

全球能源部门 2050年 净零排放 路线图

政策决策者摘要

International
Energy Agency

iea

全球能源部门 2050年 净零排放 路线图

政策决策者摘要

2050年净零排放互动图
iea.li/nzeroadmap

2050年净零排放数据
iea.li/nzedata

iea

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

The IEA examines the full spectrum of energy issues including oil, gas and coal supply and demand, renewable energy technologies, electricity markets, energy efficiency, access to energy, demand side management and much more. Through its work, the IEA advocates policies that will enhance the reliability, affordability and sustainability of energy in its 30 member countries, 8 association countries and beyond.

Please note that this publication is subject to specific restrictions that limit its use and distribution. The terms and conditions are available online at www.iea.org/t&c/. This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA member countries:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czech Republic
Denmark
Estonia
Finland
France
Germany
Greece
Hungary
Ireland
Italy
Japan
Korea
Luxembourg
Mexico
Netherlands
New Zealand
Norway
Poland
Portugal
Slovak Republic
Spain
Sweden
Switzerland
Turkey
United Kingdom
United States

IEA association countries:

Brazil
China
India
Indonesia
Morocco
Singapore
South Africa
Thailand

The European Commission also participates in the work of the IEA

能源部门占当今温室气体排放的约四分之三，是避免气候变化最恶劣影响的关键，而气候变化或许是人类有史以来所面临的最大挑战。2050 年全球二氧化碳降至净零排放，与控制全球平均温度的长期增长不超过 1.5°C 的努力是一致的，这需要能源生产、运输和消费方式的彻底转型。实现净零排放的政治共识与日俱增，令世界对未来的进步相当乐观，但是人们对 2050 年实现全球净零排放所需要做出的改变知之甚少。要想让今天的雄心壮志变成现实，需要做大量的工作，尤其是考虑到各国的国情不同，做出必要改变的能力也有差异。国际能源署的这份特别报告提出了实现上述目标的途径，由此推动建立清洁、有韧性的能源系统，为人类的繁荣和福祉带来重大利益。

报告中详述的 2050 年全球净零排放路径，需要各国政府大力加强并成功实施其能源和气候政策。迄今为止的承诺远没有达到路径的要求。过去一年来，承诺实现净零排放的国家数量迅速增加，现已覆盖全球约 70% 的二氧化碳排放量。这是向前迈进了一大步；但是，大多数国家的承诺还缺乏近期政策和措施的支撑。此外，即使在 2050 年成功实现了已有的承诺，届时全球仍将排放约 220 亿吨的二氧化碳。按照这种趋势发展下去，2100 年全球气温将上升约 2.1°C 。由于新冠疫情的影响，2020 年全球二氧化碳排放量下降；但是随着经济复苏，碳排放量已经开始强劲反弹。如果不及时采取行动扭转上述趋势，那么 2050 年将无法实现净零排放。

本报告的政策决策者摘要部分概述了全球能源部门 2050 年实现二氧化碳净零排放的基本条件。按照报告中详述的路线图，是在不考虑能源部门以外的排放抵消、较少依赖负排放技术的情况下实现这一目标。该路线旨在实现技术可行性、成本效益和社会认可度的最大化，同时确保经济持续增长和能源安全供应。我们重点强调了目前需要采取的优先行动，以确保短暂但可以抓住的 2050 年实现净零排放的机会不被浪费。报告描绘了全球图景，但是不同国家和地区的起点不同，实现目标的时间也可能不同：发达经济体必须先于新兴市场和发展中经济体达到净零排放，并协助它们实现目标。我们也认识到，报告提出的路径不一定是最优的路径；因此，我们考察了一些关键的不确定性因素，特别是生物能源、碳捕捉和人们行为改变在净零排放中的作用。实现净零排放将有赖于世界各地人们无数的决策，但我们的主要目标是为政策决策者提供决策依据，因为政策决策者有最大的发挥空间使世界更加接近其气候目标。

2050 年净零排放取决于 2030 年前以空前的力度推进清洁技术

实现净零排放的路径很窄：要想不偏离这条路径，就需要立刻大量部署所有可用的清洁高效能源技术。本报告提出的净零排放路径中，2030 年世界经济将比目前增长约 40%，但能源消费却减少 7%。有必要在全球范围内大力提高能效，使 2030 年之前能源强度每年平均降低 4%，降低速度约为过去二十年平均水平的三倍。能源部门减排不仅仅限于二氧化碳；在我们的路径中，由于全球一致努力部署一切可用的减排措施和技术，来自化石燃料供应的甲烷排放也将在未来十年减少 75%。

越来越便宜的可再生能源技术，使电力在通向净零排放的赛道中脱颖而出。我们的路径要求今后十年迅速扩大太阳能和风能：2030 年之前，太阳能光伏每年新增装机 630 吉瓦，风电每年新增装机 390 吉瓦，增速达到 2020 年纪录水平的四倍。对于太阳能光伏发电而言，这相当于未来十年每天要安装一个目前世界最大的太阳能光伏园。水

