

通往净零的路径： 创新势在必行

EDF  + BUSINESS
ENVIRONMENTAL
DEFENSE FUND

Deloitte.

目录

执行摘要	2
引言	6
气候减缓解决方案	6
净零排放差距	8
气候创新的系统方法	12
“三大技术”：气候技术的基础	14
“十项扩展技术”：关键支持性气候技术	24
结语：净零排放未来与每一家公司息息相关	51
附录.....	52

本报告由美国环保协会编制，获得德勤咨询公司的分析和研究支持。本报告所载观点仅代表美国环保协会的观点，并非报告合伙人或合作者的观点。©2022年10月。

中文版本仅供参考，请以英文版本为准

执行摘要

除了自然气候解决方案和行为改变解决方案之外，气候技术是从大气中减少或移除温室气体、从而帮助避免气候变化最坏影响的三大气候减缓解决方案之一。这三个领域的行动对于实现2050年净零排放目标至关重要。

受各种长期存在的系统性和经济性障碍的影响，现有的气候减缓解决方案开发和部署速度并不足以实现净零目标，从而存在“净零排放差距”。为了在2050年前弥合这一差距，必须推进商业、金融、政策和民间社会等诸多领域的**创新**，加快部署开发现有和新的气候解决方案，以实现应对气候变化的共同目标。这项工作的推进并非易事，需要克服长期存在的阻碍创新的系统性障碍。

气候技术创新是指帮助气候技术发展以度过**技术可行性**和**商业可行性**各个阶段（从小的原型到市场规模化推广）的过程。作为实现全球净零排放努力的一部分，本报告聚焦于集体**行动和倡议**机会，供致力于加速实现技术突破的**企业**和**投资者**采用。

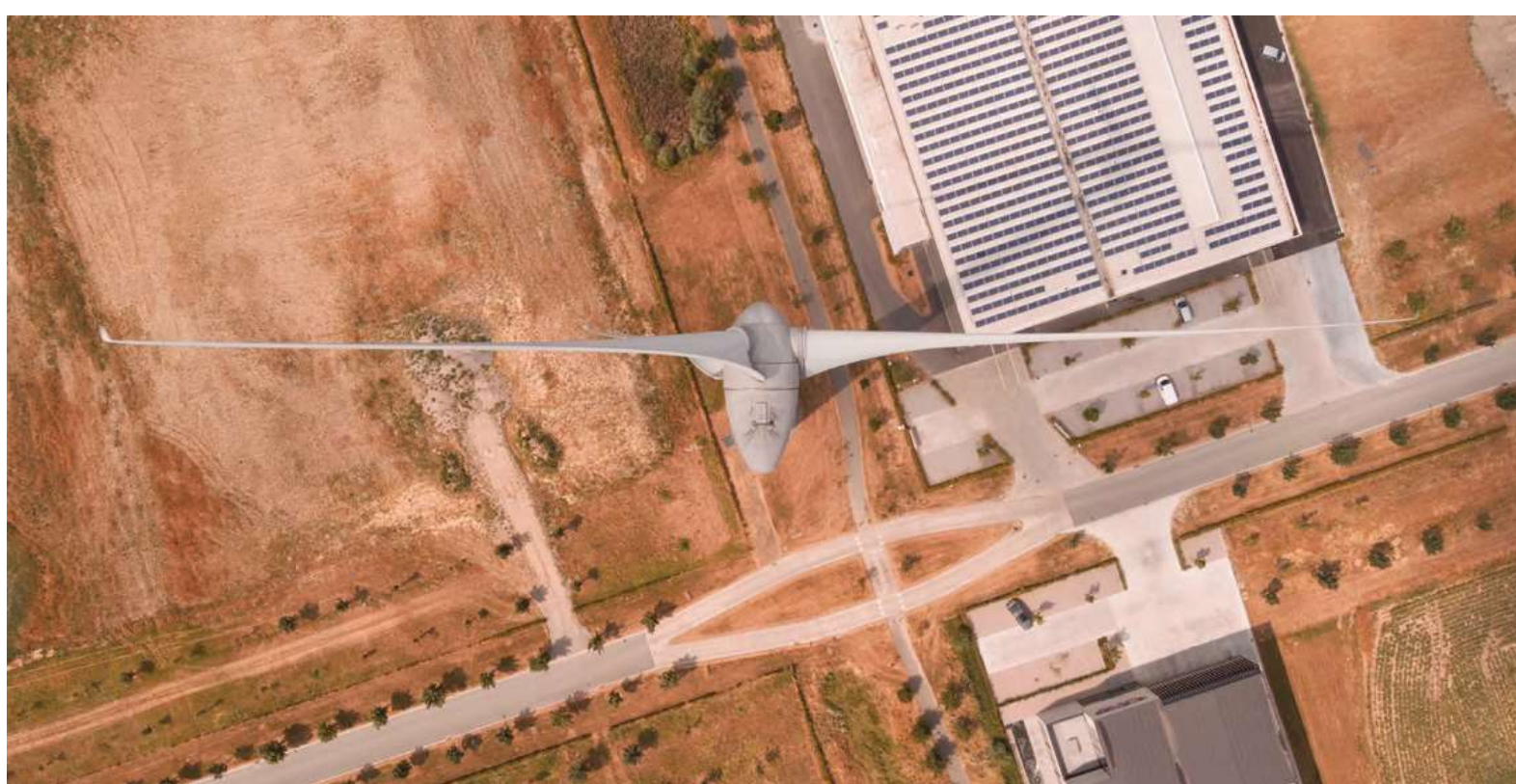
碳排放流经一系列**相互关联的系统**，每个系统都包括了一套可以减少或移除部门内和跨部门温室气体排放的气候技术。为了充分发挥各自的减排潜能，许多气候技术的实施有赖于持续的清洁能源供应。因此，近期

加快“三大技术”——可再生电力、电网连通性与储能，以及可持续燃料——领域的行动，对创造清洁能源的基础来源和最大限度地提高气候技术在各系统中的减排作用至关重要。

为了加快实施“三大技术”，私营部门可以参与创造性解决方案的开发。例如，投资者可以支持研发由更可持续的材料制造的电池；公用事业公司可以利用碳足迹分析来推荐最佳的可再生能源电网结构；即使是看似“无关”行业的公司也可以通过购电协议（PPA）获取可再生能源，并加入倡导清洁能源政策的联盟。

为了快速产生影响，必须在实施这些行动的同时进行“**十项扩展技术**”投资。“十项扩展技术”以“三大技术”为基础，目的是推动整个终端系统的气候减缓行动。“十项扩展技术”的选择是基于它们预期的气候影响并考虑到囊括所有排放部门，包括重工业、建筑、交通、粮食和农业、发电以及碳移除。

解决气候变化问题，将为我们创造历史上最大的市场机遇，那些快速采用和推进气候技术的企业和投资者可能成为低碳未来的领导者。这些企业必须有意识地管理气候技术的**外部性**，因为这些技术的部署将对各个社会经济的、种族的和地域的群体产生公平性和环境方面的影响。



《通往净零的路径：创新势在必行》

图1：创新势在必行执行摘要

减排杠杆

气候技术

行为改变

自然气候解决方案

气候技术创新是提高气候技术的技术可行性和商业可行性的过程，包括从原型到市场规模化推广的各个阶段。当前的技术创新速度并不足以实现2050年净零排放目标，由此产生了**净零排放差距**。



各行业企业应当立即行动起来，加快技术突破进程，弥合净零排放差距。那些在开发和部署新气候技术方面领先于同行的企业和投资者，有可能实现巨大的**商业价值**，并确立在低碳未来中的领导地位。



行动

采取行动支持并加速气候技术创新



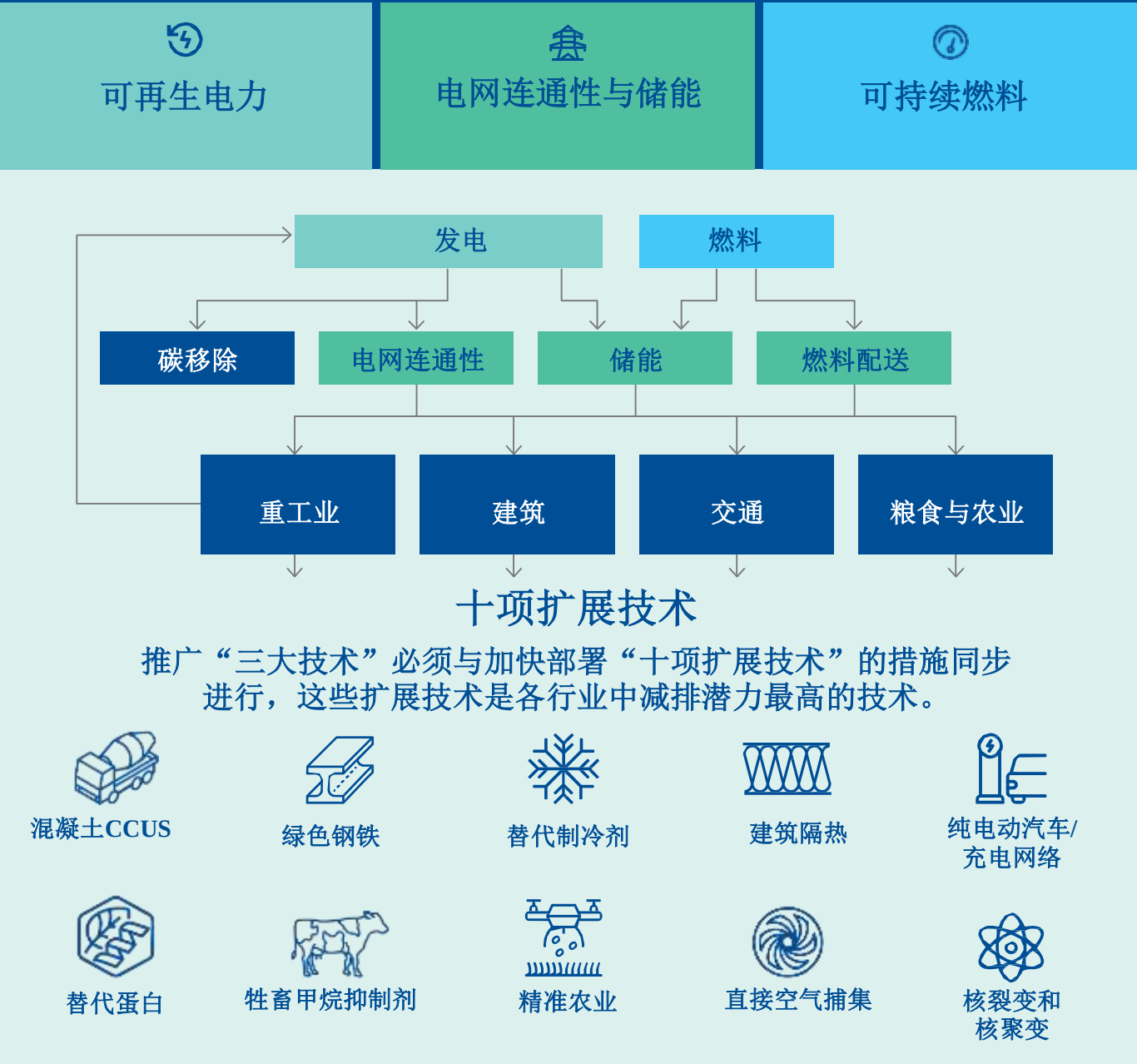
倡议

通过政策倡议加快技术应用

图1：创新势在必行执行摘要

优先进行的创新事项

碳排放流经一系列相互关联的系统。应优先考虑能够实现跨系统气候解决方案的“三大技术”，最大限度地提高清洁能源的可用性。



企业通过部署气候技术来管理外部性，从而推动各个社会经济的、种族的和地域的群体获得公平结果。

图 2：三种类型的气候减缓解决方案可以从大气中减少或移除温室气体，从而帮助避免气候变化的最坏影响

气候减缓解决方案



引言

私营部门对气候问题采取行动的意愿从未如此强烈。《联合国气候变化框架公约》第26次缔约方大会（COP26）促使世界各地的企业领导人就气候问题作出新的承诺。ESG（环境、社会 and 治理）议题已经成为各组织议程的重要事项，各国企业开始准备应对可能实施的强制性气候报告要求。尽管已经取得了这些进展，但联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在其最新报告中再次传达了清醒而明确的信息：我们所做的还不够。目前的进展速度仍不足以实现各缔约方在《巴黎协定》下作出的承诺。

IPCC的最新预测发现，为了将全球升温幅度控制在工业化前水平的1.5°C以内，除了需要在本世纪中叶左右实现全球净零排放外，还需要全球温室气体排放最迟在2025年达到峰值。当前的全球预测已经大幅偏离这一情景。然而新的机遇和激励措施不断涌现，这也为私营部门参与避免全球气候变化最坏影响的行动提供了巨大的机会。本报告的目的是，为商界领袖和投资者提供必要的信息和指导，加快气候技术这种重要气候行动的开发和部署速度。

气候技术——以及行为改变和自然气候解决方案——是有助于实现净零排放的三种减排解决方案之一。这三种方案都很重要，有赖于商业、金融、政策和民间社会等领域采取相互促进的战略行动。气候技术是指通过应用科学知识开发的、用于减少或移除温室气体的一系列机械或设备。虽然商界领袖们可以帮助扩大全部三种方案的影响，但本报告重点关注气候技术。技术为加速气候解决方案提供了广泛的机制，根据技术在新颖性的不同，企业支持这些机制的行动也会有所不同。许多气候技术在市场上还不具竞争力，必须通过**创新**来提高其**技术可行性**和**商业可行性**。

本报告根据[《通往净零的路径》](#)系列报告的前两份报告编制。第一份报告[《商业指南》](#)阐述了实现全球净零排放的紧迫性，并概述了实现这一目标的具体行业路径。第二份报告[《决定性十年》](#)提供了一个明确的框架，帮助企业在其业务和供应链中启用这些潜在的减排解决方案。它明确了企业**现在**采取行动应对气候变化的必要性。第三份报告《创新势在必行》关注的是，在企业部署现有减排解决方案后，如果仍未能实现净零排放，接下来会发生什么。在这种情况下，增量的技术进步和现有技术转用于脱碳方向有助于弥合减排差距。《创新势在必行》揭开了气候技术的神秘面纱，并为商界领袖和投资者提供了一系列明确的建议，指导他们如何通过战略行动和倡议来加快最具前景的气候技术的开发和部署速度，并在低碳未来中占据领导地位。



净零排放差距

好消息是，实现净零排放所需的大多数气候技术目前已经存在¹。坏消息是，其中有75%的技术还没有进行大规模的商业化部署。甚至非常典型的技术成功案例，如太阳能电池板和电动汽车电池，也耗费了大约30年的时间才产生显著影响²。而现在距2050年还有不到30年的时间，因此，气候技术创新步伐必须远远超过当前的进步速度。

这一挑战通过**净零排放差距**体现了出来³。图3说明了在照常情景下（即未来30年不实施进一步的气候政策或不采取协调一致的技术创新行动）现有气候解决方案对2050年减排的贡献⁴。在这种情景下，部署**行业解决方案**（发电、重工业、建筑、交通和农业）可以在一定程度上降低2050年的全球排放量（如左侧柱所示）。**碳汇**（例如，将碳“锁定”在自然吸收的湿地中）和**行为改变**（例如，通过健康和教育改善计划生育和抵消人口增长）也有助于实现减排目标。右侧的净零排放差距（以及相关的投资差距⁵）表明，即使从现在开始到2050年间持续部署这些解决方案，全球政策和当前的创新速度仍无法实现减排目标——到2050年所需减排量的近一半无法实现。净零排放差距的存在很大程度上是由于政治惯性（包括化石燃料行业游说的影响）所致，而且有可能随着气候行动政治意愿的增强而大幅缩小。例如，在美国，随着政府批准《通胀削减法案》，这一差距将缩小。

38万亿美元的资金缺口

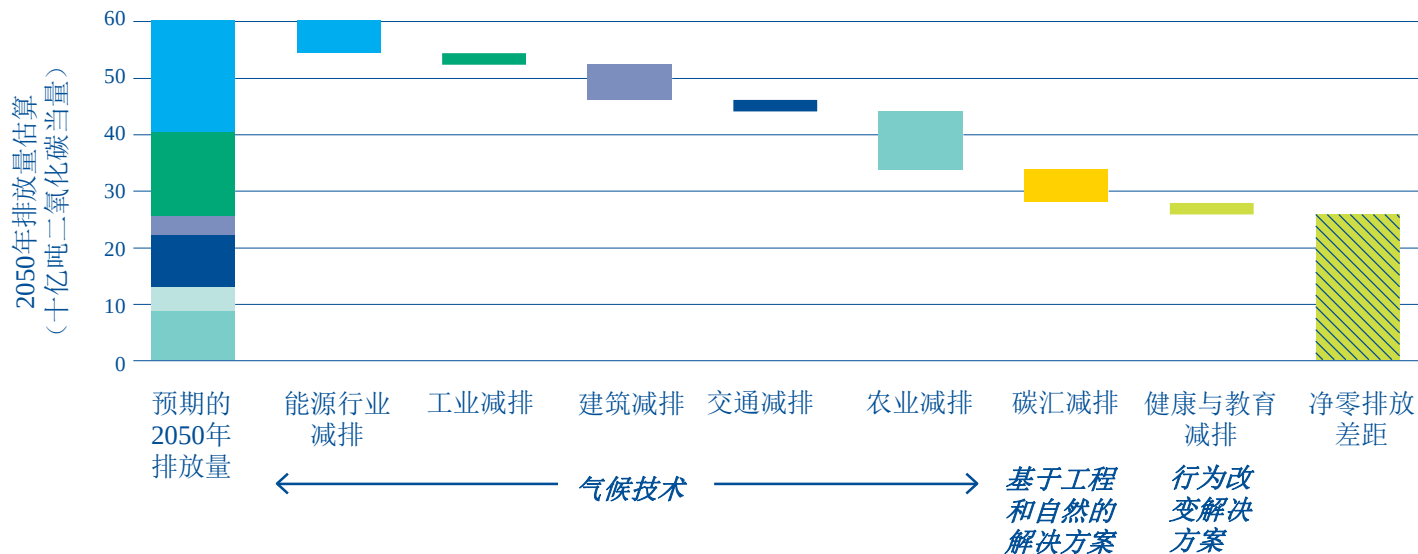
IPCC估计，从2020年到2050年需要48万亿美元的投资才能实现净零排放。我们目前正在进行的支出只有10万亿美元，还有38万亿美元的资金缺口。

然而，私营部门迫切需要采取行动。商界领袖应当认清气候危机的本质——它既可能威胁企业未来的运营，也代表着巨大的**市场机遇**，而为了抓住这一机遇，企业必须进行创新，以成为低碳未来的领导者。

为了缩小净零排放差距，公共和私营组织需要克服长期存在的系统性障碍，因为这类障碍通常会限制气候技术创新急需的投资。支持气候技术的**基础设施不足**（例如，电动汽车充电网络的覆盖范围有限）以及**气候政策的不确定性**（在汽车燃料标准等议题上为企业决策者设定变化的目标）导致公司的气候投资决策风险更大且模糊不清。研发（R&D）领域**缺乏公共和私人资金**，或**关键投入短缺**，如可用于电解水生产绿氢的可再生能源不足，也显著减缓了技术开发进程。

