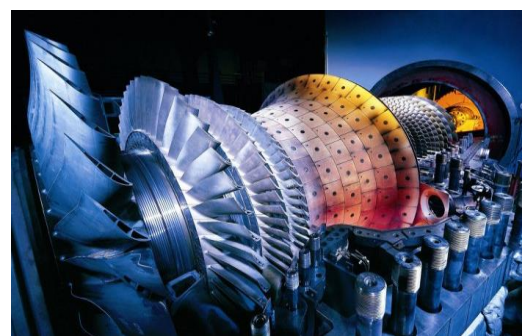


# 先进能源科技动态监测快报



## 本期重点

- BP：全球能源需求持续疲软 能源结构转向绿色低碳
- REN21：2016年可再生能源发展再创新高
- ARPA-E 资助先进能效和电力电子技术研究
- 全球石油需求回暖 市场或于2018年恢复供需平衡

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

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

电 话：（027）87197630

## 目 录

### 决策参考

BP: 全球能源需求持续疲软 能源结构转向绿色低碳 .....2  
REN21: 2016年可再生能源发展再创新高 .....5

### 项目计划

ARPA-E 资助先进能效和电力电子技术研究 .....8  
DOE 资助 2800 万美元加速先进化石能源系统研究 ..... 10  
DOE 资助 690 万美元开展煤炭及副产品回收稀土元素研究 ..... 10

### 前沿与装备

基于宇称-时间对称性开发高性能远距离无线电力传输系统 ..... 11  
液化气电解质让储能器件实现超低温高效运行 ..... 12  
新型催化剂实现低温水煤气高效转换 ..... 13  
新型多相结构正极材料增强锂离子电池性能和稳定性 ..... 13

### 能源资源

全球石油需求回暖 市场或于 2018 年恢复供需平衡 ..... 14

## 本期概要

英国石油公司 (BP) 发布《世界能源统计年鉴 2017》指出, 2016 年全球能源消费持续疲软, 需求重心大幅转移至亚洲, 伴随可再生能源快速发展, 能源结构稳步向低碳转型: 2016 年, 全球一次能源消费连续第三年呈现疲软态势, 仅增长 1.0% (2014 年为 1%, 2015 年为 0.9%), 远低于过去十年的平均值 (+1.8%)。几乎所有的增长来自快速发展的新兴经济体 (+86%), 但其 2016 年的增幅 (+1.7%) 仍然远低于过去十年的平均值 (+3.7%)。新兴经济体占到全球能源消费的 58.4%, OECD 国家能源消费仅微弱增长 0.2%。从燃料类型来看, 2016 年石油仍是全球能源消费结构中占比最高的燃料来源, 占到全球能源消费总量的三分之一, 归因于低油价刺激终端消费, 连续第二年占比增加。煤炭消费占比下滑至 28.1%, 是 2004 年以来的最低值。天然气占比达到 24%。水电占比达到 6.9%。非水电可再生能源发电增长持续强劲, 在一次能源消费中占比已达到近 3%。截至 2016 年, 全球碳排放连续第三年持平 (2014-2016 年)。

21 世纪可再生能源政策网络 (REN21) 发布《全球可再生能源现状报告 2017》指出, 全球可再生能源新增装机 161 GW, 超过化石能源新增装机容量, 创历史新高。但可再生能源应用仍然面临诸多挑战, 为了加速和扩大可再生能源部署, 实现“人人享有可持续能源目标”倡议, 决策者需要采取如下措施: (1) 积极应对气候变化问题, 在全球范围内取消化石燃料补贴, 并逐步退役化石燃料电厂; (2) 减少化石燃料和核能投资, 制定新的政策鼓励和引导可再生能源投资; (3) 制定专属政策大力发展可再生能源和相关使能技术, 扩大分布式能源部署; (4) 加大对供热制冷部门、交通部门和跨部门可再生能源应用的政策支持力度。

美国能源部先进能源研究计划署 (ARPA-E) 宣布资助 3200 万美元用于两个主题研究计划: 一是“高能光波集成技术增强数据中心服务能力 (ENLITENED)”主题研究计划, 旨在构建全新的数据通信网络设计方案, 以优化数据中心基础设施架构, 以期在未来 10 年内将数据中心的能效翻番; 二是“基于氮化物宽禁带半导体的电力电子变换器 (PNDIOCES)”主题研究计划, 开发革新的新型高效、轻量化、可靠的电力电子变换器替代传统的硅基变换器, 增强电力电子变换器性能同时降低成本和能耗。详见正文。

国际能源署 (IEA)、美国能源信息署 (EIA) 和石油输出国组织 (OPEC) 三大机构 6 月份月度石油市场报告, 对 2018 年国际石油市场进行了展望: (1) 在库存方面, 假设欧佩克国家继续遵守其减产协议的情况, 直到 2018 年 3 月协议期满之后, 石油库存才有可能下降至供需平衡状态; (2) 在原油价格方面, 布伦特原油 2017 年预计平均现货价格为 53 美元/桶, 2018 年价格上涨至 56 美元/桶。2017 年和 2018 年 WTI 价格预计比布伦特原油价格低 2 美元/桶; (3) 在需求方面, 2017 年世界石油需求预计将较 2016 年的水平上涨 127 万桶/日, 其中经合组织总需求预计将再次增长 23 万桶/日, 非经合组织石油需求将继续增长 104 万桶/日。预计 2017 年石油消费总量约为 9638 万桶/日。(4) 在供应方面, 2017 年, 预计美国原油供应量将增长 43 万桶/日, 年底增长量将达到 92 万桶/日。非欧佩克组织 2017 年的产量预计将增长 70 万桶/日, 2018 年预计产量将增长 150 万桶/日。

### BP：全球能源需求持续疲软 能源结构转向绿色低碳

6月13日，英国石油公司（BP）发布《世界能源统计年鉴 2017》<sup>1</sup>指出，2016年全球能源消费持续疲软，需求重心大幅转移到亚洲快速发展的新兴经济体；伴随可再生能源快速发展，能源结构稳步向低碳转型。报告要点如下：

#### 1 概览

2016年，全球一次能源消费连续第三年呈现疲软态势，仅增长1.0%（2014年为1%，2015年为0.9%），远低于过去十年的平均值（+1.8%）。除欧洲和欧亚地区外，其他地区消费增速均低于其十年平均值；几乎所有的增长来自快速发展的新兴经济体（+86%），但其2016年的增幅（+1.7%）仍然远低于过去十年的平均值（+3.7%）。新兴经济体占到全球能源消费的58.4%；中国和印度一起占所有增长的一半左右；其中印度的能源需求增长了5.4%，保持了近年来的强劲增长势头；中国能源消费增长进一步放缓（+1.3%），是近20年来最低增长速度，但仍连续16年成为全球一次能源消费增长绝对值最大的能源市场。OECD国家能源消费仅微弱增长+0.2%。全球碳排放连续第三年持平（2014-2016年）。

