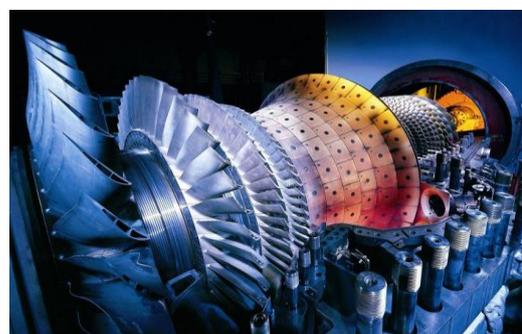


# 先进能源科技动态监测快报



## 本期重点

- IEA：加速能源技术变革 促进全球能源系统转型
- IEA 评估清洁能源技术部署进展
- IAEA：2016年新增10座反应堆并网 核电装机创历史新高
- DOE 资助近6700万美元用于先进核能技术研究
- NETL 高效低排放化石燃料燃烧发电技术取得重要进展

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](mailto:zhaoyq@whlib.ac.cn)

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

电 话：（027）87197630

## 目 录

### 决策参考

- IEA: 加速能源技术变革 促进全球能源系统转型 .....2  
IEA 评估清洁能源技术部署进展 .....7  
IAEA: 2016 年新增 10 座反应堆并网 核电装机创历史新高.....9

### 项目计划

- DOE 资助近 6700 万美元用于先进核能技术研究 ..... 10  
DOE 资助 7200 万美元支持小企业研发创新项目 ..... 12

### 前沿与装备

- NETL 高效低排放化石燃料燃烧发电技术取得重要进展 ..... 13  
新型电催化剂实现光驱动二氧化碳高效还原 ..... 14  
新型树枝大分子-石墨烯氧化物复合电极增强锂硫电池循环寿命.. 15  
还原石墨烯修饰的过渡金属硫化物实现廉价高效电解水产氢..... 16

## 本期概要

国际能源署 (IEA) 发布《能源技术展望 2017: 加速能源技术变革》报告指出, 能源技术创新是推动全球能源系统转型和应对气候变化问题的核心所在。尽管种种迹象显示全球能源系统正处于历史性的转型时刻, 但目前较慢的进展难以满足 2°C 目标的发展需求, 各国需要积极出台和实施相关政策以及加大投资力度, 加速低碳技术的研发、示范和部署, 促进能源系统的转型。以下几条政策建议可供国家决策者参考: (1) 各国政府应制定可持续能源未来发展的愿景, 解决多重能源政策目标挑战, 并跟踪实现目标行动进展情况; (2) 加强国际合作以实现全球气候和可持续发展目标; (3) 在技术创新周期的各个阶段, 都要加大政策支持力度; (4) 调整政策、金融和市场机制, 以支持不断变化的技术环境衍生的新商业模式; (5) 决策者应该更好地了解能源领域日益普及的数字化技术带来的机遇和挑战。详见正文。

国际能源署 (IEA) 发布《清洁能源进展追踪 2017》报告, 对 2016 年全球 26 种能源技术低碳转型进展进行了详细的追踪和分析: 过去的一年中, 有 3 种能源技术 (可再生能源、电动汽车和储能) 处于可持续低碳转型的正确道路上, 取得了实质性进展: 全球电动汽车销量达到 75 万辆, 较 2015 年增长 40%, 创历史新高, 使得全球电动汽车保有量达到 200 万辆; 太阳能光伏和陆上风电装机容量继续强劲增长, 并且其长期电力合约价格在多个地区 (如亚洲、拉丁美洲和中东等) 创下历史新低; 核电新增装机容量 10 GW, 创下 1990 年以来单年度最高增量。15 种技术取得了进步, 但发展速度较为缓慢, 无法满足《巴黎气候协定》气候目标需求; 而其他 8 种技术则出现了发展滞后的情况, 亟需出台新政策加以引导。报告最后强调, 稳健的扩大清洁能源公私投入是推动全球从传统能源系统转向可持续、可负担和安全新型能源系统的关键因素。

国际原子能机构 (IAEA) 发布《全球核电反应堆 2017》统计报告指出, 2016 年全球新增 10 座核电反应堆并网发电, 连续第二年新增并网核电反应堆超过两位数: 截止 2016 年底, 全球在运核电反应堆 448 座, 装机容量为 391 GW (同比增加 8 GW), 创历史新高; 在建反应堆 61 座, 装机容量约为 61 GW; 拟建设核电反应堆为 80 座, 装机容量为 70 GW; 同期, 3 座反应堆永久性退役, 另有 2 座反应堆处于长期关停状态。2016 年, 核电发电总量 2476 TWh, 较 2015 年增加了 35 TWh。

美国能源部 (DOE) 宣布将通过核能大学计划、核科学用户设施计划和核能使能技术计划资助近 6700 万美元用于开展核能基础研究、交叉技术开发和基础设施等领域先进核能技术创新研发项目: (1) 核能大学计划, DOE 将通过核能大学计划 (NEUP) 投入超过 3100 万美元用于支持来自全美 23 个州的 32 个大学主导的核能研究与开发项目; (2) 核科学用户设施计划, 资助 5 个大学、4 个国家实验室和 5 个企业主导的项目, 利用核科学用户设施 (NSUF) 对重要的核燃料、材料进行研究; (3) 核能使能技术计划, 资助近 600 万美元用于由能源部国家实验室、工业部门和大学主导的 6 个交叉研究项目, 将共同研究以解决交叉的核能挑战, 开发先进的传感器和仪器仪表、先进的制造方法以及多种核反应堆设备和燃料应用的材料。

### IEA：加速能源技术变革 促进全球能源系统转型

6月6日，国际能源署（IEA）发布《能源技术展望 2017：加速能源技术变革》<sup>1</sup>报告指出，能源技术创新是推动全球能源系统转型和应对气候变化问题的核心所在，同时也是实现经济可持续发展和能源安全目标的重要支撑。尽管种种迹象显示全球能源系统正处于历史性的转型时刻，但目前较慢的进展难以满足 2°C 目标的发展需求，各国需要积极出台和实施相关政策以及加大投资力度，加速低碳技术的研发、示范和部署，促进能源系统的转型。报告提出了目前清洁能源转型中存在的四个主要问题，具体如下：

#### 1、需要实施强有力的政策来引导和加速能源系统转型

种种迹象表明全球能源系统正经历转型时期，能源结构发生显著变化：在电力部门，2016 年可再生能源和核电新增装机容量满足了全球大部分的电力需求增量，而且核电的新增装机容量也达到了 1993 年以来的最高水平；伴随新型交通运输技术的蓬勃发展以及生活水平的提高，电动汽车、家用电器、电子设备等一系列用电产品的需求和销量将会大幅增加，意味着全球电力需求会进一步增加。