电和核能作为当今世界两个最大的低碳电力来源，为电力低碳转型提供必要基础。随着电力部门变得更加清洁，电气化成为整个经济领域减排至关重要的手段。电动车在全球汽车销售中的占比将由目前的 5% 提高到 2030 年的 60% 以上。

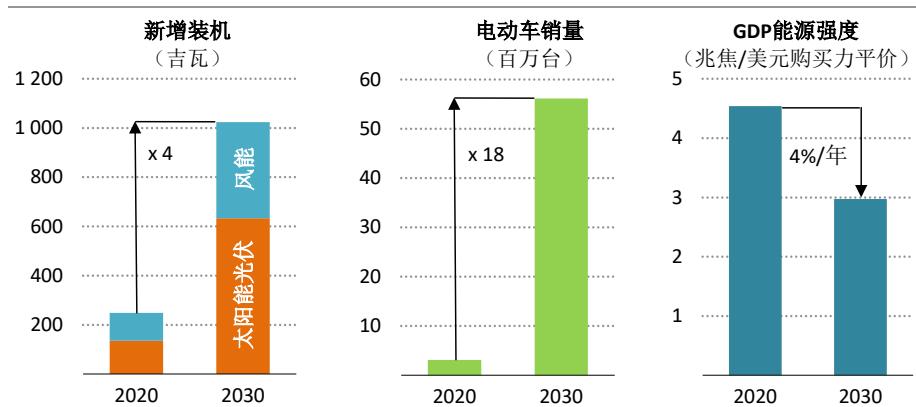
优先行动

实现清洁能源在 2020 年起的十年中大规模扩张

全球 2030 年实现必要大幅减排所需的所有技术都已经存在，推动其部署所需政策也已经得到证实。

随着世界继续努力应对新冠疫情的影响，支持经济复苏的投资和支出有必要与净零路径保持一致。应加强政策，加快部署清洁和高效能源技术。指令和标准对于驱动消费者支出、推进行业投资于最高效的技术至关重要。目标和竞争性拍卖可以赋能风能和太阳能，加速电力部门转型。化石燃料补贴逐步取消、碳定价以及其他市场改革可以确保提供适当的价格信号。应出台政策限制或抑制某些燃料和技术的使用，例如未采用减排措施的燃煤发电站、燃气锅炉和常规内燃机车辆。在智能输配电网路等大规模基础设施投资的规划和激励方面，政府必须发挥领导作用。

净零排放路径上，2030 年之前关键清洁能源技术的提升



注：GDP = 按购买力平价计算的国内生产总值。

2050 年实现净零排放需要清洁能源技术创新取得巨大飞跃

到 2050 年实现净零排放，需要进一步快速部署目前可用的技术，并广泛使用目前尚未进入市场的技术。为了将这些新技术及时推向市场，未来十年必须做出重大创新努力。在我们提出的路径中，到 2030 年全球大部分二氧化碳减排量将通过当今可用的技术来实现。不过，到 2050 年，几乎一半的碳减排将通过目前处于示范或原型期的技术而实现。在重工业和长途交通运输领域，更高比例的碳减排将归功于目前仍处于开发阶段的技术。

最大的创新机遇涉及先进电池、氢电解槽和直接空气捕捉储存。在净零路径中，这三个技术领域对于 2030 年至 2050 年期间的全球二氧化碳减排至关重要。未来十年内的创新，从研发、示范直到部署阶段，都需要大规模配套基础设施，包括用于运输已捕获二氧化碳的新建管道和港口与工业区之间的氢气运输系统。

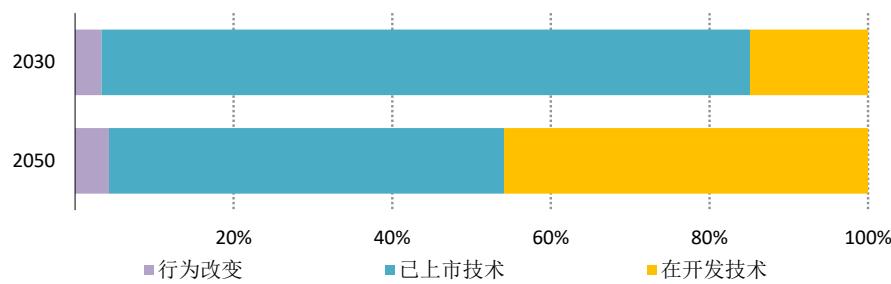
优先行动

力促创新，为下一阶段转型打好基础

必须快速提升清洁能源创新速度，政府的能源和气候政策要以研发、示范和部署为核心。

需要增加政府的研发支出并调整其重点。从研发投入来看，电气化、氢能、生物能源和碳捕获、利用和封存（CCUS）等关键领域的资金较少，仅为较成熟的低碳发电和能效技术的资金的三分之一左右。要支持加速推广示范项目，撬动私人研发投资，并提升总体部署水平以促进成本降低。此外，还需要尽快在全球范围内调动约 900 亿美元的公共资金，以便在 2030 年之前完成一系列示范项目。目前，同期预算只有约 250 亿美元。这些技术的开发和部署将创造重要的新产业、商业机遇，以及就业机会。

