



RESOURCES
for the FUTURE

全球能源展望2026：世界如何失去了1.5°C的目标

报告 26-06 202
6年4月

关于作者

丹尼尔·雷米 他是未来资源 (RFF) 的学者，以及RFF能源转型倡议的主任。他还是密歇根大学公共政策Gerald R. Ford学院的讲师。2017年，他发表了 *石油开采争议* (哥伦比亚大学出版社出版的《他的旅行故事》一书，结合了他前往数十个油气生产地区的经历，并详细探讨了关键政策问题。)

Emily Joiner 他是RFF的高级研究助理。琼斯获得了亚利桑那州立大学的可持续性和经济学学士学位，以及亚利桑那大学的农业与资源经济学硕士学位。

布莱恩·哈贝尔 是RFF的高级研究员。Hubbell是空气污染对健康和环境影响的专家。他曾担任美国环境保护局研发办公室空气、气候和能源研究计划的国家项目总监。他显著领导了开发环境效益映射和分析计划 (BenMAP) 的EPA团队，这是一个现在全球范围内用于评估清洁空气效益的工具。他还领导了风险与收益组，负责评估与标准空气污染物相关的暴露和风险，并为主要的空气污染法规执行效益分析。

纳菲萨·洛哈瓦尔 她是RFF的研究员。她在获得印度理工学院坎普尔经济学学士-硕士双学位，辅修计算机科学与工程 (算法) 后，在密歇根大学获得经济学博士学位。洛哈瓦拉的研究领域位于产业组织、能源经济学和公共财政的交汇点。

Molly Robertson 她是RFF的副研究员，专注于与电力行业相关的话题，包括电网脱碳、电气化和电力市场设计。她还为RFF在公平社区转型和环境保护正义方面的日益增长的工作做出了贡献。她获得了密歇根大学杰拉尔德·R·福特公共政策学院的公共政策硕士学位。

致谢

我们感谢理查德·纽厄尔，是他构思了这个项目并多年来领导分析的生产，以及斯图·伊勒，他最初开发了协调观点的平台。我们还感谢IEA的劳拉·科齐和达维德·安布罗西奥，埃克森美孚的尼古拉斯·奥斯汀，挪威国油公司的阿斯特里德·纳维科，BP的迈克尔·科恩和豪尔赫·布拉兹克，IEEJ的永见裕，OPEC的朱利叶斯·沃克，彭博新能源金融的马蒂亚斯·基米尔和安舒卡·维尔玛，以及道达尔能源的托马斯·奥利弗·莱奥迪埃和马克·亨利奥，他们为准备这份报告提供了数据并回答了问题。艾米丽·琼尔负责数据收集和协调。丹尼尔·莱米和琼尔负责数据分析及报告起草，第3部分除外，该部分的首席作者为莱米（3.1和3.5）、布赖恩·赫贝尔（3.2）、琼尔和莫莉·罗宾逊（3.3）以及纳菲萨·洛哈瓦拉（3.4）。

关于RFF

未来资源研究所（RFF）是一家位于华盛顿特区的独立、非营利性研究机构。其使命是通过公正的经济研究和政策参与，改善环境、能源和自然资源决策。RFF致力于成为最值得信赖的研究洞察和政策解决方案的来源，以促进健康的环境和繁荣的经济。

此处表达的观点为作者个人观点，可能与RFF其他专家、其官员或其董事的观点不同。

分享我们的工作

我们的作品可在遵循署名-非商业性-禁止演绎 4.0 国际（CC BY-NC-ND 4.0）许可协议的情况下分享和改编。您可以在任何媒介或格式中复制并重新分发我们的材料；您必须给予适当的信用，提供许可协议链接，并指明是否进行了修改，且不得附加任何额外的限制。您可以选择任何合理的方式来做事，但不能以任何方式表明许可方支持您或您的使用。您不得将材料用于商业目的。如果您混合、转换或基于材料创作，您不得分发修改后的材料。更多信息，请访问 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>。

亮点



世界将超过1.5摄氏度的升温 到2050年超过前工业化水平。尽管在减少全球排放轨迹方面取得了一些成功，实现2015年巴黎协定“宏伟目标”的1.5°C目标已不再可行。将温度上升限制在2°C将极具挑战性，并需要额外的政策努力。



电力需求激增 全球电力消耗的预测在近年来已经被上调，这反映了数据中心需求的增加以及交通等终端使用领域的电气化。尽管这些趋势在不同地区有所不同，但它们共同构成了一个快速电气化的世界。

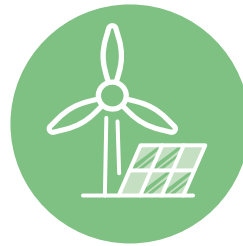


全球煤炭需求增长速度超过了预期。 尽管过去几年的预测显示煤炭将减少，但关键市场的电力需求激增支持了这一行业。在美国，联邦政策制定者正在采取积极措施支持煤炭。这些努力可能会减缓——但不太可能逆转——美国煤炭的下降趋势。



全球各地区能源需求差异较大。

煤炭、石油和天然气的需求在“西方”（美洲、独立国家联合体（CIS）和欧洲）普遍下降。在“东方”（非洲、亚太地区和中东），在许多情况下，煤炭需求下降，而石油和天然气需求增长。这些差异在交通领域尤为明显。



风能和太阳能引领未来能源增长 在大多数情况下，到2050年，风能和太阳能将占全球电力发电量的一半以上。这些能源从2000年电力组合中的微不足道部分增长到2024年的近15%。风能和太阳能将继续增长，但维持近年来快速增长的速度可能需要持续的政策支持。

内容

1. 简介	1
2. 主要发现	3
3. 焦点	13
3.1. 未选择的路：世界如何失去了1.5°C的目标	13
3.1.1. 煤炭	14
3.1.2. 油	15
3.1.3. 天然气	16
3.1.4. 核	17
3.1.5. 太阳能	18
3.1.6. 风	19
3.2. 评估全球煤炭发电的未来	20
3.3. 发电区域预测的演变	26
3.4. 全球运输能源将何去何从？	30
3.5. 全球碳排放强度大幅下降	34
4. 数据与方法	38
4.1. 协调一致	40
5. 统计数据	42
6. 参考文献	51

1. 简介

2025年的事件动摇了全球秩序。很大程度上，由于美国在言辞和政策上的变化，国际经济和安全体系的关键支柱受到了质疑。¹ 全球对能源和气候的期望也随之受到冲击。2015年巴黎协定提出将全球气温上升控制在工业化前水平以上1.5摄氏度的“雄心目标”已有十年，现在看来实现这一目标已不再可行。全球领导人越来越多地关注能源安全和可负担性，在很多情况下将气候变化降为次要（或更低）的优先事项。然而，防止全球气候变化最严重的后果依然至关重要，这凸显了在确保可靠和可负担的能源供应的同时，继续努力减少排放的重要性。

一种考虑能源和气候未来的方法是，通过年度长期能源展望，明确基于对未来政策、技术、成本和其他因素不同假设的不同轨迹。2025年发布的展望展望了广泛的可能未来，但并未规划出实现1.5°C目标的可行路径。具体来说，2025年发布的两个1.5°C情景（BNEF和Equinor）是以前年份准备的情景的复制，国际能源署（IEA）的1.5°C情景在2100年之前超过1.6°C，然后在2100年降至1.5°C。因此，我们通常排除这些情景，而是关注反映当前现实情况的情景。

我们包含的前景为能源的未来提供了有价值的洞见，但由于单位、假设、地理分组等多方面的差异，它们并不容易进行比较。在此，我们通过八家组织对15个场景进行协调，力求提供尽可能接近 apples-to-apples 的预估。这些前景和场景在表1中呈现，并在第4节中进行详细讨论。

一份关于我们方法的简要描述见第4节“数据与方法”，部分指标见第5节“统计”。

关于完整的方法论和交互式图表工具，请访问：www.rff.org/geo

网址：www.rff.org/geo .

为了增强可解释性，我们在本报告的图表和在线数据工具中使用了一致的符号系统。根据其（²）将场景分为三类。潜在假设或在某些情况下，二氧化碳（CO₂）的轨迹

排放（表2）：

为参考情景，假定政府未实施新的政策或遵循类似的全球排放轨迹，我们使用长虚线。本组包括Equinor（Plazas）、ExxonMobil、IEA（CPS）、IEEJ、OP EC和Total（Trends）情景。

^a 前面我们所审查的报告是在美国在委内瑞拉和伊朗进行军事活动之前精心准备的。它们无疑会影响2026年的模拟和预测，但在这里并未反映出来。

• 对于假设政策和技术根据最近趋势或编制展望的团队的专家观点发展变化的政策情景，我们使用实线表示。本组包括BP当前轨迹、BNEF ETS和IEA STEPS。我们还包括Equinor Walls、IEEJ先进技术和Total Momentum，因为它们的排放轨迹类似。

宏大的气候情景设计并非围绕政策展开，而是旨在实现特定的气候目标。对于这些情景（2°C以下，总体断裂），我们使用虚线。我们排除了1.5°C情景。

表1. 本报告中考察的展望与情景

源	展望	情景	年
BNEF (2025)	新能源展望 2025	能源转型情景 (ETS)	到2050年
bp (2025)	能源展望2025	当前轨迹，低于2°C	到2050年
挪威 Equinor (2025)	2025能源展望	墙，广场	到2050年
埃克森美孚 (2025)	2025全球展望	参考	到2050年
IEA (2025)	世界能源展望 2025	当前政策情景 (CPS) 说明政策情景 (STEPS)	到2050年
IEEJ (2025)	IEEJ展望2026 (发布于2025年)	参考，高级技术	到2050年
OPEC (2025) 石油输出国组织世界石油展望2050	2025世界石油展望2050	参考	到2050年
总计 (2025 ⁹)	能源展望2025	趋势、势头、断裂	到2050年

表2. 不同场景类型图例

参考	不断演变的政策	雄心勃勃的气候变化
— — — 挪威Equinor广场	——— BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经)	bp 低于排放交易系统)
— — — 埃克森美孚	——— 目前轨迹 彻底断裂
— — — IEA CPS国际能源署 能源政策司	——— 挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	
— — — IEEJ 参考文献	——— IEA步骤	
— — — OPEC参考	——— IEEJ 高级技术	
— — — 总体趋势	——— 总动量	

本报告中的图表经常提及“东方”和“西方”地区分组。我们定义“东方”为非洲、亚太地区和西亚；而“西方”则指美洲、独立国家联合体 (CIS) 和欧洲。

2. 主要发现

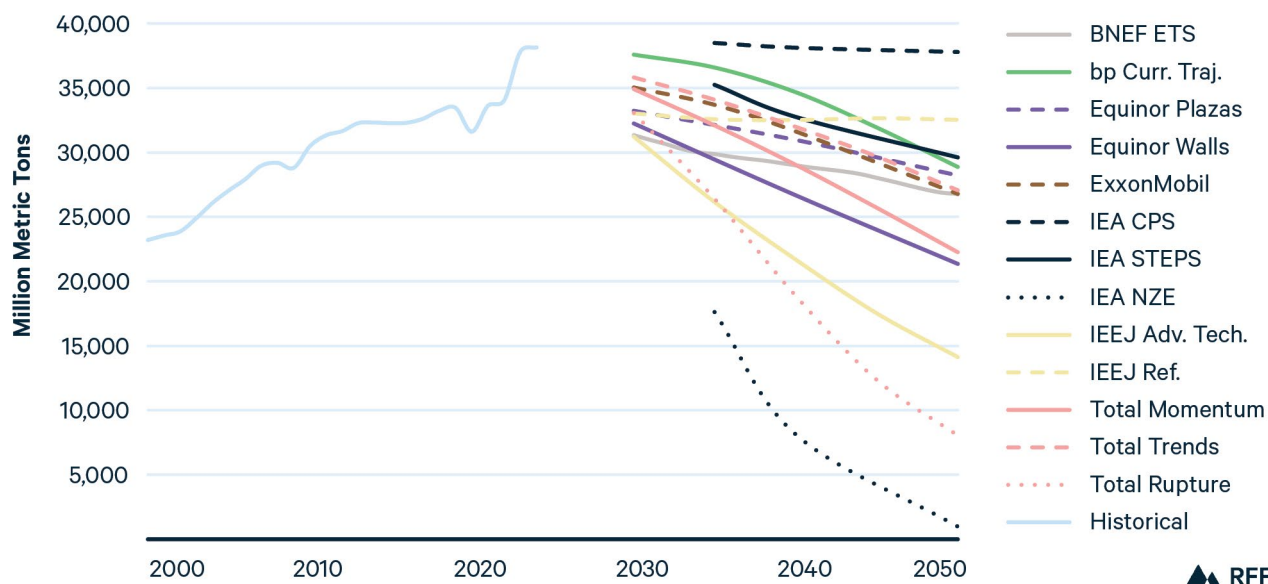
在2025年，目标变得清晰，那就是…… 将升温限制在1.5°C已经不再可行。（第3.1节）。虽然防止气候变化的最坏影响仍然是一项全球性的重要任务，但1.5°C或到2050年实现碳中和的情景现在只能提供很少的实际指导。温度超过1.5°C后再次下降的“超出”情景在技术上是可能的，并且其中一些与其他技术的历史增长率相一致。⁹ 然而，许多雄心勃勃的气候情景中采用的负排放规模引发了一系列关于土地利用、水资源消耗等方面的艰难权衡问题。¹⁰

温室气体（GHG）排放持续增长，全球能源相关CO₂

² 2024年排放量超过38,000万吨（MMT）。尽管几乎所有情景都预测排放量将在2030年至2035年之间达到峰值，但到2050年的减排幅度却大相径庭（图1）。国际能源署（IEA）的“2050年净零排放”（NZE）情景则截然不同。在该情景下，到2050年，排放量以复合平均年增长率（CAAGR）计算，每年下降13.4%。作为参考，本世纪以来全球最大的一次排放量下降发生在2020年，当年排放量下降了5%，这是由于以下原因造成的：CO₂
² COVID-19大流行

图1. 世界网络二氧化碳排放

²

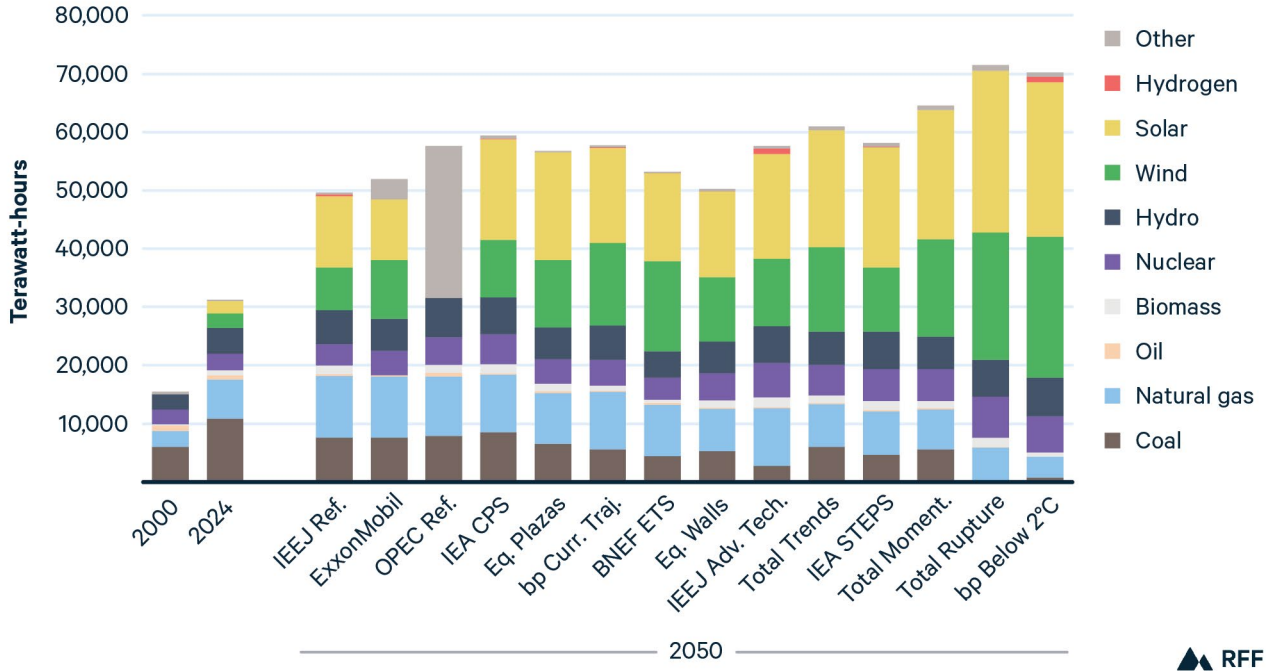


备注：历史数据来自国际能源署。bp的2°C以下情景完整数据不可用。

一些参考情景，例如IEA CPS和IEEJ参考情景，预测到2050年排放量将呈现大致的平稳态势，而Equinor、ExxonMobil和Total的参考情景则显示到2050年排放量将下降29%。随着政策的演变，情景差异很大，到2050年的减排比例从IEA STEPS的仅6%到IEEJ高级技术的62%，与2024年水平相比。

全球 **电力需求** 浪涌。从2000年到2024年，全球发电量大约翻了一番。在接下来的25年里，增长范围从最低的59%（IEEJ参考）到在雄心勃勃的气候情景下再翻一番以上。在所有情景下，增长主要由 **风** 并且 **太阳能**（图2）

图2. 2050年世界电力发电量



来源：IEA历史数据。注：按化石燃料总水平从高到低排序的2050情景。“其他”包括OPEC的风能和太阳能。IEA包括削减的电力发电量，而其他则不包括。

排放远未达到全球目标，可再生能源预计将 尽管CO₂

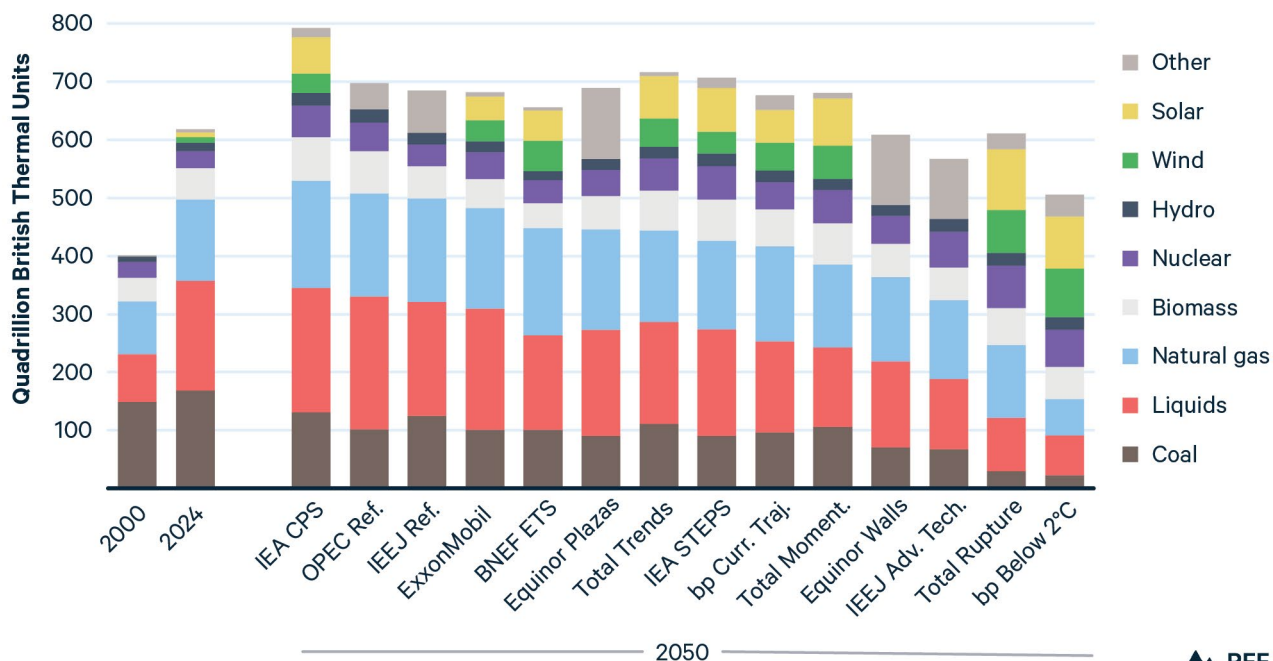
引领世界电力发电。到2050年，风能和太阳能合计占世界电力发电的40%至72%。将水电、生物质能和地热能纳入计算，可再生能源从2024年的30%增至在参考政策和演变政策情景下2050年的52%至70%，在雄心勃勃的气候情景下则超过80%。

核能也在所有情景下显著增长。尽管没有任何情景预测到到2050年核能将增加三倍，如十几个国家所承诺的那样。¹¹ 在最悲观的情景下，核能增长31%（IEEJ参考）并在雄心勃勃的气候情景下翻一番以上。

在任何情景下，煤炭发电到2050年都将下降，从国际能源署（IEA）的CPS预测的下降21%到道达尔公司“断裂”下的完全淘汰，中位情景（当前轨迹基准）显示下降48%。另一方面，天然气在所有参考和演变政策情景下都会增加。在这些情景下，到2050年，增长从7-8%（挪威国家石油公司“壁垒”、道达尔“趋势”）到超过2024年水平的56%（IEEJ和埃克森美孚参考）不等。

全球 初级能源需求 到2050年增长缓慢。除了IEA CPS情景外，所有情景下的平均年增长率都远低于1%，在四种情景中，到2050年一次能源需求量将下降（图3）。

