

中国科学院武汉文献情报中心

中国科学院武汉先进能源战略情报研究中心

2016 年第 3 期（总第 257 期）

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 2015 年全球清洁能源投资达到创纪录的 3290 亿美元
- 世界能源理事会：需从应用价值角度评估电力储能技术
- 到 2030 年可再生能源占比翻番或将全球 GDP 提高 1.1%
- DOE 报告指出燃料电池技术研发和市场应用强劲增长
- 廉价高性能小分子空穴材料助钙钛矿电池效率突破 20%

目 录

决策参考

2015 年全球清洁能源投资达到创纪录的 3290 亿美元	2
世界能源理事会提出需从应用价值角度评估电力储能技术	3
到 2030 年可再生能源占比翻番或将全球 GDP 提高 1.1%	4
DOE 报告指出燃料电池技术研发和市场应用继续强劲增长	4

项目计划

ARPA-E 资助 1100 万美元开发电网系统模型	5
DOE 资助 1800 万美元开展太阳能储能解决方案研究	6
DOE 资助 5800 万美元开发先进车辆技术	7
英资助 7400 万英镑开发低碳汽车动力系统	8

前沿与装备

廉价高性能小分子空穴材料助钙钛矿太阳电池效率突破 20%	8
新型稳定钙钛矿材料构建高效率叠层太阳电池	9
科学家首次在原子层面观测钙钛矿单晶结构	9
物理学家采用新方法实现对电子飞秒尺度的操控	10
新型自然-人工杂化太阳能高效光合系统	10
韩开发可溶液处理的锂离子电池固态电解质	11

恭 祝 新 年 快 乐

专 辑 主 编: 张 军
本 期 责 编: 陈 伟

意 见 反 馈: jiance@mail.whlib.ac.cn
出 版 日 期: 2016 年 2 月 1 日

本期概要

彭博新能源财经发布初步统计显示, 2015 年全球清洁能源 投资达到创纪录的 3290 亿美元, 同比增长 4%: 可再生能源年度新增装机同样达到历史最高水平, 同比增长近 30%, 其中风电新增装机 64 GW, 光伏发电新增 57 GW, 两者新增装机量占到全球发电增量的一半左右。从投资类别来看, 占比最大的是公用事业规模项目的资产投资, 投资额同比增长 6%达到 1990 亿美元, 其次是屋顶和小规模太阳能光伏项目。政府和私营部门研发投资微增 1%达到 283 亿美元。中国仍是最大的清洁能源投资国, 投资额同比增长 17%达到 1105 亿美元。美国排名第二, 投资额同比增长 8%达到 560 亿美元, 太阳能和风能项目投资稳健增长。欧洲整体而言投资额再次下降, 同比减少 18%达到 585 亿美元。

世界能源理事会 (WEC) 发布《电力储能: 从成本转向价值》报告指出, 需从应用价值角度评估电力储能技术: 仅仅考虑储能技术的投资成本是无法认清其真正潜在价值的, 储能技术真正价值应根据其投资成本和收益的实际情况进行综合评估。报告为相关政策制定者提出了五项重要建议: (1) 评估储能技术不要局限于成本考量, 最廉价的并不总是最好的; (2) 应对储能技术进行更为全面的具体案例研究, 常规成本评估是不够的; (3) 与输配电运营商和监管机构合作来量化系统灵活性增强所带来的真实潜在价值, 加快发展灵活储能技术市场; (4) 建立配套政策和有利的监管框架, 进一步促进储能技术的商业部署; (5) 将储能技术作为电网扩展或延伸的关键组件。

国际可再生能源机构 (IRENA) 发布《可再生能源效益: 经济性计量》报告指出, 到 2030 年实现可再生能源在全球能源结构中占比翻番达到 36%能够将全球 GDP 提高 0.6%-1.1%, 约 0.7-1.3 万亿美元: 该项研究首次从全球尺度上估算了可再生能源部署带来的宏观经济影响。报告还分析了各个国家的影响, 日本 GDP 所受积极影响最大, 将增加 2.3%, 澳大利亚、巴西、德国、墨西哥、南非和韩国的 GDP 增长也都超过 1%, 中国的 GDP 增长为 0.2%。由于一系列社会和环境效益, 可再生能源对人类福祉的促进作用要更甚于对 GDP 的影响, 全球福祉受益于可再生能源将增长 2.7%-3.7%。此外, 到 2030 年全球可再生能源行业创造的就业岗位将从目前的 920 万个增加到 2440 万个。向更高占比的可再生能源转型还将导致贸易形势的变化, 化石能源贸易将出现下降, 而可再生能源设备及相关产品与服务将增长。

