bp世界能源展望
2020年版

本期《bp世界能源展望》（“《能源展望》”）的视野远至2050年，考察了塑造世界能源转型的力量，以及围绕这一转型的关键不确定因素。

本期《能源展望》考察了一系列不同的情景。这些情景既非对未来可能发生的情况的预测，亦非bp所希望发生的情况，而是针对能源转型性质的不同判断和假设，探讨可能产生的影响。这些情景基于目前已有的以及正在开发的技术所设定，并未考虑出现全新或未知技术的可能性。

本期《能源展望》中的大多数分析均围绕以下三大情景：*快速转型情景*、*净零情景*和*一切如常情景*。由于不确定因素较多，其中任何一种情景都不太可能完全按照本报告中的描述实现。另外，这三种情景虽然不可能全面涵盖所有可能产生的结果，但其中囊括的多种可能性，或许可以帮助相关人员对2050年全球能源市场的不确定因素做出判断。

制作本期《能源展望》是为了辅助说明bp的分析和战略，并公开发布以供广泛探讨。但在考虑未来世界能源市场时，本期《能源展望》只是众多信息来源之一。在bp制定长期战略时，对这一展望中的诸多情景和一系列其他分析和信息进行了综合考虑。

欢迎走进2020年度《能源展望》

今年二月，bp宣布了全新使命：为人类和地球重新构想整个能源行业。这一使命的基础是bp的全新愿景，即最迟到2050年成为一家“净零”公司，并帮助世界实现净零排放。

我们的全新使命和愿景基于我们对未来的四大基本判断：世界正处在一条不可持续的发展道路上;全球碳预算即将耗尽；能源市场将持续发生变化，逐步转向可再生能源和其他形式的零碳或低碳能源；油气需求将会受到越来越大的挑战。bp可以和其他许多企业一起努力帮助世界实现所想要和需要的能源转型，并由此创造价值。

八月份，我们制定了新的战略来支持新的使命和愿景。bp将从一家国际石油公司转型为综合性能源公司，从侧重于资源生产转变为专注于为客户提供能源解决方案。尽管新冠肺炎疫情对全球经济和能源市场产生了巨大影响，但我们在使命、愿景和战略方面的信念和承诺并未动摇。

这种信念和承诺在很大程度上要归功于每期《能源展望》的客观分析。其目的并不是要对未来可能会发生的结果做出精确的预测，因为任何这样的尝试都注定要失败，而是通过考虑未来30年内可能采取的一系列能源转型方法，来帮助我们理解短期和长期存在的许多不确定因素。本期《能源展望》探讨了涵盖各种潜在结果的三大情景：*快速转型*、*净零*和*一切如常*。我们根据这三大情景，制定了我们认为有效的战略，以应对能源转型速度和性质方面的不确定因素。

这三大情景有三个共同特点，它们围绕未来30年**能源需求可能会发生的变化形成了一套核心信念:**

- 可再生能源将在满足世界日益增长的能源需求方面发挥越来越重要的作用。
- 基于当前正在进行的包括电动汽车、共享出行和自动驾驶等在内的移动出行革命，客户将继续重新定义移动出行和便利零售。
- 尽管石油和天然气在未来几十年内仍有需求，但随着社会逐步摆脱对化石燃料的依赖，它们将会面临越来越大的挑战。

在这些核心信念的引领下，我们将会了解到2050年**能源系统将会发生的三个变化:**

- 相比资源可得性，客户的选择将在更大程度上，驱动能源结构变得更加多元化。
- 市场将需要通过更多的整合来适应更加多元化的供应，并随着世界电气化和氢能的更广泛的利用，市场将变得更加本地化。
- 越来越多的国家、城市和行业希望通过具体的解决方案来满足其去碳能源和移动出行需求，从而将能源市场的重心从传统的上游生产商转向消费者。

本期《能源展望》一直跟踪分析世界能源体系过去十年的发展轨迹。今年的展望为我们制定8月份宣布的新战略提供了指引，希望它能为其他所有人寻求加快能源转型、实现净零排放带来助益。欢迎大家对本期《能源展望》的内容提出反馈和改进意见。

陆博纳（Bernard Looney）
首席执行官

重要信息

- 随着新兴国家经济的日益繁荣和生活水平的不断提高，全球能源需求仍将继续增长一段时间。能源消费和能源获取方面依然存在严重的不平等。
- 能源需求结构可能会随着时间推移而发生改变：由于可再生能源所占份额不断增加和电力的作用日益增大，化石燃料的作用将不断削弱。这些变化支撑了能源需求结构将如何变化的核心信念。
- 向低碳能源体系转换可能会从根本上导致全球能源体系重组，促使能源结构更加多元化，消费者的选择更多，能源市场更趋本地化，以及一体化和竞争水平的提高。这些变化为全球能源体系将如何在低碳转型中重组的核心信念提供了支撑。
- 未来30年，石油需求将呈下降趋势。道路交通效率的提升和电气化将成为石油需求下降幅度和速度的驱动因素。
- 与石油相比，天然气的前景更具弹性，因为天然气在支持快速增长的发展中经济体的低碳化和减少对煤炭的依赖方面都发挥了显著的作用，并且天然气与碳捕捉、利用与封存（CCUS）技术相结合，是一种接近零碳的能源。
- 随着风能和太阳能产能开发和投资力度的加强，以风能和太阳能为主导的可再生能源将是未来30年增长最快的能源来源。
- 未来30年，电力在终端能源消费领域的重要性将显著提高。由于可再生能源相对于煤炭的比例不断上升，发电的碳排放强度将明显下降。
- 由于风能和太阳能使用的不断增加所导致的间歇性问题，也需要各种不同的技术和解决方案来平衡能源系统，以确保稳定的电力供应。
- 随着能源系统逐步去碳化，氢能使用增加，并应用于难以电气化或电气化成本高昂的活动中。氢的生产以蓝氢和绿氢为主。
- 随着能源消费从化石燃料转向可再生能源，生物燃料、生物甲烷和生物质能等生物能源的重要性日益增加。
- 世界正处于不可持续的发展道路上。为了快速、持续减少碳排放，可能需要采取例如显著提高碳价格等一系列政策措施，并可能需要通过转变社会行为和偏好来强化这些政策的实施。如果推迟实施这些政策、措施和社会转变，则可能会导致重大的经济损失和破坏。

概览 10

三大情景：*快速转型、净零、一切如常* 12
全球能源体系的新趋势 16

全球背景 18

温室气体总量 20
全球GDP 22
气候对GDP增长的影响 24
能源需求 26
新冠肺炎疫情的影响 28
能源获取和经济发展 30

能源使用（按行业划分） 32

概述 34
工业 36
非燃烧 38
建筑 40
交通 42

区域 50

概述 52
区域能源需求和碳排放 54
关键国家和区域的能源结构 56
全球能源贸易和能源不平衡 58
备选情景：*逆全球化* 60

能源的需求和供给 62

概述 64
石油和液体燃料 66
天然气 76
电力行业的可再生能源 84
煤炭 88
核能 90
水电 92

其他能源载体 94

电力和发电 96
氢能 102

因能源使用而产生的碳排放 106

概述 108
碳路径 110
备选情景：*延迟与无序* 112

全球净零能源体系 118

概述 120
能源需求 122
电气化和电力行业 124
石油和天然气 126
生物能源和氢能 128
CCUS和负排放技术 130

投资 132

概述 134
上游石油和天然气投资 136

对比 138

对*快速转型*情景的修改 140
与外部展望的*快速转型*情景对比 142

附录 144

关键数据、定义、方法和数据来源 146

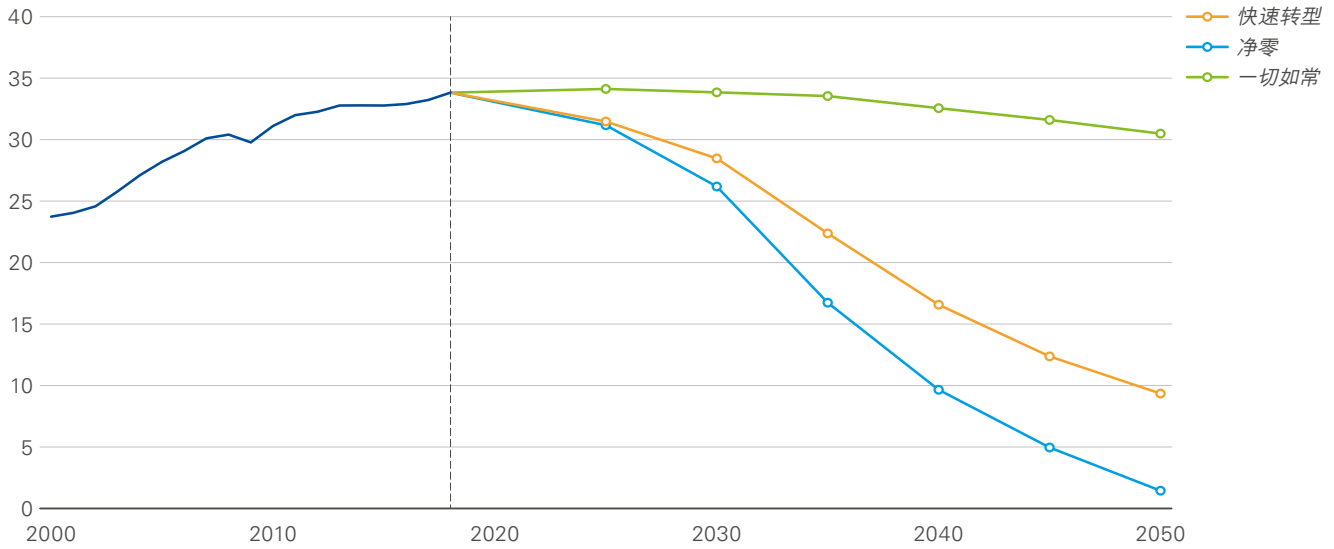
概览

三大情景: *快速转型*、*净零*、*一切如常*
全球能源体系的新趋势

聚焦三大情景，探讨2050年能源转型路径

因能源使用而产生的二氧化碳排放

二氧化碳排放量（十亿吨）



要点

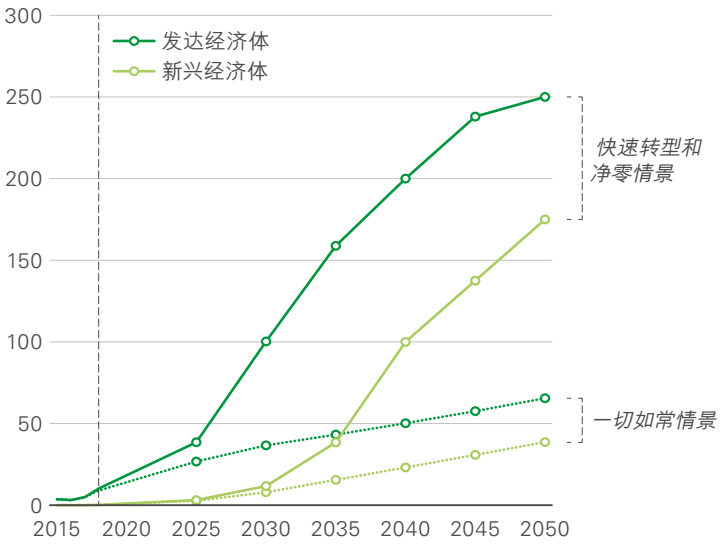
- 《能源展望》2020年版考虑了三大情景，探讨了到2050年实现全球能源系统转型的不同路径。
- 这些情景既非对未来可能发生的情况的预测，亦非bp所希望发生的情况。这些情景有助于阐明未来30年内可能出现的各种结果，虽然仍存在很大的不确定性，而且这些情景也不能完全涵盖所有可能出现的结果。
- 快速转型情景（*快速*）下政府公布一系列政策措施，尤以显著提高碳价格为代表，辅以实施更具针对性的行业具体措施，实现到2050年将能源使用所产生的碳排放下降70%。碳排放的减少和快速转型情景中描绘的“到2100年将全球气温升幅控制在远低于工业化前水平2°C”的情况一致。
- 净零情景（*净零*）：假设在强有力的政策支持的背景下，社会行为习惯和偏好也发生显著变化，从而进一步加快了碳减排。到2050年，全球由能源使用所产生的碳排放下降95%以上，与将全球气温升幅控制在1.5°C的情景大体一致。
- 一切如常情景（*BAU*）：假设政府政策、技术以及社会偏好以最近几年来的方式和速度持续发展下去*。虽然速度相对较慢，但这种持续发展也意味着碳排放将在21世纪20年代中期达到峰值。尽管达到峰值，由能源使用所产生的碳排放不会显著减少。到2050年，碳排放将在2018年的基础上降低10%。
- 在本报告的*快速转型*和*净零*情景中，一次能源需求增长大约10%左右，*一切如常*情景中增长约25%。

*一*切如常*情景与往期《能源展望》中渐进转型情景具有可比性

不同情景因政策和社会偏好方面的假设不同而不同

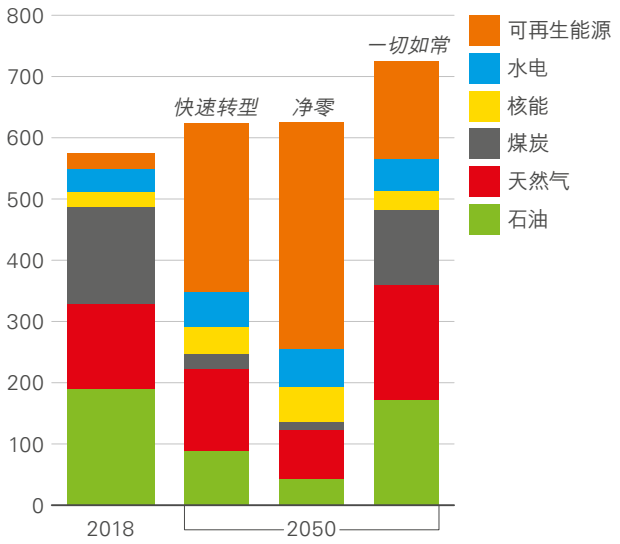
发达经济体和新兴经济体内的平均碳价格

美元/吨（2018年的实际价格）



一次能源消费（按来源划分）

艾焦

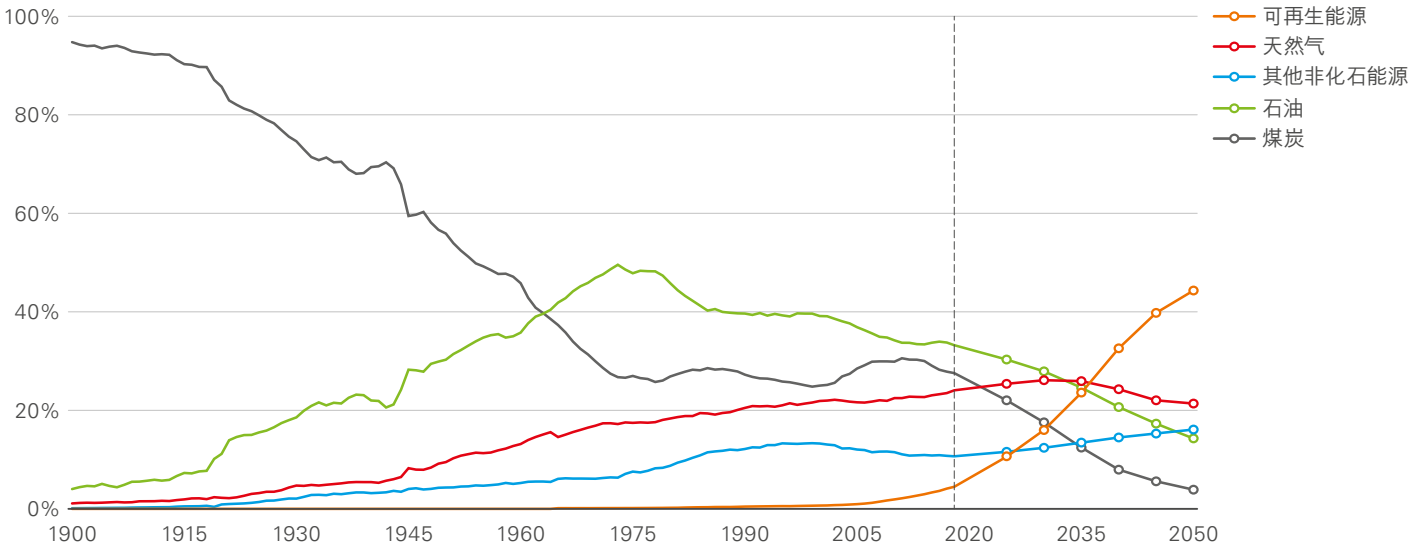


要点

- 不同情景之间之所以存在差异，是因为对经济、能源政策和社会偏好的假设不同。
- *快速转型*情景和*净零*情景都假定碳价格大幅上涨，即到2050年，发达国家、新兴经济体的碳价格将分别达到每吨250美元（2018年价格，以美元计）和每吨175美元。碳价格上涨刺激了能效和低碳能源使用量的显著增加。在*一切如常*情景中，政策推动作用要小得多，到2050年，发达国家、新兴经济体的碳价格分别为每吨65美元和每吨35美元。
- 除碳价格以外，这三种情景还假设为了影响能源消费的增长以及工业（第36-37页）、建筑（第40-41页）和交通（第42-49页）等不同经济行业的能源结构而制定了一系列其他政策。
- 设定*净零*情景是基于一种观点，即仅靠政府政策推动能源转型的加速实施，可能会在一定程度上受限于经济和政治方面的约束。该情景假设这些政策的影响因下列因素而得到强化：公司和消费者行为和偏好的不断改变；循环经济和共享经济的更广泛应用；转向低碳能源的趋势增强；对加快应用低碳技术和分销网络的阻力变小。
- 由于这些政策和社会偏好的转变，在所有三种情景中，碳氢化合物（煤、石油和天然气）在全球能源体系中的比重均有所下降。这与全球电气化程度不断提升背景下可再生能源的作用增大这一趋势一致。在三种情景中，这种转型的规模差别很大，碳氢化合物在一次能源中所占份额从2018年的85%降至2050年的70%-20%之间，可再生能源的比例则上升到20%-60%。

向低碳能源体系转型将导致全球能源体系发生根本性转变

在*快速转型*情景中的一次能源占比



要点

- 在*快速转型*情景中，向低碳能源系统转型将会导致全球能源体系的根本性重组和重塑。这些变化涉及几个不同的方面。
- 第一，以可再生能源为导向，由传统的碳氢化合物（石油、天然气和煤炭）明显转向非化石能源。在*快速转型*情景中，从21世纪40年代初开始，非化石燃料占全球大部分的能源份额，未来30年，碳氢化合物在全球能源中的份额将减少一半以上。
- 第二，能源结构变得更加多元化。在历史上大部分时期内，全球能源体系往往由一种能源主导。在上世纪前半叶，煤炭在世界能源体系中所占比例最大。随着煤的重要性下降，石油成为主要能源。在*快速转型*情景中，能源转型意味着在未来二十年的大部分时间里，全球能源结构将比以往更加多元化，石油、天然气、可再生能源和煤炭（在一段时间内）都将在世界能源体系中占据重要份额。燃料种类越来越多也意味着，客户选择（而非燃料的可用性）逐渐成为燃料组合的驱动因素，同时消费者越来越多地需要整合不同的燃料和能源服务。
- 在*快速转型*情景中，这种差异化因为终端能源消费中电力和氢能的重要性日益增大而进一步加强。相比传统的碳氢化合物，这些能源载体的运输成本更高，因而导致能源市场更加趋于本地化。
- *快速转型*情景中，在《能源展望》的后半部分，由于不同形式的能源要在能源需求趋于稳定的大背景下争夺市场份额，因此能源结构的日益多元化将导致这些能源之间竞争加剧。此外，在*快速转型*情景中，煤炭、石油和天然气消费量达峰后开始下降，触发了不同能源之间更大的竞争，因为资源所有者需要竞相确保能源资源的生产和消费。这种激烈的竞争提高了消费者的议价能力，经济租金从传统的上游生产商转向能源消费者。
- 在*净零*情景中，也有明显的类似趋势，不过，可再生能源的份额增长速度更快。

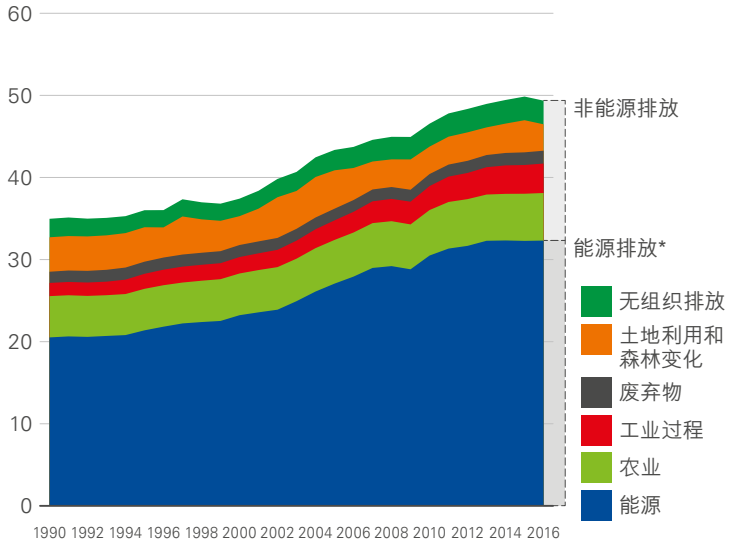
全球背景

温室气体总量
全球GDP
气候对GDP增长的影响
能源需求
新冠肺炎疫情的影响
能源获取和经济发展

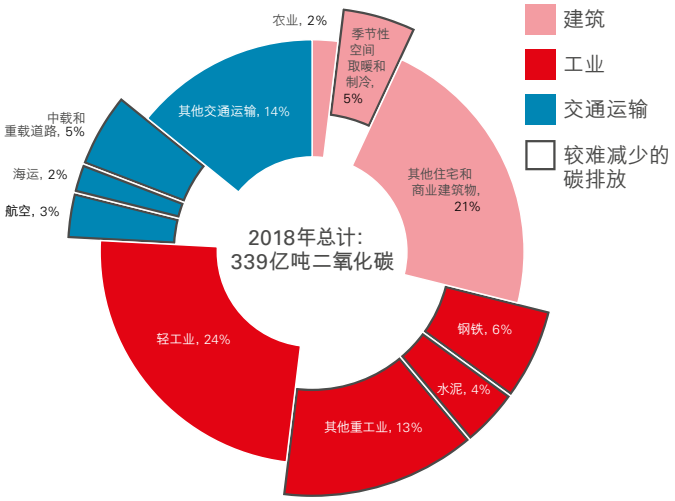
能源使用产生的碳排放是最大的温室气体排放来源

全球温室气体排放

二氧化碳排放量（十亿吨）



能源使用产生的碳排放（2018年）



资料来源：世界资源研究所的估测值
*《能源展望》对能源排放的定义包括由化石燃料燃烧而产生的二氧化碳排放。
按照世界资源研究所的定义，非能源使用产生的二氧化碳排放来自工业过程和无组织排放。

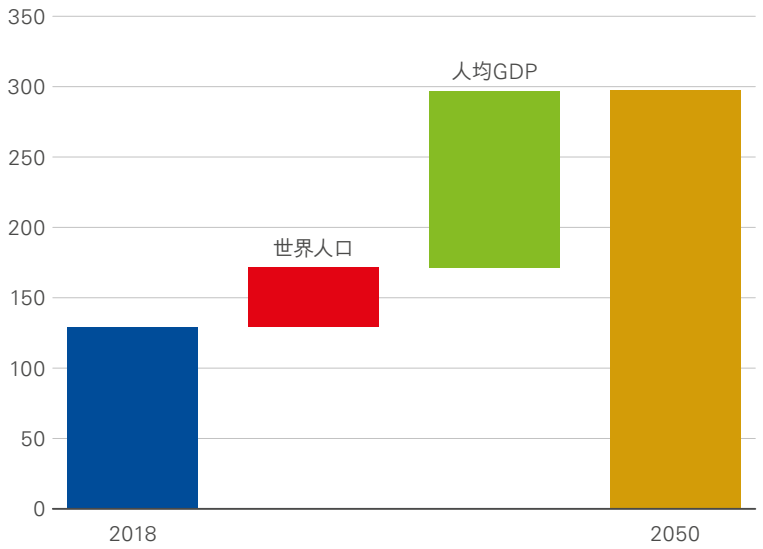
要点

- 科学证据表明，温室气体的释放是引起气候变化的主要原因。据世界资源研究所（WRI）估计，2016年全球温室气体总量为494亿吨二氧化碳排放量，其中由能源使用产生的碳排放是温室气体的最大来源，约占温室气体总量的65%。
- 在本期《能源展望》中，因能源使用产生的碳排放估算值与世界资源研究所定义的数值略有不同。本期《能源展望》未对碳氢化合物生产过程中逸出的甲烷排放进行建模，因此所使用的估算值并未包含甲烷排放量。但是，该估算值包括世界资源研究所定义中未涵盖的船用燃料排放量。根据《能源展望》的定义，2016年能源使用产生的碳排放为329亿吨二氧化碳排放量，与世界资源研究估计的323亿吨二氧化碳排放量相近。
- 除能源使用产生的碳排放以外，世界资源研究所估计2016年的其他主要排放来源是：农业（58亿吨二氧化碳排放量）；工业过程（28亿吨二氧化碳排放量）；土地利用和森林变化（32亿吨二氧化碳排放量）；以及废弃物管理设施（16亿吨二氧化碳排放量）。
- 就能源使用产生的碳排放而言，近一半的排放来自于工业行业使用的能源。剩余的碳排放则大致由交通和建筑（包括农业）行业平摊。
- 随着能源转型的推进，某些能源的碳排放相比其他能源更容易预防。特别是，随着电力行业逐步去碳化，我们可以减少相对简单或廉价的电气化活动或发电过程中所产生的碳排放。建筑行业内的季节性空间取暖和制冷需求则是一个例外。尽管我们可以对这些需求实施电气化，但在高度依赖间歇性可再生能源的电力行业，要满足季节性波动的规模却比较困难（见124-125页）
- 难以减少的碳排放大多来自很难实施电气化的活动或过程，因此需要使用低碳能源作为替代。这些过程包括高温工业过程，如：用于钢铁、水泥和化学品的过程，此外还包括重型卡车、航空和海运等长途运输服务。

全球GDP继续增长，但速度放缓

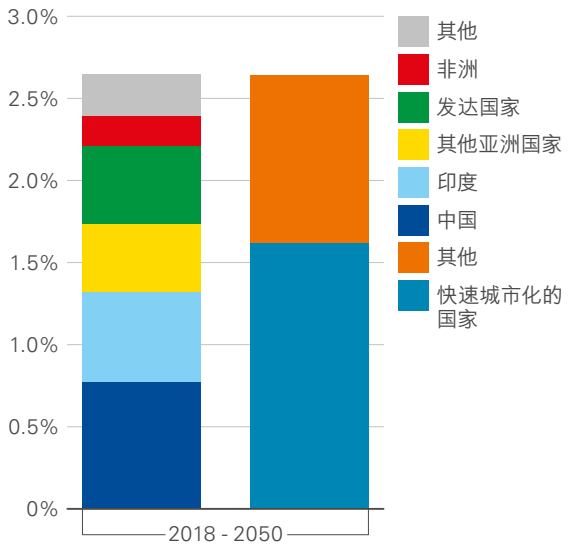
全球GDP（2018年-2050年）

万亿美元（2015年购买力平价）



全球GDP增长和区域贡献

年百分比

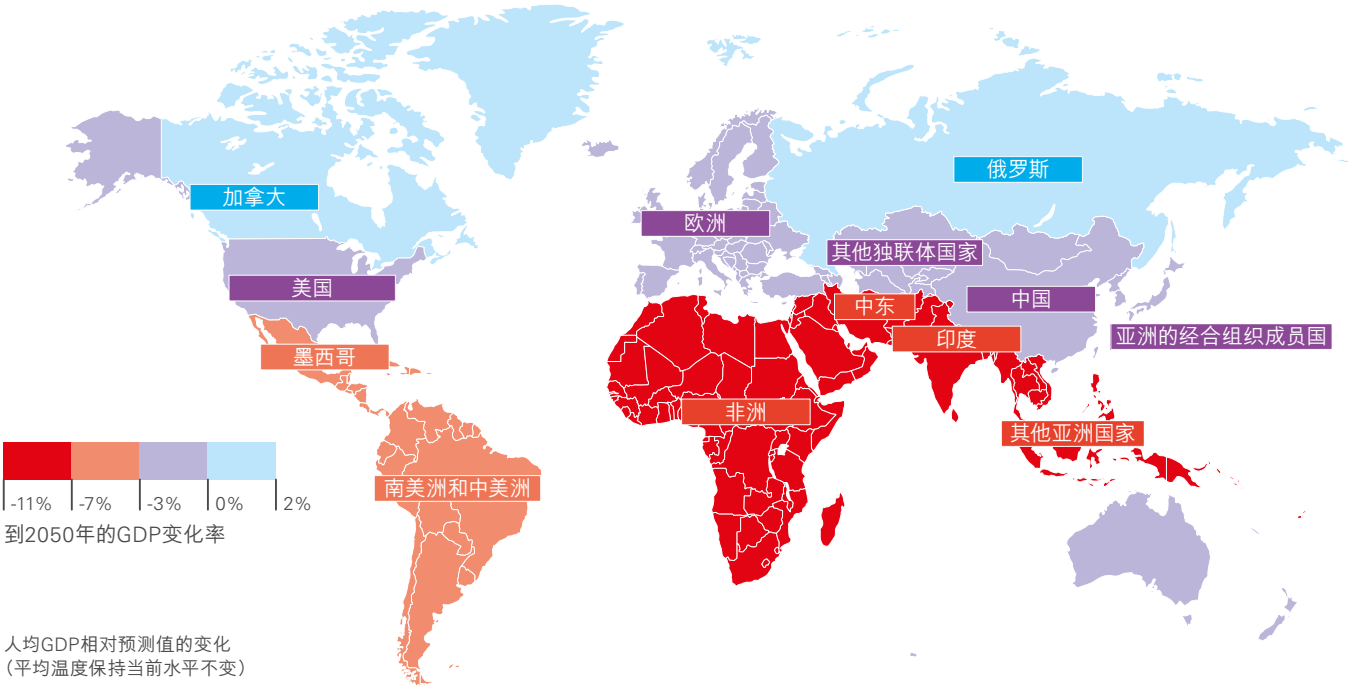


要点

- 随着发展中经济体财富的增加和生活水平的不断提高，在未来30年，世界经济将持续增长，但速度相比以前有所放缓。
- 在所有三种情景中，全球GDP年均增长约为2.6%（根据2015年购买力平价指数）。增长速度远低于过去20年的平均水平，这在一定程度上反映了新冠肺炎疫情对经济活动的持续影响。关于如何应对新冠肺炎疫情的讨论，请参阅《能源展望》2020年版第28-29页。
- 经济增长速度较之前有所放缓，还反映出气候变化对经济生产潜力的影响不断增大（关于该影响的讨论，请参阅第24-25页和第148-149页）。
- 人口增长为全球经济活动的扩张带来支撑。到2050年，世界人口将增加20多亿，达到96亿左右。
- 但是，支撑全球经济增长的最重要因素是不断提高的生产力（人均GDP）以及由此带来的经济繁荣（人均收入）。在《能源展望》中，全球GDP约80%的增长由生产力提高和经济繁荣所推动。
- 发展中经济体对世界经济增长的贡献超过80%，其中中国和印度约占一半。
- 城市化水平持续提升，推动全球活动增多和繁荣，这往往是导致工业化和生产力水平不断提高的发展进程中，不可分割的一部分。在《能源展望》中，预计未来30年城市化速度相对较快（即到2050年城市化水平预计至少提升三分之一）的国家对全球产出增长的贡献将由2018年的三分之一以下提高到二分之一以上。

《能源展望》中气候变化对经济增长的影响增加

气候变化对2050年GDP水平的影响



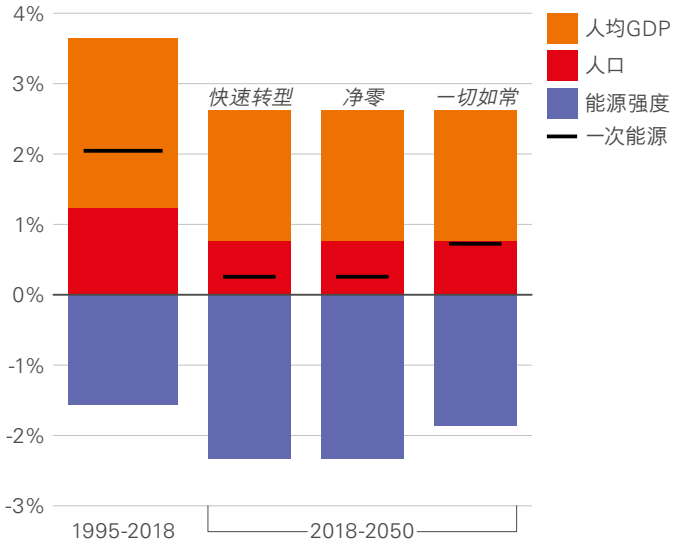
要点

- 所有三种情景都假定温室气体浓度不断提升会对全球经济的增长和生产潜力产生越来越大的影响。
- 气温不断升高，极端天气模式，以及海平面的不断上升，均可能带来一系列影响，导致经济增长速度放缓。此外，减少碳排放还可能会转移来自其他增长来源的投资。
- 至于这些影响可能会达到什么程度，估算起来还存在很大的不确定性。即便通过现有的大多数环境和经济模型与研究，也只能了解其中一部分影响，而且往往不太全面。例如，经济文献在探讨气候变化对GDP影响时只考虑到气温的日益上升。
- 为了进行说明，在所有三种情景中，2050年的GDP水平预计低于设想水平5%左右。按照假设，温室气体浓度保持在当前水平不变。在当前平均气温最高的区域，气候对经济增长的影响最大（请参阅第148-149页）。
- 在*一切如常*情景中，碳减排几乎没有进展，因温度不断上升而带来的负面影响最大。但是，相比*快速转型*和*净零*情景，为减少碳排放所采取的政策行动前期成本较大，因此，在所有三种情景中，未来30年气候对GDP的总体影响预计大致相同。
- 重要的是，如果将上述情景推到2050年以后，在*一切如常*情景中，财富和经济水平将受到越来越大的影响，导致活动水平和幸福感明显低于*快速*或*净零*情景。
- 环境和经济模型以及各项研究表明，在估测全球变暖对经济活动的影响方面还存在很大不确定性，而且几乎可以肯定这种评估是不全面的。例如，它并未考虑许多潜在的人力成本。随着我们从科学和经济层面进一步理解这些影响，在未来版本的《能源展望》中我们将会更新这些估测值。