图3. 2050年全球一次能源需求



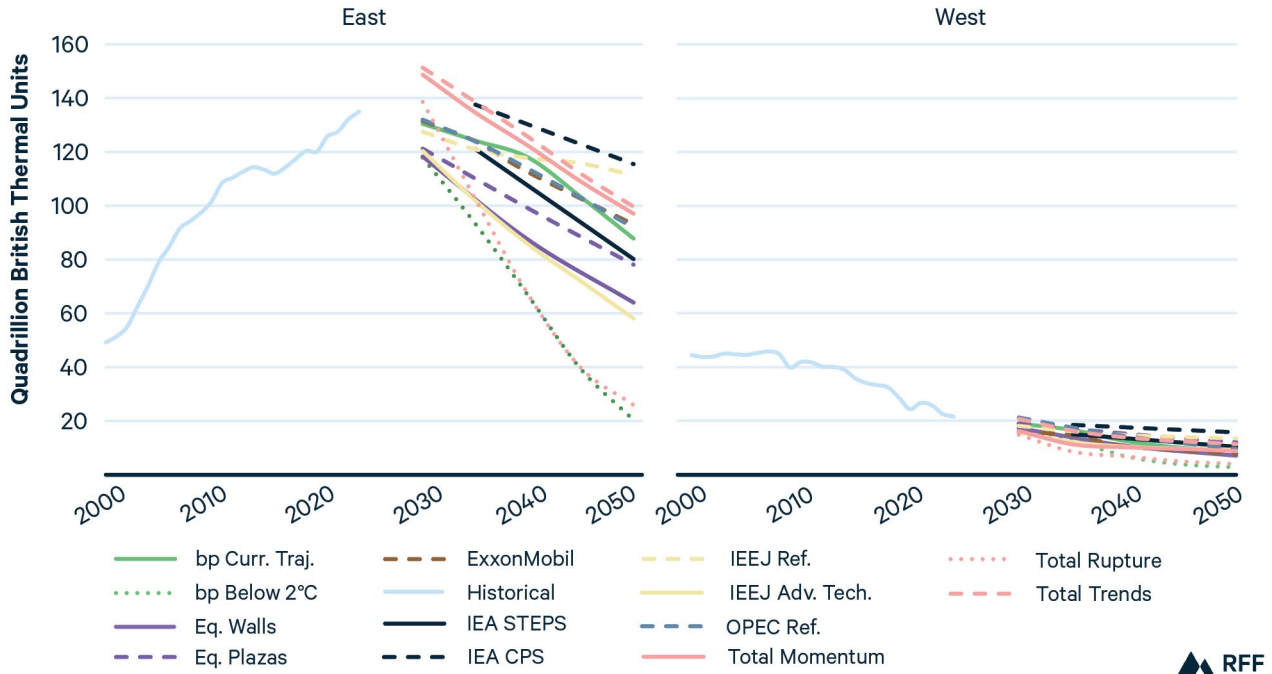
来源：IEA历史数据。注意：按化石燃料需求从高到低排序。“生物能源”不包括生物燃料，后者包含在“液体”中。“其他”包括IEEJ、Equinor和OPEC的风能和太阳能，以及BNEF的水能。

在所有情景下，主要的能源结构都会发生显著变化。可再生能源，以风能和太阳能为主导，从2024年的大约15%提升到2050年超过20%，中等情景下保持在约30%。尽管总初级能源增长仅1%或更少，但在最悲观的情景（OPEC参考）下，可再生能源按复合年增长率(CAAGR)增长1.6%，在大多数情景下年增长超过3%。

这些可再生能源的收益代表全球能源转型还是进一步的能源增加？答案是混合的。在所有情景下，煤炭到2050年都将减少，以复合年增长率（CAAGR）计算，每年至少下降1%。在参考情景下，液体燃料（原油）的增长适度，但在演变政策情景下缓慢下降，在IEA STEPS情景下，每年仅下降0.1%。另一方面，天然气在除了三种情景之外的所有情景下都会增长，增长率有相当大的变化。例如，根据BNEF ETS，到2050年天然气占全球能源组合的28%，但在IEA的CPS和STEPS情景中扮演的角色较小，分别占22%和23%。

尽管前景 **煤炭** 在美国特朗普政府时期有所改善（第3.2节），全球煤炭需求一直由全球东半球主导，并将继续如此。尽管在世纪之交，东西方煤炭消费量相似，但到2024年，东方（以中国为首）的煤炭使用量几乎是西方的六倍。在所有情景下，两个地区的煤炭需求都在下降，但下降的速度差异很大（图4）。

图4. 各地区煤炭需求



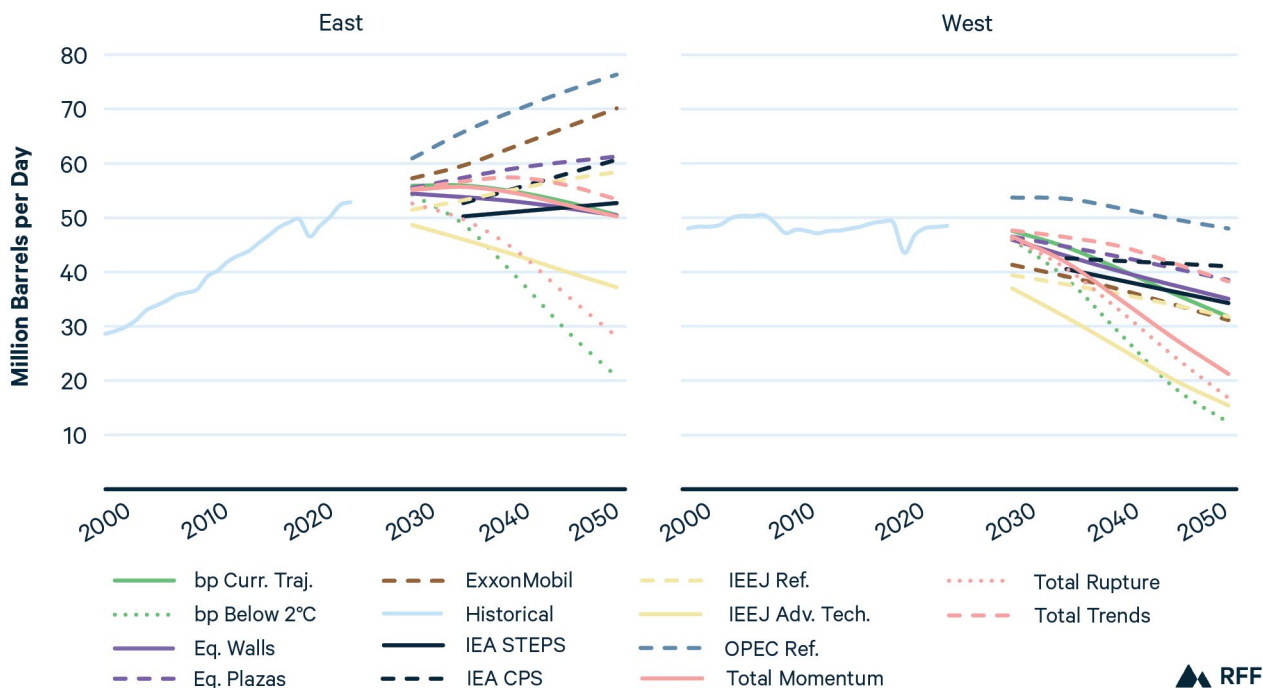
来源：能源学院的历史数据。¹²

东方煤炭需求下降是由中国推动的，因为随着中国建设核能和可再生能源，煤炭逐渐被淘汰。在最乐观情景下（IEA CPS），中国煤炭需求下降36%，在IEA STEPS情景下下降60%。在印度，作为该地区的第二大消费者，煤炭需求强劲增长，但变化幅度很大，从OPEC和IEA CPS情景下的28%到IEEJ参考情景下的77%不等。在亚太其他地区，煤炭需求在参考情景下大致保持平稳，但在政策演变情景下有所下降，在IEA STEPS情景下下降20%。

在美洲、独联体和欧洲，在各种情况下，到2050年煤炭都将显著下降，在最乐观情景下（国际能源署预测方案）预测降幅将达到36%。在这种情况下，美国煤炭需求下降43%。在其他所有情景下，美国的下降幅度更大，到2050年煤炭下降超过75%。在欧洲和独联体，煤炭在最乐观情景下约下降三分之一，在其他预测中降幅至少为50%或更多。

全球对石油由东方驱动，这一趋势在参考情景下持续，东方持续增长，西方缓慢下降。然而，在大多数演变政策情景下，东部的石油需求仅适度下降，而在西部则迅速下降，降幅超过20%（图5）。

图5. 各地区石油需求



来源：能源学院的历史数据。¹²
 注意：除IEA和IEEJ之外的所有展望都包括按原产地区分的重油燃料。

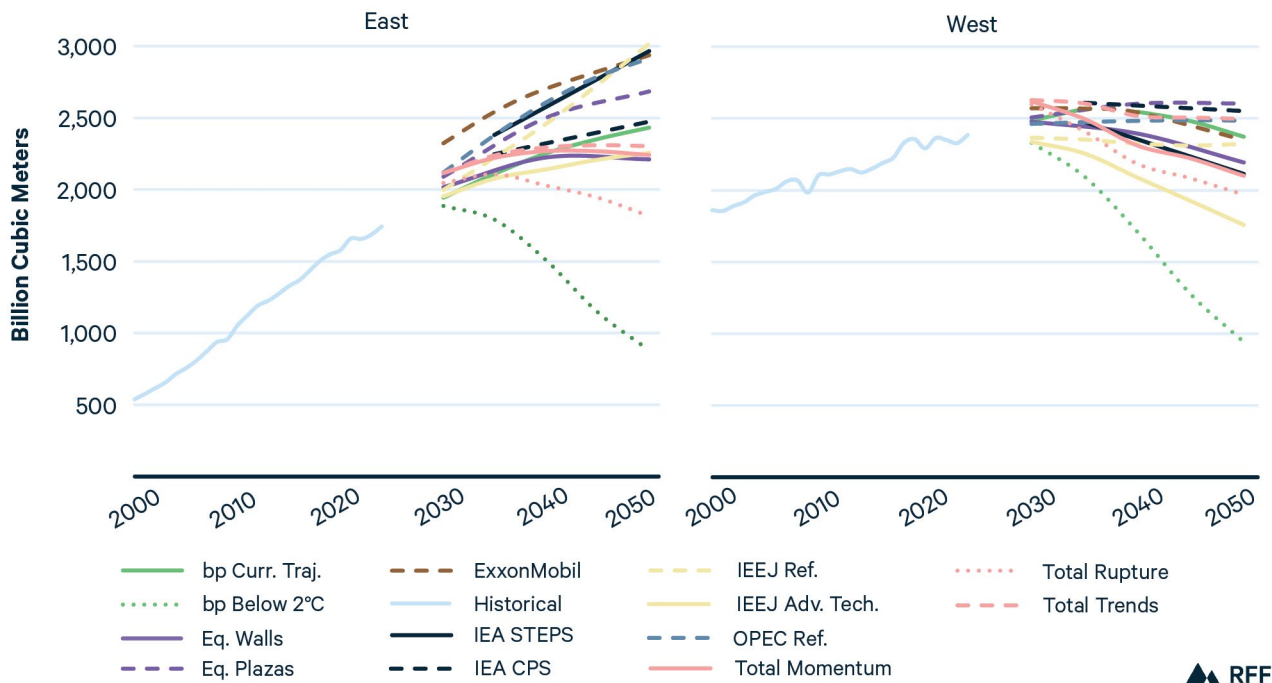
尽管在所有情景下，西方的石油需求都呈下降趋势，但对该地区的展望却预计存在差异。2024年，美国占该地区石油需求的41%，这一数字在IEA的STEPS和CPS情景下大致保持平稳，但在大多数其他情景下则会下降。在欧洲和独联体所有情景下，需求都呈下降趋势，而拉丁美洲在所有参考和演变政策情景下均呈增长态势。

在东半球，中国2024年的石油需求约占三分之一。但中国的石油需求在2050年之前的所有但两种情况下（OPEC参考和Equinor Plazas）都将减少，在大多数情况下将下降到区域需求的大约四分之一。这种下降在很大程度上是由中国快速电气化轻型汽车、以及日益增多的中型和重型汽车车队所推动。在印度，石油需求增长强劲，参考情景中翻了一倍多，在政策演变情景中增长40至70%。在澳大利亚、韩国和日本等高收入亚太国家，包括相关数据的少数情景中，石油需求稳步下降。

在非洲，石油需求迅速增长，在埃克森美孚、国际能源署和欧佩克参照情景下，需求量大约翻一番，而在bp、国际能源署和道达尔的政策情景下，需求量增长在60%至70%之间。这种增长主要归因于人口增长和GDP的快速上升，根据国际能源署和欧佩克的预测，到2050年，GDP将大约增长三倍。

需求量 天然气 在全球范围内，在参考和不断演变的政策情景下发展，东西方差异显著。在演变的政策情景下，东部的天然气需求以CAAGR (累计平均增长率) 计算每年增长超过1%，而在参考情景下大约增长2%。然而，在西方，参考情景下的需求大致持平，而在演变的政策情景下有所下降。

图6. 各地区天然气需求



来源：能源学院的历史数据。¹²
注意：埃克森美孚包括放空的天然气。

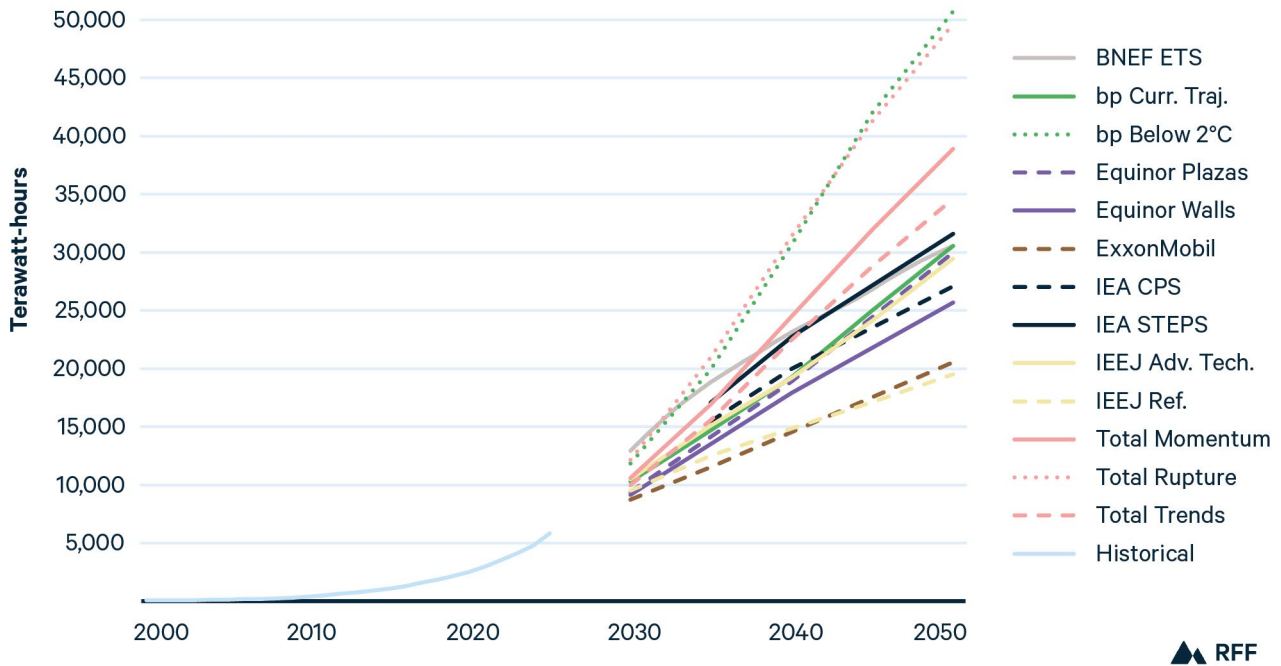
在东方，中国和西亚目前约占全球天然气需求的60%。在中国，中央情景预测到2050年复合年增长率 (CAAGR) 约为1-2%，尽管IEEJ的预测更为悲观 (参考技术和先进技术情景下的CAAGR分别为0.4%和-3.6%)。在中东，在参考政策和演变政策情景下，CAAGR的增长率介于1.1%到2.3%。然而，道达尔 (Total) 的预测通常比其他展望更为悲观，在其动势和趋势情景下预测的增长率为0.7%。

尽管2024年其规模仅为75立方千米，但印度的需求在CAAGR (平均年增长率) 条件下每年增加约3%-5%，到2050年可能超过三倍。在演变政策情景下，非洲的预测增长率在1.3%-1.9%之间，而参照情景下增长率为2.5%-3.7%。

在西方，拉丁美洲的需求在所有情景中上升，而在欧洲则下降，但在独联体地区保持稳定。在美国及北美更广泛地区，参考情景中天然气需求保持稳定，但在政策演变情景中缓慢下降。

在任何情况下，风 并且 太阳能 到2050年将增加一倍以上。然而，近期部署的快速步伐表明，许多这些预测可能过于悲观。从2014年到2024年，按年度复合平均增长率（CAAGR）计算，全球风能和太阳能发电量每年增长超过18%，2024年增长了16%。在最为乐观的情景（BP低于2°C）下，风能和太阳能发电量将持续以9%的CAAGR增长至2050年，而在埃克森美孚和IEEJ更为悲观的情景下，年度增长率将放缓至5%（图7）。

图7. 全球风能和太阳能发电



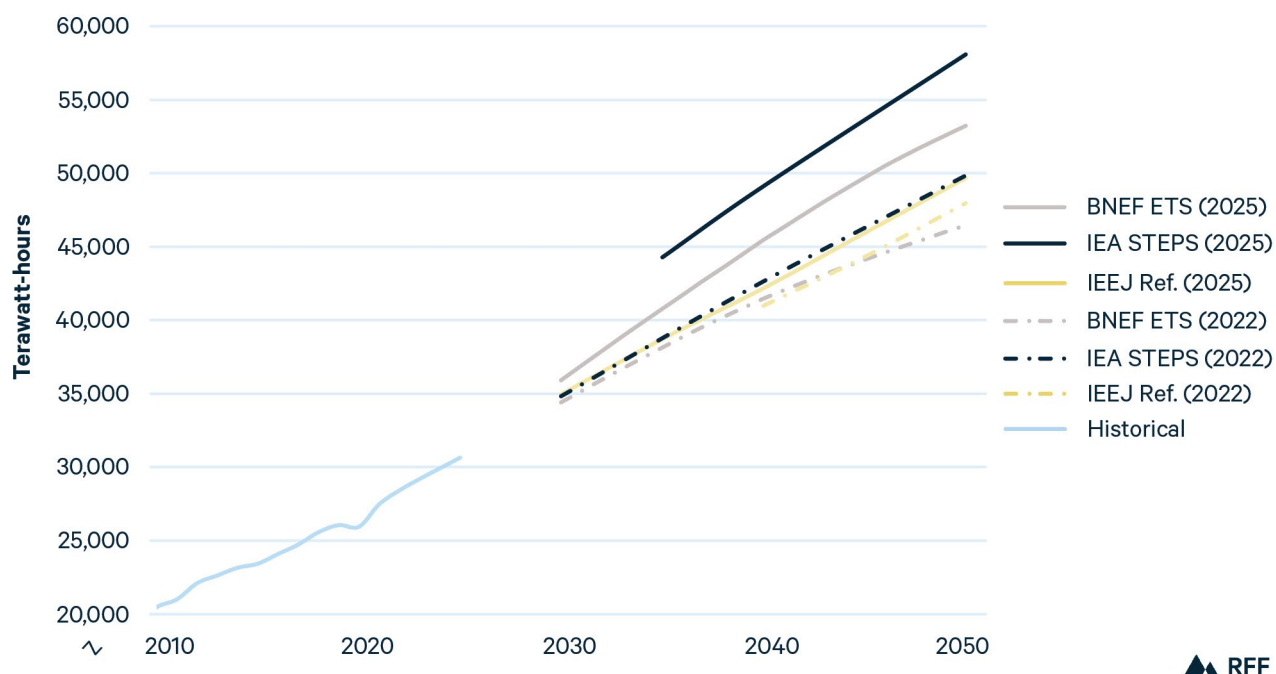
来源：BNEF的历史数据。

另一种看待风能和太阳能增长的方式是将其与总体电力需求增长进行比较。2024年，全球电力产量增加了1254太瓦时（TWh）。在这段时间内，风能和太阳能增加了650 TWh，这代表了2024年所有新增全球电力产量的一半以上。相比之下，煤炭、天然气和核电产量分别增加了110、155和95 TWh。

2023年COP28会议上，100多个国家承诺到2030年将可再生能源发电能力增加两倍。¹³ 2024年，全球可再生能源装机容量增长了16%，其中风能和太阳能占据了增长量的95%。如果可再生能源继续以每年16%的速度增长，到2030年全球装机容量将几乎增长两倍。当然，保持每年16%的增长率绝非易事，并将需要持续的政策支持和积极的投资。

The growth of **电力需求** 这是2025年能源展望中的核心叙述。这种预期的增长主要归因于人工智能（AI）的繁荣、交通电气化以及全球空调的扩张。正如国际能源署（IEA）在其展望中提到的，从数据中心来的电力需求预计将在2024年至2030年间翻倍。⁵ 我们可以通过比较2022年（人工智能工具快速增长之前）和2025年的看法来观察到这一动态的影响（图8）。

