



# 《bp世界能源展望》 2022年版

## 2022年版《bp世界能源展望》（以下简称“《展望》”）将围绕能源转型问题，探讨主要的不确定因素。

本期《展望》将重点关注以下三大情景：“快速转型”、“净零”和“新动力”。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，探讨可能产生的影响。这些情景的推理基于现有的和发展中的技术，未考虑出现全新或未知技术的可能性。

现实中的诸多不确定因素，使得上述任何一种情景都不可能完全按照本报告所述情况而发生。此外，这三种情景虽无法涵盖所有可能的情况，但的确涵盖范围很广，这或许有助于对2050年前全球能源市场的不确定因素做出知情判断。

本期《展望》的大部分内容在乌克兰危机之前编写完成，因此，本文未就相关事态的发展可能对经济增长或全球能源市场产生的影响进行任何分析。

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，还综合考虑了其他诸多外部情景以及相关分析和信息。

本期《展望》首次发布的内容，总结了最新情景中的一些主要亮点与发现。bp计划未来将发布更为详细的材料，这些材料可通过官网bp.com查阅获取。



## 欢迎走进2022年版 《bp世界能源展望》

本文撰写期间，全球均在密切关注乌克兰局势。对于受当前局势影响的人民，我们也保持关切。

在乌克兰局势紧张升级之前，2022年版《bp世界能源展望》中所述的情景，已经基本完成编写。因此，本文未就乌克兰危机对经济增长或全球能源市场所可能产生的影响进行任何分析。而对于全球经济、能源系统以及能源转型而言，这些影响可能是持久的。因此，在更加清晰地了解这些影响后，我们将更新《展望》所描述的情景。

本期《展望》主要描绘了三种情景，即“快速转型”、“净零”和“新动力”，探讨了世界在向低碳能源系统转型的过程中可能产生的各种结果。了解各种不确定因素，将有助于bp打造自身战略，增

强bp未来30年应对能源系统转型的不同速度和方式的弹性。

自上一版《展望》于2020年发布以来，各种发展态势表明我们已取得了一定进展。各国政府在解决气候变化议题上愈发雄心勃勃。低碳能源系统是全球成功实现净零排放的关键，这一系统主要元素已全面得到飞速发展，例如新建风能与太阳能装机容量；电动汽车销量；宣布多个蓝氢与绿氢项目以及碳捕集、利用与封存（CCUS）项目。此外，目前有迹象表明，应对气候变化存在“新动力情景”。

然而，自2015年巴黎缔约方会议（COP）以来，全球碳排放量除2020年因新冠疫情有所下降外，其余年份仍在逐年增加。当前的碳预算是有限的且即将消耗殆尽。

在二氧化碳减排行动进一步放缓的情况下，若设法保持碳预算不变，将可能导致相关社会成本和经济成本剧增。

尽管当前形势极不明朗，但能源转型有一些共同的特征，本期《展望》所描述的三种主要情景，均在一定程度上显示了这些共同特征。这能够指引我们了解，能源系统在未来几十年中，可能发生哪些变化。这些特征包括：

- ▶ 受益于全球电气化程度不断提高，风能与太阳能发电正飞速发展。

- ▶ 需借助一系列能源与技术，对全球能源系统深度脱碳提供支持，包括电动车、蓝氢与绿氢、生物能源以及碳捕集、利用与封存技术（CCUS）。

- ▶ 未来数十年，石油天然气继续发挥着重要作用，但随着社会对化石燃料的依赖降低，其用量也在下降。

- ▶ 能源结构日益多样化，客户拥有更多选择，整合不同的燃料与能源服务的需求与日俱增。

未来，全球坚定向净零转型必将成为重中之重。而这种转型所带来的机会与风险也是巨大的。愿所有希望在未来摸索前行并加速向净零转型的人们，都能够在阅读今年的《展望》后有所收获。

欢迎大家对本期《展望》的内容进行反馈，提出改进意见。

戴思攀（Spencer Dale）  
首席经济学家

## 2022年版《bp世界能源展望》关键主题

本期《展望》可用于鉴别各主要情景内共同的能源转型特征。因此，本文可就未来30年能源系统的发展方向提供指导。

- ▶ 碳预算正在消耗殆尽：自2015年巴黎缔约方会议以来，二氧化碳排放量逐年（2020年除外）增加。在持续实现二氧化碳减排的过程中，若不能采取果断的行动，将会导致社会成本及经济成本剧增。
- ▶ 过去几年里，各国政府愈发雄心勃勃，为应对气候变化注入了新动力。然而，各国和各地区在实现这些目标和承诺方面究竟能取得多大的成功，仍存在极大不确定性。
- ▶ 随着化石燃料重要性的逐渐下降，人们越来越倾向于利用可再生能源和电气化，能源需求结构发生变化。向低碳世界转型，要求采用一系列其他能源与技术，包括低碳氢、现代生物能源以及碳捕集、利用与封存技术（CCUS）。
- ▶ 向低碳能源系统转变，将彻底重塑全球能源市场，导致能源结构更加多样化，竞争更为激烈，经济租金发生转移，消费者选择更加重要。
- ▶ 石油需求将增长至高于新冠疫情爆发前的水平，随后又进一步下降。其原因在于，路面交通效率不断提升且日益转向电气化。而当前碳氢化合物（煤、石油和天然气）产量的自然下降，意味着未来30年，需继续投资新的油气上游产业。
- ▶ 至少在一段时期内，快速增长的新兴经济体在持续工业化的过程中，将不断增加对天然气的需求，减少对煤炭的依赖，从而支撑天然气消费。液化天然气市场的扩大，对提高新兴市场获取天然气的便利性至关重要。

- ▶ 风能与太阳能发展迅速，占全球发电增量的全部或大部分。这得益于风能与太阳能发电成本持续下降，以及电力系统拥有更强的能力整合不同发电来源集中并网。而风能与太阳能的增长，要求我们大幅加快投资步伐，新建扩容性装机，并赋能相关技术与基础设施。
- ▶ 现代生物能源的使用量大幅增长，在难以减排的行业里成为化石燃料的低碳替代品。
- ▶ 随着能源系统逐步实现脱碳，低碳氢的消费量也在增加，为难以实现电气化的活动和工艺带来能源，尤其是工业与运输行业。低碳氢的生产以绿氢和蓝氢为主。而随着时间的推移，绿氢将更为重要。
- ▶ 碳捕集、利用与封存技术（CCUS），对于支持低碳能源系统发挥着核心作用，具体如下：捕集工业生产过程中的排放物；提供移除二氧化碳的源头技术；以及减少化石燃料排放。
- ▶ 全球或需采取一系列二氧化碳移除技术，才能快速实现深度脱碳。此类技术包括生物能源与碳捕集和封存相结合，基于自然的气候解决方案，以及直接空气碳捕集与封存技术。



# 概览

探讨2050年前能源转型的三种情景：“快速转型”、“净零”和“新动力”

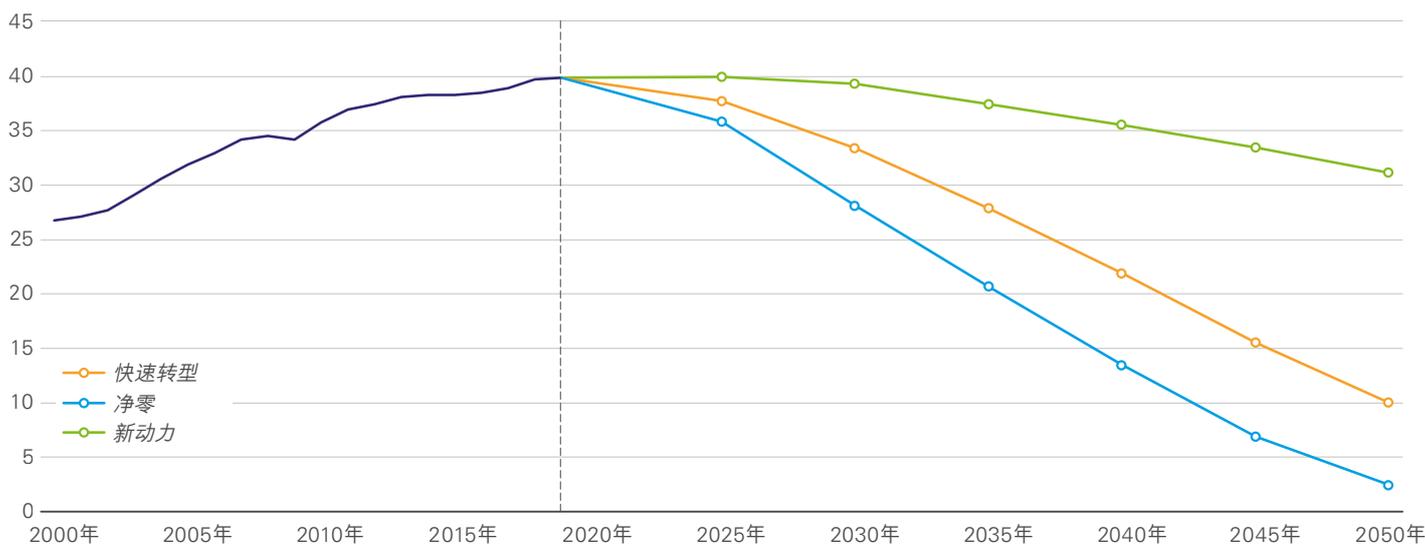
“快速转型”和“净零”情景，与政府间气候变化专门委员会（IPCC）假设的“符合巴黎协定”的情景基本吻合

随着能效加速提升，三种情景里的终端能源需求均达峰

## 探讨2050年之前能源转型的三种情景： “快速转型”、“净零”和“新动力”

### 碳排放

吉吨二氧化碳当量



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。

2022年版《bp世界能源展望》，通过“快速转型”、“净零”和“新动力”三种主要情景，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，而是用来探讨未来30年可能发生的情况。
- ▶ 需要指出的是，本期《展望》中的三种情景在乌克兰危机之前已经基本编写完成，因此，本文未就相关事态发展可能对经济增长或全球能源市场产生的影响进行任何分析。
- ▶ 这三种情景虽未全面描述未来的不确定因素，但力求覆盖到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，以及帮助制定可应对不确定因素的更具弹性的战略。

- ▶ 这三种情景所考虑的碳排放，包括能源生产与消费、大多数与能源无关的工业生产过程、天然气放空燃烧所产生的二氧化碳，以及化石燃料生产、运输与分配产生的甲烷排放。
- ▶ “快速转型”和“净零”两个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的问题。这两个情景均假设气候政策力度加大，导致二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>e）排放持续显著下降。在“净零”情景里，转变社会行为与偏好也有助于降低排放，进一步推动能效提升以及对低碳能源的采用。

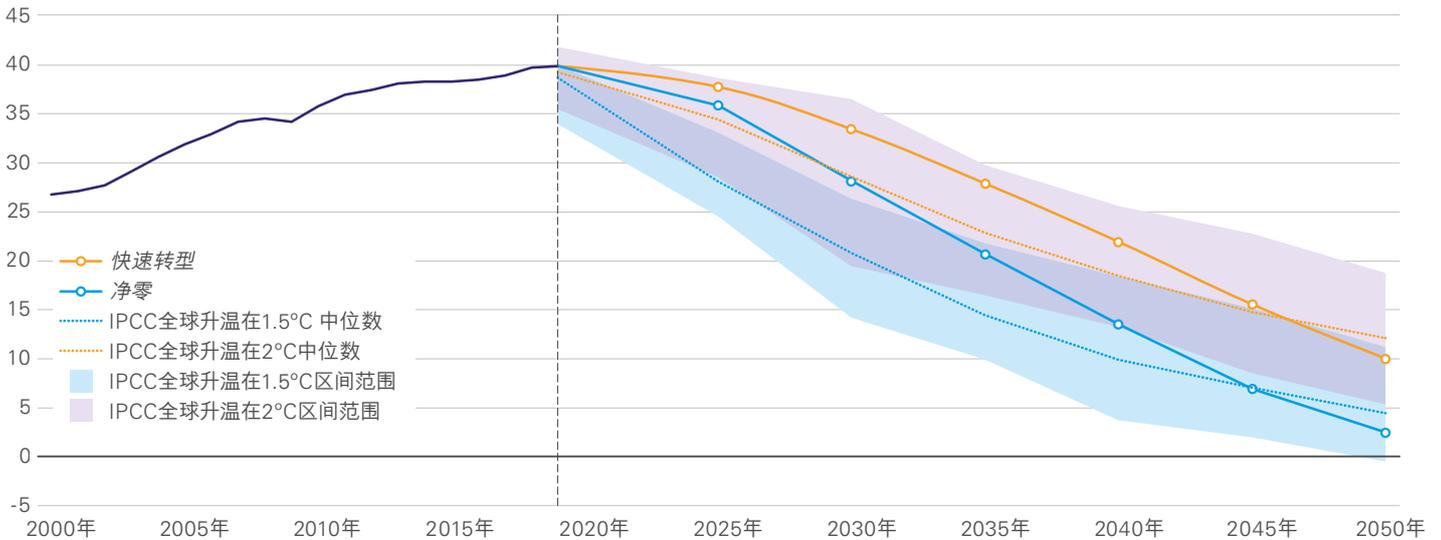
▶ 设计“新动力”情景，是为了展示当前全球能源体系发展的广泛轨迹。此情景既强调了近年来全球明显高涨的脱碳雄心，也探讨了实现相关指标与远景目标的可能性，以及近年取得相关进展的方式与速度。

▶ 在此三种情景里，二氧化碳当量排放的增长均高于疫情前水平。在“快速转型”和“净零”情景中，二氧化碳当量排放将于本世纪20年代初达峰，到2050年又将分别低于2019年大约75%和95%。在“新动力”情景里，二氧化碳当量排放将于本世纪20年代末期达峰，到2050年又将比2019年低20%左右。

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

## 碳排放量

吉吨二氧化碳当量



碳排放包括能源使用、工业生产过程、天然气放空燃烧产生的二氧化碳排放以及能源生产过程中产生的甲烷排放。范围图显示了 IPCC 情景中从第10个到第90个百分位数的区间。

在“快速转型”和“净零”情景里，脱碳速度和幅度与IPCC设想的情景基本吻合，符合全球平均气温升幅目标，即分别保持气温升幅远低于2°C和1.5°C。

- ▶ 鉴于本期《展望》的情景只假设到2050年，且未对所有形式的温室气体排放进行建模，因此无法从这三种情景中，直接预测出其对于2100年全球平均气温升幅的影响。
- ▶ 然而，对于“净零”和“快速转型”情景，可将二氧化碳当量的排放轨迹与2018年《IPCC全球升温1.5°C特别报告》（SR15）中各种情景的相应路径范围进行对比，由此进行间接推论。有关IPCC情景范围构建的详细信息，请见第98页至第99页。

- ▶ 在“快速转型”情景里，到2050年，二氧化碳当量排放（相比2019年的水平）将下降75%左右。下降幅度与速度大致处于IPCC情景范围的中位，相当于到2100年全球平均气温升幅远低于2°C。同时，2019年至2050年期间的二氧化碳当量累积排放，在IPCC远低于2°C升幅区间范围内，约处于第75个百分位数。
- ▶ 在“快速转型”情景里，到2050年，二氧化碳排放当量将降至10吉吨左右。剩余的排放集中在最难减排的行业，其中工业占比近50%，运输业占35%左右。
- ▶ 在“净零”情景里，到2050年，二氧化碳当量排放量将比2019年下降

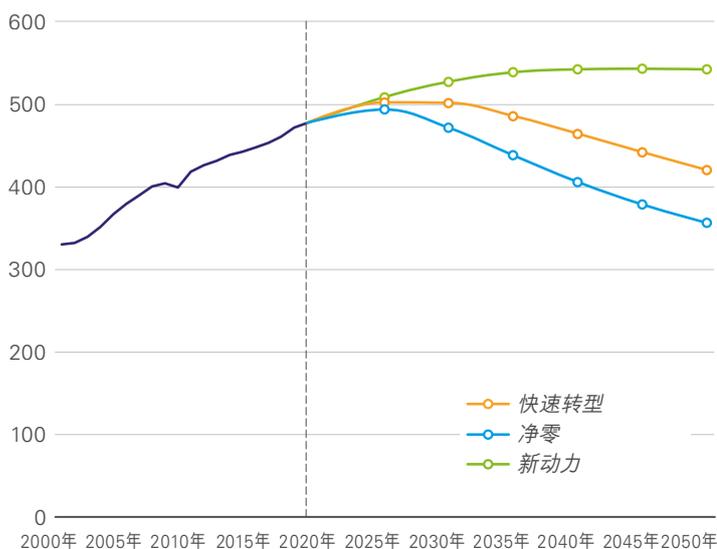
95%左右，达到约2.5吉吨。初始下降速度慢于IPCC全球升温1.5°C情景的范围。但是，在展望期间后半段，排放路径已接近该范围的底部。在“净零”情景里，在2019年至2050年期间，二氧化碳当量累积排放则介于IPCC全球升温在1.5°C区间情景范围的第75至第90个百分位数之间。

- ▶ 在“净零”情景里，到2050年，剩余的二氧化碳当量排放还可进一步减少。实现方式主要有两种，一种是通过进一步转变能源系统，另一种是采用二氧化碳移除（CDR）技术（见第92页至第93页），譬如基于自然的气候解决方案或直接进行空气碳捕集与封存（DACCS）等。

## 随着能效加速提升，三种情景里的终端能源需求均达峰

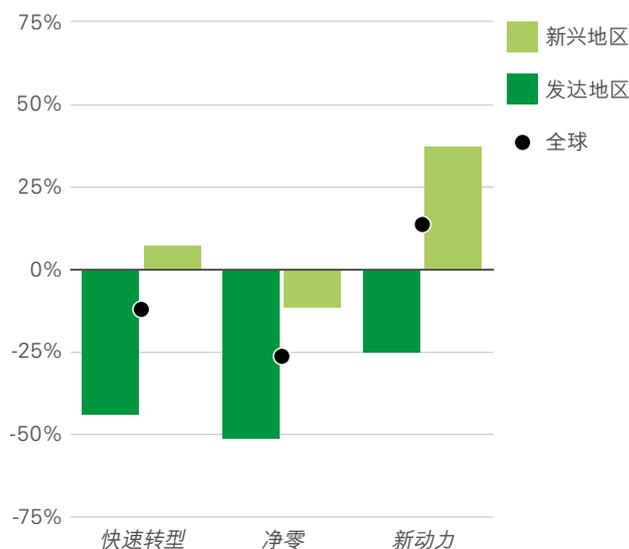
### 终端消费总量

艾焦



### 终端消费总量变化情况

2019年至2050年期间的变化情况



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）都将达到峰值。在不同情景里，终端消费总量达到峰值的时间不同。在“净零”情景里，将在本世纪20年代初达到峰值；在“快速转型”情景里，将于2030年左右达到峰值；在“新动力”情景里，则将于本世纪40年代中期达到峰值。此外，在“快速转型”和“净零”情景里，与2019年相比，2050年的终端消费总量将降低10%到25%，而在“新动力”情景里则升高15%左右。

▶ 三种情景里，展望期内全球能效增速（通过对比终端能源需求和经济活动之间的增速测得）将远快于过去20年

的速度。能效如此加速提升，反映出工艺与材料效率也在提升，同时终端消费点的用电量在不断增加。

▶ 展望期内，发达经济体和新兴经济体的能效平均提升速度相似。然而，新兴经济体的日益繁荣以及更强劲的经济增长，意味着未来其能源需求将远高于发达经济体。

▶ 在“新动力”和“快速转型”情景里，到2050年，所有新兴经济体的终端能源消费总量将分别增长大约35%和5%，在“净零”情景里则将下降10%。相比之下，三种情景里，到2050年，发达经济体的终端消费总量都将下降25%至50%。

▶ 电力和氢能越来越重要，这意味着，对一次能源总量的展望，很大程度上将取决于非化石燃料与传统碳氢化合物燃料之间达成能量比例均衡的计量方法。（见第106页至第107页）

▷ 替代法——此方法将非化石燃料发电所产生的能源计入总额，以反映化石燃料转化为电力时发生的损失。因此，三种情景里，到2050年，一次能源都将增长5%至20%。

▷ 物理含量法——此方法直接采用非化石燃料发电时的产出。因此，到2050年，一次能源总量波动幅度较小，介于增长10%（“新动力”情景）和下降约25%（“净零”情景）之间。

