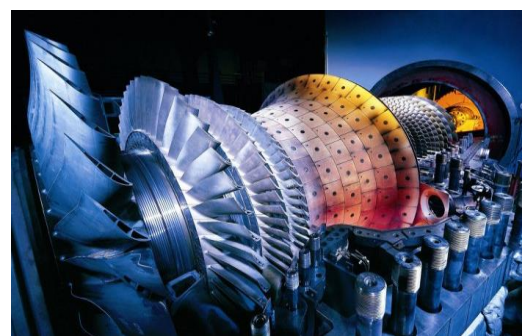


# 先进能源科技动态监测快报



## 本期重点

- IRENA 发布面向 2050 的能源转型路线图
- IEA：2017 年 OECD 国家电力和油气产量全面增长
- 英国发布《未来建筑供暖框架》推进供暖行业低碳化转型
- DOE 资助上亿美元加速推进太阳能发电技术研发
- 叠层有机太阳电池创下 15% 效率世界纪录

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:

赵晏强

[zhaoyq@whlib.ac.cn](mailto:zhaoyq@whlib.ac.cn)

郭楷模

[guokm@whlib.ac.cn](mailto:guokm@whlib.ac.cn)

电话:

027-87197630



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 发布面向 2050 的能源转型路线图 .....2  
英国发布《未来建筑供暖框架》推进供暖行业低碳化转型 .....5  
IEA: 2017 年 OECD 国家电力和油气产量全面增长 .....6

## 项目计划

DOE 资助上亿美元加速推进太阳能发电技术研发 .....8  
DOE 公布 2018 财年第二阶段小企业创新资助计划 .....9

## 前沿与装备

叠层有机太阳能电池创下 15%效率世界纪录 .....10  
连续光照诱导晶格膨胀增强钙钛矿太阳能电池性能 .....11  
二维石墨烯氧化物纳米片涂层有效解决锂枝晶问题 .....12  
无镉量子点修饰催化剂实现可见光驱动高效光解水产氢 .....13

## 本期概要

**国际可再生能源机构（IRENA）发布《全球能源转型路线图 2050》报告，系统分析了全能源低碳化转型问题并提出了六大战略建议：**到 2050 年，可再生能源需求至少要提升六倍，才能达到《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。通过过去数年的努力，全球在能源转型和应对气候变化方面取得了一定的进展。然而，当前的二氧化碳减排变化趋势尚未达到预期，因此亟需采取相关行动，加速能源转型。为此，报告提出了六大战略建议：（1）充分利用能效和可再生能源的协同效应；（2）提升电力行业中可再生能源占比；（3）提升交通运输、建筑和工业部门中电气化水平；（4）增强能源技术创新；（5）加大可再生能源投资；（5）确保能源转型的成本和收益公平分配。详见正文。

**英国商业、能源和工业战略部（BEIS）发布《未来建筑供暖框架》报告，提出了在 21 世纪 20 年代逐步淘汰高碳化石燃料在建筑供暖中应用的应该采取的行动，包括：**（1）向清洁和低碳技术的转变；（2）到 2050 年，减排目标至少要完成 80%；（3）家用和非家用天然气网的清洁供暖技术可以被作为石油和煤炭供暖系统的替代技术；（4）在家庭广泛部署储热式加热器；（5）加快供暖技术创新。详见正文。

**国际能源署（IEA）发布 2017 年经济合作与发展组织（OECD）国家电力和油气行业发展统计数据简报显示：**2017 年 OECD 国家发电量同比小幅上涨 0.8%，其中地热能、风能和太阳能等可再生能源发电量（不包括可再生燃料发电）显著增长了 16.7%，水力发电量小幅增加 0.5%，而火力发电（包括煤炭、天然气、石油、可再生燃料以及其他可燃燃料）和核电分别减少 1%和 0.8%。受到 OECD 美洲国家原油产量强劲增长的驱动，2017 年 OECD 国家原油总产量增长了 2.6%。同期，OECD 国家天然气产量增长了 2.4%，主因是所有 OECD 国家天然气产量都获得不同程度的增长。

**美国能源部（DOE）宣布资助 1.055 亿美元用于支持全美遴选的约 70 个太阳能研发新项目，涵盖四大主题，包括：**（1）先进的太阳能系统集成技术；（2）新型太阳能热发电技术开发；（3）光伏器件研发；（4）太阳能产业劳动力培训；旨在改进太阳能光伏发电和太阳能热发电技术，提高光电转换效率和降低发电成本，提升太阳能电力并入电网的稳定性，促进太阳能技术和产业的双线快速发展，维持美国在太阳能领域的全球的领先地位。

**美国能源部（DOE）公布 2018 财年第二阶段小企业创新资助计划：**即向全美 26 个州遴选的 69 家中小企业资助 9900 万美元用于其开展高性能计算、基础能源研究、生物环境和核物理四个主题领域的第二阶段研发创新工作，以开展相应的技术示范工程来验证其第一阶段的研究结果的技术和经济可行性，加快有潜力技术的商业化步伐，推进美国科学技术的创新和技术成果转化。

**密歇根大学 Stephen R. Forrest 教授研究团队在有机太阳能电池领域取得了里程碑式的突破：**通过整合液相旋涂和真空沉积工艺设计制备了新型双结叠层有机太阳电池，具备紫外到近红外的极宽的光谱响应范围，从而获得 15%创纪录光电转换效率，且制备工艺具备优异的可扩展性，为有机太阳电池商业化应用奠定了关键技术基础。

## IRENA 发布面向 2050 的能源转型路线图

4 月 12 日，国际可再生能源机构（IRENA）发布《全球能源转型路线图 2050》报告指出<sup>1</sup>，到 2050 年可再生能源在能源供给总量中的占比必须达到三分之二，累计碳排放量至少要比当前预测值减少 4700 亿吨，才能达到《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，而这意味着可再生能源需求至少要提升六倍。2015 年，各国签订《巴黎气候协定》，承诺本世纪末将全球平均气温升幅与前工业化时期相比控制在 2°C 以内。为实现上述目标，采用可再生能源和能源效率相结合将是强有力的工具，因为两者结合可以贡献超过 90% 的与能源相关的二氧化碳减排量。然而，当前的二氧化碳减排变化趋势尚未达到预期，因此亟需采取相关行动，加速能源转型。为此，报告系统分析了能源转型的问题并提出六大战略建议。报告主要内容如下：

