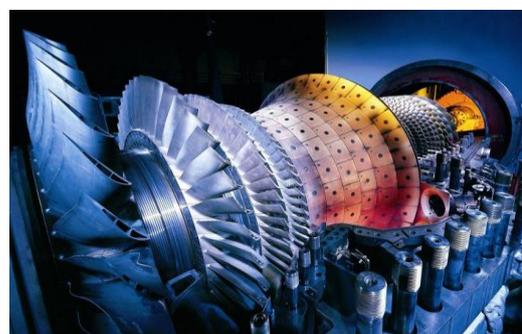


# 先进能源科技动态监测快报



## 本期重点

- 英国发布《低碳发展战略》保障绿色低碳和经济增长共生
- IEA：各国需要持续加强政策制定和实施以保障能效提升
- 欧洲光伏产业协会：2017年全球光伏新增装机将达100 GW
- DOE 承诺为三代核电项目提供37亿美元有条件贷款担保

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

- 英国发布《低碳发展战略》保障绿色低碳和经济增长共生.....2  
IEA：各国需要持续加强政策制定和实施以保障能效提升.....5  
欧洲光伏产业协会：2017 年全球光伏新增装机将达 100 GW.....9

### 项目计划

- DOE 承诺为三代核电项目提供 37 亿美元有条件贷款担保 ..... 10  
DOE 和 USDA 联合资助 1500 万美元开展生物精炼研究 ..... 10

### 前沿与装备

- 新型高温差利用区间柔性可穿戴热能发电机..... 12  
廉价硫氰酸亚铜无机空穴大幅提升钙钛矿太阳电池稳定性..... 12  
新型铜纳米催化剂高效还原二氧化碳制高价值多碳化学品..... 13  
三维多孔硫化氮化碳复合电催化剂增强锌空气电池性能..... 14

## 本期概要

英国商业、能源和工业战略部 (BEIS) 发布《低碳发展战略》报告, 针对英国如何在削减碳排放应对气候变化的同时推动经济持续增长问题, 提出了**五大战略建议**: (1) 在企业和工业能效方面, 制定一揽子措施, 以支持企业提高能源生产率, 到 2030 年至少提高 20%; (2) 资助约 36 亿英镑用于通过能源企业责任 (ECO) 来升级大约一百万户家庭能效水平; (3) 在低碳运输方面, 到 2040 年禁止销售所有传统汽油、柴油车, 政府资助采购低排放车辆; (4) 在清洁能源方面, 到 2025 年逐步淘汰煤炭发电; (5) 在农业与自然资源方面, 设计一套新的未来农业支持体系, 将重点放在提供更好的环境成果上。详见正文。

国际能源署 (IEA) 发布《能效市场 2017》报告, 对全球能效改善情况和未来发展趋势进行了分析: 受益于各国出台和实施的各種能效政策, 2016 年全球能源强度下降了 1.8%。能效改善是自 2014 年以来全球能源相关的温室气体排放量趋于平稳的重要因素。其中, 能效提升消除了与 GDP 增长挂钩的四分之三的排放量, 而向可再生能源和其他低碳燃料的转型则抵消了另外四分之一的排放量。自 2000 年以来, 能效改善已经为几个主要经济体节约了近 3000 亿美元的家庭能源开支。2016 年全球能效投资继续增长 9% 至 2310 亿美元; 其中, 建筑行业仍占据能效投资的主导地位, 占 2016 年全球总投资额的 58%。2016 年, 能效政策覆盖了全球 32% 的终端用能领域, 较 2015 年增长了 1.4%, 但仍有 68% 未能覆盖; 同期能效政策发展指数 (EPPI) 增长了 0.5 个百分点达到 6.3, 低于 2010 年以来的平均增幅 0.75%。EPPI 增幅下降的主要原因是新政策实施的力度有所减缓, 这一趋势在 2017 年上半年表现尤其明显。

欧洲光伏产业协会 (SolarPower Europe) 发布全球太阳能光伏发电市场分析报告, 指出**2017 年全球太阳能光伏发电新增装机容量将首次达到 100 GW, 同比增加 30% 以上**: 就地区而言, 亚太地区的太阳能光伏发展继续呈现蓬勃态势。2017 年前 9 个月, 单就中国的光伏新增装机容量就已经达到了 42 GW; 到年底, 预计新增装机容量将达到约 50 GW。相反, 2017 年欧洲光伏市场发展相对较慢, 预计全年新增装机容量将达到 7.5 GW。得益于政策支持和成本下滑, 太阳能光伏发电成本已经大幅下降, 太阳能电力的价格竞争力逐步凸显。2016 年世界许多地区签订的太阳能购电协议设定的太阳能电价比传统能源零售电价还便宜。

美国能源部 (DOE) 宣布将向 Vogtle 三代核电站项目提供一份价值 37 亿美元的有条件贷款担保, 以确保 Vogtle 核电站 3、4 号 AP1000 机组建设工作的顺利推进: 其中 16.8 亿美元担保分配给佐治亚电力公司 (GPC), 16 亿美元分配给奥格索普电力公司 (OPC), 4.15 亿美元分配给佐治亚市政电力局 (MEAG Power)。一旦本次贷款审批通过, 将成为 2014 年 12 月发布的 Vogtle 核电项目 125 亿美元贷款额度中首批发放成功的贷款。

美国能源部 (DOE) 生物能源技术办公室和美国农业部 (USDA) 国家粮食与农业研究所 (NIFA) 宣布共同资助 1500 万美元用于开展集成生物精炼 (IBR) 优化项目, 涵盖 3 大技术主题包括: (1) 在不同操作条件下的原料、污泥和固体废弃物对生物燃料开发影响分析, (2) 将生物精炼产生的废料转化为高价值化学品, (3) 固体材料的分析模型和反应器进料系统开发。详见正文。

### 英国发布《低碳发展战略》保障绿色低碳和经济增长共生

10月12日，英国商业、能源和工业战略部（BEIS）发布《低碳发展战略》报告<sup>1</sup>，阐述了英国如何在削减碳排放以应对气候变化的同时推动经济持续增长，为英国低碳经济发展描绘蓝图。报告指出，实现社会经济的绿色低碳发展，同时确保为企业和消费者提供廉价的清洁能源供应，不仅能够提高生产率、创造良好的就业机会、提高人民的收入水平，还有助于帮助保护气候和环境。为了实现这一目标，需要发展低碳技术、工艺和系统，通过技术创新降低清洁技术的成本。报告主要内容如下：

#### （1）英国的成就和领导力

英国是首批承认气候变化是经济和安全威胁的国家之一。2008年通过的《气候变化法案》承诺，到2050年，英国的碳排放量要在1990年水平上减少80%以上。这种减排方法目前已经被世界各国认可，并在联合国《巴黎协定》中所体现。