美国能源部 (DOE) 发布多份报告指出, 美国继续保持在清洁能源创新方面的全球领先地位, 是世界上燃料电池和氢能技术最大和增长最快的市场: 持续增强的美国燃料电池和氢能技术研发能力为加强美国在燃料电池产业的竞争力作出了显著贡献。在 DOE 的支持下, 国家实验室和私营企业已经在燃料电池和制氢技术的成本和性能方面取得了重大进展; 汽车燃料电池成本自 2006 年以来降低 50%以上, 自 2008 年以来降低 30%以上; 同时, 燃料电池寿命翻了两番, 燃料电池所需的铂电极材料用量在过去十年已经下降了 80%。

廉价高性能小分子空穴材料助钙钛矿太阳电池效率突破 20%: 瑞士洛桑联邦理工学院 (EPFL) 通过分子工程设计合成了一种新型廉价的小分子空穴传输材料 FDT, 将其应用于钙钛矿太阳电池, 电池的效率达到了 20.2%, 这是目前已报道的基于小分子空穴传输材料钙钛矿电池的最高效率。

2015 年全球清洁能源投资达到创纪录的 3290 亿美元

1 月 14 日，彭博新能源财经发布初步统计显示¹，2015 年全球清洁能源²投资达到创纪录的 3290 亿美元，同比增长 4%；可再生能源年度新增装机同样达到历史最高水平，同比增长近 30%，其中风电新增装机 64 GW，光伏发电新增 57 GW，两者新增装机量占到全球发电增量的一半左右。

从投资类别来看，占比最大的是公用事业规模项目的资产投资，投资额同比增长 6% 达到 1990 亿美元，这部分投资包括风电场、太阳能园区、生物质和废物转化厂和小型水电项目等，最大的投资项目是欧洲和中国一系列的海上风能项目。占比其次的是屋顶和小规模太阳能光伏项目，同比增长 12% 达到 674 亿美元，这一类别投资前三位国家是日本、美国和中国。公开市场融资同比降低 27% 达到 144 亿美元。风险资本和私募股权投资同比增长 17% 达到 56 亿美元。政府和私营部门研发投入投资微增 1% 达到 283 亿美元。

从国别来看，2015 年中国仍是最大的清洁能源投资国，投资额同比增长 17% 达到 1105 亿美元，政府激励风能和太阳能发展以满足电力需求，减少对燃煤电厂的依赖。美国排名第二，投资额同比增长 8% 达到 560 亿美元，太阳能和风能项目投资稳健增长。欧洲整体而言投资额再次下降，同比减少 18% 达到 585 亿美元，但成员国发展情况不同：英国是增长最为显著的欧洲市场，同比增长 24% 达到 234 亿美元；德国同比降低 42% 为 106 亿美元，这是由于对太阳能和风能补贴支持力度降低，且 2017 年将开始实施新的拍卖体制面临不确定性；法国投资额降幅更大，同比降低 53% 达到 29 亿美元。日本投资额同比增长 3% 达到 436 亿美元，归因于光伏增长显著。在新兴经济体中，巴西清洁能源投资额同比下降 10% 为 75 亿美元，印度同比增长 23% 达到 109 亿美元，增幅更大的市场包括南非（+329%，总额 45 亿美元）、智利（+157%，总额 35 亿美元）和墨西哥（+114%，总额 42 亿美元）。BNEF 还指出，非洲和中东地区由于人口持续增长、拥有丰富的太阳能和风能资源且电力普及程度还很低，在发展清洁能源上拥有巨大潜力，2015 年这两个地区投资额同比增长 54% 达到 134 亿美元。

（陈伟）

¹ Clean Energy Defies Fossil Fuel Price Crash to Attract Record \$329bn Global Investment in 2015. <http://about.bnef.com/press-releases/clean-energy-defies-fossil-fuel-price-crash-to-attract-record-329bn-global-investment-in-2015/>

² 此报告所指清洁能源种类包括风能，太阳能发电，生物燃料，生物质、废弃物能源化，地热，小水电，海洋能，能效，如智能电网、能源管理、电动汽车及储能等能源智能技术，碳捕获与封存及低碳服务与支持等；但不包括大水电（>50 MW）、太阳能热利用，热电联产，可再生能源供热，核能。