图8. 预测的全球电力发电量，2022年和2025年

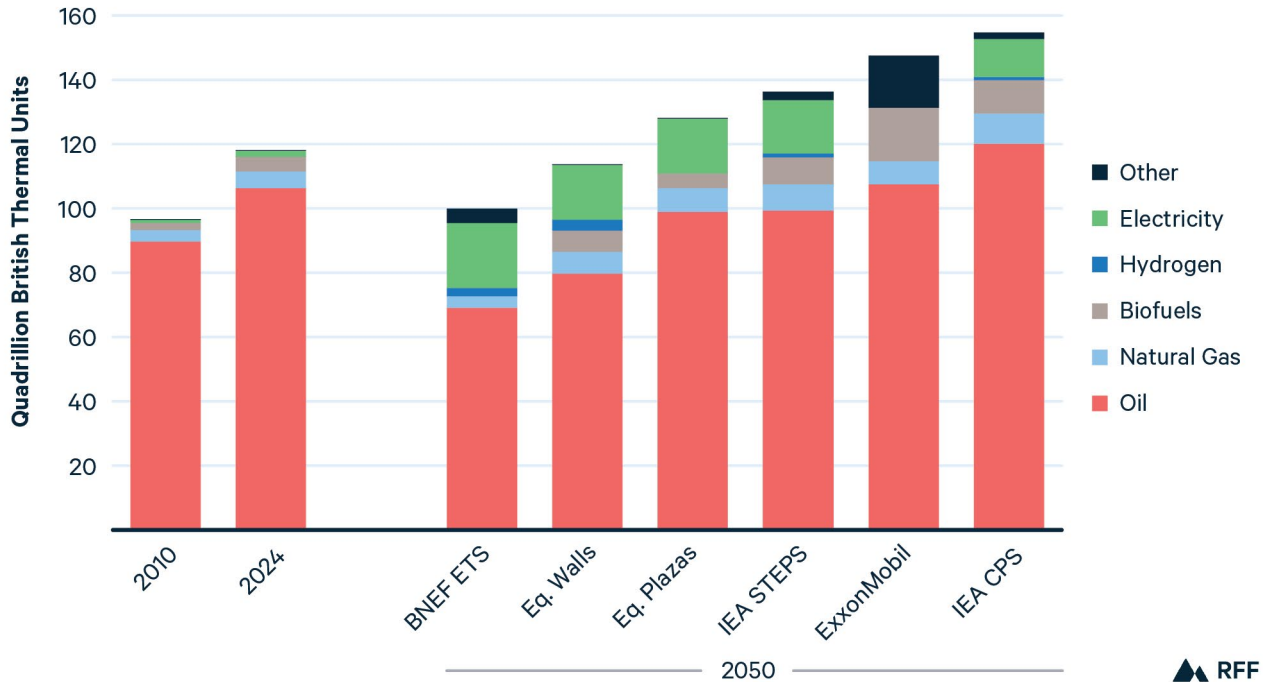


来源：BNEF的历史数据。

BNEF、IEA和IEEJ的展望已上调其估计，2025年的情景预测从2024年到2050年复合年增长率（CAAGR）至少为2%。与2022年的等效情景相比，2025年的2050年预测值对IEA STEPS和BNEF来说高出7,000-8,000太瓦时，而IEEJ的参考情景显示更为温和的上调（2,000太瓦时）。这些调整从IEEJ参考情景的3.6%增长到IEA STEPS的16.5%增长不等。更高的预期需求在很大程度上由风能和太阳能满足，我们在第3.3节中详细说明了这一点。

预测全球 **交通运输行业** 到2050年，能源来源将展现更丰富的组合，尽管依然主要依赖石油。2024年，石油在全球交通运输能源使用中占比90%，但在2050年的份额介于69% (BNEF ETS) 和78% (IEA CPS) 之间。尽管其占比下降，但在大多数情况下，石油的消耗总量保持相对稳定或有所增加 (IEA CPS) ，但在BNEF和Equinor的情景下则显著下降 (图9) 。

图9. 按燃料分的世界交通运输终端能源



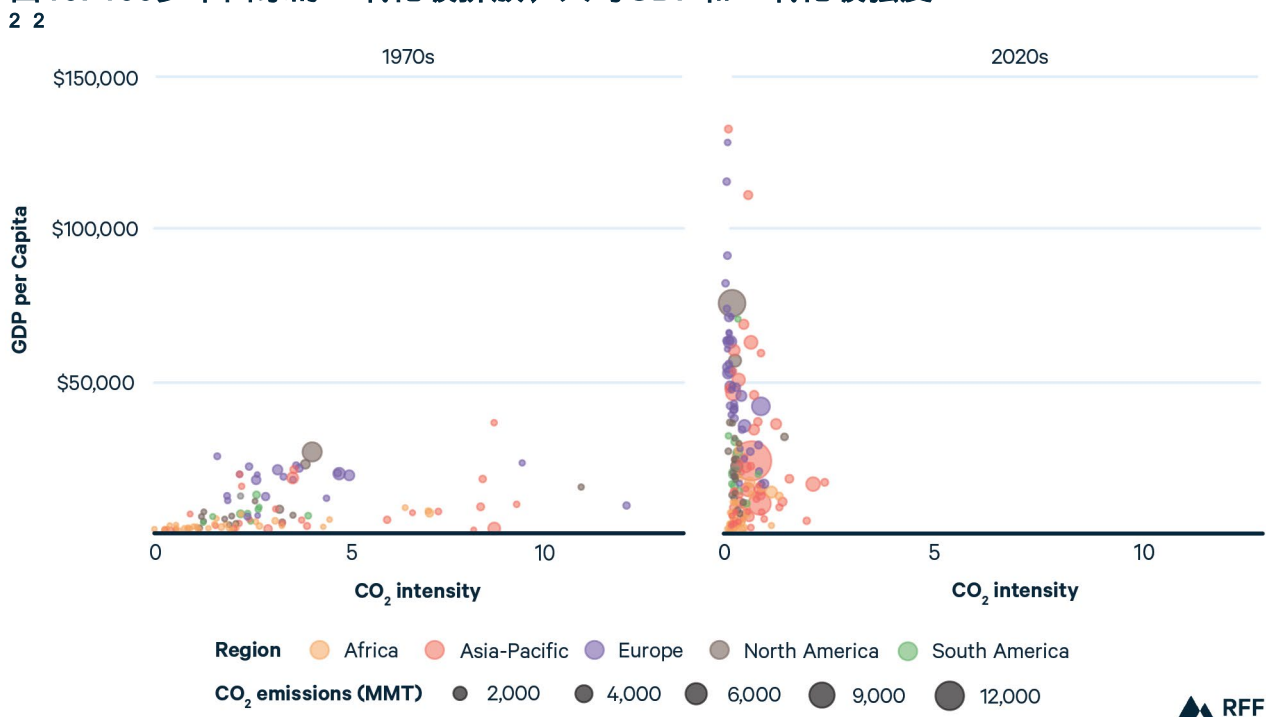
来源：国际能源署历史数据。注：“其他”包括生物燃料及其他BNEF和氢，电力及其他ExxonMobil的来源。情景按2050年石油需求从低到高排序。

到2050年，交通运输领域的电力使用量将增长6到10倍，占比可达到BNEF ETS能源结构的20%。生物燃料在大多数情景下也会增长，按照埃克森美孚的基准情景，到2050年将占到燃料结构的11% (约17 QBtu)。氢的贡献相对较小，在BNEF ETS和Equinor Walls中最高可达2-3% (约3 QBtu) ，大部分消费发生在长途运输等重型交通方式中。

整体能源需求在这些场景中差异很大。这些差异是由几个因素驱动的，包括关于政策发展的不同假设、关于技术革新速度的不同观点，以及关于车队更新率的假设的不同。我们在第3.4节提供了额外的数据和解析。

虽然二氧化碳排放量稳步上升，但全球经济已经变得远²
 更低碳密集，财富更多（第3.5节）。在20世纪70年代，中等国家的碳强度为每100
 0美元GDP（2021年美元）2.4吨二氧化碳，而中等GDP²
 人均约为5000美元。到2020年代，中等国家的碳强度仅为每1000美元0.3吨，而人
 均GDP增长到超过16000美元（图10）。

图10. 100多个国家的二氧化碳排放、人均GDP和二氧化碳强度



来源：欧洲统计局、经济合作与发展组织、国际货币基金组织、世界银行的数据¹⁴ 通过我们世界的数据进行轻微处理。全球碳收支的排放数据¹⁵ 经我们的世界数据网站主要处理。注意：由于卡塔尔和阿联酋的数值超过了每1000美元国内生产总值20吨的指标，因此将其排除在20世纪70年代的统计之外，这使得数据难以解读。20世纪70年代包括1970年至1979年（含），2020年代数据包括2020年至2024年（含）。

这些趋势的关键驱动因素包括在20世纪70年代石油价格冲击之后实施的能源效率措施，以及核能、风能和太阳能的部署。气候政策也发挥了重要作用，降低了发达经济体的排放强度，尤其是在欧洲。由于中东冲突导致的全球石油和液化天然气流动最近出现的中断可能引发对能源效率和替代燃料的另一波投资，但这将严重依赖于政策决策。

两个例子说明了历史趋势。在20世纪70年代，英国每1000美元的经济产出排放强度²
 人均GDP为19,000美元。大约有5吨CO

五十年后，碳排放强度降至每1000美元仅0.1吨，而人均GDP增长至超过52,000美元²
 。这种演变在新加坡尤为明显，从20世纪70年代到2020年代，其排放强度从每1000
 美元9.3吨下降至0.1吨，而人均GDP从9500美元增长至132,000美元。

3. 焦点

3.1. 未选择的路：世界如何失去了1.5°C的目标

近年来，随着气候变化的影响日益明显，世界各国领导人提高了他们限制全球变暖的目标雄心，这在《巴黎协定》中体现为1.5摄氏度的“挑战目标”。然而，尽管目标雄心有所提高，煤炭、石油和天然气的消费量仍在持续增长，反映了能源系统快速转型的挑战。

在过去的三年里，全球平均气温比工业化前水平高出1.44°C至1.55°C。¹⁶ 尽管平均气温可能会因地球系统中的自然波动而暂时下降，但很明显，世界无法实现其1.5°C的目标。在本节中，我们回顾了前几年雄心勃勃的气候情景，以了解未走之路，然后描述了目前主要难以置信的情景，这些情景导致到2050年实现净零排放。



来源：kamilpetran / Shutterstock。

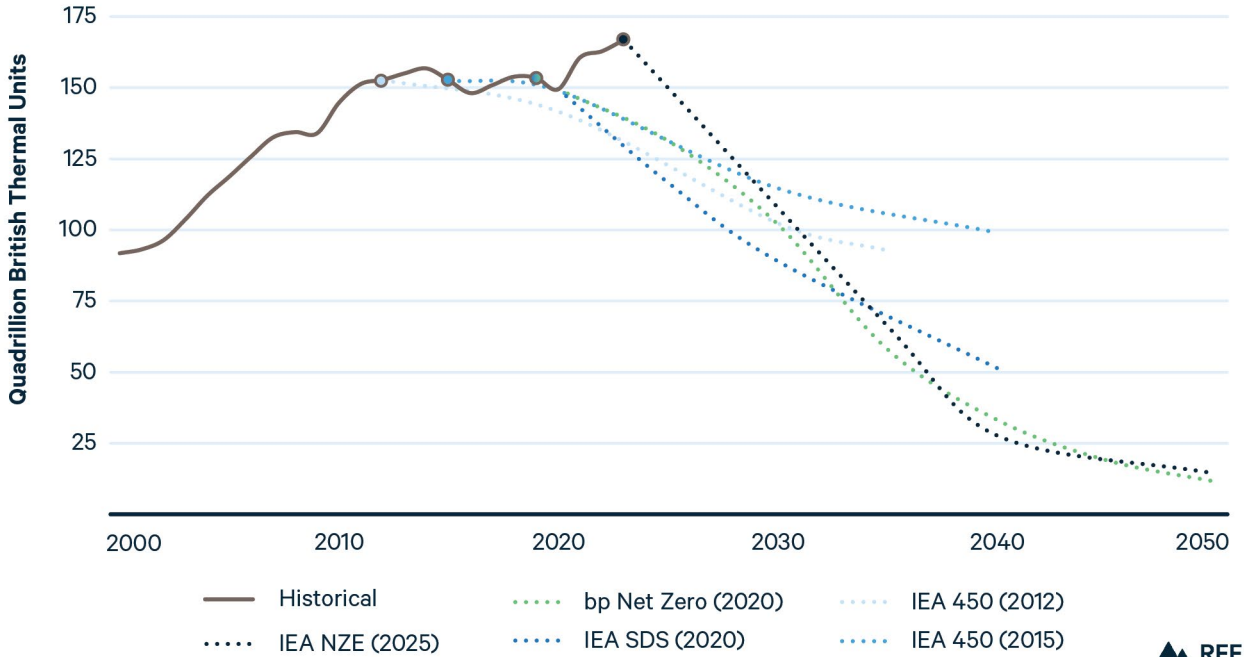
3.1.1. 煤炭

在大约十年的停滞之后，全球煤炭需求再次激增。在2000年至2013年期间，煤炭需求每年增长4.1%，然后保持在150 QBTu左右，直到2021年，其全球复苏开始。自2020年以来，煤炭需求每年增长3.2%，在2024年达到169 QBTu的历史最高点。（本节中所有百分比数据均为复合年增长率（CAAGR）除非另有说明。）

在2010年代初，为了实现国际气候目标所需的煤炭需求减少相对温和。2012年和2015年，国际能源署的450情景显示，煤炭需求每年大致下降约2%。（450情景旨在使全球升温控制在2100年以下2°C，而非1.5°C，并且它不希望在2050年实现净零排放。）

但是，由于全球排放量持续上升，煤炭需要降低的速度以实现1.5°C的目标过于不切实际。到2020年，国际能源署的可持续发展情景，该情景也将到2100年将升温限制在2°C，预计煤炭年下降幅度将超过5%。bp（2020年）和IEA（2025年）的净零排放情景与历史趋势更是背道而驰，预计年平均下降幅度将超过8%（图11）。作为参考，本世纪煤炭消费量最大的年度降幅为3%（2015年、2016年和2020年）。

图11. 全球煤炭需求历史及预测



来源：国际能源署历史数据。¹

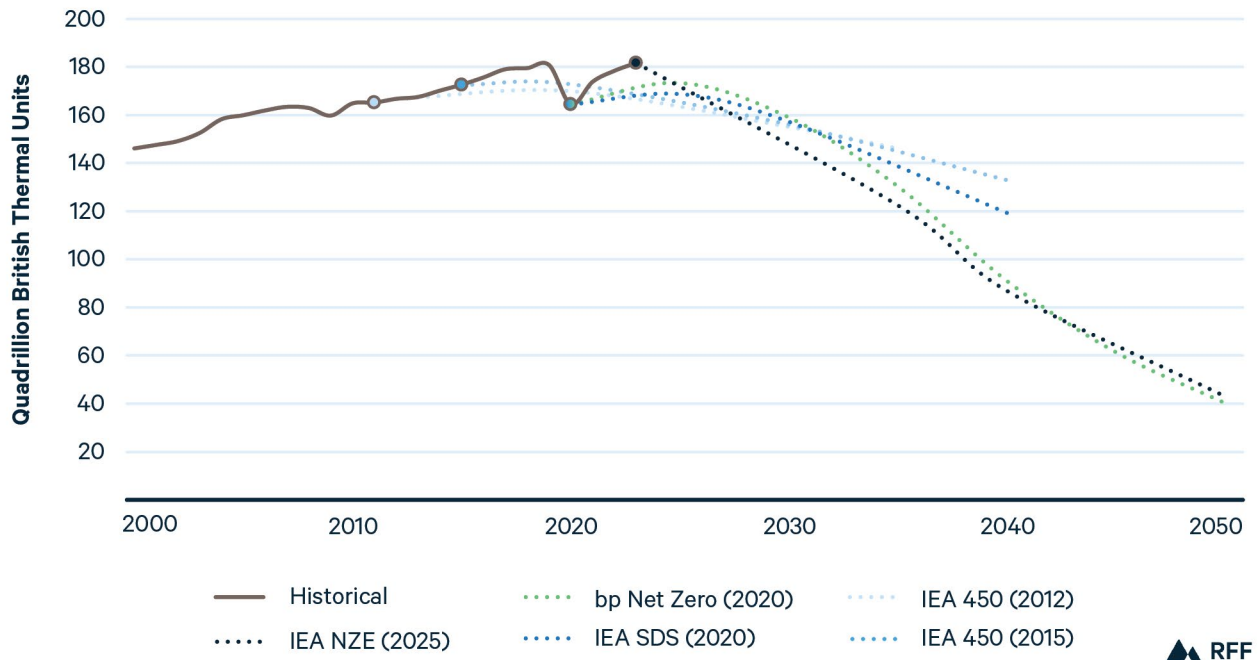
3.1.2. 油

石油的故事大同小异。在2010年代初，国际能源署（IEA）的450情景预测，全球石油消费将缓慢稳定下降，在2012年和2015年的情景中，分别下降了0.6%和1.0%。但bp（2020年）和IEA（2025年）的净零排放情景预计，平均每年将下降约5%。鉴于全球石油需求、地缘政治和国内政治优先事项的最新趋势，这样的下降似乎不太可能。

例如，国际能源署最新的中期展望预计，从2024年到2030年，全球石油需求量将每天增加250万桶，而欧佩克最新发布的中期预测则更加乐观。^{7,18} 尽管IEA的分析预见全球石油需求将在2030年之前达到峰值，但随后的下降趋势看起来更像是一个平台期，而不是净排放情景中预计的峰值后迅速下降的趋势（见图12）。

当然，全球地缘政治可能颠覆这些预期。如果近期中东石油流动的干扰持续或在未来几个月和几年中变得更加明显，导致的高价可能破坏需求并鼓励政策制定者寻求替代方案。正如20世纪70年代的高油价导致了一波对能源效率和替代燃料的投资，今天的石油市场干扰可能会产生类似的结果，降低未来的石油需求。

图12. 世界石油需求历史与预测



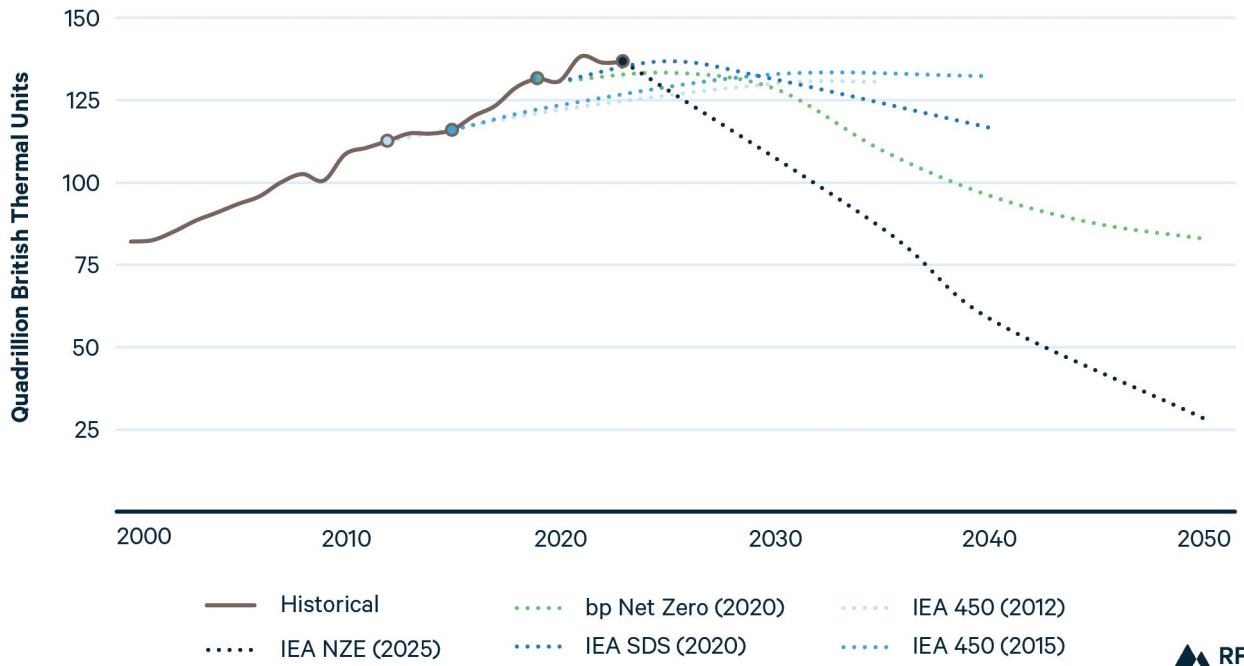
来源：国际能源署历史数据。¹

3.1.3. 天然气

2010年代以来的雄心勃勃的气候情景与今天的差异在天然气领域更加明显。2012年和2015年，根据国际能源署的450情景，全球天然气需求仍有上升空间，尽管增长缓慢。然而，到了2020年，国际能源署的可持续发展情景预计，在全球需求预测期内，全球需求将每年下降0.6%。如今，净零排放情景显示需求下降速度过快，难以置信。

例如，IEA的2025年净零情景显示，到2050年，需求量将每年减少5%以上（图13）。全球市场并未反映出这样的需求下降，而是迎来了新的液化天然气（LNG）项目上线和强劲的需求。来自各种组织的短期展望预计，未来几年全球需求将稳步增长，从2024年到2030年，年增长率将超过1%。^{7,19,20} 如第3.1.2节所述，中东液化天然气（LNG）流动的中断可能会改变这一轨迹，但在此时刻评估这种结果的可能性极为困难。

