

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- UNEP: 2016 年全球可再生能源投资规模下降 新增装机创纪录
- REN21 专家调查报告讨论 2050 年 100% 使用可再生能源可行性
- WEF 评估各国能源架构绩效
- 日本相继推出先进燃烧发电系统实证研究项目
- 英俄研究人员展望未来数年俄罗斯原油产量将稳定增长

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

- UNEP: 2016年全球可再生能源投资规模下降 新增装机创纪录...2
- REN21 专家调查报告讨论 2050年100%使用可再生能源可行性...4
- WEF 评估各国能源架构绩效.....8

项目计划

- 日本相继推出先进燃烧发电系统实证研究项目.....9
- 英国资助超1亿英镑支持无人驾驶和低碳汽车研发.....11

前沿与装备

- 单壁碳纳米管基复合对电极增强钙钛矿太阳能电池稳定性.....12
- 高效环保低成本 $\text{Ca}_{3-x}\text{Tb}_x\text{Co}_4\text{O}_9$ 热电材料.....12
- 新型高效廉价电催化剂材料大幅减少贵金属铂用量.....13
- 人工合成生物膜阴极提高微生物燃料电池性能.....14

能源资源

- 英俄研究人员展望未来数年俄罗斯原油产量将稳定增长.....15

本期概要

联合国环境规划署 (UNEP) 联合法兰克福金融管理学院、彭博社新能源财经 (BNEF) 发布《全球可再生能源投资趋势 2017》报告指出, 受到技术成本下降以及项目融资延迟的影响, 2016 年全球可再生能源投资总额 (不计大水电) 下滑 23%; 但可再生能源年度新增装机依然大幅增长: 2016 年发达国家的可再生能源投资下降 14% 至 1250 亿美元, 而发展中国家的可再生能源投资更是大幅下滑 30% 至 1170 亿美元, 发达国家可再生能源投资重回世界领先地位。2016 年全球可再生能源电力 (不计大水电) 新增装机 138 GW, 占到电力新增总量的 55.3%, 超过其他发电技术之和。可再生能源发电成本持续下降, 光伏发电和风电每兆瓦平均资本支出在 2016 年下降幅度均超过 10%。可再生能源互补发电技术 (如风光互补、风水互补) 在 2016 年得到广泛关注, 中国可再生能源互补发电项目规模世界第一。2016 年全球可再生能源技术研发总投资额下滑 7% 至 80 亿美元, 其中企业研发投入大幅下降 40% 至 25 亿美元, 而政府公共研发投入较 2015 年大幅上涨 25% 达到 55 亿美元。

21 世纪可再生能源政策网络 (REN21) 发布《全球可再生能源未来报告: 通向 100% 可再生能源之路大辩论》指出, 可再生能源技术日益增强的成本竞争力、专属政策激励、改善的融资环境、能源安全与气候问题的关注等诸多因素共同推动可再生能源在全球快速发展。报告针对到 2050 年是否可以实现 100% 使用可再生能源这一问题, 对来自全球各地总计 114 位能源领域知名专家进行访谈调查分析: 超过 70% 的受访专家认为到 2050 年全球实现 100% 使用可再生能源是可行的, 其中欧洲和澳大利亚的专家对此表达了最强烈的支持。尽管发展前景被看好, 但可再生能源应用挑战犹存, 主要问题包括政策不稳定性、监管障碍、投资环境不完善和财政约束等。报告围绕实现 100% 使用可再生能源展开了 12 个问题的大讨论。详见正文。

世界经济论坛 (WEF) 发布《2017 年全球能源架构绩效指数报告》指出, 小规模经济体在进行能源系转型时具有明显优势, 且领先幅度不断增大, 而大型经济体则面临严峻挑战。报告综合考量全球 127 个国家在“能源三角”三个维度的表现, 即经济促进力、环境可持续性、能源获取的安全性, 以此评估该国的能源架构与能源供应能力并做出排名: 瑞士、挪威和瑞典位列能源架构绩效指数榜单前三甲, 中国位列第 95 位。基于对能源领域的领跑者以及排名迅速提升的国家分析, 报告提出推动能源行业发展的三大战略建议: (1) 制定长远战略方向, 并坚定执行; (2) 协同制定适配政策, 促进能源系统转型; (3) 有效引导投资, 侧重关键领域。详见正文。

英国牛津大学能源研究所和俄罗斯科学院能源研究所研究人员联合发布了《俄罗斯原油产量展望 2020》报告, 指出未来几年俄罗斯原油产量的前景将依然乐观: 到 2020 年俄罗斯原油产量将至少达到 1000 万桶/日, 并可能超过 1100 万桶/日。中长期的增长主要来自于三个方面。第一个是东西伯利亚, 该地区预计资源量达 1600 亿桶, 探明储量为 100 亿桶; 另一个具有重大传统原油生产潜力的地区是俄罗斯北极大陆架; 第三个潜在增长机遇是俄罗斯的非常规原油资源, 包括致密油和页岩油。

UNEP：2016 年全球可再生能源投资规模下降 新增装机创纪录

4月6日，联合国环境规划署（UNEP）联合法兰克福金融管理学院、彭博新能源财经（BNEF）联合发布《全球可再生能源投资趋势 2017》报告¹指出，受到技术成本下降（尤其是太阳能和风能，两者去年每兆瓦平均资本支出降幅均超过 10%）以及项目融资延迟的影响，2016 年全球可再生能源投资总额（不计大水电）下滑 23%，从 2015 年的 3122 亿美元减少至 2416 亿美元（图 1）。尽管总投资规模下降，但可再生能源年度新增装机仍然大幅增长，全年新增可再生能源装机容量（不计大水电）138.5 GW，较 2015 年（127.5 GW）上涨 8%。其中光伏发电新增 73 GW，风电新增装机 54GW。

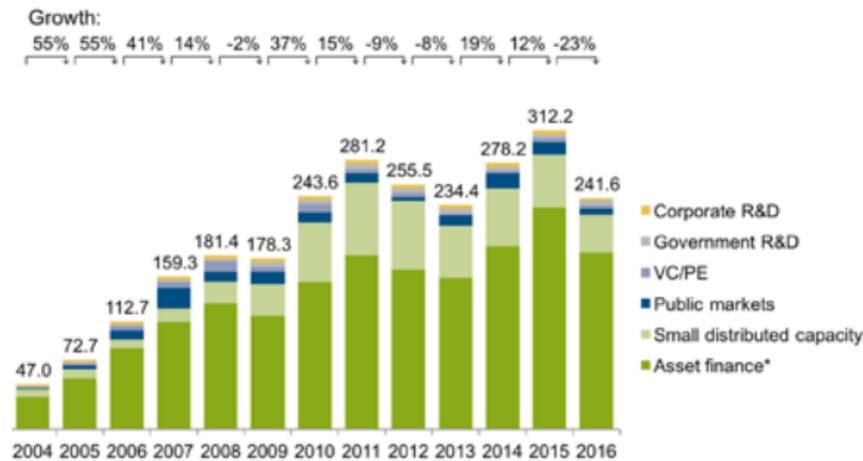


图 1 2004-2016 年全球可再生能源年度投资变化态势

报告要点如下：

1、发达国家可再生能源投资重回领先地位

2016 年发达国家可再生能源投资下降 14% 至 1250 亿美元，而发展中国家的可再生能源投资更是大幅下滑 30% 至 1170 亿美元，使得发达国家重回领先地位。就发展中国家而言，2016 年中国的投资额大幅下滑 32% 至 783 亿美元，结束了长达 11 年连续上涨态势。而由于受到电力需求增长放缓、以及拍卖和融资延误的影响，墨西哥、智利、乌拉圭、南非和摩洛哥等国的可再生能源投资跌幅均超过 60%。约旦投资额增长了 148%，达到 12 亿美元，是少数几个逆势上涨的国家。而发达国家/地区中，由于美国开发商蓄意拖延工期以从续期五年的税收抵免政策中获利，2016 年美国可再生能源投资额仅为 464 亿美元，较承诺的投资额少了 10%。日本投资额

