

# 践行使命 打造 全球零碳经济

执行摘要

2020年9月

版本1.0



Energy  
Transitions  
Commission

# —— 践行使命 打造全球零碳经济

能源转型委员会(ETC)汇集了全球能源领域中各行各业的领导者,其中包括能源生产商、能源密集型产业、设备供应商、金融机构和环保领域的非政府机构。我们的使命是打造一个既能够确保发展中国家达到发达世界生活水平,又能够将全球气温上升限制在2°C以内,并尽可能趋近1.5°C的全球经济。要实现这一目标,我们的世界需要在世纪中叶前后实现温室气体净零排放。

能源转型委员会由Adair Turner勋爵和Ajay Mathur博士共同担任主席。具体委员名单详见下页。

本《完成可完成的使命》报告由能源转型委员会的委员编制而成。由SYSTEMIQ担任的委员会秘书处对报告的编制提供了重要支持。报告以能源委员会过往报告为基础整合而成,综合了包括企业、行业倡议行动、国际机构、非政府机构和学术机构专家提供的咨询意见。本报告整合了由气候政策倡议组织、Copenhagen Economics咨询公司、Material Economics咨询公司、麦肯锡咨询公司、落基山研究所、能源与资源研究所、大学海事咨询服务组织、Vivid Economics咨询公司、SYSTEMIQ等机构与能源转型委员会合作的研究成果,以及广泛文献综述的结果。我们特别参考了国际能源署和彭博新能源财经的分析,也特别感谢各方合作伙伴与参与者为这份报告做出的贡献。

本报告代表了能源转型委员会的集体观点。能源转型委员会成员认可本报告中所作论点的大体主旨,但不应被视为同意其报告中的所有结论或建议。能源转型委员会并未要求各委员所属的各机构正式认可本报告。

能源转型委员会委员不仅肯定了到本世纪中叶在能源和工业系统实现净零碳排放的重要性,而且就如何实现这一转型具有方向上的一致。对能源系统存在不同观点和利益的公司和组织的领导者之间得以达成这样的共识,应足以让全球各地的决策者们相信,在保持全球经济快速增长的同时,将全球升温幅度控制在远低于2°C的水平是可以实现的,而且实现这些目标的诸多关键行动都是明确且可以立即付诸实施的。

有关详情请访问:

[www.energy-transitions.org](http://www.energy-transitions.org)  
[www.linkedin.com/company/energy-transitions-commission](https://www.linkedin.com/company/energy-transitions-commission)  
[www.twitter.com/ETC\\_energy](https://www.twitter.com/ETC_energy)



# 我们的委员

Marco Alvera先生，  
首席执行官 – SNAM

Thomas Thune Anderson先生，  
董事会主席 – Ørsted

Brian Aranha先生，  
常务副总裁：策略部主管、首席技术官、  
研发、CCM、全球汽车、传播和企业责任  
– ArcelorMittal

Gregory Barker勋爵，  
执行董事长 – EN+

Pierre-André de Chalendar先生，  
董事长兼首席执行官 – Saint Gobain

Marisa Drew女士，  
首席可持续发展官兼可持续发展策略、咨  
询与财务部门全球主管 – Credit Suisse

Dominic Emery先生，  
办公室主任 – BP

Stephen Fitzpatrick先生，  
创始人 – Ovo Energy

Will Gardiner先生，  
首席执行官 – DRAX

John Holland-Kaye先生，  
首席执行官 – Heathrow Airport

Chad Holliday先生，  
董事长 – Royal Dutch Shell

Timothy Jarratt先生，  
办公室主任 – National Grid

Hubert Keller先生，  
执行合伙人 – Lombard Odier

Zoe Knight女士，  
常务董事兼HSBC可持续金融中心集团主  
管 – HSBC

Jules Kortenhorst先生，  
首席执行官 – 落基山研究所

Mark Laabs先生，  
常务董事 – Modern Energy

Richard Lancaster先生，  
首席执行官 – CLP

李政先生，  
气候变化与可持续发展学院常务副院长 –  
清华大学

Martin Lindqvist先生，  
首席执行官 – SSAB

Auke Lont先生，  
首席执行官兼董事长 – Statnett

Johan Lundén先生，  
高级副总裁兼项目与产品策略办公室主  
管 – Volvo Group

Ajay Mathur博士，  
所长 – 能源与资源研究所；联合主席 – 能  
源转型委员会

María Mendiluce博士，  
首席执行官 – We Mean Business

Jon Moore先生，  
首席执行官 – BloombergNEF

Julian Mylchreest先生，  
常务董事，自然资源部门（能源、电力与矿  
业）全球联合主管 – Bank of America

Damilola Ogunbiyi女士，  
首席执行官 – Sustainable Energy For All

Nandita Parshad女士，  
可持续基础设施部常务董事 – EBRD

Andreas Regnell先生，  
策略发展部高级副总裁 – Vattenfall

Carlos Sallé先生，  
能源政策与气候变化部高级副总裁 –  
Iberdrola

Siddharth Sharma 先生，  
集团首席可持续发展官 – Tata Sons  
Private Limited

Ian Simm先生，  
创始人兼首席执行官 – Impax

Mahendra Singhi先生，  
常务董事兼首席执行官 – Dalmia  
Cement (Bharat) Limited

Andrew Steer博士，  
所长兼首席执行官 – 世界资源研究所

Nicholas Stern勋爵，  
经济与政府教授 – Grantham Institute,  
London School of Economics

Günther Thallinger博士，  
管理委员会成员 – Allianz

Simon Thompson先生，  
董事长 – Rio Tinto

Robert Trezona先生，  
清洁技术部主管 – IP Group

Jean-Pascal Tricoire先生，  
董事长兼首席执行官 – Schneider  
Electric

Laurence Tubiana女士，  
首席执行官 – 欧洲气候基金会

Adair Turner勋爵，  
主席 – 能源转型委员会

黄文生先生，  
董事长 – 中国石化集团资本有限公司

Timothy E Wirth参议员，  
名誉主席 – 联合国基金会

张雷先生，  
首席执行官 – 远景集团

赵昌文博士，  
产业经济研究部部长 – 国务院发展研究  
中心

Cathy Zoi女士，  
董事长 – EVgo

# 到本世纪中叶打造繁荣的净零碳排放经济是一项可完成的使命

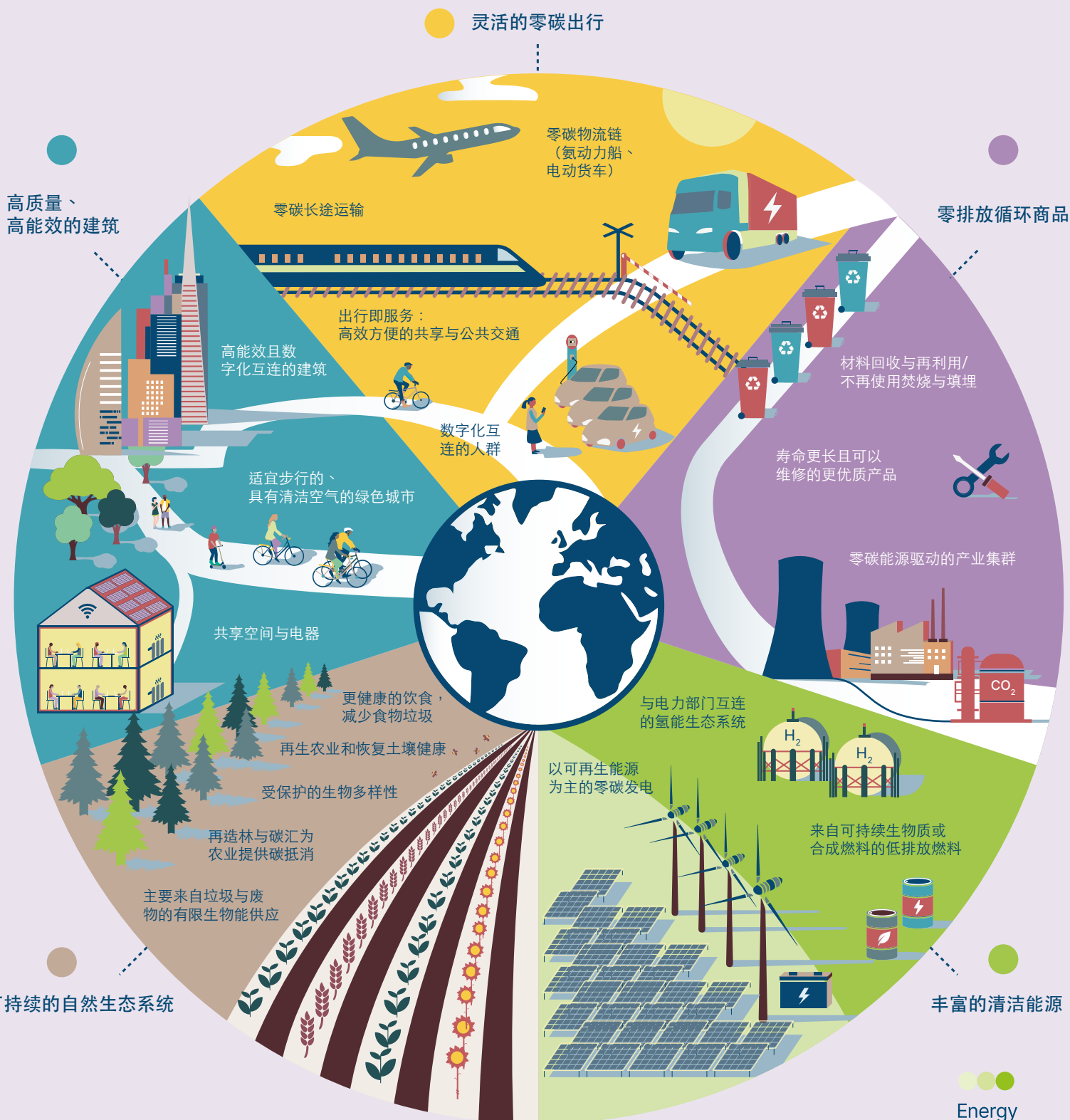
高质量、  
高效的建筑

灵活的零碳  
出行

零排放循环  
商品

丰富的清洁  
能源

可持续的自  
然生态系统



**能源转型委员会 (ETC)** 汇集了全球能源领域中各行业的领导者,其中包括能源生产商、能源密集型产业、设备供应商、金融机构和环保领域的非政府机构。我们的使命是打造一个既能够确保发展中国家达到发达世界生活水平,又能够将全球气温上升限制在 2 摄氏度 以内,并尽可能趋近 2 摄氏度的全球经济。要实现这一目标,我们的世界需要在世纪中叶前后实现温室气体 (GHG) 净零排放。

在过去的四年中,ETC 针对不同领域的脱碳挑战已分别发布了多部报告,包括针对特定部门的报告 (如面向电力部门的《更好的能源,更强的繁荣》和面向难脱碳领域的《可完成的使命》),以及在印度和中国发布的着重强调区域性挑战与机遇的报告。

