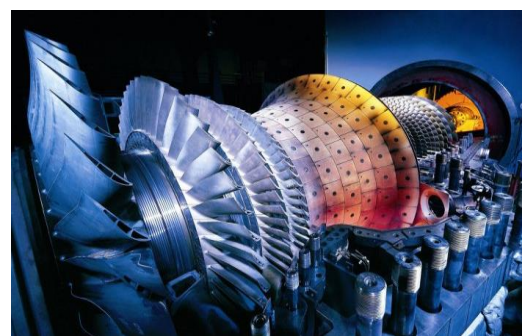


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IAEA 新增三家核能研究堆国际研究中心
- 美能源部提议加快小规模天然气出口审批
- DOE 资助 5000 万美元用于增强电网安全性和灵活性研发
- DOE 资助 8200 万美元开展太阳能热发电和并网技术研究

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

联系人：赵晏强 zhaoyq@whlib.ac.cn

郭楷模 guokm@whlib.ac.cn

电 话：（027）87197630

目 录

决策参考

IAEA 新增三家核能研究堆国际研究中心2
美能源部提议加快小规模天然气出口审批.....2

项目计划

DOE 资助 5000 万美元用于增强电网安全性和灵活性研发3
DOE 资助 8200 万美元开展太阳能热发电和并网技术研究6
DOE 资助 1340 万美元推进高能效交通运输技术研发7

前沿与装备

双结硅基太阳能电池效率达 32.8% 创历史新高7
新型锂-二氧化碳电池具备固碳和能量存储双功能.....8
氢化处理增强金属氧化物光电极光解水催化活性.....9
新型三维多孔聚合物网络电极增强超级电容器性能.....9

本期概要

国际原子能机构 (IAEA) 宣布在其“研究堆国际中心 (ICERR)”计划框架下新增三家国际研究中心：包括美国能源部爱达荷国家实验室和橡树岭国家实验室，以及比利时国家核能研究中心，旨在为没有研究堆的成员国提供核能研究基础设施、建设核研究能力和文化，协助其研究开发核反应堆。此外，ICERR 计划还希望通过加强合作来提高现有研究堆的利用率，并促进创新型核技术的研发和部署。

美国能源部 (DOE) 提议放宽包括液化天然气 (LNG) 在内的小规模天然气出口项目的许可，旨在加快小规模天然气出口申请的审批流程，扩大美国天然气出口：新提议有助于加快审查和批准向新兴的小规模 LNG 出口市场（主要包括加勒比海、中美洲和南美洲地区）出口少量天然气的申请。DOE 加快天然气出口提议是特朗普能源政策的具体延伸。特朗普政府能源政策重点之一便是寻求释放美国能源潜力的方法，即复兴美国能源产业（尤其是传统的油气产业），创造新就业，拉动经济增长。详见正文。

DOE 宣布资助 5000 万美元用于支持国家实验室及其合作伙伴开展早期的研究以及开发新一代电力工具和技术（包括可再生能源发电、物联网等，以建立一个更富灵活性、更安全、更可持续及可靠的电力系统，包括：（1）电网配电系统，即通过电网现代化实验室联盟及其合作伙伴的协作解决高比例可再生能源的并网问题、开发新型电网技术，以推进美国电网的现代化，增强电网的弹性；（2）电网网络安全，研发创新的、可扩展和具有成本效益的网络安全解决方案来提高美国电网、石油和天然气基础设施的可靠性和弹性。

DOE 宣布在“太阳能计划 (Sunshot)”框架下资助 8200 万美元开展太阳能热发电和并网技术研发的创新项目，旨在持续推进新太阳能技术和储能技术研发突破，增强太阳能并网（尤其是高比例并网）下电力系统的稳定性、弹性，以推进 SunShot 计划 2030 年目标的实现。本次资助主要用于两方面的研究工作：

（1）6200 万美元用于第三代聚光太阳能热发电 (CSP) 技术研发，旨在 2030 年时将 CSP 发电成本降至 6 美分/千瓦时；（2）2000 万美元用于先进的电力电子器件研发，降低太阳能发电并网成本，消除太阳能并网给电力系统带来的不稳定因素。详见正文。

