

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 特朗普政府能源战略新思路初现端倪
- IRENA：2016年全球可再生能源行业从业人员近千万
- IEA：2016年全球电动汽车保有量突破200万辆创历史新高
- IEA提出电力行业低碳转型评估框架
- DOE资助超亿美元用于小企业研发和技术转移项目

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

特朗普政府能源战略新思路初现端倪2
IRENA: 2016 年全球可再生能源行业从业人员近千万3
IEA: 2016 年全球电动汽车保有量突破 200 万辆创历史新高5
IEA 提出电力行业低碳转型评估框架7

项目计划

DOE 资助超亿美元用于小企业研发和技术转移项目9
DOE 资助 1580 万美元用于支持氢能和燃料电池研发 10
美能源部与农业部合作资助 900 万美元开展生物质能研究 11

前沿与装备

美科学家开发自修复功能的硅负极增强锂电池性能 12
科学家首次实现对锂硫电池放电中间产物直接观测 13
醌类负极材料有效改善水系锂电池性能和稳定性 14
科学家首次实现对钴催化分解水反应过程的原位观测 14

本期概要

美国当地时间 2017 年 6 月 26-27 日，由美国能源部能源信息署（EIA）主办的年度能源大会在美国华盛顿特区隆重召开，来自美国政界、学术界和企业界众多能源领域专家汇聚一堂，共同研讨美国能源战略：能源部长 Rick Perry 在会上宣布，特朗普政府的能源战略思路不仅是要实现美国能源独立，还要在世界舞台上具备能源统治地位，为此提出了五点主张：（1）实施全面能源战略，多样化能源结构；（2）美国能够在开发能源实现经济增长的同时保护环境；（3）推动可再生能源并网，化石能源和可再生能源双管齐下；（4）核能是美国能源结构的重要组成部分，需要解决核废料处置问题，确保核能发展安全性；（5）能源是战略资源，将其作为外交政策的工作之一，能够推动实现国家最重要的利益诉求。详见正文。

国际可再生能源机构（IRENA）发布《可再生能源行业就业 2017》报告指出，2016 年全球可再生能源行业从业人员达 980 万人，同比增长 1.1%：全球可再生能源行业重心持续东移至亚洲，全球超 6 成的从业人员集中在该地区；其中，仅中国就有 364 万人从事可再生能源行业，占全球该行业从业人员总数的近 37%；从地域来看，中国（364 万人）、巴西（88 万人）、美国（78 万人）、印度（39 万人）、日本（31 万人）和德国（33 万人）是可再生能源行业从业人员最多的国家；从技术领域来看，太阳能光伏、生物燃料、风电行业的从业人员处于领先地位。全球范围内光伏行业从业人员达到近 310 万人，同比增长 12%；生物燃料行业从业人员近 170 万人；风电行业从业人员达到约 120 万人，同比增长 7%。

国际能源署（IEA）发布《全球电动汽车展望 2017》报告指出，得益于各国政府强力的政策支持以及电动汽车技术的进步，全球电动汽车销量的快速增长，2016 年累计保有量突破了 200 万辆大关，创历史新高：自 2010 年以来全球电动汽车销量一路攀升，纯电动汽车（BEV）销量上涨的态势快于插电式电动汽车（PHEV），其中美国、中国、日本、荷兰、挪威、英国、法国、德国和瑞典等十国是全球最主要的电动汽车市场，这些国家的电动汽车保有量占到全球的 90% 以上。与电动汽车蓬勃发展的市场类似，2016 年充电基础设施（如充电桩）的部署数量也大幅增加 70% 达到 230 万个，略快于同期电动汽车的增速（+60%）。为了应对气候变化，多国政府发起的电动汽车发展倡议提出到 2030 年，将电动汽车的市场份额提升到 30%。IEA 指出，按照 2℃ 情景发展，有 50% 的机会将全球平均升温限制在 2℃ 以内；而为了实现这一目标，到 2040 年电动汽车全球保有量需要达到 6 亿辆。

国际能源署（IEA）发布《电力转型 2017：系统集成与局域电网》报告指出，未来五年可再生能源仍将是全球增长最快的电力来源。然而，实现太阳能光伏和风电等波动性可再生能源的高比例并网仍然面临诸多技术性 or 经济性挑战：面对上述挑战，多个国家已经采取了众多措施，在确保电力系统的成本效益和可靠性的前提下实现了高比例波动性可再生能源的并网。但这些措施并非适用于所有国家，因为不同国家的电力市场结构、物理基础设施和监管机制等方面都存在着显著差异。为此，报告提出了一个普适性的评估框架来衡量各国的电力系统转型。详见正文。

特朗普政府能源战略新思路初现端倪

——美国能源部 EIA 年度能源会议纪要

美国当地时间 2017 年 6 月 26-27 日，EIA 2017 年度能源大会在华盛顿特区隆重召开。会议由美国能源部能源信息署（EIA）主办，参会人包括美国能源部长 Rick Perry、众议院能源与商业委员会主席 Greg Walden、联邦能源监管委员会主席 Colette Honorable、国际能源论坛（IEF）秘书长孙贤胜，以及学术界、能源企业、咨询机构等 900 多人。能源部长 Rick Perry 在会上宣布，特朗普政府的能源战略思路不仅是要实现美国能源独立（Energy Independence），还要在世界舞台上具备能源统治地位（Energy Dominance）。为此提出了五点主张：