¹ Global Trends in Renewable Energy Investment 2017.
<http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2017.pdf>

下跌 56% 至 144 亿美元。受到海上风电以及大型陆上风电项目的驱动，欧洲地区投资增长 3%，至 598 亿美元，主要的增长动力来自英国（240 亿美元）和德国（132 亿美元）。

2、可再生能源在全球电力新增装机容量的占比超过 50%

2016 年全球可再生能源电力（不计大水电）新增装机 138 GW，占到电力新增总量的 55.3%，超过其他发电技术之和，促使可再生能源发电量占比从 2015 年的 10.3% 上升至 2016 年的 11.3%，表明电力系统正在发生结构性转型。2016 年，可再生能源发电投资近 2 倍于传统的化石能源发电厂投资。其中光伏发电和风电两个领域的投资遥遥领先于其他可再生能源技术。2016 年太阳能领域投资额为 1137 亿美元，同比下降 34%，但是太阳能发电新增装机容量达到 75GW，创历史新高；同期，风能领域投资额达到 1125 亿美元，同比下滑 9%，新增装机容量下降至 54 GW；而可再生能源规模偏小的领域投资情况变化不一：地热能领域投资上涨 17% 至 27 亿美元，生物质发电领域和小水电领域投资分别稳定在 68 亿美元和 35 亿美元，生物燃料领域投资下滑 37% 至 22 亿美元，海洋能领域投资下降 7% 至 1.94 亿美元。

3、可再生能源成本持续下降，可再生能源互补发电技术获广泛关注

伴随技术的进步，可再生能源发电成本持续下降，特别是光伏发电和风电：两者每兆瓦平均资本支出在 2016 年下降幅度均超过 10%，其中晶硅光伏发电平均资本支出为 120 万美元/兆瓦，同比下降 13%；陆上风电和海上风电平均资本支出依次为 160 万美元/兆瓦和 400 万美元/兆瓦，较 2015 年分别下降 11.5% 和 10%。可再生能源互补发电技术（如风光互补、风水互补）在 2016 年得到广泛关注，主要原因是：单一使用风能、太阳能发电容易造成供电不均衡，而采用互补发电（如风能-太阳能）可以保证一年四季均衡供电。当前，世界范围内正在/已经建设的可再生能源互补发电厂数量约有 20 个，总计 5.6 GW。其中，中国可再生能源互补发电项目规模世界第一，装机容量高达 1.9 GW。

4、可再生能源研发投入小幅下滑

尽管 2016 年出现了各种加强可再生能源技术研发的倡议（如“巴黎气候协议”生效，以美国为首的 20 国集团提出的“清洁能源创新使命”等），但全球可再生能源技术研发总投资额仍然下滑 7% 至 80 亿美元，其中企业研发投入大幅下降 40% 至 25 亿美元，而政府公共研发投入较 2015 年大幅上涨 25% 达到 55 亿美元，结束此前连续三年的下滑势头。2016 年，欧洲可再生能源研发投入下滑 8% 至 22 亿美元。尽管如此，欧洲仍是全球可再生能源研发投入最多的地区。紧随其后的是中国，2016 年研发投入为 20 亿美元，同比下降 2%。美国排名第三，增长 13% 达到 15 亿美元。太阳能技术仍然是研发投入最多的领域，为 36 亿美元，同比下降 20%；风能研发投入下滑 13% 至 12 亿美元；生物燃料研发投入增长 11% 达到 17 亿美元。太阳能技术

研发投资重点是提高太阳能电池效率，降低发电成本，包括：广泛采用金刚石线锯切割技术，减少银浆电极的使用量，更多利用流化床法生产硅料工艺，开发钝化发射极背接触高效电池（PERC）、提高钙钛矿电池寿命和稳定性，开发钙钛矿-晶硅串联电池等，预测 2017 年晶硅电池模块平均成本将从 2015 年的 0.47 美元/瓦降至 0.32 美元/瓦，而钙钛矿太阳能电池最快在未来 5 年内实现商业化。风能技术研发投资重点在于设计全新的海上风力涡轮机基座（如负压桶式基座）降低制造成本，利用新材料开发更长的转子叶片，开发浮动式海上风力涡轮机等。生物燃料研发投资重点在于纤维素乙醇以及生物化学副产品、生物基喷气燃料研发。

（郭楷模）

REN21 专家调查报告讨论 2050 年 100%使用可再生能源可行性

4 月 4 日，21 世纪可再生能源政策网络（REN21）发布《全球可再生能源未来报告：通向 100%可再生能源之路大辩论》²指出，可再生能源技术日益增强的成本竞争力、专属政策激励、改善的融资环境、能源安全与气候问题的关注等诸多因素共同推动可再生能源在全球快速发展。报告针对到 2050 年是否可以实现 100%使用可再生能源这一问题，对来自全球各地总计 114 位能源领域知名专家进行访谈调查分析，结果显示超过 70%的专家认为到 2050 年全球实现 100%使用可再生能源是可行的，其中欧洲和澳大利亚的专家对此表达了最强烈的支持。尽管发展前景被看好，但可再生能源应用挑战犹存，主要问题包括政策不稳定性、监管障碍、投资环境不完善和财政约束等。报告围绕实现 100%使用可再生能源展开了 12 个问题的大讨论，主要内容如下：

1、《巴黎气候协定》是实现 100%使用可再生能源愿景的外在推动力？

2016 年，全球范围内二氧化碳平均浓度都在 400ppm 以上，因此开展能源领域的深度脱碳化工作以限制碳排放成为应对气候变化的关键。截止 2014 年（目前可获取的最新数据），可再生能源提供了全球终端能源消费的约 19.2%，其中传统生物质能源（用于供暖和烹饪）占 8.9%，而现代可再生能源（扣除传统生物质能源）占 10.3%，超过了 2013 年的水平，可再生能源的使用率越来越高。受访的 100 多位专家一致认为可再生能源在全球终端能源消费中的占比将日益增大，但对到 2050 年能否实现 100%使用可再生能源意见不一。其中 71%的专家认为到 2050 年实现 100%的可再生能源是切实可行的，17%的专家持否定态度，另外 12%的专家则保持中立态度。其中，来自欧洲和澳大利亚的专家对实现 100%可再生能源表现出最为乐观的态度。

2、全球能源需求与能源效率是否均日益提高？

² Renewables Global Futures Report: Great debates towards 100% renewable energy.
<http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/03/GFR-Full-Report-2017.pdf>

经济增长是推动全球能源需求增长的强劲驱动力。1999-2014 年间，全球能源需求增长了 56%，年均增幅达到 1.9%，2014 年全球一次能源需求总量超过 137 亿吨油当量。同期，得益于能效提升，全球能源强度却大幅下降，年均降幅达 1.5%，2015 年全球能源强度较 1990 年的水平下降超过 30%。过去 15 年间（2000-2014 年），全球单位家庭平均电力消费没有出现太大变动，年均增幅仅为 0.5%。到 2050 年，只有 12% 的专家相信全球能源需求将会下降，2% 的专家认为将会维持现有的水平，而高达 84% 的专家则认为能源需求将持续增长。