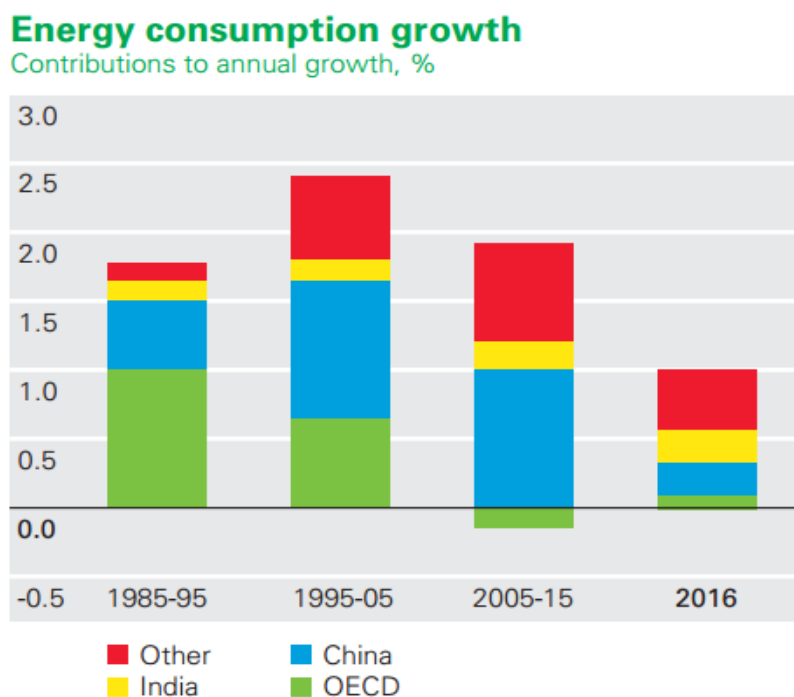


图1 1985-2016年全球能源消费增幅变化态势

从燃料类型来看，2016年石油仍是全球能源消费结构中占比最高的燃料来源，

<sup>1</sup> BP Statistical Review of World Energy June 2017.

<http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>

占到全球能源消费总量的三分之一，归因于低油价刺激终端消费，连续第二年占比增加。煤炭消费占比下滑至 28.1%，是 2004 年以来的最低值。天然气占比达到 24%。水电占比达到 6.9%。非水电可再生能源发电增长持续强劲，在一次能源消费中占比已达到近 3%。

2016 年布伦特原油年度平均价格为 44 美元/桶，较 2015 年的 52 美元/桶下滑了 15%，创下 2004 年以来的最低平均价格，反映了原油生产和消费之间日益扩大的不平衡。液化天然气贸易强势崛起，增长了 6.2%，反映了全球天然气市场持续不断的基础性转变，即转向一体化、更具竞争力和灵活性的天然气市场。

## 2 石油

2016 年全球石油消费连续第二年强劲增长，日均消费增加 160 万桶，同比增长 1.6%，高于过去十年的平均水平（1.2%）。OECD 国家石油消费量增加 43 万桶/日（+0.9%），远高于过去十年的平均增幅（-0.9%）。美国（10 万桶/日，+0.5%）和欧盟（30 万桶/日，+1.9%）石油消费增长量都大幅超过了过去十年平均增速。非 OECD 石油净进口国取得显著增长，尤其是印度，消费量增加了 33 万桶/日，同比增加 7.8%，是过去十年平均增幅的 1.5 倍多，超过日本成为世界第三大石油消费国；中国石油消费需求增长 40 万桶/日，同比涨幅 3.3%，低于过去十年 5.7% 的平均水平。石油生产国消费量的疲软增长使得非 OECD 国家整体增长（112 万桶/日，+2.6%）低于近期历史平均值。

受到价格疲软的影响，全球石油生产量仅微弱增长了 0.5%（+40 万桶/日），是 2009 年以来的最低增幅。中东地区石油产量大幅增加，其中伊朗、伊拉克和沙特石油产量分别增长了 70 万桶/日、40 万桶/日和 40 万桶/日，使得 OPEC 产量增加 120 万桶/日，达到 3930 万桶/日，连续第二年超过 2012 年的峰值。相反，非 OPEC 国家的产量减少了 80 万桶/日，创 25 年来最大降幅，使得非中东地区的石油产量减少了 130 万桶/日，最大的降幅来自美国（-40 万桶/日）、中国（-31 万桶/日）和尼日利亚（-28 万桶/日）。

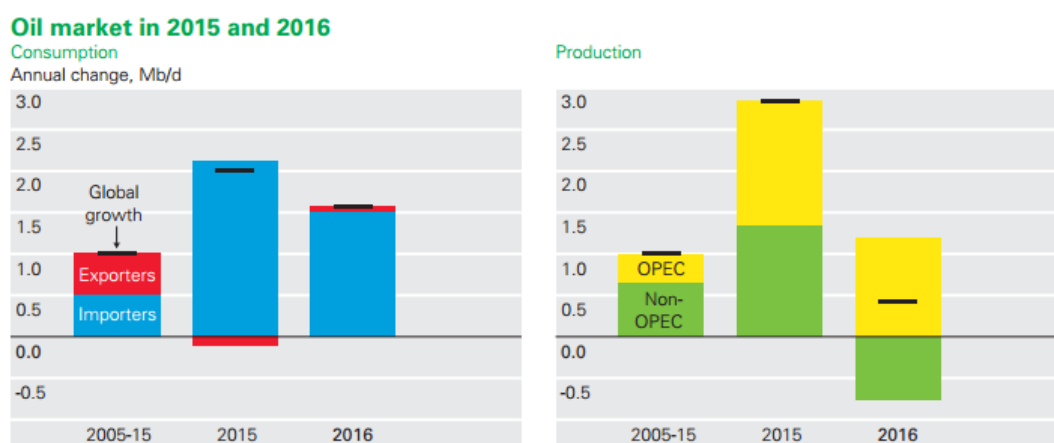


图 2 2015 和 2016 全球原油市场消费和生产情况



### 3 天然气

2016 年全球天然气消费量增加了 1.5%，与 2015 年增幅 (+1.7%) 相当，但仍低于其过去十年 2.3% 的平均值。和石油一样，非 OECD 国家天然气消费量增幅 (+1.3%) 低于其近十年的历史平均值 (3.4%)；但 OECD 国家天然气消费增长显著，达 1.7%，高于历史平均值 (1.2%)。新兴经济体中，印度 (+9.2%) 和中国 (+7.7%) 天然气消费录得全球最大消费增量，尽管中国增幅仅为过去十年增幅的一半。OECD 国家中，欧盟消费量大幅飙升了 7.1%，是 2010 年以来增幅最大的年份。