图 13. 世界天然气需求历史与预测



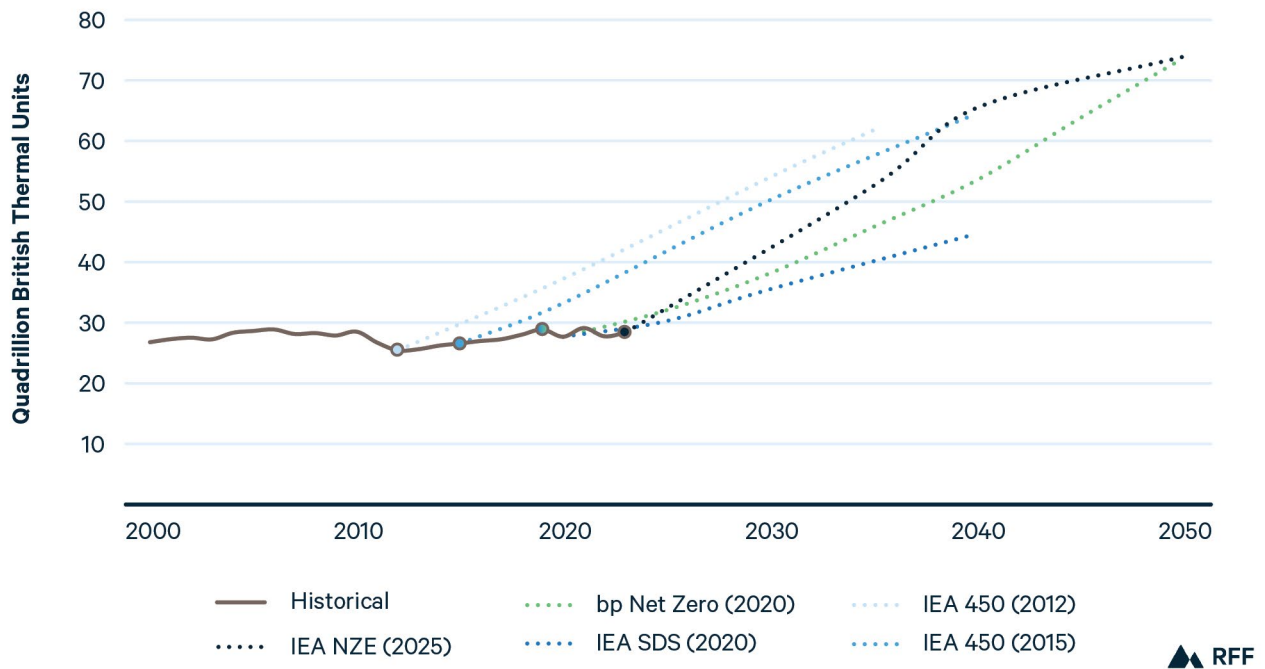
来源：国际能源署历史数据。¹

3.1.4. 核

核能在实现全球气候目标中发挥着重要作用，这在大多数长期展望中都有所体现。这一观点已经持续了十多年。2012年，国际能源署的450情景预测，到2035年核能将超过翻一番，2015年的预测也类似。尽管国际能源署2020年的450情景中核能增长速度放缓，但bp和IEA的净零排放情景显示的增长率是自20世纪70年代商业核能产业首次出现以来的最高水平。

除了IEA的2020年450情景外，这些情景都预测到2050年核能将以超过3%的复合年增长率（CAAGR）增长。尽管几十个国家承诺到2050年将核能产能增加三倍，但这些情景没有达到这一水平，表明在当前的经济和技术条件下，实现这一目标的可能性不大（图14）。

图14. 世界核能需求历史与预测



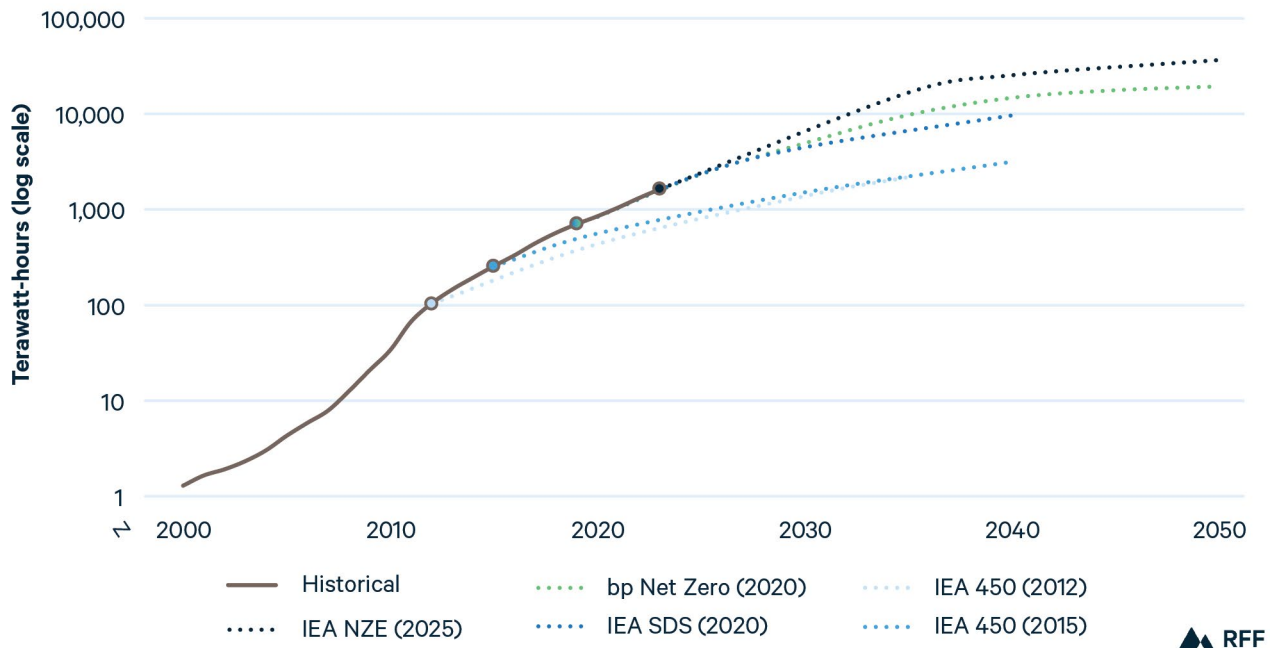
来源：国际能源署历史数据。¹

3.1.5. 太阳能

在上一小节所述的挑战中，有一个非常突出的亮点：太阳能。正如许多人所写，部署太阳能的成本下降速度远超长期能源展望的预期，导致增长速度甚至超过了最雄心勃勃的气候情景。过去20年间，世界太阳能发电量增长了四个数量级，年增长超过35%，远远超过了最雄心勃勃的预测。

例如，IEA 2012年的450情景预测，到2035年，太阳能将每年增长14%，达到22,000太瓦时。2024年，全球太阳能发电量达到了21,000太瓦时。按照IEA 2025年实现碳中和情景，太阳能将继续保持指数级增长，到2050年年增长超过12%。它是否能继续超出预期还有待观察，但无论气候政策如何，太阳能将在能源的未来中显然扮演重要角色（图15）。

图15. 全球太阳能发电历史及预测

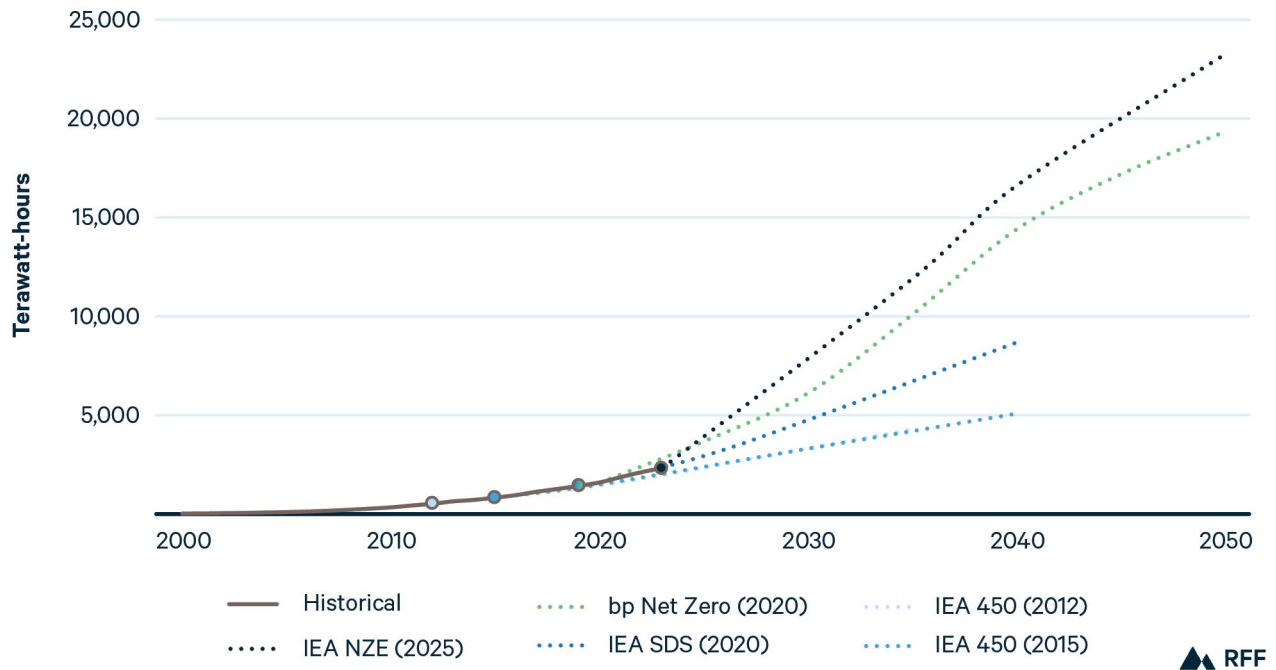


来源：国际能源署历史数据。¹

像太阳能一样，风能也提供了对未来能源和气候的乐观理由。总的来说，风力的发展速度与雄心勃勃的气候情景相一致。国际能源署（IEA）在2012年和2015年的450情景预测中设想，到2025年风能将达到大约2.4万亿千瓦时。到2024年，全球风能达到了2.5万亿千瓦时。

为了实现国际气候目标，需要继续快速增长风能。根据bp（2020年）和IEA（2025年）的净零情景，风电力发电量分别以8.7%和8.9%的平均速度增长，直至2050年。考虑到历史趋势，这种增长速度似乎是可行的，但如果政策支持力度减弱，可能会变得困难，例如美国在2025年暂停近海风电租约（图16所示）。²¹

图16. 世界风电发电历史与预测



来源：国际能源署历史数据。¹

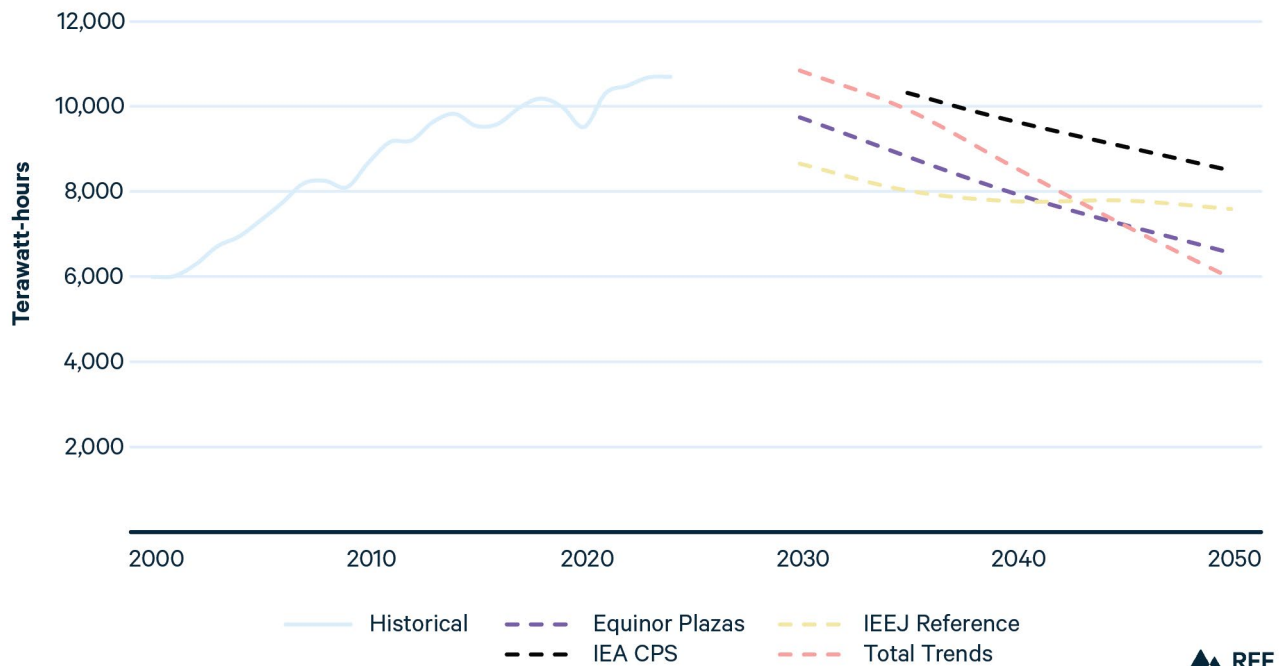
3.2. 评估全球煤炭发电的未来

尽管存在一些下降波，比如在COVID-19疫情期间，全球燃煤发电量持续增长（见图17）。然而，到2025年的参考情景预计，煤炭将开始明显下降，2050年的水平将介于2025年水平的56%到80%之间。在考虑到能源需求的增长趋势、全球对巴黎协定设定的GHG排放目标的动摇，以及能源安全担忧的情况下，这些都是否是现实的？全球预测中是否存在气候乐观偏见？鉴于中国和印度正在建设新的燃煤发电厂，这是否会影响到上述预测？

^{22,23} 看起来有可能植物的增长和新增产能以高于退休的速度，火力发电不会在本年达到峰值，并且可能不会看到预测的下降速度。然而，火力发电的增长率可能与产能扩张率不匹配，因为火力发电单元可能用于应对高峰能源需求。^{24,25} 而不是基本负荷需求。对总燃煤发电和排放的最终影响将很大程度上取决于能源需求和公众的演变。CO₂

² 政策将对煤炭及其竞争对手在未来几十年产生的影响。

图17. 全球燃煤发电量



来源：国际能源署历史数据。¹

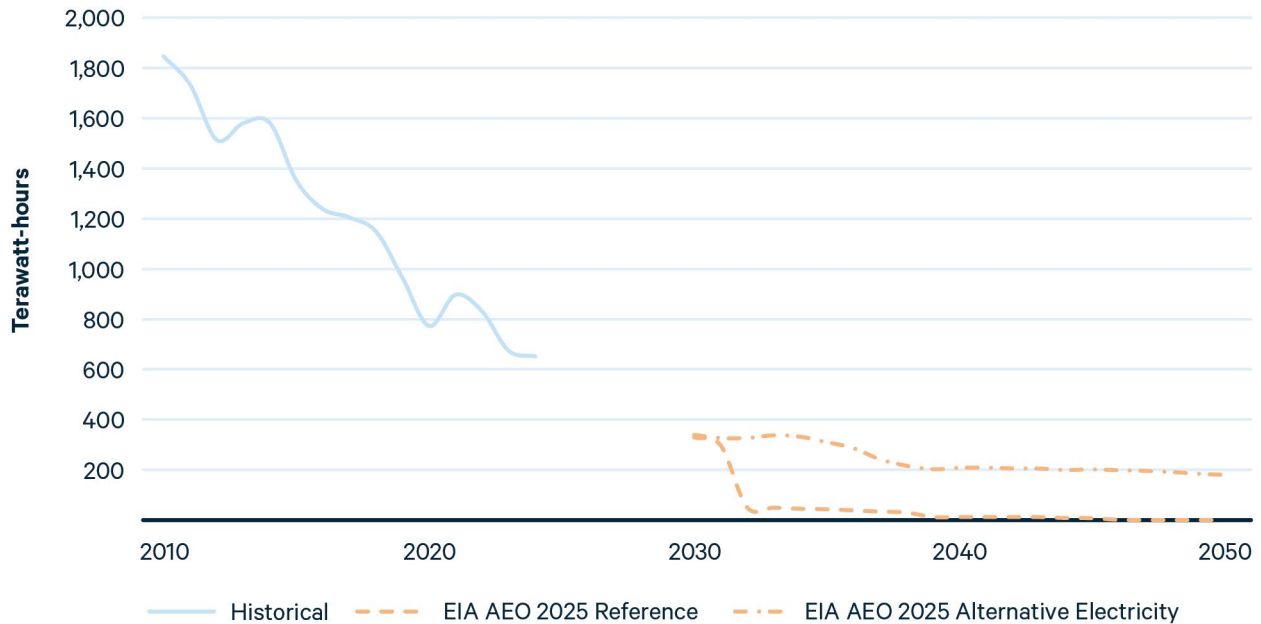
美国代表了一个例子，说明了减少对煤炭依赖的努力是如何偏离轨道的。在2025年之前，美国政府的立法和行政分支正在朝着大幅减少美国能源系统碳排放的方向发展。2021年通货膨胀削减法案扩大并延长了太阳能、风能和核能发电、大规模电池储能、电动汽车、低排放氢能、碳捕捉等方面的税收抵免。与此同时，燃煤发电的成本相对较高，现有燃煤电厂的老化以及新的规定也对燃煤发电构成了压力。

并且现有的燃煤电厂（无论是温室气体还是其他空气污染物），在2025年初美国能源信息署(EIA)和国际能源署(IEA)的预测都显示，到2035年燃煤发电将几乎降至零。但这些预测假设美国将实施《清洁空气法案》第111(b)和(d)节的规定，针对新电站和现有电站的温室气体排放标准，并且预计会进行计划内的退休，这部分是由发电成本高昂所驱动。

这些进展现在远不那么确定了。图18展示了美国能源情报署2025年参考情景（虚线橙色线）与去除温室气体排放标准的替代电力情景（点划线橙色线）之间的差异，两者均来自其国内。

年度能源展望 2025年初出版。²⁶ 美国环保署的替代电力情景可能仍然夸大了下降趋势，因为它没有捕捉到特朗普政府其他与煤炭相关的政策行动的额外影响。这包括对联邦购买燃煤电力要求的法规。²⁷ 能源部发布的紧急命令要求至少16座燃煤电厂继续运营。²⁸ 公告投资80亿美元以维持现有燃煤电厂的运行。^{29,30} 美国田纳西河谷管理局取消关闭两家燃煤电厂的公告。³¹ 此外，怀俄明州宣布了一项关于新建燃煤电厂的研究。³² 行业代表正在与特朗普政府讨论建设其他新工厂的可能性。

图18. 预计美国燃煤发电量



来源：国际能源署历史数据。¹⁷ EIA的预测²⁶
 注意：AEO = 年度能源展望。

尽管美国煤电厂数量老旧，截至2024年，现有发电机组平均年龄为47岁。³³ 一些退休计划已被推迟。根据《联邦电力法》第202(c)节发布的紧急命令旨在短期实施，最长可达90天，但该政府已多次为某些电厂延长了命令。³⁴ 退休延迟可能会持续到2026年。³⁵ 这些订单伴随着高昂的成本。至少密歇根州的一家工厂报告称，由于延迟退休，2025年净亏损达1.25亿美元。³⁶ 宣布的1.75亿美元资金用于升级肯塔基州、北卡罗来纳州、俄亥俄州、弗吉尼亚州和西弗吉尼亚州的工厂，可能会增加这些工厂即使在没有紧急命令的情况下继续运营的可能性，尽管相对于其他能源来源，煤炭发电的高成本仍未得到解决。如果政府继续补贴燃煤工厂或延长紧急命令，这可能导致不具有经济可行性的工厂延长运营，增加用户的成本，并持续排放温室气体和传统空气污染物。

排放量相当大。图19 这项美国煤炭政策变化对二氧化碳的影响

² 说明EIA参考情景下的CO₂排放（虚线黑色线）。

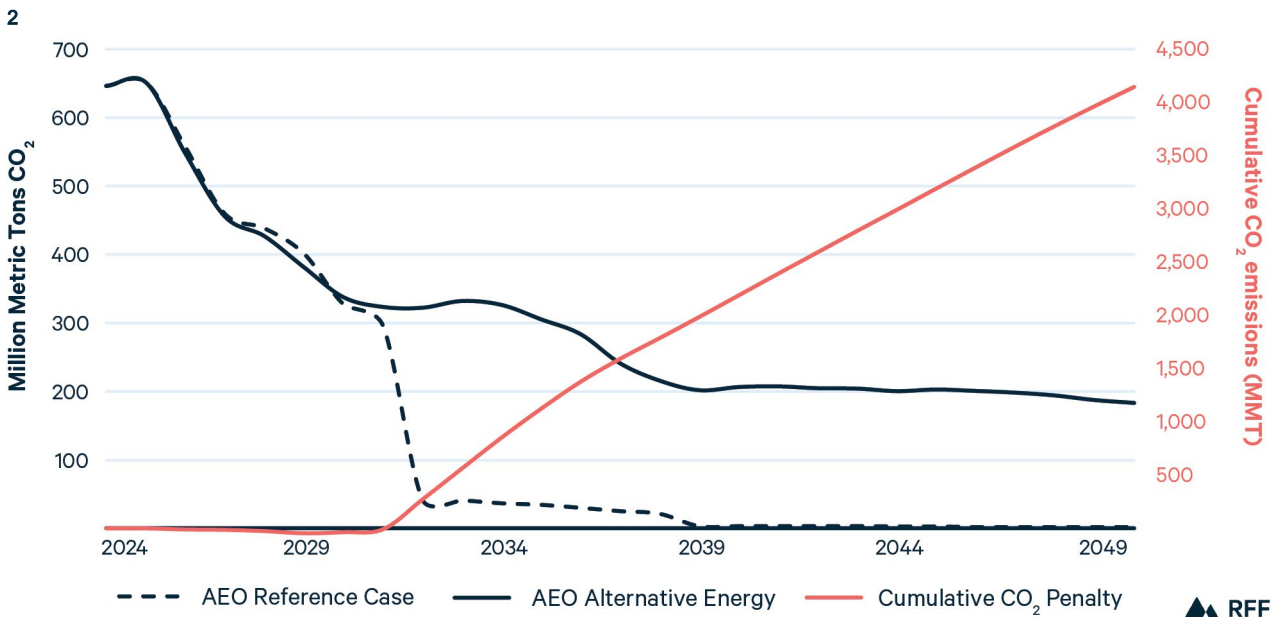
² 替代电力情景（实线黑线）与图18一起讨论。到2050年，替代电力情景下累积额外的二氧化碳排放量

² （粉红色线）比参考案例高出4,125 MMT，相当于2024年美国排放量的近90%，并超过2024年欧盟的CO₂排放量。³⁷ Using

² 2023年美国环境保护署（EPA）估算的碳的社会成本（SCC）³⁸ 这些额外一氧化碳排放导致的损失（折算回

² 2024年以2%的折扣率计算，将超过8000亿美元（2020年美元）。

图19. 两种情景下燃煤电厂预测的二氧化碳排放



来源：美国能源信息署（EIA），《2025年年度能源展望》，表18。²⁶
 注意：AEO = 年度能源展望。

大约2.1吉瓦的燃煤产能正受到政府当前紧急命令的覆盖。假设产能系数为60%，这将导致每年额外（假设）11太瓦时发电量，将额外排放1150万吨二氧化碳。

EIA排放率为1.05百万吨/百万兆瓦时 (MT/TWh)。 ³⁹ 大致相当于270万辆乘用车的年度排放量。 ⁴⁰ 如果这些额外排放持续到特朗普政府结束，再次使用美国环保署的碳定价，那么这些损害的现值 (从2025年到2028年) 将达到950亿美元。额外的延迟退役以及美国国防部购买燃煤发电罚款电力的要求将更加明显。 植物只会制造CO₂

