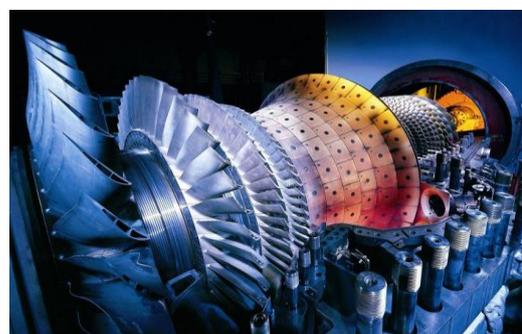


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：天然气是能源转型进程中有益的过渡能源
- 《Science》：太瓦级光伏将改变全球能源格局
- 英国政府提出促进能源系统脱碳的新举措
- DOE 宣布成立国家核反应堆创新中心
- 空气环境大面积制备工艺加速钙钛矿太阳能电池商业化进程

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

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: 天然气是能源转型进程中有益的过渡能源2
《Science》: 太瓦级光伏将改变全球能源格局5

项目计划

- DOE 宣布成立国家核反应堆创新中心7
英国政府提出促进能源系统脱碳的新举措7
DOE 资助 5000 万美元开展新能源卡车和越野车研发9
英国政府资助 1900 万英镑支持产业电气化发展研究10

前沿与装备

- 空气环境大面积制备工艺加速钙钛矿太阳电池商业化进程11
3D 打印锂金属负极提升锂金属电池倍率性能和循环稳定性12
氧化锰和纳米钴共修饰多孔石墨碳电极增强锌-空气电池性能13
铜锌双金属催化剂实现二氧化碳到液态燃料高效催化转化14

本期概要

国际能源署 (IEA) 发布《天然气在能源转型中的作用》报告，系统分析了天然气作为过渡能源在推动能源转型中的作用：自 2010 年以来，天然气替代煤炭（亦称为煤改气）为全球贡献了 5 亿吨的减排量，在抑制减排和推动能源转型中发挥了关键作用。长期而言可再生能源和能效将是能源转型的主要手段，但短期内天然气可以作为能源转型的过渡选择。利用现有基础设施进行煤改气是短期内降低碳排放最快途径，能够使每单位能源输出减少约 40% 的碳排放量。发展天然气的减排效益存在地区和行业差异。就行业而言，电力部门减排潜力最大，通过将燃煤发电转换为燃气发电将减少 12 亿吨碳排放。就国家/地区而言，欧洲和美国潜力最大。为了最大化天然气减排效益，报告指出需要全面考虑天然气供应链所有环节。

《Science》杂志刊发了美国国家可再生能源实验室、加州理工学院、麻省理工学院等机构科学家联合撰写的《太瓦级光伏：改变全球能源格局》综述文章，系统阐述了未来光伏产业发展现状、未来发展潜力和面临挑战：截至 2018 年底，全球太阳能光伏装机容量已达到 500 吉瓦 (GW)，预计到 2022-2023 年间全球光伏装机容量将再增加 500 GW，意味光伏产业将进入全新的太瓦 (TW) 时代，届时其将成为全球能源系统中关键组成部分。过去 40 年间，全球光伏模块平均销售价格下降了 2 个数量级。成本下滑带来了电力成本的下降，提升了价格竞争力，从而在全球掀起了光伏发展热潮。除了电力领域，光伏在非电力领域也具备了强劲发展潜力，如采用光伏电力热泵能够减少该行业化石能源消耗，从而促进该行业的减排；此外，还可以采用电力转换为其他能源载体 (Power-to-X) 解决方案制取燃料或化学品。

英国政府宣布了一系列促进能源系统脱碳的新举措，以实现其到 2050 年的气候行动目标，打造“净零排放”经济体：英国政府提议采用受监管资产基础框架 (RAB) 这一新的融资方式吸引核电项目的投资。支持开发先进模块化反应堆 (AMR) 和小型模块化反应堆 (SMR)，包括使用新的冷却系统或燃料的 AMR 和改进现有核反应堆技术的水冷 SMR。计划投入 1.7 亿英镑用于支持工业部门的碳捕集、利用与封存 (CCUS) 部署和氢能网络的搭建，以实现到 2040 年建立全球首个零排放工业部门。利用现有的石油和天然气基础设施进行 CCUS 部署。英国政府将会根据欧盟清洁能源法案的电力市场指令引入容量市场碳排放限额的措施，以助力到 2025 年完全淘汰燃煤发电。

美国能源部 (DOE) 宣布成立一个由爱达荷国家实验室领导的“国家核反应堆创新中心 (NRIC)”：中心将支持核技术相关的企业、联邦政府机构、国家实验室和大学联合开展新概念先进反应堆设计、研发、测试和示范工作，以加速新概念反应堆技术的许可和商业化进程，从而为新概念核反应堆构建一条从概念原型到商用产品的经济快速成熟的转化路径。

由阿卜杜拉国王科技大学 Aram Amassian 教授牵头的国际联合研究团队通过对印刷制备的钙钛矿薄膜流体动力学和结构演化的深入研究，成功制备出了迄今效率最高的大面积 (1cm^2) 全无机钙钛矿太阳电池，且整个制备工程均在空气环境，同时解决了大面积制备工艺和空气稳定性问题，为钙钛矿太阳电池商业化奠定了关键技术基础。

IEA：天然气是能源转型进程中有益的过渡能源

7月18日，国际能源署（IEA）发布《天然气在能源转型中的作用》报告¹指出，得益于能源强度下降、高碳燃料向低碳转换和可再生能源快速发展等多种因素共同作用下，全球碳排放得到了有效抑制；其中，自2010年以来，天然气替代煤炭（亦称为煤改气）为全球贡献了5亿吨的减排量，在抑制减排和推动能源转型中发挥了关键作用，是能源转型进程中有益的过渡能源。报告系统研究了美国、欧盟、中国和印度四个国家/地区的煤改气发展情况，指出煤改气有助于限制全球碳排放的增长，并提出电力部门煤改气将有可能扭转全球碳排放的上升趋势，使全球排放量降至6年前的水平。报告要点如下：