在发达国家，英国一直是低碳发展战略的坚定拥护者，且在碳减排方面取得成就最多的国家。自1990年以来，英国的碳排放减少了42%，而经济增长了三分之二。英国的减排速度要比七国集团（G7）其他国家都快得多，同时引领七国集团在这一时期的国民收入增长。在第一个碳预算期（2008-2012年），英国实际的减排量比预先设定的减排目标还要多1%，预计在2013-2022年的第二个和第三个碳预算期内减排量将比目标值分别高出5%和4%，在此期间英国的经济增长有望达到12%。

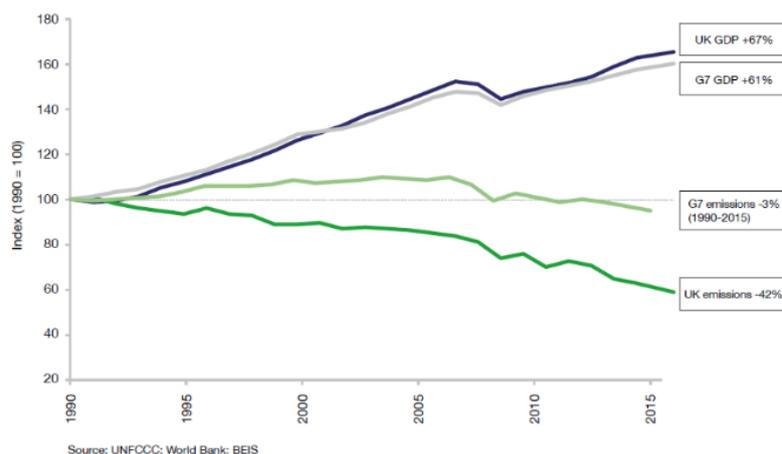


图1 1990-2015年英国和七国集团经济增长及减排变化态势（设定1990年数据为100）

2016年，英国电力中有47%来自低碳能源，是2010年水平的两倍左右。目前，英国拥有世界上最大的海上风电装机容量。英国的家庭和商业建筑在使用能源方面

<sup>1</sup>Government reaffirms commitment to lead the world in cost-effective clean growth. <https://www.gov.uk/government/news/government-reaffirms-commitment-to-lead-the-world-in-cost-effective-clean-growth>

变得更有效率，也有助于减少排放和能源消耗。例如，自 1990 年以来，家庭平均能源消耗量已经下降了 17%。汽车发动机技术能够帮助每公里减少排放量高达 16%，在 2015 年购买新车的车主与 2000 年购买者相比，每年可节省燃油费用达 200 英镑。英国的废旧物资回收利用也比 2000 年多了近 4 倍。

低碳技术使得成本不断下降，许多国家的太阳能、风能等可再生能源电力成本已经降至与燃煤、天然气成本相当。节能灯泡比 2010 年便宜了 80% 以上，电动汽车电池组的成本下降了 70% 以上。技术创新造就了新的高价值就业机会、行业和公司，推动了英国经济高速增长和高价值的“低碳”行业发展。英国拥有海上风电、低碳车辆和电动机电力电子等在全球领先的技术专长，以及全球绿色金融领域的领先地位，其正在成功出口低碳商品和服务。例如，在欧洲驾驶的每 5 辆电动汽车中，有 1 辆是在英国制造的。英国低碳业务和供应链上有超过 43 万个工作岗位，现在全国各地雇佣员工。

然而，温室气体排放是一个全球性的问题，所有国家都需要采取行动。英国在国内行动、气候外交和财政支持上展示了应对气候变化的国际领导力。英国把气候变化视为一个经济和政治问题，而不仅仅是一个环保的问题，并利用其世界领先的经济、科技来引导关于气候变化的全球辩论。英国也利用其影响力和资源帮助发展中国家实现自己的清洁增长。截至目前，英国的行动预计将在整个项目的生命周期中减少近 5 亿吨二氧化碳，超过法国全年的排放量。

## **(2) 英国的机遇与挑战**

英国在确保《巴黎协定》方面发挥了核心作用，首次有 195 个国家（占全球经济活动的 90% 以上）同意设立国家目标，以保持全球温升限制在 2 摄氏度以下。为履行承诺，需要采取行动和投资以确保向清洁增长转变，成为未来几十年各国政府和企业做出政策和经济决策的关键因素。预计在 2015 年至 2030 年间，如果《巴黎协定》签署国要实现他们的国家既定目标，就需要在全球能源领域投入 13.5 万亿美元的公共和私人投资。

英国对清洁增长的早期行动已经培育了广泛的低碳产业，其中包括处于世界领先地位的一些行业。这一成功基于英国高价值服务和金融行业的专业知识，以及为尖端技术的设计和制造提供长期方向支持的监管框架。2015-2030 年间，英国低碳经济年增长率可能达到 11%，比其他经济体增长速度快 4 倍，到 2030 年可能会提供 600 亿到 1700 亿英镑的商品和出口销售额。

低碳发展战略也可以带来更广泛的收益。例如，减少交通排放带来的共同利益是更清洁的空气，对公共卫生、经济和环境都有重要的影响。但扩大低碳经济并不容易，英国在电力行业取得了重大成果，现在需要在其他行业，特别是运输、商业和工业部门取得突破。因而需要减少建筑和工业供热所产生的排放量，这占英国排

放量的近三分之一。减少这些部门的排放量可以通过减少能源消耗来实现，这将有助于提高英国的生产力和改善空气质量，而驱动减少这些排放所需的创新和投资可以创造更多的工作以及出口机会。

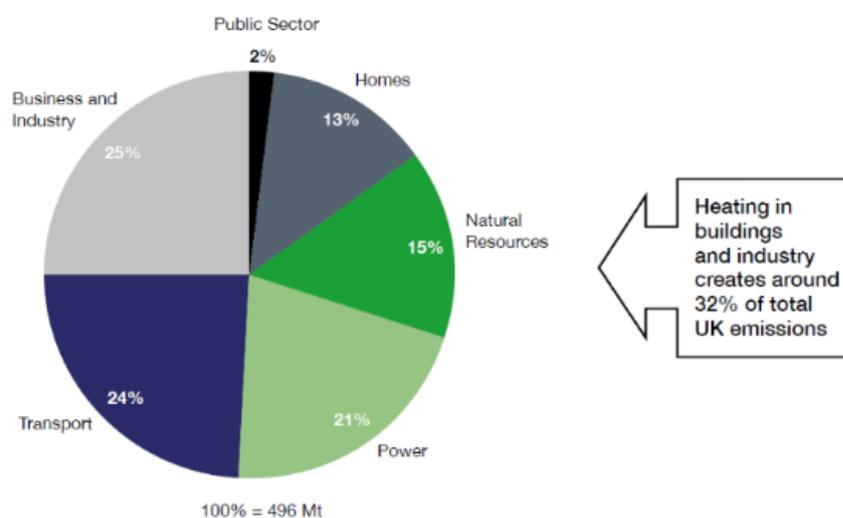


图 2：2015 年英国不同行业排放量占比

为了实现第四个和第五个碳预算（涵盖 2023-2027 年和 2028-2032 年）目标，英国需要加快脱碳步伐，制定相应的政策规划，在采取行动减少排放的同时确保经济竞争力。

