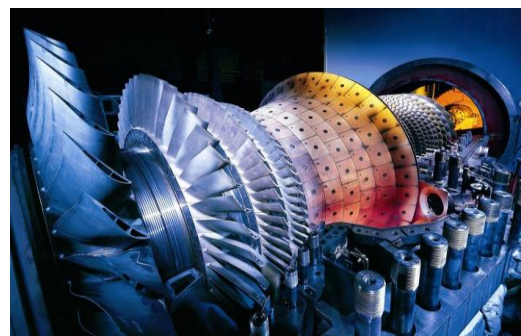


中国科学院武汉文献情报中心

中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心

2016 年第 19 期（总第 273 期）

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IEA：全球能源领域投资重心正在向清洁低碳能源转移
- 美国家海上风能战略关注三大主题领域
- 美能源部长咨询委员会建议设立先进核能研发计划
- DOE 资助上亿美元推动太阳能技术创新研发
- 美启动光伏组件材料研发联盟建设

目 录

决策参考

IEA: 全球能源领域投资重心正在向清洁低碳能源转移	2
美国家海上风能战略关注三大主题领域	4
美能源部长咨询委员会建议设立先进核能研发计划	6

项目计划

DOE 资助上亿美元推动太阳能技术创新研发	8
美启动光伏组件材料研发联盟建设	10
DOE 资助超 1000 万美元支持先进燃烧系统研发	11

前沿与装备

新型阶梯式叠层太阳能电池理论效率高达 45%	12
超快光谱技术实现对光生电荷的实时监测	12
美科学家研发新型高效低成本光解水制氢催化剂	13
新型三元金属复合双功能催化剂推动锂空气电池商业化	14



我中心现已开通微信公众号 (CASEnergy), 欢迎扫码关注

联系邮箱: jiance@whlib.ac.cn

出版日期: 2016 年 10 月 1 日

本期概要

国际能源署（IEA）首次发布《世界能源投资报告 2016》指出，全球能源领域投资重心正在向清洁低碳能源转移：可再生能源已成为电力投资的最大来源，电力网络（包括储能）和能源效率领域的投资持续强劲增长。2015 年由于油价低迷导致油气领域上游投资减少，全球在能源领域的投资总额从 2014 年的 2 万亿美元下降至 1.8 万亿美元，降幅 8%。中国因积极推进低碳能源、智能电网、能效提升等政策，再次成为全球最大的能源投资国（3150 亿美元）；而美国因为油价下降和经济低迷，在能源领域投资则减少了近 750 亿美元，至 2810 亿美元。详见正文。

美国能源部和内政部联合发布了《国家海上风能战略》，以加速推动海上风能产业在美国的发展，战略明确提出了三大主题领域的行动计划：（1）降低海上风能技术成本和风险，包括开展海上风能资源和风电场地理位置信息表征，研发先进的海上风电技术，制定安装、运营和维护及供应链解决方案等；（2）实施高效的海洋资源监管，包括保证监管效率、责任清晰和长期稳定性，评估海上风电项目对环境和人类利用海洋空间的影响等；（3）全面评价海上风电项目的成本和效益，包括海上风电输送和电网集成，量化和宣传海上风电的收益和成本。

美国能源部长咨询委员会（SEAB）正式向能源部长欧内斯特·莫尼兹提交了未来核电工作组报告，建议能源部设立一个先进核能研发计划，为全球碳减排做出至关重要的贡献：该计划将支持多种先进反应堆的设计、开发、示范与首堆工程建设，能够在 2030-2050 年实现多种先进核能技术成规模部署，年均新增装机 3000-5000 兆瓦，使核能可满足全球 20% 的电力需求；隔夜建造成本降至 2000 美元/千瓦（当前为 5000 美元/千瓦），从而与其他发电技术相比具有经济竞争力。该计划分为四个阶段，时间跨度 25 年，公私联合总投入 115 亿美元。报告建议，管理这一计划需要建立一个私营公共事业机构（quasi-public corporation），由一个总统提名并由国会确认的独立董事会治理，负责实施先进核能计划的四个阶段。

美国能源部（DOE）在 Sunshot 计划框架下宣布资助 1.07 亿美元支持太阳能技术创新研发，旨在到 2020 年将度电平准化成本降至 6 美分以下，加速太阳能发电技术在全美的广泛部署：（1）1700 万美元支持五个光伏技术主题的研发项目，以提高光伏技术性能、可靠性和可制造性，提高电池寿命、降低电池硬件成本；（2）2500 万美元支持四个主题的项目研究，降低太阳能技术全链条成本、提高业务运营效率，加速新兴太阳能技术市场转化；（3）6500 万美元支持 3 个招标项目，改进光伏组件与系统设计推动快速安装和互联，以及在能量管理系统中集成太阳能辐射量和功率预测数据。

美国能源材料研发网络联盟新增一家光伏组件耐用材料国家实验室联盟（DuraMat）：该联盟由国家可再生能源实验室领衔，合作成员包括桑迪亚国家实验室、劳伦斯伯克利国家实验室、SLAC 国家加速器实验室等，旨在加速用于光伏组件的新型、高性能材料的开发与推广，以期降低太阳能发电成本，并延长使用寿命。美国能源部 Sunshot 计划将在未来五年向该联盟提供约 3000 万美元的资助。该联盟将与产业界、学术界一起支持材料升级项目，进一步优化低成本光伏组件的可靠性和能量收集性能。