这些报告的整体结论是清晰的:即在世纪中叶前后实现温室气体净零排放无疑在技术上和经济上都是可行的,并且不必依赖于造林、其他形式的土地利用方式改变或负排放技术带来的永久性显著排放抵消:

- **技术层面:** 实现目标所需的技术和商业解决方案都已成熟或接近进入市场。
- **经济层面:** 到 2050 年,对按传统方式衡量的生活质量影响,下降幅度最多为 0.5%,与无干预气候变化可能在 2050 年造成的严重负面影响相比是微不足道的。

实现温室气体净零排放意味着**对我们的能源系统进行彻底的变革**。对化石燃料无干预性地使用 (目前代表着超过 80% 的一次能源需求) 必须逐步停止,清洁的电力将成为能源的最主要载体,并辅以氢能、有限的可持续生物质能和有限的化石燃料利用,以及碳捕获与封存或利用 (CCS/U)。这将需要所有经济部门向新项目、新商业模式和新消费方式转型,并谨慎管理这一能源转型对就业和收入带来的影响。

**这一对全球能源系统的重新配置将产生重大的效益**。零排放转型将驱动创新和经济增长,并创造新的就业机会。它将通过减少地区性空气污染及其相关健康影响来改善生活质量——尤其是在发展中国家;通过提供成本低廉的电力和更高效的建筑来降低家庭能源开支;提供更灵活便捷的出行服务;并生产出更优质、更耐用的消费品。

本报告是在前所未有的背景下发布的:新冠疫情已引发了整个世界发展的停滞,造成 GDP 和国际贸易的突然下降,也证明了全球经济对系统风险的毫无防备,即便科学家早有预警也无济于事。虽然当前我们的首要任务是保护人类健康和尽快强化医疗系统,但这次危机也要求我们的经济复苏行动应重点打造一个更具韧性的经济。在这一背景下,本报告为政府和私营部门领袖们提供了一种如何投资未来经济,并**打造一个更健康、更具韧性的零碳经济**的愿景。此外,ETC 还发布了另外两部报告,为政府提供了具体行动建议以推动当前危机下的可持续复苏。

总体而言,ETC 确信发达国家应在 2050 年实现温室气体净零排放,而发展中国家最迟应在 2060 年实现这一目标。通过整合过往报告的结论,并更新我们的分析以反映关键技术可用状态和成本的最新趋势, **本报告解释了我们为什么确信以上目标是可行的,我们要如何完成转型,以及在 2020 年代需要落实的工作来推动世界走上正确的轨迹**。报告的内容依次包括:



1. Energy Transitions Commission (2017), *Greater Energy – Better Prosperity* 《更好的能源,更强的繁荣》
2. Energy Transitions Commission (2018), *Mission Possible* 《可完成的使命》
3. Energy Transitions Commission and Rocky Mountain Institute (2019), *China 2050: A Fully Developed Rich Zero-Carbon Economy* 《中国 2050: 一个全面实现现代化国家的零碳图景》; Spencer, T. and Awasthy, A. (2019), TERI, *Analysing and Projecting Indian Electricity Demand to 2030* 《2030 年印度电力需求分析与设计》; Pachouri, R., Spencer, T., and Renjith, G., TERI (2019), *Exploring Electricity Supply-Mix Scenarios to 2030* 《2030 年电力供应组合情景探索》; and Udetanshi, Pierpont, B., Khurana, S. and Nelson, D., TERI (2019), *Developing a roadmap to a flexible, low-carbon Indian electricity system: interim findings* 《印度弹性、低碳电力系统发展路线图: 中期结论》。
4. ETC and Rocky Mountain Institute (2020), *Achieving a Green Recovery for China: Putting Zero-Carbon Electrification at the Core* 《以零碳电气化为核心,实现中国的绿色复苏》; and ETC (2020), *7 Priorities to Help The Global Economy Recover* 《帮助全球经济复苏的七大优先原则》

# 实现净零碳排放是技术且经济可行的



在不使用碳抵消前提下全面脱碳各个部门所需的技术已经出现或正在开发之中



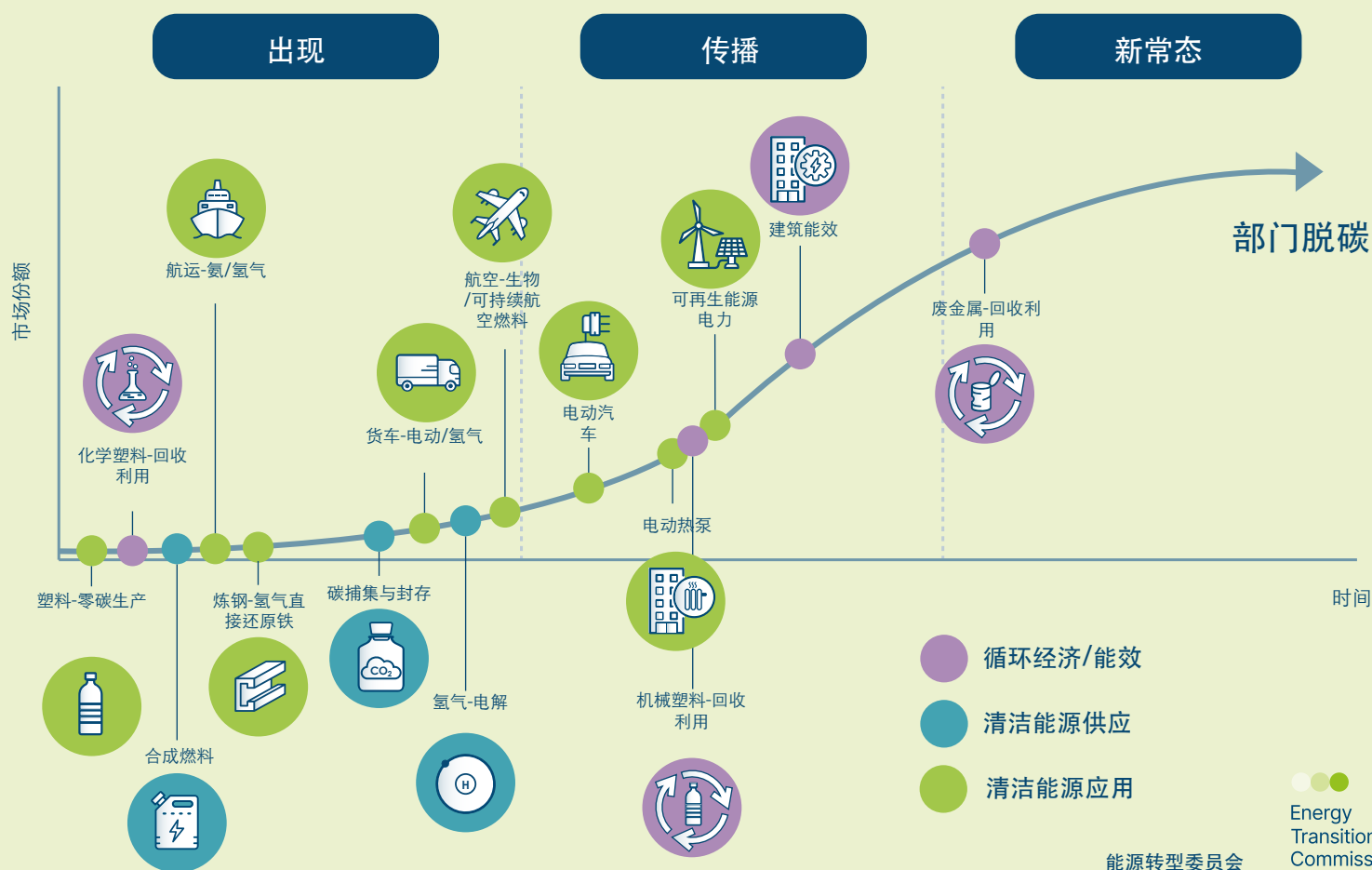
全面脱碳的成本占全球GDP的比例不足0.5%



## 打造净零碳排放经济的3个步骤



## 零排放解决方案的发展轨迹







## I. 在世纪中叶前实现零碳排放经济是可行的： 实现净零排放经济的三个步骤

以不到全球GDP 5%的总成本，在本世纪中叶前完成整个经济的脱碳是技术可行的。实现这一目标需要以下三个步骤：

1

### 减少能源用量：

大幅提高能源生产力。

2

### 扩大清洁能源供应规模：

大规模增加低成本清洁发电装机量和提高其他零碳能源供应。

3

### 在所有领域普及清洁能源应用：

在所有经济部门普及使用清洁能源替代化石燃料的新技术与工艺流程（包括清洁电力、零碳氢能、可持续生物能、以电能为基础的燃料和碳捕集与封存），从而完成能源利用方式的脱碳。

## 减少能源用量

我们有三大主要机遇来提高能源生产力，进而将能源转化为为人类提供福祉的商品与服务，在减少能源用量的同时维持甚至提高生活质量。这些机遇主要涉及三个方面（图A）：

- **能源效率：**各应用领域的技术能源效率仍有提高的空间，包括交通（如更高效的飞机）、工业（如减少传统高炉炼钢工艺的能源用量）和建筑（如更好的保温隔热技术和更高的空调系统性能系数）等。理论上，交通部门能效仍有可能提高50%；工业部门能效提高潜力相对较低，但也能达到10-20%的水平。
- **材料效率：**通过产品再设计、提高材料利用效率和提高材料回收利用率，我们有很多机会减少炼钢和水泥等能源密集型材料的初级生产。理论上，这些措施可以帮助全球重工业部门在照常发展模式基础上实现40%的减排。
- **服务效率：**最终，我们可以在减少使用能源密集型产品和服务的同时提供更高的生活质量——例如，通过更好的城市设计或共享模式提供更好的交通运输服务。这方面的潜力取决于消费行为的转变，因此更不易计算；但原则上，大幅度的减排都是可以实现的。