离开欧盟不会影响英国《气候变化法案》的法定承诺，英国国内的减排目标比欧盟立法规定的目标更加富有挑战。英国与欧盟的未来关系以及参与欧盟排放交易体系等领域的长期形式仍有待确定，还有新的机会推动更多的行动，例如将减排和土地管理作为欧盟农业扶持政策的核心。

### （3）英国的低碳发展战略

在推进低碳发展方面，英国各个部门都发挥了重要作用，地方政府也有一系列的计划和政策来实现减排目标。报告提出了一套全面的政策和方案，以加速低碳发展战略的实施，在减排的同时实现经济增长。具体政策建议如下：

**在企业 and 工业能效方面**，制定一揽子措施，以支持企业提高能源生产率，到 2030 年至少提高 20%；建立一个工业能效计划，帮助大公司采取措施减少能源消耗；通过与全球合作伙伴合作，在碳捕集、利用与封存（CCUS）和工业创新方面投资 1 亿英镑以降低成本，展示英国在 CCUS 方面的国际地位。

**在改善家园环境方面**，资助约 36 亿英镑用于通过能源企业责任（ECO）来升级大约一百万户家庭能效水平，并在目前的 ECO 资助水平下，将对家庭能效提升的支持从 2022 年延长到 2028 年；制定长期计划，以提高私人住宅的能源效率标准，在 2030 年之前尽可能多地将私人住宅升级为符合实际、具有成本效益和可负担得起的能效标准。

在**低碳运输方面**，到 2040 年禁止销售所有传统汽油、柴油车；资助 10 亿英镑来支持超低排放车辆的采购，包括帮助消费者克服电动汽车的前期成本；开发世界领先的电动汽车充电网络，以及与工业界合作，加速向零排放车辆的转变；资助约 8.41 亿英镑的公共资金用于低碳运输技术和燃料技术创新。

在**清洁能源方面**，到 2025 年逐步停止使用煤炭发电；为不太成熟的技术（如海上风电）提供高达 5 亿英镑的差异拍卖合同；与工业界合作，为海上风电开发制定行业协议，以增加新的产能；交付新的先进核电项目，并与开发商进行谈判，以确保未来项目的竞争力。

在**农业与自然资源方面**，设计一套新的未来农业支持体系，将重点放在提供更好的环境成果上，包括更直接应对气候变化；努力于 2050 年之前实现零浪费的愿景，最大限度地提高从自然资源中提取的价值，并尽量减少与提取、使用和处置相关的负面环境和碳影响；在英国建立包括农田上的新林地在内的新森林网络，资助更大规模的林地和森林建设，以支持种植 1100 万棵树，并增加建设工程中使用的英国木材数量；发布新的“资源与废物战略”，使英国在竞争力、资源生产力和资源效率方面成为世界领先的国家。

（吴勘 郭楷模）

## **IEA：各国需要持续加强政策制定和实施以保障能效提升**

10 月 5 日，国际能源署（IEA）发布《能效市场 2017》报告指出<sup>2</sup>，提升能效是实现能源安全、经济可持续增长和环境保护等一系列政策目标的关键途径之一。得益于各国能效政策的出台和实施，全球能源强度（单位国内生产总值能耗）已经显著下降。然而自 2016 年开始，能效相关的新政策出台速度明显放缓，执行力度也逐渐弱化，且这种趋势将在 2017 年得到延续，意味着能效改善速度面临放缓的潜在风险。因此，为了避免能效提高进程在关键时期停滞不前，报告建议各国应该持续加强新政策制定和落实力度。报告的主要内容如下：

### **（1）全球经济的能源强度持续下降**

2016 年，全球能源强度下降了 1.8%，主要的贡献来自中国。自 2010 年以来，全球能源强度年均下降率达到了 2.1%，远高于过去 40 年（1970-2010 年）的平均值 1.3%。各国和地区的下降幅度差异很大。但中国能源强度下降速度要明显快于其他国家/地区，这是中国积极实施能效政策的结果。倘若没有中国，2016 年全球能源强度下降幅度将减小到 1.1%。

<sup>2</sup> Energy Efficiency 2017. [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy\\_Efficiency\\_2017.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Efficiency_2017.pdf)

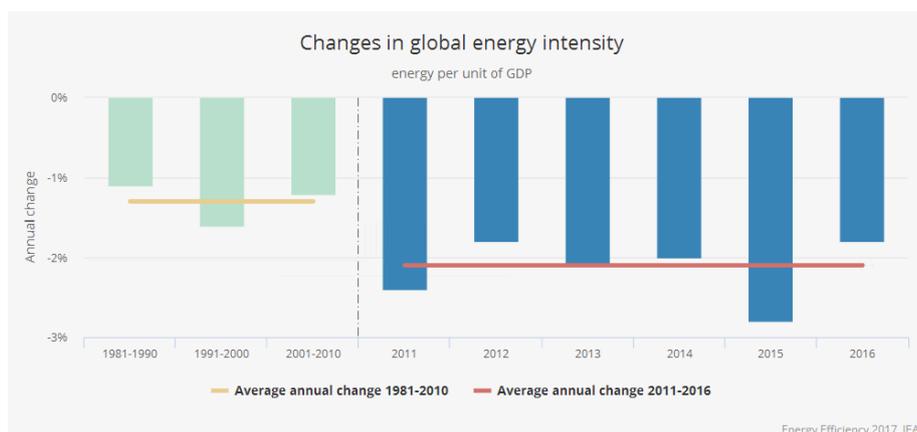


图 1 1981-2006 年全球能源强度变化态势

能源强度的改善是自 2014 年以来全球能源相关的温室气体排放量趋于平稳的重要因素。全球碳排放减少是能效政策、可再生能源和其他低碳能源系统政策综合作用的结果。其中，能效提升消除了与 GDP 增长挂钩的四分之三的排放量，而向可再生能源和其他低碳燃料的转型则抵消了另外四分之一的排放量。能源强度提升意味着消耗相同数量的能源可以产生更多的经济价值。以 2016 年为例，提升的能效为全球创造出了额外 2.2 万亿美元的经济效益，相当于澳大利亚经济规模的两倍。