2016 年，全球天然气产量仅微弱上涨 0.3%，是 34 年来增幅最低的年份（扣除金融危机期间），还不到过去十年平均值 (+2.5%) 的八分之一。受到价格进一步下滑的影响，美国天然气产量自页岩革命以来首次出现下降 (-2.6%)；此外，墨西哥天然气产量更是大幅减少 13%；受此影响，北美地区天然气产量显著下降 2.5%。由于新的液化天然气生产设施投放，澳大利亚天然气产量大幅飙升 25.2%，成为亚太地区增幅最大的国家。受到澳大利亚产量增加的驱动，全球液化天然气进口/出口增长 6.2%。未来三年，随着天然气新项目的逐步上线，液化天然气产量预计将增长 30% 左右。

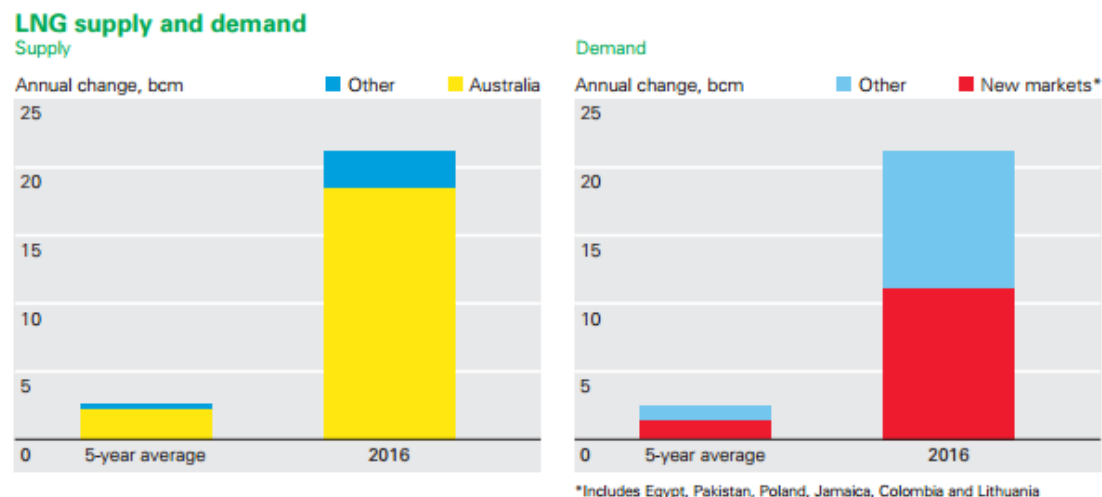


图 3 2016 全球 LNG 市场供需情况及过去 5 年的平均年度变化

### 4 煤炭

2016 年全球煤炭消费量下降 1.7%，连续第二年下降，使得煤炭在一次能源消费结构中的占比减少至 28.1%，是 2004 年以来的最低值。美国 (-8.8%) 和中国 (-1.6%) 的消费下降是主要驱动因素，而印度 (+3.6%) 和印尼 (+22.2%) 煤炭消费量有所增长。全球煤炭产量下降 6.2%，创造了有史以来的最大降幅。美国 (-19%)、中国 (-7.9%) 和印尼 (-6.2%) 均出现显著降低。

### 5 核能与可再生能源

2016 年全球核能发电量增长 1.3%，中国 (+24.5%) 几乎贡献了所有增量，已超过韩国成为第四大核电生产国。日本以 +289.7% 增幅成为了全球核电增幅最大的国家。

比利时和瑞典摆脱了 2015 年下滑的态势，分别增加了 66.3% 和 11.1%。核电占到全球一次能源消费的 4.4%。

全球水电产量增长 2.8%，与过去十年平均值 2.9% 基本持平，主要的增长源来自中国（+4%）和美国（+5.9%）。非水电可再生能源发电同比增长 14.1%，低于过去十年平均值，尽管如此，2016 年仍是可再生能源增幅最大的年份，占到全球能源消费的 3.1%。中国以 33.4% 的增幅成为全球可再生能源增幅最大的国家。风能（+16%）仍是可再生能源发电最大来源，2016 年风能提供全球可再生能源增量的一半以上。太阳能发电增长 30%，尽管当前其在全球可再生能源发电的占比仅为 18%，但太阳能增量已经占到可再生能源增量的三分之一。2016 年，中国新增可再生能源占全球可再生能源增量的近 40%，超过美国、欧洲成为全球最大的可再生能源发电国。

（郭楷模）

## REN21：2016 年可再生能源发展再创新高

6 月 7 日，21 世纪可再生能源政策网络（REN21）发布《全球可再生能源现状报告 2017》<sup>2</sup>指出，快速下滑的成本、日益凸显的价格竞争力、政策扶持、改善的融资环境、能源安全与气候变化问题的关注以及发展中国家和新兴经济体日益增加的能源需求等诸多因素均推动可再生能源在全球快速发展，促使全球加速从依赖化石能源的世界向可再生能源转型。2016 年，全球可再生能源新增装机 161GW，占同期全球新增装机的 62%，超过化石能源新增装机容量，创历史新高。尽管取得了长足进步，但可再生能源应用挑战犹存，包括比例日益增加的可再生能源发电并网带来的电网稳定性问题、政策不稳定性、研发投入不足、监管障碍和财政约束等。报告要点如下：

2016 年可再生能源新增装机容量再创新高，达到 161 GW，较 2015 年增加约 9%，使得全球累计装机达到 2017 GW。其中，太阳能光伏在新增装机容量中占比最高，约为 47%；紧随其后的是风电（34%）和水电（15.5%）。截至 2016 年底，可再生能源提供了全球近四分之一（24.5%）的电力需求，其中水电能够满足 16.6%，可再生能源能够满足 19.3% 的终端能源需求（2015 年）。全球能源相关碳排放连续三年保持稳定，主要归因于煤炭消费需求下降、可再生能源使用量的增加和能源效率的提升。而德国和丹麦高比例可再生能源并网成功案例表明，通过电网互联、系统耦合以及相关技术的支持（如信息通信技术、储能系统、热泵等），即使没有化石燃料和核能“基荷电源”，仍然可以在电网稳定性无损前提下实现高比例的可再生能源并网。伴随技术进步，可再生能源电力成本正在快速下滑。根据最新统计数据显示，2016 年丹麦、阿根廷、印度、沙特阿拉伯、约旦等国家的可再生能源电力竞标价格

<sup>2</sup> Renewables Global Status Report 2017.