### （1）实现平均温升控制在 2°C 以内的目标，立即采取行动至关重要

与当前和计划中的政策设定的碳减排量相比较，要实现这一目标，到 2050 年累计排放量必须至少再减少 4700 亿吨（图 1）。把全球的升温幅度控制在 2°C 以下，在这样的一个发展速度下，在未来不到 20 年时间内就会耗尽剩余所有的碳预算<sup>2</sup>。

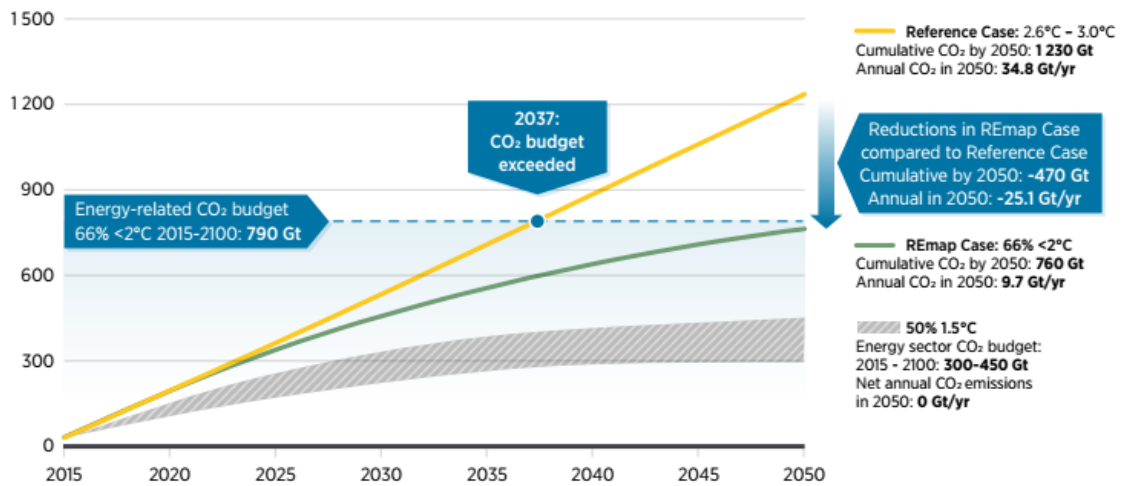


图 1 2015-2050 年与能源相关的二氧化碳排放累计限额（十亿吨 CO<sub>2</sub>）

### （2）所有终端用能部门均需要扩大可再生能源使用和提高能源效率

可再生能源占能源供应总量的份额必须从 2015 年的 15% 上升到 2050 年的三分之二左右。为了实现气候目标，到 2050 年全球经济的能源强度需要下降约三分之二，这将使当年的一次能源供应总量降至略低于 2015 年的水平。尽管有大量人口和经济

<sup>1</sup>Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050.

<https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Global-Energy-Transition-A-Roadmap-to-2050>

<sup>2</sup>“碳预算”是指将全球变暖的增幅遏制在 2°C 以内，全球排放到大气中的二氧化碳总量的上限。



增长，但通过大幅提高能源效率，这一目标是可以实现的。

### （3）到 2050 年，所有国家可再生能源在能源使用总量中所占的比例都可以大幅增加

IRENA 在报告中建议，届时可再生能源在许多国家的终端能源消费（TFEC）中将占 60% 甚至更多。例如，中国可以将可再生能源在能源消费中的比重从 2015 年的 7% 提高到 2050 年的 67%。在欧盟，这一比例可能会从 17% 增长到 70% 以上。而在印度和美国，这一比例则可能会增长至三分之二甚至更多。

### （4）能效提升对于建筑行业脱碳化极其重要

建筑行业的能源效率正在缓慢提高，部分原因是现有建筑每年仅有 1% 的建筑翻新率。然而，这一翻新率有必要增加三倍。在工业中，某些行业的高能源需求、某些产品的高碳含量以及高排放过程，需要新的解决方案和全生命周期考量。在能源强度方面必须取得显著改善，可再生能源的比重必须提高到三分之二（图 2）。

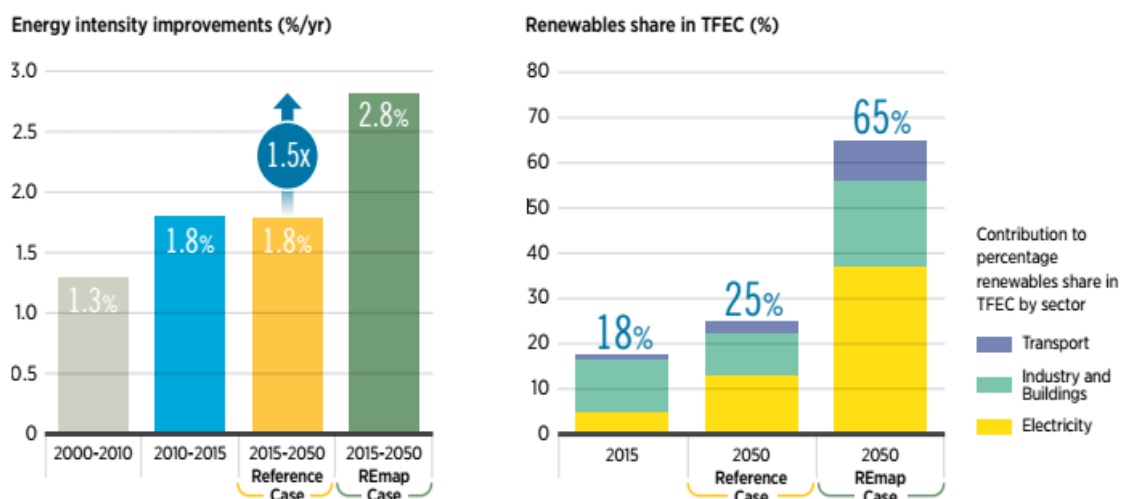


图 2 参考情景和 REmap 情景中 2015-2050 年能源强度改进率（%/年）、可再生能源在终端能源消费所占份额（%）

### （5）与现行和计划的政策相比，需要对低碳技术进行大量额外投资

为了实现能源转型，在 2015 年至 2050 年期间，对能源系统的累计投资将需要增加约 30%，从 93 万亿美元增加到 120 万亿美元。在可再生能源和能源效率方面的投资将占到能源投资的大部分，其中还包括需要投资电网和能源灵活性的 18 万亿美元，相对于当前和计划的政策翻一番。总体而言，在这一期间，全球经济需要的能源系统年均投资额大约为全球 GDP 的 2%，包括可再生能源、能源效率和其他支撑性技术。