IEA：全球能源领域投资重心正在向清洁低碳能源转移

9月14日，国际能源署（IEA）首次发布《世界能源投资报告2016》¹指出，全球能源领域投资重心正在向清洁低碳能源转移，可再生能源已成为电力投资的最大来源，电力网络（包括储能）和能源效率领域的投资持续强劲增长。2015年由于油价低迷导致油气领域上游投资减少，全球在能源领域的投资总额从2014年的2万亿美元下降至1.8万亿美元，降幅8%（图1）。中国因积极推进低碳能源、智能电网、能效提升等政策，再次成为全球最大的能源投资国（3150亿美元）；而美国因为油价下降和经济低迷，在能源领域投资则减少了近750亿美元，至2810亿美元。

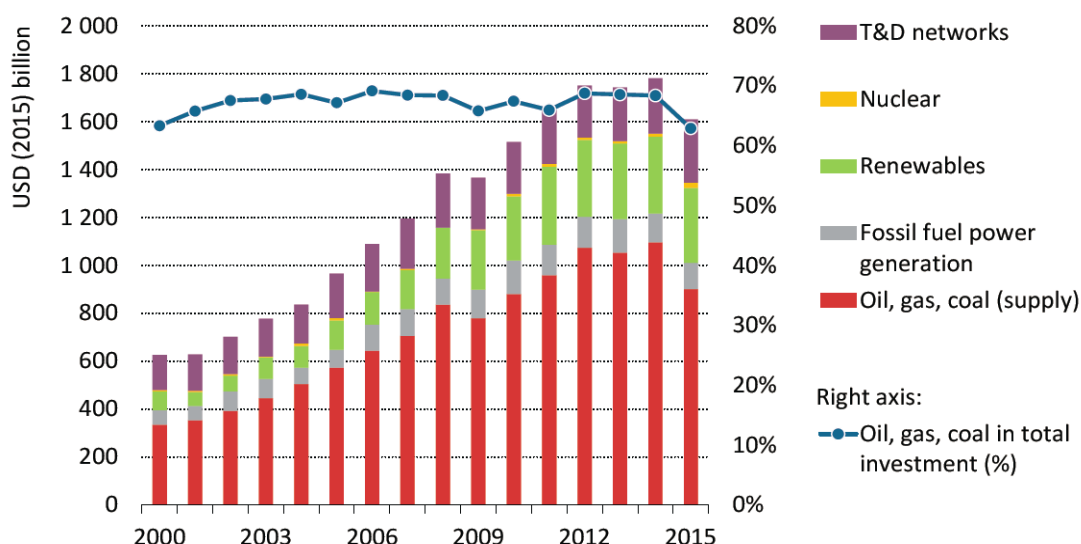


图1 2015年由于化石能源投资下滑导致全球能源投资总额降低

自2000年以来（除去金融危机的2009年），全球对能源领域的投资一直呈现增长态势。截至2014年，全球对煤炭、石油、天然气等传统化石能源的研发和生产投资增长近两倍，对太阳能、风能等可再生能源的投资则增长近三倍。不过，受近两年来油价低迷影响，全球对石油、天然气开发和生产的投资都出现停滞甚至减少。报告数据显示，2015年全球对石油、天然气和煤炭领域总共投资9000亿美元，相比2014年已经下降了18%。其中，油气领域上游投资2015年减少了25%，仅为5830亿美元；而从地域看，投资下降幅度最大的是北美油气上游领域。IEA预计，2016年全球油气领域上游投资下降幅度最高可能将达到24%，降至4500亿美元；并且到2017年也几乎不会有改善的迹象（图2）。估计2015-2016年油气领域上游投资总共将减少3000亿美元，这是前所未有的下降幅度，且油气领域上游投资连续两年出现下降的现象也是近40年来从未发生过的。更值得注意的是，并没有迹象表明，明年

¹ World Energy Investment 2016. <http://www.iea.org/Textbase/npsum/WEI2016SUM.pdf>

会有企业计划增加上游的投资。IEA 认为，国际原油市场至少在 2017 年上半年仍将处于供应过剩状态。

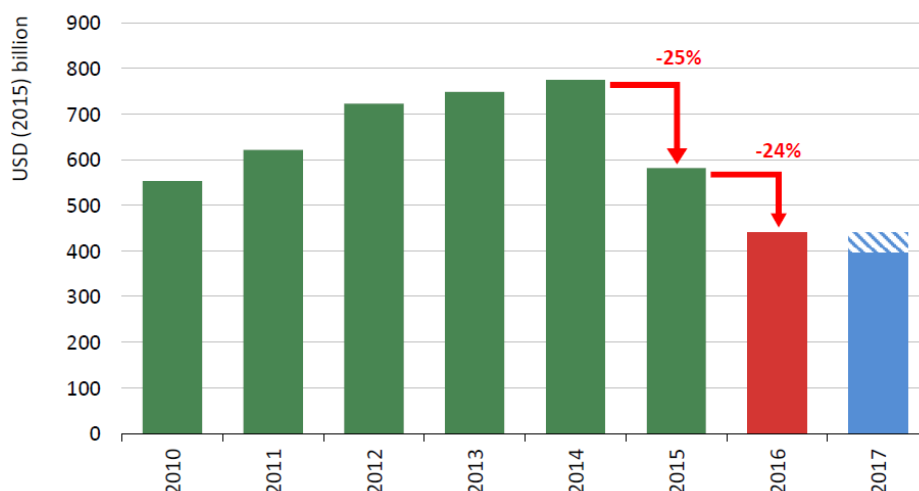


图 2 2015-2017 年全球油气领域上游投资将持续下滑

2015 年全球可再生能源领域共投资 3130 亿美元，占能源领域投资总额的近 1/5，其中可再生能源成为电力领域最大的投资来源。IEA 指出，与 2011 年相比，尽管 2015 年全球可再生能源电力投资几乎一样，但由于技术进步和成本下降，可再生能源电力装机量提高了 40%，发电量增加了 1/3（图 3），足以满足全球电力需求的增长。