未在此处包括的是，由于二氧化硫和氮氧化物排放量的潜在增加，死亡率、发病率上升带来的经济成本。氮氧化物对细颗粒物 (PM_{2.5}) 的环境浓度做出贡献

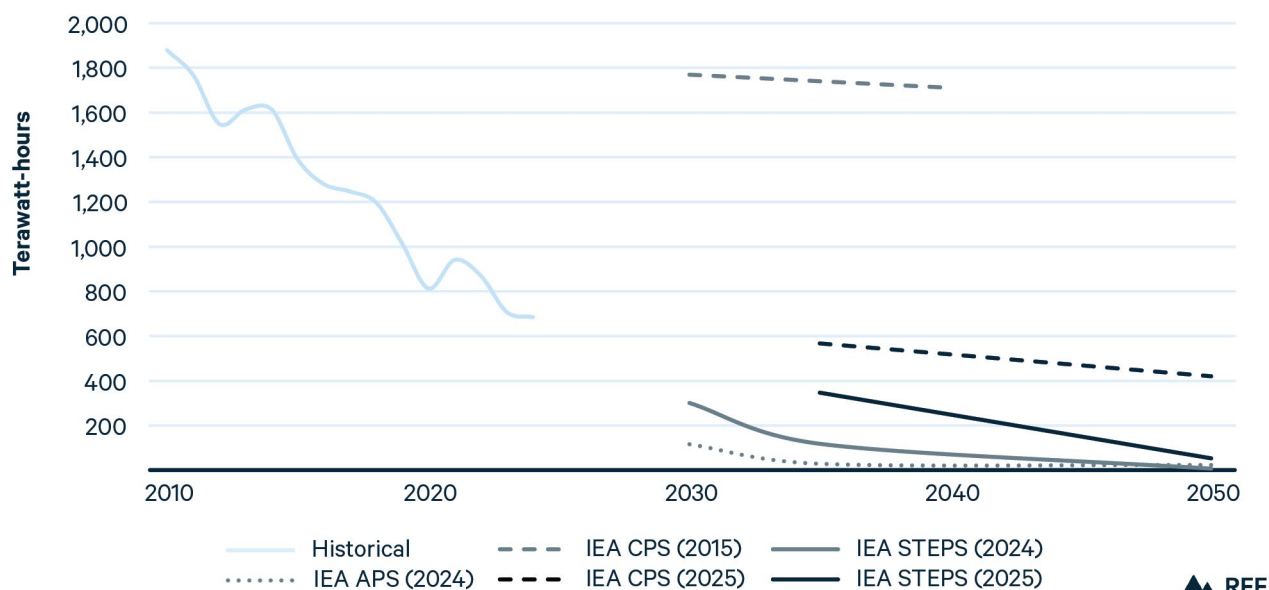
同时导致环境臭氧浓度增加，进而引发与呼吸系统相关的死亡和疾病。 这些影响可能是巨大的，根据美国环保署的最新估计，每吨二氧化硫 (SO₂) 的影响约为55,200美元

7,470美元/吨 (2019年美国美元，来自发电厂的NO_x排放)

3% 折扣率。 ⁴¹ 过去十年间，美国燃煤发电的预测发生了显著变化。2015年，IEA在其CPS中预测，发电量将维持在2010年水平附近，到2040年将有所下降。2024年，IEA预测，在STEPs和宣布的政策情景 (APS) 下，到2050年燃煤发电量将下降超过95%，这些情景假定拜登政府提交给UNFCCC的具有国家确定性的贡献将得到实施。

但是到2025年，对于燃煤发电的期望出现了反弹 (见图20)。在IEA的CPS中，发电量从当前水平下降了38%，但到2050年仍保持显著水平。因此，在10年的过程中，预测到2035年的发电量变化从1,740至29太瓦时不等，反映了技术、燃料价格和联邦政策的重大变化。展望未来，由于对电需求、天然气价格以及当前和未来美国政府的政策的 uncertainty，形势依然不明朗。

图20. 预计2015年、2024年和2025年美国燃煤发电量



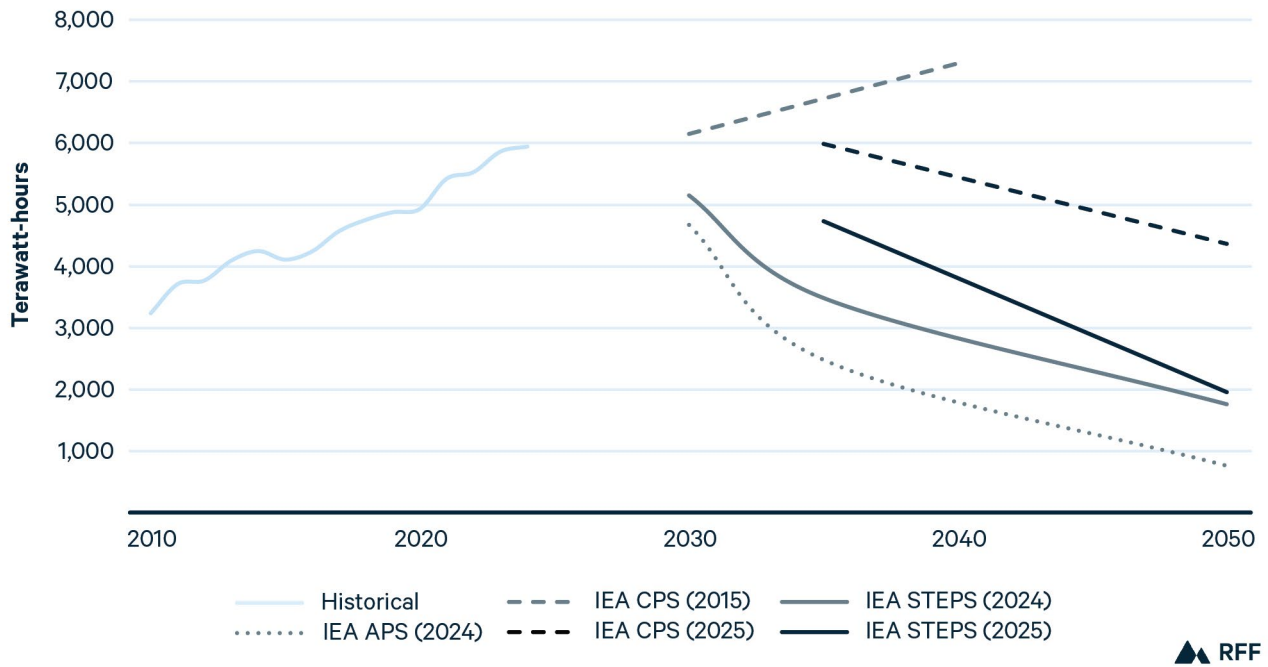
来源：国际能源署《2015年、2024年及2025年世界能源展望》；国际能源署历史数据。

中国的煤炭发电前景在印度和中国这两个煤炭发电大国也发生了显著变化（图21，图22）。2015年，国际能源署的CPS预测中国和印度煤炭发电将继续大幅增长。到2024年，对于中国，IEA的STEPS和APS分别显示到2050年将减少70%和87%。同样，对于印度，2024年的STEPS和APS分别显示到2050年将减少41%和66%。但今年，预测已向上修订，STEPS下的下降速度放缓，而CPS下的中国煤炭发电减少幅度则大大减弱，到2050年仅减少27%。对于印度，2024年的CPS显示，发电量从当前水平增加，并保持到2050年不变。CPS和STEPS之间的差距凸显了一个重要结论：国家宣称将做什么和实际执行的内容可能非常不同，尤其是在政府优先事项发生转变时。



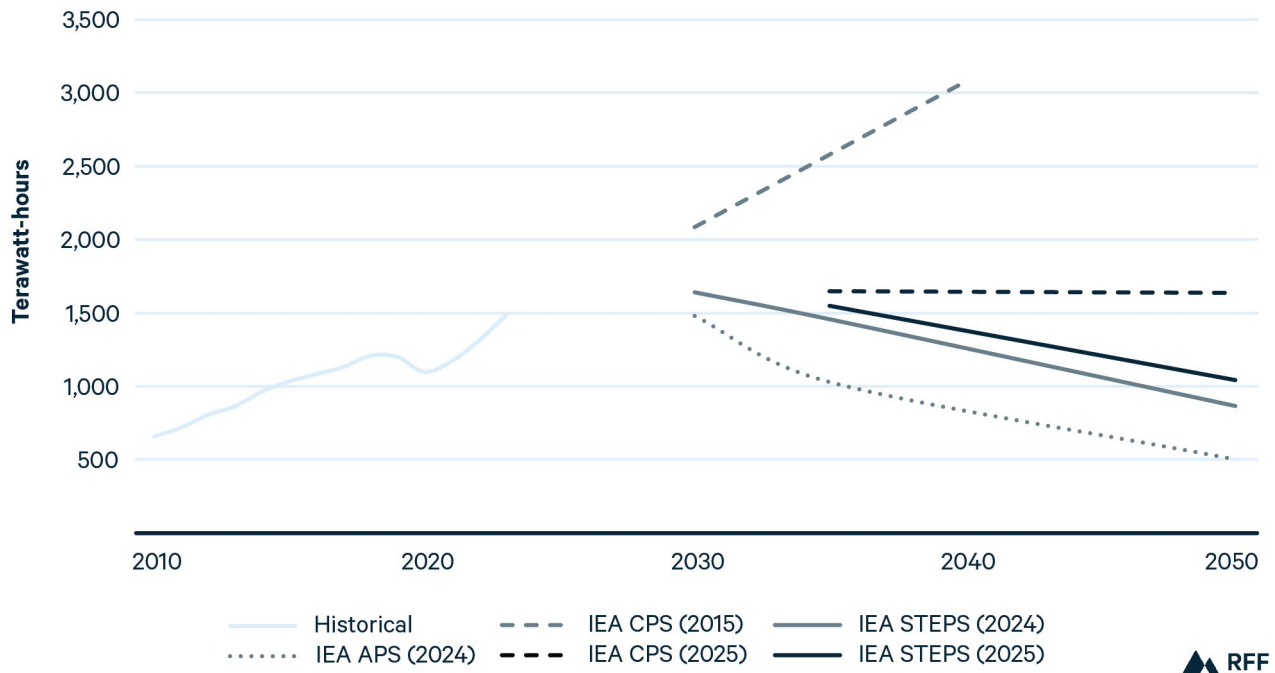
来源：Wirestock 创作者 / Shutterstock。

图21. 2015年、2024年和2025年预测的燃煤发电量



资料来源：国际能源署（IEA）《世界能源展望》2015、2024和2025年；国际能源署历史数据。

图22. 2015年、2024年和2025年印度煤电发电量预测



资料来源：国际能源署（IEA）《世界能源展望》2015、2024和2025年；国际能源署历史数据。

3.3. 发电区域预测的演变

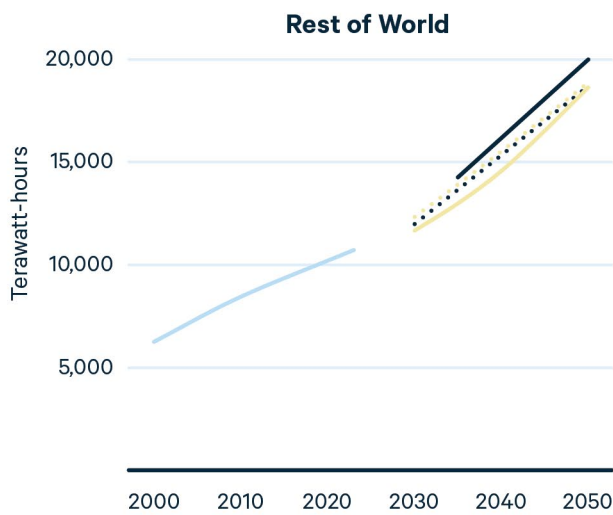
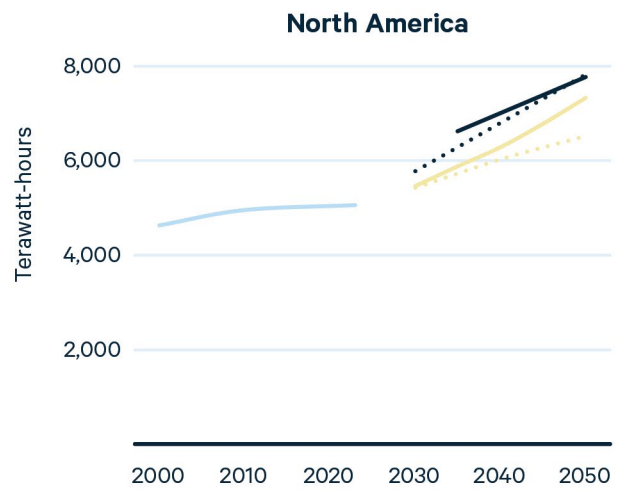
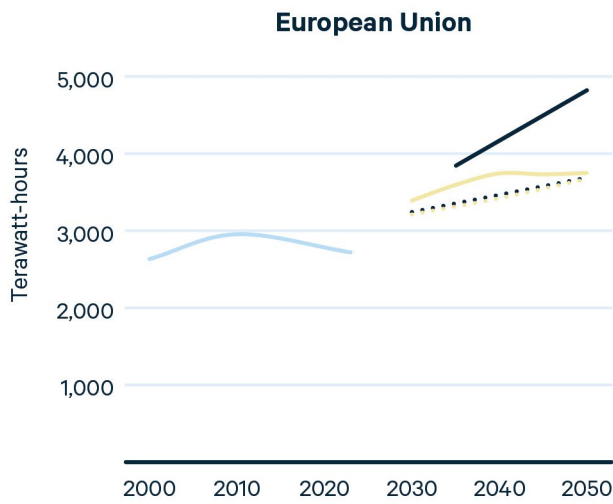
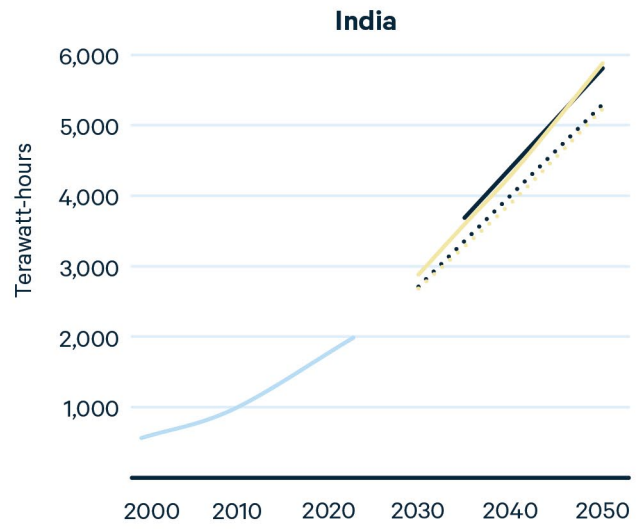
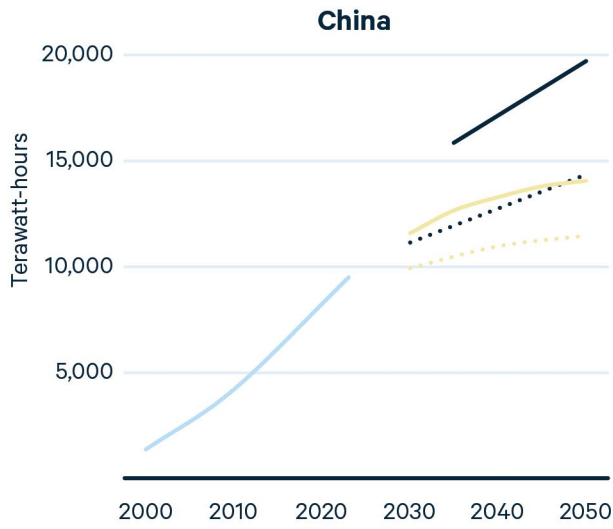
在过去三年中，随着终端使用部门电气化、工业发展和新行业（如人工智能）的增长，电力生成预测发生了演变。尽管全球发电预测增加（图8），但这些增加的分配在不同地区有所不同。图23比较了中国、印度、欧盟、北美和世界其他地区的国际能源署（IEA）和国际电力工程学会（IEEJ）在2022年和2025年的发电预测。

自2022年的展望发布以来，各地区政策和经济出现了分化。在美国，联邦政策对可再生能源部署、交通和建筑电气化的支持显著减少。动荡的贸易政策也可能随着时间的推移导致贸易流向和相关产业活动的变化。中国和欧盟的政策继续推进电气化，在过去两年中，中国电动车价格大幅下降，加速了其 adoption。⁴² 在不同地区，与人工智能相关的计算需求仍然是电力需求增长的不确定性重要来源。

IEA STEPS 捕获了各地区发电增长加速的现象，上调了其2050年对中国（增长37.3%）、欧盟（增长30.5%）和世界其他地区（增长7%）的预测，相对于2022年的预测增加了超过5,000太瓦时。IEEJ的参考情景也将中国2050年的预测上调了约2,500太瓦时（增长22.5%），尽管它预计欧盟的增长仅略有增加。IEEJ对北美和印度的发电量也进行了上调调整，到2025年，其水平大致比2022年预测高12%。

仅有的两次下调分别针对北美IEA STEPS（0.7%）和全球其他地区IEEJ参考（1.2%），尽管这些降幅是所有变化中最小的。与2022年预测相比，IEA对2025年北美STEPS预测显示，用于交通的电力将减少（15.6%），工业减少（5%），其他用途减少（1%），而建筑物的消费量则增加10.9%。^b 这些变化与美国数据中心需求上升同时，交通运输和工业电气化放缓相符，而美国是北美最大的子区域。

^b 这些与IEA STEPS的差异对应北美最终用户预期电力需求的净增长（1%），这与相同情景下北美电力发电量的预期减少形成对比。我们无法在模型文档中追踪到这一差距的驱动因素。

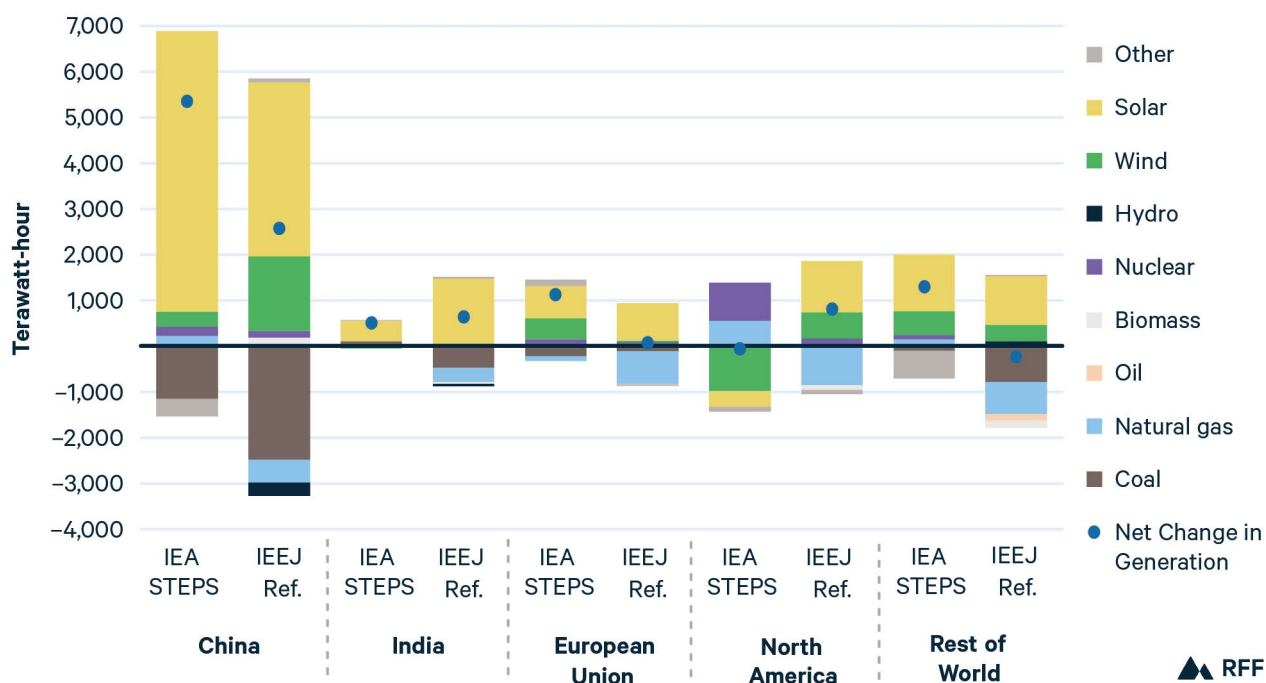


- IEA STEPS (2025)
- IEA STEPS (2022)
- IEEJ Reference (2025)
- IEEJ Reference (2022)
- Historical



当电力生产以满足预期需求而上升时，电力组合的变化将随之而来。图24显示了每个地区，在2022年和2025年对2050年的预测之间的差异。总体而言，可再生能源的增长超过各地区总体发电需求的增加，这意味着随着电力需求的增加，电网正变得更加低碳密集。在各个地区和情景中，太阳能是额外预测发电的领导者。中国的太阳能是2022年和2025年之间最大的地区变化，在IEA STEPS中增加了超过6,000太瓦时（增长157%），在IEEJ参考中接近4,000太瓦时（增长403%）。

