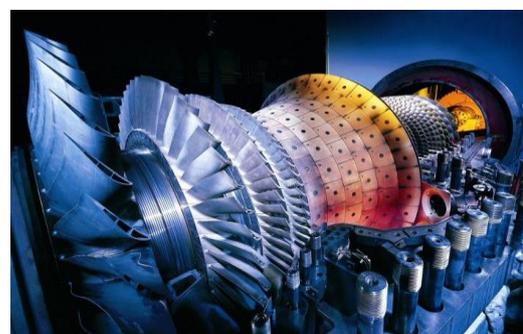


中国科学院武汉文献情报中心

中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心

2016年第17期（总第271期）

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 德国议会通过能源转型三大修正案
- 欧盟委员会提出低碳交通战略框架
- 欧洲光伏产业协会：2020年全球光伏累计装机将达500 GW
- 2016年上半年欧洲海上风电产业投资创140亿欧元新纪录
- IEA分析中国参与撒哈拉以南非洲地区电力发展及影响

目 录

决策参考

德国议会通过能源转型三大修正案2
欧盟委员会提出低碳交通战略框架4
欧洲光伏产业协会：2020年全球光伏累计装机将达500GW5
2016年上半年欧洲海上风电产业投资创140亿欧元新纪录7
IRENA提出扩大可再生能源投资规模建议8

中国研究

IEA分析中国参与撒哈拉以南非洲地区电力发展及影响9

项目计划

DOE资助氢能和燃料电池技术研发11
日NEDO资助太阳能发电安全性和循环利用研发项目12

前沿与装备

康奈尔大学开发新型电化学体系同时实现碳捕集和发电13
新型X射线显微技术实现锂电池介观尺度原位实时观测14
美培育新型光合细菌固氮酶实现二氧化碳到甲烷一步酶促转化 ..14
铁电绝缘体助力光伏转换效率突破S-Q理论极限15



我中心现已开通微信公众号 (CASEnergy)，欢迎扫码关注

本期概要

德国联邦参议院和联邦议院一致通过了能源转型相关的三大修正案，包括：**(1)《可再生能源法案(2017年版)》；(2)《电力市场法案》；(3)《能源数字化转型法案》**：新法案对现有的可再生能源政策做出了系统的调整，旨在明确德国下一阶段能源转型的发展思路和原则，为德国可再生能源未来发展提供重要的法律制度保障，确保德国能源系统以经济、可持续、健康的方式实现转型，以开启德国能源转型的新篇章。详情参见正文。

欧盟委员会提出**低碳交通运输战略框架**，该框架设定基于公平、团结、经济和环保原则，是对欧盟未来几年交通运输部门发展制定的规划，是欧盟实现**现代化低碳经济和强化内部市场的重要工具**，主要内容包括三个方面：**(1)提高交通运输系统的效率**，通过采用数字化技术、智能定价来进一步促进欧盟交通运输部门向低碳模式转变。**(2)加快低排放替代能源在交通运输部门的部署**，通过强有力的激励措施来刺激创新，以加速低排放的替代能源普及，如先进的生物燃料、可再生电力、氢能以及可再生合成燃料等。**(3)创建零排放汽车市场**，除了内燃机汽车需要进一步改善，还需要加速发展低排放、零排放汽车，以确保其获得显著的市场份额。

欧洲光伏产业协会(SolarPower Europe)发布《**2016-2020年全球太阳能光伏发电市场展望**》报告，对全球及主要光伏市场的现状和未来五年的发展趋势进行了展望分析：预计2016年全球光伏市场年度新增装机容量有望突破60GW，累计装机容量将达到427-596GW之间(不同情景预测结果不同)；到2020年，年度新增装机容量则会达到62.6-120.2GW之间，累计装机容量将达到490-716GW。但无论哪种模拟情景，有两点是肯定的：2017年全球光伏累计装机容量将达到300GW，到2050年将达到500GW左右。报告强调，未来五年光伏发展无论是哪种情景，亚洲将毫无疑问继续主导全球光伏市场。

欧洲风能协会(WindEurope)发布《**欧洲海上风能产业2016年上半年关键趋势与统计**》报告指出，在2016年前6个月欧洲海上风能产业吸引了创纪录的**140亿欧元新增投资**：共有7个项目达成最终投资决定，装机容量3.7GW(同比翻了一番)，其中英国占到新增投资的近3/4。此外，跟海上风电相关联的再融资交易额达到25亿欧元，输电基础设施建设投资达10亿欧元。2016年上半年欧洲新增并网风电511MW，同比降低78%，随着今年新增创纪录投资的到位，预计从明年至2020年将恢复增长。截至2016年上半年，欧洲海上风电装机总量超过11.5GW，在建装机容量4.2GW。

国际能源署(IEA)发布《**促进撒哈拉以南非洲电力发展：中国的参与**》报告，首次分析了中国在撒哈拉以南非洲电力行业的参与情况，包括**驱动中国投资的关键因素**：中国承建的项目和来自中国的资金支持为非洲电力行业发展、扩大电力普及和促进经济增长做出了贡献。2010-2015年间中国企业贡献了撒哈拉以南非洲地区30%的电力装机增长。在电力传输和分配环节，中国企业活跃在整个电力网络中。随着电力和电网容量的提高和为经济发展提供电力供应的支持，中国企业承建的电力项目同样给非洲政府带来挑战，尤其是可能会给撒哈拉以南非洲国家预算带来更大的约束。电力项目的成功取决于非洲国家领导人的意志以及政府沟通、执行以及维持这些项目的的能力。

德国议会通过能源转型三大修正案

7月8日，德国联邦参议院和联邦议院一致通过了能源转型相关的三大修正案¹，包括：（1）《可再生能源法案（2017年版）》；（2）《电力市场法案》；（3）《能源数字化转型法案》。新法案对现有的可再生能源政策做出了系统的调整，旨在明确德国下一阶段能源转型的发展思路和原则，为德国可再生能源未来发展提供重要的法律制度保障，确保德国能源系统以经济、可持续、健康的方式实现转型，以开启德国能源转型的新篇章。三大法案涉及的重大政策调整具体内容如下：

