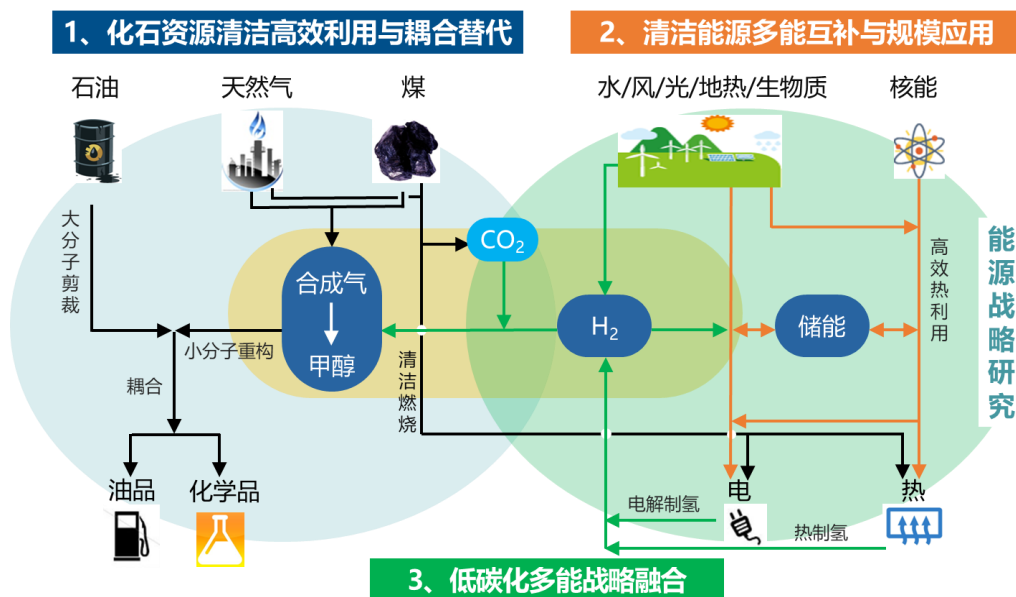




洁净能源科技动态监测快报

2020 年第 07 期（总第 09 期）



本期看点

- IEA: 未来五年全球天然气市场供过于求
- DOE 投入 1.22 亿美元建立煤基高价值产品创新中心
- IRENA: 过去十年可再生能源发电成本大幅下降
- DOE 1 亿美元建立国家实验室联盟推进氢能和燃料电池研发
- IEA: 疫情将导致 2020 年全球能源投资减少 20%
- BP: 全球能源需求增长放缓 可再生能源和天然气成增量主体

目 录

2020 年第 07 期 (总第 09 期)

◆ 低碳化多能融合

- IEA: 未来五年全球天然气市场供过于求 2
- DOE 投入 1.22 亿美元建立煤基高价值产品创新中心 5
- DOE 资助 1700 万美元开发二氧化碳转化技术 6

◆ 清洁能源多能互补

- IRENA: 过去十年可再生能源发电成本大幅下降 7
- 美国能源部资助 2.3 亿美元启动先进反应堆示范计划 9
- 新型电子传输层助力室内光源辐照有机太阳能电池效率超 30% 10
- 南京大学开发全球首个超过 500 Wh/kg 锂金属软包电池 11

◆ 化石资源清洁高效利用

- IEA: 全球氢能发展机遇前所未有 亟需加快发展低碳氢技术 13
- DOE 1 亿美元建立国家实验室联盟推进氢能和燃料电池研发 17
- DOE 资助 3000 万美元支持小型 SOFC 发电系统研发 17
- 逐步光沉积制备复合催化剂实现催化全解水量子产率纪录 18
- 机器学习技术助力快速研发高性能 CO₂ 电催化剂 20

◆ 能源战略研究

- IEA: 疫情将导致 2020 年全球能源投资减少 20% 22
- BP: 全球能源需求增长放缓 可再生能源和天然气成增量主体 24
- 国际能源署分析新冠疫情危机对洁净能源发展影响 26

本期概要

国际能源署 (IEA) 发布《天然气 2020: 新冠疫情危机对全球天然气市场发展影响》报告, 总结了 2019 年全球天然气市场供需及价格情况, 并对 2020 年至 2025 年的天然气市场发展做出了预测: 2019 年全球天然气消费增长放缓, 但天然气产量仍快速增长; 2020 年疫情导致的全球经济衰退将严重冲击天然气市场, 预计全球天然气需求将出现有记录以来的最大降幅 (-4%); 到 2025 年全球天然气需求将每年减少 750 亿立方米, 持续供过于求的态势; 中国将在 2023 年成为全球最大 LNG 进口国, 美国将在 2025 年成为全球最大 LNG 出口国。

美国能源部 (DOE) 宣布将投入 1.22 亿美元支持建立多个煤基高价值产品创新中心, 旨在开发创新方法以利用煤炭作为碳基原料生产高价值产品, 并提取加工稀土元素和关键矿产, 为煤炭发展创造新的市场: 研究和孵化具有环境可持续性的创新采矿、选矿、煤炭精加工和洁净利用技术, 培育下一代专业技术人才。煤基高价值产品创新中心将建立在美国煤炭资源丰富的地区, DOE 将在 2020 年第四季度组织招标, 基于不同煤炭富集区情况制定和实施开发策略。

国际可再生能源机构 (IRENA) 发布《2019 年可再生能源发电成本》报告, 总结分析了过去十年全球可再生能源发电成本变化情况: 过去十年全球可再生能源发电价格大幅下降, 大部分可再生能源发电技术已降至化石燃料发电成本区间; 光伏发电降幅最大 (-82%), 但地热能 (+53%) 和水电 (+27%) 成本有所上升; 疫情过后可再生能源仍具有竞争优势和投资潜力, 电价学习曲线显示到 2023 年光伏和风电成本将加速下降。

美国能源部 (DOE) 宣布未来五年投入 1 亿美元, 支持两个由 DOE 国家实验室主导建立的实验室联盟, 以推进氢能和燃料电池关键核心技术突破: 第一个国家实验室联盟将开发大规模、长寿命、经济可行的电解制氢技术; 第二个国家实验室联盟将加快重型车辆 (包括长途卡车) 燃料电池技术研发。

国际能源署 (IEA) 发布《世界能源投资报告 2020》指出, 新冠肺炎疫情将导致 2020 年全球能源投资减少 20%: 油气行业将受到最大影响, 投资降幅将达 32%。电力行业投资相对稳定, 但仍将降至近十年最低水平。化石燃料发电投资将降低 15%, 可再生能源发电投资则将下降 10%。预计 2020 年终端用能和能效部门投资将降低 12%。2019 年, 全球能源公私研发投入均增长 3%, 约 80% 的能源公共研发用于低碳技术。

南京大学 Haoshen Zhou 教授研究团队设计开发了一种基于阴离子氧化还原活性的正极材料体系锂金属软包电池: 得益于 Li_2O 与 Li_2O_2 之间的可逆转化, 电池器件的性能显著提升, 首次获得了超越 500 Wh/kg 的能量密度, 且具备良好的循环稳定性, 为设计开发高能量密度的锂金属电池开辟新思路。

日本信州大学 Kazunari Domen 教授带领的联合研究团队制备的复合催化剂创造全解水催化产氢析氧量子产率纪录: 研究人员利用逐步光沉积方法, 制备了多种催化剂同修饰的铝 (Al) 掺杂的钛酸锶 ($\text{SrTiO}_3:\text{Al}$) 复合催化剂, 在 350-360 nm 之间的紫外光波长领域实现了近 100% 的内量子产率。

化石资源清洁高效利用

IEA：未来五年全球天然气市场供过于求

6月10日，国际能源署（IEA）发布《天然气2020：新冠疫情危机对全球天然气市场发展影响》¹报告，总结了2019年全球天然气市场供应、消费及交易趋势。报告基于2020年新冠疫情危机对天然气市场的影响，分析并预测了到2025年全球天然气市场的发展态势。报告要点如下：

1、经过两年强劲增长，2019年全球天然气消费增长放缓，但天然气产量仍保持快速增长趋势

2019年全球天然气消费量增长700亿立方米，同比增长1.8%。2019年，美国和中国仍然是全球天然气最大消费市场，合计占全球天然气消费增长的三分之二以上。其中，中国天然气需求增长仅为8.6%（不到2018年同期增长率18.1%的一半），城市燃气和工业需求仍然是消费增长的主要驱动力。美国的需求主要由发电和能源行业自身的消费驱动。2019年欧亚和南美天然气消费量下降。经过连续三年的增长，俄罗斯天然气消费量在2019年下降了2.5%，主要原因是该国经济增长缓慢。大多数东南亚市场的天然气消费量有所增加。

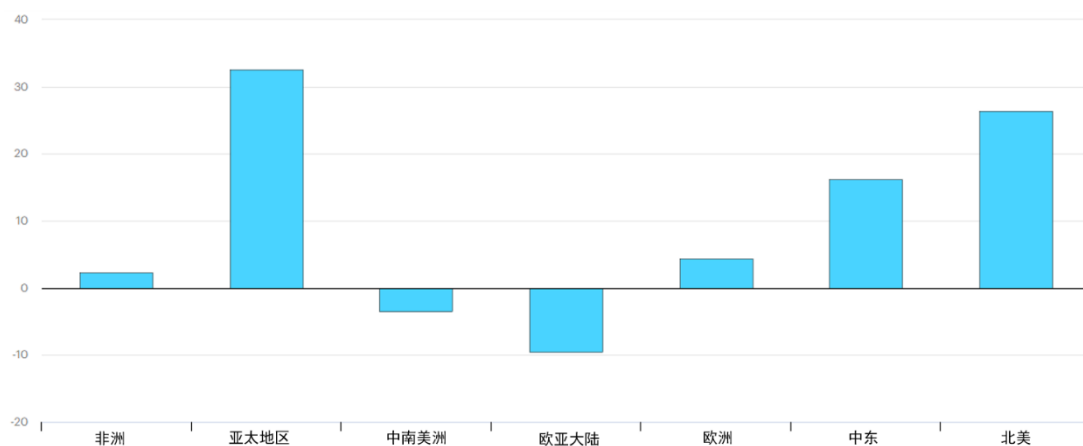


图1 2019年全球各地区天然气消费量同比变化（单位：十亿立方米）

煤改气是2019年全球天然气消费增长的最大单一因素，新增需求逾550亿立方米。美国天然气发电量创下历史新高（上涨8%），达到了创纪录的份额，约占总发电量的38%。中国工业和城市住宅及商用燃料向天然气转换导致的天然气消费增长占增长总量的一半以上。

¹ Gas 2020: Analysing the impact of the Covid-19 pandemic on global natural gas markets. <https://www.iea.org/reports/gas-2020>.