图24. 2022年至2025年展望中2050年能源类型的变化



注意：对于IEA，“其他”类别包括石油、生物质和水电。

预测的太阳能发电增长伴随着，也许是受到预测的电池部署增加的影响。在IEA STEPS框架下，全球电池容量在2050年的预测中比2022年增长了161%，从1,295太瓦跳升至3,380太瓦。这一大幅修订是对各地区近期宣布的大型电池储能项目做出的回应。尽管IEA没有公开提供地区电池数据，但目前大多数正在开发中的项目都在中国和北美，这表明这些地区可能占据2050年容量的最大份额。⁴³

唯一例外是全球范围内太阳能发展的几乎所有增长，IEA STEPS在北美的太阳能下降了13.6%，相对2022年的预测而言。太阳能和风力发电的减少，风力发电下降了44.7%，几乎完全被天然气和核能发电的增长所抵消。相比之下，

IEEJ参考值提高了北美地区风能和太阳能的预测，该地区几乎所有额外发电量都归因于可再生能源（IEEJ的2025年参考情景似乎没有纳入美国最近政策变化的影响，这些政策变化减少了对可再生能源的支持并增加了煤炭的使用）。相关地，除北美外，所有地区对2050年燃煤发电量的预测均低于2022年的估计。

对于世界其他部分这个分类，IEEJ参考中观察到的发电量略有下降，这包括了煤、石油、天然气和生物质发电量估算的降低。在IEA STEPS中，该地区发电量降幅最大的是其他发电类型，这包括了石油和生物质发电。



来源：unregalodedios / Shutterstock。

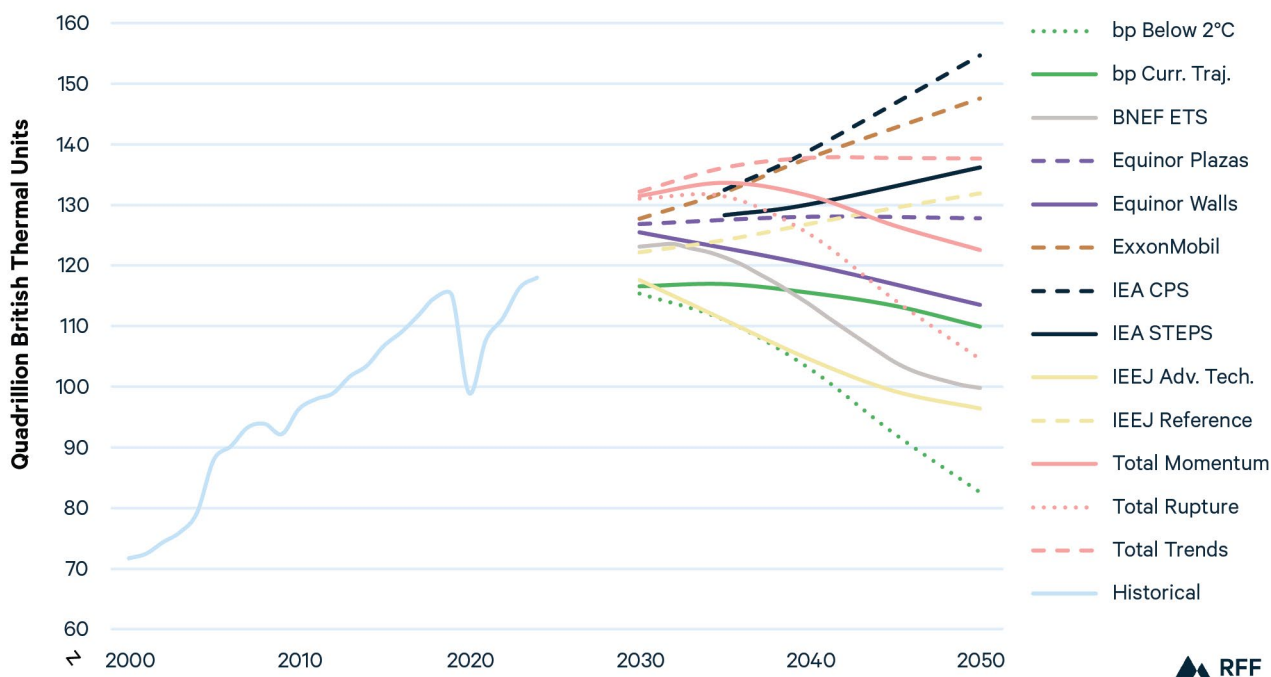
3.4.全球运输能源将何去何从？

交通运输业是全球能源体系的核心组成部分，约占全球最终能源需求的30%，自2019年以来贡献了大约10%的能源需求增长。⁴⁴ 该领域包括乘用车、货运卡车、航空、铁路和海运。

交通运输中的能源消耗反映了不同运输方式间的相互抵消力量。燃油经济性的提高和替代技术的采用降低了能源强度，但其在各地区的应用程度不同，并且对政策支持敏感。技术选择在不同运输方式中也有所不同：汽车经历了快速电气化，而长途货运、航空和海运面临更严格的能量密度和续航限制，使得对液体燃料（或未来可能为氢气）的依赖性增加。同时，世界许多地区的人口增长和经济增长导致车辆拥有量、航空需求和货运量增加。未来交通运输的能源使用将取决于新技术规模化速度和车辆更新换代的速度。

图25绘制了根据展望的全球交通运输能源需求预测。历史消费量从2000年的约78千百万热量单位(QBtu)稳步上升到2024年约118千百万热量单位。预测的2030年水平在一个相对较窄的范围内波动，大致从115到133千百万热量单位。然而，到2050年，预测范围却扩大很多，从83到155千百万热量单位。

图25. 全球交通运输终端能源消耗



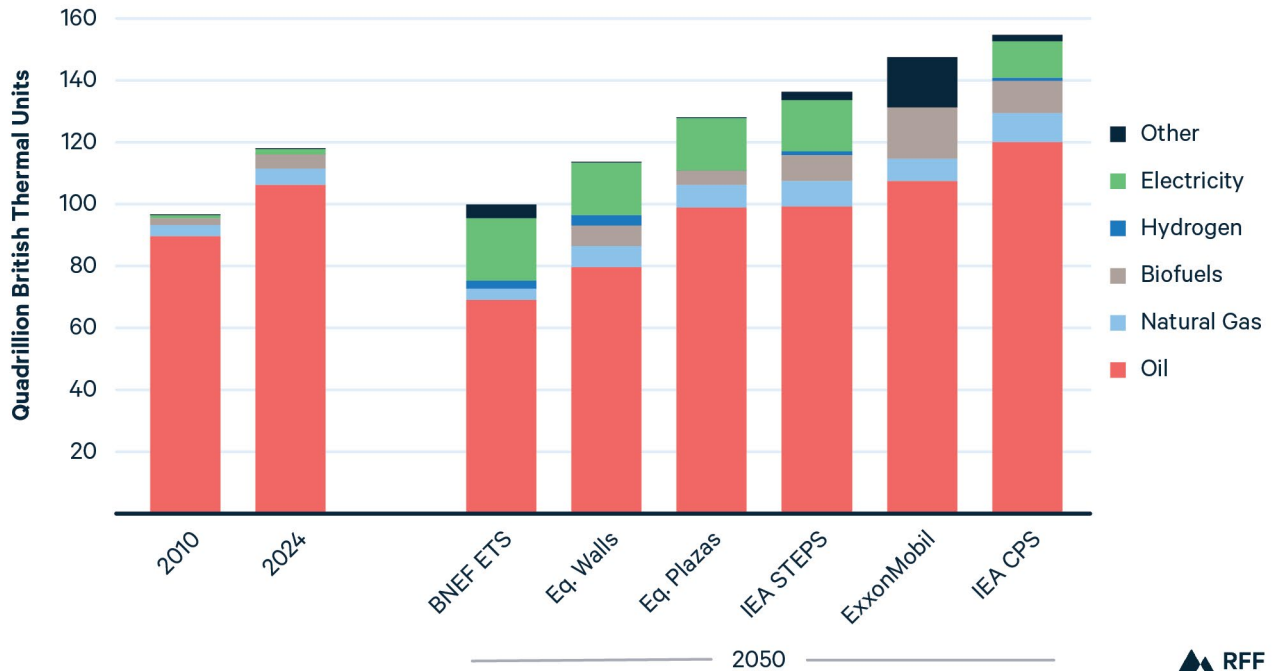
来源：BNEF的历史数据。

在参考情景下，预测结果差异显著。国际能源署（IEA）长期政策情景（CPS）和埃克森美孚预测到本世纪中叶将持续增长，而挪威国家石油公司（Equinor）、国际电力和可再生能源委员会（IEEJ）和道达尔的总预测情景则显示出现平稳或适度下降。在不断变化的政策情景中，国际能源署短期、中期和长期政策情景（STEPS）。

项目显示能源消费逐步增加，而其他展望则显示能源消费持平或略有下降。IEEJ先进技术脱颖而出，预计到2050年将实现大幅减少。在雄心勃勃的气候路径中，bp的“低于2°C”情景意味着交通能源使用量将减少最多。

不断扩大的差距反映了关于日益增长的流动性需求如何与效率提升和电气化相互作用的不同看法。在预测持续增长的展望中，收入增加转化为更高的车辆拥有率、货运活动以及航空需求，而道路运输中的效率提升和电气化发展速度不足以抵消这种增长。这些轨迹在一定程度上反映了关于主要经济体对低碳技术政策支持力度和持久性的不同预期。

不同情景对未来几十年运输部门所需燃料的展望各不相同。图26展示了2010年和2024年按燃料分类的历史全球运输终端能源使用量，以及预计的2050年水平。自2010年以来，运输部门的石油使用量从90 QBTu增长到2024年的106 QBTu。到2050年，在IEA CPS情景下，运输部门的石油使用量大幅增加，达到120 QBTu。在其他情景下，石油消耗量下降或大致保持不变。展望未来，在演变的政策和参考情景下，石油仍然是主要的运输燃料，但其占比下降，从2024年的90%下降到最高78%（IEA CPS）和最低69%（BNEF ETS）的2050年。



来源：IEA历史数据。注：总、bp和IEEJ的数据未按燃料类型分解。“其他”包括BNEF的生物质燃料和其他来源，以及埃克森美孚的氢、电力和其他来源。情景按2050年石油需求量从低到高排序。

到2050年，石油在各种情景下的持续主导地位反映了两个主要因素：(a) 对于长途卡车运输、航运和航空等关键方式，几乎没有经济上可行的替代品，(b) 车队更新换代缓慢。但在所有报告相关数据的情景中，电力都取得了一定的进展，从2024年仅占混合能源的2%上升到2050年的8%（IEA CPS）至20%（BNEF ETS）。生物燃料在大多数报告数据的情景中也得到了增长，从2024年的5千百万英热单位（QBtu）上升到本世纪中叶的最高点17千百万英热单位（ExxonMobil）。

在地区层面观察，除两种情景外，东部地区的交通运输能源消耗在中期之前均有所增加，增幅各异（见图27）。这种趋势与收入和经济活动的上升相一致，这些都与车辆保有量的增加、航空需求的增长以及货运量的扩大有关。预计东部地区将出现下降的两个展望是“完全破裂”，它显示运输能源消耗在2035年之后下降，以及“IEEJ高级技术”（由于数据限制无法完全协调，因此未在图27中展示），它显示在2030年之后开始下降。

图27. 按地区划分的交通终端能源消耗

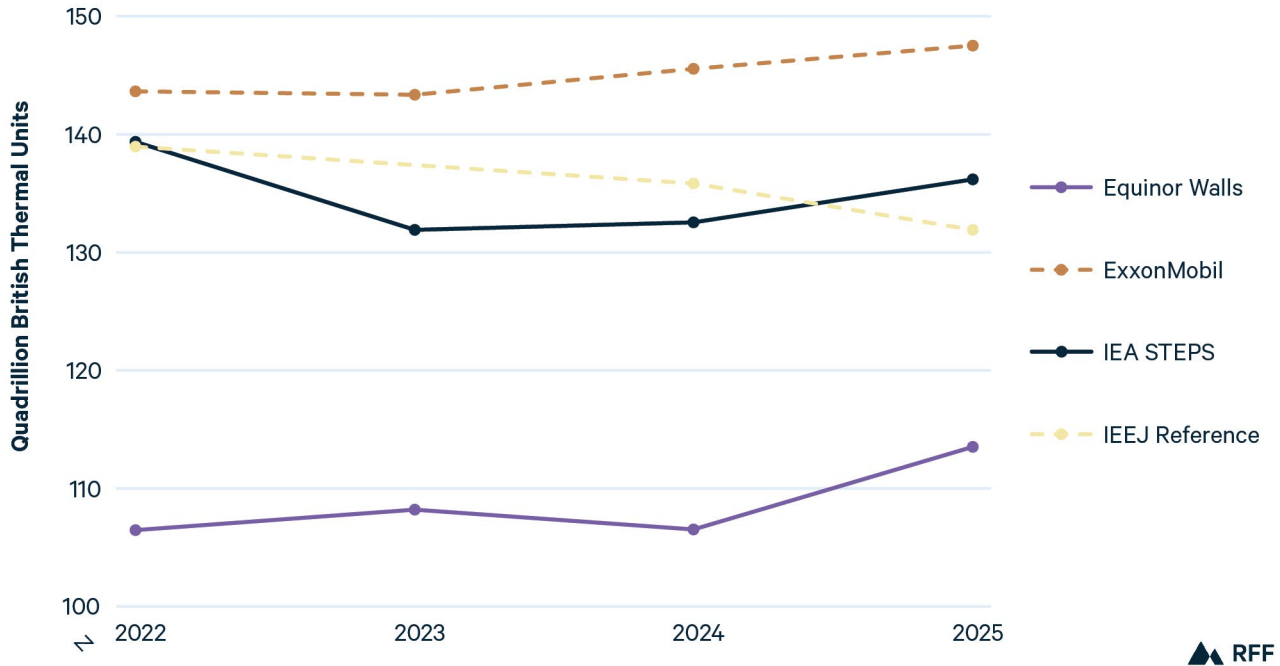


注意：对于BNEF、BP和OPEC，按地区分解的数据不可用。IEA和IEEJ将国际燃料消耗分开计算，因此它们之间不能直接比较。

相比之下，除了IEA CPS项目稳定或西方国家运输能源使用减少之外的所有展望。这并不一定意味着运输活动减少；燃料效率的提高抵消了旅行增长，限制了整体能源需求。综合来看，这些数据表明，即使全球总量在不同展望中有所差异，预测往往将中期增长的大份额放在移动需求仍呈上升趋势的地区。

图28分析了2022年至2025年间持续报告的情景下，预测的2050年全球交通运输能源需求在过去几年中的演变情况。2025年，大多数预测对预期进行了上调，尽管IEEJ的参考情景预测下降。在参考情景中，埃克森美孚的预测自2022年以来稳步上升，而IEEJ的参考情景继续将2050年的需求预测向下调整。在政策演变情景中，2022年至2023年间IEA STEPS出现下降，但此后有所回升，Equinor Walls自2022年以来显示上升趋势。

图28. 2050年全球交通终端能源需求预测演变



修订在不同场景中朝不同方向移动，凸显了对长期运输需求的持续不确定性，这在一定程度上可能反映了政策优先级和市场条件的变化。在美国，国会于2025年结束了对电动汽车的联邦税收优惠，并推翻了支持长期存在的州级零排放车辆规定的联邦批准，包括加利福尼亚州的。^{45,46} 截至2025年中，尽管还在制定展望，美国环保署（EPA）已表示将重新考虑2009年的危害认定以及依赖该认定的汽车温室气体排放标准，这给未来美国政策环境增添了不确定性。⁴⁷ 这些行为中有些正在面临诉讼，或者预计将面临诉讼。

相反，中国和许多欧洲国家一直在扩大电动汽车的生产和规模应用，这得益于持续的产业政策和强劲的国内需求。主要经济体间的政策和市场条件存在差异，这引入了关于新技术将如何快速全球扩散的不确定性。

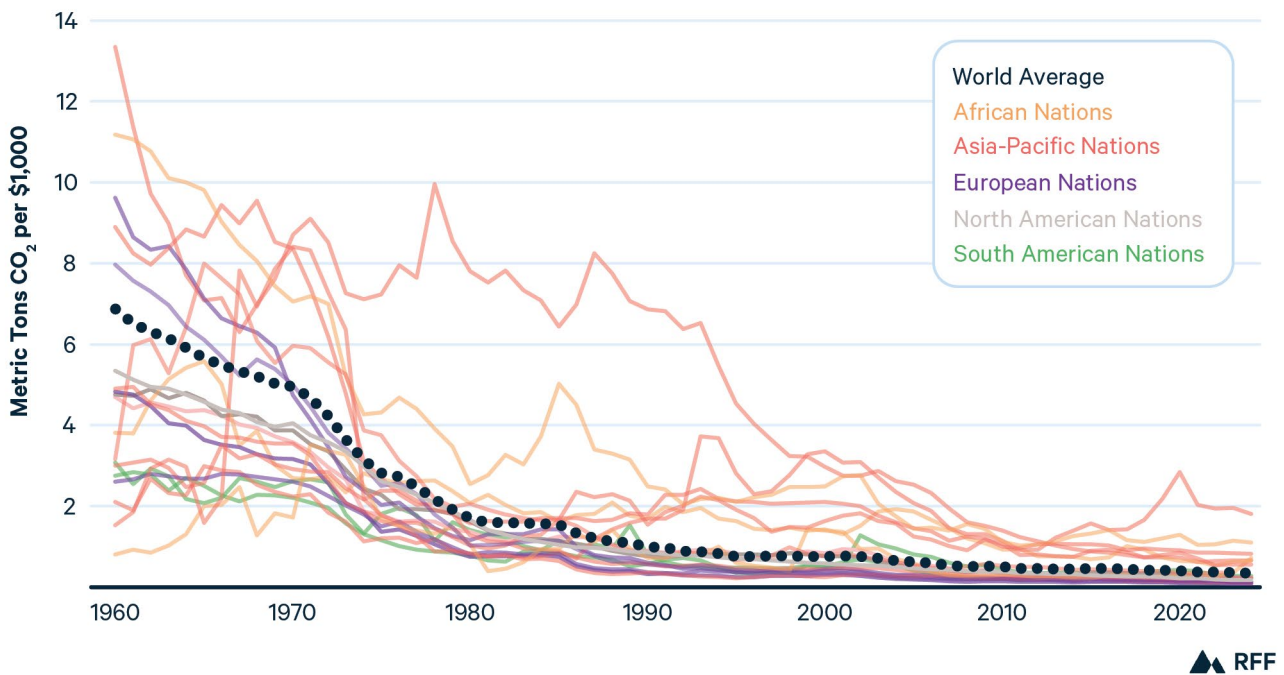
3.5. 全球碳排放强度大幅下降

尽管近年来全球二氧化碳排放量达到了历史新高，但过去几十年全球经济的碳强度却显著下降。这种下降的碳强度并非主要由于每单位GDP的排放量在20世纪70年代下降最快。气候政策。事实上，全球二氧化碳

² 20世纪80年代，远在气候变化成为政策制定者首要关注的问题之前。如图29所示，20世纪70年代的全球碳强度比20世纪60年代低44%，而在接下来的十年中，又降低了56%。截至2020年代，全球碳强度比2010年代低大约18%。

图29. 每千美元GDP的历史二氧化碳排放量

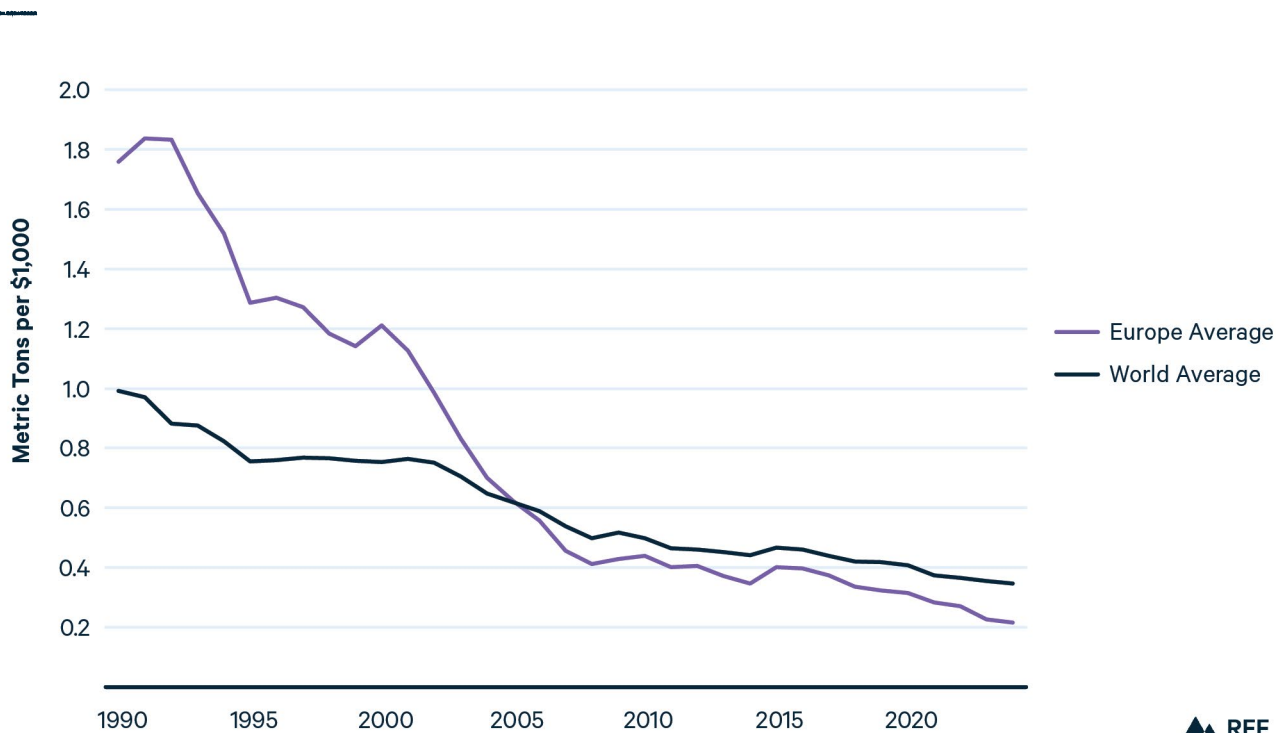
²



来源：欧盟能源统计局、经合组织、国际货币基金组织和世界银行发布的GDP数据，以及我们在数据中的少量处理。排放数据来自全球碳预算，主要处理工作由我们在数据中进行。注意：包括的国家有阿根廷、澳大利亚、巴西、加拿大、中国、埃及、法国、德国、印度、伊朗、以色列、意大利、日本、尼日利亚、沙特阿拉伯、南非、韩国、英国和美国。