3、可再生能源发电占比将如何变化？

1975-2015 年间，全球电力需求量增长了 4 倍。在所有的电力来源中，燃煤发电和水电维持了稳定的市场份额，天然气和核能发电占比则日益增加，大幅挤占燃油发电份额。1973 年，可再生能源发电占比还不到 1%，到了 2013 年这个比例增加到了 5.7%，两年后又提高到 7.3%。受访专家对可再生能源发电展现了高度的共识，即可再生能源在未来将成为最主要的电力来源。其中超过 85% 的专家认为，到 2050 年可再生能源发电占比至少增加一倍，而有近一半的专家认为占比将达到 80% 甚至更高。

4、未来可再生能源在供热服务主要是以热利用方式还是电力供暖方式为主？

2015 年，用于供热的能源消费量占到全球能源消费总量的 40%，但过去十年其年均增幅不到 1%，这主要是建筑能效提高和太阳能建筑推广的结果。相反，用于制冷的能源消费需求则快速增加，主要来自发展中国家。生物质和太阳热能已经占到建筑部门供热服务终端用能的 7%-10%。而在工业部门，其供热服务终端用能的 10% 来自生物质能。97% 的专家认为到 2050 年可再生能源在供热服务终端用能的占比会从当前的 8% 至少增长到 20% 以上，而有近 1/3 的专家则认为这一占比会达到更高的 70%，14% 的专家则更是大胆预测这一比例会逼近 100%。尽管几乎所有专家都一致认为可再生能源在供热服务终端用能占比会日益增加，但对于是以热利用方式还是电力供暖的形式意见不一。超过一半（58%）的专家认为可再生能源热利用方式仍将是未来数十年主要的供热技术。

5、可再生能源替代燃料在未来交通运输部门中将如何表现？

过去几十年，石油始终是交通运输部门最主要的燃料来源。自 2000 年以来，全球交通运输领域的能源消耗量以年均 2% 的增速增加，到 2015 年占到全球能源消耗总量的 27%。然而随着温室气体浓度的上升，气候问题愈加严重，迫使交通运输部门必须进行脱碳化改造。而发展可再生能源替代燃料和交通电气化成为交通运输部门脱碳化的重要途径。2015 年，可再生能源提供了全球交通运输燃料消耗量的 4%。受访的专家一致认为，到 2050 年可再生能源燃料在交通运输燃料消耗中的占比将至少翻两番，即突破 10%。就具体的交通运输领域而言，73% 的专家认为电动汽车将

主宰未来的道路交通运输，64%的专家认为生物燃料或者其他合成燃料将成为航空运输的主要燃料。

6、如何系统思考各个用能部门的相互关联性？

大部分的能源专家都认为电力、供暖和交通运输等用能部门彼此间存在相互作用，如彼此的基础设施之间存在相互联系。然而，到目前为止很少有专门的政策来考虑到这个相互作用问题，因此需要更多的资金投入该领域的研究上面。基础设施的相互关联性不仅仅只是能源行业问题，也涉及建筑业以及城市和农村规划。事实上，行业之间的相互关联性需要进行系统性的考虑，这就要求政府、学术界和工业界从系统层面进行思考和决策。

7、储能是未来电网的支持者还是竞争者？

相比 2010 年价格水平，2015 年电动汽车用锂离子电池模块的价格已大幅下跌 65%，且还在持续下降。随着价格下降，储能技术的经济竞争力逐渐显现。一旦可再生能源并网比重超过 30%，储能技术的价值就体现出来了，其能够在太阳能和风能发电过剩的时候将多余电量存储起来作为备用容量，而在太阳能和风能不足的时候作为补充以解决太阳能和风能发电的波动性问题。在未来电力系统中，储能技术是会取代部分电网还是作为电网补充来解决高比例可再生能源并网问题，对此专家还难以做出确切的判断，但是所有专家对储能技术的观点可总结为几点：（1）储能技术将在高比例可再生能源并网中发挥关键作用；（2）没有一种万能的储能技术，需要多种储能技术协同作用；（3）未来十年，锂离子电池将主宰电动汽车市场；（4）目前而言，难以判断何种储能技术最终会主宰整个储能市场；（5）基础研发工作对储能技术的发展至关重要；（6）储能技术的发展将推动能源市场的发展；（9）未来几年，为储能构建全新的商业模式和支持政策是最优先考虑事项。

8、可再生能源成本未来走向如何？

过去数十年，可再生能源发电成本一直在下降。其中，光伏发电成本在 2010-2015 年间大幅下降了 58%，并且仍在下降当中。国际可再生能源机构预测，到 2025 年光伏发电成本会在当前成本的基础上再降 57%。在某些国家，陆上风电在 2015 年就已经展现出与传统化石燃料发电相当的价格竞争力。大约四分之三的专家认为可再生能源成本会继续下降，且降速会比传统化石燃料更快。

9、可再生能源投资额及其从业人员数量将如何变化？

随着可再生能源市场规模扩大，该领域的投资规模也相应增大。2004 年全球可再生能源投资总额为 390 亿美元，之后每年都稳步增长，到 2011 年这一数值已经上升至 2790 亿美元，是 2004 年的 7 倍多。2012-2013 年，投资额出现了微弱的下降，主要原因是欧洲和美国支持政策的不稳定以及全球金融危机。随着经济向好、投资回升，到 2015 年底全球可再生能源投资总额达到 2860 亿美元。超过 63%的专家认

为到 2050 年可再生能源投资额至少翻番,25%的专家认为投资额会适度增加到 4000 亿美元左右,12%的专家则认为投资额仍然维持在现有的水平。截止 2015 年,可再生能源行业从业人员达到了 810 万,而 2014 年的时候仅为 300 万。超过 40%的专家认为到 2050 年可再生能源行业从业人员数量将超过 4500 万。

10、可再生能源政策将如何变化?

过去数十年,出台可再生能源政策的国家数量稳步增加。截至 2015 年底,至少有 173 个国家制定了可再生能源目标,有 146 个国家在国家/地方层面出台了可再生能源支持政策。电力部门仍是决策者主要关注的领域。经过多年的发展,可再生能源政策的作用已发生了显著的变化:从最初的促进可再生能源技术创新发展和市场构建以缩小和传统能源成本差距的功能,转向了促进新商业模式和市场的设计。

11、可再生能源对人口密集的大城市意味着什么?

2000 年,城市人口的数量占比首次超过 50%。截至 2015 年底,全球城市人口数量总和达到了 39.6 亿,到 2030 年这一数值有望增长至 51 亿。就区域而言,75%的印度专家认为由于空间限制,在未来化石燃料仍将是大城市主要的能源资源,33%的拉丁美洲专家和 25%的中国专家也表达了相同观点。相反,欧洲、澳大利亚和美国专家中各自都有 75%的专家认为可再生能源将是未来大城市的主要能源资源。放眼全球,对未来大城市而言,67%的专家都认为化石能源不会是主要能源资源。61%的专家认为集中式可再生能源(如陆上风电、地热能)将会成为未来大都市的主要能源来源。

12、可再生能源能否在改善全球能源贫困问题方面发挥关键作用?