# 2020年版《bp世界能源展望》 发布以来出现的转变



新冠疫情对经济造成的短期影响较之前的预测稍显乐观

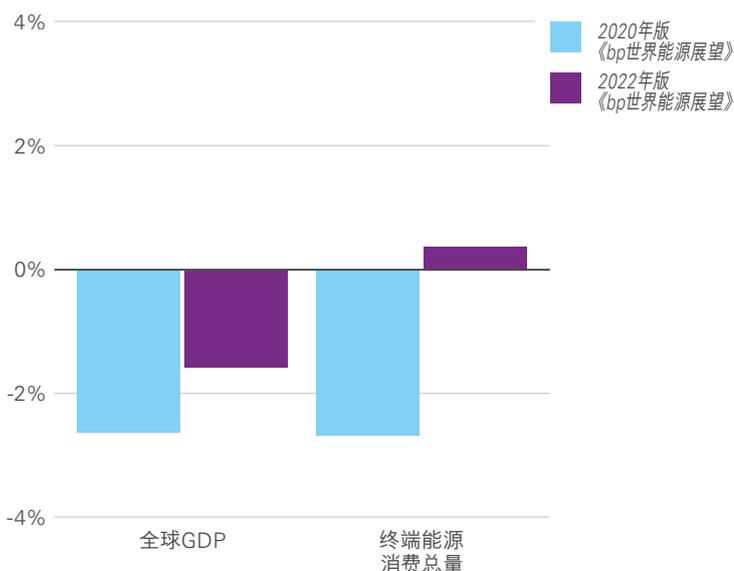
各国政府满怀雄心，为应对气候变化注入了新的动力

进一步聚焦2030年前的全球脱碳速度

## 新冠疫情对经济造成的短期影响较之前的预测稍显乐观

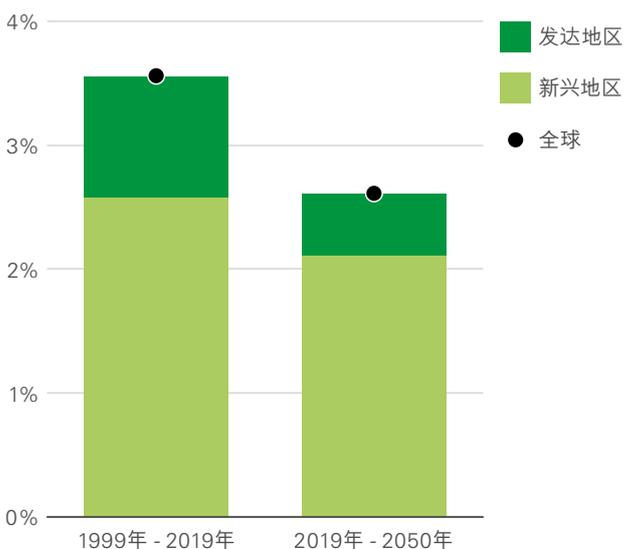
### 新冠疫情对全球GDP和终端能源消费总量的影响

2019年至2025年间的变化情况



### 全球GDP增长情况

对年均增长率做出的贡献



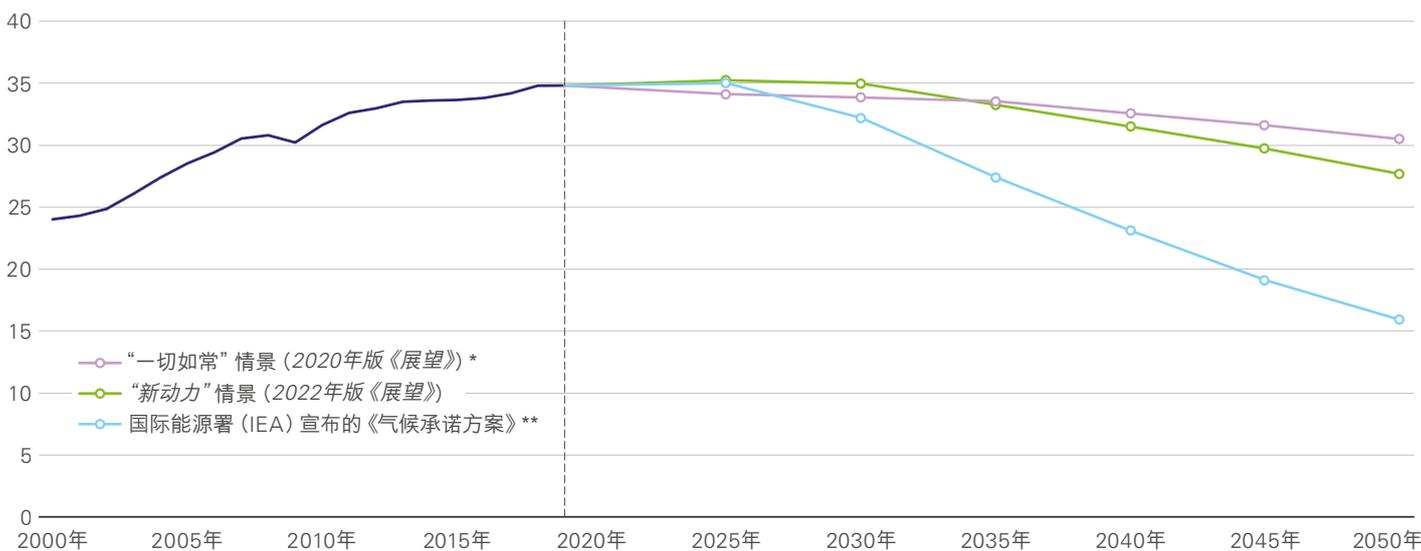
首先，新冠肺炎疫情是一场人道主义危机。疫情的发展带来了巨大的经济成本，造成巨大破坏，还将可能对全球经济和能源系统产生重大且持久的影响。

- ▶ 虽然当前情势仍极不明朗，但疫情对全球GDP造成的短期经济影响，应该不会如所预期那般严重。这表明短期内能源需求与碳排放形势将高于预期。由于本期《展望》在乌克兰危机之前已基本完成编制，因此本文未就相关事态发展可能对经济增长或全球能源市场产生的影响进行任何分析。
- ▶ 按照2020年版《展望》的假设，疫情危机造成的影响，将导致2025年和2050年全球GDP的总量水平分别下降大约2.5%和3.5%，其中新兴经济体将遭受极大经济冲击。
- ▶ 目前情势仍极不明朗，但我们认为，至少对发达国家而言，由于普遍接种有效的疫苗，及巨额财政与货币政策的支持，疫情造成的短期经济影响较先前预测稍显乐观。
- ▶ 因此，相比2020年版《展望》，本期《展望》预测，2025年的全球GDP水平将比之前的假设高出1%左右。其中几乎所有上调均发生在发达国家，因为在这些国家，疫苗接种率和政府支持力度最大。GDP的上行趋势，短期内也将推动能源需求与碳排放量增长。
- ▶ 相比之下，按照本期《展望》的假设，2025年之后，全球GDP水平将略低于2020年版《展望》的假设。而下调的主要原因皆源于新兴经济体，这在一定程度上反映了疫情带来的长期经济创伤。
- ▶ 与2020年版《展望》一样，本期《展望》对全球GDP进行预测时，也设法考虑气候变化对经济增长的影响，包括估算全球气温上升对经济活动的影响以及碳减排行动的前期成本。有关所采用方法的详细信息，请查阅第100页至第101页的内容。但得出上述估算的环境与经济模型极不确定，且几乎可以肯定是不完整的。因此，未来编写《展望》时，将在此类模型完善后对以上估算进行更新。
- ▶ 在三种情景里，展望期内全球GDP年均增长率均在2.5%左右（按2015年的购买力平价计算）。虽然这样的增速远低于过去20年的平均水平，但这仍意味着到2050年全球经济将增长一倍以上。而随着经济日益繁荣以及生活水平不断提高，新兴经济体的增长将占全球整体增长的80%以上。

## 各国政府满怀雄心，为应对气候变化注入了新的动力

### 能源使用和工业生产过程中产生的碳排放

吉吨二氧化碳



\* 为便于对比，重新调整了2020年版《展望》的数据，使之对应2022年版《展望》能源与过程排放的历史数据。

\*\* 针对《联合国气候变化框架公约》第二十六次缔约方大会 (COP26) 声明进行了更新。

过去两年里，全球各国政府雄心高涨，加速加大碳减排力度。尽管我们无法确定这样的雄心目标能否如愿所愿，但事实证明，全球碳减排的动力比过去“一切如常”情景所展现的势头更为强劲。

- ▶ 这样的雄心高涨，已经极大地体现在各国制定的从二氧化碳减排到“净零”的目标，覆盖了全球90%左右的碳排放，而2019年这一占比不到20%。与此同时，还有部分国家提升了与2030年前脱碳速度相关的目标与指标。
- ▶ 国际能源署在其公布的《气候承诺方案》(Announced Pledges Scenario) 情景中，参考了第二十六次缔约方大会 (COP26) 声明中的誓言与承诺，

并进行了更新。据该情景的估算，若各国政府均及时、充分地兑现其已宣布的气候承诺，到2050年，能源与工业生产过程带来的二氧化碳排放量与2019年相比将下降50%左右。

- ▶ 相比而言，2020年版《展望》的“一切如常”(BAU) 情景中，假设各国政策、技术与社会偏好将继续按近年的方式和速度发展，到2050年，能源消耗产生的二氧化碳排放量仅减少10%左右。
- ▶ 设计“新动力”情景，是为了展示全球能源体系沿着当前趋势继续演变的轨迹。因此，此情景考虑了近年的进展速度这一因素，也考虑了过去几年

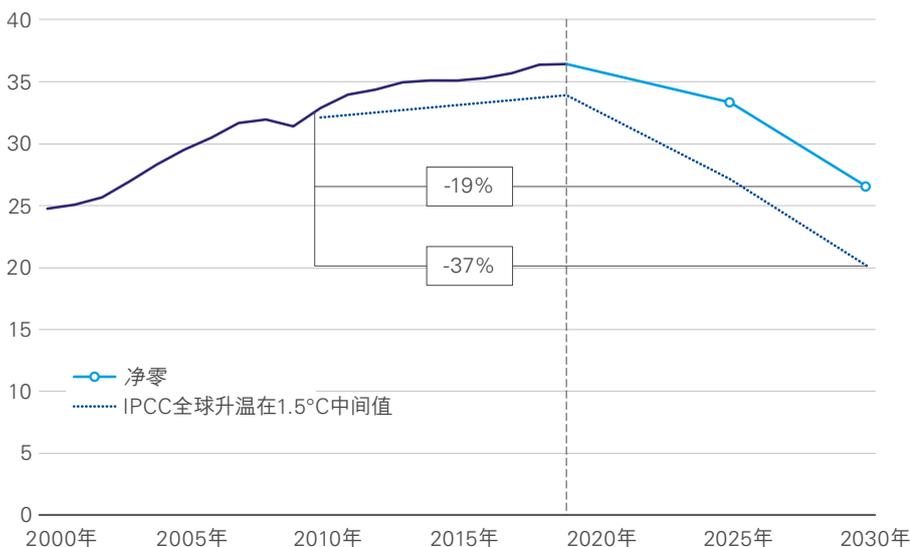
气候承诺力度显著加大的因素，并对这些承诺兑现的可能性做出了判断。

- ▶ 上述两个因素的相对重要性并不确定。在“新动力”情景里，到2050年，二氧化碳当量排放将比2019年下降20%左右。
- ▶ 这样的脱碳规模远远低于全球各国充分兑现所有气候承诺所形成的规模，而这样的脱碳速度明显慢于实现巴黎气候目标所必需的脱碳速度。但即便如此，本期展望期间的脱碳速度，仍约为2020年版《展望》“一切如常”情景中假设速度的两倍。

## 进一步聚焦2030年前的全球脱碳速度

### 能源和工业生产过程的二氧化碳排放

吉吨二氧化碳

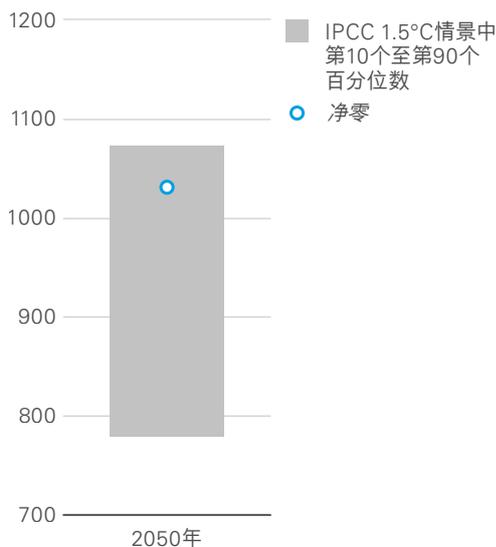


IPCC全球升温在1.5°C中间值是基于升温幅度不超出或略微超出预设值的情景做出的预测

### 累积碳排放量

(2010年 - 2050年期间)

吉吨二氧化碳当量



过去几年里，各国政府日益重视在2030年实现大幅降低全球碳排放量、维持全球剩余碳预算的目标。

▶ 2018年《IPCC全球升温1.5°C特别报告》(SR15)的分析结果表明，某些情景下，要达到升温幅度不超过1.5°C的气候目标，到2030年全球人为二氧化碳净排放量需比2010年减少45%左右。

▶ SR15报告中分析的这种二氧化碳减排量，包括能源、工业部门以及农业、林业和其他土地利用部门的减排。“化石燃料与工业”的二氧化碳排放量与2010年相比下降了37%左右。“净零”情景里，相应的二氧化碳减排量则约为20%。

▶ “净零”情景假设的二氧化碳减排幅度较小，在一定程度上印证了2019年二氧化碳排放量高于SR15分析结果中的假设水平。“净零”情景还假设，随着全球经济继续从疫情中复苏，未来一两年内，碳排放量还将继续上升。此情景预测了全球能源系统改革所需的融资数值，评估了实施改革需要的前置时间，这些都是实现快速脱碳所不可或缺的。

▶ “净零”情景里，除基数较高外，这10年后半段的脱碳速度与SR15分析结果中的假设基本相同。

▶ 按照相关解释(见第98页至第99页)，“净零”情景里，二氧化碳累积排放量在IPCC 1.5°C情景分析的范围以内。此情景显示，在2030年前脱碳速

度将有所放缓，但与《展望》下半年预测的1.5°C升幅的中间值相比，碳排放下降速度加快，两者抵消。但即便如此，“净零”情景里，二氧化碳累积排放量仍处于该范围内上半部数值处。

▶ 要在2030年前实现大幅碳减排的目标，在未来一至两年内碳排放量很可能继续增加，加之能源部门进行的局部改革需要有一定的前置时间，这些都突出二氧化碳移除技术(CDR)的潜在重要性(见第92页至第93页)，基于自然的气候解决方案的作用也得以彰显。此类技术有助于在进行相关投资和变革的同时，减少短期内的净排放量。

# 核心理念

能源需求逐步转变：碳氢化合物的作用将不断减弱，  
可再生能源与电气化将快速扩张

能源转型以一系列低碳能源和技术为基石

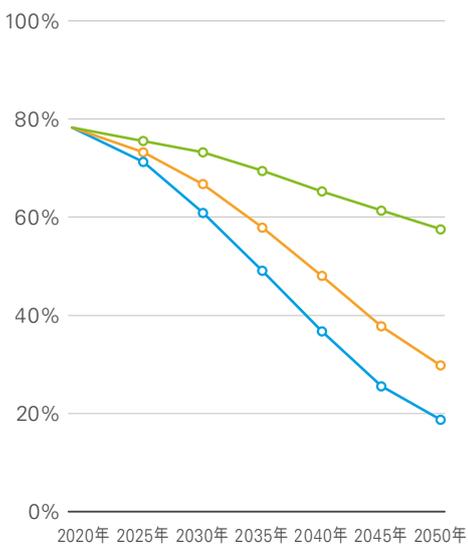
全球能源市场性质不断变化：能源结构更趋多样化，  
竞争更激烈，消费者的选择也将发挥更大作用

延迟采取行动可能导致能源转型代价高昂且混乱无序

## 能源需求将逐步转变：碳氢化物的作用不断减弱，可再生能源将快速占领市场，电气化趋势明显

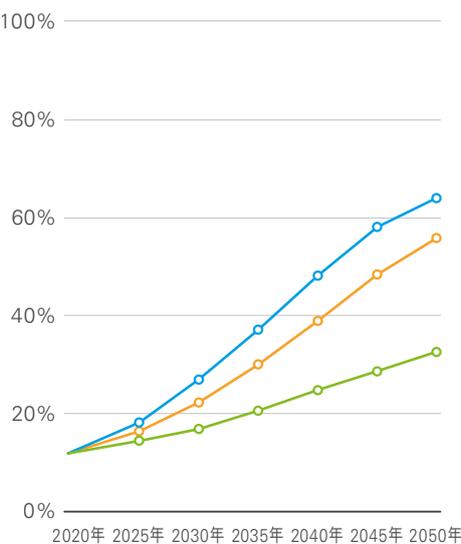
### 化石燃料

在一次能源消费中的占比



### 可再生能源\*

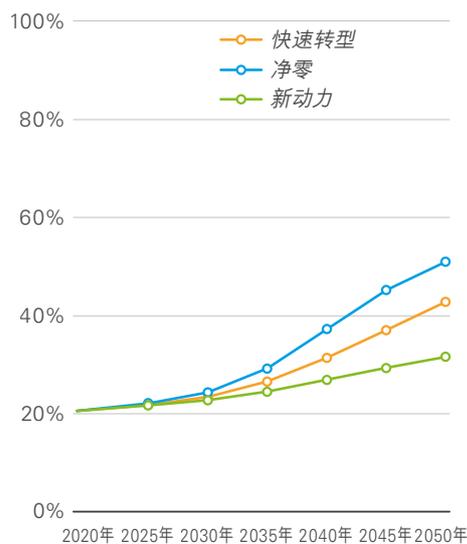
在一次能源中的占比



\* 包括风能、太阳能、生物能源和地热能

### 电力

在终端能源消费中的占比



本期《展望》中展示的三种情景，可用于确定能源需求的三大趋势。这三大趋势在一系列不同转型路径中均表现明显，具体如下：碳氢化合物发挥的作用逐步减弱；可再生能源快速扩张；以及全球日益走向电气化。以上三种趋势，在三种情景中具有一致表现，这为bp有关能源转型的一些核心信念提供了支撑。

具体探讨如下：

▶ 随着全球向低碳能源转型，碳氢化物的作用也在逐步减弱。2019年，化石燃料在全球一次能源中占比为80%左右。在三种情景里，到2050年，这一占比将下降至60%到20%之间。

▶ 事实上，三种情景预测显示，化石燃料总消费量将在展望期内有所下降。这将是现代史上首次出现化石燃料需求持续下降的情况。

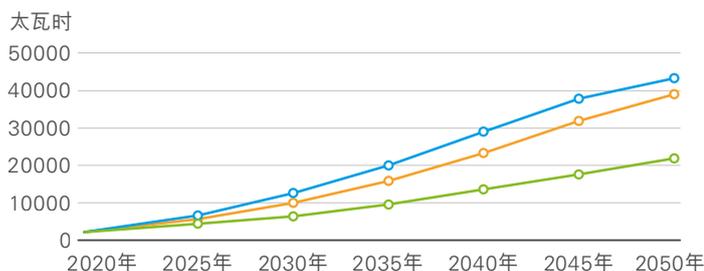
▶ 一方面，化石燃料的作用在弱化；另一方面，可再生能源（风能与太阳能、生物能源和地热能）在快速扩张，承担了化石燃料的功能。相比2019年大约10%的占比，在三种情景里，到2050年，可再生能源在全球一次能源中的占比将增至35%到65%。

▶ 三种情景里，可再生能源渗入全球能源系统的速度，快于史上任何形式的燃料的渗透速度。

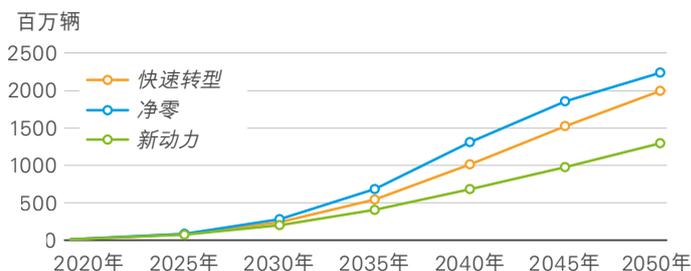
▶ 第三大趋势，即能源系统继续向电气化迈进，也凸显了可再生能源的重要性。三种情景均表明，相比2019年约20%的占比，到2050年，电力在终端能源消费总量中的占比将增至30%和50%之间。

