



《bp世界能源展望》 2023年版



2023年版《世界能源展望》（以下称“《展望》”）探讨能源转型的主要趋势和不确定性因素。

2023年版《世界能源展望》将重点关注以下三大情景：“快速转型情景”、“净零情景”和“新动力情景”。这三种情景既不是对未来的预测，也不是bp希望发生的情景，而是就能源转型性质的不同判断与假设以及围绕这些判断的不确定因素，探讨可能产生的影响。这些情景的推理基于现有的技术，未考虑全新或未知技术可能产生的影响。

全球能源系统转型存在诸多不确定因素，这就意味着，上述任何一种情景完全按照描述的情形实现的概率微乎其微。此外，这三种情景并没有包罗无遗地提供未来转型的各种可能路径，但确实涵盖了一系列可能的结果，因此有助于展现2050年之前能源市场主要不确定性因素。

本期《展望》中各种情景已经更新，将过去一年的两大历史事件纳入考量：俄乌军事冲突和美国通过《通货膨胀削减法案》。除此之外，这些情景大体基于2022年版《世界能源展望》中的分析和情景，不包括对2022年《展望》出版以来所有变化和事态发展的全面评估。

编写本期《展望》是为了辅助说明bp的战略。公开发布本报告，有助于更广泛地探讨能源转型的驱动因素。在讨论未来全球能源市场时，本期《展望》仅将作为众多信息来源之一。此外，bp在制定长期战略时，还综合考虑了其其他诸多外部情景以及相关分析和信息。



欢迎走进2023年版 《bp世界能源展望》

过去的一年，俄乌军事冲突带来严重后果。我们关注所有受影响的人们，为他们祝愿。

从能源视角来看，俄罗斯能源供应的扰动以及由此导致的全球能源短缺似乎有可能对能源系统产生长期重大影响。

近年来，全球能源政策和讨论一直侧重能源系统脱碳化和向净零情景转型的重要性。过去一年发生的事件提醒我们，转型还需要考虑到能源的安全性和可负担性。能源系统的三个维度即安全性、可负担性和可持续性共同构成了“能源不可能三角”。任何成功和持久的能源转型，都需要“能源不可能三角”的全部三要素。

去年的《展望》没有对俄乌军事冲突可能影响进行任何分析。本期《展望》中的情景已经更新，将俄乌军事冲突和美国通过《通货膨胀削减法案》纳入考量。

在撰写本报告时，冲突仍在持续，没有结束迹象。因此，对这场冲突可能产生的影响的任何分析，都只是初步分析。然而，20世纪70年代能源供应遭受重大冲击的经验表明，加剧能源安全关切的事件可能对能源市场产生重大持久影响。

最重要的是，各国都希望加强能源安全，减少对进口能源（以化石能源为主）的依赖，增加国内能源生产（多数可能来自可再生能源和其他非化石能源），这表明冲突可能会加快能源转型的步伐。

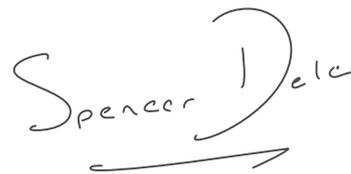
过去一年，全球只是减少了部分化石能源供应，但社会经济生活却大受冲击，这也突出表明，能源低碳转型需要有序推进，从而使得世界化石能源消费的下降能够与全球化石能源供应的减少相呼应，避免未来能源短缺和价格更加高企。

这些问题以及能源转型造成的更广泛影响，在本期《展望》中使用三大情景，即“快速转型情景”、“净零情景”和“新动力情景”进行了

探讨。这些情景涵盖了未来30年全球能源系统可能出现的各种结果。理解不确定性结果的范围，有助于bp制定富有韧性的战略以应对能源系统转型可能经历的不同速度和方式。

近年来，碳排放量持续增加，极端天气事件日趋频繁，这比以往任何时候都更清楚地表明，向净零情景未来果断转型非常重要。过去一年的事件凸显了全球能源系统的复杂性和相互关联性。必需解决“能源不可能三角”的全部三要素。我希望本期《展望》对所有在不确定的未来中摸索前行、努力加速全球净零情景转型的人们有所帮助。

欢迎大家对本期《展望》的内容进行反馈，提出改进意见。

Handwritten signature of Spencer Dale in black ink, with a horizontal line underneath.

戴思攀 (Spencer Dale)
首席经济学家

核心理念

本期《展望》旨在识别各主要情景内共同的能源转型特征。这些趋势有助于形成未来30年能源系统可能如何演变的核心理念。

- ▶ 碳预算正在消耗殆尽。尽管各国政府脱碳雄心显著增强，但自2015年巴黎缔约方会议以来（2020年除外），二氧化碳排放量逐年增加。拖延采取果断行动持续减少排放的时间越久，可能的社会经济成本就越高。
- ▶ 在一些国家，政府对能源转型的支持已进一步加强，包括美国通过的《通货膨胀削减法案》。但是脱碳化的巨

大挑战意味着我们需要更多的支持，包括促进加快许可和批准低碳能源和基础设施的政策。

- ▶ 俄乌军事冲突导致全球能源供应受到冲击以及相应能源短缺，凸显解决“能源不可能三角”全部三要素的重要性：安全性、可负担性和可持续性。
- ▶ 俄乌军事冲突对全球能源系统有深远影响。对能源安全的高度关注增加了对在本国国内生产可再生能源和其他非化石能源的需求，有助于加快能源转型。

- ▶ 能源需求结构发生变化，化石能源的重要性逐步下降，可再生能源占比增加以及终端能源电气化程度提高。低碳转型需要一系列其他能源来源和技术，包括低碳氢、现代生物能源以及碳捕集、利用与封存。
- ▶ 随着运营车辆效率的提升和道路车辆电气化加速，石油在道路交通中的使用减少，石油需求在展望期间下降。但即便如此，石油在未来15至20年内仍将继续在全球能源系统中扮演重要角色。

- ▶ 天然气的前景取决于能源转型的速度，新兴经济体经济增长和工业化导致天然气需求增加，与发达国家向更低碳能源转型所抵消。
- ▶ 最近的能源短缺和能源价格上涨突显了低碳转型有序进行的重要性，从而使得世界化石能源消费的下降能够与全球化石能源供应的减少遥相呼应。现有油气生产地产量的自然下降意味着在未来30年仍需继续对石油和天然气上游进行投资。
- ▶ 随着风能和太阳能发电日益占据主导地位，全球电力系统逐步向低碳化转型。风能和太阳能贡献了全部或大部分增量发电，这得益于成本的持续下降以及将这些可变电源大量整合到电力系统中的能力不断增强。风能和太阳能的增长需要显著加快新产能的融资和建设。
- ▶ 现代生物能源——现代固体生物质能、生物燃料和生物甲烷——的使用增长迅速，有助于难以减排的行业和工业生产过程脱碳。
- ▶ 低碳氢在能源系统的脱碳中，特别是在工业和运输领域难以减排的工艺和活动中，发挥至关重要的作用。低碳氢以绿氢和蓝氢为主，随着时间的推移，绿氢重要性不断增强。氢能贸易既涉及运输纯氢的区域管道贸易和全球氢能衍生品的海运贸易。
- ▶ 碳捕集、利用与封存在实现快速脱碳化方面发挥着核心作用：捕集工业生产过程中的碳排放，作为碳移除的手段，减少化石能源使用产生的排放。
- ▶ 我们需要一系列碳移除技术——包括和碳捕集与封存相结合的生物能源、基于自然的气候解决方案和直接从空气中进行碳捕集与封存——来实现深度和快速的脱碳。

概览	10	石油	38
三种情景：“净零情景”、“快速转型情景”和“新动力情景”	12	石油需求	40
与联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）路径的对比	14	用于运输业的石油	42
终端能源需求	16	石油供应	44
能源需求趋势	18	天然气	46
2022年版《世界能源展望》发布以来出现的转变	20	天然气需求	48
俄乌军事冲突的影响	22	液化天然气贸易	50
冲突对经济的影响	24	液化天然气出口	52
能源结构转型	26	可再生能源	54
石油和天然气贸易	28	风能和太阳能	56
碳排放变化	30	生物能源	58
俄罗斯石油和天然气生产量	32		
欧盟天然气需求和供应来源	34		
《通货膨胀削减法案》	36		

电	60	投资和关键矿产	80
电力需求	62	隐含投资水平	82
按燃料列示的发电情况	64	关键矿物需求	84
按地区列示的发电情况	66		
低碳氢	68	附件	86
低碳氢需求	70	数据表	88
低碳氢供应	72	模拟俄乌军事冲突的影响	90
		气候变化对经济的影响	92
碳减排与碳移除	74	投资方法	94
碳捕集、利用与封存技术	76	碳排放的定义与数据来源	96
碳移除技术	78	其他数据的定义与来源	98

概 览

三种情景探讨2050年前能源转型速度和形态方面的不确定性因素

“快速转型情景”和“净零情景”与政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 假设的“符合巴黎协定”的情景基本吻合

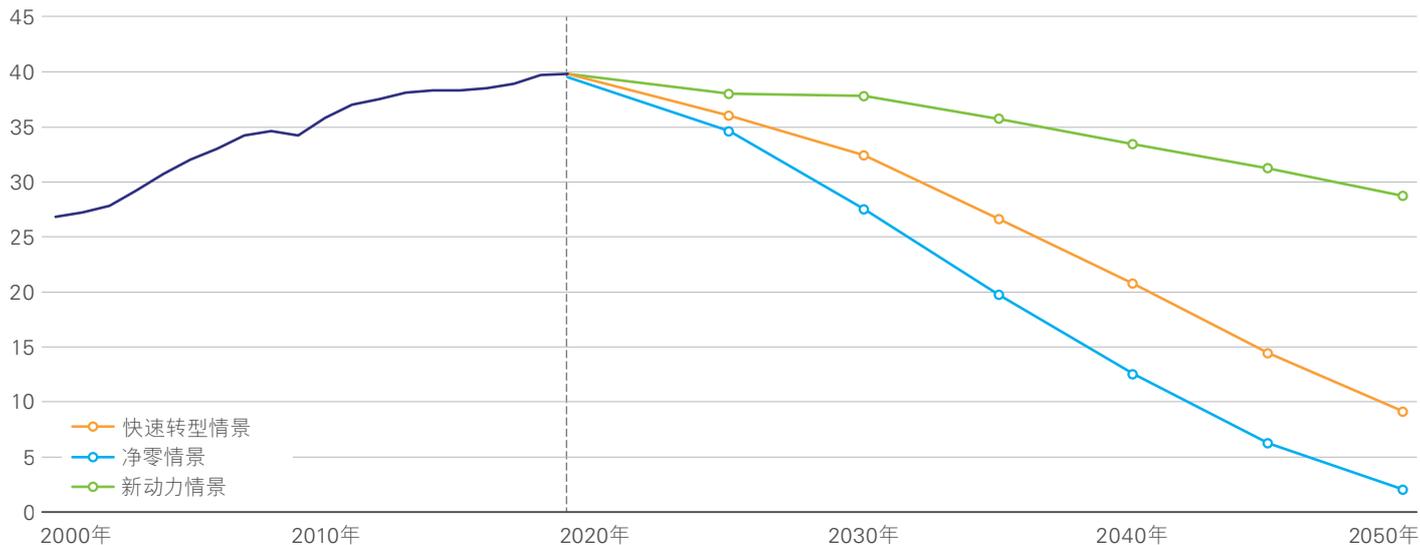
随着能效加速提升, 三种情景里的终端能源需求均将达峰

全球能源未来四大趋势: 油气作用下降、可再生能源快速扩张、电气化程度提高、低碳氢使用增多

三种情景探讨2050年前能源转型速度和形态方面的不确定性因素

碳排放

二氧化碳当量 (吉吨)



碳排放包括能源消耗、工业生产过程、天然气放空燃烧产生的二氧化碳排放以及来自能源生产过程的甲烷排放。

要点

2023年版《bp世界能源展望》通过“快速转型情景”、“净零情景”和“新动力情景”三种情景，探讨2050年前全球能源系统可能存在的各种路径，并帮助bp打造更具弹性的战略。

- ▶ 这三种情景既不是对未来的预测，也不是bp希望发生的情景，但力求涵盖到2050年能源系统可能出现的诸多情况。因此，这些情景也用于阐述bp针对能源转型的核心理念，并帮助制定更具弹性的战略，以应对能源转型速度和形态方面的诸多不确定性因素。
- ▶ 本期《展望》中的情景已经更新，将去年的两大事件纳入考量：俄乌军事冲突和美国通过《通货膨胀削减法案》。除了更新这两项事态发展的信息外，这些情景大体上均基于2022年版《世界能源展望》中的分析和情景。

▶ 这些情景考虑了能源生产和使用、多数非能源相关的工业生产过程以及天然气放空燃烧产生的碳排放，以及化石能源生产、运输与分销产生的甲烷排放（更多详细信息，见附件第96-97页）。

▶ “快速转型情景”和“净零情景”探讨了能源系统内不同要素如何变化才能大幅降低碳排放。从这个意义上讲，可以将二者视为“假如设想”情景：如果全球采取集体行动，在“快速转型情景”下，到2050年之前将二氧化碳当量排放量（CO₂e）减少约75%（相较于2019年水平），在“净零情景”下减少95%，能源系统的哪些要素可能需要改变。这两个情景均假设气候政策力度加大。“净零情景”还包括社会行为和消费者偏好的转变，这些转变进一步推动能效提升以及对低碳能源的采用。

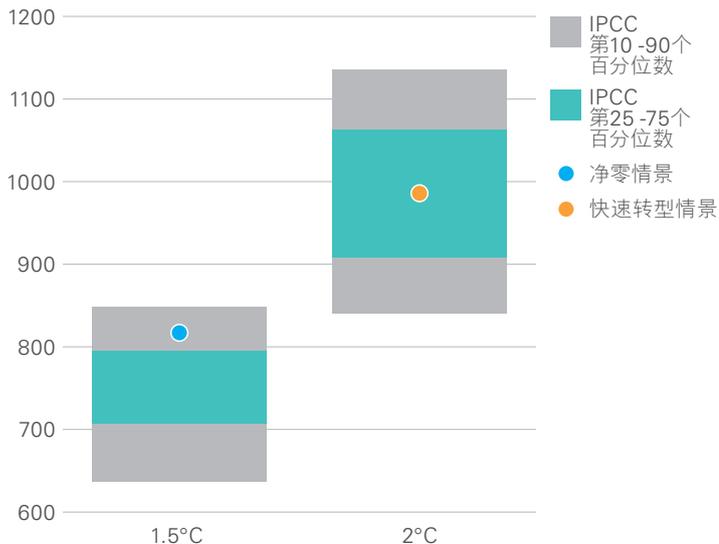
▶ 在“净零情景”里，2050年，剩余二氧化碳排放的消除可通过能源系统的进一步转变，也可通过碳移除（CDR）技术的采用（见第78-79页）。这将取决于碳移除技术和减少能源系统之外温室气体排放的成本，本期《展望》没有明确考虑这两者。

▶ “新动力情景”旨在展示当前全球能源系统发展的大致轨迹。此情景既考虑了近年来全球脱碳雄心的显著增强，也考量了近年来脱碳的方式与速度。在“新动力情景”下，二氧化碳当量排放将在本世纪20年代达峰，到2050年将比2019年的水平低30%左右。

“快速转型情景”和“净零情景”与政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 假设的“符合巴黎协定”的情景基本吻合

能源累积排放的二氧化碳当量 (2015-2050年)

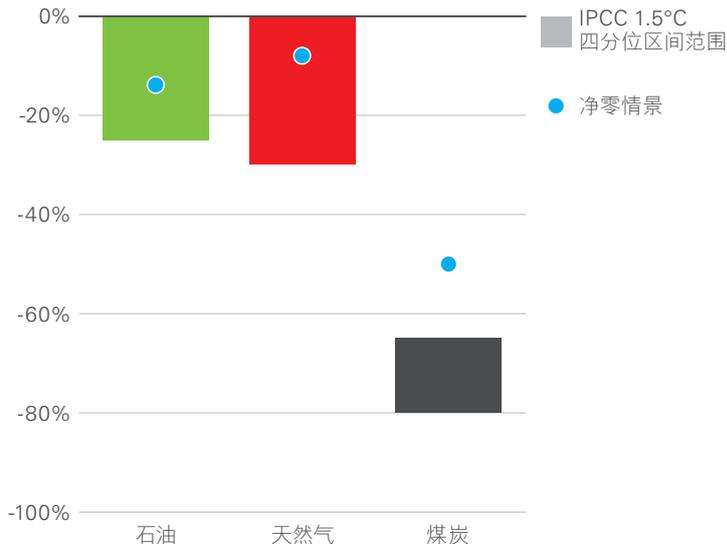
二氧化碳当量 (吉吨)



2015-2050年累积二氧化碳当量排放量是能源使用、工业生产过程和天然气放空燃烧产生的二氧化碳排放量加上甲烷排放量

IPCC 1.5°C情景下化石能源的变化

2019-2030年的变化



不超出或略微超出1.5°C的情景和立即采取行动的2°C情景。IPCC情景选择见附件

要点

在“快速转型情景”和“净零情景”里，脱碳速度和幅度与IPCC系列情景基本吻合。IPCC这些情景与2100年全球平均气温升幅分别保持在比工业化前水平远低于2°C和1.5°C的水平相一致（关于所用IPCC情景的更多细节，见附件第96-97页）。

▶ 本期《展望》的情景只假设到2050年，且未对所有形式的温室气体或所有经济行业进行建模。因此，不可能将这些情景及其对碳预算的影响直接关联2100年前全球平均气温升幅。

▶ 然而，对于“快速转型情景”和“净零情景”，可将2015年至2050年期间能源行业累积排放的二氧化碳当量与IPCC《第六次评估报告——气候变化2022：影响、适应和脆弱性》中各种情景的相应破路范围进行对比，由此进行间接推论。

▶ 在“快速转型情景”中，累积二氧化碳当量排放量大致处于IPCC远低于2°C情景的四分位区间范围的中间。在“快速转型情景”里，整个展望期碳排放轨迹均在IPCC设想的范围之内。

▶ 在“净零情景”中，累积二氧化碳当量排放量在IPCC升温1.5°C（不超出或略微超出）情景的第10至90个百分点数范围内，但略高于四分位距。在“净零情景”中，2030年之前，碳排放量的下降速度远慢于IPCC 1.5°C系列情景，但之后的下降速度比中位数情景更快。

▶ IPCC升温1.5°C（升温幅度不超出或略微超出）中位数情景，到2030年，二氧化碳净排放量下降48%（相对于2019年的水平）。其中，“化石能源和工业生产过程的二氧化碳排放量下降了40%。相较“净零情景”中，这一数值为30%。

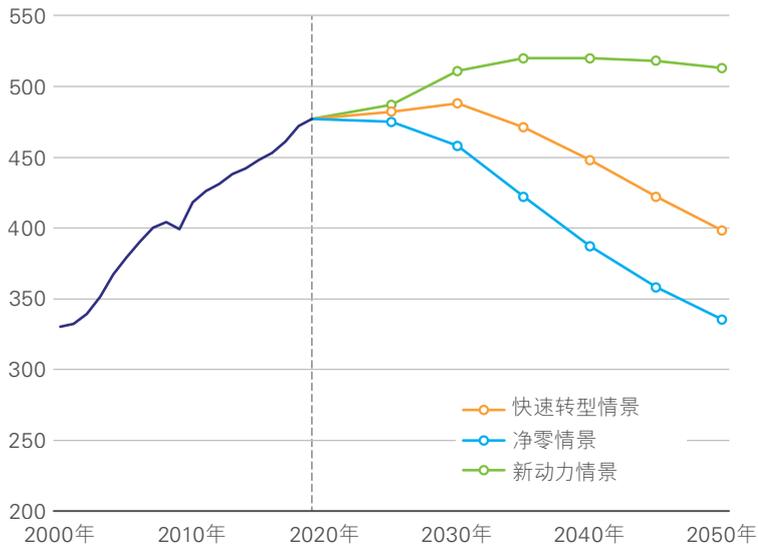
▶ 在IPCC中位数情景中，化石能源和工业生产过程中二氧化碳排放量下降主要是因为到2030年，全球煤炭消费量将下降75%，石油和天然气消费量下降幅度更为温和，下降幅度约为10%。在“净零情景”中，到2030年，石油和天然气消费量下降与IPCC升温1.5°C情景设想的范围一致，但煤炭消费的下降幅度要小得多。这反映出煤炭作为一种可负担且相对丰富的燃料，在许多能源需求迅速扩张的新兴经济体中仍占有重要地位。

