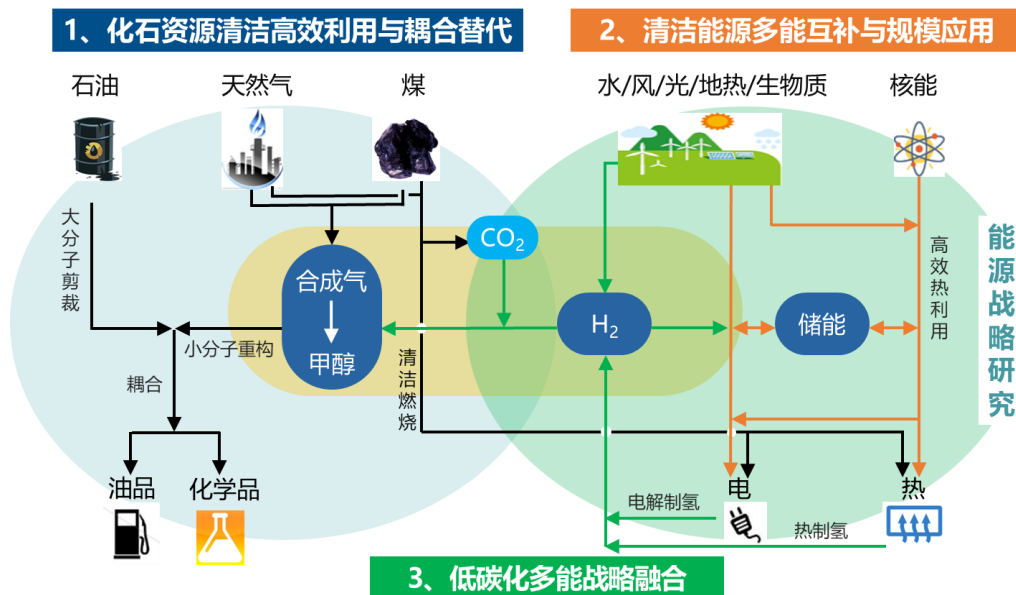




洁净能源科技动态监测快报

2021 年第 04 期（总第 18 期）



本期看点

- IRENA 评估全球石油巨头能源转型战略
- DOE 资助 1.28 亿美元推进太阳能技术研发和部署
- 英国投入 1.71 亿英镑支持工业脱碳技术研发
- 世界氢能理事会与麦肯锡联合评估氢能成本竞争力趋势
- DOE 成立储能研发中心推进低成本长时储能技术研发部署
- 国际能源署四项建议推动日本实现 2050 碳中和目标

◆ 化石资源清洁高效利用

- IRENA 评估全球石油巨头能源转型战略..... 2
- NETL 推进旋转爆轰燃烧技术研发..... 7

◆ 清洁能源多能互补

- DOE 资助 1.28 亿美元推进太阳能技术研发和部署..... 8
- 英国投入 1.71 亿英镑支持工业脱碳技术研发部署..... 11
- 美国能源部支持增强型地热系统前沿技术开发..... 12
- 英日合作开发用于核聚变及核退役的机器人和自动化技术..... 13
- 单晶钙钛矿太阳能电池创下 22.8%转换效率新纪录..... 13

◆ 低碳化多能融合

- 世界氢能理事会与麦肯锡联合评估氢能成本竞争力趋势..... 15
- DOE 成立储能研发中心推进低成本长时储能技术研发部署..... 20
- 英国石油公司计划开建全英最大蓝氢工厂..... 20
- 催化剂固液相转变实现二氧化碳高效稳定催化还原..... 21

◆ 能源战略研究

- IEA: 新冠疫情使全球碳排放创下二战以来最大年度降幅..... 23
- 欧洲光伏产业协会: 2024 年欧盟光伏装机有望接近 300 GW..... 28
- 国际能源署四项建议推动日本实现 2050 碳中和目标..... 30

本期概要

国际可再生能源机构 (IRENA) 发布《国际石油公司与能源转型》报告，系统分析了国际石油巨头在全球能源低碳背景下的发展战略：国际石油巨头纷纷开展业务转型，提出投资可再生能源、能效和其他清洁技术发展策略，以在能源转型中逐步明确定位。统计分析的 7 家公司都将低碳技术整合到石油生产中（主要通过碳捕集与封存<CCS>技术），但欧洲和美国公司在可再生能源发展方面存在明显差异，欧洲公司正将业务扩展到石油生产以外，投资可再生能源技术和/或初创企业及创新中心，但美国公司仍保持“一切照旧”的做法。

美国能源部 (DOE) 宣布资助近 1.28 亿美元用于降低太阳能技术成本、提高性能和加快部署，以实现到 2030 年太阳能发电成本的新目标：资助主题包括钙钛矿光伏、碲化镉 (CdTe) 薄膜太阳能电池、硅基光伏寿命改进以及光热发电技术 (CSP) 等。为实现拜登政府提出的到 2035 年实现电力完全脱碳的目标，DOE 指出将加快太阳能部署，提出了 2030 年太阳能降成本的新目标：公用事业规模光伏成本降至 0.02 美元/千瓦时，原设定的 0.03 美元/千瓦时目标提前至 2025 年。

英国研究与创新署 (UKRI) 宣布在“工业战略挑战基金” (ISCF) 支持下，通过“工业脱碳挑战”计划投入 1.71 亿英镑支持工业脱碳技术研发和部署：“工业脱碳挑战”计划是 ISCF 的一部分，将支持开发减少重工业和能源密集型工业（如钢铁、水泥、炼油和化工）碳足迹的技术，以提高工业竞争力，支持英国低碳经济发展。此次资助包括 3 个海上碳捕集、利用和封存 (CCUS) 项目以及 6 个陆上碳捕集和/或氢燃料转换项目，将在英国最大的工业集群进行部署和推广。

世界氢能理事会 (Hydrogen Council) 与麦肯锡公司联合发布《氢能洞察 2021：氢能投资、部署和成本竞争力展望》报告，全面分析了氢能在全球各地市场的部署情况、投资驱动力以及成本竞争力：目前，全球氢能价值链相关项目已超过 200 个，80% 位于欧洲、亚洲和澳大利亚。预计到 2030 年氢能项目总投资将超过 3000 亿美元，相当于全球能源投资的 1.4%。预计到 2028 年，具有丰富可再生能源资源地区的可再生能源制氢 (绿氢) 成本可能与灰氢相当，而到 2030 年绿氢成本可能进一步降至 1.4-2.3 美元/千克。

美国能源部 (DOE) 宣布斥资 7500 万美元依托西北太平洋国家实验室 (PNNL) 建立一个名为“电力储能工作站” (GLS) 的国家级电力储能研发中心，旨在整合学术界和产业界的研究力量，加快推进先进、电网级别的低成本长时储能技术研发和部署：中心将设立 30 个独立研究实验室，其中一些实验室专门负责测试工作，即在现实的电网条件下对新开发的电力储能设施原型和电网储能技术的性能和经济性开展测试评估。GSL 还将设立相应的孵化器，加速新技术或者设备商业化应用进程。

国际能源署 (IEA) 发布《日本能源政策评估》报告，系统剖析了日本能源政策的新动向：自 2011 年福岛核事故后，日本在增强能源系统效率、弹性和可持续方面取得了显著进展。但由于能源资源匮乏，日本高度依赖进口化石燃料的局面仍未改变。为此，报告针对日本最新提出的 2050 碳中和战略，提出了四大建议，包括尽快制定支撑 2050 年碳中和目标的能源战略和路线图，激发企业低碳技术的投资热情，鼓励业界加强对电网的投资，推进电力和天然气市场改革。

化石资源清洁高效利用

IRENA 评估全球石油巨头能源转型战略

近期，国际可再生能源机构（IRENA）发布《国际石油公司与能源转型》报告¹，分析了英国石油公司（BP）、雪佛龙公司（Chevron）、意大利埃尼集团（ENI）、挪威国家石油公司（Equinor ASA）、埃克森美孚公司（ExxonMobil）、壳牌公司（Shell）、道达尔公司（Total）7 家国际石油巨头在能源低碳转型背景下的发展战略，并评估了上述公司针对全球气候目标所采取的措施。报告提出了国际石油公司当前面临的转型挑战，并指出了未来发展机遇。报告关键点如下：

1、国际石油公司应用低碳技术概况

当前全球对能源低碳转型的需求愈加迫切，越来越多的国家提出零碳排放目标，这给国际石油公司未来发展带来了重大挑战。一些石油巨头提出投资可再生能源、能效和其他清洁技术，以在能源转型中逐步明确定位，并确定了若干减排目标。报告总结了 7 家国际石油公司应对能源转型制定的初步措施与目标，如表 1 所示。7 家公司都将低碳技术整合到石油生产中（主要通过碳捕集与封存<CCS>技术），但欧洲和美国公司在可再生能源发展方面存在明显差异，欧洲公司正将业务扩展到石油生产以外，投资可再生能源技术和/或初创企业及创新中心，美国公司仍保持“一切照旧”的做法。欧洲公司之间也存在区别，意大利埃尼、荷兰皇家壳牌和法国道达尔等公司不仅将可再生能源纳入其投资组合，而且还对整个电力供应链进行了大量投资。荷兰皇家壳牌和法国道达尔公司通过在全球范围内收购发电厂、电池储能公司等手段实现这一目标，而意大利埃尼集团仅活跃于国内电力市场。英国石油公司和挪威国家石油公司仅专注于投资可再生能源（太阳能、风能和生物燃料）、氢能和电动汽车来实现投资的多元化。

表 1 7 家国际石油公司采用低碳技术概况及已制定的可再生能源目标

石油公司	扩展非油气清洁能源技术	在石油生产中应用低碳技术	以降低运营排放为目标	主要投资的可再生能源技术	下游电力行业投资	可再生能源目标	其他低碳举措（合资企业或基金）
英国石油公司	√	√		陆上风能、太阳能、生物燃料、电动汽车基础设施、电池		到 2030 年达到 50 吉瓦	与可再生能源公司组建合资企业
雪佛龙公司		√	√	-	-	-	投资突破性低碳

¹ Oil companies and the energy transition.

<https://www.irena.org/publications/2021/Feb/Oil-companies-and-the-energy-transition>

						排放技术的未来能源基金
意大利埃尼集团	√	√	太阳能、风能、氢能、电动汽车电池和充电桩、生物燃料	√	到 2030 年达到 15 吉瓦，到 2050 年达到 55 吉瓦	与大学和研究中心合作设立可再生能源研发风投基金
挪威国家石油公司	√	√	太阳能、海上风能、氢能、电动汽车	√	到 2026 年达到 4-6 吉瓦，到 2035 年达到 12-16 吉瓦	与可再生能源公司组建合资企业
埃克森美孚公司		√	√	-	-	-
荷兰皇家壳牌	√	√	海上风能、氢能、生物燃料、电动汽车	√	到 2030 年，每年向可再生能源（包括氢能）投资 30 亿美元	投资可再生能源初创企业和创新中心
道达尔公司	√	√	太阳能、风能、氢能、生物燃料	√	到 2025 年可再生能源发电装机容量达到 35 吉瓦	与可再生能源公司组建合资企业

2、国际石油公司的长期气候目标

7 家石油公司都通过其年度报告和发表声明，公开表示气候变化是当前全球面临的主要威胁之一，石油公司应该为全球能源转型做出贡献。然而，欧洲公司与美国公司在转型紧迫性和步伐方面存在极大差异。美国公司不像欧洲公司那样面临巨大的政策压力，因而仍以石油作为长远主要规划，对于可再生能源的投资很少，仅少量投资生物燃料，但大量投资 CCS 和提高能效的技术，以达到减少运营排放的目的。欧洲公司已经开始对可再生能源进行投资，同时也将业务拓展至电力供应领域。在政策和资金压力的推动下，欧洲公司对可再生能源技术的投资与欧洲向低碳经济过渡的努力保持一致。然而，即使一些欧洲公司做出了净零排放承诺并设定了雄心勃勃的排放目标，但都没有在短期内大幅减少石油开采和/或生产计划。另外，设定净零目标的公司并未公布其脱碳路线图。表 2 列出了 7 家石油公司的长期气候目标。其中，石油公司的排放目标分为绝对目标和强度目标两类，绝对目标基于排放总量，强度目标则基于单位能量的碳排放，后者可通过增加低碳产品份额以及在不减少石油产量的同时实施碳汇措施来实现，并不意味着碳排放绝对量的减少。

表 2 7 家国际石油公司的长期气候目标（截至 2021 年 1 月）

公司	目标类型	短期目标	2050 年排放目标	能源转型总体战略
英国石油公司	绝对目标	-	①净零排放（范围 1、2、3）；②到 2050 年，将销售产品的碳强度降低 50%	到 2050 年实现：①实现整个运营的净零排放（范围 1 和范围 2）；②上游石油和天然气生产实现净零排放（范围 3）。该公司还力争到 2050 年或更早时将其销售产品（包括其他公司开采并由 BP 加工的石油和天然气产品）碳强度降低 50%。这些目标不包括占其产量