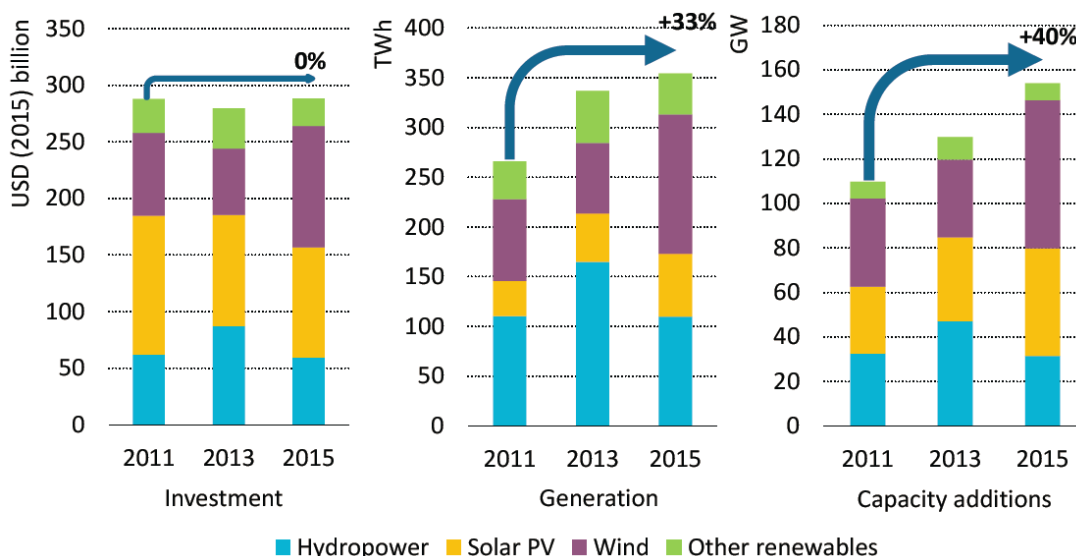


图 3 2015 年可再生能源装机量和发电量相比 5 年前显著提高

IEA 同时预计，科技创新将持续推动智能电网和储能领域的投资，并有望在风能、太阳能发电大规模并网过程中发挥关键作用。数据显示，2015 年智能电网投资达到 210 亿美元，同比增长 12%，中国仍是智能电网技术的最大投资国；电网规模电力储能投资超过 100 亿美元，其中电池储能投资（10 亿美元）自 2010 年以来增长了 10 倍，由于其主要用于完善电网，预计未来将持续吸纳更大规模的投资。

此外，2015 年全球对能效领域投资持续保持强劲，超过 2200 亿美元，同比增

长 6%。IEA 认为，这主要是因为各国政府政策的支持，例如，不断提升新建筑节能标准、提高车辆燃效标准、增加对节能家电和汽车的补贴等等。

（陈伟）

美国国家海上风能战略关注三大主题领域

9 月 9 日，美国能源部和内政部联合发布了《国家海上风能战略》²，以加速推动海上风能产业在美国的发展，到 2050 年为美国新增 8600 万千瓦电力装机容量，提供工作岗位将达 16 万个，降低电力行业耗水量达 5%，减少温室气体排放量达 1.8%。战略明确提出了三大主题领域的行动计划，具体内容如下：

（1）降低海上风能技术成本和风险

开展海上风能资源和风电场地理位置信息表征。开发海洋气象表征方法和数据收集指南，同时开发并验证创新的海洋气象信息收集工具，减少获取海洋信息的时间和成本，以全面了解美国离岸海域地理和海洋气象信息，从而根据美国海上风电场选址地点的独特气象、海洋和海底条件，优化海上风电场设计、提高安全性和减少项目分期完工产能估算的不确定性，降低融资成本。

研发先进的海上风电技术。全面验证各种海上风电技术，包括海洋气象、地理信息表征、故障预警和灾害天气预报等技术，确保收集信息的准确度、及时性和技术的可靠性；增强海上风电企业的合作，分享成功经验，促进技术进步，增强应对各种潜在的自然气象灾害能力；优化风力涡轮机和子系统的结构设计，减轻风电场子组件重量，增加海上风力涡轮机的单机规模和效率，并针对美国独特的海洋地理条件从系统层面优化风力发电场系统，降低资本成本和运营费用，提高风电场的发电效率。

制定安装、运营和维护及供应链解决方案。考虑到海上风电场安装、运营和维护活动的复杂性和风险，需要建造专门的基础设施。为了减少或消除对专门基础设施的需求，需要针对美国现有的海上风电场建造所需材料供应链（风电场制造能力、专用的船舶和港口等）构建详细的开源数据库，以全面了解美国现有的海上风电产业供应链，更好地利用美国现有的基础设施降低海上风电场资本和运营成本，充分挖掘海上风电促进经济发展和创造就业机会的潜力。

（2）实施高效的海洋资源监管

保证监管效率、责任清晰和长期稳定性。加强政府监管部门间合作，优化海上风电项目申报审查工作，明确审查要求和时间周期，提高审查效率，降低审查成本；建立可预测的海上风电项目影响评估机制，保持其发展速度维持在合理水平，促进海上风电行业的健康发展；构建海洋资源监管路线图，明确开发海上资源步骤、审

² National Offshore Wind Strategy: Facilitating the Development of the Offshore Wind Industry in the United States. <http://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/09/f33/National-Offshore-Wind-Strategy-report-09082016.pdf>

批程序，识别美国海洋能源管理局现有监管过程中不必要的责任负担，进一步明晰监管责任；开发美国海上风电安全指南，指导开发人员安全进行海上风电厂建造、设备安装和运营维护；成立海上风电国际监管论坛，分享成功经验，总结更加高效、经济的监管框架。

