



WHEN TRUST MATTERS

2021年 能源转型 前景展望 执行摘要

至 2050 年的全球和区域预测



前言

这是 DNV 发行的第五版《能源转型前景展望》(ETO) 年刊。五年来,我们一直都说,全球能源系统未来最有可能的情况是到 2100 年将导致全球变暖超过 2°C,今年我们的结论依然如此。

全球变暖的影响正在显现,令人担忧;我相信,人类对于自身面临的长期风险有了更广泛的认识。然而,尽管人们的看法可能已经改变,但现实依然如故。每年,在本前景展望的前言中,我都强调政府和企业需要对气候变化采取果断行动。COVID-19 不仅仅证明了政府可以大胆行动。但从能源转型的角度来看,这次疫情是一个错失的机会。经济复苏计划主要侧重于保护而不是改变现有行业。但也有例外,与一年前相比,我们预测的未来 30 年的清洁能源略有增加。

然而,全球仍迫切需要采取大规模的行动,我们的预测为此类努力的方向提供了明确的指南。在我们的预测期内,风能和太阳能光伏将分别增长 15 倍和 20 倍。随着电池储能的成本下降和技术进步,波动性可再生能源已经使火力发电逐步淘汰,到 2030 年,这方面的商业案例将变得数不胜数。

到 2050 年,电力需求将增加一倍以上,到那时,80% 以上的电力将由非化石能源提供。与之相关的能效是惊人的,无论是在避免发电的热量损失还是在电动汽车和热泵等的最终使用方面。但问题是,即使从今天起所有电力都是“绿色的”,到 2050 年,人类仍无法实现净零排放。

并不是一切都能电气化。这就是解决高热、航空、航运和货车运输等难以减排的行业变得如此紧迫的原因。然而,我们的预测显示,氢能只会在 2030 年代末才大规模进入这一领域。

这已经太迟了;气候科学指出,在我们采取行动之前允许排放累积存在相当大的风险。

结论是明确的——世界需要多得多的绿色电力(无论直接的或间接的)、更多的生物燃料以及更多的碳捕获与储存(CCS),而且时间跨度大大加快。

今年 10 月,我们将发布我们的第一份《实现净零排放的途径》报告,其中会详细介绍如何最大程度地缩小这一预测与符合《巴黎协定》的预测之间的差距。我们必须动员“第四次工业革命”的所有力量,实现绿色能源转型,包括为这一转型提供资金的创新方式。今年,我们在补充报告中讨论了该关键问题——为能源转型融资。



Remi Eriksen

集团总裁兼首席执行官

DNV

重点

核心洞察

1. 我们无法实现巴黎的宏伟目标；缩小这一差距只有很短的时间窗口

- 到 2030 年，全球与能源相关的排放量仅会下降 9%，1.5°C 的碳预算将被耗尽
- 我们估计到本世纪末，全球平均气温上升将达到 2.3°C

2. 电气化正在迅猛发展，可再生能源将超过所有其他能源

- 到 2050 年，最终能源需求的电气化份额将从 19% 增长到 38%，主要由太阳能和风能推动
- 到 2032 年，电动汽车将占乘用车总销量的 50%
- 热泵的使用将增加两倍，到 2050 年提供 32% 的热量，同时消耗 9% 的能源用于供暖

3. 能效的提高将导致能源需求从 2030 年代起开始趋平

- 能效仍然是我们应对气候变化的最大未开发资源
- 在未来三十年，能源强度（每美元 GDP 的能源单位）将以每年 2.4% 的速度改善，超过 GDP 增长
- 能效的提高主要由电气化推动

4. 化石燃料正逐渐失去地位，但到 2050 年仍将保持 50% 的份额

- 天然气保持目前的地位，石油需求减半，煤炭的使用量到 2050 年下降到目前的三分之一
- CCS 的部署速度太慢，到 2050 年仅将减少 3.6% 的化石 CO₂ 排放

2021 年新洞察

1. COVID-19 经济复苏支出是一个错失的机会

- 除欧盟以外，COVID-19 刺激方案在很大程度上锁定于碳密集型系统

2. 波动性和低电价不是可再生能源电力系统的障碍

- 电力转换、储能、连接性、需求响应和碳定价都将有助于太阳能光伏和风能保持竞争力
- 太阳能 + 储能正成为一种新的发电厂类别，到 2050 年将提供所有并网电力的 12%

3. 要实现难减排行业的脱碳，需要对氢能、合成燃料和生物燃料进行更大幅的规模扩张

- 到 2050 年，氢能和合成燃料加起来只能满足全球能源需求的 5%
- 航空、海运和重工业将增加相对的排放量，并且仍然大量使用未减排的化石燃料

4. 到 2050 年，大部分氢气将由专用的可再生能源电解槽生产

- 绿氢将随着时间占据主导地位，18% 的氢气供应来自使用廉价电网电力的电解，43% 来自使用专用离网可再生能源的电解
- 蓝氢将失去其成本优势，到 2050 年仅为能源目的提供 19% 的氢气供应

重点 - 核心洞察

我们无法实现巴黎协定的宏伟目标；缩小这一差距的机会窗口期很短

全球排放量可能已在 2019 年达到峰值，随后在 2020 年，由于 COVID-19 的影响，排放量史无前例地下降了 6%。现在，排放量再次大幅上升，并将在未来三年内增加，然后开始下降。

虽然可再生能源正在以极快的速度增加，但目前往往是对火力发电的补充，而不是完全取代后者。到 2030 年，全球与能源相关的 CO₂ 排放量可能只会比 2019 年减少 9%，到 2050 年只会减少 45%。这与到 2030 年将温室气体排放量减半以及在 2050 年实现将全球变暖控制在 1.5°C 所需的净零排放的目标形成鲜明对比。我们的预测是，我们最有可能朝着到 2100 年全球变暖 2.3°C 的情况发展。

随着 CO₂ 排放量的不断累积，采取行动的机会窗口每年都在缩小。在本世纪后半叶依靠大规模净负排放技术和脱碳是一种危险的、高风险的方法。随着全球变暖，零点几度都很重要，所有减少排放的方案都需要紧急实施。

电气化正在迅猛发展，可再生能源将超过所有其他能源

到目前为止，电气化是能源转型中最具活力的因素。电力在全球最终能源需求中的份额将在未来 30 年内翻一番，从 19% 增加到 38%。

太阳能光伏和风能已经是几乎所有地方最便宜的新能源形式，十年内在大多数地方也将比运营现有的火电更便宜。到 2050 年，太阳能和风能将占并网发电量的 69%，而化石能源仅占 13%。连接性、储能和需求响应将是脱碳电力系统的关键资产。

在需求侧，欧洲、中国以及在一定程度上美国的乘用车及商用电动汽车的普及率正在迅速上升。政府在电池和充电基础设施方面的激励措施、成本降低和技术改进将推动快速扩张。到 2032 年，全球新售出的所有乘用车中有一半将是电动的，一些地区由于基础设施的挑战而有所落后。在建筑物中，热泵的使用将增加两倍，到 2050 年提供 42% 的空间热量，而只消耗 15% 的能源用于空间供暖。

图 1

全球能源相关 CO₂ 排放

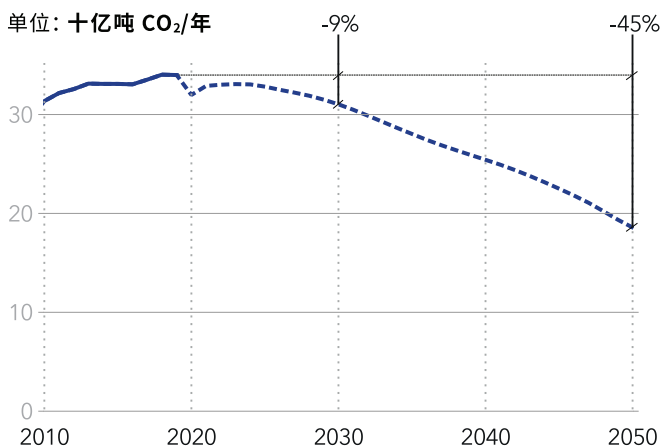
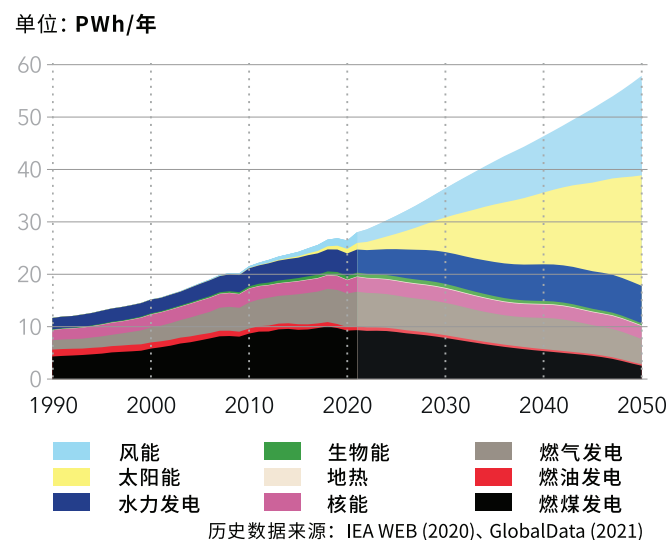


图 2

全球并网发电量 (按发电机组类型)



能效的提高将导致能源需求从 2030 年代起开始趋平

能效是能源转型的无名英雄，应该是企业和政府的头等大事。许多能效措施都有边际成本，甚至是负成本，但由于激励机制分散和/或缺乏长远思考，需要行业标准和法规来确保实施。

在我们的预测期内，能源强度（每美元 GDP 的能源单位）的平均改善率将达到 2.4%/年，而过去 20 年的平均改善率为 1.7%/年。绝大部分的能效加速与电气化有关，其余部分则主要源自最终用途的能效改进，如更好的绝缘。能效提高最大的是运输业，但制造业和建筑业的能效也有显著提高。

尽管未来 30 年人口会增长 22%，全球经济会增长 111%，但总体能效的提高将导致全球能源需求趋于平稳。从 2019 年到 2035 年，全球能源需求仅会增长 8%，此后 15 年基本持平。

化石燃料正逐渐失去地位，但到 2050 年仍将保持 50% 的份额

几十年来，化石燃料的份额占全球能源结构的 80%。我们预测，到本世纪中叶，化石燃料的使用将减少，但仍占能源结构的 50%，这证明了化石能源在脱碳时代的惯性。

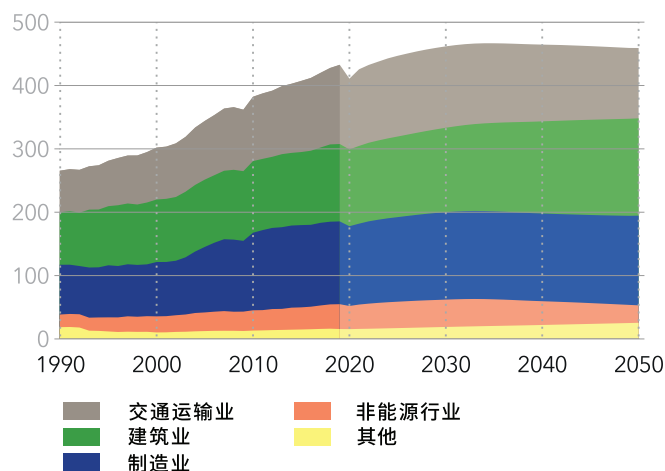
煤炭使用量下降最快，到 2050 年将减少 62%。石油使用量在 2025 年前将保持相对持平，之后开始稳步减少，到本世纪中叶略高于当前水平的一半。天然气使用量将在未来 10 年增长，然后在 15 年内保持平稳，并于本世纪 40 年代开始减少。天然气将超过石油成为最主要的能源，到 2050 年将占全球能源供应的 24%。

脱碳化石能源是实现《巴黎协定》的一个重要方面，但据预测，CCS 的实施速度将非常缓慢，主要原因在于成本，到 2050 年仅减少 3.6% 的化石 CO₂ 排放。

图 3

世界最终能源需求（按行业）

单位：艾焦/年

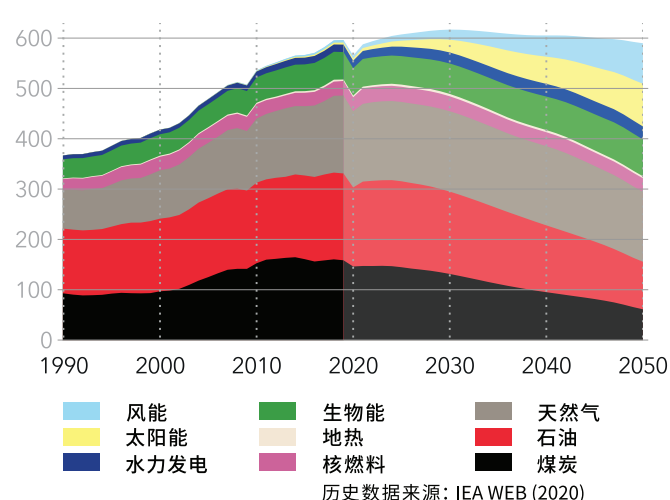


历史数据来源：IEA WEB (2020)

图 4

全球一次能源供应（按来源）

单位：艾焦/年



历史数据来源：IEA WEB (2020)

重点 - 新洞察

COVID-19 经济复苏支出是一个错失的机会

政府采取干预措施阻止病毒传播，然后重启经济活动，展示了国家和全球采取的行动有多高效。类似的行动和资金尚未用于应对逐渐显现的全球气候危机。

过去 20 个月向全球经济注入的数万亿美元主要用于补偿工资等紧急措施，以及重建现有的经济和工业引擎。然而，绿色重启生产、运输和经济活动的机会是独一无二的，正如我们在 2020 年 ETO 中所写的那样，“后 COVID-19 时代的刺激方案具有改变转型速度的潜力。”除了一些值得注意的例外，特别是在欧盟，各国政府并没有引导复苏支出实现脱碳的结果。

全球 CO₂ 和温室气体排放量在 2020 年下降了 6%，但今年将再次上升。虽然排放轨迹略有下降，但下降原因是经济活动的停滞，而并非能源系统的更新。整体的转型步伐没有加快，这是一个错失的机会。

波动性和低电价不是可再生能源电力系统的障碍

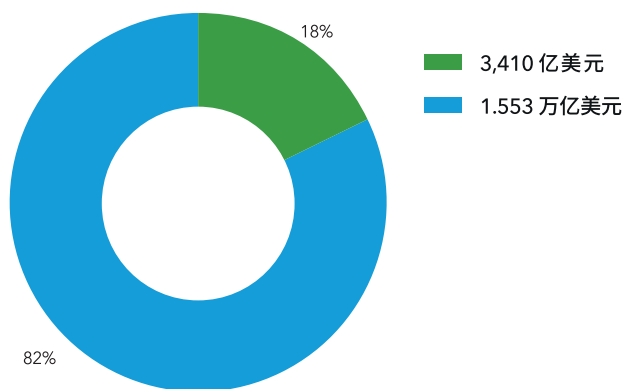
当前的电力系统并没有把波动性可再生能源作为主要的生产源。然而，快速下降的成本、政府对可再生电力建设的支持以及碳定价，将确保可再生能源最终将在发电中占据主导地位。在未来 30 年，有 12 万亿美元将投资建设更大的电网，并通过连接性、储能和需求响应等技术解决方案使其适应太阳能和风能的波动性。

太阳能和风能发电的成本将继续下降，但如果廉价电力在供应充足的情况下被闲置，那么价格蚕食将威胁可再生能源装机容量的投资。然而，通过电力转换的间接电气化将需要庞大的可再生电力生产，以及各种储能解决方案，这样才能确保剩余电力得以使用，并使价格维持在令人满意的水平。

太阳能光伏 + 储能将使太阳能与火力发电、核能发电和水力发电更直接地竞争。我们发现，三分之一的太阳能发电设施将采用直接储能技术建设，到 2050 年，太阳能光伏 + 储能将生产所有并网电力的 12%。

图 5

2020 年疫情恢复支出



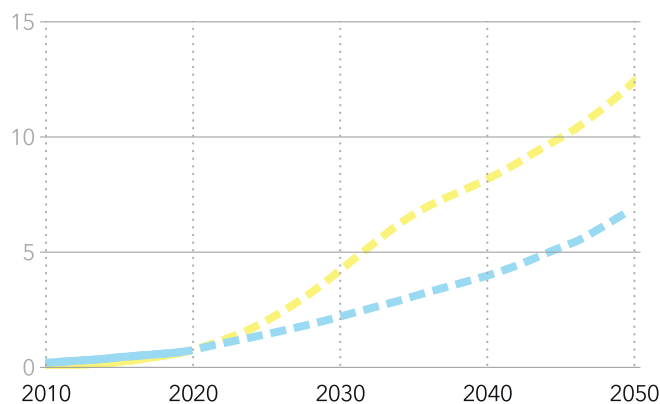
资料来源：联合国环境规划署报告《我们是否在更好地重建》(Are we building back better), 2021 年 2 月

注：在另一份报告中，国际能源署的“可持续复苏追踪”数据估计，截至 2021 年第二季度，清洁能源措施总额为 3,800 亿美元，仅占与新冠肺炎相关的财政支持总额的 2%

图 6

累积的太阳能和风能 - 全球装机容量

单位：太瓦



太阳能光伏 风电

包括风能和太阳能的离网容量。历史数据: GlobalData (2021)

要实现难减排行业的脱碳，需要对氢能、合成燃料和生物燃料进行更大幅的规模扩张

难以减排的行业是无法通过电气化轻松脱碳的领域，包括航空、海运、长途卡车运输和大部分重工业。这些行业目前约占全球CO₂排放量的35%，减少这些排放的速度非常缓慢。

氢能被视为这些行业的主要脱碳替代方案，生物燃料起到辅助作用，主要是在航空领域。直接使用氢能通常不太合适，船舶和飞机需要氢衍生物和合成燃料，如氨燃料和合成喷气燃料。

目前，用于能源目的的全球氢气生产可忽略不计，其将从本世纪30年代末才开始扩大规模，到2050年满足全球能源需求的5%。与给予可再生能源的激励措施类似，政府需要实施激励措施来刺激技术发展，加快氢能和合成燃料的采用。

因此到2050年，航空、海运和重工业的未减排化石燃料份额仍会居高不下，减缓转型速度，并严重阻碍达成《巴黎协定》的目标。

到2050年，大部分氢气将由专用的可再生能源电解槽生产

与每年用于化肥和化学品生产的7,500万吨灰氢/棕氢相比，目前作为能量载体的氢气产量微不足道。

在未来的几十年里，通过蒸汽甲烷重整 (SMR) 从经过 CCS 的天然气中生产的蓝氢将取代一些灰氢和棕氢。总体而言，到2050年，蓝氢还将占能源目的氢气供应量的18%。

对于难以减排行业的脱碳问题，电解产生的绿氢将是主要的长期解决方案，包括将氢气作为其他合成燃料的基础。

由于低价电力的小时数有限，采用电网电力进行电解处于劣势。然而，随着更多的可再生能源进入电力结构，电解的CO₂足迹将有所改善。未来针对能源目的的氢气生产将以使用专用离网可再生能源的电解为主，如太阳能和风力发电场。到2050年，18%的氢气将依赖电网电力，43%的氢气将来自专用装机容量，包括太阳能光伏(16%)、陆上风电(16%)和固定海上风电(9%)。