1、实施全面能源战略，多样化能源结构。不管是哪种能源来源，致力于开发减排技术。

2、实现经济增长并不意味着要牺牲环境质量，美国能够在开发能源实现经济增长的同时保护环境。

3、推动可再生能源并网，确保电网可靠性。不能完全依赖化石能源，但完全依赖可再生能源也不具可行性，要保证基荷电源。

4、核能是美国能源结构的重要组成部分，需要解决核废料处置问题，确保核能发展安全性。

5、将能源作为外交政策的工作之一，如扩大 LNG 出口等。能源是战略资源，能够推动实现国家最重要的利益诉求。

尽管如此，特朗普目前提出来的这一“能源统治地位”战略思路内涵只有口号，还没有具体清楚的阐释，多位与会专家表示了相当程度上的困惑。

此外，会上多位专家发言和公布的有关报告显示，页岩油气革命以及油气出口政策的转变使得美国的油气产业发展屡创新高，处于空前繁荣，也为政府决策起到了一定程度的支撑。

1、在资源储量方面，页岩技术革命使得美国油气储量潜力大增。以水力压裂、水平钻井为代表的页岩开采技术能够开发横跨美国蕴藏巨量油气资源的二叠纪盆地（Permian basin），据估计这一地区可采油气资源量与世界最大油田沙特 Ghawar 相当，成本低廉，盈亏平衡成本在 22-28 美元，最终产量可达到 800-1000 万桶/日，并且达峰时间将远在 25 年之后，连同伊拉克、伊朗、科威特、沙特将成为全球未来主要的石油产地。

2、在生产方面，预计美国原油产量到 2018 年第一季度将超过 1000 万桶/日新纪录，到 2025 年美国本土原油产量达到 1200 万桶/日。

3、在出口方面，美国原油和成品油出口量自 2010 年以来已经翻了一番多，预计到 2020 年原油出口量将达到 200-300 万桶/日，成为全球领先的出口国。2005 年美国还是世界最大的成品油进口国，而到 2016 年已转变为最大的成品油出口国。2016 年美国炼油利用率已达到 90%，高于世界 83% 的平均水平，预计到 2025 年成品油出口量将超过 600 万桶/日。美国到 2021 年前将再新增 4 个 LNG 港口出口基地，面向全球市场的 LNG 出口能力将超过 110 亿立方英尺/日，成为世界前三的 LNG 出口国，到 2025 年仅次于澳大利亚，占到世界份额的 21%。

在新能源方面，美国可再生能源仍在快速发展，今年 3 月份风电和太阳能发电量之和首次超过总发电量的 10%。美国能源监管委员会主席指出，将可再生能源与电网不稳定性直接联系起来指责是无稽之谈，呼吁更多的可再生能源并网，并认为储能发展将是未来的大事件，网络安全（cyber security）也需重视。

（陈伟）

IRENA：2016 年全球可再生能源行业从业人员近千万

5 月 24 日，国际可再生能源机构（IRENA）发布《可再生能源行业就业 2017》¹ 报告指出，得益于政策扶持和价格下滑，可再生能源行业相关的投资与从业人员数量自 2012 年 IRENA 发布首份报告以来便逐年升高。2016 年，全球可再生能源（不包括大水电）行业从业人员达到 830 万人，同比增长 2.8%；如果将大型水电纳入考虑范畴，可再生能源行业从业人数则攀升至 980 万，较 2015 年增长了 1.1%。全球可再生能源行业重心持续东移至亚洲，全球超 6 成的从业人员集中在该地区；其中，仅中国就有 364 万人从事可再生能源行业，占全球该行业从业人员总数的近 37%。



图 1 2016 年可再生能源行业不同领域从业人员

¹ Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2017.

http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2017.pdf

从地域来看，中国（364 万人）、巴西（88 万人）、美国（78 万人）、印度（39 万人）、日本（31 万人）和德国（33 万人）是可再生能源行业从业人员最多的国家，亚洲继续作为可再生能源行业的就业重心地区，全球有 62%的可再生能源相关工作集中在该地区（图 2），尤其是安装与制造方面的工作。受益于光伏发电行业从业人员的大幅增加，中国可再生能源行业的从业人数同比增加 3.4%至 364 万，遥遥领先其他国家。马来西亚与泰国的相关业者比例也在增加，主要是太阳能产业移入的结果。美国可再生能源从业人员小幅增加了 1%，是风能和太阳能产业快速发展的结果。受光伏发电行业疲软的影响，欧盟范围内可再生能源从业人员继续减少，其中德国光伏行业从业人员较 2011 年大幅减少了近三分之二，尽管如此，德国仍是欧盟可再生能源从业人员最多的国家。受到上网电价补贴取消和土地缺乏的影响，日本光伏行业遭遇了滑铁卢，从业人员大幅下滑 20%。

