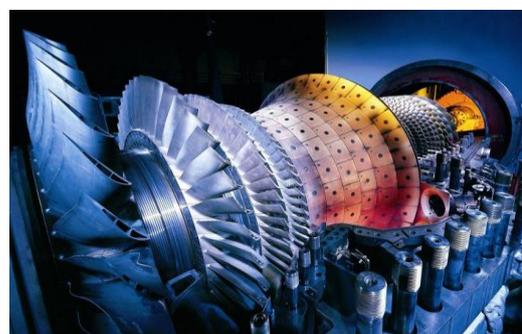


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：2018 年全球能源投资企稳 电力投资连续三年超油气
- IRENA 发布面向 2050 的新版能源转型路线图
- 欧洲能源研究联盟发布核能材料战略研究议程
- ARPA-E 新项目加速 AI 和机器学习在能源领域的应用研究
- 单晶钙钛矿太阳能电池转换效率纪录超过 21%

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: 2018 年全球能源投资企稳 电力投资连续三年超油气2
IRENA 发布面向 2050 的新版能源转型路线图6
欧洲能源研究联盟发布核能材料战略研究议程9

项目计划

DOE 资助 7900 万美元推进生物能源研究11
DOE 资助 3350 万美元开展高能效建筑技术研发12
ARPA-E 新项目加速 AI 和机器学习在能源领域的应用研究13

前沿与装备

单晶钙钛矿太阳能电池转换效率纪录超过 21%13
扩大层间距增强水系锌电池倍率性能和循环稳定性14
局部温度热点是锂枝晶快速生长和电池短路的潜在诱因15
富磷 CoP_2 催化剂助力高效稳定裂解水产氢16

本期概要

国际能源署 (IEA) 发布《全球能源投资 2019》报告, 对全球能源行业的投资现状和趋势进行了系统分析: 2018 年全球能源投资企稳, 约 1.85 万亿美元, 结束了过去三年连续下滑的态势。从行业来看, 2018 年上游油气投资增加了 4% 至 4770 亿美元, 煤炭供应投资增长了 2% 至 800 亿美元, 能效投资连续第二年保持稳定。但电力行业投资下降 1% 至 7750 亿美元, 尽管如此电力行业仍旧是吸引投资最多的行业, 连续第三年超过石油和天然气行业投资总和。从区域来看, 2018 年中国仍是全球最大的能源投资市场, 但其领先优势逐步收窄。主要是在过去 3 年中 (2015-2018 年), 中国政府加快低碳电力、电网和能效发展, 导致新建燃煤电厂的投资大幅减少 60% 以上, 致使中国能源总投资下降了 7%; 由于页岩油投资、以及可再生能源和天然气发电的投资保持相对稳定, 美国依旧保持了全球第二大能源投资市场的地位。过去三年, 欧盟的能源投资下降了 7%, 能效投资是唯一的增长领域。但依旧是第三大能源投资市场。同期, 印度能源投资显著增长了 12%, 成为了全球第四大的能源投资市场。

国际可再生能源机构 (IRENA) 发布 2019 年版《全球能源转型: 2050 年路线图》指出, 全球能源转型已取得了一定的进展, 但转型速度仍较缓慢, 难以满足《巴黎气候协定》中承诺的能源结构低碳化以及减缓气候变化的目标。针对全球能源转型进程缓慢提出了六大战略性建议, 包括: (1) 电力部门需要进行转型以适应不断提高的可再生能源份额。(2) 数字化是推动能源转型的关键因素。(3) 加速交通和供暖电气化对于下一阶段的能源转型至关重要。(4) 可再生能源发电制氢有助于减少化石燃料的使用。(5) 供应链是满足不断增长的可持续生物能需求的关键。(6) 全球能源系统脱碳立即采取政策行动。详见正文。

欧洲能源研究联盟 (EERA) 发布《可持续核能材料战略研究议程》, 确定了重点开展反应堆结构材料和燃料材料两个主题研究: (1) 反应堆结构材料, 主要涉及结构材料的性能机理研究、结构材料的模型和表征、先进结构材料研发等三个领域; (2) 反应堆燃料材料研究, 同样是涵盖了核燃料材料性能机理研究、核燃料材料的模型和表征、先进核燃料材料研发三个方面。旨在为欧盟第四代核反应堆的设计、许可、建设和安全长期运行提供合适的结构材料和燃料材料, 促进第四代核反应堆的商业部署。

美国能源部先进能源研究计划署 (ARPA-E) 宣布在“利用人工智能和机器学习增强能源创新 (DIFFERENTIATE)”主题研究计划下投入 2000 万美元, 支持 AI 和机器学习技术用于能源技术和系统的工程设计, 本次资助重点关注三大主题领域, 包括: (1) 生成学习算法; (2) 评估假设函数; (3) 反向传播算法; 旨在减少设计的成本、时间和风险, 增强能源系统性能、提升能源效率, 促进能源系统现代化发展, 保障能源网络安全。

阿卜杜拉国王科技大学 Osman M. Bakr 教授课题组采用溶液空间限制的反温晶体工艺, 制备了厚达 20 μm 的甲基胺铅碘 (MAPbI₃) 单晶薄膜: 该制备工艺有效克服了多晶薄膜表面晶界面缺陷, 获得了 83.5% 超高填充因子, 进而获得了高达 21.09% 的转换效率, 创造了单晶钙钛矿太阳能电池转换效率的新纪录。

IEA：2018 年全球能源投资企稳 电力投资连续三年超油气

5月14日，国际能源署（IEA）发布《全球能源投资 2019》报告¹指出，由于上游石油、天然气和煤炭行业投资的增加抵消了电力和可再生能源投资减少，加之能效投资稳定，使得 2018 年全球能源投资企稳，约 1.85 万亿美元，结束了过去三年连续下滑的态势。尽管出现下降，但电力行业再次成为最大的投资领域，连续第三年超过石油和天然气投资。报告对全球能源行业的投资现状和趋势进行了系统分析。要点如下：

1、2018 年全球能源投资概览

从行业来看，2018 年上游油气投资增加了 4%至 4770 亿美元（整个油气产业总投资额为 7200 亿美元，较去年增长 1%），主要原因是油价上涨以及向短周期项目（如页岩油气）投资费用增加。煤炭供应投资增长了 2%至 800 亿美元，是自 2012 年以来首次出现正增长。尽管电动汽车产业一片繁荣，但交通运输部门能效改善投资停滞不前，且建筑部门的能效改善投资出现下降，使得能源效率投资连续第二年保持稳定（2400 亿美元）。电力行业投资下降了 1%，主要原因包括中国煤电和美国天然气发电方面投资减少，以及可再生能源电力成本下降。尽管如此，电力行业仍旧是吸引投资最多的行业（7750 亿美元），连续第三年超过石油和天然气行业投资总和。