### （6）全面的政策将极大地促进能源行业的整体就业

总的来说，相对于在化石燃料行业中所失去的就业机会，向可再生能源的转型将为能源行业创造更多的就业机会。Remap 情景显示，到 2050 年化石燃料行业将失去 740 万个工作岗位，但可再生能源、能源效率、电网和能源灵活性方面将创造 1900

万个新工作岗位，从而净增加 1160 万个工作岗位（图 3）。为了满足可再生能源和能源效率部门在快速扩张中的人力资源需求，需要制定教育和培训相关政策来满足这些部门的技能需求，并最大限度地地为当地创造价值。

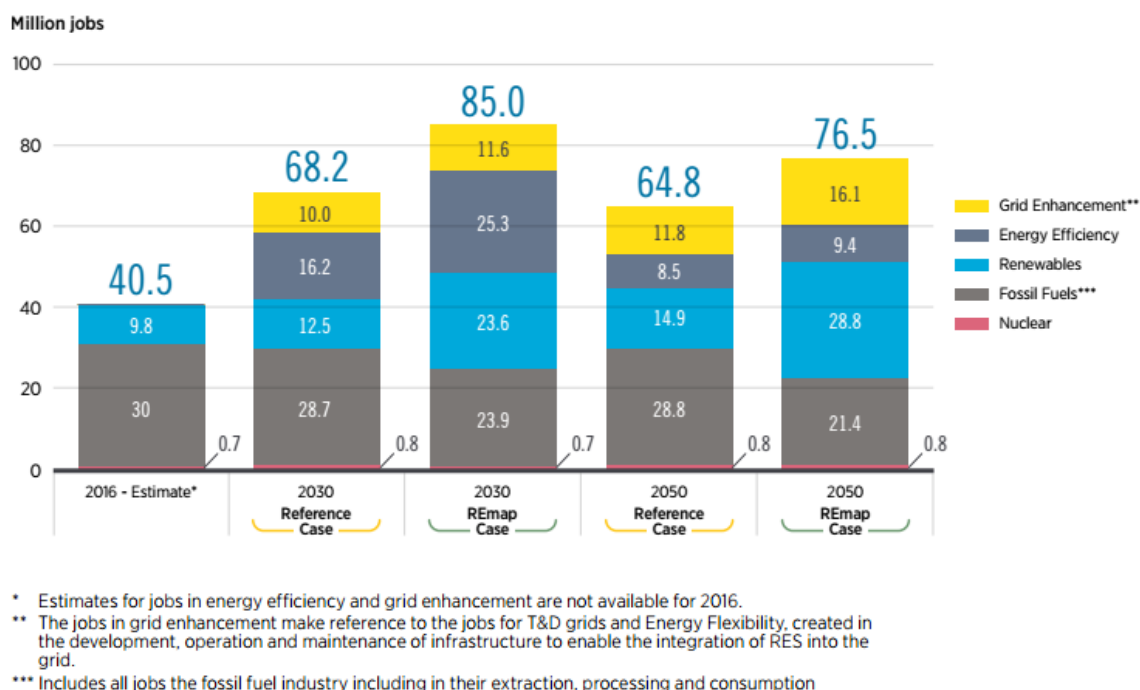


图 3 2016 年、2030 年和 2050 年能源行业的就业情况（单位：百万人）

报告中描述的能源转型在技术上是可行的，在经济上也是有益的，但迫切需要采取政策行动，以引导全球能源系统走向可持续的道路。为此，报告为决策者提出了可以采取的六大行动建议：

(1) 利用能效和可再生能源之间的巨大协同效应，是能源政策设计的首要任务之一。其综合效应可以以一种具有成本效益的方式，在 2050 年之前实现大部分与能源相关的脱碳需求。

(2) 提高电力行业中可再生能源占比。全球能源将需要能源系统的根本转变，需要长期的能源系统规划，以及更全面、更协调的跨部门和国家政策制定。及时的基础设施部署和行业规则的重新设计是进行经济有效地大规模整合太阳能和风力发电的基本条件。到 2050 年，这些能源将成为电力系统的支柱。

(3) 提升交通运输、建筑和工业部门中电气化水平。通过电气化实现交通和供热部门的城市规划、建设以及具备成本效益的脱碳。在运输、工业和建筑中的能源服务无法电气化的地方，还需要部署其他可再生能源，包括现代生物能源、太阳能和地热能。为加速部署这些解决方案，需要制定一个有利的政策框架。

(4) 培养和促进系统创新。随着新技术的发展，在未来成功实现全球能源转型的过程中，还需要继续进行技术创新。创新必须涵盖技术的完整生命周期，包括示范、部署和商业化。创新比技术研发（R&D）要广泛，应该包括新的能源运营系统

和市场以及新的商业模式。要实现能源转型所需的创新，需要各国政府、国际参与者和私营部门采取更多集中和协调行动。

(5) 通过调整社会经济体系与转型，使社会经济结构、投资转型与整体方针相一致。实施能源转型需要大量投资，也增加了适应气候变化所需的投资。实现能源转型的时间越短，适应气候变化的成本就越低，对社会经济的破坏也就越小。金融体系应与更广泛的可持续性和能源转型要求保持一致。资本投资流动应立即重新配置到低碳解决方案，以避免将经济体锁定为碳密集型能源体系，并尽量减少搁浅资产。必须迅速建立监管和政策框架，使所有利益相关方拥有明确坚定的长期信心，即能源系统将转变以实现气候目标。提供经济激励措施，充分反映化石燃料的环境和社会成本，加快部署低碳解决方案。