IEA 对各种能源技术转型进展进行了追踪和分析，结果表明 2016 年仅有 3 种能源技术（可再生能源、电动汽车和储能）取得了显著进展，符合 2°C 情景目标的发展需求；其他众多能源技术由于缺乏恰当的政策支持，转型的进展速度较为缓慢。能源效率、生物能源和碳捕集与封存（CCS）技术进步的潜力巨大，但需要强有力的政策支持以促进该技术领域的投资和创新。总的来说，目前清洁能源技术进步的水平距离 2°C 情景的目标需求还有较大差距，只有少数能源技术能够实现可持续发展目标，因此需要继续实施强有力的政策来引导和加速能源技术创新。

#### 2、能源系统集成耦合对于可持续能源未来发展至关重要

各种能源技术是相互影响的，必须协同开发和部署。经济、安全和可持续的能源系统将具备能源资源多元化特性，以及更多的分布式发电占比。因此，从系统的角度来看，不仅需要更好地整合和管理各种能源技术，提高效率降低能源系统成本，还需要更多的技术和燃料选择。可持续的能源系统不能仅靠单项技术创新，而需要从系统的角度来集成耦合各种能源技术以提高整个能源系统的效能。而有效的规划工具、支持性监管框架以及密切的政策对话对实现能源系统集成至关重要。

集成互联的电力系统是能源转型的关键。提高电气化水平有助于增加电力系统的灵活性、效率和环境效益。持续下降的成本和恰当的监管治理推动储能等系统集成技术蓬勃发展。2016 年，新增储能容量（主要是电池技术）增长了 50% 以上。此

<sup>1</sup> Energy Technology Perspectives 2017: Catalysing Energy Technology Transformations. <http://www.iea.org/etp2017/>

外，新兴的数字化技术的广泛部署也有助于加速能源系统转型。

能源系统集成和增强的需求响应有助于提高能源服务的效率。智能能源系统可以实现需求响应精确控制。先进计量设施、智能电器或双向智能电表等技术可以为消费者提供先进的用能管理，同时能够激励消费者在能源系统中发挥积极主动的角色。这些方法可以刺激更有效的能源利用，并有助于负载管理和系统灵活性。

高效、低碳的能源系统将需要在多个基础设施领域持续的投资。长期协调的规划才能实现更强大和更智能的基建投资，以确保持续的系统效率和可靠性。大型市场（如德国和中国）的电力输送能力已经出现瓶颈，不利于电气化和波动性可再生能源的未来扩张。此外，考虑到二氧化碳的排放量巨大，多数 CCS 项目的运输和存储基础设施不太可能具有经济性。从地方层面到区域层面的有效协调和规划，有助于缓解这些障碍。

技术进步需要强有力、协调统一的政策支持。虽然新技术的经济竞争力正在改善，但政策驱动力并没有足够的市场影响力来指导技术方向选择。能源安全和可持续发展需要充分的市场引导与法规来鼓励长期投资。市场本身并不能提供必要的动力。在各个能源部门协调统一的政策，应在政府和企业决策包括税收、国际贸易、城市规划和创新等方面充分考虑能源政策目标。

### **(3) 更加激进的可持续能源系统转型目标并没有转化为实际行动**

目前面临的关键挑战是确保能源领域转型的势头，并加快进度。“巴黎协定”呼吁各国共同努力以实现“联合国可持续发展目标”显示出强有力的全球号召力，为实现可持续发展的长期目标提供了一个清晰的政策信号指引，引导能源部门走向可持续发展。

当前的发展路径还不够完善，深度脱碳化需要更多的努力以及持续的政治承诺。。报告提供了至 2060 年能源领域发展的三种途径：参考技术情景(RTS)、2°C 情景(2DS) 和超越 2°C 情景 (B2DS)。RTS 提供了一个基准情景，考虑了各国现有的与能源和气候有关的承诺。2DS 和 B2DS 均符合国际政策目标的快速脱碳途径。2DS 情景已经是能源技术展望报告系列的主要气候情景，被决策者和利益相关者广泛用来评估气候战略。B2DS 情景首次着眼于按照国家“巴黎协定”中更远大的愿景，清洁能源技术发展 to 实际应用的极限，能够起到多大的作用。

## How each technology area contributes to CO2 emissions reductions

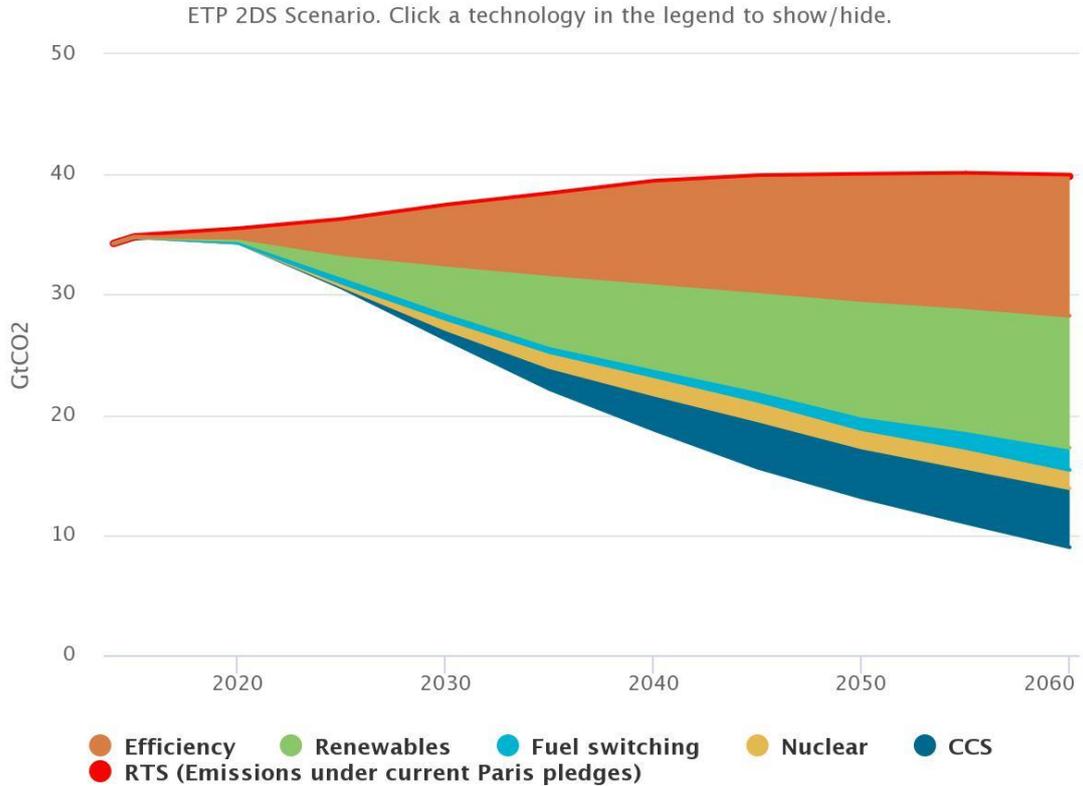


图 1 2DS 情景中各技术领域在减少 CO<sub>2</sub> 排放量方面的基准贡献度

现有的技术创新需要强有力的政策支持以实现全球气候目标。在 B2DS 情景中，能源行业将在 2060 年达到净零排放，到 2100 年时全球平均温升为 1.75°C，这是“巴黎协定”目标范围的中值。这意味着所有可用的政策杠杆在全球各个能源领域的碳减排潜力都需要被彻底释放，将需要前所未有的政策行动以及所有利益相关方的努力和参与。