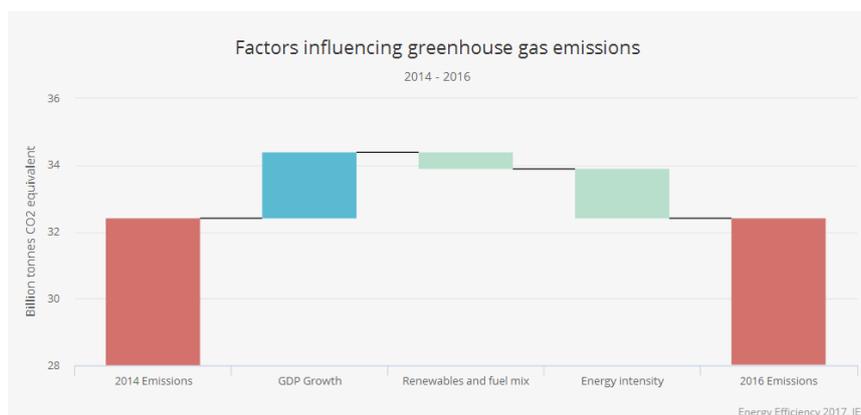


图 2 2014-2016 年温室气体排放的影响因素分布

## (2) 能效提升正在促进整个能源系统自我重塑

在 IEA 成员国中，能效的提高导致了 2007 年能源使用总量达到峰值，随后下降至 1990 年以来的最低值。IEA 成员国能效从 2000 年来持续改善，这使得 2016 年 IEA 成员国节约了价值 500 亿美元的能源进口费用。例如在日本，如果能效得不到改善，2016 年的石油进口量将会增加 20%，而天然气进口量则会增加 23%。

能效对天然气进口的影响在欧洲尤为明显。以欧洲最大的天然气市场德国和英国为例，能效的提高使得 2015 年节省的天然气进口量相当于欧洲从俄罗斯进口总量的 30%。能效改善通过降低每日的天然气需求，也提高了短期能源安全。如果能效不能有效改善，在天然气需求高峰时，英国和法国必须获得额外 2.4 亿立方米/天的天然气供应才能满足用能需求。

能效提升还使得全球家庭的用能消费支出减少。自 2000 年以来，能效改善已经为几个主要经济体节约了近 3000 亿美元的家庭能源开支。例如，在德国、法国和英国，2016 年的家庭平均能源开支相比 2000 年降低了 400 美元以上。大型新兴经济体也出现了类似的情况，并且对能效改善的需求在不断增加。例如在中国，如果能效没有改善，中国家庭在 2016 年的平均能源支出将增加 25%。

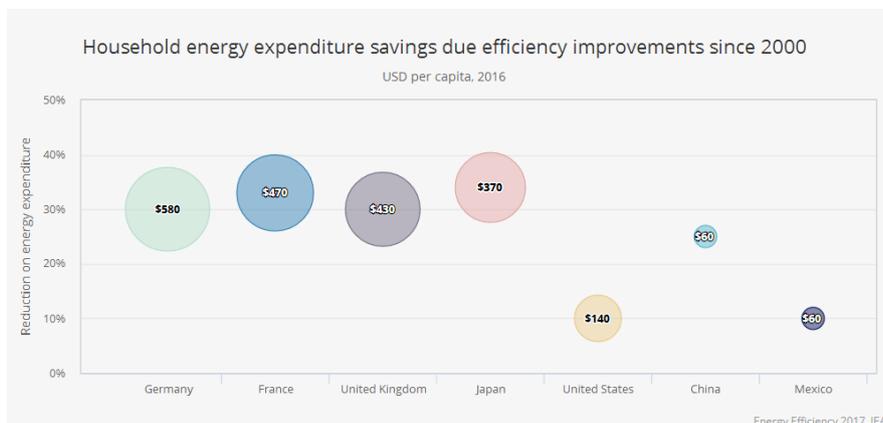


图 3 不同国家自 2000 年以来由于能源效率的改善所节省的家庭能源支出（单位：美元）

### (3) 2016 年政策实施力度放缓，能效改善面临潜在风险

2016 年，能效政策覆盖了全球 32% 的终端用能领域，较 2015 年增长了 1.4%，但仍有 68% 未能覆盖。然而，几乎所有 2016 年覆盖范围内的终端用能领域的能效改善都是现有政策持续影响的结果，而仅有 1% 的改善是新政策出台起到的作用。

IEA 能效政策发展指数 (EPPI) 衡量了自 2000 年以来对强制性能效政策的覆盖面和力度的变化，在 2016 年 EPPI 增长了 0.5% 达到 6.3，而 2010 年以来的平均增幅约为 0.75%。EPPI 增幅下降的主要原因是新政策实施的力度有所减缓，这一趋势在 2017 年上半年表现尤其明显。得益于工业部门的合适政策，2016 年中国的 EPPI 升到了 10.9，是近年来实施强制性能效政策的结果（尤其是工业领域），占 2000-2016 年全球 EPPI 增长的 70%。

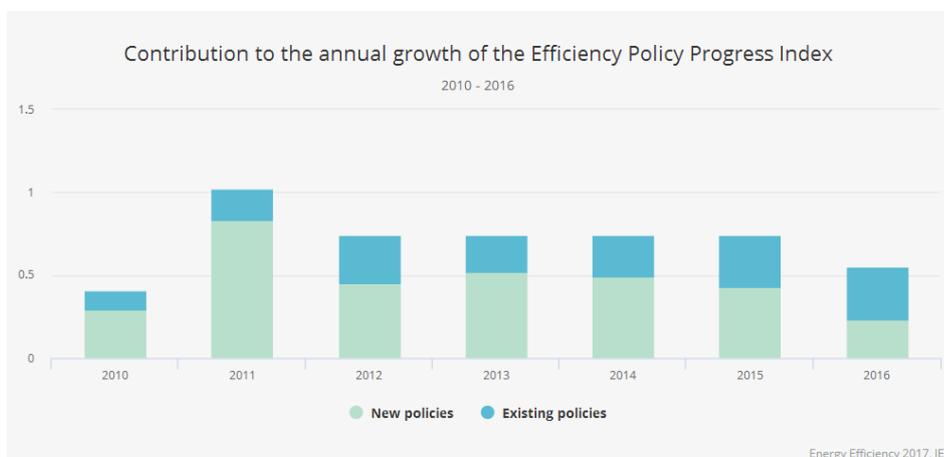


图 4 2010-2016 年能效政策发展指数年均增长率

因此，如果要保持或加快提高能效，就必须加强政策的制定和实施。要实现既定的政策目标，各国政府必须认识到制定新的更有效政策的重要性。

#### (4) 在政策、技术和燃料价格的驱动下，汽车市场正在迅速变化

卡车的燃油效率标准已经成为政策制定者的关注焦点。卡车的油耗占了公路运输总耗油量的 43%。2016 年，在世界各地卡车的能源使用中，只有 16% 被强制能效政策所覆盖。加拿大、中国、日本和美国的燃油经济性标准正处于领先水平。预计欧盟、印度、韩国和墨西哥将在未来几年扩大和引进标准。