要抓住这些机遇，就必须对商业价值链（如产品的设计、流通及回收过程）以及消费与生活方式选择（如城市设计与出行系统）做出重大变革。

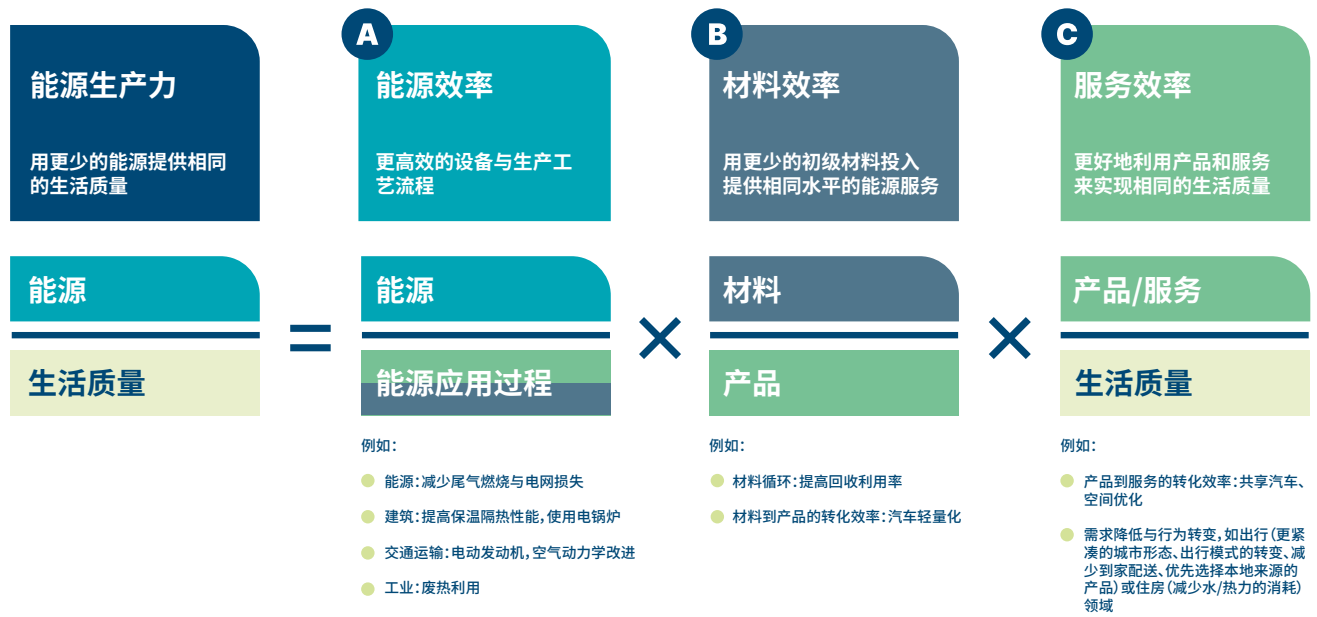
支持高品质生活质量所需的终端能源总量，也同样会受到各经济部门中**经济活动可实现的电气化程度**的影响。这反映了电力在一些应用场合中的固有效率优势——尤其是道路运输和建筑供暖领域。

最后，**数字技术**有潜力通过提供终端应用和系统效率方面的效益来为这些机遇做出巨大贡献：促进从建筑业到制造业等许多部门能源用量的减少（如3D打印、汽车轻量化）；更好地监测部门内的效率降低并对其做出自动反应（如工业能效监测、物流中的载重管理）；在能源系统层面加强能源需求监测和管理（如车联网联动V2G、建筑能效管理）。

综上所述，降低能源需求，进而降低能源转型成本的潜力是巨大的：**到本世纪中叶，能源需求在当前水平基础上的下降幅度可达到15%，并且不会影响发展中国家对生活质量的改善。**如果所有理论上可行的能源生产力提升机遇都得以实现，提高清洁能源供应规模所需的投资将大大降低。特别是在与能源生产力改善幅度有限的情景相比时，清洁电力供应所需的成本将会降低25%。



## 能源生产力涉及的三个方面



图

A

来源:SYSTEMIQ为能源转型委员会所做分析(2019),基于MATERIAL ECONOMICS(2018)《循环经济:应对气候变化的有力手段》



# 扩大清洁能源供应规模



脱碳，需要完成从碳密集型化石燃料向清洁能源的重要转变。**直接电气化将成为脱碳的主要途径**，因为这在多数应用中都是成本最低、能效最高的选项。因此，**扩大零碳电力供应规模就成为了最重要的优先任务**。不过，电气化在一些应用领域里目前还不可行，而在另一些领域还未具备经济性。

因此，要实现所有经济部门的完全脱碳还需要**另外三大技术的发展**：



**氢能**——作为一种能源载体，氢气的能源密度、可储存性和可提供高温热能的特性使其在一些特定应用领域成为了比电力更好的选择。通过电解水（“绿色氢气”）或由甲烷转化并配合碳捕集与封存技术（“蓝色氢气”）可以生产出低碳或零碳氢气，进而利用这些氢气生产氢基燃料（如氨与合成燃料）。



**碳捕集与封存**——除了制造蓝色氢气外，碳捕集与封存技术还可被应用于多种工业生产过程，并应用于热电厂，使其能够继续在以可再生能源为主的电力系统中提供灵活性电力供应。这种技术的经济性将取决于各地区可行且安全的碳封存有效容量的大小。



**生物质**——原则上，生物质可以满足许多不同应用领域的需求，包括工业用热、化学原料、灵活性热电供应和交通运输燃料。但各个部门使用生物质的整体规模必须考虑到可持续生物质供应的潜力有限。

要准确预测零碳经济中全球能源系统的构成是不可能的。但所有零碳经济的可行情景都涉及**直接电力应用的大规模扩张**（占最终能源需求的比例将从目前的19%提高到65%-70%）和**氢能作用的显著加强**（占最终能源需求的比例将达到15%-20%，并不断提高电解水制氢的比例）。

5. 在本报告中，“可持续生物质”一词指生产过程中不造成任何破坏性土地使用方式变化（特别是森林采伐）、生长和收获过程充分考虑生态影响（如生物多样性和土壤健康）且生命周期内的碳足迹至少比化石燃料替代方案低50%（充分考虑土地的机会成本以及各种生物原料和应用下的碳排放及在相应阶段与碳捕集的配合）的生物质。

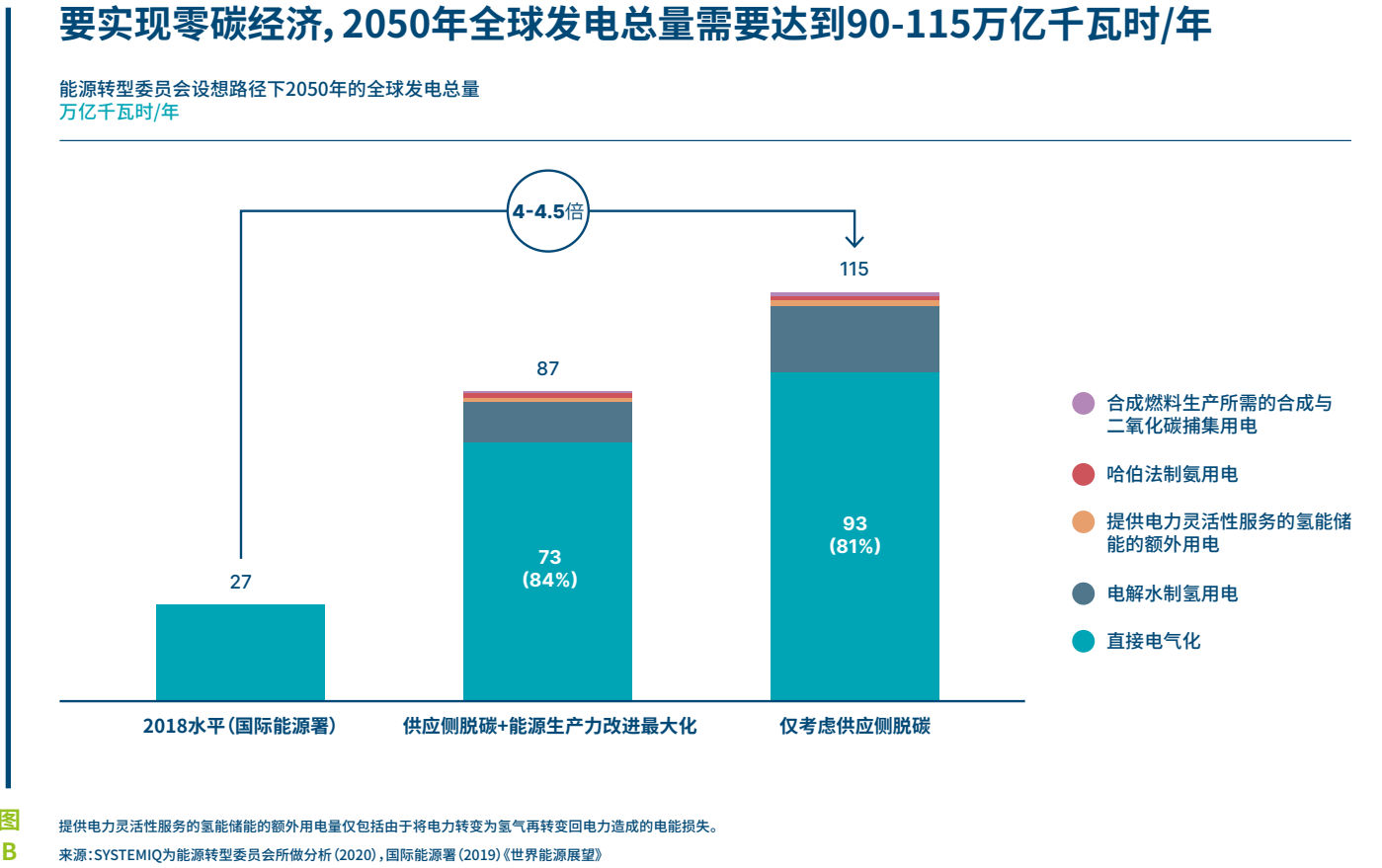
在零碳经济远景下，全球年度电力供应量将必须提高4-5倍，达到90-115万亿千瓦时 [图B]，并且所有这些电力都必须以零碳方式生产。要实现这一目标，我们需要快速地增大可再生能源电力的投资力度：在未来30年中，风电和光伏发电装机的年均增长速度需要达到2019年增长速度的大约5-6倍。

零碳电力的大规模部署将是经济可行的：在许多国家里，**可再生能源电力成本已经低于新建燃煤或燃气电厂的总成本，甚至在一些情况下已经低于现有热力电厂的边际成本**。随着可再生能源成本的持续降低，它们的成本优势会更加明显。

因此，最关键的问题已经不再是生产可再生能源电力的成本，而是在大比例可再生能源的电力系统中实现电力供需平衡的成本。但同样的，技术和成本的发展趋势正在使更多的解决方案成为现实：

- 日间灵活性需求可以通过电池储能技术来满足，其成本在近年来逐步下降，并预计将在2023年下降至每千瓦时100美元。但需求管理，特别是通过对电动汽车 (EV) 充电时间的优化管理，能够提供成本更低的解决方案。
- 最关键的问题在于如何在电力供需存在巨大季节性波动的国家提供周或季节性的平衡。但同样的，存在着多种可行的解决方案，包括季节性氢能存储；可调度的水电；热力电厂也可继续发挥一定作用（每年仅运行一部分小时数，并通过对燃气发电应用碳捕集与封存或利用，或使用可持续生物质来保证电力供应的零碳）；以及在时间上或空间上转移家庭和工业用电需求。

因此，我们的最新分析显示，最迟到2030年代中期，运行可再生能源占比达到85%的电力系统的**总成本**（包括所有需要的备用电厂、储能和灵活性服务）在许多地区都将具备与化石燃料系统竞争的水平，并将在一些地区显著低于化石燃料系统成本[图C]。





