

# 实现 净零排放 之路

要想实现净零排放，遏制全球变暖，将全球温升幅度限制在1.5摄氏度，我们就必须迅速采取综合全面的政策措施

克里斯托夫·伯特伦、奥特玛·埃登霍费尔、贡纳·卢德尔

根据《巴黎气候协定》的构想，全球温升幅度必须限制在1.5摄氏度，为此，我们必须执行前所未有的减排力度，而关键的绿色技术取得的激动人心的进展，为实现这一目标迎来了曙光。但想要真正达到这一目标，我们需要使用正确的政策激励工具组合，对全球能源系统进行彻底重组，对土地使用制度进行全面改制。决策者可以利用越来越丰富的知识和经验，鼓励部署现有绿色技术，加快新技术的开发。

倘若我们能够达到1.5摄氏度的减排目标，不仅可以大幅降低气候变化相关风险，还将同时产生一系列其他的重要效益，例如，改善空气质量，完善基础设施，提升经济现代化，提高能源行业的就业率，提供具备长期发展前景的就业岗位等。

## 电力脱碳

考虑到排放的二氧化碳会在大气中存在数百年，因此，大气中温室气体的累积排放量才是决定全球气候变暖的关键。也就是说，短期的减排幅度比我们实现零排放目标的确切年份更加重要。想要以中等可能性实现1.5摄氏度的目标，需要我们立即减少碳排放。成本最低的方法是，到2030年将排放量缩减到2020年水平的大约一半。

在通往净零目标的道路上，第一个关键就是电力行业，目前该行业的二氧化碳排放量约占总排放量的三分之一（见图1）。当前，全球发电仍以使用燃煤和燃气的火电厂为主，但风能和太阳能发电的产能增速，已经越来越多地超过了化石燃料的产

能增长。

疫情表明，电力需求的减少，会使电力系统更加清洁环保。因为，使用燃煤和燃气的火电厂发电成本相对更高，会被率先关停，而与此同时，太阳能、风能、核能和水力发电能够满足市场的电力需求，继续保障电力供给（伯特伦等，2021年）。显然，提高用电效率，能够在不牺牲系统产能的情况下，大幅提高减排速度。未来十年，这一点尤其重要，因为届时，有很大一部分发电量仍来自碳密集化石燃料。

更为重要的是，我们要提高工业、交通和建筑行业对液体、固体和气体燃料的消耗效率，因为，提高消耗效率，可以立即减少排放量。

以往，能用的清洁能源技术有限，这是电力脱碳面临的一个主要障碍，但随着一体化解决方案的不断完善，电力脱碳进一步发展的阻碍因素已经转变为基于化石燃料的电力产能淘汰的进度过慢。在对温室气体排放进行监管的同时，最理想的办法是碳定价，这对引导资金投资绿色能源技术、激励电力行业逐步淘汰火电发电厂十分必要。电力系统快速脱碳为我们提供了一个发展契机，如果国际社会能够成功抓住这个机会，到2030年，电力行业的排放量可以削减三分之二以上，如图1中2050年净零排放情景所示。

土地利用和实现净零排放有什么内在关联呢？土地部门目前既包括二氧化碳碳汇（也即，从大气中吸收碳，例如，植树造林），也包括二氧化碳碳源（最典型的是森林砍伐）以及其他土地利用过程。转变土地利用方式，我们甚至可以在2030年之前实现土地行业的碳中和目标，不过土地利用（主要是农业）将不可避免地继续通过排放甲烷和一氧化二氮加剧气候变暖。

在符合1.5摄氏度这一目标的情景下，工业、建筑和交通行业的能源需求将成为2030年及以后化石燃料产生的二氧化碳的主要排放来源。在这种情境下，为了在截止日期前后实现碳中和目标，工业、建筑和交通行业的总排放量到2040年必须减少一半以上，到2050年，必须达到当前水平的四分之一左右。

但即使是对于上述较低水平的大气残留排放

量，但即使我们想要抵消这种低水平的残留排放，依然要克服巨大挑战，快速扩大各类除碳措施的应用规模，例如，植树造林；在空气中直接捕获碳（捕获大气中的二氧化碳，然后进行地质封存）；生物能碳捕获与封存；利用生物质生产清洁能源，同时捕获并永久封存二氧化碳的技术。

需求行业脱碳所需的多项技术都需要直接或间接地通过氢燃料进行电气化，如燃料电池技术和合成燃料技术（Ueckerdt等，2021年）。此外，这些技术尚未在市场上大规模推广应用，因此，可能会面临制度和环境方面的挑战。相比目前已经广泛应用的可再生能源和纯电动汽车技术而言，这些技术的未来表现以及成本都存在很大的不确定性。