[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399\\_GSR\\_2017\\_Full\\_Report\\_0621\\_Opt.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf)



均创新低，已降至每度电 0.05 美元甚至更低，较化石能源发电和核电的等效成本更为低廉，表明了可再生能源成本竞争力日益增强。全球可再生能源发电仍由公用电力机构或大投资商拥有的大型发电站（兆瓦规模以上）主导，但分布式小型可再生能源发电已蓬勃兴起。受此影响，依托移动技术的即收即付制（Pay-As-You-Go, PAYG）的商业模式得到迅速扩张。

尽管供暖制冷部门向可再生能源转型步伐较为缓慢，但也取得了积极的进展。当前，现代可再生能源供应已占到全球建筑和工业供热制冷服务终端用能的 9%，大部分来自生物质能，还有少部分由太阳能热利用和地热提供。太阳能过程热应用领域越来越广，从最初的餐饮领域拓展到了采矿等领域，而且还在不断扩展新的应用领域。欧洲众多国家正在积极将太阳能热利用整合到区域供暖系统，且正在部署数个大型项目，其中丹麦项目数最多，处于领先地位。然而区域制冷系统中应用可再生能源还较为罕见。总体而言，受到低油价和政策支持力度匮乏的影响，可再生能源在供暖制冷领域的应用发展进展不甚理想，亟需技术创新和加大政策扶持力度。

2016 年可再生能源占到道路交通燃料用量的约 4%，液体生物燃料仍是主要贡献力量。随着压缩天然气车辆和加气站等基础设施在持续扩张，生物沼气在美国和欧洲的交通燃料用量中的占比日益增加。此外，交通电气化水平不断增加，2016 年全球新售 75 万余辆电动汽车，将全球电动汽车保有量提高至 200 万辆；并且探索将可再生能源集成到电动汽车充电站的方法也在不断创新。但对交通部门可再生能源应用的政策支持力度还低于电力部门。

截至 2016 年底，全球几乎所有的国家都在国家/地方层面出台了可再生能源支持政策，其中至少有 176 个国家制定了可再生能源目标。电力部门仍是决策者主要关注的领域，该领域出台的相关支持政策数量是交通运输领域的 2 倍，是供暖制冷领域的 6 倍。电力招标制近年来获得了越来越多的关注，至少有 34 个国家已开展了可再生能源电力招标。而反观供热制冷部门，对可再生能源的支持力度远低于其它部门，截至 2016 年底有 47 个国家制定了可再生能源供热制冷目标。已出台的政策主要关注可再生能源供热技术，而忽视了制冷技术，而且主要关注的是住宅和商业建筑的小规模太阳能热利用（如太阳能热水器）。截止 2016 年底，至少 137 个国家制定了能效政策，其中 48 个国家采用全新或修订的能效政策。在交通部门，截至 2016 年底，有 41 个国家制定了可再生交通燃料发展目标，已有 68 个国家出台了生物燃料指令，几乎所有的可再生能源支持政策都是用于道路交通的第一代生物燃料生产和利用，而促进先进生物燃料开发、可再生能源和电动汽车的集成以及在航空、航海和铁路运输中应用可再生能源的政策支持还较为迟缓。

表 1 2015 -2016 年可再生能源发展部分统计数据

	2015	2016
年度可再生能源新增投资（亿美元）	3122	2416
累计可再生能源电力装机容量（不含水电，GW）	785	921
累计可再生能源电力装机容量（包含水电，GW）	1856	2017
累计水力发电装机容量（GW）	1071	1096
累计生物质发电装机容量（GW）	106	112
年度生物质发电量（TWh）	464	504
累计地热发电装机容量（GW）	13	13.5
累计光伏发电装机容量（GW）	228	303
累计太阳能热发电装机容量（GW）	4.7	4.8
累计风力发电装机容量（GW）	433	487
累计太阳能热水器容量（GW <sub>th</sub> ）	435	456
年度乙醇产量（亿升）	983	986
年度生物柴油产量（亿升）	301	308
制定有可再生能源政策目标的国家数量	173	176
制定有固定上网电价政策的国家/地方政府	110	110
制定有可再生能源配额标准政策的国家/地方政府	100	100
制定有竞争性招投标过程的国家/地方政府	16	34
制定有供热要求的国家/地方政府	21	21
制定有生物燃料掺混目标的国家/地方政府	66	68

2016 年，全球可再生能源（不包括 50MW 以上的水电项目）新增投资 2416 亿美元，约等于化石燃料投资的两倍，但较 2015 年仍下降 23%（主要原因是可再生能源成本大幅下降），投资的主要流向仍为风能和太阳能光伏。投资的增长带来了更多的就业岗位。截至 2016 年底，全球范围内可再生能源行业从业人数共计 980 万人。可再生能源不仅能解决化石能源领域的失业难题，同时也会成为全球经济的主要驱动力。

报告最后指出，为了加速和扩大可再生能源部署，实现“人人享有可持续能源目标”倡议，决策者需要采取如下措施：（1）积极应对气候变化问题，在全球范围内取消化石燃料补贴，并逐步退役化石燃料电厂；（2）减少化石燃料和核能投资，制定新的政策鼓励和引导可再生能源投资；（3）制定专属政策大力发展可再生能源和相关使能技术（如信息通信技术、储能系统、热泵等），扩大分布式能源部署，完善现代能源系统的构建，解决数亿人的能源缺口问题；（4）加大对供热制冷部门、交通部门和跨部门可再生能源应用的政策支持力度，去除妨碍可再生能源在这些部门扩大应用的供应侧和需求侧两方面障碍。

（郭楷模）

## 项目计划

### ARPA-E 资助先进能效和电力电子技术研究

6月14日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布资助3200万美元用于两个主题研究计划<sup>3</sup>。

#### (1) “高效光波集成技术增强数据中心服务能力（ENLITENED）”主题研究计划

旨在开发革新的高密度、高效光子互联技术以替代传统的金属互联技术<sup>4</sup>，构建全新的数据通信网络设计方案，以优化数据中心基础设施架构，以期在未来10年内将数据中心的能效翻番，提高数据中心的绿色化程度。ENLITENED 研发项目具体内容参见表1。