以 2020 年为基准，净零路径的年度二氧化碳减排量



净零转型以人为本、服务于人

若没有公民的持续支持和参与，则无法实现净零路径提出的转型规模和速度。净零转型将会影响到人们生活的方方面面，包括交通运输、供暖、烹饪、城市规划和工作等。在净零路径中，约 55% 的累积减排量与消费者选择相关，例如购买电动车、对房屋进行节能改造或安装热泵。此外，行为的改变，尤其是在发达经济体中，还可贡献约 4% 的累积减排量；上述行为改变包括以步行、自行车或公共交通代替汽车出行，以及放弃长途飞行等。

为约 7.85 亿无电人口提供电力，为 26 亿仍无法获得清洁烹饪燃料的人口提供清洁烹饪燃料，是净零路径不可或缺的一部分。减排与 2030 年能源普遍可及这两项工作必须齐头并进。这需要每年花费约 400 亿美元，相当于每年能源部门投资额的 1% 左右，还可以通过降低室内空气污染实现额外的共同利益。

清洁能源转型带来的一些变化，可能会给转型实施带来挑战，因此决策必须透明、公正且具有成本效益。政府需要确保清洁能源转型以人为本，并且具有包容性。在净零路径中，随着越来越多的人可获得能源、现代能源服务需求迅速增长，新兴市场和发展中经济体的家庭能源支出占可支配收入的比重将温和上涨，这些能源支出包括购买高效电器和燃料费用等。需要密切关注和确保家庭对能源的负担能力；可以向最贫困人口提供直接支持的政策工具包括税收抵免、贷款，以及针对性补贴。

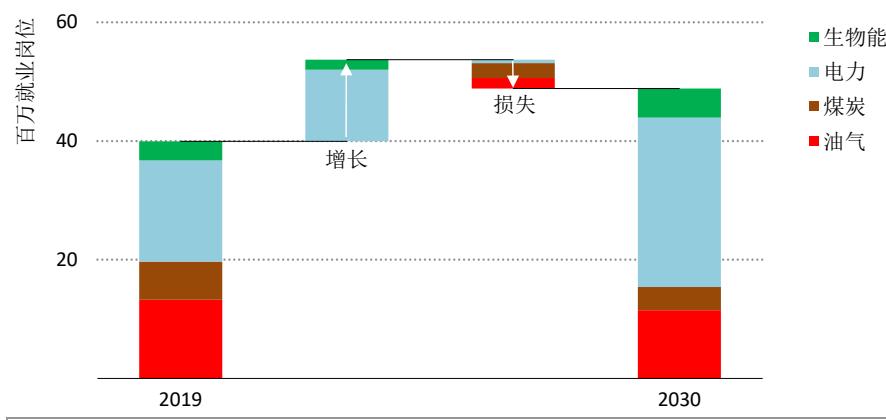
优 先 行 动

清洁能源就业将强劲增长，但必须大面积推广

能源转型必须考虑到个人和社区受到的社会和经济影响，并将人视为积极参与者。

净零排放转型带来大量的新就业机会：净零路径中，由于清洁能源领域的活动和投资增加，到 2030 年将创造 1400 万个就业机会。此外，在更高效的电器、电动和燃料电池车以及建筑物改造和节能建筑方面的支出，将进一步增加 1600 万个工作岗位。然而，这些新的就业机会往往不同于随着化石燃料减少而失去的工作，地点、技能组合和部门都不尽相同。在净零路径中，约有 500 万个工作岗位流失。这些流失的岗位大多位于化石燃料资源附近，而且其中许多工作的报酬较高；因此结构性变化可能会对社区造成冲击，产生长期影响。政策层面上，需要对此予以认真关注，处理好就业损失问题。至关重要的一点是，要尽量减少上述变化带来的困难，例如对工人进行再就业培训，尽可能将新的清洁能源设施设在受影响严重的地区，并提供区域援助。

2019-2030 年净零路径上的全球能源供应就业情况



可再生能源成为主导能源

在净零排放路径中，**2050** 年全球能源需求将比目前低 **8%** 左右，但其服务的经济规模是目前的两倍多，服务的人口比目前多 **20** 亿。能源更高效利用、资源效率和行为改变的有机结合，将抵消因世界经济发展和能源普遍可及而引起的能源需求的增长。

能源部门主要依靠可再生能源，而不是化石燃料。**2050** 年，风能、太阳能、生物能、地热能和水能将占能源供应总量的三分之二。太阳能将成为最大的能源来源，占能源供应总量的五分之一。到 **2050** 年，太阳能光伏装机将是现在的 **20** 倍，风电装机将是现在的 **11** 倍。

净零排放意味着化石燃料消费将大幅减少。化石燃料消费在能源供应总量中的占比，将由目前的近五分之四减少到 **2050** 年的略超于五分之一。**2050** 年仍在使用的化石燃料的用途包括：含碳商品（如塑料）、配有 CCUS 装置的生产设施，以及缺乏低排放技术的部门。