				29%的俄罗斯石油公司
雪佛龙公司	强度目标	到 2023 年,石油温室气体排放强度降低 5%-10%,天然气温室气体排放强度降低 2%-5%	-	到 2023 年将石油行业上游温室气体净排放强度降低 5%-10%,天然气行业上游温室气体净排放强度降低 2%-5%;力争到 2023 年将甲烷排放强度降低 20%-25%
意大利埃尼集团	绝对目标	到 2035 年降低 30% (范围 1、2、3)	降低 80%的排放量 (范围 1、2、3)	到 2050 年将温室气体净排放量减少 80%。计划到 2050 年将碳强度降低至 2018 年的 45%,中期目标是到 2035 年将碳强度降低至 2018 年的 85%
挪威国家石油公司	绝对目标	到 2030 年实现碳中和	净零排放 (范围 1、2、3)	争取实现净零排放 (范围 1、2、3)。致力于到 2030 年将挪威近海油田和陆上发电厂的温室气体排放量减少 40%,到 2040 年减少 70%;到 2050 年接近净零排放。在全球范围内,计划在 2030 年前在公司运营中实现碳中和,还计划在 2026 年将可再生能源装机容量增长 10 倍,成为全球海上风能领先公司,到 2035 年可再生能源装机容量达到 12-16 吉瓦
埃克森美孚公司	强度目标	到 2025 年减少 15%-20%的排放 (范围 1 和 2)	-	为了实现 2025 年目标,公司计划在其全球运营范围内,将甲烷排放强度降低 40%-50%,燃料排放强度降低 35%-45%。未制定 2050 年目标,也未制定可再生能源发展目标
荷兰皇家壳牌	强度目标	到 2035 年碳强度降低 30% (范围 3)	①减少 65%的排放量 (范围 3);②到 2050 年实现净零排放 (范围 1 和 2)	到 2035 年将排放强度降低 30%,到 2050 年降低 65% (范围 3)。2020 年 4 月,该公司宣布其目标是到 2050 年实现油气生产以及能源使用 (范围 1 和 2) 零排放
道达尔公司	强度目标	-	①仅在欧洲实现净零排放 (范围 1、2、3);②在全球范围内减少 60%的排放量 (范围 1、2、3)	力争到 2050 年实现其自身生产以及欧洲消费者使用的能源产品净零排放。计划到 2050 年,实现全球产品减少 60%排放量的目标

备注:范围 1 和范围 2 是指在运营中以及供应链采购电力相关排放 (范围 1 是公司拥有和控制资源的直接排放,范围 2 是发电和购电过程的间接排放);范围 3 指实际使用石油产品时所产生的排放量。

由表 2 可知,欧洲石油公司都有长期排放目标,而美国公司只有短期目标。欧洲公司之间也存在区别,按照排放目标类型 (强度目标与绝对目标) 和所涵盖的范围 (范围 1、2、3),可以将欧洲公司分为两类。第一类公司包括英国石油公司、意大利埃尼集团和挪威国家石油公司,三者都有绝对减排目标,并涵盖所有三个排放范围。但英国石油公司的排放目标并未涵盖该公司的全部产品。同时,即使意大利埃尼集团的目标没有达到净零排放,该公司也承诺到 2050 年实现 80%的绝对减排目标,并且会通过短/中期目标来实现。第二类公司包括壳牌公司和道达尔公司,两个

公司根据强度来制定目标，没有承诺排放量的绝对减少。

3、国际石油公司的能源转型情景分析

为实现能源转型，一些国际石油公司正致力于进行全球能源转型的情景分析，以支持其战略和目标的制定。本报告将主要石油公司的能源转型情景分析结果与 IRENA、国际能源署（IEA）进行了比较，如表 3 所示。此外，不同情景下全球能源相关碳排放及电气化率如图 1 所示。在欧洲石油公司中，壳牌公司和道达尔公司预计全球石油需求将在 2030 年左右达到峰值，而英国石油公司则认为石油需求已经达峰。尽管如此，石油和天然气在一次能源供应总量中仍占较大份额。电气化进程将加快推进，可再生能源将在发电中发挥重要作用，占比预计超过 70%。石油公司可以通过 CCS 技术来降低二氧化碳排放水平。美国公司中，雪佛龙并未提出自己的情景，而是依据 IEA 的 2019 年可持续发展情景（SDS）来阐释气候变化的紧迫性，而在埃克森美孚最近的情景分析报告中，石油和天然气仍然是最主要能源，可再生能源和电气化的作用微乎其微。

表 3 国际石油公司以及 IRENA、IEA 的能源转型情景分析结果

情景	年份	类别	能源供应总量 / 艾焦	一次能源供应总量中可再生能源占比	电气化率	可再生能源电力占比	排放量 / 10 亿吨/年	一次能源供应总量中石油占比	一次能源供应总量中天然气占比
现状	2018	现状	597	14%	25%	25%	34.6	26%	18%
IRENA 能源转型情景	2050	1.5°C	538	65%	49%	86%	9.7	8%	12%
Shell“天空”情景	2050	1.5°C	828	43%	44%	74%	18	19%	14%
Equinor 再平衡情景	2050	2°C 以内	504	43%	37%	72%	10.2	18%	22%
BP 快速转型情景	2050	1.5°C	625	45%	45%	74%	9	14%	23%
BP 净零情景	2050	净零情景	625	60%	52%	83%	1.5	7%	15%
Total 炸裂情景	2040	1.5-1.7°C	719	48%	40%	79%	8	15%	26%
IEA 2019 年世界能源展望可持续发展情景	2040	1.5°C	566	29%	31%	53%	15.7	23%	24%
ExxonMobil	2040	预测情景	715	17%	22%	22%	35	30%	26%

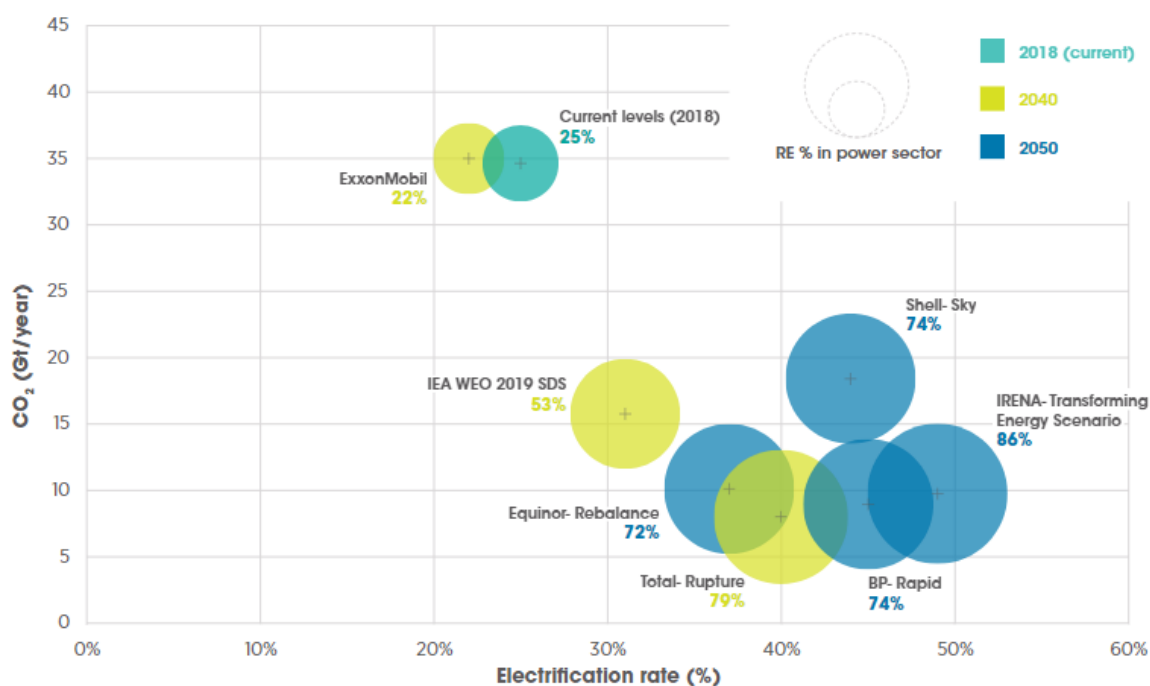


图 1 国际石油公司以及 IRENA、IEA 的能源转型情景下全球能源相关碳排放及电气化率预测

4、国际石油公司具备竞争优势的关键脱碳技术

石油公司必须调整运营战略，实行多样化战略以跟上时代变化。在当前各国实施的脱碳优先事项中，石油公司具备竞争优势的技术有：

(1) **氢能**。氢可应用于交通、重工业、电力和供热等不同领域，是石油公司凭借其天然气运输和销售的现有优势可以建立的新市场之一。英国石油公司、挪威国家石油公司和壳牌公司已经开始投资氢能。

(2) **海上风电技术**。油气行业已经在海上运营了半个多世纪，因此可将其已有技术转移到海上风电行业，如可以升级现有海上石油、天然气和航运基础设施，并转换为海上可再生能源技术（风能）设施。挪威国家石油公司是石油公司扩展海上风电业务的先行者，长期以来一直活跃在全球多个重要的海上风电项目，包括浮动式海上风电和海上风电场等。

(3) **电气化**。可再生能源电力是能源转型的关键组成部分，将成为主要的能源载体。挪威国家石油公司、壳牌公司和法国道达尔等石油公司已经进入电力行业，目标是在可再生能源电力的生产和供应方面占据一席之地。这些公司主要通过大量投资发电（太阳能光伏、陆上和海上风电）以及电动汽车充电设施来实现这一目标。

(4) **生物液体燃料**。一些石油公司已经对生物燃料投资了数十年，尤其是针对无法使用电力的交通方式（重型卡车和飞机）。由于许多国家的政府计划逐步淘汰燃油汽车，即使在油价偏低情况下，对生物液体燃料的投资仍具有重要战略意义。

(5) **碳捕集与封存（CCS）**。所有石油公司都在投资 CCS 技术，以减少运营排放和碳足迹，还可推动新业务拓展，如生产清洁氢气。根据 IRENA 的分析，氢气

在能源行业脱碳方面起着关键作用，其中蓝氢将占氢气产量三分之一，因此天然气仍将发挥重要作用，CCS 将是确保清洁生产的关键。近期石油公司投资的 CCS 项目是挪威的北极光（Northern Lights）项目，这是世界上第一个由挪威国家石油公司、壳牌公司和法国道达尔合作签署的 CCS 网络项目，总金额达到 6.75 亿美元。

（岳芳）

NETL 推进旋转爆轰燃烧技术研发

3 月 23 日，美国能源部国家能源技术实验室（NETL）发布专题文章²，阐述了在推进旋转爆轰燃烧技术方面的研究进展。文章指出燃气轮机等内燃机具有较高效率，但其受到压力和功率输出的限制。旋转爆轰发动机能够产生可控的连续爆轰波，避免常规燃气轮机的压力损失和随后的效率下降。旋转爆轰过程可以捕获和利用更多燃料能量，从而实现更高功率输出，更少燃料消耗，并能减少对环境的影响。

NETL 研究人员已经将一种优化的、低损耗的燃料空气喷射器和排气扩散器集成到旋转爆轰燃烧室（RDC）中。计算模型表明，这一革命性的新技术可以使效率提高 3-5 个百分点，并且显著降低燃料消耗和碳排放。此外，由于爆轰过程的高火焰速度，RDC 能够良好适应高氢含量燃料。RDC 技术具有高度通用性，可以用于陆基发电，也可以用于船舶、飞机和航天器的动力推进系统。NETL 的研究人员正对 RDC 过程进行机理研究，并开发新的诊断方法来表征 RDC 性能，进一步推进该技术的进步，使其能够吸引更多私营投资者以加速推进该技术的研发和商业化进程。

在普渡大学合作伙伴的支持下，NETL 已经在设计和制造新的 RDC 部件，其目的是减少空气动力学损失，达到预期的压力增益。未来 18 个月内，NETL 将开发和测试三种候选的低损耗几何构造，目前第一种设计已经配置在燃烧室中成功进行了组装和压力测试。低损耗几何结构设计将减少整个喷射器的压力损失，以达到提高压力增益的目的。NETL 将与美国空军、海军、航空航天局的研究组织、大学和私营公司合作，共同探索这一潜在的变革性概念。

（岳芳）

² NETL Advances Rotating Detonation-Wave Combustor Technology. <https://netl.doe.gov/node/10584>

清洁能源多能互补

DOE 资助 1.28 亿美元推进太阳能技术研发和部署

3月25日，美国能源部（DOE）宣布资助近1.28亿美元用于降低太阳能技术成本、提高性能和加快部署³，以实现到2030年太阳能发电成本的新目标。详情如下：

一、研发部署

1、钙钛矿光伏研发

该领域投入4000万美元资助22个钙钛矿光伏研发项目，重点围绕三个技术主题：

（1）设备研发（效率及稳定性）。该主题领域投入1680万美元，将在单元或小型模块层面提高钙钛矿太阳能电池效率和稳定性，超越当前最先进水平。资助项目包括：①通过创新界面工程，增强金属卤化物钙钛矿太阳能电池的效率、稳定性和可靠性；②为无需掺杂的甲脒基-甲胺基钙钛矿太阳能电池开发电子和空穴传输层，提高其效率和耐久性；③开发二维钙钛矿载流子传输层，以改进下一代钙钛矿太阳能电池的稳定性、效率和铅毒性；④开发空间分辨的表征方法，快速表征和评估引起钙钛矿不可逆降解和亚稳态的机理；⑤可扩展、稳定钙钛矿太阳能电池的多功能半导体配体设计；⑥增强金属卤化物钙钛矿光伏器件效率和稳定性的材料性能表征；⑦高效大面积钙钛矿太阳能电池的露天制造；⑧通过喷墨或气溶胶印刷将旁路二极管集成到电池互连中，以实现钙钛矿模块的可扩展和快速制造；⑨开发新型的限定区域墨水绘图印刷（RAPID）工艺以制备高效稳定的钙钛矿薄膜；⑩开发用于钙钛矿-钙钛矿串联太阳能电池的新型低带隙钙钛矿材料；⑪结合量子机器学习层次方法加速对用于太阳能电池的最佳钙钛矿材料的选择；⑫研究金属卤化物钙钛矿太阳能电池反向偏压下的老化机理以改善其长期稳定性；⑬蒸气传输沉积钙钛矿薄膜用于太阳能电池的界面工程；⑭开发高效、稳定的甲脒基-铯混合阳离子钙钛矿电池和模块；⑮开发新型溶液印刷和光子固化方法，实现高通量、低成本在塑料基板上制备透明电极；⑯开发使用疏水性三维碳纳米片作为电极材料的稳定、低成本钙钛矿太阳能电池。