从区域来看，2018 年中国仍是全球最大的能源投资市场，但其领先优势逐步收窄。在过去 3 年中（2015-2018 年），由于中国政府加快低碳电力、电网和能效发展，导致新建燃煤电厂的投资大幅减少 60%以上，从而使中国能源总投资下降了 7%。在过去三年中，由于在能源各主要领域的投资都迅速增加，印度能源投资显著增长了 12%，成为了全球第四大能源投资市场。由于页岩油投资以及可再生能源和天然气发电的投资相对稳定，美国依旧保持了全球第二大能源投资市场的地位。过去三年，欧盟的能源投资下降了 7%，能效投资是唯一的成长领域，但依旧是第三大能源投资市场。同期东南亚能源投资下降了近五分之一，下降的主要原因是石油和天然气供给投资减少。由于资本密集型低碳技术投资监管框架不完善、公共财政支持力度有限等因素影响，导致撒哈拉以南非洲地区的能源投资在过去三年下降了 15%。

2、油气和煤炭投资趋势

受到油价上涨的驱动，2018 年全球油气上游投资比市场预期更高，总体而言较 2017 年上涨了 6%。过去几年，油气上游投资主要发生在美国，该地区重心发生了

¹World Energy Investment 2019.
<https://www.iea.org/wei2019/>

一系列变化，主要是转向页岩油气。受益美国页岩油气投资强劲，2018 年页岩油气投资额在全球油气投资总额中占比超过四分之一（26%）。当前页岩油气投资前景依然向好，但是 2019 年迹象表明了油气投资重心有望再次发生转变，预计今年传统油气将成为投资重点，成为投资增长最快的领域。

由于海上供应和服务成本降低，以及石油天然气生产周期缩短，离岸油气项目盈利能力提高，使其吸引力逐渐增强。埃克森美孚预计其圭亚那和巴西的深水油气项目内部收益率将超过 30%，而道达尔预计其安哥拉海上项目有望实现超过 20% 的内部收益率。

就目前发展形势，预计全球主要油气产区的上游油气投资都会增加。在中东，沙特阿美、阿布扎比国家石油公司、卡塔尔石油公司、科威特石油公司等大型油气公司均表示将增加其上游投资以维持石油生产水平，满足全球需求增长。由于北海油田 Johan Sverdrup 开发，预计欧洲上游投资在 2019 年也将增加。俄罗斯石油公司均表示 2019 年的上游油气投资至少维持在 2018 年水平。中国国有石油企业宣布其将大幅增加上游油气投资。

自 2018 年中期以来，已经有四个新的液化天然气项目获得批准（北美三个和西非近海一个）。到 2025 年，上述项目预计增加近 600 亿立方米的液化天然气产量，总投资预计超过 400 亿美元。2018 年炼油装置升级和维护投资分别达到了 430 亿和 240 亿美元，其中约 70% 的投资来自亚洲和中东地区。

2018 年，伴随几乎所有主要产区（中国、印度和澳大利亚）投资增加，全球煤炭投资增长了 2%，达到了 800 亿美元，是 2012 年以来首次出现增长。同期，交通生物燃料投资增长了 12%，尽管如此，生物燃料投资还不到燃料供应投资总额的 1%，为了满足可持续发展需求和《巴黎气候协定》目标，未来十年该行业投资需要增加六倍。就总体发展态势而言，IEA 预计今年全球原油与天然气上游投资将温和上涨 9%。

3、电力投资趋势

2018 年，尽管电池储能投资大幅增长了 45%（达到 40 亿美元），但由于发电和电网领域的投资均出现下降，致使全球电力投资微弱下滑 1% 至 7750 亿美元。燃煤电力投资减少近 3%，是 2004 年以来的最低水平，主要原因是全球新建燃煤电厂数量减少以及众多老旧电厂退役，尤其是中国和印度。在经历过去十年燃气发电投资稳步增长（在 2012 年达到历史高峰）后，燃气电力投资增速放缓，特别是在中东和北非地区以及近年来大量新建项目的美国；而欧洲的天然气发电投资仍接近本世纪的最低水平。

2018 年可再生能源投资小幅下降 1%，主要原因是可再生能源技术进步和单位成本下降。其中太阳能光伏投资下降较多，降幅 4%，成为可再生能源投资减少的主

要因素，根本主因在于中国政策调整，即其在寻求更具成本效益的投资方式。中国以外的地区可再生能源投资增长了近 5%。其中印度太阳能光伏投资首次超过了煤电。而美国太阳能光伏和风电投资增长了 15%。同期，电网投资支出减少了 1%，但配电投资继续增加。其中美国投资增长强劲，而中国则下滑。印度和欧洲的电网投资增长了约 5%。

电力投资重心逐步转向新兴和发展中经济体。2018 年，中高收入国家（包括中国和大部分东南亚和拉丁美洲国家）电力投资占到全球投资总额的近 45%。过去十年，亚洲地区贡献了全球电力投资增量的四分之三，其中仅中国就贡献了近一半的亚洲增量。尽管中国继续占到全球电力投资增量的四分之一，但其电力投资在 2018 年下降了 7%，这是进入新世纪以来首次出现下降，主要是煤电投资减少和光伏成本下降。过去三年，美国电力部门投资增幅最大，增幅 7%。欧洲 2018 年电力投资下降了 4%，其在全球电力投资中的占比减半至 15%，电力投资中很大一部分来自可再生能源（占比四分之三）。印度电力投资增长了 4%，其中可再生能源贡献显著，其连续第三年超过化石燃料发电投资。撒哈拉以南非洲电力投资在 2018 年显著增长 8%，超过 65% 的增长来自可再生能源。综上可知，低碳电力投资日益得到各国重视。

2018 年，可调度电力最终决策（FID）投资大幅下降了近四分之一，装机容量只有 90 GW。其中燃煤电力 FID 投资大降 30%，天然气也连续第三年下降近 15%，核电和水电 FID 投资同样也大幅下滑 40%。同期全球电网投资小幅下降 1%，但固定电池储能投资飙升至 40 亿美元，同比增长 45%。