图3： 净零排放差距表示，在没有实施新的气候政策和实现技术突破的情况下，2050年剩余的排放量。
 注：这项分析是在美国政府批准《通胀削减法案》之前进行的，并未考虑法案中的投资或激励措施。

照常情景（BAU）下，基于当前减排方案实现的2050年行业减排量





在需求侧，潜在买家对现有技术的认识不足、国家和企业目标不断演进以及传统市场的主导地位等，共同造成了对新技术的需求信号不足。造成需求信号不足的部分原因是信息不对称。加强对ESG报告的关注表明在数据透明度方面取得了进展；然而，测量、核查和共享供应链排放数据的过程依然繁琐复杂。最后，组织的和政治的文化会削弱创新的意愿。商界和政府领导人的短期主义（受奖励季度回报的激励结构的影响，以及频繁选举周期的影响）限制了为了在30年后实现净零排放目标而应现在就进行的投资。企业间的竞争态势也会阻碍解决如此层级的问题所需的信任、合作和知识分享。

图 4：现有的市场和激励结构限制了缩小净零排放差距所需行动的有效性

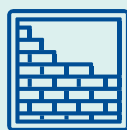
影响气候技术创新开发和部署的关键挑战



基础设施
不足



气候政策的
不确定性



关键投入
短缺



资金
不足



对现有技术
认识不足



受限的
需求信号



数据
不够透明



组织的/
政治的文化



聚焦
短期



缺乏信任/
协作



创新案例研究

新冠疫苗研发

在应对紧迫的全球危机而采取协调的公私合作行动方面，是有先例可循的——最近的新冠疫苗开发就是一个有力的例证。我们可以在携手应对危机和实现净零排放之间找到令人鼓舞的相似之处，但成功的故事也指出了未来需要我们谨慎行事的重要领域。

背景

新冠疫情爆发后，世界各地的相关死亡病例数激增，使得数月内经济活动几乎陷于停滞，这使得政府、企业和科学家在研发能够拯救生命的疫苗方面进行史无前例级别的紧急合作。

创新的杠杆

科研成果的分享、政府和社会资本合作（可以发出强烈的需求信号）、已有mRNA技术的创造性应用以及制药公司竞相开发第一种安全疫苗的竞争激励，使快速应对成为可能。

创新的失败

在疫苗推出后的前7个月里，全球约85%的接种发生在高收入和中等收入国家，凸显了与气候技术部署同样相关的公平性问题。此外，对于那些本应该视为普遍公共卫生问题的政治化以及虚假消息的肆意传播，延误了制定解决方案的时机，导致许多人不必要地失去生命。

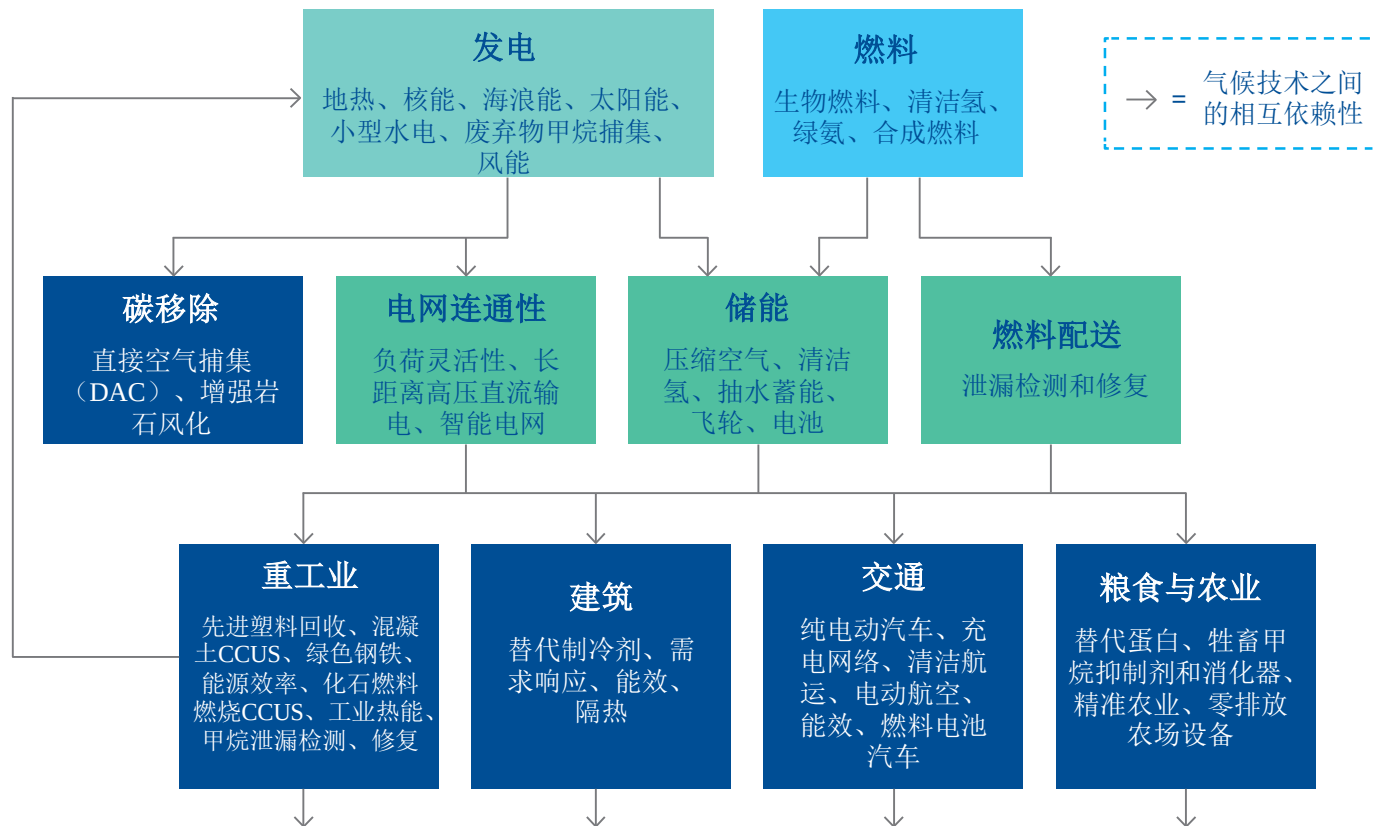
新冠疫苗开发既为集体行动取得成功提供了可供借鉴的有益模式，同时也对可能阻碍一项技术发挥作用的一系列社会经济因素和不公平问题提出了警示。

气候创新的系统方法

缩小净零排放差距并非易事，一味地追求“新颖而令人瞩目”的新技术可能会导致失败的结果。创新不仅仅包括“颠覆性”技术。无论是通过革新流程效率，改变使用模式，还是在新的客户群体或地区简单地应用现有的解决方案，只有通过首先观察整体系统的缺陷并寻找不同的解决办法，创新才能发挥最大作用。我们需要以**系统性变革**为基础进行战略性投资——首先要理解排放如何从能源生产部门流向经济体系的终端部门。

每个部门都会产生排放，而每个部门也都会有一系列气候技术来减少这些排放^{6,7}。从本质上看，各种技术的有效性是内在**相互依存**的——一种技术的进步可能会刺激也可能遏制另一种技术的进步。例如，氢燃料电池和电气化都是重型车脱碳的可行选择，但过高的基础设施成本会阻碍市场同时对两种技术进行投资。因此，很可能只有其中之一会成为取代内燃机的主流选择。

图 5：每个系统都采用了一系列可以减少或移除部门内和跨部门温室气体排放的气候技术



这些系统的关键问题是，终端部门对清洁能源生产、储存和配送的依赖。各部门的减排直接受到其能源投入的清洁（低排放）程度以及清洁能源是否易于获得的影响。这种关键的依赖关系表明，能源生产系统是能够进行大幅减排的关键干预点。由此可见，系统变革应从把**可再生电力**作为2050年主要能源生产来源的创新入手，而这又需要**电网连通性与储能**的支持。

可持续燃料对于补充未来的可再生能源结构至关重要，因为由于技术和结构性的限制，并不是所有的能源过程都可以电气化。这些解决方案结合在一起可以促进清洁能源基础设施建设，为实现净零排放的未来奠定基础。



“三大技术”：气候技术的基础

我们将这些清洁能源基础——以及其中的优先技术——称为“三大技术”。第一大技术是**可再生电力**，重点是**太阳能和风能**，因为它们是可以全球推广的最容易获得且最具成本效益的可再生能源。第二大技术是**电网连通性与储能**，包括**电池技术、其他低碳储能技术以及电网传输和负荷灵活性的创新**。现代化的电网基础设施是连接可再生能源和用户的关键，也是平衡供需的关键因素，从而应对当前风能和太阳能间歇性问题。良好的可再生能源供应不仅有助于生产清洁电力，而且有助于生产可持续燃料，包括生物燃料、合成燃料和清洁氨，对于不易实现电气化的交通方式（例如航空和海上运输），这些燃料是最具前景的清洁能源。

下文概述了各项优先技术，并为企业和投资者提供了一个可行的建议框架，指导企业如何采取行动、如何通过倡议

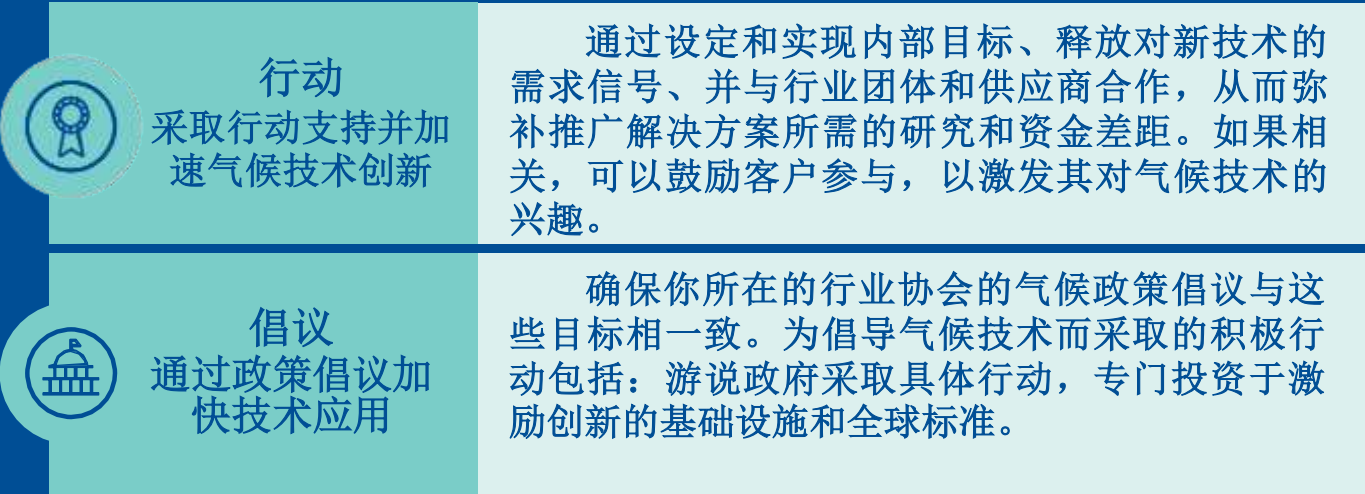
来加速创新。企业可以将“三大技术”和其他气候技术融入自身业务，投资建立伙伴关系和建设基础设施，以及倡议实施可促进这些技术部署的政策，从而影响上述气候技术的发展。投资者可以鼓励现有和潜在的被投公司采取上述行动，同时也参与直接投资和倡议工作，从而发挥关键作用。

图 6：“三大技术”的技术集



* 各项技术的额外信息和计算方法详见附录。

图 7：私营部门需以不同的方式参与创新



可再生能源发电

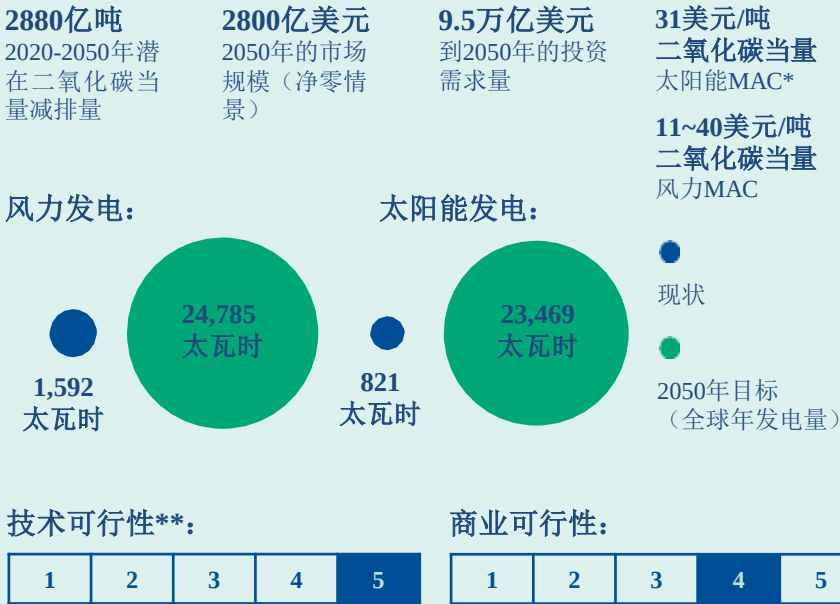
所有经济部门均依赖能源（从电力到燃料和热能）为其资产和生产过程提供动力。即使是无法直接实现电气化的重工业能源密集型过程，最终也需要大量的可再生能源来实现脱碳。对清洁能源的大量需求可由全球普及程度最高的可再生能源来满足：**太阳能和风能**。得益于过去数十年的大量投资和长足进步，太阳能和风能技术可以有效地捕获这些可再生能源，并将其转化为易于部署的电力。这两项技术被认为是**技术成熟的**，并得益于渐进式突破（如材料改进），电力转换效率不断提高。

尽管风能和太阳能是众所周知的且具有成本效益的气候技术，但它们在全生命周期中仍然面临着商业化挑战。受缺乏效率的法律框架和社区选址偏好影响，项目的**安装和许可过程**可能会很漫长。由于净零排放目标需要部署大量的风能和太阳能，而土地供应紧张，这使得可再生能源安装选址成为越来越有争议的话题。

图8：三大技术：可再生能源发电

可再生能源发电

关键气候技术：太阳能、风能



** 本报告中的技术可行性和商业可行性评分采用的是改编自NASA和[IEA的技术成熟度（TRL）量表](#)的框架。

* “MAC”用于技术深入研究中是指技术的“边际减排成本”。

风能和太阳能面临的一个重大挑战在于，受天气影响，这两种能源具有**波动性**。太阳能和风能需要与其他稳定的可再生能源互补，包括地热（以地球的热量作为动力）和水电（以水的流动作为动力），以及**公用事业级储能基础设施**，以确保向电网持续供应基荷水平的清洁电力。

风能和太阳能基础设施也不会永远存在。目前，退役的风机叶片因不易回收而堆积于垃圾填埋场⁸。即使是由95%的可回收材料组成的太阳能电池板，也尚未实现大规模回收。[参考GE和EngieSA的做法](#)，公用事业公司可以组建联合体，共同研究改进更易于回收的基础设施设计，以解决废物和材料方面的挑战。

表1:
可再生电力创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	公用事业公司	→ 设定积极的目标（可再生能源生产、基础设施回收） → 采用有助于提高能源转换率的新设计取代旧的基础设施 → 开展科普活动并提供相关工具，以鼓励客户参与	→ 通过建立联合体来资助和研发新的、更易于回收的材料和设计 → 与回收公司和废弃物管理公司建立伙伴关系，以提高对不可回收物品（如风力涡轮机）的再利用能力
	所有主体	→ 通过购电协议（PPAs）、行业组织的可再生能源采购合同、获取高质量且可核查的可再生能源证书，以及在容量需求方面与公用事业公司保持对接等方法释放出需求信号 → 披露为增加可再生能源利用而采取的前三大举措	→ 设定目标并制定路线图，以实现24/7的清洁电力（即通过投资、倡议和创新来确保基础设施始终由可再生能源提供动力，而非年度匹配）
倡议		→ 设立更积极的州级和联邦目标（在当地以及设立子公司/开展业务的国家）。 → 增加公共资金以及加强政府和社会资本合作（PPP）以抵消前期成本 → 取消限制可再生能源生产的法规 → 确保自愿标准和协议能激励企业的可再生能源采购	→ 太阳能电池板和风机的回收要求（以复垦保证金等资助机制为支撑）

其他ESG考量

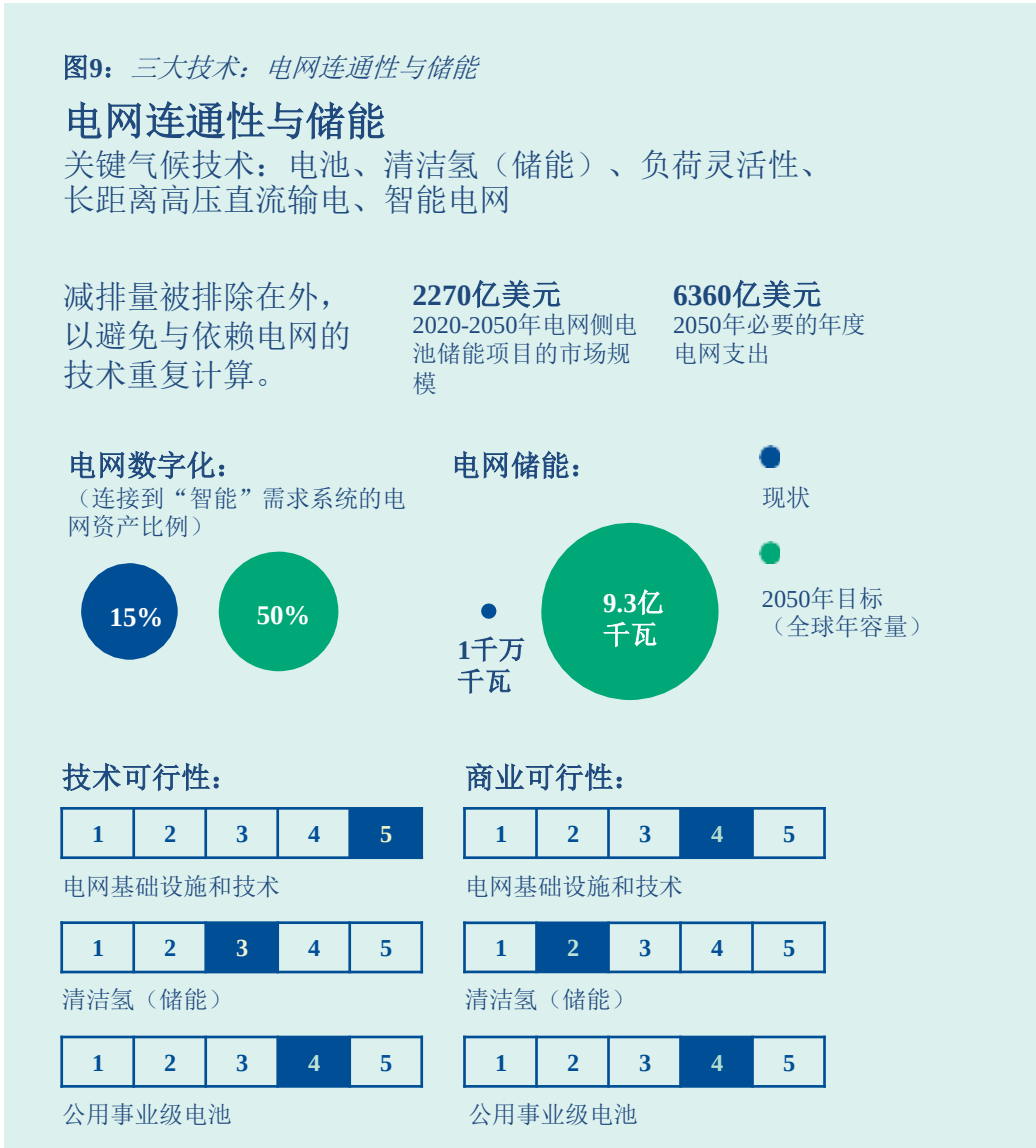
稀土矿物的矿区建设可能会侵害当地原住民社区的经济和健康，并且由于缺乏实质性的相关政策，可能导致工人权利受到侵犯。在制造过程中使用化学品会产生危险和放射性副产物。将风能/太阳能装置安装在先前环境退化地带（如废弃矿区或交通走廊沿线）是缓解自然栖息地丧失和土地利用退化问题的一种方法。