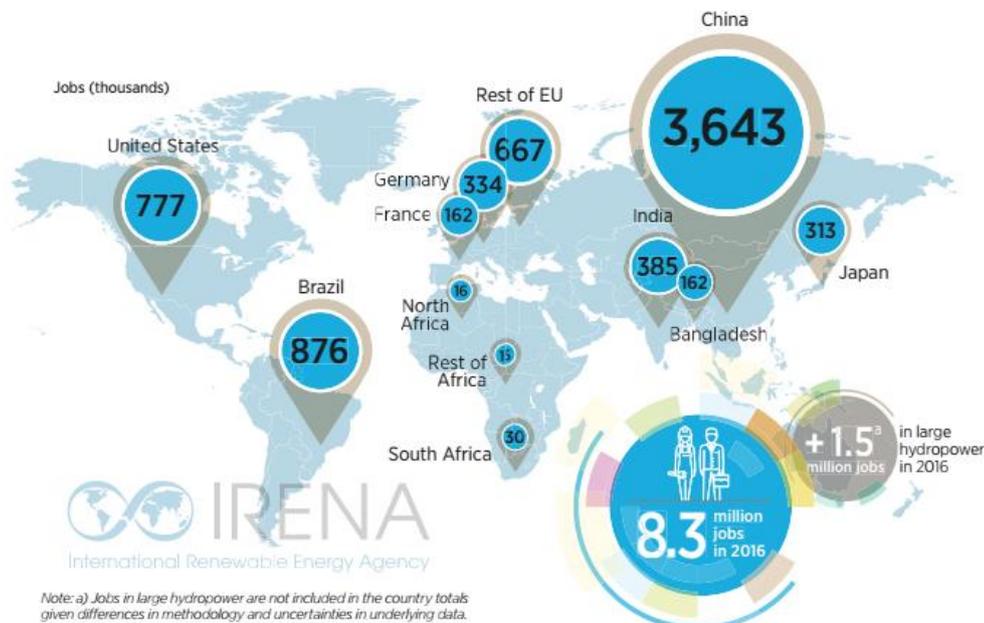


图 1 2016 年全球各地区可再生能源行业（不包括大水电）从业人员

从技术领域来看，2016 年太阳能光伏产业依然是可再生能源产业最大的就业领域，其在制造、设置、维护及运营等方面共创造了总计 310 万的就业岗位，较上一年的 276 万人增加 12%，其中美国、中国和印度出现增长，日本首次出现下降，而欧盟则继续下降。风电行业从业人员达到约 120 万人，同比增长 7%，其中中国风电行业从业人员大幅增加至 51 万，占全球风电从业人员的近一半，同期新增风电装机容量 19.3 GW，占全球新增风电装机总量的三成。生物燃料行业从业人员总数为 170 万人，其中固体生物质（70 万人）和生物沼气（30 万人）是最主要的就业领域，大部分的工作集中在原料供应链。巴西、中国、美国和印度是最主要的生物能源市场。

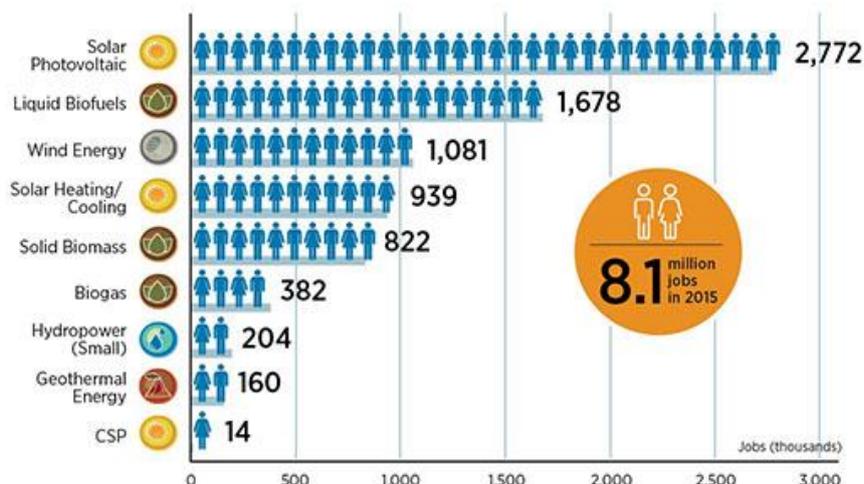


图 2 2015 年全球可再生能源各行业（不包括大水电）从业人员

（郭楷模）

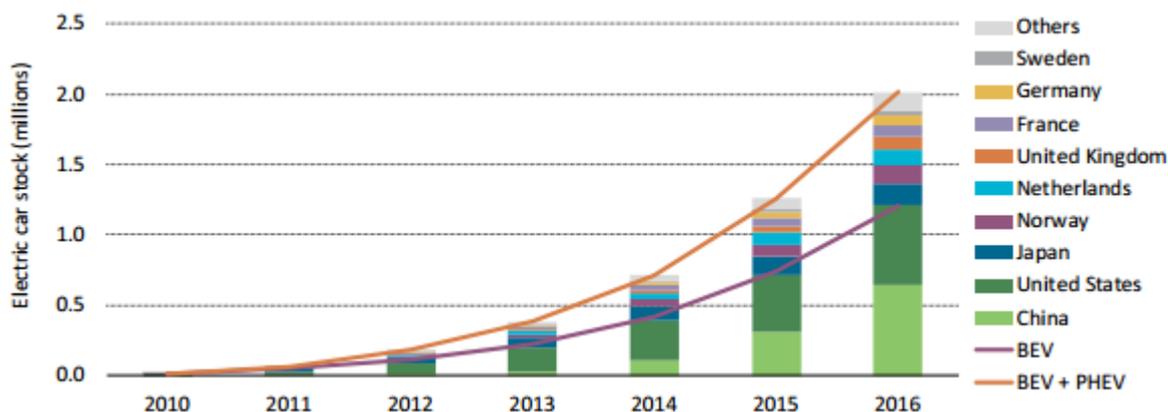
IEA：2016 年全球电动汽车保有量突破 200 万辆创历史新高

6 月 7 日，国际能源署（IEA）发布《全球电动汽车展望 2017》报告²分析了近期全球电动汽车市场的发展现状和未来发展潜力，指出各国政府强力的政策支持以及电动汽车技术的进步推动了全球电动汽车销量的快速增长。2016 年，全球电动汽车新增销量超 75 万辆，环比增长 60%，使得全球电动汽车累计保有量突破了 200 万辆大关，创历史新高。报告强调了目标明确、强有力的政策支持和技术进步会促使电池性能进一步提高、成本进一步下降，从而继续推动全球电动汽车市场持续增长。报告要点如下：

（1）自 2010 年以来全球电动汽车销量一路攀升（图 1），纯电动汽车（BEV）销量上涨的态势快于插电式电动汽车（PHEV），其中美国、中国、日本、荷兰、挪威、英国、法国、德国和瑞典等十国是全球最主要的电动汽车市场，2016 年上述国家的电动汽车保有量占到全球的 90% 以上。其中，挪威的电动汽车市场份额全球最高，达 29%；荷兰紧随其后，为 6.4%；瑞典则以 3.4% 的比例排名第三。中国、法国和英国的电动汽车市场份额均超过 1%，接近 1.5%。2016 年，中国电动汽车市场一片欣欣向荣，同年该国电动汽车销量在全球总销量中的占比超过 40%，是同期美国销量的 2 倍多，使得中国的电动汽车保有量首次超过美国，占全球电动汽车总量的近三分之一，成为全球最大电动汽车市场。与此同时，中国也是世界上电动两轮车（自行车和摩托车，2 亿辆）和电动公交车（30 万辆）保有量最多的国家。尽管电动汽车销量增加了，但其在全球汽车保有量中的占比仅为 0.2%，而且其保有量占比的年度增幅也是逐年下降，从 2014 年 85% 下降到 2016 年的 60%，因此电动汽车想

