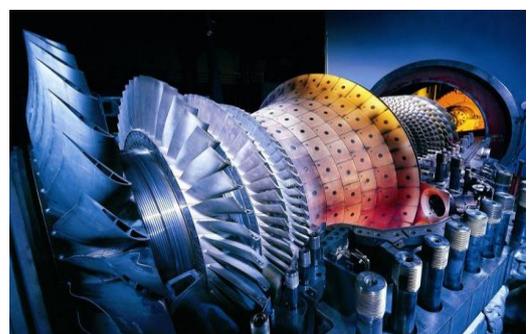


先进能源科技动态监测快报



本期重点

- IRENA：到 2030 年可再生能源占比有望达到 36%
- DOE 提出先进核能反应堆开发与部署六项战略目标
- IEA 发布专题报告分析中国燃煤电厂 CCS 改造潜力
- NuScale 提交首个小型模块化反应堆设计认证申请
- 全球铀资源基础保百年无虞 但市场低迷致生产能力不足

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

郭楷模 guokm@whlib.ac.cn

电 话：（027）87197630

目 录

决策参考

- IRENA: 到 2030 年可再生能源占比有望达到 36%2
- DOE 提出先进核能反应堆开发与部署六项战略目标3

中国研究

- IEA 发布专题报告分析中国燃煤电厂 CCS 改造潜力4

项目计划

- ARPA-E 资助高性能电力电子变换器和低能耗建筑研究6
- NuScale 提交首个小型模块化反应堆设计认证申请7
- 美能源部与农业部合作资助 2270 万美元用于生物精炼优化...8
- 英能源创新计划启动新一轮资助8

前沿与装备

- 美科学家研发新型钠原子嵌入碳纳米片电极9
- 科学家实现对单个颗粒催化转化的纳米尺度原位观测 10
- 韩科学家研发新型聚吡咯/钙钛矿复合双功能催化剂 10
- 新型分层级催化剂保护层提高光阳极光解水效率和稳定性 .. 11

能源资源

- 全球铀资源基础保百年无虞 但市场低迷致生产能力不足 .. 12

本期概要

国际可再生能源机构（IRENA）发布了《能源反思 2017：加速全球能源转型》报告指出，到 2030 年可再生能源在全球能源总量的占比有望翻番达到 36%：发展可再生能源对促进全球经济增长、确保全球可持续发展，2030 年过渡到可持续能源未来在技术、经济上是完全可行的。而可再生能源发展能否顺利实现这一目标取决于政策、融资、技术和监管制度的正确组合。为此报告为决策者和利益相关方提出了五项战略建议，包括：（1）强化可再生能源的政策承诺；（2）促进可再生能源投资；（3）促进可再生能源技术创新，降低成本开拓市场；（4）利用离网电力弥补电力缺口；（5）利用可再生能源实现可持续发展。详见正文。

美国能源部（DOE）发布《先进反应堆开发与部署愿景和战略》报告，提出了中长期发展愿景，即到 21 世纪 30 年代初至少要有两个非轻水堆型的先进反应堆概念实现技术成熟，显示出较好的安全性和经济效益，并完成美国核监管委员会（NRC）的许可审查，能够推进下一步建设；到 2050 年，基于在安全性、经济成本、性能、可持续性和减少核扩散风险方面的优势，先进反应堆将成为美国 and 全球核能结构的重要组成部分。为加速先进反应堆的开发和部署以实现上述愿景，DOE 制定了六项战略目标：（1）加强核能技术创新基础设施建设；（2）示范先进反应堆性能，降低成本和技术风险；（3）支持开发先进反应堆的燃料循环方案；（4）支持制定有效可靠的先进反应堆监管框架；（5）最大限度提高公共和私营部门的投资效率，探索政策激励措施，帮助私营部门加快先进反应堆部署；（6）解决专业人力资源和劳动力发展需求。详见正文。

国际能源署（IEA）发布《中国燃煤电厂碳捕集与封存（CCS）技术的改造潜力》分析报告指出，中国约有 385 GW 燃煤电厂可以在其周围 250 公里半径范围内找到合适的二氧化碳封存地点。总的来说，现有的燃煤电厂中，符合 CCS 改造基本要求的燃煤发电容量达到了约 310 GW：报告最后为决策者及各利益相关方提出了三项建议：（1）将 CCS 纳入中国的气候政策，或保留未来 CCS 改造的选择，即必须继续分析二氧化碳封存条件并开发合适的封存地点。（2）政府和相关行业需要精诚合作，继续推进 CCS 技术创新，进一步降低 CCS 的总体成本和改造成本。（3）考虑未来中国会批准新建燃煤电厂，为了确保 CCS 技术能够应用到未来新建电厂当中，中国政府在批准新建燃煤电厂的选址上就需要考虑其是否满足 CCS 改造的条件。

经合组织核能署（OECD-NEA）和国际原子能机构（IAEA）联合发布《铀资源、生产与需求 2016》报告指出，无论核能最终在未来电力需求方面能够起到什么作用，铀资源基础足以满足可预见的未来需求，未来几年面临的挑战可能是由于铀市场环境恶劣而导致的生产能力不足：报告对全球铀市场基本面开展了最新评估，提供了截至 2015 年 1 月 1 日世界铀工业的统计概况，包括全球铀矿资源、勘探、生产和反应堆相关需求的数据。详见正文。

IRENA：到 2030 年可再生能源占比有望达到 36%

1 月 15 日，国际可再生能源机构（IRENA）发布了《能源反思 2017：加速全球能源转型》报告¹指出，可再生能源是各国实现气候目标、推进电力系统现代化，同时促进经济增长和就业以及支持可持续发展的核心要素，随着可再生能源领域诸多方面的持续创新（包括新技术、新的商业模式及融资渠道等）以及相关政策的支持，到 2030 年可再生能源在全球能源总量的占比有望翻番达到 36%。