通过投资提高可再生电力将有利于守住气候和企业的底线——据估计，改用太阳能可使美国商业地产业主的电费平均降低75%⁹。但是，可再生能源项目往往规模巨大，仅凭公司一己之力难以独立承担。为帮助其供应商克服这一挑战，[沃尔玛与施耐德电气签订购电协议（PPAs）](#)，建设可再生电力集中采购所需的基础设施。私营部门可以倡导政府合作（如[美国能源部（DOE）和美国卫生与公众服务部（HHS）](#)），使低收入家庭与风能和太阳能项目开发商对接，从而为缺乏购买力的社区提供援助。

电网连通性与储能

现有电网不足以支持以可再生能源为主导的能源结构，如需将可再生能源输送至最急需的人口密集地区和工业中心，则电网**基础设施**技术非常关键。这可以通过现有技术的现代化来实现，例如，**高压直流（HVDC）**输电线路可以减少长距离运输过程中的电力损耗，并提高电网应对自然灾害的抗灾能力。利用人工智能和分析的**智能电网**将在能源供需管理中发挥关键作用，而储存数百兆瓦时电力的**公用事业级电池**（目前主要是锂离子电池）可在每日电网负荷波动时发挥调节作用。由于电池可以部署在额外容量需求较高的地方，因此，它们可以取代偏远社区的煤炭或天然气，提供更便宜和更可靠的可再生能源选择。有一种更新兴的用途是生产**清洁氢**用作储能，在需要时随时转换为电力。

虽然智能电网和配套输电技术已被证明可以规模化应用，但由于公用事业部门的发展整体滞后，因此仍然面临**成本障碍**。



由于长期的计费和计量系统已形成惯性，因此客户自认为在倡导创新（如**需求响应计划**）方面能力有限。电池商业化也面临重重障碍——主流的锂离子电池采用的是可能短缺的稀有材料，并且缺乏足够的循环经济基础设施来实现大规模电池回收。

电池储能装置的前期成本较高，其长期估值难以确定，并且存在监管障碍。

储氢必须克服种种技术障碍才能实现预期用途。储存在地下洞穴通常被认为是储存大量氢气的最佳方式。然而，洞穴的可获得性受**地质条件限制**，并且目前仍未充分了解氢气泄漏风险或因扩散而与洞穴中的细菌杂质混合的风险¹⁰。



氢气的颜色

氢气有不同的生产方法，这些方法会产生不同的环境影响。

灰氢来自于化石燃料的天然气等。目前生产的大部分氢气均为灰氢。

蓝氢的化学加工技术与灰氢相同，只是加工过程中产生的二氧化碳会捕集并封存在其他地方。

绿氢的生产方法是使用可再生电力将水电解成氢气和氧气。

以低温储罐为载体的更小规模的储氢也是一种值得考虑的方案，由于成本、氢气泄漏和氢气的体积能量密度较低等问题，部署准备工作停滞不前。

随着新的输配电主体通过推动研发减少了技术性的储能挑战，公用事业公司必须对现有电网系统进行创新，为未来与可再生资源的整合做准备。他们可以首先采用更加动态和优化的**需求响应**工具，这类工具利用IT平台将能源需求分散至日和季度的非高峰时段。需求响应计划可以通过与工商业客户的双边合同进行协商。虽然确定需求响应计划需要付出前期努力并制定参与者补偿方案，但其最终可以避免能源容量过剩产生的成本。行为改变往往是助力电网管理技术取得成功的真正催化剂，公用事业公司可以通过需求响应的意识提升活动，使客户更加了解电网动态。例如，[ConEdison公司](#)提供了一套方案：用智能恒温器和电费的折扣换取在高需求时期短暂调整电力设置的临时补贴。在知识和激励措施的双重作用下，每个客户都可以做出贡献。

公用事业公司以外的主体对电网创新的影响比他们想象的要大，尤其是计划运营电动汽车（EV）车队的企业。例如：[阿姆斯特丹Johan Crujff Arena](#)正在开创性应用车网协同（V2G）技术，以便在高负荷期间对其太阳能和电池储能系统进行补充，参加活动的电动汽车司机均能获得奖励。企业亦可基于政府和社会资本合作（PPP）模式建立国家电池供应链，例如，[通用汽车和特斯拉的跨行业联盟](#)倡导美国为电池制造和加工提供税收优惠。



为何氢气泄漏是个大问题？

氢气分子极小，因此容易从储罐、管道和其他容器设备中泄漏出来。氢气泄漏是个大问题，因为氢气是一种间接温室气体，这意味着当它释放到大气中时，它会增加甲烷、臭氧和水蒸汽等其他温室气体的浓度。

关于“清洁”的注意事项



清洁氢的气候影响取决于氢气本身的泄漏率（对于蓝氢，则还取决于甲烷的泄漏率）及其部署的程度。



EDF研究估计，在高氢气泄漏率和高甲烷泄漏率时，以蓝氢取代化石燃料可能会在随后的20年内对全球变暖产生更大的影响。



另一方面，部署最小泄漏率的绿氢以取代化石燃料，几乎将消除它所替代的化石燃料的增温影响。



有效的泄漏检测和修复技术不仅有必要进行开发和规模化实施，而且要通过法规进行规定和执行。

表2：
电网连通性与储能创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	公用事业公司	→ 增加需求响应计划的数量和类别（面向商业和住宅客户）；通过开展教育和客户宣传活动来提高接受程度 → 研发氢气泄漏检测和修复技术	→ 研发新的电池技术（例如，固态电池）和提高电池回收能力 → 研发高效电解或高效的电-氢-电转换技术
	所有主体	→ 与公用事业公司合作，以最大限度地利用不同设施的需求响应，并要求供应商也采取同样的行动 → 将电动汽车作为一种储能方式和能量来源（“车网协同”技术）	→ 执行储能容量目标（在采购目标之外） → 与公用事业公司重新进行合同谈判，要求利用新技术提高电网效率 → 在投资决策过程中考虑电网连接风险
倡议		→ 资助并采取激励措施以支持电网现代化（如智能电网、高压直流输电工程或公用事业级电池） → 基于PPP合作模式建立国家电池供应链	→ 采取激励措施（如税收减免、研发、创新激励奖），以促进储能方面的创新 → 制定储氢监管（环境和安全方面）标准



其他ESG考量

把握机会最大限度地利用**微电网技术**和新的商业模式（如即付即用模式），为电力资源长期有限的地区和社区提供能源保障。在缺乏适当监管的情况下，**电网现代化的成本**可能会转嫁到客户身上，从而可能对**低收入**的终端用户产生不成比例的影响。

可持续燃料

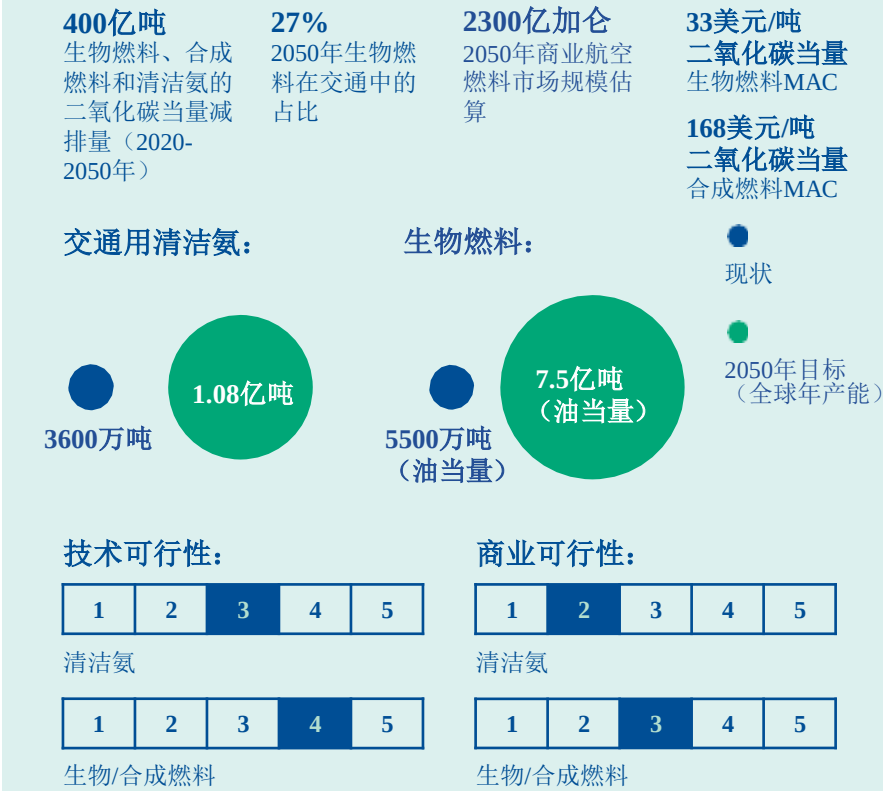
对于不易实现电气化的交通方式（如航空和航运），**清洁氨**（由清洁氢生产）、**特定生物燃料和合成燃料**是具有良好前景的清洁能源¹¹。总体而言，可持续燃料**尚未具备全面的商业可行性**——它们目前的价格无法与持续进入碳排放燃料的补贴竞争，疲软的需求信号导致对额外供应能力的投资步伐放缓¹²。合成燃料和生物燃料技术不够成熟，只有获得经常性的、有保障的采购承诺支持，才能使得为提高能源转换效率而进行的前期投资是合理的，从而使这些技术最终变得更可承受。这对于由废弃物或其他不同粮食使用竞争的原料（例如，海藻和有机废弃物）制成的生物燃料取得长期成功尤为关键。与之形成明显对比的是由农作物或可食用原料（例如，玉米、大豆、可食用牛脂等）制成的生物燃料。这类生物燃料会给粮食系统带来风险，并可能导致森林砍伐或因土地利用变化导致温室气体排放。如果不克服这些障碍，则生物燃料可能无法产生预期的气候效益。

清洁氨也面临着广泛的挑战。氨是一种高毒性和腐蚀性化学品，需要谨慎管理。

图12：三大技术：可持续燃料

可持续燃料

关键气候技术创新：生物/合成燃料、清洁氨



此外，它的关键成分清洁氢会带来环境风险，这与储氢应用部分讨论的环境风险相同。如果氨给人类和生态系统健康带来的风险能够得到控制，并且如果氢泄漏能够得到缓解，则在内燃机或燃料电池中使用清洁氨将对航运业的脱碳大有裨益。为了使海运部门在2050年之前实现脱碳，到本十年末，至少有5%的船舶必须使用零碳燃料。

使用清洁氨可能是实现该目标的一种方法（第一台以氨为燃料的二冲程发动机将在两年内上市）。为了实现这一转变，必须做大量的工作，例如，建设新的基础设施、设立氨燃料加注点或采取强有力的政策框架来应对与氨相关的挑战。**海运业**可以在整个价值链释放出需求信号，以刺激对清洁氨和其他可持续航运燃料（例如，清洁甲醇）的投资，从而推动实现脱碳目标。

表3：
可持续燃料创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	交通燃料	→ 开展 清洁氢 加注（航运业）可行性研究和试点	→ 在港口和机场建设高完整性的 生物/合成燃料 加注基础设施
	粮食与农业	→ 通过制定并实现 清洁氢目标 （以取代传统化肥），以及行业组织的采购合同，释放需求信号	
	所有主体	→ 通过设立目标、经常性的集体采购协议和承诺，释放出对高完整性 生物/合成燃料、清洁氢 的长期需求信号	→ 改造/改革供应链基础设施，以支持 替代燃料 → 设定燃料内部碳费
倡议		→ 国家层面的 替代燃料 的分类法和标准，如按燃料来源（为了保护土地利用）和按最终用途（如规定航空燃料中可持续燃料的占比）。 → 取消化石燃料补贴	→ 设立 氢枢纽 ，有大量能源需求的行业战略性地设在清洁能源基地附近 → 激励高完整性 生物/燃料、清洁氢 的限额交易计划

[阿斯彭研究所](#)正在鼓励货主和供应商通过组建联盟来为此类供应链的形成做准备，并鼓励企业在其海运活动价值链围绕零排放燃料使用设定目标。

所有部门的公司均可加强释放对可持续燃料的**需求信号**，这与许多公司直接相关，因为员工航空旅行极大可能成为他们自身脱碳目标的一部分。[RMI](#)和[EDF](#)正在牵头成立[可持续航空买家联盟（SABA）](#)，以推动对高完整性可持续航空燃料（SAF）的投资，并推动成员参与政策制定工作（如德勤和微软）。如果企业能够倡导建立正式的标准，以确保燃料转换的排放完整性，则这些企业将对实现自身脱碳议程更有信心。

氢枢纽是将生产过程中的所有环节本地化的场所（因此能够最大限度地减少运输过程中泄漏的可能性），它们可能是清洁氢取得成功的基础，并且日益受到政府关注。近期，[先进清洁储能（ACES）](#)项目从美国能源部获得了5.044亿美元的贷款。该项目计划将过剩的可再生电力转化为氢，并利用氢来平衡犹他州和洛杉矶的电网。只要ACES不占用主要用于电气化的清洁电力，则该项目可以成为一次良好的实验，来验证氢作为可行和清洁的电力来源的潜力，同时可评估氢运输和地下储存期间的泄漏风险。



其他ESG考量

对乙醇（以玉米为原料）而言，农业生产中化肥的使用以及以种植玉米为由进行的森林砍伐等各种因素已被证明将抵消已知的气候效益。此外，间接土地利用变化可能使发展中国家面临的粮食供应短缺问题进一步恶化。即使竞争性生物燃料具有技术可行性，关于其在未来能源系统中应该发挥多大的作用，仍然尚无定论。



“十项扩展技术”： 关键的支持性气候技术

通过部署“三大技术”来建立清洁能源基础，私营部门可以帮助最大限度地实现其他气候技术的减排潜力。然而，仅靠这一方法仍不足以实现净零排放。由于时间线很紧，因此无法采取循序渐进的方法：即先着重发展“三大技术”，然后再关注其他技术。相反，“三大技术”必须与协同的倡议平行推进，从而在各系统中推广单独的技术。由于选择过多且时间紧迫，因此无法大规模部署每项技术，企业应该采取针对性的措施，分析各项技术的减排潜力。

图14表明了2020年至2050年各选定技术累计减排影响的**独立、最佳情景**预测。（“如果我们尽一切努力来推动风电部署，并且假设风能在所有竞争技术中占主导地位，那么它可以减少多少吨二氧化碳当量？”）^{13,14} 气泡的相对大小代表各项技术的影响潜力——尽管在现实中各项技术的减排量取决于其他气候技术的部署率以及支持技术应用的投资。

图13：除了加速发展“三大技术”外，通过部署一批“扩展技术”，亦可推动整个终端使用系统减缓气候变化。

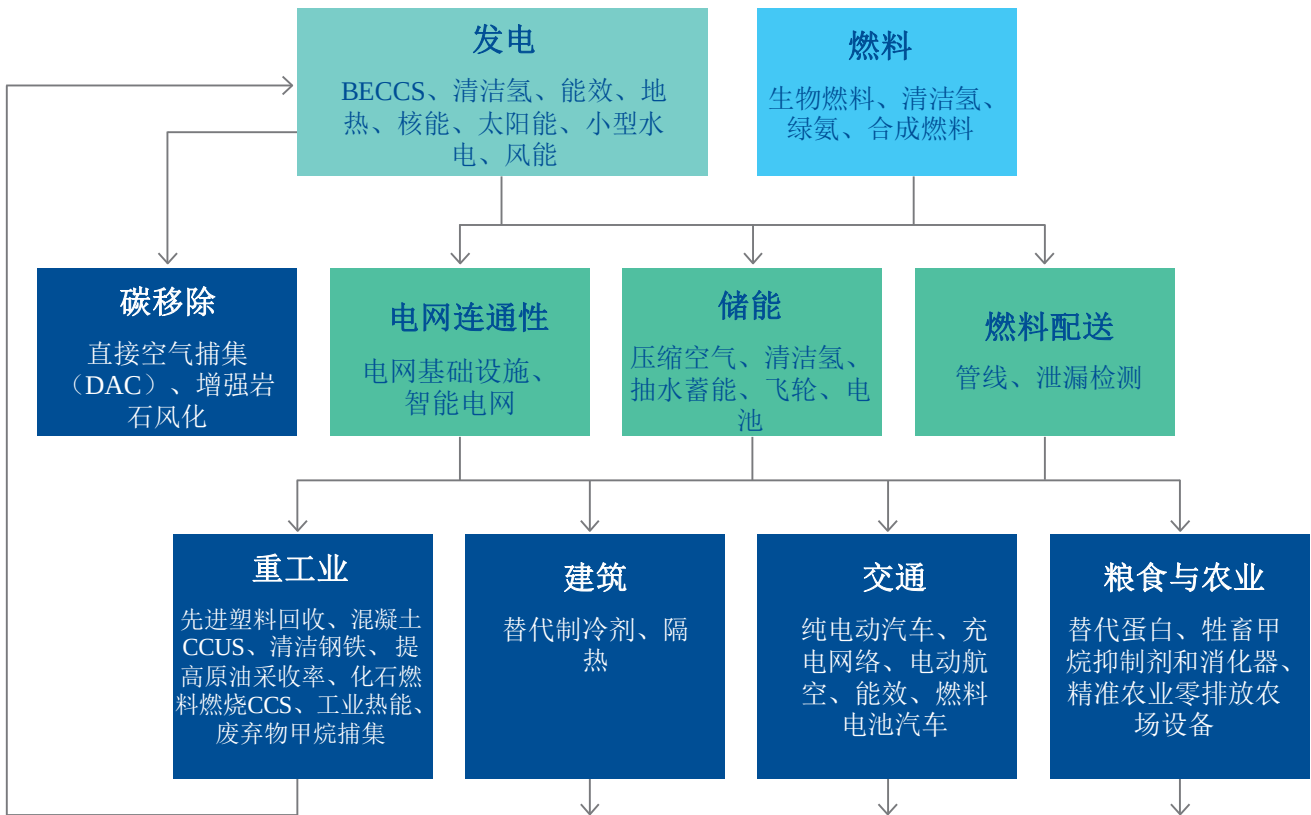
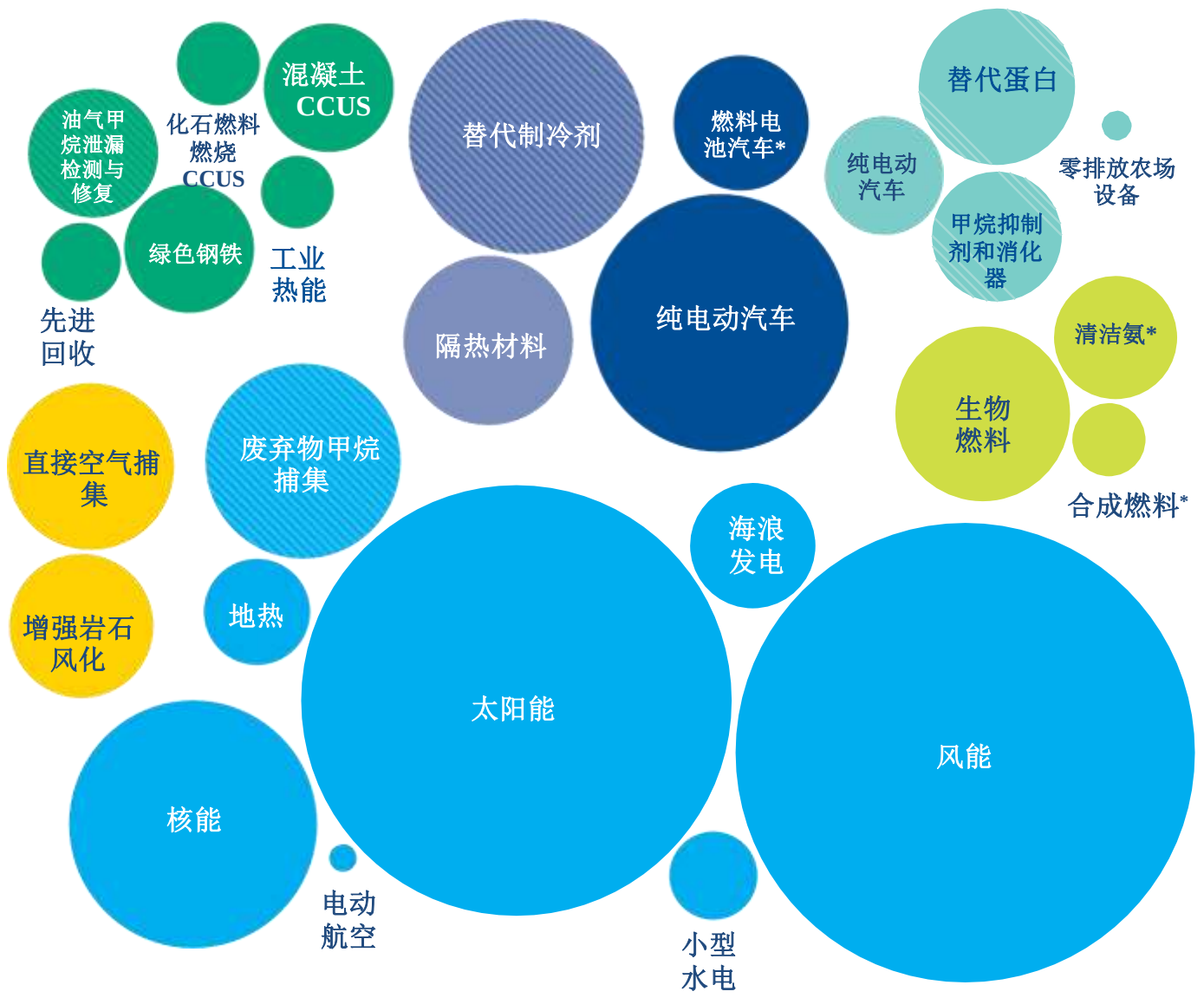