² Global EV Outlook 2017. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf

要获得更高的普及率仍然需要政策扶持。



注：BEV-纯电动汽车；PHEV-插电式电动汽车

图 1 2010-2016 年全球电动汽车保有量发展态势

(2) 与电动汽车蓬勃发展的市场类似，2016 年充电基础设施（如充电桩）的部署数量也大幅增加 70% 达到 230 万个，略快于同期电动汽车的增速（+60%），为电动汽车的长途行驶提供保障。尽管如此，就总量而言，电动汽车的数量仍远远多于充电基础设施，两者的比例大概是 6:1；且主要是私人充电设施，公共充电设施较为匮乏。

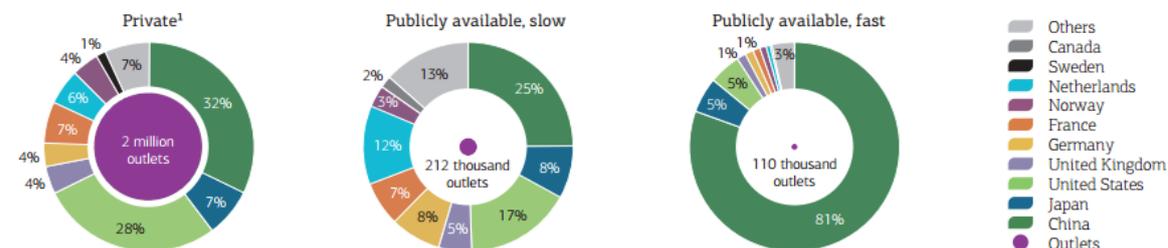


图 2 不同国家电动汽车、快速充电桩、慢速充电桩的市场份额

(3) 自 2009 年以来，动力电池组的价格已经下降了一个数量级，且能量密度增长了 6 倍。随着研发力度加大、技术突破与进步，动力电池成本将持续快速下滑，同时能量密度将不断提高，使得电动汽车的续航里程增加，从而让电动汽车性价比能够匹敌传统内燃机车辆，将会推动电动汽车市场规模不断扩大。IEA 预测，到 2020 年全球电动汽车保有量将在 900 万~2000 万辆之间，到 2025 年将在 4000 万~7000 万辆之间（图 3）。

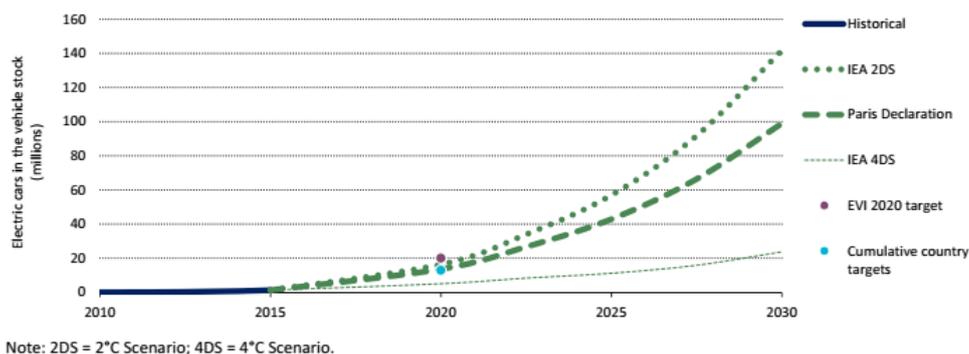


图3 不同情景下到2030年电动汽车保有量发展趋势预测

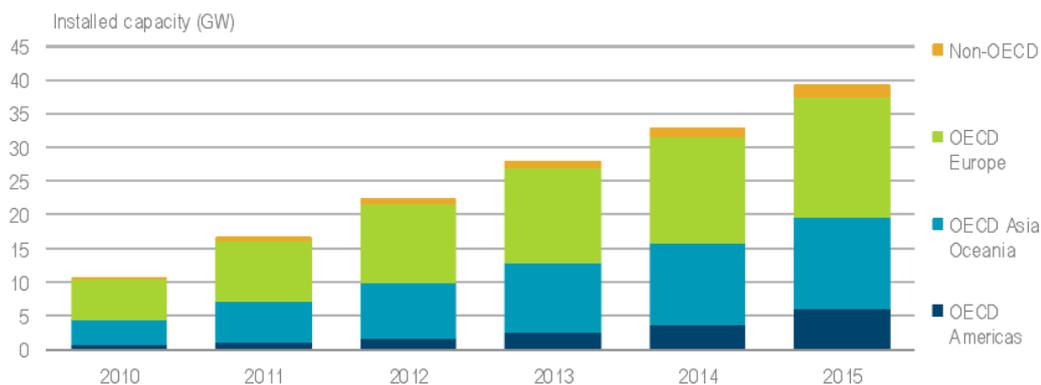
(4) 目标明确、强有力的政策对电动汽车的未来发展至关重要。尽管过去十年来成本和能量密度有了显著改善，但电池组价格仍然较为昂贵，从而推高电动汽车的零售价格。在电动汽车技术部署的当前阶段，电动汽车采购和化石燃料税的财政激励措施将继续扮演关键角色，有助于将进一步降电池和其他组件的成本，促进电动汽车更大规模部署。此外，为了应对气候变化，由多国政府发起的电动汽车发展倡议（EVI）计划到2030年，将电动汽车在新车总体销量中占比提升到30%。发起这项倡议的政府包括中国、法国、德国、英国、美国、印度等，并计划下一个十年后只销售电动汽车。IEA指出，按照2°C情景发展，有50%的机会将全球平均升温限制在2°C以内；而为了实现这一目标，到2040年电动汽车全球保有量需要达到6亿辆。相比之下，当前200万辆的电动汽车保有量是远远不够的，电动汽车市场还需要大规模扩张。