## 能源转型以一系列低碳能源和技术为基础

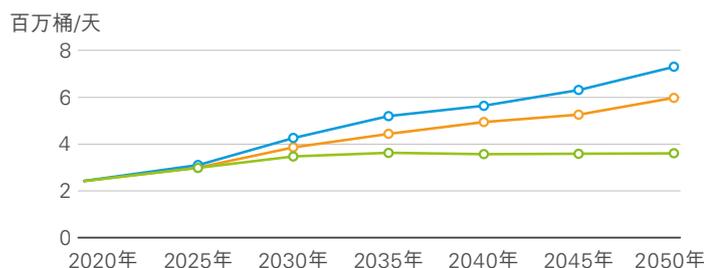
### 风能与太阳能发电



### 电动车

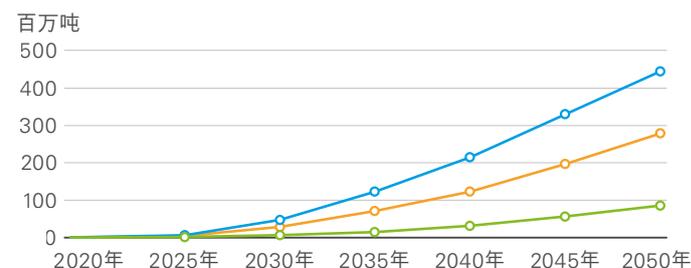


### 生物燃料



生物燃料包括液体生物燃料和气体生物燃料  
(生物甲烷, 表示为生物柴油当量)

### 低碳氢



在“快速转型”和“净零”情景里，向低碳能源系统的转型，主要以各种低碳能源与相关技术的飞速增长为基础，其中包括风能、太阳能、电动车、生物燃料与低碳氢。

- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，转型路径将以全球电力部门深度脱碳为核心，助力能源终端使用及相关过程逐渐向电气化转变。
- ▶ 风能和太阳能的快速增长推动电力行业脱碳。“快速转型”和“净零”情景里，风能与太阳能发电量将在展望期内增长约20倍，达到约4万到4.5万太瓦时，其规模大于全球发电量的净增量（见第76页至第77页）。
- ▶ 推进电气化的一大关键领域是公路运输。“快速转型”和“净零”情景里，

到2030年，电动车（纯电动车与插电混动车）在新车销量中的占比将从2019年的2%增至25%到30%，2050年进一步增至90%左右。在这两种情景中，到2050年，全球电动车的汽车保有量将达到20亿辆左右，而2019年这一数据仅为700万辆。

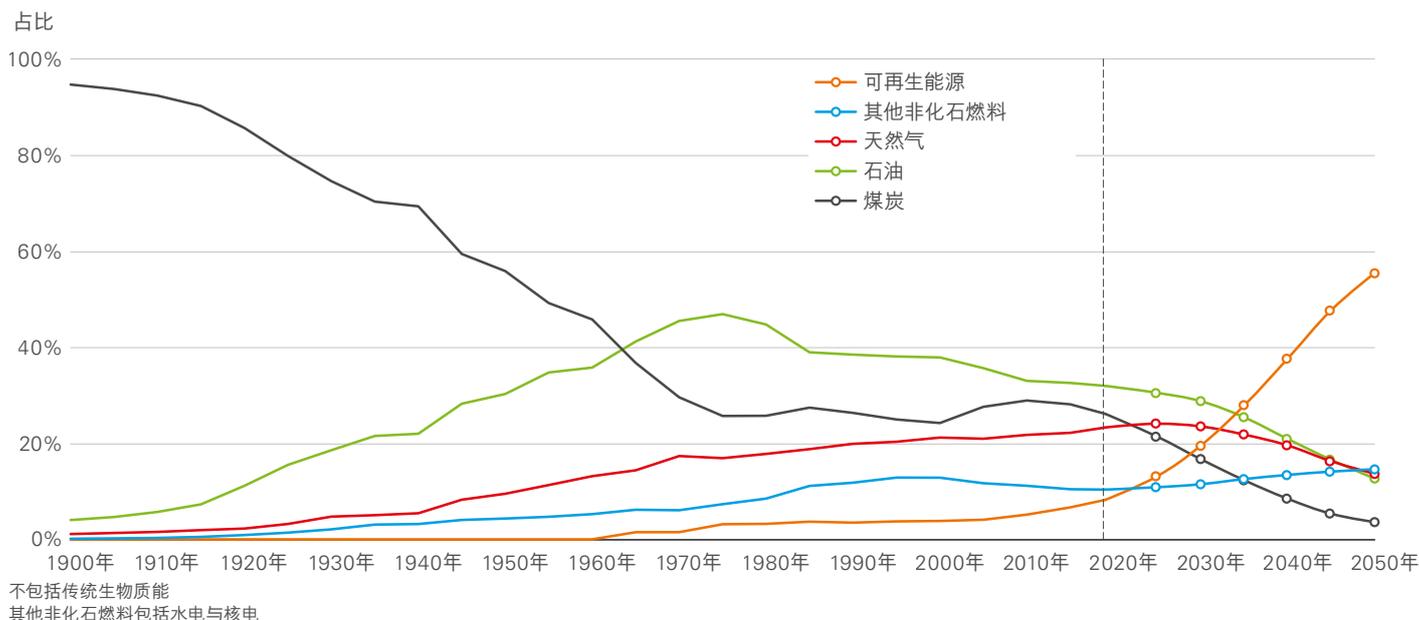
- ▶ 但是，部分终端消费以及相关过程始终难以实现电气化，此外电气化成本过高，令人望而却步。此类难以实现电气化的消费和过程，可通过使用生物燃料和氢能来实现脱碳。
- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，到2050年，生物燃料（包括生物甲烷）的消费量将比展望期内增长2倍以上，达到每天600万桶/天到700万桶/天。生物燃料对帮助航空业脱碳尤为重要。“快速转型”情景里，到2050

年，生物基可持续航空燃料在航空燃料需求总量中的占比将达30%左右，在“净零”情景中则将达到45%（见第46页至第47页）。

- ▶ 在“快速转型”和“净零”情景里，低碳氢（蓝氢与绿氢）有助于工业与运输业实现部分脱碳，此类能源将分别在本世纪30年代和40年代得到推广。低碳氢在工业中的应用，集中在钢铁、化工和水泥等依赖高温工艺的重工业领域。就运输业而言，氢能（以及氢能衍生燃料）在海运、航空和重型卡车等长途运输中用作化石燃料的替代品。“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，低碳氢需求量将增长至2.8到4.5亿吨/年（见第80页至第82页）。

## 全球能源市场性质不断变化：能源结构更趋多样化，竞争更激烈，消费者的选择也将发挥更大作用

一次能源在“快速转型”情景里的占比



向低碳能源系统转型，或会从根本上重塑全球能源市场，促使能源结构更趋多样化。未来，竞争将更为激烈，客户的选择也将发挥更大作用。“快速转型”情景将此类巨变描述为能源市场的结构性变化。“净零”情景里这种特征也极为显著。

▶ 在过去100年左右的时间里，能源系统的格局在大部分时段均由单一能源主导。其中，20世纪上半叶由煤炭主导，而到了20世纪70年代，石油则成为新的能源霸主。

▶ “快速转型”情景里设想的能源转型，将在未来20来年推动能源结构多样化。其中，可再生能源和其他非化石燃料在全球能源中的占比将日益增加，与传统化石燃料并驾齐驱。

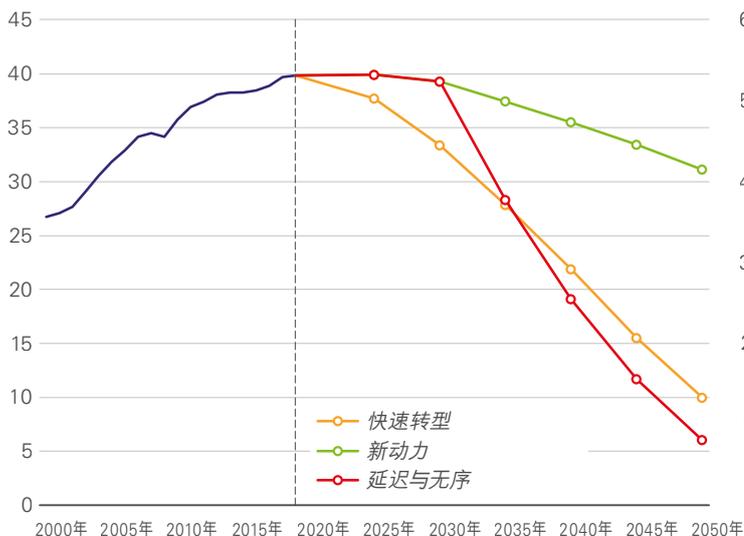
▶ 能源品类将更趋多样化，相关技术将不断涌现，使消费点能够在不同能源与能源载体之间进一步切换（例如电动汽车与内燃机汽车同步增长）。因此，燃料组合将逐渐由客户的选择而非各类燃料的可用性所驱动，与此同时，消费者也可能逐步要求整合不同燃料和能源服务。

▶ 燃料结构将日益多样化，客户选择也会发挥更大作用，促使不同形式的能源之间争夺市场份额，形成日益激烈的竞争。此外，化石燃料需求下降，生产商竞相确保自己的能源资源能够得到生产和消费，进而导致各类化石燃料之间竞争加剧。不同燃料和同类燃料之间的这种竞争日益激烈，提升了消费者的议价能力，从而推动经济租金从传统的上游生产商向能源消费者转移。

## 延迟采取行动可能导致能源转型代价高昂和混乱无序

### 碳排放

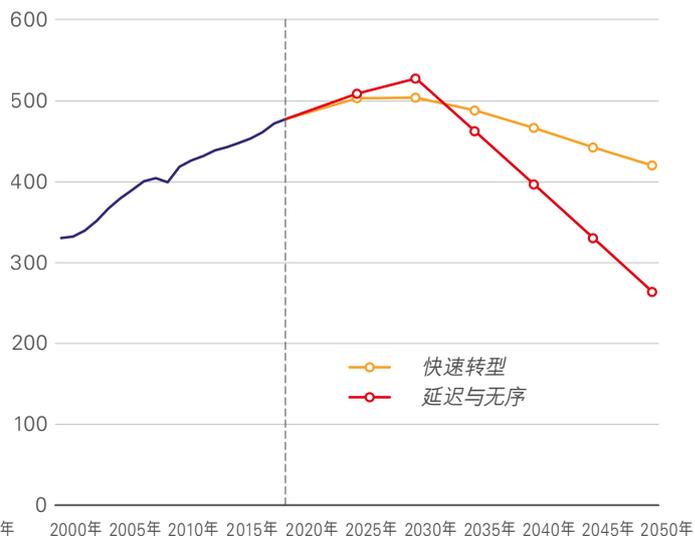
吉吨二氧化碳当量



碳排放包括能源使用、工业生产过程、天然气放空燃烧产生的二氧化碳排放，以及能源生产过程中产生的甲烷排放

### 终端消费总量

艾焦



符合巴黎气候目标的碳预算是有限的。全球碳减排的决定性行动每推迟一年，控制预算的难度将会明显增加，这将增加相关风险，即更长时间的延迟会大幅提高与试图控制在碳预算范围内相关的社会经济成本。

▶ “延迟与无序”情景探讨了这种可能性。此情景假设在2030年前，全球能源系统的发展趋势与“新动力”情景一致。2030年后，周全的政策与实质性行动将会得到部署，将整个展望期（2020年至2050年期间）的二氧化碳累积排放量限制在“快速转型”情景范围内。

▶ “延迟与无序”情景是高度设想化的。从本质上说，任何延迟的转型路径将取决于触发最终转变的各项因素，以及政府和全社会的反应。但即便如此，此情景也突显出碳预算的一大重要特征假设：能效的提升和向低碳燃料的转型通过前所未有的速度发生，但也只有极大降低该期间的终端能源消费量，才可能在未来30年，达到与“快速转型”情景中相同的二氧化碳当量累积减排量的目标。

▶ 例如，“延迟与无序”情景假设，尽管晚开始了10年，燃料组合的能效与碳排放强度，到2050年能够匹敌“快速转

型”情景的水平。但是，到2050年的终端能源消费总量需低于“快速转型”情景下的40%左右，才能满足相同的碳预算要求。这就要求对能源消费采用严格配给和限制。

▶ 虽然并未通过明确建模展示具体情况，但如此大幅降低能源消费量所采取的限制与控制措施，可能会对经济活动和人类福祉产生重大影响。

# 能源需求

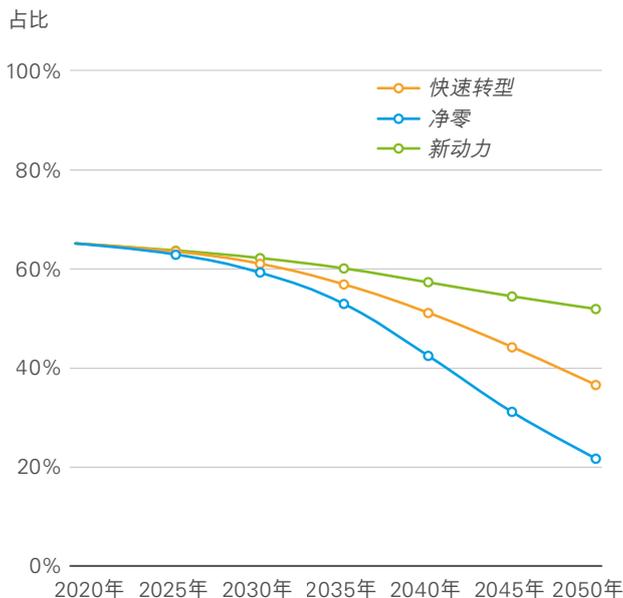


随着化石燃料被电力和氢能取代，终端能源消费也逐步脱碳

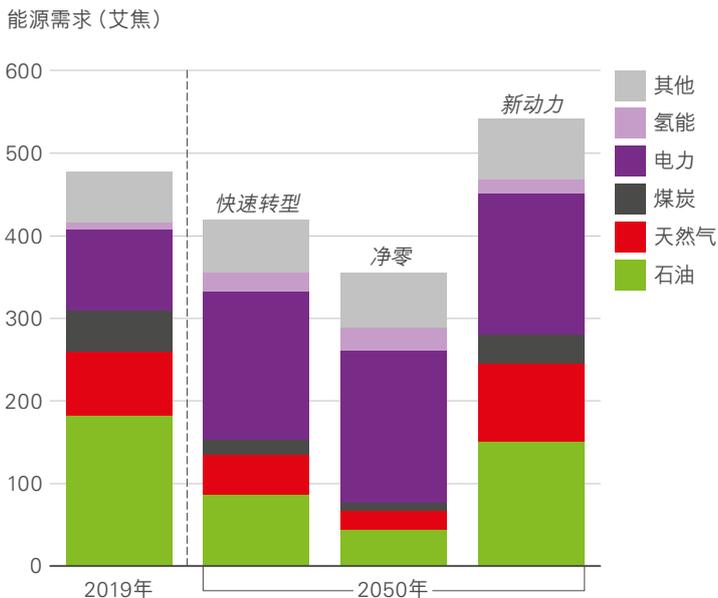
随着可再生能源在一次能源消费中的份额快速增加，化石燃料在一次能源消费中的占比下降

## 随着化石燃料被电力和氢能取代，终端能源总消费也将实现脱碳

化石燃料在终端能源消费总量中的占比



终端消费中的燃料构成



随着全球走向电气化，氢能成为能源消费的主力军。三种情景中，在终端能源消费点测得的全球能源需求都将实现脱碳。

▶ 在三种情景里，到2050年，化石燃料在终端能源消费总量中的占比将从2019年的65%左右下降至30%到50%。就碳氢化合物而言，全球工业与建筑业日益向低碳燃料过渡，这将迫使煤炭的占比出现最大降幅。石油占比的下降，则主要依托路面交通中石油消费量的下降（见第46页至第47页）。

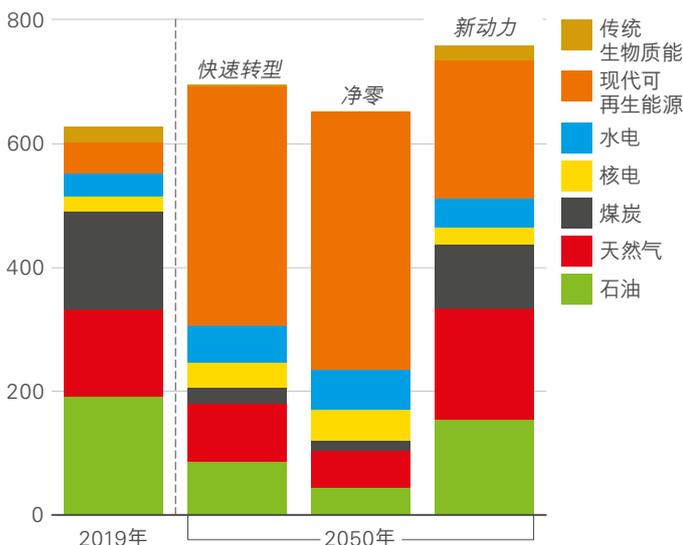
▶ 电力的作用将大幅提升。三种情景里，展望期的电力消费量将增长75%到85%。“新动力”情景里，终端消费点的电力占比将从2019年的20%增至30%左右，“快速转型”和“净零”情景将增长至45%到50%。三种情景里，电气化程度的提升主要由风能与太阳能的快速增长来加以支撑（见第68页至第69页）。

▶ “快速转型”和“净零”情景里，低碳氢（见第80页至第81页）也在不断帮助难以达成减排目标的工业生产与运输工具实现脱碳，并逐渐成为石化和炼油行业的原料。在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，低碳氢在终端消费总量中的占比将在6%到8%之间，氢能总需求（包括用于生产合成燃料和用于发电的氢能）的占比则将其消费量占比几乎高出一倍。

## 随着可再生能源的份额快速增加，化石燃料在一次能源中的占比在下降

一次能源（按燃料划分）

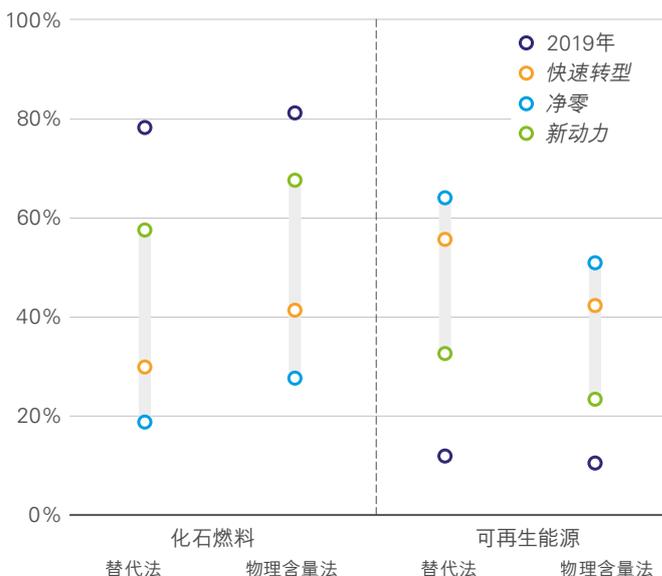
艾焦



现代可再生能源包括风能、太阳能、地热能、生物燃料、生物甲烷和现代生物质能

2050年化石燃料和可再生能源在一次能源消费中的占比

占比



随着化石燃料消费量的下降，可再生能源（风能和太阳能、生物能源以及地热能）将迅速增加，一次能源内部也明显存在向低碳燃料组合演变的趋势。

▶ 基于替代法（此方法将源自非化石燃料发电的能源以总额显示，以反映化石燃料转化为电力的当量损失（见第106页至第107页）），在“快速转型”和“净零”情景里，化石燃料在一次能源消费中的占比将从2019年的接近80%分别下降至2050年的30%和20%。这种下降缘于全球能源系统初步淘汰煤炭，同时石油需求急剧下降也对这种下降起到一定作用。天然气的使用将更趋稳定，但“快速转型”和“净零”情景里，其在一次能源中的占比也将下降。

▶ 一方面，化石燃料对于全球能源系统的重要性不断减弱；另一方面，可再生能源正在日益发挥重要作用。在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，可再生能源在一次能源中的占比将从2019年的略高于10%增长至55%到65%。

▶ 在“新动力”情景里，一次能源消费结构向低碳燃料组合发展的趋势，并没有那么明显。按照情景，到2050年，化石燃料在一次能源总量中的占比仍接近60%，可再生能源则占1/3左右。

