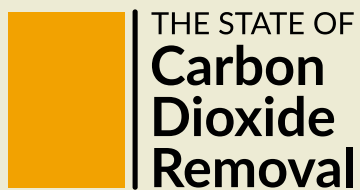


执行摘要



全球独立 科学评估： 二氧化碳移除

第三版 | 2026年

该合作项目由 **Morgan R. Edwards** (威斯康星大学麦迪逊分校)、**Oliver Geden** (德国国际与安全事务研究所, SWP)、**Matthew J. Gidden** (马里兰大学)、**William F. Lamb** (波茨坦气候影响研究所, PIK)、**Jan C. Minx** (波茨坦气候影响研究所, PIK)、**Gregory F. Nemet** (威斯康星大学麦迪逊分校) 和 **Stephen M. Smith** (牛津大学) 牵头。

鸣谢：

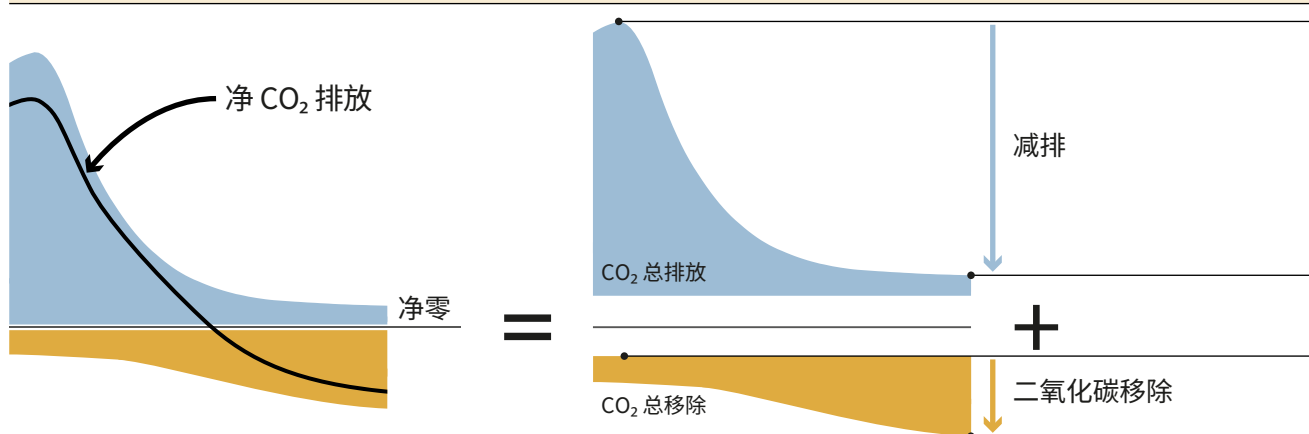
本文件由Strategic Agenda翻译，特别感谢苏丹博士（赫瑞瓦特大学碳解决方案研究中心博士后）、冯丝语博士（牛津大学史密斯企业与环境学院博士后）抽出宝贵时间并凭借专业学识审核本执行摘要的技术准确性。设计与排版：Foteini Spagopoulou (Designers For Climate Studios)

执行摘要

1. 想要实现《巴黎协定》温控目标, 二氧化碳移除与减排工作缺一不可。

二氧化碳移除指通过人类活动从大气中捕获二氧化碳, 并将其长期封存于地质层、陆地、海洋储库或产品当中。只要温室气体排放仍在持续, 就需要依靠二氧化碳移除来遏制全球气温上升。所有实现净零排放、遏制全球升温的情景, 均需额外部署十亿吨级规模的二氧化碳移除措施。在符合《巴黎协定》且具备成本效益的各类情景中, 减排在实现 CO₂ 净零排放所需努力中占至少 80%, 而剩余部分由 CDR 承担。