（郭楷模）

IEA 提出电力行业低碳转型评估框架

6月2日，国际能源署（IEA）发布《电力转型2017：系统集成与局域电网》指出³，尽管全球诸多国家的电力需求增长放缓，但可再生能源电力装机容量却蓬勃发展。未来五年，可再生能源仍将是全球增长最快的电力来源。由可再生能源引领的电力行业的转型正在进行当中，如在太阳能光伏和风能领域已经取得了令人瞩目的成绩（图1）。然而，实现太阳能光伏和风能等波动性可再生能源的高比例并网仍然面临诸多技术性或经济性挑战，如电网的稳定性问题、市场监管框架和政策的匹配性等。毫无疑问，大规模的部署和并网可再生能源势必对传统的电力市场、政策和监管框架带来严峻挑战。

³ Status of Power System Transformation 2017. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/status-of-power-system-transformation-2017.html>



Notes: Residential PV is defined as smaller than 20 kilowatts (kW) installed capacity; OECD = Organisation for Economic Co-operation and Development.

图 1 2010-2015 年全球居民住宅太阳能光伏装机容量变化态势

过去几十年来，多个国家已经采取了很多措施，在确保电力系统的成本效益和可靠性的前提下实现了高比例波动性可再生能源的并网。这些措施包括先进的技术解决方案、改进的规划做法、以及政策和市场机制。但这些措施并非适用于所有国家，因为不同国家的电力市场结构、物理基础设施和监管机制等方面都存在着显著差异。报告提出了一个普适性评估框架来衡量各国的电力系统转型，包括四个方面：

（1）电力市场和运营

电力市场的结构以及在批发和零售各层面的运营方式是电力系统转型的主要动力。新兴市场框架和改进的系统运营可以帮助经济有效地管理拥有高波动性可再生能源占比的输电基础设施；零售电价结构和监管模式的变化可以帮助激活和吸引需求方资源，为系统转型做出贡献。

（2）电力规划和基础设施

电力系统规划决定了发电、输配电系统的未来架构。新兴的电力系统规划和电网扩建综合方法可以促进电力系统的有效转型，同时保持经济性和可靠性；还可以使电网能够有效集成更大范围的技术创新。

（3）采用创新技术

一系列新兴创新技术，包括智能技术、灵活资源和系统友好型波动性可再生能源，可以实现更灵活、可靠和价格合理的电力系统。智能技术涉及一个更智能的未来电力系统，包括能源系统数字化、数据采集和系统元件，以实现实时可见性。灵活资源包括储能技术和需求响应。而系统友好型波动性可再生能源的部署可最大限度地降低整体系统成本。

（4）效率和行业耦合

电力行业更高的能源效率有助于降低电力系统和用户层面的成本。交通运输、供暖和制冷部门的电气化，结合电力市场需求方跨部门整合的更广泛趋势，可以增加清洁能源部署的效益，加快向低碳电力系统的转型。

（吴勘 郭楷模）

项目计划

DOE 资助超亿美元用于小企业研发和技术转移项目

6月20日，美国能源部（DOE）宣布在“小企业创新研究（SBIR）和技术转移（STTR）”计划框架下资助1.16亿美元，用于支持联邦研究机构与全美40个州遴选出的184个中小微企业开展8个主题领域的合作研发项目⁴，将分为两个阶段来开展。第一阶段共有174个项目，用于小企业研究新的技术可行性创新；第二阶段共有89个项目，用于开发新的原型或流程来验证其第一阶段的研究成果。小企业研发项目在8个主题领域的具体分布情况如下：

国防核不扩散：包括第一阶段12个项目和第二阶段6个项目。研发远距离毫米波无源电子标签和放射性核素粒子收集静电除尘系统；核燃料生产设施的检测和监测，提高扩散检测系统和分析人员的效率和效能；增加国家安全，降低现场部署的军事人员的安全隐患。

电力传输和能源可靠性：包括第一阶段4个项目和第二阶段3个项目。开发无人机技术以快速评估架空配电线路的状况，减少停电时间，保持员工的安全；开发新的方法来分析空中无人机的基础设施损坏，并实时发送和报告损伤评估；以及开发智能电网自动化应用与通信平台等。

能源效率与可再生能源：包括第一阶段58个项目和第二阶段32个项目。现有生物质原料和生物能源生产的分馏和脱水；提高使用锂离子电池储能的经济性；开发波浪能海水淡化系统；开发改进的高性能电动汽车电池、聚光光伏太阳电池；开发用于地热热泵系统的先进低成本室内热交换器；开发控制和通信软件平台，对电池储能和太阳能建筑进行集成控制，使电网能够集成更高比例的可再生能源和分布式能源。

环境管理：第二阶段1个项目。减轻在污染地区修复、清理、维护、退役和拆除活动中的汞危害，开发可剥离涂层以捕获汞等污染物，并以清晰可见和鲜明的颜色进行标识。

化石能源：包括第一阶段17个项目和第二阶段11个项目。创建一种便携式仪器来测量煤炭中的稀土元素，从而实现具有成本效益的提取；开发改进的地质力学技术，以在广泛的地质条件下表征单个和多个页岩裂缝，从而实现更有效的生产和更可靠的环境风险评估，包括增强对潜在地下水源的保护。

⁴ Department of Energy Announces \$116 Million for Small Business Research and Development Grants. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-116-million-small-business-research-and-development-grants>