电动汽车比内燃机汽车更高效。由于产能扩大、车型种类更广、车辆性能也有所改善，2016 年其在全球范围内的销量增长了 40%。然而，汽油价格的下跌导致了低能效的大型客车，尤其是运动型多功能车的销量增长，这抑制了全球客车燃油效率的进一步提高。

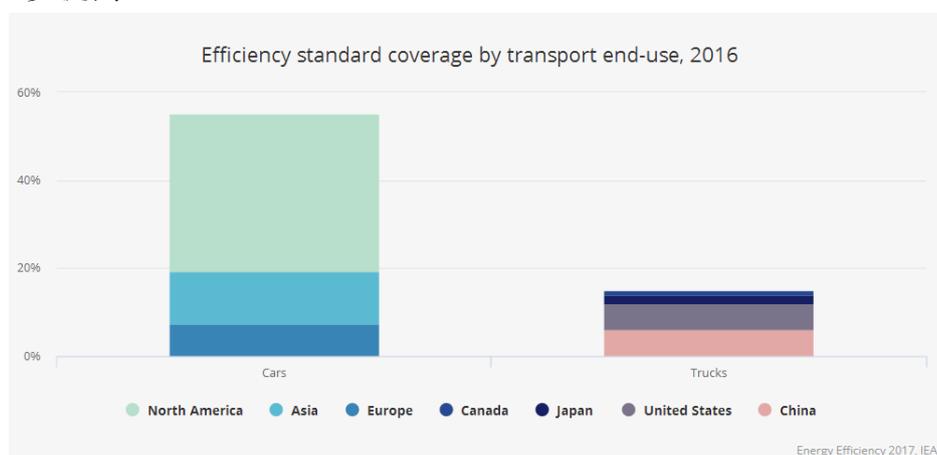


图 5 2016 年不同地区交通终端覆盖的能效标准

#### (5) 2016 年全球能源效率市场继续扩张

2016 年，全球对能效的投资继续增长，增幅 9%，达到 2310 亿美元。尽管欧洲仍是全球最大的投资市场，但中国的增长率最高，达到 24%。在终端用能领域，建筑行业仍然占据能效投资的主导地位，占 2016 年全球总投资额的 58%，其中大部分投资将用于建筑围护结构、电器和照明。

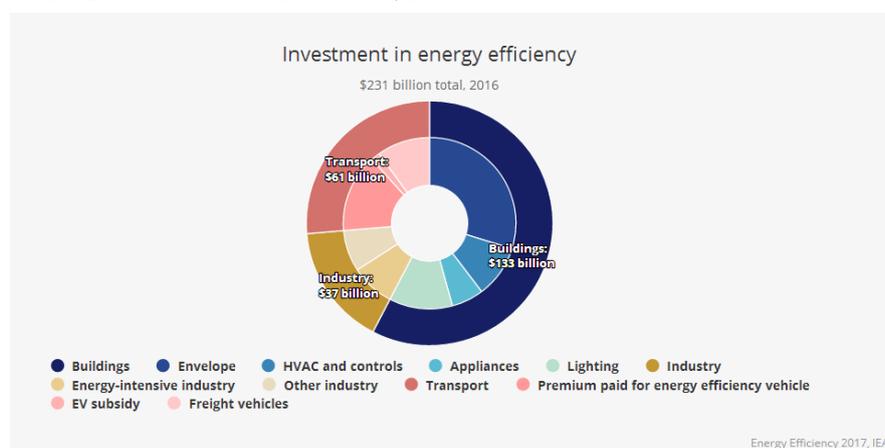


图 6 不同领域能效投资分布图

2016 年，全球能源服务公司（ESCO）市场扩大了 12% 至 268 亿美元。得益于政府强有力的激励措施，中国目前是全球最大的 ESCO 市场，占全球市场收入的 60% 以上，另外两个主要的能效市场是美国（20%）和欧洲（10%）。现在全世界已有超过 100 万人受雇于 ESCOs。

（吴勘 郭楷模）

## 欧洲光伏产业协会：2017 年全球光伏新增装机将达 100 GW

10 月 26 日，欧洲光伏产业协会（SolarPower Europe）发布了太阳能光伏发电市场分析报告<sup>3</sup>，指出 2017 年全球太阳能光伏发电新增装机容量将首次达到 100 GW，较 2016 年的水平（76.6 GW）增加 30% 以上。

就地区而言，亚太地区的太阳能光伏发展继续呈现蓬勃态势。2017 年前 9 个月，单就中国的光伏新增装机容量就已经达到了 42GW；到年底，预计新增装机容量将达到约 50GW，较 2016 年的 34.5 GW 大幅增长近 45%，届时将占全球年度新增光伏装机容量的一半以上。相反，2017 年欧洲光伏市场发展相对较慢，预计全年新增装机容量将达到 7.5 GW，较 2016 年 6.7 GW 略有改善。

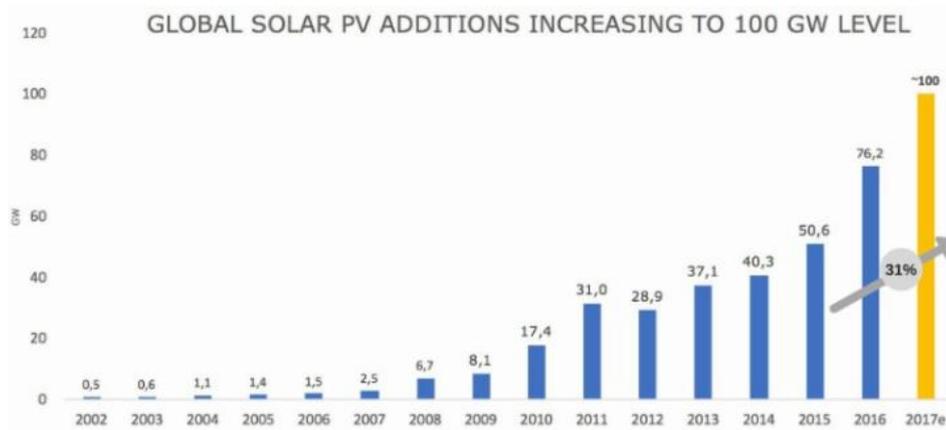


图 1 2002-2017 年全球光伏年度新增装机容量发展态势（单位：GW）

得益于政策支持和成本的快速下滑，太阳能光伏发电成本已经大幅下降。2016 年世界许多地区签订的太阳能购电协议设定的太阳能电价比传统能源零售电价还便宜。而在欧洲，大多数国家的分布式太阳能发电都比固定式发电技术更便宜，如德国光伏投标的平均价格已经下降了近 50%，仅为 4.91 欧分/千瓦时，太阳能电力的价格竞争力逐步显现。