然而，除了零碳电力的主要作用外，以更大规模发展其他三种技术也具有重要的意义。在本世纪中叶前打造零碳经济需要大大加快以下领域的投资速度：

- 年度氢气生产总量需要从当前的大约6000万吨增加至本世纪中叶的5-8亿吨，以满足终端应用领域对氢气、氨和合成燃料的需求。
- 每年的碳捕集与封存/利用量需要增加至60-95亿吨二氧化碳，来消除剩余化石燃料使用的碳排放，主要来自重工业（总量的约40%）、甲烷重整制氢（总量的约30%）和高峰时段供电（总量的约20%）。
- 需要使用46-69 EJ的生物质能源，所有这些生物质能源都必须通过低碳的可持续方式生产，多数将来自于残余生物质。

总体而言，我们的世界无疑拥有足够的自然资源来完成向零碳经济的转型。我们拥有足够的土地、矿产和水资源来支持绿色电力和绿色氢气生产的大幅增长。虽然各地区间水平差异显著，但全球范围内也拥有足够的碳储存能力。**最大的不确定性在于真正可持续的低碳生物资源的供应规模。**如果生物资源的应用受到限制，这将增加人类对电力、氢气和碳捕集与封存路径的依赖，并需要优先在其他替代方式最不可用的应用领域使用可持续生物质。

## 各地区近零碳电力成本将根据气候特征、自然资源和现有电力灵活性基础设施而各不相同

2035年接近完全由可再生能源构成的电力系统的最大发电总成本  
美元/兆瓦时，按灵活性服务分类

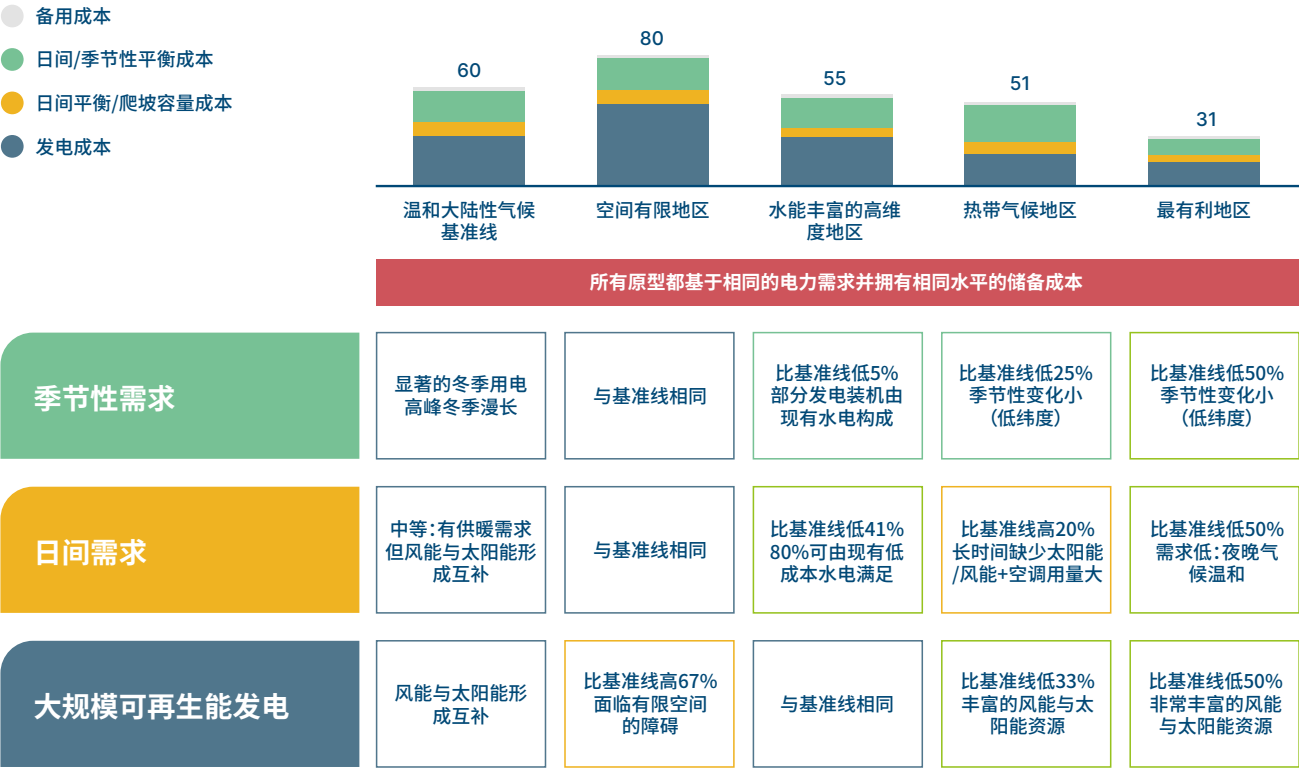


图 C 来源：改编自气候政策倡议组织为能源转型委员会所做分析（2017），《低成本的低碳电力系统》

## 在所有领域普及清洁能源应用

上文描述的清洁能源的四种形式保证了在本世纪中叶前实现所有经济部门净零排放的技术可行性（农业部门可能是唯一例外）。由于电能具备固有的效率优势，直接电气化将成为许多部门脱碳的首选。而在其他部门，尤其是工业与建筑部门，需要不同解决方案的组合，并且各地区的具体脱碳路径将取决于各地资源的可用性及成本：



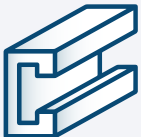
**已完成电气化的部门**——如家用电器、照明、制冷、热水、机械制造业和轨道运输——只需确保零碳电力的供应。



借助电动发动机固有的能效优势，**地面运输**部门很可能通过纯电池或氢燃料电池的形式，以比许多预测还要快得多的速度，远早于2050年完成电气化。对轻型车辆而言，购买电动汽车的前期成本甚至有可能在2020年代中期达到低于内燃机（ICE）汽车购买成本的水平。对中型和重型车辆而言，脱碳需要基于电池技术的电气化或氢燃料电池的方式组合，前者将主要应用于短途市内运输，而后者主要应用于长途运输。



在**航运与航空**部门，基于电池技术的电气化和氢能将会在短距离运输中发挥关键作用。但由于电池能量密度和气体体积密度的限制，长距离运输在可以预见的未来可能仍有必要使用液体燃料。这些燃料可以来自于低碳的可持续生物原料（如乙醇、生物燃料），也可以来源于由电力转化成的液体燃料（航运中的氨和航空领域的合成燃料）。



在**重工业**部门——包括炼钢、水泥、化工与铝——清洁能源和碳捕集技术的结合可以避免来自能源利用的碳排放和化学过程本身造成的碳排放。根据每个工业现场新建或改建性质的不同，各个地区最具成本竞争力的组合选项也各不相同。

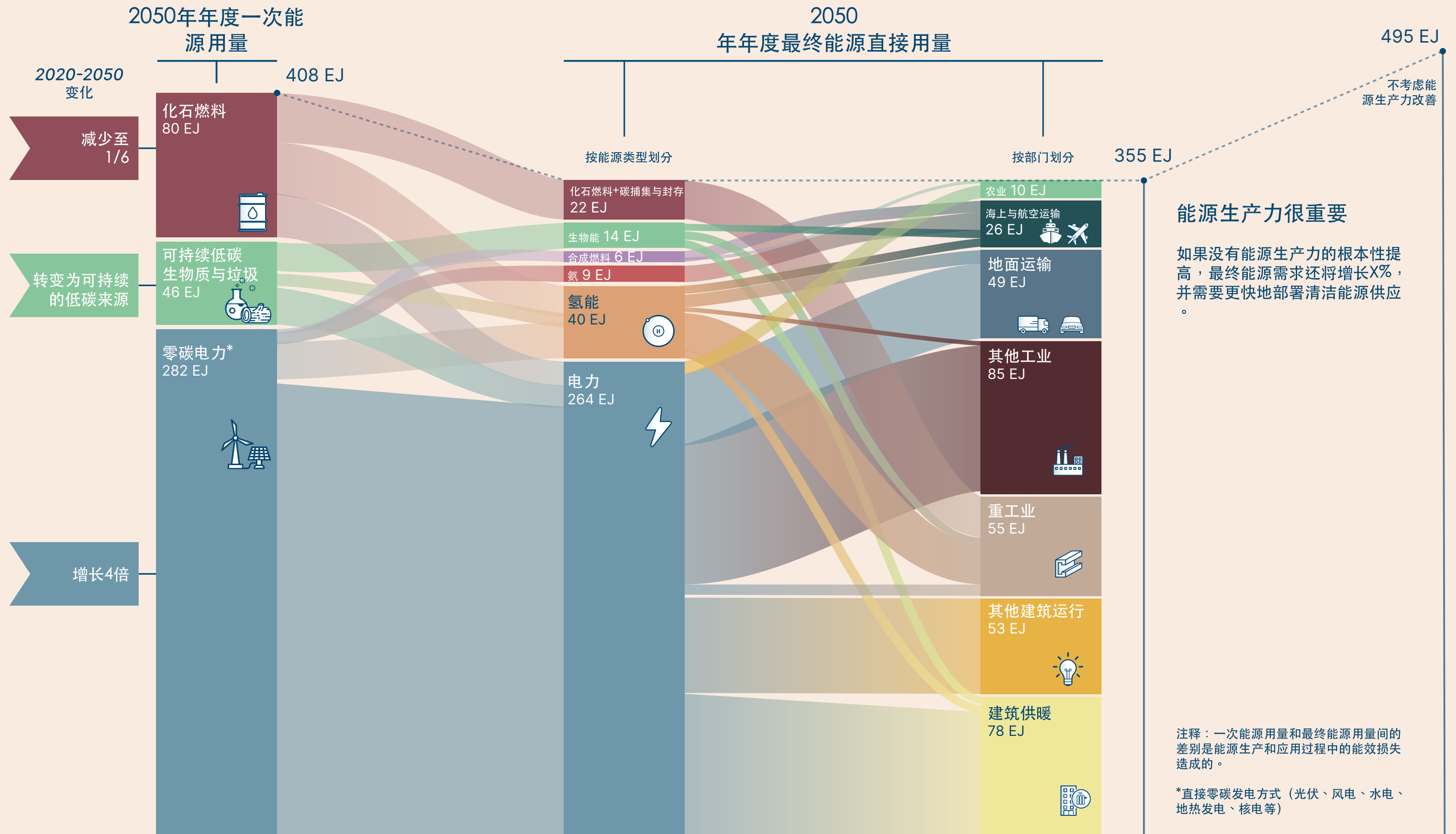


**住宅与商业建筑供暖**在许多地区已经实现了电气化，并能够通过使用电动热泵或电直接加热来提升电气化水平。其他替代方案还包括利用现有燃气网络和区域供暖系统燃烧氢气或生物甲烷。根据各地可用资源水平和现有基础设施，各地的最优解决方案各不相同。更好的建筑隔热性能在减少峰值时段用能需求方面尤其重要，并能够从能源系统角度使燃料转变（尤其是基于电力的选项）更易管理。



