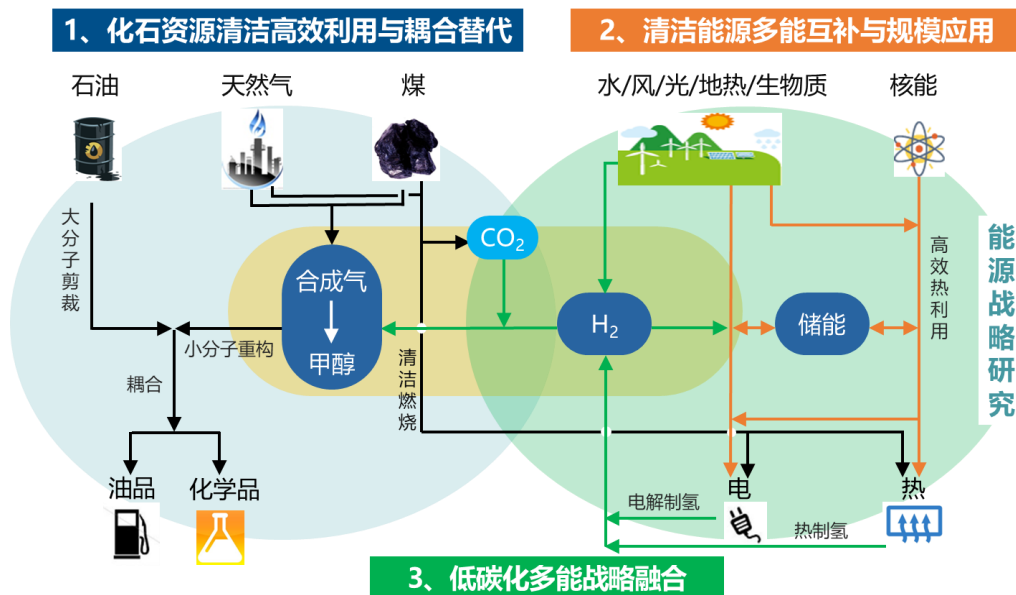




洁净能源科技动态监测快报

2020 年第 12 期（总第 14 期）



本期看点

- OPEC: 到 2045 年全球能源需求预计增长四分之一
- IAEA: 未来 30 年亚洲和东欧地区将是核电发展主力军
- DOE 资助 1.3 亿美元推进先进太阳能技术研发
- 美能源部发布氢能计划发展规划提出研发重点及发展目标
- 日本 NEDO 资助高效率氢燃气轮机技术研发
- IEA: 到 2025 年可再生能源将成第一大电力来源

目 录

2020 年第 12 期 (总第 14 期)

◆ 化石资源清洁高效利用

- OPEC: 到 2045 年全球能源需求预计增长四分之一..... 2
- ARPA-E 资助 1600 万美元支持燃气轮机超高温材料研发..... 6

◆ 清洁能源多能互补

- IAEA: 未来 30 年亚洲和东欧地区将是核电发展主力军 8
- DOE 资助 1.3 亿美元推进先进太阳能技术研发..... 11
- 英国成功启动升级版兆安培球形托卡马克聚变装置..... 12
- 牛津大学首次实现对钙钛矿薄膜的原子尺度表征..... 13

◆ 低碳化多能融合

- DOE 发布氢能计划发展规划提出研发重点及发展目标..... 15
- 英国资助 1000 万英镑推进新型电池技术研发..... 18
- 日本 NEDO 资助高效率氢燃气轮机技术研发..... 19
- 阳离子电势概念助力钠离子层状氧化物电极结构预测..... 19
- 单原子银修饰的双氰胺复合催化剂展现稳定高效光催化性能..... 21

◆ 能源战略研究

- IEA: 到 2025 年可再生能源将成世界第一大电力来源 23
- IRENA: 2019 年可再生能源从业人员达创纪录的 1150 万人..... 26
- 欧盟委员会发布欧洲能源联盟进展评估报告 29

本期概要

石油输出国组织（OPEC）发布《2020-2045年世界石油展望》报告，分析预测了中长期内全球能源以及石油需求、供给、交易走势：新冠疫情暴发导致短期内全球石油需求急剧下降，但中长期内全球一次能源需求将继续增长，到2045年将增长约四分之一。其中石油仍将在能源消费中占据最大份额，达到27%以上，天然气（25%）和煤炭（20%）将分别位列第二、三位，太阳能、风能和地热能等可再生能源预计将占8.7%，并将保持最快增长速度（年均增长6.6%）。

国际原子能机构（IAEA）发布《展望2050年能源、电力和核电预测》报告，系统回溯了截至2019年全球核电发展概况，并展望了至2050年全球主要区域核能发展态势：截至2019年底，全球在运核电机组443台，总装机容量392 GW。2019年，核电为全球供应了2657 TWh基荷电力，占全球总发电量的10%。展望2050年，在低值情景下，预计核电装机容量将减少约7%，降至363 GW；在高值情景下，预计核电装机将增加约82%，达到715 GW。北美和西欧等传统核电大国所在地区未来核电发展将处于停滞状态，有的地区甚至会出现倒退；未来的核电发展主要集中在亚洲和东欧地区。

美国能源部（DOE）宣布在“太阳能技术办公室2020财年资助计划”（SETO FY2020）框架下提供1.3亿美元资助先进太阳能技术研发，聚焦8大技术主题，包括：（1）光伏器件研究和开发；（2）聚光太阳能热发电；（3）太阳能系统集成技术；（4）人工智能在太阳能领域的应用；（5）创新制造技术；（6）太阳能知识发展和传播；（7）太阳能在农业中的应用；（8）小规模创新技术研发。

美国能源部（DOE）发布《氢能计划发展规划》，提出了氢能研究、开发和示范的总体战略框架，明确了氢能发展的核心技术领域、需求和挑战以及研发重点，并提出了氢能计划到2030年的主要技术和经济指标：①电解槽成本降至300美元/千瓦，运行寿命达到80000小时，系统转换效率达到65%，工业和电力部门用氢价格降至1美元/千克，交通部门用氢价格降至2美元/千克；②早期市场中交通部门氢气输配成本降至5美元/千克，最终扩大的高价值产品市场中氢气输配成本降至2美元/千克；③车载储氢系统成本在能量密度2.2千瓦时/千克、1.7千瓦时/升下达到8美元/千瓦时，便携式燃料电池电源系统储氢成本在能量密度1千瓦时/千克、1.3千瓦时/升下达到0.5美元/千瓦时，储氢罐用高强度碳纤维成本达到13美元/千克；④用于长途重型卡车的质子交换膜燃料电池系统成本降至80美元/千瓦，运行寿命达到25000小时，用于固定式发电的固体氧化物燃料电池系统成本降至900美元/千瓦，运行寿命达到40000小时。详见正文。

国际能源署（IEA）发布了《可再生能源2020：至2025年的分析和预测》报告，总结了当前的可再生能源发展情况，并分析预测了2025年发展前景：受到新冠疫情影响，2020年几乎所有燃料需求都将下降，导致全球能源需求将下降5%。但可再生能源将是个例外，预计总体需求将增加1%，其中可再生能源电力装机容量预计增加近4%（新增约200 GW），占同期全球电力新增装机总量的近90%。到2025年，可再生能源有望取代煤炭成为全球第一大电力来源。

化石资源清洁高效利用

OPEC：到 2045 年全球能源需求预计增长四分之一

10月8日，石油输出国组织（OPEC）发布《2020-2045年世界石油展望》报告¹，分析预测了中长期内全球能源以及石油需求、供给、交易走势。报告指出，尽管新冠肺炎疫情暴发导致短期内全球石油需求急剧下降，但中长期内全球一次能源需求将继续增长，到2045年将增长约四分之一。其中石油仍将在能源消费中占据最大份额（27%以上），天然气（25%）和煤炭（20%）分别位列第二、三位，太阳能、风能和地热能等可再生能源预计将占8.7%，并将保持最快增长速度（年均增长6.6%）。报告关键点如下：

1、疫情引起的经济衰退将导致 2019-2045 年全球 GDP 年均增速降至 2.9%，2045 年全球经济规模仅为 2019 年的两倍多

受疫情影响，2019-2025 年全球经济大幅衰退，经济合作与发展组织（OECD）国家 GDP 年均增长率仅为 0.7%，远低于疫情前预测的 2.1%，非 OECD 国家 GDP 年均增长率为 3.4%，较疫情前预测值降低 1 个百分点。长期来看，全球 GDP 将从 2019 年的约 121 万亿美元增长到 2045 年的 258 万亿美元，年均增速为 2.9%。中国和印度将占 2045 年全球 GDP 的 40%，OECD 国家将占 31%（2019 年占比为 43%）。OECD 美洲地区仍将是人均 GDP 最高的地区，而中东和非洲地区人均 GDP 最低。

2、尽管 2020 年全球一次能源需求大幅下降，但预计 2021-2045 年间将呈现增长态势，增长约 7200 万桶/天（油当量，下同）

到 2045 年，全球一次能源需求将从 2019 年的 2.89 亿桶/天增加到 3.61 亿桶/天，年均增长率为 0.9%。非 OECD 国家能源需求预计将增加 7650 万桶/天，而 OECD 国家能源需求将减少约 440 万桶/天。印度、中国等人口和经济高速增长的发展中国家在推动能源需求增长方面发挥着关键作用，近一半的能源需求增量将来自印度和中国，而 OECD 国家则在提高能效和降低碳排放方面投入更多。

3、到 2045 年化石能源在全球能源需求中占比将下降，可再生能源需求保持快速增长

•石油仍将在全球能源结构中占据最大比例。如果新冠疫情在明年基本得到控制，全球石油需求预计在 2021 年部分恢复，到 2025 年将达到 9440 万桶/天，并在 2045 年达到 9950 万桶/天。2019 年，石油占全球能源需求的 31%以上，预计到 2045 年将

¹ World Oil Outlook 2045.

https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/press_room/Launch%20of%20the%20WOO2020%20-%20presentation.pdf

降至 27%，但仍是最大的能源来源，其次是天然气（约 25%）和煤炭（近 20%），如表 1 所示。

表 1 2019-2045 年按不同燃料类型划分全球一次能源需求预测

	需求总量（百万桶油当量/天）						增长量（百万桶油当量/天）	增长率（%）	燃料占比（%）	
	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2019-2045	2019-2045	2019	2045
石油	91.0	94.4	97.7	99.3	99.7	99.5	8.5	0.3	31.5	27.5
煤炭	77.1	75.1	75.1	74.3	72.8	71.0	-6.1	-0.3	26.7	19.7
天然气	66.9	69.8	76.2	82.2	87.3	91.2	24.3	1.2	23.1	25.3
核能	14.4	16.1	17.5	19.1	20.8	22.1	7.7	1.7	5.0	6.1
氢能	7.3	8.1	8.8	9.5	10.2	10.5	3.2	1.4	2.5	2.9
生物质能	26.4	28.9	31.0	32.9	34.6	35.5	9.1	1.2	9.1	9.8
其他可再生能源	6.0	10.6	15.5	20.8	26.8	31.4	25.4	6.6	2.1	8.7
总计	289.1	303.0	321.9	338.1	352.3	361.3	72.1	0.9	100.0	100.0

•**天然气将成为需求增长最快的化石能源。**由于城市化水平提高、工业需求增长以及在电力行业中的竞争力超过煤炭，预计全球天然气需求将持续扩大，从 2019 年的近 6700 万桶/天增加到 2045 年的 9100 万桶/天，从而使天然气成为全球第二大能源来源。

•**煤炭将成为中长期内唯一需求下降的燃料。**煤炭目前是一次能源结构中第二大燃料，但其份额正在下降，许多燃煤电厂正被可再生能源和天然气所取代。预计 2019-2045 年，煤炭需求将以平均每年 0.3% 的速度下降。尽管全球煤炭需求下降，但印度煤炭需求预计将在 2019-2045 年间以年均 2.6% 的速度增长。

•**可再生能源将持续保持最快的增长速度。**2019-2045 年，可再生能源（主要为太阳能、风能和地热能）的年均增长率将达到 6.6%，远高于其他能源。这使得可再生能源需求的绝对增量超过 2500 万桶/天，超过天然气需求增量（约 2400 万桶/天）。

4、石油需求预计将在 2025 年前后恢复增长态势，随后趋于平稳，到 2045 年将达到 1.091 亿桶/天

全球石油需求从动荡的 2020 年复苏后，预计将以相对较高的增速增长，到 2025 年达到 1.037 亿桶/天，尤其是 2022 和 2023 年的增量将相对较高（分别为 210 万桶/天和 150 万桶/天），主要因为发展中国家经济复苏以及航空、道路运输和工业部门的需求复苏。2030-2035 年，随着 OECD 国家石油需求开始加速下降以及非 OECD 国家石油需求增速开始减缓，全球石油需求将出现下降并在相当长的时期内趋于平稳。从长期来看，全球石油需求将从 2019 年的 9970 万桶/天增长到 2040 年的 1.093