图 7

到2050年难以减排行业的CO₂排放量

单位：2019年至2050年排放强度百分比变化

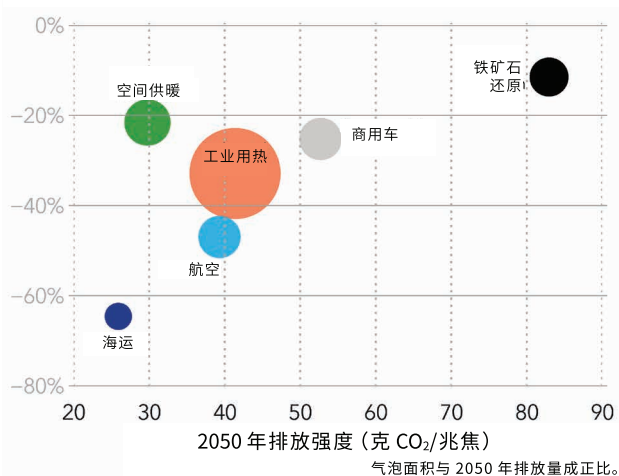
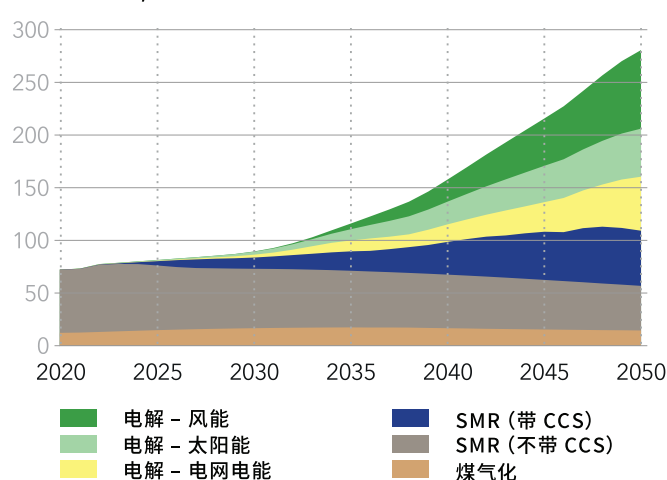


图 8

世界氢气生产（按来源）

单位：百万吨/年



2019-2050 年一次能源

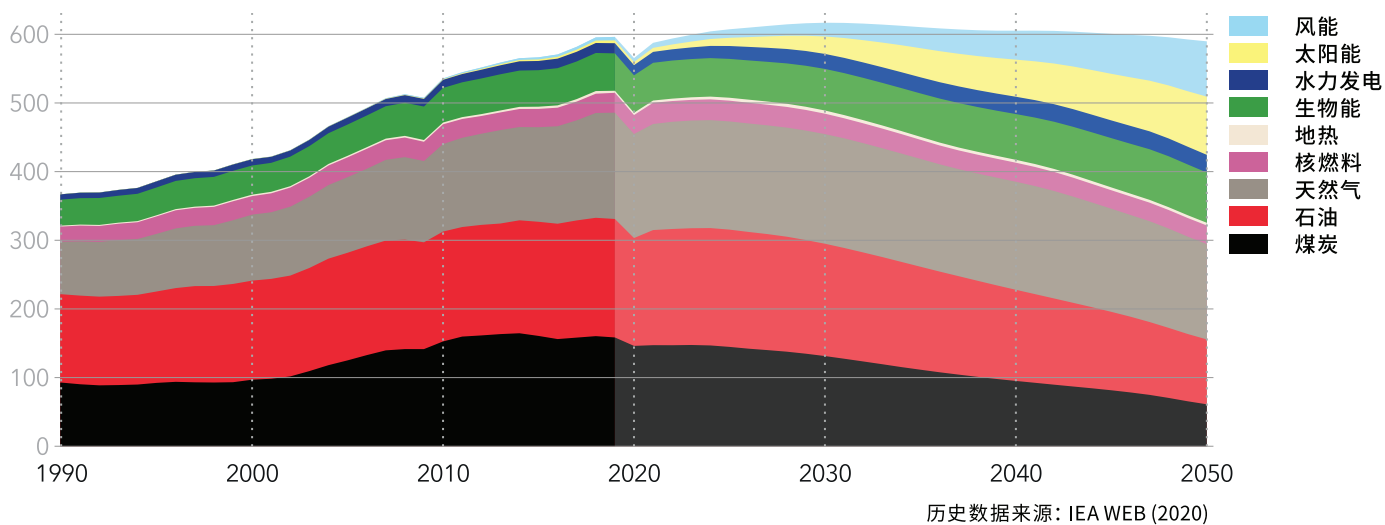
这里显示的是我们对当前到 2050 年的一次能源的预测。一次能源供应是指能源服务供应背后的能源总量。能源转换和传输过程中会出现相当大的损耗（目前每年超过 100 艾焦），这些损耗包括在一次能源数据中，能源行业自身的能源使用量也是相当大的，通常占一次能源消耗的 7%。在疫情前达到 594 艾

焦的一次能源将在 2022 年恢复到 2019 年的水平，但随后仅会增加 4%，并在 2030 年达到 617 艾焦的峰值，然后在 2050 年缓慢减少 4% 至约 590 艾焦。

图 9

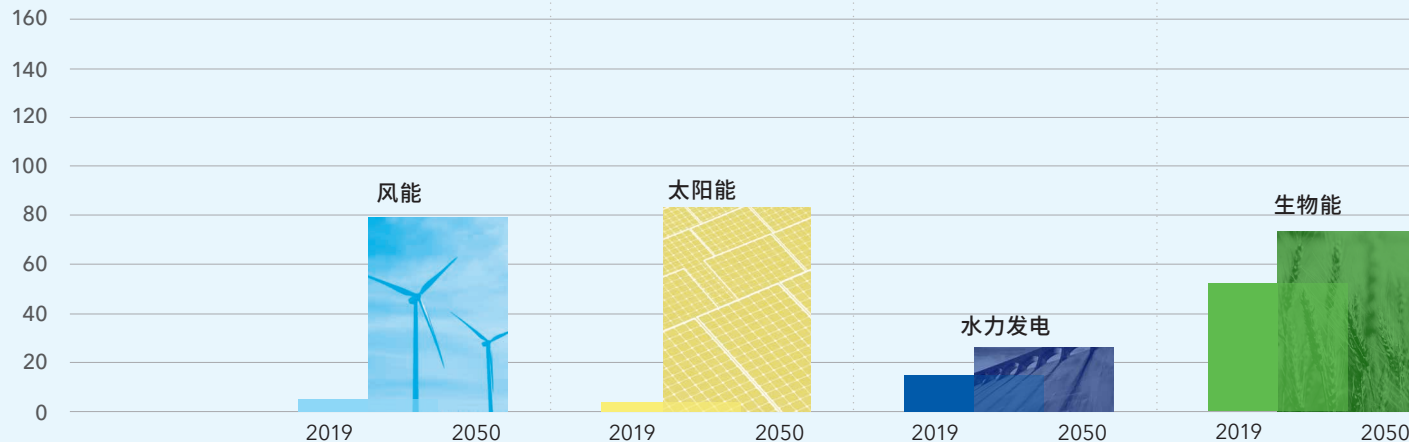
全球一次能源供应（按来源）

单位：艾焦/年



2020-2050 年世界能源供应转型

单位：艾焦/年



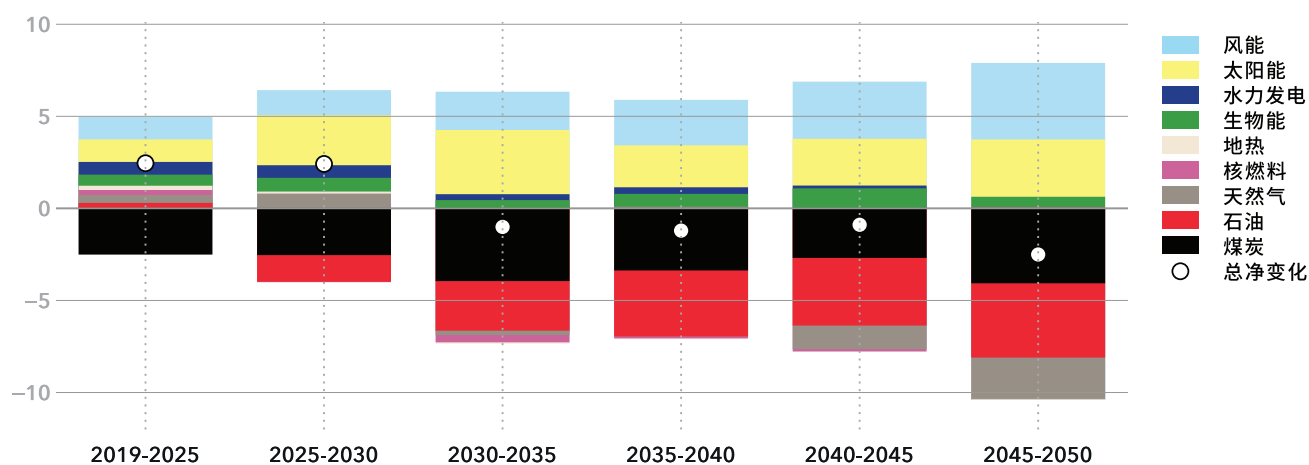
下图显示了对一次能源供应变化的贡献。在预测期内，可再生能源将持续添加到一次能源供应，而化石燃料将减少，使用量仅在本世纪 40 年代开始减少的天然气除外。化石燃料在能源

结构中的份额将从当前的 80% 减少至本世纪中叶的 50%。核能将在整个期间内稳定在 5%，而可再生能源将增加两倍，从目前的 15% 增加到本预测期结束时的 45%。

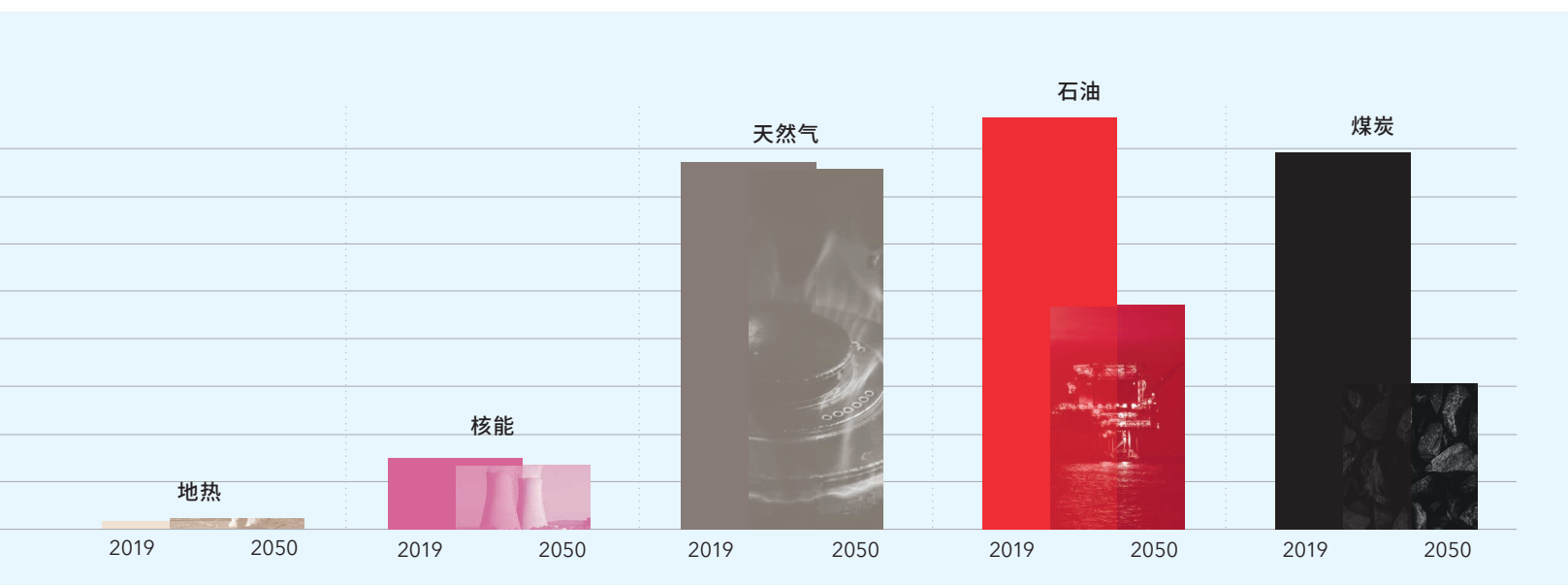
图 10

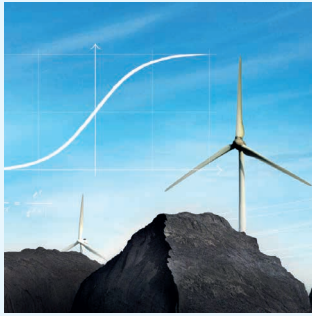
一次能源供应净变化 (按来源)

单位：艾焦/年



五年间隔期间的一次能源净变化。用 2019 年以避免新冠疫情的影响。历史数据来源：IEA WEB (2020)





能源转型
前景展望 2017



能源转型
前景展望 2018



能源转型
前景展望 2019



能源转型
前景展望 2020

经过 5 年的预测...

我们今年的预测结果与四年前发布的首次预测没有根本的不同。多年来，我们扩大并完善了自己的模型，例如，通过更深入地研究运输、制造和建筑等关键需求行业的动态。我们还增加了氢能、浮式海上风电和太阳能光伏 + 储能等额外能量载体和行业，并引入了按小时发电的建模。但我们有一个关键结果未出现变化，即到 2050 年，全球能源结构将在化石能源和非化石能源之间分成大致相等的份额。我们有关全球将无法从容不迫地实现《巴黎协定》的气候目标的结论也未改变。

这些结论保持一致的事实，是令人担忧的主要原因：在过去五年中，不对气候变化采取行动的代价不断增加，其影响的证据越来越明显，能源转型的速度并没有超出我们最初的预测，这一点发人深省。

关于本前景展望

这份年度前景展望介绍了我们独立的世界能源系统模型得出的结果。该模型涵盖了到 2050 年的周期，对全球和 10 个地区的能源转型作出了预测。有关我们的预测数据，请访问 eto.dnv.com/data。有关我们的方法和模型的更多详细信息，请参阅第 34 页。我们预测的变化在许多行业都蕴含着重大风险和机遇。其中一些变化在我们的子报告中有详细介绍：

- 海运预测
- 为能源转型融资
- 技术进展报告
- 实现净零排放的途径

独立观点

DNV 成立于 157 年前，旨在捍卫生命和财产、保护环境。我们为一家基金会所有，并受到广泛的客户的信任，可帮助他们提高其业务的安全性和可持续性。我们 70% 的业务与能源的生产、生成、输送和运输有关。发展对能源转型的独立见解和预测对我们和我们的客户都具有重要战略意义。

COVID-19 的影响

在发达国家，疫情的影响开始消退，到第三季度末，这些国家将有一半的成年人口全面接种疫苗。发展中国家的疫苗接种远远落后；一些国家刚刚开始推出接种。这对世界各地的 GDP 的影响差异很大，但总体而言，我们延续了国际货币基金组织的预期（2021 年 4 月），即在 2021 年和 2022 年分别反弹 6.1% 和 4.9%。COVID-19 将导致 2023 年全球经济与疫情之前的预测相比损失 4.1% 的 GDP。这一损失几乎是永久性的，但 2023 年后 COVID-19 的提振将导致一些地区经济体比没有疫情的增长速度略快，到 2050 年，这一损失将下降到 3.2%。

从能源角度来看，本次疫情将造成一些持久的影响。发达地区（包括中国）在家办公的数量将增加，与我们的疫情前预测相比，对办公场所的需求将减少 5%，而发展中地区 and 新兴经济体的这一需求将减少该比例的一半。工作场所的能源强度会

降低，但这将被住宅能源需求的上升所抵消。在发达地区，这一涨幅为 4%，其中一半来自于更大的住宅面积，另一半来自于供暖和制冷需求的增加。

我们预计，与疫情前的预测相比，与工作相关的航空旅行将永久性下降 20%。占航空里程三分之二的休闲旅行可能会在 2024 年完全反弹。

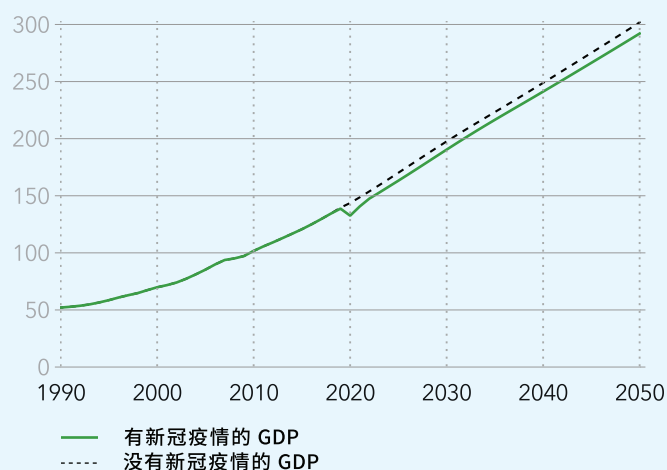
在对能源有影响的 COVID-19 支出中，几乎没有资金被投到脱碳领域。

在疫情的最初几个月，许多人希望这将提供一个机会，让人类行为和经济活动朝着更绿色的结果转变。到目前为止，事实证明并非如此。在与 COVID-19 有关的近 20 万亿美元支出中，大部分被分配给了紧急措施，这些措施限制了疫情前的能源和制造行业的发展动力。尽管欧洲已被证明是一个例外，但在对能源有影响的 COVID-19 支出中，几乎没有资金被投到脱碳领域。虽然清洁能源方面的新支出相对来说微不足道，但它正在为我们的长期预测贡献更多的非化石能源。然而，作出在 2050 年实现净零排放能源系统所需的实质性突破还远远不够，因此我们认为，COVID-19 是一个错失的加快能源转型步伐的机会。

图 11

全球 GDP - 有和没有新冠疫情影响

单位：万亿美元/年



需求

建筑

到 2050 年，建筑行业的总能耗将比 2019 年增加 26%，其在全球能源使用中的份额将从 28% 上升到三分之一。

不断增长、更加庞大的人口将导致楼面面积（包括商业和住宅）迅速扩大 62%。在生活水平提高和气候变化的推动下，空间制冷将在未来 30 年内翻两番。另一方面，由于电气化和热泵实现了相当高的能效，空间供暖需求将减少 17%，电气化和热泵提供的有用能源（如热能）比其消耗的能源（如电力）多得多。家电和照明的能源需求将增长一倍，略低于 GDP 的增长，原因在于最终产品的设计带来了适度的能效提升。其他最终用途（如烹饪和水加热）将保持相对稳定，因为能效提升（特别是向现代烹饪方式的转型）将抵消任何额外的需求。