世界能源理事会提出需从应用价值角度评估电力储能技术

世界能源理事会（WEC）1月20日发布《电力储能：从成本转向价值》³报告指出，仅仅考虑储能技术的投资成本是无法认清其真正潜在价值的，储能技术真正价值应根据其投资成本和收益的实际情况进行综合评估，因为投资成本和收益情况将随时间变化，也会因不同国家而有所差异，因为它们与市场、政策制度和竞争资源的变化息息相关。由于对储能技术能带来的潜在价值考虑不周全，储能技术成本通常被误认为是过于高昂的，因此该技术的关键性还没有得到广泛认知。

报告分析了传统成本评价方法存在的两个弊端：（1）武断性，该评估方法没有考虑不同储能技术在应用过程中的差异性；（2）不完整性，只考虑到了储能技术投入应用中的部分盈利。投资成本只能作为衡量储能技术的一个指标，评估储能技术时应该从其实际的应用情况，即从成本和带来的价值进行全面的考量。例如，从国家和社会的角度来看，除了保障供电安全外，储能技术的价值还体现于其提供电力可靠性和改善电能质量的能力；再则，向消费者不间断供电、提供备用电力以备不时之需，或断电后重新启动电网供电能力。因此考虑众多因素，储能技术真正价值在于提供电力的高可靠性和改善电能质量，这比高成本更重要。

报告认为尽管储能技术的成本已有所下降，但为了将该技术推向更广泛应用领域，如家庭和电动汽车，其成本还需进一步降低。随着许多新技术涌现，储能技术成本将在未来15年内下降70%。例如，太阳能电池新技术推动价格下降促使太阳能存储更具竞争力，复合材料等领域的技术进步增加了风力发电机发电量促使风能存储更有吸引力。目前由于太阳能电池价格高昂，还无法实现大规模应用，因此需要改进技术降低成本。这意味着随着技术升级和成本下降，储能系统将来不仅可以取代一些发电厂，还可以减少对新建发电厂的需求和对石油的依赖。

为了给储能技术创造合适的政策环境，根据其真实成本和价值情况全面考量，从而释放其潜在价值，报告为相关政策制定者提出了五项重要建议：

- （1）评估储能技术不要局限于成本考量，最廉价的并不总是最好的；
- （2）应对储能技术进行更为全面的具体案例研究，常规成本评估是不够的；
- （3）与输配电运营商和监管机构合作来量化系统灵活性增强所带来的真实潜在价值，加快发展灵活储能技术市场；
- （4）建立配套政策和有利的监管框架，进一步促进储能技术的商业部署；
- （5）将储能技术作为电网扩展或延伸的关键组件。

（郭楷模）

³ E-storage: Shifting from cost to value.

http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/01/Resources-E-storage-2016.01.14_final__version.pdf

到 2030 年可再生能源占比翻番或将全球 GDP 提高 1.1%

1 月 16 日，国际可再生能源机构（IRENA）发布《可再生能源效益：经济性计量》⁴报告指出，到 2030 年实现可再生能源在全球能源结构中占比翻番达到 36% 能够将全球 GDP 提高 0.6%-1.1%，约 0.7-1.3 万亿美元。

该项研究基于到 2030 年可再生能源占比比 2010 年翻番的情景，首次从全球尺度上估算了可再生能源部署带来的宏观经济影响。报告还分析了各个国家的影响，日本 GDP 所受积极影响最大，将增加 2.3%，澳大利亚、巴西、德国、墨西哥、南非和韩国的 GDP 增长也都超过 1%，中国的 GDP 增长为 0.2%。

由于一系列社会和环境效益，可再生能源对人类福祉⁵的促进作用要更甚于对 GDP 的影响，全球福祉受益于可再生能源将增长 2.7%-3.7%。此外，到 2030 年全球可再生能源行业创造的就业岗位将从目前的 920 万个增加到 2440 万个。

向更高占比的可再生能源转型也将导致贸易形势的变化，全球煤炭进口量预计将削减一半以上，石油和天然气进口量也将降低，日本、印度、韩国和欧盟等主要进口国将因此而受益。化石燃料出口国也将受益于更多元化的经济。而可再生能源设备及相关产品与服务将增长。