一、天然气能在短期内快速减少全球碳排放

1、天然气和可再生能源近年内快速增长，但全球碳排放增长情况尚未出现转机。当前天然气发展进入黄金时代，2018年天然气占全球能源需求增量的45%。天然气的增长伴随着可再生能源的强劲增长，特别是在电力部门，2018年可再生能源贡献了全球45%的新增发电量，其发电总量占到了全球总发电量约1/4，仅次于煤炭（38%）。增加低碳电力比重作为能源转型重要途径已成为全社会的共识。各个国家和行业都在积极发展低碳电力并取得了一定的进展。然而，可再生能源、天然气等低碳燃料的增长，以及能效的稳步提高并未导致高碳燃料的消费量下降，全球煤炭消耗量在2015年至2016年下降后出现反弹，石油需求则保持旺盛态势，年均增速远高于100万桶/天。在保持了三年的平稳后，2017年和2018年全球能源相关的碳排放量恢复增长态势，背离了全球的气候目标要求。2018年全球能源相关碳排放量增加了1.7%，达到了331亿吨的历史最高水平，其中电力部门占排放增量近2/3。煤电是2018年碳排放增长的最大因素，同比增长了2.9%，即2.8亿吨。2018年近100亿吨的碳排放来自燃煤发电，约占全球能源部门排放量的1/3。到2040年，全球能源相关碳排放必须降至180亿吨以下才能确保全球气候目标实现，煤炭相关碳排放需比现在减少75%。

2、煤改气避免了全球碳排放快速增长，尤其是在中国和美国。2010年以来，煤改气为全球减少了5亿吨的碳排放。但不同地区煤改气带来的减排效益差异较大，其中美国取得了最显著的效益。美国页岩气革命降低了天然气价格，并支撑电力行业从传统燃煤大规模转向天然气，使得2010年以来美国碳排放量下降了1/5。中国近年来天然气需求增长非常迅速，在许多城市地区，天然气取代了燃煤工业和住宅锅炉，但在电力部门，天然气替代煤炭发展则比较缓慢。

¹The Role of Gas in Today's Energy Transitions. <https://webstore.iea.org/the-role-of-gas-in-todays-energy-transitions>

3、长期而言可再生能源和能效将是能源转型的主要手段，但短期内天然气可以作为能源转型的过渡选择。利用现有基础设施进行煤改气是短期内降低碳排放最快途径，能够使每单位能源输出减少约 40% 的碳排放量。在众多部门中，电力部门减排潜力最大，通过将燃煤发电转换为燃气发电将减少 12 亿吨碳排放，使全球煤炭需求减少 15%，电力部门碳排放减少 10%，全球与能源相关碳排放将减少 4%。但天然气供应链中的甲烷泄漏也不可忽视，通过煤改气无法最终解决气候变化挑战，天然气的黄金时代并不意味着碳减排的黄金时代。然而，降低碳排放并没有单一的解决方案，在不同的阶段需要采用多种方法、政策和技术。可再生能源和能效将在碳减排中发挥主要作用，但在短期内和部分部门中，天然气可以发挥重要作用。另外，天然气能够提供有价值的能源服务，比如季节性储能、工业用高温加热和建筑物的冬季供暖，因此问题在于减少天然气的相关排放。

二、煤改气的实施潜力因地区和行业而异

1、对现有电力基础设施开展煤改气将使碳排放量迅速下降，其中欧洲和美国潜力最大。欧洲和美国等成熟能源市场的电力需求相对稳定，具有较大的天然气备用产能，燃气发电将可能替代其燃煤发电量的一半左右，转换规模取决于碳交易价格和监管框架。如果要在全球实现煤改气的全部潜力，意味着每年将增加 4500 亿立方米的天然气需求，约占当前全球产量的 12%。

2、亚洲新兴市场的煤改气潜力有限。中国和印度等国家的煤改气较为困难，其市场情况、需求趋势和天然气价格均与欧洲和美国有所不同，且缺乏足够的天然气备用产能。IEA 预计只有当天然气进口价格降至 4 美元/百万英热单位，中国才能够实现向天然气的大规模转换，而这意味着价格要降到不足当前进口价格的一半。印度虽然拥有备用天然气发电容量，如果保持较高利用率可使其电力部门碳排放减少 2500 万吨，但由于天然气价格过高导致大部分机组都处于闲置状态。相比之下，陆地风电和光伏发电比燃气轮机联合循环发电便宜得多。

3、天然气的竞争格局因行业而异。美国和欧洲煤改气最具潜力的领域是发电部门，而在亚洲新兴市场并非如此。在终端用能部门中，工业是天然气需求增长的主要来源，天然气在工业应用中具有明显的竞争优势，它取代了更昂贵的石油产品。依赖于煤炭的轻工业（例如制造业、纺织品、食品和饮料）也可能向天然气转换，虽然后者成本更高，但更方便和清洁。目前建筑物中使用天然气主要用于供暖，然而大多数发展中国家对建筑供暖的需求有限（中国除外）。建筑行业利用天然气面临的竞争主要来自电力，后者通过直接利用可再生能源电力供热（如电热泵）和提高能效得以应用。在交通运输部门，天然气可以替代客运、货运和海运中使用的石油产品。天然气比石油更便宜，并且在污染物排放方面具有优势。然而，加气基础设施是一个限制因素，在大多数国家，电动汽车正在成为替代燃油汽车的首选方式。

4、中国和印度煤改气的前景将取决于政策、燃料价格和基础设施。中国煤改气政策主要针对城市，其目标是取代工业设施和住宅建筑中的燃煤锅炉。这些小型锅炉很少配备先进的碳捕集装置，这是造成空气污染的主要原因。减少小型锅炉的使用，特别是冬季取暖，是中国“打赢蓝天保卫战”行动计划的关键部分。在工业领域，煤改气是中国向轻工业部门逐步转变的重要补充。在住宅领域，2005-2016年期间有2700万户家庭连接到天然气网，而2017-2018年又增加了700万户。中国对住宅冬季供暖有着重要需求，电加热是取代燃煤供热的主要方式，但2018年新增住宅用户使用天然气供暖的数量是选择电加热的两倍，表明中国政府支持天然气发展。与中国一样，印度有雄心扩大天然气在能源结构中的占比。印度西海岸的古吉拉特邦人均天然气使用量是全国平均水平的十倍，这表明煤改气可以获得成功。2018年和2019年的政府招标反映了印度扩大城市燃气基础设施的主要目标，然而，其天然气网络面临监管许可和融资问题，此外可负担性也是一个主要障碍。由于缺乏足够的天然气供应，印度工业的扩张可能继续高度依赖煤炭。