聚变能源科学：包括第一阶段 19 个项目和第二阶段 9 个项目。开发紧凑型聚变反应堆的高温超导电缆；聚变堆面向等离子体的钨材料增材制造；开发先进的材料和装配概念，制造可靠的强磁场磁体，以及用于发电和输电系统的大型电动机、发电机和电源线；开发大容量液冷氙涡旋真空泵，以支持聚变能的发展；开发改良的低成本 Nb₃Sn 超导体电线，用于 DOE 先进核聚变计划。

高能物理：包括第一阶段 37 个项目和第二阶段 16 个项目。开发粒子物理实验的皮秒定时测量 IC、Wakefield 加速器的低发射高亮度电子源以及超低背景时间投影 Alpha 粒子检测器；开发中微子聚焦电磁装置，用于粒子加速器和储存环的研究；为电子加速器开发高电流和低发射电子束的高性能电子枪，改进电子显微镜和光子检测器的应用。

核能：包括第一阶段 27 个项目和第二阶段 11 个项目。开发基于磁性轴承的替代轴承技术，以解决超临界 CO₂ 系统在高温和高压运行条件下的技术障碍；开发新型电力系统为超临界 CO₂ 动力循环提供先进的空气冷却器；为计算物理软件的自动化网格生成开发新的工具包，以提高可访问性和开发速度；开发干核储罐精密远程密封技术；以及为核材料控制开发高分辨率的宽带光谱。

(吴勘 郭楷模)

DOE 资助 1580 万美元用于支持氢能和燃料电池研发

6 月 8 日，美国能源部(DOE)宣布在“能源材料网络”(Energy Materials Network, EMN) 计划⁵框架下拨款 1580 万美元用于支持氢能和燃料电池研究新项目⁶，旨在探索和开发低成本、高性能新材料来改善氢能制备、存储工艺和车载燃料电池的性能，扩大燃料电池汽车的部署，提高车辆能效，减少碳排放，维持和增强美国交通运输业的经济竞争力。本次资助的项目将关注四大主题领域，具体内容参见表 1。

表 1 氢能和燃料电池研究项目四大主题具体内容

主题	研究内容	项目承担机构
非贵金属催化剂和电极	开发廉价非贵金属（如铁、钴）的高性能催化剂和电极，替代当前氢燃料电池中的铂族金属催化剂和电极，降低电池成本	电催化联盟
先进水裂解材料	为电催化、光催化和太阳能热化学水解制氢的方法，开发高性能水裂解催化剂，提高制氢效率	先进水裂解材料联盟
先进储氢材料	开发新型高性能固态储氢材料，改善车载储	先进储氢材料联盟

⁵ “能源材料网络”于 2016 年 2 月启动，围绕清洁能源行业从早期研发到制造各个阶段所面临的最迫切的材料挑战问题，通过以国家实验室为基础组建的联盟来加速创新，详细信息参看本快报 2016 年第 5 期。

⁶ Energy Department Announces \$15.8 Million Investment for Innovation in Hydrogen and Fuel Cell Technologies.

<https://energy.gov/articles/energy-department-announces-158-million-investment-innovation-hydrogen-and-fuel-cell>

	氢设备的性能	
低成本高强度碳纤维	开发新工艺来制备碳纤维材料,增强材料的强度同时降低成本,从而降低车载储氢罐的成本	轻量化材料联盟

(郭楷模)

美能源部与农业部合作资助 900 万美元开展生物质能研究

6月5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,于2017财年共同资助900万美元开展生物质能研究开发工作⁷,旨在开发经济和环境可持续的可再生生物质资源,增加生物燃料和生物基产品的普及度,让美国的能源结构更加多样化,以促进美国能源独立。其中,DOE将遴选1-6个项目进行资助,USDA-NIFA则遴选3-14个项目进行资助,每个受资助项目将获得50~200万美元不等的资金。本轮项目招标将关注三大技术主题,包括:生物质原料开发、生物燃料与生物基产品开发和生物燃料开发影响分析,具体内容参见表1。

表1 2017财年生物质能研发项目具体内容

技术主题	项目内容
生物质原料开发	<ul style="list-style-type: none"> • 为生物燃料和工业作物产品开发具备专属特性的生物质原材料,包括:更高的产率、更广泛的种植范围、低化学处理要求等。 • 开发先进生物质作物的培育和管理技术,以提高产率,同时不损害土壤和水资源。 • 开发与生物质转化技术匹配的新型设备和系统,用于生物质原料的收割、预处理、运输和存储。 • 替代废弃物的创新利用以减少生物质原料开发的成本、降低环境影响和可再生能源系统的复杂性。 • 将生物质原料生产流程整合到现有的作物土地管理政策里,采集相关的管理数据以建立一个管理实践数据库。
生物燃料和生物基产品开发	<ul style="list-style-type: none"> • 开发多种具备成本效益的纤维素生物质制生物燃料、生物基产品的制备工艺。 • 开发新的生物炼制技术(如热转化、催化转化等)提高生物基产品多样化,如生物质化学品、动物饲料等。 • 改进生物质化学和物理的分离工艺,降低运营成本。 • 提高商业化生物基产品的产量和性能。 • 建立一个生物燃料、生物基产品规模化制造厂试点。
生物燃料开发影响分析	构建系统的评价方法和分析模型对生物燃料开发项目进行全生命周期的评估,包括成本、环境、社会和经济影响。

(郭楷模)