▶ 部分能源行业从化石能源转型所需时间凸显碳移除技术（CDR）的重要性，转型期间推进这些改革可以帮助减少碳净排放量，同时抵消净零情景能源系统中任何剩余的总排放量（见第78-79页）。

随着能效加速提升, 三种情景里的终端能源需求均将达峰

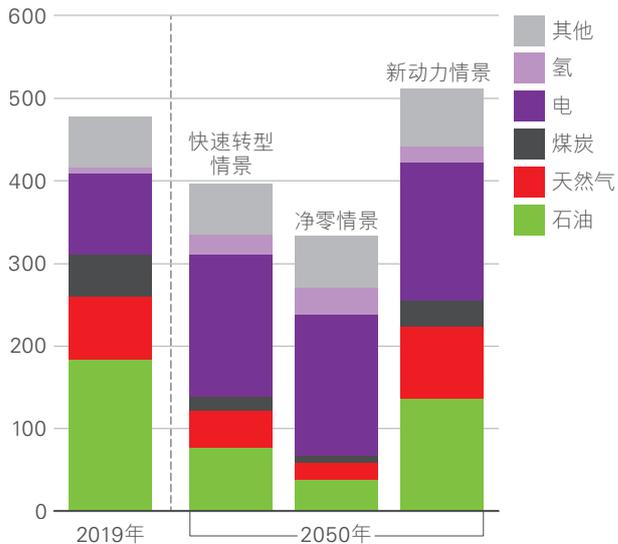
终端消费总量

艾焦



按燃料列示的终端消费总量

艾焦



要点

三种情景里，随着能源效率加速提升，在终端能源消费点测得的全球能源需求（终端消费总量，TFC）都达到峰值，足以抵消了许多新兴地区生活水平提高带来的上行影响。

- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”中，本世纪20年代中后期，终端消费总量达到峰值，到2050年终端能源消费量比2019年水平低15-30%。相比之下，在“新动力情景”下，终端消费总量大约在2040年以前会持续增加，之后会大体保持平稳，2050年的能源消费量将比2019年水平高10%左右。
- ▶ 导致终端能源消费量存在差异的主要因素是能源效率提升速度。在三种情景下，展望期内全球能源能效增速（通过对比终端能源需求增长和经济活动之间的增速测得）均将远快于过去20年的速度，在“快速转型情景”和“净零情景”下更是如此。这反映了多种因素，包括：终端能源

消费点的用电增加，通过增加回收和再利用提高材料使用效率，以及由于高度重视能源安全带来的更多动力，更加注重节能（见第22-23页）。

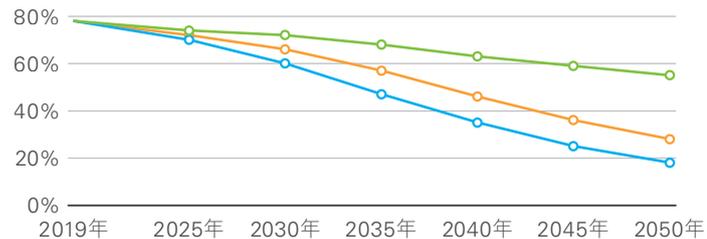
- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”中，假定能源增效速度提升是促进碳排放快速减少的核心因素，如果实现不了，低碳能源需要更快增长才能实现同样的结果。
- ▶ 未来十年及以后，由于经济增长，生活水平不断提升，在“新动力情景”和“快速转型情景”中，新兴市场的终端能源需求继续增加。相比之下，在三种情景中，发达经济体的需求均将未来数年将达到峰值。
- ▶ 随着化石能源直接使用减少，世界电气化，电力行业持续脱碳化，终端消费总量实现脱碳。

- ▶ 在终端消费总量中，三种情景中，终端能源消费点化石能源的使用均从2019年的约65%下降到2050年的20-50%。在碳氢化合物中，随着工业中电力和低碳氢的使用逐渐普及，煤炭份额下降幅度最大；石油的份额也将下降，主要原因是公路运输中石油使用的持续下降（见第42-43页）。
- ▶ 在三种情景中，一致的是电力的作用将显著增加、广泛普及，到2050年，电力消费将增加75%左右。

全球能源未来四大趋势：油气作用下降、可再生能源快速扩张、电气化程度提高、低碳氢使用增多

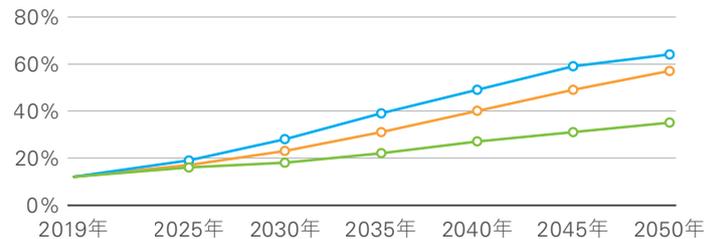
化石能源

在一次能源中的占比



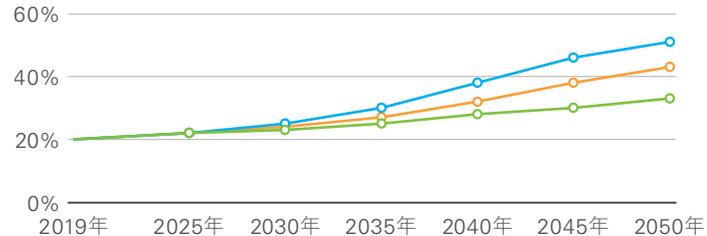
可再生能源

在一次能源中的占比



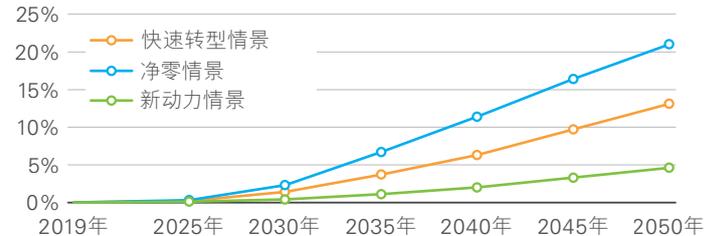
电力

在终端消费总量中的占比



低碳氢

制氢所用一次能源的占比



要点

展望期能源需求构成变化有四大趋势：碳氢化合物作用逐步下降、可再生能源增长迅速，以及得益于难以电气化的工业过程和活动中低碳氢的使用，世界电气化程度不断提高。

- ▶ 随着世界向低碳能源转型，碳氢化合物的作用逐渐减弱。化石能源在一次能源中的占比从2019年的80%左右，下降到2050年的55%-20%。
- ▶ 在三种情景中，展望期内化石能源的总消费量均将下降。这将是现代史上首次出现任何一种化石能源需求均持续下降的情景。

- ▶ 可再生能源主要由风能、太阳能和生物能源组成，还包括地热能。展望期内，可再生能源迅速扩大，抵消了化石能源作用的下降。可再生能源在全球一次能源中的占比从2019年的10%左右提升至2050年的35-65%，原因是可再生能源成本竞争力提高，以及鼓励向低碳能源转型的政策普及。
- ▶ 在三种情景中，可再生能源渗入全球能源系统的速度，快于历史上任何燃料。

- ▶ 由于能源系统持续电气化，可再生能源的重要性越来越高。电力在终端能源消费总量中的占比从2019年的约五分之一提升至2050年的三分之一到二分之一。
- ▶ 能源系统脱碳，特别是在“快速转型情景”和“净零情景”中，得益于低碳氢在难以电气化或者电气化成本高昂并难以减排的工艺流程中的使用。到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”中，一次能源在低碳氢制取中的占比将增加到13-21%。

2022年版《世界能源展望》 发布以来出现的转变

俄乌军事冲突可能对全球能源系统产生长期影响

俄乌军事冲突导致全球GDP和能源需求前景修正下调

能源安全关注度提升, 推动更多采用本地化、更低碳的能源结构的转变

对能源安全的关注减弱了进口石油和天然气的作用

俄乌军事冲突和《通货膨胀削减法案》降低了碳排放的前景

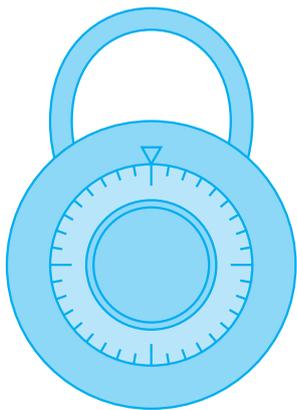
由于俄乌军事冲突, 俄罗斯的石油和天然气产量修正下调

欧盟2030年对液化天然气进口的需求取决于其能否成功降低天然气需求

《通货膨胀削减法案》为美国的低碳能源和技术提供了重要支持

俄乌军事冲突可能对全球能源系统产生长期影响

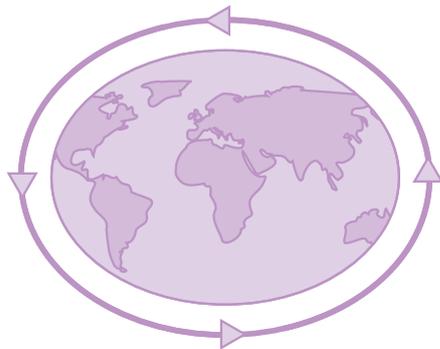
更加重视
能源安全



经济增长
更加乏力



全球能源
供应结构
不断变化



要点

俄乌军事冲突可能会对全球能源系统的未来走向产生持续影响，加深对能源安全的关注，削弱经济增长，并改变能源供应的组合。

- ▶ 过去的一年里，俄乌军事冲突后果惨烈，人们的生命和所居住的社区造成严重损失。我们的心和所有受到影响的人们在一起，我们为他们祝愿。
- ▶ 从能源角度来看，本期《展望》模拟了俄乌军事冲突的影响，认为这种影响通过三方面体现出来：能源安全、经济增长和全球能源供应构成。在撰写本报告时，冲突仍在继续，结束无期；因此，本分析应视为初步分析，并随着未来的事态发展而变化。

- ▶ **能源安全**：对能源短缺和易受地缘政治事件影响的担忧，所引发的对能源安全的日益关注，可能促使各国和各区域努力减少对进口能源的依赖，转而消费更多的国内生产的能源。此外，这也将大大推动能源效率的提高，减少对各类能源的需求。

- ▶ **经济增长**：俄乌军事冲突导致食品和能源价格上涨，使全球经济增长进一步急剧放缓。这种大宗商品价格冲击给经济造成的直接影响将在未来几年持续。长远来看，这场冲突会在某种程度上使得全球一体化的步伐变慢，贸易放缓，因为各国和各地区更加注重国内的韧性发展，减少遭受国际冲击的风险。全球化步伐放缓，会导致未来30年经济平均增速小幅下滑。

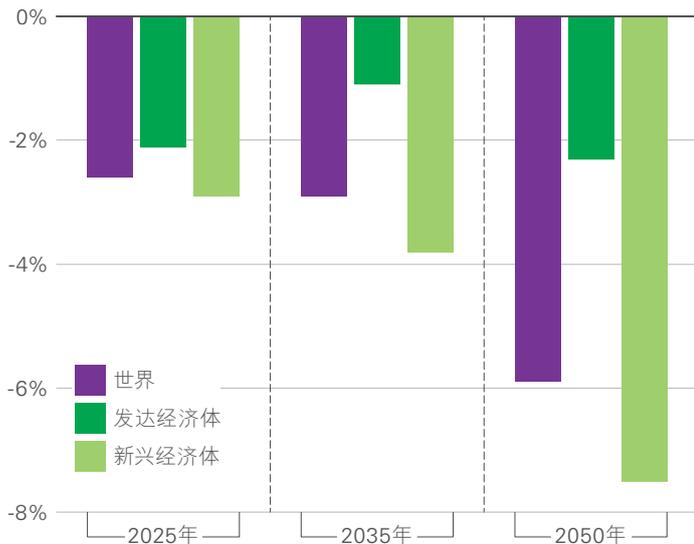
- ▶ **全球能源供应构成**：俄罗斯能源供应前景存在不确定性。本期《展望》中的情景假设俄罗斯碳氢化合物出口持续减少。从近期来看，这反映了自愿和强制性制裁对俄罗斯能源出口的影响。更进一步说，这源于一种假设，即影响俄罗斯获得外国投资和技术制裁只会逐渐放松。

- ▶ 关于模拟俄乌军事冲突影响所用假设的更多细节，见附件（第90-91页）。

俄乌军事冲突导致全球GDP和能源需求前景修正下调

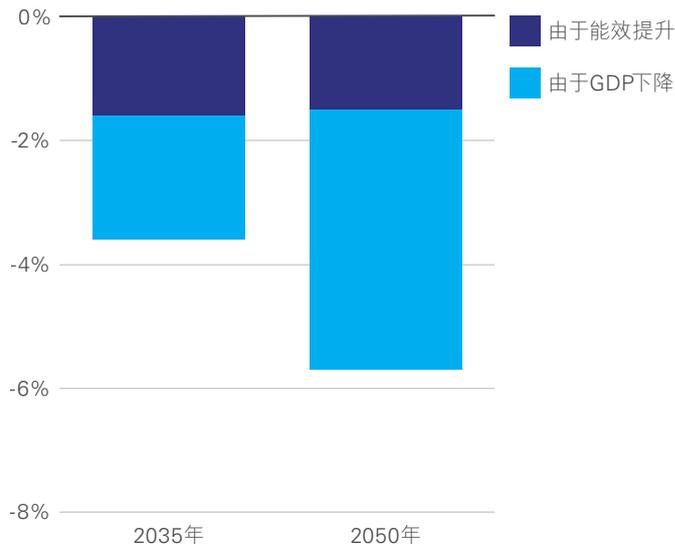
俄乌军事冲突对全球GDP的影响

相对于2022年版《世界能源展望》的变化



“快速转型情景”中终端消费总量的变化

相对于2022年版《世界能源展望》的变化



要点

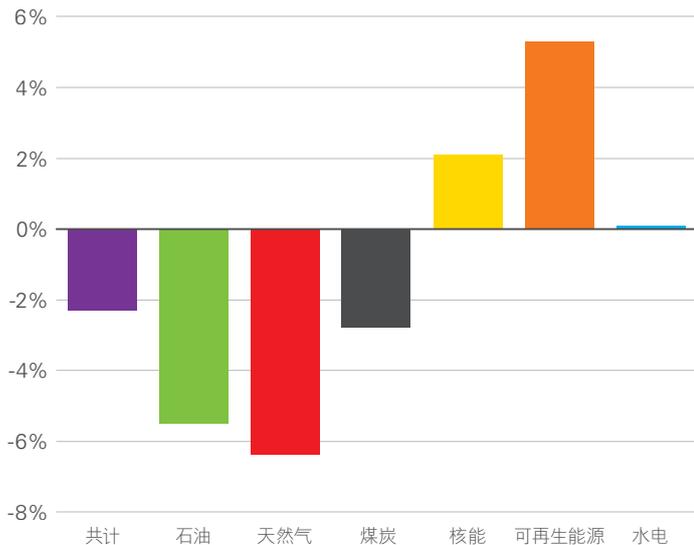
全球GDP和能源需求的前景较去年《展望》的设想更为暗淡，反映了俄乌军事冲突的短期和长期影响。

- ▶ 与2022年版《世界能源展望》设想的情形相比，在本期《展望》中，在所有三种情景下，2025年和2035年全球GDP水平将下降大约3%，2050年将下降大约6%。
- ▶ 近期经济活动疲软的主因是俄乌军事冲突导致大宗商品受到价格冲击。尽管认为这场冲突会对俄罗斯和乌克兰的经济造成更持久的创伤，但到2030年，大宗商品价格冲击的直接冲击将基本消退。
- ▶ 2030年以后，较低的水平，表明国际贸易和互联互通脚步放缓，与此相关的是平均经济增速（或趋势）放缓，造成的影响日益明显。展望期内，全球GDP年平均增长率约为2.4%（基于购买力平价），而在2022年版《世界能源展望》中，这一数字为2.6%。
- ▶ 经济增长趋势放缓对从国际贸易和生产率转移中获益最多的地区的影响最大。2050年，中国GDP比去年《展望》预测的低7%，非洲将低12%，而在美国仅低1%。
- ▶ 正如最近数期《世界能源展望》指明的一样，对全球GDP的假设轨迹包括对于气候变化对经济增长影响的预估。这包括气温上升对经济活动的影响以及采取行动减少碳排放的前期成本。有关该方法及其局限性的更多详细信息，请见附件（见第92-93页）。
- ▶ 终端能源消费总量也低于上期《展望》的预测，在所有情景中，2035年这一数字将下降约3.5%，2050年将下降5.5%-6%。
- ▶ 在“快速转型情景”中，2035年能源消耗下调超过50%，表明GDP走弱。能耗下调的剩余部分得益于能源效率提升，这反映出更加重视能源安全和能源价格上涨带来的影响。到2050年，由于能源消费下调了约四分之三，GDP水平也随之下降。

能源安全关注度提升, 推动更多采用本地化、更低碳的能源结构的转变

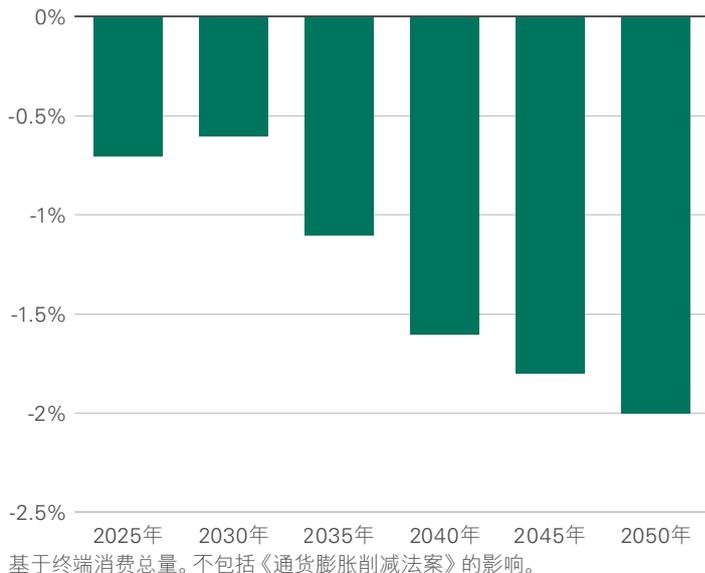
“新动力情景”中一次能源的变化

相对于2022年版《世界能源展望》关于2035年的变化



“新动力情景”中碳强度的变化

相对于2022年版《世界能源展望》的变化



要点

俄乌军事冲突加大了能源安全的重视程度，随着时间的推移，推动着从进口化石能源转向本地生产的非化石能源，从而加快能源转型速度。

▶ 石油和天然气是国际交易量最大的两种燃料，随着能源安全重视程度的加大，这两种燃料受到的影响最大（见第22-23页）。在“新动力情景”中，2035年一次能源需求水平要比2022年版《世界能源展望》预测的低2%，这主要是因为石油需求修正下调5%，天然气需求下降6%。这些影响主要集中在亚洲新兴经济体和欧盟，两者目前均严重依赖石油和天然气进口。

▶ 此外，煤炭消费量同样低于去年《世界能源展望》预测的数字，但下调幅度小于石油和天然气的下调幅度。这反映出，亚洲许多地区仍然大量使用国内煤炭资源。

▶ 石油和天然气进口面临下行压力，而尽管能源总体需求水平下降，但由于能源安全关注度提升，本地生产的能源消费会增加，这使得非化石能源的消费大为增加，因为这些非化石能源往往在本地生产和消费。在“新动力情景”中，2035年可再生能源和核能的使用高于去年《展望》的预测，而水电基本上没有变化。

▶ 这种以进口碳氢化合物为替代方式，转向本地生产的非化石能源，有助于加速能源转型（见第28-29页）。本期《展望》预测，到2035年，在“新动力情景”中，新燃料组合的碳强度比2022年版《展望》的预测低约一个百分点，到2050年低约两个百分点。

对能源安全的关注减弱了进口石油和天然气的作用

“新动力情景”下油气进口在一次能源中的占比



要点

由于能源安全关注度的提升,本地生产的能源更加受到青睐,因而石油和天然气的进口将相应减少。

▶ 石油和天然气是两种贸易量最大的燃料。能源安全关注度提升对能源贸易主要体现在对这两种燃料的影响。这种影响在中国和印度尤为明显,目前这两个国家所用75%-85%的石油和40%-55%的天然气依靠进口。

▶ 此外,能源安全关注度提升产生的影响在欧盟尤为明显,因为欧盟之前依赖从俄罗斯进口天然气,严重依赖石油和天然气进口的现象更为普遍。2021年,欧盟、中国和印度共占全球石油进口总量的45%左右,天然气进口总量的50%左右。