一、《可再生能源法案（2017年版）》

调整之一：引入市场招标机制替代固定上网电价

新修订的《可再生能源法案（2017年版）》对于保障能源安全以及可再生能源电力价格未来发展走向至关重要。为了确保德国可再生能源以经济、可控和可持续的方式发展壮大，新法案引入了市场招标机制。即德国将采用市场竞价，而不是固定上网电价（FIT）的方式来支持和发展可再生能源。自2017年起，德国不再以政府指定价格收购可再生能源电力，而是通过市场招标方式来确定补贴额度。谁出价最低，谁就可以按此价格获得新建可再生能源发电设施的入网补贴，以此来鼓励竞争、降低成本。而为了鼓励民众参与可再生能源发展，新法案首次对能源自发自销的用户做出“居民能源公司”（citizens' energy company）定义，并为其参加市场招标提供了简化条款。陆上和海上风能、太阳能、生物质能等都将采用新招标模式。大型自发自销发电设备必须参与市场竞价，在此基础上再享受一定额度的补贴；小型的发电设备则不用参与市场竞价，将继续采用FIT方式获得补贴。

调整之二：严控可再生能源年度新增规模

《可再生能源法案（2017年版）》将确保可再生能源新增规模更好地匹配电网的发展步伐。目标不仅是产生清洁电力，而且要确保它能够获得消费者的认可（在价格上）。过去几年，德国可再生能源呈现出爆炸式增长，而新电网建设和老电网的改造难以跟上其快速发展的步伐，导致可再生能源电力成本居高不下，加重消费者的电价负担。为了解决这个问题，就得放慢可再生能源发展步伐，限定年度新增规模，有计划地调节可再生能源的发展，提高可预测性，使其能够更好地与电网的发展速度相匹配。新法案明确规定了德国2017年风电装机新增容量不高于过去三年平均新增量的58%。

二、《电力市场法案》

¹ A new chapter in the energy transition. <http://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/EN/Newsletter/2016/13/Meldung/topthema.html;jsessionid=974EDE9FEA087E3B78378C276D67B18A>

调整之一：提高电力市场灵活性

目前，可再生能源在德国电力供应中的份额达到了三分之一，到 2025 年这一数字将上升到 45%。这意味着对波动性可再生能源（如风能和太阳能）的依赖程度不断加大，电网的灵活性将受到前所未有的挑战。为了应对可再生能源不断增长的份额，新的电力市场法案应运而生。新法案引入了电力市场最重要的改革，即提高电力市场灵活性，而灵活的电力市场可以确保在任何时候电力输入和输出都是同步的，也就是说电力市场具有两种功能——电力储备和电力调度。电力市场有一个足够强的储备能力，能够确保供应和需求总是平衡。所以，电力市场中必须有灵活发电商、灵活的消费者、电力储备等参与者。随着风能和太阳能在电力供应中的份额不断增加，通过电力市场 2.0 改革，确保德国电能供应可靠、优质经济，具备市场竞争力。

调整之二：强化能源安全和气候应对

新法案还将采取适当的激励措施，确保实现电力购买和销售平衡，保障电网稳定和能源安全。新法案加强了对欧洲一体化电力市场的支持，德国正在和欧盟成员国开展积极合作以促进欧洲一体化电力市场的建立，通过跨境互联降低本国的电力储备，这意味着能用较低的成本获得电能。此外，德国政府还创造了新的电力容量储备作为后备电源。这种容量储备与电力市场中的容量市场严格区分，仅包括那些不参与电力市场且不会影响市场竞争和价格形成的电厂。这些储备电厂只有在电力交易充分进行而电力供应仍有不足的情况下才会被启用。新法案也有助于欧盟实现 2020 年电力部门的排放目标。

三、《能源数字化转型法案》

调整之一：引入智能安全能源网络

《能源数字化转型法案》就是要把德国的能源系统过渡到数字化时代。通过引入智能电网、智能计量和智能家居等数字化基础设施来创建智能能源网络，以汇集发电商和大规模的电力消费者（共计超过 150 万的参与者）。该法案重点集中在引进智能计量设施。

新法案规定从 2017 年开始，大规模的电力消费者和发电商需要安装智能电表系统。到 2020 年，这些系统将被推广到每年用电超过 6000 千瓦时的私人家庭，而德国家庭平均年耗电量为 3500 千瓦时。消费者将从上述使用能源方式的变化中受益。安装智能电表后将无需人工读取消费者的用电量。此外，设备的功耗可以控制和定时，当电力过剩时将其用于夜间存储供热系统和电动汽车。灵活的电费计征则是另一利好。取决于不同时段的电力使用情况，将向消费者收取不同额度的电费。不同于普通电表的成本（设备安装和运营成本）由发电设备的经营者和消费者共同承担，引进智能电表后，就可以避免消费者为设备支付过多的费用。

调整之二：严格保护消费者的用能数据隐私

使用智能电表意味着更多的消费者用能数据将被传输。因此要采取严格的隐私保障措施，确保消费者电力消费数据的安全性和私密性。为此，德国政府已取缔了所有安全指数不达标的智能电表。

（郭楷模）

欧盟委员会提出低碳交通战略框架

欧盟委员会 7 月 20 日提出了涵盖各个经济部门（如交通、建筑、农业、土地和森林等）向低碳经济转型的一揽子计划措施，指明了欧盟经济转型过程中应该优先开展的事项，强化欧盟内部统一的能源市场，保持和加强欧盟全球竞争力。其中，最重要的是低碳交通运输战略框架²，该框架设定基于公平、团结、经济和环保原则，是对欧盟未来几年交通运输部门发展制定的规划，是欧盟实现现代化低碳经济和强化内部市场的重要工具。该战略框架的主要内容包括三个方面：