（郭楷模）

<sup>3</sup> Global Solar Market Demand to Reach 100 GW in 2017. [http://www.solarpowereurope.org/index.php?eID=tx\\_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1509417890&hash=4246f8db9fe4acd1a098d5f2899f4e086c5ed919&file=/fileadmin/user\\_upload/documents/Media/261017\\_Global\\_Solar\\_Market\\_Demand.pdf](http://www.solarpowereurope.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1509417890&hash=4246f8db9fe4acd1a098d5f2899f4e086c5ed919&file=/fileadmin/user_upload/documents/Media/261017_Global_Solar_Market_Demand.pdf)

## 项目计划

### DOE 承诺为三代核电项目提供 37 亿美元有条件贷款担保

9月29日，美国能源部（DOE）宣布将向 Vogtle 三代核电站项目提供一份价值 37 亿美元的有条件贷款担保<sup>4</sup>，以确保 Vogtle 核电站 3、4 号 AP1000 机组建设工作的顺利推进，维持和强化美国在创新型核电技术领域的全球领先地位，完善美国核电基础设施。本次 37 亿美元贷款担保将分为三个部分：16.8 亿美元担保分配给佐治亚电力公司（GPC），16 亿美元分配给奥格索普电力公司（OPC），4.15 亿美元分配给佐治亚市政电力局（MEAG Power）。一旦本次贷款审批通过，将成为 2014 年 12 月发布的 Vogtle 核电项目 125 亿美元贷款额度中首批发放成功的贷款。

Vogtle 核电项目不仅是美国三十多年以来（自 1979 年三里岛核事故后）批准建造的第一个核电项目，也是西屋 AP1000（1100 兆瓦）反应堆技术在美国本土的首次应用。DOE 指出，Vogtle 项目一旦建成，预计每年将提供超过 1700 万兆瓦时的清洁电力，不仅能够满足美国 160 万家庭的用电需求，还将使美国每年减少大约 1000 万吨二氧化碳的排放。与此同时，该项目已经创造了约 6000 个现场作业工作岗位，一旦 3、4 号新机组完工并开始运作，预计将再创造约 800 个永久性工作岗位。

**编者注：**本世纪初以来，美国核电运行业绩骄人，美国公众对核电的接受度也不断提高，在此背景下，美国政府也顺势启动了中断近三十年的核电站建设项目，意图复兴美国本土核电产业，为美国经济增长注入新的活力。西屋公司正是在美国“核电大发展”的背景下，开始了雄心勃勃地推广建造 AP1000 之路。美国政府对 AP1000 寄予厚望，同时开工四台 AP1000 机组：V.C Summer 和 Vogtle 项目。然而，由于设计时太过于强调安全，在工程实施过程中发现西屋公司提供的反应堆关键设备屏蔽主泵和爆破阀都无法满足设计要求，这种关键技术问题导致 V.C Summer 项目不断延期，致使项目严重超支。为了止损避免陷入债务危机中，V.C. Summer 核电项目的业主 Santee Cooper 和 SCANA 公司于 2017 年 8 月宣布停止 V.C Summer 项目两台机组的建设。同样遇到延期的不只美国项目，还有中国的三门和海阳两个 AP1000 核电项目，这是世界上首批建设的 AP1000 机组，也是该技术在中国首次应用。不过中方施工人员具备丰富的核反应堆建设经验，三门和海阳的 4 台机组已经逐步解决了反应堆在建设过程中出现的问题，项目已接近完工。

（郭楷模）

---

<sup>4</sup> Secretary Perry Announces Conditional Commitment to Support Continued Construction of Vogtle Advanced Nuclear Energy Project. <https://energy.gov/articles/secretary-perry-announces-conditional-commitment-support-continued-construction-vogtle>

## DOE 和 USDA 联合资助 1500 万美元开展生物精炼研究

9 月 20 日，美国能源部（DOE）生物能源技术办公室和美国农业部（USDA）国家粮食与农业研究所（NIFA）宣布，共同资助 1500 万美元用于开展集成生物精炼（IBR）优化项目<sup>5</sup>，旨在优化改善生物精炼技术，提高生产生物燃料和生物基产品的生产效率，显著降低 IBR 技术应用相关的技术和财政风险，解决与生物精炼规模化生产、可靠性和可持续性运营相关的关键问题，降低投资资本和运营费用，加速美国生物经济的发展。本次资助项目将关注三大技术主题，包括：（1）在不同操作条件下的原料、污泥和固体废弃物对生物燃料开发影响分析；（2）将生物精炼产生的废料转化为高价值化学品；（3）固体材料的分析模型和反应器进料系统开发，具体研究内容见表 1。

表 1 IBR 项目具体研究内容

主题	研究内容
在不同操作条件下的原料、污泥和固体废弃物对生物燃料开发影响分析	研究和改进用于商业热解和气化反应堆的原料及残留固体的处理系统。从而提高原料选择的灵活性，使系统能够处理低成本原料以增强 IBR 的经济性
从集成生物精炼厂的废弃物中获取高价值产品	<ul style="list-style-type: none"><li>•研发多相流集成生物精炼工艺（MIBR），分离 IBR 流程中含有木质素的废物，用于生产生物柴油、沥青粘结剂改性剂和高品质碳纤维，从而改善 IBR 的成本效益</li><li>•使用纤维素残糖中剩余的纤维素糖来生产用于水产养殖饲料的单细胞蛋白（SCP）</li><li>•示范验证以生化平台产生过程中的废物流为原料生产生物碳、碳纳米纤维、聚乳酸和苯酚方法的经济效益，并帮助降低设备的燃料成本</li></ul>
固体材料分析模型和反应器进料系统的分析建模	<ul style="list-style-type: none"><li>•利用最先进的建模和仿真工具，开发饲料处理和反应器进料系统的综合模型，优化反应器进料单元的生物质转化过程</li><li>•开发一种分析工具，以确定最佳的 IBR 工艺设计，将可靠、经济高效、可持续和连续供给的生物质原料加入反应器</li><li>•开发创新的计算和经验模型，严格细化生物质材料的多相流</li><li>•基于系统分析开发强大的原料处理建模和仿真工具，开发综合计算模型以预测生物质流的机械和流变行为，实现生物质处理系统的可靠设计</li></ul>