（2）制造研发。该主题领域将投入900万美元，解决在相关规模和生产能力下制造钙钛矿模块的挑战。资助项目包括：①开发制造设备和工艺，生产器件效率为27%的钙钛矿-硅串联太阳能电池，该制造系统每小时可加工超过5000个晶圆；②开发低成本、高产量、高通量的工艺及相关测量方法，用于钙钛矿模块的卷对卷制造，并示范有效面积达到3600平方厘米的模块，其功率转换效率为22%；③利用缝模涂

³ DOE Announces Goal to Cut Solar Costs by More than Half by 2030. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-goal-cut-solar-costs-more-half-2030>

布工艺生产铅安全、耐用、稳定的金属卤化物钙钛矿电池模块；④1×2 米串联钙钛矿太阳电池模块原型的制造。

(3) 验证和可融资中心。DOE 将投入 1400 万美元支持国家实验室建立验证和可融资中心，用于验证钙钛矿设备性能，解决验收和融资相关难题，以促进这些技术具备市场竞争力，并调查钙钛矿太阳电池对环境的影响。资助项目包括：①桑迪亚国家实验室“商用光伏钙钛矿加速器”（PACT），将开发性能和可靠性测试协议，该协议可由商业光伏测试实验室使用标准设备来执行，并在项目期间转化为工业标准。PACT 还将研究模块设计与性能稳定性和性能下降之间的关系，并确定钙钛矿专用技术成熟度的定义。此外，还将提供多种银行担保计划以帮助钙钛矿光伏公司实现技术商业化。该中心将在多种气候条件下部署超过 50 千瓦的钙钛矿光伏系统，以验证其性能和可靠性。②国家可再生能源实验室“新兴技术进步启发式评估中心”（CHEETA），将建立可靠性测试协议，集中可靠性和现场性能数据，验证钙钛矿模块性能，并支持融资业务。CHEETA 将使用统一的测试来定量评估模块可靠性，以加快市场接纳。CHEETA 还集成了商业融资服务供应商，以促进新兴技术的商业化。

2、钙钛矿初创企业奖

DOE 将投入 300 万美元设立钙钛矿初创企业奖，旨在资助钙钛矿初创企业技术研发，以加快其技术商业化。

3、碲化镉（CdTe）薄膜太阳电池

DOE 将支持国家可再生能源实验室建立一个碲化镉研究与开发联盟，投入 2000 万美元开展“碲化镉光伏加速器”计划，推进低成本 CdTe 薄膜太阳电池技术发展。将通过资助项目实现如下目标：增强本土 CdTe 光伏材料和模块的生产，到 2030 年实现电池效率 26%以上，并将模块成本降至 0.15 美元/瓦以内。

4、硅基光伏寿命改进

DOE 将投入 700 万美元，支持开发将硅基光伏系统寿命从 30 年延长至 50 年的技术，以降低能源成本并减少浪费。具体而言，将通过数据分析、数据采集传感器开发、性能表征、组件硬件改进、更有效的运行和维护计划以及增加耐久性来改进光伏系统组件，如逆变器、连接器、电缆、机架和跟踪器等。

5、光热发电技术（CSP）

(1) 先进 CSP 技术研发。DOE 将投入 3300 万美元支持先进 CSP 技术研发及应用，包括：①开发新型太阳能接收器和反应器，以实现新的 CSP 应用，如用于高效发电循环的更高温塔式发电、用于热化学制燃料和化学品的太阳能反应器，以及其他太阳能过程热应用；②推进坑式水池储热（PTES）技术，可作为独立系统或与 CSP 集成部署；③CSP 运营和革新，将关注开发技术以提高现有 CSP 技术的系统、过程和设计的可靠性、可操作性和生产率，以及开发用于商业 CSP 系统的组件和设

备来改进系统设计和运行；④CSP 小型创新项目，将专注于能够极大降低 CSP 发电或供热成本的创新技术及概念。

（2）下一代 CSP 电站的示范。DOE 将在“第三代光热发电”（Gen3 CSP）项目的第三阶段投入 2500 万美元，支持桑迪亚国家实验室建立兆瓦级 CSP 示范电站，用于测试下一代 CSP 组件和系统，以实现 2030 年 CSP 发电成本 0.05 美元/千瓦时的目标。该项 CSP 技术采用固态陶瓷颗粒作为传热流体，运行温度超过 700℃，可运行数千小时，储热 6 小时，并加热超临界二氧化碳、空气等工作流体，还将在国家太阳热测试设施中建造一个集成试验系统。Gen3 CSP 项目前两阶段已经对这一技术做了详尽审查和可行性评估。

二、2030 年新目标⁴

DOE 于 2016 年曾提出到 2030 年公用事业规模光伏发电成本达到 0.03 美元/千瓦时的目标，考虑到拜登政府计划到 2035 年实现电力完全脱碳，需加快太阳能的部署，未来 15 年太阳能装机增长速度需达到当前 5 倍。为此，DOE 提出了 2030 年太阳能成本的新目标，其中公用事业规模光伏成本目标降至 0.02 美元/千瓦时，而原本设定的 0.03 美元/千瓦时目标提前至 2025 年。详情如下：

1、光伏发电（PV）

到 2030 年，住宅光伏发电的平准化度电成本（LCOE）从 2020 年的 0.128 美元/千瓦时降至 0.05 美元/千瓦时；商用光伏发电 LCOE 从 2020 年的 0.09 美元/千瓦时降至 0.04 美元/千瓦时；公用事业规模光伏发电从 2020 年的 0.046 美元/千瓦时降至 0.02 美元/千瓦时。

公用事业规模光伏 2030 年目标的实现路径为：①光伏模块改进，成本从 0.41 美元/瓦降至 0.17 美元/瓦，效率从 19.5% 提升至 25%，进而使光伏发电 LCOE 降低 0.01 美元/千瓦时；②降低辅助系统和软性成本，从 0.6 美元/瓦降至 0.3 美元/瓦，从而使光伏发电 LCOE 降低 0.007 美元/千瓦时；③性能改进，通过减少操作和维护、减缓老化以及输出更高能量使光伏发电 LCOE 降低 0.009 美元/千瓦时。

2、光热发电（CSP）

DOE 光热发电目标是到 2030 年使其具备与其他可调度发电技术竞争的优势。将 CSP 与储热相结合可直接解决与太阳能波动性相关的电网集成难题，将太阳能产生的热量存储到需要用电时（如夜间）。用于电力调度（储能时间不超过 6 小时）的 CSP 成本目标为 0.1 美元/千瓦时，用于基本用电负荷（至少 12 小时储能）的 CSP 成本目标为 0.05 美元/千瓦时。

（岳芳）

⁴ Goals of the Solar Energy Technologies Office. <https://www.energy.gov/eere/solar/goals-solar-energy-technologies-office>

英国投入 1.71 亿英镑支持工业脱碳技术研发部署

3月17日，英国研究与创新署（UKRI）宣布在“工业战略挑战基金”（ISCF）支持下，通过“工业脱碳挑战”计划向9个项目投入1.71亿英镑⁵，旨在通过技术开发与部署，支持至少一个英国工业集群到2030年实现大幅减排，并将验证各项目所在地到2040年实现净零排放的可能性，以支持英国到2050年实现碳中和。“工业脱碳挑战”计划是ISCF的一部分，将支持开发减少重工业和能源密集型工业（如钢铁、水泥、炼油和化工）碳足迹的技术，以提高工业竞争力，支持英国低碳经济发展。此次资助包括3个海上碳捕集、利用和封存（CCUS）项目以及6个陆上碳捕集和/或氢燃料转换项目，将在英国最大的工业集群中进行部署和推广。资助详情如下：

1、HyNet 海上及陆上项目

HyNet 为英国最先进、低风险和低成本的全链条氢能和 CCUS 工业脱碳项目之一，该项目构建了全区域氢经济基础设施的基础，改造现有油气设施以部署 CCUS。本次资助将分别投入 1332 和 1945 万英镑支持 HyNet 海上和陆上项目，由 Progressive Energy 公司牵头，将共同建立氢气输送、储存的专有网络，该网络还将提供基础设施以运输和封存制氢过程中以及工业集群排放的 CO₂。

2、苏格兰净零排放基础设施（海上）及（陆上）项目

本次资助将分别投入 1135 和 1996 万英镑支持苏格兰净零排放基础设施（海上）和（陆上）项目，由 Pale Blue Dot Energy 公司牵头，重点开发 Acorn 海上封存场地及相关海上基础设施，将开发海上封存关键组件，包括海上管道、海底封存及相关基础设施，用于运输 CO₂ 并将其注入海底确保长期安全封存。

3、净零排放蒂赛德（海上）项目

该项目获得 2805 万英镑资助，由英国石油勘探作业公司牵头，将在蒂赛德地区开发配备 CCUS 系统的天然气发电厂，该发电厂计划于 2026 年投入运营，年捕集约 200 万吨 CO₂，使 750 兆瓦规模的天然气发电设施脱碳，捕集的 CO₂ 将永久封存于北海南部一个大型地质含水层中。

4、Northern endurance 伙伴关系项目

该项目获得 2400 万英镑资助，由英国石油勘探作业公司牵头，将建设一个海上 CO₂ 运输和封存系统，该项目将与 2 个陆上项目联合，包括蒂赛德地区的 750 兆瓦天然气发电厂和汉伯地区的 Saltend 化工厂，前者将实现年捕集 200 万吨 CO₂，后者将通过转用蓝氢实现每年减少 100 万吨 CO₂ 排放。该联合项目将为世界首创。

5、零碳汉伯（ZCH）伙伴关系项目

该项目获得 2150 万英镑资助，由 Equinor 新能源公司牵头，将建立创新的低碳

⁵ UKRI awards £171m in UK decarbonisation to nine projects.
<https://www.ukri.org/news/ukri-awards-171m-in-uk-decarbonisation-to-nine-projects/>

基础设施，包括连接该地区主要碳排放源的 CO₂ 以及 H₂ 输送管道。ZCH 项目将捕集和输送排放的 CO₂，以帮助终端用户转用氢气燃料。该项目将为 H2H-Saltend 项目提供支撑，后者将开发低碳氨出口产品，并对现场生产的其他产品部分脱碳。

6、汉伯净零排放项目

该项目获得 1269 万英镑资助，由 VPI Immingham LLP 公司牵头，计划通过一系列技术途径，实现到 2020 年代末期伊明赫姆地区的世界规模工业园区实现脱碳，即年减排约 800 万吨 CO₂。该项目将在 VPI 公司的热电联产电厂改造两个现有的燃气轮机和辅助锅炉，并在 Phillips 66 公司的汉伯炼油厂改造一个流化床催化裂化装置，为工业和电力部门脱碳提供经济高效的技术路径。

7、南威尔士工业集群（SWIC）项目

该项目获得 2000 万英镑资助，由科斯塔因石油天然气工艺公司牵头，将设计支持区域氢能部署的解决方案，并将开发 CCUS 解决方案作为过渡措施。该项目将建立工业、城镇、交通和农业之间的清洁协同增长体系，还将开发低碳炼钢和低碳水泥生产。

（岳芳）

美国能源部支持增强型地热系统前沿技术开发

2 月 24 日，美国能源部（DOE）宣布在“地热能研究前沿观测研究”（FORGE）计划框架下投入 4600 万美元，支持 17 个增强型地热系统（EGS）前沿技术开发项目⁶。FORGE 计划于 2015 年启动，旨在建立一个地下实验室进行 EGS 的前沿研究、钻探和技术测试，形成一套降低工业开发风险和促进 EGS 商业化的可复制方法。该计划于 2018 年进入第三阶段，从第一阶段资助的 5 个候选场址中最终选择了犹他大学的犹他场址进行资助，计划在五年内投入 1.4 亿美元促进 EGS 前沿技术的开发、测试和突破。此次资助项目是 FORGE 计划建立的犹他场址地下实验室（Utah FORGE）的首批资助项目，主要涉及 5 个研究主题：

（1）适用于地热条件下沿套管井和裸眼井进行分段（区域）隔离的设备。资助总金额 1200 万美元，入选机构为 Welltec 公司、PetroQuip 能源服务公司、科罗拉多矿业学院。

（2）应力参数估计。资助总金额 300 万美元，入选机构为巴特尔纪念研究所、劳伦斯利弗莫尔国家实验室、俄克拉荷马大学。

（3）储层激发和演化过程的现场规模表征，包括热传递、流体流动、力学和化学（THMC）效应。资助总金额 800 万美元，入选机构为克莱姆森大学、斯坦福大

⁶ DOE Awards \$46 Million for Geothermal Initiative Projects with Potential to Power Millions of U.S. Homes.
<https://www.energy.gov/articles/doe-awards-46-million-geothermal-initiative-projects-potential-power-millions-us-homes>

学、劳伦斯伯克利国家实验室。

(4)Utah FORGE 地下实验室地热井的激发和构造。资助总金额 1200 万美元，入选机构为 Fervo 能源公司、德克萨斯大学奥斯汀分校。

(5) THMC 过程相互作用的实验和模型综合研究。资助总金额 1100 万美元，入选机构为宾夕法尼亚州立大学、劳伦斯利弗莫尔国家实验室、美国地质调查局、俄克拉荷马大学、普渡大学。

(岳芳)