4、能效投资趋势

尽管全球亟需提高能效投资以应对气候变化和能源转型，但 2018 年其投资出现了停滞。全年全球能效投资（涵盖建筑、交通运输和工业部门）总额为 2400 亿美元，与上一年相同，增长停滞的主要原因是建筑能效投资减少。2018 年，该领域的投资下滑 2% 至 1390 亿美元。同期，交通运输能效投资微弱增长。工业能效投资保持稳定，但市场构成发生了变化，中国投资在全球的占比从 2015 年的 25% 增长到了 2018 年的 37%，而北美占比从 17% 降至当前的 10%。整体的投资趋势反映出能效改善进程放缓，关键原因在于新能效政策出台数量不足以及现有的政策严格度有所下降。

2018 年全球电动乘用车销量达到近 200 万辆，较 2017 年增长近 70%。仅中国单一市场的销量就达到了 110 万辆，牢牢占据全球第一大市场位置。欧洲和美国是全球第二、三大市场，2018 年的销量分别为 38.5 万辆和 36 万辆。2018 年全球空调销售量大幅上涨 16%，超过 1.75 亿台，主要是极端天气（异常寒冷的冬天和酷热的夏天）所致。相比之下，热泵的销量比空调小了一个数量级，但仍然增长了 10%。热泵和电动汽车有助于提高总体能源效率，如果他们能够与可再生能源部署协调发展，则可以帮助供暖和交通部门进一步脱碳化。

5、能源投融资

能源投资与国家层面的财务状况密切相关。2018年，三分之一的能源投资集中在拥有完善的金融体系和良好外资投资环境的地区，如美国、欧洲许多国家。四分之一的投资来自发展水平较低的地区，在这里国家扶持资本发挥更大的作用。总体来说，金融体系不完善和外资投资环境不好的国家，投资缺口最大，然而这些地区又是投资潜力最大的地方，即这些地区对能源投资需求最大。

能源投资决策的主要依据在于盈利能力，同时也考虑风险和商业因素。一些参与者最近宣布将资本分配转移到不同的燃料和技术组合就是典型案例。投资的盈利能力（ROIC）和融资成本（WACC）是任何投资决策和分配资本的驱动因素。财务指标显示，石油、天然气和电力部门在盈利能力和融资方面存在很大差异。从历史上看，石油和天然气的特点是回报更高，资本成本更高，波动性更大。更多资本密集型电力的盈利能力较低，但融资成本较低，市场波动程度较小。

石油和天然气公司一直致力于降低杠杆率并改善股东价值创造。自2016年年中以来，由于油价上涨，运营效率提高和成本降低，大型企业的财务状况有所改善。2018年，自由现金流量达到近900亿美元，但这是自2008年以来的最低水平。

在电力行业，大多数能源投资项目是投资者根据资产负债表来计划投资金额，表明可持续行业收益的重要性，这些收益是以能源市场和政策为基础的。2018年约85%的电力投资来自公用事业，而这里面可再生能源贡献最大。现金流确定性对于可再生能源项目风险管理和促进融资至关重要。迄今为止，几乎所有公用事业规模电力投资都受益于政策计划下的长期定价，如合同拍卖和上网电价，以及与购买义务有关的公用事业单位购电协议。

为最终用户提供能源服务和节能设备的能源服务公司（ESCO）市场规模在不断扩大。2017年全球ESCO公司市场价值已经达到300亿美元。大部分的增长发生在中国，它是ESCO全球最大市场。政府政策依旧是ESCO的关键驱动因素。在中国，政府政策推动了ESCO在私营部门的快速发展，但政府采购规则限制了ESCO在公共部门的发展。在北美，公共部门能够以优惠条件贷款获得ESCO合同。

6、能源技术研发投资

2018年，各国政府能源研发经费总额为260亿美元，较2017年增长了5%。中国能源研发投入增量最大，主要投资流向是可再生能源和先进的化石燃料燃烧技术。美国紧随其后，主要将资金投入太阳能、氢能和替代车辆技术。虽然欧盟交叉技术（如智能电网）投资增加，但能效和核能投资显著减少，使其研发投入减少15%；但是必须注意的是，欧盟采用的是多年期预算拨款，因此年度变化不会给整个多年期投资产生大的影响。

企业能源研发投入在2018年增长了4%，达到940亿美元，其中三分之二的资

金流向清洁能源技术。汽车制造商通常拥有比单一能源公司更高的研发投入，因为政府政策和竞争压力驱使汽车制造商需要不断增加研发投入，以提升能源效率和发 展电动汽车。2018 年汽车制造商是企业能源研发投入增长的最大贡献者。这一趋势在欧洲和美国的主要汽车和汽车零部件企业中表现尤为显著，其研发支出在 2018 年平均增长了约 7%，而日本和韩国企业则为 4%。石油和天然气以及其他化石燃料公司的企业研发投入在 2018 年实际增长 1%，这是自 2014 年以来该领域研发支出的首次增长，但仍远低于 2014 年水平。新兴能源企业的风险投资（VC）估计达到 69 亿美元，虽然数额远远低于研发投资，但已是历史新高，大部分投资聚焦在清洁能源技术领域。

（丁华琪 郭楷模）

IRENA 发布面向 2050 的新版能源转型路线图

4 月 9 日，国际可再生能源机构（IRENA）发布 2019 年版《全球能源转型：2050 年路线图》²指出，尽管全球能源转型已经取得了一定的进展，但转型速度仍然较慢，难以满足《巴黎气候协定》中承诺的能源结构低碳化以及减缓气候变化的目标。若 要实现既定的承诺目标，意味到 2050 年可再生能源需求至少要提升六倍，全球能源 相关碳排放需减少 70%。可再生能源发电与深度电气化结合可满足上述目标的 60%， 加上直接使用可再生能源可满足 75%，如果考虑提升能效则可满足 90%。报告认为， 可再生能源、能效和电气化是能源转型的三大基石，针对当前的能源转型提出了六 大战略建议。报告主要内容如下：

1、要实现平均温升控制在 2°C 以内的目标，全球需要加速能源系统转型进程

过去几年中，能源部门已经出现了一些可喜的变化，全球新增装机容量中可再 生能源占主导地位，交通电气化速度加快，电池等关键技术成本正迅速降低。然而， 高能耗行业尤其是建筑和工业领域，可再生能源的部署仍远低于所需水平，能效提 升仍然滞后。过去五年，能源相关碳排放量平均每年增加 1.3%，全球能源系统需加 速转型才能实现气候目标。结构和模式的变化在提升能效方面能够发挥关键作用， 如交通模式中共享交通和公共交通的普及，工业领域采用循环经济和向可再生能源 丰富的地区迁移。

2、可再生能源、能效和电气化是实现碳减排的主要力量

到 2050 年全球能源相关碳排放量需减少 70%，其中可再生能源、能效和电气 化的贡献超过 90%（图 1）。可再生能源在能源结构中的占比需从 2016 年的 17% 提 升至 2050 年的 66%，但以现行和计划的政策推测到 2050 年这一比例只能提升至 25%。 能效也需大幅提高，其提升速度需从现在的年均增长 2% 提高至年均增长 3.2%。到

² Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition).