可再生能源已经成为了各国实现电力系统脱碳化的关键工具，而随着技术进步和成本下降，可再生能源电力占比将持续增加。其中太阳能光伏将成为增长最快的可再生电力来源，到 2030 年预计全球光伏装机容量将增加至 1760 GW，届时太阳能将占全球总发电量的 7%。此外，电力储能技术的快速发展也将促进可再生能源电力份额增加，电力储能装机容量预计从 2015 年的不到 1 GW 增加至 2030 年的 250 GW。届时，离网可再生能源将为全球约 9000 万人提供电力来源，成为具有成本效益、环保、可靠的电力解决方案。

政策和法规对于建立稳定和有吸引力的可再生能源市场至关重要。强有力的政府承诺有助于降低风险和融资成本。迄今为止，已有 170 多个国家制定了可再生能源目标，近 150 个国家颁布了促进可再生能源技术投资的政策。过去十多年间，全球可再生能源投资一直稳步增长，从 2004 年的不到 500 亿美元增长到 2015 年创纪录的 3050 亿美元。尽管投资显著增长，但当前的可再生能源投资规模和部署水平还不足以保证各国实现在巴黎协定里承诺的碳减排目标。

报告指出，发展可再生能源对促进全球经济增长、确保全球可持续发展，并且在 2030 年过渡到可持续能源未来在技术、经济上是完全可行的。而可再生能源发展能否顺利实现这一目标取决于政策、融资、技术和监管制度的正确组合。为此，报告为决策者和各利益相关方提出了可采纳的五项战略建议：

- **强化可再生能源的政策承诺。**有利的政策和监管框架可以创建稳定和可预见的投资环境，有助于克服障碍，并确保投资项目带来可预期的收益；可再生能源政策需要与时俱进，根据市场变化及时做出相应的调整或改变，以确保可再生能源政策的有效性；构建新的政策框架（包括需求侧管理、储能和市场设计等），以应对日益增加的可再生电力份额，确保电力系统的弹性、可靠和稳定。可再生能源政策需要考虑可再生能源和能效的协同效应，从而最大化可再生能源益处，推动能源系统转型。

¹ Rethinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REthinking_Energy_2017.pdf

• **促进可再生能源投资。**公共投资是可再生能源发展的关键组成部分，未来政策必须注重降低风险和融资成本，以刺激更多公共投资。此外，政策还需专注降低风险的手段和结构性金融工具，并充分利用项目融资和再融资机会，构建创新的商业模式（如租赁），为私营部门创造一个良好的投资环境，以撬动更多的私人资本进入该市场。设立专门负责降低风险的机构，这些机构要同时利用气候融资和传统的发展资金渠道，以扩大可再生能源投资需求。

• **促进可再生能源技术创新，降低成本开拓市场。**技术的持续创新能够不断改善可再生能源性能、同时降低成本。加强公私部门的合作，促进融资形式（信贷、公共风险基金等）的创新，增加可再生能源投资，推进可再生能源技术创新。配套措施可以通过引入适当的能源价格体系，为可再生能源创造公平竞争的环境。

• **利用离网电力弥补电力缺口。**离网可再生能源（包括固定式和分布式）能够提供具有成本、环境效益的电力服务，以解决电力资源匮乏地区的用电问题。应该为离网电力的发展创建良好的环境，包括精心设计的政策、监管框架、制度机构、融资方式、商业模式和技术创新方案。可再生能源发展模式观念需要作出转变，关注的焦点应该从供应侧转向需求侧，这有助于电力供应商提高电力服务水平，改善人类生活，提高生产力，促进可持续发展目标的实现。

• **利用可再生能源来实现可持续发展。**发展可再生能源不仅有助于实现能源系统的转型（即可持续发展），同时能够帮助各国实现其他可持续发展目标的完成，例如扶贫、水资源和城市化等。获得可靠、具有成本效益和环境可持续性的现代能源服务具有多重发展效益，可再生能源方案可以提高电力的普及水平，提高生产率，创造就业机会，改善水资源安全和促进减贫努力。

（郭楷模）

DOE 提出先进核能反应堆开发与部署六项战略目标

1月13日，美国能源部（DOE）发布《先进反应堆开发与部署愿景和战略》²报告，提出了中长期发展愿景，并制定了为实现愿景的六项战略目标。报告指出，到21世纪30年代初至少要有两个非轻水堆型的先进反应堆概念实现技术成熟，显示出较好的安全性和经济效益，并完成美国核监管委员会（NRC）的许可审查，能够推进下一步建设；到2050年，基于在安全性、经济成本、性能、可持续性和减少核扩散风险方面的优势，先进反应堆将成为美国 and 全球核能结构的重要组成部分。DOE认为，核能新技术的部署需要15-20年，将大幅增加对私营部门推进新一代反应堆发展计划的支持。为加速先进反应堆的开发和部署以实现上述愿景，DOE制定了六项战略目标：

² Vision and Strategy for the development and Deployment of Advanced Reactors.
<https://www.energy.gov/ne/downloads/vision-and-strategy-development-and-deployment-advanced-reactors>

(1) 加强核能技术创新基础设施建设，通过“加速核能创新门户”（GAIN）计划提高私营部门获得 DOE 资源和技术支持的机会

GAIN 计划由 DOE 核能局与技术转移转化办公室联合推出，为核能业界提供技术、监管和财政支持，使其能够获取关键的实验资源、高性能计算能力和工程化专业知识，旨在大大加快新型先进反应堆设计从概念到商业化的进度。

(2) 示范先进反应堆性能，降低成本和技术风险

DOE 将建立新的机制，与私营部门合作伙伴一同确定技术发展优先需求，为研究和开发工作提供资金，旨在降低技术风险，加强安全性和防护性，提高先进反应堆的经济竞争力。

(3) 支持开发先进反应堆的燃料循环方案

与工业界合作开发改进和先进的核燃料是现有轻水反应堆和全系列先进核能系统的主要目标。DOE 在这一领域的工作将集中在确保可持续燃料循环方案与美国未来核不扩散目标相一致，以及开发能够安全可靠存储、运输和处置来自现有和未来核燃料循环的乏燃料与废物的技术。

(4) 支持制定有效可靠的先进反应堆监管框架

建立一个合适、有效和可预测的监管框架是实现先进反应堆技术商业化的高度优先事项。DOE 及其利益相关方将与 NRC 合作制定新的监管流程，包括制定先进反应堆的设计标准、阶段化许可过程和预申请许可性的审查流程。