效率提升在一定程度上抵消了因经济繁荣所带来的能源需求增长

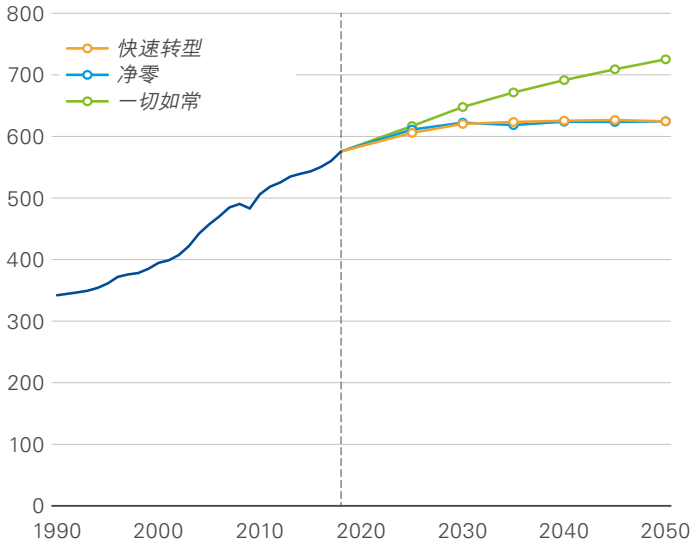
对一次能源需求增长的贡献

年百分比



全球一次能源需求

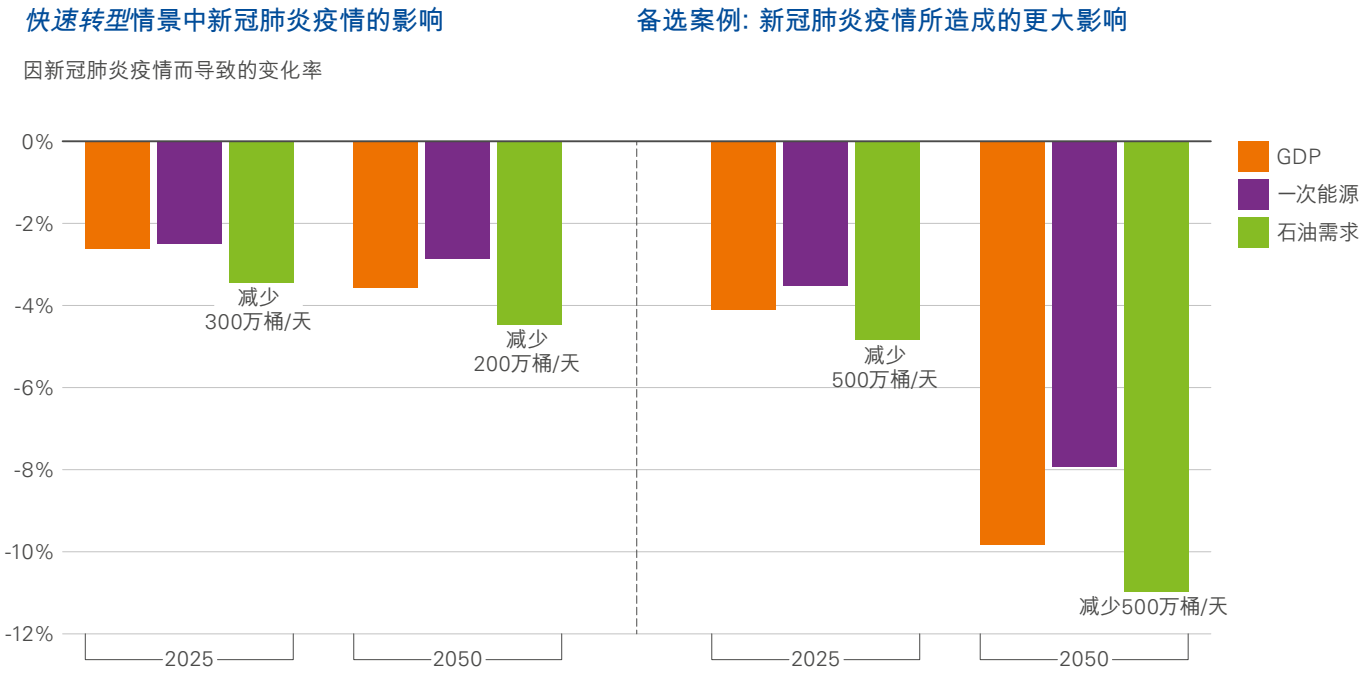
艾焦



要点

- 新兴经济体日益繁荣，促进了全球能源需求增长。在*快速转型*和*净零*情景中，一次能源增长约10%，在*一切如常*情景中，则为25%左右。
- 大部分能源消费的增长（在*快速转型*和*净零*情景中：所有能源消费增长；在一切如常情景中，超过一半的能源消费增长）来自于快速城市化的经济体。
- 在*快速转型*（每年0.3%）和*净零*（每年0.3%）情景中，一次能源的平均增长速度显著低于过去20年的增速（每年2.0%），这表明经济增长速度放缓，能源强度（单位GDP能耗）改善加快。在两种情景中，一次能源需求在展望后半部分大体保持平稳。
- 在*净零*情景中，以终端能源使用衡量的能效增幅大于*快速转型*情景，但从一次能源角度来看，电力和氢能的使用增多，抵消了上述收益，原因在于电力和氢能的生产需要大量的一次能源。
- 与其他两种情景相比，*一切如常*情景中一次能源的增长速度（每年0.7%）更快、更持久，说明能效提升较慢。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，能源强度加速减弱，这是减缓碳排放增长的一个关键因素。在*快速转型*和*净零*情景中，在其他条件都相同的情况下，如果《能源展望》中的能源强度按照过去20年的相同速度改善，那么到2050年，碳排放将增长四分之一以上。
- 为了实现低碳转型，必须采取适当的政策和措施来促进能效的提升。

新冠肺炎疫情预计将会对经济活动和能源需求产生持续影响



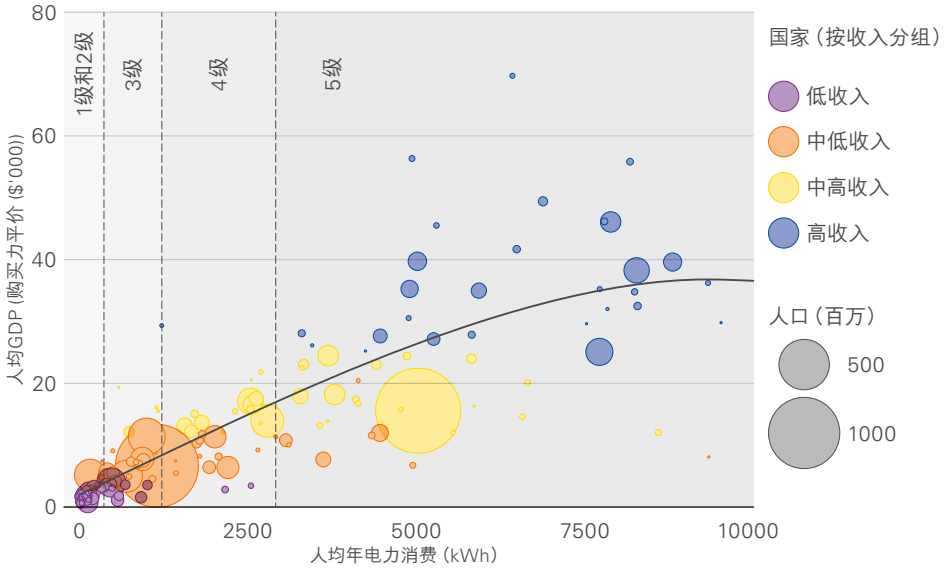
要点

- 新冠肺炎疫情首先是一场人道主义危机，其经济成本和破坏的规模也可能对全球经济和能源体系产生重大而持久的影响。在编写本报告时，新增病例数量仍在增加，因此对疫情最终影响的评估还存在很高的不确定性。
- 主要情景所使用的中心观点是，随着限制政策的放松，在未来几年内，经济活动将会在一定程度上从新冠肺炎疫情的影响中得到恢复，但某些影响仍会持续存在。受危机影响，预计2025年全球GDP水平将下降2.5%左右，2050年下降3.5%。对于印度、巴西和非洲等新兴经济体而言，这些经济影响将会尤为严重，因为其经济结构最容易受到新冠肺炎疫情的影响。
- 另外，新冠肺炎疫情大流行还可能导致一些行为变化；例如，人们选择减少出行，从公共交通转向其他交通方式，或者提高居家办公的频率。随着新冠肺炎疫情得到控制以及公众信心恢复，其中许多行为变化可能会随着时间的推移而消失。但是居家办公等变化可能会持续下去。
- 在*快速转型*情景中，假设受疫情影响，2025年能源需求水平将下降2.5%左右，2050年下降3%。石油需求受疫情影响最为显著，2025年每天减少约300万桶，2050年约200万桶。这在很大程度上反映了经济环境更加疲软。由于各种行为变化，2025年每天减少约100万桶。*一切如常*情景的边际影响和*净零*情景比较类似。
- 新冠肺炎疫情可能会造成更加显著的经济损失，特别是，如果后期出现进一步的感染高峰，则会产生更大影响。在“更大影响”案例中，我们对这种可能性进行了探讨。“更大影响”是指到2025年新冠肺炎疫情将导致全球GDP水平降低4%，到2050年将降低10%左右。如果产生“更大影响”，在快速转型情景中，这次危机将导致2050年能源需求降低8%，石油需求每天减少大约500万桶。

经济发展取决于能源获取和获取质量

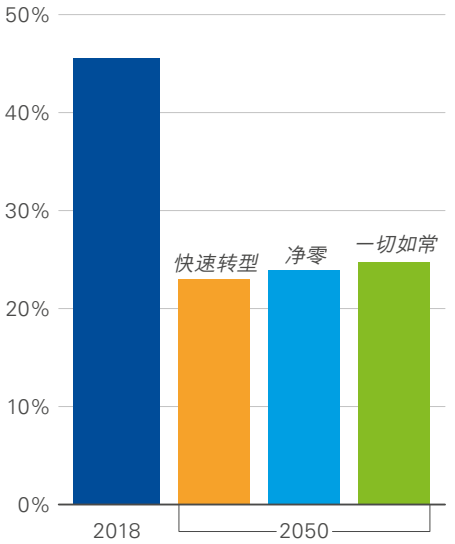
2018年GDP和电力消费（人均）

泡沫的大小与人口成比例



资料来源：牛津经济研究院；《bp世界能源统计年鉴》2019年版
电力供应等级采用世界银行的定义

电力获取等级为3级*或以下的世界人口的比例



*3级电力获取是指日间获得不间断中等功率电力供应低于16个小时，夜间低于4个小时

要点

- 能源获取与经济福祉和繁荣之间有着紧密的联系。联合国可持续发展目标（SDG）7“确保人人获得负担得起、可靠和可持续的现代能源”体现了获取能源的重要性。
- 确保全球人口都能获取电力是可持续发展目标7监测的一项指标。据估计，在2018年，无法获取电力供应的人口数量已从2010年的12亿减少到7.9亿*。
- 经济的繁荣和发展不仅取决于获取电力的能力，还取决于电力供应的数量和质量。
- 世界银行的多等级框架规定了能源获取质量的衡量标准，其中第1级获取相当于非常基本的供应水平（照明供应量有限），而第5级则代表获取充足、可靠的供应。
- 经济发展与获取电力质量之间存在着非常密切的联系：2018年，大约四分之三的低收入和中低收入国家只能获取相对有限的电力（3级或以下）；而超过90%的高收入国家则可获取5级电力供应。
- 据估计，2018年，世界上无法获取电力的人口比例已降至10%，但是仍有大约45%的人口居住在电力获取等级为3级或低于3级的国家。在所有三种情景中，到2050年，仍有大约四分之一的世界人口生活在平均电力消费水平相当于或低于3级的国家或地区。
- 要在全球范围内提高电力获取（更笼统的说，能源获取）的质量，可能需要采取一系列不同的政策方法和技术，包括分散式和离网发电技术开发。

*资料来源：跟踪SDG7：能源进展报告（2020年）

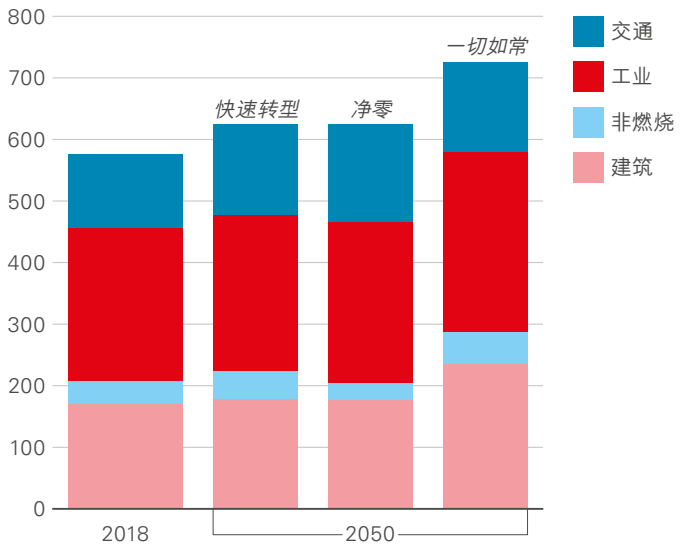
能源使用（按行业划分）

概述
工业
非燃烧
建筑
交通

所有经济行业的能源消费继续增加，但速度较以往有所放缓

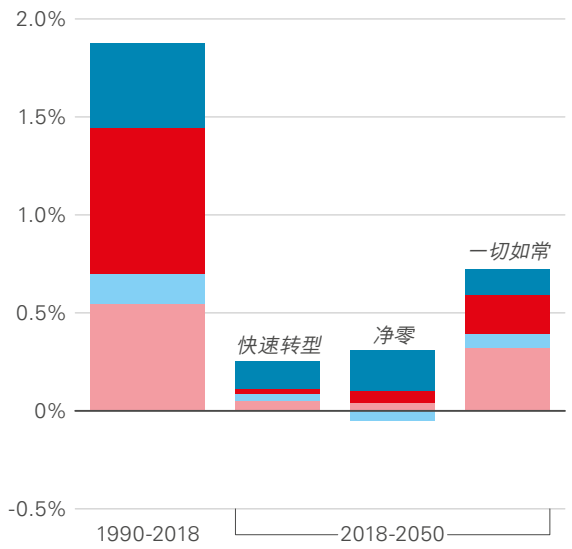
一次能源消费（按终端行业划分）

艾焦



年需求增长和行业贡献

年百分比



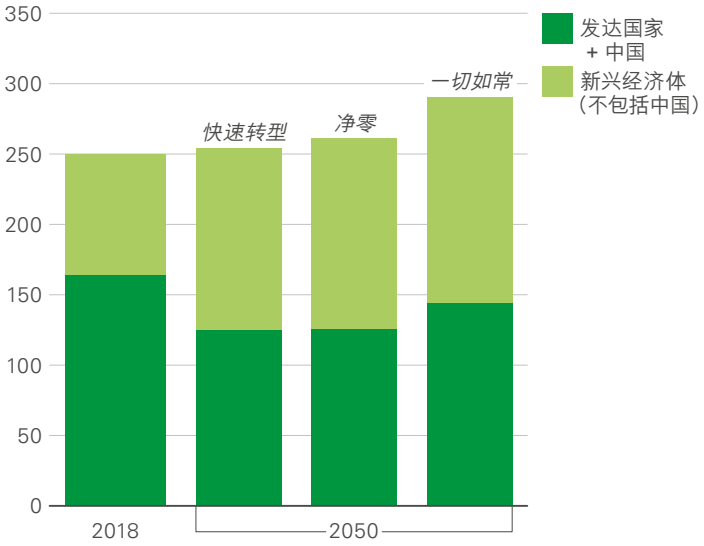
要点

- 未来30年能源增长的强度和构成在很大程度上取决于主要经济中各行业如何使用这些能源。
- 2018年，工业（不包括燃料的非燃烧使用）消耗了全球约45%的能源，燃料的非燃烧使用另占5%左右。其余的能源用于住宅和商业建筑（29%）和交通（21%）。
- 另外，一次能源的前景还取决于终端消费时的能源利用形式。特别是，虽然我们或许可以使电和氢的生产去碳化，但生产电和氢需要大量的一次能源。因此，加大此类能源载体的使用往往会促进一次能源消费。
- 在*快速转型*情境中，相对过去20年来说，这三个行业所用一次能源的增长速度都有所放缓。最为明显的是工业和建筑行业，在展望后半期，这两个行业内一次能源的使用量都有所降低。相比之下，在*快速转型*情景中，由于更多地转向电力和氢能，因此交通行业在整个展望期内的一次能源使用量占一次能源增长总量的近60%。氢能可以直接使用，也可以与碳或氮结合使用，因而更容易运输。
- 在*净零*情景中，电力和氢能消费增长更多，特别是在交通和工业行业。因此，即便这两个行业的基本效率增长相比*快速转型*情景更快，但其一次能源的增长幅度在某种程度上更大。到2050年，建筑行业使用的一次能源与当前水平基本持平。
- 相比之下，在*一切如常*情景中，所有三个行业内一次能源的使用量都有显著增长，但其增长速度相比过去20年要慢得多。增长放缓最为明显的是工业和交通行业，建筑和非燃烧使用行业的能源消费加起来约占一次能源消费增长的一半。

工业能源消费转向发展中经济体和低碳能源

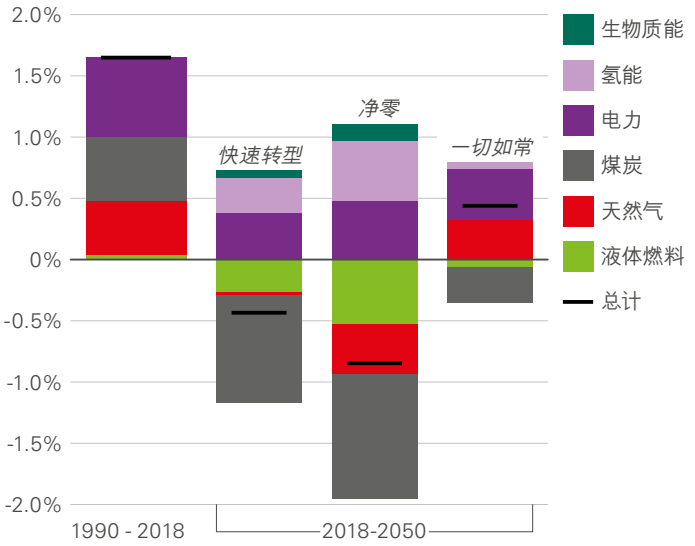
工业的一次能源需求

艾焦



工业终端能源消费的增长（按能源载体划分）

年百分比



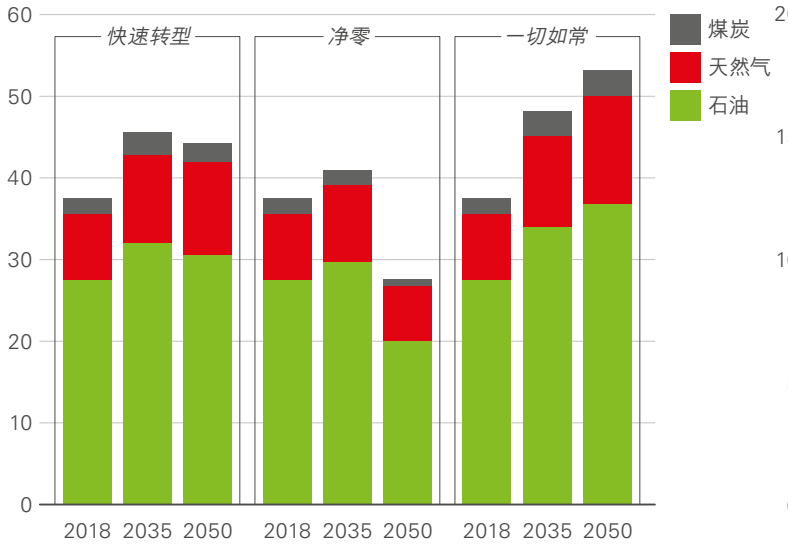
要点

- 在*快速转型*和*净零*情景中，由于受到工业过程中效率不断提升和循环经济扩张的抑制作用，工业能源需求在整个展望期内保持相对平稳。在*一切如常*情景中，到2050年，工业需求增长约15%（每年增长0.5%），增速明显低于过去20年。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，由于钢、铝和塑料等材料的使用越来越少，并且越来越多地得到重复利用和回收，循环经济的作用越来越大，因而限制了工业产出的增长。加上工业生产效率日益提升，到2050年，*快速转型*情景中工业行业终端消费的能源将下降15%左右，*净零*情景中则下降25%。这些能源消费的降低被不断增加的电力和氢能消费所抵消，尤其是在*净零*情景中，还促进了生产过程中一次能源需求的增长。
- 在所有三种情景中，由于能源和劳动密集型工业活动正日益从发达国家和中国转移到成本较低的经济体，因此工业能源需求的增长都集中在新兴经济体（不包括中国），特别是印度、其他亚洲发展中国家和非洲国家。
- 在所有三种情景中，工业行业内煤炭的使用量都呈大幅下降趋势。在*一切如常*情景中，天然气和电力的使用日益增长，大大满足了不断增长的能源需求，煤炭消费大约减少三分之一。在*快速转型*和*净零*情景中，工业用煤的废除更为明显。到2050年，在这两种情景中，煤将几乎完全被淘汰，取而代之的是使用量越来越多的电力、生物质能和氢。向低碳能源的转型在*净零*情景中最为显著，因此到2050年天然气（和石油）的使用量也会大幅减少。相比之下，在*快速转型*情景中，展望期间工业行业的天然气使用基本没有变化。

燃料的非燃烧使用继续增长，但增速显著放缓

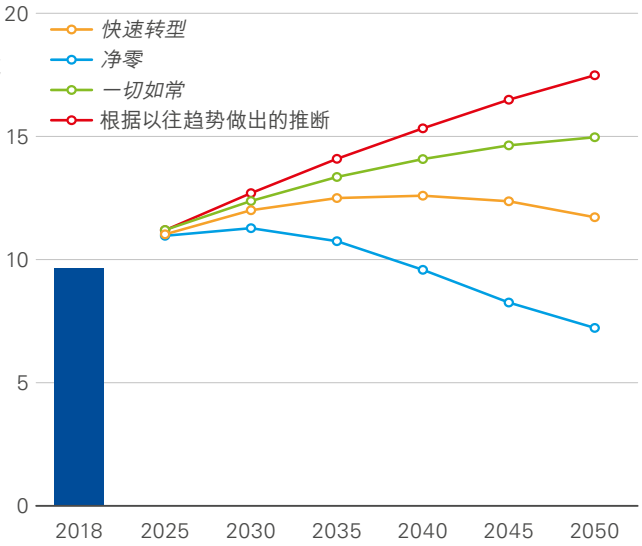
燃料的非燃烧使用需求

艾焦



用于制造塑料和纤维的石油原料

（百万桶/天）



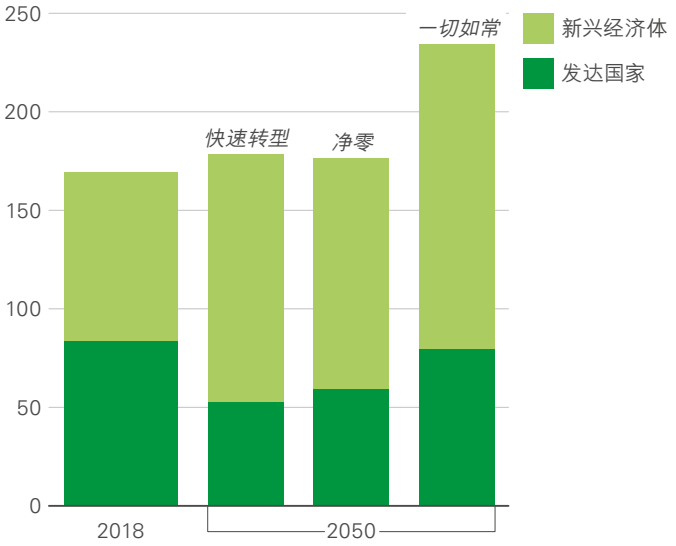
要点

- 燃料的非燃烧使用（主要是用作生产石油化工产品原料、沥青和化肥的原料）是化石燃料需求增加的重要来源。不过，随着环境压力的增加，化石燃料的需求比过去20年有所减少。
- 在*一切如常*情景中，燃料（石油、天然气和煤炭）非燃烧使用的平均年增长率为1.1%，低于过去20年平均年增长率（2.7%）的一半。这在很大程度上表明，我们需采取适当的措施来提高回收利用水平（到2050年，回收利用率将在当前水平上翻一番，达到三分之一左右），并鼓励人们放弃使用一次性塑料制品和化肥等工业制品。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，我们大大强化了这些措施，加大化学回收服务的使用，着重减少对某些产品的需求，增加对其他产品的再利用。因此，*快速转型*情景中非燃烧燃料的增长率（每年0.5%）是*一切如常*情景的一半。非燃烧燃料的使用量在21世纪40年代逐渐减少。在*净零*情景中，非燃烧燃料的使用大约提前十年达峰，到2050年将比当前水平低25%左右。
- 在*一切如常*情景中，到2050年石油在非燃烧燃料产量增长中占近三分之二的比例，在*快速转型*情景中则约占一半，其驱动因素在很大程度上应归于塑料和纤维生产。通过减少使用、再利用和回收塑料等措施，到2050年在*一切如常*情景中塑料生产中使用的石油量大约将比根据以往经济活动和生活水平增长趋势推算的水平减少300万桶/天，在*快速转型*情景中则减少600万桶/天。这些趋势在*净零*情景中更加明显，到2050年，石油需求将比当前减少200万桶/天，比根据以往趋势推算的水平减少1000万桶/天。

发展中经济体生活水平提升推动建筑行业电力使用增加

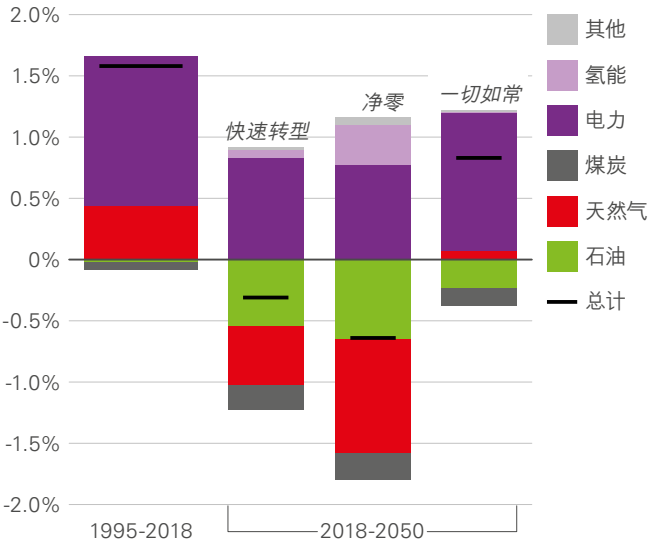
建筑行业的一次能源需求

艾焦



建筑行业内终端能源消费的增长（按能源载体划分）

年百分比



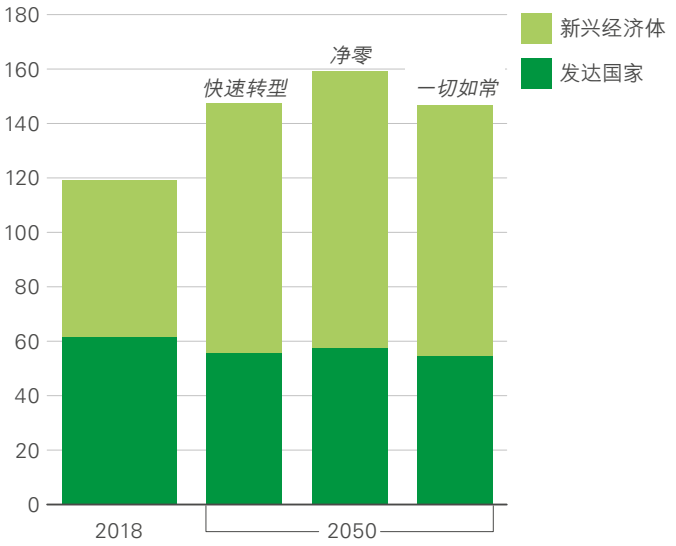
要点

- 随着发展中国家经济和生活水平的提高，人们能够更舒适地生活和工作，所以建筑行业的能源消费增长全部来自于发展中经济体。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，亚洲和非洲发展中国家的繁荣程度提升最为显著，其建筑行业的能源消费也显著扩张，而发达国家因受法律法规、碳价和消费者偏好的影响，新建和现有建筑存量效率提升，导致建筑行业内能源消费大幅减少，两者给市场带来的影响基本相互抵消。因此，在*快速转型*（每年0.2%）和*净零*（每年0.1%）情景中，建筑行业的整体能源使用情况在整个展望期内变化相对较小。
- 在*一切如常*情景中，效率提升不太明显。到2050年，建筑行业的能源消费增长了近40%（每年1.0%），约占一次能源增长总量的40%。
- 随着生活水平的提高，照明和电器（包括空间制冷）的使用越来越多，这三种情景中的电力消费都出现了明显增加。
- 电力使用的增加将导致消费者对石油、天然气和煤炭的需求降低，造成所有三种情景中石油、天然气和煤炭的市场份额减少。消费者对这些传统能源的弃用在*快速转型*和*净零*情景中表现最为突出，到2050年，建筑行业将基本淘汰石油，*快速转型*情景中建筑行业对天然气的需求将减少大约50%，*净零*情景中则将减少90%以上。

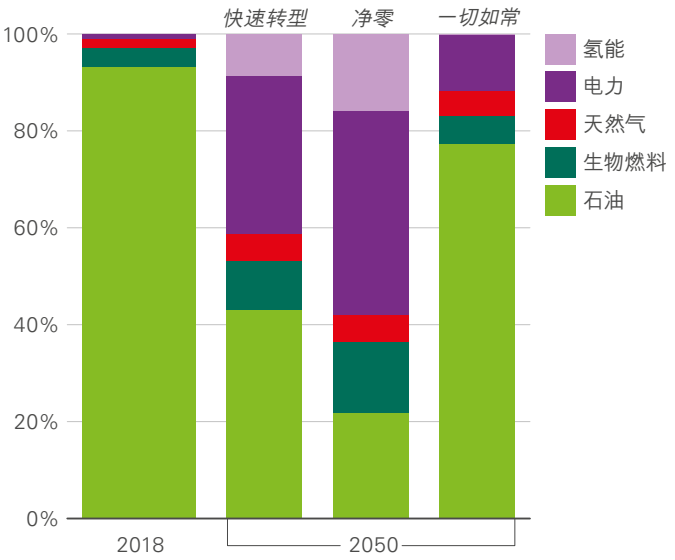
交通行业的能源使用增长速度放缓，石油需求在21世纪20年代中后期达峰

交通行业的一次能源需求

艾焦



交通行业内终端能源消费的比例（按能源载体划分）

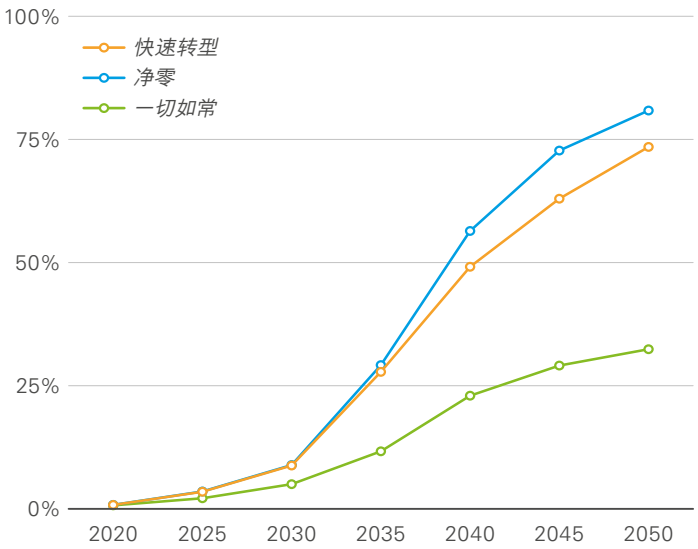


要点

- 在所有三种情景中，展望期间消费者对客运和商业运输的需求都呈强劲增长，道路运输和航空运输需求将增长一倍。而因出行需求增长而产生的终端能源消费增长被车辆（尤其是乘用车、货车和飞机）效率的显著提升所抵消。
- 在交通行业，消费者从使用石油转向更多地使用电力和氢能，这在一定程度上掩盖了能效提升的效果。特别是，这些能源载体的生产转化过程提高了交通行业内一次能源的消费总量。向电力和氢能的转型在*快速转型*和*净零*情景中最为显著，到2050年，一次能源需求总量将分别增长约25%和35%。在*一切如常*情景中，交通部行业的一次能源需求将增长近25%，能效提升速度的放缓将被石油使用量的降低所抵消。
- 在所有三种情景中，亚洲、非洲和拉丁美洲发展中经济体日益繁荣的经济拉动了其对客运和货运的需求，因此交通行业一次能源消费量的增长完全归因于这些发展中经济体。在发达国家，交行业能源使用量基本持平。
- 三种情景中交通行业的石油使用量均在21世纪20年代中后期达到峰值：在*快速转型*和*净零*情景中，在21世纪30年代初期之前，新兴市场道路运输对石油的需求继续增长。在*一切如常*情景中，到21世纪30年代后期，新兴市场道路运输对石油的需求将继续增长，但逐渐被发达国家的石油需求量降低所抵消。
- 在*一切如常*情景中，到2050年，石油在交通行业终端消费总量中所占的比例将由2018年的90%以上降至80%，在*快速转型*情景中降至40%，在*净零*情景中则降至仅20%。与之相对应的是电力（尤其是在乘用车以及轻型和中型货车方面）以及氢能、生物燃料和天然气使用的不断增加。在*快速转型*和*净零*情景中，到2050年，交通行业内电力使用占终端能源消费的比例将分别上升至30%到40%。