实现气候目标既需要二氧化碳移除 (CDR), 也需要减排



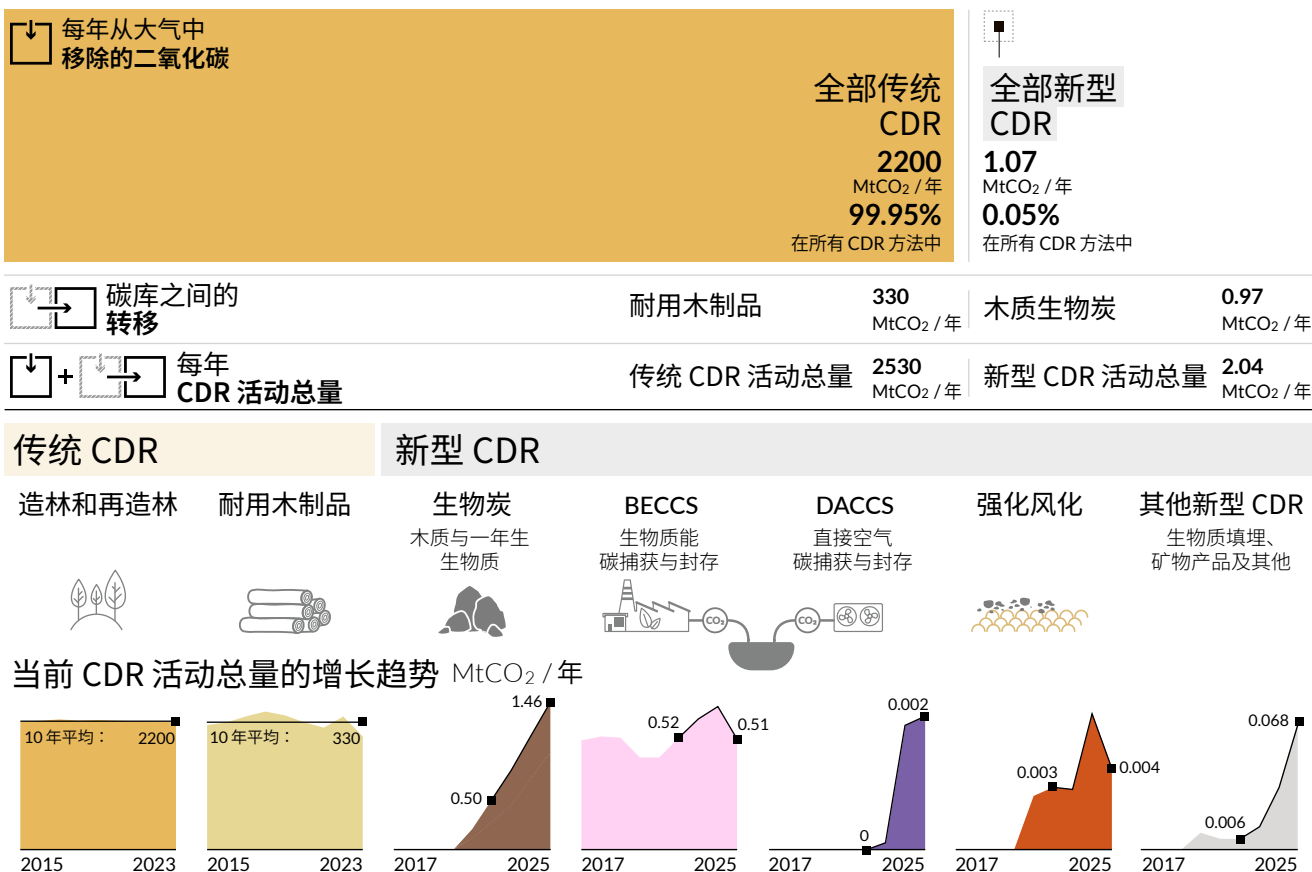
2. 二氧化碳移除技术种类繁多, 各项技术的成本、应用潜力与社会接受度差异显著。

