

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 2017 年中国清洁能源投资创纪录推动全球投资增长
- IRENA：可再生能源电力成本普降 2020 年进入平价时代
- 牛津能源研究所展望交通运输业未来变革趋势
- 英国先进推进中心资助 3000 万英镑支持低碳车辆新技术开发
- 新型铂/二氧化钛复合催化剂实现 CO₂ 到 CH₄ 创纪录转化

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

郭楷模

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

- 2017年中国清洁能源投资创纪录推动全球投资增长2
IRENA: 可再生能源电力成本普降 2020年进入平价时代4
牛津能源研究所展望交通运输业未来变革趋势7

项目计划

- 英国资助3000万英镑支持低碳车辆新技术开发10
英国创新机构助力能源企业加速智能电网平台商业化11

前沿与装备

- 适量的“针孔”并不会导致钙钛矿太阳能电池性能失效11
二硫化钨相转变新机制实现高效稳定光解水制氢12
新型铂/二氧化钛复合催化剂实现CO₂到CH₄创纪录转化13
电极分离限制短路区域改善锂离子电池的安全性14

本期概要根据正文修订

彭博新能源财经发布初步统计显示，2017 年全球清洁能源投资总额同比增长了 3%，从 2016 年的 3246 亿美元增加至 2017 年的 3335 亿美元，为有史以来清洁能源投资数额第二高的年份，从而将 2010 年以来的累计投资总额推升至 2.5 万亿美元：从投资类别来看，占比最大的仍是超过 1MW 的公用事业规模可再生能源项目的资产投资，累计投资总额达到 2161 亿美元。企业清洁能源研发投入增长 11% 达 221 亿美元，政府研发投入与去年持平为 145 亿美元。2017 年中国清洁能源技术投资总额大幅增加了 24%，达到了 1326 亿美元，创历史新高。尽管特朗普政府对可再生能源采取了消极态度，但美国清洁能源投资总额仍然上涨 1% 至 569 亿美元。受到激励政策的变化影响，日本与欧洲的投资均出现下滑，日本投资下降 16% 至 234 亿美元，欧洲地区投资整体下滑 26% 至 574 亿美元。

国际可再生能源机构 (IRENA) 发布《可再生能源电力成本 2017》报告，指出，得益于技术进步、竞标替代固定上网电价补贴和规模化部署进程，可再生能源发电成本普遍下降：在 2010-2017 年间，全球公用事业太阳能光伏发电的加权平准化度电成本 (LCOE) 大幅下降了 73%，从 36 美分/千瓦时降至 10 美分/千瓦时；太阳能热发电 LCOE 下降 33% 至 22 美分/千瓦时；陆上风电和海上风电的 LCOE 分别下降 25% 和 17%；生物质发电经济性很大程度上取决于是否有安全、可持续的生物质原料供应和不同的转化技术，印度生物质发电的安装总成本最低，在 450 - 2600 美元/千瓦之间，中国其次；受到建设成本、并网机电设施等成本上升因素的影响，水力发电 LCOE 从 2010 年的 3.6 美分/千瓦时增长到了 4.7 美分/千瓦时；地热发电的 LCOE 从 2010 年的 5 美分/千瓦时增长到了 2017 年的 7 美分/千瓦时。

牛津大学能源研究所发布《交通运输业的颠覆性变革》报告，提出了交通能源使用中的八项重要预测，包括：(1) 尽管全球众多政府出台了促进交通电气化的激励措施或者政策，但电气化并非未来交通运输发展的唯一技术选择；(2) 实现全自动驾驶尚需时日；(3) 成本是动力电池应用规模扩大的众多关键因素之一；(4) 电网管理对电动汽车部署至关重要；(5) 汽车制造商将需要围绕价值创造来调整业务模式；(6) 技术扩散不仅限于成本竞争力；(7) 政策将推动电动汽车的普及；(8) 交通自动化、电气化和共享化意味着不同组合带来的影响差异很大；详见正文。

英国先进推进中心 (APC) 资助 3000 万英镑的资金用于支持开发有助于推动未来低碳汽车新技术的合作项目，涵盖三大主题：包括：(1) 减少汽车二氧化碳排放量，改善空气质量；(2) 加快支持低排放车辆技术解决方案的开发；(3) 有利于增强英国实力并发展供应链的低碳车辆或轻量化系统技术开发。详见正文。

韩国大邱庆尚北道科学技术研究院 Su-II In 教授研究团队开发了一种全新铂纳米颗粒敏化修饰的二氧化钛 (TiO₂) 基光催化剂 (BT)：具备了优异的 CO₂ 催化还原成甲烷 (CH₄) 的能力，表观量子产率为 12.40%，单位时间的 CO₂ 到 CH₄ 的转化率达到 80.35 μmol·g⁻¹，是迄今为止光催化驱动 CO₂ 还原到 CH₄ 效率的最高值，减少温室气体排放和应对能源短缺问题。

2017 年中国清洁能源投资创纪录推动全球投资增长

1 月 16 日，彭博新能源财经发布初步统计显示¹，2017 年中国清洁能源技术投资总额大幅增加了 24%，达到了 1326 亿美元，创历史新高；受此推动，全球清洁能源²投资总额同比增长了 3%，从 2016 年的 3246 亿美元增加至 2017 年的 3335 亿美元，为有史以来清洁能源投资数额第二高的年份，从而将 2010 年以来的累计投资总额推升至 2.5 万亿美元。



图 1 2004-2017 年全球清洁能源投资金额变化态势（单位：十亿美元）

从投资类别来看，2017 年占比最大的仍是超过 1MW 的公用事业规模可再生能源项目的资产投资，累计投资总额达到 2161 亿美元，较 2016 年略有上升。公用规模小项目（小于 1MW 项目，以太阳能光伏为主）累计投资为 494 亿美元，同比增长 15%，主要原因是中国装机的增长。公共市场融资同比下滑 26% 至 87 亿美元。风险资本和私募股权投资 41 亿美元，同比下降 38%，为 2005 年以来的最低水平。企业清洁能源研发投资增长 11% 达到 221 亿美元，政府研发投入基本与去年持平，为 145 亿美元。

