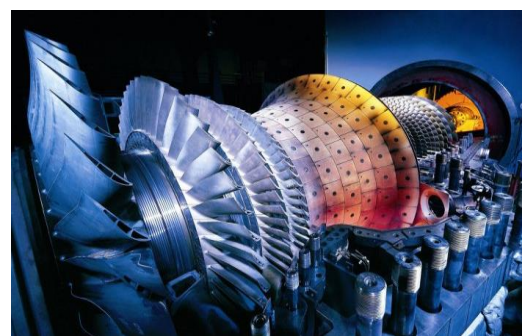


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IRENA：可再生能源驱动的再电气化是能源转型的重要路径
- WindEurope：2018年欧洲海上风电新增装机 2.6 GW
- 英智库：能源转型不确定性影响化石燃料投资者风险偏好
- DOE 资助上亿美元推进事故容错型核燃料研发
- 原位背接触钝化改善界面复合增强钙钛矿电池性能

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

IRENA: 可再生能源驱动的再电气化是能源转型的重要路径2
WindEurope: 2018年欧洲海上风电新增装机 2.6 GW5
英智库: 能源转型不确定性影响化石燃料投资者风险偏好8

项目计划

DOE 资助上亿美元推进事故容错型核燃料研发10
DOE 为大学主导涡轮机研发项目提供 600 万美元资助11
DOE 资助 3800 万美元支持改善燃煤电厂性能技术开发11

前沿与装备

原位背接触钝化改善界面复合增强钙钛矿电池性能12
新型磁场-机械-摩擦纳米发电机实现弱磁场高效磁电转化13
镁掺杂高镍层状正极提升锂离子电池循环寿命14
银-铜纳米二聚体催化剂实现高效 CO₂ 催化还原15

本期概要

国际可再生能源署 (IRENA) 联合中国国家电网公司发布《可再生能源与电气化：推动能源服务转型》报告，总结了当前可再生能源和再电气化的发展趋势和长期路径：当前全球能源再次处在了大转型大变革时期，而驱动这一转型的主要力量是可再生能源，在本次能源转型期间，电网是核心环节，因此由可再生能源驱动的再电气化将对能源系统转型起到关键作用。将电气化和数字技术与可再生能源相结合，可以成为能源系统转型和实现全球气候目标的核心支柱。建筑、交通和工业部门是再电气化的优先发展领域。由于能源系统高度集成和复杂性，能源系统再电气化过程并非一帆风顺，会面临诸多挑战。为应对再电气化过程面临的挑战，报告提出了一系列战略性建议。详见正文。

欧洲风能协会 (Wind Europe) 发布《欧洲海上风电产业统计报告 2018》，回溯了 2018 年欧洲海上风电发展情况：2018 年欧洲海上风电新增 409 台风力发电机并网，新增装机容量 2649 MW，累计共有 4543 台风力发电机并网，装机总量达 18.5 GW，同比增长 18%。新增并网海上风电主分布在英国、德国和比利时，其中英国 1312 MW，德国 969 MW，比利时 309 MW。就装机总量来看，英国依然是欧洲最大的海上风电国家 (8183 MW，占比 44%)，紧随其后是德国 (6380MW，34%)，丹麦则以 1329 MW (占比 8%) 跻身前三甲。风力涡轮机制造商市场占有率方面，西门子依旧雄踞榜首，市场占有率达 69%，紧随其后的是三菱重工维斯塔斯 (24%) 和苏司兰 (5%)。截至 2018 年底，欧洲海上风电场共计安装了 5040 个基座，其中单桩式 (monopiles) 基座依然为主流基座结构，占比超过八成。2018 年有 12 个海上风电新建项目通过了最终投资决策 (FID)，共吸引投资 103 亿欧元，同比增长 17%。

牛津能源研究所发布《能源转型、不确定性及对化石燃料投资者偏好变化的影响》研究报告，系统分析了能源转型对化石燃料投资者的风险偏好影响：过去对能源转型的研究过于关注能源转型速度问题，忽略了能源转型对市场参与者的风险认知的影响。市场参与者的认知比市场基本面变化更快，最终会导致市场的调整。将机构投资者对投资新的能源项目要求的最低预期收益率与近几年已完成项目贴现率进行比较显示，能源转型的不确定性已经开始影响投资者的风险偏好。长周期石油和天然气项目需要 10 至 12 年才能收回未折现前期投资成本，需要 20 年才能偿还折现投资成本，这导致了投资者偏好发生变化，更倾向于投资回报周期短、风险低的项目，如受国家政策支持的光伏和风能。

美国能源部 (DOE) 宣布到 2021 年 1 月底累计将向通用电气、西屋电气和法玛通三大核能企业合作伙伴拨款 1.112 亿美元，加速推进事故容错型核燃料的研究、开发、测试和商业化，三大公司主要任务包括：推进事故容错型核燃料组件结构材料 FeCrAl 基合金研发、事故容错型核燃料锆合金包壳镀铬涂层研发、硅化铀 (U₃Si₂) 燃料芯块研发等。详见正文。

由加拿大多伦多大学 Edward H. Sargent 教授课题组牵头的国际联合研究团队对平板型钙钛矿电池中钙钛矿薄膜和空穴传输层之间的接触面进行原位钝化处理：该方法有效地抑制界面处的复合同时增强了空穴的抽取效率，增强电池性能，光电转换效率高达 21.6%，创造了该结构类型电池效率新高。

IRENA：可再生能源驱动的再电气化是能源转型的重要路径

国际可再生能源机构（IRENA）在1月份与中国国家电网公司联合发布《可再生能源与电气化：推动能源服务转型》报告¹指出，人类的发展史就是一部能源开发利用方式变迁史，当前全球能源再次处在了大转型大变革时期，而驱动这一转型的主要力量是可再生能源。而在本次能源转型期间，电网是核心环节，因为大部分的可再生能源必须转化为电力才能得以广泛应用。因此，由可再生能源驱动的再电气化将对能源系统转型起到关键作用。报告总结了当前可再生能源和再电气化的发展趋势和长期路径，并提出了进一步推动可再生能源和电气化发展的建议。报告主要内容如下：

1、再电气化是能源系统转型的重要路径

•**将电气化和数字技术与可再生能源相结合，可以成为能源系统转型和实现全球气候目标的核心支柱。**在高度数字化的未来，能源服务电气化将普遍存在，可再生能源驱动的再电气化可使电力系统更加灵活，能源系统更安全，减少对化石燃料的依赖，显著提升一次能源使用效率，并降低排放，减少空气污染。