亿桶/天和 2045 年的 1.091 亿桶/天。疫情对 OECD 国家石油需求的影响更为明显，进一步加剧了 OECD 和非 OECD 地区之间的分化趋势。OECD 国家的石油需求在 2022-2025 年间预计稳定在 4700 万桶/天左右，随后持续降低，到 2045 年下降至 3500 万桶/天。而非 OECD 地区石油需求将继续增长，在中产阶级规模扩大、人口增长率较高和更强的经济增长潜力推动下，这些国家的石油需求预计在 2019-2045 年间将增加 2250 万桶/天，到 2045 年达到 7340 万桶/天。印度将是这一需求增量的最大贡献者，其石油需求将增加约 630 万桶/天。

5、道路运输部门在石油需求占比最大，但电动汽车的日益普及将影响该部门对石油需求的依赖，工业部门中石化行业将成为石油需求增长的最大贡献者

2019 年道路运输的石油需求为 4440 万桶/天，占全球石油总需求的 45%。受疫情影响，2020 年其石油需求将比 2019 年减少 400 多万桶/天。但从中长期来看，该部门的石油需求将继续增长，到 2045 年将达到 4700 万桶/天。航空部门受疫情影响最大，2020 年石油需求下降近 50%，预计 2023-2024 年会恢复到 2019 年水平，但长期来看其石油需求将大幅增长（增长 280 万桶/天）。受技术发展、能源政策收紧、电动汽车日益普及的影响，道路运输石油需求将发生变化。预计电动汽车在全球汽车市场份额将在 2030 年达到 5%左右，2040 年达到 13%，2045 年超过 16%。因此，即使乘用车相关石油需求在初期以可观的速度增长，但在未来十年将开始趋于平稳，并在后期出现下降趋势。到 2045 年，工业部门中石化行业将成为石油需求增长的最大贡献者（增长 370 万桶/天）。

6、非 OPEC 国家液体燃料供应预计将从 2021 年开始复苏，在 2027 年达峰后下降，到 2045 年 OPEC 国家液体燃料供应占比将有所上升

在供应方面，疫情导致全球石油需求萎缩，产油国大幅减产，这一趋势将一直持续至 2022 年。预计 2020 年非 OPEC 国家的液体燃料供应将大幅减少 300 万桶/天，是自 2016 年以来的首次年度下降，随后在 2021 年出现小幅增长，并在未来几年加速增长，从 2019 年的 6500 万桶/天增加到 2025 年的 7070 万桶/天。其增长主要受到巴西、美国、挪威、圭亚那和哈萨克斯坦的推动，其中巴西贡献最大（增加 170 万桶/天）。但到 2025 年后，将只有少数非 OPEC 产油国的供应出现增长，因此非 OPEC 国家石油供应总量将从 2027 年的峰值（7180 万桶/天）下降到 2045 年的 6540 万桶/天。OPEC 国家的液体燃料产量则将从 2019 年的 3380 万桶/天增加到 2045 年的 4390 万桶/天，意味着 OPEC 国家在全球液体燃料市场的份额将从 2019 年的 34% 上升到 2045 年的 40%。

7、美国致密油增长将持续到 2030 年，但低于以往预期

尽管美国致密油受疫情影响导致减产，但随着市场状况的改善，预计产量将迅速复苏，并将在 2019-2025 年间增长 280 万桶/天达到 1450 万桶/天，此后将继续小

幅增长，2030 年左右稳定在 1580 万桶/天，但将低于疫情前的预测值。

8、到 2025 年全球炼油产能将增加 520 万桶/天，随后增速减缓，到 2045 年将增加 1560 万桶/天

预计 2020-2025 年全球炼油产能将增加 520 万桶/天，其中将有 380 万桶/天的新增产能在 2022 年前投入使用，2023 年起新建产能增速减缓。受石油需求增长和促进成品油出口的推动，到 2025 年，超过 80% 的新增产能将位于亚太（210 万桶/天）、中东（130 万桶/天）和非洲（80 万桶/天）地区。长期来看，2020-2045 年全球炼油产能将增加 1560 万桶/天，但后期产能增速将大幅减缓，从 2020-2025 年的年均增加 90 万桶/天降至 2045-2050 年的年均增加 35 万桶/天。

9、到 2030 年，全球原油和凝析液贸易量稳定在 3850 万桶/天左右，到 2045 年逐步增加到 4100 万桶/天，中东和亚太地区之间的交易仍为最重要的贸易纽带

预计全球石油贸易量（包括原油、凝析液和成品油）将从 2019 年的 5650 万桶/天增加到 2045 年的 6320 万桶/天。2019-2030 年，全球原油和凝析液贸易将由美国、加拿大以及拉丁美洲的较高出口量主导，中东地区石油出口量将从 2019 年的 1850 万桶/天下降到 2025 年的 1700 万桶/天以下，这是由于对 OPEC 石油需求减少以及本国使用量增加导致，但到 2030 年出口量将会恢复。到 2045 年，中东地区的原油和凝析液出口量将增至 2350 万桶/天，俄罗斯和里海地区的出口也将小幅增长。其他地区由于供应量下降（如美国）和国内使用量增加（如拉丁美洲和非洲），其原油和凝析液出口量将下降。亚太地区仍为最重要的原油进口地区，到 2045 年进口量增长超过 600 万桶/天。中东和亚太地区之间的原油和凝析液交易仍然是最重要的贸易纽带，其贸易量将从 2019 年的约 1500 万桶/天增加到 2045 年的近 2000 万桶/天。受需求萎缩和炼油厂产量下降影响，第二大石油进口地区欧洲的原油和凝析液进口量可能会大幅下降，从 2019 年的 1000 万桶/天降至 2045 年的 750 万桶/天。

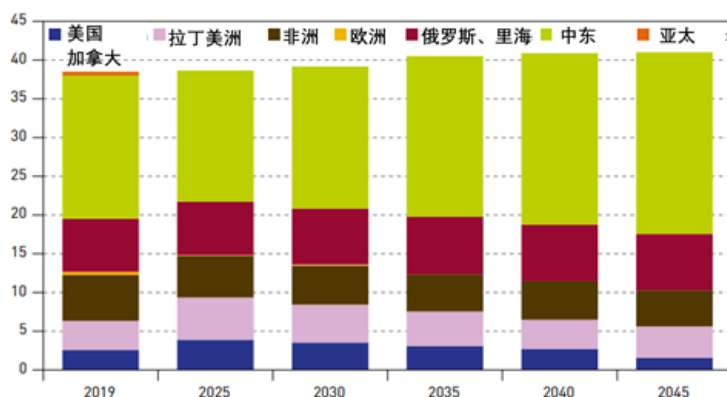


图 1 2019-2045 年全球不同地区原油出口情况（单位：百万桶/天）

备注：只考虑主要地区之间的贸易

（汤匀 岳芳）

ARPA-E 资助 1600 万美元支持燃气轮机超高温材料研发

11 月 18 日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布资助 1600 万美元，支持 17 个航空和发电用燃气轮机超高温材料项目²，旨在通过开发可承受 1300°C 高温以及经过涂层和冷却处理可在 1800°C 环境下连续运行的超高温材料以及新的制造工艺，使涡轮机叶片不仅能承受超高温，还可承受航空和发电行业中燃气轮机的常见极端运行环境，进而提升燃气轮机效率。本次资助项目为“超高温防渗材料提高涡轮机效率”（ULTIMATE）计划第一阶段的部分项目，将通过建模和对基本性能的实验室拉伸测试来进行合金成分、涂层和制造工艺的概念验证，主要研究内容参见表 1 所示。

表 1 航空和发电用燃气轮机超高温材料项目具体研究内容

研究内容	资助金额/ 万美元
开发一种可在 1300°C 下运行的铌（Nb）基合金，还将开发新型抗氧化粘结涂层和高耐久性的隔热涂层，使合金可运行于 1700°C 高温环境，此外还将开发可扩大规模的制造工艺，该项目开发的技术应用于现有的联合循环燃气轮机可将热效率提高约 7%	160
通过测试表征，提供 ULTIMATE 计划将开发的合金和涂层相关的技术性能目标数据，包括室温和 1300°C 下的合金及涂层机械性能，以及热膨胀和导热率等物理性能数据	150
采用增材制造技术生产试样，并将使用增强型高熵合金结合氧化物弥散强化颗粒制造典型涡轮机叶片，可提高高温强度和抗蠕变性，从而能够在 1300°C 下运行，远超过当前的单晶镍超合金性能	80
为难熔金属合金开发一种环保涂层系统，以从根本上改善在恶劣的燃气轮机运行环境中的使用寿命	70
利用一种新发明的超快高温烧结法，快速合成适用于 1300°C 的耐高温合金用的新型环境热障涂层	60
开发一种新型高温合金涂层，能够随合金一起膨胀，防止燃烧气体渗透到合金中，并具有超低导热率，以保护合金免受表面高温影响	60
使用物理冶金原理和人工智能来识别新型铌（Nb）基耐火合金的化学性质，确保其具有出色的高温性能且不会在低温下变脆，以用来确定合适的合金成分和加工条件	80
通过物理建模、机器学习和人工智能及高通量合成和表征平台，探索可经受燃气轮机极端环境、保持与涂层相容性并适合增材制造的耐火高熵合金成分	120
开发一种新型的超高温难熔复合材料浓缩合金复合材料，由难熔复合浓缩合金与难熔高熵硬质合金的纳米颗粒混合而成，可提高强度承受 1300°C 的极端条件，同时将开发特殊的 3D 金属打印工艺，用于生产测试试样	70
将激光粉末床熔融增材制造和先进粉末冶金制造开发一系列难熔复合浓缩合	80

² U.S. Department of Energy Announces \$16 Million in Funding for Phase 1 of Ultra-High Temperature Materials Program. <https://arpa-e.energy.gov/news-and-media/press-releases/us-department-energy-announces-16-million-funding-phase-1-ultra-high>

金及其工艺参数，并针对涂料开发优化的中间层材料	
开发用于增材制造的轻质、高性价比、沉淀强化的耐火高熵合金，将通过高通量、多尺度计算机建模和机器学习识别合金成分	150
开发适合难熔合金的新型增材制造方法，解决当前难熔合金制造过程中熔化温度较高对传统制造工艺的挑战	65
使用计算建模工具和先进的特性来开发 Nb 基合金，使燃气轮机进口温度超过 1800°C	70
开发一种具有双重功能的新热障涂层，可充当常规热障且具有改变燃气轮机热叶片表面辐射光的波长的能力，使燃气轮机输出提高 6%	60
开发一种新型增材制造工艺，能够生产用于高温、抗氧化涡轮叶片的难熔复合材料	60
开发用于设计和制造超高温耐火合金的计算和实验集成框架，将具备如下功能：通过高通量计算和机器学习模型生成合金性能数据；通过神经网络逆向设计方法设计超高温耐火合金；利用现场辅助烧结技术和/或增材制造方法制造合金；通过与行业合作进行系统表征来示范性能	120
应用计算材料设计、增材制造、涂层技术以及涡轮机设计/制造技术，为能够在 1300°C 持续运行的下一代涡轮机叶片合金和涂层系统开发一个全面的解决方案。设计一种 Nb 基多材料合金系统，由可延展、沉淀强化的抗蠕变合金制成	120

(岳芳)

清洁能源多能互补

IAEA：未来 30 年亚洲和东欧地区将是核电发展主力军

国际原子能机构（IAEA）日前发布《展望 2050 年能源、电力和核电预测》报告³，系统地回溯了截至 2019 年的全球核电发展概况，并利用情景分析法对到 2050 年全球主要地区核能发展进行了预测：截至 2019 年底，全球在运核电机组 443 台，总装机容量 392 GW；另有 54 台核电机组在建，总装机容量为 57 GW。2019 年，核电为全球供应了 2657 TWh 基荷电力，占全球总发电量的 10%。展望 2050 年，在低值情景⁴下预计核电装机容量将减少约 7%，降至 363 GW；在高值情景⁵下预计核电装机将增加约 82%，达到 715 GW。报告强调，北美和西欧等传统核电大国所在地区未来核电发展将处于停滞状态，有的地区甚至会出现倒退；未来的核电发展主要集中在亚洲和东欧地区。报告关键要点如下：

一、全球核电发展现状与预测

自 1980 年以来，化石燃料占据终端能源消费的主导地位，但核能和可再生能源所占份额有所增加。化石燃料占终端能源消费的份额从 1980 年的 74% 逐渐减少到 2019 年的 67%。水电是低碳电力的最大贡献者（占 16%）。近年来，太阳能和风能发电的份额迅速增加，从 1980 年的不到 1% 上升到 2019 年的 8%。同期，核电的份额迅速增长，几乎翻了一番。截至 2019 年底，全球共有 443 台在运核电机组，总装机容量为 392 GW。与 2018 年相比，全球核能发电量增长 4% 左右，达到 2657 TWh，占 2019 年全球总发电量的 10.4%。2019 年，6 台总装机容量为 5174 MW 的核电机组实现首次并网发电，13 台总装机容量为 10.2 GW 的核电机组永久关闭。5 台总装机容量为 6021 MW 的机组开工建设。

到 2050 年，核电在全球电力装机总量中的份额预计将下降。到 2030 年全球电力装机总量预计将增加约 45%，而到 2050 年将增加一倍以上。与 2019 年相比，在高值情景中，核电装机容量到 2030 年将增加约 20%，到 2050 年将增加约 80%；在低值情景中，核电装机容量到 2040 年预计降幅达 10%，随后小幅上涨，到 2050 年下降约 7%。但无论是高值情景还是低值情景，到 2050 年核电占全球电力装机总量的比例都呈下降趋势：与 2019 年相比，高值情景下核电份额减少 1 个百分点，低值情景下核电份额减少 3 个百分点。就发电量而言，在高值情景中，核能发电量将从 2019 年 2657 TWh 增至 2050 年 5762 TWh，到 2050 年核能发电量在发电总量中的

³ Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050.