¹ Runaway 53GW Solar Boom in China Pushed Global Clean Energy Investment Ahead in 2017. <https://about.bnef.com/blog/runaway-53gw-solar-boom-in-china-pushed-global-clean-energy-investment-ahead-in-2017/>

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。

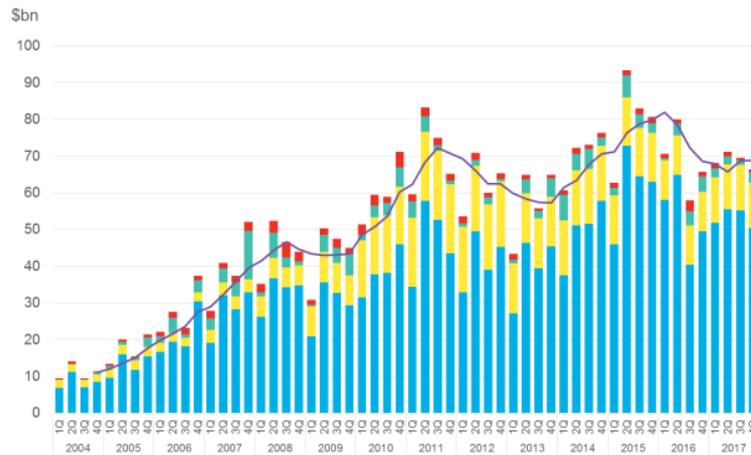


图2 2004-2017 年全球清洁能源不同资产投资金额变化态势（单位：十亿美元）

从行业来看，2017 年太阳能依旧领跑清洁能源投资排行榜，共吸引了 1137 亿美元投资，较 2016 年增长 18%，占同期全球清洁能源投资总额的 48%；位列投资排行榜第二的则是风电行业，投资额达到 1072 亿美元，同比下降 12%；而能源智能技术则以 488 亿美元创纪录投资挤进前三甲，较 2016 年大幅增长了 29%；其他行业投资不仅大幅落后且出现不同程度的下降，其中生物质能投资额大幅下降了 36%至 47 亿美元；生物燃料投资下降 3%至 20 亿美元；小型水电投资下降 14%至 35 亿美元；低碳服务行业投资减少至于 48 亿美元，同比下滑 4%；地热能大幅下滑 34%至 16 亿美元；海洋能源投资下滑 14%达 1.56 亿美元。

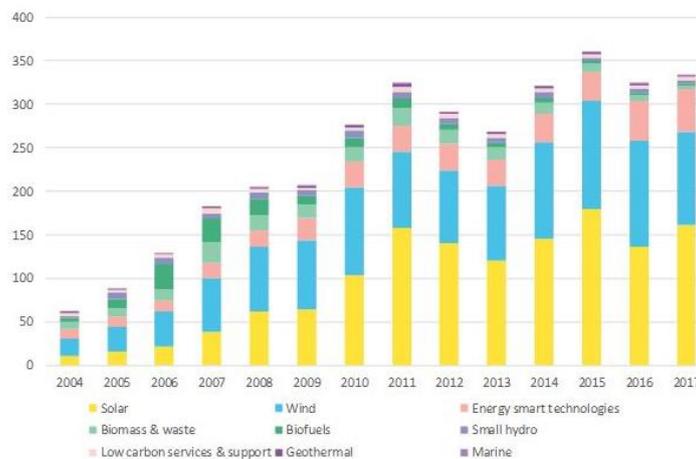


图3 2004-2017 年不同清洁能源行业投资金额变化态势（单位：十亿美元）

从国别来看，2017 年中国依旧是全球最大的清洁能源投资国，投资额同比增长 24%达到 1326 亿美元，主要原因是中国监管机构放宽了公用事业光伏项目的建设指标以及光伏成本下降使其经济效益日益凸显。尽管特朗普政府对可再生能源采取了消极态度，但美国清洁能源投资总额仍然上涨 1%至 569 亿美元，仍是全球第二大清洁能源投资国。得益于大型风能和太阳能项目融资顺利推进，澳大利亚清洁能源投资暴涨 150%至创纪录的 90 亿美元；与之相反，受到激励政策的变化影响，日本与欧洲的投资都出现下滑，其中日本投资额下降了 16%至 234 亿美元。而欧洲地区投

资整体下滑 26%至 574 亿美元，但成员国发展情况不同：其中，英国出现了断崖式下滑，投资减少至 103 亿美元，较 2016 年暴降 56%，让其失去了欧洲第一清洁能源投资国的位置；尽管投资下降 26%，但德国却以 152 亿美元超过英国成为欧洲第一大清洁能源投资国；瑞典暴涨 109%至 40 亿美元，增长最为显著的欧洲市场；荷兰增长 30%，为 35 亿美元；法国 50 亿美元，同比上涨 15%；意大利上扬 15%至 25 亿美元。在新兴经济体中，墨西哥飙涨 500%至 62 亿美元，巴西上涨 10%至 62 亿美元，智利 15 亿美元，同比增长 55%，印度下滑 23%达到 110 亿美元。

（郭楷模）

IRENA：可再生能源电力成本普降 2020 年进入平价时代

1 月 13 日，国际可再生能源机构（IRENA）发布《可再生能源电力成本 2017》³报告指出，得益于技术进步、竞标替代固定上网电价补贴和规模化部署进程，可再生能源发电成本已经显著下降，且在全球许多地区达到或低于化石燃料发电成本，展现出强劲的价格竞争力。到 2020 年，全球商业化的可再生能源度电成本预计将落在 3-10 美分/千瓦时价格区间，较传统化石燃料将更具竞争力。报告要点如下：

1、太阳能光伏

太阳能光伏装机容量在过去的十年（2006-2016）呈现出爆炸式的增长态势，截止 2016 年底，全球累计光伏装机总量达到 291GW，近 48 倍于 2006 年水平（6.1GW），年均增速达到 28%。得益技术进步，2017 年公用事业太阳能光伏电站安装成本较 2010 的水平大幅下降了 68%。受到装机规模和装机成本下降的驱动，在 2010-2017 年间，全球公用事业太阳能光伏发电的加权平准化度电成本（LCOE）大幅下降了 73%，从 36 美分/千瓦时降至 10 美分/千瓦时。而在阿布扎比、智利、迪拜、墨西哥、秘鲁和沙特等国家，太阳能光伏度电成本更是创下 3 美分/千瓦时历史新低。到 2020 年，光伏发电成本还将再降五成。