▶ 采用替代性物理含量法计算一次能源时（见第106页至第107页），化石燃料的作用不断弱化，可再生能源的重要性凸显，这是很明显的普遍趋势。然而，这种方法未将可再生能源（和其他非化石能源）计算在内，因此无法反映与化石燃料相关的转换损失，导致展望期内可再生能源占比的升幅不如基于替代法明显。在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，可再生能源在一次能源中的占比为40%到50%，在“新动力”情景里则占25%左右。

# 石油需求

受路面交通石油消费量减少的影响，展望期内石油需求也将有所下降

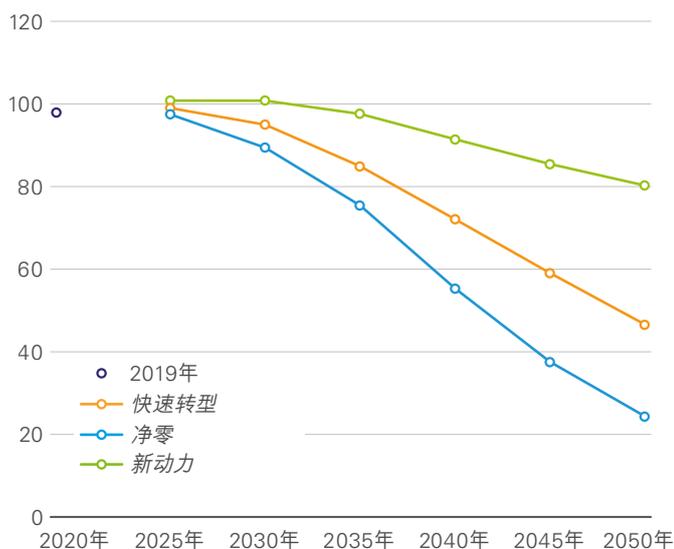
效率提升、电气化日益深化以及其他低碳燃料的扩大使用，  
导致运输行业的石油消费量下降

石油消费向新兴经济体转移，以及石油作为原料使用的趋势

## 受路面交通石油消费量减少的影响， 展望期内石油需求也将有所下降

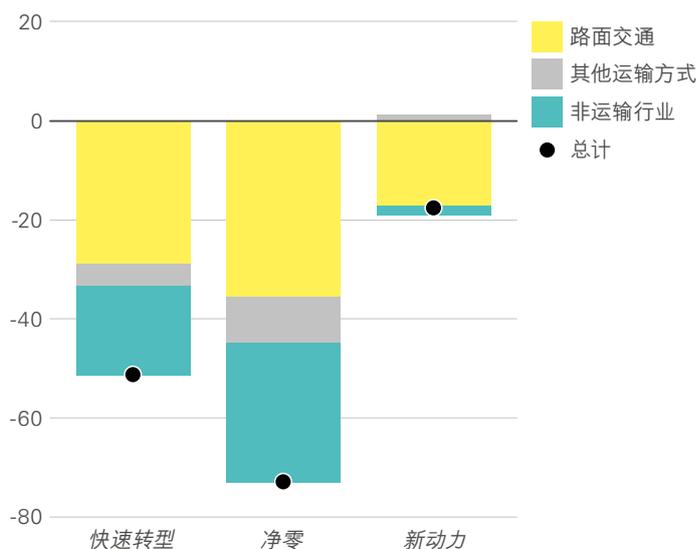
石油需求

百万桶/天



石油需求变化趋势 (2019 – 2050年期间)

百万桶/天



与之前的预期相比，经济增长出现更加强劲的反弹，在这种形势下，三种情景里的石油需求增幅均高于疫情前水平。在“快速转型”和“净零”情景里，石油消费量将在本世纪20年代中期达到峰值，在“新动力”情景里，消费量则将在本世纪20年代末达到峰值。在“快速转型”和“净零”情景里，石油消费量将于本世纪20年代中期后大幅下降，“新动力”情景里的石油需求下降则较缓慢，且幅度较小。

▶ 在“快速转型”和“净零”情景里，展望期后半段石油消费量有大幅减少，到

2050年时，分别下降至4500万桶/天和2500万桶/天左右。在“新动力”情景里，石油需求较为强劲，在本世纪30年代中期以前一直高于疫情前水平，之后呈现出逐步下降的趋势，到2050年将下降至8000万桶/天。

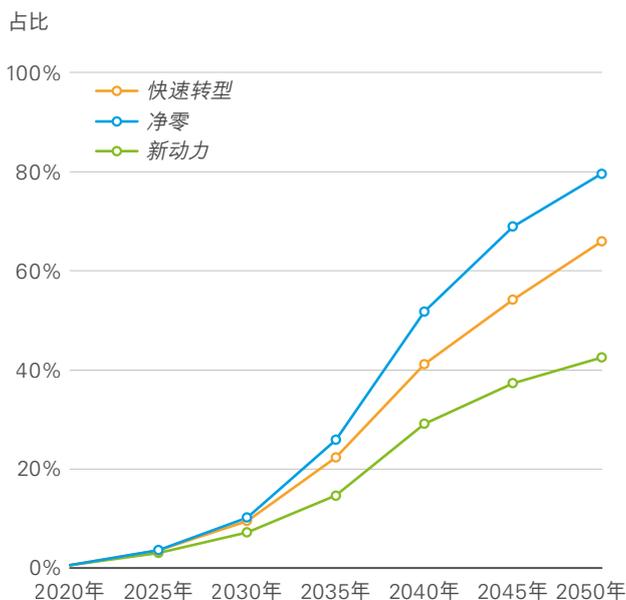
▶ 车队效率不断提升且日益电气化，路面交通的石油消费量将减少，这也是石油消费量下降的主要原因。在“快速转型”和“净零”情景里，公路运输石油消费量的减少，占全球石油消费量下降总量的一半左右，在“新动力”情景里则几乎等同于下降总量。

▶ 在三种情景里，随着公路车辆电气化步伐不断加快，展望期内石油需求的下降速度也将显著加快。

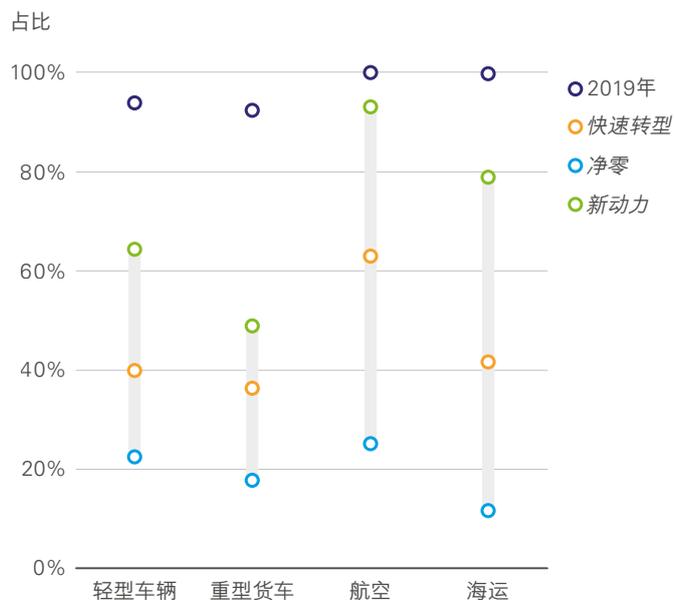
▶ 在“快速转型”和“净零”情景里，展望期内石油消费量的下降，反映出包括工业与建筑业在内的其他经济部门也在大范围摒弃对石油的使用。

## 效率提升、电气化日益深化以及其他低碳燃料的扩大使用，推动运输行业的石油消费量下降

### 在汽车及货车电动化里程（公里数）中的占比



### 2050年石油在运输行业能源需求中的占比



在三种情景里，石油在运输业中的作用正在弱化。对路面交通而言，这种弱化主要缘于车辆效率的提升以及电气化的普及。在航空运输与海运方面，石油作用的弱化则源于不断增长的生物燃料与氢基衍生燃料消费量。

- ▶ 展望期的前半段，公路交通中石油消费量的下降，主要原因是车辆尤其是乘用车的燃油效率持续提升。下述两因素对公路交通中石油消费量的下降产生了影响：随着全球汽车保有量的增加车辆效率也在提升；展望期内车辆排放标准更趋严格。在三种情景里，到2035年，公路交通中石油消费量的减少，其中60%到70%将归功于车辆效率的提升。
- ▶ 公路交通中石油消费量下降的另一大原因，则是车辆的电气化。在“快速转

型”和“净零”情景里，2020年，电动汽车在车辆行驶里程中的占比不足1%，而到2050年该占比将达65%到80%。在“新动力”情景里，该占比到2050年将达到40%左右。在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，卡车运输的氢能消费量也有所增长，将在重型卡车运输的行驶里程中占比达到15%至20%。

- ▶ 在“快速转型”和“净零”情景里，因可持续航空燃料（SAF）的消费量在不断增加，且机队效率在持续提升，到2050年，航空运输行业的石油消费量将分别下降25%和75%左右。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）。相比之下，“净零”情景里，除生物喷气燃料外，氢燃料\*（合成喷气燃料）也在

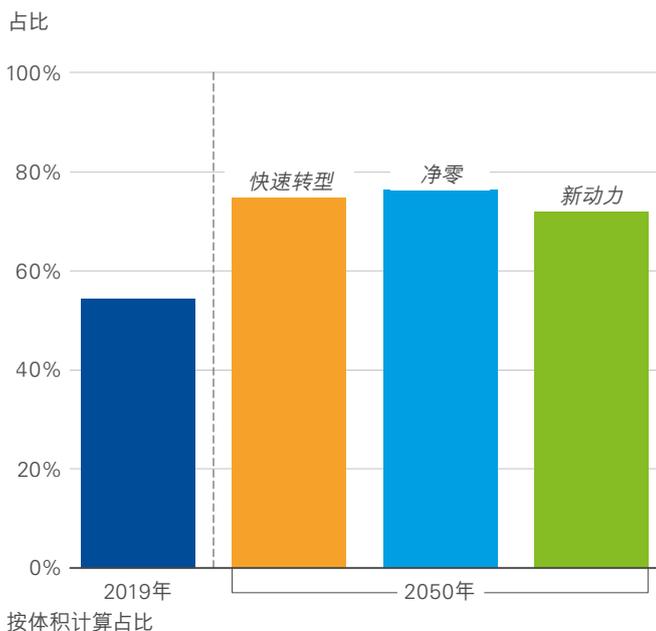
发挥着日益重要的作用（见第80页至第81页）。到2050年，在“快速转型”和“净零”情景里，石油在航空业的能源总消费量中占比分别是65%和25%，在“新动力”情景的占比则超过了90%。

- ▶ 在海运行业，氢燃料（包括氨燃料、甲醇与合成柴油）是石油的主要替代品。到2050年，在“快速转型”和“净零”情景里，此类燃料在海运终端消费总量中的占比将分别达到30%到55%。同样，在这两种情景里，生物质衍生燃料（包括生物柴油和可再生柴油）与天然气也在发挥日益重要的作用。相比之下，在“新动力”情景里，2050年，石油在海运业能源消费总量中的占比仍将接近80%。

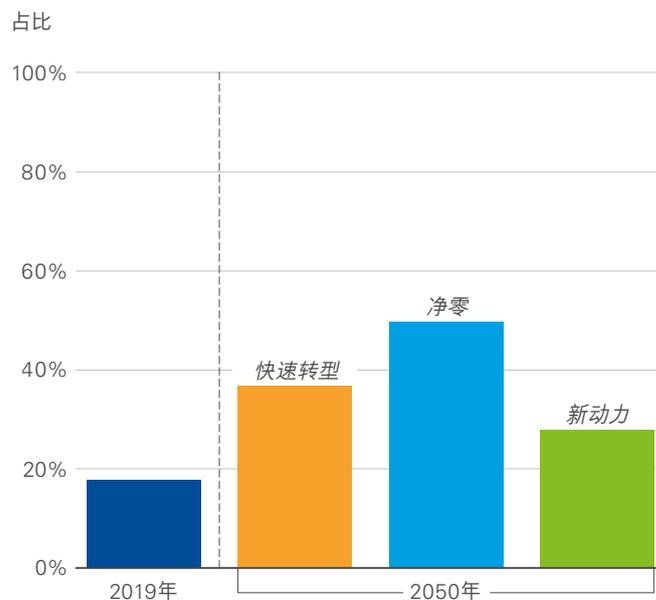
\*氢燃料指源自低碳氢的燃料，包括氨燃料、甲醇和其他合成碳氢化合物。

## 石油消费模式向新兴经济体转移，以及石油作为原料的使用

### 新兴经济体在石油需求中的占比



### 石油作为原料在石油需求中的占比



展望期内石油需求下降的同时，石油消费重心也有所转移，石油消费日益集中于新兴经济体。石油作为原料也越来越重要，这在石化行业表现尤为突出。

- ▶ 展望期前半段，随着新兴经济体经济日益繁荣、生活水平不断提高（包括汽车拥有量不断增长，且国际旅行渠道越来越多），其石油需求将有所增加。三种情景里，在展望期前10年左右的时间里，新兴经济体的石油消费量均高于新冠疫情爆发前的水平。
- ▶ 相比而言，在受疫情影响有所下降，又出现短暂复苏后，发达经济体的石油需求仍将呈现长期下降趋势。
- ▶ 在2019年，全球石油需求总量中，新兴经济体占比只略高于50%，到2050年，新兴经济体的这一占比在三种情景下均高达75%。
- ▶ 随着塑料等石化衍生品消费量不断增加，在全球经济将翻倍的形势下，石油主要用作原料，尤其是石化产品原料，将是展望期内最为持久的石油需求来源。
- ▶ 但是，随着塑料回收再利用等措施的大举推行，同时禁止生产和使用一次性塑料包装等制成品，在三种情景里，石油用作原料的消费量增速在最终达到峰值前都将放缓。作为石油替代品的生物基原料将日益受到青睐，这在“快速转型”和“净零”情景里尤为明显。
- ▶ 尽管存在以上种种趋势，但三种情景里，石油用作原料的需求均相对较为持久，在2019年，石油作为原料在石油总需求总量的占比不到20%，而到2050年，这一占比将增至25%-50%。在“新动力”情景里，到2050年，用作非燃烧原料的石油消费量将高于2000万桶/天，在“净零”情景里则将接近1000万桶/天。

# 石油供应



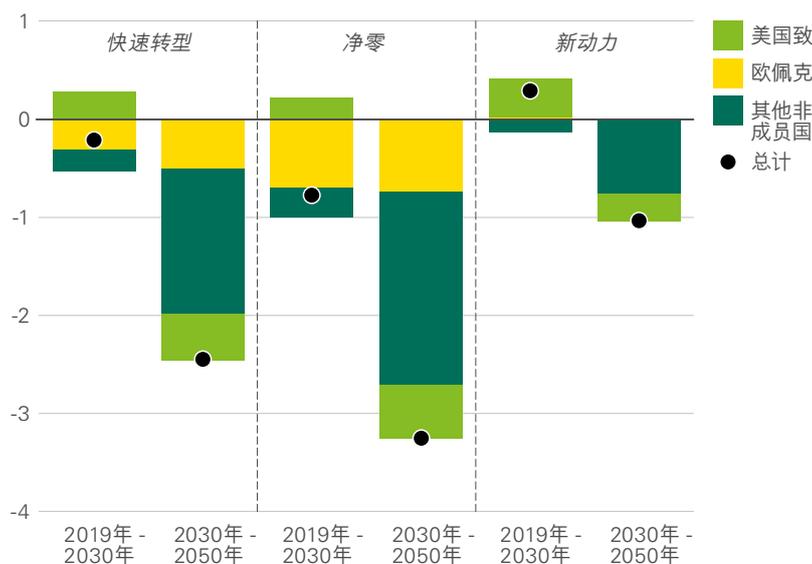
美国致密油和欧佩克石油生产的变化趋势主导着全球石油供应结构

气候政策力度加大，推动石油碳强度下降

## 美国致密油和欧佩克石油生产的变化趋势主导着全球石油供应结构

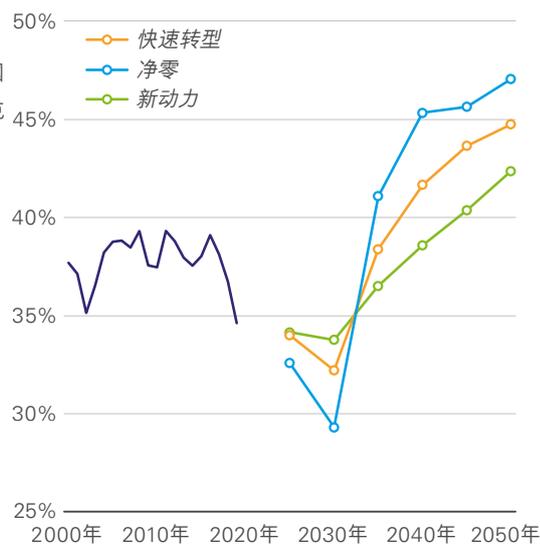
### 石油供应量的增长

年增长量(百万桶/天)



### 欧佩克在全球石油供应中的市场份额

占比



展望期内，美国致密油产量和欧佩克成员国的石油产量呈现出不同的趋势，导致全球石油供应格局有所转变。美国致密油产量在展望期前半段开始回升，随后又开始下降，欧佩克成员国的市场份额则逐步增加。

▶ 在三种情景里，美国致密油（包括天然气凝析液（NGL））受疫情影响有所下降，但均出现了反弹，在展望期首个10年期间，其产量均高于疫情爆发前的峰值，约为1500万桶/天。巴西的产量也在展望期前10年实现了增长。然而，随着美国致密油地层日趋成熟，且欧佩克成员国在需求加速下降的背景下采取了更具竞争力的战略，美国致密油产量（以及非欧佩克成员国产出的其他供应源）将在本世纪20年代后期开始下降。

▶ 美国致密油生产周期短，加之石油与轻质原油和天然气凝析液一同逐渐用作原料，相关需求跌幅也将得到缓解。尽管如此，在“快速转型”和“净零”情景里，美国致密油产量仍将下降至500万桶/天甚至更低，在“新动力”情景里则将下降至1000万桶/天左右。

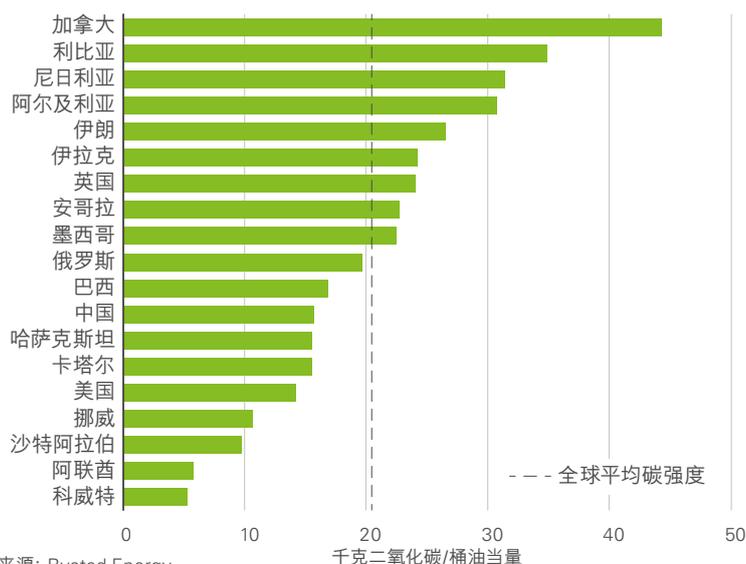
▶ 展望期内，欧佩克成员国生产战略有所变化。为应对美国和其他非欧佩克成员国供应量的反弹，欧佩克成员国在展望期的前10年左右降低其产量，致使市场份额下降，进而支撑价格。石油需求将于本世纪20年代中期开始下降，在此背景下，在“快速转型”和“净零”情景里，欧佩克成员国市场份额也将显著下降。

▶ 在展望期的后半段，随着石油需求加速下降，美国在产量上的竞争力减弱，欧佩克成员国将更为积极地参与竞争，市场份额也将随之增加。“新动力”情景里，欧佩克成员国在全球石油产量中的占比将增至40%以上，在“快速转型”和“净零”情景里则将增至45%到50%，接近上世纪70年代初的历史高位。

▶ 在“快速转型”和“净零”情景里，非欧佩克成员国生产的成本结构占比较高，导致到2050年石油产量的下降约70%缘于这些国家供应量的减少，在“新动力”情景里则全部源于非欧佩克成员国。