2050 年电力将占能源消费总量的近 **50%**。电力将在交通运输、建筑物、工业等部门中起着关键作用，在氢气等低排放燃料生产中起着至关重要的作用。为实现上述情景，**2050** 年全球总发电量需要达到目前的 **2.5** 倍以上。同时，从今开始不再对无减排设施的燃煤电厂（效率最低的燃煤）建设做出最终投资决定，**2030** 年之前最低效的燃煤电厂全部淘汰，**2040** 年之前对仍在使用的其余燃煤电厂进行改造。到 **2050** 年，近 **90%** 的发电来自可再生能源，风能和太阳能光伏发电合计占近 **70%**，其余大部分来自核电。

工业、交通运输和建筑物领域的减排需要更长时间。要想实现工业领域 **2050 年减排 95%，就需要大力建设新的基础设施。**从现在到 **2030** 年的十年间，通过研发、示范和初步部署，科技创新将取得快速进展，新清洁技术将进入市场，届时这些技术将必须要在全世界付诸应用。**2030** 年起，每月需要为 **10** 座重工业工厂配备 CCUS，建造 **3** 座新氢能工厂，并在工业场所增加 **2** 吉瓦电解槽制氢能力。出台政策，要求在 **2035** 年之前停止销售内燃机汽车，并推动电气化，从而支持交通运输领域大幅减排。到 **2050** 年，全球路上行驶的汽车均为电动车或燃料电池车。在电力无法容易或经济地满足能源需求的情况下，有必要发展低排放燃料。例如，航空业将主要依靠生物燃料和合成燃料，而氨对航运业至关重要。在建筑物领域，需要 **2025** 年起全球范围禁止新增化石燃料锅炉，从而推动电热泵的销售。绝大多数老旧建筑物和所有新建筑物均要符合“零碳就绪”建筑物能源规定。¹

¹ “零碳就绪”建筑物是高能效建筑，要么直接使用可再生能源，要么使用到 **2050** 年将完全脱碳的能源供应，如电力或区域供热。

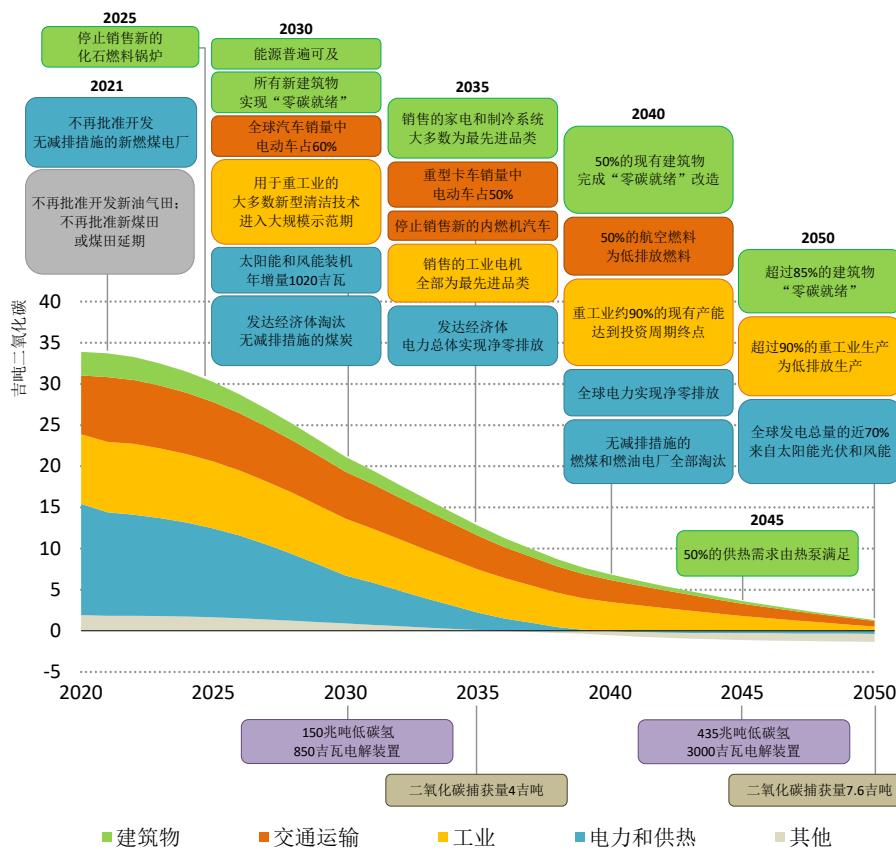
优先行动

设定近期里程碑，走上实现长期目标的正轨

各国政府需要提供可信的逐步规划，以实现其净零目标，并树立投资者、行业、公民和其他国家对本国政府的信心。

政府的长期政策框架必须到位，以使政府各部门和利益攸关方能够做出有计划的改变，促进有序转型。《巴黎协定》所要求的长期国家低排放战略，可以作为国家转型的愿景，而本报告可以作为全球转型的愿景。这些长期目标需要有配套的可衡量的短期目标和政策。净零路径详细提出了 400 多个部门和技术里程碑，以指导 2050 年实现净零的全球征程。