•**发挥电气化和可再生能源之间的协同效应。**“再电气化”将创造一个完全不同的电力系统。交通、建筑和工业的总电力需求将大幅增加，太阳能和风能将成为新的能源市场的主要供应商，电力系统中的高比例波动性可再生能源（VRE）将为电网运营带来挑战。“再电气化”可以超出电力系统发电侧而发挥所有灵活性，因此能够应对这一挑战。为了以经济有效的方式运行这一新系统，仅仅实现终端用户电气化以及新建可再生能源发电设施是不够的。“再电气化”战略还需要智能设备和其他信息通信技术，这些技术可以提供更大的灵活性，控制用电需求以及可再生电力的交付和使用。将智能技术与数字化相结合是降低峰值负荷上升风险、增加使用可再生能源以及避免进行新电网基础设施的大规模投资的关键。

•**再电气化面临的未来挑战。**由于能源系统高度集成和复杂性，能源系统再电气化过程并非一帆风顺。就政策而言，再电气化发展高度依赖法规、税收和补贴措施，这需要强有力的政策推动；在市场方面，能源相关市场和供应链的改变（如电动汽车、热泵）可能还需要很多年；在技术方面，向大规模使用可再生能源过渡也存在相当大的挑战，将高比例波动性可再生能源集成至电网需要在规划和运营方面改善部门之间的协调，还需新建或扩建电网、电动汽车充电网和氢气或合成气生产的基础设施。此外还需进行技术创新，并与相关硬件、软件和服务密切配合以降低成本。

2、再电气化是能源利用方式的重大变革

¹ Electrification with Renewables. <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Electrification-with-Renewables>

•**再电气化的全球视角。**①到 2050 年，全球电力在终端能源消费中的占比将从现在的 20% 上升到近 45%，而部分地区的这一比例甚至可能达到 60%；②同时，可再生能源发电占比将从现在的 26% 攀升至 2050 年的 85%，其中高达 60% 来自波动性可再生能源（如太阳能、风能等）；③在高度电气化的未来，预计到 2050 年全球电动汽车的保有量将达到 10 亿辆，大约占汽车总数的一半，为建筑物供暖的热泵数量将增长十倍达到 2.5 亿多台，许多工业过程可以改用电炉和热泵，长途运输则可以使用氢气或可再生电力生产的合成气体作为燃料；④再电气化将使得能源部门总排放量减少 44%，其中电力、建筑、运输和工业部门的排放将分别减少 64%、25%、54% 和 16%；⑤建筑部门具有最高的电气化潜力（到 2050 年电气化率将达到 50%-80%），其次是工业（34%-52%）和交通（10%-52%）。

•**再电气化的中国视角。**报告对中国国网能源研究院（SGERI）主导研究的中国未来能源转型路径进行了开创性评估，研究表明：①电力在中国能源消费总量中的份额可能会从目前的 21% 增长到 2050 年的 47%；②电力结构将发生结构性转变，即从燃煤电力为主向可再生能源为主转变，到 2050 年可再生能源将提供 66% 的电力，太阳能和风力发电将占发电总量的 41%；③预计到 2050 年，电力在建筑能耗中的份额将从目前的 29% 增加到 63%，工业和交通部门中的电力占比将分别达到 49% 和 25%；④到 2050 年，再电气化将使中国年均碳排放量比 2025 年后的峰值排放减少近一半，其中一半以上由工业部门贡献。

3、再电气化的途径、前景和优先事项

•**建筑部门再电气化。**目前，电力约占住宅建筑能源消耗的 24%，其中 51% 用于商业和公共建筑，可以使用以下技术途径促进其“再电气化”：①通过热泵进行空间供暖和加热用水；②通过电阻加热锅炉，用于加热循环水进行供暖；③使用可再生电力生产的氢气或合成甲烷等燃料，通过天然气管网供给家庭和商业建筑。对于冬季较为寒冷地区，由于冬季电力需求峰值远超其他季节，其建筑电气化面临特殊挑战，解决这一问题的方法包括：①加强现有建筑物的御寒改造，并改进建筑规范以提高新建筑的效率；②利用智能电网和储能技术，解决高峰需求或更紧密地匹配波动性可再生能源电力供应；③增加使用区域供暖系统，可以利用废热、来自废水的热量或可再生热量作为热泵的来源，还可配合热电联产和蓄热系统；④当前进行的示范项目正在探索更创新的方法，如瑞典通过云管理系统控制连接到供热网的建筑物供暖和制冷，英格兰北部的 HyDeploy 项目将电解产生的氢气注入燃气网络以减少排放。

•**交通部门再电气化。**目前，交通运输（公路、铁路、海运和航空）中仅有约 1% 的能源由电力供应，其中三分之二用于全球铁路运输，其余大部分用于有轨电车和地铁。实现交通“再电气化”转型的技术途径包括：①降低电池成本，增加电动

汽车份额；②在电池容量限制电动汽车行驶距离，以及建造新架空电线成本较高的情况下，使用可再生能源制造氢气为燃料电池汽车和火车提供长途行驶的燃料；③使用可再生能源制造合成气或氢衍生物，替代交通化石燃料。将氢及其合成衍生物作为燃料的普及程度主要取决于将来电池的性能和成本。另外，交通电气化将有助于增强电网稳定性和灵活性，表现在：①交通电气化是波动性可再生能源的理想用途，汽车约 90%的时间处于停放状态，通过使用智能电源管理工具优化其充电时间安排，可以适应甚至利用波动性电力；②电动汽车还具备所谓“车辆到电网”（V2G）潜力，当电动汽车停放并连接到电网时，其电池可以帮助调节电网电压和频率，或者提供电力以满足峰值需求；③通过电解产生氢气并用于燃料电池汽车，也可以为电网提供灵活性，电解过程不仅可以快速增加或降低电力需求以匹配供应变化，产生的氢还可以临时储存过剩能量。

•**工业部门再电气化**。目前，电力仅占工业用能的 27%，主要是为泵、电机以及加热和冷却装置提供动力。实现工业“再电气化”的技术和策略包括：①增加使用高效热泵进行低温加热；②采用可在电力和天然气之间即时切换的电锅炉或混合锅炉；③用可再生能源生产的氢气或其衍生物替代天然气作为燃料和原料；④将工业设施迁移到低成本可再生发电地区。由于工业部门的大部分能源消耗在少数能源密集型行业，将政策专注于这些行业可能会对工业部门的电气化及减少碳排放产生重大影响。

•**再电气化对输配网投资的影响**。为了实现大规模电气化，需要投资建设或升级关键基础设施，包括发电和生产氢气、能源输运和分配网络（如电网和天然气及热力管道）、终端用户基础设施（如信息和通信技术设备）。通过减少对峰值负荷基础设施的投资，实现更高的波动性可再生能源电力利用率，以及减少对储能等额外灵活性措施的投资，可以显著降低再电气化成本。采用多种技术路径组合，可以平衡各部门对不同基础设施的要求，尤其可避免对配电设施的过度投资。“再电气化”对输配网投资的重要影响包括：①智能“再电气化”可降低电网峰值负荷成本；②智能电网投资除了可降低峰值负荷，还能极大降低电网成本，增加电网灵活性，避免新建发电和输电的基础设施；③输电网投资需求取决于可再生能源资源的分布；④“再电气化”将增加对氢气生产基础设施的需求，而且需要财政激励或碳价政策支持。