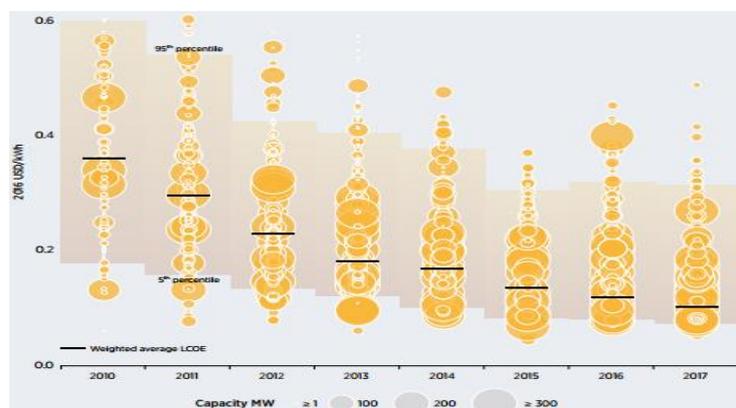


图 1 2010-2017 年公用事业太阳能光伏发电 LCOE 变化态势（单位：美元/千瓦时）

³ Renewable Power Generation Costs in 2017.

<http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>

2、太阳能热发电

相对太阳能光伏，太阳能热发电（CSP）发展的速度较慢，截止 2016 年底，全球累计 CSP 装机容量仅有 5 GW，在建/计划的 CSP 发电站装机预计为 4GW。在不考虑储热系统的情况下，CSP 电站的安装成本在 2550-11265 美元/千瓦，而当计入储热系统成本，则电站的总安装成本将会上升到 6050-13150 美元/千瓦。尽管发展速度较慢，但自 2010 年以来 CSP 的 LCOE 也下降了 33%，从 2010 年 33 美分/千瓦时降至 22 美分/千瓦时。到 2025 年，槽式和塔式 CSP 发电成本将分别下降至 11 美分/千瓦时和 9 美分/千瓦时。

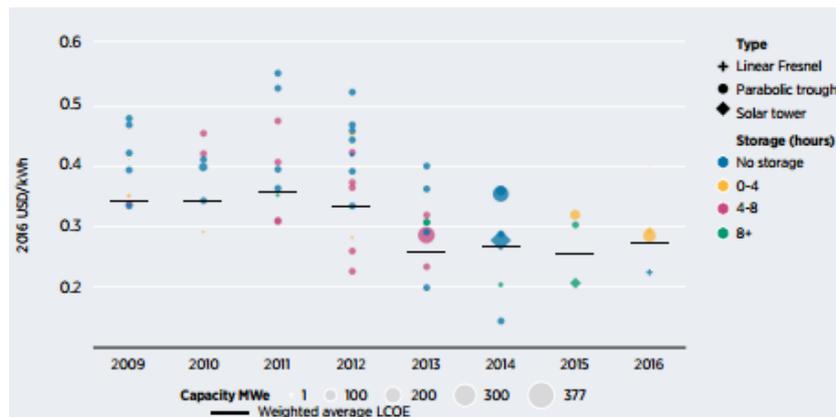


图 2 2009-2016 年太阳能热发电 LCOE 变化态势（单位：美元/千瓦时）

3、风力发电

2000-2016 年间，风力发电装机容量以年均 15% 的增幅快速增长，截止 2016 年底，全球累计风力发电装机容量达 467 GW（其中 454 GW 为陆上风电，13GW 为海上风电）。2016 年风电新增装机创下了 65 GW 的历史记录，未来 3-5 年预计年均新增装机在 40-50 GW 之间。过去三十年间（1983-2017），风电的安装成本都显著下降，尤其是陆上风电，大降 70%，从 4880 美元/千瓦降至 1477 美元/千瓦。总体而言，受益于技术进步和安装成本的下降，在 2010-2017 年间，陆上风电和海上风电的 LCOE 分别下降 25% 和 17%，即从 2010 年的 8 美分/千瓦时和 17 美分/千瓦时降至 6 美分/千瓦时和 14 美分/千瓦时。到 2019 年，最好的陆上风电项目 LCOE 将不超过 3 美分/千瓦时，届时将比化石燃料发电更低。2020-2022 年间，海上风电的 LCOE 将在 6-10 美分/千瓦时之间。

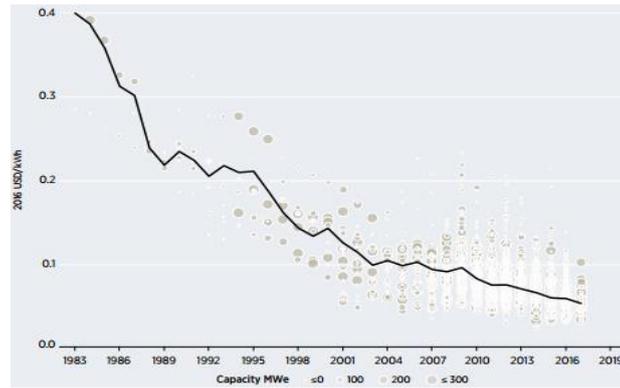


图 3 1983-2017 年陆上风电 LCOE 变化态势（单位：美元/千瓦时）

4、生物质发电

与太阳能、风能发电不同，生物质发电经济性很大程度上取决于是否有安全、可持续的生物质原料供应和不同的转化技术。此外，不同区域不同国家的生物质原料资源丰富程度不同，也会影响该发电技术经济性。当前，在印度，生物质发电的安装总成本最低，在 450-2600 美元/千瓦之间；中国其次，为 450-3600 美元/千瓦。而北美和欧洲地区，安装总成本就相对较高。这种情况直接反映到了发电成本上，生物质发电 LCOE 在印度和中国的分别为 5 美分/千瓦时和 6 美分/千瓦时。而北美和欧洲地区的成本分别为 9 美分/千瓦时和 8 美分/千瓦时。