### (4) 协调一致行动与有效的技术组合是经济高效的解决方案的关键

所有领域都需要采用最具成本效益的解决方案。能源供应和需求方面都有很多技术机遇，需要一系列技术来提供安全和负担得起的能源服务，同时减少排放量。目前的趋势将使终端用能需求中的电力占比从现在的 18% 增加到 2020 年 RTS 情景中的 26%，是所有能源运营商中相对增长最大的。终端电气化也可以从对化石燃料的直接依赖转向脱碳电力。在 2DS 和 B2DS 情景中，电力成为最大的终端能源载体，略高于石油。这种转变在交通运输方面特别明显，电力成为 B2DS 情景中地面运输的主要燃料。

脱碳能源是清洁能源转型的支柱。到 2060 年，全球电力部门可以在 2DS 情景下达到零二氧化碳排放量。这将需要部署大量的技术组合，包括可再生能源发电 74%（包括配备 CCS 的可持续生物能源发电 2%）、核能 15%，配备 CCS 的化石燃料发

电 7%，其余来自天然气发电。

更高效的建筑用能能够支持能源系统的转型。从现在到 2030 年间，高效照明、制冷和电器的快速部署可以节能 50 EJ，相当于今天全球电力需求的近四分之三。这些节能将允许更大规模的电力转型，而不会给电力部门带来额外的负担。

技术和政策可以引导交通运输业转型并提高可持续性。电气化成为运输部门主要的低碳途径。这一趋势已经部分形成，在 RTS 情景中到 2030 年电动汽车数量预计将从现在的 200 万辆增长 28 倍，2DS 情景中将这一目标扩大到 1.6 亿辆，B2DS 情景则进一步预计将达到 2 亿辆电动汽车，导致道路上 90% 的汽车在 2060 年之前将转变为电动汽车。在强有力的政策支持下，需要重大技术进步和基础设施投资推动交通电气化快速发展。更好的城市规划或更多地使用公共交通等减少个人交通需求的政策和技术，可以使新技术的部署更加易于管理，并显著减少所需的投资。

能源密集型产业在任何可持续转型战略中均充当重要角色。工业能源需求是终端用能部门中最高的，RTS 情景中预计到 2060 年工业用能需求将增加约三分之二。在提高制造效率、最大限度利用当地可用资源以及优化材料使用中均存在很多机会。尚未商业化的技术能够在工业脱碳过程中发挥重要作用，在 2DS 情景中有助于减少 18% 的二氧化碳累计排放量，B2DS 情景中则减少 36%。这表明需要支持钢铁、水泥、化工等经济战略部门的创新。

在供暖制冷方面节能的潜力很大，但很大程度上尚未开发。目前建筑和工业的供暖和制冷占终端能源消费量的 40% 左右，而交通运输仅占 27%。此外，供暖和制冷需求的近 65% 依赖于化石燃料。到 2060 年，随着能源效率的提高以及向清洁能源（包括脱碳电力和区域供暖）的转型，供暖和制冷的化石燃料消耗量将减半。

在发电和燃料转型中，负排放至关重要。在 B2DS 情景中，配备 CCS 的生物能源（BECCS）到 2060 年将提供近 5 亿千瓦的“负排放”。这些负排放是能源部门在 2060 年之前实现中性排放的关键。虽然 BECCS 技术面临着巨大的挑战，但其能够实现能源系统中技术难度很大或成本很高的减排，这将需要在可持续生物能源和 CCS 方面进行大规模的技术学习和扩张。

创新必须在从早期研究到全面示范和部署的各个阶段均得到支持。向新的能源系统转型需要渐进和激进的创新。在创新的所有阶段，如从基础和应用研究到开发、示范和部署阶段，各国政府的长期支持均非常重要。将资源分配给各种技术必须考虑创新的短期和长期机遇及挑战，同时反映技术成熟度。

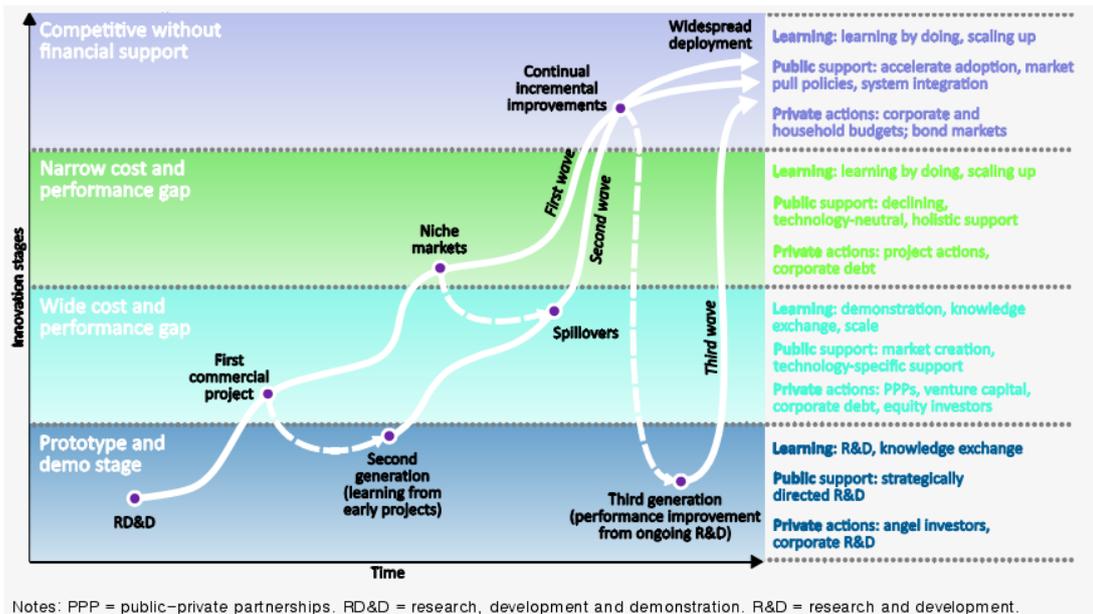


图 2 能源技术创新过程示意图

各级政府和私营部门之间的国际合作至关重要。多边合作可以提高能源技术创新的成本效益，并在全球范围内树立信心。全球化正在促进更开放的创新框架以帮助汇集资源、加速研发和保证示范，并促使成熟技术的更快部署。增加本地创新能力对于创新技术的成功部署极其重要，有利于实现当地政策和环境目标以及全球可持续发展目标。