一、提高交通运输系统的效率

通过采用数字化技术、智能定价来进一步促进欧盟交通运输部门向低碳模式转变。数字技术，特别是协同智能交通系统（C-ITS）有巨大的潜力来提高道路安全以及交通运输的效率。欧盟委员会正在酝酿相关计划以刺激这些技术普及使用，特别是计划在车辆之间以及车辆和基础设施之间搭建通信网络连接；并将采取进一步的措施，以促进不同运输方式之间的联系，打造出无缝的交通运输物流链。欧委会还将致力于改善公路收费政策，使之更公平、更有效率，更能体现污染者付费和使用者付费的原则。

二、加快低排放替代能源在交通运输部门的部署

欧盟交通用能对石油的依赖程度达到 94%。欧盟委员会正在研究如何通过强有力的激励措施来刺激创新，以加速低排放的替代能源普及，如先进的生物燃料、可再生能源、氢能以及可再生合成燃料等。通过这样的政策措施，消除交通电气化障碍，增加低排放能源的份额，到 2030 年将满足交通部门 15%-17% 的能源需求。欧盟委员会还在研究如何更好地发挥能源和交通系统的协同效应，如解决高峰期电力分配的挑战，使电动汽车更易充电。欧盟委员会继续和成员国以及欧洲标准化组织合作，推动交通电气化的互操作性和标准化，并将开发一种方法能够方便地比较电力和其他传统或替代交通燃料的成本。

三、创建零排放汽车市场

除了内燃机汽车需要进一步改善，欧盟还需要加速发展低排放、零排放汽车，以确保其获得显著的市场份额。针对车辆尾气排放测量和验证，欧盟委员会提出并已经实施了一些重要的改进措施，为排放设定统一标准，以确保标准有影响力并且

² A European Strategy for low-emission mobility. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-2497_en.htm

能够获得消费者认同。欧盟委员会正在致力于修订轿车和货车 2020 年排放标准的法规，传统的内燃机排放必须在 2020 年后进一步降低。为支持消费者需求，欧盟委员会正在致力于提高信息透明度，如评估汽车标识指令，并修订清洁车辆指令等。

民众和地方政府参与是实施上述战略的关键因素。地方政府已经实施了发展低碳替代能源和汽车的激励政策，鼓励交通模式向环保型运输方式发展，如自行车、步行、公共交通工具等多类型联运。实施低碳交通战略框架将为欧盟经济、社会、环境污染治理等多个方面带来重大效益，支持欧洲低碳经济的转型。它明确了低排放交通解决方案研究和创新的重点，为未来投资决策提供清晰指导。如制造业和服务业能够规划其投资，明确他们的中长期目标；能源部门和燃料供应商将能够投资于先进交通用能来源，如先进生物燃料。此外，在该战略框架指导下，欧洲向低碳和零排放汽车的转型将加快，提高货车和客车的燃效，去除交通服务创新的障碍，帮助交通行业雇员获取必要的技能以适应低排放的技术要求。一旦该战略在各成员国完全实现，将使空气质量大幅改善、噪声水平降低、交通拥堵和安全性得到改善。消费者将受益于更高效、更低能耗的汽车。

（郭楷模）

欧洲光伏产业协会：2020 年全球光伏累计装机将达 500 GW

6 月 21 日，欧洲光伏产业协会（SolarPower Europe）发布《2016-2020 年全球太阳能光伏发电市场展望》³报告，对全球及主要光伏市场的现状和未来五年的发展趋势进行了展望分析。

截止 2015 年底，全球光伏发电累计装机容量达到 229.3 GW（图 1），太阳能市场规模在过去十年间扩大了 45 倍。2015 年新增光伏装机容量达到 50.6 GW，同比增长 25.6%，主要贡献来自中国、日本和美国等亚洲和美洲市场，仅中国和日本就贡献了超过 50% 的新增装机容量。2016 年全球光伏市场继续蓬勃发展：仅第一季度，中国市场新增光伏装机容量就达到了 7.1 GW，欧洲市场累计光伏装机容量达到创纪录的 100 GW。更重要的是，部分地区 2016 年光伏发电的价格变得比陆上风电的价格更便宜。

³ Global Market Outlook For Solar Power 2016-2020. http://www.solarpowereurope.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1469849044&hash=27ee88e8d7f58e7cd9cc04f3c4833e83d5e52ac5&file=fileadmin/user_upload/images/GMO/SPE_GMO2016_full_version.pdf

FIGURE 5 EVOLUTION OF GLOBAL TOTAL SOLAR PV INSTALLED CAPACITY 2000-2015

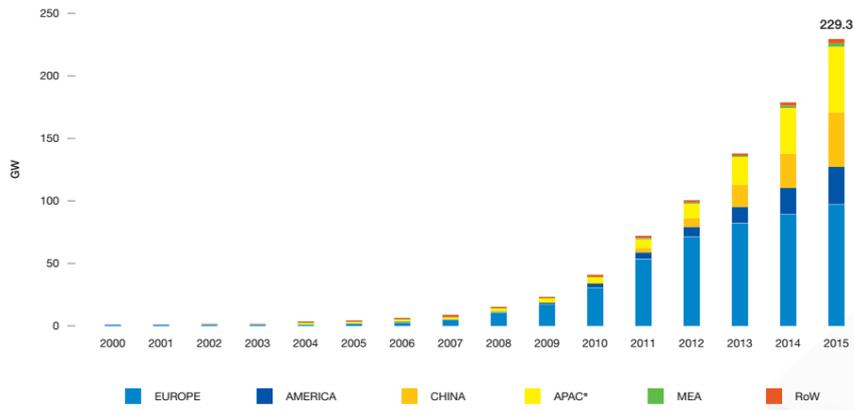


图 1 2000-2015 年世界主要地区光伏累计装机容量发展态势

报告通过情景模拟（高增长情景、中间情景和低增长情景）对未来五年全球光伏市场的发展做出展望（图 2）：预计 2016 年全球光伏市场年度新增装机容量有望突破 60 GW，累计装机容量将达到 427-596 GW 之间（不同情景预测结果不同）；到 2020 年，年度新增装机容量则会达到 62.6-120.2 GW 之间，累计装机容量将达到 490-716 GW。但无论哪种模拟情景，有两点是肯定的：2017 年全球光伏累计装机容量将达到 300 GW，到 2050 年将达到 500 GW 左右。报告强调，未来五年光伏发展无论是哪种情景，亚洲将毫无疑问继续主导全球光伏市场。当下其市场份额已经超过 60%，到 2020 年亚洲市场将占据全球光伏新增装机容量的一半以上。

