



bp世界能源展望

2025年版

2025 年版《世界能源展望》（以下称“《展望》”）将重点关注以下两大情景：“当前路径情景”和“低于 2℃ 情景”。这两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技术，未考虑全新或未知技术及应用可能产生的影响。

能源转型的可能速度和性质存在诸多不确定性因素，能源系统本身也受到许多其他因素的制约，这就意味着，上述任何一种情景完全按照所描述情形实现的概率微乎其微。

此外，这两种情景并没有包罗无遗地提供所有可能结果，但确实涵盖了更广泛的可能结果，因此可能有助于展现 2050 年之前能源市场发展的主要趋势和不确定性因素。

编写本期《展望》旨在帮助 bp 厘清能源转型带来的风险和机遇，并与利益相关方分享这些观点，为塑造全球能源系统未来路径重要因子的广泛讨论做出贡献。

在讨论全球能源市场前景时，本期《展望》仅是众多信息来源之一。bp 在制定长期战略时，也会综合考虑其他诸多外部情景以及相关分析和信息。

目录

引言	6	概览	12	能源需求	28
《世界能源展望》2025年版简介	6	两种情景：“当前路径情景”和“低于2℃情景”	14	石油需求	30
最新发展和新兴趋势	8	按地区 and 行业列示的分解	16	路面交通	32
主要洞见	10	一次能源的增长	18	石化原料	34
		按燃料列示的一次能源	20	产品需求	36
		终端消费总量	22	石油供应	38
		从能源消费总量增长到能源替代	24	天然气需求	40
		人工智能对能源系统的影响	26	液化天然气贸易	42
				区域天然气市场	44
				煤炭需求	46
				现代生物能源需求	48

电力行业	50	敏感性分析	68	附录	88
电力需求	52	影响能源转型的三个关键问题	70	汇总数据表	90
终端消费总量中电力的占比	54	<i>地缘政治分裂加剧</i>	72	从“当前路径情景”到 “低于2℃情景”	92
电力生产	56	对排放和一次能源的影响	74	能源消费总量增长和能源替代	94
核能发电	58	对各区域一次能源的影响	76	“地缘政治分裂加剧情景”的 建模方法	96
电力行业排放	60	<i>能源效率持续乏力</i>	78	“能效乏力情景”的建模方法	98
		对石油和天然气需求的影响	80	“延迟低于2℃情景”的建模方法	100
低碳氢和碳减排与 碳移除	62	累积排放量： “当前路径情景”和“低于2℃情景”	82	气候变化对经济的影响	102
低碳氢需求和碳捕集、利用与封存	64	<i>延迟和有序转型</i>	84	碳排放的定义与数据来源	104
低碳氢生产	66	三种敏感性情景对比	86	其他数据的定义与来源	106

《世界能源展望》2025年版简介



欢迎走进2025年版
《bp世界能源展望》

欢迎走进 2025 年版《bp 世界能源展望》。

能源系统是现代社会的核心环节。在世界各地，人们的日常生活和企业经营都离不开能源系统，同时，能源系统自身也需要不断调整，以适应政治、科技和环境领域重心的持续转移。

正是由于这种核心地位，我们才选择投身能源行业。

这也是全球能源系统所面临的挑战和驱动因素不断变化的原因。

过去一年亦不例外。

地缘政治紧张局势

俄乌冲突使地缘政治紧张局势成为焦点，中东冲突以及制裁和关税日益频繁的使用则加剧了这种紧张局面。

在这样的背景下，能源安全的重要性再次凸显。提高可靠、可负担能源供应保障的优先级，可能会在不同国家产生不同的影响。

对于一些国家而言，这意味着减少对化石能源进口的依赖，以本土低碳能源为依托，加快电气化转型的步伐。我们或将见证“电力国家”的崛起。

其他国家可能会更加重视国内化石能源的生产，并抑制在低碳技术方面对低成本国际供应链的依赖。

数据中心

为支撑人工智能应用的日益普及，数据中心呈现指数级增长，成为一项新的能源需求重要来源，在美国这样过去十年间电力需求增长几乎停滞的市场，这一点尤为明显。

这些政治和科技因素的变迁，发生在全球能源需求又一年超预期增长的背景下：据估计，一次能源在2024年增长了2%，高于过去十年的平均增长率。

能源效率

在能源需求强劲增长的同时，能源效率的提升依旧没有起色，而我们对于其原因仍知之甚少。

能源效率的变化模式可能有些模糊

难明，但我要指出的是，过去五年间，效率提升迟迟不见长进，可能是在此期间全球能源系统格局的一项重要决定因素。特别值得注意的是，尽管太阳能、风能等低碳能源快速增长，但化石能源的增长仍然坚挺，这一现象的背后正是低下的能源效率。

碳排放

十年前，具有历史意义的《联合国气候变化框架公约》缔约方会议第二十一届会议（COP21）召开，达成了关于巴黎气候目标的协定。自那以后，能源使用和工业领域的碳排放量连年上升（除了2020年因新冠疫情略有下降）。如果未来十年二氧化碳排放量仍维持在当前水平，则全球将排放控制在2℃碳预算范围内将越来越艰巨，其成本也将相当高昂。

面对这一切，我们应作何理解？

2025年版《世界能源展望》

今年的《展望》与往年一样，并非旨在提供明确的答案或建议，但其还是提出了两种情景：“当前路径情景”和“低于2℃情景”。虽然各国能源转型的速度和深度各不相同，导致能源系统的未来存在诸多不确定性因素，但通过两种情景，可对这些因素加以探索。

此外，今年的《展望》还提出了三项敏感性分析，分别探讨了地缘政治分裂加剧、能源效率持续乏力，以及能源延迟和无序转型风险攀升的情况，用于展示近期影响能源系统的其他问题可能带来的后果。

能源系统受到诸多问题的影响，相关的讨论和对话也从未停止，我们发布《展望》的一个重要意义便是在于为这些讨论和对话贡献一份

力量。我希望今年的《展望》能够对面对这些问题的人们有所帮助。更重要的是，我们欢迎各位读者分享自己的观点，表达与《展望》中的分析不一样的看法，并提出改进意见。



首席经济学家
戴思攀（Spencer Dale）

最新发展和新兴趋势

全球能源系统的最新趋势和发展为《展望》中的情景提供了依据。

能源需求和效率

全球能源需求持续增长，2019年至2024年间平均增长率在1%左右，而且这一增长完全来自于社会日益繁荣、经济增长可观的新兴经济体。

而能源效率（以单位GDP的能源终端消费总量衡量）的提升速度仍不尽人意，2019年至2024年间年均仅增长1.5%，相比前十年间近2%的增长下滑明显。尽管低碳能源增长迅速，但化石能源的使用依旧持续增长，能源效率提升缓慢便是一项根本原因。

排放

碳排放继续增长，过去五年间（2019-2024年）年均增长0.6%。如果二氧化碳排放量大致保持在最近的水平，政府间气候变化专门委员会（IPCC）估算的将全球平均气温升幅限制在2℃以内的碳预算，大概率将在本世纪40年代初耗尽。

能源安全

近年来，地缘政治紧张局势加剧，冲突数量显著增多，包括俄乌冲突和中东冲突的爆发，以及制裁和关税措施的频繁实施。面对此种形势，许多国家开始更加重视能源安全。对能源安全关注的增加，可能会导

致能源系统受到多重且相互抵消的影响，包括各国更加倾向于以国内生产替代能源进口；希望开发本土化或多元化的低碳技术供应链，减轻对低成本国际供应商的依赖。

各国能源系统的结构不同，受上述发展形势的影响也可能不尽相同，这就使得各国的能源路径表现得更为多样化。一些能源进口国可能会选择加快电气化的步伐，使用（国内生产）的低碳能源，以减少对于进口化石能源的依赖。相比之下，一些能源生产国可能偏向于继续使用国内生产的化石能源，而非更加依赖于以国际供应链为主导的低碳技术。

石油和天然气

自2019年以来，石油需求的年均增长60万桶/日。而全部增量均来自新兴经济体的消费增长。过去十年间，中国贡献了全球石油需求增长的一半左右，但其石油需求的增长预计将在当前十年的后半期趋于平缓。

石油需求增长的模式正在改变，未来，其主要增长动力将不再是路面交通需求，而是作为石化行业原料的使用。

天然气需求的增长主要来自中国，其次是中东和美国。在中国及其他新兴亚洲国家，国内天然气资源相对缺乏，管道天然气不够普及，而

在欧洲，来自俄罗斯的管道天然气出口仍未恢复。这两项因素叠加作用之下，液化天然气更显得重要。

根据在建或已有最终投资决定（FID）的液化天然气出口设施估算，到 2035 年，全球液化天然气出口量预计将比 2024 年增加一半以上，其中约三分之二的增量将来自美国和中东。

为支撑生成式人工智能应用日益普及，数据中心的用电需求大幅增长，不仅已在部分市场显著推高了电力需求，而且在未来数年还会以更快的速度攀升。这一影响在美国最为突出：2023 年，美国的数据中心电力需求约占全球需求的一半，而在此前十年间，美国电力需求基本上持平。

低碳能源

国际能源署（IEA）的估算显示，“清洁能源”投资近年来增长迅速，预计在 2025 年将达到 2.2 万亿美元左右，比 2000 年增长 70%¹。这些投资主要集中在发达经济体和中国，而其他新兴经济体由于融资成本负担沉重，投资水平大幅落后。大量投资流向了电气化和低碳电力生产，重点是风能和太阳能发电。

2019 年至 2024 年间，风能和太阳能发电量翻了一番，太阳能发电增长尤为显著。过去五年，全球可再生发电量的增长中，贡献最大的是中国，占新增风能和太阳能发电量的一半以上。

近年来，电动汽车销量持续快速增长，而中国占全球销量的一半以上。欧盟和美国是电动汽车的另外两大市场，但销量增长仍依赖于车辆排放法规的推动。

电力需求和低碳发电量的快速增长，正加剧电网规划和电力系统运行所面临的压力。以美国为例，21 世纪头十年，从并网申请到商业运行一般需要时不到两年，如今却要接近五年才能完成。

低碳氢、可持续航空燃料以及碳捕集、利用与封存（CCUS）等相对不成熟、成本也更高的低碳能源载体和技术，仍处于初期阶段，高度依赖政策与法规支持。

尽管人们对关键矿产资源供应和供应链安全的担忧不断增加，但在 2024 年，这方面的投资增长放缓，勘探活动与此前持平。未来五到十年，铜资源供应压力预计将显著上升。

¹国际能源署的“清洁能源”投资包括对可再生电力、能效与终端使用、低排放燃料、核能和其他清洁电力，以及电网和储能的投资。详见www.iea.org/reports/world-energy-investment-2025。

主要洞见

本期《展望》中使用的两种情景完全按照所描述情形实现的概率微乎其微。不过，二者确实有助于我们提炼出关于未来 25 年左右能源系统演进的一些主要洞见。

这两种情景所共有的能源系统趋势和特征，也许更有可能出现在介于两者之间的诸多路径之中。

相比之下，在两种情景中存在显著差异的趋势和特征，可被视为更易受能源转型速度影响。

两种情景的共有趋势

全球能源需求的增长主要来自中国以外的新兴经济体。这些经济体能源需求的上升，源于繁荣程度与生

活水平的提升，也在一定程度上源于人口规模的增长。

能源需求增长取决于是否采取措施加快提升能源效率。即使是相对短暂的能效波动，也可能对能源需求和碳排放产生重要影响。

能源需求结构正在发生变化：随着能源系统电气化程度提高，以太阳能和风能为主的低碳能源变得愈发重要，化石能源的作用正在减弱。在两种情景下，整个展望期内电力需求都将翻一番。

石油需求在展望期内会下降，但未来至少 10-15 年里，其仍将在全球能源系统中发挥重要作用。

石油需求前景受两股相互抵消的力量影响：一方面，随着车辆能效提高并日益电气化，石油在路面交通中的作用减弱；另一方面，石油作为石油化工产品原料（主要用于塑料生产）的需求始终坚挺。

石油需求水平和结构的变化对炼油体系构成了越来越大的压力。石油需求的下降主要由非欧佩克 + 产油国承担，使得欧佩克 + 的石油产量占比逐渐上升²。

煤炭消费下降，主要由于发电用煤减少，尤其是在中国。

太阳能和风能快速增长，凭借持续竞争力，成为主导性电力来源。

全球能源系统正逐步从“能源消费总量增长”阶段迈向“能源替代”阶段。在前一阶段，低碳能源和化石能源的使用量都在增加，而在后一阶段，低碳能源迅速增长，产生挤出效应，替代了无减排的化石能源消费。

易受能源转型速度影响的趋势

未来 25 年，天然气（尤其是液化天然气）需求的增减取决于能源转型的速度。由于经济增长和工业化，新兴经济体对天然气及进口液化天然气的需求会增加。但在加速转型路径中，这种增长将因转向低碳能源而被抵消。

未来 25 年，生物燃料和生物甲烷的使用会增长。但增幅取决于各国政府政策和强制性要求的支持力度。

低碳氢和 CCUS 主要用于促进一些减排难度较大的行业和活动实现脱碳。但由于成本相对较高，只有在深度脱碳路径下，它们才会扩展至显著规模。即便如此，低碳氢和 CCUS 的增长也主要集中在展望期的后半期。

² 欧佩克+指由12个欧佩克成员国和10个非欧佩克产油国组成的联盟，它们自2016年起在石油生产政策上开展合作与协调。

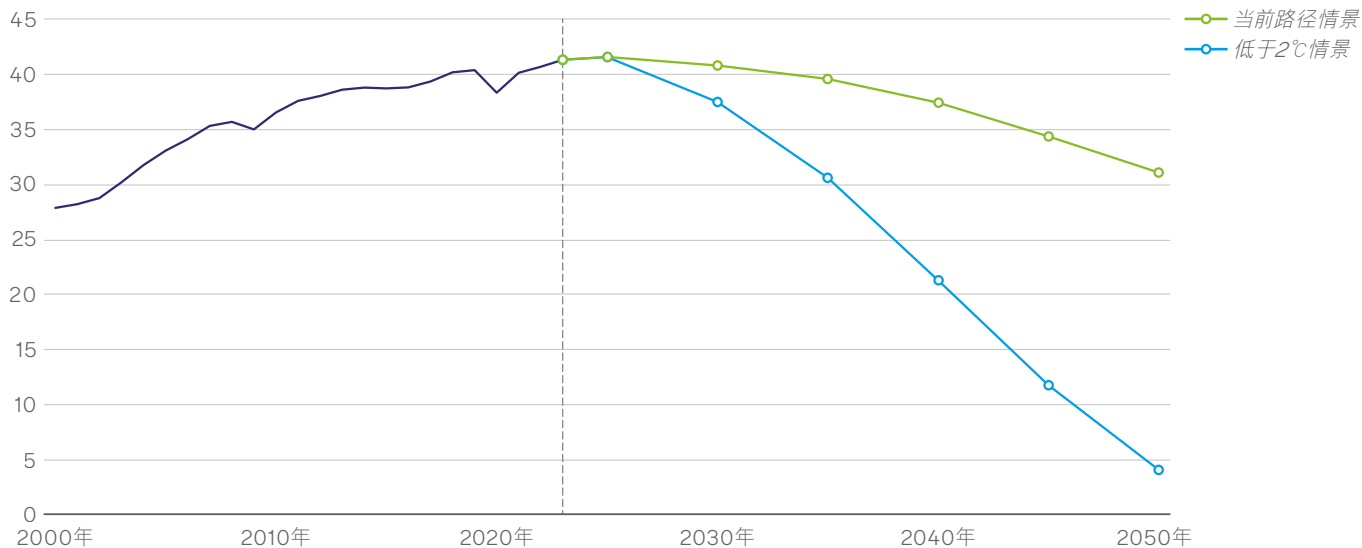
概览

两种情景：“当前路径情景”和“低于2℃情景”	14
按地区和行业列示的分解	16
一次能源的增长	18
按燃料列示的一次能源	20
终端消费总量	22
从能源消费总量增长到能源替代	24
人工智能对能源系统的影响	26

探讨2050年之前能源转型路径的两种情景

碳排放量

二氧化碳当量（十亿吨）



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来自能源生产过程和传统生物能源的不完全燃烧所产生的甲烷排放。

《bp 世界能源展望》2025 年版通过“当前路径情景”和“低于 2℃ 情景”，探讨 2050 年之前全球能源系统可能出现的一系列结果。

这两种情景探讨了世界能源转型背后的一些重大不确定性因素，有助于我们理解在一系列不同的假设下，哪些趋势更有可能出现，哪些对于能源转型的速度和形态更为敏感。

它们考虑了能源生产和使用、多数非能源相关的工业生产过程以及天然气放空燃烧产生的碳排放，以及化石能源生产、运输和分销产生的甲烷排放以及传统生物能源的不完全燃烧所产生的碳排放量（详见附录第 104-105 页）。

“当前路径情景”

“当前路径情景”旨在勾勒全球能源系统与其当下发展趋势大体一致的路径。它着重考虑当前已经生效的气候与能源政策，以及这些政策的最新趋势与变化。同时，它也强调了全球未来减碳的目标和承诺，并正视与实现这些目标和承诺相关的挑战。

在“当前路径情景”中，二氧化碳当量（CO₂e）排放量在本世纪 20 年代余下的时间里会大致维持在当前水平，然后在三四十年代逐步下降。到 2050 年，排放量将比 2023 年的水平下降约四分之一。

“低于 2℃ 情景”

“低于 2℃ 情景”探讨了在全球实现更大幅度减排的路径中，能源系统的不同组成部分可能会发生怎样的变化。在这一情景下，到 2050

年净排放量会比 2023 年减少约 90%。该情景假定气候政策大幅收紧，同时伴随着社会行为和偏好的转变，两者共同推动低碳能源的更快普及以及能源效率的更快提升。

隐含的升温

由于这些情景仅涵盖到 2050 年的变化，且并未对所有形式的温室气体排放进行建模，因此无法直接根据这些情景推算其所隐含的 2100 年全球平均气温升幅。不过，我们可以间接地推算升温，将 2015-2050 年间的累积碳排放量与 IPCC《第六次评估报告》中各类情景相应的排放区间进行比较（详见附录第 104-105 页）。

在“低于 2℃ 情景”中，累积排放量大致处于 IPCC 假设的 C3 情景排放区间的中值水平。C3 情景即有大于 67% 概率将全球平均气温升

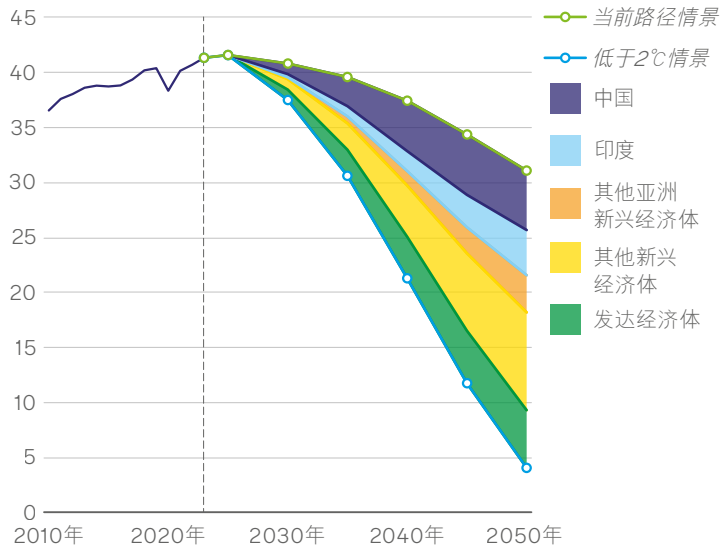
幅限制在 2℃ 以内的情景（见附录第 104-105 页）。据此，可以认为“低于 2℃ 情景”将与全球平均气温升幅控制在远低于 2℃ 的目标大体一致。相比之下，在“当前路径情景”中，累积排放量远超 C3 情景的排放区间，这表明它与将全球平均气温升幅控制在远低于 2℃ 的目标并不相符。

在接下来的章节中，本《展望》将对这两种情景进行更为详细的探讨。最后一部分（见第 70-87 页）围绕这些情景考虑了额外的敏感性效应，包括地缘政治加剧分化以及能源效率迟迟未得到明显改善的可能影响。

“低于2℃情景”中较低的排放量来自新兴经济体以及电力和工业行业更为迅速的脱碳

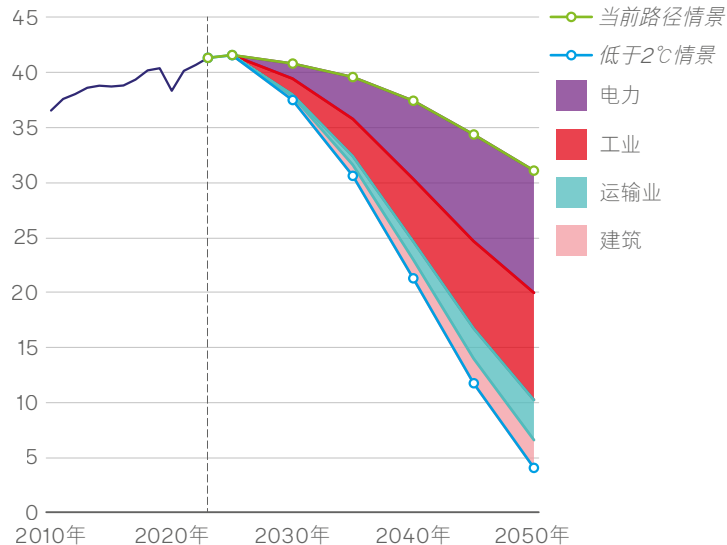
按地区列示的排放量差异分解
（“低于2℃情景”对比“当前路径情景”）

二氧化碳当量（十亿吨）



按终端用途行业列示的排放量差异分解
（“低于2℃情景”对比“当前路径情景”）

二氧化碳当量（十亿吨）



相比于“当前路径情景”，“低于2℃情景”的转型速度更快，其主要的驱动力是新兴经济体更迅速的脱碳，而从能源用途来看，电力生产和工业生产过程中的减排也是重要的驱动力。

我们可以通过观察这些情景，探讨哪些额外的转变将发挥关键作用，帮助全球能源系统摆脱现状，走上更快更深入脱碳的路径。

按地区比较两种情景

从地区来看，“低于2℃情景”中脱碳速度更快，在极大程度上要归功于新兴经济体更快速的减排。截至2050年，“当前路径情景”和“低于2℃情景”排放量的差异中，约80%源自这些国家。

中国排放量减少是导致两种情景差异的最大因素，2035年约占差异的30%，2050年约占20%。在展望期后半期，其他亚洲新兴经济体的贡献逐渐变得重要起来。因此，整体来看，亚洲新兴国家（包括中国）在2035年和2050年时均占到两种情景排放量差异的近一半。这一点在很大程度上反映了这些国家能源需求的快速增长：在“当前路径情景”中，2023-2050年间亚洲新兴经济体约占全球一次能源增长的四分之三。

按行业比较两种情景

另一种比较两种情景的方法，是从主要能源使用行业（建筑、工业、电力和交通运输）的排放量差异入手。从这一角度看，在“低于2℃情景”中，电力和工业行业对更快实现脱碳的贡献远大于其他行业。

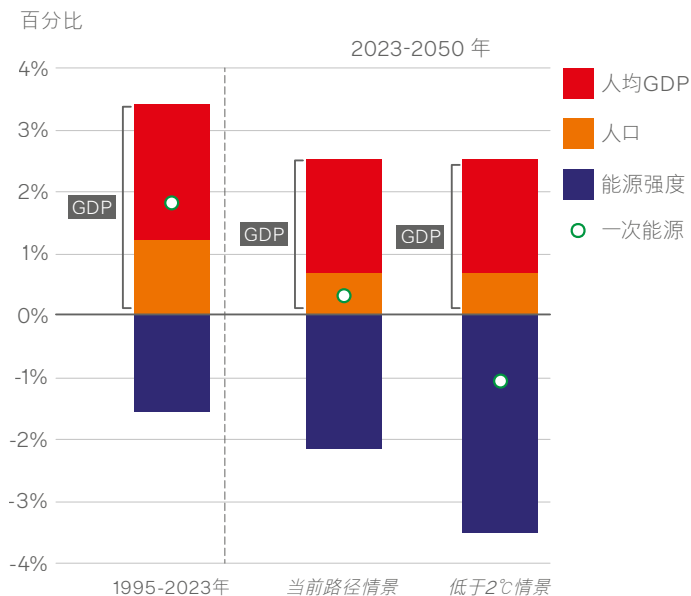
到2035年和2050年时，电力行业在两种情景排放量差异中的占比均为约40%。这主要是因为“当前路径情景”中新兴经济体电力生产的脱碳进程较为缓慢。而在“低于2℃情景”中，新兴经济体电力行业更快的脱碳主要归因于风能和太阳能的更快普及：到2050年，风能和太阳能发电量占新兴经济体总发电量的约四分之三，而在“当前路径情景”中，占比仅约为二分之一。更高等度的电气化所带来的可持续

性效益，取决于电力碳强度降低的程度。

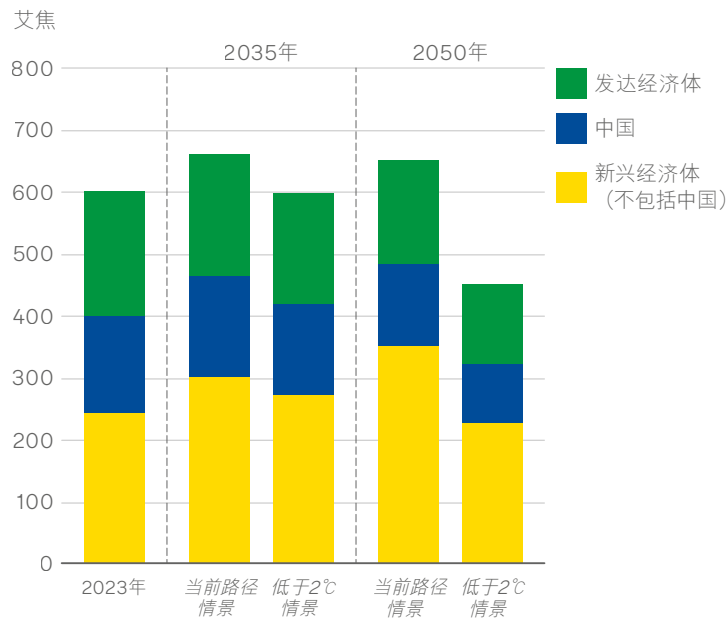
工业行业的贡献也很重要，约占两种情景间排放量差异的35%。这反映出多方面的因素，包括工业能效改善速度更快、电气化规模更大、低碳氢和CCUS在难减排行业中的应用更广泛，以及经济措施更为广泛，促使制成品和材料需求有所减少。