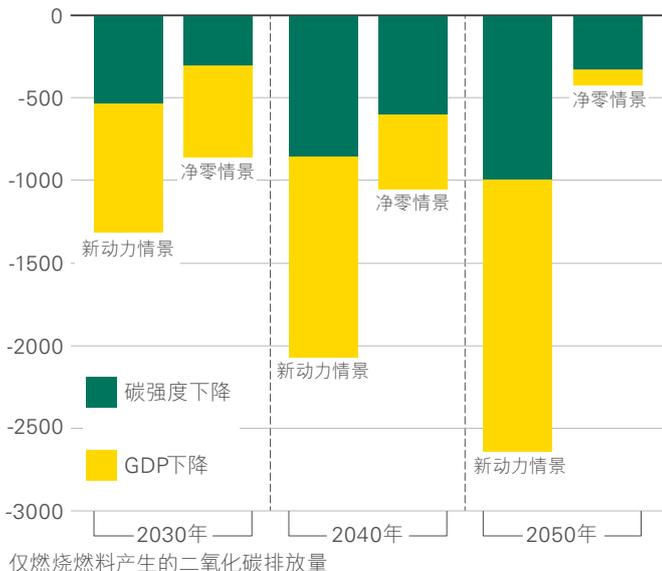
▶ 在这三个地区,能源安全关注度提升导致进口油气在一次能源中的占比持续下降。2035年,在“新动力情景”中,其石油和天然气进口总量将比2022年版《展望》预测的低10%以上。在“快速转型情景”和“净零情景”中类似影响同样很明显。

▶ 这些国家和地区增加国内石油和天然气产量的范围有限,意味着进口石油和天然气在一次能源中所占份额减少,国内生产的可再生能源增加,两相抵消。

俄乌军事冲突和《通货膨胀削减法案》降低了碳排放的前景

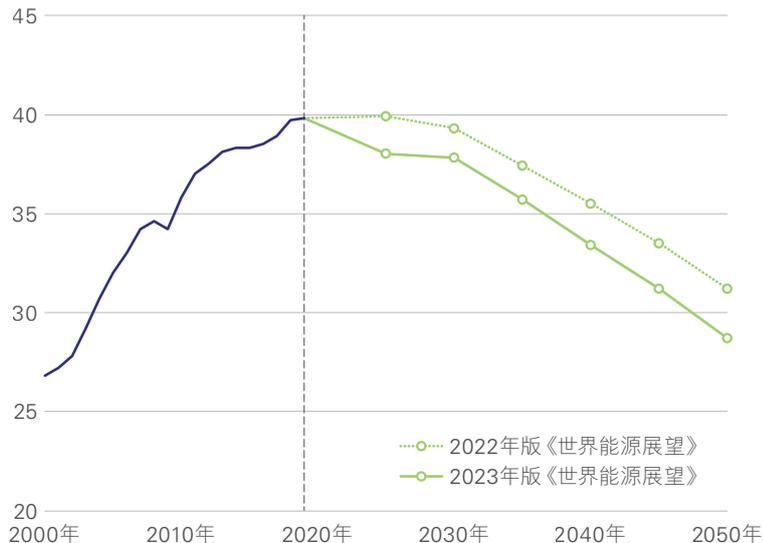
碳排放变化: 2023年版《世界能源展望》
与2022年版《世界能源展望》对比

二氧化碳(公吨)



碳排放: “新动力情景”下2023年版《世界能源展望》
与2022年版《世界能源展望》对比

二氧化碳当量(吉吨)



要点

展望期内，俄乌军事冲突的影响，以及《通货膨胀削减法案》提供的政策支持，帮助降低了碳排放。

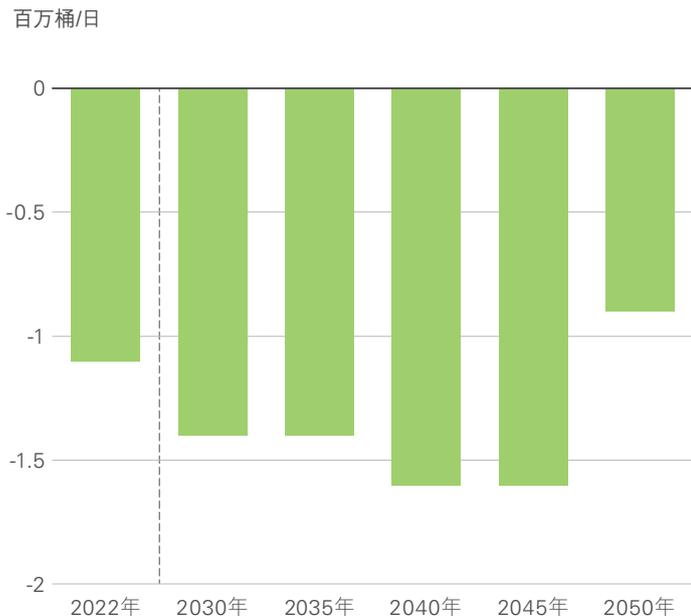
- ▶ 今年的“新动力情景”中，2030年碳排放量比2022年版《世界能源展望》预测值低了约1.3吉吨二氧化碳（3.7%）。修正下调后，2040年这一数量增加至2.0吉吨二氧化碳（6.4%），2050年增加到2.6吉吨二氧化碳（9.3%）。
- ▶ 在“新动力情景”下，碳排放减少，在很大程度上，这是由于冲突对大宗商品价格造成冲击，短期内导致GDP进一步下降，长期来看，全球一体化进程和贸易增长速度放缓。在展望期内，经济活动活力下降的影响进一步显现，因为增长速度放缓的趋势带来的影响长期内会加剧。

- ▶ 在“新动力情景”下，碳排放减少还反映出，GDP的碳强度（单位生产GDP的碳排放量）下降更快，在很大程度上反映出能源安全关注度提升促使向本地生产非化石能源转型。《通货膨胀削减法案》对美国低碳能源和技术提供了支持，同样推动了GDP碳强度的更快速下降（见第26-27页）。
- ▶ 自2035年起，“新动力情景”下的碳排放量修正下调值平均为每年2.2吉吨二氧化碳当量左右——这大致是2020年全球碳排放量因新冠疫情封锁而下降的数量。

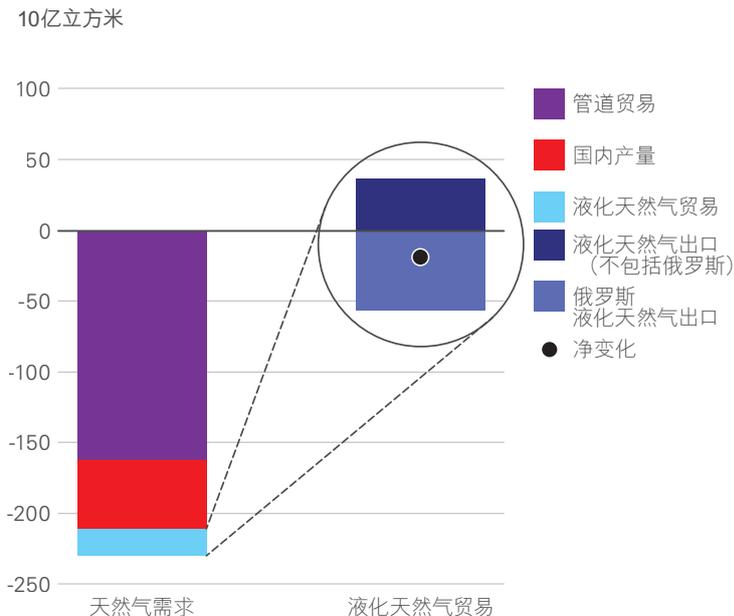
- ▶ 在“净零情景”下，碳排放量的下调幅度小于“新动力情景”中的下调幅度，展望期内平均每年约为0.8吉吨二氧化碳。产生的影响较小，反映出“净零情景”下脱碳水平提高，这意味着，由于GDP走弱，导致能源需求量减少，使得碳排放减少量小于“新动力情景”的这一数值。
- ▶ 与2022年版《展望》相比，“净零情景”下，到2050年碳强度下降，下降幅度也小于“新动力情景”的预测值，反映出“净零情景”下能源安全关注度的影响减小，因为能源系统实现了脱碳，并越来越多地由国内生产的非化石能源主导。

由于俄乌军事冲突，俄罗斯的石油和天然气产量修正下调

俄罗斯石油产量的变化：“新动力情景”下
2023年版《世界能源展望》与2022年版《世界能源展望》对比



2030年天然气（按供应类型列示）和液化天然气贸易的变化：“新动力情景”下，2023年版《世界能源展望》与2022年版《世界能源展望》对比



要点

在俄乌军事冲突之前，俄罗斯是世界上最大的能源出口国。冲突使俄罗斯石油和天然气减产。

- ▶ 石油: 从近期来看，对俄罗斯石油进口实施的正式和非正式制裁对俄罗斯石油生产前景的影响最大。长远来看，制裁对俄罗斯获得西方技术和投资前景的影响最大。
- ▶ 在“新动力情景”下，在展望的大部分时期内，俄罗斯的石油产量比2022年版《展望》预测值低大约130万桶/日（13%）。这反映出两种情形并存，现有营业资产缩水速度加快，而新的预期发展收紧。在“快速转型情景”和“净零情景”中，也有类似规模的修正下调。结果，在三种情景下，俄罗斯石油产量2019年为1200万桶/日，到2035年下降到700万-900万桶/日。

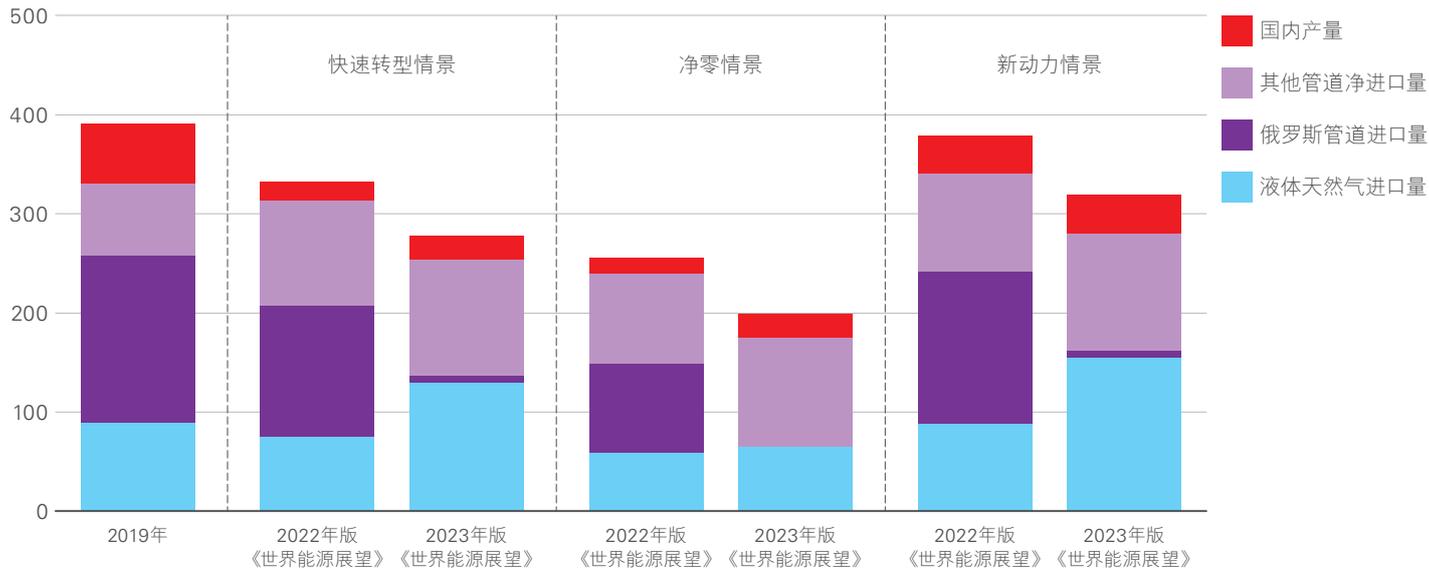
- ▶ 天然气: GDP走弱，再加上对于能源安全的关注，以及对进口天然气依赖减弱，意味着本期《世界能源展望》中2030年三种情景下的天然气需求比2022年版《展望》的这一数字将减少1300亿-2500亿立方米（3.5%-5%）。
- ▶ 这种天然气需求修正下调大多与管道天然气贸易减少趋势一致，原因是俄罗斯对欧盟的管道出口几乎完全取消。家用天然气产量也略有减少。在俄罗斯以外的地方，产量下降主要出现在美国，因为美国加速转向使用更低碳的替代性能源。

- ▶ 在三种情景下，2030年全球液化天然气贸易水平与去年《展望》的预测值相当。然而，此类贸易的地理分布大相迥异。对俄罗斯获得外部资金和技术设定种种限制条件，意味着2022年版《世界能源展望》中设想的俄罗斯液化天然气出口大幅增长很大程度上无法实现。作为抵消，在“新动力情景”和“快速转型情景”下，本期《展望》设想的2030年非俄罗斯液化天然气的出口水平已经修正，上调了大约250-400亿立方米，而在这些出口增量中，美国占一半以上。

欧盟2030年对液化天然气进口的需求取决于其能否成功降低天然气需求

欧盟天然气需求和供应来源：2023年版《世界能源展望》与2022年版《世界能源展望》对比

10亿立方米



要点

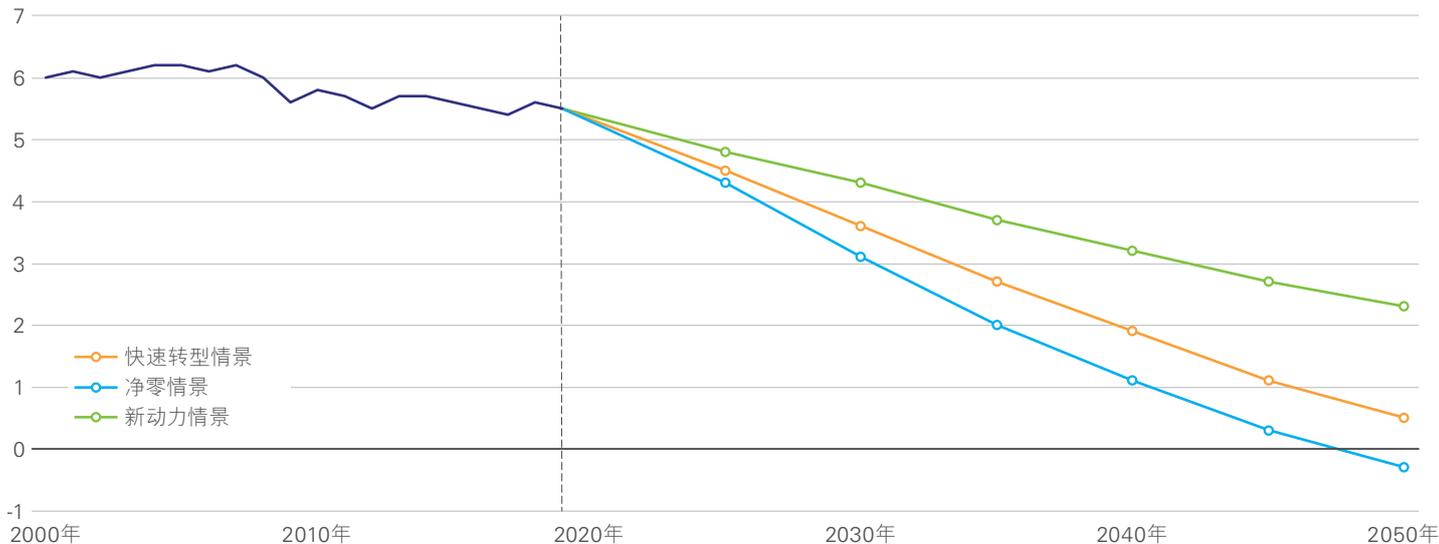
俄罗斯管道天然气出口减少导致全球天然气市场受到干扰，而欧盟首当其冲。在失去俄罗斯出口的管道天然气后，欧盟在多大程度上需要寻找替代天然气供应，这取决于欧盟在使其能源系统脱碳过程中，在多大程度上成功减少其天然气需求。

- ▶ 能源安全关注度提升，再加上GDP走弱，欧盟希望减少对进口天然气的依赖，而这意味着本期《展望》中提出的2030年三种情景下欧盟天然气的需求要比2022年版《世界能源展望》低500亿-600亿立方米。
- ▶ 在去年的“新动力情景”中，2030年欧盟天然气需求仅略低于2019年的水平。在今年的《展望》中，欧盟的天然气需求减少。而俄罗斯管道天然气出口的降幅增大意味着，在“新动力情景”中，2030年欧盟的液化天然气进口要比2019年多约700亿立方米。失去俄罗斯管道天然气后剩余的天然气缺口则通过增加从挪威、阿尔及利亚和阿塞拜疆的管道天然气进口来弥补。
- ▶ 在“快速转型情景”中，天然气需求的变化类似。尽管欧盟2030年天然气消费量将比2019年的水平低30%左右，但在没有俄罗斯管道天然气的情况下，相对于2019年的水平，需要大幅增加液化天然气进口量（400亿立方米）才能满足需求。
- ▶ 相比之下，在“净零情景”中，能源效率快速提升，风能和太阳能迅速增长，以及终端能源消费不断电气化，意味着2030年欧盟天然气需求将比2019年的水平低50%左右（1900亿立方米）。需求减少量大于失去俄罗斯管道天然气的进口量，意味着2030年满足欧盟国内天然气消费所需的液化天然气进口水平低于2019年。

《通货膨胀削减法案》为美国的低碳能源和技术提供了重要支持

美国碳排放量

二氧化碳当量 (吉吨)



要点

美国《通货膨胀削减法案》于2022年8月签署立法，其中包括支持美国低碳能源和脱碳技术的一揽子重大供给侧措施。

- ▶ 本期《展望》对《通货膨胀削减法案》建模，重点关注该法案对美国能源系统的潜在影响，未考虑对其他国家和地区可能产生的影响，尽管在实践中《通货膨胀削减法案》有可能产生积极的溢出效应，帮助降低全球技术成本，扩大某些形式的低碳能源的国际可交易供应，同时鼓励其他国家和地区提供相似类型的激励措施。
- ▶ 《通货膨胀削减法案》的影响在很大程度上取决于美国当局执行激励措施的情况，取决于州和联邦一级的监管改革，还取决于私营部门获得建设低碳能源和技术所需各种规划和许可批准书的速度。本期《展望》中的情景假设，除了受《通货膨胀削减法案》规定直接影响的过程之外，规划和许可程序并未发生重大变化。
- ▶ 《通货膨胀削减法案》对美国能源系统前景的影响主要体现在“新动力情景”中。在“新动力情景”中，与2019年水平

相比，美国碳排放量到2030年将下降约22%，到2050年将下降约60%。在“快速转型情景”和“净零情景”中，政策支持力度已经显现，这意味着《通货膨胀削减法案》条款对这些情景的增量影响相对有限。

《通货膨胀削减法案》对“新动力情景”的一些主要影响包括：

- ▶ 风能和太阳能：太阳能和风能部署大幅加速，到2030年，产能将比2019年增加四倍以上。到2050年，太阳能和风能产能将比2019年增加十倍以上，其中约20%的装机容量将用于支持生产绿氢。这一增长背后的支持因素是其他赋能因素相应加速，尤其是输电网的扩张。
- ▶ 氢能：大力支持低碳氢供应，到2030年将其用量增加到400万吨/年，到2050年增加到2600万吨/年。氢能激励措施将大力支持绿氢发展，2050年绿氢将占美国低碳氢的60%左右，而在2022年版《世界能源展望》中只占25%左右。

- ▶ 电动汽车：《通货膨胀削减法案》中有支持拥有电动汽车的条款，加上新的汽车制造商和州级承诺，到本世纪30年代中期，美国电动汽车总数的规模将增加约15%。
- ▶ 生物燃料：《通货膨胀削减法案》更加重视生物燃料，促进了生物衍生可持续航空燃料（SAF）的更快渗透，使其在“新动力情景”中，到2050年达到约1300兆焦耳，比2022年版《世界能源展望》中预测的水平高出一倍以上。
- ▶ 碳捕集、利用与封存（CCUS）：《通货膨胀削减法案》增加了对CCUS的激励措施，支持将其更广泛应用于电力行业、工业，并用于生产蓝氢。借助《通货膨胀削减法案》和其他激励措施，到2035年，美国的碳捕集、利用与封存部署将达到1亿吨/年以上，到2050年将接近4亿吨/年。