IAEA 新增三家核能研究堆国际研究中心

9月18日,国际原子能机构(IAEA)宣布在其“核能研究堆国际中心(ICERR)”计划框架下新增三家国际研究中心¹,包括美国能源部爱达荷国家实验室、橡树岭国家实验室以及比利时国家核能研究中心(SCK•CEN),旨在完善IAEA国际研究中心的核能研究力量,加强核能人才培养并实施联合研发项目,为没有研究堆的成员国提供核能研究基础设施、建设核研究能力和文化,协助其研究开发核反应堆。

爱达荷国家实验室的先进试验反应堆是世界上功能性最强的试验反应堆,它主要用于研究辐射对材料的影响,并且还能够生产稀有、高价值的医用和工业用同位素。橡树岭国家实验室的高通量同位素反应堆(HFIR)是世界上用于研究医药和工业应用所需重元素的主要生产源。比利时SCK•CEN的试验反应堆BR2专门负责生产同位素,全球20%-25%的关键同位素都是由其生产,包括用于癌症诊断和治疗所需的医用同位素。

ICERR计划于2014年启动,目的是使没有研究堆的成员国能够使用IAEA国际研究中心的核能研究堆,以开展核能研发和人员培养工作。此外,ICERR计划通过加强合作来提高现有研究堆的利用率,并促进创新型核技术的研发和部署。2015年9月15日,法国替代能源与原子能委员会(CEA)和俄罗斯原子反应堆研究所(RIAR)被指定为ICERR计划下的首批国际研究中心。

(郭楷模)

美能源部提议加快小规模天然气出口审批

9月1日,美国能源部(DOE)宣布了一项提议²,即放宽包括液化天然气(LNG)在内的小规模天然气出口项目的许可,旨在加快小规模天然气出口申请的审批流程,扩大美国天然气出口。

新提议有助于加快审查和批准向新兴的小规模LNG市场出口少量天然气的申请。这些新兴的小规模LNG市场包括加勒比海地区、中美洲和南美洲。受到经济快速发展的驱动,上述地区的天然气需求强劲,然而其中许多国家的天然气产量难以满足本国的天然气消费需求,因此需要从海外进口大量的LNG。

特朗普政府能源政策重点之一便是寻求释放美国能源潜力的方法,即复兴美国能源产业(尤其是传统的油气产业),创造新就业,拉动经济增长。而DOE加快天

¹ Belgian and US Research Reactors to Become International Centres for R&D under IAEA Label.
<https://www.iaea.org/newscenter/news/belgian-and-us-research-reactors-to-become-international-centres-for-rd-under-iaea-label>

² U.S. Department of Energy Proposes Expedited Approval for Small-Scale Natural Gas Exports
<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-proposes-expedited-approval-small-scale-natural-gas-exports>

天然气出口提议恰恰是特朗普能源政策的具体反映。因为对特朗普政府来说，扩大天然气出口是一笔很合算的买卖。一方面，扩大天然气出口可以平复其巨额的贸易逆差；另外，扩大出口意味着需要建立更多的出口终端设施，这势必拉动数千吨钢材的消耗，带来数以千计的建筑业工作，即创造新就业又促进经济增长；同时，扩大天然气市场份额可以让美国更好地把握全球能源话语权。

根据天然气法案，DOE 是美国天然气进出口业务的主要审批和监管主体。DOE 对天然气出口项目审查以出口市场是否与美国签署自由贸易协定而有所区别。如果出口项目申请是与美国没有签订自由贸易协定的国家，DOE 必须对天然气出口项目的申请进行公共利益审查。而审查主要依据两个标准：一是单日出口量不得超过 1.4 亿立方英尺，二是申请出口的项目必须满足国家环境政策法案要求的环境审查。对于符合上述标准的出口项目申请，则被认定为符合公共利益，予以批准。此外，根据天然气法案，如出口目标市场已经与美国签订了自由贸易协定，则该申请自动视为符合公共利益，即自动通过公共利益审查。