一次能源的增长受新兴经济体驱动，具体增幅取决于能效的路径

一次能源需求年均增长



按地区列示的一次能源



全球一次能源的增长动力主要来自新兴经济体的繁荣程度提升和人口增长。能源增长的规模和持续性，取决于能源效率改善的速度。

全球经济增长

在两种情景下，展望期内全球 GDP 年均增长 2.5%，低于过去 25 年 3.4% 的全球平均增速。经济增速放缓主要是因为全球人口增长率下降，人均 GDP 增速也略低于过去几十年的水平。

即便如此，全球经济规模在 2023-2050 年间仍会大致翻一番。全球增长高度集中于新兴经济体，这些经济体合计贡献了展望期内全球 GDP 增长的 80%。

与近年的《展望》中一样，全球 GDP 的假定轨迹包括估算气候变化对增长的影响。这种影响包括气温升高对经济活动的影响，以及与减

缓和适应气候变化相关的前期成本。对增长的预估冲击。有关该方法及其局限性的更多详细内容，见附录（第 102-103 页）。

能源效率的影响

到 2050 年全球 GDP 翻一番，这一增长在多大程度上会传导至一次能源的增长，取决于能源效率在经历过去五年低于常规的增长后都实现多大幅度的提升（关于不同能源效率路径的影响，见第 78-81 页中的探讨）。在“当前路径情景”中，能源效率年均提升约 2%；而在“低于 2℃ 情景”中，提升幅度约为 3.3%。“低于 2℃ 情景”中的效率提升更快，主要归因于可再生能源更迅速地取代火电（从而减少将热能转化为电力时的能量损失），以及为加速脱碳而在全系统范围内采取的更大力度的能效改进措施。

能效较快提升加上 GDP 增速放缓，会使全球一次能源的增长速度低于过去 20 年平均 1.7% 的年增速。在“当前路径情景”中，一次能源在展望期内年均增长 0.3%；在“低于 2℃ 情景”中，则年均下降约 1%。

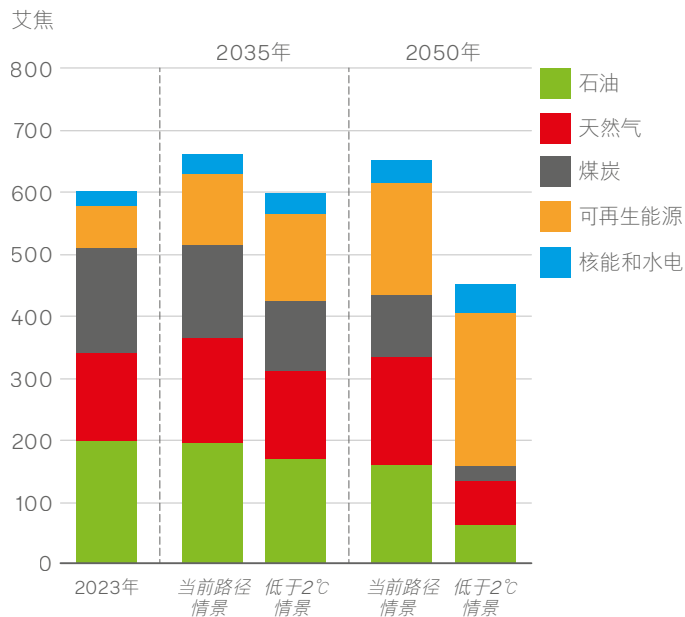
按地区列示的一次能源增长

在两种情景下，新兴经济体（不包括中国）均是一次能源需求增长的主要来源。在“当前路径情景”中，这些经济体的一次能源在整个展望期内持续增长，到 2050 年几乎增加 50%。其中，除中国以外的亚洲新兴经济体一次能源增长约 70%，非洲增长约 60%，南美洲增长约 30%。相比之下，在“低于 2℃ 情景”中，新兴经济体的一次能源需求在展望期后半期逐渐下降。但即便在该情景下，这些经济体在全球能源总量中的占比仍会从 2023 年的约 40% 上升到 2050 年的 50%。

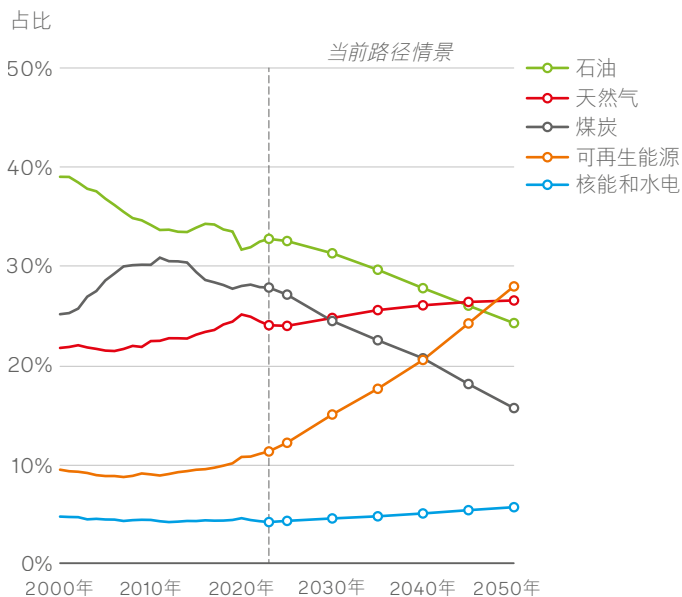
发达经济体和中国的能源需求增长则明显疲软。发达经济体的一次能源使用量延续过去二十年的下降趋势，在“当前路径情景”中跌幅达 15%，在“低于 2℃ 情景”中跌幅达 40%。到 2050 年，中国的一次能源使用量在“当前路径情景”中跌幅达 10%，在“低于 2℃ 情景”中跌幅超过三分之一。

可再生能源在一次能源中的占比持续增加

按能源类型列示的一次能源



一次能源燃料结构



随着可再生能源在全球能源投入中的比重不断上升，一次能源的碳强度逐步下降。

两种情景下的一次能源路径

在两种情景下，增长最快的一次能源来源都是可再生能源，包括风能、太阳能、生物能源和地热能。到2050年，这些能源的总供应量在“当前路径情景”中将增长约2.5倍，在“低于2℃情景”中则将增长3.5倍。

可再生能源比重上升，意味着化石能源比重相应下降。

其中降幅最大的是煤炭，主要由于其在发电中的作用逐渐减弱（见第56-57页）。

在“当前路径情景”中，石油需求在展望期前半期基本持平，但在两种情景的后期均出现下降，主要受路面交通中石油使用减少的影响

（见第30-33页）：到展望期末，石油需求在“当前路径情景”中比2023年下降约15%，在“低于2℃情景”中则下降约70%。

与石油和煤炭使用量的下降不同，天然气在展望期内走向不定，或升或降取决于脱碳的速度（见第40-41页）。在“当前路径情景”中，天然气使用量在展望期内多呈上升趋势，到2050年比2023年高出约20%；而在“低于2℃情景”中，则下降55%，原因是电气化进程加快和可再生能源使用增加。

“当前路径情景”中的一次能源占比

尽管可再生能源快速增长，但在“当前路径情景”中，在展望期内的大部分时间里，石油仍是最大的一次能源来源。到2035年，石油占全球能源投入的30%，仅比当前占比

略低。天然气的占比在本世纪20年代末将首次超越煤炭。

可再生能源的占比将从2023年占一次能源的约10%上升到2035年的逾15%。这得益于能源系统日益电气化，以及风能和太阳能渗透率不断提高（见第54-57页）。在本世纪40年代初，可再生能源在一次能源中的占比将超过煤炭，并在40年代末超越石油。到2050年，可再生能源和天然气将各自占全球一次能源的约四分之一。核能和水电的合计占比基本保持不变，约为5%。

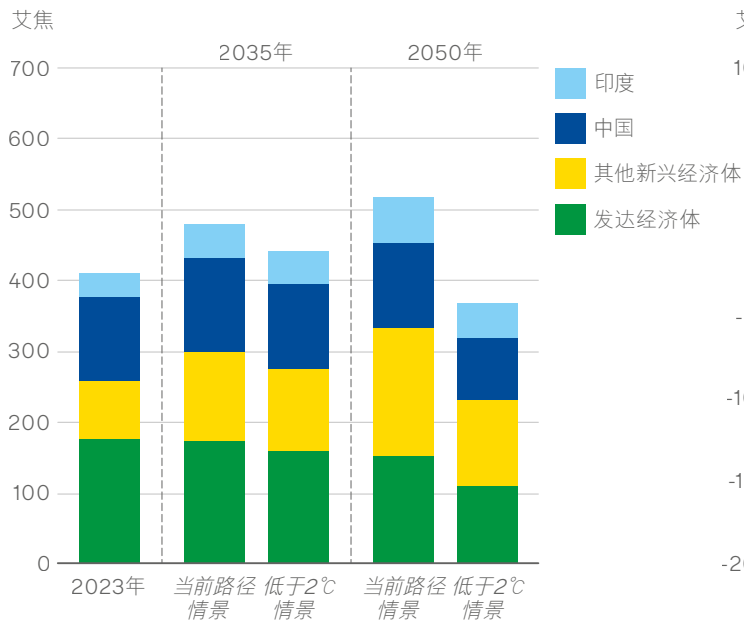
通过一次能源，我们可以衡量能源投入，即为世界提供燃料的原始能源来源。但化石能源在一次能源中的占比并不能完全转化为其在能源产出（即“有效能源”）中的重要性。这是因为无论是用作直接能源，还是为了转化电力、氢能能源载体，

燃烧化石能源的过程中总会发生大量能量损耗。

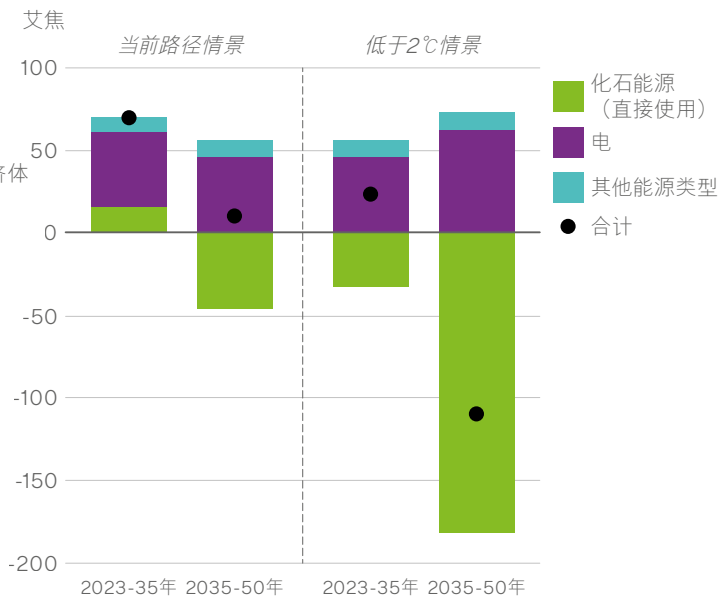
一个更好（但仍不完美）的能源产出衡量指标是所谓的“终端消费总量”（见第22-23页）。

随着能效快速提升，终端消费总量将在展望期内达到峰值

按地区列示的终端消费总量



按能源类型列示的终端消费总量变化



其他能源类型包括氢能、氢基燃料、生物能源和热能。

终端消费总量（TFC），即最终使用环节能源需求的衡量指标，将在展望期内达到峰值，这是因为新兴经济体生活水平提高和人口增长带来的更高能源需求被能源效率的改善所抵消。

按地区列示的能源消费

在“当前路径情景”中，展望期前半期能源终端消费总量上升约15%，之后基本维持在该水平。相比之下，在“低于2℃情景”中，终端消费总量在20年代末前后开始下降，到2050年比2023年低逾15%。

在“当前路径情景”中，展望期前半期能源消费增长完全源于新兴经济体需求增加，这背后的驱动因素是繁荣程度提升和人口增长。

在展望期后半期，新兴经济体，尤其是印度和其他亚洲新兴国家的能

源消费仍在上升，但这种增长被发达经济体和中国能源消费的下降所抵消。

在展望期后半期，中国能源消费的下降与过去几十年的模式形成鲜明对比：自2000年以来，中国能源消费量已增长3倍，占同期全球能源需求总增量的一半。

在“低于2℃情景”中，新兴经济体的能源消费在展望期前半期仍在上升，但幅度小于“当前路径情景”中的增长。与此同时，能源效率加快提升，使得发达经济体的能源终端消费到2035年下降约10%。到2050年，发达市场能源需求比当前水平下降逾三分之一，中国能源消费下降达四分之一。

按能源载体列示的能源消费

推动终端能源利用效率加快提升，从而使终端消费总量增长放缓的一

项关键因素，是终端能源使用中电气化比重不断提高。如电动机、热泵等电力驱动技术的效率远高于以化石能源为基础的对应该技术。在“当前路径情景”中，电力在终端能源使用中的占比从2023年的略高于20%上升至2050年的三分之一以上；在“低于2℃情景”中则超过50%。

在两种情景下，全球电力消费到2035年均增长约40%，到2050年则增长85%-100%。“低于2℃情景”中的电力消费增长只略强于在“当前路径情景”中的增长，这是在电气化进程加快的同时，全经济体范围内的能效措施进展也更快，二者相互抵消。

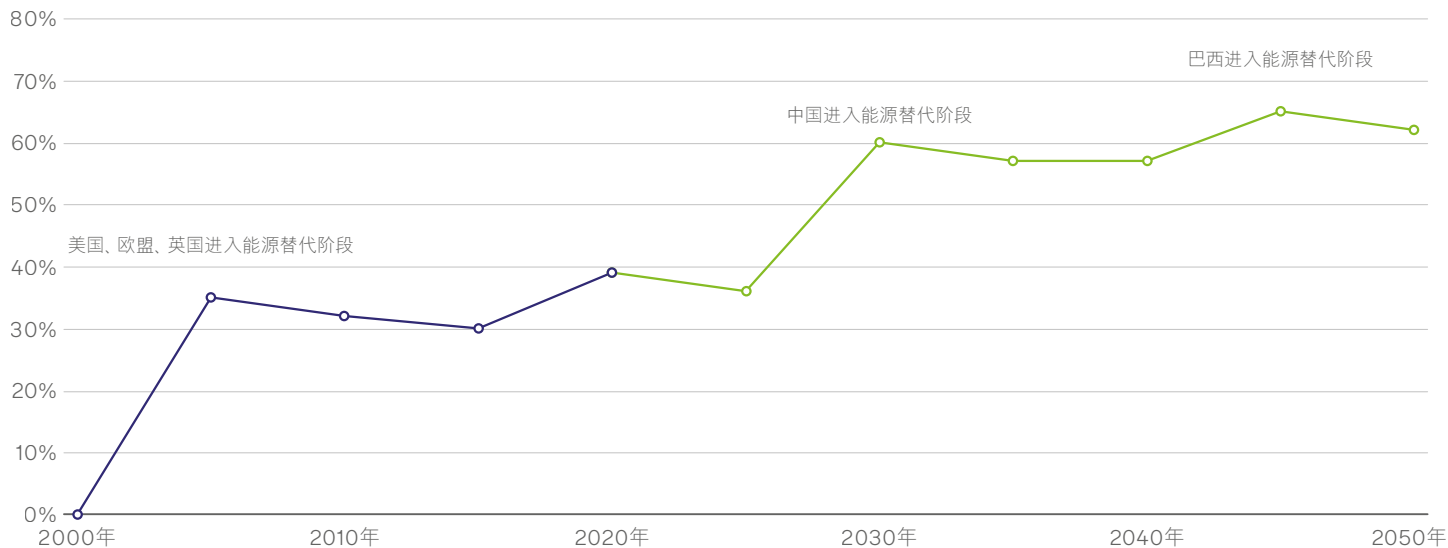
化石能源直接消费在终端消费总量中的占比从2023年的约三分之二下降到2035年的不足60%（两种

情景下均如此）。在“当前路径情景”中，这一占比到2050年会降至约一半；而在“低于2℃情景”中，化石能源消费下降得更快，到2050年仅占终端能源消费的四分之一。

全球越来越多的地区由能源消费总量增长阶段向能源替代阶段迈进

“当前路径情景”中处于一次能源“能源替代”阶段的国家

在全球一次能源中的占比



当低碳能源的增长足够快速、能够减少各国对未减排化石能源的使用时，越来越多的地区和国家便可从能源转型的“能源消费总量增长”阶段进入“能源替代”阶段。

从能源消费总量增长到能源替代

在全球层面，能源系统目前仍处于转型的“能源消费总量增长”阶段。这意味着，尽管低碳能源的使用在快速增加，但其增速还不足以满足全部新增的能源需求。因此，未减排化石能源的使用仍在增加。

这种“能源消费总量增长”阶段在此前的结构性能源转型中也曾出现过，例如煤炭取代传统生物质（包括木材）成为全球主要能源时，以及后来石油成为主导能源时。在这两种情况下，世界仍然在继续消费与此前相同甚至更多的“旧”能源形式（尽管用途有所不同），同时

迅速增加对“新”能源的使用。

虽然从整体来看，全球能源系统仍处于这一消费总量增长阶段，但许多国家和地区已发生转型。目前，全球约 40% 的能源需求来自已经进入“能源替代”阶段的国家和地区。在这些地区，低碳能源的增长速度已超过能源总需求的增长速度，从而使未减排化石能源的使用出现下降。欧盟和美国便是如此。

在《展望》情景下，可再生能源的快速部署和电气化进程的加快，意味着未来几年将有更多国家和地区进入能源替代阶段。³

在“当前路径情景”中，到 2050 年，处于能源替代阶段的国家和地区在全球一次能源中的占比将超过 60%。这源于全球更多新兴经济体进入能源替代阶段：随着可再生能源部署提速、经济电气化步伐加快，

这些经济体的未减排化石能源使用量得以下降。例如，中国大约会在 2030 年左右进入能源替代阶段，巴西则会在本世纪 40 年代进入。在“低于 2℃ 情景”中，这一转变发生得更快，以至于在展望期内所有地区都会进入能源替代阶段。

³ 在一些国家和地区，如果总体能源需求下降（无论是未减排化石能源还是低碳能源均下降），只要化石能源的下降速度超过低碳能源，就可认定该国家或地区进入“能源替代”阶段。详见附录第 94 页。

人工智能对全球能源系统的影响

人工智能的使用日益增加，正在推高数据中心的电力需求。不过，随着时间推移，人工智能可能对能源系统产生更为广泛的影响，既涉及能源供给，也涉及整个经济体的能源需求。

人工智能的能源需求

受人工智能使用快速增长的推动，数据中心的用电需求不断上升，这可能会对电力需求产生显著提振作用，但在不同地区和国家的影响程度存在差异。

在“当前路径情景”中，到2035年，数据中心用电量增长约占全球电力需求增量的十分之一。但在不同地

区差别很大，例如在美国，未来十年数据中心需求增长预计占到电力需求增长总量的40%（见第52-53页）。

不过，对数据中心电力需求的任何预测都存在高度不确定性。一方面，这取决于人工智能的发展及其普及速度；另一方面，更关键的是取决于数据中心的能源效率，而后者近年来大幅提升：2010-2024年间，数字数据流量增长超过25倍，但同期数据中心的能源使用量仅翻了一番。

过去能效改善的部分驱动力（例如从本地数据中心向云计算的广泛迁

移）可能已接近极限，但芯片设计的持续进步和人工智能编程的优化等创新，很可能在未来几年继续推动数据中心能源效率的提升。

人工智能对能源行业的影响

不过，AI对全球能源行业有着广泛的潜在影响，数据中心的电力需求只是其中很小的一个方面。随着时间推移，人工智能也可能对能源供给产生重大影响。

人工智能已广泛应用于石油和天然气行业，例如通过优化地质结构分析来改进和加快勘探；其还被用于规划和设计新的油气井，从而优化这些设施的后续运行和效率。

人工智能同样有潜力加速低碳能源的创新，例如，其可助力开发用于太阳能电池板或碳捕集的新材料、新型电池化学体系，或改进低碳氢能系统的设计和效率。更具前瞻性的设想是，人工智能的持续进步可能会推动低碳能源供应的重大技术突破，例如开发先进生物燃料，甚至开发可用的核聚变能源。

人工智能的加速应用还可能提高能源系统的运行效率。它有潜力提升电网的规划和运行效率，帮助预测需求峰值并优化电池储能部署。人工智能还有助于提升电网“智能化”水平，更为高效地聚合实现对电动汽车、屋顶光伏、智能温控器等大量小型资产。此外，人工智能已被用于化石能源设施和电力系统中，以更好地预测故障或失效，从而提升安全性、减少停机时间，并降低对额外备用容量的需求。

人工智能对全球经济和能源系统的更广泛影响

人工智能对能源供给的作用只是其在能源领域应用的局部体现，它对全球经济可能产生更广泛的影响，而这一经济效应又会对能源系统带来更深远的影响。

如果人工智能能够推动生产率以更快的速度增长，它将显著促进全球经济增速提高。这可能通过多种方式实现，包括使更广泛的任务实现自动化、提高实体资产利用效率，以及加速创新和新发现。目前，关于 AI 可能带来的经济效应规模，各方估计间的差异极大。例如，经合组织（OECD）的一项最新调查⁴显示，估计影响范围从相对温和（未来十年美国 GDP 总量仅因此提高约 1%）到极其显著（美国生产率年均增速额外提高 2.5 个百分点）不等。人工智能驱动的生产率提升可能对能源需求产生重大影响。经合组织调查的平均估计值为生产率年均提高约 1.2%，若能在全世界范围内实现，并假定全球能源效率继续以过去平均水平提升，则到 2035 年，全球

能源需求将增加约 15%。这一增幅是“当前路径情景”中数据中心电力需求增幅的 20 倍。然而，若设想在人工智能取得重大进展的同时，全球能源效率却未受影响，这一假定大概并不合理。事实上，人工智能完全有可能帮助优化制造流程，加快高效产品的研发，从而大幅提高产业效率；在交通领域，人工智能可用于更好地管理交通和优化路线；在建筑领域，它也可能显著减少供暖和制冷的能源消耗。国际能源署的最新分析表明⁵，如果广泛应用人工智能来提升整体经济的能源效率，可能对全球能源需求产生极为显著的影响。

在“当前路径情景”和“低于 2℃情景”中关于人工智能影响的假设

在“当前路径情景”和“低于 2℃情景”中，我们均仅假设人工智能对生产率和 GDP 增长有适度提升作用。此外，这两种情景并未明确考虑人工智能在能源供给方面可能带来的重大技术突破。然而，考虑到人工智能应用的设计与使用正在快速发展，目前对人工智能影响的任何估计都存在巨大不确定性，其实际作用可能远大于现有假设水平。与之相比，未来数据中心电力需求的不确定性显得微不足道。

⁴ 奇迹还是神话？评估人工智能提升宏观经济增长率的效应，经合组织人工智能研究论文，2024 年 11 月 22 日。

⁵ 对能源与人工智能的分析，国际能源署，2025 年 4 月。

能源需求

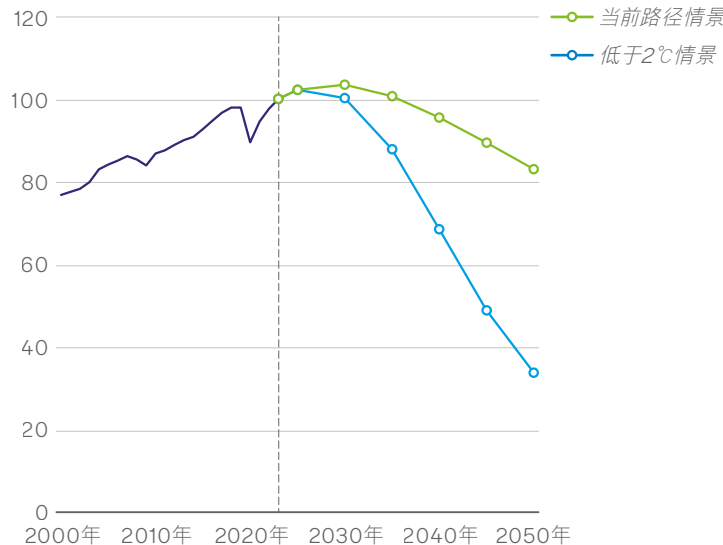
石油需求	30
路面交通	32
石化原料	34
产品需求	36
石油供应	38
天然气需求	40
液化天然气贸易	42