<https://www.iaea.org/publications/14786/energy-electricity-and-nuclear-power-estimates-for-the-period-up-to-2050>.

⁴ 低值情景：目前的市场、技术和资源发展趋势将继续保持下去，并且核电相关政策和法律法规几乎不变。

⁵ 高值情景：更加雄心勃勃，且具有合理性和技术可行性，同时考虑了气候变化应对政策。

份额将达 11.2%，相比 2019 年增加近 1 个百分点。而在低值情景中，核能发电量将增至 2030 年 2872 TWh，然后降至 2040 年 2774 TWh，随后增至 2050 年 2929 TWh，到 2050 年，核电份额为 5.7%，相比 2019 年减少近 5 个百分点。

二、各地区核电发展现状与预测

(1) 北美地区

自 1990 年以来，北美地区核电在电力装机总量中的占比一直保持在 20% 左右。化石燃料贡献了 2019 年发电量的一半以上。核能是最大的低碳能源，1980-1990 年间，核电在电力装机总量中的比例几乎翻了一番，自 1990 年以来一直稳定在 20% 左右。在过去的 39 年里，水力发电的份额减少 6 个百分点。自 2000 年以来，风力发电的份额有所增加，稳定在 2% 左右。

到 2050 年，北美地区终端能源消费量几乎保持不变，电力需求预计增长 25%，总装机容量预计将增加 23%，总发电量将增加 20%。与 2019 年相比，2030 年终端能源消费量预计增长 1%，后续 20 年略有下降，预计到 2050 年终端能源消费量保持不变。电力需求将持续增长，到 2030 年预计比 2019 年增长近 10%，到 2050 年增长近 25%。到 2050 年，电力在终端能源消费量中所占份额将增加 5 个百分点。与 2019 年相比，电力装机总量预计到 2030 年将增加近 15%，到 2050 年将增加 23%。相比 2019 年，在低值情景中，北美地区核电装机容量到 2030 年将减少 20%，到 2050 年将下降三分之二，核电在电力装机总量中的份额预计减少 6 个百分点；而高值情景下，核电装机容量保持相对稳定，到 2050 年仅下降 3%-4%，在电力装机总量中的份额预计减少约 2 个百分点。与 2019 年相比，到 2050 年总发电量将增加 20% 左右。在低值情景中，核能发电量到 2050 年预计减少近三分之二，在总发电量中的份额将减少 13 个百分点；在高值情景中，核能发电量到 2050 年仅下降 2%，在总发电量中的份额仅减少 4 个百分点。

(2) 北欧、西欧和南欧地区

2000 年后，北欧、西欧和南欧地区核电所占份额开始下降。2019 年，电力在终端能源消费中的比重超过 20%，相比 1980 年增长了 8 个百分点。核能是低碳电力的最大贡献者，1980-1990 年间，其份额翻了一番以上；但自 2000 年后开始出现下降情况，到 2019 年降至约 24%。水力发电所占份额为 17%，风能和太阳能合计占比 17.5%。

到 2050 年，北欧、西欧和南欧地区终端能源消费量预计将下降 9%，电力需求将增加 10%，总装机容量将增加三分之一，总发电量将增加 8%。到 2050 年，电力在终端能源消费中的比重预计较 2019 年增加 5%。与 2019 年相比，在高值情景中，预计到 2050 年该地区核电装机容量将下降三分之一，在电力装机总量中的份额将减少约 5 个百分点；在低值情景中，核电装机容量在未来 30 年将减少 60%，在电力装

机总量中的份额预计将减少 7 个百分点。与 2019 年相比，到 2050 年总发电量将增长 8%。在高值情景中，2030 年前核能发电量保持稳定，到 2050 年核能发电量将减少五分之一，在总发电量中的份额将减少 7 个百分点；在低值情景中，核能发电量在未来 30 年将减少 50%，在总发电量中的份额预计将下降约 13 个百分点。

(3) 东欧地区

自 1980 年以来，东欧地区核电份额翻了两番。2019 年，化石燃料是主要的电力来源，其份额达到 60%，其中超过三分之一的发电量来自天然气，四分之一的发电量来自煤炭，而石油发电占比不足 1%。自 1980 年以来，核能发电份额翻了两番，在 2019 年发电总量中占比 20% 以上；水力发电的份额多年来保持相对稳定，约为 12%-14%；太阳能和风能发电的总份额仅约为 2% 左右。

到 2050 年，东欧地区终端能源消费量预计将增加 20% 以上，届时电力在终端能源消费中的份额预计较 2019 年增加 10%。与 2019 年相比，电力装机总量到 2030 年将增长超过 1/4，到 2050 年增长近 3/4。在高值情景中，到 2050 年核电装机容量将增加 80%，在电力装机总量中的份额几乎没有变化，仅增加 0.5 个百分点；在低值情景中，核电装机容量在未来 30 年增加 10%，其在电力装机总量中的份额预计将下降 4 个百分点。与 2019 年相比，到 2050 年总发电量将增长 85%。在高值情景中，到 2050 年核能发电量预计将增加一倍以上，在总发电量中的份额将增加 3 个百分点；在低值情景中，核能发电量在未来 30 年将增加近 30%，其在总发电量中的份额预计将下降 7 个百分点。

(4) 中亚和东亚地区

2000 年后中亚和东亚地区核电份额有所下降。化石燃料在电力供应中的份额约为 70%，其中煤炭是最大的电力来源，而石油份额变化最为明显，从 1980 年占比 42% 降至 2019 年 1% 以下。水电是低碳电力的最大贡献者，2019 年占总发电量的 15%。近年来太阳能和风能发电的份额迅速增加，到 2019 年占比约为 8% 左右。核电的份额在 1980-2000 年间有所增加，但此后有所下降，2019 年降至 6% 左右。

到 2050 年，中亚和东亚地区终端能源消费预计将增加 20%，电力需求将增加 1 倍，总装机容量和总发电量均将增加 1 倍以上。到 2050 年，电力在终端能源消费中的份额预计较 2019 年增加 12%。在高值情景中，预计到 2050 年核电装机容量将增加 2 倍，在电力装机总量中的份额增长 1.3 个百分点；在低值情景中，核电装机容量在未来 30 年预计增加 40%，在电力装机总量中的份额将减少 1.4 个百分点。与 2019 年相比，到 2050 年总发电量将增长 1 倍以上。在高值情景中，到 2050 年核能发电量预计将增加 4 倍，在总发电量中的份额将增加 8 个百分点；在低值情景中，核电发电量在未来 30 年将增加 1 倍，在总发电量中的份额将增加约 0.5 个百分点。

(梁哲 汤匀 郭楷模)

DOE 资助 1.3 亿美元推进先进太阳能技术研发

11 月 12 日，美国能源部（DOE）宣布在“太阳能技术办公室 2020 财年资助计划”（SETO FY2020）框架下提供 1.3 亿美元资助先进太阳能技术研发⁶，旨在推进先进太阳能技术的早期研发和突破，提升太阳能发电的经济性、可靠性和安全性，以实现“太阳能攻关计划”（SunShot）的 2030 年目标，同时增强美国制造业的竞争力。本次资助关注光伏（PV）、聚光太阳能热发电（CSP）、太阳能知识发展和传播、人工智能技术在太阳能领域应用、创新制造技术和先进太阳能系统集成等领域，具体内容如下：

1、光伏器件研究和开发

资助金额为 1400 万美元，主要研究内容包括：利用先进表征技术探明硅基太阳能电池器件的性能衰减机制进而开发相关技术来缓解衰退问题；利用先进表征技术探明碲化镉电池器件的性能衰减机制进而开发相关技术来缓解衰退问题；开发太阳能电池模型来加速研发进程；提升太阳能电池器件的使用寿命；开发新架构来提升钙钛矿太阳能电池稳定性。

2、聚光太阳能热发电

资助金额为 3900 万美元，主要研究内容包括：开发、建造和运行一个集成储热设施的超临界二氧化碳（sCO₂）动力循环示范电站。

3、太阳能系统集成技术

资助金额为 3400 万美元，主要研究内容包括：自适应配电保护，可动态响应电气系统干扰的硬件和软件；太阳能和其他分布式能源混合的发电技术；先进光伏网络安全技术；增强太阳能电网应对灾害的恢复能力。

4、人工智能在太阳能领域的应用

资助金额为 730 万美元，主要研究内容包括：使用人工智能和机器学习技术来优化太阳能发电站运营和太阳能预测精度，提高配电系统和用户侧的态势感知并实现更多太阳能发电资源的集成；利用人工智能技术为太阳能产业价值链开发颠覆性技术方案（如无人工厂）。

5、创新制造技术

资助金额为 1400 万美元，主要研究内容包括：开发降低太阳能发电成本、太阳能产业制造成本并具备商业化潜力的创新制造技术，并消除新技术市场化应用的风险，刺激私人投资，加快技术的行业应用。

6、太阳能知识发展和传播

资助金额为 970 万美元，主要研究内容包括：将不断发展的太阳能相关知识打

⁶ Energy Department Announces \$130 Million in Solar Technology Projects. <https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-130-million-solar-technology-projects>

造成知识流体系，及时向太阳能产业的各利益相关方传播，以提升其决策速度和准确度。

7、太阳能在农业中的应用

资助金额为 700 万美元，主要研究内容包括：将太阳能电池板引入到农场、牧场用于供电；系统研究评估商业农场的各种太阳能电池阵列设计项目对农作物产量、土壤健康、微气候条件、牧场生态环境等的影响。

8、小规模创新技术研发

资助金额为 500 万美元，主要研究内容包括：开发多组分气凝胶的高温线性集热器；通过气相渗透方法制备有机无机杂化钙钛矿增强薄膜稳定性；利用机器学习技术缩短钙钛矿研发周期和电池制造周期；钝化接触硅基太阳能电池性能衰减机理研究；开发新型聚光太阳能热接收器制备工艺使其能够承受 700°C 高温环境；太阳能槽式抛物线型集热器运行维护优化技术；使用最先进的非介入式光学测量工具开发用于商业规模定日镜场的跟踪校正算法；利用 3D 打印技术制备聚光太阳能发电站的集热器。

（程向阳 郭楷模）

英国成功启动升级版兆安培球形托卡马克聚变装置

10 月 29 日，英国政府宣布耗资 5500 万英镑建设的“升级版兆安培球形托卡马克”（MAST-U）装置在一次测试中成功产生了等离子体⁷，标志着英国的核聚变研究取得了重要进展。

MAST-U 装置是在 MAST 装置基础上升级而来，可用来测试核聚变发电站原型的反应堆系统。MAST-U 装置的成功启动将有力推进英国正在进行的“用于能源生产的球形托卡马克”（STEP）计划，该计划的目标是在 2040 年前建设一个紧凑型核聚变发电站。STEP 计划初期投入了 2.2 亿英镑，计划在 2024 年前基于 MAST-U 装置进行球形托卡马克发电站的概念设计，以探索小型核聚变发电站的可行路径。英国将在 MAST-U 装置中测试名为“Super-X 偏滤器”的新型排气系统，该系统目的是在足够低的温度下将等离子体从设施中导出，降低热功率负载以达到材料可承受的温度，进而延长组件的使用时间。利用该系统可使到达聚变堆设施内表面的热量降至原来的 1/10，因此可能会改变未来核聚变发电站的长期运行能力。除此以外，MAST-U 装置还将支持国际热核聚变实验堆（ITER）的研究工作。

（岳芳）

⁷ All systems go for UK's £55M fusion energy experiment. <https://www.gov.uk/government/news/all-systems-go-for-uks-55m-fusion-energy-experiment>

牛津大学首次实现对钙钛矿薄膜的原子尺度表征

多晶杂化金属卤化物钙钛矿是高效光伏应用的良好材料，但其出色性能背后的原理机制还没有完全明了。因此亟需利用先进成像技术实现对多晶杂化金属卤化物钙钛矿薄膜纳米（甚至原子）尺度的高分辨表征，以探明其潜在的工作机制，为钙钛矿太阳能电池技术的进一步发展提供科学理论依据。