（吴勘 郭楷模）

项目计划

DOE 资助 5000 万美元用于增强电网安全性和灵活性研发

9 月 12 日，美国能源部（DOE）宣布向国家实验室资助 5000 万美元用于支持早期的研究以及开发新一代电力工具和技术（包括可再生能源发电、物联网等）³，旨在发展多元化发电资源、改善老化的电力基础设施，提高电网基础设施的安全性和灵活性，以建立一个更富灵活性、更安全、更可持续及可靠的电力系统。本次资助项目主要关注两大主题，包括电网配电系统和电网网络安全，具体内容如下：

（1）电网配电系统

DOE 将通过电网现代化国家实验室联盟（GMLC）及其合作伙伴的协作解决高比例可再生能源的并网问题，开发先进控制系统、新型电网拓扑结构以及新兴分布式电网技术，以推进美国电网的现代化，增强电网的弹性。电网配电系统项目涵盖 7 大技术主题，详细内容见表 1。

3 Energy Department Invests Up to \$50 Million to Improve the Resilience and Security of the Nation's Critical Energy Infrastructure. <https://www.energy.gov/articles/energy-department-invests-50-million-improve-resilience-and-security-nation-s-critical>

表 1 电网配电系统项目具体研究内容

主题	研究内容	资助金额/ 万美元
电网恢复能力和智能电网平台	整合最先进的人工智能和机器学习技术来开发电网预测系统和分布式资源，提高对潜在危险事故的预测能力，提高电网弹性	600
使用自动化网络分析、控制和储能技术以改进阿拉斯加配电系统	充分利用微网、储能技术和新兴电力技术，改善配电网适应恶劣天气、网络威胁的能力	620
增强分布式资源和微网弹性	通过使用 OpenFMB 来灵活地操作传统电网、分布式发电和微电网，从而加速部署弹性安全的配电系统	600
将响应式住宅负载集成到分配管理系统中	研究和验证开源的家庭能源管理系统(HEMS)，以支持弹性分配使用案例和端到端互操作性，帮助公共事业和合作伙伴为电网服务提供住宅负载	600
CleanStart- DERMS	通过集成应用强大的控制、通信和分析层以及协调的层次解决方案来验证和演示分布式资源驱动的缓解、黑启动和恢复策略；增加可用性和冗余性，并且使用实时的控制工具来改善客户的重新连接时间	600
富有弹性的配电系统	增强分布式能源并网逆变器的孤岛运行能力以维持负载电压稳定和抗扰特性	150
实验室的估值分析团队	使用合适的度量标准对整个 GMI 组合进行评估分析，提高效率 and 一致性；使用交叉方法提供一个一致的框架和方法来指导每个项目的收益/成本分析、影响分析（例如对区域的潜在收益）；促进信息共享，以便在各受众群体的实地验证项目中统一应用指标	150

(2) 电网网络安全

通过研发创新的、可扩展和具有成本效益的网络安全解决方案来提高美国电网、石油和天然气基础设施的可靠性和弹性。电网网络安全项目涵盖 20 个技术主题，具体研究内容见表 2。

表 2 电网网络安全项目具体研究内容

主题	研究内容
抗网络威胁的现代化电网配电系统	为下一代配电系统开发一种具有抗网络攻击能力的架构，通过分布式能源和微网提高可靠性
固件指标翻译	开发一种技术来翻译威胁指标，可以更有效地用于 OT 运营网络，以帮助确保能源领域设备所使用的嵌入式系统的固件
电网组件的自适应控制	使配电网能够适应(1)针对 DER、电压调节和保护系统的自适应控制算法；(2)分析新的攻击场景，开发相关的防御策略
高渗透 DER 网络互连分析	开发一种可以评估网络风险的工具，并设计补救策略，以应对网络攻击