报告最后总结，电气化过程必然面临一系列挑战，为了确保全球能够顺利推进电气化进程，报告为能源部门决策者提出了五大战略性建议，包括：

（1）制定国家能源系统电气化的长期愿景，以引导能源行业的相关利益方开展再电气化的工作。

（2）制定实现长期愿景的详细路线图，包括：①计划建设或扩大再电气化基础

设施，包括输配电网、充电网、氢气生产和分配设施及管道、区域供热和制冷系统；
②为用户量身定制解决方案，以满足当地社区和消费者的特定需求。

(3) 制定相关政策法规，包括：①使用价格信号，例如分时电价；②发展创新技术或所有权模式；③为普及热泵、电锅炉以及智能电表和电器提供激励或资金；④加强建筑规范，提高建筑效率，支持现有建筑的御寒改造。

(4) 实施措施。包括：①支持数字电网技术和解决方案的试点项目，以管理新的负荷模式，优化波动性可再生能源的利用率，并探索协调各部门的“汽车到电网”技术；②开发区域供热和制冷等大规模集中解决方案；③增加智能充电基础设施，评估和规划电力基础设施需求，特别是在配电层面；④探索将能源密集型产业转移到低成本可再生能源发电地区。

(5) 支持关键研究领域。包括：①继续研发电力储能技术以及海运和航空的电气化燃料；②支持工业直接和间接使用电力的研究、开发和示范。

(岳芳 郭楷模)

WindEurope：2018 年欧洲海上风电新增装机 2.6 GW

2月7日，欧洲风能协会(Wind Europe)发布《欧洲海上风电产业统计报告 2018》²指出，2018 年欧洲海上风电新增 409 台风力发电机并网，新增装机容量 2649 MW，累计共有 4543 台风力发电机并网，装机总量达 18.5 GW，同比增长 18%，分布在 11 个国家的 105 个风电场(2018 年新增 18 个并网风电场，其中 15 个实现全面并网，3 个实现部分并网)。截至 2018 年，海上风电占欧洲风电(包括陆上和海上)装机总量的 10%，提供了欧洲电力消耗总量的 2%。

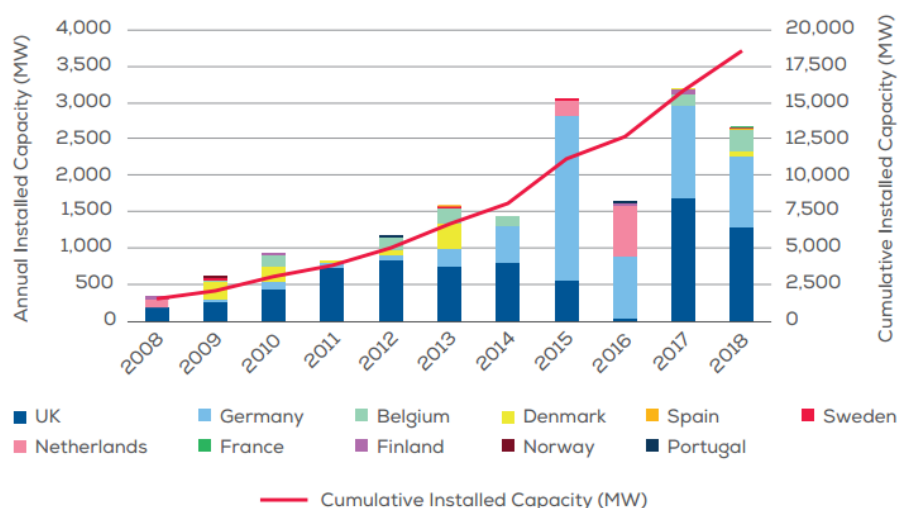


图 1 2008-2018 年欧洲海上风电年度新增装机容量和累计装机总量变化态势(单位: MW)

² European offshore wind capacity grew by 18% in 2018.
<https://windeurope.org/newsroom/press-releases/european-offshore-wind-capacity-grew-by-18-percent-in-2018/>

就新增装机量而言，2018 年欧洲新增并网海上风电主要集中在英国、德国和比利时三个国家。英国占欧洲新增装机量的近一半（新增风力涡轮机 222 台，新增装机容量 1312 MW，占比 49%），德国次之（136 台，969 MW，占比 36%），第三是比利时（8 台，309 MW，占比 12%）。新增并网装机中占比最大的风力涡轮机制造商依旧是西门子歌美飒（245 台，1655 MW，62%），其次是三菱重工维斯塔斯（150 台，885 MW，33%），其余来自通用电气可再生能源公司和 Eolink 公司。2018 年欧洲海上风力涡轮机平均容量同比增加 15% 至 6.8 MW，并网海上风电场平均规模为 561 MW。其中英国在上述两个方面均取得突破性进展：安装了世界最大单机容量风力涡轮机 V164，单机容量 8.8 MW；成功并网了世界装机容量最大的单体海上风电场 Walney 3 extension（657 MW）。德国和比利时也分别建设了本国最大的海上风电场 Borkum Riffgrund II（465 MW）和 Rentel（309 MW）。2018 年海上风力发电场的平均水深为 27.1 m，与 2017 年基本持平，平均离岸距离从 2017 年 41 km 减少到了 2018 年的 33 km。2018 年在建最远的海上风电场是离岸 103 km 的英国 Hornsea One，水深最深的是英国浮动式试验风电场 Kincardine，达到 77m。