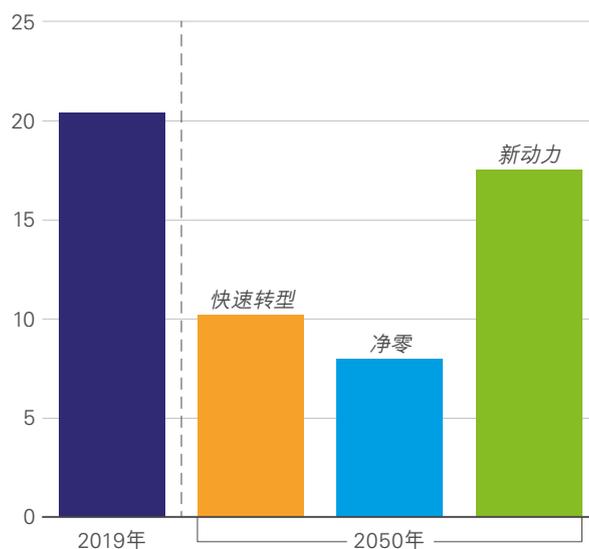
## 气候政策力度加大，推动石油碳强度下降

### 2019年各国石油生产的平均碳强度



### 全球石油生产的平均碳强度

千克二氧化碳/桶油当量



随着展望期内碳排放政策的收紧，各类油品生产中碳强度的变化对其相对竞争力影响也越来越大。这有助于刺激石油供应格局向降低运营碳强度的方向转变，也可鼓励所有生产商降低其生产过程中的碳强度。

- ▶ 2019年，与石油生产相关的二氧化碳排放，在能源使用产生的碳排放总量中占2%左右。
- ▶ 按照石油供应的碳强度（CI）来计量，此类排放在不同国家（以及各国不同地区）之间存在极大差异，这反映出

石油作业性质和石油作业地理位置上的差异。

- ▶ 三种情景里，在展望期内，各种碳排放政策收紧，碳强度不同，不同的生产类型所面对的政策也将有所差异。这种政策的差异，将通过增加高碳强度石油的有效成本，降低石油供应的平均碳强度，从而提高低碳强度石油供应的竞争力。此外，气候政策力度加大也将促使所有石油生产商通过各种措施降低其生产过程中的碳强度，例如减少放空燃烧、提高能效以及实现生产过程的电气化。

- ▶ 因此，到2050年，全球石油生产的平均碳强度在“新动力”情景里将降低约15%，在“快速转型”和“净零”情景里则降低50%到60%。
- ▶ 同样，碳排放政策收紧也会改变投资新建石油生产时的选择，包括在“棕地”（已经被占用和开发过的地块）和“绿地”（未开发地块）之间的选择，促使投资倾向于最具韧性、碳强度最低的资源。若要详细了解实现三种情景里的油气产量所必需的投资，请见第86页至第87页。

# 天然气



天然气需求的前景取决于能源转型的速度

天然气可助力低碳能源系统转型

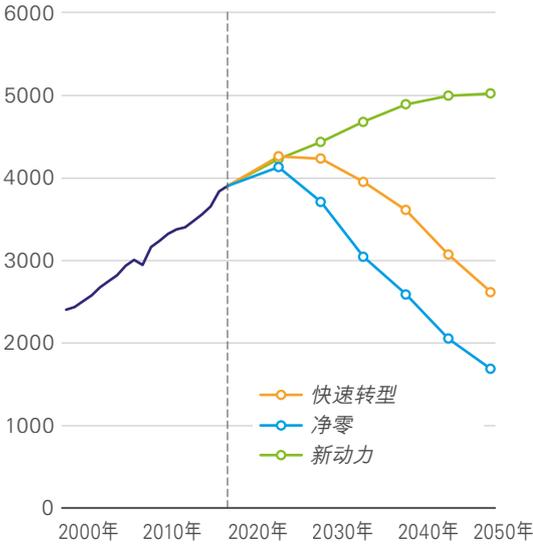
液化天然气贸易拓宽亚洲新兴经济体获取天然气的渠道，  
从而为经济增长和向低碳燃料过渡提供支持

天然气产出仍以中东、俄罗斯和美国为主

# 天然气需求的前景取决于能源转型的速度

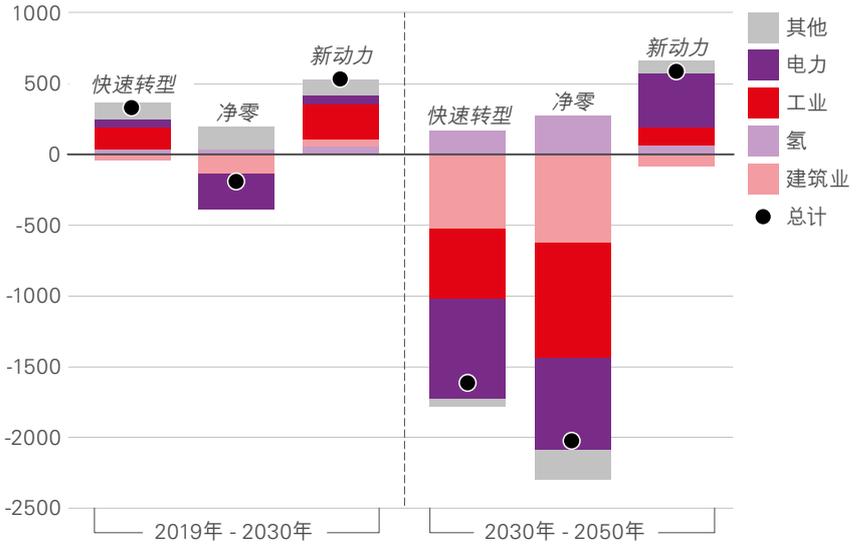
天然气需求

10亿立方米



天然气需求 (按行业划分)

变化 (10亿立方米)



在三种情景里，受新兴经济体需求增长的推动，全球天然气需求起初将有所增加。然而，在“快速转型”和“净零”情景里，增长将出现逆转，到2050年，全球天然气消费量将分别下降35%和60%左右。相比之下，“新动力”情景里，天然气需求在整个展望期内将持续增长，与2019年相比增长近30%。

- ▶ “新动力”和“快速转型”情景里，展望期内前10年左右，受煤改气政策的支持，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也有强劲需求，因此，天然气的整体需求也将增加。
- ▶ 而在“净零”情景里，需求增长持续时间较短，将在本世纪20年代中期达

到峰值，随后便开始下降。2030年前，亚洲新兴经济体的天然气需求将有稳健增长，但以美国和欧盟为主的发达国家需求持续降幅更大。

- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，从本世纪30年代初起，随着全球日益向低碳能源转型，全球各主要需求中心的天然气消费量将不断下降，天然气需求也随之下降。而在“新动力”情景里，本世纪30年代与40年代天然气需求将继续增加，除中国以外的亚洲新兴国家和非洲的需求均在增加。
- ▶ 在“新动力”和“快速转型”情景中展望期的前半段，新兴经济体（尤其是亚洲各新兴经济体）将继续向工业化迈进，其工业中的天然气使用量也

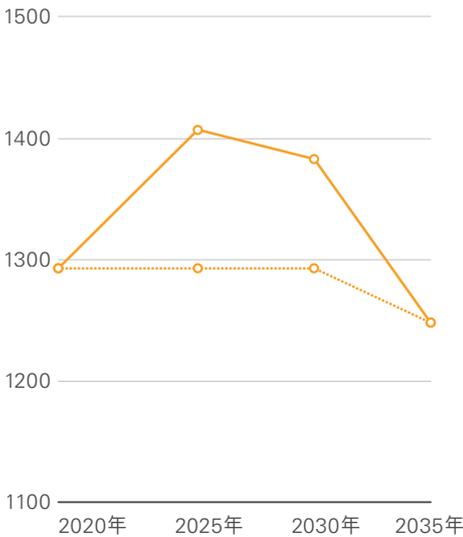
不断增加，推动全球天然气需求持续上升。

- ▶ 在“快速转型”和“净零”情景里，2030年后，工业与建筑业，尤其是在发达经济体，天然气消耗量减少，同时可再生能源也日益渗入全球电力市场，导致天然气需求不断下降。但由于越来越多的天然气被用来制造蓝氢，从而抵消了部分天然气使用量的下降（见第82页至第83页）。
- ▶ 相比之下，在“新动力”情景里，全球天然气消费量将继续增加，部分原因在于，世界发电总量稳步增长，而天然气在全球发电量中的占比将基本保持不变。

# 天然气可助力低碳能源系统转型——以印度为例

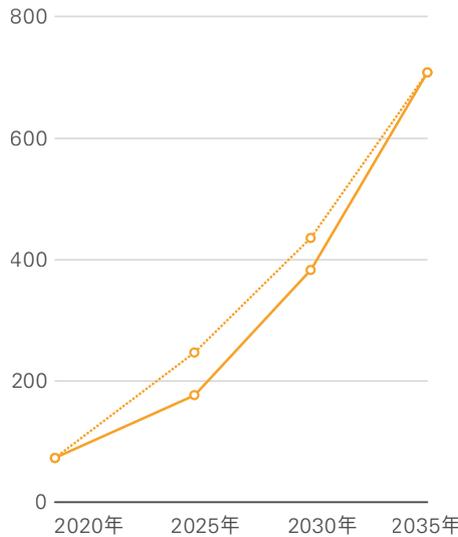
发电: 煤炭

发电量 (太瓦时)



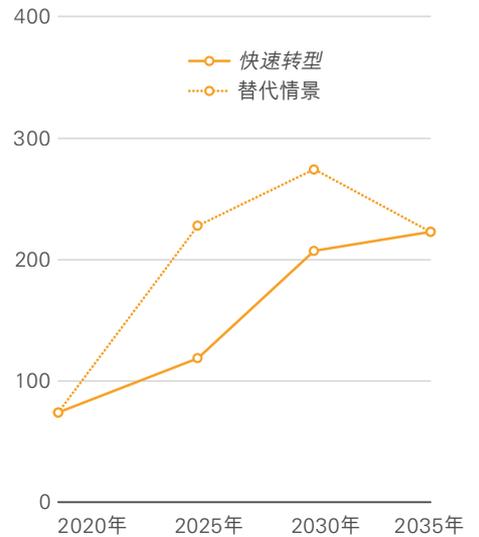
风能与太阳能装机容量

装机容量 (吉瓦)



发电: 天然气

发电量 (太瓦时)



在全球向低碳能源系统转型的背景下，天然气可发挥以下两大重要作用：助力快速增长的新兴经济体，加速减少对煤炭的依赖；并作为一种低碳能源与碳捕集、利用与封存技术相结合。

- ▶ “快速转型”情景里，天然气发挥着助力新兴经济体加快转型步伐、降低煤炭消费量的潜在作用，这一点从印度电力行业的展望便可见一斑。
- ▶ “快速转型”情景里，印度风能与太阳能发电将在本世纪20年代迅速扩张，到2030年装机容量将达400吉瓦左右，风能与太阳能发电量与2019年相比将增长近6倍。同期天然气发电量则大约增长两倍。
- ▶ 然而，可再生能源与天然气发电如此快速的增长，仍无法满足印度大幅增

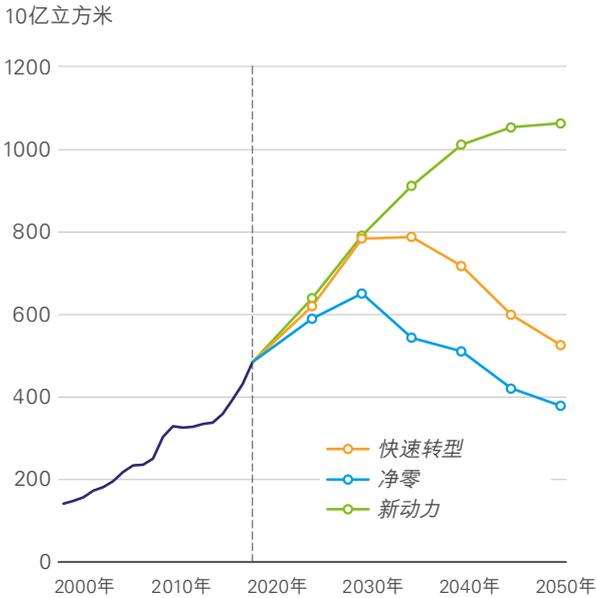
长的电力需求。因此，相比其他化石燃料，燃煤发电仍保有成本竞争力，并将在本世纪20年代末之前持续增长，且在30年代中期以前一直高于2019年的水平。

- ▶ 为了阻止燃煤发电量继续增长，可选择推动风能与太阳能发电加快增长。但这这就要求风能与太阳能装机容量的增速比“快速转型”情景假设的、本已极高的增速高出近一倍，即需在本世纪20年代中期达到250吉瓦。
- ▶ 另一种选择是，天然气发电量在“快速转型”情景里所假定的水平基础上实现短暂增长，到本世纪20年代后期达到2019年的三倍左右。鉴于当前印度燃气发电设施产能利用率低，因此，只需小幅扩容，或者维持现状，便可实现这样的发电量增长。

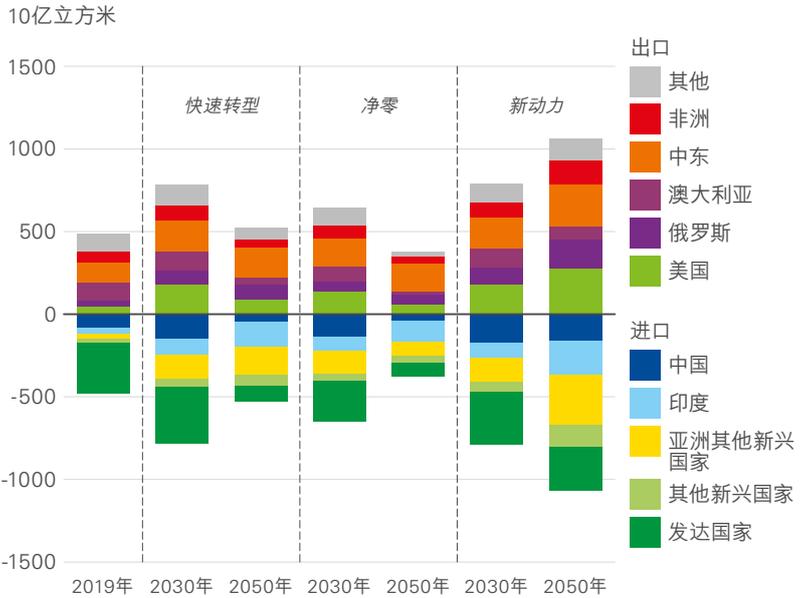
- ▶ 当天然气作为一种低碳能源与碳捕集、利用与封存技术（CCUS）相结合时，它能够支持向低碳能源系统的转型。“净零”和“快速转型”情景里，到2050年，所消费的天然气分别将有45%和80%通过碳捕集、利用与封存技术实现减排。通过此法实现减排的天然气约有一半将直接用于工业和电力行业。剩余部分则用于生产蓝氢，随后用作低碳能源载体或原料。（若要详细了解碳捕集、利用与封存技术在能源转型中发挥的作用，请见第90页至第91页；有关蓝氢的详细信息，请见第82页至第83页。）

# 液化天然气贸易拓宽亚洲新兴经济体获取天然气的渠道，从而为经济增长和向低碳燃料过渡提供支持

液化天然气贸易



液化天然气进出口 (按地区划分)



液化天然气贸易增长，在拓宽新兴市场获取天然气的渠道、支持经济增长并向低碳燃料转型中发挥着核心作用。

- ▶ 展望期的前10年，液化天然气贸易将迎来强劲增长，在“新动力”和“快速转型”情景里将增长2/3左右，在“净零”情景里则将增长1/3。
- ▶ 这样的增长，绝大部分缘于亚洲新兴经济体（中国、印度等国家和地区）不断增长的天然气需求。这些国家都在从煤炭使用中转型，而且除中国外，其余经济体仍在向工业化转型的过程中。液化天然气进口是天然气消费量增长的主要增量来源。三种情景里，截至2030年，液化天然气进口都将在亚洲各新兴国家天然气消费量的增量中占70%到75%的份额。

- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，由于全球主要的液化天然气需求中心的消耗量都将下降，导致液化天然气进口需求减少，因此，在展望期后半段，液化天然气贸易增长将出现逆转。在“快速转型”情景里，到2050年，液化天然气贸易量仅比2019年高出10%，在“净零”情景里甚至比2019年低20%左右。
- ▶ 而在“新动力”情景里，液化天然气进口将继续增长，在展望期末时超过1000亿立方米，这是因为印度等亚洲新兴国家都在加大进口量，同时，欧洲的进口量也持续强劲。
- ▶ 展望期的前半段，主要是美国推动液化天然气出口增长。三种情景里，2030年前，美国在液化天然气出

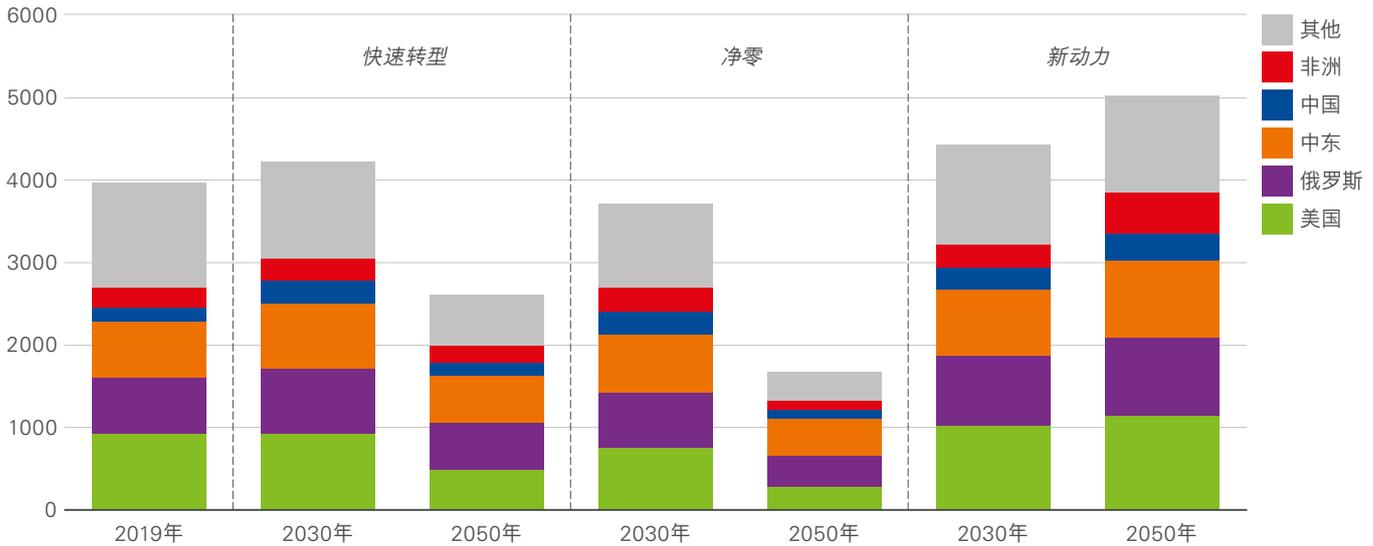
口增长中的占比均超过40%。来自中东、俄罗斯和非洲的供应大幅增加，也推动着液化天然气出口的增加。

- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，展望期的后半段，液化天然气贸易将出现下降，这同样是主要受美国的影响，因为美国向亚洲其他液化天然气需求中心出口天然气时，运输成本高于中东和东非的出口运输成本。
- ▶ 而在“新动力”情景里，美国和中东的液化天然气出口在展望期的后半段持续增长，进一步巩固其作为全球液化天然气主要出口中心的地位。

# 天然气产出仍以中东、俄罗斯和美国为主

天然气产量（按地区划分）

10亿立方米



展望期初期，为满足新兴经济体不断增长的需求，液化天然气出口量加大，推动天然气产量增长。“快速转型”和“净零”情景里，全球天然气产量在展望期后半段出现下滑，原因是各主要天然气消费中心的国内需求在减少。

▶ 展望期前10年左右，全球天然气产量的增长以中东、俄罗斯和美国为主（“新动力”情景），增加的产量大多以液化天然气的形式出口（见第62页至第63页）。需求重心在向天然气管道较少的地区转移，导致管道气出