**农业**部门可以利用清洁电气化或使用基于电力的燃料来避免化石燃料使用造成的排放。然而，农业生产过程中造成的氧化二氮和甲烷排放将更难消除。一些供给侧技术可以协助减少这些排放——特别是农业耕作方法的变化；但饮食方式上的重要转变很可能也是必要的。

# 要支撑一个零排放经济，需要对我们的能源系统进行全面的转变





## 对化石燃料使用的影响

由于以上这些变化，化石燃料的需求量将大幅下降[图D]



除了用作炼钢领域的结合碳捕集与封存技术使用的焦煤和可能作为生产中的化学原料外，**动力煤**将几乎被全部淘汰。



**石油需求**可能从2019年的每天1亿桶下降到本世纪中叶的每天约1000万桶，剩余的部分将作为塑料生产过程的原料。



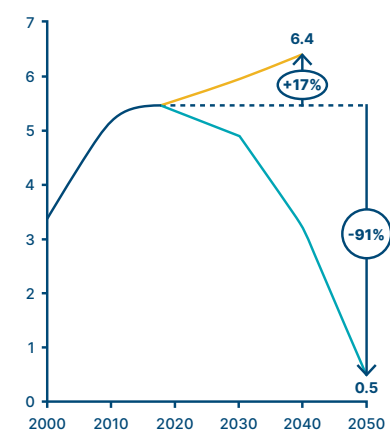
**天然气**将在许多部门和地区发挥过渡性作用。然而，其需求量仍将在本世纪中叶下降约30%-57%。在转型过程中，还应注意天然气供应链中甲烷泄露造成的严重暖化影响，以及确保之后仍需要通过碳捕集与封存或利用技术改造或转变为生物甲烷或氢气等其他“绿色气体”来完成脱碳。

## 净零脱碳对化石燃料需求的影响

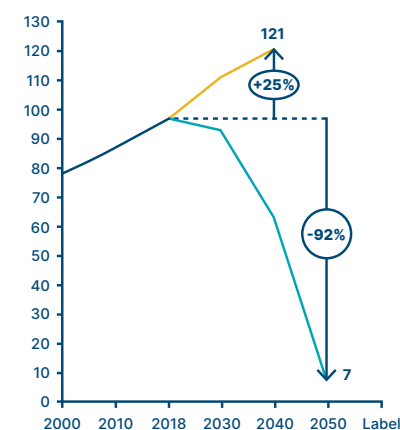
— 能源转型委员会情景-仅考虑供给测脱碳

— 国际能源署当前政策情景

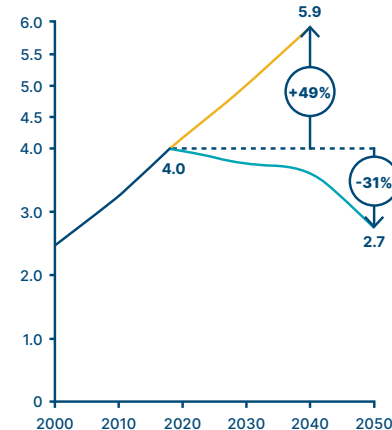
煤炭消耗  
每年10亿吨



石油消耗  
每天100万桶



天然气消耗  
每年1万亿立方米



图

注释：能源转型委员会情景2030年和2040年数值的计算基于COPENHAGEN ECONOMICS咨询公司报告中的中部情景（详情见下方来源）

D

来源：SYSTEMIQ为能源转型委员会所做分析（2020），国际能源署（2019）《世界能源展望》，COPENHAGEN ECONOMICS咨询公司（2017）《化石燃料的未来：如何在低碳能源系统转型中控制化石燃料的使用》

## 对碳抵消和自然类解决方案应用的影响

许多实现经济脱碳的模型都设想“碳抵消”会发挥一定的作用。碳抵消有三大主要来源：其他碳排放经济部门的碳信用；负排放技术（生物能结合碳捕集与封存或直接空气捕集结合碳捕集与封存）；可造成减排的土地利用方式变化（如再造林）。

然而，碳抵消的**可用性**在长远来看可能会逐渐降低：

- 随着整体经济脱碳进程的加速，**来自其他部门的碳信用将自然地越来越少**。
- **自然类解决方案无法提供永久性的负排放**，因为所有自然生态系统在积累期（对再造林而言是30-40年）过后都会趋向于排放与吸收之间的碳中和平衡。此外，根据碳封存具体形式的不同，它可能很容易受到一些气候和自然事件的影响。

在此背景下，能源转型委员会的立场如下：

- 所有经济部门（除农业部门外）都能够且应该在本世纪中叶实现“真正的净零排放”，其中包括碳捕集与封存/利用的作用，但**不包括购买其他部门碳信用或自然类解决方案提供的碳抵消的永久性主要作用**。
- **自然类解决方案可以为陆地生态系统提供大规模一次性碳储量的增加**（以及相对应的大气温室气体浓度的下降），而碳抵消的购买可以在转型的早期阶段起到为这一行动提供资金的积极作用，但前提是：
  - 这一行动对于尽快实现部门内“真正的净零”转型而言是**附加的**，而非替代性的。
  - 这一行动设想的碳减排价值考虑到了**二氧化碳减排时间的重要性**。在一个高水平排放可能使气候变化超越危险的临界点的世界里，通过森林的多年生长吸收的一吨二氧化碳减排与通过部门行动立即避免的一吨二氧化碳减排的价值是不同的。
  - 要确定自然类解决方案的质量需要建立健全的认证系统。
- **一系列持续性的，但作用相对较小的自然类解决方案和其他脱碳技术**（如直接空气捕集结合碳捕集与封存或生物能结合碳捕集与封存）将在2050年以后发挥作用。这需要每年在农业部门（10-20亿吨）和能源及工业部门（由于碳捕集与封存技术无法实现二氧化碳的100%捕集，该部门剩余排放10-30亿吨之间）抵消**20-40亿吨剩余二氧化碳排放**。



## II. 向净零排放经济转型的成本、投资和挑战

如果零碳排放经济得以在2050年实现,无论在发达国家还是发展中国家,其对按传统方式衡量的生活质量的影响将是微不足道的(小于0.5%),而由于避免了无干预下气候变化造成的负面影响,人类福祉所能获得的积极影响却是巨大的。向零碳经济转型所需要的投资成本大约为每年GDP的1.0-1.5%,但在利率持续保持低水平的时代中,这显然是可以负担的。

### 各部门每吨二氧化碳的减排成本

各地区每吨二氧化碳的部门减排成本各不相同,并由于技术和成本趋势固有的不确定性,随时间的发展也不断变化:



在**电力部门、已完成电气化的部门**(如建筑电器与制冷)以及**即将完成电气化的部门**(如轻型汽车),完成脱碳的成本可以很低、为零甚至为负值。这反映了已经很低并仍在下降的可再生能源发电成本和电气化生产过程固有的高能效水平。



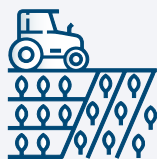
在**长距离运输部门**(船运与航空),与基于化石燃料的替代燃料相比,长期来看,向“即插即用”型燃料(即不需要对发动机进行改造就可直接使用的燃料)的转变也将带来显著减排成本。



在**重工业部门**,根据具体应用所需的工艺和燃料变更,其成本将处于中高水平(每吨二氧化碳减排成本从25美元到200美元以上不等)。水泥和塑料将是脱碳成本最高的材料;不过,通过回收再利用、材料效率的提高和使用替代性零排放材料来减少初级材料需求将成为一种成本更低的解决方案。



在**建筑供暖**领域,各地区和建筑类型,以及实现脱碳所使用的不同技术的减排成本将有显著差别。



在**农业部门**,直接和间接能源应用的脱碳成本应该会很低,但改善农业耕作方法来减少硝酸盐污染和甲烷排放将带来较高成本。







## 对生活质量和经济增长的影响

按传统方式衡量的对2050年生活质量的影响可以通过考虑实现零碳经济对比高碳经济发展所需的额外成本来计算。能源转型委员会估计[图E]：

- 在能源生产力进步有限的高成本情景下，转型的额外成本将达到**全球预计GDP的0.49%（每年2.6万亿美元）**。
- 在能源生产力得到最大幅度提高的低成本情景下，转型的额外成本将低至**全球年度GDP的0.17%（每年6000亿美元）**。
- 在以上两种情景下，转型的**成本都主要集中在三个特定部门**：水泥（及相应的建筑成本）、航空及船运。建筑供暖脱碳的成本在一些特定国家可能也很重要，但占全球GDP的比例非常小。大部分其他经济部门的脱碳成本都非常低、为零甚至是负值。

**这些成本与无干预气候变化导致的潜在不利后果之间的差距是巨大的。**近期研究预计，从2000年至今，因气候变暖造成的生产产量下降在美国和欧盟都已造成了至少4万亿美元的损失，而热带国家比在气候没有变暖的情况要贫穷5%。此外，实现零碳经济会显著提高地区性空气质量、挽救人类生命和提高健康水平。有研究认为，全球每年因糟糕的空气质量造成的可避免的过早死亡人数高达420万。

对生活质量的轻微影响反映出，**在许多部门，脱碳对消费价格的影响都是微乎其微的**[图F]。因此，在重工业部门，虽然脱碳会造成每吨钢材成本的显著增加，但其造成的消费价格的上升还不到1%。同样，虽然航运业脱碳可能会造成航运成本的大幅上升，但其对于进口商品价格的影响却是微不足道的。

然而，在一些特定部门，对终端消费者成本的影响会是显著的；而在其中的一些领域，还应特别注意**重要的分配效应**。具体而言，住宅供暖的脱碳成本可能对生活在隔热性能较差住房中的低收入家庭造成显著影响。同样，在航空领域，终端消费者价格可能需要大幅上涨；但考虑到航空出行占消费者支出的份额很小（发达国家约为3%），这对消费者生活质量的影响依然非常小，而考虑到高收入人群航空出行比例明显更高，成本的分配效应将是渐进性的，而不是递减的。

此外，对一定程度的**转型产生的就业影响**的预测和管理也是很重要的。和任何技术变更过程类似，向零排放经济的转型将淘汰一些现有就业机会，同时在别处创造新的就业机会。总体而言，转型对就业造成的干扰效应很可能远小于各发达国家和发展中国家已经在面临的其他转型对就业的影响，如制造业的自动化转型，从传统零售向线上零售的转型，以及随着相对成本变化全球供应链的持续重组。

但转型将对**三个区域集中式部门的就业状况造成显著的不利影响**：一些发展中国家的煤炭开采部门、汽车制造部门（因为电动汽车制造过程远比内燃机汽车更简单容易）以及畜牧业（将受到肉类消费量显著降低的影响）。