2019 年全球天然气产量继续保持快速增长 (+3%)，总产量首次突破 4 万亿立方米。美国是天然气产量增长的主要推动力，占全球天然气供应增量的 70% 以上。中国天然气产量在传统产区（陕西和四川）的发展下增长了近 10%（近 160 亿立方米）。由于天然气产量增长超过需求，欧洲和美国的天然气库存强劲增长。

2019 年全球液化天然气 (LNG) 贸易量增长 12%，供应量创纪录增长 50 亿立方米以上。美国、俄罗斯和澳大利亚推动全球 LNG 供应增长，共计占供应增量的 75% 以上。美国 LNG 出口增长了 70%，成为仅次于卡塔尔和澳大利亚的世界第三大 LNG 供应国。2019 年对 LNG 液化设施投资达到近 650 亿美元，为全球产能增长 16% 以上创造了条件。

天然气市场供过于求使得主要消费地区天然气价格大幅下降。在全球天然气产量增长迅速的情况下，2019 年各主要消费地区的天然气价格出现下跌，亚洲和欧洲的现货价格跌至 10 年来的低点。美国亨利中心 (Henry Hub) 天然气价格下降近 1/5，欧洲荷兰 TTF 基准天然气价格同比下降 45%，降至 2004 年以来的最低水平。亚洲 LNG 现货市场也出现类似情况，供应充足叠加需求不振导致 LNG 现货价格同比下降 44%。

2、受疫情危机影响，全球经济衰退并严重冲击全球天然气市场发展

2020 年全球天然气市场将出现有记录以来的最大需求降幅。预计全球天然气需求将下降 4%（即 150 亿立方米/年），是自 20 世纪下半叶天然气市场规模化发展以来，需求量年降幅最大的一次，降幅主要集中在成熟市场和发电领域。预计欧洲、北美、欧亚和亚洲等成熟市场将占需求减少总量的 75%。电力部门的天然气消耗预计同比下降约 5%，占全球需求下降的一半。预计住宅和商业部门的天然气消费量将下降近 4%（主要是在上述成熟市场），占减少总量的 20%。

需求下降的影响还未在天然气供应中体现。2020 年 1 至 5 月，天然气供应方面表现喜忧参半。尽管美国天然气消费同比下降 2.8%，但其产量仍在增加（同比增长 5.3%）。俄罗斯天然气产量同比下降超过 9%。LNG 交易量仍保持高位，同比增长 8.5%。欧洲继续保持平衡天然气市场的角色，尽管天然气需求直线下降，今年 1 至 5 月欧洲 LNG 进口量增长 20% 以上达到 600 亿立方米。由于亚洲需求增长乏力，欧洲占全球 LNG 进口增量的 2/3。

全球天然气基准价格正降至新的低点。由于全球天然气供应强劲增长、温和的冬季天气和疫情导致的封控措施，所有主要消费地区的天然气价格降至十多年来从未出现过的低点。美国 Henry Hub 天然气价格在 2020 年一季度同比下降超过 33%，至平均 1.9 美元/百万英热单位，是 1999 年以来的最低季度价格。欧洲 TTF 基准天然气价格同比下降一半以上，1 至 5 月平均价格为 2.6 美元/百万英热单位。此外，亚洲 LNG 现货价格同比下降一半，至平均 3 美元/百万英热单位。由于需求前景暗

淡、LNG 库存高企及新投产液化项目导致 LNG 供应持续增长，预计整个夏季天然气价格将保持低迷，直至供暖季节开始时开始回升。

3、至 2025 年全球天然气市场供过于求

疫情危机将导致到 2025 年全球天然气需求每年减少 750 亿立方米。随着中国和亚洲新兴市场经济复苏，在天然气价格低迷和供应充足的优势下，全球天然气需求将在 2021 年反弹。欧洲、欧亚大陆和北美的成熟市场在 2020 年受到了最沉重的打击，随着工业和发电行业的需求逐渐恢复，这些地区 2021 年的大部分需求将恢复。2022-2025 年全球天然气需求增长的前景在很大程度上取决于疫情后中国和印度未来的政策方向和复苏道路，以两国为首的亚太地区将占此期间全球需求增量的一半以上。工业部门是两国天然气需求增长的主要驱动力，但工业产品的国内和出口市场都将高度依赖经济复苏步伐。预计全球天然气需求增长将受到疫情的持久影响，到 2025 年将达到 43.7 亿立方米/年，即 2019-2025 年期间年均增长 1.5%，低于 IEA 上一次预测（1.8%）。到 2025 年工业部门天然气需求将年均增长 2.5%，增量将占全球总增量的 40%。化工行业天然气需求以每年 3% 的速度增长，化肥和甲醇推动化工原料用天然气需求年均增长 3.4%。电力部门天然气需求将年均增长 1.3%，远低于过去十年平均水平（2.6%）。作为交通燃料的天然气需求将以年均 2.6% 的速度增长，到 2025 年 LNG 作为国际海运燃料的消费量将增加十倍，达到 100 亿立方米。

未来五年全球天然气供应增量一半来自北美和中东。作为近年来全球天然气产量增长的主要驱动力，美国页岩气行业在危机中下表现尤其脆弱，2020 年页岩致密油气上游支出将同比下降 50%，该行业在疫情后的恢复能力对美国天然气供应至关重要。预计到 2025 年，北美地区天然气产量将每年增长 1.5%，其中 70% 由美国贡献。中东地区的天然气产量预计年均增长 2.4% 达到 7900 亿立方米，沙特阿拉伯、伊朗、以色列、伊拉克和卡塔尔将占中东地区增量的 3/4。俄罗斯的天然气产量将以年均 1.7% 的速度增长，2019-2025 年期间增量将超过全球增量的 1/5。俄罗斯天然气供应增长几乎完全由出口导向型项目推动；虽然预计将增加产量，但需求增长的短期不确定性可能对其发展计划产生负面影响。

LNG 仍然是国际天然气贸易增长的主要驱动力，预计中国将在 2023 年成为全球最大 LNG 进口国，美国则将在 2025 年成为全球最大 LNG 出口国。预计到 2025 年，全球 LNG 贸易将达到 5850 亿立方米/年，较 2019 年增长 21%。2018-2019 年的液化项目投资浪潮在北美、非洲和俄罗斯带来了巨大的贸易顺差。然而，2020 年后天然气需求增长放缓，导致 LNG 产能增量超过进口增量，从而导致未来五年 LNG 市场局势紧张。中国、印度和亚洲新兴市场仍然是 LNG 进口增长的驱动力。中国将在 2023 年超过日本成为全球最大 LNG 进口国，到 2025 年 LNG 进口量将达到 1280 亿立方米/年，而管道天然气和 LNG 进口总量则将增至 2100 亿立方米。欧洲仍然是

继亚洲之后的主要 LNG 进口市场，在 2019 年达到创纪录水平后，该地区发挥了平衡市场以吸收过剩产能的作用，预计在未来五年内，欧洲进口将恢复到平均 900 亿立方米/年（比过去五年的平均进口水平高出 25%）。而供应方面，北美几乎是 LNG 出口增长的唯一来源，在 2019 年至 2025 年期间，预计占出口增量近 80%。受美国最近批准的液化项目浪潮以及加拿大第一个出口项目的推动，预计未来五年北美出口额将增长近两倍，美国则将在 2025 年超过澳大利亚成为全球最大 LNG 出口国。

（刘杨 汤匀 岳芳）

DOE 投入 1.22 亿美元建立煤基高价值产品创新中心

6 月 26 日，美国能源部（DOE）宣布将投入 1.22 亿美元支持建立多个煤基高价值产品创新中心²，旨在开发创新方法，以利用煤炭作为碳基原料生产高价值产品，并提取加工稀土元素和关键矿产，为煤炭发展创造新的市场。DOE 将鼓励私营企业、学术界、国家实验室以及州和地方政府共同参与建立创新中心，研究和孵化具有环境可持续性的创新采矿、选矿、煤炭精加工和洁净利用技术，同时为培育下一代专业技术人员奠定基础。

煤基高价值产品创新中心将建立在美国煤炭资源丰富的地区，包括：阿巴拉契亚盆地、圣胡安河-拉顿-布莱克梅萨盆地、伊利诺伊盆地、威利斯顿盆地、粉河盆地、乌因塔盆地、绿河风河盆地、墨西哥湾沿岸黑武士盆地和阿拉斯加等地。DOE 化石能源办公室新提出的“碳基矿产、稀土和关键矿物”计划（CORE-CM）将为建立创新中心提供资助经费，在 2020 年第四季度组织招标，基于不同煤炭富集区情况制定和实施开发策略，如煤炭品种、基础设施、工业和技术需求以及矿产开采和修复环境容量等，能够最大限度发挥生产稀土元素、关键矿物和高价值碳基非燃料产品的潜力。考虑利用的碳基资源包括煤炭、煤炭副产品和煤炭废物流（如酸性矿山废水和粉煤灰），其他非煤炭资源开采产生的原料和废物流也将被考虑在内。计划分三个阶段实施任务，包括：

阶段 1：煤炭富集区评估，为生产稀土元素、关键矿物或高价值碳基非燃料产品奠定基础，包括：碳基矿产资源和其他资源的初步勘探和表征，现场数据评估；评估技术需求并进行初步现场测试以备将来部署；了解每个富集区的工业和能源需求；确定创新中心整合该地区自然资源、基础设施、工业需求以及矿产开采和修复的策略。

阶段 2：规划和进一步评估。在第一阶段基础上深入进行资源表征、技术开发和现场验证，以制定和启动富集区开发策略，以经济和环境可持续的方式利用碳基资源生产稀土元素、关键矿物或高价值碳基非燃料产品，将考虑生产传统和新型碳基

² DOE Announces Intent to Provide \$122M to Establish Coal Products Innovation Centers.
<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-intent-provide-122m-establish-coal-products-innovation-centers>

产品。

阶段 3: 实施开发策略, 使富集区能够充分发挥生产稀土元素、关键矿物或高价值碳基非燃料产品的全部经济潜力。包括: 实施技术发展路线图和商业化计划; 技术开发和实地测试、推广、教育和培训方案的验证; 补充信息, 开发支撑技术, 推广最佳实践和开发地理空间分析模型。

(刘杨 岳芳)

DOE 资助 1700 万美元开发二氧化碳转化技术

6月16日, 美国能源部(DOE)化石能源办公室宣布在“碳利用计划”下投入1700万美元支持11个研发项目³, 以开发和测试利用电力或其他工业排放的二氧化碳转化为高价值产品的技术。本次资助计划具体内容参见表1。

表1 “碳利用计划”本次资助项目具体研究内容

主题领域	研究内容	资助金额 /万美元
合成高价值有机产品	<ul style="list-style-type: none">•开发一种集成了碳捕集的新型氧化脱氢熔盐系统概念, 以验证利用发电厂烟气和页岩气中的 CO₂ 生产丙酸和 C3/C4 烯烃•开发利用 CO₂ 和 H₂ 直接生产碳酸二甲酯(DMC)的催化膜反应器•开发一种利用金属/双金属催化剂的新型催化等离子体技术, 利用 CO₂ 作为弱氧化剂, 利用乙烷和丙烷制备乙烯和丙烯•开发一种将电厂排放的 CO₂ 转化为乙烯和乙酸盐的串联两步电化学工艺•开发一种电催化系统将 CO₂ 转化为甲酸等高价值化学品•开发一种催化、脉冲电解技术, 将 CO₂ 转化为乙烯•通过在甲醇阴极电解液中使用催化剂和非均质金属合金电极的电解过程将烟气中的 CO₂ 转化为四氢呋喃	700
生产固体碳产品无机材料	<ul style="list-style-type: none">•通过新型电化学工艺利用烟气中的 CO₂ 生产碳纳米管	200
将碳捕集与藻类生产结合	<ul style="list-style-type: none">•开发一种用于藻类生产的集成 CO₂ 捕集和利用技术, 通过连续供应 CO₂ 和铵, 使藻类产量提高 50%。将膜吸收器与生物反应器模块附近的分布式太阳能汽提塔结合使用, 进行溶剂再生•利用光合微藻维持高碱性环境形成碳负系统, 以从电厂烟气中吸收 CO₂	600
无机材料生产: 最大化提高混凝土和水泥石 CO ₂ 吸收量	<ul style="list-style-type: none">•开发混凝土固碳技术, 将气态 CO₂ 排放和煤燃烧残渣转化为低碳“绿色”混凝土产品, 该项目的成果将提高该工艺的吸收能力, 生产的建筑部件 CO₂ 排放量比传统产品低 50%-70%	200