自1992年《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)成立以来，各国政府实施了数千项旨在减少温室气体排放的政策。尽管这些政策还不足以将全球变暖限制在1.5°C以内，但它们有助于减少多个司法管辖区，尤其是欧洲的排放。⁴⁸ 在2020年代GDP排放强度最低的10个国家中，有7个是欧洲国家(从低到高：列支敦士登、瑞士、瑞典、爱尔兰、丹麦、挪威和马耳他)。

确实，自联合国气候变化框架公约（UNFCCC）成立以来，欧洲的碳强度下降速度比全球平均水平快得多。1990年，欧洲的排放强度比世界平均水平高出77%。在1990年代，一些欧洲国家实施了碳税，而其他国家则鼓励电力行业转向使用煤炭以外的燃料（部分目的是减少“传统”空气污染物）。^{49,50} 气候政策在21世纪初大幅加强，2005年欧盟启动了排放交易系统，同时出台了一系列旨在鼓励可再生能源部署的政策。⁵¹ 到2024年，欧洲的排放强度比世界平均水平低28%（见图30）。



来源：参见上一图。注：欧洲平均值为42个欧洲国家数据的简单平均。

在世界最大的经济体中，每1,000美元国内生产总值（mt/k\$）的碳排放强度下降最为明显。截至 中国。在20世纪60年代，中国排放了8.6吨的二氧化碳。

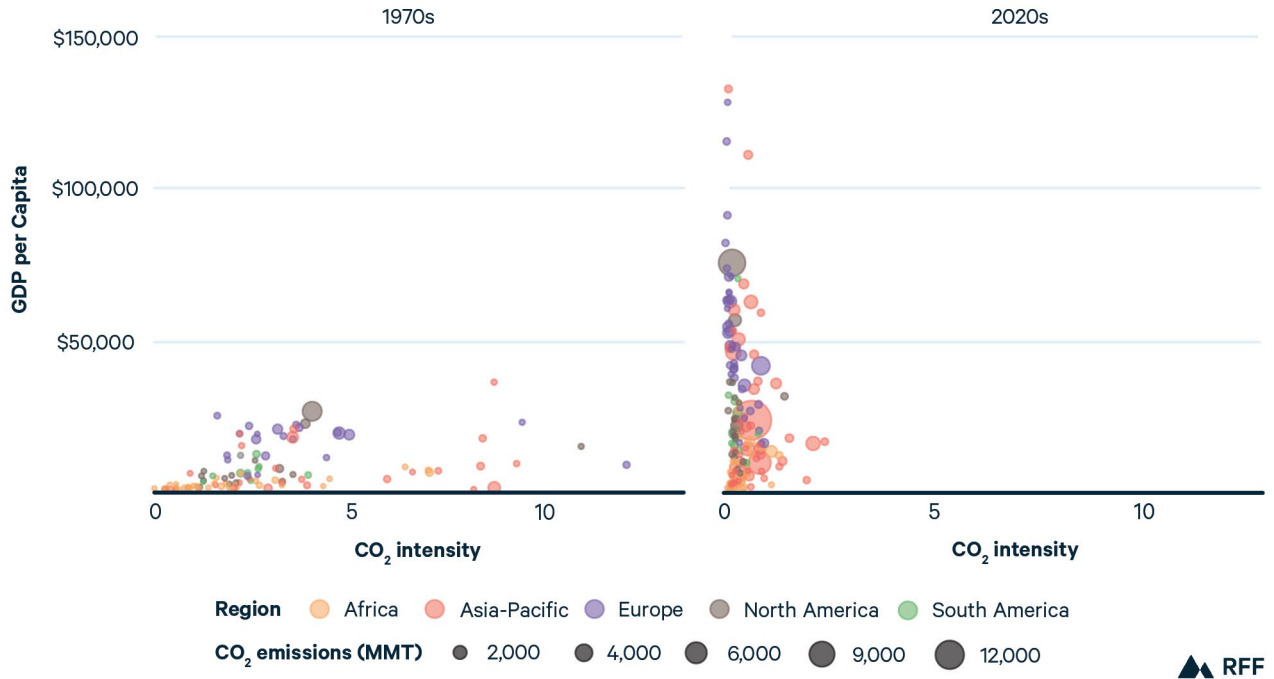
² 2020年代，这个数字已经下降了不止一个数量级，降至0.7吨/千克美元以下。在美国，也出现了类似的故事，从1960年代到2020年代，碳排放强度从4.6吨/千克美元降至0.2吨/千克美元。

图31展示了过去50年来全球碳强度如何大幅下降。该图包括了在1970年代和2020年代 (2020年及以后) 有足够数据可用于排放和GDP的所有国家。计算平均CO₂

2024年)。在此期间，CO₂强度平均下降了近90%，而GDP²排放 增长速度远快于总二氧化碳 (CO₂)。

图31. 100多个国家的二氧化碳排放量、人均GDP和二氧化碳强度

2 2



资料来源：参见图29。注：1970年代的数据包括115个国家和地区。2020年代的数据包括183个国家和地区。有两个国家（卡塔尔和阿联酋）被排除在1970年代的数据之外，因为它们的值超过了每1000美元国内生产总值20吨一氧化碳，这使得数据难以解释。一氧化碳强度以每1000美元国内生产总值中一氧化碳的吨数来衡量。

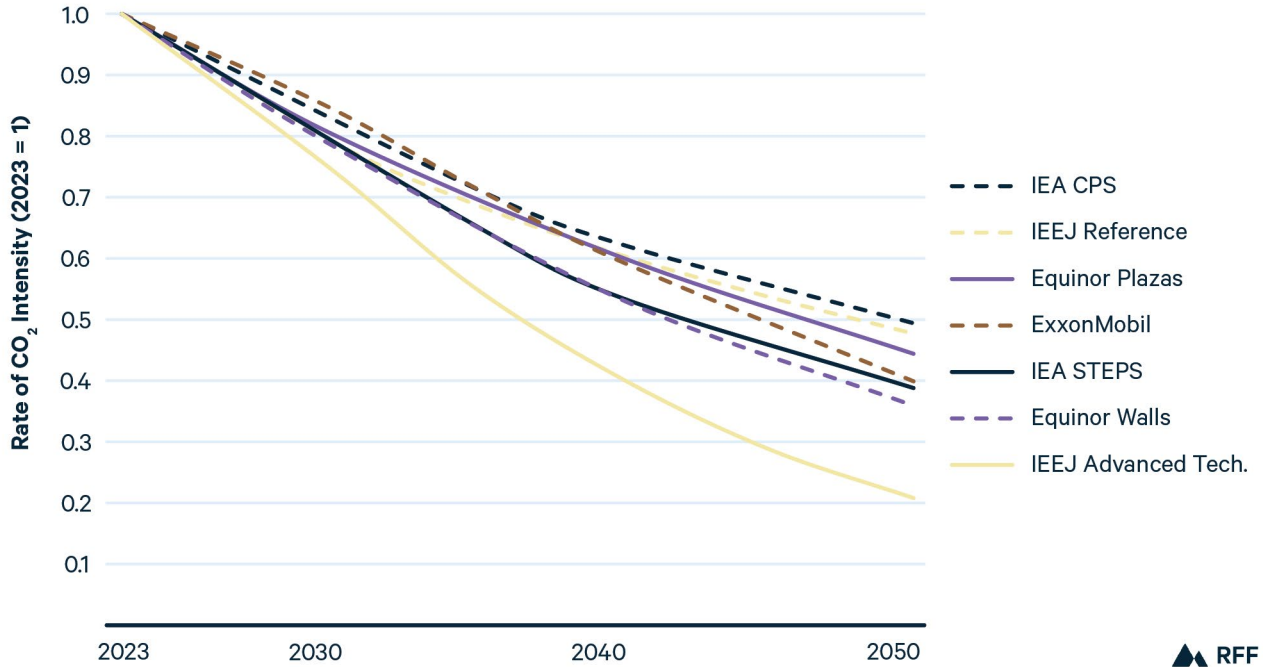
2 2

前瞻性看，煤炭消耗强度持续下降，能源效率和节能减排继续提高。

排放能源技术在全球范围内扩展。到2050年，在所有情景下，排放强度至少下降50%。在基准和演变政策情景中，排放强度下降幅度介于51%（IEA CPS）和64%（Equinor Walls）之间，在雄心勃勃的气候情景下，降幅更大（图32）。

图32. 每1000美元GDP的二氧化碳排放量变化，2023年=1

2



参考情景和演变政策情景下的下降率与历史趋势一致，因为全球排放强度在2000年至2024年间下降了54%。针对到2050年实现净零排放的雄心勃勃的气候情景显示减少幅度更大，但鉴于第1节和第2节中讨论的原因，此处未包括。

4. 数据与方法

在这篇论文中，我们考察了以下出版物的预测：^c

- BNEF *新能源展望 2025*
- bp, *能源展望2025*
- 挪威国家石油公司 *2025能源展望*
- 埃克森美孚 *2025全球展望*
- IEA, *世界能源展望 2025*
- 国际电气和电子工程师协会 *IEEJ展望2026*
- OPEC *2025年世界石油展望2050*
- 总计, *能源展望2025*

这些观点在多个维度上存在差异，包括建模技术、历史数据、经济增长假设、政策情景等方面。通常，情景可以分为三类：（1）参照情景，假设没有重大政策变化；（2）政策演变情景，纳入了建模团队对政策趋势的预期；（3）备选情景，通常基于某些政策目标或技术假设。我们重点关注具有雄心壮志的气候情景，这是第3类的一个主要子集。表3总结了今年分析中包含的情景。

表3. 数据来源与场景

源	情景
BNEF (2025)	ETS基准评估：基于成本的主要能源行业发展趋势预测，新政策有限。
	当前轨迹 反映了当前政策，重视实现目标承诺未来脱碳
bp (2025)	低于2°C 排放量到2050年将比2023年降低90%。这种情景是普遍的。与巴黎气候目标一致，但与特定温度不完全可比目标

^c 由于我们的方法每年变化不大，本节包括固定用语。其中大部分用语源自2019年版本的出版物。⁵²

挪威 Equinor (2025)	<p>广场 展望加强的贸易和稳固的经济相互依存关系，从而推动更高的能源消耗，更低的成本。</p>
	<p>墙 从当前政策开始，并假设未来的气候和能源政策逐渐变得更加有野心。</p>
埃克森美孚 (2025)	<p>参考 从当前市场、技术及政策趋势开始。范围包括不清楚包括哪些额外的能源和气候政策。</p>
IEA (2025)	<p>当前政策情景 (CPS) 基于现有政策制定结果图表规定，对新技术部署保持谨慎态度。一致到2100年升温2.9摄氏度。</p> <p>说明政策情景 (STEPS) 关注政府“实际上在做什么”包括现有政策、正在制定的政策和长期战略。符合2100年升温2.5°C的要求。</p>
	<p>净零排放2050年 (NZE) 遵循更新后的实现碳中和路线图到2050年。当前情景预测到2050年全球升温1.65°C。升温幅度已得到减缓。到2100年将气温上升控制在1.5°C以内，并采用负排放技术。同时实现联合国可持续发展目标。发展目标，例如到2030年实现人人享有能源。</p>
IEEJ (2025)	<p>参考 使用历史趋势来评估当前政策未来的变化技术。</p>
	<p>先进技术 包括“最大气候行动”措施，加快新技术部署，以及额外的能源安全努力。</p>
OPEC (2025) 石油输出国组织 (2025年)	<p>参考 结合了已实施的措施。假定一些未来的政策变更，但具体细节未明确。</p>
	<p>趋势 参考案例场景，假设政策和技术的持续发展趋势</p>
总计 (2025 ⁹)	<p>势头 目标驱动场景，经合组织国家实现近乎净零排放到2050年减少排放，中国在2060年实现近零排放。</p> <p>断裂 一个更雄心勃勃、以目标为导向的场景，其升温幅度低于2摄氏度。2100.</p>

4.1. 协调一致

政策、技术和市场未来假设的差异产生了有用的观点多样性，使分析师能够审视广泛的潜在能源未来。然而，观点之间也存在重要的方法论差异，这可能会使直接比较复杂化，并降低得出见解的能力。

一个主要区别是报告单位的选取。对于一次能源，预测报告使用不同的能源单位，如QBTu、百万吨油当量（mtoe）或艾焦（EJ）。在本报告中，我们标准化所有单位为QBTu。对于燃料特定数据，预测报告也存在差异，对于液体燃料，使用每日百万桶（mbd）或每日百万桶油当量（mboed），对于天然气，使用十亿立方米（bcm）或万亿立方英尺（tcf），对于煤炭，使用百万吨煤当量（mtce）或百万短吨（mst），对于电力生成，使用太瓦时（TWh）或吉瓦时（GWh）。表4展示了每个预测报告的报单位，表5提供了相关的转换系数。

表4. 能耗单位，按展望分类

	BNEF	bp	挪威 Equinor	埃克森 Mobil	国际能源署 EEEJ	欧佩克	总数 能量
初级能源 单位	PJ	EJ	十万吨	Q Btu	EJ	十万吨	I'm sorry, but the word "mboed" is not recognizable as a unit of energy.
燃油/行业- 特定的单位							
液体	不可用	MBD	不可用	Q Btu	MBD	十万吨	MBD
石油	PJ	MBD	MBD	Q Btu	MBD	十万吨	MBD
生物燃料	不可用	MBD	十万吨	Q Btu	I'm sorry, but the word "mboed" is not recognizable as a unit of energy.	十万吨	MBD
天然气	PJ	bcm	bcm	Q Btu	bcm	十万吨	I'm sorry, but the word "mboed" is not recognizable as a unit of energy.
煤炭	PJ	EJ	十万吨	Q Btu	MTCE	十万吨	I'm sorry, but the word "mboed" is not recognizable as a unit of energy.
电力	TWh (太瓦时)	TWh (太瓦时)	TWh (太瓦时)	Q Btu	TWh (太瓦时)	TWh (太瓦时)	可用 TWh (太瓦时)

注意：除非单位缩写另有说明，否则单位为每年。N/A表示对于特定来源没有可用的燃料相关数据。

表5. 关键能源单位换算系数

初级能源	乘以	天然气	乘以	煤炭	乘以
mtoe 转换为 QBtu	0.0397	bcm 转 bcf	0.0968	MTCE 对短吨	1.102
EJ 到 QBtu	0.948				

注意：由于一桶石油的能量含量因油种而异，因此没有达成共识的boe系数。IEA报告称，典型系数范围在7.15至7.40 boe/ toe之间，而OPEC使用的转换系数为7.33 boe/ toe。我们通过将49.8 mtoe/mboed (=1 toe / 7.33 boe * 每年365天) 乘以0.03968 QBtu/mtoe，得出1.976 QBtu/ mboed。

一个关键差别在于，对某特定燃料物理单元的能量含量的假设会导致在能量单位（如QBtu）表示的数据与用物理单位（如mbd或bcm）表示的数据之间的转换系数不同。在我们考察的展望中，这些假设的差异性可达10%。尽管转换单元的变化可能看似微小，但当应用于覆盖全球能源系统巨大规模并跨越长期时间范围时，这些变化会被放大。

第三次主要差异源于对在历史数据和初级能源消费预测中是否包含非市场化的生物质（如当地收集的木材和粪便）的决策差异。

然而，另一个差异与比较化石燃料和非化石燃料的能量含量有关。石油、天然气和煤炭的主要能量含量相对了解较深，并且在不同展望中相似。然而，其中很大一部分蕴含的能量在燃烧过程中以热能的形式浪费了。由于非化石燃料，如水电、风能和太阳能，不会产生大量的废热，因此确定一个相应的指标来衡量初级能源就变得困难，展望采取了多种方法。

其他观点差异包括：(1) 液体燃料和可再生能源的不同分类，(2) 数据和预测的不同区域分组，(3) 报告化石燃料能量含量时使用净热量值与毛热量值，(4) 报告电力数据时使用净发电量与毛发电量以及考虑削减发电量，(5) 是否以及如何将燃烧天然气包含在能源消费数据中。

为了应对这些挑战，并允许在不同观点之间进行更准确的比较，纽厄尔和伊勒⁵³实施了一个协调过程，我们在此更新并使用它。在以前几年，我们包括了一个方法报告（参见Raimi和Newell）⁵⁴ 今年报告遵循了本报告中概述的相同流程，但数据已更新。如有关于我们方法的任何具体问题，请联系丹尼尔·雷米（d.aimi@rff.org）。

5. 统计数据

表6. 全球关键指标

	人口	能源	国内生产总值	网络总出口	国内生产总值 (能源)	国内生产总值	能源/ Capital	网络总出口 能源
	以PPP (购买力平价) 术语来说 百万	Q Btu	T, 2024	MMT	\$1,000/ 人	QBTu/元	QBu/1,000 人们	MMT/QBtu
2000	6,109	401	71	24,600	12	5.7	66	61
2024	8,091	618	196	38,153	24	3.1	76	62
2050								
IEA CPS国际能源署 能源政策司	9,572	793	385	37,779	40	2.1	83	48
IEA步骤	9,572	706	385	29,629	40	1.8	74	42
欧佩克	9,664	697	408	—	42	1.7	72	—
以MER术语来说								
2000	6,109	401	59.1	24,600	9.7	6.8	66	61
2024	8,091	618	110.8	38,153	13.7	5.6	76	62
2050								
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经; ETS : 排放交易系统)			218	26,766	23	3.0	68	41
挪威Equinor广场	9,664	694	222	28,229	23	3.1	72	41
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	9,664	615	207	21,372	21	3.0	64	35
埃克森美孚	9,664	682	234	26,786	24	2.9	71	39
IEEJ 高级技术	9,606	567	237	14,135	25	2.4	59	25
IEEJ 参考文献	9,606	685	237	32,537	25	2.9	71	47
无GDP数据可用								
目前轨迹	9,664	505	—	28,892	—	—	52	57
bp 低于 2°C	9,664	677	—	—	—	—	70	—
总动量	—	681	—	22,240	—	—	—	—
彻底断裂	—	611	—	8,060	—	—	—	—
总体趋势	—	717	—	27,070	—	—	—	—

来源：国际能源署统计资料，IEA *世界能源展望 2025*，以及BNEF *新能源展望 2025* 注意：净CO₂排放包括直接空气捕获和碳捕获与储存 (CCS) 生物质能等来源的正 (总) 排放和负排放。CO₂排放数据包括化石燃料^{2,2}燃烧并排除工业过程排放。

表7. 世界一次能源消费

Q Btu	总数	煤炭	液体	自然 天然气	核	水	太阳能	风	生物质 并且浪费	其他
2000	401	92	149	82	27	9	0	0	41	2
2024	618	169	188	140	29	15	9	9	54	5
2050										
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经 ; ETS 10 排放交易系统)	505	23	69	62	63	23	90	83	67	92
bp 低于 2°C	505	23	69	62	63	23	90	83	67	92
目前轨迹	677	97	157	164	46	20	56	49	77	89
挪威Equinor广场	694	90	188	174	44	19	—	—	57	179
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	615	71	155	145	48	19	—	—	57	178
埃克森美孚	682	101	209	174	45	20	41	36	50	57
IEA CPS国际能源署 能源政策司	793	131	214	184	54	21	63	34	75	91
IEA步骤	706	91	183	153	58	22	75	38	71	88
IEEJ 高级技术	567	67	121	136	61	22	—	—	43	159
IEEJ 参考文献	685	125	196	178	39	20	—	—	48	128
欧佩克	697	102	229	177	49	23	—	—	65	117
总动量	681	106	137	143	57	19	81	57	61	82
彻底断裂	611	30	92	124	73	21	104	75	64	91
总体趋势	717	111	176	158	55	19	73	50	58	75

来源：来自国际能源署统计数据的历史数据 *世界能源展望 2025* 注：本处的“液体”仅指BNEF的石油，因为未提供特定于生物燃料的数据。

表8. 各地区液体消费量

	世界	平均年增长率		西方	平均年增长率		东方	平均年增长率	
	MBD	MBD	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)	MBD	MBD	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)	MBD	MBD	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)
2000	77.0			48.1			28.6		
2024	104.7	1.2	1.3%	48.5	0.0	0.0%	52.9	1.0	2.6%
2050		2024-2050			2024-2050			2024-2050	
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经 ; ETS : 排放交易系统)	89.1	-0.6	-0.6%	—	—	—	—	—	—
bp 低于 2°C	37.6	-2.6	-3.9%	11.3	-1.4	-5.5%	20.8	-1.2	-3.5%
目前轨迹	85.7	-0.7	-0.8%	31.0	-0.7	-1.7%	50.6	-0.1	-0.2%
挪威Equinor广场	102.7	-0.1	-0.1%	38.7	-0.4	-0.9%	61.5	0.3	0.6%
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	84.8	-0.8	-0.8%	30.6	-0.7	-1.8%	50.6	-0.1	-0.2%
埃克森美孚	114.4	0.4	0.3%	34.9	-0.5	-1.3%	70.4	0.7	1.1%
IEA CPS国际能源署 能源政策司	117.2	0.5	0.4%	40.8	-0.3	-0.7%	60.9	0.3	0.5%
IEA步骤	100.3	-0.2	-0.2%	34.0	-0.6	-1.4%	52.9	0.0	0.0%
IEEJ 高级技术	66.4	-1.5	-1.7%	15.5	-1.3	-4.3%	37.3	-0.6	-1.3%
IEEJ 参考文献	107.5	0.1	0.1%	31.9	-0.6	-1.6%	58.6	0.2	0.4%
欧佩克	125.5	0.8	0.7%	45.0	-0.1	-0.3%	76.6	0.9	1.4%
总动量	75.1	-1.1	-1.3%	21.3	-1.0	-3.1%	50.4	-0.1	-0.2%
彻底断裂	50.6	-2.1	-2.8%	16.9	-1.2	-4.0%	28.2	-1.0	-2.4%
总体趋势	96.2	-0.3	-0.3%	38.4	-0.4	-0.9%	53.6	0.0	0.0%