评估海上风电项目对环境和人类利用海洋空间的影响。提供环境影响数据收集指南，明确收集信息的范围；开发先进的环境影响数据收集技术，收集更多、更全面的海上风电项目开发对环境影响的数据；建立更加科学合理的模型来预测海上风电项目对生物资源和人类利用的海洋空间活动可能带来的潜在影响，以采取针对性措施来减轻/减少海上风电项目对现有环境的有害影响。做好海上风电科技知识普及，提高公众理解和接受度，加强合作改善环境影响评价机制。

（3）全面评价海上风电项目的成本和效益

海上风电输送和电网集成。优化海上风电电网架构，改善风电的电力输送效果，分析优化的海上风电场架构的发电、输电效果，以进一步减少成本支出；从国家和地区层面的风电集成战略来分析海上风电项目部署对现有电力系统和政策的影响，协助电力部门做出科学合理决策，推进海上风电健康发展。

量化和宣传海上风电的收益和成本。研究分析海上风电系统对环境、电力系统成本的影响及其经济效益，并开发评估工具量化海上风电的环境、经济效益和成本，更加准确揭示海上风电的价值，为相关决策部门提供科学参考，协助其制定海上风电发展策略；同时将上述结果准确传达给各利益相关方，提高其对海上风电项目的信心。重新鉴定和评估现有的海洋能源管理局的运营费用架构效用，在此基础上开发出更加合理的运营费用架构，以便开展电力购买协议谈判。

此次战略是 2011 年两部门推出的联合战略升级版，迄今 DOE 已投资近 2 亿美元实施了三个海上风能示范项目，并持续支持海上风能技术研发，美国首个海上风力发电场已于近日在罗德岛完工，这一装机容量 30 MW 的风电项目将于 2016 年底投入运行，足以为 1.7 万户家庭提供电力，各个州政府也在大力推进海上风电的发展，如马萨诸塞州刚通过一项法案，将在未来 10 年建设 1600 MW 海上风电项目，纽约州正在制定总体规划，以期促进海上风电为 2030 年实现可再生能源发电占比 50%目标做出重要贡献。

（郭楷模 陈伟）

美能源部长咨询委员会建议设立先进核能研发计划

9月22日，美国能源部长咨询委员会（SEAB）正式向能源部长欧内斯特·莫尼兹提交了未来核电工作组报告³，建议能源部设立一个先进核能研发计划，为全球碳减排做出至关重要的贡献。该计划将支持多种先进反应堆的设计、开发、示范与首堆工程建设，能够在2030-2050年实现多种先进核能技术成规模部署，年均新增装机3000-5000兆瓦，使核能可满足全球20%的电力需求；隔夜建造成本降至2000美元/千瓦（当前为5000美元/千瓦），从而与其他发电技术相比具有经济竞争力。该计划分为四个阶段，时间跨度25年，公私联合总投入115亿美元（表1）。

表1 SEAB 建议分阶段实施先进核能研发计划

阶段	主要内容	投入金额
第一阶段 5 年 先进反应堆技术遴选	开展技术开发、工程化以及系统层面的分析，以确定候选先进反应堆的技术成熟度水平、估算其资本成本和电力平准化成本，从而决定推进一个或多个最有潜力的先进反应堆技术	预估 20 亿美元（联邦政府）
第二阶段 7 年 子系统开发和反应堆示范准备工作	致力于反应堆子系统开发和验证、前端工程设计，并获得核监管委员会的许可，从而推进实施示范电站项目	30 亿美元（联邦政府和私营部门分摊）
第三阶段 7 年 示范电站运营	致力于示范电站建设和运营，深度分析判断商业可行性，着手首堆工程的详细设计，从而推进先进反应堆首个商业电站建设	35 亿美元（联邦政府和私营部门分摊）
第四阶段 6 年 首个商业电站运营	致力于首个商业规模电站的建设和运营，带动私人投资者、银行、公用电力机构和业主/运营商批量建设后续核电站	30 亿美元（私营部门）

报告根据能源部以往研究，列出了先进反应堆技术清单，包括技术成熟度较高的模块化高温气冷堆（阿海珐）和钠冷快堆（通用电气），以及技术成熟度较低的铅冷快堆、熔盐堆、氟化物高温堆、超临界水冷堆、超高温气冷堆和气冷快堆，并提出了这些先进反应堆设计降低成本或提高性能的技术机遇，包括：

（1）反应堆设计：降低一次回路压力，减少管路和部件成本；提高一次回路温度，可增加热力学效率并减少水资源需求（从而增强选址灵活性）；简化系统部件（如阀门、泵等）设计，降低成本并缩短建设时间；通过监管许可的非能动系统减少反应堆系统和压力容器结构相关的成本；更高的功率密度能够增加电力输出；核电站/建筑物结合安全设计（如地下建筑物仅保留最低数量的进入通道）能够减少安保人力需求。

³ Report of the Task Force on the Future of Nuclear Power.
http://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/9-22-16_SEAB%20Nuclear%20Power%20TF%20Report%20and%20transmittal.pdf

(2) 制造：主要部件模块化；缩减主要部件的尺寸；通过汲取学习曲线经验和采购的标准化可降低成本；提高必要部件（如螺旋式蒸汽发生器）的制造能力。

(3) 采购与建设：现场模块式装配；先进数字化配置管理系统；发展成熟的供应链，包括替代供应商可利用竞争降低成本；通过采购/建设合同合理地分担风险，使供应商和业主形成利益共同体。

(4) 运营与管理：设计维保过程降低对人力的需求；增加燃料循环长度，缩短中断时间；利用三维模型作为用户界面建立电站数字化数据中心配置管理系统；自动化人员监控和放射量测定可改善人员安全性；建立电站部件和培训/认证信息的中央数据库，可提高人力资源开发和分配的效率。