当前,全球仍有约 15 亿的人口(相当于全球总人口的 1/7)过着没有电的生活,尽管在扩大用电普及率方面取得了一些进展,但近 30 亿人仍然使用污染燃料做饭。改善能源贫困是国家可持续发展、建立社会公平体系的重要内容。而开发利用可再生能源则是解决能源贫困问题的重要途径之一。最新的统计数据显示,当前可再生能源满足了全球约 2600 万户家庭(约 1 亿人)的电力服务需求,且这一数字还在持续增加。未来分布式可再生能源在解决能源贫困方面将发挥怎样的作用,对此专家意见不一。来自发展中国家的能源专家大部分认为单靠分布式可再生能源是不足以解决全球性的能源贫困问题,需要结合大规模的集中式能源。就全部专家而言,56%的专家认为可再生能源能够保证全球人人享有能源服务。

(郭楷模)

WEF 评估各国能源架构绩效

3月22日，世界经济论坛（WEF）发布《2017年全球能源架构绩效指数报告》³指出，小规模经济体在进行能源转型，即建设安全、经济、环保的国家能源系统方面优势明显，且领先幅度不断增大，而大型经济体则面临严峻挑战。报告以能源架构绩效指数形式综合考量全球127个国家在“能源三角”中三个维度的表现，即经济促进力、环境可持续性、能源获取安全性，以此评估该国的能源架构与能源供应能力并做出排名。最新排名显示，瑞士、挪威和瑞典位列能源架构绩效指数榜单前三甲，中国位列第95位。中国正在大力推进高难度的能源结构转型，一方面加大对能源产业的投入，另一方面注意“能源三角”各维度的平衡关系。在具体指标上，中国的“能源进口多样化”指标排在全球首位。虽然在空气治理等方面正在采取积极措施，能源的环境可持续性得分依然靠后（位列112）。同时，“能源强度”（位列107）和“发电碳排放量”（位列102）指标有待改进以提升整体竞争力。报告主要结论如下：

（1）排行前列国家组成多样化。虽然就国内生产总值（GDP）和人口规模来说，位列榜单前茅的国家多数为小型经济体，但法国（第5）、英国（第15）和德国（第19）等大规模经济体也表现不俗。领先国家的组成多样性表明任何国家都有潜力改善能源系统。

（2）欧洲国家排名遥遥领先。排行前20名的国家中，多数为欧洲国家。拉美国家由哥伦比亚（第8）、乌拉圭（第10）和哥斯达黎加（第14）领跑；新西兰位列第9。欧洲国家在榜单上的上佳表现也反映了该地区长久以来的协同合作收到了良好成效。然而，鉴于非洲大陆整体资源禀赋水平较低的现状，许多国家仍存在很大的改进空间。

（3）世界主要能源消费国表现欠佳。中国（第95）、印度（第87）、日本（第45）、俄罗斯联邦（第48）和美国（第52）等主要能源消耗国，在全球排名中的成绩均上升缓慢或有所下滑。这些能源消费大国需要加大力度，克服其能源系统转型过程中的众多严峻挑战，才能对全球能源结构产生积极影响。

（4）领先国家与落后国家间差距在快速增大。对全球127个经济体的能源架构绩效进行指数排名显示，排名前20经济体的能源架构绩效指数平均增值是其他所有经济体的两倍。

基于对能源领域的领跑者以及排名迅速提升的国家分析，报告提出推动能源行业发展的三大战略建议：

- 制定长远战略方向，并坚定执行：确立长期愿景的政府应该长时间内保持政策

³ World's Largest Economies Lag Behind in Delivering Secure, Affordable, Sustainable Energy.
<https://www.weforum.org/press/2017/03/world-s-largest-economies-lag-behind-in-delivering-secure-affordable-sustainable-energy/>

的连续性，这对于能源行业的发展至关重要。清晰的目标和明确的长期发展方向可为政策目标制定奠定良好的基础，维护行业稳定，鼓励长期投资。

•协同制定适配政策，促进能源系统转型：只有符合国家实际情况的政策才能最有效地促进能源系统转型。这意味着国家需要创造机会，鼓励创新，采纳灵活政策，为有前景的技术提供支持，让本土技术得到更大发展空间。

•有效引导投资，侧重关键领域：足够的投资规模是保障能源转型、满足能源需求的前提。坚持长期愿景的稳定性对于树立投资者信心至关重要。投资可以为能源系统转型提供必要的资金支持，需要创新的办法来确保一个有吸引力的投资环境。选择正确的公私合作关系模式是促进投资同时保护国家利益的关键。

（吴勘 郭楷模）

项目计划

日本相继推出先进燃烧发电系统实证研究项目

抑制以煤炭和液化天然气为燃料的火力发电过程中产生的二氧化碳，是应对温室效应的一个关键途径。为了实现将二氧化碳排放量减少三成的目标，日本政府相继资助了数个新一代火力发电技术开发项目。

1、开展吹氧 IGCC 发电系统实证研究

3月30日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布将于2017-2019财年，开展“煤气化燃料电池联合循环发电（IGFC）实证项目”第一阶段的示范研究工作，即对“吹氧煤气化联合循环发电系统（吹氧IGCC）”示范工程开展实证研究⁴。将从发电系统的性能、可用性、可靠性和经济效益几个方面对吹氧IGCC发电系统进行验证，目标是大幅降低以1300℃级燃气轮机为核心的吹氧IGCC发电系统的CO₂排放量，并实现与现行粉煤发电同等水平的净热效率（高热值），即40.5%。通过此次示范工程的实证业务，为后续配备CO₂捕集的IGCC和IGFC示范项目培育技术及经验，力图在2025年左右开发出能够投入实用的IGFC技术。

NEDO“煤气化燃料电池联合循环发电（IGFC）实证事业”于2012年启动，分为三个阶段：

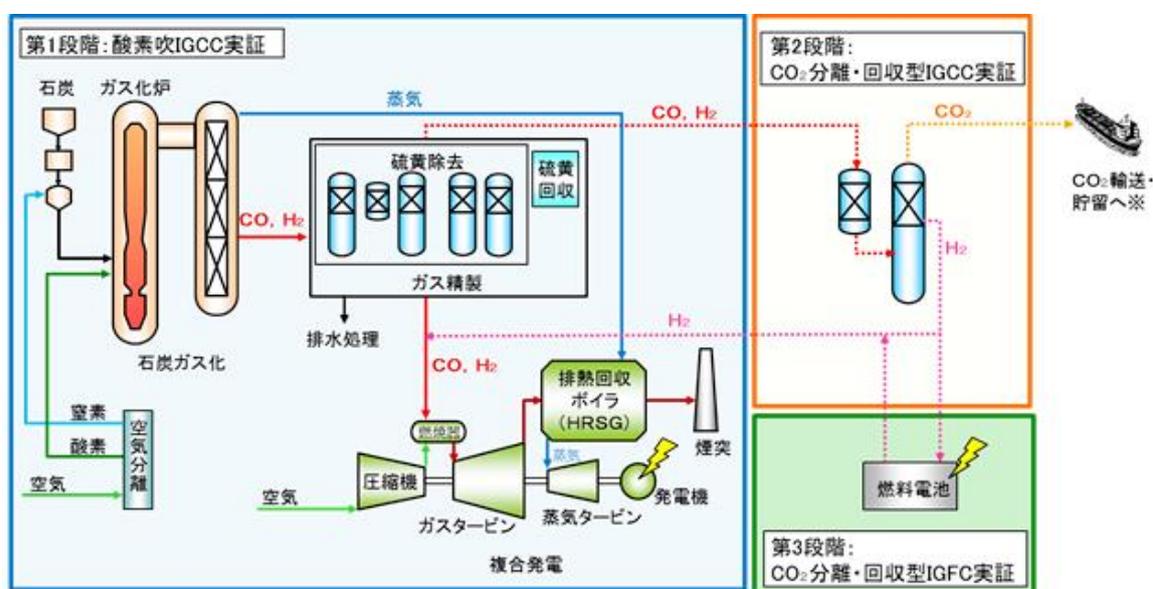
第一阶段：吹氧IGCC示范系统设计、建设和实证研究。于2012年启动，在大崎电站内建设了向煤气化炉供应氧气，实施燃气轮机与蒸汽涡轮联合发电的吹氧IGCC验证试验设施。设施于2015年度开始试运行，预定2017年3月正式投入示范运行。通过上述实证实验能够为下述商业化目标奠定技术基础：1500℃级燃气轮机