(5) 最大限度提高公共和私营部门的投资效率，探索政策激励措施，帮助私营部门加快先进反应堆部署

DOE 将探索利用公私伙伴关系和特定技术工作组的方式来确定政府潜在的投资机会，以帮助推进多个反应堆概念。此外，DOE 还将探索使用其他适当的激励措施来支持先进反应堆部署。

(6) 解决专业人力资源和劳动力发展需求

DOE 计划通过核能大学计划（NEUP）继续资助与核能相关的研究项目、基础设施改进和教育培训，并将通过新设立的实习生计划增加先进反应堆技术的人力资源培训机会。

（吴勘）

中国研究

IEA 发布专题报告分析中国燃煤电厂 CCS 改造潜力

1 月 17 日，国际能源署（IEA）发布《中国燃煤电厂碳捕集与封存（CCS）技术的改造潜力》分析报告指出³，全球对煤炭发电的持续严重依赖是环境保护面临的

³ The potential for equipping China's existing coal fleet with carbon capture and storage.

最大挑战之一，然而煤炭的未来在很大程度上取决于中国。中国燃煤电厂持续的碳排放给温室气体减排带来了严峻挑战。随着中国经济的不断发展，想要在扩大电力使用的同时减少温室气体排放可能无法实现，除非许多燃煤电厂提前退役或运用碳捕集与封存（CCS）技术对其进行改造。

中国是世界上可再生电力的领导者，但也是世界上最大的二氧化碳排放国，其中约一半来自燃煤电厂。尽管有很多迹象表明中国正在限制新的燃煤电厂建设，但中国目前仍拥有超过 900 GW 的燃煤发电装机容量，占全球总装机量的 50%，这意味着如果电厂继续按现有水平运行，每年将会产生 850 亿吨二氧化碳排放，并且最近还有近 200 GW 燃煤电厂正在建设中。

CCS 提供了一个既能达到能源安全和气候目标，也能避免废除高效发电装机的重要机会。使用 CCS 技术对现有燃煤电厂进行改造有望实现近零排放，大多数情况下实现 85% 的碳减排，排放量比燃气发电厂低四倍。对现有发电厂进行 CCS 改造只需要投资于二氧化碳捕集、运输和封存的控制设备，而无需对发电厂本身进行投资。然而在某些情况下，在 CCS 改造的同时升级发电厂也能够延长其使用寿命。

在中国，成本是燃煤发电厂 CCS 改造否有吸引力的一个关键决定因素。由于没有足够的污染控制或低成本冷却设施，老旧电厂的改造成本较高。此外，碳封存条件是电厂是否适合 CCS 改造的另一个重要考虑因素。根据 IEA 分析，中国约有 385 GW 燃煤电厂可以在其周围 250 公里半径范围内找到合适的二氧化碳封存地点。总的来说，现有的燃煤电厂中符合 CCS 改造基本要求的燃煤发电装机容量达到了约 310 GW。并且随着新的燃煤电厂投产运行，这一数字还会不断增加。

报告最后强调，在中国通过 CCS 改造实现碳减排比采用新的低碳发电（如可再生能源）方法更具竞争力。而且 CCS 改造还具有按需交付电力的额外优势，能够为电网提供灵活性资源。虽然 CCS 改造可以为中国减排创造机会，但需要中国政府及各利益相关方采取正确的方式。报告最后为决策者及各利益相关方提出了三项建议：

- 将 CCS 纳入中国的气候政策，或保留未来 CCS 改造的选择，即必须继续分析二氧化碳封存条件并开发合适的封存地点。
- 政府和相关行业需要精诚合作，继续推进 CCS 技术创新，进一步降低 CCS 的总体成本和改造成本。
- 考虑未来中国会批准新建燃煤电厂，为了确保 CCS 技术能够应用到未来新建电厂当中，中国政府在批准新建燃煤电厂的选址上就需要考虑其是否满足 CCS 改造的条件。

（吴勤）

项目计划

ARPA-E 资助高性能电力电子变换器和低能耗建筑研究

1月18日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布，分别资助3000万美元新设立两个主题研究计划。

(1) “利用独创的拓扑结构和半导体材料制造创新可靠的电路”（CIRCUITS）主题计划⁴

旨在基于宽禁带半导体开发新型高效、轻量化、可靠的电力电子变换器。该计划将利用宽禁带半导体研究已取得的进展，结合创新的变换器拓扑结构、数字化控制、热管理和半导体封装与互联技术实现电力电子变换器性能的重大突破，从而为交通、信息、电力等行业带来变革性影响。CIRCUITS 主题计划本次招标主要关注两大核心技术主题，参见表1。

表1 CIRCUITS 主题计划涵盖的两大核心技术主题

技术主题	研究内容
基于全新拓扑电路结构的通用变换器系统	为通用的交流/直流变换器（功率大于10 kW，负载电压大于600 V）开发全新的电路拓扑结构、电子控制和驱动技术、半导体封装技术和全新的电磁兼容解决方案，从而开发出转换效率大于97.5%（品质因数大于39）全新的高效、小尺寸、低功耗、低成本的稳定电力电子变换器系统。
开发特定用途的变换器系统	针对特定的应用领域，包括但不限于电动机、电动汽车、充电桩、高性能计算机、数据中心、太阳能转换器、风电系统、高/中压的输配电、智能电网、电力储能功率转换器，铁路船舶电力推进系统、机器人启动器、固态断路器等，开发专有的低功耗、低成本、高性能的变换器系统，以降低上述用能系统的能耗。

(2) “住户识别的建筑物节能”（SENSOR）主题计划⁵

旨在开发创新的高精度传感器和住户计数器，能够显著改进建筑暖通系统（HVAC）控制水平，降低能耗。该计划将利用现有的低成本无线电子通信技术，聚焦四个主要领域：家用人体感应传感器；商用人员计数传感器，用于同时调节温度和通风；低成本CO₂传感器，用于调节通风；上述传感系统的验证测试及节能效果评估，参见表2。