表1 ENLITENED 项目具体内容

承担机构	研究内容	资助金额/ 百万美元
Ayar 实验室公司	开发全新的封装工艺将处理器芯片与光子收发器进行集成，在此基础上开发全新的数据中心架构，以提高中心能效，减少能耗	2
哥伦比亚大学	开发革新的网络架构以减少数据中心能耗，具体包括：通过解构计算和内存资源，以及将它们与统一的光子互联联系起来以改善数据中心的资源分配；引入基于多芯片光子互联集成的概念模块（MCMs）的数据中心节点；开发新一代的硅基光子互联技术	4.4
IBM 托马斯沃森研究中心	开发可与集成电路芯片和变换器集成封装的芯片级光模块，将数据中心系统信息带宽提高2倍，来改善数据中心能效 利用低功耗、纳秒运行速率的光子变换器来开发全新的网络技术，依托该新网络技术构建全新的数据中心架构，降低数据中心能耗	5.86
麻省理工学院	借助光互联将硅半导体与光纤进行互联，开发混合通信技术，应用于未来能效中心	1.26
加州大学伯克利分校	利用高效、大带宽的硅光子互联技术为其仓库级计算机 FireFox 搭建全新的网络拓扑结构，设计出全新的低延时网络架构，实现对处理器、内存和存储器等组件电能的精准、优化控制，从而提高数据中心能效	2
加州大学圣芭芭拉分校	开发和验证能够将光子通信接口集成到芯片封装工艺的技术平台，减少数据传输的能耗	4.4
加州大学圣地亚哥分校	开发基于光子电路开关的分布式控制技术的能效架构；开发一种低损耗的光子变换器技术，提高光子传递信息效率；开发可规模化封	3.8

3 Department of Energy Advances \$32 Million in Funding for Advanced Technologies. <https://energy.gov/article/s/department-energy-advances-32-million-funding-advanced-technologies>

4 金属互联（也即基于铜线的电互联），由于受损耗和串扰等因素的影响，该互联技术在高带宽情况下的传输距离受到了限制，成本也较为高昂。与电互联相比，基于多模光纤的光互联具有高带宽、低损耗、无串扰、易匹配及电磁兼容性好等优点。

分校	装的高能效光互联技术	
南加州大学	开发一个测试平台和框架来评估光互联、光电子互联通信技术在减少数据中心能耗方面的潜力	1

## (2)“基于氮化物宽禁带半导体的电力电子变换器 (PNDIOCES)”主题研究计划

开发全新的宽禁带半导体选区掺杂工艺（如添加特定的杂质以改变半导体的电子特性和物理特性），将其应用于氮化镓（GaN）以开发革新的高效、轻量化、可靠的电力电子变换器替代传统的硅基变换器，增强电力电子变换器性能同时降低成本和能耗。PNDIOCES 研发项目具体内容参见表 2。

表 2 PNDIOCES 项目具体内容

承担机构	研究内容	资助金额/ 百万美元
Adroit 公司	利用离子注入和创新的无损退火技术开发全新的选区掺杂工艺对 GaN 进行 P 型镁掺杂，降低掺杂缺陷，应用于新一代的半导体器件	0.7
亚利桑那州立大学	开发全新的制备工艺来解决 GaN 材料选区外延生长面临的技术挑战，以开发出高性能的基于选区掺杂的 GaN 半导体的垂直功率晶体管	1.5
JR2J 公司	利用高温、快速的激光淬火技术来修复离子注入损伤的 GaN 半导体材料，确保 GaN 材料的半导体性能的完善	0.65
桑迪亚国家实验室	通过缺陷和掺杂控制，确保选区掺杂生长制备的 GaN 的 P-N 结二极管性能能够与传统的外延生长制备的 GaN 半导体 P-N 结二极管性能相当	1.9
纽约理工大学	利用全新的退火技术，确保硅、镁离子注入制备的 GaN 半导体 P-N 结性能的完善，同时深刻了解离子注入技术对于 GaN 半导体微结构及其 P-N 结性能的影响	0.72
密苏里大学	开发中子嬗变掺杂技术来制备掺杂高度均一的 GaN 晶片，研究该技术对 GaN 晶片的微结构、电学特性等的影响	0.25
耶鲁大学	通过再生长技术克服选区掺杂外延生长 GaN 技术面临的挑战，以制备出高性能、高稳定性的 GaN 垂直晶体管	1.12

(郭楷模)

## DOE 资助 2800 万美元加速先进化石能源系统研究

6月12日，美国能源部（DOE）宣布资助约2800万美元加速推进能源转换系统研发创新<sup>5</sup>，涵盖煤气化、先进燃烧系统和先进涡轮机三大主题领域，旨在提高现有和新建化石燃料发电厂发电效率和经济性，以实现近零排放。本次资助项目具体内容如下：

### 1、小型模块化新型煤气化技术（资助金额：1280 万美元）

用于支持开发先进技术，促进煤气化发电及多联产技术的商业化，为煤炭开采打开新的市场。资助技术领域主要有：（1）新兴煤气化技术模块化；（2）先进空气分离技术模块化，以在完全工程模块化系统（REMS）环境下实现吹氧煤气化炉；（3）对新型煤气化技术开展小规模前端工程设计研究。

### 2、先进燃烧系统：现有工厂改造和变革性技术（资助金额：1000 万美元）

先进燃烧系统计划侧重于化学链燃烧和加压富氧燃烧系统等变革性技术的研究、开发、集成和测试，以实现近期先进燃煤电厂技术的改进。资助技术领域主要涉及两个方面：（1）先进燃煤电厂改造技术；（2）先进燃烧使能技术和先进理念。

### 3、大学涡轮机系统研究（UTSR）计划（资助金额：515 万美元）

UTSR 计划支持大学开展燃气轮机项目合作，涉及燃烧、空气动力学/热传递和先进材料等各种技术主题。资助领域包括有助于提高燃气轮机性能和效率的六个技术主题：（1）“空气助燃”先进涡轮机的低氮氧化物排放燃烧技术开发；（2）“空气助燃”先进涡轮机的高级冷却技术开发；（3）“空气助燃”先进涡轮机的先进材料技术开发；（4）大数据分析；（5）先进检测仪器；（6）压力增益燃烧。

（吴勘 郭楷模）

## DOE 资助 690 万美元开展煤炭及副产品回收稀土元素研究

6月9日，美国能源部（DOE）化石能源局宣布资助690万美元用于稀土元素（REE）回收研究<sup>6</sup>，旨在开发经济、高效的稀土回收、分离和提取技术，以支撑和强化美国计算机、交通运输和国防等广泛需求稀土元素的领域研究。本次项目招标选取了三个资助领域，包括：（1）从煤炭及副产品中回收稀土元素；（2）稀土元素的分离和提取；（3）利用美国国内煤炭和副产品来生产可销售稀土元素。具体内容参见表1。

<sup>5</sup> DOE Announces \$28 Million for Advanced Energy Systems. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-28-million-advanced-energy-systems>

<sup>6</sup> DOE Announces \$6.9 Million for Research on Rare Earth Elements from Coal and Coal Byproducts. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-69-million-research-rare-earth-elements-coal-and-coal-byproducts>