二氧化碳移除技术分为两类, 一类是依托森林、土壤发展成熟的传统技术, 另一类是生物炭、强化风化、直接空气碳捕集与封存等新兴技术。移除作业的预期成本差异极大, 每吨不足10美元至逾1000美元不等, 多数技术的成本上限超过每吨200美元, 远高于当前碳价。即便是同一种二氧化碳移除技术, 其成本估值也存在很大差异。多项技术的规模化发展有赖于成本下降。各类技术的独立移除潜力同样跨度较大, 多数技术较为可靠的下限估值约为每年10亿吨二氧化碳。造成不确定性的原因包括科学认知不足、数据获取受限、定义标准不统一, 以及在可持续性和持久性方面存在不同假设。成本估算除上述问题外, 还受系统边界界定、是否计入协同效益以及监测、报告与核查成本等因素影响。公众支持度同样存在不确定性。这涉及对生态系统和治理问题的担忧, 并取决于能否让不同公众群体参与其中, 以及能否传达其地方层面的效益。公众对二氧化碳移除缺乏了解, 新闻媒体对二氧化碳移除的报道不仅在总体上有所减少, 在全部气候报道中的占比也在下降。对于各项技术而言, 证明自身的可靠性与实际效用是释放应用潜力的关键。

3. 当前的二氧化碳移除量几乎全部来自陆基传统技术；新兴技术虽发展迅速，但在总移除量中占比依旧极低。

全球年二氧化碳移除总量为22亿吨，相当于二氧化碳总排放量的5%。传统技术占总量的99.9%，主要贡献来源为中国、美国、欧盟、巴西及俄罗斯。新兴技术年移除量为200万吨，年增速达40%，这一增速与太阳能等成熟技术相近，但仍无法满足实现《巴黎协定》温控目标所需的规模化要求。生物炭和 BECCS 几乎占据了全部新型碳移除量。现有项目及在建项目到2030年的产能将达到每年800万吨二氧化碳，不过近年来规划产能的落地比例仅为两成。