报告最后针对现存问题，为加快建立清洁和安全的未来能源系统提出了数个可供决策者采纳的建议：

### (1) 制定发展愿景

各国政府应制定可持续能源未来发展的愿景，解决多重能源政策目标挑战，并跟踪实现目标行动进展情况。确保行动路径和进展能够满足实现能源安全、气候目标需求，这对于能源部门如何选择应对多重能源目标挑战的最佳方案并达成一致性的政策目标至关重要。

### (2) 加强国际合作

加强国际合作以实现全球气候和可持续发展目标。联合创新计划创造了有利于技术的制造商和用户的市场机会，同时为全球能源系统的最具成本效益的转型做出贡献。与当地利益相关方合作提高能力以及分享最佳实践，可以支持适应当地情况的地方行动。

### (3) 加大技术创新的政策支持力度

在技术创新周期的各个阶段，都要加大政策支持力度。公共支持应该是可衡量的，并涵盖创新的各个阶段（包括研究、开发、示范和部署），以促进渐进和激进的创新，以及针对特定技术的部署措施。将国际能源署技术合作计划、清洁能源部长会议和创新使命等现有举措适当地纳入所有政策决策过程。

#### （4）完善市场设计

调整政策、金融和市场机制，以支持不断变化的技术环境衍生的新商业模式。市场设计和法规应利用更多的能源信息，实现新能源交易模式。应在国家、区域和地方政府以及其他能源利益相关者之间建立更有效的机构对话和协调，加快能源领域转型，探索新的解决方案。

#### （5）重视能源部门的数字化

决策者应该更好地了解能源领域日益普及的数字化技术带来的机遇和挑战。数字化和能源领域日益融合，带来了新的前景和风险。因而需要更好的数据和更严格的分析，以确保数字化与不断变化的能源前景以最明智和最具成本效益的方式实现“互利共赢”。

（吴勘 郭楷模）

## IEA 评估清洁能源技术部署进展

5月16日，国际能源署（IEA）发布《清洁能源进展追踪 2017》报告<sup>2</sup>指出，持续推进全球能源系统的绿色低碳转型对兑现《巴黎气候协定》承诺和实现可持续发展的目标至关重要。报告对2016年全球26种能源技术低碳转型进展进行了详细的追踪和分析，以此评估各种能源技术进展情况，以及这些进展是否能够满足IEA设定的2°C发展情景（2DS）需求（即将全球平均温升控制在2°C以内的气候目标）。过去的一年中，有3种能源技术（可再生能源、电动汽车和储能）处于可持续低碳转型的正确道路上，取得了实质性进展，能够满足IEA设定2°C发展情景需求；15种技术取得了进步，但发展速度较为缓慢，无法满足《巴黎气候协定》需求；而其他8种技术则出现了发展滞后的情况，亟需出台新政策加以引导。报告的关键要点如下：

• **2016年，全球电动汽车销量达到75万辆，较2015年增长40%，创历史新高，使得全球电动汽车保有量达到200万辆。**尽管2016年的销量增幅符合2DS情景设定的2025年发展目标需求，但相比2014到2015年间70%的销量增幅还是放缓了，意味着无法实现2DS情景短期目标（2020年）风险增强了，这对于实现2025年的目标也是不利的。因此，需要维持、强化电动汽车发展扶持政策以加速电动汽车的部署，确保其满足2DS发展需求。

• **2016年，太阳能光伏和陆上风电装机容量继续强劲增长，并且其长期电力合约价格在多个地区（如亚洲、拉丁美洲和中东等）创下历史新低。**就中期而言，受益于成本下降和关键市场的政策改进，可再生能源电力发展前景光明。然而就长期而言，目前仅有太阳能光伏和陆上风电发展处于2DS情景的正确轨道上，其他可再生能源技术发展速度远低于2DS情景发展需求。

<sup>2</sup> Tracking clean energy progress 2017.

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TrackingCleanEnergyProgress2017.pdf>

• **2016 年，核电新增装机容量 10 GW，创下 1990 年以来单年度最高增量。**尽管如此，但为了抵消一些国家计划退役的核电站和取消的核电发展政策导致的核电容量减少以满足 2DS 情景需求，2016 年实际应该增加 20 GW。当前，高昂的批发电价是核电站发展的关键阻碍，2016 年仅有 3GW 的核电开始新建，给核电的未来发展蒙上阴影。

• **燃气发电装机容量需要大幅增加才能满足 2DS 情景发展需求。**过去三年，燃气发电装机容量增幅均高于 2DS 情景中设定的 2.4% 目标值，弥补了早年装机容量的下降和纠正了发展路径。为了保持可持续能源转型途径，还需要进一步提高燃气电厂发电效率和灵活性，而这有助于将燃气发电作为短期内燃煤电厂的替代，以支持可再生能源发电替代的长期目标的实现。

• **工业部门需要加速提高能效和低碳技术的部署步伐，以将其到 2025 年间的能源消耗的年均增速限制在 1.2%，方可满足 2DS 情景发展需求。**推动工业生产发展与碳排放脱钩对实现 2DS 目标至关重要，因此需要将 2014 到 2025 年间的碳排放年均增幅限定在 0.1%，才能够在 2020 年实现碳排放达峰。

• **尽管个人交通工具（电动汽车）电气化在 2016 年取得了显著进步，但其他交通运输模式（包括航空、轮船和公路货运等）电气化进展仍然较为落后。**2010 到 2015 年间，交通运输部门年均碳排放增幅达 2.5%，为了实现 2DS 情景发展，必须将 2015 到 2025 年间的碳排放增幅稳定在这一数值，随后降低。

• **2016 年，燃煤发电仍是主要发电方式，其在全球发电量占比超过 40%。**此外，2015 年 30% 的新建燃煤电厂采用的是低能效的亚临界技术。为了保持 2DS 发展轨迹，必须将到 2025 年燃煤电厂的年均碳减排幅度控制在 3% 左右，这就要求 2020 年后逐步退役采用低能效技术和没有配备碳捕集与封存（CCS）设施的燃煤电厂。