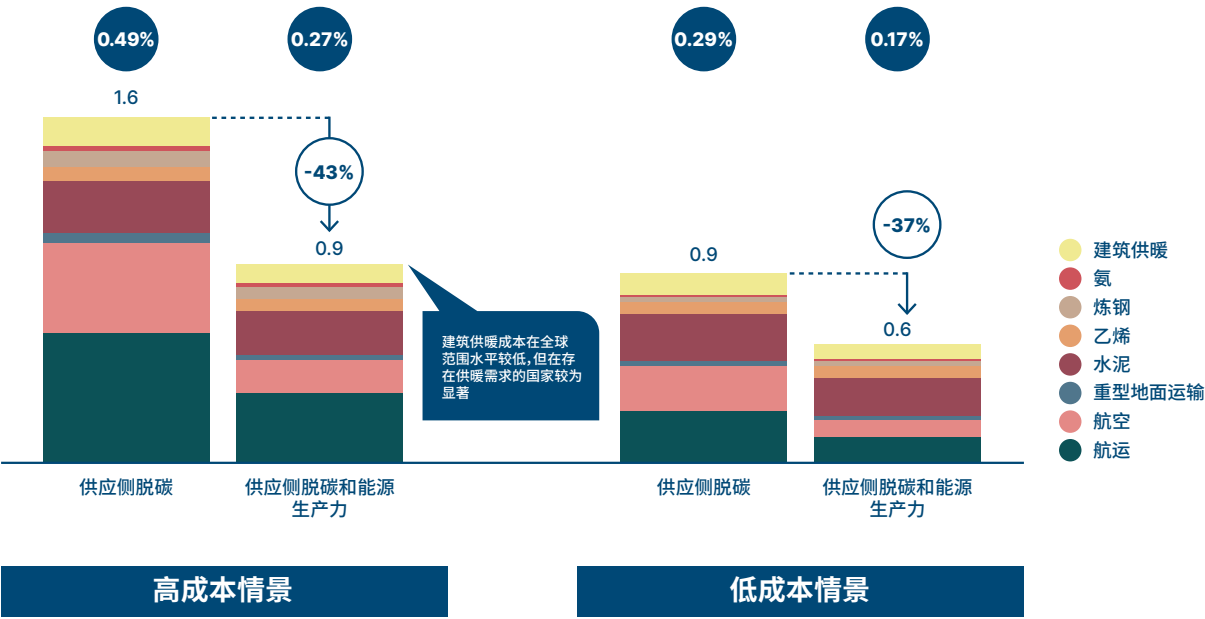
要确保在受影响的地区创造弥补性就业机会，需要各国制定经过慎重考虑的国家和地区性**公平转型策略**。



# 追求能源生产力的提高可以大幅降低经济脱碳的成本

脱碳总成本  
每年万亿美元, 2050年

X% 占2050年全球预计GDP的比例



注释: “能源生产力”一词包括能源效率、材料效率与服务效率。  
来源: SYSTEMIQ为能源转型委员会所做分析 (2020), 基于麦肯锡咨询公司 (2018)《工业部门的脱碳: 下一个前沿》, 及MATERIAL ECONOMICS为能源转型委员会所做分析 (2018)

## 脱碳对中间产品价格的影响显著, 但在多数部门对最终产品的影响可忽略不计。

		对中间产品成本的影响 美元/价格提高%		对最终产品成本的影响 美元/价格提高%		
容易实现电气化的部门		在多数经济部门 (轻型地面运输、其他工业、轨道运输、非供暖建筑用能), 清洁电气化已经或即将具备成本竞争力				
工业	塑料		每吨乙烯 +500美元	+50%*	每瓶碳酸饮料 +0.01美元	<1%
	炼钢		每吨钢材 +120美元	+20%	每辆汽车 +180美元	+1%
	水泥		每吨水泥 +100美元	每吨混凝土 +加30美元	+100% (+30%)	每套50万美元的住房 +1.5万美元
长距离运输	航运		普通散货船年航行成本 +400万美元	+110%	每公斤进口白糖 +0.03美元	<1%
	航空		每升航空燃料当量 +0.3~0.6美元	+50-100%	每次6500千米经济舱飞行 +40~80美元	+10~20%
建筑供暖					温带气候国家一个家庭的用电成本 (按英国费率计算) +650~1000美元	+30~45%

\*假设乙烯初始价格为每吨1000美元 (实际上乙烯价格波动幅度很大)。  
来源: SYSTEMIQ为能源转型委员会所做分析 (2018)



## 国际贸易部门的竞争性挑战

如图F所示,虽然转型在一些部门中对终端消费者价格的影响是微乎其微的,但仍会造成**中间产品成本**的大幅增加——如一吨钢材或水泥的价格,或航运的运费等。这将对国际贸易世界、多个独立国家政府和不完善的国际政策协调机制(在许多国家仍以不同形式为碳密集型活动提供支持)造成主要的潜在**竞争力问题**。

在重工业、国际航运与航空领域,理想的公共政策需要国际性协作;通过形成国家联盟聚焦特定部门应该能够比联合国气候变化框架公约(UNFCCC)级别协议发挥更有效的作用。在此类国际协调工作无法实现的领域,**国内碳价结合边境碳税调整机制**可作为次优政策,来推动足够快速的转型为在本世纪中叶实现脱碳做出贡献。

## 总投资需求和净投资需求

在2050年实现零碳排放经济将对人类福祉带来重要的积极影响。但实现这一目标需要我们接受一定程度的**转型成本**,表现为在打造新经济过程中**每年需要投入的更多投资**。能源转型委员会预计,转型所需的额外投资虽然绝对数值巨大,但占全球GDP的比例不会超过1%-1.5%(每年约1-2万亿美元),在当前全球储蓄与投资水平下是轻易可以负担的,特别是在利率持续保持低水平的整体宏观经济背景下。与当前新冠疫情过后用于刺激经济复苏的巨额公共事业支出和财政赤字相比,转型所需的投资规模很小。因此,如果设计得当,我们甚至有机会进一步加快能源转型的速度。

到目前为止,转型所需投资的最大部分将用于建造一个能够每年提供10万太瓦时电力的**全球电力系统**,包括新建可再生能源发电装机、输配电网、用于提供日内灵活性的电池储能设施以及较长时间(多日和季节性)灵活性的其他技术部署。这将需要每年1-1.5万亿美元的额外投资。**氢气生产**、运输和储存能力的增加也将需要在电解设备领域,或结合碳捕集与封存的甲烷蒸汽重整或自热转化设备领域大幅增加投资力度:这些投资需要在30年间达到3.7万亿美元的规模,或每年1300亿美元。以低碳手段代替高碳方式建造**城市建筑**,并改造现有建筑存量也将需要大量投资。

## III. 地区性差别、挑战与机遇

### 资源禀赋的地区性差别

各地区和各国家的资源禀赋差异巨大。例如:

- 可再生能源的潜力因气候、纬度和地理位置的不同而差异巨大,比如中国西部地区、撒哈拉沙漠和智利都具有丰富的资源来生产低成本电力。
- 各地的可持续生物质供应总量也差别很大:中国人均生物质资源量比多数美洲国家水平要低得多。然而,关键问题是这些资源中有多少是可用且真正可持续的。各地可用于能源和工业系统的可持续低碳生物质的分布存在明显差异——其中的大部分都集中在热带以外的地区,森林破坏风险较小。

因此,各个地区不同脱碳路径的相对成本各不相同,对于那些存在多种脱碳解决方案的部门来说,最优脱碳路径也各不相同。因此,作为巴黎协定的一部分,将要提交至联合国气候变化框架公约(UNFCCC)的经修正的国家自主贡献(NDC)和长期温室气体低排放策略内应明确地评估固有可再生能源自然资源及其对最优脱碳策略的影响。

## 发展中国家的挑战与机遇

根据一般原则，**发达国家应取得更快的进展**，来反应他们对过往排放的更大责任，以及高收入更容易承担脱碳对生活质量影响不高但仍无法忽视这一事实。

因此，能源转型委员会相信全球整体目标应包括：

- 所有富裕的发达经济体最迟在2050年实现净零排放。
- 所有发展中国家最迟在2060年实现净零排放。

但一些发展中国家可能可以以与2060年目标相比很少的额外成本，在2050年或更早实现完全脱碳。这是因为一些发展中国家拥有非常丰富的太阳能与风能资源，可以极大地降低脱碳成本。一些发展中国家由于其电力系统仍未完全开发，可以通过使用最具成本竞争力的零碳技术完成“跳跃式发展”，“一次到位”地建成零碳能源系统。

有两个国家对全球排放发展轨迹有着特别重要的影响，其原因包括他们当前排放水平或未来排放潜力占全球总量的比例，这些排放在无清洁能源转型情况下的增长速度，以及他们可以为其他发展中国家树立的榜样作用：



**中国**目前仍是一个发展中国家，人均GDP(购买力平价的基础)仅为西欧水平的大约40%；但中国设定了清晰的国家发展目标，即到2050年成为“一个全面实现现代化”的国家。考虑到其高水平的储蓄率与投资率，自然资源禀赋以及在许多重要部门不断增强的技术领导力，中国能够且应当实现这一目标，同时完成零碳转型。



**印度**需要大幅提高电力供应来支持经济的增长、生活质量的提升、空调应用的快速普及和地面运输的电气化进程，而这种电力供应量的扩张可以与电力系统的脱碳同时进行。能源转型委员会印度部门分析显示，风电和光伏提供的可再生能源电力占印度发电总量的比例可以从当前的8%上升到2030年的大约32%（低碳或零碳发电总量的比例达到47%），同时将发电总量提高一倍，并且其成本不会高于继续扩大煤电产量来提供这些增量电力所需的成本。