## 我们可以着力实现一个净零全球能源系统，让大气中新增的碳与清除的碳相互抵消。

这种不确定性意味着，我们在实现净零排放的全球能源系统的过程中，有很多种选择，其中一种是，让大气中新增的碳与清除的碳相互抵消。如果所有这些方案的发展都比预期要好，我们也有可能（也非常值得）达到超出预期的效果，实现净负排放（除碳量大于新增碳量），在全球平均气温达到峰值后，逐步降低全球平均气温。如果有些技术方案的发展速度快于预期，而另一些落后于预期，那么这些方案的总体效果可能会与预期不同，但仍然可以实现总体的净零目标。只有当所有方案的发展速度都比预期慢，或者我们无法克服不可预见的障碍或瓶颈（例如，与生物能源有关的可持续性问題）时，实现净零能源系统才会难于预期。

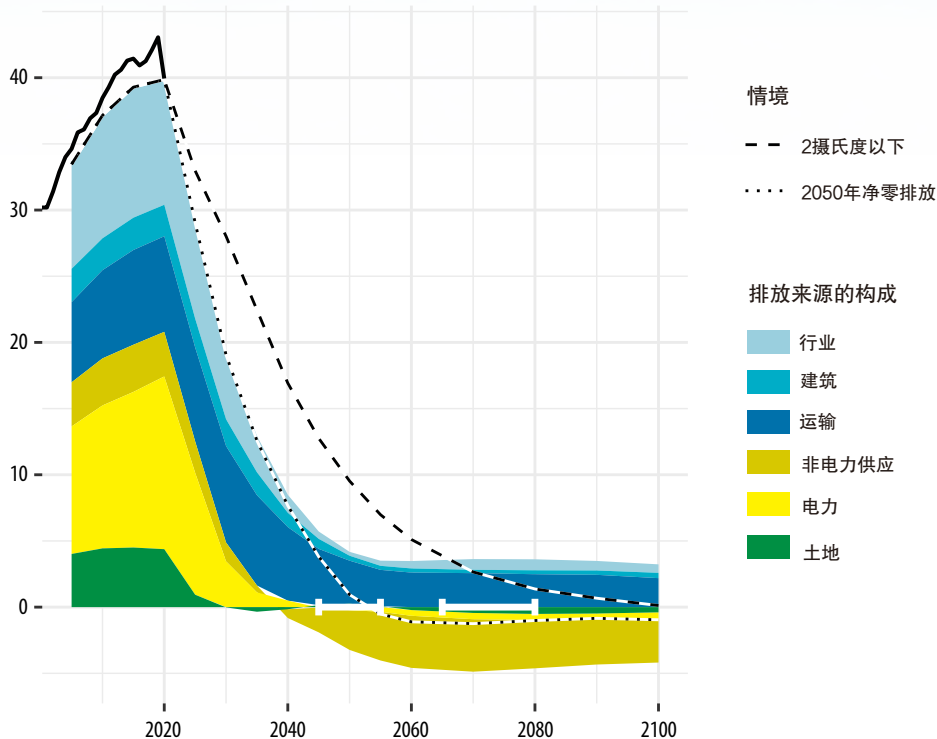
### 有序转型

要想在可接受的概率下将全球温升幅度控制在1.5摄氏度，我们必须迅速做出全面改革。而且，想要相对有序地完成转型，我们必须正确组合各项

### 迈向净零排放目标

为将全球升温幅度限制在1.5摄氏度，并在几十年后的2100年将全球升温幅度限制在2摄氏度，各个行业都必须为到2050年实现二氧化碳净零排放目标做出贡献。

(二氧化碳排放, 10亿吨二氧化碳/年)



来源: Author estimates, based on scenario data from the Network for Greening the Financial System and historical data from the Global Carbon Project.

注释: 非电力供应包括燃料生产过程的碳排放, 主要来自炼油厂。白线表示政府间气候变化专门委员会SR1.5 (2018) 规定的碳中和日期。GtCO<sub>2</sub>/年 = 十亿吨二氧化碳/年。

政策激励工具。事实上, 保障转型的包容性、公正性且不让任何人掉队, 是我们能够持续获得政策支持的政治先决条件。因此, 决策者应该谨慎地运用各项政策工具组合。

转型过程用到的主要工具是碳定价, 碳定价的具体执行机制包括碳排放许可证市场(类似欧盟排放交易系统)和逐步提升的碳税。央行与监管机构绿色金融合作网络(NGFS)的“2050年净零排放”情景(NGFS, 2021年)估计, 到2030年, 碳价格将在每吨二氧化碳100美元至200美元之间, 在2050年之前, 碳价格将大幅攀升。但如果配套