(5) 核燃料：设计提高燃料利用率（包括更高燃耗燃料）；最大化单位燃料成本的运行循环长度可改善经济效能；在选择燃料、包壳和结构与控制材料时关注事故容错特性可提高安全性。

(6) 部署效率：减少核电站的占地空间能够在部署时提供更广泛的选择；减少应急计划区的规模可降低应急计划演习的许可成本，提供更多部署选项；减少存在风险的资产数量；提供负荷跟踪能力。

(7) 许可风险：更高的技术成熟度可降低许可和投资风险；拥有必要的试验/测试数据对于降低许可风险至关重要；（以分阶段方式）提高监管机构对先进反应堆设计特性的熟悉程度。

报告还建议，管理这一计划需要建立一个私营公共事业机构（quasi-public corporation）。该机构由一个总统提名并由国会确认的独立董事会治理，负责实施先进核能计划的四个阶段。国会对该机构进行一次性拨款，并颁布授权法案允许机构在很大程度上以商业模式运营，不受联邦采购、人员雇用和年度预算/拨款周期的限制。这一管理模式适用于需要多年持续进行的技术开发/部署项目，能够降低私营部门投资受到美国政府核能政策不稳定性掣肘的风险。前两个阶段该机构将与美国能源部国家实验室密切合作，而在第三和第四阶段将与投资者和融资机构合作。

SEAB 强调指出，重大的市场改革是先进核能计划成功的先决条件，这包括：征收碳税或延长低碳能源生产税收减免政策，有助于提高核电相比于天然气发电的经济竞争力；加强监管机构（核监管委员会）审查和许可非轻水反应堆技术的能力；以及美国牵头开展国际合作，开放盟友参与，确保防核扩散和应对攻击行为，并树立美国技术和安全监管流程的标杆作用。

（陈伟 吴勘）

项目计划

DOE 资助上亿美元推动太阳能技术创新研发

9月14日，美国能源部（DOE）在 Sunshot 计划框架下宣布资助 1.07 亿美元支持太阳能技术创新研发，旨在到 2020 年将度电平准化成本降至 6 美分以下⁴，加速太阳能发电技术在全美的广泛部署。其中：

（1）1700 万美元支持五个光伏技术主题的研发项目，以提高光伏技术性能、可靠性和可制造性，提高电池寿命、降低电池硬件成本，具体内容如下：

太阳能电池机理研究：开发先进计量方法表征薄膜太阳电池界面处的载流子复合情况，从纳米尺度探究影响电池性能的问题所在；利用扩散电荷再分布研发太阳电池新结构，提高发电效率，降低生产成本，以实现度电成本 6 美分的短期目标和 2-3 美分的长期目标。

碲化镉（CdTe）薄膜电池技术：开发软件工具准确阐明 CdTe 薄膜光伏设备性能和材料特性之间的关系；为 CdTe 电池开发新型器件结构，以解决电子寿命短的问题，提高电池电压和转换效率；开发创新方法来探究多晶 CdTe 薄膜电池晶界对电压的限制作用；开发低成本、大容量、规模化的 CdTe 原料生产技术。

硅基电池技术：通过开发基于背接触式硅基电池的光伏模块将度电成本降至 4 美分；开发新方法将硅异质结电池转换效率提高至 26%，同时改善硅晶圆的寿命；通过使用钝化选择性发射极和选择性背场（BSF）链接的几何结构提高硅电池制造工艺，将其效率提升到 22%以上；开发相关工具以提高自支撑硅晶圆薄片及基于此制备电池模块的产率，降低硅基电池制造成本；开发新技术提高多晶硅废料的循环利用效率，降低高纯多晶硅的制造成本和能耗，将电池模块制造成本降低 10%；为交叉背接触晶硅电池开发快速刻蚀方法和更先进的器件结构；将实验室规模化的异质结钝化触点技术扩大到实际工业化规模，以大规模制备晶硅电池，转换效率提高至 22.5%；识别和评估电绝缘的光伏背板导热和辐射性能，通过降低电池模块的工作温度，降低光伏性能的降解率以提高电池寿命；降低背接触晶硅电池掺杂工艺成本，实现到 2030 年将度电成本降至 2-3 美分。

串联电池技术：开发转换效率达 30%以上的 GaAsP/Si 串联太阳电池；开发新方法制造交叉背接触式（IBC）电池，将效率提升到 25%。

铜铟镓硒（CIGS）电池技术：开发沉积和电池器件制备新方法，改善 CIGS 薄膜电池的性能和稳定性；采用商用、成熟的制造工艺和材料降低电池制造成本，实现或超越 2020 年度电成本 6 美分的目标。

⁴ Energy Department Announces Up to \$107 Million for Innovative Projects and New Funding to Advance Solar Technologies.

<http://energy.gov/eere/articles/energy-department-announces-107-million-innovative-projects-and-new-funding-advance>

(2) 2500 万美元支持四个主题的项目研究，降低太阳能技术全链条成本、提高业务运营效率，加速新兴太阳能技术市场转化，具体内容如下：

系统平衡部件技术：通过自动化中试生产线，改善衬底材料重用率和晶圆产品良率，以降低外延晶片的制造成本；开发白色硅光伏模块背板以解决当前光伏背板的稳定性问题；利用网格铝背板代替传统的全区域铝背板结构，开发一种先进的钝化发射极底电池（PERC）结构；为屋顶太阳能模块开发抗反射涂层，涂层的折射率与玻璃接近，提高模块电源输出；为高效异质结太阳能电池铜电极和双面进光的电池模块开发先进制造工具和技术；开发基于熔融盐储热技术的太阳能热发电系统以代替天然气调峰电厂；开发一个模块化的单轴跟踪系统，以显著降低太阳能组件成本，提高分布式电网建设和设计的效率；开发一种全新的计量工具，提高金刚石线的可靠性，同时提高金刚石线切割制备晶圆的产率。