口减少，这部分抵消了液化天然气产量的增长。

▶ 随着全球各主要天然气消费中心国内需求的下降，“快速转型”和“净零”情景里的天然气产量也将在展望期后半段出现下降，产量降低最明显的三个地方是美国、中东和俄罗斯。“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，全球天然气产量分别将比2019年低35%和60%左右，其中美国、中东和俄罗斯的下降量，合计占下降总量的大约一半。

▶ 相比之下，“新动力”情景里，由于非洲各国国内天然气市场需求大增，推动其供应量大幅增长，全球天然气产量将于本世纪30年代和40年代继续增长。

▶ 天然气产量的大幅下降，意味着即使在“净零”情景下也需大幅新增产量。“净零”情景里，到2035年，大约需新增1.5万亿立方米的天然气供应量；在“快速转型”和“新动力”情景里则需新增2.5万亿到3.0万亿立方米。若想详细了解各情景假设下隐含的油气投资水平，请见第86页至第87页。

# 可再生能源

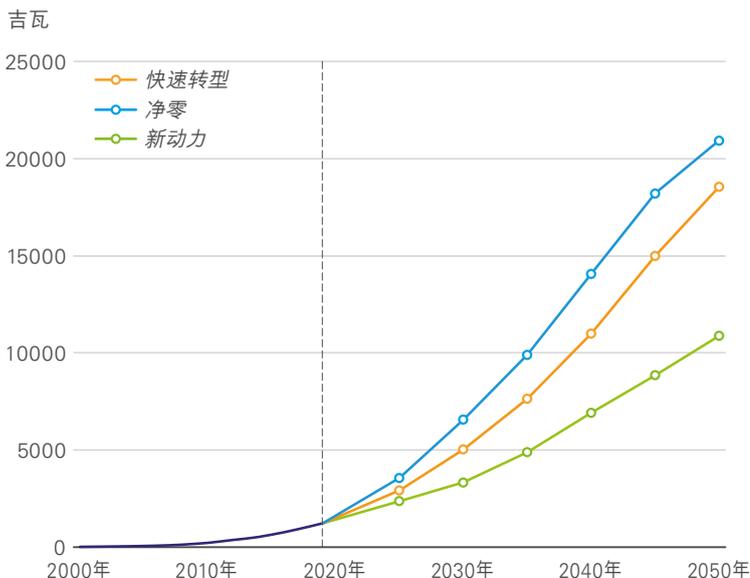


风能与太阳能发电快速增长

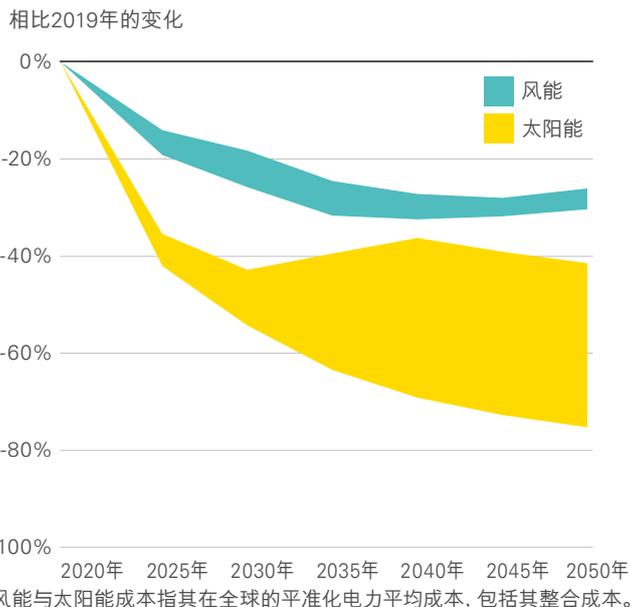
现代生物能源急剧增长，促进向低碳能源系统的转型

# 风能与太阳能发电快速增长

风能与太阳能装机容量



风能与太阳能成本



三种情景里，风能与太阳能发电均有快速增长。到2050年，风能与太阳能装机容量总和将比2019年增长15倍多（“快速转型”和“净零”情景），在“新动力”情景里则增长9倍。

- ▶ 这些装机容量大部分用于在终端消费提供电力。但在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，约20%到30%的装机容量将用于生产绿氢（见第82页至第83页）。
- ▶ 风能与太阳能发电的快速增长，缘于其成本的持续下降。尤其是展望期的前10年左右，由于部署了更大装机容量，技术与生产成本下降，同时太阳能组件效率不断提升，项目规模不断扩大，且风电负载率加大、运营成本进

一步降低。三种情景里，到2030年，风能与太阳能发电的平准化成本（包括整合成本），将分别下降20%到25%和40%到55%左右。

- ▶ 展望期的最后20年，发电成本的下降被平衡电力系统时不断增长的费用所抵消，因此，成本下降速度将逐渐放缓，最终将趋于平稳。之所以要平衡电力系统，是因为可变电源占比在不断扩大。
- ▶ 三种情景里，要扩大装机容量，均需大幅加快新容量的融资与建设速度。“快速转型”和“净零”情景里，20世纪30年代和40年代，装机容量每年平均增长量分别为600吉瓦到750吉瓦和700吉瓦到750吉瓦，是以往最高增长率的

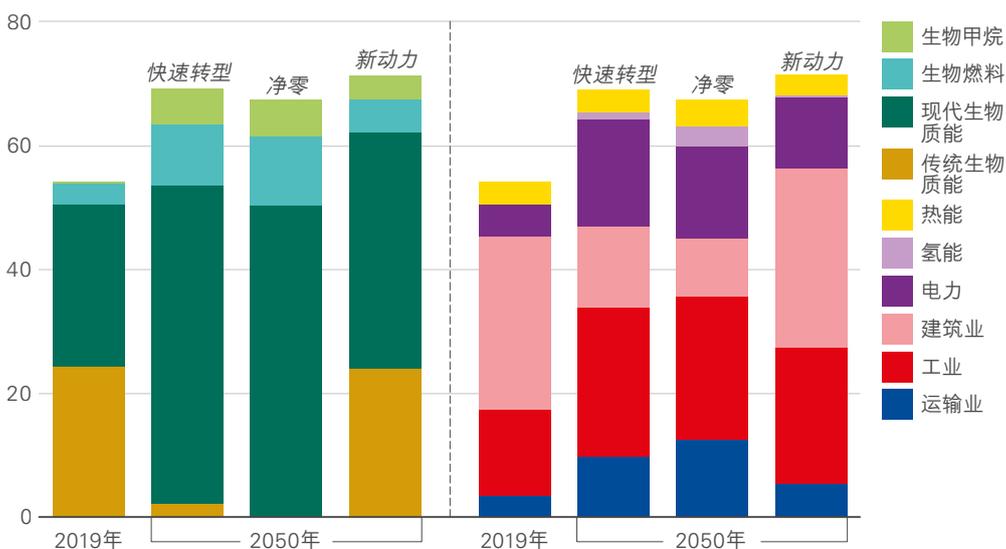
两到三倍。能否加快建设风能与太阳能装机容量，取决于一系列以相同速度发展的赋能因素，包括输配电容量、关键材料的可用性、规划与相关许可以及社会接受度。

- ▶ 展望期的最后10年左右，因电力行业接近完全脱碳，且加大风能与太阳能发电份额的成本在上升，尤其在“净零”情景里，风能与太阳能装机容量增速将逐步放缓。
- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，到2050年，新兴经济体在新增的风能与太阳能装机容量中占比将超过3/4，仅中国就占大约1/4。

# 现代生物能源急剧增长，促进向低碳能源系统的转型

## 生物能源的供应与需求

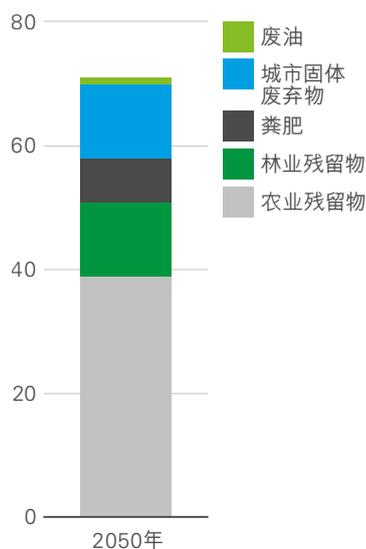
一次能源，艾焦



现代生物质能包括生物气体 (但不包括生物甲烷)；工业包括原料。

## 现代生物能源的来源

一次能源，艾焦



三种情景里，因有助于难以减排的行业实现脱碳，现代生物能源（可交易的固体生物质能、生物燃料和生物质衍生气体）的消费量均有显著增长。

- ▶ 现代生物能源需求的增长在“快速转型”和“净零”情景里最为明显，到2050年将增至70艾焦左右，比2019年高出一倍多。这种需求的增长，几乎全部源于新兴经济体，部分缘于传统生物质能基本上遭到摒弃。“新动力”情景里，到2050年，现代生物能源消费量将增长至50艾焦左右，而传统生物质能的消费量则几乎并未减少。
- ▶ 经判断，三个情景假设的生物能源消费量均可实现，并且无需在当前的基础上扩大生物能源生产专用的土地规模。原因在于，其中绝大多数生物能源均源自各地的残留物（农林残留物、

粪肥和废弃物），获取此类残留物时不会对生态系统造成不利影响。

- ▶ 现代生物能源的最大来源是固体生物质能。“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，固体生物质在生物能源总需求中的占比将达3/4左右，在“新动力”情景里则将占一半左右。
- ▶ 现代固体生物质能的消费量日益增长，部分缘于其在电力行业（尤其是在亚洲）以及水泥生产等难以减排的工业生产过程和建筑业中发挥着日益重要的作用。
- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，到2050年，生物燃料消费量将增长至10艾焦左右，这缘于其在航空领域的使用。同样在这两个情景里，到2050年，生物衍生可持续航空燃料（SAF）的消费量将在生物燃料总需求中占

55%到65%的份额。在这两种情景里，生物燃料在海运行业的消费量也日益增长，而且可在工业里用作石油基原料的替代品。

- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，到2050年，生物甲烷（也称“可再生天然气”）将从2019年的约0.2艾焦迅速增长至5艾焦左右，在所有经济部门的消费量均将出现增长，包括运输业、工业与建筑业。
- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，到2050年，将有4艾焦到12艾焦的生物能源与碳捕集与封存技术相结合（BECCS）后成为负排放源。结合后的生物能源，将有一半左右用于电力行业，剩余部分用于在工业中生产氢能与热能。

# 电与电力系统

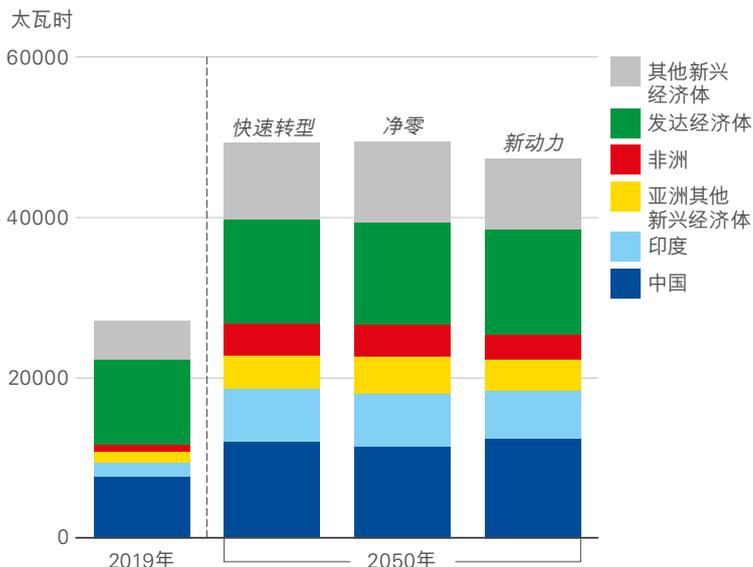


全球日趋电气化，电力需求增长强劲

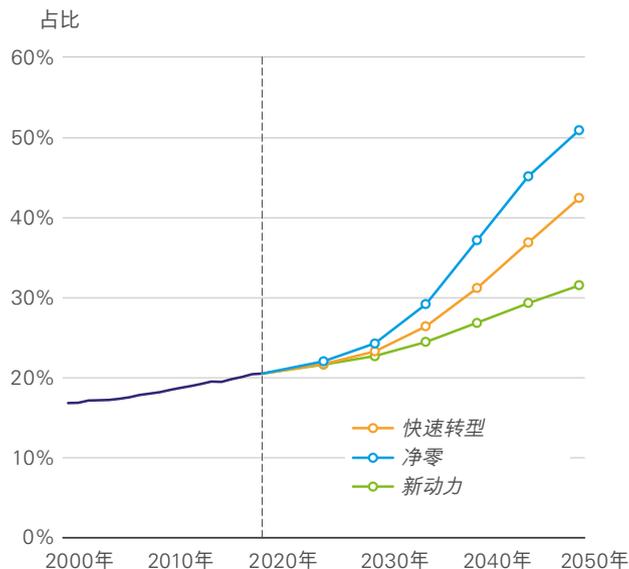
随着全球电力系统脱碳，风能与太阳能发电成为发电量增长的主力军

## 全球日趋电气化，电力需求增长强劲

### 电力终端消费量



### 电力在终端消费总量中的占比



三种情景里，新兴经济体日益繁荣，全球能源系统加速电气化，均推动着电力需求的强劲增长。在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，终端电力需求增长将超过80%，在“新动力”情景里，需求将增长75%。

- ▶ 三种情景里，绝大多数电力消费量增长均来自新兴经济体，且以亚洲新兴国家（中国、印度等国）和非洲为主。日益繁荣的经济，生活水平的提高，

推动电力消费量的快速增长。在如此强劲增长的推动下，到2050年，新兴经济体在全球电力需求中的占比将达75%左右，高于2019年的60%。

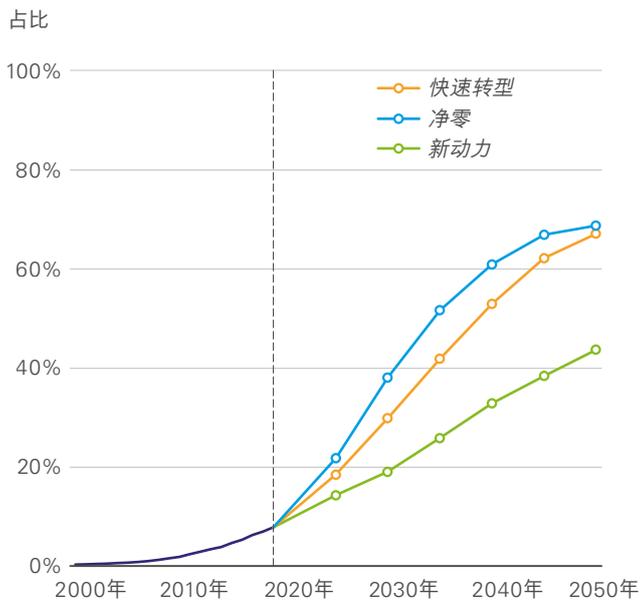
- ▶ 能源使用活动与相关过程日趋电气化，在“快速转型”和“净零”情景里表现最为显著。在“快速转型”情景里，到2050年，电力在终端消费总量中的占比将从2019年的20%增至接近45%，在“净零”情景里则将达到

50%以上。“新动力”情景里，虽然脱碳步伐较慢，但到展望期结束时，电力在终端消费总量中的占比仍增至30%左右。

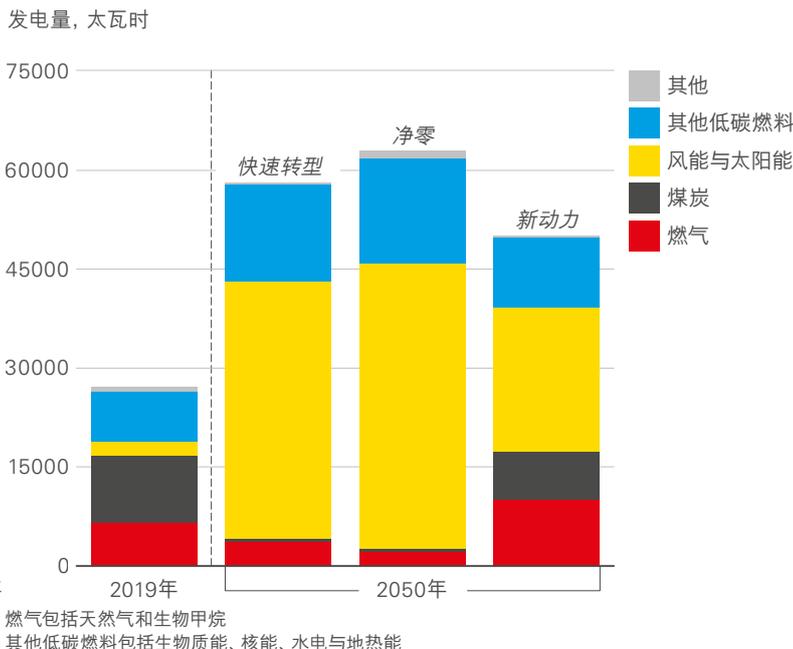
- ▶ 工业、交通运输与建筑三个终端消费行业的电力需求均保持增长。“快速转型”和“净零”情景里，由于路面交通电气化程度上升，交通运输行业用电量增长尤为明显。

## 随着全球电力系统脱碳， 风能与太阳能发电也将成为发电量增长的主力军

### 风能与太阳能发电在发电总量中的占比



### 发电量 (按燃料分)



风能和太阳能发电，将逐渐主导全球电力系统。在“快速转型”和“净零”情景里，风能与太阳能发电量增速已超越全球发电总量增速，在“新动力”情景里，二者占全球发电总量增幅的85%左右。

- ▶ 风能与太阳能发电的增长以风电为主。在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，风电在发电总量中的占比将接近40%，太阳能发电则占30%左右。就风电而言，海上风电预计以较低基数实现飞速增长，到2050年，占风力发电增量的约20%。
- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，到2050年，风能与太阳能发电在全球发电总量中的占比将达70%左右，在最具风能与太阳能优势的地区则将接近80%。风能与太阳能的高渗透率，得

益于整合不同发电来源的成本有所下降。成本下降的原因包括使用电池、氢能在灵活需求端（电解槽的使用）和供给端（氢能涡轮发电机）整合。

- ▶ “快速转型”和“净零”情景里，到2050年，除了为终端使用活动提供电力外，全球发电量约有15%至20%都将用于生产绿氢（见第82页至第83页）。
- ▶ 同样在“快速转型”和“净零”情景里，煤炭发电被光伏和风电逐步取代，到2050年，煤炭在全球发电行业几乎完全消失。
- ▶ “快速转型”和“新动力”情景里，展望期前半段，由于天然气在新兴国家发挥着日益重要的作用（见第60页至第61页），它在全球发电行业中的角色相对稳定。然而，在“快速转型”和“净

零”情景里，随着风能与太阳能发电加快扩张步伐，天然气消费量将在展望期后半段急剧下降。

- ▶ 其他低碳发电能源（核能、水电、生物能源和地热能）将继续发挥重要作用。尤其在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，这些能源在发电总量中的占比将达25%左右。“快速转型”情景里，到2050年，核能发电量将增长80%，在“净零”情景里则将增长一倍多，占发电总量的10%左右。
- ▶ 在“快速转型”情景里，向可再生能源发电的转型，以及加大力度采用碳捕集、利用与封存技术（见第90页至第91页），将使发电领域产生的二氧化碳当量排放在本展望期末降到接近零，在“净零”情景里甚至降为负值。