5、水力发电

水力发电是一种历史悠久、技术成熟度最高的可再生能源发电技术，是可再生能源电力的主导来源。截止 2016 年底，全球水电累计装机总量达到 1121GW。但随着其他可再生能源技术的发展，水电在可再生能源装机总量中的占比已经开始缓慢下降，从 2010 年的 75% 下滑到 2016 年的 50%。在发电量方面，出现了类似情况，从 81% 降至 70%。近年来，受到建设成本、并网机电设施等成本上升因素的影响，全球水电加权平均安装总成本整体出现了上涨的情况，从 2010 年的 1171 美元/千瓦增加到 2017 年的 1558 美元/千瓦。受此影响，水电 LCOE 从 2010 年的 3.6 美分/千瓦时增长到了 4.7 美分/千瓦时。

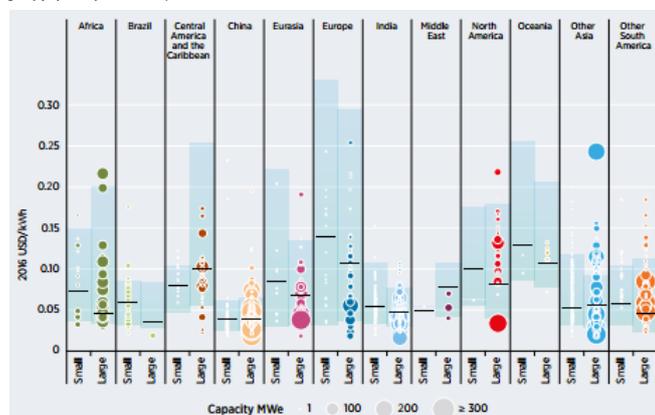


图 4 2010-2016 年不同地区水利发电 LCOE 变化态势（单位：美元/千瓦时）

6、地热发电

截至 2016 年底，全球地热发电累计装机容量达到 12.7 GW，较 2010 增加了 26%。受到物价上涨和钻井成本上升的影响，地热电站的安装总成本也上涨了，从 2009 年 1900- 3800 美元/千瓦增加到了 2017 年的 2000- 5000 美元/千瓦，从而导致地热发电的 LCOE 从 2010 年的 5 美分/千瓦时增长到了 2017 年的 7 美分/千瓦时。

(郭楷模)

牛津能源研究所展望交通运输业未来变革趋势

1 月 17 日，牛津大学能源研究所发布《交通运输业的颠覆性变革》报告⁴，提出了私人交通能源使用中的八项重要预测，主要内容如下：

(1) 尽管全球众多政府出台了促进交通电气化的激励措施或者政策，但电气化并非未来交通运输发展的唯一技术选择

尽管电气化是目前最引人注目的一种车辆改进方式，目前仍在探索众多技术途径以尽可能地减少交通运输中的碳排放（图 1）。车辆电气化主要是由世界各地政府政策推动的，而许多其他技术都是通过私人投资发展起来的，包括风险投资。这些技术中许多都是通过提高内燃机（ICE）效率来改善客运车辆的燃油经济性。

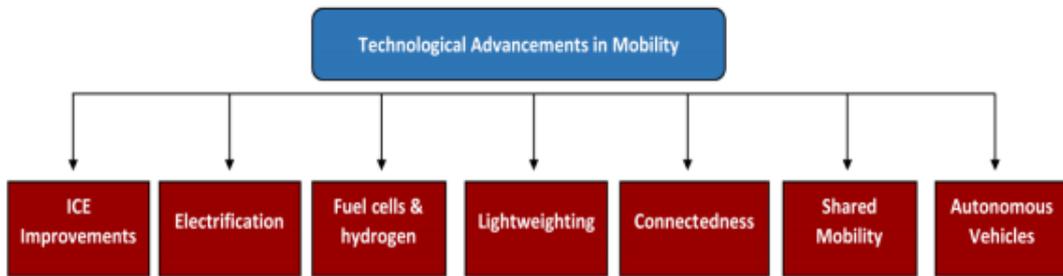


图 1 车辆技术进步的主要方式

(2) 实现全自动驾驶尚需时日

全自动化（也称为 5 级自动化，参见图 2）完全免除了对驾驶员的需求，从而节省了成本。对于货运/商用车辆来说，通过取消驾驶员可以节省成本，从而降低工资成本；对于私人交通而言，通过共享和提高旅行的效率也可以节约成本。5 级自动化技术的发展需要解决两个关键的机器学习问题：首先，建立一个非常准确的模型；其次，使用该模型来预测特定的城市环境。机器人系统在收集有关环境的数据方面非常高效，然而获取这些数据仍然非常具有挑战性。

⁴Disruptive Change in the Transport Sector – Eight Key Takeaways.
<https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2018/01/Disruptive-Change-in-the-Transport-Sector-8-Takeaways.pdf>

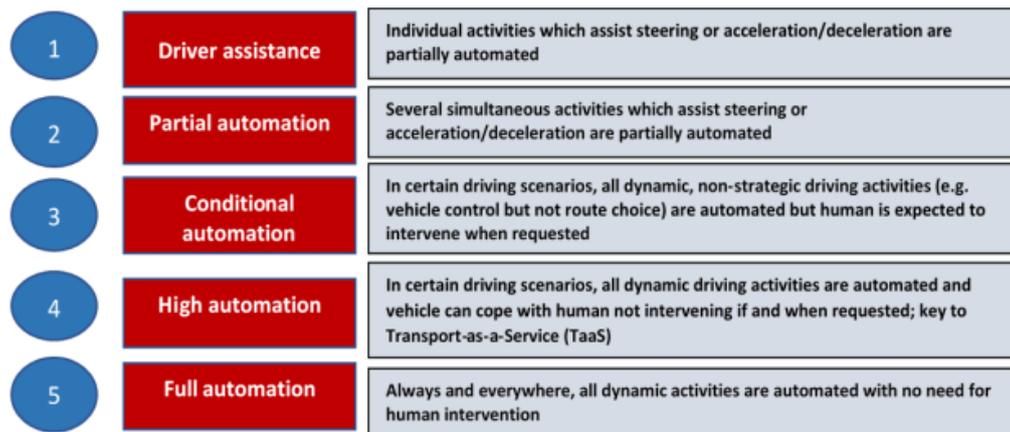


图 2 自动化驾驶车辆的 1-5 等级

(3) 成本是动力电池应用规模扩大的众多关键因素之一

降低车用动力电池技术的成本是当前研究热点，这些技术可以使电动汽车（EV）与内燃机汽车竞争。从 2000 年到 2015 年，电池成本年均下降 12%-14%，而 2016 年的成本则维持在约 200 美元/千瓦时的范围内。美国能源部预计 2022 年的成本将达到 125 美元/千瓦时，届时电动汽车将拥有与内燃机汽车相当的成本竞争力。然而，这取决于影响成本和投资回收期的其他因素，例如燃油税、电动汽车购买补贴、年度行驶里程等。