英日合作开发用于核聚变及核退役的机器人和自动化技术

近期，英国政府宣布与日本签署一项研究和技术部署合作协议，共同投入 1200 万英镑支持开发用于核聚变及核退役的机器人和自动化技术⁷。此次资助的项目被命名为“LongOps”，将支持开发世界领先的技术，以促进实现核聚变和核设施退役的自动化。

LongOps 项目为期 4 年，由英国研究与创新署（UKRI）、英国核退役管理局（NDA）和日本东京电力公司（TEPCO）共同资助，旨在通过机器人、远程控制、数字技术等促进更为安全、快速的核聚变研究方法，并解决核设施退役的复杂挑战。LongOps 项目的一个重要特点是通过数字孪生技术建立虚拟模型进行核设施的测试和分析，并预测潜在的维护和运行问题。通过该技术开发软件将实现对核设施的远程控制，以及用于设施升级、维护和退役拆除等。该项目将支持在英国塞拉菲尔德核电站和日本福岛第一核电站使用长距离机械臂实现更快速和安全的退役，并为解决核退役的燃料碎片回收等难题提供关键技术基础。

(岳芳)

单晶钙钛矿太阳能电池创下 22.8%转换效率新纪录

目前高转换效率的钙钛矿太阳能电池器件主要采用多晶钙钛矿薄膜，但由于多晶钙钛矿存在众多的晶粒晶界（也即缺陷），进而引起不可避免的界面复合损失，致使电池性能受到了一定的抑制。因此，为了进一步提升钙钛矿太阳能电池性能，研究人员将目光转向了少晶界低缺陷密度的单晶钙钛矿薄膜。

由阿卜杜拉国王科技大学（KAUST）Mansoo Choi 教授课题组牵头的国际联合研究团队设计制备了双阳离子混合的单晶钙钛矿薄膜，并将其用于组装电池器件，获得了高达 22.8%的光电转换效率，刷新了该研究组此前创造的 21.9%纪录，创造了单晶钙钛矿太阳能电池的效率新高。相关理论计算表明，单晶双阳离子钙钛矿太阳电

⁷ £12M UK-Japan robotics deal for fusion energy and nuclear decommissioning research.
<https://www.gov.uk/government/news/12m-uk-japan-robotics-deal-for-fusion-energy-and-nuclear-decommissioning-research>

池的效率理论极限值可达 32% 的水平。研究人员利用旋涂法制备了甲胺 (MA) 和甲脒 (FA) 不同比例双阳离子混合的钙钛矿薄膜 $FA_xMA_{1-x}PbI_3$ ($x=0.6, 0.8, 1$)，扫描电镜测试结果显示只有当 x 数值为 0.6 时，制备出的薄膜呈现完全的黑色，其他比例均会出现部分的黄色斑点 (非钙钛矿成分)，表明了 0.6 是最佳的配比。为此研究人员选择 0.6 比例的双阳离子混合钙钛矿薄膜 $FA_{0.6}MA_{0.4}PbI_3$ 作为后续研究对象。对比研究 $MAPbI_3$ 和 $FA_{0.6}MA_{0.4}PbI_3$ 两种单晶薄膜光谱响应特性发现，相比前者，后者的光吸收截止点发生了显著的红移，表明了后者的带隙变窄 (从 1.53 eV 缩减到 1.48 eV)，光谱响应的范围向近红外区域拓展变宽，这有助于增加太阳光的吸收利用率。接着研究人员分别以 $MAPbI_3$ 和 $FA_{0.6}MA_{0.4}PbI_3$ 薄膜为光敏层组装成完整的电池器件进行对比研究，电压-电流曲线表征显示基于双阳离子单晶钙钛矿薄膜 $FA_{0.6}MA_{0.4}PbI_3$ 电池器件的电流密度显著上升，从单晶 $MAPbI_3$ 电池器件的不到 25 mA/cm^2 增加到了 26.2 mA/cm^2 ，进而将电池转换效率提高到 22.8%，创造了单晶钙钛矿太阳电池效率的最高值。随后，研究人员进一步做了回线研究发现，双阳离子单晶钙钛矿器件基本没有回滞现象。最后对薄膜长程稳定性开展研究 (85°C 温度空间，65% 的相对湿度环境)，实验结果显示单晶 $MAPbI_3$ 薄膜放置 6 天后就完全分解，从黑色变为了黄色；而双阳离子 $FA_{0.6}MA_{0.4}PbI_3$ 薄膜放置 8 天后仍只呈现部分的黄色斑点，表明后者更加稳定。

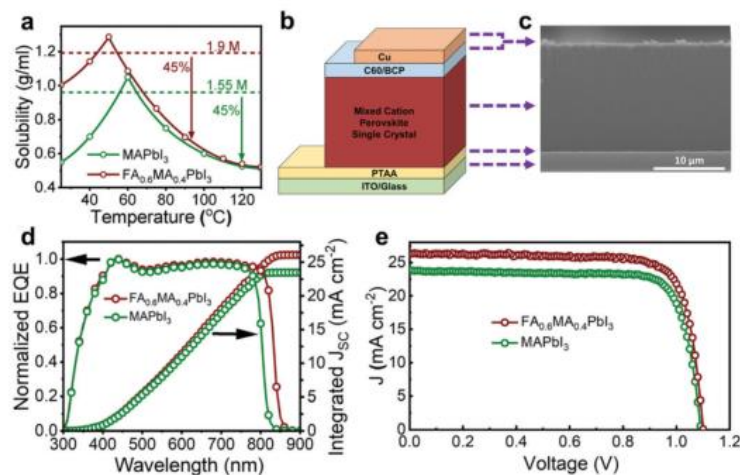


图 1 $MAPbI_3$ 和 $FA_{0.6}MA_{0.4}PbI_3$ 单晶钙钛矿电池结构示意图和电化学性能表征

该项研究设计合成了双阳离子单晶钙钛矿薄膜，并将其组装成完整的电池器件，得益于其少晶界低缺陷和窄带隙优点，电池获得了高达 22.8% 的转换效率，创造了单晶钙钛矿太阳电池效率的新纪录，为设计开发高性能钙钛矿太阳电池器件指明了新的路径。相关研究成果发表在《*Energy & Environmental Science*》⁸。

(程向阳 郭楷模)

⁸ Abdullah Y Alsalloum, Bekir Tureli, Khulud Almasabi, et al. 22.8%-Efficient single-crystal mixed-cation inverted perovskite solar cells with a near-optimal bandgap. *Energy & Environmental Science*, 2021, DOI:10.1039/D0EE02999H

低碳化多能融合

世界氢能理事会与麦肯锡联合评估氢能成本竞争力趋势

2月17日，世界氢能理事会（Hydrogen Council）与麦肯锡公司（McKinsey & Company）联合发布《氢能洞察 2021：氢能投资、部署和成本竞争力展望》报告，全面分析了氢能在全球各地市场的部署情况、投资驱动力以及成本竞争力⁹。报告指出，当前全球对氢能项目的投资规模和力度正在加速扩大，清洁氢成本下降速度可能超出预期，预计到2028年具有最佳可再生能源资源地区的可再生能源制氢（亦称为“绿氢”）供应成本可能与灰氢相当。报告关键点如下：

1、为响应政府深度脱碳承诺，氢能项目投资正加快速度

目前，全球氢能价值链相关项目已超过200个，80%位于欧洲、亚洲和澳大利亚。而美洲、中东和北非地区的部署速度也在加快。约有800亿美元的氢能投资已经处于规划阶段或通过了最终投资决定（FID），或是在建、已投运等。如果所有氢能项目都能最终得到部署，预计到2030年氢能项目总投资将超过3000亿美元，相当于全球能源投资的1.4%。全球脱碳转型推动了氢能投资势头，占全球GDP一半以上的75个国家以净零排放为目标，30多个国家针对氢能发展制定了战略。为支持氢能发展战略，各国政府已经承诺投入700多亿美元资金，并明确了新的产能目标和部门级的监管措施。例如，欧盟宣布到2030年实现40吉瓦的电解槽产能目标，而目前产能不足0.1吉瓦；20多个国家宣布2035年前禁止销售内燃机车辆；美国联邦政府新车排放标准落后于欧盟，但加州等15个州制定了到2035年实现零排放乘用车和卡车的目标。

⁹ A Perspective on Hydrogen Investment, Deployment and Cost Competitiveness.
<https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2021/>

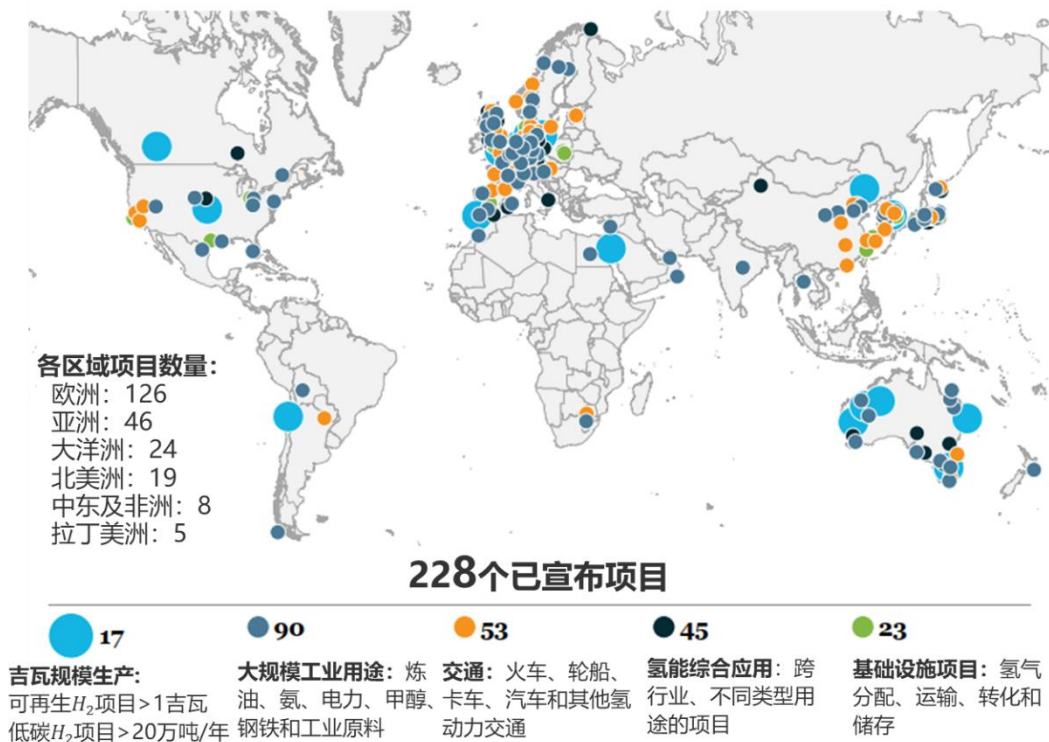


图 1 氢能价值链相关项目全球分布

2、如果在适当监管框架下扩大规模，清洁氢成本下降速度可能快于预期

随着氢能项目向吉瓦级规模发展，氢气生产成本将继续下降。可再生能源制氢成本下降的最大驱动力是可再生能源成本，得益于大规模部署和低融资成本，预计可再生能源成本将更快下降，到 2030 年的可再生能源成本将比去年预测值低 15%。澳大利亚、智利、北非和中东等资源最丰富地区的降幅将最大。除降低可再生能源成本以外，还需进一步增加公共支持，开发低成本可再生能源装机并扩大碳运输和封存设施规模，以弥补清洁氢的成本差距。本报告根据国际氢能理事会的愿景，假设到 2030 年全球将部署 90 吉瓦的电解制氢装置。规模化将使电解槽价值链快速工业化，产业界已经宣布的电解槽产能将每年增长 3 吉瓦，还需加速扩大规模，这将使电解系统（包括堆栈及辅助系统）成本下降快于预期，到 2025 年达到 480-620 美元/千瓦，到 2030 年达到 230-380 美元/千瓦。大规模部署绿氢将需要开发吉瓦级制氢项目，这些项目可综合利用多种可再生能源（如陆上风电和光伏），并消耗过剩的可再生能源供应以提高利用率。综合考虑上述因素，预计到 2030 年可再生能源制氢成本可能降至 1.4-2.3 美元/千克。预计到 2028 年，具有最佳可再生能源资源的地区的绿氢成本可能与灰氢相当，而其他地区将在 2032-2034 年期间实现。此外，天然气制低碳氢技术将继续发展，随着碳捕集效率的提高和资本支出的降低，如果碳输送和封存设施大规模开发，预计到 2020 年代末期，在碳价为 35-50 美元/吨的情况下，低碳氢成本将与灰氢相当。