(6) 确保能源转型的成本和收益公平分配。为了有效的参与，能源转型的成本和收益应该公平分享，转型本身应该得到公正的实施。普遍能源获取是公平和公正转型的关键组成部分。除了能源获取之外，目前在不同地区提供的能源服务存在巨大的差距，应该分担转型成本，同时公平分配转型效益。

(吴勘 郭楷模)

## 英国发布《未来建筑供暖框架》推进供暖行业低碳化转型

3月19日，英国商业、能源和工业战略部（BEIS）发布《未来建筑供暖框架》报告指出<sup>3</sup>，英国将采取行动在21世纪20年代逐步淘汰高碳化石燃料在建筑供暖中的应用。供暖行业是英国工业重要的组成部分。政府、企业和学术界必须联合起来共同推进供暖行业的低碳化转型，保持英国在供暖行业的世界领先地位。取消高碳化石燃料供暖可能是一项挑战，但也是新工作、新技能和创新投资的机会，同时为家庭和企业带来更大的舒适和便利。此外，接入天然气电网的建筑物脱碳，可能为未来更广泛的建筑物低碳化铺平道路。报告主要内容如下：

**(1) 向清洁和低碳技术的转变是全球经济最重要的变化之一。**在建筑和工业中脱碳是这一转变中最重要的部分之一。家庭和企业供暖造成了英国近三分之一的排放，而减少它们是清洁增长战略的一个重点。推动这些减排的创新和投资可以创造就业机会和出口机会。如果以正确的方式进行，减少与取暖有关的排放可以通过减少能源支出使每个人受益，这将有助于提高英国的生产力，改善空气质量。

**(2) 到2050年，减排目标至少要达到80%。**这意味着在建筑物和大部分工业生产过程中，几乎所有的供热都要去碳化。因而，要在本世纪20年代开始淘汰碳排放较高的供热形式。在清洁增长战略（CGS）中，政府承诺从本世纪20年代开始，

<sup>3</sup>A future framework for heat in buildings.

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/691546/Future\\_framework\\_for\\_heat\\_in\\_buildings\\_call\\_for\\_evidence.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/691546/Future_framework_for_heat_in_buildings_call_for_evidence.pdf)



逐步停止在住宅和商业建筑中部署高碳化石燃料供暖。

(3)家用和非家用天然气网的清洁供暖技术可以作为石油和煤炭供暖系统的替代技术。通过开发新技术和现有技术进一步创新来降低成本是可能的。主要的技术包括生物燃料、生物萃取液、和生物丙烷、混合动力和燃气驱动热泵，以及包括热泵在内的电加热和农村供热网。

(4) 储热式加热器用于一些家用产品，通常比热泵的安装成本要低得多。它们与热泵有着共同的优势，而更现代化的智能版本给消费者带来了比以往更好的操控体验。然而，其效率远低于热泵，因此消费者的运营成本更高。现代化的储热式加热器与智能功能相结合可能成为小型物业的一种选择，但可能需要多台储热式加热器才能满足农村住宅中较大热负荷需求，从而增加了成本。

(5) 创新将是改善这些技术的关键。创新能够使它们更具吸引力，更适合家庭和企业，并降低成本。目前英国已启动 1000 万英镑的创新基金用于支持低碳供暖。

(吴勘 郭楷模)

## IEA：2017 年 OECD 国家电力和油气产量全面增长

4 月 12 日，国际能源署（IEA）发布了 2017 年经济合作与发展组织（OECD）国家电力<sup>4</sup>、石油<sup>5</sup>和天然气<sup>6</sup>行业发展统计数据简报，显示 2017 年 OECD 国家发电量同比小幅上涨 0.8%，与 2016 年相当；而在 OECD 美洲国家原油产量上涨驱动下，2017 年 OECD 国家石油产量增长了 2.6%；同期天然气产量增长了 2.4%，是 OECD 国家天然气全面增产的结果。

### 1、OECD 国家发电量

2017 年 OECD 国家发电量同比增长 0.8%，其中地热能、风能和太阳能等可再生能源发电量<sup>7</sup>（不包括可再生燃料发电）显著增长了 16.7%，水力发电量小幅增加 0.5%，而火力发电（包括煤炭、天然气、石油、可再生燃料以及其他可燃燃料）和核电分别减少 1%和 0.8%，参见图 1。OECD 国家累计核能发电量达到 1856.1 TWh，同比下降了 0.8%，是 OECD 国家核能发电量全面下降所致。2017 年，OECD 国家可再生能源发电（不包括可再生燃料发电）占比从 2015 年的 22.4%提高到 23.7%，而火力发电占比下降了 1 个百分点至 58.7%，水力发电占比小幅下滑 0.1%至 13.9%，核电占比小幅下降 0.3%至 17.6%。可再生能源发电比去年同期增长了 147.2 TWh，达到 1030.3 TWh，主要原因是所有的 OECD 国家可再生能源发展均取得良好的发展，其中 OECD 美洲国家以 65.3 TWh 增量成为增量最多的地区，OECD 欧洲和亚太地

<sup>4</sup> Key OECD Electricity Trends 2017. <https://www.iea.org/media/statistics/KeyElectricityTrends2017.pdf>

<sup>5</sup> Key OECD Oil Trends 2017. <https://www.iea.org/media/statistics/KeyOilTrends2017.pdf>

<sup>6</sup> Key OECD Gas Trends 2017. <https://www.iea.org/media/statistics/KeyGasTrends2017.pdf>

<sup>7</sup> 这里的可再生能源发电包括风力发电、太阳能发电、地热发电、海洋能发电等。

区则分别以 64.7 TWh 和 17.1 TWh 位居二、三位。2017 年，OECD 美洲国家电力进口下降 2.6%，出口小幅增长 0.6%；同期，欧洲地区电力进口增长 0.9%，出口增长 4.8%。