电子电力技术：使用低成本、可靠、高效的晶闸管取代绝缘栅双极型晶体管构建全新的光伏逆变器拓扑结构，并依此开发具有合适的控制和调制方案的光伏逆变器原型；为现有逆变器添加新的软硬件功能，使其能够提供需求侧响应、聚合和其他电网服务，在用电高峰实现对分布式能源系统的远程调度。

软件工具开发：为太阳能设备安装人员和运营员工开发全球首款 3D 互动模拟训练工具；开发并使用混合分布/传输模型，对分布式能源资源组合做出快速预测和计划。

新的服务模式：创建全国性的太阳能运营和维护专业团队网络，提供简化、经济合理的运维服务；创建库存和稀缺组件在线市场平台，以减少工程建设和维护成本，并能够重复利用退役太阳能电池板材料；开发全新的光伏通信系统解决方案，协助第三方太阳能系统运营商更好管理投运项目；创建商业平台将分布式能源资源（包括太阳能）整合到市场，来提高分布式能源资源占比和降低软成本；开发面向消费者的电子商务平台—PowerScout 社区太阳能市场，减少社区屋顶太阳能部署壁垒，加快分布式能源市场发展。

(3) 6500 万美元支持 3 个招标项目，改进光伏组件与系统设计推动快速安装和互联，以及在能量管理系统中集成太阳能辐射量和功率预测数据，具体内容如下：

光伏研发项目：探索有应用潜力的全新光伏系统，改善光伏模块和系统设计，包括硬件和软件解决方案；优化光伏系统的快速安装和互联，改善电池模块的性能、能量效率和制造工艺；开发先进的模块级别电池性能的表征分析工具，填补模块级太阳能电池表征技术空白，促进新一代电池模块和系统的设计和开发。

技术转化项目：通过研发创新的光伏技术和解决方案，开发出上百吉瓦的太阳能发电系统；加快光伏产品和技术解决方案的商业化进程，实现在 2020 年之前将公用事业级别、商用和住宅光伏系统度电成本分别降至 6 美分、7 美分和 9 美分，将

太阳能电力占比提高到 10%以上。

系统集成项目：构建具有完整空间和时间分辨率、性能指标的太阳能测试模型框架；利用概率统计方法，构建具有高空间和时间分辨率太阳能预测模型，增强对太阳能辐照强度和功率预测能力（尤其针对多云、大光照起伏情况），提供可视化的数据采集结果，并将数据集成到能源管理系统，分析太阳能对电力系统运行的影响，促进太阳能更高比例的电网集成。

（郭楷模）

美启动光伏组件材料研发联盟建设

9 月 15 日，美国能源部宣布能源材料研发网络联盟新增一家光伏组件耐用材料（DuraMat）国家实验室联盟⁵。该联盟由国家可再生能源实验室领衔，合作成员包括桑迪亚国家实验室、劳伦斯伯克利国家实验室、SLAC 国家加速器实验室等，旨在加速用于光伏组件的新型、高性能材料的开发与推广，以期降低太阳能发电成本，并延长使用寿命。

美国能源部 Sunshot 计划将在未来五年向该联盟提供约 3000 万美元的资助。该联盟将与产业界、学术界一起支持材料升级项目，进一步优化低成本光伏组件的可靠性和能量收集性能。新联盟将通过以下途径实现其目标：

- （1）开发组件技术，能显著降低太阳能发电平准化成本；
- （2）构建由国家实验室、学术界及产业界组成的有效合作网络，开展先进组件材料的设计、开发和推广；
- （3）加速极具发展潜力的组件材料与技术的转移转化。

今年 2 月，美国能源部能效与可再生能源局宣布启动能源材料研发联盟网络的建设⁶，助力美国企业和制造商在全球清洁能源发展中占据竞争优势。联盟聚焦于解决清洁能源技术广泛商业化的一大主要障碍，即新材料的设计、测试与生产。通过强化和推动产业界获取能源部国家实验室特有的科技新材料创新资源，该网络将协助产业界更快地把这些新材料引入市场。

此前已成立的三家研发联盟分别是：**轻量化材料联盟**（LightMat）、有关燃料电池新型催化剂的**电催化联盟**（ElectroCat）以及有关制冷材料的热质交换冷却联盟（CaloriCool）。2017 财年还将新建三家联盟。能源材料研发联盟网络的建设既是对材料基因组计划的有力支撑，也是对先进制造业伙伴关系计划 2.0 提出的工作建议的积极回应。

（万勇）

⁵ Energy Department Launches Up to \$30 Million Effort to Improve Solar Module Materials.
<http://energy.gov/eere/articles/energy-department-launches-30-million-effort-improve-solar-module-materials>

⁶ 参见本刊 2016 年第 5 期报道。

DOE 资助超 1000 万美元支持先进燃烧系统研发

9 月 19 日，美国能源部（DOE）宣布资助超过 1000 万美元支持先进燃烧系统研发项目⁷，涵盖两个技术主题：（1）加压富氧燃烧系统；（2）煤基固体燃料的化学链燃烧系统，提高燃烧系统技术性能，降低其成本，实现废气 CO₂ 捕集率达 90%。项目具体内容参见表 1。