图14：了解哪些气候技术能提供最大的减排机会是确定行动和投资优先次序的关键



100亿吨

500亿吨

1500亿吨

● 重工业

● 碳移除

● 建筑

● 发电

● 交通

● 可持续燃料

● 粮食与农业

* 合成燃料是将清洁氢作为直接投入的气候技术。为了避免重复，未将清洁氢作为独立技术列入。

气泡大小=2020~2050年累计预估气候减缓潜力（二氧化碳当量）

由于温室气体的全球增温潜势（GWPs）不同，因此使用二氧化碳当量进行估算。甲烷和氢氟碳化物（制冷剂原料）在大气中停留的时间比二氧化碳短，但每个分子捕集的热量更多，因此在短期内迫切需要减少甲烷和氢氟碳化物的排放。

甲烷的GWP100：二氧化碳的27倍；GWP20详见附录

制冷剂的GWP100：二氧化碳的2200倍；GWP20详见附录

表4:

评估技术可行性和商业可行性

通过评估气候技术的技术可行性和商业可行性水平可以为推进创新提出建议。

技术创新生命周期	技术可行性	商业可行性
1 原型	技术原型诞生于实验室，在测试条件下得到了验证	成功的概率很低；未部署
2 示范	期望条件下的工作原型	成功的概率较低；未部署
3 商业化	引入单个全尺寸运作的商业装置	临时部署；装置可以吸引小部分客户和投资者；尚不具备经济竞争力
4 早期应用	技术在市场上可买到并具有可靠性，但需通过改进来保持竞争力	部署范围有限；成本（如绿色溢价）和性能差距仍然存在；需要与技术生态系统进一步整合
5 成熟期	稳定；技术已实现可预测的增长；继续在实践中逐步学习	已在相关市场上规模化部署；可与产生碳排放的技术媲美（在价格和性能方面）

气候技术亦可从**技术可行性和商业可行性**的维度来进行评估。图15是利用表4中定义的技术创新生命周期绘制的不同部门的技术图^{15,16}。部分技术已经达到最成熟的水平，例如，石油和天然气行业的甲烷泄漏检测和修复措施。一些其他技术，如增强岩石风化，几乎仍未从理论阶段进入原型阶段。通过了解一项气候技术处于创新周期中的何种阶段，可以知道哪些行动最有助于加速其开发和部署。

为实现减排影响的最大化，应优先投资具有**最大减排潜力**的技术。此外，由于**所有经济部门**都在全球温室气体排放量中占有一定比例，并且均有脱碳需求，因此优先考虑**每个部门中绝对减排潜力最大**的技术，以确保每个行业能够根据自己特定的排放情况应用至少一种解决方案。基于这套标准并定性地兼顾外部性，最终确定了“十项扩展技术”的优先次序。

图15：部分技术已经成熟，而另一些技术仍处在原型阶段。

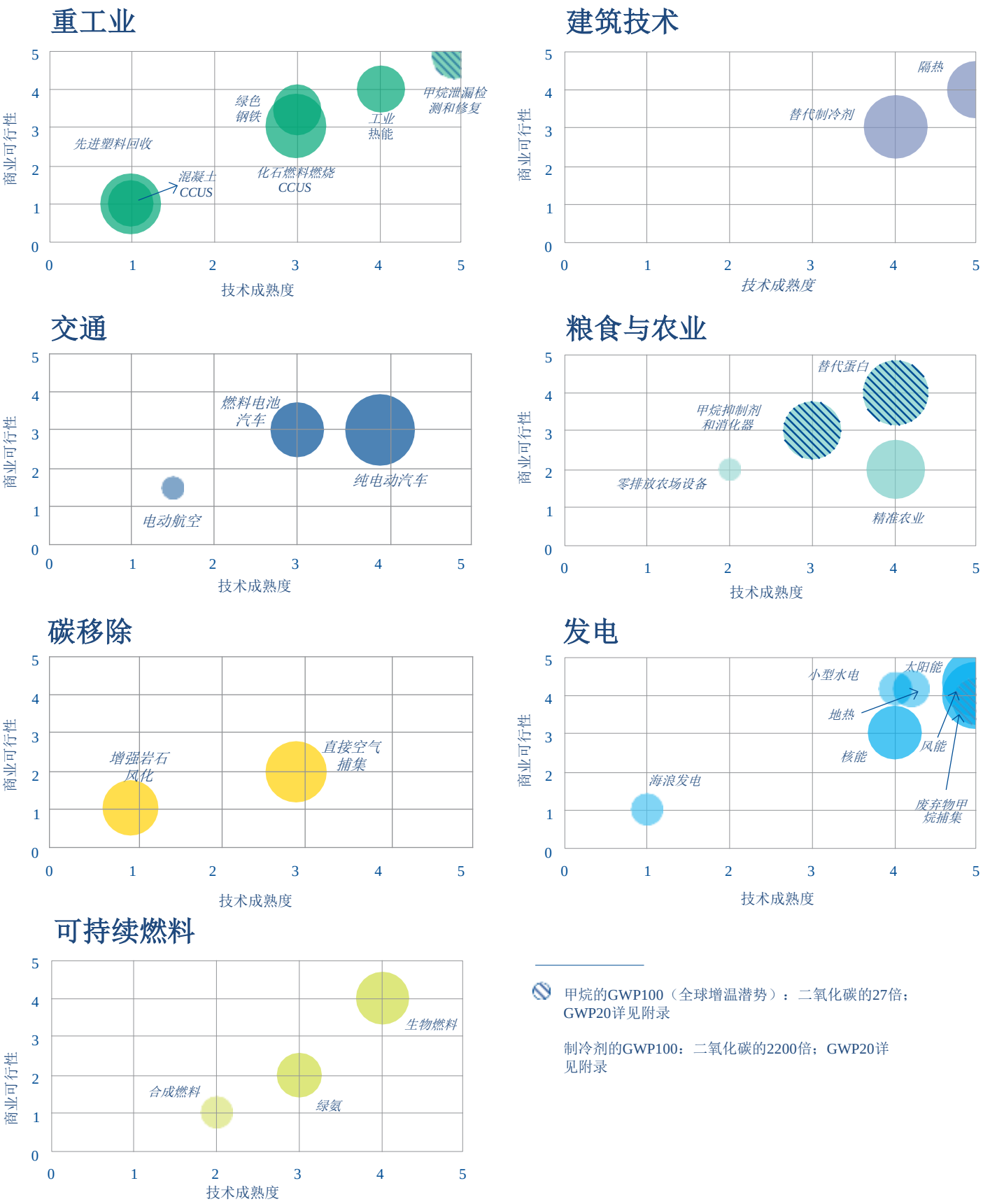


图16：“十项扩展技术”是根据其预期的气候影响和各部门的代表性来确定优先次序。

重工业	① 绿色钢铁	“绿色钢铁”是指任何低排放的钢铁生产方法。排放最低的方法是使用绿氢（即通过可再生能源电解水产生的氢）来生产直接还原铁（DRI）。
	② 混凝土CCUS	作为一种封存形式，捕集水泥制造过程中排放的部分二氧化碳，并在生产过程中将其注入新的混凝土中。
建筑	③ 替代制冷剂	全球增温潜势较低的气候友好型制冷剂，包括“天然”替代品（例如，空气、水、氨、二氧化碳）；也包括替代方法（例如，自然制冷法）。
	④ 隔热	通过建筑物围护结构（屋顶、墙壁、窗户等）减少热量获得或损失的材料和方法。这些材料和方法可以明显降低建筑物在供暖和制冷方面的能耗。
交通	⑤ 纯电动汽车和充电网络	任何使用电池组来储存电能从而为马达提供动力的车辆。将车辆接入电源即可对电池进行充电。
粮食与农业	⑥ 替代蛋白	以植物为基础的和实验室培养的技术（“实验室培育肉”）提供可替代肉类产品的丰富蛋白质。
	⑦ 牲畜甲烷抑制剂和消化器	甲烷抑制剂可以减少牲畜在消化过程中产生的甲烷。厌氧消化器可用于处理粪便并产生可再生能源。
	⑧ 精准农业	用于提高作物产量和协助作出管理决策（例如，肥料使用和灌溉领域）的技术（例如，人工智能、无人机、传感器）。
碳移除	⑨ 直接空气捕集	直接从大气中捕集二氧化碳。二氧化碳可以被永久地封存在地质构造中，或被加以利用（例如，与氢气结合生产合成燃料）。
电能	⑩ 核裂变和核聚变	除了核裂变外，其他的技术包括核聚变（使原子核结合来释放能量）以及小型模块化反应堆（生产成本较低的预制单元，可运至和安置在不适合建造大型电厂的地方）。

重工业

重工业约占全球温室气体排放量的**24%**¹⁷。大多数排放来自于生产世界上最常见的产品所需的化学反应和高温环境，例如，钢铁、混凝土和化学原料（用于生产塑料和化肥）。重工业经常被认为是“难以减排”的行业，因为在不改变投入和/或产出构成的情况下，很难改变生产过程，并且高温环境无法通过现有的技术实现具有可行性的电气化。然而，已知的减排技术正在重工业过程中进行测试。除了探索使用生物材料和清洁氢作为化石燃料的替代化学原料外，创新企业正在试验各种**碳捕集、利用和封存（CCUS）**技术，以加强制造过程的循环性和可持续性。



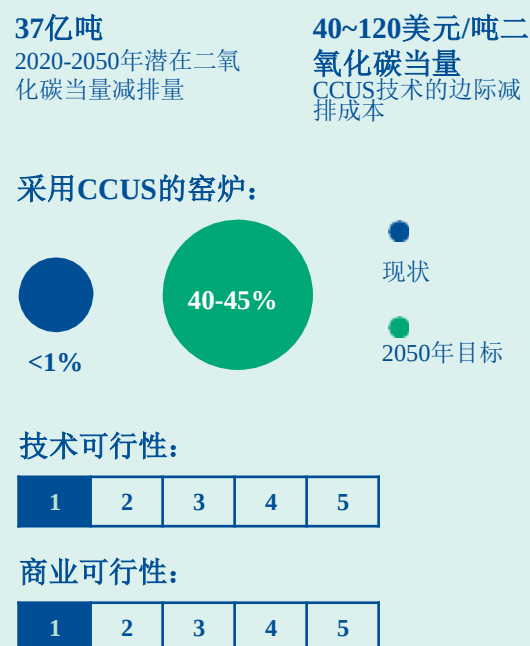
混凝土碳捕集、利用和封存（CCUS）

混凝土是世界上使用最广泛的建筑材料，由**水泥**、水和骨料（例如，沙子、砾石或碎石）混合而成¹⁸。混凝土的大部分排放来自于水泥的制造，尤其是**煅烧过程**，即石灰石和其他材料在水泥窑中以极高温加热时发生的化学反应。以煤、石油或天然气为燃料的**窑炉烧制过程**是造成水泥制造过程中其他大部分排放的主要原因。

虽然大部分加热过程可以实现电气化，但在不损害水泥完整性和混凝土结构安全性的情况下，无论是石灰石替代还是煅烧过程调整，难度都比较大。因此，**混凝土行业**缺乏众多的已知方案来使最大排放源减排，使得CCUS技术成为到2050年减少混凝土排放的最具潜力的技术。CCUS技术可以**捕集**水泥窑炉烧制过程中排放的部分二氧化碳。已捕集的二氧化碳随后可被**利用**并重新注入混凝土中以提高其强度（从而也可减少所需的投入），或被运至地质储库**封存**。混凝土CCUS的二氧化碳捕集方法包括基于胺基溶剂的**化学吸收法**和**钙循环法**（在窑炉烟气上进行一系列的煅烧反应）。欧美地区也在试验一种**富氧燃烧**捕集技术，该技术能够提高二氧化碳捕集率，但需要对水泥厂进行改造。所有这些方法均处于**原型或早期示范阶段**，目前有少数装置已投入运行，但是这些装置仍欠缺成本竞争力，也尚未实现完全碳捕集的效率。首个捕集率达100%的碳捕集工厂预计将于2024年启动¹⁹。值得注意的是，即使是100%的捕集率也无法充分发挥混凝土CCUS的全部减排潜力，除非使用**清洁电力**来实现加热过程²⁰。

图17：十项扩展技术：混凝土CCUS

混凝土碳捕集、利用和封存（CCUS）



令人鼓舞的是，人们愿意投资开展CCUS技术的**原型和示范试点项目**，这些项目最终可以发展成为全面示范项目，例如**CLEANER**（清洁熟料）²¹。这个由研究机构、供应商和建筑公司等26家成员组成的联合体利用意大利的**Buzzi Unicem Vernasca**工厂来验证钙循环CCUS的效率。企业可以在其所在的州内倡导立法建立最终的和临时的水泥脱碳目标，为脱碳工作增加动能。例如，加州在**2021年法案**中要求其空气资源委员会在2045年之前降低水泥的温室气体排放强度。

表5：
混凝土CCUS创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	建筑与房地产	→ 投资胺基燃烧后捕集技术原型项目以及富氧燃烧捕集商业化试点项目	→ 通过低碳水泥（利用CCUS）采购目标释放需求信号
	所有主体	→ 要求使用混凝土CCUS（并适当分配预算），使其作为新建筑建设的一部分；如果该要求不可行，则投资混凝土CCUS试点项目	
倡议		→ 通过公共建筑的低碳水泥（采用CCUS）采购目标释放需求信号 → 设立标准对二氧化碳封存项目进行监测、报告和核查（MRV） → 建设管道，以将捕集的二氧化碳运输至封存地	→ 建立国际碳定价机制，并辅以临时金融刺激计划，以解决各地区市场面临的定价压力不均衡问题

尽管在目前习惯使用化石燃料的混凝土行业和地区，CCUS可能在实现净零排放方面发挥巨大作用，但如果**不建立适当的规范**，贸然部署CCUS可能会使工业脱碳化行动复杂化。项目开发商必须确保未被注入混凝土的二氧化碳被充分运输并在有意义的时间内封存在地质储库中。这个过程需要大量的专业技术知识，涉及封存地的选择、监测和维护，以证明安全的封存做法能够获得激励和许可。对水泥生产中利用的二氧化碳“封存”量进行监测、报告和核查时，同样有必要实施类似的监督。在缺乏项目监管标准的情况下，这一问题可能会被忽略。

其他ESG考量

CCUS项目在努力实现全球脱碳的过程中历来忽视了当地居民。虽然进行CCUS试点的水泥设施有可能因其举措而获得补贴，但**直接受到工业污染影响**的附近社区却无法得到任何补偿，这些社区在如何管理CCUS的外部性方面也没有发言权。商业伙伴应该有选择性地投资于**优先考虑社区参与**的项目，并提出积极的方案以保护其运营区域内的社区。

绿色钢铁

钢铁行业是工业领域最大的煤炭消费者²²。该行业最大的减排机会是发展绿色钢铁，即**任何低排放的钢铁生产方法**。针对该行业的脱碳建议必须考虑目前使用的各种钢铁生产方法和基础设施。

高炉（BF）是目前使用最广泛的钢铁生产方法，它使用煤炭将铁矿石转化为铁，再将铁转化为钢。**电弧炉（EAF）**则使用电力将废钢熔化（回收）成为钢材。最新的“**直接还原铁（DRI）**”工艺通过化学反应将铁矿石还原成铁，全程无需燃烧。目前，大多数DRI工厂使用氢气和二氧化碳的混合物，但经过改造后可以转而使用绿氢，从而使排放物从二氧化碳转变为水²³。用来生产绿色钢铁的更高排放的方法包括在DRI工厂使用蓝氢（而非绿氢）以及在DRI工厂实施CCUS²⁴。