GPS 干扰检测	开发一种技术，以快速检测相量测量单元(PMU)使用的精确同步时间信号的干扰，实现对电网运营的广泛区域态势感知
安全的 SCADA 协议描述 和标准化	通过开发工业密钥基础设施 (IKI)，简化加密密钥交换的过程来帮助保护能源基础设施信息，从而促进 21 世纪的安全 SCADA 协议
能源领域量子密钥分配： 受信任的节点中继和网络	研究和设计原型量子安全通信 (QSC) 运营网络，包括可信的继电器来扩展距离和降低成本，用于关键的能源基础设施
用于管理操作技术 (OT) 网络上的命令和控制消息 的分布式加密模块化安全 设备	开发一种低成本的分分布式加密技术，以帮助保护能源基础设施信息，尤其是用于指挥和控制 DER 的操作网络
暗网	定义一个独立于公共互联网的安全能源传输控制系统网络的需求，并使用“暗光纤”
利用量子物理学为能源领 域提供通信	降低成本，增加距离，使量子密钥分配系统能够实时检测网络控制系统的敌对入侵
可信赖的能源交付系统	在不需要将设备脱机的情况下，提供一个工具来验证在能源交付系统设备中使用的固件完整性
缓解恶意软件操作	与能源部门合作伙伴合作，降低能源交付系统和组件的网络风险
无钥匙基础设施安全解决 方案	开发电网边缘分布式能源资源的区块链网络安全技术，例如预计将创造新市场的可转换能源交易
缓解能源输送系统设备外 露风险	开发一个供能源资产所有者/运营商使用的工具，以识别其无意中暴露于公共互联网并减轻相关风险的能源输送系统设备
安全的自动扫描解决方案	开发扫描方法、模型和架构，将广泛部署在 IT 空间中的网络漏洞扫描器转换为可用于关键能源基础设施的运营技术 (OT) 网络的扫描器
软件定义的能源交付系统 网络	开发一套全面的蓝图和安全的参考体系结构，以简化部署软件定义的网络 (SDN) 技术过程，从而更好地保护整个能源领域的运营网络
普遍的公用电力事业数据 交换	开发一种安全灵活的数据交换方法，用于控制中心之间的通信，包括控制中心通信协议 (ICCP) 数据交换
漏洞和风险识别工具开发	在供应商和能源交付基础设施组件和系统的终端用户之间建立伙伴关系，以减少网络风险
工业控制系统安全应用	通过动态迁移、更新和重构技术来增强工业电网控制系统在电网网络事故中的弹性和可用性
高存活性工业控制系统	开发一种可以主动探测到电力系统设备有害操作的技术，例如，检查接收到的命令是否支持电网稳定并合理响应

(吴勘 郭楷模)

DOE 资助 8200 万美元开展太阳能热发电和并网技术研究

9 月 12 日，美国能源部（DOE）在国际太阳能年度会议上发布研究成果显示，得益于太阳能光伏组件成本的大幅下滑，太阳能计划（Sunshot）此前设定的 2020 年目标已经实现，即公用规模的太阳能光伏发电成本已从 2010 年的 28 美分/千瓦时降至当前的 6 美分/千瓦时。在此背景下，DOE 宣布在“太阳能计划（Sunshot）”框架下资助 8200 万美元开展太阳能发电和并网技术研发的创新项目⁴，旨在持续推进太阳能新技术和储能技术研发突破，进一步降低太阳能发电成本，解决太阳能本身的不稳定性及其并网给电网带来的冲击问题，增强太阳能并网（尤其是高比例并网）下电力系统的稳定性和弹性，以推进 SunShot 计划 2030 年目标的实现，加速推进太阳能发电在全美更广泛应用部署。其中：

（1）6200 万美元用于第三代聚光太阳能热发电（CSP）技术研发，旨在 2030 年时将 CSP 发电成本降至 6 美分/千瓦时

- **第 3 代 CSP 发电原型系统开发：**设计、开发集成高效储热系统（1-10 MW）的新型 CSP 发电系统原型，通过计算机仿真模拟来分析评估新型 CSP 发电系统的各种经济技术指标。

- **原型系统的测试分析：**对新型 CSP 发电原型系统开展一系列的测试研究，包括载热流体物理特性、发电系统组件的耐用性、新型传热介质的传热特性等，基于上述分析，评估测试电厂的各项性能指标。

（2）2000 万美元用于先进的电力电子器件研发，降低太阳能发电并网成本，消除太阳能并网给电力系统带来的不稳定因素

- **太阳能光伏并网逆变器设计开发：**开发各种全新高效低成本电力电子器件（新型的电路拓扑结构、控制器、交流/直流变换器等），以此来设计开发全新的太阳能光伏并网逆变器，改善太阳能光伏并网效果、延长太阳能光伏寿命、降低并网成本。