净零路径上的关键里程碑



净零路径上，无需投资于新的化石燃料供应

除了 2021 年及之前已经承诺的项目外，净零路径提出不再批准油气田新开发项目，也不再批准煤矿新建或延期项目。净零路径中，坚定不移地关注气候变化政策将导致化石燃料需求急剧下降；因此，石油和天然气生产者将转移关注焦点，从现有油气资产的运行完全转向产出和碳减排。到 2050 年，对未采用减排措施的煤炭的需求将仅占能源消费总量的 1%，降幅达 98%；天然气需求将下降至 1.75 万亿立方米，降幅 55%；石油需求将下跌至 24 百万桶/天，相比 2020 年的约 90 百万桶/天降低 75%。

清洁发电、网络基础设施和终端用能部门是投资增长的关键领域。使能基础设施和技术对于能源系统转型至关重要。输配电网年度投资将从目前的 2600 亿美元增长到 2030 年的 8200 亿美元。电动车充电桩将从目前的约 100 万台增加到 2030 年的 4000 万台，这将需要 2030 年的年度投资额达到近 900 亿美元。电动车电池的年产量将从目前的 160 吉瓦时跃升至 2030 年的 6600 吉瓦时，相当于未来十年每年新增近 20 个千兆级电池制造厂（gigafactory）²。2030 年之后氢能和 CCUS 的推广，意味着现在就要开始基础设施建设：每年用于二氧化碳管道和氢能基础设施的投资额，将从目前的 10 亿美元增加到 2030 年的约 400 亿美元左右。

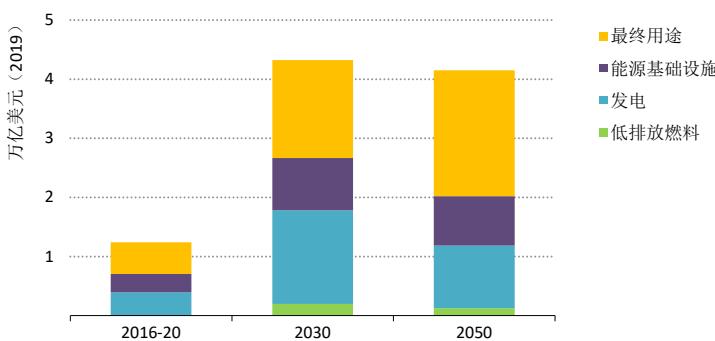
优先行动

推动清洁能源投资实现历史性增长

需要制定政策来发出市场信号，以释放新型商业模式，调动私人支出；特别是在新兴经济体。

加快国际公共财政交付对能源转型至关重要，特别是在发展中经济体，但所需额外投资中的大部分将最终需要由私营部门来提供资金。要想调动大规模基础设施建设所需的资金，需要开发商、投资者、公共财政机构和政府之间更紧密地合作。减少投资者的风险对于确保清洁能源转型的成功和可负担性至关重要。许多新兴市场和发展中经济体中，新能源项目和工业设施主要依靠公共资金，它们需要改革政策和监管框架以吸引更多私人资金。这些经济体将需要国际长期资本，以支持现有和新兴清洁能源技术的发展。

净零路径上的清洁能源投资



² 千兆级电池制造厂的产能假设 = 每年 35 吉瓦时。

空前的清洁能源投资热潮助推全球经济增长

根据我们与国际货币基金组织（IMF）的共同分析，到 2030 年，全球年度能源投资总额将猛增至 5 万亿美元，带动全球 GDP 增量每年提升 0.4 个百分点。随着全球从新冠疫情中恢复，清洁能源和能源基础设施的投资空前增长，2030 年投资额将是现在的三倍多，这将带来巨大的经济利益。私营部门和政府在清洁能源（包括能效）、工程、制造和建筑行业等方面的支出猛增，将创造数百万个就业机会。上述各项行动将使 2030 年的全球 GDP 比基于当前趋势的测算值高出 4%。

在实现以投资引导增长并确保利益由所有人共享方面，各国政府发挥关键作用。不同地区受到的宏观经济影响差异很大。但是，在吸引大量私人资本，并帮助抵消许多国家化石燃料收入减少等方面，政府投资和公共政策是十分必要的。把清洁能源新技术推向市场的重大创新努力，能够提高生产率并创造全新产业；可以将这些新产业布局到现有产业工作流失的地区。净零路径上，改善空气质量可带来重大的健康益处，2030 年全球因空气污染而过早死亡的人数将比今天减少 200 万。实现 2030 年能源普遍可及，将大大提高发展中经济体的民生福祉和生产力水平。