表 1 稀土元素回收研究项目具体内容

主题	具体内容
从煤炭及副产品中回收稀土元素	使用现有的东肯塔基州煤炭制备厂的副产品作为稀土回收的原料，进行实验室测试，并为试点工厂生产技术做好设计准备，以生产可销售的稀土元素。
从煤矿废料中回收稀土元素	使用宾夕法尼亚州东部无烟煤矿煤的相关材料作为稀土元素的来源，进行实验室测试并准备一个生产可销售稀土元素的中试生产。
利用美国国内煤炭和副产品来生产可销售稀土元素	使用现有西弗吉尼亚州煤制油厂的副产品作为提取稀土元素的原料，进行实验室测试，为生产可销售稀土元素的中试生产技术做好设计准备。

另外，DOE 还发布了稀土元素生产分离提取过程的项目招标公告。选定的项目将侧重于提高从美国国内煤炭及其副产品中回收稀土元素现有流程的技术、环境和经济效能。主要包括三个专题领域：（1）稀土回收提取先进技术开发；（2）优化目前最先进的稀土提取分离技术；（3）高纯度稀土萃取技术开发。

（吴勘 郭楷模）

## 前沿与装备

### 基于宇称-时间对称性开发高性能远距离无线电力传输系统

无线电力传输技术可通过电磁感应、电磁耦合谐振和射频等方式实现非物理接触式的电力传输，从而实现为各种用电设备（如手机、平板电脑、电动汽车等）进行无线充电，将极大地改善人们的生活方式。然而，电力传输距离短、电力传输效率低等问题阻碍了该技术的大规模普及应用。斯坦福大学 Shanhui Fan 教授课题组利用量子力学中的宇称-时间对称性（PT 对称性）原理开发了一种新型高性能无线电力传输系统，其能够在 1 米的距离变化范围内实现高效的电力传输，且传输效率不随距离的变化而改变，呈现良好的稳定性，对无线充电技术的发展具有重要的推动作用。研究人员首先通过理论模拟构建了基于 PT 对称性的无线电力传输系统，结果显示，与传统的无线电力传输系统不同，在一定的距离范围内（小于 120cm）该 PT 对称无线电力传输系统具备了自主频率选择特性，即其会根据接收线圈固有频率的变化以及距离变动自主变化电磁场频率，使得发射场线圈的和接收线圈在任何情况下都能保持统一的震荡频率而发生电磁共振，实现最优的电力传输。基于模拟结果研究人员搭建了一个 PT 对称的无线电力传输系统原型，对 LED 灯泡进行输电测试，结果显示 LED 可以正常点亮，更为关键的是在 1 米的范围内随意移动 LED 灯泡，



其亮度没有任何变化，表现出高效稳定地远距离输电性能。由于原型系统的频率较窄，当前的无线电力传输效率仅为 10%，但研究人员强调经过后续的优化，效率可达 90% 以上。相关研究工作发表在《Nature》<sup>7</sup>。（郭楷模）

## 液化气电解质让储能器件实现超低温高效运行

目前，电化学储能器件常用和广泛研究的电解质主要为液态和固态，然而前者存在热不稳定性安全隐患，后者性能不够理想，因此开发出高效、安全稳定的电解质是大幅促进储能器件及其相关应用领域（如电动汽车）快速发展的关键。加州大学圣地亚哥分校 Y. Shirley Meng 带领的研究团队开发了全新的液化气电解质，具备了优异耐低温特性，使得基于该新型电解质的锂离子电池和超级电容器实现了超低温环境下的高效运行，前者最低工作温度达到了 $-60^{\circ}\text{C}$ ，后者的最低工作温度更是达到了惊人的 $-80^{\circ}\text{C}$ ，创造储能器件的低温工作记录，大幅拓宽了锂离子电池和电容器的工作温度范围。研究人员首先将 0.1 摩尔浓度的四氟硼酸四乙基铵（TEABF<sub>4</sub>）液化气二氟甲烷作为电解质应用于超级电容器，循环伏安测试结果显示在  $25^{\circ}\text{C}$  温度下，电容器的工作电压窗口达到了 5.7V，最高工作电压为 2.47V，电容值为 375 F，阻抗为  $8.5\ \Omega$ ；而在 $-60^{\circ}\text{C}$ 时，其电压窗口为 6.83V，电容值仅小幅下降至 350 F，阻抗下降至 $\sim 5.8\ \Omega$ ；并且进一步提高温度（ $65^{\circ}\text{C}$ ）或者降低温度（ $-78^{\circ}\text{C}$ ），电容的阻抗无剧烈变化，即液化气二氟甲烷电解质电容器在 $-78^{\circ}\text{C}$ 和  $65^{\circ}\text{C}$ 表现出了大电压工作窗口和优异的性能稳定性，即将电容器低温极限工作温度从 $-40^{\circ}\text{C}$ 下降到了约 $-80^{\circ}\text{C}$ ，创造了低温的工作温度记录。进一步研究人员以钴酸锂（LiCoO<sub>2</sub>）为正极、锂金属为负极、液化气氟代甲烷电解质构建了锂金属电池。电化学测试结果显示，在  $25^{\circ}\text{C}$  温度、C/10 的放电电流下，氟代甲烷电解质和传统液态电解质锂金属电池性能相当，放电比容量均为  $133\ \text{mAh g}^{-1}$ ，前者的容量保持率为 81.2%，后者略高为 87.2%；但降低工作温度至 $-60^{\circ}\text{C}$ 时，氟代甲烷电解质电池仍然可以有效运行，容量保持率为 60.6%，将电池的原有的 $-20^{\circ}\text{C}$ 低温工作极限温度延伸至 $-60^{\circ}\text{C}$ ，创造了电池的低温工作记录；相反，当采用传统液态电解质的电池则完全冻住失效。更为关键的是，在  $25^{\circ}\text{C}$  温度、C/2 的放电电流下，经过 100 次循环后，氟代甲烷电解质电池容量保持率高达 97%，表现出优秀的性能稳定性；上述结果表明了液化气电解质能够大幅拓宽储能器件的工作温度范围。相关研究工作发表在《Science》<sup>8</sup>。

（郭楷模）

<sup>7</sup> Sid Assaworranit, Xiaofang Yu, Shanhui Fan. Robust wireless power transfer using a nonlinear parity-time-symmetric circuit. *Nature*, 2017, 387–390.