道路运输的主要用能趋势为电气化和车辆效率提升

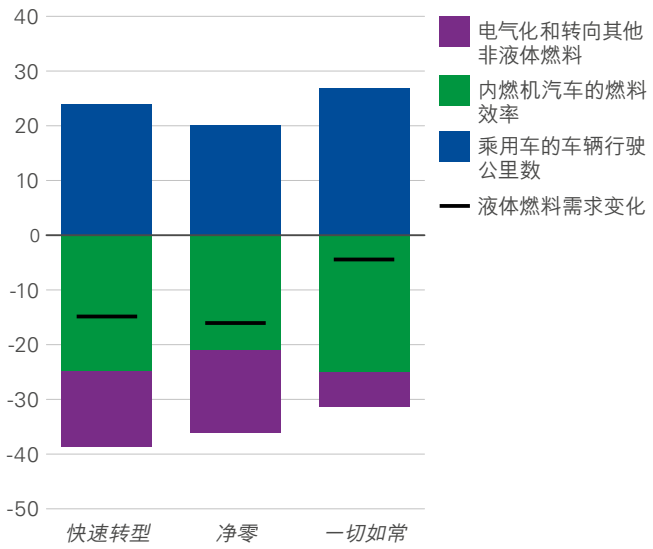
电动汽车和货车的公里数占比*



*包括公共汽车

影响乘用车液体燃料需求的因素

（百万桶/天）

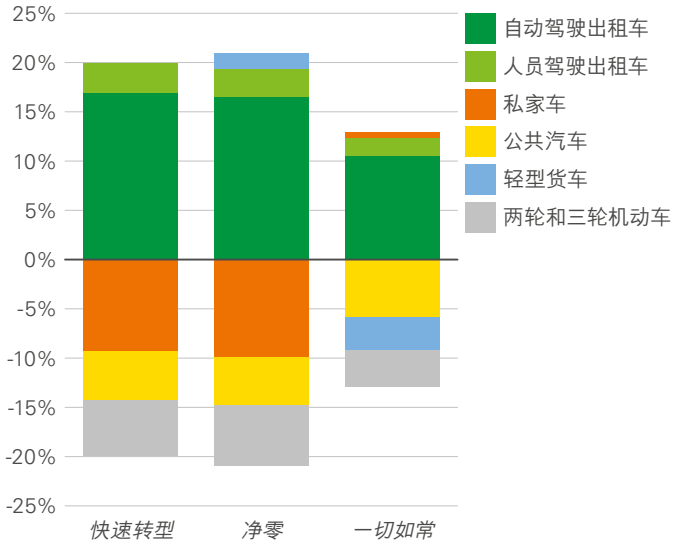


要点

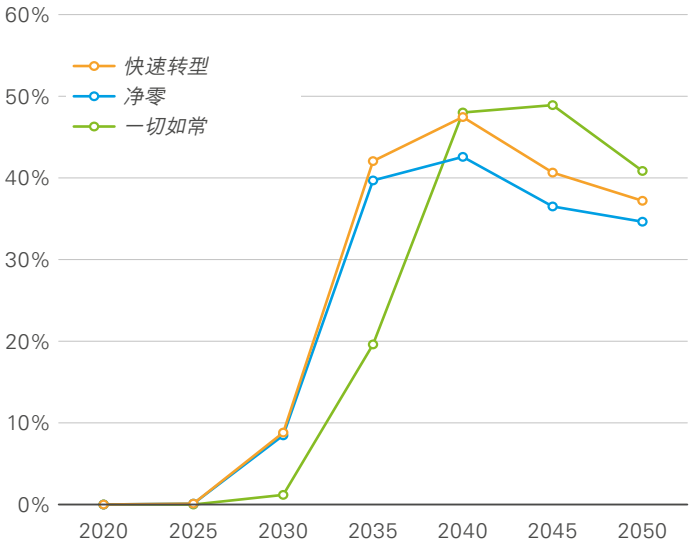
- 道路运输行业的能源使用前景主要由两大趋势主导：电气化程度不断提高和车辆效率日益提升。
- 电气化的趋势在*快速转型*和*净零*情景中最为显著，主要集中体现在两轮和三轮机动车、乘用车以及轻型和中型货车。在*快速转型*和*净零*情景中，到2035年，电动车辆在四轮道路车辆行驶里程（VKM）中占据的比例将由2018年的不到1%提升至大约30%，到2050年提升至70-80%。在一切如常情景中，到2035年，电动车辆在四轮道路车辆行驶里程中占据的比例将略高于10%，到2050年约为30%。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，到2050年，电动汽车占乘用车存量的80-85%。在*一切如常*情景中，到2050年，电动汽车占乘用车存量的35%。在*快速转型*和*净零*情景以及*一切如常*情景中，到2050年轻型和中型货车占乘用车存量的比例分别为70-80%和20%。
- 随着车辆排放标准不断收紧，碳价不断上涨（主要通过上调汽油和柴油价格的形式由消费者承担），车辆（尤其是乘用车）效率不断提升，成为影响道路运输中能源使用的另一个主导趋势。在*快速转型*情景中，在未来15年，典型新型内燃机（ICE）乘用车的效率将提高约45%。
- 尽管乘用车的电气化速度有所加快，但在展望期的大部分时间里，内燃机乘用车将继续发挥其重要作用，这意味着到2050年，提高乘用车的效率将是限制乘用车用油增长的主要因素。
- 在*快速转型*情景中，到2050年，车辆效率的提升将可减少乘用车油耗（进而降低碳排放），其降幅大约是电气化未来的油耗降幅的两倍。

经济日益繁荣和自动驾驶出租车的发展引领道路交通模式变化

车辆行驶公里数的占比变化（2020年-2050年）



自动驾驶出租车占电动乘用车行驶公里数的比例

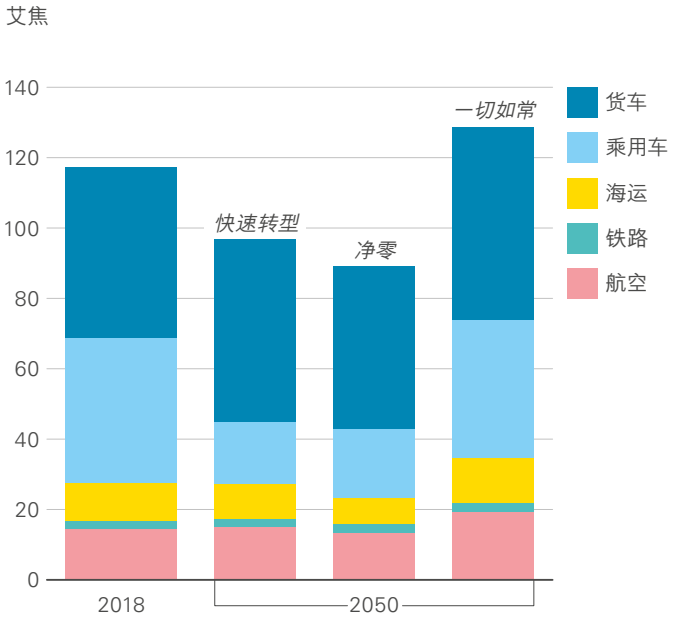


要点

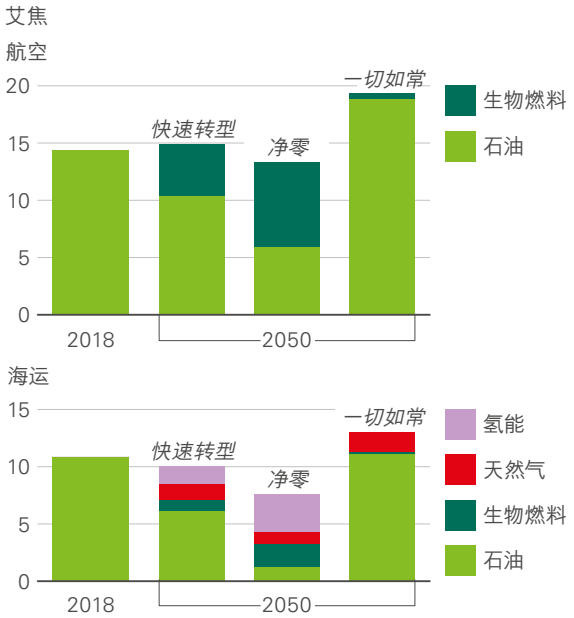
- 在展望期内，如私家车、出租车、公共汽车等各种模式的道路运输结构受以下两大趋势的影响：日益繁荣的经济水平和不断降低的共享出行运输服务成本。这两大趋势对交通行业去碳化的速度和程度都有重要影响。
- 随着新兴经济体的繁荣和生活水平不断提高，人们逐渐从高承载率的交通方式（如公共汽车）向乘用车转变，导致平均载客率（即每辆车的平均乘客数量）降低，从而给碳排放带来了上行压力。
- 受一系列因素的影响（包括连通性和地理空间技术等数字技术持续进步），共享出行服务的相对成本下降。此外，在*快速转型*和*净零*情景中，在21世纪30年代初期，数字技术的进步推动了自动驾驶系统和全自动驾驶汽车的兴起，极大地降低了共享出行服务的成本，在平均收入水平较高的发达经济体尤为显著。自动共享出行服务（自动驾驶出租车）的相对成本不断降低，促使人们从私家车和公共汽车转向自动驾驶出租车。
- 在所有三种情景中，绝大多数自动驾驶出租车为电动汽车，除了有利于改善当地空气质量以外，电动汽车相对于传统内燃机汽车的运行成本更低。基于使用强度考虑，自动驾驶出租车具有显著的成本优势 —— 到2050年，自动驾驶出租车的使用强度将是私家车的9倍。自动驾驶出租车日益普及，再加上其使用强度逐渐增大，这意味着，到2035年，*快速转型*和*净零*情景中自动驾驶出租车在电动乘用车车辆行驶公里数中占据的比例将达到40%左右，*一切如常*情景中占20%左右。在*快速转型*和*净零*情景中，随着电动私家车的比例上升，在展望期的最后10年内，自动驾驶出租车占电动乘用车车辆行驶公里数的比例将有所下降。
- 可以通过提高自动驾驶出租车占电动乘用车车辆行驶公里数的比例来促进道路交通去碳化，特别是在*快速转型*和*净零*情景中，这意味着政府出台相关政策支持自动驾驶出租车，比如提高道路收费和私家车的拥堵收费等。此外，在*净零*情景中，消费者转向共享经济的态度转变也突显了自动驾驶出租车的重要性。

生物燃料和氢能在航空和海运去碳化方面发挥了关键作用

交通行业的终端能源需求总量（按模式划分）



航空和海运需求（按来源划分）



要点

- 2018年，航空和海洋运输的石油消费量分别约为700万桶/天和500万桶/天。在展望期内，*快速转型*和一切如常情景对这些服务的需求都在增加：贸易水平的提高推动了海运需求增长；同时，日益繁荣的经济（尤其是在新兴经济体内）支撑了航空旅行的发展。在*净零*情景中，到2050年，航空旅行的增长率将比*一切如常*情景低10%左右，这在一定程度上反映了中国和大部分经合组织成员国社会偏好的转变。他们改乘高铁出行来替代航空旅行。同样，在*净零*情景中，越来越多的人倾向于消费当地生产的商品，石油贸易量减少，导致到2050年，海运需求相对于*一切如常*情景减少了大约三分之一。
- 在*快速转型*情景中，由于效率提高了35%左右，在整个展望期内，航空行业对液体燃料的需求保持相对稳定的水平，大约为700万桶/天，在很大程度上抵消了航空旅行的需求增量。在*净零*情景中，效率的提升，加上一些市场上飞行需求有所减少，意味着航空业对液体燃料的需求将在21世纪30年代初达到峰值，到2050年将降至略低于2018年的水平。相比之下，在*一切如常*情景中，在整个展望期内，液体燃料需求将持续增长，到2050年将达到1000万桶/天。
- 由于电池和氢能都无法提供航空业所需的能量密度，生物燃料在航空行业去碳化方面发挥着关键作用。在*快速转型*情景中，生物燃料在航空燃料中的占比从2018年的不到1%迅速增加到2050年的大约30%，在*净零*情景中则达到接近60%的比例。相比之下，在*一切如常*情景中，生物燃料的占比几乎没有增加。
- 与航空业不同，海运行业的能源结构可以多元化发展，包括氢能（氨或液态）和液化天然气，以及生物燃料。在*快速转型*和*净零*情景中，到2050年，非化石燃料在海运燃料的占比将分别为40%和85%，其中一半以上为氢能。相反，在*一切如常*情景中，到2050年，海运行业对石油的需求将略有增长，天然气在该行业能源结构中所占的比例将升至略低于15%的水平，而非化石燃料仅占1%。

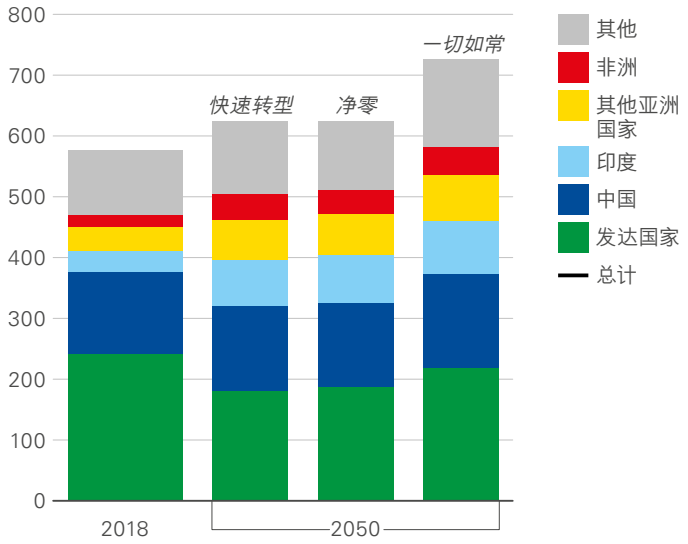
区域

概述
区域能源需求和碳排放
关键国家和区域的能源结构
全球能源贸易和能源不平衡
备选情景: *逆全球化*

全球能源需求增长全部来自新兴经济体

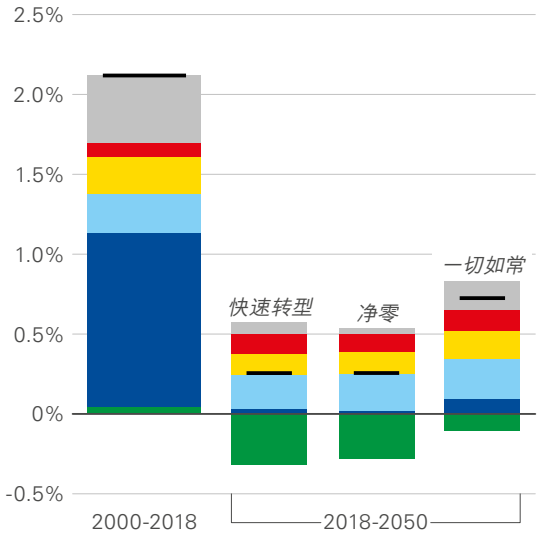
各区域的一次能源消费

艾焦



一次能源增长和区域贡献

年均百分比



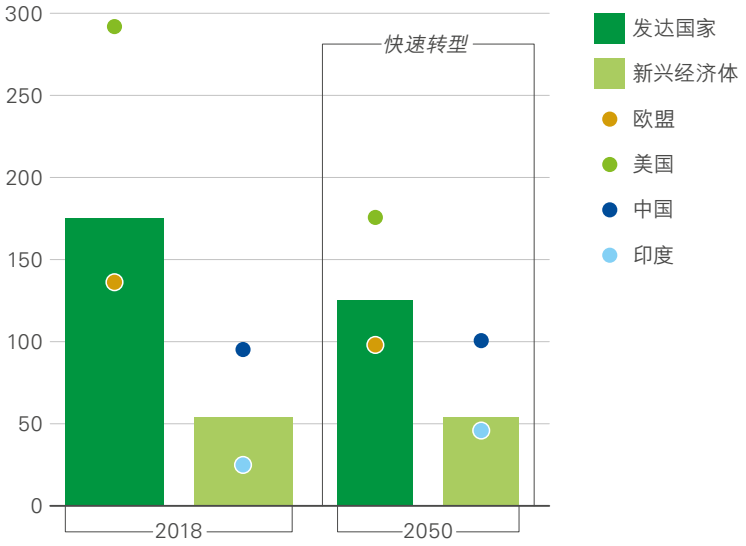
要点

- 在所有三种情景中，全球能源需求的增长完全由新兴经济体驱动，并由日益繁荣的经济和不断改进的能源供应渠道支撑。随着能效的提高超过了较高活动水平的能源需求，发达国家的能源消费有所下降。
- 在所有三种情景中，发达国家和新兴经济体的能源趋势形成鲜明对比，导致能源消费重心持续转移，到2050年，新兴经济体的在全球能源需求占比将由2008年的大约50%增至70%左右。
- 新兴经济体的能源消费增长主要由印度和其他发展中亚洲国家主导，在*快速转型*和*净零*情景中，这些国家的能源消费增长加起来超过了一次能源消费的整体增长，而在*一切如常*情景中，增长率几乎达到60%。在所有三种情景中，到2050年，印度将是需求增长的最大来源。
- 中国的能源需求增长速度相比以往大幅放缓，在所有三种情景中，均在21世纪30年代初达到峰值。事实上，在*快速转型*和*净零*情景中，到2050年，中国的能源需求将回落到接近2018年的水平，主要原因是能效的加速提升，及经济结构持续由能源密集型产业转向其他产业。尽管如此，在所有三种情景中，中国仍将是最大的能源市场，2050年占世界能源需求的20%以上，几乎是印度的两倍。
- 在展望后半期，由于人口不断增长和经济日益繁荣，非洲对需求增长的贡献将增大。尽管如此，非洲的能源消费相对于其国土面积来说仍然很小：虽然到2050年预计非洲人口将占世界人口的四分之一左右，但在所有三种情景中，非洲能源需求在总能源需求中的占比不到10%。

全球能源消费和碳排放差距在展望期内有所缩小

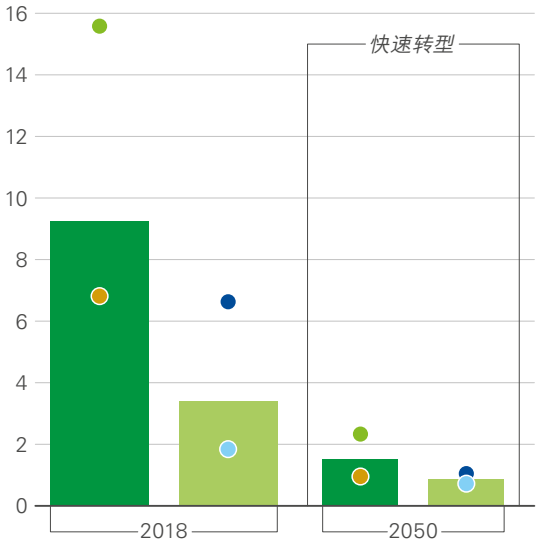
*快速转型*情景中的人均能源消费

人均能源消费（吉焦）



*快速转型*情景中的人均碳排放

人均二氧化碳排放（吨）



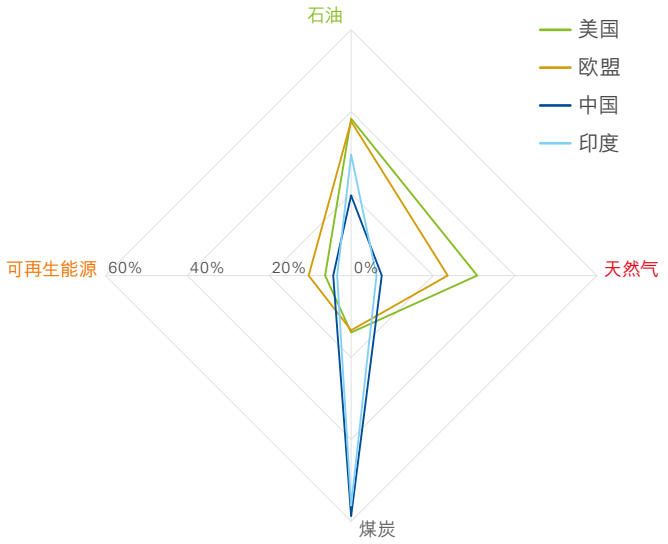
要点

- 人均能源消费水平的显著差异是造成发达国家和新兴经济体之间能源需求趋势差异的关键因素。
- 2018年，发达国家人均能源消费量是新兴经济体的3倍以上，美国人均能源消费量超过印度的12倍。
- 这些能源消费的差异在很大程度上反映了经济发展和繁荣程度的差异，也反映了经济结构、当地气候条件、自然资源禀赋等一系列因素的差异。
- 在展望期内，这种不平衡的程度有所缩小，既反映了新兴经济体中经济活动和繁荣程度的持续增加，也反映了发达经济体人均能源消费水平的显著下降：在*快速转型*情景中，美国人均能源消费在展望期内下降40%。即便如此，在*快速转型*情景中，到2050年，发达国家的人均能源消费仍将是新兴经济体人均能源消费的两倍以上。在*净零*和*一切如常*情景中，人均能源消费量也呈现明显的类似趋同趋势。
- 另外，发达经济体和新兴经济体在当前能源消费水平上的差异还反映在人均碳排放量上，而发达国家能源结构的平均碳强度低于新兴经济体，只在一定程度上抵消上述差异影响。
- 在*快速转型*情景中，由于人均能源消费量降低，人均碳排放量差异在展望期结束时显著缩小。发达经济体和新兴经济体能源结构中平均碳强度的改善程度大体相似。

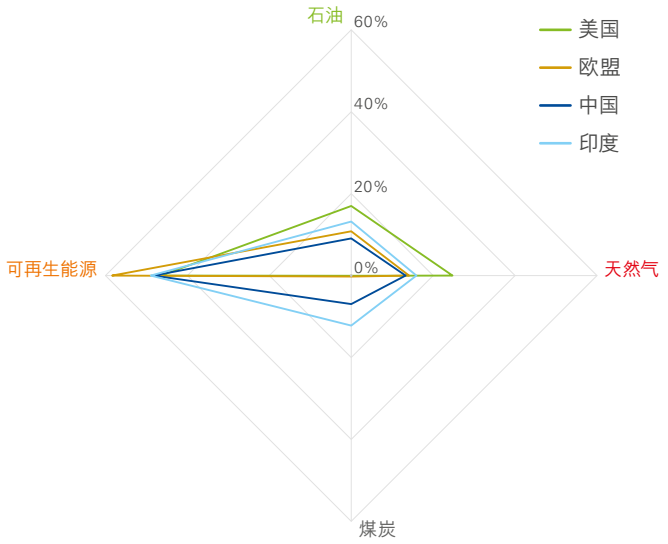
能源体系向低碳转型导致不同国家的能源结构逐渐趋同

能源资源占比

2018年



*快速转型*情景，2050年



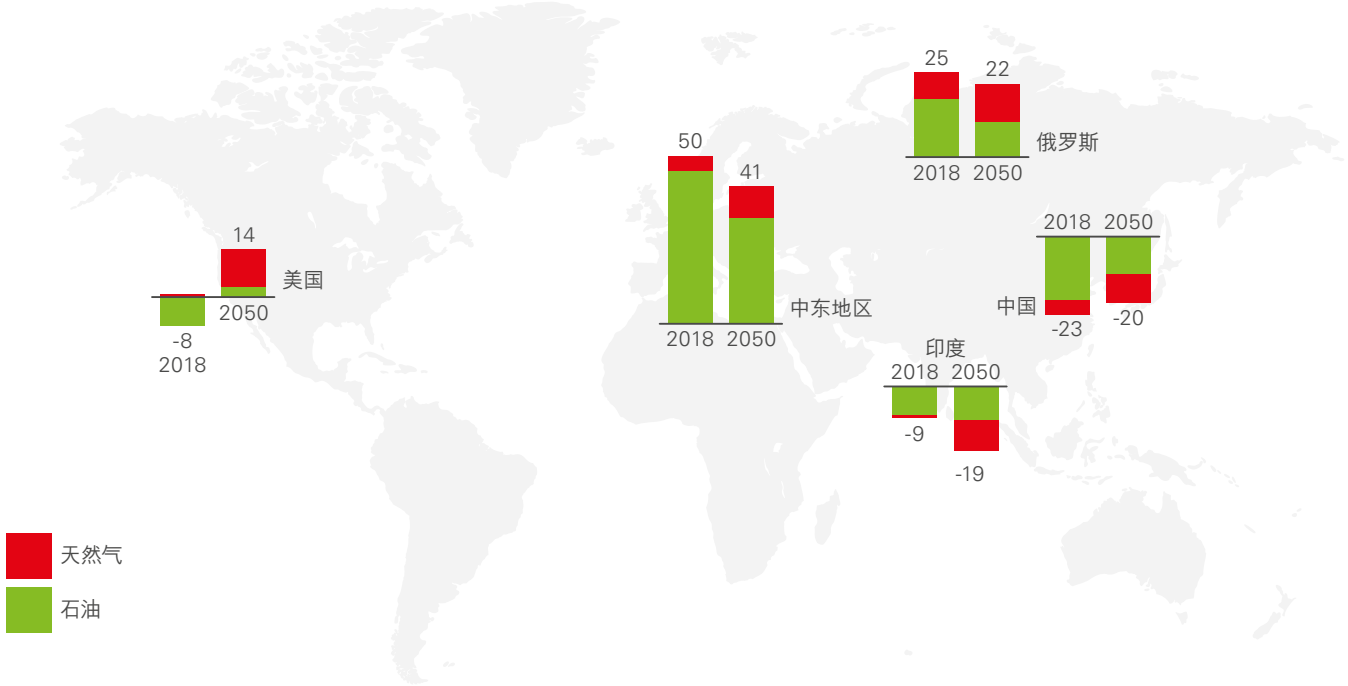
要点

- 除了发展中经济体和新兴经济体的能源需求增长模式差异之外，能源转型的性质还取决于不同国家能源结构的差异。
- 如图中所示，不同国家和地区当前所使用的能源结构存在显著差异，例如，美国、欧盟、中国和印度不同能源种类的重要性各异。这些差异反映了许多因素，包括经济发展水平和不同能源的成本和可用性。
- 美国和欧盟的当前能源结构有一些相似之处，石油和天然气占据能源结构的比例较大，而煤炭和可再生能源的比例则要小得多。相比之下，在中国和印度，煤炭目前占一次能源消费的55%-60%。
- 在*快速转型*情景中，几种相同的趋势推动了能源体系向低碳转型，导致上述四者的能源结构逐渐趋同。
- 其中最重要的是可再生能源的竞争力日益增强，加上对其的广泛供应以及能源体系的电气化水平不断提升，到2050年，在*快速转型*情景中可再生能源将成为上述四者的最大能源来源，从而实现45% - 55%的能源供应。
- 在更高的碳价和其他政策的支持下，可再生能源（包括生物能源）有所增长，这是向低碳能源结构转型的更广泛趋势的一部分。此外，减少煤炭消费也反映了这种转变。在*快速转型*情景中，到2050年，中国和印度将大幅减少煤炭使用量，而美国和欧盟则将完全淘汰煤炭。
- 另外，这些趋势还推动了天然气的角色趋同，美国和欧盟的天然气占比下降，而中国和印度的天然气占比有所上升，如此一来，到2050年，天然气在上述四者的能源占比将达到15-25%。
- 在*净零*情景中，类似的趋同性也很明显。虽然在*一切如常*情景中显然也呈现出同样的定性趋势，但中国和印度在淘汰煤炭方面所取得的进展有限，说明趋同度大大降低。

展望期内依然存在巨大的能源不平衡

*快速转型*情景中石油和天然气的净进口和出口（按区域划分）

艾焦



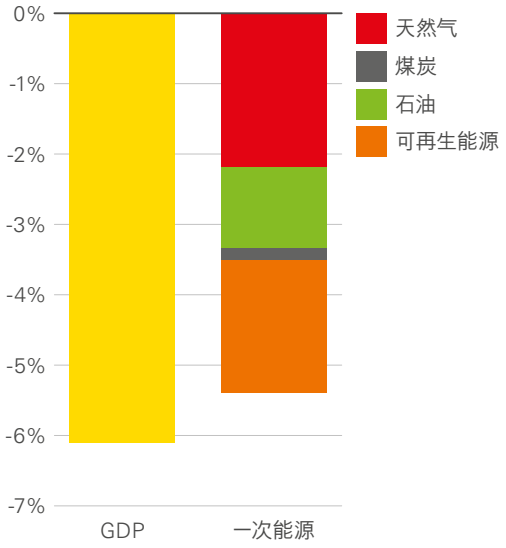
要点

- 全球能源体系之间高度关联，国际能源贸易流巨大。2018年，石油和天然气的国际交易分别占全球石油产量的约四分之三和天然气产量的约四分之一。
- 这些贸易流动与巨大的资源禀赋不平衡（盈余和赤字）有关，由拥有大量资源的国家向自然能源资源较少的国家出口能源。
- 例如，2018年，中国石油消费的约70%依靠进口，天然气消费的约40%依靠进口。在印度的石油和天然气消费中，进口石油的比例略高于80%，天然气则略高于50%。
- 在*快速转型*情景中，中国和印度的石油和天然气继续存在赤字，但程度有所不同。到2050年，由于中国石油需求下降了50%（见第66-67页），中国的石油和天然气净进口总量略有下降。相比之下，到2050年，印度的石油和天然气进口总量增加了一倍以上，部分原因是煤改气的推动，导致印度对进口液化天然气的依赖明显增强。
- 在贸易平衡的另一面，在展望期内，中东地区和俄罗斯继续主导着石油和天然气的出口。
- 页岩气革命导致美国石油和天然气产量扩张，再加上国内消费下降，意味着美国成为*快速转型*情景中庞大的石油（尤其是天然气）净出口国。美国油气和天然气出口在21世纪30年代达到峰值，之后随着美国致密油和非常规天然气凝析液产量的下降而逐渐下降（见第70-71页）。
- 新冠肺炎疫情造成的影响，加上近年来贸易争端和制裁的增加，可能导致各国，特别是高度依赖能源进口的国家，对能源安全的关注增加。
- 下一页探讨了向逆全球化转型以及对能源安全的关注增加可能会对全球能源体系产生哪些影响。