(刘杨 汤匀 岳芳)

³ DOE Invests \$17 Million to Advance Carbon Utilization Projects. <https://www.energy.gov/articles/doe-invests-17-million-advance-carbon-utilization-projects>

清洁能源多能互补

IRENA：过去十年可再生能源发电成本大幅下降

6月3日，国际可再生能源机构（IRENA）发布《2019年可再生能源发电成本》报告⁴，总结分析了过去十年全球可再生能源发电成本情况。报告指出，过去十年全球可再生能源发电价格大幅下降，大部分可再生能源发电技术已降至化石燃料发电成本区间，光伏发电降幅最大（-82%），但地热能（+53%）和水电（+27%）成本有所上升。可再生能源发电在2020年仍将继续增长，疫情过后可再生能源仍具有竞争优势和投资潜力。根据电价学习曲线分析，到2023年光伏和风电成本将加速下降。关键内容如下：

过去十年可再生能源发电价格大幅下降，光伏发电价格降幅最大。2019年，大部分可再生能源技术发电成本已降至化石燃料发电成本区间（0.050~0.177美元/kWh），可再生能源已具有与化石能源经济竞争的能力（如图1）。与2010年相比，光伏发电成本降幅最大（-82%），其次是光热发电（-47%）和陆上风电（-39%），海上风电和生物能发电成本也分别下降29%和13%。但地热能发电成本增加了53%，水电成本增加27%。

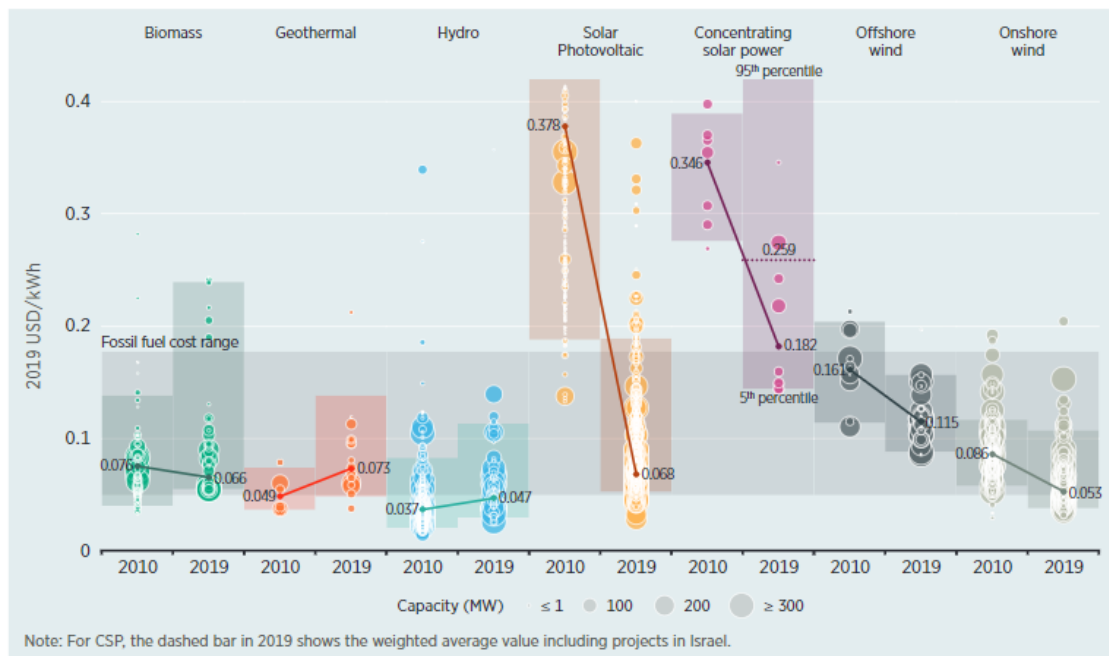


图1 2010和2019年全球公用事业规模可再生能源发电平准化度电成本变化态势（加权平均值，单位：美元/kWh）

光伏装机成本降低导致公用事业规模光伏发电价格持续显著下降，光热发电装

⁴ Renewable Power Generation Costs in 2019. <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

机成本和电价呈波动下降趋势。近十年,公用事业规模光伏发电装机成本下降了 79%,导致公用事业规模光伏发电价格持续显著下降。各国光伏装机成本差异逐渐缩小,2019 年印度装机成本最低(618 美元/kW),俄罗斯最高(2117 美元/kW),中国为 794 美元/kW。越来越多光热发电项目成本趋近化石燃料发电成本最低水平。

风力涡轮机成本降低和容量系数提升推动陆上风电价格持续降低,海上风电成本和电价则波动下降。2010-2019 年,陆上风电装机成本下降 24%。全球陆上风电平准化度电成本下降 39%达到 0.053 美元/kWh,仅比新建化石燃料机组最低成本高 6%。美国、瑞典、印度、中国和巴西的陆上风电度电成本均低于最便宜的新建化石燃料发电(0.050 美元/kWh)。近十年海上风电装机成本下降 18%,平准化度电成本下降 29%。由于部署项目的技术成熟度不同,海上风电装机成本和发电价格呈现波动的年度变化。

•**全球水电装机成本和电价有所上升,但仍是最低成本电力来源。**2010-2019 年,全球水电装机成本上升 36%,平准化度电成本增长 27%,但仍低于最便宜的新建化石燃料发电。新建水电装机成本从 1254 美元/kW 增至 1704 美元/kW,年度成本变化因项目情况有所不同,小水电(装机容量 ≤ 10 MW)的装机成本增速快于大型水电,700 MW 以上项目装机成本更低,但仅占近十年投运项目的 6%。小水电装机成本通常比大型水电高 20%-80%。

•**技术组合和原料差异推动生物质发电装机成本和电价持续波动。**2010-2019 年,全球生物质发电装机成本震荡下降 17%。2019 年全球生物质发电平准化度电成本为 0.066 美元/kWh,仍具备经济竞争力。2019 年投产的项目中,生物质发电平准化度电成本为 0.066 美元/kWh,低于 2010 年的 0.076 美元/kWh。

•**地热发电装机成本和发电价格小幅震荡上行。**地热发电比光伏发电和陆上风电资本密集度更高,但装机成本低于海上风电和光热发电。棕地项目的地热发电装机成本可低至 550 美元/kW,但大多数项目装机成本已从 5000 美元/kW 大幅下降至 2000 美元/kW。2014 年以来,全球装机成本保持在 3496-4171 美元/kW,2016 年以来新建地热发电平准化度电成本保持在 0.07 美元/kWh 左右。

•**太阳能和风能发电价格下降趋势未出现减弱迹象。**2019 年,56%的新投产大规模可再生能源发电成本低于新建化石燃料发电的最低成本。预计 2021 年投产的光伏和陆上风电价格分别降至 0.039 和 0.043 美元/kWh。预计 2023 年投产的海上风电和光热发电价格分别降至 0.082 和 0.075 美元/kWh。

•**疫情过后可再生能源仍具有竞争优势和投资潜力。**2020 年,尽管全球爆发新冠疫情,可再生能源发电仍将继续增长。可再生能源的经济竞争力以及模块化水平、快速可扩展性和创造就业机会的潜力正在稳步提升。坚持可再生能源投资方向将使短期经济激励措施与中长期能源和气候可持续发展保持一致,光伏和陆上风电提供

了简单、快速部署的选择方案，海上风电、水电、生物质发电和地热发电则是互补且具有成本效益的中期投资选择。以光伏和陆上发电替代现有最不具备竞争力的 500 GW 燃煤电厂，每年将降低 120-230 亿美元（取决于煤炭价格）的系统发电成本，产生价值 9400 亿美元的刺激作用，超过去年部署光伏发电和陆上风电的总价值，占全球 GDP 的 1.1%。同时，每年还将减少 18 亿吨碳排放，占 2019 年全球碳排放的 5%。

编者注：《2019 年可再生能源发电成本报告》详细要点请参见《洁净能源重大信息专报》2020 年第 3 期。

（廖明月 岳芳）

美国能源部资助 2.3 亿美元启动先进反应堆示范计划

5 月 14 日，美国能源部（DOE）宣布启动“先进反应堆示范计划”（ARDP）并在 2020 财年资助 2.3 亿美元⁵，旨在依托“国家反应堆创新中心”推动美国核能企业的下一代先进核反应堆技术研发和示范工作，加速技术商业应用进程，维持和强化美国在该领域的全球领先地位。本次资助计划将通过加速示范进程，以建造两座可在未来 5-7 年内投入运行的先进反应堆，并开展新概念反应堆研发，确定了三大主题技术研究：

1、先进反应堆示范

确保开展的先进反应堆原型示范项目必须满足美国核能监管委员会（NRC）的设计、选址、许可等标准，并确保新型反应堆能够在签署合作协议之日起的未来 5~7 年完成 NRC 的认证、许可审查和监管活动，制定完善的运营程序和完整的操作员培训、完成反应堆建造和示范工作，以确保先进的反应堆能够按计划实现最终商业运营。

2、未来示范工作的风险管控

解决新型先进反应堆商用面临的风险挑战，将着重关注先进反应堆的技术、运营和监管风险，开展研究活动包括：建立反应堆设计开发、许可和商业化时间表；开发热液环境模拟试验装置，并进行试验；开展仿真和模拟研究，以解决运营安全问题；开发新的核电站安全控制系统；制定和提交设计认证申请、施工许可证申请；反应堆主要零部件或系统原型制造、设计和运行试验；反应堆原型示范；制定核电站布局示意图；建造全球首个基于同类别技术核电站；制订核电站的运营及维修计划；完成核电站成本估算。

3、新概念先进反应堆

支持目前处于低技术成熟度，但是有望在 2035 年左右实现商用的各类先进概念

⁵ U.S. Department of Energy Launches \$230 Million Advanced Reactor Demonstration Program.
<https://www.energy.gov/ne/articles/us-department-energy-launches-230-million-advanced-reactor-demonstration-program>.