能源安全方面新问题已经浮现，旧问题仍然存在

石油和天然气生产的收缩，将对这些燃料的所有生产国和生产商产生深远的影响。在净零路径中，不再需要新建油气田，油气供应日益向少数低成本生产商集中。石油方面，欧佩克在全球石油供应中的份额将从近年来的约 37% 增至 2050 年的 52%，达到石油市场历史上的最高值。油气生产国的人均年收入将从近年来的 1800 美元降至 2030 年代的 450 美元，降幅约 75%，可能会带来一系列社会影响。这些国家需要进行结构性改革，开发新的收入来源，即使改革不可能完全弥补油气收入的下降。虽然传统能源供应活动减少，但是油气行业的专业知识与氢能、CCUS 和海上风电等技术契合度很高，非常适合于解决一些减排最具挑战部门的碳减排技术问题。

能源转型需要大量的关键矿物，其供应将成为一个重要的增长领域。在净零路径中，铜、钴、锰和各种稀土等关键矿物的总市场规模将在 2020 年至 2030 年期间增加近 6 倍。这些矿产的收入将在 2030 年之前就超过煤炭的收入。这为矿业公司创造了重要的新机会，同时也引起了新的能源安全关切，包括在供给跟不上激增需求的情况下出现价格波动，推高转型成本。

随着所有部门快速电气化，电力在世界能源安全中的中心地位将愈发凸显。一方面，由于化石燃料发电装机逐步退出，常规灵活性电源减少；而另一方面，电力系统灵活性到 2050 年要翻两番，以平衡风能、太阳能和不断演变的需求。因此，转型需要以智能和数字化程度更高的电网为支撑，大力发展能提高灵活性的各种渠道，包括电池、需求侧响应和低碳灵活发电厂。电力系统对网络攻击和其他新兴威胁的韧性也需要增强。

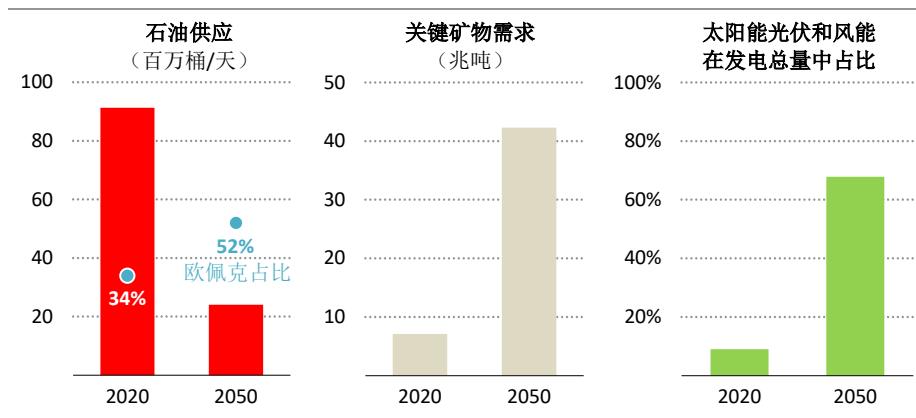
优先行动

当即应对新出现的能源安全风险

实现净零排放的道路上，要确保以可承受的价格不间断、可靠地供应能源和能源相关关键商品——这一点的重要性将会有增无减。

随着对可再生电力的依赖增加，石油和天然气的作用减弱，能源安全的焦点将发生转变。电力的重要性在不断提升，供给不断变化和网络安全风险等潜在的脆弱点将随之而来。政府需要为电池、数字解决方案和电网的投资创造市场，奖励灵活性，实现充足可靠的电力供应。由于对关键清洁能源技术所需的关键矿物的依赖度不断增加，所以需要建立新的国际机制，以确保供应的及时性和生产的可持续性。同时，由于石油生产将更为集中，因此传统的能源安全问题仍将继续存在。

净零路径中的全球能源安全指标



国际合作对 2050 年实现净零排放至关重要

净零排放是否能够成为现实，取决于各国政府是否能高度专注、坚定不移地聚焦于政府间合作，以及与企业、投资者和公民之间的合作。所有利益攸关方都需要充分发挥各自的作用。净零路径中各级政府采取的广泛措施，将推动、影响和激励消费者的购买行为和企业投资，包括能源企业对生产和能源服务新方法的投资方式，企业对设备的投资方式，消费者家居制冷供暖、为设备充电和为出行提供动力的方式。

政府政策决定对这些变化起到支撑作用。设计制定具有成本效益的国家和地区净零路线图，要求政府各部门之间开展合作，打破部门壁垒，将能源融入到各国关于金融、劳务、税收、交通运输和工业等方面政策中去。仅靠能源部或环境部等少数部委的力量，不足以采取充分的政策行动，实现 2050 年净零排放目标。

能源消费变化导致化石燃料税收大幅下降。如今，柴油、汽油和其他化石燃料消费税是许多国家公共收入的重要来源，其在国家收入中的占比在有些情况下高达 10%。在

净零路径中，来自石油和天然气零售的税收将在 2020 年至 2030 年期间下降约 40%。要想较好地应对上述税收下降，将需要长期财政规划和预算改革。

净零路径依赖于各国政府开展前所未有的紧密国际合作，特别是在创新和投资领域。国际能源署随时准备为各国政府提供支持，包括制定国家和地区的净零路线图、指导和协助实施相关计划、促进国际合作，以加快全球能源转型。