由牛津大学 Laura M. Herz 教授课题组牵头的联合研究团队利用低剂量低角度环形暗场（LAADF）扫描透射显微镜（STEM）成像技术，首次实现了对甲脒碘化铅（FAPbI₃）钙钛矿薄膜原子尺度的高分辨成像，系统观测研究了薄膜的晶界、缺陷、分解等形成过程和机理，为人们深入理解钙钛矿电池工作机制积累了关键的理论知识。由于多晶有机无机杂化金属卤化物钙钛矿薄膜中含有有机成分，因此其对电子束的能量较为敏感，传统的透射电镜电子束能量过高会破坏钙钛矿相结构。为此研究人员利用先进的低电子辐射剂量的 LAADF-STEM 成像系统来观测 FAPbI₃ 薄膜微观结构，低分辨率的透射电镜图片显示薄膜为单一的立方相结构，而高分辨率的图像显示薄膜晶格具有择优的[001]取向，即沿着[001]轴方向呈现出有序的排列。通过对薄膜长时间观察，研究发现成像系统的电子束辐照会导致 FA⁺离子的损失，这导致薄膜在成像的最初阶段钙钛矿结构转变为部分 FA⁺耗尽但有序的钙钛矿晶格，在电镜图像中表现为有序的明暗相间方格图案。成像图片观察到的中间方格图案就是由最初随机的、电子束诱导的 FA⁺损失触发的，随后是 FA⁺离子的重新排序。这个中间结构的发现解释了为什么在偏离化学计量情况下钙钛矿可以保持其钙钛矿结构，从而保障了钙钛矿薄膜的优异光电化学性质。而进一步延长成像时间则电子束会导致预期钙钛矿组分分解，形成分解产物碘化铅（PbI₂）。研究人员进一步研究了杂化钙钛矿膜内部界面上的原子排列规律发现：在杂化钙钛矿膜中过量的 PbI₂ 与 FAPbI₃ 晶格无缝地交织在一起，并且可以从其本体六方结构变形以形成相干过渡边界，表现出较低的晶格失配和应变，即 PbI₂ 结构区域几乎完全跟随周围钙钛矿的结构和取向，这表明 PbI₂ 可能是钙钛矿的生长种子。上述实验结果很好地解释了目前实验中普遍存在的现象，即过量 PbI₂ 的存在往往不影响钙钛矿太阳能电池的性能。进一步观察发现钙钛矿薄膜这种有序的晶格结构一直延伸到薄膜的晶界处，而晶界就没有择优取向。最后，研究人员研究了 FAPbI₃ 晶格中缺陷、位错和堆垛层错的性质。发现位错沿垂直于其滑移面的方向分离，在 Pb-I 子晶格上以空位形式存在的对准点缺陷，和对应于半个单元格移位的叠加，将 Pb-I 序列与 I⁻序列列连接而不是与 FA⁺列连接。

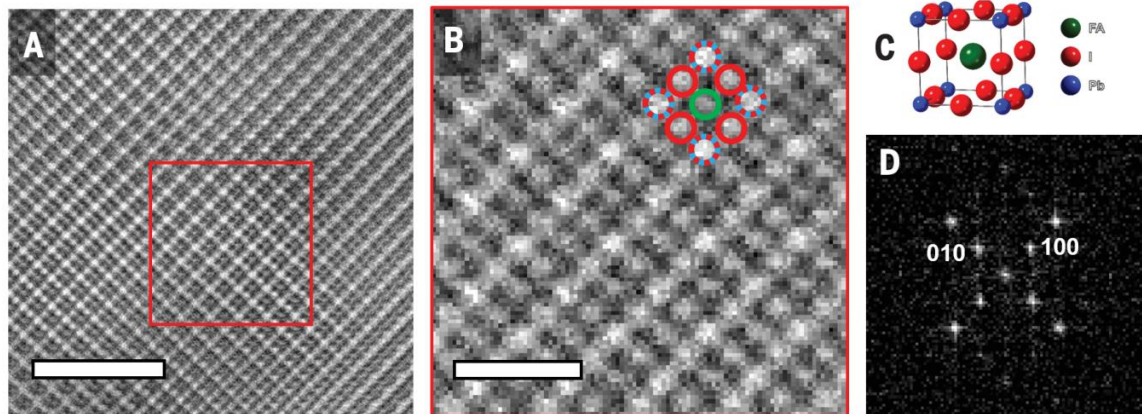


图 1 FAPbI₃ 钙钛矿薄膜微观结构 LAADF-STEM 表征图谱

该项研究利用低剂量低角度环形暗场扫描透射显微镜（LAADF-STEM）成像技术，首次实现了原子尺度对钙钛矿微观结构观察，揭示了薄膜的晶界、缺陷、分解等形成过程和机理，为设计开发高性能的钙钛矿太阳电池奠定了关键理论知识。相关研究成果发表在《*Science*》⁸。

（程向阳 郭楷模）

⁸ Mathias Uller Rothmann, Judy S. Kim, Juliane Borchert, et al. Atomic-scale microstructure of metal halide perovskite. *Science*, 2020, DOI: 10.1126/science.abb5940

低碳化多能融合

DOE 发布氢能计划发展规划提出研发重点及发展目标

11月12日，美国能源部（DOE）发布《氢能计划发展规划》⁹，提出了未来十年及更长时期氢能研究、开发和示范的总体战略框架。该方案更新了 DOE 早在 2002 年发布的《国家氢能路线图》以及 2004 年启动的“氢能计划”提出的战略规划，综合考虑了 DOE 多个办公室先后发布的氢能相关计划文件，如化石燃料办公室的氢能战略、能效和可再生能源办公室的氢能和燃料电池技术多年期研发计划、核能办公室的氢能相关计划、科学办公室的《氢经济基础研究需求》报告等，明确了氢能发展的核心技术领域、需求和挑战以及研发重点，并提出了氢能计划的主要技术经济指标。关键内容如下：

一、“氢能计划”使命及目标

DOE “氢能计划”使命为：研究、开发和验证氢能转化相关技术（包括燃料电池和燃气轮机），并解决机构和市场壁垒，最终实现跨应用领域的广泛部署。该计划将利用多样化的国内资源开发氢能，以确保丰富、可靠且可负担的清洁能源供应。

“氢能计划”设定了氢能发展到 2030 年的技术和经济指标，主要包括：①电解槽成本降至 300 美元/千瓦，运行寿命达到 80 000 小时，系统转换效率达到 65%，工业和电力部门用氢价格降至 1 美元/千克，交通部门用氢价格降至 2 美元/千克；②早期市场中交通部门氢气输配成本降至 5 美元/千克，最终扩大的高价值产品市场中氢气输配成本降至 2 美元/千克；③车载储氢系统成本在能量密度 2.2 千瓦时/千克、1.7 千瓦时/升下达到 8 美元/千瓦时，便携式燃料电池电源系统储氢成本在能量密度 1 千瓦时/千克、1.3 千瓦时/升下达到 0.5 美元/千瓦时，储氢罐用高强度碳纤维成本达到 13 美元/千克；④用于长途重型卡车的质子交换膜燃料电池系统成本降至 80 美元/千瓦，运行寿命达到 25 000 小时，用于固定式发电的固体氧化物燃料电池系统成本降至 900 美元/千瓦，运行寿命达到 40 000 小时。

二、氢能系统的技术需求及挑战

1、制氢。该领域的技术需求和挑战为：①开发成本更低、效率更高、更耐用的电解槽；②重整、气化和热解制氢技术的先进设计；③开发利用可再生能源、化石能源和核能的创新制氢技术，包括混合制氢系统以及原料灵活的方法；④开发从水、化石燃料、生物质和废弃物中生产氢气的高效低成本技术；⑤开发低成本和环境友好的碳捕集、利用和封存（CCUS）技术。

⁹ Energy Department Hydrogen Program Plan. <https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/hydrogen-program-plan-2020.pdf>

2、输运氢。该领域的技术需求和挑战为：①开发成本更低、更可靠的氢气分配和输送系统；②开发氢气分配的先进技术和概念，包括液化和化学氢载体；③氢气输运的通行权和许可，以及降低部署输运氢基础设施的投资风险。

3、储氢。该领域的技术需求和挑战为：①开发低成本储氢系统；②开发更高储氢容量、重量和体积更小的储氢介质；③开发大规模储氢设施，包括现场大量应急供应和地质储氢；④优化储氢策略，将氢气存储设施布置于最终用途附近，以满足吞吐量和动态响应要求，并降低投资成本。

4、氢转化。该领域的技术开发需求和挑战为：①开发可大规模生产的低成本、更耐用、更可靠的燃料电池；②开发以高浓度氢气或纯氢为燃料的涡轮机；③开发和示范大规模混合系统。

5、终端应用和综合能源系统。该领域的技术需求和挑战为：①系统集成、测试和验证，以识别和解决各应用的特有挑战；②终端应用的示范，包括钢铁制造、氨生产以及利用氢气和二氧化碳生产合成燃料的技术；③示范电网集成以验证氢用于储能和电网服务。

6、制造和供应链。该领域的技术需求和挑战为：①标准化制造流程、质量控制和优化制造设计；②增材制造和自动化制造工艺；③可回收和减少废物的设计。

7、安全、规范和标准。该领域的技术需求和挑战为：①适用、统一的规范和标准，用于所有终端应用，包括燃烧（如涡轮机）以及燃料电池（如卡车、船舶和铁路等需大规模加注氢气的重型应用）；②改进安全信息、分享最佳做法和经验教训。

8、教育和专业人员。该领域的技术需求和挑战为：①针对不同利益相关方的教育资源 and 培训计划，包括应急响应人员、标准规范人员和技术人员（例如，氢及相关技术的操作、维护和处理）；②获得关于氢能相关技术的准确、客观信息。

三、近、中、长期技术开发选项

DOE 基于近年来氢能关键技术的成熟度和预期需求，提出了近、中、长期的技术开发选项，具体包括：

1、近期。①制氢：配备 CCUS 的煤炭、生物质和废弃物气化制氢技术；先进的化石燃料和生物质重整/转化技术；电解制氢技术（低温、高温）。②输运氢：现场制氢配送；气氢长管拖车；液氢槽车。③储氢：高压气态储氢；低温液态储氢。④氢转化：燃气轮机；燃料电池。⑤氢应用：氢制燃料；航空；便携式电源。

2、中期。①输运氢：化学氢载体。②储氢：地质储氢（如洞穴、枯竭油气藏）。③氢转化：先进燃烧；下一代燃料电池。④氢应用：注入天然气管道；分布式固定电源；交通运输；分布式燃料电池热电联产；工业和化学过程；国防、安全和后勤应用。

3、长期。①制氢：先进生物/微生物制氢；先进热/光电化学水解制氢。②输运

氢：大规模管道运输和配送。③储氢：基于材料的储氢技术。④氢转化：燃料电池与燃烧混合系统；可逆燃料电池。⑤氢应用：公用事业系统；综合能源系统。

四、关键技术领域研发及示范重点

1、制氢

该领域的研发和示范重点事项包括：①开发减少铂系金属含量的新型催化剂和电催化剂；②开发分布式和大容量电力系统的模块式气化和电解系统；③开发低成本、耐用的膜和分离材料；④开发新型、耐用、低成本的热化学和光电化学材料；⑤加速应力试验并探索退化机制以提高耐久性；⑥降低自热重整等重整技术的资金成本；⑦改进辅助系统（BOP）组件和子系统，如电力电子、净化和热气体净化；⑧通过组件设计和材料集成实现大规模生产和制造；⑨包括电力和氢的多联产可逆燃料电池系统；⑩系统设计、混合和优化，包括过程强化。

2、输运氢

该领域的研发和示范重点事项包括：①材料在高压或低温下与氢的相容性；②氢液化的创新技术；③用于氢气储存、运输和释放的载体材料和催化剂；④用于氢气低成本分配的创新组件（如压缩机、储氢罐、加氢机、喷嘴等）。

3、储氢

该领域的研发和示范重点事项包括：①降低材料、组件和系统成本；②开发用于高压罐的低成本高强度碳纤维；③开发与氢气相容的耐久、安全性好的材料；④低温液态储氢和冷/低温压缩储氢的研究、开发和示范；⑤发现和优化储氢材料，以满足重量、体积、动力学和其他性能要求；⑥利用化学氢载体优化储氢效率；⑦以化学载体形式储氢用于氢燃气轮机；⑧地质储氢的识别、评估和论证；⑨氢和氢载体出口的系统分析；⑩研究可广泛部署的储氢技术和终端用途的优化目标；⑪研发用于安全、高效和稳定储氢的传感器和其他技术。

4、氢转化

（1）氢燃烧方面，重点关注如下事项：①在简单循环和组合循环中实现燃料中更高的氢浓度（最高达 100%）；②研究燃烧行为并优化低 NO_x 燃烧的组件设计；③应用和开发先进计算流体动力学；④开发先进的燃烧室制造技术；⑤开发新材料、涂层和冷却方案；⑥优化转换效率；⑦提高耐用性和寿命，降低成本，包括运维成本；⑧开发系统优化和控制方案；⑨评估和缓解水分对传热和陶瓷退化的影响；⑩开发和测试氢燃烧改装组件；⑪实现碳中性燃料（氨气、乙醇蒸汽）的燃烧。

（2）质子交换膜燃料电池方面，重点关注如下事项：①通过材料研发，降低铂族金属催化剂的负载量；②开发耐高温、低成本、耐用膜材料；③改进组件设计和材料集成，以优化可制造和可扩展的膜电极组件的电极结构；④开发自供燃料的燃料电池所用碳中性燃料的内部重整技术；⑤加速压力测试，探索老化机理以及缓解

方法；⑥改进 BOP 组件，包括压缩机和电力电子设备；⑦开发适用于多种重型车辆的标准化、模块化堆栈和系统；⑧改进混合和优化系统的设计。

（3）固体氧化物燃料电池方面，重点关注如下事项：①研发材料以降低成本并解决高温运行相关问题；②管理燃料电池电堆中的热量和气体流量；③解决堆栈和 BOP 系统的集成、控制和优化，以实现负荷跟踪和模块化应用；④改进 BOP 组件，包括压缩机和电力电子设备；⑤开发标准化、模块化堆栈；⑥进一步研究杂质对材料和性能的影响；⑦系统设计、混合和优化，包括可逆燃料电池。