建筑物目前占到了 25% 的能源相关排放，包括电力和直接产热的间接排放。到本世纪中叶，这些排放量的绝对值将减少 44%，这要归功于累积能效和包括更多电力在内的更环保的能源结构。

制造

2019 年制造业的能源需求为 131 艾焦，预测到 2050 年将增长 8%。基础材料生产、施工、制成品和采矿的经济产出将增长 75%，表示效率每年提高 1.6%。

2019 年，制造业在最终能源需求中所占的份额最大 (30%)。基础材料子行业占到了 38% 的制造业能源使用量。制成品占能源使用量的 31%，其次是钢铁以及施工和采矿，分别占到 26% 和 5%。大幅提高能效（包括增加回收利用）将平衡商品能源需求的增长，这样到 2033 年，商品制造的能源使用量将增长 6%，到 2050 年保持不变。基础材料行业在 2032 年前将先增长，但此后到 2050 年将减少三分之一，原因是回收利用增加和能效提升。

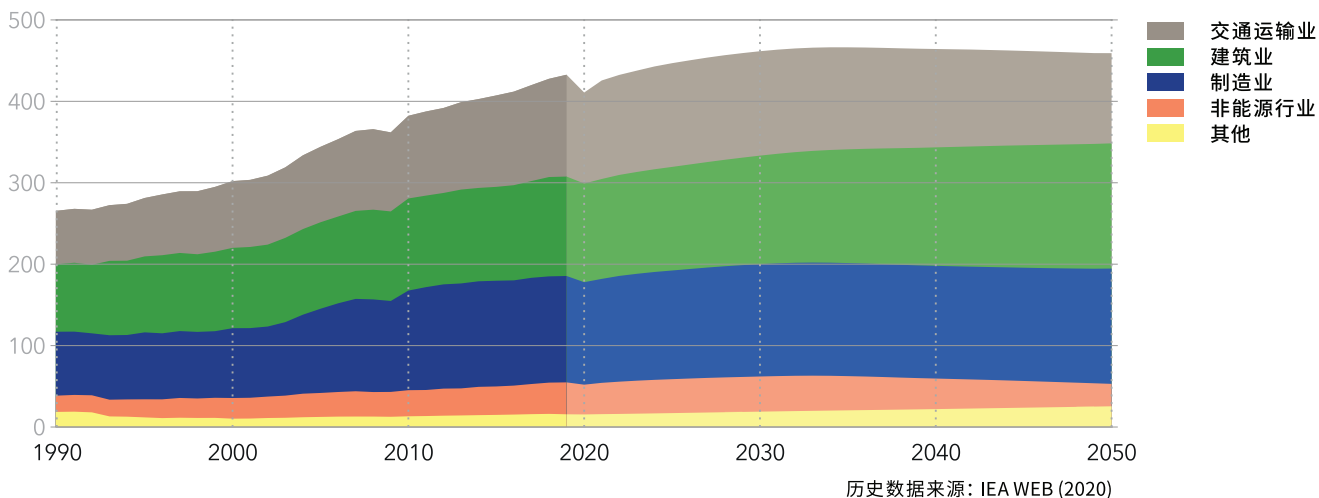
制造业以 120 亿吨 CO₂/年 (35% 的份额) 在需求部门排放中排在首位。在预测期内，由于煤炭使用减少和日益环保的电力结构，这一数字将恰好减半。

到 2050 年，由于燃料的变化和热泵的更普遍使用，针对供暖目的的能源使用量将实现最大的能效提升。随着自动化和数字化程度的提高，机器、马达和设备的最终使用在制造业能源需求中的份额将从 2019 年的 24% 上升到 32%。

图 12

世界最终能源需求 (按行业)

单位: 艾焦/年



原料

2019年，约8%的全球主要化石燃料供应被用于非能源目的，其中包括13%的石油。石化是最大的原料消费行业，2019年该行业的消费量中约有45%用于生产塑料，其余则用于生产化妆品、化肥、涂料和其他化学品。我们预计，到2050年，塑料在石化原料需求中的比例将增长到61%左右。

虽然塑料需求的增长将持续到2050年，但重复使用、替代以及特别是回收利用的增长更为迅速，这是由对未回收塑料的征税推动的。我们估计，全球塑料回收率将从2018年的约13%提高到2050年的47%，因为更高效（可能是循环）的化学回收将为其提供支持，这将补充或取代传统的机械回收。这是非能源原料使用在2032年达到峰值，然后到2050年急剧下降的一个主要原因。

交通运输

能效提升和燃料转换（主要换用电力和氢）将导致交通运输业的能源需求从2019年的125艾焦下降到2050年的111艾焦。到本世纪中叶，石油将供应这一需求略高于一半的水平，电力供应四分之一，氢供应10%，生物燃料和天然气各供应7%。这与当前的情况截然不同，其中交通运输业占全球最终能源需求的29%，几乎完全以化石燃料的形式存在。92%的公路运输能源使用的是石油，生物燃料和天然气分别占3%和4%，电力占1%。航空和海运的能源结构十分相似，只有铁路主要由电力供应。

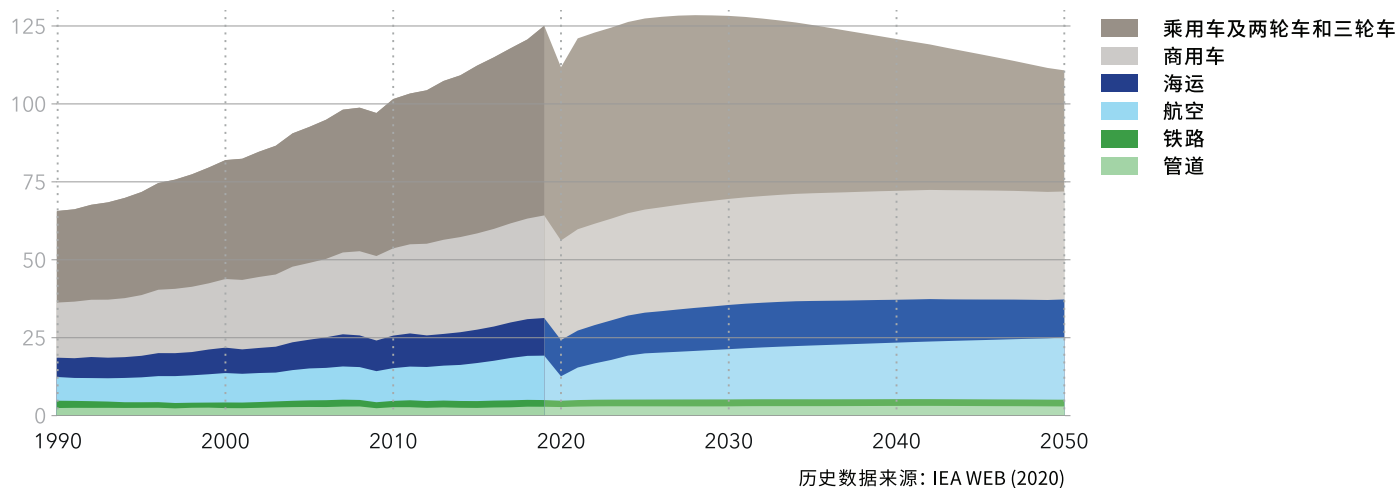
未来30年，交通运输服务将显著增长：到2050年，乘用车数量将增加三分之二，达到20亿辆；航空需求将从疫情中恢复（尽管对公务旅行并非没有影响），全球客运航班将从2019年的44亿架次增长130%，到2050年达到102亿架次；在海运业，货物吨英里将增加近三分之一。尽管存在这些额外的活动，但到2050年，交通运输业的能源需求将下降13%。

出现该反常理发展的主要原因是公路运输电气化的效率改善，航空和海运的能效提升也有助力。到2042年，道路上一半的乘用车将是电动汽车。

图 13

世界运输行业能源需求（按子行业）

单位：艾焦/年



需求

公路运输

拜登总统最近的燃油效率计划包括一个目标，即到 2030 年，在美国销售的所有其他汽车都将是电动汽车。我们的预测表明，这一目标并非遥不可及，北美地区将于 2031 年实现。事实上，欧洲和大中华区将分别在 2027 年和 2028 年达到该里程碑。

多种因素一起推动这些地区的电动汽车销量激增，包括对车主的一系列补贴和其他优惠。在技术方面，电动汽车的平均续航里程在增加，充电速度在提高，充电基础设施也在扩张。

借助更好的化学成分、制造工艺和封装设计，电池成本将继续下降。到这个十年的中期，电动汽车将明显达到与内燃机汽车 (ICEV) 相当的总拥有成本，销售额将大幅增长，但各地区的增长并不一致：电力供应和基础设施挑战将阻碍电动汽车的普及，特别是在发展中地区。

商用车需要大得多的电池，我们预计在经合组织地区和大中华区，每辆车的补贴水平要高得多，持续时间也更长；在这些地区，ICEV 也将因碳价格上涨而变得不那么有吸引力。

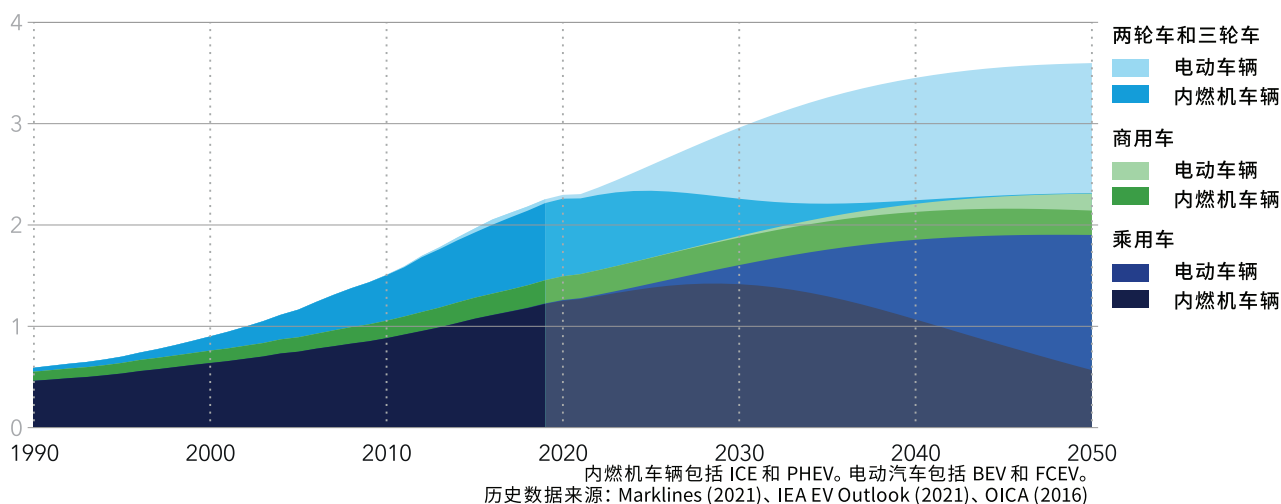
电动汽车的普及率会因地区而异，但在所有地区，在本世纪中叶之前可达到 50% 的新销售数字；到 2042 年，全球一半的乘用车都将是电动汽车。到 2050 年，它们将只占到公路运输行业能源需求的 36%。相反，由于内燃机的能效低得多，石油仍将占公路运输能源的 60%，但仅能为 30% 的乘用车和 59% 的商用车提供燃料。

到 2050 年，经合组织地区和大中华区约 16% 的商用电动汽车将是燃料电池电动汽车 (FCEV)。到 2050 年，电力、氢能和生物燃料的结合将使石油从公路运输能源结构中减少 2,100 万桶/天，其占比在 2019 年达到峰值。总而言之，我们的预测表明，在所有地区，公路运输的所有方面都在发生迅速而显著的电气化。

图 14

全球道路车辆数量 (按类型和传动系统)

单位：十亿辆



海运

目前，全球近 3% 的最终能源需求和 7% 的石油是由船舶消耗的，主要用于国际货运。到 2050 年，石油在燃料结构中的主导地位 (42%) 将被氨、氢等低碳和/或零碳燃料以及合成甲醇等其他合成燃料取代。天然气 (主要是液化天然气) 将占据 39% 的份额。

国际海事组织 (IMO) 的目标将推动这一根本的燃料转换，即从 2008 年到 2050 年将温室气体排放绝对减少 50%。我们的预测认为，提高利用率和能效并结合大规模的燃料脱碳可实现这一目标。

物流和供应链的数字化将提高船队效率。然而，随着全球的 GDP 翻番，货物运输需求将超过效率的提高，同时吨英里将增加 32%。煤炭和石油运输是一个例外，到 2050 年，二者的运输量将分别减少 50% 和 20% 以上。

无论是现在还是未来，电池的能量密度都可能保持在较低的水平，无法在深海航运中发挥更大的作用。有关燃料结构和使用的更多详细信息，请参阅我们的《海运预测》配套报告。

航空

航空业消耗了世界上超过 3% 的能源，几乎全部以石油的形式存在。到 2050 年，石油将仍占航空燃料的 53%，但按绝对值计算，石油使用量将比今天减少 26%。从疫情期间的需求下滑中复苏后，航班数量将随着 GDP 的增长稳步上升，2050 年将比 2019 年高出 140%。然而，由于飞机和发动机技术以及物流的能效提升，燃料使用量仅会增加 40%。

在航空领域取代油基燃料的三个主要选择是电力、氢和可持续航空燃料 (SAF)。这三种燃料现在和将来都比油基燃料贵，燃料和相关技术变革预计将由监管和消费者支持的力量推动。到 2050 年，电力将限于短途航班，仅占航空燃料结构 2% 的份额。氢动力飞机面临着成本、技术和监管方面的挑战，2040 年后才会初步在几个地区投入使用。

SAF 代表了最可行的脱碳路线，到 2050 年，生物燃料在航空燃料结构中的份额将达到 26%，合成燃料 (加上纯氢) 将达到 19%，这一脱碳速度领先于 CORSIA 目标。

图 15

全球海运子行业的能源需求 (按能量载体)

单位: 艾焦/年

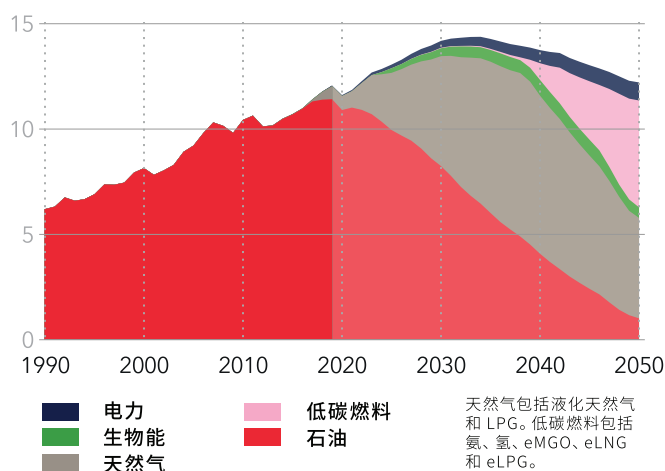
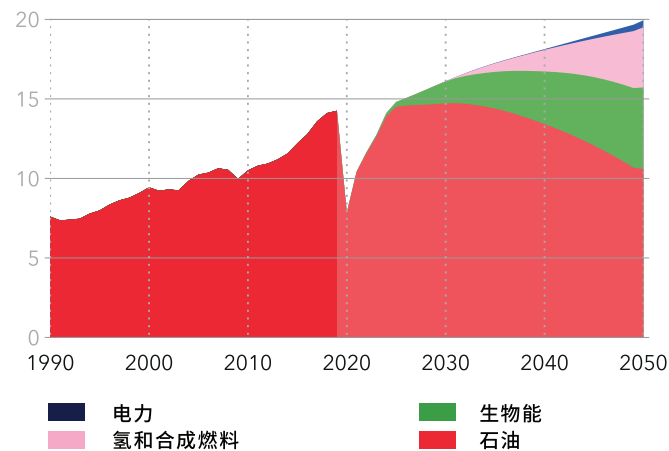


图 16

全球航空子行业的能源需求 (按能量载体)

单位: 艾焦/年



能量载体

电力

电气化对于持续的能源转型至关重要。从现在到 2050 年，电力需求将增加一倍以上，波动性可再生能源 (VRES) 在电力结构中的份额将从目前的 8% 增长到 2050 年的 69%。

电力需求将以每年近 3% 的速度增长，到 2050 年将达到约 60,000 GWh，尽管能效不断提高，但电力需求仍将超过经济增长。这是因为，到 2050 年，庞大的新需求类别总计将达到 35,400 TWh/年。在新的需求中，公路运输的电气化（到 2050 年为 28 亿辆电动汽车）将占到五分之一。生产绿氢的电解槽将占据 23% 的份额，新的空间制冷需求将占 11%，机器、马达和设备等日益增长的制造业子类别将占到类似的份额。

从历史上看，电价由为所有发电厂提供收入的最昂贵发电技术的可变成本决定。随着新技术（包括太阳能、风能、储存和电力转换）日益占据主导，新的规则将会出现。例如，在 2050 年的电力系统中，当风能和太阳能供应量最少时会出现最高电价，而不像目前的电力系统，峰值电价通常在遇到最大负荷时出现。

到 2030 年，随着需求增长和 VRES 扩大，电网投资将稳步增加，相比疫情前的水平增加 1,500-2,000 亿美元/年。在线路距离方面，到 2050 年，输电线路将翻一番，配电线路将翻一番以上。大约 15% 的电网投资将转向数字化基础设施，以解决更加分散化电力系统的复杂性。

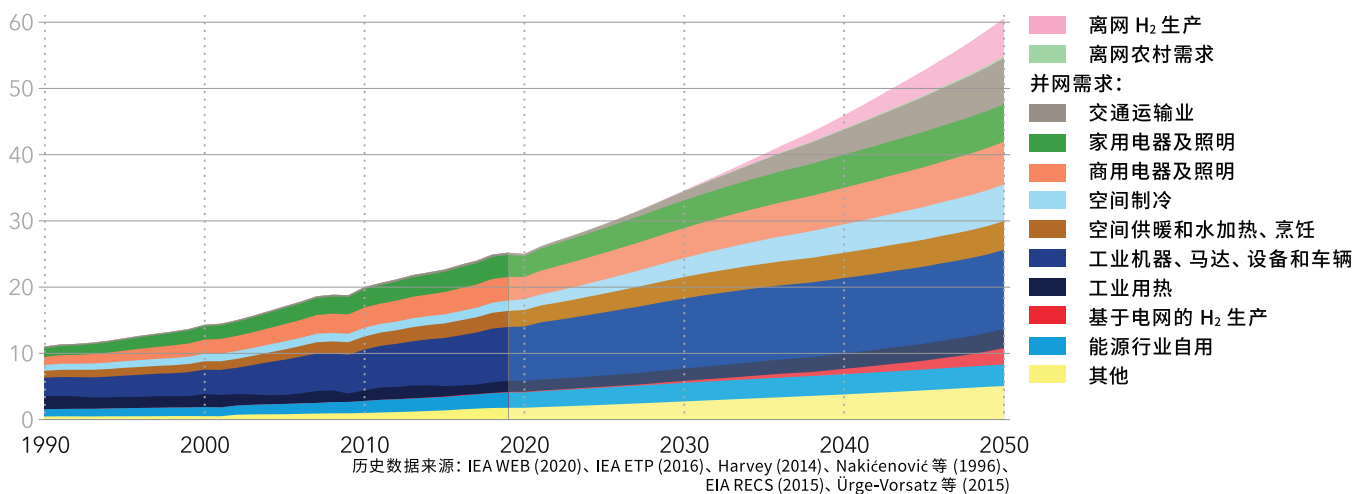
从 2026 年起，煤炭将迅速停止使用，到 2050 年，煤炭的发电量将降至目前的近 75%。凭借较低的排放量和较高的灵活性，天然气仍保持竞争力，其发电量仅比当前水平降低 22%。在整个预测期内，核电产能将持平，新增产能（主要在大中华区）将补偿欧洲和北美的退役产能。相对而言，核电份额将减少一半以上，从 2019 年的 10% 下降到 2050 年的 4.3%。水力发电将受资源约束的限制，其在全球电力结构中的份额将从 2019 年的 16% 降至本世纪中叶的 12%。