反应堆技术研究开发，推动先进反应堆技术创新和多样化发展。将开展的研究活动包括：先进反应堆概念设计；开展建模和仿真研究；选择和评估测试潜在的反应堆材料和燃料形式；工程规模的实验设计和执行；制定早期许可流程，应对新概念反应堆的许可、申请和监管问题。

(郭楷模)

新型电子传输层助力室内光源辐照有机太阳电池效率超 30%

有机太阳电池具有材料来源广泛、价格低廉、重量轻等优点，最关键的是其具有优异的机械柔韧性，拥有比传统硬基底太阳电池更加广阔的应用前景（如各类不规则几何形状的可穿戴设备、柔性电子设备），成为光伏技术领域研究的热点之一。尤其在当下，各类室内的物联网电子设备蓬勃发展，亟需开发出能够高效将室内光源高效转化为电力的有机光伏器件。由香港科技大学 He Yan 教授带领的研究团队设计制备了目前具有最高的占据分子轨道（HOMO）水平的窄禁带电子传输层（ETL）应用于非富勒烯有机太阳电池，有效地减少了器件的漏电流和载流子复合，从而显著提升电池性能，在室内光源辐照下获得了高达 31% 的转换效率。

研究人员首先制备了 400-700 nm 之间具备良好光吸收特性的体异质结块体共混物活性层；上述光谱恰好是室内 LED 光源发射光谱的主要区间。接着研究人员制备了具有不同 HOMO 的两种不同带隙宽度的 ETL 材料，分别为 PDI-NO 和 PFN，前者的 HOMO 为 -6.21 eV，后者的 HOMO 为 -5.61 eV，即 PDI-NO 具有更深的 HOMO。随后分别以上述两种 ETL 组装两种有机光伏器件并测试电压电流性能。实验发现，在 1 个标准的模拟太阳光辐照下，两种电池器件的转换效率基本一样，都在 16% 左右。接着将上述两种器件移至室内并辅以 LED 光源照射

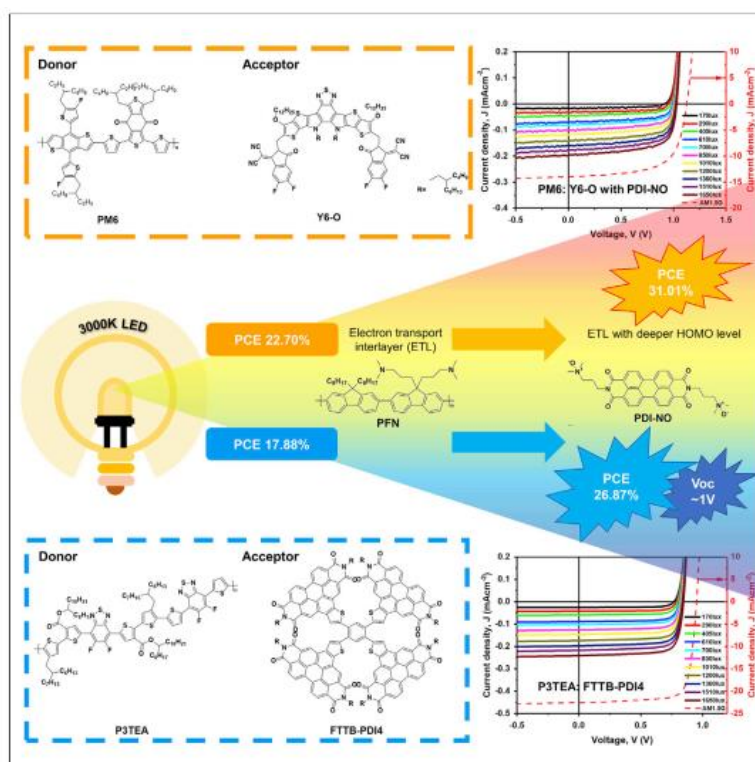


图 1 ETL 材料结构及室内光源辐照实验示意图

（光强度在 1000-1750 勒克斯，为市面销售 LED 灯光强度范围），实验结果显示，在 1650 勒克斯的光强度下基于 PDI-NO 的 ETL 电池器件的转换效率突破了 30%，

达到了惊人的 31%；相反，采用 PFN 的 ETL 电池器件转换效率仅为 22.5%。上述结果与在标准模拟光源下的实验结果具备了强烈的反差，为此研究人员进一步采用暗电流和阻抗谱等表征手段研究出现上述实验现象的潜在原因。实验发现，在室内 LED 光源辐照下，基于 PFN 的电池器件具备了更高的暗电流密度和更低的并联阻抗，意味该电池器件存在显著的漏电流；相反，PDI-NO 器件的漏电流等到了显著抑制。上述差别在 1 个标准模拟太阳光辐照下，不会对器件性能引起显著影响，因为入射光强度远远强于这种负面的漏电流作用（光电流通常是漏电流的 1000 倍以上）。然而在室内 LED 辐照下，由于入射光强度显著下降，产生的光生载流子数量随之出现指数级下降（即光生电流出现指数级下降），此时漏电流的影响变得显著。此外，阻抗谱表征结果显示，PDI-NO 器件载流子的复合显著少于 PFN 的电池器件。得益上述两个方面的改善，从而使得室内光照环境下基于 PDI-NO 电池器件性能得到了有效改善。

该项研究设计开发了新型的电子传输层，应用于有机太阳电池，有效地抑制了电池漏电流和载流子复合，进而提升了电池性能，使得电池器件在室内光源辐照下获得了超过 30% 的性能，为日益增长的物联网电子设备市场高性能电源设计开发提供了全新的路径。相关研究成果发表在《*Joule*》⁶。

（程向阳 郭楷模）

南京大学开发全球首个超过 500 Wh/kg 锂金属软包电池

当下全球电动汽车快速发展使得高能量密度的电池需求日益强烈。世界主要发达国家，如美国、日本均设定了开发出能量密度高达 500 Wh/kg 的二次锂电池发展目标。经典的基于三元正极材料体系锂电池的工作原理是基于过渡金属（TM）相关的阳离子氧化还原反应，但受限于阳离子活性容量，该类电池容量难以达到 500 Wh/kg，而氧元素有关的阴离子氧化还原活性则有望大幅提升电池能量密度，成为了目前二次电池体系研究的热点前沿。南京大学 Haoshen Zhou 教授研究团队设计开发了一种稳定的、大容量基于阴离子氧化还原活性的正极材料体系，应用于锂金属（Li）软包全电池，通过氧化锂（Li₂O）与过氧化锂（Li₂O₂）之间的可逆转化，显著提升了电池器件的性能，首次获得了超越 500 Wh/kg 的能量密度，且电池稳定循环 100 余次后仍可获得大于 400 Wh/kg 的能量密度，更为关键的是该电池镍金属的含量仅为 1.59%（质量分数），远低于传统的高镍三元正极，成本更低更适于规模化生产，对电池产业和电动汽车发展具有重要推动作用。

⁶ Lik-Kuen Ma, Jie Zhang, Zhen Li, et al. High-Efficiency Indoor Organic Photovoltaics with a Band-Aligned Interlayer. *Joule*, 2020. DOI: 10.1016/j.joule.2020.05.010

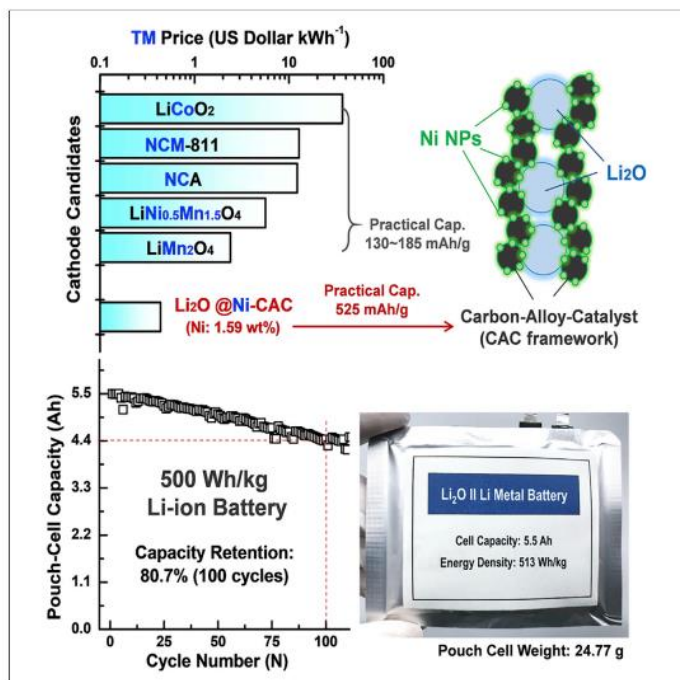


图 1 新型锂金属软包电池催化框架、成本及性能

性能，另一方面有利于减少镍金属使用量降低成本。接着以 $\text{Li}_2\text{O}@\text{Ni-CAC}$ 和 Li 为正负极，醚类溶剂为电解质组装成完整的软包电池，并开展电化学性能测试。原位气相质谱和拉曼光谱实验显示，在充电过程中存在明显的 Li_2O 向 Li_2O_2 的转化过程，且 $\text{Li}_2\text{O}@\text{Ni-CAC}$ 电极体系的可逆“安全”充电深度为 750 mAh/g （基于 Li_2O 活性物质质量），一旦超过这一数值就会出现不可逆的氧气析出。随后控制充电深度不超过 750 mAh/g ，进行充放电循环测试，发现电池可以稳定可逆循环 100 余次，且能量密度高达 950 Wh/kg （考虑到所有电极材料质量的前提下，但不包括软包外壳）；而在计入软包外壳后，电池依然获得了超越 500 Wh/kg 的能量密度，达到了 513.5 Wh/kg ，这是目前文献报道的能量密度最高的软包电池（计入整个软包电池质量后），且电池稳定循环 100 余次后，输出能量密度仍然高于 400 Wh/kg ，表现出优异的循环稳定性。

该项研究设计开发了一种基于阴离子氧化还原活性的正极材料体系软包锂电池，得益于 Li_2O 与 Li_2O_2 之间的可逆转化，电池器件的性能显著提升，首次获得了超越 500 Wh/kg 的能量密度，且具备良好循环稳定性，为设计开发高能量密度的锂金属电池开辟新思路。相关研究成果发表在《*Joule*》⁷。

（程向阳 郭楷模）

⁷ Yu Qiao, Han Deng, Ping He, et al. A 500 Wh/kg Lithium-Metal Cell Based on Anionic Redox. *Joule*, 2020, DOI: 10.1016/j.joule.2020.05.012

低碳化多能融合

IEA：全球氢能发展机遇前所未有 亟需加快发展低碳氢技术

国际能源署（IEA）6月份发布《全球氢能进展报告》⁸指出，电解制氢等低碳制氢技术正加速扩张，氢能在交通运输领域的应用也以前所未有的速度发展，但低碳氢在工业中的应用进展缓慢，向现有天然气管网中注入氢气是快速提升低碳氢需求以促进其发展的有效方法。报告认为，当前氢能发展正面临前所未有的政治机遇，但仍需做出更多努力以进一步促进其发展，并提出了相关行动建议。关键内容如下：

1、低碳制氢产能正加速扩张，尤其是电解制氢

目前，全球大部分氢气生产主要通过排放密集型天然气重整制氢和煤气化制氢两条路线。发展低碳制氢技术对清洁能源转型至关重要，当前主要的低碳制氢技术路线包括：将常规制氢技术与碳捕集、利用与封存（CCUS）集成；通过电解水制氢。由于生产成本低于电解水等其他低碳技术，在短中期内，将常规制氢与CCUS相结合仍然是低碳制氢的主要途径，这一途径正日益受到关注。截至2019年底，共有6个集成CCUS的常规制氢项目投产，每年可生产低碳氢35万吨，还有20多个新项目宣布将在2020年代投产，主要集中在欧洲北海周边国家。