三、天然气供应链流程的最佳实践对最大化天然气的减排效益至关重要

1、煤改气的减排效益应考虑价值链的所有环节

对天然气和煤炭供应的全生命周期排放的详细评估发现，几乎在所有的应用领域，煤改气都会促成碳排放大量减少。2018年，工业和建筑物供暖用途的天然气单位热量产生的排放量比煤炭少33%，而天然气发电每单位发电量产生的碳排放比燃煤发电少50%。虽然不同煤炭和天然气来源存在很大差异，IEA估计，当用于产生电力或热力时，目前使用的98%以上的天然气具有比煤炭更低的生命周期排放强度。

2、应重视天然气供应链中的甲烷排放

天然气供应链中最主要的间接排放是甲烷，且天然气供应链各个环节（如勘探、开采、处理、运输、储存等）都可能出现甲烷排放。不同地区、供应链路线、工艺和设备的排放量差异很大，但预计目前全球天然气供应导致的甲烷排放约为4000万吨。这些排放决定了天然气供应链的间接排放强度，最大限度降低甲烷排放是减少天然气供应链对环境的影响的关键。

3、天然气价值链各环节的改善能够提高天然气的减排效益

确定天然气供应链中最主要的排放来自运输过程。IEA估计，到2040年全球天然气贸易增长的80%以上来自液化天然气（LNG），其中大部分进入亚洲市场。因此，控制从世界各地生产、输送到亚洲的LNG所产生的排放总量是实现天然气环境效益的关键。LNG的液化过程是高能耗高排放的过程，而天然气管道运输也会导致排放。考虑整个价值链，LNG进口到中国产生的排放量比管道天然气进口产生的排放量更少。LNG进口产生的排放还有希望进一步降低，如最大限度减少各环节的甲烷排放，并在液化过程中使用低碳电力。这种更“清洁”的LNG将使煤改气（用于供

热) 的温室气体排放减少 40%，而不采用上述措施则只能减少 30%。

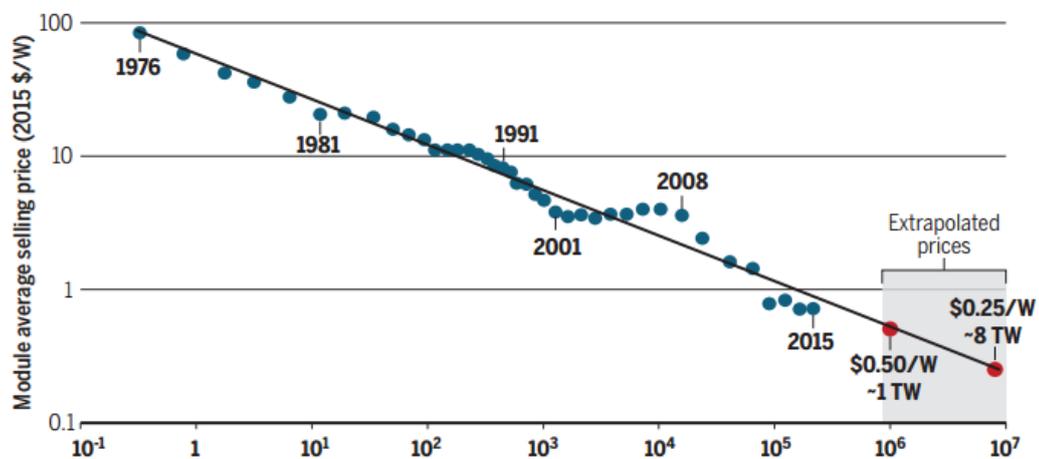
(岳芳 郭楷模)

《Science》：太瓦级光伏将改变全球能源格局

近日，《Science》杂志刊发了美国国家可再生能源实验室 Nancy M. Haegel 等科学家联合撰写的《太瓦级光伏：改变全球能源格局》²综述文章指出，截至 2018 年底全球太阳能光伏装机容量已达到 500 吉瓦 (GW)，预计到 2022-2023 年间全球光伏装机容量将再增加 500 GW，意味光伏产业将进入全新的太瓦 (TW) 时代。此外鉴于太阳能资源丰富性、分布广泛性和可预测性等特点，预计太阳能将成为未来全球能源系统中关键组成部分，成为改变全球能源格局关键力量。文章系统阐述了未来光伏产业发展现状、未来发展潜力和面临挑战，关键点如下：

1、成本加速下滑推动光伏电力增长

过去 40 年间，全球光伏模块平均销售价格下降了 2 个数量级。两年前的预测显示，如果光伏能够继续沿着历史学习曲线发展，预计当装机规模达到 1 TW 的时候光伏模块价格会下降到 0.5 美元/W，而部署规模达到 8 TW 时则会进一步下降至 0.25 美元/W（如图 1 所示）。但事实情况是光伏模块的平均价格在 2018 年底已经下降到 0.25 美元/W 以下，呈现出惊人的发展速度。光伏器件成本下滑带来了光伏电力成本的下降，使得光伏电力价格竞争力日益凸显，从而在全球掀起了光伏发展热潮，如美国加州光伏电力占比从 2010 不到 1% 增长到 2018 年的约 18%。但是这种快速增长也带了一些问题，如光伏的间歇性对电网稳定性的冲击。因此如何在保障电网稳定性前提下进一步提高光伏并网比例成为了光伏产业发展的面临的挑战。而解决挑战的主要途径一方面是开发更加高效灵活的电力运营策略，另一方面则是发展相关使能技术，如储能技术、光伏电力制气、制燃料等。



² Nancy M Haegel, Harry Atwater Jr, Teresa Barnes, et al. Terawatt-scale photovoltaics: Transform global energy. *Science*, 2019, 364(643): 836-838.