（陈伟）

DOE 报告指出燃料电池技术研发和 market 应用继续强劲增长

美国能源部（DOE）12 月 22 日发布多份报告指出，美国继续保持在清洁能源创新方面的全球领先地位，是世界上燃料电池和氢能技术最大和增长最快的市场。持续增强的美国燃料电池和氢能技术研发能力为加强美国在燃料电池产业的竞争力作出了显著贡献。在 DOE 的支持下，国家实验室和私营企业已经在燃料电池和制氢技术的成本和性能方面取得了重大进展；汽车燃料电池成本自 2006 年以来降低 50% 以上，自 2008 年以来降低 30% 以上；同时，燃料电池寿命翻了两番，燃料电池所需的铂电极材料用量在过去十年已经下降了 80%。

《美国各州燃料电池发展》⁶报告指出，加利福尼亚州、康涅狄格州、纽约州在美国国内燃料电池生产和部署上处于领先地位，帮助减少温室气体排放、提高能源效率、创造新的就业和商业机会。有许多美国企业在推动美国占据燃料电池行业的领导地位作出贡献，将近 10% 的财富 500 强企业使用燃料电池来生成清洁、高效和可靠的电力，越来越多的前 100 强公司（现有 25% 的公司）使用燃料电池为数据中

⁴ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics.

http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Measuring-the-Economics_2016.pdf

⁵ 人类福祉考量因素包括：基于消费与投资的经济影响，基于健康和教育支出的社会影响以及基于温室气体排放和原料消耗的环境影响等。

⁶ State of the States: Fuel Cells in America 2015.

http://energy.gov/sites/prod/files/2015/12/f28/fcto_state_of_states_2015.pdf

心、基站、企业大楼、零售设施或叉车设备提供电力，包括苹果、AT&T、Verizon、克罗格、摩根大通、谷歌等。沃尔玛是最大的燃料电池客户，部署的燃料电池主要用于物料搬运设备。

《氢能与燃料电池计划 2015 年度进展》⁷报告总结了 DOE 资助的氢能与燃料电池技术相关研究项目所获得的成果，包括：启动了 100 万美元的加氢站建设计划；示范了全球首个机场氢燃料电池供能地面支持设备；在重点研发领域建立了以国家实验室牵头的研究联盟；通过国家实验室牵头开展公私合作开发了氢能基础设施和关键设备的经济评估工具，验证加氢站投产时的性能表现。

《通往商业化成功之路：燃料电池技术办公室支持的技术与产品》⁸报告指出，在过去 10 年 DOE 持续支持燃料电池研发下，已有 40 种技术实现商业化，65 种技术将在未来三至五年内实现商业化应用。此外，DOE 燃料电池研发项目已经产生了超过 515 项美国专利。

（郭楷模）

项目计划

ARPA-E 资助 1100 万美元开发电网系统模型

1 月 15 日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布在“开发输配电算法提供真实信息”（GRID DATA）主题研究计划下资助 1100 万美元用于 7 个研发项目⁹，以资助开发大规模、真实环境下、经过验证且可开放获取的输配电网络模型，对开发和测试变革性电力系统优化与控制算法提出了详细要求。同时，GRID DATA 计划还将资助建立一个开放获取、可自我维持的信息库，用于存储、标注和综合处理这些电力系统模型。预期取得的成果将有望显著减少测试与实施新的电网优化与控制策略（包括新的优化电力流算法）所面临的障碍。这些模型和信息库的公开可用性使得能够对新兴的电网运行优化算法进行更精确和综合性评估。GRID DATA 计划将有望提高电网灵活性、可靠性和安全性，显著增强经济安全、能源安全和能源效率，并大幅降低波动性可再生能源发电技术并网成本。项目概况参见表 1。

⁷ 2015 Hydrogen and Fuel Cells Annual Progress Report. http://www.hydrogen.energy.gov/annual_progress15.html

⁸ Pathways to Commercial Success: Technologies and Products Supported by the Fuel Cell Technologies Office. http://energy.gov/sites/prod/files/2015/12/f27/fcto_2015_pathways_commercial_success.pdf

⁹ Generating Realistic Information for the Development of Distribution and Transmission Algorithms (GRID DATA). http://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/GRIDDATA_ProjectDescriptions_Final.pdf