区域天然气市场	44
煤炭需求	46
现代生物能源需求	48

石油将继续在全球经济中发挥重要作用

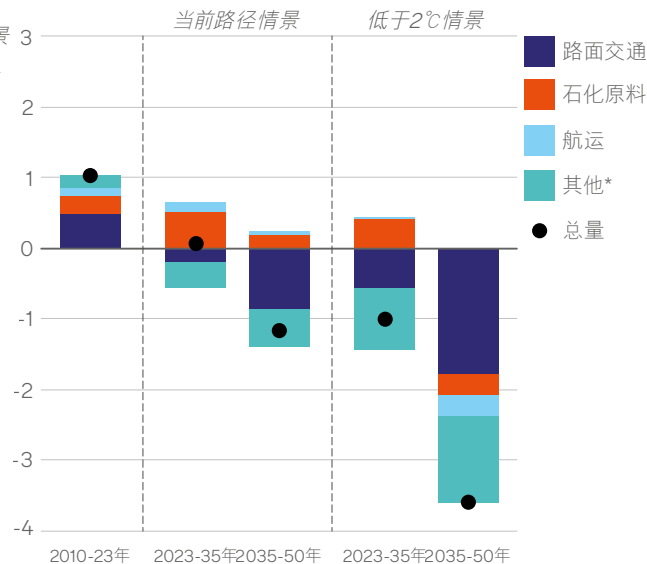
石油需求

百万桶 / 日



按行业列示的石油需求年均增长

百万桶 / 日



*包括其他石化原料、工业、铁路、海运和居住/商业使用量。

本十年剩余时间内，全球石油需求大致趋于平稳，随后进一步下降，主要是由于路面交通石油使用量下降。

在展望期前半期，石油在全球能源体系中仍发挥关键作用。在两种情景中，到 2035 年，全球石油消费量均维持在 8,500 万桶 / 日至 1 亿桶 / 日之间。

“当前路径情景”中的石油

在“当前路径情景”中，本十年剩余时间内，石油消费量持续增长，但增速逐渐放缓，到 2035 年回落至当前水平左右。经济持续快速增长的印度及其他亚洲新兴经济体的使用量增长，推动了需求增加，而发达市场的需求量持续萎缩，对其形成部分抵消。与过去十年中国贡献全球近半数石油需求增长形成鲜明对比的是，在“当前路径情景”中，

到 2035 年，中国石油消费量将略有下降。

2035 年之后，“当前路径情景”中的石油需求持续下降，到 2050 年降至略低于 8,500 万桶 / 日。降幅主要集中在发达经济体和中国，全球其他大部分地区 2050 年的石油消费量则与 2035 年大致持平。

“低于 2℃ 情景”中的石油

在“低于 2℃ 情景”中，石油需求下降出现得更早且幅度更大，到 2035 年降至略高于 8,500 万桶 / 日，到 2050 年降至略低于 3,500 万桶 / 日。这一下降趋势在地域分布上较为广泛：展望期前半期由发达国家和中国引领，但 2035 年之后，其他新兴经济体的需求将加速下降。

石油需求来源

影响石油需求前景的两个重要因素是：随着车辆能效不断提高并日益电气化，石油在路面交通中的作用逐渐减弱；而受塑料需求持续增长等因素的推动，石油作为石化行业原料的使用展现出了更强的延续性。关于这两个方面的详细说明，分别见第 32-33 页和第 34-35 页。

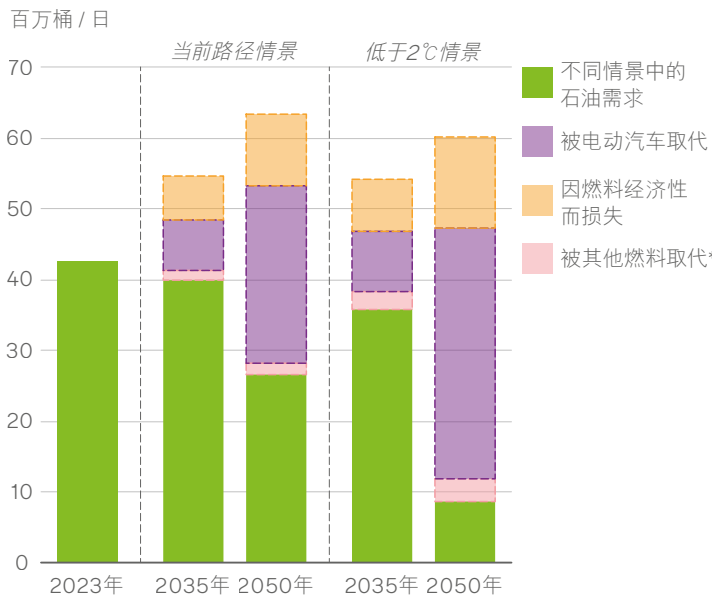
除上述两大需求来源外，“当前路径情景”中的石油消费量还受到喷气燃料消费量增长的推动，这是由于全球经济活动不断增长、发展中经济体日益繁荣，刺激航空旅行需求持续攀升。在“低于 2℃ 情景”中，本十年剩余时间内，航运石油使用量也持续增长，但随后下降，因为越来越多的航空需求将由源自生物燃料和氢能的可持续航空燃料（SAF）满足。

在“当前路径情景”中，海运领域的石油使用量在展望期前半期略有增加，随后随着船用燃料逐步被液化天然气、液体生物燃料和生物甲烷等海运替代燃料取代而逐渐下降。

更广泛而言，在展望期内，石油作为能源来源的剩余使用（主要集中于工业和建筑业）在两种情景中均将逐步下降，因为这些行业的电气化水平日益提升，能源效率也持续改善。

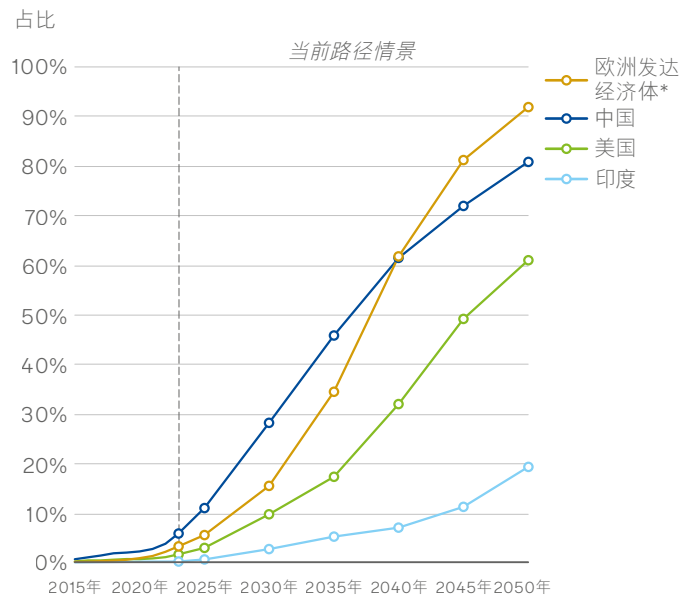
由于车辆能效提升和电气化水平提高抵消了新兴经济体中交通需求的增长，路面交通的石油使用量下降

路面交通中影响石油需求的因素



*其他燃料包括生物燃料、天然气和氢气。

电力在汽车和卡车行驶公里数中的占比



*包括欧盟、冰岛、挪威、瑞士和英国。

在展望期内，路面交通中的石油使用量将呈下降趋势，因为车辆能效提高和电动汽车普及完全抵消了路面交通运输需求增长带来的影响。

相反趋势

路面交通运输中的石油使用量是石油需求的最大来源，占 2023 年石油消费量的约 40%。未来路面交通中的石油使用量呈现出两个相反的趋势：新兴经济体日益繁荣和生活水平提高推动路面交通运输需求增长；但路面交通运输增长对石油使用量的影响，被路面车辆能效提高和电动汽车的日益普及所抵消，后者主要发生在发达经济体和中国。

路面交通中的石油

在“当前路径情景”中，若其他条件不变，路面交通运输需求的扩张会导致石油使用量到 2035 年增加约 1,200 万桶/日。但这种潜在需求增长的影响，被内燃机（ICE）汽车能效提高和路面交通日趋电气化的综合效应所抵消。

在“当前路径情景”中，2035 年之后，交通潜在需求虽持续增长，但电动汽车加速普及，加上内燃机汽车能效持续提高，完全抵消了需求增长对石油使用量的影响。在“当前路径情景”中，路面交通中的石油使用量在 2050 年降至略高于 2,500 万桶/日，而 2023 年和 2035 年，该数字接近 4,000 万桶/日。

在“低于 2℃ 情景”中，同样的相反趋势显而易见，但路面车辆日趋电气化带来的下降影响更为显著，

尤其是在展望期后半期。路面交通中的石油使用量到 2035 年降至约 3,500 万桶/日，到 2050 年低于 1,000 万桶/日。

关键市场

在展望期内，电动汽车渗透率的提高最初由日益严格的汽车二氧化碳排放标准和直接政策支持共同推动。随后，经济因素进一步强化了这一趋势：电动汽车价格相对于内燃机汽车下降，在部分车型领域和地区，二者的价格趋近持平。

在“当前路径情景”中，电动乘用车和卡车数量从 2023 年的约 4,000 万辆增至 2035 年的 4.8 亿辆，2050 年达 14 亿辆。而“低于 2℃ 情景”中对应的数字分别为 5.6 亿辆和 21 亿辆。

电动汽车在路面交通中的重要性日益凸显，主要由三大市场主导：中国、

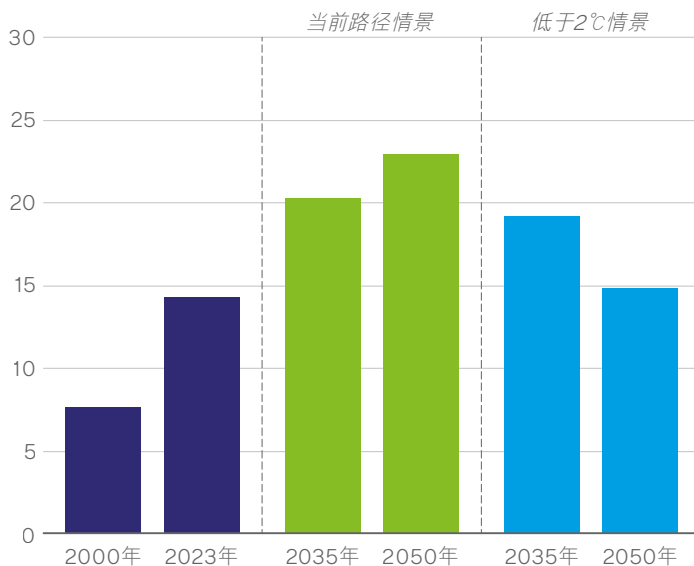
欧洲和美国。在“当前路径情景”中，中国将在未来 15 年左右持续保持当前在电动汽车采用方面的领先地位。到 2035 年，中国车辆行驶里程的 45% 左右将由电力驱动，而该比例在欧洲发达经济体约为 35%，在美国则不足 20%。

然而，从更长远来看，随着欧盟国家及欧洲其他发达国家在本世纪 30 年代后期逐步限制内燃机新车销售，意味着到 2050 年，欧洲电动汽车行驶里程占比超过 90%，中国和美国则分别为 80% 和 60%。

石油作为石化原料的使用在石油需求中的占比日益上升

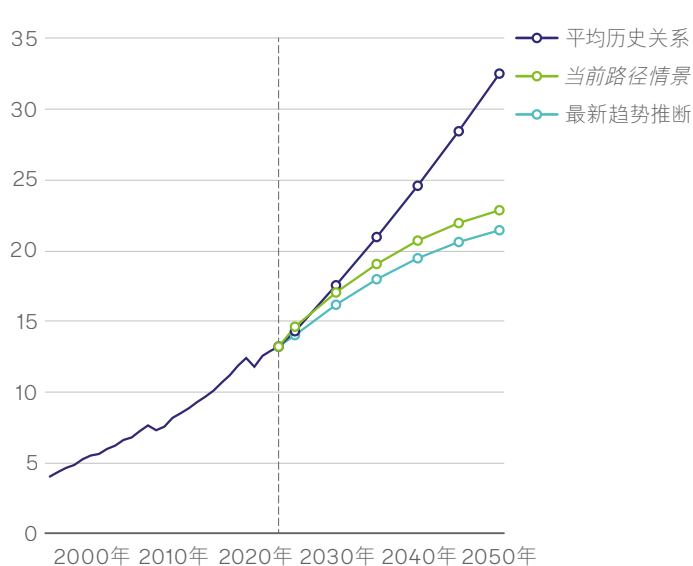
石化原料石油需求

百万桶 / 日



塑料生产原料需求

石油当量 (百万桶 / 日)



“平均历史关系”采用固定收入弹性系数（1995-2023年）。“最新趋势推断”则采用同时期的趋势收入弹性系数。

石油需求中最具韧性的组成部分是石油作为石化行业原料的使用，这是由于全球经济扩张，持续产生塑料需求，也是因为石油作为原料而非能源来源使用时，可提高效率或进行替代的空间有限。

石油作为原料的重要性日益增长

自 2000 年以来，石油作为原料的使用量几乎翻了一番，从不足 800 万桶 / 日增至 2023 年的超过 1400 万桶 / 日，约占在此期间石油总需求增长量的四分之一。这一增长主要源于塑料产量的增加，其在同一时期增加了一倍多，约占 2000 年以来石油在石化中使用量增长的 70%。

在“当前路径情景”中，石化行业石油使用量在展望期前半期持续增加，到 2035 年达到约 2,000 万桶 / 日。这一增长主要由中国和中东带动，

反映了石化产能正日益向这些区域集中。

2035 年之后，随着全球经济增速放缓和塑料需求对经济增长的敏感度下降，石油作为石化原料的增长趋缓。即便如此，到 2050 年，石油作为原料的使用量仍将增至约 2,300 万桶 / 日，石油需求总量中所占比重从 2023 年的 15% 左右增至 2035 年的 20%，并于 2050 年接近 30%。

可持续性增强

在“低于 2℃ 情景”中，为减少、再利用和回收塑料制品而实施的更严格的法规和激励措施，使得石油在石化行业的使用量增加更为有限。石油作为原料的使用量到 2035 年增至略低于 2,000 万桶 / 日，但在展望期后半期回落，到 2050 年回到接近当前水平。但石油需求其

他组成部分的下降更为显著（见第 30-31 页），这意味着到 2050 年，石化行业对石油的需求将占石油总需求的约 45%。

经济增长与塑料需求

石油作为原料的使用量高度依赖塑料制品需求的增长。过去三十年间，随着全球经济需求模式从商品转向服务，同时，社会对塑料制品的使用方式更具可持续性，塑料需求对经济活动增长的敏感度有所减弱。

未来，经济增长与塑料使用量之间的关系将对石油需求总量具有重要影响。

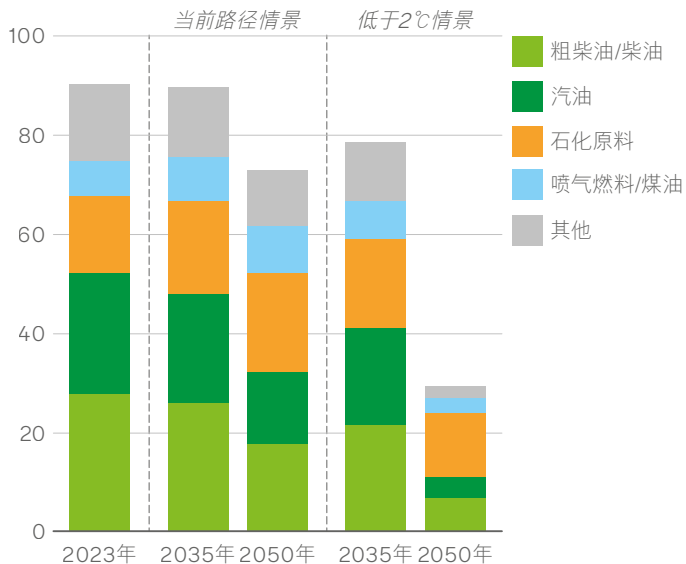
在“当前路径情景”中，若其他方面保持不变，仅考虑两个假设：即经济增长与塑料需求维持过去 30 年的平均关系，或这一关系像过去一样持续减弱，到 2050 年，两种情况之间的原料需求差异可能达到

1,000 万桶 / 日石油当量，其中绝大部分是石油需求。

不断变化的石油需求水平和结构给炼油厂带来了日益增加的压力

产品需求

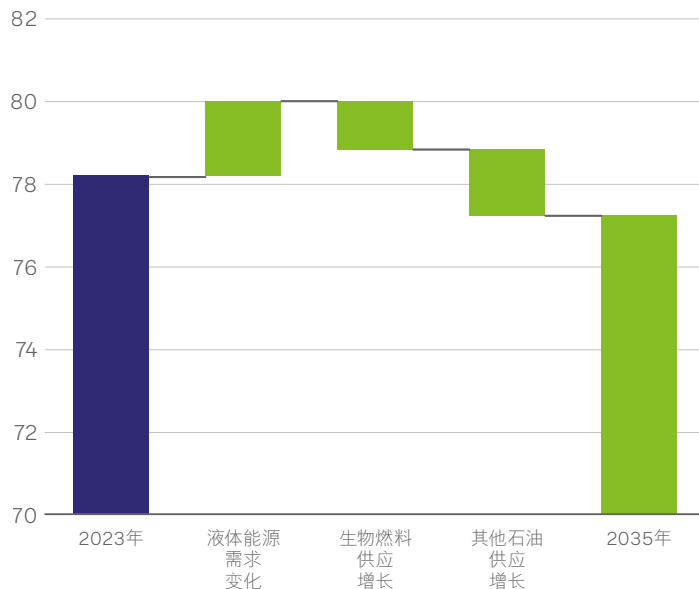
百万桶 / 日



产品需求包括天然气凝析液，但不包括生物燃料和乙烷。石化原料指液化石油气和石脑油。

“当前路径情景”中的精炼产品需求 (2023-2035年)

百万桶 / 日



其他石油供应包括天然气凝析液上游和凝析油，以及气制油和煤制油。

精炼产品需求在数量、结构和地域构成上的变化，加上非精炼替代能源使用量的增加，导致炼油厂开工率和优化调整面临的压力日益增加。

影响炼油行业的主要趋势

炼油行业的前景主要受三大趋势影响：

- 精炼产品需求总量在展望期内不断下降；
- 石油使用模式发生变化，路面交通燃料需求下降，但对石化原料和喷气燃料的需求更为持续，对前者形成抵消；
- 产品需求的地域构成不断变化，同时发达国家的需求降幅大于亚洲新兴经济体和中东的降幅。

“当前路径情景”

在“当前路径情景”中，精炼产品需求总量在 2035 年之前大致保持稳定。随着路面交通中汽油和柴油使用量减少，其需求呈下降趋势，但这一趋势被石化原料和喷气燃料的需求增长所抵消。

美国和欧洲的汽油和柴油需求下降幅度最大，而石化原料需求增长则主要集中在中国和中东。

2035 年之后，在“当前路径情景”中，这些趋势加速发展。汽油和柴油需求下降趋势加快，而喷气燃料和石化原料需求的平缓增长只能部分抵消这一趋势。到 2050 年，全球精炼产品需求降至略高于 7,000 万桶 / 日，而 2023 年和 2035 年的需求量接近 9,000 万桶 / 日。在展望期前半期，需求降幅的最大一部分集中于发达经济体，给这些经

济体中炼油厂的开工率和生存能力带来了持续挑战。

“低于 2℃情景”

在“低于 2℃情景”中，汽油和柴油需求下降更为显著，到 2035 年各自减少约 500 万桶 / 日，到 2050 年进一步减少 1,500 万桶 / 日。在展望期前半期，石化行业中的石油使用量持续增长，但随着全球限制塑料制品使用，其需求随后回落。到 2050 年，石化原料需求接近当前水平（见第 34-35 页）。

与“当前路径情景”相比，全球范围内的产品需求下降更为普遍：发达经济体降幅最大，但中国、其他亚洲新兴市场和中东也出现显著下降。

在两种情景中，炼油行业以何种调整速度和方式应对日益增长的经济压力，取决于各国如何认识本土炼

油厂所带来的更广泛的经济效益，例如是否将炼油厂视作提供就业机会或增强能源安全的手段。

非精炼替代能源

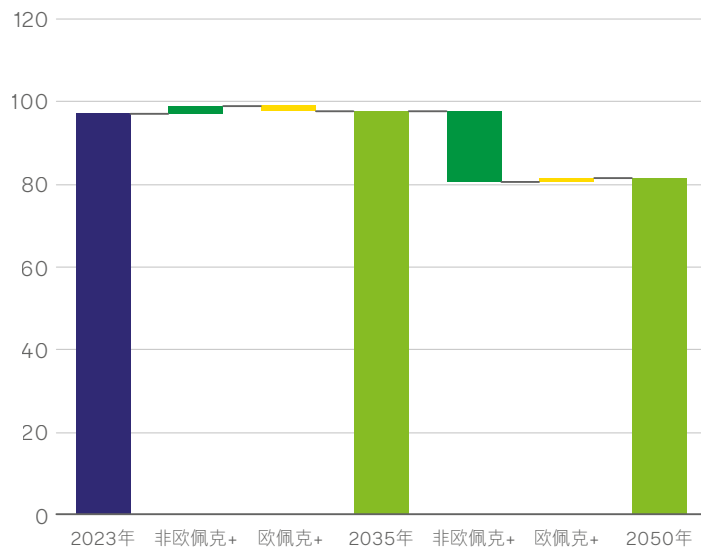
除产品需求水平和构成变化外，炼油厂面临的压力还因非精炼替代能源使用量增长而加剧，特别是天然气凝析液（NGL）和生物燃料的使用。

例如，在“当前路径情景”中，到 2035 年，天然气凝析液和生物燃料供应增长完全可以满足液体燃料总需求的小幅增长，从而导致精炼产品需求下降。

由于美国致密油产量达到峰值、石油需求减少， 全球石油供应模式发生变化

“当前路径情景”中的石油供应（2023-2050年）

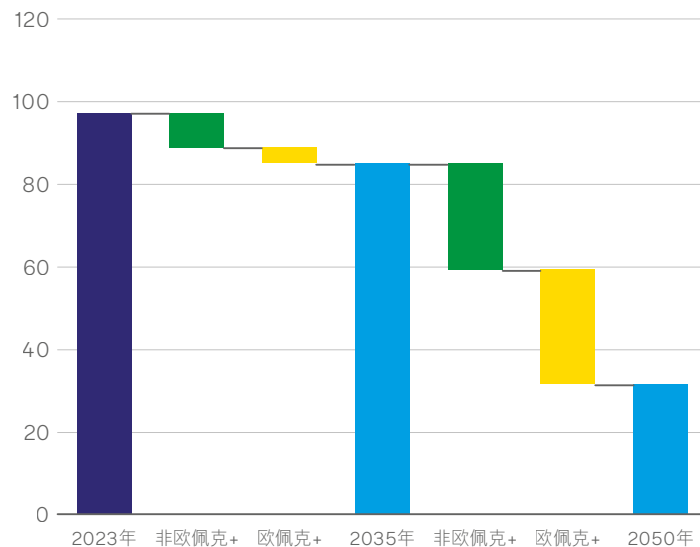
百万桶 / 日



供应指原油上游、天然气凝析液和凝析油生产，但不包括煤制油和气制油。

“低于2℃情景”中的石油供应（2023-2050年）

百万桶 / 日



供应指原油上游、天然气凝析液和凝析油生产，但不包括煤制油和气制油以及炼油厂产出。

全球石油产量构成随时间推移而发生变化，这是由于美国致密油产量趋于平稳，全球石油需求下降主要集中在非欧佩克 + 产油国。

影响石油产量的因素

全球石油产量前景受到两大关键因素的影响。首先是非欧佩克 + 供应模式的转变——过去十年间，美国致密油一直是全球石油供应增长的最大来源，但其产量预计趋于平稳并随后下降。其次，由于全球石油需求下降，欧佩克 + 产油国为争夺市场份额展开的竞争日益激烈。

在“当前路径情景”中，全球石油产量在展望期前半期基本持平。美国陆上产量不再保持过去 10-15 年间快速增长的趋势，在展望期前半期大致维持在 1,500 万桶 / 日左右。巴西和圭亚那增幅最大，到 2035 年，两国产量将分别达到约 500 万桶 / 日和 200 万桶 / 日。

鉴于 2035 年之前石油需求大致持平，加上非欧佩克 + 供应总量持续增长，欧佩克 + 在展望期前半期的增产空间有限。

欧佩克 + 争夺市场份额

在“当前路径情景”中，展望期后半期的石油需求下降，促使欧佩克 + 寻求提高其在总产量中的占比，以维持产量水平，同时平衡这种更激烈的竞争对石油价格的影响。

欧佩克 + 产油国的成本竞争力更强，意味着在“当前路径情景”中，到 2050 年，全球需求下降将全部发生在非欧佩克 + 产油国，主要是美国、巴西和圭亚那。到 2050 年，美国陆上石油产量将降至约 1,000 万桶 / 日。欧佩克 + 的市场份额则从 2023 年和 2035 年的近 50% 增至 2050 年的约 60%。

非欧佩克 + 产量降幅最大

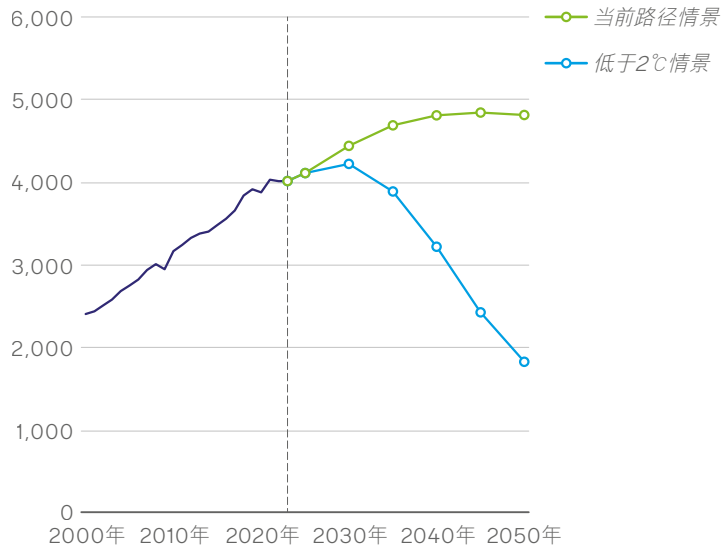
在“低于 2℃ 情景”中，石油需求下降发生得更早且幅度更大，促使欧佩克 + 更积极地参与竞争，以维持产量水平并扩大市场份额。因此，到 2035 年，石油需求下降几乎全部反映在非欧佩克 + 产量减少上，其中以美国陆上产量显著下降为主。巴西和圭亚那产量虽有小幅增长，但由于竞争环境更为激烈，其增幅比起“当前路径情景”中的增幅相对有限。

在“低于 2℃ 情景”中，2035 年之后，石油需求加速下降，导致非欧佩克 + 和欧佩克 + 产量的减少更为普遍。即便如此，由于欧佩克 + 产油国成本竞争力更强，到 2050 年，非欧佩克 + 产量仍占石油供应下降总量的一半以上。欧佩克 + 产油国市场份额持续增加，2035 年增至 55%，2050 年超过 60%。