图 1 基于历史学习曲线的光伏模块平均价格变化态势

2、提升光伏并网比例的技术挑战

光伏系统通过逆变器达到与电网通用的频率从而连接到电网，但它们通常只产生实际电能，不提供确保电网稳定性所需的额外电网服务，因此随着接入电网的光伏比例越大，电网稳定性面临的挑战愈加严峻。而通过恰当的技术引入（电力集成系统、储能技术等）和需求侧响应，能够有效平抑大规模高比例光伏接入电网的输出波动性。例如可以利用电力集成系统，开展风光互补发电。此外，还可以引入储能系统（如锂电池、抽水蓄能等）来改善光伏发电的灵活性，因为储能系统可以在光伏电站遇到弃光限制发电时将多余电能存入储能电池内，在电网需要或用电高峰时通过储能逆变器将电池内电能送入电网。

3、光伏在非电力领域的发展潜力

交通运输消耗的能源占到全球终端能源消费（TFC）总量的 39%，是排放的主要来源。因此推进交通电气化发展意义重大。全球电动汽车的销售数量在 2018 年大幅增长 63%，首次突破 200 万辆大关。因此光伏在交通电气化中具备广阔的应用潜力。供暖制冷行业消耗的能源占到 TFC 总量的 17%，且主要采用传统化石燃料。因此采用光伏电力热泵能够减少该行业化石能源消耗，从而促进该行业的减排。工业生产（炼钢、水泥生产、氨生产等）的能源消耗占到 TFC 总量的 27%，也是主要的耗能大户和排放来源。同样可以通过引入光伏等可再生能源替代化石能源减少排放。此外，还可以采用电力转换为其他能源载体（Power-to-X）解决方案制取燃料或化学品，即应用光伏电力进行电解水制氢、制甲烷或其他碳氢燃料/化学品，实现对太阳能大规模跨季节的存储。但目前 Power-to-X 效率较低、成本较高，有待进一步的改善。

4、光伏技术研发

太阳能电池效率始终是决定该技术发展前景的关键因素之一。经过科学家的努力，各类型的太阳能电池研发都取得了显著的进展，效率得到了显著提升：如作为最成熟的太阳能电池技术，晶硅太阳能电池目前占据了全球太阳能电池市场近 95% 的份额。目前基于背面接触钝化的单晶硅太阳能电池光电转换效率已经达到了 26.7%，是单晶硅太阳能电池中效率的最高值。此外，新兴太阳能电池技术也取得了一系列研究成果，如 1 cm² 钙钛矿太阳能电池创下了 20.9% 的效率纪录，铜铟镓硒（CIGS）单结太阳能电池最高效率已经上升到了 23.4%，砷化镓（GaAs）太阳能电池的效率纪录达到了 29.1%，而钙钛矿/晶硅、GaInP/GaAs/Si 叠层太阳能电池效率更是分别达到了 28% 和 35.9%。此外，电池的稳定性也是太阳能电池研究需要考虑的另一关键因素。如通过开发新材料、新的电池架构等方法可以有效地改善电池器件的环境稳定性，延长器件寿命。目前，美国、中国、德国、日本、澳大利亚等几个国家是全球太阳能电池主要研发力

量，也是全球主要的光伏市场。在上述几个国家的大力推动下，全球光伏产业蓬勃发展，目前全球光伏市场的年利润已经超过了 1000 亿美元。

（郭楷模）

项目计划

DOE 宣布成立国家核反应堆创新中心

8 月 15 日，美国能源部（DOE）宣布在《核能创新能力法案》框架下成立一个由爱达荷国家实验室领导的“国家核反应堆创新中心（NRIC）”³，旨在为私营企业反应堆技术开发商提供获得使用 DOE 国家实验室战略基础实验设施的途径，助力私营开发商新概念核反应堆技术研发、示范和评估，以加速新概念反应堆技术的许可和商业化进程，从而为新概念核反应堆构建一条从概念原型到商用产品的经济快速成熟的转化路径。

NRIC 的建立有助于将核技术相关的企业、联邦政府机构、国家实验室和大学整合起来，让他们联合开展新概念先进反应堆设计、研发、测试和示范工作；同时能够为新概念反应堆技术的测试、演示和性能评估提供充足的条件支持，以加速新的先进概念核反应堆技术的商业化部署。目前，联邦政府众议院能源和水资源委员会已在 2020 财年预算中为 NRIC 拨款 500 万美元，计划在未来 5 年内完成多种小型模块化反应堆和微型堆示范工作。

编者按：《核能创新能力法案》于 2018 年 9 月由美国总统特朗普正式签署并生效，该法案要求 DOE 加强与私营企业合作，提出建立一家国家反应堆创新中心，以推进先进新概念反应堆示范项目的实施，消除一切阻碍核能技术创新的金融和技术障碍，维持美国在核能技术创新领域的全球领先地位。

（郭楷模）

英国政府提出促进能源系统脱碳的新举措

7 月 23 日，英国政府宣布了一系列促进能源系统脱碳的新举措⁴，以实现其到 2050 年的气候行动目标，打造“净零排放”经济体。英国政府将利用新的融资模式——受监管资产基础框架（RAB），吸引私人投资支持英国的核电发展。此外，英国政府还宣布将在先进模块化反应堆及小型模块化反应堆、重工业脱碳技术、碳捕集等技术领域开展新的资助，并采取措施逐步淘汰燃煤电厂，以促进电力系统脱碳。

³Energy Department Launches New Demonstration Center for Advanced Nuclear Technologies.
<https://www.energy.gov/ne/articles/energy-department-launches-new-demonstration-center-advanced-nuclear-technologies>

⁴Innovative funding models and technologies to drive investment in new wave of low carbon energy.
<https://www.gov.uk/government/news/innovative-funding-models-and-technologies-to-drive-investment-in-new-wave-of-low-carbon-energy>