表 1 ARPA-E 资助 1100 万美元开发电网系统模型

牵头机构	研究内容	资助金额/ 百万美元
GridBright 公司	基于开源软件开发一个公开可用的电力系统模型信息库，其中的模型将用于推动测试和采用新的电网优化与控制算法。信息库的关键特征包括搜索语义模型、更快的模型上传下载时间以及能够支持大用户群	1.7
国家可再生能源实验室	开发输配电网综合模型，并开发多种可定制的场景用于精确算法比较。这些场景将考虑未来分布式发电技术影响电网的若干未知因素，包括：家用太阳能和储能、变化的电力负荷、天气、太阳能和风能数据等	2.3
西北太平洋国家实验室	开发一种可持续数据演化技术，建立开放获取、可持续升级的电网数据集。基于许多私营企业的数据集开发数据创建工具来生成大规模真实数据集，并利用工业界工具进行验证	1.5
	建立电力系统模型信息库，评估、注解和验证提交的数据集，并开发门户网站发布可开放获取的模型和场景，能够协作建立、细化和评估一系列大规模真实电力系统模型	1.5
伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校	开发 10 个开放获取、综合的输电系统模型和相关场景以匹配电网的复杂性。通过利用真实数据的统计，模型将基于北美地形具有电网结构、特征和用户需求的坐标，模拟真实电网	1.0
密歇根大学	开发一个输电系统数据集，利用真实电力系统数据和先进工具使数据匿名化并建立真实模型，还将报送以年计的实验案例，获取电网行为，能够在不同时间尺度上分析优化算法	1.4
威斯康星大学麦迪逊分校	开发输电系统模型与场景，作为开发和采用新的电网优化与控制技术的实验案例。利用软件模拟输配电决策流程，建立真实电网模型。模型将利用人口密度、工商业能源消费方式、土地利用等地理信息系统数据，地域范围从城市到洲际尺度	1.9

（陈伟）

DOE 资助 1800 万美元开展太阳能储能解决方案研究

1 月 19 日，美国能源部（DOE）宣布在“电网现代化”计划框架下拨款 1800 万美元用于 6 个与光伏和储能技术集成相关的研究项目¹⁰，将储能与集中以及分布式发电结合构建一个灵活、安全可靠的电力系统，推进美国电网的现代化。一方面，研究将致力于开发一套安全、可靠、灵活的低成本太阳能光伏和储能技术有效集成的解决方案，克服太阳能发电的间歇性，实现 24 小时不间断供电，满足消费者正常用电需求；另外，还将利用智能逆变器，使光伏发电与智能建筑、智能家电和通信工具与控制系统协同运作，将数百兆瓦的额外太阳能电力集成到电网系统，实现可

¹⁰ Energy Department Announces \$18 Million to Develop Solar Energy Storage Solutions, Boost Grid Resiliency. <http://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-18-million-develop-solar-energy-storage-solutions-boost-grid-0>

再生能源发电的并网，提高全国电网系统的灵活性。项目概况参见表 1。

表 1 DOE 资助 1800 万美元开展 6 个太阳能储能解决方案研究

承担机构	研究内容	资助金额/ 百万美元
奥斯汀能源公司	创建一个适用于任何地区和市场结构的分布式能源管理平台模板，帮助各地区实现最大化分布式太阳能光伏发电	4.3
卡内基梅隆大学	开发和示范一个分布式，集成了智能逆变器、储能、商用的家庭自动化控制器和智能恒温器的代理控制系统，通过该系统优化太阳能储能、发电和负荷消耗等过程	1.0
联邦爱迪生公司	利用智能太阳能光伏逆变器和电池存储系统，与智能微电网内的其他组件协同工作，解决太阳能光伏发电固有的不稳定性问题	4.0
电力研究院	与五个公用事业单位合作设计、开发并示范集成了储能与光伏发电负荷管理的终端到终端电网一体化技术	3.1
弗劳恩霍夫美国可再生能源系统研究中心	开发和示范一个高度可扩展，集成光伏、储能和设备负荷管理的解决方案。通过 SunDai 全球调度系统，将光伏、储能和聚合的设备负荷管理紧密集成在一起，从而实现无论这些单个组件是集中在同一个电网节点或分布在不同的节点，都能够有效地管理电网系统中流入和流出的功率流	3.5
夏威夷电力公司	通过分布式可再生能源技术的推广，展示改进设备的可视化和控制分配系统的益处，使得电网系统能够给消费者提供更多的即插即用的电力类型的选择，也为电网系统运营商提供合算的“电网响应”能力。	2.4