近年来，电解制氢项目数量和装机容量大幅增长，从2010年的不足1MW增至2019年超过25MW。此外，项目规模显著增加，2010年代初期的大多数项目规模低于0.5MW，而2017-2019年规模最大的项目为6MW，其他项目在1-5MW之间。日本2020年3月投运了一个10MW项目，加拿大的20MW项目正在建设中。此外，预计有数百兆瓦的电解制氢项目将在2020年代早期开始运营。碱性电解槽作为最成熟的电解技术在市场上占据主导地位，特别是对于大型项目。许多新项目选择质子交换膜（PEM）电解槽。与碱性电解槽相比，PEM电解槽处于早期开发阶段，但其运行更灵活，因此更适合波动性可再生能源发电。部分已公布项目采用了高效的固体氧化物电解槽（SOEC），几乎都位于欧洲。然而，与碱性电解槽相比，用户对于PEM的灵活性和SOEC的高效带来的运行效益是否值得投入更高成本仍存在分歧。

2、氢能在交通运输中的应用正以前所未有的速度增长，但氢燃料电池汽车只占新型低碳汽车销量的0.5%

在亚洲市场的推动下，全球燃料电池汽车市场开始蓬勃发展。到2019年底，全球燃料电池汽车保有量几乎翻倍达到25210辆，销售量达到12350辆，比2018年的5800辆增加了一倍多。美国销量从2018年的超过2300辆略有下降至2100辆，

⁸ Hydrogen: Tracking report. <https://www.iea.org/reports/hydrogen>

但其仍是全球燃料电池汽车最大保有国，占全球保有量的 1/3，其次是中国、日本和韩国。2019 年亚洲市场大幅扩张，缩小了与美国的差距，日本、韩国和中国燃料电池汽车销售量均有所增长。中国 2019 年燃料电池汽车销量接近 4400 辆，主要原因是对燃料电池公交车和轻型卡车的政策支持，两者保有量分别达到近 4300 辆和 1800 多辆，这使得中国燃料电池公交车（97%）和卡车（98%）保有量在全球遥遥领先。

3、2019 年全球在运加氢站数量增长超过 20%

截至 2019 年底，全球在运行加氢站共有 470 个，同比增长 20% 以上。日本以 113 个加氢站继续位居榜首，其次是德国（81 个）和美国（64 个）。韩国（+20）、日本（+13）和德国（+12）新增加氢站数量大幅增加，而美国仅增加了 1 个加氢站。2019 年，中国在运加氢站数量从 20 个增加到 61 个，位居全球第四，紧随其后的是韩国和法国。

4、氢能在非道路运输的应用正逐渐得到认可

2018 年底，阿尔斯通公司生产的两列燃料电池列车在德国投入运营，试运行成功后，又宣布将有 14 列将于 2021 年投运。英国和荷兰也对阿尔斯通的氢动力列车表现出了兴趣。2019 年，中国在佛山投运一辆燃料电池有轨电车，并在进一步探索氢燃料铁路的可能性。

5、向天然气管网中注入氢气可以显著提高低碳氢的需求

除交通运输外，家庭和工业供热也可能增加低碳氢的需求，可利用现有的基础设施（如天然气网络）注入氢气。法国 GRHYD 项目于 2018 年开始向天然气网注入掺入 6% 氢气的天然气，2019 年掺混率已达到 20%，证明了这种方法的技术可行性。由于高压下材料的不相容性以及工业用户可以接受的混合氢浓度公差较低，向天然气输送管道中注入氢气更具挑战性，一些试点项目正在测试其可行性，意大利天然气管网运营公司 Snam 公司开发的一个项目已经证明了掺混高达 10% 氢气的可行性。世界各地的几个项目已经在向天然气网中注入氢气，越来越多国家开始对此感兴趣，目前世界各地在建装置每年可向天然气网输入 2900 吨氢气。

6、低碳氢的工业应用进展缓慢

在所有部门中，工业对氢的需求量最大，特别是炼油、化工和钢铁制造业。由于这些行业使用高碳氢，用低碳氢替代高碳氢将是在短期内扩大需求、减少温室气体排放的理想机会。在化工和炼油行业，人们对用低碳氢替代高碳氢的兴趣日益增加，一些大型项目已经将碳捕集应用于这两个领域的化石燃料制氢中（例如壳牌公司的 Quest 项目）。电解制氢仍局限于一些试点或小规模试验，但 2019 年已经公开了一些大规模项目（高达 100 MW），预计将在 2020 年代早期投入使用，这些项目大多涉及炼油或甲醇及氨的生产。此外，在欧洲目前正在进行的试点项目基础上，电解制氢在钢铁行业的扩张正在加快。在不对现有直接还原炼钢炉进行任何重大改

造的情况下，氢气可替代高达 35% 的天然气，一些钢铁制造商正尝试将氢气与天然气混合作为过渡策略，以推进部署利用纯氢直接还原炼铁的部署方式。瑞典正在建设一个大型试点工厂，预计 2025 年将进行第一次示范试验。

7、全球范围内对氢能的政策支持力度快速加强

越来越多国家在 2019 年宣布了氢能战略和路线图，一些国家制定了氢能技术部署的目标。各国的路线图和战略目标仍然主要集中在氢能的交通应用上，但自 2018 年以来许多国家已经开始设定氢能在工业、建筑和发电等部门的目标。

表 1 主要国家已设定的氢能发展目标

国家	氢能发展目标	发布时间
西班牙	2020 年：500 辆燃料电池汽车和 20 座加氢站	2018 年以前
比利时	2020 年：22 座加氢站	2018 年以前
芬兰	2020 年：21 座加氢站	2018 年以前
英国	2020 年：65 座加氢站	2018 年以前
法国	2023 年：5000 辆燃料电池汽车，200 辆燃料电池卡车，100 座加氢站；工业使用脱碳 H ₂ 达到 10% 2028 年：20 000-50 000 辆燃料电池汽车，800-2000 辆燃料电池卡车，400-1000 座加氢站；工业使用脱碳 H ₂ 达到 20%-40%	2018 年
日本	2025 年：200 000 辆燃料电池汽车，320 座加氢站 2030 年：800 000 辆燃料电池汽车，1200 辆燃料电池公交，10000 辆燃料电池叉车，900 座加氢站；累计销售 530 万套微型家用燃料电池；氢供应链能力达 30 万吨/年	2018 年以前
韩国	2022 年：81 000 辆燃料电池汽车，310 座加氢站；微型热电联产容量达 50 MW；氢供应链能力达 47 万吨/年 2040 年：290 万辆燃料电池汽车，80 000 辆燃料电池出租车，4000 辆燃料电池公交，3000 辆燃料电池卡车，1200 座加氢站；氢能发电能力达 15 GW（出口 7 GW，国内 8 GW）；微型热电联产容量达 2.1 GW；氢供应链能力达 526 万吨/年	2019 年
荷兰	2025 年：15 000 辆燃料电池汽车，3000 辆燃料电池重型卡车，50 座加氢站；电解槽容量达 500-800 MW 2030 年：300 000 辆燃料电池汽车；电解槽容量达 3-4 GW	2019 年
德国	2020 年：100 座加氢站 2050 年：400 座加氢站	2019 年
氢能部长级会议参会国	2030 年：10 000 座加氢站，1000 万辆燃料电池汽车	2019 年

8、进一步促进氢能发展的行动建议

(1) 确立氢能在国家长期政策和战略中的作用

各国政府应制定明确的氢能目标和发展途径以确定该行业的发展预期，增强投资者对氢能的信心。这也将有助于工业等部门制定氢能长期目标，特别是在炼油、化工、钢铁和长途运输等关键行业。

(2) 促进国际合作

通过国际合作展开全球规模的行动，包括：①建立一条国际贸易通道以启动国际氢贸易至关重要，亚太地区是推出第一条路线的有力候选者，日本和澳大利亚之间开发的氢能供应链为实现这一目标提供了一个良好的先行模式；②发展沿海氢中心，扩大低碳氢的生产和利用，从而将低碳氢扩大到其他部门，欧洲北海、中国东南部、印度西北部、墨西哥湾或波斯湾等地区是先期较为理想的选择。

(3) 重点支持短期发展机遇

现有的基础设施，如天然气管网，可以提供创造和扩大低碳氢需求的机遇。支持天然气网中掺混氢的政策和法规（如可再生燃料义务指令和低碳燃料标准）可以通过将低碳氢与安全的能源需求联系起来，加快低碳氢的部署。即使进行低浓度掺混（约 5%），也能显著增加氢供应技术的部署，并降低成本。当这一做法被证明在经济上可持续，就可逐步将掺混率提高至 20%，几乎无需新建基础设施。短期内，还可增加燃料电池在交通运输中的使用，创造低碳氢需求。不同国家的情况可能不同，决策者需要确定重点关注哪种车型，以及鼓励基础设施开发策略以优化利用率。

(4) 消除氢开发的关键障碍

目前的法规限制了低碳氢的部署，监管者应致力于解决所有障碍，并采用一套协调一致的标准，以促进氢能是所有部门和不同基础设施中的广泛使用。尤其应关注：①氢气在天然气管网中的掺混限制；②示范新应用的安全案例，特别是在家用和工业部门；③加氢站加氢标准及许可流程。

(5) 刺激低碳氢需求，解决先行风险

低碳氢仍然比现有燃料和原料更昂贵。为此，应采取适当政策，促进低碳氢可持续市场的发展。这将为供应商、分销商和用户投资提供保障，加强和扩大供应链，以推动成本降低。氢的新应用、低碳氢供应以及基础设施的开发和改造都是高度不确定的，存在着涉及资本和运营成本的风险。平衡这些风险的政策工具，如贷款担保、税收减免等工具，可以鼓励私营部门投资并降低风险。

(6) 确保强有力的研发支持，以降低成本，提高竞争力

尽管规模经济对大幅削减成本至关重要，但研发也将对减少支出和提高低碳氢技术的竞争力至关重要。燃料电池和电解槽等较成熟技术（技术成熟度>7 级）可通过研发改善其性能和制造工艺，从而降低材料和系统成本，延长其使用寿命，并解决示范过程中可能发现的任何其他性能和寿命问题。氢衍生燃料等中等成熟度技术（技术成熟度 5-7 级），可以通过财政研发支持获得成功示范，从而增强投资者的

信心，这将降低风险认知和融资成本。低成熟度技术（技术成熟度<5级），如配备CCUS的生物质气化以及海水电解，将需要研发支持和知识共享，以推进其验证过程和长期商业化。政府的行动，包括使用公共资金，对于制定研究议程和风险承担水平，以及吸引私人资本进行创新至关重要。工业界在制定长期战略时，应将研发作为优先事项之一，以缩小与高碳氢技术的差距，增强低碳氢的竞争力。

（汤匀 岳芳）

DOE 1 亿美元建立国家实验室联盟推进氢能和燃料电池研发

6月23日，美国能源部（DOE）宣布未来五年将在“H₂@Scale”计划框架下投入1亿美元⁹，支持两个由DOE国家实验室主导建立的实验室联盟，以更好地整合国家实验室、高校和产业界研究力量，充分利用国家实验室世界级的科研设施与专业知识联合攻关，以推进氢能和燃料电池关键核心技术突破，进一步降低成本，加速其在电力、交通运输行业中的部署进程。每个联盟将聚焦各自的核心研究工作，分别为：

1、第一个国家实验室联盟将开发大规模、长寿命、经济可行的电解制氢技术。此类电解槽能够利用多种电力来源（可再生能源、核能等）将水高效分解成氢气与氧气，以显著降低氢能制备成本，推进大规模工业部署。

2、第二个国家实验室联盟将加快重型车辆（包括长途卡车）燃料电池技术研发。该联盟研究工作设定了一个五年目标，即在五年之内能够设计出一款与传统燃油发动机经济竞争力相当的重型燃料电池卡车，满足卡车运输行业对耐用性、成本、性能的所有要求，减少卡车的尾气排放。