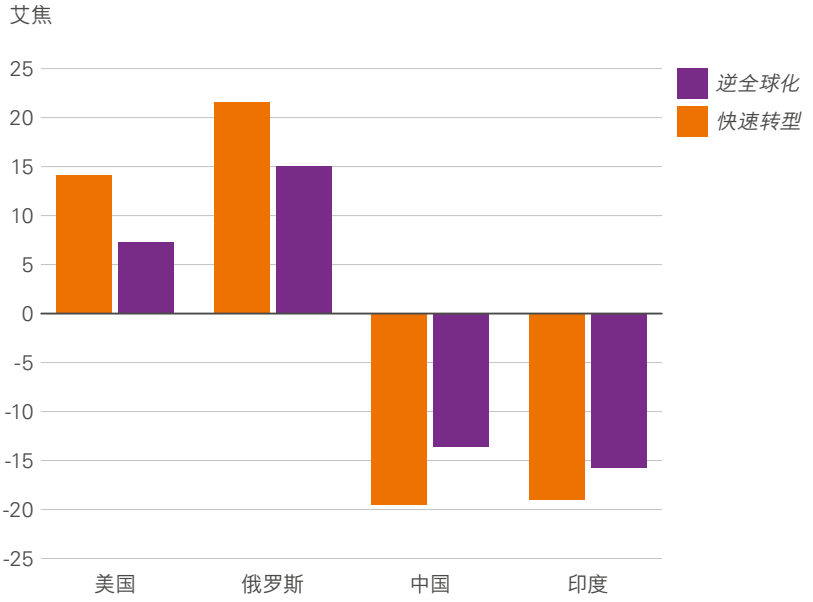
备选情景: *逆全球化*

新冠肺炎疫情可能导致逆全球化并加剧各国对能源安全的担忧

逆全球化与快速转型情景:
2050年全球GDP和能源



2050年石油和天然气净出口



要点

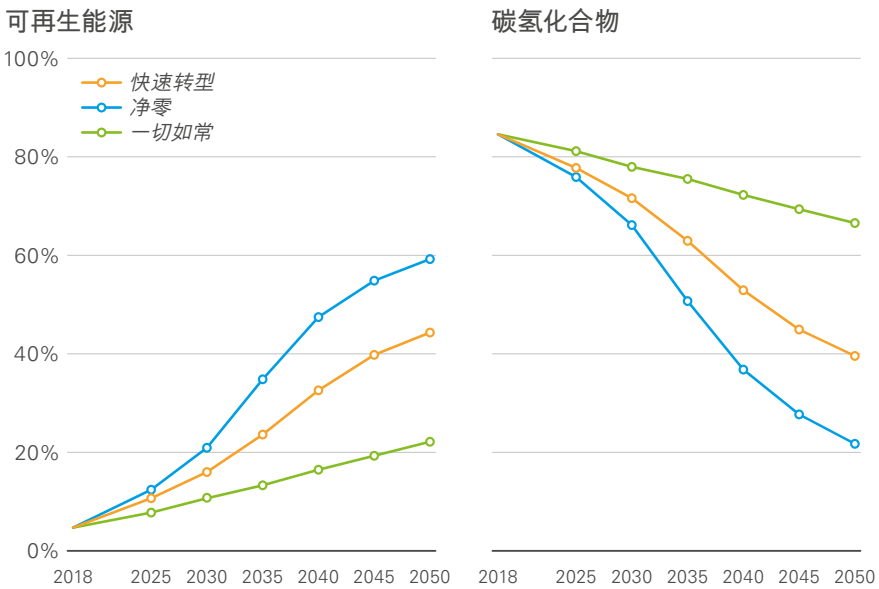
- 在新冠肺炎疫情的大背景下，由于各国通过减少对进口商品和服务的依赖来增强自身的韧性，企业将某些活动转移到国内，并将供应链搬到离本国更近的地方，因此可能会推动逆全球化进程。其中一个结果是各国对能源安全的担忧可能会加剧，特别是高度依赖能源进口的国家。
- *逆全球化*情景就这些潜在变化对*快速转型*情景的影响进行了探讨，其中:
  - 假设全球经济开放度降低将导致全球GDP增长率略微下降（0.2个百分点）；以及
  - 对能源安全的担忧加剧导致各国只愿意为进口能源承担较小的风险溢价（10%）。
- 随着GDP增长趋势放缓，到2050年，*逆全球化*情景中的世界GDP水平相比*快速转型*情景将下降6%，能源需求下降约5%。这些下降主要集中在最容易出现对外贸易量减少的国家和地区。
- 进口能源的风险溢价意味着能源需求的下降主要集中在被交易的燃料（特别是石油和天然气），因为在*快速转型*情景中，在展望期结束时，煤炭消费仍然保持相对较低的水平。能源需求减少导致全球能源赤字和盈余显著收窄。例如，到2050年，*逆全球化*情景中中国石油和天然气净进口比*快速转型*情景中低30%。同样，到2050年，美国的石油和天然气净出口将下降大约50%。
- 化石燃料交易量相对于国产能源（尤其是可再生能源）下降，这意味着，到2050年，*逆全球化*情景中全球能源结构的碳强度略低于*快速转型*情景中的碳强度。

能源的需求和供给

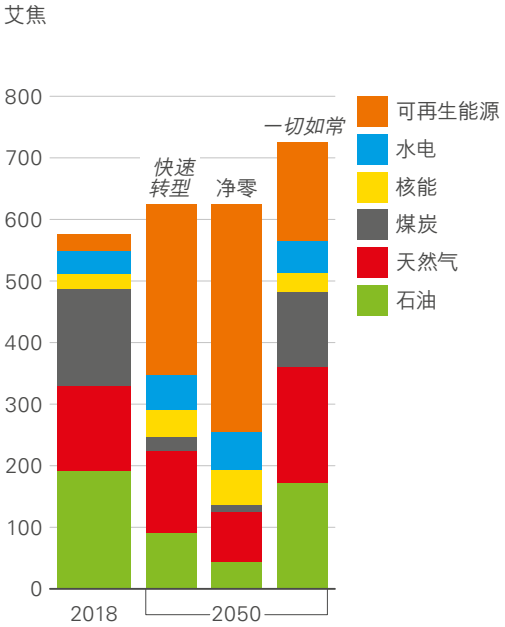
概述
石油和液体燃料
天然气
电力行业的可再生能源
煤炭
核能
水电

可再生能源引领能源结构向低碳转型

在一次能源结构中的占比



一次能源消费（按来源划分）



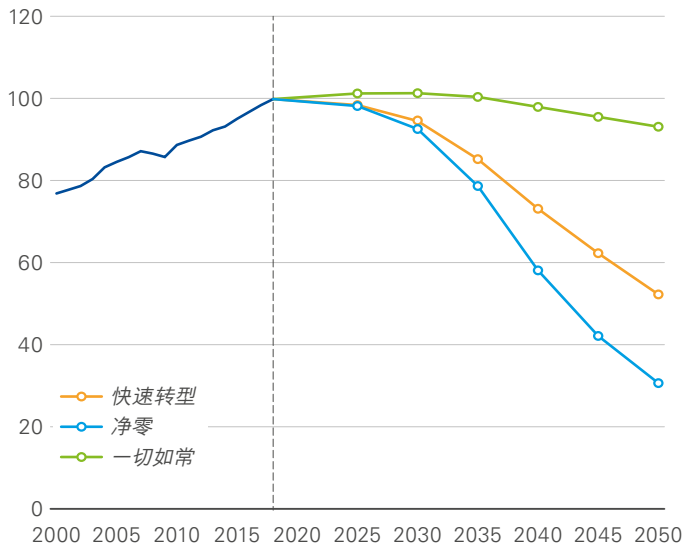
要点

- 在展望期内，随着世界能源体系转向低碳能源，一次能源的增长主要由可再生能源主导。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，可再生能源（包括风能、太阳能、地热和生物能源，但不包括水电，见第84-87页）增加了10倍以上。在*快速转型*情景中，到2050年，可再生能源在一次能源的占比将由2018年的5%上升到40%以上，在*净零*情景中增至60%左右。尽管在*一切如常*情景中可再生能源的增长不太显著，但在未来30年，其仍占一次能源总体增长的90%左右（第84-85页）。
- 碳氢化合物在一次能源中的占比不断下降，可再生能源的重要性日益凸显。到2050年，在*快速转型*情景中碳氢化合物在一次能源消费的占比将由2018年的85%降至40%左右，在*净零*情景中降至20%。
- 在各种碳氢化合物中，天然气的消费前景最为持久。在*快速转型*情景中，到2050年，天然气的消费水平与当前水平相比大体不变，而在*一切如常*情景中增长约35%。在*净零*情景中，到2050年，天然气消费量将降低约40%（第76-77页）。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，石油需求量未完全从新冠肺炎疫情导致的急剧缩减中恢复过来。在*快速转型*情景中，到2050年，石油需求将降低约50%，*净零*情景中则几乎降低80%。在*一切如常*情景中，石油的前景更具韧性，到2050年，石油需求相比当前水平只略有下降（第66-67页）。
- 在所有三种情景中，尤其是在*快速转型*和*净零*情景中，煤炭消费量显著下降，到2050年将降低80%以上（第88-89页）。
- 在*净零*情景中石油、天然气和煤炭需求显著降低，这将如何与生产这些能源的国家和区域的供应决策相互适应，目前尚不确定，本部分亦未作详细探讨。

全球液体燃料市场根据需求和生产模式的变化进行调整

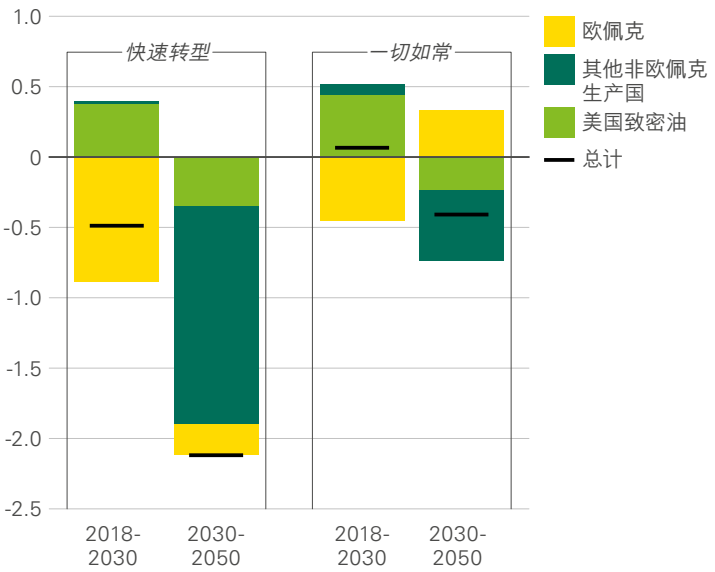
液体燃料消费

（百万桶/天）



液体燃料供应增长

（百万桶/天，年均增长）



要点

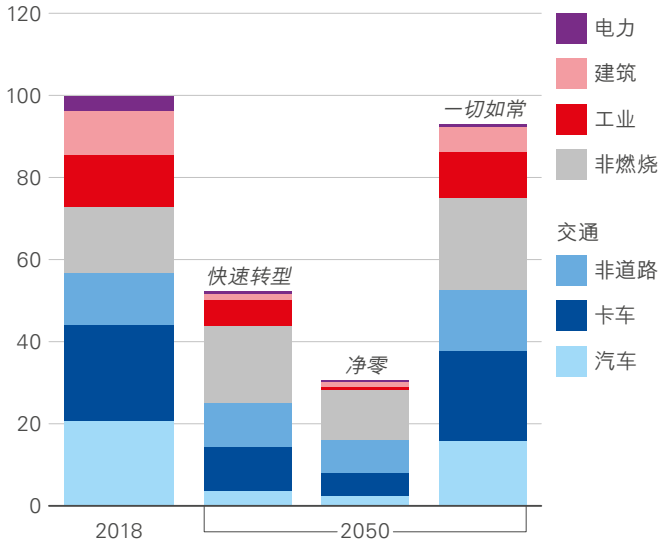
- 全球液体燃料（石油、生物燃料和其他液体燃料）市场随着石油需求达峰和供应变化而发生相应变化。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，液体燃料的需求不会完全恢复到新冠肺炎疫情造成的缩减之前的水平，这意味着在这两种情景中，石油需求在2019年达峰。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，液体燃料消费量在展望期内显著下降，到2050年，分别降至低于5,500万桶/天和大约3,000万桶/天。需求下降主要集中在发达国家和中国。在*快速转型*情景中，印度、其他亚洲国家和非洲国家的消费水平在展望期内总体保持基本稳定，但在*净零*情景下，到21世纪30年代中期将降至低于2018年的水平。
- 相比之下，在*一切如常*情景中，在恢复到受新冠疫情肺炎影响之前的水平后，液体燃料消费量在未来20年内将保持在1亿桶/天左右，到2050年将微跌至9,500万桶/天。印度、其他发展中亚洲国家和非洲国家对液体燃料的需求继续增长，增量被发达国家消费量的下降所抵消。
- 尽管石油需求疲软，在*快速转型*情景中，美国致密油*将从新冠肺炎疫情的影响中恢复，并在21世纪30年代初之前继续扩张，其增量将高于石油输出国组织（“欧佩克”）的减量。此后，欧佩克的产量将基本企稳，这是由于全球需求减少的同时，美国致密油和其他非欧佩克国家供应量也相应减少。在*快速转型*情景中，到2050年，非欧佩克国家的供应量减少约占液体燃料供应量总体减量的三分之二。
- 在*一切如常*情景中，在未来10年左右的时间里，美国致密油产量的增长将会被欧佩克的产量降低所抵消。21世纪30年代中期以后，虽然石油需求逐渐减少，但美国致密油和其他非欧佩克生产国产量的下降为欧佩克生产国提供了增产的空间。在*一切如常*情景中，到2050年，欧佩克生产国的产量将与2018年基本持平。

*美国致密油包括来自陆上致密储层的原油、凝析油和天然气凝析液

液体燃料需求前景的主导因素来自于交通行业的需求变化

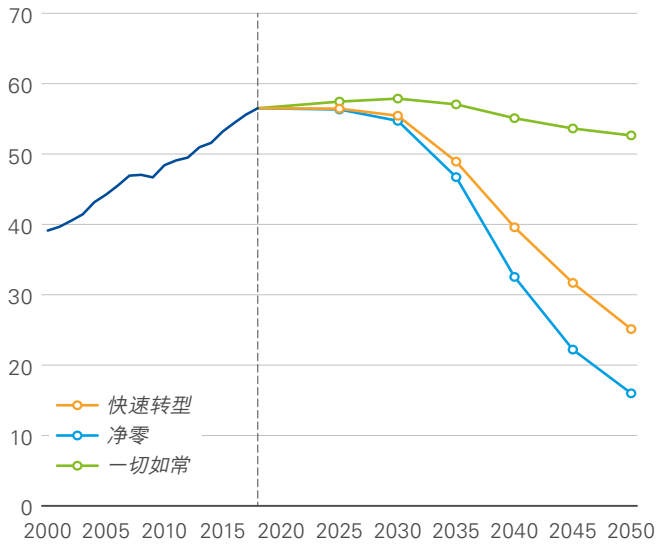
液体燃料需求（按行业划分）

（百万桶/天）



交通行业的液体燃料消费

（百万桶/天）



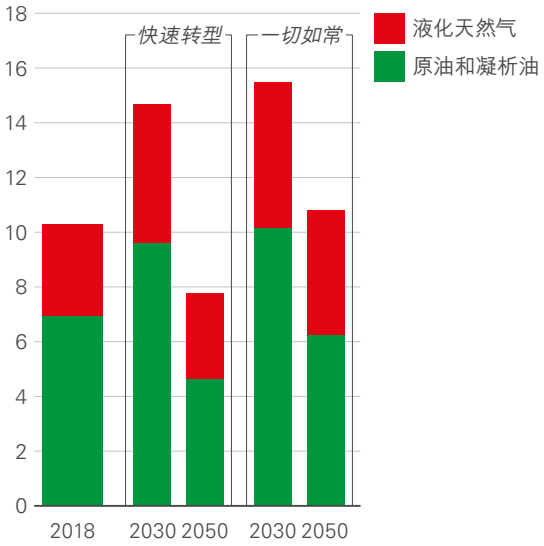
要点

- 短期内新冠肺炎疫情的影响以及交通行业液体燃料使用量的减少将是主导液体燃料需求前景的主要因素。
- 在所有三种情景中，全球液体燃料需求都受到新冠肺炎疫情的显著影响，疫情对新兴经济体作为液体燃料主要增长市场的经济活动和繁荣产生了严重影响。此外，新型冠状病毒的爆发还引发了一些永久性的行为改变，特别是居家办公现象的增加（见第28-29页）。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，液体燃料需求不会完全从疫情的短期冲击中恢复过来，在展望期内随后将显著下降，在两种情景中到2050年液体燃料需求将分别降至5,500万桶/天和3,000万桶/天。
- 交通行业液体燃料使用量的变化是影响液体燃料需求下降规模和速度的主要因素。在*快速转型*和*净零*情景中，随着效率提升和道路交通的持续电气化（见第44-47页），液体燃料需求在展望后半期急剧下降。在*快速转型*情景中，到2050年，交通行业在液体燃料需求减少量中的占比约为三分之二，在*净零*情景中几乎达到60%。
- 在展望后半期，在*快速转型*情景和*净零*情景中，液体燃料需求分别以每年平均超过200万桶/天和300万桶/天的速度下降。这种下降速度是前所未有的，并对石油行业的其他活动（包括炼油）产生重大影响（见第74-75页）。
- 在*一切如常*情景中，液体燃料需求更具韧性，在未来20年的大部分时间里，交通行业内液体燃料的使用基本保持稳定，可以支撑大约100万桶/天的全球需求，但在展望期的最后10年内，随着交通行业内液体燃料的使用量开始下降，液体燃料需求将下降。
- 液体燃料的非燃烧使用（主要作为石油化工行业的原料）在一定程度上支撑了液体燃料的总体需求。在*快速转型*和*一切如常*情景中，液体燃料需求均有所增加，在*净零*情景中，仅在展望期的最后10年才降至低于2018年的水平。

液体燃料供给最初由美国致密油驱动，欧佩克生产国的份额随后回升

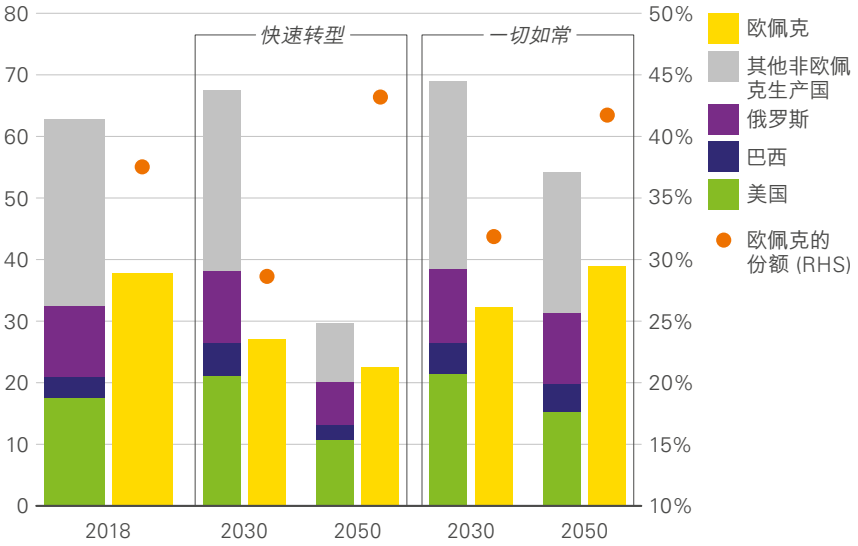
美国致密油生产

（百万桶/天）



液体燃料供应（按区域划分）

（百万桶/天）



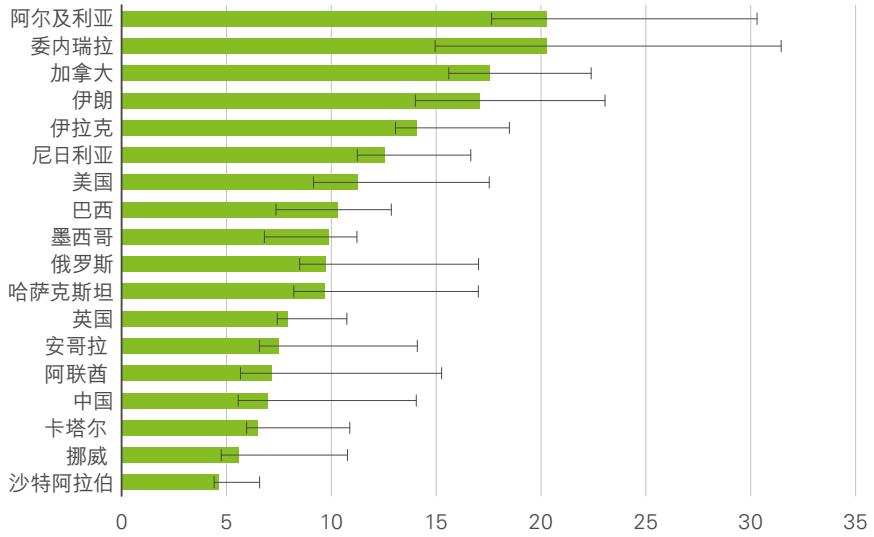
要点

- 全球液体燃料供给的构成最初由美国致密油反弹所主导，在展望后半期，欧佩克生产国产量份额有所回升。
- 在*快速转型*情景中，美国致密油需求从新冠肺炎疫情的冲击中恢复过来，在21世纪30年代初期增至接近1,500万桶/天。同期，巴西的产量也有所增加。但随着美国致密地层的成熟以及欧佩克针对致密油需求加速下滑采取更具竞争力的战略，美国和非欧佩克国家的产量从21世纪30年代初开始呈现更为普遍的下降趋势。
- 在未来10年左右的时间里，欧佩克的产量将会下降，此后将基本趋于稳定。欧佩克产量占液体燃料总产量的比例将从21世纪30年代初接近25%的低点回升到2050年的45%左右。非欧佩克国家的生产成本较高，这意味着到2050年，*快速转型*情景中液体燃料产量总体大约三分之二的下降将来自于非欧佩克国家。
- 在*一切如常*情景中，非欧佩克国家的供应也遵循类似的模式：在美国致密油和巴西需求增长的带动下，液体燃料需求在展望前半期呈增长趋势。但随着21世纪30年代初期美国致密油供给达到峰值，液体燃料需求在展望后半期开始下降。这个供给的下降，为欧佩克从21世纪30年代中期开始增加产量提供了空间。到2050年，欧佩克的产量水平将回升至接近2018年的水平，其市场份额将增至40%以上。
- 除了液态燃料总体需求下降以外，能源系统的低碳转型也推动了液体燃料构成的转变。在*快速转型*情景中，在展望期内，液体燃料供应总体呈下降趋势，主要因为原油和凝析油供应量急剧下降，而生物燃料的产量增加200万桶/天。同样，在*一切如常*情景中，虽然到2050年液体燃料总供应量仅略低于2018年的水平，但其主要原因在于原油和凝析油供应量的大幅下降，这在一定程度上被天然气凝液和生物燃料供应量的增长所抵消。

随着碳价的升高，源自生产活动的原油碳强度差异所产生的影响也越来越大

2015年原油生产的平均碳强度（按国家）

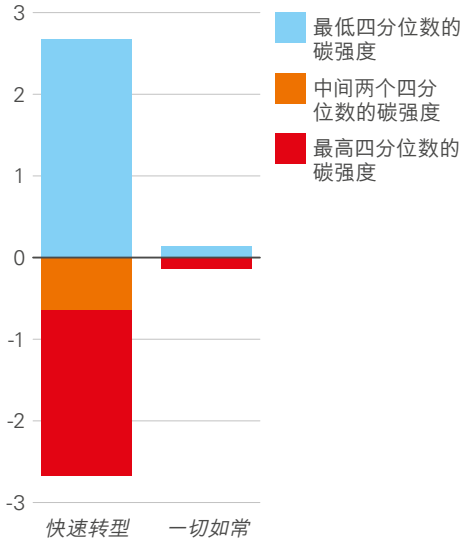
二氧化碳当量/兆焦（克）



资料来源：Masnadi等（2018年），2018年全球原油生产碳强度图还包括产量超过100万桶/天的原油和凝析油生产国。误差区间为5%-95%。

碳强度：对供应量的影响*

（百万桶/天）



*原油和凝析油供应相对反事实情景（所有供应方的碳强度都相同）的差异

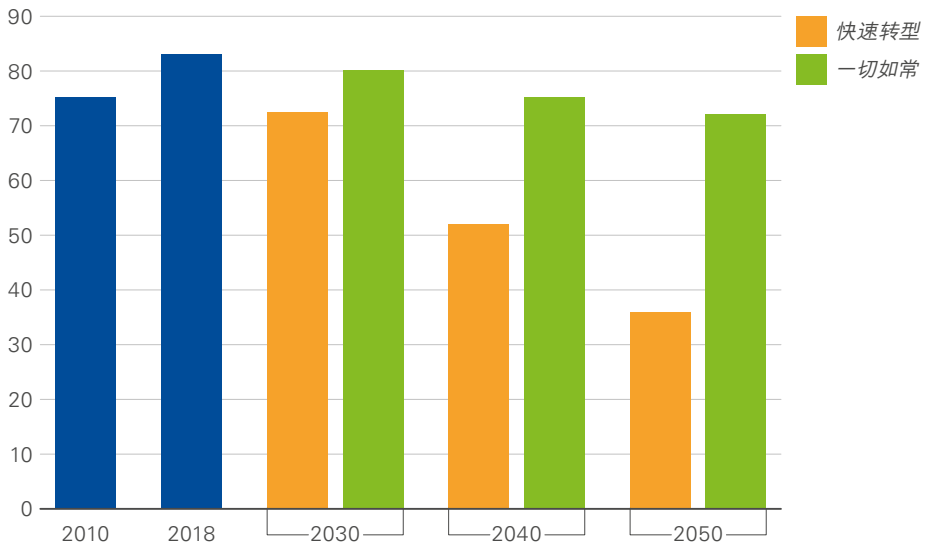
要点

- 2015年，与原油和凝析油生产和运输有关的碳排放占因能源使用产生的碳排放总量的5%左右。
- 不同国家（和国家内部）源自生产活动的碳排放—通过原油供应的碳强度衡量—存在显著差异，反映了生产活动性质和地点的差异。不同的碳强度会影响不同类型的生产所面临的碳价格。
- 在碳价处于较低水平时，不同碳强度对总成本和竞争力的影响相对较小，因此对总供给模式的影响也比较小。例如，在*一切如常*情景中，碳价在整个展望期内保持相对较低的水平，与反事实情景（假设所有供应模式的碳强度都相同）相比，到2050年，在碳强度最高的25%的供应模式与碳强度最低的25%的供应模式之间的转换量小于50万桶/天。
- 相比之下，在*快速转型*情景中，高碳价格增加了碳强度较高供应模式的附加成本，因而对产品竞争力的影响更大。特别是，在*快速转型*情景中，到2050年，持续上涨的碳价导致碳强度最高的25%的供应需求要比反事实情景中的需求低大约200万桶/天（少近25%），碳强度最低的25%的供应量相应增加。
- 对于碳强度较高的供应模式与碳强度较低的供应模式之间的转换，其精确程度取决于不同原油和凝析油的碳强度可以降至什么程度以及成本如何。例如，通过电气化方式可以用相对较低的成本减少一些陆上生产经营活动的碳排放。但如果碳价大幅上涨，碳排放强度上的一些差异很可能会继续显现，从而对未来的供应模式产生影响。
- 天然气供给的碳强度差异上也存在类似问题。除了生产活动的碳强度差异以外，天然气供应的碳强度差异还取决于天然气是通过管道运输还是以液化天然气的形式运输。如果以液化天然气的形式运输，则其碳强度将会增加。

随着需求下降和产能关停，炼油行业前景不容乐观

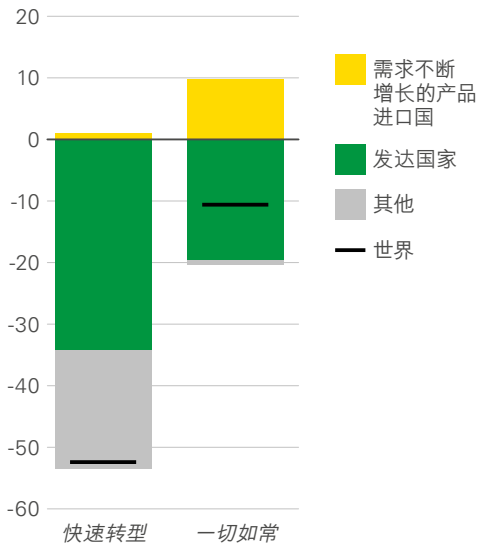
炼厂原油加工量

（百万桶/天）



2018年-2050年炼油产能变化

（百万桶/天）



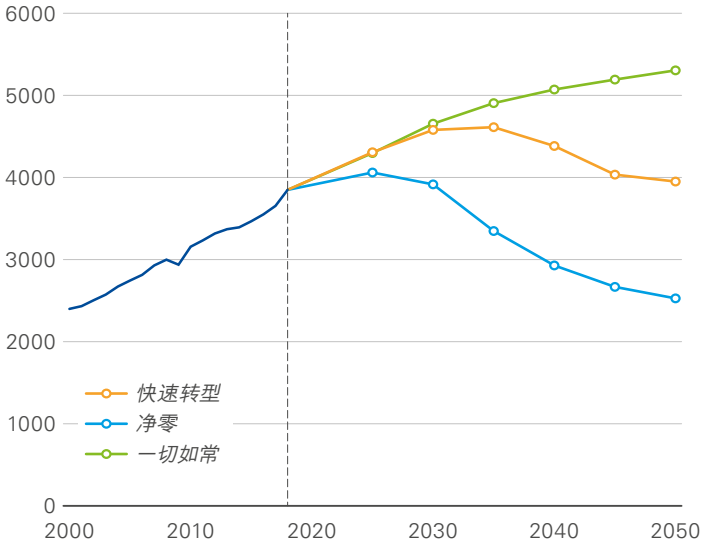
要点

- 受短期内新冠肺炎疫情以及液体燃料需求下降和替代原料竞争进一步加剧的综合影响，炼油行业的前景不容乐观。
- 受新冠肺炎疫情导致的需求下降的影响，炼厂原油加工量在*快速转型*和*一切如常*情景中，短期内都呈显著降低趋势，这在交通行业尤其明显（见第68-69页）。
- 与液体燃料的总体需求一样，在*快速转型*情景中炼厂原油加工量将不会完全恢复到新冠肺炎疫情之前的水平，到2050年，炼厂原油加工量将降至不到2018年水平的一半，降幅超过4,500万桶/天。在*一切如常*情景中，炼油前景面临的挑战较少，在未来数年内，炼油加工将恢复到新冠肺炎之前的水平，并在21世纪30年代初期之前保持在该水平，到2050年将逐步降至低于2018年的水平，降至约为1,000万桶/天。
- 炼油加工量下降的前景与之前宣布的在未来5年左右将炼油新增产能提升大约900万桶/天的计划形成了鲜明对比。如果印度和非洲等产品需求持续增长的新兴经济体，通过增加产能来减少其对成品油进口的依赖，那么炼油产能过剩的规模可能会进一步扩大。
- *一切如常*和*快速转型*情景中出现的炼油产能过剩会导致竞争加剧，最终导致最不具竞争力的炼厂关闭。在*一切如常*情景中，炼厂关停主要集中在发达经济体，尤其是欧洲、亚洲的经合组织成员国和北美部分国家。在这些国家，国内需求的下降增加了炼厂对竞争激烈的油品出口市场的敞口。
- *快速转型*情景下需要更为明显、更为普遍的市场合理化程度，因为当前（或计划）产能比2050年的需求大约超了5,000万桶/天。在*快速转型*情景中，最能适应这些压力的炼油产能由以下因素支持：有弹性的国内需求、有优势的原料供应、高质量的升级、与石油化工业务的协整以及（某些地区的）政府支持。

天然气前景较煤炭或石油更具韧性

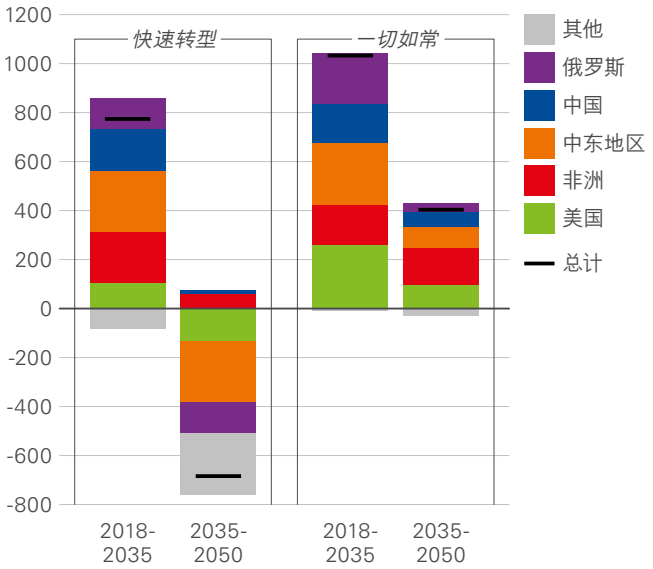
天然气消费

（十亿立方米）



天然气产量增加（按区域划分）

（十亿立方米）



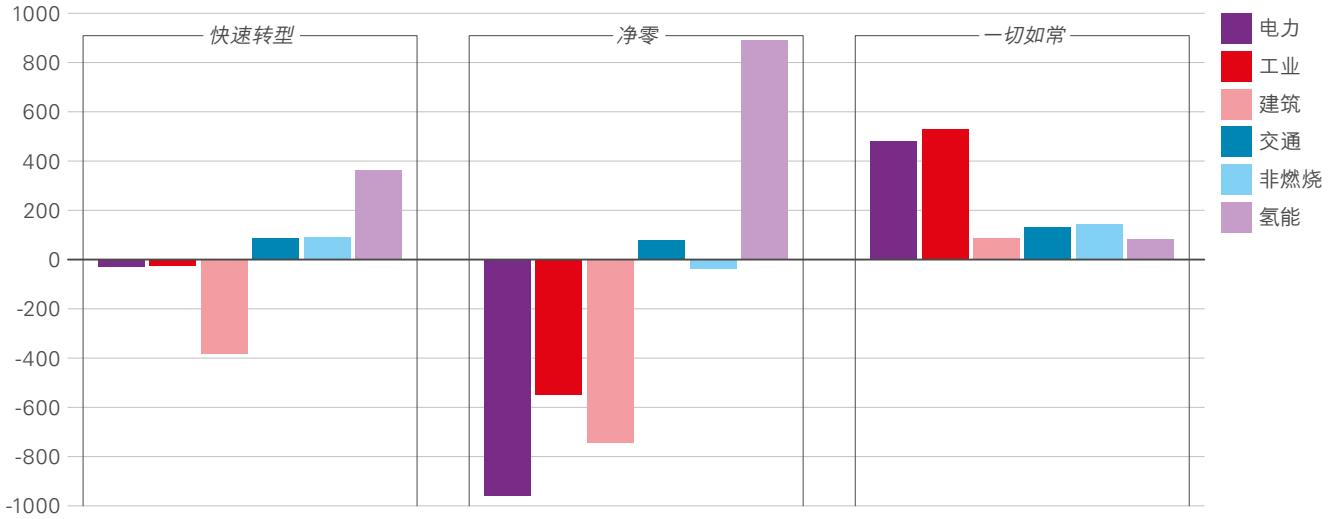
要点

- 得益于广泛的需求以及持续增长的全球供给，天然气拥有比煤炭或石油更持久的前景。
- 在*快速转型*情景中，随着亚洲发展中经济体（中国、印度、其他亚洲国家）的经济发展，这些国家逐渐从煤炭转向天然气等低碳燃料（对天然气潜在支持作用的探讨，见第80-81页），促使全球天然气（天然气和生物甲烷）需求从新冠肺炎疫情导致的短期缩减中恢复过来，并在未来15年左右的时间里保持相对稳健的增长趋势。随着亚洲发展中国家的增长动能放缓，加之发达国家的天然气消费量不断下降，全球天然气消费量在随后15年内呈下降趋势。因此，到展望期结束时，全球天然气需求将回落至接近2018年的水平，约为40,000亿立方米。
- 在*净零*情景中，全球天然气需求的增长期较短，在21世纪20年代中期达到峰值，随后以更快的速度下降，由此在2050年降至比2018年低35%左右的水平。
- 相比之下，在未来30年内，*一切如常*情景中天然气需求将持续增长，到2050年将增长三分之一，达到53,000亿立方米左右。天然气消费的增长相对比较普遍，在亚洲发展中国家、非洲和中东的国家增长尤为强劲。
- 在所有三种情景中，生物甲烷需求都有所增长，在*快速转型*和*净零*情景中，达到大约2,500亿立方米，在*一切如常*情景中达到大约1,000亿立方米，分别占天然气需求总量的约6-10%和2%。
- 在*快速转型*情景中，中国和非洲随着国内消费水平不断提升，成为天然气产量持续增加的主要区域。到2050年，美国和中东的天然气产量基本保持2018年的水平不变，国内需求的显著减少被出口量增加所抵消。在*快速转型*情景中，天然气大多以液化天然气的形式出口，在展望期内，液化天然气需求大约翻一番，天然气的全球竞争力和供应能力均有提升（见第82-83页）。
- 在*一切如常*情景中，美国、中东和非洲地区产量上升，全球供应量增长的近三分之二来自这些地区，在很大程度上驱动了较为强劲的需求增长。