石油

由于在公路运输中使用量减少, 展望期内, 石油需求下降

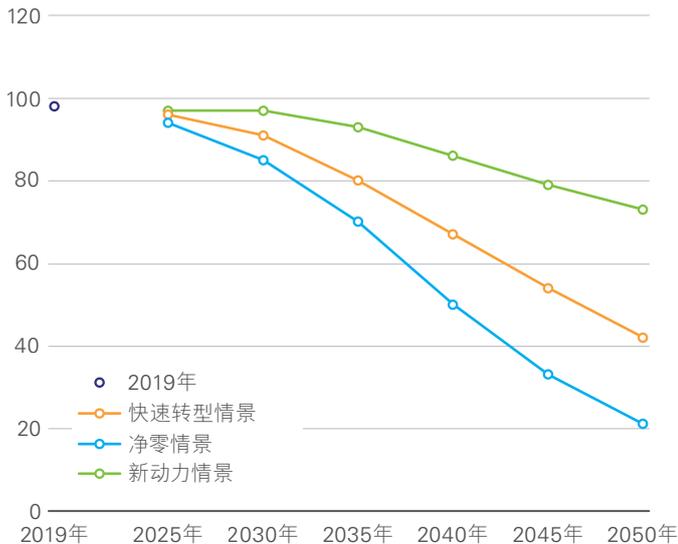
随着世界转向更低碳的替代能源, 石油在交通运输中的作用下降

美国致密油和欧佩克石油生产主导着全球石油供应结构的变化趋势

由于在公路运输中使用量减少, 展望期内, 石油需求下降

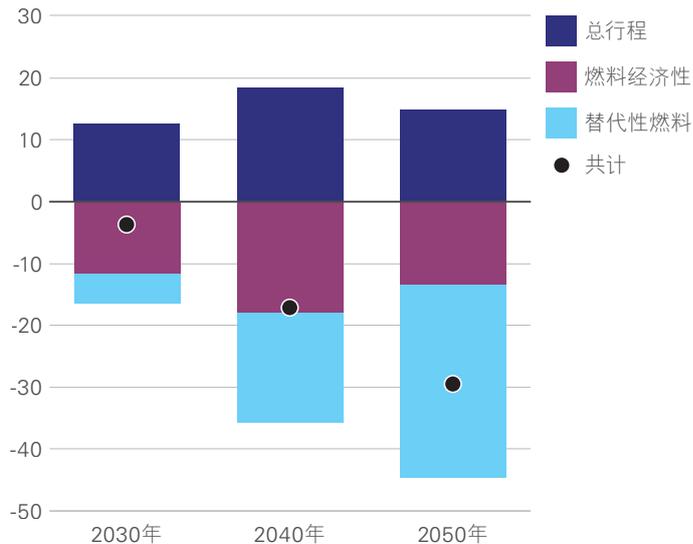
石油需求

百万桶/日



在“快速转型情景”中, 与2019年相比, 公路运输中石油需求的变化

百万桶/日



要点

全球石油需求将在未来10年左右保持稳定，然后在剩余展望期中下降，部分原因是随着车辆效率提高和替代能源使用增加，公路运输中的石油使用量将下降。

- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”里，展望前半期，石油将继续在全球能源系统中发挥重要作用，2035年全球消费量在7000万-8000万桶/日。展望后半期下降速度加快，到2050年，“快速转型情景”下的石油需求减少到约4000万桶/日，“净零情景”中的石油需求将减少到2000万桶/日。
- ▶ 在“新动力情景”里，石油消费势头更强劲，在这十年的大部分时间里保持在近1亿桶/日，然后逐渐下降，到2050年减少到大约7500万桶/日。

- ▶ 统观三种情景，在展望前半期的大部分时间内，新兴经济体的石油需求均基本持平或略有上升，但同时又被发达国家石油用量加速下降所抵消。全球石油市场重心逐渐转移反映出这些截然不同的趋势，在所有三种情景下，新兴经济体占全球石油需求的份额将从2021年的55%增加到2050年的70%左右。
- ▶ 推动石油消费下降的一个最显著的因素是公路运输中石油使用量下降。新兴经济体的经济日益繁荣，生活水平不断提高，促使全球汽车总量和行驶里程增加，从而提振了对石油的需求。但这一点正日益被公路车队效率的提高和越来越多的从石油转向替代能源所抵消。

- ▶ 整个展望期内，公路运输中对石油需求的减少占“快速转型情景”下石油总需求减少的一半以上。到2030年，这在很大程度上将反映全球车队效率提高产生的影响，这种影响比转向替代能源的影响要大一倍多。到2040年，这两种影响大致相等，到2050年，以汽车日益电气化为先导，转向替代能源对石油需求的影响是提高效率所产生影响的两倍多。

随着世界转向更低碳的替代能源, 石油在交通运输中的作用下降

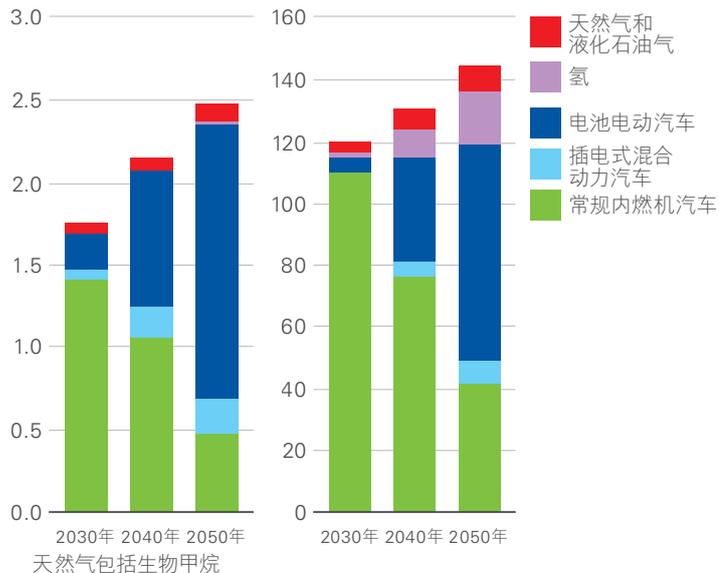
“快速转型情景”下的全球车辆总数:

轻型车辆

重型车辆

10亿辆汽车

百万辆汽车



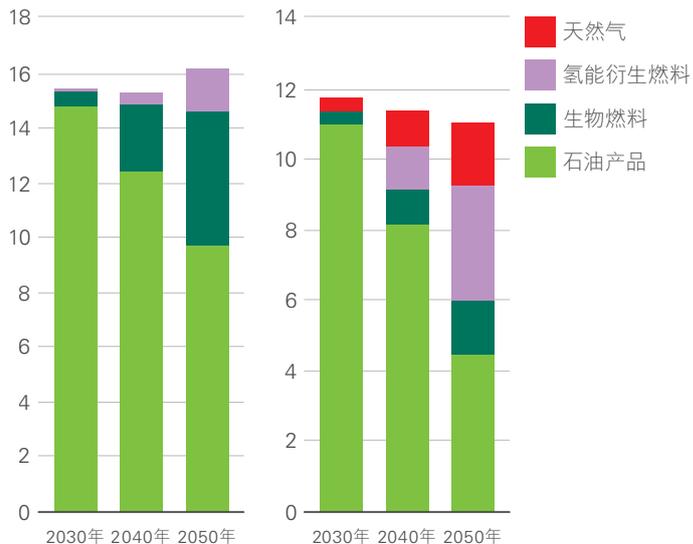
“快速转型情景”下按燃料列示的能源使用总量:

航空运输

海运

艾焦

艾焦



要点

石油的作用遍及所有交通运输方式，反映了向替代性低碳能源的转变。这一转变的主导因素是公路运输的电气化以及航空和海运中的生物燃料和氢能衍生燃料。

- ▶ 在公路运输中，电动（包括插电式混合动力）汽车和轻型卡车的数量增加，2021年大约2000万辆，到2035年，在“快速转型情景”和“净零情景”中，将增加到5.5亿-7亿辆（占该种车辆总数的30%-35%），到2050年将增加到约20亿辆（约80%）。到本世纪30年代中期，在“快速转型情景”和“净零情景”里，电动乘用车将占汽车销售量的大部分，车辆排放监管更加严格、电动轿车成本和选择竞争力提升以及消费者越来越青睐和接受，都是推动因素。
- ▶ 在“新动力情景”里，尽管汽车和轻型卡车的电气化速度较慢，但到2035年仍有约5亿辆此类车辆，到2050年将达到14亿辆，其中电动乘用车到2035年占新车销量

的40%左右，到2050年将占70%。

- ▶ 中型、重型卡车和公共汽车也不再依赖柴油，在“净零情景”和“快速转型情景”里，柴油卡车在全球汽车总量中所占份额，将从2021年的90%左右下降到2035年的70%-75%，到2050年降到5%-20%。主要的转变就是转向电气化，但氢燃料卡车也会发挥着越来越大的作用，特别是在重型、长途使用的情况下。不同国家和地区对电气化和氢的选择各不相同，关键取决于影响电力和低碳氢相对价格的政策，也取决于监管政策及充电与加油基础设施的发展情况。
- ▶ 公路车辆的电气化最初由中国、欧洲和北美主导，在三种情景下，到2035年这三个地区共占公路电动汽车*增长的60%-75%，到2050年占增幅的50%-60%。
- ▶ 在展望期的前半期，石油继续主导航空业，但在“快速转型情景”里，到2050年，其在航空业所用能源中占比将降至

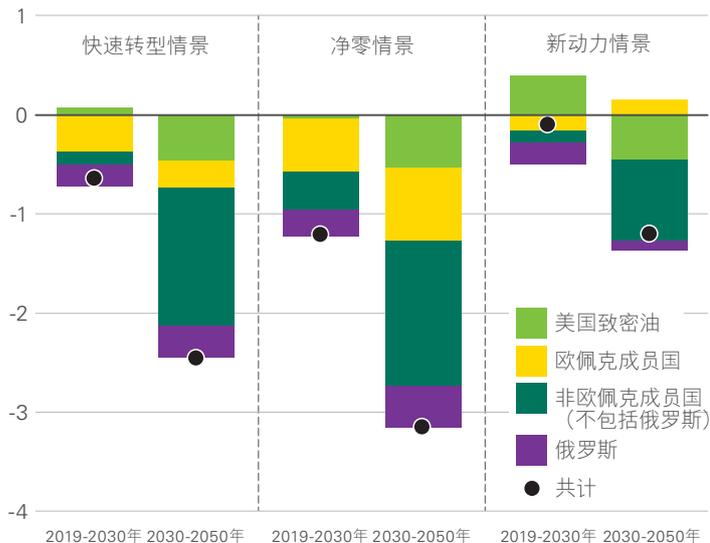
60%左右，在“净零情景”下降到25%，为使用可持续航空燃料（SAF）不断增加所抵消。在“快速转型情景”里，可持续航空燃料大多源自生物能源（生物喷气燃料）。在“净零情景”里，生物喷气燃料还会提供大部分可持续航空燃料，不过，到2050年，氢能衍生燃料（合成喷气燃料-见第70-71页）也将发挥更大的作用。

- ▶ 氢燃料（氨燃料、甲醇和合成柴油）提供海运所用油基产品的主要替代品。在“快速转型情景”和“净零情景”里，这些燃料的渗透集中在展望期的后半期，到2050年，它们将占海运所用能源总量的30%到55%。相比之下，在“新动力情景”里，到2050年，石油在海运能源需求中仍将占四分之三以上。

美国致密油和欧佩克石油生产主导着全球石油供应结构的变化趋势

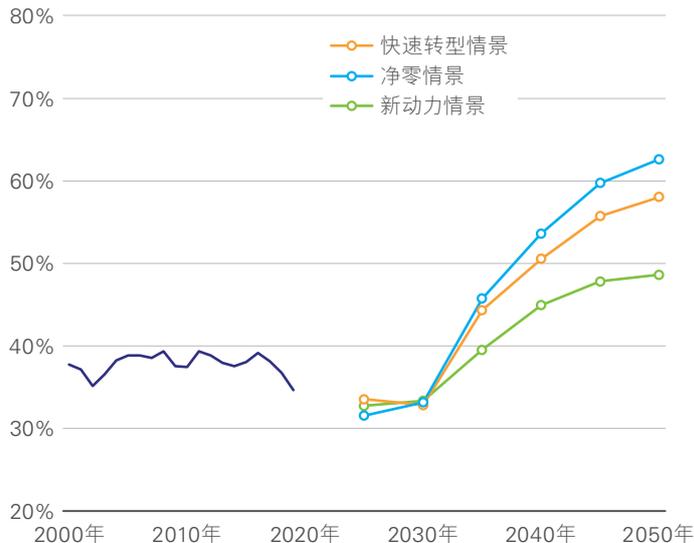
石油供应变化

平均年度变化, 百万桶/日



欧佩克在全球石油供应中的市场份额

占总量的份额



要点

全球石油供应结构随时间而变化，这是因为美国致密油在这十年的剩余时间里会增长，此后随着产量最高地区的石油枯竭以及欧佩克竞相增加其市场份额，美国致密油会减少。俄罗斯的产量持续减少。

▶ 在所有三种情景下，美国致密油——包括天然气凝析液（NGL）——在展望期前10年左右会增长，峰值在1100-1600万桶/日。巴西和圭亚那的产量也将在未来10年左右增长，到本世纪30年代中期，分别达到500万桶/日和200万桶/日。

▶ 由于美国致密地层成熟，欧佩克在石油需求加速下滑的背景下也会采取更具竞争力的战略，美国的产量将在本世纪30年代和40年代下降。到2050年，美国致密油在“快速转型情景”和“净零情景”下会降至约200万桶/日或更少，在“新动力情景”下降至约600万桶/日，因为“新动力情景”下，总体需求水平下降带来的压力没有那么大。

▶ 俄罗斯的产出在整个展望期内均会下降，在“快速转型情景”和“净零情景”里，会从2019年的大约1150万桶/日降至2035年的550-650万桶/日，到2050年降至250万桶/日或更少。在“新动力情景”里，减产不太明显，俄罗斯的产量在2035年和2050年分别降至850万桶/日和700万桶/日左右。

▶ 欧佩克的生产战略根据不断变化的竞争格局做出反应。由于美国和其他非欧佩克成员国供应量增加，欧佩克在展望期前十年内会降低其产量，降低市场份额以减轻价格下行压力。鉴于本世纪20年代中期以来石油需求持续减少，在“快速转型情景”和“净零情景”里，欧佩克市场份额下降幅度最为明显。

▶ 随着展望期后半期石油需求加速减少，以及美国产出的竞争力减弱，欧佩克将更加积极地开展竞争，提升其市场份额。在所有三种情景下，到2050年，欧佩克在全球石油产量中的份额将增加到45-65%。

▶ 非欧佩克成员国生产的成本结构占比更高，意味着到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，75-85%的石油产量下降，而在“新动力情景”里，几乎所有的减少全部归咎于非欧佩克供应商。

天然气

天然气的前景取决于能源转型的速度

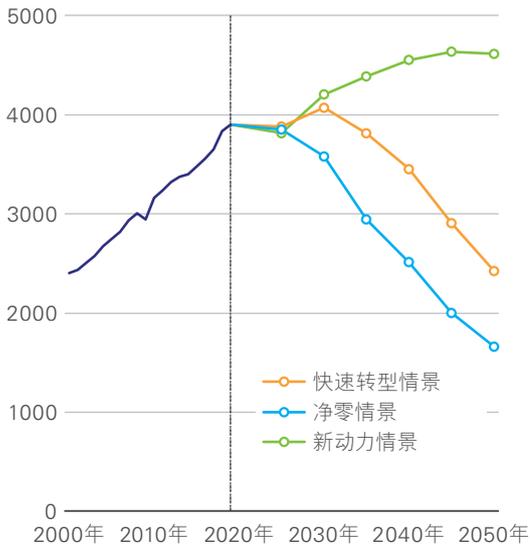
液化天然气贸易在短期内将增加, 2030年后的前景不确定性增加

液化天然气出口由美国和中东主导

天然气的前景取决于能源转型的速度

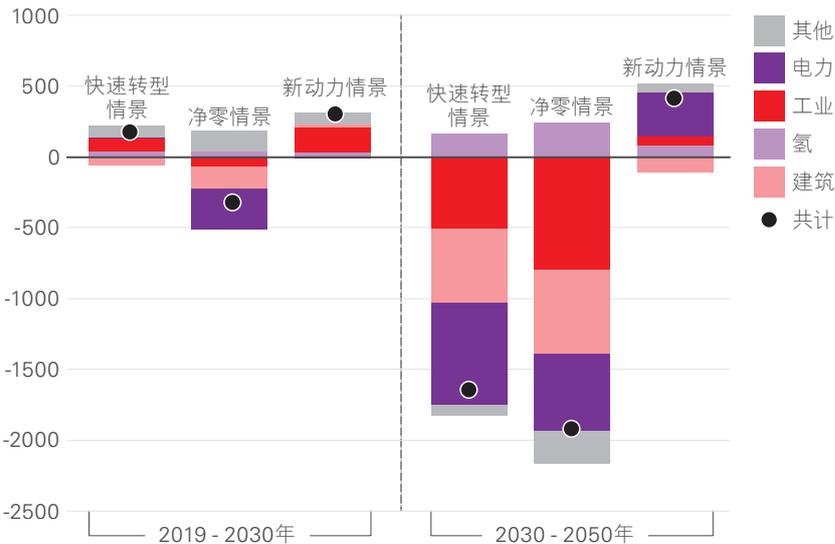
天然气需求变化

10亿立方米



天然气需求变化 (按行业列示)

变化 (10亿立方米)



要点

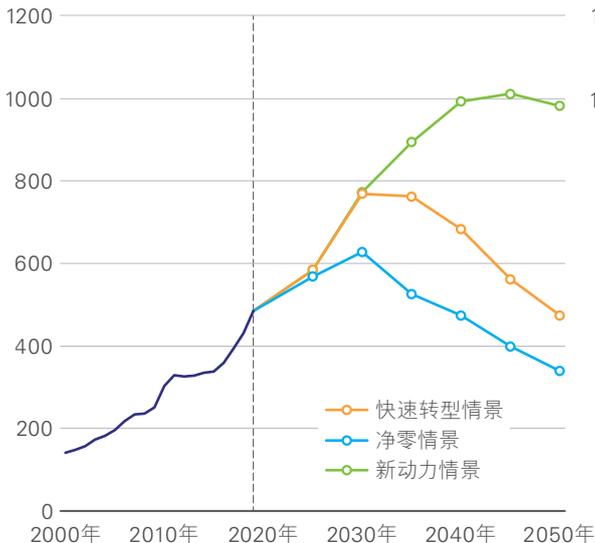
天然气的前景受两个趋势走向影响，这两个趋势既很重要，又呈相反状态：新兴经济体在经济增长和工业化过程中对天然气的需求不断增加，这一趋势被发达国家引领的从天然气向低碳能源转型所抵消。这些相反趋势对全球天然气需求的最终影响取决于能源转型的速度。

- ▶ 在这十年的剩余时间里，“新动力情景”和“快速转型情景”下，展望期内前10年左右，受持续煤改气的支持，中国天然气需求强劲，与此同时，印度以及亚洲其他新兴国家在推进工业化过程中也有强劲需求。因此，全球天然气需求增加。
- ▶ 相比之下，“净零情景”里，天然气消费量在本世纪20年代中期达到峰值，然后开始下降。新兴世界的天然气消费增长将持续到2030年。由于向电气化和低碳能源的转移，发达世界消费量的下降抵消了这一增长。
- ▶ 从本世纪30年代初开始，天然气需求在“快速转型情景”和“净零情景”里会下降，因为发达国家天然气消费持续下降，电气化程度越来越高和可再生能源快速增长的相同模式导致中国和中东的需求也随之下降，这更进一步加剧了天然气需求的下降。这种下降仅部分被越来越多地使用天然气生产蓝氢所抵消（见第72-73页）。到2050年，天然气需求在“快速转型情景”里将比2019年的水平低40%左右，在“净零情景”里将低55%。
- ▶ 相比之下，“新动力情景”里，在亚洲和非洲新兴市场天然气消费增加的推动下，到2050年的大部分时间里，全球天然气需求会持续增长。这一增长大部分是在电力行业，因为这些地区的天然气消费在发电中所占的份额会增加，总体发电量强劲增长。到2050年，“新动力情景”里全球天然气需求将比2019年的水平高出20%左右。
- ▶ 在三种情景下，2050年全球天然气需求相对于当前水平的差异幅度会大于石油或煤炭，突出天然气对能源转型速度的敏感性。