<https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition>

2050 年电力在能源供应中占比将从当前的 20% 增长至 50%，电力消耗总量将是现在的 2 倍，可再生能源发电将占电力供应的 86%。生物能源将在难以电气化的行业中发挥作用，如航运、航空及某些工业过程。

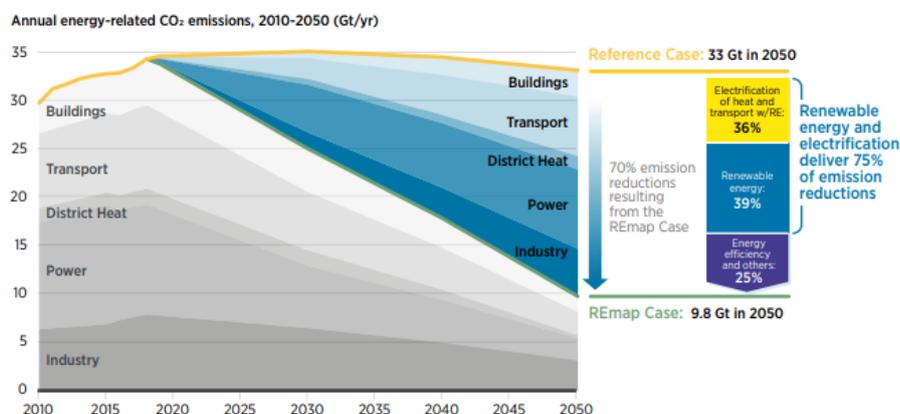


图 1 到 2050 年能源相关碳排放量（单位：十亿吨/年）

3、能源低碳技术投资仍需加大

要实现全球能源系统的低碳转型，到 2050 年前需将能源部门的累计投资增加 16%，从 95 万亿美元提升至 110 万亿美元，年均投资约为全球 GDP 的 2%，低于去年的预测（120 万亿美元），其主要原因是可再生能源成本迅速下降以及电气化解决方案越来越经济高效。投资构成也应发生变化，从化石燃料转向能效、可再生能源和相应的基础设施。如果按照现行计划或者政策来发展，预计到 2050 年能源部门的补贴将从 2015 年的 6050 亿美元增加至 8500 亿美元以上。但通过发展可再生能源、深度电气化和提升能效，将使其降至 4700 亿美元。加上由于降低碳排放所节约的环境和健康成本，总计节约的金额将会是到 2050 年期间新增能源投资的 3 至 7 倍。

4、应综合考虑能源转型与社会经济之间的关系

为了保证能源系统成功转型，政府的政策必须建立在综合评估不断变化的能源部门与社会经济之间相互作用的基础上。能源系统的变化会影响整个经济体系，到 2050 年，可再生能源、能效和电气化导致的能源转型将使全球 GDP 增加 2.5%，并使整体就业增加 0.2%，而且能够提高全球福祉水平。

5、政策框架在很大程度上影响能源转型的社会经济效益

政策投入会对能源转型的社会经济效益产生很大影响，如碳税和化石燃料补贴等。碳税的影响取决于其政策框架，其分配公平性是推动能源转型成功的关键。

6、全面的就业政策能够为能源转型做出积极贡献

能源转型（可再生能源发电、能效及能源灵活性）新增的岗位将明显超过减少使用化石燃料而失去的岗位。能源部门新增和减少的就业在时间和空间的分布不均匀，因此可能导致其他部门的就业岗位减少，需要全面的政策框架以解决这一不匹配问题，确保能源转型的顺利进行。

7、社会经济结构的公平公正有助于扫清能源转型障碍

在所有地区采取措施推动能源转型能够减少气候损害，相关的投资可以产生社会和经济效益。另外，需消除低收入国家的负面影响才能使转型获得成功。

基于上述分析，报告为决策者提出了六大行动建议：

(1) 电力部门需要进行转型以适应不断提高的可再生能源份额。通过灵活供应、输配电、储能、需求响应、Power-to-X（电力转化为其他能源载体，如氢、甲烷）、电动汽车等技术，开发高度灵活的电力系统，并与灵活运行相结合。需要更好的市场信号使灵活性资源能够发挥作用，如采用实时可变动定价和缩短交易间隔，以应对波动性可再生能源。需重新设计电力市场以确保为含有高比例波动性可再生能源的系统提供最佳投资，并实现部门融合。

(2) 数字化是推动能源转型的关键因素。将人工智能、物联网、区块链等数字技术用于电力系统，通过智能电表、数字网络和互联设备可增强电力系统灵活性以容纳更多可再生能源，推动能源转型。

(3) 加速交通和供暖电气化对于下一阶段的能源转型至关重要。支持电动汽车充电基础设施建设；推广替代取暖技术，如工业和建筑中采用热泵供暖；将电力系统与终端用户联系起来，如电动汽车智能充电提高电力系统灵活性，有助于集成波动性可再生能源。

(4) 可再生能源发电制氢有助于减少化石燃料的使用。需制定全面政策鼓励在整个供应链（设备生产商、基础设施运营商和汽车制造商等）中对氢能的私人投资；需要具体工具降低基础设施投资风险并改善供应链的经济性；在上游实施可再生电力制氢认证以推动发展可再生电力制氢。

(5) 供应链是满足不断增长的可持续生物能需求的关键。在不占用雨林并保证粮食供应的前提下，在现有农田和草地上经济有效地生产生物能源的潜力巨大。生产即用型生物质残留物的工业（如造纸、木材加工和食品行业）是转型的基础。生物燃料可能是未来几年航空、海运和长途公路运输等行业实现脱碳的主要甚至唯一选择，应制定针对性政策促进先进生物燃料及其供应链发展。

(6) 全球能源系统脱碳立即采取政策行动。决策者应制定能源长期战略规划，确定目标并调整实现脱碳能源系统的政策和法规；需协调能源和气候政策，制定考虑气候和能源需求的能源转型长期战略；政策应为投资创造合适条件，包括对能效、可再生能源以及对电网、电动汽车充电、储能、智能电表等关键基础设施的投资；政策应保证公共和私营部门的密切合作；应建立监管环境促进系统创新，通过数字化技术实现智能能源系统，通过深度电气化促进部门融合。