5、终端应用

该领域的研发和示范重点事项包括：①为氢能的特定用途制定严格的目标；②解决各终端应用中的材料兼容性问题；③降低成本，提高工业规模电解槽、燃料电池系统、燃气轮机和发动机以及混合动力系统的耐用性和效率；④组件和系统级的集成和优化，包括 BOP 系统和组件；⑤集成系统的优化控制，包括网络安全；⑥制造和规模扩大，包括过程强化；⑦协调规范和标准，包括氢气加注协议；⑧开发新的氢能应用的容量扩展模型，以确定其经济性。

（高天 岳芳）

英国资助 1000 万英镑推进新型电池技术研发

英国创新机构（Innovate UK）10 月 9 日宣布资助 1000 万英镑用于支持有发展潜力、创新性的电池技术可行性研究以及研发工作¹⁰，受资助的项目将涉及电池成本、效率和回收利用等，专注于对电动汽车电池技术的各种改进，同时也关注在铁路、船舶、航空航天、国防或越野车辆等领域的应用，在这些领域中，创新有望带来性能的提升或者实现向电气化的转变。本次资助的具体研究技术主题如下：在电池和电池组以及制造方面降低成本；提高电池单元的能量密度；提高电池组的功率密度；消除热失控风险；延长电池和电池组寿命；拓宽电池组有效运行的温度范围；可以更好地预测工况范围和电池健康状态的新模型；电池再循环利用能力，包括二次使用、使用寿命终止设计、重复使用或回收等；高效设计、开发或制造电池的技术；下一代电池技术等。

（万勇 郭楷模）

¹⁰ Developing new battery technologies: apply for business funding. <https://www.ukri.org/news/developing-new-battery-technologies-apply-for-business-funding/>

日本 NEDO 资助高效率氢燃气轮机技术研发

日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）近日宣布于 2020-2022 年间开展“超越传统技术的高效氢能发电技术研发”研究课题¹¹，2020 年资助金额为 2 亿日元。旨在开发发电效率高达 68% 的 1400℃ 级氢燃气轮机发电系统以及闭式热力循环的通用基础技术，以期在 2040 年后实现新技术商用和社会普及，实现氢能的规模化利用，助力氢能社会构建。本课题重点关注三大主题领域，具体内容如下：

1、开展闭式热力循环的通用基础技术研究

针对闭式循环系统开展一系列的基础性研究，包括：利用仿真模拟技术来解决热电联产时发电波动性问题；耐高温高压密封技术；耐高温高压水蒸气材料以及冷却技术。

2、开发能够稳定进行氢氧燃烧的高温高压燃烧设备

通过控制燃烧器的形状、结构、材料和燃烧过程，开发能够稳定进行氢氧燃烧的高温高压燃烧设备原型，以验证技术材料性能。

3、制定技术普及的规划

围绕 2040 年实现商用和社会普及目标，对基于上述基础技术的超高效氢燃气轮机发电技术的社会需求进行系统调研，优化产品规格，提出具体的应用部署方案。

编者按：“超越传统技术的高效氢能发电技术研发”研究课题隶属于 NEDO 的“先进的氢能利用技术研发项目”，该项目于 2014 年启动，致力于可再生能源的高效率低成本制氢技术、长距离运氢技术、便于可再生能源长期存储的能源载体技术以及大规模氢利用技术等研究，并在 2040 年左右实现各项技术的商用，以助力氢能社会构建目标的实现。

（郭楷模）

阳离子电势概念助力钠离子层状氧化物电极结构预测

与锂（Li）离子电池相比，钠（Na）的丰富性和低成本使得 Na 离子电池在智能电网和大规模储能应用中大有前途。然而该类电池目前缺乏优异的电极材料使得电池性能受到限制。钠离子层状氧化物因其易合成、综合性能较好等特点，是目前最具应用潜力的体系。然而该类氧化物具备不同的微观结构从而呈现不同电化学性能，但目前只能先完成材料合成后才能对其性能进行具体的物理表征以识别其微观结构和性能之间关系，这导致了整个实验周期冗长、实验效率低下，亟需新技术新方法来提升上述研究的效率。

¹¹ 高効率な水素発電を支える基盤技術開発に着手. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101359.html

由中国科学院物理研究所 Yong-Sheng Hu 研究员课题组牵头的国际联合研究团队设计开发了一种简单的预测 Na 离子层状氧化物微观晶体构型的方法，并在实验上证实了该方法的有效性，为开发制备低成本、高性能钠离子电池层状氧化物正极材料积累了关键理论知识。相关的理论研究表明，钠离子层状氧化物 (Na_xMO_2 , M 代表一种或多种过渡金属元素) 是良好的钠离子电池电极材料。但是，对于钠离子氧化物，有 O 和 P 两种构型，其中最常见两种结构分别为 O3 和 P2 型。不同的堆叠会显示出截然不同的电极性能，其中 O3 型正极材料具有较高的初始钠离子含量，能够有更多的钠离子进行嵌入和脱嵌，从而具有较高的电荷容量；P2 型正极材料具有较大的钠层间距，能够提升钠离子的传输速率和保持层状结构的完整性，具有优异的倍率性能和循环性能。然而目前技术手段只能通过对最终合成材料微观结构的物理表征以确定具体构型，而无法预测合成材料的微观结构，导致实验较为耗时、周期较长。为了提高研发效率，研究人员系统总结了不同构型（微观相结构）的 Na_xMO_2 参数发现：O3 和 P2 两种结构材料的 Na 层间距 ($d_{(\text{O}-\text{Na}-\text{O})}$) 和 M 层间距 ($d_{(\text{O}-\text{TM}-\text{O})}$) 的比值有一个临界值 1.62，比值高于 1.62 通常形成 P2 相，低于 1.62 易形成 O3 相。通过提高钠含量可获得 O3 相；反之，降低钠含量可获得 P2 相。基于上述研究，研究人员引入“阳离子电势 (Φ_{cation})”概念，来表示阳离子电子密度及其极化率的程度，以反映碱金属层和过渡金属层之间相互作用，捕捉层状材料的关键相互作用，使预测材料的堆积结构成为可能。为了能够直观地分辨出 O3 和 P2 结构，研究人员将大量已得到实验验证的 O3 和 P2 材料分布在以 Φ_{cation} 为横坐标、钠离子电势 (Φ_{Na}) 为纵坐标的直角坐标系中，发现可以用拟合出的“分界线”区分 O3 和 P2 两种构型，从而得到 O3 和 P2 结构的“相图”。利用该相图就能够很好地指导设计开发所需特定结构的层状氧化物材料。比如对于具备特定 Na 含量的层状材料，要获得 P2 结构，可以通过增加阳离子电势来实现；阳

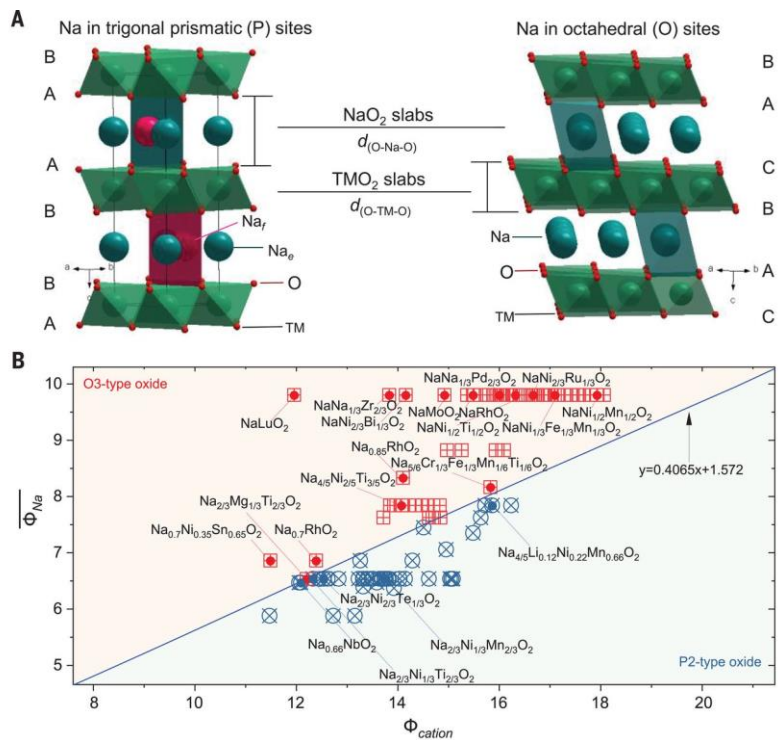


图 1 阳离子电势概念及其在预测钠离子层状氧化物材料构型上的应用

利用该相图就能够很好地指导设计开发所需特定结构的层状氧化物材料。比如对于具备特定 Na 含量的层状材料，要获得 P2 结构，可以通过增加阳离子电势来实现；阳

离子电势的增加意味着 M-O 相互作用增强，从而导致 $d_{(O-M-O)}$ 间距的减小和 $d_{(O-Na-O)}$ 间距的增加，有利于获得 P2 构型。如果增加钠层中 Na 离子的含量将会增加 Na-O 的静电吸引力，进而增强对过渡金属排斥力的屏蔽能力，导致结构由 P2 相变为 O3 相。由于过渡金属层中的元素选择空间很大，合理地进行过渡金属离子的组合能在一定程度上减弱钠离子含量的影响。因此，阳离子电势使得预测钠离子层状氧化物的 P2 相和 O3 相成为可能。更为关键的是该“相图”方法同样适用于锂离子和钾离子层状氧化物结构材料，证明了该方法具有良好的普适性。

该项研究开创性地提出了“阳离子电势”概念，揭示了钠离子层状氧化物中 O3 型结构和 P2 型结构之间的竞争关系，本质上是碱金属层状氧化物和过渡金属层状氧化物之间的静电极化作用，因此可以应用阳离子电势方法来预测材料构型，从而为电池材料设计制备提供科学指导。相关研究成果发表在《Science》¹²。

(周斌 郭楷模)

单原子银修饰的双氰胺复合催化剂展现稳定高效光催化性能

光催化制氢对于克服日益严重的能源危机以及减轻环境污染问题具有非常重要的意义。但目前高效的催化剂主要是基于贵金属铂 (Pt)，不仅价格高昂且 Pt 纳米颗粒会在太阳光红外辐照下发生团聚（即热团聚）导致性能下降。因此如何设计出一种廉价、稳定、能够高效催化制氢的光催化材料是该领域研究热点。

由澳大利亚阿德莱德大学 Shaobin Wang 教授课题组牵头的国际联合研究团队设计开发了一种单原子银 (Ag) 修饰的双氰胺 ($g-C_3N_4$) 复合催化剂 Ag/ $g-C_3N_4$ ，其优良的氢吸附吉布斯自由能 (ΔG_{H^*}) 使其表现出优异光催化活性，且牢固的 N-Ag 键克服了金属纳米颗粒 (MNP) 热团聚问题，从而逆转了 MNP 光催化性能随温度上升而下降的趋势，在太阳光热辅助下依旧表现出优异的催化性能。研究人员首先将

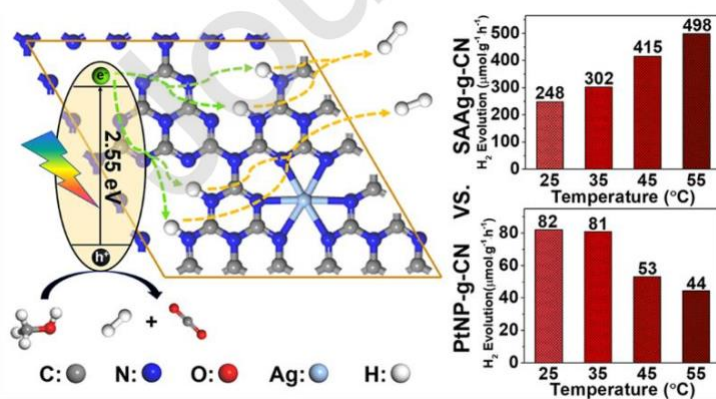


图 1 Ag/ $g-C_3N_4$ 复合催化剂原子结构示意图和催化性能测试图谱

乙酰丙酮化银 (SAAg) 和 $g-C_3N_4$ (双氰胺) 的前驱体以不同的比例充分混合，然后在不同温度下进行双步热解获得最终产物。通过一系列的微观结构表征 (扫描电镜、透射电镜等) 发现，产物呈现出层状结构，且其表面没有 Ag 纳米颗粒分布。而元素成分图谱分析显示，

¹² Chenglong Zhao, Qidi Wang, Zhenpeng Yao, et al. Rational design of layered oxide materials for sodium-ion batteries. *Science*, 2020, 370, 708–711.