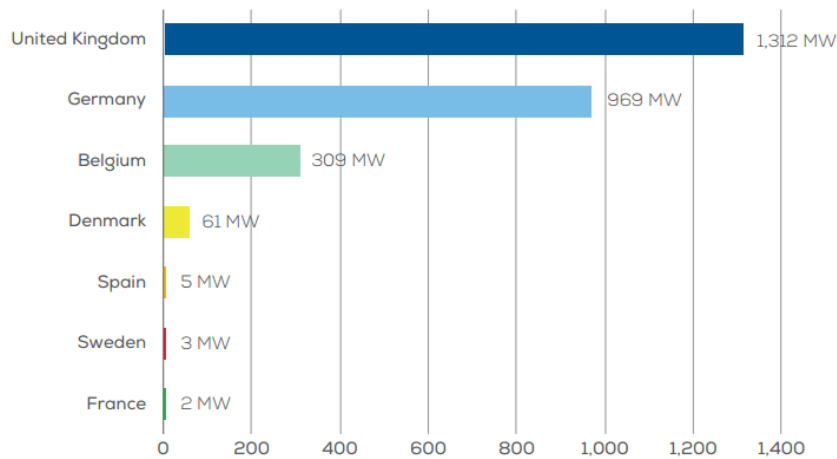


图 2 2018 年欧洲海上风电新增装机容量前七位国家基本情况（单位：MW）

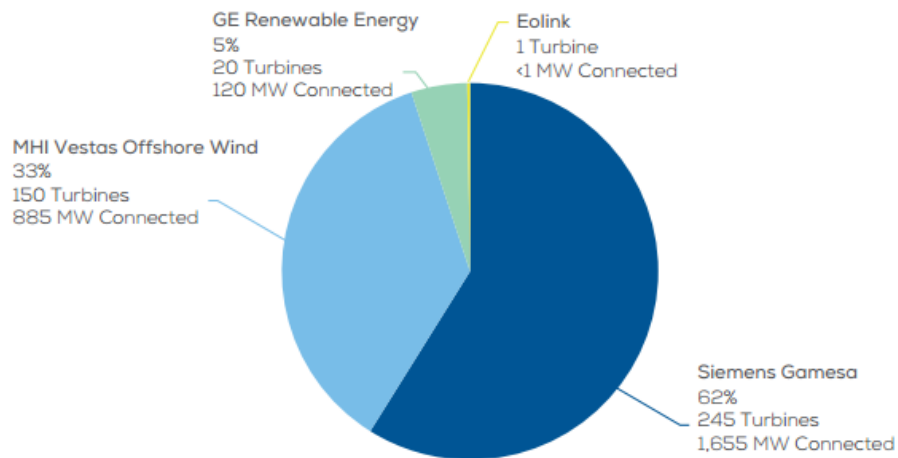


图 3 2018 年欧洲风力涡轮机制造商新增并网装机容量（单位：MW）

就装机总量来看，截至 2018 年底，英国依然是欧洲最大的海上风电市场，其累计装机总量达 8183 MW（拥有风力涡轮机总量达到 1975 台），占全欧装机总量的 44%；紧随其后是德国（6380 MW，1305 台，34%），丹麦则以 1329 MW（514 台，8%）跻身前三甲，比利时和荷兰分别以 1186 MW（274 台，6.4%）和 1118 MW（365 台，6%）分居第四和第五位，上述五个国家累计装机容量之和占全欧累计装机总量的近 98%。就风力涡轮机制造商市场占有率而言，西门子以 69%市场占有率雄踞榜首，紧随其后的是三菱重工维斯塔斯（24%）和苏司兰（5%）。截至 2018 年底，欧洲海上风电场累计安装了 5040 个基座结构，其中单桩式基座依然为主流基座结构，数量达到 4062 个（占比 81.9%）；其次是导管式基座结构（446 个，6.6%）；随后依次为重力式结构（301 个，6.2%）、三脚架结构（126 个，3.9%）和三桩式（80 个，2.9%）以及 9 个浮动式海上风力涡轮机。

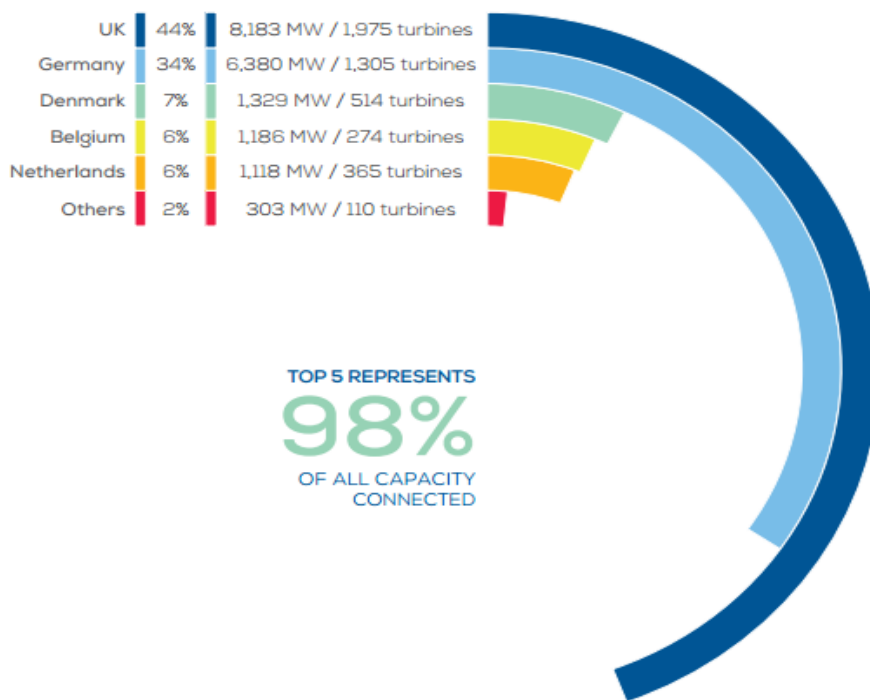


图 4 截止 2018 年欧洲海上风电累计装机容量前五位国家情况（单位：MW）

就投融资而言，2018 年有 12 个海上风电新建项目通过了最终投资决策(FID)，总装机容量 4.217 GW，共吸引投资 103 亿欧元，较 2017 年大幅增加 17%，为 2010 年以来的历史第三高投资额。其中 95%的新项目集中分布在英国、比利时、丹麦和荷兰四个国家。英国以 54 亿欧元成为获得投资最多的国家，共有 3 个新建风电场项目，容量总计 1858 MW；紧随其后的是荷兰（14 亿欧元，1 个，732 MW）和丹麦（11 亿欧元，1 个，605MW）。