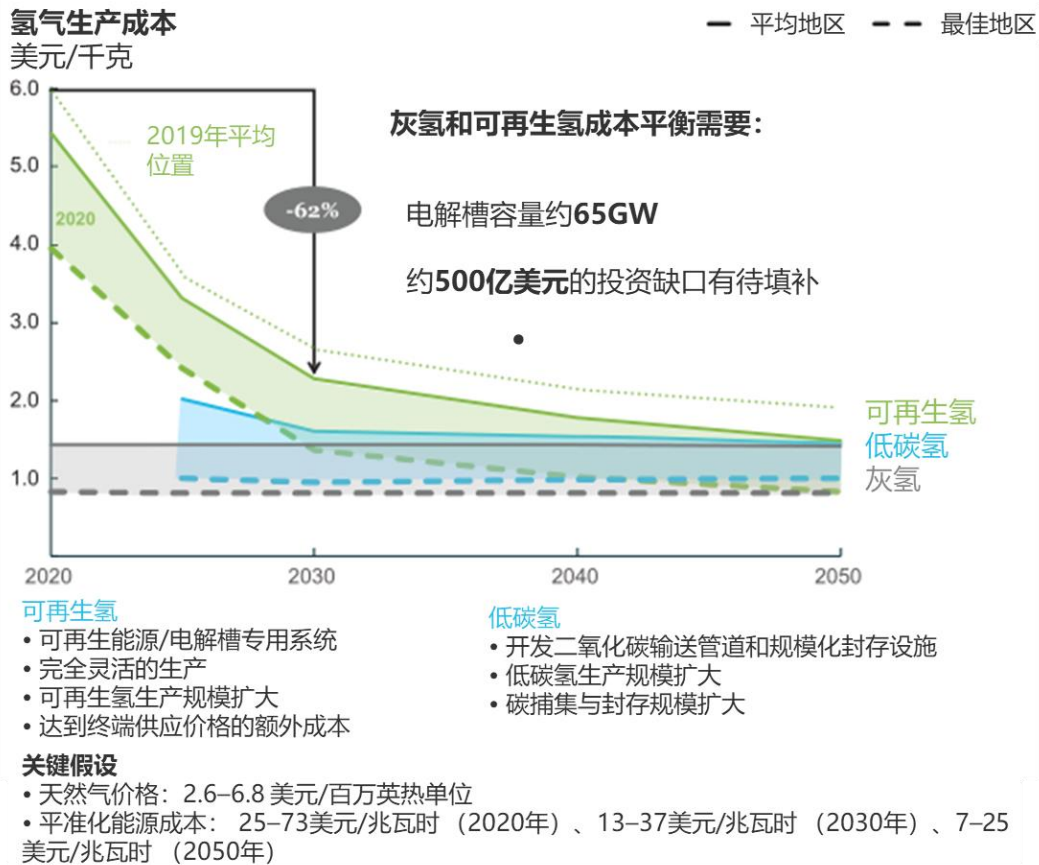


图 2 不同生产途径的制氢成本趋势比较

4、实现氢能广泛应用需要经济高效的氢能输送和分配

长远来看，管道输氢提供了最具成本效益的氢气分配方式。管道输氢能够以相当于输电线路 1/8 的成本输送 10 倍能量，并可利用现有天然气基础设施，即使是新建管道成本也不会过高（假设泄漏等安全风险得到合理解决）。例如，预计通过管道将氢气从北非输送至德国中部的成本约为 0.5 美元/千克，低于两地绿氢的生产成本差距。短、中期内，大规模氢气应用最具成本竞争力的供应方式是在氢能用户地区或其附近直接生产氢气，同时还可利用这种规模化生产向其他用户提供氢气，如卡车或列车加氢站，以及小型工业用户，向上述用户输送氢气的成本可能低于 1 美元/千克。船舶运输氢气需要对氢气进行转换以增加能量密度，目前最具潜力的三种碳中性载体是液氢、液态有机氢载体(LOHC)和氨，最优解决方案取决于最终用途，决定因素包括集中供应还是分布式供应，以及氢的转换需求和纯度要求。从规模上看，到 2030 年氢气国际输运成本将达到 2-3 美元/千克（不包括生产成本），大部分成本来自氢的转换和再转换。



图 3 氢输送价值链细分环节成本比较

5、绿氢成本的下降和特定应用将提升氢能终端应用成本竞争力

从总成本（包括氢气生产、分配和零售成本）角度来看，氢能有望成为包括长途卡车、航运和钢铁在内的 22 种终端应用最具竞争力的低碳解决方案，但环境法规、用户需求、投资成本等都将影响投资和购买决策。对于工业部门，较低的氢气生产和分配成本对于成本竞争力尤为重要。预计未来十年炼油行业将转向使用低碳氢；在碳成本低于 50 美元/吨情况下，预计 2030 年欧洲使用绿氢生产的绿氢将具备与灰氢同等竞争力；通过使用废铁和基于氢气的直接还原铁（DRI），绿钢成本将低于 515 美元/吨的粗钢。对于交通部门，较低的氢气成本将使大多数公路运输到 2030 年足以与传统运输方式竞争。虽然电池技术发展迅速，但燃料电池汽车正成为一种补充解决方案，尤其是用于重型卡车（重卡）和远程公路运输等细分领域。对于长途重卡，到 2028 年如果氢气价格达到 4.5 美元/千克（综合考虑生产、分配和加氢站成本之后），燃料电池重卡能够与柴油重卡竞争力相当。此外，氢内燃机为重型采矿卡车等对动力和运行时间要求较高的细分市场提供了可行的低碳替代方案。对于其他交通方式，到 2030 年以清洁氢为燃料将是集装箱船运最经济高效的脱碳方案，其成本将与以重油为燃料相当（CO₂ 成本 85 美元/吨时）。航空领域可通过氢或氢基燃料实现具备竞争力的脱碳，如通过液氢实现短、中程飞机脱碳（CO₂ 成本 90-150 美元/吨时），远程飞机可使用合成燃料实现最优脱碳成本（CO₂ 成本 200-250 美元/吨）。建筑、电力等部门实现具备竞争力的脱碳需在更高 CO₂ 成本下实现，天然气管网的大规模、长期脱碳将促进氢能发展，如英国正部署多个项目将氢气混合至天然气管

网中用于供暖。氢能作为备用电源用于数据中心等场景也将越来越受到重视。

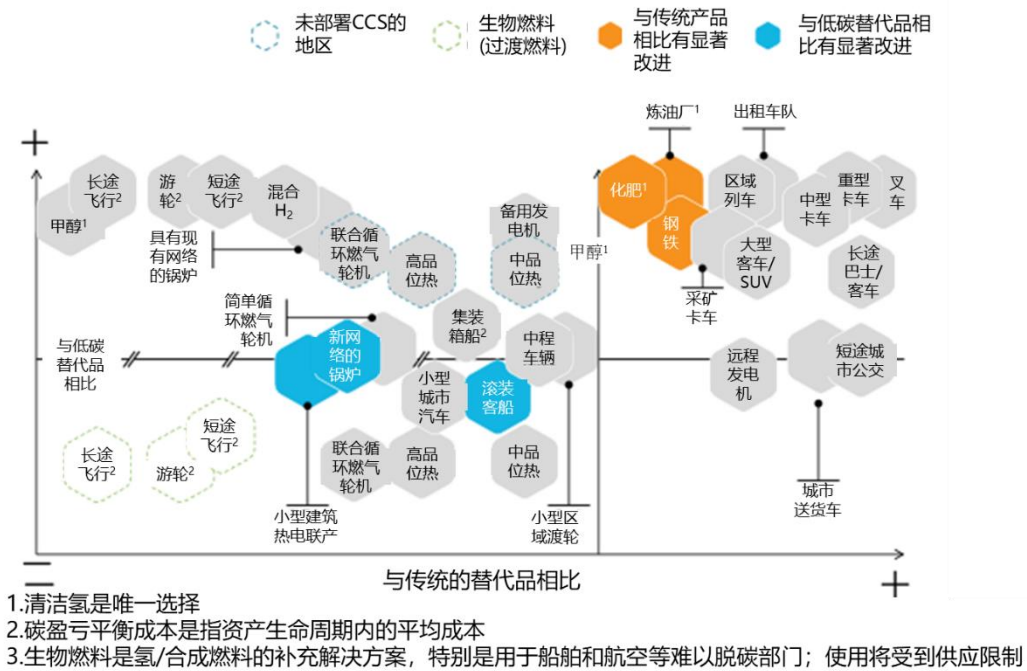


图 4 到 2030 年氢能不同应用的竞争力比较

6、促进氢能发展的措施建议

在财政支持、监管和明确的氢能战略及目标支持下，政府对深度脱碳的坚定承诺引发了氢能行业的空前发展热潮，需持续这一势头并建立长期监管框架。当前，应将发展战略转化为具体措施。各国政府应考虑企业和投资者的投入，制定部门层面战略（例如钢铁脱碳）和长期目标，并通过短期里程碑和必要的监管框架以实现过渡。行业必须建立完备的价值链，扩大制造规模，吸引人才，加速产品和解决方案的开发。扩大规模需要资金投入，投资者将在其中发挥巨大作用。上述都将需要建立新的伙伴关系和生态系统，政府和企业都将在上述工作中扮演重要角色。在理想条件下，电解槽装机容量须达到 65 吉瓦才能使绿氢成本降至灰氢水平，部署上述设备的资金缺口约为 500 亿美元。此外，还需要支持措施以扩大 CO₂ 输运和封存设施的部署，氢气运输、分配和零售基础设施，以及促进氢能的终端应用。推进氢能部署的另一方面工作是构建以大规模氢气用户为核心的集群，这有助于推动价值链的规模化发展，并降低制氢成本。有潜力的氢能用户集群包括：用于燃料装载、货物运输的港口区域；炼油、发电、化肥和钢铁生产的工业中心；资源丰富国家的出口枢纽。

（高天 岳芳）

DOE 成立储能研发中心推进低成本长时储能技术研发部署

3月10日，美国能源部（DOE）宣布斥资7500万美元依托西北太平洋国家实验室（PNNL）建立一个名为“电力储能工作站（GLS）”的国家级电力储能研发中心¹⁰，旨在整合学术界和产业界的研究力量，加快推进先进的、电网级别的低成本长时储能技术研发和部署工作，以并网消纳更多的可再生能源，推进美国电网现代化，有效应对日益增长的电动汽车电力需求。除了上述联邦资金，华盛顿州商务部还承诺向GLS研发中心提供830万美元经费，主要用于先进研究设备和专门仪器采购，用于电池材料性能测试研究。

GLS研发中心计划在今年年底开始动工建造，预计于2025年建成投入运营。中心将设立30个独立研究实验室，其中一些实验室专门负责测试工作，即在现实的电网条件下对新开发的电力储能设施原型和电网储能技术的性能和经济性开展测试评估。GSL还将设立相应的孵化器，加速新开发技术或者设备商业化应用进程。GLS研发中心将重点聚焦三大主题任务，包括：

（1）强化机构协作：GLS研发中心致力于将来自DOE、大学和产业界的研究人员进行网格化有机整合，开展联合攻关，加速低成本、长时电网级储能技术研发和部署步伐；

（2）开展独立测试：GLS研发中心将负责在真实电网运行条件下对下一代电网级储能材料和系统性能开展独立测试工作；

（3）加速研发部署进程：GLS研发中心将通过设立严格的性能指标以降低潜在的风险，确保更加安全高效地开发和部署新技术。

（王珍 郭楷模）

英国石油公司计划开建全英最大蓝氢工厂

3月18日，英国石油公司（BP）宣布将在英国蒂斯德产业集群建设英国最大的蓝氢生产设施，预计到2030年该工厂设备产能将达到1吉瓦，全面投产后将年产26万吨氢气¹¹。该项目名为“H2Teesside”，将通过甲烷蒸汽重整并结合碳捕集与封存（CCS）设施以实现低碳制氢。H2Teesside项目是一个全链条CCS项目，其中还包括一个配备碳捕集装置的850兆瓦天然气电厂，以及一个海上碳运输和封存系统。

BP公司正致力于建设区域氢气生产中心，H2Teesside项目是这一战略布局的一部分。作为BP公司发展氢能业务的重要举措，H2Teesside将建设在蒂斯德工业集群，该地区工业碳排放占英国工业总碳排放的5%以上，预计将为英国政府到2030

¹⁰ DOE Launches Design & Construction of \$75 Million Grid Energy Storage Research Facility.

<https://www.energy.gov/articles/doe-launches-design-construction-75-million-grid-energy-storage-research-facility>

¹¹ BP Details Plan for UK's Largest Hydrogen Project.

<https://www.powermag.com/bp-details-plan-for-uks-largest-hydrogen-project/>

年发展 5 吉瓦氢气生产设施的目标贡献 20%。项目一期 500 兆瓦蓝氢生产设施将在 2027 年前部署，到 2030 年将投运其余产能。BP 称，项目的可行性研究正探索捕集氢气生产过程中高达 98% 碳排放的技术。

BP 公司已经与北方天然气公司（Northern Gas Networks）达成了一项谅解备忘录，计划将氢气注入英国的天然气网，以推进工业和居民用户实现脱碳。BP 公司还与 Venator 公司和蒂斯谷联合管理局签署了合作协议，将开发一个氢气产业集群，并助力当地工业脱碳。BP 公司在一份声明中表示，发展氢能和碳捕集、利用与封存（CCUS）等新型业务，是 BP 向综合能源公司转型战略的重要部分。2020 年 9 月，BP 宣布以 11 亿美元收购挪威 Equinor 公司在美国的海上风电资产。2020 年 11 月，BP 与丹麦能源开发商 Ørsted 公司达成合作，在德国开发一个工业规模绿氢生产项目。

（岳芳）

催化剂固液相转变实现二氧化碳高效稳定催化还原

电催化还原二氧化碳（CO₂）转化为高价值的化学品或燃料，不仅有助于解决温室气体问题，还有助于应对能源危机，可谓一举两得，具有广阔应用前景，因此吸引了科研人员的广泛关注。开发高性能催化剂是该领域的研究热点，目前催化剂主要分为非均相和均相。非均相催化剂由于存在各种各样的缺陷，表面的活性位点往