FIGURE 9 GLOBAL TOTAL SOLAR PV MARKET SCENARIOS UNTIL 2020

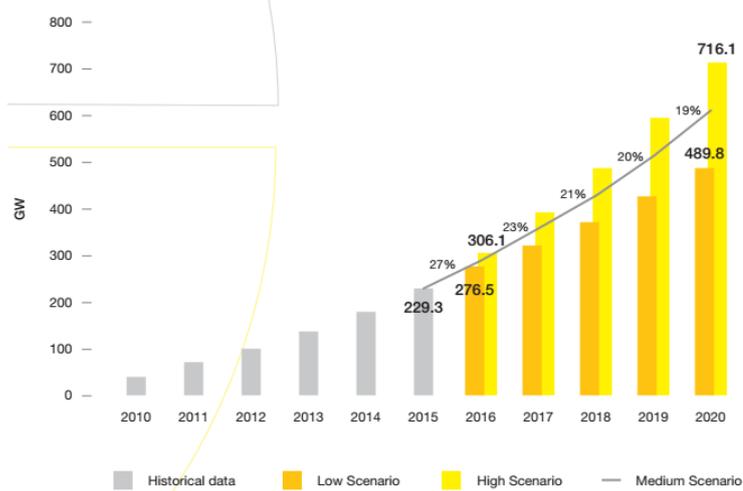


图 2 到 2020 年不同情景下全球光伏累计装机容量发展趋势预测

（郭楷模）

2016 年上半年欧洲海上风电产业投资创 140 亿欧元新纪录

7 月 27 日，欧洲风能协会（WindEurope）发布《欧洲海上风能产业 2016 年上半年关键趋势与统计》⁴报告指出，在 2016 年前 6 个月欧洲海上风能产业吸引了创纪录的 140 亿欧元新增投资，共有 7 个项目达成最终投资决定，装机容量 3.7 GW（同比翻了一番），其中英国占到新增投资的近 3/4。此外，跟海上风电相关联的再融资交易额达到 25 亿欧元，输电基础设施建设投资达 10 亿欧元。

2016 年上半年欧洲新增并网风电 511 MW（图 1），同比降低 78%，只有德国（258 MW）和荷兰（253 MW）有新增装机，随着今年新增创纪录投资的到位，预计从明年至 2020 年将恢复增长。114 台新并网风力涡轮机平均容量达到 4.8 MW，同比提高 15%，其中包括首次采用 8 MW 风力涡轮机；还有 128 台风力涡轮机已建成但尚未并网，总计 596 MW。截至 2016 年上半年，欧洲海上风电装机总量超过 11.5 GW，在 11 个国家建有 82 个海上风电场，共有 3344 台风力涡轮机；还有 13 座海上风电场在建，建成后 will 再增加 4.2 GW 装机容量。

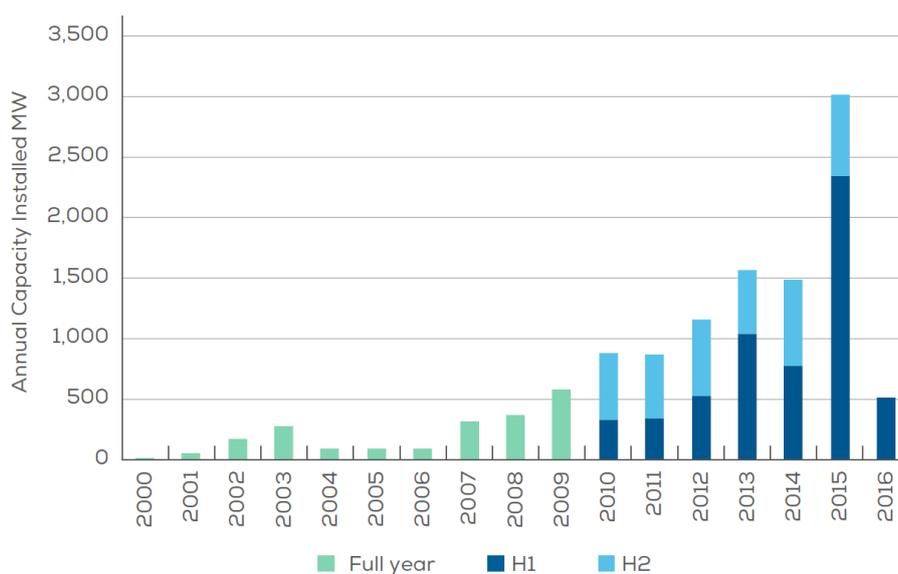


图 1 欧盟海上风电年度新增装机发展态势

WindEurope 指出，更清晰的部署目标和长期的可预见性和时间表将有助于建立一个强大的海上风能产业和供应链。欧洲 9 个国家的能源部长于 6 月份签署了谅解备忘录和工作计划，将加强在海上风能的合作，包括在国家电力项目招标上开展合作；同时还有 11 家能源企业签署联合声明，到 2025 年将海上风能成本降至 80 欧元/MWh 以下。这预示着从 2021 年起每年将新增 4-7 GW 海上风电装机。WindEurope 预计，随着目前已接近完成交易的项目逐一落实，到 2017 年 6 月前欧洲海上风电产业还将新增 52 亿欧元投资，装机容量 1.4 GW。 (陈伟)

⁴ The European offshore wind industry: Key trends and statistics 1st half 2016. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-mid-year-offshore-statistics-2016.pdf>