表2 SENSOR 主题计划涵盖的四大核心技术主题

技术主题	研究内容
家用人体感应传感器	开发全新的人体传感技术，以替代传统的基于人体红外探测的传感技术（其原理为探测人体经过传感器产生的红外线变化值），克服传统传感技术无

⁴ CREATING INNOVATIVE AND RELIABLE CIRCUITS USING INVENTIVE TOPOLOGIES AND SEMICONDUCTORS (CIRCUITS). <https://arpa-e-foa.energy.gov/FileContent.aspx?FileID=1fc680c0-1db7-45d1-8999-2c17e39ed8e8>

⁵ SAVING ENERGY NATIONWIDE IN STRUCTURES WITH OCCUPANCY RECOGNITION (SENSOR). <https://arpa-e-foa.energy.gov/Default.aspx#FoaId2d3f7530-bdc3-4090-ae7c-0d5ca8584e07>

	法探测运动人体的缺陷，实现不论静止还是运动的人体都能感应的传感器。此外，开发新型追踪技术以替代传统的 GPS 和蓝牙追踪技术，以克服传统技术的局限性，即当被监测对象不携带手机等具有发射信号功能的移动设备时，传统的追踪技术无法发挥作用。
商用人员计数传感器	开发全新的低功耗、高精度、高识别率的人员计数传感器，同时确保新型传感器可以独立运行，即自身经过具体的算法可以实时收集、清洗和分析感应到的人体特征信息，同时通过无线数据通信技术可以将信息反馈到外界的传感中心，从而对暖通空调系统做出实时最佳调控，以降低能耗。
低成本 CO ₂ 传感器	开发低成本、低功耗、高灵敏度和稳定性的 CO ₂ 传感器，以准确识别环境中的 CO ₂ 浓度，并通过相应算法和转换系统转换成电信号反馈到外界的控制中心，让通风系统能够实时根据周围 CO ₂ 浓度做出调节，以减少不必要的电能浪费，降低能耗。
传感器的测试和验证	将上述新研发的传感器应用到现实生活场景当中，开展现场测试，以评估技术的成熟度和风险，同时建立通用的测试工具和协议，以加速新传感器的商用步伐，推进建筑节能。

(郭楷模)

NuScale 提交首个小型模块化反应堆设计认证申请

12 月 31 日，NuScale Power 公司向美国核管理委员会（NRC）提交该公司的小型模块化反应堆（SMR）商业电厂设计认证审查申请⁶。NuScale 的应用申请包括近 12000 页的技术信息。预计 NRC 将在未来两个月内确定在开始审查之前是否需要任何其他信息。此后，NRC 将在 40 个月内完成审查过程。

这是第一个提交的 SMR 设计认证申请，标志着小型堆发展达到了一个重要里程碑。NuScale 的 SMR 将在可扩展设施中提供成本合理、清洁、可靠的电力，其设施产量可根据需求逐步增加。其显著的操作灵活性还可以与其他零碳能源（如风能和太阳能）互补。一旦批准，NuScale 的工厂将在全球核电需求中创造数千个制造、建设和运营工作岗位，并重新建立美国在核技术方面的全球领导地位，为美国 NRC 批准和随后部署其他先进核能技术铺平道路。

首个 NuScale 商业 SMR 发电厂计划在爱达荷国家实验室现场建造，代表了新一代安全、可靠、低碳的核能技术，为美国引领这一新兴产业提供了强大的机会。NuScale 作为 DOE 第二轮 SMR 技术开发竞争性招标项目的唯一赢家，是目前唯一接受 DOE 资金支持的 SMR 开发商。

(吴勘)

⁶ NuScale Submits First Ever Small Modular Reactor Design Certification Application (DCA). <http://newsroom.nuscalepower.com/press-release/company/nuscale-submits-first-ever-small-modular-reactor-design-certification-application>

美能源部与农业部合作资助 2270 万美元用于生物精炼优化

1 月 6 日，美国能源部（DOE）和美国农业部国家食品和农业研究所（USDA-NIFA）联合宣布，共同资助 2270 万美元开展综合生物精炼（IBR）技术优化工作⁷，旨在显著减少部署规模化生物精炼技术过程中潜在的经济和技术风险，加速推进生物精炼技术的商业规模化应用。其中，DOE 将提供多达 1980 万美元的资金，USDA-NIFA 提供 290 万美元资金。本轮项目招标将关注四大主题研究领域：

（1）对固体原材料（干、湿原料，生物固体和/或工艺中剩余的残留固体）和进料系统进行稳定连续处理，确保反应器在各种操作条件下正常运行。

（2）利用 IBR 中的废物和/或其低价值产品来生产高价值产品。

（3）对 IBR 内的材料进行工业分离。

（4）对固体材料（干、湿原料，和/或工艺中剩余的残留固体）和反应器进料系统的分析建模。

（吴勘）

英能源创新计划启动新一轮资助

1 月 25 日，英国商业、能源与产业战略部宣布将资助 2800 万英镑用于一系列能源创新项目，涉及智能能源系统、工业能效和海上风能领域⁸。此次资助作为能源创新计划（2016-2021 年）的一部分，有助于实现英国政府承诺到 2021 年清洁能源创新公共投资翻番的目标，即达到年均 4 亿英镑。能源创新计划资助领域主要包括可再生能源、智能能源系统、核能、低碳工业以及交叉领域，在 2016 年已启动了核能创新资助和能源企业家资助。能源创新计划资助概况如下⁹：

（1）**可再生能源创新资助**。2017 年 1 月 25 日启动，资助 130 万英镑由海上可再生能源技术创新中心和英国创新机构联合成立一个海上风能创新集群，作为英国海上风能创新的主要协调机构，汇聚政产学研利益相关方，明确技术创新优先事项，有效对接海上风能产业界面临的挑战和其他部门的创新解决方案。

（2）**智能能源系统创新资助**。2017 年 1 月 25 日启动招标，分别资助 900 万和 760 万英镑用于储能和需求侧响应技术。前者关注蓄电、储热和化学储能技术，其中包括 60 万英镑用于一种大规模未来储能技术首次示范的可行性研究；后者关注在企业或公共机构示范需求侧响应技术，以降低高峰期用能，提高能源系统灵活性。

（3）**低碳工业创新资助**。2017 年 1 月 25 日启动，资助 920 万英镑设立“工业

⁷ Energy Department Partners with Department of Agriculture for Integrated Biorefinery Optimization.