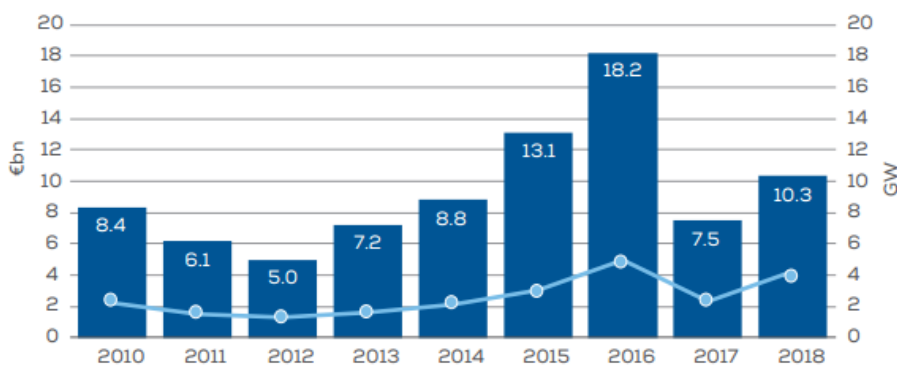


图5 2010-2018年欧洲海上风电新增投资及其装机容量变化情况（单位：左/右纵坐标分别为10亿欧元和GW）

（郭楷模）

英智库：能源转型不确定性影响化石燃料投资者风险偏好

1月24日，牛津能源研究所发布《能源转型、不确定性及对化石燃料投资者风险偏好的影响》研究报告³指出，能源转型是一个复杂系统工程，涉及能源生产、输送、配置、利用各个环节，需要很长一段时间才能完成。但这并不意味着这一转型影响只有在整个过程完成后才能表现，其影响在当下就已经显现。报告系统调查能源行业相关投资者对新能源项目的最低预期收益率，并将其与公共领域中已完成项目的贴现率进行了比较。结果显示，能源转型的不确定性已经开始影响化石燃料项目投资者的风险偏好，投资者提高了长周期石油和煤炭项目的最低预期收益率。同时，文章列出了投资者风险偏好变化对化石燃料市场的重大影响。关键要点如下：

1、能源转型期间市场投资者面临的主要风险

能源转型期间，市场参与者面临如下风险：①需求和技术风险，与每年的商品和服务交易量及相关技术或燃料有关；②市场价格风险，与商品和服务的市场价格（如石油、天然气价格及碳排放价格）及其生产过程中的技术投入（如电池技术投入）有关；③政策风险，与政策激励有关，如政策补贴、税收、性能标准、生产标准和直接监管；④其他风险，包括诉讼成本、公司声誉及影响商业模式或公司资产价值的任何其他因素。

2、能源转型不确定性开始影响化石燃料投资风险偏好

过去对能源转型的研究过于关注能源转型速度问题，忽略了能源转型对市场参与者的风险认知的影响。市场参与者的认知比市场基本面变化更快，最终会导致市场的调整。将机构投资者对投资新的能源项目要求的最低预期收益率与近几年已完

³ Energy Transition, Uncertainty, and the Implications of Change in the Risk Preferences of Fossil Fuels Investors. <https://www.oxfordenergy.org/publications/energy-transition-uncertainty-implications-change-risk-preferences-fossil-fuels-investors/>

成项目贴现率进行比较显示，能源转型的不确定性已经开始影响投资者的风险偏好：①太阳能和风能已完成项目的最低预期收益率为 9%-11%，液化天然气（LNG）为 12%，与机构投资者目前的投资要求（太阳能和风能为 10%-11%、LNG 为 14%）相比，保持稳定水平；②其他化石燃料的最低回报要求显著增加，特别是深水石油、长周期大型石油项目和新煤矿项目，分别从 15%、13% 和 16% 增长至 18%、21% 和 40%。风能和太阳能项目风险状况保持稳定的主要原因是受到了政府政策支持，降低了市场不确定性的影响，同时，这些技术的成本一直处于下降趋势，使投资方对未来获得更好的经济效益抱有期望。由于 LNG 能够与波动性可再生能源形成互补，且碳排放量较低，因此获得了投资者认可。长周期石油和煤炭项目最低预期收益率较高的主要原因是投资者对能源转型的担忧日益增加，尤其是煤炭项目，由于对气候变化立法的担忧，投资者要求高回报来补偿煤矿被关闭的损失。

3、能源转型期间投资者风险偏好的变化对化石燃料市场的影响

•**投资风险偏好变化抑制了对长周期石油、天然气和煤炭项目的投资，上游投资集中在具有较短投资回报周期的短期项目。**长周期石油和天然气项目需要 10 至 12 年才能收回未折现前期投资成本，需要 20 年才能偿还折现投资成本，因此要求投资者考虑 2028-2038 年内的不确定性，这将导致更高的资本成本。

•**投资风险偏好变化将影响化石燃料公司的资产评估，从而影响公司的现金流和资产收益。**石油和天然气公司是非金融企业部门的主要构成，全球总市值达数万亿美元。投资风险的变化以及贴现率将导致重新评估这些公司的资产价值及其未来利润，这可能会对其市值、需求、信誉和资产价值产生巨大影响。由于石油和天然气公司负债较高，资产重估对金融市场的稳定性有影响。

•**促使石油和天然气公司采用低风险运营方式，重视其石油的收获阶段，不愿进行勘探、评估和开发。**石油和天然气行业有三种类型公司：私募股权投资公司、上市公司（石油巨头）和国有石油公司。油田在勘探、评估和设计时评估价值，在投入资金开发项目时获取价值，在启动后价值逐渐减少。能源转型风险将导致石油和天然气公司向“收获阶段”的投入过度集中，不愿进行“勘探和评估”和“开发”。同样地，私募股权投资公司认为自己更有条件从短期项目中获利，其商业模式阻碍了长周期投资。国有石油公司不受大型石油和天然气公司面临的环境审查和撤资压力的影响，但许多国有石油公司往往缺乏必要的专业知识、资本和财务能力来扩大其在国际市场上的业务，大型石油和天然气公司承担了全球上游和下游 70% 以上的投资。

•**如果投资不足，可能会影响化石燃料的供应量，并会对价格产生潜在影响。**上游投资仍未从 2014-2016 年的下降中恢复，2017 年持平，2018 年仅略有上升，投资重点是美国轻质油。除此之外，现有成熟油田的产量持续下降，估计每年供应量下

降 300 万桶/日，存在潜在的供应缺口，这将影响石油价格。

•当能源市场开始为转型相关风险定价时，可能会影响石油的长期价格。随着未来几年全球经济的强劲增长，石油需求保持增长势头，结合可能出现的供应短缺，如果市场开始对转型相关风险进行定价，则石油的长期价格可能高于以前的预期。为了推进新的长期项目，油价可能需要维持在激励价格之上一段时间。因此，高门槛回报率可能会引发长期油价上涨，对长期供需产生影响。

•长期高油价提升了替代资源的经济性，可能会加速能源转型过程。风险和溢出效应导致的煤炭和天然气价格上涨将提高替代资源的经济性，促进能效和储能的发展。某些替代能源发电技术，例如陆上风能，已经具备与传统发电技术的成本竞争力。传统发电技术的平准化能源成本（LCOE）对燃料价格敏感，燃料价格上涨将使更多的替代能源具有竞争力，这可能会加速能源转型。

（岳芳 郭楷模）

项目计划

DOE 资助上亿美元推进事故容错型核燃料研发

1 月 31 日，美国能源部（DOE）宣布到 2021 年 1 月底累计将向通用电气、西屋电气和法玛通三大核能企业合作伙伴拨款 1.112 亿美元⁴，旨在加速推进事故容错型核燃料的研究、开发、测试和商业化，提高核反应堆安全性、可靠性和经济性。目前核燃料系统存在安全缺陷，尤其在反应堆能动安全系统失效后越发明显；而事故容错型核燃料比目前核燃料的设计具有更长久容错时间的潜力，扩大了核电站现有的安全裕量，能够显著提升核反应堆的可靠性和安全性。本次资助的研发项目具体内容参见表 1。