IRENA 提出扩大可再生能源投资规模建议

6月30日，国际可再生能源机构（IRENA）发布了《扩大可再生能源投资规模：结构性融资和风险消减工具的作用》报告⁵，指出可再生能源的可持续发展对全球能源转型至关重要，为了兑现巴黎气候峰会签署的全球气候协定（减少碳排放将升温幅度限制在 2°C 以下）和实现可持续发展的目标，各国必须继续扩大可再生能源领域的投资规模，即到 2020 年投资规模翻番达到 5000 亿美元，到 2030 年则要达到 9000 亿美元。

报告指出，目前可再生能源领域的投资主要来自公共部门，这些资金对于实现可再生能源的发展目标是不够的，需要撬动更多的私人资本进入该领域。私人资本，特别是机构投资者（如养老基金、保险公司、捐赠基金和财富基金等）蕴含着巨大的潜力，能够为可再生能源投资带来巨额资金。经济合作与发展组织估计，仅养老基金和保险公司每年都能够为可再生能源带来约 2.8 万亿美元的新增投资。

尽管不断下滑的可再生能源技术成本减少了用于投资可再生能源新系统的资本成本，但潜在的市场壁垒和高资本成本风险导致世界很多地方可再生能源的融资仍然困难重重。如何识别有潜力的项目和获得相应的风险投资成为了可再生能源投资的一个关键障碍。项目风险多种多样，包括政治和监管风险、竞争风险、电网和输配电风险、货币流动性和再融资风险以及资源风险等。

为了克服上述投资障碍，减少风险，改善可再生能源项目的私人投资状况，报告为决策者、融资机构和投资者设计了一个投资组合工具包：

- **利用政策为可再生能源投资创造稳定和可预见的投资环境，帮助克服障碍，确保项目收入来源的可预测性。** 技术、资金援助对于项目投资的早期至关重要，可促进项目发展和经验累积。目的性非融资干预措施可以发挥促进作用，推动项目启动到投资的全面成熟。债券工具，如贷款和共同贷款结构，可以帮助当地财政机构克服关键融资障碍，对缺乏资本和贷款经验的可再生能源项目意义重大。

- **有效减少投资风险是撬动私人资本进入可再生能源投资领域的关键。** 公共融资机构的重要作用是向私人投资者提供风险消减工具，包括：担保、货币对冲工具和流动性储备手段，这些有助于撬动私人资本，同时减少公共融资机构对资本的要求。为了增加风险消减工具的利用率，公共融资机构需要简化程序以减少交易成本，建立内部激励机制，进一步扩大风险消减工具在可再生能源项目领域的应用范围。

- **想要大幅提高可再生能源投资规模，就必须让更多的主流投资者更容易接触到项目。** 结构性融资可以通过减少调查费用来增加投资总量。标准化项目文档和聚合机制允许将较小的项目集中在一起，这有助于保护以证券化交易为目的的资本市

⁵ Unlocking Renewable Energy Investment: the role of risk mitigation and structured finance. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Risk_Mitigation_and_Structured_Finance_2016.pdf

场可再生能源资产。反过来，如绿色债券和 Yieldcos 工具可以帮助打开资本市场准入，并吸引更大的流动性和长期资本进入可再生能源领域。

报告强调，通过适当的政策和金融手段，全球可再生能源投资完全可以达到实现全球气候和可持续发展目标所需的规模。最后，为了减少可再生能源项目投资风险及障碍，撬动更多私人资本进入可再生能源领域，报告为决策者和公共金融机构提出了五项重点战略建议：

- 采用工具和专用的资金补贴来支持项目的筹备，利用相关平台加强项目开发者和投资者的交流，推进可再生能源项目从启动到投资全面成熟；
- 强化地方金融机构的融资能力，设计实施转贷机制，改善地方金融机构的金融获得和放贷能力；
- 公共金融机构应该增加现有的贷款担保的使用，开发新的具有针对性的风险消减手段，解决停电、货币及流动资金的风险，以吸引私人资本；
- 撬动更多的资本市场参与到可再生能源投资；
- 根据 G20 可再生能源发展自愿选项工具包，开发专门的融资、风险消减工具，以支持设计和实施可再生能源结构性融资机制。

（郭楷模）

中国研究

IEA 分析中国参与撒哈拉以南非洲地区电力发展及影响

7月5日，国际能源署（IEA）发布《促进撒哈拉以南非洲电力发展：中国的参与》报告⁶，首次分析了中国在撒哈拉以南非洲电力行业的参与情况，包括驱动中国投资的关键因素。报告对2010-2020年间中方承建项目进行概述（发电、输电和配电）并绘制地图。报告还鉴别了中国关键的利益相关者，并评价了他们对非洲能源普及、经济发展和融资模式相关政策的影响。

报告指出由于资本缺乏等因素，撒哈拉沙漠以南非洲地区电力普及程度很低，经常性的电力短缺情况极为普遍（这一地区有超过6.35亿人仍然无电可用），严重制约了该地区的经济和社会发展。撒哈拉以南非洲地区的电力行业迫切需要大规模投资、技术和电力建设，以促进当地经济发展。

作为参与海外市场的一部分，中国企业在过去15年中显著提高了在非洲的业务参与程度，覆盖了众多部门，包括电力产业。中国承建的项目和来自中国的资金支持为非洲电力行业发展、扩大电力普及和促进经济增长做出了贡献。2010-2015年间

⁶ Boosting the Power Sector in Sub-Saharan Africa: China's Involvement. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Partner_Country_SeriesChinaBoosting_the_Power_Sector_in_SubSaharan_Africa_Chinas_Involvement.pdf

中国企业贡献了撒哈拉以南非洲地区 30% 的电力装机增长，2010-2020 年间中国承包商在这一地区建设和签订电力装机合约达 17 GW，相当于这一地区现有装机量的 10%。在电力传输和分配环节，中国企业活跃在整个电力网络中，从跨越国界的输电线路（如埃塞俄比亚和肯尼亚）到当地市区和郊区的配电网络（如在安哥拉和赤道几内亚）。