详细内容如下：

一、通过 RAB 融资模式推动核电项目融资

英国政府提议采用 RAB 这一新的融资方式吸引核电项目的投资，RAB 机制通常用于垄断性基础设施项目融资，如水、天然气和电力网络项目。投资方获得政府监管机构许可后，能够进行投资建设并运营项目，并获得相应投资回报。对于核电项目，投资方将向电力供应商收取费用作为投资回报，收费水平受到独立监管机构的监管，供应商转而向电力系统消费者收取电价以获得利润。RAB 模式已被用于英国泰晤士河排水管道等大型基础设施项目中，能够降低融资成本、开发商成本和消费者的使用成本，该方法还可用于碳捕集项目的融资。

二、开发先进模块化反应堆和小型模块化反应堆

支持开发先进模块化反应堆（AMR）和小型模块化反应堆（SMR），包括使用新的冷却系统或燃料的 AMR 和改进现有核反应堆技术的水冷 SMR。英国政府宣布将在 2019 年秋季向罗尔斯-罗伊斯（Rolls-Royce）公司牵头的反应堆研发联盟“英国小型模块化反应堆”（UK SMR）投入 1800 万英镑的初始启动资金，支持低成本新型 SMR 核电站建设。Rolls-Royce 公司提出了一项 5 亿英镑的政府和工业界联合投资计划，用于设计新型 SMR 核电站，该提议已经获得了产业战略挑战基金（ISCF）的支持。政府还将启动先进模块化反应堆计划的第二阶段资助，选取 4 个研究与开发项目进行资助，每个项目将最高获得 1000 万英镑的资金。除此以外，政府将向英国核监管办公室（ONR）和环境署（EA）提供 500 万英镑，用于推进通用设计审查（GDA）流程的完善工作。

三、支持重工业脱碳

英国政府承诺投入 1.7 亿英镑用于支持工业部门的碳捕集技术部署和氢能网络的搭建，以实现到 2040 年建立全球首个零排放工业部门。为此，工业界将投入 2.61 亿英镑开发新技术，以减少位于英国东北、西北、南威尔士和苏格兰等地区的钢铁、化工和炼油等主要重工业的排放。6 月 27 日，英国商业、能源与产业战略部（BEIS）宣布投入 2600 万英镑资助 9 个工业地区的碳捕集、利用与封存（CCUS）部署项目⁵，其中位于柴郡的塔塔化工欧洲公司将建设碳捕集能力达 4 万吨/年的 CCUS 系统，其碳捕集能力是当前英国最大设施的 100 倍。

四、利用石油和天然气基础设施部署 CCUS

英国政府还宣布了现有的石油和天然气基础设施进行 CCUS 部署的计划，如利用 2 万公里长的管道和枯竭油气藏来运输和封存 CO₂，这将节约 1 亿多英镑的成本。现有石油和天然气基础设施的再利用将有助于解决工业排放，并支持石油和天

⁵ UK's largest carbon capture project to prevent equivalent of 22,000 cars' emissions from polluting the atmosphere from 2021
<https://www.gov.uk/government/news/uks-largest-carbon-capture-project-to-prevent-equivalent-of-22000-cars-emissions-from-polluting-the-atmosphere-from-2021>

然气的绿色经济。为此，英国商业、能源与产业战略部在 2019 年上半年开展了两项工作，即确定有潜力被用于 CCUS 的油气基础设施清单，以及制定油气基础设施再利用的相关政策，并在 7 月 22 日宣布针对这两项工作的结果公开征求意见⁶。

五、逐步淘汰燃煤发电

今年，英国没有使用煤电的累计时间已经超过 2500 小时，是 2017 年的 4 倍。政府宣布，将继续推进淘汰燃煤发电工作，并不再在冬季使用煤电。为了实现到 2025 年完全淘汰煤电的目标，英国政府将会根据欧盟清洁能源法案的电力市场指令引入容量市场碳排放限额的措施，2025 年 7 月 1 日起碳排放超过 550 克/千瓦时的发电容量将无法进入容量市场。为此，英国政府修订了《容量市场法规》，并于今年 7 月 18 日生效。

(岳芳 郭楷模)

DOE 资助 5000 万美元开展新能源卡车和越野车研发

7 月 29 日，美国能源部 (DOE) 宣布资助 5000 万美元用于开展卡车、越野车相关的一系列先进车辆技术项目研发⁷，主要涉及内容包括天然气、生物能源和氢能；氢燃料基础设施和燃料电池技术及重型货运卡车的电气化、越野车节能技术等方面，旨在提升卡车、越野车能效和开发替代燃料，减少能耗和温室气体排放。本次资助主要聚焦六大主题，具体内容参加表 1。

表 1 DOE 新能源卡车和越野车研发项目具体内容

主题	具体内容	资助金额/ 万美元
气体存储技术	<ul style="list-style-type: none"> •利用计算机模拟协助天然气吸附存储吸附剂开发，并开展相关的实验验证，评估其性能 •甲烷和氢气可逆存储的新材料设计开发 •针对甲烷存储开发笼状多孔结构材料 •用于气体存储的异质原子修饰的沸石模板炭研发 •开发用于室温氢气存储的路易斯酸碱对修饰的金属有机框架材料 •开发新型的天然气吸附剂，实现低压、室温和高能量密度存储 	1000
废物到能源转化	<ul style="list-style-type: none"> •生物质废弃物到天然气高效转化技术 •开发高效、低成本生物质废弃物到甲烷的厌氧转化技术 	470
电动货运卡车	<ul style="list-style-type: none"> •开发具有兆瓦无线充电功能的长程 8 级电动卡车 	1800

⁶ Carbon capture, usage and storage (CCUS) projects: re-use of oil and gas assets. <https://www.gov.uk/government/consultations/carbon-capture-usage-and-storage-ccus-projects-re-use-of-oil-and-gas-assets>

⁷Department of Energy Announces \$50 Million for Commercial Truck, Off-road Vehicle, and Gaseous Fuels Research. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-50-million-commercial-truck-road-vehicle-and-gaseous-fuels-0>