• **全球大规模的 CCS 投资组合项目继续证明了其跨部门开展的可行性，但实际上由于缺乏新的投资决策很多项目已经陷入停滞的状态。**有针对性的政策激励措施来推动大规模 CCS 项目持续部署对实现 2DS 情景的 2025 年封存 4 亿吨二氧化碳的目标至关重要。

• **到 2025 年先进生物燃料的产量必须是现有产能的 25 倍才能确保生物燃料部署保持 2DS 正确发展轨道。**尽管众多的商业化先进生物燃料厂正在扩大产量，但为了减少交通运输领域的碳排放，交通运输用的生物燃料还需要加速扩大规模。

• **当前，全球仍有近三分之二的国家没有出台建筑能效指标。**与此类似，建筑配备的能源消耗设施也没有相关的强制性能效政策指标。为了实现 2DS 情景目标，到 2025 年单位建筑个人能源消耗量至少必须减少 10%，即减少到少于 4.5 兆瓦时。

• **可再生能源在供暖领域应用前景广阔，但目前其潜力还没被充分挖掘。**全球用于供暖的能源消耗占据终端能源消耗总量的 50% 以上，而且大部分采用化石燃料。

可再生能源在供暖领域的部署速度较为缓慢，为了实现 2DS 情景目标，到 2025 年可再生能源在供暖领域的部署增幅必须在 2014 年水平上增加 32%。

- **2015 年清洁能源研发总投入经费达到了 270 亿美元，但这一投资的力度还不足以满足 2°C 目标所需要的能源转型需求。**2015 年，清洁能源公共研发投入为 190 亿美元，远高于私营企业的 54 亿美元和风投基金 2016 年的 20 亿美元。

- **清洁能源技术研发对于最终的清洁能源技术部署至关重要。**尽管私营企业在清洁能源领域的投资额增长了，但这一数额仅占企业能源总投资的一小部分，大部分投资都花在石油、天然气、热电厂、输配网络和公用事业。

- **发挥公共和私人机构在清洁能源研发领域的互补作用，强化公私合作，如创新使命和突破能源联盟，有助于促进清洁能源创新。**这些新的合作措施可以从现有的 IEA 国际技术合作项目机制获取经验。

- **深刻地了解研发投资模式有助于改善研发经费的使用效能，同时也有助于识别合作的重点。**收集公共和私营机构在清洁能源领域的研发资金使用情况高质量数据和追踪优先研发等级的能源技术的关键性能指标，以及清洁能源研发投资的进展与创新生态系统的其他要素。

报告最后强调，稳健地扩大清洁能源公私投入是推动全球从传统能源系统转向可持续、可负担和安全新型能源系统的关键因素。为此，必须撬动更多公共和私人投资进入清洁能源领域，以促进能源系统更好地转型，以实现 2DS 情景发展目标。  
(郭楷模)

## **IAEA：2016 年新增 10 座反应堆并网 核电装机创历史新高**

5 月 25 日，国际原子能机构（IAEA）发布《全球核电反应堆 2017》统计报告指出<sup>3</sup>，2016 年全球新增 10 座核电反应堆并网发电，是连续第二年新增并网核电反应堆超过两位数。截止 2016 年底，全球在运核电反应堆 448 座，装机容量为 391GW（同比增加 8 GW），创历史新高；在建反应堆 61 座，装机容量约为 61 GW；拟建设核电反应堆为 80 座，装机容量为 70 GW；同期，3 座反应堆永久性退役，另有 2 座反应堆处于长期关停状态。2016 年，核电发电总量 2476 TWh，较 2015 年增加了 35 TWh。

核电能提供低成本、可靠的长期电力来源，并具有良好的运营记录。核电厂在运行期间几乎不产生温室气体排放或空气污染物，并且在整个生命周期内的排放量非常低。在过去的两年中，累计新增 20 座核电反应堆并网发电，表明核电在不断增长的全球能源需求中继续发挥重要作用，为现代经济提供稳定的电力供应。

<sup>3</sup> Ten New Nuclear Reactors Connected in 2016, Bringing Generating Capacity to Highest Ever.  
<https://www.iaea.org/newscenter/news/ten-new-nuclear-reactors-connected-in-2016-bringing-generating-capacity-to-highest-ever>

国际原子能机构正在向考虑引进核能的国家提供援助和资料，帮助感兴趣的会员国提高其能源规划能力，并为安全、可靠和可持续的核电计划建立必要的基础设施。

(吴勘 郭楷模)

## 项目计划

### DOE 资助近 6700 万美元用于先进核能技术研究

6 月 14 日，美国能源部 (DOE) 宣布资助近 6700 万美元用于核能研究、交叉技术开发和基础设施领域的创新核能技术研发项目<sup>4</sup>，资助将通过核能大学计划、核科学用户设施计划和核能使能技术计划为核能相关研究提供支持，具体内容如下：

#### 一、核能大学计划

资助超过 3100 万美元用于核能大学计划 (NEUP)，以支持 23 个州的 32 个大学主导的核能研发项目。NEUP 通过向顶尖的科学和工程学院及其学生提供发展民用核能力的创新技术和解决方案，以维持美国在全国核研究领域的领先地位，计划涉及 5 个技术主题领域：

- 核燃料循环研究，用于开发新的表面复合模型并将其纳入性能评估模型，开发用于氡分离和回收的陶瓷膜技术以支持核燃料循环等；

- 综合评价基准，用于对电力爆破设施实验进行反应堆物理基准评估，了解控制和瞬态棒的差异反应性价值等；

- 先进核能建模与仿真 (NEAMS)，用于使用组合实验数据和较低长度尺度模型，增强 MARMOT，以预测双相不锈钢的机械和腐蚀性能等；

- 核能网络安全，用于开发基于物理的一流防御深度战略，以防止虚假数据注入攻击，从而尝试更改 I/C 网络使用的信息来设置反应堆状态；

- 反应堆概念原型的研发和示范，用于研究轻水反应堆核心和碎片床中降解的热传递和流体流动的作用，以及通过 X 射线成像技术、光纤高速温度传感系统和放射性示踪剂盐来测量空隙率等实验数据。此外，资助 19 所大学 600 万美元用于研究反应堆和基础设施改善，提供重要的安全和学生教育相关升级，并加强大学研究和培训基础设施。

#### 二、核科学用户设施计划

资助 5 个大学、4 个国家实验室和 5 个企业主导的项目，利用核科学用户设施

---

<sup>4</sup> Energy Department Invests Nearly \$67 Million to Advanced Nuclear Technology. <https://energy.gov/articles/energy-department-invests-nearly-67-million-advanced-nuclear-technology>