中国企业的电力投资项目几乎涵盖各种电力技术，主要是水力发电。2010-2020 年间中国建设的电力项目中可再生能源占到总装机量的 56%，其中 49% 是水电。中国建设的项目提高了撒哈拉以南非洲地区电力结构的多样性，加速了这一地区可再生能源的开发（风能、太阳能、生物质能和水力发电）。在埃塞俄比亚，中国建设了这一地区全部的生物质能和垃圾焚烧发电项目。此外，在加蓬和赞比亚新的水力发电大坝，以及在塞内加尔和南非的可再生能源项目帮助避免了 CO₂ 的排放。

撒哈拉以南非洲地区大部分的中国能源项目都是致力于扩大电力供应。2010-2020 年间该地区将总计有 1.2 亿人通过电网获得电力，这些电网开发和增加的电力容量中有 30% 是中国承包商建设。中国同样通过提供太阳能发电设施来解决农村地区无电网的问题，如在卢旺达和科摩罗。

中国在非洲的投资和在世界其它地区的投资一样，促进了中国企业的国际化以及政府的“走出去”战略。中国目前经济减速以及在各种行业的产能过剩，促使中国企业寻找新的海外市场。中国在撒哈拉以南非洲地区承建的电力项目有超过 90% 由国有企业承包。对于一些主要的中国能源基础设施企业来说，非洲是最大的海外市场，这些企业集中在全包工程上提供综合的服务。中国利益相关者认为非洲的工业化和经济发展对中国在这一地区出口工业制成品是至关重要的。

中国利益相关者通过发展援助贷款、政府主导投资和股权投资提供电力装机、输配电的综合解决方案。中国的发展援助方法与 OECD 国家不同。比如，中国并不在《官方支持出口信贷安排》之内，该规则是用来指导 OECD 国家的出口信贷融资的。2010-2015 年间，撒哈拉以南非洲地区电力行业获得来自中国的贷款、买/卖信贷和对外直接投资的总额达到约 130 亿美元，占到这一地区电力行业投资总额的五分之一。中国企业建设的多数电力设施是中国利益相关者融资的，尤其是从中国进出口银行公共借贷获得。中国承包商建设电厂的成本总体比世界其它地区要低，但是比中国国内要高。

尽管某些时候仍面临缺乏可靠电力承购商的挑战，项目融资方式还是日渐多样化，逐渐远离公共借贷。大部分中国承建的电力项目仍然由非洲政府担保的主权贷款提供资金。随着越来越多的中国商业银行和资金进入市场，发展借贷模式正尝试向股权融资转变。一些中国企业以独立电力生产商的方式运营，如在加纳地区。

报告最后总结到，随着电力和电网容量的提高和为经济发展提供电力供应的支

持，中国企业承建的电力项目同样给非洲政府带来挑战，尤其是可能会给撒哈拉以南非洲国家预算带来更大的约束。电力项目的成功取决于非洲国家政府沟通、执行以及维持这些项目的的能力。除中国外，其它国家的利益相关者同样能够对非洲的电力行业开发带来大的贡献，但是非洲电气化的成功与否根本上仍取决于非洲国家领导人的意志。但毫无疑问，这一地区需要更好和更广泛的电力供应以推动其经济发展，改善生活条件。

(张凡)

项目计划

DOE 资助氢能和燃料电池技术研发

7月，美国能源部（DOE）陆续宣布了资助多个燃料电池和氢能技术研发项目：一是资助 1300 万美元用于支持两个国家实验室牵头的研究联盟开展燃料电池和储氢技术研发项目⁷，旨在研发先进的储氢材料、提高燃料电池性能和使用寿命，降低氢燃料成本，使其具备与传统燃料一样的成本竞争力，参见表 1。

表 1 DOE 资助 1300 万美元用于国家实验室牵头的研究联盟

研究联盟	参与机构	项目内容
燃料电池性能与耐久性研究联盟 (FC-PAD)	3M 公司	开发低铂负载量或者非铂金属纳米结构薄膜电催化剂，并集成到新型离子聚合物电极中，以改进现有燃料电池阴极涂层薄膜和电极结构
	联合技术研究中心	开发耐用性更好的电极材料，以降低电池成本和改善聚合物电解质隔膜燃料电池性能
	范德比尔特大学	开发并测试以静电纺丝技术制备具有质子传导功能的非铂金属催化剂，以提高燃料电池电极的性能和耐用性
	通用汽车公司	采用实验和计算机仿真模拟结合的方法研究电池运行环境对电池性能衰减的影响以及电池隔膜失效的潜在原因，以改善非铂催化剂金属电极的性能
氢能材料先进研究联盟 (HyMARC)	阿贡国家实验室	开发一类由石墨烯包覆的复合金属纳米颗粒组成的新型储氢材料，以改善车载储氢设备的性能
	宾夕法尼亚州立大学	开发研究高比表面积的硼掺杂聚合物吸附剂用于吸附储氢，以改善车载储氢系统的性能
	夏威夷大学	通过非溶剂性质的硼化镁来开发具可逆性的硼化镁醚合物储氢材料，并研究其实际性能
	密苏里大学	开发新的方法以提高具备优秀储氢性能的化学性质活泼的金属杂化物储氢材料的稳定性，从而获得稳定的高储量金属杂化物储氢材料，用于车载储氢

⁷ Energy Department Announces \$13 Million to Advance Fuel Cell Performance and Durability and Hydrogen Storage Technologies. <http://energy.gov/eere/articles/energy-department-announces-13-million-advance-fuel-cell-performance-and-durability>

二是资助 1400 万美元专门用于推进三个技术主题的氢燃料技术研发项目⁸，包括：高温水分解技术、先进氢气压缩技术和热绝缘技术，旨在通过支持美国本土燃料制造商的研发，降低氢燃料成本（目标是到 2020 年将成本降至少于 4 美元/gge），推进氢燃料电池的大规模商业化进程。三个技术主题的研究项目参见表 2。