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>

美科学家开发自修复功能的硅负极增强锂电池性能

硅 (Si) 负极材料具有极高的理论比容量 (4200 mAh g^{-1}), 然而充电过程中硅负极的体积会急剧膨胀, 最终出现电极破损, 导电性大幅下降, 电极失效, 电池容量急剧下降, 这一问题成为 Si 负极实际应用的一大障碍。伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校 Nancy R. Sottos 教授带领的研究团队开发了具备自我修复功能的新型 Si 负极, 克服了充放电循环过程中出现的体积膨胀和破裂问题, 增强了锂电池的稳定性和寿命。研究人员将胺基功能化的 Si (表示为 Si-NH₂) 纳米颗粒、导电粉末 (炭黑) 和丙烯酸 (PAA) 在水中混合并干燥以形成复合 Si 电极, 在混合过程中, 来自 Si-NH₂ 的胺基团引起 PAA 聚合物的羧酸脱质子, 并在 Si 颗粒/PAA 聚合物粘合剂界面处形成离子铵羧酸盐。在阴极制造过程中, 在 Si 颗粒表面的胺基和 PAA 粘结剂上的羧基之间容易形成离子键, 并通过 X 射线光电子谱和拉曼光谱证实了上述结果。更为关键的是, 该离子键具备了动态变化的能力, 使得复合 Si 负极具备了自我修复功能, 具备了一定的弹性能够克服体积膨胀引起的不可逆形变问题。电化学测试显示, 基于新型 Si 复合阳极锂电池在 2.1 A g^{-1} 的放电电流密度下, 经过 400 次循环后比容量仍高达 1147 mAh g^{-1} , 容量保持率高达 80%; 相反传统 Si 负极锂电池在相同条件下循环 400 次后, 容量出现大幅度衰减, 保持率仅为 65%; 表明了新型 Si 负极可以增强电池的稳定性; 更为关键的是, 在更高的放电电流密度 (4.2 A g^{-1}) 仍可保持 1150 mAh g^{-1} 的高容量, 表现出优秀的倍率性能。该项研究创新性地通过在 Si 纳米颗粒界面处构建动态离子键制备出了具备自我修复功能的 Si 负极, 克服了 Si 负极体积膨胀引起的不可逆形变问题, 有效地提高了 Si 复合负极锂电池的循环寿命和可靠性, 为设计和开发高性能的锂电池负极材料提供了新思路。相关研究工作发表在《*Advanced Functional Materials*》⁸。

(郭楷模)

⁸ Sen Kang, Ke Yang, Scott R White, et al. Silicon Composite Electrodes with Dynamic Ionic Bonding. *Advanced Energy Materials*, 2017, 1700045, DOI: 10.1002/aenm.201700045.

科学家首次实现对锂硫电池放电中间产物直接观测

锂硫电池凭借其高比能量、低成本和环境友好等优点而受到了广泛关注。然而，聚硫化物穿梭效应引起的电池循环寿命和容量迅速衰减，成为该电池技术实现商业化的一大障碍，而导致这一问题的根源在于对锂硫电池的反应机理不甚明了。瑞士保罗谢乐研究所 Claire Villevieille 教授课题组研究发现，将微量的石英粉末添加到锂硫电池当中，可以引发电池循环过程中间溶解在电解质中无序的可溶性多硫聚物吸附在石英颗粒上形成有序结构，从而实现对多硫聚物中间产物的首次 X 射线直接探测，对锂硫电池反应机理有了进一步的深入认识；同时抑制电池的穿梭效应，增强电池的循环寿命，研究人员将适量的石英粉末（即 SiO_2 粉末）添加到电解质中，随后对电池进行充放电循环测试并用 X 射线来追踪其循环过程中的产物。结果显示，放电开始后，晶体硫正极 (S_8) 的衍射峰快速消失，随之在 25.56° (PS1) 和 28.32° (PS2) 出现了两个全新的、此前研究从未探测到的衍射峰，属于硫正极被还原形成的中间产物 Li_2S_8 多硫聚物。但是随着放电进一步进行，PS1 和 PS2 两个衍射峰强度逐渐减弱，而 Li_2S 的衍射峰逐渐增强，这主要是 Li_2S_8 不稳定进一步被还原成 Li_2S_6 最终被还原形成 Li_2S 。而当进行充电时，则观测到了相反的实验现象，即 Li_2S 的衍射峰逐渐减弱，PS1 和 PS2 两个衍射峰强度逐渐增强，但充电完成时候则 PS1、PS2 基本消失，而 S_8 的峰再次出现。有趣的是，在不含 SiO_2 纳米粉末电解质的锂硫电池中，X 射线则无法探测到上述的衍射峰变化过程。通过扫描电镜对比研究发现，在放电过程中，含有 SiO_2 纳米粉末的锂硫电池的隔膜表面形成了一层光滑连续的涂层，经过 X 光电子能谱核实该涂层为多硫聚物，且随着放电深入涂层逐渐消失，这与 X 射线探测的结果吻合。研究人员指出，之所以能够探测到原先无法探测到的多硫聚物可溶性中间产物，主要原因在于 SiO_2 纳米粉末能够将多硫聚物吸附使其形成有序的结构。研究人员进一步探究了 SiO_2 添加剂对电池性能的影响。实验结果揭示，含有 SiO_2 纳米粉末的电池其初始放电比容量为 $\sim 1080 \text{ mAh g}^{-1}$ ，比无 SiO_2 粉末的电池 ($\sim 870 \text{ mAh g}^{-1}$) 高 25%；30 次循环后，这一性能差距被进一步拉大到 38%，即含有 SiO_2 电池比容量为 830 mAh g^{-1} ，而无 SiO_2 电池仅为 600 mAh g^{-1} ，且前者库伦效率高达 90%，后者仅为 78%，表明了 SiO_2 添加剂可以增强锂硫电池的性能和循环寿命。该项研究成功实现了对锂硫电池充放电循环过程中间产物的 X 射线首次直接探测，对电池的反应机理有了进一步的深入认识，为抑制多硫聚物穿梭效应，设计和开发高性能的锂硫电池提供了重要的理论科学参考。相关研究工作发表在《*Nature Energy*》⁹。

(郭楷模)

⁹ Joanna Conder, Renaud Bouchet, Sigita Trabesinger, et al. Direct observation of lithium polysulfides in lithium-sulfur batteries using operando X-ray diffraction. *Nature Energy*, 2017, (2): 17069, DOI: 10.1038/nenergy.2017.69