液化天然气贸易在短期内将增加, 2030年后的前景不确定性增加

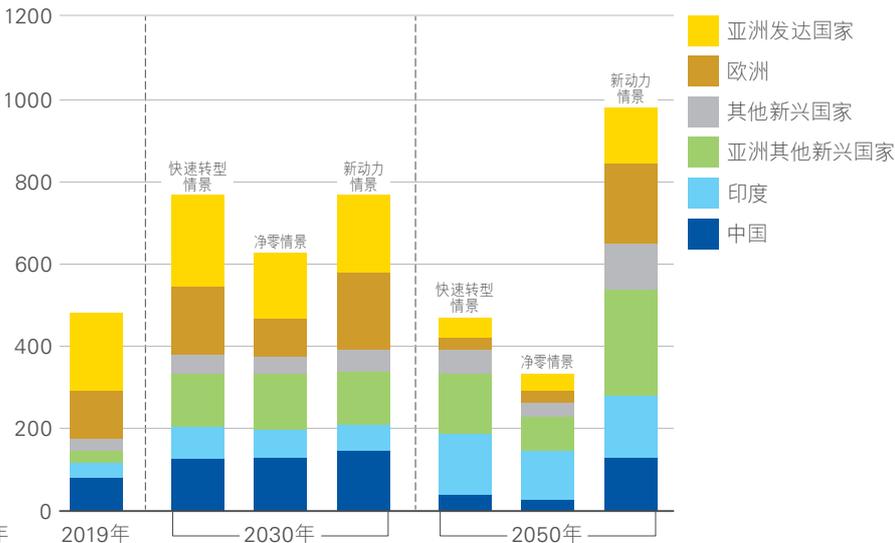
液化天然气贸易

10亿立方米



液化天然气进口量 (按地区列示)

10亿立方米



要点

液化天然气贸易在短期内强劲增长,但2030年后不确定性的范围将扩大,新兴市场在经济增长和工业化过程中对液化天然气的需求持续增加,而发达市场由于向低碳能源转型,进口需求将下降,可以两相抵消。

- ▶ 液化天然气贸易在展望期前10年里增长强劲,在“新动力情景”和“快速转型情景”里增长大约60%,在“净零情景”里增长三分之一。
- ▶ 这在很大程度上得益于亚洲新兴国家(中国、印度和其他亚洲新兴国家)天然气需求的不断增长,因为这些国家正在减少使用煤炭,而除中国以外的其他国家正在持续推进工业化。液化天然气进口是天然气消费增长的主要来源,在三种情景里,2030年前,液化天然气进口增长均占亚洲新兴国家天然气消费增长的65-75%。

▶ 2030年前,在“新动力情景”和“快速转型情景”里,欧洲液化天然气进口同样将显著增加,表明俄罗斯管道进口量下降和天然气需求的持续(见第34-35页)。

▶ 2030年后,液化天然气贸易的不确定性范围显著增加。2030年到2050年期间,液化天然气进口在“新动力情景”里将增长约30%,而在“快速转型情景”和“净零情景”里,则会下降大约40%。

▶ 在“新动力情景”里,2030年后,液化天然气需求的增长是由印度和其他新兴市场不断增长的需求驱动的,这反映出天然气在电力和产业领域的使用日益增加(见第48-49页)。新兴世界的这种增长,不止抵消了欧洲和亚洲发达市场液化天然气进口的下降。

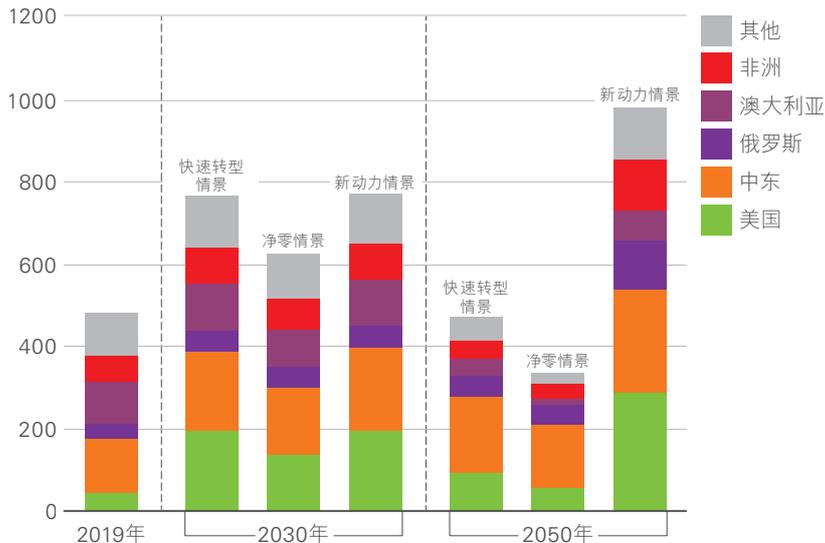
▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”下,2030年后的大部分时间里,新兴经济体的液化天然气需求仍将增长,但不及亚洲和欧洲发达市场以及中国液化天然气进口大幅下降,因为这些地区将从天然气向更低碳能源转型。

▶ 在“新动力情景”里,2050年,液化天然气市场的规模大约是2019年水平的两倍,在“快速转型情景”里大致保持不变,在“净零情景”里则降低30%左右。

液化天然气出口由美国和中东主导

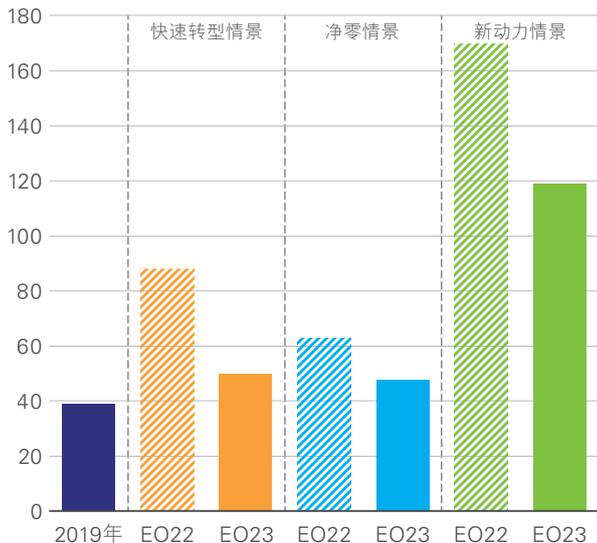
液化天然气出口 (按地区列示)

10亿立方米



2050年俄罗斯液化天然气出口

10亿立方米



要点

美国和中东已成为全球液化天然气出口的主要供应中心，而俄罗斯液化天然气出口的前景因俄乌军事冲突的影响而黯淡。

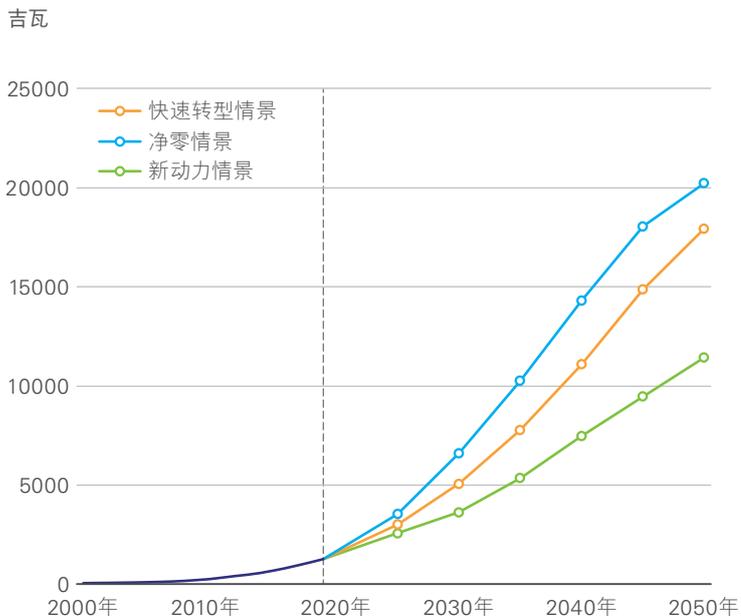
- ▶ 2030年之前，美国和卡塔尔液化天然气出口大幅增长，可由此满足全球液化天然气需求的增长。2030年之前美国液化天然气出口增长，在“新动力情景”和“快速转型情景”里占全球液化天然气供应增长的一半以上，在“净零情景”里则占总体增长的三分之二左右。中东不断增长的出口构成了剩余的大部分。2030年之前，美国和中东合计占全球液化天然气供应的一半左右，而2019年这一数字约为三分之一。
- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”里，展望期后半期内，液化天然气出口下降主要在美国。在这两种情景下，2030年至2050年间，美国液化天然气出口将减少一半以上，这反映出竞争日益加剧，以及美国相较于中东和非洲，向亚洲其余需求中心供应的运输成本更高。
- ▶ 在所有三种情景下，2030年后澳大利亚液化天然气出口都将下降，反映了澳大利亚上游天然气生产的成本和限制增加。
- ▶ 2030年之前，俄罗斯获得西方技术和资金仍然受到限制，俄罗斯的液化天然气出口也因此受到掣肘。因此，在展望期前十年内，俄罗斯的出口基本持平，只有那些在冲突开始前接近完成的项目会启动。
- ▶ 2030年后，假定对俄罗斯获得技术和资金的限制逐渐放松，这会使2050年前俄罗斯的液化天然气出口在“新动力情景”里增加一倍以上。相比之下，在“快速转型情景”和“净零情景”下，全球液化天然气需求将在本世纪30年代和40年代下降，意味着即使制裁有所放松，俄罗斯的液化天然气出口也将没有机会恢复。在三种情景下，相较于去年《展望》的设想，俄罗斯液化天然气出口量2035年将下降100-600亿立方米，2050年将下降150-500亿立方米（见第32-33页）。

可再生能源

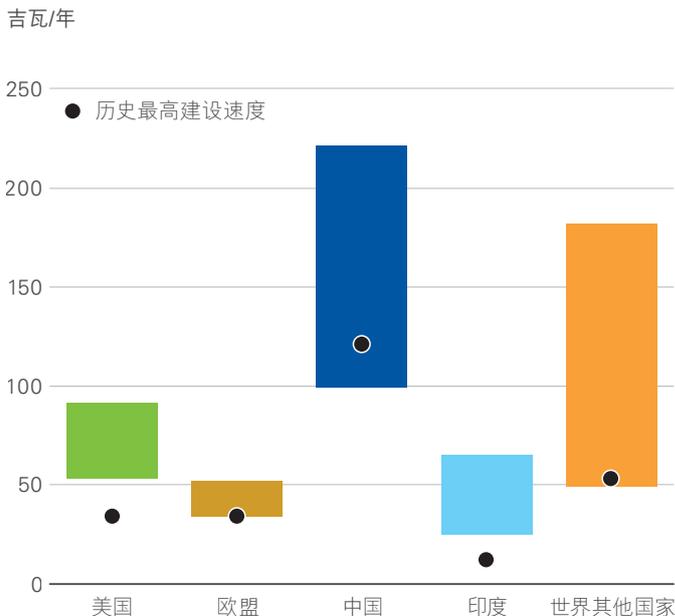
风能和太阳能发电快速增长, 需要大幅加快融资和新产能建设
现代生物能源迅速扩张, 有助于难以减排的行业和过程脱碳

风能和太阳能发电快速增长，需要大幅加快融资和新产能建设

风能和太阳能装机容量



2022-2035年三种情景下风能和太阳能产能建设速度的范围



要点

由于成本竞争力不断提升，政策扶持向低碳电力和绿氢转变，风能和太阳能发电迅速增长。

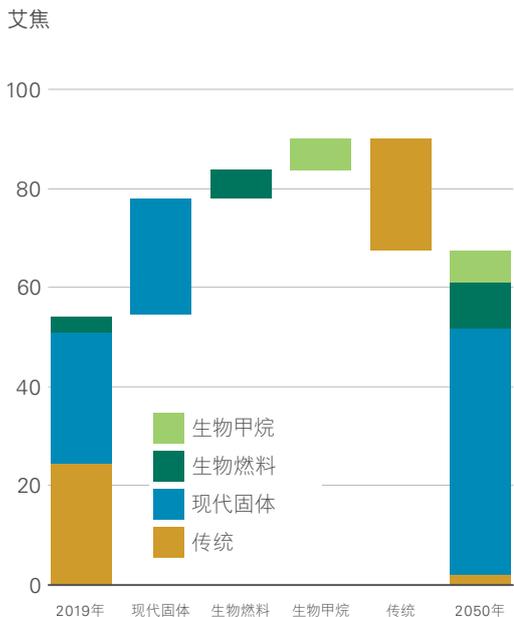
- ▶ 展望期间，风能和太阳能的装机容量在“快速转型情景”和“净零情景”里增长了约15倍，在“新动力情景”里增长了9倍。
- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”里，虽然到2050年，这种容量大约有四分之一到三分之一用于生产绿氢，但大部分则用于为终端消费提供电力。
- ▶ 风能和太阳能的快速扩张在很大程度上得益于成本下降——成本短期由于最近通胀压力承压后将下降，尤其是在展望期的前10-15年。太阳能和风能技术和生产成本随着用量的增加而下降，背后助力就是太阳能组件效率、负载系数和项目规模增加，以及越来越大的涡轮机负载系数提高和风能运行成本降低。

- ▶ 随着发电成本下降与平衡电力系统和增加可变能源份额的费用上涨抵消，发电成本下降的步伐将放缓，并最终在展望期最后20年趋于平稳。成本展望假设，制造光伏组件和风力涡轮机所用的关键金属可获得性大为增加，足以避免价格持续上涨（见第84-85页）。更笼统地讲，这些情景的基本假设是，供应链发展扩大避免了在关键材料方面过度依赖个别国家或地区，从而避免了关键材料供应安全带来的挑战。
- ▶ 2035年之前，装机容量的增长要求大幅加快新增容量的融资和建设速度。2035年之前，在“快速转型情景”和“净零情景”里，装机容量的平均增长率是每年450-600吉瓦——比历史上最高增长率先快1.9-2.5倍。

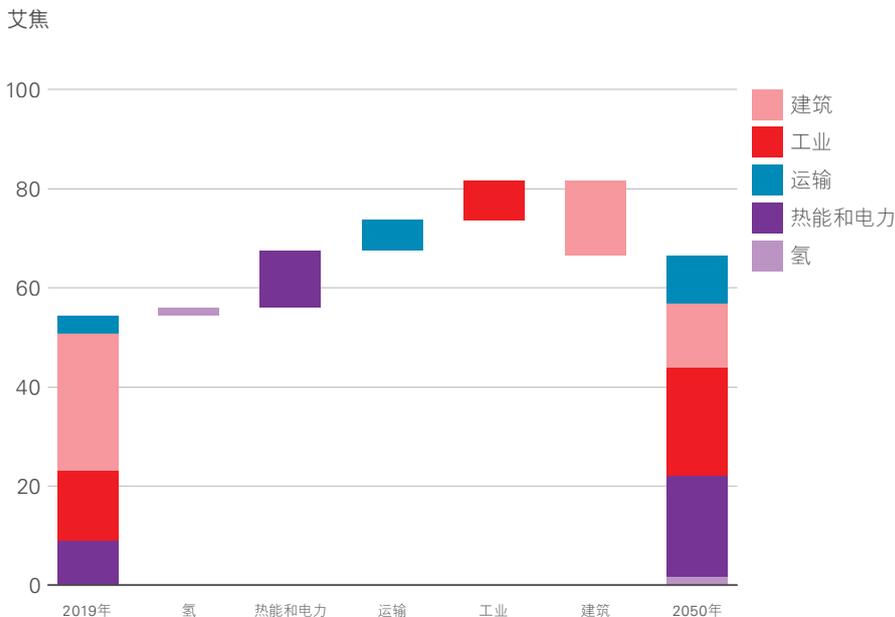
- ▶ 除了投资显著增加（见第82-83页）之外，风能和太阳能发电装机容量如此迅猛加速还取决于诸多以相应速度扩展的有利因素，包括输电和配电能力的扩大、管理间歇性的市场框架的完善、规划和许可的速度以及市场通路机制的有无。
- ▶ 2035年之前，风能和太阳能装机容量的增长主要由中国和发达国家主导，在所有三种情景下，这两者各占总容量增长的30-40%。这种增长模式在展望期后半期会发生重大转变，在“快速转型情景”和“净零情景”里，不包括中国在内的新兴经济体在本世纪40年代的增长中约占75-90%。

现代生物能源迅速扩张, 有助于难以减排的行业和过程脱碳

“快速转型情景”下按类型列示的生物能源供应 (2019-2050年)



“快速转型情景”下按行业列示的生物能源需求 (2019-2050年)



要点

现代生物能源——现代固体生物质能（如木屑颗粒）、生物燃料和生物甲烷——的使用显著增加，有助于难以减排的行业和过程脱碳，并取代传统生物质能（如废木材和农业残留物）用来烹饪和取暖。

- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”里，传统生物能源向现代生物能源转型明显，到2050年，现代生物能源将增加一倍以上，达65艾焦左右，大大抵消了传统生物质能的逐步淘汰。“新动力情景”里现代生物能源增长幅度略逊一筹，到2050年将接近50艾焦。现代生物能源的扩张是在不改变土地用途的情况下实现的，其中绝大部分来源于区域内的残留物（来自农业和林业）和废物，它们很容易获取，不会对生态系统产生有害影响。
- ▶ 现代生物能源需求增长最大的是固体生物质能。生物质能主要用于电力行业，展望期内，“快速转型情景”里该行业的生物质能消费将增至三倍。剩余的大部分用

于帮助难以减排的工业过程，特别是水泥和钢铁制造业脱碳。在“快速转型情景”里，到2050年，有5艾焦的生物质能将与碳捕集与封存结合（BECCS）使用，主要用于电力和工业行业。BECCS在电力行业的应用主要集中在发达经济体。在新兴经济体中，电力行业的生物质能被用于新的生物质能热电联产工厂和与煤共烧的工厂。2050年，在“净零情景”下，全球BECCS的使用量最大，达到13艾焦，其中约一半用于电力行业，其余大部分用于生产氢气。

- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”里，到2050年，生物燃料的产量将增至3倍，达到10艾焦左右，其中大部分用于航空行业。到2050年，生物衍生可持续航空燃料（生物航煤），在“快速转型情景”里将占航空需求总量的30%，在“净零情景”下将占45%，其中美国和欧洲的生物航煤增长将占50-60%，这得益于激励措施和强制执行。

- ▶ 生物甲烷在所有情景中均显著增长，2019年不到0.2艾焦，到2050年在“快速转型情景”和“净零情景”里将增加到6-7艾焦，在“新动力情景”里将增加到4.3艾焦。生物甲烷并入天然气网络，作为天然气的直接替代品，在工业、建筑和交通运输中广泛平均共享。
- ▶ 与现代生物能源相比，在“快速转型情景”和“净零情景”里，到2050年，传统生物质能的作用基本上被淘汰。这在很大程度上反映出，随着电力和清洁烹饪燃料的普及，传统生物质能在新兴经济体建筑中的使用正在消失。传统生物质能的使用在“新动力情景”里比较持久，反映出新兴经济体能源系统电气化进展较慢。
- ▶ 在所有三种情景下，现代生物能源的增长均由新兴经济体主导，在所有三种情景下，新兴经济体占到2050年之前的增长的大约四分之三。

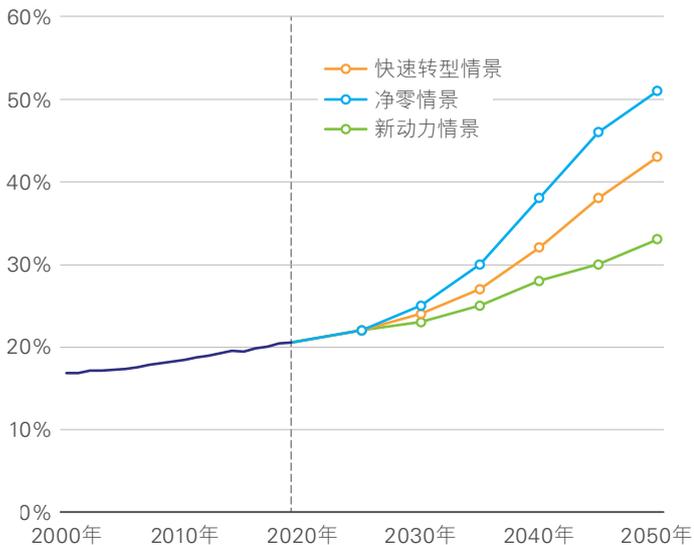


新兴经济体日益繁荣, 世界日趋电气化, 电力需求增长显著
随着全球电力系统脱碳, 风能与太阳能发电日益占据主导
发达经济体和新兴经济体的发电构成有所不同

新兴经济体日益繁荣, 世界日趋电气化, 电力需求增长显著

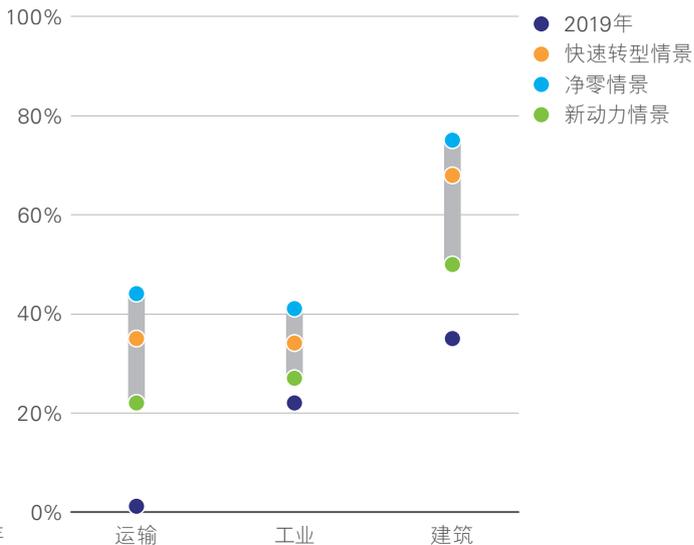
电力在终端消费总量中的占比

占比



2050年终端用途行业的电气化范围

终端消费总量的占比



要点

由于新兴经济体日益繁荣，全球能源系统日趋电气化，电力需求在展望期间内将强劲增长。

- ▶ 在所有三种情景下，到2050年，终端电力需求将增加75%左右。这一增长绝大部分（约90%）来自新兴经济体，因为经济增长和生活水平的提高推动电力消费快速增长。
- ▶ 在发达市场，终端能源使用日趋电气化推动电力消费增长。但与新兴经济体相比，这一增长非常温和。