（郭楷模）

DOE 资助 5800 万美元开发先进车辆技术

1 月 21 日，美国能源部宣布将向先进车辆技术开发项目资助 5800 万美元¹¹，其中 5500 万美元项目招标面向车辆技术的各个领域，包括：动力电池材料、组件与模型，先进电力驱动系统，轻量化材料，燃料与润滑剂以及先进燃烧系统等；300 万美元资助 CALSTART 联盟和全美区域市政局协会开发系统，帮助企业联合采购先进车辆、组件和基础设施，降低边际成本，实现规模经济效益。

（陈伟）

¹¹ Energy Department Announces \$58 Million to Advance Fuel-Efficient Vehicle Technologies.
<http://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-58-million-advance-fuel-efficient-vehicle-technologies>

英资助 7400 万英镑开发低碳汽车动力系统

1 月 15 日，英国先进推进动力中心（APC）宣布第四轮资助将向 5 个项目投入 7400 万英镑¹²，以推动英国低碳汽车动力系统研发及制造技术的发展，其中公共资助达 3060 万英镑，产业界投资 4330 万英镑。项目概况参见表 1。

表 1 英国公私投资 7400 万英镑用于 5 个低碳汽车研发项目

牵头机构	研发内容	资助金额/百万英镑
伦敦出租车公司	开发轻量化、零排放的增程型混合动力汽车	46.5
摩根汽车公司	开发小型化省油汽油发动机，结合最新的电气化技术生产混合动力跑车和全电动跑车	6.0
AGM 电池联盟	为高性能低碳汽车开发下一代电池组	5.4
Parker Hannifin	减少电动叉车的碳排放量，改进燃料经济性	2.9
捷豹路虎	开发先进的内燃机以及涡轮增压系统	13.1

APC 成立于 2013 年，由英国政府和汽车理事会共同创建，其性质为私营有限公司，政府和汽车行业承诺 10 年内向该中心共提供 10 亿英镑（公私 1:1 投入）用于组织低碳推进动力系统研究机构和生产商开展合作研发活动，建设动力系统开发与生产全球卓越中心。中心成立以来前四轮已投入超过 3 亿英镑资助了 15 个研发项目。

（陈伟）

前沿与装备

廉价高性能小分子空穴材料助钙钛矿太阳能电池效率突破 20%

目前高性能钙钛矿太阳能电池通常采用两种固态有机高分子空穴传输材料：PTAA 和 Spiro-OMeTAD，由于其分子结构的不确定性导致了其电池性能重现性差，同时该类型空穴传输材料合成和提纯工艺费用高昂，从而限制了其大规模商业应用。瑞士洛桑联邦理工学院（EPFL）Khaja Nazeeruddin 教授率领的国际联合研究团队通过分子工程设计合成了一种新型廉价的小分子空穴传输材料 FDT，并将其应用于钙钛矿太阳能电池，电池的效率达到了 20.2%，这是目前已报道的基于小分子空穴传输材料钙钛矿电池的最高效率。研究人员从仿真模拟和晶相分析结果推测 FDT 空穴传输

¹² APC Announces £74 Million of New Projects.

<http://www.apcuk.co.uk/2016/01/apc-announces-74-million-of-new-projects/>

Low carbon technology in the auto sector receives £75 million funding.

<https://www.gov.uk/government/news/low-carbon-technology-in-the-auto-sector-receives-75-million-funding>

材料和钙钛矿材料存在着噻吩-碘相互作用，从而改善了空穴在 FDT/钙钛矿材料界面的转移，提高了空穴的抽出效率，从而获得了高性能的电池器件。研究人员指出，FDT 空穴材料的成本只有现有的常规空穴传输材料的五分之一，有助于大幅降低电池器件的成本；并且 FDT 材料本身很容易进一步的修饰改进，因此可以以 FDT 为蓝本设计合成一系列高性能廉价空穴传输材料应用于钙钛矿电池。该项研究结果对设计研发高效廉价的空穴传输材料提供了指导，同时为在保证钙钛矿电池高性能的前提下，进一步降低钙钛矿电池成本提供了新的解决方案。相关研究成果发表在《Nature Energy》¹³。（郭楷模）