表 2 DOE 资助 1400 万美元推进氢燃料技术研发

技术主题	参与机构	项目内容
高温水分解	Ceramatec 公司	通过引入有机械支撑宏观特性的薄膜电解质，开发新型电池结构来改善用以高温水分解技术的耐用材料性能，以及开发具备宏观特性的电极材料来降低极化损失
	Fuel Cell Energy 公司	演示一个成本为 2 美元/千克的固态氧化物电解质电池产氢系统应用潜力
	Giner 公司	以较低的成本开发具有高发电效率的高温碱性水电解槽
先进氢气压缩	Giner 公司	演示一种具备经济效益的氢气压缩技术，同时消除机械压缩的可靠性问题
	Greenway Energy 公司	整合两种新型压缩技术，电化学氢气压缩（EHC）和金属氢化物压缩（MHC）来开发一种全新的混合固态氢气压缩技术，以克服机械压缩可靠性和固态压缩技术的效率问题
	桑迪亚国家实验室	研发和演示一个实验室规模的两级金属氢化物基氢气压缩机
热绝缘	Vencore 服务与解决方案公司	整合低温储罐技术和美国宇航局低温测试实验室研发的技术，来开发一个适用于商业化汽车燃料生产的低温储氢罐所需要热绝缘系统原型，用以表征热泄漏指标

（郭楷模）

日 NEDO 资助太阳能发电安全性和循环利用研发项目

日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）于 6 月 28 日宣布启动“太阳能发电系统安全性”和“太阳能发电循环利用技术”两个主题的研究项目⁹，旨在提高和改善太阳能发电系统的安全性，开发低成本、高效的太阳能电池板分类、维修和循环回收利用技术，确保太阳能发电系统长期的稳定性和可靠性。两个新主题研究目的具体内容如下：

（1）太阳能发电系统安全性验证

由于太阳能发电系统设计和施工的不足，太阳电池可能遭到强风破坏；并且水

⁸ Energy Department Announces \$14 Million to Advance Hydrogen Fuel Technologies. <http://energy.gov/eere/articles/energy-department-announces-14-million-advance-hydrogen-fuel-technologies>

⁹ 革新型蓄電池の実用化に向けた共通基盤技術の開発に着手. http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100570.html

灾会让太阳电池产生漏电触电危险等问题，因此改良太阳能发电系统的安全性受到关注。为此，NEDO 将资助太阳能发电系统的构造和电气系统设备的安全性等问题的调查、研究和实验验证等工作，并制定确保太阳能发电系统安全性的设计方针。本主题包括以下三个子课题（表 1）。

表 1 太阳能发电系统安全性主题下的三个研究课题

研究课题	承担机构
太阳能发电设备安全性相关的实验验证与研究	产业技术综合研究所
开发耐强风破坏和防止水灾引发的触电问题的设计方案	太阳能发电协会、奥地建产公司
太阳能发电系统受灾状况和火灾、触电防护技术的开发	太阳能发电研究所

(2) 太阳电池低成本循环回收利用技术

随着太阳能发电广泛部署，太阳电池废料将逐渐增多。为此，NEDO 将资助开发低成本的太阳电池回收处理技术，包括太阳电池废料的回收、运输、分类、修复等技术，实现对太阳电池组件的循环再利用。该主题包括两个子课题（表 2）。

表 2 太阳电池低成本循环回收利用技术主题下的两个研究课题

研究课题	参与机构
太阳电池组件现场分离和再利用技术开发	太阳能发电技术研究联盟
寿命到期后的太阳电池组件低成本修复技术开发	GMG 生态能源公司

(郭楷模)

前沿与装备

康奈尔大学开发新型电化学体系同时实现碳捕集和发电

经济高效的二氧化碳捕集技术是减少温室气体排放、应对气候变化的重要技术之一，然而现有的燃煤电厂废气中二氧化碳捕集的液体再生过程需要消耗 25% 的电能，导致了现有技术成本过高，经济可行性大幅降低。康奈尔大学研究人员设计开发了一种全新的电化学系统（氧气辅助铝/二氧化碳电池体系，Al/CO₂-O₂ 电池），能够捕集二氧化碳并转换为电力，同时产生有广泛工业应用价值的草铝酸（Al₂(C₂O₄)₃）副产品，既可以减少温室气体排放又能够产生电能。研究人员以铝为阳极，二氧化碳和氧气的混合气体为阴极的活性材料，以酸性的氯化 1-乙基-3-甲基咪唑（[EMIm]Cl）/三氯化铝的熔融混合物为电解质。研究人员采用了多种物理和化学分析方法对新电池体系的工作机理进行研究发现：电池首先在阴极将氧气还原成过氧化物中间体，接着过氧化物中间体与捕获的二氧化碳反应生成草铝酸，从而实现碳固定。总体的电化学过程可归纳为一个反应方程式： $2Al+6CO_2 \leftrightarrow Al_2(C_2O_4)_3$ 。恒电流充放电测试结果显示，在放电电压为 1.4 V，放电电流为 70mA/g（质量相对石墨碳电极而言）条件下，

新型电池放电比能量高达 13000 mAh/g，与现有的性能最优的电池性能相当。更重要的是，铝电极相比其他电池电极材料（如钠、锂）更安全、成本更低，是极为理想的电池阳极材料。研究人员下一步将致力于解决现有发电系统中电解质水分的敏感性问题的，以进一步改善电池性能。相关研究成果发表在《*Science Advances*》¹⁰。（郭楷模）