天然气需求的前景取决于能源转型的速度

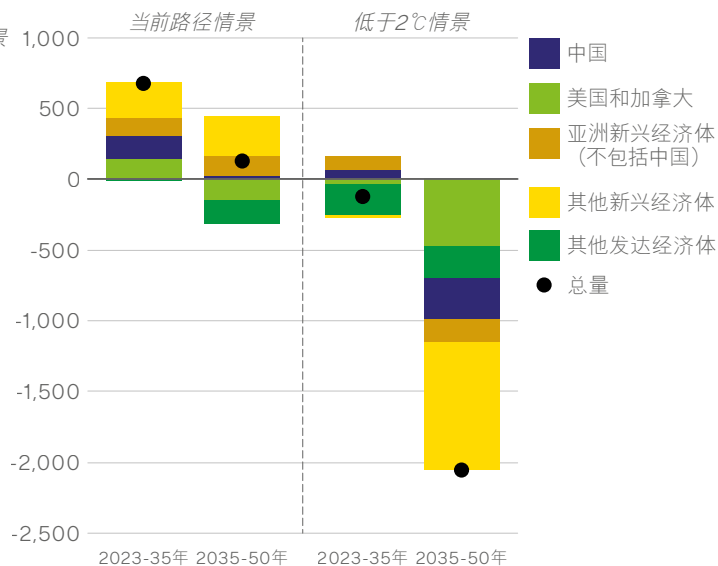
天然气需求

十亿立方米



按地区列示的天然气需求变化

十亿立方米



天然气的前景受到两种相反趋势的影响：一方面，由于经济快速增长、工业化加速发展，新兴经济体的需求不断增加；另一方面，全球电气化和脱碳进程日益加深，天然气使用量下降，二者对彼此形成抵消。这两种趋势的相对强度以及由此决定的天然气前景，取决于能源转型的速度。

新兴经济体驱动经济增长

在“当前路径情景”中，到2035年，天然气需求增至约47,000亿立方米，较2023年增长近20%。其中超过80%的增长来自新兴经济体，由中国、印度和亚洲其他新兴经济体以及中东带动。新兴经济体需求增长的核心动力是工业行业，尤其是化学行业和轻工业。建筑业与电力行业天然气使用量增加的综合影响，基本抵消了更高的工业需求。

大多数发达市场的天然气需求下降

在“当前路径情景”中，发达国家（除美国外）的天然气需求在展望期前半期，大致持平或有所下降，因为建筑业使用量的减少被电力和交通行业使用量的增加所部分抵消。主要的例外是美国，其国内天然气需求到2035年增长近15%，其中大部分用于支持其不断增加的发电需求（见第44-45页）。

在“当前路径情景”中，展望期最后十年的全球天然气消费量基本趋于平稳。以亚洲新兴经济体（除中国外）为主的新兴经济体的天然气使用量持续增长。但这种增长日益被发达市场需求下降所抵消——在发达市场，随着建筑业和工业的电气化程度不断提高，天然气使用受到挤压；同时，天然气在电力市场

的份额被风能和太阳能取代。

在“当前路径情景”中，中国是展望期前半期天然气需求增长的最大来源，但2035年之后，中国的天然气使用量基本趋于平稳。

天然气需求在加速转型中下降

相比之下，在“低于2℃情景”中，天然气需求在本十年末达到峰值，到2035年回落至接近当前水平，到2050年则下降约50%。

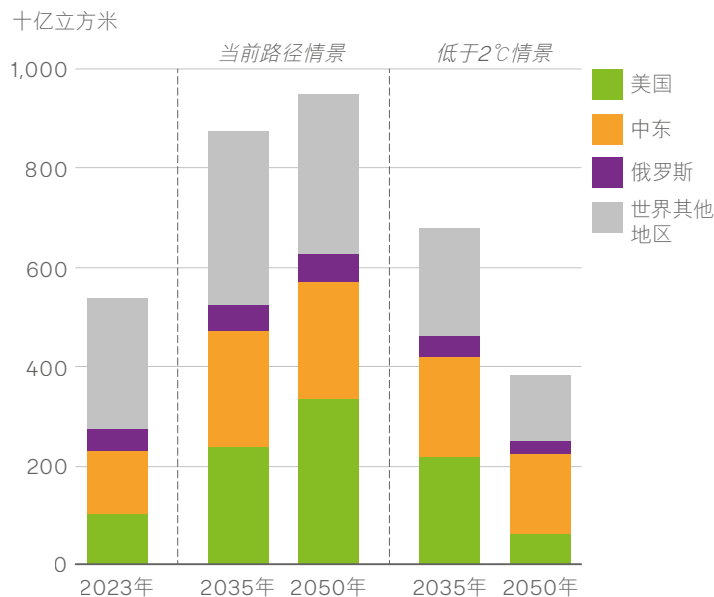
在展望期前半期，新兴经济体的天然气使用量持续增长，但被发达市场需求下降所抵消。发达市场天然气需求下降，是由于建筑业与工业日趋电气化，同时，天然气在电力行业的占比缩减。在“低于2℃情景”中，发达市场的天然气需求在本十年末达到峰值。

在“低于2℃情景”中，在展望期后半期，天然气需求下降发生的范

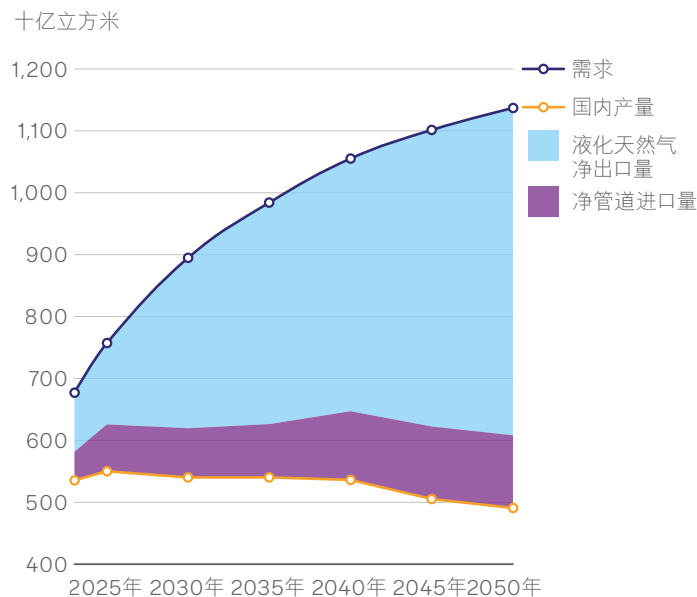
围更加广泛，新兴经济体天然气使用量也有所减少。政府在脱碳方面提供更强支持并施加了更大压力，因此，到2050年，近60%的剩余天然气使用量将与碳捕集技术相结合。

液化天然气贸易由亚洲新兴经济体的天然气需求支撑

按地区列示的液化天然气出口量



“当前路径情景”中亚新兴经济体的天然气需求和供应



亚洲新兴经济体包括中国、印度和亚洲其他新兴国家。

本十年剩余时间内，液化天然气贸易快速增长，但 2030 年之后的液化天然气贸易前景取决于能源转型的速度。

美国与中东崛起为主要液化天然气出口中心

在“当前路径情景”中，液化天然气出口量到 2035 年将增长 60% 以上。增加的这部分需求将主要由美国和中东满足——这两大区域将崛起为全球液化天然气的主要供应中心，到 2035 年在液化天然气出口量中所占比重超过 50%。

在“当前路径情景”中，进入展望期后半期，由于全球天然气消费量趋于平稳（见第 40-41 页），液化天然气贸易虽增速放缓，但仍持续增长。2035 年之后，美国几乎成为全球液化天然气出口增长的唯一来源，这得益于其天然气资源的持续竞争力。

俄罗斯液化天然气

在展望期前半期，俄罗斯液化天然气出口仍然受到国际制裁制约。然而，随着“当前路径情景”中国际制裁的影响减弱，全球液化天然气需求的持续增长成为俄罗斯出口扩张的推动力。到 2050 年，俄罗斯液化天然气出口量将从 2023 年的 450 亿立方米增至约 800 亿立方米。

液化天然气贸易在加速转型萎缩

在“低于 2℃ 情景”中，本十年剩余时间内液化天然气贸易强劲增长，但由于能源转型加速导致全球天然气需求下降（见第 40-41 页），本世纪 30 年代至 40 年代，液化天然气贸易将发生萎缩。到 2050 年，液化天然气出口量比 2023 年水平下降约 25%。2023 至 2050 年期间，美国出口量的下降幅度超过中东，

其原因是中东与亚洲新兴经济体中最具韧性的液化天然气市场距离更近。

液化天然气出口受亚洲新兴经济体需求支撑

在“当前路径情景”中，液化天然气需求在展望期内持续增长，这得益于亚洲新兴经济体天然气消费量的增加，这些经济体合计占全球天然气需求增长的一半以上。

在展望期前半期，这些亚洲新兴经济体的天然气产量基本持平，本世纪 40 年代后小幅下降。

此外，除中国外，这些经济体获取额外管道天然气的机会受限。随着“西伯利亚力量 2 号”输气管道开始运行，中国的管道天然气进口量在本世纪 30 年代后期有所增加。

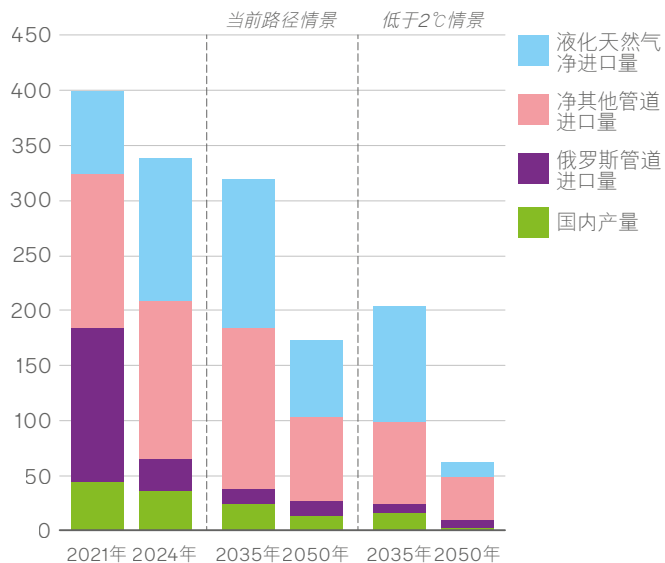
因此，在“当前路径情景”中，亚洲新兴经济体的天然气需求增长几

乎完全依赖液化天然气进口增加。这些经济体的液化天然气进口增长，可以完全覆盖全球液化天然气需求的增长。

天然气市场受到地缘政治因素和新需求来源的共同影响

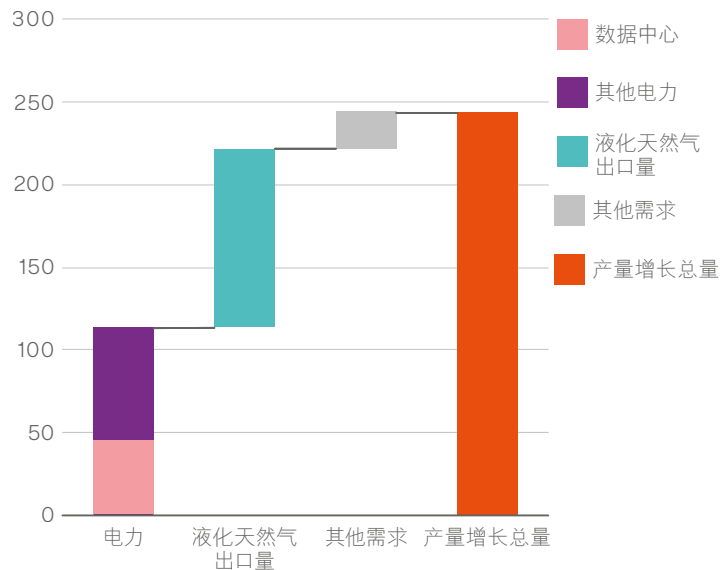
按来源列示的欧盟天然气需求

十亿立方米



美国天然气产量增长*的行业贡献 (2024-2035年)

十亿立方米



*假设所有行业的发电燃料结构保持不变。

不同地区和国家的天然气前景取决于多种因素。在欧盟，天然气进口持续受到地缘政治因素的影响。而在美国，展望期前半期天然气产量的增长主要由液化天然气出口扩张和电力需求上升所推动。

满足欧盟天然气需求

欧盟高度依赖天然气进口。2024年，其天然气消费量中约90%依靠进口。2021年俄乌冲突爆发前，欧盟消费的近三分之一（1400亿立方米）天然气是通过管道从俄罗斯进口而来。到2024年，来自俄罗斯的管道进口量已降至约300亿立方米。为应对这一缺口，欧盟采取了两项措施：削减天然气消费总量和增加液化天然气进口。

液化天然气进口的作用增强

在“当前路径情景”中，由于欧盟寻求降低对俄罗斯能源的依赖，来自俄罗斯的管道天然气进口量进一步降至约150亿立方米。这一供应缺口又因欧盟各国国内天然气产量下降而加剧。2035年，欧盟天然气总消费量与2024年基本持平，新增供应缺口通过增加非俄罗斯管道天然气进口和扩大液化天然气进口共同弥补。在“当前路径情景”中，液化天然气进口占2035年欧盟天然气需求的40%，仅略高于2024年所占比重，但较俄乌冲突发生前翻了一倍多。

在“当前路径情景”中，欧盟天然气消费量在展望期后半期下降约45%。尽管欧洲天然气产量持续下降，但欧盟的需求也在下降，使得其液化天然气进口量降至低于俄乌冲突前的水平。

在“低于2℃情景”中，欧盟天然气消费量下降发生得更早，速度也更快。到2035年，较2024年水平低40%，到2050年则低80%。这种疲软的需求前景意味着欧盟2035年液化天然气进口量低于2024年水平，并在展望期后半期进一步下降。

美国天然气产量

在“当前路径情景”中，美国天然气产量在展望期后半期增加约2400亿立方米。

增加产量的约一半用于满足美国电力需求的加速增长——数据中心不断增长的电力需求占美国电力增量的约40%；增加产量的其余部分则反映了电力需求的广泛增长。

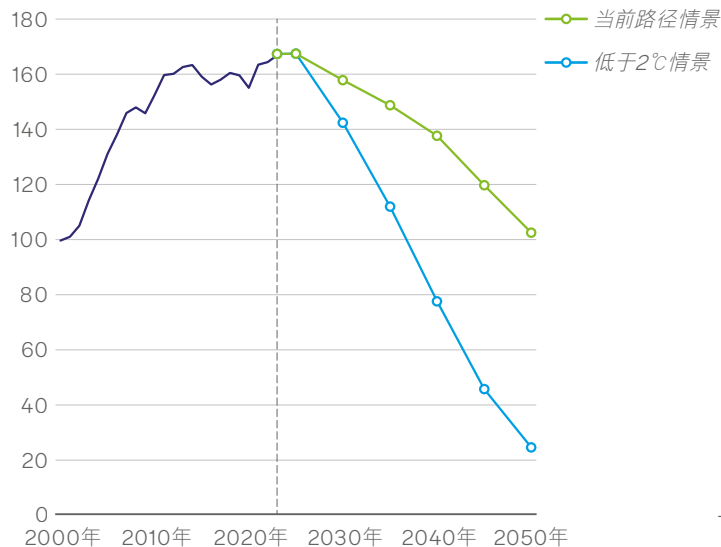
在“当前路径情景”中，未来十年推动美国天然气产量增长的另一主要因素，是为满足美国液化天然气

出口增长所需的额外原料气——美国液化天然气出口在此期间将翻一番（见第42-43页）。因此，到2035年，美国液化天然气出口量将占天然气总产量的近20%，而这一比例在2024年仅略高于10%，在2010年则不足1%。

煤炭在全球能源系统中的作用正在减弱，这一趋势由中国引领

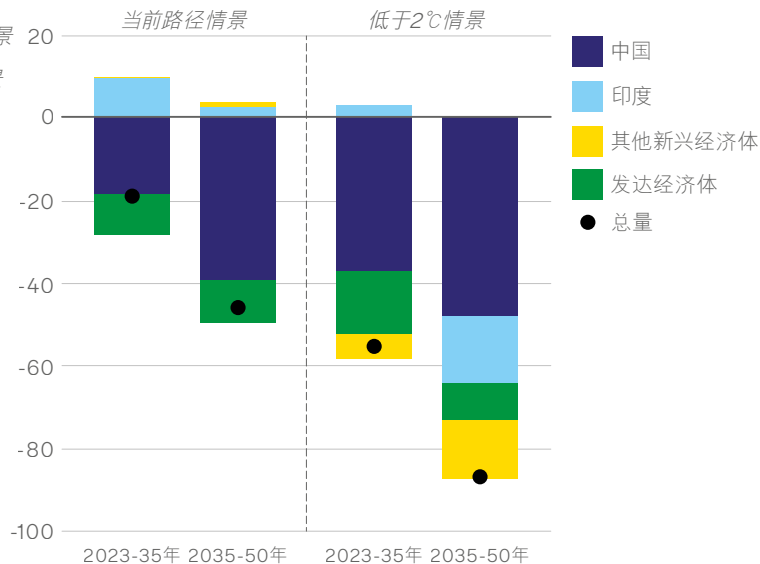
煤炭需求

艾焦



按行业列示的煤炭需求变化

艾焦



全球煤炭消费量在本十年后半期达到峰值，随后在展望期剩余时间内持续下降，这一趋势主要受中国发电领域煤炭使用量下降推动，其次是发达市场。

中国引领煤炭需求下降

在“当前路径情景”中，全球煤炭消费量从本世纪20年代末开始缓慢下降，到2035年减少5%以上。

其中大部分下降来自中国煤炭使用量的下降，该国煤炭消费量在此期间减少约20%。这一降幅中约60%发生在中国电力行业，煤炭发电占比从55%显著降至30%，被日益增长的太阳能和风能发电所取代。由于钢铁和水泥产量下降，中国的工业煤炭使用量也随之减少。

发达经济体的煤炭使用量同样有所下降，在“当前路径情景”中，到2035年减少近40%。这种下降与

中国的情况类似，主要集中在电力行业，因为煤炭正日益被太阳能和风能所取代。

印度的需求更具韧性

印度煤炭需求增加40%以上，部分抵消了2035年之前煤炭消费总量的下降趋势。这种增长主要源于煤炭在支撑印度发电快速增长中的作用，其次是在一定程度上对工业产出的支撑作用。

在“当前路径情景”中，2035年之后，煤炭消费下降速度加快，到2050年需求进一步下降30%。与展望期前半期类似，此次下降主要源于中国煤炭使用量下降，其次是发达经济体。

在“低于2℃情景”中，煤炭消费的下降更为显著，在展望期内，煤炭需求减少约85%。与“当前路径情景”类似，中国煤炭需求降幅最

大，因其正向其他能源来源转型。除中国外，煤炭使用量的下降在发达经济体和新兴经济体中更为广泛，这既反映了能源系统日趋电气化，也体现了风能和太阳能发电日益占据主导地位。

煤炭在能源系统中的作用下降

到2050年，煤炭消费量在一次能源中的占比从2023年的近30%降至“当前路径情景”中的15%和“低于2℃情景”中的5%（见第20-21页）。

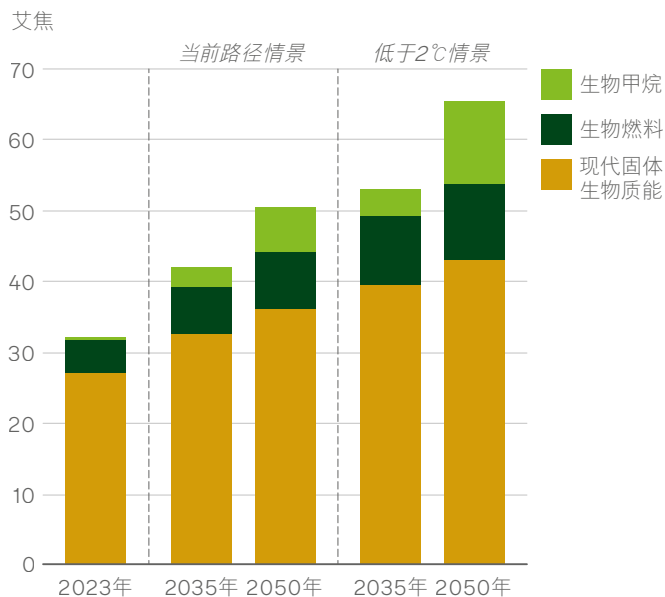
中国还引领着全球煤炭产量下降

中国在推动全球煤炭需求下降中的主导作用在供应端也有所体现。在“当前路径情景”中，到2050年，中国占全球煤炭产量降幅的约85%。在“当前路径情景”中，到2050年，中国在全球煤炭产量中的占比降至约30%，低于2023年

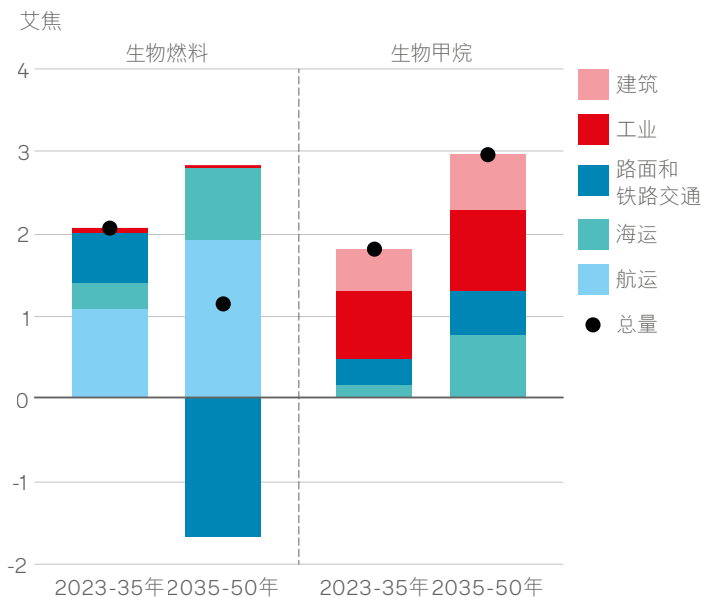
的超过50%。印度和亚洲其他新兴经济体取代中国，成为全球主要煤炭生产中心。

受支持其使用的政策推动，现代生物能源的作用日益增强

现代生物能源需求



“当前路径情景”中的生物燃料和生物甲烷需求变化



所示需求是终端消费总量，即不包括用于发电的生物甲烷。

在展望期内，现代生物能源（现代固体生物质能、生物燃料和生物甲烷）的使用量持续增长，这得益于激励其使用的政策支持。

在“当前路径情景”中，现代生物能源到 2035 年增长约 30%（10 艾焦），到 2050 年再增长 20%（8 艾焦）。由此，现代生物能源在一次能源中的占比从 2023 年的 5% 增至 2050 年的 8%。

固体生物质能

现代生物能源增长最重要的来源是固体生物质能（如木屑颗粒和林业、农业残留物），在“当前路径情景”中，其在展望期内增长约三分之一。固体生物质能主要应用于工业行业，用作替代煤炭和天然气的低排放能源，为高温加热过程提供燃料，尤其是在水泥生产、食品和造纸行业；在电力行业，固体生物质能还被用来替代传统火电。

生物燃料

2023 年，主要源自第一代原料的生物燃料占现代生物能源的约 15%，几乎全部用于路面交通，这主要受液体燃料强制掺混要求的推动。

在“当前路径情景”中，到 2035 年，生物燃料需求将增长约 45%。部分增长来自路面交通中生物燃料使用量的增加，这主要受部分新兴经济体加强燃料掺混要求的推动。但由于液体路面燃料需求总量相对平稳，生物燃料在路面交通中的增长受到制约（见第 32-33 页）。

在“当前路径情景”中，2035 年之前，生物燃料增长的主要来源是航空行业，其主要原因是出台了更多的可持续航空燃料使用强制要求和激励措施，尤其是在欧盟。生物燃料在海运中的作用亦日益凸显，助力满足降低碳排放的监管要求。

在“当前路径情景”中，在展望期后半期，由于路面车辆电气化进程加快（见第 32-33 页），路面交通中液体燃料使用量下降，进而导致路面交通中的生物燃料使用量下降。因此，展望期后半期生物燃料的全部增长均来自航空行业使用量增长。到 2050 年，生物燃料在航空燃料中的占比约为三分之一，并为海运行业提供了部分燃料。

生物甲烷

在“当前路径情景”中，生物甲烷虽初始基数小，但增长迅速，2035 年之前年均增幅约 15%，随后在 2035 至 2050 年间增速放缓至年均增长 6% 左右。生物甲烷使用量增长得益于相关法规，这些法规旨在减少农业废弃物和垃圾填埋场产生的甲烷排放，并激励对此类排放的有效利用。由于生物甲烷可直接替代天然气，其需求增长广泛分布

于工业、建筑业和交通三大终端用途行业。到 2050 年，生物甲烷占全球一次能源中天然气总量的近 4%。

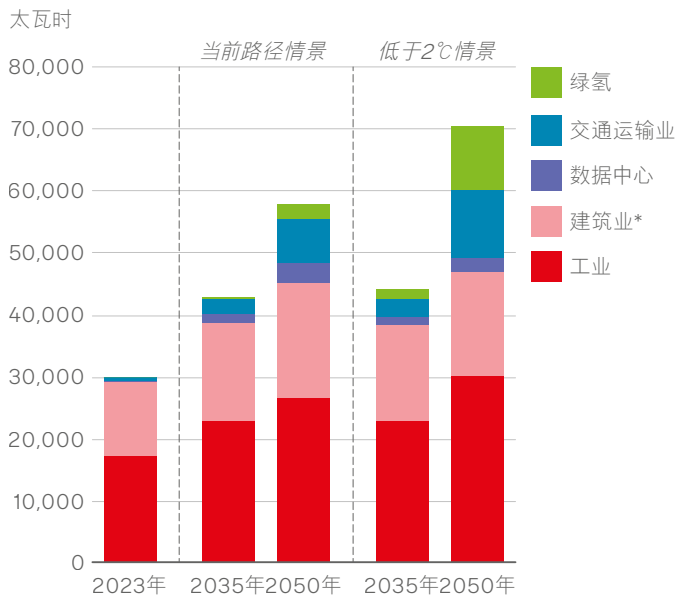
在“低于 2℃ 情景”中，现代生物能源的增长更为显著，这得益于不断增强的监管和政策支持。到 2050 年，现代生物能源使用量将翻一番，其中约一半的增长来自生物甲烷和生物燃料。