不同情景下的天然气需求模式差别巨大

2018年-2050年天然气需求的变化情况（按行业划分）

（十亿立方米）



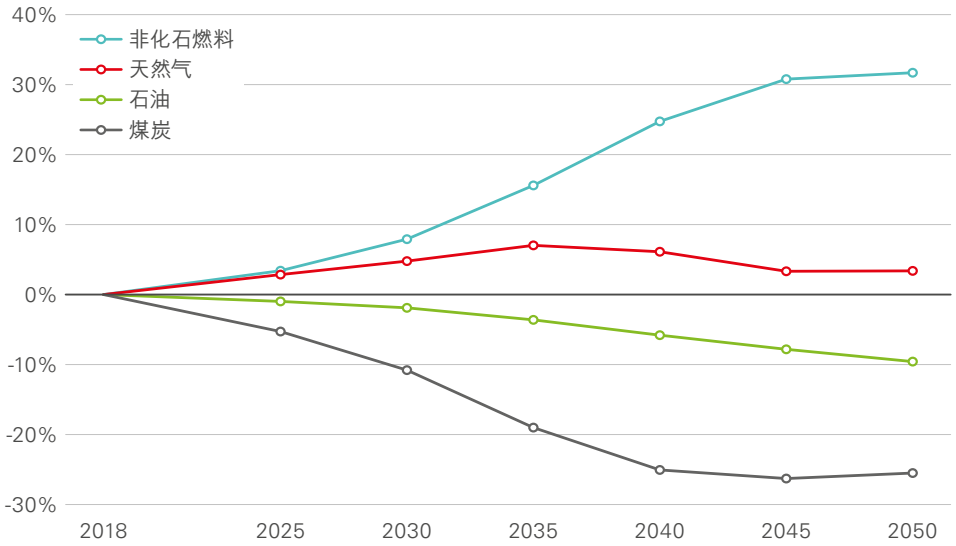
要点

- 在三种情景中，全球天然气消费的变化模式存在显著差异，表现出低碳转型的速度差异和程度差异。
- 在*快速转型*情景中，能源体系向低碳转型，加之能效显著提升，意味着用于工业和电力行业——这两项是过去20年内天然气消费增长的两个主要来源——的天然气消费量在展望期内基本保持不变，建筑行业的天然气消费量大幅下降。相比之下，在展望期内，天然气消费增长的主要来源是天然气越来越多地用于蓝氢制造，到2050年，在*快速转型*情景中，用于蓝氢制造的天然气占全球天然气需求的10%左右（见第102-105页有关氢能前景的探讨）。
- 在*净零*情景中，天然气需求模式的转变更加明显。电力和建筑行业的天然气使用量分别下降约65%和90%，但在一定程度上被用于制造蓝氢的天然气使用量的增加所抵消。
- 相比之下，在*一切如常*情景中，所有经济行业都为全球天然气需求增长提供了广泛基础，其中以工业和电力行业为首，两者加起来约占需求增长的三分之二。工业需求的增长完全来自继续推进工业化的新兴经济体，例如中国的工业行业煤改气转型。

天然气在低碳能源转型中的作用

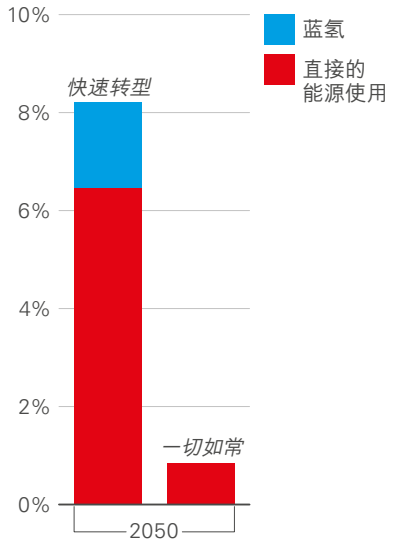
快速转型与一切如常情景: 印度和其他亚洲国家*

占一次能源的比例差异



*其他亚洲国家不包括中国和亚洲的经合组织成员国

结合CCUS技术的天然气在一次能源中的占比

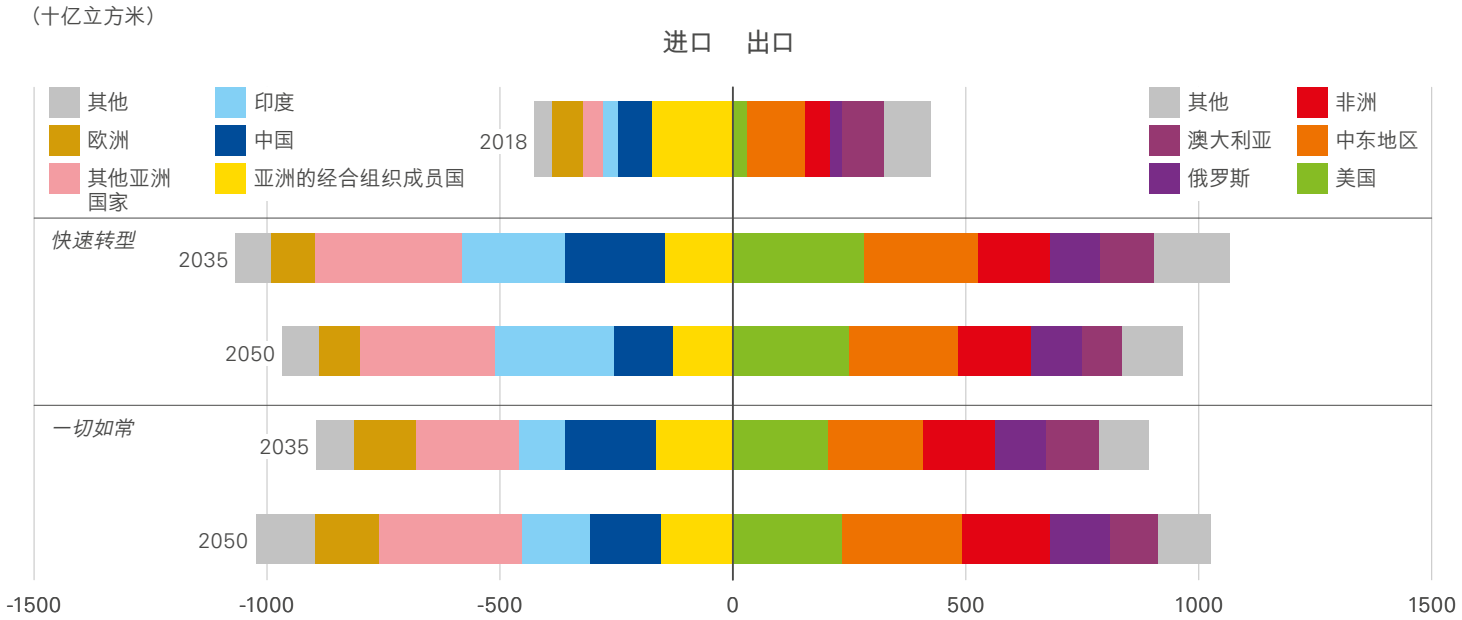


要点

- 在加速向低碳能源体系转型的过程中，天然气可能在以下两个方面发挥重要作用:
  - 支持快速增长的发展中经济体摆脱对煤炭的依赖，这些经济体的电力需求和煤炭的其他用途正在快速增长，可再生能源和其他非化石燃料的增长速度可能不足以单独取代煤炭；以及
  - 当与CCUS技术结合时，作为（近）零碳能源的来源，作为电力和工业行业的直接能源来源或用于生产蓝氢。
- 将*一切如常*情景中所设想的天然气在缓慢转型中的作用与*快速转型*情景中加快推进的去碳化进程中的作用相对比，就能凸显天然气在这两个方面的作用。
- 在印度和其他亚洲国家，天然气在支持人们减少煤炭使用方面所发挥的作用最为明显。相比*一切如常*情景，*快速转型*情景中煤炭比例显著下降，主要被以可再生能源为主导的非化石燃料的快速增长所抵消，同时天然气比例大幅增加也为其提供了支持。随着非化石能源的加速增长，天然气的支持作用在展望期结束时将逐渐消失。
- 发达国家的能源需求增长速度放缓，使得降低煤炭消费量与增加非化石燃料使用量这两者匹配起来更为容易，因此发达国家不太需要天然气的这种支持作用。
- 在*快速转型*情景中，天然气作为（近）零碳能源来源的作用相对于*一切如常*情景更为明确。在*快速转型*情景中，到2050年，结合CCUS技术的天然气约占一次能源的8%，而在*一切如常*情景中，仅占1%。在*快速转型*情景中，大部分结合CCUS技术的天然气都被用作工业和电力行业的直接能源来源，剩余的天然气则用于生产蓝氢。

液化天然气显著增长，提高了全球天然气供应能力

液化天然气进口和出口



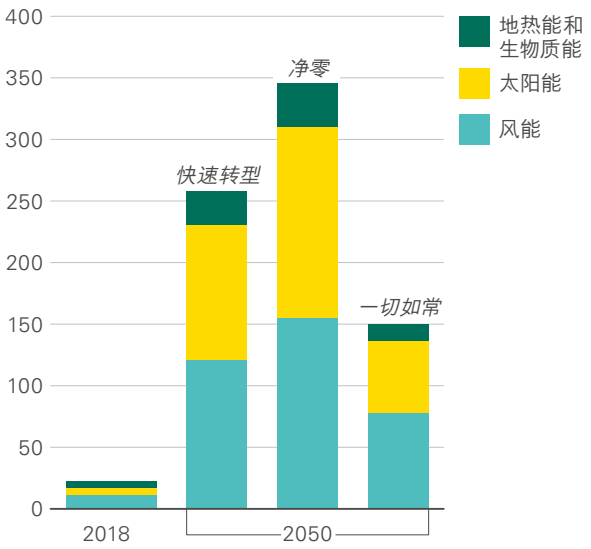
要点

- 在*快速转型*和*一切如常*情景中，液化天然气生产均显著增长，推动了更具竞争性、全球一体化的天然气市场的形成。
- 在*快速转型*情景中，液化天然气贸易从近期新冠肺炎疫情导致的疲弱局面中强劲复苏，在展望前半期翻了一番以上，到21世纪30年代中期将由2018年的4,250亿立方米提升至大约11,000亿立方米。
- 亚洲发展中国家（中国、印度和其他亚洲国家）日益增长的天然气需求是推动液化天然气快速增长的主要因素，因为这些国家需要使用天然气来帮助其摆脱对煤炭的依赖，而液化天然气进口是增加供应量的主要来源。随着美国、非洲和中东成为液化天然气出口的三大枢纽，来自这些国家和地区的供应量不断增长，满足了增加的液化天然气需求。
- 在*快速转型*情景的后半程，由于亚洲发展中国家的进口需求开始下降，全球液化天然气进口量降低。中国的液化天然气进口需求下降最明显，因为中国总体需求下降，同时其国内生产量（包括生物甲烷）也有所增加。到2050年，液化天然气贸易量将降至约9,700亿立方米。在21世纪30年代中期以后，液化天然气的出口量下降速度将超过液化设施的折旧速度。这意味着，在展望期结束时，一些设施将不能满负荷运行，或者需要提前关闭。
- *一切如常*情景中的液化天然气贸易增长速度相比*快速转型*情景更为缓慢，到2050年，液化天然气贸易量将达到略高于10,000亿立方米的水平。然而，即使在*一切如常*情景中，也有大约60%的增长发生在未来10年左右的时间内。与*快速转型*情景一样，美国、非洲和中东地区是增加供应量的主要来源，亚洲发展中国家是出口量增长的主要目的国，欧盟仍是这两种情景中重要的液化天然气平衡市场。

在风能和太阳能的推动下，可再生能源发电迅速增长

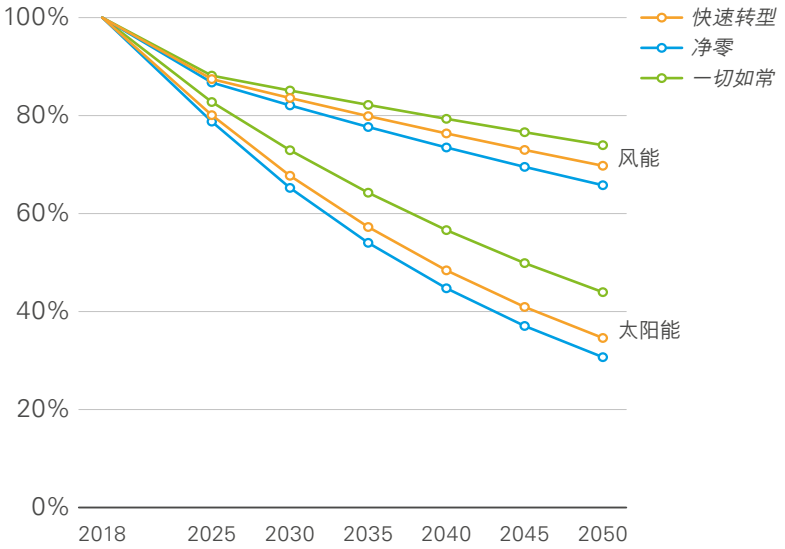
电力行业使用的可再生能源

艾焦



风能和太阳能成本（按情景划分）

100% = 2018年价格



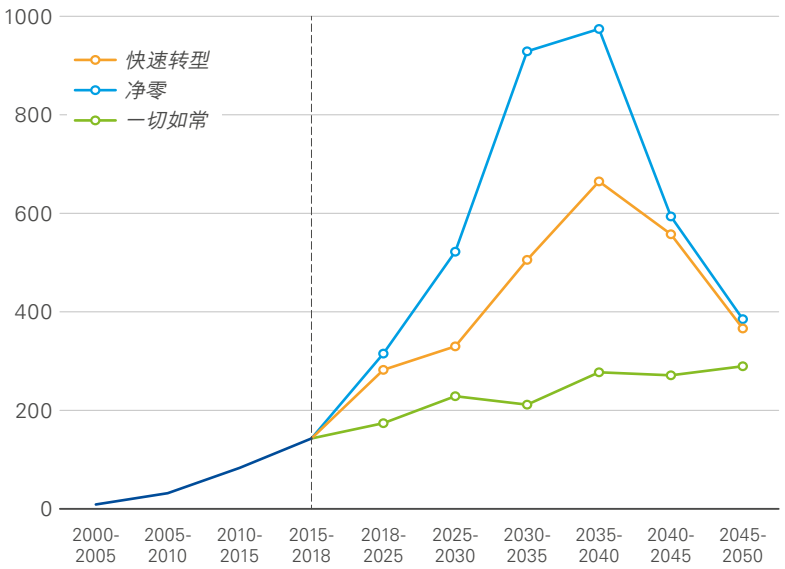
要点

- 随着生产成本降低以及多项政策鼓励向低碳能源转型，在所有三种情景中，用于电力行业的可再生能源（风能、太阳能、生物质能和地热）都呈迅速增长趋势。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，电力行业使用的可再生能源增长速度均远远超过一次能源的增长速度，在展望期内将分别增长约250艾焦和350艾焦，比一次能源整体增长分别大五倍和七倍。
- 随着风能和太阳能发电量不断增加，需要平衡间歇性发电的成本上升，因而从21世纪30年代末开始，快速增长的步伐将略有放缓。即便如此，在*快速转型*和*净零*情景中可再生能源在一次能源中的占比仍将从2018年的5%左右分别增至2050年的45%和60%。
- 可再生能源的增长主要由风能和太阳能主导，随着其“学习曲线”走低，开发成本持续下降，这也为可再生能源的增长提供了支撑。在未来30年，在*快速转型*情景中，风能和太阳能成本将分别下降约30%和65%，在*净零*情景中则将分别下降35%和70%。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，风能和太阳能在发电量绝对增加值中所占的比例相近。这就意味着在成本大幅下降的支撑下，太阳能发电的增长速度更快，同时带动成本的进一步下降。
- 在*一切如常*情景中，电力行业的可再生能源增长速度并不算快。虽然在展望期内可再生能源增长了7倍，并贡献了大约90%的一次能源消费增长。
- 在所有三种情景中，在新兴经济体发电需求强劲增长以及电力行业可再生能源比例不断上升（尤其是以减少煤炭使用量为代价）的推动下，新兴经济体成为可再生能源增长的主力。

风能和太阳能装机容量建设大幅加速

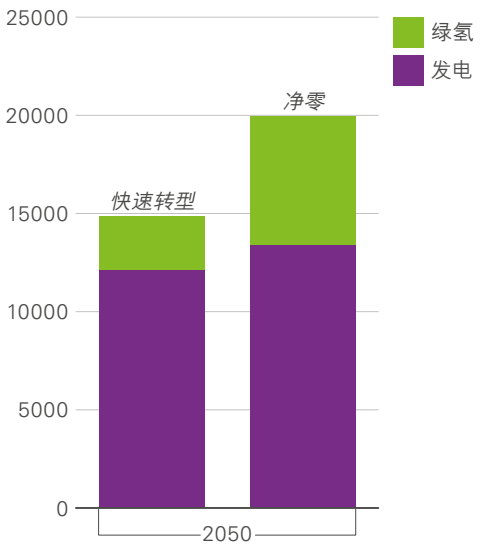
风能和太阳能装机容量的年均增长量

吉瓦



风能和太阳能的装机容量

吉瓦

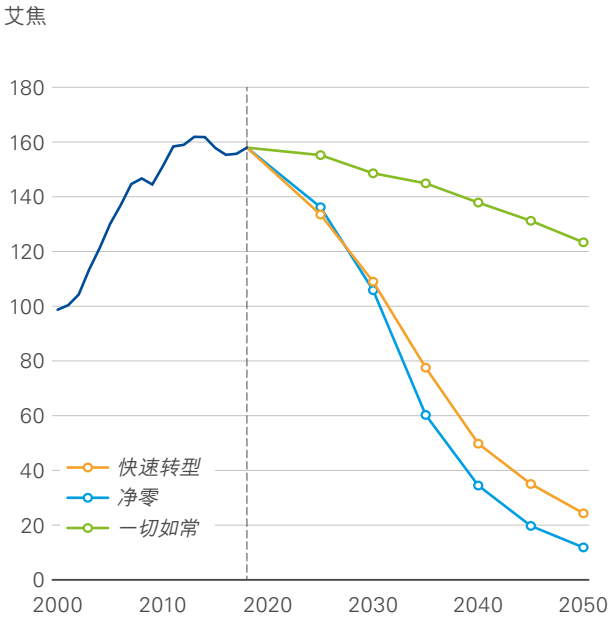


要点

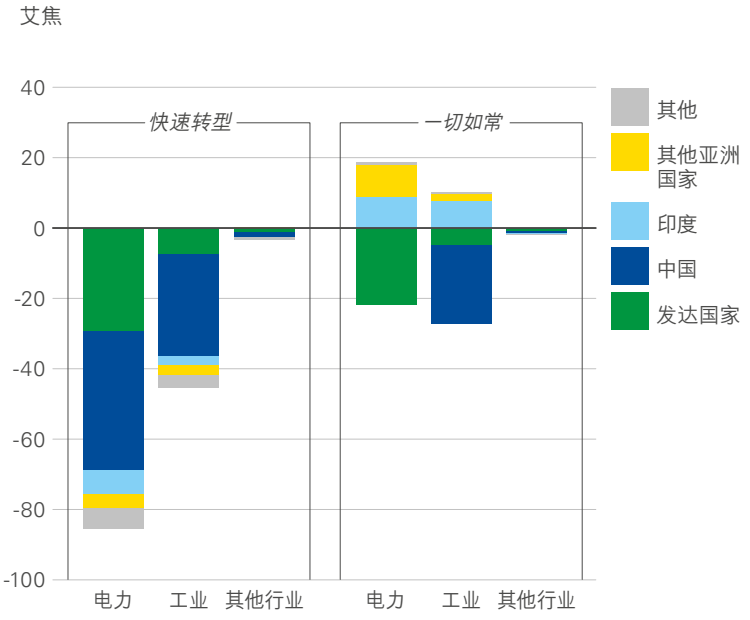
- 在所有三种情景中，如果要提高风能和太阳能发电量，就需要显著加快可再生能源装机容量建设。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，在展望前半期，风能和太阳能装机容量分别年均增长350吉瓦和550吉瓦左右，分别是自2000年以来年均增长60吉瓦的6倍和9倍。
- 尽管加快风能和太阳能装机容量建设需要大幅增加投资支出，但增加的投资支出会在一定程度上被降低的风能和太阳能开发成本所抵消。第132-133页针对风能和太阳能投资的影响进行了探讨。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，风能和太阳能发电先是快速增长，随后因新增装机容量的间歇性发电建设成本显现而速度放缓，在*快速转型*和*净零*情景中，装机容量的增加于2035年左右达到峰值，然后急速放缓。新增装机容量方面的这一难题加大了展望期结束时可再生能源供应链内发生产能过剩的风险。
- 在*一切如常*情景中，加快风能和太阳能装机容量建设是一个更加渐进、更为稳定的过程，虽然展望期内装机容量年均建设速度（235吉瓦）相比以往扩建速度要快得多。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，发达国家在总体风能和太阳能部署中占25%的比例，中国大致占25%，剩余的都来自其他新兴经济体。在*一切如常*情景中，发达经济体的作用更大 — 约占总体部署的三分之一。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，很大部分风能和太阳能用于制造绿氢。到2050年，在*快速转型*情景中，用于制造绿氢的风能和太阳能将占总装机容量的20%左右，在*净零*情景中则约占三分之一。

在中国的推动下，煤炭在全球能源体系中的作用减弱

煤炭消费



2018年-2050年煤炭需求变化情况（按行业和区域划分）



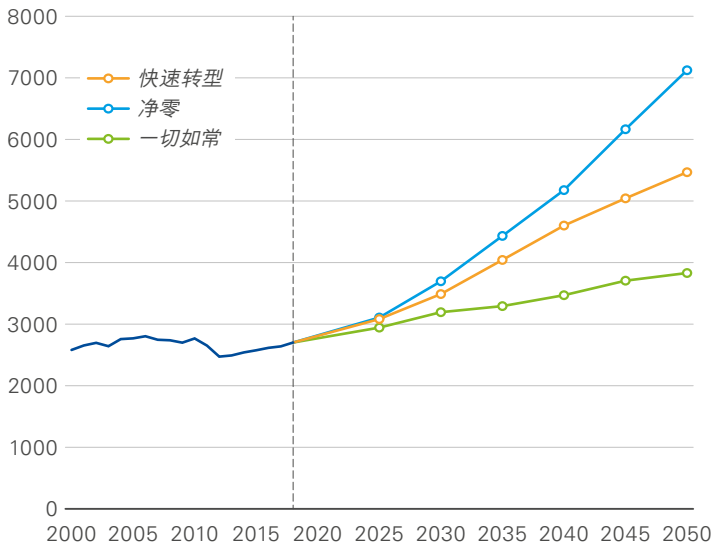
要点

- 在所有三种情景中，未来30年内全球煤炭消费量将持续下降，再也不会恢复到2013年的峰值水平。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，煤炭消费量的下降幅度尤其明显。在未来30年内，煤炭降幅达85-90%，几乎完全从全球能源体系中出局。到2050年，煤炭在一次能源的占比将降至5%以下。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，随着中国转向更加可持续的增长和低碳能源结构体系，中国将成为煤炭需求下降的主导者。在这两种情景中，中国缩减的煤炭消费量约占全球煤炭需求总体缩减量的一半，剩余缩减量则来自经合组织成员国、印度和其他亚洲国家。
- 煤炭消费量缩减在*一切如常*情景中表现得不如另外两种情景下显著。到2050年，煤炭消费量将下降25%左右，下降速度在整个展望期内逐渐加快。全球煤炭消费量的减少绝大部分发生在中国，其次是美国和欧盟国家。印度和其他亚洲国家煤炭消费量持续增长，在一定程度上减缓了全球煤炭消费量的总体下降趋势。在*一切如常*情景中，到2050年，亚洲发展中国家（中国、印度和其他亚洲国家）在煤炭消费总量的占比将达到80%以上。
- 煤炭消费量下降主要集中在电力和工业行业。在*快速转型*和*净零*情景中，由于发电基本实现去碳化，因此下降的煤炭消费量中大约有三分之二的部分来自于电力行业；而在*一切如常*情景中，电力和工业行业对煤炭消费量下降的贡献大致相同。到2050年，在*一切如常*情景中，剩余煤炭消费量中大约有三分之二源自电力行业（见第100-101页关于印度燃煤发电前景的讨论）。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，到2050年，剩余煤炭消费大多与CCUS技术结合使用，主要用于电力行业和蓝氢制造。
- 全球煤炭需求下降与供应方面中国的产量显著降低相一致。在*快速转型*和*一切如常*情景中，煤炭产量的减少绝大部分集中在中国。

中国在核能增长中占据主导地位

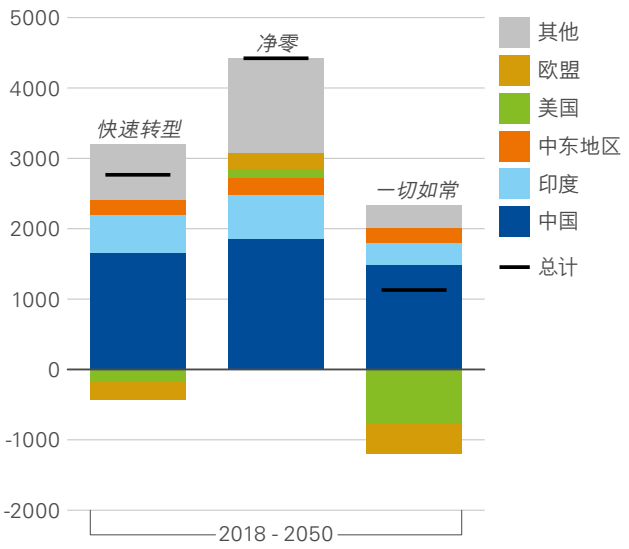
核能发电

太瓦时



2018年-2050年核能发电变化（按区域划分）

太瓦时



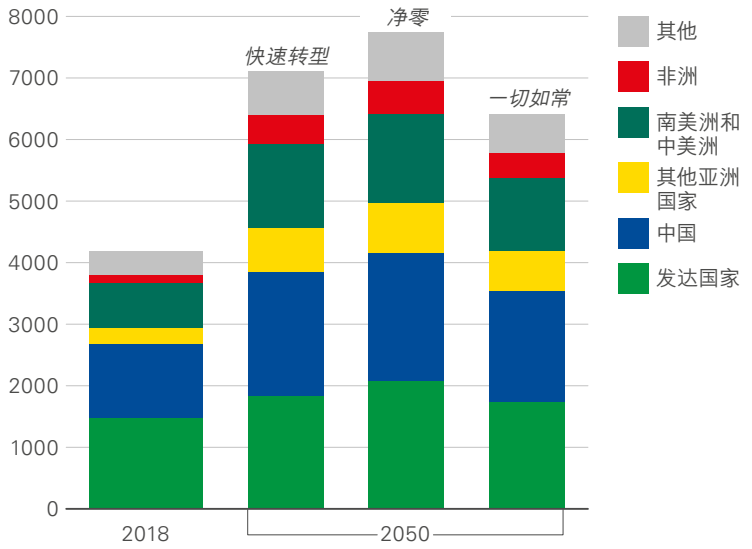
要点

- 由于中国核能发电需求的强劲增长抵消了发达国家的核能发电需求疲弱，在所有三种情景中，核能在整个展望期内都持续增长。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，核能发电需求增长强劲，到2050年，分别增长约100%和160%。随着中国继续在电力行业推行由煤炭转向多元化的低碳能源结构，在*快速转型*情景中，中国对全球核能发电增长的贡献约为60%，在*净零*情景中约为40%。到2050年，在这两种情景中，核能在中国发电量中的占比都将从2018年的约4%上升到15%以上。同时，印度、其他亚洲国家和非洲国家的核能发电也在增长。
- 在*快速转型*情景中，发达经济体的核能发电量略有下降，在*净零*情景中略有提升。在这两种情景中都可以通过延长美国和欧洲核电站的运行寿命（许多核电站的运行寿命可以延长至60年，甚至更长），在一定程度上实现比其他零碳能源更快地做到电力行业去碳化以及平衡技术部署。
- 在*快速转型*情景中，装机容量新增速度可与20世纪80年代核能鼎盛时期的建设速度相提并论，在*净零*情景中甚至更快。快速转型情景中的装机容量建设速度相比近期的扩建速度提高了两倍以上。
- 在*一切如常*情景中，核能发电增长较为缓慢，到2050年将增长约40%，其在一次能源中的占比小幅下降。在*一切如常*情景中，核能增长模式更加不平衡，中国推动了核能发电量的整体增长，但在一定程度上被美国和欧洲核电量下降所抵消。在美国和欧洲国家，老化核电站退役，加上一系列经济和政治因素，意味着其并不能被新装机容量所取代。到2050年，在*一切如常*情景中，中国的核能发电水平大约是所有发达国家的两倍。

在未来30年内水力发电量将有所增长，但增速较以往放缓

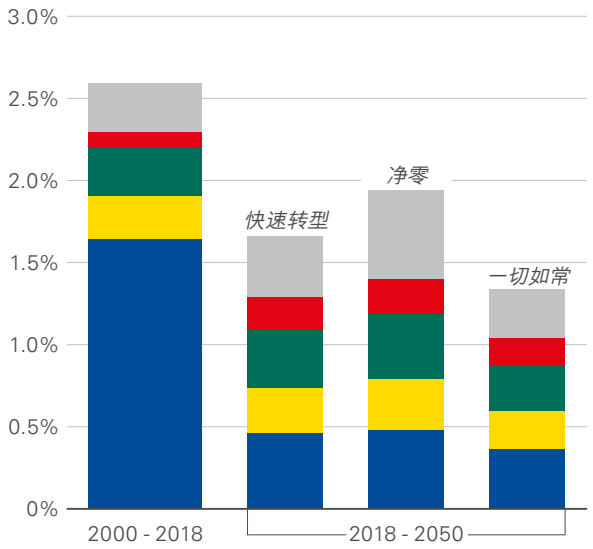
水力发电（按区域划分）

太瓦时



水力发电增长（按区域划分）

年百分比



要点

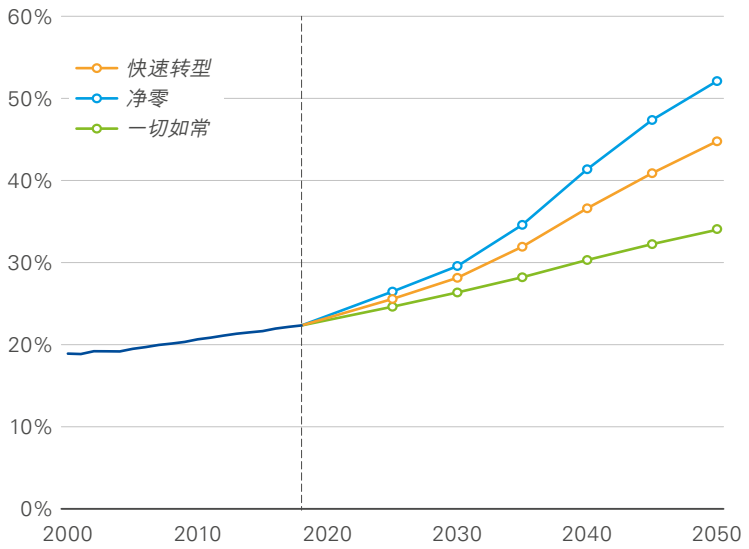
- 在整个展望期内，水电呈增长趋势，但是，在所有三种情景中，由于最具成本优势的区域越来越少，在展望后半期，水电增长速度有所放缓。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，能源体系的去碳化压力较大，相比*一切如常*情景更有助于支持水电能源的强劲增长。即便如此，在展望期内，所有三种情景中的水力发电量增长速度（每年增长1.3%到1.6%）相比过去20年（每年增长2.6%）仍有所放缓。在所有三种情景中，水力发电在全球发电量中的占比大致稳定在15%左右。
- 较以往趋势相比，水电量增长有所放缓是由中国主导的。在过去的20年内，中国一直稳步建设水电设施。全球约四分之三的水电增长都来自中国。但是，随着中国最具生产力和优势的地方得到开发，中国水电量的增长速度在所有三种情景中均有所放缓，由过去20年近10%的年均增速降至1.3-1.7%。
- 中国水电量增长的放缓在一定程度上被其他亚洲国家、拉丁美洲和非洲地区的加速增长所抵消。这些地区的经济日益繁荣和电力需求加速增长，使得其开发拥有丰富能源的地理区域更具备经济可行性。