⁴ 酸素吹IGCCの実証試験を開始. http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100745.html

为核心的吹氧 IGCC 发电系统实现 46% 的净热效率（高热值），单位 CO₂ 排放量减少到 650 gCO₂/kWh 左右（比目前降低 20% 左右）。

第二阶段：配备碳捕集的 IGCC 示范系统设计、建设和实证研究。于 2016 年开始，将从煤炭发电系统的性能、可用性、可靠性和经济效益几个方面对增加配备 CO₂ 捕集设备的吹氧 IGCC 进行验证。旨在将 CO₂ 捕集率提高到 90%，大幅降低煤炭火力发电 CO₂ 排放量，并实现与现行粉煤发电同等水平的净热效率（高热值），约 40%，将研究回收二氧化碳发生能源损耗而导致发电效率降低的课题。

第三阶段：配备碳捕集的 IGFC 发电系统设计、建设和实证研究。计划于 2018 年启动，增加燃料电池联合发电单元，旨在 2025 年左右开发大型商业化 IGFC 技术，目标是使净热效率达到 55%，单位 CO₂ 排放量减少到 590 gCO₂/kWh 左右（比目前降低 30% 左右）。



※石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業にはCO₂輸送及び貯留試験は含まれていない。

年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
第1段階 酸素吹IGCC実証	詳細設計・建設				実証試験					
第2段階 CO ₂ 分離・回収型IGCC実証					詳細設計・建設		実証試験			
第3段階 CO ₂ 分離・回収型IGFC実証							詳細設計・建設		実証試験	

图 1 NEDO 煤气化燃料电池联合循环发电（IGFC）实证项目概要

2、开展 SOFC 和微型燃气轮机联合发电系统实证研究

4月3日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）启动了“固体氧化物燃料电池（SOFC）和微型燃气轮机联合发电系统”实证研究⁵，将与三菱日立电力系

⁵ 燃料電池とガスタービンを組み合わせた複合発電システムの実証開始。
http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100748.html

统有限公司、日本特殊陶业株式会社联合开展，从发电系统的性能、可用性、可靠性和经济效益几个方面对联合发电系统进行示范，旨在通过热电联产方式提高燃气轮机发电效率，减少能源消耗和碳排放。通过此次示范系统的实证研究，以降低联合发电系统制造成本和培育大规模生产制造技术，加速实现联合发电系统商业化。

上述联合发电系统的工作原理是，将微型燃气轮机的压缩机升压的空气提供给 SOFC 用作氧化剂，之后将 SOFC 高温废气输送给微型燃气轮机，将其热量、压力与剩余燃料共同用于发电。在提高效率方面充分发挥了加压后电压会增大的加压型 SOFC 的特性。SOFC 则以从天然气中提取的氢作为燃料与空气中的氧发生反应生成电力。

（郭楷模）

英国资助超 1 亿英镑支持无人驾驶和低碳汽车研发

4 月 11 日，英国商业、能源与产业战略部和交通部联合宣布，资助 1.09 亿英镑用于支持“低碳车辆技术”和“无人驾驶”两个主题下遴选的 38 个研发项目⁶，旨在强化政府与企业合作，研发创新的无人驾驶和低排放先进车辆技术，助力英国成为先进车辆技术的全球领导者。本次资助的项目具体内容如下：

1、先进低碳车辆技术（资助金额：7870 万英镑）

开发一系列超低和零排放车辆技术，包括适用于高性能车辆的大功率电池，降低 SUV 车身重量以及改善其电气化水平，提高发动机燃烧效率等。14 个创新项目获得了资助，参与机构包括宝马、CNH 工业、福特汽车有限公司、捷豹路虎、Penso 咨询公司、韦斯特菲尔德跑车有限公司、威廉姆斯先进工程公司、Equipmake、英国大型跑车公司、里卡多创新、罗姆斯科技有限公司和赖特巴士公司。

项目资助机构：先进动力中心（APC）、低排放车辆办公室（OLEV）。

2、互联网无人驾驶技术（资助金额：3100 万英镑）

开发智能高级驾驶辅助系统（ADAS）验证方法，无人驾驶汽车网络互连系统，无人驾驶汽车自动防撞系统，非侵入式车辆监控系统（NiVMS），车辆 5G 通讯技术，并在英国汽车工业较发达的西米德兰兹地区建立一个无人驾驶汽车和车联网技术的测试设施中心，在伯明翰和伦敦之间建立一条专用的无人驾驶汽车路测通道。

项目资助机构：英国创新机构（Innovate UK）。

（吴勘 郭楷模）

⁶ Over £109 million of funding for driverless and low carbon projects.
<https://www.gov.uk/government/news/over-109-million-of-funding-for-driverless-and-low-carbon-projects>

前沿与装备

单壁碳纳米管基复合对电极增强钙钛矿太阳电池稳定性

金属有机卤化物钙钛矿太阳电池具有低成本、高效率 and 可溶液处理的简单制备工艺等优点，被认为是有望替代硅基电池的新一代光伏器件，成为近年来太阳电池研究领域的热点，然而较差的稳定性和较短的电池寿命阻碍了该电池技术的商业化进程。芬兰阿尔托大学 Gerrit Boschloo 教授课题组联合瑞士洛桑联邦理工学院研究人员首先通过化学气相沉积方法合成了高导电性的单壁碳纳米管（SWCNT），随后将其制备成薄膜与空穴材料 Spiro-OMeTAD 复合作为对电极（命名为 SWCNT-Spiro）以替代传统的金（Au）电极，构造了二氧化钛/钙钛矿/空穴/SWCNT-Spiro 电池结构。电压-电流曲线测试结果显示，基于 SWCNT-Spiro 对电极的钙钛矿电池光电转换效率为 15%，较传统 Au 电极钙钛矿电池的效率（18%）低一些。研究人员指出，这主要是由于 SWCNT-Spiro 方块电阻较大（为 $15\Omega\ \square$ ，Au 电极则不到 $1\Omega\ \square$ ）及其与空穴层的接触没有优化所导致电池的串联电阻较大，致使电池的电流和填充因子下降所致。但较传统的 Au 电极电池，SWCNT-Spiro 电池的稳定性显著增强。在氮气氛围、60 摄氏度、1 个标准太阳光连续照射环境下，传统 Au 电极电池才经历初始的 8 小时效率便大幅下降 20%，经过 140 小时后更是大幅下降近 80%；相反，SWCNT-Spiro 电池则展现出极其优秀的稳定性，其衰减速率仅为 $0.005\% \text{ h}^{-1}$ ，经过 580 小时连续光照其效率仍然维持在初始值的 80% 以上。该项研究通过将高导电性的单壁纳米管薄膜与空穴 Spiro-OMeTAD 材料混合替代金电极，不仅降低了电池的制造成本，还大幅增强了电池的稳定性，为设计和制备高效廉价的钙钛矿太阳电池开辟了全新的路径。相关研究成果发表在《Advanced Materials》⁷。