为了实现钢铁行业的脱碳，电弧炉工厂应持续使用**清洁电力**，高炉转炉工厂应尽快退役，并代之以可使用氢气或实施CCUS的DRI工厂。

图 18：十项扩展技术：绿色钢铁

绿色钢铁

120亿吨
2020-2050年绿色
钢铁二氧化碳当
量减排量

150美元/吨
二氧化碳当量
CCUS技术的边际
减排成本

2780亿美元
到2050年的投资
需求量

2.5万亿美元
2019年全球钢
铁行业的收入

钢铁生产：
使用清洁氢

钢铁生产：
使用绿氢；45%产自回收的
材料，其余来自应用CCUS技
术的工艺

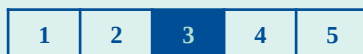
●
现状

●
2050年目标

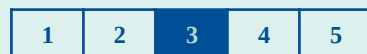
<1%

31%

技术可行性：



商业可行性：



使用可持续绿氢作为原料的DRI在规模化过程中面临的主要障碍是**绿氢的可获得性**。大多数**DRI工厂运营商**表示，只要绿氢“可获得”并具有可行性，他们便愿意使用，但与此同时他们已经开始使用蓝氢。这种限制进一步凸显了广泛部署可再生能源以生产绿氢的必要性，同时公私部门需持谨慎的态度来为有限的绿氢供应选择最明智的终端用途（例如，当缺乏电气化等其他脱碳途径时）。

尽管障碍重重，但是钢铁制造商已经认识到以绿氢为动力的DRI是实现其排放承诺的最可行途径，并且绿色钢铁技术原型已经得到终端使用部门的支持。2021年，**沃尔沃**宣布推出“世界上第一辆由产自SSAB（一家在低碳技术方面领先的钢铁制造商）的无化石钢制成的汽车”，随后在2022年又推出“**第一辆由无化石钢制成的重型卡车**”。

表6:
绿色钢铁创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	钢铁供应链	→ 内部的绿色钢铁目标 → 经常性的绿色钢铁和绿氢采购协议（以及包含统一激励机制的集体协议，如房地产/建筑行业）。	→ 在设计所有新增钢铁产能时，应考虑到氢的使用或碳捕集技术的应用
	所有主体	→ 通过目标（如作为原料的绿色钢铁的占比）和经常性的绿氢集体采购协议（超越内部需求）来释放对绿色钢铁的长期需求信号	→ 建立治理模式，以严格评估绿氢在何种应用场景中能作为最佳能源来源（以减少因原料有限带来的压力）
倡议		→ 国家层面和可再生能源相关的目标、资金和路线图 → 公共部门的绿色钢铁采购要求 → 通过国际合作和资助来加速高炉转炉工厂的退役和DRI工厂的改造	→ 建立国际碳定价机制，并辅以临时金融刺激计划，以解决各地区市场面临的定价压力不均衡问题

虽然绿氢和蓝氢以及CCUS的使用是钢铁生产脱碳的关键（分别占2020-2050年累计预估减排量的8%和16%），但钢铁供应链的**材料效率战略**预计将贡献40%的同期累计直接减排量²⁵。该预测结果主要基于下游部门的行动（例如，延长建筑的生命周期，同时改用高能效的照明和供热等，或与建筑师合作，通过改进建筑设计来减少对钢铁和水泥的需求）。因此，虽然绿色钢铁技术可以解决供应侧的排放问题，但终端建筑部门必须在需求侧把关并采取行动。

其他ESG考量

全球高炉整体统计使用期约为13年（仅为其平均寿命的一小部分），其中85%的产能来自**新兴经济体**。因此有必要通过国际合作（例如，投资合作和知识产权共享）来确保这些经济体拥有加快**高炉转炉工厂退役和DRI工厂改造**所需的资源。这将是实现净零排放的关键，同时也能通过**减少空气污染**使当地居民受益。

建筑物的供暖和制冷占全球温室气体排放的10%左右²⁶。随着城市化的发展，发展中国家的人口逐渐用得起空调，同时随着气候变化导致的极端高温变得持续时间更长并变得频繁，这些排放量将继续上升。除了采用可再生电气化途径（如热泵）外，商业建筑还可以通过使用替代制冷剂和改善隔热性能来实现紧迫且具有成本效益的减排重点。

替代制冷剂

鉴于目前制冷剂中使用的氢氟碳化物（HFCs）具有极高的全球增温潜势（在100年内比二氧化碳高约2200倍），为解决建筑行业的排放问题，在全球范围内改用替代制冷剂势在必行²⁷。合成替代制冷剂包括氢氟烯烃（HFOs）（其中部分替代品的全球升温潜能值低于1）。由氨、水（两者的全球增温潜势接近零）、碳氢化合物（例如，全球增温潜势低于4的丙烷和异丁烯）和二氧化碳（全球升温潜能值为1）制成的天然替代制冷剂已经实现商业化²⁸。

197个国家在2016年《〈蒙特利尔议定书〉基加利修正案》中承诺淘汰氢氟碳化物，这是为实现全球制冷剂替代迈出的可喜一步，但依然存在的技术和商业挑战有可能减缓该修正案的实施进度。虽然部分天然制冷剂（如二氧化碳）的成本低于全球增温潜势较高的替代品，但大多数制冷剂在毒性和可燃性方面存在安全隐患，或在能效水平上缺乏竞争力²⁹。此外，许多旧的空调系统与替代制冷剂不兼容，而改造或更换过程成本高昂。任何拥有或租用房地产的公司均可采取行动，包括设定公共目标以及承诺提供资金，以使用替代品来取代高排放制冷剂。



图 19： 十项扩展技术： 替代制冷剂

替代制冷剂

400亿吨
2020-2050 年潜在二
氧化碳当量减排量

2840亿美元
2020-2050 年仅在美
国提高能效产生的
节约额



表7：
替代制冷剂创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	建筑与房地产	→ 为所有新建筑配备效率最高、全球增温潜势最低的系统和设备（并对旧建筑进行改造）；确保制冷剂在生命周期结束后被回收和销毁	→ 通过改善建筑物的隔热性能（参考“隔热”解决方案）和其他方法（如自然制冷），减少对制冷的基本需求
	所有主体	→ 设定公共目标，以使用效率最高、全球升温潜势较低的设备替换原有系统和设备（对于自有建筑；对租赁建筑的业主也要要求采取类似行动） → 确保制冷剂在生命周期结束后被回收和销毁	
倡议		→ 加快批准将替代制冷剂用于住宅和商业建筑 → 为替代制冷剂创新提供研发资金	→ 一个积极减少氢氟碳化物的全球达成一致的路线图（相当于根据2016年《基加利修正案》制定一个详细的且雄心勃勃的落实计划）

其他ESG考量

在过去数十年里，使用氢氟碳化物的制冷和空调系统激增，明显提高了生活质量，尤其是在发展中国家。然而，继续使用这些排放物将会进一步“锁定”本可避免的排放。迅速降低替代制冷剂系统的成本（例如，通过知识产权共享和提供补贴）以鼓励旧设备退役，同时允许人们保持原有的生活质量——这一点至关重要。



隔热

改善隔热性能（如使用新材料和建筑设计）是一项临近技术（adjacent technology），有助于整体降低制冷剂需求。该技术是实现改造和建造**净零建筑**总体目标的第一步³⁰。通过调节建筑物围护结构（例如，屋顶、墙壁、窗户等）的热量变化，隔热技术可以大幅降低建筑物的供暖和制冷能耗，从而减少对全球增温潜势较高的制冷剂的需求（见前文）。

隔热技术已经存在了数十年，但持续的研发推动创新不断提高其效率，这些创新包括将土壤和植被用作生物隔热的**绿色屋顶**，可反射80%的太阳能的**冷却屋顶**，以及对光线照射做出反应以减少能源负荷的**动态玻璃**。采用这些技术的最大障碍是取得各方对其成本合理性的认可。

图 20：10 项拓展技术：隔热

建筑隔热

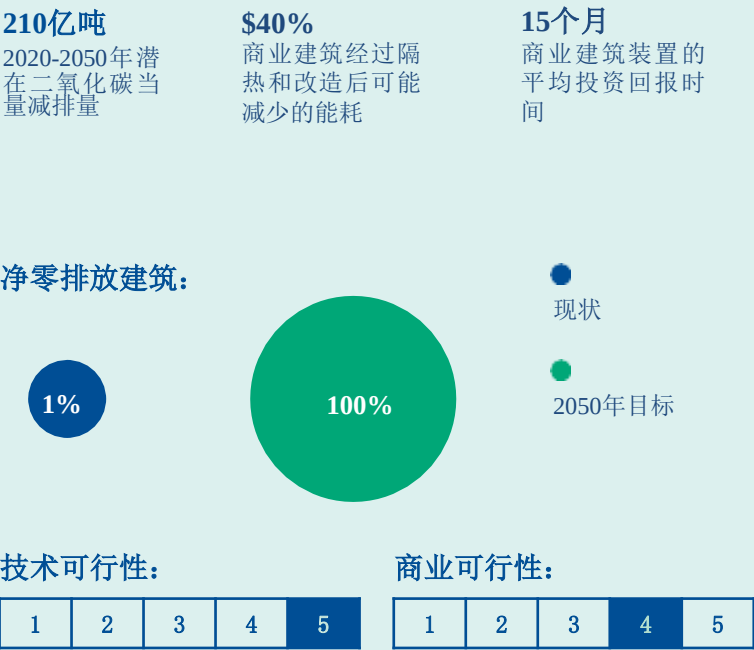


表8:
建筑隔热创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	建筑与房地产	→ 通过改善隔热使自有建筑获得LEED Zero认证 → 开展教育/宣传活动，向终端用户强调隔热的环境效益和长期经济效益（以鼓励前期投资）	→ 与建筑师和工程师合作，确保在新建筑中持续应用最新的和最高效的隔热措施和材料
	所有主体	→ 与业主和租户合作，共同设计和出资支持租赁建筑（例如，大型办公室租赁）的大规模隔热改造 → 要求新的自有和租赁建筑满足能效标准规定	
倡议		→ 为住宅和商业建筑改造提供资金的机制（如提供直接资助、税收减免、清洁债券等） → 强调隔热的环境效益和长期经济效益的教育/宣传活动	→ 国家、城市和州级建筑能效标准

有时，隔热材料的前期成本高于效率较低的替代品（尽管其全生命周期能够节约更多成本），并且正确安装较新的隔热技术产品需要雇用熟练的建筑师和工程师。

业主可能将大部分能源成本转嫁给租户，在缺乏监管的情况下，业主可能会拒绝承担大型隔热改造项目的成本负担。房地产开发商亦是如此，他们缺乏强烈的建筑改造动机，不愿为了未来能效最大化而降低利润。需要通过创新来解决这些**存在分歧的激励措施**，并重新思考关键参与者之间的关系。企业可**直接与出租办公室的业主接触**，并设计新的建筑改造合作和筹资机制。在宏观层面上，倡议推广净零建筑的联盟也可发挥一定作用。气候倡议组织**C40**正与19位美国市长和世界绿色建筑委员会合作提出一项计划，以确保美国所有新建筑在2030年前实现净零排放。企业打造净零

建筑的方法包括联合资助新的隔热项目（如欧盟私营部门为**EENSULATE**所做的）以及通过实施隔热改造来获得**LEED Zero**认证。

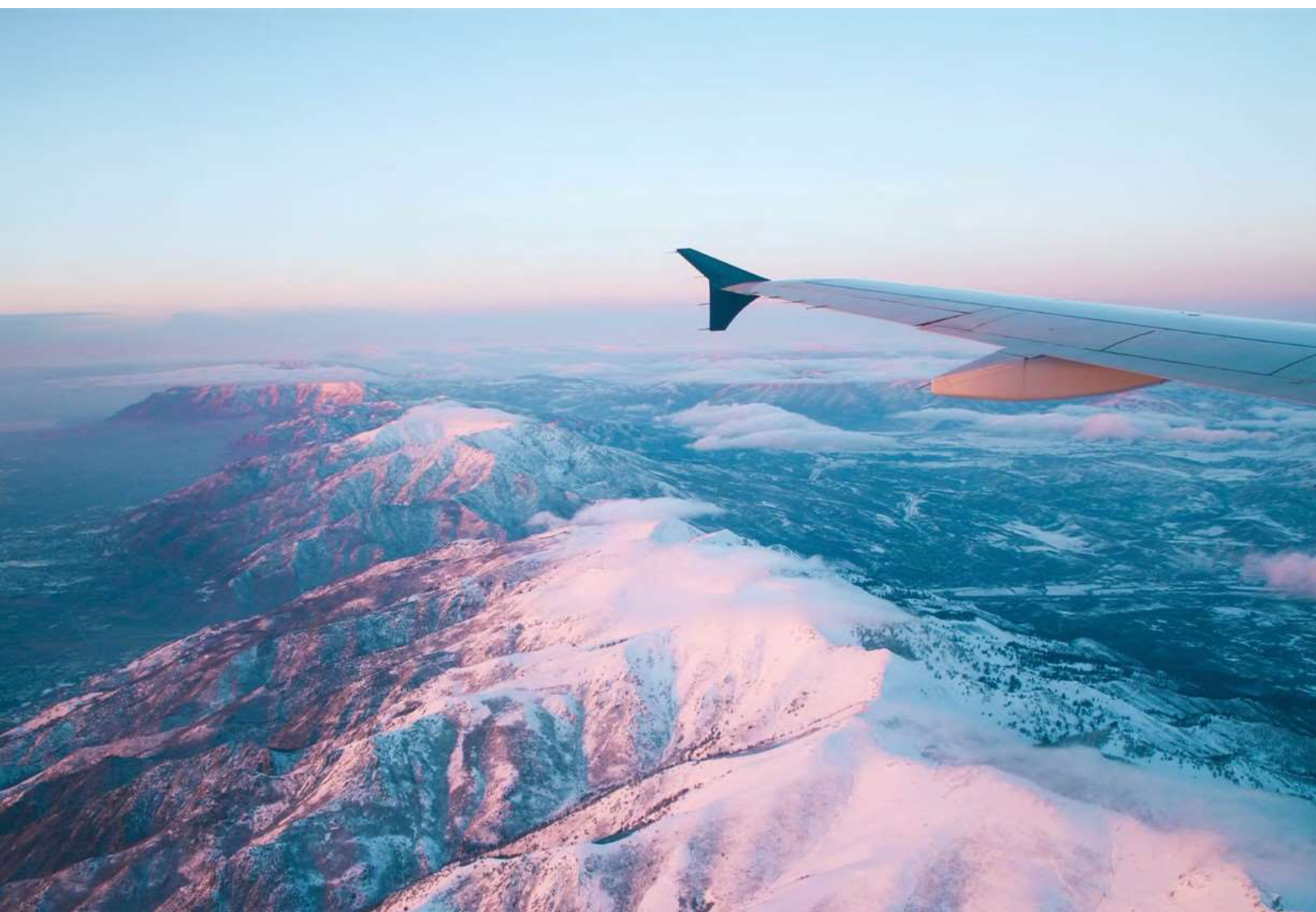
其他ESG考量

隔热的好处远不止于减少二氧化碳排放和降低公用事业账单。隔热已被证明可以改善空气质量、防止霉菌生长以及减少噪音污染，从而提高**幸福感**。对经济适用房的改造投资有望通过提高能效和改善健康状况来实现成本节约，从而为那些将大部分收入用于支付能源费用的社区创造**更公平的生活环境**。

交通

交通部门约占全球排放量的15%，这些排放量主要来自汽车、航空和海运业的化石燃料燃烧³¹。使用当前的**电池技术**，对长途运输企业而言，后两者无法实现具有经济性的电气化，因为电气化需要使用大量笨重的电池组，而这会严重减缓船舶的行驶速度以及阻碍飞机起飞。因此，由生物质制成并与煤油结合的**可持续航空燃料（SAFs）**已成为中短期内最可持续的飞机动力方案之一。EDF的《可持续航空燃料手册》为企业、政策制定者、

航空公司和燃料生产商推广采用高完整性可持续航空燃料提供了指导和解决方案。甲醇形式的**生物燃料**或**合成燃料**亦可为船舶内燃机提供动力，清洁氢以及由其制成的氨也是如此（二者均能与电动马达燃料电池配合使用）。虽然可持续航空燃料创新取得了重大成果，但氢基燃料和某些生物燃料仍处于试点阶段，仍需要考虑各方面因素（如储氢的安全风险、加注网络的可获得性等）。

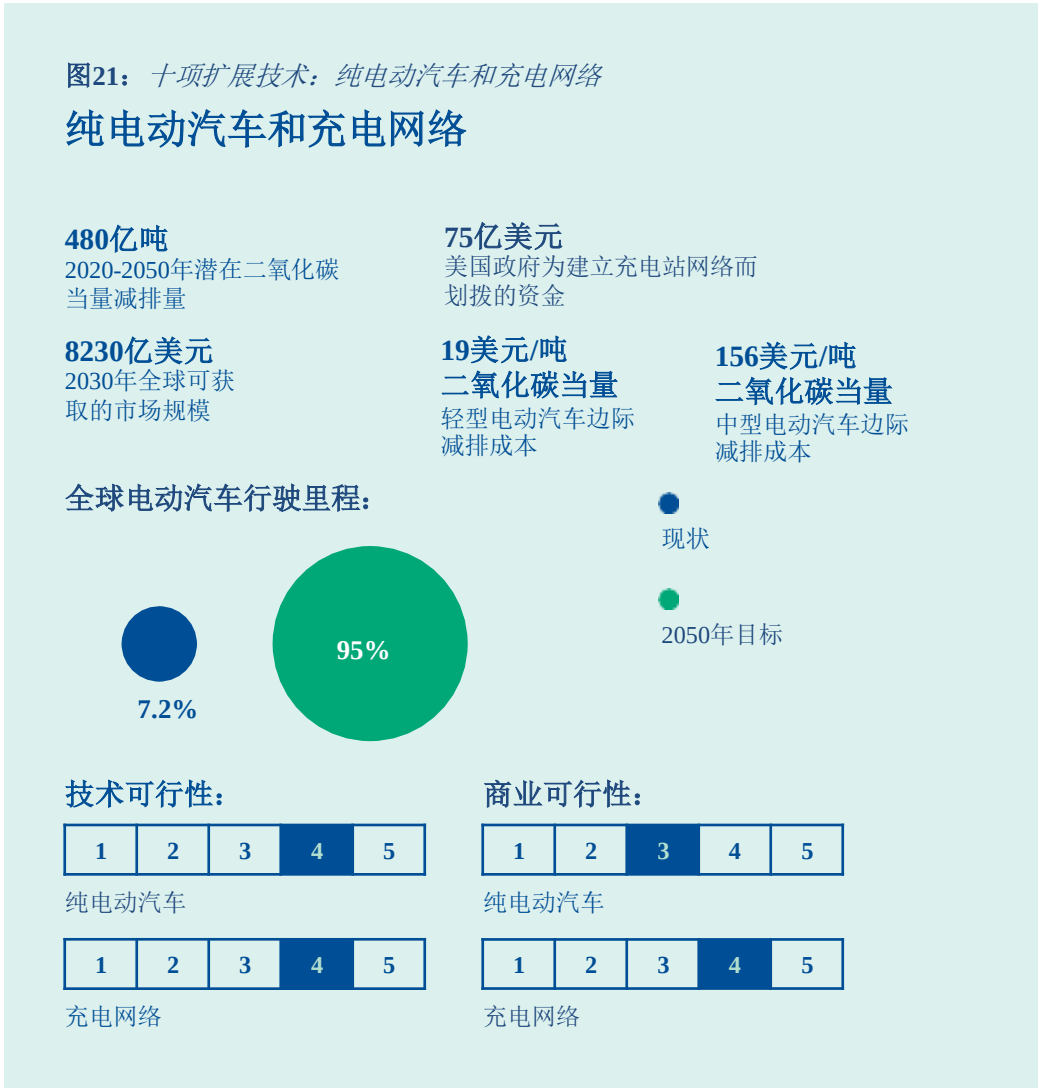


纯电动汽车和充电网络

储存在电池中的电力是汽车行业脱碳最可行的选择（其减排效果与电网的电力来源直接相关）。多个汽车品牌已经推出采用锂离子电池技术的轻型乘用车电动汽车。虽然需要未来进一步创新来提升其可靠性和续航能力，但目前65%和49%的中型和重型卡车已经可在技术上实现电气化³²。