2019 年，只有 26% 的电力来自可再生能源。到 2050 年，这一比例将上升到 82%，同时在灵活性和储能方面也将发生重大变化，我们将在接下来的章节中进行介绍。

图 17

全球电力需求 (按行业)

单位: PWh/年



氢

氢是难以减排行业的主要竞争者，在这些行业中，较低的电池能量密度导致电气化要么不可行，要么成本很高。然而，氢的生产成本很高，并且会造成巨大的能量损耗。如果没有一些特殊的政策转变来补贴氢的生产和使用，我们预计到 2050 年，氢供应不会超过全球能源需求的 5%。

合成燃料，如合成甲醇、合成氨或可持续航空燃料，均为氢衍生物，包含在我们的总氢能需求预测中。到 2050 年，合成燃料将占航空需求的 70%，几乎占海运“氢”需求的全部。

我们预测，到 2050 年，氢将取代许多工业供热应用中的化石燃料。因此，制造业将占氢需求的 32%。氢（或更确切地说是氢衍生物）的下一个最大用户（17% 的份额）将是海运，该领域几乎没有电池供电的选择。到 2050 年，五分之一的航空燃料将以氢为基础，相当于总氢能需求的 11%。氢将很难取代用于建筑物空间供热、水加热和烹饪的天然气。

虽然高达 10% 的氢气可混合到现有的天然气网络中，但使用纯氢气需要昂贵的网络改造和设备的全面升级。

目前主要的制氢方法是蒸汽甲烷重整 (SMR)。然而，天然气原料生产过程中的甲烷逃逸性排放非常有争议，而且还必须捕获 CO₂ 排放才能将其视为“蓝氢”。随着时间的推移，蓝氢的市场份额将逐渐被电解生产的绿氢所占据，因为后者受益于规模经济和 VRES 电力的成本下降轨迹。

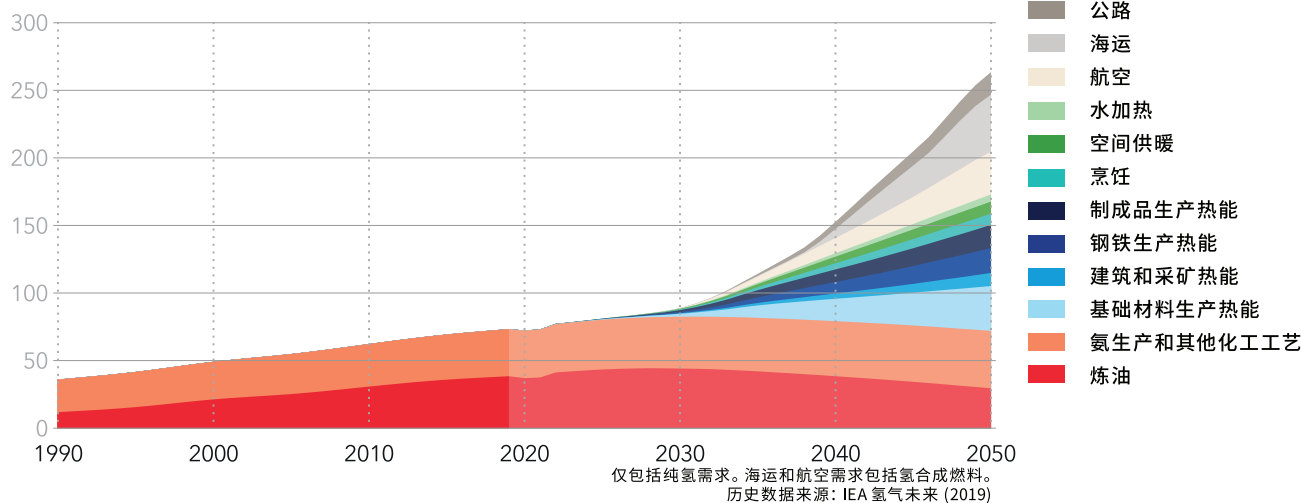
在预测中，我们进一步区分了电网供电电解和离网电解。对于前者，运营商不得不与许多其他参与者竞争低成本的 VRES 电力，如需求响应、抽水储能、电动汽车（储能）和公用事业规模的电池。这限制了每年的运行时间，以至于离网专用的可再生能源制氢发电将变得越来越有吸引力。

到 2050 年，全球 2.81 亿吨/年氢气供应的 61% 将来自电解，太阳能光伏发电 (16%)、陆上风电 (16%)、海上风电 (11%) 和电网电力 (18%) 大致平分。到 2050 年，电解总装机容量将达到 3 太瓦。

图 18

世界氢需求 (按行业)

单位：百万吨/年

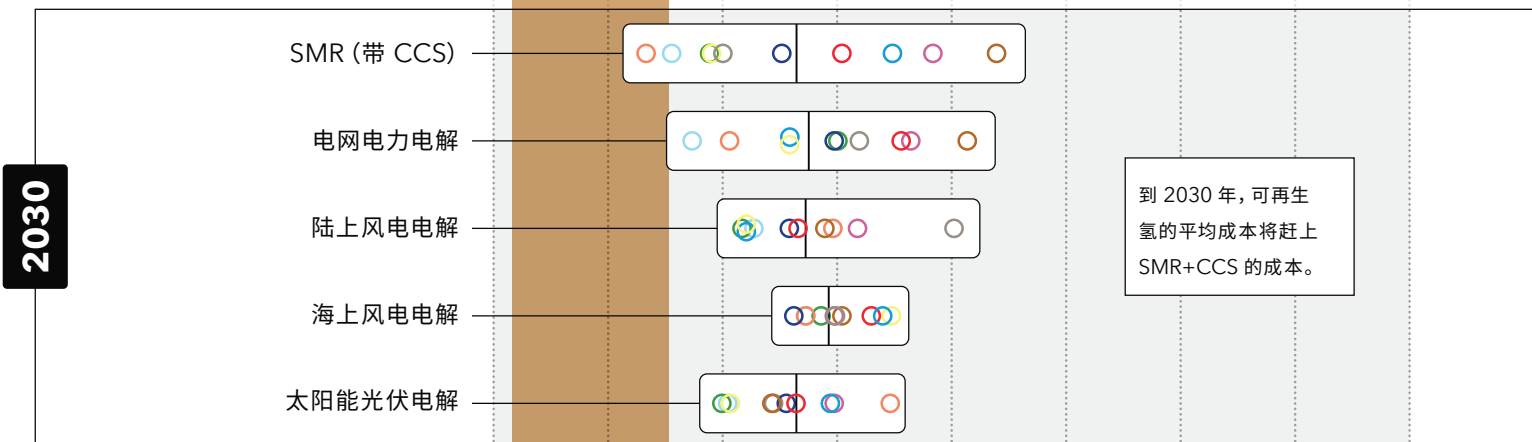
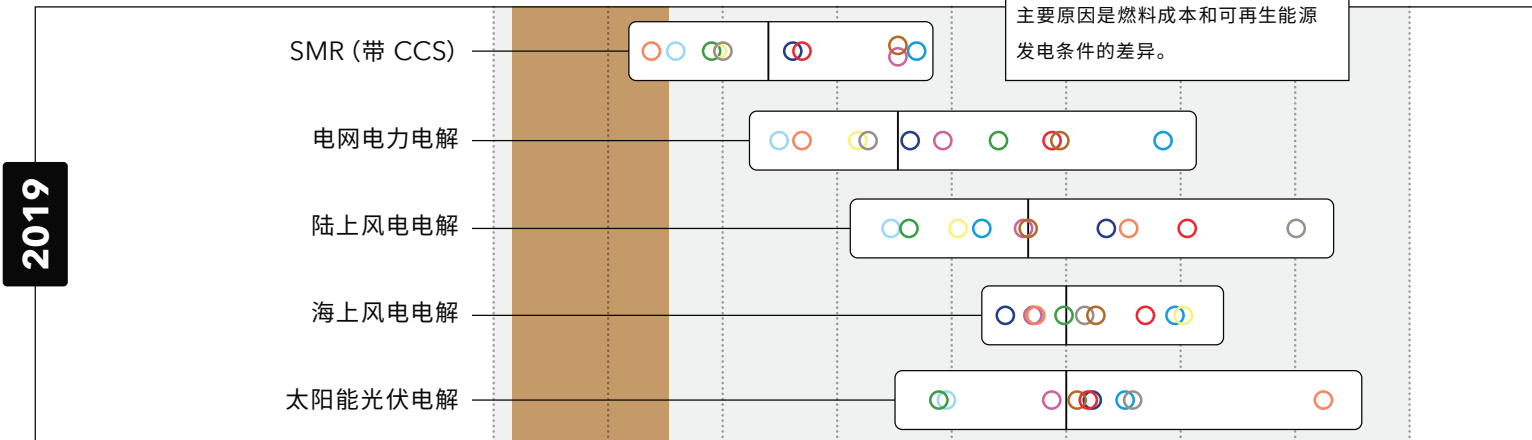


制氢的平准化成本

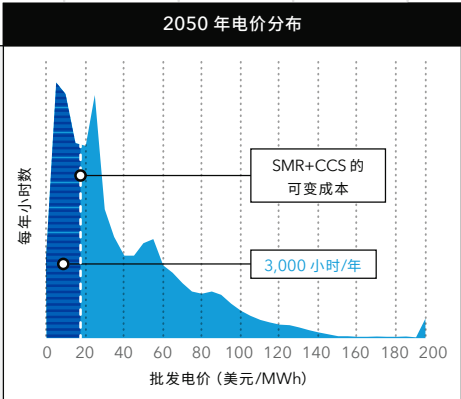
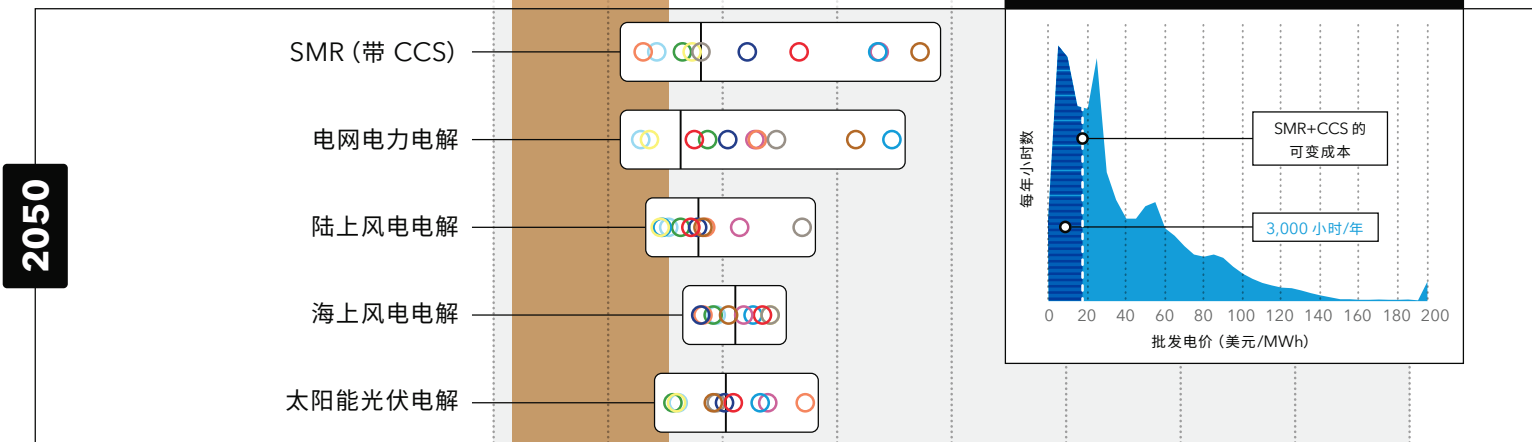
○ NAM ○ LAM ○ EUR ○ SSA ○ MEA ○ NEE ○ CHN ○ IND ○ SEA ○ OPA | 加权平均值

用于供暖的化石燃料成本
范围 (不含碳价格)

不同地区的氢气生产成本差异很大，主要原因是燃料成本和可再生能源发电条件的差异。



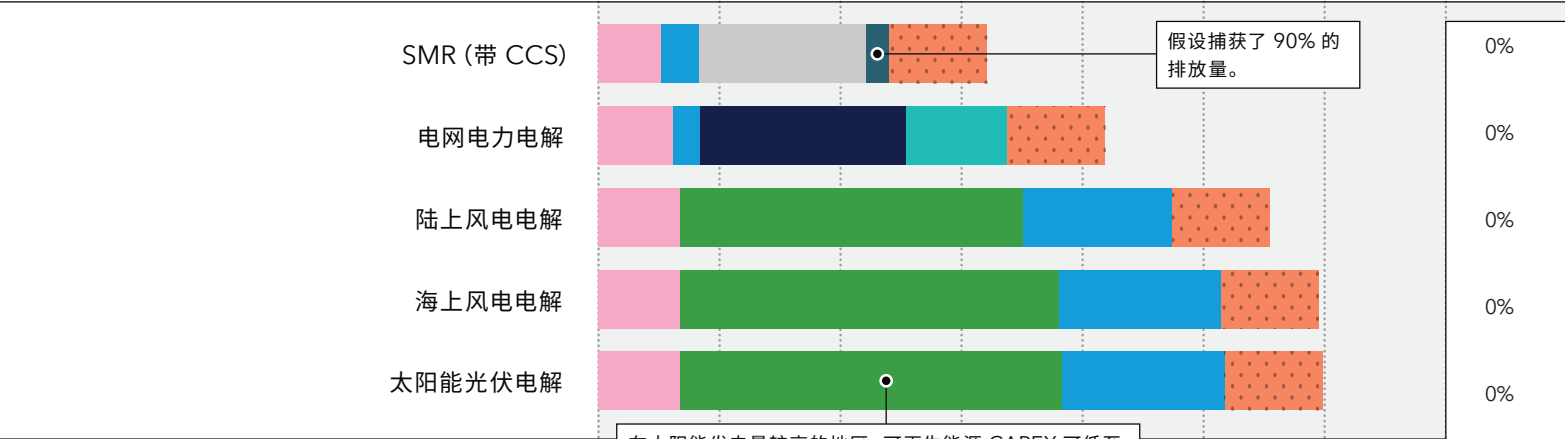
到 2030 年，可再生氢的平均成本将赶上 SMR+CCS 的成本。



氢气的成本构成

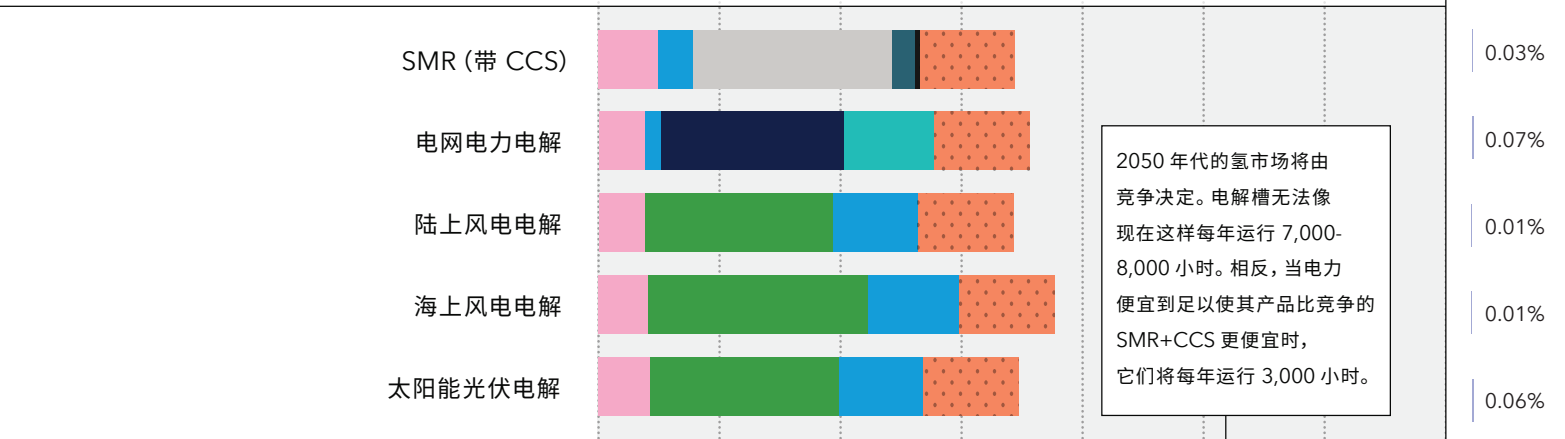


最终能源供应份额

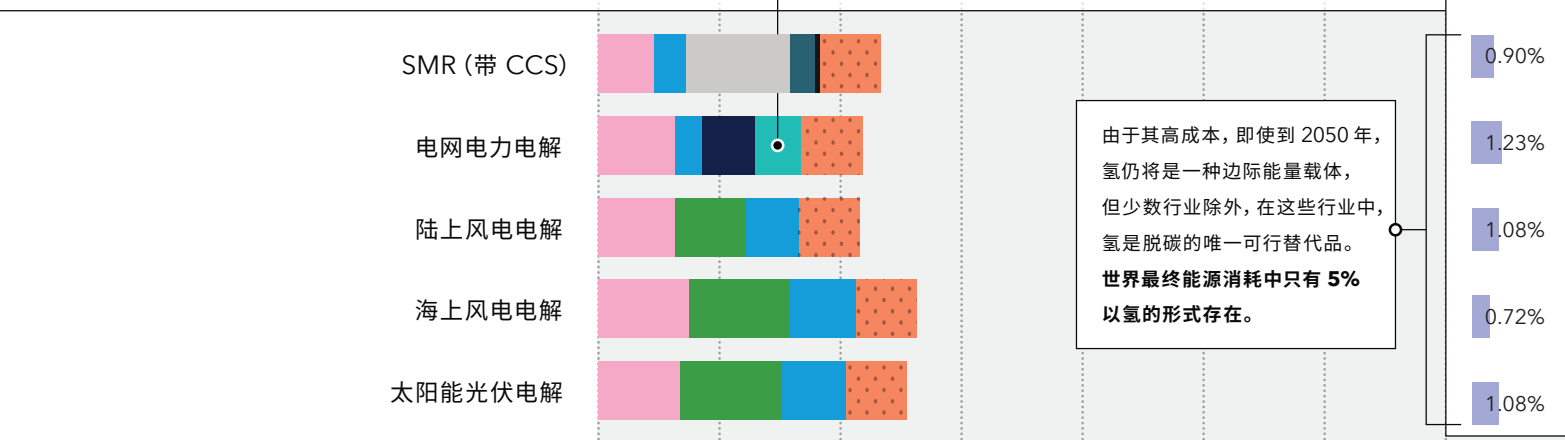


假设捕获了 90% 的排放量。

在太阳能发电量较高的地区, 可再生能源 CAPEX 可低至世界平均水平的 50%。



2050 年代的氢市场将由竞争决定。电解槽无法像现在这样每年运行 7,000-8,000 小时。相反, 当电力便宜到足以使其产品比竞争的 SMR+CCS 更便宜时, 它们将每年运行 3,000 小时。