（郭楷模）

高效环保低成本 $\text{Ca}_{3-x}\text{Tb}_x\text{Co}_4\text{O}_9$ 热电材料

以热电材料为核心的热电转换技术能够将热能直接转换成电能，在转换过程中无噪音和有害物质的排放，是一种非常重要的清洁、环保新能源技术。然而传统的高效热电转换材料（如镉、碲化物等）含有有毒化学物质，对环境人体有害，因此开发环保高效廉价的热电材料成为该领域的前沿和热点。犹他大学 Ashutosh Tiwari 教授研究团队利用固态反应法制备了铽（Tb）掺杂的钙钴氧（ $\text{Ca}_{3-x}\text{Tb}_x\text{Co}_4\text{O}_9$, $x=0\sim 0.7$, x 为 Tb 元素的掺杂浓度）多晶热电材料，X 射线衍射谱结果显示当掺杂浓度为 0.5

⁷ Kerttu Aitola, Konrad Domanski, Juan-Pablo Correa-Baena, et al. High Temperature-Stable Perovskite Solar Cell Based on Low-Cost Carbon Nanotube Hole Contact. *Advanced Materials*, 2017: 1606398.

时, $\text{Ca}_{3-x}\text{Tb}_x\text{Co}_4\text{O}_9$ 多晶热电材料衍射峰往高角度发生偏移, 即 $\text{Ca}_{3-x}\text{Tb}_x\text{Co}_4\text{O}_9$ 的晶格常数减小了, 这主要是由于 Tb 离子半径小于 Ca 离子半径所致; 而当进一步提高掺杂浓度 (x 大于 0.6), $\text{Ca}_{3-x}\text{Tb}_x\text{Co}_4\text{O}_9$ 多晶热电材料特征衍射峰 (002) 和 (003) 消失, 且出现其他杂峰, 即掺杂浓度超过 0.5 晶体出现了杂相。为此, 研究人员将掺杂浓度锁定在 0.5。扫描电镜表征结果显示, 相比无掺杂的 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$, $\text{Ca}_{2.5}\text{Tb}_{0.5}\text{Co}_4\text{O}_9$ 多晶热电材料晶粒边缘出现钝化, 晶粒之间链接性提高了, 有助于改善材料的热导、电导性能。热电性能表征显示, 室温下 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ 的赛贝克系数 (S) 为 $46 \mu\text{V K}^{-1}$; 而 Tb 掺杂的 $\text{Ca}_{2.5}\text{Tb}_{0.5}\text{Co}_4\text{O}_9$ 多晶热电材料的赛贝克系数增大了, 且当温度升到 800K 时, 其 S 系数大幅增大到 $323 \mu\text{V K}^{-1}$ 。激光闪光热导率测试结果显示, 室温下 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ 热导率为 $2.41 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$, 而掺杂 Tb 元素的 $\text{Ca}_{2.5}\text{Tb}_{0.5}\text{Co}_4\text{O}_9$ 多晶热导率减小至 $1.34 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 。最后利用测试的数值结合热电转换效率性能优值 ZT (ZT 值越大, 转换效率越高) 公式得出, 在 800K 温度条件下, 无掺杂的 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ 热电材料 ZT 值达到 0.12, 而 $\text{Ca}_{2.5}\text{Tb}_{0.5}\text{Co}_4\text{O}_9$ 多晶热电材料的 ZT 值更是高达 0.74, 是迄今为止 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ 基热电材料的最高值。该项研究通过掺杂工艺设计合成热电材料, 大幅提高了材料的热电转换性能, 获得了创纪录的热电转换效率性能优值 ZT , 为研发和设计高性能热电材料提供了全新的思路。相关研究成果发表在《*Scientific Reports*》⁸。

(郭楷模)

新型高效廉价电催化剂材料大幅减少贵金属铂用量

铂金属材料在燃料电池、催化转化和许多化学工艺中起着重要的作用, 是用于催化析氢反应 (HER) 最活跃的电催化剂, 但是由于 Pt 的高价格和稀缺性, 开发用于未来可再生能源系统有效且廉价的 HER 电催化剂显得意义重大。芬兰阿尔托大学 Tanja Kallio 教授研究团队开发了一种全新的高效电催化剂材料, 其铂的使用量仅为商用催化剂的百分之一, 大幅降低了电解水制氢的成本。首先, 研究人员采用一种新颖简单的电化学方法来将 Pt 原子分散在单壁碳纳米管 (SWNT) 的侧壁上, 通过电化学吸附在 SWNT 上形成 SWNT-Pt 复合电极。由于在 SWNT 载体上的 Pt 负载量较低, 超过了循环伏安 Pt 电化学特征峰可以检测的最低值。通过高精度的 XPS 和 EDX 测量, 结果显示 SWNT 上 Pt 负载量仅为 0.19-0.75% (原子比) 和约 $114\text{-}570 \text{ ng cm}^{-2}$, 即 SWNT-Pt 复合电极的 Pt 含量极低。尽管 Pt 含量低, 但 SWNT-Pt 电极依旧显示出了极其优异的 HER 电催化活性, 诸多关键性能接近甚至高于商用的 Pt-C 催化剂。根据密度泛函理论 (DFT) 计算表明, 作为固定 Pt 原子的催化剂载体, SWNT 在提供原子分散体方面具有更高的能力, 并且高比表面积的 SWNT 上的单个 Pt 原

⁸ Shrikant Saini, Haritha Sree Yaddanapudi, Kun Tian, et al. Terbium Ion Doping in $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$: A Step towards High-Performance Thermoelectric Materials. *Scientific Reports*, 2017, 7: 44621.

子位点可以拥有更大的接触面从而更加有效地对 HER 进行电催化。这项研究工作为设计和研发具有超低 Pt 负载但具有超高电化学活性的电化学催化剂材料开辟了新的途径。相关研究成果发表在《*ACS Catalysis*》⁹。

(吴勘 郭楷模)

人工合成生物膜阴极提高微生物燃料电池性能

传统微生物燃料电池中自然生物膜放电的方式很难控制，导致它们在使用过程中不太稳定，这一缺点限制了微生物燃料电池的发展。拜罗伊特大学 Ruth Freitag 教授课题组采用湿法静电纺丝技术将微生物（希瓦氏菌）嵌入水凝胶（聚乙烯醇），成功研制出比自然薄膜发电性能更加优异的人工生物薄膜阴极。这种生物薄膜阴极主要在发电效率、稳定性等方面优化了微生物燃料电池的能源生产。研究人员利用嵌入聚合物纤维网络的微生物新陈代谢可以保证源源不断的发电，并且电力相当高。通过对比研究发现，基于新型人工合成生物薄膜阴极的微生物燃料电池性能比采用自然生物膜阴极的电池更加优异，在铜导体表面人工生物薄膜产生的最大功率密度可达 $64.7 \pm 19.4 \text{ mW m}^{-2}$ ，是自然生物薄膜阴极的两倍。此外，人工生物薄膜达到最大功率密度的时间仅需 24 h（自然生物薄膜需要 50 h），并在此后稳定发电。自然生物膜放电的方式很难控制，使得传统微生物燃料电池不太稳定。相比之下，拜罗伊特大学研制的新型生物薄膜电极产能是可靠和可预见的，因为人工合成生物薄膜中微生物的浓度是可以调控的。该项研究研发出了新型人工生物薄膜阴极应用于微生物燃料电池，提高其发电效率，改善其稳定性，对微生物燃料电池的商业化有重大的推动作用。研究人员下一步将致力于静电纺丝制膜技术的规模化。相关研究成果发表在《*Macromolecular Bioscience*》¹⁰。

(朱好婷 郭楷模)

⁹ Mohammad Tavakkoli, Nico Holmberg, Rasmus Kronberg, et al. Electrochemical activation of single-walled carbon nanotubes with pseudo atomic-scale platinum for hydrogen evolution reaction. *ACS Catalysis*, 2017, doi: 10.1021/acscatal.7b00199.