在所有类别的电动汽车中，前期购置成本仍然是一个障碍。然而，企业领军者可以获得一系列可公开获得的**资金、补贴和拨款**，这有助于增强车辆电气化的商业基础。[EDF的车辆电气化解决方案中心](#)提供了旨在帮助企业实现电气化目标的详细指南。

一些汽车制造商警告称，未来三年内可能会出现严重的**电池短缺**，这可能会进一步增加价格压力（并减慢应用）³³。这凸显了扩大回收能力的重要性，同时，投资并加速由较常见的且较便宜的原材料制



的电池的创新也同样重要（该领域的创新公司也在试图使其他效益最大化，包括更快速的充电和使用污染更少的材料）。

最后，建设和维护一个**广泛且现代化**（如高速充电）的**充电网络**将是加

速其应用和释放其全部减排潜力的关键。

任何公司均可为此贡献力量，例如，[星巴克](#)与沃尔沃和ChargePoint合作，在从丹佛到西雅图的1350英里的路线上，在大约每隔100英里的专有停车场内安装了电动汽车充电桩。

表9:
纯电动汽车和充电网络创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	汽车供应链	→ 跨行业研发投资以及替代电池材料和技术试点项目（如固态电池） → 公共充电站补贴（例如，为低收入社区）	→ 提供跨行业资金支持，以增强电池回收能力
	所有主体	→ 设定车辆电气化目标（针对自有/租赁的轻型、中型和重型车辆） → 制定车辆电气化战略和实施路线图（利用EDF的车辆电气化解决方案中心）	→ 建设充电站（例如，选址在写字楼、商店等地点），并为员工提供家用充电站补贴
倡议		→ 各州和联邦车辆实现100%纯电动汽车；尽早淘汰碳排放车辆 → 要求用联邦资金建造的充电站和充电站之间必须位于合理的距离之内，并考虑低收入人群的需求	→ 制定更加严格的车辆效率和排放标准，同时为低收入人群购置新车提供信贷/补贴

如果**公共交通**缺乏应有的关注，则道路车辆将无法实现全面电气化。公共部门已开始考虑制定电动公交车电气化计划，[印度](#)等国家已经发布了涉及数百万美元的计划。企业可以在其相应市场上倡导对公共交通实施与电动汽车类似的退税优惠，或制定推动公共电气化的公共部门资助计划。可参考[ComEdhas](#)与伊利诺伊州公用事业监管机构的合作范例。

公共交通电气化是多项交通基础设施改进项目之一。这些改进项目可以影响终端用户，使之通过行为改变增强环境可持续性，包括优先建设适宜步行的城市景观。

其他ESG考量

电动汽车高昂的**前期费用和充电基础设施的分布不均**加剧了现有的不公平问题，因为低收入人群已经过多地集中在空气污染较严重的地区。由于电池中使用的稀有**毒性材料**的开采和制造涉及**污染和不道德的做法**（例如，雇佣童工），因此必须通过政策、企业行动和提高回收率等方法予以解决。

农业

粮食和农业部门面临着**双重挑战**，既要降低其**22%的全球排放占比**，又要提高农业产量以养活不断增长的人口³⁴。该部门的特殊之处在于，其大部分排放来自于比二氧化碳**增温潜势更强和/或寿命更短**的温室气体³⁵。其中最常见的是甲烷（在100年的时间范围内，其全球增温潜势是二氧化碳的27倍；在20年的时间范围内，是二氧化碳的约80倍），主要源于牲畜的消化过程和粪便。其次是氧化亚氮（在100年的时间范围内，其全球增温潜势是二氧化碳的273倍），主要来自于氮基化肥的使用³⁶。农业排放的另一个主要来源是将自然界逐渐减少的碳汇（如湿地和森林）转化为农田。

替代蛋白

如果考虑因土地利用变化造成的排放，则全球畜牧业生产约占全球温室气体排放的16.7%³⁷。近年来，替代蛋白在与动物蛋白竞争方面取得了重大进展，有助于应对为日益增长的全球人口提供营养食品的挑战。尽管价格较高，但目前有许多**基于植物**的产品已被广泛接受。66%的美国人表示，他们愿意尝试**实验室培育的蛋白**。然而，与基于植物的产品相比，实验室培育的蛋白在美国尚不合法（尽管美国食品药品监督管理局和美国农业部的监管似乎迫在眉睫）³⁸。此外，它们作为健康和可持续食品来源的地位仍有很大争议，部分原因是由于缺乏可靠的数据以及相关技术所处的发展阶段，导致目前的生命周期评估（LCA）无法充分评估这些主张。因此，实验室培育的蛋白需要持续的投资和创新，以获得监管部门的批准并完全被消费者所接受。

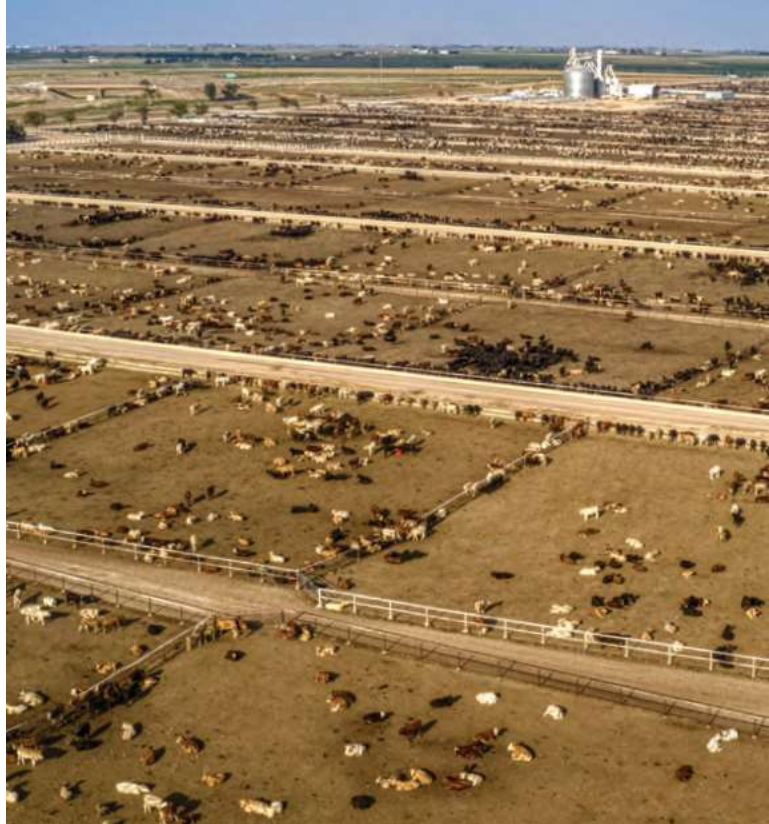


图22：十项扩展技术：替代蛋白
替代蛋白

175亿吨
2020-2050年潜在
二氧化碳当量减
排量

2900亿美元
2035年全球替代
肉类市场规模估
算

近1/4

报告称美国人在过去一年中肉类摄入量有所减少。健康和环境是主要原因

技术可行性：



商业可行性：

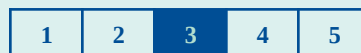


表10：
替代蛋白创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	食品制造商	→ 使用生命周期评估和系统分析来确定机会和优先事项，以改善替代蛋白的环境影响（与其要替代的食品相比）	→ 提供准确的标签并开展营销活动，帮助消费者对实验室培育的蛋白产品做出知情下的选择
	不分行业	→ 在使用替代蛋白时，应选择能使环境效益最大化同时社会和经济负面影响最小的替代品	
倡议	不分行业	→ 标准和政府监管以确保人体可以安全地摄入实验室培育蛋白	→ 使实验室培育蛋白的净社会效益最大化的计划

其他ESG考量

替代蛋白有可能扰乱复杂的食品生产体系，并影响数十亿农民、牧场主、渔民、食品加工者和其他人员。必须谨慎考虑非预期的连锁反应和社会经济负面影响的风险。替代蛋白创新投资不应取代韧性的且可持续的动物蛋白供应链（参见“甲烷抑制剂和消化器”部分），因为这两种类型的蛋白都将在未来可持续和公平的食品行业构建中发挥关键作用。



牲畜肠道甲烷减排方案

减少牲畜生命周期排放也需要创新，包括甲烷抑制技术、遗传学、健康改进和厌氧消化器。甲烷抑制剂技术（如减少肠道甲烷的饲料添加剂和药物）可成为牲畜饲养方案的一部分，以减少在牲畜消化过程中产生的甲烷（严格意义上说，是“*肠道发酵*”）。除了甲烷减排药物外，饲料添加剂成功地进入圈养系统的市场也是至关重要的。在这些系统中，肉牛和奶牛被每日集中喂养。为了扩大规模，甲烷抑制剂将需要进一步的评估和监管，以确保其使用对牛、以及对乳制品及肉制品的消费者而言是安全的，同时还需要制定金融计划来减轻农民的初始财务负担，以加速应用。

除了改变牛的饮食之外，较大型的农场还可以安装**厌氧消化器**，以将牲畜粪便转化为可再生燃料，然后再转化为电力出售。厌氧消化器已经有数十年历史，但仍然容易发生**甲烷泄漏**，通过倡导建立基于泄漏检测与修复（LDAR）标准的问责制以及制定维护培训计划，这一问题将得以解决。由于甲烷泄漏会减少消化器的预期环境效益（即甲烷排放的绝对减少量），在计算甲烷信用（包括信用和可再生燃料产品的销售）时应考虑泄漏率，以避免高估消化器的效益，并保持对减少泄漏的激励。

遗憾的是，厌氧消化器**超出了小型农场的负担能力**，这些小型农场的甲烷产量较低，不足以支持目前高额的前期投资成本。因此，在政策上应通过金融激励和计划来满足这些小型农场的需求。这些计划可以使甲烷抑制剂在自愿碳信用市场上获得减排信用。

图23：十项扩展技术：甲烷抑制剂和消化器

甲烷抑制剂和消化器

130亿吨
2020 - 2050年
潜在二氧化碳
当量减排量

40万-500万美元
美国厌氧消化器的
成本范围

25%-40%
使用3-NOP（一种
甲烷抑制剂）带来的
肠道甲烷减排量

技术可行性：

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

商业可行性：

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

为了弥补研究差距并使甲烷抑制剂技术更具吸引力，企业可以共同投资研发项目。[美国嘉吉公司](#)和[ZELP](#)（零排放畜牧计划）将甲烷氧化和数据处理技术结合，开发出一种适用于牛的可穿戴设备，用于中和牛呼出的甲烷。嘉吉公司的产品将在一所农业大学进行进一步测试，以更好地了解这项技术的有效性和应用障碍。

表11：
甲烷抑制剂和消化器创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	肉类和乳制品供应链	→ 改进监管程序，以安全、快速地批准新的肠道甲烷减排药物或饲料添加剂 → 鼓励可再生电力生产，而不是将生物甲烷注入管道，造成化石天然气的使用时间延长 → 建立采购和金融系统，鼓励在供应链中应用甲烷抑制剂 → 试验现有的解决方案并监测其进展	→ 推广最佳可用技术，利用激励措施并学习近期试点经验 → （与业内同行）共同投资于肠道减排研发和试点项目
		→ 已证明对动物和人类健康无害的新甲烷抑制剂，要优先启动批准程序 → 美国农业部（政府机构）的具体任务是将减缓气候变化作为法定优先事项，在农业甲烷解决方案研发支持的基础上。 → 开展国际合作并提供资金，以改善发展中国家的牛的饮食状况	→ 采取激励措施，鼓励小型农场采用甲烷抑制剂（例如，饲料添加剂和动物药品）和消化器（例如，提供直接资助和有条件补贴等）

其他ESG考量

牛的饮食状况的变化对碳强度有直接影响。在发达国家，奶牛大多吃的已经是高效饮食，增加不饱和脂肪或碳水化合物已被证明可以减少甲烷，同时可以提高喂养效率。发展中国家则需要改善营养不足的问题，以提高生产力和降低碳强度。消化器捕集的现有排放源的甲烷可以产生巨大的全球气候效益。然而，消化器并未解决当地多方面的环境影响，尤其是氨排放问题。需要对沼渣进行处理以减少氨排放，从而解决当地空气质量退化问题。



精准农业

精准农业是指旨在提高农业效率和效益的**技术和农业实践**。它利用**数字化和监测技术**（例如，人工智能、无人机、传感器、气象站、卫星成像、拖拉机GPS等）来指导农场管理决策。精准农业也包括**田间变量实施技术**，允许在同一块田地上以不同速率施用肥料和进行灌溉。这样可以带来三重好处：提高作物产量；减少水的消耗；根据作物需要调整肥料来源、施用时间、速率和方法，从而减少总体施肥量和相关的氧化亚氮排放。其他创新技术包括**土壤添加剂**，土壤添加剂可以提高土壤的微生物构成以及作物对氮的利用，从而减少化肥氮投入。

虽然多种精准农业技术从长远来看可能会增加农民的利润，但靠微薄利润维持生计的农民有时难以承受其初始投资和风险。

图24：十项扩展技术：精准农业

精准农业

98亿吨

2020-2050年潜在
二氧化碳当量减
排量

144亿美元

2027年全球市场规
模预测

400-1000亿美元

2030年农民成本节约估算

技术可行性：



商业可行性：



此外，虽然大多数数字化和监测技术已臻成熟，但这些技术大多数依赖于强大且持续的互联网覆盖。只要存在互联网覆盖差距（在发展中国家和美国部分地区），农民就可能拒绝采用新技术。例如，如果天气模型不适用于其所在地区，那么这对他们来说可能就不是一项有吸引力的投资。

在多方的干预下，**小农户将能克服上述障碍**。技术生产商正在开发更贴合小农需求和消费能力的小型精准农业设备，同时

非政府组织和小额信贷机构也在帮助农民获得信贷。例如，EDF和农民商业网络发起了一项[农业融资计划](#)，为实施再生农业实践的农民提供奖励。美国倡导农业数字化的公司需确保[2021年《两党基础设施法案》](#)的支出适当分配给农村农业地区，其中包括用于扩大宽带连接的650亿美元支出以及用于防范网络安全威胁的470亿美元支出。

表12
精准农业创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	农民	→ 基于伙伴关系对农民进行培训和科普（例如，培训新技术和旧设备改造方法）	→ 增加农业对技术人才的聘用，使技术诀窍和决策时的数据使用“去神秘化”
	技术供应商	→ 建立适应农民需求的信贷机制（例如，租购并举和提供低息贷款）	
倡议		→ 建立政府和社会资本合作关系（PPP）并提供资金，在农村地区建设互联网基础设施 → 开展宣传活动，包括推介先进的产品和做法	→ 通过建立政府和社会资本合作关系（PPP）在（全球）区域和价值链中复制精准农业创新的成功经验

其他ESG考量

从干旱到洪涝——发展中国家在过去数年中深受气候事件的影响。同时，这些国家的农民严重缺乏应对气候事件的资源，并且需要尊重当地的、历史的和土著的做法。通过开展科普活动、知识产权共享、拨款和直接技术资助，与这些人分享精准农业的成果是至关重要的。



碳移除

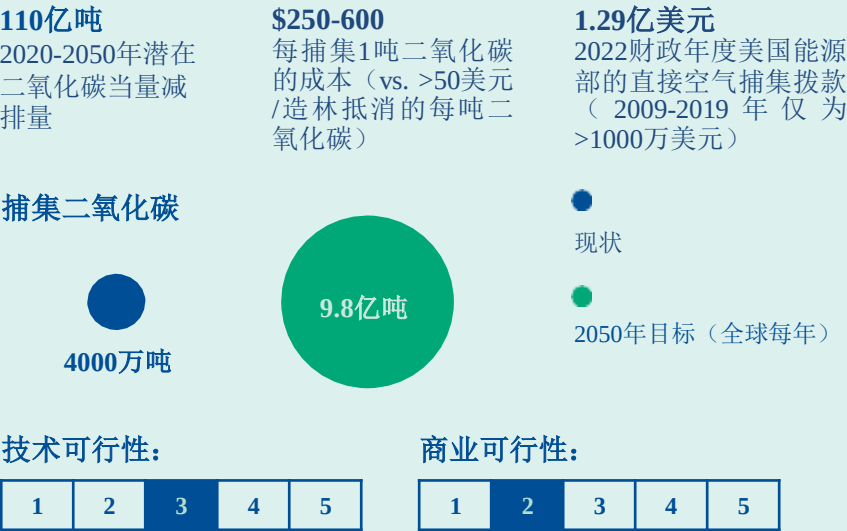
碳移除将是实现净零排放“最后一英里”的赋能者，其任务是帮助减排困难行业消除其他气候技术无法消除的排放。虽然自然碳汇（及其保护）是完成这一任务的关键，但IPCC认为，鉴于目前的排放轨迹，增加基于工程的碳移除将“不可避免”³⁹。

直接空气捕集

直接空气捕集（DAC）⁴⁰被认为是移除已排放二氧化碳的最具前景的技术解决方案，一旦全球升温超限，这项技术就将变得更加重要（除了自然气候解决方案，后者在封存/移除二氧化碳方面发挥巨大作用）。直接空气捕集可以使用化学溶液从大气中清除二氧化碳（“液体直接空气捕集”），或使用固体过滤器与二氧化碳分子结合（“固体直接空气捕集”）。这两种方法均可将二氧化碳永久地封存在地质构造中（这是所建议的最终用途），或用于工业和商业过程（例如，食品加工或与氢气结合生产合成燃料）⁴¹。直接空气捕集需要消耗大量的可再生能源，这意味着它将与大量依赖清洁能源的气候技术相竞争（其中部分技术具有更强烈或更紧迫的减排理据——例如，重工业过程的电气化）。然而，

图25：十项扩展技术：直接空气捕集（DAC）

直接空气捕集（DAC）



在可再生能源附近开发的直接空气捕集项目，可以利用过剩的可再生能源（尤其是在无法储存过剩能源的情况下）。截至2021年，全世界有19家直接空气捕集工厂投入运行，但仍需通过更多的大规模示范项目来完善技术，并减少与地质封存相关的风险（包括运输过程中的二氧化碳泄漏、地震活动和水污染）⁴²。加大部署直接空气捕集技术需要政府提供激励，因为DAC的抵消价格明显高于自愿市场上提供的其他碳抵消产品⁴³。

为了加速直接空气捕集的发展并确保其长期可行性，企业下一步可设定负碳排放目标，例如，[微软](#)在2020年作出了相关承诺。企业也可以通过资助处于早期阶段的DAC公司来帮助降低技术成本。2022年早些时候，包括[Stripe](#)、[Alphabet](#)、[Shopify](#)和[Meta](#)在内的一个联合体作出预先市场承诺，有意在2022年至2030年间初步购买9.25亿美元的永久碳移除产品。鉴于直接空气捕集仍处于初级阶段，公共部门应制定标准，通过对二氧化碳封存项目的监测、报告和核查，确保其有效性和透明度。企业可通过倡导激励措施来资助大规模的直接空气捕集中心，如[能源部提出的35亿美元《基础设施法》](#)中计划建造的四个直接空气捕集中心。