- **模块化、多功能电力电子器件：**开发多功能（如能够同时集成太阳能发电和用电设施、具备在线运营和维护、减轻电磁干扰和谐波失真情况）的电力电子器件，降低太阳能发电并网成本，提高高比例太阳能并网下的电网稳定性，改善电网的弹性，使得电网具备从故障中快速恢复正常运行状态的特性。

（郭楷模）

⁴ Energy Department Announces Achievement of SunShot Goal, New Focus for Solar Energy Office. <https://energy.gov/articles/energy-department-announces-achievement-sunshot-goal-new-focus-solar-energy-office>

DOE 资助 1340 万美元推进高效交通运输技术研发

8 月 22 日，美国能源部（DOE）宣布资助 1340 万美元用于支持先进高效交通技术研发的 5 个新项目⁵，重点关注领域包括智能互联汽车、替代燃料汽车（如氢能、生物燃料、电动汽车）以及相应的基础设施，旨在提高车辆能效，减少交通运输系统的能耗。本次资助的 5 个新项目具体内容参见表 1。

表 1 先进高效交通运输技术项目具体研究内容

承担机构	研究内容	资助金额/ 百万美元
伦斯勒理工学院	评估货运交通运输模式变化对减少能耗的作用，将节能技术纳入到货运交通当中	2
山核桃街公司	开展“最后一公里”电动公交汽车服务的示范工程，对自动、半自动驾驶技术、以及动态车辆路径规划系统开展评估测试	1
西雅图交通部	增加美国四个主要城市的共享汽车中电动汽车的部署数量，总结经验，为美国其他城市推广应用提供最佳实践	1.9
交通运输和环境中心	加速替代燃料汽车和相应基础设施在美国东南部的部署进程	4.6
大都市能源中心公司	与密苏里州、堪萨斯州、科罗拉多州的社区合作伙伴合作扩大替代燃料汽车及其基础设施在上述地区的部署规模	3.8

（郭楷模）

前沿与装备

双结硅基太阳能电池效率达 32.8%创历史新高

传统单晶硅太阳能电池由于固有的禁带宽度，受到肖克利·奎伊瑟效率极限制约，光电转换效率极限值只能达到 29.4%，无法突破 30%效率大关，而串联结构太阳能电池（双结或者多结）为科学家提供了突破极限效率的可能。美国能源部国家可再生能源实验室（NREL）Adele Tamboli 教授课题组与瑞士洛桑联邦理工学院、瑞士电子学与微电子科技中心（CSEM）科学家合作研发出了砷化镓单晶硅（GaAs/Si）串联双结太阳能电池，在非聚光条件下光电转换效率达到了 32.8%，刷新了该类型太阳能电池的世界纪录（先前的记录是 32.6%），实验结果得到权威机构的认证。该双结串联电池由 GaAs（禁带宽度 1.4eV）薄膜电池充当顶电池负责吸收，晶体 Si（禁带宽

⁵ Energy Department Announces \$13.4 Million Investment in Community-based Advanced Transportation Projects. <https://energy.gov/eere/articles/energy-department-announces-134-million-investment-community-based-advanced>

度 1.1eV) 电池作为底电池, 两者分别由 NREL 和 CSEM 科学家单独研发, 最后由 NREL 研究人员利用环氧树脂将两个子电池堆叠串联在一起形成四端点接触的 GaAs/Si 双结串联太阳电池。在一个标准太阳光照射下 (受照面积为 1 cm²), GaAs 顶电池转换效率达到 26.83%, Si 底电池效率达到 5.99%, 而将两者串联后光电转换效率达到了 32.8%, 创造了双结 III-V/Si 太阳电池效率新高。随后, 研究人员进一步开发了 GaInP/GaAs/Si 三结太阳电池, 并获得了 35.9% 的效率。尽管效率可观, 然而多结硅太阳电池商业化应用最大障碍仍然是成本问题。通过理论模拟, 研究人员得出, 按照 30% 的效率计算, 基于 GaInP 顶电池每瓦成本为 4.85 美元, 而基于 GaAs 顶电池费用则是 7.15 美元/瓦。但随着电池技术突破, GaInP 基电池成本完全有希望降至 66 美分/瓦, GaAs 基电池成本可以降至 65 美分/瓦。该项研究表明了通过构造新型双结太阳电池, 能够获得高转换效率器件, 为进一步降低光伏发电成本提供了新思路。相关研究成果发表在《Nature Energy》⁶。