醌类负极材料有效改善水系锂电池性能和稳定性

水系电池以不可燃的水溶液作为电解液，与非水系电池相比，具有安全、廉价、环境友好等优点，其可靠性非常适用于大规模的储能领域。然而，现有的水系电池普遍存在循环寿命短的问题，制约了该类电池技术的普及应用。美国休斯顿大学 Yan Yao 教授课题组研制出一种来源丰富、成本低廉的适用于各类水系电池的通用负极材料：醌类有机化合物。研究人员通过大范围的筛选实验发现，醌类（1,2-苯醌衍生物 PTO）电极能在酸性电解液（34 wt% 硫酸）中工作，且容量比铅（Pb）高，1,2-苯醌衍生物 PTO 的充电产物的质子传导能力远远高于铅的放电产物硫酸铅，因此无硫酸盐化的问题，而且 PTO 具有极佳的快速充放电性能，三分钟内能充电 84%。PTO 能在深度充放电下循环超过 1500 次后而无明显容量衰减，该稳定性远远超过任何铅酸电池。研究人员在中性电池的研究中，采用 PTO 的聚合形式 PPTO 作为负极，PPTO 的容量是水系锂离子电池标杆负极材料磷酸钛锂（ $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ ）的两倍，而且 PPTO 在深度循环 3000 次后容量仍保持在 80%，与最稳定的水系锂电池负极性能相当。PPTO 还首次实现了在水系锂离子电池中的氧循环，由于其对氧和碱的稳定性使之能够承受苛刻的“氧循环”，这是它与目前负极材料的最大区别。研究人员在碱性电池的研究中，运用了工作电位更低的 1,4-苯醌聚合物 PAQS，虽然 PAQS 的容量和工作电位不及目前商品化的碱性电池负极材料中循环寿命最长的储氢合金（MmH），但是在低温环境下，PAQS 具有明显的优势，它对温度的敏感性远远小于储氢合金，有望解决镍氢电池在低温环境中容量和功率衰减的问题。该项研究开发了全新的醌类电极材料，应用于水系电池，大幅增强了电池的性能、稳定性和电池的安全性。为设计和开发高性能的水系电池电极材料开辟了新思路。相关研究工作发表在《*Nature Materials*》¹⁰。

（罗卫 郭楷模）

科学家首次实现对钴催化分解水反应过程的原位观测

利用催化剂通过光解水方式来制备氢气，是利用太阳能的重要途径。钴（Co）催化剂凭借来源丰富、成本低廉、催化效率高等优点成为研究人员关注的重点。然而，目前人们对钴催化的放氧反应中氧氧键的键合作用机理并不太了解。由美国能源部阿贡国家实验室 Daniel G. Nocera 教授课题组牵头的联合研究团队利用先进的光子源设施首次实现了对水裂解过程的动态观测，实现了对钴氧化态的直接测量，对水裂解的反应机理有了更加深入的认识，为催化裂解水产氢技术发展奠定了重要的理论参考。研究人员通过多种先进的光源技术对电化学生成的 $\text{Co(III)}_2(\text{IV})_2$ 立方

¹⁰ Yanliang Liang, Yan Jing, SamanGheytani, et al. Universal quinone electrodes for long cycle life aqueous rechargeable batteries. *Nature Materials*, 2017, DOI: 10.1038/nmat4919

烷的稳定性提供详细的光谱分析，包括原位 X 射线发射，研究 $\text{Co(III)}_2\text{(IV)}_2$ 立方烷电子自旋态，以及红外区间电荷转移 (IVCT) 波段对 $\text{Co(III)}_2\text{(IV)}_2$ 立方烷进行光谱分析。结果显示双重氧化态立方烷 $\text{Co(III)}_2\text{(IV)}_2$ 比单一氧化态 Co(IV)_2 立方烷具有更大的重组能和更小的电子传递速率常数。光电化学 X 射线吸收数据进一步显示光谱随立方烷静止状态的连续氧化而变化。 $\text{Co(III)}_3\text{(IV)}$ 和 $\text{Co(III)}_2\text{(IV)}_2$ 物种的 IVCT 谱带表明它们表现出罗班达二级 MV 物种 (Robin-Day class II MV species.) 的特征。DFT 计算表明大量电荷在 $\text{Co(III)}_2\text{(IV)}_2$ 核心内聚集，致使在立方烷的边缘产生反铁磁耦合 Co(IV) 位点- Co(IV)_2 二聚体。这种反铁磁交换耦合属于氧化钴催化的析氧反应 (OER) 过程，因为交换耦合将电荷定位在在双钴位点，而以金属为中心的单重态可以将单重态转化为氧自由基，为直接 O-O 耦合的提供绝热反应路径，该钴催化的放氧反应具体路径为：首先，两个氧原子形成的桥连接着两个钴离子，而每个钴离子的另一边连接在水分子上，此时，物种相当稳定。随后，钴离子加上额外的正电荷，钴由三价态变为四价态。当两个价态为 4 的钴离子接触时，电荷转移导致水分子的氢原子解离，使钴原子仅与氧离子键合。接着，钴中心各自从新暴露的氧原子接收多余的电子。最后，两个氧之间形成键，称为过氧化物的分子中间态，其可被快速氧化以释放氧分子。在该过程中从水中获得的电子可用于制造燃料。该项研究首次实现对氧化钴 (Co_4O_4) 催化剂在光解水制氢反应过程中的放氧反应 OER 过程的原位观测，揭露了潜在的反应机理，对光解水制氢燃料的发展有重大推动作用。相关研究工作发表在《PNAS》¹¹。

(朱妤婷 郭楷模)

¹¹ Shilin Mei, Charl J Jafta, Iver Lauermann, et al. Porous Ti_4O_7 Particles with Interconnected-Pore Structure as a High-Efficiency Polysulfide Mediator for Lithium-Sulfur Batteries. *Advanced Functional Materials*, 2017, 1701176, DOI: 10.1002/adfm.201701176.

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