新型稳定钙钛矿材料构建高效率叠层太阳电池

英国牛津大学 Henry J. Snaith 教授联合德国亥姆霍兹柏林能源与材料研究所的研究人员，通过调节钙钛矿材料的组分，即通过用铯离子部分取代传统的钙钛矿材料中甲脒阳离子，设计合成了一种高结晶性、高稳定性的钙钛矿材料 $[\text{HC}(\text{NH}_2)_2]_{0.83}\text{Cs}_{0.17}\text{Pb}(\text{I}_{0.6}\text{Br}_{0.4})_3$ ，基于该钙钛矿材料的太阳电池开路电压达到了 1.2V，小面积电池转换效率超过 17%，而大面积（ 0.715 cm^2 ）效率也达到了 14.7%。由于其带隙为~1.74 eV，很好的匹配了硅电池带隙，研究人员进一步将其与硅电池串联，叠层电池效率能够超过 25%。研究表明，由于铯离子的引入在钙钛矿材料中产生了一个单一的晶体相，抑制了原本不稳定的碘和溴的不稳定相，从而使钙钛矿材料变得稳定，因此能够很好地应用于叠层电池中。该项研究为寻找更稳定的钙钛矿材料提供的思路；此外，由于钙钛矿具备在整个可见光可调谐的特性，因此可以通过优化使其也能够能够在发光二极管领域展示出潜在的应用价值。相关研究成果发表在《Science》¹⁴。（郭楷模）

科学家首次在原子层面观测钙钛矿单晶结构

日本冲绳科技学院（OSIT）Yabing Qi 教授联合苏州大学和韩国成均馆大学的研究人员，在低温下利用扫描隧道显微镜（STM）对 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ 钙钛矿单晶进行原位观察并结合密度泛函理论（DFT）模拟研究。通过 STM，研究者获得了 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ 钙钛矿单晶原子尺度的形貌图，清晰观察到了原子和分子的位置和取向，以及表面的结构缺陷。研究发现， CH_3NH_3^+ 分子可以旋转从而具备了不同的特定取向，同时由于 CH_3NH_3^+ 也会对其周围的 Br^- 离子的位置产生影响，即 CH_3NH_3^+ 分子与 Br^- 离子之间存在强烈的相互作用。因此， CH_3NH_3^+ 分子取向和排布就会影响材料本身的

¹³ Michael Saliba, Simonetta Orlandi, Taisuke Matsui, et al. A molecularly engineered hole-transporting material for efficient perovskite solar cells. *Nature Energy*, 2016: 15017.

¹⁴ David P. McMeekin, Golnaz Sadoughi, Waqaas Rehman, et al. A mixed-cation lead mixed-halide perovskite absorber for tandem solar cells. *Science*, 2016, 351 (6269): 151-155.

结构（如表面缺陷产生），从而影响材料的光电特性，进而影响电池性能。该项研究从原子层面揭露了 CH_3NH_3^+ 分子与 Br^- 离子之间相互作用对材料结构的影响，使得对钙钛矿材料表面结构与性质有了更加全面深入的认识。研究人员还计划对吸附于钙钛矿表面的原子和分子（如水分子）进行深入研究，希望从原子层面来确认其对钙钛矿电子结构的影响。相关研究成果发表在《*Journal of the American Chemical Society*》¹⁵。（郭楷模）

物理学家采用新方法实现对电子飞秒尺度的操控

一些材料（如硅或者石墨烯）受到光照射后，会将电子激发到高能态成为具有高能量的载流子——热载流子，而热载流子通过快速的碰撞将实现能量的重新分布直到热平衡状态。由于上述过程发生在极小的空间（纳米级别）和时间尺度（飞秒级别），因此想要利用最先进的激光脉冲技术在纳米器件上对该过程进行观测和操控是极具挑战的。麻省理工学院 Pablo Jarillo-Herrero 教授研究团队采用新方法，即通过原子尺度的二维范德瓦尔斯材料引入了可与热载流子平衡过程相互竞争的可调控的电子传输路径，实现了对电子飞秒尺度的操控。之所以能够获得该突破性的成果，主要归因于研究人员设计的一个极薄的“三明治”层状装置，上下两层是石墨烯，中间层是绝缘氮化硼，即 G-BN-G。由于器件每层的厚度都极薄，因此顶层石墨烯受光照产生热载流子可以遂穿到底层石墨烯，而这一过程也只在飞秒尺度即可完成，可以和热载流子在中间层的热平衡过程竞争。研究人员在对器件施加不同偏压和进行不同波长的光照条件下，测试中间层的电流变化情况实现了对上述的竞争过程观测。研究发现，施加不同的电压和不同波长的光，中间层的电流随之发生变化，即通过上述实验能引导热载流子停留在上层石墨烯分散能量，或者隧穿氮化硼到达下层与其他电子碰撞分散能量到达热平衡，即实现了飞秒内调控热载流子。该项研究实现了飞秒尺度内对石墨烯电子的操控，促使人们对石墨烯的载流子的热力学过程有了更深入的认识；更重要的是，这种超快电子控制技术有助于研制出更高效的光电子器件和能量收集设备。相关研究成果发表在《*Nature Physics*》¹⁶。（郭楷模）