表 1 事故容错型核燃料研发项目具体内容

承担机构	具体内容
通用电气	推进事故容错型核燃料组件结构材料 FeCrAl 基金属研发，同时开展容错型核燃料锆合金包壳涂层材料研究，耐高温高稳定性的二氧化铀陶瓷燃料研发
法玛通	事故容错型核燃料锆合金包壳镀铬涂层研发，以及掺杂铬的二氧化铀核燃料芯块研发
西屋电气	推进硅化铀（U ₃ Si ₂ ）燃料芯块研发，开发铬涂层锆包壳管，以及新型的碳化硅包壳研发

该项目要求在最初的 14 个月时间内，三家公司必须要达到四个要求，包括：（1）

⁴ DOE Awards \$111 Million to U.S. Vendors to Develop Accident Tolerant Nuclear Fuels.
<https://www.energy.gov/ne/articles/doe-awards-111-million-us-vendors-develop-accident-tolerant-nuclear-fuels>

确保在上述时间内将先导测试棒装载到美国商业核电站；（2）确保新研发的事故容错型核燃料被装载到爱达荷国家实验室的反应堆试验设施中；（3）探讨事故容错型燃料概念的许可方案，要求每个概念至少有一个核电厂所有者/运营商的参与；（4）就上述许可目的及时向美国核监管委员会（NRC）报告说明。此外，DOE 还计划在 2020 财年额外拨款 5560 万美元资助，在 2021 财年额外拨款 3000 万美元，视国会批准情况而定。

（郭楷模）

DOE 为大学主导涡轮机研发项目提供 600 万美元资助

1 月 15 日，美国能源部（DOE）宣布资助 600 万美元用于支持由大学主导的涡轮机研发项目⁵，旨在探索和开发新兴化石燃料发电厂用的燃气轮机新技术和材料，简化涡轮机安装和维护成本，提高运行可靠性和寿命，从而提高燃气轮机发电厂的生产力和涡轮机效率。本次资助项目着重聚焦四大主题领域，具体内容参见表 1。

表 1 涡轮机研发项目具体内容

主题	研究内容
压力增益燃烧	针对旋转爆震发动机（RDE）开发全新的增压燃烧技术，使得燃烧室和发动机核心组件的燃烧过程中产生压力增益，提升潜在的热效率和推重比，降低燃耗
关键热端部件材料和工艺研发	开展燃气轮机关键热端部件新材料和新工艺的研发，进一步提高部件材料抗氧化、抗腐蚀、抗蠕变和耐高温特性，使其在高的机械应力作用 and 高温环境下具备更长的工作寿命，同时提高燃烧效率，使联合循环发电效率超越 65%
超临界 CO ₂ 动力循环	开发 715°C 透平进口温度、20 兆帕的大气压下（以及更高温度和气压，1200°C/30 兆帕），可以高效运行的超临界 CO ₂ 动力循环技术，提高热利用效率，提高电力产能
配有储能系统的化石燃料发电厂	针对配有储能系统的化石燃料发电厂开展经济-技术竞争力评价

（于小燕 郭楷模）

DOE 资助 3800 万美元支持改善燃煤电厂性能技术开发

1 月 23 日，美国能源部（DOE）宣布资助 3800 万美元用于先进燃煤电厂技术开发新项目⁶，旨在开发先进高效低排放的燃煤发电新技术，以改善现有电厂的整体性能、可靠性和灵活性。本次资助将关注三大技术主题：（1）传感器、诊断和控制

⁵ DOE Announces \$6 Million for University-Based Turbines Research and Development Projects. <https://www.energy.gov/fe/articles/doe-announces-6-million-university-based-turbines-research-and-development-projects>

⁶ Department of Energy Announces \$38 Million for Improving Existing Coal-Fired Power Plants. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-38-million-improving-existing-coal-fired-power-plants>

技术，以改善现有火电厂运行效率和可靠性；（2）发电厂组件改进，测试和验证提高现有电厂组件效率、可靠性和灵活性的技术；（3）数据分析驱动控件，基于人工智能（AI）和机器学习进行数据建模分析，结合物理模型，准确预测电厂性能、可靠性和灵活性。具体内容参见表 1。

表 1 改善燃煤电厂性能的三大主题具体研究内容

主题领域	具体内容
传感器、诊断和控制技术	<ul style="list-style-type: none"> •相关技术的电厂现场测试，包括稳态和瞬态情况，将技术成熟度（TRL）达到 5 或 6 级的技术提升至 7 级，为进行商业示范做好准备 •相关技术的环境测试，在与燃煤电厂相关的环境中测试技术，将在工作台或小型中试规模试验台上进行，将 TRL 为 4 级的技术提升到 5 级，为在现场测试做好准备
发电厂组件改进	<ul style="list-style-type: none"> •相关技术的电厂现场测试，包括稳态和瞬态情况，将技术成熟度（TRL）达到 5 或 6 级的技术推进至 7 级，为进行商业示范做好准备 •相关技术的环境测试，在与燃煤电厂相关的环境中测试技术，将在工作台或小型中试规模试验台上进行，将 TRL 为 4 级的技术推进至 5 级，为在现场测试做好准备
数据分析驱动控件	<ul style="list-style-type: none"> •基于物理属性的自适应数据驱动方法，可提高电厂灵活性、可靠性和性能。基于物理模型和 AI 数据模型的混合建模，进行组件级别和系统级别的模型开发，完成混合模型的概念验证、离线测试，并开发将软件代码集成至运行的燃煤电厂数据网络的方法 •利用 AI 改进电厂数据分析和控制，进行故障监测、故障原因分析、过程控制改进、环境监控、状态维护和使用寿命预测

（岳芳 郭楷模）

前沿与装备

原位背接触钝化改善界面复合增强钙钛矿电池性能

近年来，有机无机杂化钙钛矿太阳能电池（PSCs）研究取得了快速进展。但由于该电池采用的是多层薄膜堆叠结构，因此在各薄膜层之间（尤其是钙钛矿薄膜和空穴薄膜接触界面）存在一定的界面复合，因此通过界面工程进行优化改善复合成为该电池研究热点之一。由加拿大多伦多大学 Edward H. Sargent 教授课题组牵头的国际联合研究团队采用界面工程，对平板型钙钛矿电池中钙钛矿薄膜和空穴传输层之间的接触面进行原位钝化处理（亦称为原位背接触钝化，电子传输层和钙钛矿薄膜接触面钝化称为正向钝化），有效地抑制界面处的复合同时增强了空穴的抽取效率，增强电池性能，光电转换效率高达 21.6%，创造了该结构类型电池效率新高。研究人员首先利用抗溶剂法于导电玻璃基底制备了钙钛矿薄膜，随后采用 PVDF-HFP、PTAA 和 PTPD 三种聚合物薄膜作为背接触钝化层（BCP）分别覆盖于已制备好的三组钙钛矿薄膜进行对比研究，其中 PVDF-HFP 为绝缘性，PTAA 和 PTPD 为半导