产物包含了 C、N 和 Ag，且 Ag 是均匀分布。通过密度泛函理论计算研究可知，单原子 Ag 被捕获在 g-C₃N₄ 的空腔中，并且 N-Ag 键的长度约为 2.408 Å，说明了 Ag 纳米颗粒为何不在其表面。为了对比研究，研究人员同时制备了 Ag、Pt 纳米颗粒 (NP) 和 g-C₃N₄ 复合催化剂 (AgNP/g-C₃N₄ 和 PtNP/g-C₃N₄)，以及单纯的 g-C₃N₄。随后测试上述材料的催化活性，发现当 Ag 质量分数为 1% 时，单原子银修饰的复合催化剂 Ag/g-C₃N₄ 催化性能最佳，产氢效率达到 248 μmol h⁻¹ g⁻¹，是 PtNP/g-C₃N₄ 的 3 倍，是 g-C₃N₄ 的 30 倍。研究人员进一步测试了不同光催化剂在不同温度下 (25-55°C) 的太阳光热辅助催化裂解水产氢性能。1% 质量分数的 PtNP/g-C₃N₄ 和 1% 的 AgNP/g-C₃N₄ 的光催化性能随温度升高呈下降趋势，而 1% Ag/g-C₃N₄ 光催化性能随升温呈上升趋势。该结果表明温度有利于后者催化剂的光催化过程，但不利于前两者的催化系统。通过对反应后样品的透射电镜表征发现随温度升高，Pt 纳米颗粒和 Ag 纳米颗粒均有明显的增长与团聚现象，这解释了 PtNP/g-C₃N₄ 和 AgNP/g-C₃N₄ 的催化性能随温度下降的原因。然而，单原子修饰的复合催化剂 Ag/g-C₃N₄ 并没有团聚发生，这得益于其牢固的 N-Ag 键结构。氢吸附吉布斯自由能 (ΔG_{H*}) 研究显示，Ag/g-C₃N₄ 的 ΔG_{H*} 值远优于 g-C₃N₄ 和 Ag 纳米颗粒，这是 Ag/g-C₃N₄ 催化剂性能最优的根本原因。

该项研究通过简便的两步热解法成功合成了单原子 Ag 修饰的 g-C₃N₄ 复合催化剂体系 Ag/g-C₃N₄，一方面优异的氢吸附吉布斯自由能 (ΔG_{H*}) 使其表现出优异的光催化活性，另一方面 N-Ag 强烈的键合作用克服了金属纳米颗粒在高反应温度下团聚的缺点，因此在增强催化剂活性时候改善了催化剂稳定性，为设计开发低成本、高性能、高稳定性的光解水产氢催化剂指明了新方向。相关研究成果发表在《*Applied Catalysis B: Environmental*》¹³。

(郭楷模)

¹³ Xiaojie Li, Shiyong Zhao, Xiaoguang Duan, et al. Coupling Hydrothermal and Photothermal Single-atom Catalysis toward Excellent Water Splitting to Hydrogen. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2020, DOI: 10.1021/jacs.0c03906

能源战略研究

IEA：到 2025 年可再生能源将成世界第一大电力来源

11 月 10 日，国际能源署（IEA）发布《可再生能源 2020：至 2025 年的分析和预测》¹⁴报告指出，受到新冠疫情影响，预计 2020 年全球能源需求将下降 5%，但可再生能源总体需求将增加 1%，其中可再生能源电力装机容量预计增加近 4%（新增约 200 GW），占同期全球电力新增装机总量的近 90%。而到 2025 年，可再生能源有望取代煤炭成为全球第一大电力来源。报告系统分析了可再生能源发展现状并展望了至 2025 年的发展态势，关键点如下：

一、可再生能源增强电力部门应对新冠疫情的韧性

受到新冠疫情影响，2020 年几乎所有燃料需求都将下降，导致全球能源需求将下降 5%。但可再生能源将是个例外，2020 年用于发电的可再生能源需求将增长近 7%，主要原因是长期合同、电网优先接入和新电厂的持续安装都将推动可再生能源电力强劲增长，从而能够弥补工业用生物能源和交通用生物燃料的减少，使得 2020 年可再生能源需求总体增长 1%。

尽管疫情给经济发展带来了不确定性，但投资者依旧看好可再生能源行业，投资力度持续强劲。2020 年 1 到 10 月，拍卖的可再生能源装机容量比去年同期增长了 15%，创历史新高。与此同时，上市的可再生能源设备制造商和项目开发商的股票表现一直好于大多数主要股票市场指数和整个能源板块，主要归功于对中期业务健康增长和财务状况的预期。2020 年 10 月，全球太阳能公司的股价比 2019 年 12 月增长了一倍多。

2、全球可再生能源装机容量逆势增长创历史新高

在中美两国的推动下，2020 年全球可再生能源新增装机容量将达到 200 GW，同比增长约 4%，创下历史新高，占全球新增装机容量的近 90%，主要是受益于风能和水电装机容量增长驱动。公用规模太阳能光伏发电项目的扩张将使光伏保持稳定快速增长，弥补了个人和企业重新调整投资重点所导致的新增屋顶光伏项目的减少。由于开发商急于在政策变化生效前完成项目，中美两国的风能和太阳能光伏装机容量都将猛增 30%。

可再生能源行业已经迅速适应了新冠疫情危机的挑战。相比 5 月预测值，本报告将 2020 年全球可再生能源装机容量的预测上调了 18%。由于新冠疫情导致供应链中断和项目建设延迟，使得 2020 年上半年可再生能源项目进展放缓。然而随着 5 月

¹⁴ Renewables 2020 Analysis and forecast to 2025. <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>

中旬以来跨境限制的放松，工厂建设和制造业活动再次迅速升温，物流方面的挑战也基本得到解决，使得可再生能源项目建设进度逐步恢复。最新的月度新增可再生能源装机数据显示，截至9月底，新增装机超过了此前的预期，表明欧洲、美国和中国的复苏速度加快。

3、欧洲和印度将引领 2021 年全球可再生能源增长

2021 年，可再生能源装机容量的增长将达到创纪录的近 10%，为 2015 年以来的最大增速。究其原因主要有两点：一是美国、印度和一些欧洲国家政府迅速采取措施，授权开发商在拍卖截止日期（原定于 2020 年底）几个月后完成项目。二是因成本持续下降和政策支持，明年美国、中东、拉丁美洲等地可再生能源增长势头将持续。预计印度 2021 年新增装机将比 2020 年翻一番，成为 2021 年可再生能源增长的最大贡献者。由于新冠疫情以及合同谈判和土地收购问题而推迟的大量已拍卖的风能和太阳能光伏项目有望投入运营。

欧盟可再生能源装机容量预计将在 2021 年大幅增加，这主要是法国和德国之前拍卖的公用规模太阳能光伏和风能项目陆续并网的结果。成员国为实现欧盟 2030 年可再生能源发展目标而制定的政策，以及欧盟复兴基金提供的低成本融资和赠款，为可再生能源增长提供了支持。在中东、北非地区和拉丁美洲，可再生能源的增长将在 2021 年复苏，这主要得益于之前通过竞争性拍卖的项目投产。

4、加强关键市场的政策确定性以促进可再生能源的部署

可再生能源面对新冠疫情危机展现出较强抵抗力，但对政策不确定性的抵抗力较弱。预测显示，主要市场的激励措施到期以及由此产生的政策不确定性，将导致 2022 年可再生能源的新增装机容量出现小幅下降。在中国，陆上风能和太阳能光伏补贴将于今年到期，而海上风能补贴将于 2021 年到期。而 2021-2025 年的政策框架将于明年年底才能公布，这给中国在 2022 年及以后可再生能源的发展带来了不确定性。此外，由于美国陆上风能的税收抵免到期、印度配电公司持续的财务困境以及拉丁美洲的拍卖推迟，2022 年可再生能源新增装机增长势头将会受到抑制。届时，全球陆上风能的新增装机预计将下降 15%，而海上风能的新增装机在全球范围内将继续加速扩张。

如果各国能够有效地解决政策不确定性问题，到 2022 年全球太阳能光伏发电和风力发电装机将分别增加 25%，这将推动可再生能源新增装机容量达到创纪录的 271 GW。其中仅中国市场就将占到增量的 30%。届时，太阳能光伏市场的年新增装机容量将达到约 150 GW，即在短短三年内增长近 40%。在美国，如果实施更多的清洁电力政策，太阳能光伏和风能的部署进程可能会进一步加快，有助于加快美国电力行业的脱碳速度。

5、可再生能源将引领全球电力行业发展

成本削减和持续的政策支持有望在 2022 年以后推动可再生能源的强劲增长。尽管新冠疫情带来了挑战，但可再生能源发展的基本面并没有改变。目前在大多数国家，太阳能光伏和陆上风电已经是最便宜的电力来源。在拥有良好资源和廉价融资成本的国家，风能和太阳能光伏电站将给现有的化石燃料电站带来强劲挑战。目前，部分太阳能项目已经提供了史上成本最低的电力。总体而言，到 2025 年可再生能源将占到全球电力新增装机容量的 95%。

2023 年风能和太阳能的累计装机容量将超过天然气，到 2024 年超过煤炭。到 2025 年，仅太阳能光伏就会占到可再生能源新增装机容量的 60%，风能占 30%。在成本进一步下降的推动下，海上风电装机将大幅增加，到 2025 年将占风电新增装机的五分之一。海上风电的增长将从欧洲转移到中国和美国等仍有巨大潜力的新市场。全球范围内可再生能源的快速增长要求政府加大对可再生能源的政策关注，以确保它们能够安全、经济地并入电力系统。到 2025 年，可再生能源将超过煤炭，成为全球最大的电力来源。届时，预计其将提供世界三分之一的电力。水电将继续供应近一半的可再生能源电力。它是目前世界上最大的可再生能源电力来源，其次是风能和太阳能光伏。

持续下降的可再生能源成本正在改变投资者的布局和政策的作用。在可再生能源增量中，除拍卖和上网电价等政策驱动外，到 2025 年纯粹来自市场环境驱动所占的份额将从现在的不到 5% 增长到 15% 以上，是现在的三倍。这包括企业电力购买协议、受批发电价影响较大的电厂或其他合同。尽管政策和监管框架对保持长期收益稳定至关重要，但竞争将继续压低合同价格。未来五年，拍卖和绿色证书计划预计将覆盖全球可再生能源新增装机的 60%；同期主要的石油和天然气企业对可再生能源发电新增投资预计将增加 10 倍。

6、新冠疫情致使生物燃料近 20 年来首次出现负增长

新冠疫情严重冲击了生物燃料行业。预计 2020 年全球交通生物燃料的产量将同比下降 12%，这是近 20 年来年度产量首次下降，原因是交通燃料需求减少，以及化石燃料价格下跌削弱了生物燃料的经济吸引力。同比降幅最大的是美国和巴西的燃料乙醇以及欧洲的生物柴油。

交通燃料需求的复苏和主要市场更强劲的政策有望让生物燃料产量在 2021 年出现反弹，并持续增长到 2025 年。在这种情况下，最大的增产将是中国和巴西的燃料乙醇，以及美国和东南亚的生物柴油和加氢处理植物油。

7、需求减少抑制了可再生能源供热消费

新冠疫情导致经济活动减少，这预计会对供热消费需求产生较大影响，且对工业供热影响要大于对建筑的影响。而这将直接影响对可再生能源的需求，特别是工业中的生物能源使用。在其他地方，新冠疫情对短期可再生能源供热消费的直接影

响有限。

可再生能源供热的比例预计将在未来五年内大致保持不变。预计 2025 年全球可再生能源供热消费将比 2019 年高出 20%，其中建筑行业的增幅将超过工业。尽管如此，到 2025 年可再生能源仍只占到全球热能消费的 12%。由于工业活动的推动，整个市场有望扩张。如果可再生能源供热消费没有出现显著变化，到 2025 年与供热相关的二氧化碳排放总量预计只会比 2019 年减少 2%。

8、近期的政策动向有望为可再生能源发展提供额外助力

以清洁能源为重点的经济刺激措施可以直接或间接推动可再生能源发展。虽然个别国家迄今宣布的 4700 亿美元能源相关刺激方案的主要目的是提供短期的经济救济，但预计大约 1080 亿美元的经济增长目标集中在清洁能源上。这些措施可以直接或间接地通过建筑、电网、电动汽车和低碳氢气等领域提供额外的财政支持来支持可再生能源发展。即将出台的欧盟经济复苏计划也是如此，预计该计划将包含约 3100 亿美元的气候相关支出预算。

交通用可再生燃料是一个特别有可能得到支持的领域，因为该部门已受到新冠疫情的严重冲击。但该领域改善工作也应该做得更多。例如，在全球 30 家航空公司中，只有两家公司在应对危机时得到了政府的支持，只有两家公司被要求承诺将航空燃料掺混水平控制在 2%。

主要市场的净零排放目标预计将加速可再生能源的部署进程。继欧盟和几个欧洲国家之后，亚洲三个主要经济体近期陆续宣布了实现净零排放的目标：日本和韩国到 2050 年，中国到 2060 年。虽然现在评估它们的确切影响还为时过早，但这些声明的雄心很可能会进一步加速可再生能源在所有行业的部署，对全球市场产生潜在的重大影响。

（姜逸凡 郭楷模）

IRENA：2019 年可再生能源从业人员达创纪录的 1150 万人

10月9日，国际可再生能源机构(IRENA)发布《可再生能源行业从业现状 2020》¹⁵报告指出，可再生能源行业在全球持续蓬勃发展，在全球范围内创造大量就业机会。2019 年全球可再生能源行业从业人员较 2018 年增长了 5%，即新增 50 多万人，使得该行业累计从业人数接近 1150 万人（图 1），创下历史新高，连续第 7 年保持增长。全球可再生能源行业重心持续东移至亚洲，该地区集中了该行业近 6 成以上（63%）的从业人员；其中，仅中国就有近 436 万人从事可再生能源行业，占全球从业人员总数近 38%。