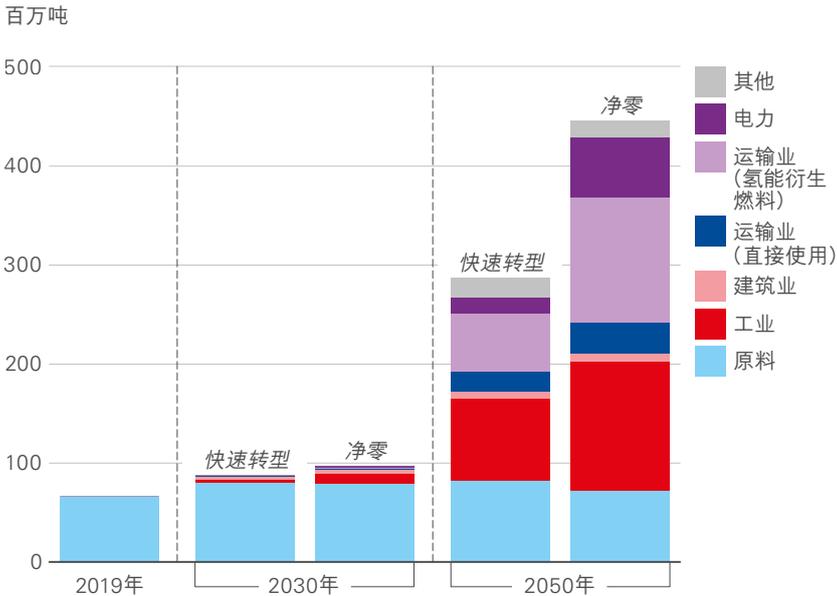
# 氢能

全球向低碳能源系统转型，推动低碳氢需求不断增长

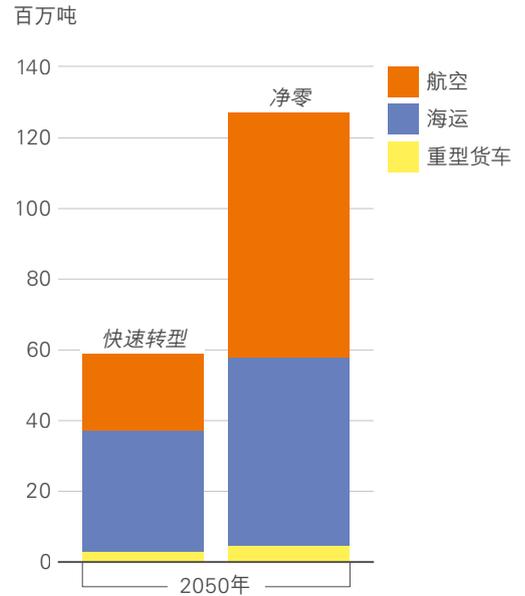
低碳氢以绿氢和蓝氢为主

## 全球向低碳能源系统转型，推动低碳氢需求不断增长

### 对氢能的需求（按行业划分）



### 对氢基燃料的需求



“快速转型”和“净零”情景里，随着全球向低碳能源系统转型，氢能使用量将显著增加。到2050年，在“快速转型”情景里，氢能使用量将增长4倍以上，在“净零”情景里则将增长7倍。

- ▶ 在“快速转型”和“净零”情景的前10年里，由于低碳氢逐步用于原料，同时低碳氢项目大规模上线前需要漫长的筹备，氢能总体呈现相对小幅的增长。
- ▶ 由于生产成本下降，碳排放政策收紧，低碳氢与现有燃料相比更具竞争力。因此，到本世纪30与40年代，低碳氢的增速将大幅提升。尤其在“快速转型”和“净零”情景里，低碳氢

的广泛使用与能源系统日益电气化相辅相成，为难以实现电气化的活动和过程（特别是工业和运输业）提供了低碳能源，并为保障电力系统的稳定提供了灵活性。

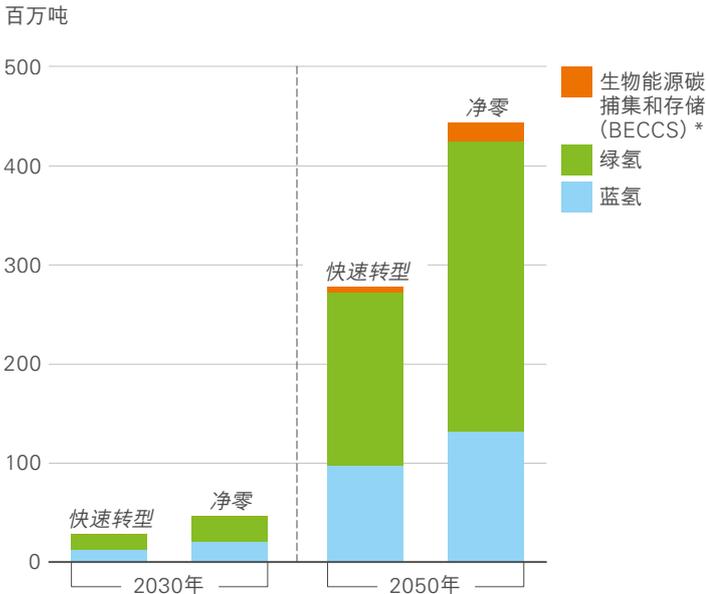
- ▶ 工业中氢能的使用集中于部分重工业领域，例如钢、铁、化工、水泥等依赖高温工艺的企业。到2050年，“快速转型”和“净零”情景里，氢能将在工业部门的终端能源消费总量中占比将达5%到10%。
- ▶ 氢能在运输业最主要的作用是助力长途运输脱碳，在海运（以氢燃料、甲醇和合成柴油的形式）和航空运输（以合成喷气燃料的形式）中发挥的作用尤为显

著。“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，生产的此类氢燃料在运输行业氢能使用量中的占比将达75%到80%左右。其余部分则是直接用于重型公路运输，另有极小一部分用于铁路运输。在上述两种情景中，到2050年，氢燃料和氢能在运输行业的终端能源使用总量中占比约为5%到15%。

- ▶ 氢能运输成本相对较高，因此，大部分氢能均产于和消费于各地区之内。但在“快速转型”和“净零”情景里，在展望期内，地区间贸易将有一定增长。具备氢能生产优势的地区（包括中东、俄罗斯、南美洲、中美洲和非洲）将向亚洲发达国家和欧盟出口氢能。

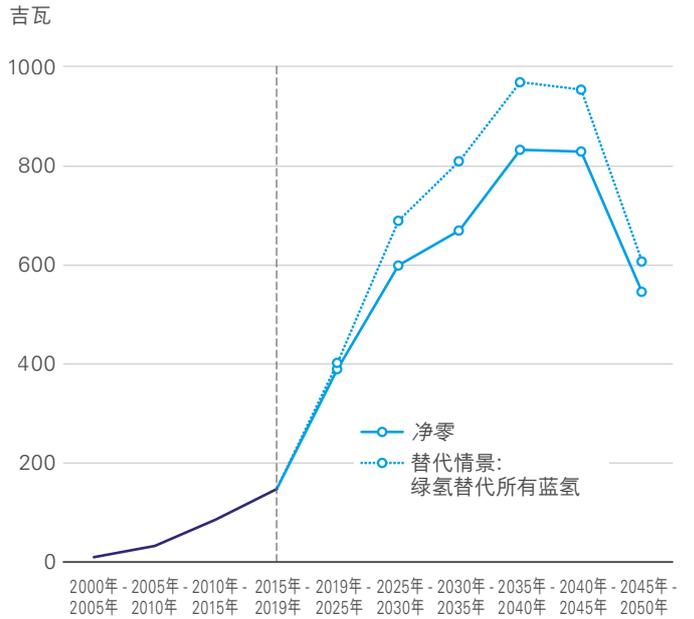
# 低碳氢以绿氢和蓝氢为主

## 低碳氢供应



\* BECCS氢能是结合了碳捕集与封存技术的生物能源的气化

## 风能与太阳能装机容量年均增长情况



在展望期间，“快速转型”和“净零”情景里低碳氢的重要性与日俱增，到2050年，几乎所有生产的氢能都属于低碳氢。低碳氢主要包括绿氢（采用可再生能源电力电解而成）和蓝氢（使用天然气或煤炭制氢，同时进行二氧化碳捕集与封存）。

- ▶ 低碳氢的增长，挤压了灰氢与棕氢的增长空间。后两者由天然气和煤炭制成，未采用碳捕集与封存技术。
- ▶ 在展望期的初期，全球大部分地区生产蓝氢的成本都低于绿氢。然而，随着展望期内技术水平和生产效率的提升，风能与太阳能发电以及电解槽成

本的下降，蓝氢将逐渐失去其在生产成本上的优势。

- ▶ 相反，利用二氧化碳捕集技术、由天然气（和煤炭）制氢的技术水平和生产效率提升有限，蓝氢的生产成本在展望期内将变化较小。
- ▶ 在展望期的初期，“快速转型”和“净零”情景里绿氢获得了强大的政策支持，加上其成本大幅下降，使得绿氢在低碳氢产量中的占比日益增加。在这两种情景里，到2030年，绿氢在低碳氢的占比达55%左右，到2050年进一步增至约65%。在剩余的低碳氢比例中，蓝氢占主导，但到2050年，仍会有少

量由生物能源与碳捕集和封存技术结合（即BECCS）制成的氢能。

- ▶ 全球许多地区的蓝氢生产除具有成本优势，在“快速转型”和“净零”情景里，还有助于在不依赖可再生能源发电的情况下普及低碳氢。例如，在“净零”情景里，若用绿氢替代蓝氢，则需在要在本世纪30年代和40年代，使风能与太阳能装机容量平均每年增长近850吉瓦。而在“净零”情景中，装机容量需要年平均增长略高于700吉瓦，目前历史最高年增长约为250吉瓦。

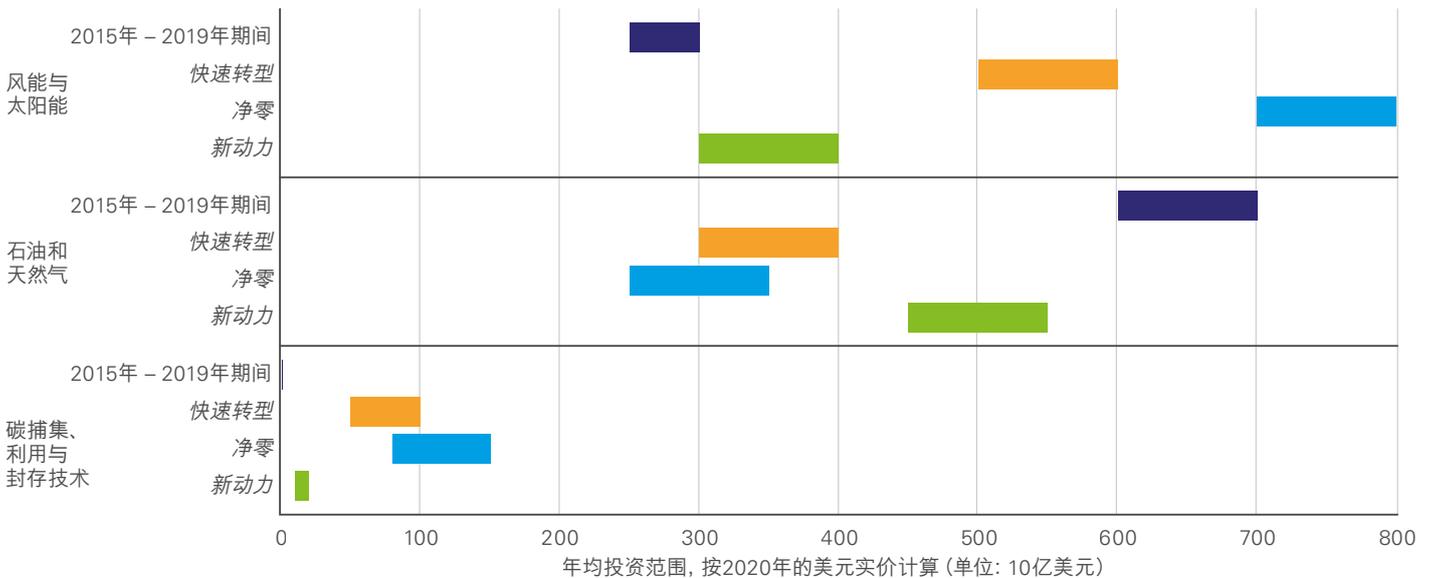
# 投资



能源转型需要大量投资

## 能源转型需要大量投资

年均历史投资和2020年至2050年期间（即展望期）的投资



三种情景设想的能源路径，均要求对广泛的能源价值链进行大规模投资。三种情景里预设的风能与太阳能装机容量投资与近年相比上涨显著。尽管石油天然气的需求量下降，但仍需对其上游生产进行长期投资。

▶ 各情景预计的投资路径仍不明朗，因为这取决于未来30年内影响能源投资成本的一系列因素，包括关键材料的成本、技术发展趋势以及资本的成本和可用性。要进一步了解隐含投资要求背后的预估明细，请见第102页至第103页。其中投资数额按2020年的美元实际价格计算。

▶ “快速转型”和“净零”情景里，由于风能与太阳能发电在低碳电力供应中的核心作用，针对新建装机容量的投资将提速。虽然风能与太阳能发电成本有所下降，但在展望期内的这两种情景下，年均投资规模仍将达到5000亿至8000亿美元，比近年的投资水平高出两到三倍，其中约65%到70%的投资来自新兴经济体。针对风能与太阳能的投资提速，将要求加大对输配电容量等关键赋能技术和基础设施的投资。

▶ 虽然油气需求在三种情景里均将有所下降，但现有产量的自然下降，意味着这三种情景（包括“净零”）里都需对上游油气生产进行持续投资。

但预计的投资率将远低于往年水平，也远低于风能与太阳能发电所需的投资，尤其是在“快速转型”和“净零”情景中。

▶ 按照三种情景的假设，未来10年对上游油气的年均投资约为3750亿到5000亿美元，而2020年约为4150亿美元\*。

▶ 按照三种情景的假设，与风能和太阳能发电或上游油气所需的投资相比，预设的碳捕集、利用和封存（CCUS）设施扩建的投资规模（包括捕集、运输和封存成本）相对较小，但远高于近年的历史水平。这表明需大幅扩大融资规模，以支持设施扩建。

\*上游油气投资包括油井建设、设施和勘探的资本支出。

# 碳减排与碳移除

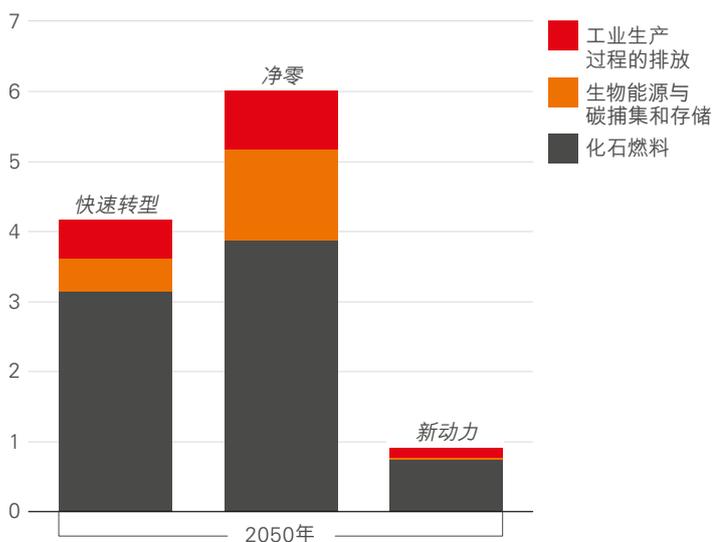
碳捕集、利用与封存技术（CCUS）对于向低碳能源系统转型至关重要

二氧化碳移除技术对于实现《巴黎气候协定》目标将发挥关键作用

## 碳捕集、利用与封存技术（CCUS）对于向低碳能源系统转型至关重要

### 2050年的碳捕集、利用与封存量（按排放源划分）

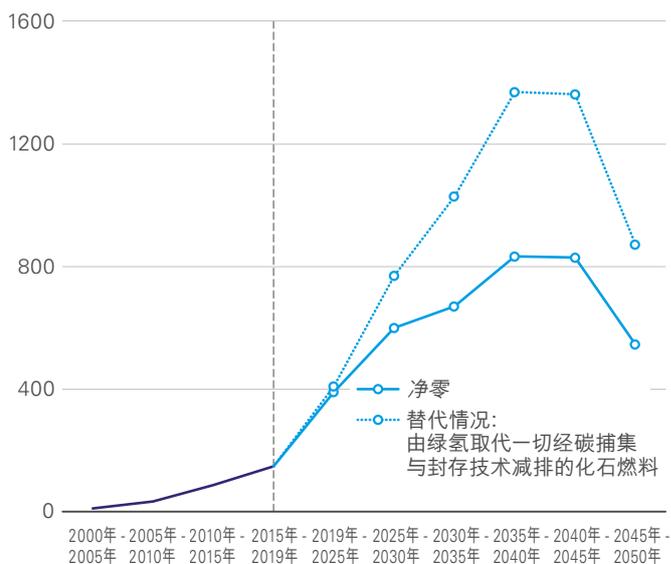
吉吨二氧化碳



生物能源与碳捕集和存储：生物能源结合碳捕集与封存工艺

### 风能与太阳能装机容量年均增长情况

吉瓦



2000年 - 2005年 - 2010年 - 2015年 - 2019年 - 2025年 - 2030年 - 2035年 - 2040年 - 2045年 - 2050年

碳捕集、利用与封存（CCUS）技术对于支持向低碳能源系统转型至关重要。在“快速转型”和“净零”情景里，到2050年，约有4至6吉吨二氧化碳将通过CCUS技术进行处理，在“新动力”情景里则约为1吉吨。

▶ “快速转型”和“净零”情景里，CCUS的强劲增长得益于碳排放政策力度加大，以及决策者和社会日益认识到该技术在低碳能源系统高效转型方面的重要作用。即便如此，该技术的部署速度仍因其他一些原因而有所减缓，这些原因包括需对潜在封存点进行广泛评估并配发许可，以及开发封存点及其相关运输基础设施的筹备期较长。

▶ “快速转型”和“净零”情景里，在2050年，约25%到35%运行的CCUS设施将用于捕集和封存水泥生产等工业生产流程中固有排放，或作为一种二氧化碳移除技术（CDR）与生物能源使用相结合（即BECCS工艺）（见第92页至第93页）。而采用其他技术或工艺来实现这两项功能（即阻止工业生产过程排放和实现CDR的技术手段）的效果则相对有限。

▶ 余下的CCUS设施则用于捕集化石燃料排放。此类设施在减少工业与电力行业的天然气与煤炭燃烧排放的同时，也用于生产蓝氢（见第82页至第83页）。其中，到2050年，约65%到70%的CCUS设施将用于处理天然气燃烧排放，其余则用于处理燃煤排放。

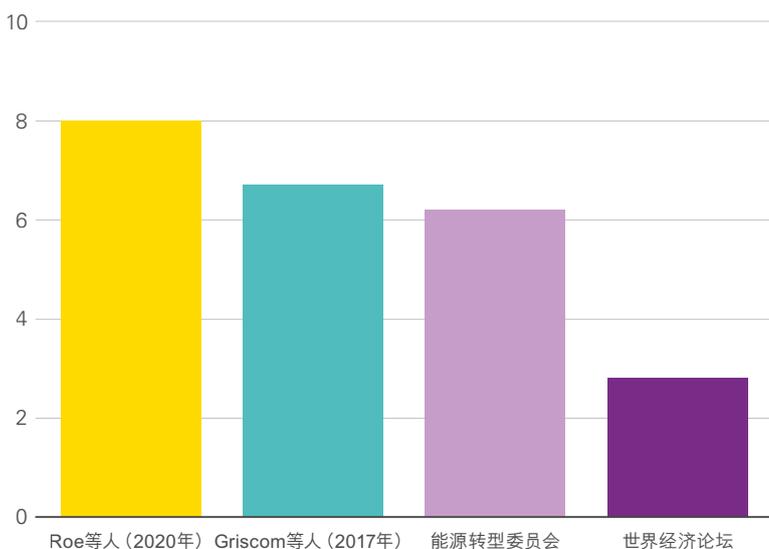
▶ 理论上，可通过加大其他低碳能源（如绿氢）的消费量来降低对化石燃料采用CCUS技术的需求。但这这就要求可再生能源的增长速度甚至要快于“快速转型”和“净零”情景的假设值。

▶ 例如，要利用风能与太阳能发电所生产的绿氢，替代“净零”情景里有所减弱的化石燃料，就要求在本世纪30年代和40年代，风能与太阳能装机容量年均增长达1.2太瓦，这比“净零”情景假设的增长大概高出60%，甚至比有记录以来的最高年度增长高出约五倍。