由于其高成本, 即使到 2050 年, 氢仍将是一种边际能量载体, 但少数行业除外, 在这些行业中, 氢是脱碳的唯一可行替代品。世界最终能源消耗中只有 5% 以氢的形式存在。

我们提供针对全球十大区域的分析



关键



欧洲

转型政策、欧洲绿色协议和“减碳55” (Fit for 55) 的目标是，到2050年实现温室气体净零排放经济，预计这一目标不会实现

到2050年，电网几乎实现脱碳；煤炭和天然气的发电量不到5%

高碳价可能会刺激 CCS 的普及，但不温不火的支持和脱碳的电力系统会使实施率较低

中东和北非

天然气和石油在一次能源结构中占据主导地位，并将一直持续到2050年

在绝对值下降的同时，该地区的廉价石油将日益主导全球石油生产。

该地区将开始实现其可再生能源的巨大潜力，到2050年在一次能源结构中达到25%的份额

北美

到2035年实现电力脱碳，这是“更好重建”计划的一部分，雄心勃勃，但不太可能实现

据预测，大规模的电网建设将带来可再生能源；到2030年和2050年，发电量将分别占55%和75%

转向乘用车型电动汽车的速度缓慢，但势头越来越强劲，这导致了石油使用量的下降

拉美

来自专用的低 LCOE 太阳能光伏发电的氢气可能会改变该地区的能源格局

发电结构将从水力发电/天然气/燃油转换为水电/太阳能/风能

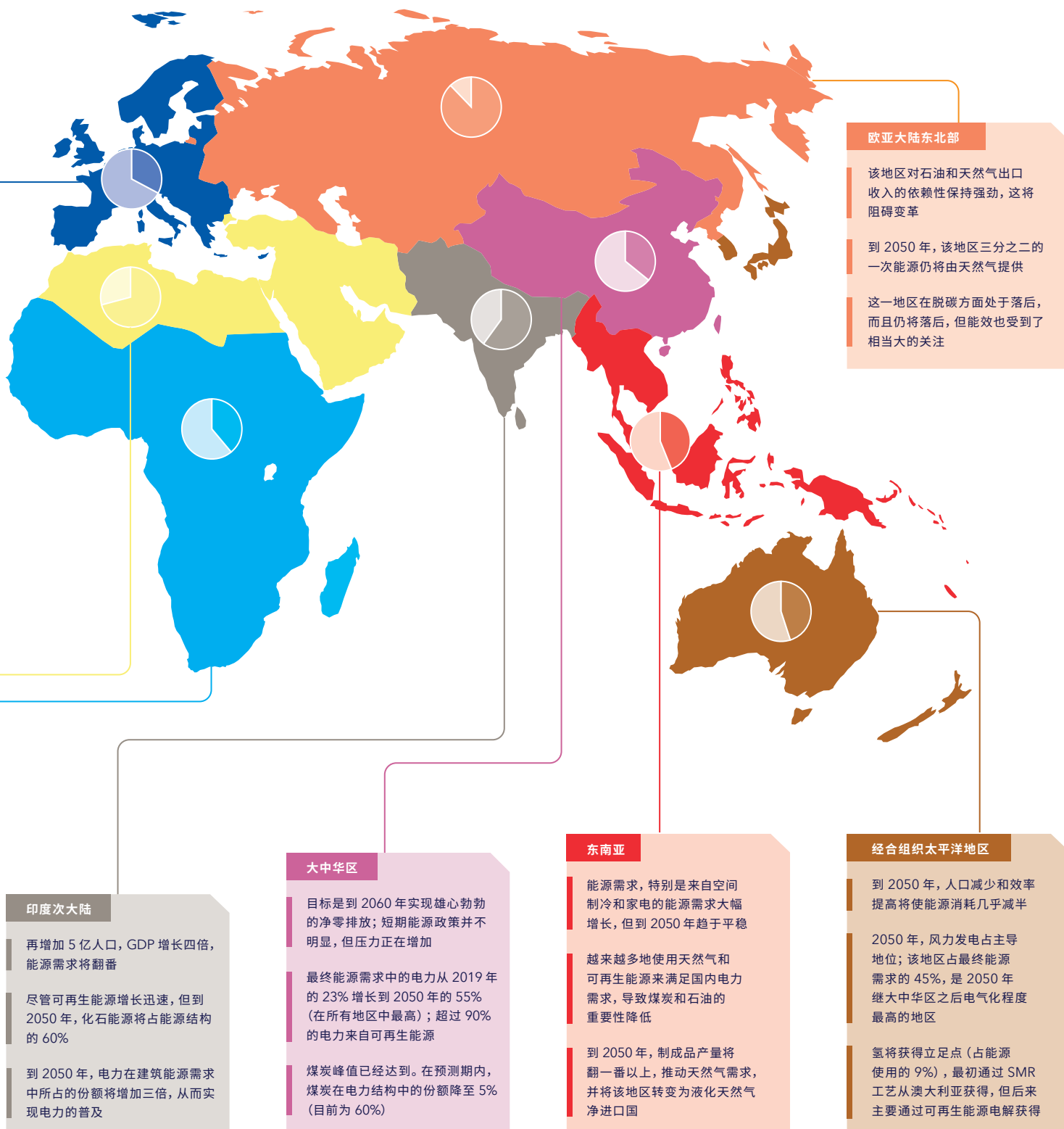
可再生能源占2050年一次能源结构的50%以上；生物能源将超过20%

撒哈拉以南非洲

全球最不发达和电气化程度最低的地区；目前只有42%的人口能够用上电

人口和经济增长带来的能源需求激增将被效率所抵消，例如用天然气和电力替代传统的生物质烹饪

离网太阳能光伏发电在获取能源方面发挥着重要作用，2050年，太阳能并网发电占发电量的近40%



供应

碳氢化合物递减

煤炭 - 煤炭需求在 2014 年达到峰值至 79 亿吨。从那以后，煤炭在欧洲和北美逐渐让位于天然气和可再生能源。2030 年后，大中华区的煤炭使用量将大幅下降。到那时，印度次大陆和东南亚的强劲增长将趋于平稳，随着煤炭退出其他地区的能源结构（用于工业的高热工艺除外），到 2050 年，煤炭的使用量将下降到略高于当前水平的三分之一。

石油 - 全球石油需求可能已在 2019 年达到峰值，但疫情后的复苏可能会创下历史新高。我们对 2019 年和 2025 年的预测需求仅相差 1%。从那时起，石油使用量在 2030 年之前将缓慢减少，但在接下来的二十年里，其下降幅度平均达到 2.8%/年，比我们过去看到的平均每年 1% 的增长速度要快得多。石油在交通运输业的跌幅最大，未来 30 年将减半，原因是公路运输的电气化，以及 2030 年后航空和海运对低排放和零排放燃料的使用增加。2035 年后，由于回收利用和生物衍生原料，石化行业中的石油使用量将会减少。在全球范围内，与 2019 年相比，石油使用量到 2050 年将下降 45%，产量更加集中在中东和北非。

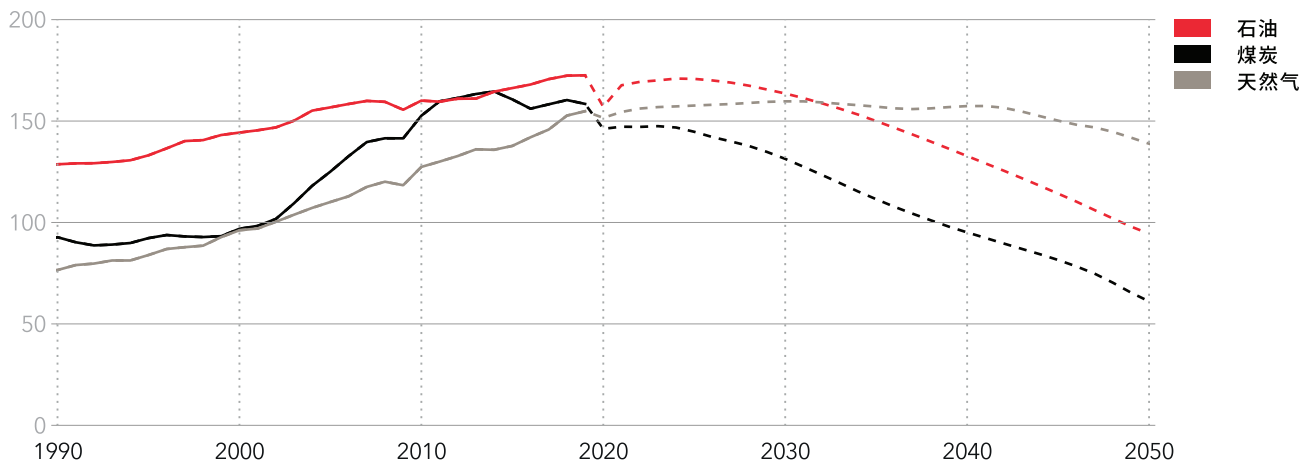
天然气 - 天然气将在 2032 年超过石油成为最大的一次能源来源，并在整个预测期内位居榜首。天然气使用量在这个十年将缓慢增长，到本世纪 30 年代开始趋平，此后到 2050 年逐渐减少约 10%。需求变化将因地区而异：在经合组织国家，天然气消费量将逐渐下降；在大中华区，天然气消费量将在本世纪 30 年代初达到顶峰；在印度次大陆，到本世纪中叶需求将增加近两倍。几乎一半的天然气需求源自其在建筑、交通运输和制造行业的最终使用。另一半需求则涉及转化为其他用途：电力、石化和制氢。

在整个预测期内，液化天然气在天然气出口总量中的份额将会增长。大生产国也是大出口国，而距离天然气客户较远的北美将迎来最大的液化产能增长，到 2050 年将占全球产能的 38%。到 2050 年，仅 15% 的天然气将实现无碳排放，其中脱碳雄心更大、碳价格更高的地区占主导地位：欧洲、大中华区、北美和经合组织太平洋地区。氢气将出现增长，以满足 3.5% 的天然气需求，电力、工业和生物甲烷的 CCS 将实现“无碳”天然气的平衡。

图 19

世界主要化石燃料需求（按来源）

单位：艾焦/年



历史数据来源：IEA WEB (2020)

风电

2019年，风能提供了全球5%的电力产出，几乎完全以陆上风电的形式。到本世纪中叶，随着风力发电量从2019年的1,420 TWh/年增加到2050年的19,000 TWh/年，这一比例将上升到33%。

到2050年，陆上风电装机容量将增加8倍，因为从目前的十年开始，其成本将低于化石能源。到本世纪40年代，陆上风电相对于太阳能发电也有优势，因为风力发电机会经常在电价比光伏更高的时候发电。对于海上风电，我们预计发达国家将加强支持，以避免社区对陆上风机的反对。海上风电在风力发电总量中的份额将稳步增加，从2019年的6%上升到2050年的40%。然而，到2050年，只有欧洲和经合组织太平洋地区的海上风电发电量会超过陆上风电。

随着新的风机类型推出，以及风机、叶片和塔架尺寸的持续增加，容量系数将得到改善，陆上风机的世界平均水平将从2019年的21.5%提高到2050年的31%。对于风力条件更有利的海上风机，平均容量系数已经达到34%。我们预计到2050年，这一比例将提高到50%。

在2020年至2050年期间，陆上风电的成本降幅将达到42%，原因在于不断提高的容量系数和更便宜的风机。不太成熟的细分市场成本降幅甚至会更大。对于固定式和浮式海上风电，随着海上风机安装和运行经验的积累，得益于运营和维护费用的降低，平准化成本将分别减少44%和80%。

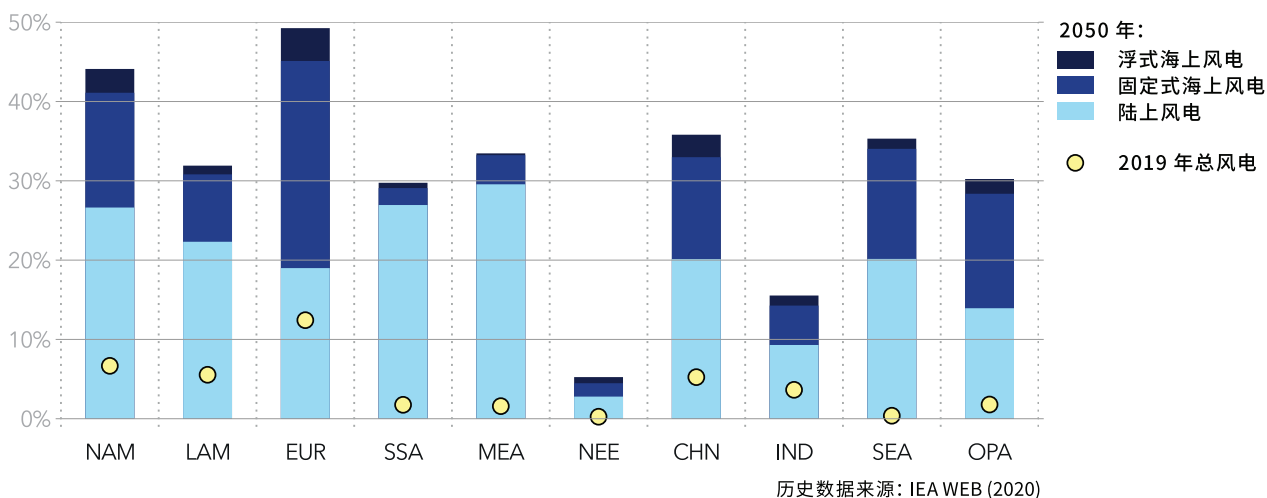
全球新增风电容量将从2019年的60吉瓦/年增加到本世纪中叶的340吉瓦/年，而且区域发展差异显著，如下面的图20所示。

2020年初，装机容量达到了709吉瓦。我们预测，装机容量将在2022年达到1太瓦，2029年达到2太瓦，2043年达到4太瓦，2050年达到5.9太瓦，其中1.7太瓦来自海上风电。这些发展与更大的风机、大型项目和更专用的海上供应链相关联。此外，在本世纪20年代，浮式风电将进入全面示范项目和商业规模部署。我们预测，到2050年，浮式海上风电项目的装机容量将达到264吉瓦。

图 20

风力发电份额 (按地区)

单位：百分比



太阳能光伏

并网太阳能光伏发电将从 2019 年全球并网发电量的 3.2% 增长到 2050 年的 36%。在未来 30 年，装机容量将增加 20 倍，到 2050 年达到 11.5 太瓦。大中华区将占该容量的 35%，其次是印度次大陆占 20%。

2020 年，尽管新冠疫情导致供应链中断，但新的太阳能光伏装机容量再次创下 129 吉瓦的纪录。从 2030 年起，我们预计每年将增加 300 至 500 吉瓦。

太阳能电池板的成本学习率很高（26%，到 2050 年下降到 17%），每增加一倍装机容量和容量系数不断提高（从当前的 19% 提高到 2050 年的 26%），太阳能光伏成本就会持续下降，如下图所示（图 21）。目前，太阳能光伏的全球加权平均平准化度电成本（LCOE）正在突破 50 美元/兆瓦时的壁垒，中东、北非和拉丁美洲等地的单个项目成本远低于 20 美元/兆瓦时。

成本领先是扩大太阳能光伏发电的必要条件，但不是充分条件。这是因为，从价值角度来看，太阳能可能成为自身成功的受害者。通常，随着太阳能光伏在电网中所占的份额增加，白天发电的价格会逐渐降低。

但较低接收价格不会成为光伏发电强劲增长的阻碍因素。光伏和储能系统越来越多地被设计成一个“套件”，可按需生产能源，就像水力、核能或热力发电站一样。因此，太阳能光伏 + 储能是一个独特的发电机组类别。

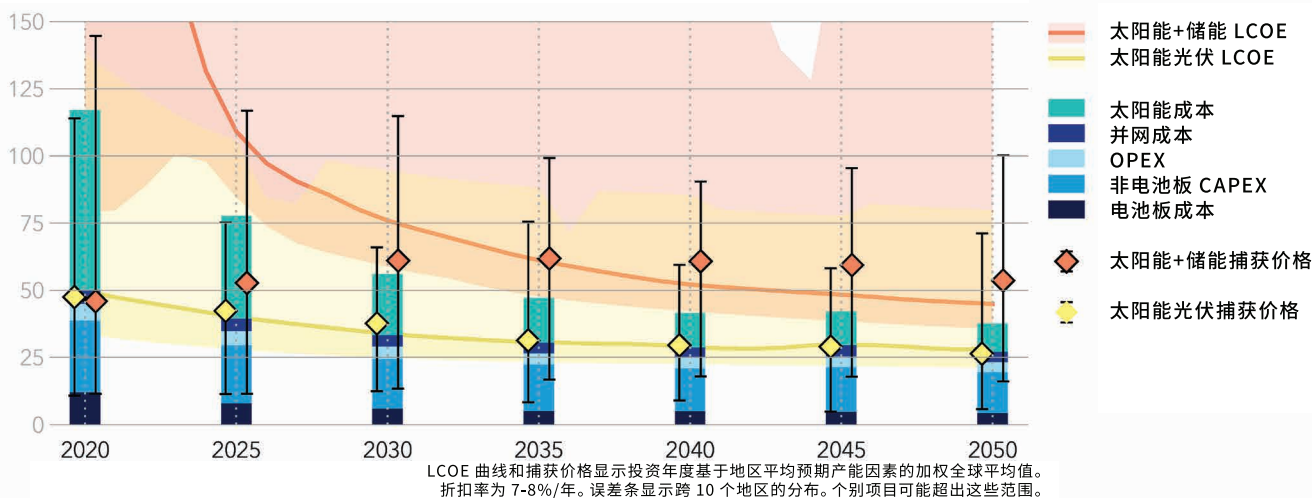
目前，太阳能光伏 + 储能的平准化成本是无储能太阳能光伏的两倍多。然而，随着电池价格的持续下跌，到 2030 年，两者之间的差距将缩小到 65% 以下。届时，在全球平均基础上，太阳能光伏 + 储能相对于常规太阳能光伏电站的捕获价格优势将超过成本劣势。在十年内，大约四分之一的光伏装机将配备专用储能设备，到本世纪中叶，这一比例将上升到一半。到 2050 年，太阳能光伏的总装机容量将达到 7.6 太瓦，光伏 + 储能的总装机容量将达到 3.9 太瓦。