<https://energy.gov/eere/articles/energy-department-partners-department-agriculture-integrated-biorefinery-optimization>

⁸ Innovation to drive affordable energy and clean growth under Industrial Strategy.

<https://www.gov.uk/government/news/innovation-to-drive-affordable-energy-and-clean-growth-under-industrial-strategy>

⁹ Energy Innovation. <https://www.gov.uk/guidance/energy-innovation>

能效加速器”计划，调动私营部门投资开发特定工业低碳解决方案，强化英国供应链能力，降低能源成本。

(4) **核能创新资助**。2016年11月3日启动招标，资助2000万英镑支持民用核能反应堆5个主要领域，包括：先进高效核燃料，核能安全性工程和数字化核能反应堆设计，未来反应堆材料、先进制造与模块化建造，核燃料循环与废物管理，核能决策用工具包和基础数据。

(5) **能源企业家资助**。特别针对包括创业者在内的中小企业家，2016年10月30日启动第5阶段开放式招标，资助900万英镑用于能效、发电、电力与热力储能等领域的尖端技术、产品与工艺开发和示范。

(陈伟)

前沿与装备

美科学家研发新型钠原子嵌入碳纳米片电极

高导电性和大比表面积是理想电极材料的必要条件，但是这两种性质在现有材料中往往无法兼容。密歇根理工大学 Yun Hang Hu 教授带领的联合研究团队利用金属钠与一氧化碳反应，并通过控制反应温度（分别为 550℃、600℃和 650℃），从而生成一系列黑色的碳粉包覆钠原子新型电极材料，依次命名为 Na@C-550、Na@C-600 和 Na@C-650。通过场发射扫描电子显微镜（FESEM）测试发现，合成的三种 Na@C 电极均呈现出多孔、片状结构，碳纳米片的厚度约 50nm。氮气脱吸附表征显示，Na@C-550、Na@C-600 和 Na@C-650 三种电极的比表面积依次为 625 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 、345 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 和 301 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ，即具备了较大的比表面积，有利于电解液的浸润和导电离子的扩散；更为关键的是，四探针测试结果显示，三个电极还具备了优异导电性，依次为 273 $\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、384 $\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 和 524 $\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。新型 Na@C 电极同时具备了高导电性和高比表面积特性，是理想的电极材料。随后研究人员将上述合成的电极分别应用于染料敏化太阳电池（DSSC）和超级电容器当中，研究新电极对器件性能的影响：基于传统 Pt 电极的 DSSC 转换效率为 7.89%，而基于 Na@C 电极的 DSSC 性能均超过了传统 Pt 电极，以 Na@C-600 性能最为优异，效率高达 11.03%；在超级电容器应用方面，基于活性炭和三维石墨烯电极的电容器质量比电容分别为 71 $\text{F}\cdot\text{g}^{-1}$ 、112 $\text{F}\cdot\text{g}^{-1}$ ；而基于 Na@C 电极的超容质量比电容可达 145 $\text{F}\cdot\text{g}^{-1}$ ，且经过 5000 次循环后容量仍可保持初始值的 96.4%。此外，即使将放电电流提高 10 倍，达到 10 $\text{A}\cdot\text{g}^{-1}$ ，Na@C 超容的质量比电容仍维持在 114 $\text{F}\cdot\text{g}^{-1}$ ，表现出优异的倍率性能和循环稳定性。该项研究开发了一种全新的钠离子嵌入的碳纳米片电极，解决了金属粘附在表面易于氧化的问题，使得新电极同时具备了优异的导电性和高比表面积，成为了优异的电极材料，有望促进太阳电池、储能、燃料电池等技术的发展。相关研究

科学家实现对单个颗粒催化转化的纳米尺度原位观测

在单颗粒水平研究催化反应过程，有助于深入理解催化机制并设计出新型的高效催化剂。尽管传统的光谱学技术（红外、拉曼光谱等）可以对催化反应进行原位分析，但其空间分辨率只能达到微米尺度，如何实现更高空间分辨率的催化剂表面的反应追踪成为了研究热点。加利福尼亚大学伯克利分校 F. Dean Toste 教授课题组联合耶路撒冷希伯来大学研究人员，利用基于同步辐射红外纳米光谱（SINS）成像技术，成功实现了对结合在催化剂颗粒上的 N-杂环卡宾分子的化学催化转化过程的纳米尺度研究，其空间分辨率达到了 25 nm，比传统成像技术的分辨率高了三个数量级。研究人员首先制备了颗粒尺寸约 100 nm 的 Pt 纳米颗粒催化剂，随后将羟基基团修饰的 N-杂环卡宾分子化学吸附在 Pt 纳米催化剂颗粒表面。由于在氧化条件下，羟基可以被氧化为羧酸基团，而在还原条件下，羧酸基团可逆地被还原为羟基。利用 SINS 追踪 Pt 纳米颗粒表面不同位点处的官能团信息，即可得到相应位点对应的催化活性。因此，研究人员进一步将吸附有羟基基团修饰 N-杂环卡宾分子的 Pt 纳米颗粒置于原子力显微镜探针尖端，同时利用 SINS 发射的光束照射探针尖端，通过收集纳米颗粒表面的红外光谱信息以记录催化剂表面结构以及化学性质的变化，实现了对单个 Pt 催化剂纳米颗粒不同区域的催化活性的研究。研究结果显示，Pt 纳米催化剂颗粒的边缘与中心区域表现出不同的催化活性。相比中心区域，具有高度缺陷的边缘区域比中心区域具有更高的催化活性。研究人员指出这主要是随着粒子粒径的减小，其结构也会变得更加不均匀，因而会出现更多的缺陷。而颗粒边缘处的原子比中央区域有更少的邻近原子，缺陷更多，意味着边缘处的原子受到的束缚更小，化学活性更强，更容易参与到化学反应中。该项研究首次利用基于同步辐射的红外光谱技术，实现了对单个催化纳米颗粒表面不同区域的催化活性的纳米尺度高分辨率原位观测，揭露了催化剂纳米颗粒潜在的工作机理，有助于更好地理解催化机制，为优化设计出新型的高效催化剂提供了重要的理论参考。相关研究成果发表在《*Nature*》¹¹。