## 二氧化碳移除技术对于实现《巴黎气候协定》目标可发挥关键作用

### 基于自然的气候解决方案潜在移除量预估

吉吨二氧化碳/年

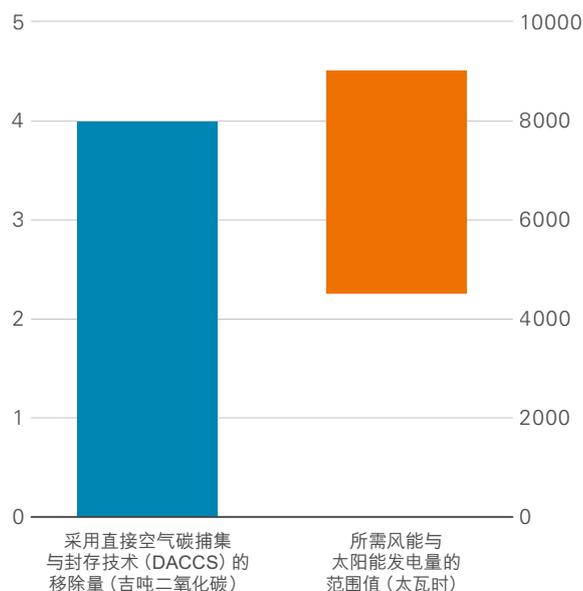


更多详情请见附录

### 示例: 采用直接空气碳捕集与封存技术 (DACCS) 移除4吉吨二氧化碳所需额外的能源范围值

吉吨二氧化碳

太瓦时



本期《展望》中的情景，主要关注能源生产与使用产生的排放，包括与碳捕集、利用与封存技术 (CCUS) 相结合的生物能源，但并未将能源行业外的其他二氧化碳移除形式明确计入。

- ▶ 要保障全球处于限定碳预算内，并实现《巴黎气候协定》目标，需采用其他一系列二氧化碳移除技术，包括基于自然的气候解决方案 (NCS) 和直接空气碳捕集与封存技术 (DACCS)。

### 基于自然的气候解决方案

- ▶ 基于自然的气候解决方案，是指为增加碳封存或阻止温室气体排放，而对森林、湿地、草原和农田进行保护、复原或管理的行动。

- ▶ 此类解决方案可以“减少”碳排放，或“移除”大气中已经存在的二氧化碳。两种解决方案（减少和移除）都能够发挥重要作用。但到2050年，二氧化碳移除或将更受关注，因为其能直接降低大气中二氧化碳的浓度。

- ▶ 基于自然的气候解决方案所能达到的规模存在巨大不确定性。一些外部估算聚焦于具备成本效益的移除措施，预估其潜在规模为每年6至8吉吨二氧化碳，但也有一些估算结果较低。

### 直接空气碳捕集

- ▶ 直接空气碳捕集，是指直接从大气中捕集二氧化碳并形成浓缩二氧化碳流的过程。此类浓缩二氧化碳流既可直接利用（例如用于生产氢燃料），也可作为二氧化碳移除技术进行封存。

- ▶ 直接空气碳捕集与封存技术具备诸多优势：便于规模化，具有灵活性，因此能够部署在最具优势的地区。此外，该技术能较好地保证碳移除的永久性和额外性。

- ▶ 然而，直接空气碳捕集与封存技术也存在一定的挑战。大气中二氧化碳浓度较低，意味着需对大量空气进行处理。相比其他二氧化碳移除技术，该技术成本较高，且相对属于能源密集型技术。例如，到2050年，在“净零”情景下，若要通过直接空气碳捕集与封存技术移除4吉吨二氧化碳，需消耗大概4500到9000太瓦时的可再生能源发电量，约等于当年风能与太阳能发电总量的10%到20%。

# 附录

数据表

IPCC情景样例范围构建

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

## 数据表

|                       | 2050年水平* |      |      |      | 2019年至2050年期间(年均)变化情况 |       |       | 2050年在一次能源中的占比 |      |      |
|-----------------------|----------|------|------|------|-----------------------|-------|-------|----------------|------|------|
|                       | 2019年    | 快速转型 | 净零   | 新动力  | 快速转型                  | 净零    | 新动力   | 快速转型           | 净零   | 新动力  |
| 一次能源(按燃料划分)           |          |      |      |      |                       |       |       |                |      |      |
| 总计                    | 627      | 692  | 653  | 760  | 0.3%                  | 0.1%  | 0.6%  | 100%           | 100% | 100% |
| 石油                    | 193      | 87   | 44   | 154  | -2.5%                 | -4.6% | -0.7% | 13%            | 7%   | 20%  |
| 天然气                   | 140      | 94   | 61   | 181  | -1.3%                 | -2.7% | 0.8%  | 14%            | 9%   | 24%  |
| 煤炭                    | 158      | 25   | 17   | 103  | -5.8%                 | -6.9% | -1.4% | 4%             | 3%   | 13%  |
| 核能                    | 25       | 40   | 49   | 27   | 1.6%                  | 2.2%  | 0.3%  | 6%             | 7%   | 4%   |
| 水电                    | 38       | 61   | 65   | 48   | 1.6%                  | 1.8%  | 0.8%  | 9%             | 10%  | 6%   |
| 可再生能源(包括生物能源)         | 74       | 384  | 418  | 247  | 5.5%                  | 5.7%  | 4.0%  | 56%            | 64%  | 33%  |
| 一次能源(按燃料划分)<br>(本地单位) |          |      |      |      |                       |       |       |                |      |      |
| 石油(百万桶/天)             | 98       | 47   | 24   | 81   | -2.4%                 | -4.4% | -0.6% |                |      |      |
| 天然气(10亿立方米)           | 3900     | 2614 | 1681 | 5020 | -1.3%                 | -2.7% | 0.8%  |                |      |      |
| 一次能源(按区域划分)           |          |      |      |      |                       |       |       |                |      |      |
| 发达地区                  | 234      | 172  | 167  | 196  | -1.0%                 | -1.1% | -0.6% | 25%            | 26%  | 26%  |
| 美国                    | 97       | 73   | 71   | 83   | -0.9%                 | -1.0% | -0.5% | 10%            | 11%  | 11%  |
| 欧盟                    | 65       | 48   | 47   | 52   | -1.0%                 | -1.1% | -0.7% | 7%             | 7%   | 7%   |
| 新兴地区                  | 393      | 519  | 486  | 565  | 0.9%                  | 0.7%  | 1.2%  | 75%            | 74%  | 74%  |
| 中国                    | 147      | 156  | 144  | 166  | 0.2%                  | -0.1% | 0.4%  | 22%            | 22%  | 22%  |
| 印度                    | 42       | 91   | 88   | 96   | 2.5%                  | 2.5%  | 2.7%  | 13%            | 14%  | 13%  |
| 中东                    | 37       | 48   | 45   | 50   | 0.8%                  | 0.6%  | 0.9%  | 7%             | 7%   | 7%   |
| 俄罗斯                   | 30       | 32   | 29   | 34   | 0.1%                  | -0.1% | 0.4%  | 5%             | 5%   | 4%   |
| 巴西                    | 16       | 17   | 15   | 20   | 0.3%                  | -0.1% | 0.8%  | 2%             | 2%   | 3%   |

|                  | 2050年水平* |      |      |      | 2019年至2050年期间(年均)变化情况 |       |       | 2050年在一次能源中的占比 |      |      |
|------------------|----------|------|------|------|-----------------------|-------|-------|----------------|------|------|
|                  | 2019年    | 快速转型 | 净零   | 新动力  | 快速转型                  | 净零    | 新动力   | 快速转型           | 净零   | 新动力  |
| 终端消费总量(按行业划分)    |          |      |      |      |                       |       |       |                |      |      |
| 总计               | 477      | 420  | 351  | 542  | -0.4%                 | -1.0% | 0.4%  | 100%           | 100% | 100% |
| 运输业              | 119      | 103  | 91   | 120  | -0.5%                 | -0.8% | 0.0%  | 25%            | 26%  | 22%  |
| 工业               | 188      | 163  | 136  | 217  | -0.5%                 | -1.0% | 0.5%  | 39%            | 39%  | 40%  |
| 原料               | 38       | 39   | 30   | 49   | 0.1%                  | -0.7% | 0.8%  | 9%             | 8%   | 9%   |
| 建筑业              | 132      | 114  | 94   | 157  | -0.5%                 | -1.1% | 0.6%  | 27%            | 27%  | 29%  |
| 能源载体(发电)         |          |      |      |      |                       |       |       |                |      |      |
| 电力(千太瓦时)         | 27       | 58   | 63   | 50   | 2.5%                  | 2.8%  | 2.0%  | 50%            | 65%  | 33%  |
| 氢能(兆吨)           | 66       | 287  | 446  | 146  | 4.8%                  | 6.3%  | 2.6%  | 8%             | 15%  | 3%   |
| 产量               |          |      |      |      |                       |       |       |                |      |      |
| 石油(百万桶/天)        | 98       | 46   | 24   | 80   | -2.4%                 | -4.4% | -0.6% |                |      |      |
| 天然气(10亿立方米)      | 3976     | 2617 | 1681 | 5020 | -1.3%                 | -2.7% | 0.8%  |                |      |      |
| 煤炭(艾焦)           | 168      | 25   | 16   | 99   | -6.0%                 | -7.2% | -1.7% |                |      |      |
| 排放量              |          |      |      |      |                       |       |       |                |      |      |
| 碳排放量(吉吨二氧化碳当量)   | 39.8     | 9.9  | 2.4  | 31.1 | -4.4%                 | -8.7% | -0.8% |                |      |      |
| 碳捕集、利用与封存量(吉吨)   | 0.0      | 4.2  | 6.0  | 0.9  | 56%                   | 58%   | 48%   |                |      |      |
| 宏观               |          |      |      |      |                       |       |       |                |      |      |
| GDP(万亿美元, 购买力平价) | 127      | 283  | 283  | 283  | 2.6%                  | 2.6%  | 2.6%  |                |      |      |
| 能源强度(兆焦/GDP(美元)) | 3.7      | 1.5  | 1.2  | 1.9  | -2.9%                 | -3.5% | -2.1% |                |      |      |

\* 除非另有说明, 单位均为艾焦

## IPCC情景样例范围构建

全球科学界开发了一系列“综合评估模型”（Integrated assessment models, 简称“IAM”），旨在阐明人类系统（经济、能源、农业）和气候之间的相互作用。此类模型以“简化的程式化的、数值化的方法来呈现极其复杂的物理和社会系统”（Clarke, 2014年）。这些模型已被用于生成大量情景，在各种假设条件下探讨温室气体排放和气候变化可能的长期轨迹。

为了进行评估，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）会定期对此类情景建模进行研究。最近一次研究是为IPCC于2018年发布的《全球升温1.5°C特别报告》（SR15）提供支持。该研究总计构

建了13个不同的建模框架，设定了414种情景，并发布于由国际应用系统分析研究所（the International Institute for Applied Systems Analysis, 简称“IIASA”）托管的门户网站上。

其中部分情景已经过时，某些情景的结果也与近年的历史数据明显不符。因此，我们在分析时未予采纳。在其余模型里，有112种情景被判定为符合巴黎气候变化协定的目标：将全球平均气温较工业化革命前的升温控制在2.0°C以内，同时设法将升温控制在1.5°C以内。这些情景可又进一步划分为以下两个子集：“远低于2°C”（69种情景）；“不超出或略微超出1.5°C”（43种情景）。

这两个子集又被进一步细化，首先排除掉2010年能源与工业历史排放量平均值偏差超过5%的情景（与情景样例相比）；然后排除了2020年前全球假定平均碳价格（影子价格）高于每吨二氧化碳30美元（按2010的美元实价计算）的情景。我们认为此类情景过于乐观地展示了到2020年的气候政策形势。两个子集内余下的情景，都以中位数和百分位数的分布表述关键变量的结果范围（要了解更详细的解释，请前往[bp.com](http://bp.com)查阅情景选择方法）。为了与本期《展望》中的情景进行直接对比，能源供应产生的甲烷排放被纳入能源和工业生产过程的排放。针对未报告甲烷排放的情景，我们采用了相应的子集平均值。

需要指出的是，情景数据集代表着IPCC在开展研究时，为实现各类目的而构建的一系列情境。“这并非针对全球经济未来应如何脱碳的各类可能性进行的随机抽样”（Gambhir等人，2019年）。也就是说，我们不能将IPCC的情景分布解读为判断该情景实际发生可能性的可靠指标。相反，此类分布只是描述了IPCC报告中所包含情景的特征。

除上述情景，图表（见第14页）展示了代表性情景的排放路径。该情景以IPCC报告《在可持续发展背景下符合全球升温1.5摄氏度的减排路径》中表2.4的信息为依据。此路径的构建采用了以下数据：2030年源自化石燃料和工业的二氧化碳（净）排放量中位数，以及在2010

年至2030年期间和2020年至2030年期间符合“不超出或略微超出1.5°C”目标的共42种情景的排放量的平均下降值。

### 参考文献

Clarke L.等人（2014年），“评估转型路径”，摘自《气候变化2014：减缓气候变化》。《政府间气候变化专门委员会第五次评估报告—第三工作组报告》。

Gambhir A.等人（2019年），“1.5°C、远低于2°C和2°C情景中的能源体系变革”，《能源战略评论》，第23页。

Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Ffifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Khesghi, S. Kobayashi,

E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian和M.Vilariño, 2018年：“在可持续发展背景下符合全球升温1.5摄氏度的减排路径”，摘自《全球升温1.5°C特别报告》。IPCC以全球加大应对气候变化威胁的力度、可持续发展和努力消除贫困为背景所发布的特别报告，阐述了全球较工业化革命前的升温高于1.5°C可产生的影响和相关的全球温室气体排放路径，[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor和T. Waterfield (eds.)]。

## 气候变化对经济的影响

本期《展望》中使用的GDP数据来自牛津经济研究院。此类长期预测估算了气候变化的经济影响。这些估算借鉴了科学文献中的最新研究成果，且采用了与2020年版《展望》类似的方法。

牛津经济研究院更新并扩展了Burke、Hsiang和Miguel于2015年开发的模型。这些模型采用IPCC“代表性浓度路径（RCP）”情景来评估温度变化对GDP的影响。与Burke等人一样，牛津经济研究院的最新结果也找到了生产力与温度之间存在非线性关系的证据。在年平均温度略低于15°C时（Burke等人的初步评估结果是13°C），人均收入实现了增长（经

过人口加权）。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加速。但是，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。

牛津经济研究院的预测与RCP 6.0情景大致相符，并且假设2050年全球平均气温将比工业革命前水平高出2°C。这一结果表明，2050年全球GDP将比反事实情景中低3%左右。在反事实情景里，温度变化将保持在当前的水平。各地区受到的影响，是按照牛津经济研究院估算的、其温度相比凹函数的演变进行分布。此类估算不确定性极大，也相当不完整，例

如，其未明确纳入人口迁移或沿海大范围洪水造成的影响。

能源系统脱碳行动的减排成本也存在不确定性。不同外部估算之间存在显著差异。但是，大多数估算结果表明，前期成本随减排措施的紧迫程度而上升。因此，“快速转型”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发布的估算结果（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%。

鉴于估算气候变化与减排的经济影响存在极大不确定性，且三种主要情景或多或少同时计入了这两项成本。因此，在本期《展望》中，采用的GDP数据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5%。与之相对应的反事实情景是，温度将维持在近年的平均水平上。

### 参考文献

Burke, M., Hsiang, S. & 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）。

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。

## 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，例如建设液化天然气液化产能的相关资本支出。

资产层面的生产数据是按地理位置、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批准来归类。正在生产且已批准的资产产量下降，导致需通过加密钻井和新的未经批准的资产来提升产量，由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的所有资本成本中。

2022年至2050年期间，目前正生产和正开发的资产平均下降率分别约为每年5.0%（石油）和5.5%（天然气），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。所有估算值均摘自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每项技术部署的相关资本支出成本为依据。

风能与太阳能的部署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。部署数据还计入了削减的潜在影响。

资本支出成本按照其历史价值和对其未来演变的估计来分配给各情景。将bp内

部估算和外部基准测试结果相结合，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部署相关的整个系统整合的增量成本。

### 碳捕集与封存

电力行业的燃烧后捕集成本以有着广泛数据来源的bp内部估算为依据。工业、

热能与氢能的捕集成本则基于美国国家石油委员会2019年的报告《迎接双重挑战：碳捕集、利用和封存规模化部署路线图》。

运输与封存成本则基于bp内部专家按照各地区主要封存类型做出的判断，以及就管道运输或航运成本进行的评估。

## 碳排放的定义与数据来源

除非另有说明，碳排放均指能源使用（即工业、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以及天然气放空燃烧产生的二氧化碳排放，加上化石燃料生产、运输与分配所产生的甲烷排放，以二氧化碳当量表示。

工业生产过程的二氧化碳排放，仅指水泥生产中的非能源排放。为制造氢燃料与甲醇而生产氢能原料所产生的二氧化碳排放，则计为氢能行业的排放。

与《bp世界能源统计年鉴》一样，天然气放空燃烧的历史数据也取自VIIRS夜间灯光数据（VIIRS Nightfire data，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。各种情景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。

至于化石燃料生产、运输和分配产生的甲烷排放，其历史数据摘自国际能源署（IEA）对温室气体排放的估算数据。各种情景中假设的未来甲烷排放情况则以

化石燃料产量为依据，同时考虑到“全球甲烷承诺”等近年来的政策举措。甲烷排放的净变化则表示为未来化石燃料产量与甲烷强度变化的总和。

目前对甲烷排放以及甲烷排放推动全球变暖的潜力做出的估算均存在极大不确定性。为确保符合财务与政府报告双重标准，各情景采用了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。

### 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夜间灯光数据（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》。

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。

## 其他数据的定义与来源

### 数据

除非另有说明，数据定义均以《bp世界能源统计年鉴》为依据。所有对比数据，包括IPCC设想的情景，除另有说明外，都已重新设定基准，以便与《bp世界能源统计年鉴》保持一致。

除非另有说明，一次能源均指能够进行商业贸易的燃料和传统生物质能。本期《展望》内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燃料当量。总假设值将随时间变化。简化性假设则显示，到2050年，效率将从目前的40%呈线性增长至45%。

- ▶ 物理含量法——直接采用非化石能源发电的产出量。

除非另有说明，一次能源的数据与图表均采用替代法进行估算。

国内生产总值（GDP）以实际购买力平价（PPP）表示，按2015年的价格计算。

### 行业

运输业包括用于重型公路运输、公路轻运量运输、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汽车。工业包括用于商品和货物制造、建筑、采矿的能源、包括管道运输在内的能源业以及除电力、热能与氢能生产在外的转换过程所用的能源。原料包括

石化产品、润滑剂和沥青等材料制造时用作原料的非燃烧燃料。建筑业则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。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。新兴地区指发达国家和地区以外的所有国家和地区。中国在预测情景里指中国大陆地区。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

除非另有说明，石油包括原油（包括页岩油与油砂）、天然气凝析液（NGL）、天然气合成油（GTL）、煤制油（CTL）、凝析油和炼油产品。氢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。

除非另有说明，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（通常不可交易），例如烹饪所用的生物质能。

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，以及生产氢燃料的原料需求和传统炼油与石化原料的需求。

低碳氢包括绿氢、与碳捕集、利用与封存技术（CCUS）相结合的生物质能、与CCUS技术相结合的天然气以及与CCUS技术相结合的煤炭。与CCUS技术相结合的选项在展望期内的二氧化碳捕集率为93%到98%。展望期内，生产蓝氢所用的气体或煤炭，其全球甲烷平均排放率在1.4%到0.7%之间。

### 参考文献

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》，2021年

联合国经济和社会事务部人口司（2019年）

《2019年全球人口展望》报告，在线版，首次修订

Roe等人，（2020年），“减缓气候变化的陆上措施：在各国的潜力与可行性”

Griscom等人，（2017年），“基于自然的气候解决方案”

能源转型委员会（2022年），《实现气候目标：二氧化碳移除的作用》

世界经济论坛（2021年），《自然与净零》

## 免责声明

本出版物包含某些前瞻性声明，即与未来而非过去事件相关。此类声明一般（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，以下方面的陈述尤其具有前瞻性：全球能源转型；发展中经济体和新兴经济体日益繁荣，生活水平日益提升；循环经济扩大；城市化，工业化与生产力不断发展；能源需求；消费和获取；新冠疫情的影响；全球燃料结构，包括结构组成及其随时间推移和在不同路径或情景中的变化；全球能源体系，包括不同的路径和情景

及其重组方式；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；政策措施及对可再生能源和其他低碳替代品给予的支持；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；碳排放增长。

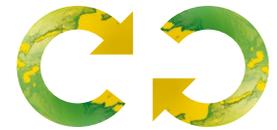
前瞻性声明，因与世界发生的各大事件相关，且受到未来将要发生或可能发生的情况影响，故具有一定风险和不确定性。实际结果在各种因素的作用下可能与此类声明中表述的结果存在重大差异。这些因素包括：声明中讨论部分所

确定的特定因素；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；公共健康情况，包括流行病的影响；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（包括其各自的主管、雇员和代理商）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、特别、连带或其他损失或损坏承担责任。





© BP p.l.c. 2022



bp Energy Economics