(4) 电网管理对电动汽车部署至关重要

研究表明，到 2030 年满足电动汽车额外需求所需的电力装机容量将不会成为主要的限制因素。例如，国际能源署（IEA）估计，到 2030 年，在 2°C 情景下满足电动汽车需求所需的额外发电量将只占电力需求总量的 1.5%（图 3）。电网的管理对电动汽车至关重要。在电力行业，电动汽车只是正在进行的转型中的一个组成部分，消费者正在成为产消合一者。因此，电动交通的发展与现有的电力系统是一致的，在预期的范围内，电力系统的基础设施可以提前适应。

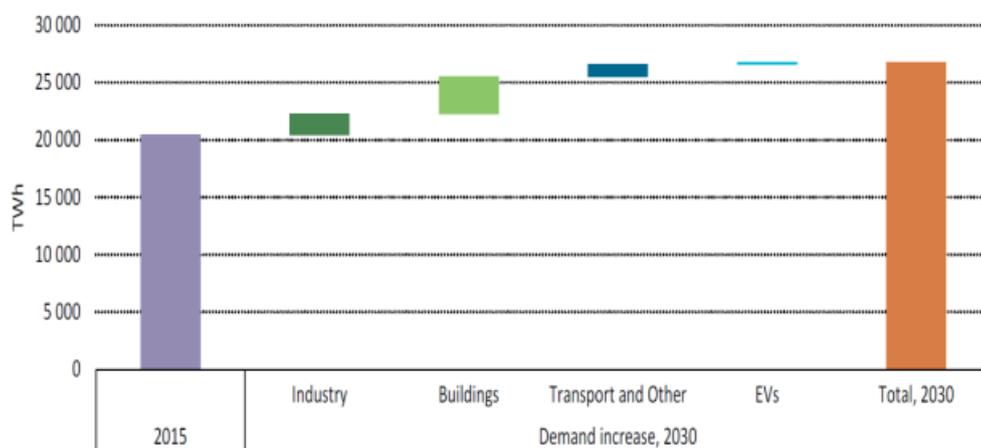


图 3 2°C 情景下电动汽车部署对全球电力需求的影响

(5) 汽车制造商将需要围绕价值创造来调整业务模式

电动汽车的全球销量在 2010-2016 年期间有所增长（图 4），但是汽车行业面临着来自其商业模式急剧变化的独特挑战。汽车行业面临的主要不确定因素包括：哪些消费者将采用电动汽车，速度有多快以及在什么地方。此外，电动汽车将如何与自动化和移动性并驾齐驱？例如，这会导致汽车拥有量和销售额的增加还是减少？与此同时，世界各国政府正在实施法规，要求汽车制造商在不久的将来增加电动汽车的产量。然而，随着电动汽车规模不断扩大，价值创造可能会进一步提升供应链，因此产业结构和就业结构将不得不相应地重组。如果政府过早地加大对电动汽车的监管，则可能会导致供应链上重组工作的短期中断。因此，汽车行业很可能会从碎片化和各种电动模式的发展时期，转向服务和移动业务的整合。

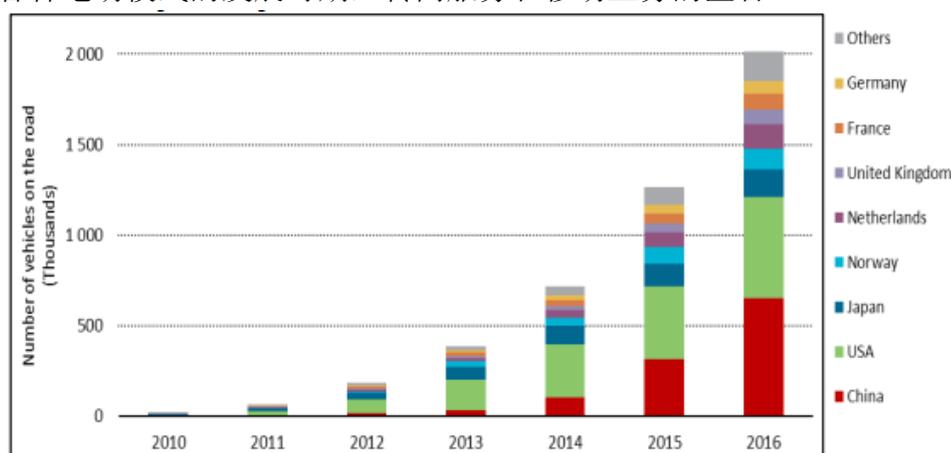


图 4 2010-2016 年全球电动汽车销量

(6) 技术扩散不仅限于成本竞争力

价格是影响消费者选择新技术的关键因素，然而这并非唯一的因素，特别是在那些市场尚未完全发展的国家。消费者采用的电动汽车实际上是在与围绕内燃机汽车建立的整个现有生态系统进行斗争。对经济（成本）要素的关注完全消除了涉及电动车普及和新技术扩散的政治和文化因素。支持家庭采用电动汽车的因素也不同于那些影响电动汽车商业采用的因素。在后者中，最重要的因素是成本。但对于前者，相关因素不仅与经济有关，也与社会偏好和文化变迁有关。研究显示，千禧一代往往开车更少，私家车更少。但目前尚不清楚这是否归因于短期因素，如收入减少和工作不安全感，以及文化偏好的转变。