到 2050 年，用于制氢的离网太阳能光伏总装机容量将达到 800 吉瓦左右。到那时，凭借新增的 130 吉瓦离网太阳能光伏发电量，以及便宜的电池储能，印度次大陆和撒哈拉以南非洲地区的数亿贫困人口将用上电。

图 21

分布在各个地区的全球太阳能平准化度电成本 (LCOE) 和捕获价格

单位：美元/MWh



储能和灵活性

随着我们迈向脱碳电力系统，我们既有机会也需要获得灵活性。鉴于太阳能和风能占据较高的份额，传统的灵活能源将需要进行大量储能。在未来 30 年，公用事业规模的储能容量将增长 160%，达到 7.3 TWh（图 23）。

随着灵活性的价值增加，许多常规发电技术（如燃气发电机组）将寻求加速其升降速率和缩短启动时间的方法。人们将越来越重视将用电量从高峰时段转移到需求较低的时段。对可再生能源发电和消费水平的预测将不断进步，新技术和市场机制将以需求响应的形式让更多消费者获得灵活性。

将廉价电力从 VRES 转换为其他能量载体（如氢）将增加更多的灵活性。采用智能电表和智能电网，继续投资于物理传输系统之间的互连，以及发电和负荷中心之间的连接，也将有助于更好地利用过剩的可再生能源供应。

储能技术将越来越多地使发电与电力需求在时间上分离。当今电力系统中的储能主要以抽水储能的形式存在。虽然这是一项成熟的技术，而且受地理位置的限制，但抽水储能将在未来 30 年增长 20%。

风能和太阳能的高度普及提高了价格波动性，并加强了储能业务，电池技术的成本暴跌也产生了影响（图 22）。我们预计电池储能将广泛扩张，主要是容量为 2-4 小时的锂离子电池。从 2040 年起，全球车辆到电网系统的吞吐量将几乎与专用锂离子电池和抽水储能一样大，到本世纪中叶将达到 240 TWh/年。

在更大的公用事业规模电池储能市场（例如，中国、韩国、日本、美国），已经出现对更长时间储能（超过 5 小时）的需求，同时这一需求还会加强。这一趋势将推动全钒氧化还原液流电池、锌基化学制品或压缩空气等新技术的发展。到 2050 年，长期储能容量可能接近 1 TWh。

图 22

公用事业规模锂离子电池系统成本

单位：美元/kWh

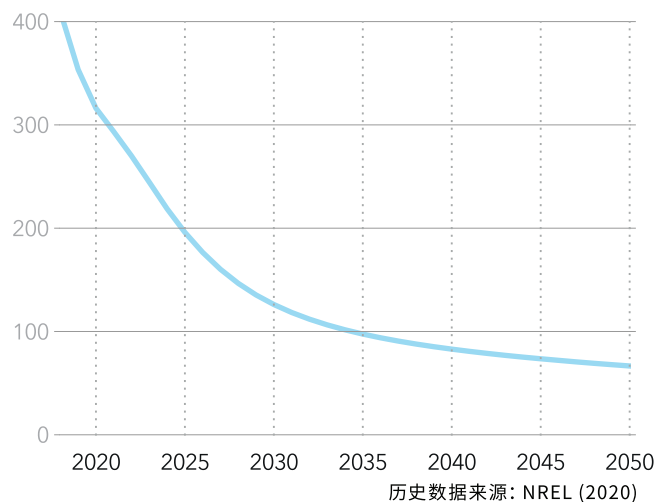
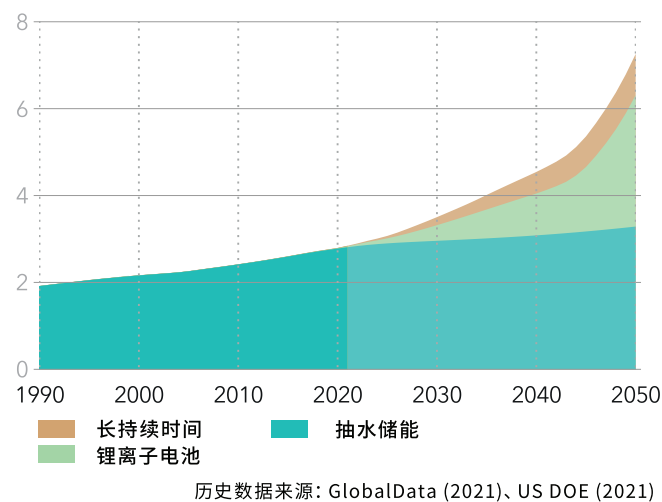


图 23

世界公用事业规模储能容量

单位：TWh

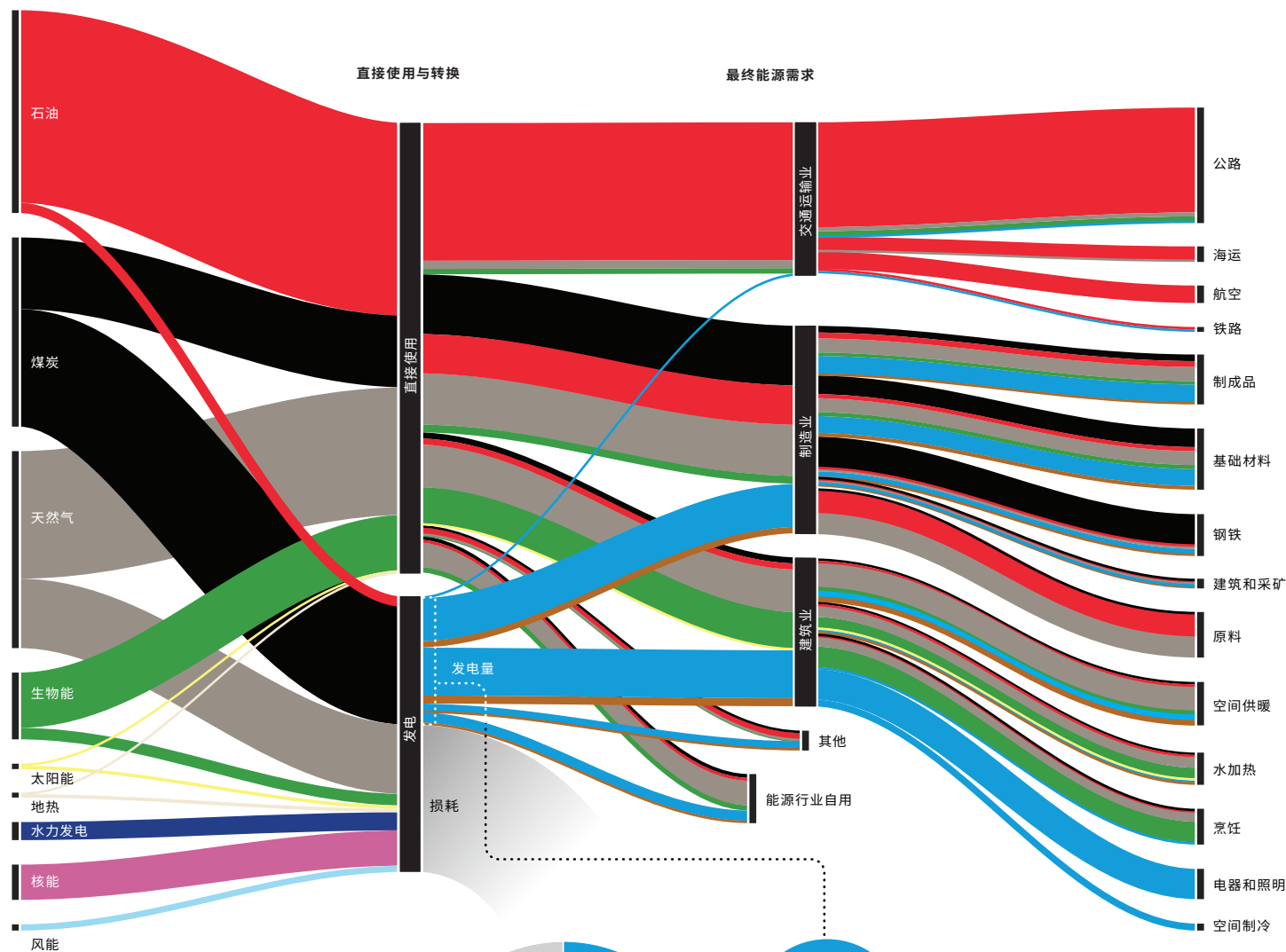


能流比较: 2019 年和 2050 年

- 生物能
- 煤炭
- 火力发电
- 电力
- 地热
- 氢气
- 水力发电
- 天然气
- 核能
- 石油
- 太阳能
- 风能

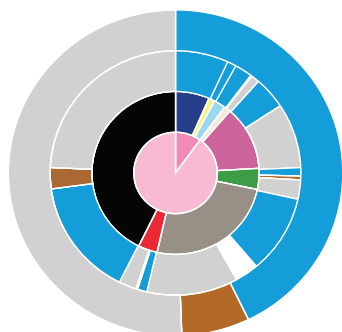
2019

一次能源供应



这些同心饼状图说明了与热能（化石、生物质和核能）和非热能（可再生能源）发电相关的损耗。

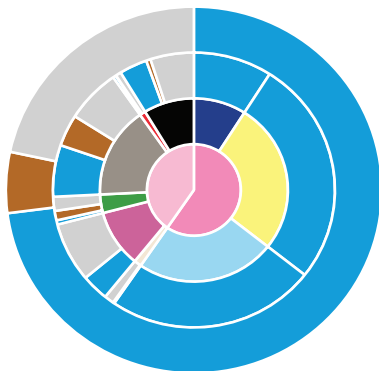
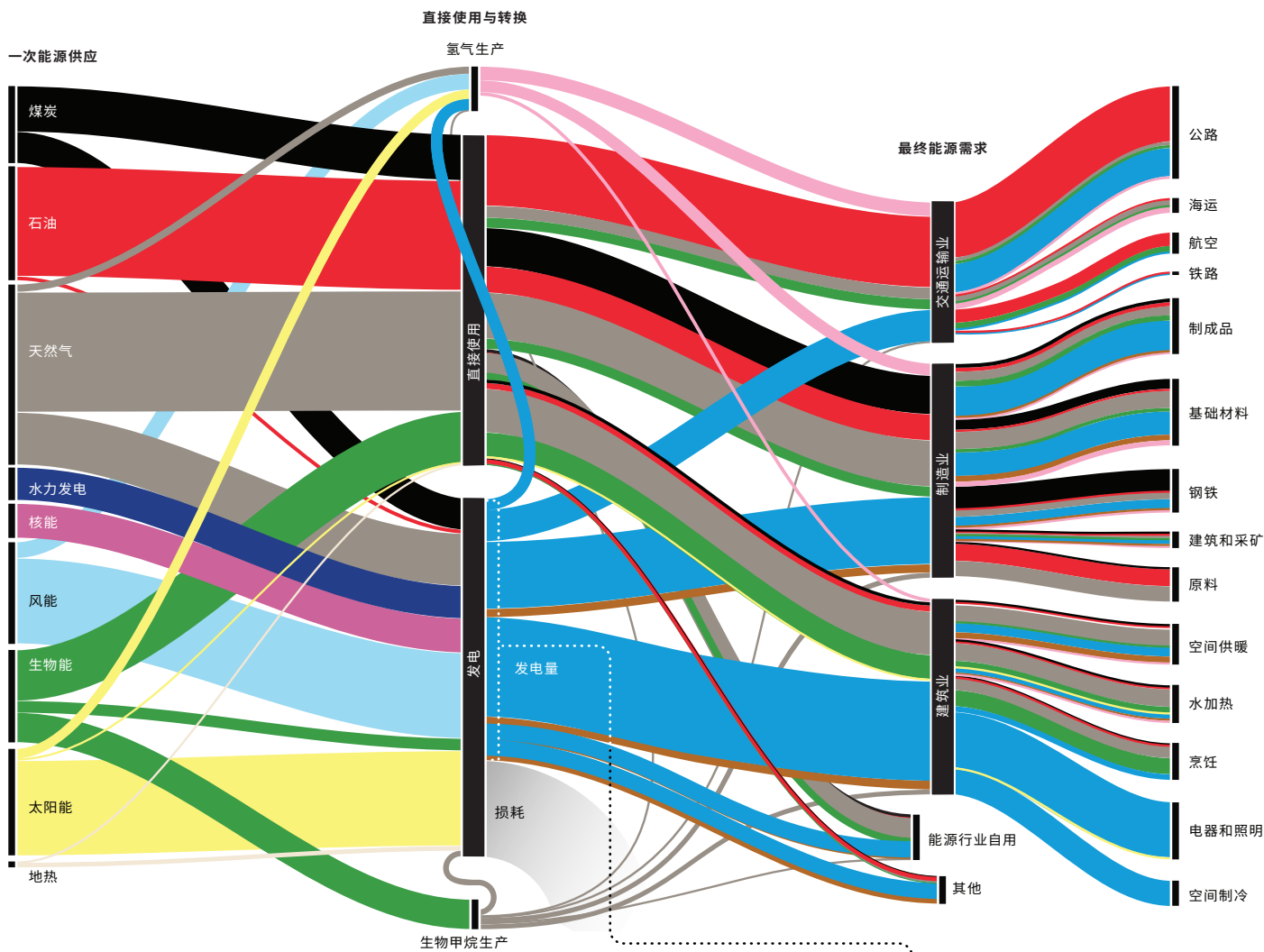
两个内圈显示了输入源。第三个圈显示了与每个能源相关的电量/损耗，而外圈则显示了电力、火力发电和损耗的总输出。



发电
27
PWh/年

- 热
- 非热
- 损耗

2050



效率和支出

能效

提高能源生产和使用的效率是能源转型的关键。

在全球范围内，能源强度（每美元 GDP 的能源单位）在过去二十年中平均每年下降 1.7%。这种下降并不是平稳的，新冠疫情带来了进一步的短期高峰，能源消耗和 GDP 都出现了不同程度的波动。

无论本次疫情的短期影响如何，能源强度将继续以比前几十年更快的速度下降，在未来 30 年内平均每年下降 2.4%（图 24）。累积效应是，能源强度将从 2019 年的 4.3 兆焦/美元下降到 2050 年的 2.0 兆焦/美元。换句话说，到本世纪中叶，我们创造 1 美元 GDP 所用的能源将不到今天的一半。

从能源生产的角度来看，由可再生能源驱动的快速电气化是未来 30 年提高能效的核心驱动力。对于公用事业规模的发电厂，燃煤和燃油发电厂的典型热效率约为 30% 至 40%，燃气联合循环发电厂的热效率高达 60%。相比之下，按照我们使用的能源核算方法来计算，太阳能光伏发电和风力发电的效率会达到 100%。因此，转换损失占发电输入能源的百分比将从 2019 年的 51% 降至 2050 年的 19%。

大多数最终使用的效率也与电气化有关。一个明显的例子是公路运输的电气化，其中电动汽车的效率是化石燃料车辆的三倍多。

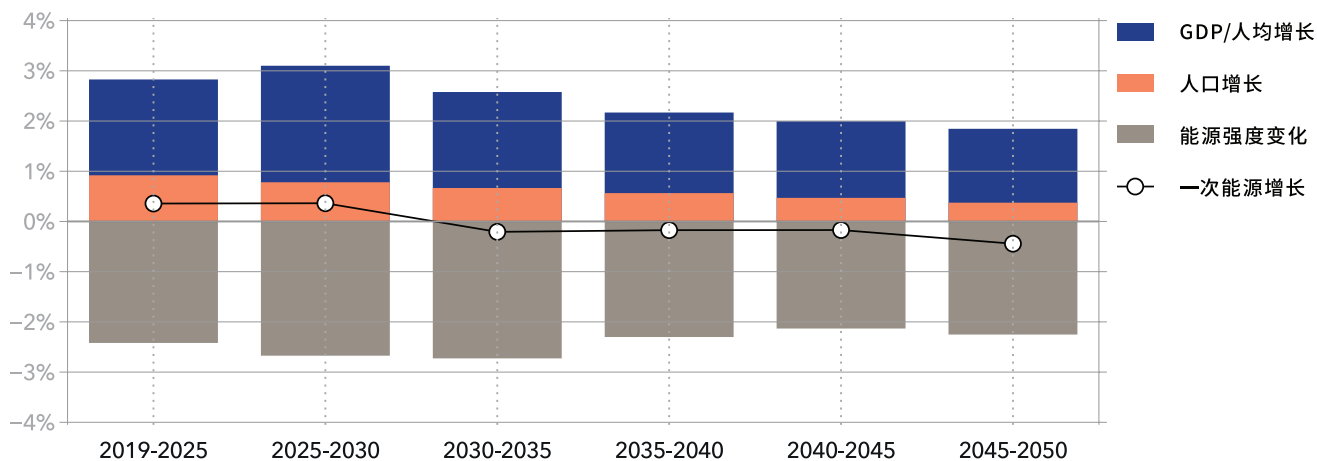
在计算行业效率时，除了电气化外，我们还考虑了一系列的活动、技术和结构变化。例如，技术改进可提高发动机性能、船体流体动力学或隔热性能。我们发现，如果没有交通运输业、建筑业和制造业的预期效率提升，能源需求将比我们预测的 2050 年水平高出 65%。

有相当大的潜力可提高效率，超出我们的预测。然而，这将需要各国政府和国际机构出台新的法令（我们目前还无法预测），还需要行业内就新标准和推荐做法展开前所未有的合作。

图 24

世界能源强度和年减少率

单位：百分比/年



能源支出

我们所预测的能源转型不仅是负担得起的，而且会在全球范围内带来可观的费用节省。

可再生能源、储能和电网建设确实需要大量的前期投资；因此，有些人认为这种转型是“负担不起的”。我们得出的结果正好相反：虽然全球 GDP 到 2050 年将翻一番以上，但全球能源支出与今天的水平相比增长不大。这要归功于能效和可再生能源技术的改进。

世界能源支出将从化石能源转向非化石能源，每年支出总额仅增加 4%，从 2019 年的 4.5 万亿美元增加到 2050 年的 4.7 万亿美元。化石能源份额将下降三分之一以上，从目前的 76% 下降到本世纪中叶的 42%。

“能源支出”有多种定义，我们使用严格规定的术语。然而，我们排除了能效措施以及下游碳减排成本方面的投资。我们也没有包含与最终使用支出（制造、运输等）相关的成本。

到 2050 年，上游石油和天然气支出将下降 46%。石油投资将下降，而天然气投资将保持不变，之后在本世纪 40 年代略有下降。另一方面，考虑到装机容量的使用寿命较长，运营费用仍将相当高，仅石油的运营费用会下降 35%，天然气将会持平。

同期的化石燃料发电投资将大幅下降 96%，到仅为 50 亿美元。由于长寿命设备的惯性，化石燃料发电机组（不包括燃料）的运营和维护费用将保持在 3,500 亿美元左右。