（吴勤 郭楷模）

<sup>5</sup> Secretary of Energy Rick Perry Announces Integrated Biorefinery Optimization Projects.  
<https://energy.gov/articles/secretary-energy-rick-perry-announces-integrated-biorefinery-optimization-projects>

### 廉价硫氰酸亚铜无机空穴大幅提升钙钛矿太阳能电池稳定性

金属卤化物钙钛矿太阳能电池因其所需的原材料储量丰富，制备工艺简单且可以采用低温、低成本的工艺实现高品质的薄膜制备而拥有广阔的应用前景。然而，稳定性问题成为了该电池技术走向商业化应用的一大障碍。瑞士洛桑联邦理工学院 Michael Grätzel 教授课题组用廉价的无机空穴传输材料硫氰酸亚铜（CuSCN）替代钙钛矿太阳能电池常用的价格高昂的有机空穴材料 spiro-OMeTAD，同时利用还原石墨烯作为缓冲层置于 CuSCN 空穴传输层和金电极之间，显著增强了电池的性能和稳定性，稳态效率突破 20%，在空气环境中连续工作 1000 小时，仍可维持初始效率的 95%，创造了钙钛矿太阳能电池稳定性的新记录。研究人员将 CuSCN 粉末溶解于二甲基硫溶液，随后将其旋涂于钙钛矿薄膜衬底之上，利用快速去除溶剂法得到了高度致密、均匀的 CuSCN 薄膜，扫描电镜测试显示薄膜厚度约为 60nm。时间相关的单光子计数光谱表征显示，相比有机空穴 spiro-OMeTAD，空穴从钙钛矿抽出注入到无机空穴 CuSCN 层的速度更快；不仅如此，CuSCN 空穴迁移率也比 spiro-OMeTAD 高出 3 个数量级，意味着空穴能够快速抽取和收集，有助于电池性能增强。然而相关的研究报道揭示，CuSCN 与金电极的直接接触会导致电池稳定性变差，加速电池性能衰减。为此，研究人员在 CuSCN 薄膜和金电极之间加入高导电性的还原石墨烯缓冲层用于将两者隔开。在 60°C 一个标准模拟太阳光照射下进行电压电流测试，结果显示基于无机 CuSCN 空穴层的钙钛矿太阳能电池光电转换效率达到了 20.4%，且在上述条件下连续运行 1000 小时后仍可维持初始效率的 95% 以上，超过了有机空穴 spiro-OMeTAD 电池的稳定性，创造了迄今为止在效率超过 20% 的前提下，稳定性最佳的钙钛矿太阳能电池。该项研究利用高导电性、高空穴迁移率、成本低廉的无机空穴传输材料替代高成本、低空穴迁移率的 Spiro-OMeTAD，在保持电池高效率的前提下，大幅增强器件的稳定性，为钙钛矿太阳能电池从实验室走向商业化奠定了坚实的技术基础。相关研究成果发表在《Science》<sup>6</sup>。

（郭楷模）

<sup>6</sup> Neha Arora, M. Ibrahim Dar, Alexander Hinderhofer, et al. Perovskite solar cells with CuSCN hole extraction layers yield stabilized efficiencies >20%. *Science*, 2017, DOI:10.1126/science.aam5655

## 新型高温差利用区间柔性可穿戴热能发电机

电池续航问题一直是影响可穿戴电子设备产品性能和用户体验的重要因素。而自供电技术则为解决上述问题提供了极具吸引力的潜在解决方案。韩国蔚山国立科技大学 Kyoung Jin Choi 教授课题组开发新型的柔性、可穿戴热能发电机 (WTEG)，能够有效地利用人体温度和外界环境的温差进行发电，有效温差利用区间超过 20°C，是迄今为止 WTEG 有效温差最大值。研究人员利用喷墨打印技术将碲化铋/碲化锑 (BiTe/SbTe) 热电材料和太阳能吸收体 Ti/MgF<sub>2</sub> 依次沉积到柔性的聚酰亚胺有机衬底上并退火结晶处理，制备出柔性 WTEG。电化学测试显示，BiTe/SbTe 复合热电材料的电导率达到了 25000 S m<sup>-1</sup>，塞贝克系数达到了 166.37 μV。输出功率测试显示，集成太阳能吸收体 Ti/MgF<sub>2</sub> 的热能发电系统的单位面积输出功率可达 935.54 W m<sup>-2</sup>，近 4 倍于无太阳能吸收体的热能发电系统 (213.54 W m<sup>-2</sup>)。此外，研究进一步发现随着太阳能吸收体尺寸的增大 (不超过 10 nm 情况下)，热能发电系统的输出功率和电压也会增大；但尺寸超过 10 nm 后，就没有出现继续增大趋势，这主要是由于吸收体 Ti/MgF<sub>2</sub> 冷热两端的温差已经在 10 nm 达到饱和。由此，研究人员将集成太阳能吸收体 Ti/MgF<sub>2</sub> 的柔性热能发电系统的最佳尺寸定在了 10 nm。随后研究人员将 10 个含有 Ti/MgF<sub>2</sub> 太阳能吸收体的热能发电系统集成，并将其暴露于太阳光照下，发现发电系统的冷热端温差达到了 20.9°C，这是迄今为止所报道的柔性 WTEG 的最高温差值，而热能发电机的输出与温差的平方根成正比，上述技术有助于显著提高电压和功率输出，由此新型可穿戴热能发电机获得了 55.15 mV 的开路电压和 4.44 μW 的输出功率。该项研究开发了全新的高温差利用区间的柔性可穿戴热能发电系统，可作为微型电源应用到小型模块化的可穿戴设备，为实现自供电开辟了一条新途径。相关研究成果发表在《*Nano Energy*》<sup>7</sup>。

(郭楷模)

## 新型铜纳米催化剂高效还原二氧化碳制高价值多碳化学品

通过电化学方法将温室气体二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 转化为可以直接使用的燃料或多碳化学品 (如乙烯、丙醇等) 是能源可持续性发展的解决方案之一。氧化铜是能够将 CO<sub>2</sub> 转化为多碳产物的优良电催化剂，但工作中过高的过电势限制了该催化剂的应用。美国能源部劳伦斯伯克利国家实验室 Peidong Yang 教授课题组开发出一种全新的铜纳米电催化剂，能够通过消耗创纪录的低能量实现将 CO<sub>2</sub> 直接高效转化为多碳燃料和醇类。研究人员首先在碳布衬底上原位沉积一层单分散的铜 (Cu) 纳米颗粒，透射电镜表征显示纳米颗粒的平均直径约 7nm，通过调节反应条件可以调控碳布上