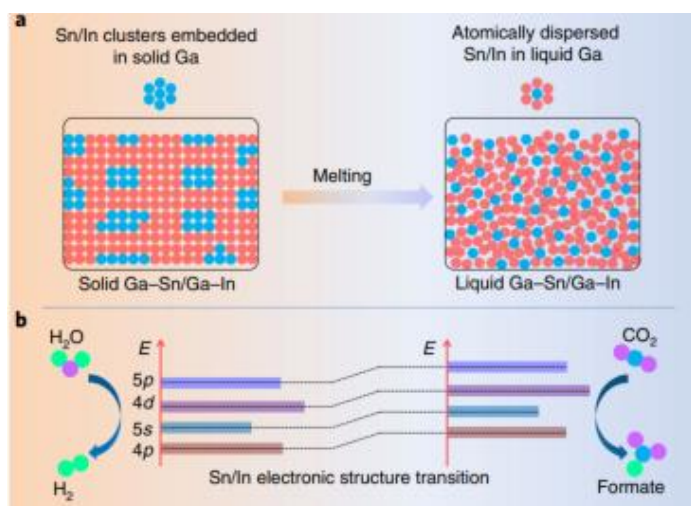


图 1 Ga-Sn/Ga-In 合金催化剂固液相转变微观结构变化及其电子结构变化

往处于不同的局域配位环境，导致出现多活性位点并存现象以及由此造成的产物选择性下降。而均相催化剂由于催化活性中心单一，结构简单清晰，具备更加优异的催化活性和产物选择性。因此，将非均相催化剂均相化有望成为催化性能提升的关键途径。

由中国科学技术大学 Changzheng Wu 教授课题组牵头的联合研究团队以熔融

温度接近室温的金属镓（Ga）作为 CO₂ 还原催化剂锡（Sn）和铟（In）金属的基底，设计制备了合金（Ga-Sn 或 Ga-In）催化剂，研究发现合金固液（从固态到液态）相转变会诱导催化剂发生催化性质转变，使其从非均相转向均相，从而增强了催化活性和产物选择性，为开发设计高效的 CO₂ 电催化开辟了新技术路径。研究人员采用

熔融法制备合成了 Ga-Sn 合金，测试显示该合金的熔点温度约为 20.4℃。随后分别在熔点温度以下（为固态）和以上（为液态）进行了电化学性能测试，结果显示固态 Ga-Sn 合金催化剂催化 CO₂ 还原为甲酸的法拉第效率最大值在 30% 左右，而液态 Ga-Sn 合金催化剂效率则大幅增加到 99%；且后者具备更高的塔菲尔曲线数值，表明了液态合金催化剂在催化还原 CO₂ 反应中有效地抑制析氢副反应。为了研究该方法是否具有普适性，研究人员制备了固态和液态的 Ga-In 合金催化剂并开展了类似的电化学性能研究，发现与 Ga-Sn 类似的实验结果，CO₂ 还原为甲酸的法拉第效率从固态的 30% 左右增长到了液态的 98%。为了探究液态合金潜在的增强机制，研究人员利用原位微观结构表征和第一性原理分子动力学模拟进行联合研究发现：在固态合金中，催化剂 Sn（或者 In）金属以相分离的纳米团簇形态存在，且均匀嵌入到 Ga 的基底中；而在液态合金中，催化剂金属以单原子形态游离在熔融态的 Ga 基底中，也即催化剂从非均相转化为了均相；单原子形态的催化剂具备了更多活性位点暴露面积，因此液态合金催化性能得到增强。进一步的电子结构表征发现，相比于固态，液态金属具有更强的还原性，从而将产物的选择性由固态时的 30% 左右提高到了液态时的 98% 左右，意味析氢副反应得以明显抑制。最后研究人员对催化剂的稳定性开展测试，结果显示固态合金催化剂在运行 50 小时后法拉第效率大幅衰减到了 5% 左右，而液态合金则基本没有出现衰减，仅仅略微减少至 96% 左右，表明液态合金具备更加优异的化学稳定性，主要原因是液态合金具有良好的氧化还原可逆性以及表面组分的可流动性从而表现出良好的自修复特性。

该项研究基于具有接近室温熔点的 Ga 金属基底制备了 CO₂ 合金电催化剂，并将合金从传统固态转变为液态，使得催化剂从非均相转化为均相，获得了增强的催化活性、产物选择性和化学稳定性，不仅为设计开发高性能高稳定性的 CO₂ 电催化剂指明了新方向，还能为其他催化反应催化剂设计优化提供重要的科学参考。相关研究成果发表在《*Nature Catalysis*》¹²。

（郭楷模）

¹² Hongfei Liu, Jun Xia, Nan Zhang, et al. Solid-liquid phase transition induced electrocatalytic switching from hydrogen evolution to highly selective CO₂ reduction. *Nature Catalysis.*, 2021, DOI:10.1038/s41929-021-00576-3

能源战略研究

IEA：新冠疫情使全球碳排放创下二战以来最大年度降幅

3月2日，国际能源署（IEA）发布《全球能源回顾：2020 全球碳排放受新冠肺炎疫情影响情况》主题文章¹³，系统分析了新冠肺炎疫情对2020年全球能源消费和二氧化碳排放造成的影响，关键点如下：

1、新冠肺炎疫情导致全球有记录以来最大的碳排放量下降

新冠肺炎疫情和由此引发的经济危机几乎影响了全球能源生产、供应和消费的各个方面。为此，2020年能源消费和碳排放情况出现了显著变化：2020年化石燃料的消费量出现了大幅下降，而作为清洁能源转型的两个主要组成部分——可再生能源和电动汽车，基本上没有受到影响。

最新统计数据显示，随着2020年一次能源需求下降近4%，全球能源相关的二氧化碳排放量下降了5.8%，是二战以来最大年度降幅。从绝对数值来看，二氧化碳排放量下降了近20亿吨，相当于整个欧盟所有排放量，这是前所未有的。2020年化石燃料的消费需求受到了致命冲击，与2019年相比，石油需求量下降了8.6%，煤炭需求量下降了4%。石油消费需求创下了有史以来最大的年度降幅，贡献了全球排放量降幅的一半以上，其消费所产生的二氧化碳排放量减少了11亿吨。交通运输活动减少导致的石油需求下降占总需求下降的50%，航空业则占35%左右。与此同时，以太阳能光伏、风电为主的低碳能源在全球能源结构中的比重达到了历史新高，超过20%。

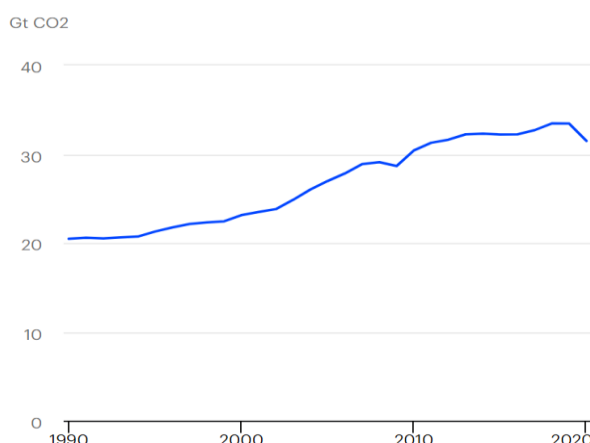


图1 1990-2020年全球能源相关二氧化碳排放量变化态势（单位：十亿吨）

¹³ Global Energy Review: CO2 Emissions in 2020 Understanding the impacts of Covid-19 on global CO2 emissions. <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>

2、交通运输业的碳排放降幅最大

2020年，新冠疫情及封锁措施对交通运输行业造成了巨大影响，诱发了大范围的交通运输活动停滞，进而导致该行业石油消费需求出现了显著下降，使得该行业的二氧化碳排放量大幅下降近11亿吨，占全球二氧化碳排放下降总量的50%以上。由于旅行限制和边境管控，国际航空业受到严重冲击，在2020年4月国际航空业务活跃度达到最低点，比2019年同期降低70%。与疫情前相比，国际航空业的二氧化碳排放量全年下降了近45%（约2.65亿吨），降至1999年的水平，相当于减少了约1亿辆传统燃油汽车的行驶。

公路运输业也受到严重影响，其石油需求较2019年下降10%。全球汽车销售下降了近15%，但电动汽车却逆势上扬，其销量在2020年增长了40%以上，达到300多万辆，主要是受到了欧盟的政策支持及中国刺激措施推动。

交通运输行业通常占石油总需求的60%左右，因此其石油需求的下降是2020年排放量下降的最大原因。而全球交通运输活动的复苏，又会引领全球石油需求和全球二氧化碳排放的反弹。新兴经济体2020年下半年公路运输活动的恢复是排放量反弹的主要原因之一；而发达经济体公路运输活动在2020年下半年一直受到抑制。

3、电力行业加速低碳化转型

2020年，电力部门二氧化碳排放量下降了3.3%（4.5亿吨），其相对和绝对降幅均是有记录以来的最大值。一方面是因为2020年新冠肺炎疫情减少了电力需求，另一方面则是可再生能源发电的加速扩张。可再生能源在全球发电量中的比重从2019年的27%上升到2020年的29%。在过去十年里，可再生能源在电力行业中的应用对该行业的碳排放量产生了越来越大的影响，年均降幅达到了10%。尽管受到疫情的冲击，可再生能源在2020年仍然加速发展。相较于2019年，可再生能源在降低电力行业排放方面的贡献增加了50%。

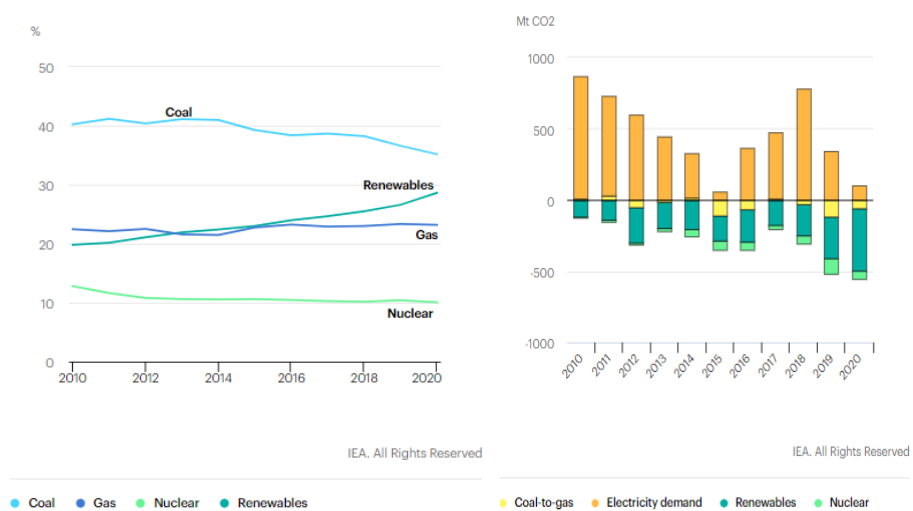


图 2 2010-2020 年电力结构变化（左图）和电力行业碳排放变化态势（单位：百万吨）

4、月度数据显示经济活动正在迅速恢复，碳排放逐渐回升

各个地区对新冠肺炎疫情的不同反应以不同方式影响了碳排放。平均而言，发达经济体在 2020 年的年排放量下降幅度最大，平均下降近 10%，而新兴市场和发展中经济体的排放量相比 2019 年只下降了 4%，而大多数经济体下降了 5 到 10 个百分点。2020 年，中国是唯一一个二氧化碳排放量增长的主要经济体，与 2015-2019 年期间的平均增长率相比，中国的排放增速仅下降了一个百分点。

去年，IEA 首次开始每月追踪能源需求和二氧化碳排放变化情况，这为了解新冠肺炎疫情对能源领域的影响提供了有效的工具。2020 年 1 月，天气是全球二氧化碳排放量下降的主要驱动力，由于天气比往年同期要温和，美国、德国、英国和俄罗斯等国的供暖需求比 2019 年同期减少了 15%-20%。2 月下旬开始，新冠肺炎疫情的影响逐渐增大；到 4 月，大多数发达经济体都施加了各种形式的出行和旅行限制，全球排放量出现了最大的月度下降。随着第一波疫情得到有效控制，经济活动在年中时有所恢复，排放量也随之反弹。在 2020 年下半年反弹势头进一步加强。到 2020 年 12 月，全球排放量还比 2019 年同期高出了 2%。

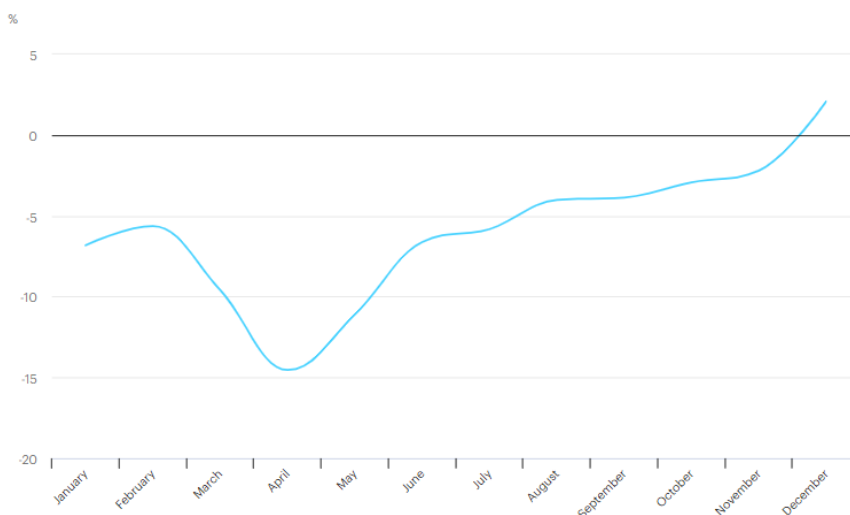


图 3 2020 年度全球月度碳排放增幅变化态势（相比 2019 年）

5、地区差异

主要碳排放国家经济活动的复苏推动了能源需求恢复，支撑了 2020 年后期全球二氧化碳排放量的反弹。许多经济体的排放量甚至超过了新冠疫情之前的水平。中国是第一个摆脱新冠肺炎疫情影响并解除限制的主要经济体，与 2019 年同期相比，2020 年 12 月中国碳排放量增加了 7%。随着经济环境的改善和限制的放松，印度 9 月份的碳排放量上升到 2019 年以上的水平。巴西第三季度末道路运输活动的复苏推动了石油需求的复苏，而 2020 年下半年天然气需求的增加将排放量推高至 2019 年水平之上。2020 年，美国碳排放量下降了 10%。但从月度来看，排放量在 4 月和 5 月触及历史低位后开始反弹，12 月，美国的排放量已接近 2019 年同期水平，这是由