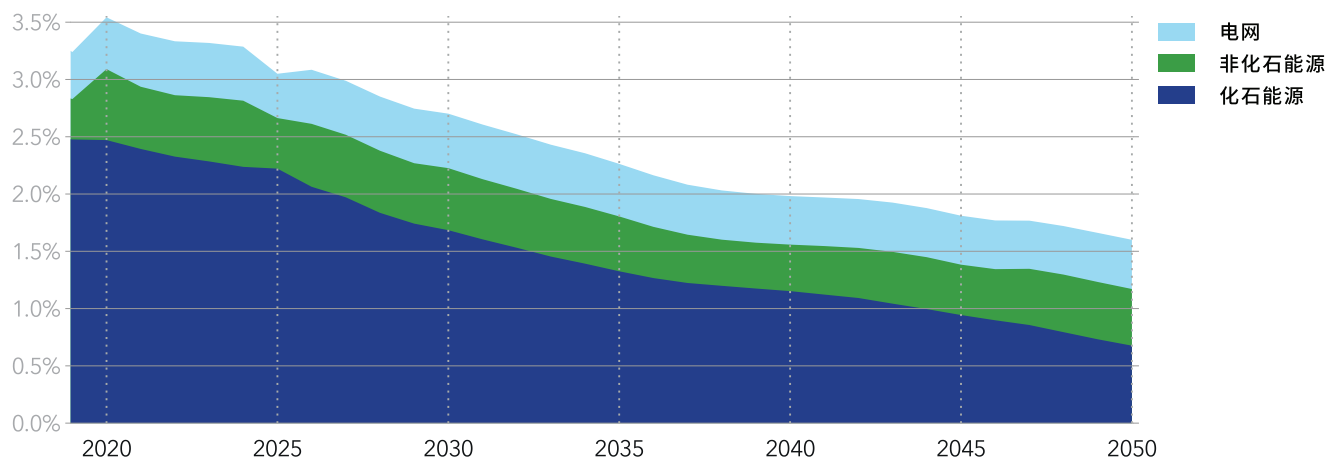
到 2050 年，电力需求的增长将导致非化石能源支出几乎翻一番。太阳能光伏和风能的增长尤为明显。它们共计占 2050 年全球能源支出的五分之一，比 2019 年增加近四倍。

然而，最重要的是，全球用于能源的 GDP 份额将在一代人的时间内减半。从概念上讲，可将每十年“节省”的数十万亿美元用于加速转型。

图 25

世界能源支出占世界 GDP 的比例

单位：百分比



还不够快

最新的科学研究表明，要实现《巴黎协定》的远大目标，我们就必须在本世纪中叶实现净零排放。要实现该目标，我们必须在2050年前将人类活动的排放量尽可能降到接近零的水平。我们预测，到2050年，与能源相关的排放量远未达到零，加上人类活动的其他排放，到2100年，全球变暖将达到2.3°C，科学界认为这是一个危险的水平。

排放量

能源生产和使用占全球温室气体排放量的70%，其中大部分是CO₂。我们预测，2050年与能源相关的年度CO₂排放量将达到190亿吨，比目前水平减少45%。

在过去50年中，与能源相关的排放有50%被排到大气中。2014-2016年间，全球能源相关CO₂排放量基本持平，2019年达到343亿吨CO₂的峰值。

COVID-19的影响导致2020年排放量下降约6%。但随着当前经济活动的复苏，能源使用和排放将再次上升。与能源相关的排放将在2021年回升3%，到2023年增长至330亿吨CO₂，然后在2030年逐渐下降至310亿吨CO₂，仅比2019年低9%。

目前，燃烧排放主要来自煤炭和石油的使用，但在未来三十年内，天然气排放将日益占主导地位。我们预测，到2050年，煤炭的排放量将下降62%，石油的排放量将减半，而天然气的排放量将在2030年前增长，然后下降到仅比当前排放量低15%的水平。

到2050年，由于可再生电力的增长和第28页所述的持续效率，制造业、建筑业和交通运输业等主要需求领域的排放量都将下降40%至50%。

区域

到2050年，印度次大陆和撒哈拉以南非洲的绝对排放量将增加。排放量最高的大中华区将在2030年前达到排放峰值；随后，排放量将比目前水平下降75%。所有其他地区都将减少其排放，经合组织太平洋地区和欧洲将经历最大的相对变化。到2050年，欧亚大陆东北部的人均排放量将达到最高的7.5吨/人，其次是北美、中东和北非的3.5吨/人。

碳捕获

在近期和中期，CCS的普及非常有限，而从长期来看，实际上为时已晚，而且是微乎其微的。直到本世纪40年代，当碳价格开始接近CCS成本时，才会开始大规模部署。到2050年，碳捕获总量将仅占所有年度能源相关排放量的6%。

超出碳预算

为了将全球变暖限制在1.5°C以下，IPCC得出的结论是，从2020年初到未来，我们必须将累计排放量限制在4,000亿吨CO₂，同时保持11,500亿吨CO₂的水平，以将全球变暖保持在2.0°C以下。

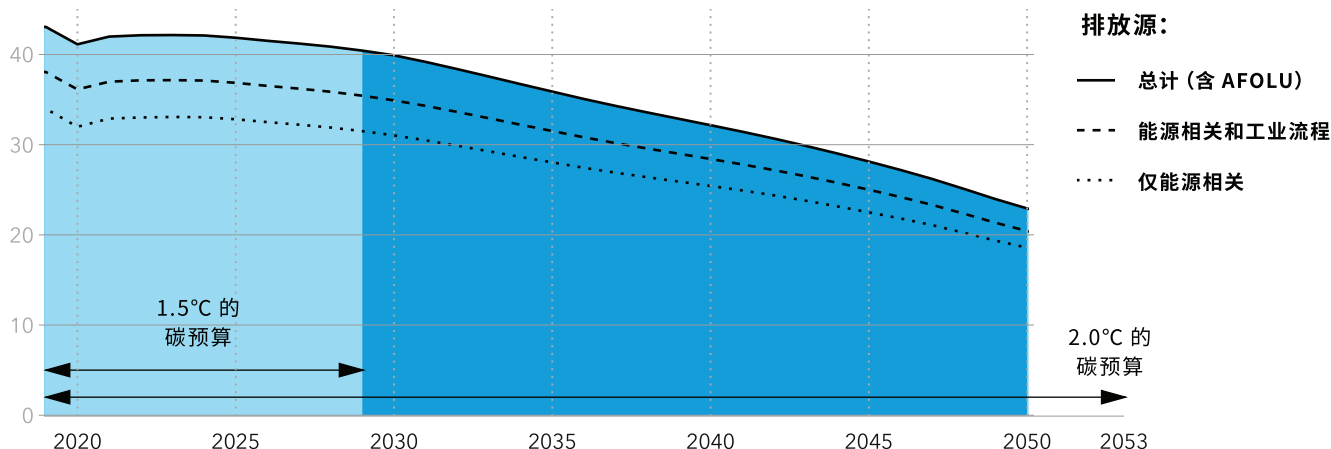
使用IPCC碳预算和预测中的CO₂排放总量，我们发现1.5°C预算将在2029年耗尽。要耗尽与2.0°C阈值相关的预算，还需要24年的时间，直到2053年。

为了得出这些估算值，我们添加了非能源（如农业和工业过程）的排放量，以全面了解人类活动产生的CO₂排放量。

为了估计本世纪末的CO₂排放量和全球变暖，我们将推断到2100年的排放量及其捕获的发展情况。IPCC AR6 (IPCC, 2021年)的最新气候响应表明，由于预算可能超过3,700亿吨CO₂，到2100年，世界将达到比工业化前水平高2.3°C的变暖水平。

图 26

碳排放和碳预算

单位：十亿吨 CO₂/年

IPCC 第六次气候科学评估报告

联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 于 2021 年 8 月 9 日发布了第六次评估报告 (AR6) 的第一部分。

该报告得出的结论是，几乎所有排放情境都预计，“在本世纪 30 年代初”会出现 1.5°C 的变暖。如果不实现“净零” CO₂ 排放，立即大幅减少 CO₂ 和其他温室气体的排放量，气候系统将继续变暖。

AR6 的一个关键改进是，其变暖预测“首次”基于多条证据，包括对历史和近期变暖趋势的观察。这是一个重大的转变，因为早期 IPCC 的预测完全基于气候模型。

该报告还描述了气候变化对降雨模式、冰盖和冰川融化、永久冻土和季节性积雪以及海平面上升等领域的重大影响。

“当前的 IPCC 第一工作组报告对人类来说是危险警报。”



安东尼奥·古特雷斯

联合国秘书长

2021 年 8 月 9 日



模型输入

人口

全球的人口数量是任何能源预测的核心输入数据。联合国的《世界人口前景》是能源预测者最广泛使用的数据源。

然而，有人批评联合国没有足够重视与未来生育趋势相关的国家特定教育水平数据。

因此，本前景展望遵循了国际应用系统分析研究所 (IIASA) 采用的方法，其中特别考虑了城市化和提高的教育水平如何与人口趋势相联系。

根据 IIASA 的最新 (2019 年) 更新，我们得出 2050 年全球人口估计为 94 亿，比最新 (2017 年) 联合国人口中值预测低约 4%。人均能源使用量差异很大，这可通过加权过程反映在我们的模型中，首先计算区域一级的总能源消耗量，然后计算全球一级的消耗量。

本次疫情对生育率和教育都产生了影响，但对长期人口趋势的影响尚未确定。

经济增长

全球 GDP 预计将从 2019 年的 138 万亿美元/年增长到 2050 年的 292 万亿美元/年。这一数字在 31 年里翻番，原因在于人口增长了 22%，人均 GDP 增长了 74%，地区差异很大。

2019-2021 年期间，本次疫情将经济增长放缓至 1.2% (复合年均增长率)，并将对世界经济产生永久性影响。2023 年后 COVID-19 的提振将导致一些地区经济体比没有疫情的增长速度略快，到 2050 年，这一损失将下降到 3.2%。

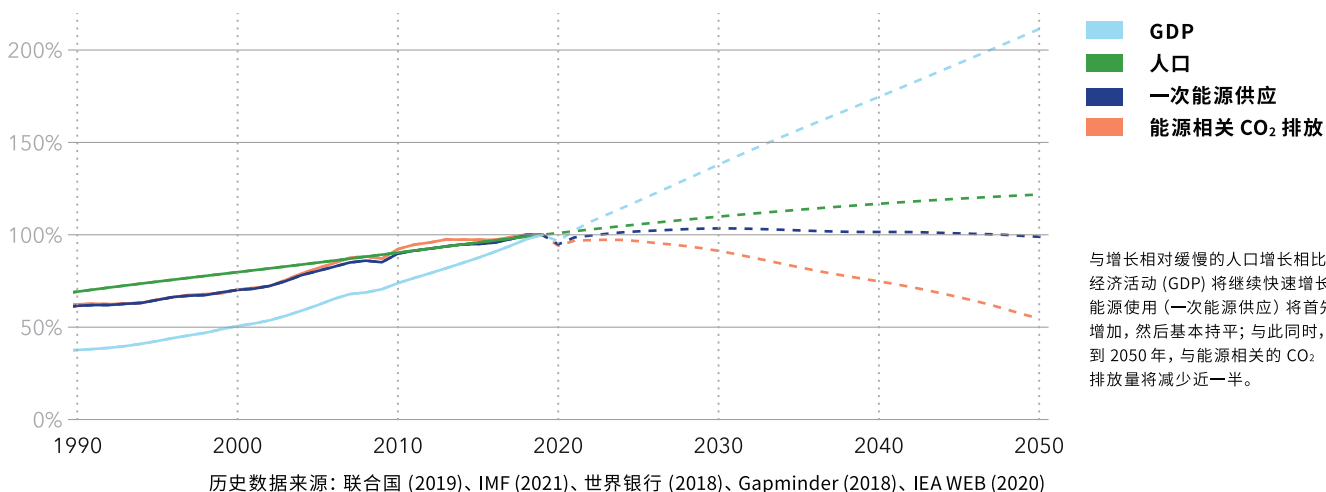
到本世纪中叶，当前快速增长的新兴经济体将进入第三产业 (服务业)，经济增长将明显放缓。人口增长放缓和生产率下降相结合，意味着全球 GDP 增长率也将放缓。

2021 年至 2030 年期间，人均 GDP 增长最快的地区将是亚洲。印度次大陆 (IND) 的增长率最高，平均为 6.2%/年，其次是东南亚为 4.9%/年，大中华区 (CHN) 为 4.6%/年。

图 27

经济增长与其他关键参数的脱钩

单位：百分比



学习曲线效应

产能每翻一番，一项技术的成本就会降低一部分。持续的市场部署带来了更多的经验、行业效率和进一步的研发。

全球累计产能每增加一倍，太阳能电池板的成本就会下降 26%。我们预计到 2050 年，这一比例将降至 17%。风力发电机的成本学习率 (CLR) 为 16%，锂离子电池为 19%，并将继续保持这些比率。除了这些核心技术外，总投资成本还包括支持基础设施、安装套件、劳动力、法律费用等的成本，这些成本的 CLR 都较低。包括这些其他成本组成部分，我们预测，到 2030 年，全球累计产能每增加一倍，相对成熟的可再生能源技术（太阳能光伏和陆上风电）的全球平均总投资成本水平将下降 11%。太阳能光伏 + 储能和浮式海上风电等新技术的学习率更高。到 2050 年，随着非技术成本开始占总投资成本的份额变高，CLR 将下降。

投资成本的下降只是部分解释了为什么太阳能和风能等技术经历了大规模的采用。发电厂设计和运营的改进实现了更高的容量系数，确保每年每千瓦容量产生更多的能量。

政策

随着 IPCC 发布令人震惊的 AR6 报告，鉴于大肆宣传的推迟的 COP26 联合国气候峰会，在对 COVID-19 复苏支出对能源转型的令人失望的影响进行分析之际，能源政策从来没有像现在这样受到如此强烈的关注。

DNV 与政府、学术界和国际机构展开合作，密切关注影响国家、区域和全球能源转型的政策。我们不断分析各种各样的话题，如气候目标、空气质量、健康、创造就业和能源安全。

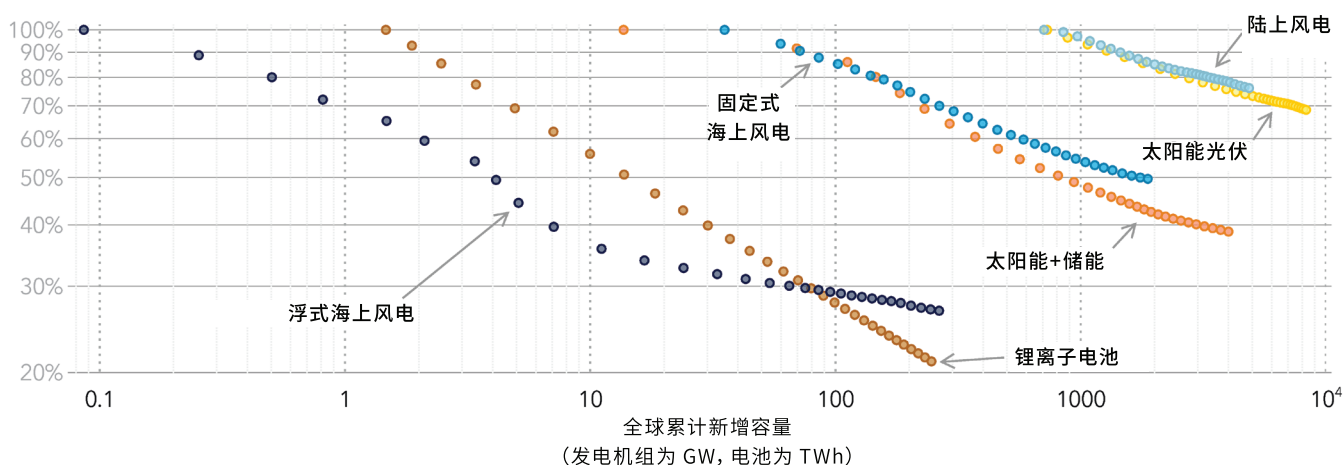
有关我们的预测中明确考虑的政策因素的概述，请参见第 35 页。

在我们的模型中，国家一级的数据被转化为预期的政策影响，然后进行加权和汇总，生成区域数据，以便纳入分析。示例包括明确的区域碳价格、对可再生能源和电动汽车的支持，以及与空气污染和气候问题相关的化石燃料税。有几个国家正在加紧实施支持加速绿氢的计划，智利就是一个突出的例子。

图 28

学习导致单位投资成本下降

单位：占 2020 年成本的百分比



每个圈代表 2020-2050 年间全球加权平均成本。

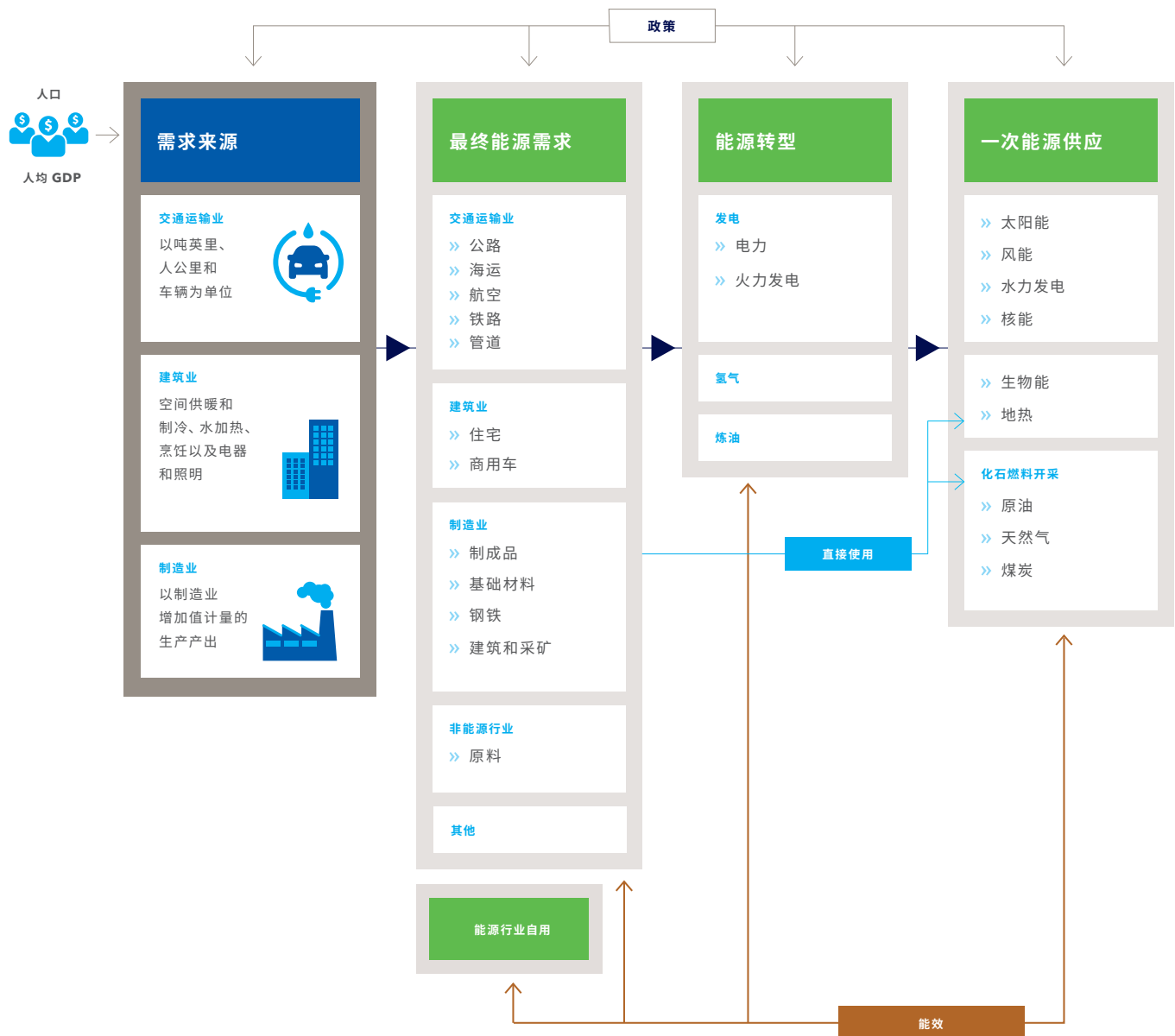
模型描述

下面的图 29 显示了 ETO 模型框架。图中的箭头表示信息流，从人口和人均 GDP 开始，实际的信息流方向则与此相反。

能源政策影响着能源系统的方方面面。提高开采、转化和最终使用方面的能效是转型的基石。

图 29

ETO 模型框架

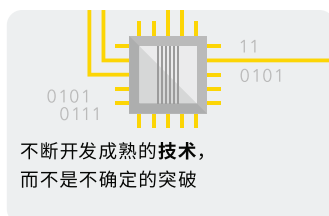
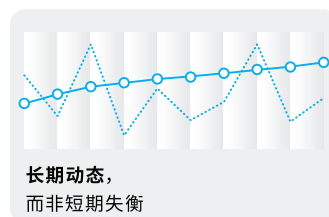
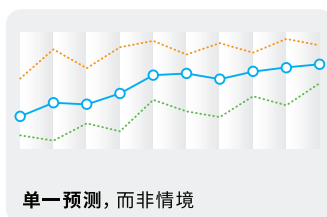
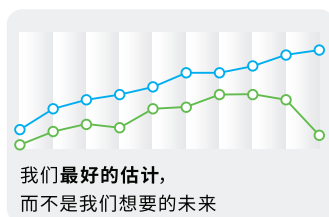