(郭楷模)

韩科学家研发新型聚吡咯/钙钛矿复合双功能催化剂

阴极催化剂在金属-空气电池中发挥催化氧还原反应（ORR）和析氧反应（OER）的关键作用。铂及其合金常用作 ORR 的单功能催化剂，而钨和铱等是目前 OER 催

¹⁰ Wei Wei, Liang Chang, Kai Sun, et al. Bright Future for Energy Devices The Bright Future for Electrode Materials of Energy Devices: Highly Conductive Porous Na-Embedded Carbon. *Nano Letters*, 2016, 16(12): 8029-8033.

¹¹ Chung-Yeh Wu, William J. Wolf, Yehonatan Levartovsky, et al. High-spatial-resolution mapping of catalytic reactions on single particles. *Nature*, 2017, 541 (7638): 511-515.

化效率最高的，但 ORR 活性很低，因此需要开发出一种廉价而又具备双功能催化作用的催化剂。韩国蔚山科学技术大学 Hyun-Kon Song 教授课题组首先利用溶胶凝胶的方法制备了铈钡锶钴氧 ($\text{NdBa}_{0.25}\text{Sr}_{0.75}\text{Co}_2\text{O}_{5.9}$, NBSC) 钙钛矿催化剂，随后通过电沉积方法将导电聚合物聚吡咯 (pPY) 沉积在 NBSC 表面形成聚吡咯/钙钛矿复合催化剂 NBSC+pPY。在氢气饱和的 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KOH 水溶液中进行线性扫描伏安测试，评估了 NBSC+pPY 复合催化剂的 OER 和 ORR 的催化活性。对于 ORR，NBSC+pPY 复合催化剂的过电位往更正的方向移动了，从 NBSC 的 0.61 V 变化到了 0.79 V ，且在 0.68 V 时电流密度提高了 6 倍多，接近 $25 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ ，与商用的 Pt 催化剂相当，NBSC+pPY 复合催化剂的高效 ORR 催化可归因于多吡咯导电聚合物与 NBSC 之间的协同作用；对于 OER，研究人员观测到类似的增强效果，相比单纯的 NBSC 催化剂 1.7 V 的过电位，NBSC+pPY 复合催化剂的过电位下降到了 1.65 V ；并且在 $0.93\text{-}1.83 \text{ V}$ 的电位区间（相对可逆氢电极）对催化剂的稳定性进行测试，经 100 次电流循环测定，NBSC+pPY 电流仅衰减 30%，小于 NBSC 和商用的 Pt 电极；上述结果表明，NBSC+pPY 复合催化剂在 OER 和 ORR 中都表现出较高的催化效率以及良好的稳定性，即多吡咯的引入大幅提高了 NBSC 催化剂的 ORR 和 OER 活性。该项研究采用钙钛矿材料作为催化剂代替传统的 Pt 催化剂，通过添加导电聚合物聚吡咯，不仅显著提高了 ORR 和 OER 催化活性，达到了与 Pt 催化剂相当效果，而且稳定性也得到了较大幅度的改善，为探索开发更好的双功能催化剂提供了全新的思路。此外，该新型催化剂有望加速燃料电池、金属-空气电池等能量转换和储存设备的商业化应用进程。相关研究成果发表在《*Energy & Environmental Science*》¹²。

（郭楷模）

新型分层级催化剂保护层提高光阳极光解水效率和稳定性

传统光解水催化剂不耐酸碱、成本高昂，另外析氢反应的动力学过程过于缓慢，上述问题阻碍了光解水析氢大规模商业化应用。美国能源部国家可再生能源实验室 John A. Turner 教授课题组分别利用原子沉积和电化学阴极沉积方法，先后在 P 型半导体光阳极镓铟磷 (GaInP_2) 表面沉积一层氧化钛 (TiO_x) 和多硫化钼 (MoS_x) 薄膜保护层，形成 $\text{MoS}_x/\text{TiO}_x\text{-GaInP}_2$ 光阳极。通过电子能量损失谱 (EELS)、X 射线光电子能谱 (XPS) 表征显示， GaInP_2 光阳极表面确实形成了分层、分布均匀的 MoS_x 和 TiO_x 薄膜保护层。随后研究人员将上述光阳极置于 450°C 高温退火处理使其结晶，通过扫描隧道能量色散 X 射线谱测试 (STEM-EDS)，结果显示 GaInP_2 光阳极外层的保护层形成了分层级结构，即 $\text{MoS}_x/\text{MoO}_x/\text{c-TiO}_2$ ，因此将退火处理后的光阳极命名为 $\text{g-MoS}_x/\text{MoO}_x/\text{c-TiO}_2\text{-GaInP}_2$ 。为了对比研究，研究人员在原始的 GaInP_2 光阳

¹² Dong-Gyu Lee, Su Hwan Kim, Se Hun Joo, et al. Polypyrrole-assisted oxygen electrocatalysis on perovskite oxides. *Energy & Environmental Science*, Published online 21 December 2016, DOI: 10.1039/C6EE03501A.