（岳芳 郭楷模）

欧洲能源研究联盟发布核能材料战略研究议程

近期，欧洲能源研究联盟（EERA）发布《可持续核能材料战略研究议程》³，确定了欧盟将要开展的核能材料研究路线，以确保为欧盟第四代核反应堆的设计、许可、建设和安全长期运行提供合适的结构材料和燃料材料，促进第四代核反应堆的商业部署。本次议程提出了重点开展结构材料和燃料材料两个主题研究，具体内容如下：

一、反应堆结构材料研究

1、材料的性能机理研究

（1）金属材料的高温力学行为和性能衰退研究：实验和模拟结合研究金属材料（奥氏体钢、马氏体铁素体双相钢、镍基合金等）的高温蠕变特性，分析材料的蠕变机制，金属材料的循环塑性和疲劳测试研究，并收集相关实验数据；开展金属材料的蠕变-疲劳损伤及断裂机制分析；金属材料高温强度研究。

（2）冷却剂和结构材料的环境匹配性研究：针对液态金属（如奥氏体钢）冷却，开展液态金属的腐蚀核防护技术研究；液态金属脆裂失效机制研究。

（3）结构材料辐射效应：针对结构材料的辐射损伤问题如辐照肿胀与蠕变现象、辐照硬化与脆化、辐照疲劳与蠕变相互作用等开展系统研究，以研究出相关的防护技术提升材料的使用寿命。

（4）焊接件质量评估：研究焊接件在反应堆的温度、压力和强辐照条件下的稳定性和相容性问题，提升焊接工艺，改进焊接质量。

2、先进结构材料的模型和表征

（1）结构材料的微结构和微化学演变研究：对高温高压高辐射环境下材料的微观组织、结构变化过程（如辐射硬化和脆化、辐射诱导的材料组分分离和沉积等）进行表征和研究。

（2）辐照后的材料机械行为研究：利用高能离子束模拟研究，了解和预测辐射损伤诱发的结构材料物理机械性能下降（如循环塑性和疲劳、蠕变-疲劳损伤相互作用）的复杂机械行为。

（3）材料断裂机理研究：开发计算机模型，动态拟合材料断裂整个过程，探究材料起裂、裂缝传播作用机理。

（4）陶瓷/复合材料性能研究：利用先进的成像和计算机模拟技术对反应堆使用的陶瓷材料/复合材料的耐高温、耐腐蚀、耐辐射的物理化学特性进行测试研究。

3、先进结构材料研发

³ Strategic Research and Innovation Agenda.
<http://www.eera-bioenergy.eu/wp-content/uploads/pdf/EERABioenergySRIA2020.pdf>

(1) 结构材料制备工艺：开发更加高效、简洁、经济的结构材料制备工艺（如可以引入 3D 打印技术），减少材料的制造周期和成本。

(2) 奥氏体钢性能改善：通过添加少量的添加剂，减少点缺陷，开发出辐照肿胀和热膨胀系数更低的奥氏体钢，降低材料的抗辐照肿胀性。

(3) 马氏体铁素体双相钢 (F/M 钢)：开发新的制备工艺，制造出具备耐高温、良好的抗辐照肿胀性的氧化物弥散强化 F/M 钢；开发新的氧化物弥散强化 F/M 钢焊接工艺；研发新的防氦渗透耐蚀绝缘涂层材料。

(4) SiC 核包壳材料的开发和性能分析：开发高性能的 SiC 核包壳材料，发展标准化的测试手段（如利用扫描电镜、透射电镜、热导率表征手段等）来研究中子辐照 SiC 核包壳材料缺陷分析；探究材料的抗高温氧化性能和抗腐蚀性。

(5) 耐火合金材料：研发新的 Mo 元素掺杂的 V-Cr-Ti 合金熔炼制备技术，提升材料的高温强度（耐火性）、抗中子辐照肿胀、耐腐蚀特性等。

(6) 新型核结构材料：研发新型、能够抵抗更高温度和更大辐照剂量的多元高熵合金材料，探索不同元素组合对材料性能的影响；通过对材料组分和材料微结构的调控，改善新型 MAX 相结构材料（即新型三元陶瓷材料）的耐腐蚀、抗辐照和耐高温性能。

二、反应堆燃料材料研究

1、材料性能机理研究

(1) 高熔点核燃料材料：开发熔点更高、物理化学性质稳定的新型燃料棒材料，提升安全裕度。

(2) 原子传输和微结构演化研究：探究辐照环境下，核燃料点缺陷的形成、扩散行为机理研究；探究在核反应堆环境中材料微结构的演变规律，及其对结构稳定性、力学性能特性影响。

(3) 裂变产物研究：针对反应堆本体一回路裂变产物（如氦、氩、氙等放射性气体以及其他放射性微粒等）开展产物的微观行为的多尺度研究，探明裂变产物的微观行为机制；

(4) 核燃料包壳相互作用研究：由于包壳面临核燃料芯体，包壳内壁受到裂变气体压力、腐蚀和燃料肿胀以及吸氢致脆等包壳与芯块的相互作用等危害，任其发展可导致包壳破损，引起安全问题，因此需要对此开展研究，探索解决方案。

2、核燃料材料的模型和表征

(1) 核燃料熔点研究：利用激光加热手段来研究不同组分对核燃料熔点的影响；用量热法研究各种非化学计量比的燃料样品的熔点；利用仿真模拟方法从原子尺度计算不同组分对材料熔点的影响。

(2) 辐射缺陷和原子输运：综合利用各类表征手段，如量热法、电导率测试、

拉曼光谱等，研究各种非化学计量比核燃料材料辐照点缺陷形成和扩散机理研究；利用仿真模拟方法从原子尺度计算不同组分对材料辐射缺陷形成的影响。通过热量测试，研究辐照增强扩散效应的研究。

(3) 裂变产物研究：通过热量测试，对不同组分核燃料裂变产物（如氦、氩、氙等放射性气体以及其他放射性微粒等）的辐照增强扩散行为进行研究；开发相关的仿真模型研究裂变产物的热力学行为。

(4) 机械特性研究：开发相关仿真模型从原子尺度研究辐照肿胀和蠕变对材料机械性能的影响，并开展相关的实验研究。

3、先进核燃料材料开发

(1) 氧化物核燃料：开发新工艺，通过组分调控优化进而实现对微结构的调控，制备高性能的铀钍混合氧化物核燃料，提高资源的利用率，解决核燃料资源不足的问题。

(2) 新型燃料开发：开发新型的氮化、碳化铀系核燃料，并通过完整的物理、化学、机械等测试手段对新材料性能进行全面的表征。研究新燃料和包壳及冷却剂之间的相互作用。开发热化学模型，研究核燃料氧化机制。关注熔盐反应堆，开发新型熔盐以更有效地加载核燃料和发挥冷却效果（熔盐自身既是加载核燃料的载体，同时也是冷却剂）。