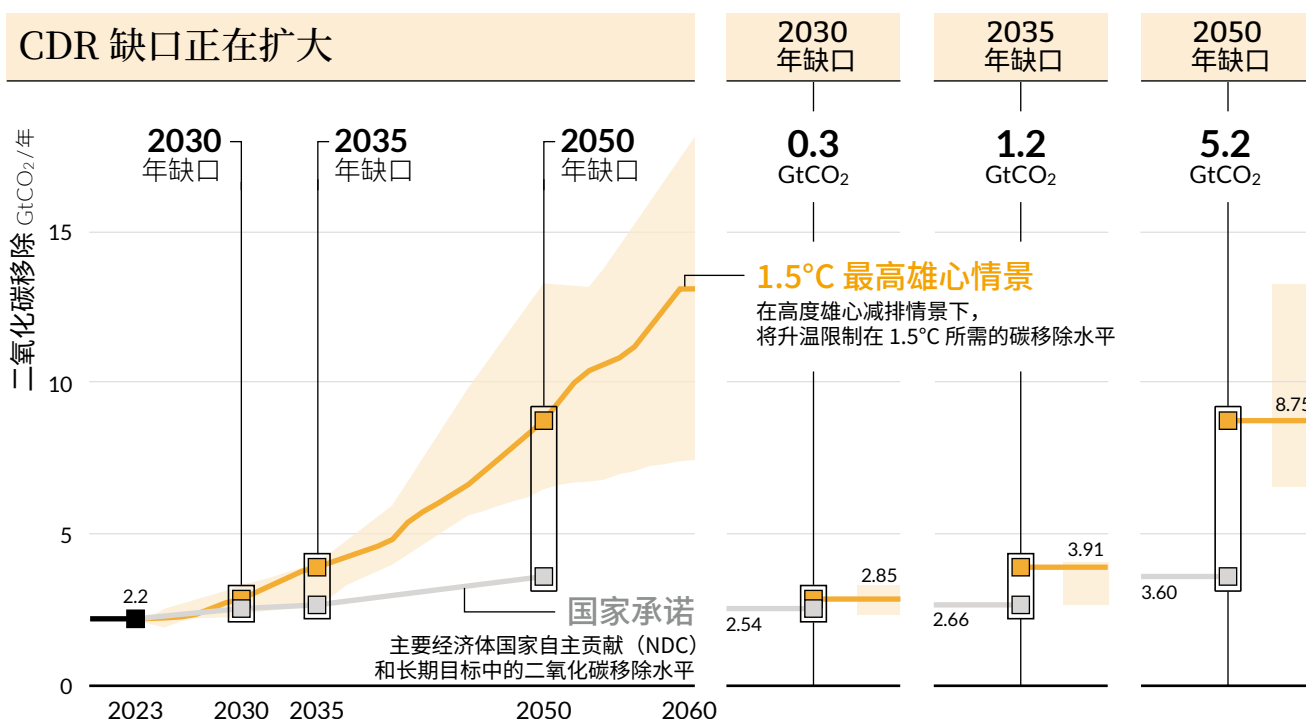
目前的 CDR 几乎全部来自传统方法，但新型方法正在增长



4. 各国承诺的二氧化碳移除规模与符合《巴黎协定》目标的情景所需规模之间存在明显差距且差距持续扩大，各类情景中均同时应用传统与新兴移除技术。

结合最新国家自主贡献目标来看，各国承诺2030年二氧化碳移除量为每年25亿吨，而在目标愿景最高且符合《巴黎协定》要求的各类情景中，该数值的中位水平为每年29亿吨。这导致每年存在3亿吨二氧化碳的缺口。要填补2030年的缺口，需通过新增及修订承诺，将整体目标规模大致提升一倍，即2030年年度增量从3亿吨二氧化碳提升至6亿吨二氧化碳。

该缺口到2035年将迅速扩大至每年12亿吨二氧化碳, 2050年达到每年52亿吨二氧化碳, 这两年各国承诺规模均低于所有符合《巴黎协定》目标情景的需求水平。企业公布的相关目标合计到2050年每年可实现超50亿吨二氧化碳移除, 远高于各国承诺规模。但届时仍会存在数十亿吨二氧化碳的缺口, 且企业相关承诺的可信度偏低。仅有约三分之一的国家在其中期发展战略中提及新兴二氧化碳移除技术。短期来看传统二氧化碳移除技术仍占据主导地位, 在评估的各类情景中, 新兴技术应用规模在2030至2035年间增长五倍, 并在2050年突破35亿吨二氧化碳/年。自第二版报告发布以来, 碳排放量持续上升, 二氧化碳移除规模缺口也随之扩大。若短期内不采取有力减排举措, 该缺口将继续加大。