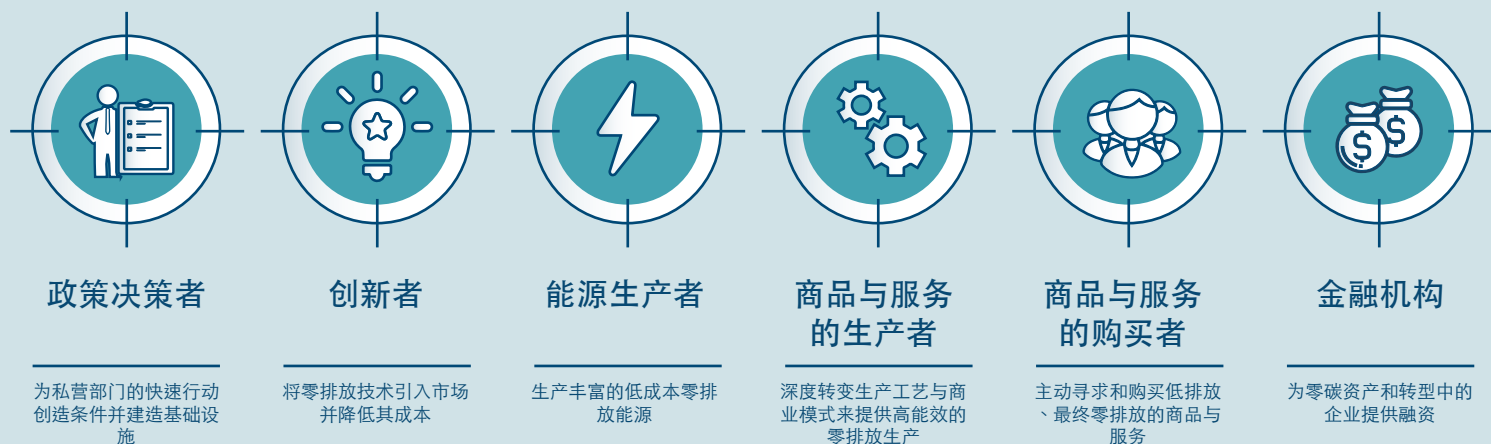
考虑到可再生能源电力总成本的下降，确保用于满足用电需求增长的电力系统扩张均以零碳形式构成是完全可行的。**我们已不再需要新建任何燃煤发电装机**来支持经济的增长和生活质量的提升。但现在的挑战在于如何逐步淘汰现有的燃煤装机。减少并最终消除现有煤电排放的策略将需要在用于调峰或季节性备用的燃煤和燃气电厂中添加碳捕集与封存设施（即使这将不可避免地增加系统运营总成本），并在燃煤或燃气电厂寿命周期结束前将其关闭。

最后，一定程度的“资金短缺”和高昂的“资本成本”都不会放缓发达国家向零碳排放经济转型的步伐。考虑到中国高水平的储蓄率与投资率，以及在国家指导下可以确保低成本投融资的金融体系，资金问题也不会对中国造成约束。但在许多其他发展中经济体，**资本成本显著高于发达经济体水平**，有限的可用资本及其高昂的成本都会严重阻碍快速增加新能源系统投资。因此，制定特别针对于**以适当的低成本调动适当的资本流动**的政策，包括来自发达国家的优惠资金流，将是至关重要的。

7. T. Spencer, N. Rodrigues, R. Pachouri, S. Thakre, G. Renjith, TERI (2020), *Renewable Power Pathways: Modelling The Integration Of Wind And Solar In India By 2030* 《可再生能源发展路径：2030年印度风电与光伏发电集成模型》 and R. Pachouri, T. Spencer and G. Renjith, TERI, (2018), *Exploring Electricity Supply-Mix Scenarios to 2030*. 《2030年电力供应组合情景探索》

# 为实现2050年净零目标需要在2030年前完成的工作

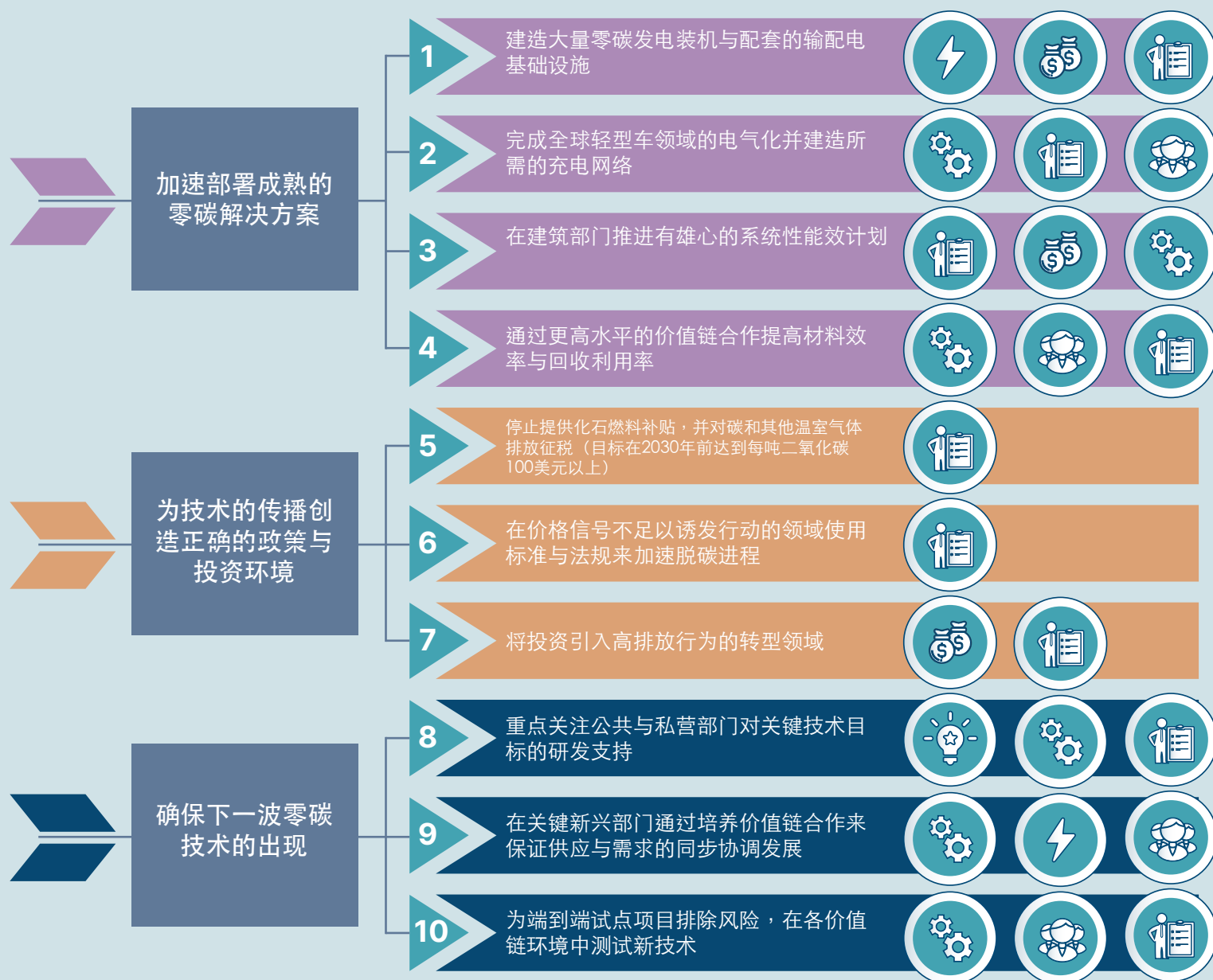
## 共同的责任



## 2030年目标

## 10大关键优先任务

## 主要责任





## IV. 完成可完成的使命：实现2050目标所需的当前行动

达成在本世纪中叶实现零排放目标这一共识至关重要。但同样重要的是，要确定实现2050目标所需的当前行动与政策并加以实施。基于以下两个原因，我们必须显著地加快前进的脚步：

- 首先，如果全球真的要实现1.5摄氏度目标，就必须在2030年左右之前每年减排200亿吨二氧化碳，但我们已**远远落后于这一目标**。新冠疫情危机带来了显著的短期全球性减排，但随着经济的复苏，这些排放很可能会迅速恢复；在当前的发展趋势和已公布的政策和承诺（根据各国在巴黎协定下确定的国家自主贡献）影响下，2030年的全球二氧化碳排放量将在350亿吨水平，或将在本世纪末造成3摄氏度甚至更大的变暖效应。
- 第二，**如果到2030年不能在多个领域实现重大进展，在2050年实现净零排放的目标将不可能完成**，但我们当前在投资、技术和政策上的进展速度远远达不到在2050年实现净零排放的发展路径的要求。

我们认为，当下需要的技术转型应包括三个阶段：新技术的出现、技术的大规模传播、以及整个系统都采用了新型主流技术的“新常态”。根据具体技术当前所处的发展阶段，不同技术在2020年代产业政策和金融方面所需的行动性质各不相同。要加快技术在以上三个阶段的转型，我们需要在今后十年中展开三方面的行动：

**首先，我们需要加速部署零碳电力和其他已被证实有效的减排技术及商业模式。**对于存在与高碳替代方案成本相当或比其成本更低的低碳解决方案的领域，重点工作应聚焦于解锁规模化投资来迅速完成2020年代的技术部署，并在短期内实现重大的减排进展：

- 在**电力部门**，当前的首要任务不是技术开发（除部分储能技术外），而是以足够快的速度推动可再生能源投资来巩固清洁电气化进程，让整个部门满足净零转型发展路径的要求。所需的政策应在适当电力市场设计和融资机制（包括发展中国家的优惠性融资）的支持下，为到2030年完成零碳电力的发展及降低发电行业碳强度（以每千瓦时发电量的排放克数表示）制定清晰的量化目标（以光伏与风电为主）。
- 在其他已存在清晰的低碳路径以完成脱碳的领域——如**地面运输、建筑供暖和材料循环利用**——优先工作在于通过明确和强制性的规范加强转型的经济可行性，进而确保解决方案的快速部署（如在2030年代前期禁止内燃机型轻型新车的销售；提供建筑改造早期投入的融资解决方案），消除非经济性障碍（如加强垃圾收集以实现更大力度和更高质量的回收利用）和大规模调动资金。

**第二, 在技术已经能够进入市场但仍不具备成本竞争力的各个部门, 我们应创造正确的政策和投资环境来确保技术的传播。**具体的技术路径与所采用气候政策的组合应根据各国国情和现有政策形态进行量身定做, 因此将因国而异。优先工作包括三个层面:

- 首先, 我们应该通过停止所有剩余化石燃料补贴、启用明确的碳价机制和采用“污染者付费”原则来确保合适的外部效应价格。要在国际性碳定价协议还未出现时避免碳定价对国际商品贸易带来的固有竞争力问题, 这些计划必须与边境碳税调整机制结合应用。此类精心设计的、以市场为基础的手段将允许减排方式的商业灵活性并鼓励创新, 因而将有潜力成为非常高效的减排手段。
- 第二, 在碳价可能不足以触发投资和购买决定转变的部门, 政府应制定标准与法规来确立明确的目标, 创造更强的市场确定性, 进而促进投资。这些标准与法规的形式包括温室气体减排标准、可再生能源或燃料的强制使用以及最终禁止碳强度最高的产品。
- 第三, 实现经济的完全脱碳需要从2020年代起对清洁能源供应和工业资产(新建筑与现有建筑改造)进行重要投资。引导资本进入转型活动将需要正确的政策环境、用于识别投资需求的明确的投资路线图、对金融机构在部门转型中的风险与机遇的评估以及对转型资金条件的通用定义, 并通过调动公共资金来减轻创新型投资的风险。

**最后, 我们应该确保下一代零碳技术最迟在2020年代末被引入市场。**

要实现这一目标, **来自公共和私营部门的创新融资**必须支持仍在研发阶段的技术——特别是那些与多个部门相关的技术, 包括电解产氢、合成碳氢化合物生产、碳捕集与封存/利用以及来自最具可持续性原料来源的生物燃料[图G]。