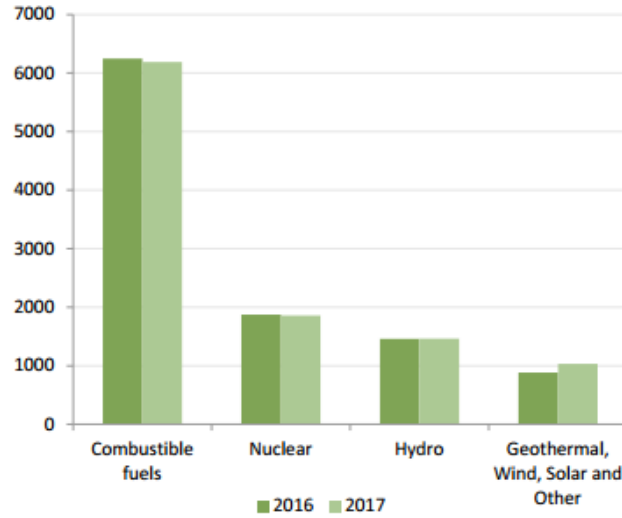


图 1 2016 年和 2017 年 OECD 国家发电细分行业对比 (单位: 太瓦时)

## 2、OECD 国家原油产量

受到 OECD 美洲国家原油产量强劲增长的驱动，2017 年 OECD 国家原油总产量增长了 2.6%。就 OECD 美洲国家而言，美国和加拿大原油产量均大幅增长，前者增加了 2500 万吨 (+4.7%)，后者增加约 1700 万吨 (+7.8%)；但墨西哥产量大幅下滑 9.6%。同期，OECD 欧洲国家的原油产量同比下滑 1.1%，主要是挪威 (-0.8%) 和英国 (-2.0%) 产量下滑所致。而受到澳大利亚产油量大幅下滑影响，OECD 亚太地区产油量同比减少 8.7%。2017 年 OECD 国家成品油进口量增长了 1.6%，其中 OECD 欧洲国家和亚太国家分别增长 3.6% 和 0.8%，而 OECD 美洲国家成品油进口量减少了 0.2%。同期，OECD 国家原油出口量上涨了 10.3%，因此总体而言 OECD 国家依旧保持原油净出口态势。

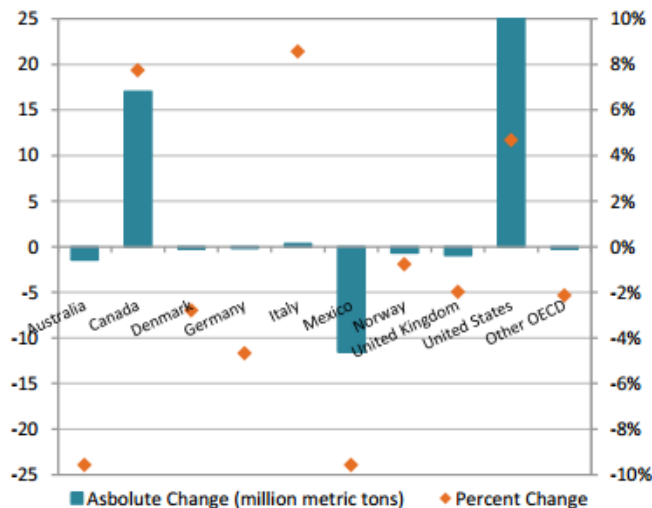


图 2 2017 年 OECD 国家原油产量相比 2016 年变化情况（单位：百万吨）

### 3、OECD 天然气产量

2017 年所有 OECD 国家天然气产量都获得不同程度的增长，使得 OECD 国家天然气年度总产量增长了 2.4%。其中，OECD 亚太地区产量增长最为强劲，同比增幅 17.7%；而 OECD 美洲和欧洲国家增长相对温和，分别为 1.1%和 0.4%。2017 年 OECD 国家天然气进口量同比增长 5.1%至 1050 亿立方米，主要是由于 OECD 欧洲国家（+6.8%）和亚太地区（+2.4%）强劲的天然气发电和供暖需求，而 OECD 美洲国家天然气进口量小幅下滑 0.4%。同期，OECD 国家天然气出口量增长了 8.8%，其中美洲（+17.6%）和亚太国家（+27.4%）出口量增长最为显著，主要原因是美国和澳大利亚的液化天然气出口大幅上涨。而 OECD 欧洲国家天然气出口量温和增长 3.4%。

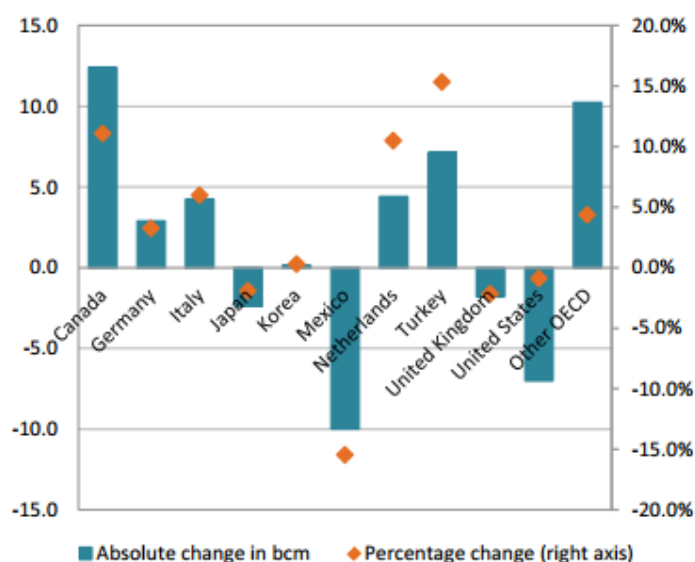


图 3 2017 年 OECD 国家天然气产量相比 2016 年变化情况（单位：十亿立方米）

（郭楷模）

## 项目计划

### DOE 资助上亿美元加速推进太阳能发电技术研发

4 月中旬，美国能源部（DOE）宣布资助 1.055 亿美元用于支持全美遴选的约 70 个太阳能研发新项目<sup>8</sup>，旨在改进太阳能光伏发电和太阳能热发电（CSP）技术，提高光电转换效率和降低发电成本，优化太阳能发电并网流程，提升太阳能电力并入电网的稳定性，并为太阳能产业数字化发展培育相关专业人才，促进太阳能技术和产业的双线快速发展，维持美国在太阳能领域的全球领先地位。本次资助主要关