其他能源载体

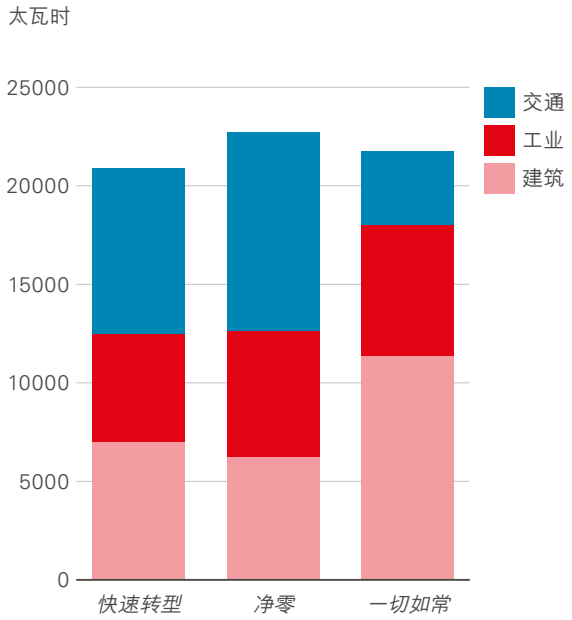
电力和发电
氢能

随着世界继续推动电气化进程，电力需求强劲增长

电力在终端消费总量中的占比



2018年-2050年电力需求变化情况（按行业划分）

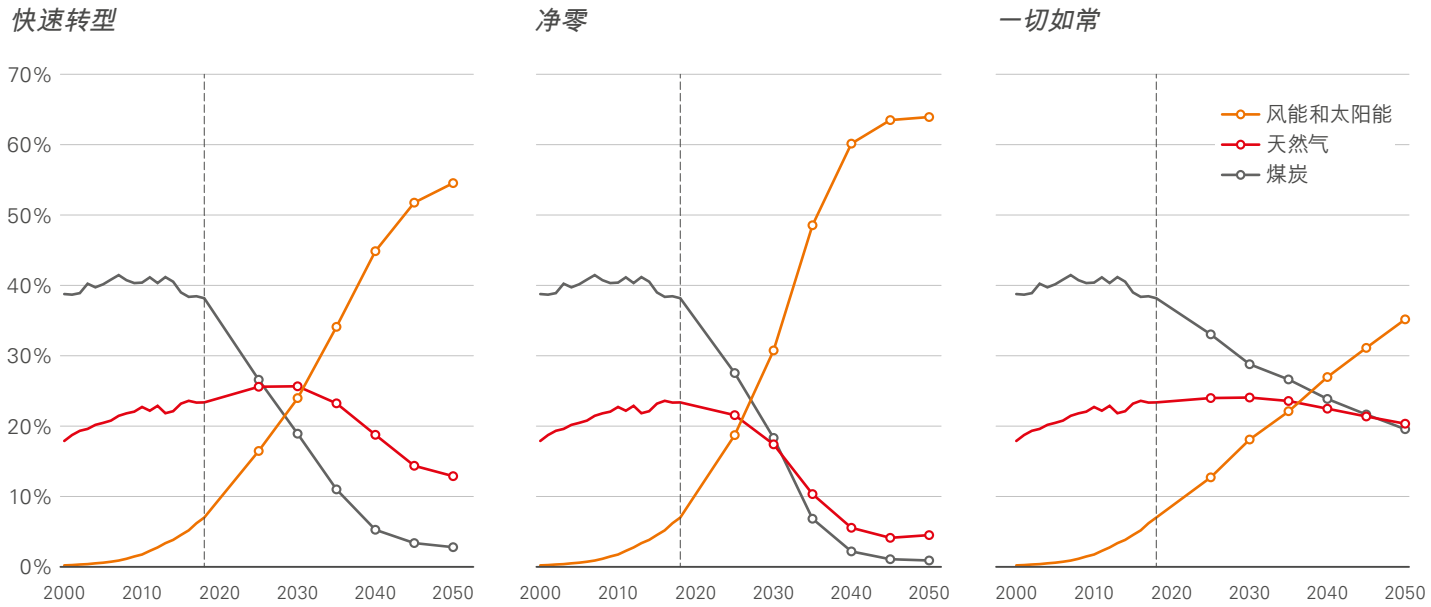


要点

- 随着世界继续推进电气化进程，电力行业将在全球能源体系中扮演更为重要的角色。
- 在所有三种情景中，终端电力需求的增长都比较相似，年增长率都略低于2%。到2050年，电力需求将增长80%左右。
- 能源体系的逐步去碳化导致终端能源消费电气化水平不断提高，因此，在*快速转型*和*净零*情景中，能源体系电气化程度是最高的。到2050年，在*快速转型*情景中，电力在终端能源消费中的占比将从2018年略高于20%增至45%，在*净零*情景中增至50%以上，在*一切如常*情景中仅增至34%。与其他两种情景相比，*一切如常*情景中电力需求的增长受到能源消费整体更强劲增长的支持。
- 在所有三种情景中，满足终端消费中日益增多的电力需求所需的能源是一次能源需求增加的主要来源。因此，到2050年，在*快速转型*和*净零*情景中，电力行业所吸收的一次能源的比例将由2018年的43%提升至60%左右，在*一切如常*情景中提升至略高于50%的水平。
- 在所有三种情景中，电力需求增长绝大部分是由以亚洲发展中国家（中国、印度和其他亚洲国家）和非洲国家为首的新兴市场推动的。这些国家的经济日益繁荣，生活水平不断提高，为电力消费量的增长奠定了基础。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，三个经济行业（工业、交通和建筑）都为电力使用量增长提供了广泛基础。随着道路交通的电气化水平不断提升（见第42-45页），交通行业的电力使用量增长最为强劲。
- 相比之下，在*一切如常*情景中，建筑和工业行业的能效提升缓慢，这意味着这些行业对电力需求增长的贡献约为80%，而交通行业的增长则较为缓慢。

随着煤炭占比下降，风力和太阳能发电将引领发电量增长

全球发电占比（按能源划分）

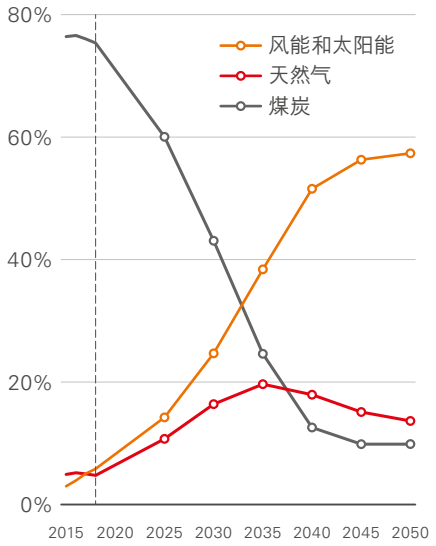


要点

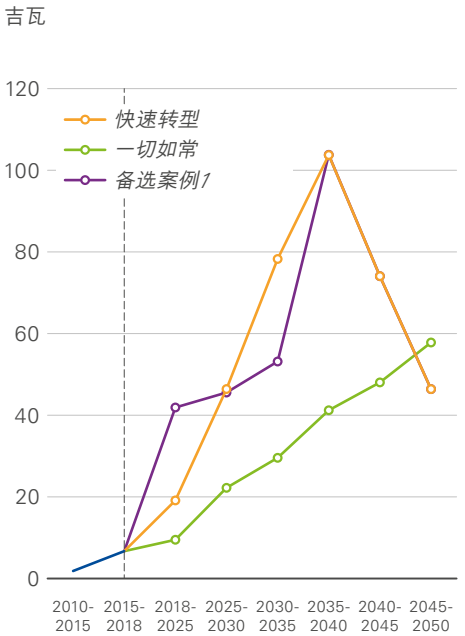
- 可再生能源成为全球发电量增长的主导力量。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，以风能和太阳能（包括生物质能和地热）为主导的可再生能源对全球发电量增长的贡献超过100%，在*一切如常*情景中，对全球发电量增长的贡献约为75%。
- 在*快速转型*情景中，随着风能和太阳能发电量在全球发电量的占比提升至50%以上，到21世纪40年代，风能和太阳能进入电力行业的速度将放缓。风能和太阳能发电技术的使用使得平衡间歇性发电的成本不断增加。同样，在*净零*情景中，到21世纪40年代，风能和太阳能的占比在提升至60%以上后也开始趋于平缓。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，煤炭使用量降低，到2050年，燃煤发电在全球发电量中的占比由2018年的38%降至3%以下，*一切如常*情景中降至20%左右。
- 在*快速转型*情景中，在展望前半期内，由于电力行业减少使用煤炭，因此天然气使用量有所上升。但由于可再生能源的使用加速，所以，到2050年，天然气使用量又回落至接近2018年的水平。在*净零*情景中，天然气最初呈增长趋势，但随后又以更快的速度急剧下降。相比之下，在*一切如常*情景中，天然气使用量的增长基本与总体电力需求相符，其在全球发电量中的占比仅有略微下降。到2050年，在*快速转型*情景中，大约有一半的天然气用于发电，在*净零*情景中，大约有90%的天然气与CCUS技术结合使用。
- 能源结构发生变化，加上CCUS技术使用日益增多，意味着在*快速转型*情景中发电的碳强度将降低90%以上，而在*一切如常*情景中仅降低50%。因此，在*快速转型*情景中，尽管发电量显著增长，但电力行业的碳排放却降低了80%以上。相比之下，在*一切如常*情景中，则仅降低10%。在*净零*情景中，生物能源与CCUS（BECCS）技术结合使用，这意味着到2050年，电力行业的二氧化碳净排放将为负数。

印度电力行业去碳化面临的挑战

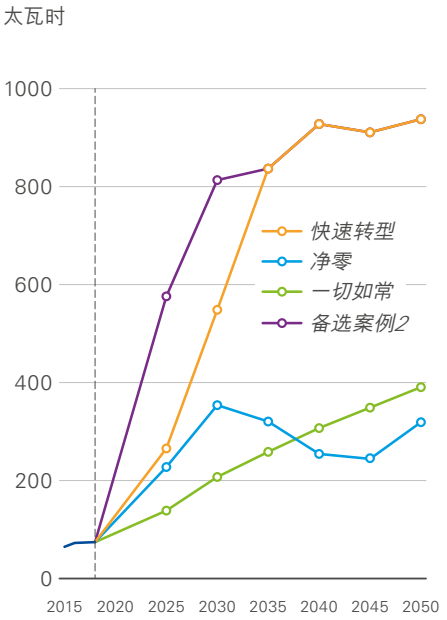
*快速转型*情景中印度发电占比（按能源划分）



印度风能和太阳能装机容量年均净增长



印度天然气发电

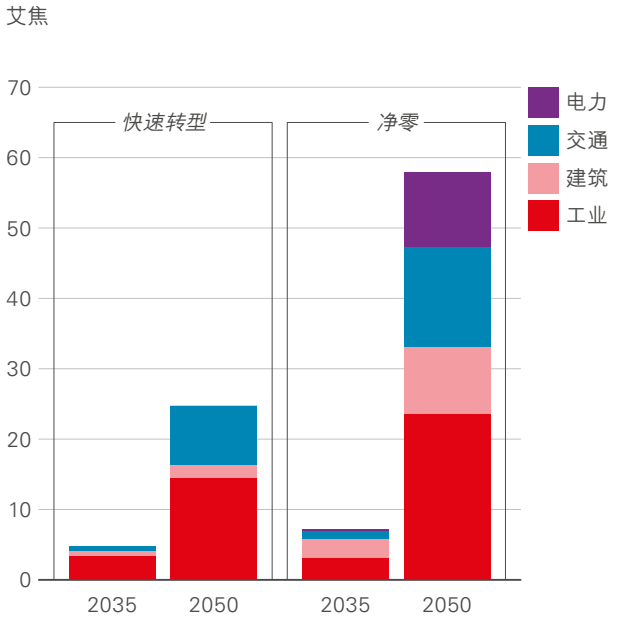


要点

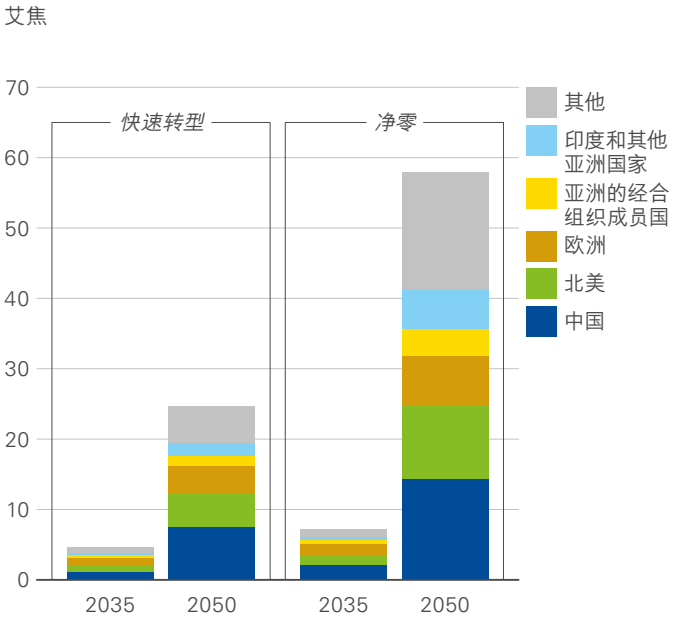
- 在电力需求增长强劲的经济体和地区，电力行业面临着去碳化挑战。印度电力行业的前景展望中对此进行了介绍。
- 在所有三种情景中，印度的电力消费量都呈强劲增长趋势。随着印度经济日益繁荣，生活水平不断提升，工业和居民消费需求日益增多，在展望期内，电力消费量每年将增长4.0%-4.6%。
- 在*一切如常*情景中，到2050年，风能和太阳能发电量将增长20倍以上，平均每年增长10%。尽管如此，在*一切如常*情景中，印度燃煤发电量在展望期内会翻一番，这需要在未来15年内新建100多座燃煤发电厂。
- 在*快速转型*情景中，电力行业去碳化的速度和程度都有所提升，到2050年，燃煤发电量将降低约40%。风能和太阳能发电量将分别增长约30倍和60倍，天然气发电量增长逾13倍。
- 但是，在*快速转型*情景中，在未来10年左右的时间内，印度燃煤发电量将增长约三分之一，随后开始下降。这就需要在21世纪20年代新建大约50座燃煤发电厂，但是，随着燃煤发电需求缩减，其中一些发电厂可能变得不具有经济效益。在*净零*情景中也会出现类似的燃煤发电量短期增加的现象，但不是那么显著。
- 避免印度燃煤发电量增加的一种方案是，在未来10年内，以平均每年大约45吉瓦的更快速度建设风能和太阳能装机容量，*快速转型*情景中的速度是每年30吉瓦，而自2000年以来的平均速度是3吉瓦/年。上文“备选案例1”对此进行了说明。
- 另一种方案（如备选案例2所示）是，让展望后期出现的天然气发电量增长提前发生。如果天然气发电量的增长足以扭转燃煤发电量的增长，则与*快速转型*情景相比，其将可在未来10年内使碳排放量减少约20亿吨二氧化碳当量。

随着世界能源体系向低碳转型，氢能将发挥越来越重要的作用

氢能的使用（按行业划分）



氢能的使用（按区域划分）



要点

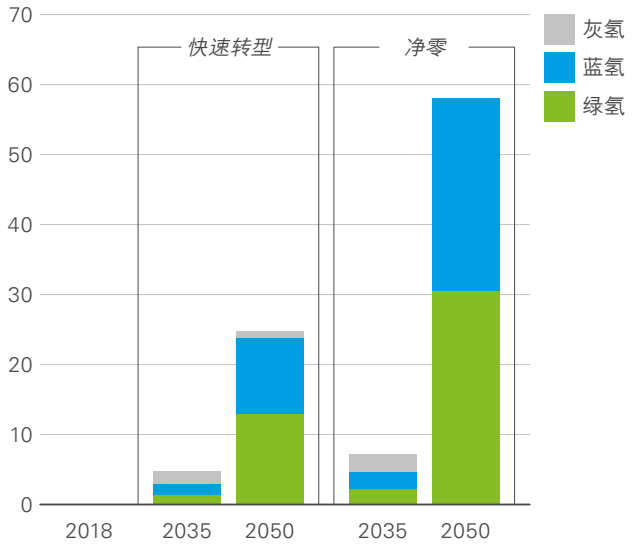
- 在*快速转型*和*净零*情景中，随着世界能源体系向低碳转型，氢作为能源载体*的使用量显著增加。氢可以直接使用，也可以与（生物）碳或氮结合使用，以便更容易运输。
- 随着技术和投入成本不断下降，加上碳价不断上涨，氢能逐渐能够与现有燃料竞争，因此氢能需求的增长主要集中在展望后半期。到2050年，在*快速转型*情景中，氢能在终端能源消费（不包括燃料的非燃烧使用）的占比约为7%，在*净零*情景中约为16%。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，氢可以对日益增多的电力需求形成补充，因为其可以用于一些难以电气化或电气化成本较高的活动，尤其是在工业和交通行业，而且氢能相比电力更容易储存。
- 在工业上，氢作为高温过程的能源来源（例如：用于钢铁、水泥、精炼和石油化工行业的氢能），具有特别的优势。到2050年，在*快速转型*情景中，氢在工业行业终端能源消费总量的占比约为10%，在*净零*情景中约为18%。
- 交通行业中氢能的使用集中在长途运输方面，特别是重型货车。在*快速转型*情景中，到2050年，氢能重卡在重型货车行驶公里数的占比为7%，*净零*情景中为10%。
- 在*快速转型*情景中，氢能使用最为广泛的是中国以及引领世界其他国家采用氢能的发达经济体。碳价的上涨、基础设施的增多以及其他支持政策都为氢能的使用提供了支撑。在*净零*情景中，氢能使用的基础更为广泛，印度和其他亚洲国家的氢能使用也呈现了显著增长趋势。
- 相比之下，在*一切如常*情景中，氢能的作用非常有限，说明能源体系去碳化方面进展甚微。

*《能源展望》未涵盖用作工业原料的氢能的作用。

到2050年，氢能生产主要以蓝氢和绿氢组合为主

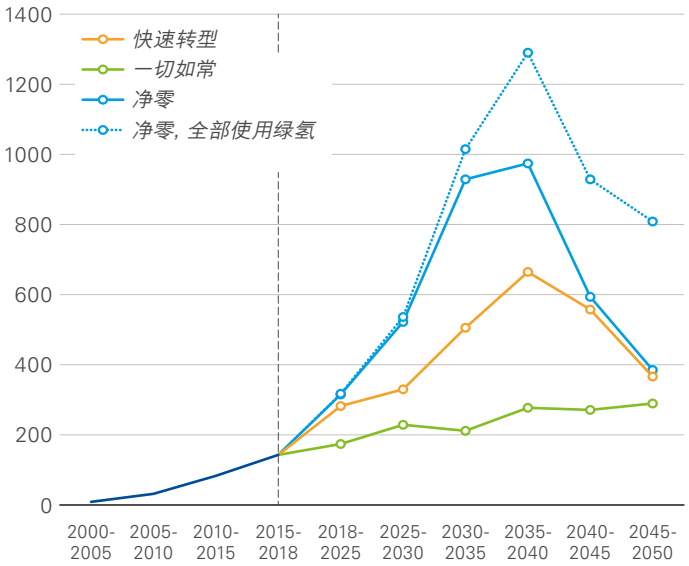
氢能生产（按类型划分）

艾焦



风能和太阳能装机容量年均增长

吉瓦



要点

- 在*快速转型*和*净零*情景中，氢能生产主要以绿氢和蓝氢为主。
- 绿氢是使用可再生电力通过电解水来制氢；蓝氢是从天然气（或煤炭）中提取的，但提取过程中排放的二氧化碳会被捕捉、利用与封存（CCUS）。
- 鉴于许多国家都有能力生产绿氢或蓝氢，再加上氢能的运输成本相对较高，所以氢能大多在当地生产，是否将蓝氢和绿氢混合则取决于当地条件。在*快速转型*和*净零*情景中，到2050年，超过95%的氢来自绿氢和蓝氢（大致等量）。剩下的部分则来自利用天然气或煤炭在不结合CCUS技术的情况下生产氢能（所谓的灰氢）的传统生产设施。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，生产蓝氢可以帮助氢能供应量以相对较快的速度增长，而不仅仅依靠可再生能源。这一点非常重要，原因有以下两点。
- 第一，如果完全依赖绿氢，则需要以更快的速度扩建风能和太阳能发电装机容量。为了达到与*净零*情景中仅使用绿氢相同的氢能生产水平，则需要在展望期内以平均每年约800吉瓦的速度建设风能和太阳能装机容量，相比在*净零*情景中不到600吉瓦，而在过去20年一般为60吉瓦左右。
- 第二，绿氢生产转移了有可能进一步用于电力行业去碳化的可再生能源。鉴于在任一种情景中，在展望期内国内绝大多数电力行业都没有完全去碳化，因此只能严格使用国内电力行业不能使用的可再生能源来生产绿氢。如果可再生能源在某个时间点被削减，或者因其所在区域而使得接入中央电网不具备经济效益，则可采取上述方案。

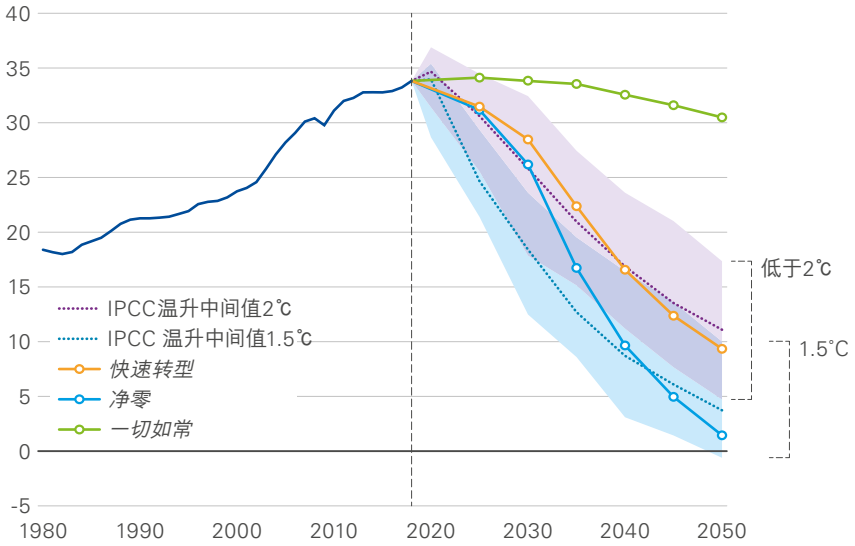
因能源使用而产生的碳排放

概述
碳路径
备选情景: *延迟与无序*

碳排放在*快速转型*和*净零*情景中显著下降，在*一切如常*情景中下降缓慢

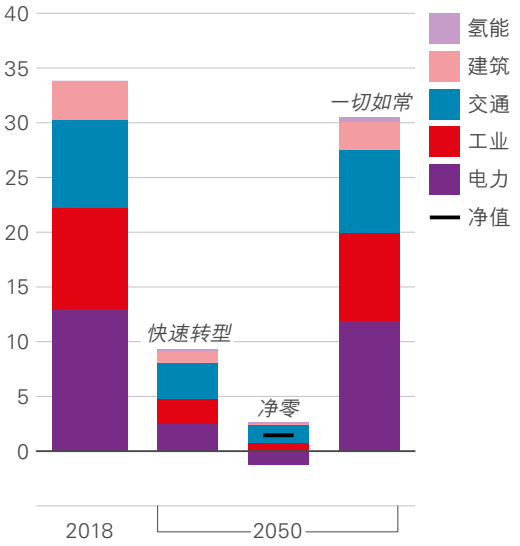
全球能源使用产生的碳排放

二氧化碳排放量（十亿吨）



碳排放（按行业划分）

二氧化碳排放量（十亿吨）



图中范围所示为10%至90%的IPCC情景。如需了解更多详情，请参阅第150-151页。

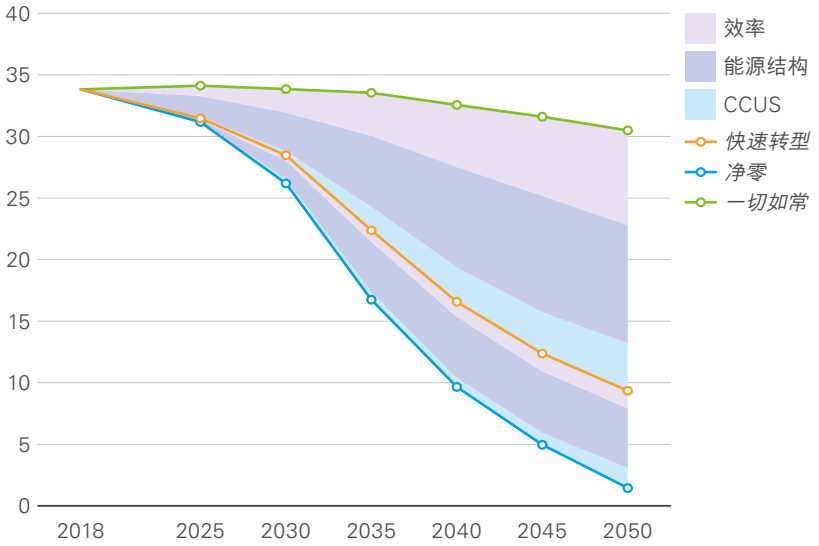
要点

- 在短期内，由于新冠肺炎疫情的影响，因能源使用而产生的碳排放量急剧下降。尽管碳排放随后会随着全球经济复苏而达到峰值，但是*快速转型*和*净零*情景中的碳排放水平不会恢复到新冠肺炎疫情之前。
- 在*快速转型*情景中，到2050年，因能源使用而产生的碳排放将降至略高于90亿吨二氧化碳的水平，降幅约为70%。下降幅度基本为2019年IPCC报告所述“远低于2°C”情景范围的中间值。有关IPCC情景范围构建的详细信息，请参见第150-151页。
- 在*净零*情景中，到2050年，碳排放量将从2018年的水平降至15亿吨二氧化碳排放量，降幅超过95%。一开始下降速度低于IPCC“低于1.5°C”情景的范围，但是到展望后半期，*净零*情景中碳排放路径接近IPCC温升范围的中间值。
- 在*净零*情景中，到2050年，可以通过进一步调整能源体系或使用排放抵消技术（NET）来减少剩余碳排放量。或者，也可以通过大量开发基于自然的气候解决方案（NCS）来抵消排放（见第130-131页），在某种程度上这将取决于使用排放抵消技术的成本以及减少能源体系外部所排放温室气体的成本。不过本版《能源展望》未明确对这两个方面进行考虑。
- 在*一切如常*情景中，因能源使用而产生的碳排放的下降幅度非常有限。碳排放在21世纪20年代中期左右达到峰值，然后开始缓慢下降，到2050年将比2018年降低10%左右。
- 到2050年，*快速转型*情景中剩余碳排放的继续减少变得愈发困难。作为最主要的碳排放来源，交通行业的碳排放量约占剩余排放量的三分之一，工业和电力行业的碳排放量各占约四分之一。
- 在*净零*情景中，到2050年，大部分剩余碳排放都来自交通和工业行业。这些排放量在一定程度上可由电力行业通过使用生物质能结合CCUS技术（BECCS）而实现的净负排放所抵消。到2050年，通过BECCS技术可将净碳排放量减少约15亿吨二氧化碳排放量。

*快速转型*和*净零*情景中由低碳能源转型驱动的碳排放下降

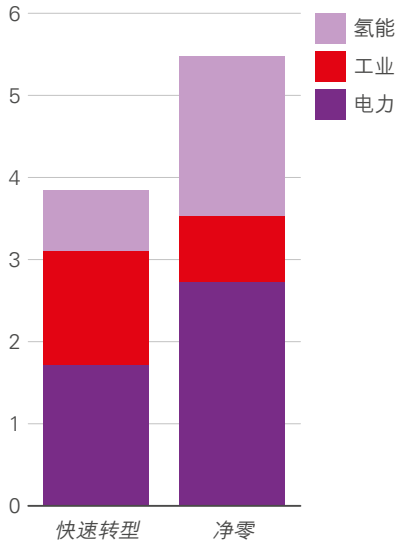
能源使用产生的碳排放

二氧化碳排放量（十亿吨）



2050年碳捕捉、利用与封存（CCUS）

二氧化碳排放量（十亿吨）



要点

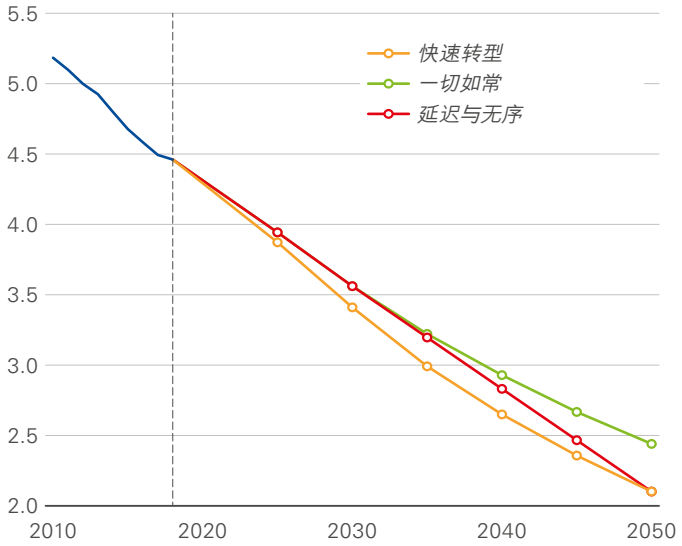
- 在*快速转型*和*净零*情景中，碳排放下降说明向低碳燃料的转型得到深入发展，能效提升速度加快，以及CCUS技术得到更广泛的应用。
- 相对于*一切如常*情景中的碳排放路径来说，在*快速转型*情景中，深入推进低碳燃料转型是推动碳排放量下降的最重要因素。到2050年，其在碳排放路径差异中所占的比重约为45%。煤炭使用量的显著减少是驱动碳排放下降的主要因素，特别是在亚洲发展中国家，其中大部分煤炭被快速普及的可再生能源和天然气（在较小程度上）所取代。
- *快速转型*和*一切如常*情景中碳排放路径的其他差异还体现在能效提升速度加快以及CCUS技术的更广泛应用上。在*快速转型*情景中，到2050年，使用CCUS技术可捕捉和封存有大约40亿吨的二氧化碳。在所捕捉的碳中，大约有四分之三来自工业和电力行业，其他则来自蓝氢制造。
- 相对*快速转型*情景来说，*净零*情景中碳排放的进一步减少在一定程度上得益于企业和家庭行为和偏好的改变。企业和家庭更加重视提高能效，深入推进向零碳或低碳燃料转型，调整消费模式，向低碳活动转变。这些社会偏好的改变突显了政府低碳政策的影响。
- 相对*快速转型*情景来说，*净零*情景中促进碳排放进一步下降的最主要因素是从化石燃料转向零碳能源，尤其是使用可再生能源。
- 此外，能效提升速度加快和更广泛的使用CCUS技术也是促进碳排放下降的主要原因。到2050年，*净零*情景中碳的捕捉和封存量约为55亿吨二氧化碳，其中大部分来自于蓝氢制造和电力行业。