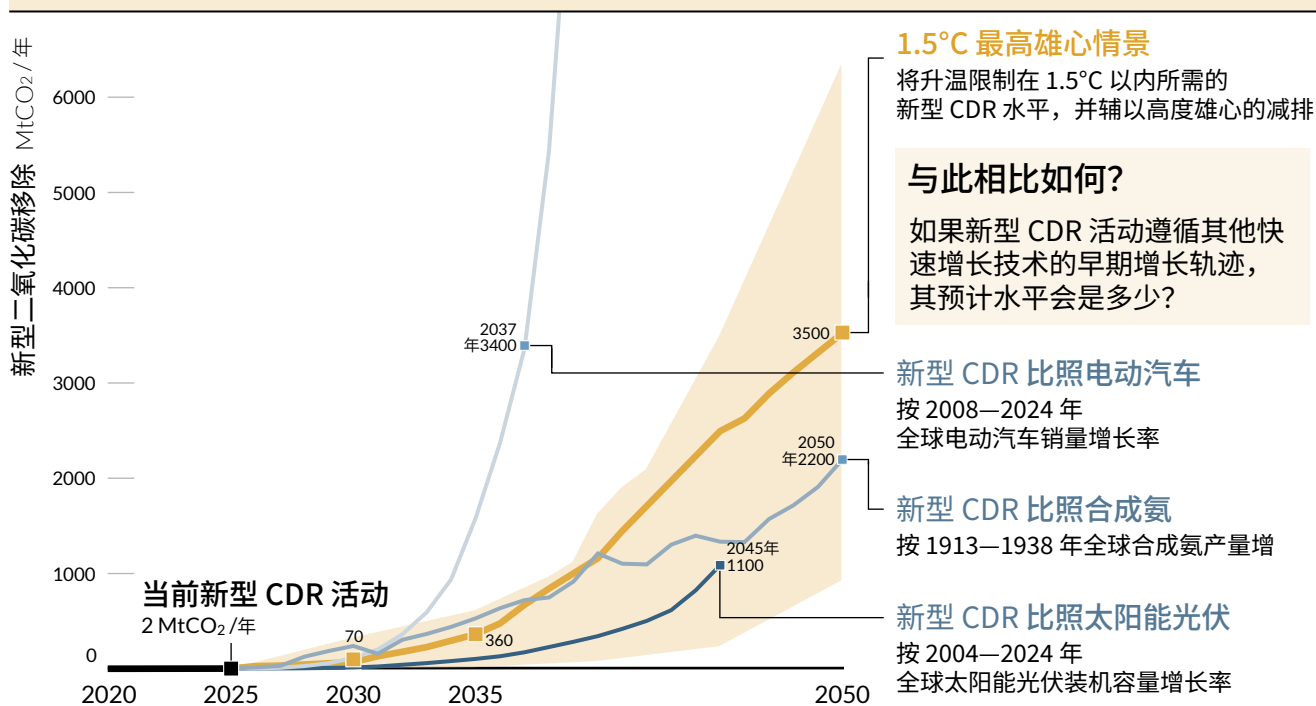
5. 二氧化碳移除技术处于多重目标与各类附带影响的综合环境之中。

支持传统二氧化碳移除技术的相关政策已实施多年, 其制定初衷涵盖生态修复、生物多样性保护、创造经济机遇以及气候稳定等多项目标。各方对二氧化碳移除技术的态度受诸多因素影响, 包括经济回报、附带效益、对执行主体的信任度以及避免破坏生态系统等。同样, 用于二氧化碳移除技术研究的补助资金中, 超半数流向了并非以该技术为核心目标的项目, 例如针对野火治理与清洁能源的相关项目。除碳移除之外产生的各类影响, 会极大左右各项技术的应用潜力与落地可行性。这类附带影响因应用场景而异, 且通常会随应用规模扩大而加剧, 涉及生物多样性、资源消耗、能源使用及粮食生产等多个方面。部分二氧化碳移除技术会与其他气候行动形成资源竞争, 例如生物质资源受限问题, 也有部分技术可产生协同效应并带来附加效益。举例而言, 生物炭与强化风化技术能够提升农作物产量, 耐用木质产品则可避免采用高排放工艺生产同类产品所产生的碳排放。政策制定能够有效提升附带效益、规避不利影响, 进而实现更具可持续性的成果。

6. 二氧化碳移除技术的市场需求是填补规模缺口的关键。相关创新活动虽有所增加,但市场对大规模且持续增长需求的预期已趋于疲软。

CDR领域的研发、论文发表、示范项目、自愿市场及初创企业融资均有所增长,尽管增长台式并不稳定,也出现一些例外情况,高价值专利数量近年有所下滑。在全球气候领域整体资金缩减的背景下,二氧化碳移除相关企业仍获得持续资金支持,目前该领域资金占气候总资金的3%,这一情况尤为突出。去年,自愿碳市场签署的碳移除合约总量达4000万吨CO₂,多数新兴二氧化碳移除技术的交易都集中于此市场。创新也延伸至政策层面,欧盟、英国、瑞士等地区正积极探索将新兴二氧化碳移除技术纳入监管体系。此外,实践积累是创新的核心,这与规模化发展其他环节一样,都依托于市场需求预期。新兴二氧化碳移除技术需要保持极高的增长速度,增速介于光伏、电动汽车这两类增长最快的气候技术之间。传统二氧化碳移除技术则面临不同的规模化难题,包括土地资源竞争、碳封存效果逆转风险,以及排放量下降后二氧化碳肥效逐步减弱等问题。二氧化碳移除技术的未来市场需求已存在不确定性。现有政策大多侧重技术供给端,《巴黎协定》第六条、国际航空碳抵消和减排计划等新兴市场的交易价格,低于多数技术当前的应用成本。相关政策变动与局势波动削弱了政策公信力,也迫使其他地区出台能够培育稳定需求、化解二氧化碳移除规模缺口的相关政策。