极表面沉积了传统 Pt 和 Ru 催化剂，形成 PtRu-GaInP₂ 光阳极。随后在氩气填充的 0.5 摩尔硫酸溶液（PH 值为 0.3），在可逆氢电极电势 0V 条件下，对 GaInP₂、PtRu-GaInP₂、g-MoSx/MoOx/c-TiO₂-GaInP₂ 光阳极进行电催化活性测试。单色光转换效率（IPCE）曲线显示，g-MoSx/MoOx/c-TiO₂-GaInP₂ 具有较高 IPCE 数值，比 PtRu-GaInP₂ 高约 10%，比 GaInP₂ 高约 20%，意味着 g-MoSx/MoOx/c-TiO₂-GaInP₂ 具有最优的太阳光吸收利用能力。电流电压测试显示，g-MoSx/MoOx/c-TiO₂-GaInP₂ 光阳极的电流密度可达 11 mA·cm⁻²，为三者中最大值，意味着 g-MoSx/MoOx/c-TiO₂-GaInP₂ 光阳极具有最佳的催化活性。更为关键的是，经过连续 20 小时的光解水催化测试，g-MoSx/MoOx/c-TiO₂-GaInP₂ 光阳极的电流衰减不到 20%，其催化的转化数（TON）达到了 367000 次，其催化转化频率（TOF）达到了 5.1 s⁻¹，表现出极其优异的耐酸性和稳定性，而这主要是得益于分层级的催化剂保护层 g-MoSx/MoOx/c-TiO₂ 同时具备了 MoSx 高催化活性和 MoS₂ 的耐酸性特性。该项研究开发了一种全新的分层级结构的异质结催化剂电极保护层，不仅可以实现太阳能到氢能的高效转化，还大幅提高了电极的稳定性和寿命，为开发高效光解水电极材料提供了全新的路线，有助于推动氢能的商业化应用。相关研究成果发表在《Nature Energy》¹³。（郭楷模）

能源资源

全球铀资源基础保百年无虞 但市场低迷致生产能力不足

经合组织核能署（OECD-NEA）和国际原子能机构（IAEA）近日联合发布了《铀资源、生产与需求 2016》报告¹⁴，对全球铀市场基本面开展了最新评估，提供了截至 2015 年 1 月 1 日世界铀工业的统计概况。报告包含 37 个国家以及 12 份 OECD-NEA 和 IAEA 科学秘书处编写的关于铀矿勘探、资源、生产和反应堆相关需求的国家报告的官方数据，对 2035 年核电装机容量和反应堆相关铀需求进行了预测，报告主要内容如下：

（1）铀资源

自 2013 年以来，由于投资水平较低以及当前低迷的铀市场状况，全球已探明的铀资源总量仅增加了 0.1%，资源基础几无变化，反应了当前全球铀矿市场的低迷局面。

¹³ Jing Gu, Jeffery A. Aguiar, Suzanne Ferrere, et al. A graded catalytic-protective layer for an efficient and stable water-splitting photocathode. *Nature Energy*, 2017, 2: 16192.

¹⁴ Uranium 2016: Resources, Production and Demand. <http://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2016/7301-uranium-2016.pdf>

截至 2015 年 1 月 1 日，已探明的常规铀资源（包括可靠资源和推断资源）中，回收成本低于 130 美元/kgU 为 571.8 万吨，比 2013 年 1 月 1 日减少 3.1%。高回收成本（回收成本低于 260 美元/kgU）的铀资源估计有 764.1 万吨，仅比 2013 年增加了 0.1%。所有回收成本类别推断资源量的增加抵消了可靠资源量的减少。由于中国和哈萨克斯坦合计增加了 20.8 万吨的推断铀资源量，导致回收成本低于 80 美元/kgU 推断铀资源量增加了 20.9%（以 2013 年为基准）。按照 2014 年铀需求水平，已探明的铀资源量足以满足全球核电机组超过 135 年的铀资源需求。此外，OECD-NEA 和 IAEA 还确定额外的 7.2 万吨铀资源尚未列入国家资源总量。

截至 2015 年 1 月 1 日，未探明的常规铀资源总量为 742.2 万吨，较 2014 的 769.7 万吨略有减少。值得注意的是，在某些情况下，包括拥有大量探明的铀资源量的主要生产国（例如澳大利亚、加拿大和美国），未探明的铀资源估计数量并没有报告，或估计数量已经几年没有更新。

（2）铀矿勘探

2013-2015 年间，全球铀矿勘探和开采支出有所增加。然而，2016 年由于核能装机基本没有变化，且铀市场价格走低，铀矿勘探支出继续减少。

截至 2015 年 1 月 1 日，全球铀矿勘探和开采支出总额为 29 亿美元，比 2013 年增加了 10%。支出总额超过 38% 用于非国内活动，而中国占了开支的大部分。

2012-2014 年间，由于铀市场价格下降使得许多铀矿勘探和矿山开发项目延迟，特别是初级铀矿开采项目，导致许多国家的国内铀矿勘探和矿山开发支出减少。报告数据显示，阿根廷、澳大利亚、加拿大、芬兰、哈萨克斯坦、俄罗斯、南非、西班牙和美国均减少。同期，只有巴西、中国、捷克、约旦、墨西哥和土耳其的支出有所增加。国内支出增幅最大的是中国，2012 年支出为 13.1 万美元，2013 年为 18.9 万美元，2014 年为 19.7 万美元。尽管近年来行业放缓，但大多数国家将国内铀矿勘探和矿业开发支出保持在 2007 年以前的水平。

非国内铀矿勘探和开采支出方面，报告显示仅中国、法国、日本和俄罗斯这几个国家从 2012 年的 1.85 亿美元增加到 2013 年的 6.92 亿美元和 2014 年的 8.12 亿美元。由于在纳米比亚的哈萨博铀矿矿山进行投资，中国的非国内开发支出预计 2015 年将超过 7.77 亿美元，2015 年非国内勘探和开采支出总额则超过 8.46 亿美元。中国非国内和国内铀矿勘探和开采支出持续走高也表明了其开发核电的坚定信心。

（3）铀生产

全球铀矿产量自 2013 年以来下降了 4%。但仍然高于 2011 年的水平，目前世界上最大的生产国哈萨克斯坦继续增产，但增速有所放缓。

总体而言，世界铀产量从 2012 年的 5.8 万吨减少到 2014 年的 5.5 万吨，下降了 4.1%。这些变化主要是由于澳大利亚的产量下降以及巴西、捷克、马拉维、纳米比