上述两个实验室联盟的研究工作将有力支撑DOE部署的“H₂@Scale”计划，该计划于2016年11月提出，旨在整合国家实验室、高校和企业的研究力量，共同探索解决氢能规模化应用面临的技术和设施挑战，从而在美国多个行业实现成本合理、运行可靠的大规模氢气生产、运输、储存以及利用。

（郭楷模 岳芳）

DOE 资助 3000 万美元支持小型 SOFC 发电系统研发

5月29日，美国能源部（DOE）宣布资助3000万美元支持“小型固体氧化物燃料电池（SOFC）系统和复合能源系统”主题的研发项目¹⁰，致力于开发先进技术，利用固体氧化物电解池（SOEC）技术，进一步改善小规模SOFC发电系统技术发

⁹ DOE Announces New Lab Consortia to Advance Hydrogen and Fuel Cell R&D. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-new-lab-consortia-advance-hydrogen-and-fuel-cell-rd>

¹⁰ DOE to Provide \$30 Million to Develop Small-Scale Solid Oxide Fuel Cell Systems and Hybrid Energy Systems. <https://www.energy.gov/articles/doe-provide-30-million-develop-small-scale-solid-oxide-fuel-cell-systems-and-hybrid-energy>

电效率和成本效益，使其达到商业化应用水平。本次资助将聚焦三大技术主题，包括：（1）小型分布式 SOFC 发电系统；（2）用于生产氢气和电力的复合系统开发和验证；（3）用作 SOFC 燃料的煤制合成气净化技术开发。具体内容如下：

1、小型分布式 SOFC 发电系统

主要研究内容包括：开发、设计和建造一个容量在 5-25 kW 之间的 SOFC 原型系统，并开展现场的性能验证工作，在不同的条件下完成 5000 小时的连续测试，评估发电系统的性能（燃料利用率、发电效率、寿命等）和经济性（资本成本、运行和维护成本等），以进一步提升系统性能、降低成本，使其在无补贴的情况下具备良好的经济竞争力，实现 1000 美元/千瓦的成本目标。

2、用于生产氢气和电力的复合系统开发和验证。

SOFC 如果以天然气为燃料且以燃料电池模式工作，它可以产生电、水和二氧化碳；此外它还可以以电解槽模式工作，电解水生产氢气，这种系统称为固体氧化物电解池（SOEC），是反向运行的固体氧化物燃料电池。本主题研究工作主要包括：开发一个集成了 SOFC 和 SOEC 两种工作模式的复合系统原型，使得系统同时具备了发电和产氢功能，并开展相关现场测试，评估技术经济性，通过新材料、新架构研发设计持续优化系统成本，使其走向商业化。

3、用作 SOFC 燃料的煤制合成气净化处理技术开发

SOFC 技术是极具前景的小型、模块化发电技术，将它与燃煤电厂结合，有望使燃煤电厂在配备 CCS 情况下实现超过 50% 的发电效率，这种技术被称为整体煤气化-固体氧化物燃料电池（IGSOFC）发电系统，它能够以煤气化炉产生的合成气作为燃料产生电能。但煤本身含有各种各样的污染物，通过煤气化过程产生的合成气中有一些污染物以蒸汽或细颗粒物（PM）的形式存在，这些污染物会降低 SOFC 的性能和耐久性。因此，有必要开展合成气净化处理技术。本研究主题主要开展研究包括：系统研究分析煤制合成气中的污染物对 IGSOFC 系统性能的影响；利用现有设备和/或重新设计一套新的煤制合成气清洁系统；将清洁系统集成到 IGSOFC 发电系统开展现场测试，确保使合成气中的污染物含量降低到 SOFC 系统降解速率可以接受的水平，同时又不能过高的提升系统成本，使其具备良好的技术经济性。

（汤匀 郭楷模）

逐步光沉积制备复合催化剂实现催化全解水量子产率纪录

利用太阳光驱动将水分解为氢气和氧气，是实现太阳能制燃料一种最为理想的方式之一，有助于解决能源危机和环境问题。然而目前催化剂的量子产率较低，使得催化剂的催化性能受到了抑制，因此如何进一步提升催化剂量子产率对于改进催化剂的催化性能至关重要。由日本信州大学 Kazunari Domen 教授带领的联合研究团队利用逐步光沉积方法制备了多种催化剂同修饰的铝(Al)掺杂的钛酸锶($\text{SrTiO}_3:\text{Al}$)

复合催化剂,其在 350-360 nm 之间的紫外光波长领域实现了近 100%的内量子产率,创造了全解水催化产氢析氧的量子产率纪录。

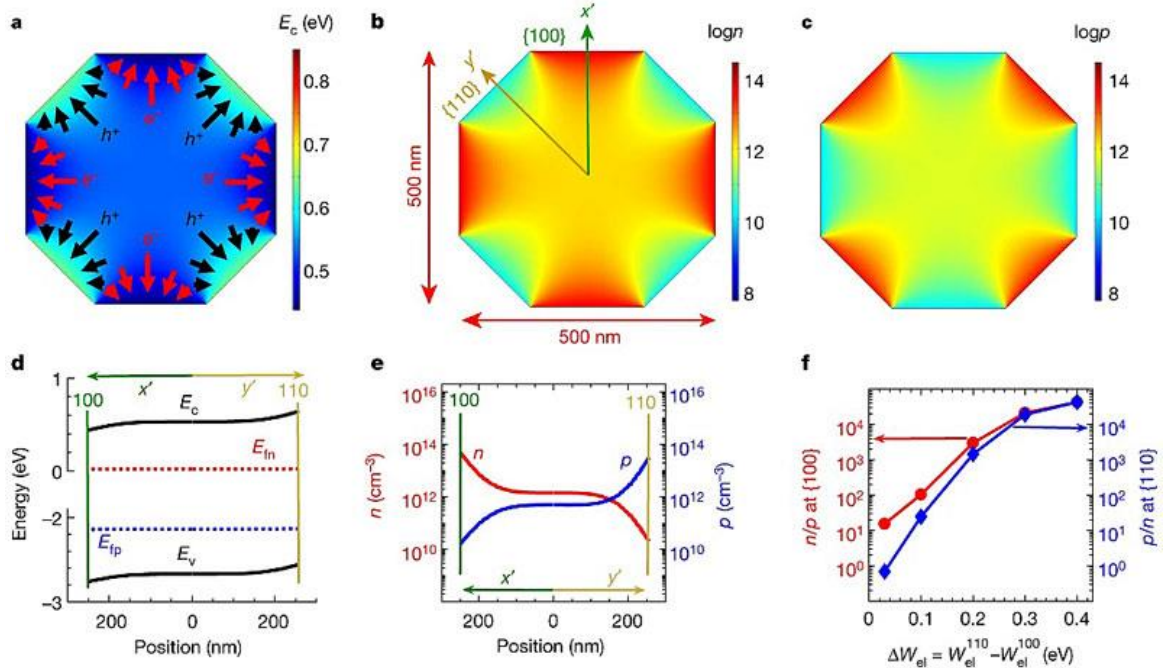


图 1 催化剂中光生载流子分布模拟

研究人员首先利用熔盐法制备了 Al 掺杂的钛酸锶 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 催化剂,通过透射电镜表征发现该催化剂暴露出了两种催化活性面,即 $\{110\}$ 和 $\{100\}$ 晶面,两个晶面呈现出的催化活性位点功能不同,前者是氧化活性面,后者是还原活性面。随后通过逐步光沉积在 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 表面依次沉积钌金属 (Rh) 和氧化铬 (Cr_2O_3),其中 Rh 是高效的析氢助催化剂,而 Cr_2O_3 覆盖又能抑制其表面发生的析氢逆反应,从而增强其析氢催化活性。随后再通过光沉积在上述催化剂表面继续沉积一层钴氧化物 (CoOOH) 作为共催化剂,进一步增强其氧还原催化活性。通过透射电镜表征显示了 Rh/ Cr_2O_3 共催化剂优先倾向沉积在 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 的 $\{100\}$ 晶面,而析氧助催化剂 CoOOH 则选择性分散在 $\{110\}$ 面。接着以 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}/\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{CoOOH}$ 为催化剂进行催化性能测试,实验结果显示该催化剂的光解水产氢和析氧效率比 Rh/ Cr_2O_3 随机分散修饰的 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 活性高出 2 倍多。量子产率表征显示, $\text{SrTiO}_3:\text{Al}/\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{CoOOH}$ 在 350-360 nm 光谱区域的外量子效率高达 95.9% 以上,这是目前已知的催化全解水催化剂的最高值;而内量子效率更是达到了惊人的近 100%。研究人员指出上述催化剂之所以展现出优异量子产率主要在于:① $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 催化剂暴露出不同的活性晶面,相邻的面之间会形成局部的电势差,有利于激发了电子和空穴产生分离;② 产氢 Rh/ Cr_2O_3 和析氧的 CoOOH 两种助催化剂选择性分散在不同的活性晶面上,进一步增强了电子和空穴分离,抑制了复合,增强了催化活性。

该项研究采用熔盐法和逐步光沉积方法结合制备了多种复合催化剂,同时增强

了产氢和析氧的催化活性，获得了近乎 100% 内量子产率，为设计开发高性能双功能催化剂积累了科学理论基础。本次研究采用的催化剂为宽带隙结构，其光响应范围主要聚集在紫外波段（该波段在太阳光谱的占比较低），对太阳光的利用率较低；下一步研究人员将设计研发同样接近极限高量子产率的窄带隙催化剂，将其光响应范围拓展到可见光甚至近红外波段，进而提升光催化效率，让人工光合技术尽快迈向商业化。相关研究成果发表在《Nature》¹¹。