	<ul style="list-style-type: none"> •戴姆勒电动卡车 2.0 版本研发 •通过部署智慧能源管理系统改善电动卡车货运效率 •采用碳化硅逆变器/整流器改善电动卡车的传统系统性能 	
中、重型卡车氢气快速加注技术	<ul style="list-style-type: none"> •超低温的氢燃料加注技术 •用于大容量氢气加注的高速动态隔膜压缩机开发 •用于重型卡车的高压、高流量分配器和喷嘴开发 	660
中、重型卡车燃料电池	<ul style="list-style-type: none"> •为重型卡车燃料电池开发长寿命低铂含量电极材料 •为重型卡车燃料电池开发长寿命高功率密度燃料电池 	570
高效越野汽车	<ul style="list-style-type: none"> •开发先进的燃烧系统来改善越野车的能效 •通过电气化提升越野车的物料搬运效率 	500

(郭楷模)

英国政府资助 1900 万英镑支持产业电气化发展研究

7 月 25 日，英国政府宣布在“产业战略挑战基金（ISCF）”框架下资助 1900 万英镑用于英国产业电气化转型研发项目⁸，研究内容涉及电力电子、机械制造、电驱动系统、发电机等主题领域，旨在加速完善英国汽车、航空航天、能源、工业、船舶、建筑和铁路运输等七大领域的电气化发展所需的供应链能力，确保上述行业电气化转型顺利推进，助力英国气候目标的实现。本次资助的研究项目具体内容如下：

表 1 英国产业电气化转型研发项目具体内容

主题	具体内容
电力电子	提升电力电子中的功率无源元件生产制造技术和效率，完善电力电子市场的供应链
电机	开发电机全自动定子线圈绕线技术，废旧电机回收和关键材料提取，原材料精炼技术，电机定子冲压制备和叠层实体制造方法效率的提升，先进的电动机试验台架系统开发
电驱动系统	开发先进的电驱动系统的集成（电控、电机和减速器集成为一体）和测试技术

编者按：产业战略挑战基金（ISCF）于 2016 年底推出，计划在未来四年投入 47 亿英镑，用于资助研究机构和企业开展可能影响英国产业经济的关键技术研究，通过加强学术界和产业界的合作，解决英国产业发展面临的关键挑战，推动英国成为未来产业发展的领导者。

(郭楷模)

⁸ Driving the electric revolution: apply for funding.
<https://www.gov.uk/government/news/supplying-parts-for-the-electric-revolution-apply-for-funding>

空气环境大面积制备工艺加速钙钛矿太阳能电池商业化进程

有机无机杂化钙钛矿太阳能电池效率已经突破 25%，且具有制备成本低、工艺简单等诸多优点，被视为是有望替代晶硅电池的新一代太阳电池，吸引了国内外研究人员的高度关注。然而目前高效率的钙钛矿太阳电池主要局限在小面积器件（ 0.1cm^2 左右）且均在惰性气氛中制备，不利于规模化生产，因此开发空气环境中高性能电池的大面积制备工艺成为钙钛矿太阳电池迈向商业化面临的关键挑战。由阿卜杜拉国王科技大学 Aram Amassian 教授研究团队牵头的国际联合研究团队通过对印刷制备的钙钛矿薄膜流体动力学和结构演化的深入研究，成功实现了在空气环境中制备出大面积（ 1cm^2 ）的纯无机钙钛矿太阳电池，获得了 12.5% 的转换效率，是目前 1cm^2 大面积全无机钙钛矿太阳电池效率最高值。研究人员首先配置了碘化铅（ PbI_2 ）、溴化铅（ PbBr_2 ）和碘化铯（ CsI ）前驱体，随后在空气环境中将上述前驱体置于工业生产用的丝网印刷机上，以工业生产相当的印刷速度（ 2 m/min ）印刷制备出铯铅碘溴（ CsPbI_2Br ）钙钛矿薄膜，随后将其置于加热台进行退火处理使其结晶。为了对比研究，研究人员也利用传统的惰性气氛下旋涂法制备同样的 CsPbI_2Br 钙钛矿薄膜，扫描电镜显示，丝网印刷 CsPbI_2Br 钙钛矿薄膜表面呈现致密无孔洞的光滑表面，且晶粒尺寸大晶界少；相反传统方法制备的 CsPbI_2Br 薄膜表面起伏明显，晶粒尺寸小，晶界多。将上述两种薄膜置于空气环境中 3 小时后，传统方法制备的 CsPbI_2Br 钙钛矿薄膜的颜色发生了显著变化由黑色变成了黄色，而采用新制备工艺的薄膜颜色没有任何变化，表明了新工艺能够改善薄膜环境稳定性。接着研究人员系统研究了不同退火温度对丝网印刷制备的 CsPbI_2Br 薄膜结晶性的影响，发现在低温下（ 80°C 以下），薄膜结晶性较差，产物为非纯相结构；而当温度达到 80°C 时候，薄膜结晶性良好且无孔洞为纯相结构；但当温度进一步升高到 100°C 、 130°C 时候，薄膜结晶性与 80°C 情况相当，但是出现了孔洞。表明了 80°C 是最佳的退火温度，主要原因是退火温度过低使得结晶时间拉长导致空气中水分侵入引起结晶性下降，而当温度过高时候引起的 Bénard-Marangoni 对流也会影响薄膜结晶。因此研究人员将 80°C 作为退火结晶温度，利用丝网印刷工艺制备了不同面积大小（ 0.03 cm^2 和 1 cm^2 ）的 CsPbI_2Br 薄膜，基于小面积的薄膜电池器件的转换效率为 14.7%，而大面积的薄膜器件转换效率为 12.5%，这是迄今为止已报道的大面积全无机钙钛矿薄膜电池效率的最高值。该项研究基于对印刷制备的全无机钙钛矿薄膜结晶过程的流体动力学和结构演化的系统研究，成功制备出了迄今效率最高的大面积（ 1cm^2 ）全无机钙钛矿太阳电池，且整个制备工程均在空气环境中进行，同时解决了大面积制备工艺和空气稳定性问题，为钙钛矿太阳电池商业化奠定了关键技术基础。相关研究成果发表

在《Joule》⁹。

(郭楷模)