表13:
直接空气捕集（DAC）创新行动

	近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	→ 将DAC抵消纳入一揽子碳抵消采购方法中 → 通过作出集体“预先市场承诺”来直接资助处于早期阶段的DAC公司，释放需求信号并降低DAC抵消成本	→ 制定并实施路线图，以实现负碳排放目标
倡议	→ 通过采取激励措施（例如，拨款、税收优惠、公共采购合同等）来资助大规模的DAC中心，以进一步改进技术和降低边际成本 → 通过制定标准来确保对二氧化碳封存项目进行监测、报告和核查（MRV）。 → 根据大规模DAC中心对当地社区的影响研究来决定是否对其予以批准	→ 对已捕集和封存的（ vs. 已捕集并出售给行业的）二氧化碳的价值予以认可的核算和报告标准。 → 碳封存方法的研发

其他ESG考量

有担心认为，直接空气捕集将成为**延长化石燃料基础设施寿命的借口**，削弱企业的气候目标，并减轻政府推动气候政策的压力。此外，通过该技术捕集的二氧化碳的一个用途是提高油层采收率（EOR），而这会导致更多的化石燃料排放。除了阻碍气候行动外，延长化石燃料的使用将加剧煤炭和发电厂附近居住的低收入社区和有色人种社区的空气污染，从而加剧**健康不平等**问题。

在证明DAC能够以可行成本大规模地有效移除二氧化碳之前，其对净零排放的贡献仍存在不确定性。必须谨慎地确定可再生能源的最终用途，因为DAC不应消耗原本用于更可预测、影响力更大的解决方案的清洁能源，**也不应作为推迟近期气候投资的一个借口。**

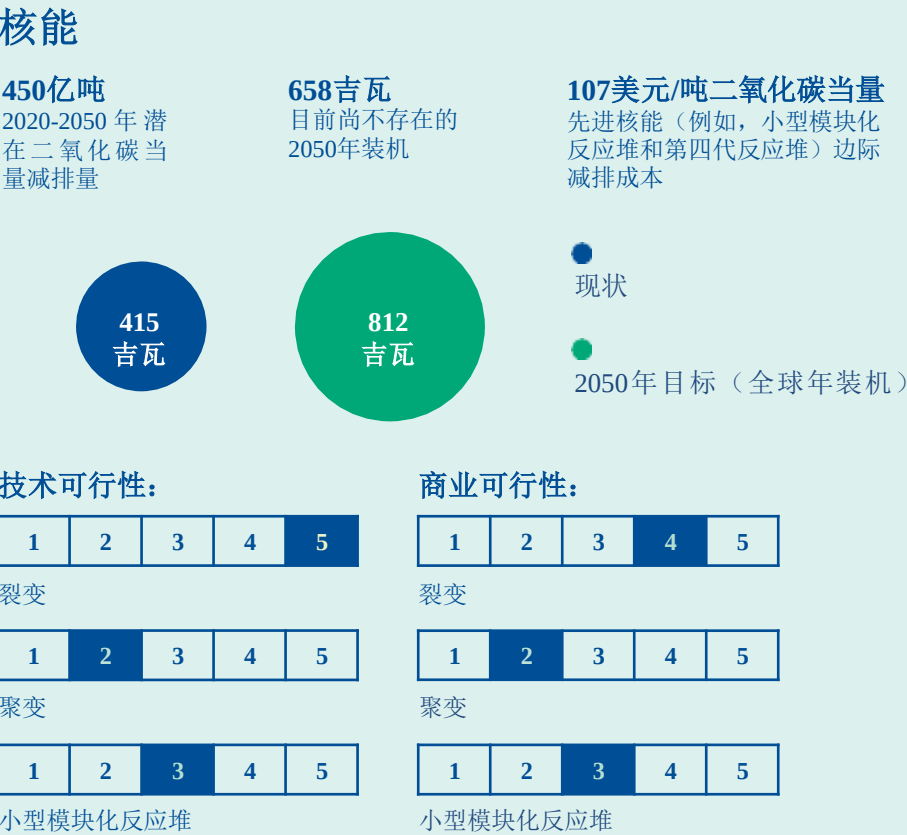
发电

正如“三大技术”所强调，在全球范围内接入清洁能源可以说是实现经济脱碳的最大的“解锁方法”——大约23%的全球排放来源于电和热⁴⁴。虽然核能备受争议，但其已经在脱碳中发挥关键作用，并且在2021年为美国提供了50%的清洁电力供应⁴⁵。虽然有种种安全和公众认知方面的问题亟待解决，但预计核电将是帮助世界各国实现脱碳的关键因素。

核能

无论是通过裂变（分裂原子核）还是聚变（一种尚未成熟但更安全的原子核结合方法），核能都是一种不间断且丰富的清洁能源，其土地占用率比其他清洁能源小得多：美国能源部估计，大约需要300万块太阳能电池板或430台风机才能产生与一个典型商业核裂变反应堆相同的发电量⁴⁶。然而，过去数十年，对众多问题的担忧限制了核能在多地的部署。这些问题包括核事故导致的辐射、放射性废物安全处置能力不足、核能技术促进核武器扩散的可能性、极高的资本成本（经常超出预算）以及完成设施建设所需的漫长周期。即使从传统的

图26：十项扩展技术：核能



裂变电厂过渡到未来的核聚变电厂（数十年来，支持者一直声称这是可行的）也需要克服种种障碍。聚变技术依赖于裂变电厂提供的稳定氚燃料供应，而这些工厂最终将被关闭，导致氚成为地球上最昂贵的物质之一。一个可能的替代方法是，使用小型模块化反应堆（SMR）——这是一种预制的裂变反应堆单元，可能有助于降低高昂的建设成本，同时凭借小型化尺寸可以更灵活地与可再生能源进行协同选址。

为了确保核能在清洁能源领域的地位，其必须先赢得公众的青睐。公用事业公司可以在非营利组织的帮助下组织科普宣传活动，召集公私部门的利益相关者来制定政策并进行交流，以加速核能发展。如果SMR被认为是一种更安全且成本更低的清洁能源解决方案，则这类活动可以更有效。企业可以参与为支持SMR试点而建立的政府和社会资本合作关系，从而帮助实现这一目标，例如，[美国能源部成本分摊奖励](#)授予了无碳电力项目有限责任公司，旨在为爱达荷州12个模块电厂部署提供高达14亿美元的资金。

表14：
核能创新行动

		近期（2022-2025年）	中期（2025-2030年）
行动	公用事业部门	→应重点围绕以下方面开展交流和科普宣传活动： - 核能的优势：碳足迹较低，可在缺乏可再生能源时发挥平衡电网的作用，与风能和太阳能相比占地要求小得多 - 降低新技术（核聚变、小型模块化反应堆）的风险	
	所有主体	→允许公用事业公司根据预期的能源需求（主要来自重工业）及其计划的能源结构参与确定 小型模块化反应堆 试点的最佳选址	
倡议		→通过建立政府和社会资本合作关系，加快设计审批以及加大对小型模块化反应堆试点的投资	→为解决氙短缺问题提供研发资金 →开展旨在减少废料量和减弱放射性的研发工作

其他ESG考量

健康和环境风险与（运输或处置过程中）放射性核废料的意外释放有关，尽管与化石燃料相比，这些风险的健康和环境影响范围较小。原本就负担过重的社区将首当其冲受到这些设施的影响，这是因为它们通常选址或批准在低收入地区建造。



结语：净零排放未来与每一家公司息息相关

各行各业的企业或投资者均可参与气候技术创新。无论是开展内部项目，还是与其他目的导向型公司合作推进研发，或是在投资组合中增加有针对性的投资，都有大量前景良好的技术和系统可以采取行动以促进变革。对私营部门来说，重要的是通过强有力的需求信号和积极的资金支持来进行政策倡导，以创造一个充满活力的气候创新环境。

需要尽一切努力来建立一个净零排放未来，而可再生能源、电网连通性与储能以及可持续燃料这“三大技术”就是最重要的抓手。相关投资必须与“十项扩展技术”的开发、示范和推广同步进行，以确保为全球各国提供必要的减排解决方案，以如期实现净零排放承诺。

准备走出自己的组织、成为全球减排领导者的企业，可以率先采取本报告提出的各项具有可操作性的倡议。

当他们这样做的时候，他们必须基于公平的议程来管理创新的外部性。边缘化人群不成比例地受到了人为气候变化的影响——他们呼吸着来自附近工厂的污染空气，在危险的供应链岗位上工作，并且承受着日益普遍的自然灾害的冲击。这一切都亟需在未来做出改变。处于创新前沿的公司可能会在实现其气候承诺方面取得成功，但如果地球上最弱势的居民继续被抛在后面，那么这些公司将无法践行自己的社会责任承诺。

全球承诺可能会将2050年作为限制全球变暖的最后期限，但我们在这关键十年内所取得的成就将决定气候技术和其他解决方案是否能够如期完成任务。气候危机无比紧迫。如果对其置之不理，那么这场危机必将削弱全球经济；而如果得到及时有效的解决，它可能继续带来一波新的商业机遇，尤其是对于低碳转型领域的先行者而言。

附录

气候技术词汇 | 重工业（1/2）

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算 (2020-2050年)	计算方法	其他来源
先进塑料回收	亦称“化学回收”，是指以塑料回收为重点的可提高回收效率的技术集。纺织品和电池的回收解决方案也在进行中。	1-分类限制	1-未知的收集、物流经济性	46亿吨二氧化碳当量—— Nature	(到2050年可解决的65亿吨二氧化碳当量排放) × (55%回收率)	1200亿美元—— Closed Loop Partners 400亿美元—— McKinsey 9% vs. 59%—— McKinsey
混凝土CCUS	捕集在混凝土生产过程中产生的二氧化碳的化学反应。在钙循环中，二氧化碳被分离，而后转化为构成混凝土的可持续合成石灰石骨料。在胺洗涤中，二氧化碳将直接被捕集，不影响水泥生产过程。	1-部分捕集率	1-相对于水泥生产的高成本	120亿吨二氧化碳当量—— IEA	(30年累计排放量) × (4%的排放量来自于煅烧过程) × (40%的全球产能在2020-2050年间安装CCS) × (80%的捕集效率)	40-120美元/吨—— IEA 目前0-1%—— 工业可持续性分析实验室 2050年40-45%—— IEA
能源效率	创新现有工艺从而使一项设施在提供等量有效产出时减少能耗（例如，通过升级电机、风扇和热泵）	5-各种能效措施目前可实施	5-能效措施使用更少的产出，实现成本节约	不适用	不适用	不适用
化石燃料燃烧CCS	在煤炭和天然气工厂捕集二氧化碳的过程，在其排放到大气中之前，将其封存到地下。	3-电力密集型工艺，其中部分工艺无法在老旧煤厂进行改造	3.5-燃烧后，在早期应用阶段进行化学吸收	49亿吨二氧化碳当量—— IPCC	IPCC估计的近似下限，以解决所有CCS技术中的技术特殊性问题	不适用

气候技术词汇 | 重工业 (2/2)

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算 (2020-2050年)	计算方法	其他来源
绿色钢铁	使用电解的 (绿) 氢来产生直接还原铁工艺所需的高热量, 这是炼钢的关键。	3- 矿石还原化学未完全优化	3- 电解氢的可用性	120亿吨二氧化碳当量 氢能委员会	不适用	150美元/吨二氧化碳当量—— EDF 2780亿美元—— Bloomberg 35美元/兆瓦时; 2.7万亿美元—— IEA 目前 4%—— Alcimed 2050 年 31%—— Entrepreneur
工业热能	将电力作为工业热能工艺的主要能源 (温度约为1000摄氏度), 取代煤炭等碳排放能源。实现电气化无需从根本上改变工业流程, 仅需使用电力设备取代现有设备 (如锅炉、熔炉)。	4- 支持最高400摄氏度热加工的电力设备已实现商业化; 最高用于1000度工艺的电力设备已在某些应用中开展有效试点。	4- 直到近期, 低油价仍然是一大采用障碍。	39亿吨二氧化碳当量 EDF MACC	(2050年2.6亿吨) × (30年) × (扩产折减系数: 0.5)	不适用
甲烷泄漏检测和修复 (LDAR)	将连续监测传感器、无人机和卫星作为现有技术 (光学气体成像相机地面检查) 的补充, 以最大限度地提高在石油和天然气生产和运输过程中检测逸散性甲烷的效率	5-LDAR技术得到大规模验证	5- 捕集的甲烷的销售额超过了检测成本 (即对油气生产商来说, 实施LDAR是有经济效益的)	GWP100 : 120亿吨二氧化碳当量 GWP20 : 380亿吨二氧化碳当量 IEA	(1450万吨甲烷/年) × (27GWP) × (30年) = 117.6亿吨二氧化碳当量	不适用

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算 (2020-2050年)	计算方法	其他来源
替代制冷剂	使用全球升温潜势明显较低的替代制冷剂（包括氨、二氧化碳、丙烷和异丁烷）替代各种设备中使用的氢氟碳化物（HFCs）。	4- 首选的“天然”替代品均需经过取舍，包括安全、成本和效率的考虑	4- 由于2016年签署的基加利协定，支持替代制冷剂的新系统在全球范围内可用；在某些情况下，对现有设备的改造会造成性能退化	GWP100 : 400亿吨二氧化碳当量 GWP20 : 1430亿吨二氧化碳当量 IEA	(2020-2060年530亿吨二氧化碳当量 × (0.75)) = 397.5亿吨二氧化碳当量 GWP20估计为2690倍 (IPCC)	2840亿美元—— EPA 目前2200 GWP vs. 2050年150 GWP—— IEA
需求响应	使建筑物在压力或限制下减少或转移用电的计划。	4-缺乏相关的IT通信工具	5-智能控制和自动化系统可用于节约成本	不适用	不适用	不适用
能源效率	创新现有工艺从而使一项设施在提供等量有效产出时减少能耗（例如安装雨水储存系统作为绿地水源）。	5-各种能效措施目前可实施	5-能效措施使用更少的产出，实现成本节约	不适用	不适用	不适用
隔热	建筑物中用于隔热以实现热管理的任何物体。通过安装隔热材料，使建筑物减少用于供暖和制冷的能耗。 相关技术包括 动态玻璃 ，它可以自动调整色彩层次，并能阻挡85%以上的不必要的太阳辐射。住宅和商业地产顶部的 绿色屋顶 可以提供隔热植被层，以减少建筑物供暖制冷相关的能源负荷和排放。 冷却屋顶 使用光反射材料或涂料来减少屋顶表面因阳光而吸收的热量。	5-尽管目前有大量的材料和方法可以显著增效，但通过研发带来新的效率提升。	4-多种隔热材料相对于替代品仍然很昂贵。 评估和实施隔热材料和技术需要熟练的建筑师和工程师，他们的成本很高，而且人员稀缺。	210亿吨二氧化碳当量 IPCC	[2020-2030年(8.8亿吨二氧化碳当量 × (0.4扩产折减系数) × (20年))] + [2030-2050年(0.88) × (20年)]	40%—— GreenBiz 目前1% vs. 2050年100%—— 世界绿色建筑委员会 15个月—— 国家隔热协会 （平均值计算）

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算（2020-2050年）	计算方法	其他来源
纯电动汽车	安装电动机的车辆，由储存在电池组中的能量驱动。充电时需连接到电力网络。	4-尚未被证明适用于中型车辆	3-许多人负担不起	480亿吨二氧化碳当量 彭博新能源财经	（16亿吨二氧化碳当量/年）×（30年）= 480亿吨二氧化碳当量）	8320亿美元—— 美国联合市场研究公司 75亿美元—— Axios 19美元/吨二氧化碳当量；156美元/吨二氧化碳当量—— EDF 目比7.2% vs. 2050年95%—— Speed & Scale
充电网络	纯电动汽车充电站的基础设施系统。	4-可靠性和范围的问题，充电速度慢。	4-充电基础设施需要扩大规模	不计算减排潜力，以避免与电动汽车重复计算。	不适用	不适用
清洁航运	使用可持续替代品取代海运行业的化石燃料，包括使用由绿氢/蓝氢制成的氨（液体形式或存在于内燃机中）、生物燃料、氢燃料和燃料电池，以及电池组。	3-氨点火挑战，相对于燃料电池的效率	3-缺乏优先于液化天然气的激励措施；缺乏氢加注网络	不计算减排潜力，以避免与可持续燃料（例如，清洁氨、生物燃料）重复计算。	不适用	不适用
电动航空	通过太阳能电池、微波、外部电源线；电池、超级电容器和燃料电池；以及电动机、混合动力和磁流体动力学（分别）实现电力供应、储能和推进。	1.5-电池密度限制了飞行距离	1.5-原型机处于空中滑行水平，尚未应用于商业客机	5亿吨二氧化碳当量 Mission Possible Partnership	不适用	不适用
能源效率	创新现有工艺从而使一项设施在提供等量有效产出时减少能耗（例如，持续提高乘用车每加仑行驶里程）。	5-目前可实施的各种能效措施	5-能效措施使用更少的产出，实现成本节约	不适用	不适用	不适用
燃料电池汽车	燃料电池汽车由一种燃料（通常是氢气）提供动力，该燃料将进入车载燃料电池“堆栈”，全程无气体燃烧，而是将燃料的化学能量转化为电能。这些电能可为汽车的电机提供动力。	3-多项技术处于原型阶段；比内燃机汽车的寿命耐久性低。	3-已实现公共汽车和轻型车辆的商业化运作	130亿吨二氧化碳当量 氢能委员会	不适用	不适用

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算（2020-2050年）	计算方法	其他来源
替代蛋白	植物基蛋白和实验室培养技术提供的富含蛋白的肉类替代物。选择使用替代蛋白的行为改变将有助于避免甲烷排放和森林砍伐，从而保护森林碳汇。预计到2050年世界人口将达到100亿，要实现2050年净零排放目标，必须采用替代蛋白。	4-以植物为基础的技术经过了大规模验证；实验室培育的技术处于商业规模试点阶段	4-以植物为基础的技术在发达国家的餐馆和杂货店中的可用性较高；实验室培养技术在美国尚未合法	170亿吨二氧化碳当量 Frontiers	（ 5.83 亿吨二氧化碳当量/年 × （ 30 年 ） = 174.9 亿吨二氧化碳当量	1/4—— Gallup 2900 亿美元—— BCG 66%—— Food Navigator USA
甲烷抑制剂和消化器	甲烷抑制剂旨在利用针对牲畜消化过程（即肠道发酵）的技术，通过饲料添加剂和牲畜基因组学（育种）来减少牲畜的甲烷产量。较大型的农场还可以安装厌氧消化器，处理牲畜粪便并生产可再生燃料，而后转化为电力出售。这些技术的效益取决于对现有粪便中甲烷的捕集。新粪便中的甲烷的产生和捕集需要将泄漏率保持在极低水平才能产生气候效益。	3-饲料添加剂会影响动物体重和生产力	3-小型农场无法负担得起厌氧消化器	GWP100： 130 亿吨二氧化碳当量 GWP20： 425 亿吨二氧化碳当量 IOPscience	（ 5300 万吨甲烷来自猪粪消化+8600万吨甲烷来自羊饲料变化和养殖+3.49 亿吨甲烷来自牛饲料变化、养殖、消化器 ） × （ 27 GWP ） = 131.8 亿吨二氧化碳当量 GWP20 = 87倍	40万-500万美元—— 厌氧消化社区 25-40%—— 加州空气资源委员会
精准农业	该过程利用高科技传感器、分析工具和基于卫星的农场分析，提高作物产量并协助作出管理决策。它确保了对化肥和灌溉过程的有效管理。	4-农村地区的物联网连接限制	2-由于技术成本和行业碎片化程度很高，应用滞后	98亿吨二氧化碳当量 WEF	（ 0.05%减排 ） × （ 1950 亿吨二氧化碳当量农业排放量 ）	400-600 亿美元； 5000 亿美元—— McKinsey
零排放农业设备	使用电动交通工具取代以化石燃料为动力的拖拉机和联合收割机。	2-较小尺寸的农业设备已经实现商业化；电池的可靠性和耐久性仍然是一个问题（尤其是考虑到延期使用）	2-需要采取金融激励措施来抵消高额资本，并鼓励现有设备提前退役；缺乏充电基础设施	5.4亿吨二氧化碳当量 McKinsey	不适用	不适用