<sup>8</sup> U.S. Secretary of Energy Rick Perry Announces \$105 Million in New Funding to Advance Solar Technologies.  
<https://www.energy.gov/articles/us-secretary-energy-rick-perry-announces-105-million-new-funding-advance-solar-technologies>

注四大主题领域，具体内容参见表 1。

表 1 太阳能研发项目四大主题具体内容

主题	研究内容	资助金额/ 万美元
先进的太阳能系统集成技术	开发先进的电子电力器件、太阳能+储能技术、光伏集成的传感器技术，从而实现先进的自适应太阳能发电并网系统的研发，以实现太阳能发电高效稳定并网，保障电网的安全、可靠和灵活性	4600
新型 CSP 技术开发	开发新型的高会聚比和极大接收角度聚光器，减少光学畸变提升聚光效率，降低成本；开发热电转化率超过 50% 的热电循环系统；开发新型的高效传热流体，以匹配新型的聚光器和热电循环系统，从而开发出新型高效的 CSP 系统，到 2030 年将发电平准化成本(LCOE) 降至 5 美分/千瓦时	2400
光伏器件研发	改进现有的光伏器件制造流程，同时开发新型高效、低成本光伏器件（如钙钛矿、量子点太阳能电池），到 2030 年将光伏发电的 LCOE 降至 3 美分/千瓦时	2700
太阳能产业劳动力培训	针对未来的太阳能产业数字化发展，对太阳能从业人员进行专业的信息技术培训，同时对退伍军人进行专业技能培训让其在退伍时能够无缝衔接到太阳能产业需求，增加太阳能劳动力，满足太阳能产业发展壮大的劳动力需求	850

（郭楷模）

## DOE 公布 2018 财年第二阶段小企业创新资助计划

4 月 12 日，美国能源部(DOE)宣布在“小企业创新研究与技术转让(SBIR/STTR)”计划框架下启动 2018 财年第二阶段的研发资助<sup>9</sup>，即向全美 26 个州遴选的 69 家中小企业资助 9900 万美元用于其开展高性能计算、基础能源研究、生物环境和核物理四个主题领域的第二阶段研发创新工作，以开发相应的技术示范工程来验证其第一阶段研究结果的技术和经济可行性，加快有潜力技术的商业化步伐，推进美国科学技术的创新和技术成果转化，创造新的就业机会，增强经济竞争力。具体的研究内容参见表 1。

表 1 2018 财年小企业创新研发创新第二阶段主要研究内容

主题	研究内容	资助金额/万美元
高性能计算	<ul style="list-style-type: none"> <li>针对光存储开发相应的控制器</li> <li>通过可解读方式来关联和分析网络数据</li> <li>开发基于云平台的高分辨率图像管理</li> </ul>	1800
基础能源研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>宽动态范围 X 射线混合模式像素阵列检测器</li> <li>开发新型低成本二维原子级精密共价有机膜</li> </ul>	4800

<sup>9</sup>Department of Energy Announces \$99 Million for Small Business Research and Development Grants.  
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-99-million-small-business-research-and-development-grants>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高效后燃烧碳捕集系统研发</li> <li>• 单发皮秒时间分辨透射电子显微镜</li> </ul>	
生物与环境	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 开发便携式低功耗土壤气体分析仪</li> <li>• 用于准实时和超灵敏检测微生物的便携式纳米线平台</li> <li>• 开发用于地下水监测的综合纳米膜化学场效应晶体管</li> </ul>	1900
核物理	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 用于电子离子对撞机的现代计算机架构的精确自旋跟踪</li> <li>• 开发与网络时间同步的分布式数字数据采集系统</li> <li>• 开发用于加速器光束诊断的辐射强化高速摄像系统</li> </ul>	1400

(吴勘 郭楷模)

## 前沿与装备

### 叠层有机太阳能电池创下 15%效率世界纪录

有机太阳能电池具有低价、柔性、半透明和色彩丰富等诸多优点，成为太阳能电池研究领域的热点之一。然而，光电转换效率长期无法突破 15%（商业化应用的标准）成为了该电池技术走向商业化应用的一大障碍。密歇根大学 Stephen R. Forrest 教授研究团队整合液相旋涂和真空沉积工艺，设计制备了新型双结叠层有机太阳能电池，具备紫外到近红外的极宽光谱响应范围，从而获得了高达 15% 的光电转换效率，刷新了有机太阳能电池效率纪录，成为有机太阳能电池迈向商业化应用的一个重要里程碑。研究人员首先通过液相旋涂方法制备了基于非富勒烯的受体的单结有机太阳能电池器件，接着利用真空气相沉积方法制备了富勒烯受体的单结有机太阳能电池器件。紫外可见光谱测试结果显示，采用非富勒烯受体太阳能电池其光谱响应的范围在 600 nm 到 950 nm 之间，而富勒烯受体电池光谱响应范围在 400 nm 到 700 nm 之间，两者刚好形成互补的光吸收区域，意味着两者结合就可以吸收可见光到近红外的宽光谱。为此，研究人员将上述两个电池进行串联构造叠层电池，其中非富勒烯受体太阳能电池负责吸收可见光，而富勒烯受体电池负责吸收近红外光；同时结合界面优化工程在两个电池接触界面引入超薄的界面缓冲层以抑制界面电子复合，最终 2 mm<sup>2</sup> 的有效辐照面积叠层电池组件获得了 15% 的创纪录光电转换效率，更为关键的是该制备工艺具备极高成品率，达到 95%，即具有良好可扩展性，这对于将该制造工艺扩展到工业化生产意义重大。而两个单独的单结电池光电转换效率依次为 10.7%（非富勒烯受体）和 9.8%（富勒烯受体），远低于新型叠层电池。研究人员强调指出通过后续的工艺、材料改进，有望将该叠层有机太阳能电池转换效率进一步提升到 18% 左右。该项研究整合了多项电池制备工艺和设计优化，制备了新型的叠层有机太阳能电池，大幅改善了电池的光谱响应范围，从而获得了创纪录的光电转换效率，且制备工艺具备优异的可扩展性，为有机太阳能电池商业化应用奠定了关键技术基础。相关