电力行业

电力需求	52
电力在终端消费总量中所占比重	54
发电量	56
核电发电量	58
电力行业排放	60

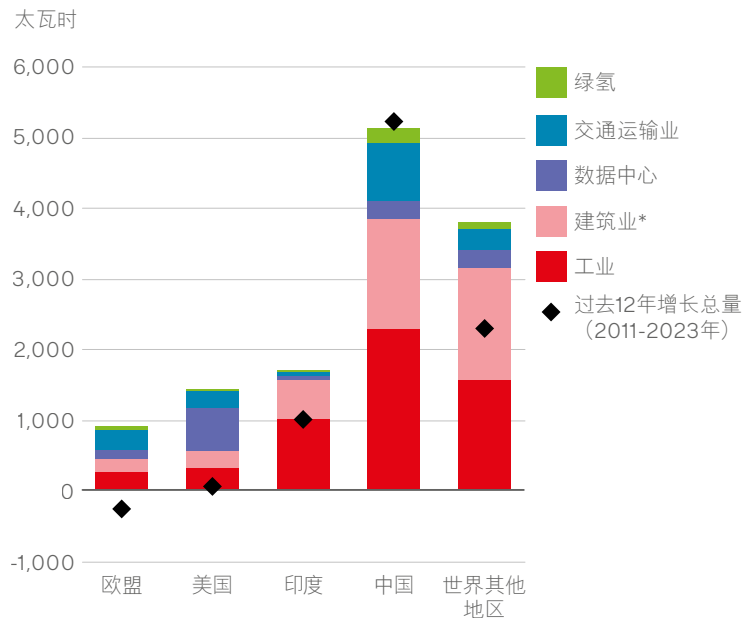
随着新兴经济体需求上升和各行业电气化加速， 电力使用量迅速增长

按行业列示的电力使用量



*包括用于为热力网络生产热力所使用的电力。

“当前路径情景”中的电力需求变化（2023-2035年）



*包括用于为热力网络生产热力所使用的电力。

在整个展望期内，由于新兴经济体日益繁荣、人口增长，以及各行业日趋电气化，电力需求快速增长。

在“当前路径情景”中，未来十年，全球电力需求快速增长，到2035年超过4万太瓦时，较2023年水平增长40%以上。这一增长主要受到工业和建筑业需求增长的推动，这两个行业目前合计占用电量的95%左右，在2035年之前，占需求增长的四分之三。

电力需求的新来源

除现有需求来源，还有两个主要的新兴电力使用来源：不断加深的交通电气化进程，以及不断增长的数据中心电力需求。到2035年，数据中心需求增长占全球电力需求增长总量的十分之一，略低于交通行业的贡献。

在“当前路径情景”中，展望期后半期内，电力需求持续强劲增长，到2050年达到2023年水平的近两倍。工业和建筑业的电力需求持续增长，但2035至2050年间电力需求增长的最大动因是交通行业用电量增长至原先的三倍（见第32-33页）。绿氢生产也开始对电力需求产生重要贡献，到2050年，在总用电量中的占比略低于5%。

绿氢的电力需求

在“低于2℃情景”中，2035年之前，电力需求基本匀速增长，随后在展望期后半期加速增长。工业和交通行业的电气化进程均快于“当前路径情景”，到2050年，两者合计占需求增长的约60%。但电力需求高于“当前路径情景”的最大原因是绿氢产量的增长，到2050年，绿氢独占总用电量的近15%（见第64-65页）。

区域增长模式

在“当前路径情景”中，未来十年，电力需求增长主要集中在中国和其他新兴经济体。2023至2035年间，中国电力需求增长约5,000太瓦时，占全球发电增量的40%。印度电力需求同样显著增长，增幅超过1,500太瓦时，较2023年增长约85%。在“当前路径情景”中，2023至2035年间，中国、印度和其他新兴经济体合计占电力需求总增量的四分之三以上。

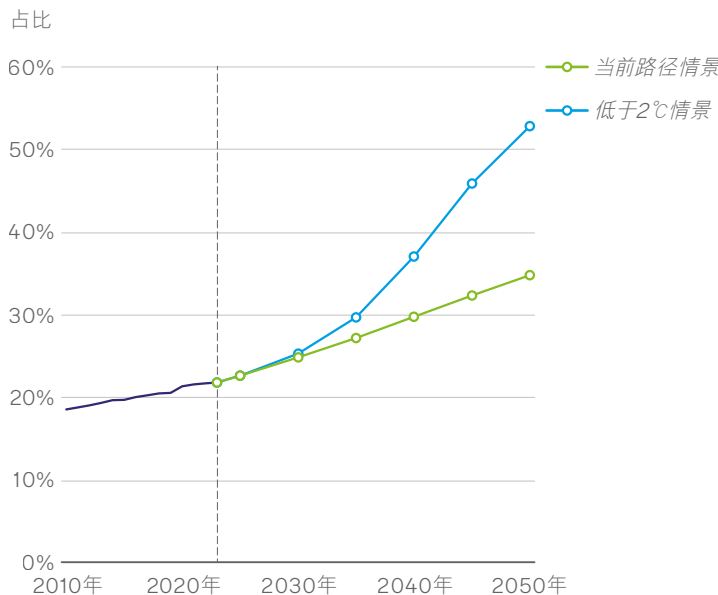
在电力需求经历了超过15年的总体水平之后，发达经济体的电力消费量也开始增长，不过增幅远低于新兴经济体，这是因为新兴经济体中工业、建筑业及交通行业的电气化正加速推进。

美国数据中心

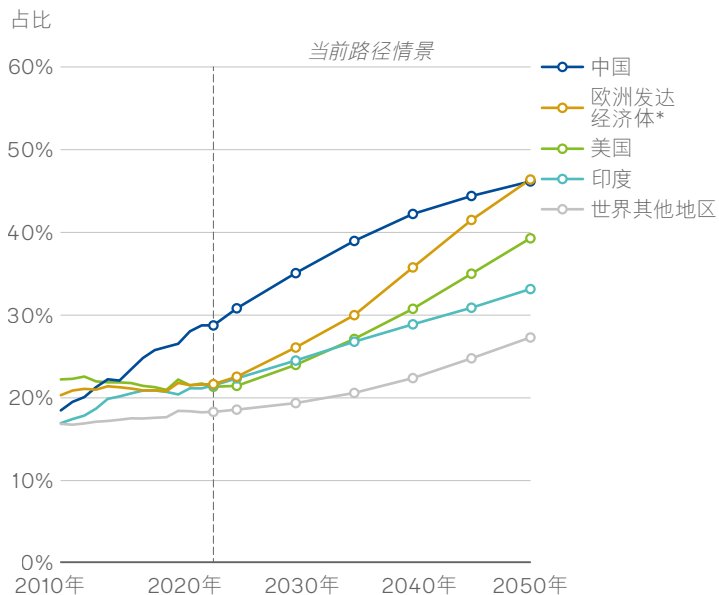
数据中心日益增长的电力需求在美国所起的作用远比在全球层面更为显著。在“当前路径情景”中，美国数据中心电力需求增长约占2023至2035年间电力需求总增量的40%。

全球能源系统持续电气化

电力在终端消费总量中所占比重



按地区列示的电力在终端消费总量中所占比重



*包括欧盟、冰岛、挪威、瑞士和英国。

全球终端能源使用的电气化比例持续上升，中国处于领先地位，但欧盟及其他国家在展望期后期逐渐赶上。

按行业列示的用电量

在“当前路径情景”中，未来十年，电力在全球终端能源使用中的重要性继续提升，约占终端消费总量增长的三分之二。这一趋势由建筑业引领：新兴经济体中电器使用量增长、热泵在空间采暖中的应用更为广泛；工业行业同样推动了这一趋势，更多工艺流程实现电气化。电力在路面交通中的占比虽有提升，但到2035年，仍低于该行业能源消耗总量的10%。

在“当前路径情景”中，展望期后半期，电力在终端消费总量中的占比持续上升，到2050年达到全球能源消费的三分之一左右。其在路

面交通中的增长最为显著，由于全球车辆保有量构成明显向电动汽车倾斜，到展望期结束时，电力占路面交通能源消费量的近30%。

在“低于2℃情景”中，电气化进程显著加快，反映了更强有力的政策支持和脱碳激励措施。到2050年，电力在终端消费总量中所占比例超过50%。电气化潜力最大的行业是建筑业，其电力占比接近80%。相较于“当前路径情景”，电力占比的额外增幅主要源于热泵的加速推广，以及新兴经济体中低效传统生物质能的加速淘汰。

“当前路径情景”中不同区域的电气化进程

电力在能源消费中的占比稳步上升，掩盖了各国和地区之间的不同趋势。在展望期之初，中国的电气化比例显著高于许多其他国家，这既反映

了中国限制化石能源进口的意愿，也体现了制造业在中国经济中占比较高，而相较于交通等行业，制造业的电气化程度通常更高。电力在中国能源消费中的占比将继续上升，从2023年的29%增至2035年的近40%。

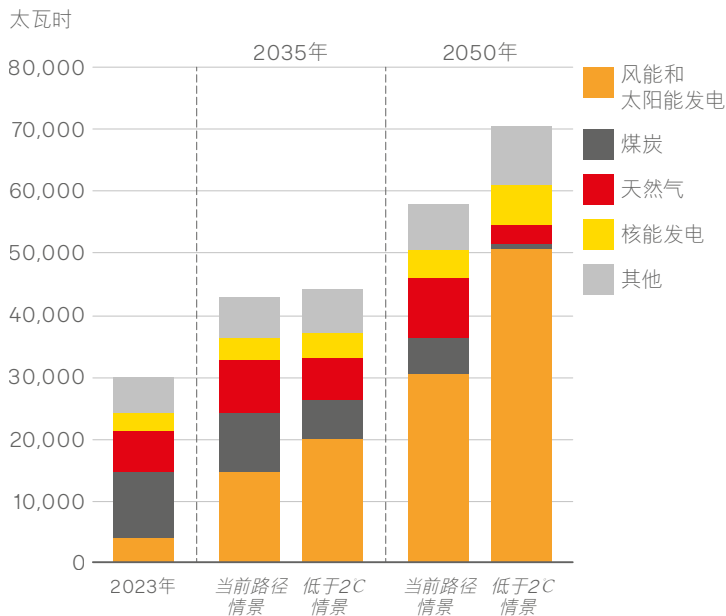
过去，美国、欧洲和印度的电气化进程一直落后于中国，三国2023年的能源消费中，电力占比都仅略高于20%。未来十年间，这些国家的电力占比都会上升，但增速低于中国，因此中国与这些经济体在电气化程度上的差距会进一步扩大。

然而，在展望期后半期，欧洲电气化进程显著加快，到2050年，其电力消费占比水平与中国相近（约占能源消费总量的45%）。这主要是由于欧洲路面交通电气化极为迅速，电力占比从2035年的略高

于10%跃升至2050年的三分之二以上。美国电气化进程同样加速，但增速较缓，电力在终端消费总量中的占比到展望期结束时略低于40%。

不断增长的电力需求主要由风电和太阳能发电的快速扩张满足

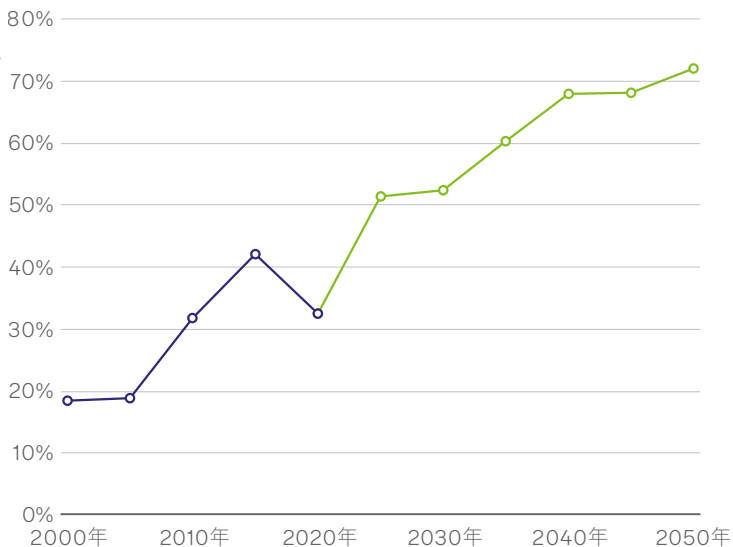
按来源列示的发电量



其他包括生物能源发电、水力发电、地热能发电、燃油发电和氢能发电。

“当前路径情景”中处于“电力行业替代”阶段国家的电力需求

全球电力需求占比



数据点对应以所示年份为中心的五年平均值。有关电力替代方法的详细信息见附录。

随着各国持续推进电力行业脱碳进程，不断增长的电力需求主要依靠风能和太阳能的快速扩张来满足。

风能与太阳能发电

在“当前路径情景”中，到2035年，超过80%的电力需求增量将由迅速增长的风能和太阳能发电来满足，其中一半来自中国。太阳能发电的增长速度持续超过风电，这反映出其成本下降更快、部署周期更短和政策支持力度更大。风电和太阳能的大规模扩张意味着电力系统需增强应对可变速来发电增长的韧性。实现这种韧性需要采取一系列措施，包括增加灵活发电和储能、提高需求侧响应能力、采用更先进的电网技术以及加强电网互联互通。更多相关讨论见2024年版《世界能源展望》第58-59页。

低碳发电的增长还得益于水电的稳

步增长（到2035年，水电增幅约为25%），以及核电发电量的小幅回升（见第58-59页）。地热发电量也有所增加，但在总发电量中的占比仍极小。

煤炭发电量下降

未来十年间，低碳发电量占比上升，其主要对应变化是煤炭发电占比显著下降，从2023年占全球发电量的约35%降至2035年的略高于20%，这主要受到中国煤炭使用量减少的推动（见第46-47页）。

相比之下，2023至2035年间，天然气发电量增长约30%，使其在全球发电总量中的占比仅略有下降。天然气发电增长的三分之一来自美国，其余主要来自新兴经济体。

2035年之后的发电情况

在“当前路径情景”中，展望期后

半期，这些趋势基本得以延续，到2050年，风能和太阳能发电量占全球总发电量的一半以上。这反映了随着融资挑战和基础设施限制缓解，新兴经济体加速部署风能和太阳能发电。天然气发电量在展望期后半期进一步增长，且该增长完全由新兴经济体（不包括中国）贡献。

在“低于2℃情景”中，煤炭被替代的速度远快于“当前路径情景”，天然气发电量则从本世纪30年代初开始下降。这一趋势的主要推动力是风能和太阳能发电加速部署，到2050年，占全球发电量的70%。

电力行业从“增长”向“替代”阶段的转变

越来越多的国家正转向“电力行业替代”阶段，太阳能和风能的加速部署意味着化石能源发电量正在下

降。目前，出现这一情况的地区总计已占到全球电力需求的约40%。

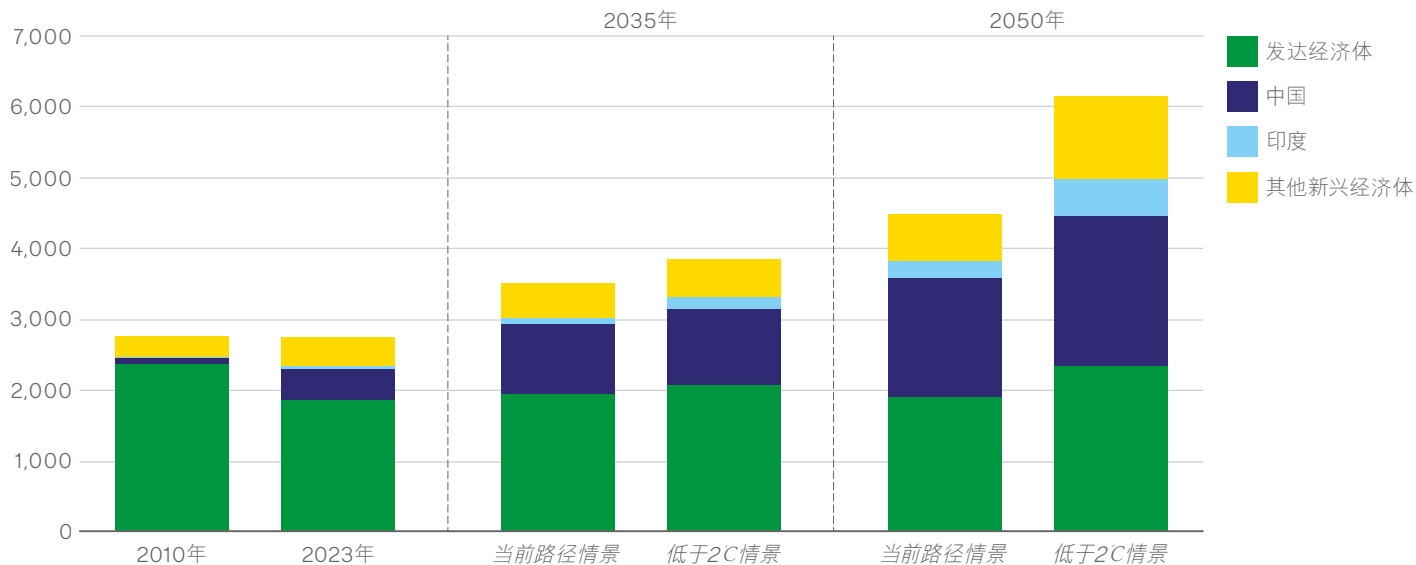
在“当前路径情景”中，到2035年，这一占比升至全球电力需求的约60%，因为包括中国在内的各国以足够快的速度增加了可再生能源发电量，超额满足了其新增电力需求。

到2050年，全球约70%的电力需求来自处于“替代”阶段的国家或地区。在“低于2℃情景”中，这一转变更为迅速，在2050年之前，所有地区都将进入“替代”阶段。

核能发电有助于满足对可靠、低碳电力日益增长的需求

按地区列示的核能发电量

太瓦时



核电发电量在整个展望期内持续增长，因为各国寻求开发这种可靠、低碳的电力，来增强能源安全和支持气候目标。

“当前路径情景”中的核电

过去二十年间，核电发电量仅略有增长，其在全球发电总量中的占比已从2000年的15%以上降至2023年的不足10%。然而，未来十年间，在“当前路径情景”中，核电发电量开始增长，到2035年增长近30%。这一增长得益于各国希望生产稳定、低碳的电力，从而满足能源安全需求并支持气候目标。但鉴于电力需求的快速增长，核电在总发电量中的占比仍略有下降，到2035年降至约8%。

在“当前路径情景”中，到2035年，核电发电量增长主要来自中国新增装机容量投产，其增量约占全球核

电增长的70%。由此，中国在本世纪30年代初超过美国，成为全球最大的核电生产国。中国核电扩张持续依托于长期规划、流程精简的国家融资机制，以及成熟的交付模式，三者共同保障了相对具有成本效益的核电部署。

在“当前路径情景”中，未来十年全球核电发电量增长的剩余部分来自印度及其他新兴经济体的新增装机容量，以及日本部分核电站的进一步重启。美国核电发电量在未来十年保持平稳，主要依靠现有反应堆的寿命延长和有限的重启项目。

在“当前路径情景”中，核电发电量在展望期后半期基本保持匀速增长，且仍由中国主导。到2050年，中国约占全球核电发电量的40%，而2023年约为15%。在展望期后半期，核电在全球发电量中的占比总体保持稳定。

“低于2℃情景”中的核电

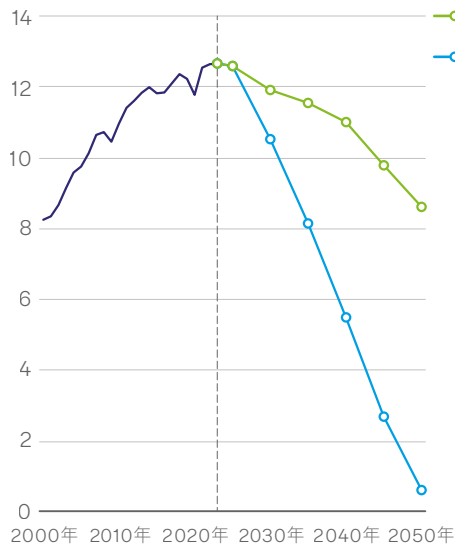
在“低于2℃情景”中，核电发电量增长更为迅速，这反映了许多经济体在电力系统脱碳方面面临更大压力，也获得了更多支持。鉴于新建核电站所需准备时间较长，这一增长主要集中在展望期后半期。到2050年，核电发电量较2023年增加一倍多，但其在总发电量中的占比仍未超过10%。

在两种情景中，核电的重要性都因其成本相较于其他低碳能源（尤其是风能和太阳能）较高而受到限制。此外，核能具有资本密集型特点，故而最适合作为基荷电源持续运行。因此，核电可能难以提供灵活发电能力，而这种能力正是许多电网为补充快速增长的风电和太阳能所需要的。

尽管电力需求持续增长，全球电力行业排放量仍有所下降

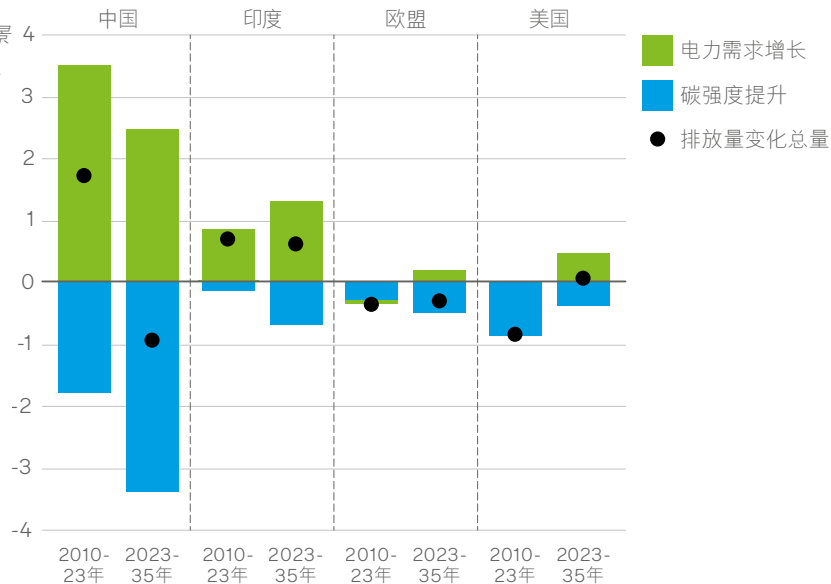
电力行业排放量

二氧化碳（十亿吨）



“当前路径情景”中电力行业排放量变化分解

二氧化碳（十亿吨）



在报告时，全球电力行业排放量扣除所有碳捕集与封存（CCS）技术所实现的碳移除量。

在展望期内，尽管电力需求持续增长，全球电力行业排放量仍有所下降，这得益于风能和太阳能发电逐步取代燃煤发电。

两种情景中的电力行业排放量

发电排放量目前约占全球能源系统总排放量的三分之一。本世纪以来，该比例基本持平，电力系统排放量自 2000 年以来增长超过 50%，大致与能源系统总排放量增幅持平。

在“当前路径情景”中，虽然电力需求持续增长，过去发电导致排放不断增加的趋势却在展望期初期左右开始逆转。这得益于低碳电力的快速部署，速度超过了电力需求总增长。换言之，未来数年，全球电力系统将整体从“能源消费总量增长”阶段转向“能源替代”阶段（见第 56-57 页）。

在“当前路径情景”中，虽然发电量在展望期内增长 90% 以上，但全球电力系统排放量下降约三分之一。2023 年至 2050 年间，发电平均碳强度下降约三分之二，这主要得益于风能和太阳能发电占比急剧上升，煤炭发电占比下降（见第 56-57 页）。

在“低于 2℃ 情景”中，尽管电力需求增长更为强劲，电力系统排放量的下降幅度却更大。电力行业的排放量降至不足 10 亿吨二氧化碳，降幅约 95%，全球电力系统几乎实现全面脱碳。

分析“当前路径情景”中的电力行业排放路径

电力行业排放脱碳的难度取决于电力需求的增长。

在“当前路径情景”中，中国和印度的电力需求均持续强劲增长至 2035 年。两国在展望期初期均面临发电结构碳强度较高的情况。

不过，在“当前路径情景”中，中国电力系统的排放量将在未来十年内持续下降，因为风能和太阳能发电迅速取代了煤炭，使平均发电碳强度降低近一半。

由于可再生能源加速部署，印度的发电碳强度也有所下降，但降幅不足以抵消 85% 的电力需求增长。因此，印度电力行业的排放量将增加 6 亿吨二氧化碳，增幅约为 40%。

未来十年，美国和欧盟的电力需求重新开始增长，增幅均约为 30%。欧盟电力行业脱碳进程加速，尽管发电量增加，电力行业排放量仍下降超过一半。美国发电碳强度的下降速度有所放缓，但仍足以抵消电力需求增长，使得美国电力行业排放量基本持平。

在“当前路径情景”中，中国、欧盟和美国的发电排放量在展望期后半期持续下降，部分原因是随着能效加速提升，电力需求增长放缓。

相比之下，印度的电力需求在此期间进一步增长 65%。尽管需求增长，但由于风能和太阳能发电到 2050 年增长至总发电量的一半，印度的排放量在展望期最后几年趋于平稳并开始下降。