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算（2020-2050年）	其他来源
负载灵活性	调整能源使用以适应需求波动的能力。应用范围包括需求收费管理、分时电价套利、需求响应和电力采购优化。随着电动汽车对电网需求的增加，负载灵活性将成为净零转型的一个重要部分。	5-各项技术经过了大规模验证；这取决于政策制定者和公用事业供应商在不同地区的采用情况	5-通过更有效的能源部署来实现输配电服务的成本节约	不包括减排潜力，以避免与可再生能源技术重复计算	14万亿美元的电网投资—— S&P Global
长距离高压直流	HVDC（高压直流）是一种大容量、长距离输电系统，比HVAC（高压交流）输电系统的效率更高。通过转换器创新适应了可再生能源的可变性，使其能够接入电网。	4-当前的断路器改进可以使高压直流电网的运行更加平稳	4-前期成本较高，但与HVAC相比，全生命周期可节省更多成本		不适用
智能电网	一种使用数字通信技术来检测并应对当地用电量变化的供电网络。它使需求响应成为可能，即通过改变电力公用事业公司住宅或商业客户的电力消耗，以更好地匹配电力需求和供应。	5-技术经过了大规模验证	4-采用与否取决于当地政府的批准；尽管全生命周期可实现成本节约，但部分“智能”技术的前期成本仍然是潜在用户的一大障碍（公用事业部门正通过采取激励措施来减轻这一障碍）		目前电网数字化比例为15%，2050年将达到50%—— IEA

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算（2020-2050年）	其他来源
压缩空气	压缩至地下储库的空气在释放时通过涡轮机产生能量。	4- 大规模储存容量可达1000兆瓦电力	4- 资本成本较高，公用事业规划者缺乏认识	不包括减排潜力，以避免与可再生能源技术重复计算	不适用
清洁氢	生产和储存清洁氢（作为气体、液体或通过其他固体吸收）以用作燃料、原料的过程。氢在后续可以重新转化为电能，产生能量。包括 绿氢 （通过电解作用将水分解成氢气和氧气）和 蓝氢 （由天然气产生的氢，由CCUS技术支持。制造过程中产生的二氧化碳被捕集并永久地封存在地下。其产物是低排放的氢气，不产生二氧化碳）。	3- 氢气是一种高腐蚀性气体；必须解决储存期间的泄漏风险。	2- 由供应链上的关键元素制成的电解剂		目前 10吉瓦 vs. 2050年 930吉瓦 —— NREL
抽水蓄能	将水抽入高海拔地区的水库并利用水在低海拔地区释放时产生的能量的过程。	5- 技术经过了大规模验证	5- 可能因蒸发而失水；依赖选址（要求水库之间存在高度差）		不适用
飞轮	飞轮通过电机旋转，将多余的电力转化为动能，再使用电机作为发电机将动能转化为电能）。	4- 放电时间短，需要为大规模应用安装多个飞轮	4- 需要投资于公用事业级装置		不适用
电池	新一代电池成本更低，可以装入更多的能量，并且充电更快。由替代材料和新设计促成。	3- 锂离子替代化学材料在充电时可以更快地降解	3- 不同地区间商业部署分散；研发阶段的制造成本较高		2770亿美元 —— BloombergNEF

气候技术词汇 | 发电（1/2）

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算（2020-2050年）	计算方法	其他来源
地热	利用地心的热量来加热水或其他工作流体的过程。该工作流体被用来驱动发电机的涡轮机，从而产生电力。	4- 提取地热能会释放有限的温室气体（例如，硫化氢、二氧化碳、甲烷）	4- 位置的特殊性使其难以实现规模化应用，高额的前期费用仍然是一个障碍	80亿吨二氧化碳当量 来源： IPCC	{[2020-2030 年（7.3亿吨二氧化碳当量）（10年（0.4扩产折减系数））] + [2020-2050年（0.73）（20年）] + [2020-2030 年（11.1亿吨二氧化碳当量）（10年（0.4）] + [2020-2050 年（1.11）（20）（1.5规模化倍数）]} / 2	不适用
核能	最成熟的技术是核裂变，即通过分裂原子核为发电的蒸汽轮机提供动力的过程。 新兴技术包括小型模块化反应堆（SMR）和核聚变，前者是一种预制单元，可以被运至不适合建造大型核电站的地方，后者是指将原子核结合以释放能量的过程。	4- 裂变：技术经过了大规模地有效证明 2- 聚变：有少数原型反应堆存在，但首个商业化工厂预计在 2035-2040 年之前仍无法投入运营 3- 小型模块化反应堆：全世界有一个 SMR 正在运行，有 70 多个 SMR 正处于开发阶段，它们的产出和应用各不相同	3- 裂变：电站需要多年时间建造，并且越来越多地超出预算（例如，需要面临越来越多的风险监控） 2- 聚变：试点项目已大大超出预算 3- 小型模块化反应堆：由于设计更简单、定制要求有限，燃料需求减少（相对于裂变电站），可以节省成本和施工时间	450亿吨二氧化碳当量 来源： IPCC	[2020-2030 年（13.2亿吨二氧化碳当量）（10年）（0.4扩产折减系数）] + [2020-2050 年（1.32）（20年（1.5规模化倍数））]	6580 亿瓦 — IEA 107美元/吨二氧化碳当量 — EDF
海浪发电	通过作为水下风机的装置将海浪和潮汐运动的动能转换为电能的过程。	1- 在真实的海洋条件下测试新的装置原型	1- 由于固有的设计挑战成为最昂贵的可再生能源	110亿吨二氧化碳当量 海洋委员会	不适用	不适用
小型水力发电	按照适合当地社区和工业的规模开发水电，或为区域电网的分布式发电作出贡献。	4- 技术有效；需要谨慎设计和安装	4- 在偏远社区扩展	56亿吨二氧化碳当量 Energy.gov	不适用	不适用

气候技术词汇 | 发电（2/2）

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力 估算 (2020- 2050年)	计算方法	其他来源
太阳能	通过光伏板中的光伏电池和透明光伏玻璃利用太阳能来发电。	5-功能齐全，材料和工艺不断增强	4-必须克服体制（例如，低效的法律框架）和技术障碍（如缺乏安装太阳能光伏的技术）	1340亿吨二氧化碳当量 Nature	1800亿吨二氧化碳当量 + 120亿吨二氧化碳当量（消除贸易壁垒）×（40年估算0.75折减系数）= 134	570亿美元（原为2800亿美元）—— IEA 4.2万亿美元（原为9.5万亿美元）—— BNEF 目前821TWh vs. 2050年23469TWh—— IEA 31美元/吨二氧化碳当量—— EDF
废弃物甲烷捕集	对城市和工业废物进行厌氧处理以回收甲烷，甲烷可作为可再生气体通过管道系统运输，并可转化为电力出售。	5-封闭式垃圾填埋场85%的效率	4-垃圾填埋场气转电技术的安装成本	GWP100：280亿吨二氧化碳当量 GWP20：905亿吨二氧化碳当量 IOPScience	（7.78亿吨甲烷来自城市废物+2.62亿吨甲烷来自工业废物）×（27GWP）=280.8亿吨二氧化碳当量 GWP20 = 87倍	不适用
风能	通过涡轮机（陆上或海上）收集和转换风的动能以发电的过程。	5-功能齐全，工艺不断扩展（例如，陆上）	4-前期和维护成本高（尤其是海上）	1540亿吨二氧化碳当量 MDPI	不适用	2230亿美元（原为2800亿美元）—— IEA 5.3万亿美元（原为9.5万亿美元）—— BNEF 目前的1592TWh vs. 2050年24785TWh—— IEA 11~40美元/吨二氧化碳当量—— EDF

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力 估算 (2020- 2050年)	计算方法	其他来源
生物燃料	任何源自生物质的燃料——即植物或藻类材料或动物粪便。包括生物煤油（SAF）——与航空煤油混合——通常由植物油（如大豆）、动物脂肪和城市垃圾产生。	4-需要通过创新来提高作为投入的废物的转化率	4- 与有补贴的化石燃料相比更昂贵；投入有限，无负面外部性	220亿吨二氧化碳当量 IPCC	$\{[2020-2030 \text{ 年} (3.5 \text{ 亿吨二氧化碳当量}) (10 \text{ 年} (0.4 \text{ 扩产折减系数})) + [2020-2050 \text{ 年} (0.35) (20 \text{ 年})] + [2020-2030 \text{ 年} (10.5 \text{ 亿吨二氧化碳当量}) (10) (0.4)] + [2020-2050 \text{ 年} (1.05) (20) (1.5 \text{ 规模化倍数})]\} / 2$	目前5500万吨 vs. 2050年 7.5 亿吨 IEA 2300亿加仑（所有航空燃料）—— DOE 33美元/吨二氧化碳当量—— EDF
清洁氨	使用绿氢（通过电解）生产氨。氨可用作肥料——氨的传统作用——或作为能量密集型燃料（更易于储存和运输）。它也可以被转化为氢气。	3-通过太阳能和电解生产，目前处于测试阶段	2- 处于早期阶段全球试点，用于功能性商业工厂	108亿吨二氧化碳当量 西门子	$(3.6 \text{ 亿吨二氧化碳当量}) \times (30 \text{ 年})$	目前 3600 万吨（假设20%用于运输，因为80%用于化肥使用） 国际可持续碳中心 vs. 2050 年 1.08亿吨（吨到公吨的转换） 氢能协会
合成燃料	适用于任何具有天然燃料近似成分和可比比能的人造燃料的通用术语。可持续合成燃料使用由光合作用产生的生物质或清洁氢。它可以用于内燃机。	2-热解厂扩大兆瓦产能的技术困难	1- 与航空公司签署承购协议，但在缺乏政策支持的情况下不可行	38亿吨二氧化碳当量—— IEA	不适用	1680亿吨二氧化碳当量 EDF MAC

技术	描述	技术可行性	商业可行性	减排潜力估算（2020-2050年）	计算方法	其他来源
直接空气捕集（DAC）	直接从大气中捕集二氧化碳。二氧化碳可以永久地封存在地质构造中，或用于食品加工（例如，碳酸饮料）等，或与氢气结合生产合成燃料。然而，为了使气候效益最大化，大部分捕集的二氧化碳需要被封存，从而实现负排放（如果管理得当，通过地质储存可以保留99%的封存二氧化碳超过1000年）。	3- 需通过更多的大规模示范项目来完善技术并减少二氧化碳地质封存风险	2- 由于二氧化碳在大气中的浓度较低，因此成本和能源需求比其他封存方法更高	200亿吨二氧化碳当量 —— IEA	（2030年前8500万吨二氧化碳/年） （10）+ （2050年前9.8亿吨二氧化碳/年） （20）	250~600美元 —— WRI 1.29亿美元 —— WRI 目前 4000万吨 vs. 9.8亿吨 —— IEA
增强岩石风化	将岩石粉碎成岩粉，增加表面积，从而使岩石风化加速（以及使二氧化碳在岩石中的封存也加速）的自然过程（在这一自然过程中，雨水中的二氧化碳与岩石发生反应，然后以碳酸盐的形式锁定超过10万年）。	1- 土壤风化率和风化产物的陆地-海洋转移存在不确定性	1- 短期内部署被认为不可行	150亿吨二氧化碳当量 —— Nature	（5亿吨二氧化碳当量/年） ×（30年）	不适用

尾注

- 1 [“The latest IPCC report unpacks the role of innovation. Here are five key takeaways.”](#) Environmental Defense Fund, April 15, 2022
- 2 [“Clean energy innovation needs faster progress,”](#) IEA
- 3 在基准情景下使用[IPCC排放方案](#)，其中假设在缺乏进一步政策支持下基于目前的政策对2050年进行预测。
- 4 图形中使用的是由Project Drawdown的“情景1”计算的排放数据。虽然Drawdown在其技术摘要中并未明确引用其用于甲烷减排解决方案的GWP数字，但可以假定GWP约为27~30（按100年的范围计算）。Drawdown引用了参照2000年代的现有制冷剂的GWP。自进行本报告分析以来，《通货膨胀削减法案》（IRA）已被签署成为法律。虽然这将改变美国的清洁能源和气候格局，但在当前不断变化的环境中，此处提出的关于公司应该如何考虑创新以及应该明确采取何种优先行动的指导意见仍具有意义。
- 5 [“Covid-19, Crypto, and Climate,”](#) Chapter 3: Investment Funds: Fostering the Transition of a Green Economy,” International Monetary Fund, October 2021.
- 6 所示技术代表每个部门的突出例子，但并非详尽无遗。
- 7 碳捕集技术应用于不同部门，但在本图中是指不分行业的碳移除机制。
- 8 [“Wind turbine blades can’t be recycled, so they’re piling up in landfills.”](#) Bloomberg. February 2020
- 9 [“Save money with solar energy for your business.”](#) The Balance, June 25 2019
- 10 [“Towards underground hydrogen storage: A review of barriers,”](#) ScienceDirect, July 2022
- 11 当生物燃料能够可靠地减少排放，遵守强有力的环境和社会保障措施，并被准确核算以避免重复计算减排量时，它们可被认为是高完整性生物燃料。高完整性生物燃料在导致间接土地使用变化方面应具有零风险或极低风险，这意味着它们不会转变可食用作物或用于种植粮食的土地，也不会造成森林砍伐或生境破坏。它们的生产应尊重人权、土地权和用水权，并应有助于实现联合国的可持续发展目标。
- 12 2020年，全球明确的煤炭、石油和天然气补贴达4720亿美元。
- 13 图中的星号是指以清洁氢作为直接投入的气候技术。为避免重复，清洁氢作为一种技术本身不包括在图中气泡里。
- 14 由于温室气体具有不同程度的全球升温潜势（GWP），因此使用二氧化碳当量估算。与二氧化碳相比，甲烷和氢氟碳化物（用于制冷剂）在大气中停留的时间较短，但单位重量捕集的热量要高得多，因此近期甲烷和氢氟碳化物的减排尤为紧迫。甲烷的GWP100（即按100年的时间范围计算）是二氧化碳的27倍；目前制冷剂的GWP100是二氧化碳的2200倍；两者的GWP20值均包含在附录中。
- 15 气泡大小代表每个部门内减排潜力的相对大小
- 16 技术创新生命周期阶段来源于自[IEA’s extended Technology Readiness Level \(TRL\)](#)
- 17 [“Total anthropogenic direct and indirect GHG emission for the year 2019 \(in GTCO2eq\) by sector and sub-sector.”](#) Figure TS.6 in IPCC AR6 WGIII
- 18 [“Cement and concrete as an engineering material: A historical appraisal and case study analysis.”](#) ScienceDirect, May 2014
- 19 [“CCS at Norcem Brevik: Background,”](#) Norcem
- 20 此外，CCUS的减排潜力并未考虑到捕集的二氧化碳的运输。

- 21 熟料是在水泥生产的窑炉阶段生产的粘合剂材料，[在水泥的成本和排放中占比极大](#)。
- 22 [“Iron and Steel Technology Roadmap,”](#) IEA, October 2020
- 23 任何直接还原铁工艺均会导致排放，除非使用的是电解（绿）氢，这意味着使用蓝氢的直接还原铁工艺必须配备碳捕集功能才能被视为可持续的替代方案。
- 24 直接还原铁工艺中最常使用的CCUS方法是化学吸附法。物理吸附预计是一种成本较低的CCUS技术，但在直接还原铁工艺应用中需要开展更多的试点项目。
- 25 [“Iron and Steel Technology Roadmap,”](#) IEA, published in October 2020 Technology report
- 26 [“Total anthropogenic direct and indirect GHG emission for the year 2019 \(in GTCO2eq\) by sector and sub-sector,”](#) Figure TS.6 in IPCC AR6 WGIII
- 27 [“IPCC includes GWPs for Hydrocarbons in New Report,”](#) Hydrocarbons21, August 2021
- 28 [“Alternative Refrigerants,”](#) Project Drawdown
- 29 [“Have we reached the tipping point for CO2 refrigeration systems?”](#) Henderson Engineers, June 2020
- 30 净零建筑是指能够生产足够的可再生能源来满足其年度能耗需求的建筑。这可以通过各种能效措施来实现，除隔热之外还包括节约用水和可优化空间管理的数字化技术。
- 31 [“Total anthropogenic direct and indirect GHG emission for the year 2019 \(in GTCO2eq\) by sector and sub-sector,”](#) Figure TS.6 in IPCC AR6 WGIII
- 32 [“Charting the course for early truck electrification,”](#) RMI, 2022
- 33 [“A severe EV battery shortage could happen in less than 3 years,”](#) PR Newswire, May 2022
- 34 [“Total anthropogenic direct and indirect GHG emission for the year 2019 \(in GTCO2eq\) by sector and sub-sector,”](#) Figure TS.6 in IPCC AR6 WGIII
- 35 [“Everything you need to know about agricultural emissions,”](#) World Resources Institute, May 2014
- 36 潜势是指温室气体的全球升温潜势（GWPs），此处是指100年内的全球升温潜势
- 37 [“Total anthropogenic direct and indirect GHG emission for the year 2019 \(in GTCO2eq\) by sector and sub-sector,”](#) Figure TS.6 in IPCC AR6 WGIII
- 38 [“Innovative Foods: a guide to responsible investment in cell-cultured meat and seafood,”](#) Environmental Defense Fund + Business
- 39 [“Carbon removal ‘unavoidable’ as climate dangers grow, new IPCC report says,”](#) Scientific American, April 2022
- 40 数据来源和计算方法见附录
- 41 [“Carbon Sequestration,”](#) Britannica: “It is estimated that properly managed geological storage is very likely (90% probability) to retain 99% of its sequestered carbon dioxide for over 1,000 years.”
- 42 [“Direct Air Capture,”](#) IEA, November 2021
- 43 [“6 Things to Know about Direct Air Capture,”](#) World Resources Institute, May 2022
- 44 [“Total anthropogenic direct and indirect GHG emission for the year 2019 \(in GTCO2eq\) by sector and sub-sector,”](#) Figure TS.6 in IPCC AR6 WGIII
- 45 [“5 Fast Facts About Nuclear Energy,”](#) Office of Nuclear Energy, March 2021
- 46 [“3 reasons why nuclear is clean and sustainable,”](#) Office of Nuclear Energy, March 2021

Environmental Defense fund

257 Park Avenue South
New York, New York 10010

[edf.org](https://www.edf.org)

© 2022 Environmental Defense fund