政策可以分散一部分脱碳压力, 则碳价格有可能在长期维持在相对低位, 例如, 在国际能源署的“2050年净零排放”情景中(IAE, 2021年), 我们就可以看到, 如果监管政策能发挥更加突出的作用, 则在2050年之前, 碳价格将不会超过250美元。(NGFS的情景设定, 是与波茨坦气候影响研究所牵头的一个学术联盟合作开发的, 它包括额外的高风险情景, 但2050年净零情景在大多数方面与国际能源署的情景类似。)

碳定价的主要优势在于, 它可以协调各个行业的减排工作。甚至, 可以在将来, 协调各个国家的

## 我们还可以选择推动国家之间开展合作，成立气候俱乐部，采用差异化的最低碳价——这种方法的前景广阔。

减排工作，平衡各个行业的减排任务。此外，它还能提高关键监管政策的确定性，激励大量资金进行长期投资，增加财政收入，为政府推行其他政策提供公共资金。

碳定价工具有一个非常重要的作用，它能够通过某种形式，让收入回流到普通民众手中，确保转型过程不使任何一个人掉队。在许多国家，实行统一的碳定价政策具有累退性，但若实施负责任的收入再分配，则会使其成为一项具有累进性的政策，既能促进社会凝聚力，又能获得政治支持。这项政策所创造的收入还有另外一个用途，它可以为电动汽车充电桩等面向未来的基础设施项目提供支持。对于某些技术而言，常常会因为过时的基础设施以及技术溢出而无法顺利进入新兴市场，而这些项目是为这类技术培育稚嫩市场的关键。

### 重要的国际合作

部分国家在落实到本世纪中叶实现国内净零排放的日程表方面，确实取得了一定进展，但全球形势依然严峻。为了克服集体行动存在的潜在障碍（如分配问题），我们必须彻底改变以往的国际合作形式，确保所有国家都能按照类似的轨迹从疫情中恢复过来。

在这方面，南方国家和北方国家所肩负的责任不同。我们对1.5摄氏度的温升情景（NGFS，2021年）进行了一项分析，并从中得出了一个关键结论，想要实现这一目标，我们必须在短时间内完成脱碳任务（鲍尔（Bauer）等，2020年）。所有主要的转型期国家都必须尽快实现碳达峰，然后逐步降低碳排放。从技术角度来看，近期电力行业的发展让这一目标成为可能。反过来，高收入国家应该承认，在转型过程中，它们应当为其他国家提供更多支持，而这尤其是因为它们对气候变化负有历史责任。例

如，它们可以提供更加便捷的技术和融资渠道，增加直接投资等。

我们还可以选择推动国家之间开展合作，成立气候俱乐部，采用差异化的最低碳价标准，这种方法前景广阔。例如，在中低收入国家推行相对较低的限价标准，在高收入国家推行较高的限价标准，这将让中低收入国家从高碳价所产生的部分收入中获益；反过来这也可确保制造业、贸易、碳排放就不会简单地转移到不受监管的市场，这会给富裕国家吃下一颗定心丸。这种办法既可以各国行动实现其缓解气变的效果，又能维护公平的贸易秩序。对这两组国家的政治制度而言，要实施这样一个计划显然是一项极具挑战性的任务，但它能够促进经济繁荣，推进经济现代化，构建更加健康且富有弹性的社会，回报巨大——因此很值得这么做。FD

克里斯托夫·伯特伦（Christoph Bertram），现任波茨坦气候影响研究所国际气候政策小组负责人，奥特玛·埃登霍费尔（Ottmar Edenhofer），现任波茨坦气候影响研究所主任兼首席经济学家。贡纳·卢德尔（Gunnar Luderer），现任该研究所转型路径研究部门副主任。

### 参考文献：

- Bauer, Nico, Christoph Bertram, Anselm Schultes, David Klein, Gunnar Luderer, Elmar Kriegler, Alexander Popp, and Ottmar Edenhofer. 2020. "Quantification of an Efficiency-Sovereignty Trade-off in Climate Policy." *Nature* 588 (7837): 261-66.
- Bertram, Christoph, Gunnar Luderer, Felix Creutzig, Nico Bauer, Falko Ueckerdt, Aman Malik, and Ottmar Edenhofer. 2021. "COVID-19-Induced Low Power Demand and Market Forces Starkly Reduce CO<sub>2</sub> Emissions." *Nature Climate Change* 11 (3): 193-96.
- International Energy Agency (IEA). 2021. "Net Zero by 2050—A Roadmap for the Global Energy Sector." Paris.
- Network for Greening the Financial System (NGFS). 2021. Scenarios portal. Paris.
- Ueckerdt, Falko, Christian Bauer, Alois Dirnmaier, Jordan Everall, Romain Sacchi, and Gunnar Luderer. 2021. "Potential and Risks of Hydrogen-Based e-Fuels in Climate Change Mitigation." *Nature Climate Change* 11 (5): 384-93.