(7) 新兴市场也将采用电动汽车，主要由政府政策推动，但结果将有所不同

中国和印度是全球最大和第五大汽车市场，预计将占到 2035 年全球石油需求增量的 50% 以上。交通运输是各国石油需求量最大的部分（中国约为 55%，印度为 40%）。由于人均收入超过了临界值，根据历史数据分析显示，如果没有政策措施来改变这一预期轨迹，这些国家的汽车拥有量将呈指数增长。然而，这两个新兴市场都有三个特征，意味着以内燃机汽车为导向的运输系统还没有形成：车辆拥有量低，机动

化程度低以及在公共交通工具上共享出行的比例已经很高。如果要完全取代传统汽车，两国将在扩大电动汽车的规模上面临类似的挑战。然而，由于不同的治理结构，政府将会以不同的方式应对这些挑战，结果也会有所不同。

(8) 交通自动化、电气化和共享化意味着不同组合带来的影响差异很大

自动化、电气化和共享出行（叫车，拼车和汽车共享）相结合，对能源使用和石油需求产生的影响将会导致交通的颠覆性变化。石油公司基于电气化对石油需求影响的预测表明，到 2035 年，1 亿辆电动汽车将取代 150 万桶/日的石油需求。另一方面，除自动化之外，车辆电气化将导致较低的能源使用，因为石油在运输中被取代（这种情况的排放影响取决于电力来源）。除了自动化和电气化之外，共享的移动性可能导致车辆拥有量的下降，据文献估计，到 2050 年，自动化和电气化的比例将降低 50%（图 5）。

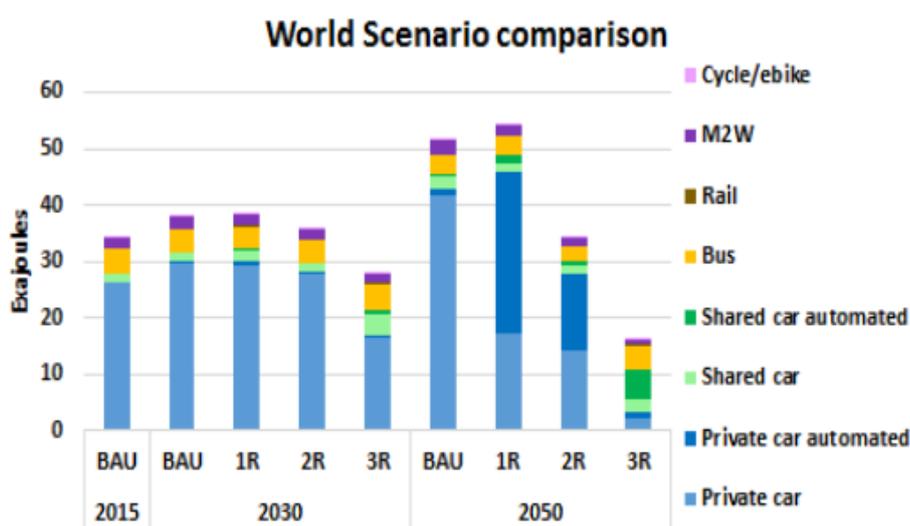


图 5 不同情景模式下的能源使用情况

(吴勘 郭楷模)

项目计划

英国资助 3000 万英镑支持低碳车辆新技术开发

1 月 8 日，英国先进推进中心（APC）宣布资助 3000 万英镑支持开发有助于推动未来低碳汽车新技术的合作项目⁵。资助项目主要包括三大主题，具体如下：

- (1) 减少汽车二氧化碳排放量，改善空气质量；
- (2) 加快支持低排放车辆技术解决方案的开发；
- (3) 有利于增强英国实力并发展供应链的低碳车辆或轻量化系统技术开发。

项目要求无论是城市轿车还是越野车，都必须致力于车载技术和车辆基础设施

⁵Powering the next generation of vehicles: apply for funding.
<https://www.gov.uk/government/news/powering-the-next-generation-of-vehicles-apply-for-funding>

接口的开发，解决英国汽车理事会的四项战略技术挑战，包括：电机和电力电子、能源储存和能源开发、轻型车辆和动力总成结构以及热推进系统。此外，项目必须由一个企业领导，包括一个汽车制造商或一级供应商和一个中小企业。预计项目总成本在 500 万英镑到 4000 万英镑之间，持续时间 18 到 42 个月。

（吴勘 郭楷模）

英国创新机构助力能源企业加速智能电网平台商业化

1 月 3 日，英国创新机构（Innovate UK）帮助 Upside Energy 公司获得 550 万英镑的私人投资，用于加速其基于云计算的智能电网平台的商业化和部署⁶。本次资助主要由 Legal&General 集团和 SYSTEMIQ 投资咨询公司共同领导投资，同时，现代能源、斗牛犬创新集团和个人投资者也参与了投资。

虽然风能和太阳能等可再生能源市场正在快速增长，但这些市场来自多个来源，并且是间歇性的，使得发电站难以持续发电。Upside Energy 公司已经开发出一种在连接供应商和用户的同时减少碳排放的技术，其通过整合日常连接设备（如电池和热水箱）中储存的能源，创建一个自适应的虚拟能量存储库。对于 Upside Energy 的第一个客户国家电网而言，这意味着它可以更好地平衡来自可再生能源的电力供需。如果客户能在高峰时段避免使用电力，还可以节省能源成本或赚取收入。

除了提供业务联系和指导，Innovate UK 还支持 Upside Energy 的多个合作研究和开发项目。其中包括与合作伙伴欧洲夏普实验室、Select Innovations、Tempus 能源公司和曼彻斯特大学共同发起的 47 万英镑的资助，以开发其核心服务和通信协议的试点项目。此外，小企业研究计划（SBRI）资助 4.3 万英镑，用于将家庭能源存储系统安装到 400 个拥有现有光伏系统的家庭中。

Upside Energy 目前正在参与 Innovate UK 资助 290 万英镑的一个创新项目，将开发一个物理和数字网络来整合系统，通过低成本的方式实现加热、冷却、电力和碳的平衡。其他合作者包括克兰菲尔德大学、伦敦南岸大学、Mixergy、Origen Power 和 Terra Firma 地面调查。

（吴勘 郭楷模）

前沿与装备

适量的“针孔”并不会导致钙钛矿太阳能电池性能失效

钙钛矿吸光层的形貌、薄膜结晶度、薄膜的覆盖率等因素均是决定钙钛矿太阳能电池性能优劣的关键因素。但有趣的是，当前一些光吸收层的结晶和形貌并非完美

⁶Smart energy start-up secures £5.5 million investment.