亚和尼日尔较低的铀矿开采。在经合组织国家内，产量从 2012 年的 1.7 万吨减少到 2014 年的 1.6 万吨，主要是由于澳大利亚和捷克的产量减少。2012-2014 年，有 21 个不同国家进行铀生产；尽管增长速度有所减缓，哈萨克斯坦的铀产量继续增加，且仍然是世界上最大的铀资源生产国，其 2014 年的产量为 2.2 万吨，2015 年为 2.3 万吨。2014 年哈萨克斯坦的产量超过同期第二和第三大铀生产国（加拿大和澳大利亚）的产量总和。

从 2015 年 1 月 1 日起，原位浸出（ISL，有时称为原位回收或 ISR）生产继续主导铀生产，占世界产量的 51%，主要是由于哈萨克斯坦和其他 ISL 项目在澳大利亚、中国、俄罗斯、美国和乌兹别克斯坦的持续增产。其余的铀生产份额为地下采矿（27%）、露天开采（14%）以及铜和黄金作业的副产品和副产品回收（7%）、堆浸（<1%）和其他方法（<1%）。

（4）铀需求

随着电力需求的增加和对低碳发电需求的增长，受监管电力市场的核能发电量将大幅增长，预计铀的需求在未来将继续上升。

截至 2015 年 1 月 1 日，共有 437 个商业核反应堆并网，净发电量为 377 GWe，每年需要消耗 5.6 万吨铀。考虑到若干国家宣布的政策变化和修订的核能发展计划，报告预计到 2035 年，在低需求量情景下世界核电装机容量将增加到 418 GWe，在高需求量情景下则增加到 683 GWe，分别增长 11% 和 81%。因此，到 2035 年世界核反应堆的铀年度需求（不包括混合氧化物燃料[MOX]）预计将上升到 6.6-10.4 万吨。

不同地区的核电装机容量预测存在很大差异。东亚地区预计将经历最大的增长，到 2035 年可能在低和高需求量情景下分别新增 48 GWe 和 166 GWe 核电容量，相比 2014 年产能分别增加超过 54% 和 188%。预计欧洲大陆非欧盟成员国的核电装机容量也将大幅增加，到 2035 年预计将增加到 21-45 GWe（分别增加约 49% 和 105%）。其他预计经历重大核电装机容量增长的地区包括中东、中亚、南亚和东南亚，预计非洲和中美洲以及南美洲地区将略有增长。对于北美洲，低需求情景下预计到 2035 年核能发电容量将保持不变，高需求情景下则将增加 11%，主要取决于未来的电力需求、现有核反应堆的寿命和政府关于温室气体排放的政策。在欧盟，到 2035 年低需求情景下核电装机容量预计下降 48%，在高需求情景下则仅增加 2%。

这些预测在福岛第一核电站事故后比以往更具不确定性，由于核电在一些国家的未来发电结构中发挥的作用尚未确定，中国没有报告 2020 年后核电容量的官方目标。影响未来核电容量的关键因素包括预计的电力需求、核电厂的经济竞争力、资本密集型项目的资金安排、其他发电技术的燃料成本、核不扩散问题、拟议的废物管理战略和公众接受度。对化石燃料供应长期安全性的担忧，以及核能被认为有助于实现温室气体减排目标和加强能源供应安全，可能导致更大的铀需求预期增长。

（5）供需关系

目前确定的资源基础足以满足到 2035 年高需求情景下的全球铀需求，但需要及时的投资将资源转化为用于核燃料生产的精炼铀。全球铀市场仍然面临挑战，供应过剩和库存量高导致持续的定价压力。矿业开采中还存在一些其他问题，例如地缘政治因素、技术挑战以及政府对铀矿开采不断增加的期望。

铀矿开采商大力回应市场对价格上涨的信号以及对福岛第一核电站事故前需求快速增长的预测。然而，事故发生后铀市场价格继续下降，一些国家核电发展持续不确定性暂时降低了铀需求，进一步压低了价格，从而减缓了铀矿生产和发展的步伐。目前全球铀市场供应充足，如果按计划进行，预计原铀生产能力（包括现有、承诺、计划和前瞻的生产基地）将满足到 2035 年不同情景的需求。满足 2035 年的高需求将消耗 2015 年已探明铀资源总量的不到 30%（回收成本低于 130 美元/kgU）。尽管如此，仍然需要大量的投资和技术专长才能将这些资源投入市场。

现有资料表明，仍有大量的先前开采的铀（包括军方持有的材料），其中一些可以在未来几年内推向市场。随着从气体扩散到离心富集的成功过渡已经完成，并且能力暂时超过福岛第一核电站事故后的需求，浓缩铀供应商能够根据合同要求减少尾部测定，从而创造额外的铀供应。从长远来看，如果成功开发和实施替代燃料循环（例如钍），可能对铀市场产生重大影响，不过现在说成本效益和广泛实施这些拟议的替代燃料循环还为时尚早。

虽然市场价格的下降导致一些矿山开发项目的延迟，但其他项目已经通过监管和进入下一步的发展阶段。然而，如果市场条件需要重新开发活动，则应减少矿山开发的总时间框架。目前铀矿设施的全球网络相对较少，如果一个关键设施停止运行，就会造成潜在的供应脆弱性。在过去几年中，公用事业公司一直以较低价格建立大量库存，这有助于保护他们免受此类事件的影响。

报告最后总结道，尽管最近一些发达国家的电力需求下降，但全球需求预计在未来几十年内将继续增长，特别是在发展中国家。由于核电厂具有价格竞争优势，发电基本上没有温室气体排放，并且核电的部署增强了能源供应的安全性，因此预计它仍然是能源供应的重要组成部分。然而，福岛核事故已经在一些国家削弱了公众对核电的信心，因此核电增长的前景受到比平常更大的不确定性。此外，北美低成本天然气的丰富性和规避风险的投资环境降低了核电厂在自由化电力市场中的竞争力。如果政府和市场政策认识到低碳电力生产的好处和核电厂提供的能源供应安全性，则可以帮助减轻这些竞争压力。随着电力需求的增加和对低碳发电需求的增长，预计核电在受监管的电力市场中将大幅增长。无论核能最终在未来电力需求方面能够起到什么作用，铀资源基础足以满足可预见的未来需求。未来几年面临的挑战可能是由于铀市场环境恶劣而导致的生产能力不足。

（吴勤）

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：jiance@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