▶ 在这三种情景下，印度的电力需求在展望期内增长了250-280%，相比之下，欧盟只增长了10-30%。即便如此，2050年，欧盟的人均用电量仍是印度的两倍左右。

▶ 能源系统日趋电气化在“快速转型情景”和“净零情景”里最为明显，电力在终端消费总量（TFC）中的份额，2019年为20%，到2050年，增加到40-50%之间。尽管脱碳的步伐放缓，但到展望期结束时，在“新动力情景”里，电力在终端消费总量所占的份额仍将增加至30%以上。

▶ 电气化加快在所有终端用途行业均很明显。电气化前景最广阔的是建筑业，在所有三种情景下，到2050年建筑业至少有一半的终端能源需求会电气化。在“快速转型情景”和“净零情景”里，建筑能源需求的电气化程度提高，在很大程度上是由更普及使用热泵所驱动。

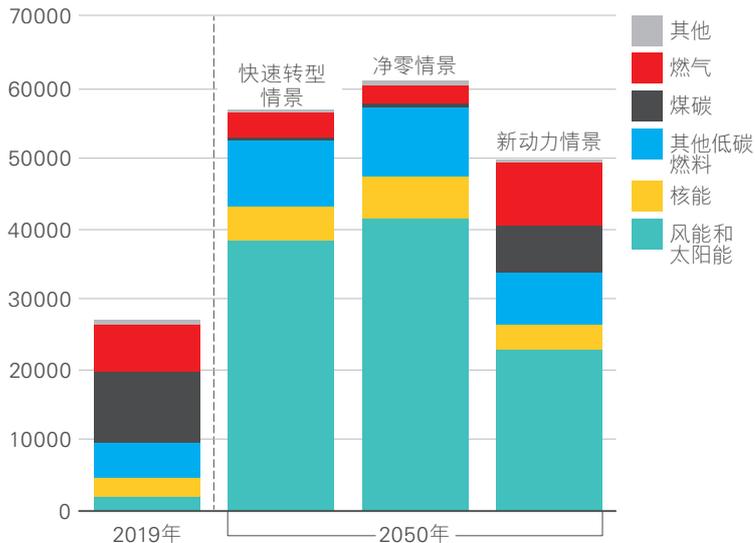
▶ 相对于目前的低水平，交通运输行业的电气化占比增幅最大，这在很大程度上反映了路面交通电动化（见第42-43页）。

▶ 与其他行业相比，工业终端能源使用电气化显著增长的空间更为有限，特别是对于需要高温（>200℃）的工艺流程而言。

随着全球电力系统脱碳, 风能与太阳能发电日益占据主导

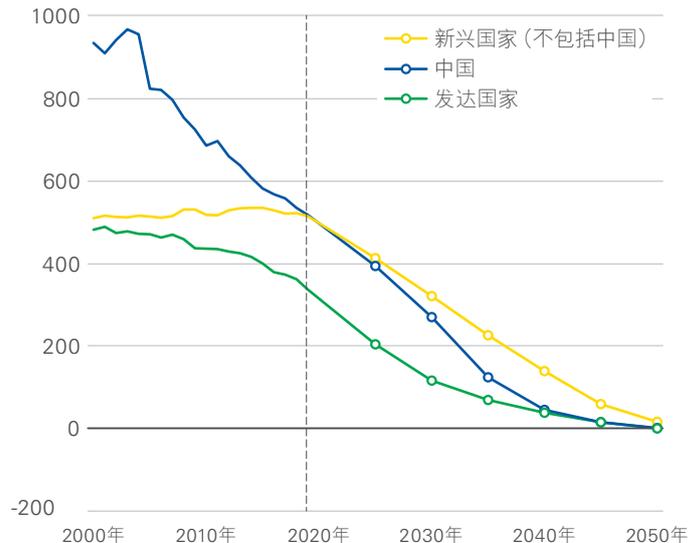
燃料发电

太瓦时



“快速转型情景”下发电的碳强度

克二氧化碳/千瓦时



要点

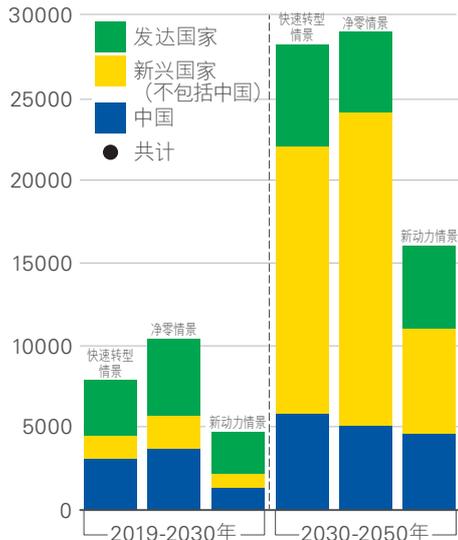
全球发电日趋脱碳，这得益于风能和太阳能的快速增长，展望期内风能和太阳能占发电量增长的全部或大部分。

- ▶ 到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，风能和太阳能占全球发电量的三分之二左右——在最得天独厚的地区接近75%。在“新动力情景”里，到2050年，这一份额约为一半。
- ▶ 虽然三种情景下的直接电力消耗相似（见第18-19页），但在“快速转型情景”和“净零情景”里总发电量更高，到2050年，总发电量又有15-20%将用于生产绿氢（见第72-73页）。
- ▶ 其他低碳发电来源（核能、水电、生物能源和地热能）继续发挥重要作用，到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”下，占全球发电量的25%左右，与2019年的份额相似。
- ▶ 其中，到2050年，核能发电在“快速转型情景”里将增长约80%，在“净零情景”里将增长一倍以上。新核电容量投资集中在中国——在“快速转型情景”和“净零情景”里，占核电增长的50-65%，这得益于其他新兴经济体的新容量以及一些发达经济体现有核电厂的寿命延长和重启。
- ▶ 煤炭是因低碳能源日益占据主导地位而失去阵地最多的燃料，因为其在全球发电中的份额不断下降，2019年为近40%，到2050年，在“新动力情景”下，只略高于10%，在“快速转型情景”和“净零情景”下则接近于零。
- ▶ 鉴于天然气在新兴世界仍然很重要，在“快速转型情景”和“新动力情景”里，天然气在全球发电中的作用在展望期第一阶段内相对稳定。但随着风能和太阳能的扩张步伐加快，在“快速转型情景”和“净零情景”里，天然气的使用量在展望期的下半期将急剧下降。到2050年，剩余的燃气发电的60-95%在“快速转型情景”和“净零情景”下，将与碳捕集、利用与封存（CCUS，见第76-77页）结合使用。
- ▶ 在展望期的下半期，低碳氢也将在电力领域崭露头角，成为一种燃料：虽然其整体发电量占比很小，但在太阳能和风能占比很高的电力系统中，它作为可调度的低碳电力发挥着重要作用。
- ▶ 低碳能源日益占主导地位，加上CCUS的使用，导致“快速转型情景”里发电所产生的碳排放到2035年将下降约55%，到2050年基本消除。展望期前半期，全球发电碳强度的降低由发达国家和中国引导，而在后半期，新兴经济体将迎头赶上。类似的趋势在“净零情景”下也很明显，生物能源使用增多，再加上CCUS，结果导致电力行业到2050年成为负排放源。

发达经济体和新兴经济体的发电构成有所不同

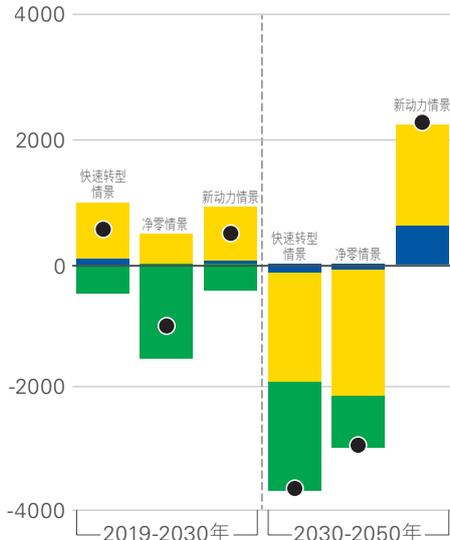
按来源和地区列示的发电变化
风能和太阳能

太瓦时



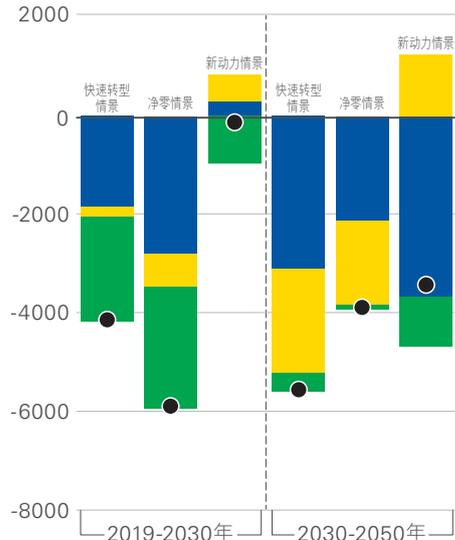
天然气发电

太瓦时



煤电

太瓦时



要点

发达经济体和新兴经济体推动发电量增长的能源各不相同，反映了它们发展阶段不一，发电市场的成熟度和规模也不尽相同。

- ▶ 现在到2030年，风能和太阳能发电的增长主要由中国和发达国家主导，在三种情景下，到2030年，两者合计占风能和太阳能发电增长的80-85%。
- ▶ 这一比例在2030年后会下降到35-60%，因为新兴经济体（不包括中国）可再生能源发电增幅迅猛，这得益于电力需求的强劲增长，以及这些市场支持快速建设风能和太阳能发电的能力不断增强。

- ▶ 接下来到2030年，燃气发电的增长主要发生在新兴经济体。在“快速转型情景”和“净零情景”里，燃气发电的增加以及风能和太阳能的快速扩张促使新兴经济体到2030年煤炭发电适度减少。这种更高水平的燃气发电在“快速转型情景”和“净零情景”里为时更短，因为风能和太阳能发电的急剧发展，推动电力行业脱碳，促使2030年后燃气发电和燃煤发电减少。
- ▶ 相比之下，发达经济体的电力需求增长放缓，加上可再生能源发电的强劲增长，导致发达国家的燃气发电未来几年内在“净零情景”和“快速转型情景”里进入平稳期，之后才会下降。

- ▶ 电力行业脱碳的举措导致所有地区的燃煤发电在“快速转型情景”和“净零情景”里显著减少。煤炭的使用在“新动力情景”里更加持久，接下来到2030年，中国和其他新兴经济体的煤炭发电量将小幅增加。但在展望期的最后20年，中国煤炭发电量的猛烈下降将大大逆转这种增长。在全球层面，燃煤发电总量的下降主要出现在中国，其下降量在“快速转型情景”和“净零情景”里达到总下降量的一半左右，在“新动力情景”下超过了总下降量。

低碳氢

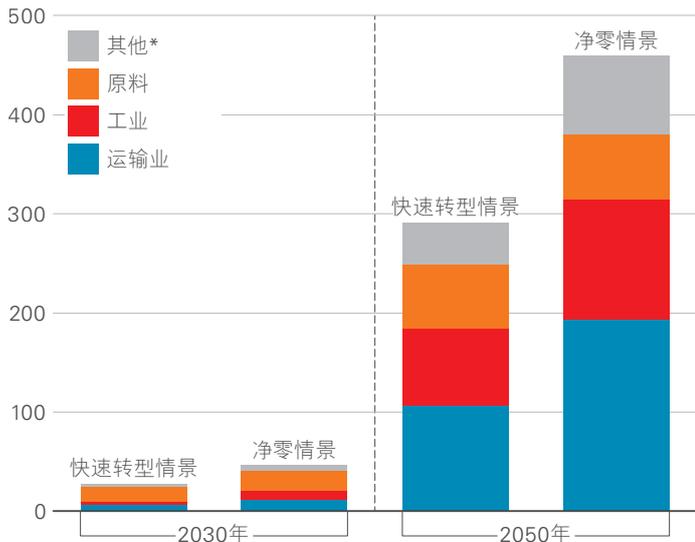
低碳氢在帮助能源系统脱碳方面发挥着重要作用

低碳氢以绿氢和蓝氢为主, 氢贸易既涉及区域性管道, 也涉及全球海运贸易

低碳氢在帮助能源系统脱碳方面发挥着重要作用

低碳氢需求

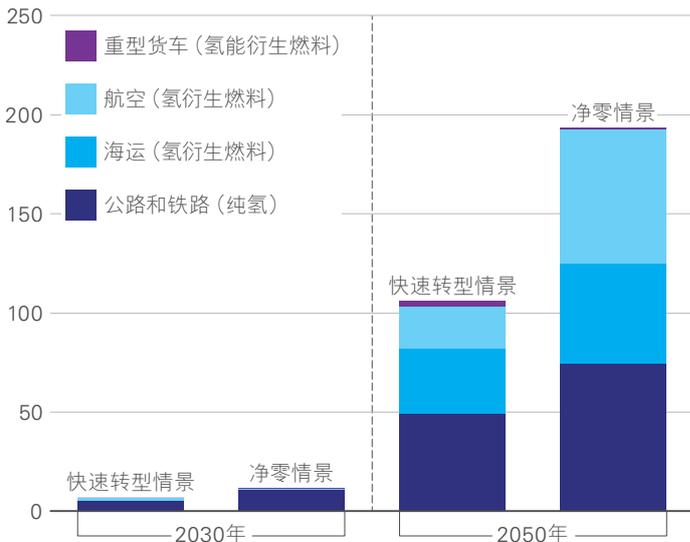
百万吨



*其他包括电力、供暖和建筑对氢的需求

运输领域的低碳氢需求

百万吨



要点

随着世界向更可持续的能源系统过渡，低碳氢的使用越来越多，有助于实现工业和运输业中难以减排的工艺过程和活动脱碳。

▶ 低碳氢的使用在“快速转型情景”和“净零情景”里最为明显，通过在难以电气化的场景充当低碳能源载体，推动能源系统加快电气化。在“新动力情景”里，脱碳程度较低，意味着低碳氢的作用相对有限。

▶ 展望期前十年左右，低碳氢的增长相对缓慢，这反映出确立低碳氢项目的准备时间漫长，激励使用低碳氢替代成本更低的替代能源也需要政策大力支持。到2030年，对低碳氢的需求在“快速转型情景”和“净零情景”里为3000-5000万吨/年之间，其中大部分作为碳含量更低的替代能源，替代现有的天然气制氢和煤制氢实现减排，两者作为工业原料，用于提炼和生产氨和甲醇。

▶ 本世纪30年代和40年代，随着生产成本下降和碳排放政策收紧，低碳氢能在难以减排的工艺过程 and 活动中与现有燃料竞争，尤其是在工业和运输领域，增长速度会加快。2030年至2050年间，在“快速转型情景”和“净零情景”里，低碳氢的需求将增长10倍，分别达到接近3亿吨/年和4.6 吨/年（35-55艾焦）。

▶ 到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，低碳氢在钢铁生产中的使用约占工业氢总需求的40%，它可以替代煤碳和天然气，既是还原剂，又是能源。氢的其余工业用途是在重工业的其他行业，如化学品和水泥生产，这些也需要高温加热处理。到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，低碳氢在工业用终端能源总量中约占5-10%。

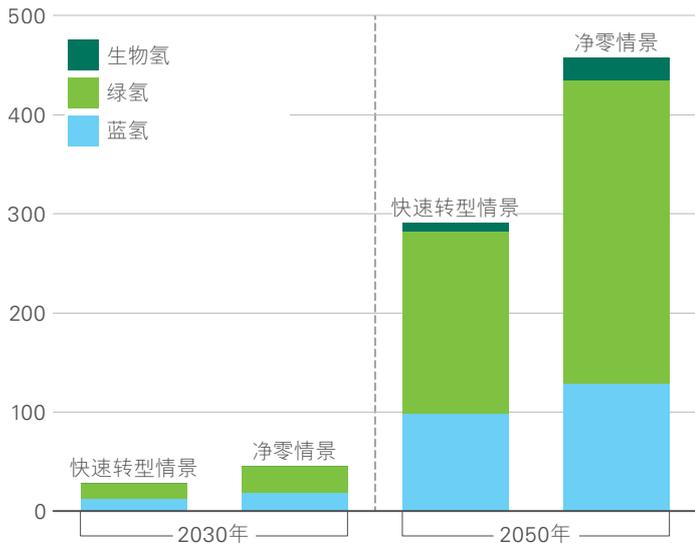
▶ 氢在运输中的使用主要集中在氢衍生燃料的生产中，氢衍生燃料用于海运（以氨、甲醇和合成柴油的形式）和航空（以合成喷气燃料的形式）中长途运输的脱碳。到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，这些氢衍生燃料占最终航空能源需求的10-30%，占海运行业终端能源用量的30-55%。其余大部分直接用于重型公路运输。到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，低碳氢和氢衍生燃料占运输行业最终总能耗的10-20%。

▶ 某些氢衍生燃料的生产需要碳中性原料来源。这些可以来自生物源或直接空气捕获（见第78-79页）。

低碳氢以绿氢和蓝氢为主，氢贸易既涉及区域性管道，也涉及全球海运贸易

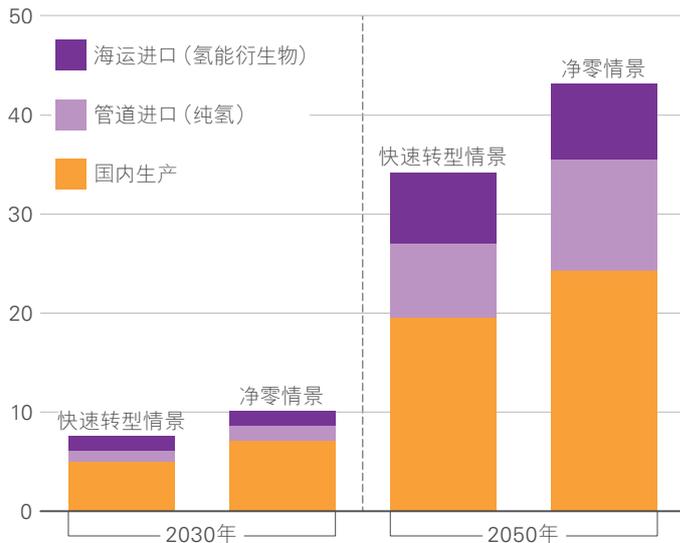
全球低碳氢供应

百万吨



欧盟低碳氢的来源

百万吨



要点

低碳氢主要是绿氢和蓝氢，绿氢通过使用可再生能源进行电解制取，蓝氢用天然气（或煤炭）制取，同时捕集和封存相关的碳排放。氢贸易通过地区性管道或全球航运进行，具体取决于氢的使用形式。

▶ 目前，在世界大部分地区，生产蓝氢的成本普遍低于绿氢。然而，最近的政策举措（如美国的《通货膨胀削减法案》——见第36-37页）和俄乌军事冲突导致欧洲和亚洲天然气价格上涨（见第34-35页），二者叠加，削弱了一些国家和地区的这种成本优势。随着技术和制造效率的提高带来的可再生能源和电解槽价格的降低，这种成本差异在展望期间会进一步削弱。