(丁华琪 郭楷模)

项目计划

DOE 资助 7900 万美元推进生物能源研究

5月3日，美国能源部（DOE）宣布资助7900万美元用于支持先进生物能源技术研发项目⁴，旨在推进生物能源技术（如生物燃料、生物基产品和生物质发电等）的研发突破，挖掘生物资源的价值，为消费者提供新型、经济、稳定、安全的能源服务，保障能源供应安全。本次资助着重关注五大技术主题，具体内容如参见表1。

表1 先进生物能源技术研发项目具体内容

技术主题	具体内容
藻类栽培强化过程	藻类户外大面积栽培养殖技术开发，提高藻类产量和质量，降低生产成本
生物质组分变异性和原料转化界面性质研究	研究生物质（纤维素、半纤维素以及木质素等）降解机理，开发更加经济高效的生物质预处理技术，降低生物质转化成本
高效木材加热器	针对住宅使用的木材加热器开发新型的加热技术，提升木材燃烧和供暖效率，减少碳排放

⁴ DOE Announces \$79 Million for Bioenergy Research and Development.
<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-79-million-bioenergy-research-and-development>

生物质到碳氢化合物燃料转化技术	在实验原型系统中集成新技术和新工艺，实现在温和条件下将生物质转化为稳定的液态碳氢化合物燃料，验证性能并将其应用到实际生产以改善真实环境下生产性能，降低生产成本
生物质合成喷气燃料技术	探索生物质到可再生喷气燃料高效低成本的转化新工艺，以合成高能量密度、高辛烷值的高品质喷气燃料，减少温室气体排放量
生活废料到能源转化技术	支持以生活废料为原料生产生物能源和生物基产品的研究和相关教育项目，实现废料循环利用，减少生活垃圾激增压力
先进的生物加工和灵活的生物设备	通过使用合成生物学、低资本密集度的方法和连续的生产系统，减少开发生物燃料及产品制造过程的时间和成本
生物塑料	探索开发可生物降解的生物基塑料高效低成本生产技术，实现材料的回收利用，降低传统塑料回收处理成本
厌氧发酵技术改进和创新	针对湿类生物质废弃物（如生活、工业有机废水），探索更加高效的厌氧发酵技术或者全新的替代转化技术，降低生物废弃物厌氧转化生产生物质产品或者燃料的成本
识别有潜力的生物质转化技术	综合分析各类生物转化技术，从中识别出相比现有的常规燃料和产品，具有显著减少排放、减少水资源消耗潜力的技术

（丁华琪 郭楷模）

DOE 资助 3350 万美元开展高能效建筑技术研发

5月3日，美国能源部（DOE）宣布资助3350万美元用于支持先进建筑节能技术研发项目⁵，旨在对现有老旧建筑能源设施进行改造升级，并开发新型建筑节能技术，解决包括建筑围护结构、供暖、制冷、热水供应和暖通等一系列能源消耗相关问题，提升建筑能效。本次资助着重关注三大技术主题，具体内容参见表1。

表1 先进建筑节能技术研发项目主要研究内容

主题	研究内容
建筑综合改造技术	针对现有老旧建筑物的主要用能负荷，如空间供暖和制冷、热水供应、暖通等系统进行深度的改造升级，如开发轻型和耐用的隔热保温节能墙板、建筑蒸发冷却与太阳能采暖系统组合加热和冷却系统等
新建筑技术	围绕建筑技术本身（从建筑设计到施工、安装的全流程）进行改进升级，如引入建筑机器人、自动化控制系统、建筑建模等技术，以实现建筑技术的智能化和绿色化发展，减少建筑能耗
新技术验证评估	就满足区域建筑节能相关需求的新技术（如绿色建筑设计技术、施工技术、绿色建材技术、墙体保温技术等）开展现场实地验证，评估新技术的节能水平

（廖明月 郭楷模）

⁵ DOE Announces \$33.5 Million for Energy Efficient, Advanced Building Construction Technologies & Practices. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-335-million-energy-efficient-advanced-building-construction-technologies>

ARPA-E 新项目加速 AI 和机器学习在能源领域的应用研究

4月5日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布在“利用人工智能和机器学习增强能源创新（DIFFERENTIATE）”主题研究计划下投入2000万美元⁶，支持AI和机器学习技术用于能源技术和系统的工程设计，以减少设计的成本、时间和风险，增强能源系统性能、提升能源效率，促进能源系统现代化发展，保障能源网络安全。此次资助将通过机器学习增强设计过程的三个方面：（1）生成学习算法；（2）评估假设函数；（3）反向传播算法。具体内容参见表1。

表1 ARPA-E 资助 AI 和及其学习技术具体内容

主题	具体内容
生成学习算法	利用生成学习算法帮助开发新概念机器学习工具，考虑更多样化的设计，增强概念设计能力。该阶段的许多设计问题可以表征为混合整数非线性优化问题。具体包括如下几方面的设计：热力学循环/化学过程（如气体分离）；电路；材料或分子
评估假设函数	通过加速对概念的高精度分析和优化，提高精度评估过程的效率。该阶段的许多设计问题可以表征为非线性约束优化问题。具体包括如下几方面的设计：燃料/电解槽；气体压缩机；太阳能电池
反向传播算法	通利用反向传播算法开发“反演设计”能力，减少设计的迭代次数，产品设计可被有效表征为显函数。具体包括如下几方面的设计：空气动力学表面；光学设备

（岳芳 郭楷模）

前沿与装备

单晶钙钛矿太阳能电池转换效率纪录超过 21%

尽管单结钙钛矿太阳能电池效率已经突破24%，但与其理论极限转换效率(30.5%)相比还有很大的提升空间。目前主流研究主要聚焦在多晶钙钛矿薄膜器件，尽管该薄膜类型的器件效率较高，但由于多晶结构（多晶导致大量晶界和缺陷存在，引起载流子复合损失）导致基于该类薄膜电池器件的填充因子不是特别理想（目前大多数低于80%，而理论极限则是90%）。因此通过提升填充因子能够有效改善器件性能。阿卜杜拉国王科技大学 Osman M. Bakr 教授课题组采用液相法制备了厚达20 μm 的甲基胺铅碘（MAPbI₃）单晶薄膜，有效克服了多晶薄膜表面晶界面缺陷，显著提升了填充因子，高达83.5%，进而获得了高达21.09%的转换效率，创造了单晶钙钛矿太阳能电池转换效率新纪录。研究人员首先采用溶液空间限制的反温晶体工艺，在