(郭楷模)

新型锂-二氧化碳电池具备固碳和能量存储双功能

开发二氧化碳 (CO₂) 高效捕集和再利用技术是近年来的研究热点之一, 但由于 CO₂ 固有的化学稳定性, 想要将其有效分解需要很大的能量来激活, 因此开发低能耗、环保的固碳技术是关键所在。日本产业技术综合研究所 Haoshen Zhou 教授课题组以锂为负极、含有 0.5 摩尔的高氯酸锂的二亚甲基亚砷溶液为电解质、以钌金属为催化剂、CO₂ 为正极材料制备了 Li-CO₂ 电池, 在无须额外能量情况下实现 CO₂ 高效捕获和能量存储, 为固碳和能量存储提供了全新的路径。研究人员首先对电池进行了放电测试, 结果发现, 在氮气氛围下, 电池没有任何电化学反应, 但将其置于 CO₂ 气体氛围中, 电池呈现出典型的放电平台, 放电电压为 2.8V。结合拉曼光谱测试可知放电产物为碳酸锂和固态单质碳。因此, 整个放电过程可总结为 CO₂ 的还原反应, 即 $4\text{Li}^+ + 3\text{CO}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{C}$ 。当降低放电电压时 (1.8V), 拉曼谱出现一个新峰, 对应于放电产物氧化锂 (LiO₂)。随后对电池进行充电测试, 并观察拉曼谱显示 Li₂CO₃ 和 Li₂O 的拉曼峰逐渐减弱直至最后消失, 意味着放电产物在充电过程中分解掉了。由上可知, 电池整个充放电循环过程不会在电极表面形成沉淀物堵塞电极孔道, 从而保证电池电解质和离子的有效扩散。结合放电过程可知, 整个电池充放电过程可归纳为反应方程式: $3\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{C} + \text{O}_2$, 也即整个反应过程可实现三分之一的 CO₂ 有效固定。相关研究成果发表在《Joule》⁷。

(郭楷模)

⁶ Stephanie Essig et al. Raising the one-sun conversion efficiency of III-V/Si solar cells to 32.8% for two junctions and 35.9% for three junctions. *Nature Energy*, 2017, DOI: 10.1038/nenergy.2017.144

⁷ Yu Qiao, Jin Yi, Shichao Wu, et al. Li-CO₂ Electrochemistry: A New Strategy for CO₂ Fixation and Energy Storage. *Joule*, 2017, DOI: 10.1016/j.joule.2017.07.001.