研究成果发表在《*Nature Energy*》<sup>10</sup>。

(郭楷模)

## 连续光照诱导晶格膨胀增强钙钛矿太阳能电池性能

有机无机杂化钙钛矿太阳能电池光电转换效率在短短数年时间内便突破了 22% 的大关，直逼传统的晶硅电池，并且该电池制备工艺简单和成本低廉，是极具发展前景的新一代薄膜电池技术。然而，截止当前科学家对该电池潜在工作机理仍然不甚明了，亟需加大研究力度。莱斯大学 Aditya D. Mohite 教授课题组和洛斯阿拉莫斯国家实验室研究人员合作的最新研究发现，连续光照会引起钙钛矿薄膜晶格发生均匀膨胀，从而释放了晶体局部应力，减少了晶体的能垒和非辐射载流子复合，从而增强了电池的性能，即光诱导晶格膨胀有助于提升电池性能，进一步深刻揭露钙钛矿电池工作机理。研究人员首先通过旋涂法分别制备了单阳离子 ( $\text{MA}^+$ ) 的甲胺碘化铅 ( $\text{MAPbI}_3$ ) 钙钛矿薄膜和双阳离子 ( $\text{FA}^+$ 、 $\text{MA}^+$ ) 双金属混合的甲脒甲胺铯碘铅薄膜 ( $\text{FA}_{0.7}\text{MA}_{0.25}\text{Cs}_{0.05}\text{PbI}_3$ )。掠入射广角 X 射线散射 (GIWAXS) 极图显示，相比  $\text{MAPbI}_3$ ， $\text{FA}_{0.7}\text{MA}_{0.25}\text{Cs}_{0.05}\text{PbI}_3$  薄膜晶体的晶格增大了，表明了  $\text{FA}^+$  和  $\text{Cs}^+$  成功地引入到  $\text{MAPbI}_3$  立方相的晶格中。随后研究人员将制备的钙钛矿薄膜置于惰性气体氛围中进行连续辐照处理，结果显示辐照处理后的  $\text{FA}_{0.7}\text{MA}_{0.25}\text{Cs}_{0.05}\text{PbI}_3$  薄膜晶格间距从 6.29 Å 增大到 6.33 Å，即晶格发生了膨胀；类似现象在  $\text{MAPbI}_3$  同样被观察到；表明了连续的光照诱导晶体晶格发生膨胀。且通过追踪观测发现，该结构变化具有弛豫现象（即结构变化的状态能够维持一段时间后才恢复）。接着研究人员将制备的钙钛矿薄膜  $\text{FA}_{0.7}\text{MA}_{0.25}\text{Cs}_{0.05}\text{PbI}_3$  用于组装电池器件，系统研究光照诱导晶体膨胀对电池性能的影响。电流电压测试显示，光照前 20 分钟，电池的开路电压从 0.73 V 增加到 0.9 V；20 分钟后，电池开路电压和填充因子同时增大，且在光照时间推移至 120 分钟时达到了峰值，开路电压和填充因子分别增大至 1.08 V 和 74%（光照前的数值分别为 0.73 V 和 68%），从而将电池器件的效率从 18.5% 提升到 20.5%。研究人员通过后续的光致发光和模拟研究发现，连续光照引起的晶格膨胀之所以增强电池性能主要是有两个原因：一是晶格膨胀使得晶格应力得到释放降低了钙钛矿界面能垒有助于载流子传输；二是膨胀使得晶面排列更加整齐，消除了晶体中的部分缺陷，减少了非辐射的复合。进一步的老化测试结果显示，基于  $\text{MAPbI}_3$  钙钛矿薄膜电池在连续光照 30 分钟后性能就开始出现衰退；而采用  $\text{FA}_{0.7}\text{MA}_{0.25}\text{Cs}_{0.05}\text{PbI}_3$  薄膜的电池在连续 300 分钟的光照测试下仍可维持初始效率的 80%，展现出优异的稳定性，这主要是 Cs 元素的引入改善了晶体相结构稳定性所致。该项研究首次通过实验手段系统地研究了连续光照对钙钛矿薄膜晶格及其器件的影响，揭露了光照诱导

<sup>10</sup> Xiaozhou Che, Yongxi Li, Yue Qu, et al. High fabrication yield organic tandem photovoltaics combining vacuum- and solution-processed subcells with 15% efficiency. *Nature Energy*, 2018, DOI: 10.1038/s41560-018-0134-z

钙钛矿晶格膨胀与电池性能之间的相互关联，为设计开发高性能钙钛矿电池积累了宝贵的理论知识。相关研究成果发表在《*Science*》<sup>11</sup>。

(李明月 郭楷模)