低碳氢和碳减排与碳移除

低碳氢需求和碳捕集、利用与封存

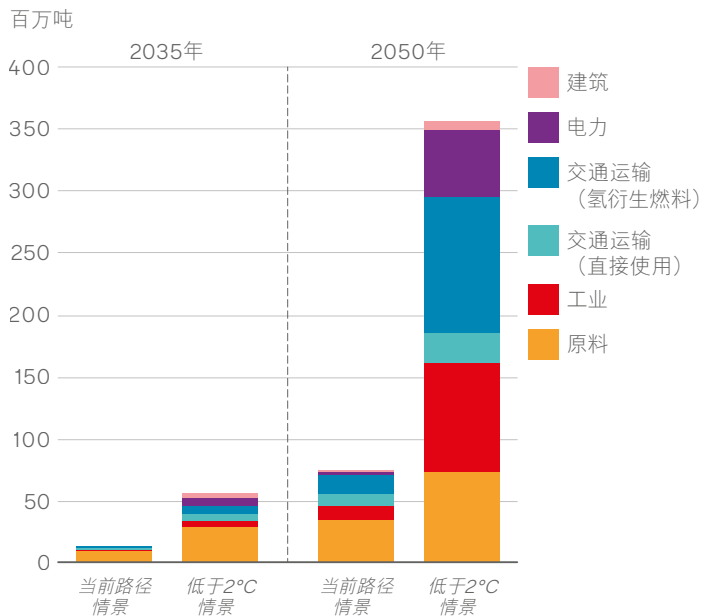
64

低碳氢生产

66

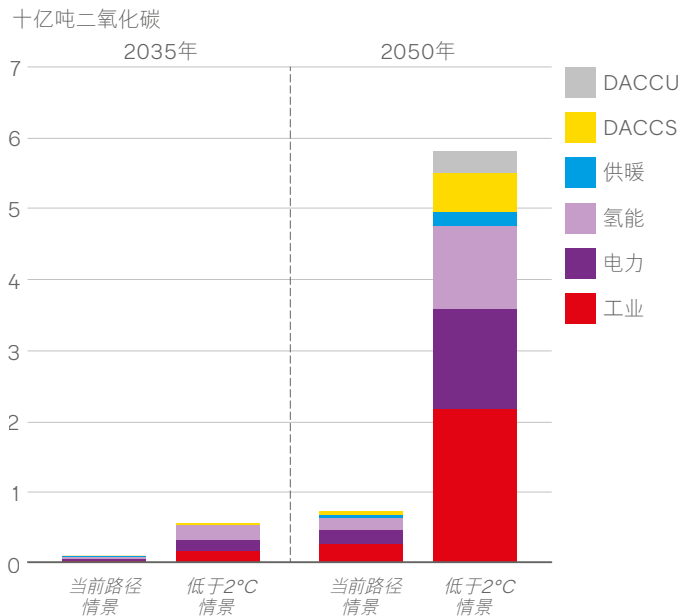
低碳氢和CCUS在支持深度脱碳路径中发挥重要作用

按行业列示的低碳氢需求



交通运输 (氢衍生燃料) 包括用于生产交通运输行业所消耗的甲醇、氨及合成燃料的氢。

按行业列示的碳捕集、利用与封存



DACCS: 直接空气碳捕集与封存。DACCU: 直接空气碳捕集与利用。其中包括用作氢衍生燃料 (如合成航空燃料) 的碳中和二氧化碳来源。不包括从天然气处理和生物乙醇生产中捕集的排放。bp世界能源展望 (2025年版)

低碳氢和碳捕集、利用与封存（CCUS）可用于难以减排的工艺和行业的脱碳。但其成本相对较高，这意味着只有在更快速的转型路径中，即得到更深层次脱碳方案支持的情况下，脱碳才能达到显著规模。即使在这类路径中，脱碳规模的大部分扩张也只能在展望期后半期实现。

低碳氢

在“当前路径情景”中，低碳氢的使用量从 2023 年的不足 100 万吨逐渐上升至 2035 年的略低于 1,500 万吨。低碳氢主要作为化石能源制氢（即所谓“灰氢”）的低碳替代品，用于氨和甲醇的生产以及炼油领域。但由于低碳氢成本较高且政策支持有限，到 2035 年，其仅能替代约 10% 的灰氢。到 2050 年，“当前路径情景”中

低碳氢的需求达到每年 7,500 万吨。其中约一半需求用于替代作为原料的灰氢，另有三分之一用于交通运输行业，生产氢衍生燃料（如用于海运的氨和甲醇）以及直接用于重型长途公路运输。

在“低于 2°C 情景”中，低碳氢的需求更为显著，尤其是在展望期后半期。除了替代大部分灰氢并满足航运和航空业脱碳对氢衍生燃料的更高需求外，低碳氢日益用于高温加热应用的脱碳，例如钢铁生产（在此低碳氢也用作还原剂）。它还在部分电力系统中提供长时储能和可调度电力。到 2050 年，低碳氢的总体需求达到每年约 3.5 亿吨。

碳捕集、利用与封存

与低碳氢类似，CCUS 在“当前路径情景”中的部署规模有限，到 2035 年每年仅能达到不到 1 亿吨二

氧化碳，即使到 2050 年仍低于 10 亿吨二氧化碳。这意味着在展望期结束时，“当前路径情景”中仅能捕集 2% 的能源系统排放。

在“低于 2°C 情景”中，CCUS 发挥着更为重要的作用。该情景中，加速脱碳的政策力度更强，这意味着工业流程脱碳和减少化石能源使用的额外成本得以吸收。即便如此，由于项目准备周期较长，大部分部署仍集中在展望期后半期，到 2050 年达到每年约 60 亿吨二氧化碳的规模。

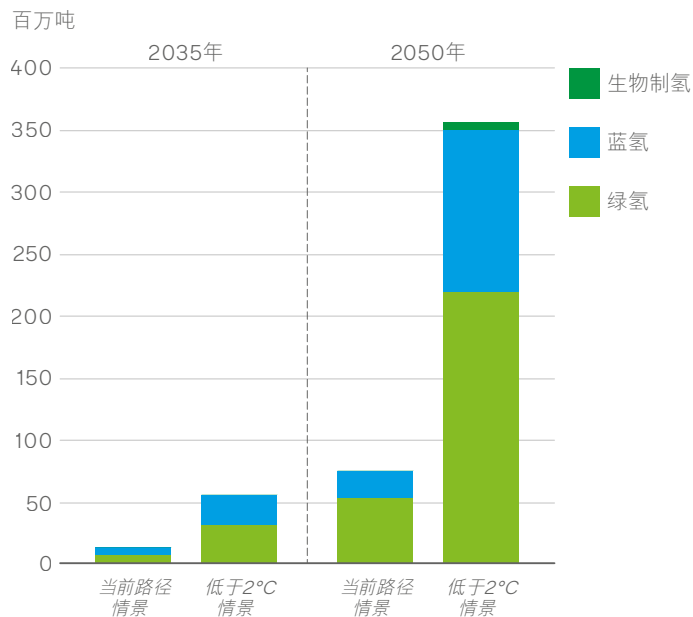
本世纪 30 年代末期至 40 年代，CCUS 将在难以减排的工业流程（尤其是水泥行业）脱碳中发挥关键作用，到 2050 年贡献约 20 亿吨二氧化碳的捕集量。它还有助于提供低排放可调度电力，作为可再生能源的补充（2050 年约 15 亿吨二氧

化碳）。另有约 10 亿吨捕集量与蓝氢生产相关。

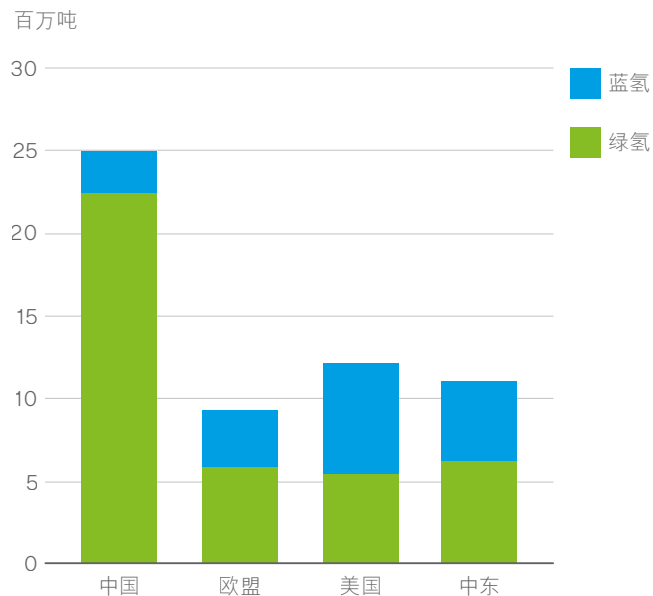
在“低于 2°C 情景”中，CCUS 的应用支撑了天然气和煤炭的有限持续使用。但到 2050 年，结合 CCUS 的天然气和煤炭使用规模仅为 2023 年消费水平的一小部分。CCUS 能够补充快速脱碳路径中化石能源的大幅减少，但不能对其下降趋势形成替代。

绿氢与蓝氢的结构比例取决于地区生产格局

低碳氢产量



“当前路径情景”中2050年低碳氢产量



低碳氢生产主要由绿氢和蓝氢构成——绿氢通过使用可再生能源电力电解水制成，蓝氢则由天然气（或煤炭）制成，其中相关碳排放得到捕集与封存。鉴于氢的运输成本高昂，绿氢与蓝氢的全球平衡取决于不同地区的相对生产成本以及各区域市场的相对规模。

绿氢与蓝氢生产

蓝氢与绿氢的相对成本在不同地区存在显著差异。对于拥有国内天然气（或煤炭）资源及适宜二氧化碳封存地点的地区，蓝氢往往最具成本优势。但对于缺乏此类资源的其他地区，尤其是在能够获得充足的可再生能源电力的情况下，绿氢可能更为可取。

在“当前路径情景”中，到2050年，绿氢约占低碳氢产量的70%。这一结构比例主要受四个关键地区的生

产模式驱动：中国、美国、中东和欧盟。到2050年，这些地区合计占全球产量的四分之三以上。

中国

在“当前路径情景”中，到2050年，中国每年生产约2,500万吨低碳氢，约占全球产量的三分之一。

其中绝大多数（90%）为绿氢。这既反映出中国能够利用其广泛的可再生能源产能提供充足的低成本低碳电力来源，也体现出其国内天然气资源相对有限。

在展望期内，绿氢产量的增长使中国能够利用其大规模制造能力，逐步降低电解槽的成本。然而，绿氢成本的一些其他要素（如配套设施、基础设施和存储相关成本）则较难通过制造商的学习效应和技术进步来降低。

欧盟

欧盟的低碳氢生产同样侧重于绿氢。这一倾向源于欧盟对天然气进口的依赖，其不仅推高了蓝氢的成本，也加剧了欧盟因高度依赖进口能源而面临的能源安全风险。

美国和中东

在“当前路径情景”中，另外两个主要产氢地区，即美国和中东，拥有国内天然气供应和适宜的二氧化碳封存地点。对这两个地区而言，蓝氢在展望期初期具有成本优势，但随着电解槽和可再生能源成本下降，推动绿氢相对成本降低，这一成本差异也将在展望期内逐渐缩小。到2050年，在“当前路径情景”中，这两个地区的蓝氢与绿氢产量占比大致持平。

“低于2°C情景”中的结构比例更为均衡

在“低于2°C情景”中，低碳氢增长更为强劲，到2050年达到每年约3.5亿吨，这意味着全球生产布局将更加广泛。不过，中国仍是最大的生产国。地理分布更加广泛使得绿氢与蓝氢的结构比例不再过度偏向某一方，可见蓝氢的成本优势在许多地区持续存在，但逐渐缩小。

敏感性分析

影响能源转型的三个关键问题	70
<i>地缘政治分裂加剧</i>	72
对碳排放和一次能源的影响	74
对各区域一次能源的影响	76
<i>能源效率持续乏力</i>	78
对石油和天然气需求的影响	80
累积排放量：“当前路径情景”和“低于2℃情景”	82
<i>延迟和无序转型</i>	84
三种敏感性情景对比	86

探索影响能源转型的三个关键问题的潜在影响

地缘政治分裂
加剧

能源效率持续
乏力

延迟和无序
转型

通过调整“当前路径情景”和“低于 2°C 情景”的关键参数，可以探讨影响能源系统前景的其他问题和不确定性的效应。

本期《展望》使用的两种情景，即“当前路径情景”和“低于 2°C 情景”，有助于探讨能源转型速度和性质差异所带来的能源系统演变过程中的部分不确定性。

但影响全球能源前景的不确定性和问题还有很多。

本节重点探讨三个当前可能对能源系统未来发展产生重要影响的问题。

地缘政治分裂加剧

（第 72-77 页）

近年来，地缘政治冲突和紧张局势显著加剧，包括俄乌冲突和中东战争爆发，以及贸易制裁和关税使用更为频繁。若这些紧张局势进一步升级，可能导致地缘政治分裂加剧，各国减少对国际贸易的依赖，日益自给自足，这将对全球能源系统产生重大影响。

能源效率持续乏力

（第 78-81 页）

减少生产给定数量商品和服务所需的能源量，实现能效提升，对于能源系统的规模和性质具有重要影响。过去五年左右，能效提升速度明显低于历史平均水平。如果这种乏力态势持续，可能对能源需求总体水平以及化石能源与非化石能源结构产生重大影响。

延迟和无序转型

（第 82-85 页）

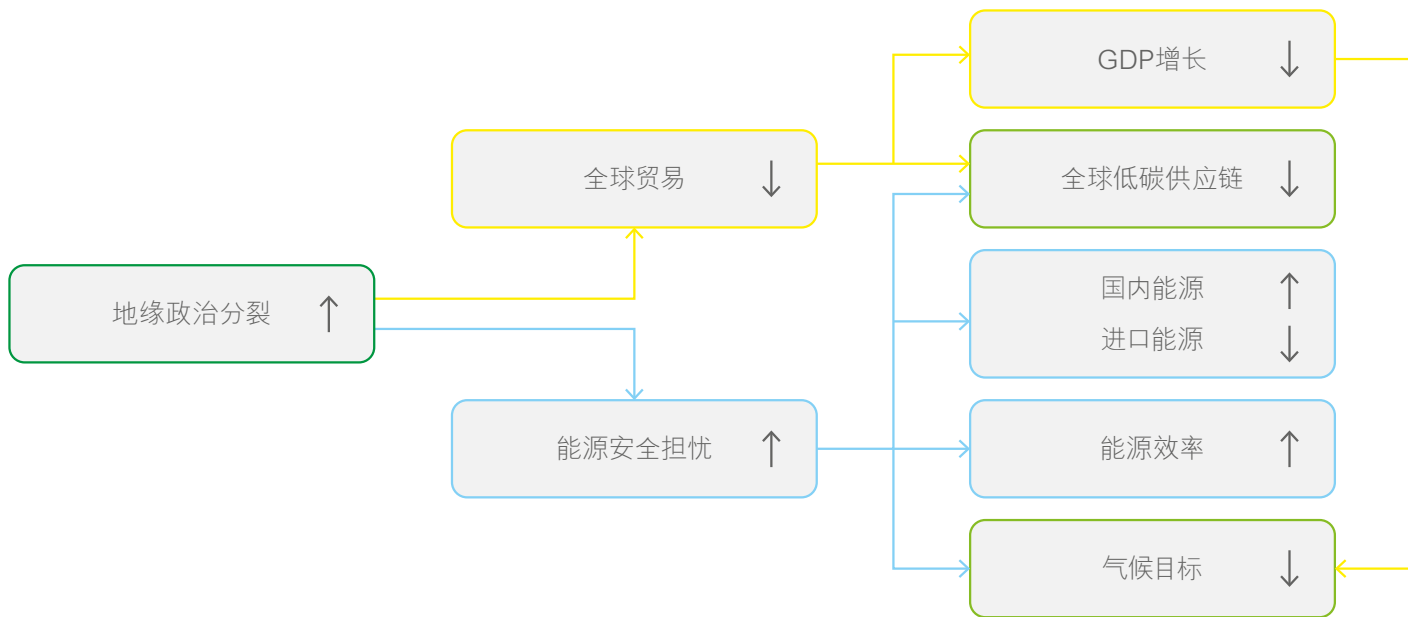
能源和工业使用的碳排放持续增加，过去五年年均增长率为 0.6%。在此过程中，世界正在逐渐耗尽与限制全球气温上升目标相一致的碳预算。世界若希望保持在特定碳预算范围内，那么维持当前路径的时间越长，面临代价高昂且无序转型的风险就会越大。

敏感性分析

通过对主要情景进行“敏感性分析”，我们研究了这三个问题对全球能源的潜在影响。此类分析的优点在于假设现有情景的大多数要素保持不变，从而能够分开探讨每个问题的关键特征。

实际上，如果这三种情况中的任何一种成为现实，能源系统的其他要素并不会完全保持不变。因此，敏感性分析的结果应被视为说明每个问题可能影响全球能源系统的大致方式，而非提供完整的特征描述或详细量化结果。

地缘政治分裂程度加剧对能源系统产生影响的主要经济传导渠道



地缘政治分裂程度显著且持续加剧，各国日益趋向自给自足，可能会减缓国际贸易增长，并促使各国更加关注能源安全，从而对能源需求水平和结构产生影响。

国际贸易疲软导致 GDP 增长放缓

地缘政治紧张局势和冲突加剧可能抑制国际贸易增长，因为供应链将回流本土，或仅限于各国认为政治最稳定或与其立场一致的国家 and 地区。

国际贸易增长放缓可能会限制专业化分工和竞争深化的空间，并减缓新技术和最佳做法在全球的扩散速度，从而拖累全球经济增长。这种经济增长阻力可能集中在最依赖国际贸易的经济体。

能源安全重要性提升

同样，地缘政治分裂加剧也可能致使各国更加重视能源安全，力求减少对进口能源和能源技术的依赖。

这可能促使各国和地区主要通过以下三种方式加以应对：

- 相对于国产能源，对进口能源施加额外的成本溢价或惩罚性措施
- 建立本土供应链或力求提高关键能源技术（包括光伏电池和储能电池等绿色技术）供应的多元化水平，减少对国际性或地理上高度集中的供应链的依赖；
- 更加重视提高能源效率，因为此举将减少对所有类型能源的需求，从而进一步巩固能源安全。

对气候与可持续性的重视程度降低

地缘政治分裂加剧也可能导致一些国家降低对气候和可持续性目标的重视程度。这在部分程度上反映了所谓“能源不可能三角”的本质，即各国需要权衡其能源系统在提供安全、可负担和可持续能源方面的冲突性需求。如果各国将能源安全置于更优先的地位，则必然要相应降低对另外两个维度的综合重视程度。

净贸易疲软导致的经济增长放缓，可能进一步加剧对可持续性和气候目标重视程度降低的潜在风险。这意味着各国可用于脱碳的财富和资源将会减少，特别是用于低碳氢、可持续航空燃料和 CCUS 等高成本低碳能源和技术的投入。

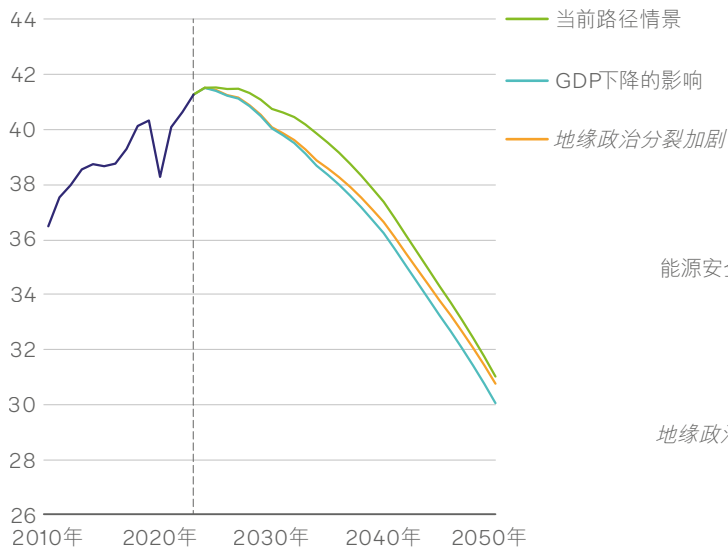
总体水平与结构效应

国际贸易和 GDP 增长放缓可能主要会影响能源需求总体水平；而主要源于能源安全担忧加剧的其他渠道，则会影响总体需求中不同能源类型的结构比例。

地缘政治分裂加剧会降低能源总需求并对燃料结构产生抵消性影响

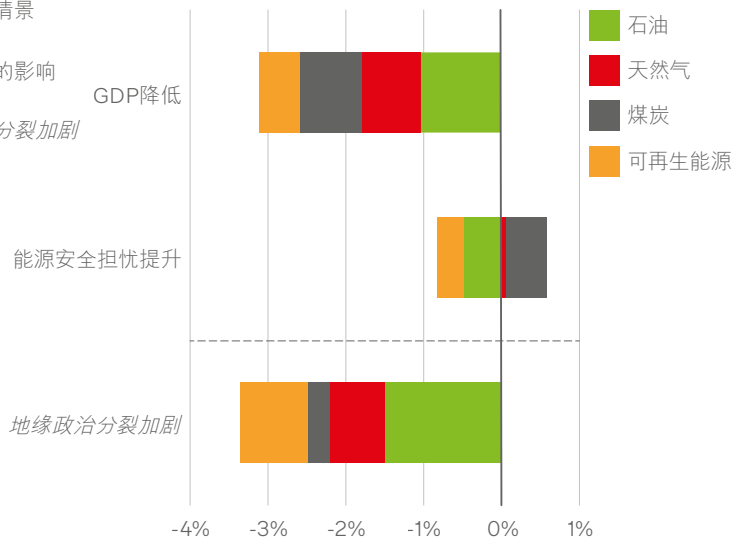
碳排放量

二氧化碳当量（十亿吨）



按传导渠道列示的全球一次能源变化

与2035年“当前路径情景”的百分比差异



地缘政治分裂加剧影响了国际贸易和GDP增长,进而降低了能源需求,而能源安全担忧的提升对燃料结构产生了不同的影响,且在某些方面具有抵消性作用。

经济传导渠道

通过调整“当前路径情景”参数,可以探讨地缘政治分裂加剧的潜在影响,以此说明此类加剧可能影响能源系统的主要经济传导渠道⁶。具体包括:

- 下调2035年之前的GDP增速,以反映全球贸易疲软的影响,这种影响主要集中在最依赖国际贸易的国家和地区;
- 对进口能源附加成本“溢价”,以反映各国对国产能源而非进口能源的偏好增强;
- 提高可再生能源的平准化度电成本(LCOE),以体现各国对可再生

能源技术本土供应链的偏好增强,对最低成本生产商的依赖减少;

- 提高能源效率提升速度,以反映出进口能源和可再生能源成本上升;
- 推迟高成本低碳能源和技术(低碳氢、可持续航空燃料和CCUS)的推广,以反映对气候和可持续性目标的重视程度降低。

这些替代假设的综合影响在“地缘政治分裂加剧”敏感性分析中有所体现。不同传导渠道的影响规模和持续时间存在不确定性,具体取决于导致地缘政治分裂加剧的环境条件。因此,该敏感性分析应被视为说明影响的大致规模和性质,而非提供详细的量化结果。

GDP增长放缓

全球贸易增长放缓导致GDP增速下降,进而使得支撑全球经济发展所需的能源量减少。能源需求水平

的降低导致碳排放量相对于“当前路径情景”相应减少。

能源安全

主要源于能源安全担忧加剧的其他传导渠道则主要通过改变燃料结构发挥作用。

相较进口能源,对国产能源的偏好增强,导致能源结构从贸易依赖度最高的石油和天然气向更依赖本土生产和消费的可再生能源与煤炭倾斜。

相比之下,可再生能源成本上升以及对气候和可持续性目标重视程度的降低,抑制了低碳能源的发展,反而有利于石油和煤炭发展。

这些影响在全球层面的净效应是:煤炭比重略有提高,石油和可再生能源比重相应降低,天然气比重基本保持不变。

这一转变提高了燃料结构的碳强度,部分抵消了能源需求水平下降带来的碳减排效果。

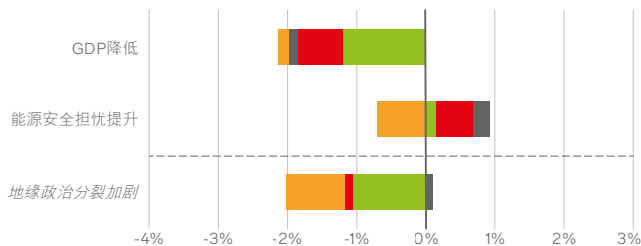
相较于“当前情景路径”,“地缘政治分裂加剧”的净效应中,全球碳排放量下降速度略快,但随着碳强度不利变化的逐渐累积,这一差异会随时间推移而减弱。