（郭楷模）

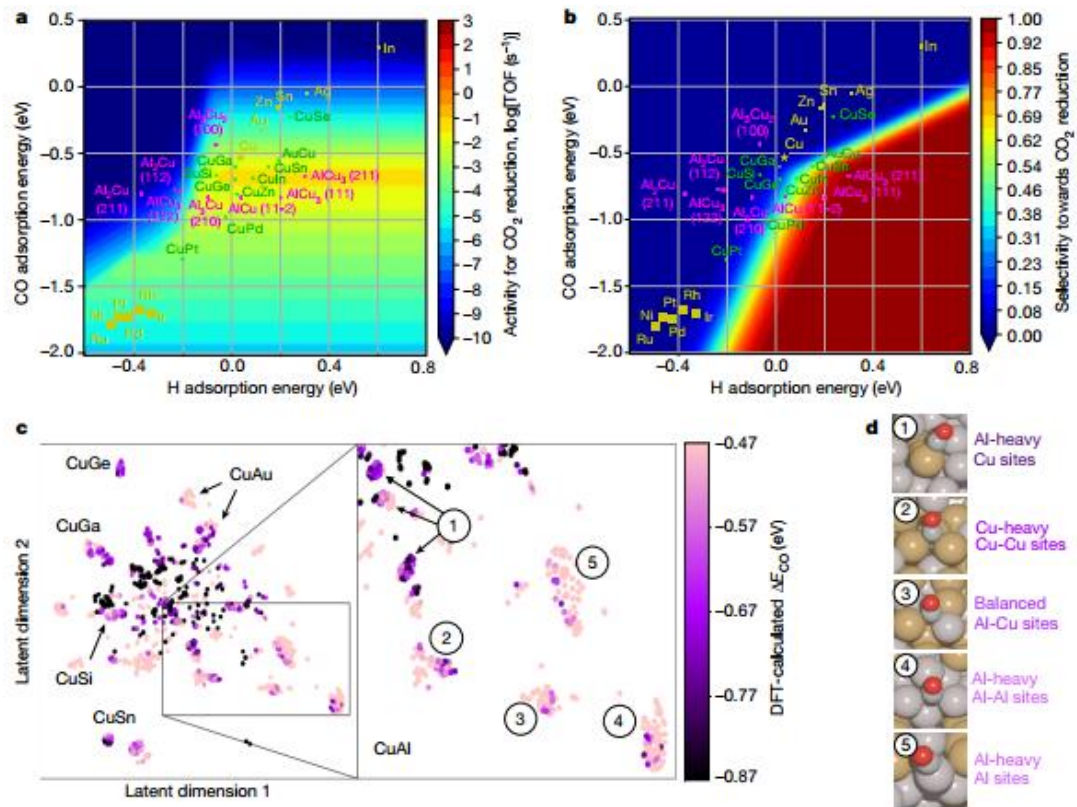
机器学习技术助力快速研发高性能 CO₂ 电催化剂

利用可再生能源驱动电催化 CO₂ 还原成燃料或高价值化学品一方面能够有效减少温室气体，同时又可以解决能源问题，该转化技术受到全球广泛关注。然而受限于催化剂的性能，目前的 CO₂ 催化转化效率和产率不高，因此开发更加高效的 CO₂ 催化剂是该领域的研究热点。传统的人工实验方法开展新催化剂材料研发工序复杂、周期漫长且经济性低，开发高效经济的新材料研发新方法意义重大。由加拿大多伦多大学 Edward H. Sargent 教授课题组牵头的国际联合研究团队将密度泛函理论计算（DFT）和机器学习技术相结合，实现了在 244 种不同的含铜金属间化合物晶体中快速筛选出一种高性能的铜-铝（Cu-Al）合金电催化剂，实现了 CO₂ 到乙烯（C₂H₄）高效催化还原，且获得了迄今为止报道的最高法拉第效率，为研发高性能的 CO₂ 电催化剂开辟了新路径。

传统的催化剂材料开发需要通过人工开展实验测试进行筛序，整个流程繁琐且漫长。为此众多科学家开始借助机器学习技术，来提升材料研发效率。研究人员将 DFT 与机器学习技术结合开发了一种机器学习加速的高通量密度泛函理论（DFT）框架，用于筛选催化剂材料。研究人员向该材料筛选框架系统输入 244 种不同的含铜金属间化合物晶体组合信息，快速分析了上述合金材料的 12229 个表面和 228969 个吸附位点物理化学特性，产生大量数据。将这些数据用来训练机器学习模型，然后框架将机器学习预测的 CO 吸附能与 CO₂ 还原的二维选择性火山图结合在一起，以预测具有最大催化活性的位点。实验结果显示，在众多的含 Cu 合金中，Cu-Al 合金的活性吸附位点和位点类型的丰度最高，且其 CO 吸附能最低，这表明 Cu-Al 合金应该具有更多的催化活性表面成分和位点类型。为此研究人员制备了 Cu-Al 合金催化剂并将其置于 1 摩尔的氢氧化钾（KOH）电解质中进行电催化性能测试，系统研究在碳基气体扩散电极（表面含约 10% 的 Al）衬底上 Cu-Al 催化剂的 CO₂ 电还原性能，在 600 mA/cm² 电流密度时，Cu-Al 催化剂的 C₂H₄ 法拉第效率高达 80%，这是迄今为止文献报道的最优值，远远高于纯 Cu 的 35%；且 Cu-Al 催化剂可以在 600

¹¹ Tsuyoshi Takata, Junzhe Jiang, Yoshihisa Sakata, et al. Photocatalytic water splitting with a quantum efficiency of almost unity. *Nature*, 2020, DOI: 10.1038/s41586-020-2278-9

mA/cm² 电流密度下连续稳定运行 5 小时，表现出良好的化学稳定性。为了探究其优异电催化还原 CO₂ 性能，研究人员通过对机器学习预测的最佳结构进行 DFT 计算，以表征 CO₂ 还原的主要步骤中反应能的变化，发现受益于 Al 的引入，C-C 键合的反应能量显著降低。与相应的纯 Cu 表面相比，Cu-Al 表面的 C-C 耦合步骤的反应能较低。DFT 结果进一步表明，生成乙醇中间体 HO(CH)CH 的反应能高于生成 C₂H₄ 中间体 CCH 的反应能。Al 原子附近的水可以帮助将 HOCCH 还原为 CCH，而不是将 HOCCH 氢化为 HO(CH)CH。因而，Cu-Al 催化剂抑制了醇的产生，并促进了 C₂H₄ 的生成。



能源战略研究

IEA：疫情将导致 2020 年全球能源投资减少 20%

5月27日，国际能源署（IEA）发布《世界能源投资报告2020》¹³指出，新冠肺炎疫情将导致2020年全球能源投资减少20%，油气行业将受到最大影响，投资降幅将达32%。电力行业投资相对稳定，但仍将降至近十年最低水平。化石燃料发电投资将降低15%，可再生能源发电投资则将下降10%。预计2020年终端用能和能效部门投资将降低12%。2019年，全球能源公私研发投入均增长3%，约80%的能源公共研发用于低碳技术。关键点如下：

受新冠肺炎疫情影响，预计2020年全球能源投资将出现有记录以来最大降幅，减少近4000亿美元（-20%）。其中，燃料供应部门将受到最大影响，预计投资减少2590亿美元，其次是电力（-790亿美元）和终端用能及能效（-330亿美元）。中国仍将是最大的能源投资市场，也是全球能源投资趋势的主要决定因素。由于美国能源投资约一半为化石燃料供应（油气为主），预计其能源投资下降幅度将超过25%。欧洲则将下降约17%。

2020年油气投资预计不到2014年峰值的一半。在经历2015-2016年的大幅削减开支后，油气投资在2020年经受了更大冲击。预计2020年，油气供应投资将同比下降32%至5110亿美元，投资受限的形势将可能持续到2021年。页岩油气行业受到的影响更为严重，预计2020年其上游支出将同比下降50%。

中国推动2019年全球煤炭供应投资增长15%。尽管对煤炭未来发展的争论日益激烈，但2019年全球煤炭供应部门投资仍从2018年的800亿美元增加15%至900亿美元。煤炭占全球一次能源需求1/4以上，但投资（不包括发电支出）仅占能源行业的5%。至今为止，中国是全球煤炭供应投资增长的最大推动力。预计中国煤炭需求前景将保持稳定，但全球煤炭供应的新投资将不再寄希望于中国需求的增长。

生物燃料投资降至十年来最低水平，政策支持仍是关键因素。2019年，全球生物燃料投资在燃料供应投资中的占比已降至1%以下。由于中国对乙醇生产设施投资减半，2019年液体生物燃料产能投资再次下降30%。为实现可持续发展目标，未来十年生物燃料投资需要增加6倍，在低油价时代要扩大部署需依靠政策支持。

电力投资相对稳定，但仍将下降10%至近十年最低水平，且远未达到未来实现电气化所需的投资水平。总体来看2020年化石燃料发电投资将减少15%。预计2020年全球可再生能源发电投资将减少10%。由于中国投资急剧下降，2019年全球电网

¹³ World Energy Investment 2020. <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>

投资连续第3年下降（-7%）至2800亿美元以下，预计2020年将继续下降9%。电网数字基础设施投资持续增长，2019年已占电网总投资近1/5，未来十年电网投资需增加约50%。2019年全球电池储能投资首次下降（13%），预计2020年将放缓。

2019年全球能效投资保持稳定，预计2020年将下降12%。2019年全球建筑、交通和工业部门能效投资总额达到2500亿美元，与上一年持平。建筑部门的能效投资占比最大，2019年增长了2%。区域供热网络在欧洲继续扩张，自2005年以来平均每年投资60亿美元。在政府支持下，2019年全球电动汽车购买支出增至900亿美元，同比增长13%。2020年，全球经济预计下滑6%，能效投资将下降12%以上。

2019年全球能源公共研发投入增长3%，其中约80%用于低碳技术。2019年全球能源公共研发投入增长3%至300亿美元。低碳技术公共研发投入增长6%达250亿美元。中国低碳能源研发投入增长了10%。欧美能源公共研发投入增长7%，高于近年趋势。中国和日本的公共能源研发投入在GDP占比最高，约为0.06%。预计2020年能源公共研发投入可能保持稳定，极有可能在2022-2023年降低。

企业能源研发投入增长3%，油气及汽车领域增长甚微。2010-2019年企业能源研发投入增长约40%。可再生能源研发投入增长最快（+74%），石油和天然气研发投入仅增长9%。汽车制造商的研发预算远高于能源企业，其研发占比持续加大，新能源汽车研发在2018-2019年之间趋于稳定。新冠疫情的爆发将导致2020-2021年企业能源研发投入减少，但其受到的影响将远低于企业资本支出。

能源应该是世界可持续发展的首要推动力，但投资趋势令人担忧，清洁能源投资力度不足。近年来，能源投资在GDP占比有所下降，到2020年将降至2%以下，低于2014年的3%左右。预计2020年能源投资下降幅度将超过GDP降幅。这一趋势表明推动关键清洁能源技术发展以实现能源转型的投资力度不足。由于清洁能源技术成本不断下降，2015年至今清洁能源投资基本稳定在6000亿美元的水平，预计2020年将有所下降。

新冠疫情给能源系统带来了巨大冲击，但也可能推动能源部门向更可靠、安全和可持续发展。能源设施的更新换代可能促使更高效清洁的技术能够以更快速度提升市场份额。在需求低迷情况下，某些地区的产能过剩将加剧低效率资本存量的淘汰，如炼油厂和燃煤电厂。但危机也可能减慢一些领域的转型步伐，资金短缺可能延缓新型能源技术的部署。低油价以及新技术的前期成本过高，可能导致低成本、低效率汽车和电器的新一轮发展。决策者应将经济复苏与能源和气候目标结合，制定针对危机的应对措施，通过提供激励措施促使更高效、清洁的新技术替换旧技术。

编者注：《世界能源投资报告2020》详细要点请参见《洁净能源重大信息专报》2020年第3期。

（李岚春 岳芳）

BP：全球能源需求增长放缓 可再生能源和天然气成增量主体

6月17日，英国石油公司（BP）发布《世界能源统计年鉴 2020》报告¹⁴指出，2019年全球一次能源增长放缓至1.3%，不到2018年的一半，可再生能源和天然气是消费增长主体。全球石油消费增长0.9%，低于近十年平均值；天然气消费增速(+2%)大幅减缓，远低于2018年的5.3%；煤炭消费出现六年来第四次下降(-0.6%)；核能消费量创近15年以来最大增幅；非水可再生能源消费增量创新高。关键要点如下：

全球一次能源消费增速放缓，可再生能源和天然气是增量主体。2019年，全球一次能源消费增速减缓至1.3%，不到上一年度增长率(2.8%)的一半。其中，可再生能源(3.2艾焦耳)和天然气(2.8艾焦耳)贡献了增量的四分之三。石油继续占据一次能源结构的最大份额(33.1%)，第二大燃料煤炭下降至2003年以来的最低水平(27.0%)，天然气、非水可再生能源分别为24.2%、5.0%，核能仅为4.3%。全球各地区一次能源消费结构差异明显：石油仍然是非洲、欧洲和美洲地区的主要燃料；天然气在独联体和中东地区占主导地位；煤炭是亚太地区的主要燃料，北美和欧洲地区的一次能源消费结构中煤炭份额已下降到最低水平。