⁶ ARPA-E Looks to Accelerate Incorporation of Artificial Intelligence and Machine Learning into Energy Technology. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-20-million-develop-artificial-intelligence-and-machine-learning>

涂覆聚[双(4-苯基)(2,4,6-三甲基苯基)胺 (PTAA) 薄膜的透明导电玻璃上制备了 MAPbI₃ 薄膜, 平面和横截面的扫描电镜表征显示整个薄膜呈现光滑表面, 且无“针孔”无晶界, 是单晶钙钛矿薄膜, 厚度达到了 20 μm。接着在该单晶 MAPbI₃ 薄膜上继续旋涂富勒烯和浴铜灵, 最后蒸镀上铜电极, 制备出完整的倒置平面钙钛矿电池器件。在一个标准太阳光辐照下、惰性气氛中进行光电性能测试, 电池获得了 23.46 mA/cm² 短路电流密度, 1.076 V 开路电压, 以及高达 83.5% 的填充因子, 从而获得了创纪录的 21.09% 光电转换效率, 是迄今为止单晶钙钛矿太阳能电池效率的最高值。研究人员指出, 之所以获得如此高的填充因子主要是单晶薄膜不存在与多晶薄膜类似的晶界, 有效地克服了晶界缺陷, 使得非辐射的载流子损失呈现数量级的减少。为了排除辐照面积因素对电池填充因子的影响, 研究人员更换了具有不同孔洞尺度的辐照面板, 实验结果显示均在 83% 左右, 即填充因子改善与辐照面积无关。稳定性测试发现, 当将电池置于 50% 湿度的空气氛围中测试, 电池性能会出现下降, 但将电池重新放回手套箱 (惰性气氛无湿度) 48 小时后, 电池性能又恢复了, 表明了空气氛围中电池性能下降与钙钛矿薄膜降解无关, 而是由于单晶钙钛矿薄膜水合作用所致。研究人员下一步将致力于探索克服单晶薄膜水合作用的技术方案, 以进一步提升电池稳定性。该项研究采用溶液空间限制的反温晶体工艺制备了厚达 20 μm 的甲基胺铅碘 (MAPbI₃) 单晶薄膜, 有效克服了多晶薄膜表面晶界面缺陷, 抑制了载流子非辐射的复合损失, 在保持高电流高电压前提下, 获得了超高填充因子, 创造了单晶钙钛矿太阳能电池转换效率纪录。相关研究成果发表在《ACS Energy Letters》⁷。

(谢帅 郭楷模)

扩大层间距增强水系锌电池倍率性能和循环稳定性

水系锌离子电池具备储量大、理论容量高、氧化还原电位低、水中稳定性好等优点, 且相比锂离子电池成本更低、更安全, 成为了锂离子电池潜在的替代电池技术, 引起了广泛关注。但锌枝晶生长、缺乏合适的正极材料等问题阻碍了该电池技术发展。新加坡南洋理工大学 Qingyu Yan 教授课题组利用简单的原位化学反应在五氧化二钒 (V₂O₅) 电极中引入混合价态、增加层间水含量、增加了层间距, 从而提升了 V₂O₅ 电极离子扩散速度和锌离子储量, 进而增强了电池倍率性能和循环稳定性。研究人员将水合肼与 V₂O₅ (VO) 溶液进行混合使其发生部分的氧化还原反应, 以在 V₂O₅ 中引入更多层间水, 增大了层间距, 获得了含有层间水的复合 V₂O₅-H₂O (VHO) 电极, 扫描电镜显示整个复合电极呈现三维的空间网络结构, 由厚度约 15 nm 纳米片单元组成。高分辨的透射电镜显示, VHO 电极晶格面间距增加到了 14 埃

⁷ Zhaolai Chen, Bekir Turedi, Abdullah Alsalloum, et al. Single-Crystal MAPbI₃ Perovskite Solar Cells Exceeding 21% Power Conversion Efficiency. *ACS Energy Letters*, 2019, DOI: 10.1021/acsenerylett.9b00847

(VO 电极为 11.6 埃)。这种大层间距三维网络结构有助于电解液和电极充分接触、有助于离子快速传输和离子高容量存储。近边 X 射线吸收精细结构 (XANES) 测试发现, VHO 含有 V^{4+} 和 V^{5+} 两个混合价态, 相比之下 VO 只含有 V^{5+} 价态, 混合价态有助于提升材料的导电性。此外由于混合价态存在, 材料中也会产生氧空位, 而氧空位的存在有助于离子快速传输和保持材料结构稳定性。除了上述正极, 研究人员还设计合成了锌/不锈钢网复合材料 (Zn-SS), 扫描电镜显示 Zn-SS 同样呈现出三维网络结构, 这有助于抑制锌枝晶的生长。随后研究人员以 VHO 或者 VO 为正极、Zn-SS 或者 Zn 为负极组装成一系列水系锌离子电池, 研究电极对器件性能的影响。实验结果显示, 相比纯 Zn, Zn-SS 复合电极具有更低的极化和更长的循环寿命, 主要原因是 Zn-SS 具有比 Zn 更均匀的 Zn 沉积/剥离性能, 即锌枝晶生长得到了有效抑制。在 0.1 A/g 电流下进行恒电流充放电循环测试, 结果显示基于 VHO 正极电池放电比容量达到了 450 mAh/g, 远高于没有层间水的 VO 电极器件 (352 mAh/g)。而将放电电流增大到 100 倍时 (10 A/g), VHO 电极电池依旧可以获得 222 mAh/g 的比容量, 而 VO 电极比容量大幅减少到 127 mAh/g。且 VHO 电极电池循环 3000 余次后仍可保持 72% 的初始容量, 而 VO 电池仅保持初始容量的 51%。VHO 电极优异性能主要归因于具有混合价态, 含有更多层间水 (更大的层间距) 以及有效锌枝晶抑制。研究人员还进一步构建了半固态水系锌离子电池, 实验结果表明其同样具备了优异倍率性能和循环稳定性。该项研究通过简单的原位氧化还原反应在 V_2O_5 电极中同时引入混合价态和层间水, 增强了电极离子传输, 提升了储锌容量和电极结构稳定性, 同时 Zn-SS 复合电极有效地抑制锌枝晶, 上述多重效益叠加增强了电池的倍率性能和循环稳定性, 为设计开发高性能高安全性的锌离子电池提供了全新的解决方案。相关研究成果发表在《*Nano Energy*》⁸。

(谢帅 郭楷模)