此外, 这些技术在商业规模部署的初始阶段将需要**过去风险化机制**来在价值链的各个步骤降低成本(投资成本与运营成本)和减小风险(如技术风险和销售风险)。创新的风险分担机制和公共支持机制可能包括新的公司合伙关系(如合资企业或商品销售协议)、创新融资产品(如新的保险机制)和定制化公共支持机制(如税收激励、补贴、混合金融机制、公共采购及政府和社会资本合作等)。

除创新外, 新兴技术面临的关键挑战还在于克服**“鸡与蛋”的问题**。这会减缓技术开发的速度——即技术的早期应用受到高成本的制约, 反过来使生产者难以实现迅速降低成本的规模经济与学习曲线效应。要克服这一挑战, 各关键价值链必须展开协调行动, 确保对新产品的需求与可能的供应量增长保持一致的速度。



# 全面实现经济脱碳所需的关键创新领域

● 渐进性创新    ● 突破性创新



## 电气化

成本更低、能量密度更高的电池

成本更低、能效更高的热泵

水泥和化学领域使用的电炉

炼钢领域应用的电化学还原铁



## 材料效率与循环

消费品的新型设计

材料可追溯性、收集、分拣与回收利用技术

新型商业模式:产品即服务,共享



## 氢能

成本更低的电解(目标每千瓦200美元)

成本更低的氢燃料电池与储氢罐

通过大容量管道进行氢气的长距离运输

大规模地质存储(盐洞或岩洞储氢)

燃氢/氨船的发动机与涡轮机



## 新型材料

低碳水泥和混凝土化学品

建筑领域使用的生物材料

作为塑料替代品的基于纤维素的纤维



## 碳捕集与利用

更高效的碳捕集,尤其是在水泥领域

成本更低的二氧化碳的直接空气捕集

碳在混凝土、骨料和碳纤维中的使用



## 生物与合成化学

木制纤维/藻类转化效率的提高

基于氢与二氧化碳的合成燃料的低成本生产

炼钢领域应用的电化学还原铁

基于生物或合成原料的新型化学产品



## 食品、土地与海洋

精准/数字化农业与再生农业

更高水平的供应链和冷链存储技术

替代性蛋白质,包括人造肉

大规模可持续海洋海藻生产







**BECCS:**一种结合了生物能源以及碳捕集与封存,能够产生温室气体净负排放的技术。

**BEV:**纯电动汽车

**生物质或生物原料:**可再生的可用有机质(也就是生物材料),包括木制品和农作物等来源于动植物的原料与市政和工业来源的有机废物。在本报告中,“可持续生物质”一词用于描述可再生的、全生命周期碳足迹等于或接近于零(包括对土地机会成本的考虑)、以及在培养和收获过程中充分考虑了生物多样性及土地与土壤健康等生态因素的有机材料。

**生物能:**采用生物来源材料生产的可用的可再生能源。在本报告中,“可持续生物能”一词用于描述从可持续生物质(详见定义“生物质或生物原料”)中生产的生物能。

**碳捕集、封存与利用(CCS/U):**“碳捕集”指在能源和工业生产过程之后的捕集过程,不包括直接空气捕集。“碳捕集与封存”指碳捕集与地下碳封存的结合;而“碳捕集与利用”指在碳基产品(如混凝土、骨料、碳纤维)中对碳的使用。

**碳抵消:**公司、部门或经济体通过二氧化碳或温室气体减排来抵消经济中其他领域的排放。

**碳价:**一种政府制定的定价机制,具有两种主要形式:一、对产品或服务征收的基于其碳排放强度的一种税金;二、对一个国家或地区设置允许排放上限,并允许企业交易碳排放权(配额)的一套配额系统。

**联合循环燃气轮机(CCGT):**以串联形式联合使用相同热源并将其转化为机械能来驱动发电机的热能发动机组合。

**直接空气捕集(DAC):**从空气中直接提取二氧化碳。

**电解:**一种利用电流驱动非自发化学反应的技术。电解技术可以在电解槽中将水分解为氢和氧,并产生“绿色氢气”。如果使用的电力是零碳电力,电解过程就可以是零碳的。

**能源生产力:**单位GDP的能源用量。

**最终能源消耗:**向所有能源应用领域最终消费者供应的所有能源。

**燃料电池电动汽车(FCEV):**使用燃料电池生产电力来驱动电机的电动汽车,一般使用空气中的氧气和压缩氢气。

**温室气体(GHG):**会捕获大气中热量的气体——二氧化碳(76%)、甲烷(16%)、氧化亚氮(6%)和氟化气体(2%)。

**碳氢化合物:**仅由氢原子和碳原子构成的有机化合物。碳氢化合物是自然产生的化合物,构成了原油、天然气、煤炭和其他重要能源来源的基础。

**内燃机(ICE):**由汽油、柴油、生物燃料或天然气提供动力的传统发动机。内燃机也可燃烧氨或氢气。

**平准化用电成本(LCOE):**一种计算发电厂在其完整寿命周期内平均发电成本净现值的方法。LCOE表示的是一家发电厂完整寿命周期内的贴现成本总额与其实际提供的能源总量之间的比值。

**净零碳排放经济/净零碳/净零经济:**我们使用这些术语来描述一种特定经济部门不排放任何二氧化碳的情景——可能由于该部门不产生任何二氧化碳,也可能由于该部门捕集并封存或使用了其产生的二氧化碳。在这种情景下,几乎不需要使用其他部门的任何抵消(“真正净零”),而后者仅应被用于抵消碳捕集层面造成的泄露或农业部门的剩余排放,或无法控制的寿命周期未排放。

**自然碳汇:**二氧化碳存储量多于排放量的碳的自然汇集场所。森林、植物、土壤和海洋都属于自然碳汇。

**一次能源消耗:**直接在源头使用的,或向用户提供的未经转化的原始能源——即没有经过转化或加工过程的能源。

**蒸汽甲烷转化(SMR):**通过加热天然气中的甲烷,使其与蒸汽发生反应生产氢气的过程。

**蒸汽甲烷转化配合碳捕集与封存:**通过蒸汽甲烷转化(详见上条)技术制造氢气,并将天然气燃烧排放的碳捕集、封存或利用。

**合成燃料:**通过将电解技术制造的氢气和二氧化碳合成而生产的碳氢化合物液体燃料。如果电解使用的电力是零碳的,且二氧化碳来自空气捕集,那么合成燃料就是零碳的。合成燃料也被称为“电力转化燃料”或“电燃料”。

**零碳能源来源:**该术语用于指代可再生能源(包括太阳能、风能、水能、地热能)、可持续生物质、核能和使用过程可以利用碳捕集技术脱碳的化石燃料。

## 本报告的编制团队由以下人员组成：

Adair Turner勋爵(主席)、Faustine Delasalle(董事)、Laëtita de Villepin(思维领导力主管)、Meera Atreya、Scarlett Benson、Ita Kettleborough、Alasdair Graham、Alex Hall、Hettie Morrison、Sanna O' Connor、Aparajit Pandey、Lloyd Pinnell、Elena Pravettoni、Caroline Randle 和 Janike Reichmann (SYSTEMIQ)

## 本报告综合了我们的合作伙伴在过去几年中为能源转型委员会所完成的分析工作。在这里，我们再次感谢他们做出的杰出贡献：

David Nelson、Felicity Carus和Brendan Pierpont (Climate Policy Initiative) ; Cecilia Gustafsson和Carl von Utfall Danielsson (Copenhagen Economics) ; Per Klevnäs、Anders Ahlen和Cornelia Jonsson (Material Economics) ; Arnout de Pee、Eveline Speelman、Hamilton Boggs、Cynthia Shih和Maaïke Witteveen (McKinsey & Company) ; 陈济、曹艺严、Thomas Koch Blank、李也、李抒苾、林若思达、王萌、王喆、朱思捷(落基山研究所) ; Tugce Balik、Naseer Chia、Anne-Caroline Duplat、Antonio E Gelorz、Saira George、Thea Jung、Sachin Kapila、Alessandra Kortenhorst、Isabel Lewren、Jeremy Oppenheim、Ricardo Santana、William Sheldon和Tove Stühr Sjöblom (SYSTEMIQ) ; Will Hall、Raghav Pachouri、Neshwin Rodrigues、Thomas Spencer、Shubham Thakre和G Renjith(能源与资源研究所) ; Tristan Smith和Carlo Raucci (University Maritime Advisory Services) ; Jason Eis、Philip Gradwell、Cor Marjjs 和 Thomas Nielsen (Vivid Economics)。

## 团队同时感谢以下能源转型委员会成员对本次工作的积极参与：

Elke Pfeiffer (Allianz) ; Javier Bonaplata、David Clarke和Nicola Davidson (ArcelorMittal) ; Abyd Karmali (Bank of America) ; Albert Cheung (BloombergNEF) ; Gardiner Hill (BP) ; Vian Davys (CLP) ; Dana Barsky (Credit Suisse) ; Anupam Badola (Dalmia Cement (Bharat) Limited) ; Bin Lyu (国务院发展研究中心) ; Rebecca Heaton和Ross McKenzie (DRAX) ; Laura Armitage和Adil Hanif (EBRD) ; Anton Butmanov和Aleksandra Gundobina (EN+) ; Rob Kelly和Wei Sue (Energy Transitions Initiative Australia) ; Michael Ding和Olivia Sang (远景集团) ; Dries Acke、Tom Brookes和Pete Harrison (欧洲气候基金会) ; Bob Ward ((Grantham Institute, London School of Economics) ; Matt Gorman (Heathrow Airport) ; Andrea Griffin (HSBC) ; Francisco Laveran (Iberdrola) ; Chris Dodwell (Impax Asset Management) ; Christopher Kaminker (Lombard Odier) ; Elizabeth Watson (Modern Energy) ; Matt Hinde和Nick Saunders (National Grid) ; Jakob Askou Bøss和Anders Holst Nymark (Ørsted) ; Tom Pakenham (Ovo Energy) ; Xavier Chalbot和Jonathan Grant (Rio Tinto) ; Elizabeth Hartman和Ned Harvey (落基山研究所) ; Mallika Ishwaran和Jennifer Reilly (Royal Dutch Shell) ; Emmanuel Normant (Saint Gobain) ; Sandrine de Guio、Emmanuel Laguarrigue和Vincent Petit (Schneider Electric) ; Xing Lu (中国石化集团资本有限公司) ; Camilla Palladino (SNAM) ; Jesper Kansbod和Martin Pei (SSAB) ; Gabriella Larson和Kristian Marstrand Pladsen (Statnett) ; Brian Dean (Sustainable Energy For All) ; Abhishek Goyal (Tata Group) ; AK Saxena (能源与资源研究所) ; Reid Detchon (联合国基金会) ; Mikael Nordlander (Vattenfall) ; Johan Engebratt和Niklas Gustafsson (Volvo Group) ; Dean Cambridge 和 Jennifer Gerholdt (We Mean Business) ; Jennifer Layke (世界资源研究所)。







# 践行使命 打造 全球零碳经济

2020年9月

版本1.0



Energy  
Transitions  
Commission