<sup>8</sup> Cyrus S. Rusomji, Yangyuchen Yang, Tae Kyoung Kim, et al. Liquefied Gas Electrolytes for Electrochemical Energy Storage Devices. *Science*, 2017, DOI: 10.1126/science.aal4263

## 新型催化剂实现低温水煤气高效转换

水煤气变换 (WGS,  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$ ) 提供了一条同时制取氢气 ( $\text{H}_2$ ) 并净化一氧化碳 ( $\text{CO}$ ) 的重要途径, 是工业上常用的廉价制氢技术。由于 WGS 是放热反应, 受到化学平衡限制, 低工作温度更有利于 WGS 反应往正方向进行。因此开发高效低温催化剂, 不仅有利于水煤气反应, 还能减少能耗, 降低生产成本, 意义重大。布鲁克海文国家重点实验室的 José A. Rodriguez 教授团队联合中国的研究团队通过在碳化钼 ( $\alpha\text{-MoC}$ ) 基底上负载的纳米金 ( $\text{Au}$ ) 团簇开发了一种全新的低温催化剂  $\text{Au}/\alpha\text{-MoC}$ , 将其应用于水煤气反应中, 实现了低温低压高效水气转化反应, 制备了高纯度的氢气。对水煤气反应进行研究, 结果显示负载的二维层状  $\text{Au}$  团簇的  $\alpha\text{-MoC}$  在低于 423K 的温度时的催化活性比先前报道的同样条件下的催化剂活性至少高出一个数量级。研究人员利用美国国家同步加速器光源 (NSLS) 在对催化剂进行结构研究, 以揭示在不同温度工作条件下催化剂结构如何变化。研究表明, 在 500K 以上的温度下  $\alpha\text{-MoC}$  转化为氧化钼 ( $\text{MoO}_2$ ), 导致催化活性降低; 在 303K 温度下,  $\text{Au}/\alpha\text{-MoC}$  中  $\alpha\text{-MoC}$  中的相邻 Mo 位点的强协同作用使得  $\text{Au}/\alpha\text{-MoC}$  能够有效活化水, 而吸附在  $\text{Au}$  位点邻近的  $\text{CO}$  易于与跟  $\alpha\text{-MoC}$  上水分解产生的表面羟基基团发生反应。另一方面, 研究者利用先进光源 (ALS) 和中国的两个同步加速器设施进行了进一步研究。结果表明,  $\text{Au}/\alpha\text{-MoC}$  催化的 WGS 是一个复杂的反应, 金和碳化物底物之间的相互作用非常重要。一般情况下, 金和其他物质的键合作用很弱, 而  $\text{Au}/\alpha\text{-MoC}$  这种新型的碳化物和  $\text{Au}$  纳米颗粒组装的方式大大增加  $\text{Au}$  对  $\text{MoC}$  的键合作用。这种组装方式稳定了反应中形成的关键中间体, 而中间体的稳定性决定了氢的产生速率高效。该项研究制备了全新的低温催化剂在使得水煤气反应能够在低温低压下高效进行, 降低了反应设施制备成本和能耗; 此外, 该反应能够有效去除  $\text{CO}$ , 有助于提高燃料电池的氢燃料运行性能并减少催化剂因  $\text{CO}$  中毒的可能。相关研究工作发表在《*Science*》<sup>9</sup>。

(朱妤婷 郭楷模)

## 新型多相结构正极材料增强锂离子电池性能和稳定性

目前锂离子正极材料研究主要集中在具备高工作电压的富锂材料, 然而富锂电正极材料易于发生结构相变、循环性能不佳等缺点。美国北卡罗莱纳农业技术州立大学 Sung-Jin Cho 教授与韩国首尔大学的研究团队联合开发了全新的多相结构 (MPS) 正极材料镍、钴掺杂的锂锰氧 ( $\text{NMC}[\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2]$ ), 显著提高了电池的性能和循环寿命。研究人员使用简单的喷雾干燥方法合成多孔金属氢氧化物前驱体, 通

<sup>9</sup> Siyu Yao, Xiao Zhang, Rui Gao, et al. Atomic layered Au clusters on alpha-MoC as catalyst for the low temperature water gas shift reaction. *Science*, 2017, DOI: 10.1126/science.aah4321

过煅烧合成多相正极材料，通过控制反应中锂的比例和烧结速率可以避免氮离子（ $\text{Ni}^{2+}$ ）的氧化。在锂化过程中，一些  $\text{Ni}^{2+}$  离子可能已经通过八面体-四面体-八面体途径从过渡金属离子层迁移到锂层，研究人员通过使用小的锂离子量（0.90-0.99%）使过渡金属发生部分迁移。此外，研究人员使用多孔金属氢氧化物前驱体有助于更快的锂化，显著降低了烧结时间，可以显著降低超过 35% 正极材料制备成本。同步加速器 X 射线衍射（SR-XRD）和选区电子衍射（SAED）显示单相结构（SPS）的 NMC 仅包含层状相（R-3m），而 MPS 正极包含层状相和尖晶石相（Fd-3m）。MPS 在高压和高温下具备优良的结构稳定性，并且通过提供独特的固体电解质界面（SEI）使得锂离子能够快速扩散，MPS 正极在 SEI 中有最小的锂损耗，能够形成更薄的 SEI 膜。由于多相结构 MPS 正极在高电压和高温下比 SPS 结构更稳定，循环后与 SPS 相比，MPS 显著降低了相变。在室温下，250 次循环后，MPS 的容量保持率为 75%，SPS 为 72%。与 SPS 相比，MPS 还显示出高达 8C 的高倍率能力。在高温（60°C）循环 50 次后，MPS 有 93.5% 的高容量保留率，而 SPS 仅为 79.1%。研究人员指出 MPS 多相正极的高性能归功于在较高电压下结构更稳定的多相结构。该项研究合成了多相结构的正极材料，大幅增强了电极材料的高温结构稳定性，从而增强了锂离子电池性能，为设计和开发高性能锂离子电池开辟了新路径。相关研究工作发表在《*Nature Materials*》<sup>10</sup>。

（罗卫 郭楷模）

## 能源资源

### 全球石油需求回暖 市场或于 2018 年恢复供需平衡

2017 年 6 月，国际能源署（IEA）、美国能源信息署（EIA）和石油输出国组织（OPEC）三大机构均发布了月度石油市场的报告，对 2018 年国际石油市场进行了展望：在供应方面，三大机构普遍预计 2018 年全球原油产量将快速增长；在需求方面，OPEC 预计世界石油需求将小幅上涨；而在库存方面，IEA 预计将持续增加至 2018 年 3 月；在价格方面，EIA 预计石油价格将存在很大不确定性。具体内容如下：

在供应方面，IEA《石油市场月度报告》<sup>11</sup>显示，美国的石油生产正在强劲增长。2017 年，预计美国原油供应量将增长 43 万桶/日，年底增长量将达到 92 万桶/日，显著高于 2016 年年底的供应量。2018 年美国原油产量预计将同比增长 78 万桶/日，而实际上增长可能会更快。对于非欧佩克组织的总体生产，预计 2017 年的产量将增

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

<sup>11</sup> OMR: Whatever it takes. <http://www.iea.org/newsroom/news/2017/june/omr-whatever-it-takes.html>