(NSUF) 能力来调研重要的核燃料和材料应用。其中 6 个项目获得 230 万美元的研究经费，所有 14 个项目共得到 1000 多万美元的资助额，包括制造非侵入式和空间分辨的传感器、动力学和微结构硬化建模、多功能光纤传感器和添加剂制造学科的融合基础、试验中子和离子辐射测试、辐照后检测设施、同步加速器束线能力，以及通过 NSUF 设计和分析实验的技术援助。

### 三、核能使能技术计划

通过核能开发技术 (NEET) 计划资助近 600 万美元用于由能源部国家实验室、工业部门和大学领导的 6 个交叉研究项目，将共同研究以解决交叉的核能挑战，开发先进的传感器和仪器仪表、先进的制造方法以及多种核反应堆设备和燃料应用的材料；开发高温嵌入式/集成传感器，用于反应堆和燃料循环系统的无线监测；开发一种低温粉末喷涂沉积工艺，用于制造氧化物分散强化 (ODS) 钢的燃料包层；在 TREAT 反应堆中设计超声波传感器以及相关的仪器，以支持预辐射核燃料棒的瞬态测试等。

资助 1100 万美元用于 3 个综合研究项目 (IRPs)，以解决非常复杂且影响了关键任务目标的技术问题。IRPs 是由大学主导的财团执行的三年期项目，通常包括多所大学、工业和国际研究实体以及美国能源部国家实验室的独特资源。IRPs 也是 DOE 创新性核研究目标的重要组成部分，并能够反映核能办公室 (NE) 的战略，以及与 NE 近期研发计划和重大需求直接相关的研发解决方案。项目具体内容如下：

- 推进紧凑型热交换器的技术研究，为获得认证用于核能服务的热交换器奠定基础；提升紧凑型热交换器的性能、完整性和使用寿命，以适用于任何工业应用；开发使用非破坏性评估 (NDE) 和先进的在役检查技术的资格和检查程序。

- 开发宏观尺度建模能力，用于评估存储池、干燥、运输和长期干法储存期间商业乏核燃料中氢化物行为对包层完整性的影响。通过实验和计算建模来研究各种锆合金包层材料中三种关键现象的氢化行为，包括氢的迁移和再分配、氢化物颗粒的沉淀和溶解和氢化物显微组织对包层机械性能的影响。

- 推进熔盐快堆研究，重点关注五个技术领域：1) 材料和腐蚀科学；2) 光学/化学传感器开发；3) 建模、多物理场模拟和不确定性量化；4) 热液压科学；5) 快中子  $^{35}\text{Cl}(n, p)$  反应截面测量。

(吴勘 郭楷模)

## DOE 资助 7200 万美元支持小企业研发创新项目

5月24日,美国能源部(DOE)宣布在“小企业创新研究与技术转让(SBIR/STTR)”计划框架下启动新一轮研发项目<sup>5</sup>,即向全美24个州遴选出的68个中小企业资助7200万美元开展高性能计算、基础能源研究和核物理三个主题领域的研发创新工作,旨在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,以增强美国在具有竞争优势领域的领先地位和经济实力。3个主题领域的具体研发内容参见表1。

表1 小企业研发创新三个主题领域具体内容

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>• 为高性能计算机和传感器开发硅光子并行处理器;</li> <li>• 为下一代仓储级数据中心和超级计算机开发可靠、高效、超宽带光互连技术;</li> <li>• 开发用于三维和密集电子电路的大型平行热模拟工具,来改善对高性能计算机的热管理;</li> <li>• 开发光纤网络信号完整性分析器,用于测试远程、广域和其他在电子嘈杂环境中工作的光纤网络信号</li> </ul>	~1400
基础能源研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 开发耐高温、耐高压的陶瓷-金属复合材料,将天然气直接转化为高价值石化产品:异丁烷至高纯度异丁烯;</li> <li>• 开发一个200W特性(100-200kHz)激光二极管泵浦来用于制造可靠、高性能极紫外(EUV)光源系统;</li> <li>• 为同步加速器X射线显微镜开发原位流体电池电偏压与加热平台;</li> <li>• 开发超精细像素分辨率X射线成像相机并使其商业化,用于新材料的研究;</li> <li>• 开发先进的高光子能量X射线聚焦装置,可用于分析复杂的复合材料、生物结构和纳米电子电路;</li> <li>• 开发高精度光栅,用于DOE实验室中同步加速器和自由电子激光器的基础研究;</li> <li>• 开发全新的等离子体轰击射频(RF)器件和高性能建模以优化离子源天线设计,提高中子散射实验的离子源的性能,可靠性和成本效益;</li> <li>• 开发全新的偏光度X射线测量方法,提高X射线的精度;</li> <li>• 为纳米材料开发三维成像和分析平台,实现对材料物理、化学特性的高精度、快速解析;</li> <li>• 开发快速定时大区域中子散射探测器;</li> <li>• 开发高选择性分离膜,用于工业上重要的气体高效分离;</li> <li>• 开发纳米多孔聚合物的高性能分离膜,提高盐水淡化设备中净化水的产量,从而显著降低能耗和成本;</li> </ul>	~4500

<sup>5</sup> U.S. Department of Energy Announces \$72 Million for Innovative Research and Development by Small Businesses.  
<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-announces-72-million-innovative-research-and-development-small>

- 开发先进和高性能半导体电子器件，提高美国电网的性能和稳定性，同时降低系统成本；
- 开发高密封性的聚合物涂层，改善燃料电池汽车的氢气系统的可靠性能；
- 开展流化床化学链燃烧示范工程建模分析，为该示范工程的工业化奠定基础，以减少发电中煤和生物燃料的温室气体排放；
- 开发一种通过电化学方法将二氧化碳转化为甲酸的过程，减少燃烧化石燃料所产生的二氧化碳排放量

核物理	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 开发高数据采集频率、高探测效率、清晰成像能力的锆元素像素阵列探测器；</li> <li>• 研发一种低成本和易于获取的强中子源，用于材料辐射损伤研究；</li> <li>• 开发软件以最大限度地减少未来电子离子对撞机的技术风险，从而从根本上推进核物理和粒子加速器技术发展；</li> <li>• 设计一个磁化电子注入器，用于离子对撞机离子束的冷却；</li> <li>• 利用碳纳米材料和低成本制造技术，以产生可用于当前和未来加速器的碳箔</li> </ul>	~1300
-----	---	-------

(郭楷模)

## 前沿与装备

### NETL 高效低排放化石燃料燃烧发电技术取得重要进展

5月15日，美国能源部国家能源技术实验室（NETL）在其官网公布了数个最新研发成功的高效低排放化石燃料燃烧发电技术前沿成果<sup>6</sup>，能够实现化石燃料高效燃烧发电，同时大幅减少二氧化碳排放。具体技术成果内容如下：