备选情景：*延迟与无序*

延迟转型可能会导致减排路径的混乱与无序

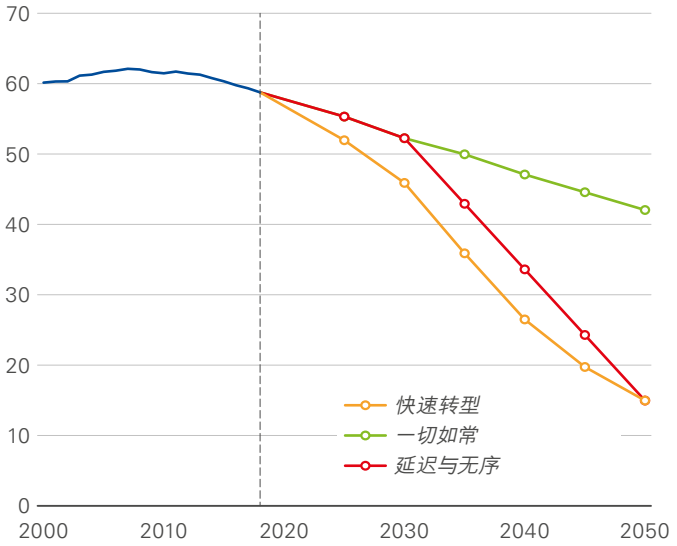
能源强度

单位GDP（美元）的能耗（兆焦）



能源的碳强度

单位能源（艾焦）产生的二氧化碳排放量（公吨）



要点

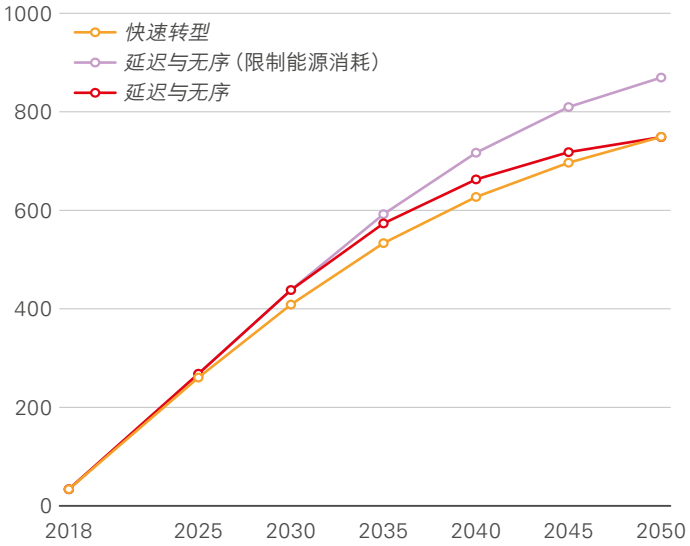
- *快速转型*和*净零*情景假设政府和社会开始相对迅速地改变政策和行为，由此，在未来几年内，因能源使用而产生的碳排放量开始下降。但是，这些改变可能会被长期延迟，同时世界在不可持续的道路上停留的时间越长，气候政策急剧收紧的可能性就越大。
- 备选情景对这种可能性进行了探讨。在*延迟与无序*的备选情景中，假设全球能源体系在2030年之前与*一切如常*情景保持一致，随后与*快速转型*情景一样，在展望期内实施充分的政策和措施来限制总碳排放量（2018-2050年）。
- *延迟和无序*是模拟后的情景 — 任何延迟转型的路径都将取决于触发政府和社会最终改变和响应的因素。这种情景的构建假设是：延迟采取行动需要付出代价。特别是，其假设到2050年，我们不可能取得比*快速转型*情景中实现的能效或燃料转型更大的进步。因此，为了进行详细阐释，假设从2030年起：
  - 能效（包括回收、再利用和减少）呈线性提升，并在2050年之前达到与*快速转型*情景相同的水平；
  - 能源结构的碳强度呈线性提升，并在2050年之前达到与*快速转型*情景相同的水平（包括CCUS）；
- 考虑到提升能效和燃料转型的速度和程度限制，应以限制能源消耗的形式，即停止或限制各种能源使用活动的政策，采取任何必要的进一步措施来实现总排放目标。
- 为了简单起见，*延迟和无序*情景假设所需的限制能源消耗是在各个行业及产业按比例实施的，在展望期内，限制能源消耗的程度将以匀速增长。

备选情景: *延迟与无序*

延迟与无序转型导致巨大的经济损失

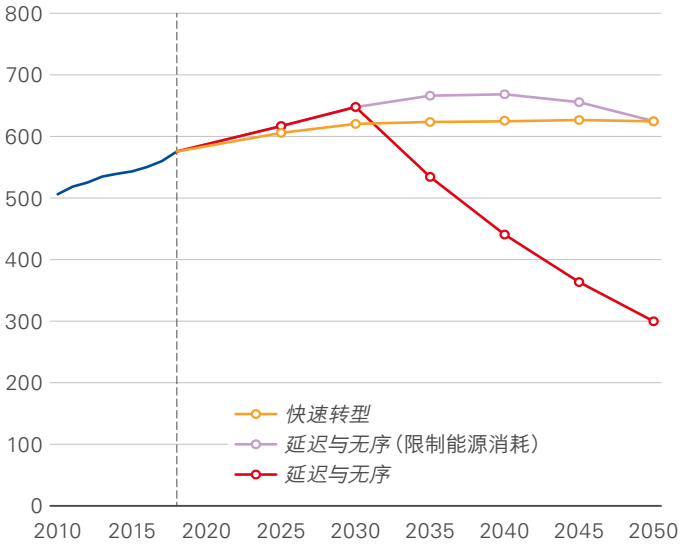
累计碳排放

二氧化碳排放量（十亿吨）



一次能源消费

艾焦



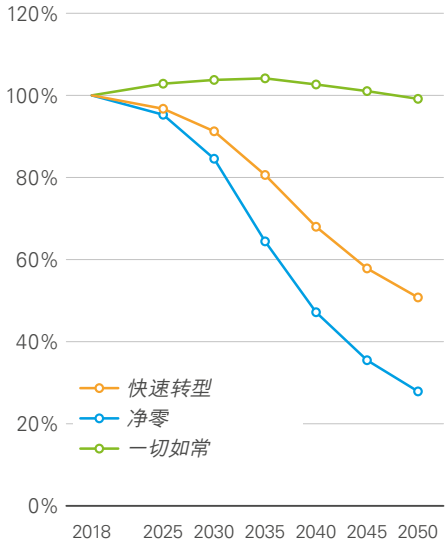
要点

- 相对于*快速转型*情景来说，到2030年才开始低碳能源体系转型会使面临的挑战显著增大：碳排放水平一开始就很高，而且几乎没有时间做出调整。
- 在*延迟与无序*情景中，延迟会导致巨大的经济损失和混乱。
- 要在三分之二的时间内实现与*快速转型*情景相同的能效提升和能源结构，可能需要将其他生产活动的大部分投资转移过来，而且还可能会导致资产过早报废。
- 更重要的是，为实现碳减排而需要实施限制的能源消耗的规模与*快速转型*情景中2030年至2050年能源消费量的四分之一相当。
- 假设限制能源消耗是在主要行业或产业按比例实施的，其大致相当于：
  - 工业行业 — 抵消大约20年的工业发展；
  - 交通行业 — 汽车出行量相对于*快速转型*情景中2050年的水平减少约三分之二，航空旅行量减少一半，商业和海洋运输活动也有类似规模的缩减；
  - 建筑行业 — 能源使用相对于*快速转型*情景中2050年的水平有所降低，大致相当于欧盟国家当前整个建筑行业的能源消费水平。
- 虽然未专门建模，我们认为这种限制能源消耗很可能对经济活动和社会发展产生重大影响。

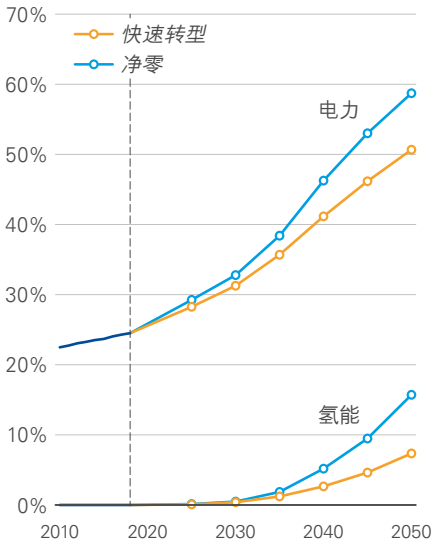
低碳转型导致全球能源体系发生根本性变化

碳氢化合物使用（按情景划分）

100% = 2018年的水平

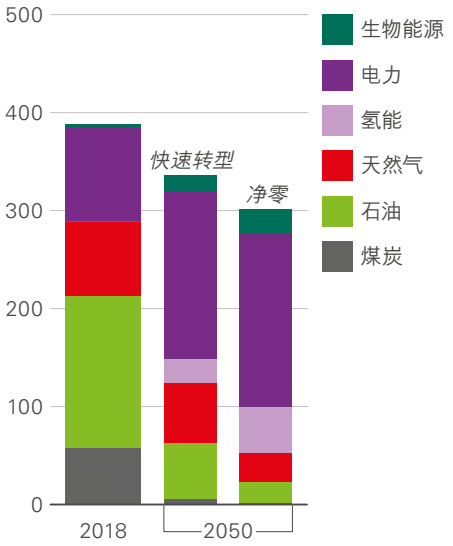


电力和氢能在终端消费总量的占比*



终端能源消费总量（按能源类型划分）*

艾焦



*不包括非燃烧使用

要点

- 在*快速转型*和*净零*情景中，向低碳能源体系转型将会导致全球能源体系发生根本性的调整。
- 发生这些变化的主要原因是石油、天然气和煤炭等化石燃料重要性下降。在*快速转型*和*净零*情景中，碳氢化合物的使用量在未来几年内达到峰值，到2050年分别下降约50%和70%。在此期间，*快速转型*和*净零*情景中石油和天然气的使用总量分别下降约三分之一和三分之二。
- 这些传统能源在很大程度上会被电和氢能（在较小的程度上）等低碳能源所取代。在*快速转型*情景中，到2050年，电力约占终端消费量（不包括燃料的非燃烧使用）的50%，在*净零*情景中约占60%。氢能的使用量不断增长，可对日益增多的电力需求形成补充。氢能可以用于一些比较难以电气化或电气化成本较高的活动。到2050年，在*快速转型*情景中，氢能在终端能源消费中的占比约为7%，在*净零*情景中则约为16%。
- 从传统碳氢化合物转向生物能源，使得生物能源的作用日益增大。生物能源的形式多种多样，包括主要用于交通行业的液体生物燃料；适用于所有行业或产业，可以直接替代天然气的生物甲烷；主要用于电力行业的生物质能。在*快速转型*情景中，到2050年，生物能源在一次能源中的占比约为7%，在*净零*情景中接近10%。
- 下一节将围绕全球净零能源体系的不确定因素进行探讨。

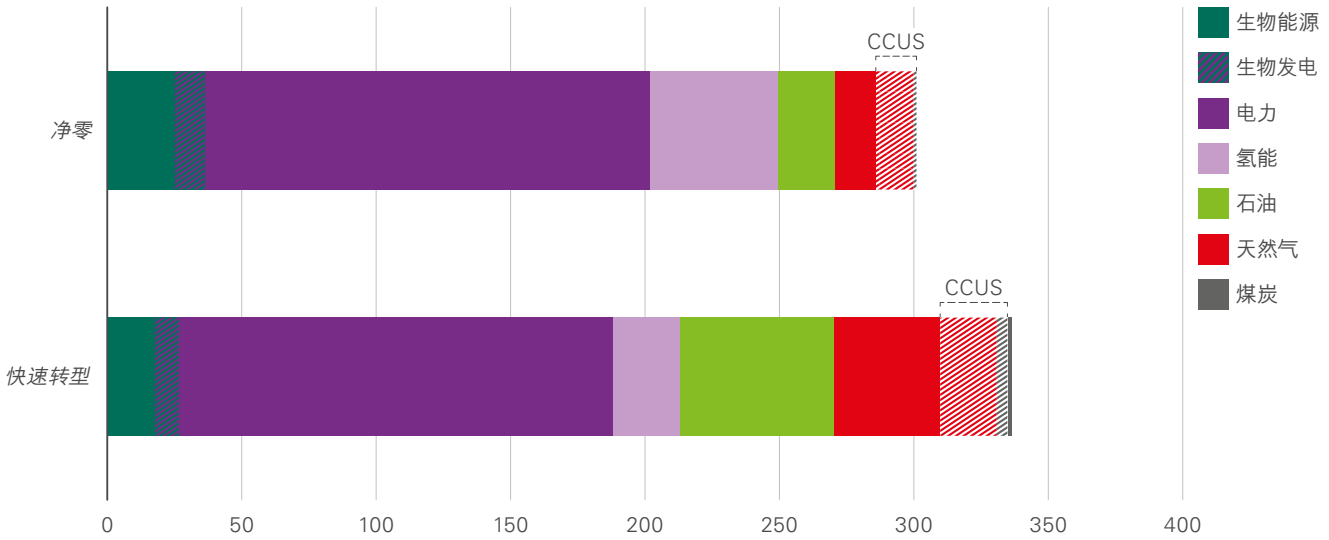
全球净零能源体系

概述
能源需求
电气化和电力行业
石油和天然气
生物能源和氢能
CCUS和负排放技术

净零情景中全球能源体系中的主要不确定因素

2050年的终端能源消费总量（按能源来源划分）*

艾焦



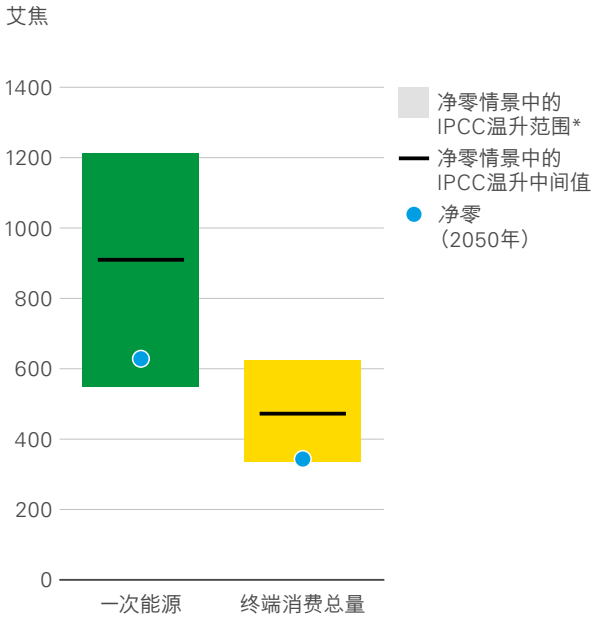
*不包括非燃烧使用

要点

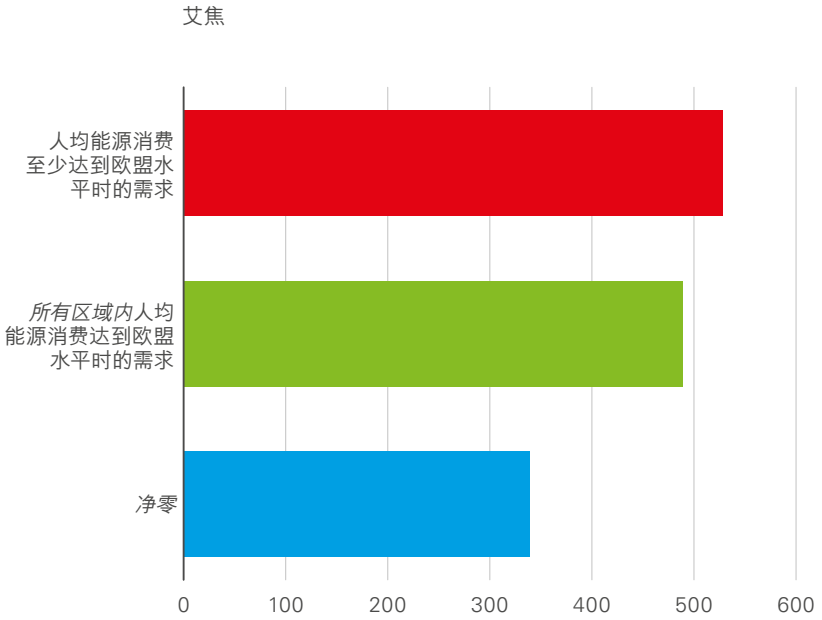
- 全球净零能源体系结构存在巨大的不确定性。
- 我们可通过*净零*情景中2050年的能源构成了解一些情况：终端能源消费总量（不包括非燃烧能源）几乎比*快速转型*情景低10%；电力、氢能和生物能源加起来约占终端能源消费总量的85%；CCUS发挥了重要作用。
- 我们可以通过许多转型路径来实现净零目标。这些转型路径将会影响能源体系的最终结构，而且在实现净零后，该结构可能还会继续发生变化。
- 关于净零能源体系的规模和结构，（至少）有以下五个不确定因素：
  - 能源需求：效率提升和消费模式改变能在多大程度上使能源需求与经济活动脱钩；
  - 电气化和电力行业：终端能源消费中可电气化的能源消费占多少比例，以及完全脱碳的电力行业可能需要哪些不同的能源和技术；
  - 其他零碳能源形式：全球能源消费中可提供生物能源和氢能比例范围和限制；
  - 石油和天然气：石油和天然气在能源体系去碳化中发挥什么作用；
  - 碳捕捉和负排放技术：CCUS技术在减少碳排放方面有多重要，负排放技术和措施的潜力如何？
- 本节其余部分探讨了这些不确定因素。对IPCC报告所述的实现净零能源体系的情景以及这些情景中不同的结果（详见第150-151页）进行考虑，有助于我们进行相关分析。

净零能源体系：世界需要多少能源？

IPCC和*净零*情景中的全球能源需求



2050年的终端消费总量



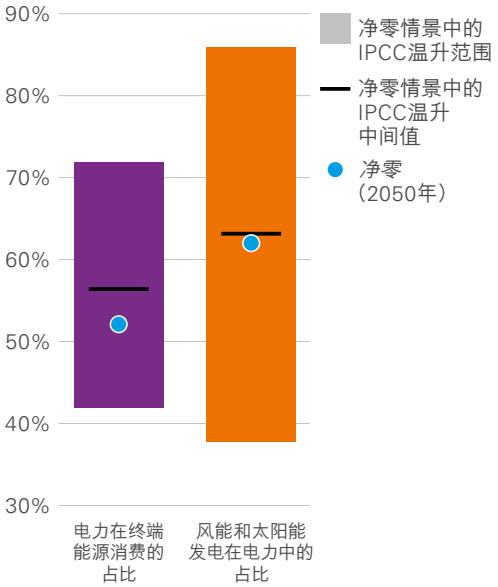
*图中范围所示为10%至90%的IPCC情景。

要点

- 净零能源体系的性质主要取决于其总体规模：全球经济要保持持续增长需要多少能源？
- 在一定程度上还取决于其能够通过提升能效（以较少的能源生产同样的产品和服务）或减少能源需求（改变生产和消费模式，以降低对能源体系的需求，例如：通过多重循环和共享经济来实现）在多大程度上使能源消费与经济活动脱钩。
- IPCC设定净零情景中的终端能源消费量范围较广：340-620艾焦，与2018年的425艾焦以及2050年*净零*情景中的范围最低值340艾焦形成对比。
- 另外，全球能源需求还取决于全球能源获取和使用的便利程度。在*净零*情景中，到2050年，发达国家的人均能源消费仍然是新兴经济体人均能源消费的两倍以上，仍有数十亿人生活在能源紧缺的国家和地区。如要减少这种不平等，则需要增加能源总供给，或进一步降低发达经济体的能源消费。
- 如果人均能源消费低于欧盟水平的地区将其人均能源消费水平提升至欧盟水平以上，则全球能源需求将增加55%以上。如果人均能源消费高于欧盟水平的地区将其平均消费水平降至欧盟水平，则所需的能源需求增长将降至45%左右。
- 另外，不同能源类型的相对重要性也会影响能源体系的规模。特别是，电力和氢能等能源类型的生产转换过程促进了一次能源增长。IPCC净零情景中一次能源的消费量范围是550-1210艾焦，明显超过终端能源消费总量。
- 即使绝大部分一次能源都是零碳能源，鉴于对其所需的材料、土地和水的竞争性需求（以及对材料、土地和水的环境影响），能源体系的总体碳足迹仍可能会产生更广泛的影响。

净零能源体系：电气化和电力行业去碳化水平显著提升

IPCC中和净零情景中电力、风能和太阳能的占比



帮助实现电力供需平衡的技术手段

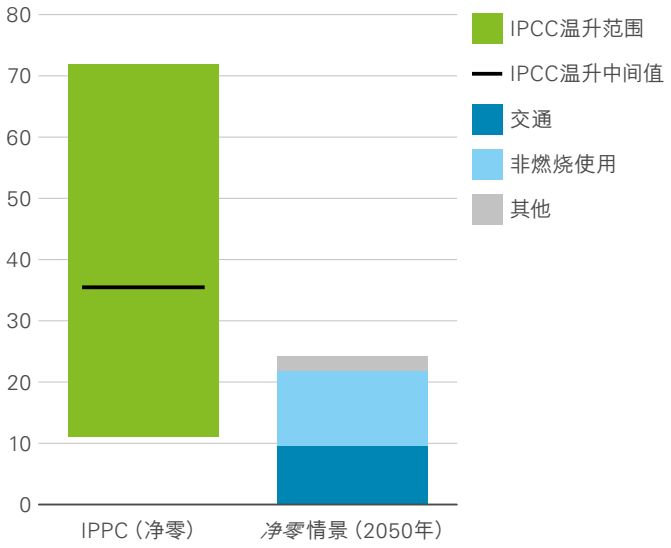
要点

- 净零能源体系可能会呈现以下特点：能源消费活动的电气化水平显著提升，电力行业完全去碳化（或排放抵消）。
- 然而，并非所有的能源过程和使用都能在技术或经济上实现电气化，例如：高温工业过程或长途运输。在IPCC净零情景中，终端能源使用的电气化率为40-70%；在净零情景中，到2050年，终端能源使用的电气化率略高于50%。
- 完全去碳化的电力行业可能以零碳和接近零碳能源为主，由风能和太阳能以及核能、水电和生物能源及其他辅助技术带动，以确保可靠性。风能和太阳能的间歇性，意味着随着风能和太阳能发电量的增加，平衡电力行业的成本也可能会增加，从而减缓其在电力行业的应用。
- 在IPCC净零情景中，风能和太阳能发电量占全球发电量的40-85%。在净零情景中，在21世纪40年代，风能和太阳能的比重达到略高于60%的水平，之后开始保持稳定。
- 以风能和太阳能发电为主的电力系统可能需要使用一系列不同的能源和技术来帮助其平衡间歇性。就短期而言，高频平衡从几秒钟到几个小时不等，这在很大程度上可以通过电池、抽水蓄能和需求侧响应相结合来满足。
- 但从技术和经济来说，其中一些技术和行动不可能在数天、数周和数季之间实现更长期的平衡。这种长期平衡或许可以通过生物能源、天然气（或煤炭）与CCUS技术相结合以及氢能和大型水电项目相结合来实现。在净零情景中，到2050年，生物能源、结合CCUS技术的天然气、水电和氢能在发电量中共占30%的比例。

净零能源体系：石油和天然气使用量显著下降

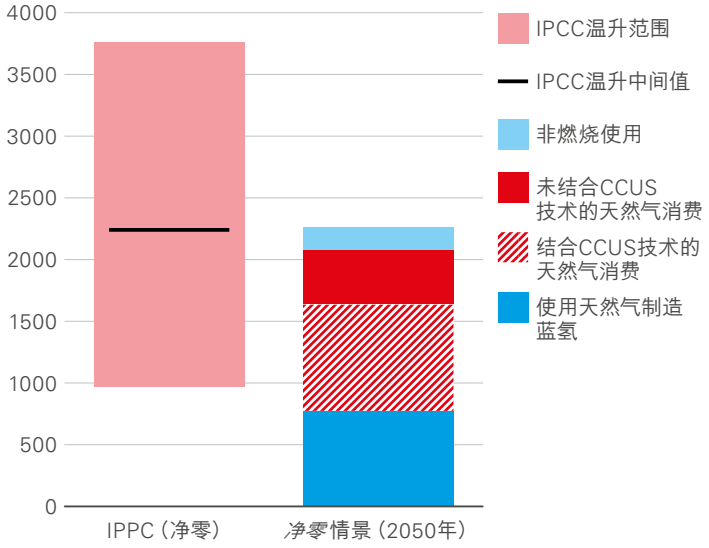
IPCC和净零情景中的石油消费

（百万桶/天）



IPCC和净零情景中的天然气消费

（十亿立方米）

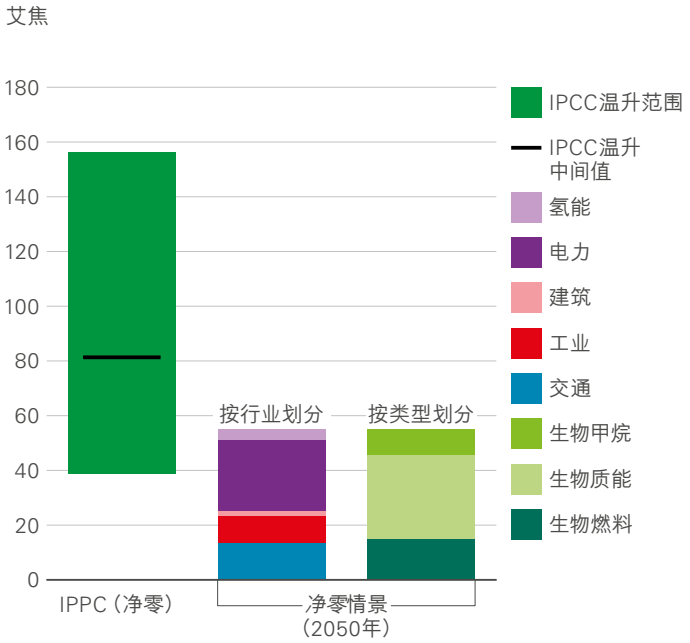


要点

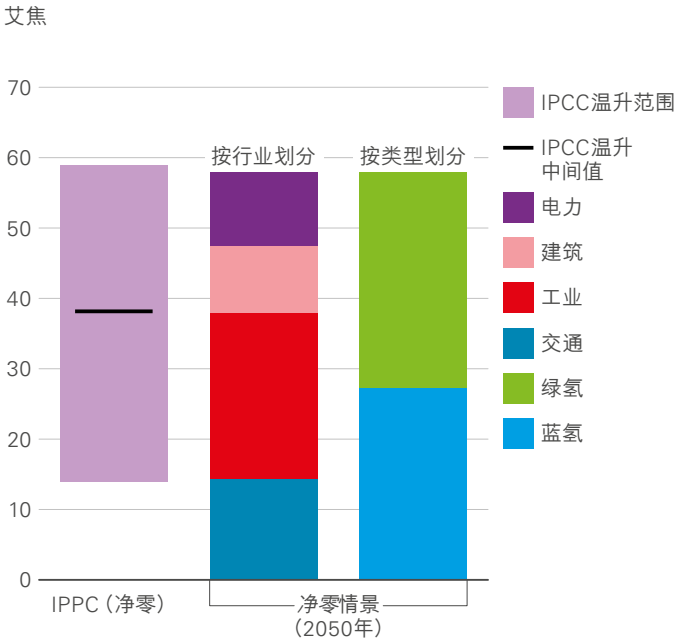
- 在净零能源体系中，石油和天然气的使用量可能会从当前水平大幅下降。
- 在IPCC净零情景中，石油消费降至7,000-1,000万桶/天，大约比当前水平低30-90%。在净零情景中，到2050年，石油消费将降至大约2,500万桶/天，其中交通行业的消费量为1,000万桶/天，主要用于长途货车、航空和海洋运输。随着传统车辆和基础设施逐渐被替代技术和能源所取代，交通行业的石油使用量很可能会进一步减少。
- 在净零情景中，到2050年，除了交通行业以外，剩余石油将大多用于石油化工原料和其他工业用途等非燃烧行业。虽然石油在使用时不会产生碳排放（因为石油是不燃烧的），但是石油制品（如塑料）的使用和终端生活消费或处置很可能会在其生命周期中产生碳排放，而且还可能会导致其他环境问题（取决于活动的实施方式）。随着时间的推移，这些问题可能会为石油使用带来进一步的压力。
- 在IPCC净零情景中，到2050年，天然气消费量为38,000亿立方米（类似于2018年的水平）至10,000亿立方米不等，从当前水平下降75%。在净零情景中，到2050年，天然气消费量约为23,000亿立方米，作为所有经济行业的直接能源来源或用于制造蓝氢。
- 在净零情景中，到2050年，将有大约四分之三的天然气消费与CCUS技术结合。随着CCUS技术发展，低碳或零碳能源逐渐普及并取代天然气，该比例可能还会进一步增加。

净零能源体系：生物能源和氢能的比重增大

IPCC和净零情景中的生物能源



IPCC和净零情景中的氢能



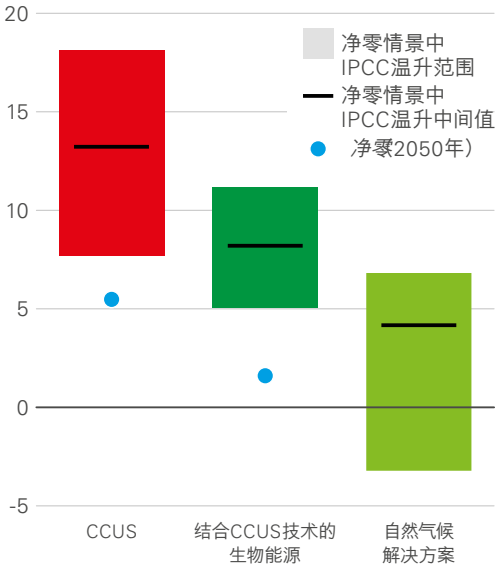
要点

- 生物能源和氢以及电力很可能将在净零能源体系中扮演越来越重要的角色。
- 在IPCC净零情景中，生物能源使用量在40-155艾焦之间；与之相比，在净零情景中，到2050年，生物能源使用量约为55艾焦，在一次能源中的占比接近10%。
- 净零情景中使用的生物燃料一半以上为生物质能，主要用作电力行业的原料或用于高温工业过程。另外30%是生物燃料，鉴于其易于运输并且能源密度较高，所以主要用于长途运输。剩余部分则是生物甲烷，主要用作天然气的替代品，适用于各个行业。
- 净零能源体系内生物能源的使用取决于大规模生产生物能源的成本和可行性，以及其他环境和社会因素，例如：与其他土地使用用途的竞争程度及其对生物多样性的影响。
- 在净零情景中，到2050年，氢能的使用量将达到约60艾焦，在终端能源消费总量（不包括燃料的非燃烧使用）的占比约为15%。氢能使用量居于IPCC净零情景范围（15-60艾焦）的最高值，这可能说明IPCC情景大多是在过去几年内氢能相关政策出台以及私营企业对氢能的兴趣提升之前设定的。
- 在净零情景中，到2050年，氢能将广泛应用于所有产业或行业，尤其应用于高温工业过程和长途陆路和海洋运输，并作为电力和建筑行业可储存和灵活使用的能源来源。
- 在净零情景中，到2050年，氢能制造基本以绿氢和蓝氢为主，两者各占一半（详见第104-105页）。

净零能源体系：CCUS和排放抵消技术发挥重要作用

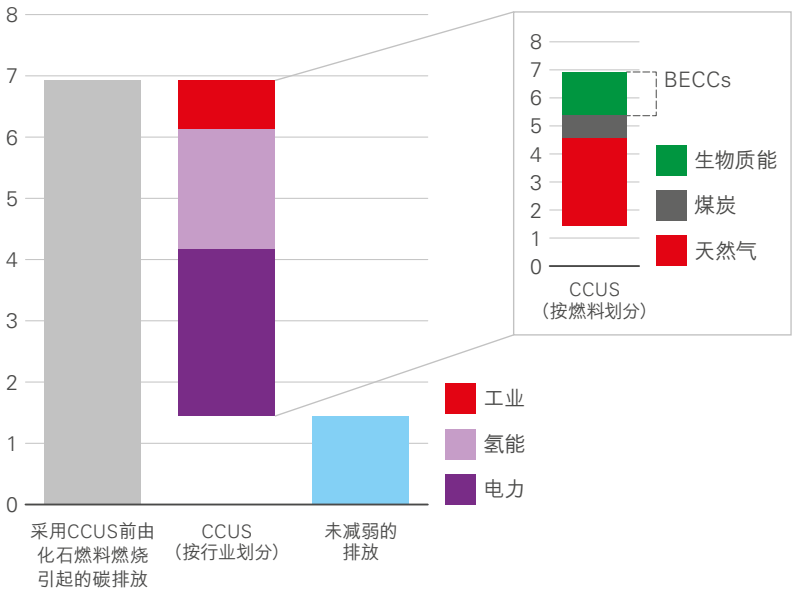
IPCC情景和净零情景中捕捉的碳

二氧化碳排放量（十亿吨）



2050年净零情景中的CCUS技术（按行业和燃料类型划分）

二氧化碳排放量（十亿吨）



要点

- 捕捉碳排放或从大气中提取碳的技术可能会在净零环境中发挥重要作用。
- 在IPCC净零情景中，使用CCUS技术产生的碳排放量为80-180亿吨，大致相当于捕捉当前因能源使用而产生的所有碳排放量的四分之一到一半。在*净零*情景中，到2050年，使用CCUS技术产生的碳排放量略高于50亿吨二氧化碳。相比之下，IPCC净零情景中的数值更高。
- 虽然CCUS设施能够捕捉绝大多数的碳排放，但当前技术尚未达到100%的捕捉率。*净零*情景假设平均效率约为90%，这意味着使用CCUS技术后产生的剩余碳排放量约为5亿吨。
- 在电力和工业行业，CCUS技术可与生物能源相结合（BECCS），以创造一种负排放能源。在IPCC净零情景中，使用BECCS技术产生的排放量抵消为50-100亿吨二氧化碳，比净零情景中的数值更高。在*净零*情景中，到2050年，使用BECCS技术产生的排放量抵消约为15亿吨二氧化碳。
- 除此以外，还有许多其他的排放抵消技术（NET）。*净零*情景未明确对这些技术进行设想，而只是对如何在不大量使用排放抵消技术的情况下实现能源体系完全去碳化进行了探讨。即便如此，随着世界各国积极寻求减少所有温室气体排放，以实现净零排放，排放抵消技术可能会发挥越来越重要的作用，抵消能源体系和农业等更广泛的行业内难以取代的能源来源的持续碳排放以及任何超额碳排放量的情况。
- 特别是，基于自然的气候解决方案（包括森林和泥炭地恢复以及各种形式的加强土地管理）在IPCC净零情景中可减少-30至+70亿吨二氧化碳的排放（“排放抵消减少”反映了土地使用随着时间的推移而恶化，进而增加排放的风险）。
- 此外，还有一些其他排放抵消技术，例如：直接从空气中捕捉碳以及生物炭等。虽然*净零*情景没有明确涵盖这些技术，但是，随着世界各国实现净零排放，这些技术将会在平衡总体温室气体方面发挥重要作用。