<https://www.gov.uk/government/news/smart-energy-start-up-secures-55-million-investment>

(即光吸收层薄膜没有实现完全覆盖, 存在孔洞) 的钙钛矿太阳能电池仍然可获得高性能, 为此研究人员对此开展了一系列研究。德国亥姆霍兹柏林材料与能源研究中心 Marcus Bär 教授课题组最新研究显示在二氧化钛 (TiO_2) 致密层上沉积氯元素掺杂的甲基碘化铅 ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{(3-x)}\text{Cl}_x$) 钙钛矿薄膜时, 其薄膜覆盖率并没有达到百分百, 但是基于该钙钛矿吸光层的电池依然可以获得优秀的性能, 并利用各种测试手段揭露潜在的机理。研究人员首先利用液相旋涂法在透明导电玻璃 (FTO) 衬底上旋涂一层致密的 TiO_2 电子传输层, 接着在其上面旋涂一层 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{(3-x)}\text{Cl}_x$ 钙钛矿薄膜。扫描电子显微镜图片显示薄膜呈现出明暗不同的颜色, 进一步利用能量色散 X 射线谱对明暗不同区域进行元素成分分析, 结果显示明亮的区域含有 I、Pb、C 元素, 而暗区则含有 O、Ti、Sn 元素, 即 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{(3-x)}\text{Cl}_x$ 钙钛矿薄膜并非完全覆盖 TiO_2 致密层, 存在一些未覆盖的“针孔”。尽管存在“针孔”, 但一系列研究结果显示基于 FTO/ TiO_2 / $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{(3-x)}\text{Cl}_x$ 结构的钙钛矿电池仍然可以获得较为优异的光伏性能。为了深入了解该现象的潜在原因, 研究人员采用理论模拟方法计算出致密层 TiO_2 和空穴层 spiro-MeOTAD 层之间的能垒, 结果显示空穴层 spiro-MeOTAD 的最高占用电子轨道的电势比 TiO_2 的平带电势高出近 2 个伏特, 意味着钙钛矿受光照产生的电子无法越过空穴层, 即不会发生大范围的电子空穴复合, 而这也是为何在钙钛矿薄膜没有完全覆盖致密 TiO_2 层的情况下, 电池依然能够有效地工作, 即空穴层和 TiO_2 致密层本身形成了天然的“电子屏障 (能垒)”, 有效地抑制了一定的复合。但由于, 实际生长条件下形成的钙钛矿薄膜, 存在晶格缺陷、晶界、界面化学作用, 使得实际电子屏障效果并不能与理论完全吻合, 因此钙钛矿薄膜没有覆盖的“针孔”区域对电池的性能就会产生一定负面影响, 但不会导致电池完全失效。该项研究首次系统地研究了“针孔”对钙钛矿太阳能电池性能的影响及其作用机理, 为改善钙钛矿电池性能提供了重要的科学理论参考。相关研究成果发表在《*Advanced Materials Interfaces*》⁷。

(郭楷模)

二硫化钼相转变新机制实现高效稳定光解水制氢

光催化裂解水制氢 (HER) 是通过电化学催化反应将太阳能转化为燃料的过程, 是一种安全、绿色、有效的制氢方法。但传统高效催化剂主要采用贵金属铂、铱和钌, 成本高昂, 因此发展廉价、高活性的产氢催化剂显得意义重大。由加州大学默塞德分校 Vincent Tung 教授课题组牵头的国际联合研究团队首先依托锂离子插入和

⁷ Claudia Hartmann, Golnaz Sadoughi, Roberto Félix, et al. Spatially Resolved Insight into the Chemical and Electronic Structure of Solution-Processed Perovskites-Why to (Not) Worry about Pinholes. *Advanced Materials Interfaces*, 2018, DOI: 10.1002/admi.201701420

超声剥离的方法制备了两维层状二硫化钼纳米片 (ce-MoS₂) 催化剂, 随后利用电流体流学诱导 ce-MoS₂ 从两维相结构向三维相结构的 c-MoS₂, 扫描电镜显示其为多孔的分层级三维结构。得益于相转变, c-MoS₂ 比表面积大幅增加, 达到了 310.8 m²/g (两维的 ce-MoS₂ 仅为 19 m²/g), 意味着催化活性位点也增多了, 达到 5.86x10¹⁷/cm², 比两维的 ce-MoS₂ (1x10¹⁴/cm²) 高出了 3 个数量级, 这使得电解质能与催化剂有了更多的接触面, 有利于电子在电解质与催化电极之间的高效转移, 从而提升催化性能。电化学阻抗谱分析显示, 三维结构的 c-MoS 电解质/催化电极之间的界面传输电阻 *R*_{ct} 大幅下降至 13 Ω (两维 ce-MoS₂ 的 *R*_{ct} 为 275Ω)。采用循环伏安对催化电极的催化性进行测试: 在 0.5M 的硫酸电解液中, ce-MoS₂ 催化剂达到 10 uA cm⁻² 电流密度需要 364mV 的过电位; 相反, 三维相结构的 c-MoS₂ 催化剂只需要 191 mV 的过电位。塔费尔 (Tafel) 曲线测试结果显示, 相比两维相结构催化剂 (108 mV/s) 曲线斜率, 三维相结构催化剂 (66 Mv/s) 的也大幅减少; 上述结果表明, 相转变后的三维结构催化剂催化活性确实得到了大幅改善。更为关键的是, 三维相结构的催化剂能够在 300 摄氏度环境下连续催化循环 5000 次, 展现出优异的催化稳定性 (两维相结构仅能循环不到 1000 次)。该项研究利用全新电流体流学诱发的相转变机制, 制备出了高比表面积、高催化活性的二硫化钼催化剂, 显著增强了催化剂的催化活性和稳定性, 为设计和开发高性能、低成本的产氢催化剂提供了新思路。相关研究成果发表在《Advanced Materials》⁸。

(郭楷模)