#### 1、化学链燃烧（CLC）技术

在CLC过程中，化石燃料在近乎纯氧环境中进行燃烧，而固态金属氧化物作为“氧载体”提供化石燃料在反应器中燃烧所需的氧气。燃烧反应后，已经耗尽氧气的“氧载体”被输送至空气反应器，在空气反应器中与空气接触完成再生，重新生成金属氧化物，随后被重新输送至燃料反应器重复使用。该化石燃料燃烧方法过程中的废气仅包含二氧化碳和水蒸汽，大幅减少了废气捕获工艺难度。并且与常规燃煤电厂不同，CLC中冷凝水和分离二氧化碳是直接进行的。如果使用其他碳捕集概念，则需要更多的附加能量来运行该过程。CLC通过使用氧气载体将氧气转移到燃料反应器从而避免了这些问题。CLC还将在产生二氧化碳的天然气发电厂（或燃煤电厂）中运行，以进一步扩大未来商业化的选择。其可以减少与氧气生成相关的大量资本和运营投资以及其他能源成本，因此有可能满足商业应用所需的成本和

<sup>6</sup> MORE POWER, FEWER EMISSIONS: NETL'S CUTTING-EDGE ENERGY CONVERSION TECHNOLOGIES. <https://www.netl.doe.gov/newsroom/news-releases/news-details?id=9b55a981-d6d2-4c9f-9bd3-b1803b8d6aa4>

性能目标。NETL 已经在中试规模的 50 kWth（千瓦热）化学链燃烧反应器中进行了测试。

## 2、直接电力提取（DPE）技术

DPE 研究重点是开发一套利用磁流体动力学（MHD）直接从化石能源燃烧产物中提取电力的富氧燃烧技术。在 DPE 过程中，高温富氧燃烧产物通过磁场加速来产生电流，从而形成电磁涡轮放大器。放大器产生的热废气可用于常规蒸汽锅炉，以使现有发电厂能够进行高效率的改造。与早期的 MHD 物理发电技术相反，近来在低温等离子体生成、材料科学和数值模型方面的科研进展表明，该技术可以在控制二氧化碳排放量的同时实现高效发电。NETL 目前正在开发更耐用的电极、增强等离子体电导率，以及通过验证的数值模型优化工艺性能。

## 3、压力增益燃烧（PGC）技术

压力增益燃烧可以通过使用瞬态燃烧过程增加压力来提高涡轮发电机的效率。常规燃气涡轮发动机在稳定燃烧期间会出现压力损失，而 PGC 使用恒定体积燃烧以增加燃烧器上的压力，在燃料的消耗上与常规稳定燃烧时相同。该项技术的目标是开发与燃气轮机相匹配的 PGC 系统。NETL 的研究人员正致力于解决燃料喷射系统、燃料和空气混合、回流防护、氮氧化物控制和一氧化碳的排放、非稳态热传递和冷却流动等技术挑战。PGC 研究将能够使联合循环发电机组具有更高的效率和更低的排放量，从而提高能源安全，并改善环境 and 经济状况。

（吴勘 郭楷模）

# 新型电催化剂实现光驱动二氧化碳高效还原

光催化还原二氧化碳为燃料或高价值化学品，不仅能实现温室气体的减排，而且有助于解决化石燃料的过度依赖以及可再生能源的存储问题，兼具经济和环境效益。而开发出高效、廉价稳定催化剂来降低过电势和提高反应选择性是二氧化碳催化还原研究中的热点问题。瑞士洛桑联邦理工学院 Michael Graetzel 教授课题组利用原子沉积的方法制备了一种新型高效稳定的氧化锡（SnO<sub>2</sub>）修饰的氧化铜（CuO）纳米线电催化剂，实现了二氧化碳（CO<sub>2</sub>）到一氧化碳（CO）和氧气（O<sub>2</sub>）的高效转化。并且，将该电催化系统与光伏电池集成后，实现了高达 13.4% 的太阳能到 CO 的转化效率。研究人员首先利用阳极氧化和高温退火的方法处理铜箔来制备铜基电催化剂反应物，扫描电子显微镜表征结果显示反应产物为一维纳米线结构，X 射线谱测试结果表明反应产物为 CuO。随后研究人员借助原子沉积在 CuO 纳米外面沉积一层 SnO<sub>2</sub> 薄膜形成 CuO/SnO<sub>2</sub> 复合电催化剂。在 CO<sub>2</sub> 饱和的碳酸氢钠溶液中对 CuO/SnO<sub>2</sub> 复合电催化剂进行电化学性能测试，结果显示只有单独的 CuO 催化剂存在时，反应产物分布很广：在 -0.6 V（相对可逆氢电极）的过电位情况下，在 CuO 电

催化剂上的反应产物以 CO 为主，法拉第效率为 36%；而在小于 -0.6V，反应产物以氢气为主；继续降低过电位，反应产物成分变得愈加复杂，除了 CO 和氢气，还有乙醇、乙烯和异丙醇等。相反，使用 CuO/SnO<sub>2</sub> 复合电催化剂后，在测试的整个过电位区间 (-0.9~-0.5)，反应产物均以 CO 为主，法拉第效率达到了 97%，表现出了高度产物选择性。更为关键的是，线性扫描伏安测试显示 CuO 催化剂还具备了优异的催化析氧特性，即具备了催化还原 CO<sub>2</sub> 和析氧的双重功能，但与 CO<sub>2</sub> 还原不同，析氧反应要在碱性环境中催化剂才能呈现出良好催化活性。为了在一个反应中实现 CuO/SnO<sub>2</sub> 复合催化剂的双功能特性，研究人员开发了双极性的离子交换膜，将碱性阳极电解液和中性的阴极电解液安全分隔，从而使得 CuO/SnO<sub>2</sub> 复合催化剂能够在阳极催化析氧和阴极还原 CO<sub>2</sub>。最后研究人员将该电化学催化系统与光伏电池进行耦合集成，在 -0.55V（相对可逆氢电极）的过电位时，太阳能到 CO 的转化峰值达到了 13.4%。在整个测试电位区间，太阳能到 CO 的转化平均效率为 12.4%，法拉第效率为 81%。该项研究巧妙地设计开发了全新的高效、稳定、廉价双功能复合电催化剂，不仅实现了高效 CO<sub>2</sub> 还原，也能够催化析氧，为 CO<sub>2</sub> 还原转化为化学品及燃料提供了重要的科学途径。相关研究成果发表在《*Nature Energy*》<sup>7</sup>。（郭楷模）