体性质，且两者的最高已占轨道（HOMO）分别为-5.1eV 和-5.5eV。能量色散 X 射线成像表征显示，三种聚合物薄膜都均匀覆盖于钙钛矿薄膜之上。X 射线衍射谱和扫描电镜测试显示，未覆盖和覆盖了 BCP 的钙钛矿薄膜的晶形和形貌没有区别，即 BCP 层引入对钙钛矿薄膜本身晶形和形貌没有影响。随后将上述薄膜用于组装平板型钙钛矿电池并进行电化学性能测试，结果显示采用无 BCP 钝化层电池其开路电压为 1.128 V，短路电流密度为 22.7 mA/cm²，填充因子为 78.7%，转换效率为 20.9%；采用绝缘 PVDF 钝化层电池填充因子有所增加但电流下降更多导致效率下降至 20.1%；采用 PTAA 和 PTPD 钝化层的钙钛矿电池各项性能参数都得到了改善，因此转换效率都提升了，尤其是后者，其转换效率达到了 21.9%，这是已报道的平板型钙钛矿电池效率的最高值。时间相关的光致发光谱（PL）表征揭露，相比没有钝化层钙钛矿薄膜，含有 PVDF-HFP 钙钛矿薄膜的 PL 谱强度增加，表明其有载流子寿命延长但由于其绝缘性导致无法传输以至于和空穴复合；相反，PTAA 和 PTPD 钝化层钙钛矿薄膜的 PL 强度下降，意味载流子和空穴发生了高效分离，而且由于 PTPD 的 HOMO 更负，因此其空穴的抽取分离性能更优，因此其转换效率更高。该项研究通过界面工程对钙钛矿和空穴之间的接触界面进行了原位的背接触钝化处理，抑制了界面处复合并改善了空穴的抽取效率，增强了电池性能，为钙钛矿电池界面钝化优化处理提供了新思路。相关研究成果发表在《*Advanced Materials*》⁷。

（郭楷模）

新型磁场-机械-摩擦纳米发电机实现弱磁场高效磁电转化

人类生活的环境中充满了交流磁场（如电缆、家庭电线等），开发相关技术将这些广泛存在的交流磁场能量利用起来意义非凡。而利用磁致伸缩和摩擦电效应将交流磁场能量转化为机械能，随后经摩擦电效应转化成电能将是一种有效利用交流磁场能量的方式。由韩国材料科学研究院 Geon-Tae Hwang 教授领导的联合研究团队开发出一种全新的磁场-机械-摩擦纳米发电机（MMTEG）模块，其能够高效地将低强度（小于 1 mT，相当于日常生活 50/60 Hz 频率电网磁场，传统的磁电发电机需要 1000 T 左右强磁场）的交流磁场能量高效转化为电能，最大峰值功率可达 21.8 mW，能够点亮 108 个蓝色 LED 灯泡，且经过上百万次的磁致伸缩形变而保持稳定输出，在自供能设备（如可穿戴手表、传感器）领域展现出广阔的应用前景。为了增强摩擦纳米发电性能，研究人员利用气溶胶沉积（AD）工艺，将氯化钠（NaCl）纳米颗粒沉积在聚四氟乙烯（PFA）薄膜表面，接着用水溶解除去 NaCl 纳米颗粒并进行干燥处理就可得到表面具有复杂纳米结构的 PFA 薄膜。随后按照铝膜（Al）、PFA、金膜（Au）、钛膜（Ti）和钕铁硼（NdFeB）磁性薄膜材料顺序通过粘胶将其粘连，

⁷ Furui Tan, Hairan Tan, Makhsud I. Saidaminov et al. In Situ Back-Contact Passivation Improves Photovoltage and Fill Factor in Perovskite Solar Cells. *Advanced Materials*, 2019, DOI: 10.1002/adma.201807435

使其形成悬臂梁结构的 MMTEG，其中 NdFeB 磁铁材料在交流磁场作用下能够上下重复运动，从而将磁场能量转化机械能，而 PDF 膜则能够通过摩擦电效应将上述机械能转化为电能，Al、Au 和 Ti 分别为电极部分负责收集电荷。随后研究人员将上述 MMTEG 模块置于亥姆霍兹线圈（负责产生均匀的交流磁场）中，以测试磁电转换性能。在 143.2 Hz、0.7 mT 交流磁场环境中，含有 NaCl 纳米颗粒图案的 MMTEG 模块开路电压和短路电流分别达到 708 V 和 277 μA ，远高于没有 NaCl 纳米颗粒图案的 MMTEG 模块（开路电压和短路电流分别为 448 V 和 118 μA ）。在 2 M Ω 的外加负载下，纳米图案的 MMTEG 模块最大峰值功率达到了 21.8 mW，近 6 倍于无纳米图案的 MMTEG（最大峰值功率为 3.8 mW），主要原因是具有纳米图案的 MMTEG 模块表面粗糙度更大，使得摩擦电效应更强。发电机稳定性是其实际应用的关键，疲劳测试显示经过 3300 万次的形变，纳米图案的 MMTEG 模块电能输出仅仅衰减不到 5%，展现出优秀的稳定性，远优于传统的摩擦纳米发电机。为了证明该 MMTEG 模块实际应用价值，研究人员将其置于家用电器电线（交流磁场频率为 60 Hz，磁场强度约为 0.1 mT）附近 1 mm 处，发现其能够产生 330 V 的开路电压和 23 μA 的短路电流，能够点亮 108 个蓝色 LED 灯泡。该项研究利用气溶胶沉积工艺技术，精心设计制备了高摩擦电性能的新型磁场-机械-摩擦纳米发动机，能够有效地利用微弱的交流磁场发电，且具备了优秀的输出性能稳定性，为自供电、免维护电子设备的电力供应提供了全新的技术解决方案。相关研究成果发表在《*Energy & Environmental Science*》⁸。