新型自然-人工杂化太阳能高效光合系统

美国能源部人工光合作用联合研究中心杨培东研究团队通过生物沉淀方法在无光合作用功能的细菌 *M. thermoacetica* 表面析出硫化镉（CdS）半导体纳米颗粒，构造了一种细菌-无机材料杂化的光合系统。硫化镉具备合适的带隙结构，能够有效地

¹⁵ Robin Ohmann, Luis K. Ono, Hui-Seon Kim, et al. Real-Space Imaging of the Atomic Structure of Organic-Inorganic Perovskite. *Journal of the American Chemical Society*, 2015, 137 (51): 16049–16054.

¹⁶ Qiong Ma, Trond I. Andersen, Nityan L. Nair, et al. Tuning ultrafast electron thermalization pathways in a van der Waals heterostructure. *Nature Physics*, Published online 18 January 2016, DOI: 10.1038/nphys3620.

吸收太阳能并传递给细菌 *M. thermoacetica*。该细菌利用此能量，结合二氧化碳和氢离子合成乙酸，让原本不能利用太阳能的细菌 *M. thermoacetica* 进行了类似光合作用的过程。研究发现，该杂化光合系统的效率和产率（二氧化碳转换成乙酸产量）可与自然光合作用相媲美，甚至可能超过后者。此外，该类型的细菌-无机半导体杂化光合系统还具备了高选择性、低成本、自修复和高效捕获光能的优点。该项研究首创性地将半导体纳米颗粒与细菌的新陈代谢结合，构造了一个高效、具备自修复能力的新型的细菌-无机材料杂化光合系统。相关研究成果发表在《*Science*》¹⁷。

（郭楷模）

韩开发可溶液处理的锂离子电池固态电解质

韩国蔚山国立科技研究所 Yoon Seok Jung 教授带领的联合研究团队设计研发了一种具备高离子导电率、优秀可塑性和良好稳定性等优点的固态电解质 LiI-Li₄SnS₄。该固态电解质最大的特点就是其可以溶液处理，研究人员先在 200℃ 条件下制备了含有 LiI-Li₄SnS₄ 的均匀甲醇溶液，接着通过旋涂法将上述溶液均匀涂覆于电池的电极材料上，接着将溶剂蒸发，形成固态电解质。由于初始时采用的是液态溶液，因此固化后其与电极的接触比传统方法制备的固态电解质好很多，基于该新方法制备的固态锂离子电池可以获得比较优秀的性能。该项研究为设计合成高性能的固态锂离子电池提供了思路，并且由于制备固态电解质采用的原材料成本较低，有利于促进固态锂离子电池的商业化应用。相关研究成果发表在《*Advanced Materials*》¹⁸。

（郭楷模）

¹⁷ Kelsey K. Sakimoto, Andrew Barnabas Wong, Peidong Yang. Self-photosensitization of nonphotosynthetic bacteria for solar-to-chemical production. *Science*, 2016, 351 (6268): 74-77.

¹⁸ Kern Ho Park, Dae Yang Oh, Young Eun Choi, et al. Solution-Processable Glass LiI-Li₄SnS₄ Superionic Conductors for All-Solid-State Li-Ion Batteries. *Advanced Materials*, Published Online 22 December 2015, DOI: 10.1002/adma.201505008.

中国科学院武汉先进能源战略情报中心简介

中国科学院武汉先进能源战略情报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分析机构，历年来参与了多项国家级、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：钙钛矿太阳能电池 我国能源互联网发展重要战略问题研究

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心 中国科学院武汉先进能源战略情报研究中心

联系地址：武汉市武昌区小洪山西 25 号（430071）

联系人：陈伟 张军

电 话：（027）87199180

电子邮件：jiance@mail.whlib.ac.cn