## 二维石墨烯氧化物纳米片涂层有效解决锂枝晶问题

锂金属电池是一款极具前景的高能量密度电池，其理论比容量高达 3860 mAh/g，近 10 倍于锂离子电池。然而，锂金属电池存在一个致命缺陷，那就是在充放电过程中会产生大量枝晶，从而刺穿隔膜会引起电池短路，导致性能衰退甚至燃烧爆炸，因此亟需研究抑制锂枝晶生长的方法。由伊利诺伊大学芝加哥分校 Reza Shahbazian-Yassar 教授课题组牵头的联合研究团队制备了新颖的二维石墨烯氧化物纳米片薄膜，作为保护层涂覆在玻璃纤维隔膜上，有效地抑制了锂枝晶的形成，从而显著地增强电池性能和循环寿命。研究人员通过喷雾热解方法将二维石墨烯纳米片 (GOn) 涂覆在玻璃纤维隔膜 (GF) 上，随后通过真空干燥处理，形成 GOn 修饰复合隔膜 GOn-GF。扫描电镜表征显示，GOn 均匀地嵌入到玻璃纤维 GF 的空隙中，从而有效地避免了 GOn 的堆叠和脱落，形成致密的二维涂层薄膜覆盖在 GF 表面，有助于锂离子快速传输。随后研究人员将制备的 GF、GOn-GF 隔膜应用于锂金属电池，并开展电化学性能测试进行对比研究。测试结果显示，在  $2 \text{ mA cm}^{-2}$  充放电电流密度下，采用无 GOn 修饰的 GF 隔膜电池经过 80 次循环后，电池容量就衰减了 20%，但当进一步增加循环次数到 115 次后，电池容量大幅衰减至初始状态的 20%，库伦效率为 80%；相反，采用 GOn-GF 隔膜的电池在经过 160 次循环后，电池容量仍可维持初始状态的 83% 以上，库伦效率接近 100%，展现出更加优异的电池性能和循环稳定性。通过电化学阻抗谱测试发现，无 GOn 修饰的 GF 隔膜电池内部的界面传输电阻高达  $170 \Omega$ ，且循环后电池阻抗增加到了  $250 \Omega$ ，这主要是由于锂枝晶形成诱导高阻抗的固态电解质膜所致；相反，采用 GOn-GF 隔膜的电池内部界面传输电阻仅为  $70 \Omega$ ，且不会随着循环增大。研究人员指出，GOn-GF 隔膜的电池性能提升主要得益于两方面改善，一是 GOn-GF 隔膜中二维石墨烯纳米片为锂离子提供了快速的传输通道增强电池充放电性能，二是有效地抑制了锂枝晶的形成增强了电池循环寿命。更为关键地是，该 GOn 涂层薄膜制备工艺简单、易于规模化且成本较低。该项研究针对锂金属隔膜设计合成了新型的二维石墨烯氧化物纳米片保护层，增强锂离子的传输、抑制了锂枝晶的形成，增强了电池性能和循环寿命。为设计和开发高性能的锂金属电池提供了新的路径。相关研究工作发表在《*Advanced Functional Materials*》<sup>12</sup>。

(郭楷模)

<sup>11</sup> Hsinhan Tsai, Reza Asadpour, Jean-Christophe Blancon, et al. Light-induced lattice expansion leads to high-efficiency perovskite solar cells. *Science*, 2018, DOI: 10.1126/science.aap8671

<sup>12</sup> Tara Foroozan, Fernando A. Soto, Vitaliy Yurkiv, et al. Synergistic Effect of Graphene Oxide for Impeding the Dendritic Plating of Li. *Advanced Functional Materials*, 2018, DOI: 10.1002/adfm.201705917

## 无镉量子点修饰催化剂实现可见光驱动高效光解水产氢

半导体量子点/分子催化剂，是当前被广泛研究的一类光催化裂解水产氢的复合催化系统。但是，一方面传统的分子催化剂一般是稀有金属配位化合物或其衍生物，价格昂贵；另一方面，高吸光特性的量子点大部分含镉金属，有毒。因此，亟需开发新型高效的绿色（无镉）量子点/非稀有金属分子催化剂复合催化系统。法国格勒诺布尔阿尔卑斯大学的 M.-N. Collomb 教授课题组设计制备了一种新型廉价、无镉、高效核壳结构量子点/钴金属配合物复合催化材料。研究人员首先通过微波活化方法直接在水中制备得到由硫化锌（ZnS）壳包裹硫化铟铜（CuInS<sub>2</sub>）核心的核壳结构量子点 CuInS<sub>2</sub>/ZnS，投射电镜表征显示量子点的平均尺寸为 2 nm，紫外可见光谱测试结果显示，量子点从 350 nm 到 650 nm 紫外可见光区域都有着良好的光吸收特性。随后将 CuInS<sub>2</sub>/ZnS 量子点与钴基分子催化剂四氮大环化合物 Cat1 结合形成复合光催化材料，该复合催化剂整合了优异的可见光吸收特性、无机半导体的高稳定性以及分子催化剂的高催化功效多重优点。在 pH=5.0、以抗坏血酸盐（NaHA）作为电子给体的情况下，新型的复合催化材料在可见光照射下展现出极其优异的催化裂解水产氢效能，平均单个量子点的催化周转次数为 1100，而周转频率则达到了 1.59 mmol<sub>H<sub>2</sub></sub>g<sub>QD</sub><sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>，这是迄今为止无镉量子点/分子催化剂复合体系的最高周转频率。研究人员进一步研究了分子催化剂的影响，在 pH5.0 的条件下，没有 Cat1 的对照实验中，可见光照射 70 小时后仅产生 13.3 μmol 氢气，而含有 Cat1 氢气量则翻了几十倍达 280 μmol，表明产 H<sub>2</sub> 的关键是 CuInS<sub>2</sub>/ZnS 量子点与钴分子催化剂相结合。并且，该新型复合催化材料可以在光照下连续稳定产氢超过 90 小时，该催化材料具备了优异的化学稳定性。该项研究开发合成了一种新型高效廉价、无镉 CuInS<sub>2</sub>/ZnS 量子点/钴基分子催化剂复合催化材料，具备了优异的光催化活性和化学稳定性，实现可见光驱动的高效光解水产氢，为新型高性能绿色光催化剂的发展提供有益参考。相关研究工作发表在《*Energy & Environmental Science*》<sup>13</sup>。

（刘竞 郭楷模）

<sup>13</sup> M. Sandroni, R. Gueret, K. D. Wegner, et al. Cadmium-free CuInS<sub>2</sub>/ZnS quantum dots as efficient and robust photosensitizers in combination with a molecular catalyst for visible light-driven H<sub>2</sub> production in water. *Energy & Environmental Science*, 2018, DOI:10.1039/C8EE00120K

## 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 吴勘

电话：（027）87199180

电子邮件：[jjance@whlib.ac.cn](mailto:jjance@whlib.ac.cn)

微信公众号：CASEnergy