表 1 DOE 资助 1000 万美元支持先进燃烧系统研发

技术主题	研究内容	资助金额/ 万美元
加压富氧燃烧系统	• 为干煤粉进料氧-煤反应器开发使能技术，设计并建造一个首次采用干煤粉进料系统的 100 kW 氧-煤反应器，解决未来商业化应用的加压氧-煤系统的设计、开发和测试的技术问题 • 实现分段加压富氧燃烧，在电力满载荷和部分载荷条件下，通过使用两个或更多的串联锅炉控制燃烧过程的温度和热量传递，以降低电力成本 • 富氧燃烧系统工艺优化，开发一个新型基于化学吸附的高压 CO₂ 净化系统，除去回收 CO₂ 中的残余氧气并优化加压富氧燃烧工艺 • 高压涡流式氧-煤燃烧器技术示范，论证一项 W 型涡流式氧-煤燃烧器技术，并调研燃烧器操作条件与转化效率之间的关系，降低氧气需求量 • 表征高压氧-煤燃烧系统干煤粉进料的影响，设计并建造一个干式粉煤进料和点火系统，用在一个气流床加压反应器上，并判断干法进料如何影响系统的整体性能 • 加压富氧燃烧器废气中氧气和污染物的催化脱除，开发并验证先进的催化材料和实验室规模的系统，用于净化加压煤氧燃烧器产生的烟气	717
煤基固体燃料的化学链燃烧系统	• 化学链燃烧和化学链氧解耦技术的开发，通过氧载体管理和反应器设计与操作技术开发，实现改善化学链燃烧和化学链氧解耦的系统性能并降低成本 • 有利于煤直接化学链燃烧工艺的热联合优化和动态建模研究，解决用于发电的联合蒸汽循环的模块化煤直接化学链燃烧系统的优化和启动操作问题，降低技术的放大风险	283

（张凡）

⁷ DOE Announces More Than \$10 Million for Advanced Combustion Systems Research. <http://www.energy.gov/fe/articles/doe-announces-more-10-million-advanced-combustion-systems-research>

新型阶梯式叠层太阳能电池理论效率高达 45%

麻省理工学院 Eugene A. Fitzgerald 教授研究团队与马斯达尔研究所的研究人员合作研发出一种新型两端点接触的“阶梯式”叠层太阳能电池，该电池是由 GaAsP 材料和硅材料组成，其中 GaAsP 材料位于上层作为顶电池，主要吸收高能光子；而底层硅材料作为底电池，主要吸收低能光子，拓宽了太阳光吸收范围，提高了太阳能的吸收利用率。与传统叠层太阳能电池不同，顶电池和底电池的面积大小不一，底电池面积更大从而形成阶梯式结构，这种结构确保底电池可以直接接受光照，摆脱传统串联电池彼此之间严格的带隙和厚度要求，提高了材料选择的灵活性。研究人员设计了两种两端点阶梯式电池：双结（电池带隙结构为 1.12 eV/0.94 eV）和三结（电池带隙结构为 1.74 eV/1.12 eV/0.94 eV）。通过仿真模拟研究，发现阶梯式电池的转换效率与上下电池的受光照面积比例（比例定义为 $A_{\text{total}}/A_{\text{top}}=X$, $X \geq 1$, A_{total} 、 A_{top} 分别为上下电池面积）紧密相关。研究人员通过优化电池结构和相关参数，在一个模拟太阳光(AM1.5)照射下，模拟结果显示经过优化后双结电池($A_{\text{total}}/A_{\text{top}}=1.5$)的理论转换效率从传统的无优化双结太阳能电池约 21%上升到 38.7%；而三结电池($A_{\text{total}}/A_{\text{top}}=1.3$)的理论转换效率更是提高到了约 45%。该项研究创新性设计了阶梯式叠层太阳能电池，不仅提高了转换效率，还改善了串联电池材料选择性，降低了串联电池的制备成本，为制备高性能的串联电池开辟了新方向。相关研究成果发表在《IEEE Journal of Applied Physics》⁸。（郭楷模）

超快光谱技术实现对光生电荷的实时监测

有机太阳能电池凭借其低成本、高柔韧性、轻量化等优点，成为了备受瞩目的第三代薄膜太阳能电池技术之一。然而，由于目前对有机太阳能电池活性层（现今广泛使用的活性层是基于富勒烯/聚合物的复合材料）光生电子-空穴对（激子）的产生、分离机制不甚了解，限制了研究人员设计出光电转换性能更加优异的有机太阳能电池，阻碍了该类电池的商业化进程。瑞士洛桑联邦理工学院 Natalie Banerji 教授研究团队利用一种全新的超快时间分辨电场调制光谱（TREAS）技术，成功实现了对有机太阳能电池活性层（富勒烯和聚合物的混合材料<pBTTT:PCBM>）中激子的产生和分离的实时观测，系统研究了光照和活性层形貌对激子分离的影响。研究人员通过调整活性层材料组分，以及变化活性层材料添加剂种类（通过调整脂肪酸甲酯烷基链的长度）来调控活性层 pBTTT:PCBM 形貌，分别制备了三种不同形貌的活性层材料：

⁸ Sabina Abdul Hadi, Eugene A Fitzgerald, Ammar Nayfesh, et al. Tim Milakovich, Mayank T. Theoretical efficiency limit for a two-terminal multi-junction “step-cell” using detailed balance method. *IEEE Journal of Applied Physics*, 2016, 119: 073104.