## 新型树枝大分子-石墨烯氧化物复合电极增强锂硫电池循环寿命

锂硫电池质量轻、环境友好、储量丰富、价格低廉，而且具有很高的理论比能量密度，达到 2600 Wh kg<sup>-1</sup>，是商用锂离子电池的 3-5 倍，作为新一代储能器件引起广泛关注。然而聚硫化物穿梭效应使得电池循环能力和容量迅速衰减，成为该电池技术实现商业化的一大障碍。耶鲁大学 Hailiang Wang 教授课题组开发了全新的羧二甲酰亚胺官能化的聚酰胺-胺（PAMAM）树枝大分子-石墨烯氧化物（mGO）复合薄膜（Naph-Den-mGO），并将其作为限硫载体，应用于锂硫电池中，有效地抑制了穿梭效应，提高电池循环寿命和倍率性能。该复合薄膜含有的三种组成成分具备了不同功能，其中 PAMAM 树枝大分子作为多孔骨架负责化学吸附多硫化锂，而官能团羧二甲酰亚胺作为桥梁通过  $\pi$ - $\pi$  共轭将聚酰胺-胺骨架和 mGO 纳米片进行连接以形成复合薄膜，而柔韧性优异的 GO 纳米片则赋予了复合薄膜良好的机械性能。原子力显微镜扫描结果显示，该复合薄膜 Naph-Den-mGO 的厚度为 90 nm。研究人员将该薄膜涂覆于硫正极上，和锂负极组装成完整的电池并进行一系列电化学性能测试。含有复合薄膜 Naph-Den-mGO 电池，在 0.1、0.2、0.5 和 1.0C 电流密度下，其放电比容量依次为 1472、1255、1083 和 943 mAh g<sup>-1</sup>；当将电流密度提高到 2C 和 5C 时，电池仍呈现出较高的比容量，分别为 785 和 530 mAh g<sup>-1</sup>，展现出优异的倍率性能。

<sup>7</sup> Marcel Schreier, Florent Héroguel, Ludmilla Steier, et al. Solar conversion of CO<sub>2</sub> to CO using Earth-abundant electrocatalysts prepared by atomic layer modification of CuO. *Nature Energy*, 2017, (2): 17087, doi: 10.1038/nenergy.2017.87

相反，不含复合薄膜 Naph-Den-mGO 电池其倍率性能则大幅下降，在 5C 电流密度时，其放电比容量仅为  $143 \text{ mAh g}^{-1}$ ，不及 Naph-Den-mGO 电池的三分之一。循环伏安测试结果显示，在 1C 电流密度下，Naph-Den-mGO 电池放电比容量可达  $830 \text{ mAh g}^{-1}$ ，经过 560 次循环后，比容量维持在  $757 \text{ mAh g}^{-1}$ ，容量保持率高达 91%，单次循环容量平均衰减率为 0.016%。相反，无 Naph-Den-mGO 复合膜修饰的电池循环性能较差，在同样的 1C 电流密度下，其单次循环容量平均衰减率为 0.054%，比 Naph-Den-mGO 电池衰减速率的三倍还大。该项研究开发了一种抑制多硫聚物穿梭效应的新方法，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硫电池提供了新途径。相关研究工作发表在《PNAS》<sup>8</sup>。（郭楷模）

## 还原石墨烯修饰的过渡金属硫化物实现廉价高效电解水产氢

在目前各种制氢技术中，利用可再生能源电力结合铂催化剂来电解水是最为成熟和最有潜力的技术。然而铂金属高昂的价格制约了该技术的规模化应用。由宾夕法尼亚州立大学 Mauricio Terrones 教授课题组牵头的联合研究团队开发了一种成本低廉、高效稳定的光解水产氢催化剂：还原石墨烯（rGO）掺杂的二硫化钼钨合金（ $\text{W}_x\text{Mo}_{1-x}\text{S}_2$ ）复合催化剂 rGO/ $\text{W}_x\text{Mo}_{1-x}\text{S}_2$ ，该新型催化剂可在低能耗下实现高效催化裂解水产氢。研究人员首先用 rGO 对二硫化钼（ $\text{MoS}_2$ ）进行掺杂修饰，以提高  $\text{MoS}_2$  的导电性；并且为了进一步降低自由能（吉布斯自由能越低，用于进行化学反应所需的外部能量就越少），研究人员将 rGO 修饰的  $\text{MoS}_2$  与钨（W）进行合金化从而制备了 rGO 和 W- $\text{MoS}_2$  合金交替的薄膜催化剂 rGO/ $\text{W}_x\text{Mo}_{1-x}\text{S}_2$ 。电化学测试结果显示，在  $10 \text{ mA cm}^{-2}$  电流密度下，纯  $\text{MoS}_2$  裂解水产氢的过电位为 200 mV，而新型 rGO/ $\text{W}_x\text{Mo}_{1-x}\text{S}_2$  催化剂将电解水产氢所需的过电势降低了一半，仅为 96 mV，即新型催化剂大幅降低了电解水的能耗。更为关键的是，经过 1000 次循环测试后，rGO/ $\text{W}_x\text{Mo}_{1-x}\text{S}_2$  催化剂依然保持极高的催化活性。研究人员通过理论研究分析指出新型催化剂性能更加优异的原因：电子轨道在催化过程中起着至关重要的作用，对于纯  $\text{MoS}_2$ ，金属的轨道与  $\text{H}_2$  的轨道不能很好地重叠；然而，在  $\text{W}_x\text{Mo}_{1-x}\text{S}_2$  合金中，合金的 d 轨道和  $\text{H}_2$  的 S 轨道能够精确地重叠从而降低了活化能垒，降低了能耗使得反应更高效。该项研究通过掺杂改性大幅增加了二硫化钼催化剂的性能和稳定性，实现了低成本地高效电解水产氢，为设计和开发高效低成本的电解水催化剂提供了重要的思路。相关研究工作发表在《ACS Nano》<sup>9</sup>。（朱妤婷 郭楷模）

<sup>8</sup> Wen Liu, Jianbing Jiang, Ke R Yang, et al. Ultrathin dendrimer - graphene oxide composite film for stable cycling lithium - sulfur batteries. *PNAS*, 2017, doi: 10.1073/pnas.1620809114.

<sup>9</sup> Yu Lei, Srimanta Pakhira, Kazunori Fujisawa, et al. Low-temperature Synthesis of Heterostructures of Transition Metal Dichalcogenide Alloys ( $\text{W}_x\text{Mo}_{1-x}\text{S}_2$ ) and Graphene with Superior Catalytic Performance for Hydrogen Evolution. *ACS Nano*, 2017, 11 (5): 5103.

## 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](mailto:jiance@whlib.ac.cn)

微信公众号：CASEnergy