3D 打印锂金属负极提升锂金属电池倍率性能和循环稳定性

锂金属负极具备极高的理论比容量、低氧化电位等优点，被视为下一代高性能电池的理想负极材料。然而，锂金属负极在循环过程中会产生锂枝晶，会刺穿隔膜引起电池短路，导致电池性能衰退，甚至产生燃烧爆炸等安全性问题，阻碍着锂金属电池的商业化进程。新加坡国立大学 John Wang 教授研究团队制备了锌金属有机框架 (Zn-MOF) 喷墨，随后利用 3D 打印技术制备出了新型多孔的氮掺杂的碳框架集流体电极，应用于锂金属电池，有效地抑制了锂金属电极的枝晶生长和体积膨胀问题，获得了超高倍率性能和循环稳定性。研究人员首先配置了 Zn-MOF 喷墨材料，接着利用 3D 打印制备出了 Zn-MOF 薄膜，扫描电镜表征显示薄膜呈现出分层级的多孔网络状形貌，网络网格平均尺寸在 200 μm 左右，随后将 Zn-MOF 薄膜置于氮气氛中进行高温退火处理以去除有机成分，获得了氮掺杂的多孔碳框架 3D-NC。氮气脱吸附曲线证实了 3D-NC 为多孔结构，且计算得出其比表面积高达 869 m^2/g 。随后将 3D-NC 与锂 (Li) 金属结合形成复合电极进行电化学性能测试，在 1 mA/cm^2 电流密度下进行循环测试，2000 小时的长时间循环后获得了高达 97.9% 的平均库伦效率；相比之下，单独的 Cu 集流体电极仅仅经过 30 次循环后库伦效率就已经大幅下降到了 66.1%；而当将电流密度提升 30 倍到 30 mA/cm^2 ，3D-NC 和 Cu 结合的集流体电极经历 75 次循环后依旧可以获得 96.5% 的库伦效率，展现出优异的倍率性能。结合扫描电镜对上述两种集流体循环前后的测试可以确认 3D-NC 集流体多孔结构避免了电极体积膨胀，氮掺杂促进了均匀锂金属沉积，避免锂枝晶生长。在 10 mA/cm^2 电流密度下，3D-NC 电极获得了高达 30 mAh/cm^2 面积比容量。而相应的对称电池能够在高达 20 mA/cm^2 电流密度下实现长时间 (150 h) 稳定循环并具有低的过电势 (80 mV)。这主要归因于 3D-NC 多孔结构和氮掺杂确保了锂金属的均匀沉积、抑制了循环过程中的电极体积膨胀，减小了局部电流。该项研究利用 3D 打印技术制备了分层级多孔结构的锂金属电极，电极独特的多孔结构、氮掺杂和高比表面积等特性，确保了锂金属的均匀成核沉积，有效地限制了锂枝晶生长和电极体积膨胀问题，从而增强了电池的倍率性能和循环稳定性，对设计开发高比容量、高倍率性能的新型锂金属负极材料提供了新思路。相关研究成果发表在《Energy Storage Materials》¹⁰。

(郭楷模)

⁹ Yuanyuan Fan, Junjie Fang, Xiaoming Chang, et al. Scalable Ambient Fabrication of High-Performance CsPbI₃Br Solar Cells. *Joule*, 2019, DOI: 10.1016/j.joule.2019.07.015

¹⁰ Zhiyang Lyua, Gwendolyn J.H.Lima, Rui Guo, et al. 3D-Printed Electrodes for Lithium Metal Batteries with High Areal Capacity and High-Rate Capability. *Energy Storage Materials*. 2019, DOI: 10.1016/j.ensm.2019.07.041

氧化锰和纳米钴共修饰多孔石墨碳电极增强锌-空气电池性能

可充电锌-空气电池因具有容量大、比能量高、自放电少、安全性高和环保等优点，在新能源汽车、便携式电源等领域具备广阔的应用空间。然而，由于缺乏高效的氧还原反应（ORR）和析氧反应（OER）催化剂，导致可充电的锌-空气电池循环寿命通常较短。且常用的催化剂均是昂贵的金属催化剂（如铂、钌等），亟需开发价格低廉且性能高效的新型催化剂。新加坡南洋理工大学 Xiong Wen Lou 教授研究团队以双金属有机骨架（MOF）作为前驱体，制备了双金属共掺杂的多孔石墨碳电极，具备了优异的氧还原反应（ORR）和析氧反应（OER）双功能催化性能，应用于锌-空气电池，增强了电池的比容量和循环稳定性。研究人员以含有锰（Mn）和钴（Co）的双金属 MOF 材料作为前驱体，通过水热-煅烧的合成路径，制备了 Mn 和 Co 双金属共掺杂的复合材料。扫描电镜和透射电镜综合表征显示，产物呈现典型的八面体多孔形貌，且有黑色纳米颗粒均匀分散在八面体的表面，平均粒径尺寸约 5 nm，具备了两套紧密排列的特征晶格条纹为 0.18 nm 和 0.22 nm，依次对应 Co 金属的（200）和 MnO 的（200）晶面，表明了形成了 MnO 和 Co 的异质界面。X 射线能谱分析显示整个八面体材料由多孔石墨碳（PGC）和均匀分散在其表面的 MnO 和 Co 组成，即形成双金属共掺杂的多孔石墨碳 MnO/Co/PGC。为了对比研究，研究人员额外制备了只有单独 MnO、单独 Co 修饰的多孔碳 MnO/PGC、Co/PGC 和传统的贵金属催化剂氧化钌（RuO₂），随后将制备的不同催化剂分别置于氢氧化钾溶液中形成标准的三电极系统，测试不同催化剂的 OER 电催化活性。结果显示，MnO/Co/PGC 电极的 OER 催化反应过电位是三种多孔碳中最小的，仅为 307 mV，基本接近 RuO₂（301 mV），表明 MnO/Co/PGC 具备优异的 OER 催化活性。并且 MnO/Co/PGC、MnO/PGC、Co/PGC 电极连续运行 12 小时后过电位基本保持稳定，而 RuO₂ 过电位则明显增大，表明了碳骨架起到了保持电极化学稳定性作用。接着将 MnO/Co/PGC、MnO/PGC、Co/PGC 催化电极和传统的 Pt/C 电极置于氢氧化钾溶液进行 ORR 活性对比研究。实验结果发现，相比单金属修饰的 MnO/PGC、Co/PGC 催化电极，双金属修饰的电极 MnO/Co/PGC 具备了更高的催化起始电位和峰值电流密度，接近 Pt/C 性能，表明其具备优秀的 ORR 活性，主要归因于 Co 金属引入形成 MnO/Co 异质结界面增强了载流子分离。且经过 2000 秒的连续催化反应后，MnO/Co/PGC 仍可保持 89% 的初始电流密度，而 Pt/C 则大幅衰减到了初始值的 31%。上述结果表明了 MnO/Co/PGC 不仅拥有优异的 ORR 和 OER 双功能催化活性，还具备良好的化学稳定性，是良好的锌-空气电池电极材料。随后研究人员分别以 MnO/Co/PGC 和 Pt/C 为催化正极应用于锌-空气电池并进行电化学性能测试，结果显示采用 MnO/Co/PGC 的工作电压为 1.52 V，峰值功率 172 mW/cm²，能量密度高达 1056 Wh/kg_{zn}，350 余次循环后能量效率稳定在 59%，全面优于传统 Pt/C 电极电池