均匀混合相（无添加剂）、部分均匀混合相（含添加剂 Me7）和完全相分离（含添加剂 Me12）三种。在 540nm 的激光照射下，通过飞秒瞬态吸收光谱表征，结果发现只有在 Me7 和 Me12 两种形貌的活性层中监测到 pBTTT 激子信号，而在均匀混合相中没有探测到相应的信号，这主要是因为经过添加剂修饰的活性层激子猝灭时间得到了延时。从 TA 光谱可以得出，无添加剂、Me7 和 Me12 活性层的激子猝灭时间依次为 0.6、9 和 125 皮秒。研究人员进一步对样品激子和电荷比进行了计算，结果显示无添加活性层的电子空穴复合率高达 87%，而 Me12 和 Me7 则分别下降到 72% 和 30%；基于上述结果，研究人员认为完整的 PCBM 团簇和添加剂辅助相分离能够有效地阻止电子-空穴复合、促进自由电荷形成和传输。该项研究首次实现了对太阳能电池内激子的产生、分离等动力学行为的实时观测，有助于更好地理解光诱导的电子-空穴分离机制，以及活性层形态学效应，这有利于设计合成高性能的活性层材料和进一步提升太阳能电池的光电转换效率。相关的研究工作发表在《*Nature Communications*》上⁹。（郭楷模）

美科学家研发新型高效低成本光解水制氢催化剂

光解水制氢是通过电化学催化反应将太阳能转化为燃料的过程，传统催化剂不耐酸碱、且大都是采用贵金属，成本高昂，且动力学过程过于缓慢，阻碍了光解水制氢大规模应用。由斯坦福大学 Thomas F. Jaramillo 教授课题组联合斯坦福直线加速器中心的研究人员利用脉冲激光沉积的方法在钛酸锶（ SrTiO_3 ）的基底上外延沉积制备了一层三元复合薄膜 SrIrO_3 催化剂，大幅提高了催化剂的耐酸性，以及光解水的化学反应速率。研究人员采用循环伏安对 SrIrO_3 的催化性进行测试：在 0.5M 的硫酸电解液中，最初 SrIrO_3 催化剂达到 10 mA cm^{-2} 电流密度需要 340mV 的过电位，经过 10 分钟的循环后过电位下降到 320mV，表明其催化性能增强；连续 30 个小时后，过电位便一直稳定在 270-290mV 之间，表明了该催化剂具有良好的耐酸性。研究人员进一步分别测试 SrIrO_3 、 IrO_2 和 RuO_2 三种催化剂的塔菲尔（Tafel）曲线，发现 SrIrO_3 的催化效率比后两者高出近两个数量级。通过密度泛函理论模拟和 X 射线衍射分析，研究人员推测 SrIrO_3 之所以拥有如此高效的催化性能与其薄膜表面的 Sr 原子流失和 Ir 原子的重新排布有关，即在 SrIrO_3 薄膜表面形成 IrO_x 薄膜，从而形成全新的 $\text{IrO}_x/\text{SrIrO}_3$ 催化剂薄膜，进而大幅提高了催化性能。相关研究成果发表在《*Science*》¹⁰。（郭楷模）

⁹ Martina Causa, Jelissa De Jonghe-Risse, Mariateresa Scarongella, et al. The fate of electron-hole pairs in polymer:fullerene blends for organic photovoltaics. *Nature Communications*, 2016, 7: 12556.

¹⁰ L C Seitz, C F Dickens, Kazunori Nishio, et al. A highly active and stable $\text{IrO}_x/\text{SrIrO}_3$ catalyst for the oxygen evolution reaction. *Science*, 2016, 353 (6303): 1011-1014.

新型三元金属复合双功能催化剂推动锂空气电池商业化

锂空气电池理论能量密度高达 11400 Wh kg^{-1} ，与汽油相当，成为了近年来储能领域的研究热点。美国西北大学 K. M. Abraham 教授课题组利用电化学去锂的方法合成了一种全新的双功能三元金属复合催化剂 $0.5\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}_{0.5}\text{Ni}_{0.35}\text{Co}_{0.15}\text{O}_2$ 材料，有助于推动低碳、零碳汽车行业和电网储能应用的发展。研究人员将该催化剂与碳负极结合形成复合电极（定义为催化负极），与电解质（溶解在乙腈溶液的 1M LiPF_6 ）构建电池原型，并与无催化剂的碳负极测试对比电催化性能。通过快速扫描的循环伏安表征，发现相比碳负极，催化负极的催化性能（氧还原<ORR>和析氧<OER>）得到大幅增强。比表面积（BET）测试结果显示，三元金属复合催化剂的表面积仅为 $\sim 3.5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，远小于碳电极的表面积（ $\sim 760 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ），因此这一增强的催化性能不是由于催化负极变化的表面积引起，而是催化剂本身的物理化学特性。研究人员进一步将催化负极、碳负极分别与电解质（由 1M LiPF_6 的四乙二醇二甲醚溶液组成）组装成锂空气电池原型。经过 13 次恒电流充放电循环测试后，基于催化负极的锂空气电池性能基本无衰退，电压仍然维持在 2.5V 以上，放电比容量达到 400 mAh g^{-1} ；相反，无催化剂的碳负极电池性能则大幅衰退。研究人员指出，基于催化电极的锂空气电池循环性能之所以得到改善，是受益于新型三元金属复合催化剂具备了传统催化剂所不具备的双功能特性，即一方面 Mn 金属可以催化氧还原反应，同时 Co 金属能够催化电池充电反应，因此其能够在电池循环反应时形成最佳的氧化状态，即其在放电过程可以先形成稳定状态的超氧化锂（ LiO_2 ）中间产物，再缓慢的歧化分解为过氧化锂（ Li_2O_2 ，为锂空电池最终放电产物），整个过程得到了延缓，从而提高了循环寿命。相关研究成果发表在《*Journal of The Electrochemical Society*》¹¹。

（郭楷模）

¹¹ Mehmet Nurullah Ates, Iromie Gunasekara, Sanjeev Mukerjee, et al. In Situ Formed Layered-Layered Metal Oxide as Bifunctional Catalyst for Li-Air Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 2016, 163 (10): A2464.

中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心简介

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
微信公众号：CASEnergy