经济活动复苏、天然气价格上涨和天气转冷共同导致煤炭使用量的增加所致。

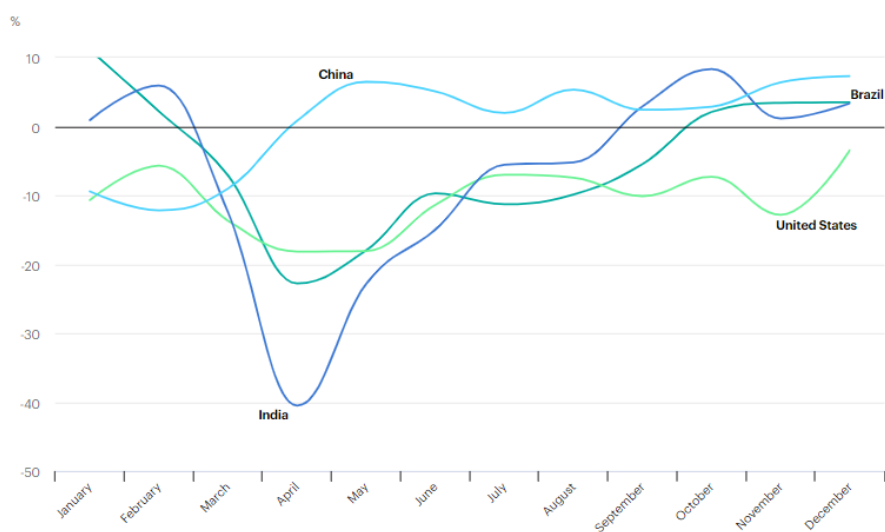


图 4 2020 年度主要碳排放国家月度碳排放增幅变化态势（相比 2019 年）

中国是世界上最大的二氧化碳排放国，也是第一个受到新冠肺炎疫情影响的国家。由于经济活动受到限制，2020 年 2 月份的二氧化碳排放量比 2019 年同期下降了 12%。4 月经济复苏后，月度排放量恢复到 2019 年水平以上。下半年后排放量平均比 2019 年增加 5%。中国 2020 年度二氧化碳排放增长了 0.8%。

印度 2020 年二氧化碳年排放量下降了 7%。2020 年 4 月，印度实施了全国性封锁，与 2019 年 4 月相比，当月的排放量大幅下降了 40%，这是主要经济体经历的单月最大降幅。为适应电力需求的下降，印度减少了燃煤电厂发电量，使得燃煤发电厂的年排放量与 2019 年相比下降了 5%，但可再生能源发电量增长了近 4%，在发电结构中的份额增加到 22%。随着大多数工业生产和货运在封锁期间陷入停滞，交通运输和工业部门的二氧化碳年排放量均下降了近 5000 万吨。这导致印度许多主要城市的空气污染水平创下近年来的最低纪录。9 月经济活动开始复苏，印度能源需求恢复至 2019 年水平。

新冠肺炎疫情对发达经济体的影响从最初的三月和四月封锁阶段一直持续到下半年的大部分时间，多国经济活动在上述时间内一直保持在较低水平。2020 年的最后几个月，由于许多国家实施了新的出行限制使得经济活动水平再次下降。尽管如此，第二轮封锁对能源需求的影响要小于第一次封锁，许多发达经济体已经走在了逐步实现排放量回升的道路上。

在美国，由于没有实施全国性封锁使得新冠肺炎疫情危机对总体能源消费需求和排放的影响被弱化。尽管如此，由于一些州实施了居家令，加之疫情大流行引发的经济危机，导致美国年度二氧化碳总排放量下降了 10% 以上。交通运输行业排放量下降最多，4 月份由于交通活动的减少，碳排放下降了 14%。近年来，美国的碳排

放量一直呈下降趋势，主要原因是电力结构的变化。2015-2019 年间，随着天然气价格逐步走低、煤改气的转变以及可再生能源的快速增长，燃煤发电的排放量下降了 27%。这一趋势在 2020 年进一步加速，加上电力需求下降导致燃煤发电的排放量进一步下降 20%。若非下半年天然气价格上涨，煤炭需求还会进一步下降。

2020 年，欧盟大部分成员国都实施了多种的出行限制和封锁措施。与 2019 年相比，欧盟年度二氧化碳排放量下降了 10%。欧盟的电力需求下降以及可再生能源发电量增长（增加 8%）导致燃煤发电量下降了 20% 以上，使得可再生能源在发电中的比重在 2020 年升至创纪录的 39%，比 2019 年高出 4 个百分点。由于严格国家封锁措施和欧盟内部旅行限制，交通运输部门的石油需求下降了 12%。在德国，由于电力需求减少，风能和太阳能发电量增加，使得德国能源相关的二氧化碳排放量下降了近 9%。在法国，碳排放量比 2019 年减少了 11%，交通运输行业的二氧化碳排放量减少了近 2000 万吨，占法国两次全国性封锁带来的碳排放减少总量的 60%。

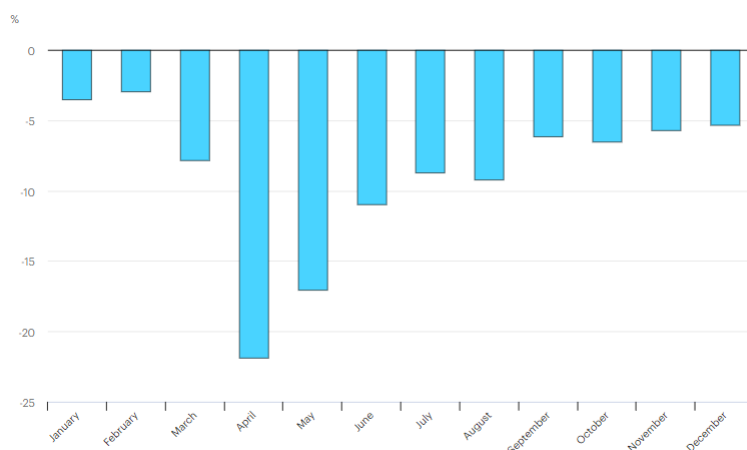


图 5 2020 年度欧盟国家月度碳排放增幅变化态势（相比 2019 年）

6、2020 年情况对未来发展趋势的影响

尽管 2020 年全球二氧化碳排放量创下了有记录以来的最大降幅，但许多经济体的能源需求和排放量正在迅速反弹，凸显了 2021 年二氧化碳排放量大幅增加的风险。2021 年及以后的能源需求和排放情况将取决于各国在未来几个月推动经济复苏努力中对清洁能源转型的重视程度。想要避免排放量反弹，就必须迅速改变生产和使用能源方式。

确保 2019 年成为全球二氧化碳排放量的峰值年，这对全球各国而言是一个极大挑战。2020 年许多国家的电力系统并入了更高比例的可再生能源并实现了稳定供电，成功保持医院照明系统和通信系统正常运行。这使得在未来对使用更高比例可再生能源的大型电力系统的稳定运行更有信心。此外，消费者对电动汽车的兴趣日益增长，而厂家提供的电动汽车型号数量也在不断增加。

（王宏杨 郭楷模）

欧洲光伏产业协会：2024 年欧盟光伏装机有望接近 300 GW

近期，欧洲光伏产业协会（SolarPower Europe）发布《2020-2024 年欧盟太阳能光伏市场展望》报告¹⁴，系统回溯了 2020 年欧盟光伏市场发展情况，并对未来四年的发展形势进行了展望分析，关键点如下：

尽管新冠疫情给欧洲社会经济造成了严重影响，但 2020 年欧盟光伏市场依旧强劲增长，新增光伏装机容量 18.7 GW，较 2019 年（16.2 GW）增加了 11%，是 2011 年以来增长最强劲的年份，使得欧盟累计装机容量达到了 137.2 GW，同比增长了 15%。总体而言，2020 年欧盟各国光伏市场都取得了不同程度的增长，27 个成员国中有 22 个国家的太阳能光伏新增装机容量比去年多。其中德国、荷兰、西班牙、波兰和法国是新增装机容量排名前 5 的国家。德国以 4.8 GW 新增装机领跑，增长主要受益于中大型商用光伏电站（40-750 kW）上网补贴政策以及光伏发电成本竞争力稳步提升。荷兰新增 2.8 GW，排名第二，较 2019 年增长了 23%；该国今年占据最大市场份额的依旧是商用屋顶光伏接近 50%，地面电站依旧保持在 20% 左右，还出现了如漂浮光伏或者太阳能车棚等多种利用方法。西班牙以 2.6 GW 新增装机容量排名第三，比去年下降了 45%，主要原因是新冠疫情使得许多中小企业纷纷推迟甚至放弃了商业屋顶光伏项目。波兰新增装机 2.2 GW，位列第四，主要受益于出台一系列激励政策，如降低增值税、所得税，以及低息贷款等。法国新增装机 0.9 GW，较去年减少 7%，导致其排名下降一位至第五名。上述五个国家新增装机容量之和占到了同期欧盟新增装机总量的 74%。如果将考察对象进一步拓展到新增装机前 10 个国家，会发现上述占比数值会进一步攀升到 90%。得益于新增装机容量的增长，截至 2020 年底欧盟累计太阳能装机容量增至 137.2 GW，同比增长了 14%。

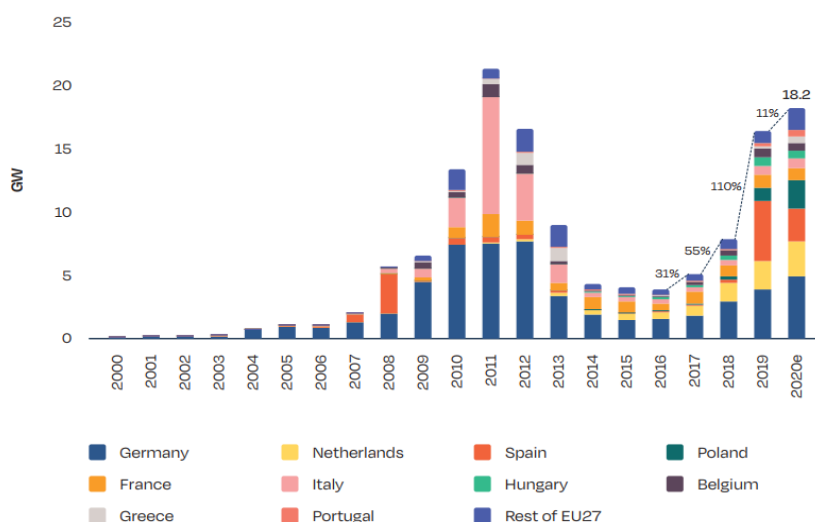


图 1 2000-2020 年欧盟成员国新增太阳能光伏装机容量变化态势（单位：GW）

¹⁴ Double-digit growth: EU solar market defies expectations to add 18.7 GW in 2020.
<https://www.solarpowereurope.org/double-digit-growth-eu-solar-market-defies-expectations-to-add-18-7-gw-in-2020/>

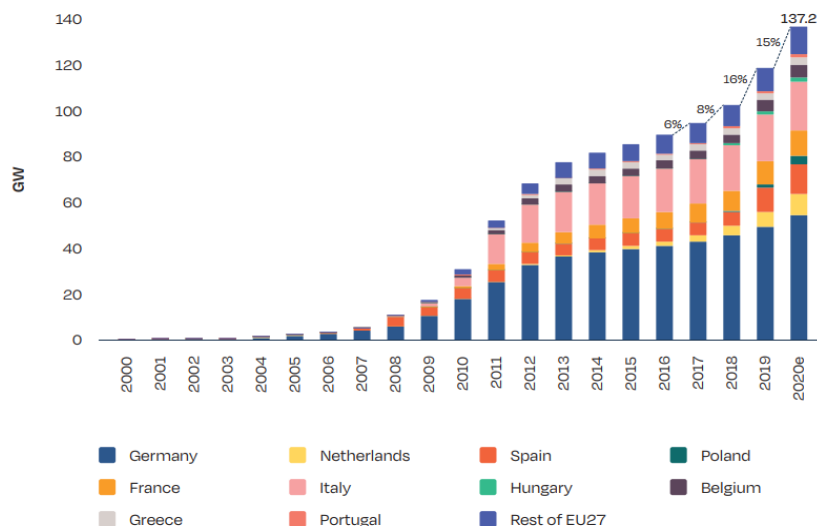


图 2 2000-2020 年欧盟成员国累计太阳能光伏装机容量变化态势 (单位: GW)

尽管受到疫情冲击,但 2020 年欧盟光伏市场仍然取得了增长,展望未来 4 年(2021-2024 年)预计仍将延续增长态势。报告通过情景模拟(高增长情景、中间情景和低增长情景)对未来 4 年欧盟光伏市场发展做出展望:预计 2021 年欧盟光伏市场年度新增装机容量不少于 14.9 GW,有望突破 28 GW,累计装机容量将达到 145.1-173.1 GW 之间(不同情景预测结果不同,下同);到 2024 年,年度新增装机容量则有望突破 40 GW,累计装机容量将达到 200.3-292.8 GW。但无论哪种模拟情景,预计到 2024 年欧盟光伏市场仍将一片欣欣向荣。就具体国家而言,到 2024 年新增装机容量(相比 2020 年水平)排名不会有太大变动,预计 2021-2024 年间新增装机容量排名前 10 位的国家依次为德国(预计新增 15.0-32.2 GW)、西班牙(8.6-20.4 GW)、荷兰(10.2-19.9 GW)、法国(8.0-13.8 GW)、波兰(3.3-13.0 GW)、意大利(2.8-10.2 GW)、葡萄牙(2.6-9.1 GW)、希腊(2.2-5.2 GW)、丹麦(1.6-3.7 GW)和保加利亚(0.7-3.1 GW),届时上述 10 个国家 4 年间新增装机容量之和有望达到 55.1-130.7 GW。