来源：来自国际能源署统计数据的历史数据 *世界能源展望 2025* 备注：对于BNEF，“液体”一词仅指石油，因为生物燃料数据不可用。对于东、西“液体”，对于IEA、OPEC和Total，仅指石油，因为地区生物燃料数据不可用。由于对国际航空燃料和船用燃料的处理不同，以及地区数据中不包括生物燃料，地区总计数可能不正确。未公布体积数据时，我们假设转换系数为每百万桶当量油 (mbd) 1.832千百万英热单位 (QBtu) ，或每千百万英热单位0.54585 mbd。

表9. 按地区划分的天然气消费

	世界	平均年增长率		西方	平均年增长率		东方	平均年增长率	
	bcm	bcm	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)	bcm	bcm	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)	bcm	bcm	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)
2000	2,399			1,862			537		
2024	4,128	72	2.3%	2,385	22	1.0%	1,743	50	5.0%
2050		2024-2050			2024-2050			2024-2050	
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经 ; ETS : 排放交易系统) ¹²			1.2%	—	—	—	—	—	—
bp 低于 2°C	1,894	-86	-3.0%	979	-54	-3.4%	915	-32	-2.4%
目前轨迹	4,995	33	0.7%	2,469	3	0.1%	2,527	30	1.4%
挪威Equinor广场	5,289	45	1.0%	2,605	8	0.3%	2,684	36	1.7%
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	404	11	0.2%	2,194	-7	-0.3%	2,210	18	0.9%
埃克森美孚	5,289	45	1.0%	2,351	-1	-0.1%	2,939	46	2.0%
IEA CPS国际能源署 能源政策司	5,611	57	1.2%	2,553	6	0.3%	2,964	47	2.1%
IEA步骤	4,652	20	0.5%	2,115	-10	-0.5%	2,475	28	1.4%
IEEJ 高级技术	4,138	0	0.0%	1,759	-24	-1.2%	2,257	20	1.0%
IEEJ 参考文献	5,418	50	1.1%	2,322	-2	-0.1%	3,016	49	2.1%
欧佩克	5,398	49	1.0%	2,484	4	0.2%	2,916	45	2.0%
总动量	4,341	8	0.2%	2,100	-11	-0.5%	2,242	19	1.0%
彻底断裂	3,788	-13	-0.3%	1,971	-16	-0.7%	1,817	3	0.2%
总体趋势	4,802	26	0.6%	2,498	4	0.2%	2,304	22	1.1%

来源：能源学院的历史数据。¹²
 请注意：当没有体积数据时，我们假设换算系数为每bcm 30.464千万英热单位(QBtu)或每千万英热单位(QBtu)0.03283bcm。

表10. 地区煤炭消费

	世界 平均年增长率			西方 平均年增长率			东方 平均年增长率		
	Q Btu	Q Btu	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual CAAGR持续年度增长率)	Q Btu	Q Btu	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual CAAGR持续年度增长率)	Q Btu	Q Btu	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual CAAGR持续年度增长率)
2000	92			47			45		
2024	169	3.2	2.6%	24	-0.9	-2.7%	145	4.2	5.0%
2050	2024-2050			2024-2050			2024-2050		
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经 ; ETS : 排放交易系统)			-2.0%	—	—	—	—	—	—
bp 低于 2°C	23	-5.6	-7.4%	3	-0.8	-8.2%	20	-4.8	-7.3%
目前轨迹	97	-2.8	-2.1%	10	-0.5	-3.2%	88	-2.2	-1.9%
挪威Equinor广场	90	-3.0	-2.4%	12	-0.5	-2.7%	78	-2.6	-2.4%
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	71	-3.8	-3.3%	7	-0.7	-4.6%	64	-3.1	-3.1%
埃克森美孚	101	-2.6	-2.0%	6	-0.7	-5.1%	93	-2.0	-1.7%
IEA CPS国际能源署 能源政策司	131	-1.5	-1.0%	16	-0.3	-1.7%	115	-1.1	-0.9%
IEA步骤	91	-3.0	-2.4%	10	-0.5	-3.2%	80	-2.5	-2.2%
IEEJ 高级技术	67	-3.9	-3.5%	9	-0.6	-3.8%	58	-3.3	-3.5%
IEEJ 参考文献	125	-1.7	-1.2%	13	-0.4	-2.3%	111	-1.3	-1.0%
欧佩克	102	-2.6	-1.9%	10	-0.6	-3.5%	92	-2.0	-1.7%
总动量	106	-2.4	-1.8%	9	-0.6	-3.8%	97	-1.8	-1.5%
彻底断裂	30	-5.4	-6.5%	4	-0.8	-6.8%	26	-4.6	-6.4%
总体趋势	111	-2.2	-1.6%	11	-0.5	-2.9%	100	-1.7	-1.4%

来源：国际能源署统计数据和国际能源署《2025年世界能源展望》的历史数据。

表11. 各地区核能消费

	世界 平均年增长率			西方 平均年增长率			东方 平均年增长率		
	Q Btu	Q Btu	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual CAAGR持续年度增长率)	Q Btu	Q Btu	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual CAAGR持续年度增长率)	Q Btu	Q Btu	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual CAAGR持续年度增长率)
2000	27			21			5		
2024	29	0.1	0.4%	20	0.0	-0.2%	9	0.2	2.2%
2050	2024-2050			2024-2050			2024-2050		
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经 ; ETS : 排放交易系统)			1.1%	—	—	—	—	—	—
bp 低于 2°C	63	1.3	3.0%	28	0.3	1.2%	36	1.0	5.4%
目前轨迹	46	0.6	1.8%	20	0.0	-0.1%	26	0.7	4.2%
挪威Equinor广场	44	0.6	1.6%	24	0.1	0.6%	21	0.5	3.3%
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	48	0.7	1.9%	26	0.2	1.0%	21	0.5	3.4%
埃克森美孚	45	0.6	1.7%	21	0.0	0.2%	24	0.6	3.8%
IEA CPS国际能源署 能源政策司	54	1.0	2.4%	30	0.4	1.6%	23	0.6	3.7%
IEA步骤	58	1.1	2.6%	31	0.4	1.7%	26	0.7	4.1%
IEEJ 高级技术	61	1.2	2.9%	31	0.4	1.6%	30	0.8	4.8%
IEEJ 参考文献	39	0.4	1.0%	22	0.1	0.2%	17	0.3	2.4%
欧佩克	49	0.8	2.0%	24	0.2	0.7%	25	0.6	4.0%
总动量	57	1.1	2.6%	29	0.3	1.4%	28	0.7	4.4%
彻底断裂	73	1.7	3.6%	29	0.3	1.3%	44	1.4	6.3%
总体趋势	55	1.0	2.5%	28	0.3	1.2%	28	0.7	4.4%

来源：国际能源署统计数据和国际能源署《2025年世界能源展望》的历史数据。

表12.按来源划分的全球电力生成

	煤炭	天然气	水	核	其他 可再生能源	石油	总数
2000	5,990	2,753	2,619	2,591	348	1,171	15,471
2024	10,797	6,785	4,448	2,835	5,607	757	31,229
2050							
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经 ; ETS : 碳排放交易系统)	4,089	8,890	4,596	3,780	31,275	271	53,217
bp 低于 2°C	720	3,560	6,650	6,130	53,160	30	70,250
目前轨迹	5,580	9,860	5,830	4,460	31,710	280	57,720
挪威Equinor广场	6,556	8,744	5,548	4,208	31,341	319	56,716
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	5,265	7,255	5,536	4,529	27,364	265	50,214
埃克森美孚	7,572	10,576	5,431	4,142	24,020	201	51,941
IEA CPS国际能源署 能源政策司	8,495	9,961	6,287	5,192	29,332	160	59,426
IEA步骤	4,606	7,532	6,383	5,531	33,901	128	58,081
IEEJ 高级技术	2,704	9,956	6,322	5,929	32,495	173	57,579
IEEJ 参考文献	7,596	10,581	5,746	3,726	21,672	343	49,664
欧佩克	7,884	10,194	6,727	4,762	27,330	660	57,556
总动量	5,617	6,779	5,574	5,507	40,839	211	64,526
彻底断裂	0	5,883	6,297	7,054	52,196	87	71,518
总体趋势	5,966	7,354	5,590	5,343	36,513	238	61,004

来源：来自国际能源署统计数据的历史数据 世界能源展望 2025 请注意：Equinor排除了用于电解制氢所用的电力发电。

表13. 按来源分的全球可再生能源发电量

	水	生物质和 浪费	风	太阳能	地热	其他	总数
2000	2,619	164	0	0	52	131	2,967
2024	4,448	760	2,533	2,092	100	121	10,055
2050							
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经 ; ETS : 欧洲排放交易系统)	4,596	502	15,391	15,168	152	62	35,870
bp 低于 2°C	6,650	780	24,230	26,480	740	930	59,810
目前轨迹	5,830	770	14,230	16,320	350	40	37,540
挪威Equinor广场	5,548	1,171	11,495	18,471	—	204	36,889
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	5,536	1,263	11,051	14,624	—	425	32,899
埃克森美孚	5,431	—	10,114	10,443	—	3,463	29,451
IEA CPS国际能源署 能源政策司	6,287	1,550	9,855	17,249	418	260	35,619
IEA步骤	6,383	1,575	10,991	20,619	452	263	40,284
IEEJ 高级技术	6,322	1,670	11,537	17,905	306	1,077	38,817
IEEJ 参考文献	5,746	1,450	7,355	12,149	249	469	27,418
欧佩克	6,727	1,317	—	—	—	26,013	34,057
总动量	5,574	1,234	16,664	22,208	0	733	46,413
彻底断裂	6,297	1,595	21,886	27,714	0	1,002	58,493
总体趋势	5,590	1,235	14,535	20,069	0	673	42,103

来源：来自国际能源署统计数据的历史数据 *世界能源展望 2025* 备注：Equinor和Total将地热能计入“其他”。ExxonMobil将生物质能、废物和地热能计入“其他”。OPEC将地热能、风能和太阳能计入“其他”。“生物质和废物”包括生物质气。

表14. 各区域净二氧化碳排放量

	世界	平均年增长率		西方	平均年增长率		东方	平均年增长率	
	MMT	MMT	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)	MMT	MMT	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)	MMT	MMT	CAAGR持续年度增长率 (Compound Annual Growth Rate)
2000	23,709	—	—	14,197	—	—	9,512	—	—
2024	35,492	491.0	1.7%	12,696	-62.5	-0.5%	22,796	553.5	3.7%
2050	2024-2050			2024-2050			2024-2050		
BNEF ETS (BNEF : 彭博新能源财经 ; ETS : 排放交易系统) ¹²	—	—	-1.1%	—	—	—	—	—	—
目前轨迹	28,892	-253.8	-0.8%	—	—	—	—	—	—
挪威Equinor广场	28,229	-279.3	-0.9%	—	—	—	—	—	—
挪威油气公司 (Equinor) 的井壁	1,372	-543.1	-1.9%	—	—	—	—	—	—
埃克森美孚	26,786	-334.8	-1.1%	7,995	-180.8	-1.8%	18,790	-154.1	-0.7%
IEA CPS国际能源署 能源政策司	37,779	88.0	0.2%	11,252	-55.5	-0.5%	24,765	75.7	0.3%
IEA步骤	29,629	-225.5	-0.7%	8,977	-143.0	-1.3%	19,135	-140.8	-0.7%
IEEJ 高级技术	14,135	-821.4	-3.5%	3,273	-362.4	-5.1%	9,765	-501.2	-3.2%
IEEJ 参考文献	32,537	-113.6	-0.3%	8,877	-146.9	-1.4%	21,628	-44.9	-0.2%
总动量	22,240	-509.7	-1.8%	5,200	-288.3	-3.4%	17,050	-221.0	-1.1%
彻底断裂	8,060	-1,055.1	-5.5%	3,320	-360.6	-5.0%	4,730	-694.9	-5.9%
总体趋势	27,070	-323.9	-1.0%	9,390	-127.1	-1.2%	17,690	-196.4	-1.0%

来源：能源学院的历史数据。¹²

备注：净二氧化碳排放量包括来自直接空气捕获和碳捕集与封存 (CCS) 等生物能源的正排放 (总排放) 和负排放。二氧化碳排放数据包括化石燃料

^{2, 2} 燃烧并排除工业流程排放。在包含无法分解的甲烷排放的数据中被省略。区域CO2排放不计。

² 由挪威国家石油公司Equinor提供。欧佩克在其报告中未发布CO预测。 *世界石油展望2025* .

²

结尾注

1. BNEF. 新能源展望 2025 . <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/new-energy-outlook-2025/> (2025). 2. 英国石油公司 (BP). <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2025.pdf> (2025). 3. 挪威 Equinor 《2025能源展望：全球宏观经济和能源市场前景》 . <https://cdn.equinor.com/files/h61q9gi9/global/3614d79cb24d8d69f8551477dc3119c510e76c4c.pdf> (2025). 4. 埃克森美孚. 2025全球展望 . <https://corporate.exxonmobil.com/-/media/global/files/global-outlook/2025-executive-summary.pdf> (2025). 5. 国际能源机构 世界能源展望 2025 . <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025> (2025). 6. 日本能源经济研究所 IEEJ展望2026 . <https://enen.iej.or.jp/data/12798.pdf> (2025). 7. 欧佩克 2025年世界石油展望2050 . <https://publications.opec.org/wool/Download> (2025) 8. 总能源公司. 能源展望2025 . https://totalenergies.com/sites/g/files/nytnzq121/files/documents/totalenergies_TotalEnergies_presentation_Energy_Outlook_2025_EN.pdf (2025). 9. Nemet, G. , Greene, J. , Müller-Hansen, F. 和 Minx, J. C. “历史技术采用数据集为新兴二氧化碳去除措施规模化提供信息。” *通信 地球与环境* 4,397 (2023). P. Smith 等人。“降低二氧化碳排放的生物物理和经济效益限制。” *自然气候变化* 6, 42-50 (2016) 。 11. 美国能源部。在COP28上，各国发布宣言，力争到2050年将核能装机容量增加三倍，认识到核能在实现碳中和中的关键作用。 <https://www.energy.gov/articles/cop28-countries-launch-declaration-triple-nuclear-energy-capacity-2050-recognizing-key> (2023) 。 12. 能源学院。 2025能源院世界能源统计回顾 . (2025). 13. 国际可再生能源机构 (IRENA) 。 IRENA呼吁到2030年将可再生能源增至三倍，在COP28上成为一项关键承诺。 <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Dec/IRENA-Call-to-Triple-Renewables-by-2030-Becomes-a-Key-Commitment-at-COP28> (2023) 。 14. 世界银行。世界银行开放数据。 *世界银行开放数据* . <https://data.worldbank.org> (2025). 第15章 全球碳收支。最新全球碳收支数据 (2025年) 。 *全球碳预算* . <https://globalcarbonbudget.org> (2025)。 16. 罗德，R. 2025年全球温度报告。 *伯克利地球* . <https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2025/> (2026).

17. 国际能源署。能源统计数据浏览器。 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser> (2025)。18. 国际能源署。石油。 <https://www.iea.org/reports/oil-2025> (2025)。19. 国际能源署。天然气。 <https://www.iea.org/reports/gas-2025> (2025)。20. 《国际燃气联盟 全球燃气报告 2025》 <https://www.igu.org/igu-reports/global-gas-report-2025> (2025)。21. 美国内政部。特朗普政府通过暂停海上风电租赁来保护美国国家安全。 <https://www.doi.gov/pressreleases/trump-administration-protects-us-national-security-pausing-offshore-wind-leases> (2025)。22. 全球能源监测等。《繁荣与萧条：2025年全球煤电项目追踪》。 <https://globalenergymonitor.org/wp-content/uploads/2025/03/Boom-Bust-Coal-2025.pdf> (2025)。23. 秦, Q. 和舍尔, C. 煤炭失去阵地但并未放手：结构性惯性和中国在电力系统中调整煤炭角色的斗争。 https://energyandcleanair.org/wp-content/uploads/2025/08/CREA_GEM_China_Coal-power_H1-2025.pdf (2025)。24. 国际能源署。2025年煤炭：2030年分析与预测。 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/113a8274-500c-4684-951f-947d25bef3c9/Coal2025.pdf> (2025)。25. Myllyvirta, L. 中国和印度的煤炭发电量在52年来首次因清洁能源创纪录而下降。 *能源记录*。 <https://www.carbonbrief.org/analysis-coal-power-drops-in-china-and-india-for-first-time-in-52-years-after-clean-energy-records/> (2026) 第26条 美国能源情报署 《2025年年度能源展望》。 <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/> (2025) 27. 加强美国国防：利用美国美丽清洁的煤电发电舰队。 *联邦登记簿*。 <https://www.federalregister.gov/documents/2026/02/17/2026-03156/strengthening-united-states-national-defense-with-americas-beautiful-clean-coal-power-generation> (2026年) 28. 美国能源部。2025年DOE 202(c)命令。 <https://www.energy.gov/ceser/2025-doe-202c-orders> 29. 美国能源部。能源部宣布投资6.25亿美元以重振和扩大美国的煤炭工业。 <https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-625-million-investment-reinvigorate-and-expand-americas-coal> (2025) 30. 美国能源部。能源部宣布拨款1.75亿美元用于现代化煤矿，确保美国民众可靠、负担得起电力供应。 <https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-175-million-modernize-coal-plants-keeping-affordable-reliable> (2026)。31. 富兰克林, M. 田纳西河谷管理局在特朗普执政下更改规则，重新承诺在田纳西州电厂使用煤炭。 *诺克斯维尔新闻信使报* (2026)。

32. 爱德华兹, A. 干叉站饲料研究标志着数十年来首次可能的煤炭扩张。 <https://wyoenergy.org/dry-fork-station-feed-study-signals-first-possible-coal-expansion-in-decades/> (2026)。33. 美国能源信息署。《年度电力工业报告》, EIA-860表详细数据及以前表格数据 (EIA-860A/860B) <https://www.eia.gov/electricity/data/eia860/> (2025)。34. 美国能源部。能源部长阻止冬季暴风雨期间提供基本电力的重要燃煤电厂关闭。 <https://www.energy.gov/articles/energy-secretary-prevents-closure-coal-plant-provided-essential-power-during-winter-storm> (2026)。35. 能源统计办公室。美国电力发电能力退休延迟可能持续到2026年。 *今天能源* (2026)。36. 客户能源公司及消费者能源公司。 *CMS能源公司 消费者能源公司 2025年12月31日结束年度的10-K表格提交给证券交易委员会的年报* (2025) 37. 气候观察。历史温室气体排放。 https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2023&start_year=1990 (2026)。第38条 经济、人口与气候变化司, 农业农村部 《关于温室气体社会成本的报告: 包含最新科学进展的评估》。 https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-12/epa_scghg_2023_report_final.pdf (2023)。39. 美国能源信息署。每千瓦时美国电力发电产生多少二氧化碳。常见问题解答 <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11> 40. 美国环境保护署。温室气体当量计算器。 <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator> (2024)。41. 美国环境保护署。估算减少直接排放的PM2.5、PM2.5前体的每吨效益的技术支持文件 ^{2.5 2.5} 并且21个部门的臭氧前体。 https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/source-apportionment-tds-oct-2021_0.pdf (2023)。42. 程, E. 《中国电动汽车价格战升温。大幅折扣背后的原因是什么?》 *CNBC*。 <https://www.cnn.com/2025/05/29/chinas-ev-price-war-heats-up-whats-behind-the-big-discounts.html> 43. 斯蒂利亚诺斯 (N. Stylianou)、利勒 (S. Learner)、德拉·托雷·阿雷纳斯 (I. de la Torre Arenas) 和琼斯 (S. Joiner)。如何通过超级电池开启能源革命。《*金融时报*》(2025年)。44. 国际能源署。 *能源效率2025*。 <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025/transport> (2025年) 45. 埃克特 (N.) 和罗伊 (A.) : 随着7500美元美国税收抵免即将结束, 汽车制造商力推电动汽车销量。 *路透社* (2025) 46. Sharma, N. 和 Haake, G. 特朗普签署决议阻止加州的电动汽车支持性规定。 *NBC新闻报道* (2025)。

47. 美国环保署新闻办公室。特朗普时代的环保署与机构合作伙伴正式重启对危害性评估结果的重新考虑。 *美国环境保护署* . <https://www.epa.gov/newsreleases/trump-epa-kicks-formal-reconsideration-endangerment-finding-agency-partners> (2025)。48. 杜邦, C. 等。“欧盟气候政策三十年：冲刺气候中性？” *WIRES 气候变化* 15 (2024)。49. Andersson, J. J. “碳税与二氧化碳排放：以瑞典为案例研究。”
2
美国经济期刊：经济政策 11, 1-30 (2019)。50. Pearson, P. J. G. 和 Watson, J. 《英国电力系统中低碳转型的展开》。 *《美国国家科学院院刊》* 120, e2206235 120 (2023)。51. Woerdman, E., Roggenkamp, M. & Holwerda, M. 欧盟气候政策。 *必要欧盟气候法* 10-42 (爱德华·埃尔加出版社, 2021年)。52. 新厄尔, R. G., 雷米, D., 阿尔达纳, G. 全球能源展望2019：能源的下一代。 <https://www.rff.org/publications/data-tools/global-energy-outlook/> (2019)。53. 纽厄尔, 理查德, 和斯图尔特·伊勒。2013. 全球能源展望。美国国家经济研究局。 <https://doi.org/10.3386/w18967> 54. Raimi, D. 和 Newell, R. G. 全球能源展望比较方法：2023年更新 <https://www.rff.org/publications/data-tools/global-energy-outlook/> (2023)。