新型铂/二氧化钛复合催化剂实现 CO₂ 到 CH₄ 创纪录转化

利用太阳光驱动将二氧化碳 (CO₂) 催化转化燃料或化学品是解决能源和全球变暖问题的有效途径之一。然而, 当前广泛使用的光催化剂缺乏高活性和高选择性, 且反应条件较为苛刻。因此, 开发一种在常温常压下即可通过光驱动实现 CO₂ 催化转化的高活性高选择性的催化剂就显尤为重要。韩国大邱庆尚北道科学技术研究院 Su-II In 教授研究团队开发了一种全新铂纳米颗粒敏化修饰的二氧化钛 (TiO₂) 基光催化剂 (BT), 具备了优异的 CO₂ 催化还原成甲烷 (CH₄) 的能力, 单位时间的 CO₂ 到 CH₄ 的转化率创下了历史之最。研究人员通过将 TiO₂ 暴露于强还原剂硼氢化钠 (NaBH₄) 溶液中, 在低温下迅速还原 TiO₂, 然后通过光化学沉积在还原态 TiO₂ 表面负载铂纳米粒子 (Pt) 获得了负载 Pt 纳米颗粒的 TiO₂ 基催化剂 BT。在模拟太阳光辐照下, BT 催化剂实现了 CO₂ 高效催化还原为 CH₄, 表观量子产率为 12.40%, 单位时间的 CH₄ 产率为 80.35 μmol·g⁻¹, 是迄今为止光催化驱动 CO₂ 还原到 CH₄ 效率的最高值。通过分析 TiO₂ 的理化性质和光学性质, 发现从 NaBH₄ 脱附的氢气 (H₂)

⁸ Y.-C. Chen, A.-Y. Lu, P. Lu, X. Yang, et al. Structurally Deformed MoS₂ for Electrochemically Stable, Thermally Resistant, and Highly Efficient Hydrogen Evolution Reaction. *Advanced Materials*, 2017, 29, 1703863.

产生氧空位，将 Ti^{4+} 的价态改变为 Ti^{3+} ，从而控制了带隙。这种变化增加了光吸收量并且有效地分离了电荷，从而获得更高的二氧化碳催化还原特性。在 TiO_2 样品上负载少量的 Pt 纳米颗粒后催化 CO_2 转化成 CH_4 的速率显著提升，比未负载 Pt 的 TiO_2 增加 29 倍。通过 HR-TEM 分析发现 Pt 纳米颗粒的大小和数量是影响光催化效率关键因素。此外，BT 催化剂还具备了优秀的化学稳定性，每个循环后将 BT-30 在真空中加热，经过五个 6 小时的循环后 BT 催化性能基本无变化。该项研究开发了一种快速、低温的 TiO_2 还原的技术，并通过 Pt 纳米颗粒负载修饰增强催化剂性能，实现了在太阳光驱动下将 CO_2 高效催化转化为 CH_4 ，有助于减少温室气体排放和应对能源短缺问题。相关研究成果发表在《*Materials Today*》⁹。

(朱好婷 郭楷模)

电极分离限制短路区域改善锂离子电池的安全性

锂离子电池 (LIBs) 是技术最为成熟的电化学储能技术之一，被广泛地应用于各类便携式电子设备中。然而，易燃易爆的安全问题是锂离子电池技术广泛部署面临的重要挑战。美国能源部橡树岭国家实验室 Nancy J. Dudney 教授课题组设计了全新的电极结构，较好地克服锂离子电池易燃易爆等安全问题。研究人员的改善电池安全概念是通过在电池发生内部短路之前（即电极发生形变刺穿隔膜之前）将正负电极隔离以避免电池短路失效。基本的破碎电极分离方式是在电极中引入区域裂缝，在受到外部撞击的时候，这些狭缝就可引导电极破碎的走势避免其随意方向破碎刺穿隔膜，从而将电极分离成电隔离的碎片。为了验证上述设想的可行性，研究人员使用不锈钢飞镖刺穿了两个电池，导致短路，研究外界冲击对其电池性能的影响。实验电极采用镍、钴掺杂的锂锰氧正极 ($\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ (LNMC)) / 石墨负极，第一个电池是一个标准的单层袋装电池，其有效面积为 50 cm^2 。第二个电池通过将电极切割一个 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 的块，将其与电池的其余部分电隔离，但共用分离器 and 电解液，从而对电池进行了改造。研究人员采用不锈钢游戏飞镖从 75 厘米的高度通过一个管子将两个电池刺穿。在短路试验之前，两组电池均充电至 4.2 V。在标准电池上投下飞镖后记录的热像图像显示整个电池的温度升高，而改进电池温度的上升仅限于刺穿电池的角落。随着时间推移 3s 后，飞镖附近温度的最大增幅为 19°C ；含有裂缝的改进电池在 4s 后才达到 2°C 。当飞镖强力撞击电池时，标准电池的开路电压直接降到零，电池放电容量降为零。对于改进后的电池，刺穿部分的开路电压也下降到零，但剩余部分的开路电压则没有变化，整个电池仍可正常运行，其可逆容量约为测试前的 93%。这与红外图像显示的改进电池的大部分区域没有升温相一致，并证明了通过引入狭缝将发送短路部门进行限域能够有效地避免电池全范围的

9 Saurav Sorcar, Yunju Hwang, Craig A. Grimes, Su-Il In. Highly enhanced and stable activity of defect-induced titania nanoparticles for solar light-driven CO_2 reduction into CH_4 . *Materials Today*, 2017, DOI: 10.1016/j.mattod.2017.09.005

短路引起小空间的瞬时过热产生的热量聚集，从而防止了电池由于短路过热发送燃烧爆炸等安全问题。研究人员在锂离子电池设计中引入了独特的安全机制，通过限制内部短路来减轻机械冲击对电池安全的影响，防止过热燃烧爆炸问题。为解决锂离子电池易燃易爆的安全问题提供了全新的解决方案。相关研究成果发表在《*Joule*》¹⁰。

（罗卫 郭楷模）

¹⁰ Michael Naguib, Srikanth Allu, Srdjan Simunovic, et al. Limiting Internal Short-Circuit Damage by Electrode Partition for Impact-Tolerant Li-Ion Batteries. *Joule*, 2017, doi: 10.1016/j.joule.2017.11.003

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

微信公众号：CASEnergy