(1.42 V, 150mW/cm², 899 Wh/kg_{zn}, 74 次循环后能量效率下降到了 47%)，该项研究精心设计制备了 Mn 和 Co 双金属修饰的多孔石墨碳电极，一方面双金属的异质结界面增强了载流子分离，多孔石墨碳骨架保障了电极化学稳定性，从而增强了电池的比能量和循环稳定性，为设计开发高效长寿命的锌-空气电池指明了方向。相关研究成果发表在《*Advanced Materials*》¹¹。

(郭楷模)

铜锌双金属催化剂实现二氧化碳到液态燃料高效催化转化

利用可再生能源电力催化还原二氧化碳 (CO₂) 为碳氢液态燃料，是一种绿色的能量转化存储和碳循环技术，吸引了全球科研人员的广泛关注。而在众多液体燃料中，乙醇是极具应用价值的一类。铜催化剂是目前能够实现 CO₂ 到乙醇催化转化的唯一金属，然而目前报道的铜催化剂法拉第效率较低 (仅为 10%~20%)，亟需优化改进提升转化率和产物选择效率。瑞士洛桑联邦理工学院 Michael Grätzel 教授课题组牵头的国际联合研究团队成功设计制备了铜锌双金属 (CuZn) 催化剂，实现了 CO₂ 到乙醇的高效催化转化，获得了高达 41% 的法拉第效率。研究人员首先通过阳极氧化方法制备出了氧化铜 (CuO) 纳米线，接着利用原子沉积方法在 CuO 纳米线外面沉积一层氧化锌 (ZnO) 薄膜，X 射线电子谱表征显示沉积完 ZnO 薄膜后，电子谱没有探测到 Cu 信号，意味着 ZnO 薄膜完全覆盖了 CuO 纳米线，即形成了 CuO @ZnO 核壳纳米线。透射电镜测试结果显示，CuO @ZnO 纳米线的平均直径是 100 nm，ZnO 外壳层厚度约 30 nm。进一步采用电化学对 CuO @ZnO 纳米线进行还原处理，透射电镜显示 CuO @ZnO 纳米线在还原之前的 CuO 和 ZnO 之间清晰的分界线逐步消失了，主要原因是 Cu 元素发生迁移进入到外层最终形成了 CuZn 合金。采用同样方法研究人员制备了 Cu 单质催化剂。接着将上述两种催化剂置于 CO₂ 饱和电解液中进行催化活性测试，在 -7.5 mA/cm² 工作电流密度下，发现在所有的工作电位，Cu 催化剂的 CO₂ 到乙醇法拉第效率都小于 20%；而 CuZn 双金属催化剂的 CO₂ 到乙醇法拉第效率都在 32% 以上，而计入异丙醇的时候，法拉第效率进一步增大到了 41%。此外还发现，随着 CuZn 中 Cu 的比例适当提高，产物中乙醇的占比也会逐步增长。原位的拉曼光谱测试揭示，相比单纯的 Cu 催化剂，CuZn 双金属催化剂活性位点更容易催化还原 CO₂ 到 CO 并吸附 CO，且甲烷 (CH₄) 的产量也被显著抑制了，意味着形成 CH₄ 的中间产物 *CH₃ 被 CO 消耗，两者反应产生了乙醇的中间产物 *COCH₃，因此促进了 CO₂ 到乙醇转化。最后研究人员测试了在 -200 mA/cm² 高电流密度下 CuZn 催化剂的催化活性，实验显示其法拉第效率 (乙醇和异丙醇) 达到了 48.6%，

¹¹ Xue Feng Lu, Ye Chen, Sibow Wang, et al. Interfacial Manganese Oxide and Cobalt in Porous Graphitic Carbon Polyhedrons Boosts Oxygen Electrocatalysis for Zn-Air Batteries. *Advanced Materials*. 2019, DOI: 10.1002/adma.201902339

这是目前报道的 CO_2 催化转化液体燃料最优值，且该催化剂可以连续稳定运行 10 余小时。该项研究设计制备了 CuZn 双金属催化剂，得益于 Zn 的引入增强了催化剂对 CO 的吸附，从而促进了 CO 与 $^*\text{CH}_3$ 结合，更容易产生乙醇的中间产物 $^*\text{COCH}_3$ 提升了 CO_2 到乙醇燃料转化率和产物选择率，为 CO_2 低成本高效还原为液体燃料开辟了新思路。相关研究成果发表在《*Angewandte Chemie International Edition*》¹²。

（郭楷模）

¹² Dan Ren, Jing Gao, Linfeng Pan, et al. Atomic Layer Deposition of ZnO on CuO Enables Selective and Efficient Electroreduction of Carbon Dioxide to Liquid Fuels. *Angewandte Chemie International Edition*. 2019, DOI: 10.1002/anie.201909610

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

微信公众号：CASEnergy