（郭楷模）

镁掺杂高镍层状正极提升锂离子电池循环寿命

高镍正极材料具有高容量、低成本和原料来源丰富等优点，是一种极有应用前景的锂离子电池电极材料。然而循环性能不佳、材料热稳定性差等问题限制了该类正极的实际应用。德克萨斯大学奥斯汀分校的 Arumugam Manthiram 教授带领的研究团队设计制备了全新的镁掺杂的高镍正极材料，克服了高镍正极各项异性的晶格畸变，提升了电极结构的稳定性，从而增强了循环稳定性。研究人员利用共沉淀法同时制备了高镍层状正极材料锂镍钴氧化物 $\text{LiNi}_{0.94}\text{Co}_{0.06}\text{O}_2$ (NC)，和镁 (Mg) 元素掺杂改性的 NC 电极 NC-Mg。电感耦合等离子体原子发射光谱测试显示，上述两种电极的锂 (Li) 元素的摩尔比都小于 1，主要原因是 Li 化学性质活泼导致部分 Li 挥发至电极材料表面与空气反应形成残留的锂氧化物。但是 NC-Mg 电极的残留锂氧化物的量要少于 NC 电极。X 射线衍射表征显示 Mg^{2+} 占据了 Li 层空间中 Li^+ 的空位，主

⁸ Kyung-Won Lim, Mahesh Peddigari, Chan Hee Park, et al. A high output magneto-mechano-triboelectric generator enabled by accelerated water-soluble nano-bullets for powering a wireless indoor positioning system. *Energy & Environmental Science*, 2019, DOI: 10.1039/C8EE03008A

要是两者的离子半径相近所致。而占据 Li^+ 的空位的 Mg^{2+} 能够充当支撑离子，在发生锂脱嵌的时候以避免大幅度的各项异性的晶格畸变，保持电极结构稳定性。半电池电化学测试显示，在 150 次循环之后，NC 的电压平台变得难以区分，而 NC-Mg 的电压平台仍然可以区分，表明 NC 在循环后经历了一个不可逆的结构变化，即 NC-Mg 与 NC 相比具备优越的结构稳定性。在 2.5-4.3V 电压窗口、C/2 倍率下进行全电池恒电流循环测试，结果显示基于 NC-Mg 电极的全电池经过 500 次循环后仍有高达 214 mAh/g 放电比容量，且容量保持率为 80.1%，远高于 NC 的保持率(56.3%)。更为关键的是在更高的 10C 倍率下，NC-Mg 电极的全电池仍可获得 158 mAh/g 放电比容量，表明其显著的高倍率性能。此外，差热分析曲线发现 Mg 掺杂显著提高了 NC-Mg 的放热峰温度至 211°C，远高于 NC 的 177°C，意味 NC-Mg 的热稳定性提高了。该项研究证明了向高镍层状正极中的锂层中引入适当的镁离子 (Mg^{2+}) 进行部分原位替代，可以提高电极结构稳定性和热稳定性，从而增强电池循环寿命，为设计开发高能量密度长寿命的锂电池正极材料指明了新方向。相关研究成果发表在《*Chemistry of Materials*》⁹。

(周斌 郭楷模)

银-铜纳米二聚体催化剂实现高效 CO_2 催化还原

电催化还原 CO_2 制备高价值的多碳产品，不仅有助于应对能源危机，还能够缓解温室气体效应，从而引起了广泛关注。但是，由于当前催化剂的选择性和活性有限，电催化还原 CO_2 的效率不高，亟需开发高效高选择性的催化剂。瑞士洛桑联邦理工学院 Raffaella Buonsanti 教授研究团队利用种子生长法制备了银-铜 (Ag-Cu) 双金属纳米二聚体，作为催化剂应用于电催化还原 CO_2 ，大幅增强了催化还原反应的法拉第效率。研究人员首先分别配置了醋酸铜和硝酸银的前驱体，随后利用溶液还原法，以 Ag 纳米颗粒为种子诱导生成 Ag-Cu 双金属二聚体。透射电镜表征显示，Ag-Cu 纳米二聚体呈现出典型的葫芦状，由 Ag 和 Cu 两个纳米半球组成，每个半球的直径在 25-30nm 之间；高分辨的透射电镜观测到两个金属半球之间形成了清晰可见的接触界面。X 射线衍射峰测试显示该二聚体具有两套独立的特征峰，分别对应 Ag 和 Cu 面心立方结构。紫外可见吸收光谱则出现了 403 nm 和 414 nm 两个吸收峰，依次对应 Ag 和 Cu 的等离子体共振吸收峰；上述测试结果表明了 Ag-Cu 纳米二聚体具有完整的 Ag 和 Cu 的单独相结构，而非合金形式。为了对比研究，研究人员再合成了单独的 Ag 和 Cu 纳米颗粒催化剂，随后对上述合成的催化剂的 CO_2 催化还原性能进行测试。实验结果显示对于单独 Ag 纳米颗粒，其催化还原 CO_2 产物主要为 CO 和甲酸盐，其中 CO 的法拉第效率 (FE) 在 -0.9 V 至 -1.1 V 的电位范围内达到最大

⁹ Qiang Xie, Wangda Li, Arumugam Manthiram. A Mg-Doped High-Nickel Layered Oxide Cathode Enabling Safer, High-Energy-Density Li-Ion Batteries. *Chemistry of Materials*, 2019, DOI: 10.1021/acs.chemmater.8b03900

值（50%-60%）；而 Cu 纳米颗粒催化还原 CO₂ 时候其产物中 CO 量有所减少，原因是部分被消耗用于产生 CH₄、C₂H₄ 等，C₂H₄ 的 FE 在 -11.1 V 时达到最大值约 12%；而采用 Ag-Cu 二聚体催化剂时候，CO 显著受到抑制，主要产物为 C₂H₄，而在 -1.1 V 电位时，C₂H₄ 的 FE 最大，比 Cu 纳米颗粒增强了 3.4 倍。为了探究这一增强作用的潜在机理，研究人员将 Ag 颗粒和 Cu 颗粒的进行简单的物理混合（即 Ag+Cu）并测试催化性能，结果显示 Ag+Cu 的催化 CO₂ 还原 C₂H₄ 的 FE 相比 Cu 只提升 1.5 倍，没有二聚体增强的幅度大，表明二聚体额外增强催化还原特性不是由 Cu 和 Ag 纳米颗粒简单物理靠近引起的。紫外可见光谱和 X 射线光电子能谱联合分析揭示，二聚体通过界面区域的偶联引起的串联催化和电子转移效应是其高效催化还原 CO₂ 的根源所在。该项研究开发了一种新型 Ag-Cu 二聚体催化剂，其独特的界面偶联和电子转移特性使其实现了 CO₂ 高效催化还原，为设计开发其他高效的双金属二聚体催化剂积累了关键的理论知识。相关研究工作发表在《*Journal of the American Chemical Society*》¹⁰。

（刘竞 郭楷模）

¹⁰ Jianfeng Huang, Mounir Mensi, Emad Oveisi, et al. Structural Sensitivities in Bimetallic Catalysts for Electrochemical CO₂ Reduction Revealed by Ag-Cu Nanodimers. *Journal of the American Chemical Society*, 2019, DOI: 10.1021/jacs.8b12381

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