新型 X 射线显微技术实现锂电池介观尺度原位实时观测

深刻理解锂离子电池的工作机理是获得高性能电池的前提。斯坦福大学 William C. Chueh 教授课题组牵头的联合研究团队设计了一种全新的“同步液态扫描透射 X 射线显微成像 (STXM)”技术，比传统的透射电子显微镜 (TEM) 具备更强的穿透性和更大的视野，从而能够在介观尺度实现对锂离子电池充放电过程中单个纳米颗粒活动行为的原位实时观测和成像，包括纳米颗粒的化学成分和反应速率变化情况。研究人员利用 STXM 原位实时追踪研究了基于碳包覆的磷酸铁锂正极的锂离子电池充放电过程中磷酸铁锂单个粒子活动情况。通过测试铁氧化态 (Fe^{2+} 和 Fe^{3+}) 在电解液中浓度的变化来研究磷酸铁锂正极充放电过程中的动力学行为，获得了高时间和空间分辨率的锂离子嵌入和脱嵌过程的交换电流密度分布图谱。结果显示颗粒表面化学成分和变化在充放电过程并不均匀，也即颗粒不同部位发生嵌入或脱嵌反应的速率不同：当充放电循环速度较快时，富锂的磷酸铁锂和和贫锂的磷酸铁锂形成固溶体；相反，当循环速度较慢时，富锂的磷酸铁锂和和贫锂的磷酸铁锂发生相分离，导致电池性能下降，寿命缩短。该项研究突破性地实现了对锂离子电池充放电过程中单个颗粒的电化学反应动力学行为的实时原位观测和成像，有助于更加深入地理解锂离子电池充放电工作机理，为改善优化电池性能奠定了坚实的理论基础。相关研究成果发表在《*Science*》¹¹。（郭楷模）

美培育新型光合细菌固氮酶实现二氧化碳到甲烷一步酶促转化

二氧化碳捕集并转化成高能量密度的燃料技术能够同时解决气候和能源问题，具有广阔的应用前景。犹他州立大学 Caroline S. Harwood 教授课题组开发了一种利用光合微生物体内的固氮酶作为催化剂，实现了二氧化碳到甲烷的高效转化，整个过程高效廉价，有助于减少温室气体排放，推动绿色电厂和低碳、零碳汽车行业的发展。研究人员对沼泽红假单胞菌 (*R. palustris*) 体内的

¹⁰ W I Al Sadat, L A Archer. The O_2 -assisted Al/CO_2 electrochemical cell: A system for CO_2 capture/conversion and electric power generation. *Science Advances*, 2016, 2 (7): e1600968.

¹¹ Xiong Li, Dongqin Bi, Chenyi Yi, et al. A vacuum flash-assisted solution process for high-efficiency large-area perovskite solar cells. *Science*, 2016 DOI: 10.1126/science.aaf8060

固氮酶进行修饰，即在其转录因子 NifA 相关位点进行了两种氨基酸替换，形成了 NifA 的变体 NifD^{V75AH201Q}，这种修饰后的新固氮酶具备了将二氧化碳转化成甲烷的特性。随后研究人员将含有上述新固氮酶的微生物 *R. palustris* nifA* nifD^{V75AH201Q} 置于 30°C 光照的厌氧酸性环境下进行培育，通过对培育环境中产物成分的分析发现，该固氮酶催化不仅会产生甲烷气体，还会产氢；且通过调控固氮酶的电子来源和能量供给，能够很好的控制甲烷气体产量：研究发现通过引入非生长的 *R. palustris* nifA* nifD^{V75AH201Q} 细胞源来产生更多的电子（还原反应需要电子），促进了甲烷产量的提高，非生长细胞源的甲烷产量是生长细胞源的 20 多倍；此外，通过对固氮酶的能量供给调控也能够控制甲烷产量。更为关键的是，上述二氧化碳到甲烷还原转化只需一步酶促反应即可，省时高效。相关研究成果发表在《PNAS》¹²。（郭楷模）

铁电绝缘体助力光伏转换效率突破 S-Q 理论极限

传统的太阳池技术由于其固有的光电转换机制和材料的特定带隙结构，导致其存在不可避免的光生载流子热能损耗，光电转换效率存在理论极限，俗称肖克利-奎伊瑟极限（Shockley-Queisser limit, S-Q 极限）。而铁电材料具有反常的光伏效应（也称体光伏效应，BPVE），呈现极高的光生电压输出，具有广阔应用前景。由德雷塞尔大学、俄罗斯科学院舒布尼可夫晶体研究所、宾夕法尼亚大学和美国海军研究实验室组成的联合研究团队以钙钛矿相（ABO₃ 结构）铁电材料钛酸钡（BaTiO₃, BTO）薄膜为吸光材料，并沉积在导电玻璃 ITO 上，形成铁电光伏器件。研究人员首先系统研究了单一紫外波段（405nm）、不同光照强度下，电池器件的光电响应情况。电流电压曲线测试结果显示，随着光强度增加，光生电流也逐渐增强；更为关键的是电池外量子效率 η_{EQE} 超过了 100%，这意味着 BTO 太阳电池与传统电池不同，其光生热载流子同样可以被收集而不是以热能的形式耗散，即其转换效率在紫外波段突破了 S-Q 极限。研究人员指出，这一结果主要是由 BTO 铁电材料形成高内建电场促使光生热载流子发生离子化碰撞，形成雪崩效应，产生大量的载流子以及铁电材料的屏蔽作用所引起。研究人员进一步采用一倍模拟太阳光照射 BTO 电池，测试其光谱响应。BTO 电池获得了 19 mA cm⁻² 短路电流密度、1.2V 的开路电压，填充因子为 0.21，光电转换效率达到了 4.8%，这是迄今为止报道的铁电太阳电池的最高效率。该项研究首次制备出外量子效率超过 100% 的铁电光伏器件，实现了在太阳光紫外波段突破 S-Q 极限，有望开辟太阳电池新革命。相关研究成果发表在《Nature Photonics》¹³。（郭楷模）

¹² Kathryn R Fixen, Yanning Zheng, Derek F Harris, et al. Light-driven carbon dioxide reduction to methane by nitrogenase in a photosynthetic bacterium. *PNAS*, Published online August 22 2016, DOI: 10.1073/pnas.1611043113.

¹³ Jonathan E Spanier, Vladimir M Fridkin, Andrew M Rappe, et al. Power conversion efficiency exceeding the Shockley-Queisser limit in a ferroelectric insulator. *Nature Photonics*, 2016, DOI: 10.1038/NPHOTON.2016.143.

中国科学院武汉先进能源科技战略情报研究中心简介

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：jjance@whlib.ac.cn

微信公众号：CASEnergy