氢化处理增强金属氧化物光电极光解水催化活性

人工光合作用制氢是从根本上解决能源危机和环境污染的理想途径之一。然而人工光合金属氧化物电极在水溶液环境中极其不稳定，易发生还原反应从而使电极材料腐蚀，引起性能衰退。如何稳定电极表面并且同时保持电极对水分解的催化活性是研究的关键问题。德国柏林亥姆霍兹材料和能源研究中心的 Fatwa F. Abdi 教授课题组对人工光合系统中的金属氧化物光电极进行氢气氛围处理，能够有效地改善电极的光解水催化活性，为高效产氢提供了重要的新路径。研究人员首先利用喷雾热解方法制备了钒酸铋 (BiVO_4) 电极薄膜，随后将制备 BiVO_4 薄膜分别置于空气、氢气氛围的管式炉中进行 300°C 、10 分钟退火处理。X 射线表征显示，氢气氛围下退火处理 BiVO_4 薄膜与空气氛围处理的薄膜具备一样的晶体结构，均为纯相的单斜晶系，即氢气氛围处理不会改变材料结构。通过计算进一步发现，氢处理后的 BiVO_4 薄膜电子空穴分离效率得到显著改善，同时电子的寿命得到延长。研究人员指出，电子寿命的延长归因于氢处理能够有效地钝化/减少薄膜中的深电子陷阱态数量（这些陷阱是电子的复合中心）。由于其载流子寿命延长，氢处理的 BiVO_4 光电化学性能显著提高：光电流 25%，起始电位向阴极偏移约 100mV。为了进一步确认上述的改善确实是由氢处理导致，研究人员对氢处理的 BiVO_4 薄膜进行核磁共振氮谱解析，结果显示氢处理的 BiVO_4 晶格中存氢的含量为 0.7at%（at 为原子数百分比）。而掺入的氢与氧原子形成氢氧键使 BiVO_4 的晶格发生扭曲，导致 $\text{Bi}^{3+}\text{-VO}_4^{3-}$ 外部振动峰的轻微偏移，但这种形变不影响空穴极化子的形成，即陷阱态在能量上位于比空穴极化状态更深的位置。该项研究通过对金属氧化物氢化处理显著减少/钝化电极的缺陷态，改善了电极的催化性能，为开发高效廉价的金属氧化物人工光合系统电极材料提供了新策略和设计思路。相关研究成果发表在《*Advanced Energy Materials*》⁸。

（朱好婷 郭楷模）

新型三维多孔聚合物网络电极增强超级电容器性能

导电聚合物由于其较高的理论比电容、低成本、柔韧性优异等一系列优点，成为了超级电容器潜在的优秀电极材料之一。然而，导电聚合物较差的导电性严重限制了该类电极超级电容器性能。伦敦大学玛丽女王学院 Stoyan K. Smoukov 教授带领的研究团队开发出了全新的 3,4-乙炔二氧噻吩/聚氧化乙烯 (PEDOT/PEO) 混合的三维多孔导电聚合物网络材料，作为电极应用于超级电容器。恒电流充放电测试显示，在 1 A/g 的放电电流密度下，采用单独 PEDOT 聚合物电极电容器比电容为 105 F/g，而采用 PEDOT/PEO 三维网络聚合物电极电容器的比电容增大到 182 F/g，是迄今为止

⁸ Ji-Wook Jang, Dennis Friedrich, Sönke Müller, et al. Enhancing Charge Carrier Lifetime in Metal Oxide Photoelectrodes through Mild Hydrogen Treatment. *Advanced Energy Materials*, 2017, 1701536, DOI: 10.1002/aenm.201701536

止 PEDOT 基电极电容器比电容的最大值。且采用新型三维网络聚合物电极电容器还呈现出优异的高倍率性能，在 20 A/g 的放电电流密度下，电容器的比电容仍然超过 100 F/g。循环伏安测试结果显示，采用单独 PEDOT 聚合物电极电容器经过 1200 次循环，其比电容降至初始值的 82%；相反，采用 PEDOT/PEO 三维网络聚合物电极电容器经过 3000 次循环后，仍可维持初始值的近 98%，表现出优秀的循环稳定性，并且经过 1000 多次的反复弯折，电容器容量保持率仍高达 99%，展现出优异的柔韧性。研究人员指出，采用新型三维聚合物网络电极电容器之所以拥有优秀的电容性能，主要归因于三维聚合物网络材料表面和内部分布着大量的可充满电解液的微孔，并且能形成网络式立体结构，为电极内电子、离子的迁移提供了快速通道，从而增强了电子、离子的有效分离和传输。该项研究通过制备三维多孔结构的导电聚合物电极，克服了传统聚合物电极导电性差的缺陷，增强了电容器中电子、离子的分离和输运，从而显著增强了电容器电化学性能，对于发展新型的聚合物超级电容器提供了很好的启发和借鉴意义。相关研究成果发表在《*ACS Energy Letters*》⁹。

（罗卫 郭楷模）

⁹ Kara D. Fong, Tiesheng Wang, Hyun-Kyung Kim, et al. Semi-Interpenetrating Polymer Networks for Enhanced Supercapacitor Electrodes. *ACS Energy Letters*, 2017, 2014, DOI: 10.1021/acsenenergylett.7b00466

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

电话：（027）87199180

电子邮件：jiance@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