▶ 因此，到2030年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，绿氢将占低碳氢的60%左右，到2050年，这一比例将增加到65%左右。其余大部分氢由蓝氢提供，少量由生物能源结合碳捕集与封存技术（BECCS）制取。蓝氢是绿氢供应的重要补充，在某些地区提供了一种成本较低的替代品，也提供了一种稳定（不变的）低碳氢供应来源。此外，蓝氢的增长还减少了可再生能源从直接消耗的脱碳电力中转移的程度。

▶ 氢贸易的性质可能因其最终用途而异。对于需要纯氢的活动和过程——例如工业中的高温加热过程或道路运输中的使

用——氢气很可能通过管道从区域市场进口，这反映出纯氢运输成本高昂。相比之下，对于可以使用氢能衍生物的活动，如海运中的氨和甲醇或钢铁制造中的氢源热压铁（HBI），运输这些氢能衍生物的成本较低，因此可以从全球最具成本优势的地方进口。

▶ 比如，到2030年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，欧盟生产大约70%的自用低碳氢，到2050年这一比例将下降到60%左右。在欧盟进口的低碳氢中，大约一半是通过管道从北非和其他欧洲国家（挪威和英国）运输的纯氢；另一半以氢能衍生物的形式从全球市场通过海运进口。

碳减排与碳移除

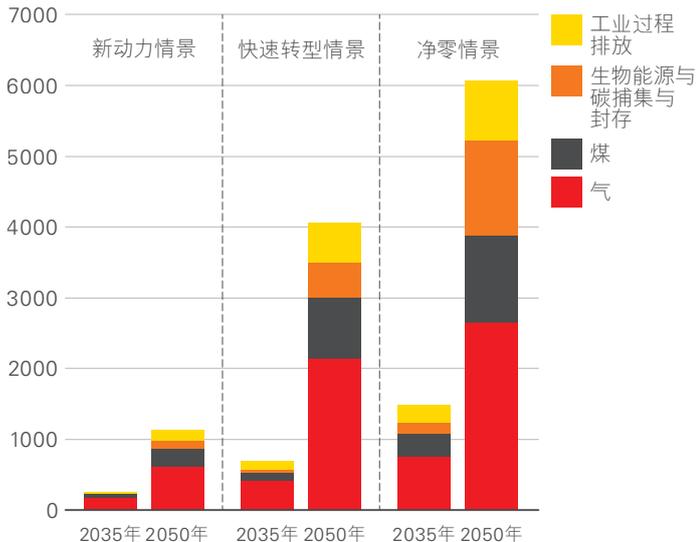
碳捕集、利用与封存在赋能深度脱碳方面发挥着核心作用

要实现巴黎气候目标, 碳移除势在必行

碳捕集、利用与封存在赋能深度脱碳方面发挥着核心作用

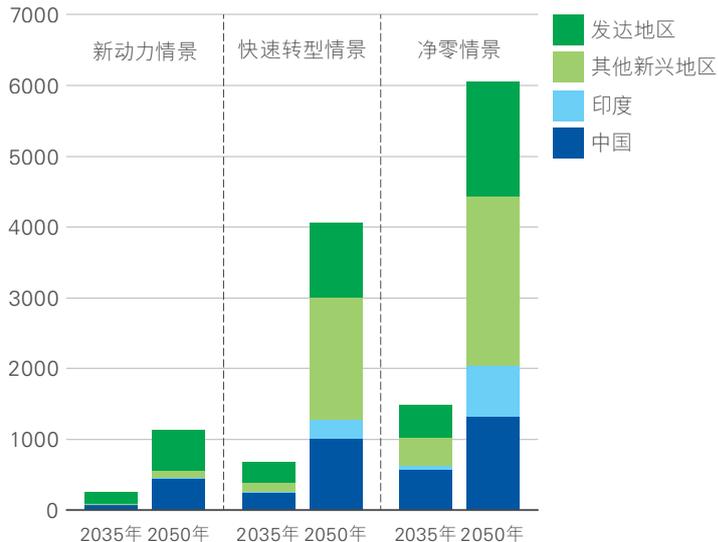
按排放源列示的碳捕集、利用与封存

百万吨二氧化碳



按地区列示的碳捕集、利用与封存

百万吨二氧化碳



要点

碳捕集、利用与封存在支持向低碳能源系统转型方面发挥着核心作用：捕集工业过程中的碳排放，碳移除，以及减少使用化石能源所致排放。

- ▶ 到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，碳捕集、利用与封存（CCUS）将达到4-6吉吨二氧化碳，而在“新动力情景”下，则达到1吉吨二氧化碳。开发储存场所及其相关运输基础设施准备期漫长，意味着大部分能力将在《展望》的下半期完成。
- ▶ 在所有情景中，2050年运行的CCUS中约有15%用于捕集和封存水泥生产的非能源工艺过程排放，水泥生产可用的脱碳替代能源有限。

- ▶ CCUS与生物能源（BECCS）结合使用，既提供了一种能源，又提供了一种碳移除方式（见第78-79页）。在“新动力情景”和“快速转型情景”里，到2050年，BECCS将约占CCUS的10%，在“净零情景”下，占大约20%。
- ▶ 剩余的CCUS用于减少天然气和煤炭使用产生的排放。
- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”里，CCUS与天然气结合的部署大致平均分布在使用天然气生产蓝氢（见第72-73页）中，以减少电力行业的排放并捕获工业中气体燃烧产生的排放。CCUS与天然气结合使用最多的地方是美国，其次是中东、俄罗斯和中国——到2050年，在“快速转型情景”和“净零情景”里，这三家合计占已部署的CCUS和天然气的三分之二左右。

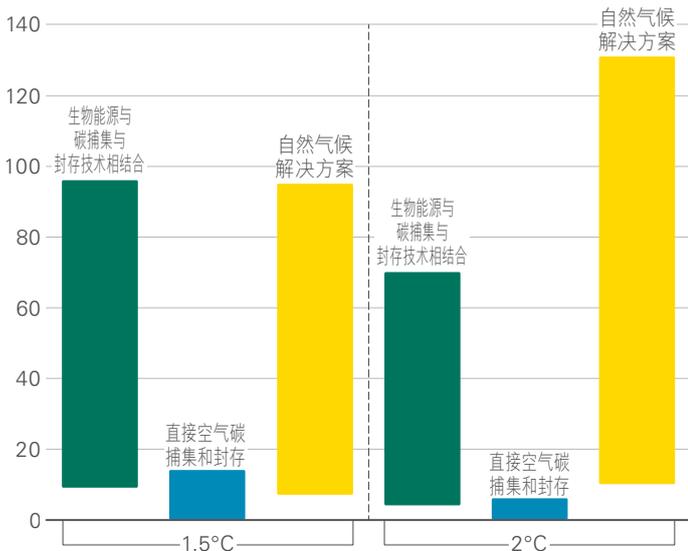
- ▶ 绝大多数CCUS和煤炭结合用于电力和钢铁行业中拥有相对较新的煤基资产的地区，主要是亚洲新兴经济体，以中国为首。
- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”里，到2050年，全球70%以上的CCUS部署在以中国和印度为首的新兴经济体中。基于油气产量的历史水平，这需要这些国家加速推进CCUS，从而满足开发工业规模CCUS设施的地质适宜和工程能力的指标要求*。

*Lane等人（2021年）：《不确定的封存前景为碳捕集和封存雄心壮志制造了一个难题》

要实现巴黎气候目标, 碳移除势在必行

IPCC情景中的累计碳移除量: 2015-2050年

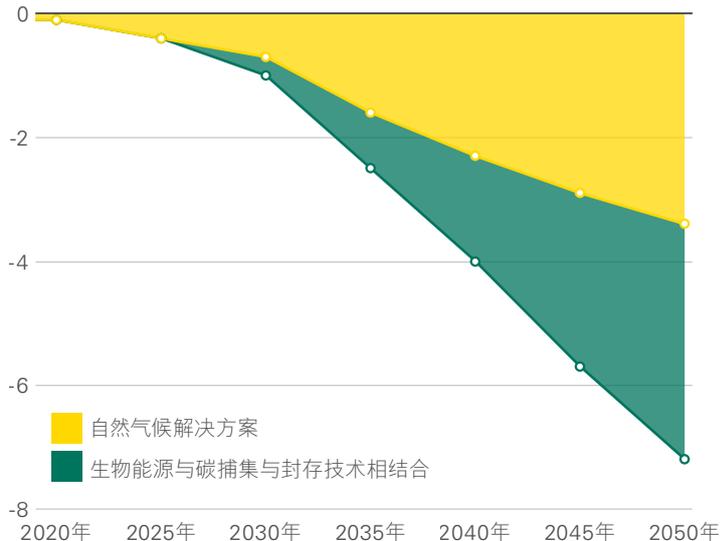
吉吨二氧化碳



柱状条的最大值和最小值为IPCC设想情景的第10和第90个百分点数

IPCC 1.5°C情景中的年度碳移除量

吉吨二氧化碳



要点

IPCC在《第六次评估报告》中指出，碳移除技术(CDR)对于抵消难以减少的排放和实现巴黎气候目标是必要的。这包括结合生物能源的CCUS，自然气候解决方案，以及直接空气碳捕集和封存。

- ▶ 生物能源与碳捕集与封存技术相结合(BECCS)的好处是，它产出有用的能源且碳排放为负。然而，由于需要确保所使用的生物质能的可持续性，以及与生物质能的其他优先用途的竞争，BECCS的规模扩大程度受到了限制。
- ▶ 自然气候解决方案保护、恢复或管理森林、湿地、草原和农业用地，以增加碳储存或避免温室气体排放。如此以来，自然气候解决方案可以减少二氧化碳的排放量，也可以移除大气中已经存在的二氧化碳。自然气候解决方案可以产生重要的伴生效益，如促进生物多样性，但在确保和监测其有效性和持久性方面可能面临挑战。

- ▶ 直接空气碳捕集和封存(DACCS)是一种直接从环境空气中捕集二氧化碳并将其封存的过程。直接空气碳捕集和封存的优势在于，它有潜力进行大规模扩张，在最有利的地区开展，并在持久性和补充性方面提供相当大的确定性。然而，与其他形式的碳移除技术相比，目前直接空气碳捕集和封存的成本较高，这反映了其技术成熟度相对较低，也反映了其固有的能源需求很高。
- ▶ 各种形式的碳移除存在不同程度的不确定性，这意味着，《第六次评估报告》中的IPCC情景下的不同类型碳移除，也有不一样的结果。但不同情景均都强调，到2050年，累计需要完成几十亿吨到几百亿吨不等。
- ▶ IPCC1.5°C情景的中位数包括自然气候解决方案和BECCS的快速扩大，到2050年达到每年7吉吨二氧化碳以上。这些形式的碳移除增长的速度意味着，它们有助于

在未来几十年加快脱碳的步伐，也抵消净零情景系统中难以减少的排放量。

- ▶ 尽管IPCC《第六次评估报告》中的模拟路径，很少体现直接空气碳捕集和封存的实质性作用，但根据国际能源署(IEA)和能源转型委员会*最近所做的分析，赋予它更大的作用。

合成燃料二氧化碳原料需求

- ▶ 生产某些氢能衍生燃料——主要是合成喷气燃料，但也包括合成柴油和甲醇(见第42-43页)——需要碳中性原料。这既可以来自结合碳捕获的生物能源，也可源于直接空气捕集。尽管《展望》中没有明确模拟来源，但在“快速转型情景”和“净零情景”里，到2050年，氢能衍生燃料的二氧化碳需求分别约为2亿吨和5亿吨。

*国际能源署，2022年版《世界能源展望》；能源转型委员会，注意差距：碳移除必须如何补充深度脱碳以保持1.5°C的活力，2022年3月

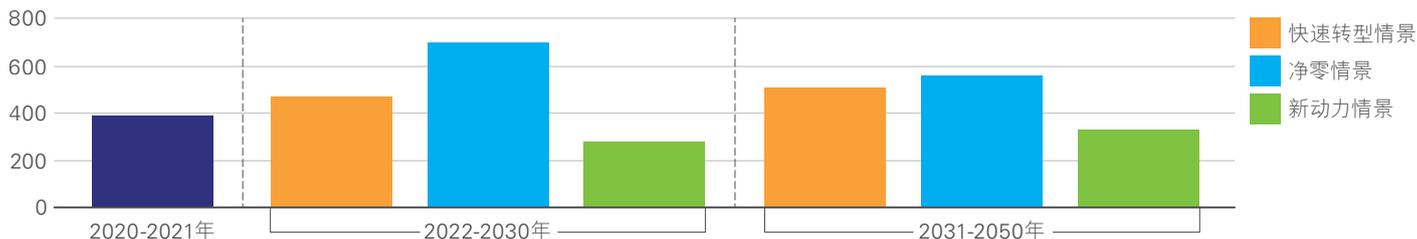
投资和关键矿产

风能和太阳能产能投资急剧增加, 继续投资石油和天然气
能源转型导致对关键矿物的需求显著增加

风能和太阳能产能投资急剧增加，继续投资石油和天然气

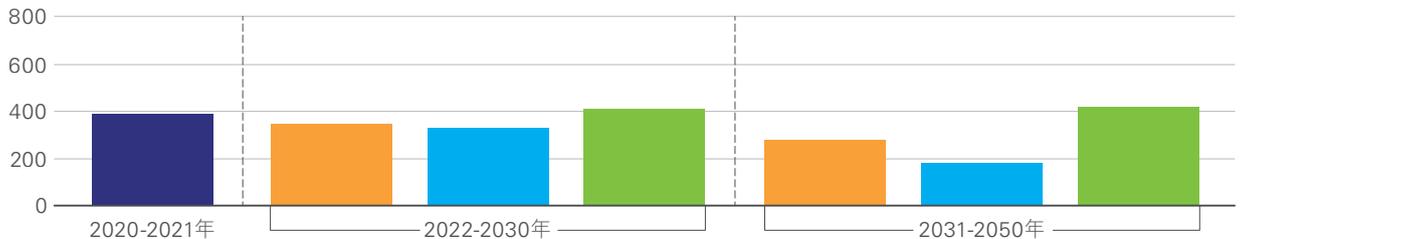
风能和太阳能年均投资

20200亿美元



上游油气年均投资

20200亿美元



要点

能源转型需要对广泛的能源价值链进行大规模投资。风能和太阳能发电能力的隐含投资水平较近期水平将明显提升。尽管需求量下降,但仍需要对上游油气进行长期投资。

- ▶ 这里考虑的投资估算指的是对风能和太阳能以及上游油气生产的投资。隐含投资要求所依据的假设以及相关的不确定性在附件中有说明(见第94-95页)。
- ▶ 三种情景设想的能源途径还均要求对这些估算中未包括的其他类型的资产进行大量投资,如配电和输电网络、输送低碳氢和二氧化碳的管道,以及生产生物燃料和氢基燃料的新设施。

- ▶ 风能和太阳能在低碳电力生产中发挥着核心作用,这要求大幅加快对新产能的投资。在“快速转型情景”和“净零情景”里,现在起到2030年的平均年投资水平比近期的投资额高出20-80%。风能和太阳能成本不断下降(见第56-57页),这意味着,到2030年,在“新动力情景”里,投资支出低于最近的水平,同时新装机容量也保持类似增长速度;随着装机的加速,在展望期下半年投资支出将会增加。
- ▶ 在“快速转型情景”和“净零情景”里,展望期内新风能和太阳能产能投资,有70%是在新兴经济体。这凸显了新兴经济体中可再生能源开发商顺利获得资本和融资的重要性。

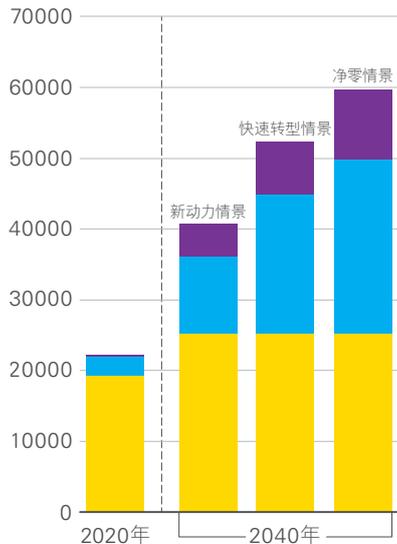
- ▶ 尽管在所有三种情景下油气需求均在下降,但现有产量的自然基数下降意味着,在所有三种情景下,都需要对上游石油和天然气资产进行长期投资,以满足未来需求。这包括对一系列不同供应类型(棕色油田、绿色油田、致密油和天然气)的投资。未来石油和天然气需求前景的不确定性意味着,长期来看,选择余地更多、周期更短、分阶段的生产机会变得越来越重要。
- ▶ 展望期后半期,上游油气的隐含投资率,尤其是在“快速转型情景”和“净零情景”里,要低于近期水平,也明显低于风能和太阳能产能所需的投资。
- ▶ 在三种情景下,现在起到2030年,上游石油和天然气的年均投资在3250亿至4050亿美元之间,而不久前为3950亿美元*。

*上游油气投资包括油井建设、设施和勘探的资本支出,但不包括运营费用。

能源转型导致对关键矿物的需求显著增加

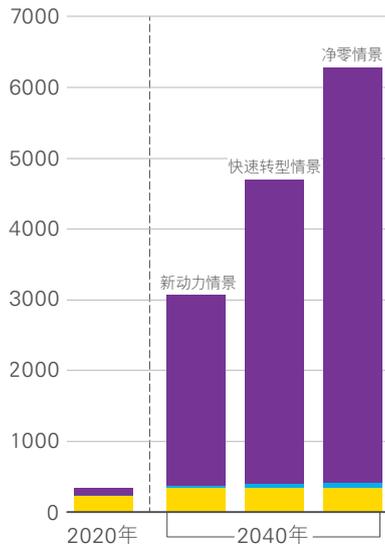
铜矿需求

千吨



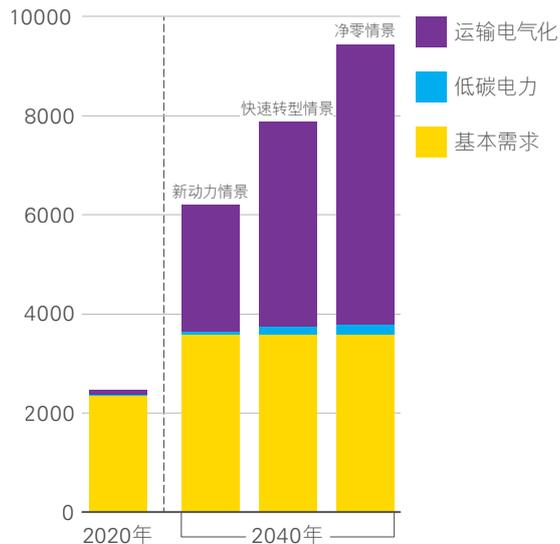
锂矿需求

千吨, 碳酸锂当量



镍矿需求

千吨



要点

向低碳能源系统转型离不开基础设施和设备,需要大幅度增加使用基础设施和设备必需的一系列矿物。

- ▶ 整个低碳能源系统对能源转型相关矿物和材料的需求日益高涨,包括建设风能和太阳能设施、电池、氢气和二氧化碳管道以及新型储存设施。在今年的《展望》中,两个特别重要的需求根源在于:
- ▶ 低碳电力的增长,它需要大幅扩展所用电网和配电系统,以连接可再生能源资产并向终端用户输送电力。
- ▶ 道路运输电气化,到2050年,它将使全球电动汽车保有量达到10-20亿辆,这意味着道路运输内部每年电池容量需求将增加10-20太瓦时。

▶ 与能源转型相关的需求日益增长,外加展望中预计更广泛的经济扩张,都对转型亟需的一系列矿物有重要影响。下面我们先看三种:铜矿、锂矿和镍矿。

- ▶ 铜矿:未来铜的增长主要取决于其在低碳电力新型电网建设中的使用情况,到2040年,在三种情景下,铜的使用量将增加4至7倍。在此期间,铜需求总量增长了两到三倍:65-85%的增长是源于低碳电力传输和交通运输电气化对铜矿日益增长的需求。因此,在“快速转型情景”和“净零情景”下,2040年低碳能源活动和交通运输电气化中铜的用量约占铜矿总需求的一半,而2020年只占15%左右。
- ▶ 锂矿:展望中电动汽车对锂的需求不断增加,到2040年,在三种情景下,电动汽车