¹⁵ Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2020. <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2020>

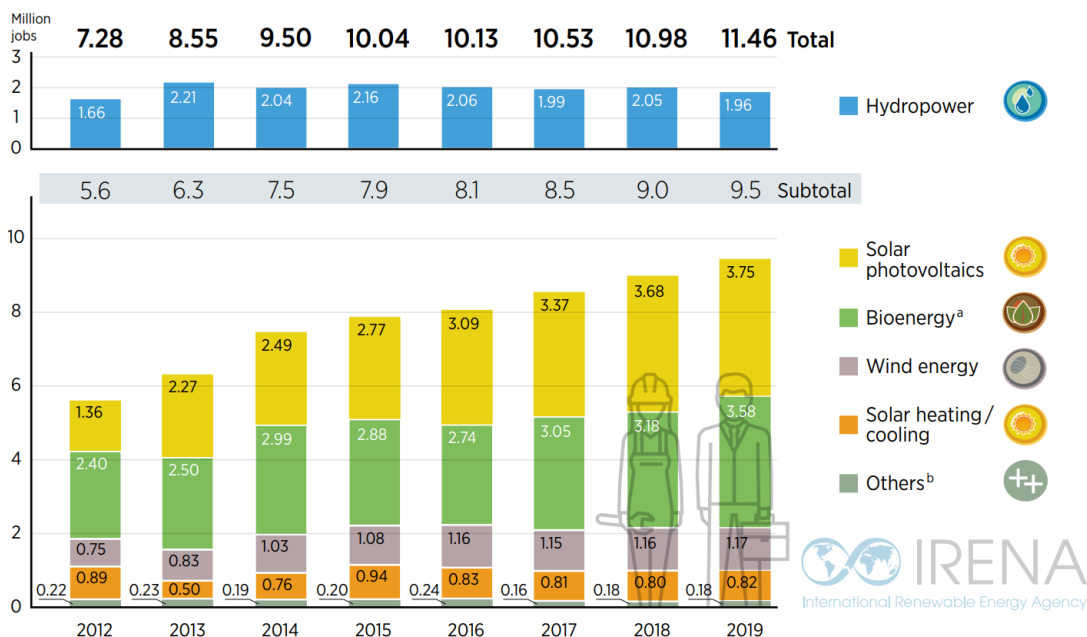


图1 2012-2019年全球可再生能源行业从业人员数量变化情况（单位：百万人）

从地域来看，可再生能源从业人员集中在几个主要国家和地区（图2），即中国（436万人）、欧盟（132万人）、巴西（116万人）、印度（82万人）和美国（76万人），占全球7成以上。尽管越来越多的国家开始加入到可再生能源行业当中，但可再生能源工作岗位主要集中在亚洲市场，2019年全球有63%的可再生能源相关工作集中在该地区。2019年中国太阳能光伏行业的就业人员数量仍然为220万，与2018年相当。但由于国内和出口市场变化导致相关的工作人员分布构成发生了变化：由于国内光伏市场增长放缓，建筑和安装部门的就业人数有所下降，而运维和制造部门的就业人员数量有所增加，一增一降使得总体保持平稳。同期其他可再生能源行业从业人员出现一定增加，使得2019年中国可再生能源行业整体从业人员数量增至436万人，占据全球可再生能源行业从业人员近4成（38%）的份额，继续保持全球可再生能源第一就业大国位置。欧盟可再生能源从业人员数量居全球第二，2019年为132万人，较去年增长8万人。其中德国以31万人成为欧盟可再生能源从业人员最多的国家，西班牙和英国分别以14万人和11万人紧随其后。生物质能（从业人员70万人）、风电（29万人）和太阳能光伏（13万人）是欧盟主要的可再生能源从业行业。巴西可再生能源行业从业人数为116万人，与2018年持平，其中生物燃料仍旧是巴西提供就业岗位最多的行业（84万人），占到了可再生能源从业人数总量的72%；紧随其后的是水电行业和太阳能行业（包括太阳能光伏和太阳能供暖制冷），就业人数规模分别为21万人和8万人。印度可再生能源行业从业人员规模继续扩张，从2018年的72万人增长到了2019年的82万人，其中水电行业是第一雇主，提供了37万个岗位，其次是太阳能光伏（20万人），风电以6万人排名第三。美国可再生能源从业人员规模达76万人，其中生物燃料（30万人）、太阳能光

伏（24 万人）和风电（12 万人）是提供就业岗位最多的可再生能源行业。

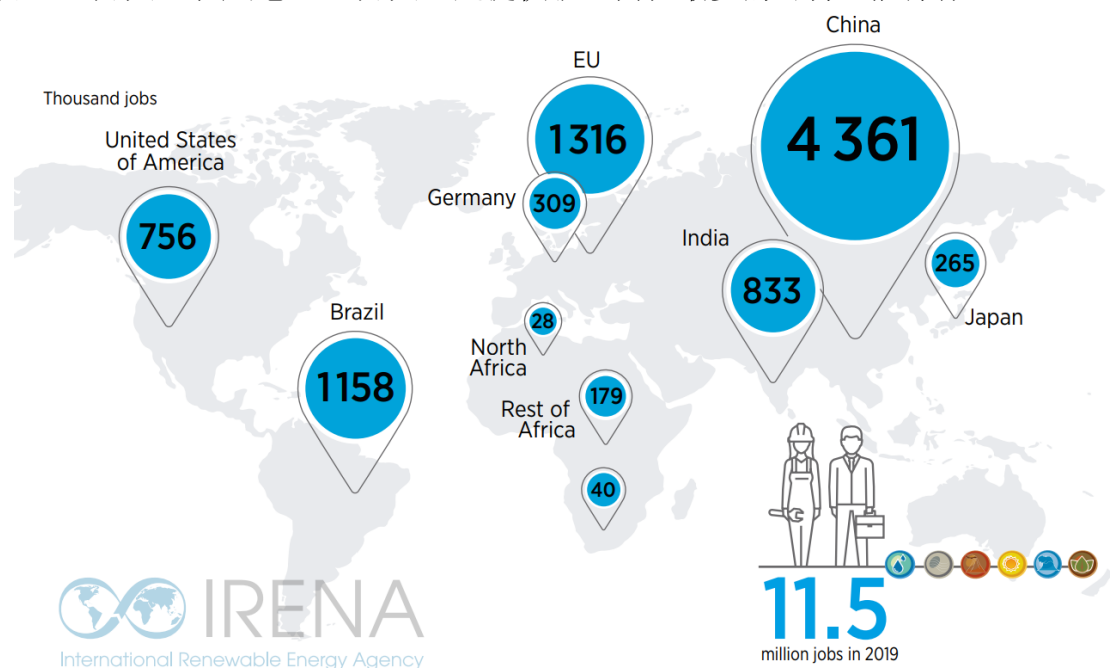


图2 2019 年全球主要地区可再生能源行业从业人员数量（单位：千人）

从技术领域来看，2019 年太阳能光伏产业依然是可再生能源最大的就业领域，其在制造、安装、维护及运营等方面共创造了近 380 万个就业岗位，同比增长 4%。亚洲是全球最大的光伏市场，从业人数达到 310 万人，占全球光伏行业从业人员总量的 83%。北美以 6.5% 的份额排名其次，而欧洲和非洲分别以 4.4% 和 3.7% 排名第三、四位。中国光伏行业从业人数为 220 万人，占全球光伏从业人员总量近三分之二，是全球光伏从业人员最多的国家；日本（24 万人）和美国（24 万人）从业人数均出现下滑情况，但即便如此，两国依旧是第二、第三大光伏就业市场。同期欧盟光伏行业从业人员数量显著增长 30%，从 2018 年的 10 万人增长到了 2019 年的 13 万人。生物燃料行业从业人员总数仅次于太阳能光伏，为 250 万人，同比增长 25%，大部分的工作集中在农作物原料供应链领域（生物质原料种植和收集）。拉丁美洲是生物燃料从业人数最多的地区，占全球生物燃料行业从业总人数的近 43%，其次是亚洲（34%）、北美（13%）和欧洲（10%）。2018 年风电行业从业人员数量较去年小幅增长 1% 至 117 万人，与光伏产业类似，大部分从业人数都集中在少数几个国家/地区。仅中国风电从业人员数量就占到全球风能从业总量的 44%，其次是欧洲和北美，分别占 27% 和 11%。水力发电行业从业人员数量从 2018 年 200 万人降至 2019 年的 190 万人，减少 6%，且预计由于新冠肺炎疫情导致众多国家的水电站建造停工延迟，2020 年水电从业人数会进一步下降。中国是全球水电从业人员数量最多的国家，占全球的 29%，印度以 19% 紧随其后，巴西（11%）、巴基斯坦（5%）和越南（4%）分列三到五位。太阳能供暖和制冷行业从业人员数量从 2018 年的 80 万人增至 82 万人，主要集中在亚洲市场，该地区从业人员数量占全球同行业的 88%。中

国、土耳其、印度、巴西和美国是太阳能供暖和制冷行业主要的五大就业市场，五国共计提供了全球 93% 的就业岗位。

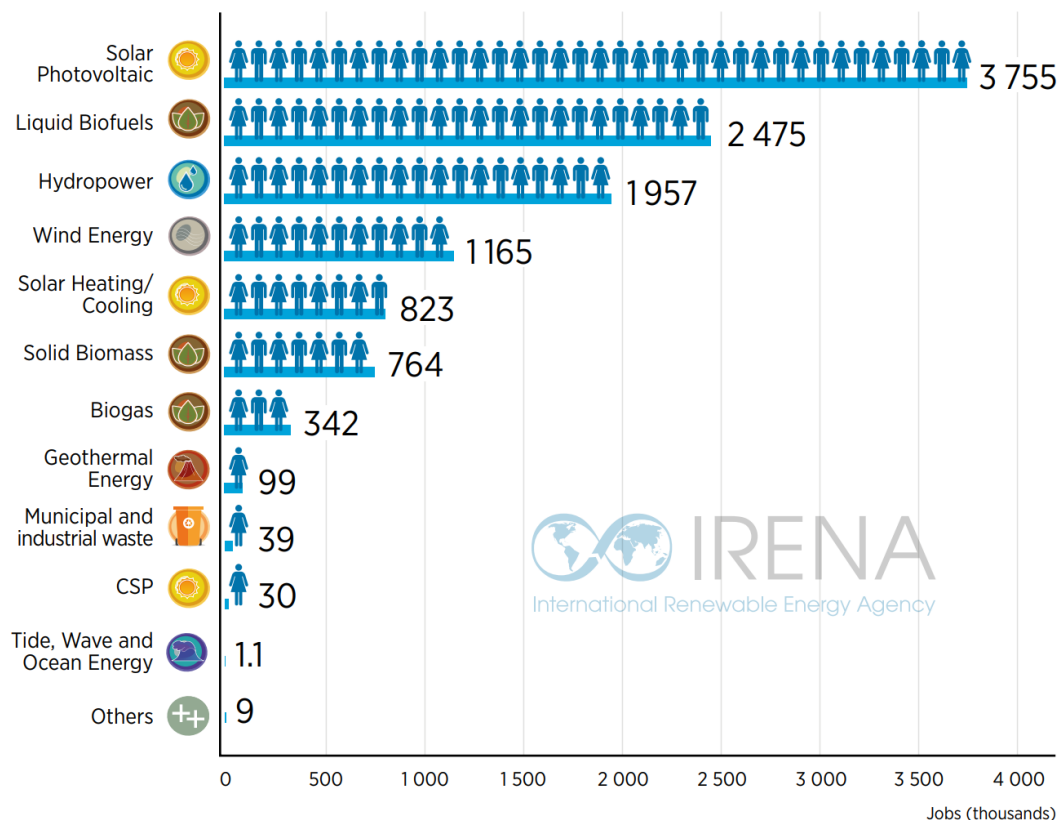


图 3 2019 年全球可再生能源不同行业从业人员情况（单位：千人）

（廖明月 郭楷模）

欧盟委员会发布欧洲能源联盟进展评估报告

10 月 14 日，欧盟委员会发布《能源联盟进展 2020》报告¹⁶，总结了欧洲能源联盟战略框架下欧盟及其成员国在可再生能源、能效、能源安全、能源市场、研究创新五方面的举措和进展。报告为成员国《国家能源与气候计划》的实施以及能源相关投资和改革如何促进经济复苏提供了指导。关键点如下：

一、欧洲能源联盟进展

1、碳减排

欧盟已经制定了到 2050 年实现碳中和的目标，欧盟委员会已提出了一项欧洲气候法案，将这一目标以立法形式确立并提出了实现措施。目前，欧盟已经超额完成了到 2020 年温室气体排放比 1990 年减少 20% 的目标，欧盟 27 国的温室气体排放量处于 1990 年以来的最低水平，其主要原因是能源供应相关排放的减少。然而，在

¹⁶ 2020 report on the State of the Energy Union pursuant to Regulation (EU) 2018/1999 on Governance of the Energy Union and Climate Action.
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/report_on_the_state_of_the_energy_union_com2020950.pdf

新冠疫情爆发前的 5 年中，国际航空排放持续增加，同期交通运输总排放也逐年增加。自 2010 年以来，欧盟燃料供应的平均温室气体排放强度有所改善，但仍需采取进一步行动，以确保 2020 年实现《燃料质量指令》设定的 6% 减排目标。