长 70 万桶/日，2018 年预计产量将增长 150 万桶/日，略高于全球需求预期的增长。当前欧佩克国家广泛实行减产，有些成员则低于减产标准。伊拉克今年的达标率只有 55%，委内瑞拉和阿联酋也落后。同时，两个欧佩克成员国由于没有纳入协议因而最近出现了产量增长：利比亚的产量已经达到近 80 万桶/日，这是自 2014 年以来的最高水平，尼日利亚宣布解除 Forcados 出口的不可抗力，产量有可能超过 20 万桶/日。按照这两个国家的性质，产量很容易回落；然而，如果利比亚和尼日利亚的产量继续增加，这些额外增加的产量将削弱欧佩克减产协议的价值，并有助于推迟市场的重新平衡。

OPEC《石油市场月度报告》<sup>12</sup>初步数据显示，5 月份世界石油供应量增长 13 万桶/日，平均达 9574 万桶/日，较上年同期增长 148 万桶/日。2017 年，非欧佩克石油供应量预计将增长 84 万桶/日，达到 5814 万桶/日。这一预测下调主要是由于对俄罗斯石油生产的期望较低，以及由于欧佩克和参与的非欧佩克生产商决定将石油减产协议延长 9 个月至 2018 年第一季度末。此外，2017 年第一季度美国石油供应量低于预期，增长回落 2.9 万桶/日至 80 万桶/日。预计加拿大和英国 2017 年的增长较快。2017 年 OPEC NGLs 和非常规液体产量预计增长 17 万桶/日，达到日均 622 万桶。

EIA《短期能源展望》<sup>13</sup>（STEO）显示，由于原油减产延长，欧佩克的原油生产目标将在 2018 年第一季度末维持在 3250 万桶/日。由于生产量减少，EIA 预测欧佩克成员国原油产量在 2017 年平均为 3230 万桶/日，而在 2018 年为 3280 万桶/日，相比之前的预测分别下降了 20 万桶/日和 40 万桶/日。OPEC 液体燃料总产量预计也将低于以前的预测。然而，许多非欧佩克国家的生产持续增长，预计将缓解 2017 年全球液体燃料库存消耗的步伐。EIA 预计 2018 年库存量将减少，2017 年美国原油产量预计为 930 万桶/日，而 2018 年继续增长至 1000 万桶/日，超过 1970 年 960 万桶/日的最高产量记录。

**在需求方面**，OPEC《石油市场月度报告》显示，2017 年世界石油需求预计将较 2016 年的水平上涨 127 万桶/日，与上个月的预测上涨幅度一致。预计经合组织总需求将再次增长 23 万桶/日，但与 2016 年相比增长较慢。非经合组织石油需求将继续增长 104 万桶/日。预计 2017 年石油消费总量约为 9638 万桶/日。

**在库存方面**，IEA 预测目前市场的波动性很大，波斯湾近期的紧张局势加剧，2018 年达成供需平衡似乎还有很长的路要走。由于全球产量增加导致库存居高不下，迫使石油价格下跌至 11 月底欧佩克部长级会议以来最低的水平。4 月份，在原油库存下降更为常见的季节里，经合组织总库存量意外大涨。2017 年迄今为止，已经增长了 36 万桶/日。5 月份的临时月度数据表明，经合组织的库存总体上基本无变化，

<sup>12</sup> OPEC Monthly Oil Market Report June 2017. [http://www.opec.org/opec\\_web/en/publications/338.htm](http://www.opec.org/opec_web/en/publications/338.htm)

<sup>13</sup> Global oil markets expected to tighten in third quarter 2017, then loosen through 2018. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=31652>

但最近美国的每周数据显示，国内产量上升、高进口、低出口和较弱的汽油需求，使得库存量进一步增加。在上个月的报告中，第二季度石油市场缺口为 70 万桶/日，但现在已经缩小到 50 万桶/日，主要原因是中国和欧洲需求疲软和全球供应增加。根据目前的数据，假设欧佩克产量稳定，下半年市场赤字应该是明显的，尽管需求和供应数据的不利变化可能会削弱预期的库存。基于目前对 2017 年和 2018 年的前景展望，结合欧佩克国家继续遵守其产出协议的情况，直到 2018 年 3 月的协议期满之后，库存才有可能下降到所需水平。

EIA 预计 2018 年第二季度全球库存量的增幅最大，巴西和欧佩克产量预计分别增长 57 万桶/日和 22 万桶/日。2018 年的供应增长可能会造成 2017 年年底之前石油价格的下行压力。EIA 预测，假设欧佩克减产将延续到 2018 年 3 月以后，不遵守减产协议的情况将在 2017 年晚些时候开始增多，并在 2018 年下半年增产。虽然这一预测基于 2018 年不遵守第二个减产延期的假设，但任何延期均对原油价格提供了一些支持，将部分抵消由于库存增加而导致的压力。

OPEC 指出，经合组织商业石油库存在四月份下跌至 30 亿桶，高于最近五年平均水平约 2.5 亿桶。原油和成品油分别比季节性规范高出约 1.71 亿桶和 8000 万桶。5 月份的初步数据显示，美国商业石油库存上涨至 13.46 亿桶，较五年平均水平高出 1.59 亿桶。中国最新消息显示，四月份商业石油总库存下降至 3.819 亿桶，较上一年下降 1510 万桶。其中，原油上涨 360 万桶，而成品油库存下降 1250 万桶。

**在原油价格方面**，EIA《短期能源展望》对 2017 年第二季度和第三季度的库存预测显示，未来几个月原油价格有可能上涨。然而，由于美国致密油生产与海上生产相比，对石油价格的变化相对敏感，预计石油价格变动与实际生产之间有六个月的滞后期，因此，2017 年中期原油价格的上涨有可能提高 2018 年美国的供应量。预测布伦特原油 2017 年平均现货价格为 53 美元/桶，2018 年价格上涨至 56 美元/桶。2017 年和 2018 年 WTI 价格预计比布伦特原油价格低 2 美元/桶。一如以往，所有的石油价格预测都有很大的不确定性。例如，EIA 对 2017 年 9 月份平均 WTI 价格的预测为 51 美元/桶，但期权交易分析表明，在 95% 的置信区间，市场预期从 39 美元/桶至 64 美元/桶。

OPEC 报告显示，五月份欧佩克一揽子参考油价下跌 4.2%，平均为 49.2 美元/桶。尽管欧佩克和非欧佩克正在调整产量，但原油期货价格继续下滑，美国产量继续上涨。布伦特原油期货价格下跌 4.5% 至 51.4 美元/桶，而 WTI 下跌 5% 至 48.54 美元/桶。布伦特和 WTI 差价扩大至 2.86 美元/桶，进一步支持美国原油出口。货币经理人将期货和期权的综合净头寸削减至 2016 年 11 月的水平。

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

微信公众号：CASEnergy