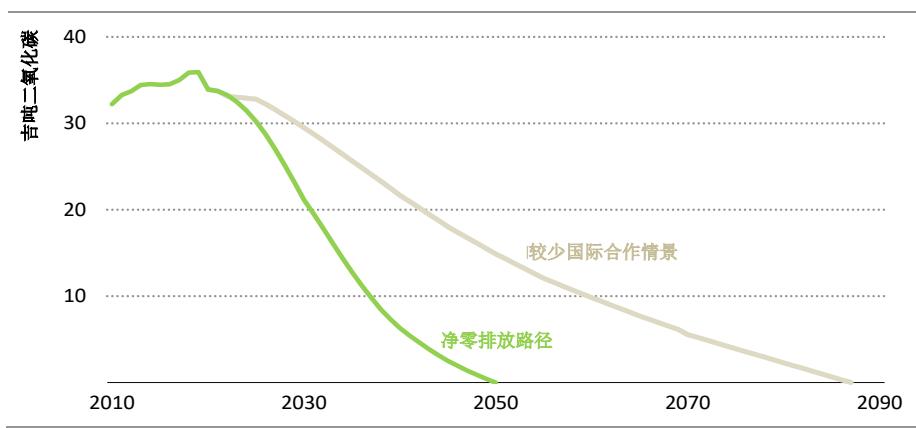
优 先 行 动

将国际合作推向新高度

各国政府力求仅在本国实现净零排放并不够，还需要通过协调的行动来应对全球挑战。

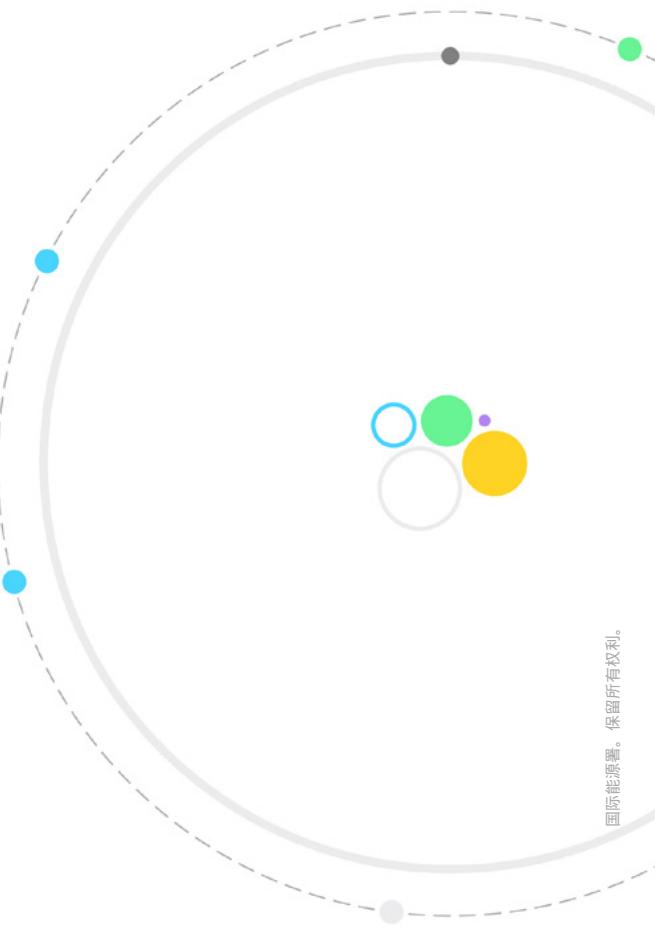
各国政府必须开展有效的互利合作，跨越国界实施协调一致的措施，包括谨慎平衡国内新增就业机会、本地商业优势，以及全球对清洁能源技术部署的整体需要。各国市场之间需要相互连接，才能加快创新，制定国际标准，并且协调推广清洁技术。合作中，必须认识到各国发展阶段的差异和社会各组成部分的不同情况。对许多富裕国家来说，如果没有国际合作，实现净零排放将更加困难和昂贵。对很多发展中国家而言，倘若没有国际援助，净零排放路径将不甚明朗。关键技术基础设施的部署需要技术和资金支持才能得到保障。除非扩大国际合作，否则到 2050 年全球二氧化碳排放量将不会实现净零。