过去 5 年，欧盟碳排放交易体系（ETS）涵盖活动的排放量显著减少，尤其是电力部门。2019 年，欧盟 ETS 所涵盖的工业和电力活动总排放量同比下降 9.1%，其中电力部门温室气体排放量大幅减少了近 15%，工业排放则下降了 2%，是欧盟 ETS 第三阶段（2013-2020 年）迄今为止的最大降幅，但欧洲经济区内航空排放量温和增长近 1%。2019 年 1 月开始运行的市场稳定储备机制已经大大降低了排放配额的盈余，预计 2020 年拍卖配额数量将减少约 3.75 亿欧元，2021 年将会继续减少，欧盟将在 2021 年修订 ETS 的同时对市场稳定储备机制进行首次审查，以确保实现至少 55% 的温室气体减排目标。另外，除了新冠疫情导致 2020 年初欧盟碳价短暂下跌外，2019 年 1 月至 2020 年 6 月欧盟碳价稳定在 24 欧元左右，欧盟委员会将尽快发布一系列气候报告，包括温室气体排放、欧盟碳市场和燃料质量的详细信息。

2、可再生能源

2018 年，欧盟可再生能源在终端能源消费总量中占比增至 18%，有 12 个成员国的进展符合其国家目标，但仍有 5 个成员国进展较为缓慢。总体而言，欧盟有望实现其 2020 年可再生能源目标。对可再生能源的投资越来越受市场因素驱动，成员国越来越倾向于通过竞争性招标来支持可再生能源发展，并确保按照国家援助和欧盟内部能源市场规则的要求，将可再生能源整合到电力市场。欧盟鼓励成员国探索使用合作机制的所有方案，包括统计数据转移，以确保实现其 2020 年可再生能源目标。欧盟委员会准备支持成员国之间缔结统计协定和开展相关对话，包括通过正在筹备的欧盟可再生能源发展平台。2020 年后，欧盟将全力推进成员国对 2030 年可再生能源目标的贡献，包括通过 2021 年发布《可持续增长战略》（Sustainable Growth Strategy）以及欧洲旗舰计划“Power up”以加快可再生能源的开发和使用。最近商定的欧盟可再生能源融资机制允许成员国投资可再生能源项目，以换取参与成员国的统计归属。此外还将修订相关的国家援助指南，特别是《国家环境和能源援助指南》，以加快可再生能源的部署。

3、能效

欧洲能源联盟已经认识到能效在实现所有气候和能源目标方面的关键作用，并将“能效第一”原则写入相关法案。2018 年，欧盟终端能源消费同比上升 0.2% 达到 11.24 亿吨油当量，比 2005 年下降了 5.9%，比 2020 年目标高出 3.5%；一次能源消费同比下降 0.6% 达到 15.52 亿吨油当量，比 2005 年下降了 9.8%，比 2020 年目标高出 4.6%。由于经济活动增长推动能源消费上升，成员国实施的新政策和措施不足以降低能源消费并使其回到实现 2020 年目标的轨道上。欧盟能效领域创造的直接就业

机会从 2000 年的 24.4 万个稳步增加到 2017 年的 96.4 万个，年均增速（17.4%）超过了其他经济体（0.5%）。

2020 年的部分数据表明，新冠疫情危机对欧盟能源需求产生了重大影响。即使这有助于实现 2020 年的能效目标，也不会导致能源消费的结构下降。一旦经济复苏，预计会出现反弹效应。欧盟计划通过 2021 年《可持续增长战略》以及欧洲旗舰计划“Renovate”，提高公共和私人建筑的能源和资源效率，并通过智能家居和智能电表推动数字化发展，帮助欧洲从新冠疫情危机中复苏。欧盟委员会正在制定更多指导方针，并将“能效优先”原则纳入所有相关政策提案，如欧盟能源系统集成战略、“翻新浪潮”计划和即将修订的跨欧洲能源网络。成员国还需要在经济规划、政策和投资决策中考虑能效措施。

4、能源安全

尽管新冠疫情危机对能源需求造成了巨大的压力，但欧盟成员国确保了能源基本业务的连续性。欧洲能源联盟关于能源安全的立法框架，如《电力部门风险防范条例》和《天然气供应安全条例》，在应对危机影响方面发挥了重要作用。欧盟立法机构成立的专家组在促进跨境协调，以及成员国、系统运营商和能源部门相关机构之间的广泛合作和信息共享方面发挥了关键作用。作为后续行动，欧盟委员会正在评估能源供应的潜在脆弱性和提高能源技术关键供应链恢复能力的备选方案。欧盟新出台的《欧盟安全联盟战略》包括了一项加强关键能源基础设施恢复能力和网络安全的建议，欧盟委员会还开始制定网络法规，以确保跨境电力流动的网络安全。

电力部门方面，《风险防范法规》的实施确保各成员国能够相互合作，以预防、防范和缓解电力危机。此外，欧洲输电系统运营商网络（ENTSO-E）应用两种新方法能够首次确定最相关区域的电力危机情景，并可根据往年夏季情况进行季节充足性评估。欧盟委员会还通过了关于成员国在预防和管理危机方面相互提供援助时给予公平补偿的建议。

基础设施方面，欧盟制定了电力互联能力目标，一些成员国还没有达到 2020 年 10% 的互联目标。共同利益项目可以促进成员国的脱碳努力，并为欧洲的氢能市场奠定基础，这些措施可能涉及“互联欧洲”设施以及“促进经济复苏及其韧性增强基金”（Recovery and Resilience Facility）的旗舰行动 Power up 的支持，以通过现代化电网和增强互联性整合清洁技术和可再生能源。欧盟同时也在努力确保对现有的互联和数字平台进行充分利用，实施与内部电力市场设计相关的规定，使欧洲电力交易效率大幅提高。

天然气供应安全方面，成员国已经制定了预防措施和应急计划，包括减轻天然气供应中断影响以及确定国家和区域级的风险。欧盟委员会将继续帮助成员国执行团结原则，以确保即使在严重的天然气危机情况下，也能保障所有成员国的天然气

供应。欧盟委员会已经评估了海上石油和天然气作业安全性的相关现行立法经验，并将于年底向欧洲议会和理事会提交报告。

核安全保障方面，欧盟已建立涵盖整个核能生命周期的全面框架，包括对乏燃料和放射性废物的管理。欧盟委员会将继续监测这一框架在成员国的实施情况。欧盟还将继续在欧盟范围内促进核能安全发展，特别是在运营或计划建造核电站的国家，主要措施包括支持进行压力测试和采取后续行动，以促进合适和透明的执行过程。欧洲理事会特别强调了确保白俄罗斯 Ostrovets 核电站的核安全和环境安全的重要性。

5、内部能源市场

欧盟实施了一些重要举措加强内部电力和天然气市场，尽管取得了良好的进展，但还需做出更多努力。

在电力方面，欧洲清洁能源一揽子计划，尤其是 2019 年通过的新电力市场设计规则，为建立以可再生能源为主的能源市场铺平了道路。数据互操作性相关的实施法案有助于促进用户和新服务供应商参与市场，《电力法规》通过最大程度利用电力互连的规则来确保电力市场的进一步整合，这些规则将促进跨境贸易，使能源资源在整个欧盟得到更有效的利用。欧盟正实施一套全面的技术法规（网络法规），取得了积极成果。自 2016 年以来，各成员国零售电价逐渐接近，但仍存在较大差异，零售电价仍由监管机构制定，而不是由市场规律决定。税收对最终能源价格，特别是电力价格有着重大影响，这可以为推进特定能源品种的使用创造条件，成员国可以综合考虑税收影响以确保价格信号的变化能够促进清洁、公平的能源转型。欧盟能源税指令的一些税收减免实际是对化石燃料的补贴，与《欧洲绿色协议》的目标不符，对其的修订正在改进这些问题。

在天然气方面，欧盟内部市场已取得良好进展。欧洲天然气中心交易量一直持续增长到 2020 年，2020 年第一季度仍同比增长了 32%，不同天然气来源的连通性和获取途径也在不断改善。不过，2019 年欧洲市场的天然气价格水平有所下降，但零售价格仍较 2018 年有所上涨。欧盟《能源进口法案》突出了欧盟对化石燃料进口的依赖以及面临的动荡国际市场。2016 至 2018 年，欧洲能源进口总额增至 3300 亿欧元/年，扭转了从 2013 年最高峰（4000 亿欧元）的下降趋势。2020 年新冠疫情将降低能源进口价格，随着经济复苏，价格有望上涨，但可能要到 2021 年才能恢复到 2019 年的水平。

6、研究、创新和竞争力

（1）研究与创新

在研究与创新方面，欧盟的清洁能源公共和私营支出发展趋势并不乐观。与前几年相比，欧盟成员国在清洁能源研究和创新方面的支出略有减少，而欧盟清洁能

源技术研究和创新的公共投入总额在国内生产总值（GDP）的占比在世界主要经济体中是最低的。全球对于清洁能源技术的投资都出现下降趋势，根据国际能源署（IEA）的统计，2019 年全球低碳能源技术的公共投入低于 2012 年。相应地，2012 年以来清洁能源技术的专利申请量也在下降，而电池和智慧能源管理等高价值技术的专利申请一直在增加。

近年来，欧洲能源联盟研究与创新优先领域的私人投资一直在减少。此外，欧盟成员国、工业界、学术界和欧盟委员会对欧盟“战略能源技术计划”（SET-Plan）涵盖的研究和创新活动相关投资仅占到 2030 年所需资金投入的 15%。欧盟成员国能够利用一系列政策工具支持研究与创新活动，如“地平线欧洲”、“创新基金”和“投资欧洲”等。“地平线 2020”框架计划针对欧洲绿色协议的招标预算为 10 亿欧元，旨在解决关键的能源和系统集成挑战，包括海上和陆上能源的生产、对大规模电解槽的支持、清洁能源在港口、机场的使用以及高能效建筑的建设和翻新。

（2）竞争力

第一份竞争力进展报告显示，欧盟工业部门成功抓住了清洁能源技术需求增加带来的机遇。在增加值、劳动生产率、就业增长和普及率方面，工业部门的竞争力优于传统能源技术。就 GDP 而言，清洁能源部门在欧盟经济中越来越重要，而传统能源的重要性正在下降。欧盟工业部门得益于风能、可再生氢能和海洋能技术的先发优势。在欧盟不具备（或已失去）先发优势的领域，也需要持续努力追赶并建立竞争优势。

考虑到对太阳能和锂电池的需求增长，这些技术的模块化和在其他领域的应用潜力尤为重要，如将太阳能系统集成到建筑、车辆或其他基础设施中。欧洲电池联盟已经证明了欧盟成员国、研究团体和工业界之间更好的协调能够促使工业利益相关方投资清洁技术。基于这一成功探索，欧盟委员会发起了欧洲清洁氢能联盟和欧洲原材料联盟。同样，智能电网等其他关键技术也很重要，预计欧盟智能电网行业将在未来十年显著增长。考虑到绿色技术的绝大多数投资将在欧盟以外地区进行，有必要确保欧盟产业能够在公平的环境中竞争。

（3）补贴

欧盟有必要加大努力，以减少能源浪费并促进能源转型，能源补贴数据是进行准确监控的关键。能源补贴相关数据仍然零散，各成员国《国家能源和气候计划》的报告基本不完整。欧盟能源补贴报告显示，2018 年欧盟能源补贴总额达到 1590 亿欧元，较 2015 年增长 5%。其中，超过一半的补贴支持清洁能源转型，但化石燃料补贴仍占 1/3（500 亿欧元）。化石燃料补贴在过去十年相对稳定，2012 年达到 530 亿欧元的峰值，随后从 2015 年开始再次增长，到 2018 年增长了 6%。奥地利、丹麦、爱沙尼亚和匈牙利等成员国与这一总体趋势相反，大幅削减了化石燃料补贴。

7、结论与展望

欧洲能源联盟已成为实现《欧洲绿色协议》目标的重要支柱，新冠疫情危机的巨大压力已经验证了能源联盟框架的韧性，总体而言，能源联盟可以支持欧盟实现2050年碳中和目标。欧盟委员会将在未来几个月全力支持成员国制定强有力且经得起考验的国家经济复苏计划，以可持续和社会公平的方式推动欧洲的发展。

在这种背景下，必须尽快加大努力以减少对浪费性能源消费的支持，并将其转向促进清洁能源转型的措施，如终止化石燃料补贴。欧盟委员会将与成员国合作，减少化石燃料消费并逐步取消化石燃料补贴。此外，委员会将着手应对国家层面对清洁能源技术研究和创新投入明显减少的问题，以增强长期可持续发展的潜力，包括通过建立产业联盟在整个价值链上整合公共和私人资金等措施。欧盟委员会将继续与会员国密切合作，提出加强立法执行力的具体解决方案，例如通过欧盟可再生能源发展平台和可再生能源融资机制。除了已经达成一致的立法之外，针对建筑和甲烷排放发布的战略补充了欧盟为实现2030年气候目标做出的努力，欧盟将在今年晚些时候提出有关海上能源和泛欧能源基础设施的战略。此外，欧盟委员会将在2021年6月之前提出关键的立法提案，助力实现2030年气候目标。

（高天 岳芳）



《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