¹⁰ Patrick Kaiser, Steffen Reich, Daniel Leykam, et al. Electrogenic Single-Species Biocomposites as Anodes for Microbial Fuel Cells. *Macromolecular Bioscience*, 2017: 1600442.

英俄研究人员展望未来数年俄罗斯原油产量将稳定增长

近日，英国牛津大学能源研究所资深研究员 James Henderson 和俄罗斯科学院能源研究所高级分析师 Ekaterina Grushevenko 共同署名发布了题为《俄罗斯原油产量展望 2020》报告¹¹，对 2020 年及以后俄罗斯原油生产的前景进行展望，指出过去十年稳定增长的历史将会继续。2016 年上半年削减整体产量的协议将对增长产生短期阻力，但 2017 年的平均水平仍将比 2016 年高出近 2%。同时，制裁将继续影响俄罗斯引进技术对难开采储层进行开发。然而，对企业和区域层面的分析表明，除非原油价格再次崩溃或制裁进一步收紧，未来几年俄罗斯原油产量的前景将依然乐观。报告要点如下：

(1) 2016 年回顾

继 2015 年增长 1.4% 后，2016 年俄罗斯原油和凝析油产量继续增长了 2.2%，日均产量达到 1096 万桶，11 月更是达到峰值 1129 万桶/日。2016 年延续了过去几年的增长趋势，其最大的石油公司产量平稳或略有下滑，增长主要由中小企业所带动。如表 1 所示，前三名原油生产商合计小幅下滑，而俄罗斯天然气工业股份公司、斯塔夫特、巴斯克内特、瓦泰克和其他较小的生产商原油产量则大幅增长。

表 1 俄罗斯原油生产商原油和凝析油产量(千桶/日)

	2015	2016	% change
Rosneft	3800	3799	0%
LUKOIL	1721	1662	-3%
SurgutNG	1237	1239	0%
Gazprom Neft	689	757	10%
Tatneft	547	575	5%
Slavneft	311	300	-3%
Bashneft	400	428	7%
Russneft	148	140	-5%
Gazprom	341	348	2%
Novatek	95	161	70%
Other	1435	1556	8%
Russia Total	10725	10965	2%

钻井作为俄罗斯新兴和现有油田生产的主要驱动力在 2016 年度继续突显。自 2007 年以来，原油生产和生产钻井（以米计）的 R 平方根相关性为 0.96，除了 2014 年油价开始下滑之外，钻井和原油产量在过去十年以相似的速度增长。2016 年，开发钻井达到 24680 米，比 2015 年增加了 12%，比 2007 年钻探的 13750 米高出近 80%。

(2) 2017-2020 年原油产量预测

¹¹ Russian Oil Production Outlook to 2020.

<https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2017/02/Russian-Oil-Production-Outlook-to-2020-OIES-Energy-Insight.pdf>

采用《巴克莱全球 E&P 支出展望 2017》的最新数据¹²来分析俄罗斯前六大原油生产商的资本支出和生产趋势，结果如图 1 所示，基于 2017 年 62 卢布=1 美元的汇率，预计 2017 年全年平均产量低于 1110 万桶/日。

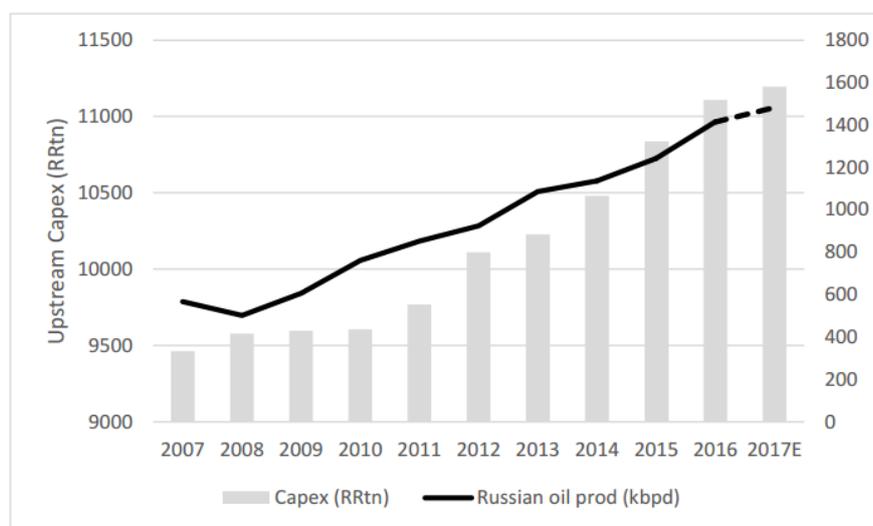


图 1 俄罗斯原油产量和卢布资本支出关联图

Rosneft 最大的生产子公司 Yuganskneftegas 自 2008 年以来的平均产量下降了 0.6%，自 2012 年以来下降了 1.3%，但 2016 年的产量增长了 2%，而 Rosneft 表示在 2019 年之前仍会继续投资。因此，从 2012 年平均水平下降以来，预计未来三年将增长 2%。相比之下，Rosneft 的 Purneftegaz 子公司自 2012 年以来平均每年下滑 6.8%，预计这一比率将会持续。Surgutneftegas 在西西伯利亚的主要生产公司过去五年表现出相当好的势头，以每年 0.9% 的速度下降，由于公司对投资的重点在于维持生产水平，预计下降将持续到 2020 年以后。俄罗斯天然气工业公司在 2016 年年均下降了 6%，并将继续下滑。预计俄罗斯的棕地资源将在 2020 年之前以每年平均 2.1% 的速度下降。在绿地原油资源方面，Rosneft 的 Vankorskoye 和 Verkhnechonskoye 处于已经达到高峰产出但尚未进入全面衰退阶段的特殊情况，最近开发的俄罗斯天然气工业原油公司的 Prirazlomnoye 和 Novy Port 油田都还处于成长阶段，而卢卡尔的 Filanovskoye 油田则于 2016 年开始生产。同时，全新资源区包括俄罗斯原油公司的 Russkoye 油田，其东西伯利亚的 Yurubcheno-Tokhonskoye 和 Kuyumba 区块将由 BP 和印度公司联盟掌控的 Taas-Yuriakh 合资企业于 2018 年开始第二阶段开发，目前中石化正在谈判购买其股份。

将棕地和绿地资源分析的影响相结合，俄罗斯原油产量到 2020 年的持续增长状况如图 2 所示。在没有考虑到 2017 年上半年 OPEC 减产协议的情况下，2017 年的总产量将达到 1125 万桶/日。预计欧佩克协议不会破坏俄罗斯的长期增长前景，到 2020 年的总产量可能达到 1165 万桶/日。之后，由于资产的可见度变得不那么明显，