我们的方法

与基于情境的展望相比，我们对未来能源进行了单一的“最佳估计”预测，并对我们的主要结论进行了敏感性分析。

我们的模型模拟了能源消费者（交通运输业、建筑业、制造业）和所有供应源随时间的相互作用。该模型涵盖了全球能源的需

求和供应，以及十个世界区域之间和内部的能源使用和交换。分析涵盖了 1980 年至 2050 年期间在多年尺度上展开的变化，在某些情况下进行微调，以反映每小时的动态。



政策

政策会影响能源系统的各个方面，图 30 给出了纳入我们预测的政策因素的快照。政策考量会在三个主要方面影响我们的预测：

- 支持技术开发和激活市场，缩小可再生能源技术与现有技术竞争的盈利能力差距
- 通过技术要求或标准限制低效或污染产品/技术的使用；
- 提供经济信号以减少碳密集性行为，例如价格激励

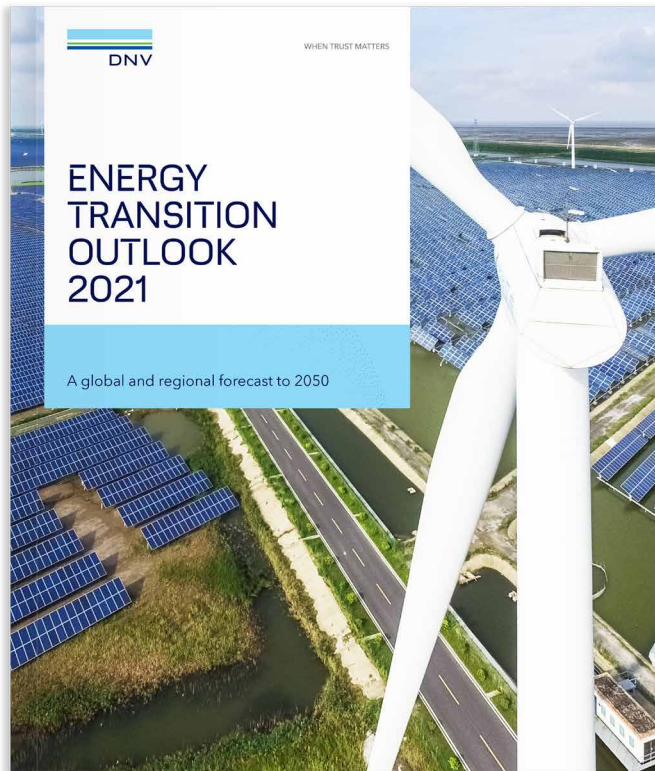
国家一级的数据被转化为预期的政策影响，然后进行加权和汇总，生成区域数据和最终的全球影响，以便纳入我们的分析。

图 30

我们前景展望中包含的政策因素



2021年能源转型前景展望报告概述

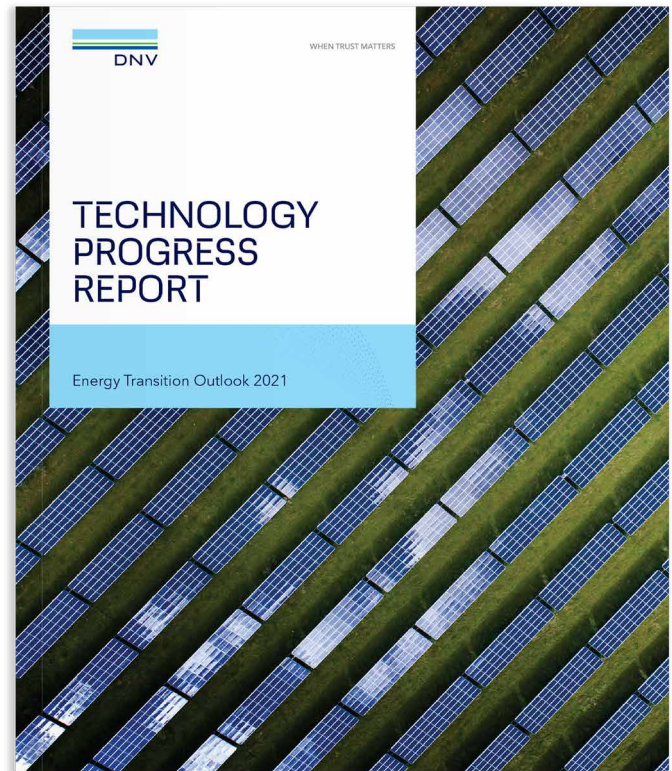


能源转型前景展望

我们的主出版物涉及我们基于模型对至 2050 年的世界能源系统的预测。它提供了我们关于未来能源转型最可能的发展轨迹的独立观点，并涵盖：

- 交通运输业、建筑业和制造业的**全球能源需求**
- **不断变化的能源供应结构**、能效和支出
- 全球 10 个区域的**详细能源展望**
- 我们预测的**气候启示**。

我们还提供模型和主要假设（即人口、GDP、技术成本和政府政策）的详细信息。此外，我们的 2021 年前景展望还探讨了 COVID-19 的影响，以及氢作为能量载体不断增加的重要性。

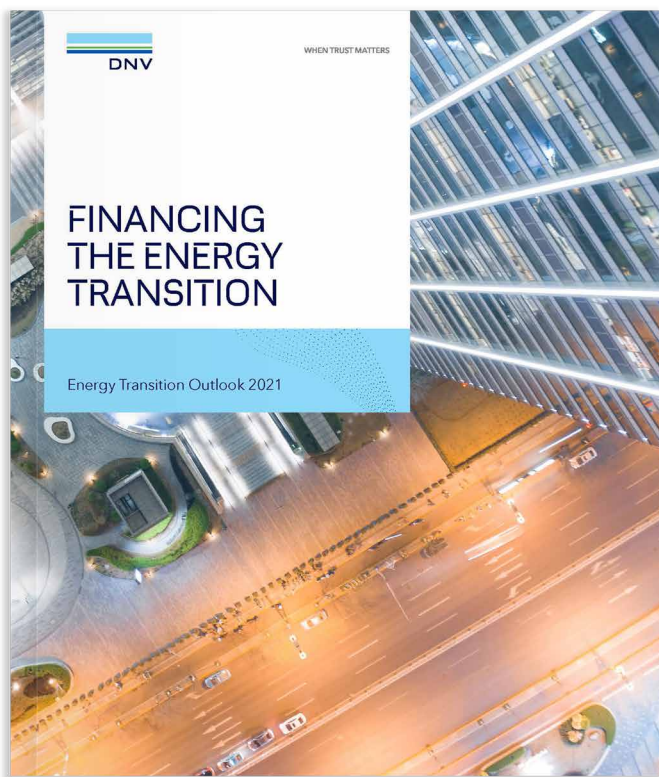


技术进展报告

我们将探讨关键能源转型技术在未来 5 年内如何发展、竞争和互动。这 10 大技术是：

- **能源生产**：浮式风能、太阳能光伏及废物转化为燃料和原料
- **能源运输、储存和分配**：低碳天然气管道、网状 HVDC 电网、新电池技术
- **能源转换和使用**：新型航运技术、电动汽车和电网集成、绿色制氢、CCS。

我们试图在技术细节与安全、效率、成本和竞争力之间取得平衡。这些技术之间的相互依存和联系是一个特别关注的领域。



为能源转型融资

关注金融机构、政策制定者、开发商和能源公司面临的金融机遇和挑战：

- **负担得起的转型** - 考虑符合《巴黎协定》的转型是否负担得起，以及调动和重新引导资本可能需要做的准备
- **加速转型** - 研究金融市场、政策和监管的作用，以及如何让资本流向对排放影响最大的地方
- **确保公正转型** - 探索平衡可持续性优先事项、确保共同利益和建立气候弹性的重要性。

该报告结合了 DNV 到 2050 年的独立能源预测，以及能源和金融行业各种领导者的观点。



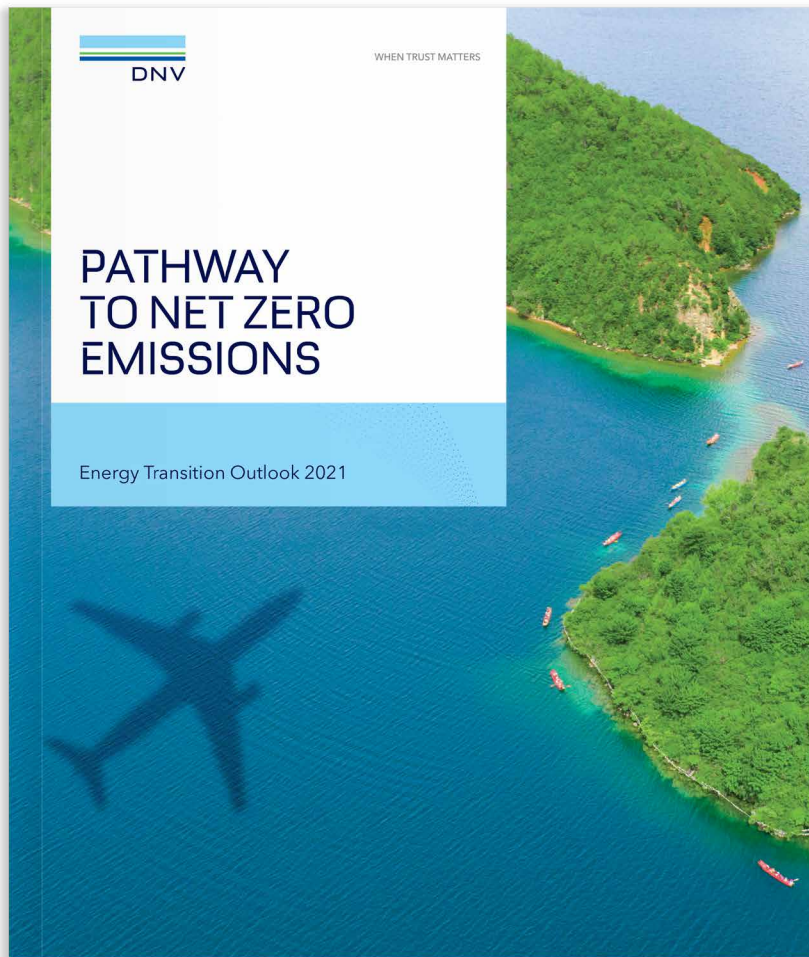
海运预测

随着航运业的碳减排轨迹正迅速趋向零，《2050 年海运预测》为船东提供了切实可行的建议和解决方案。

- **DNV 的全新碳风险框架** 支持详细评估燃料灵活性和燃料就绪解决方案、燃料和能效策略的经济稳健性以及其对船舶设计的影响。
- **脱碳** 导致了加强的监管要求、新货主和消费者的期望以及投资者和机构更严格的要求。
- **能源和燃料生产方面的投资** 对于航运业的脱碳努力至关重要。

这是航运业面临的重大挑战。但是，通过整个行业的合作，采用燃料灵活性，并咨询专家伙伴，航运业可实现其目标。

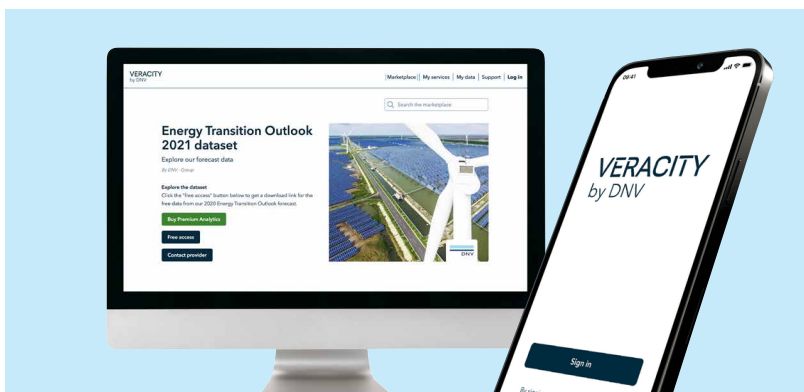
实现净零排放的途径



今年，在 COP26 联合国气候峰会之前，我们将发布一份新的《2021 年能源转型前景展望》配套报告。正如《巴黎协定》所述，并在 2021 年 8 月发布的 IPCC AR6 WG1 报告中确认的那样，迫切需要优先采取紧急的行动来解决能源相关排放问题。

我们的新报告描绘了如何在 2050 年前缩小预测和净零 CO₂ 排放之间差距的途径——即可能在本世纪末将全球变暖限制在 1.5°C 的行动。该报告涵盖了所有能源部门（包括难以减排的行业，如航空、海运和水泥等），以及 ETO 中的全球所有十个地区。我们关注哪些技术将有助于实现所需的变革，以及实现该变革所需的政策。

下载我们的预测数据



可在 Veracity (DNV 安全的行业数据平台) 上访问 DNV ETO 报告套件中的所有预测数据，以及我们模型的更多详细信息。

eto.dnv.com/forecast-data

ETO 团队和联系人

本报告由 DNV 编制，作为 DNV 集团与我们的两个业务领域——能源系统和海事——之间跨 15 个国家的一次跨学科合作。核心模型的开发和研究由能源转型研究项目的一个专门团队

进行，该项目是位于挪威奥斯陆的集团开发和研究部门的一部分。此外，我们还得到了外部 ETO 合作网络的大力协助。

DNV 核心团队

指导委员会

Remi Eriksen、Ditlev Engel、Ulrike Haugen、
Trond Hodne、Liv Hovem

项目总监



Sverre Alvik, sverre.alvik@dnv.com

建模负责人

Onur Özgün

核心建模和研究团队及特约作者

Bent Erik Bakken、Gudmund Bartnes、Thomas
Horschig、Anne Louise Koefed、Erica McConnell、Mats
Rinaldo、Sujeetha Selvakkumaran、Adrien Zambon、
Roel Jouke Zwart

沟通负责人和编辑

Mark Irvine, mark.irvine@dnv.com

能源系统项目经理

Jeremy Parkes

海事项目经理

Linda Sigrid Hammer

我们的 2021 年前景展望外部合作网络包括：

Harald Magnus Andreassen (Sparebank 1 Markets)、
Valentin Batteiger (Bauhaus Luftfahrt)、Kingsmill Bond
(Carbon Tracker)、Sunil Gupta (Vena Energy)、Gørild
Heggelund (Fridtjof Nansen 研究所)、Robert Hornung
(加拿大可再生能源协会)、Steffen Kallbekken (CICERO)、
Francisco S. Laverón (Iberdrola)、杨雷 (北京大学能源
研究院)、Wolfgang Lutz (维特根斯坦人口与全球人力
资本中心)、马晋龙 (亚太经合组织可持续能源中心)、
Tom Moultrie (开普敦大学)、Susanne Nordbakke
(Transportøkonomisk Institutt, TØI)、Glen Peters
(CICERO)、Sergei P. Popov (梅伦蒂耶夫能源系统研究所)、
Thina Margrethe Saltvedt (Nordea)、Jon Birger
Skjærseth (Fridtjof Nansen 研究所)、Marco Tagliabue
(奥斯陆城市大学)、Mena Testa (Enel 全球基础设施
和网络)、Kevin Tu (Agora Energiewende 中国区)、
Jørgen Wettestad (Fridtjof Nansen 研究所)、
翟永平 (腾讯/亚洲开发银行)

历史数据

本出版物部分基于国际能源署 (IEA) 的 World Energy
Balances 数据库 (© OECD/IEA 2020)，但最终成果由
DNV 编制，不一定反映国际能源署的观点。

与能源相关的图表、历史 (截至并包含 2018 年) 数值数据
主要基于来自 World Energy Balances 数据库 © OECD/
IEA 2020 的 IEA 数据 (www.iea.org/statistics),
许可: www.iea.org/t&c, 并经过 DNV 修订。

由 DNV AS 发布。设计 SDG/McCann Oslo/Infogr8。印刷 07 Media AS。纸张 Arctic Volume White 130/250。

图片封面图片: Shutterstock, 第 31 页: UN/Mark Garten, 第 38 和 39 页: DNV

关于 DNV

DNV 是一家独立的保障和风险管理提供商，在 100 多个国家/地区开展业务，旨在捍卫生命和财产、保护环境。无论是评估新船设计，鉴定浮式风力发电场的技术，分析天然气管道的传感器数据，还是认证食品公司的供应链，DNV 都能使其客户及其利益相关者自信地管理技术和监管复杂性。作为世界上许多最成功组织所信赖的声音，我们利用广泛的经验和深厚的专业知识来提高安全性和可持续性能，制定行业标准，并启迪和发明解决方案。

dnv.com/eto

总部：
DNV AS
NO-1322 Høvik, Norway
电话：+47 67 57 99 00
www.dnv.com

DNV® 和 Det Norske Veritas® 商标归属于 Det Norske Veritas 集团旗下企业。
版权所有。