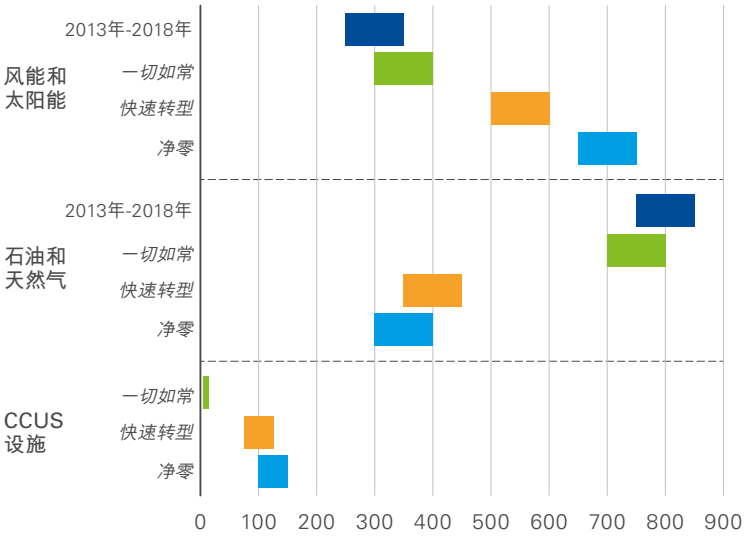
投资

概述
上游石油和天然气投资

能源转型要求在投资模式上的重大改变

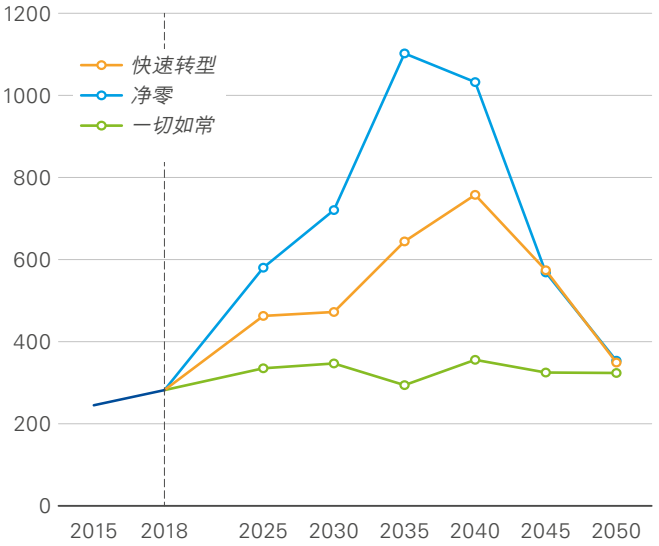
年均投资，历史，2020年-2050年

（十亿美元，2018年）



风能和太阳能年均投资

五年滑动平均值（十亿美元，2018年）



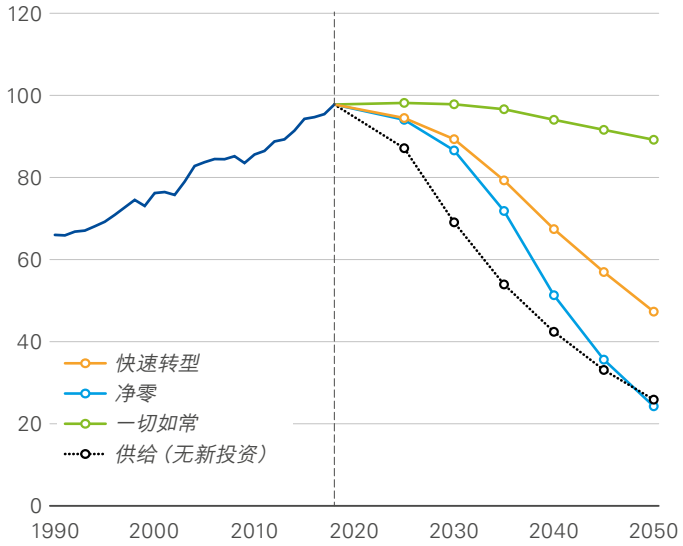
要点

- 能源转型需要大量投资，同时，对不同能源的投资模式也需要进行重大改变。
- 对于不同情景中投资路径的估测，还存在很大的不确定性，因为我们要先对可能影响未来30年内能源投资成本的一系列因素进行假设，然后才能进行估测。第152-153页对估测投资需求所依据的假设进行了更为详细的讨论。投资估测是按照2018年的实际美元价格进行的。
- *快速转型*和*净零*情景表明风能和太阳能发电装机投资相对于过去增长显著。在*快速转型*和*净零*情景中，风能和太阳能发电装机年均投资为5,000-7,500亿美元，是近期投资水平的两到三倍，但仅相当于2018年商业投资总额的3%左右。在*一切如常*情景中，风能和太阳能发电装机投资增至每年约3,000-4,000亿美元。
- 在净零情景中，风能和太阳能投资模式呈驼峰状，说明2020年至2030年新增装机容量首先呈快速增长趋势，然后明显放缓，这可能会导致支持这种增长的供应链出现产能过剩问题。
- 在*快速转型*和*净零*情景中，上游投资速度与过去相比急剧放缓，并且投资金额明显低于这些情景中风能和太阳能发电装机投资，这说明石油和天然气需求显著下降。第136-137页对不同情景中石油和天然气生产的投资模式进行了更加深入的讨论。
- 与风能和太阳能发电装机以及上游油气生产的投资相比，支持CCUS设施扩建所需的投资水平相对较低。即使在*快速转型*和*净零*情景（CCUS能力显著提升）中，也是这种情况。

新的石油和天然气生产项目仍需大量投资

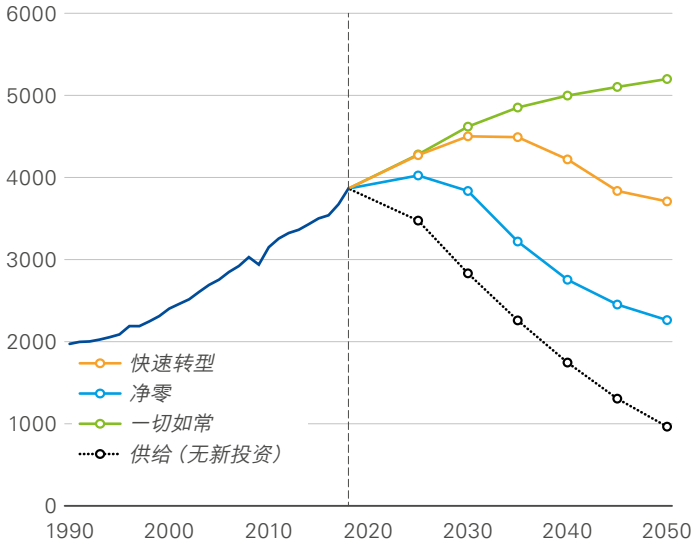
石油消费和生产

（百万桶/天）



天然气消费和生产

（十亿立方米）



要点

- 尽管在几乎所有情景中，石油和天然气需求都是先达到峰值然后再下降，但现有产量下降的速度更快，这说明在所有三种情景中都需要对上游石油和天然气生产进行大量的新投资。
- 这些情景是根据以下设想设定的：如果石油生产商在未来30年内仅对维持现有（棕地）项目和完成已经批准的项目进行投资，则意味着石油产量平均每年将以略高于4%的速度下降，到2050年，全球石油供应量将降至约2,500万桶/天。天然气对应的下降速度稍高（4.5%），这反映出来自于短周期非常规天然气产量占据较大的比例。
- 如要缩小石油和天然气“无新投资”的供给水平与满足三种情景中石油和天然气需求所需的供给水平之间的差距，则在未来30年内需要对上游石油和天然气生产进行大量的新投资，总计需达到9万亿至超过20万亿美元。
- *净零*情景中的石油需求状况表明，随着世界能源体系向低碳转型，未来对石油和天然气投资的判断越来越困难。
- 在*净零*情景中，在展望前半期，石油需求相对较有弹性，这说明在未来15年左右的时间内还需要对石油进行数万亿美元的新投资，以确保充足的石油供给。但是，*净零*情景中，在展望后半期，石油需求下降的速度快于石油产量的自然下降速度。这意味着，到2050年，这些投资可能无法得到充分利用，因而可能变得不具备经济性。
- 这种风险可以通过投资资本密集度较低、周期较短、可扩展的项目来降低，如：非常规致密油气、棕地再开发和深海回接等。
- 就像在*延迟与无序*情景中所强调的一样，能源转型的速度和性质存在不确定性，这意味着在未来几年内与这些类型项目相关的选择价值可能会增加。

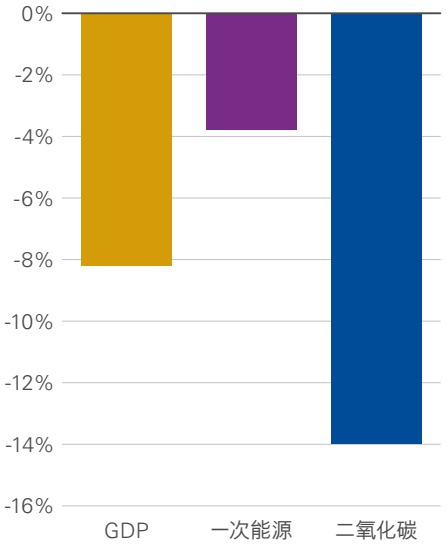
对比

对*快速转型*情景的修改
与外部展望的*快速转型*情景对比

对*快速转型*情景的主要修改：能源需求和碳排放量下降；可再生能源占比升高

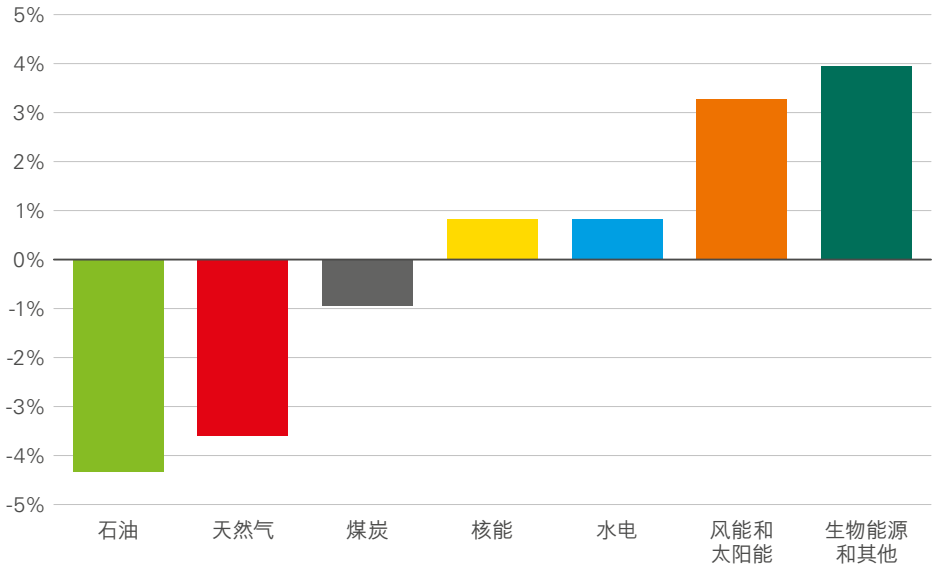
GDP、能源和碳排放

2040年与往期《能源展望》的变化百分比（%）



在一次能源中的占比

2040年与往期《能源展望》的百分点变化（%）



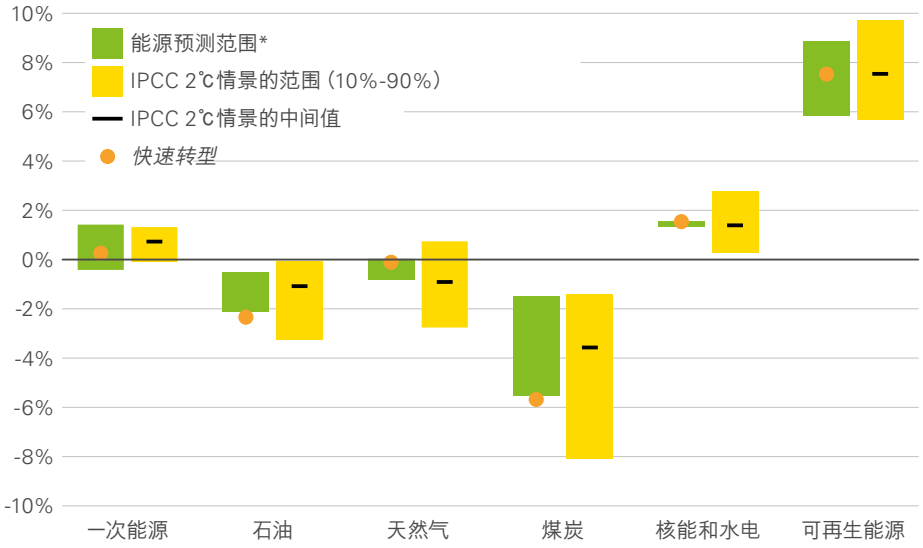
要点

- 通过分析往期版本做了哪些修订，将有助于确定哪些关键进展可能会影响未来能源体系的发展路径。
- 与2019年《能源展望》相比，本期《能源展望》中*快速转型*情景所采用的建模假设主要在以下两方面有所不同。第一，*快速转型*情景中对氢能和生物能源在能源转型中可能扮演的角色进行了更为全面的建模。第二，*快速转型*情景反映了更快的去碳化步伐，所以2040年*快速转型*情景中因能源使用而产生的碳排放水平相比2019年《能源展望》中快速转型情景低15%左右。本期《能源展望》与2019年《能源展望》的*快速转型*情景差异反映了建模变化以及近期发展的影响。
- 2040年，快速转型情景中的全球GDP将比2019年《能源展望》中*快速转型*情景中的全球GDP低8%，其主要原因在于新冠肺炎疫情的影响和有关气候变化对经济活动影响的新假设（见第28-29页和第148-149页）。在2040年，*快速转型*情景中能源需求水平降低了4%左右，说明经济增长的疲软在一定程度上被电力和氢能等二次能源载体使用量的增加所抵消。二次能源载体的生产往往会促进一次能源消费的增长。
- 向下修改幅度最大的是石油，2040年石油占一次能源的比例比2019年快速转型情景中的比例下降了4个百分点。石油的作用减弱，反映出新冠肺炎疫情对交通行业的影响成比例增加，电力和氢能在交通行业的普及速度加快，以及有关塑料使用的政策假设更加严格（见第28-29页、第44-45页、第38-39页）。
- 随着各国进一步推进向可再生能源发电转型，以及电力和氢能作为替代能源更多地应用于工业领域，天然气占一次能源的比例也低于2019年快速转型情景中的比例。
- 与之对应的主要是可再生能源。2040年，可再生能源在一次能源中的占比相比2019年快速转型情景中的占比高出7个百分点。该比例上调部分基本由生物能源（说明今年对生物能源的分析更全面，见第128-129页）与风能和太阳能（由绿氢制造和开发成本持续下降支撑）接近平分。

尽管石油需求更疲软，天然气需求更强劲，*快速转型*情景与外部展望基本一致

2018年-2050年，一次能源增长情况（按来源划分）

年百分比



*如需了解更多详细信息，请参见第155页

2050年二氧化碳排放和CCUS

二氧化碳排放量（十亿吨）

要点

- 将《能源展望》中的情景与其他组织发布的预测进行对比，也有助于突出存在观点差异和不确定性的领域。可将*快速转型*情景与基本符合将全球气温升幅控制在“远低于2°C”的样例情景以及相应的IPCC情景进行对比（关于往期《能源展望》的样例情景，详见第155页；关于IPCC情景，详见第150-151页）。
- *快速转型*情景中未来30年内一次能源的平均增长与外部展望样例情景和IPCC情景范围的最低值接近。这可能在一定程度上反映了新冠肺炎疫情对经济活动和能源需求的影响（因为自新冠肺炎疫情大流行以来，许多情景尚未更新），以及*快速转型*情景中假设气候变化对GDP增长的影响。
- *快速转型*情景中石油和煤炭的消费情况体现了能源需求的相对疲弱，其中*快速转型*情景中消费量处于或接近外部预测和IPCC情景范围的最低值。
- 与*快速转型*情景一样，两组情景对比都表明，可再生能源将是未来30年内增长最快的能源来源，而*快速转型*情景中可再生能源的年均增长率与IPCC情景的中间值基本一致。
- 在*快速转型*情景中，天然气需求与这两种情景范围的最高值相近，这在一定程度上反映了*快速转型*情景中对蓝氢的前景更乐观。
- *快速转型*情景中2050年的碳排放量接近外部情景范围的最低值，与IPCC情景的中间值一致。在*快速转型*情景中，使用CCUS产生的碳排放与外部情景中碳排放范围的中间值基本一致，但比IPCC情景范围的最低值更低，这说明CCUS的潜在作用在业界达成了较强共识。

附录

关键数据、定义、方法和数据来源

关键数据

	2018年	2050年的水平 快速转型	2050年的水平 净零	2050年的水平 一切如常	在一次能源中的占比 2018年	在一次能源中的占比 快速转型	在一次能源中的占比 净零	在一次能源中的占比 一切如常	2018年– 2050年的变化（年百分比） 快速转型	2018年– 2050年的变化（年百分比） 净零	2018年– 2050年的变化（年百分比） 一切如常
一次能源（按燃料划分，单位：艾焦）											
总计	576	625	625	725	100%	100%	100%	100%	0.3%	0.3%	0.7%
石油	190	89	42	172	33%	14%	6.8%	24%	-2.3%	-4.6%	-0.3%
天然气	138	134	81	187	24%	21%	13%	26%	-0.1%	-1.6%	0.9%
煤炭	158	24	12	123	27%	3.9%	1.9%	17%	-5.7%	-7.8%	-0.8%
核能	24	44	57	31	4.2%	7.0%	9.1%	4.2%	1.9%	2.7%	0.7%
水电	38	57	62	51	6.5%	9.1%	9.9%	7.1%	1.3%	1.6%	1.0%
可再生能源（包括生物燃料）	27	277	370	161	4.7%	44%	59%	22%	7.5%	8.5%	5.7%
一次能源（按行业划分）											
交通^	119	147	159	147	21%	24%	26%	20%	0.7%	0.9%	0.7%
非燃烧^	38	44	28	53	6.5%	7.1%	4.4%	7.3%	0.5%	-1.0%	1.1%
建筑^	169	179	177	234	29%	29%	28%	32%	0.2%	0.1%	1.0%
工业^	250	254	261	291	43%	41%	42%	40%	0.1%	0.1%	0.5%
其中：											
电力投入	245	423	483	388	43%	68%	77%	54%	1.7%	2.2%	1.5%
一次能源（按区域划分）											
发达国家	240	179	186	218	42%	29%	30%	30%	-0.9%	-0.8%	-0.3%
美国	95	67	69	92	17%	11%	11%	13%	-1.1%	-1.0%	-0.1%
欧盟	70	49	49	53	12%	7.8%	7.8%	7.3%	-1.1%	-1.1%	-0.8%
其他国家	75	64	68	73	13%	10%	11%	10%	-0.5%	-0.3%	-0.1%
新兴经济体	335	445	438	507	58%	71%	70%	70%	0.9%	0.8%	1.3%
中国	136	141	139	155	24%	23%	22%	21%	0.1%	0.1%	0.4%
印度	34	75	77	86	5.9%	12%	12%	12%	2.5%	2.6%	3.0%
其他亚洲国家	41	66	68	76	7.1%	11%	11%	11%	1.5%	1.6%	2.0%
中东地区	38	40	31	53	6.6%	6.5%	5.0%	7.3%	0.2%	-0.6%	1.1%
俄罗斯	30	27	28	30	5.2%	4.2%	4.5%	4.1%	-0.4%	-0.2%	0.0%
巴西	12	20	20	20	2.1%	3.2%	3.1%	2.8%	1.5%	1.5%	1.6%
其他国家	45	76	75	87	7.8%	12%	12%	12%	1.7%	1.6%	2.1%

	2018年	2050年的水平 快速转型	2050年的水平 净零	2050年的水平 一切如常	2018年– 2050年的变化（年百分比） 快速转型	2018年– 2050年的变化（年百分比） 净零	2018年– 2050年的变化（年百分比） 一切如常
一次能源（按燃料划分）（本地单位）							
石油（百万桶/天）	97	47	24	89	-2.2%	-4.2%	-0.3%
天然气（十亿立方米）	3845	3708	2263	5199	-0.1%	-1.6%	0.9%
产量							
石油（百万桶/天）	98	47		89	-2.2%		-0.3%
天然气（十亿立方米）	3865	3717		5200	-0.1%		0.9%
煤炭（艾焦）	165	30		120	-5.2%		-1.0%
宏观							
GDP（万亿美元，购买力平价）	129	297	297	297	2.6%	2.6%	2.6%
人口（十亿）	7.6	9.7	9.7	9.7	0.8%	0.8%	0.8%
人均GDP（千美元）	17	31	31	31	1.9%	1.9%	1.9%
能源强度（每单位美元 GDP的能耗（兆焦））	4.5	2.1	2.1	2.4	-2.3%	-2.3%	-1.9%
净二氧化碳排放量（十亿吨）	33.8	9.4	1.4	30.5	-3.9%	-9.4%	-0.3%

EJ = 艾焦

^包括电力和氢能；及其相关转换损失。

关于气候变化对GDP增长影响的估测

本期《能源展望》力求明确说明气候变化对经济活动以及能源体系去碳化相关减排成本的影响。经济和科学文献尚未明确确定如何对这些影响进行建模，所以关于这些影响（包括《能源展望》所涵盖的影响）的任何估测都是不完善的，而且几乎可以肯定地说是不完整的。即便如此，我们仍然认为，我们利用现有研究，好过不将其纳入分析。

关于气候变化的经济文献一般会使用气候-经济综合评估模型（IAM）来量化气候变化影响与经济活动之间的关系。最近有一些实证性文献根据世界不同地区的以往温度变化对GDP影响的估测分析了气候变化的经济影响。作为该文献的基准研究之一，Burke等人（2015年）利用IPCC代表性浓度路径（RCP）情景评估了166个国家的温度变化对GDP的非线性影响。他们发现，人均GDP是温度的凹函数，在年均温度为13°C时达到峰值，随后在较高的温度水平急剧下降。

《能源展望》基于Burke等人的模型对气候变化对GDP的影响作了说明性估测。三种情景中的温度曲线是根据代表性浓度路径情景设定的，其最接近每种情景中因能源使用而导致的碳排放的轨迹。在*快速转型*情景中，代表性浓度路径为RCP 2.6，*净零*情景中为RCP 1.9，*一切如常*情景中为RCP 4.5。可以相对于反事实情景计算这些默示温度上升对经济所产生的影响，此时，可假设未来温度将保持在最近几年（1980年-2010年）的平均水平不变。

用Burke的方法推断出气候变化影响的中值表明，在*一切如常*情景中，到2050年，全球气温的上升将导致全球GDP下降近5%。对于*快速转型*和*净零*情景，所估测的影响较低，说明这两种情景采取了低碳排放措施。根据其温度相对于Burke等人估算的凹函数的演变，来分配区域影响。对于相对温暖的地区，其GDP可能会受到负面影响，而对于温度较低的地区，相对温暖的天气反而对其有益。

由于Burke等人只关注温度变化对GDP的影响，而未考虑其他气候变化影响（如海平面上升、更频繁和更强烈的风暴、洪水、干旱或生物多样性丧失）或大规模人口迁移等其他经济破坏因素，因此这些气候变化影响还存在很大的不确定性，而且也不完整。

能源体系去碳化行动的减排成本也非常不确定，不同的外部估算存在显著差异。然而，大多数估算都表明，减排工作越紧迫，成本越高，所以*快速转型*和*净零*情景中的成本相比*一切如常*情景可能会更高。根据IPCC发布的估算（第五次评估报告 – 第6章），在将全球气温升幅控制在远低于2°C的情景中，到2050年，减排成本的中值估算为全球消费的2-6%。

考虑到有关气候变化和减排经济影响的估测具有巨大的不确定性，同时三种情景都包括两种成本（较高的成本和较低的成本），本期*《能源展望》*基于以下说明性设想：相对于温度保持在最近几年的平均水平不变的反事实情景，到2050年，这些影响将导致所有三种情景中的GDP都降低5%左右。

重要的是，如果推测2050年以后的情景，通过Burke的方法可知，一切如常情景中GDP增长和繁荣将逐步恶化，导致幸福水平显著低于*快速转型*和*净零*情景中的水平。

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235-239页（2015年）

以GDP损失表示全球总减排成本估算，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*

IPCC情景样例范围构建

世界科学界开发了多种“综合评估模型”（IAM），以阐明人类系统（经济、能源、农业）和气候之间的相互作用。“通过简化的程式化数值方法来呈现极其复杂的物理和社会系统”（Clarke，2014年）。人们利用这些模型生成大量的情景，在各种假设条件下探索温室气体排放和气候变化可能发生的长期轨迹。

作为其评估工作的一部分，政府间气候变化专门委员会（IPCC）会定期对这种情景建模进行调查。最近开展的调查旨在支持IPCC的2019年《全球变暖升温1.5°C特别报告》（SR15）。总计构建了13个不同的建模框架，设定了414种情景，并发布在门户网站(*https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer*）。

有些情景现在已经过时，而且某些情景的结果也与最近的历史数据明显不符，因此我们在分析中未予采纳。我们从剩余的模型中提取了我们认为与《巴黎协定》长期温度目标一致的112种情景，并将其进一步划分为两个子集：“远低于2°C”（69种情景）；“1.5°C，无超出或略微超出”（43种情景）。如需了解有关情景选择方法的详细说明，请访问*www.bp.com/energyoutlook*。

2个情景子集中的每个情景都以中位数和百分比分布来表述关键变量的结果范围。

需要注意的是，情景数据集代表“一系列的机会”，是IPCC调查时为各种目的而构建的一系列情景。“这不是对世界经济应该如何实现去碳化的可能性的随机抽样”（Gambhir等人，2019年）。也就是说，我们不能将IPCC情景的分布解读为该情景可能实际发生的可靠指征。相反，这些分布只是描述了IPCC报告中所包含情景的特征。

“全球净零能源体系”章节（见第119-131页）所述的样例范围是根据样例在IPCC中的情景设定，体现到2100年将能源和工业使用所产生的净碳排放量控制在10亿吨以内的目标。在112种情景样例中，84种均为如此。在每一种情景中，当碳排放量低于10亿吨的阈值时，就要考虑能源体系的规模和结构。在样例情景中，最早达到“净零”状态的时间大约是2045年，对于中间情景，则要到2070年。

参考文献

Clarke L.等人（2014年），《评估转型路径》《气候变化2014：减缓气候变化》《政府间气候变化专门委员会第三工作组提交第五次评估报告的报告》

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

投资概况估算

本期《能源展望》涵盖了对所有三种情景中上游石油和天然气、可再生能源以及碳捕捉、利用与封存（CCUS）的投资需求的估算。

石油和天然气投资

对于三种情景中每种情景的上游石油和天然气资本支出（不包括运营成本）概况，可根据各自资产水平所需的投资来计算，以在不对新油田进行新投资的情况下满足所估算的油气需求与假设油气供应之间的差距。资产数据库和下降率都来自Rystad公司。据估计，到2050年石油和天然气的年均基本下降率分别为4.3%和4.8%。如果包括已经批准的油田，则年下降率将分别减缓至4.1%和4.5%。

石油和天然气的假设供应基线所依据的设想是：从2020年供应基线开始，不对新油田进行新的投资，但继续对正在生产和已经批准的油田进行投资，包括加密井和与维护设施相关的成本。另外，还假设已经获得批准的项目将在未来几年内完工（2025年，石油达到近700万桶/天；2027年，天然气达到4,000亿立方米）。

本展望定义了三种需求情景中满足油气短缺所需的一组非生产、未经批准的可调度资产并根据Rystad的数据估算了将这些资产联网所需的资产投资。最后，将与新资产有关的资本支出添加到正生产和开发的资产的资本支出中。假定所有情景对正在生产和开发的资产的投资都是相同的。

风能、太阳能和CCUS技术投资

对于风能和太阳能，需对每种情景中每种技术的部署率进行估算并根据每种技术的历史成本和学习曲线向每种情景分配投资费用。太阳能和风能的投资费用大体上与其历史学习曲线一致，风能约为8%，太阳能约为20%。

对于碳捕获和封存，2018年不同技术（钢铁、水泥、氢能、电力、化工、化肥）的投资费用来自多个来源。假设投资费用因技术的进步会随着时间的推移而下降。每年投资费用的降幅由最低1.3%至最高1.9%不等，具体视技术而定。

对CCUS技术的总投资是根据部署和成本做出的，还包括可变成本，特别是运输和碳排放储存成本（因地区和时间的不同而有所差异）。

参考文献

Rystad Energy公司UCube全球上游数据库，2020年8月

定义和数据来源

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和其他能源预测者设想的情景，都已重新设定基准，以便与《bp统计年鉴》一致
- 一次能源包括能够进行商业贸易的燃料，不包括传统生物质能
- 假设热效率随时间推移而变化，并且到2050年效率将线性提升至45%，通过计算在热电站生产等量电力所需的化石燃料当量，可推算出可再生能源中核能、水电和电力的主要能源价值。如需了解更多信息请访问*https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/methodology-for-converting-non-fossil-fuel-primary-energy.pdf*
- 国内生产总值（GDP）以实际购买力平价（PPP）表示，按2015年价格计算

行业

- 交通能源包括用于陆运、海运、铁路和航空的能源使用
- 工业能源包括用于制造业、建设施工、包括管道运输在内的能源工业以及发电以外的转化环节中所燃烧的能源
- 非燃烧燃料包括用作材料生产原料的燃料，例如：石油化工产品、润滑剂和沥青
- 建筑能源包括住宅和商业建筑以及农业、渔业和国际能源署归为“其他”行业使用的能源
- 电力包括用于发电的电力设施（热电联产机组）

区域

- 经济合作与发展组织（经合组织）大致指北美洲、欧洲和亚洲的经合组织成员国
- 中国指中国大陆
- 其他亚洲国家是指除中国大陆和印度以外的亚洲非经合组织国家或地区

燃料、能源载体、碳和材料

- 除非另有说明，石油包括：原油（包括页岩油和油砂）；天然气凝析液（NGL）；天然气制油（GTL）；煤制液（CTL）；凝析油和炼油产品
- 液体燃料包括石油的所有种类和生物燃料
- 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、生物甲烷和生物燃料，但不包括大型水电
- 非化石能源包括可再生能源、核能和水电
- 氢能需求包括交通、工业、建筑和电力行业的氢能消费，但不包括用作非燃烧原料（如用于化肥或甲醇生产）的需求
- 气体包括天然气和生物甲烷
- 提到碳排放时只考虑因燃料燃烧而产生的二氧化碳排放
- 塑料包括合成纤维

***快速转型*情景对比所用的数据来源**

- 挪威国家石油公司：可再生能源情景，2019年《世界能源展望》，2019年6月
- 国际能源署：可持续发展情景，国际能源署《2019年世界能源展望》，法国巴黎，2019年11月
- IHS Markit公司：*加快碳捕获和封存与多科技缓解：IHS Markit 2020年低排放案例*，2020年1月
- 壳牌公司：*天空情景*，2018年2月

其他主要数据来源

- bp集团，《bp世界能源统计年鉴》，*英国伦敦*，2019年6月
- 国际能源署，《非经合组织国家能源的平衡》，法国巴黎，2019年
- 国际能源署，《经合组织国家能源的平衡》，法国巴黎，2019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》，网络版，修订1

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的声明。这些声明一般（但不完全是）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的繁荣和生活水平日益提升、循环经济扩张、城市化和不断推进的工业化和生产力、能源需求、消费和获取、新冠肺炎疫情的影响、全球能源结构，包括结构组成以及其随着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 和情景以及其重组方式、社会偏好、全球经济增长，包括气候变化对经济增长的影响、人口增长、对旅客运输和商业运输的需求、能源市场、能效、政策措施其他低碳能源方案、能源供应和生产来源、技术开发、贸易纠纷、制裁和其他可能会影响能源安全的问题以及碳排放增长。前瞻性陈述蕴含风险和不确定性，因为它们受到未来将出现或可能出现的事件和情况的影响。前瞻性声明涉及风险和不确定性，因为它们与事件相关，取决于未来将要发生或可能发生的情况。实际结果在各种因素的作用下可能与该等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；战争和恐怖主义行径或破坏活动；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不承担更新本出版物或纠正任何明显错误的任何责任。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谬误或遗漏，或任何类型的直接、间接、特别、连带或其他损失或损坏承担责任。

致谢

数据搜集：能源经济研究与政策中心

赫瑞瓦特大学

ceerp.hw.ac.uk

© BP p.l.c. 2020

bp能源经济

由编制《世界能源统计年鉴》和
《世界能源展望》的团队编制