净零路径上以及较少国际合作情景下，全球能源相关二氧化碳排放量

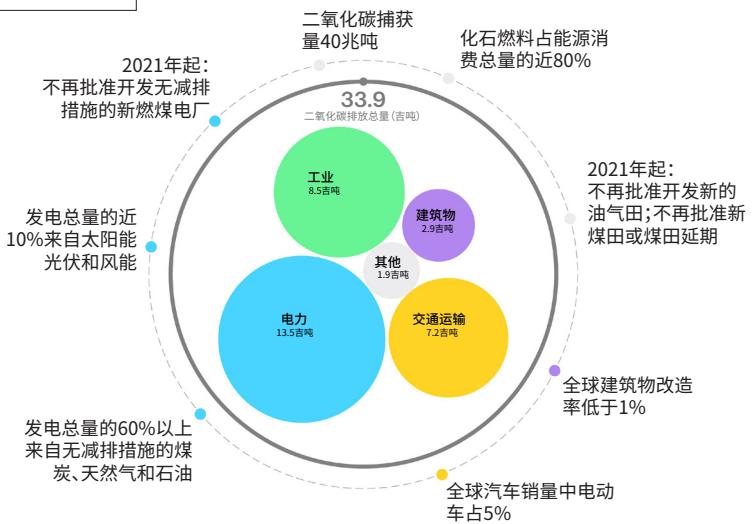


到2050年在全球范围内 实现净零排放

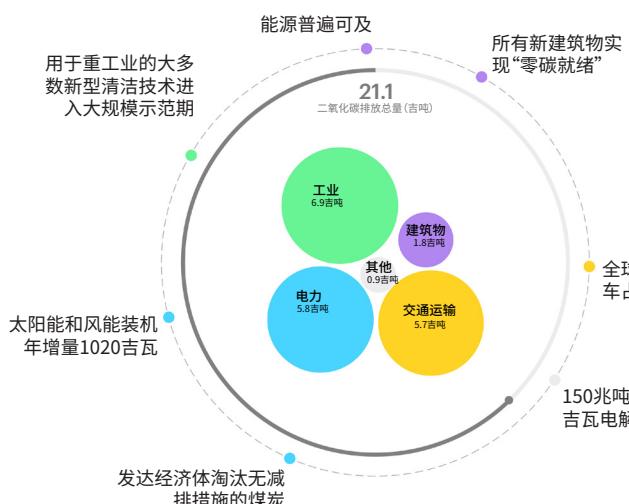
是一个
关键而艰巨的目标



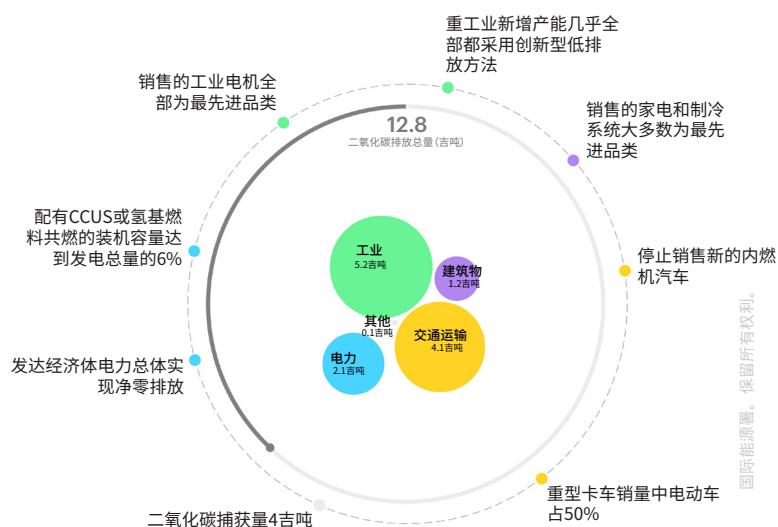
2020

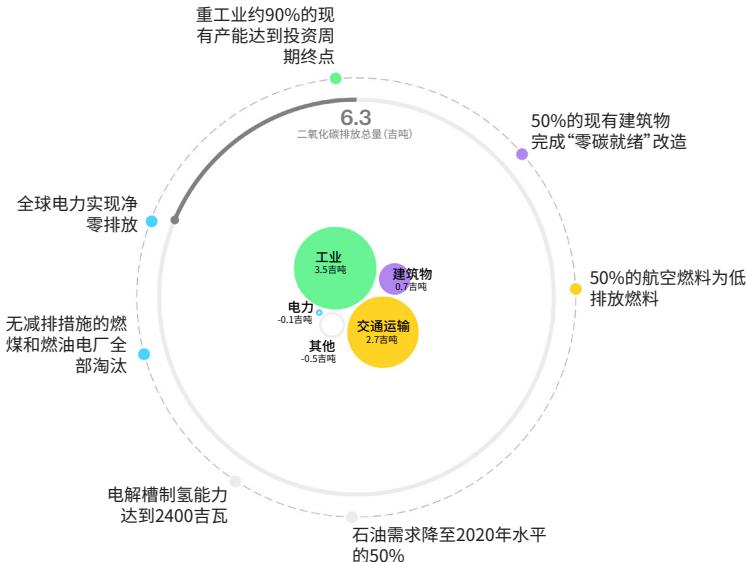


2030



2035





Chinese translation of Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector
(Executive Summary)

此执行摘要原文用英语发表。虽然国际能源署尽力确保中文译文忠实于英文原文，但仍难免略有差异。此中文译文仅供参考。

No reproduction, translation or other use of this publication, or any portion thereof, may be made without prior written permission. Applications should be sent to: rights@iea.org

This publication reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of individual IEA member countries. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the publication's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the publication. Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA. All rights reserved.

IEA Publications

International Energy Agency

Website: www.iea.org

Contact information: www.iea.org/about/contact

Typeset in France by IEA - June 2021

Cover design: IEA

lea