Full Cell Architecture for Lithium Ion Batteries. *Scientific Reports*, 2017, doi: 10.1038/s41598-017-17363-5

<sup>9</sup> Luis A. Diaz, Ningshengjie Gao, Birendra Adhikari, et al. Electrochemical production of syngas from CO<sub>2</sub> captured in switchable polarity solvents. *Green Chemistry*, 2018, DOI: 10.1039/C7GC03069J

超级电容器的性能取决于电极材料、电解质类型以及它们之间的相互作用。垂直石墨烯纳米片（Vertical Graphene Nanosheets，VGN）由于具有更容易使电解液浸润的开放式多孔结构和高导电率等特性，被认为是最理想的电化学反应电极。印度英迪拉甘地原子研究中心研究所研究人员开发了一种全新的垂直石墨烯电极，同时结合新型的有机无机混合电解质，应用于超级电容器，大幅提升了电容器的性能。研究人员首先按照一定比例将有机盐和酸溶液混合制备了新型混合电解质四乙基四氟硼酸铵/硫酸（TEABF<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>）。随后将 VGN 浸泡在 1 摩尔的 KOH 溶液中进行表面活化，即 KOH 作为氧化剂将官能团移植到表面，以减小 VGN 电极的接触角（即提高电极液体浸润性）；液滴法测定液体接触角结果显示，无论是纯有机电解质还是混合电解质，经过 KOH 活化后的 VGN 电极接触角都减小了，即液体浸润性提升，能够与电解质更好地接触交换离子。通过 X 射线光电子能谱（XPS）分析，与为活化的 VGN 相比，活化后的 VGN 中清楚地观察到 532.5eV 的高分辨率 O1s 峰和 974eV 的 OKLL 螺旋带。研究人员推算出活化前后的 VGN 的 O<sub>2</sub> 含量为 1.5% 至 4.5%。因此，润湿性的提升归因于通过 KOH 活化的氧官能化。在室温下通过循环伏安法，恒电流充放电和电化学阻抗谱表征来考察活化、以及混合电解质对 VGN 基超级电容性能的影响。与纯硫酸电解质（0.64 mF/cm<sup>2</sup>）相比，采用 TEABF<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 混合电解质的 VGN 基超容面积比电容增大到了 1.99 mF/cm<sup>2</sup>，且库伦效率达到了 93.1%（循环测试电流密度为 0.05 mA/cm<sup>2</sup>），更为关键的是，经过 5000 多次循环后，器件仍可维持初始容量的 94.6%，展现出极其优异的循环稳定性。而对混合电解液的 VGN 电极进行活化优化后，器件的面积比电容进一步得到提升，达到了 3.31 mF/cm<sup>2</sup>，近 5 倍于未活化纯硫酸电解质超容，5000 次的充放电循环容量仅衰减 7.1%。由上可知，表面活化和采用恰当的混合电解质确实能够有效地改善超级电容器的性能。该项研究一方面利用表面活化改善电极浸润性增强了器件面积比电容，另一方面采用混合电解质增强了器件的循环稳定性，为设计和开发高性能、低成本的超级电容器提供了新思路。相关研究成果发表在《*Journal of Applied Physics*》<sup>10</sup>。

（罗卫 郭楷模）

---

<sup>10</sup> Subrata Ghosh, Gopinath Sahoo, S. R. Polaki, et al. Enhanced supercapacitance of activated vertical graphene nanosheets in hybrid electrolyte. *Journal of Applied Physics*, 2017, 122 (21): 214902.

## 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 吴勘

电话：（027）87199180

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

微信公众号：CASEnergy