实现 1.5°C 所需的新型 CDR 扩展非常迅速, 但并非史无前例

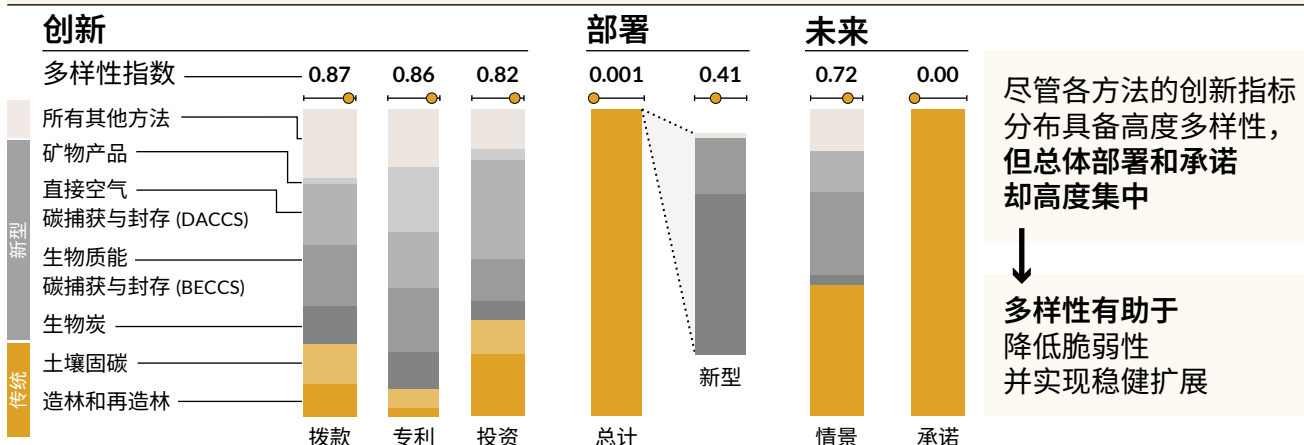


7. CDR体系的诸多关键环节高度集中, 由此带来脆弱性, 推动方法、参与主体和国家层面的多元化, 将有助于增强体系韧性。

早期创新指标, 如资助、初创企业投资和专利, 在不同碳移除方法之间总体上较为多元; 但后期阶段指标则并非如此。二氧化碳移除项目落地规模与各国承诺均集中于植树造林技术; 自愿市场中超过三分之二的传统二氧化碳移除项目位于拉美地区; 新兴二氧化碳移除技术主要为生物炭、生物能源结合碳捕集封存两类; 新兴技术采购方以微软一家为主; 大部分示范项目资金集中在少数国家与项目, 主要为瑞典、丹麦、美国; 初创投资也逐步流向数量更少、发展更为成熟的企业。先行参与者发挥着重要作用, 但其发展模式若无法广泛推广, 体系便会暴露出脆弱性, 美国气候政策调整以及微软近期放缓采购节奏带来的影响便是例证。此外, 传统技术易受环境变化与土地利用激励政策变动影响, 因此多元化的技术组合具有显著价值。