⁶ 变化详见附录第96页。

地缘政治分裂加剧的影响取决于各国能源系统的结构

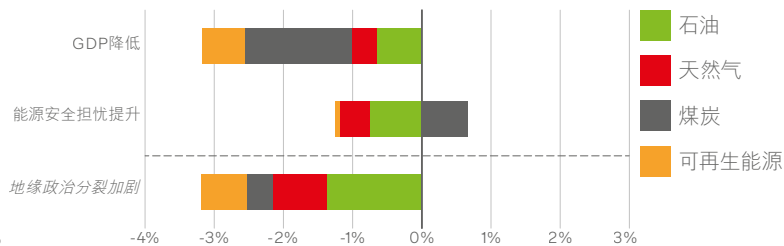
按传导渠道列示的美国一次能源变化

与2035年“当前路径情景”的百分比差异



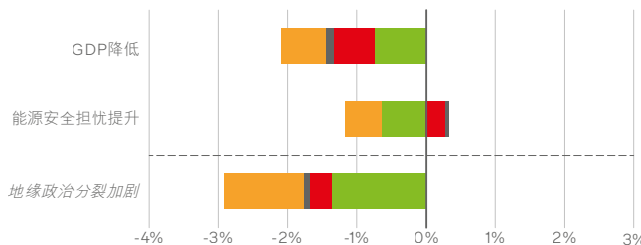
按传导渠道列示的中国一次能源变化

与2035年“当前路径情景”的百分比差异



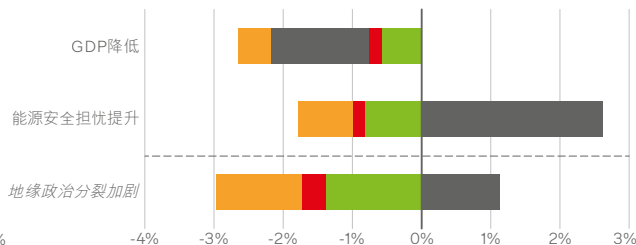
按传导渠道列示的欧盟一次能源变化

与2035年“当前路径情景”的百分比差异



按传导渠道列示的印度一次能源变化

与2035年“当前路径情景”的百分比差异



地缘政治分裂加剧的影响因各国能源系统结构差异而有所不同。

通过考察以美国、中国、欧盟和印度为代表的四种能源“典型模式”，可以探讨这些差异。

美国：能源出口国

美国是能源净出口国，其所受影响与希望减少进口能源依赖来应对能源安全担忧加剧的能源进口国所受影响不同。此外，美国经济相对封闭，受净贸易疲软影响较小。

因此，美国 GDP 及能源需求的降幅比例小于全球平均水平。美国燃料结构的变化主要受可再生能源成本上升以及高成本低碳技术应用延迟所驱动。这些渠道共同降低了可再生能源占比，相应提升了化石能源的作用。

中国：能源进口国与绿色技术低成本生产国

中国是能源净进口国，但作为低成本绿色技术的全球领导者，其受对国内供应链重视程度提高导致的平准化度电成本（LCOE）上升的影响较小。然而，中国高度依赖国际贸易，因此受净贸易疲软对经济增长的影响较大。

GDP 受到的较大冲击导致其能源需求降幅超过全球平均水平。

中国对国产能源的偏好增强，提高了煤炭和可再生能源占比，相应减少了进口石油和天然气占比。但可再生能源的这一增长被高成本低碳技术应用放缓大致抵消。最终，中国能源需求的下降全面涉及所有燃料类型，但主要集中在石油和天然气使用上。

欧盟和印度：能源进口地区

欧盟和印度均为能源净进口地区，且都（在不同程度上）依赖低碳技术的国际供应链。因此，它们面临能源安全担忧加剧带来的所有传导渠道影响。

在欧盟，对国产能源的偏好增强降低了石油和天然气占比，促进了可再生能源发展。但这些效应被可再生能源成本上升以及高成本低碳技术应用延迟所抵消。由于低碳能源面临阻力，天然气从中受益，因为在欧盟电力行业，天然气更易替代可再生能源。

相同的质性传导渠道在印度也发挥了作用，但可再生能源成本上升和低碳技术应用放缓的对应影响集中体现在（国产）煤炭消费量的增加上。

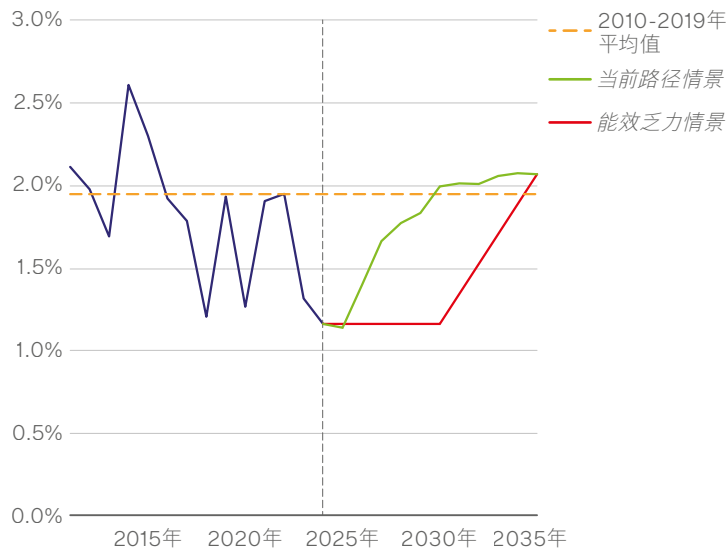
地缘政治分裂加剧的净影响是欧盟和印度总体能源需求下降。对欧盟

而言，下降主要集中在石油和可再生能源，天然气受影响较小。对印度来说，石油、天然气和可再生能源需求按大致相当的比例下降，而煤炭在其能源结构中的占比增加起到了抵消作用。

能效提升持续乏力可能导致未来能源需求显著升高

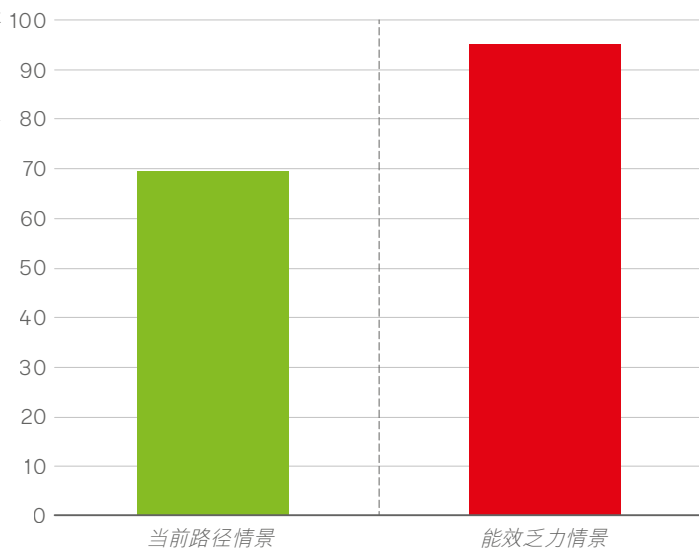
全球能效改善情况

年百分比变化



终端消费总量增长 (2023-2035年)

艾焦



近年来能效提升速度较之前的增长步伐有所放缓。能效提升持续乏力可能导致未来全球能源需求显著升高。

能效的重要性

能效提升速度是全球能源系统规模和结构的核心影响因素。

事实上，这一重要性在《联合国气候变化框架公约》缔约方会议第二十八届会议（COP28）达成的“阿联酋共识”中已得到认可，该共识承诺到 2030 年将能效年改善率提高一倍。

近期能效乏力态势

但过去五年，能效增长速度反而放缓：年均增幅仅为 1.5%（按终端能源消费总量计算），低于此前十年的年均 1.9%，其中 2023 年和 2024 年表现尤为低迷。

能效增长乏力的原因尚不完全明确。国际能源署认为这可能反映多个因素：包括一些经济体提高了制造密集型行业的重要性，以推动新冠疫情后的经济复苏；极端天气事件频次增加，并对能源使用产生影响；以及最近改善能效的项目投资放缓⁷。

能效展望

在“当前路径情景”中，近期的能效改善乏力态势逐渐消散，到 2030 年，能效增长速度接近其历史平均水平。

但这一前景存在相当大的不确定性，能效增长持续乏力可能对能源系统产生重大影响。

“能效乏力情景”敏感性分析探讨了这种可能性，该分析基于“当前路径情景”，但假设近期的能效增长乏力态势持续至 2030 年，之后到 2035 年逐渐收敛至“当前路径情景”水平（及其先前历史平均水平）。

对能源需求的影响

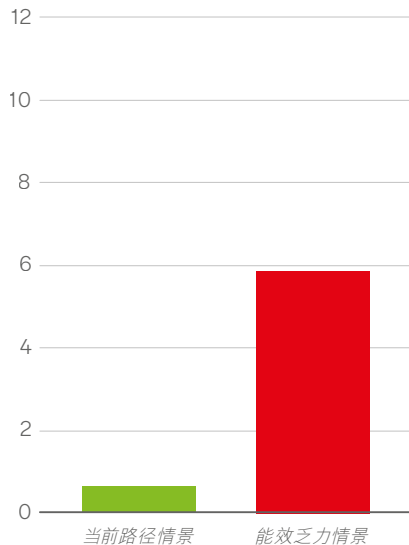
在保持“当前路径情景”所有其他要素不变的情况下，这种能效提升的乏力态势导致能源需求前景显著增强，2023 年至 2035 年间终端能源消费总量增长约 20%；而在“当前路径情景”中，这一增幅不到 15%。

⁷ 国际能源署《2025年全球能源评论》，更多详细信息见：<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025>。

“能效乏力情景”中，能源需求水平升高推升化石能源消费与碳排放

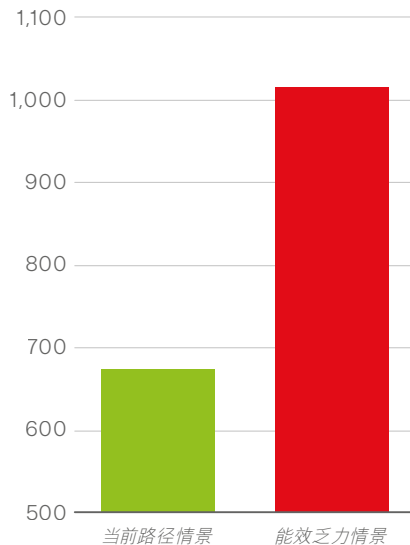
石油需求增长 (2023-2035年)

百万桶 / 日



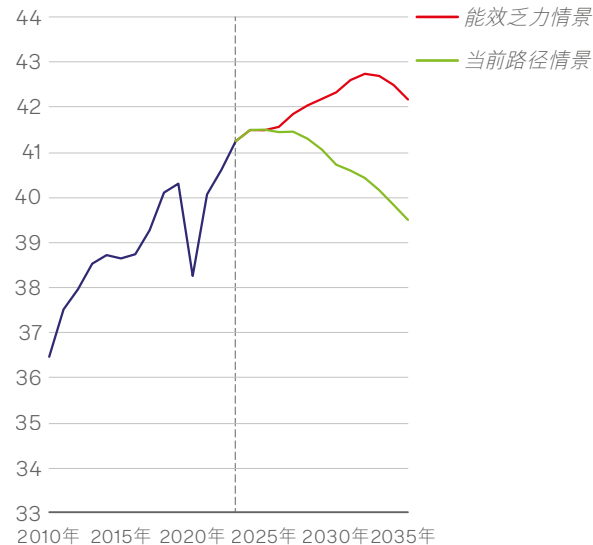
天然气需求增长 (2023-2035年)

十亿立方米



碳排放量

二氧化碳当量 (十亿吨)



“能效乏力情景”中，较高的能源需求水平可通过增加化石能源使用来满足，这推升了化石能源的近期增长，并导致碳排放轨迹显著上升。

化石能源周期性更强

能源需求的短期周期性波动通常主要通过化石能源使用的变化实现，而非通过可再生能源或其他非化石能源的波动来调节（详见附录第 98 页）。化石能源对终端能源需求周期性波动的敏感性更强，其原因包括：

- 可再生能源项目前期资本支出高昂、运营成本较低，这一成本结构使其对周期性波动的敏感性较弱；
- 化石能源在相对较短的时期内调节产量和库存水平的空间更大；
- 许多可再生能源项目基于长期监管机制或采购协议。

出于这些原因，能效增长持续乏力带来的大部分额外能源需求很可能通过化石能源满足，至少在近期如此。此外，基于能效增长波动进行长期能源投资的难度较大，这意味着可能需要经历较长的乏力期，非化石能源供应才会产生实质性响应。鉴于这些因素，在“能效乏力情景”中，到 2035 年，非化石能源的增长与“当前路径情景”保持一致，能效增长放缓带来的额外能源需求由化石能源满足。即，额外需求按照石油、天然气和煤炭在“当前路径情景”终端能源消费总量中的相对比重进行分配。

若“能效乏力情景”中，能效增长持续乏力成为现实，可能会在未来十年内推动非化石能源的一些额外投资。因此，“所有额外能源需求增长均由化石能源满足”的假设应被视为一种极限情况。

对化石能源的推动作用

在这些假设下，“能效乏力情景”中更强的能源需求导致石油和天然气相对“当前路径情景”显著增长：

- 到 2035 年，“能效乏力情景”中的石油需求增加近 600 万桶/日，达到近 1.06 亿桶/日，而“当前路径情景”中的石油需求基本持平；
- 到 2035 年，“能效乏力情景”中的天然气需求增加超过 1 万亿立方米，而“当前路径情景”中的增幅不足 7,000 亿立方米。

碳排放状况恶化

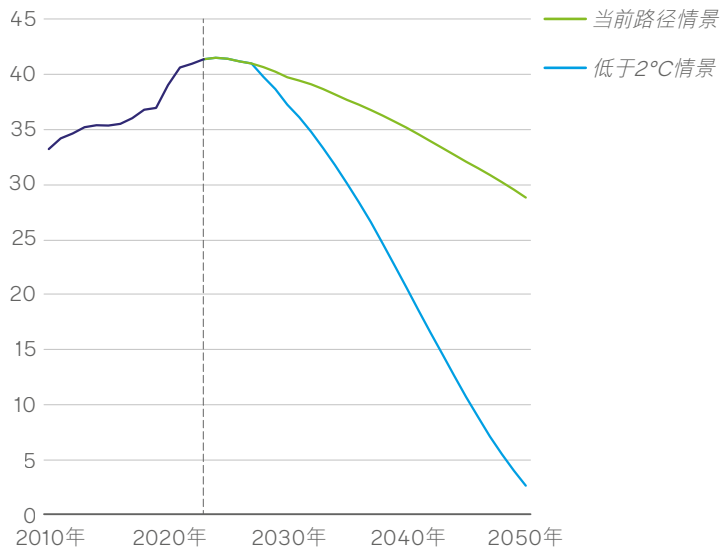
“能效乏力情景”中化石能源的强劲增长导致碳排放前景显著恶化。与“当前路径情景”中碳排放于本十年末达到峰值后逐渐下降的路径不同，能效乏力情景中的碳排放在整个本世纪 30 年代上半期持续增

加。其结果是，“能效乏力情景”中，2035 年的碳排放仍高于 2023 年水平，较“当前路径情景”高出约 7%。

保持在2°C的碳预算范围内面临的挑战

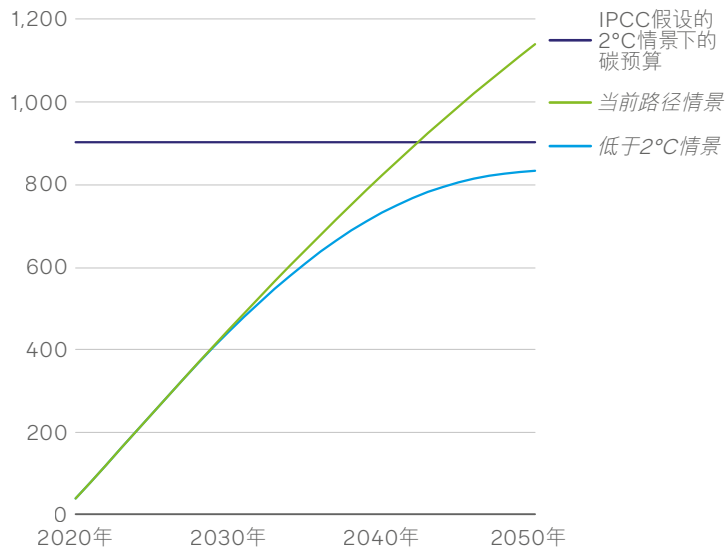
二氧化碳排放量

二氧化碳（十亿吨）



累积二氧化碳排放量（2020年之后）

二氧化碳（十亿吨）



碳排放量持续上升。能源系统在当前路径上走得越久，就越难保持在2℃的碳预算范围内。

气候科学表明，全球平均气温升幅取决于温室气体的累积排放量。在此背景下，IPCC估算了相应的碳预算。这些预算值对应着不同的概率，代表了将全球平均气温升幅控制在各个特定水平的可能性。

2℃碳预算

IPCC估算，若要以高概率（83%）将全球气温升幅限制在2℃以内，剩余碳预算约为9,000亿吨二氧化碳（从2020年初起算）。这一预算估算包含农业、林业和其他土地利用（AFOLU）产生的人为二氧化碳排放，但不包括非二氧化碳排放（如甲烷）的全球变暖效应——这些效应在估算二氧化碳预算时已单独考虑⁸。

需要认识到的是，IPCC的碳预算估算存在不确定性。例如，若将气温升幅保持在2℃以内的评估概率从83%降至67%，估算的剩余碳预算将从9,000亿吨二氧化碳增加至11,500亿吨二氧化碳。这种不确定性，以及排放量与平均气温升幅之间关系的更广泛不确定性，意味着任何基于碳预算估算的分析都只能作为说明性参考。

调整排放路径

为比较“当前路径情景”和“低于2℃情景”的隐含碳排放量与IPCC假设的2℃情景下的碳预算，对情景中的排放路径进行了调整，以包含IPCC估算的AFOLU相关排放量，并排除与化石能源生产、运输和分销以及传统生物质不完全燃烧相关的甲烷排放量的估算（见附录第100页）。

经调整的“低于2℃情景”排放路径表明，鉴于2050年净排放水平较低，同时考虑其下降速度，该情景中的累积碳排放量很可能保持在IPCC假设的2℃情景下的碳预算范围内。

超出2℃的碳预算的风险

相比之下，“当前路径情景”中的累积碳排放量将在本世纪40年代初超出IPCC假设的2℃情景下的碳预算。

这表明，全球在类似“当前路径情景”中的路径上走得越久，就越难保持在2℃的碳预算范围内。这就增加了风险，即长时间延迟将增加保持在2℃预算范围内的经济和社会成本。

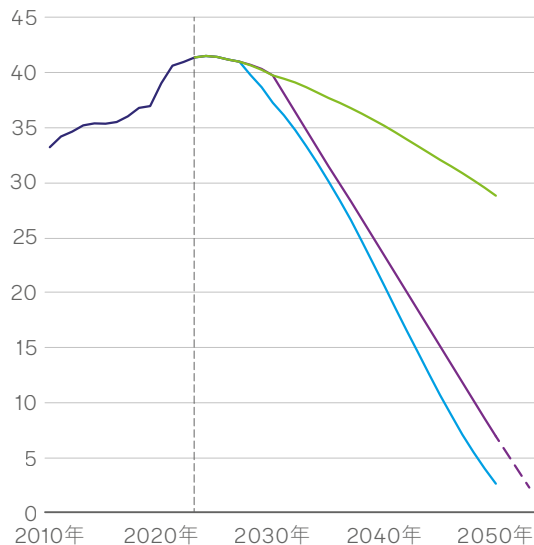
这一风险在另一个“延迟和有序转型”敏感性分析中也进行了探讨。

⁸ 见表SPM.2，估算的历史二氧化碳排放量和剩余碳预算。IPCC，《2021年：决策者摘要》。见《气候变化2021：自然科学基础》。IPCC《第六次评估报告》第一工作组编写。

延迟能源转型可能导致代价高昂且无序的调整路径

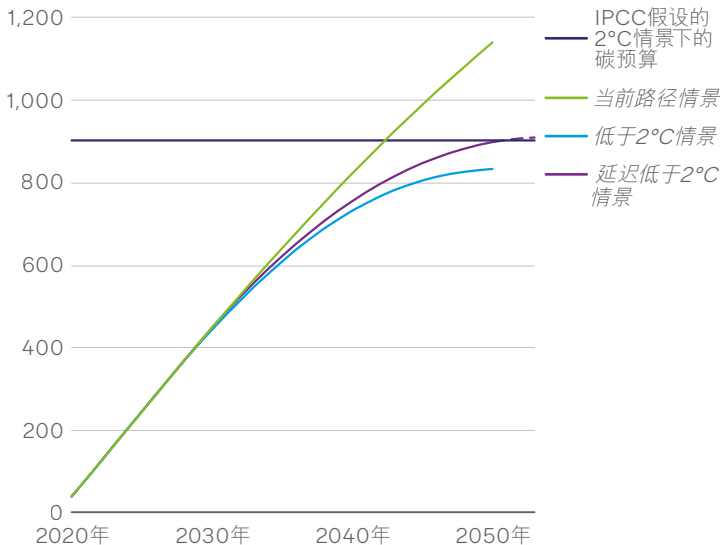
二氧化碳排放量

二氧化碳（十亿吨）



累积二氧化碳排放量（2020年之后）

二氧化碳（十亿吨）



若向更快脱碳路径的转型推迟到本世纪 30 年代初之后，将越来越难以在不引发代价高昂且无序转型的情况下实现 2℃ 的碳预算目标。

延迟和无序转型

“延迟和无序转型”敏感性分析假设全球能源系统先按照“当前路径情景”运行一段时间后，充分实施政策和采取行动，碳排放量开始加速降低，最后符合实现 2℃ 的碳预算。

该分析同时假定以“有序”的方式实现能源系统脱碳的速度是有极限的，即无需采取具有重大且广泛经济社会成本的政策和行动。

“有序”转型的最大速度是不确定的，将取决于触发加速能源转型决策的具体条件，以及决策时可用的、能够助力快速脱碳的技术。

“有序”转型

为说明目的，“延迟和无序转型”分析假设“有序”转型的最大速度可近似参照“低于 2℃ 情景”的脱碳速度。

这种程式化的假设意味着，全球能源系统沿着“当前路径情景”路径前行的时间不能迟于本世纪 30 年代太多，否则将无法实现与 2℃ 碳预算相符的有序转型。

“无序”转型

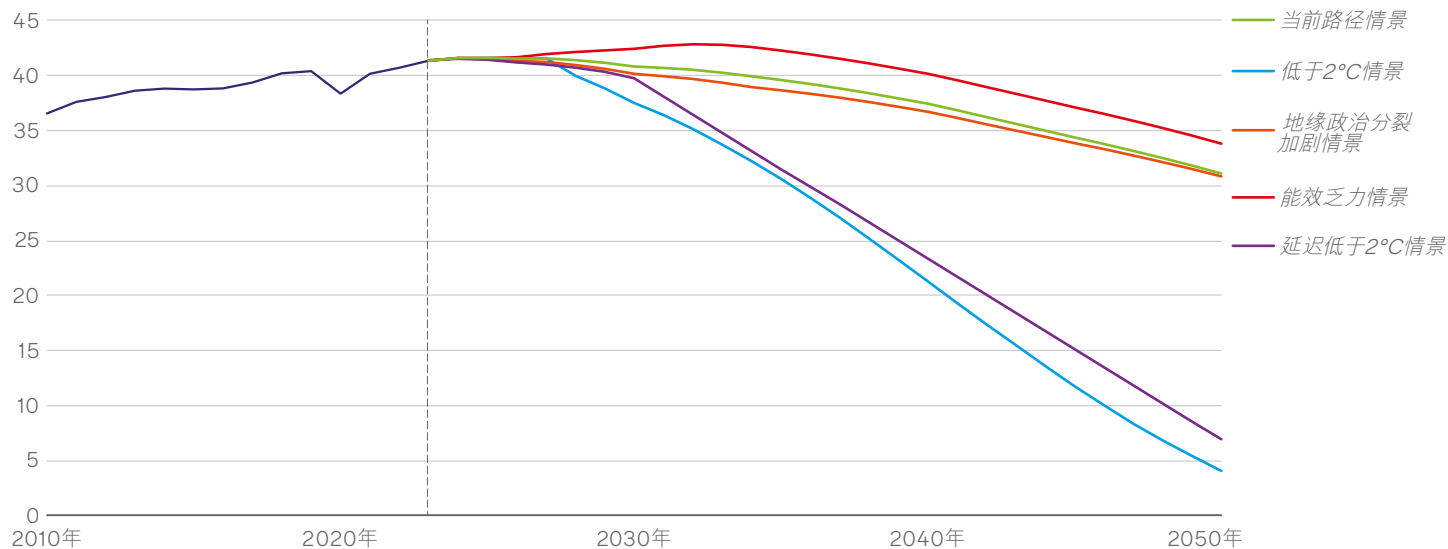
这一粗略估算表明，若向加速转型的转变推迟到本世纪 30 年代初，将越来越难以保持在 2℃ 的碳预算范围内，且后续可能需要采取代价高昂的（或“无序”的）措施。

这些措施可以采取不同的形式，但目的均是快速减少或遏制使用未经减排的化石能源和进行高排放活动，从而进一步加速脱碳速度。

三种敏感性情景对比

碳排放量

二氧化碳当量（十亿吨）



延迟低于2°C情景包含AFOLU排放，不包括能源相关甲烷排放。

三种敏感性情景与主要情景对比，凸显了能效提升速度对能源转型进程的重要影响。

将三种敏感性情景与“当前路径情景”和“低于 2°C 情景”进行对比，可得出三个值得关注的观察结果。

能效提升乏力

最显著的是能效在影响能源转型速度方面的重要性。尽管“能效乏力情景”仅假设近期的能效增长乏力态势比在“当前路径情景”中多持续约五年，但这导致碳排放前景显著恶化。

驱动此影响的一个关键因素是：相较于可再生能源和其他形式的低碳能源，化石能源往往更易受到能效增长周期性波动的影响。

化石能源这种更强的周期性特征，对于解读过去五年左右能源转型的速度也同样重要——在此期间能效

增长处于历史性乏力水平。

若在该时期，能效按既往历史平均水平提升，且非化石能源增长保持不变，则化石能源的终端消费总量增长将会更弱，石油和天然气在此期间的整体增长幅度本可减少三分之二以上，碳排放本应大致持平，而非上升约 3%。

地缘政治分裂

其次，尽管对情景的多个方面进行了大幅调整，“地缘政治分裂加剧情景”相对于“当前路径情景”对能源转型总体进程的净影响仍相对较小。

这在一定程度上反映出，地缘政治分裂加剧的不同要素对化石能源与非化石能源结构产生了相互抵消的影响，至少在本敏感性分析的建模中如此。

不过，分裂加剧对单个国家的影响可能更为显著，具体取决于该国的能源系统结构。此外，随着各国越来越多地依据自身的能源自给和能源安全需求来制定能源战略，而非以共同的脱碳目标为导向，这些不同的应对措施可能导致各国能源路径之间的差异进一步扩大。