的锂用量都将增长25到60倍。2020年电动汽车对锂的需求占总需求量的30%,到2040年,这个比重上升到85-95%。

- ▶ 镍矿:镍在交通运输电气化中的使用推动了对镍的需求。到2040年,在三种情景下,镍总需求量将增加2.5-4倍,其中65%-80%的增长是源于电动汽车加大锂离子电池的使用。
- ▶ 各种情景均假设,关键矿物的供应加大,以满足这些不断增长的需求。这就需要关键矿物开采行业大幅增加投入和资源,并加速规划和审核周期。由于需要仔细核查新启和现有采矿活动的可持续性,这种挑战耦合了规模效应使得情况更加复杂。

附件

数据表

模拟俄乌军事冲突对全球能源系统的影响

气候变化对经济的影响

投资方法

碳排放的定义与数据来源

其他数据的定义与来源

免责声明

数据表

	2019年	2050年水平*			2019-2050年(年均)变化			2050年在一次能源中的占比		
		快速转型情景	净零情景	新动力情景	快速转型情景	净零情景	新动力情景	快速转型情景	净零情景	新动力情景
按燃料列示的一次能源										
总计	627	666	630	733	0.2%	0.0%	0.5%	100%	100%	100%
石油	193	78	39	140	-2.9%	-5.0%	-1.0%	12%	6%	19%
天然气	140	87	60	166	-1.5%	-2.7%	0.5%	13%	9%	23%
煤炭	158	23	17	96	-6.0%	-7.0%	-1.6%	4%	3%	13%
核能	25	40	47	28	1.5%	2.1%	0.4%	6%	7%	4%
水电	38	61	65	48	1.6%	1.8%	0.8%	9%	10%	7%
可再生能源(包括生物能源)	74	377	403	256	5.4%	5.6%	4.1%	57%	64%	35%
本地单位										
石油(百万桶/日)	98	42	21	73						
天然气(10亿立方米)	3900	2422	1658	4616						
按地区列示的一次能源										
发达地区	234	171	162	199	-1.0%	-1.2%	-0.5%	26%	26%	27%
美国	97	76	74	89	-0.8%	-0.9%	-0.3%	11%	12%	12%
欧盟	65	45	42	51	-1.2%	-1.4%	-0.8%	7%	7%	7%
新兴地区	393	495	468	534	0.8%	0.6%	1.0%	74%	74%	73%
中国	147	149	138	160	0.0%	-0.2%	0.3%	22%	22%	22%
印度	42	88	88	94	2.5%	2.4%	2.6%	13%	14%	13%
中东	37	47	45	48	0.7%	0.6%	0.8%	7%	7%	7%
俄罗斯	30	30	26	32	-0.1%	-0.4%	0.1%	4%	4%	4%
巴西	16	17	15	18	0.2%	-0.1%	0.5%	2%	2%	3%

	2050年水平*				2019-2050年(年均)变化			2050年在终端消费总量的占比		
	2019年	快速转型情景	净零情景	新动力情景	快速转型情景	净零情景	新动力情景	快速转型情景	净零情景	新动力情景
按行业列示的终端消费总量										
总计	477	398	335	513	-0.6%	-1.1%	0.2%	100%	100%	100%
运输业	119	100	90	114	-0.6%	-0.9%	-0.1%	25%	27%	22%
工业	188	153	128	203	-0.7%	-1.3%	0.2%	38%	38%	40%
原料	38	36	27	45	-0.2%	-1.0%	0.6%	9%	8%	9%
建筑	132	110	90	151	-0.6%	-1.2%	0.4%	28%	27%	29%
载体发电										
电力(千太瓦时)	27	57	61	50	2.4%	2.7%	2.0%	52%	66%	35%
氢能(百万吨)	66	301	460	165	5.0%	6.4%	3.0%	9%	17%	4%
产量										
石油(百万桶/日)	98	42	21	73	-2.7%	-4.8%	-0.9%			
天然气(10亿立方米)	3976	2422	1658	4616	-1.6%	-2.8%	0.5%			
煤炭(艾焦)	168	27	15	92	-5.7%	-7.4%	-1.9%			
排放量										
能源和工业的净排放量(吉吨二氧化碳当量)	39.8	9.1	2.0	28.7	-4.7%	-9.1%	-1.1%			
碳捕集、利用与封存(吉吨)	0.0	4.1	6.1	1.1	56%	58%	49%			
宏观										
GDP(万亿美元, 购买力平价)	128	266	266	266	2.4%	2.4%	2.4%			
能源强度(终端消费总量/GDP(美元))	3.7	1.5	1.3	1.9	-2.9%	-3.5%	-2.1%			

*单位均为艾焦, 除非另有说明。

模拟俄乌军事冲突对全球能源系统的影响

通过捕捉与战争相关的三种经济冲击，对俄乌军事冲突的影响进行建模：近期对大宗商品价格（滞胀）的冲击、能源安全关切加剧以及全球化步伐放缓。

对大宗商品价格的冲击

在建模中，将这种冲击设定为化石能源价格短暂飙升，再加上全球GDP大幅下降。随着各国央行收紧货币政策以控制通胀，实际利率也有所上升，通胀增加了不同能源的平准成本，影响了替代技术的相对价格。这种冲击到2030年就会消散，届时，物价以及GDP水平无论如何都会回归长期趋势。俄罗斯和乌克兰的GDP水平是个例外，人们认为战争对这两个国家的GDP会产生持久负面影响。

能源安全关切加剧

外界认为，俄乌军事冲突会促使各国政府实施政策，减少对进口能源的依赖。这种冲击的建模方式是在每个地区或国家的能源进口价格上增加约30%的“安全”溢价。欧盟进口能源的“安全”溢价高达60%左右，因为欧盟遭受俄乌军事冲突影响剧烈，需要迅速减少从俄罗斯的能源进口。对进口能源征收安全溢价提高了本国能源的竞争力，包括可再生能源、核能和水电。

全球化步伐放缓

普遍认为俄乌军事冲突会拖慢全球化的步伐，因为各国和地区都更加注重国内的韧性，并缩小了受国际冲击的风险敞口。国际贸易和开放度收缩对全球经济增长的影响很小，但却是负面的。尽管按年计算影响不大——年均增长率将降低约0.1个百分点——但长远来看，对GDP水平的影响会产生累积效应，到2050年，全球GDP水平将下降4%左右。

全球化速度放缓对不同的国家和地区会产生不同的影响：那些未来经济增长特别依赖国际贸易及分享理念和生产率的经济体受到的影响最大。例如，冲击对亚洲新兴经济体的影响远大于美国。用于校准去全球化冲击的方法基于贸易增长文献，包括世界银行（2017年）以及Alcala和Ciccone（2004年）的研究。

尽管这三种冲击被认为会立即产生影响，但它们的峰值效应在不同的时间框架内发生。在短期内（2025年前后），对大宗商品价格的冲击最大。从中期来看（大约2030-2035年），能源安全关切加剧对能源系统的影响最大。从长期来看，全球化步伐放缓导致的全球活动减少非常突出。

参考文献：

世界银行（2017年）“保护主义对全球造成的成本”。政策研究工作文件，8277号工作文件。

Alcala, F.和Ciccone, A.（2004年）“贸易和生产率”。《经济学季刊》，第119卷第2期，第613-646页。

气候变化对经济的影响

本期《世界能源展望》中使用的GDP概述来自牛津经济研究院。此类长期预测包含气候变化评估对经济的影响。这些评估借鉴了科学文献中的最新研究成果，且采用了与2020年版《世界能源展望》和2022年版《世界能源展望》中类似研究方法。

牛津经济研究院更新并扩展了Burke、Hsiang和Miguel（2015年）提出的评估方法，该方法表明生产率和气温之间存在非线性关系，在平均气温略低于15°C时（Burke等人的初步评估为13°C），人均收入实现了增长（人口加权平均结果）。这样的温度曲线表明，“寒冷国家”的收入增长随年气温的上升而增加。然而，年平均气温高于15°C时，人均收入增长受到气温升高的不利影响将加剧。

牛津经济研究院排放预测与国际能源署的既定政策情景（STEPS）大体一致，并假设到2050年全球平均气温将比工业化前的水平高2°C。结果表明，2050年全球GDP将比反事实情景中低约2%；在反事实情景里，气温变化保持在当前的水平。各地区受到的影响，是按照牛津经济研究院采用的凹函数评估气温演变进行分布。虽然牛津经济研究院的方法获取了与平均气温相关的通道，但这些估算不确定性极大，也不完整；例如，这种方法未明确纳入人口迁移或沿海大规模洪水造成的影响。

能源系统脱碳行动的减排成本也存在不确定性，不同外部评估结果存在显著差异。但是，大多数评估结果表明，前期成本随减排措施的紧迫程度而上升。因此，“快速转型情景”和“净零情景”里的前期成本可能高于“新动力情景”的前期成本。IPCC发布的评估结果（IPCC《第五次评估报告》第6章）表明，在与全球升温保持在远低于2°C的目标相符的情景里，到2050年，减排成本的中值估算为全球消费的2%到6%。

鉴于评估气候变化与减排的经济影响存在极大不确定性，且三种主要情景均不同程度计入了这两项成本。因此，在本期《展望》中，采用的GDP数据是以说明性的假设为依据，即在2050年，这三种情景都将使GDP降低约2%，而在与之相对应的反事实情景里，气温将维持在近年的平均水平。

参考文献:

Burke, M., Hsiang, S. 和Miguel, E. “气温对全球经济生产力的非线性影响”。《自然》第527期第235至239页（2015年）<https://www.nature.com/articles/nature15725>

以GDP损失表示全球减排总成本估算值，摘自IPCC《第五次评估报告》第6章：https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter6.pdf

投资方法

上游石油天然气投资

石油天然气投资水平是通过每种情景假设的产量进行推算的。上游石油天然气资本支出包括油气井资本支出（与油气井建设、完井、油气井模拟、钢材成本和材料相关的成本）、设施资本支出（开发、安装、维护和改装地面设施与基础设施的成本）以及勘探资本支出（发现和证明存在碳氢化合物的成本），但不包括运营成本和中游资本支出，例如天然气液化产能开发的相关资本支出。

资产层面的生产数据按地理位置、供应细分领域（陆上、海上、页岩和油砂）、供应品类（原油、凝析油、天然气凝析液、天然气）和开发阶段进行汇总的，即按照资产当前属于正在生产、正在开发还是未生产且未经审批来归类。由于正在生产且已获批的资产产量下降，导致需通过加密钻井和新的未经审批的资产来提升产量，以此来满足石油天然气需求。实现这一产量增长所需的投资，随后将计入与正在生产且已获批项目的维护相关资本成

本中。2022年至2050年期间，就石油和天然气而言，目前正在生产和正在开发的资产年平均下降率约为4.5%，但针对不同细分领域和不同品类的碳氢化合物又有极大差异。所有评估值均摘自Rystad Energy公司的资产评估结果。

风能与太阳能

风能与太阳能投资需求以每种情景里各项技术布局的相关资本支出成本为依据。

风能与太阳能项目布局数据包括用于终端消费以及绿氢生产的可再生能源装机容量。这些数据还包括了削减的潜在影响。

资本支出成本按照其历史价值和预期演变的评估来匹配各情景。将bp内部估算和外部基准对标结果相结合，按技术、地区和情景对此类成本进行了区分。资本支出数据不包括与风能和太阳能布局相关的系统整合增量成本。

碳排放的定义与数据来源

若无其他说明，碳排放均指来自以下方面的二氧化碳排放：

- ▶ 能源使用（即工业、交通运输与建筑三大终端消费行业中的能源生产与使用），
- ▶ 大多数非能源相关工业生产过程，
- ▶ 天然气放空燃烧产生的二氧化碳排放，
- ▶ 化石能源生产、运输与分销所产生的甲烷排放，以二氧化碳当量表示。

工业生产过程产生的二氧化碳排放，仅指水泥生产中的非能源排放。用于氨以及甲醇生产的氢能原料所产生的二氧化碳排放，则计入氢能行业的排放。

天然气放空燃烧的历史数据也源自VIIRS夜光数据（VIIRS Nightfire，简称“VNF”），由科罗拉多矿业学院佩恩公共政策研究所地球观测组编制。每种情景下对天然气放空燃烧进行描述时，均假设放空燃烧量与井口上游产量呈正比。

对于化石能源生产、运输和分销产生的甲烷排放，其历史数据源自国际能源署（IEA）对温室气体排放的评估数据。每种情景中假设的预期甲烷排放则以化石能源产量为依据，同时考虑“全球甲烷承诺”等近年来的政策举措。甲烷排放的净波动则表示为化石能源未来产量与甲烷强度变化的总和。

目前对甲烷排放及其促使全球变暖的潜在影响做出的评估均存在极大不确定性。为确保符合财务和政府要求双重标准，并确保所有bp报告保持一致，各情景均采用了IPCC《第四次评估报告》所建议的百年全球变暖潜势值（GWP）25，作为甲烷与二氧化碳当量之间的换算系数。这恰与bp 2023年第一季度发布的《年度报告》中使用的系数相同。

IPCC情景和排放计量法

我们采用数据库中与2022年《第六次评估报告》相对应的情景。该数据库由国际应用系统分析研究所（简称系统分析所）主编，并纳入与IPCC第三工作组的合作协议书。

分析中采用的情景标记为：

C1情景：这些情景称为将升温限制在1.5°C (>50%) 且没有或有限超调的情景。

C3a情景：这些情景指的是立即采取行动将升温限制在2°C (>67%) 的情景。

2015-2050年的累积二氧化碳排放量指的是能源和工业生产过程的二氧化碳排放量与参照全球变暖潜势值25的系数转换能源供应甲烷排放量得到的二氧化碳当量。《第六次评估报告》情景数据库更新每五年的数据。对于缺失的中间年份，使用线性插值法。

参考文献

Andrew, R.M., 2019年。“1928年至2018年期间全球水泥生产的二氧化碳排

放量”。《地球系统科学数据》第11期，第1675页至1710页，（数据集于2021年7月更新）。

IPCC 2006, 2006年《IPCC国家温室气体清单指南》，由国家温室气体清单方案、Eggleston H.S.、Buendia L.、Miwa K.、Ngara T.和Tanabe K.（编辑人员）编制。

由科罗拉多矿业学院佩恩公共政策研究所地球观测组编制的VIIRS夜光数据（VNF）。

国际能源署（2021年），来自Energy Data Explorer的温室气体排放数据，国际能源署，巴黎。

IPCC《第四次评估报告：气候变化2007》。

IPCC《第六次评估报告——气候变化2022：影响、适应和脆弱性》

国际能源署（2021年），《2021年全球甲烷追踪报告》，国际能源署，巴黎。

《油气行业可持续发展报告指南》，第4版，2020年。IPIECA/API/IIOGP。

Edward Byers, Volker Krey, Elmar Kriegler, Keywan Riahi, Roberto Schaeffer, Jarmo Kikstra, Robin Lamboll, Zebedee Nicholls, Marit Sanstad, Chris Smith, Kaj-Ivar van der Wijst, Alaa Al Khourdajie, Franck Lecocq, Joana Portugal-Pereira, Yamina Saheb, Anders Strømman, Harald Winkler, Cornelia Auer, Elina Brutschin, Matthew Gidden, Philip Hackstock, Mathijs Harmsen, Daniel Huppmann, Peter Kolp, Claire Lepault, Jared Lewis, Giacomo Marangoni, Eduardo Müller-Casseres, Ragnhild Skeie, Michaela Werning, Katherine Calvin, Piers Forster, Celine Guivarch, Tomoko Hasegawa, Malte Meinshausen, Glen Peters, Joeri Rogelj, Bjorn Samset, Julia Steinberger, Massimo Tavoni, Detlef van Vuuren。国际应用系统分析研究所主办的第六次评估报告情景数据库，2022年。

其他数据的定义与来源

若无其他说明，数据定义均以《bp世界能源统计年鉴》为依据。所有对比数据，已重新设定基准，以便与《bp世界能源统计年鉴》保持一致。

若无其他说明，一次能源均指能够进行市场交易的燃料和传统生物质能。本期《展望》中一次能源数据来自以下两种方式：

- ▶ 替代法——此方法将源自非化石能源发电的能源计入总额，以反映火力发电站生成相同电量所需的化石能源当量。总假设值将随时间变化。简易假设则显示，到2050年效能将从目前的40%呈线性增长至45%。

国内生产总值（GDP）以2015年价格水平计算实际购买力平价（PPP）。

行业

运输业用能包括用于重型公路运输、轻型公路运输、海运、铁路运输和航空运输的能源。电动汽车包括所有可插入式充电的四轮交通工具。工业用能包括用于商品和产品制造、建筑、采矿的能源，能源用能包括管道运输、以及除电力、热能与氢能生产外的转换过程所用的能源。原料用能包括用于生产石化产品、润滑剂和沥青等非燃烧型燃料。建筑用能包括用于住宅和商业建筑、农业、林业和渔业的能源。

地区

发达地区大致包括北美、欧洲以及亚洲的发达地区。新兴地区指发达国家和地区以外的所有国家和地区。在预测情景里，中国指中国大陆地区。亚洲发达地区包括亚洲的经合组织成员国以及其他高收入国家和地区。亚洲其他新兴地区包括除中国大陆、印度和亚洲发达地区以外的所有亚洲国家与地区。

燃料、能源载体、碳和材料

若无其他说明，石油指原油（包括页岩油和油砂）、天然气凝析液（NGLs）、天然气制油（GTLs）、煤制油（CTLs）、凝析油和炼油产品。氢衍生燃料指所有源自低碳氢的燃料，包括氨燃料、甲醇和其他合成碳氢化合物。

若无其他说明，可再生能源包括风能、太阳能、地热能、生物质能、生物甲烷与生物燃料，不包括大型水电。非化石能源包括可再生能源、核能与水电。传统生物质能指与基础技术结合使用的固体生物质能（通常不可交易），例如用于烹饪的生物质能。

氢能需求包括运输、工业、建筑、电力以及热能行业直接的氢能消费，以及氢能衍生燃料生产所需的原料和传统炼油与石化原料的需求。

低碳氢包括绿氢，以及生物质能结合碳捕集、利用与封存技术（CCUS）制氢，天然气结合CCUS制氢和煤炭结合CCUS制氢。《展望》中与CCUS技术相结合的二氧化碳捕集率为93%到98%，生产蓝氢所用的天然气或煤炭，其全球甲烷平均排放率在1.4%到0.7%之间。

关键数据来源

BP公司，《bp世界能源统计年鉴》，英国伦敦，2021年6月

国际能源署，《全球能源统计年鉴》，2021年9月

国际能源署，《世界能源平衡》，2021年7月

牛津经济研究院，《全球GDP预测》，2022年

联合国经济和社会事务部人口司（2019年）。《2019年世界人口展望》，在线版，第1修订版

国际能源署（2021年），《2021年全球甲烷追踪报告》，国际能源署，巴黎

《油气行业可持续发展报告指南》，第4版，2020年。IPIECA/API/IOGP。

免责声明

本出版物包含某些前瞻性表述，即与未来而非过去事件和情况相关。此类表述一般（但不完全）通过“即将”、“预计”、“有望”、“旨在”、“应该”、“可以”、“目标”、“可能”、“打算”、“相信”、“预期”、“计划”、“我们认为”或类似表达用语予以认定。其中，以下内容尤其具有前瞻性：全球能源转型；发展中世界和新兴经济体日益繁荣，生活水平日益提升；循环经济发展壮大；城镇化、工业化与生产率不断提升；能源需求；消费和准入；新冠疫情的影响；全球能源结构，包括构成及其随时间推移和在不同路径或情景下的变化；全球能源体系，包括不同的路径和情景下的

重组方式；社会偏好；全球经济增长，包括气候变化对其的影响；人口增长；对客运和商业运输的需求；能源市场；能效；政策措施及其对可再生能源和其他低碳替代品提供的支持；能源供应和生产来源；技术开发；贸易纠纷；制裁和其他可能影响能源安全的问题；碳排放加剧。

因前瞻性表述与世界发生的各大事件相关，且受到未来将要发生或可能发生的情况影响，故具有一定风险和不确定性。实际结果在各种因素的作用下可能与此类表述的结果存在重大差异。这些因素包括：讨论部分所指的特定因素；产品供应、需求和定价；政治稳定性；整体经济

状况；人口结构变化；法律和监管动态；新技术的可用性；自然灾害和恶劣天气条件；战争和恐怖主义行动或破坏活动；公共健康卫生情况，包括传染病和大规模流行病的影响；以及本出版物所讨论的其他因素。bp不承担因更新本出版物或纠正任何明显错误所产生的任何责任。bp公司或其任何附属企业（包括其管理人员、员工和第三方机构商）均不对与本出版物或其所载任何资料有关的任何错误或遗漏承担责任，也不对其相关的、任何类型的直接、间接、特殊、连带或其他损失或损坏承担责任。

《bp世界能源展望》2023年版中文版文字是根据英文版进行翻译。若有疑问，请以英文原文为准。



© BP p.l.c. 2023