局部温度热点是锂枝晶快速生长和电池短路的潜在诱因

锂电池充电速度和能量密度不断提高带来了一系列的安全问题, 如自发热引起爆炸。电池通常是在非均匀的温度环境下运行, 因此探究局部温度对电池性能的影响对控制自发热保障电池安全运行意义重大。美国斯坦福大学 Yi Cui 教授课题组利用激光在电池内部产生局部高温, 随后利用微拉曼光谱对温度进行了追踪表征, 研究揭示了局部温度对电池性能影响, 对于提高锂金属电池以及现有锂离子电池的安全性起到至关重要的作用。研究人员首先制备了以锂 (Li) 金属为负极、以石墨为正极 (铜 [Cu] 为集电极) 制备了纽扣电池, 并在电池表面留下了一个 1 cm^2 的透明窗

⁸ Jin Zhao, Hao Ren, Qinghua Liang, et al. High-performance flexible quasi-solid-state zinc-ion batteries with layer-expanded vanadium oxide cathode and zinc/stainless steel mesh composite anode, *Nano Energy*, 2019, DOI:10.1016/j.nanoen.2019.05.010

口用于激光照射以产生局部的温度热点。然而传统的温度监测技术很难实现对电极材料纳米微观尺度的高空间分辨率的表征，为此研究人员特别设计了基于微拉曼光谱温度监测平台，以实现了对电池微观温度变化高空间分辨率的表征。研究人员采用 532 nm 的激光通过透明窗口来照射 Cu 集电极，利用拉曼光谱精确反馈电池中 Cu 局部温度随激光功率变化规律。研究结果显示，Cu 集电极温度随着激光功率增加(6.7 mW 增长到 16.8 mW)呈正相关的增长(局部热点温度从 51℃增加到了 99℃)；进一步采用扫描电镜测试了 Li 电极中 Li 枝晶的生长情况，发现局部热点极大地提升了 Li 的沉积速率，相比周边没有激光照射处的 Li 沉积速率增加了几个数量级，加速锂枝晶生长，而根本原因在于反应动力学随温度呈指数增长的特性导致了锂离子或锂金属电池的电化学性能对温度波动的敏感性。为此作者推测电池内部局部过热会引起电池短路失效。为了验证这一猜想，研究人员特意搭建了纳米级的局部温度传感控制系统将其置于电池内部并进行局部过热试验。在 30 μ A 的恒电流下进行放电测试，同时用 13.4 mW 的激光进行照射，观察局部温度热点处电流随时间变化，同时结合光学成像观测电极 Li 枝晶生长情况，实验结果显示随着时间推移 Li 枝晶不生长，但测试进行到了 1480 秒时，Li 枝晶触及对电极形成短路，此时电流出现下降，且随着时间进一步推进不断减小，此时通过温度传感器采集的温度信号显示温度也在增加，即局部高温可以加快 Li 沉积速率，促使电池短路发生，进而造成局部温度进一步提高的连锁反应。该项研究利用微拉曼光谱为温度传感平台，研究了锂电池内部局部过热对电池性能的影响，揭示了锂枝晶生长与局部温度升高之间的相互作用关系，进一步深刻理解了局部温度过热诱导的电池故障机理，为开发更安全的电池热管理方案积累关键理论知识。相关研究成果发表在《*Nature communications*》⁹。

(丁华琪 郭楷模)

富磷 CoP₂ 催化剂助力高效稳定裂解水产氢

通过光电催化分解水制氢是一种绿色的能量转换技术，被称为是光化学研究领域的圣杯。然而，目前高效的催化剂主要采用贵金属体系，成本高昂且储量有限，阻碍了氢能的规模化应用。因此亟需开发储量丰富、成本低廉的新型高效催化剂。美国维克森林大学 Scott M. Geyer 教授课题组牵头的国际联合研究团队利用改良的热注入法合成了富磷的磷化钴 (CoP₂) 纳米颗粒催化剂，将其用于制备光电极应用于裂解水产氢，展现出了与贵金属 Pt 相当的催化活性，且具备良好化学稳定性。研究人员首先通过密度泛函理论研究了富磷状态下 CoP₂ 催化活性，计算表明富磷状态不仅可以从物理上阻止氢原子 (H) 在多重 Co 原子上的过度吸附，而且可以稳定 H

⁹ Yangying Zhu, Jin Xie, Allen Pei, et al. Fast lithium growth and short circuit induced by localized-temperature hotspots in lithium batteries. *Nature communications*, 2019, DOI:10.1038/s41467-019-09924-1

在单个 Co 原子上的吸附,这有利于水裂解产氢。随后研究人员通过原子沉积法(ALD)在 P 型硅 (p-Si) 衬底上沉积一层铝掺杂的氧化锌 (Al-ZnO, AZO) 薄膜,继续利用 ALD 在 AZO 上沉积一层 TiO₂ 薄膜,最后接着利用改良的热注入法在 TiO₂ 上面制备了一层富磷的 CoP₂ 纳米晶催化剂薄膜,从而合成了 p-Si/AZO/TiO₂/CoP₂ 复合光电极。为了对比研究,作者也制备了 CoP 和 Co₂P 催化剂,随后将上述制备的不同催化剂电极置于 0.5 摩尔的硫酸溶液中进行催化活性测试。实验结果显示,在 39 mV、53 mV 和 88 mV 过电位下,分别获得了 10 mA cm⁻²、20 mA cm⁻² 和 100 mA cm⁻² 电流密度。其 37 mV 过电压条件下的催化活性与贵金属相当,而要达到相同催化性能,CoP 和 Co₂P 过电压要分别达到 65 mV 和 52 mV。而 CoP₂、CoP 和 Co₂P 塔菲尔斜率分别为 32、41 和 58 mV dec⁻¹。上述结果表明,富磷的 CoP₂ 拥有更加优异的催化裂解水产氢性能。在上述酸性电解质中连续工作 36 小时后,基于 CoP₂ 的电极催化活性基本没有衰退,即使 60 个小时,也仅仅衰减 7.73%;相反,36 个小时后商用的 Pt/C 催化电极大幅衰减了 21.1%;表明了 CoP₂ 具备了优异的化学稳定性。该项研究精心设计制备了富磷的 CoP₂ 催化剂电极,表现出了与贵金属 Pt 相当的水解产氢的催化活性,而且具备了更优的稳定性和经济性,为设计高效、稳定、经济的新型非贵金属催化剂指明了新方向。相关研究成果发表在《*Advanced Materials*》¹⁰。

(刘竞 郭楷模)

¹⁰ Hui Li, Peng Wen, Dominique S. Itanze, et al. Phosphorus-Rich Colloidal Cobalt Diphosphide (CoP₂) Nanocrystals for Electrochemical and Photo electrochemical Hydrogen Evolution. *Advanced Materials*. 2019, 1900813, DOI:10.1002/adma.201900813

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