¹² Barclays: Global E&P spending expected up 7% in 2017.
<http://www.ogj.com/articles/2017/01/barclays-global-e-p-spending-expected-up-7-in-2017.html>

产量将逐渐下降，随着新区域的开发，在相当长的一段时间内产量有可能持续高于 110 万桶/日。

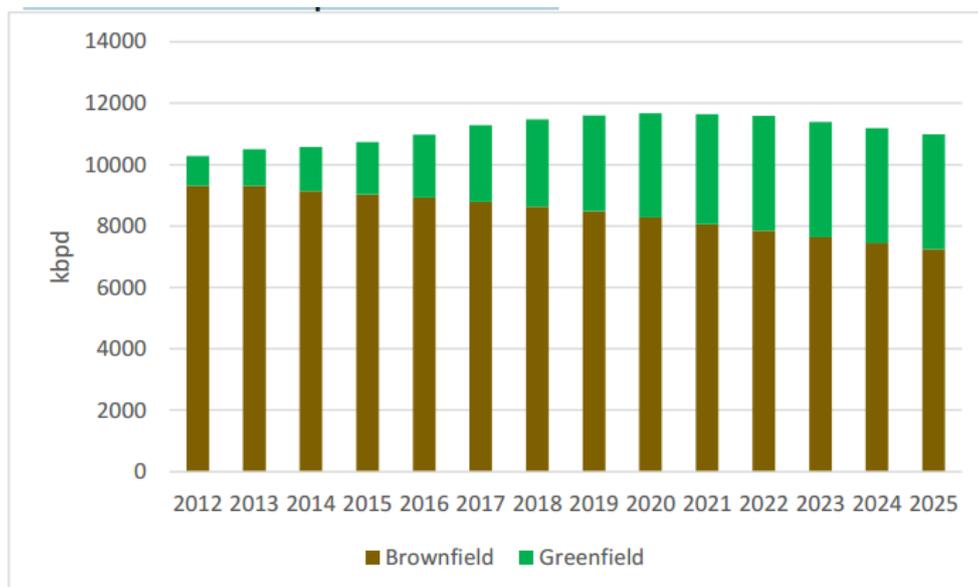


图 2 2017-2025 年俄罗斯原油产量预测 (单位: 千桶/日)

报告还进行了敏感性分析 (图 3)，预测的主要敏感性因素是棕地资源的下降幅度和新资源区域开发的时间。在假定棕地资源开发下降幅度为 6%，同时将绿地资源生产延期两年的情况下，结果显示到 2020 年产量将下降到 1000 万桶/日，到 2025 年则下降到 900 万桶/日以下；而在更缓和的下降情况下 (假定棕地资源开发下降幅度为 4%)，至 2020 年产量将仍然高于 1100 万桶/日，到 2025 年下降到 1000 万桶/日。综合分析，到 2020 年俄罗斯原油产量将至少达到 1000 万桶/日，并有可能超过 1100 万桶/日。

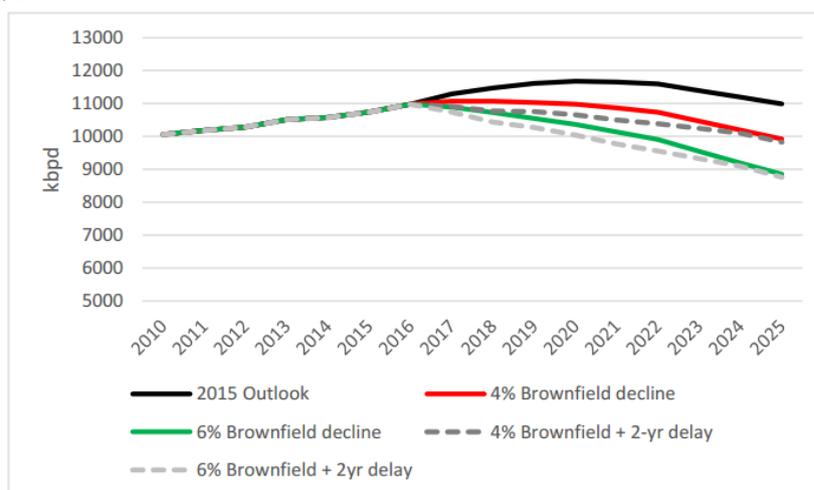


图 3 俄罗斯原油产量预测敏感性分析

(3) 长期机遇分析

虽然预测显示原油产量在 2020 年后会下降，但实际上也有可能维持在 1100 万桶/日甚至更多。中长期的增长主要来自于三个方面：第一个是东西伯利亚已经成为

越来越重要的开发区域。俄罗斯东部地区的发展是政府战略性优先事项，该地区预计资源量达 1600 亿桶，探明储量 100 亿桶，而且东西伯利亚太平洋（ESPO）主要管道现已建成并正在扩建基础设施，可以将任何产出转移至国内或出口市场。俄罗斯原油公司、俄罗斯天然气工业股份公司、苏尔古特原油公司和伊尔库茨克原油公司都是该地区原油产量增加的主要推动力，中国和亚太地区原油需求的增长也提供了显著的投资动力。此外，来自中国、印度以及 BP 等更多外资公司的参与也将提供重要的资金和技术支持。俄罗斯政府正在区域开发方面鼓励税收优惠，俄罗斯东部地区的总产量在未来十年中可能达到 250 万桶/日。

另一个具有重大传统原油生产潜力的地区是俄罗斯北极大陆架。在乌克兰危机爆发后，2014 年美国 and 欧盟对俄罗斯的制裁已经严重拖延了海外勘探工作的进展。然而从长远来看，假设原油价格恢复到足够高，俄罗斯北极就有可能开发多达 500 亿桶的原油资源（以及更多的天然气）。制裁前由俄罗斯原油公司和埃克森美孚公司在南卡拉海的第一个重大发现可能含有多达 90 亿桶原油。尽管成本高，但俄罗斯政府再次提供了税收优惠措施，以确保原油开发可以盈利，盈亏平衡价格通常在 60-80 美元/桶的范围内。实际上，2030 年之前俄罗斯北极地区将不会生产任何原油，但此后则可以大大提升该国的原油产量。

第三个潜在增长机遇是俄罗斯的非常规原油资源，包括致密油和页岩油。美国和欧盟已经禁止提供技术和资金来开发俄罗斯的页岩资源，但俄罗斯和国际公司正在探索非页岩非常规资源，以开发这个潜力巨大的资源储备。Bazhenov 页岩油田中关键的初期工作已经完成，这一资源位于传统的西西伯利亚油藏之下，可能含有高达 750 亿桶原油资源，使俄罗斯成为世界上最大的页岩油国家。俄罗斯自然资源部初步估计，随着时间的推移，这些资源可以使产量达到 150 万桶/日。俄罗斯石油公司、俄罗斯天然气工业股份公司和卢克石油公司等国内公司花费了大量时间调查资源，挪威石油公司和英国石油公司等国际公司现在正在不违反制裁的情况下调查其他非页岩非常规资源。其中最重要的是提供足够的设备来钻取最终需要的数千口井，俄罗斯政府通过提供减税来鼓励投资，并敦促其主要公司继续探索。尽管只有彻底取消制裁才能取得实际性进展，但致密油能够提供未来产量增长的第三种来源。

（吴勘 郭楷模）

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