<sup>7</sup> Yeon Soo Jung, Dea Han Jeong, Sung Bum Kang, et al. Wearable solar thermoelectric generator driven by unprecedentedly high temperature difference. *Nano Energy*, 2017, DOI: 10.1016/j.nanoen.2017.08.061

铜纳米颗粒负载量（即单位面积的颗粒数量）。研究表明，铜纳米颗粒的负载量越大，多碳产物（C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>）产率越高、法拉第效率（FE）（实际生成物/理论生成物的百分比）越高。当铜纳米颗粒负载量为 22.5 μg cm<sup>-2</sup>，电解液为 0.1M 的 KHCO<sub>3</sub> 时，多碳产物（包括乙烯、乙醇、丙醇等，均为 C<sub>2</sub> 或者 C<sub>3</sub> 化学品）产率可达 76%，法拉第效率可达 50%，产物选择性高达 95%。研究人员对电解后的铜纳米颗粒进行扫描电镜研究，发现电解后的铜纳米颗粒形貌发生了显著变化，即铜纳米颗粒簇融合并转变成平均粒径 40nm 的纳米立方体，且铜纳米颗粒的密度越高，形成立方体颗粒的可能性越大。研究人员推测正是转变后的铜纳米立方体增强了催化活性和选择性。然而直接合成类似的铜纳米立方体经过同样条件的催化反应，结果却没有产生类似数量的多碳产物。因此，研究人员最终确认应该是实时的结构变换（铜纳米颗粒变为立方体结构）过程，促进了多碳化合物和含氧化合物的形成。通过研究主要产物的比电流密度图和塔菲斜率推断出了铜纳米颗粒的电催化机理：C<sub>2</sub> 产物形成为吸附的 CO 中间体的还原偶联反应（即二聚）（\*CO + \*CO + e<sup>-</sup> → \*C<sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup>），而 C<sub>3</sub> 产物（异丙醇）的生成则是通过离散途径。电催化稳定性测试结果显示，在电流密度为 10 mA cm<sup>-2</sup>，过电位为 -0.75 V 条件下（远低于常规的 -1V，创造了迄今为止最低的过电位[过电位越小，反应消耗能量越少]），新型铜纳米颗粒催化剂可以稳定运行 10 小时。该项研究巧妙地设计合成了高催化活性的铜纳米颗粒，实现了在高电流密度下，以创纪录的超低电位实现了 CO<sub>2</sub> 到多碳化学品的高效、稳定转化，为太阳能到燃料转化的高效廉价催化剂的开发提供了新思路。相关研究成果发表在《PNAS》<sup>8</sup>。

（朱好婷 郭楷模）

### 三维多孔硫化氮化碳复合电催化剂增强锌空气电池性能

可逆锌空气电池具有价格低廉、环境友好和能量密度高等优点，在便携式交通工具和能量储存器件领域拥有广阔的应用前景。然而缺乏高性能的双功能电催化剂（即氧还原反应(ORR)和析氧反应(OER)催化剂），成为该电池迈向商业化的一大阻碍。美国中佛罗里达大学 Yang Yang 教授研究团队利用自上而下的策略采用无模板法制备出了硫化钴（CoS<sub>x</sub>）修饰的氮化碳/石墨烯（g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/rGO，即 PCN/rGO）多孔复合电催化剂（CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO），表现出了极其优秀的双功能催化活性和稳定性，超过了贵金属铂、钌等催化剂的性能。研究人员首先在氧气氛中通过控制 Co<sup>2+</sup>/三聚氰胺网络的热解制备出具有多孔网络结构的 PCN，随后将 PCN 与氧化石墨烯（GO）混合并在硫气氛中进行退火处理，即制备出 CoS<sub>x</sub> 修饰的 PCN/rGO 多孔催化剂 CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO。线性扫描伏安测试结果显示，在 10 mA cm<sup>-2</sup> 电流密度下，新型

<sup>8</sup> Dohyung Kim, Christopher S. Kley, Yifan Li, et al. Copper nanoparticle ensembles for selective electroreduction of CO<sub>2</sub> to C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> products. *PNAS*, 2017, doi/10.1073/pnas.1711493114

CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO 催化剂的过电位为 1.57 V, 低于贵金属氧化钌 (1.62 V); 从塔菲曲线计算可知, CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO 的斜率为 44 mV dec<sup>-1</sup>, 小于氧化钌的 57 mV dec<sup>-1</sup>; 随后在 1.57 V、氧气饱和的氢氧化钾溶液中测试催化剂的稳定性, 结果显示经过 15000 秒循环后, CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO 催化剂仍可维持初始电流密度的 93%; 相反, 氧化钌则大幅衰减 38.4%。由上可知, 新型 CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO 催化剂展现出了优秀的 OER 催化性能和稳定性。接着研究人员进一步对催化剂的 ORR 性能进行了一系列测试, 结果显示其 ORR 性能和稳定性超过了商用的 Pt/C 催化剂, 即 CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO 拥有优秀的 OER 和 ORR 双功能催化活性和稳定性, 是潜在的优秀电极催化剂。为此, 研究人员将 CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO 作为氧电极催化剂用于锌空气电池, 循环伏安测试显示, 采用 CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO 氧电极的电池循环次数可达 394 次, 而采用 Pt/C 氧电极的循环次数仅为 171 次, 即前者大幅增强了电池循环性能和稳定性。研究人员指出, 新型 CoS<sub>x</sub>@PCN/rGO 催化剂之所以拥有如此优秀的催化性能在于其网状结构能够为 g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 提供较大的表面积, 充分将催化活性位点暴露以及为反应分子提供传输通道, 同时 CoS<sub>x</sub> 在最大程度上提高 g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 表面的导电性, 并且实现了 g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 在 ORR 和 OER 中的双功能催化作用。该项研究设计合成了新型的三维多孔硫化的氮化碳石墨烯复合催化剂, 实现了对氮催化活性位点高效率利用, 增强催化剂的 OER 和 ORR 活性, 突破了锌空气电池电极催化剂的瓶颈, 使得锌空气电池有望在电子产品中得到广泛应用。相关研究成果发表在《*Advanced Energy Materials*》<sup>9</sup>。

(罗卫 郭楷模)

---

<sup>9</sup> Wenhan Niu, Zhao Li, Kyle Marcus, et al. Surface-Modified Porous Carbon Nitride Composites as Highly Efficient Electrocatalyst for Zn-Air Batteries. *Advanced Energy Materials*, 2017, DOI: 10.1002/aenm.201701642.

## 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：[jjance@whlib.ac.cn](mailto:jjance@whlib.ac.cn)

微信公众号：CASEnergy