多样性不足会给 CDR 系统带来脆弱性

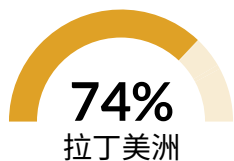
CDR 方法的集中度



CDR 参与者的集中度

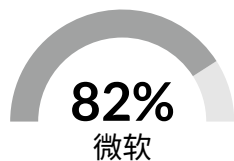
自愿碳市场

大多数传统 CDR 信用额来自同一个地区



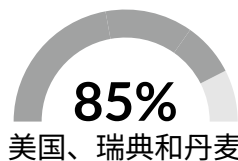
新型 CDR 信用额买家

一个买家购买了大多数新型 CDR 信用额



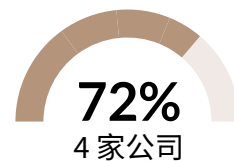
已公布的试点资金

新型 CDR 的大部分政府资金集中在 3 个国家



企业投资

所有 CDR 的大部分投资集中在四家公司

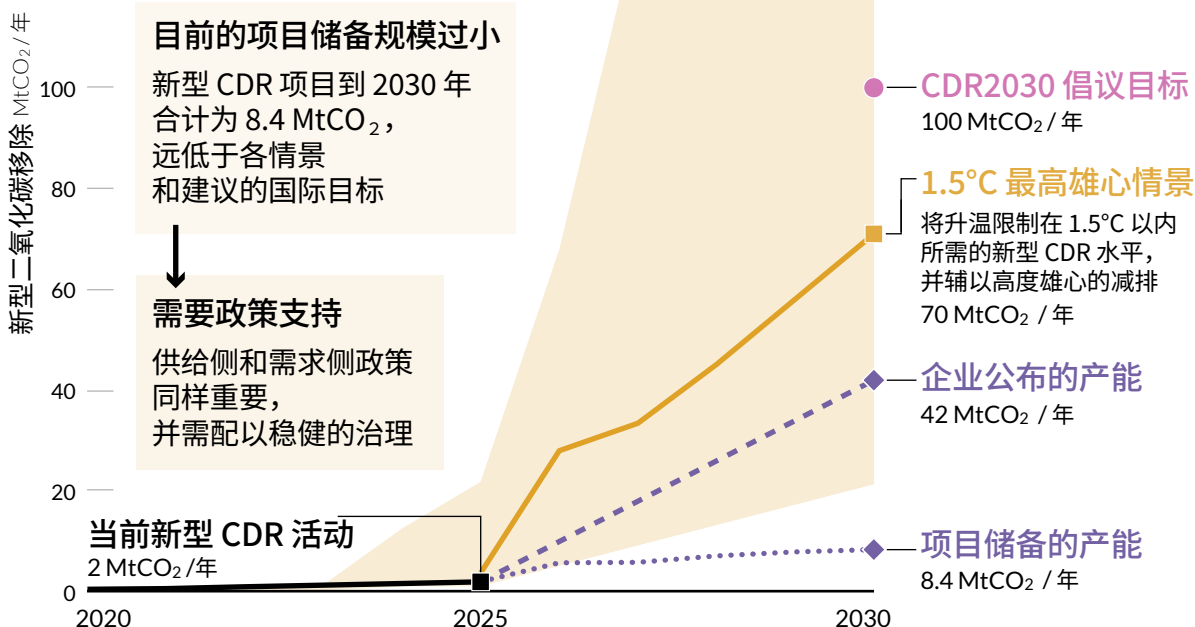


目前只有少数公司和国家在推动 CDR 活动和政策支持。失去其中任何一个主要参与者都可能危及 CDR 的发展。

8. 填补二氧化碳移除规模缺口已是当务之急, 因为项目落地是一个循序渐进的过程。2026至2030年这一阶段, 对于确立二氧化碳移除工作在遏制气候灾害中的作用至关重要。

若想要达成《巴黎协定》温控目标, 延迟减排将意味着需要部署更多二氧化碳移除措施, 尤其是新兴技术。减排工作推迟十年, 会推升气温峰值, 并大幅增加二氧化碳移除的累计需求。过度依赖接近潜力上限的大规模二氧化碳移除方案, 存在突破可持续发展临界值的风险。反之, 加快减排进度, 可合理控制移除技术的推广规模, 减轻土地、水源、生态系统及各类资源面临的可持续发展压力。新兴二氧化碳移除技术目前仍处于发展初期, 这一阶段需要树立行业认可度、验证运行可靠性, 并实现稳步发展, 才能保障其长期助力实现《巴黎协定》目标。尽管各项相关数据整体呈上升趋势, 但多项指标也反映出行业支撑基础薄弱, 且过度依赖少数关键环节。二氧化碳移除领域亟需化解现存风险, 构建完善的政策体系。相关政策的效益需要清晰明确, 且覆盖范围不应局限于气候目标。国际治理能够有效统筹各方行动, 推广行之有效的实践经验。最重要的是, 未来五年必须依靠政策, 持续强化并提升市场对二氧化碳移除服务的需求预期。

未来 5 年对确立新型 CDR 至关重要





THE STATE OF
**Carbon
Dioxide
Removal**