延迟转型

第三，“延迟低于 2°C”敏感性情景与“低于 2°C 情景”相对接近。前者大致估算了全球以有序方式脱碳并保持在 2°C 的碳预算范围内的最晚时间点。这反映出在无需采取代价高昂和破坏性措施的情况下，全球能够继续沿当前路径发展且仍可实现 2°C 的碳预算目标的剩余时间相对有限。

这三种敏感性情景如两个主要情景一样，呈现高度简化和程式化的特点。因此，它们应当用于帮助理解不同不确定性和问题可能影响能源系统的大致方式，而非提供全面或详细的估算结果。

附录

汇总数据表	90
从“当前路径情景”到“低于2℃情景”	92
能源消费总量增长和能源替代	94
“地缘政治分裂加剧情景”的建模方法	96
“能效乏力情景”的建模方法	98
“延迟低于2℃情景”的建模方法	100
气候变化对经济的影响	102
碳排放的定义与数据来源	104
其他数据的定义与来源	106

汇总数据表

		2050年水平*		2023-2050年（年均）变化		2050年在一次能源中的占比	
	2023年	当前路径情景	低于2℃情景	当前路径情景	低于2℃情景	当前路径情景	低于2℃情景
按燃料列示的一次能源							
总计	601	653	449	0.3%	-1.1%	100%	100%
石油	197	158	62	-0.8%	-4.2%	24%	14%
天然气	144	173	66	0.7%	-2.9%	27%	15%
煤炭	167	102	24	-1.8%	-6.9%	16%	5%
核能	10	16	22	1.8%	3.0%	2%	5%
水电	15	21	24	1.2%	1.7%	3%	5%
可再生能源（包括生物能源）	68	182	251	3.7%	5.0%	28%	56%
按燃料列示的一次能源（本地单位）							
石油（百万桶/日）	100	83	34				
天然气（十亿立方米）	4,007	4,806	1,823				
按地区列示的一次能源							
发达经济体	202	168	123	-0.7%	-1.8%	26%	28%
美国	87	79	59	-0.3%	-1.4%	12%	13%
欧盟	52	39	27	-1.1%	-2.3%	5.9%	6.1%
英国	6.3	5.0	4.7	-0.9%	-1.1%	0.8%	1.0%
新兴经济体	399	484	325	0.7%	-0.8%	74%	72%
中国	156	135	98	-0.5%	-1.7%	21%	22%
印度	45	81	54	2.2%	0.7%	12%	12%
巴西	13	16	13	0.7%	-0.1%	2%	3%

		2050年水平*		2023-2050年（年均）变化		2050年在终端消费总量的占比	
	2023年	当前路径情景	低于2℃情景	当前路径情景	低于2℃情景	当前路径情景	低于2℃情景
按行业列示的终端消费总量							
总计	493	572	406	0.6%	-0.7%	100%	100%
运输业	121	122	92	0.0%	-1.0%	21%	23%
工业	214	246	186	0.5%	-0.5%	43%	46%
原料	41	58	42	1.3%	0.1%	10%	10%
建筑	117	145	85	0.8%	-1.2%	25%	21%
发电							
电力（千太瓦时）	30	58	70	2.5%	3.2%		
氢能（百万吨）	79	136	359	2.0%	5.8%		
产量							
石油（百万桶/日）	99	88	32	-0.5%	-4.1%		
天然气（十亿立方米）	4,059	4,806	1,844	0.6%	-2.9%		
煤炭（艾焦）	179	108	22	-1.8%	-74%		
排放量							
碳排放（净十亿吨二氧化碳当量）	41	31	4.1	-1.1%	-8.2%		
碳捕集与封存（十亿吨二氧化碳）	0.0	0.7	5.5	16.4%	25.5%		
宏观							
GDP（万亿美元，购买力平价）	142	279	279	2.5%	2.5%		
能源强度（一次能源（兆焦）/GDP（美元））	4.2	2.3	1.6	-2.2%	-3.5%		

*单位均为艾焦，除非另有说明。

从“当前路径情景”到“低于2℃情景”

对“当前路径情景”和“低于2℃情景”之间碳排放量差异的分析，重点关注电力行业和各终端用途行业（工业、交通运输、建筑）的直接和间接排放量。

电力行业

为了将电力行业脱碳化的影响与终端用途行业的用电变化区分开来，我们采用了以下方法：

“当前路径情景”和“低于2℃情景”中，电力行业直接排放量的差异可分解为两个方面：电力总需求的变化和电力排放强度的变化。“低于2℃情景”的电力需求高于“当前路径情景”，因为“低于2℃情景”

中全球电气化程度更高。“低于2℃情景”中的电力碳排放强度低于“当前路径情景”，因为更多的低碳电力能源在发电量中占比更大。在计算“当前路径情景”和“低于2℃情景”下电力行业的排放差异时，只考虑了较低的碳强度的贡献。因电力需求增加而产生的贡献则作为各行业电力需求变量分配给终端用途行业。

交易热量（通过热电联产（CHP）或热电厂）生产所产生的排放包含在电力行业中。

终端用途行业

在终端用途行业，再次将电力行业

脱碳化的影响与电力需求增长的影响区分开来。具体做法是，首先计算与能效提高和电气化等推动因素相关的碳排放量变化，同时将电力的碳强度保持在“当前路径情景”水平。在分析的结尾，最后一步是计算将发电碳强度提高到“低于2℃情景”水平所减少的排放量。各终端用途行业所采用的研究方法如下：

i) 工业行业

工业行业的分解包括化石能源生产和制氢行业的甲烷排放。碳捕集、利用与封存包括捕集水泥生产过程中的排放。能效提升的贡献包括生产过程效率的提高、工业产品和材料回收利用的增加以及减少工业产品和材料需求的措施。

ii) 交通运输行业

交通运输行业的分解包括运输活动和能源效率的贡献。这反映了每种运输方式使用方式的变化，如轻型车辆的平均行驶距离和整体能效的提高。其余贡献直接反映了从化石能源转向低碳替代品的影响。

iii) 建筑行业

节能方面的贡献包括通过改造改善建筑结构的效果、零碳建筑数量增加，以及行为改变带来的能源需求减少。此外还包括所有其他脱碳措施，包括改用电力，以及获取燃料以减少传统生物质能的使用及其相关的甲烷排放。

能源消费总量增长和能源替代

本分析旨在探讨某个地区或国家是处于能源消费总量增长阶段，即化石能源和低碳能源使用均在上升；还是处于能源替代阶段，即正从化石能源消费转向低碳能源消费。

能源消费总量增长

当整体能源需求呈上升趋势时，如果未经减缓的燃烧型化石能源消费与低碳能源使用同时增长，即定义为能源消费总量增长阶段。许多新兴经济体和部分发达经济体已经历过此情况。

能源替代

相反，如果整体能源需求增长但未经减缓的化石能源在下降，则该地区被认定处于能源替代阶段。

当整体能源需求下降而非上升时，如果化石能源的低碳能源消费和低碳能源消费同时在下降，但前者的下降速度更快，也可认定处于能源替代阶段。许多发达经济体已经历过此情况。

为避免“‘当前路径情景’下处于‘能源替代’阶段国家的一次能源”图表中年度能源数据固有的短期波动，我们对一次能源和未经减缓的化石能源消费均应用了霍德里克-普雷斯科特（Hodrick-Prescott）滤波

法。该滤波处理有助于分离长期结构性趋势，从而更清晰地了解潜在的能源转型。

电力行业消费总量增长或替代

关于电力行业消费总量增长或替代，其概念与能源消费总量增长与替代相一致，且专门应用于电力行业。也就是说，当电力行业未经减缓的化石能源使用量正在下降，或下降速度超过电力行业低碳能源使用的下降速度时，即被定义为发生了电力行业替代。在此情况下，采用居中五年平均值来平滑年度发电量数据中的短期波动。

“地缘政治分裂加剧情景” 敏感性分析的建模方法

“地缘政治分裂加剧”敏感性分析以“当前路径情景”为起点，继而叠加四重冲击变量，以此阐释地缘政治分裂加剧对全球能源系统演进可能产生的影响。

第一重冲击表现为到 2035 年 GDP 增速放缓，用于反映全球贸易疲软的影响。该敏感性分析假设，全球贸易开放度将逐步下降，导致到 2035 年全球经济活跃度较“当前路径情景”降低 4%。这一全球贸易冲击对不同地区的经济影响不同，各地区受影响程度取决于其贸易依赖度和经济发展水平。

第二重冲击表现为对国内生产能源的偏好增强，该偏好通过对能源进

口施加额外成本溢价来建模。各地区的溢价水平将根据其对不同燃料的进口依赖程度进行校准。此项溢价导致全球化石能源加权平均价格上涨 10% 至 15%。

第三重冲击则体现为对可再生能源技术国内供应链的偏好上升，该偏好通过增加平准化发电成本来建模。此建模方法导致全球太阳能与风能应用的溢价因地区和技术类型而异。此建模方法导致全球太阳能与风能的加权平均资本成本上升 12% 至 18%。该校准旨在体现现有可再生能源技术供应链的比较优势。

第二与第三重冲击共同推高了各建模地区的整体能源成本。这进而影

响了能源总需求，使得能源效率有所提升，尤其是在能源进口地区。

第四重也是最后一重冲击在于，相较于“能源不可能三角”中的其他要素，各方对能源安全的关注度有所提升，这延缓了成本较高的低碳技术的推广应用。由于各国降低了对能源可持续性的重视程度，同时面临经济活动减弱以及由此发生的预算约束收紧，这些技术的推广有所推迟。在该冲击情景的校准中，可持续航空燃料、低碳氢及碳捕集、利用与封存技术的部署时间较“当前路径情景”中的部署时间延迟了五年。

第一重冲击（即 GDP 增速放缓）

可被视为全球贸易疲软的直接后果。其余三重冲击则旨在体现在全球能源体系中，对能源安全关注度的提升可能通过哪些不同渠道呈现。

“能效乏力情景” 的建模方法

这是一项程式化的敏感性分析，其假设近期能源效率提升乏力的态势将比“当前路径情景”中的更为持久。具体而言，相较于“当前路径情景”中的能效提升路径，2024 年至 2035 年间的全球能效增长率将平均每年降低 0.4 个百分点。这一降幅与过去五年相较于前十年的能效提升乏力趋势相符。在此敏感性分析中，经调整后，2023 至 2035 年间的能效年提升率将为 14%，而非“当前路径情景”下的 1.8%。此处对能源效率的定义为能源终端消费总量与 GDP 的比值。

在此敏感性分析中，假设生物质能、太阳能、风能、核能及水电均与“当

前路径情景”保持一致。因此，能效提升乏力只会导致化石能源（石油、天然气和煤炭）的使用量增加。能效提升放缓带来的能源终端消费总量增幅，将按照各燃料及能源载体在“当前路径情景”中的能源终端消费占比进行分配。在完成此初步分配后，将依据“当前路径情景”中定义的发电与供热的热效率估算一次能源的最终增幅。

关于能效乏力仅影响化石能源使用的假设，源于过去观察到的一次能源各构成要素与一次能源总需求之间的相关性。如下表所示，过去化石能源使用量与一次能源总需求的相关性极高，而生物质能、太阳能、风能、核能及水电与一次能源总需求的相关性要低得多。这表明，过去能源总需求的中短期波动，主要体现为化石能源使用量的波动，而非低碳能源载体的波动。

按能源类型列示的一次能源	与一次能源总需求的相关性 *
石油	0.8
天然气	0.8
煤炭	0.8
生物能源	0.5
太阳能和风能	0.1
核能	0.3
水电	0.0

* 所示相关性为 1990-2023 年间年度数据的一阶差分

“延迟低于2℃情景”的建模方法

“延迟低于2℃情景”结合了“当前路径情景”和“低于2℃情景”的要素。

第一步，计算“当前路径情景”和“低于2℃情景”的经调整排放路径。这一步包括从IPCC的C3情景和C5情景（分别针对“低于2℃情景”和“当前路径情景”）中去除能源和传统生物质能产生的甲烷排放，并增加农业、林业和其他土地利用（AFOLU）产生的二氧化碳排放中位数。

在“延迟低于2℃情景”中，2030年之前的排放量累积情况与“当前路径情景”中相同。2030年之后，能源系统的转型速度与“低于2℃情景”中的转型速度基本相同，二氧化碳排放量根据不同燃料的初级消费水平计算。在“延迟低于2℃

情景”中，累计排放量约为9,000亿吨二氧化碳。

这接近IPCC《决策者摘要》报告（IPCC，2021年）中的碳预算，该报告估计，累计排放量为9,000亿吨二氧化碳时，将全球气温升幅限制在2℃以下的概率为83%。

计算2050年以后排放量的计算所基于的假设是，能源系统均基本沿着各情景中2045-2050年的路径发展，直至实现零碳排放。

参考文献

Edward Byers, Volker Krey, Elmar Kriegler, Keywan Riahi, Roberto Schaeffer, Jarmo Kikstra, Robin Lamboll, Zebedee Nicholls, Marit Sanstad, Chris Smith, Kaj-Ivar van der Wijst, Alaa Al

Khourdajie, Franck Lecocq, Joana Portugal-Pereira, Yamina Saheb, Anders Strømman, Harald Winkler, Cornelia Auer, Elina Brutschin, Matthew Gidden, Philip Hackstock, Mathijs Harmsen, Daniel Huppmann, Peter Kolp, Claire Lepault, Jared Lewis, Giacomo Marangoni, Eduardo Müller-Casseres, Ragnhild Skeie, Michaela Werning, Katherine Calvin, Piers Forster, Celine Guivarch, Tomoko Hasegawa, Malte Meinshausen, Glen Peters, Joeri Rogelj, Bjorn Samset, Julia Steinberger, Massimo Tavoni, Detlef van Vuuren. 国际应用系统分析研究所托管的《第六次评估报告》情景数

据库。国际应用系统分析研究所，2022年。doi:10.5281/zenodo.5886911|url: data.ece.iiasa.ac.at/ar6/

IPCC, 《2021年：决策者摘要》。见《气候变化2021：自然科学基础》。IPCC《第六次评估报告》第一工作组编写 [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu 和 B. Zhou (编辑人员)]。剑桥大学出版社，英国剑桥和美国纽约，第3-32页，doi:10.1017/9781009157896.001

气候变化对经济的影响

本期《世界能源展望》中使用的 GDP 概述来自牛津经济研究院。此类长期预测包含气候变化对经济影响的评估。这些评估采用了与 2020 年版《世界能源展望》。

气候变化对全球经济活动的未来影响具有极大的不确定性，这是因为气候变化现象及其与现代经济体系的相互作用的性质是前所未有的，而且可能采取的减缓和适应行动以及未来可用于这些行动的技术也存在许多不确定性。不过，人们已经尝试对其可能产生的影响进行建模。特别是，牛津经济研究院更新并扩展了 Burke、Hsiang 和 Miguel (2015 年) 提出的评估方法，该方法表明生产

率和气温之间存在非线性关系，在平均气温略低于 15℃ 时 (Burke 等人的初步评估为 13℃)，人均收入实现了增长 (人口加权平均结果)。虽然鉴于存在不确定性，任何此类结论都需要谨慎对待，但这样的温度曲线表明，“寒冷国家”的收入增长随年平均气温的上升而增加。然而，年平均气温高于 15℃ 时，人均收入增长受到气温升高的不利影响将加剧。

牛津经济研究院基准排放预测是假设到 2050 年全球平均气温将比工业化前的水平高 1.9℃。结果表明，2050 年全球 GDP 将比反事实情景中低约 2%，在这种反事实情景里，

气温变化保持在当前的水平。各地区受到的经济影响，是按照牛津经济研究院采用的凹函数评估气温演变进行分布。虽然牛津经济研究院的方法获取了与平均气温相关的通道，但这些估算不确定性极大，也不完整；例如，这种方法未明确纳入人口迁移或沿海大规模洪水造成的影响。

能源系统脱碳行动的减排成本也存在不确定性，不同外部评估结果存在显著差异。但是，大多数评估结果表明，前期成本随减排措施的紧迫程度而上升。因此，“低于 2℃ 情景”里的前期成本可能高于“当前路径情景”的前期成本。IPCC

(2022 年) 估计，将全球升温幅度限制在 2℃ (概率 >67%) 的减排成本会导致 2050 年全球 GDP 相对于参考情景损失 1.3-2.7%。在将升温幅度限制在 1.5℃ (概率大于 50%) 且无超调或超调有限的路径中，成本占全球 GDP 的 2.6-4.2%。这些估算并未考虑避免气候变化影响所带来的经济效益。

鉴于评估气候变化与减排的经济影响存在极大不确定性，且《世界能源展望》的情景均不同程度计入了这两项成本。因此，在本期《展望》中，采用的 GDP 数据是以说明性的假设为依据，即在 2050 年，这两种情景都将使 GDP 降低约 2%，

而在与之相对应的反事实情景里，
气温将维持在近年的平均水平。

参考文献

Burke, M., Hsiang, S.M. 和 Miguel, E. (2015 年)。“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。
<https://www.nature.com/articles/nature15725>

IPCC (2022 年)。《气候变化 2022: 减缓气候变化》。IPCC《第六次评估报告》第三工作组编写。
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

碳排放的定义与数据来源

若无其他说明，碳排放均指：

- 能源使用产生的二氧化碳排放（即工业、交通运输与建筑三大终端用途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产生的二氧化碳排放。
- 天然气放空燃烧产生的二氧化碳排放。
- 化石能源生产、运输与分销所产生的甲烷排放，以及传统生物能源的不完全燃烧产生的甲烷排放，以二氧化碳当量（CO₂e）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。用于氨以及甲醇生产的氢能原料所产生的二氧化碳排放，则计入氢能行业的排放。

燃烧的历史数据源自能源研究所《世界能源统计年鉴》。对于化石能源生产、运输和分销产生的甲烷排放，以及传统生物能源不完全燃烧产生的甲烷排放，其估计数据均源自国际能源署的温室气体排放数据库。

每种情景中的预期二氧化碳排放当量则以预期化石能源产量为依据，同时体现“全球甲烷承诺”等政策举措的影响。排放的净波动则是化石能源产量、传统生物质能使用与甲烷强度变化综合作用的结果。

目前对甲烷排放及其促使全球变暖的潜在影响做出的评估均存在极大不确定性。各情景采用了 IPCC《第五次评估报告》所建议的百年全球变暖潜势值（GWP）28，作为甲烷与二氧化碳当量之间的换算系数。

为了计算和比较 IPCC 与 bp 情景下 2015-2050 年的累积排放量，采用了以下方法：

IPCC 情景收集自 IPCC《第六次评估报告》的情景数据库，该数据库由国际应用系统分析研究所（IIASA）与 IPCC 第三工作组合作维护。

具体而言，我们将排放量与 C3 类别下的情景进行了对比：此类情景中，在整个 21 世纪内将全球气温升幅限制在低于 2℃ 的概率大于 67%。

到 2100 年，C3 情景的中位气温升幅为 1.6℃。而 IPCC 情景在 2100 年的气温升幅的第 5 个百分位数为 1.5℃，第 95 个百分位数为 1.8℃。

针对每种情景，数据库提供了能源

和工业的二氧化碳排放量以及能源行业的甲烷排放量。通过这些信息，可以计算出二氧化碳当量排放量，与“当前路径情景”和“低于 2℃ 情景”中报告的排放量直接进行比较。

由于 IPCC 数据库以五年为间隔提供数据，因此我们采用线性插值法估算中间年份的排放量。

为减少可能发生的失真，只纳入每种情景中每个排放变量的第 10 个百分位数和第 90 个百分位数之间的情景，以消除异常值。

最后，我们计算了从 2015 年到 2050 年的二氧化碳当量累积排放量。之所以选择这一时间段，是因为近期的排放数据可能与某些情景预测值有较大偏差。

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 2024 年 5 月更新)。

IPCC, 2006 年, 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。

IPCC, 《2022 年: 决策者摘要》。见《气候变化 2022: 减缓气候变化》。IPCC《第六次评估报告》第三工作组编写。

能源研究所,《世界能源统计年鉴》, 2024 年。

国际能源署 (2025 年),《全球甲烷追踪报告》, 国际能源署, 巴黎。

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestad, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura 和 H. Zhang, 2013 年: 人为和自然辐射强迫。见《气候变化 2013: 自然科学基础》。IPCC《第五次评估报告》第一工作组编写 [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex 和 P.M. Midgley (编辑人员)]。剑桥大学出版社, 英国剑桥和美国纽约。

Edward Byers, Volker Krey, Elmar Kriegler, Keywan Riahi, Roberto Schaeffer, Jarmo Kikstra, Robin Lamboll, Zebedee Nicholls, Marit Sanstad, Chris Smith, Kaj-Ivar van der Wijst, Alaa Al

Khourdajie, Franck Lecocq, Joana Portugal-Pereira, Yamina Saheb, Anders Strømman, Harald Winkler, Cornelia Auer, Elina Brutschin, Matthew Gidden, Philip Hackstock, Mathijs Harmsen, Daniel Huppmann, Peter Kolp, Claire Lepault, Jared Lewis, Giacomo Marangoni, Eduardo Müller-Casseres, Ragnhild Skeie, Michaela Werning, Katherine Calvin, Piers Forster, Celine Guivarch, Tomoko Hasegawa, Malte Meinshausen, Glen Peters, Joeri Rogelj, Bjorn Samset, Julia Steinberger, Massimo Tavoni, Detlef van Vuuren。国际应用系统分析研究所托管的《第六次评估报告》情景数据库, 2022 年。

Riahi, K., R. Schaeffer, J. Arango, K. Calvin, C. Guivarch, T.

Hasegawa, K. Jiang, E. Kriegler, R. Matthews, G.P. Peters, A. Rao, S. Robertson, A.M. Sebbit, J. Steinberger, M. Tavoni, D.P. van Vuuren,《气候变化 2022: 符合长期目标的减缓途径》。见 IPCC, 2022 年《气候变化 2022: 减缓气候变化》。IPCC《第六次评估报告》第三工作组编写 [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley (编辑人员)]。剑桥大学出版社, 英国剑桥和美国纽约。doi: 10.1017/9781009157926.005

其他数据的定义与来源

数据

若无其他说明，数据定义均以能源研究所《世界能源统计年鉴》为依据。所有对比数据，已重新设定基准，以便与《统计年鉴》保持一致。若无其他说明，一次能源均指能够进行市场交易的燃料和传统生物质能。本期《展望》中一次能源数据来自直接当量法：将非可燃来源的二次能源（如电能和热能）直接等同于用于生产它的一次能源，从而简化了一次能源的核算。

GDP 以 2015 年价格的实际购买力平价（PPP）表示。

行业

运输业用能包括用于轻型和重型公路运输、海运、铁路运输和航空运输的能源。轻型车辆包括车辆总重 3.5 吨以下的四轮车辆。电动汽车包括所有可插入式充电的四轮交通工具。工业用能包括用于商品和产品制造、建筑、采矿的能源、能源行业用能（包括管道运输）、农业、林业、渔业用能，以及除电力、热能与氢能生产外的转换过程所使用的能源。原料用能包括那些用于生产石化产品、润滑剂和沥青等非燃烧型燃料的用能。建筑用能包括用于住宅和商业建筑的能源。

地区

“发达经济体”大致包括美国、加拿大、欧洲以及亚洲的发达地区。“新兴经济体”指“发达经济体”以外的所有国家和地区。在预测情景里，中国指中国大陆地区。亚洲发达地区包括亚洲的经合组织成员国以及其他高收入亚洲国家和地区。亚洲新兴地区包括除中国大陆、印度和亚洲发达地区以外的所有亚洲国家与地区。

燃料、能源载体、碳和材料

若无其他说明，石油指原油（包括页岩油和油砂）、天然气凝析液（NGLs）、天然气制油（GTLs）、煤制油（CTLs）、凝析油和炼油产品。氢基燃料指所有源自低碳氢的燃料，包括氨燃料、甲醇和其他合成碳氢化合物。若无其他说明，可再生能源包括风能、太阳能、地热能、生物质能、生物甲烷与生物燃料，不包括大型水电。非化石能源包括可再生能源、核能与水电。传统生物质能指与基础技术结合使用的固体生物质能（通常不可交易），例如用于烹饪的生物质能。

生物燃料是用生物基固体或气体原料制成的液体燃料。它们包括 1) 生物汽油（乙醇）、2) 生物柴油和 3) 生物喷气燃料（ASTM 认证的喷气燃料）。它们大多通过与相关成品油等价产品混合进入市场，但也包括可直接使用的生物基液体添加燃料，如可再生柴油和生物甲醇。

沼气是通过成熟的技术（厌氧消化）产生的，直接用于供热和发电，或升级为生物甲烷用于运输、公用事业和其他应用场景。未升级为生物甲烷的沼气归入现代固体生物质能。

氢能需求包括交通运输、工业、建筑、电力以及热力行业直接的氢能消费，以及氢基燃料生产所需的原料和传统炼油与石化原料的需求。

低碳氢包括绿氢，以及生物质能结合碳捕集、利用与封存技术（CCUS）制氢，天然气结合 CCUS 制氢和煤炭结合 CCUS 制氢。《展望》中与 CCUS 相结合的二氧化碳捕集率为 90-98%。

关键数据来源

能源研究所，《2024 年世界能源统计年鉴》，英国伦敦。

国际能源署，《世界能源平衡》，2024 年。

牛津经济研究院，全球经济数据库，2025 年 4 月。

联合国经济和社会事务部人口司（2024 年）。《2024 年世界人口展望》，在线版。

免责声明

本出版物包含某些前瞻性表述，即与未来而非过去事件和情况相关。

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

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

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

济状况；人口结构变化；法律和监管动态；新技术的可用性；自然灾害和恶劣天气条件；战争和恐怖主义行动或破坏活动；公共健康卫生情况，包括传染病和大规模流行病的影响；以及本出版物所讨论的其他因素。bp 不承担因更新本、修订或补充本出版物或纠正任何明显错误所产生的任何责任。对本出版物所含信息的准确性、完整性或有效性不作任何保证或陈述。bp 公司或其任何附属企业（包括其管理人员、员工和第三方机构商）均不对因依赖本出版物中的任何信息或根据这些信息采取的行动而造成的任何损失或损害承担任何责任。



© BP p.l.c. 2025



bp Energy Economics