全球石油探明储量还能够支撑以现有生产水平维持 50 年，欧佩克国家石油产量显著降低，中国引领石油消费增长。截至2019年底，全球石油探明储量为1.734万亿桶，较2018年减少20亿桶。2019年，全球石油消费增长(0.9%)低于近十年平均值，增幅为90万桶/日，中国(+68万桶/日)和其他新兴经济体引领消费增长，而OECD国家消费下降(-29万桶/日)。全球石油产量微降6万桶/日，美国产量的强劲增长(+170万桶/日)被欧佩克产量下降(-200万桶/日)所抵消，伊朗(-130万桶/日)、委内瑞拉(-56万桶/日)和沙特阿拉伯(-43万桶/日)产量急剧下降。全球各地区炼油厂利用率下降至82.5%，创2009年以来最大降幅。

全球天然气消费增速大幅减缓，美国和中国引领天然气消费及生产增长。2019年，世界天然气探明储量增加1.7万亿立方米达到198.8万亿立方米，天然气储量能支撑以现有生产水平生产49.8年。2019年，全球天然气消费量增加780亿立方米，增长率2%，远低于2018年的5.3%。美国(+270亿立方米)和中国(+240亿立方米)推动天然气消费增长，而俄罗斯和日本的降幅最大。全球天然气产量增长1320亿立方米(+3.4%)，其中美国约占增量的三分之二(+850亿立方米)，澳大利亚(+230亿立方米)和中国(+160亿立方米)也是增长的关键贡献国家。2010年以来主要地区天然气价格呈现下行趋势，美国天然气价格处于全球最低位，2019年低于3美元/百万英热单位，亚洲天然气价格最高。

全球煤炭探明储量可维持 132 年，煤炭消费出现六年来第四次下降(-0.6%)。

¹⁴ Statistical Review of World Energy 2020. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

2019年，世界煤炭探明储量为1.07万亿吨。全球煤炭消费量下降0.6%（-0.9艾焦耳），为六年来第四次下降。中国（+1.8艾焦耳）显著增加，印度增长率仅为0.3%（+0.1艾焦耳），为2001年以来最低水平。以美国（-1.9艾焦耳）和德国（-0.6艾焦耳）为首的经合组织国家煤炭需求急剧下降至1965年以来的最低水平。2019年全球煤炭产量增长1.5%，中国（+3.2艾焦耳）、印度尼西亚（+1.3艾焦耳）为显著增长的两个国家，产量下降最大的国家为美国（-1.1艾焦耳）、德国（-0.3艾焦耳）。

全球核能消费量创近15年以来最大增幅。2019年全球核能消费量增长3.2%（按投入当量计算），是2004年以来的最大增幅，远高于10年平均水平（-0.7%）。中国核能消费出现有史以来最大增长（+0.5艾焦耳），日本已从2014年的完全停产中恢复，增长达到0.15艾焦耳（+33%）。

全球水电消费量低于近10年平均值。2019年，全球水电消费增长0.8%，低于近10年平均值（+1.9%）。中国（+0.6艾焦耳）、土耳其（+0.3艾焦耳）和印度（+0.2艾焦耳）为增长最高的三个国家，美国和越南的降幅最大（-0.2艾焦耳）。

全球非水可再生能源消费增量创新高，但增幅低于历史平均水平。2019年全球非水可再生能源消费量（包括生物燃料）增长12.1%，低于历史平均水平，但增量创历史新高（+3.2艾焦耳），也是2019年增长最大的能源技术种类。中国可再生能源消费量增长最大（+0.8艾焦耳），其次是美国（+0.3艾焦耳）和日本（+0.2艾焦耳）。风力发电贡献最大（+160太瓦时），其次是太阳能发电（+140太瓦时）。太阳能发电在可再生能源发电中占比不断提高，2019年达到26%，而五年前仅为14%。

全球煤炭发电占比降至历史最低水平，非水可再生能源发电首超核电。煤炭仍为全球主要的发电燃料，但2019年份额下降1.5个百分点，达到历史最低水平（36.4%）。天然气、非水可再生能源发电占比分别达到23.3%和10.4%，非水可再生能源发电量首次超过核电。全球非水可再生能源发电占比呈现“西高东低”态势：欧洲占比最高（20.9%），是全球平均水平（10.4%）的两倍，其次是中南美洲（13.9%）、北美洲（10.6%），亚太地区（9.0%）、非洲（5.2%）、中东地区（1.1%）和独联体地区（0.2%）低于全球平均水平。

关键金属矿产资源将成为影响新能源发展的重要因素。2019年，储能电池和电动汽车产业发展带动锂、钴等关键金属矿产资源价格大幅上涨；但新能源汽车发展放缓、原料供应过剩等因素使得锂、钴资源价格显著回调。全球石墨和稀土产量继续增长，增幅均在12%左右。石墨增长主要由中国和莫桑比克驱动；稀土产量主要由中国和美国提振，美国产量大增（+44%）已成为仅次于中国的第二大稀土生产国。

编者注：《世界能源统计年鉴2020》详细要点请参见《洁净能源重大信息专报》2020年第3期。

（李岚春 岳芳）

国际能源署分析新冠疫情危机对洁净能源发展影响

6月上旬，国际能源署分别发布了《新冠疫情危机对洁净能源发展影响》报告¹⁵和《新冠疫情危机对清洁能源进展影响的10个主要新兴主题》专题文章¹⁶，总结了迄今为止新冠疫情危机对能源部门和相关技术的影响，并探讨了对中长期内洁净能源转型的潜在影响。报告要点如下：

1、受疫情影响全球电力需求降低，可再生能源电力供应占比将增加

封控措施大大减少了电力需求，进而影响了电力结构。需求减少导致可再生能源在电力供应中的占比增加，而所有其他来源（煤炭、天然气和核能）产生的电力下降。2020年，低碳发电占比预计将扩大到40%，创历史最高水平。可再生能源发电量和占比可能达到最高水平，风能和太阳能发电量都将增加。燃煤发电量下降幅度最大，预计下降10%，其次是燃气发电量（下降7%），这是有史以来最大降幅。

2、全球温室气体排放总量降低，但燃料供应部门排放将略有增加

全球疫情给社会和经济活动带来了前所未有的限制，预计2020年全球能源需求将萎缩6%，为70多年来最大降幅。与此同时，2020年全球碳排放量将下降8%，降至2010年以来的最低水平。然而，这一下降主要是疫情危机、失业率飙升和经济衰退综合作用的结果。最新数据显示，燃料供应部门排放量略有增加，达到约54亿吨CO₂当量，约占全球能源部门温室气体排放量的15%。不同行业排放量表现存在相当大的差异，超过一半的排放量来自石油和天然气作业期间的燃烧和甲烷释放。

3、碳捕集、利用及封存（CCUS）依旧发展强势

疫情危机爆发之前，CCUS已经表现出强劲的发展势头。2018年以来，全球已经宣布了许多新项目，主要集中在美国和欧洲。这些项目预计将使全球碳捕集量（每年近4000万吨）翻一番以上。2020年3月，美国确认了对CCUS基础设施投资9.95亿美元的承诺，包括至少在两个地点建立CCUS设施。在欧洲，100亿欧元的创新基金将于2020年开始支持包括CCUS项目在内的洁净能源技术。澳大利亚政府在5月宣布对CCUS的资助计划。2020年6月，位于加拿大阿尔伯塔省的两个碳干线项目（即全球最大的碳捕集与封存系统）开始运营，大型运营设施数量增至21个。

4、受疫情影响全球公共交通行业遭到重创，但电动汽车行业发展强势，交通生物燃料产量将出现近20年来首次下降

新冠疫情严重影响了高铁行业。2020年1-4月，运营商在亚洲的收入损失了190亿美元，在欧洲损失了25亿美元。全球汽车销量下降约900万辆，约为2019年同期销量的1/3。随着封控措施缓解，汽车潜在需求强劲，全球电动汽车销量的上升趋势

¹⁵ The Covid-19 Crisis and Clean Energy Progress Part of Tracking Clean Energy Progress.
<https://www.iea.org/reports/the-covid-19-crisis-and-clean-energy-progress>

¹⁶ The impact of the Covid-19 crisis on clean energy progress: 10 key emerging themes.
<https://www.iea.org/articles/the-impact-of-the-covid-19-crisis-on-clean-energy-progress>

势仍将持续，预计 2020 年全球电动汽车销量可能略微超过 2019 年，达到 230 万辆以上，在汽车市场份额将创纪录地超过 3%。这将使全球电动汽车保有量达到约 1000 万辆，约占全球汽车保有量的 1%。2020 年 5 月，亚洲和欧洲的航班数量分别同比下降 40% 和 90%，预计 2020 年商业航班乘客人数将同比下降 35%-65%，商业客运航空的收入损失在 600 亿美元至 1150 亿美元之间（而 2019 年的利润为 260 亿美元）。新冠危机彻底改变了生物燃料的全球环境，预计 2020 年交通生物燃料产量将减少 13%，是 20 年来首次下降。更为严峻的是，较低的原油和天然气价格使得生物燃料和可再生能源技术的成本竞争力下降。

5、疫情将导致综合能源系统相关技术发展态势低迷

2019 年，储能技术新增装机容量同比下降，为近 10 年来的首次下降。主要市场的政策支持摇摆不定，电网级储能新增装机容量下降了 20%。全球智能电网和需求响应项目受到监管限制和不利政策影响，2019 年全球装机容量仅增长了 5%，而对智能电网的投资却一蹶不振。在疫情爆发之前，低碳氢获得了前所未有的发展势头，几个配备 CCUS 的化石燃料制氢项目正在开发。但由于受到全球经济低迷、供应链中断和公司资本支出减少的影响，氢能未来发展可能面临挑战。目前所有的氢需求都在炼油、化工和钢铁制造业，这些都受到了疫情的严重影响，但仍需确保低碳氢的生产和在综合能源系统中的应用不会因疫情产生较大波动。

6、受疫情影响全球能效进展持续减缓，对洁净能源投资仍需大力扶持

2019 年全球一次能源强度仅提高了 1.5% 左右，远低于 IEA 可持续发展情景中每年 3% 以上的目标。疫情期间全球能效相关支出正急剧下降，加上汽车销售和建筑施工进程的放缓以及人们对更高效的电器和设备购买力减弱，预计 2020 年在能效和终端应用方面的投资将下降 10%-15%。近年来，全球在清洁能源技术领域投资约 6000 亿美元/年，占总投资的三分之一左右。到 2020 年，由于化石燃料投资大幅下降，清洁能源投资占比将跃升至 40%。但从绝对值来看，清洁能源投资水平仍远远低于使世界走上更可持续发展道路所需的水平。根据 IEA 可持续发展情景，到 2030 年全球可再生能源和能效的支出需增加一倍以上。过去 10 年发达经济体的可再生能源企业股本回报率高于化石燃料供应领域的企业。因此，尽管当前疫情带来了诸多不确定性，但仍需向清洁能源项目投入更多资金。

（汤匀）



《洁净能源科技动态监测快报》

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心

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 岳芳

联系电话：(027) 87199180

电子邮件：energy@whlib.ac.cn