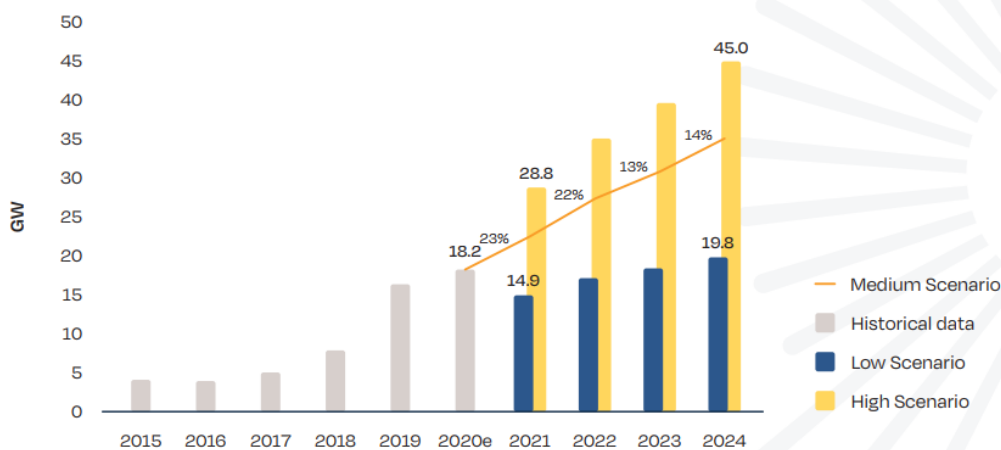


图 3 到 2024 年不同情景下欧盟光伏年度新增装机容量发展趋势预测 (单位: GW)

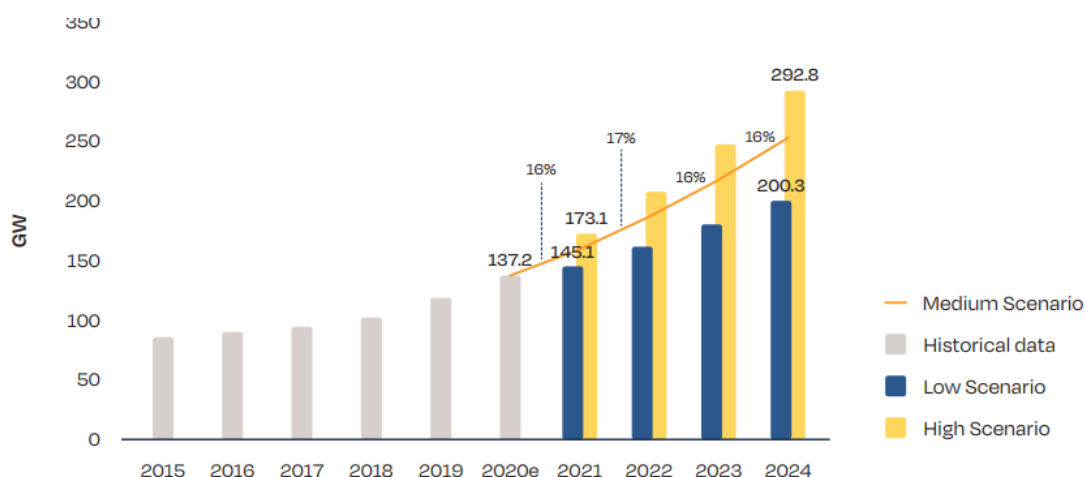


图 4 到 2024 年不同情景下欧盟光伏累计装机容量发展趋势预测（单位：GW）

上述预测值高于欧盟制定的国家能源与气候计划设定的目标，乐观的预测数值主要有 5 个方面的依据，包括：（1）光伏发电成本持续下降。美国投资银行 Lazard 最新版的《2020 年能源度电成本报告》显示，公用事业规模的光伏度电成本同比下降了 7% 至 0.04 美元/千瓦时，比任何其他能源的电力成本都要低；（2）光伏在基于成本的技术中立型能源招投标项目中的中标比例不断增加，比如在法国、西班牙、丹麦以及德国，受到越来越多的政府青睐；（3）光伏的低成本为无补贴光伏系统创造了商业发展的有利条件，近年来选择光伏发电的企业数量急速增加；（4）太阳能多样化应用场景（如太阳能停车场、太阳能电动汽车、漂浮式光伏电站和光伏农业等）和强劲的成本竞争力使其展现出无与伦比的吸引力，吸引了越来越多企业入局；（5）在欧盟碳中和“绿色协议”和“循环经济”低碳战略指引下，各种政策将直接或间接促进光伏的发展。

（程向阳 郭楷模）

国际能源署四项建议推动日本实现 2050 碳中和目标

3 月 4 日，国际能源署（IEA）发布《日本能源政策评估》报告¹⁵指出，自 2011 年福岛核事故后，日本在增强能源系统效率、弹性和可持续方面取得了显著进展：核能发电安全有序重启、可再生能源部署规模逐步扩大、能源效率不断提升、能源结构多元化程度增强等，减少了日本对进口化石燃料的需求，促使日本温室气体排放量自 2018 年达到峰值后持续下降。尽管做出了种种努力，但由于能源资源匮乏，日本高度依赖进口化石燃料的局面仍未改变。2019 年，日本化石燃料占一次能源供应总量（TPES）的 88%，在 IEA 成员国中排名第六，日本发电的碳强度在 IEA 成员国中居于最高水平。因此要想实现 2050 年碳中和目标，日本必须进一步加强低碳能

¹⁵ Energy Policy Review: Japan 2021 Review. <https://www.iea.org/reports/japan-2021>

源技术研发力度，解决相关的监管和制度障碍，大幅加快其部署进程。为此，近年来日本政府从根本上重新思考了其能源政策，并采取了一系列措施：

日本碳中和战略愿景。2020年12月，日本政府出台了《绿色增长战略》，阐明了日本实现2050年碳中和目标的路线图，提出了相关产业的发展目标及其进度表。通过这项战略，日本政府将与企业一道共同努力实现经济增长和环境保护的良性循环。具体而言，该战略对涉及核能、氢能、汽车、半导体等在内的14个重点领域提出了具体发展目标和重点任务，希望通过可再生能源的逐步扩张，核能的安全重启、低碳制氢、碳捕集等新技术的推进，推进电力部门脱碳。该战略预计，到2050年可再生能源将提供50%-60%的电力需求，核电和耦合碳捕集、利用和封存技术（CCUS）的火力发电合计提供30%-40%，剩余10%来自燃氢/氨发电。

氢能有望在日本的清洁能源转型和碳中和战略中发挥核心作用。日本是最早推出氢能战略的国家之一，该战略旨在使氢气的成本具备与天然气相当的竞争力。围绕氢能产业，日本的目标是到2030年部署80万辆氢能燃料电池汽车，在超过500万家庭中部署燃料电池，并建立国际氢能产业供应链。日本还在试验大规模燃氢发电。此外，由于日本对化石燃料的高度依赖，CCUS是另一个重点关注领域。日本政府要求新建造的天然气和燃煤电厂具备良好的后期改造特性，以便日后可以随时部署CCUS，这有助于避免新建电厂沦为闲置资产。由于封存地点有限，日本非常重视碳回收。但是鉴于该技术潜力的不确定性，推广其他低碳技术应继续作为重点，以减少日本对碳密集型资产的依赖。日本政府还提出了到2030年淘汰低效燃煤电厂的承诺，并表示将彻底改变日本的燃煤发电政策。

迄今，日本主要依靠监管措施和自愿协议实现其气候目标。IEA认为强化市场手段可能会是日本有效降低排放成本，促进CCUS和其他低碳技术创新、进一步提高日本能源效率的一种政策选择。与其他IEA成员国相比，日本对能源使用产生的二氧化碳排放征收费用的价格较低。IEA认为日本可以更好地利用价格引导终端消费者和工业部门改变用能方式，增加应用低碳技术，减少二氧化碳排放，并将工业投资转向创新技术；但这种价格信号必须谨慎设计，以避免给终端用户电价造成负面影响。《绿色增长战略》中呼吁就碳边界调整机制进行讨论，以确保日本企业与外国竞争对手处于公平的竞争环境。该战略似乎还在暗示通过呼吁监管改革引入更为稳健的经济机制，其中可能包括信贷交易、碳税等市场工具。这标志着日本气候政策出现了较大的调整变化，也标志着其先前在碳定价方面的立场发生了转变。

至2030年的主要能源发展目标。实现2050年碳中和目标，日本需要迅速实施一系列政策，使碳排放量尽快开始大幅减少，最迟不能晚于2030年。《绿色增长战略》将深刻影响目前正在讨论的下一期能源基本计划，包括对2030年能源结构目标做出修正。日本的能源政策遵循“3E+S”原则，即能源经济性、效率、环境可持续

性和安全性。2018年通过的第五期能源基本计划提出到2030年实现更加多样化的能源结构，提升可再生能源份额，重启核电，提高化石能源效率等发展目标。具体而言，到2030年，可再生能源在TPES中的比重将从2019年的8%提高到13%，可再生能源发电量比重预计将从2019年的19%增长到24%。

近年，日本太阳能光伏在优惠上网电价政策的推动下快速发展。尽管如此，日本还需要加大努力以促进其他可再生能源发展（如风能、地热能等），更好推进能源系统低碳转型。在电力部门，主要挑战包括改善日本不同地区电网之间的连通性，进行监管改革改善电力系统灵活性从而整合更多的波动性可再生能源。而在供热和交通运输部门，由于缺乏政策支持，可再生能源在上述两个部门的增长仍旧缓慢。

依据第五期能源基本计划，2030年核能在TPES中的比重将从2019年的4%增长到至少11%，要实现上述目标则要求核电反应堆运行数量从9个增加到至少30个。这将需要政府、监管机构和电力公司的通力合作，提高安全标准，并与当地社区进行广泛沟通，重新获得社会对核能发展的认可。化石燃料方面，2030年其在TPES中所占比重预计提升到76%。但考虑到新宣布的2050年实现碳中和的目标，有必要在2030年前提高零排放电力比重，而2021年将发布的新一期国家能源基本计划是一个合适契机。

电力和天然气市场改革。2011年福岛核事故加速了日本政府改革电力市场步伐，同时也促进了国内天然气市场的改革。电力市场改革的主要措施包括：2016年全面放开电力零售市场以及2020年4月对10家垂直整合电力公司进行法律分拆。尽管现有企业的零售业务仍占电力零售总额的85%，但随着新玩家的入局，日本电力零售市场的竞争将日益加剧。目前，日本正在着手建立新的市场（包括基本负荷、容量和非化石证书市场）以消除市场壁垒，进一步促进竞争。政府也会对新市场开展密切监测。2020年6月，日本通过了新的电费法案，开启了电力市场改革新阶段。该法案调整了电力传输费用，以刺激对传输和分布式网络的投资。法案还加强了跨区域电力传输运营商协调组织（OCCTO）的作用，该组织成立于2015年，主要任务是在全国范围内平衡电力供应和需求，并改善整个日本境内的跨区域电网的电力交换。而在天然气市场改革方面，2017年日本已经完全放开天然气零售市场，2022年4月前会将垂直整合的天然气公司业务进行拆分。日本政府加大了对天然气供应的安全性关注，并正在讨论如何在天然气供应和储存上采取综合措施，以减轻天然气短缺对电力和天然气市场的影响。日本需要通过尽早和全面实施电力和天然气市场改革来加强竞争，以实现提高供应安全和降低最终用户成本的目标。

增强能源部门的弹性和韧性。作为岛国，日本资源有限，且没有国际的天然气管道和电力连接网络，能源安全面临根本性挑战。2014年，日本化石燃料的进口依赖度高达94%。该数值在2019年降到了88%，主要是因为日本政府采取了一系列措

施，包括重启核电、扩张可再生能源部署、压缩能源需求等。

增强能源部门的弹性和韧性是日本应对能源安全挑战的重要手段。目前，日本已成功实现了液化天然气（LNG）进口来源的多元化，但石油进口仍高度集中在少数中东供应商。同时，日本石油储备处于全球领先地位，这有助于抵御地缘政治风险和全球性重大危机事件冲击。传统上，日本的电力安全处于国际较高水平。但是，近年来发生的一系列自然灾害造成了长期的大规模停电，凸显了当前能源系统依旧存在脆弱性一面，系统的弹性和韧性需要改进。随着电力系统中波动性可再生能源份额增加，维护电力安全稳定供应将面临更加严峻的挑战。由于日本的电网具备了高度区域分散特征，互联程度较低，难以有效平衡全国供需状况。针对上述问题，2020年6月日本立法修改强化了对分布式电力系统作为电力公司灾害响应准备的重要作用，除此之外日本也在推进加强电力互联互通的措施。

报告最后强调，日本拥有强大的科技基础，但其能否顺利实现碳中和战略目标很大程度上有赖于技术创新和政策措施。为此，报告给日本政府提出了四方面的战略建议：

- （1）尽快制定和出台支撑 2050 年碳中和目标的能源战略和路线图。
- （2）建立价格信号以进一步激发能源产业各利益相关方投资高效低碳技术的热情。
- （3）鼓励业界加强对电网的投资，改善电力系统运营，以实现经济方式集成耦合更高比例的可再生能源，实现低碳电力来源的多元化，增强电力供应安全。
- （4）推进电力和天然气市场改革，使电力和天然气市场监督委员会成为更加独立的监管机构。

（王珍 郭楷模）



《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